

書叢小學工

論概程工冶採

著一虎崎宮
譯吾新郝

行發館書印務商

工學小叢書

採治工程概論

宮崎虎一著
郝新吾譯

商務印書館發行

國立北平圖書館藏

4673
700

目錄

第一章	總論	.....	一
第一節	採鑛冶金之意義	.....	一
第二節	古代之採鑛冶金術	.....	七
第三節	中世鍊金術之迷夢	.....	一九
第四節	鐵鋼與文明	.....	二九
第二章	採鑛冶金之概念	.....	四七
第一節	採鑛	.....	四七
第二節	選鑛	.....	七九
第三節	冶金	.....	八八
第三章	金屬鑛業	.....	一〇九

目錄

三



100200

第一節 金	一〇九
第二節 銀	一五一
第三節 鉛	一六二
第四節 銅	一八〇
第五節 鉑	二三一
第六節 鉍	二三八
第七節 鋁	二四四
第八節 鋅	二五八
第九節 鎳	二八一
第十節 錫	二八四
第十一節 鎳	三〇〇
第十二節 鈷	三一〇

第十三節	銻	三二一
第十四節	砷	三二一
第十五節	汞	三二六
第十六節	鎢	三三一
第十七節	鉬	三四〇
第十八節	鉻	三四三
第十九節	錳	三四八
第二十節	鎂	三五〇
第四章	鐵與鋼	三二五
第一節	總說	三五八
第二節	鐵鑛石	三六二
第三節	銑鐵製造法	三七三

第四節	鍊鐵及鍊鋼之製造法	三八五
第五節	鋼之製造法	三八八
第六節	鋼塊鑄造及鋼塊之性質	四一一
第七節	鋼材造形法	四一五
第八節	鐵鋼之組織及碳鋼之性質	四二四
第九節	銑鐵之性質	四四二
第十節	鑄造法	四四八
第十一節	特殊鋼	四五二
第五章	石炭	四七一
第一節	石炭鑛業之發達	四七一
第二節	石炭之成因及存在	四七四
第三節	炭山之作業	四九〇

第四節	石炭之利用	五三五
第六章	石油	五五八
第一節	沿革	五五八
第二節	成因及分布	五五九
第三節	石油之產出	五六二
第四節	採油	五六六
第五節	製油	五七九
第六節	油母頁岩	五八四
第七節	天然煤氣	五八六
第八節	土瀝青	五八七

採冶工程概論

第一章 總論

第一節 採鑛冶金之意義

採掘埋藏於地殼中之有用鑛物之作業，謂之採鑛 (mining)。掘出之鑛石，以機械的作業選別之，提高其品質，謂之選鑛 (dressing)。選鑛之後，再以化學的手段製鍊精製之，以物理的方法加工之，謂之冶金 (metallurgy)。

採鑛、選鑛、冶金三階梯，互相關聯，為開發利用地中寶庫必需之作業。就中，選鑛或附屬於採鑛，或視作冶金之準備作業，故以上三作業，普通包含於採鑛冶金之內，一般稱為採鑛冶金之事業，或

鑛業。

鑛業於人類之文明發達上，有最密切之關係。僅恃動植物以營生活之原始時代之人類，至染指利用天賦之地寶鑛物，所用器具，漸次發達，生活狀態，漸次改善，為進入文明之第一步。太古人類，鑛物之利用，金屬之知識，既漸發達，金、銀、銅、鐵、鉛、錫六種金屬，有史以前，即已採掘利用，而石器更無論矣。自此以後，數千年來，地中寶庫之開發，無時或絕，加以科學之進步，現今不獨已發見之金屬元素，達五十餘種，其多數皆為吾人所利用，下至石炭、石油、寶石、石材等，因採鑛冶金術之應用，亦大為開發，鑛業之貢獻於人類物質文明，實超乎吾人之想像矣。

尤其自近世紀世界的產業革命以來，機械之應用，駸駸日進，遂使人類之文化，以非常之速度而發達。然現代機械之代表火車、輪船、汽車，固不待言，即驚人的發明征服未有人類足跡之北極之飛船，亦非不明鐵鋼精巧之技術，輕金屬 (light metal) 鋁之利用不發達，所能成功。又此等文明利器之活躍，亦非俟石炭、石油、完全的使用，所能實現。由是言之，鑛物利用之革進，誠文明之先驅，採鑛冶金術之於世界人類，雖謂負有文化之母之大任，非過言也。

自古以來，鑛物資源豐富之土地繁榮，金屬利用殷盛之國民文明。徵諸過去數千年之歷史，民族之興亡，國家之鬪爭，與鑛業有關係者極多。世人每謂國家富強之標尺，可以鑛業發達之程度表之，誠以鑛業在國家的經濟上，為極重要之原始的產業故也。在物質文明高潮之現代，此種事實，更屬明瞭。現今列強莫不汲汲焉，因地之利，借科學之力，虎視眈眈，集中其力於鑛業之發達，以期收世界之霸權於其掌握之中。今試觀其趨勢：美國擁廣闊之處女地，豐富之鑛山，熱中於採鑛與開發，現在鐵鋼業，固不待言，即銅、鋅、鉛之產額，亦各占世界總產額之半，石炭、石油之產額，亦凌駕列強，遂出現今日之黃金時代。英國本土，雖頗狹隘，然自十九世紀後半，柏塞麥氏發明製鋼法，製鋼法上發生未曾有之革命以來，鋼之利用，與其石炭之富，促成其機械業、造船業之大發展，世界之海上權，遂至為其所制。其勢力下之印度、澳大利亞、南阿非利加、南洋、加拿大等巨大地所包藏巨額之地寶，其量更不可勝計；南阿非利加、脫蘭斯瓦爾，金之產額，達四億圓，過去四十五年間，英國所得金塊之量，達九十億圓；南洋英國殖民地，為豐富之錫產地，世界錫產量之過半，亦在英國掌握之中。德、法均有數百方哩之豐富之鐵鑛床及優良之大炭田，此寶庫常為兩國戰爭之誘因，亦為兩國造成今日物

質文明之礎礎。日本雖屬島國，土地狹隘，鑛產物之數量，不足與列強相伍；然各種鑛物，均略有埋藏，主要者爲石炭與銅，油田北起庫頁，南達臺灣，各處分布；鐵鑛及其他鑛物，藉科學之力，將來發展之可屬望者，亦決不少；況我東北四省現今是在日人控制之下，此四省所儲石炭、含油頁岩、鐵鑛之豐富，世界罕有其比。

以上各種鑛物之產出狀態及金屬之製鍊趨勢，後章再詳述之。

鑛業之範圍

鑛業爲採掘地殼中鑛物，以供人用之事業，已如前述。故從科學上言之，自金、銀、銅、鐵等金屬鑛物之採鑛冶金，以至非金屬鑛物石炭、石油之採掘，石材、寶石之採掘，凡屬鑛物採掘利用之事業，均應在鑛業之範圍以內。雖然，鑛物有種種，其重要之程度各異，自不待言。就中，金、銀、銅、鐵等金屬，石炭、石油等非金屬，皆培植世界文明之基礎所必需，皆國家經濟上極重要之資源。然此等重要鑛物，其濃集足供採掘之部分，卽所謂鑛床，在廣大之地殼中，不過九牛之一毛，其埋藏量殆爲微微。且其分布深淺無常，吾人所接觸者僅地表，發見鑛床之機會，大受限制。又鑛床縱露出於地表，採鑛作業，亦

非易易。由是言之，鑛床誠不能不謂爲可貴不易得之天賦財寶也。又就實際方面言之，鑛業之目的，在採掘地中埋藏之鑛物，與土地之所有權，常有深切之關係。故各國各視其國情，就國家之經濟上，鑛業經營之必要上，以法律規定鑛業之範圍，於國土內之寶庫，予以適當之保護及監督焉。

自太古人類開始利用鑛物以來，已數千年。此數千年間，露出於地表之鑛物，其減少之程度，與年俱進。埃及及古代，金山大行採掘，數將及百，然六千餘年後之今日，空存遺跡，金之鑛業，殆無復存在者矣。現在列強或憂石炭、石油之將盡而論其壽命，或計算鐵鑛之埋藏量而論國家百年之大計，蓋亦因地殼中之鑛物有限，寶庫之扉一開，採掘盡後，不能復生，與動植物有異，故也。

現今因科學之進步及其應用，採鑛冶金之技術，面目一新。前世紀末以前，地表垂直五千尺以下之鑛物，因地熱之增加，及運搬之困難，採掘作業，殆不可能。然今日則南阿非利加之金山，美國蘇必略湖畔之銅山，印度之金山，豎坑之深，達千五百呎 (meter) 以上，即五千尺以上者不少，在歷來所不能達到之深度，地中寶庫之海底，從容進行採鑛作業焉。選鑛方面，例如浮游選鑛法，較近因科學的方法發明，無價值之貧劣鑛石，亦可行經濟的處理。冶金方面，前世紀中葉以前，棄置不顧之土

壤鐵礬土礬，今亦可製鍊爲鋁，爲促進航空機發達上極重要之輕金屬；而以地表隨處皆是之黏土爲原料，以供製鋁之用之計劃，亦有曙光矣。如上所述，科學之發達，誠予吾人以開發地下寶庫之鍵，而擴張吾人鑛物利用之範圍。雖然，自一般觀之，現今科學之力之於地中鑛物，其應用之範圍，固猶甚狹，有用鑛物之能爲吾人所利用者，其數量固猶甚局限也。能爲吾人利用之鑛物，埋藏量既有限，故鑛業與一般化學工業異其趣，各國對此重要之原始的產業，莫不予以保護獎勵，不許濫行採掘，以求完全之利用。例如英國，昔以鑛物爲國王所有，今日金銀鑛，猶爲國王專有，其他鑛物，方爲地主所有。美國鑛物雖屬於土地所有權內，然採掘地主不能擅專，有一定之制限。其他法、德、奧、意、比等國，則鑛物權與土地所有權，互相分離。

日本鑛物定爲國有，採用鑛業自由主義，法律上規定鑛物之種類，人民得許可後，可以經營鑛業。日本之法，定鑛物爲金、銀、鉛、錫、銻、水銀、鋅、鐵、硫、化鐵、鎳、錳、重石、鑛、鉬、鑛、砒、鑛、燐、鑛、石、墨、石、炭、亞、炭、石、油、土、泥、青、硫、黃等二十三種，砂、鑛、廢、鑛、鑛、洋等，亦視同鑛物。經營此等鑛物之採掘及其附屬之選鑛冶金之事業，爲其法律上之鑛業。雖然，此種狹義之鑛業，範圍常隨時代、隨地方、隨

情形而變化，一般所謂鑛業，由廣義解釋之，下至土石之採掘，或鑛石之單獨製鍊，金屬之加工業，舉凡應用採鑛冶金之技術者，由科學上觀之，皆爲鑛業。

第二節 古代之採鑛冶金術

於詳述現代採鑛冶金之原理及技術以前，請一言古代鑛業之起源及鑛物利用之發達。

考古學者說明人類發達之歷史，以人類使用之器具爲標準，分之爲石器、銅器、鐵器各時代 (stone age, copper age, iron age)，此等器具之材料，莫非利用鑛物。

原始時代人類之生活狀態，觀現今阿非利加、澳大利亞等地蠻人之生活狀態，大概可以想像。彼等飢思食，則跋涉山河，彷徨原野，採折果實草根，狩獵禽獸以果腹，其最初使用之器具，不過木棒石片而已。然彼等於宇宙之森羅萬象，以理智之力觀察之，更進而講求生存之方法，努力無時或息。於是時也，彼等或則偶然於草叢之中，發見金色燦然之砂金，或則見山上赤褐色之鑛脈而止步，俯拾自然銀、自然銅等美麗之結晶，延展之爲刃物或簇，以爲彼等之武器。

即在現代，金、銀、銅等金屬，以自然金屬 (native metal) 之狀態，發現於地表者，亦尚不少。俄國烏拉山中，澳大利亞砂金地帶，俱曾發現鉅大之金塊，北美湖水地方，自然銅之產出甚多，此等事實，均足證明太古以來，數千年間，採集利用之自然金屬數量之不少。

使用此等自然金屬，金、銀、銅之太古人類，最初與他種動物同，頗畏火熱，視同魔物。及知利用火熱，知以火燒煮食物，以火取暖，彼等生活之進步，遂劃一時期。及再進而知以火熱製鍊氧化鑛物為金屬，可謂為冶金術之紀元。古代之製鍊術，蓋發現於偶然，必焚火之際，該處放置之鑛物，偶然為所熔解，還元成為金屬粒，混存於灰燼之中，為彼等所發現，彼等驚其奇異，進而研究之，製鍊術因而發現，無疑也。又彼等最初所行之金屬製鍊，其原料必為在低溫度易於還元之鑛物，亦無疑也。例如露出於地表之銅鑛脈，其中之孔雀石，色青綠而美麗，易惹起彼等之注目，焚火時亦易還元成美麗光耀之金屬銅；又如鉛之氧化鑛物，其比重之大，亦足引起彼等之注意，在低溫度亦易還元成金屬鉛；此等鑛物，應為太古人類最初應用冶金術之鑛物。

有史以前，人類金屬利用之發達，如上所述，首採集地表分布極廣之砂金，次採集鑛脈露頭中

之自然銀、自然銅，更進而製鍊銅、鉛之鑛石，發現鐵、錫等鑛石之製鍊方法，以後此等金屬之加工漸臻熟達之域，此至當之想像也。至各地方各民族所用金屬之種類，及採鑛冶金術發達之順序，因環境之不同，互有差異，自不待言，又南美安第斯山地方所遺先史民族文化之驚異，我國、美索不達米、埃及、印度等太古之文明，得力於採鑛冶金術之應用者不少，不難想像也。較近金屬物理學進步，對於太古時代之廢墟古墳內掘出之金屬遺物，作有組織的研究，上溯太古，以明當時採鑛冶金術發達之狀態，誠極饒興味之事也。

以下，以古代文明之巨璧埃及人鑛物利用之狀況爲基準，一述古代採鑛冶金術發達之變遷。據埃及歷史，紀元前三五〇〇年，卽埃及第一王朝以前，已有有史以前之太古民族，侵入其國。彼等割據於尼羅河流域各地，移植學術技藝來此，廣播後來埃及文明之種。當時，此民族對於金屬，已有相當之知識，砂金製作之裝飾品及銅器，曾經使用，可以想像而知。尤其銅之加工法，埃及自古代以來，卽甚發達，彫刻所用之鑿、小刀以及刀劍類古代銅之遺物，發掘出世者甚多；金之加工品，亦極精巧。又第四王朝，卽紀元前約三千年，南方魯比亞（Nubia）地方，亦有金鑛之探掘及製鍊，已大

爲進步之說。

銀之以自然金屬狀態產出者，不似金之多，自然銀不過有時存在於銀之鑛床露出部而已。銀在古代，較金更爲珍重，其故蓋由於此。據冶金學者戈蘭德教授之說：埃及最初之銀，係得自魯比亞產出之金塊中，係用食鹽，使成氯化物，行金銀分離法而得出者。然此種化學的製鍊術，彼等究發現於何時，歷史上並無確實之證據。又有謂埃及最初之銀，係由敘利亞方面輸入者。

銅在埃及之利用，如前所述，太古以來，即已發達，當時之銅器等遺物，在美術工藝品上，可值驚嘆者頗多。然銅之鑄造，在技術上，殊非易事，埃及在古

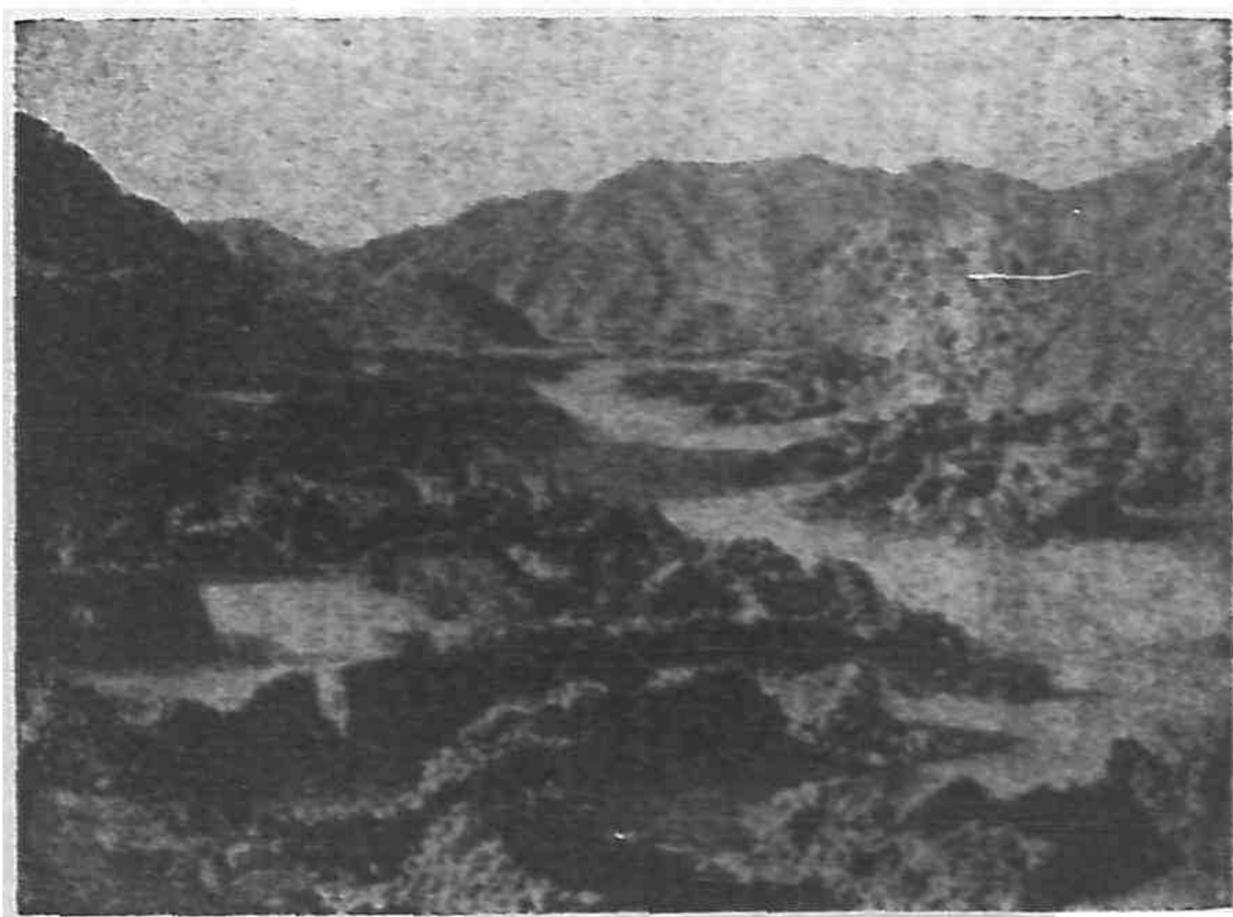


圖 1

古代埃及鑛山市街地之遺跡

代，即已熟達，此可注目者也。彼等製造銅刃物之法，先鑄銅使略成刃物之形，次以錐擊之，使生鋒刃。由此可知銅僅經錐擊，其表面即硬化，彼等業已知之。用以製作此等古代銅器之銅，比較上雖純粹，然亦有含有多量之砷及鐵與錫者，茲就埃及第一王朝時代（紀元前約三四〇〇年）銅製之刀劍，例示其中所含不純物之分析如次：

砷	〇・三九%
鐵	〇・〇八%
鉛	痕跡
錫、鉍、鎳	無

又此等銅中，多含氧化第一銅，有謂此乃故意使其含有之者。

至於金鑛業，僅幼稚之砂金採集，彼等尚不滿足，彼等自太古以來，已從事於鑛脈中金鑛石之採掘。今日埃及金山之遺跡，或在埃及本土，或在其南方之蘇丹地方，奚止百數，此外，紅海之東岸密幾安地方，亦當時彼等採金之地也。

現猶保存之古代埃及之金山地圖，爲現今世界最古之鑛山地圖，在採鑛學上，極爲貴重。此圖爲紀元前一三〇〇年，卽第十九王朝時代之物，古代埃及之金鑛業，技術上已大有進步，由此可以窺知。彼等由鑛脈中採取石英質金鑛石，先粉碎之，次於水中洗滌淘汰之，採集之金，熔融之使成金塊，有如近代之方法，由考證可以知之。

銅利用之發達，既爲時極古，古代銅鑛業之發達，由此可以窺見。古代埃及之銅山，確實之記錄，今日猶存，觀當時銅山所用坩堝之破片，所遺棄之鏟，當時銅鑛業之隆盛，可以證明。埃及各王朝時代採掘製鍊之銅鑛，殆皆產出於賽奈（Sinaï）地方之銅山，不斷的供給埃及人之需用。據加勒里氏賽奈半島古代遺物銅熔鑛爐之研究：古代銅鑛之製鍊，係於地面設深而圓之穴以作爐，由風口送風入內，用木炭以使銅鑛石還元云。

據一般考古學者之說：紀元前四〇〇〇年，埃及石器時代告終，變爲使用銅器之時代。及紀元前一五〇〇年，錫之利用發生，又變爲銅錫合金之青銅時代（Bronze age）。據戈蘭德教授之說：含錫之銅鑛石，將製鍊時，銅錫偶然同時還元而成青銅，是爲青銅爲人所知之始，人見其性質之可貴，

遂用以代銅云。青銅時代，錫之鑛山，歐洲中部、波斯、西班牙、英國、塞浦路斯等均有之，我國自古亦產出之。埃及自此等地方，或輸入錫，或輸入錫之鑛石，混合以銅，以製青銅，此一般所相信者也。

青銅之使用，於鑄造法之進步改良，予以不少之機運。其貴重之作品，現今藏諸開羅（Cairo）

博物館之溥皮王第一世等身之大像，大足雄辯當時鑄造術之發達；由美術工藝上觀之，有嘆賞而不能已者焉。圖2所示，即此像，表面雖已氧化為青綠色之氫氧化銅及碳酸銅，古色蒼然，其眼球之生動有光，猶足

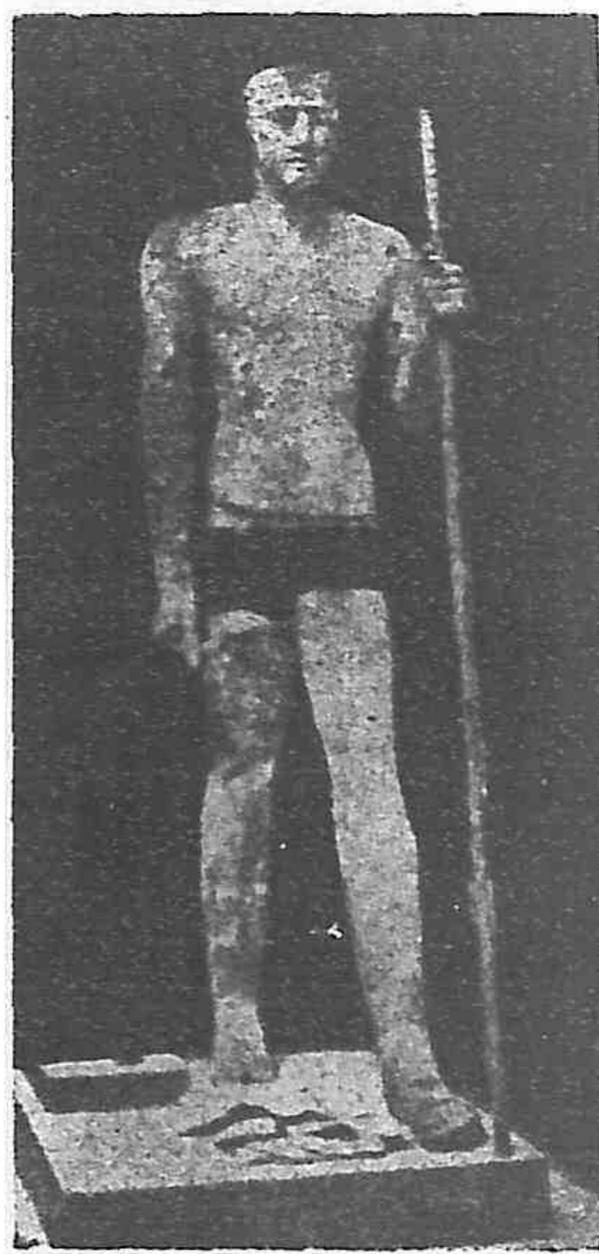


圖2 溥皮王第一世之像

使人追懷數千年前技術之爛熟傑出而不能已。然此像後世雖視為最古之青銅鑄物，埃及古代冶金術之研究家喀蘭德氏曾有「此像之成分，非僅銅乎」之語，據該氏之說：當時青銅之利用尙未興，在埃及所發見之青銅器，第十八王朝即紀元前一五〇〇年所發見者，實為最古云。

埃及諸金屬鑛山之採掘既大盛，石材採掘之術亦大興，尼羅河上流，花崗岩之採掘，一塊之重，達五〇—六〇公鎰 (metric ton)，沿尼羅河運搬，或以供建設尖塔方尖碑之用，或以供築造墳墓之需。紀元前三〇〇〇年之遠古，採掘術之發達如此，誠足驚人矣。

其他錫、鉛、鐵等金屬，亦相繼製鍊，相繼加工，此亦助長埃及古代之文明者也。金屬錒之使用，雖在十五世紀，然其化合物，古代埃及人曾用作顏料，歷史上亦可考證也。

以上所述金屬之利用，於古代諸國之文明，有如何之貢獻，如何為當時所重視，不難想像而知。紀元前三〇〇〇年，埃及設金屬專賣制度，金屬之管理權，由宮廷掌握之。又派遣鑛山探檢遠征隊，由王子高官統率之。皇族及顯官，亦學習冶金之技術。就中第十八王朝，即紀元前約一五〇〇年，金山及銅山之採掘，最為殷盛，多數金山之所在地魯比亞，被命每年貢金。又相傳楚特摩茲三世征服敘利亞，捕獲敘公之金銀塊，其子阿門霍特二世遠征地中海東部諸國，亦獲得數十公鎰之銅。銀最初之價格低下，較金為賤，亦在此時，此時代金屬鑛業隆盛之時代也。

第十九王朝拉麥則斯王之建立其像，採掘一塊重達千公鎰之巨大石材，自運搬起，至建立止，

完全不用機械之力，僅用銅或青銅之小工具，當時之繪畫，今日猶存。如上所述，採鑛冶金之技術，既大發達，拉麥則斯王因日耽於遊樂，於是當時之僧侶，遂乘時得勢，金銅一切金屬，皆歸其掌管，冶金術之主管僧侶，至獲「神祕之聖者」之尊號。又當時冶金家所占地位之優越，觀今日開羅博物館所保存之當時冶金家之木乃伊，亦足窺其一斑。次節所述之鍊金術，多行於後世之僧侶，蓋此時已發其端矣。

至於鐵，紀元前一六三五年出生之化學大家摩則斯氏，於鐵鑛製鍊爐鐵工具之

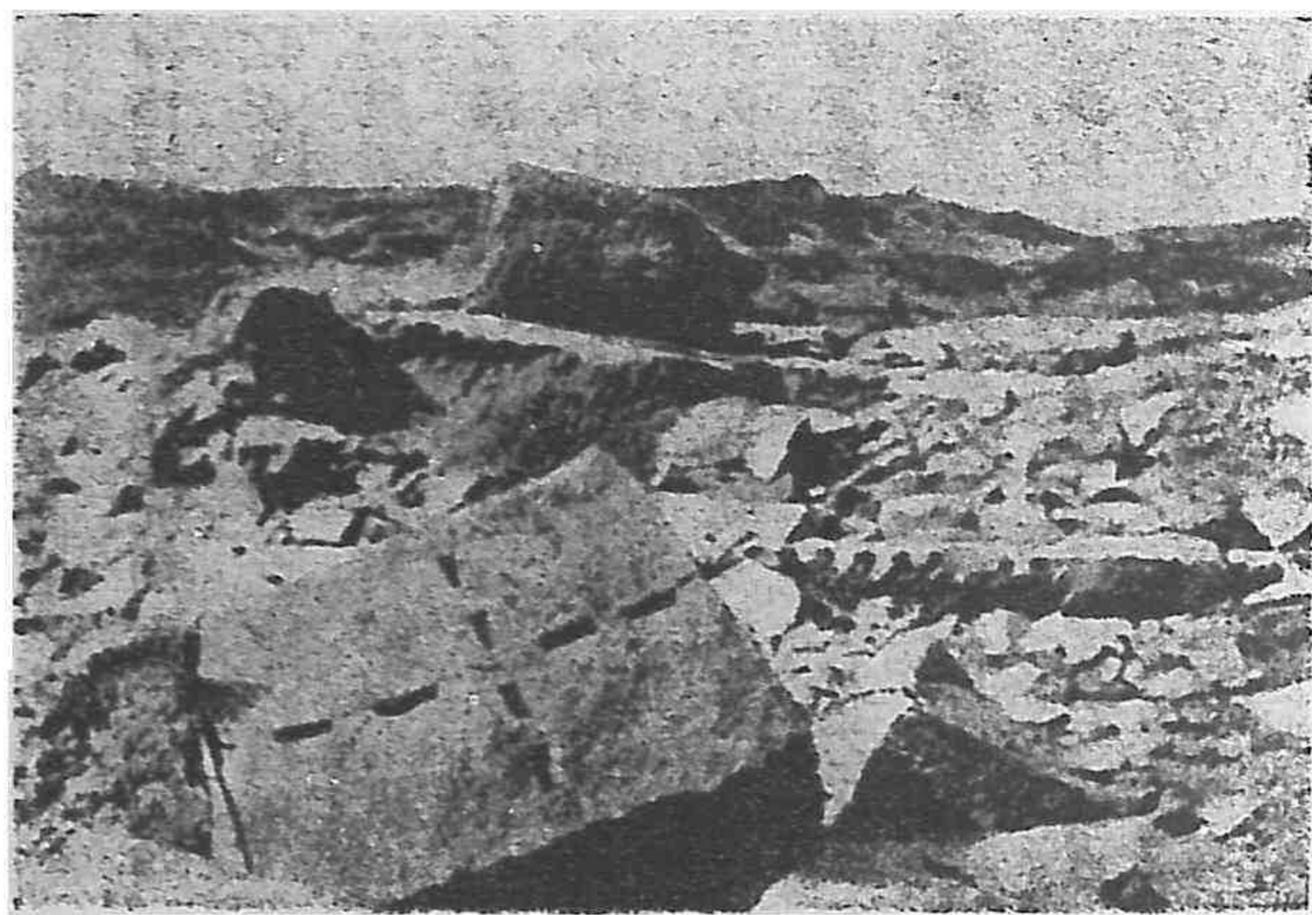


圖 3 古代埃及石材採掘場之遺跡

古代埃及花崗岩採掘之方法，與現代無大差，穿穴於岩，打入楔以切取之。埃及因氣候之關係，數千年前之石材採掘場，其遺跡至今猶存。

冶金，已有豐富之知識，由其著述，可以考證。鐵之使用，一般雖以為頗古，然古代鐵器之遺存至今者極少，不似他種金屬之有明瞭之歷史。據考古學者之說：埃及在紀元前一〇〇〇年以前，殆尙未使用鐵。然紀元前二九〇〇年岐奧普斯王建立之埃及及基佐（Gizeh）之大方塔中，曾發見工具之鐵片，又紀元前二七〇〇年建立之阿布薩地方之黑方塔中，曾遺存鐵製之尖鋤，由冶金學上考察，似埃及在極古之時，已有使用鐵之地方矣。考鐵之鑛石，其分布雖較銅為廣，然自然鐵之產出殆無，且其製鍊術，又不似銅之簡單，故古代鐵之使用，不似銅之普及，不必只限於埃及一國，無論何國，其使用應皆不多也。又古代遺物鐵製之工具，歷時未久，即遍體生鏽，喪其原形；古代人未用鐵以作裝飾；因宗教上之習慣，鐵器不納入墳墓之中；凡此皆應為現時鐵器之發掘極少之原因。據戈蘭德氏之說：埃及像形文字之彫刻，詳加研究，堅硬如花崗岩，刻字既深，且角度極正，其精細之點，殊非僅用銅製之工具，或銅製之工具與金剛砂併用，所能達到。以現代之冶金術，欲使銅之性質變硬，以成就此種技工，亦不可能。該氏由此點着想，謂紀元前二〇〇〇年以前，彫刻用具，已利用鐵云。

然則古代鐵之製鍊法如何？據戈蘭德氏之說：銅鑛脈之露頭部已風化之銅鏽中，普通含有多

量易於還元之氧化鐵，古代製鍊銅鑛，以木炭使銅鑛石還元之際，此氧化鐵亦一同還元，成半熔體海綿狀之鐵塊，殘留於爐中。此時由爐內取出，錘擊鍛鍊之，遂得鐵云。

地質學者格拉哈蒙氏，由現今埃及南部蘇丹地方土人間所行之簡單幼稚之製鐵法推考，謂古代鐵之製鍊，與含鐵銅鑛之製鍊相同，可以簡易製出。據該氏之目擊：此等土人，於森林中拾集鐵鑛石，運至製鍊師處，於藁屋中，掘地作窪，內塗黏土以爲爐，爐內裝入鐵鑛及木炭，厚約一呎，以風箱送風入內，則鑛石熔融，銕流集於爐底，爐中生海綿狀多孔質之鐵塊。鐵塊取出後，置入炭火中加熱，製鍊師查驗溫度後，以木棒挾出，置於平坦之岩上，一人高舉石塊，用力向其強打，如此反覆鍛鍊，遂成鍊鐵。鍊鐵成後，再加工製爲銳利之槍斧。此種幼稚之製鐵法，在已知銅鑛製鍊之古代，可立即實行，不難想像也。

鐵之使用，逐漸發達，已如上述。紀元前約一〇〇〇年以來，埃及鐵之使用，亦大爲進步，不獨由敘利亞及其他鄰國輸入多量之鐵，鐵之加工亦行之，歷史上可考證也。

埃及古代金、銀、銅、鐵、錫之採鑛冶金術，已略說明如上。紀元前五〇〇〇年，波斯侵入其國後，金屬

之新知識，又由波斯移入，遂有金屬貨幣之制度。降至紀元前三三二年，爲馬賽德尼亞亞力山大王所征服，又由希臘傳來種種之金屬加工術，金、銀、銅器具製造法，及金屬之組織的熱處理法。自克勒窩帕特拉死後（紀元前三〇年），爲羅馬人所征服以來，埃及固有之文明，陷入凋落之悲運，歷來之光輝全失。然一方亦深得羅馬人之機械的知識，不獨貨幣普及，又喚起各方面金、銀、青銅、鉛等之需要，混鑄於銅以製黃銅，亦此時代所創始也。

埃及以外，其他諸國中，希臘古代金屬之利用，亦甚發達，觀多島海中克里特島首府克諾斯廢墟中發見之金、銀、銅之製品，其古代採鑄冶金術進步之程度，可以推知。又紀元前一一〇年至七五〇年之間，繁榮於勒班山脈與勒頒多海間狹長海岸地帶，長於造船業及商業之腓尼基人，東與阿剌伯、埃及、巴比倫、印度通商，西與阿非利加、西班牙通商，因金屬加工業之精巧，遂掌握青銅品之貿易，由阿剌伯、印度等輸入金，由西班牙、英國輸入錫，由德國輸入鉛，由敘利亞輸入銅，國內又從事於銅山之採掘，鑛業極爲隆盛。又舊約全書中，載有腓尼基人爲希伯來王索羅孟遠征，由窩庇魯地方獲得多量之金而歸。腓尼基人之熱心於鑛業，由此可以窺知。又紀元前八七八年腓尼基人設

立之加太基殖民地，據傳數世紀之間，金屬鑄造業，亦大爲發達，亦大輸入金屬加工，與外國通商，當時銀、銅鑛產豐富之西班牙，亦在其掌握之中。

以上已以埃及及爲基準，將古代採鑛冶金術之發達，略略敘述矣。人類自先史時代以來，已有金、銀、銅之知識，由此可以概見。以後更探掘裂鍊鐵、鉛、錫等金屬鑛物，金屬之加工術，自銅以至青銅、黃銅等合金，均被利用，至西曆紀元前後止，鑛業之發達，已大有可觀者矣。希臘、羅馬時代，鍊之利用及研究開始，由化學方面以考究冶金術，遂有鍊金術隆盛期之出現。然因此，以後十數世紀間，鑛業之發達，反受阻礙。及十五世紀至十八世紀，鋅、銻、鉍、鎳、鈷、錳、鉛等，順次爲一般所認識。及十九世紀，成製鐵時代，因物理化學之發達，遂有割時代的製鋼法之發明，遂使現代達於赫赫機械文明之高潮。以下逐節就此等各時代說明之。

第三節 中世鍊金術之迷夢

自太古以來，金屬之使用，順次普及於各方面，培成文明之基礎，已如上述。就中金屬貨幣之普

及，尤予人類經濟生活以顯著之影響，貴金屬（noble metal）金銀，益為世人所尊重。古代埃及、希臘、羅馬等國之英傑，皆重視金銀，視為富與權勢之標尺；戰勝則滿載而歸，以為戰利品，治國亦用金力政治，此歷史上著名之事實也。

因此之故，金銀鑛業，古代即已發達，製鍊技術，亦自古即大為進步。由古代埃及金山之遺跡推考，以現代之冶金方法，僅能處理之含金甚微之鑛石，古代人亦曾從事採掘。然彼等之慾望，尚不以此而自足，並自然界中多量存在之銅、鉛等卑金屬（base metal）類，亦欲變之為金屬之王金與銀焉。



圖 4 鍊金術

自古代之埃及時代以至近世，凡數千年，此數千年中，歐洲人之研究金屬相互之變化，以製造金銀，換言之，即研究鍊金術（alchemy）者，層出不窮，宛如吾國昔時研究草根樹皮以求不死之靈藥者然。彼等之目的，最初多欲發明所謂鍊金藥，欲藉此以變萬物為黃金，乃一種真摯之化學的研究也。不幸至後世，流弊所至，至有以魔術師之言行，欺世惑人者。然迷夢一掃，先人鍊金術之遺業，卒獲所報，燦然之科學萬能時代產生之氣運，因此發生，十七世紀以來之物理學、化學之發達，因此促進，至十八世紀、十九世紀，遂有種種科學的發明、發見之簇出。次節所述鐵鋼製鍊術之發明，為近代文明之基礎，然夷考其實，亦鍊金術之所賜也。

吾人如引用有名之科學者培根（Roger Bacon）氏之言，吾人嘗謂：鍊金家，現代化學之先覺也。彼等為探求「聖者之石」或「鍊金藥」而殞逝之犧牲者，彼等恰如無知之青年，探求財寶於祖先墳墓之地，因飢餓疲勞而殞逝。然彼等無處不掘之墳墓之地，恰成為美田，遺諸其子孫。

當敘述採鑛冶金之發達以前，請先略述此等先覺者過去數千年間犧牲之歷史。

鍊金術之本源，在太古之埃及，應推著名之神人赫爾麥斯（Hermes Trismegistus）。赫爾麥

斯相傳爲諾亞 (Noah) 之曾孫，曾以學術技藝之根源，傳諸其子孫人類。據著名之歷史家戴俄多拉斯氏之說：埃及古代，科學之研究極盛，以赫爾麥斯名著述之書籍，其數達三萬六千卷以上，古代科學之著述，皆爲赫爾麥斯之名。

紀元前一六三五年出生之摩則斯氏，爲赫爾麥斯化學之大家。據傳彼不獨有卓越之金銀冶金之知識，又精通鐵之製鍊術。又紀元前四六〇年出生之希臘之哲學者德謨詰利 (Democritus) 氏，據傳自數學、機械學、音樂以至其他各種學術技藝，莫不精通，又曾作原子之說。

關於此等古代科學知識之學說，茲姑不再具論。當埃及王朝時代後期，埃及歷來固有文明，行將凋落之際，變卑金屬爲貴金屬之慾望，起於當時權勢赫赫之僧侶間，彼等稱爲神術，於寺院之內，行種種之祕法，鑛物、植物之煮沸、蒸溜等方法，反覆試行，欲由此製出金銀。又由今日開羅博物館保存之紀元前一〇〇年即埃及第二十王朝時代之冶金家壯麗之木乃伊推考，古代以來之金銀鑛石製鍊術，一變而爲帶有神祕色彩之鍊金術，大爲當時所研究，不難想像。又據洪保爾 (Humboldt) 氏之說：化學 (chemistry) 一語，有「黑色土地之技術」之義，古代埃及人曾稱彼

等之國土爲黑色土地，故古代金鑛製鍊法之研究，初變爲鍊金術，後更成爲化學之濫觴，可想像也。至第二世紀，希臘科學之泰斗戴俄斯科里德斯氏，有豐富之化學知識，於應用方面，有不少之

開拓，液體之蒸溜方法等，亦爲之大爲進步，古代埃及僧侶間所行之鍊金術，此時普及於一般。及第三世紀，羅馬王忌埃及鍊金術研究之盛，恐釀成埃及人財富及權勢之復活，復與羅馬爲敵，遂下令凡關於化學之書籍，盡燒棄之。



圖 5 埃及古代冶金家之木乃伊

然鍊金術之流行，並不因此而停頓，其研究且日有進步焉。又希臘之斯依打斯氏，亦曾謂化學爲製

造金銀之術。

至第八世紀末葉，阿剌伯誕生大化學者格伯兒 (Gaber) 氏，化學上重要之發明，發見，接踵出現，於化學之發達，遺偉大之殊功。後世一般稱鍊金術爲 alchemy，卽起於此時代之阿剌伯也。alchemy 之 al 爲阿剌伯語之冠詞，與 alkali (鹼質)、almanack (曆)、algebra (代數學) 等之 al 同，alchemy 蓋由古代埃及之化學 (chemistry) 轉變而爲阿剌伯語者也。又自古代以來，盛行採掘之西班牙著名之阿爾登汞鑛山，汞鑛石蒸溜製鍊之凝縮器，稱爲 aludel，爐稱爲 aludel 爐，今日尙沿用此由阿剌伯語轉來之名稱，足證汞之製鍊術，阿剌伯自古以來，已盛行之矣。

格伯兒應用其豐富之化學冶金學之知識於工業方面，從事於熱之研究，發明一種燃燒爐，命名爲「阿薩那之塔」，以代歷來以太陽熱或幼稚之燃燒釜蒸溜液體之法，提高燃料之熱能率。此爐出後，液體蒸溜之方法，爲之獲一進步。又有謂其對於硝酸銀、氧化水銀、硫黃華、曹達、酸類等，亦有廣汎之知識者。彼又於金、銀、汞、銅、鐵、錫、鉛及砷等金屬之性質，深加研究，尤其金之冶金術，最爲深博，剖分析金銀之方法試金術，今日一般所行之金銀精製方法灰吹法，卽其所發明。又溶解金及其他

諸金屬使成水溶液所用之強烈藥液，鑛酸，亦有謂格伯兒已曾製造之者。

格伯兒之說，一切之金屬，爲汞與硫黃之化合物，因二成分含量之比率有種種，故金屬亦有種種。有時又因含有若干之砷，化合狀態，發生變化，亦生種種之金屬。彼之所謂硫黃、汞、砷與今日之元素不同，應作爲假設之物質解釋，一二〇〇年前化學知識進步之程度，由是可以窺知矣。

格伯兒爲真摯之大化學者，於化學之研究，熱而努力，澈底進行。誘導多數之弟子，告以不完全之實驗，反於化學之發達，有害無益。對於鍊金術，謂卑金屬與貴金屬之間，欲使其起變化，恰如使山



圖 6 昔時之鑛山採掘

由豎坑及橫坑道採掘地中之鑛物，搬平地表之圖。

羊變爲牝牛，以宇宙偉大之自然力，費數千年之歲月，始克成生之金屬，欲於人類極短之生涯中造出，勢所不能，諷刺當時之鍊金家，欲其有所覺悟。然彼之後繼者，曲解其遺傳之化學經驗，不惟欲使鉛變成金，並欲使有機物之植物質，亦變爲金屬。因此等鍊金家之積出，以後約千年之間，遂成深沈暗澹之鍊金迷夢時代，出現於化學冶金之發達史上焉。

自十二世紀至十三世紀，馬格那斯（Albertus Magnus）氏、拉利氏、培根氏等著名科學者出現，既致力於鍊金術之研究，又力謀各種科學之進步。馬格那斯氏與其門人等，於致力於求聖者之石或鍊金藥外，又深究古代希臘之科學，於物理、化學之應用方面，亦大發揮其天才。拉利氏亦力排當時鍊金家間非科學的占星術及靈交術等之弊，汲格柏兒之流，致力於實際之金屬的研究，在金銀之製鍊術上，曾博得熟達之名。培根氏以僧侶而博於學，於物理、化學、哲學，曾窮其奧蘊，於天文學、光學，曾有大貢獻，相傳望遠鏡亦爲其所發明，又於機械學，造詣亦深，爲近代撒播實驗學科種子之大科學者。彼又於鍊金術，研究不懈，「鍊金術之鏡」一書，相傳爲其所著。此書於鍊金術，下一定義「所謂鍊金術，爲闡明製造鍊金藥之方法之科學」，謂鍊金藥注入卑金屬或不完全之物體中，則

卑金屬可變爲貴金屬，不完全之物體，可變爲完全之物體，彼又於標題「金屬及鑄物之成生與自然之法則」之下，作與上述格伯兒學說相同之學說，謂各種金屬，係由汞與硫黃相合而成。由上以觀，阿刺伯發生之鍊金術，十三世紀時，流傳及於西班牙、法蘭西、英吉利以及歐洲中部各地，世人莫不爲其迷夢所襲，可以想像矣。以後至十七世紀止，無數之鍊金家，猶發奮研究，孜孜不息。然均陷入失望與悲哀之深淵，既捨其家，復喪其身，所獲得者慘澹之結果耳。據傳十四世紀時，著名之鍊金家尼古拉氏，謂由汞可製出銀，又可製出金，以鍊金術爲神祕之術，於巴黎各處，建立寺院及病院，曾獲得多數之迷信者。鍊金家對於愚昧之迷信者，既奪其財，復奪其生，流弊所至，罄竹難書。至十五世紀之初，英王亨利四世，遂禁止之。然鍊金術之流行，仍未易衰，假借先哲赫爾麥斯氏、格伯兒氏、培根氏之名，所作之偽書，且層出不窮。及十六世紀，王侯貴族以至學者，莫不醉心，或曰鍊金樂，或曰萬能之靈藥，或曰聖者之石，莫不有多數之信仰者焉。當時之鍊金書籍，多用隱語，方法皆作神祕的說明，舉世至信由鍊金祕法製出之金銀貨幣，已出現於世，當時僧侶獻給女王依利薩伯之刀劍，亦係鍊金術製出之金所製成，此術之如何浸染及於歐洲各階級，由是可以窺知矣。

十六世紀以後，鍊金家有奧古勒洛氏、阿古利巴氏、巴拉塞兒薩斯氏、阿古利科拉氏、狄氏、刻利氏等。巴拉塞兒薩斯氏，後世稱為定暈化學及藥治學之鼻祖，為天才的大化學者，然亦熱中於鍊金之術，相傳因仰不老之靈藥極強之酒精而死。刻利氏相傳曾向「聖者之石」凝視而行靈交術，然彼所遺之「聖者之石」，不過一塊石炭之類耳，此石今猶保存於世，稱為魔之石。

如上所述，鍊金術雖由化學的探究，一變而帶甚非科學之色彩，然十三世紀即已萌芽之學藝



圖 7 昔時鐵之製鍊

品位極良之錳礦石，於平床(A)上還元之，以鎚打出其中之鐵後(D E)，於鐵砧(C)上鍛鍊之。

復與之氣運，此時亦漸見進展，及印刷術普及，更一掃此種神秘的迷信，燦爛之現代科學，遂漸昌明於世焉。

一五三〇年，阿克利科拉氏曾著一書“*Agricola's De Re Metallica*”，就歐洲歷來之採鑛及金屬製鍊術，作組織的記述，為形成後世採鑛冶金學之基礎之大著作。

至十七世紀，英國之呼克氏、麥約氏、波義耳氏、赫耳茲氏、牛頓氏，法國之魯斐白氏、魯兒馬利氏，德國、荷蘭之半赫兒孟特氏、基兒赫兒氏、柏兒哈白氏、柏赫兒氏、斯塔兒氏、古諾巴氏，大家輩出，以實驗為基礎，於物理、化學上，作驚人的發明，發見，為現代科學之先驅。以後布利斯特利氏、布拉克氏、加本狄士氏、瓦特、柏兒曼氏、錫兒氏、拉波哲氏、汶者兒氏、利喜特兒氏、得比氏、道爾頓氏等，更予物理、化學以根本的解決。此等學理之應用，亦盛行於鑛業方面，以後使一世震驚之柏塞麥製鋼法之發明，在現代文明放一異彩之鋁之出現，皆此等先哲不屈不撓努力之結晶也。

第四節 鐵鋼與文明

人類由最古之石器時代，進而爲銅器時代，更進而爲鐵鋼時代，遂達現代文化之爛熟期。無鐵之處，無文明之可言，人類知鐵之加工術後，始可稱爲已脫野蠻之域。人類之文明，國家之富強，以製鐵事業發達之程度爲比例，此言未可否認也。

鐵含於構成地殼之岩石之成分中，其分布極廣。以意忖之，自古以來，應即常常惹人之注目。然鐵鑛自還元成鐵以至作成器具，其作業不似銅鑛之簡單，此鐵鑛製鍊法之進展，所以不及銅鑛之速也。然鐵製鍊之技術，三千年前，多數之民族已行之，此又今日一般所公認者也。西曆紀元前約一六〇〇年，摩則斯氏敘鐵之製鍊術，謂刀、劍、小刀、斧等，係鐵所作成。由是以觀，當時以前，埃及及腓尼基人等，已利用鐵無疑矣。又就埃及及阿敘利亞等處廢墟中發掘之銅器、鐵片研究，四千年以前，埃及人已使用鐵。此外基在地方，紀元前二九〇〇年（第四王朝時代）建築之方塔中，曾掘出鐵片。又由冶金學上觀察，當時石材之彫刻，已曾使用鐵之工具，前已述之矣。

鐵較銅或青銅，最易生銹，鐵器一經腐蝕，形體卽未易久存，太古遺物中，鐵器類之極占少數，固不足怪也。又鐵之製鍊，較爲困難，故古代希臘，頗重視之，希臘人所用之武器，多爲青銅所製。又據羅

馬布利尼氏 (Miny) 之說，第一世紀之初，羅馬人之農具及武器，已使用多量之鐵。該氏不獨記載鐵鑛石之產地、性質及製鍊法，並明示鍊鐵與銅之區別，說明置鋼入水中以行硬煅，或如現今置入油中，急冷卻之，以行硬煅之方法。

此時代，羅馬各市街及村落，鐵工頗多，釘、鎖、鎗等，用鐵製造之，刀、劍、剃刀、剪刀等，用鋼製造之，冶金之術，甚為進步，又當錫薩侵略英國之際，英國除金銅貨幣外，又用一定重量之鐵棒以作貨幣。此鐵棒，長約三十一吋，作刀劍形。當時自希臘以至各國，均用鐵作貨幣焉。

印度鐵之使用亦甚古，今日印度德兒喜地方，高七呎之鐵塔，相傳為西曆四〇〇〇年疊積純鐵之圓板熔接而成，其重六公噸餘。當時印度鐵工之熟達，可以窺知矣。

希臘、羅馬、印度等地方，鐵之加工，既如此進步，鐵之普及於一般，蓋始於此時也。

就中近代因鐵鑛業之異常發達，遂握世界霸權之英國，其本國鐵鑛之豐富，昔時已為羅馬人所知，羅馬人曾在其南部地方，大營製鐵業。其中南部地方，因羅馬人之溫泉遺跡而著名之巴斯市，為羅馬人曾建巨大兵器製造所之處。現今之南威爾斯、約克等各地，昔時多為製鍊鑛石之地。當時

羅馬人所遺棄之鐵滓，其中尚含有多量之鐵，至近代再以之裝入化鐵爐，與鐵鑛同供製鐵之用者垂數百年，羅馬人之於英國鐵鑛業，如何予以強有力之基礎，可以知之矣。

(一) 鐵之時代

古代鐵鑛石之製鍊法，於簡單之平床，或幼稚直爐之中，堆積鐵鑛與木炭，以風箱送風入內，使鑛石還元以行之。由此方法製出之鐵為含碳極少之半熔融之鍊鐵塊 (wrought iron)，有時縱偶然成爲銑鐵，亦不知其利用之法。由此方法製出之鍊鐵塊，以製器物，須經過煩雜之煅鍊法，始能造出所要之形狀。

至十四世紀中葉，德人發明銑鐵 (pig iron) 卽鑄鐵 (cast iron)，世始知鐵鑄物之製法。銑鐵

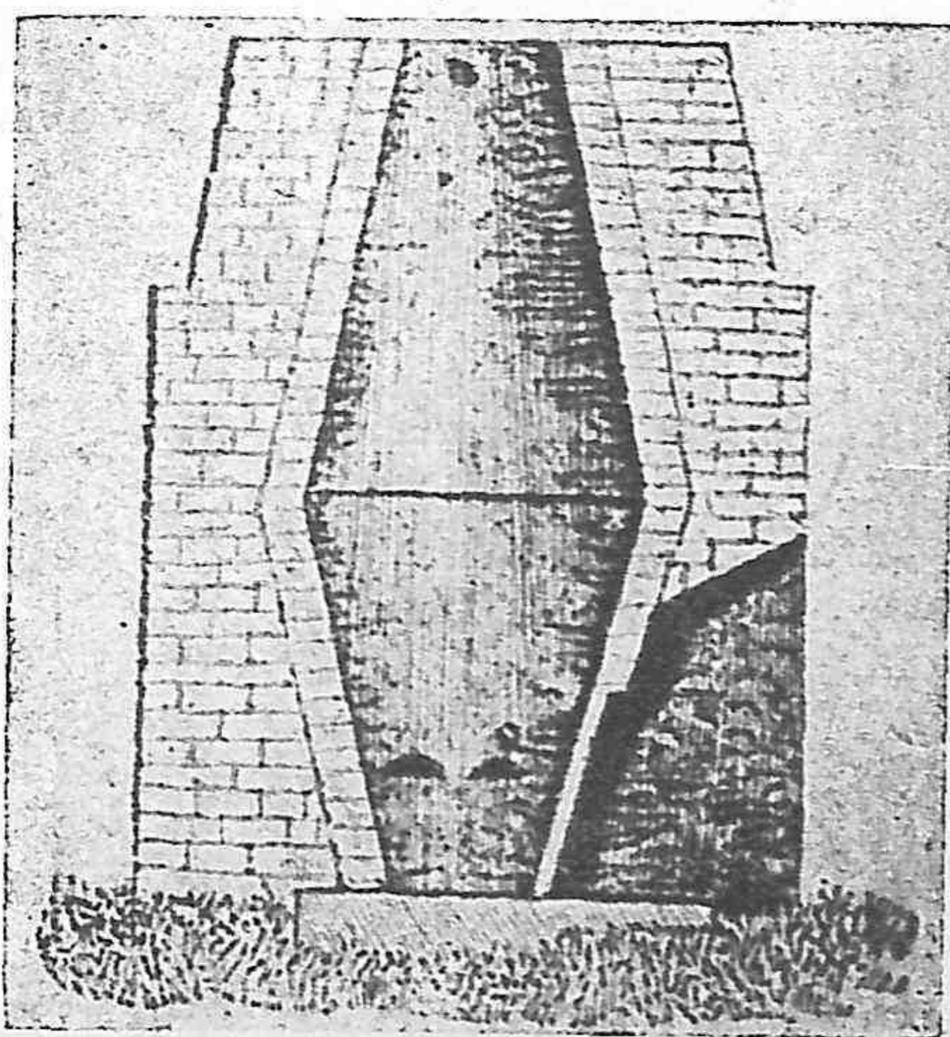


圖 8 最初之德國式化鐵爐

石所築成，高不及五十尺。鑛石還元所成之鍊鐵，爲半熔態之塊狀，取出再煅鍊之。

之出現，實鐵利用上之一新紀元也。德人以舊時之爐過小，將其形增大，以石築高而垂直之爐，努力於燃料之節約，製鍊費之低下，此垂直之爐，遂爲今日化鐵爐（Blast Furnace）之先驅。爐中燃料與鐵，可長時接觸，燃料中之磁，可多量爲鐵所吸收，故可製出易於熔融有流動性之銑鐵。此銑鐵當時以爲係一種新鐵，不似鍊鐵之不易於加工，可立即鑄造爲種種複雜形狀之鐵鑄物。自十五世紀至十六世紀，其用益廣，大礮等物之鑄造亦用之，鐵工業發達之序幕，於是開焉。

然鐵之需要既大增，製鐵燃料木炭之需要，亦隨之而大增。及森林伐採殆盡，木炭告不足，於是石炭利用之氣運以起。一六一九年，英國都德里（Dud Dudley）氏，以石炭鍊焦煤，以供化鐵爐製鍊銑鐵之用，獲告成功，蒙英王詹姆士一世，予以特許。然後不幸，以內亂之故，製鐵業中止，約一世紀之間，製鐵業衰微，達於極點。

當時之製鐵所，因需要木炭之故，輾轉由森林地移至森林地。爐不大，送風用風箱，以人力或水力行之。因利用水力，故工場沿河川設之。銑鐵之產生量，一星期內，每爐不過十數公鐵耳。鍊鐵則於同一工場內，由銑鐵製造之，以鏈加工，使成棒、板等形。

至十八世紀初葉，達比(Abraham Darby)氏再以石炭製造焦煤，以代木炭，經熱心之試驗，化鐵爐之能率大增。至十八世紀末，多數之化鐵爐，均用焦煤製鐵焉。

在達比氏之焦煤使用試驗時期，同時英國洞卡斯忒，有鐘表商洪茲曼(Huntsman)氏，發明坩埚製鋼法(crucible process)此法於坩埚之中，熔融適當成分之鋼片，以製優良之鋼，現今特殊優等鋼之製造，猶沿用之。

一七六八年，瓦特氏發明劃時代的蒸氣機關(steam engine)，製鐵業者於送風機(blower)之運轉，遂以蒸氣力代舊時之水力，至十八世紀末，應

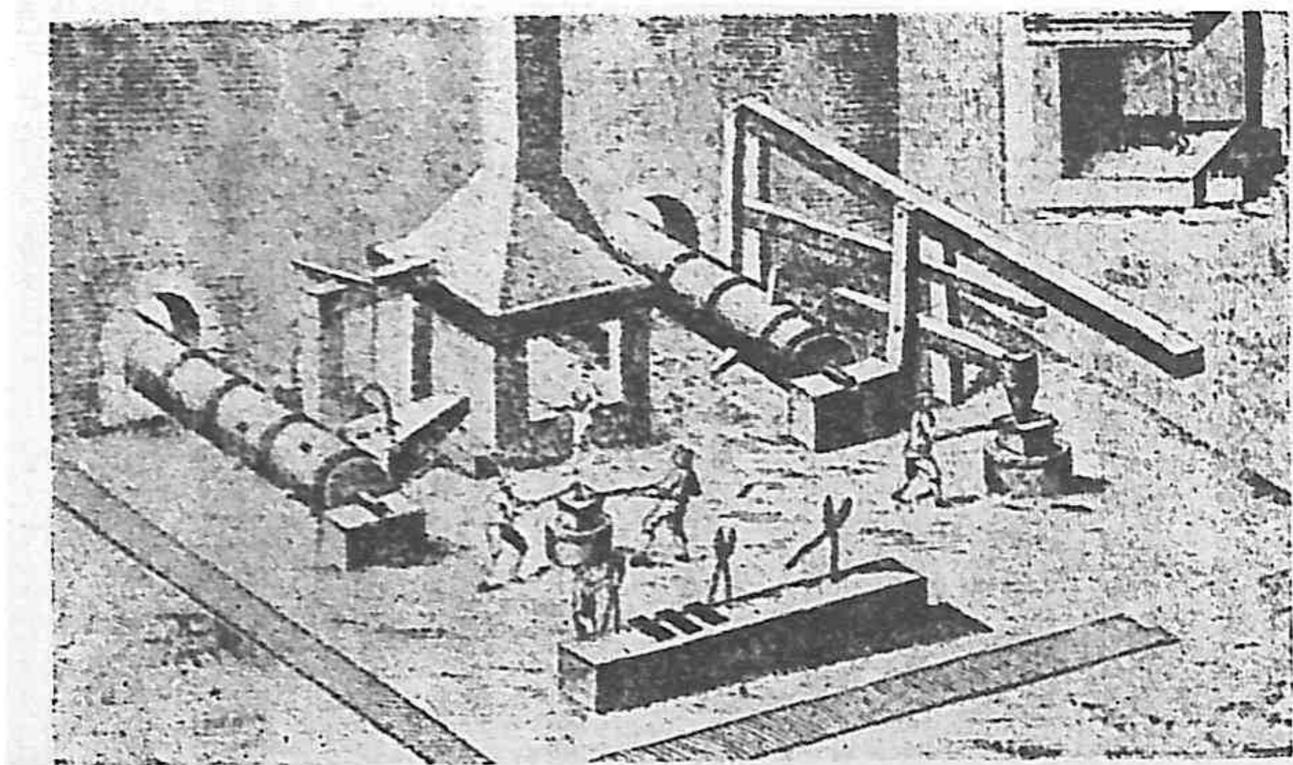


圖 9 十八世紀初期，鐵板加工之圖。風箱及鐵鏈，以水車動作之。中央為火床，鐵在此加熱後，以鐵鏈打薄之，最後以人手完成之為薄板。

且蒸氣機者更多。送風機之壓力既加強，化鐵爐之容積，亦隨之加大焉。

當此之時，英人科兒特 (Henry Cort) 氏有二大發明，於製鐵史上，有非常之貢獻。科兒特氏一七四〇年生於蘭爾斯噠市，爲罕布什爾、戈斯破脫之鐵商。彼爲欲使鍊鐵之方法單純化，改良舊時之壓延法，用有溝之壓機，廉價加工製造所要之形之鐵棒。彼發明有溝轆子後，翌年，又發明攪鍊法 (puddling process)。此法予當時之製鋼界以大革新，其詳參觀第三章第五節，此處僅述其大略。此法，裝銑鐵入反射爐 (reverberatory furnace) 內，加入含有多量氧化鐵之鐵滓及鐵肌，使其熔融，同時以棒攪拌之，使鐵中之不純物碳、磷、硅、硫、黃等氧化而除去。所成半熔融之鐵塊，由爐取出，以蒸氣鐵錘鍛鍊之，絞出其鏘滓，以壓延機加工製爲鐵棒或鐵板。此發明於當時英國之製鐵業，予以非常發展之氣運，據傳自一七八五年此方法實施以來，英國製鐵業所享受之利益，無慮數十億元焉。

製鐵法既大進步，一八二五年，蒸氣機關車 (steam locomotive) 又出現於世，鐵道乃大發達。自此以後，製鐵業與鐵道，關係愈加密切。運搬之容易，既減輕鐵鋼業之生產費，又增加鐵鋼之需要。

額。製鐵業與鐵道，兩兩相輔，遂入於鐵文明之舞臺。製鐵必需之燃料石炭豐富之英國，遂成鐵工業最興盛之國。此外歐洲大陸德、法、等國，亦各出現鐵及石炭之時代。

十九世紀初期，製造銑鐵之化鐵爐，規模尙小，爐高約十二呎，下部爲四角形。及一八二八年，內爾孫(J. B. Neilson)氏爲節約燃料計，對於吹入爐中之空氣，先行加熱，再行吹入，大告成功。自此爐之形狀，大加改良，爐作圓形，高達二十呎，一星期之生產量，達三百公噸焉。

又一八一四年，法國奧白兒悅氏着眼於化鐵爐發散之氣體(blast furnace gas)內，含有多



圖 10 十九世紀中葉之化鐵爐，前面爲銑鐵由爐內流至砂地之狀況。

量之可燃性一氧化碳氣，因燃燒之以供製鋼或燒磚之用。及十九世紀中葉，歷來由爐頂放棄之氣體，利用之作化鐵爐送風加熱之用，變冷風爲熱風，使熱復歸爐內。因此之故，爐之能力，大爲增高，所需燃料，大爲減少。此外蒸氣鍋亦用化鐵爐氣加熱，發生動力。製鐵技術至此，遂呈一經濟的大進步焉。其後爐之大及生產能力更激增，以至今日。現今之化鐵爐，高達二十餘呎，爐之直徑達六呎，一晝夜之銑鐵生產量，達數百公噸，大規模者，且達千公噸焉。

十九世紀上半期，製鐵業之發達，既如上述，機械工業之活躍時代，於是產生。一八四四年，里巴普兒港最初以鍊鐵建造鐵船，其他蒸汽機關、軌道、橋梁等，鍊鐵之使用極多，現代文明之先驅鐵之時代，遂出現焉。

(二) 柏塞麥製鋼法 (Bessemer Process) 之發明及鋼之時代

鋼自古即用以製造刀、劍等物。至十八世紀，前述洪茲曼氏之坩堝製鋼法，工業的實施。此外著名之科學者，亦屢屢研究之。就中一七二二年，洛繆兒氏曾說明熔融之銑鐵，加以鍊鐵，可製出鋼；十九世紀之初，亨利德比氏曾研究鋼之硬煅強煅；夫阿拉第氏對於鋼，亦有所研究焉。

然十九世紀中葉以前，一般所用之鋼，價殊不廉，每公噸之價，達五百元以上。故其用途，只局限於刃物工具等特殊品之製造，尙未能達普遍利用之域焉。

當此之時英國柏塞麥 (Sir Henry Bessemer) 氏，忽發表銑鐵不用燃料可製成鋼之法，驚倒一世。此法實行後，鋼之生產費，大為低下。不過數年，歐洲固不待言，美國之製鐵界，亦爲之風靡。世界之工業上，固不待言，商業上，亦起急激之革命焉。

茲就柏塞麥氏如何發明此偉大不朽之製鋼法，及此製鋼法於人類之經濟組織上，予以如何之大變化，略說明之。

柏塞麥氏一八一三年生於英國哈

脫斐德州之查爾敦，十八歲即在倫敦從事模型之製造，有種種天才的發明。就中克里米亞戰爭之



圖 11 劃時代的製鋼法發明者亨利·柏塞麥氏

際，曾設計予礮彈以迴轉運動之法，法帝拿破崙三世對此研究，曾予以援助。然彼又發見用此方法使用強力之礮彈，則舊時鑄鐵製造之大礮，不適於用，於是又進而作鐵材之研究。

先是，斯塔林古氏、布來斯氏、尼科兒孫氏等，曾加可鍛鐵（malleable iron）或精製之鐵於銑鐵內，增加其強度，以製兵器。又一八五四年，那史密斯氏熔融銑鐵，吹入蒸氣於其表面，使其中之碳及其他不純物除去，成強有力之鐵材，曾得特許。

柏塞麥氏以此等事實為參考，一八五五年，設計吹入空氣以作銑鐵之氧化劑，先於坩堝中熔融 200 磅之銑鐵，吹入空氣以供實驗，結果易裂成可鍛鐵。實驗既成功，翌年二月，彼遂於倫敦市行最初之工業的試驗，結果大告成功。此大發見，即柏塞麥氏自身，亦在思想之外。熔融之銑鐵，僅吹入空氣，即能發生至今所知之最高溫度；無需燃料，碳、砂、錳等不純物，即能氧化除去，此不能不令人驚嘆者也。不僅此也，製鍊所需時間，不過數十分鐘耳。至此舊時以為製造困難之鋼，其製造仍屬可能，卒發見焉。當時彼所用之試驗爐，如圖一二所示，高七尺，徑三尺，爐中約裝入銑鐵七八四磅，風由下部送入。實驗之光景，如圖一三所示。實驗成功後，彼尙致力於實驗者半年，是年八月十一日，遂提

出論文「不用燃料之可鍛鐵之製造」於英國科學學會。此發明發表後，世人甚為驚嘆，彼曾作數回公開實驗，當時載諸太晤士報，使世驚嘆之紀事，其大要如次：

柏塞麥爐，午後一時二十分，裝入銑鐵，吹入一平方呎壓力八磅之空氣。約七分鐘後，爐中金屬開始沸騰，鑄滓及其他之不純物。由爐兩面之穴噴出，有如火雨。猛烈之作用，繼續不息者約數分鐘，鋼遂鍊成。午後一時三十六分，由爐內取出熔體，鑄入鑄型之中。冷卻後，秤之，最初七七四磅之銑鐵，得鋼六七二磅焉。所要時間，自裝入銑鐵起，至鋼告成止，不過二十四分鐘，且毫無需燃料。據柏塞麥氏之言，歷來由瑞典及俄國輸入英國之高級鐵，可用此新方法，以極廉之價製出，不惟可驅逐舶來品，又可普及於各種用途。且此製鋼法，只需空氣，因空氣適用之如何，可自由製出種種品質之鋼，無論何地，均可

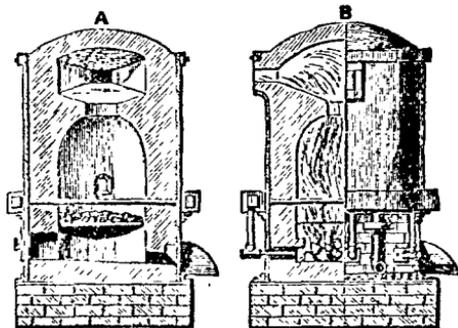


圖 12 試驗時代最初之柏塞麥爐

應用。彼之說明，亦揭載焉。

製鋼業者既日擊柏塞麥製鋼法效果之可驚，遂競行實地之試驗，競行着手實行。然作業開始後，忽發生不及預料之大困難，蒙不少之失敗。蓋此法製出之鋼，質脆，不堪加工之用故也。柏塞麥法製出之鋼，質何以脆，當時莫明其故。蓋柏塞麥法之特長，為銑鐵中之碳及矽，利用吹入之空氣所含之氧以氧化之，使成爲鏹，或成爲氣體而除去，此時發生之氧化熱，利用之以完成製鋼之目的，不必再加燃料。然銑鐵中所含之磷，此方法不能使其完全除去，低磷鑛石製出之銑鐵，雖可製出良質之鋼，磷分稍多之鑛石製出之銑鐵，以

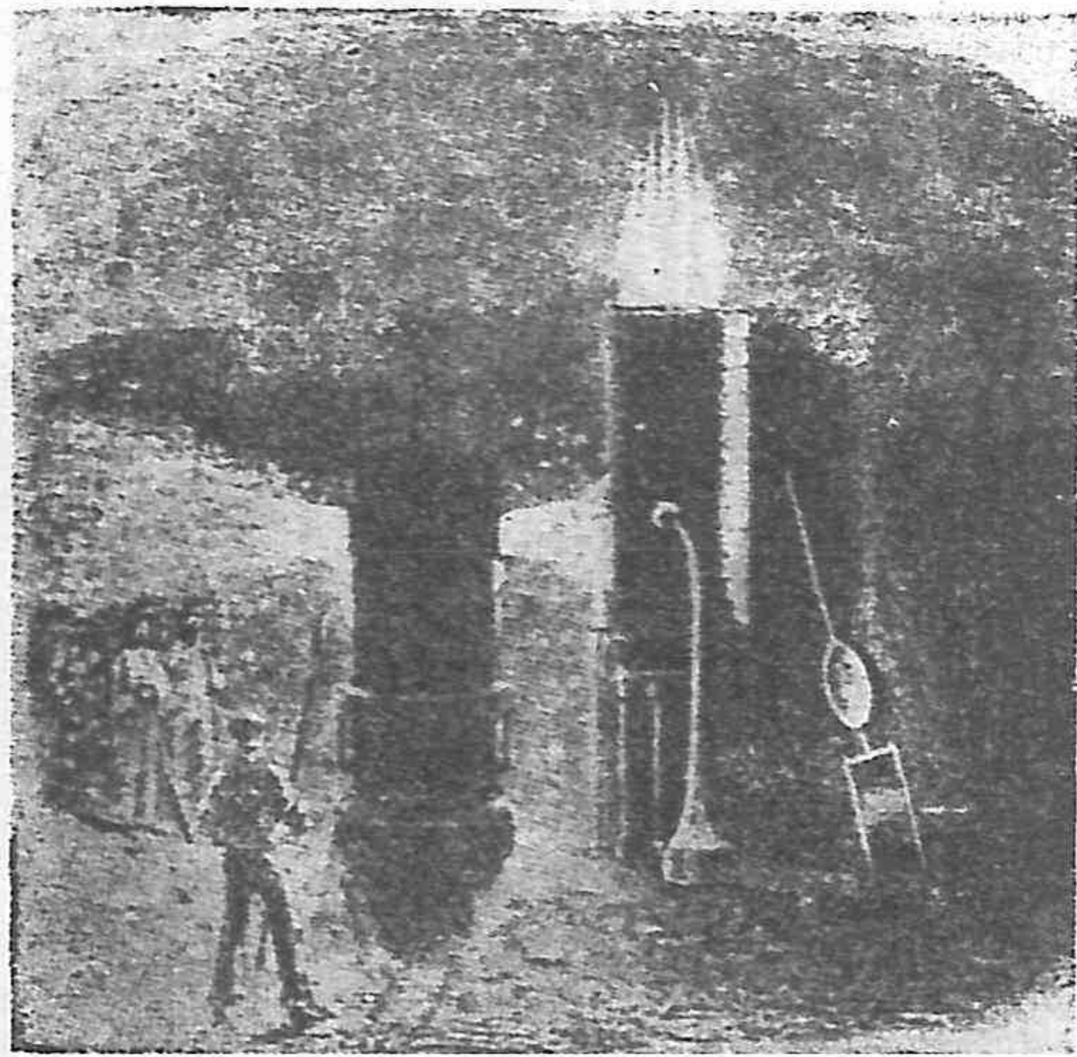


圖 13 柏塞麥製鋼法最初在倫敦實地試驗之光景

爲製鋼之原料，磷仍殘留於鋼中，使鋼脆弱。

此原料選擇之制限，當時大使柏塞麥法之聲價失墜，一時大受反動之酷評。然柏塞麥並不因是而稍屈，仍繼續研究，更以瑞典所產含磷不多之鐵爲原料，再行製鋼，又於鋼中加錳，以調節其中之碳，著著成功，卒製出使用上全無缺點之柏塞麥鋼（Bessemer steel）。後彼又進而研究製鋼爐之構造，加以改良，以四年之努力，二十萬元之費用，盡美盡善之柏塞麥法，遂確立焉。

然此偉大之發明完成之一八六〇年，並無一人一顧之反多嘲笑之者，獨曼徹斯特市加羅威公司，於設斐爾德市，與之共同建立製鋼工場，製造優秀之鋼。最初之柏塞麥鋼，以供製造工具之用，一公鐵之價，達四百二十元。後柏塞麥氏對於各製鋼業者激烈之競爭，立使其屈從，使其採用柏塞麥法。至採用柏塞麥法會著先鞭之上述工場，十四年間，所獲利益，遠所投資本之八十一倍焉。

英國之製鋼業，既如此活躍，歐洲大陸、德、法等國，亦起而效之。英國因有此不世出之柏塞麥氏發明製鋼法，機械製造、鐵道、造船各種工業，與歐洲大陸諸國較，常居優先之地位，爲世界之先導者。英國之以柏塞麥氏爲國之寶，猶法國之以拿破崙氏爲國之光也。

今試就柏塞麥鋼出現後，各種工業界如何革新，如何一舉而成鋼之時代一述之。最初在設斐爾德市製出之柏塞麥鋼，用於工具之製造，其性質之優良，一經公認，一八六〇年，即在曼徹斯特，以製造汽鍋。製成之汽鍋，較之歷來之以鍊鐵製造者，可耐蒸汽之高壓，可減少石炭之消費量，立經證明。又鐵道方面歷來使用之鐵軌，因磨滅之故，每三月須換一次。柏塞麥鋼之軌道，曾在英國緯克法舉行試驗，此時一對之軌道，一爲鋼製，一爲鍊鐵製，兩者間強度之差，曾實際比較研究之。一八六五年，英國科學學會在北明翰市開會，有此軌道之出品，據其結果，一條之鋼軌道，較二十條之鐵軌道，其耐久力猶遠過之。最初對於採用柏塞麥鋼躊躇不決之鐵道業者，亦認其效力之大，一八八〇年英國鐵道三分之二，均採用鋼製軌道，鐵道之輸送力上，遂畫一大進步焉。

又一八六三年，柏塞麥氏曾說造船業者以採用鋼材，先造一外殼四〇〇公釐之蒸汽船，續又造一二五〇公釐之鋼船一艘。

此鋼船航行印度，曾在加爾各答遇猛烈之暴風，又曾發生衝突，其損傷均甚微微。於是柏塞麥鋼在造船業上之極爲重要，又爲世所公認，英國造船業，又作急激之改革。英國以海運國稱霸於世，

不可謂非柏塞麥鋼之賜也。

舉世既如此爲驚人的製鋼法之發明所刺激，以後關於鋼之發明，發見，遂接踵出現，一八六三年，英國有西門子 (Wilhelm Siemens) 氏，法國有馬丁 (Pierre Martin) 氏，同時發明平爐製鋼法 (open-hearth process or Siemens-Martin process)。

西門子 氏一八二三年生於德國之漢諾威，畢業於格丁根大學，後在英國從事於種種之研究及發明。就中當時科學界提倡之勢力不減及熱機械當量等學說，尤深加研究。一八七五年，與其兄根據蓄熱之原理，研究歷來以爲困難之極高溫度之發生。數年後，使石炭氣體化，燃燒之於蓄熱爐 (regenerative furnace) 中，使生高溫度，獲告成功，先應用之於玻璃之製造，繼應用之於鋅之蒸餾，鐵鋼之加熱爐，坩堝爐及攪鍊爐，大收效果。

後西門子 氏更進而研究以蓄熱爐發生之高溫，改良歷來之製鋼法之法。當時所行之製鋼法中，調和鍊鐵與錳鐵，熔融之於反射爐中以製鋼之平爐，英、法等國已試行之而未成功。西門子 氏考慮此等事實，在英國北明翰市作應用蓄熱爐之平爐之試驗，以鐵屑及舊軌道之破片等爲原料，製

造德秀之鋼，獲告成功。同時馬丁氏亦於法國使用相同之平爐，熔鍊鐵於銑鐵中以製鋼，亦告成功。今日一般所行之西門子馬丁法，即平爐法，於是出現焉。此法其詳參觀第三章，其大要，為使用平爐，熔鐵屑於銑鐵中，或混鐵鑛石於銑鐵中，以行製鍊，使銑鐵中之碳，氧化除去，最後再加入適當之錳及磷於鋼內，俾成所需要之品質之鋼。平爐製鋼法與柏塞麥製鋼法相較，柏塞麥法因無需燃料，於極短之時間內，使銑鐵變為鋼，故製出之鋼，品質不免不均一。西門子法雖需燃料，然作業之調節容易，鋼中之碳及其他有效成分，含有量可期其正確，故能製出高級之鋼材，造船、橋梁等所需之材料，可由此製出。

柏塞麥及西門子馬丁等之製鋼法敘述後，托馬斯（Sidney Thomas）及義耳克里斯特（Perosy Gilchrist）兩氏在製鋼史上之功績，亦不可不一述之。

柏塞麥法第一遭逢之大困難，磷由銑鐵除去之法，當時之科里亞博士，已從事於研究，倡用石灰使磷為鏷所吸收之法，其後尚有若干之研究者，從事於實地之試驗，托馬斯及義耳克里斯特兩氏，對於柏塞麥爐及平爐內壁所用之酸性矽石質材料，創以石灰或白雲石等鹽基性之材料

代之，厚塗爐之內壁之法。此法鐵中之磷，為含有多量石灰質之鍍所吸收，鋼中磷之除去，獲告成功。此法稱為鹽基性柏塞麥法 (Basic Bessemer Process) 或鹽基性平爐法 (basic open hearth Process)，發表於一八七八年英國鐵鋼學會之春期大會，翌年在英國中斯播勞市，大規模公開之。當時歐洲大陸方面及美國之冶金家，來此實地參觀者不少。自托馬斯法發明以來，各地多量埋藏之含磷多之鐵礦，遂大為世所利用。美國多採用鹽基性平爐法，德國多採用鹽基性柏塞麥法，就中德國含磷多之大鐵礦，此法發明後，更大形發展。至此，製鋼法遂完全發達。自此以後，以至今日，柏塞麥、西門子、托馬斯等製鋼法，遂為現代文明之原動力，活躍不息焉。



圖 14 一八七八年發明鹽基性製鋼爐之托馬斯氏 (完成此發明時，彼僅二十八歲)。

第二章 採鑛冶金之概念

地殼中之鑛物，至供吾人之實用品，須經過採鑛、選鑛及冶金三作業，已如前述。自本章起，就各種金屬及非金屬之鑛業，順次說明其狀況及其技術之原理，本章只就一般所謂採鑛、選鑛及冶金概說之。

第一節 採鑛

採鑛為採掘地中埋藏之有用鑛物之作業，攻究此種作業之學問，謂之採鑛學（*mining engineering*），為科學之一分科。在科學極為進步之現代，採鑛之學問及技術，跨涉多歧，下述諸項，一一由各該方面科學之應用而愈臻發達。

採鑛上第一最必要者為鑛床學。鑛床學所以研究有用鑛物埋藏於地殼中之狀態及其成因，

常爲採鑛事業之根本指針。次則鑛物之探查，鑛床之探鑛，鑛山之開坑，鑛石之探掘，鑛石之捲揚及搬出，皆採鑛之主要部分也。又防止坑內崩壞之坑內構造，坑內之排水、通氣、照明，亦地下採鑛作業進行上重要之事項也，此外鑛山變災之預防及處置，勞工之情形等，亦極重要應作科學的研究之事項也。

(一) 鑛床學 (Science of mineral deposits)

鑛床學，本叢書已另有專書說明之，此處只就採鑛之必要上，摘錄其重要諸點如次。

鑛床學爲地質學應用之一分科，乃研究鑛床之性質、形狀、構造、分布及其成因等之自然科學。其發達比較上尙爲近代之事。一七九一年，德國夫賴堡鑛山大學威爾聶爾教授，最初由地質學上公表鑛脈之成因說。十九世紀中葉，該大學科塔 (B. von Cotta) 教授又於鑛床學作有組織的研究。其後金樹鑛床 (ore deposits) 之研究，得古洛得克 (A. von Groddeck) 氏、黎卜 (J. F. Kemp) 氏、坡塞尼 (T. Osborn) 氏、夫窩古脫 氏、偉得 氏等，大爲進步。

一般所謂鑛床 (mineral deposits)，乃地殼中有用鑛物 (useful minerals)，集中至足供

經濟的採掘時，其鑛物體之謂。鑛床雖可依鑛物之種類，大別之爲金屬鑛床及非金屬鑛床二種，然在學問上，則依成因分類之法，最爲通用。惟地球內部之高溫度、高壓力等狀態，吾人未能直接取之，手而實驗之，普通所謂鑛床之成因，實際上不過地質學上研究所得之一種推測。故鑛床之成因學說，既不一致，其分類亦衆說紛紜焉。

今就一般所謂鑛床成生之方式，試一述之：由地球內部迸出地殼中之岩石流動體，將近地表，則溫度及壓力，均漸下降。此時其諸成分中，自難於熔融者起，以次開始游離結晶，凝固而成火成岩，其餘含有金屬類之氣體或液體，則浸入於已凝固之母體岩石之內，或其周圍岩石之中。及距母體愈遠，遂冷卻而成熱水液。至近地表，其溫度及壓力，益形減少，遂沈澱於岩石裂罅 (fissures) 之中，或化學的溶解其他岩石，沈澱鑛物於其處而成鑛床。此種鑛床，謂之初成鑛床 (primary deposits)，金屬鑛床，多由此而成生。

初成鑛床因風化作用等自然力之故，霉爛崩壞，機械的或化學的移動於他處，再沈澱堆積而成鑛床時，謂之次成鑛床 (secondary deposits)。

以上初成及次成二種鑛床，更細別之：前者之中，在最初岩漿(magma)成生之母岩(country rock)中，成不規則之塊狀者，謂之岩漿分體鑛床(magmatic segregations)。沈澱充填於岩石裂罅中者，謂之鑛脈(veins)。由岩漿發散之含有鑛物之物質，與易起化學變化之岩石交代而成者，謂之交代鑛床(metasomatic deposits)，火成岩迸發，貫入水成岩中，水成岩之接觸部，因熱之故，發生接觸作用而沈澱鑛物於其處者，謂之接觸鑛床(contact deposits)。

次成鑛床中，岩石因風化作用而破碎，其中之金屬鑛物，因流水之自然淘汰作用而集中於砂礫中者，謂之砂礫鑛床(Gravel deposits)。雖受風化作用，所含鑛物，仍殘留集合於原來之位置者，謂之殘留鑛床(residual deposits)。又雖成生於地表，有如前二者，然成因並非風化作用，乃古昔湖底沼澤等處，成層狀堆積之物，後來來在於地層間者，謂之成層鑛床(stratified or sedimentary deposits)。

以上已就金屬鑛床略述之，非金屬鑛床之分類，方式亦同。

鑛床如上依成因以分類，在學理上極爲適宜，於鑛山之發見、採鑛等，予以不少之參考。然自從

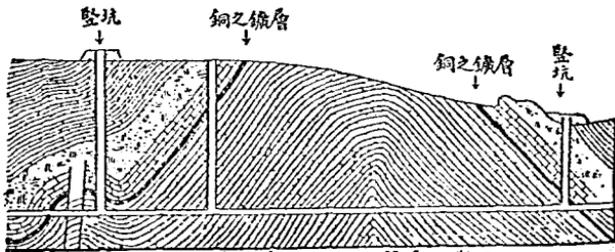
事探掘方面者言之，則又往往以由鑛床之位置、形狀分類，實際上較爲便利。此種分類法，鑛床先大別爲板狀鑛床 (tabular or sheet deposits) 與塊狀鑛床 (massive deposits)，前者更分爲鑛層及鑛脈。換言之，即鑛床共分爲鑛層、鑛脈、鑛塊三類是也。如此分類，於探鑛計劃之完成，實際上便利殊多。

鑛層 (seams) 鑛層爲與水成岩 (aqueous rock) 或片岩 (schist) 之岩層成畧層之鑛床，一般其厚度雖不大，其長及寬極爲發達。就中，石炭層 (coal seams) 之廣袤，達數十方籽者不少，厚則大致一定。現在探掘中之炭層，厚度多爲數尺，間亦有達十呎以上者。我東北撫順炭鑛之炭層，厚達 25 ~ 130 籽，蓋異例也。自古有名之德國曼斯斐爾德 (Mansfeld) 之銅鑛床，黃銅鑛之鑛層，在黏板岩之中，廣達數十籽，厚僅 8 ~ 30 釐。凡屬鑛層，不獨厚度，即鑛石之性質及品位，各部分比較上無甚變化。故探鑛之方法，亦較簡單，多可依一定之方法以行之。

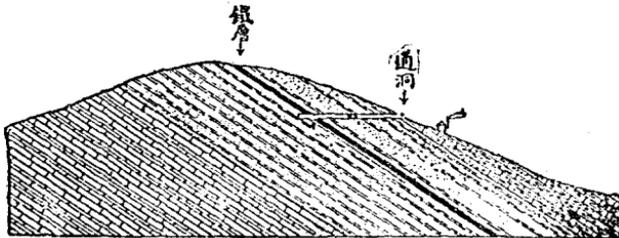
鑛層爲水中之沈澱物所成，成生當初，位置本屬水平。然成生以後，因地殼收縮之結果，地層側面受壓迫，生褶曲 (fold)，鑛層遂與其上下之母岩，同成傾斜之形。其甚者，上下地層，至互相顛倒焉。日本北海道石狩之夕張炭層，即其一例。夕張炭層，有一部分成直立之形。褶曲之地層，成波動狀，波

形之高部謂之背斜層(anticline)，低部謂之向斜層(syncline)，此等地層之關係，為石油採掘上最重要之問題(參觀第五章)。

鑛脈(veins) 鑛脈如上所述，既為鑛物充填於岩石裂罅中所成，故與鑛層之多為近於水平之板狀者相反，多為略近垂直之板狀。厚度與鑛層同，亦不甚大，長度則由地表起，綫延達地下千呎以下者不少，水平延長距離，亦多綫延達數千呎以上。鑛脈成生之源裂罅之形狀，普通為平面。裂罅之發



德國曼斯斐爾德礦化銅之鑛層切斷面



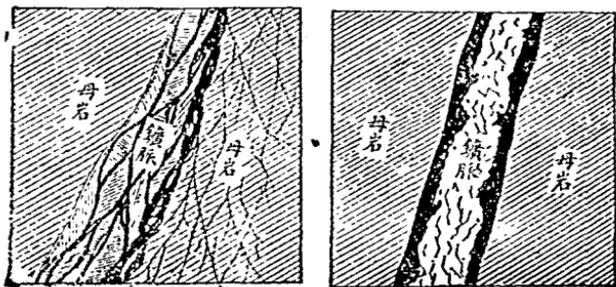
美國阿拉巴馬州之銀鑛鑛層成層狀存在於沙岩頁岩之地層中

圖 15 鑛層 斷面 圖

生，由於地殼中發生橫壓 (Internal pressure)，此時或於與壓力約成直角之方向，發生多數平行之裂罅，或對於壓力方向，左右各以略相等之角度，於二方向發生裂罅。故採鑛時，對於一鑛脈，略於其直角之方向，開掘一坑道，凡平行之鑛脈羣，均可由此以貫通之。

鑛脈之寬度及其中鑛物之性質品位，較之鑛層，變化為多。例如一鑛脈貫入數種不同之母岩 (country rock) 卽水成岩、火成岩等中時，其寬度及品質，因岩石不同之故，而大相懸絕者有之。又裂罅中，因鑛物沈澱之順序不同，種類不同之鑛物，由兩側之母岩順次沈澱而成縞狀或對稱狀，鑛脈中鑛物之分布極有規則者亦有之。又同一鑛脈，其中鑛物之性質及種類，亦往往因鑛脈之深度而不同。蓋地表附近，地中深處，因溫度壓力之差異，鑛物之沈澱，各有難易故也。故鑛脈之採掘愈深，則鑛物種類所發生之變化亦愈

第二章 採鑛冶金之概念



五三

多。

以上為鑛脈成生當初所起之變化。鑛脈成生後，普通又起所謂後生的第二次變化。蓋成生後之鑛脈，其近地表之部分，受風化作用 (weathering) 既久，易溶解於水之銅及其他卑金屬類之鑛物，為水溶解後，成水溶液，浸入鑛脈之下部，集合沈澱於下部，而增加其處鑛石之品位故也。例如銅鑛脈露頭 (outcrop) 雖無甚銅之存在，至地表下數呎乃至數百呎，即地表水浸入地下所到達之附近或其深度之稍上，常發見非常之富鑛帶 (ore shoot or ore course) 是也。

反之，貴金屬中之金，對於風化作用，抵抗力極大。故通例高品位之金鑛石，常殘留於露頭附近而產出。日本之鑛山，此第二次變化之實例尤多。例如生野、大森、尾去澤等銅山，昔時皆為金山或銀山，此等鑛山愈掘至深處，銅鑛石之產出愈增加，且發現銅之富鑛帶，是也。

以上所述鑛床之第二次變化，除鑛脈外，其他之鑛床亦有之。日本小坂等地所謂黑鑛鑛床 (black ore deposits) 之塊狀金、銀、銅鑛床，其大多數，探掘之初期，露頭附近探掘之鑛石，與其謂為銅鑛，毋寧謂為金銀鑛。此等氧化鑛，甚適於金銀之溼式製鍊，然探掘漸進展，又發見硫化銅鑛石，最

後且產出極優良之銅鑛石，改行乾式之熔鑛爐製鍊。鑛山於此，往往不能不變更製鍊法，鑛業者當此過渡期，有時且陷入苦境焉。

富鑛帶之發見，固不只限於第二次變化，發見於鑛脈之一局部者亦甚多。著名之美國之岡斯士克鑛山（Omstock Mine），雖爲火成岩中之長大鑛脈，曾發見水平距離二〇〇呎，上下之深一五〇呎，厚二〇呎之富鑛帶，產出一公噸價達四〇〇〇圓之金銀富鑛。此鑛脈採掘中，又曾遇長三五〇呎厚四〇呎之富鑛部，僅此部分，即產出一億一千萬圓之金銀。日本佐渡鑛山，亦往往發見富鑛部，一富鑛帶約產出十數萬圓之金銀。鑛脈之採掘，由此富鑛部出現之如何，可卜其鑛山之盛衰。

鑛塊 所謂鑛塊，爲上述鑛層或鑛脈以外之鑛床，接觸鑛床、交代鑛床、岩漿分體鑛床等，一般凡成不規則塊狀之鑛床，總括入此中。南非洲有名之肯勃來（Kimberley）地方之金剛石鑛床，即其一例。日本小坂、花崗、加納、椿等鑛山之黑鑛鑛床、釜石鑛山鐵之接觸鑛床、神崗鑛山鉛、鋅之變質交代鑛床等，均爲鉅大之鑛塊。以上諸例，就其成因言，雖種類各殊，然由外形觀之，均可視爲塊狀鑛床也。

如上所述，探鑛及採鑛之方針，自應各視其鑛床之形狀及性質而定。又鑛床成生後所起之地殼變動，亦往往予鑛床之形狀以種種之變化。因地層之收縮，鑛層與地層，同成彎曲之形者，前已述之。此外因岩石中發生裂罅之故，一方之岩石，對於他方之岩石，位置常比較的移動而發生斷層 (Fault)。

古來鑛山家屢屢遭遇而感受困難者，即此斷層之問題。縱極隆盛之鑛床，因遇斷層之故，一朝失其所在，雖投下鉅萬之費用，從事探索，卒不能發見其連絡，以至鑛山運命告終者，決非稀有之事。又炭層之探掘，有時亦因遇高低相差僅數尺之斷層，而運搬其他之作業，大招不利。

斷層由其移動之關係，可分之爲種種。上部岩石，向下滑落時，謂之正斷層 (normal fault)。上部岩石，因壓力之故，被逆壓至上方時，謂之逆斷層 (reversed fault)。又岩石之移動，與鑛脈之走向 (strike) 相平行，向左或向右水平移動者，謂之走向斷層 (strike fault)。岩石沿鑛脈之傾斜 (dip)，向垂直之方向移動者，謂之傾斜斷層 (dip fault)。然實際在坑內遭遇斷層時，其移動方向及距離之推測，殊非易事。此時依鑛床歷來之習慣，檢查斷層成生時因磨擦而平滑之面即鏡

肌 (stickenside)，由其表面之條痕，兩側岩石所夾黏土之厚，或黏土中鑛石破片之有無等，可得有力之端緒。又若為成層岩，則調查相互間地層之關係位置，於斷層之探鑛，亦可得有力之端緒。此外親墨爾曼 (Zimmermann) 氏或士密特 (Schmidt) 氏等，有發見斷層連絡之規則，有時亦可以供探鑛家之參考。

要而言之，研究鑛物存在狀態之鑛床學，為甚複雜之科學，地殼變化現象之研究，為其根本。然使地殼發生移動之壓力、地下溫泉、熱氣等之狀態，雖在科學進步之今日，殆尚非實驗所能到達之範圍。故鑛床學之前途，尚屬洋洋，與探鑛之技術，同在發達之道程中。

(二) 鑛山之探檢及發見

昔時歐洲，鑛物之探查，曾用「神枝」(divining rod)，探鑛者手捧神枝，凝神祈念，視神枝指示之方向，為鑛物存在之方向。探鑛 (prospecting) 曾用此種神祕之方法，探鑛作業之如何困難，可以推知矣。

現代之科學，雖已發達至足征服空中、海中，然對於地殼中埋藏物之發見，其力尚有所不逮。有

時僅因上有尺寸薄土之被覆，往往下有鉅萬之寶庫而莫知。今日鑛床學之發達，於鑛物之探檢，鑛山之探鑛，裨益固屬不小，然一臨實地，積極應用，地殼上之諸表徵，殊嫌其過於複雜也。

古來有用鑛物之發見，可視為偶然的奇蹟者甚多。甚有被覆於土壤之鑛床露頭，為穴居之動物所掘出，因而發見銅山者。又地方之傳說神話，為探鑛之端緒，因而發見鑛山者亦不少。

狹小地域內鑛山之探檢，雖非甚難。然在南美、北美、阿非利加、西比利亞等人



圖 17

煙全絕之廣大處女地從事探鑛之鑛業家，其真摯之態度，初非吾人所能想像。彼等以頑健之體軀，豐富之地質鑛物知識，一臨實地，一舉手，一投足，無時不注意於鑛物岩石之變化。背負鑽（drill）、錘（hammer）、尖鋤（pick）、鎚（shovel）、砂金洗滌用之鐵鍋，手持武器，於千里連綿之曠野中，行砂金之探鑛，越摩天之峻峯，探鑛床之露頭，寢食且忘焉。

此等鑛物探檢家，實未開地之開發先鋒。未開之地，鑛山一經發見，於短時日之間，即變成相當之都市者，其例不少。

一七九二年，澳大利亞、新南威爾斯（New South Wales）之荒野，砂金一經發見，歐洲之移民，不遠千數百哩，羣來集中。當時砂金採收者之苦心，雖有不可以言語形容者，然金產出之豐富，至使當時英國有「黃金之洪水時代出現，金之過剩，將使經濟組織亦發生變化」之論。此使世界震驚之砂金發見地澳大利亞，當時不過以南太平洋上之一島視之，其中之悉德尼、維多利亞、墨爾本，當時不過以部落之名，見知於世。及金鑛開發，繼以銅鑛開發，初（一七九二年）僅有歐洲移民數千之新南威爾斯，百三十餘年後之今日，鑛業固不待言，又為牧畜農業地之巨擘，六大洲之一之澳

大利亞之現代文明，由是達成焉。

一八四五年美國加利弗尼亞州砂金之發現，亦使廣大之美大陸東西之兩大洋，急速連絡。東部之人，越落磯山之大連峯，羣集於此地，從事採集砂金者不少。彼等除在鑛業上發展外，又耕種沃野而得鉅億之農產物，至成今日極其隆盛偉大之美國文明之淵源。

又一八六七年，南阿非利加肯勃來（Kimberley）金剛石之發見，亦為偶然之事。蓋南非洲殖民中，一農夫之兒童，偶於巴爾河畔，拾得形如玻璃珠之物，奇之，由農夫之手而入商人之手，旋經揆普擔（Capetown）之鑛物學者鑑定，為時價值五千圓之金剛石，不久此地又有所謂「南非之星」價值數十萬圓之金剛石之發見，於是歐洲之人，羣相驚異，不遠萬里而來揆普擔者絡繹不絕。

此金剛石鑛山之開發，又為脫蘭斯瓦爾（Transvaal）大產金地帶發見之導火線。距今五十餘年前，僅一荒漠平原，任雜草之繁茂，供玻亞人遊牧之脫蘭斯瓦爾，一八三四年，揆普擔之加勒爾（克爾格爾氏）遊獵於此，偶於今日之威脫華泰斯蘭德（Witwaters Rand）地方，發見金塊。其後彼再探檢，為土人所害，玻亞政府於政策上，遂禁止金之搜索。然至一八七〇年，脫蘭斯瓦爾以產金為

世所知，數年間探鑛者之來臨，絡繹不絕。一八八四年，斯特爾賓氏遂在現今之大都市約罕涅斯堡（Johannesburg）西方耕地之中，發見豐富之金鑛脈，有名之蘭德地方之大鑛脈，遂見開發。此報一達歐洲，歐洲之企業家及冒險家，移來此地者極衆。南非洲英傑塞西爾洛茲，據傳亦爲此時渡來之人。此金鑛自發見以來，至今日止，四十餘年之間，產金幾達百億元，世界最大之金山地方，其起源如是而已。

（三）探鑛之方法

鑛山尙未開發之處，從事探檢時，有用鑛物之存否，只有依據地表之表徵以爲斷。地形地質，爲決定大體之方針時第一應研究之事項。山岳重疊，地勢峻峻之地，多由古地質構成，地殼迭經變動，地中埋藏之鑛床，露頭易於出現，鑛山發見之機會較多。反之，平原之地，一般由沖積層（alluvium）、洪積層（diluvium）等新時代之地層構成，砂金、砂錫等砂鑛（placer）之存在，自在想像之中。

其次，局部的地表之表徵，可作探鑛之端緒者，古來有鑛泉、動植物、脈光、蒸發氣、轉石等。

鑛泉 (mineral springs) 沈澱鑛物，爲鑛床成生之因。故今日溫泉猶存之地，鑛床發見之可能性多，自不待言。植物在有金氣之土壤，其發育之狀態及種類，與普通路不相同。例如歐洲有銻鑛床之處，有銻槿之繁茂，日本生野、佐渡、足尾等鑛山，有金山草（羊齒之一種）之繁茂，是也。

脈光 (lode light) 由現代科學上言之，究爲何物，不得而知。然古來鑛山發見與脈光之關係，流傳至今者甚多。自古有名之鑛山地英國哥納瓦爾 (Cornwall) 地方，因夜間見光而發見鑛脈之古記錄，不一而足。日本佐渡金山，相傳亦爲船過海上，遠見鶴子山上有奇光上昇而發見。此等傳說之真偽，茲姑不置論。至蒸發氣，地下既埋藏有鑛物，含有臭氣之蒸氣之發生，固意中事。例如硫化鑛發散硫化氫氣、亞硫酸氣等是也。就中石油層之發見，石油氣之存在，尤爲重要。

今日一般所行之探鑛法，一面上溯溪谷，一面檢查其砂礫，以搖皿法 (panning) 檢查砂中是否含有砂金、砂錫、砂鐵或重石等鑛物；由河中之砂礫，推考上流之岩石，探求砂礫中附有鑛物之轉石。就中金鑛脈所在之地，鐵鑛附着之石英質轉石，溪流中尤多有之。上溯河流，至此等轉石盡處之附近，鑛脈之存在，可發見也。

照上法發見之鑛床露頭 (Outcrop)，其性質因鑛物之種類而異。例如石英質之鑛床，對於風化作用，抵抗力甚強，普通皆突出於地表。多數之金山，石英鑛脈之露頭，往往超山越谷連綿如長壁。反之，銅其他硫化鑛物之露頭，因受風化水蝕之作用，較周圍之母岩低窪，其形如溝，為黃褐色之氧化鐵所着色。此種硫化鑛物之露頭，普通謂之鐵冠 (Iron hat or Gossan)。硫化鑛物含有量之多少，由此鐵冠色之濃淡，可略鑑定之。然銅極易溶解流失，普通露頭上殆無復有其存在。金耐風化作用，一般露頭部多品位甚高，露頭部之石英，以行搖皿法，常有相當之金粒，為可驚之富鑛 (Rich ore)。精細調查露頭之法，於露頭上掘一適當距離之溝 (Trench)，觀測鑛脈之寬度、傾斜及走向，注意斷層之有無。有時並塞斷溪流，洗去露頭上之表土，使露頭現出，以便檢查。有時又於棒端打入有鉤之鑽，用以檢查為表土所被覆之鑛床之性質。更進則以上總掘法或金剛石試鑽機 (diamond drill) 向地中鑽深穴，作大規模之調查。

曾經採掘之鑛山，探鑛之方法，先注意其歷史及傳說，調查其興廢之原因，測定其露頭之位置、走向、傾斜等。次尋覓舊時之坑口，研究其附近昔時坑內搬出之捨石。又如發見昔時製鍊之鑛滓，分

析之，可以推定其坑內之狀況。又已崩壞之坑口，掘開之，即數百年以前之坑道，亦多可安全直達其內部。

現代因科學之發達，全無露頭，深埋地下之鑛床，亦可應用電氣、磁氣以推定其存在，於地中寶庫之發見上放一大光

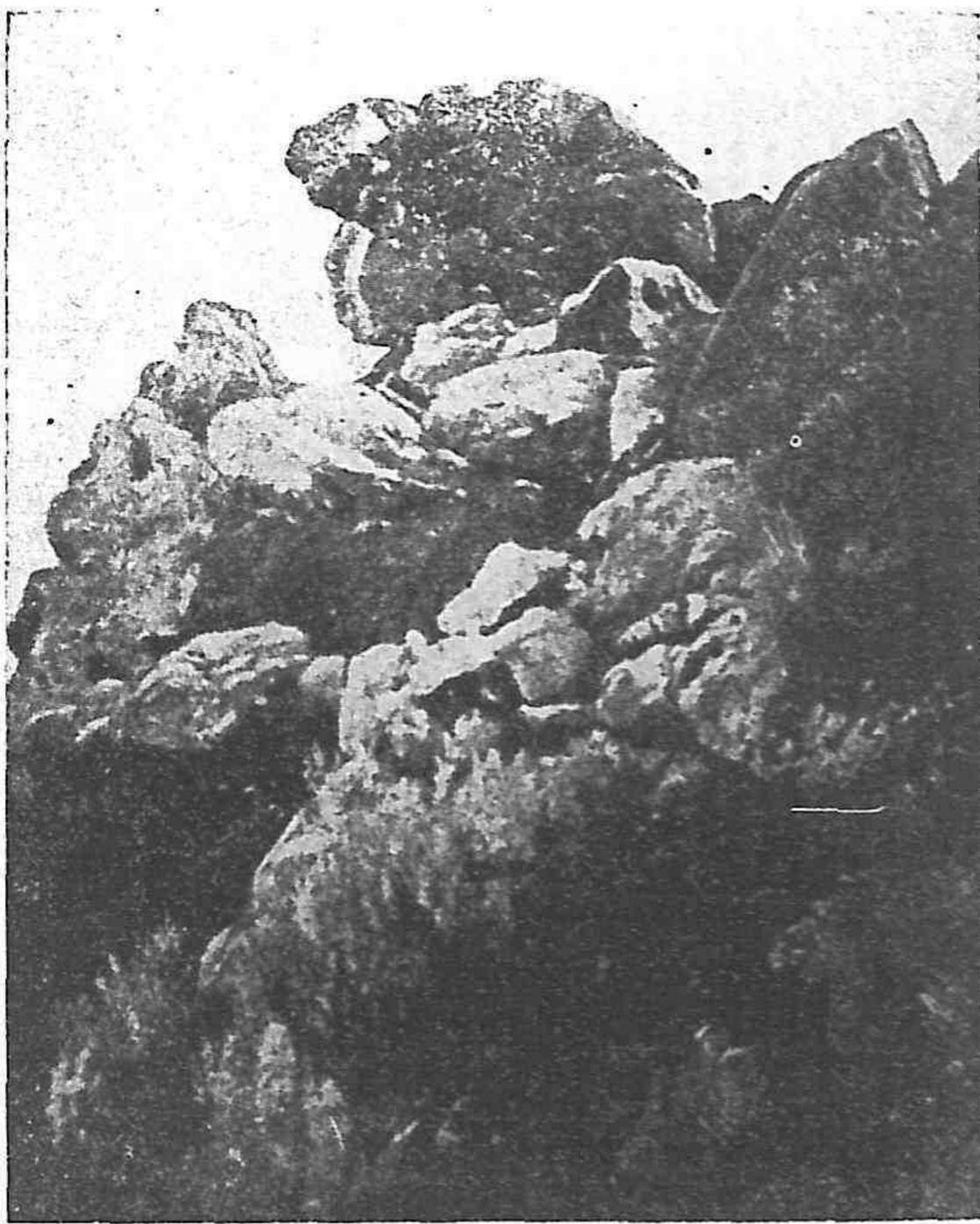


圖 18 南澳大利亞鐵鑛床之大露頭

圖上將及百尺之岩塊，為含鐵約 68 % 之鑛塊，布洛聖山公司之製鐵所，即由此鑛石所成立者也。

明焉。

磁力探鑛法 (magnetic exploration) 昔時有用傾斜羅針盤 (dip compass) 依地表各處磁針指示之方向，向地中探索磁性極強之磁鐵鑛床之法。現今其進步者爲磁力計 (magneto-meter)，如普通測量所用之經緯儀 (theodolite)，用時安置於三腳臺之上，爲可精密測定水平磁力之方向及垂直磁力之傾斜之一種羅針盤。探鑛之地面，劃分爲基盤形，於各點順次測定其傾斜磁力及水平磁力，作製磁力地圖，由此以決定地下磁性鑛床之位置、深度、大小等。瑞典、挪威等年中冰雪不絕之地方，據稱鐵鑛床之探鑛，大有效果。

電氣探鑛法 (electric prospecting) 爲於地表二點，埋入電導體，通以電流，而測定其傳達之程度，以發見二點間埋藏之良導體物質即金屬鑛床之方法。此探鑛法，始於距今百年以前，初無甚效果，及一九一三年以來，法國休蘭白爾格爾 (Sohlumberger) 氏行之於硫化鐵及磁鐵鑛床或含銅硫化鐵鑛床，瑞典蘭德白爾古 (Lundberg) 及那索爾特兩氏，美國克利 (S. F. Kelly) 氏等亦行之，日本亦各處行之。此方法種類雖有三四，然均通直流或交流之電氣於地殼，測定地表電

位(electric potential) 相等之線，由地殼電氣抵抗 (electric resistance) 之相異，以調查等電位線 (equipotential line) 變化移動之多少，由此以想定金屬鑛床之存在。蓋鑛物及岩石，各有特有之電氣抵抗，例如石灰岩、砂岩、砂岩爲抵抗極高之岩石，赤鐵鑛、閃鋅鑛等之抵抗度，僅其千分之一，硫化鐵、硫化銅之鑛石，抵抗度更小，僅其一億分之一。故假定地殼中無溫度、水分、裂罅、地層之變異，則上述之電氣探鑛法，應達於成功之域。

此外科學的方法，尚有重力探鑛法。

重力探鑛法 (gravity exploration) 使用重力測定儀，測定地表重力之局部的分布，對於地勢之狀態及緯度，予以補正後，重力相等諸點互相連結所成之曲線即等重力線。此線畫入地圖上，依其變化，以知地中變化之法，歐洲厄德威斯教授，自大戰前以來，即研究之。其原理，重力之值，假定地殼岩石之比重，普通爲平均之值，若距地表不遠之處，局部的埋藏有比重較大之鑛物，則此局部重力之數值及方向，均應同起變化。換言之，即由地表等重力線急激之變化，可以想像地中之變化。重力探鑛法，即以此論理爲基礎之一種重力地表測量也。此法歐洲方面，匈牙利岩鹽之探鑛，曾

試行之，又在石油探鑛上，亦甚值注目，其效果之如何，殊饒興味也。

以上已就探鑛之大體略述之，探鑛不獨用以發見新鑛山，卽正在探掘之鑛山，亦始終與探鑛同屬重要。坑內平時一面既追逐鑛石之所在而探掘，一面將來探掘之鑛床，亦須投巨額之費用，由探鑛以預定，庶探鑛事業，得以圓滑進行，鑛山壽命，可以延長。

(四) 探鑛之方法

鑛床之狀態，既由探鑛而大體決定，應卽着手探鑛。探鑛之方式有種種，因鑛床或爲不規則之塊狀鑛床，或爲近於垂直之鑛脈，或如石炭層爲近於水平之鑛層而異。露出於地表，或近於地表之鑛床，普通以露天掘 (open working)，由地表探掘之。例如我國遼寧省撫順炭鑛之炭層，厚達百三十呎，爲世界稀有之大炭層，其近於地表之部分，卽行大規模之露天掘，如圖一九所示，是也。此外歐美諸國，石炭亦有行露天掘之處。鐵鑛，歐美諸國及我國，以露天掘探掘者甚多。銅鑛，日本小坂銅山塊狀之黑鑛鑛床，自一九〇八年以來，亦曾行大規模之露天掘，圖七四所示，爲其全景。又美國中部索爾特勒基市附近之烏台銅山，爲全山一面全爲銅所浸潤之大鑛塊，鑛石之採集，由山之一端

起，依次削山行之，一日之所採集，達數千公鎊。此外砂鑛、硫黃鑛床等，行露天掘之處亦多。一般露天掘，與暗黑之坑內作業相較，監督容易，鑛物可完全採掘，支柱、排水、通風等之經費可省，採掘費較為低廉。故鑛床上部被覆之表土不甚厚時，以掘去表土行露天掘為有利。上述小坂銅山上部掘去之表土，約為所採掘之鑛石之八倍。

然一般情形良好，可行露天掘之鑛床甚稀，普通鑛物皆深埋於地下，須用坑內掘（*underground working*），由地下採掘之。此法，普通一面由鑛床之露頭開始採掘，一面即行

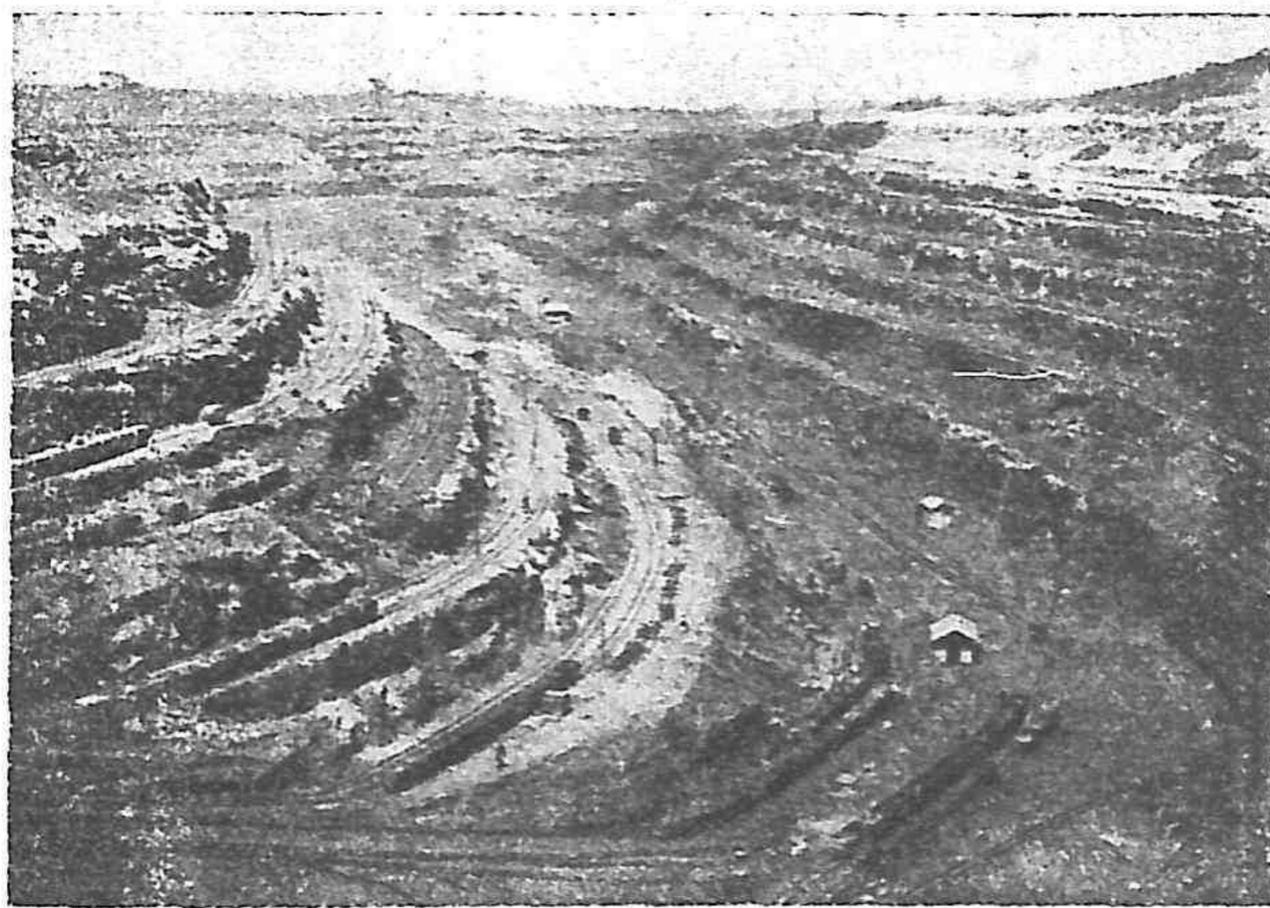


圖 19 撫順炭鑛露天掘之實況

兩側為階段，於各階段採掘石炭。此種大規模之採掘，世界所稀有。

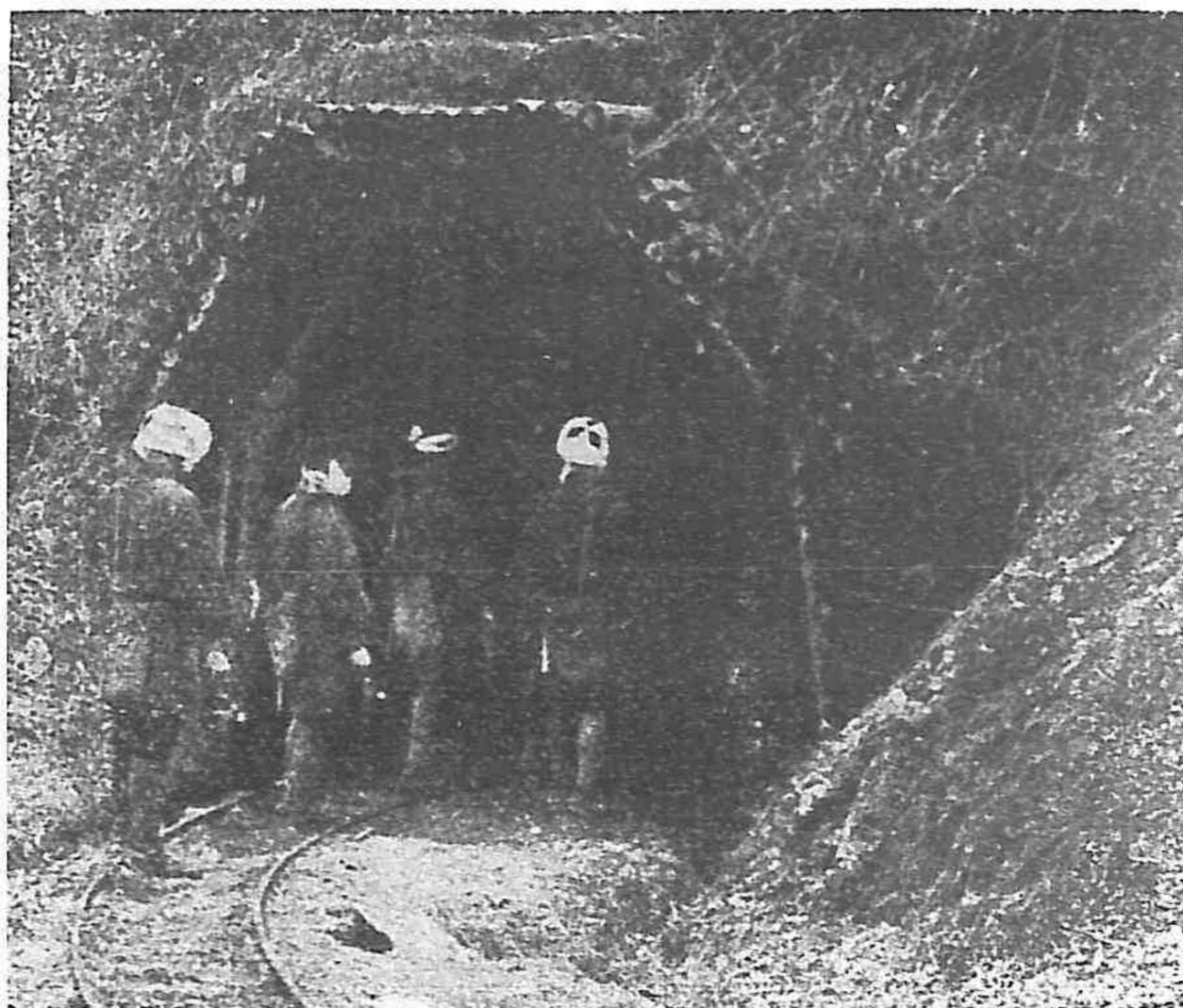


圖 20 鑛夫入坑之通洞口（尾去淨銅山）

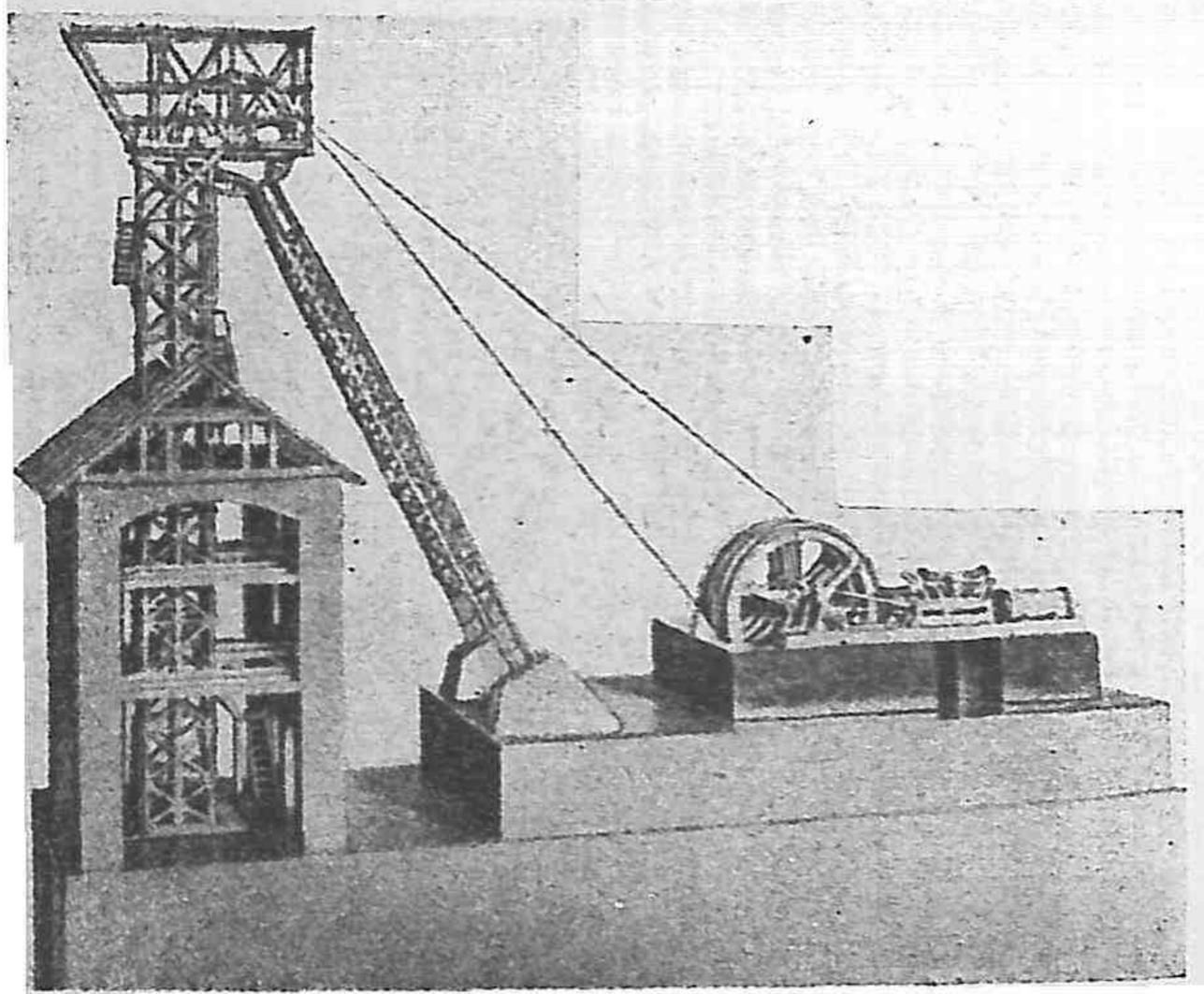


圖 21 坑內坑道之一部。下部採掘之鑛石，以簡單之捲揚機，捲揚至此坑道（荒川銅山）。

開坑。至計劃的開坑 (opening of mine)，峯巒起伏之地，則選山麓、溪谷等較低之地，開設水平橫坑道以達鑛床，然後採掘鑛石。此橫坑道謂之通洞 (atit)，通洞以上之鑛床，採掘之鑛石，利用重力，搬至通洞，再由通洞搬出坑外。若採掘進展至通洞以下，則鑛石由下部捲揚 (winding or hoisting) 至通洞，再由通洞搬出坑外。此外排水 (drainage)、通風 (ventilation)、交通等，一切均由通洞行之。故通洞之延長、高低、寬窄等，因鑛山之規模而異，連搬鑛石及材料之電車，多通過其中。昔時排水機 (pumping engines) 尙未發達之時代，因排水之故，豎坑不適用於，殆皆用橫坑。德國有名之法來堡銀鉛鑛山，長達五〇九〇〇呎之大排水坑道，於十九世紀中葉，閱時三十六年，始告完成。現在日本足尾銅山之通洞，長三三〇〇呎，別子銅山之通洞，長四〇〇〇呎，均爲複軌之電車道，亦鉅大之通洞也。

至地勢傾斜緩漫之鑛山，則由地表開設豎坑 (shaft) 以達地下之鑛床，採掘之鑛石，悉集中於豎坑，由豎坑捲揚至地表。現今石炭層之採掘，殆全用豎坑，金屬鑛脈採掘進展後，通洞以下，亦有設豎坑之必要。石炭山豎坑之形狀，俟第五章石炭鑛業之項詳述之。

採掘鑛脈之豎坑，前述之脫蘭斯瓦爾金山之豎坑，深達千五百呎。如此極深之處，因地熱之故，溫度極高，採鑛作業，殊感困難，須送入冷卻之空氣。又捲揚鑛石之鋼索 (wire rope)，亦因過長之故，重量大增，不獨捲揚鑛石時，消費多量之動力 (power)，鋼索之強度，亦發生困難之問題。其他排水等亦非常困難。巴西國摩洛費洛金山，深達地表以下二千呎，鑛石之捲揚，分爲五段，經五段之豎坑，而後達於地表。豎坑之目的，除捲揚鑛石以外，通氣排水鑛夫之出入，固不待論，凡坑內作業上所需動力之輸送等，均利用之，鑛山之生命，幾全集中於此。



豎坑之斷面，有矩形、圓形及橢圓形等，普通多為長邊 2~4 呎之矩形，或直徑 3~4 呎之圓形。有以木材構成者，有以磚 (Brick) 混凝土 (concrete) 構成者，前者多用於金屬山 (metal mine)，後者多用於石炭山 (coal mine)。日本三池炭鑛之萬田豎坑，為極大之豎坑，斷面為長一三·六呎寬四·五呎餘之矩形。鑛山尤其炭山，所投資本之大部分，皆集注於豎坑。故新豎坑開設之際，其採掘之範圍，出水之量，及地質等，須經過綿密的調查後，方可着手。

通洞與豎坑折衷之斜坑 (incline)，石炭山常用之。例如採掘炭層時，沿炭層傾斜之方向，斜



圖 23 三瀨石炭鑛山中央豎坑頂部之捲揚槽

斜向下開設坑道，所採石炭亦斜斜捲揚至地表是也。

照上述方法開坑，既達鑛床，鑛石採掘之準備作業 (preparatory work)，應即着手。此時鑛床如為板狀之鑛脈或鑛層，則於鑛床中縱橫開設坑道，或沿鑛床之傾斜，以斜坑道區分鑛體為若干適當之矩形或正方形，然後由各區劃內開始採掘鑛物。如鑛床為塊狀鑛床，則於鑛塊中各處，餘留鑛石，使成柱形，以防崩塌，其他部分則採掘之。或不再留鑛石柱，採掘之空洞，一面以廢石或土砂充填之，一面再繼續採掘其他部分。亦有不加充填，而任其自然者。

圖二四所示，為鑛脈採掘之坑內斷面圖，左圖示坑內之縱斷面，右圖示坑內之橫斷面。如左圖所示，鑛脈先以一豎坑貫通其下部之一點，次由圖中數字所示之各點，由豎

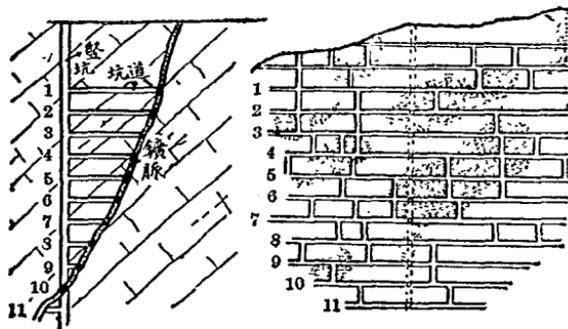


圖 24 鑛脈採掘之地下斷面圖

坑開設水平坑道 (Level) 以達鑛脈，最後如右圖所示，於上述各水平坑道與鑛脈相交之各點，沿鑛脈之走向，一一向左右開設坑道，分鑛脈為多數之矩形，然後在各區劃內從事鑛石之採掘。圖中黑點所示之部分，為鑛脈中採掘已完之掘跡 (Gore)。如上所述，坑內由一號坑道、二號坑道、三號坑道等水平坑道與豎坑相連絡，採掘、運搬、通氣、排水等一切之坑內作業，由此行之。至石炭層及各種金屬鑛脈之採鑛方式，則於第五章及第三章，依次一一說明之。

如上所述，坑內之準備既已完畢，須即着手於目的鑛物之採掘。採鑛之方式及掘鑿之方法，視鑛床之狀態，鑛物之種類及其硬度等而異，自不待言。今先由採掘岩石鑛物之作業言之，昔時尚未使用火藥 (Gunpowder) 之時代，作業僅用鑿 (Chisel) 與錐，或楔 (Wedge) 與矢 (Gat)，堅硬之岩石，先焚火以脆之，而後採掘，有種種之方法。現今則普通皆用爆藥，行爆破法。

爆破法 (Blasting) 先以人力或機械力，於岩石中穿細而長之孔，裝入爆藥 (explosives) 於其底，點火於導火線 (Fuse)，或以電氣使之爆發。所用爆藥之強度，視鑛石之硬度，各處不同。又石炭山爆發氣存在之處，有種種之安全爆破法。鑛夫之鑿爆破孔，自來用鑽與錐，近來多使用鑿岩機。

圖 25 坑內鑽石之手掘及採掘鑽石運搬之實況

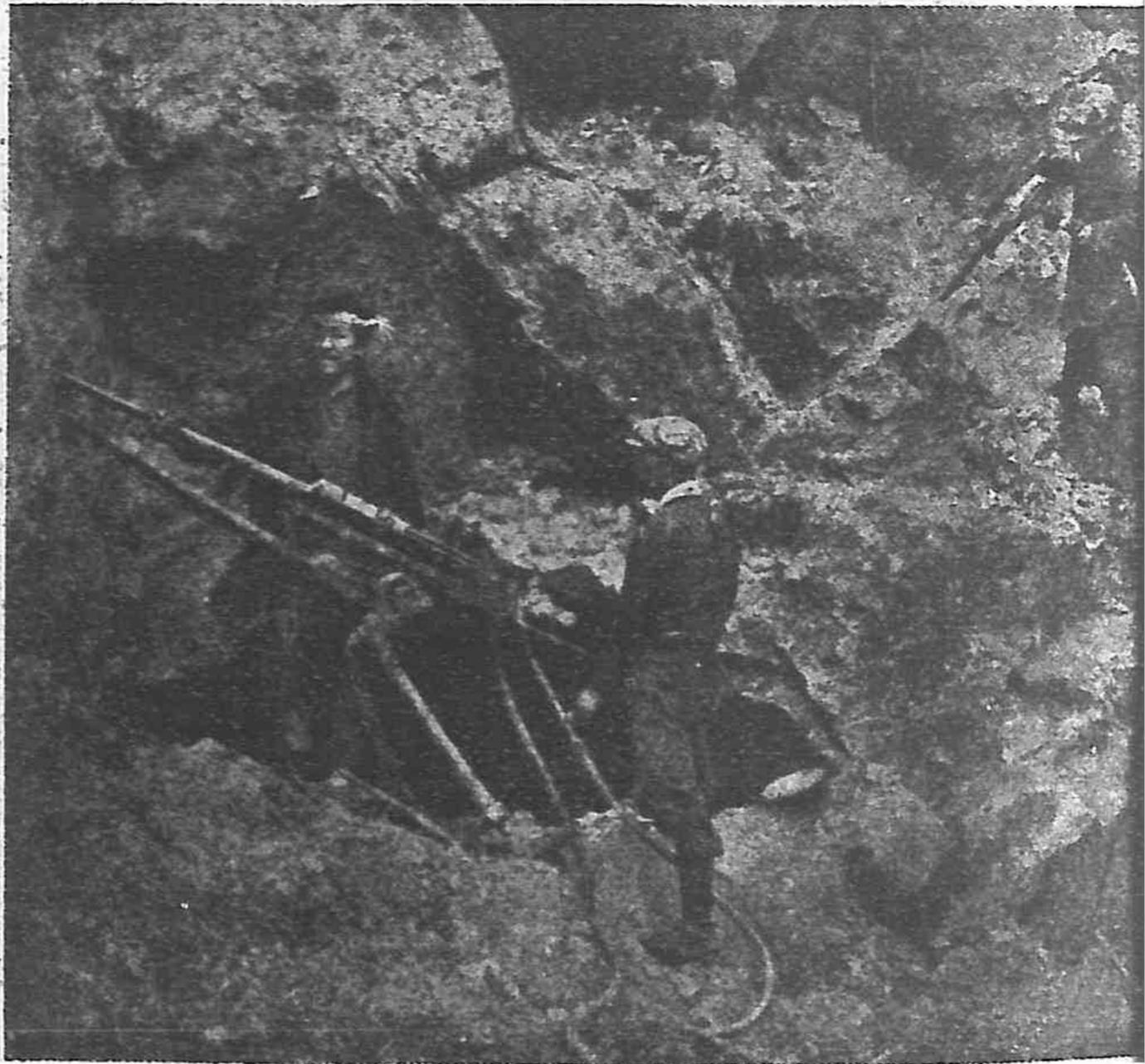
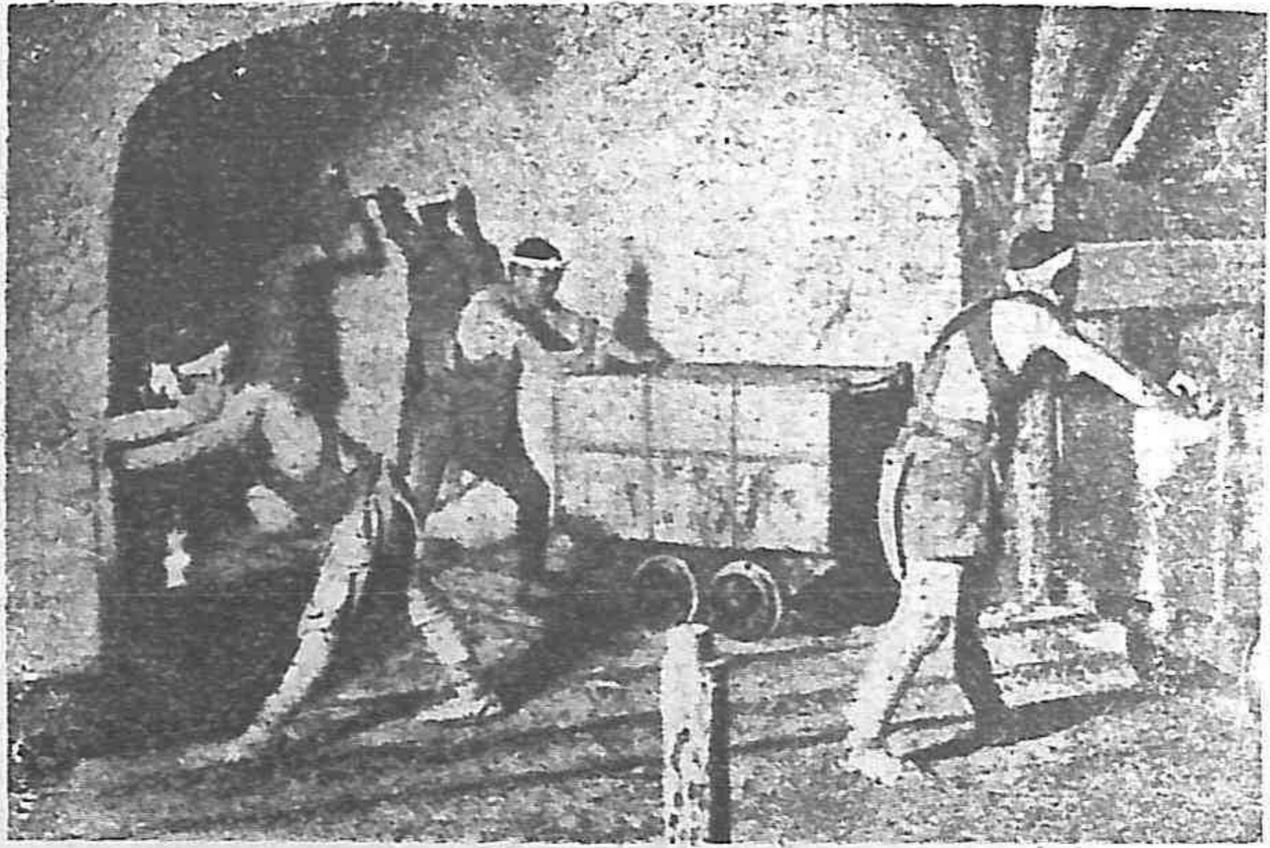


圖 26 以鑿岩機採掘鑽石之實況

鑿岩機 (rock drill) 之種類頗多，然可大別之為二種：一為予鋼棒即鑽以衝擊運動之衝擊式鑿岩機 (percussive rock drill)；一為予一端有刃之鋼棒以迴轉運動之迴轉式鑿岩機 (rotary rock drill)。

掘鑿硬度較大之岩石鑛物，一般用衝擊式之鑿岩機。此種鑿岩機之運轉，雖亦有用電力者，普通多用壓縮空氣 (compressed air)，使機械之唧子 (piston)，往復運動，一分鐘予鑽棒後端以數百乃至數千之打擊，使鑽棒他端之刃，達鑿岩之目的。普通長一呎之孔，掘鑿時間，約需十分鐘。至迴轉式之鑿岩機，則石炭岩鹽等較軟之岩石鑛物之鑿孔用之。

此外甚軟之鑛物，不行爆破，只用錘、尖鋤等以採掘之，又石炭之採掘，用截炭機 (coal cutter)。

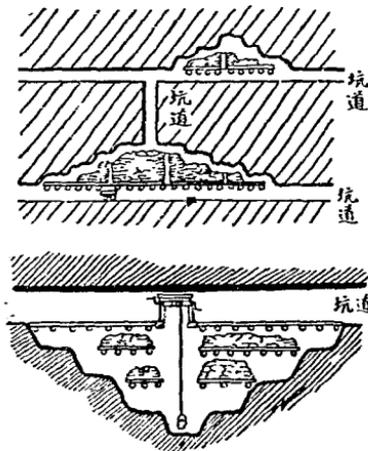


圖 27 階 段 掘
上圖為上向階段掘 下圖為下向階段掘

之處亦不少，待第五章石炭鑛業之項再說明之。

又前述之露天掘之大規模之探掘，掘鑿機械用蒸汽鏟 (steam shovel)、電氣鏟 (electric shovel)、連續汲子式掘鑿機 (continuous bucket excavator) 等。後者以汲子 (buckets) 向上扒削鑛石或岩石之斜面，削取鑛物或岩石，盛於其中，而移至他處。

探鑛之方式，視鑛脈之厚薄，鑛塊之大小，或鑛床內一部分暫不探掘，留作支柱，以保作業之安全，防上部之崩落。或一面以廢石、土砂充填探掘跡，一面安全的繼續探掘鑛物。凡此種種情形，後章再說明之。圖二七所示，為普通探掘鑛脈內鑛石之方式，謂之階段掘 (stepping)。厚度不大之鑛脈，由坑道之頂，順次向上探掘。掘取之鑛石，堆積於踏臺 (scaffolding) 之上，以為足場，再向上探掘。又此階段探掘法，亦有向下方行之者。

探掘之鑛石，在探掘處所，略行選鑛，將廢石 (waste) 選出後，裝入鑛車 (trub)，或利用重力，由坑井 (winze) 內落下，於下部坑道以鑛車承之，以人力、馬力、電車、壓縮空氣機關車 (compressed air locomotive) 或鋼索 (wire rope)、鋼鎖 (chain) 之循環運搬裝置，經過坑道豎坑等，搬出坑外。

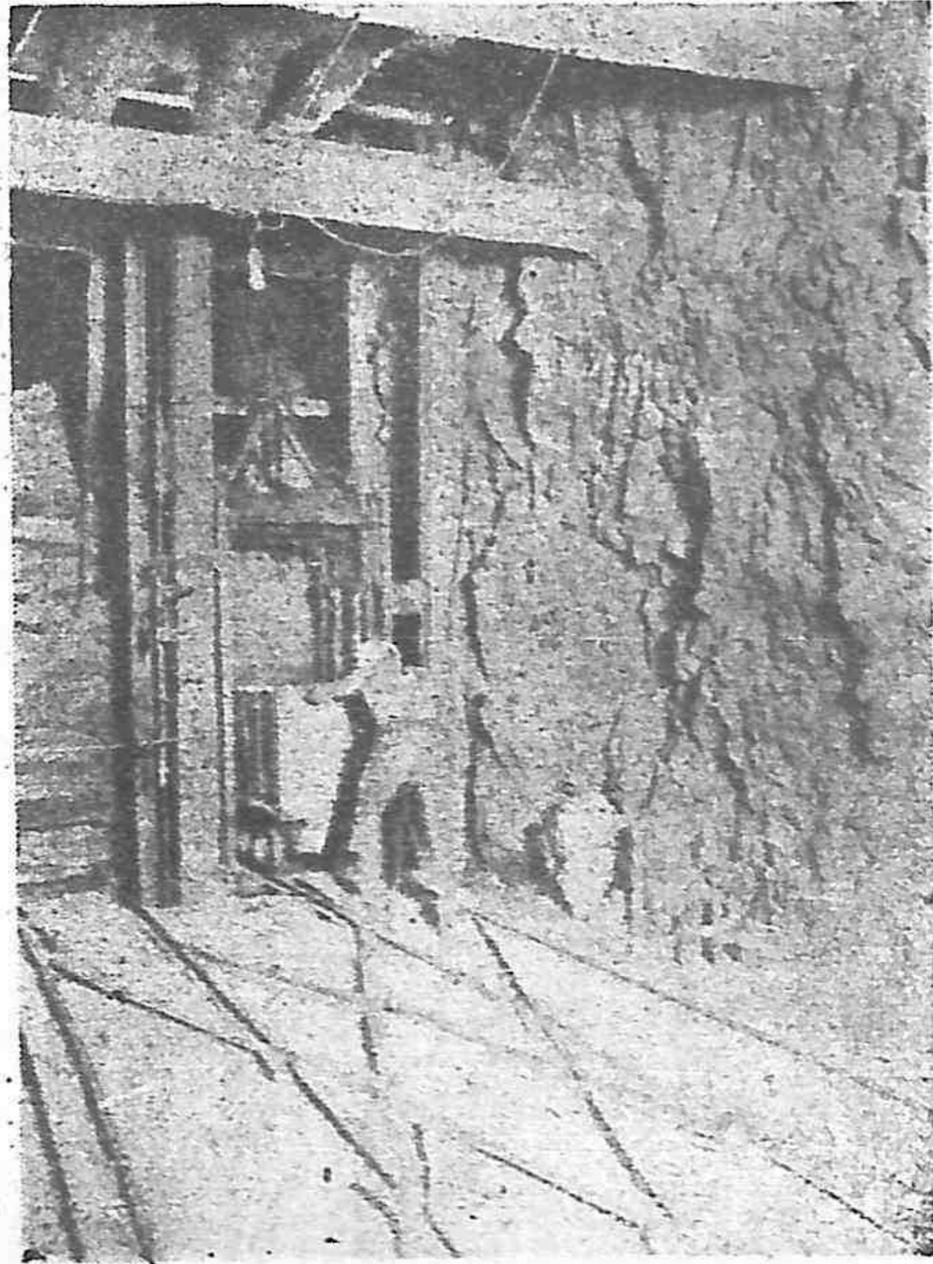
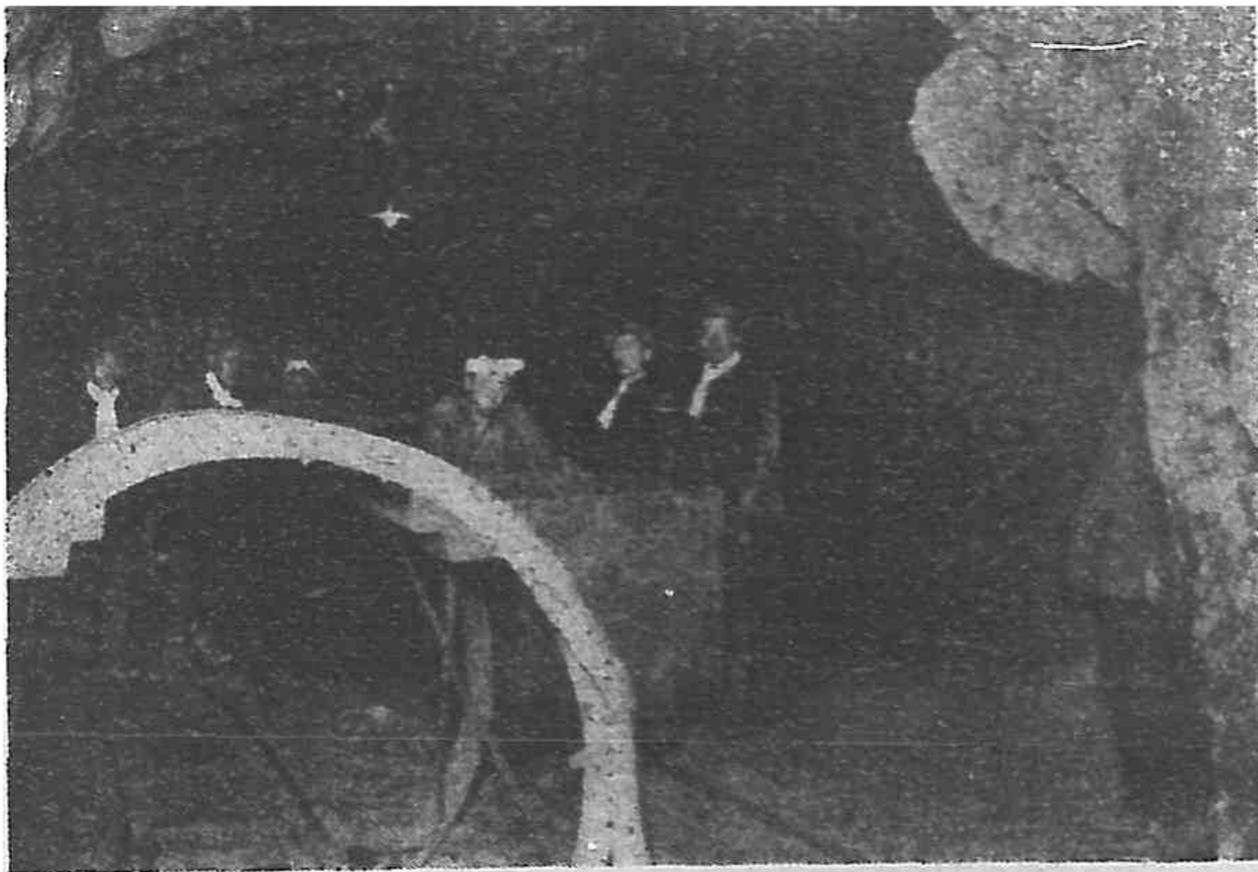


圖 28 (上) 由採掘場採掘之鑽石，裝入鑛車，經過坑道，搬至豎坑底，再由豎坑捲揚至地表。

圖 29 (下) 坑內之鑛車轉倒裝置 (尾去澤銅山)
推鑛車入此圓形之裝置內而迴轉之，使鑛車中之鑽石，落至下部之坑道。



又坑內之水，或聚之於坑道之溝內，使流入疏水坑道而排出之，或聚之於豎坑底部之水溜 (sump) 中，以唧筒 (pump) 由豎坑排出之。

其他坑內之支柱 (timbering)、通風 (ventilation)、照明 (lighting)、鑛夫之出入等各種方法，於後章金屬或石炭鑛業之項說明之。

第二節 選鑛

(一) 選鑛之方法

方始掘出之粗鑛石 (mined ores or

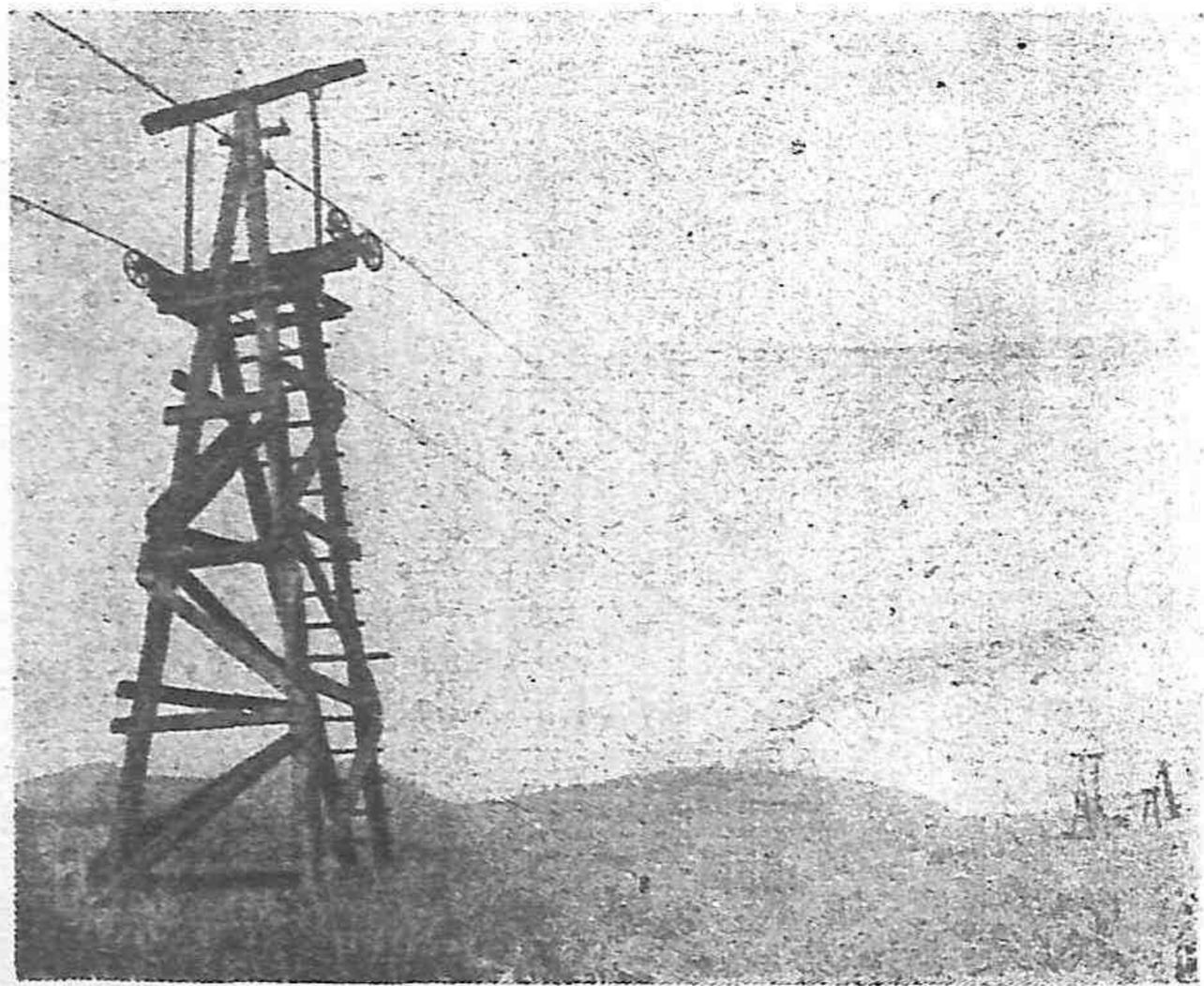


圖 30 鑛石運搬用之空中索道

stuff)，其中常混有無用之鑛物岩石，有時且混有有害之鑛物。此等鑛石，或以機械的作業除去其中之混有物，以提高其品位，或分離之為數種類之有用鑛物。又為適於製煉及其他之處理起見，或粉碎之為粉鑛 (fine ores)，或團結之為團鑛 (ore briquette)，凡此種種作業，總稱之為選鑛 (ore dressing)。

是以選鑛之方法，項目繁多，或附屬於採鑛作業，或附屬於冶金作業。又鑛物因種類不同，選鑛之方法亦異，近年金屬鑛物之選鑛方法，固不待言，即非金屬之石炭，選鑛方法，亦甚為發達。選鑛之效果既著，鑛物利用之範圍，亦益加大焉。

選鑛為機械的由鑛物岩石之混合體，分離其成分鑛物之作業，故以鑛物之物理的性質為基礎，利用其差異以行之。

選鑛所利用之物理的性質，為鑛物之色 (colour)、光澤 (lustre)、硬度 (hardness)、脆度 (brittleness)、比重 (specific gravity)、感磁性 (magnetic susceptibility)、電導度 (electro-conductivity) 以及鑛石之表面現象等。現今之選鑛術，將此等諸性質微妙之點，行科學的應用，故

選鑛術有今日之發達。

選鑛有種種之方法，自昔以來所行之最簡單之方法，為利用人力之手選法 (Hand dressing)。此法先以鈍擊碎粗鑛石，使岩石鑛物等之密着者，互相分離，然後依色澤、比重、硬度等，由肉眼以人手選別之。熟練之選鑛婦，鑛石品位之鑑別力，殊可驚人，含金僅百萬分之若干之石英鑛石，亦能以手選法精細選別之。現今日本之銅山，粗大之塊鑛石 (lump ores)，猶行手選法。

機械選鑛法 (mechanical dressing) 有重力選鑛法、磁力選鑛法、電氣選鑛法、浮游選鑛法等種種。然無論用何種方法，均先粉碎粗鑛，機械的使鑛物與岩石互相分離，然後選別之。鑛石中鑛物之粒愈小，各種鑛物愈細微混合，則粗鑛之粉碎亦宜愈小。然粉碎過度，不獨冶金其他之處理，深感不便，且多需動力。故普通之選鑛場，粉碎之程度，依次而進，分為若干階段，各適用其選別法，途中分離不充分之鑛石粒粉所謂中鑛 (middling)，更依次數次粉碎之。

重力選鑛法 (gravity concentration or separation by specific gravity) 又稱為比重選鑛法。同大而比重互異之鑛物，使在水中（間在空氣中）落下時，因其落下速度之差異，有先沈

下者，有後沈下者。利用此種現象之重力選鑛機械，有種種。

此方法如前所述，粗鑛順次粉碎之，順次篩分之，就大小分離之爲若干階段，而一一以重力選鑛機選別之爲上鑛 (heading)、中鑛 (middling) 及捨石 (tailings or wastes) 數種。上鑛又稱爲精鑛，以供製鍊之用。中鑛再依次粉碎之爲細末，使互相密着之岩石鑛物互相分離，再篩分之，一一以重力選鑛機處理之。

磁力選鑛法 (magnetic separation) 爲鑛物相互間比重之差甚小，利用重力選鑛法不能完全分離之混合鑛石，利用磁場，使磁性強者爲所吸引，而與非磁性者分離之方法。金屬鑛物中，有磁性最強之磁鐵鑛及磁性依次漸低之銘鐵鑛、磁硫鐵鑛等磁性鑛物，又如硫化鐵，雖無磁性，稍燒之可使帶磁性。故磁力選鑛可利用磁力強弱之差，選別種種之鑛物。惟此方法不似前述重力選鑛法之爲一般的方法，此須附言者也。

此外高壓之電氣充電之電場，由上部落下鑛石時，因鑛物粒或爲電氣之良導體，或爲電氣之不良導體，其在電場被反撥之程度，各不相同，由此亦可選別鑛物。應用此現象之選鑛法，稱爲電氣

選鑛法 (electrical separation) 惟今日尙未十分成功。

浮游選鑛法 (floatation process) 爲較近發達之選鑛法，最初只用於硫化鋅鑛、硫化銅鑛等，近則各種鑛物之選鑛，甚至非金屬鑛物之選鑛，亦將應用之。浮游選鑛法之原理，今日雖尙不能完全之作學問的說明，然乃利用甚微細之鑛石粉末對於水或油所呈表面現象之差之法。加微量之油於鑛石，於水中以高速度攪拌之，或吹入空氣於水中攪拌之，則硫化鑛物類雖比重頗大，亦與比重較小之岩石明確分離，與水泡同浮於水面。此種現象，屢經研究，浮游選鑛法遂呈今日之盛況。

(二) 選鑛之機械

選鑛所用之機械，其種類甚多。

粗碎 (coarse breaking) 鑛石之機械，一般用齧碎機 (jaw breaker) 旋迴碎鑛機 (gyratory breaker) 圓盤碎鑛機 (disc breaker) 等。一次粗碎之後，再中碎 (medium crushing) 之，或更粉碎 (fine crushing) 之爲粉末時，用輾鑛機 (rolls) 擣鑛機 (stamp) 智利磨鑛機 (Chilian mill) 鋼管磨鑛機 (tub mill) 鋼球磨鑛機 (ball mill) 哈斯馬磨鑛機等。此等機械，

視鑛石之硬度，破碎之大小，及選鑛之方法，選擇使用之。

篩鑛 (screening) 之機械，有格子篩 (grizzly)、振動篩 (shaking screen)、迴轉篩 (trom-

mel) 等。後二者，使用時，一面予篩以振動或迴轉運動，一面注水於篩，以防篩眼 (mesh) 之閉塞。

至粉末之鑛石，不易篩分者，於水中沈澱之，亦可使之分離。此等機械，總稱之為分粒器 (classifiers)。例如

使鑛石徐徐於靜水中沈澱者，有所謂尖箱 (pointed box)。由下噴水使上，由上落下鑛石，加減兩者之速度，以行分粒者，有所謂水壓分粒機 (hydraulic classifier)。又或機械力與水流同時並用，

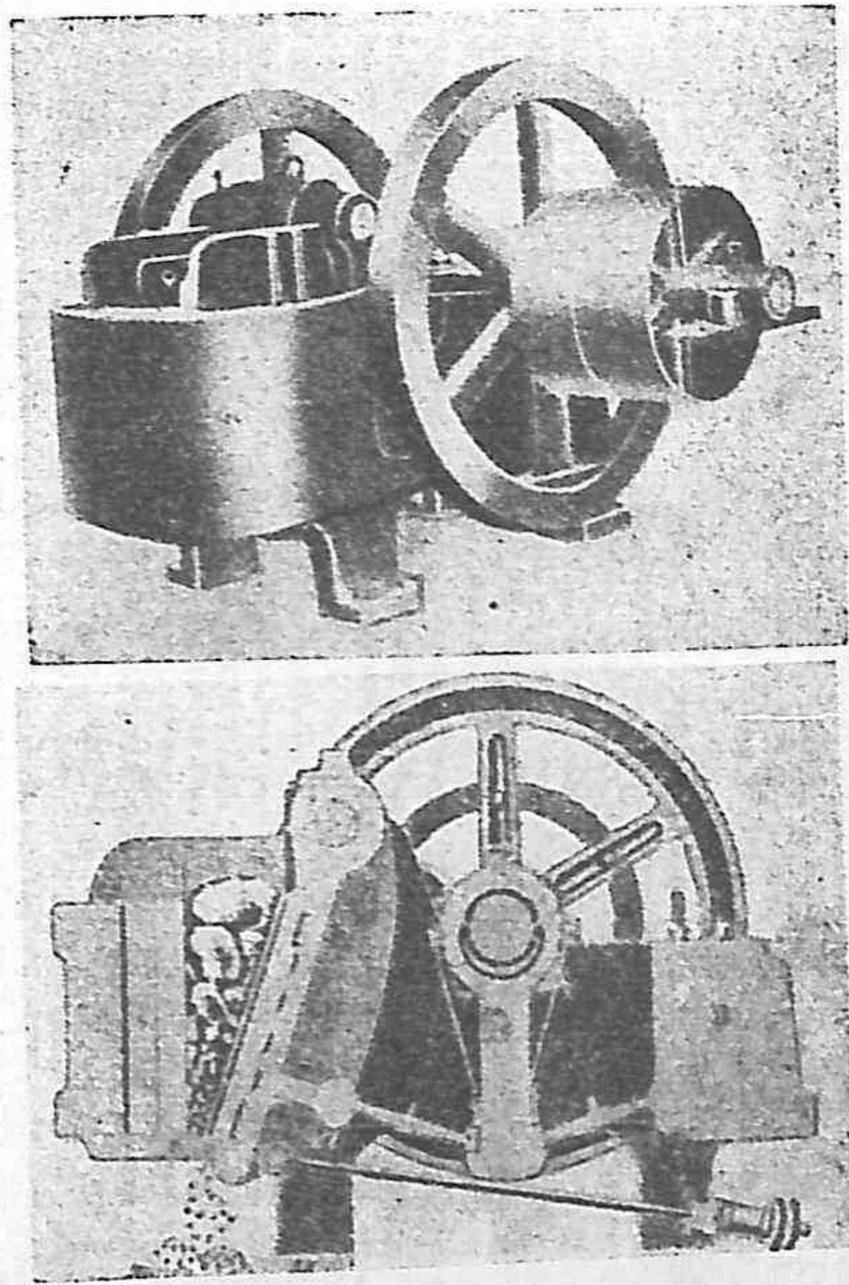


圖 31 鑛 機

普通鑛石之粗碎多用之，下圖為上圖之切斷面。

扒取砂鑛 (sand)，使細微之泥鑛 (slime)，隨流水流去，因以分離砂鑛與泥鑛者，有所謂多爾分粒機 (Dorr classifier) 等是也。圖三三所示，即此等選鑛機也。

其他尚有種種之機械，於後章各鑛業選鑛之項說明之。

鑛石以上述諸機械，就其粒之大小，分之為若干種，然後以重力選鑛機選別之。重力選鑛機，視鑛石粒之大小，有種種。粗粒之鑛石，以跳汰機 (Jigger) 為主，圖三四所示其一例也。其

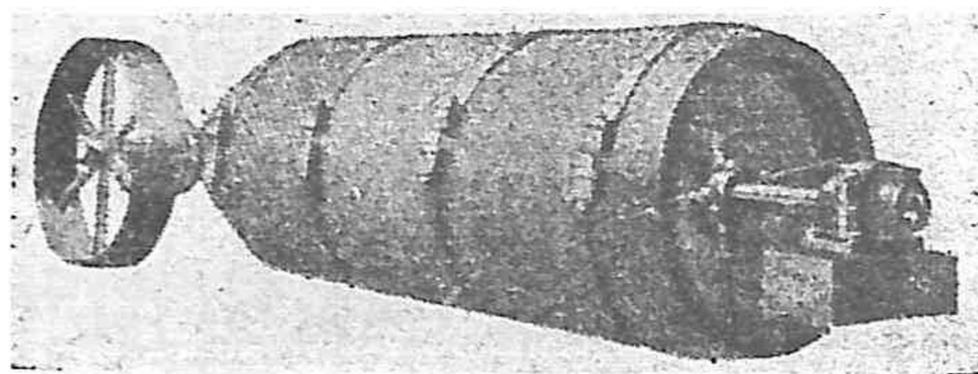


圖 32 迴轉篩
鑛石入圓筒內，由圓筒之網眼篩分之。



圖 33 水壓分粒器 (右三個) 及尖箱 (左) 之裝置。粗砂以分粒器分離之，流下之泥水，入於尖箱中，沈下泥鑛於箱底。

原理。大致大小相同，比重互異之鑛石粒，置之網上，由下使水急激上昇，使鑛石與水同昇至高處，再落下之，則比重大之鑛石，較比重小之鑛石，早沈下於網上。此運動反覆行之，鑛石粒可依比重之差選別之。

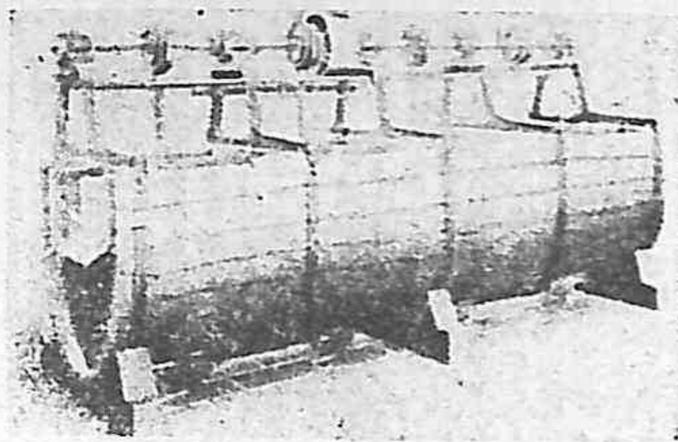
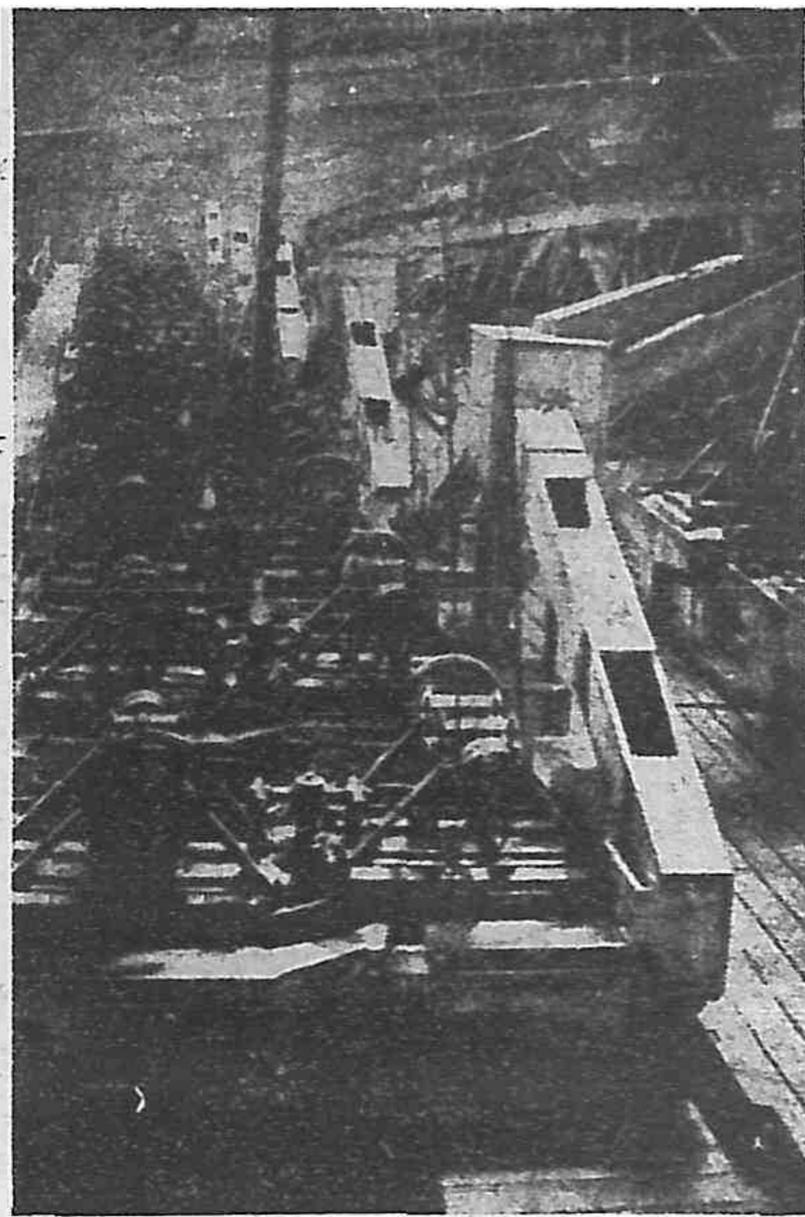


圖 34 跳汰機選鑛場之內部

普通之跳汰機，如下圖所示，由四區劃而成。鑛石因比重之差，順次被淘汰而選別。

細微之粉鑛，行重力選鑛法時，用淘汰盤 (table)。淘汰盤有威爾夫勒式淘汰盤 (Wilfley

夫紐式淘汰盤 (Fluo vanne)、奧味斯特洛蒙式淘汰盤 (Overstrom table)、戴斯塔式淘汰盤 (Deister table) 等種種。就威爾夫勒式淘汰盤，一般最多用之。圖三五所示，即此種淘汰盤也。振動之盤，由一端子以砂鏟及水，砂鏟一面由盤上流下，一面行淘汰作用，比重大之鏟石，停於盤之近處，輕者與水同流至遠方而分離。圖九四所示，為實際使用之圖。其他之淘汰盤，其作用與此大同而小異。浮游選鑛機有 M S 式 (M. S. Floator) 等種種。圖七六所示，為其機械的作業。其使用之實例，參觀第一六九頁。

以上已就選鑛略述其概略，次章敘述各種金屬鑛業時，再詳細說明之。

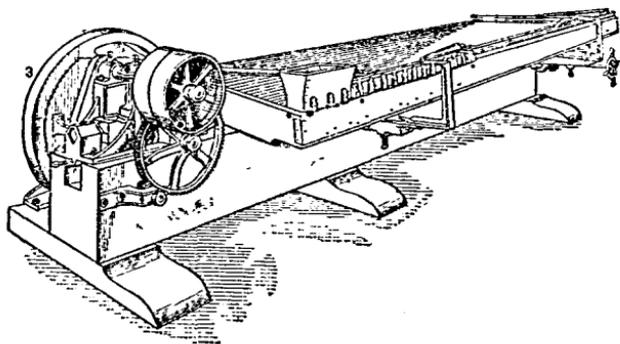


圖 35 威爾夫勒式淘汰盤

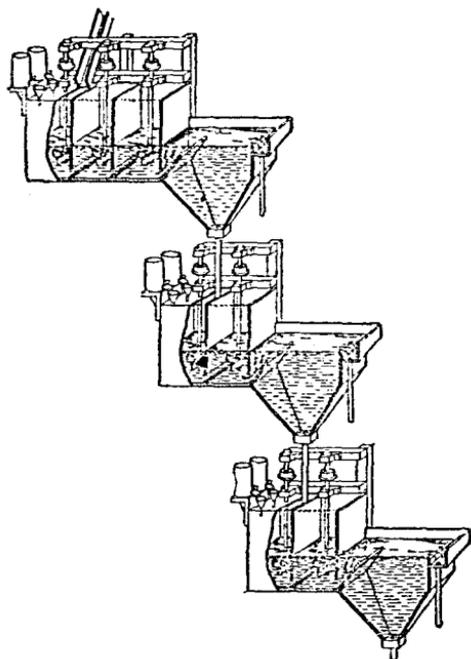


圖 36 初味式浮游選礦機之圖解。由頂部流入硫化礦與土砂之混合物於攪拌室內，滴下微量之油及硫酸，予以高速度之迴轉運動，則硫化物經過第一第二第三攪拌室，與水泡一同浮上於最後之尖形箱中水之表面，可分離採收之。圖為此機械三段反覆使用以完全採收硫化礦之圖。

(一) 製鍊之方法

鑛石由前述選鑛法，機械的提高其品位，使成精鑛後（或其他含有金屬之原料），以化學的作業，製鍊精製之爲金屬，更以物理的方法處理之，使成適於一般工業用途之金屬材料，是爲今日冶金術之範圍。

製鍊之原料各種精鑛，實際上須有如何之品位，視金屬及鑛石之種類，製鍊之方法，各不相同。今就主要金屬製鍊之實例觀之，石英質之金鑛，含金品位在百萬分之七乃至五以上者，可適用氰化製鍊法。銅鑛含銅品位最低在 $10\sim 20\%$ 以上者，可供熔鑛爐之製鍊。又銅鑛若爲適於溼式製鍊之鑛石，則含銅品位，即僅 1% ，亦可經濟的處理之。鉛或鋅，經充分選鑛後，精鑛之品位，大致須在 40% 以上，方可以供製鍊之用。其他錫鑛含錫品位在 60% 以上，鐵鑛含鐵品位在 $30\sim 50\%$ 以上，可熔鑛爐處理之。又此等鑛石品位之最低限度，常隨採鑛、選鑛技術之進步及冶金術之改良而低下，自不待言。

此等鑛石之製鍊方法，千差萬別，俟次章敘述各金屬鑛業時，再一一說明之，今先將製鍊之代

表的方法，簡單舉之於下。

冶金學上，製鍊之方法，可大別為乾式製鍊 (dry process) 及溼式製鍊 (wet process) 二種。前者為用燃料或電氣熱以爐行之之諸方法，後者為用水溶液以行溶解製鍊之方法。又近年冶金上電氣之應用甚盛，金屬之電解製鍊或電熱製鍊勃興，用電氣時又稱為電氣製鍊法。以下就此三方法分別說明之。

(1) 乾式製鍊法 乾式製鍊法中主要之方法如下：

焙燒法 (roasting process) 為加熱於鑛石，使其尙未達熔融之域，即起化學反應之作業。此方法種類甚多，例如硫化鑛石，一面予以空氣，一面加熱，使硫黃氧化成爲亞硫酸氣而除去，謂之脫硫焙燒法 (desulphurizing roasting process)，亦稱爲氧化焙燒法 (oxidizing roasting process)。銅或銀之鑛石，混以食鹽，一面與以空氣，一面氯化焙燒之，使銅或銀等，變爲氯化物，謂之氯化焙燒法 (chloridizing roasting process)。鉛或銅之微細硫化粉鑛，吹入空氣，使硫黃氧化，同時利用其所發生之熱，燒固粉鑛，謂之燒結法 (sintering process)。因焙燒之際所起之化學反

應及其目的，有種種之名稱。有時又依所用爐之種類，或稱反射爐焙燒（reverberatory furnace roasting），或稱熔爐焙燒（muffle furnace roasting），或稱壺燒（pot roasting），或稱機械爐焙燒。要而言之，焙燒乃一種金屬製鍊之準備作業也。

熔鑛法或熔鑛製鍊（smelting process）為於爐中熔融鑛石而製鍊之之總稱。由氧化鉛、氧化鐵等氧化鑛石製鍊金屬時，以鑛石與木炭或焦煤相調合，裝入爐中，吹入壓縮空氣，以碳燃燒之熱，熔融鑛石，同時因碳及一氧化碳氣之作用，氧化金屬中之氧被奪去，鑛石遂還元而成金屬，其他之無用成分砂石等，則成鏝而分離。此種製鍊，以還元作用為主，謂之還元製鍊（reducing smelting）。

由含銅之硫化鐵鑛等製鍊銅時，可於熔鑛爐中利用鑛石所含硫黃燃燒之熱，使鑛石熔融，使銅濃密集中於硫化鐵及硫化銅之混合物少量之鏝內而與鏝分離，此法謂之自熔法（pyritic smelting），亦稱爲生鏝吹。

又業已氧化之鉛鑛與硫化鉛鑛之混合鑛石，一經熔融，兩者間即互相反應而生金屬鉛。此種

利用鑛石互相反應之方法，謂之反應製鍊法 (reaction smelting)。

又硫化鉛之鑛石，調合以鐵之碎片而熔融之，則鐵吸取硫化鉛中之硫黃而使金屬鉛分離。此方法以鐵使鉛沈澱，謂之沈澱熔鑛法 (precipitation process)。

以上熔鑛製鍊方法之區分，係以爐內所起之作用為標準。此外依熔鑛所用之爐之種類而區分，有反射爐製鍊、坩堝製鍊、熔鑛爐或高爐製鍊等。

熔出法 (liquation process) 熔融點互異之金屬合金或鑛物之混合體，加以適當之溫度，使熔融點較低之金屬或鑛物熔融，由其他不熔成分內流出而與之分離，謂之熔出法。例如由銅與鉛之合金分離鉛與銅之南蠻絞法，及使硫化銻鑛與岩石分離，均用此熔出法，是也。

蒸餾法 (distillation process) 為蒸餾易於揮發之金屬之方法。裝銻鑛入蒸餾器中，加以高熱，使銻還元而成蒸汽，凝縮之使成銻，其一例也。

(2) 溼式製鍊法 此方法亦有多種，主要之例，試舉其二、三，如以氰化鉀之水溶液浸出金鑛石中之金之氰化製鍊 (cyanide process)；氧化銅鑛以硫酸浸出之；銅鑛或銀鑛以氯化焙燒

法變之爲氯化物後，以種種之溶液浸出之，是也。然無論何法，由礦石濾過分離之金屬溶液，均由化學的或電氣的作業，使金屬沈澱而採收之。

(3) 電氣製鍊法 由上述溼式製鍊法製出之金屬水溶液，其中之金屬，以電解法採收之者，有鋅或銅之製鍊法。又粗金屬亦以電氣分解精製之，例如粗銅於硫酸銅液中行電氣分解以精製之，是也。此外鋁、鎂等之製鍊，於電氣爐中熔融此等金屬之鹽類，於熔融之狀態，行電氣分解，使析出金屬，稱爲乾式電解法。又以電氣爐製鍊鐵礦，以製種種之鐵合金，或以電氣爐熔融精製廢鐵、銹鐵、鐵礦等，以製電氣鋼之電氣製鋼法等，均電氣製鍊法中之主要者也。

(二) 冶金術與熱

冶金術上所常遭遇者爲熱。太古之人類，自知應用火熱於礦物之製鍊以來，最初製鍊在低溫度易於還元之氧化銅礦、氧化鉛礦等，厥後需要高溫度之製鍊法，漸次發達，以至今日。概言之，冶金術由高溫度發生應用之進步而發達者也。

古代礦石之製鍊，掘地作窪，投入木炭及鑛石，用風箱送風以行之。現代則熔鑛爐之高，達十數

狀。燃料石炭，先變之爲煤氣，然後有效的燃燒之，使發生高溫度。燃燒時必需之空氣，且進而預熱之。達數百度，然後送入爐中。現代文明之根本爲鋼，平爐製鋼法之成功，實十九世紀中葉西門子氏傾注其力於熱問題之研究，發明空前之高溫度發生方法以來之事。

如前所述，西門子氏曾發明蓄熱爐，預熱燃燒所需之空氣，使與煤氣一同燃燒，發生達攝氏二六〇〇度之高熱。鋅之蒸餾製鍊，銅之製鍊，其他應用高熱之冶金術，範圍由是大形擴大。然電氣之應用，更大予人類以高熱利用之方法。一八九二年，法國摩阿桑 (Anri Moissan) 氏製造電氣爐 (electric furnace)，集中三百馬力之電力於數種之空間，發生攝氏三千數百度之高熱。此爐出現後，金剛石可以人工製造之。歷來認爲還元不可能之氧化金屬，莫不可以使之還元。一切之物質，應用此等高熱，殆皆可以使之還元，使之熔融，使之蒸氣化，

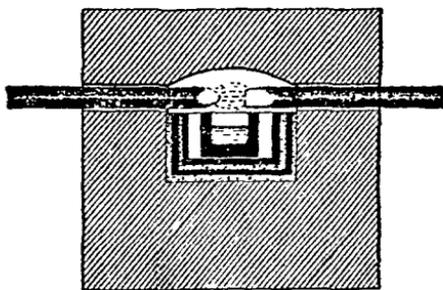


圖 37 一八九二年安利·摩阿桑氏發明之電氣爐

世人大為震驚。降至今日，電氣爐日愈發達，於冶金術之進步上，猶正發揮其偉力而未已。

如上所述，高溫度發生之問題，已由電氣熱之使用而大革進。然現代冶金術上所最苦心者，又為利用此高熱之器物之問題，即爐製造所需耐火材料 (refractory material) 之問題。換言之，即能抵抗此種高熱之材料發見、發明之問題，是也。關於此點，今日吾人之要求，尙未有充分之解決。

冶金術所用之爐，種類甚多。爐之形式，因所要求之溫度，加熱之方法，及熱源等而異。今就熱源將爐大別為燃料爐及電氣爐二種。

燃料爐 燃料爐有直接混合木炭、焦煤等於鑛石中而燃燒之者，有燃燒煤氣，以其火焰供鑛石類加熱之用者，又有鑛石不直接與燃料相接觸，僅間接被熱者，其構造互不相同。鐵鍛冶或昔時銅鉛製鍊所用之火床，石灰或鐵鑛焙燒所用之豎爐，

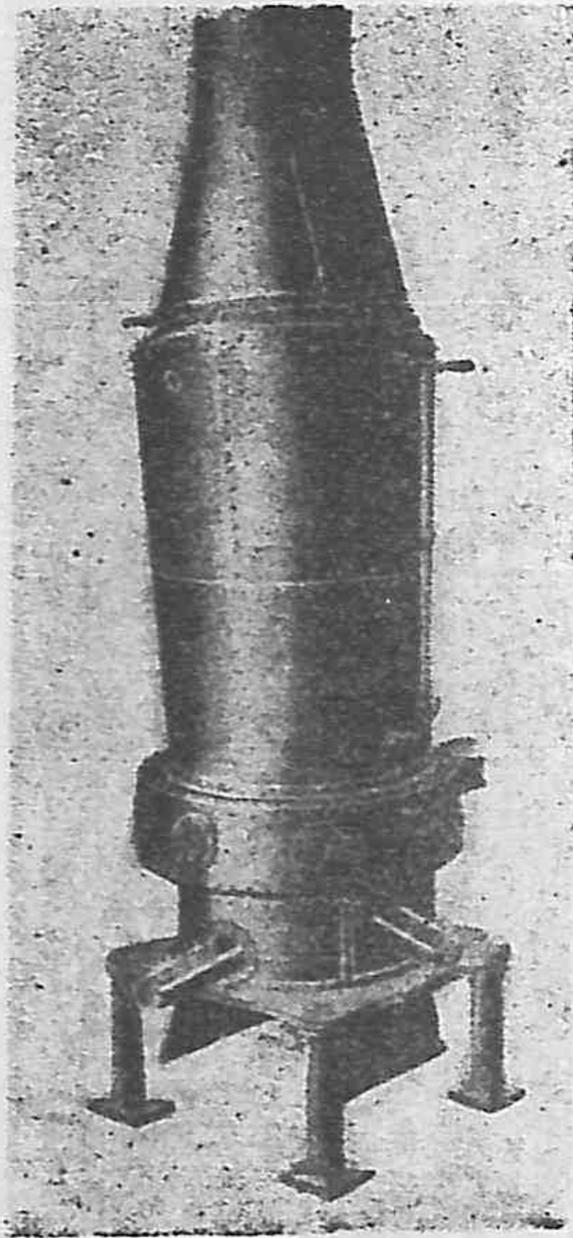


圖 38 圓型熔鑛爐。鑛石由上之橫口投入，爐壁全部二重，為水筒式。

現今一般之鐵、銅、鉛熔鑛爐 (Blast furnace)，皆混合鑛石與燃料，裝入爐中，以行製鍊。此種爐燃料中之灰分碳等，有混入製鍊之產物金屬及鍍中之炭。然燃料直接加熱於鑛石，爐之熱效率，極為良好。圖三八所示，為銅鑛、鉛鑛等所用小型熔鑛爐之實例。

於別室燃燒燃料，以其火焰，加熱鑛石，燃料之灰分，不與鑛石相混者，為反射爐 (Reverbatory furnace) 圖三九所示，即普通之反射爐，粉鑛之焙燒，粉鑛之熔鑛製鍊等，一般使用之。

近代又有所謂煤氣發生爐 (Gas producer)，為變石炭為煤氣之爐。利用此煤氣之反射爐，亦有多種，普通之製鋼平爐，即其一也。又微粉炭 (pulverized coal) 燃燒之反射爐，碎石炭成粉末，使由爐之一端，與空氣一同由噴出口噴出而燃燒，以熱鑛石，亦甚發達。銅粉鑛之反射爐製鍊，美國大規模之銅山，多採用此種反射爐。

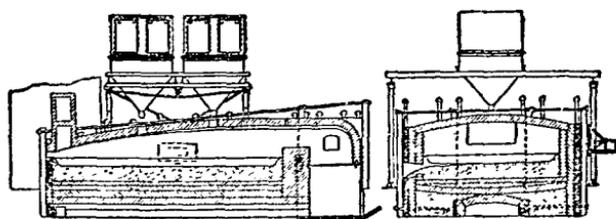


圖 39 熔融粉鑛之反射爐。粉鑛由上部之漏斗，落入爐中，右側之室，燃燒燃料，其焰沿爐頂流至左側，熔融左側之鑛石。

又重油 (heavy oil) 亦以供反射爐加熱之用。

以上使用煤氣或重油之反射爐，煤氣或重油中之碳，亦有爲製品吸收之虞。焰中所混之空氣，亦有使製品氧化之虞。防止此種作用之爐，有坩堝爐 (crucible furnace)，將材料置入坩堝內，坩堝置入爐中，由坩堝外加熱，熱之。又或如鋅之蒸餾，裝鑛石於蒸餾器 (retort) 中，由外部加熱熱之。之爐亦有之。又所謂熔爐 (muffle furnace)，氧化焙燒硫化鑛所生之亞硫酸氣，無與燃燒燃料所生之氣體相混，品位因而稀薄之虞，硫酸製造時用之。

電氣爐 電氣爐之種類亦甚多，或爐壁繞以鉑、鎳鉻 (nichrome)、鎢等之金屬線或帶而通以電流，或爐中充填以碳粒而通以電流，利用其抵抗熱，以爲加熱於鑛物金屬類之用，謂之電氣抵抗爐 (resistance furnace)。又或以二碳棒或二黑鉛棒爲電極，使之互相接近，發生電弧，利用其高熱以行金屬製鍊，謂之電弧爐 (arc furnace)。用電弧式時，爐中發生非常之高熱，電弧之中央，達三千六百度，爲現今吾人所能到達之最高溫度。圖四〇所示，卽電弧式之電氣爐，電氣製鋼爐多採用此式。

此外所謂誘導式電

氣爐(induction furnace)，製作所基之原理，與變壓器(transformer)同。其構造以高壓之電流為第一次輸線，第二次輸線，以將熔融之金屬之輪狀熔融溝代之，以強力之電流，通過此耐火材之溝中之金屬中，予金屬以電熱作用。製造高級之特殊鋼時，多用此誘導式電氣爐

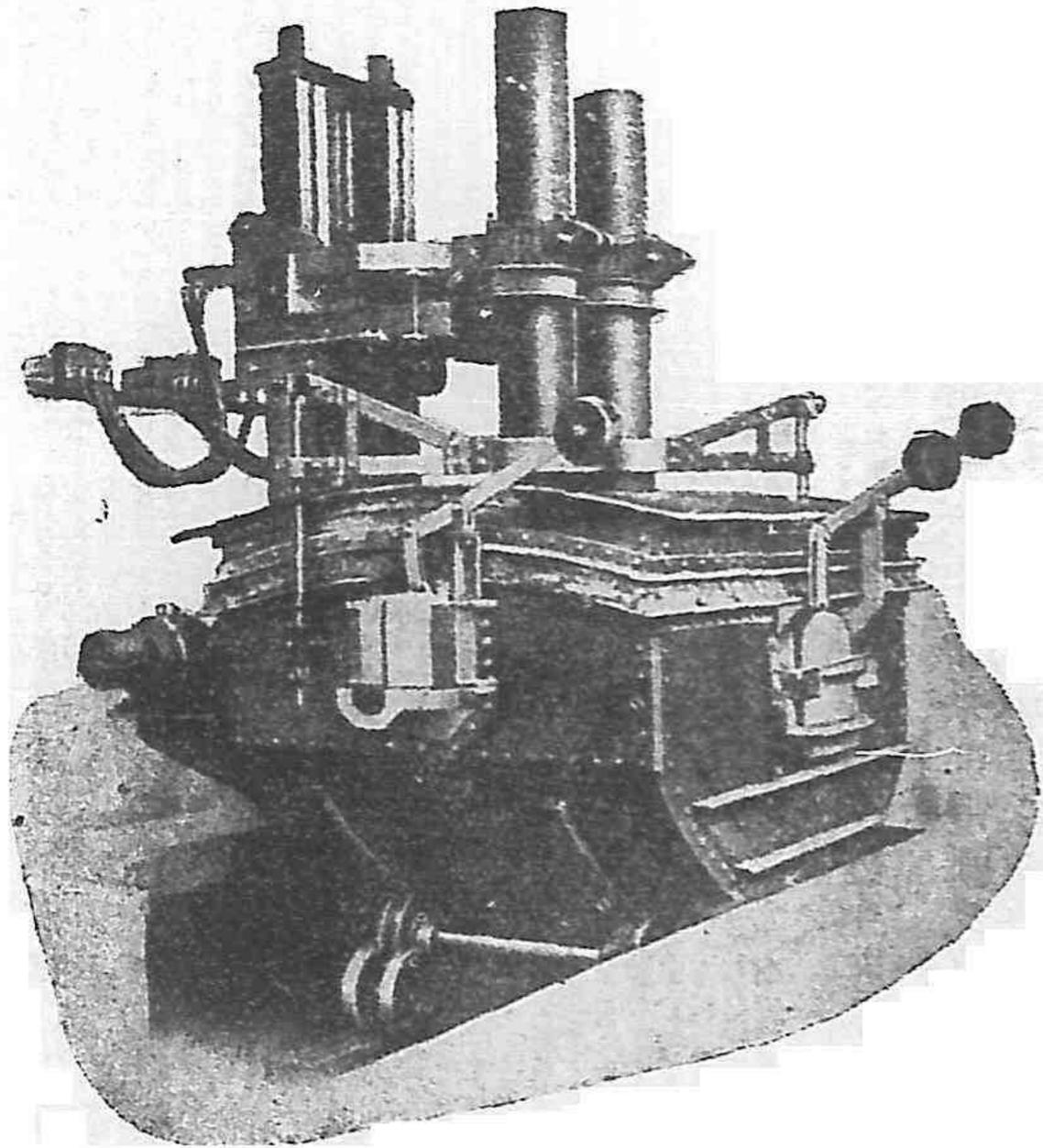


圖 40 電弧式之電氣爐

電流由並立之二碳電極以通爐內，熔融鋼等而製煉之，成生之熔體，傾爐使之流出（顧勒味齊爾式電氣爐）。

(圖一四三)

國立北平圖書館藏

以上已就冶金爐之種類說明之，以下更就鑄石製鍊使用最廣之熔鑄爐，說明其構造及其作業之狀況。

(三) 熔鑄爐製鍊之大要

熔鑄爐 用以熔融製鍊鑄石，爲直立之高爐。自巨大之化鐵爐以至小型之銅鉛熔鑄爐，使用極廣。化鐵爐高達三十呎，斷面外徑八呎，爲鉅大之圓筒形。用於鉛製鍊或銅製鍊之熔鑄爐，高度在五呎以內，水平斷面爲直徑約一呎之圓形，亦有爲寬一呎長達二十呎之矩形者。今日銅製鍊之熔鑄爐，水平斷面普通寬一呎，長四呎至八呎。

圖四一所示，爲銅鑄製鍊之熔鑄爐。其構造由上下二部而成，上部即鑄之頂部，爲磚所築成，以四隅之鐵柱支持之。下部爲爐之主體，張二重之鐵板以爲壁，壁間循環以水以冷卻之，蓋水筒式之熔鑄爐也。爐之底部，有熔融體之流出口二，爲流出金屬及鍍之處。

熔鑄爐作業之法，先以鑄石 (ore) 與適當之熔解劑 (flux) 及燃料 (fuel) 相調合，由爐上

部投入爐中。爐下部之周圍，有數條以至數十條之送風管即風口 (tuyere)，由此送入有壓力之空氣於爐中。由上部徐徐降下之燃料及鑛石中所含之硫黃，因空氣之故，氧化燃燒而發生熱，爐內近於底部之處，溫度達千數百度之高。高熱既發生，鑛石遂熔融而起化學反應，金屬還元，同時成生鏷 (slag)。

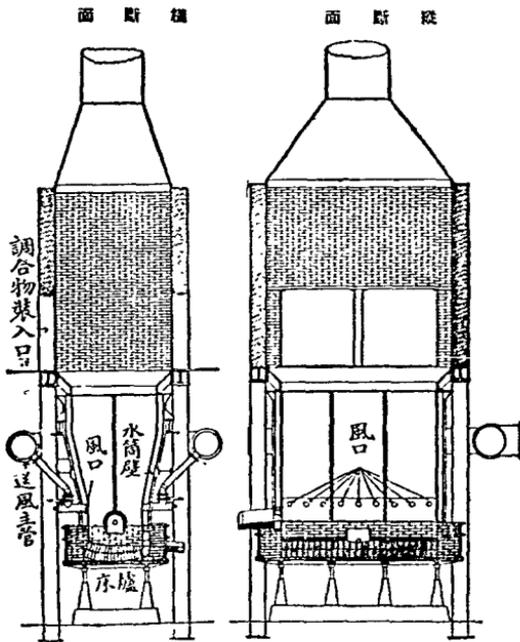


圖 41 倂鐵爐之構造
普通型之銅熔鐵爐

熔融之混合物，集於爐底，因比重之差，金屬沈於下，鍍浮於上，互相分離。又爐之前方，置有所謂前床 (forehearth)，即箱狀之容器，金屬與鍍互混之熔體，流入前床中，而後相分離者，亦有之。化鐵爐鉛製鍊爐，金屬與鍍於爐底分離，鍍不斷的由上部之小穴流出，銑鐵、鉛等金屬，則集合於爐底，於一定時間，開爐底部之穴而流出之。至銅熔鑛爐，則多於前床中分離之。

熔鑛爐作業上，最重要之問題，為鑛石之調合及所產生之鍍之性質。熔鑛爐恰如人體之消化器，鑛石之調合物，恰如食物。人

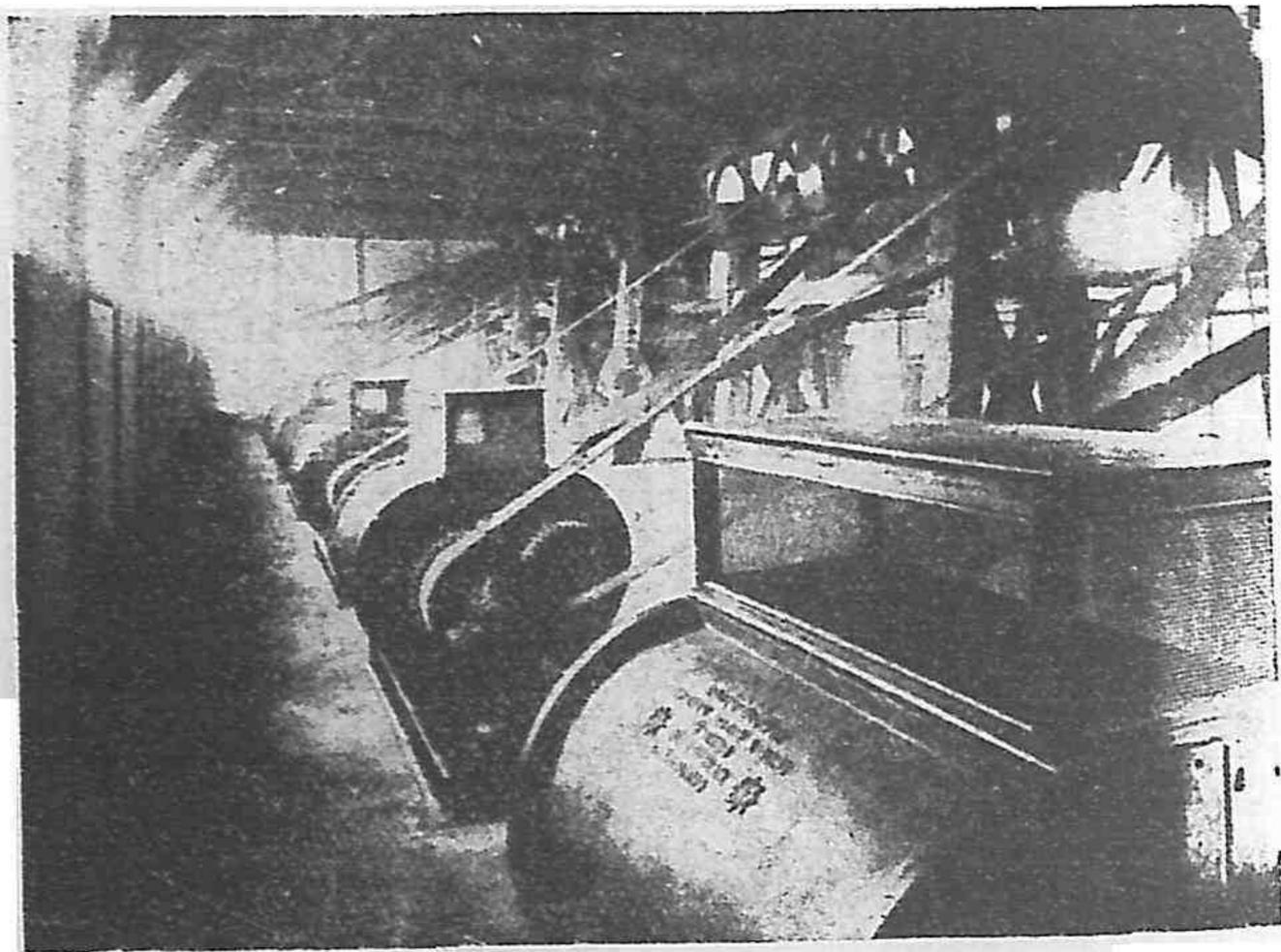


圖 42 魯茲式送風機

銅鉛之熔鑛爐，用此種送風機，由風口送風入爐內。

體內臟之變化，由外部難以鑑別。熔鑛爐亦然，溫度千度以上之爐內所起之化學反應，以及鑛石之狀態，由外部亦難以觀察。且熔鑛爐內之作用，常起變化，有時鑛石熔融之中途，因成生不熔融性之塊，停滯於爐中，遂致爐內部冷卻而不能行熔鑛作用，所謂「爐死」，即是也。此種故障，若不先事預防，損失且及巨萬焉。故作業中，技術者須不斷的注意於鑛石之調合比率，須不斷的觀察排出之顏色若何，流動狀態若何，以定爐內作用之是否順暢。鑛不獨在爐之作業上，極為重視，鑛性質不良時，金屬含於其中，未完全分離，即行排去，金屬之採收率 (recovery percentage)，因之低下。鑛石之須以石灰石或矽石為熔解劑，與之調合，即為欲得良好之鑛也。

次就鑛及熔解劑之關係說明之。

鑛 (ores) 亦稱鑛滓，其成分為鑛石中所含岩石類之無用成分，即矽酸與鹼質土類金屬之氧化物化合而成之種種矽酸化合物之混合體。銅、鉛等之製鍊，作業上，鐵、錳等之氧化物，亦含於鑛中而除去之。

此種矽酸化合物之鑛，就其中所含矽酸之量，分之為若干種，而一一研究其物理的性質，最為

便利。分類之方法，矽酸即 SiO_2 ，謂之酸，氧化鐵、石灰、氧化鎂、氧化鋇等，謂之鹽基，二者中氧之比，謂之矽酸度 (silicate degree)，鍍即由此比數以命名分類。矽酸度可以下表之：

矽酸 (SiO_2) 中之鍍基

鹽基 ($\text{CaO}, \text{MnO}, \text{CuO}, \text{MgO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{FeO}$) 中之鍍基

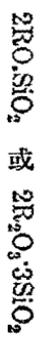
比值為一對一，一·五對一二對一等時，鍍依次命名如次：

名稱

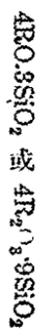
化學式

$\left\{ \begin{array}{l} R \text{ 示金屬原子, } RO \text{ 示 } \text{CaO}, \text{MgO} \text{ 等二價之金屬} \\ R_2O_3 \text{ 示 } \text{Al}_2O_3 \text{ 等三價之金屬} \end{array} \right.$

一矽酸鍍



一·五矽酸鍍



二矽酸鍍



其他比值在此等值之中間者，謂之某矽酸鍍，常以比之值冠於其上。鍍因矽酸度之變化，其物

理的性質亦變化，其最重要之性質，熔融溫度、流動性、比重三大要素，大致即由此矽酸度而定。例如強酸性之鍍，熔融點高，乏流動性，比重甚小，反之，強鹽基性之鍍，性質與此相反，鐵等之存在多，則比重大是也。上述兩極端成分之鍍，難與金屬完全分離，故製鍊鑛石時，宜就鑛石之種類及其性質，行經濟的計算，以決定應加入之熔解劑之量，使成生矽酸度適當之鍍。熔解劑，一般使用最廣者，在鹽基爲石灰石或鐵鑛石之類，在矽酸爲矽石類之金鍍。此外熔解錫、鉍等高價之金屬時，使用蘇打螢石等高價之熔解劑，作極富於流動性之鍍，獲於金屬之表面，以防金屬揮發之損失者亦有之。

以上關於乾式製鍊之重要諸點，已略述之。至溼式製鍊之裝置及作業順序，因鑛石之種類及金屬之性質而異，俟次章敘述各金屬鑛業時，再一一說明之。

由鑛石製鍊製出之金屬，普通爲粗金屬，須經過精製作業後，方可以供各種之用途。

精製作業 (Refining) 視粗金屬中不純物之種類，及精製所欲達到之程度，有種種之方式。乾式，熔融粗金屬，投以氧化劑，或使與空氣相接觸，使其中易於氧化之不純物揮發，或使其浮於表面而除去之。又或使粗金屬熔融體之表面，成生鍍層，使不純物爲鍍所吸收。有時與上相反，粗金屬

之熔融體內，混入還元劑，使不純物還元而除去者亦有之。普通，精製多氧化與還元，連續行之，使諸種之不純物，一一除去。此外溼式之精製法亦行之，就中電氣分解法，鐵、鉛以外，普通之金屬，一般採用之，由此製出純良之金屬焉。

合金 (alloy) 吾人所用之金屬，其為單純之金屬者極稀，普通皆為熔融、混合二種以上之金屬所成之合金。古代以來所用之青銅，為銅與錫之合金，鑄鐵及鋼，為鐵中混入碳、矽、錳等所成之合金。此等合金之種類，姑俟次章說明各金屬時，再為詳述，茲先略述其一般。

合金，成分配合之比率，處理之方法，苟得其當，可使其有適應種種用途之性質。金屬加工上，質軟之金屬，可使之變硬變強；鑄造之際，可使易熔易流；可在適當之溫度，有堪以鎚打、鍛造或壓延為軋棒及其他製品之性質。此外化學的性質，可使其耐酸，可使其不生銹，又可使其成種種美麗色彩之美術的合金。此等合金加工之諸問題，第四章就實例說明之。

(四) 金屬之組織

合金之表面，磨之如鏡，以酸鹼其他適當之液，稍稍腐蝕之，則合金因結晶組織之不同，腐蝕之

程度各異。此面投以光線，使其反射，則反射光線生強弱之差，以顯微鏡觀之，可見種種美麗色彩之結晶形。此現象之研究，為一八六〇年英人索爾比（Henry Clifton Sorby）氏所創，最近二十年間，大為進步。現稱為金屬組織學或金相學（metallograph），金屬諸性質之研究，大形發達，其應用上工業的說明，俟第四章再略述之。

金相學晚近之發達，更日進於極致。自來金屬之結晶，因其粒過小，結晶之方式，未能明瞭。及一九二二年，德人勞厄（M. Von Laue）氏應用X線（X-ray）之結果，金屬之結晶中，金屬原子之配列，極有規則，始為世所知。此配列狀態發現後，金屬及合金之諸性質，

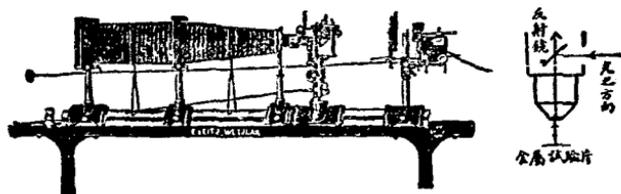


圖 43 來茲式(Ernst Leitz type)顯微鏡寫真裝置

金屬為不透明體，故用反射光線。圖右端為光源，中央為顯微鏡，左端為顯微鏡寫真器。顯微鏡之主體鏡筒，穿有橫穴，置可任意傾斜之反射鏡於其處。由光源射來之光，由橫穴進入鏡筒內，以反射鏡使其照於金屬試驗片之上。

現正漸次根本的解決，此可注目者也。X線之結晶組織，大致金屬之結晶，依圖四四所示之方法，以白色X線透過之，若屬完全結晶，且有相當之大，則多數之點，現於寫真之上，如圖四五所示。

此等點之位置，測定計算之，則金屬原子配列之方式，可以知之。然金屬之結晶粒不大，多數複

雜存在，則寫真

上之斑點，漸不

明瞭。此時若用

單色X線透過

之，則寫真成輪

形，如圖四六所

示。德拜 (Debye)

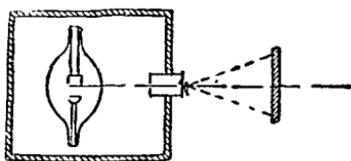


圖 44 X線寫真裝置之一種。通過細孔之白色X線，使透過結晶，結晶之後，置有黑紙所包之寫真乾板。數點鐘後，即得圖 45 圖 46 所示之寫真。



圖 45 此斑點謂之勞厄點



圖 46 此輪謂之德拜輪

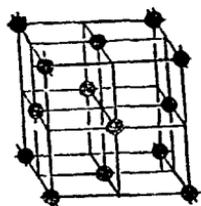
謝拉 (Scherrer)、哈爾 (A. W. Hall) 諸氏研究由此輪以決定結晶型之法，至一八一六年，始告成功。

今日所知之金屬原子配列之型，大致有數種（圖四七）。此種原子配列之研究，於考究金屬

或合金之物理的諸性質及金屬內部因加工而起之物理的變化，予以不少之光明。

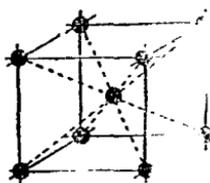
又金屬之加工作業，於第四章鐵及鋼之項，就實例說明之。次章就各種金屬說明其採鑄冶金之要領。

銅型（面心立方格子）
(Face centred cubic lattice)



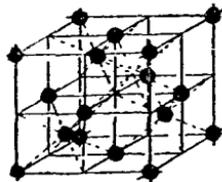
銅、金、銀、鋁、鈷、鐵、鉛、鉑等屬之。

鑄型（體心立方格子）
(Body centred cubic lattice)



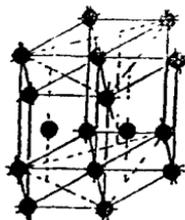
鐵、錳、鉀等屬之。

金剛石型（金剛石格子）



矽、鋼、石、錫等屬之。

鉍型（稠密六方格子）



鉍、鋁、鎂等屬之。

圖 47 金屬結晶空間格子主要之種類

圖上黑點為原子中心之位置。各種型，其單位立方體之邊之長，因金屬而異。此種原子之配列狀態，於金屬之性質，大有影響。例如銅型之金屬，展性大；鉍型之金屬，質脆；貴金屬，多電氣與熱之傳導度高；鉍型之金屬，急冷卻之，質易變硬，是也。

第二章 金屬鑛業

第一節 金

(一) 總說

金自有史以前，即先其他諸金屬，爲人類所使用。燦然之黃金色，永久不變；不爲酸類所溶解；可展爲非常薄之箔，可延爲非常細之絲。有此種種貴重之性質，故爲諸金屬之王，爲世所珍重。太古之人類，最初採集砂金，後又進而採掘製鍊地下之金鑛石。六千年前埃及人盛行採掘之金山，今尙有其遺跡不少。今試一察最古之金山地圖（埃及第十四王朝，紀元前一三〇〇年），古代金山採鑛冶金術之進步，有出乎吾人之意表，而令吾人驚嘆不置者焉。

純金質軟，易於磨滅，故混入銅或銀，增其硬度，以供使用。歐美喜混以銅，東洋喜混以銀。混以銅

者，稍帶赤色；混以銀者，其色極黃。金幣，現在無論何國，均用金與銅之合金鑄之。

貴金屬之純度 (fineness)，普通以千表示之，例如美、法、日等之金幣，由金九〇〇銅一〇〇之比率而成是也。然有時亦以開 (carat) 表示之，二十四開為純金，十八開即所含純金為二十四分之十八之意。數千年來人類所採集之金，其數甚鉅。現代文明各國，莫不貯藏多量之金塊，以為紙幣兌換之準備；此外美術、裝飾、工藝品等，亦莫不用之。

現在世界中所有之金，共為若干，此甚有興味之問題也。古代之產金額，現已無從稽考，茲將第十七世紀以後至一九二五年止之總產額，列表如次：

表一

一九二五年末以前之世界產金總量(英幣鎊)	
國名	累計
脫蘭斯瓦爾	八四三,〇〇〇,〇〇〇鎊
洛諦西亞	六一,〇〇〇,〇〇〇
	一八八四年以降
	一八九八年以降

西 阿 非 利 加	二八、〇〇〇、〇〇〇	一八八〇年以降
澳 大 利 亞	七〇五、〇〇〇、〇〇〇	一八五一年以降
加 拿 大	一〇五、〇〇〇、〇〇〇	一八九〇年以降
英 領 印 度	六七、〇〇〇、〇〇〇	一八八〇年以降
英 國 共 計	一、八〇九、〇〇〇、〇〇〇	
北 阿 美 利 加	八七五、〇〇〇、〇〇〇	一八四七年以降
俄 羅 斯	四六三、〇〇〇、〇〇〇	一六〇〇年以降
墨 西 哥	七九、〇〇〇、〇〇〇	一八七七年以降
其 他 諸 國	七〇〇、〇〇〇、〇〇〇	
總 計	三、九四四、〇〇〇、〇〇〇	一六〇〇年以降

由上表觀之，英國之產額，約達世界之半數。又主要產金國，其產出額亦因年而大異，例如澳大利亞一九二六年度爲二、八七四、〇〇〇鎊，一九〇三年度爲一八、三二二、〇〇〇鎊，一八五六年度爲一二、〇九四、〇〇〇鎊，最近頗爲衰頹，美國一九二五年度僅及十年前之半數，加拿大一

九二五年度之產額，達一九二〇年度之二倍是也。

表二

世界產金國之產金比率	
國名	一九一五年(大戰後)
俄國	五〇・三%
荷蘭	三・〇%
西非利加	一・六%
澳大利亞	三・六%
印度	二・一%
加拿大	九・一%
北美利加	一二・五%
墨西哥	四・一%
俄羅斯	五・六%
其他諸國	八・一%
	一九一三年(大戰前)
俄國	三九・六%
荷蘭	三・一%
西非利加	一・七%
澳大利亞	一九・五%
印度	二・五%
加拿大	三・六%
北美利加	一一・五%
墨西哥	四・二%
俄羅斯	五・八%
其他諸國	八・五%

上表中各國之產金比率大戰前後，頗有變化。

由全體觀之，世界之產金額，大戰前頗爲順暢，年有增加。一八五四年至一八九一年三十七年之間，每年約產二億圓至三億圓；一八九〇年以降，除南非洲之玻亞戰爭及世界大戰初期之一二年（一九一四年）外，年年產出之增加，極爲可觀；一九一五年至出現約九億圓之高記錄。及大戰勃發，產額遂大減少，一九二二年降至約六億圓，與一九一五年相較，減少之數，達三〇%以上。然以後又著著回復，一九二四年之產額已足與一九〇六年相匹敵。英國近年澳大利亞之產額雖大減少，然就其全體觀之，猶有增加，占世界產額之七〇%，將來且有再形增加之勢。

以鑛產額世界第一自誇之美國，其一九一三年度之產金額，不過世界全產額之一九·五%；一九二五年度，不過一二·五%耳。

要而言之，十九世紀中葉，金冶金術上，氰化製鍊法之發明，大使近代之產金額激增，乃極顯著之事實。然金之鑛業，古代以來，卽甚進步；自古以來，人類多數棲息之地，金之探求，殆已遍矣；昔年南非洲、澳大利亞等未開地所發見之大產金地，今後殆無復發見之希望矣。

(11) 金鑛石 (Gold ore) 及其存在狀態

金，其存在之量雖極微，然構成地殼之一切岩石中，莫不有其痕跡。據精確之分析，火成岩如花崗岩 (Granite)，往往有含金達百萬分之一者；水成岩如砂岩 (sandstone)、大理石 (marble) 所含雖只痕跡，亦約有十億分之若干；又海水一公釐中，亦含有數十尅焉。然世界中雖遍地皆金，金之經濟的抽出，則殊不易，此吾人所以不得不探查金鑛床，尋覓金因自然之力，在地殼中濃密集中之處，而採掘之者也。地殼中之金鑛床 (Gold deposit)，由鑛床學上觀之，可大別為山金鑛床及砂金層二種。

山金 山金為採掘地中所得之金鑛石。產金之鑛床，地質學上各時代多數之岩石中，均發見之，屬於初成鑛床，大抵以自然金 (native gold) 之狀態，產出於砂石質之鑛脈中，間亦有成碓化金 (gold telluride) 而產出者。碓化金之鑛物，雖有種種，但其量極少，產出亦限於一地方，其名稱一般且不知之。例如針狀碓鑛 (sylvanite)，呈銀白色乃至黃銅色；葉狀碓鑛 (n. gyantite)，為黑灰色之薄片，其他加拉味來特 (Calaverite)、拍采特 (Petzite)、加爾古爾來特 (Kalgoorlie)

均為黃色乃至黑色之金銀碲化合物，多含有硫黃、鉛、銻等，是也。

又一般硫化鐵、硫化銅、硫化鉛等礦物中，亦多含有金銀。此等金有以自然金之狀態，含於硫化物之結晶間者；有極微細而狀態全不明瞭者。

山金之鑛床 太古層 (Archaean) 及古生層 (Paleozoic) 之岩石中，金鑛脈 (Gold vein) 胚胎之例甚多。有名之脫蘭斯瓦爾 (Transvaal) 金鑛脈，跨極廣大之區域，成層狀存在於古生層之中。因地層之變化，傾斜頗急，如普通之鑛脈，採掘由上而下，達數千呎之底部。金存在於礫岩 (conglomerate) 之中，礫岩為白色之砂石礫為黏土、砂、氧化鐵膠着所成，砂石中原無金，乃含金溶液進入膠着物內，沈澱金於其中所成。膠着物中

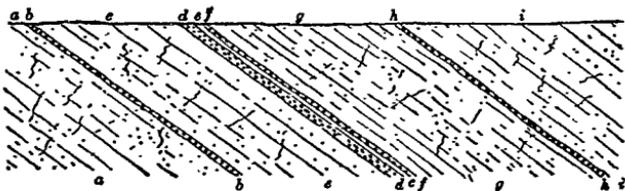


圖 48 南非洲脫蘭斯瓦爾約罕得斯堡金山地質斷面圖
(a. c. e. g. i 為砂岩及砂岩之互層，b 為北鑛脈，f. d 為中央鑛脈，h 為南鑛脈)

之氧化鐵，蓋含金硫化鐵氧化所成。脫蘭斯瓦爾之金鑛脈，自一八八四年發見以來，急激發達，其產金區域之廣大，殊足令人驚嘆，世界大半之金，均產於此地。澳大利亞之金鑛脈，亦為古期古生岩中之石英脈 (quartz vein)，亦伴有少量之硫化鐵。

美國科羅拉多、南達科他、泥瓦達等州之金鑛床，為存在於安山岩 (andesite)、石英粗面岩 (Iipario) 等新火山岩中之鑛脈。俄國烏拉爾地方之金鑛床，為存在於花崗岩、片岩 (schist) 中之鑛脈。墨西哥雖乏純粹之金山，然古生及中生層 (Mesozoic) 中有含金之銀銅鑛脈，此鑛石以熔鑛製鍊處理之，多量之金銀，以副產物 (byproduct) 而產出。

日本之金鑛脈，多發見於新時代之岩石，即第三紀 (Tertiary period) 以後之岩石中。間有石英粗面岩中，浸入金液而成鑛染狀鑛床 (impregnations) 者。又銅山硫化鑛物之鑛床中，亦含有若干之金銀。

朝鮮之金山，地質與日本異，鑛床普通為片麻岩 (gneiss) 及花崗岩中之石英鑛脈。惟遼安金山，鑛床成生於石灰岩 (limestone) 及花崗岩之接觸部，蓋例外也。臺灣之金瓜石金山，鑛床含於

貫入第三紀層(Tertiary)內之安山岩之中，有二種類，一爲含金銀之石英鑛脈，一爲交代鑛床，交代鑛床大致沿第三紀層砂岩之層面，爲因交代作用而成之塊狀含銀銅鑛床，此鑛床中產出世所稀有之硫砷銅鑛之富鑛 (rich ore)。

普通之金鑛石，皆伴有若干之銀。此種銀雖亦有以自然銀之狀態，與自然金相伴者，然大部分則多成黑色之硫化銀即輝銀鑛，浸入於砂石中。金之含有量，普通在百萬分之八以上，約十萬分之二三者，即有採掘製鍊之價值。極純良高品位之鑛石中，有時雖亦有自然金之結晶，可以辨識；然普通所處理之鑛石，其結晶不惟爲肉眼所不能發見，即在顯微鏡下，亦無由辨

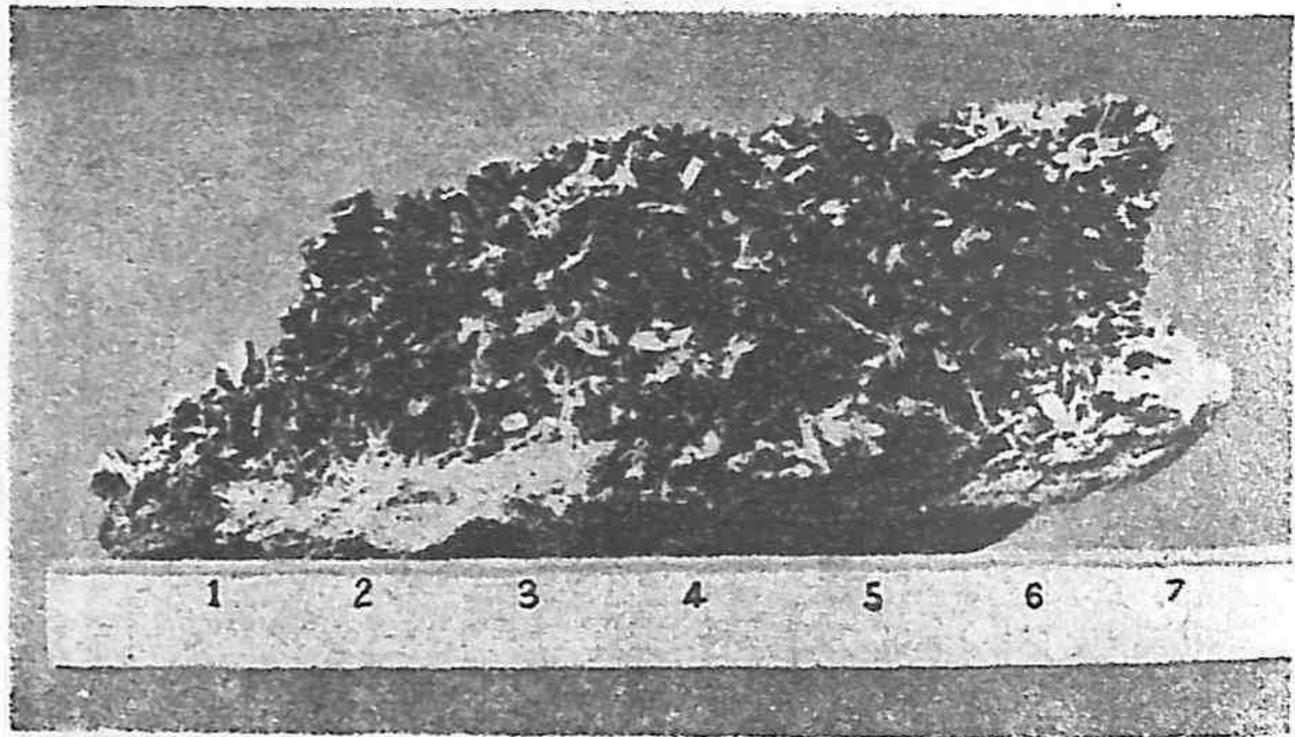


圖 49 硫 砷 銅 鑛

(臺灣金瓜石金山所產，呈美麗之柱狀結晶或塊狀)

識，其細微有如此者。

石英金鑛，除自然狀態之金外，又常伴有硫化鑛物硫化鐵。由近於地表之處採掘之鑛石，硫化鐵業已風化，呈氧化鐵之黃褐色，金多為高品位。及鑛脈採掘至深處風化作用所不能到之處，則掘出之金鑛，金往往皆含於硫化鐵之中。

金鑛品位之分析，用試金術 (assaying)。然調查鑛山，須就地即時簡單定其品位時，則碎鑛石少許，裝入小木碗內，以水洗之，使極輕之細砂流去，極重之金粒沈於碗底，觀其量，察其光色，鑛石之含金量，可以推知。此法謂之搖皿法 (panning)，熟練者雖品位百萬分之若干之鑛石，亦能準確鑑定，一般多用之。若黃金色之硫化鐵，有誤認為自然金之虞，可滴下硝酸以驗之。若果為金，則不溶解，其色更加鮮明，不難識別也。

砂金鑛床 山之鑛床，已說明於上，茲更就砂金層說明之。砂金 (Placer gold) 之存在區域，遍於各國，古代以來，即盛行採掘，現猶遺跡甚多。其成因由於山金鑛床為自然力所破碎，成砂礫流出，或沈積於河底，或流集於海濱，遂生砂金層。

故砂金地之上流，多可發見山金。然其鑛脈，縱砂金層爲良品位，劣等者亦不少。蓋砂金層之生成，曾經幾千萬年之久，此幾千萬年中，鑛脈不斷的爲自然破壞力風化水蝕所洗崩，其量殊足驚人，其中金粒，因自然之淘汰，已集中於砂金地，成爲豐富之砂金層，故也。

各國砂金地之砂金存在狀態，有種種。一八九六年發見之加拿大克倫帶克 (Klondike) 地方之砂金，極爲有名。又日本北海道枝幸地方，亦產砂金。此等砂金，皆沈積於河流水源附近之溪谷，集中於其下之岩盤，可小規模採掘之。

日本北海道之砂金地，砂金與銥銻鑛 (Iridosmine) 同伴產出。此銥銻鑛爲鉑屬之銥與銻化合而成之砂鑛 (Placer)，與鉑同色。

其次古代河江之沈積層，廣大平野之地層中，含有砂金之例亦甚多。近代有名之大砂金地帶，皆屬此類。美國加利福尼亞州之第三紀層，一八五一年發見當時歐洲人驚呼爲黃金洪水時代之澳大利亞砂金地，皆此類也。此外西比利亞各地廣大之砂金地，阿拉斯加育空 (Yukon) 地方之砂金，亦屬此類。此等砂金地，面積達數十里以上，到處發見豐富之砂金沈積層。採集事業亦跨廣大之

面積，各處掘小井以測定砂金層，而行大規模之採集。

又極古時代成生之砂金層，其上部爲後來成生之厚地層所被覆，或爲熔岩 (lava) 之流層所被覆者，亦往往有之。此種砂金層，不獨發見探鑛，極感困難，甚至有開設深豎坑以行探掘，如普通之鑛山者。例如美國加利福尼亞州及澳大利亞，於玄武岩 (basalt) 之下層探掘砂金，是也。

此外所謂古代砂金，即最古時代河江堆積層中之砂金層，因受地殼變動之影響，其層位甚爲傾斜，質亦變而堅密，如普通之鑛脈者，間亦有之。又所謂濱砂金 (Beach placer)，沿海岸渚線，成長帶狀，產出砂金者，亦有之，例如阿拉斯加海岸、日本北海道北見、天鹽之砂金，是也。又阿拉斯加諾蒙 (Nome) 地方之砂金，雖爲太古成生於海濱之濱砂金，因地盤之變化，今日已在距海岸頗遠之內部矣。

砂金普通爲米粒以下之細粒，多已被磨滅，已被壓壞，成扁平形。然亦往往有結晶形猶稍殘存者。鑛脈中之金，離鑛脈由谷內流下，流愈遠則其結晶形愈被磨滅。故結晶形若尙殘存，則其根源之鑛脈，相距不遠，可推知也。又巨大驚人之砂金塊 (nugget)，亦屢屢發見。最大者爲澳大利亞維克

多利亞砂金地所發見，重達八
三尅，價值八萬元以上，稱爲
「威爾康」(Welcome)之鉅
塊，其他烏拉爾砂金地方，亦會
產出重約五〇尅之鉅塊。

如此巨大之砂金，最初即
存在於金鑛脈中乎抑由河川
流下之際，若干之金粒，相集而
成乎？以前曾有議論。然近代金
鑛脈中，亦會產出巨塊之金。例
如日本鹿折鑛山鑛脈中，曾產
出九一〇克之巨塊是也。

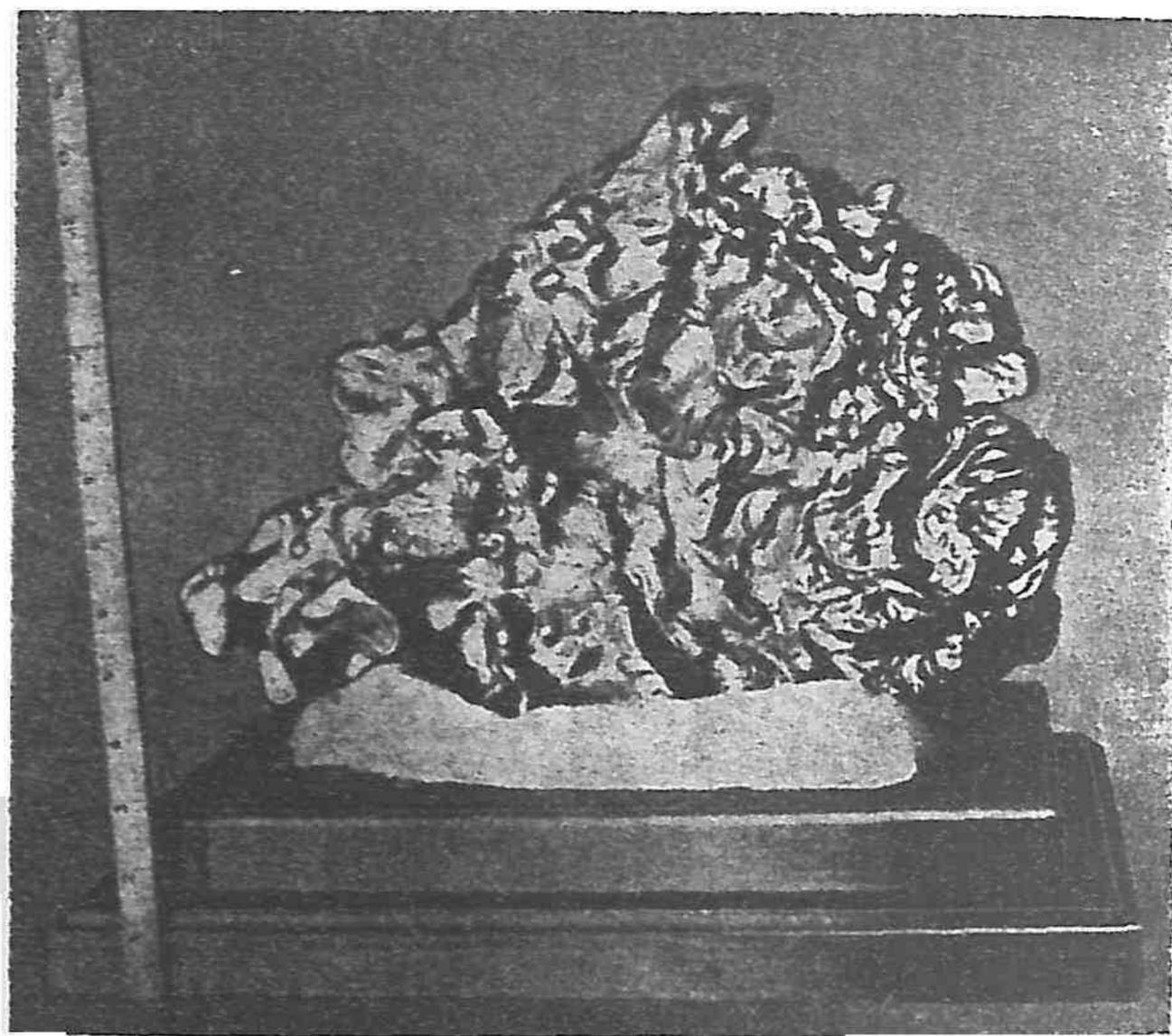


圖 50 大砂金塊

(一八二四年俄國烏拉爾山中加斯克所發見，重約50尅，全部
爲黃金)

(三) 砂金之採集

砂金之採集，視砂金產出之狀態，水利之便否，有種種之方法。普通含有砂金之砂，以水洗之，淘去質輕之土砂，使金粒沈積於底而採收之。

採集之法，就規模及器具區別之，有搖皿法、搖箱法、稱古流法、槽流法等。前三者為自昔以來個人單獨採集之方法；槽流法發達於北美，為現在各地所行之大規模之採集法。

搖皿法 (panning) 盛含有砂金之砂於大而平之皿內，浸之水中，用手將粗粒之礫搔出，皿中僅餘細粒之砂後，反覆將皿前後左右搖蕩淘汰之，則土砂浮流而去，最後殘留皿底者，即比重大之砂金、砂鐵等。此法對於粗大之砂金，雖屬適當，然細微之砂金，有與砂一同流去之虞，採集率不免過低。又金鑛品位之鑑定，亦用此法，已述於前矣。

搖箱法 用上部張有鐵絲網之木箱，由上投入砂礫，注以水，則土砂被洗，與砂金一同通過網眼，落至箱底。網上所餘粒狀之礫，內未含金，可捨棄之。箱底之下，有圓弧形之橫木，如舟底形。人左右搖動箱，土砂即由箱底流出，砂金則沈着於箱底所張之布上。所謂砂金採集機，即此類機械也。

稱古流法 (mat sticking)

此法砂金之採集，用蔴或木棉織成之席以行之。昔時日本佐

渡金山，金鑲石以石臼粉碎後，使隨水由木棉上流下，以採集其中之金粒。

日本北海道砂金地方，砂金之採集，如圖五一所示，於谷河之底，橫築小堰，於堰開設水門，置稱古席數枚或稱古板於其處，使含金之砂，流過其上。停滯其上之含有砂金、砂鐵之土砂，再用搖板分離其中之砂金。砂金又往往挾於河底岩磐之

裂縫中，可以底面張有玻璃之木箱所謂水中眼鏡探視水底，若發見有黃金色之金粒，可以一端附

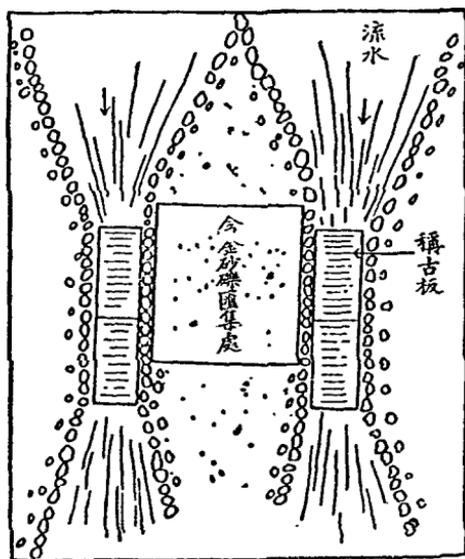


圖 51 稱古流法流場之平面圖

有黏性物之棒伸入水底以吸取之。此作業恰如漁夫之漁取章魚，誠奇觀也。

朝鮮之砂金屑，存在於往古之河床，多在現今田圃之下。此等田圃，掘去表土 $\infty \sim \infty$ 呎，即爲砂金屑。此等砂金之採集，用上述之稱古流法或下述之槽流法。西比利亞、克倫帶克等寒帶地方之砂金地，即在夏日，地下一二呎以下，亦結冰甚堅，不易採掘。此等地方，先焚火使冰漸解，或用蒸汽鍋，煮水成蒸汽，由鐵管之一端噴出，使地層溶解，然後向下掘鑿。採掘之砂，依上述方法，採集其中之金。

槽流法 (sluicing) 爲含有砂金之土砂，使與水一同由長槽中流下，爲水所洗滌，沈積其中之砂金於槽底，而採集之之方法。槽以木製之，視砂粒之大小，水量之多寡，增減其勾配，使適於金粒之沈積。槽之底面，鋪以木片或大小相同之礫，使土砂流過時，砂金粒沈下殘留於其間隙中，此槽數十互相連結，途中各處設階段，斜置鐵格子之篩，使流來之礫，大粒者爲所除去，愈至槽之下流，愈成細微之土砂。又細微之砂金，大部分雖沈定於桶之下流，若干仍不免流失。故時時由槽之上流，流下少量之汞使槽底之金粉，爲汞粒所熔解，成混汞金 (gold amalgam) 而採集之，以防止金粉之流失。

槽流法，以美國加利福尼亞州之砂金地爲最發達，以水力採掘法 (Hydraulic method) 崩壞砂金層，採取之土砂，以此法處理之。今試述其狀況：先覓取水源地，築水路導水至砂金採掘場絕壁上之貯水池，由此設鐵管以達採掘場，使水壓力數十尺之水，由口徑 6 吋之鐵管內噴出，向砂金層之岩壁猛射，則砂礫爲所崩壞，隨水 downstream 入口，順次流過槽內，而沈下砂金於其中。加利福尼亞州之此種方法，規模廣大，水利不便之處，有由數十里之遠方，或掘溝，或鑿隧道，或敷設鐵管，導水達採掘場者。最初工程雖需鉅大之資本，然採掘所需經費極廉，土砂一公鎊中，僅含價值二角之砂金，即可經濟的採掘。此法最重要者爲砂金層之鑛量，品位雖重要，抑其次也。

加利福尼亞州之砂金產額因行此法，有名於世。然因土砂放流入河流，流至下流農業地，爲農民所反對，政府遂加以限制，命鑛業者以防砂工事，一時極其興盛之砂金地，今已式微矣。

日本北海道及朝鮮，含金之土砂，亦搬至槽之上端，使與水一同流過槽內，而採取其中之砂金。此外於無流水之便之平地，行大規模之砂金採集，有用砂金淺漂船 (dredger) 者。圖五二所示，爲朝鮮稷山之實例。此地地表 0.5 呎以下，有厚 0.5 呎之砂金層，採掘方法，先掘地作池，浮

浚渫船於其內。船內砂金採集之設備俱全，左方之汲子（buckets），一面迴轉，一面扒取砂礫層，運至船中，於船中篩分之。粗大者由船送至遠方捨棄之，含砂金之細粒，使流過板上，沈下砂金於板上之格子間，與其處之汞成混汞金而採集之。浚渫船長三十三呎餘，一日之浚渫量，在三千立方呎以上，一立方呎內，含有價值二角之砂金，即可收支相償。此方法不獨以採集砂金，俄國鉑之採集，亦用之。

（四）金鑛之採掘

山金爲石英質鑛石中所含之金，已如前述，主由坑內採掘之，普通所謂金山（gold mine），卽山金之鑛山也。

金鑛床多爲石英脈，鑛脈上部之露頭，對於風化作用之抵抗力，較母岩尤強，故多突出於地表，往往長達數百呎數千

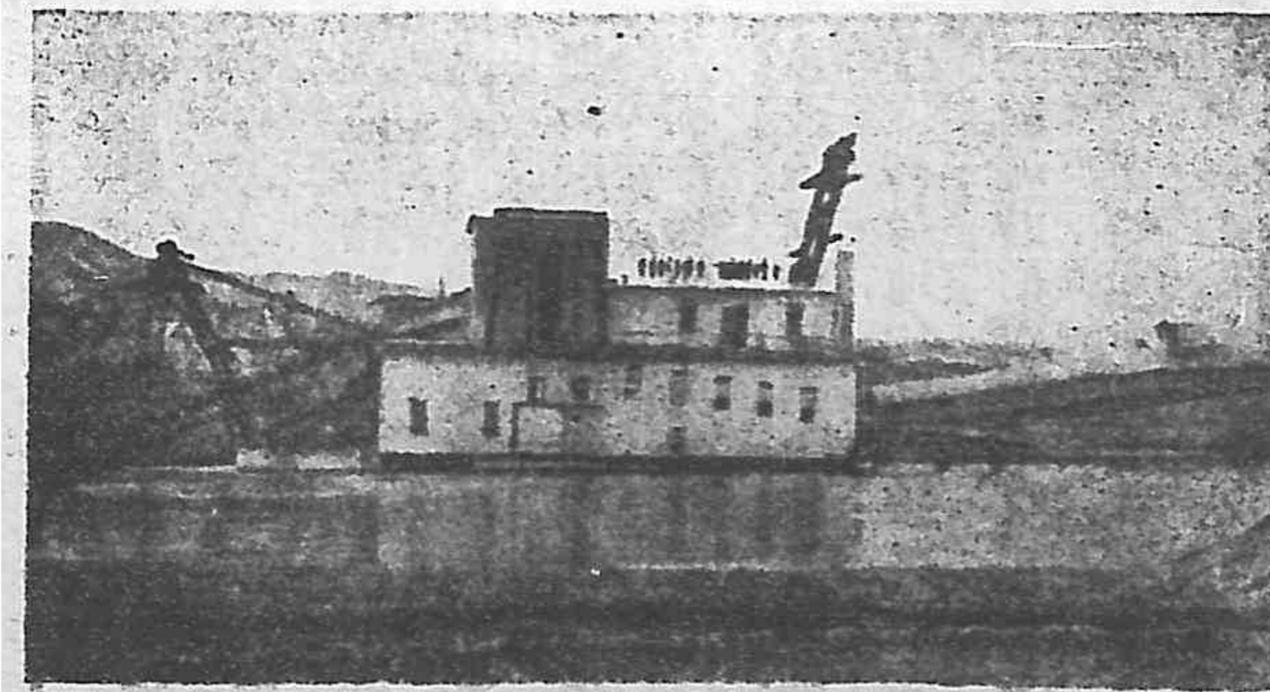


圖 52 朝鮮稷山砂金浚渫之實況

狀之露頭，超山越谷，或隱或顯，連綿於鑛脈走向之方向間。金鑛床一般露頭部因風化之故，硫化鑛物溶而流去，惟金依然殘存，故露頭上，肉眼所能辨識之自然金，產出頗多，其品位極爲佳良。

在昔探鑛術尙幼稚，坑內排水，通氣尙不完全之時代，金鑛脈之探掘，以手掘法由露頭掘下數十尺行之，有時掘下數百尺者亦有之。掘跡因鑛脈之走向，或如長溝，或如將山分而爲二，日本佐渡鑛山道遊鑛脈露頭之採掘跡，其一例也。

在排水、通風、捲揚、運搬諸方法發達進步之今日，金鑛脈之探掘，因鑛山地勢之互異，計劃各不相同。普通地表勾配 (Gradient) 緩慢之鑛山，由地表面向下開設豎坑，自豎坑之上部起，每隔百尺，依次開設水平坑道，由各水平坑道向上採掘其上部之鑛脈，所採鑛石，使落至下段之坑道，以鑛車由坑道運搬至豎坑，再由豎坑捲揚至地表，送往製鍊工場。地勢險峻之地，則由露頭下數百尺或千尺之山麓，向鑛脈開設水平橫坑以達鑛脈，此橫坑稱爲通洞。次在通洞水準以上，開設若干坑道，採掘鑛石，由通洞運出坑外，與銅山及其他鑛山，殆無不同。金鑛脈之含金品位，如前所述，一般露頭部分較爲豐富，愈至下部，品位愈低。又露頭所含之硫化物，例如銅鑛，往往有因迭受水蝕之故，成水溶液

浸入鑛脈之下部，及達鑛脈某深度，又再沈澱而成豐富之硫化銅鑛者。日本東北地方鑛山，發見之初，本爲金山，後卒變爲銅山者不少。故金山之經營者，屢有最初設置單純之金鑛製鍊所，不數年硫化鑛物增加，變爲含金銅鑛，同時製鍊工場亦不能不改行銅鑛之乾式製鍊。雖鑛石之品位及其價值，頗爲有望，往往經營陷入困難。由此點言之，經營金山者，在鑛脈之性質與其習慣未完全明瞭以前，所採鑛石，以賣諸他製鍊所，不急設製鍊所爲得策。

坑內之採掘愈深，則鑛脈愈爲地表氧化作用之所不能達到，最初成生之鑛脈，依然如故，鑛石之性質及品位，變化極少，走向延長數千呎之大鑛脈，往往深數百呎以上至千呎或千呎以上，品質猶不變，可繼續採掘者不少。南非洲脫蘭斯瓦爾之金鑛脈，長達若干哩，地下數千呎，尙有良鑛石之產出，西提第浦金山，主要豎坑之垂直深度，達一千九百呎以上，又巴西之摩洛·味洛（Morro Velho）金山，地下約二千呎之深處，尙採掘豐富之鑛石，卽其例也。

同一鑛脈中，含金之品位，有因地位而大相懸絕者。尤其寬達數十呎之大鑛脈，無論何處均品位佳良可供採掘者蓋寡。富鑛部之存在，多在兩側中某一側近於母岩之處。凡屬鑛脈，富鑛部之存

在狀態，莫不各有一種之癖，知此癖後，富鑛帶之發見採掘，較爲容易。金山所發見之富鑛帶，往往一處即產出數十萬數百萬圓之富鑛。

美國汲瓦達州有名於世之岡斯脫克鑛山，鑛脈中曾發見沿鑛脈水平二〇〇呎，深一五〇呎，厚數十呎之富鑛部。鑛石之價值，據稱一噸含金達四千元以上。採掘歷時十數年，僅此一富鑛帶，即產出一億元以上之金銀，今猶膾炙人口焉。無論何金山，平素皆採掘收支僅足相償之金鑛，一旦遭遇富鑛帶，一舉即可立致巨富，此金山所以於長年月之間，時盛時衰也。

(五) 金鑛之製鍊

由金鑛石抽出金之方法，太古時代，埃及已頗精巧。然古代之人，未有化學的知識，金鑛之處理，僅用機械的方法，即鑛石在石臼內粉碎後，以略與前述砂金採集相同之方法，以水洗滌淘汰之，而採收其中之金粒，是也。

然此種方法，僅能抽出肉眼所能識別之鉅大金粒，在顯微鏡下且不能識別之微細狀態之金，鑛石中亦含有之，固非古代之人所能夢想也。合金僅百萬分之若干或其以下之鑛石，亦能準確分

析，尙屬近代之事。此分析法謂之試金術 (assaying)，極進步之化學的方法也。此法先粉碎金礦，調合以氧化鉛及還元劑，於坩堝 (crucible) 內熔融之，則礦石中所含之金銀，盡爲此時成生之鉛所吸收。此含金銀鉛，應用灰吹法 (cupellation) 氧化熔解製鍊之原理，除去其鉛，最後即得金銀之小粒。

應用此種試金術，今日多數之岩石，含金雖在千萬分之一以下，亦已確知其含金。又海水中含有一億分之一以下之金，五十年前，亦已知之。換言之，經濟的問題，苟置度外，則上述之試金術，大規模的應用之，岩石海水，均可製鍊爲黃金也。

金鑛製鍊之技術，自古以來，爲鍊金家所研究，近代化學之基礎，爲所築成，前已述之。彼等致力於變汞爲金，爲現代金鑛製鍊之先驅。混汞製鍊法 (amalgamation process) 之所由發明，再進而爲今日含金僅百萬分之二三之鑛石，亦可供製鍊之。氰化製鍊法 (cyanide process) 之所由出現。

現代之金鑛製鍊，混汞製鍊與氰化製鍊二法，爲重要之方法。混汞製鍊，其起源雖不明，十六世

紀，金銀鑛之製鍊已用之氰化製鍊，始於一八八六年馬克·阿薩(J. S. Mac Arthur)福勒特(K. W. Wm. Forrets)二氏工業的應用以稀薄氰化鉀液溶解金或銀之方法，此法實近代金鑛業之大革命，為十九世紀諸發明中屈指之發明。此法發明後，世界之產金額，急激增加，以前以為無製鍊價值棄而不顧之貧鑛(poor ore)，一變而可行經濟的處理。此外氯化法、臭化法等方法，以前亦屢行之。以上諸方法，溴稱之為溼式製鍊法。

又合金銀之銅鑛、鉛鑛，以行熔鑛製鍊；砂石質之金銀鑛石，銅鑛製鍊之際，以作熔解劑，均可抽出多量之金，是為乾式製鍊法。以下就各方法順次說

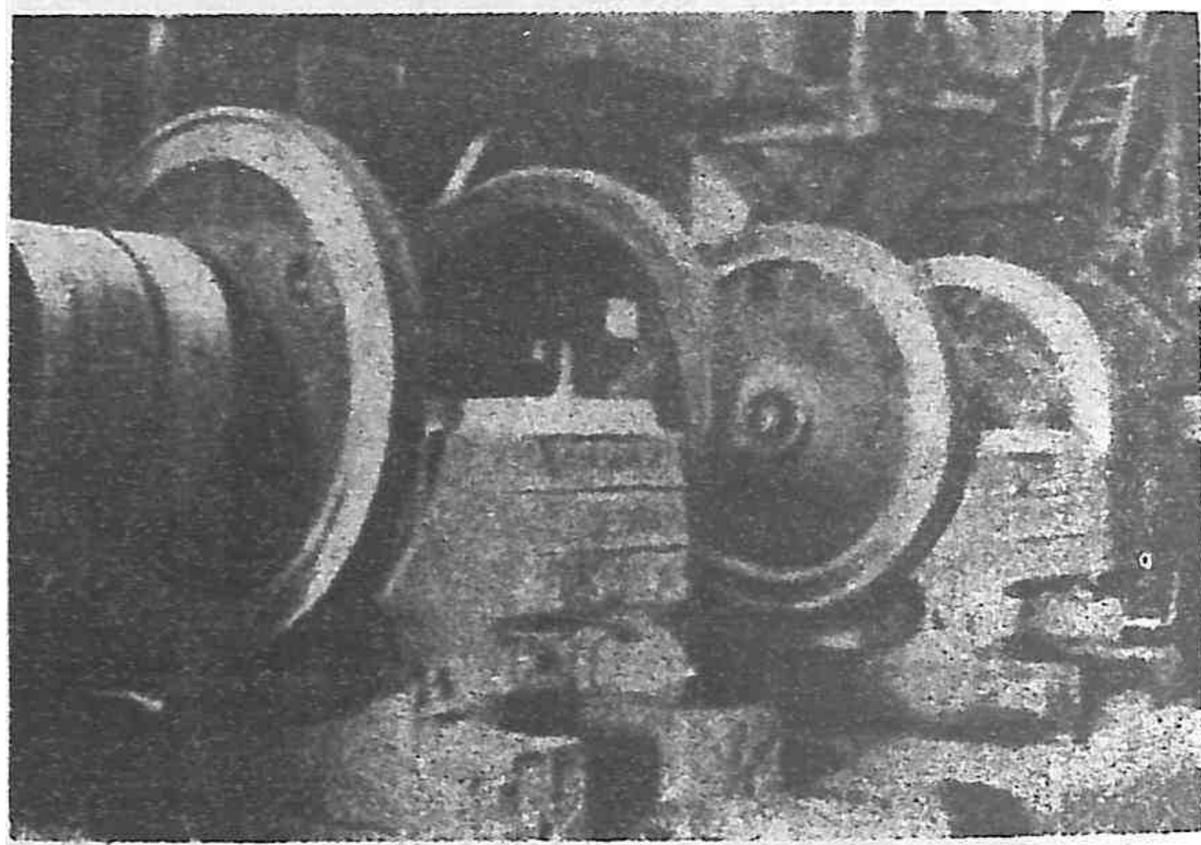


圖 53 布勒基式鑛機 (Blake rock breaker)

(此機運轉時，鑛石宛如以頭擊碎之者然。)

明之。

混汞製鍊法 普通之金山，混汞製鍊與氰化製鍊連續行之。先以混汞法採收粗粒之金，所餘

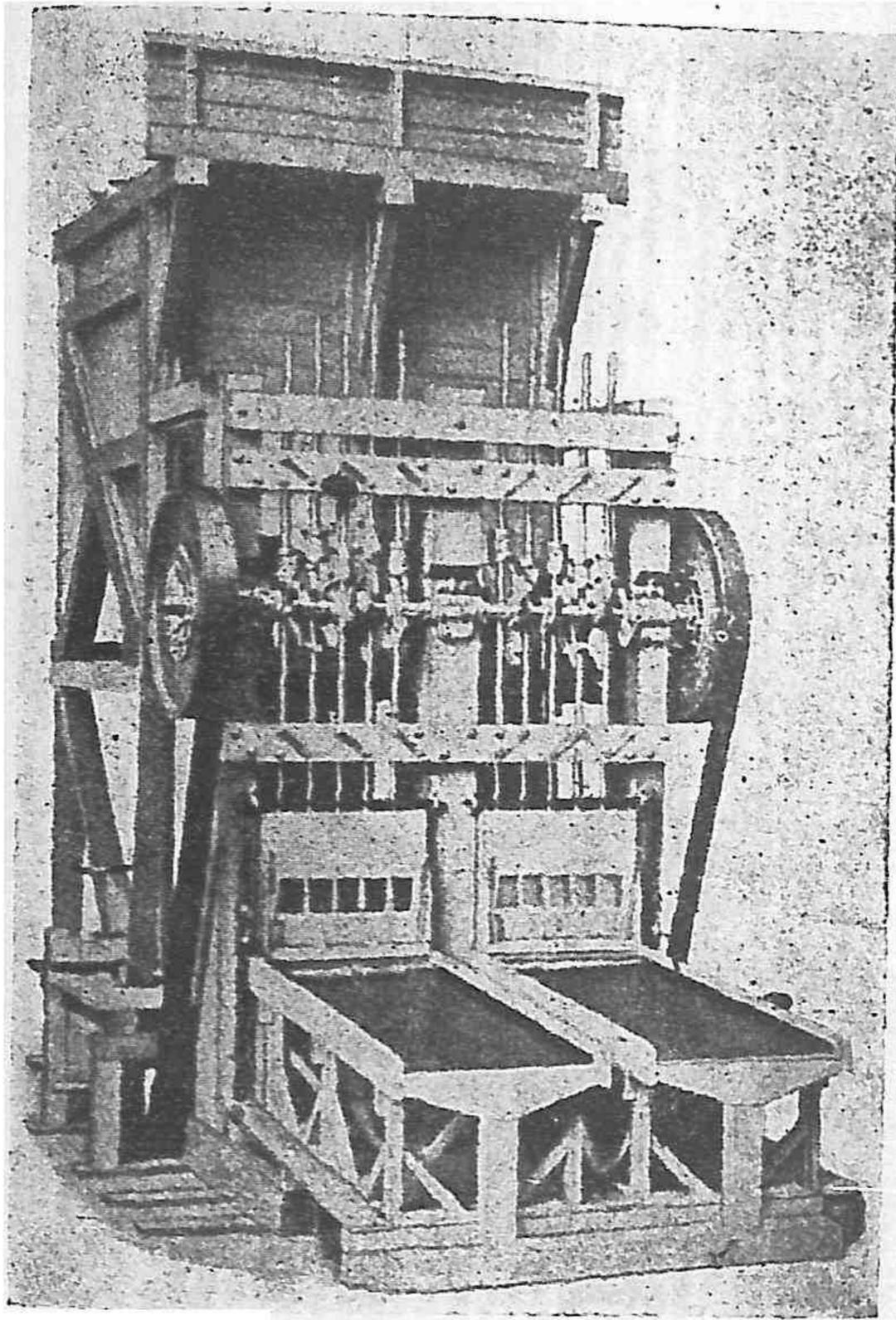


圖 54 搗 鑛 機

金鑛石由後方裝入臼中，以五鐵杵交互落下粉碎之。臼之前方張有網，鑛石粉碎後，通過網眼，流至外部之傾斜板上。其中之金粒，附着於板上所鋪之混汞銅板上而採收之。

細微之金，以氰化法完全抽出之。茲將金山一般所行溼式製鍊之順序，述之於次。

坑內方始採出之金鑛石，常混有母岩及無製鍊價值之貧鑛石。此種粗鑛，先以錘粗碎之，或以齧鑛機破碎之，行手選法，岩石及貧鑛，以肉眼選除之。惟大規模之鑛山及工資不廉之地方，不行手選者亦多。所得大約三厘之鑛石，置之擣鑛機（stamp）鐵臼之內，加水粉碎之，則鑛石中所含之金粒，或出現於外，或與鑛石相分離。擣鑛機如圖五四所示，恰如舊式之擣米水車。運轉時，因水平軸之迴轉，固着於水平軸上之傳動子（gear），反覆將杵提高，使之落下。

普通鑛山所用之杵，一條之重，在八〇〇磅（三五〇斤）與一、〇〇〇磅之間。南阿非利加金山，有用一、五〇〇磅（七〇〇斤）以上之重杵者。杵每一分鐘之上下回數，為五十至一百回。視金鑛之品位、硬度及所行混汞之程度，杵落下之高低及回數，可斟酌加減之。

臼之前面，張有金屬網。網眼，每一吋三十至五十。粉碎至此以下之砂泥，與水一同流出臼外。杵運動時，鑛石不斷的自動的由後方進入臼內。又為使行混汞作用，每一點鐘，以少量之汞，與鑛石一同加入，則汞與泥水中之金粒相接觸，結合而成混汞金，附着於臼內壁面所張之混汞銅板上。其不

附着而隨泥砂通過白前金屬網逃出白外之金粒及混汞金粒，則隨泥砂流至白外之混汞銅板上。爲所吸着而採集之。外部所張之混汞銅板，設計時須稍稍傾斜之，且須使能作左右運動，以增加隨泥水流下之混汞金與之接觸爲所吸着之機會，俾採集能率，得以良好。

附着於白內外混汞銅板上之混汞金，以樹膠刷子 (Sua brush) 扒集之，放入水槽內，再加汞與水一同扒攪之，則混汞金即溶於汞內，集於槽底，成爲一塊。取出以布強絞之，除去過剩之汞，即得稍硬，帶銀色，含金銀三〇%至四〇%之混汞金。

由混汞金抽出金之法，裝混汞金於蒸餾器 (retort) 內密封之，置入爐內，由外部徐徐加熱，則汞被蒸發，由蒸溜器通過鐵管而入水槽之中，冷卻凝縮，復成爲汞。蒸餾器中所餘海綿狀灰黑色金銀之塊，於坩堝中熔融之，即得金銀塊。

上述之混汞法，高價之汞，與泥砂相混，使用須力加注意，防其遺失，普通處理一公墩之鑽石三十至十克之汞，不免消耗。

擠鑲機之外，又有用漢廷頓磨鑲機 (Huntington mill)、鋼球磨鑲機 (Ball mill) 等粉碎機

以行混汞法者，然不如擣鑛機之普遍。
 漢廷頓磨鑛機，黏土質之柔軟石英鑛
 石，用之最為相宜。此時白內亦加入汞，
 由白流出之砂泥，流至白外混汞銅板
 上，其中之混汞金，為混汞銅板所吸着，
 與上述擣鑛機之混汞法相同。

混汞法，歷來各處金銀鑛山多用
 之。鑛石中之金為自然金，其粒大，又未
 含有有害物硫化鑛物時，用之可得佳
 良之成績。然金粒之細微者，鑛石縱粉
 碎成細粉，金粒亦不易與汞相接觸。又
 金鑛中若含有多量之硫化鑛物，則汞

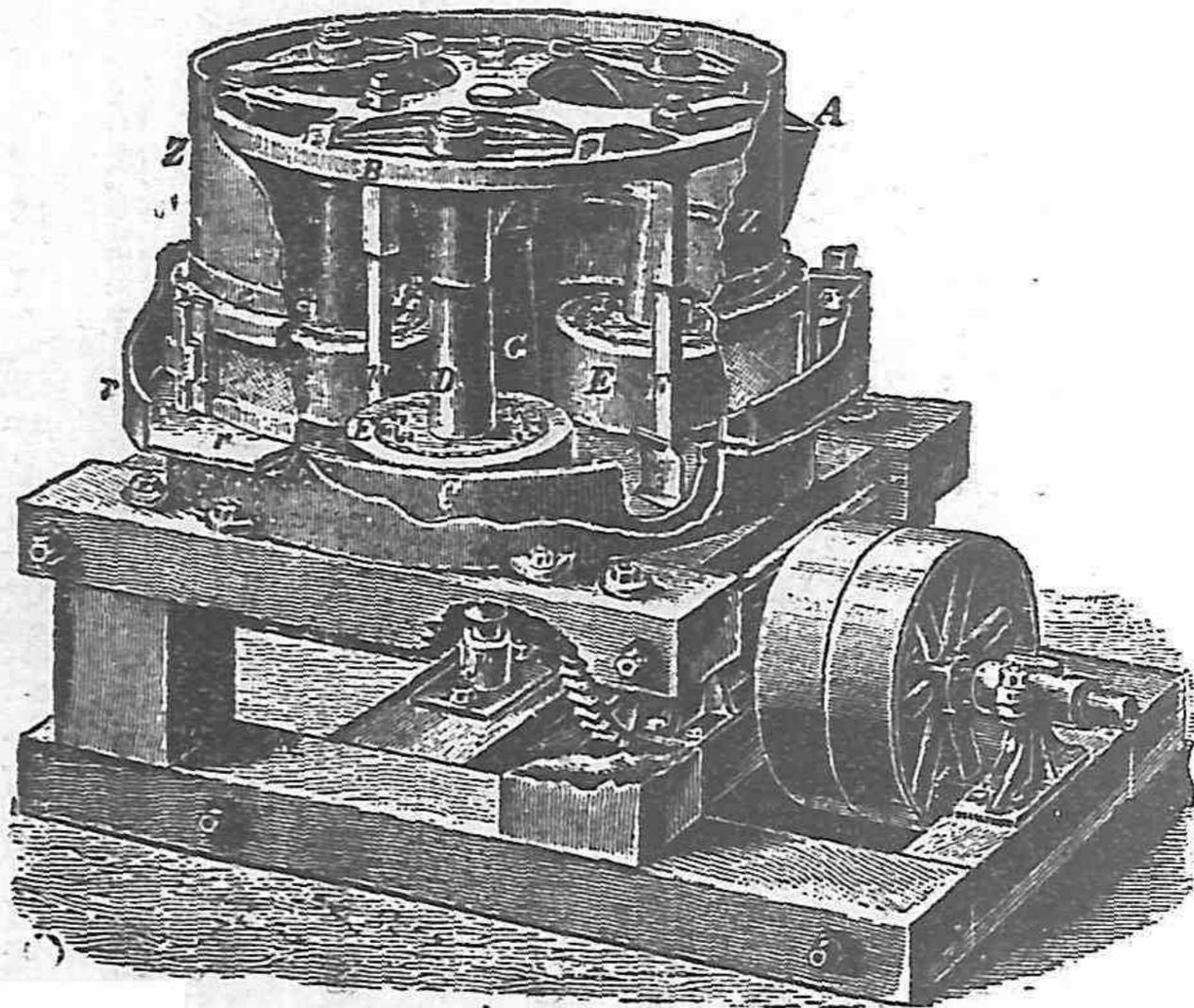


圖 55 漢廷頓磨鑛機

鑛石由 A 進入，在迴轉之轆子 E 及外輪 C 間粉
 碎後，由周圍之窗網流出。

性質變惡，不獨採收率不能增高，汞之損失亦多，收支難以相償。又金鑛中之銀，普通為硫化銀，即輝銀鑛，此銀若不講求特殊之方法，殆非混汞法所能採收。故無論何金山，混汞法之鑛尾 (tailings)，即由鑛場流出之砂泥，必再以氰化法處理之，今日混汞法不過以採收粗粒之金耳。

尤其近年因工資騰貴之故，大規模之製鍊所，皆廢除多需工人之混汞法，鑛石自最初起，即行氰化製鍊法，鑛機不過以供粉碎鑛石之用耳。

氰化製鍊法 由混汞場流出之砂泥，尚含有多量細微之金，已如前述。此砂泥以氰化鉀或氰化曹達之稀薄溶液浸之，則其中之金銀，即變為氰化物，溶解成水溶液。濾過後金液內加入金屬鋅或鋁，則金銀即分離而沈澱於金屬鋅或鋁之上，可由金屬鋅或鋁上採收之。此法謂之氰化法，此發明於金鑛製鍊上，予以非常之效果，補足混汞法不完全之採集率，泥砂中之金，達於完全採收之域，誠極經濟的方法也，採用此法時，所應注意者，即氰化鉀有溶解金銀之力，同時鑛石中之不純物硫化鑛物以及其他種種之物質，亦易為所作用。故鑛石中若含有多量之硫化鑛、硫酸化合物及草根、樹皮等有機物，則氰化鉀之消耗增多，液之能力減少，金之採收成績，將陷入不良。除去此種有害物

之法，對於多含硫化鐵之鑛石，可於擣鑛場與氰化場之間，設置淘汰盤，以淘汰法除去砂中質重之硫化物，然後以清淨之石英質砂泥行氰化法，最爲得策。

以淘汰機械採集之硫化鐵，多含金品位頗高。其甚者例如朝鮮雲山之金鑛，金之全部，幾全含於此硫化鐵中，此時硫化物或送往乾式製鍊所，或用特殊之氰化法，採集其中之金，砂泥可捨棄之。金山所謂合金硫化淘汰物，即此種被淘汰之硫化物也。

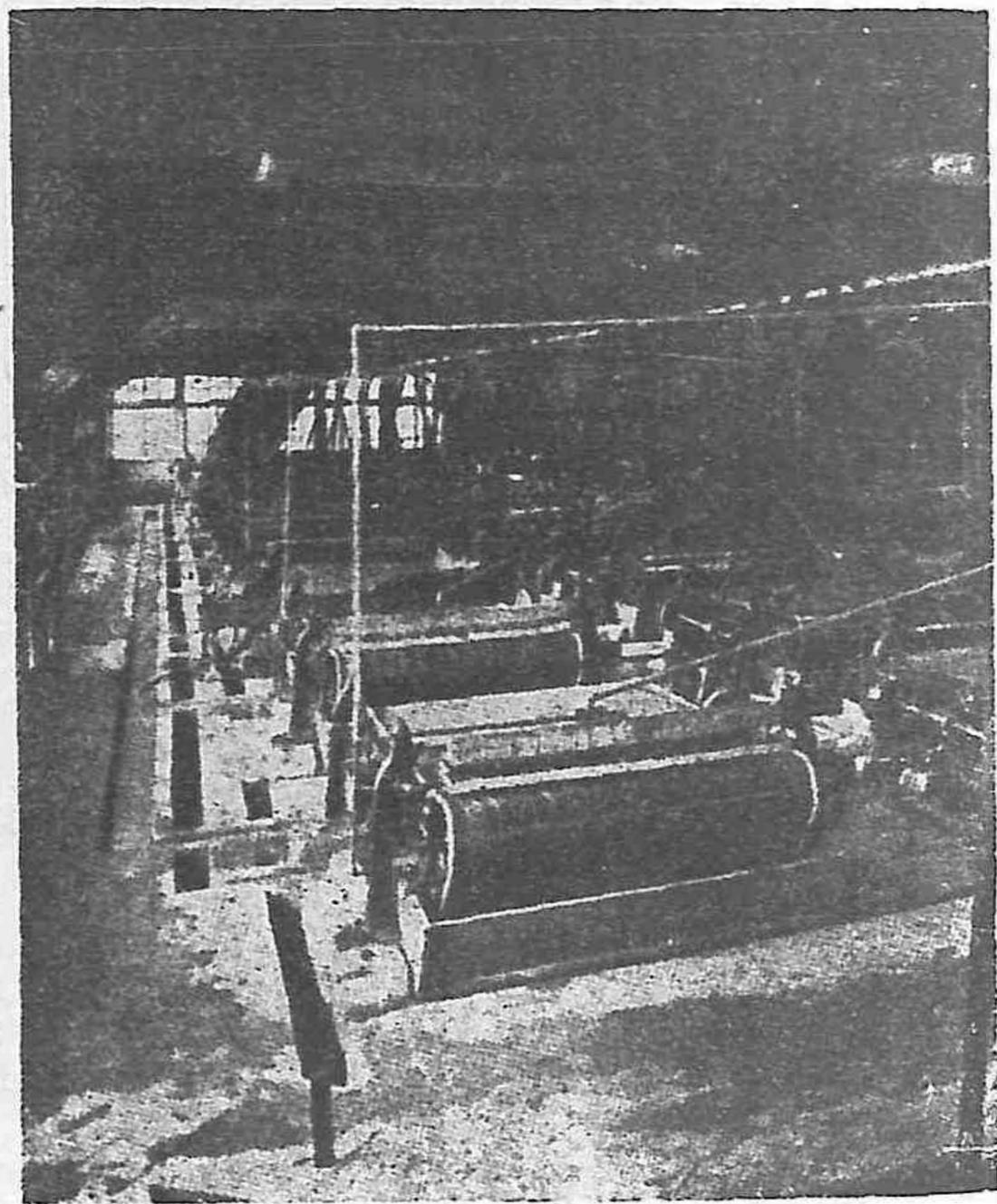


圖 56 夫琉式淘汰盤
徐徐迴轉之帶狀盤上，給予砂鑛，質重之硫化物，由上端分離，砂泥由下端分離。

上述除去硫化鐵之合金砂泥，或使與水一同一度流入沈澱槽內，或使通過分粒機及尖箱等裝置，就其粒之大小，分離之爲砂 (sand) 與泥 (slime) 前者以砂鑛氰化製鍊法，後者以泥鑛氰化法，分別製鍊之。

砂鑛氰化製鍊法 (cyaniding of sand) 普通用可容砂 100 ~ 500 公釐之溶解槽例如深 2 ~ 3 呎直徑 7 ~ 10 呎之槽，金之溶解，於此中之。此槽謂之氰化槽。砂鑛經上述之處理後，業已洗滌清淨，但尚含有少量極有害之硫酸，故裝入氰化槽時，混以少量之石灰粉末，使與酸相中和。砂鑛裝入既畢，徐徐送含氰化鉀 0.1 ~ 0.25% 之氰化液入於槽中，暫時放置之後，由槽底濾出金之溶液，再送入氰化液，再由槽底濾出之，如此反覆行之，普通四五日後，砂中之金，可一概充分溶解。最後，砂鑛中殘餘之液，以水洗出採收之，廢砂開槽底或槽側面之口流出放棄之。金液之處理方法，後再說明，茲就上述之泥鑛，加以說述。

在上述分粒機或砂鑛沈澱池內不能採集，與水一同流下之泥鑛，流入尖箱或泥鑛濃密器內，與水之大部分相分離（參觀圖五七。）

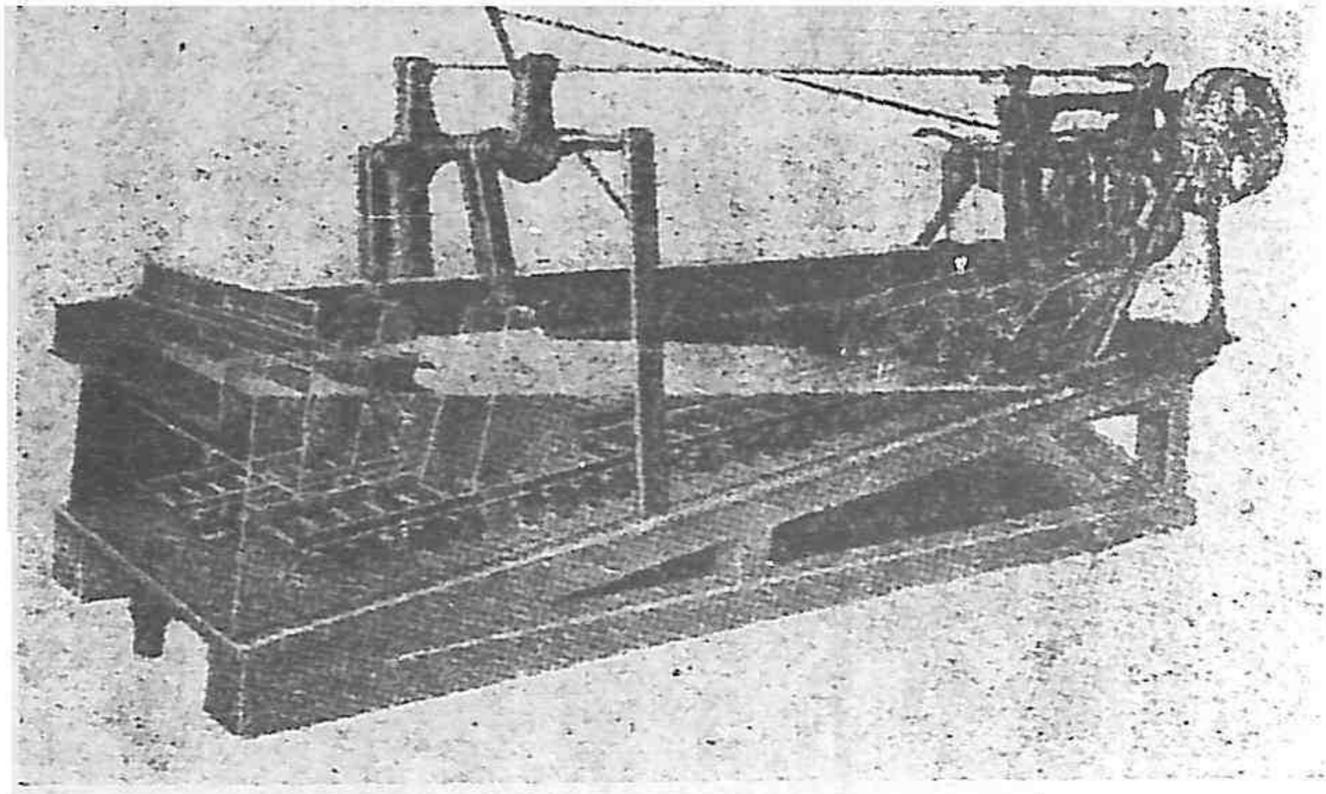


圖 57 多爾式分粒機 (Dorr classifier)

圖為取去一方之側壁以示內部之想像圖。砂泥混合之流水，由左端送入，沈於底之粗粒，由底上多數齒之運動，送至上方，由右端排出，泥與水則由左端流出。

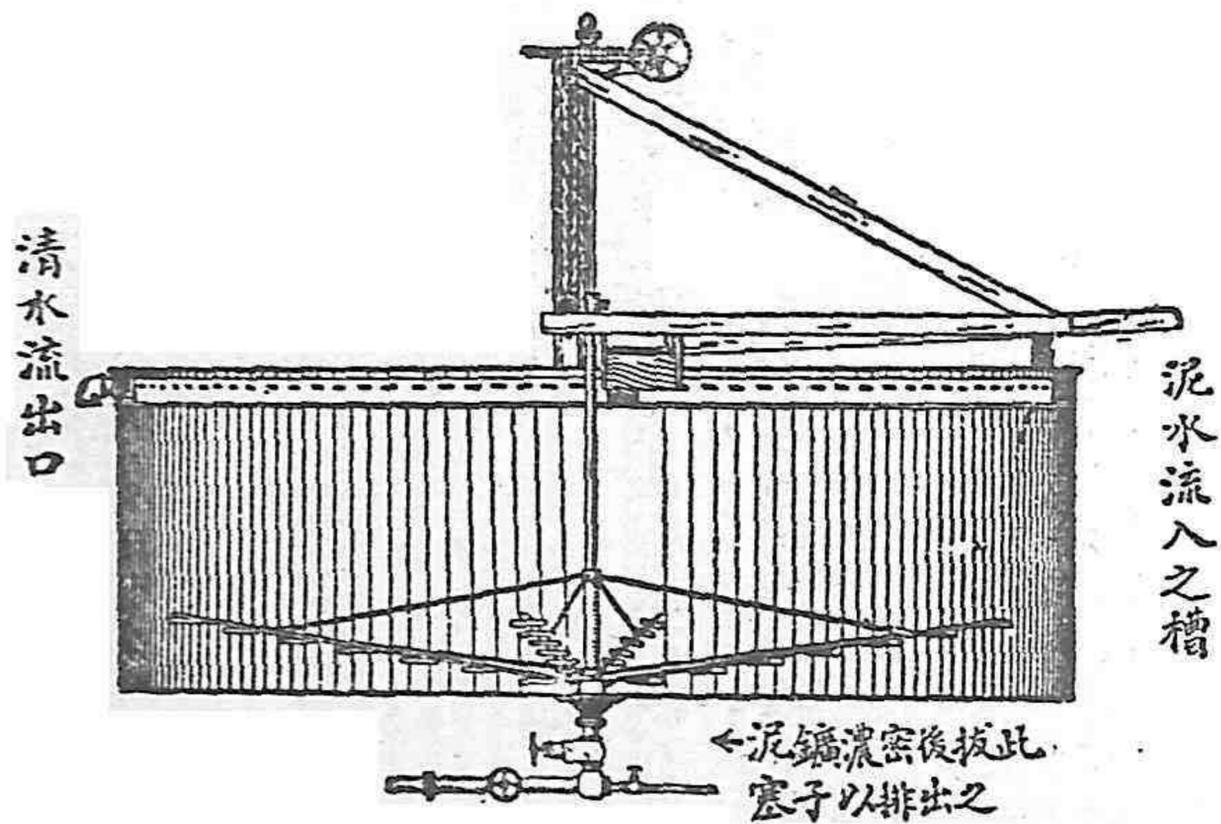


圖 58 多爾式泥鑛濃密槽 (Dorr thickener)

為直徑15呎之大槽，泥水之流入，清水之流出，繼續不息。

尖箱 (pointed box) 爲上部有巨大面積，下部成角錐形之水槽，泥水浸入其內，於廣大之容積中，徐徐而流，迨泥鑛濃密沈澱於下部之尖端，成清水後，方始流出。濃密之泥鑛，拔去塞子，由下端取出之。

泥鑛濃密槽 (thickener)，如圖五八所示，泥水流入鉅大之槽內後，以其下部如羽之裝置，徐徐使泥鑛濃密於槽底，清水由一方流出。

此濃密之泥鑛，其製鍊與砂鑛氰化法大異。

泥鑛氰化製鍊法 (cyaniding of slime) 與砂鑛分離之泥鑛，爲甚細微之砂石，混有多量黏土之微粉末，水之除去，甚爲不易，浸出濾過，殊感困難。然同時亦有利點，卽其中之金，在氰化液內，溶解甚爲迅速容易，可用與砂鑛全異其趣之氰化法，是也。

泥鑛之氰化製鍊，普通裝泥鑛於圓筒狀之攪拌槽內，加以多量極稀薄之氰化液後，或吹入空氣，或連轉攪拌機，充分攪拌之，則四五點鐘後，金殆全部成爲溶液。攪拌之際，使液含有充分之空氣，所以增進金之溶解力。故吹入壓縮空氣之攪拌方法，甚爲有效，一般採用之。攪拌槽圖五九所示之

巴楚加式空氣泥鑲攪拌槽 (Pachuca tank) 一般多用之。

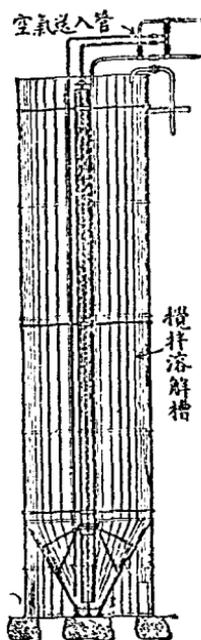


圖 59

巴楚加式泥鑲氫化槽

此槽為一般所用之泥鑲溶解槽，高 15 呎，直徑 3 呎，於中央垂直圓筒之下部，噴出壓縮空氣以攪拌泥鑲與氫化液之混合液。

金之溶解既畢，攪拌應即停止，普通此泥鑲送入濾過機 (filter) 內，分離之為金液與泥，廢泥經水洗後即放棄之，然若無濾過機之設備，則靜置泥液於沈定槽內，經過多時，俟泥沈定於槽底，再採取其上之金液亦可。

以上述砂鑲或泥鑲氫化法採取之金液，即含金氫化液，順次使流過內盛碎鋅之長箱中，則金在箱中，與鋅置換而析出，成灰黑色之金銀而沈澱。此箱謂之鋅箱，鋅削成細帶形用之，若未用以前，先以醋酸鉛之水溶液浸之，使其表面鍍鉛，則金之沈澱作用，更為有效。又不用碎鋅而用金屬鋅之粉末，則金更可迅速沈澱。又近來鉛粉末之使用，亦頗盛行。

以銻或鋁使金液中之金沈澱後，所餘之氰化液，可再反覆用之以溶解鑛石，惟普通處理鑛石一公墩，氰化鉀 200~500 克之消耗，在所不免。此氰化鉀之消費，在氰化法經費中，占主要之部分。然自全體觀之，化製鍊法可稱為最經濟的方法，含不純物不多之金鑛，雖品位甚劣，收支亦可相償，日本佐渡鑛山，混汞製鍊所餘之鑛尾，含金僅約百萬分之三，亦有利的以此法處理之。

總泥氰化製鍊法 (all sliming process) 以上已就混汞法與氰化法，續行之一般情形說明之。然近來之金山，為製鍊作業之單純化計，為經費之低廉計，混汞製鍊多完全廢除，鑛石以擣鑛機粗碎之後，以

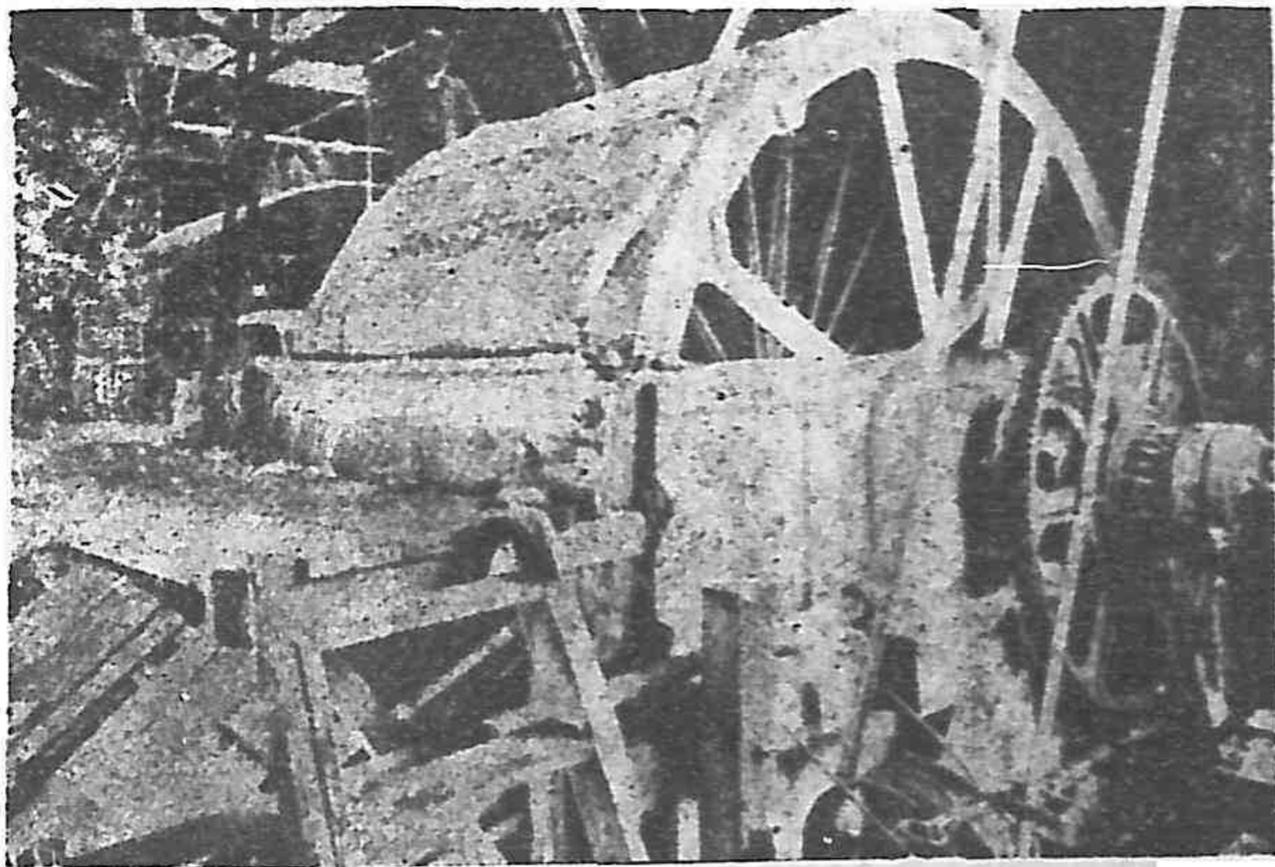


圖 60 泥鑛濾過機〔高里巴式(Oliver type)〕

鋼管磨鑛機或鋼球磨鑛機微細粉碎之，使其完全成爲泥鑛，一舉而行泥鑛氰化法，加以氰化液。僅行攪拌與濾過兩作業即畢事。此種方法，謂之總泥氰化法，大規模之金山多行之。

茲再就由金銀之沈澱物製金銀之方法述之。由金液沈澱之金銀沈澱物，爲黑灰色之泥狀，因混有多量之鋅，置入小槽內，加以硫酸，俟鋅充分溶解後，以水洗之。乾燥後，熔融之於坩堝中，即成金銀塊。

如上所述，混汞製鍊法與氰化製鍊法並用時，粗粒之金，以混汞法採收之，殘餘細微之金，普通其九〇%以上，可以氰化法採收之。故今日金

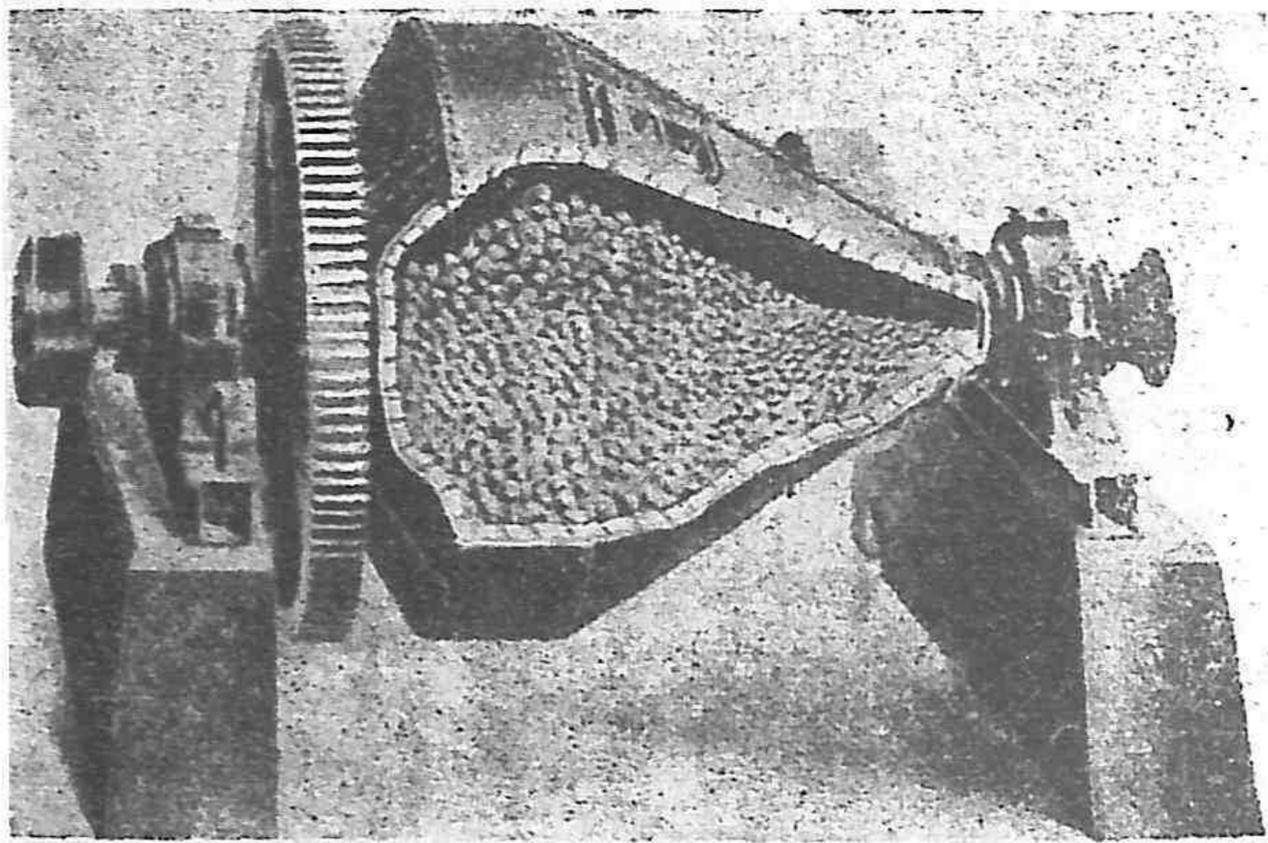


圖 61 鋼球磨鑛機

內部所裝者，爲鋼球或石英礫，迴轉機則與水一同流入之砂鑛，爲所粉碎，成爲泥鑛而流出。

鑛製鍊之總採收率，普通可達原鑛石中全含金量之九五% 焉。

至銀之採收率，金鑛中之銀，多為硫化物，上述之溼式製鍊，銀之採收率，不及金之高，普通鮮有達五〇%以上者，其詳俟述銀鑛製鍊時再述之。

其次氯化法、溴化法等溼式製鍊方法，自古以來，即已行之。然今日因氰化法之發達，此等方法，行之者甚鮮。

氯化法 氯化法適於高品位金鑛或含金硫化物淘汰物處理之用。其大要試一述之，先粉碎金鑛（如金鑛內硫化物多，則先焙燒之，使變為氧化物），稍潤以水，置入槽內密閉之。次由槽底徐徐送入氯氣而放置之，則一二晝夜後，金盡變為氯化金。氯化金易於溶解，浸之以水而濾過之，即得氯化金之

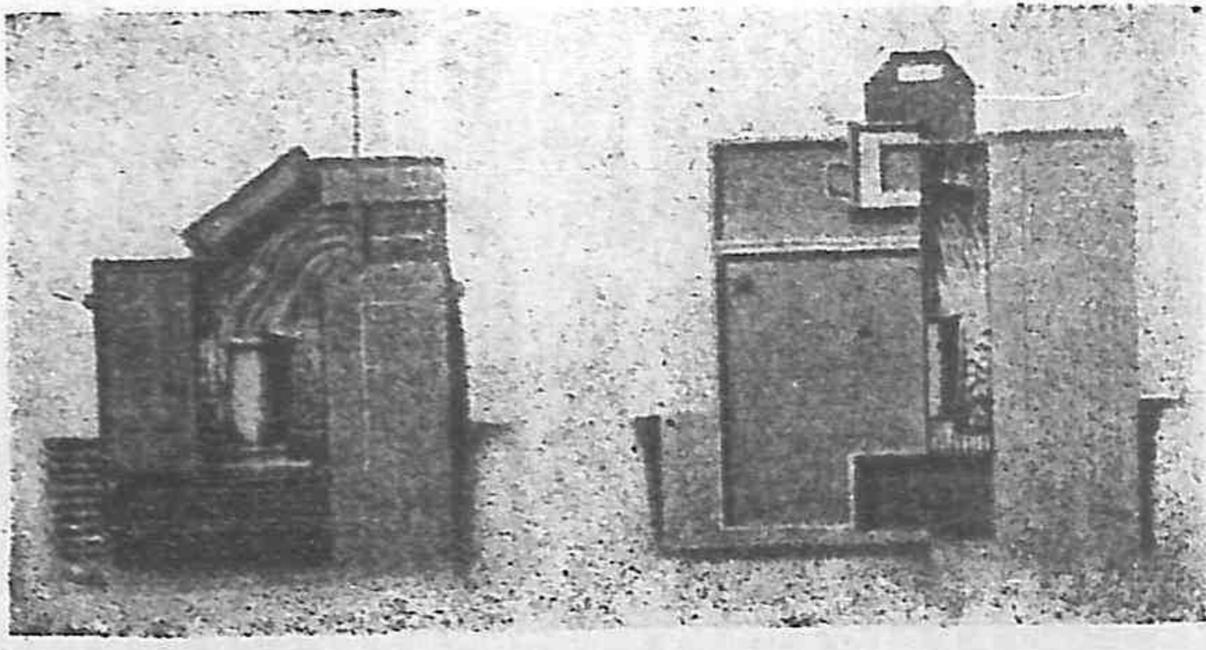


圖 62 金銀之沈澱物，裝入坩堝內，以此爐熔融之，使成金銀塊。

溶液。此金液內或加入硫酸第一鐵之溶液，使金沈澱；或通過硫化氫氣，或加入硫化曹達液，使氯化金變爲硫化金而沈澱；又或以通過木炭粉，使金沈澱於其上。由此所得之沈澱，以礪砂、硝石等與之調合而徐徐乾燥之，熔融之於黑鉛坩堝中，卽生金塊。

此法所用之氯氣，調合硫酸、過氧化錳及食鹽，使之發生而使用之。有時或混合漂白粉、水、硫酸，使成氯水，卽時送入鑛石槽中，使鑛石中之金，變爲氯化金。

氯化法頗費手續，需經費，若非品位良好之金鑛，採用此法，殊爲不利。故連搬便利之地方，含金硫化物，以賣給銅或鉛之乾式製鍊所，使行完全之採收較爲有利，自不待論。卽未能賣出，近時氰化法之適用於含金硫化物，頗爲進步，多可行經濟的處理，氯化法殆將絕跡矣。

溴化法 此法亦使溴化鈉、溴酸鈉及硫酸相作用，發生溴氣變爲溴化金，以水浸出之，與氯化法相似。然與氯化法較，所需經費尤多，現今已絕跡矣。

含金硫化物之處理，如上所述，用乾式製鍊法，最爲得策。日本除有特殊情形之地方外，不用溼式法。美國、澳大利亞、朝鮮等，偏僻賣鑛不易之地，含金硫化物之行氰化製鍊者，不少。

此法如上所述，硫化鑛物氧化分解，對於氰化液，甚為有害，氰化鉀之消耗極多，較諸石英鑛之氰化法，多至數倍。然較之氯化法，則有利之時尚多。又近年研究進步，含金硫化鑛行氰化法，金之採集率，亦甚進步，達 90%~95% 以上。此氰化法之作業順序，各鑛山甚不一致，然多粉碎硫化淘汰物，充分擦碎之，加以強度之氰化液，如前述之泥鑛法，充分攪拌之，使其中之金溶解；否則含金硫化物，以砂鑛之狀態，長置槽內，浸於強度之氰化液中而溶解之。後者溶解時間極長，有時鑛石之處，需時達二十日。又往往於行氰化法之先，焙燒硫化物，使硫黃分完全除去，次以石灰中和其中有害之硫酸，最後以氰化液溶解之，亦得良好之成績。

金之乾式製鍊，其詳，後節銅鑛或鉛鑛製鍊之項再詳述之，茲先略述其大略。金、銀、鉑等貴金屬，與銅或鉛一同熔融時，有完全為銅或鉛之熔體所吸收之特性。利用此特性，雖含金極微之鑛石，亦可由乾式製鍊以抽取之。

為銅或鉛所吸收之金銀，可以電氣精銅法、電氣精鉛法及其他之方法，由銅或鉛中分離之。

日本之銅山，銅鑛石中多含有過剩之硫化鐵，故熔鑛製鍊時，多須加入相當量之矽石質鑛石，

以作熔解劑，砂石質之金鑛，此時正可作此種熔解劑之用。該國北海道、東北地方之金鑛，送往小坂銅山；中部之金鑛，送往日立銅山；九州、臺灣、瀨戶內海地方之金鑛，送往佐賀關或四坂島製鍊所；朝鮮、南浦等之製鍊所，亦收受其附近之金銀鑛，以供銅鑛製鍊之用。故今日該國全無製鍊所設備之金山甚多。例如伊豆、但馬各金山，岩代之高玉鑛山，北海道之雄武威、洞爺、靜狩等金山，是也。又乾式製鍊，金之採收率，殆近一〇〇%，雖需運費及其他費用，較之在本山行溼式製鍊，反多有利。故日本金山之經營方針，一般除低品位之石英鑛石，因運費關係，賣鑛收支不相償，於本山以溼式製鍊法製鍊之外，上鑛多賣給他山。日本產金額之大半，均乾式製鍊所產出也。

(六) 金銀之分離

除由上述之混汞、氰化等法製出之金銀塊外，粗銅電氣精製工場，又由含金銀之粗銅內，抽出金銀塊，鉛製鍊所又由含金銀之鉛中，抽出金銀塊。此等銅及鉛製鍊所產出之金銀塊，普通為經過灰吹法之作業而產出者。灰吹法後節再為說明，茲先就分離此等金銀塊為金與銀之方法說明之。

主要之金銀分離方法，一為金銀塊以硝酸處理之，使銀溶解而金殘存之硝酸法，二為以硫酸

使銀溶解之硫酸法，三為熔融金銀塊於坩堝中，吹入氯氣，使銀及其他之不純物變為氯化物之氯氣法，四為金銀之電氣分解。

硫酸法及硝酸法 使用硝酸或硫酸之溼式溶解法，若金銀塊中金之含有量多，則酸溶解銀之作用不充分，銀之一部分，將殘存於金之內。故用此二法時，金、銀之含有率，須有一限制。即在硝酸法，銀之含有量，須約為金之 $1.75 \sim 2.5$ 倍；在硫酸法，銀之含有量，須約為金之 $2.5 \sim 3$ 倍，方為適當。金銀塊以比重 1.82 之強硫酸，於鑄鐵鍋中煮之，使銀溶解為硫酸銀，最後餘存者即金。硫酸銀之液，普通使通過盛有銅片之桶中，使銀沈澱於銅上而採收之。圖六三所示，即上述方法之順序。又不用銅，以第一硫酸鐵之溶液，加入硫酸銀液中，使銀沈澱之法，亦行之。

氯氣法 又稱為密拉氏法 (Miller's process)，適於銀含有量不多之金銀塊。澳大利亞方面含銀不多之金銀塊，例如合金 $900 \sim 990$ ，

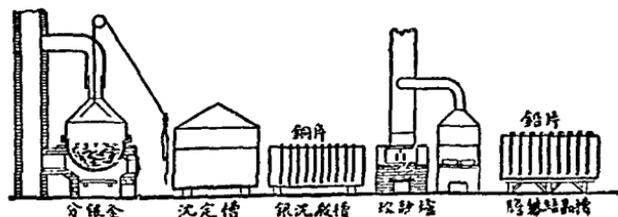


圖 63 硝酸法之金銀分離

含銀 100、110 之金銀塊，彼地方之造幣局，即行此法。此法先熔融金銀塊於坩堝中，插入耐火黏土管達坩堝之底，由黏土管吹氧氣入熔體中，則銀及其他卑金屬之不純物，即成氯化物，或揮發飛散，或浮於表面，可得品質達千分之九九七之金。至所生之氯化銀，則加曹達或硼砂，於坩堝內熔融還元之。

電解法 今日採用最廣，美國、日本其他之造幣局，日本日立、日光、小坂、大坂等製鍊所之電氣精銅所，均行此法。此法先行銀之精製法麥比亞斯法 (Moebius process)，得精製銀後，再行金之精製。此法適用於合金不多之金銀塊，普通含銀千分之九百以上，含金 0.1、5%，卑金屬不純物在一〇%以下之金銀塊，用此法最為便利。

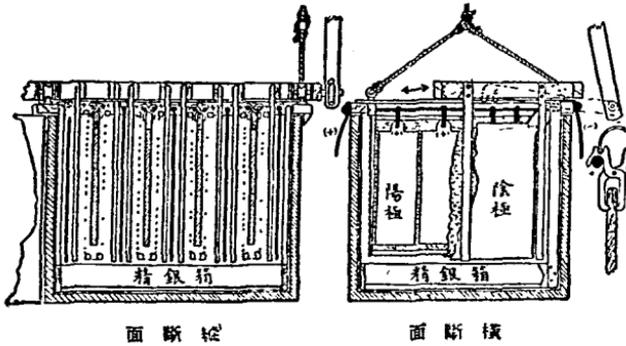


圖 64 麥比亞斯電解槽

此法先鑄金銀塊爲長十四厘，寬二十厘，厚一・二厘之陽極板，於生瓷之電解槽中，深加注意電解之。電解液用含銀 0.5~1.0%，含硝酸 0.1~1.0% 之溶液，陰極板用純銀板，電壓約 1・五弗 (vol.)，電流密度每平方粉 2~4 安 (ampere)。電解槽如圖六四所示，陰陽極數枚相互配列。電解中陰極面所生銀之沈澱，成美麗針狀之結晶形，有伸長達陽極之虞。故兩極間，有木製之棒，運動其間，使伸長之沈澱，爲所扒落，於槽底採收之。至陽極所含之金，則不溶解，成泥狀仍殘留於陽極面上。故陽極豫以帆布囊（虛線所示）包之，而後行電解，電解後與囊一同取出，採收其上泥狀沈澱之金。電解之銀，品位在九九九以上。金之泥狀沈澱物中，尙多少混有銀，以硝酸溶去其大部分，而後熔解之，即得粗金。粗金內尙含有不純物，尙須電解精製之，故再鑄之爲板狀之陽極。

金之電氣分解精製法，一般所行者，爲窩爾威爾法 (Wohlwill process)。電解液用氯化金液，液中含金約 3.5~5%，含游離鹽酸約 3~5%，陰極板用純金板。溫度爲攝氏六十度，電流密度每平方粉 10~15 安。此法若陽極粗金中，銀之含有量稍多，則陽極金之溶解作用，爲其表面所生之氯化銀所妨害，不能達於完全之域。此時可送直流電氣以行電解，同時通交流於兩極間，即交直兩流。

同時並用，以電流之脈動作用，使陽極上氯化銀之沈澱物容易剝離，金之溶解作用，不受妨害。金沈澱之陰極，取出以水充分洗滌，於黑鉛坩堝中熔融之，即得純度達九九九·五之純金。此電解法粗金中之鉑、鈳、鈹等，亦可一分離而收回之。

又金銀等貴金屬之品位，如上以千分之一為單位表示之，前已述之矣。

第二節 銀 (Silver)

(一) 總說

銀之為人類所知，稍次於金，古代埃及，曾用以作種種之裝飾品。最初因其量少，較金尤重視之。及第一世紀，亞力山大里亞市設造幣局以鑄金銀貨幣，當時銀鑛業已頗發達，可以想像也。

銀之主要用途，為以供鑄造貨幣及製造裝飾品之用。工業上除用於照像業外，其他之用途甚少。益以晚近銅鉛鑛山發達，銀以其副產物，年年多量產出，產額有過剩之傾向，銀鑛業者苦之。美國於此，曾講求多鑄銀幣，制定收買法規等對策，以為挽救銀價之計。最近美國、墨西哥銀之產額，約達

世界總產額之六五%。然銀之價格，今猶大體爲倫敦有力之市場所左右。大戰後各國多改鑄銀幣，低其品質，以爲節約之計，銀之將來，能否如他種金屬之發展，殊未易斷定也。

最近世界之銀產額如下：

表三 世界銀產額

國名	一九二九年	國名	一九二九年
墨西哥	一〇八、七〇〇、〇〇〇	歐洲	一一、一〇〇、〇〇〇
美國	六九、九三八、〇〇〇	英屬印度(緬甸在內)	七、五〇〇、〇〇〇
南亞美利加	二九、五〇〇、〇〇〇	日本(朝鮮、臺灣在內)	四、五〇〇、〇〇〇
加拿大	二三、一八〇、〇〇〇	其他	五、八八〇、〇〇〇
澳大利亞(新西蘭在內)	一一、三〇〇、〇〇〇	共計	二六二、五九八、〇〇〇

銀之鑛石 銀多成輝銀鑛，即硫化銀，含於其主要鑛石中。又自然銀、脆銀鑛、濃紅銀鑛等，有時亦產出之。

其種類及成分舉之如下：

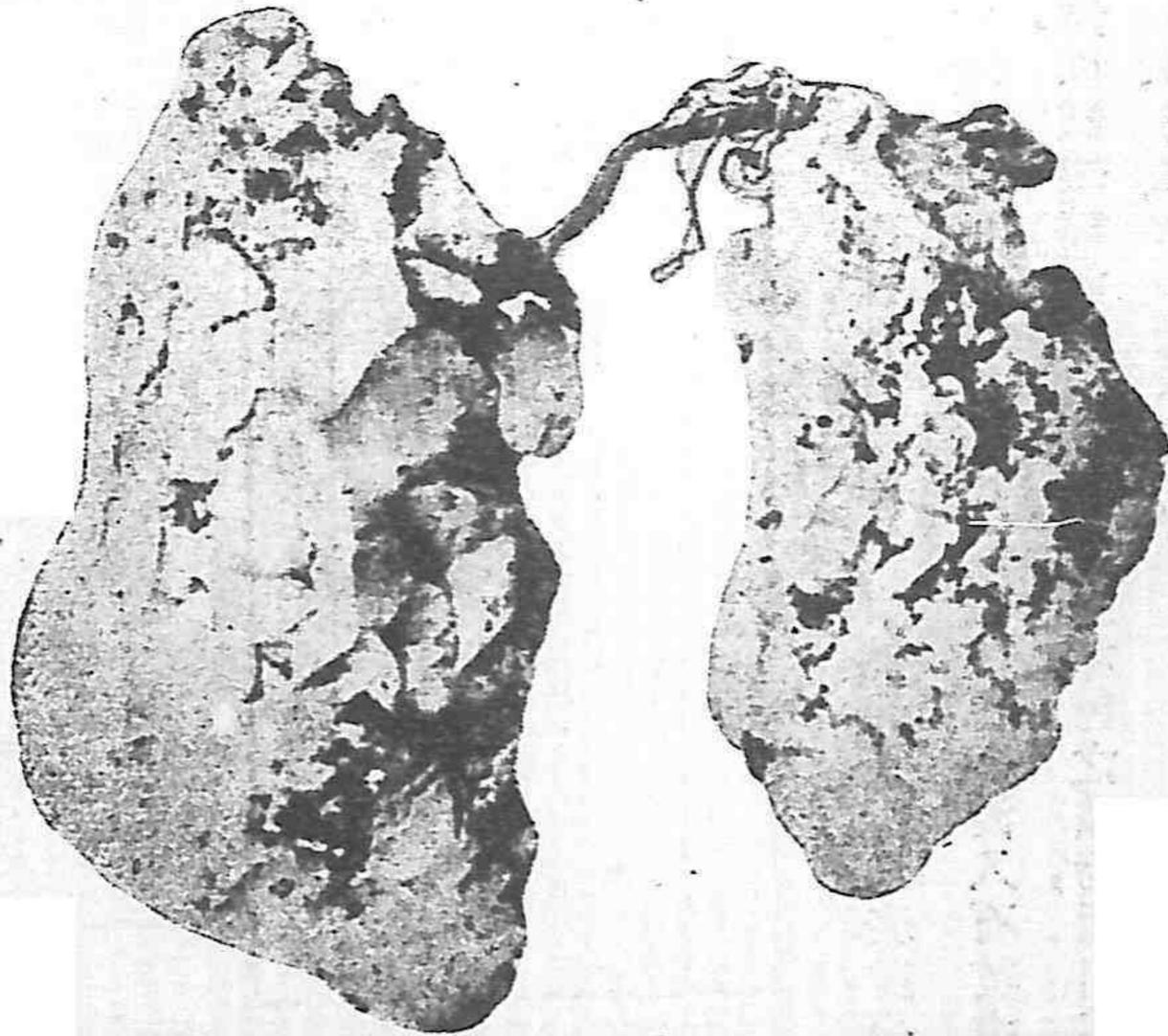
表四

礦物名	成分	銀之含有量
自然銀 (silver)	Ag	90~100%
輝銀礦 (argente)	Ag ₂ S	87%
脆銀礦 (stobianite)	3Ag ₂ S·7PbS	68%
濃紅銀礦 (pyrarctrite)	3Ag ₂ S·Si ₂ S ₃	60%
角銀礦 (cerargyrine)	AgCl	75%

此等礦物，多含於方鉛礦、閃鋅礦、黃鐵礦、黃銅礦等硫化物之中。惟自然銀於近地表處，少量產出，間有成美麗之鉅大結晶者。又輝銀礦為柔軟之鉛色礦物，表面生銹，呈黑色，多浸入石英中，使着黑色。金之鑛石中，其現黑筋者，大抵非硫化鐵，即輝銀礦。濃紅銀礦為美麗赤色之鑛物，產出甚稀。銀之鑛床，成鑛脈者最多，其他鑛染鑛床、交代鑛床等亦有之。

世界有名之銀鑛床，多胚胎於古代之水成岩中，發見於新火山岩以及水成岩中者較少。

世界第一之產銀國爲墨西哥，其古生期中生期之石灰岩中，埋藏有含銀鉛鑛之交代鑛床，此外含銀之銅鑛脈，普通之石英銀鑛脈，亦有之，均豐富之鑛床也。美國落磯山西部地方，多產銀，爲斑岩噴入古生層之石灰岩中成生之交代鑛床；又泥瓦達州之岡斯脫克鑛山 (Constock mine) 閃綠岩及輝綠岩之間，有鉅大之銀鑛脈，寬 7~20 呎，有時達百呎，銀成自然銀、輝銀鑛、硫銻銀



一五四

鑛、脆銀鑛、濃紅銀鑛等，與硫化金屬鑛物相伴產出，有名之石英鑛脈銀山也。澳大利亞新南威爾斯之布洛聖山 (Broken hill) 鑛床為交代鑛床，銀、鉛、鋅產出之多，冠絕世界，南美玻利非亞波多西之阿安察加鑛山 (Huanchaca mine) 位於海面四千呎以上之高地，亦世界有名之銀山也。

銀因由種種鑛床內產出，故其採掘之方法，隨地而不同，茲於金、銅、鉛等節內，分別說明之。又鑛石之品位，亦甚不一致，就實地之例言之，普通所採掘者，含銀鉛鑛，含銀 0.03 ~ 0.15%；含銀銅鑛，含銀 0.01 ~ 0.015%；未含其他有價金屬之石英鑛石，含銀 0.1%。又此等含銀硫化鑛石之選鑛方法，亦於金、銅、鉛等節說明之。

(二) 銀之製鍊法

銀之製鍊法，與金鑛相較，其方式甚多，且甚複雜。蓋銀如上所述，或成石英鑛石，或含於鉛鑛、鋅鑛、銅鑛等硫化鑛物內，由種種複雜之狀態而產出，其製鍊法之互不一致，誠不得已也。

銀之製鍊法，大別之為乾式製鍊與溼式製鍊二種。乾式法於鉛或銅熔鑛製鍊之際，使銀為其所吸收，然後由鉛或銅內抽出之。此法前節金鑛製鍊之項已稍述及，以後銅及鉛製鍊之項，再詳述

之。

溼式製鍊法，適用於石英鑛石，可分爲混汞法及溶解法。以下就溼式製鍊之大概述之。

混汞製鍊法 此法與金鑛之混汞法相同，用汞使銀變爲混汞銀，然後由混汞銀內抽出之。此法鑛石內若含有有害之硫化物、砷、銻，則不適於用。然銀不似金之多以自然金屬狀態產出，鑛石縱爲純良之石英質，銀之大部分，亦成輝銀鑛即硫化銀而存在。此種硫化銀，縱與汞相接觸，亦難即成混汞銀。故以混汞法處理銀鑛時，其方法不似金鑛混汞法之簡單，須先還元之成金屬狀態之銀，然後使與汞相接

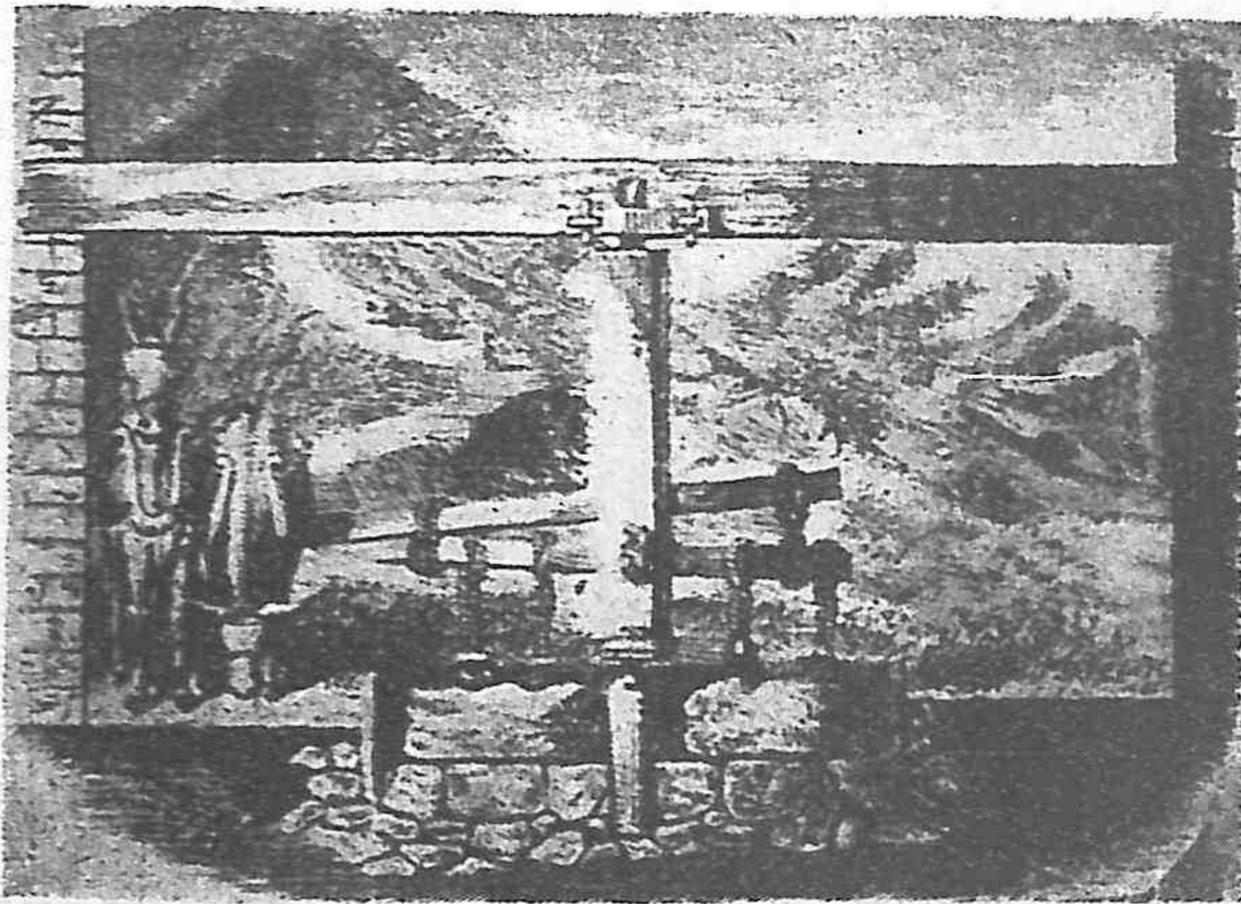


圖 66 墨西哥銀山地方古來之混汞製鍊法所行之銀鑛粉碎法。

觸，使成混汞銀。

銀鑛之混汞法，有二方式：一使食鹽及硫酸銅與硫化銀相作用，變硫化銀為氯化銀，再還元之為自然銀而行混汞法；二以氯化焙燒法焙燒鑛石，變硫化銀為氯化銀而行混汞法，是也。

第一法自十六世紀以來，墨西哥銀山已行之。當時先粗碎鑛石，置之上鋪石材之地，一面以圖六六所示之法粉碎之，一面撒布少量之水、食鹽、硫酸銅，充分混和之，則食鹽與銅作用而成氯化銅，氯化銅又與硫化銀作用而生氯化銀。次撒布汞於其中，使馬全部踏之約數日，則氯化銀即還元而成銀，與汞相混，成混汞銀。最後取鑛石入水槽，加水攪拌而集取其中之混汞銀。此法自始至終，雖約需一月，

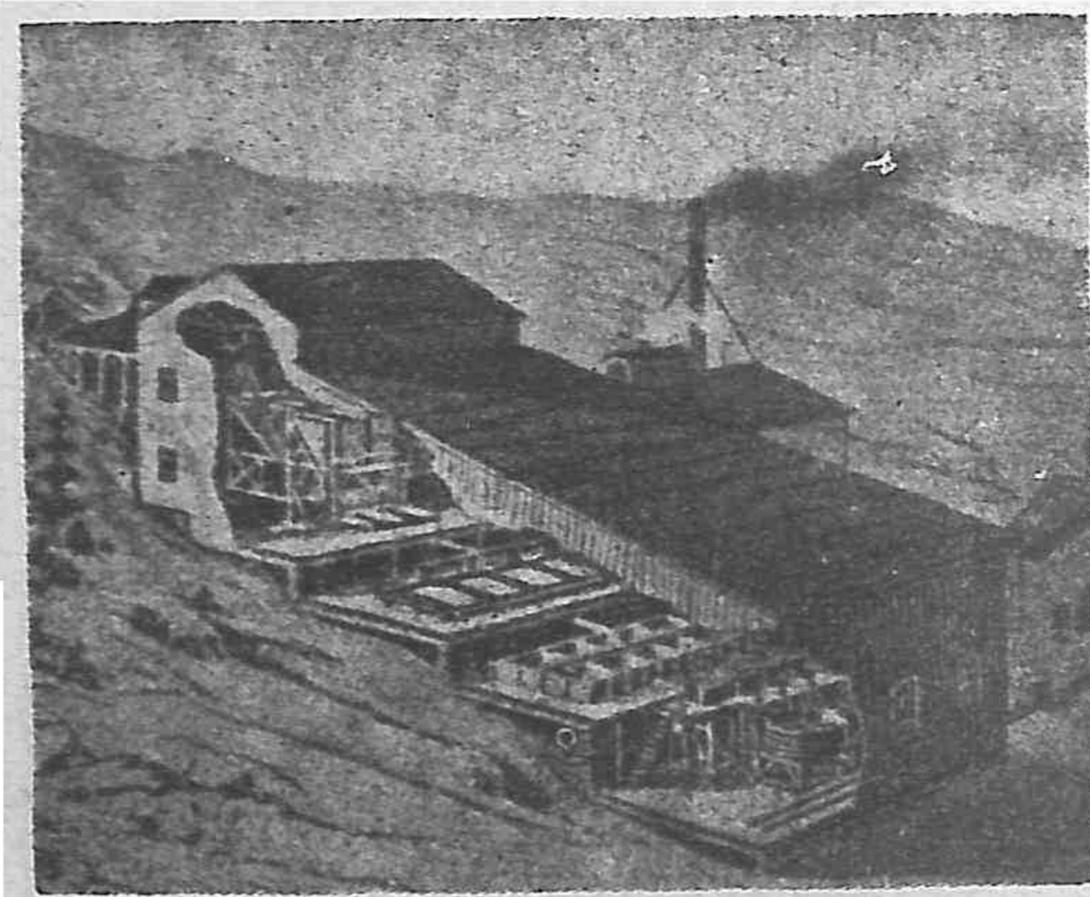


圖 67 銀鑛混汞製鍊所之內部

然在氣候頗熱之墨西哥，上述之化學反應，易於發生，又無需機械，古來以此方法採取鑛石中之銀，達70~80%焉。

近來機械應用進步，以搗鑛機搗碎鑛石後，盛之鐵製之鍋中，一面於鍋底擦碎之，一面加入食鹽、硫酸銅、水，依上述之作用，使成氯化銀。次再投入汞，再擦碎之，使成混汞銀（圖六七）。此法謂之鍋混汞，美國、日本俱曾用之。

此法，鍋中成生之氯化銀，化學的為鍋之鐵材所作用，容易還元為銀。又鍋底之側面，張以銅板，則氯化銀因銅之作用，更易還元為銀，亦有採用之者。此外於可迴轉之桶中，裝入已經粉碎之鑛石及食鹽、硫酸銅、水，混以多數之鐵球，使硫化銀還元為銀，再加以汞，使成混汞銀者，亦有之。此法謂之桶混汞法。

鑛石內若含硫化金屬、銻、砷等稍多，則上述方法，汞之消耗多，混汞不完全，須先行下述之焙燒法，再行混汞法。

氯化焙燒法 原理與銅溼式製鍊之氯化焙燒相同。先粉碎銀鑛，混以適量之食鹽，於爐中予

以空氣，加熱焙燒之，使變爲氯化銀；然後於桶或鍋中加水攪拌之，使與鐵或銅作用，還元而爲銀再混入汞攪拌之，使成混汞銀。此法以前日本多數之銀山，曾流行於一時。

要而言之，銀之混汞製鍊，既需手續，採收率又大概欠佳，近來殆已絕跡矣。近來含不純物多之銀礦，以乾式製鍊法製鍊之；純良之石英礦，以溶解製鍊法製鍊之。

溶解製鍊法 以前所行之溶解製鍊法，先氯化焙燒礦石，使硫化銀變爲氯化銀，然後裝入溶解槽內，以食鹽水或次亞硫酸鹽類溶解之。所得之銀溶液，或以銅沈澱之；或加入硫化曹達、硫化石灰之溶液，使沈澱硫化銀；或加入碘鉀，使沈澱碘化銀。此數法中，可擇一法製之爲銀。

現今因金鑛氰化製鍊之普及，銀鑛製鍊用氰化法者甚多。然混有硫化礦物之鑛石，氰化法應用困難，自不待言。以下各方法，均爲已經氯化焙燒之鑛石之溶解法，茲簡單述之如次：

(a) 奧略斯廷法 (Augustin process) 氯化焙燒鑛石，使成氯化銀，以食鹽水浸出之。濾過之銀液，使通過金屬銅之中，使銀沈澱而採集之。

(b) 巴特拉法 (Patera process) 氯化焙燒鑛石，使成氯化銀，以次亞硫酸鈉溶液浸出

之。濾過之溶液，滴入硫化鈉液，使硫化銀沈澱而採集之。

(c) 基斯法 (Kiss process) 浸出液，前法之鈉鹽類，以次亞硫酸鈣液代之。硫化銀之沈澱，以硫化石灰液行之。

(d) 基斯巴特拉法 (Kiss-Patona process) 以次亞硫酸鈉為浸出液，以硫化鈣為沈澱劑，前二者之折衷法也。

(e) 拉塞爾法 (Russel process) 氯化焙燒鑛石，以次亞硫酸銅液浸出之，再以硫化鈉沈澱硫化銀而採集之。

(f) 克洛德特法 (Claudot process) 氯化焙燒鑛石，以食鹽或其他之氯化金屬液浸出之。濾液內滴入碘鉀、碘鈉或碘鋅液，使沈澱碘化銀而採集之。

此等方法之作業，茲就巴特拉法例示之：普通矽石質而稍伴有硫化鑛物之銀鑛石，粉碎後，混入數%之食鹽，於反射爐內氯化焙燒之。焙燒後，置入木製之溶解槽中，加以次亞硫酸鈉結晶之溶液（強度二%乃至千分之幾），數點鐘後，可浸出總含銀量八〇%以上之銀。此銀液濾過之法，與金

之砂鑛氰化法所行之濾過法，大同小異。

濾過之銀液，一面攪拌之，一面滴入硫化石灰液或硫化鈉液，則其中之銀，即成硫化銀而沈澱，達九五%。上述沈澱，普通濾過乾燥後，於分銀爐中加鉛熔解，行灰吹分銀法，以抽出其中之銀。

以上為氯化焙燒鑛石後溶解之之方法。此外鑛石僅氧化焙燒之，使硫化銀變為硫酸銀，以沸水浸出之，所得之銀液，以銅沈澱之，尙有種種之方法。要而言之，以上諸方法，均舊式之方法。現今銀之氰化製鍊法，頗有進步，既需經費，又費手續之氯化焙燒法，殆已絕跡矣。

氰化製鍊法 銀鑛之氰化法，不似金鑛之易，普通採集率多不良。鑛石中之氯化銀、硫化銀及細微之自然銀，雖易為氰化鉀液所溶解；然普通鑛石中多含不純物，尤其與銻、砷化合之硫化銀。不易溶解，氰化鉀之消耗量加多，經濟上多收支不能相償。例如日本佐渡鑛山，金鑛中所含之銀，約金之十倍，行氰化製鍊時，金之採集率雖高，銀則所能採集，不過砂鑛中所含銀之三分之一，是也。由此以觀，銀之氰化製鍊之困難，可以推知矣。

墨西哥諸銀山，銀之富鑛，以乾式製鍊法製鍊之，貧鑛研究應用氰化製鍊之之法，今日已頗有

效果。其法與金鑛之氰化法，大同而小異。惟銀鑛之溶解，需長時間，砂鑛需二三星期。又須使用強氰化液，例如 0.7~0.3% 之氰化鉀液，氰化鉀之消耗量，較之金鑛之氰化製鍊，常達四五倍之多。故近來砂鑛普通再以磨鑛機粉碎之至極細，然後以泥鑛氰化法製鍊之。此法攪拌時間約一晝夜半。所含銀之溶解率，達 80~90% 者，實例不少。要而言之，氰化法適於硫化物含有量不多之純良石英銀鑛石。至氰化作業及銀塊之製出法，與金鑛相同，茲略之。

第三節 鉛 (Lead)

(一) 總說

鉛為在低溫度，亦易由鑛石還元之金屬，故古代早已從事於其鑛石之製鍊。紀元前一五〇〇年以前，埃及關於鉛之冶金術，已相當發達，此今日由開羅博物館所藏鉛鑄物之神像、頭飾等工藝品，所可明瞭者也。又紀元前約五〇〇年，鑄造青銅時，為使鑄物緻密計，青銅之中，曾加入鉛。羅馬時代，曾用鉛板張於船底，水道水管，亦以鉛製之；鉛化合物之碳酸鉛，羅馬婦女曾用以作白粉。

現今鉛之主要用途，因鉛在諸金屬中，為最軟最易熔解最有展性之金屬，故以之製鉛板、鉛箔或鉛管。又以製合金，以供各種工業之用。例如鉛與銻、錫之合金 (type metal)，以供鑄造活字之用。因有此合金，印刷術上發生大革命，此文明史上所應大書特書者也。其他軸承合金 (bearing metal)、白鐵 (solder) 等，亦鉛之合金也。

往古之鍊金家，曾呼鉛為土星，以 α 為其記號。歐洲自昔以來，鉛山之採掘已頗多，中歐德國等處，銀、鉛之鑛業尤盛。

一九二九年世界之鉛製鍊產出額如次：

表五

國名	鉛量	國名	鉛量
美國	六二四、一五四	德國	九七、九〇〇
墨西哥	二四八、七八二	比利時	六二、二一三
澳大利亞	一七六、六七二	其他合計	一、七五五、五一九
西班牙	一二三、二六一		

鉛之鑛石 鉛之主要鑛石，為硫化鉛，即方鉛鑛是也。此外氧化鑛石，白鉛鑛及硫酸鉛鑛，亦間產出之。又由鑛物學上觀之，鉛之氧化鑛物，將近十種，惟其存在甚稀耳。

鉛鑛石之名稱及成分如下：

鑛物名稱	成分	含鉛量
方鉛鑛 (galena)	PbS	86.6%
白鉛鑛 (cerussite)	PbCO ₃	77.6%
硫酸鉛鑛 (anglesite)	PbSO ₄	68.8%

方鉛鑛有鉛色美麗之銀光澤，比重七·五，遠較其他硫化鑛物為重，其結晶直角之三方向面，有易剝離之性質。

鉛鑛石一般其內常含有若干之銀，有時金亦含有之。美國二大鉛鑛山地帶中，密士失必河流域之方鉛鑛，含銀不多；落機山脈地方之方鉛鑛，含銀甚多，有時含銀達〇·三%以上者亦不少。日本昔時之銀山小坂、椿、大森、生野等鑛山，其銀亦多含於鉛鑛石之中。

鉛礦又多與鋅礦相伴產出，鉛礦山產出副產物鋅礦者不少。澳大利亞布洛翠山，爲冠絕世界之銀、鉛、鋅礦山，日本之神岡、高田兩礦山，亦鉛鋅之礦山也。

(二) 鑛床及採鑛

鉛鑛山之鑛床，普通爲鑛脈，但單純交代鑛床，變質交代鑛床亦不少。德國及澳大利亞諸國，鉛之鑛脈鑛床甚多，一般爲舊水成岩中之鑛脈。日本主要鉛鑛山之鑛脈鑛床，一般發達於近生代之岩石中。例如高田鑛山，鑛脈胚胎於第三期層及變朽安山岩之中；倉谷鑛山，鑛脈胚胎於第三期層及石英粗面岩之中；然別鑛山，鑛脈胚胎於第三期層之中，均含銀，與閃鋅礦相伴，此外黃鐵礦、黃銅鑛亦伴有之。就中高田鑛山爲日本屈指之鉛山，鑛脈之數，達十數條，石英脈中，產多量之黃鐵礦、閃鋅礦、方鉛礦，隨處發見方鉛礦多量集合之富鑛帶。此鑛山以前僅行銀與鉛之製鍊，近時因鋅礦之利用日廣，又完備選鑛場，方鉛礦與閃鋅礦分別選出而各製鍊之。此鑛山之閃鋅礦，含有多量之鐵，於提高鋅之品位，頗爲困難。

單純交代鑛床，例如美國有名之落機山中勒德比爾地方及密士失必河流域地方多數之鉛

山，均爲鑛物與古生層中石灰岩交代而成之鑛床，是也。又澳大利亞之布洛壘山鉛山，亦可視爲片麻岩中之交代鑛床。此外日本椿、小坂等鑛山之黑鑛床，亦爲單純交代鑛床之例。此等黑鑛床所產之鑛石，爲方鉛鑛、閃鋅鑛及重晶石微細混合之鑛石，乃第三紀層與新火山岩接觸之處，鑛物與岩石交代而胚胎之塊狀鑛床也。此等鑛山，最初雖皆爲銀鉛鑛山；小坂鑛山今已成銅山，黑鑛中之鉛、銅鑛製鍊之際，成副產物，稍稍產出。

變質交代鑛床之例，如日本鉛山之巨擘神岡鑛山是也。此鑛山附近之地質，爲太古代之片麻岩，到處有石灰岩及砂岩之存在。又有石英斑岩、輝綠岩等之長岩脈，噴出貫入於其中。因此岩脈之接觸作用，母岩遂起變質作用，同時鑛物交代而胚胎鑛床於其中，各處形成不規則之塊狀鑛床。此鑛山之區域，綿亙數里，高峯之上，山腹之中，溪谷之下，到處有鑛床之露頭頗多，埋藏之鉛、鋅未知鑛量，蓋未可勝計也。此鑛山歷來所採掘者，爲枋洞、漆山、池山等鑛床，就中漆山鑛床，曾產出良好之銀鉛鑛，一時至視爲該山之寶庫。此鑛床爲扁豆狀之鑛塊，自露頭起，上下綿延數百尺。採鑛之法，於露頭下每隔數百尺，由山腹開鑿水平坑道第一、第二、第三通洞以達鑛塊，然後採掘之。至再下深部之

鑛石，則開鑿坑內豎坑以採掘之。此外柝洞鑛塊等，鉛之品位雖不良，含鋅甚富，為巨大之鑛塊，現在盛產鉛與鋅鑛，以後於鋅之項再述之。

由此變質交代鑛床產出之有用鑛物，普通為含銀之方鉛鑛及閃鋅鑛之混合鑛石，此外又伴有由接觸作用而成之輝石、角閃石、綠簾石、石榴石、陽起石等種種之矽酸鑛物及石英，又黃鐵鑛、硫砷鐵鑛、少量之黃銅鑛，亦伴有之。

此種鑛床，日本各處多有之，因其鑛石為鉛、鋅等之硫化物之複雜混合物，歷來處理頗感困難，選鑛製鍊之技術，未充分發達。然近年此種鉛鋅混合物浮游選鑛法之途開，溼式之電解製鍊法，將可適用，不久或可經濟的處理之也。

(三) 選鑛之方法

就神岡鑛山之例觀之，採出之粗鑛石，含鉛僅1%，含鋅8%，又混有種種之接觸鑛物 (contact mineral)。故須行選鑛，分別選為鉛與鋅之精鑛，各各送往鉛製鍊及鋅製鍊之工場。

此種鉛鑛石選鑛法之順序，試簡單述之：由採掘場以鐵索搬來選鑛場之鑛石，先以粉碎機碎

之，次依其粒之大小，篩分之爲數種類，一一以跳汰機處理之。跳汰機利用鑛物比重之差，使鑛石在水中行淘汰作用，比重最大之鉛鑛，首先分離，其次含鋅鑛石，其次廢石，依次分離而爲三。

分離之鉛鑛，其一部分，尙有廢石及鋅鑛等附着於其上，初非僅用跳汰機一次所能完全分離。此等分離不完全之部分，謂之中鑛，再以輾鑛機、磨鑛機等機械粉碎之，使成更細之粉鑛，更以跳汰機處理之，選別爲鉛鑛及鋅鑛。至極細微之粉鑛，則以威爾夫勒式淘汰盤，依比重分離之爲泥砂與微粉之硫化鉛鑛、硫化鋅鑛。鉛鑛由上順序，成爲高品位之精鑛，含鉛約六五%，以供製鍊之用。近時該鑛山前述作業中所生之中鑛，除含鋅約八%外，又含有鉛約一%，先

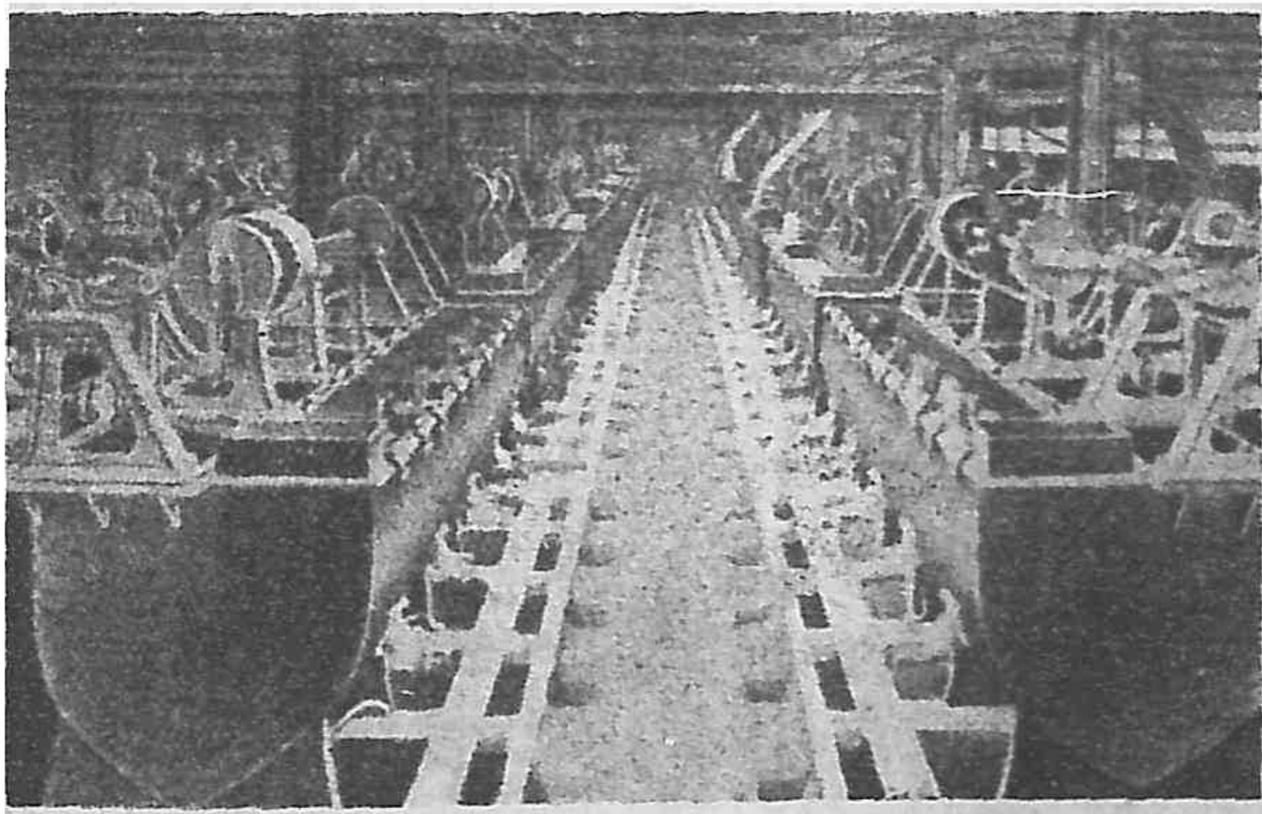


圖 68 跳汰機多數配列之工場之內部

以磨鑛機碎之成細粉，再以浮游選鑛法採收其中之鋅精鑛，同時其中之鉛精鑛，亦可分離收得之。此分離法為最近發達極其精巧之技術，所謂優先浮游選鑛法是也。

優先浮游選鑛法 (preferential flotation) 神岡鑛山之優先浮游選鑛法，試稍詳述之：已經粉碎成極細之粉之鋅鉛混合鑛物內，滴下微量之松脂油 (pine oil) 及黃酸鹽 (xanthate) 混和之之後，送入浮游選鑛機內，則鉛鑛與鋅鑛混合之鑛石，在水中為強烈迴轉，形似推進器之物所攪拌，硫化鉛即優先的與水泡一同先行浮游，由機械內流出，最後所剩，僅鋅鑛與廢石之混合物而已。最後之混合物內，再加入微量之硫酸銅液、食鹽及特殊之混合油等以混和之，則硫化鋅即發生浮游性；再以浮游選鑛機處理之，硫化鋅即大行浮游，與岩石及砂石質之廢砂分離，遂得鋅之精鑛。此種鋅之精鑛，含鋅約四五%。歷來鉛鋅之混合鑛石，其選鑛方法與銅鑛等較，一般甚為複雜困難。然嶄新的科學方法優先浮游選鑛法，一經發達，神岡鑛山固不待論，舉凡鉛鋅鑛山，所採鑛石之品位限制，均可減低，同時製鍊方面，亦予以一革命的進步焉。

(四) 鉛鑛製鍊法

由鉛礦石以製鍊鉛，均用乾式法，僅粗鉛之精製，用溼式之電解法。

鉛製鍊之方法，視礦石中所含鉛銀之品位，有種種之方式，可大別之爲三。一爲焙燒反應法，二爲焙燒還元法，三爲鐵還元法（又稱爲沈澱製鍊法），以下順次說明之。

(1) 焙燒反應法 (roasting and reaction process) 焙燒反應法爲製鍊含鉛七〇%以上，品位極爲優良之精鍊時所行之方法，含多量砂石之礦石，此法採集率不良，不適於用。此法之原理，精鍊（即硫化鉛）一面予以空氣，一面以不過高之溫度（即攝氏 $300 \sim 600$ 度之溫度）熱之，即成生氧化鉛與硫酸鉛。次再於礦石不致溶解之範圍內，以稍高之溫度熱之，則硫化鉛、氧化鉛及硫酸鉛三者，即互相反應，發生亞硫酸氣，成生金屬鉛，由爐內流出。此方法甚爲簡單，惟爐之殘滓中，猶剩多量之鉛，採收率不良耳。爐或用火床，或用反射爐，設備甚爲簡單，昔時多用之。今日鉛製鍊所由煙中收回之煙灰 (Flue dust)，爲含不純物極少之氧化鉛之材料，亦混以適當量之硫化鉛鑛而行此法。又極良之鑛石，間亦採用之。

(2) 焙燒還元法 (roasting and reduction process) 焙燒還元法爲今日一般所行之鉛

製鍊法，無論何種鑛石，皆可適用。尤其含銀豐富之鉛鑛，含鉛縱僅一〇%，所含銀鉛，亦有用此法以製出之之例。由一般觀之，普通含銀不多之鉛鑛，如前所述，若含鉛不在五〇%以上，則經濟的製鍊困難。然用此法，則鑛石中之不純物，無須過於顧慮，且含有銅之鉛鑛，銅又有成銅鍍，與鉛同時分離抽出之利。

此法之原理，硫化鉛鑛充分氧化焙燒之，使成含氧化鉛與若干硫酸鉛之燒鑛 (roasting ore)，然後以木炭或焦煤調合之，於熔鑛爐中行還元製鍊則金屬鉛即行還元，與鍍分離。

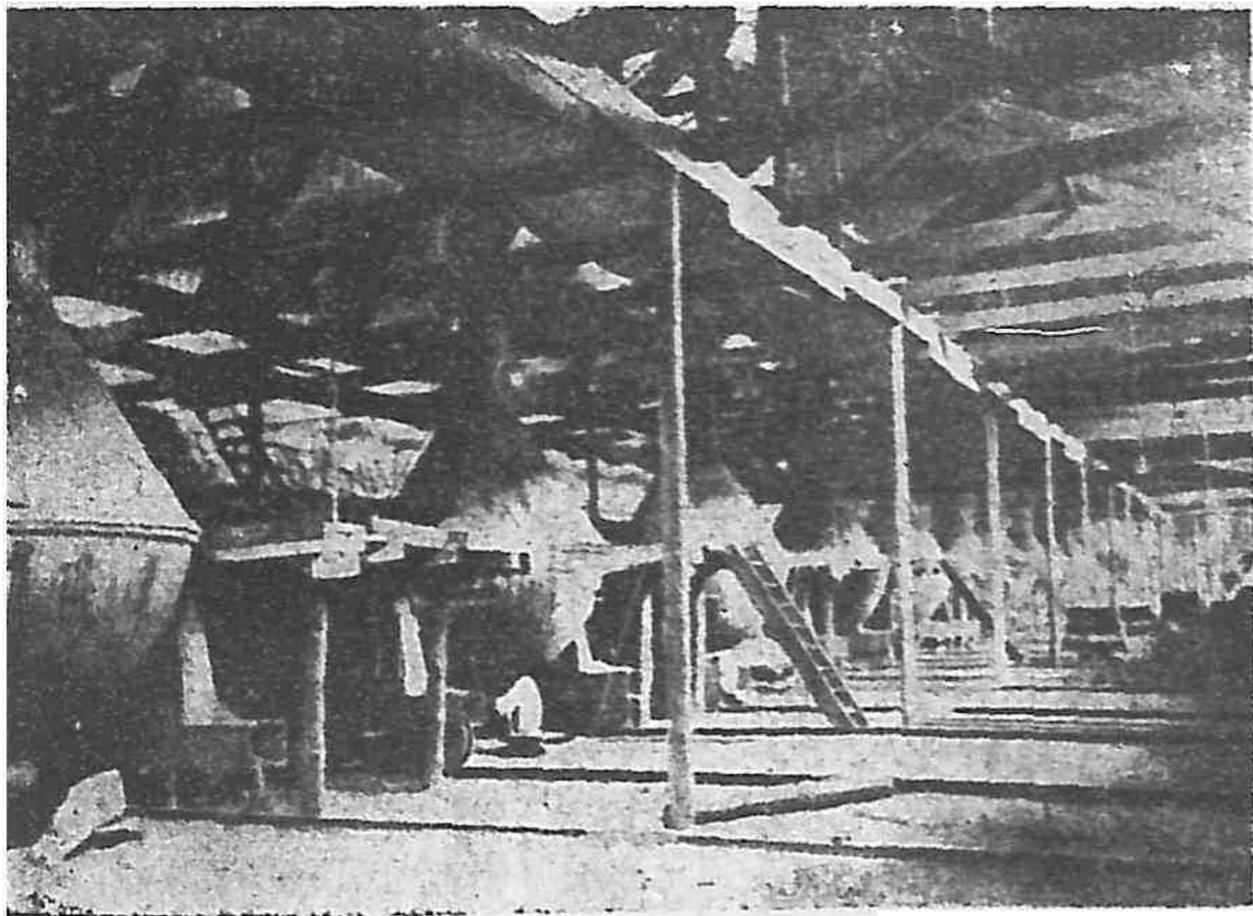
硫化鉛之氧化焙燒，與硫化銅鑛、硫化鋅鑛異，僅予以空氣，高其溫度，硫黃之除卻，未能充分。蓋硫化鉛在低溫度，亦易於熔化；焙燒之際，不獨成半熔體，妨害空氣之流通；且除一部分成氧化鉛外，大部分成硫酸鉛；硫酸鉛溫度縱加高，亦未易使其脫硫故也。由上理由，硫酸鉛之脫硫 (desulphurization) 有種種特殊之焙燒法，茲述之於次。

鍍焙燒法 此法混若干砂石於鑛石內而氧化焙燒之，使硫酸鉛與砂石化合，變為矽酸鉛，同時使行脫硫。或混石灰於硫化鉛鑛內，送風加高溫度以焙燒之，則鑛石因石灰之故，溶解者不多，脫

硫之程度，可以促進。今日多數之工場應用上述諸方法之原理，於粉狀鉛精礦之燒固有所謂壺燒法 (pot roasting process) 及德歪待洛衣惠式機械燒結爐法。均焙燒已經選礦之粉末精礦，同時使以半熔融之狀態，變為燒結之塊礦，於裝入熔鑛爐內以供製鍊，殊為便利。

壺燒法 如圖六九所示，裝粉鑛於鍋內，由下部點火，送風入內，使行焙燒脫硫，則鑛石因溫度上昇，多少熔融，粉鑛遂燒固而成塊狀，燒完後，旋轉壺之水平軸，使壺內之燒鑛，落於地上，大塊者碎之至二三吋以下，俟大小適當，然後送入熔鑛爐內。

機械燒結爐法 如圖七九所示，於可迴轉之



1711

圖 69 壺 燒 工 場

火床上，放置薄層之粉鑛，抽出火床下室內之空氣，使一面由鑛石之表面吸入空氣，以行焙燒，一面將鑛石送往前方。最後鑛石落出於外，遂成燒結鑛。

以上壺燒法及機械燒結爐法之作業，與銅粉鑛之燒結，殆無不同。

熔鑛爐製鍊 如上焙燒之鑛石，加以焦煤或木炭，配以適當量之熔解劑，裝入直立之熔鑛爐內，由爐下部送入空氣以製鍊之，則鑛石由爐內降下之際，鉛還元而成金屬鉛；鐵、矽石、石灰其他之不純物及熔解劑，則反應而成鏹，因比重之差，與鉛分離。使用之熔鑛爐，如圖七〇所示，為圓形或長方形水平斷面之直立爐，構造及附屬裝置，殆與銅之熔鑛

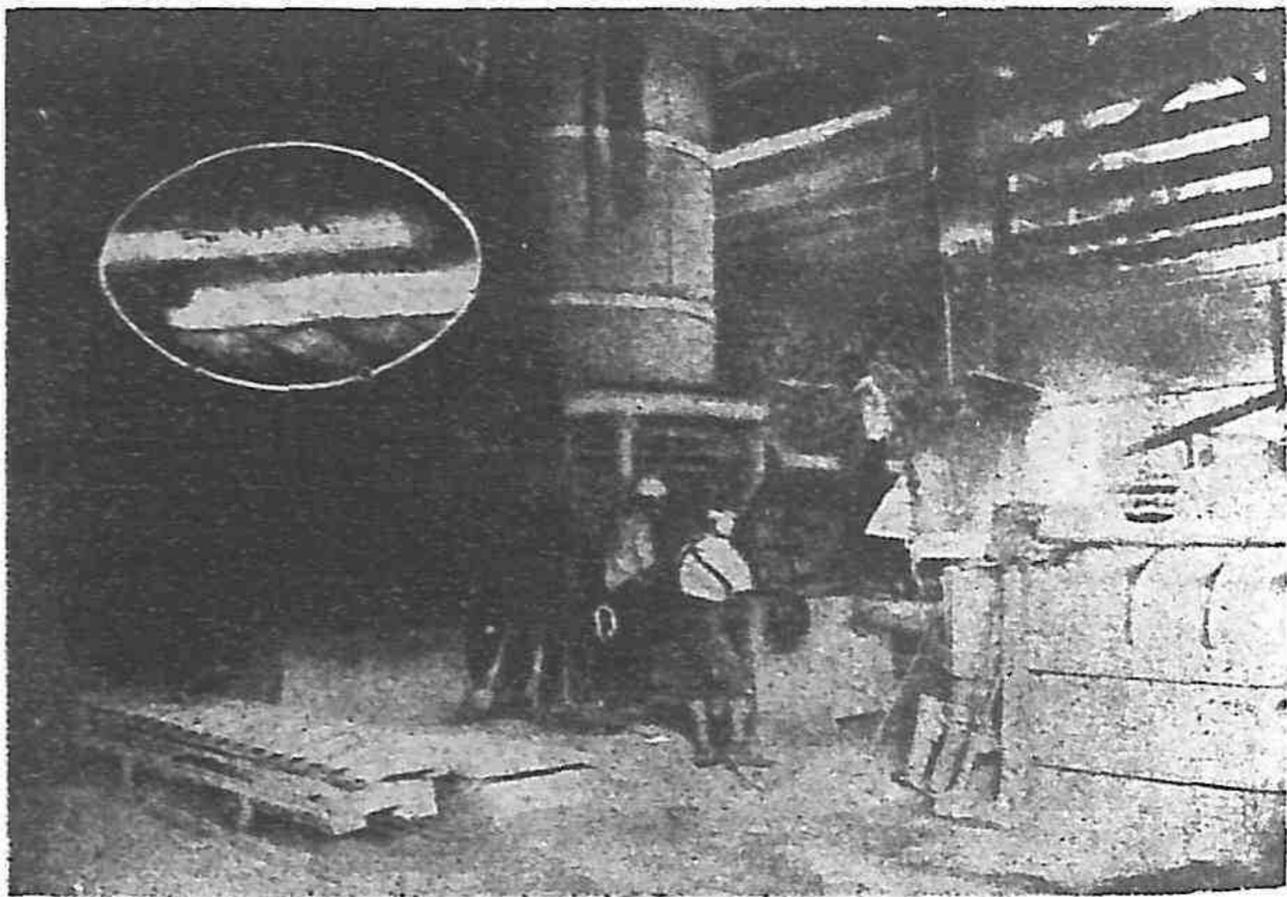


圖 70 鉛製鍊熔鑛爐

爐相同。惟鉛之熔鑛爐，爐底普通成深坩堝形。作業時，還元之鉛，沈集於此坩堝中，鍍則浮於其上，不斷的由爐之鍍口，流出爐外，鉛俟充滿坩堝內後，時時由近於爐底之小穴流出之。

爐內所起之化學反應為還元作用。鑛石在爐內一面降下，一面被熱，其中之氧化鉛，為一氧化碳氣或碳所還元，成為金屬鉛。燒鑛中殘留之硫酸鉛，一部分雖因碳之故，一時變為硫化鉛，然旋即為鐵、碳、石灰、氧化鉛所作用，結局仍變為金屬鉛。又所有之矽酸鉛，亦與碳、氧化鐵、石灰等作用，還元而成金屬鉛。此時鑛石中所含之金銀，殆全為鉛所吸收。至鑛石中之矽酸，則與鐵、石灰、礬土、氧化鋅等化合物而成鍍，浮於鉛之上部，與之分離。鍍與鉛之分離，欲使其完全，熔解劑須用矽石、鐵鑛石、石灰等，視鑛石成分之如何，適當定其配合量。要而言之，能生富於流動性而比重輕之鍍，可矣。各處鉛製鍊所所生之鍍，試分析之，其主要成分為矽酸 (SiO_2) 28 ~ 33%，氧化鐵 (FeO) 27 ~ 50%，石灰 (CaO) 10 ~ 28%。此等鍍由熔鑛爐流至前床，其中尚含有若干之鉛，須充分將其沈下。由前床流出之鍍，含鉛僅 0.7% 以下，可即排棄之。

鉛鑛石內，常含有多量之鋅，鉛鑛石內含有鋅時，鋅之大部分，成氧化鋅混入鍍中，足以減少鍍

之流動性，加多鏝中殘留之鉛。故選鏝之際，鏝須充分選出，方為得策。

又鏝石內如含有銅，銅與硫黃化合之力，較鉛尤強，故成硫化銅即銅鉍（copper matte），因比重之差，浮於鉛之表面，與鉛分離，可製鍊之為銅。鉛之熔鑛爐作業，大致與銅之製鍊相同。熔鑛爐普通為圓筒形之直立爐，直徑 1~1.2 呎，高約五呎，一晝夜製鍊鑛石 30~50 公噸；焦煤之使用量 13~20%；空氣壓力 60~120 耗（水銀柱），由風口送入爐內。

(3) 鐵還元法 (iron-reduction process) 此方法為硫化鉛中之鉛，以鐵與之置換，使其還元之方法。即鑛石不行焙燒，立即以與鐵屑或含鐵之材料相調合，裝入熔鑛爐內，以行製鍊，是也。此時硫化鉛中之硫黃，為鐵所吸收，鉛遂游離，同時鐵變為硫化鐵，浮於上層，與下層之鉛相分離。

此方法燃料之需要甚多，鉛之採集率亦不良，一般未使用之。然鑛石中若含有多量之銅，則亦全如銅鑛之生吹製鍊，以熔鑛爐製鍊之。惟此時鑛石中須配合以鐵屑耳。此製鍊法，鉛之大部分，基於上述原理，有還元成金屬鉛，集於銅鉍之下層而分離之利益。故鑛石中含有多量之銅時，亦往往應用之。

以上無論用何種製鍊法，產出之粗鉛 (base bullion) 普通品位為 95~98%，不純物含有銅、砷、銻等。

含銀之鉛，亦謂之貴鉛 (noble lead) 含銀多者，達 1%。然普通所含，不過千分之幾。由此分離鉛銀之法，述之於次。

(五) 銀與鉛之分離法

粗鉛內含不純物甚多，先置入名為柔鉛爐 (softening furnace) 之反射爐中，加熱熔解之，使觸空氣，則不純物即氧化而浮於表面，由爐中扒出之，銅、砷、銻等不純物，即可除去。不純物既已除去，貴鉛 (即含銀鉛) 即以行銀之分離作業，銀之分離法，一為巴廷生法，二為巴克斯法，皆乾式之方法也。此外白茲式電氣分解法，亦多行之。以下分別略述之。

(1) 巴廷生法 (Pattinson process) 於鐵鍋之中，熔融貴鉛而徐徐冷卻之，則鉛即在鐵鍋中徐徐開始結晶。最初結晶之鉛，為最純粹之鉛，其中殆未含銀。尚未結晶之鉛，稍傾鐵鍋，使其流出，則銀即濃密聚集於此流出之鉛中，此結晶法反覆行之若干次，銀即依次濃密集中於逐次減少

之鉛中，至結晶中所含之銀，至流出之鉛含銀達二%止，猶不及十萬分之一。銀鉛既完全分離，金銀遂濃密集中於少量之鉛中。

(2) 巴克斯法 (Parks process) 此法，熔解貴鉛於鐵鍋中，一面保持攝氏三五〇度之溫度，一面加入少量金屬鋅於鉛之熔體內而攪拌之，則鉛中所含之金及銀，為鋅所吸收，鋅遂成合金銀之鋅而浮於鍋之表面。扒取之，得金、銀、鋅、鉛之混合物。此種作業，鍋中加入金屬鋅，反覆行之若干次，鉛中之銀，殆可完全抽出。次含銀、鋅、鉛之混合物，置入蒸餾器內，於爐中加熱蒸餾，以追出鋅，則最後殘餘者，即含多量之銀之鉛。至鋅之蒸餾方法，與鋅之蒸餾製鍊相似，不過規模較小耳。

以上所述兩方法，脫銀 (Desilverizing) 成績，巴克斯法為優，故一般採用之。

惟鉛中若含有銻，巴克斯法未能抽出之。此時若用巴廷生法，則銻與銀起同一作用，漸次濃密集中於流出之鉛中，銻亦可抽出之。

鉛照上述方法脫銀後，於運往市場以前，普通須再於反射爐內熔融之，熔融時，或送入空氣，或送入蒸汽，使其中殘留之少量不純物氧化浮於表面而扒去之，以為精製鉛，送諸市場。

銀濃密集中之鉛，以灰吹法使鉛氧化除去，則最後即得金銀。

灰吹法 (cupellation) 此法亦謂之分銀法，自古以來，各處金山即多用之以精製金銀。此法不獨用於貴鉛，即含金銀之沈澱物，或品位極良之金鑽石、銀鑽石亦以與鉛一同熔融，使其中之金銀，為鉛所吸收，成為貴鉛，然後熔融之，以灰吹法吹入空氣，使鉛氧化，浮於表面，一面扒取之，一面再送風以繼續氧化作業，則鉛即全部除去，金銀因不氧化，最後遂得小塊之金銀。

灰吹法所用之爐，普通為小型之反射爐，有英國式分銀爐及德國式分銀爐二種。前者之構造，如

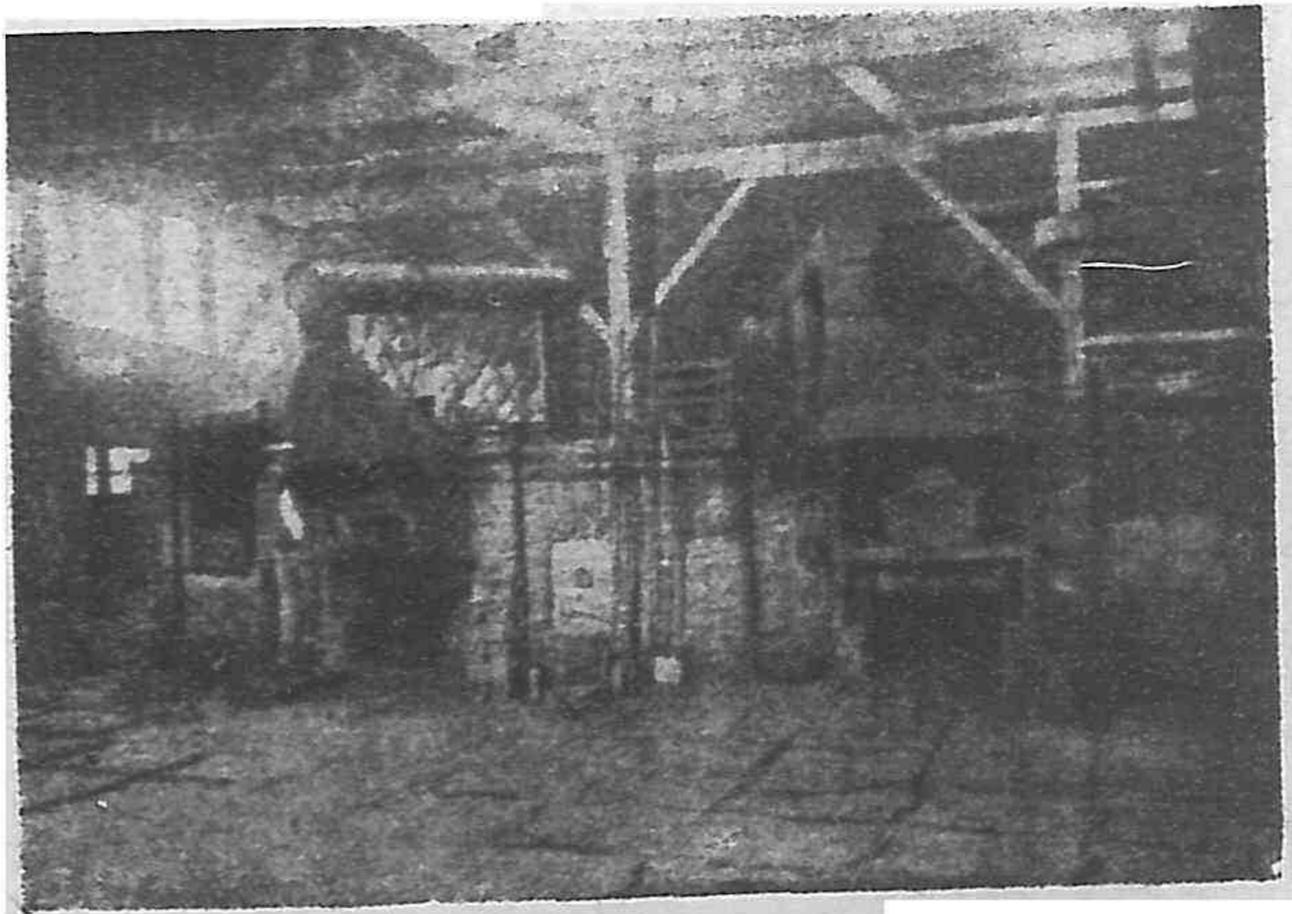


圖 71 英國式分銀爐

圖七一所示，反射爐之床，以石灰、苦土、黏土、水泥等之混合物作之，貴鉛之熔解，於此床內行之，爐後部左右有風口，爲送風於鉛表面之用。氧化鉛由爐前方之口扒出，大小之金銀粒，最後由下部將床全體拉出取出之。德國式之爐，較前者稍大，床由地面築上，固着於地，作業後將反射爐之蓋提高，然後拾集床上的金銀。

當行上述之氧化作業時，貴鉛中若除金銀外，尚含有錫、銻、砷、銅等不純物，則此等不純物，隨鉛之減少，漸變爲氧化物，混於氧化鉛中，與氧化鉛一同被除去。此時貴鉛中若含有銻，銻有不易氧化之性質，可由最後扒出之氧化鉛中採收之（參觀銻）。

由分銀法製出之金銀，尚含有數%之不純物，再調合以硝石、曹達、礬砂，於坩堝中精製之。已經精製之金銀塊，分離之爲金與銀之法，本章第一節金之項，已說明之矣。

白茲式電解法 (Bates electrolytic process) 銀與鉛之分離，除上述之乾式法外，行溼式之電氣分解法者頗多。此法金、銀、銻等，可以完全收回。此法稱爲白茲式電解法，鑄含銀之粗鉛爲陽極板，以鉛之薄板爲陰極，電解液用矽氟化氫酸性之矽氟化鉛溶液，以電壓 $0.3 \sim 0.4$ 弗，電流密度

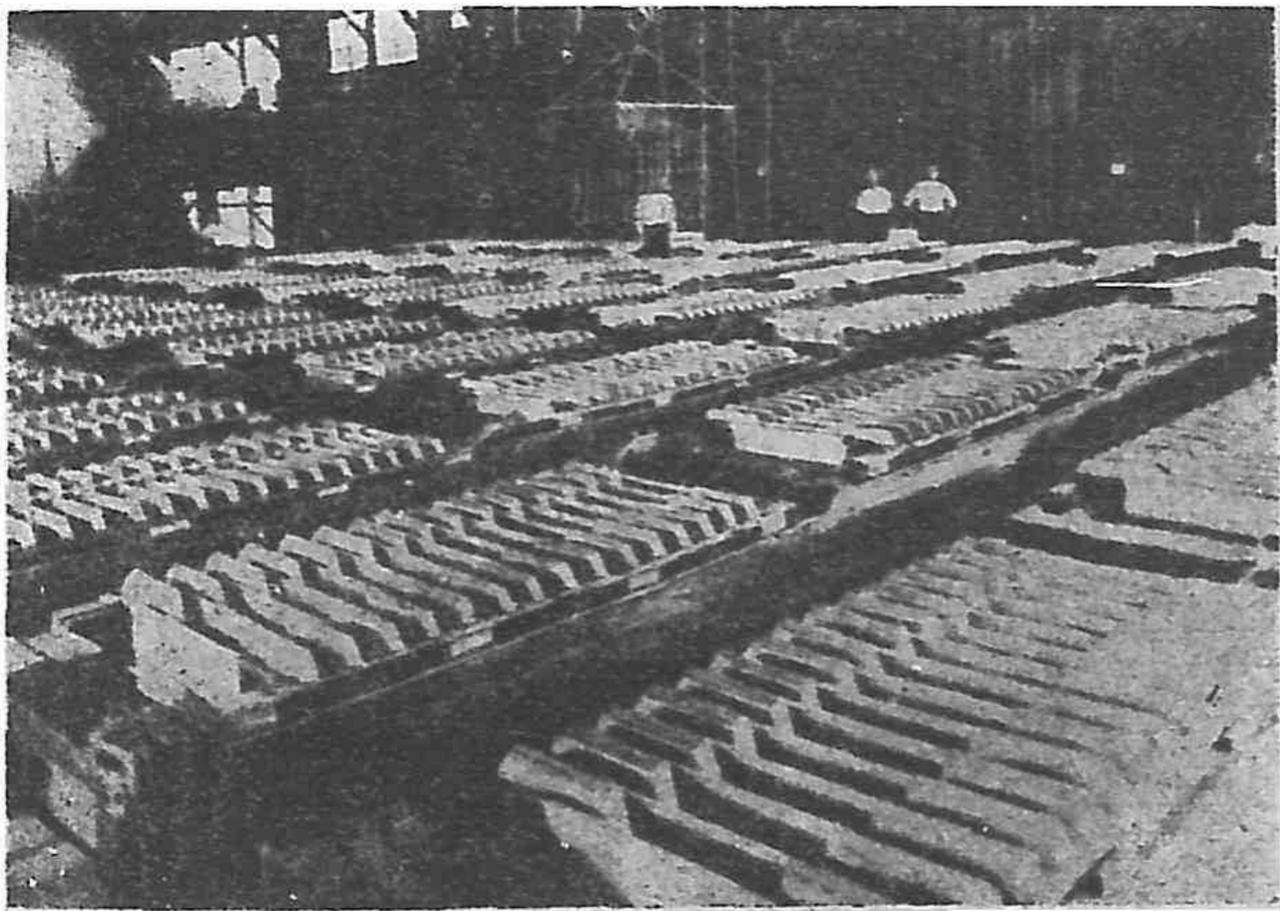
陰極表面一平方呎一〇〇安電解之，則精製鉛即沈澱於陰極，金、銀、鉍、砷、銻、銅等不純物，即由陽極成泥狀，沈澱於電解槽之底。此等不純物，時時集而熔解之，使為鉛吸收，成合金銀鉍之貴鉛，然後行灰吹法以收回其中之金銀鉍，其法已述於前矣。又陰極可即熔解之，俾成精製鉛，送往市場。

此外尚有以醋酸鉛作電解液之法，惟一般尙未行之。

第四節 銅 (Copper)

(一) 總說

銅有赤銅色之美麗光澤，易於加工，自古即甚



一八〇

圖 72 鉛之電解精製室

人類之注目，供人類之使用。尤其棲息於今日銅山散在地方之有史以前之民族，最早即使用銅之器具，此無懷疑之餘地者也。彼等最初僅採集天然存在之自然銅，以作武器工具，後偶然發見銅之製鍊方法，銅之利用，遂大發達。埃及亦有史以前，即用銅器，第一王朝時代（紀元前三五〇〇年），銅加工之技巧，已令人驚嘆不置，前已述之矣。

現代銅使用量之多，僅次於鐵，蓋銅在熱與電氣上，有貴重之性質，故也。銅之熱傳導度，為銀之九二%，鐵及鋼之 $\frac{1}{3}$ 倍，故適於製造庖廚器物，電氣傳導度亦甚高，與銀相伯仲，故以製電線等，為電氣工業上所不可或缺，其他黃銅（Brass）（銅與鋅之合金）、青銅（Bronze）（銅與錫之合金）、鋁青銅（aluminum bronze）（銅與鋁之合金）、鎳銅合金等，為製造各種機械器具之材料；硫酸銅即膽礬（chalcanthite）以供染料、電氣鍍金、防腐劑等，用途甚廣；氯化銅、氧化銅、醋酸銅及硝酸銅等，亦有種種之用途。

最近世界之銅產額如次：

表 六 世界銅產額

國	名	一九二九年
美	國	九三一、一〇三公噸
智	利	三一六、〇三七公噸
阿	非利加	一四六、二三二公噸
加	拿大	一〇九、九〇八公噸
墨	西哥	七八、七〇八公噸
日本(朝鮮、臺灣在內)		七四、六四五公噸
秘	魯	五四、四一四公噸
西班牙、葡萄牙		五一、四〇二公噸
其	他	一四六、三九六公噸
合	計	一、九〇八、八四五公噸

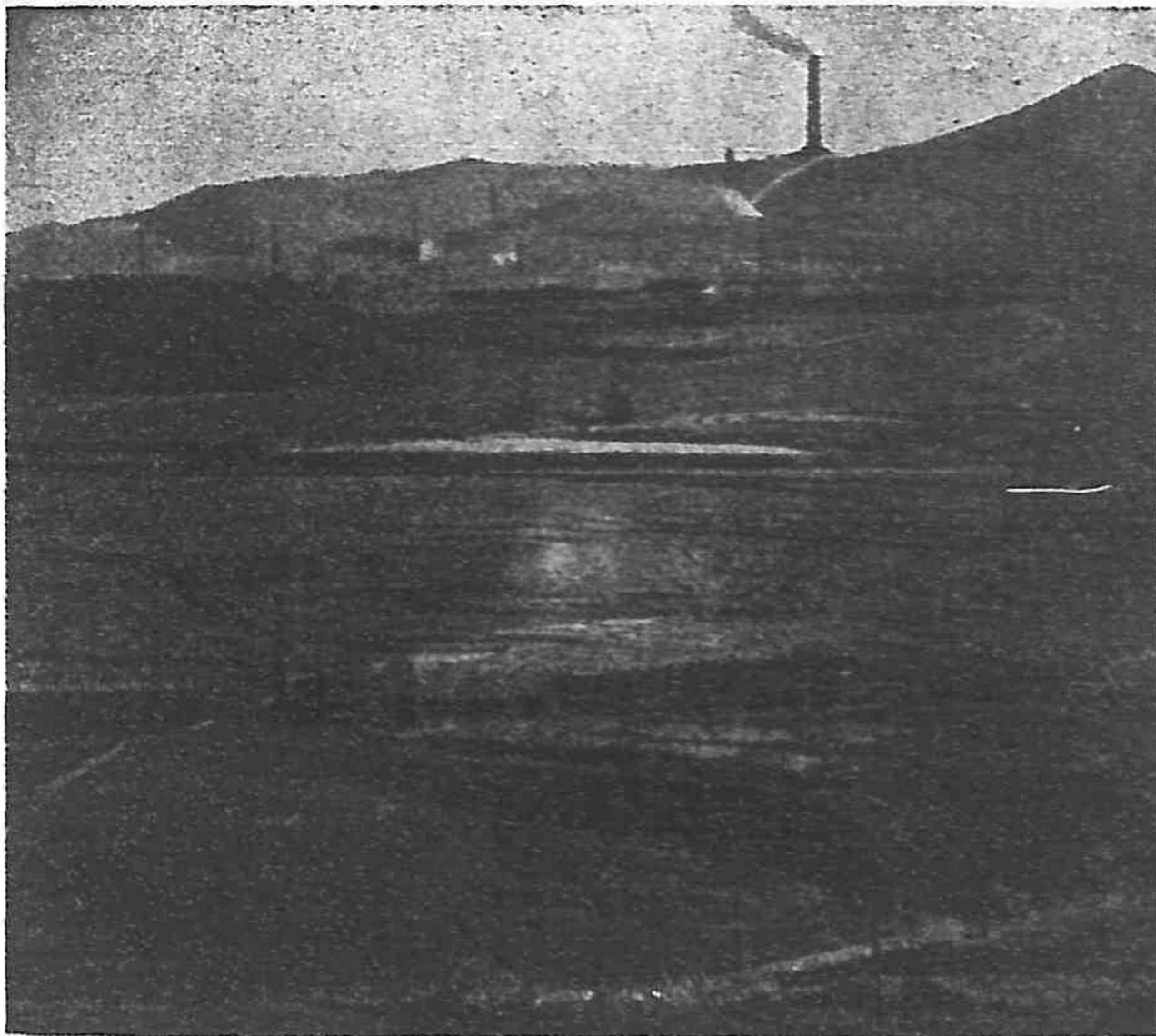


圖 73 世界第一之美國阿那昆達銅製鍊所全景

又世界最大之銅鑛公司中，年產額達六五、〇〇〇公噸以上者（一九二五年）如下：

鑛山公司名	單位萬公噸
美國阿那昆達銅鑛公司	一二·一
智利智和銅公司（阿那昆達公司所屬）	一〇·〇
美國烏台銅公司	九·七
美國赫爾卜斯多治公司	九·四
山阿非利加加丹喀銅山	九·〇
智利布勒登銅公司（烏台銅公司所屬）	七·〇
美國勒伊濟諾銅公司	六·五

(二) 銅鑛石

銅鑛石就化學的成分以分類，可分為三類：一、為自然銅鑛，二、為硫化銅鑛，三、為氧化銅鑛。

(1) 自然銅 (native copper) 自然銅之產出不多。美國蘇必略湖 (Lake Superior)

地方之自然銅鑛床，最爲廣大，世界無其匹儔。此地之自然銅，產出於杏狀岩及集塊岩中，爲品位純良之金屬銅。此外新墨西哥、秘魯，亦有稍稍產出之之處。

(2) 硫化銅鑛 硫化銅鑛之產出最廣，就中黃銅鑛爲世界的主要鑛石。硫化銅鑛有種種，茲舉其中之重要者於下：

黃銅鑛 (chalcopyrite) 化學成分爲 CuFeS_2 ，含銅三四·八%，呈較黃鐵鑛稍濃之黃色，有美麗之光澤。

輝銅鑛 (chalcocite) 化學成分爲 Cu_2S ，含銅七九·八%，產出量之多，次於黃銅鑛，美國等產出之。

其他尚有斑銅鑛 (bornite)、黝銅鑛 (tetrahedrite)、硫砷銅鑛 (enargite) 等，但產出不多。

此等硫化銅鑛，由處理上觀察，分之爲矽石質硫化銅鑛、含銅硫化鐵鑛、斑岩銅鑛三種，較爲便利。美國蒙大拿州標特 (Butte) 地方冠絕世界之大鑛脈羣及日本尾尾、尾去澤、生野等鑛脈產出

之鑛石，屬於第一類，方始探出之鑛石，含銅雖不出一%，然一經選鑛，比重小之砂石，容易以機械除去之，可得含銅達一〇%以上之精鑛，以供製鍊。又西班牙之里約廷脫（Rio Tinto），澳大利亞之嗎尼亞之來耶爾山，日本之日立、別子、飯盛等處產出之含銅硫化鐵鑛，普通含銅0.5~1.5%，先以供硫酸之製造，利用其中之硫黃後，更以供製銅之用，最後所剩之鑛滓，尚有有用之以製鐵者。

近時美國之銅山，盛產斑岩銅鑛。此銅鑛為黃銅鑛及輝銅鑛，浸染於砂石質岩石中所成之微細斑點之鑛石，雖為1~2%之貧鑛，然選鑛甚簡單，易成高品位之精鑛，近來甚見歡迎。

(3) 氧化銅鑛 氧化銅鑛為硫化銅鑛之已經氧化者，鑛床露頭之附近產出之。此種銅鑛，除氧化銅外，尚含有碳酸銅、矽酸銅等。近年智利及南阿非利加等地方發見之大銅鑛床，埋藏品位優良之氧化銅，產出氧化銅及碳酸銅不少，今日此種銅鑛，已成世界重要之銅鑛矣。茲將氧化銅鑛之種類，列舉於下：

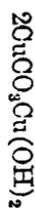
赤銅鑛 (cuprite)	Cu_2O	含銅 88.8%
黑銅鑛 (tenorite)	CuO	含銅 79.8%

孔雀石 (malachite)



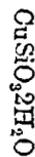
含銅 57.3%

藍銅鑛 (azurite)



含銅 69.2%

砂孔雀石 (chrysocolla)



含銅 36 ~ 40%

此等銅鑛，皆呈赤色或美麗之綠色、藍色，美觀之結晶，世以為寶石而珍重之。

(三) 銅之鑛床及銅山之概況

上述之鑛石，以如何之狀態，埋藏於地殼中乎？茲說明之於次。

銅山之鑛床，就世界主要鑛山觀之，可分為鑛脈鑛床、交代鑛床及鑛染鑛床三種。

(1) 鑛脈鑛床 美國蒙大拿州博特鑛山地方之大鑛脈羣，其巨擘也。日本足尾、尾去澤、生

野、阿仁、荒川等主要之銅山，亦多為此種鑛脈。此等鑛脈中所產鑛石，以黃銅鑛為主，黃鐵鑛、閃鋅鑛等，亦伴有之。又前述之別子、鑛山等產出之含銅硫化鐵鑛，歷來以為係結晶片岩 (crystalline schist) 中之鑛層，然今日採掘進展之結果，據稱亦係一種鑛脈鑛床云。

(2) 交代鑛床 交代鑛床，北美洲、南美洲、南非洲、墨西哥等之大鑛山，其例甚多。最近著名

之南非洲比屬剛果之加丹喀鑛山（Katanga Mine），其鑛量之豐富，品位之優良，為交代鑛床中之首位。加丹喀鑛山之鑛石，品位甚高，方始採出之鑛石，大部分含銅 7~20%，為即時可供製鍊之碳酸銅鑛及氧化銅鑛所成，於世界銅鑛業上，放一異彩焉。

又前述之美國阿那昆達銅鑛公司所屬之智利銅公司，其所採掘之鑛床，為世界第二之鉅大交代鑛床，由氧化銅鑛及半氧化銅鑛而成，含銅雖僅二·一%，然埋藏量之鉅大，據稱達六億公噸云。

上述之二大交代鑛床，均行露天掘，前者用蒸汽鑪，後者用電氣鑪，由地表行大規模之採掘。

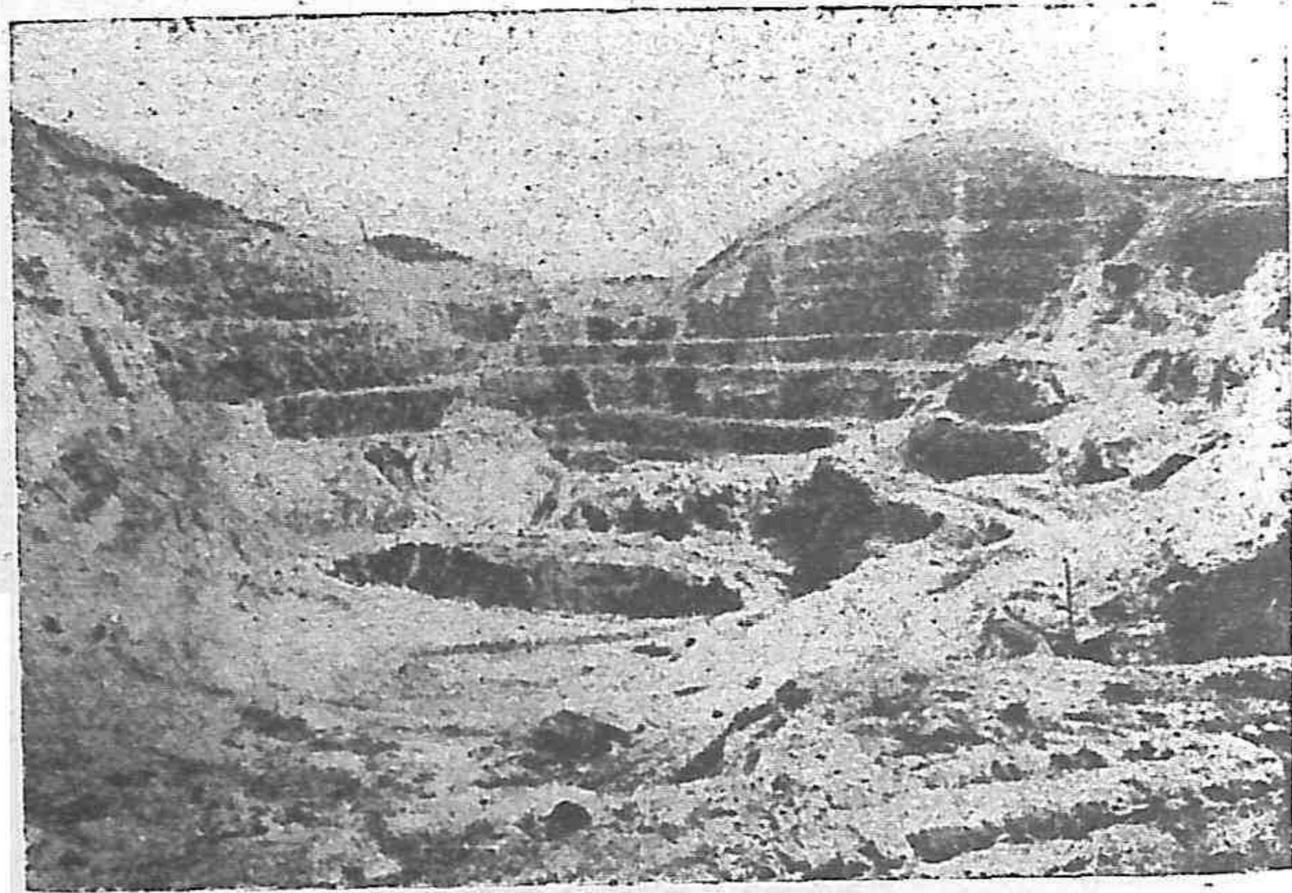


圖 74 小坂銅山露天掘

日本小坂、花崗等銅山之黑鑛床 (black ore deposit) 亦爲交代鑛床，成不規則之塊狀。其鑛石如第三節所述，爲硫化鋅、硫化鉛、硫化銅、硫化鐵等之微細混合物。脈石除砂石外，伴有多量之重晶石 (barite) 或石膏 (gypsum) 等。此等黑鑛床，由露天掘及坑內掘採掘其鑛石，不行選鑛，即以供生吹製鍊者，頗多。

(3) 鑛染鑛床 鑛染鑛床即斑岩鑛床 (porphyry deposit)，歐洲大戰以來，美國盛行探掘之。爲硫化銅鑛浸染於岩石中所成，因成斑點狀，故謂之斑岩銅鑛。最有名者爲美國烏台州丙干鑛山 (Bingham Mine) 之鑛床，其他亞里蘇那州之加巴琴鑛山、亞霍銅山等亦著名之例也。由此種鑛床產出之鑛石，含銅品位，普通較前二種鑛床稍低。然其性質，粉碎之後，適於以浮游選鑛法處理之，大戰後物價騰貴，美國銅生產費反大低下，蓋由於此種鑛床之開發，及浮游選鑛法之發達，與由此產生之粉狀精鑛反射爐製鍊之成功，故耳。

丙干鑛山，全山岩石殆一律爲硫化銅之微粉所浸染，成斑點狀，鑛石驟視之，宛如普通之岩石。鑛石含銅約 1~1.5%，銅以外之硫化物，殆未含有之。鑛床之上部，盡皆氧化，硫化銅變爲氧化銅，

含銅量僅〇・六五%，然可立即用硫酸以溼式收銅法處理之。至下部含硫化銅之鑽石，送往選鑛場粉碎之，一舉而行浮游選鑛法，可得含銅一七%之精鑛，以反射爐製鍊之。

此種鑛染鑛床之採掘，行大規模之露天掘者亦多。丙千鑛山，全山盡爲鑽石，設數階段，於各階段行爆破後，採掘之鑽石，以鑿機由一端順次扒取，裝入大貨車（可容六十公噸），以火車送往一日處理量達三萬公噸之馬古那及阿薩兩大選鑛場。此種狀況，極爲偉觀，而其工程，亦極簡單。以含銅僅在一%以上之貧鑛，亦能作經濟的處理，蓋由於規模如此其大，工程如此其簡單故耳。此山之埋藏鑛量，據稱達三億公噸，年產銅十萬公噸，誠世界銅山之泰斗也。

日本亦爲世界有數之產銅國，茲將其主要之銅山及其操業狀況，略說於次。

（1）足尾銅山

足尾銅山，在日本栃木縣，爲日本第一之大銅山。面積東西三千呎，南北四千呎。有三百條之鑛脈與交代鑛床，產出品位頗高之矽石質黃銅鑛。此銅山發見於一六一〇年，一六二〇年爲幕府所直轄，由露頭大行採掘良質之鑛石以供製鍊者約百年，以後時有盛衰，自一八七七年爲古河氏所

有以來，遂爲日本著名之銅山。

附近之地質，爲古生層之黏板岩、砂岩、砂岩所成之互層，有花崗岩及石英斑岩噴出貫入其中，後又有石英粗面岩之岩漿由旁噴出。後者冷卻收縮後，生多數之裂罅。此等裂罅中，石英或綠泥岩質之脈石與黃銅礦、黃鐵礦、磁硫鐵礦、硫砷鐵礦及若干之閃鋅礦、方鉛礦等，充填於其內。鑛脈之寬度，二呎以上者頗多，延長有達二千呎者。以前因僅採掘此等鑛脈，故以爲尾鑛床，僅存在於石英粗面岩之中，係一種純然之鑛脈。及近來方始繼續發現石英粗面岩以外，砂岩之中，亦處處有黃銅礦之塊狀鑛床。此塊狀鑛床卽俗所謂河鹿，今日尾鑛產銅年額約六千公噸之中，其所產出，達七〇%焉。

故尾鑛床，由鑛床學上觀之，可分之爲鑛脈鑛床及交代鑛床。其成因，據稱前者爲高溫度之酸性水溶液，上昇入石英粗面岩裂罅中，所成之石英質鑛脈，後者爲上述作用暫時衰弱後，鹼性溶液浸入砂岩內，沈澱銅於其中，所成之塊狀交代鑛床。

採鑛之方式，鑛脈用上向階段法；石英粗面岩中鉅大塊狀之河鹿鑛床，用士林刻幾法(Shinn-

kingo stoping) 利用鑛石之自然崩壞；至堅硬之砂岩質河鹿則用斯揆亞·塞特法 (Square-Set stoping) 向上掘進。採掘之法，普通用足尾式小型鑿岩機，鑿孔裝入爆藥及黑色火藥而爆破之。採掘鑛石之運搬，用手推鑛車，各坑道之鑛石，由豎坑捲揚至主要通洞，以電車或汽油機關車 (Gasoline locomotive) 運出坑外，送往選鑛場。

足尾從事採掘時，鑛床之探鑛，亦不可一時忽視之。尤其河鹿鑛床，巨大之鑛塊，有因行探鑛，於不及預料之處發見之者。探鑛之方法，或開鑿坑道以探鑛床之有無；或用薩利凡式金剛石試鑽機 (Sullivan diamond drill) 於岩石中穿直徑四種餘深達一〇〇呎之孔，以探鑛石之有無；或以塔布洛鑿岩機 (Turbo drill) 於各處鑿深達10~12呎之孔，以探鑛石之有無，行種種之方法。

坑內通風，普通為自然通風，惟特殊處所，亦用送風機 (ventilator) 送入空氣，以增風速。

排水法，通洞水準以上之水，使由坑道或坑井流至通洞，通洞以下之水，以各處設置之唧筒 (pump)，吸之至通洞；各處之水，統由通洞排出坑外。由坑內排出之坑內水 (mine water)，其一部分內，含有硫酸銅，使流過內盛鐵屑之槽內，沈澱其中之銅於鐵屑上而採收之。每年由此產生之銅，

達五六十公釐。此種由坑內水採收銅之法，一般之銅山均行之。

選鑛場，由坑內搬出之鑛石，有一號粗鑛、二號粗鑛及砂鑛等三種，各依其品位以行選鑛。在坑內以手選出之上鑛，或河鹿鑛床之上鑛，含銅約一三%，即送往製鍊場，以供製鍊之用。此外之粗鑛，平均含銅約三%，須經過機械的選鑛。

選鑛順序，鑛車 (ore tub) 運來之鑛石，由鑛車移至鐵棒之斜格子上，篩分之爲一二〇耗以上及以下之二種。一二〇耗以上者，用以鎚粗碎之，選出其中之捨石與精鑛。一二〇耗以下者，再以六〇耗之篩篩分之，精鑛及廢石，以手選出之。精鑛與廢石互相密着手所不能分離之鑛石，謂之中鑛，以齧鑛機及輾鑛機等粉碎機粉碎之之後，以圓筒篩篩分之，依其粒之大小，區分之爲種種，利用比重之差，一一用跳汰機淘汰分離之爲精鑛、中鑛、廢石三種。中鑛再以輾鑛機、磨鑛機等粉碎之，再依其粒之大小，區分之爲數種，以威爾夫勒式、窩巴斯特洛蒙式、夫紐式等種種之淘汰盤，採收其中之精鑛。由淘汰盤排出之中鑛，更以鋼球磨鑛機粉碎之成細粉，以浮游選鑛機處理之，使砒化銅礦浮游而採收之。

由選礦場送出之精礦，平均含銅一二%。

(2) 別子銅山

別子銅山在日本愛媛縣，為四國山脈之一部，自最初採掘以至今日，已二百四十年矣。最初之採掘，係自高出海面一、二〇〇呎之露頭開始，現已隨鑛脈達露頭下一、四〇〇呎之地中，鑛脈左右延長一、三〇〇呎，厚2.7呎，一大鑛脈也。

鑛山之地質，屬於結晶片岩，綠泥片岩石墨片岩之互層內，有石英片岩、絹雲母紅簾片岩片岩介入其中。鑛脈為含銅硫化鐵鑛床，成生於石墨片岩中，周圍為石英片岩及石英雲

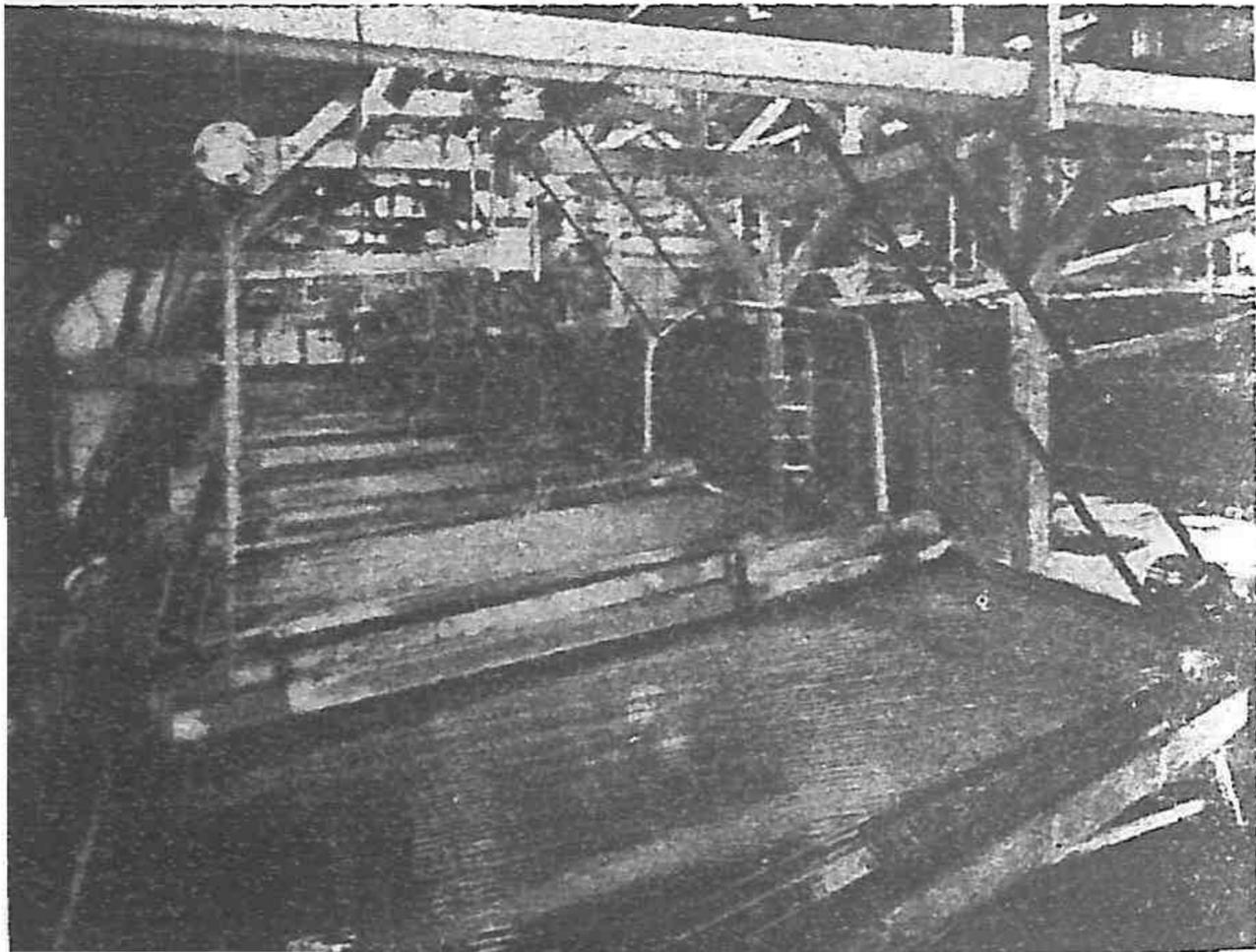


圖 75 窩巴斯特洛蒙式淘汰盤

別子銅山之採鑛法，如前所述，極爲單純，可行正規之作業。該山由高出海面一、一五〇呎之山腹，於鑛脈之下壁 (Foot wall)，開鑿斜坑，沿此斜坑，由上起設一號坑道、二號坑道等八水平坑道，由此以採掘第三通洞以上之鑛脈。第三通洞以下之鑛脈，則於坑內開鑿垂直大豎坑，更由豎坑開鑿九號坑道、十號坑道等四水平坑道以採掘之。坑道間之垂直間隔，各約九〇呎，水平延長，各約一二〇〇呎。別子銅山因地勢甚急峻，故由山腹開鑿通洞，距離不甚長，即貫通鑛脈之腹部。然最下部之大通洞，即第四通洞，於山之北麓高出海面一三〇呎之處，斜貫鑛脈，爲長達四千呎之大隧道。

鑛石採掘之先，於鑛脈中設坑道及坑井，區分鑛脈爲上下三十呎或四十五呎左右四十五呎之碁盤形，然後於各區劃內，着手鑛石之採掘。

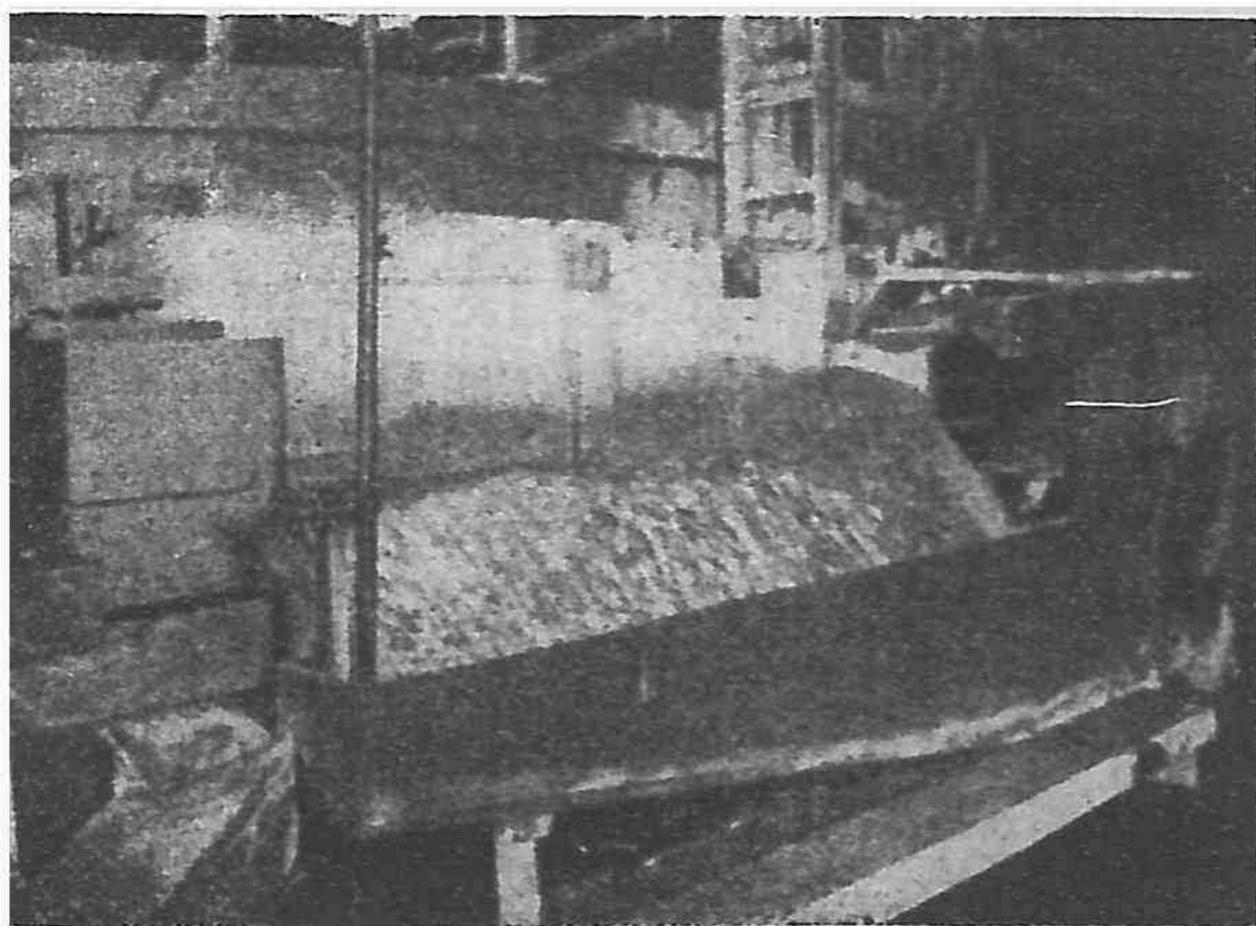
採掘鑛石，普通用鑿岩機。鑛脈狹隘部分，用階段法，由下部坑道向上採掘。寬大部分，用水平採掘法。至寬二呎以上而兩側母岩堅硬之處，則用「工林刻幾」法。

已經採掘之鑛石，使由坑井落下，於下部坑道以手推鑛車承之，集中於通洞，以電車搬出坑外，送往手選鑛場。

坑內通風，爲自然通風。排水亦甚簡單，各通洞上部之水，流集於各通洞後，由通洞流出坑外。

坑內水，沈澱採集其中之銅後，充分稀釋其中之有害成分，然後放之相距十數杆之海中。

由坑內搬出之鑛石，送往通洞坑口附近之手選鑛場，大塊者粗碎篩分之，由選鑛夫選去其中之岩石，其中之塊狀硫化鑛，選出送往硫酸製造所。含銅豐富之上鑛，選出送往製鍊所。其餘粉鑛及貧鑛，則送往新居濱之機械選鑛場，以行浮游選鑛或重力選鑛。



76 行浮游選鑛時，硫化銅浮上成泡狀，而流出之光影（荒川鑛山）。

送來新居濱機械選鑛場之粉鑛及貧鑛，含銅約 1.4~1.8%，爲岩石及硫化鐵所成。粉鑛用重力選鑛法，由重力之差，分之爲上鑛、硫化鑛及貧鑛三種，上鑛送往製鍊所，硫化鑛利用其硫黃，與上述之塊鑛相同。

貧鑛一律以粉碎機粉碎之成細粉，然後行浮游選鑛。

含銅硫化鐵鑛之浮游選鑛法，屢經研究，最近別子銅山及日立銅山等，始完成之。以前之浮游選鑛法，僅能分離硫化鑛物與脈石，黃銅鑛與黃鐵鑛（卽硫化鐵鑛），則同時浮游，未能互相分離，故銅之品位，難以提高。然近日不使硫化鐵鑛浮游，僅使黃銅鑛充分浮游之方法成功，銅之品位，大可提高，此法稱爲黃銅鑛之優先浮游選鑛法。

別子銅山之浮游選鑛法，已成細粉之鑛泥，稍加石灰水，使成鹼性，送入浮游選鑛機內，一面滴下極少量之白色樟腦油，一面以高速度攪拌之，則黃銅鑛因油之作用，卽與岩石及硫化鐵分離而浮游。行優先浮游選鑛時，據稱含銅僅二%之鑛石，可成爲含銅達一五%之精鑛，浮游之銅，實收率達八五%以上云。

(3) 日立鑛山

日立鑛山在日本茨城縣助川驛之西，發見於一五九八年，舊稱赤澤銅山，殊為微微，及日俄戰爭後，勃然發展，以至今日。

地質為古生層所成，角閃岩及石灰岩之岩層內，因花崗閃綠岩之進入，遂生含銅硫化鐵鑛之交代鑛床。此鑛床由多數含硫化鑛，形狀甚不規則之鑛體而成，現在採掘中之鑛體，亦有五十個之多。此等鑛體，多集中於長二杆寬〇・五呎之面積中，故數十之鑛體，便利上區分之為數羣而採掘之。鑛體之大者，水平延長及深，將及六百呎，寬有達三十呎以上者，亦有只數呎者。

鑛石以黃鐵鑛為主，黃鐵鑛結晶面之周圍，為黃銅鑛所膠着，含銅約一・八六%。上述鑛床之附近，寬一・五杆長二・三杆之範圍內，由硫化鐵變成之褐赤色褐鐵鑛之露頭，各處散在，此範圍內全部為鑛床帶，一望即知。

採鑛之狀況，試一述之，以高出海面三五〇呎之高度為基面，由基面起，上下每垂直距離三十呎或四十五呎，設一水平坑道。現今最下底之水平坑道，在基準坑道以下約五六〇呎，在基準面以下

二百餘呎。

國立北平圖書館藏

鑛石探掘之方法，因鑛體之形狀及大小不規則之故，未能一定。鑛體之寬度不甚大者，行段缺法，塊狀鑛體行殘柱段缺法，其他尙行種種方式之折衷法。鑛石之探掘，用手掘或鑿岩機，探掘跡搬入廢石或泥砂充填之。

日立銅山之鑛石，雖與別子銅山同，同爲含銅硫化鐵鑛，然鑛床之狀態則大異。別子爲一枚整然連續之鑛脈，日立則數十鑛體，出沒無常。故日立鑛體之探鑛作業，未可一日忽諸。昔時微微不足道之赤澤銅山，一躍而成今日偉大之日立銅山，全屬探鑛之效果。故該銅山常投不減於探鑛費之距費以探鑛，而著成功焉。

探鑛之方法，先就地質鑛床圖、坑內圖等，研究岩石之性質，除探索既知鑛體之周圍外，須更進而發見未知之鑛體，故就各方面廣汎行之。除用手掘或鑿岩機開鑿坑道外，又由地表或坑內鑽孔以調查岩石之變化，搜索鑛石之有無。鑽孔機用金剛石鑽孔機 (diamond drill)，有出爾哈加式、薩里凡式及克拉路斯式等，深可達一千呎。此等機械，鐵管之下端，裝有錐冠 (crown)，錐冠上嵌有

金剛石，迴轉鐵管則孔漸鑽漸深，可得直徑約三呎之岩心 (Core)，地中岩石之性質及鑛石之有無，可由此岩心以判斷之。

採掘之鑛石，含銅約3%內外。然亦有含銅極少，殆全屬硫化鐵鑛，含硫黃達40%之處。此外含銅1~2%之鑛石亦不少。由坑內搬出之鑛石，先分之為塊鑛與粉鑛，大部分行手選，其餘以跳汰機或淘汰盤行重力選鑛。

日立之硫化鐵鑛，其結晶粒較大，約0.1~0.3公厘。膠着於其周圍之黃銅鑛，性脆，粉碎鑛石時，極易成微粉。故兩者以淘汰盤分離之，含多量硫黃之硫化鐵，送諸市場，以作硫酸製造之原料。

以前含銅硫化鐵鑛之重力選鑛，黃銅鑛與黃鐵鑛之分離，一般頗為困難。然至近年，如別子銅山頂所述，浮游選鑛法，可以適用，與石相混合銅甚少之貧鑛及含銅甚低之硫化鐵鑛，粉碎後，置之加洛式 (Callow type) 及KK式油選鑛機之中，以行優先浮游選鑛，可得含銅12~13%之精鑛，鑛滓中僅餘銅0.2%。

(四) 銅鑛製鍊法

(1) 製鍊法之大要 銅鑛石之製鍊，視鑛石之性質如何，有種種之方法。然可大別之爲乾式製鍊法與溼式製鍊法二種。現今世界產銅年額百四十餘萬公噸之內，十分之九，皆用乾式製鍊法，由溼式製鍊法鍊成者，僅其餘十分之一耳。

以下就此二種方法說明之。

現今各國所行之乾式製鍊法，或用直立式之熔鑛爐，或用反射爐。

製鍊順序，無論何種方法，均大同而小異。茲試簡單說明之，先熔融鑛石，使其中之無用成分矽石質脈石及鐵分等成鏱而除去。此時銅與硫黃結合之力甚強，二者結合而成硫化銅，與硫化鐵相混，是即銅鏱。次置銅鏱入轉爐內，吹入空氣，使起氧化作用，則鐵與硫黃氧化而除去，即得粗銅。粗銅以電氣分解法精製之，即得電氣精銅，以供市場之需要。

反射爐與熔鑛爐相比較，熔鑛爐適於塊鑛之製鍊，歷來爲一般所使用。然近來選鑛法日愈進步，無論何銅山，皆由選鑛產生高品位之精鑛。粉狀精鑛之量既大增，不適於粉鑛製鍊之熔鑛爐，遂漸絕跡。現在美國殆已全部改用反射爐矣。現在全世界產銅十分之七，皆反射爐製鍊所產生也。

日本銅製鍊所，約十數處，其著名者爲小坂、尾去澤、日立、尾小屋、足尾、四阪島、佐賀關、直島等。以上八製鍊所產出之銅，約占日本產銅全額十分之九。日本銅鑛之製鍊，殆皆用熔鑛爐，反射爐只直島製鍊所有一座耳。蓋日本之製鍊所，一則因規模不大，無多量之粉鑛，足供反射爐之大量生產；一

則因生鑛吹製鍊法頗爲發達，需要多量石炭之反射爐，難完全發揮其能率，故也。此外日本之銅鑛，一般多含硫化鐵，適於生鑛吹之熔鑛爐製鍊，尤爲反射爐製鍊不發達之原因。

溼式製鍊，適於品位劣等之鑛石。不能以選鑛法提高品位之貧鑛，以此法處理之。此法之種類



圖 77 銅製鍊工場之內部

甚多，其重要者，如含銅硫化鐵鑛，首先利用其中之硫黃，次由其殘滓抽出銅，最後之鑛滓，再以供製鐵之用時，則用氯化焙燒之溼式製鍊法；硫化銅鑛及含硫化銅鑛之鑛石，則行硫酸或硫酸第二鐵溶液之溶解法；含銅硫化鐵鑛之貧鑛，則長年月堆積之，使其風化溶解；其他自然銅以及碳酸銅，可以鹵精溶解之；視鑛石之性質，地方之狀況，有種種之方法。一般銅之貧鑛石，溼式法之所貢獻，決不為少。

次就乾式製鍊法中之熔鑛爐法及反射爐法說明之。

(2) 熔鑛爐製鍊法 熔鑛爐製鍊法，就日本之例觀之，可區別為製鍊含銅硫化鐵鑛之法及製鍊含鐵不多之矽石質銅鑛之法二種。前者為四阪島、日立等製鍊所，製鍊之鑛石，含銅品位以日立之二·七%為最低，其他約為三·五%。如前所述，含銅硫化鐵鑛，本可適用優先浮游選鑛，選出高品位之粉狀精鑛以供製鍊，然今日日本之此種銅鑛石，不經機械選鑛，只經手選之塊鑛部分尙多。然矽石質之銅鑛，例如足尾、尾去澤等處之鑛石，多含矽石質之脈石，此種鑛石，以行機械選鑛，容易提高其含銅品位，故以供製鍊之精鑛，品位頗高，例如足尾含銅為一〇%，尾去澤含銅為六%

是也。惟此種鑛石，須多量製鍊其粉鑛。粉鑛因不適於熔鑛爐之製鍊，易使熔鑛爐作業發生困難，故於製鍊之先，須行熔鑛之準備作業，使成塊狀，然後裝入熔鑛爐內。此種準備作業，以前稱為團鑛法（ore briquetting），粉鑛以機械擣固之，製為團鑛（ore briquette），然後以供製鍊之用。及二十數年以來，粉鑛之燒結法（sintering）（即焙燒粉鑛使成塊狀然後裝入熔鑛爐之法）盛行，現在多數之製鍊所，均採用之。

燒結法 燒結法有壺燒法（pot roasting）及燒結機械爐法二種。日本一般行壺燒法，係自美國傳來，現極為發達，為熔鑛爐製鍊不可缺之作業。

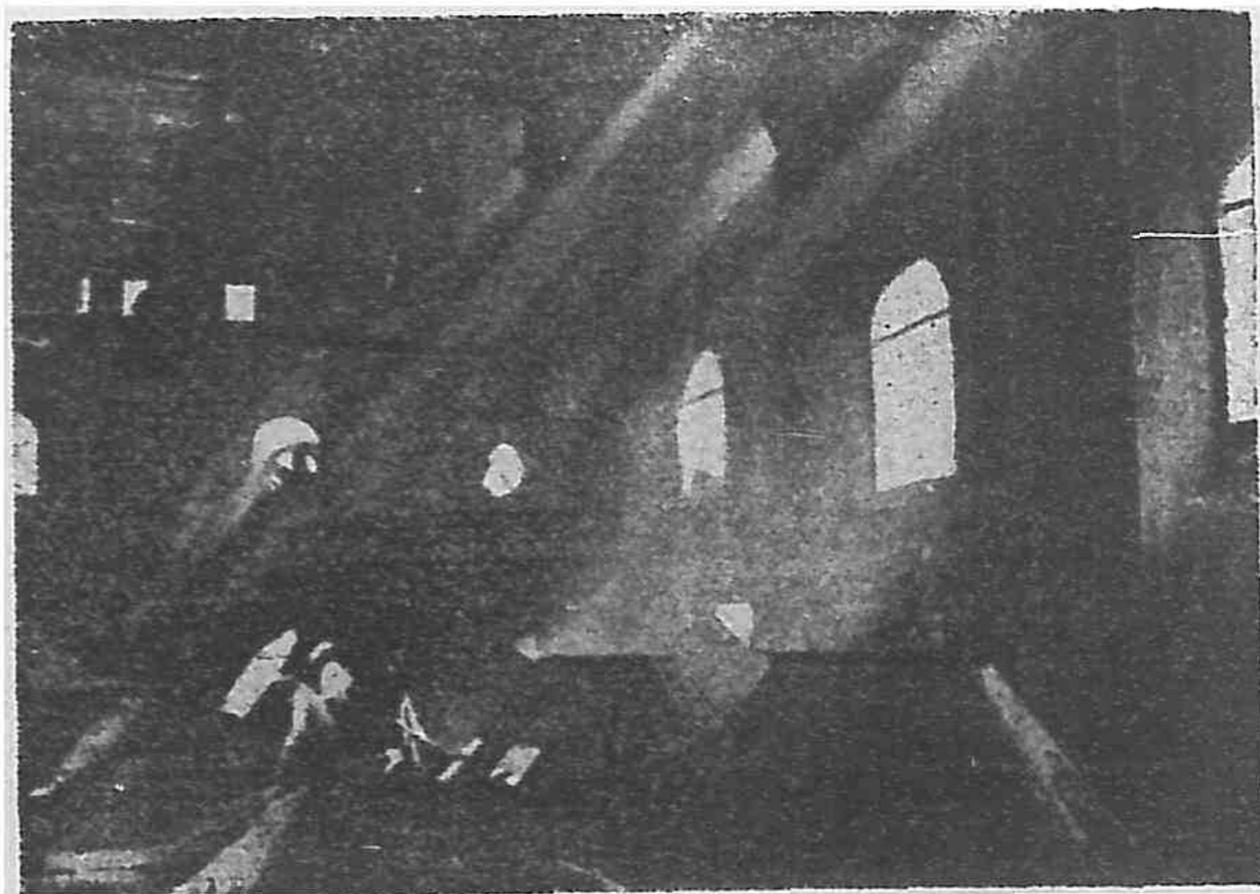


圖 78 壺 燒 工 場

至其他各國，則現殆已無行此法者矣。

壹爲鑄鐵或鋼板所製，爲半球形，裝入少量之薪於底部而點火，一面由下底送風，一面由上次投入粉鑛，一回可焙燒十數公鐵之粉鑛，圖七八所示，卽其作業之狀況。送風之壓力，爲汞柱 30 公耗。如此焙燒，硫黃除去，同時粉鑛亦被燒結。茲試舉一二例如下：日立銅山之燒結，一回需五點鐘，含硫黃 20% 之鑛石，硫黃減至 5%。燒結既畢，使落至地上，碎爲適當之大，然後裝入熔鑛爐中。又足尾銅山，燒結需八點鐘，脫硫率爲 60%。

機械的燒結爐，用德歪特洛伊德式燒結機 (Dwight Lloyd sintering machine) 或古利那瓦爾特式燒結機 (Greenwalt sintering machine)，以一定之厚平鋪粉鑛於帶狀或板狀之火格子上，以煤氣燈口，由鑛石表面點火，由表面吸入空氣，使硫黃燃燒，以行燒結。日本日立，以前曾試用此種機械，最近四阪島亦用古利那瓦爾特式燒結機。

團鑛法 日本小坂、佐賀關等製鍊所，粉鑛之處理，今日猶行此法，又併用壺燒法。其他各國，則殆已不用之矣。小坂製鍊所用之團鑛機，以鐵製之擣鑛機爲主，女工一人用二杵或四杵，杵作上

下運動，由其落下以搗固鐵臼中之粉鑛。製成之塊，一個之重，約二·五尅。此外又用機械製團機，以三百氣壓之壓力，製每塊重約七·五尅之團鑛，以供製鍊之用。

已經燒結之粉鑛或團鑛，與塊鑛相混，裝入熔鑛爐內，一同製鍊之。所加粉鑛之量，最多可約達全鑛量之四〇%。惟較之僅處理塊鑛時，熔鑛爐之作業上，自不免稍感不便。

熔鑛爐 上述之燒結鑛、團鑛及塊鑛，調合以熔解劑石灰石或砂石，加以適當量之焦煤，裝入熔鑛爐內製鍊之，使銅鈹與鍍相分離。熔鑛爐為水平斷面為圓形或長方形之直立爐，其外觀

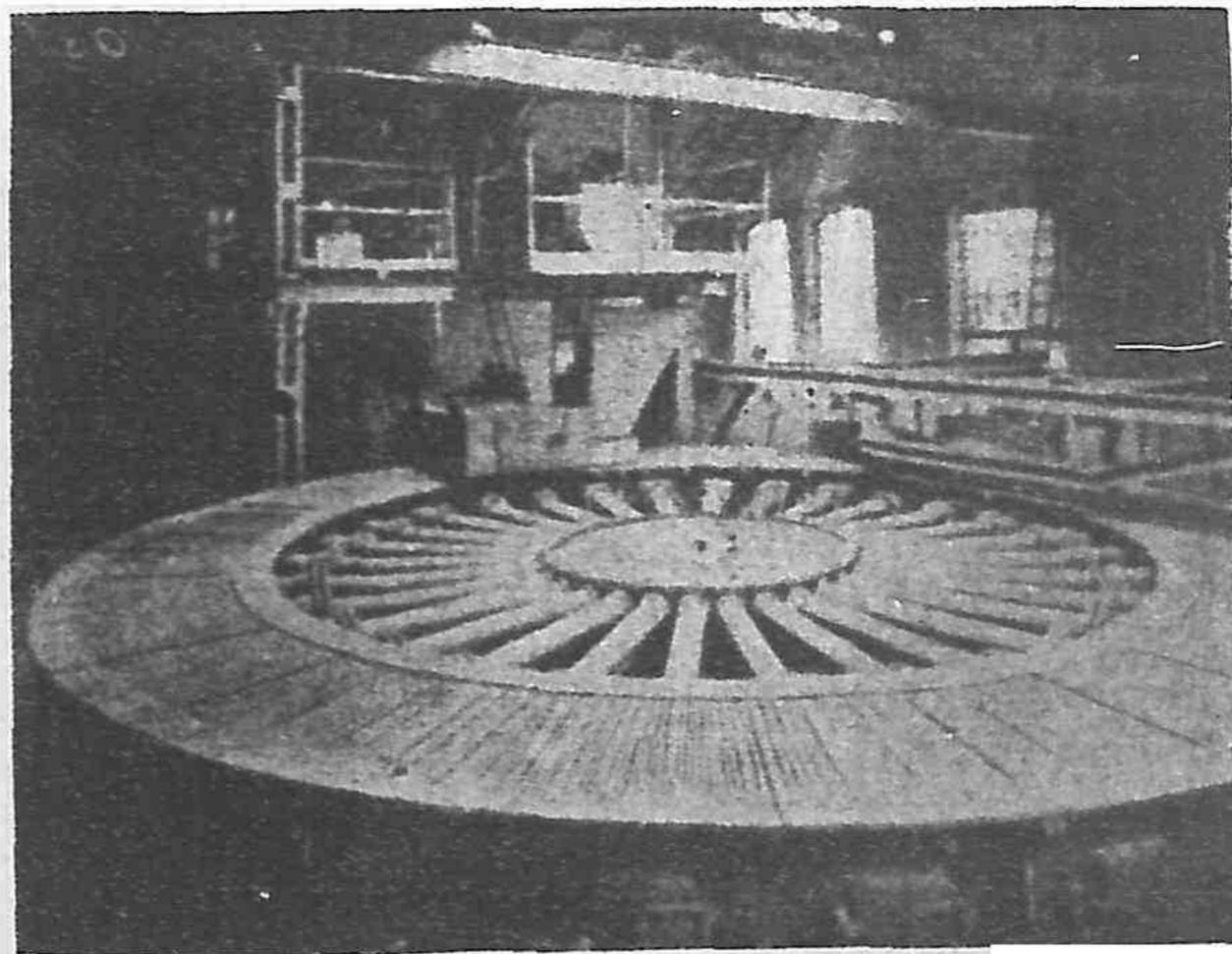


圖 79 圓型德至特洛伊德粉鑛燒結機

如圖八〇所示。大小有種種，自直徑一呎餘之圓筒形者起，大者有寬一呎餘長二十六呎之長方形者。日本十數年前，長達二十呎之大爐，亦曾流行，今則大抵長六至七。五呎寬一。二呎者，為大製鍊所用銅熔鑛爐之標準。

爐之構造，試一述之：普通爐之上部，以磚築之，下部之壁，為二重之鐵鑄物或鋼板，二重壁之間，以冷水循環之。此種構造，稱為半水筩

式熔鑛爐。有時，爐上下部均成水筩式者亦有之。由爐底至爐頂，全體之高，普通約六呎內外。自爐底起，約一呎之處，有數多之小穴，謂之風口，由此送風入爐內，以行製鍊，為熔鑛爐最重要之處。普通直徑十五呎之風口，以〇・五呎之中心距離，水平並列於爐之周圍。

鑛石之調合物，由爐頂投入。由爐下部上昇之氣體，及達爐頂，被吸入煙道（*chase*）內。混入煙中

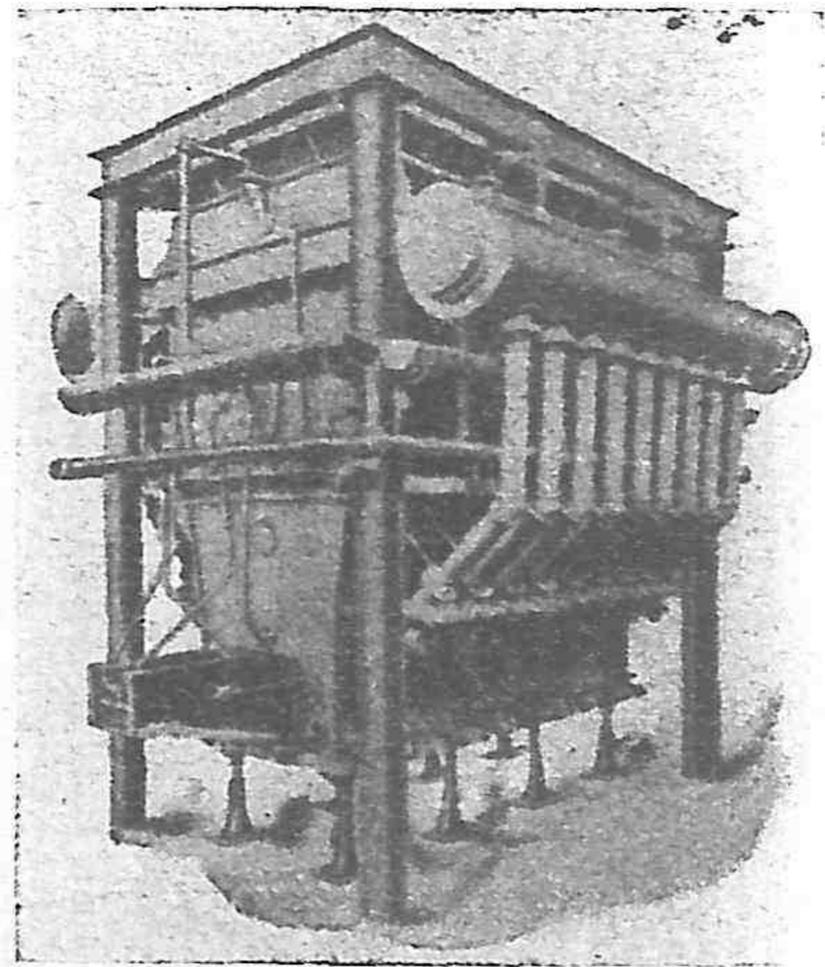


圖 80 普通所用之銅之熔鑛爐

之鑛石粉塵及揮發金屬之煙灰等，使其沈澱後，以石灰水吸收其中之亞硫酸氣，然後由煙突放之空中。

塊鑛、燒結鑛、團鑛、焦煤、熔解劑等，運搬來後，由熔鑛爐上部之裝入口，各依其調合量之比率，裝入爐中。裝入後，各物在爐內徐徐降下，由風口送入空氣，發生氧化熱以熔融之。

鑛石在爐內熔融後，由爐底部流出，入於外部之受器即前床內。在前床中，比重大之鉍沈下而集於下層，鉍則浮於上層，不斷的由上部流出。由前床流出之鉍，入於另一大受器之內，俟其中微量之鉍沈下後，以鍤壺搬往棄卻場，或使流入槽內，由槽流下之際，以水冷卻之，使成粒狀之鉍，而棄之溜池。

在前床內沈於下層之鉍，時時使之流至受鍋，搬至製銅部，或使之由前床側面流至鋪砂之地面而冷卻之。

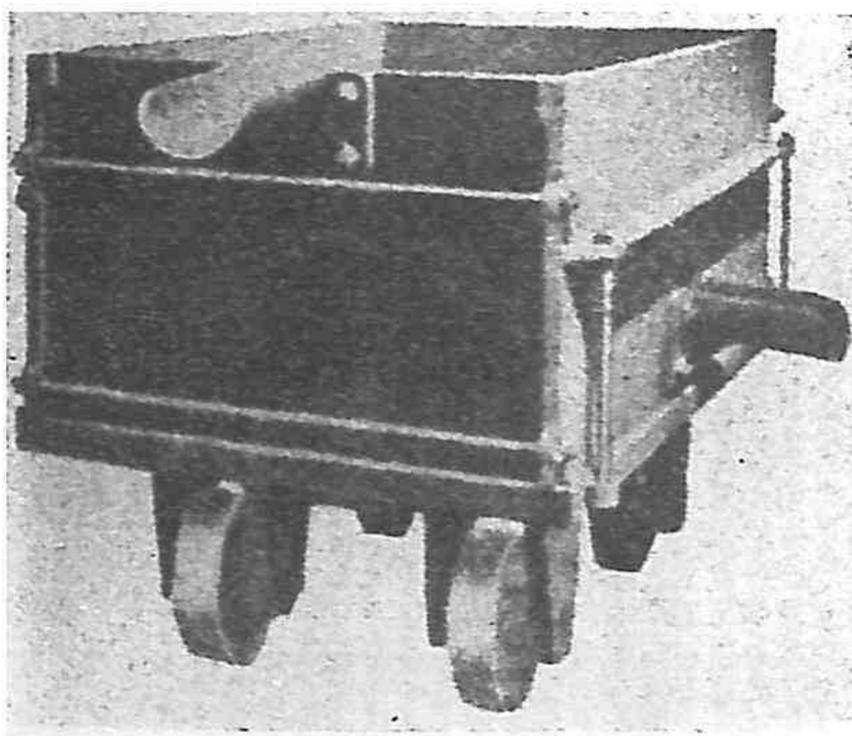


圖 81 前 床

(圖八一)至送入爐中之空氣，以魯茲式或塔玻式送風機壓縮空氣，經過送風管，由爐之風口送入爐中。普通風壓，每平方呎1.2~1.4磅(水銀柱 50~200 耗)；送風量，爐之水平斷面每平方尺，每分鐘120~300立方尺，或裝入物每公墩50,000~100,000立方尺。

作業中，須不斷的注意由前床流出之鍍及鉍之狀態，由其流出之狀態及色，可以判斷熔鑛爐內部之狀態，是否順暢。又有時職工時時由風口送入粒狀之石炭於爐內，以助風口之作用。

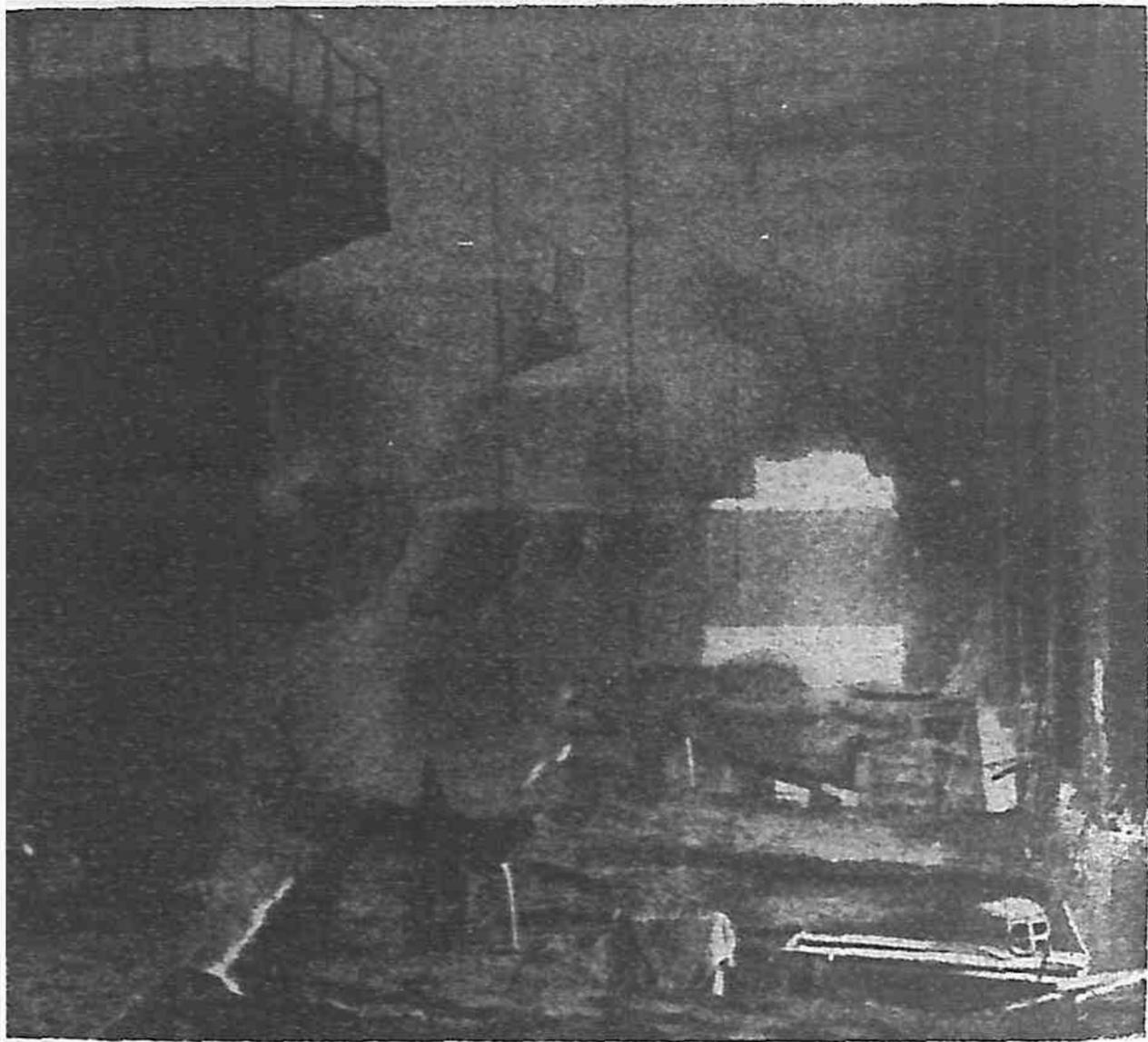


圖 82 銅山熔鑛爐工場之內部

此炭謂之風口炭，此法僅日本行之。

銅鑛之熔鑛製鍊，試由化學上解釋之：銅鑛石之熔鑛製鍊法，本有還元吹（*reducing smelting*）與生鑛吹（*pyritic smelting*）之二方法。純粹還元吹之作業，現在日本殆已絕滅，現在日本一般所行者，爲生鑛吹或半生鑛吹（*semi-pyritic smelting*）。

還元吹 以已經焙燒，其中硫黃已相當除去之鑛石爲原料，或含銅硫化鐵鑛，以製造硫酸後，以其燒滓爲原料，調合以多量之焦煤，裝入熔鑛爐內，則鑛石因焦煤燃燒之熱而熔解，氧化銅等即行還元。

生鑛吹 鑛石中含有多量之硫化鐵（黃鐵鑛）時，不行焙燒，即以裝入熔鑛爐內，送風使之氧化，以所發生之氧化熱，熔解鑛石，不再用燃料，亦名自熔製鍊。

生鑛吹製鍊方法，最初起於美國及澳大利亞，二十數年前，日本小坂鑛山黑鑛之製鍊，應用之大收效果。日本銅山因含多量硫化鐵之銅鑛甚多，故現在此法大爲發達。

熔鑛爐內之化學變化 熔鑛爐內所起之化學變化，試一觀察之：由爐頂裝入爐內之鑛石，因

爐內下部高熱氣體之上升，失其水分。次硫化鐵（ FeS_2 ）因熱之故，起分解作用，硫黃之一分子，成游離硫黃，以蒸氣之狀態，與煙一同離爐而去。殘餘之硫化鐵（ FeS ），再受爐內之高熱，一面多少失去其硫黃，一面向下降下，及達風口上部距風口 $0.5 \sim 1.0$ 呎之處，遂燃燒而開始熔融，同時又爲由下部送入之空氣所氧化，硫黃成亞硫酸氣，鐵成氧化鐵，發生多量之熱。所生之氣體，上昇爐頂，所生之氧化鐵，與矽石化合，成矽酸鐵，爲鍍之主要部分。小部分未被氧化之硫化鐵，與硫化銅結合而生銅鉍。此銅鉍與鍍同滴下集合於爐底，如前所述，由爐流入前床，因比重之差，互相分離。

上述作用，硫化鐵之燃燒愈烈，則熱之發生量愈多，故短時間之內，不獨可製鍊多量之鑛石，且無須予以燃料。

如上所述，行生鑛吹時，鑛石中之硫化鐵、矽石、送風量，各有一定之比率，是爲生鑛吹之三大要素。

生鑛吹之實際調合物中，約有 $25 \sim 50\%$ 之硫化鐵，且含有適當量之矽石，鐵一經氧化，即成矽酸鐵而構成鍍。由上述理論觀之，生鑛吹爲自熔製鍊，自無使用燃料之必要。然純粹之自熔製鍊，

實際殆未有之，均須使用若干之燃料。普通調合焦煤於鑛石內，又由風口加入石炭，所需燃料，共約鑛石之 $\frac{1}{10}$ 。惟小坂銅山，鑛石不用焦煤調合，只由風口加入四分之石炭，可視為自熔製鍊。其他則皆半自熔即半生鑛吹也。

生鑛吹製鍊上，最重要者為送風量，已如上述。高壓力之空氣，多量送入時，硫化鐵之氧化（即燃燒），甚為激烈。反之，風量少，壓力弱，則燃燒作用，甚為緩慢。故風量及風壓，於熔鑛之工作量，有大關係焉。日本熔鑛爐之風壓甚低，故其熔鑛作用，甚為緩慢。日本熔鑛爐之床能率，每平方尺，一晝夜約熔解調合物 $10 \sim 15$ 公噸，與其他各國風壓二百耗，床能率一晝夜 $50 \sim 60$ 公噸之急速製鍊較，熔鑛量僅其三分之一。然實際急速製鍊，燃料之使用率，有過高之傾向，由燃料之價格及工資着想，行緩徐製鍊，未為無利也。

銅鑛製鍊所生之鍍，主為氧化鐵與矽石分化合而成之矽酸物。其性質愈易流動，比重愈小，愈易與鍍完全分離。鍍中成分之表示法，一般其中含有之矽酸，稱之為酸，含有之氧化鐵、石灰、苦土、氧化鋇等氧化物，稱之為鹽基，矽酸中氧之含有量與鹽基中氧含有總量之比，稱為鍍之矽酸度，依比

值之大小，或稱爲一矽酸鍍，或稱爲二矽酸鍍等，已略述於第二章矣。富於鹽基性之鍍，雖富於流動性，然有比重過大之缺點。富於酸性之鍍，比重雖小，流動性又不良。故普通取二者折衷之成分焉。例如日本日立製鍊所爲一·二矽酸鍍，小坂爲一·七矽酸鍍，前者含矽酸三六%，後者含矽酸四二%，其他之製鍊所，則取此中間之成分是也。至逃入鍍中之銅，普通爲0.2~0.3%。又產出高品位鍍之處，逃入鍍中之銅，亦不免稍多。

各製鍊所既須作適當成分之鍍，故不可不按其鑛石之成分，以相當之熔解劑調合之。例如矽石質之鑛石，加石灰石，鐵過剩之鑛石硫化鐵鑛，加矽石，由經濟上計算以決定之。

就中有不可不注意者，即熔解劑用矽石時，若用含有金銀之矽石鑛，則金銀完全爲銅鍍所吸收，既收銅製鍊之效果，又能抽出金銀，誠一舉而兩得也。

以上已就銅鑛之熔鑛爐製鍊說明其大要，以下再就熔鑛爐之產出物鍍(matte)與鍍(alag)，稍說明之。

鍍爲硫化鐵、硫化銅熔融混合而成之物，兩者之比率，並不一定。銅增加則硫化鐵減少，銅達

八〇%以上，則不含鐵，殆全爲硫化銅。此時若再使之氧化，除去其硫黃，則殘餘者僅金屬銅。銅之製鍊，不過循此順序，行種種之工作耳。

製鍊銅鑛石所生之鈹，其含銅品位，因鑛石之含銅品位而異。日本主要製鍊所製鍊之鑛石，其含銅品位，以日立銅山之二·七%爲最低，四坂島、小坂、佐賀關等爲三·五%，尾去澤爲六%，尾尾爲一〇%。製鍊此等鑛石所生之鈹，其含銅品位，日立爲一六%，小坂等爲二四%，尾尾爲四〇%。

鈹之品位，既因鑛石之品位而大異，製鍊品位不良之鑛石，欲一舉即得高品位之鈹，則鑛中所消失之銅，有過多之不利。故日立、小坂等，皆滿足於低品位之鈹，此鈹謂之一號鈹。一號鈹再之以製鍊，如最初之製鍊鑛石者然，所生之鈹，謂之二號鈹，品位較一號鈹爲高。二號鈹以行製銅法，製出粗銅。

(3) 反射爐製鍊法 美國近年因選鑛法進步之故，粉鑛之量激增，因處理粉鑛之故，反射爐之製鍊甚爲發達，已述於前矣。至日本之銅鑛製鍊，則除直島製鍊所已有反射爐一座外，其他全部皆塔式爐法也。

美國所用之反射爐，規模甚大，爐長30~40呎，寬6~8呎，一晝夜製鍊鑛石約八百公噸。爐形如圖八三所示，照上述尺寸，於地上鋪耐火磚作長方形以為床，其上部甚低，作長室形。粉鑛由爐兩側壁數十之小穴及一端距焚火口不遠之頂部之穴投入之。此處有數燈口(Burner)由此吹入粉炭或重油，使其熾烈燃燒，以熔融爐中之鑛石。成生之鏤，使由爐端不斷的流出，以流水急冷之，使之粉碎，與水一同以槽運搬放棄之。鏤則時時由爐底部側方之穴流出，盛之以受鍋，以起重機搬之注入製銅轉爐之中。

反射爐之工作法，既如上述，未如熔鑛爐之由風口送風入內，故其內部之氣體，殆無氧化力，硫化鐵未

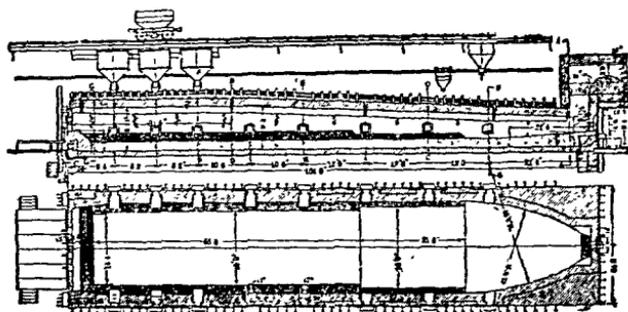
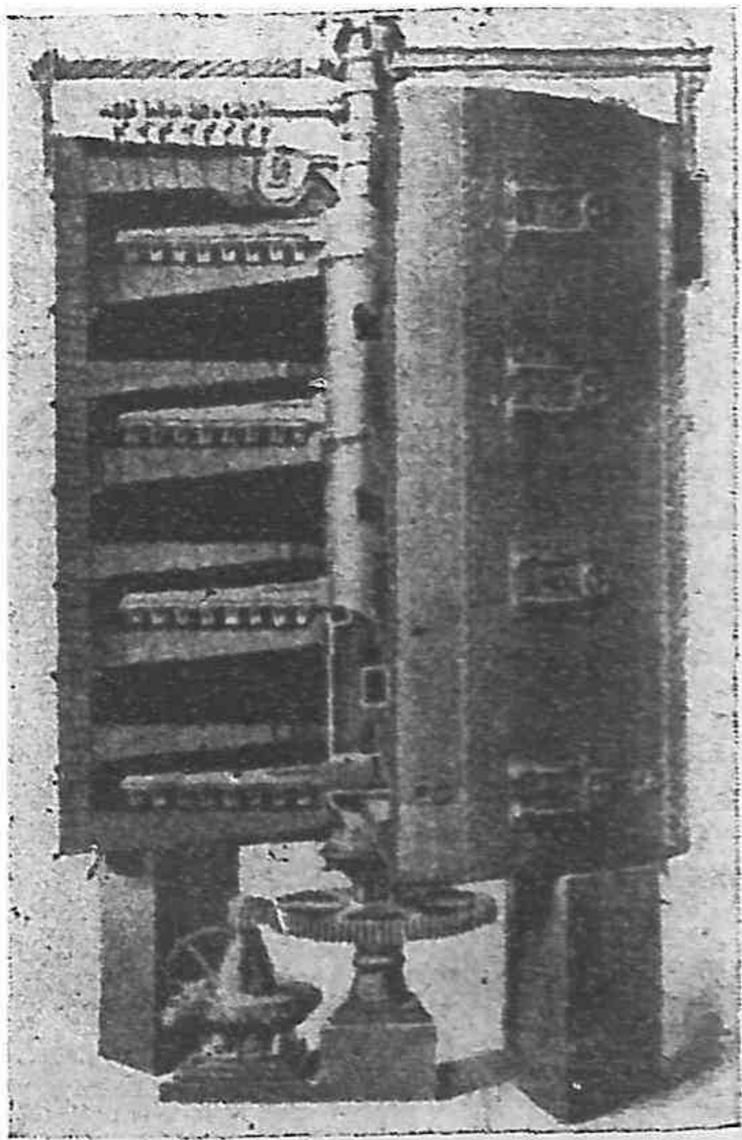


圖 83 銅鑛反射爐

上為直立面之斷面圖，下為平面之斷面圖。

甚能脫硫，粉鑛須預以馬古多喀爾式 (Mc Dougall type) 等之機械爐 (圖八四) 焙燒之，使成殘餘硫黃恰足成生銅鉍之燒粉鑛，再以熔解劑矽石質之粉鑛調合之，裝之入爐內。又反射爐製鍊，鑛石僅恃燃料之熱以熔解之，使成生鏹與鉍，不似生鑛吹製鍊之利用硫化鐵燃燒自發之熱，故需多量之燃料。上述之大型反射爐，採用最進步之加熱法粉炭燃燒裝置，所需之石炭，約為鑛石之一五%。故於反射爐氣離爐而去之處，置斯塔林型 (Stirling type) 或依利型等之汽鍋，利用廢熱發生蒸汽以供動力之用。大反射爐，一爐可設八百馬力之汽鍋二座。使用燃料之發熱量中，約四〇% 可由餘熱收回之。利用反射爐製鍊之鑛石，如上所述，一般為斑岩銅鑛經過浮游選鑛選出之精鑛，含銅達 15 ~ 30%。故燃料之消費雖多，經費上並無甚大之影響。現



粉鑛焙燒之攪拌機械爐

在除日本外，其他各國，均以此法行大量之生產，產生低廉之銅。反射爐製鍊所生之銅，含銅品位，一般達35~40%，立即以供轉爐製銅之用。

日本唯一行反射爐法之直島製鍊所，以生野銅山、吉岡銅山之精鑛為原料，製鍊含銅約六%之調合物，得含銅約三五%之鈹。

(4) 製銅法 熔鑛爐或反射爐製出之鈹，須經過製銅作業，方始成為粗銅。製銅法有反射爐、轉爐、真吹床等方法。

反射爐製銅法 英國自昔即用反射爐以製銅。此法粉碎鈹焙燒之後，加以砂石質之熔劑，於反射爐內熔融之，使氧化鐵與矽石化合成鎂而除去，同時燒鈹中所含之硫黃分與氧分，化合成亞硫酸氣，離爐而去，最後即得粗銅。

轉爐製銅法 近來世界主要之銅製鍊所，殆全用此法以製銅。此法與下述之真吹法同一原理，為大規模之真吹法。又此法從他方面觀之，為有名之由銑鐵製鋼之柏塞麥轉爐製鋼法之應用，故又稱為柏塞麥製銅法。

轉爐 (converter) 爲鐵板所製，形如桶，內壁張以耐火磚，有橫型之桶式與縱型之 Ω 式二種。前者形如橫臥之桶，後者形如直立之桶，可以水壓機或電動機全體迴轉之，自由傾倒之，故稱爲轉爐。日本四阪島及直島所用者，爲內徑三尺之縱型爐，足尾、日立、小坂等所用者，爲橫型爐。橫型轉爐，如圖八五所示，內部張以厚耐火磚，鉸以熔融之狀態，流入其中。沿爐之長，有風口十數，由此送入每平方吋壓力十磅以上之風。此風由熔融之鉸之側方突入，使起氧化作用，不再另由外部加熱。

製銅所起之化學反應，試一述之：鉸中所含

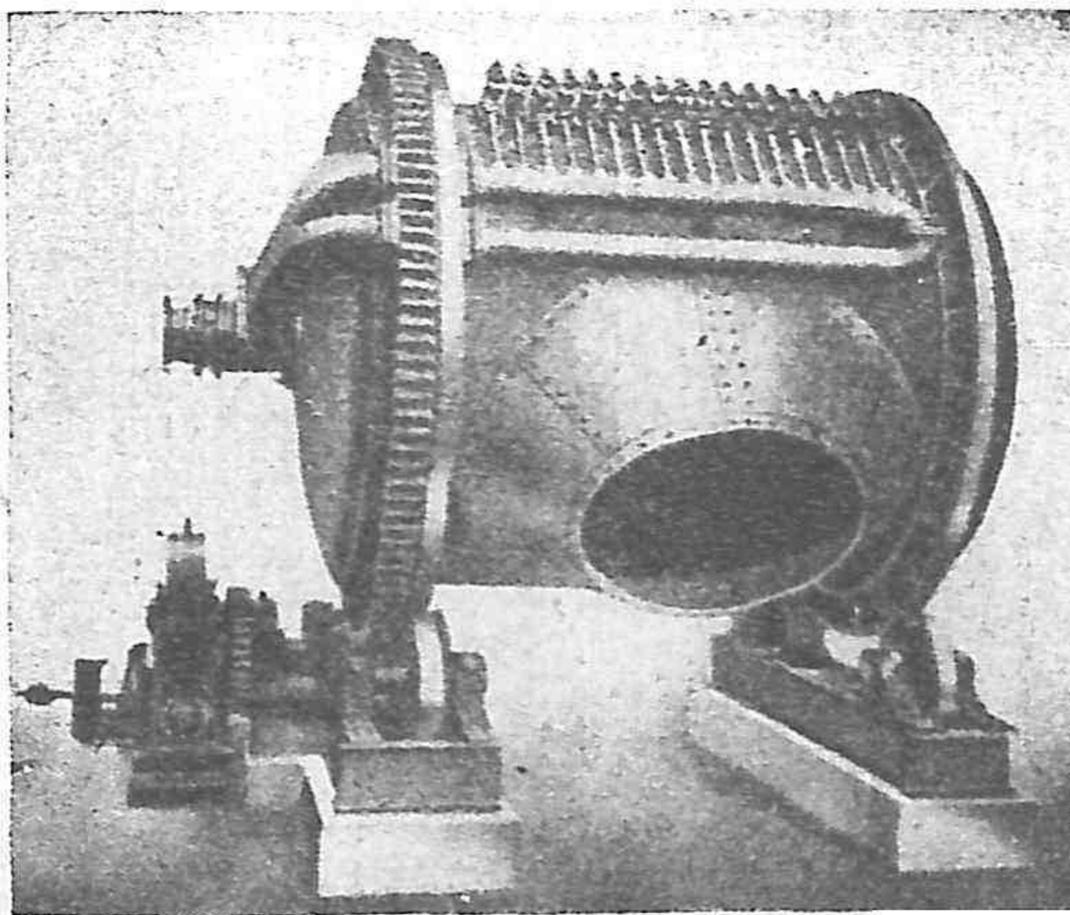


圖 85 橫 型 轉 爐

之鐵，氧化成爲氧化鐵後，與矽石相結而成鏝。此外不純物鋅及其他揮發性之金屬，則因高熱之故，與亞硫酸氣一同由爐上方之口散去。作業中，因鉍成分之變化，火焰呈黃、紅、赤、紫等種種之色，發散火花，極爲壯觀。

舊時一般所用之轉爐，稱爲酸性轉爐，爐內成生之氧化鐵，由構成爐壁之矽酸質材料，奪取矽酸分，成鏝而浮於熔體之表面。此時稍迴轉爐而傾其口，使浮於表面之鏝，由爐口流出，然後再加入鉍，使爐復歸舊位，再行送風。如此反覆行之數回，爐中之熔體，殆成爲純粹之硫化銅。此時再繼續送風，除去硫黃，最後卽成粗銅。以上之作業，自最初起，約數點鐘，卽成生粗銅。粗銅既成生，傾爐移之受鍋之內，鑄之爲電氣分銅用之。

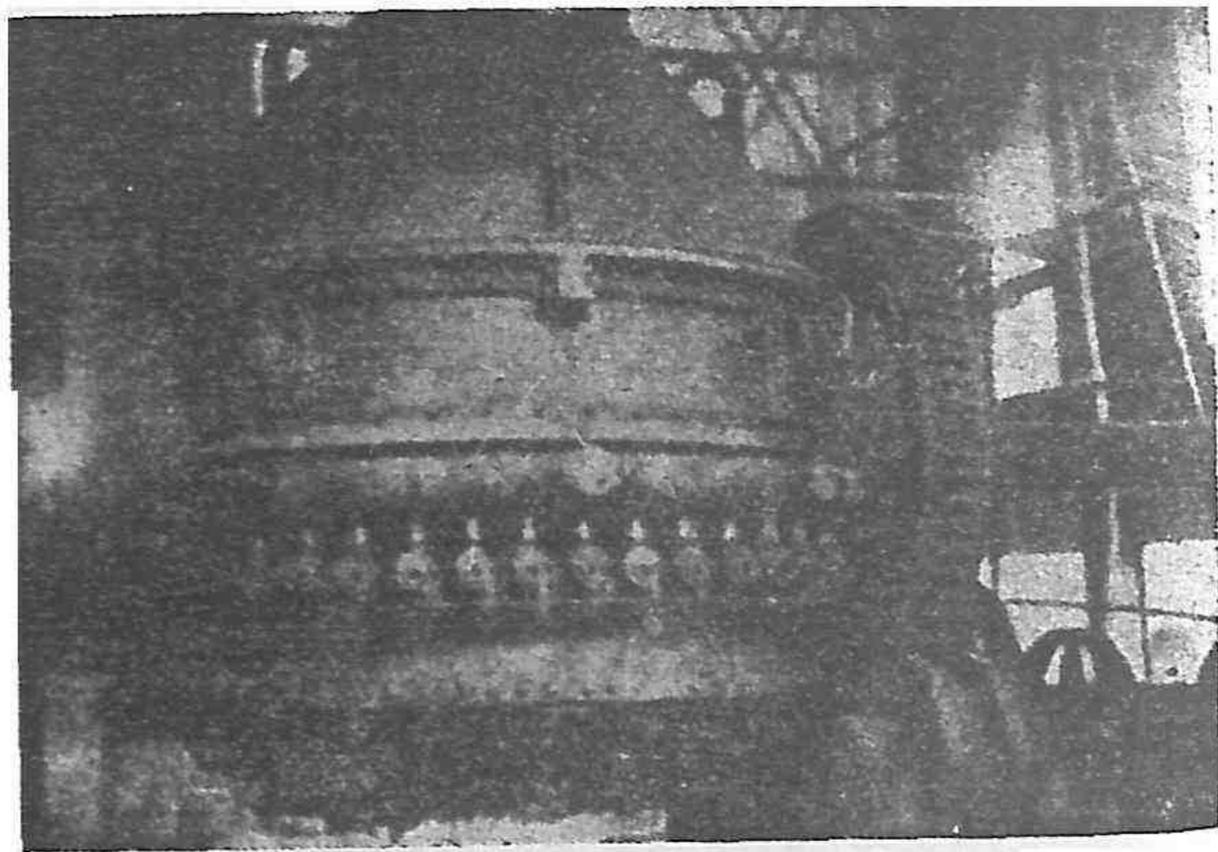


圖 86 縱 型 轉 爐

陽極板。轉爐內則再流入鉍，上述作業，反覆行之。

如上所述，以酸性轉爐製銅時，鐵奪取爐壁材料中之矽酸以構成鏽，故精銅作業每經數回，爐須大修繕一次。然及近年，爐之內壁，改爲較薄之苦土磚壁，與氧化鐵化合成鏽所需之矽酸分，由外部投入矽石質之金銀鑛或銅鑛以充之。此法數十月內，爐壁無需大修繕，既便宜，且經濟。此種作業，謂之鹽基性轉爐之作業。

鹽基性轉爐作業，美國甚爲盛行。現在日本除足尾外，其他之大製鍊所，均用此法，惟爐型較美國爲小。

轉爐製鍊之鉍，含銅 14~40%，一回之處理量 5~80 公噸，所需時間 3~12 點鐘，風壓每平方吋一、〇一四磅，風量因鉍之品位而異，大低精銅一公噸，需十五萬至四十萬立方尺。

真吹法 此法爲日本古來之方法，現該國小規模之製銅猶行之。此法所用之真吹床，掘地壘磚以築之，內塗以素灰（黏土與木炭之混合物）內徑約一呎，爲半球形，其上半圓形之黏土蓋覆之。熔融之鉍，送入真吹床內後，送入空氣，先使鉍中之硫化鐵氧化成鏽而扒出之，繼使硫化銅中

之硫黃氧化而充分除去之，最後即得粗銅。

(5) 溼式製鍊法 如前所述，世界產銅之九〇%，為乾式製鍊所產出，其餘之一〇%，即年額十五萬公噸，為溼式製鍊所產出。

美國近年對於硫化矽鑛、斑岩銅鑛等貧鑛，因浮游選鑛法之發達，反射爐製鍊之應用，處理上起一大革命，已如上述。然對於氧化銅鑛含銅品位不出 12% 之貧鑛，則無法選鑛，多不能經濟的應用乾式製鍊法。此種貧鑛，可以溼式製鍊法處理之。

日本多產含銅硫化鐵鑛，別子、日立雖優先浮游選鑛之研究成功，可選出含銅豐富之精鑛，然今日含銅二%以下之硫化鐵鑛，經濟上乾式製鍊，一般猶頗困難，須用溼式製鍊。尤其製造硫酸，利用硫黃後，所餘含銅不多之燒滓，以行溼式製鍊，其中之銅，可以充分採收之。銅採收後，所餘殘滓，若未含多量之矽石，可再用之以作製鐵原料。歐洲自古有名之西班牙里約廷脫鑛山產出之硫化鐵鑛，即由溼式製鍊法，使其中之硫黃、銅、鐵，盡皆有用化。

溼式製鍊之方法，因鑛石之性質，地方之情況，方式甚多。茲就其中之重要者，述其大略於次。

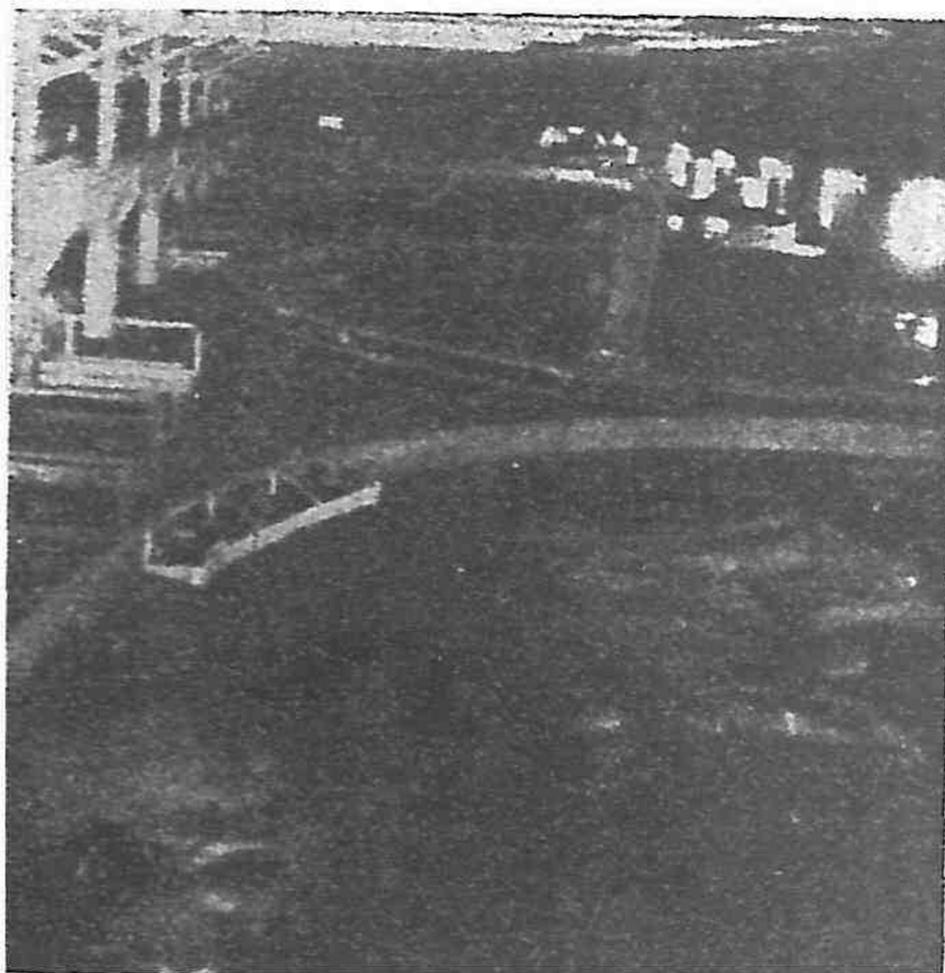
自然銅鑛之溼式製鍊法 美國蘇必略鑛山自然銅鑛選鑛場之廢鑛中，含銅○·六%之粉鑛，以大溶解槽盛之，浸之以碳酸銨液，則自然銅一旦變為氧化銅，旋變為碳酸銨銅。至未氧化之自然銅，則為此際成生之碳酸銨銅所溶解。結局所有之銅，盡成為水溶液。此水溶液濾過後，送蒸汽以熱之，則氨氣發散，即成生氧化銅之沈澱。此法稱為氨法，美國大規模行之。最近非洲中部加丹喀銅山地方，亦計劃設立應用此法之大工場。

氧化銅鑛之溼式製鍊法 此法美國大規模行之，稱為硫酸法或硫酸鐵法。美國烏台州丙干銅山一日處理合銅一%內外之貧鑛石達數千公噸之大製鍊所，亞里蘇那州之亞霍製鍊所，南美洲利之楚基加馬塔製鍊所，均行此法。

此法之實例，試一述之：大規模採掘之鑛石，粉碎後，以鉅大之運鑛帶 (belt conveyor)，自動的運搬之。至容量千公噸以上之混凝土池即溶解槽之上，而投入其中，以唧筒送入含硫酸及硫酸第二鐵之溶液，浸之數日，使銅變為硫酸銅之溶液而濾過之。濾過後，投入鐵屑，或以電氣分解法，沈澱其中之銅。

用電氣分解法時，上述之銅液，使流入亞硫酸氣通過之塔中，使其中之硫酸第二鐵變為硫酸第一鐵，然後送入電解槽中電解之。此第二鐵之所以須變之為第一鐵者，蓋電解之際，利用第一鐵以防止分極作用，低其電壓，俾電力效率良好，故也。電解用不溶解性之陽極板，銅沈澱之於陰極之上。由電解槽流出之電解液中，尚有一部未沈澱之銅，再投入鐵屑，俟銅沈澱後，送入鑛石溶解槽內，反覆使用之。

此外硫化銅鑛之貧鑛石或廢鑛滓，此法亦可適用。例如舊時選鑛遺棄之含有少量硫化銅之廢鑛，一度焙燒之，使變為氧化銅或硫酸銅後，以硫酸溶解之，使成硫酸銅溶液，是也。圖七三所示，為美國阿那昆達製鍊所之全景。其前面一帶舊



■ 87 溼式製鍊之溶解槽（美國阿那昆達銅製鍊所之一部）

時選鑛場廢棄之鑛滓，再掘出以供上述之大規模之硫酸溶解法之用。圖八七爲該工場內溶解槽室之一部。

日本足尾，對於選鑛場合銅一%以下之廢鑛，亦設有工場，工業的試驗此法。此外又有所謂漢特·打格拉斯法，銅鑛中之氧化銅，以氯化第一鐵之溶液溶解之，使成氯化銅液後，以鐵沈澱之。含銅硫化鐵鑛之溼式製鍊法 此法自昔有所謂享達遜法，今日歐洲所行之拉門法，即享達遜法之曾經改良者。

此法焙燒硫化鐵鑛以供硫酸之製造後，所餘硫化鐵之燒滓，可以用之。燒滓中含銅少含砂石分不多時，此法最爲相宜。享達遜法用反射爐以行氯化焙燒，拉門法改良反射爐爲機械的攪拌焙燒爐，以期所用燃料之節省。

氯化焙燒之順序：英國塔幾斯銅硫黃公司之工場，輸入西班牙里約廷脫所產之含銅硫化鐵鑛，以供硫酸之製造後，殘餘之含銅少含砂石分不多之燒滓，粉碎後，調合以粉碎之岩鹽，裝入手動反射爐或拉門式機械爐內，予以空氣而氯化焙燒之，則食鹽與氧化硫黃相互作用而成硫酸鈉，同時

所生之氣，與銅化合而成氯化第二銅及少量之氯化第一銅。已經焙燒之燒鑛，裝入溶解槽內，以氯化焙燒之際發生之氣體中之氣及鹽酸之水溶液溶解之，即得氯化銅之溶液。此銅溶液中，投入鐵屑，使銅沈澱，集而熔之爐中，即得粗銅。

上述溼式法所生之殘滓，殆全為氧化鐵，謂之紫鑛 (purple ore)，以特殊之粉鑛燒結法燒固之，以供製鐵之用。已經燒結之紫鑛，其優良者，銅及硫黃均可除去至僅各餘 0.1% 鐵之含有量有達六五% 者，歐洲各國，以為製鐵之原料，與普通之鐵鑛較，尤歡迎之。

此外含銅硫化鐵鑛中，含銅低含砂石稍多之貧鑛，古來用里約廷脫法以製鍊之。此法起於里約廷脫鑛山，此山採掘之鑛石，數千公墩放置於廣大之鋪有混凝土或磚之地上，使為雨水及空氣所作用，自然風化。此時硫化鐵變為硫酸鐵，又生少量之硫酸，徐徐溶解鑛石中之硫化銅，成生硫酸銅之溶液。此反應發生相當之熱，最初數個月間，溶解作用頗為進展。堆積之鑛石，因雨水或注以水而流出之銅液，使通過內盛鐵屑之長槽中，銅即沈澱於其中。如此三四年間放置之，鑛石中大部分之銅，無需特別之費用，可以採取之。

各處之銅山，坑內流出之坑水，以鐵沈澱其中之銅，蓋與此法相同之作用，自然的起於坑內，故耳。

由上述溼式製鍊法所得之沈澱，普通以反射爐熔融之，製之爲粗銅。

(6) 粗銅之精製 (refining) 由前述之乾式及溼式製鍊法製出之粗銅，含銅品位爲 98.5%，含有少量之硫化銅、氧化銅、金、銀、砷、銻、錫、鐵、鎳、銻等不純物，須經過精製作業，然後送往市場。

銅之精製，雖有熔融粗銅於反射爐中除去其不純物之乾式法，然今日大部分之粗銅，皆行電氣分解，製爲電氣銅，送往市場。

用電解方法時，粗銅中所含之貴金屬，金銀固不待言，即微量之鉛，亦可採收之。鎳等有用金屬，亦可以爲副產物而採收之。

反射爐精製法 此法未合金銀之銅鑄製成之粗銅，有時行之法，裝粗銅於反射爐內熔融之際，先以多含空氣之氧化焰熱之，使其徐徐熔融，則粗銅中之不純物，即氧化而浮於銅之表面，由

爐一端之作業口扒去之。次以氧化焰作用之，以鐵棒充分攪拌熔體，使金屬之表面，曝於氧化焰中，除去其中浮上之氧化物。精製作業中，有少量之銅，成爲氧化銅。此氧化銅混入銅中，則製出之銅，有質脆之虞，故最後須使之還元。使之還元之法，於溶體之表面，撒以炭末，投入生木，則生木因乾溜之故，發生還元性之氣體，使熔體猛烈沸騰。此還元性之氣體，與銅作用，使其中之氧化銅還元，遂得精銅。

電解精製法 (electrolytic refining) 此法先鑄粗銅爲長70~90吋，寬六〇吋，厚四吋之板，以爲陽極，陰極用電氣銅之薄板。電解槽略爲長方形，以杉木或松木製之，內壁張以鉛板，陽極與陰極各十數枚，以6~9吋之距離，交互相向配列於其內。電解液用含銅3~4%之硫酸銅液，加以1~2%之游離硫酸，使成酸性。於溫度攝氏35~50度行電解，則銅即沈澱於陰極上而成生電氣銅 (electrolytic copper)。

陽極銅中之不純物金、銀、鉑、碲等，因爲不溶解性，故成泥狀，由陽極剝離，沈澱於電解槽之底，稱爲陽極泥。鎳、鐵、鋅等，則與銅一同溶解，入於電解液之中，此等金屬，雖不沈澱於陰極，然足使電解

液不純。砷、銻、鉍雖大部分進入沈澱物中，然亦有一部分成爲溶液，與銅一同沈澱。此三種金屬進入電氣銅中，於銅之性質，甚爲有害。尤其銅之電導度，爲之大減，鉍且有使銅變脆之性質。故粗銅中多此等不純物時，電解法之操業，須極力注意行之。

電氣精銅工場內之狀況，與鉛、鋅、錫等之電解工場，大同小異。試說明之：直流發電機之電流，順次通過數十之直列電解槽，形成一回路。各電解槽就一個觀之，其內各有十數枚之陽極及陰極，電氣的並列其中。如圖八八所示，電解槽爲直列式，各槽內之電極爲並列式，由全體觀之，謂之併列式（multiple system）之電解。不限於銅，其他金屬之電氣分解，殆皆採用此種方式。

然各槽內之陽極、陰極，亦間有直列之者，此時謂之直列式（series system）之電解。

所需電壓，各電極間爲 $0.3 \sim 0.5$ 弗。即在併列式，則一槽電壓之降下爲 $0.3 \sim 0.5$ 弗。例如使用百弗直流發電機之工場，一槽之電壓以 0.5 弗計，則一回路可直列連結電解槽二百個。電流之密度，普通陰極表面，每一平方粉 $1 \sim 3$ 安。電力每瓦時，可沈澱電氣銅 $1 \sim 4$ 公鐵。

陰極板，每次約經一星期取出，是即電氣銅以應市場之需。陽極板，經三星期餘後，大部分已溶

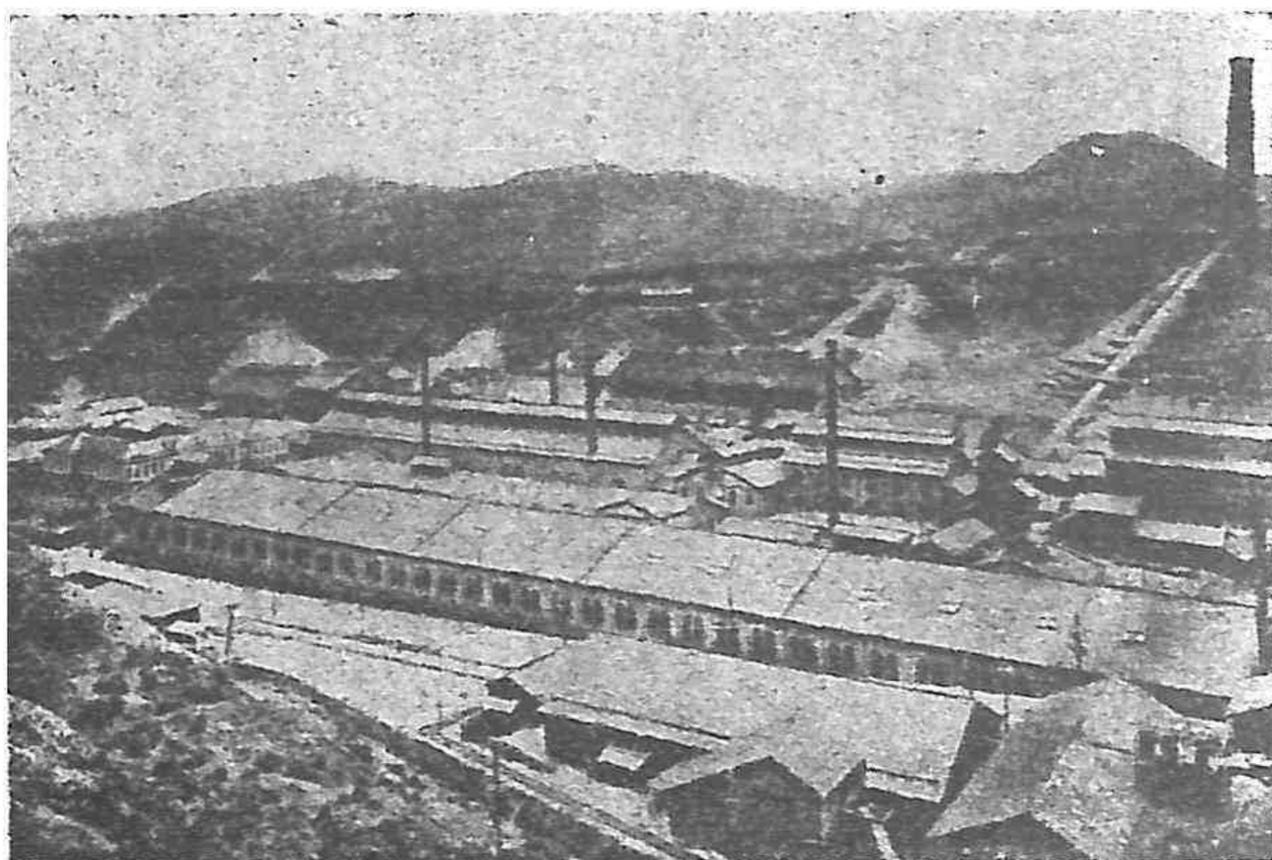


圖 88 電氣精銅工場

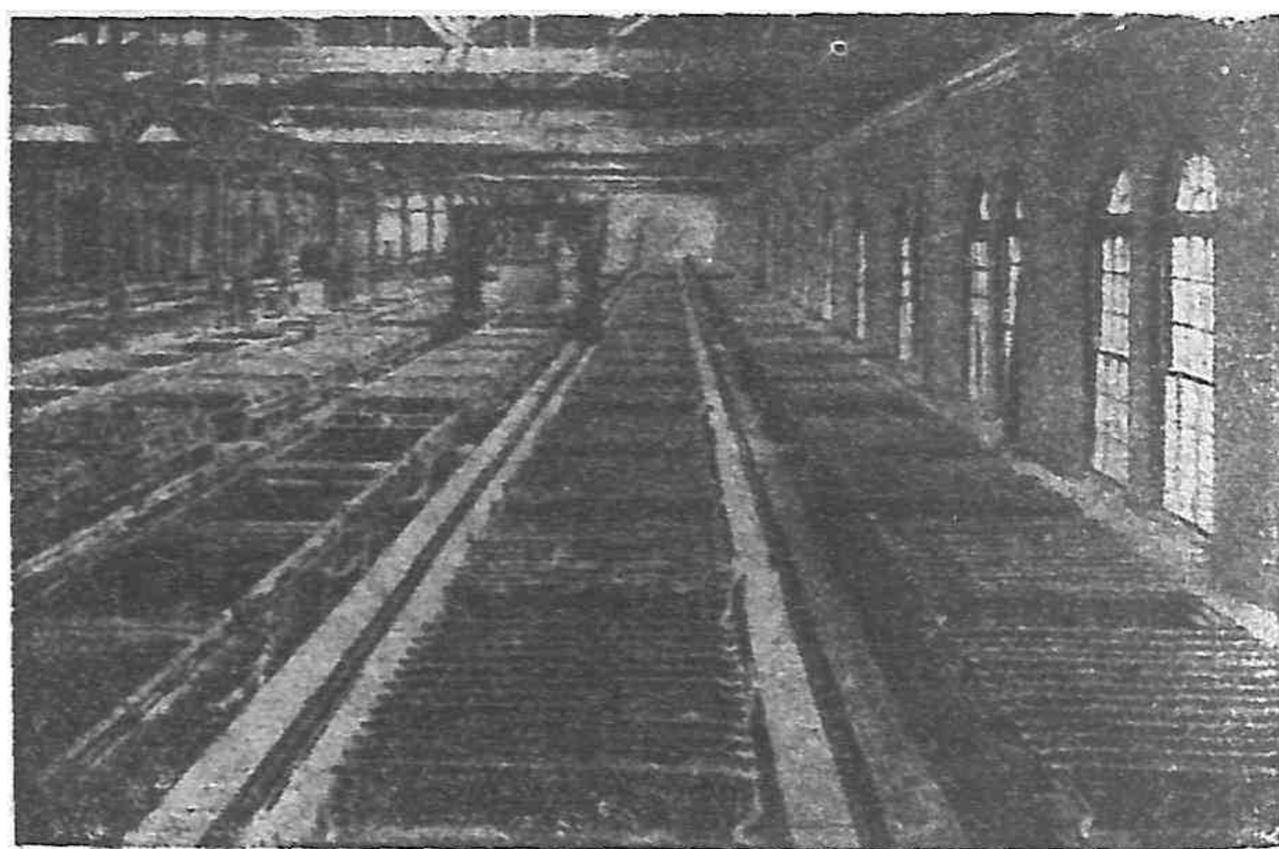


圖 89 電氣精銅工場之內部

去，殘餘未溶去者，取出洗去其表面附着之沈澱物後，與粗銅一同再鑄為陽極板。沈降堆積於電解槽底之沈澱物，每一二月大掃除電解槽一次而集取之。集取後，置之網篩上，以水洗之，則銅屑殘存於篩上，落至篩下之沈澱物，收集之而採收其中之金銀。此沈澱物，普通約所處理之銅之 $1\sim3\%$ ，其成分金 $0.7\sim20\%$ ，銀 $5\sim40\%$ ，此外尚含有多量銅之粉末。其處理法，普通以置硫酸中，吹入空氣及水蒸汽，使其中之銅鐵溶解而濾過之。濾過後，含金銀之沈澱物，徐徐乾燥之，混以鉛、蘇打、石灰、矽石質之金鏟等，於反射爐內熔融之，則金銀為鉛所吸收，得含金銀之鉛。此含金銀之鉛，如本章第三節所說明，以灰吹法抽出其中之金銀。

又電解液不斷的循環各槽中，其中之不純物，漸次增加，故須常導其一部，入於精製之裝置中，加熱蒸發之，使其中過剩之銅，成硫酸銅之結晶而採收之；鏷則使成硫酸鏷或硫酸鉍鏷而回收之，以為副產物，送往市場。

此外鉑、鈀等稀金屬及其他微量之有價金屬類，今日之技術，均可製之為副產物而回收之。

第五節 鉑 (Platinum)

鉑爲稍帶灰色之白色金屬，其光澤之美，雖不及銀，然有貴重之性質，產出最稀，故價值最貴，爲貴金屬中之王。

古代採集砂金，砂鉑未必無同被拾得者，然因其產量之極稀，未惹人之注意。鉑原名爲 *platina* 或 *platina*，蓋其外貌與銀相似，由西班牙語 *plata*（銀之意）轉來者也。鉑之爲世所知，始於一七三五年南美洲科倫比亞鉑鑛床之發見，至一七四一年，始由伍德氏介紹於歐洲。然當時視爲金之有害物，無有一顧之者。及一七八六年倭拉斯頓（*Wollaston*）氏研究鉑之製鍊法，鉑與他金屬之分離成功，一八一二年，巴黎遂最初工業的行鉑之製鍊。

自此以後，鉑始爲一般所公認。雖遇高熱，不被氧化，在當時所知金屬中，熔融點（攝氏一七二〇度）最高，不易爲酸類所溶解，易延展爲薄板或細絲，此等諸性質，爲世所知後，其聲價遂大增。當時其產出雖甚微微，自一八二五年俄國烏拉爾山脈地方鉑之砂鑛床陸續發見以來，俄國遂一躍

而爲鉑之主要產出國。一八二九年至一八四八年，俄國曾使用鉑之貨幣，又以爲種種裝飾品而珍重之。今日鉑及其合金，在工業上極爲貴重，鉑板、鉑絲、坩堝、電極等之製造，需要頗多。又鉑黑粉 (Pt black)、鉑石綿 (platinized asbestos)、鉑海綿 (platinum sponge)、膠狀鉑等，以作種種物質之觸媒劑，化學工業上，常利用之。例如可燃性氣，因鉑之觸媒作用，可使之自然點火；硫酸之接觸製造，亞硫酸氣與氧，因鉑之觸媒作用而化合，其尤著者也。此外鉑之化合物，用於照像術；鉑與銻銻之合金，製爲絲，以供高溫度測定之用；鉑與銅銀之合金，以供電氣及裝飾之用。

又金與鉑之合金，金與鈮之合金，可用以代鉑，供製造化學器具之用。

鉑之鑛石 鉑以球形或扁平式自然金屬之粒，產出於砂礫中，與砂金同。普通因原成岩之崩壞，與金、銻、銱鑛 (iridosmine)、鉻鐵鑛 (chromite)、磁鐵鑛 (magnetite)、鑄鐵鑛 (ilmenite)、風信子鑛 (zircon)、鋼玉 (corundum) 等鑛物，一同流下，經過自然淘汰，成砂鑛 (placer) 沈積於沖積層 (alluvium) 河床之中。砂鉑約含鉑 71 ~ 89%，呈灰白色，不純物含有銻、銱、銻、鈮等鉑類之稀金屬，以適當之製鍊方法製鍊之，此等金屬可一一分離也。

天然產出之砂鉛，分析之其結果如次，不純物除表中所列者外，又含有若干之金、鐵、銅等。

產地	鉛	鐵	銻	錳	銻	銻
俄國	七六·一—八三·五	一·四—二·七	〇·三—〇·七	〇·二—〇·三	〇·八—四·九	
西比利亞	六六·七	二·三	三·一	一·〇		
科倫比亞	八〇·〇—八六·二	〇·九—一·五	一·四—二·五	〇·三—一·〇	〇·九—一·四	
加利福尼亞	六三·三—八五·五	〇·七—一·〇	一·〇—一·八	〇·一—〇·六	一·一—二·二	五

此外間有成砷化鉛礦 (sperryite)，含於硫化鎳礦或銅礦等中者，但其量極微。含於銅礦中者，製鍊銅礦時，集中於粗銅中；電氣分銅之際，又與銅分離，集中於金銀中；最後由金銀中分離之。含於硫化鎳礦中者，製鍊鎳時，亦集中於鎳中，可由鎳中分離之。鉛之總產額，歐洲大戰前，一年約二十萬噸 (ounce)，其中九〇% 為俄國所產出。及俄國革命，產額忽大減，最近全世界之產額，尚不過歐戰前之半焉。除俄國外，科倫比亞、加拿大、美國亦產出之。最近，有名之南阿非利加產金地脫蘭斯瓦爾，亦有鉛礦床之發見，頗為有望。

今將一九二五年鉛之主要產出國及其產量列下：

科倫比亞

四五、〇〇〇

俄國

四〇、〇〇〇

加拿大

八、六九二

美國

四、五六〇

如上所述，俄國革命後，鉛鑛業既大衰頹，鉛價格遂大騰貴。歐戰前一克約三圓之鉛，一九二五年騰貴至八圓焉。

烏拉爾鉛鑛床 沿發源於烏拉爾山脈之河流，占廣大之地域，窩塔加河、楚楚加河、馬爾特易河，均產出之，形成尼茲尼塔義爾斯克地方有名之鉛地帶。此外比爾則斯基地方等，歐洲大戰前，鉛鑛床亦各處採掘焉。

砂鉛採集之方法，與砂金之採集同。烏拉爾地方之砂鑛採掘，由該地土人行之。其法，先採掘土砂，篩去其中大粒之石後，含鉛之細砂，以水淘汰之，則最後所剩者為鉛、金、砂、鐵等比重大之鑛物。再以汞混合之，使其中之金成混汞金而分離，以磁石吸出其中之砂鐵，則所餘者即為自然鉛。此鉛輸往法、德、英等國，以供製鍊純鉛之用。烏拉爾地方砂鑛之品位，採掘以來，年愈低下，一八二五年發見

之時，砂一公鐵之中，含鉑達八十四克，降至近年，已減至2.6~3克矣。採集者普通為一家族四人，一日約處理砂五公鐵。又以採集砂金所用之浚渫船（參照圖五二），行大規模之砂鑛採掘，歐戰前已開始行之。

砂鉑一般為鋼色極細之粒，僅1~2%耗，然昔時鉅大令人驚歎不置之自然鉑塊，烏拉爾地方亦曾時時發見之。現在彼得格勒市德密奪夫博物館所保存之大鉑塊，重達二一·六四磅焉。

日本北海道產出，稱為砂鉑之鉍鐵鑛石，其主要成分為鐵43~55%，鉍30~38%，所含鉑僅痕跡乃至1.66%，此外尚含有鎳、鈹、錳、銅、鐵等。此砂鑛色白而重，一八九〇年發見於夕張川及空知川之砂金中，及一八九

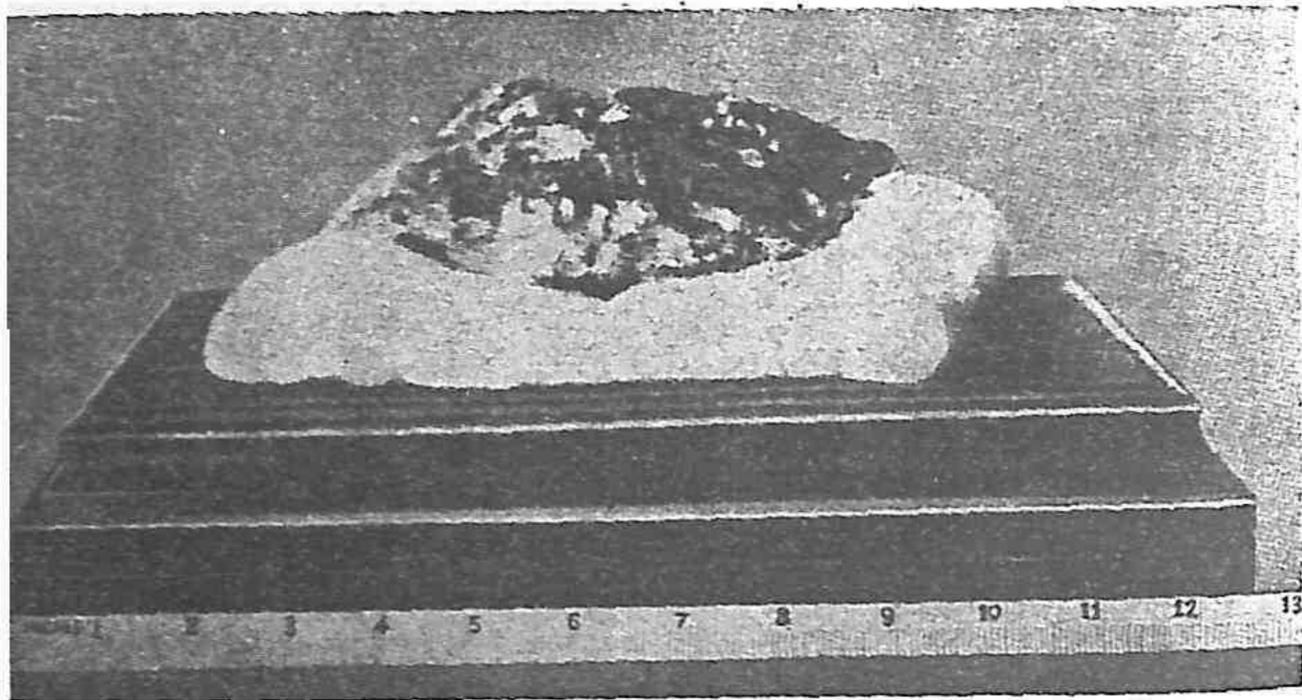


圖 90 鉑 塊

一八二七年，發見於烏拉爾山中，重約十磅。

五年始知爲鈹鐵鑛石。一九一一年以前，每年約產三・七五尪以內。歐洲大戰以來，一克價達十圓以上，每年產額達二二・五尪。現在每年產額，猶在一八・七五尪以上。

此砂鑛之鑛床，至今尙無完全之學術報告。其分布北起北海道北端之北見，南達南端之日高，占廣大之地域，與自然金、磁鐵鑛等同產出於自蛇紋岩（serpentine）地帶流來之河川之沖積層中。

此砂鉑有鋼灰色之金屬光澤，普通約與小米同大。然最大重七・五克者，亦曾產出之。

此地砂鉑採集之方法，與砂金同，以稱古流法等種種之方法，與砂金一同採集之。採集夫一人處理之土砂量，爲 0.8 ~ 1.0 立方呎，因砂礫之大小及水利之便否而異。砂鉑之含有量，一立方呎中有 0.125 ~ 0.081 克，卽堪採掘。此地之鑛業權者，對於砂鉑採集者，視鑛區之狀況，每人每月徵收 5 ~ 16 圓。

鉑之製鍊 由天然之粗鉑砂製鍊純鉑，同時其中之不純物各種稀金屬，亦可一一採收之。製鍊法有乾式及溼式二種，今日所行者，以溼式爲主。又鉑之砂鑛，含有數種鉑屬之稀金屬，已如前述。

此等稀金屬之分離採收，甚需熟練之技術。現在世界中此種製鍊所極少，僅德國之哈那伍、英國之倫敦、法國之巴黎、俄國之彼得格勒，各有一工場行之。

乾式法 以砂鉛與方鉛鑛一同於反射爐內熔融之，使鉛爲此時成生之鉛所吸收，成含鉛之鉛。又此時砂鉛中銻、鉍及一部分之鈦，亦爲鉛所吸收，僅鐵鈦（osmiridium）不爲所吸收，沈於鉛之下層而分離。作業途中，須加入氧化鉛，使與方鉛鑛作用，使鉛完全還元。又須加入玻璃粉、礬砂，使生少量之鍍。由反射爐取出之含鉛之鉛，用灰吹法處理之，使鉛成氧化鉛而除去，與處理含金銀之鉛之法相同（參照銀之灰吹法）。最後所餘之鉛，加以高熱，即得鉛塊。

乾式法，以前即行之，此法鍊成之鉛，含有鈦、銻等金屬，適於化學用器具之製造。然欲製鍊純鉛，則溼式法尙焉。

溼式法 用王水溶解粗鉛，使成氯化鉛液，加氯化銻於其內，使生黃色沈澱之複鹽類氣鉛化銻。此沈澱乾燥而燒之，則分解而發散氯化銻與氯氣，殘留海綿狀之鉛。此海綿狀之鉛，或置之鋼型之內，強加壓縮後，加以高熱，錘打鍛鍊之，以製鉛棒；或置之小型之石灰爐內，以氧燃燒氫或煤氣，發

高熱以熔融之，製爲鉑塊。

照上順序鍊成之鉑，其中尚含有少量之銨，須再溶解之爲氯化溶液，反覆精製之，俾成純鉑。

又上述氯鉑化銨之洗滌濾過後，濾液之內，尚有若干之鉑及銨殘留其中，又含有種種鉑屬之稀金屬。此液內可投入鐵屑，使鉑及銨洗滌於其上而採收之，其他液中所含之鈹、銻等有價稀金屬，亦可一一分離而採收之。

英、德等國之工場，應用上述溼式製鍊法，益以若干特殊研究，除從事於製鍊純鉑，鉑化合物及鉑屬種種稀金屬外，又從事於鉑器具等之製造。又最高純度之鉑，所含不純物，在 $0 \cdot 01\%$ 以下。

第六節 鉍 (Bismuth)

鉍爲灰白色而微呈赤色之金屬。質脆，不似他種金屬之有展性。熔點低，爲攝氏二七一度，與鉛、錫及鎳相混，可製可溶性合金 (fusible alloy)。可溶性合金有種種，普通在攝氏一百度以下即熔融，就中所謂伍德合金 (Wood's alloy) 爲在攝氏 $60 \cdot 5$ 度熔融之合金，爲鉍、鉛、二、錫、鎳

一 所成。又鉛、錫、銻合成之合金，有凝固時容積膨脹之性質，可以供精緻之鑄造，在鉛板 (stereotype) 之製造上，最為重要。

此外銻尚有主要之用途，即用於藥劑，是也。藥劑家除用次硝酸銻作胃腸藥外，又用次碳酸銻、次沒食子酸銻等種種銻之化合物，以供醫藥之用。此外又以製白粉，供化粧之用。

銻之產出甚稀，世界年產額約五百公噸。主要產地為南美之玻利維亞、祕魯、澳大利亞及我國等。此等諸國，銻鑛石與錫、鎢、銀等之鑛石，一同產出，均輸出外國。此外銅山、鉛山之鑛石中，含有少量之銻者亦不少。

一九二五年銻之產出，以玻利維亞為首位，產出銻之精鑛五四三公噸。次為美國，產出銻之金屬九九、六九四磅。

銻鑛之種類 銻鑛之種類，其主要者有自然銻、輝銻、氧化銻鑛等。

(a) 自然銻 (native bismuth) 成銀白色結晶質之塊產出，南美等處，產出頗多。

(b) 輝銻 (bismuthinite) 即硫化銻 (Bi_2S_3)，含銻八一·二%，有鉛灰色之金屬光

澤，普通以塊狀產出，爲鉍之主要礦石。

(c) 氧化鉍礦 爲鉍赭 (bismuth ochre) (Bi_2O_3)、泡鉍 (bismuthio) (BiO)、 CO_2 等，玻利維亞、我國等處之鑛山，時時產出之，爲黃白色比重大有非金屬光澤之鑛物。

產鉍之鑛床爲接觸鑛床或鑛脈，有時交代鑛床亦產出之。產出於接觸鑛床時，混在於銅、鋅等之硫化鑛物中。產出於鑛脈時，多產出於金銀鑛、銀銅鑛等之石英鑛脈中。

鉍之製鍊法 有乾式及溼式二法，前者以用於品位佳良之鉍鑛爲主，後者適用於副產物中鉍之採收。然品位極高之精鑛，溼式製鍊採收率較高，有利之時亦多。

(一) 乾式製鍊法 視鑛石之性質如何，有焙出法，有焙燒鑛石而還元之之法，有鐵還元製鍊法等，分述於次：

(1) 焙出法 鉍爲易於熔融之金屬，自然鉍鑛之富鑛，裝入鐵製之管狀蒸溜器內，由外部加熱，使其熔融流出而採收之，作業恰與硫化鉍之焙出法相同。

此法殘滓中尚含有多量之鉍，須以下述之還元製鍊法再製鍊之，頗費手續，今日殆無行之者。

(2) 還元製鍊法 先置鑛石入反射爐中，以低溫度焙燒之，則硫黃被除去，同時砷、銻等亦被除去，得含三氧化鉍之燒鑛。焙燒之際，溫度過高，則鉍易於揮發，故攪拌與溫度之調節，最爲緊要。焙燒後之燒鑛，與木炭粉一同裝入反射爐或坩堝中熔融之，則氧化鉍還元而成金屬鉍。上述鑛石之熔融，須按其所含矽石鐵其他不純物之性質，配合以適當之熔解劑。蘇打、石灰、螢石、矽石等，可斟酌用之。惟金屬鉍，其價甚昂，熔解劑之選擇，須加以注意，以成生易熔之鍍，防鉍之損失，爲第一要件。

鐵還元法爲高品位之硫化鉍鑛石，不行焙燒，即配合以鐵屑，於坩堝中熔融之方法。此法硫化鉍中之硫黃，爲鐵所吸收，鐵成硫化鐵，硫化鉍則還元而成金屬鉍。此法因採收率低，今日殆無行之者，僅有時燒鑛還元製鍊之際，對於一部分殘餘之硫化鉍，投入少量之鐵屑與熔解劑，以使之還元耳。

由上述乾式製鍊法成生之金屬鉍，其中多含有銅、鉛、砷、銻等不純物，精製之頗費手續。尤其以供醫藥原料之金屬鉍，精製法雖一再反覆，其中所含微量之砷，除去殊爲困難。

(二) 溼式製鍊法 溼式製鍊法以氧化鑛石爲原料，此外含銻之氧化鉛，銻之合金等，其中所含之銻，以溼式熔解法製鍊之者，其例亦甚多。溶解主用鹽酸，有時亦用硫酸。

鑛石之製鍊，硫化銻鑛如前所述，先焙燒之，使成氧化物，然後置入溶解槽內，以鹽酸或硫酸溶解之，使成氯化銻或硫酸銻之溶液。此溶液內投入鐵屑，使銻成海綿狀之金屬粉末而沈澱。此沈澱熔融之即得金屬銻。又或氯化銻溶液之內，加入多量之水以稀薄之，使起加水分解作用，成次氯化銻而沈澱。此黃色之沈澱，濾過而乾燥之，配合以石灰及木炭粉，於坩堝中熔融之，即成金屬銻。

日本神岡鑛山含銻○·二%，含銀○·二%之粗鉛，以電解精製法將鉛分離後，陽極含銀及銻之沈澱物，熔融之，使爲少量之鉛所吸收，再以灰吹法使鉛成氧化鉛而除去。在灰吹作業將終時，由灰吹爐即分銀爐扒出之氧化鉛，其中含有多量之銻。此含銻之氧化鉛，以作原料，置之磁瓶之中，以鹽酸溶解之，即生不溶解性之氯化鉛及氯化銻之溶液。此銻溶液以行加水分解法，照上述方法，製之爲金屬銻。

又著者於巴楚加式空氣攪拌溶解槽內，以鹽酸溶解中國所產含銻四○%之鑛石，以鐵由溶

液中使鉍沈澱，所生沈澱，於曹達中熔融之，會製出不含砷可供製藥原料之極優良之鉍。

由含鉍之合金分離鉍，或乾式法製出之粗鉍再精製之，近年溼式之電氣分解法，亦頗盛行。

鉍之電氣分解法，與鉛之白茲式電解法相同，以矽氟化氫酸之溶液為電解液，陽極用粗鉍合金，陰極用銅板，通電流使鉍沈澱於陰極之上後，熔融之製為電氣鉍。

美國巴三波伊製鍊所製鍊玻利維亞所產錫鑛之際，錫鑛中所含一%之鉍，含入於粗錫之中。此粗錫行電解精製後，生含鉍之沈澱。此沈澱以行電解法，產出多量之電氣鉍。

日本尾尾銅山以電氣收塵法採收之煙灰，其中含有少量之鉍。此煙灰以反射爐燒之，採收亞砷酸後，其燒滓內含有鉍。此燒滓加以鐵屑、木炭，於電氣爐中還元製鍊之，遂生錫、鉛、鉍、鐵等之合金。此合金加熱熔出之，可得一種含鉍、錫、鉛之可溶性合金。此可溶性合金以為陽極，於矽氟化氫酸之電解液中電解之，使錫與鉛同時沈澱於陰極，所生陽極滓之沈澱，以熔出法製為粗鉍。

粗鉍之精製法，亦有乾式與溼式二種。用乾式法時，先熔融粗鉍，或投入硫黃於其中，使其中之銅其他之不純物成硫化物而浮於表面；或加入曹達而攪拌之，使砷、銻等為所吸收；或加入鋅而攪

拌之，使不純物爲所吸收；有種種之方法，然均非完全之方法。用溼式法時，以硝酸溶解粗鋁，反覆使之結晶，所得結晶置入沸水中，使變爲次硝酸鋁，再燒之使成氧化鋁，還元之使成精製鋁。然由此種方法精製之鋁，價昂而不切於實用，今日所行者，以上述之電解精製法爲主。

第七節 鋁 (Aluminium)

(一) 總說

鋁爲銀白色之美麗金屬。比重僅二·七，與銅、鉛等較，不過其三分之一，爲次於鎂之輕金屬 (light metal)，在現今航空機、汽車之製造上，爲不可或缺之金屬材料。

鋁之電氣傳導度頗高，約銅之六〇%，銀之五八%，可用以製電線。如以鋁製電線，所需之鋁，約爲銅線之重之半。故鋁之價格，苟降至銅之二倍以下，則電氣事業所需之銅線，將爲鋁線所驅逐也。歷來市場上所有之鋁，其純度普通約爲 99.5 ~ 99.0%。近年因技術之進步，精製之鋁，品位可達到九九·九%。然此種純度之鋁，現猶未達於普及之域。現在之鋁，可稱爲過渡期之鋁。此種過渡

期之鋁，其抗張力（tensile strength）、硬度、合金之諸性質以及近來研究甚盛之腐蝕作用等物理的化學的諸性質，今後將隨鋁品質之向上而漸次改善。純粹之鋁，其性質之可貴，將與年俱增也。例如就化學的性質而論歷來之鋁，在鹽酸內易於溶解。然以電解反覆精製品位達九九·九%之鋁，則雖浸諸含鹽酸五%之水中一月又半，其表面猶有光澤，並不甚為所腐蝕。

要而言之，鋁為今日猶在發達途中之金屬，此金屬及以此金屬為主成分之輕合金，其性質尙未確定。以現在各國冶金學者、物理學者熱心之研究，將來種種之發見，可以期待也。

鋁及其合金之用途 鋁及其合金之用途，今日已達四百種以上，現猶在日日月月擴張其範圍焉。

金屬鋁可加工製為鑄物、棒、板、箔等，以供人用，然其質軟，須以銅、銻、鎳、錳、矽等調合之，製為合金，以增其強度及硬度。此等合金，在工業上，用途甚多。就中銅與鋁之合金，最為重要，以供各種鑄物之用。銻與鋁之合金，美國一時甚盛用之。銅、銻、鋁之三元合金，亦以製輕合金鑄物，頗為重要。此外混鎂於鋁，可製極輕之金屬材料。鎳亦往往加入鋁中，以增其硬度。現今此等合金之研究與應用，其發

達殊可驚也。

一般所謂輕合金 (Light alloy)，比重僅 2.8 ~ 3.0，有時亦有達 3.3 者，以與黃銅或鐵類相較，可謂極輕。且其成分適當配合之，再行精巧之熱處理，其抗張力亦極高。鋁青銅之鑄物或其加工品，抗張力一平方呎各達六十疋或七十疋。甚至足與碳鋼匹敵之合金，亦可製造。故重量苟加入着想，鋁合金之強度，與鋼相較，有過之無不及也。

輕合金中有所謂「杜拉魯明 (Duralumin)」者，為經過熱處理製出之輕合金。普通市場出售者，大致含有下列之成分：

銅	3.5 ~ 4.5%
鎂	0.5 ~ 1.0%
錳	0.5 ~ 1.0%

此種合金有一種特殊之性質，即以高溫度熱之後，急冷卻之，其實可變硬，是也。惟急冷之後，並不即時變硬，須更以百數十度之溫度，熱之數十點鐘，方始大行變硬。又加熱冷卻後，即放置之，則其

硬度亦隨時間之經過而漸增。此種作用謂之時效硬化作用。例如已經加工之「杜拉魯明」材料，約熱之至攝氏五百度附近而急冷卻之，於常溫中放置之數日，或漸次保持百數十度之溫度，放置之數十點鐘，則硬度非常增大，是也。歐洲大戰時，德國所向無敵之徐伯林飛船，即此「杜拉魯明」所構成者也。今日此種合金之鑄物或加工材料，在飛機、飛船及汽車之製作上，為不可或缺之貴重材料。又所謂Y合金，為含銅四%，鎳二%，鎂一·五%之合金，內燃機關之部分品、活塞、廚房用具等多用之。此外汽車之各部，有全以鋁合金之鑄物製造之者，電車、火車車體之製造，亦用鋁合金，鋁代鐵類而興，其利用之範圍，正日愈擴大而未有止也。

其他化學的器具，用鋁製之；氧化稀金屬之還元製鍊，鐵之熔接，用鋁之粉末行之；歐洲大戰以來，又以製爆藥，用於鑛山之採掘；鋼鑄造之際，又用作脫酸劑；用途之多，不勝枚舉。

鋁金屬如何出現於人類現代文明之舞臺，已於第一章說明之，以下只就其採鑛冶金術之大要述之。

(二) 鋁鑛石及其採鑛

構成地殼之岩石，殆無有不合鋁者。普通之黏土（clay），含有三〇%以上之氧化鋁即礬土（alumina）者不少。

與鋁同爲卑金屬之銅、鉛，以供製鍊之鑛石，前者品位在一%以上，後者約一〇%以上，以現代採鑛、選鑛及冶金之技術，已可有利的處理之。獨鋁以上述品位之黏土，現猶未能作經濟的製鍊。是蓋因鋁鑛石之選鑛困難，冶金方法亦較其他金屬大需經費，故也。在鋁之歷史猶極新之現代，鋁鑛石之處理方法，蓋猶在過渡期中也。

現今處理之鋁鑛石，僅有鐵礬土鑛（bauxite）一種。其成分爲 $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$ ，純粹者含有七四%之礬土。此鑛石爲一八二一年柏爾柴氏在法國布士杜龍（Banches-du-Rhone）地方之 Baux 村所發見，故稱爲 bauxite。所含鋁與黏土較，約其二倍，爲現今獨一之鋁鑛石。

鐵礬土，今日世界各地均發見之。法國南部地方馬賽港附近布士杜龍、巴爾、厄洛諸縣所產出者，品位甚佳，不獨培成法國重要產業之一之鋁工業，並輸出於他國焉。

美國東南之阿爾幹薩斯、喬治亞、特涅西、阿拉巴馬等地，鐵礬土鑛山之採掘甚盛，此外英國愛

爾蘭、南美圭亞那、意大利、尤哥斯拉維亞、羅馬尼亞、德國、印度等，亦有其鑛床。

鐵礬土為非結晶質之土塊，外觀與黏土不易區別。色自白色至赤褐色，有種種。白色者多含矽酸，為製鍊所忌。赤色者多含鐵，鐵在製鍊上，不甚為害，故多用之。茲將法國以為製鍊原料之鐵礬土鑛之品位列下：

礬土	60~80%	矽酸	2~10%
氧化第二鐵	10~25%	水分	10~15%

此外尚含有少量之氧化鐵、石灰，或微量之鎢、錳、磷、硫、黃、鉀等。

鐵礬土鑛山之鑛床，有種種之成因說。然多由花崗岩或與花崗岩類似之岩石或玄武岩變質而成。又鋁自頁岩（shale）及其他水成岩中溶解流出後，又沈澱於石灰石、白雲石等岩石中，成為鐵礬土者，亦有之。法國之鐵礬土鑛床，屬於後者。德國之鐵礬土鑛床，為玄武岩分解所成。印度之鐵礬土鑛床，為玄武岩風化所成。

美國阿爾幹薩斯州現在盛行探掘之鑛山，為花崗岩質之岩石閃長岩（syenite）所成之鑛

層鑛床，蓋高溫度之閃長岩，爲鹼性水溶液所作用，其中之矽酸分，爲礬土所置換，遂生鐵礬土之鑛層，故也。據美國地質調查所亥斯氏之發表：阿爾幹薩斯之鐵礬土鑛床，普通其最上之地表爲砂礫層，砂礫層之下爲黏土層，再下卽鐵礬土鑛層，鑛層之下磐，爲未受變化之閃長岩云。

鐵礬土之採掘法 多用露天掘法，先掘去地表之土砂及黏土層等，然後採掘鐵礬土之鑛床。美國阿爾幹薩斯地方之採掘方法，規模甚大。表土用蒸汽鏟 (steam shovel) 大量的削除，自動的裝入鑛車而運之他處。達到鑛床時，以炸藥 (dynamite) 炸破鐵礬土鑛石，以蒸汽鏟扒取之。此地鑛床表土之厚，爲 8 至 10 呎以上，鐵礬土鑛層之厚，平均三・四呎。近年表土厚達三十呎以上之處，又以坑道由坑內採掘之。其法先沿鑛帶之側邊，設將及一、二〇〇呎之運搬坑道，由此每隔十五呎，設若干坑道於鑛帶中，然後用崩壞採掘法 (caving system) 以採掘鑛石，採掘後，採掘跡 (scat) 棄置不顧，任表土陷落，漸次後退，採掘其他之鑛石，恰如石炭之採掘然。

此外，喬治亞州之鐵礬土鑛山，爲頁岩中礬土溶解後，溶液上昇入石灰石中所成，爲不規則之扁豆狀之鑛塊，以露天掘採掘之者頗多。

所謂印度埋藏量極富之鐵礬土，乃由氫氧化鐵、氫氧化鋁及矽酸三成分而成，非純然之鐵礬土，故特稱之爲紅土 (Laterite)。

以上所述之鐵礬土鑛山，將來鋁之需要，尙照現時之比率，急激增加，其埋藏量殊覺供不應求，勢非品位較低之鑛石，亦行開發不可。

鋁之鑛石，除鐵礬土外，世人所最注目者，爲明礬石 (alumite) ($K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 4SO_3 \cdot 6H_2O$)。明礬石以製硫酸鉀後，其殘滓若能以供製鋁之用，乃極有望之鑛石也。此外由黏土製礬土之法，德國、日本等不產出鐵礬土鑛石或產出極少之國，正在極力研究，雖有種種之特許法，有正在行工業的實地試驗者，然經濟的工業化者，則尙無之。

黏土爲矽酸鋁，純粹者含有礬土三九·五%。又某種黏土，含礬土有達五〇%者。我國東北復州煙臺之黏土，所含礬土，達四〇%以上至五〇%。

(三) 鋁之製鍊法

鋁製鍊之發達，尙屬極近世之事。今日世界各國所行之製鍊法，有二段之作業，一爲由鑛石製

造礬土，二爲礬土之電解製鍊，金屬鋁依此順序而製出。

(1) 礬土之製造 礬土之製造，方法甚多。現今各國所行者，爲下述之拜亞法。歷來一時行之或曾經實地試驗之方法，其主要者，列記之如次：

德維爾法 (Deville's process) 混鐵礬土鑄入碳酸鈉中，加熱使成鋁酸鈉，以水浸出之。浸出之鋁酸鈉溶液，吹入碳酸氣於其內，使生氫氧化鋁之沈澱，此沈澱燒之以製礬土。

拍尼亞科夫法 先以鑛石及食鹽爲原料，製鋁酸鈉液。此液仍如德維爾法，用碳酸氣製之爲礬土。此法有生副產物鹽酸之特點。

塞爾拍克法 一面混合鑛石與碳，於電氣爐中以高熱熱之，一面送入氮氣，使之反應，卽生氮化鋁。此氮化鋁以碳酸鈉處理之，卽得鋁酸鈉液及氮氣。前者以製礬土，後者使爲硫酸所吸收，以製硫酸銨肥料。此法在氮工業方面，一時曾惹世人之注目。

拜亞法 (Bayer's process) 已經粉碎之鐵礬土鑄，先裝入迴轉式圓筒形之爐內焙燒之，除去其中之水分與有機物，再以鋼球磨鑛機粉碎之成細粉，於高溫度高壓力之加壓釜中，以苛性鈉

液溶解之，則鑛石中之礬土成分，可使變成鋁酸曹達溶液。此溶液濾過之，使其中之氧化鐵及矽酸之大部分，成殘滓而除去，裝入圖九二所示之槽中，一面以適當之溫度熱之，一面加入少量氫氧化鋁之沈澱，迴轉攪拌機，則鋁酸鈉即分解而生氫氧化鋁之沈澱。由攪拌以使礬土沈澱，為拜亞法之特點。由

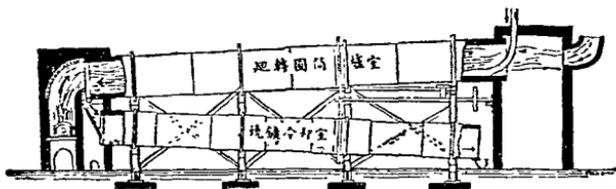


圖 91 鐵礬土鑛焙燒爐

礬石由右上部裝入迴轉圓筒室內，水分等除卻後，經下部之燒礬冷卻室，排出於外。

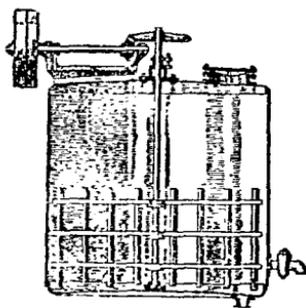


圖 92 礬土沈澱之攪拌槽

最初起，繼續攪拌一二晝夜，大部分之鋁，可使成氫氧化物而沈澱。此氫氧化鋁以濾過機濾過之，再以攝氏一千度之溫度灼熱之，除去其水分，即得純白色粉末之礬土。此礬土送往電解製鍊所，以供鋁製鍊之用。

由此方法製出之礬土，含不純物甚少，電解製鍊之際所忌之鐵、矽酸，不過各含萬分之幾。故今日礬土之製造，一般用此方法。

以上各方法，均用於矽酸含有量不多之鐵礬土。現今各國所採用者，僅拜亞法、德維爾法間亦用之，塞爾拍克法可製副產物硫酸銨肥料，一時頗惹世人之注目，然今日已無行之者矣。

矽酸含有量多之鋁礬石，尤其成分與黏土相似之礬石，處理之方法，亦有種種。雖今日均尚未達經濟的成功之域，然德國、日本等鐵礬土缺乏之國，猶研究不息。茲將其足值注意者，列舉於次：
霍爾法 礬石用碳於電氣爐中直接行還元製鍊，使礬土與矽鐵分離而採收之，純然之乾式法也。

哈格蘭德法 與霍爾法相類似，調合黏土、碳及硫化鐵，裝入電氣爐中熔融之，使硫化鋁、礬土

之混合熔體，與矽鐵相分離。前者以水洗之，製為礬土。聞最近德國有用此方法實地作業者。

硫酸法 裝黏土入加壓釜中，加以硫酸，熱之，使黏土中之礬土溶解，與矽酸分分離。所得溶液，結晶精製之為硫酸鋁，加熱使成礬土，此一法也。又所謂硫酸鋁法，使硫酸鋁為氨氣所作用，成鋁明礬之結晶，再製之為氫氧化鋁，同時又可製造硫酸銨肥料。

亞硫酸法 以含亞硫酸氣之水溶解黏土，使成亞硫酸鋁之溶液後，加熱除去其中之亞硫酸氣，製為礬土。

上述之用硫酸及亞硫酸之方法，有硫酸銨法、亞硫酸鈣法等種種之設計特許，此外用鹽酸之法，亦在研究之中。

(2) 礬土之電解 電解礬土以製金屬鋁之法，為一八六六年美國、法國同時之劃時代的大發明。自法國耶魯 (Hercule) 氏、美國霍爾 (L. M. Hall) 氏發明此法以來，已四十餘年，現今鋁之製鍊，猶用此法。

電解法之原理，耶魯式、霍爾式，完全相同。電解所用之電解浴，為熔融氟化鋁及氟化鈉之混合

物，或熔融天然產出之冰晶石 (cryolite) ($3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$)，調合以螢石 (CaF_2) 及食鹽所成之熔體。電解浴內加入前述之礬土粉末，使其溶解，通以電流，則礬土因電解作用，分解而成金屬鋁及氧。前者沈於電解爐之底，後者與陽極之碳化合，成一氧化碳氣，出爐時燃於空氣中，成碳酸氣，由爐頂離去。

電解所用之電氣爐，普通為長 $2.5 \sim 3.0$ 呎，寬 $1.2 \sim 1.5$ 呎，深 $1 \sim 1.5$ 呎之鐵箱，鐵箱之內壁為耐火磚，耐火磚之內面，塗以煤焦油煉製之碳粉。爐底埋入鐵棒，使與電氣之陰極相連絡。陽極如圖九三所示，為若干以支桿由爐上方垂直吊下之碳棒，細者一爐需三十六條，粗者數條即可，可一自由上下之。

此電極不斷的為氧所燃耗，其灰分中所含之不純物，有溶入電解浴中，進入金屬鋁內，低下其品質之虞。故電極

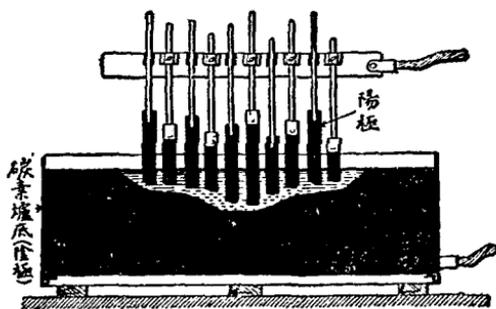


圖 93 鋁 之 電 解 槽

之製造，須選灰分極少，尤其矽酸及鐵極少之原料，例如上等碳物質石油焦煤，混以結合劑煤焦油、瀝青、土瀝青，以數百氣壓壓縮之，使成電極碳棒之形，數日間細心燒成，然後用之。故電解法之生產費中，電極與礬土、電力，同占重要之部分焉。

今將產出鋁一公噸，電解所需之主要消費額列下：

原料礬土

2.0公噸

碳電極

0.8~1.0公噸

電力

30000~40000瓩時

電解作業中，爐之溫度，約為攝氏九百度。電解浴中所含礬土之分量，普通為10~20%，不斷的由爐表面加入。電壓為1~2弗，電流強度為碳陽極斷面每平方吋25~50安。

電解時，分解沈集於爐底（即陰極）之金屬鋁，時時使由爐側面之穴流入鑄型，成爲棒狀，運諸市場。

電解工場普通設於水力發電所之附近或其內。發電所發生之交流電氣，以迴轉變流機（3）

fary converter) 或電動發電機 (motor generator) 變之爲直流，數十之電解爐，直列於回路中，電解不息。此種壯觀，現代冶金術之進步，可謂發揮無餘矣。

金屬鋁之純度，因所用原料礬土之品質而大異。鋁與其他金屬金、銀、銅、鉛等異，水溶液中之電氣分解，以今日學問之程度，猶不可能也。

最近以氟化鋇等作比重稍大之電解液，於電氣爐底熔融粗鋁與銅之合金，使精製之鋁，浮於電解液之表面，以精製純度達 99.98 ~ 99.8% 之鋁，業已成功，惟尙未普及於一般也。

故今日欲製出純良之鋁，除於礬土之製法，加以注意，使用含矽酸及鐵極微之原料外，別無他法，茲試就原料與製品品位之實例觀之：原料礬土之純度爲 99.1 ~ 99.6%，不純物僅氧化第二鐵 0.1 ~ 0.04%，矽酸 0.08% 以下時，製品鋁之純度爲 90.0 ~ 99.5%，上等品純度爲 99.5%，不純物鐵及矽約各含 0.1%。

第八節 鋅 (Zinc)

(一) 總說

鋅爲銀灰色而帶青色之金屬。我國古代卽從事於此金屬之製鍊，以鑄貨幣，故昔時波斯會稱之爲「中國之鐵」。古代羅馬、埃及，在使用鐵以前，銅與鋅之合金黃銅，已多量使用之。彼等之製鍊黃銅，係以銅及氧化鋅之礦石「加拉明」鑛（calamine）爲原料，單獨之金屬鋅之製鍊，當時尙未之知也。十三世紀之鍊金家馬格那斯氏之文獻中，曾有關於鋅之記載。然十六世紀以前，鋅之知識，歐洲可謂殆未之有。及一七〇四年，英人由我國習鋅之製鍊術以歸，英國始開始從事鋅之製鍊，後遂發達於歐洲，呈今日之盛況。

鋅因有不生銹之性質，或以鍍於鐵上，俾免氧化；或製之爲板，以供各種用途；或以製黃銅，輕合金，減摩合金（antifriction metal）等，以供各種機械製作之材料；其他氧化鋅及硫酸製，在塗料之製造上，亦甚重要。

一九二九年世界之鋅產出額如下：

表 七 世界鋅產出額

美	國	五七九、五六四	加	拿	大	七八、〇六四
比	利	時	一九九、八六九	英	國	五九、二三五
波	蘭	一六九、〇三二	荷	蘭		二五、七一二
德	國	一〇一、七七四	其	他	共	計
法	國	九一、六一一				一、四七〇、七六九

鋅之製鍊，與鋅產出之鑛山地方無甚關係，多於石炭山地方行之，有時又於水力電氣廉價之地方行之。故上述鋅之產出國中，比利時、荷蘭、英國等，本國並無若何之鋅鑛山，所產鋅之原料鑛石，殆皆仰給於他國之輸入。

鋅鑛石 鑛物學上鋅鑛之種類如次：

鑛	物	化	學	公	式	含	有	量
閃鋅礦 (Blende)		ZnS						六七·一五%

俄銻礦 (Franklinite)	$(\text{Fe}, \text{Zn}, \text{Mn})\text{O}(\text{FeMn})_2\text{O}_2$	一一·〇〇
異極礦 (hemimorphite or calamine)	$2\text{ZnSiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	五三·七〇
含水紅銻礦 (hydrorhizinkite)	$3\text{ZnCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$	五七·一〇
菱銻礦 (smithsonite)	ZnCO_3	五二·〇〇
矽酸銻礦 (willemite)	2ZnSiO_3	五八·一〇
紅銻礦 (zinkite)	ZnO	八〇·二五

以上以供製鍊之主要原礦爲閃銻礦，亦稱硫化銻礦。其他六種，或爲氧化物，或爲碳酸物，或爲矽酸物，鑛業上總稱之爲「加拉明」礦 (calamine) (但「加拉明」在鑛物學上爲異極礦之意)。

閃銻礦之純粹者爲松脂色。然普通含有硫化鐵，鐵之含量愈多，其色愈由褐色變爲黑色。質脆易碎。閃銻礦往往被誤認爲柘榴石 (garnet)，然柘榴石硬度大，不難即時區別之。閃銻礦之含有少量之鐵者，製鍊上頗爲有害，有時含鐵有達一〇%以上者。此時鐵以硫化鐵之狀態，與硫化銻化合，

成特殊之化合物。

閃鋅礦中有時又含有硫化鎳，製鍊之際，可得鎳之副產物。又含銀之鋅礦，由其製鍊殘滓中抽出銀者，其例不少。

「加拉明」礦爲白色乃至黃褐色之鑽石，乃硫化鋅礦床露頭之已經風化者，鋅礦山之地表，無不多少有其存在，與氫氧化鐵及石灰石等相混產出。

鐵鋅礦及紅鋅礦，僅北美法蘭克林礦山產出製鍊之，他處未之見也。

鋅礦山之鑛床 亦有鑛脈鑛床，單純交代鑛床及變質交代鑛床，與鉛鑛山之鑛床同。世界有名之鋅鑛山，爲美國中部地方密士失必溪谷各處之鋅鑛山。就中密蘇里、干薩斯地方，石灰岩砂石之中，產出閃鋅礦、方鉛礦等之鑛石，鑛床成不規則之板狀鑛帶，厚達數呎以至十五呎之大鑛塊不少。坑內採掘之粗鑛，含鋅在六%以上，選鑛後得含鋅五〇%以上達六〇%之精鑛。此等鋅鑛山之主要部分佐普林 (Zoplin) 地方之鋅鑛，含鐵甚少，品質尤爲純良。故由此地鑛石製鍊之鋅，爲優良之鋅，市場甚歡迎之。

又澳大利亞布洛聖山之鉛鋅鑛山，德國上西里西亞意大利撒丁等之鋅鑛山，亦爲單純交代鑛床，與上述美國之例相同。

亞細亞方面，我國湖南省水口山地方及安南、緬甸等，亦有豐富之鋅鑛山。尤其緬甸之巴爾德文鑛山，鑛床極爲鉅大。又大戰時，供給日本多量「加拉明」鑛，位於烏拉幾窩北方之特楚耶鑛山，鑛石亦稱豐富。

日本對馬之佐須鑛山，爲中生層中之鑛脈，日本最初之銀山也，一時曾由昔時採掘含銀鉛鑛之舊坑內，產出多量之鋅鑛石。宮城縣之高田鑛山，爲第三期層及變朽安山岩中鋅鉛硫化鑛所成之鑛脈，昔日亦爲銀鉛之鑛山，今日所採掘之鑛石，選鑛分離之爲方鉛鑛及閃鋅鑛後，閃鋅鑛以溼式電解法製鍊之，方鉛鑛以熔鑛爐行乾式之製鍊。新瀉之葡萄鑛山，亦爲鑛脈，所產鑛石爲含鐵極少之純良閃鋅鑛，送往大寺製鍊所，以溼式電解法製鍊之。其他東北地方銅鑛床之中，亦時時有純良閃鋅鑛之產出。至岐阜縣之神岡鑛山，如第三節所述，爲變質交代鑛床，鑛石經選鑛後，分離爲鉛鑛及鋅鑛兩種，鉛鑛於該山製鍊之，鋅鑛則送往三池炭鑛地方，以乾式蒸餾法製鍊之。

此外朝鮮、平南道、蘇民及平北道、檢德地方，亦有頗大之銍鑛床，埋藏有異極鑛及閃銍鑛不少。銍鑛山之採掘，銍鑛山之採掘方法，與銅鑛山相同，因其鑛床或為鑛脈或為不規則之塊狀交代鑛床而異。神岡鑛山之採掘法，已於第三節說明之。該鑛山之主要大鑛床柘洞鑛塊，採掘由露頭起，直達垂直千數百尺之下部。採掘方法，利用極急峻之地形，先由山腹開整橫坑道，以達鑛床，然後採掘鑛石。至今日止，露頭以下，每垂直距離一百五十尺，設一號坑、二號坑、三號坑以至八號坑，向下採掘鑛石。

鑛石之採掘場，因鑛床為鉅大之鑛塊，採用崩壞式 (caving system)。採掘後，掘跡生廣大之空洞，一面以廢石等充填之，一面繼續採掘周圍及上頂之鑛石。採掘之鑛石，集中於最下坑道，搬出坑外，以空中鐵索 (aerial ropeway) 送諸選鑛場。又高田鑛山為鑛脈鑛床，採掘之方法，與尾銅山同。

選鑛 方始採出之粗鑛，普通所含銍在一〇%以下。此粗鑛在鑛山即須選鑛，選鑛後得含銍35~60%之精鑛，然後送往製鍊所。

選鑛之方法，先以齧鑛機、輾鑛機、磨鑛機等粉碎機粉碎鑛石，就大小篩分之為若干種，然後利用比重之差，淘汰分離之。其順序，粒之粗者，以跳汰機分離之為方鉛鑛、閃鋅鑛及廢石。此時鉛鋅不能分離之中間物，再粉碎之為細粉，以淘汰盤分離之，更細微之泥鑛，則更進而以洗鑛槽 (buddle) 等比重選鑛機分離之。

在上述重力選鑛所遭遇之最困難之問題，為鑛石中混有黃鐵鑛時之問題。蓋黃鐵鑛與鋅鑛，比重相差甚小，閃鋅鑛比重為 3.2~4.2，黃鐵鑛為 4.9~5.2，方鉛鑛為 7.4~7.6，前二者甚相接近，分離甚為困難，故也。故僅用比重選鑛機，則

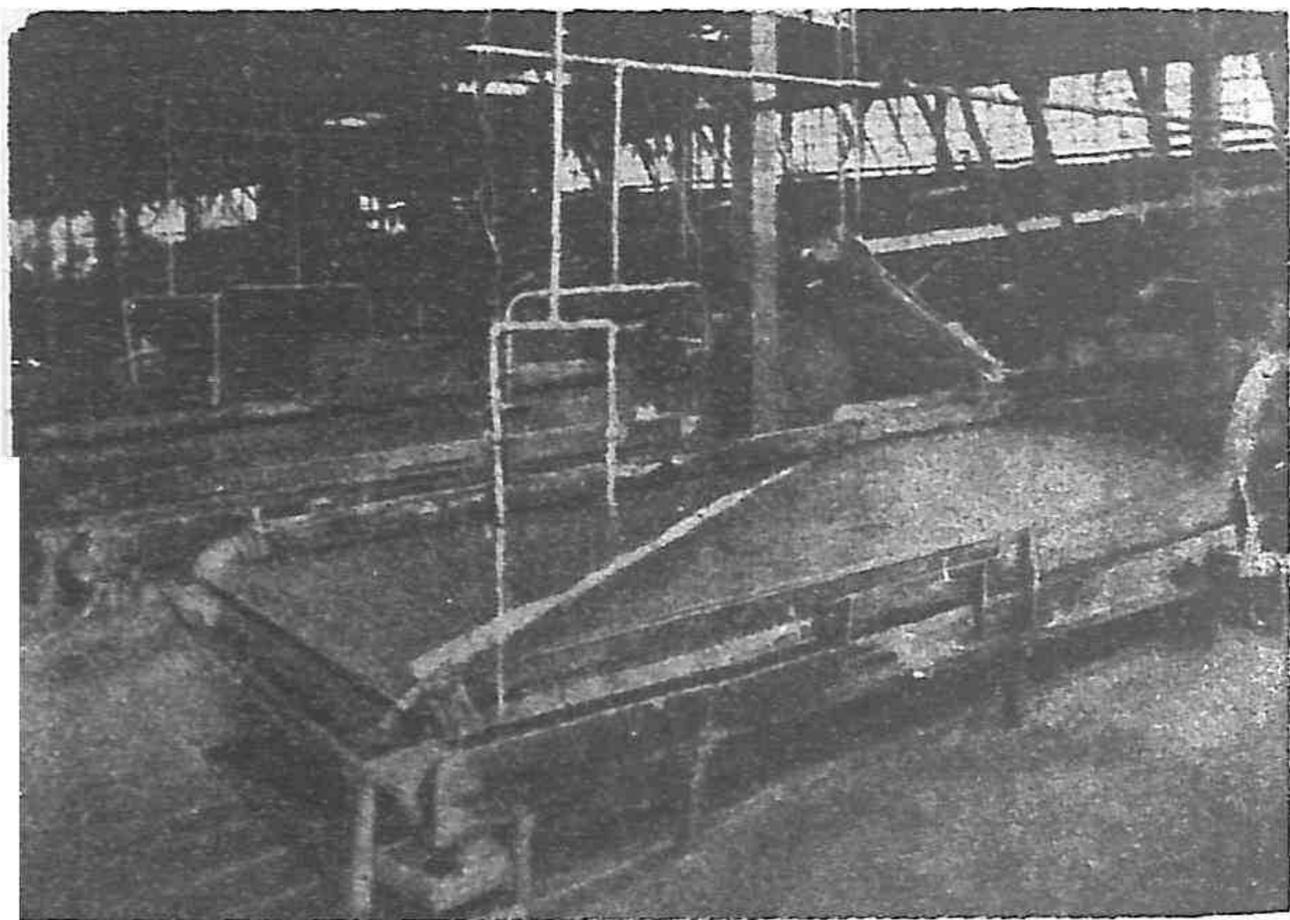


圖 94 威爾夫勒式淘汰盤

鉍礦石中混有多量之鐵，品位未能良好也。

對此問題，有種種之設計。例如閃鉍礦與黃鐵礦互相混合之粉礦，以低溫度微焙燒之，使黃鐵礦單獨氧化，帶有磁性，然後用磁力選礦機吸取除去之，其一法也。此法行於歐美，日本小坂礦山、神岡礦山亦曾行之，現在高田礦山亦以丁斯式磁力選礦機 (Dunst magnetic separator) 行此方法。又所謂電氣選礦法，帶有強靜電氣之電場，落下混合礦物於其內，則鉍石因種類

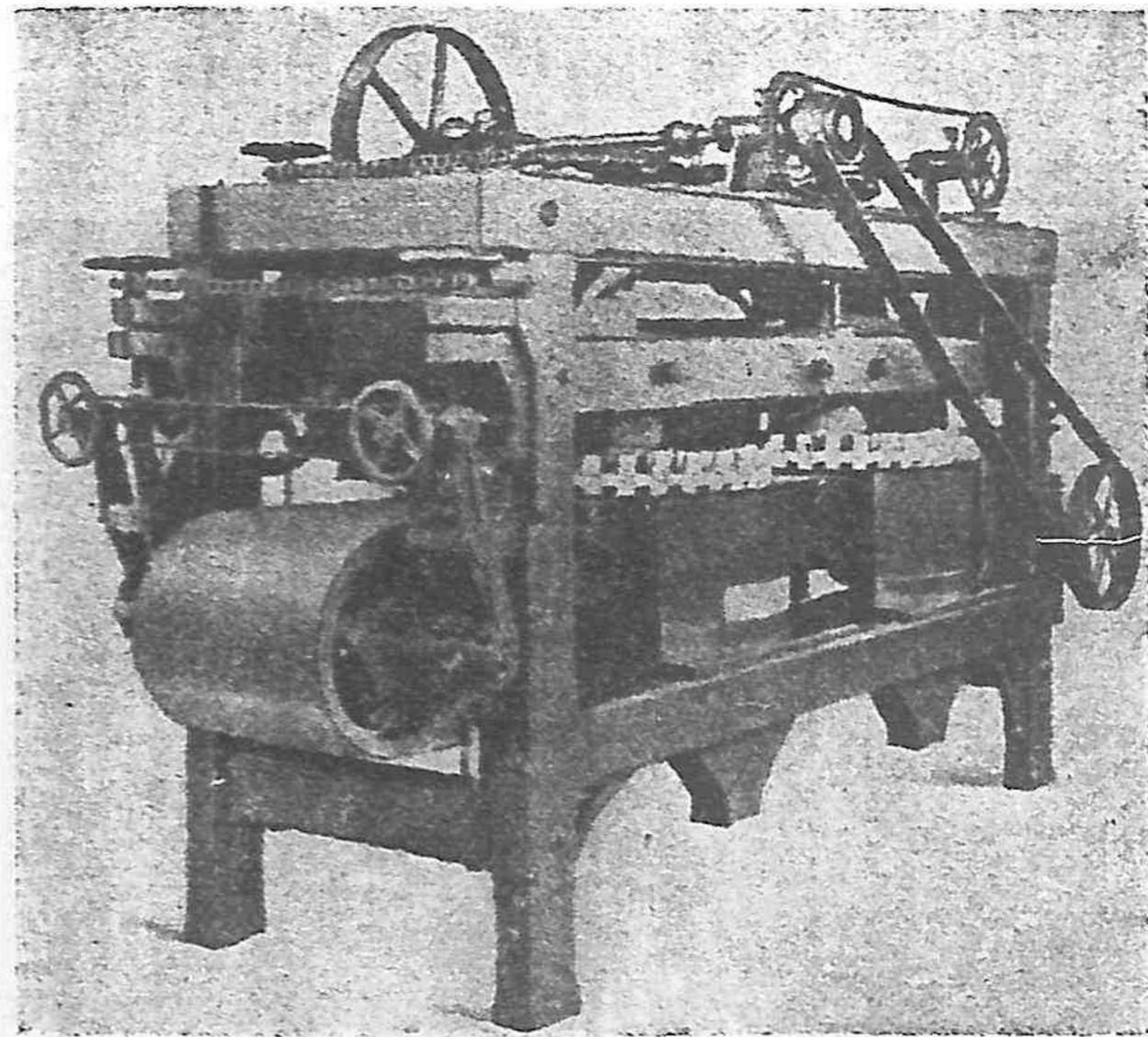


圖 95 丁斯式磁力選礦機

不同，所受電氣之反撥程度各異，此法亦可使閃
鋅礦分離而出。惟美國雖曾有試行之者，未獲成
功。

又近來鋅礦之浮游選礦，屢經研究，效果大
著，歐美固不待言，日本神岡鑛山用此方法後，選
礦能率上，亦放一大光明焉。

神岡鑛山之浮游選礦法，已於第三節說明
之，此外各處之鋅鑛山，亦盛行此方法，歷來之重
力選礦法，大有爲所驅逐之勢。前述之澳大利亞
布洛墾山鑛山，十年以前，即用此方法，由舊時行
重力選礦遺棄之捨石，產出高品位之鋅精礦，鉛
精礦，不可勝計，浮游選礦法之偉力，大爲發揮。

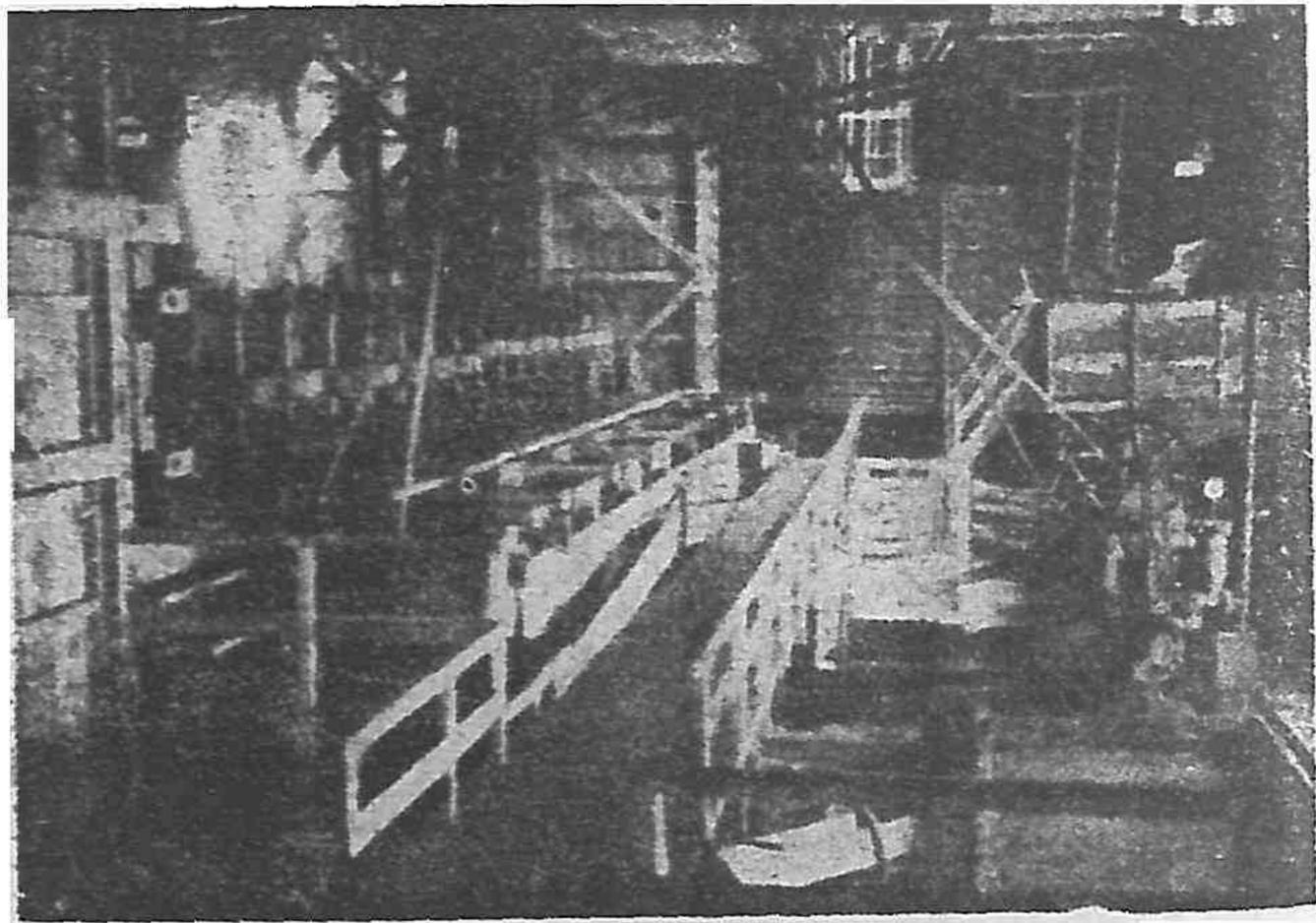


圖 96 鋅鑛之浮游選礦工場

然閃鋅礦中，如前所述，有與多量之硫化鐵化合而產出者，有雖未化合，然以極微細之粒，互相混合而產出者。此種礦石，雖應用浮游選礦法，亦無效果，未能機械的處理之，只有如後所述，應用溼式電解製鍊法，化學的除去其中之鐵，可以成功。美國烏台地方所埋藏之硫化鋅、硫化鐵、硫化鉛、硫化銀等之細微混合物，其量不可勝計。日本各處之黑礦，為鋅、鉛、銅等混合而成之複雜礦石。由選礦、冶金兩方面，研究所以採收此等莫大資源礦石中之金屬，蓋甚有興味之問題也。

(一) 鋅製鍊法

販賣於市場以供製鍊之鋅精礦，其中所含之鋅，以四〇%為標準，依其品位之高下及有害不純物（例如鐵及錳）含有量之多少，而決定其價格。

製鍊方法，有乾式、溼式二種，大部分用乾式方法。精礦普通送往石炭價廉之炭礦地方，以乾式蒸餾法製鍊之，在鋅礦山就地製鍊者甚少。

乾式蒸餾法，如前所述，十八世紀中葉，由我國傳入英國，後遂發達於歐洲。歐洲大戰以前，鋅之製鍊，殆全用此法。大戰以後，美國及日本於此法之外，又研究完成溼式之電解製鍊法。此法乾式製

鍊所最困難之複雜硫化鋅，亦可有利的處理之，將來將日漸發達也。

(1) 乾式蒸餾法 此法，昔時以氧化鋅「加拉明」鑛之鑛石為原料，混以還元劑石炭之粉末，裝入耐火黏土之蒸餾器 (Retort) 中，由外部以高熱熱之。鑛石既受高熱，遂還元而成金屬，蒸發入於與蒸餾器相連結之凝縮器 (Condenser) 中，凝縮而成金屬鋅。近年因鋅鑛山露頭之氧化鋅，然後依前述之方法蒸餾之。

鋅之製鍊，燃料之消費甚大。現今鐵、銅、鉛等之製鍊，產出金屬一公噸，只需石炭一公噸強。然鋅則產出一公噸，需下列多量之石炭：

閃鋅鑛焙燒所需石炭	0.5 公噸
蒸餾加熱所需石炭	3.0 ~ 3.5
還元所需石炭	1.0 ~ 1.5
共計	4.5 ~ 5.5

除上列者外，蒸餾器之製造，動力之發生等，亦加入合算，共需八公噸以上之石炭。

石炭之消費量，既如此其大，故鋅製鍊所之位置，不得不選定炭鑛地方。歐洲大戰前，比利時安德威伯港（Antwerp）為世界各地鋅鑛集合之地，鑛石之起卸運搬諸設備，極其完備。此地附近之鋅製鍊工場地帶，利用該國所產之優良石炭，以供製鍊之用，頗極一時之盛。此外德國之來因地方，西里西亞地方，英國之斯華西市（Swansea），鋅之製鍊工場，亦均集中於廉價石炭之供給便利，鑛石輸入便利之地。

鋅製鍊所用之蒸餾器，其良否與鋅之實收率有密切之關係，故其製造，須用特殊之耐火黏土。此種蒸溜器供給之便否，亦有考慮之必要。又鋅鑛焙燒所生之有害物，如硫酸氣，可利用之以製硫酸。硫酸不獨硫酸銨肥料之製造需要之，其他各種化學工業，莫不需要之，此種副產物所生之利，殊不少也。

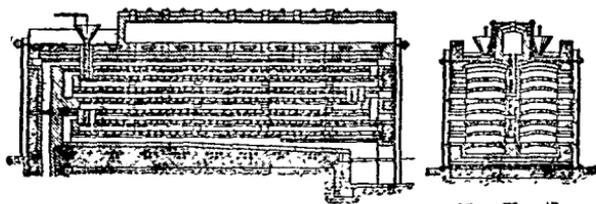
據上理由，鋅製鍊所與銅製鍊所等異，須設於炭鑛地方化學工業中心之地。

乾式蒸溜製鍊之順序，一為鑛石之焙燒，二為燒鑛之蒸溜，三為粗鋅之精製，以下順次略述之：

鑛石之焙燒 「加拉明」鑛之焙燒，甚為簡單，普通即於鑛山行之，鑛石之以薪或石炭燒之，恰如燒石灰然。塊鑛用豎窯，粉鑛用反射爐，溫度最高八五〇度。鑛石既經加熱，其中之水分或碳酸氣，即被驅除。鑛石經焙燒後，普通其重量約減少 $20\sim 30\%$ ，即送往製鍊所，以行蒸溜。

硫化鋅鑛之焙燒，須特別注意。蓋視焙燒後，或以行乾式蒸溜，或以行溼式電解，焙燒之方法，須稍異其趣，故也。前者硫化鐵中之硫黃，須竭力除去之，謂之完全焙燒。後者須保留少量之硫黃於鑛石中，使成硫酸鋅，謂之硫酸化焙燒(sulphatizing roasting)。

如前所述，硫化鋅之精鑛，為含鋅 $40\sim 45\%$ ，含硫黃 $25\sim 30\%$ 之粉鑛。此粉鑛之大，如約為二耗，則製鍊上極為便利。然近來因行浮游選鑛之故，多極細微之粉鑛，處理上頗為困難。此粉鑛送入反射爐



面 斷 縱

圖 97 鋅 鑛 焙 燒 焙 爐

或熔爐 (muffle furnace) 內，予以空氣，一面攪拌，一面焙燒之。

硫化鋅熱至攝氏 500 ~ 600 度，即自行燃燒，發生多量之熱，變為氧化鋅及硫酸鋅。其中之硫黃，成亞硫酸氣而發散。此時若予以適當之空氣，不斷的攪拌鑛石，則燒鑛至殘留硫黃約 10 ~ 8 % 止，鑛石以其自身所發之熱，進而焙燒。然硫黃若欲更行除去，則鑛石之溫度，須充分加高，須使約保持九百度之溫度，故鑛石最後須用燃料充分熱之。

舊式之手動式反射爐，爐床上之鑛石，須以人力攪拌之，石炭之消費量，達鑛石之 20 ~ 30 %。然近來之機械爐，則不獨鑛石可機械的有規律的攪拌之，加熱之方法，亦甚精巧。鑛石氧化所需之空氣，石炭燃燒所需之空氣，為爐內排出之廢熱所預熱，故鑛石焙燒作用之進行，甚為均整，脫硫之成績，甚為佳良，燃料之消費量，亦大為減少。現今焙燒所需石炭，僅鑛石之 10 ~ 15 % 耳。此種機械爐，最近有利西爐、麥爾頓爐、及斯巴勒特爐等。惟歷來發達於德國勒那尼亞工場之勒那尼亞爐 (Behnia furnace) [一名哈森克勒味爾爐 (Hasencler furnace)] 或德爾卜勒斯爐等，雖亦為手動式之熔爐，設計苟得其宜，與上述之機械爐較，成績並無遜色。現在日本所用者猶多為此種

手動攪拌爐。

燒鑛之蒸溜 完全焙燒告竣之鑛石，尙未脫淨之硫黃，僅一%以下，鋅則殆已全部變爲氧化鋅矣。由此以行蒸溜之法，燒鑛內加入良質無煙炭之粉末 C ，充分混合後，裝入蒸溜器內，以攝氏一四〇〇度之高溫加熱之，則氧化鋅爲炭所還元，成鋅之蒸汽，離蒸溜器而入爐外與蒸溜器相連結之凝縮器內，冷卻而成金屬鋅。

蒸溜器如圖九八所示，有西里

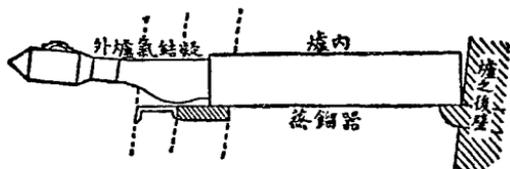
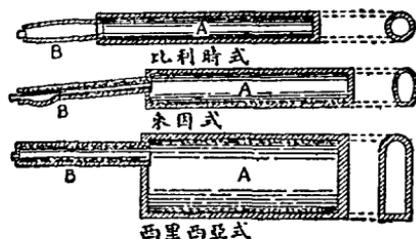


圖 98 上爲蒸溜器與凝縮器相連結之圖

A. 蒸溜器 B. 凝結器

下爲蒸溜器裝入蒸溜爐內時一部分之圖

西亞式 (Silesian type) 來因式 (Rehinish type) 比利時式 (Belgian type) 三種。來因式今日已不用之。比利時式普通為圓管形，容量約三〇呎。來因式稍大，約五〇呎。此蒸溜器之製造，原料耐火黏土之選擇及調和，須嚴加注意，庶雖受高熱，不易破損。製造之法，充分混合生黏土與燒黏土，以高壓之壓縮機，壓之成蒸溜器之形，而徐徐乾燥之。用時預赤熱之，而後插入爐中。一個普通可蒸溜鑛石 $CaCO_3$ 80回。若壽命不長，早日更換，則銻蒸溜之採收率，不免大為低下。故蒸溜器之製造，實銻製鍊上最重要作業之一。

蒸溜爐為長方形之燃燒室，高25~30呎，深一呎餘，長 $ca. 20$ 呎，其切斷面如圖九九所示，前面如圖一〇〇所示。用比利時式蒸溜器者，一爐之中，有蒸溜器四至六列，每列各數十，共達四百以上者，數見不鮮。

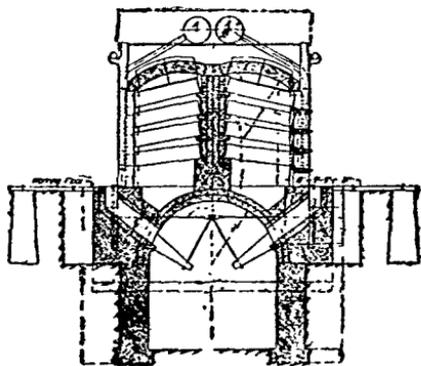


圖 99 銻蒸溜爐之切斷面

用來因式蒸溜器者，普通有蒸溜器三列，每列30~40。蒸溜爐之加熱方法，普通於爐之附近置煤氣發生爐，以石炭製造煤氣，導入蒸溜爐中，使在蒸溜器之周圍燃燒，蒸溜其中之鑛石。蒸溜所需溫度極高，約1300~1400度，燃料消費之多，誠不得已也。

然近年研究廢熱利用之方法，燃料之消費稍減。法於爐之底部，置西門子式蓄熱爐，燃燒後行將離爐而去之高熱氣體，導入蓄熱爐內，將其中之熱，蓄於爐內後，使空氣逆行通過爐中預熱之，而後送

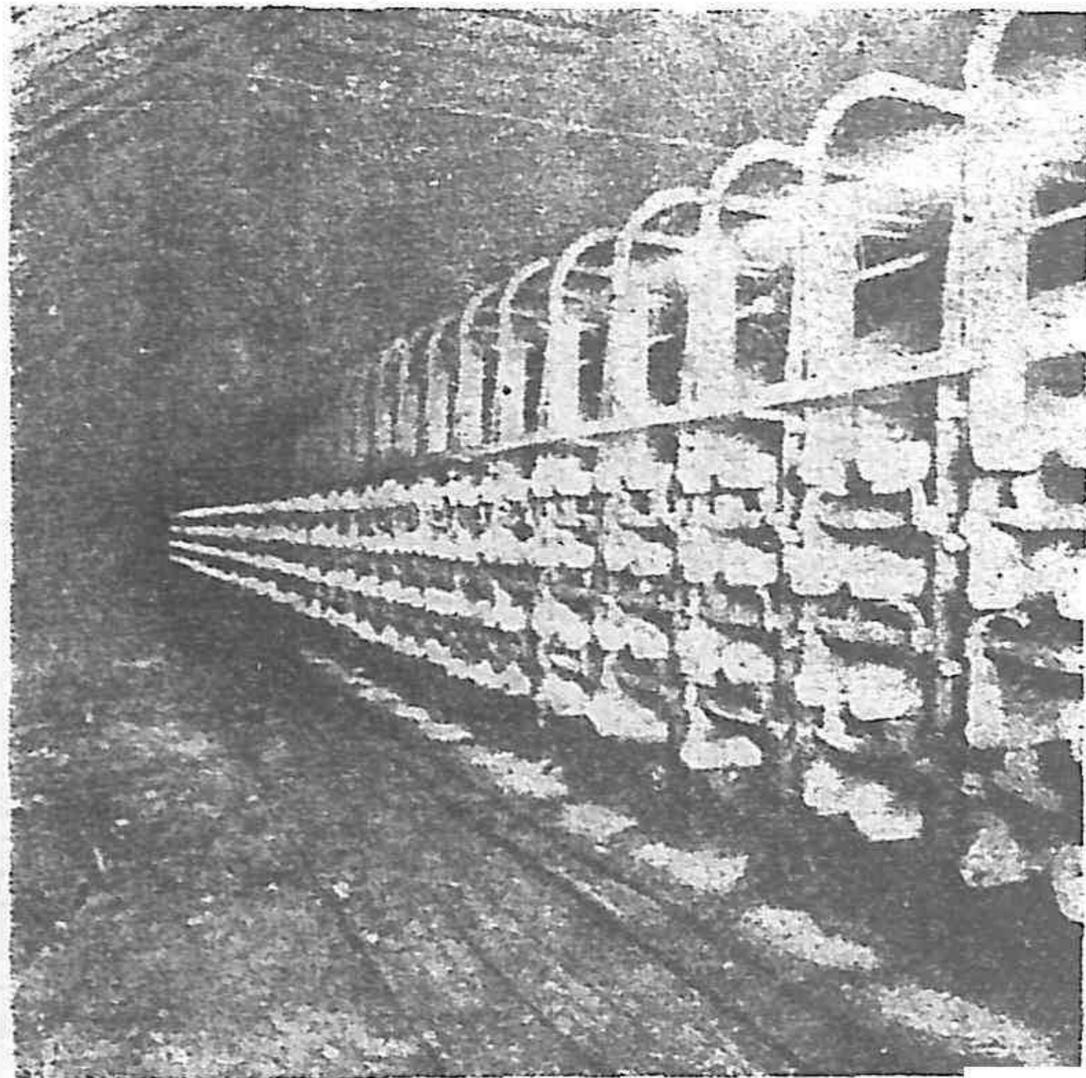


圖 100 蒸 溜 爐 之 前 面

入蒸溜爐中，與煤氣一同燃燒。每蒸溜爐一座，左右並置蓄熱爐一對，每三十分鐘，交替使用之。

又最新式之復熱式廢熱利用方法，採用之者頗多。此法使行將離爐而去之高熱度氣體，通過多數之煙道內，使空氣隔煙道之薄壁，與之逆流，為所預熱。此法廢氣及空氣之方向，不似蓄熱式之須一一逆轉之，在熱之利用上，結果較蓄熱式為佳。

蒸溜作業之方法，每朝蒸溜器內鑛石改裝一次，蒸溜以一晝夜完全告終。蒸溜中凝縮器內累積之鋅，以匙約三回扒出，注入鑄型，使成鋅錠。普通每蒸溜爐，每晝夜可蒸溜鑛石 $50 \sim 60$ 公噸。鑛石每公噸加熱所需石炭為 $1.0 \sim 0.8$ 公噸。

粗鋅之精製 已經蒸溜之鋅，其品質因鑛石中所含之不純物而異，普通多含有鐵及鉛，須再精製之。

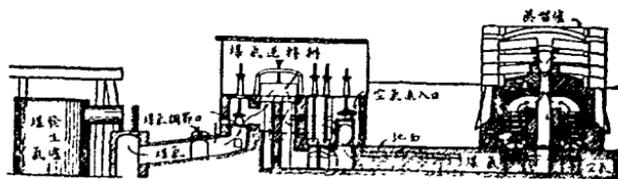


圖 101 鋅蒸溜工場之設備

鋅之精製，普通用反射爐。將粗鋅錠放入反射爐內，徐徐熔融，二三日放置之，則鉛及鐵即沈下，集合於反射爐底部之窪處。上部之鋅，汲取之以為精製鋅，送諸市場。精製鋅含鋅 99.95~99.99%，不純物尚含有少量之鐵、鉛、鎘等，然於一般之工業上，已可適用。

(2) 溼式電解製鍊法 此製鍊法雖發達於近年，以前英國布拉那孟德公司已曾浸出鑛石中之鋅為氯化鋅，電解之製為極其純良之電氣鋅，供給市場，惟其量不多耳。及十七八年來，美國日本硫酸鋅溶液之電解製鍊成功，前述之品位低之混有鉛、鐵、銅等之複雜硫化鑛石，亦可以為處理之法，今日已為世所重視矣。

硫酸鋅電解法，先焙燒鑛石，以硫酸浸出其中之鋅，使成硫酸鋅之水溶液，然後以電氣分解之。此法鑛石之焙燒，與蒸溜法異，以稍低之溫度，長時間時攪拌，加減空氣以行之。此種焙燒，謂之硫化焙燒 (sulphurizing roasting) 要而言之，焙燒告終後，鑛石中尚餘存 3~4% 之硫酸鋅，其他盡成氧化鋅即可。所用之爐，為威幾式或赫勒斯霍弗式機械攪拌爐（參觀圖八四）。

已經焙燒之鑛石，送入巴楚加式空氣攪拌溶解槽（參觀全鑛之泥鑛氯化製鍊）內，加以硫

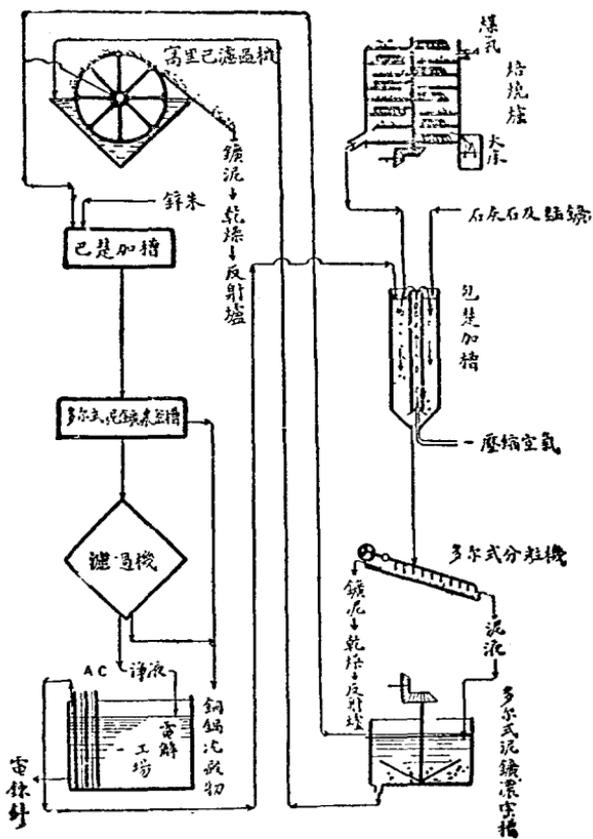


圖 102 濕式電解製鍊

酸，送入空氣，使鋅溶解；並加入少量之石灰石與過氧化錳礦，使溶解於硫酸內之鐵，成氫氧化鐵而沈澱；然後用濾過機分離之爲鋅溶液及鑛滓。鋅溶液內約含有鋅 $92\sim 98\%$ ，鑛石中所含若干之銅、鎳等不純物，亦溶解於其中，須投入鋅之粉末而攪拌之，使成沈澱，充分除去之。

精製之硫酸鋅液，導入電解槽中電解之。電解，陽極板用不溶解性之鉛板，陰極板用薄鋅板或鋁板，木製之電解槽內， $20\sim 30$ 枚之陰極、陽極，交互吊下，通以電氣，鋅即沈澱於陰極，陽極發生氧氣。鋅既析出，電解液

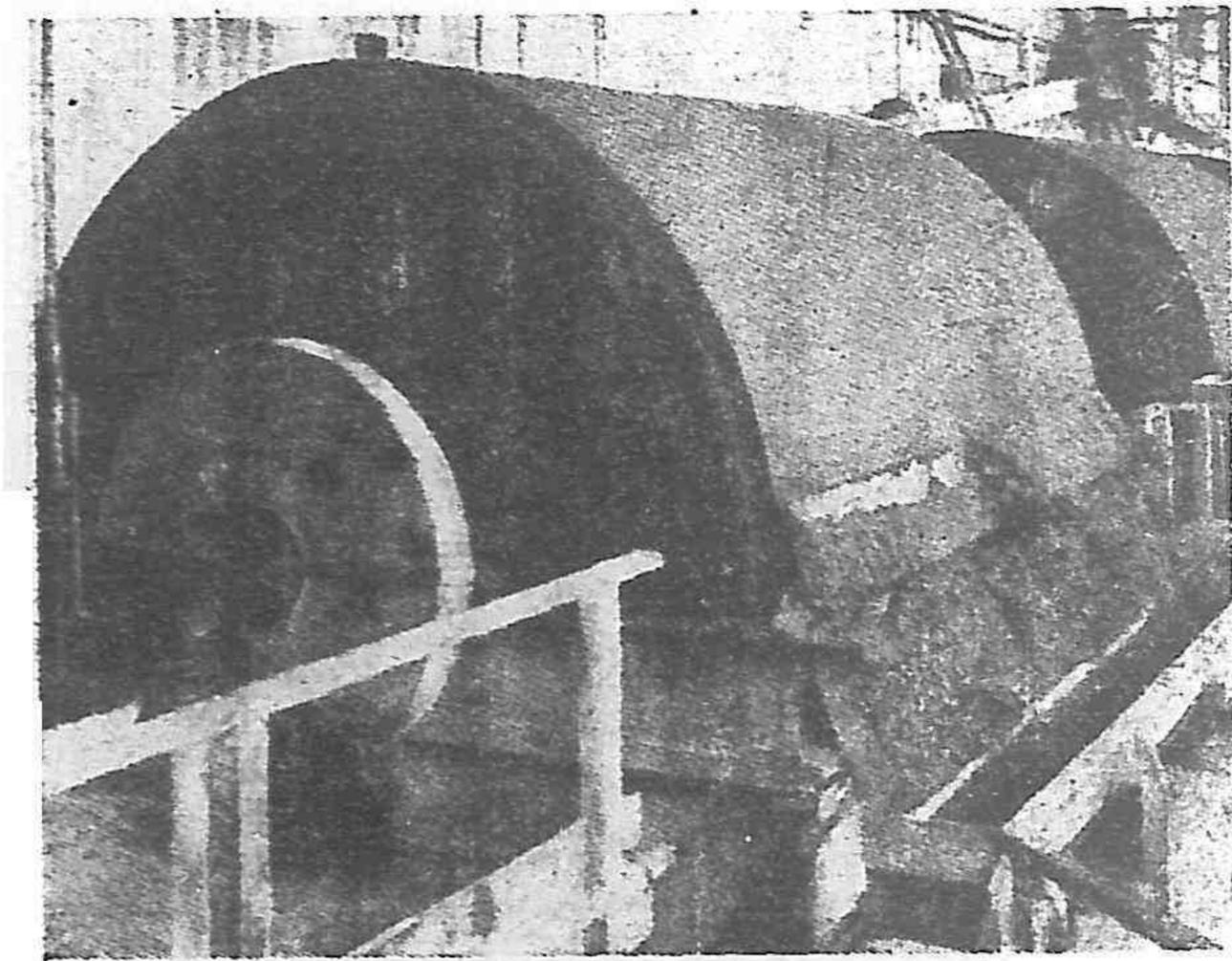


圖 103 窩里巴式濾過機

中漸生游離硫酸；至鋅沈澱至某程度，游離硫酸增多之液，使由電解槽流出，反覆以供鑛石溶解之用。

此電解法自昔即有，惟昔時因對於電解液中之銅、鎳、鈷等有害不純物。知識不足，致析出於陰極之鋅，成海綿狀，熔融之時，多量燃燒，變為氧化鋅，採集率不免大為低下。然現今則溶液中之不純物，可以完全除去，液中稍加膠質物而電解之，即得緻密之沈澱。此電解法所需電壓為 $3.8 \sim 4.0$ 弗，電流每平方粉 $150 \sim 200$ 安。若動力用之電力，亦加入計算，則產出鋅一公鎊，普通約需四千瓩時；與乾式蒸溜法之需多量之石炭相較，將來大可發展也。

陰極上沈澱之鋅，將陰極由電解槽內取出，由上剝下，於反射爐或電氣爐中注意熔解之，注入鑄型，即成電氣鋅，送往市場。

日本大寺製鍊所之電氣鋅，品質極為優良，純度達九九·九%。美國因所處理者為不適於乾式製鍊法之複雜硫化鑛石，故品質未見特別優良。然鋅鑛石中若含有鉛、銅或銀，則先用此法，溶解其鋅，再將鑄滓在反射爐中行熔鑄製鍊，不獨鉛、銅、銀可以充分抽出，鑄滓中殘餘之不溶解之鋅，亦

可揮發成爲氧化鋅而採收之。其採收率，美國西北部之古勒特福爾斯製鍊所，據稱恢恢乎達九五%以上。要而言之，歷來不能應用乾式製鍊法，或縱能應用採收率亦極低之含不純物極多之鋅，能得如斯良好之成績，蓋最近冶金界所應大書特書者也。

第九節 鎘 (Cadmium)

鎘爲發見歷史尙新，性質與鋅酷似，與鋅相伴少量產出之金屬。純粹者有錫白色之光澤，表面多呈美麗之樹枝狀之結晶組織。可展爲板，可抽爲絲。在低溫度（攝氏三二二度），即行熔融。

此金屬發見於一八一七年。初斯特洛麥亞（Stromeyer）氏見鋅之碳酸化合物呈黃色，以爲係起因於其中之不純物鐵分；然分析之結果，未得鐵，得美麗而呈黃色之硫化物，此硫化物彼以爲係硫化砷。及翌年赫爾曼氏發見其中含有一種新金屬，予以鎘之名，黃色之硫化物，即硫化鎘，於是決定。

其後鋅製鍊之蒸溜爐之磚壁等處，認爲有黃色氧化鎘之沈積，鋅礦石中含有此金屬，始爲一

般所知。後德國鋅製鍊之際，此金屬遂以副產物而產出。

鎘之鑛物，僅有黃色之硫鎘鑛（Sphalerite）（ZnS）一種。卽此鑛物，亦含於鋅鑛中，產出極微。德國西里西亞地方之鋅鑛，含鎘約〇・一%，美國中部地方之鋅鑛，含鎘約〇・三%，其他一般之鋅鑛中，亦微含有之。

鎘之用途，現猶未充分開發。產出亦以美、德二國爲主，年額不出二百公噸。一磅之價，約二圓餘。現今主要之用途，利用其熔融點之低，以與鉛、錫、鉍混合，製造合金，可得在極低溫度攝氏六五度卽行熔融之合金。此外裝飾用合金、電氣鍍金、齒科用汞劑等亦用之。又硫化鎘以作黃色之顏料，使用亦多。

鎘製鍊所用之原料，爲鋅蒸溜所生之副產物鋅粉末。德國處理之鋅粉末，所含鎘達3~4%之多，美國以供製鎘之鋅粉末，所含鎘亦約二%。

此外鉛銅製鍊所以電氣洗滌法由煙中採收之煙灰，或以囊室裝置由布囊濾過之煙灰，其中亦含有少量之鎘與砷等。砷分離之爲亞砷酸後，所餘殘滓，以爲製鎘之原料。又鋅之電解製鍊工場

由硫酸鋅液中分離而出之不純物銅及鎳之沈澱物，有時亦以供製鎳之用。

製鍊之方法 製鍊之方法，有乾式與溼式二種。自來德國以鋅粉末為原料，以乾式法製鍊之。然近時美國又以煙灰為原料，以溼式電解法製鍊之。

乾式法 含鎳 $2\sim 3\%$ 之鋅粉末，混以碳酸粉末，裝入黏土或鑄鐵之蒸溜器內，於爐中加熱蒸溜之，原理與鋅之蒸溜法相同。鎳與鋅較，有在低溫度更易成蒸氣而揮發，氧化物更易還元成金屬之性質。鋅粉末本由氧化鋅與金屬鋅而成，內含有氧化鎳及金屬鎳。故蒸溜之際，溫度適宜增減之，保持攝氏 $700\sim 800$ 度，鎳即因碳之故，還元成金屬，揮發出蒸溜器，入於外部鐵板製之筒中，冷卻凝固，即成不純之金屬鎳。此法二三次反覆行之，最後遂得含鋅極微之純良金屬鎳。然此法因反覆蒸溜，金屬之採收率，不免大為低下。

溼式之電解法 混有鎳、銅、鉛、鋅等之煙灰，以稀硫酸溶解之後，一面吹入空氣，一面混以石灰粉，可使其中之鐵、砷及一部分之銅沈澱。沈澱濾過除去後，溶液中再加入鋅粉末，則其中之鎳。即成金屬之粉末，與殘餘之銅，一同沈澱。此沈澱再以稀硫酸溶解之，即得硫酸鎳之溶液。此溶液濾過

後，其中尚含有少量之鋅及其他不純物，再加入鋅粉末一次，使鑄單獨沈澱。此鑄再以硫酸溶解之，使成純粹之硫酸鑄溶液，然後送入電解槽內電解之。電解槽內陽極用鉛板，陰極用鋁板，通以電流，使金屬鑄沈澱於鋁板上，取出熔融之，鑄為鑄棒，送諸市場。

故電氣鑄之品質，甚為優良，純度達 99.5 ~ 99.8 % 焉。

第十節 錫 (Tin)

(一) 總說

錫與銅、鋅相比較，普通以為第二流之金屬。然其產額及用途之大，實駕鋅而上之。最近世界錫之年產額，達十四萬公噸，價格達四億圓，將來之進展，尚甚洋洋焉。

錫之主要用途，或鍍於鐵板，以製馬口鐵 (tin plate)；或製為錫箔 (tin foil)，以供包裹食物之用；或以製青銅（錫與銅之合金）、白鐵（錫與鉛之合金）、防摩合金（錫與銅、銻等之合金）等合金，使用甚多。又氯化錫以作媒染劑，其他尚有種種之用途。

錫在大氣中不生銹，常保有銀白色之美麗光澤，又可展爲甚薄之箔。有此等可貴之性質，故能喚起不少之用途。錫又有一種有趣之性質，即曝於酷寒中時，起同素體之變化，自行崩壞而成灰色之粉末是也。此性質十九世紀中葉，發見於俄國彼得格勒稅關倉庫中貯藏之錫，後遂稱之爲錫病 (tin pest)。此變化據稱在攝氏零下四十八度，最爲盛行。

錫之歷史甚古，我國、印度、波斯，有史以前，即已知之。埃及紀元前一五〇〇年以來，已使用銅及青銅之器具。古代埃及青銅之鑄造術，已甚進步，有如現代，觀其遺物，可以恍然。

又紀元前一六〇〇年，摩則斯氏已有關於金屬錫之著述。古代掌握地中海貿易之腓尼基人，曾遠渡英國，在今日猶名聞世界之哥納瓦爾錫鑛山 (Cornwall tin mine)，從事錫之採收，混以銅以製青銅，輸入青銅器具於阿利西亞及埃及。後青銅時代，錫與銅更爲軍器製造上所不可缺，有如今日之鐵。羅馬盛時，愷撒及奧古斯都時代，英國哥納瓦爾地方，據傳曾有繁盛之錫輸出港云。

錫鑛石之產地，爲英屬海峽殖民地、南美玻利維亞、荷屬東印度、暹羅及我國等，亞洲錫鑛業之資源最爲豐富。十八世紀初葉發見之南洋彭加島之錫產地，最爲著名，今日彭加錫 (Banza tin)

之商標，在世界中，猶甚著名。

今試一觀列強錫鑛業之趨勢：第一當推英國，英屬海峽殖民地、澳大利亞及其本國自古有名之哥納瓦爾，皆錫鑛石產出之地，今日世界總產額約二分之一，均為其製鍊所所產出。大戰前，極其強盛之德國，由玻利維亞等處輸入錫鑛石，盛行製鍊。及大戰發生，海上被封鎖，美國遂取而代之，於紐約南方巴散玻伊之製鍊所，行大規模之錫鑛製鍊，以至今日。荷蘭領有東印度羣島，其所產錫，亦達世界總產額之二十數%。此外我國及暹羅所產錫，約世界總產額之一〇%。

錫鑛石普通以含錫50~75%之精鑛，互相買賣，故製鍊所與鑛石產地，各異其處。茲將一九二九年錫之產出額列下：

表 八 世界錫產出額

地	名數	量	地	名數	量
馬	來	六七、〇四四公墩	尼	格	利亞
玻	利	四六、三三八公墩	中	國	六、二五〇公墩
荷	印	三四、九五二公墩			

(二) 探鑛

錫之鑛石 以供製鍊之鑛石爲錫石 (cassiterite or tin stone) 錫石 (SnO_2) 爲錫之氧化鑛物，含錫七九·六%，普通有黃褐色乃至暗褐色透明乃至不透明之非金屬光澤，比重4.8~7.1。外觀與之相類似之柘榴石 (garnet)、電氣石 (tourmaline) 可由其比重之大以區別之。此鑛石普通以結晶產出。英國海岸之砂中，有美麗結晶錫石之發見，昔時稱爲「哥納瓦爾之金剛石」甚珍重之。此外間亦有成褐色纖維狀之集合體而產出者。又由鑛物學上觀之，尚有硫錫石 (stannite) ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ 錫11.7·5%，銅11.9·5%)、砷化錫、自然錫等鑛石，惟其產出甚稀。

錫之鑛床 錫之鑛床，主要者爲砂鑛，此外迸發鑛床、鑛脈鑛床、接觸鑛床等，亦採掘之。

(a) 迸發鑛床 含錫之花崗岩，由地殼內部迸出，及冷卻凝固，錫石遂成粒狀之結晶，分離散在於岩石中各處。一般其品位甚稀薄，適於採掘者甚少。然花崗岩受風化水蝕作用而崩壞，錫石因比重甚大，遂與其他之岩石分離，於局部形成砂錫鑛床。錫之含有量，有甚高者。此種砂錫，即今日錫之重要資源也。

(b) 鑛脈鑛床 花崗岩中之石英脈內，多產錫石。古生層等之岩石中，亦有錫鑛脈之發見。一般錫之鑛脈，多與其傍近花崗岩之噴出，有密切之關係，多為花崗岩漿中含錫之鑛液，上昇入鑛脈，沈澱錫於其中所成。此等鑛脈，錫以錫石之狀態，存在於其中，多與黃銅鑛、硫砷鐵鑛等硫化鑛物，同伴產出。自古羅馬人盛行採掘之英國哥納瓦爾地方廣大地域多數之鑛脈，卽此種類，鑛脈上部，古代曾採掘銅鑛之處不少。現時採掘之粗鑛中，普通含錫石 SnO_2 ，伴有黃鐵鑛、閃鋅鑛、方鉛鑛等硫化鑛物，選鑛甚費手續。然今日此地所產之錫，稱爲哥納瓦爾錫，尙頗有名。

(c) 接觸鑛床 例如日本大分縣尾平、木浦地方，山口縣根笠、二鹿地方之錫鑛床，是也。此等地方，昔時曾產出錫，並產出銅。

(d) 砂錫鑛床 砂錫鑛床，如前所述，多為花崗岩受風化作用，其中之錫石，流出沈澱於河床所成，此外由鑛脈鑛床崩塌而成者亦有之。南洋馬來地方廣大之錫產地，為花崗岩中錫鑛脈所成之砂鑛，此外德國、澳大利亞及其他錫產地，除原鑛床外，後生鑛床之砂錫亦多。

採掘法 錫鑛山之採掘，其方式因鑛床或為鑛脈或為砂鑛而異。鑛床為鑛脈時，與前述金、銀、

銅等鐵脈之採掘，無甚差異。

英國哥納瓦爾鑛山地帶，錫鑛脈之數甚多，其長及深，均甚可觀，三千餘年以來，採掘不絕，爲近代歐洲採鑛冶金術發達之淵源。此地之從事採掘者，世不改其業，古來以哥納瓦爾鑛夫之名，馳名於歐洲，有優秀之技術者之稱。此地無急峻之高峯，地頗平坦，採掘古來多開鑿豎坑以行之，達於鑛脈之深部。故自排水、運搬以至選鑛、製鍊，甚爲進步，貢獻於現代之技術者不小。例如豎坑爲水所淹，猶能繼續運轉之哥納瓦爾式棒唧筒（Cornwall rod pump），卽此地所發明，至近年止，世界各地鑛山出水危險多之豎坑，甚重用之，是也。又此種鉅大堅牢之棒唧筒，今日該地之鑛山，亦尚有運轉之，以安全排出坑內之水者。至所採掘之鑛石，錫之品位，甚不一定，含錫僅百分之貧鑛，亦採掘之。至砂錫層之採掘，與砂金相似，以人力或鏟行之。採集之砂鑛，以水淘汰之，洗去其土砂，則錫石因比重重大之故，與砂鐵、鎳鐵鑛有時與重石鑛等，一同殘留，而與土砂分離。聚集之，以磁石將砂鐵等吸出，則最後所餘，卽錫石之精鑛。

馬來半島，因土人工資甚爲低廉，含錫石僅千分之五之砂鑛層，亦可有利的處理之。就中砂層

中混有多量之礫時，礫易以篩篩去，含錫石僅〇・〇五%之砂層，亦可經濟的處理之。我國雲南省砂錫地方，含錫石〇.〇〇〇〇之砂礦，農民以為副業而採集之。

砂錫一般品質甚為純良。蓋錫石對於風化作用，抵抗力甚強，其他金屬礦物，盡皆氧化溶去，僅錫石經淘汰而沈積故也。故我國及馬來半島砂錫製出之錫，品質純良，市場甚歡迎之。

(三) 選礦

由鑛脈中產出之山錫，如前所述，多與硫化金屬之礦物類相伴，選礦頗費手續。須行機械選礦，將脈石及硫化礦物等分離除去。英國之哥納瓦爾、日本之明延鑛山等，均行機械選礦。選礦之法，與前述之銅鑛、鉛鑛，並無大差，先粉碎鑛石而

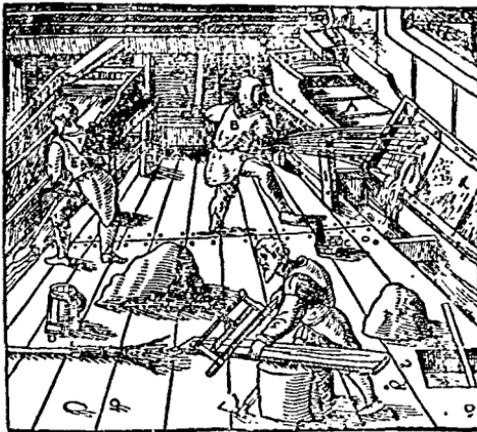


圖 104 昔時之錫鑛選礦法

篩分之，依其粒之大小，以跳汰機、淘汰盤等機械，由比重小之砂石或脈石內，將比重大之錫石及硫化礦物等分離，最後再精選錫石。

然一般方始採出之粗礦，品位既甚低，又須精選之為品位極高之精礦，故硫化礦物之含有量多時，選礦作業，甚為複雜，輒易損失多量之錫。例如哥納瓦爾，方始採出之粗礦，含錫僅 0.5~1.0%，精選為含錫 $30\% \sim 35\%$ 之精礦；明延粗礦，亦精選為含錫 5~5.5% 之精礦是也。

哥納瓦爾地方，無論何選礦場，其積數十年之經練之選礦夫，機械之使用，左右逢源，選礦困難之礦石，選礦後，亦得良好之成績，有令人歎賞而不能已者焉。此地選礦作業途中選出之混有硫化鐵、砷硫化鐵等之錫石，以反射爐徐徐焙燒之，使硫化礦物變為多孔而輕之物，然後以淘汰盤等淘汰之，使成錫之精礦。有時焙燒後，以硫酸等溶去其中之銅、鋁等，使成錫之精礦者亦有之。又採用近年發達之浮游選礦法，使硫化礦物浮游，與錫石分離者，亦有之。

此外高價之重石鑛、鉬鑛、鈹鑛及其他稀金屬鑛物類，與錫鑛相伴產出者甚多。錫鑛中含有重石鑛時，有以威薩利爾式之強力磁力選礦機（參觀圖一四）吸出其中之鐵、錳、重石鑛等，使錫

石分離者。南美玻利維亞所產含錫七〇%之精鑛，含鈹一%，含重石鑛 $1.0 \sim 0.5\%$ ，多量輸入美國，製鍊之際，由其中抽出鈹焉。

(四) 製鍊方法

錫之精鑛，普通用豎爐或反射爐行乾式製鍊，製為粗錫。溼式製鍊，經濟的成功之方法，尙未有也。

乾式製鍊之原理，甚為簡單。鑛石混以木炭或無煙炭之粉末而熔融之，則氧化錫之錫石，即於 $1000 \sim 1100$ 度還元而成粗錫。然實際問題，則稍複雜，蓋錫還元之際，不純物鐵、銅、砷及其他金屬類，亦同時還元而混入其中，精製時甚感困難故也。不寧惟是，氧化錫又易與矽酸化合，生矽酸錫；與曹達或石灰等鹽基遇，亦與之化合，生錫酸鈉或錫酸石灰。此等物無論何者，相混遂成生矽錫鹽類，即錫鏹。品位不良之鑛石，生多量之鏹，鏹中含錫，至達數十%。此鏹雖可反覆製鍊之若干次，極力提出其中之錫。然鏹之製鍊，手續既煩雜，採收率亦因之大為低下。

故錫之製鍊，如生多量之鏹，其方法可謂極為拙劣。又我國、墨西哥、馬來等，雖尙用極原始之爐

以製錫，因所用原料，爲純良之砂錫，故採收率高，製出之錫，質亦純良。然製鍊含多量不純物之精鑛，則雖用反射爐，行科學的操業，其製品既不爲市場所歡迎，採收率亦低。

要而言之，錫製鍊上，最重要者，爲精鑛之品位。精鑛之品位愈高，則錫之採收率愈優。不純物在未製鍊時，即須竭力除去。我國、墨西哥、馬來等，錫之精鑛，來自砂錫，最爲純粹，僅混有一〇%以下之氧化鐵等物。反之，由鑛脈等探掘，經過選鑛，所謂山錫之精鑛，則含鐵、銅、硫黃、砷等殊多。如前所述，以哥納瓦爾鑛山選鑛術之精，精鑛之含錫品位，猶不及七〇%，猶含有鐵等不純物甚多。含多量不純物之精鑛，有時預行焙燒，除去其中之砷及硫黃，銅其他可溶性之不純物，使成水溶液而除去，然後以行乾式製鍊。

錫鑛之製鍊方法 由使用之爐，分類說明如次：

地床 此法自古我國及馬來行之，歐洲又稱爲日本式地床法。掘地疊石，塗以素灰（黏土與木炭粉之混合物），作一半球形之穴，與銅製鍊之真吹床無大差異。穴內裝入木炭後，一面以風箱由後方之風口送風入內，一面投入錫鑛與木炭，使錫鑛熔融還元爲金屬錫。

豎爐 我國內地所用之高數尺，形如圓筒之爐，即幼稚之豎爐。此爐為黏土所築成，壁甚厚，底以素灰搗固之。製鍊時由上部交互投入木炭及砂錫，以風箱由底部後方之穴，送入空氣，燃燒木炭，熔融鑛石，使錫還元。更簡單者，風箱亦不用，僅由下部之穴，自行吸入空氣，徐徐製鍊。圖一〇五所示，即此種豎爐也。

德國薩基索尼地方之錫山，亦曾壘石築爐，以行錫之製鍊。其爐較中國式之爐稍高。

美國紐折爾西州巴散玻伊製鍊所，以大規模之裝置，輸入玻利維亞之粉狀精鑛，混以石灰粉末，於德奎特洛依德式粉鑛燒結機（參觀圖一二二）內燒結後，再混以少量之石灰，加入焦煤，於長方形水甯式之熔鑛爐內，還元製鍊之，恰如銅鑛之行熔鑛爐製鍊。在爐內熔融之錫及鍍，流入前床內後，互相分離。

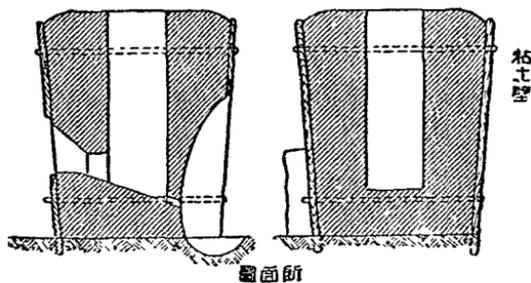


圖 105 中國式之豎爐

錫木易於揮發，尤其上述之熔鑄爐製鍊，送入強風，以行製鍊，由爐頂揮發之氧化錫，其量甚多。此種工場，爐中發散之氣體，使通過長數十呎之煙道（Flue），洗滌其中之煙灰（Flue dust）後，使入囊室（Bag house），以室內數十垂直吊下之圓筒形長布袋濾過之，採收其中所含之白色之氧化錫粉末。又粗錫中尚含有鉍，以與鉛之電解法相同之法，精製之為電氣錫，鉍則由陽極洗滌物採收之。

反射爐製鍊 此法十六世紀末葉，

創始於英國哥納瓦爾現今各地錫製鍊所，一般使用之。尤其製鍊含多量不純物之錫鑛時，更有用此法之必要。爐如圖一〇六所示，為小型之反射爐。作業方法，粉鑛調合以15~20%之無煙炭粉末及石

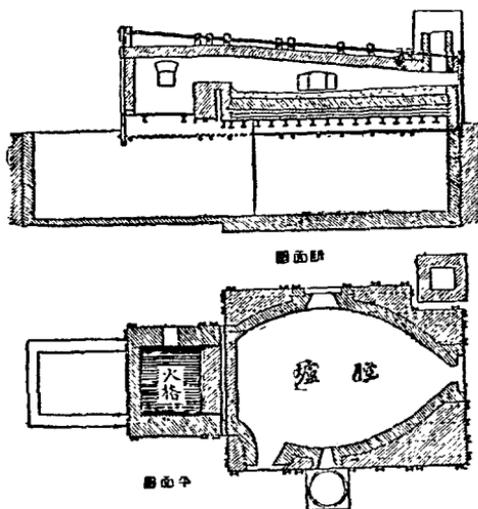


圖 106 錫鑛製鍊之反射爐

炭，混入少量含錫之鍍，裝入反射爐內，閉其口，焚石炭以熱之。熱之約二點鐘，鑄石即熔融，開其口，以鐵棒時時攪拌之，使鑄石充分反應而還元。錫還元後，沈於爐底，除去浮於其表面之鍍後，開爐底之穴，使流入前床。爐之大，普通一回以六點鐘，製鍊鑄石約二公噸，英國、南洋、日本生野鑛山之反射爐，均屬此種。此外美國巴故坡伊製鍊所，又使用大型反射爐，一回製鍊鑄石十二公噸。此反射爐發散之煙，亦如前項所述，以糞室濾過之，採收揮發含於其中之氧化錫。

鍍之處理 無論豎爐製鍊反射爐製鍊，所生之鍍，其中均含多量之錫。尤其幼稚之豎爐，所生之鍍，有含20~30%之氧化錫及多數之金屬粒者。即反射爐製鍊，溫度既高，又使成生完全之鍍，鍍中含錫，亦達8~20%。此等鍍中之錫，以機械的及化學的方法收回之。

用前述中國式之豎爐時，鍍中混有多量之錫粒，以臼搗碎鍍，於水中淘汰以收回之。此時流去之鍍，其中尚含有已經氧化之錫，混以木炭及石灰，有時混以鐵，再行豎爐製鍊以收回之，如製鍊鑄石然，謂之鍍製鍊。鍍之製鍊，頗費手續，須數回反覆行之，至鍍中僅餘錫4~5%方捨棄之。

如上所述，錫鍍之處理，甚為困難。然高品位之鑄石，所生之鍍甚少。高品位之鑄石，即行幼稚之

製鍊法，鑛石中錫之全採收率，亦可達九五%以上。又用反射爐、大型熔鑛爐時，鑛中之錫，與鑛石一同反覆製鍊以收回之。惟含錫五%以下之鑛，一般未能行經濟的處理。英國於此等鑛，加入氧化鉛，行還元製鍊，使成錫鉛之合金，售諸市場。

粗錫之精製 粗錫一般質不純，含有鐵、銅、鉛、砷、銻等。就中含鐵稍多者，鐵與錫化合，成爲合金。此合金謂之硬頭（*hart head*），成難熔融之半熔體，附着於爐及前床之底。此物或於爐內反覆製鍊之，或以與鉛銻鑛一同熔解製鍊，使成錫鉛合金或錫銻合金收回其中之錫。

粗錫精製之方法，述之如次：

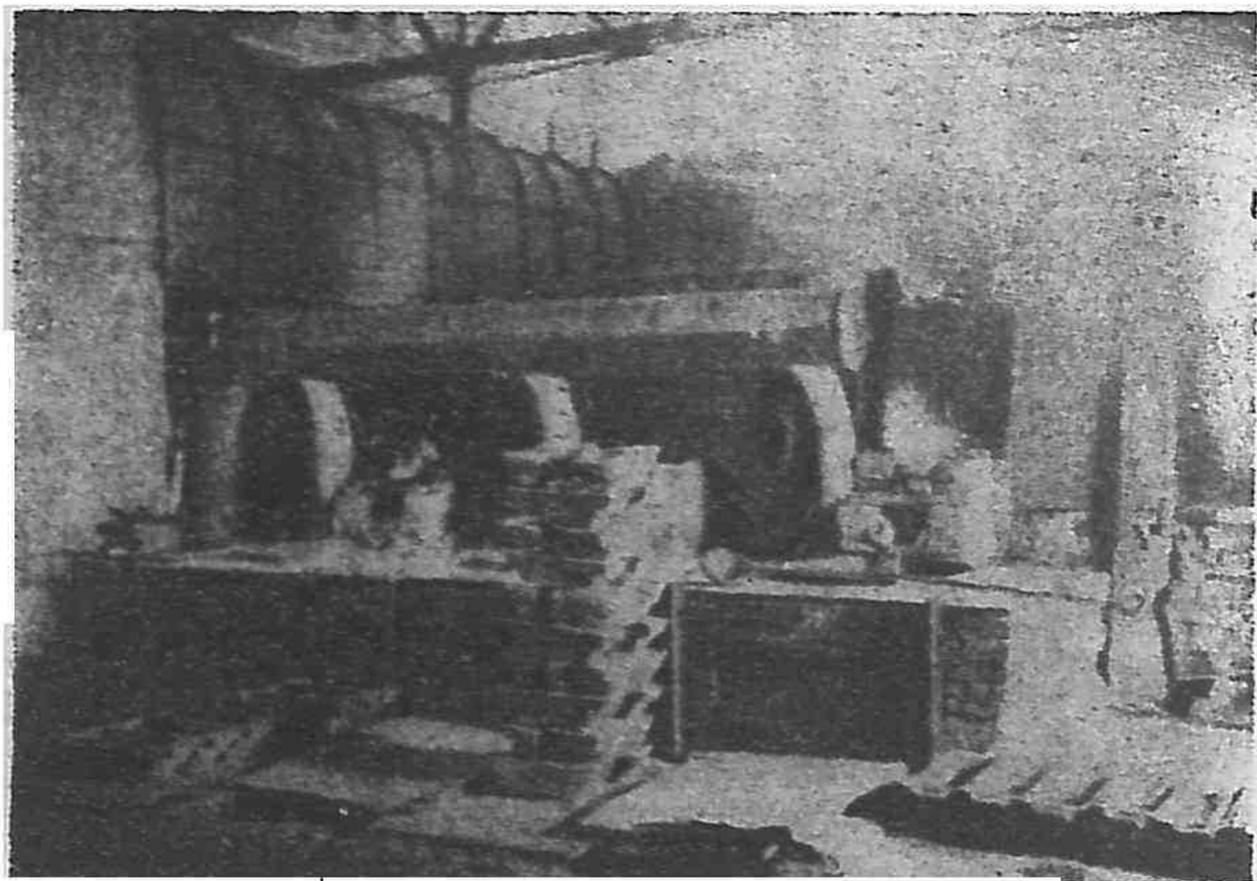


圖 107 錫之精製爐

熔出法 粗錫之精製法，最普通者爲熔出法。用反射爐，徐徐熔融粗錫，保持較錫熔點略高之溫度，則銅、鐵、砷等不純物，因較錫難於熔融，僅錫熔融流出，最後不純物殘留於爐中。如此二三回反覆行之，大部分之不純物，即成殘滓而除去。

已經熔出法精製之錫，再於鍋中熔融之，使與空氣充分相接觸，則其中殘餘之不純物，即氧化而浮於錫之表面，可由表面除去之。使錫與空氣接觸之法，鍋中熔融之錫液之至高二三尺之處，復注入鍋中即可。如此反覆行之，錫與空氣接觸，不純物即行氧化。又或以生木插入鍋中，則因木碳化之故，盛行沸騰，不純物亦氧化而浮於表面。錫既經精製，以適當之溫度，注入鑄型，送往市場。

電氣分解精製法 錫之電氣分解精製，與鉛之白茲式電解法同。以矽氟化錫之酸性溶液爲電解液，以粗錫爲陽極板，照鉛之電解法行之，則粗錫中之不純物，即成不溶性之沈澱，沈於電解槽之底。此沈澱物可由其中抽出銻等有價金屬。此外又有用氯化錫及硫酸錫之溶液作電解液，以精製粗錫之法，但不甚行之。

馬口鐵錫之收回 馬口鐵表面，普通被覆有 $1.5 \sim 3.0\%$ 之錫。以此等鐵屑及舊罐爲原料，抽

取錫之工業，德國其他歐美工場盛行之，由此產出多量之錫。此時所行之方法，有氯氣法與電解法二種。

氯氣法 馬口鐵屑，先以鹼質液洗淨溶去其上之塗料及其他有機物，加熱熔去其上之白鐵，然後裝入鐵槽內密閉之，送入氯氣，使其上之錫，變為氯化錫。此氯化錫以水溶解之為溶液，蒸發之製為氯化錫，以應市場之需。至殘餘之鐵屑，則送往製鋼所，以供製鐵之用。

電解法 用電解法時，白鐵及其他有機物已經除去之馬口鐵屑，以鐵絲網籠盛之，浸之於內盛苛性鈉（約九%）溶液之電解槽內，以馬口鐵屑為陽極，以電解槽周圍之鐵壁或鐵板為陰極，通以電氣，則錫即沈澱於陰極之上。此沈澱錫為海綿狀之粉，聚之於爐內熔融之，即得金屬錫。電氣作業繼續中，苛性鈉吸收空氣中之碳酸氣成生碳酸鈉，又一部分則成錫酸鈉，電解液之成分，發生變化，須時時加入石灰，再生苛性鈉反覆使用之。此法所產生之錫，含有鉛、鐵等。日本一般行此法，歐洲等氯化錫需要之地，用氯氣法者亦不少。

第十一節 鎳 (Nickel)

鎳爲銀白色，有較鉑尤強之光澤，可展爲甚薄之板，可抽爲甚長之絲，爲有磁性之金屬。

鎳之使用，起於古代之我國。我國古代，曾使用鎳與銅錳之合金鎳銅 (Ni-Cu alloy)。歐洲鎳之發見，在我國之後，十八世紀中葉，瑞典化學者克倫斯忒德 (Cronstedt) 氏始發見之。繼經白爾古曼氏 之研究，始確定其爲金屬元素。其後用途漸開，十九世紀後半，最初用於鍍金術。及一八六七年，加爾尼厄 (Garnier) 氏在澳大利亞東方法屬新喀利多尼亞島 (New Caledonia)，發見鉅大之鎳礦山以來，其用更盛，貨幣之鑄造亦用之。一八八五年法國又以混入鋼內，製鎳鋼 (nickel steel)。後一八九〇年加拿大 大安大略州薩德巴里 (Sudbury) 地方，又有廣大之含硫化鎳之銅山之發見。自此以後，鎳之產額大增，工業上之用途，愈爲發達。現今純鎳固不待論，又與銅、鋼、鎳、鎢相混，製爲合金，使用甚盛。就中鎳鋼，尤爲裝甲板 (armour plate)、大砲等軍器之製造所必需，又洋銀 (German silver) 銅、鎳、錳之合金等合金，使用亦廣。

鎳之鑛石 鎳之主要鑛石有二種類，一為加拿大產之含鎳磁硫鐵鑛 (Ni-bearing pyrrhotite)，一為新喀利多尼亞產之矽酸鎳鑛 (garriehite)。此外砷化鎳鑛 (chloanthite)，雖亦存在，但產出甚稀。含鎳磁硫鐵鑛，薩德巴里鑛山產出最多，全世界鎳產額之八〇%，均仰給於此。此鑛山位於加拿大之西南部，鑛脈為含鎳之噴出岩中成生之硫化鑛床，此地方數十哩之面積中，處處埋藏此種鑛床。採掘之鑛石，主由磁硫鐵鑛而成，磁硫鐵鑛之成分中，含有黃銅鑛與紅鎳鑛 (niccolite) (砷化鎳鑛物)。鑛床近於地表之處，含銅四%，含鎳四·五%。採掘漸達深處，銅漸減，少反之鎳多增至

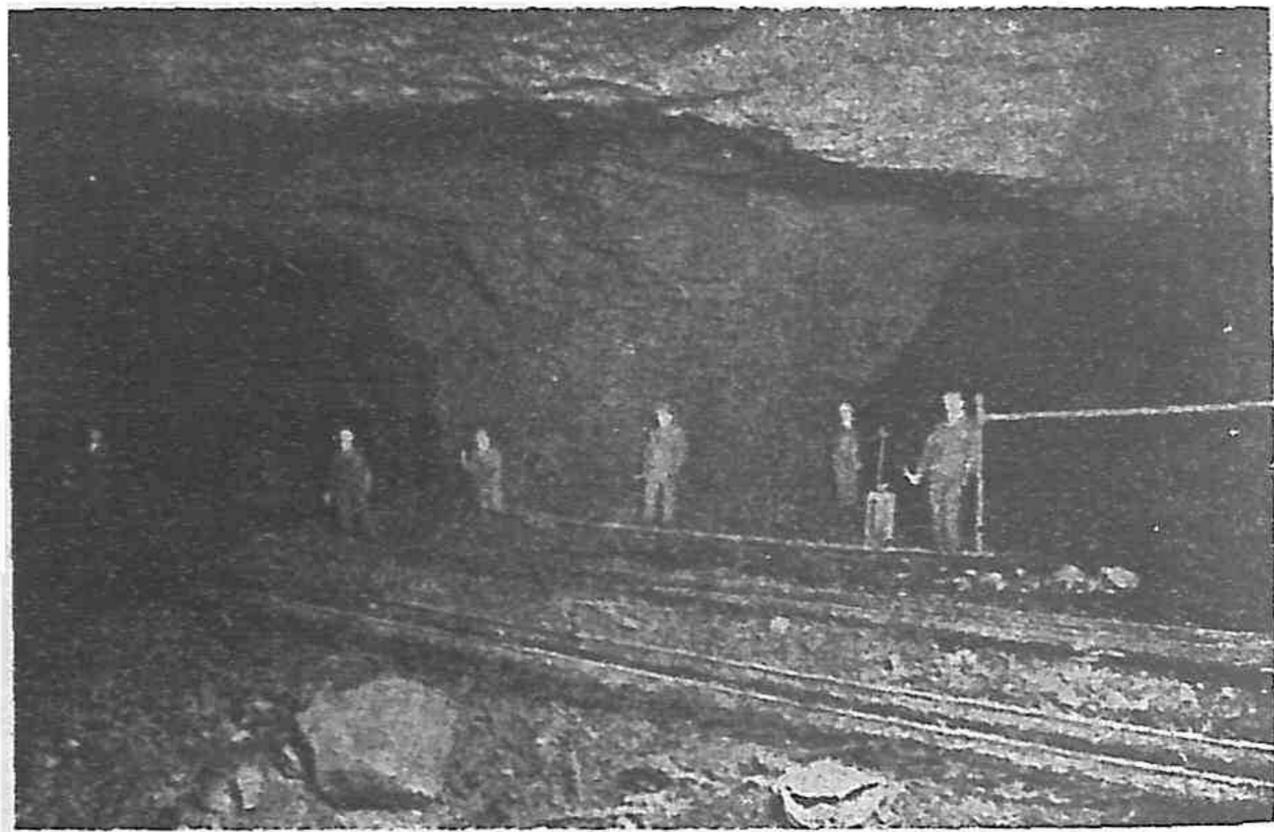


圖 108 加拿大薩德巴里地方鎳銅大鑛床坑內採掘之狀況

8~10%之處。因品位如此優良，故銅及鎳之生產費甚廉，世界之鎳價爲所左右。

矽酸鎳鑛爲水與矽酸鎳鎂化合物所成，爲綠色、紅色之美麗鑛石。新喀利多尼亞島因發見者之名，稱之爲加爾尼厄鑛。鑛床爲火山岩分解，成生蛇紋岩，蛇紋岩中生多數之龜裂，鑛石浸入其中所成。鑛石之平均品位，爲氧化鎳9~17%，矽酸41~46%，氧化第二鐵5~14%，礬土1~7%，苦土6~9%，水8~16%，其他尙含有鈷、錳、鉻等，鈷之含有量有達·〇六%者。此外德國西里西亞、西班牙、俄國等，均自昔產鎳，美國亦產矽酸鎳鑛，惟其量極少。

又我國山東省濟南之桃科山，片麻岩與花崗岩間之接觸鑛床中，亦產銅5%、鎳5%之硫化鑛石。遼寧省鴨綠江畔及朝鮮義州地方之片麻岩中，亦有銅鎳硫化鑛之產出，亦爲接觸鑛床，鑛石含銅約1%，含鎳約2%。

鎳鑛業之趨勢 今試一觀世界鎳鑛業之趨勢：世界鎳鑛產出之多少，以上述加拿大及新喀利多尼亞產出之多少爲轉移。一八六三年，鎳之市價每尪六二法郎，一八七〇年，每尪15~20法郎，全世界之年產額，不出三〇〇公墩。及新喀利多尼亞之大鑛床發見，每尪低落至七法郎。後一八九

○在薩德巴里鑛山開發，更低落至德巴里，以至今日，今日世界鎳之市場，實爲埋藏量無限之薩德巴里鑛山所支配。

薩德巴里鑛山爲英美之資本所經營，採掘之鑛石，就地行熔鑛製鍊，製爲含鎳與銅之鈹（硫化物）後，以半製品輸往英國、美國，再分離之爲銅與鎳。新喀利多尼亞之鑛石，主爲法國所管理，輸入歐洲各地，於歐洲各地製鍊之。

鎳之製鍊法

鎳之製鍊方法，可大別爲乾式製鍊、溼式製鍊、電氣製鍊三種說明之。

乾式製鍊用於硫化鑛，矽酸鑛亦用之，現今鎳之製鍊，殆全用此法。溼式法僅分離含銅鎳之鈹爲銅與鎳時，與乾式法併用之。

溼式製鍊爲廉價處理品位低劣之矽酸鎳鑛之方法。此法以硫酸、鹽酸或其鹽類之溶液，溶解浸出氧化鎳，以硫化鈉或石灰乳使鎳沈澱，今日殆已無行之者矣。

電氣製鍊，鑛石雖間有以電氣爐製鍊之者，然普通多用於後述之銅及鎳之分離。

硫化鎳之製鍊法 硫化鎳礦之製鍊，普

通用熔鑛製鍊法。此法鎳與硫黃結合之力甚強，成生硫化鎳之鉍，與鍍分離，與銅之製鍊同。硫化鎳之鑛石，一般含有銅，製鍊作業，與銅鑛之製鍊，完全相同，先製之為含銅與鎳之鉍。薩德巴里地方，製鍊之鑛石，其平均成分為鎳 2.5~5.5%，銅 1.5~4.5%，鐵 35~45%，硫黃 18~26%，矽酸 12~24%，礬土 3~8%，其他 5~10%。

製鍊之順序，試說明之：含多量硫黃之鑛石，先行焙燒，然後以行熔鑛製鍊。鑛石由鑛山掘出後，堆積野外，由下點火，數月露天焙燒之，

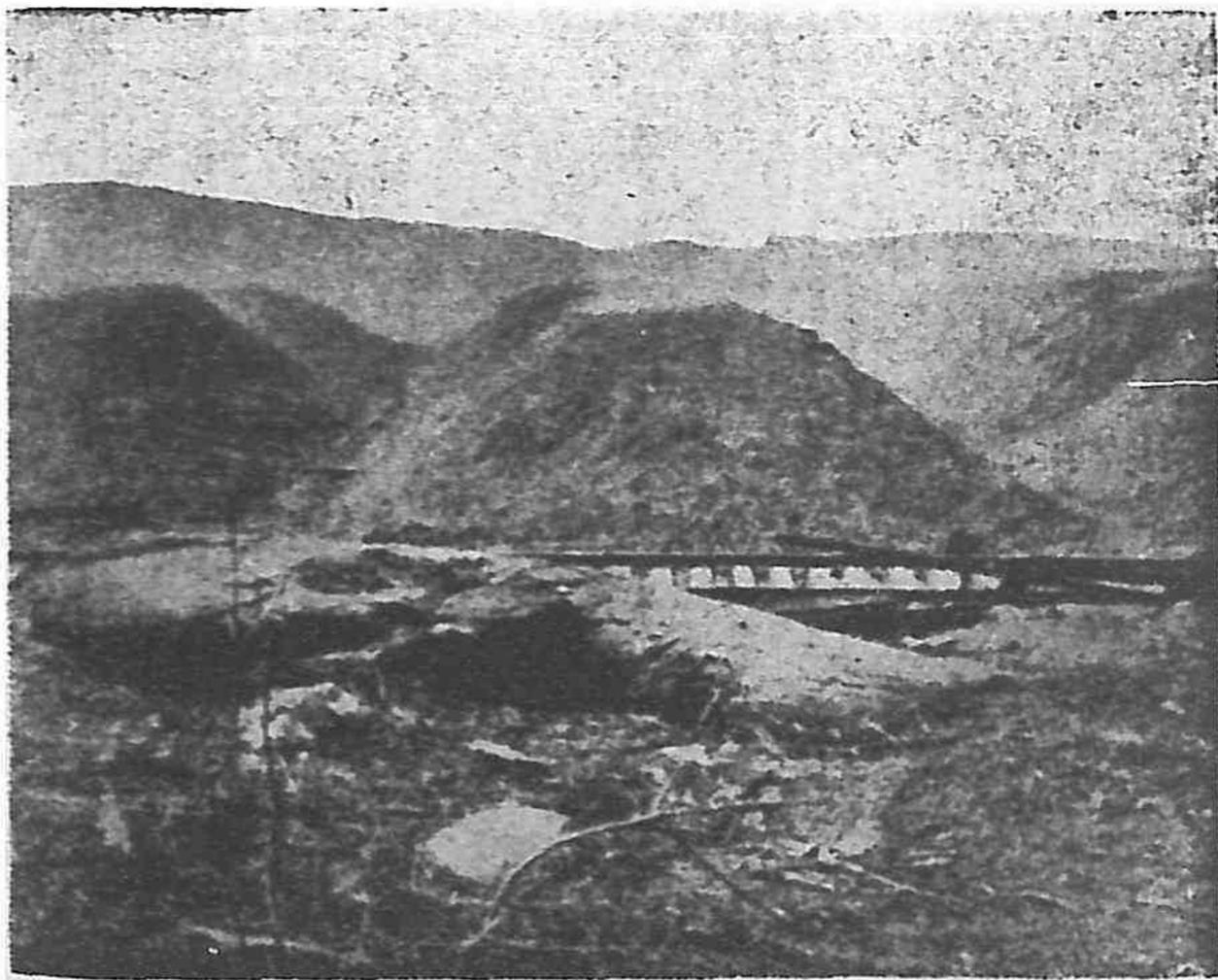


圖 109 薩德巴里地方硫化鎳石野燒之光景

是爲野燒 (heaping roasting) (參看圖一〇九)。鑛石經野燒後，其中硫黃之大半，已被除去，以火車運往熔鑛製鍊所製鍊之。熔鑛製鍊，用直立之熔鑛爐及反射爐。熔鑛爐以製鍊塊鑛，水平斷面爲長五·一呎，寬一·三呎之長方形。已經野燒之鑛石及生鑛，調合以焦煤等，投入爐內，送入空氣，以製鍊之，作業與前述之銅鑛製鍊相同。此時爐中生含銅及鎳 $50\% \sim 75\%$ 之鈹，鐵、矽石等則成鍍而與鈹分離。

反射爐以製鍊粉鑛。採掘之鑛石，其中之粉鑛，以機械攪拌焙燒爐焙燒之，使其中之硫黃，減少至一〇%，然後裝入反射爐內製鍊之。反射爐如銅之粉鑛製鍊處所示(參看圖八三)，爲鉅大之爐，長三三呎，寬五·七呎，一日可熔融鑛石五〇〇公噸。加熱之法，以粉末石炭與空氣一同由爐之一方吹入，使之燃燒。石炭之使用量，約鑛石之一六%。鍍由爐之前方流出，鈹時時由爐之側面流出之。鈹中銅鎳之含有量，其一六%。製鍊作業之法，與銅之粉鑛製鍊，完全相同。

由上述方法製出之鈹，爲硫化銅、硫化鎳、硫化鐵之混合物，再行轉爐作業，以除去其中之鐵，加高其品位。鎳製鍊之轉爐，與銅製鍊之轉爐同，爲鹽基性之轉爐(銅之轉爐，參看圖八五)，長一·一

板，直徑三呎，爲水平安置之圓筒型。由熔鑛爐或反射爐流出之鈹，以熔融之狀態，流入其中，投入少量之砂石，吹入空氣約數十分鐘，則鈹中之鐵，卽氧化而與砂石化合成銹。由爐使之流出後，再加入鈹，相同之作業，數回反覆行之，最後卽得含銅及鎳八〇%之精鈹。此精鈹注入鑄型，送往銅鎳分離工場，分離之爲銅與鎳。

精鈹中銅鎳之分離方法 上述之精鈹，由硫化銅及硫化鎳而成，分離之爲銅與鎳之方法，有三種。

(一)窩福爾德法(Orford process) 此法調合硫酸鈉及木炭於鈹內而熔融之，則硫酸鈉還元而成硫化鈉，生成銅鈹與硫化鈉之混合物。此時硫化鎳不與硫化鈉相結合，銅鈉硫化物之混合物，因比重小於硫化鈉，浮於其上而與之分離。此作業二三回反覆行之，銅鎳鈹中之銅，可以充分除去。已經分離之硫化鎳，粉碎後，混以食鹽，氯化焙燒之，浸之以水，則其中殘餘之微量之銅，成氯化銅之溶液而溶去，所餘卽氧化鎳。此氧化鎳混以木炭等還元劑，於坩堝中熱之，卽還元而成金剛鎳。

(11) 孟德法 (Mond process) 此法爲孟德博士所發明，所謂孟德鎳公_司 (Mond Nickel Co.) 卽由此法產生之英國之大鎳公司也。此法之順序，先粉碎鈹。以焙燒爐焙燒之，除去其中之硫黃。次以硫酸溶去其中銅之大部分，所餘之殘滓氧化物，以富於氫氣之發生爐煤氣作用之，使鎳及殘餘之銅爲低溫所還元，變爲鎳及銅之金屬粉末。此粉末裝入直立之圓筒室內，以溫度不超過八〇度之一氧化碳氣觸之，可使變爲氣體之鎳化炭基質 (nickel carbonyl)。此氣體導入他室，熱之至一八〇度，則鎳再成金屬狀態而析出。

此種變金屬爲氣體而精製之之法，實孟德氏珍奇之發明，由此法成生之鎳，純度可達九九·九八%，可爲孟德鎳 (Mond nickel)。

(三) 海比內特式電解法 (Hübner's process) 此法先焙燒含銅與鎳之精製鈹，以硫酸溶去其中銅之一部。尙含有若干銅及鐵之殘滓，熔融之，鑄之爲板以作陽極，吊於硫酸鎳溶液之電解槽中，通以電氣，則銅沈澱於陰極，電解液中鎳之品位，漸次增高。此液由電解槽取出，以硫化氫沈澱除去其中之硫化銅，得硫酸鎳液。此液再用不溶性陽極以行電解，則純粹之鎳，卽沈澱於陰極。

此外銅鎳之精鉍，有時又以製鍊銀白色美麗之摩內爾合金 (Monel metal) 法粉碎鉍而焙燒之，完全除去其中之硫黃，使成氧化銅與氧化鎳，混合以木炭粉末或其他之還元劑，於坩堝中還元之，即成摩內爾合金。此合金含鎳 68% ~ 72%，其餘為銅，含有少量之鐵。因製造甚簡單，故價格甚低廉，食器及其他用具之製造，使用頗多。

矽酸鎳礦之製鍊法 普通品位高者以行乾式製鍊。加爾尼厄礦發見之初，曾粉碎礦石，混以木炭粉末，製為團礦，調合以石灰及焦煤，裝入焙礦爐內，送熱風製鍊之，使成鎳與鐵之合金。因此合金中含有不純物硫黃，此法未成功。後新喀利多尼亞，礦石在礦山燒去其水分後，即輸往歐洲。礦石到歐洲後，混以硫化鐵礦，以行還元製鍊，使硫黃與鎳化合，成含硫化鎳與硫化鐵之鉍。此鉍以反射爐或轉爐精製之，除去其中之鐵，使成硫化鎳之精鉍。此精鉍依上述方法，完全焙燒後，還元之為金屬鎳。然至近年，新喀利多尼亞已自行製鍊，製為含鎳 61% ~ 78% 之鉍，然後輸往歐洲，現在且有自行電解製為金屬之計劃。

砷化鎳礦之製鍊法 砷化鎳礦之產出甚稀，今日殆無以此為製鍊之原料者。然銅或鉛製鍊

之際，副產物砷鉍中之鎳之製鍊，亦往往行之。

鎳與砷之結合力本甚強，故砷化鎳礦（即含鎳、鐵之鑛石）一經熔融，砷即先將鎳全部吸收，殘餘之砷，更與鐵化合，生含砷化鎳與少量砷化鐵之砷鉍。至過剩之鐵，則與矽石化合，成鍍而分離。

此砷鉍粉碎而焙燒之，砷即氧化成亞砷酸，揮發散去。故砷鉍焙燒後，再熔融製鍊之，其中所含少量之鐵，可完全成鍍而除去。如此二三回反覆行之，遂生僅含砷化鎳之精製砷鉍。

鐵分已經除去之精製砷鉍，粉碎之為粉末而焙燒之，以完全除去其中之砷。法，焙燒時，充分攪拌之，且時時投入木炭粉末，砷即充分除去。又有時加入少量之硝石或蘇打而焙燒之，使殘餘之砷，變為可溶性之砷酸鈉，焙燒後以水溶解之，亦可使砷完全除去。精製砷鉍既經焙燒，成為氧化鎳，依前述之法，還元之為金屬。

由以上諸方法製出之鎳，尚含有少量之不純物鐵、矽素、氧素、硫黃、砷素等。精製之法，於坩堝中熔融之，其中之不純物，即氧化而除去。又於鎳金屬之加工有害之微量之氧化鎳及碳等，熔融之鎳

中，加入少量之鎂，亦可除去之。

第十一節 鈷 (Cobalt)

鈷爲灰色而稍帶紅色，富於磁性，質甚堅強之金屬。氧化鈷自昔稱爲中國吳須，用爲陶磁器之青色彩料；歐洲中部玻赫米亞等處，亦自十六世紀，卽以供青玻璃着色之用。鈷多與鎳相伴產出，性質亦甚相似，爲較鎳早爲世所知之金屬。

氧化鈷除用於珐瑯鐵器、陶磁器之製造外，其化合物以供種種顏料之用，如鈷青、鈷赤、鈷黃、鈷綠等是也。金屬鈷爲製造合金之貴重材料，與鉻、鎢、鎢等相混，以製「斯忒來忒」(stellite)，爲製造極優良之高速度工具之材料。此外除鐵、黃銅加入少量使用外，又以供電氣鍍金之用。

鈷鑽石之種類 鈷鑽石之種類甚多，然其產出甚稀。普通與砷及硫黃化合而產出。普通處理之鈷鑽石爲神鈷鑛 (smaltite)、輝鈷鑛 (cobaltite)、鈷土 (asbolite) 等。神鈷鑛爲錫色之砷化鈷 (Co_3As_2)，含有鐵及鎳，鈷之含量爲 4~23%。輝鈷鑛 (Co_3AsS) 爲帶紅色之銀色鑛物。鈷土

產出於鈷鑛床露頭附近沼澤之底部，混有氫氧化鐵及氧化錳，成黑色之土狀，鈷之含有量爲 20% 爲鈷之製鍊原料。又鈷華 (erythrite) 爲桃色之美麗礦物，有時被覆於岩石鑛物之表面而產出。

加拿大安大略州科巴爾特地方，有含銀之鈷鑛石甚爲豐富之鑛床，鑛石中除鈷及鎳之砷化物外，又伴有自然銀及硫化銀鑛，不惟銀之含有量甚富，鈷之含有量亦達 3.1% 爲世界有名之鑛山。歷來此鑛山之鑛石，僅以供銀之製鍊，採收小部分之鈷，大部分之鈷，則任其殘留於鑛滓中而不顧。據傳自一九〇四年以來，約十年間，製鍊工場所遺棄之鈷，達七千公噸，價格達二千萬圓之鉅云。及一九〇七年安大略州政府頒發氧化鈷產出獎勵金以來，產額激增，一九一三年產出三百公噸。現在加拿大於世界鈷之產出，大有一手包辦之概焉。

此外鎳鑛石內，普通亦多少含有鈷。就中前節所述新喀利多尼亞島之矽酸鎳鑛中，約含有鈷 0.5%，鎳製鍊之際，同時可以採收之。此地又時時產出多量之鈷土而製鍊之。

此外德國、瑞典等地，自昔即製鍊鎳及鈷之砷硫化鑛。又銅鑛熔鑛製鍊之際，鑛石中所含微量

之銻，濃密集中於砷鉍（砷、硫黃等之化合物）中，此砷鉍亦可以供採收銻之用。

銻銻之製鍊法 普通由鑛石製鍊氧化銻，行銷市場。金屬銻則還元製鍊氧化銻以製出之。

氧化銻之製鍊，普通用乾式法。其順序，先裝含砷、硫黃等之銻鑛石於焙燒爐內，予以空氣而焙燒之，適當調節焙燒之作用，使砷及硫黃大部分被除去，適當量之砷，殘存於鑛石中。次燒鑛內加入適當量之焦煤或石炭，調和以適當量之砂石、石灰石等，如銅鑛之焙鑛製鍊，還元製鍊之。此時銻與砷結合之力甚強，銻全部與砷化合，過剩之砷，又與鐵化合，遂生砷化銻、砷化鐵及其他硫化物之混合物砷鉍，銻即濃密集中於其中。至鑛石中大部分之鐵及其他無用之物，則與矽酸化合成爲銻。砷鉍因比重大大於銻，故沈於下，與銻分離。砷鉍俟其凝固，碎之成粉末，裝入反射爐內，予以空氣，充分攪拌而焙燒之，除去其中之砷，再如前所述，還元製鍊之，使鐵爲銻所吸收，即得近於純粹之砷化銻。此砷化銻再粉碎之裝入反射爐內，照上述方法焙燒之，完全除去其中之砷，即得氧化銻。此焙燒作業，爲使砷完全除去，焙燒途中，時時投入木炭粉末，使其易於除去。或加入硝石或蘇打，使少量殘留之砷，變爲砷酸鹼質，焙燒後以水充分洗滌溶去之，即得氧化銻之粉末，以應市場之需。

除上述之乾式法外，溼式法或鑛石浸以硫酸，使成含硫酸鏷與硫酸鈷之溶液，或含銅鈷鏷等之鍍，鑄為陽極板，以電氣分解法先沈澱其中之銅，則電解液中銅被除去，只含硫酸鏷與鈷；再由此溶液分離鏷及鈷。

金屬鈷之製鍊 上述之氧化鈷，混以木炭粉或其他含碳之材料，於坩堝中熔融之，即得金屬鈷之粉末。或氧化鈷一面熱之，一面以一氧化碳氫氣通過之，亦可還元之為金屬鈷。

還元劑用木炭或無煙炭時，所需溫度為攝氏一、二〇〇度成生之鈷，約含〇·二%之碳。用一氧化碳氣及發生爐煤氣時，所需溫度較低，九〇〇度即行還元。若欲製出不含碳之鈷，則氧化鈷內混以鋁之粉末而還元之。此時成生之金屬鈷，含〇·一%以下之鋁。

第十三節 銻 (Antimony)

銻為有銀白色光澤，稍帶青色之金屬。其硫化物輝銻鐵，為天然產出之美麗礦物，自古即惹人注意，用於醫藥或化粧品。又氧化銻等，亦自古即為人類所使用。

第二世紀希臘之科學者戴俄斯科里德斯氏，曾有關於硫化銻之製鍊之記載。又布里尼氏曾稱硫化銻爲 *stibium*，格伯兒氏曾稱硫化銻爲 *antimonium*，此等名稱，皆指熔融輝銻鑛而得之硫化銻也。金屬銻最初之製鍊，相傳起於十五世紀之初德國之僧侶巴幾爾·巴倫廷氏。該氏混食鹽、鐵屑於硫化銻內，與還元劑一同熔融之，曾製出美麗銀色之銻。

銻與他種金屬異，質甚脆，易成粉末，純粹之銻，殆無甚用途。然與錫鉛等相混製爲合金，甚爲一般所重用。例如防摩合金、活字合金 (*type metal*)、不列顛合金 (*Britannia metal*) 等，其主要者也。就中活字合金，成分爲鉛九銻一，活字鑄造後，合金冷卻時，有膨脹之傾向，可鑄成正確緻密之活字。此合金之發明，實人類文明史上劃時代之發明，此合金在出版事業上，其貢獻之偉大，固無待曉嘆矣。此外銻之氧化物及硫化物，用於顏料及玻璃器之製造。

銻之鑛石 銻之主要鑛石爲輝銻鑛 (*stibnite*) (Sb_2S_3)，純粹者含銻七一·八%，成美麗長柱狀之結晶而產出。此外氧化銻有方銻鑛 (*senarmontite*)、銻華 (*valentinite* or *antimony bloom*) 等，但產出甚稀。

銻之世界的產地，以我國為第一，法國、玻利維亞、墨西哥、匈牙利、意大利等次之。

一九二六年銻之世界總產量，金屬銻、硫化銻、氧化銻共三四、六一四公噸主要產地之順序如次：

中國	二八、八四八公噸
玻利維亞	一、五六八公噸
墨西哥	一、二〇〇公噸
法國	九一〇公噸

銻之鑛床 銻之鑛床，多為輝銻鑛與石英所成之正規鑛脈。輝銻鑛在石英中，有成柱狀之結

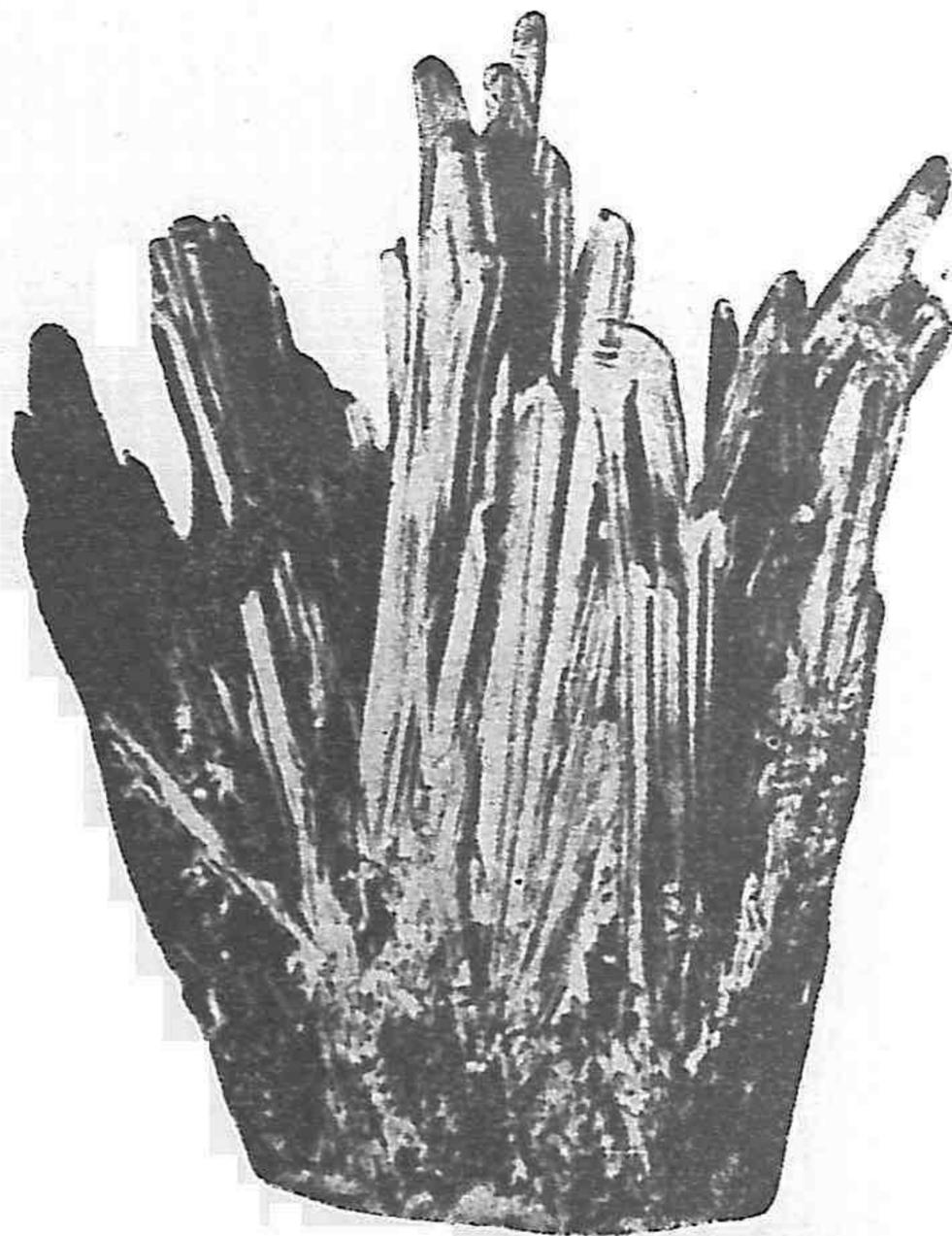


圖 110 輝銻鑛之晶簇（實物三分之一大）

品，放射的羣集於其中而產出者，有成粒狀混於其中而產出者，其鑛脈中多伴有硫磺鐵鑛、方鉛鑛，有時金亦含有之。我國湖南、廣西、廣東及西部各省，錫之鑛脈甚多，為世界最大之錫產地。又法國中部地方名開世界之錫鑛山，亦為鑛脈鑛床。

此外或成鑛層，挾於水成岩層石灰岩等之中，或在石灰岩地方，成不規則之塊狀而產出。此等實例，在意大利或美國烏台等地之鑛山，可以見之。

採掘之方法 錫鑛山之採掘方法，與其他金屬鑛山大同小異，視鑛床之形狀及性質，有種種之方式。試就日本市川鑛山之例述之：此鑛山之採掘方法，甚為幼稚，先循鑛脈，掘入地中，直達鑛石品位富良之處。由富良部採掘之鑛石，有時殆全為未混有岩石之輝錫鑛。各處之採鑛場，各以鑛夫一組擔任之，鑛石採掘後，搬出坑外，依其品質之優劣，由鑛山以相當之價格買收之。

選鑛之方法 品位高之鑛石，以鎚破碎之後，於水中以筴淘汰之，使精鑛與岩石相分離。貧鑛則行機械選鑛法，以蓄鑛機、輾鑛機等粉碎鑛石，篩分後，一一以跳汰機或淘汰盤等淘汰之，利用比重之差，以分離其中之精鑛。由此流失之泥鑛及尚含有金屬之砂鑛，再粉碎之為細粉，以浮游選鑛

機使精鑛浮上而採集之。結局由含銻 $15\% \sim 20\%$ 之粗鑛，精選爲含銻 $30\% \sim 40\%$ 之精鑛，然後以供製鍊之用。

製鍊之方法 各國普通所行之製鍊法有二：一先由鑛石製鍊硫化銻，再由硫化銻製鍊金屬銻；二焙燒鑛石，使銻成氧化物，再還元製鍊之。

硫化銻之製出 輝銻鑛爲五五五度即熔融，易於流動之鑛物。含銻 40% 以上之精鑛，僅加以熱，硫化銻即熔出而與不熔融之岩石相分離。

此熔出法以數黏土坩堝或黏土管，內裝鑛石，列於窯中，由周圍加熱熱之。俟熔融之硫化物，由坩堝或管之底流下，集合於下部之壺中，由壺中採收之。或裝鑛石入反射爐內熱之，由爐床抽出沈積於其中之硫化物。用坩堝時，用圖一一一所示極爲簡

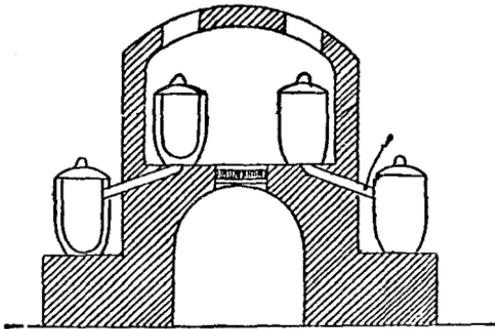


圖 111 硫化銻熔出爐
裝入鑛石於爐內之坩堝，加熱熱之，硫化銻即熔融而流集於外部之坩堝中。

單之礎，數點鐘熱之，鑛石全量六〇%以上之硫化錒，即行熔出。此時鑛滓內尚含有一〇%以上之錒，用下述之還元製鍊法收回之。

金屬錒之製出 前述熔出法產生之鑛滓，或品位低劣之鑛石，焙燒之使硫化錒變爲氧化物，加以木炭，還元製鍊之，即得金屬錒。

此焙燒法 (roasting process) 因錒易成氧化物而揮發，硫化錒又易於熔融，故其工作，甚爲困難。焙燒用反射爐，一面攪拌鑛石，使充分與空氣接觸，一面溫度保持在攝氏三五〇度以下，俾成生氧化物四氧化錒 (Sb_2O_4)，深加注意行之。然此時錒之一部，成易於揮發之三氧化錒 (Sb_2O_3) 而揮發，猶所不免。故反射爐與煙突之間，須設煙灰室，予以水霧，使揮發之氧化物，冷卻沈澱而採收之，或以電氣收塵法採收之。

此外所謂揮發焙燒法 (volatilizing-roasting process)，鑛石混以焦煤或木炭，裝入豎窯內，由窯下部進入窯中之空氣適宜制限之，時時由下部予以少量之水蒸氣，以高溫度焙燒之，則硫化錒主變爲三氧化錒，殆全部揮發，由爐通過外部屈曲之長煙道，而冷卻沈澱於其中。最後再使煙

昇入滴水塔中，充分採集其中之氧化物。此法我國及法例行之。此法成生之氧化銻，或即以供給市場之需要，或更用爲金屬銻製鍊之原料。

金屬之還元 上述之燒鑛或三氧化銻，調合以木炭粉末或蘇打，裝入反射爐內熱之，則氧化物即還元而成銻金屬，與銻分離。有時不用反射爐，以直立熔鑛爐製鍊之，或於坩堝內還元之者亦有之。

此外品位優良之硫化銻鑛，或熔出法製出之硫化物，調合以鐵屑而製鍊之，以分離其中金屬銻之沈澱製鍊法 (pre-reduction process) 行之者甚多。此法鑛石之熔融，用反射爐或坩堝。此法之化學反應爲鐵奪取硫化銻內之硫黃而成硫化鐵，使銻分離。此硫化鐵與預行加入之熔劑食鹽、硫酸曹達、木炭粉末等互相反應成生之硫化鈉

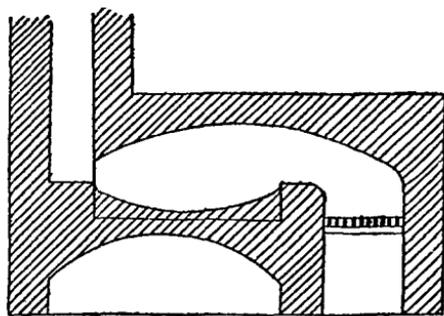


圖 112 銻鑛石還元製鍊用之反射爐

由右側之焚火口燃燒石炭，以其超熱爐床上之鑛石，熔融還元之爲金屬。

相混合，比重減輕，浮於銻金屬之表面，與之分離。

日本市川鑛山，歐洲大戰時，曾行沈澱製鍊法，茲試述其大要：該山自山採掘之精鑛，混以外國輸入之硫化銻，以製鍊金屬銻。製鍊最初用反射爐，爐床長六尺，寬四尺，裝入鑛石約〇・三七公噸，鐵屑約〇・二五公噸之混合物後，閉周圍之戶，熱之 2200°C 點鐘，俟其熔融，除去其表面浮游之鐵，熔融物注入鑄型內，是為金屬銻與硫化鐵相混之粗製銻。

此粗製銻粉碎後，裝入黏土坩堝內熔融之，再加入少量之硫化銻，使不純物鐵等浮於表面而除去之，是為中製銻。中製銻粉碎後，再裝入坩堝內，加入少量之蘇打灰、芒硝及木炭粉而熔融之，如此反覆精製之，遂產出純粹之金屬銻。

金屬銻鑄為方八寸厚一寸內外之銻錠，以應市場之需。普通其表面現星形放射狀之美麗結晶者，品質最為優良，稱為星銻（Star antimony），含銻99.8~99.0%，不純物雖稍含有鉛、砷、硫、黃、鐵等，但於普通之用途，無甚妨礙。

第十四節 砷 (Arsenic)

砷爲有鋼色金屬光澤，質脆弱之結晶質之金屬，然有時成黑灰色無定形之粉末狀者亦有之，在攝氏四五〇度即蒸發，發如韭之惡臭，甚爲有毒。砷 (arsenic) 之名稱，第一世紀之初即有之，希臘之戴俄斯科里德斯氏，關於砷亦曾有所記述。

砷與硫黃化合，成赤色或橙黃色極爲美麗之雞冠石 (realgar) 及雄黃 (orpiment) 而產出，故在古代，即惹人注目，以供塗料、醫藥之用。相傳亞細亞人中，古來有服微量之砷藥者；又德國斯啓利亞等鑛山地帶，昔時亦謂服少量之砷，可以保持容光，回復疲勞，有此毒物常不去口者云。

古人之所謂砷，爲砷之硫化物或氧化物，金屬砷之製鍊，始於何時，今已不復可考。金屬砷之用途，即在今日，亦極狹隘，僅有時加少量於銅鉛等內，以供特殊目的之用而已。有重要之用途者爲亞砷酸 (white arsenic) (As_2O_3)，由此以製砷酸鈣、砷酸鉛，農業上以供殺蟲劑、殺菌劑之用，使用甚盛。美國又以製砷酸鈉，以供鐵道沿線除草之用。此外玻璃之製造，苯胺染料、醫藥、塗料等之製造，亦

用之。

砷之鑛石 砷之重要鑛石爲砷砒鐵鑛卽毒砂 (arseno-pyrite or mispickel) (FeAsS) 是也。此鑛石與硫化鐵相似。色稍白，含有四六·一%之砷。此外砷毒砂 (Löllingite) (FeAs_2) 等砷化鐵鑛，亦產出之。此等鑛石，含有金銀，又含鎳鈷，常以供金銀或鈷製鍊原料之用。又銅、鉛等之鑛石中，普通亦含有若干之砷，故銅鉛製鍊所吐出之煙中，常含有亞砷酸之煙灰。以現時科學的作業，此等煙中所含之有用金屬類，可以充分採收之，近年所用之亞砷酸，其大部分卽由此等煙灰所製出。此外前述之雞冠石及雄黃等，馬塞多尼亞等地，古來曾多量產出之。

金屬砷之製出 金屬砷，使鑛石昇華以製出之。其作業，先裝毒砂或砷毒砂鑛於多數黏土製之管狀蒸溜器內，次整列各蒸溜器於加熱爐中，以冷卻凝縮器與之連結，由爐加熱之。加熱後，最初稍發生硫化砷之蒸氣，旋即發生金屬砷之蒸氣，於凝縮器內凝固之，卽得鋼色之砷結晶。

德國夫賴堡地方，用此方法，由含砷三五%之毒砂鑛，採收金屬砷約全含砷量之六〇%，蒸溜滓中殘餘之砷，製爲亞砷酸以收回之。

亞砷酸之製造 亞砷酸之製造，一般以毒砂、砷毒砂等之鑛石，或銅鉛製鍊所之煙灰，或熔鍊爐之副產物砷鉍爲原料，於反射爐內，予以空氣，氧化焙燒之，使砷成亞砷酸揮發而採收之。日本足尾、神岡等製鍊所及美國等之製鍊所，原料用煙灰，朝鮮勒山鑛山，原料用砷毒砂鑛。

歷來由銅山、鉛山製鍊所吐出之濃濛之黑煙，因其中含有亞硫酸氣及種種鑛物質之微分子，附近之山林，爲之枯死，農作物受害甚劇。關於防止之方法，今日所行者，述之於次。

鑛煙之除害方法 普通，製鍊爐發生之煙，導入廣大之煙塵室內，俟稍粗粒之鑛石粉末沈澱後，使通過長煙道之中，使其中之煙灰沈定。最後，殘餘之亞硫酸氣，於脫硫槽內，以石灰水充分吸收之，然後將煙由煙突內放出。行此方法，不獨煙中所含之物質，殆可全部成爲煙灰而收回之，其量有時達原料鑛石之數%，易於揮發之砷、鉛、鉍等金屬，亦濃密集中於煙灰中，以煙灰爲原料，採收此等金屬，多甚有利。

尤其近年各處採用科特勒爾式電氣收塵裝置，煙灰之處理，愈爲進步。

亞砷酸之大部分，即處理煙灰所產生之副產物。其採收方法，試就神岡鑛山之例述之：此鑛山

鉛製鍊產生之煙灰，含砷 $25 \sim 30\%$ ，此煙灰裝入反射爐（爐床長五·五呎，寬二呎）內，加熱熱之，充分攪拌之，使其中之亞砷酸揮發進入長二十四呎，內部區劃為十數室之煙道內，徐徐屈折通過其中而沈澱於其中。此焙燒法，煙灰中砷之全含有量之七〇%可成為亞砷酸而收回之。此粗製亞砷酸，含有不純物銻、硒等約五%，帶淡黃紅色，須再精製之為純度 $99 \sim 99.8\%$ 之亞砷酸。精製用焙爐，此爐有鑄鐵製之長一·五

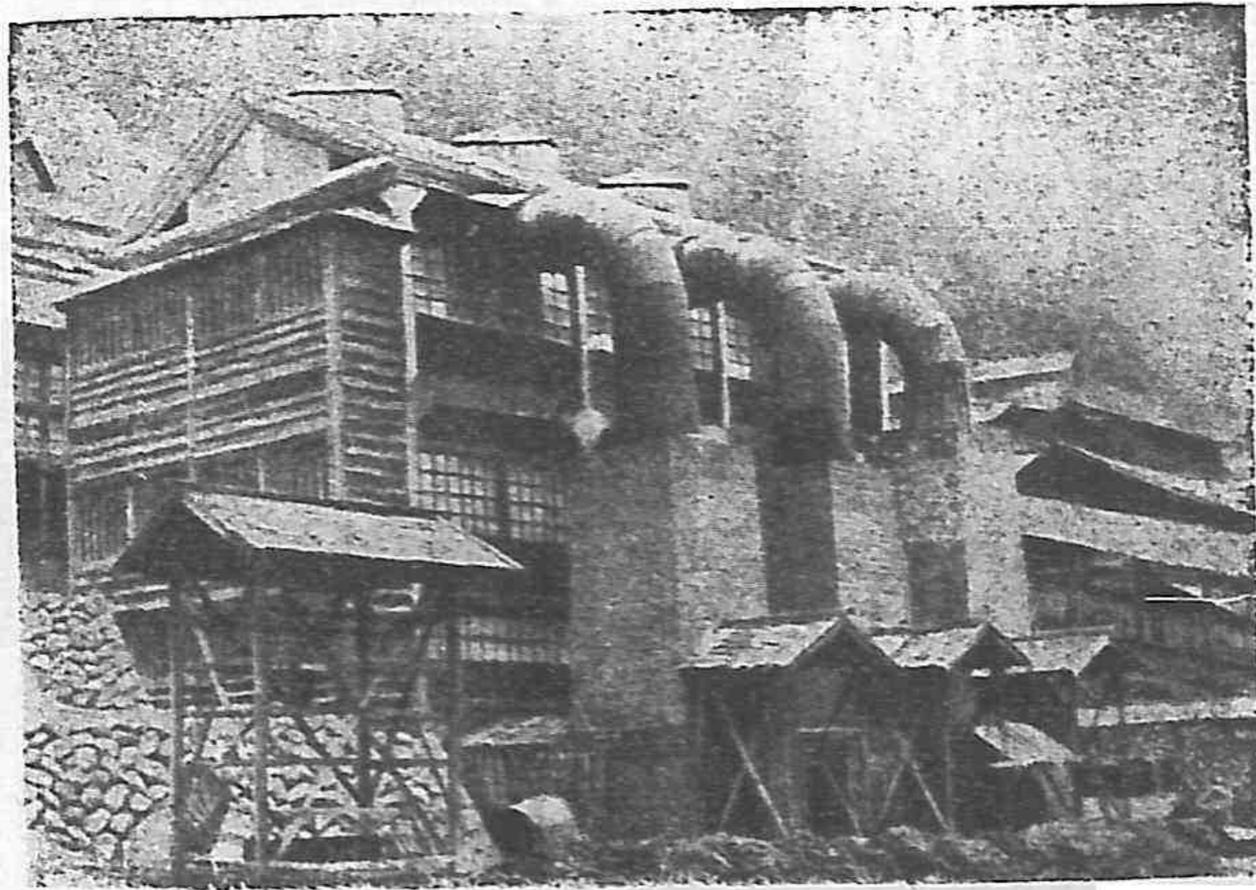


圖 113 神岡鑛山之科特勒爾式電氣收塵裝置

鑛煙由三條之煙道，進入收塵室內，在室內通過數十之收塵電極管內時，以將及一萬弗之高電壓之脈動電流，使煙中之鑛塵，沈澱於管之內側而採收之。

枳，寬一·二枳，高〇·五枳之焙室 (Hut)，裝入粗製亞砷酸後，密閉之，以較亞砷酸之揮發溫度五五〇度微高之溫度，注意熱之，使其昇華。揮發之亞砷酸，如前所述，進入凝結室內，沈澱其中，遂成純白色之精製亞砷酸。

足尾銅山，亦以上述之方法，由科特勒爾煙灰製造亞砷酸。此山所用之反射爐，有機械的攪拌裝置，煙灰在爐床上，機械的攪拌而焙燒之，得粗製亞砷酸後，再以焙爐熱之，使之昇華，精製之為精製亞砷酸。

上述之精製亞砷酸，為有毒之物，包裝輸送之際，須加注意。

又朝鮮之勒山鑛山，裝砷毒砂鑛於高一·五枳之圓筒形直立窯內，由爐底部送入空氣，氧化焙燒之，約七晝夜，使鑛石中砷之 As_2O_3 成亞砷酸而揮發，通過連結於爐頂之長沈澱室而沈澱亞砷酸於其中。此粗製亞砷酸，再裝入反射爐內，使之昇華，導入沈澱室內，使成精製亞砷酸。

此外混合亞砷酸與硫黃，行昇華法，以製黃色之人造雄黃，或混合毒砂與硫化鐵，行昇華法，以製赤色之人造二硫化砷之法，亦有之。

第十五節 汞 (Mercury)

各種金屬中，在常溫成液體之狀態者，惟汞而已。故汞又稱水銀，其在攝氏三六〇度沸騰而成蒸氣，在零下三九度凝固而成銀白色之固體金屬。其銀色之美觀，在古代即引起人類之好奇心，古人以為銀之溶體為汞，汞凝固則復成銀，固不足怪也。

相傳第八世紀阿刺伯鍊金術之大家格伯兒氏曾以汞為銀與水分融合所成，以為若能將其中之水分驅除，可得固體之銀。因此之故，後世之鍊金家，空作無益之研究者，不一而足。白爾哈布氏至反覆蒸溜汞達數百回。然彼等卒未得銀，所得者赤色粉狀之氧化汞之殘滓而已。又由汞、硫黃、食鹽等製銀之空想，犧牲一切，從事實驗之者，亦至十八世紀止，前仆後繼。此等鍊金家之悲史，未遑枚舉也。雖然，今日金銀鑛石之製鍊，雖甚微量之金銀，亦能抽出之之混汞法之發明，又不可不歸功於此等鍊金家矣。

最近日本有名之長岡博士，研究原子之構造，發表以高壓電氣放射 α 線於構成汞原子之陽

核以其衝擊，追出一陽核，破壞汞原子以製金之說。古今之學術，互相對照，誠極有興味之事也。

金屬汞，用於金銀之製鍊及物理器械之製造。其化合物，硫化物主為貴重之顏料，氯化物昇汞 (corrosive sublimation)，用於醫藥。

汞之鑛石 汞之鑛石如次：

名	稱化	合	式	汞	之	含	有	率
自然汞 (native mercury)	Hg							
朱砂 (cinnabar)	HgS							八六·二%
黑朱砂 (metacinnabarite)	HgS							八六·二%
甘汞 (calomel)	Hg ₂ Cl ₂							八四·九%

此中朱砂為最主要之鑛石，其他產出極稀。

朱砂為紅色美麗之鑛物，成塊、粒、粉或薄皮狀，產出於鑛脈或鑛染鑛床中。其稍不純粹者，有時被誤認為赤鐵鑛或赤銅鑛，然朱砂置入玻璃管內熱之，即成硫化汞或金屬汞而行昇華作用，不難

識別也。

汞之鑛山 自古有名之汞鑛山，爲西班牙之阿爾馬登鑛山（Almaden mine）。相傳此鑛山自西曆紀元前約七百年以來，即採掘朱砂，送往希臘；羅馬時代，相傳亦會每年自此地得七十萬磅之朱砂鑛石；至現代止，常產出多量之汞。其他奧地利亞之伊德利亞（Idria）、意大利之孟脫米亞塔、美國之加利福尼亞及得撒、墨西哥、俄國及我國之貴州，均產出之。

以上各地汞鑛山之鑛床，阿爾馬登地方，鑛床在砂岩中成鑛脈或鑛染，內含朱砂。奧地利亞伊德利亞地方之鑛山，朱砂鑛床埋藏於砂岩、石灰岩、白雲岩之地層中，四百數十年以來，產出多量之汞，伊德利亞市街之繁榮，實此鑛山之功。此鑛山昔僅由露頭採掘鑛石，後乃開設數豎坑，採掘達地中之深處。美國加利福尼亞之鑛床，爲黏板岩中無數之細鑛脈，亦產出多量之汞。

此外石英金鑛脈中，有時亦有朱砂之發現。又有成砂鑛而產出者。然此等鑛床，有採掘之價值者甚少。

汞之鑛石，普通含汞 0.5~1.0%，即可以供製鍊之用。朱砂鑛因甚易粉碎，甚易爲水所流失，選

鑛極爲困難，故一般殆不行選鑛，卽製鍊之。然美國加利福尼亞等地之鑛山，亦粉碎鑛石，以淘汰盤機械的選別之。又近年因硫化鑛物浮游選鑛之發達，汞之鑛石亦應用之。

汞之製鍊 汞之製鍊，一般用乾式法，蒸溜鑛石以製之。惟金銀混汞製鍊所廢石中流棄之汞，間亦用溼式法，以硫化曹達液浸出之後，以鋁金屬由溶液內沈澱之。

乾式法大別之，有利用空氣之還元製鍊與利用石灰或鐵之還元製鍊二種。空氣還元製鍊法（air-reduction process）或用反射爐，或用直立爐，或用圓筒形之迴轉爐，或用硫化銅鑛等所用之赫爾斯霍夫式之機械攪拌爐，裝朱砂鑛入爐內，予以空氣，加熱焙燒之，則鑛石中之硫黃，爲氧所奪，硫化汞還元爲金屬汞，成汞蒸氣，與亞硫酸氣一同出爐，入於凝縮裝置中，凝縮而成汞粒。直立爐，塊狀鑛石之製鍊，一般使用之。爐高五呎以內，爲圓筒形。鑛石與二%之木炭，一同由爐頂投入，空氣由爐底上昇，氧化鑛石中之硫化汞，使成汞蒸氣。鑛石在爐內徐徐降下，由爐底出爐外。又直立爐，有時於爐底外部設焚火口，於此焚燒燃料，使發生高溫度之氣體，與空氣一同進入爐中，以氧化鑛石者，亦有之。

粉狀鑛石之製鍊，用普通用以焙燒硫化鑛石之反射爐、機械攪拌爐或水平長圓筒形之迴轉爐等。

又粉粒相混之鑛石，用爐室內設有傾斜四十五度之板數段之直立爐以製鍊之。此種構造，鑛石自上落至板上，順次經過各段，徐徐到達爐底，徐徐爲所氧化。燃料用薪、石炭等。爐內之溫度，最高 $700 \sim 800$ 度，爐頂部爲四百度。

由爐吐出之氣體，除汞之蒸氣外，又混有亞硫酸氣、燃料燃燒之氣體、焦油、鑛石之微粉等。此氣體導入容積廣大之冷卻凝縮室內，以採集其中之汞及汞粉末。凝縮室普通爲磚所築，然亦有以鑄鐵製之者，爲區劃爲數部分之室或屈曲之煙道所成。氣體由爐進入室內，溫度即降至一百度以下，徐徐經過屈曲之長距離，冷卻至 $80 \sim 80$ 度，途中沈澱汞粒及汞粉末於其中。汞既沈澱，相集自下部流出，粉末則數日掃除煙室一次，以採取之。又凝縮裝置最後之部分，爲玻璃或木所製，以水由外部冷卻之，使汞之凝縮，達於完全之域。又近年發達之科特勒爾式電氣收塵裝置，採用之亦甚有效。

如上製出之汞，濾之以布，裝入鐵壺，送往市場。至不成粒之汞粉末，含有數十%之金屬汞，爲汞

之鹽類、鑽石之粉末、灰等混合所成。採取後，混以石灰、木灰等，機械的激烈攪拌之，則其中之汞，相集而成粒，可採取之。

普通用上述之方法，處理含汞一%以下之鑽石，可採收鑽石中全含有量之 $80\sim 90\%$ 之汞。

品位富良之汞鑽石，有時又裝入鐵製之蒸溜器內製鍊之，如蒸溜鋅者然。此法稱為石灰或鐵還元法 (lime or iron process)，不用空氣，密閉於蒸溜器內蒸溜之。作業之順序，朱砂鑛混以石灰或鐵屑，裝入長管狀之蒸溜器內，閉其一端，他端連結以鐵管，以爲導出汞蒸氣之用。此蒸溜器數個水平排列於爐內，由外部以約三八五度之溫度。熱之半日。則鑛石中之硫黃，爲石灰或鐵所奪去，汞遂還元爲金屬，成蒸氣通過鐵管之中，由外部以水冷卻之，即凝縮而成汞粒。此方法因需經費，採收率亦低，現殆無行之者。

第十六節 鎢 (Tungsten)

鎢爲稀金屬 (rare metal) 之一種。一七八一年西爾氏由石灰重石鑛內分離得氧化鎢，翌年

伯爾克曼氏由鐵錳重石鑛內分離得鎢金屬，是爲此金屬發見之始。在十九世紀末以前，此金屬僅惹起世人科學的興味，未有何用途。然及以混於鋼內製鎢鋼（tungsten steel），其貴重之性質發見，名遂大噪。尤其世界大戰時，裝甲板固不待言，種種重要兵器之製造，皆有待於鎢鋼，各國莫不傾注其力於鎢鑛業之開發。又在平時，則高速度鋼工具之出現，予金屬機械之工作以革命的進步，亦鎢鋼出現之功也。

金屬鎢，色與光澤，與鋼相似，抗張力強，熔點攝氏三、四〇〇度，除碳外，較任何物質爲高，甚能耐熱。自二十數年前發明以純粹鎢之細絲爲電球之白熱線以來，此金屬於吾人日常生活，遂發生普遍深切之關係。此外鎢棒、鎢板，以供X線管等物理器械之用，鎢酸鈉以供媒染劑及顏料等之用。

鎢之鑛石，謂之重石鑛或重石。此金屬，英語爲 tungsten，蓋由瑞典語重石之意轉來者也。德語爲 Wolfram，蓋昔時德國錫鑛內，混有其鑛石，爲錫製鍊之害，甚爲忌之，故以 Wolf（狼）之意，稱之爲 Wolfram 鑛焉。

鎢礦石之種類 鎢之礦石，可大別爲石灰重石及鐵錳重石二種。

石灰重石鑛 (scheelite) 呈白色乃至淡黃色，比重 $4.5 \sim 5.0$ 。純粹者成分爲 CaWO_4 ，含有三氧化鎢六三・四%。

鐵錳重石鑛 (wolfrumite) 有暗褐或黑如漆之光澤，比重 $7.2 \sim 7.5$ ，成分爲 $(\text{FeO}, \text{MnO})\text{WO}_3$ ，鐵與錳之含有量，不甚一定。又兩極端之僅含鐵之鐵重石 (ferberite) (FeWO_4) 及僅含錳之錳重石 (hubnerite) (MnWO_4) 亦有之。

重石鑛山之鑛床 重石鑛山之鑛床，普通發見於花崗岩地帶，其鑛石多與錫、鉬、銻及其他稀金屬鑛物共同產出於花崗岩中之石英鑛脈內。就中昔時之錫山，今日變爲鎢山者，其例不少。

此外重石又成砂鑛，存在於岩石因風化作用之故，崩壞流下而成之沖積層中，有如錫鑛。又有時銅山等之硫化鑛床中，亦間發見之。

世界著名之重石鑛產地，爲印度、暹羅、馬來、緬甸、朝鮮、日本及我國南部等亞細亞諸國，此外美國、玻利維亞、葡萄牙等國，亦產出之。

日本茨城縣之高取鑛山，地層爲古生層，砂岩、黏板岩及砂岩之互層內，有數條平行之石英鑛脈鑛床，貫入其中。此鑛脈中含有板狀結晶之鐵錳重石鑛，又伴有黃銅鑛、硫化鐵、砷硫化鐵等鑛物。朝鮮倭洞、金剛山等處，花崗岩中之石英脈內，均有鐵錳重石之產出。日本山口縣木和田及珂以兩鑛山硫化鐵、硫化鋅、硫化銅等鑛物之混合交代鑛床內，亦含有石灰重石鑛約一%。此等重石鑛，歐洲大戰時，曾盛行採掘。

選鑛 方始掘出之粗鑛，普通只含三氧化錳(WO_3) 0.5~3.0%。鑛石由砂石而成，多伴有硫化鑛物等。此粗鑛粉碎後，利用比重之差，於水中行重力選鑛，以選出重石之精鑛。重石如上所述，除石灰重石鑛比重稍輕，易粉碎，有爲水流失之虞，選鑛稍難外，鐵錳重石鑛在各種鑛物中，比重甚大，選鑛甚爲容易。選鑛後得含三氧化錳 60~75%之精鑛，售與製鍊所，以供製鍊之用。

重力選鑛所用之機械，爲粉碎機、跳汰機、淘汰盤等，與普通銅、鉛等之硫化鑛之選鑛無大差。惟選鑛後，精鑛中若含有砷、硫黃等有害物，須裝入爐內焙燒，以完全除去之。又精鑛中若含有少量之銅、鉍等，焙燒後須以硫酸等溶解除去之。此外視不純物之種類，各講求特殊除去之之方法。例如鐵

錳重石鑛混有錫鑛者，用衛薩利爾式磁
力選鑛機 (Wetherill magnetic separator) 以強磁力將鐵錳重石鑛吸出，使
 成精鑛。石灰重石鑛與錫石相混者，如後
 所述，與蘇打等一同以火燒之，製之爲水
 溶液，以化學的方法分離之。鉛鑛與重石
 鑛混合產出者，如鉛鑛爲易於浮游之輝
 鉛鑛，用浮游選鑛法使其浮游而分離之；
 或由化學的作業，以低溫度燒之之後，以
 氨水溶解其中之鉛而濾過之，此時並可
 由濾液製出副產物鉛酸銨之結晶等，是
 也。要而言之，重石鑛須使成上述之高品

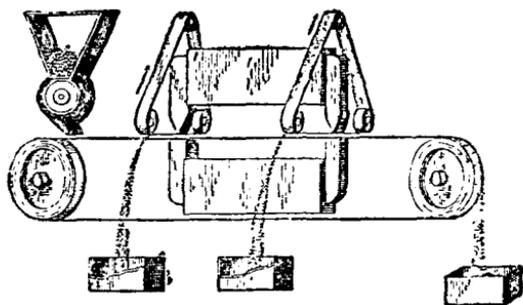


圖 114 衛薩利爾式磁力選鑛機

礦物在運鑛帶上，由左向右行進，途中磁性
 礦物（例如鐵錳重石鑛）被吸引，由橫側落下，
 最後非磁性礦物（例如錫石）由右端落下。

位之精鑛，選鑛恰與錫鑛相似。

世界重石精鑛之產額，歐洲大戰時，年額超過三萬公噸。茲將一九二九年世界重石精鑛之產額列下：（所謂精鑛，係以含三氧化鎢六〇%之鑛石為標準。）

中國

六、五〇〇公噸

緬甸

二、二〇〇公噸

美國

二、三〇〇公噸

製鍊之方法 由上述精鑛製鍊鎢之方法，有種種。應採用何種，視鑛石之種類及所要求之鎢之品位及種類而異。

普通先由鑛石製出黃色粉末之三氧化鎢，再以氫氣或木炭還元之，即得灰黑色金屬鎢粉末。金屬鎢除碳外，熔融點較任何物均高，僅行還元製鍊，未能得熔融之金屬，只能得粉末狀之金屬。此粉末金屬或即時混之鋼內熔融之，或以高壓圍結之，以高熱熔結之，再三於高熱之下，鎚打鍛鍊之，使成鋼色之金屬棒。

又鎢鋼之製造原料鐵鎢合金 (Tungstensteel) 之製造，不必經上述之工作，可以電氣爐直接由鐵石製鍊之。

以下就此等製鍊法，試述其大略：

粉狀鎢之製造 粉碎鐵錳重石鑛，以碳酸鈉與之混合，裝入反射爐內，熱之至攝氏八百度內外，半熔融狀態之鐵石， Fe_2O_3 點鐘攪拌之，使空氣充分與之接觸，使鐵及錳氧化，鎢變為溶解性之鎢酸鈉 (Na_2WO_4)。次由爐內取出粉碎之，加以沸水，使其中之鎢酸鈉溶解而濾過之。此濾液蒸發之，使鎢酸鈉結晶而採收之。

此結晶再溶之水內，混和以鹽酸水，使成生黃白色鎢酸之沈澱。此沈澱充分洗之以水而乾燥之，加熱即得黃色純良之三氧化鎢之粉末。有時不用上述之乾式法，僅用溼式法先粉碎重石鑛為極微細之粉末，與苛性鈉溶液一同裝入鐵釜內熱之，於高壓之下，使鑛石溶解為鎢酸鈉溶液，再依上述之順序，製之為三氧化鎢之粉末。

此外不用蘇打，石灰重石鑛粉碎後，加以鹽酸，熱之使之分解，以水稀釋之，使生黃色三氧化鎢

之沈澱；或鐵錳重石鑛以硫酸攪拌之，使之分解，生三氧化錫之沈澱，有種種之方法。

金屬錫之製出 由上述方法製出之三氧化錫，還元之為金屬之法，普通有氫還元法及碳還元法二方法。

電燈用之白熱錫絲或錫板等之製造，需不含碳品質極為純良之錫，此等錫之還元，用氫還元法。以供錫鋼等之製造之錫，含有少量之鐵、錳、矽酸或碳，無甚妨礙，可用較為簡單之碳還元法還元之。

氫還元法 純度九九·五%以上，品質極為純良之三氧化錫粉末，裝入人造矽石管中，一面加熱，一面通以氫氣則以700~800度之溫度，經過數點鐘，可使還元為粉狀之金屬錫。

製此粉狀金屬為有延展性與銅鐵等普通金屬相似之金屬之法，二十餘年前，美國克利治氏曾從事研究，獲告成功。以前錫本不能抽之為絲，展之為板，及克利治氏之研究成功，錫固不待言，鉅等金屬之利用上，亦起一大革命焉。

今試就由粉狀錫製可延性錫之順序一述之：粉狀錫裝入鐵型內，以高壓力壓之成角棒之形

後，以耐火材「阿蘭當」(Alundum)之管盛之，通以氫氣以高熱注意熱之，勿使氧化，則粉末融着而成多孔質之棒狀金屬。此棒狀金屬通以高電流，於氫氣中急激熱之至近熔點，則棒稍縮小而成稍緻密之金屬棒。此棒於高溫下，用鏈打機械，以每分鐘約萬回之高速度鏈打之，使成細長之形，再使通過金剛石之小孔，成爲細絲。

碳還元法 氧化鎢粉末，以煤煙或松脂等灰分較少之碳物質調合之，裝入坩堝內，於爐中熱之，即成生粉狀鎢。此時成生之粉狀鎢，除含有若干之碳化鎢 (W_2C 或 WC) 外，又混有碳粉末及氧化鎢等，爲含有不純物 8~2% 色灰黑之粉末。此粉末於水中洗之，除去其不純物，即得純度 98.5% 之金屬，送諸市場，以爲製鋼或製鎢合金之原料。

此外混三氧化鎢於鋁或鋅金屬內而還元之之法亦有之，然殆無行之者。

又鐵鎢合金之製造，以鐵石與還元劑相調合，裝入坩堝內，於煤氣爐中，以高熱熱之之法，雖亦有之，然普通則用電氣爐，以碳還元鐵錳重石鑛或石灰重石鑛以製之。此時使用之電氣爐，爲耶魯 (Herault type) 吉洛式 (Giroud type) 等有電極之爐，鑛石於此等爐內熔融還元之。所生之鐵

鎢合金，普通含有多量之碳，須精製之爲含碳 1% 以下，含鎢 80% 以上之製品，然後送往市場，以爲製鋼之原料。

第十七節 鉬 (Molybdenum)

鉬爲與鎢類似色白之金屬，可延展，可鍛鍊鍛接。自一七七八年最初爲西爾氏發見以來，閱四十年，耶爾蒙 (Hjalrn) 氏始分離得之。

鉬之熔融點甚高(攝氏二五三五度)，其氧化物呈赤褐色、紫色、青色等美麗之色。鋼內加入鉬，稱爲鉬鋼，不惟予鋼以貴重之性質，如加入鎢然，同量之鉬，其效力且達鎢之 $2\sim3$ 倍。例如鋼內含有少量之鉬，其伸及彈性界限，即爲之大增，強鍛作用，即爲之大爲進展；鉻鋼內加入鉬，可以供製造優秀高速度工具之用；含有鎳、鉻、鉬之鋼，可以製裝甲板；其他鉬鋼在兵器、推進器軸等之製作上，特殊之用途甚多，與鎢鋼同是也。然因其產出量甚少，且不一定，故一般無甚需給。又鉬絲、鉬板，以供電氣抵抗材料及白熱電燈纖維支柱等之用，鉬之化合物鉬酸鉍，以供分析試藥及顏料之用。

鉬之鑛石有輝鉬鑛 (molybdenite) 黃鉬鑛 (wulfenite) 鉬赭 (molybdite) 等，然工業上之主要鑛石，惟輝鉬鑛而已。

輝鉬鑛即二硫化鉬 (MoS_2)，含鉬約六〇%，爲有鉛色金屬光澤之柔軟薄片重疊而成之鑛物。以指擦之，如擦脂肪然，指爲黑色所污，有如黑鉛 (graphite)。然其色較黑鉛爲青，不難辨別也。

鉬之鑛床，或成鑛染狀，或成鑛脈，存在於花崗岩類或片麻岩類之中，有時又混於硫化鑛物之接觸鑛床內而產出。其鑛石分布雖極廣，然濃集於一處，足供採掘者甚稀。普通成小鱗狀，散在於產



圖 115 輝 鉬 鑛

石英塊上部薄片之集合體，即鉛色之輝鉬鑛

錫或鎢等之地方之花崗岩等之中，又產出於石英鑛脈中，有時石英脈中處處有其集合體。

採掘之鑛石，普通以手撥拾其附着之部分，使成含硫化鉬 $50\sim 80\%$ 之精鑛，送往市場。細粒之結晶，成鑛染狀，散在於岩石中者，則採掘後以機械粉碎之後，以重力選鑛分離之。但輝鉬鑛之剝離成薄片狀而成細粉者，易浮於水面而流失，對於粉鑛，採用浮游選鑛，甚為有效。

鉬鑛之價格，較鎢鑛尤高，大戰以前，含硫化鉬 90% 以上之精鑛，一公鐵約六百圓，及大戰開始，一躍而達八千圓，然世界中無論何處，其產出均極稀。

鉬之精鑛，含硫化鉬 90% 以上者，用於鉬鐵合金（ferromolybdenum）之製造，此外金屬鉬、鉬酸鉍等之製造亦用之。鉬鐵合金，以平爐、坩堝或電氣爐製鋼時，投入鋼中，以製鉬鋼。

鉬鐵合金之製鍊，舊時焙燒輝鉬鑛（即硫化鉬），使成氧化鉬，加以鐵，於坩堝內還元之。然近年則均用電氣爐，已經焙燒之硫化鉬或生硫化鉬，調合以鐵屑、石灰、焦煤或石炭，於電氣抵抗爐內，以高熱熱之，最初成生含碳 $3\sim 4\%$ 之鉬鐵合金。再加以石灰及氧化鐵等，於電氣爐中精製之，其中之碳，可以除去。

照上述方法製出，送諸市場之鉬鐵合金，含鉬50~85%，含鐵29~11%，含碳0.3~4.0%，硫黃及磷等有害物，均在萬分之一以下。

金屬鉬之製造，先焙燒輝鉬礦，使成氧化鉬，次以氫氣等還元之，與三氧化鎢之還元相似。製出不含碳之粉狀鉬後，再製之為金屬塊。其他硫化鉬混以石灰及碳，以高熱熱之，或混以砂一同熱之，使還元為金屬之法，亦曾有人研究之。

鉬酸鉍之製造，焙燒輝鉬礦，以氨水溶解之，使氧化鉬變為鉬酸鉍之溶液。此溶液逐出其中過剩之氨，除去其中鐵其他之不純物，返覆使之結晶，可得純良之鉬酸鉍之結晶。

又上述鉬礦之焙燒，因鉬易於揮發，須低其溫度，徐徐攪拌，注意行之。

第十八節 鉬 (Chromium)

鉬為一七九七年服探林 (Vauquelin) 氏發見之金屬。其化合物有種種美麗之色彩，故由希臘語之 chroma (色之意) 命名之為 chromium。

鉻有白色之金屬光澤，質硬，純粹者熔點較鉑尤高（攝氏一六一五度），然含碳則低下。因在空氣中不生銹，近來金屬之表面，多行鍍鉻。鉻在冶金上最重要之性質，為鋼內加入少量之鉻，則抗張力增大，硬度增高。含鉻九%之鋼，縱不行硬鍛（hardening），亦非銼之所能損傷，其硬有如是者。故鉻鋼（chrome steel）在軍器之製造上，極為重要，自礮彈類以至裝甲板等，使用甚多。裝甲板（armour plate）為含鎳三·五%，含鉻一·五%，含碳〇·二五%之鋼。此外鉻鋼又用於鐵道用輪鐵、軸鐵、發條等需要強度硬度之機械部分品及高速度鋼（high speed steel）之製造。

此外鉻與鎳、鈷、鉬、錳、銅等相混，可製種種之合金。此等合金，除耐腐蝕外，又適於甚銳利之刃物之製造。又電氣暖爐等用作電氣抵抗線之鎳鉻絲（nichrome wire），亦鎳與鉻之合金也。

鉻之化合物，自鉻酸以至鉻酸鉀、鉻酸鈉、重鉻酸鉀、重鉻酸鈉、鉻顏料等，在化學工業上，甚為重要，電池之製造、染物、鞣皮、寫真版等，莫不用之。

鉻之鑛石，僅有鉻鐵鑛（chromite）一種，為鐵黑色塊狀或粒狀之鑛物，與磁鐵鑛相似，惟磁性

微弱。化學成分爲 $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ ，含有六八%之氧化鉻 Cr_2O_3 。

鉻鐵鑛之鑛床，爲鹽基性深造岩、橄欖岩或蛇紋岩中之迸發鑛床，鉻鐵鑛成大小不定之塊狀，成斑紋狀散在產出於岩石中。又鉻鐵鑛因對於風化作用，抵抗力甚強，或蛇紋岩已被腐蝕而獨存，或濃密聚集於黏土等中，或如砂鐵聚集於沖積層中，往往有使人誤認爲鑛床豐富者。其著名之產地爲土耳其、新加利多尼亞，次爲古巴、新南威爾士、加拿大、加利福尼亞、俄國等。市場上鑛石之品位，普通含氧化鉻 50 ~ 55%。

鉻鐵鑛之製鍊，分爲製鍊鉻鐵合金與製造鉻酸或重鉻酸鹽類二項說明之。

鉻鐵合金 (ferro-chrome) 爲製鍊鉻鋼之原料，製鍊之法，以燐、硫黃等含量少鉻含量多之鉻鐵鑛與無煙炭或木炭，一同裝入電氣爐內製鍊之，使氧化鐵、氧化鉻還元而成鉻鐵合金。電氣爐用耶魯式或吉洛式等，爐壁塗以鉻鐵鑛、碳酸鎂等之粉末與煤焦油之混合物，碳電極，自爐頂插入，如圖一六所示。調和物自爐上部裝入，爐因電氣抵抗熱之故，發生高溫，使鑛石還元。所生之合金，由爐底之穴流出，與鏟分離。此合金普通含碳 0.2 ~ 0.5%，有時須再熔融之以減少其中之碳。此時破碎

合金，加以鉻鐵礦、石灰及螢石等，於電氣爐中熔融之，則鍍中之氧化鉻，使合金中之碳氧化，可減少之至○·二五%。行此精製法時，合金中所含之矽，亦被氧化而除去，普通可減少至○·二%。

市場上販賣以供製鋼之鉻鐵合金，為鉻63%、鐵21~35%、碳2%以下之合金。

金屬鉻製造之法，以後述之方法，製出氧化鉻，加以碳及螢石，於電氣爐內以高熱熱之，氧化鉻即還元而成金屬塊。又氧化鉻亦可於坩堝中，以木炭還元之，然所成生者為粉末之金屬鉻。又不含碳之鉻之製造，混合氧化鉻與鋁之粉末，以過氧化鋁及鋁之粉末之混合物點火熱之，則氧化鉻即還元而

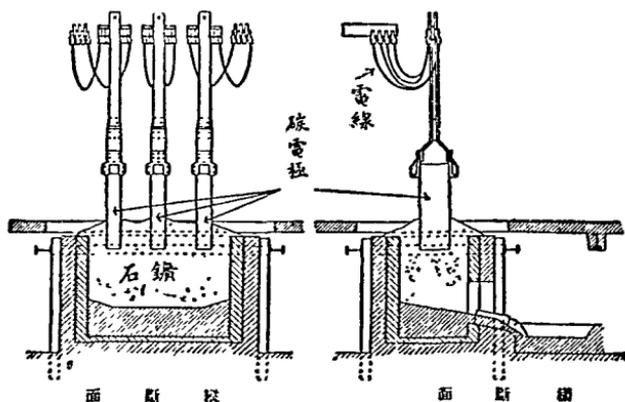


圖 116 鐵合金製鍊之電氣爐

成金屬鉻，鉻氧化而成礬土。

此法稱爲鋁熱法 (Aluminothermic process)，不獨用於鉻，一般稀金屬氧化物或其他還元時需高溫度之金屬氧化物之還元，往往採用之，可製出含碳之金屬。

次更就鉻酸鹽類之製法述之：此時粉碎鉻鐵礦爲粉末，混以碳酸鈉，或一部分碳酸鈉，代以石灰石，裝入反射爐內，如粉礦之氧化焙燒焙燒之，攪拌之使發生氧化反應，則爐內即成生鉻酸鈉及氧化鐵，發散碳酸氣。焙燒後，焙燒物以熱水溶解之，則氧化鐵成鐵滓而除去，得鉻酸鈉之溶液。此時含有鉻酸鈣者，加以硫酸鈉或碳酸鈉使一概變爲鉻酸鈉，再加以硫酸，即成生重鉻酸鈉溶液。此溶液先使硫酸鈉結晶而除去之，再煮之使成赤橙色之重鉻酸鈉結晶，送諸市場。又若欲製鉀鹽類，則使鉻酸鈉中之鈉與鉀置換以行之。

又氧化鉻之製造，於鐵鍋中煮重鉻酸鈉除去其水，加以硫黃而熔融之，即得氧化鉻及硫酸鈉。硫酸鈉以水浸出除去之，所餘即氧化鉻。此氧化物，還元之即成金屬鉻，上已述之矣。

第十九節 錳 (Manganese)

錳為有白色金屬光澤，硬而脆之金屬。然一遇溼氣，即行氧化，甚不安定。實際上無其單體之存在。普通其鑛石與鐵混合，製為合金，送諸市場。

錳自數十年前以來，即用於鐵鋼之製鍊。尤其自十九世紀製鋼界之大發明柏塞麥法出現以來，今日其鑛石或錳鐵，更為製鋼業上所不可或缺。

錳與鐵之合金，因錳含有量之多少，分為二類。含有錳 5 ~ 20% 者，謂之鏡鐵 (Spiegelisen)；含有錳 30 ~ 80% 者，謂之錳鐵 (ferro-manganese)。

錳鐵，其大部分，以加入柏塞麥轉爐鋼或平爐鋼中，使行脫氧及脫碳之作用，同時鋼中之硫黃，亦可使之除去。此外鑄物工場，亦多用之，又以供錳鋼之製造。又含錳多之鑛石，電池製造、玻璃製造、陶磁器、塗料等化學工業均用之。

錳鑛石在工業上重要者，有下列數種：

軟錳礦 (pyrolusite) MnO_2 為最普通之錳礦，為黑色之結晶質，含錳六三·二%。

硬錳礦 (psilomelane) $MnO_2 (Mn, K, Ba) O_n H_2 O$ 為黑色或青黑色之無晶形，錳之含量，45~60%。

世界中錳之大部分，由此二種礦石產出。此外菱錳礦 (rhodochrosite) ($MnCO_3$)，或成美麗淡紅色之結晶，成礦脈，產出於花崗岩等之中，或產出於銀山、銅山等之礦脈中。又薔薇輝石 (rhodite) ($MnSiO_3$) 粒錳礦、沼錳礦，亦有其存在。

錳礦之產地，以俄國南部高加索地方為巨擘。此地有鉅大之礦量，每年產出錳礦數十萬公噸。次巴西、印度及我國南部湖南、廣西、江西等省，亦有相當之產出。

錳鐵之製鍊 錳礦以前與鐵礦同，於熔鑄爐內還元之，以製錳鐵。近年因電氣爐之應用，極為發達，多如前述之鉻鐵合金等，以電氣抵抗爐製鍊之。錳礦與鉻鐵礦等相較，在低溫度，易於充分還元，電氣爐溫度過高，錳自不無揮發損失之虞。然現今電氣抵抗爐之作業，甚為熟練，錳鐵之製造，極為便利。試舉其一例：含錳三〇%之鑛石八〇〇，無煙炭一七〇，螢石九〇，依此比例配合後，以電氣

爐製鍊之，調和物一公鐵，可生含錳八五%之錳鐵。二公鐵，錳之採集率為七五%。普通用熔鐵爐製造之錳鐵，含有數%之碳，用電氣爐製鍊，可得含碳甚低之製品。

第二十節 鎂 (Magnesium)

(一) 總說

自二十世紀初葉以來，新金屬之凌駕其他多數之金屬，嶄然露頭角於工業界者，當推鋁然鋁以輕金屬見重於世之裏面，鎂之存在，有未可沒卻者焉。

鎂為有強銀白色光澤，比重極輕之金屬。比重較鋁尤小，鋁為二·七二，鎂僅一·七四。與鐵相較，僅其二二%耳。熔融點為六五一度，與鋁相近。在高熱中，在空氣中發火，放白光而燃燒。有伸展性，可抽之為絲，展之為板。鎂除單獨加工外，近時以為主成分，製鍊輕合金之法，亦在研究之中。今日使用甚多，甚為重要之「杜拉魯明」合金類之鋁輕合金中，亦含有鎂，第二四六頁已述之矣。此外鎂與銅、鎳、鈣、鋅等相混，可製種種之合金，此等合金之中，有比重僅鋼之三分之一，而抗張力與之相同者。

又有比重僅一·八，僅鋁之三分之二，而抗張力甚大，每平方吋達四五、〇〇〇磅者。

鎂合金鑄爲鑄物，或製爲棒、管、板、薄板等，以供重量須輕之航空機之部分品或以高速度迴轉之翅狀物之用。此合金加工時削之既易，又可熔接、鍛接之。

鎂在鹼質或氟化氫酸內不溶解，在空氣中亦不生銹。然在高溫度，與氧化合之力甚強，鋼及其他諸金屬中所含微量之氧化物，可以爲脫氧劑而除去之。故熔融之金屬中，有加入鎂以精製之者。此外以製鎂粉、鎂絲、鎂帶等，用途日廣。

鎂之最初分離爲金屬，爲一八三〇年巴喜（Bussy）氏以與德斐爾氏製鋁同一之法，以氯化鎂與金屬鉀一同加熱，製出金屬鎂。其後一八五〇年，因本生（Bunsen）氏之研究，有電解氯化鎂以分離金屬鎂之法之出現，後德國遂工業的應用之。當鉛在法國大爲發達之際，德國因鉛鑛石之缺乏，極力研究由岩鹽（Rock salt）製鎂之法，大有以己國岩鹽鑛床中之鎂，與之對抗之慨焉。

今日鎂之製鍊，行於各國。美國近年發達之以碳酸鎂鑛石爲原料之氧化鎂之電解法，恰如步鋁製鍊過去之歷史之後塵而前進。以後鎂之製鍊，漸次改良，價格漸次低下，其用途亦可漸廣。將來

此金屬之活躍，大可期待也。

(二) 製鍊原料

自德國岩鹽鑛床內之光鹵石 (carrollite)，以至食鹽製造之際，所生之苦汁中之氯化鎂等，均為鎂之製鍊原料。美國又用碳酸鎂鑛即菱苦土鑛 (magnesite) 為製鍊之原料，此鑛石今後將漸為各國鎂製鍊之重要原料也。

菱苦土鑛，歷來用為耐火材料，以供磚、瓦等之製造。就中製鋼爐之內壁或爐床，多以苦土作之，在製鋼業上，為重要之材料，使用頗多。成分為碳酸鎂 ($MgCO_3$)，與石灰石相類似，較之稍重，為塊狀或結晶狀之鑛石。菱苦土鑛，如燒石灰石然，燒之驅去其中之碳酸氣，使成氧化鎂 (即苦土 (magnesia))，以供耐火材料之用，或以作鎂之製鍊原料。

菱苦土鑛之世界的產地，為奧地利、希臘、印度、美國、加拿大等，我國遼寧省大石橋附近，亦有世界稀有之一大鑛床。

產出之狀態，或成鑛脈於蛇紋岩中，或與石灰岩交代，成大塊或透鏡狀。前者多產細微緻密之

結晶質之白色塊狀鑛石，後者成結晶形，有時呈淡青色、灰色、赤色等色。

遼寧省大石橋附近之菱苦土鑛床，延長達數哩，挾於白雲岩、黏板岩、片岩之中。鑛石之品位，極爲優良。其成因有謂爲含鎂之溫泉湧出，與白雲岩中之石灰分交代而成生者，有謂爲水成之鑛床，爲鎂在水中沈澱所成者。鑛量之豐富，幾可取之不盡，用之不竭焉。

製鍊之方法，如前所述，歷來電氣分解熔融體之氯化鎂以製之。及至近年，美國又以已經焙燒之菱苦土鑛爲原料，以氟化鎂與氟化鋇相混，加以少許之氟化鈉，熔融之以作電解溶，投入氧化鎂於其中，以行電解，使析出金屬鎂，恰與鋁之電氣分解相同。

以下就上述之二電解製鍊法，稍詳述之。

(三) 電解製鍊法

氯化鎂熔融體之電解 如上所述，此法自本生氏發明以來，主行於德國。此外英國亦行之，近年以前，美國亦行之。

電解之理論，甚爲簡單，即氯化鎂之熔融體，通以電流，使分解爲鎂與氯氣是也。然氯化鎂嘗除

去其水分，使之熔融之際，易氧化成爲氧化鎂或氧氯化鎂，普通須加入食鹽或氯化鉀及少量之氯化銨等使其熔融點低下，並須注意於加熱之方法，極力防止其氧化。此法之原料，德國用光鹵石 (carналит) [KCl, MgCl₂·6H₂O 該國斯塔斯爾孚特 (Stassfurt) 地方岩鹽鑛床中天然產出之氣化鎂與氯化鉀之複鹽]，此鑛物熔融點低，作電解溶時，甚感便利。

又原料若僅用

氯化鎂，則混以氯化鈉或氯化鉀，裝入鐵壺中，最初徐徐熱之，攪拌之，除去其中大部分之水分。最後強熱之，完全除去其水分，使成氯化鎂及氣

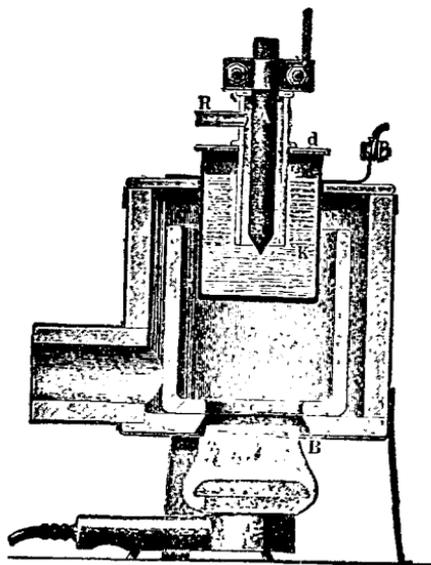


圖 117 鎂電解爐

K爲鐵壺，以燈口B熱之，使其中之氯化鎂熔融。由碳素電極A通以電氣，則鐵壺成陰極，金屬鎂析出於其上。R爲由陽極表面導出瓦斯之管。

化鎳各五〇%之熔體。此熔體裝入電氣爐內之鐵壺內熱之，由上部吊下黑鉛之電極，以作陽極，以電流。則鐵壺成陰極，析出之金屬鎂，即附着於其底及側壁之上。圖一一七所示，爲此種電解爐之小形者。電解爐之溫度爲 675 ~ 725 度，電壓爲 6 ~ 9 弗，電流爲 11100 安餘。普通一壺一晝夜可製出鎂約十八疋。用此電解法時，氯化鎂隨電解之繼續而漸減，二十四點鐘連續電解後，熔融體之組成，變爲氯化鎂一〇%，氯化曹達九〇%，由壺內取出，另裝入前述之熔體，再行電解，作業爲不繼續的。

氯化鎂電解法之改良者，爲下述之方法，行於英國。此法電解壺之底，裝金屬鉛之熔體，其上裝氯化鎂之熔融電解液，如前法由上吊下碳電極，以作陽極。通以電流，則熔融之鉛，成爲陰極，分離之鎂，爲鉛所吸收，成鉛與鎂之合金。鉛中鎂濃密至數%以上時，使由電解壺流出，再裝入精製電解壺內，沈於壺底之合金，以爲陽極，由壺上部，吊下鐵棒，以爲陰極。通以電氣，則鎂由陽極合金內熔解，入於電解液之中，由上部陰極之周圍析出，浮於表面，汲出之，即得金屬鎂。

氯化鎂之電解法 此法，美國鎂公司 (American Magnesium Corporation) 行之。先混

合同分量之氟化鎂

及氟化鋇，加入適當

之氟化鈉，於電解爐

中熔融之。次以焙燒

碳酸鎂礦石所得之

氧化鎂熔入其中，以

作電解溶，於溫度九五〇度行電解。此法之電解爐，為鐵製之箱，爐底有數鐵棒突出，以為陰極，由上部吊下碳棒，以為陽極，電壓為 9 ~ 16 弗，電流為 9000 ~ 16000 安，為大型之電氣爐。對於製出之鎂，電氣效率約為一〇%。

照上法電解，則氧化鎂分解，金屬鎂由陰極即鐵棒之表面析出。因此重較電解溶為小，立即浮集於溶之上部。使之流出，即得金屬鎂。至陽極周圍析出之氧，則與陽極之碳化合，成為一氧化碳氣。此氣體入空氣中時，燃燒所起之反應，與礬土之電解爐同。此法一尅之鎂，需一·七尅之氧化鎂，碳

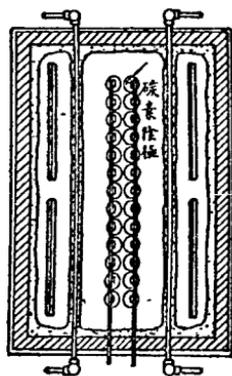
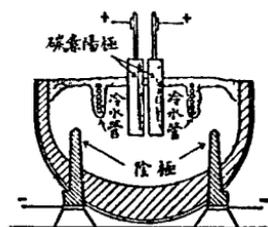


圖 118 氧化鎂電解爐

在此電解槽內電解，析出於陰極之金屬狀，因比重甚輕，浮於上部而採取之。

電極消耗○·五姪。所生之鎂，純度約九九%，不純物含有矽、鐵、鋁等，再精製之爲純度九九·九%以上之鎂，送諸市場。

電解氧化鎂製出之金屬鎂，不似電解氯化鎂製出者之有含有氯化物之虞，對於腐蝕作用，抵抗力甚大，在空氣中，其表面之光澤，永不減少。

第四章 鐵與鋼

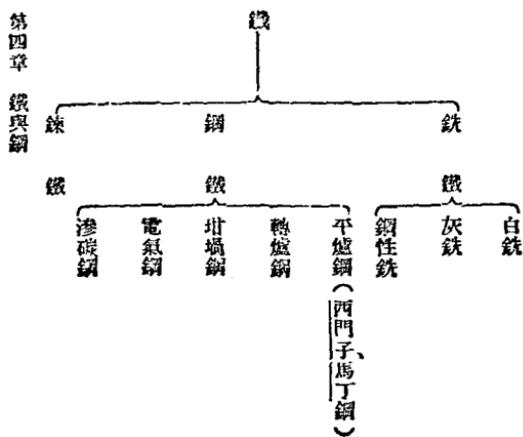
第一節 總說

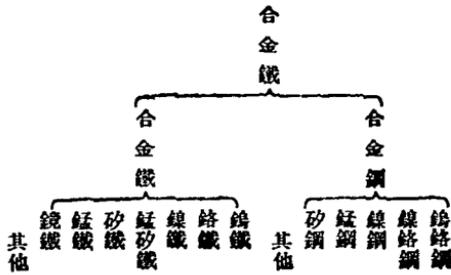
鐵(iron)與鋼(steel)爲現代文明之要素。此工業如何發達，以至今日，本編第一章已說明之矣。據克拉克(Clark)氏之說：鐵占地殼成分之四·四四%，在金屬中，爲次於鋁（七·八四%）多量存在之元素。鐵天然與其他之元素化合而產出，今日吾人所用之鐵，主爲還元鐵與氧之化合物即氧化鐵所製出。又吾人日常所用之鐵，並非純粹之鐵。純粹之鐵，不惟其製法甚難，其質亦過柔，不適用於一般工業之用。工業上所用之鐵，均含有碳、矽、錳、磷、硫黃等。就中碳於鐵之性質，影響最大，其量之多少，生種種之鐵。

磷、硫黃等，一般於鐵之性質，爲有害之元素。此等元素，來自鐵之原料鑛石、還元鑛石之燃料及

其他之附加物，其多少因製鍊之方法而異。又鐵有特別加入某種元素於其中，使其呈某種特殊之性質者。

一般市場上之鐵，其種類甚多，且甚複雜，茲大體分類之如下：





所謂銑鐵 (pig iron) 爲含碳一·八%以上之鐵，普通含 2.6~4% 熔融溫度低，質脆，無可鍛性，普通以供鑄物之用。銑鐵有白銑、灰銑及鋼性銑等之別。白銑 (white pig iron) 破斷面白而堅，鏗及其他之工具，未能削之，碳以與鐵化合之狀態，存在於鐵中。灰銑 (gray pig iron) 斷面呈灰

色，質軟，可以銼削之，碳成黑鉛之狀態，游離於鐵中，斷面之呈灰色，即此黑鉛之色也。鋼性銑 (steel) 碳之含有量少，在一·八%乃至二·六%之間，帶鋼之性質，以供強韌鑄物之製造。

鍊鐵 (wrought iron) 及鋼鐵 (steel)，均有可鍛性。鍊鐵製造之際，爐之溫度，未達鋼之熔融溫度，於半熔融狀態製造之。故鐵滓未能充分分離，尙殘存於鐵粒間，以鎚及壓延機壓延之爲棒等時，鐵滓（即鏝）向壓延之方向延伸，成纖維狀，存在於鐵中。

鋼鐵與此相反，於完全熔融之狀態製造之，鐵滓已被充分除去，與前者甚易區別。鋼鐵因製造之方法，有平爐鋼 (open-hearth steel) (西門子、馬丁鋼)、轉爐鋼 (Bessemer steel)、坩堝鋼 (crucible steel) 等數種。

以上主爲含碳之鐵，即所謂碳鐵 (carbon iron) 是也。此外又有含其他特殊之元素而成合金者，分爲合金鋼 (alloy steel) 與合金鐵 (alloy iron)。合金鋼即特殊鋼 (special steel)，爲含有特殊元素之鋼。與此相對，普通之鋼，稱爲碳鋼 (carbon steel)，以相區別。特殊鋼有特殊之良好性質，爲碳鋼所無。合金鐵含有多量特殊之元素，特殊鋼製造之際，用以附加特殊之元素於其內。

第二節 鐵鑛石

鐵與他種元素化合而存在，現在用以作製鐵之原料者，只限於氧化鐵、氫氧化鐵及碳酸鐵。黃鐵鑛 (Pyrite) 及砷鐵鑛 (arsenopyrite) 所含鐵分雖多，不堪使用。僅黃鐵鑛以製硫酸後（參看第二章溼式收銅法）其殘滓紫鑛 (Purple ore) 有時亦以作製鐵之原料。現今使用之鐵鑛，鐵之含有量，以五〇%為標準。惟五〇%以下者，亦有使用之者。近來因鐵分豐富之富鑛，漸次減少，貧鑛亦竭力選鑛，提高其品位，以供使用。日人在我國遼寧省經營之鞍山製鐵所，30~40%之貧鑛，選之約達六〇%而使用之。又鐵鑛所含鐵分雖少，苟含有多量之石灰石，製鍊時無須再加石灰石以作媒熔劑，亦可有利的使用之。歐洲大陸之「密涅特」鑛石 (Minette)，即此例也。

密涅特鐵鑛床在盧森堡及洛林附近，為世界有名之大鐵鑛床。寬十三杆，長六十五杆，厚達二十呎之處亦有之。鑛石為氫氧化鐵鑛，產出於石灰岩黏土等之互層中。大戰前德國鐵總產額三分之一，由此鑛床產出，法國、比利時等，亦製鍊此鑛石。含鐵雖只約三六%，因採掘費低廉，地位便利，每

年產出鑛石達二千萬公噸，誠世界稀有之鑛床也。又英國最重要之克利威蘭鐵鑛床 (Cleveland iron ore bed) 在該國約克州東北部中斯播勞市附近，含鐵雖只 30~33%，因採掘便利，鑛石性質適於製鍊，有名之達刺蒙炭田 (Durham coal field) 又近在咫尺，故其採掘，異常發達。

克利威蘭鐵鑛床之發見，頗饒興趣。十九世紀中葉，北約克州克利威蘭附近，有遊獵者，因追逐獵物，觸岩角而踏，不意中獲石一塊，後知為鐵鑛石，於是人煙稀少之荒野，乃一大鐵鑛地，遂為一般所知。當時人煙寥若晨星之地，二十年後，遂一變而為大都市中斯播勞市矣。此鑛床為厚 60~70 呎之鑛層，面積達八五〇平方呎，鑛石為碳酸鐵鑛，可由地表行露天掘以採掘之。此鑛床與克姆培爾 (Cumberland) 及北蘭加州 (North Lancashire) 之赤鐵鑛鑛床，同為英國鐵鑛之大源泉，為英國大工業雄飛世界之大根源。

又美國蘇必略湖附近之赤鐵鑛鑛床，品質遠在上述二大鑛床之上，含鐵 50~55%。採掘之鑛石，運至相隔千哩之比特斯堡 (Pittsburg) 炭鑛地方製鍊之。

如上所述，製鐵之原料鐵鑛石之品位，因鑛石之性質及土地之狀況，大不一致。大致製造銑鐵

一公鐵，所需鑛石，美國約二公鐵，英國及德國約二·四公鐵，法國及比利時約二·七公鐵，瑞典及俄國約二公鐵，南澳大利亞約一·五公鐵。

鐵鑛之種類及成分，大致如次：

磁鐵鑛 (magnetite) ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$)	鐵分 72.4 %	實際上之鐵分 60 ~ 68 %
赤鐵鑛 (hematite) (Fe_2O_3)	鐵分 70.0 %	實際上之鐵分 40 ~ 60 %
褐鐵鑛 (limonite) ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)	鐵分 59.9 %	實際上之鐵分 28 ~ 35 %
碳酸鐵 (siderite) (FeCO_3)	鐵分 48.3 %	實際上之鐵分 30 ~ 39 %
砂鐵 (iron sand)	砂鐵內含有鈦，少者 0·5%，普通 5 ~ 8%。因含有此元素，現今尙未能	

以化鐵爐製鍊之。砂鐵之組織，在顯微鏡下觀之，如圖一一九所示，白色鈦之含有物，成極細之形，分離存在於氧化鐵之劈開面。因此之故，磁力選鑛法，未能使鈦分離而除去。砂鐵或含鈦鐵鑛之製鍊，歐美昔時以來，已試行之。然大化鐵爐之試驗，則大戰時，新西蘭最初行之。其法混砂鐵與石炭，於焦煤爐內製之爲焦煤鐵，再裝入化鐵爐內試驗之。當時試驗一星期後，因爐底上昇，遂爾中止。後美國

馬克安特勒製鐵公司，約混三〇%之含鈦鐵鑛於普通鑛石中試驗之，時時有含鈦之鑛滓，懸滯於風口，作業約二三月，亦中止。日本大規模之化鐵爐試驗，一九二四年久慈製鐵所最初行之。該所先製砂鐵爲焦煤鐵而試驗之後，又燒結而試驗之，然均感非常之困難。要而言之，砂鐵單獨之製鍊，今日尙屬不可能，鈦之爲害，僅多混入普通之鑛石，可以緩和之耳。

鐵鑛之採掘 鐵鑛之採掘，可以應用其他一般金屬鑛之採掘法，惟大量採掘，特爲必要耳。茲分爲露天掘及坑內掘，述之於次：

露天掘爲鐵鑛露出於地表，或在地表下不甚深時，除去其上之土砂以採掘之之方法。

露天掘採掘容易，鐵鑛全體，可盡採掘。然掘去多量之表土，需多數之資本，且荒天不能工作，而

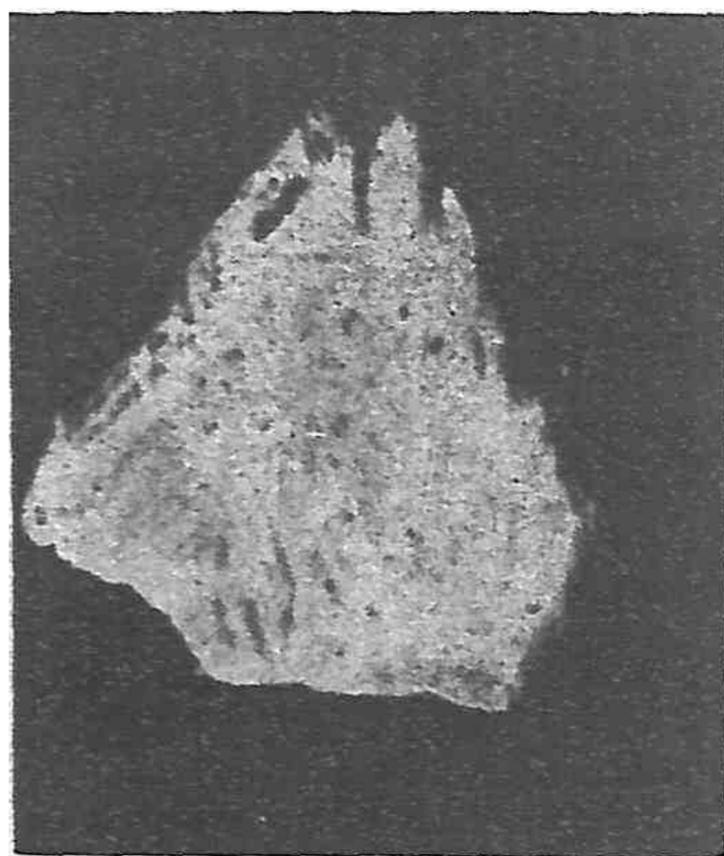


圖 119 砂鐵粒之顯微鏡組織(三〇〇倍)

雨雪等有混入鑛石內之不利。

坑內掘，豎坑捲揚機、唧筒、地下運搬裝置等，需多額之資本，鐵鑛全體，亦未能完全採掘。

此二法應採用何法，視鑛床之形狀，鑛床距地表之深淺，及地質之如何而定。鑛床爲塊狀，或殆近水平之鑛層，距地表不甚深，且地質不甚硬時，採用露天掘。鑛床在地下深處，地質堅硬時，採用坑內掘。

鐵鑛之採掘，質軟者可用尖鋤或鋤等採掘之，質硬者可用鑿及火藥採掘之。

鐵鑛之採掘，歐美大部分行露天掘。美國又盛用蒸汽鏟，完全機械的採掘之。

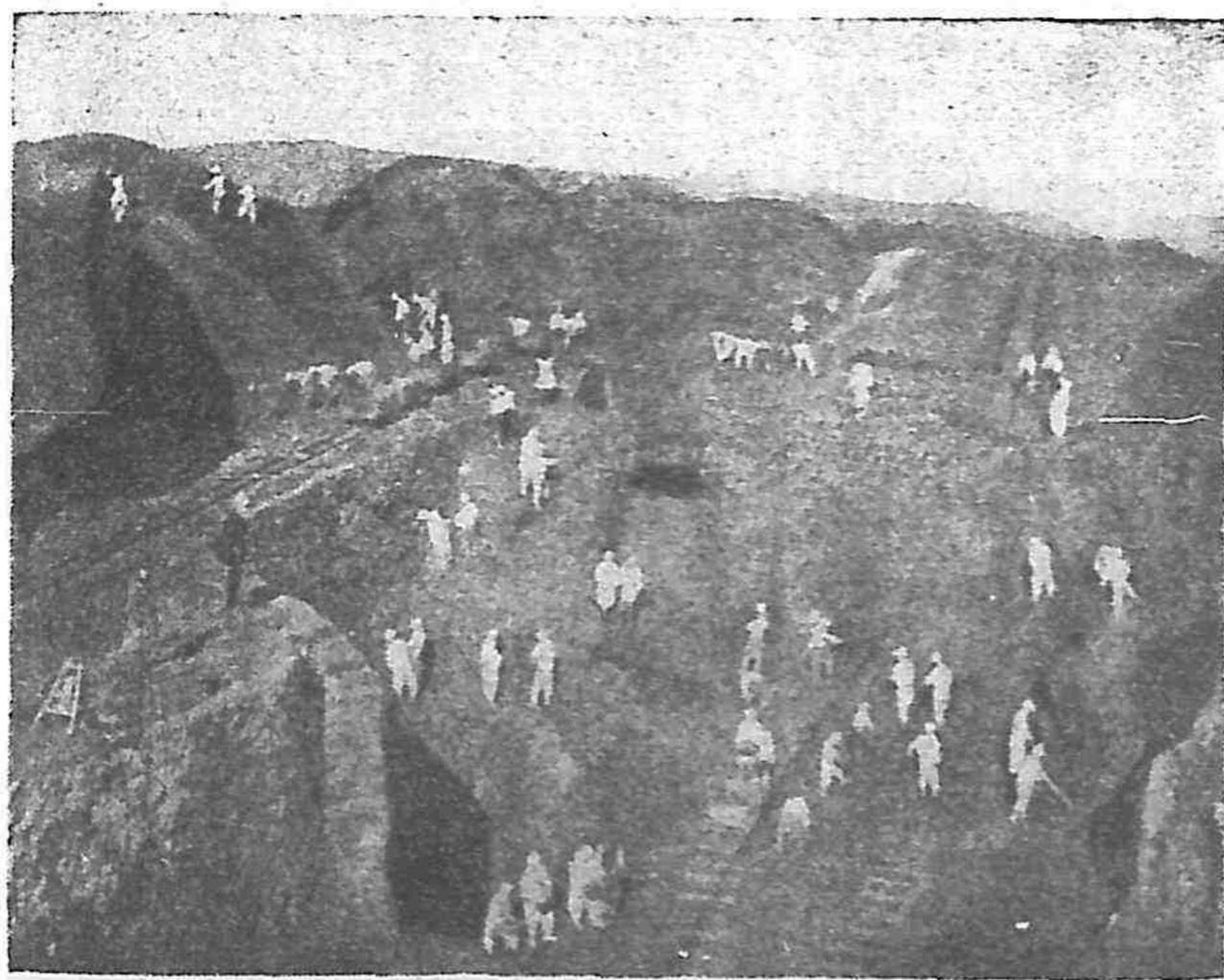


圖 120 朝鮮殷栗鐵山採掘場(露天坑)

又日人在我國遼寧省經營之鞍山製鐵所，使用多量之火藥，一舉而採掘多量之鑛石。

採掘之鑛石，若過於大塊，須適當破碎之。同時鐵鑛與母岩，須選別之。若鑛石為磁鐵鑛，有磁力，可以磁力選鑛機選別之。無磁力之他種鐵鑛，亦可磁化焙燒之，使帶磁性，然後以行磁力選鑛。現在鞍山製鐵所，鐵分約三〇%之貧鑛，由此法使成約六〇%之富鑛，然後以供製鍊之用。

鑛石之焙燒 若為碳酸鐵，則焙燒之逐去其中之

碳酸。若緻密如磁鐵鑛，則有時焙燒之使生微小之皸裂，俾易還元。又焙燒可以追出有害之硫黃分。焙燒爐用極簡單之圓筒形或圓錐形之爐。燃料用粉焦煤等，與鑛石交互裝入爐中。焙燒後鑛石由爐底取出。



圖 121 鐵鑛之坑內掘

粉鑛之利用 鐵鑛普通除塊鑛外，又生多量之粉鑛 (small ore)。粉鑛多量裝入化鐵爐內，於化鐵爐之作業，甚為有害，現今不過裝入一〇%內外而已。粉鑛多量使用時，須製之為有相當強度之塊。製塊之法，多用團鑛法 (ore briquetting) 與燒結法 (sintering)。團鑛法多用顧倫遜爾式，由此製出之團鑛，最為良好。然此法既費手續，設備又需多額之修理費，所需燃料又多，現今多已改用燒結法矣。燒結法有古利那瓦爾特式 (Gneenawalt type) 及德歪特洛依德式 (Dwight Lloyd type) 原理相同，惟前者為不連續式，後者為連續式。

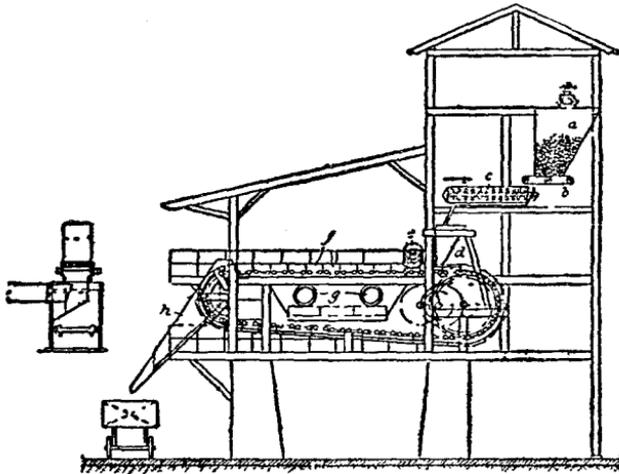


圖 122 德歪特洛依德式燒結機

耳。圖一二三所示，即德歪特洛依德式燒結機也。燒結之法，粉鑛混以焦煤粉，裝入徐徐運動之淺箱中，於處點火。淺箱之下有風箱，空氣由g管通過淺箱上之粉鑛層而上，粉鑛中之燃料，即燃燒而使粉鑛固結。

表九 世界諸國鐵鑛埋藏量

國	別數	量	國	別數	量
美	國	四、八二四	德	國	一、三〇〇
		<small>百萬公噸</small>			<small>百萬公噸</small>
紐芬蘭		三、六五〇	奧	國	二四〇
玖馬		三、一五九	捷克斯拉夫		一九〇
巴西	西	二、六九八	波蘭		一一〇
智利		四四〇	西班牙		九五〇
秘魯	魯	五六四	阿爾日利亞、摩洛哥、突尼斯		一四四
法國		五、六二〇	印度		三、〇〇〇
英國		三、六八二	中國		九五〇
瑞典	英	一、一一九	澳大利亞		三〇三

新西爾及塔斯馬尼亞	一〇	加拿大	五五〇
俄國	一、五〇〇	墨西哥	
葡國		菲律賓	一、〇〇〇
意大利	一五〇	日本	一、〇〇〇
瑞典		南洋諸島(斐律賓、婆羅洲、新喀利多尼亞等)	數十億公噸
希臘			
脫爾斯瓦爾及納塔爾	二〇〇		

表一〇 世界諸國鐵鑛產出額

德國	別	一九二七年	一九二八年	國	別	一九二七年	一九二八年
德國		六、六二六千公噸	六、四七五千公噸	英國		一一、三八六千公噸	一一、六〇四千公噸
比利時		一五二	一六七	意大利		五二一	六四一
法國		四五、四二六	四九、〇〇八	巨哥斯拉夫		三三六	四三九
希臘		一六三	一六七	森堡		七、二六六	七、〇二七

表十一 世界諸國銑鐵產出額

德	國	別	一九二九年	一九三〇年	薩	爾	別	一九二九年	一九三〇年					
一三、三九八	千公噸	九、八〇四	千公噸	二、一〇四	千公噸	一、九三〇	千公噸							
奧	國	別	一九二九年	一九三〇年	波	蘭	別	一九二九年	一九三〇年					
一、五九九	千公噸	一、九二八	千公噸	四二二	千公噸	三九一	千公噸							
俄	國	別	一九二九年	一九三〇年	捷	克斯拉夫	別	一九二九年	一九三〇年					
四、九六〇	千公噸	五、三五七	千公噸	六二、七二九	千公噸	六三、一九二	千公噸							
瑞	典	別	一九二九年	一九三〇年	西	班	牙	別	一九二九年	一九三〇年				
九、六六一	千公噸	四、六六九	千公噸	一、五一六	千公噸	一、五五〇	千公噸							
捷	克斯拉夫	別	一九二九年	一九三〇年	匈	牙	利	別	一九二九年	一九三〇年				
一、五九一	千公噸	一、七七九	千公噸	一、八七六	千公噸	二、〇八九	千公噸							
阿	爾	日	利	亞	別	一九二九年	一九三〇年	突	尼	斯				
二、〇二九	千公噸	一、九九三	千公噸	八九九	千公噸	六八六	千公噸	九一五	千公噸	九〇九	共	計	一七〇、〇〇〇	一六六、〇一四

比	利	時	四、〇九四	三、三七八	四	班	牙	七五二	六八六
法	國	國	一〇、三六一	一〇、一六〇	捷	克	斯	拉	夫
英	國	國	七、七〇一	六、四〇一	匈	牙	利	三六八	二五四
意	大	利	七二九	五八四	美	國	國	四二、九四六	三二、一四一
加	拿	大	一、一七九	八七四	日	本	本	一、五六三	一、六八七
盧	森	堡	二、九〇八	二、四八九	印	度	度	一、三七二	一、三七二
奧	國	國	四六二	三五二	澳	大	利	亞	四二七
波	蘭	國	七〇五	五三八	其	他	他	七六二	六六〇
俄	國	國	三、九七二	四、六七四	共	計	計	九七、九七三	八〇、三五五
瑞	典	國	五二八	四九三					

表十二 世界諸國鋼鐵產出額

德	國	別	一九二九年	一九三〇年	國	別	一九二九年	一九三〇年
一六、二四二	千公噸	一、七八六	千公噸	二、二〇九	千公噸	一、九五二	千公噸	

比	利	時	四、一三一	三、四二九	西	班	牙	一、〇〇六	一九一四
法	國		九、六九七	九、三七三	捷	克	斯	拉	夫
								二、一四五	一、八八〇
英	國		九、八〇九	七、七二二	匈	牙	利	五、一三	三八六
意	大	利	二、一四三	一、八二九	美	國		五、六、五四〇	四、一九八一
加	拿	大	一、四〇二	一、〇一一	日	本		二、二九四	二、二八九
盧	森	堡	二、七〇一	二、二八六	印	度		五八九	六一〇
奧	國		—	—	澳	大	利	亞	四六七
								四三七	
波	蘭		一、三七六	一、二一九	其	他		三五六	三〇五
俄	國		四、九〇一	五、五三七	共	計		一一九、八四八	九六、〇七二
瑞	典		六九四	五九九					

第三節 銑鐵製造法

還元鐵礦，以製銑鐵，用化鐵爐(blast furnace)〔又稱爲高爐(hooh oven)〕以前用木炭作

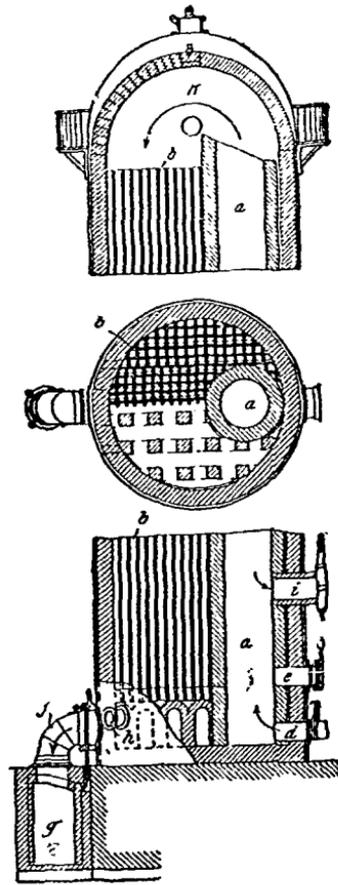


圖 123 顧伯式熱風爐

燃料，一日之所產出，不過數公鐵或數十公鐵而已。及使用焦煤，爐高增大，產出漸增。現今普通為數百公鐵爐，大者千公鐵之爐亦有之。

化鐵爐之大小，以每日所產銑鐵之量表示之，例如三百公鐵爐，即一晝夜產銑鐵三百公鐵之爐是也。

化鐵爐如圖一二四所示，a 部謂之爐床 (hearth)，b 部謂之爐腹 (bosh)，c 部謂之爐胸

(*air*)，爐胸之上部，謂之爐頂 (*throat*)。g 爲原料運搬箱，以傾斜式捲揚塔，搬之至爐頂。爐床上部之周圍，有數風口 (*chymere*) o，由圍繞爐下部之送風主管 o 分歧而來之送風支管 r，其末端 (即噴出口) 插入此中。風口爲青銅所製，中空，以水不斷的循環其中，使之冷卻。爐床上部及爐腹，爲極高之溫度所熾熱，設冷卻函數

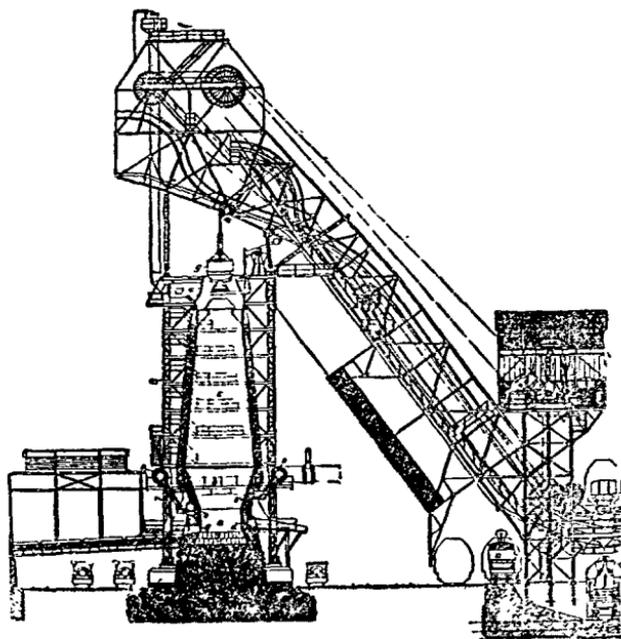


圖 124 化 鐵 爐

段於磚壁中，循環以水，以冷卻之。或此部覆以鐵板，由外以多量之水流過，以冷卻之。

由風口進入爐內之風，壓力 $0.4 \sim 0.7$ 氣壓，大者約一氣壓，且須以熱風爐 (Hot breeze) 熱之約達 $500 \sim 700$ 度。內爾孫氏最初使用熱風時，於以石炭為燃料之圓形磚爐內設鐵管，使化鐵爐所需要之風，通過其內而熱之，謂之鐵管式熱風爐。然此式鐵管破損甚易，且不能加熱至 5000 度以上，現今皆用磚式熱風爐。磚式熱風爐有二通式及三通式，現今所用者，以三通式為主。日本所用者，為二通式之顧伯式 (Copper type) 及三通式之馬克爾亞爾式。顧伯式如圖 1113 所示，a 為燃燒室，燃料化鐵爐氣由 d 進入，空氣由 e 進入，在燃燒室之下部相會而燃燒。燃燒成生之高熱氣體，上昇至 k 部，由 k 部折而下降，通過磚格子間，經過 f，入於煙道 g，以達煙突。如是者數十分鐘，俟磚被熱至高溫，閉氣瓣及空氣瓣，由 h 送冷風入爐中。冷風入爐內後，通過磚間，為所熾熱，成為熱風，上昇由 i 進入化鐵爐之送風主管中。

馬克爾亞爾式，如圖 1115 所示，化鐵爐氣及空氣，會於中央之燃燒室而燃燒。燃燒成生之氣體，上昇至頂部，由外側之磚間下降，再由最外側之通路上昇。由煙突放出於外。爐被充分加熱後，由送

風機 (Coke) 送來之冷風，由煙突下部，進入爐內，與前相反，由外側之通路下降，上昇入內側之磚間，再由中央之通路下降，進入化鐵爐之送風主管中。熱風爐，化鐵爐一座，須設三至四座，一方以熱冷風時，他方以化鐵爐氣熱之，各瓣適當開閉，交替以熱冷風。

冷風在熱風爐內加熱後，進入送風主管，由送風主管進入爐腹上部周圍之圍繞管內，由此分配於各風口。

化鐵爐開始使用，謂之開爐 (Coke-tri)。開爐以前，須充分乾燥之。開爐時，先送入焦煤及石灰石，送風入內，次裝入鑄滓而工作；再次稍裝入鑛石，漸增其量，以達於普通之工作狀態。裝入物之裝

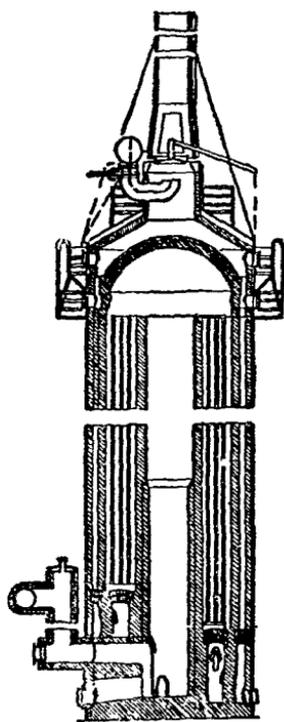


圖 125 馬克爾亞式熱風爐

入，鑛石、煤熔劑石灰石、焦煤，交互裝入之。焦煤之使用量，大致銑鐵一公噸，需一公噸內外。石灰石之使用量，因鑛石及焦炭灰之成分而異，大致為鑛石之 20 ~ 30 %。

熱風由風口入爐內，以急速度燃燒燃料。風口之前面，發生一、六〇〇度以上之高溫。燃料在此部分燃燒，成生碳酸氣。此碳酸氣觸白熱之焦煤，即還元而為一氧化碳。故風口之前面，為氧化域，稍遠則碳酸氣消失，全變為一氧化碳，成還元域。一氧化碳由爐床上昇，熱鑛石使之還元。爐胸下部，溫度約九百度，鑛石至此，殆為所還元。爐腹，已還元之鐵，由此吸收碳。再下部，矽、錳、磷等還元而入於鐵之中。一方鑛石中之矽酸、礬土、石灰，焦煤中之灰分，煤熔劑之石灰分，則化合而成鑛滓（即鏝），於風口之上部熔融，與銑鐵一同流淌於爐床之上。又焦煤之一部，落於爐床之上，在此猶行還元作用焉。

爐床為蓄積銑鐵及鑛滓之處。鑛滓，俟其增高，達鑛滓流出口 (slag notch) 時，開鑛滓流出口，使之流出。銑鐵則保留於爐床，俟達預定之出銑量，然後使之流出。

罐爐而去之化鐵爐氣 (blast furnace gas)，尚含有多量之一氧化碳，可以為燃料及動力，

充分使用之法，由爐頂以鐵管導之入除塵室，除去其中煙塵之大部分，以供熱風爐冷風加熱之用。所餘以供其他種種加熱之用，或再加洗滌，以供煤氣機關之用。其成分大致如次：

一氧化碳	23 ~ 30. %	碳酸氣	6 ~ 12 %
氮	60 %	氫	20 %
甲烷	1 %	水分	6 %
一立方呎之熱量，700 ~ 1000 卡。			

此氣體，焦煤裝入一公鐵，發生約四、五〇〇立方呎，此中 30 ~ 40 % 用於熱風爐之冷風加熱，所餘 60 ~ 70 % 可以供其他之用途。

熔銑蓄積於爐床後，開爐底之出銑口 (iron notch) 以流出之出銑回數，一晝夜 6 ~ 8 回。出銑前，於爐前鋪有細川砂之砂場上，作多數海參型之鑄型，使熔銑流入其中，成海參銑鐵。若不欲砂附着於銑鐵上，可設鑄銑機 (pig-casting machine)，注之入鑄鐵製之相連續之型內。又熔銑如以供製鋼之用，則使流入取鍋 (ladle) 之內，連搬之注入混銑爐 (mixer) 中。

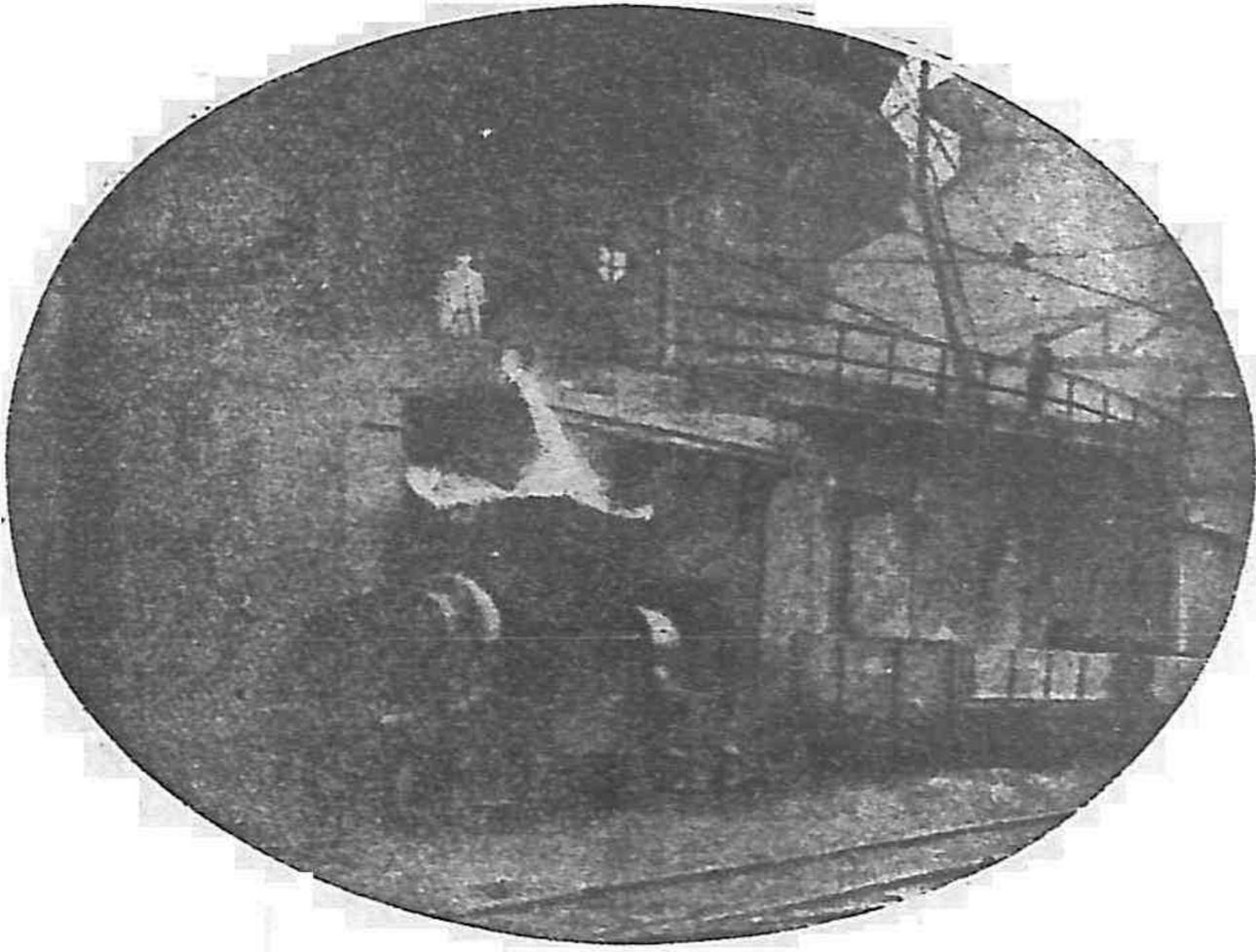


圖 126 由化鐵爐流出之熔銑，使流入取鍋，運搬之至供軋爐。

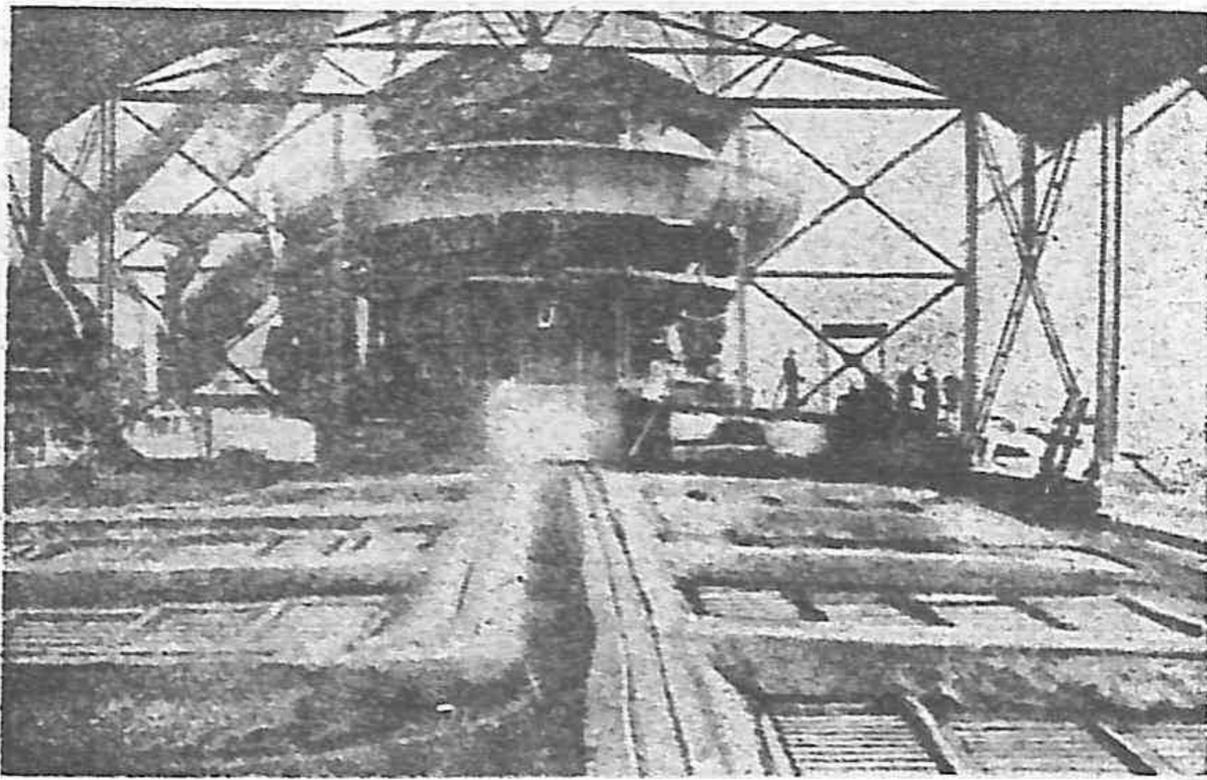


圖 127 化鐵爐熔銑流出作業

中部爲化鐵爐之下部，熔銑正由爐流至前方之砂場，入於多數海參型之內。

普通化鐵爐所製之銑鐵，為鑄物用銑鐵 (foundry pig iron) 及鹽基性銑鐵 (basic pig iron)。前者以供鑄物之用，砂分多，黑鉛之組織，甚為發達。後者以供鹽基性製鋼爐製鋼之用，砂分在 1% 以下，錳分在 1% 以上。

以化鐵爐製鍊此等銑鐵時，熱風之溫度，燃料之裝入比率，石灰石之裝入比率等，須適當加減之。又鑛石之種類、性質及大小，於此亦有影響。

銑鐵可切斷，依其破面粉之大小，色之濃淡，及黑鉛發達之狀態等，區分之為數種。粒發達，色黑，黑鉛發達者，為一號銑，其低度者，依次分為二號、三號、四號等。然此方法往往發生錯誤，近來由化學分析以區分之。

表十三 各種銑鐵成分

種	類全碳素	磷	錳	矽	錳	燐	硫	黃	銅
漢陽銑鐵一號	3.00	0.04	0.06	1.15	—	0.12	0.010	—	—
漢陽銑鐵二號	2.5	0.03	0.07	1.05	0.050	0.14	0.010	—	—

漢陽鐵鐵三號	一·三二	二·五九	〇·二三	三·〇	〇·八〇	〇·八	〇·〇一〇	—
本溪湖鐵鐵林號	三·〇	—	—	三·三二	〇·三〇	〇·〇五	〇·〇〇五	—
本溪湖鐵鐵一號	三·四	三·四	〇·三二	三·六	〇·三〇	〇·〇八	〇·〇一〇	—
本溪湖鐵鐵二號	三·四	三·〇	〇·三七	三·五	〇·一〇	〇·〇五	〇·〇一五	—
本溪湖鐵鐵三號	三·一〇	二·一〇	一·〇〇	二·〇〇	〇·二〇	〇·〇五	〇·一〇	〇·〇一五
鞍山鐵鐵一號	三·二五	—	—	三·五	〇·一五	〇·〇三	〇·〇一〇	—
鞍山鐵鐵三號	三·八五	—	—	三·〇	〇·一〇	〇·〇六以下	〇·一〇〇	—
勒德加鐵鐵一號	三·〇	—	—	三·三	〇·四〇	一·五	〇·〇五	—
勒德加鐵鐵三號	三·三	—	〇·三	一·五	〇·五〇	一·六	〇·〇五	—
低磷鐵鐵一號	四·〇	三·〇	〇·五	二·五	一·〇〇	〇·〇五	〇·〇一〇	〇·〇〇五
低磷鐵鐵二號	三·七	三·五	〇·六	二·三	一·〇〇	〇·〇五	〇·〇一〇	〇·〇〇五
低磷鐵鐵三號	三·七	三·五	三·一五	二·〇〇	一·〇〇	〇·〇五	〇·〇一〇	〇·〇〇五
低磷鐵鐵白銑	三·二五	痕跡	〇·〇〇	〇·五	〇·五〇	〇·〇五	〇·〇一〇	〇·〇〇五
克利威爾鐵鐵	三·三	三·六	—	二·六	〇·二〇	一·六	〇·〇五	—

瑞典木炭鉄鐵	—	—	—	0.10	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	—
印度塔塔鉄鐵一號	≡.10	—	—	11.00	1.10	0.05	0.05	0.05	0.05	—
印度塔塔鉄鐵三號	≡.50	—	—	11.10	1.10	0.05	0.05	0.05	0.05	—
孟加拉鉄鐵一號	≡.90	—	—	11.10	0.50	0.05	0.05	0.05	0.05	—
孟加拉鉄鐵三號	≡.90	—	—	—	0.50	0.05	0.05	0.05	0.05	—

由化鐵爐流出之鑛滓，可用以製造鑛滓磚 (slag brick)。此磚色白，較之赤磚，雖嫌稍重，然有不吸收水分之優點。又熔融之鑛滓，噴以蒸氣，使成鑛滓綿 (slag wool)，可供保溫劑之用。鑛滓急冷卻之，稍混以人造水泥，可製為鑛滓水泥 (slag cement)。

焦煤及焦煤爐 (coke oven) 黏結性之石炭，以高溫度乾溜之，揮發分失，即成焦煤。化鐵爐用之焦煤，須有相當之強度，不致在爐中粉碎，且須不甚緻密，有 40~50% 之有孔率，方為佳良。

製造焦煤之爐，謂之焦煤爐。此爐有採收副產物與不採收副產物之二種，現今所用者，殆全為副產物採收爐。副產物採收爐又有水平煙道式 (horizontal flue system) 及垂直煙道式 (ver-

tical flue system) 一般所用者爲後者。圖一二九所示，爲科巴斯焦煤爐 (Koppers coke oven) 此爐爲垂直煙道式爐，石炭乾溜室，寬僅五五〇耗，兩側有多數之垂直煙道，以爲加熱於石炭之用。乾溜室下，有蓄熱室二，以爲預熱空氣之用。空氣在某側之蓄熱室，今假定在右側之蓄熱室爲所預熱後，在

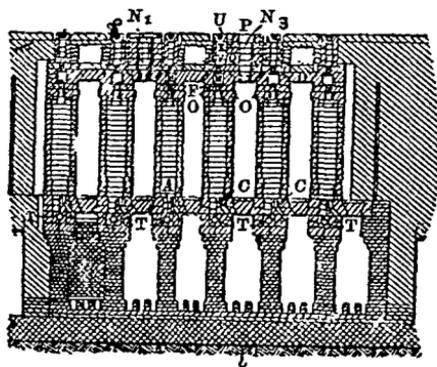
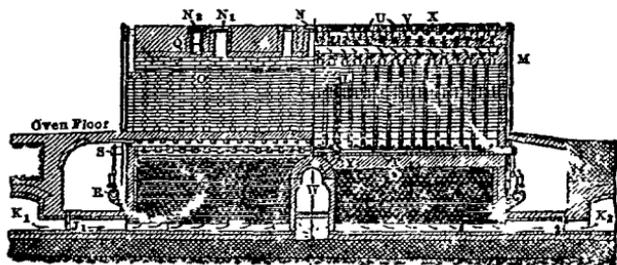


圖 128 科巴斯式焦煤爐

(上)縱斷面圖 上部爲焦煤製造室，下部爲蓄熱室。(下)橫斷面圖

右半數垂直煙道之下，與煤氣相會而燃燒，燃燒之氣體，集於上部之共通煙道，由此折而降入左側半數之垂直煙道，通過左側之蓄熱室而熱之，由煙道以入煙突。如上者約三十分鐘，次空氣在左側之蓄熱室為所預熱，在左半數垂直煙道之下部，與煤氣相會而燃燒，燃燒之氣體，降入右側之垂直煙道，進入右側之蓄熱室內。左右之蓄熱室，如上交替使用之。

新式之科巴斯式爐，石炭乾溜室之寬度更小，且爐經改造，加熱更為均一，製造焦煤所需時間，大為減縮，只需 12~13 點鐘。舊式者，則需三十點鐘。焦煤爐成生之乾溜煤氣，導入副產物工場冷卻之，以採收其中之煤焦油，又以製造硫酸銨，採收苯等。最後殘餘之煤氣，所含熱量極多，其半以供焦煤爐加熱之用，所餘以供加熱、動力、點燈等之用。

第四節 鍊鐵及鍊鋼之製造法

鍊鐵為含碳極少之鐵，適於鍛接之用，又用於易生銹之處。鍊鋼，碳之含有量，在 0.5% 以上，在水中急冷卻中，則硬度增大，古來以供刃物之製造。

鍊鐵及鍊鋼，製鍊之際，均溫度不高，未達熔融之狀態，故鐵滓未能分離，猶存在於其中。

鍊鐵之製法 有直接法 (direct process) 與間接法 (indirect process) 之別，直接法為

由鑛石直接製鍊鐵之法，間接法為由鑛石製銑鐵，再由銑鐵製鍊鐵之法。直接法稱為加塔刺製鐵法 (Catalan Forge)，裝木炭及鑛石於小火窪之內，使鑛石遠元以製之。間接法有用木炭之方法及下述之攪鍊法，前者於火窪內，以木炭熔融銑鐵以製之，謂之木炭鐵 (charcoal iron)，為極良好之鍊鐵及鍊鋼，所謂瑞典鐵 (Sweden iron)，即此是也。瑞典木炭鐵之成分如次：

碳	〇・二七%	錳	痕跡
磷	〇・〇二%	硫黃	〇・〇四%
		銅	—
		砂	〇・〇七%

攪鍊法 (puddle process)

此法為十八世紀之終，亨利・科兒特氏所發明，為用反射爐，以

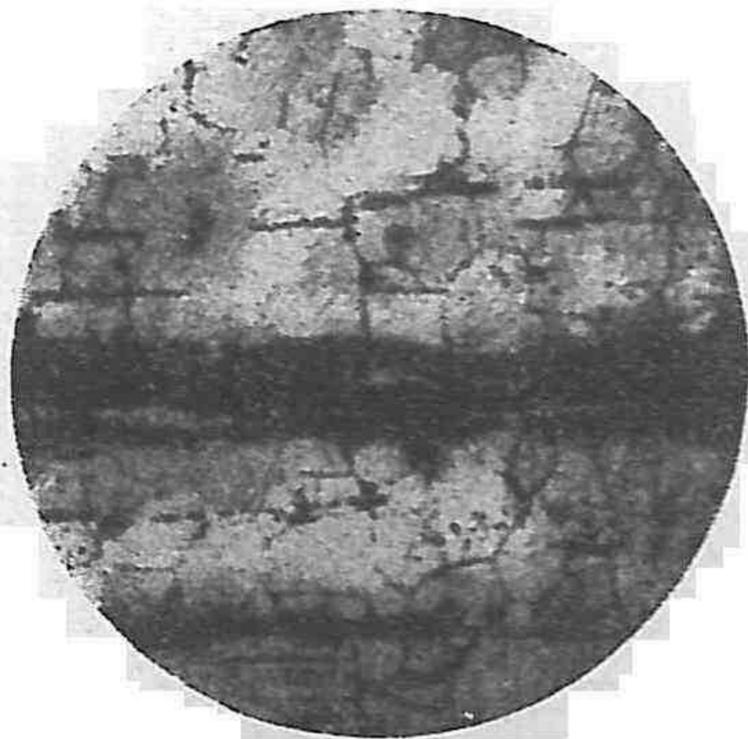


圖 129 鍊鐵組織
網狀者為純鐵之粒，黑色層狀者為鐵滓。

石炭爲燃料，熔融銑鐵，以製鍊鐵及鍊鋼之法。

工作之法，先充分熱爐，裝銑鐵於爐床上，其上再加錐滓鐵肌 (scum) 而熱之，則銑鐵熔融，其中之磷、錳、矽等，爲火焰及鐵滓中之氧化鐵所氧化而除去。就中碳成生一氧化碳，大行沸騰，由爐戶之小孔以棒攪拌之，使銑鐵與鐵滓相接觸，促進除碳之作用。如上工作，碳漸被除去，鐵漸帶不易熔融之性質，成半流動之狀態，由爐

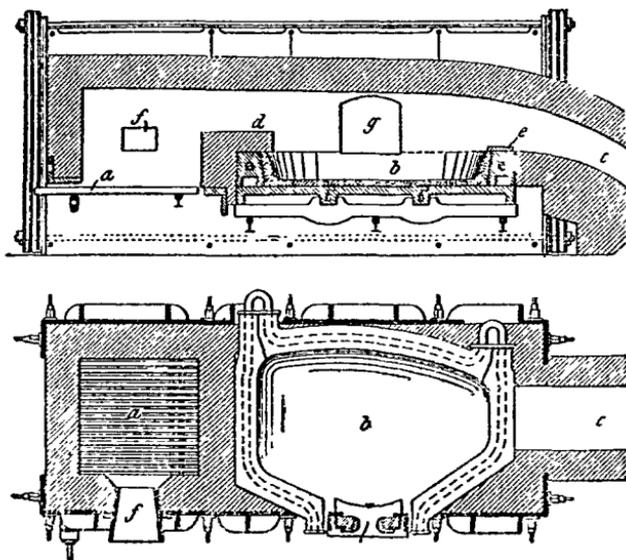


圖 130 提煉爐 (puddle furnace)

取出，以蒸氣錘打延之，或以絞榨機壓延機充分絞出其中之鐵滓，使成帶形鐵。若干之帶形鐵，一同加熱後，以壓延機製之爲板棒或其他之製品。製造鍊鋼時，除碳作用，於途中停止，燃料之使用量，略同鍊鐵。

第五節 鋼之製造法

(1) 坩堝製鋼法 (Crucible process)

以坩堝熔製之鋼，謂之坩堝鋼，此法爲一七四〇年英國設斐爾德市鐘表商洪滋曼 (Huntley man) 氏爲欲製精良之發條所發明。蓋當時鐘表之發條，爲鍊鋼所製，性質既惡，且不均一，該氏欲改良其性質，於坩堝內熔融之，去其鐵滓，遂得品質均一之鋼。後此法使用漸廣，雖他種製鋼法發明，其應用之範圍縮小，然今日製造最優良之鋼，猶非此法不可也。

坩堝製鋼法之目的，在裝原料於坩堝中，僅熔融之即成所希望之成分之鋼，以不起化學反應爲原則。碳含有量過少之鋼之製造不適當，只適於碳含有量〇·四%以上之鋼之製造。故所用之

原料，亦須含有相當之碳、硫、黃、磷等之含有須極少。例如瑞典產之木炭鍊鐵，以滲碳法增加其含碳量，所成之滲碳鋼，熔融之可製成極良好之鋼是也。又碳含有最低之純良鍊鐵，以爲原料時，須加入低磷銑鐵及木炭等而熔融之。

坩堝製鋼法用於特殊鋼之製造，例如極良好之鋼，高速度鋼之製造用之，是也。

此法所用之坩堝，有黑鉛坩堝 (graphite crucible) 與黏土坩堝 (clay crucible) 之二種。前者主用於美國，後者主用於歐洲。

黑鉛坩堝可耐高溫度，然熔鋼中有碳混入之缺點。忌碳混入時，其內塗以耐火黏土而使用之。黏土坩堝易於破壞，價亦不及黑鉛坩堝之廉。

黑鉛坩堝之製造，混合燒粉（耐火黏土燒成之粉）生黏土及黑鉛，調勻之以水，以坩堝成形機製造之。黏土坩堝以不純物含量少耐火度高之黏土製造之。製成之坩堝，於空氣中充分乾燥之後，徐徐加熱之。

此法所用之坩堝爐 (crucible furnace)，燃料有用焦煤者，有用煤氣者。前者爲有火格子之

耐火磚爐，自然通風以行燃燒，適於小規模之使用。燃料使用量，鋼一公噸約需 1000 公噸。後者與製鋼爐即平爐同，有蓄熱室，所需空氣及煤氣，預行熱之，坩堝可裝入數十，煤氣主用發生爐煤氣。燃料石炭之使用量，鋼一公噸約需一公噸。

工作時，坩堝預熱至赤熱，裝入原料，以蓋密閉之，裝入坩堝爐內，坩堝在爐內，不久即起沸騰作用，俟其稍靜，以鐵棒插入，視其容易達到坩堝之底與否，並檢查其上附着之鋼粒及鐵滓。如鐵滓之色淡，殆無鋼粒附着，是即坩堝內鋼已充分熔融之證。鋼既充分熔融，坩堝尙暫時靜置爐內，使熔鋼中含有之氣體發散，鐵滓充分與熔鋼分離，謂之沈靜 (Killing)。沈靜後，由爐內取出坩堝，其中之熔融鋼，注入取鍋，由取鍋注入鑄型，使成鋼塊。

坩堝製鋼法不似他種製鋼法，熔鋼有受煤氣之影響之虞，原料苟經精選，製出之鋼之良好，其

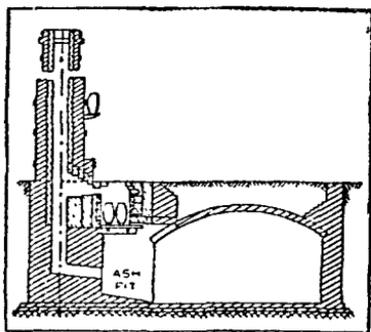


圖 131 坩 堝 爐

他無論何種製鋼法，皆對之有遜色。然燃料之使用量多，坩堝之價不廉，製造費無論與何種製鋼法較，亦遠過之。

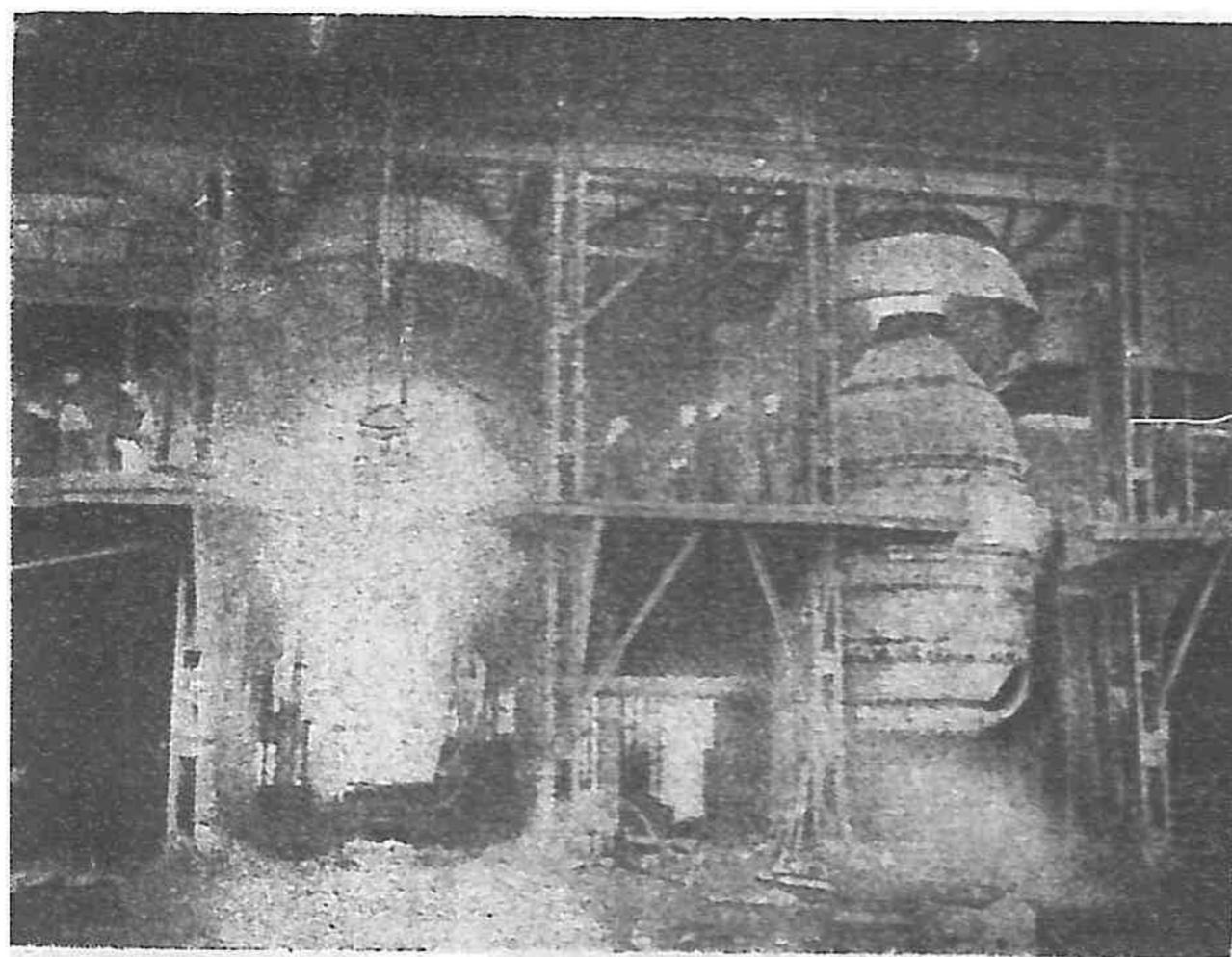
(二) 轉爐製鋼法 (Bessemer Process)

坩堝製鋼法需多額之製造費，在尙無廉價之方法以代之時，柏塞麥 (Sir Henry Bessemer) 氏 (一八五五年) 發明吹空氣於熔融鐵以製鋼之法，曾得特許。然最初此法所製之鋼，因殆不含碳，且氣孔甚多，不適於工業之用，一時僅以除去銑鐵中之碳及矽，熔鋼則注入水內破碎之，以爲坩堝鋼之原料。及後添加錳，添加碳，製造目的含碳量之鋼之法發明，製鋼費大爲低下，此法遂爲革命的大發明，予工業上以非常之影響，本編第一章已述之矣。

轉爐法，熔融之銑鐵中，吹入空氣，使其中之碳、矽等不純物燃燒，利用其所發生之熱以製鋼，不再使用燃料，不純物則成鐵滓，與鋼分離。最初柏塞麥氏之製鋼爐，悉內壁塗以酸性耐火爐材，稱爲酸性柏塞麥法，或單稱柏塞麥法。然此種爐，銑鐵中之磷分及硫黃分不能除去，原料銑鐵中之此等成分，須在〇·一%以下，故當時英、德等國，均不能不由外國輸入磷分少之鑛石，以製純良之銑鐵。

低磷銑鐵。及後研究除去磷分之法之結果，一八七八年托馬斯(S. Thomas)氏及義耳克里斯特(Lacey Gilchrist)氏發明爐之內壁，焙燒白雲石混以煤焦油以塗之，用多量之石灰石，使生鹽基性之鑛滓之法。此法謂之托馬斯製鋼法(Thomas Process)，或鹽基性柏塞麥製鋼法，不獨磷分可以除去，磷且成爲燃料，發生相當之效用。

此等製鋼法，雖不必另加燃料，然原料不可不選擇適當成分之銑鐵。酸性柏塞麥法，銑鐵中之矽分，至少須在0.6%以上，錳0.2~2.0%，磷須在0.1%以下。鹽基性柏塞



麥法，銑鐵中矽分之含有量須低，約
 〇・五%，磷因為主要之燃料，含有
 量須多，約 1.8~2.5%，錳約 1~2
 %。適於柏塞麥法之銑鐵，謂之柏塞
 麥銑鐵 (Bessemer pig iron)，適於
托馬斯法之銑鐵，謂之托馬斯銑鐵
 (Thomas pig iron)。

此等製鋼法使用之熔解爐，謂
 之轉爐 (converter)。其形狀如圖一
 三四所示，上部為裝入熔銑注出熔
 鋼之口，爐之中部，有鑄鋼製之環帶，
 環帶上有軸二，可迴轉於軸承上。一

第四章 鐵與鋼

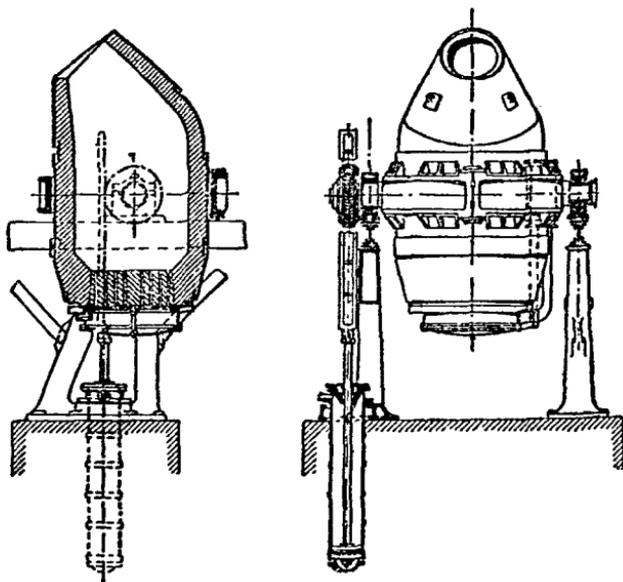


圖 133

轉 爐

方之軸上，裝有齒輪，爐之迴轉，由此齒輪與齒桿之機構行之。一方之軸中空，與送風管相連，風入爐底之風函後，由爐底數多之風口，進入爐內，平均分布於其內。爐底為最易被侵蝕之處，須預為容易更換之裝置。酸性轉爐用矽石磚，鹽基性轉爐用苦灰石。爐之大，由 5 公噸，此外又有所謂小型轉爐 (baby converter)，約 0.5 ~ 2.0 公噸。

爐之工作法，先傾斜之，注入熔銑於其內。此時爐成傾斜之形，風口無為熔銑所塞之虞。注入既終，送風入內，俟風壓充分加高後，使爐直立，則熔銑中之不純物，盛行氧化，爐之溫度，漸次加高。

酸性爐，爐熱尚未充分上昇時，矽及錳，先盛行燃燒。爐熱充分上昇後，碳方開始燃燒，此時焰高達數丈，極為壯觀。及碳漸次減少，焰亦漸小。及碳減少至約 0.1%，即停止送風。若猶繼續送風，則碳以外，鐵分亦氧化，遂成不良之鋼。此種適當時期之判斷，非極熟練者不為功，可不斷的以分光器觀測其焰以判斷之。

鹽基性爐之工作法，大致與上相同。惟溫度增高，碳燃燒盡後，尚含有多量之磷，須再繼續送風 3 ~ 4 分鐘，以充分除去之，謂之後鍊 (after blow)。如上精鍊之鋼，因含有多量之氧化鐵及氣體，

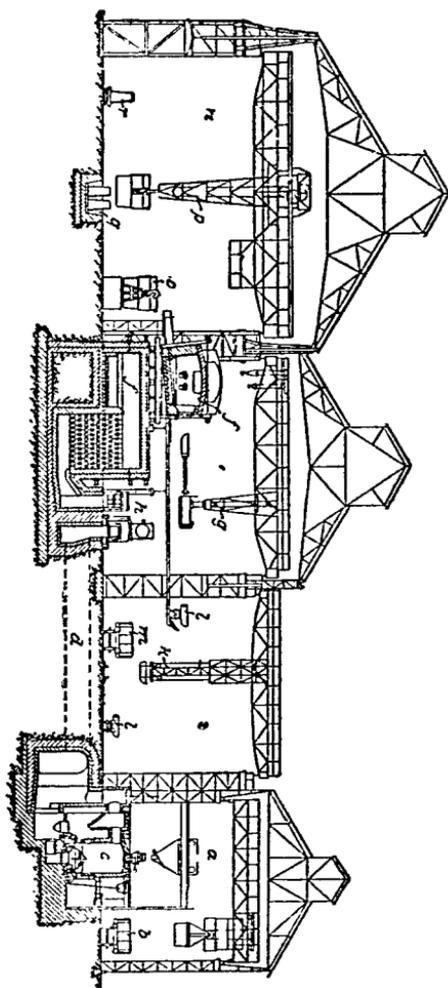
須加入錳鐵 (ferro-manganese) 及矽鐵 (ferro-silicon) 以除去之。又視目的如何，鋼中之碳，須增加之。此時以達維法 (Darby & Raurizi's Process) 投入焦煤粉或無煙炭粉於熔鋼中以增加之。鹽基性法，鋼滓中之磷分，達 15~25%，謂之托馬斯鋼滓 (Thomas slag)，良好之肥料也。磷分之過少者，裝入化鐵爐內，收回其磷分。鹽基性法最後添加錳鐵或以達維法添加添碳劑時，鋼滓中之磷分，有再入熔鋼中之虞，此等添加劑加入時，須注意使其不與鋼滓相接觸。由此以觀，鹽基性法適於含碳極少之極軟鋼之製造，酸性法適於高碳鋼之製造。如上精鍊之熔鋼，注入鑄鐵製之鑄型內，使成鋼塊。製鋼所需時間，約 10~30 分鐘。

(三) 平爐製鋼法 (西門子馬丁製鋼法) (Open hearth process or Siemens-Martin process)

柏塞麥製鋼法，原料僅用銑鐵，且有酸性法需磷分少之銑鐵，鹽基性法需磷分多之銑鐵之限制，磷分在一者之間之銑鐵，不能用以製鋼。為補此缺憾，西門子馬丁製鋼法，遂應運而生。

一八六一年，西門子 (Friedrich Siemens) 氏發明蓄熱爐，高溫度之發生成功。翌年，彼又發明

投鐵鑛石於熔融銑鐵中以製鋼之法。一八六四年，法國製鋼者馬丁 (Pierre Martin) 氏兄弟，使用西門子氏之蓄熱式爐，熔融銑鐵，層鐵 (scrap) 以製鋼，曾得特許。此等製鋼法，歐洲稱為西門子馬丁法，美國稱為平爐製爐法。



製鋼工廠 圖 184

此製鋼法所用之爐，稱爲西門子馬丁爐 (Siemens-Martin furnace)，或由其形狀，稱爲平爐 (open-hearth furnace)。平爐有固定式 (stationary type) 與傾動式 (tilting type) 之別。

圖一三五所示，爲固定式平爐。原料熔解室之下，有耐火磚格子之蓄熱室 e 及 f。爲煤氣蓄熱室，f 爲空氣蓄熱室。煤氣及空氣被熱至 1000~1100 度後，各由噴出口 c 及 d 進入熔解室，相混而燃燒，發生 1700~1800 度之高溫。燃燒後之氣體，由他方之煤氣及空氣噴出口，進入各蓄熱室，熱其磚格子，經過煤氣及空氣變更瓣，入於煙道，以達煙突。如是者約三十分鐘，次變更煤氣及空氣之方向，使煤氣及空氣通過與前反對之蓄熱室，熱之至高溫，使由與前反對之噴出口噴出而燃燒。燃燒後之氣體，由反對之噴出口，進入蓄熱室，通過其中熱之之後，由煤氣及空氣變更瓣出煙道，入於煙突之內。煤氣及空氣之變更，每隔三十分鐘行之。

平爐之熔解室，爲熔解原料之處。其前面有裝入窗，爲裝入原料於其內之處。熔鋼蓄積之處，謂之爐床，其長度及深度，最爲重要。長度過短時，氣體尙未充分燃燒，卽爲蓄熱室所吸收。深度過深時，氧化作用遲緩，製鋼需時甚多。爐之大，約 2500 公斡，特種者 2500 公斡之大爐亦有之。

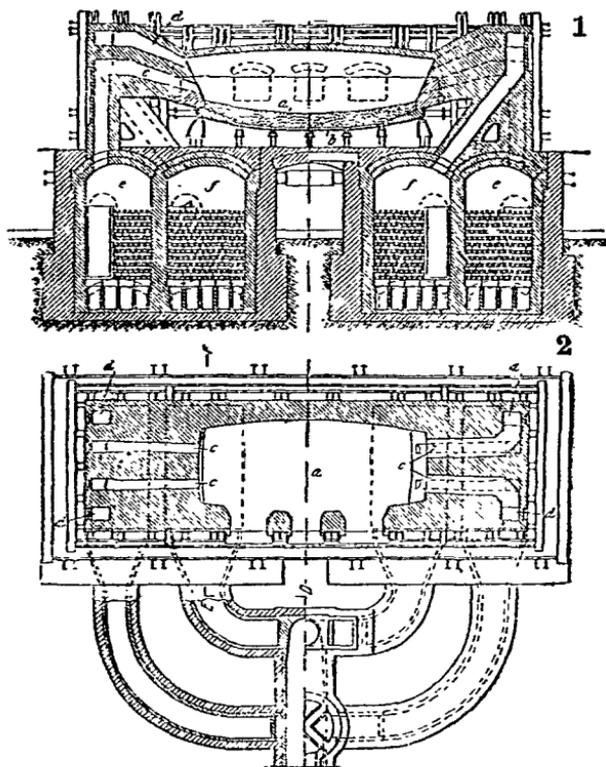


圖 185 平爐 (1) 正面圖 (2) 平面圖

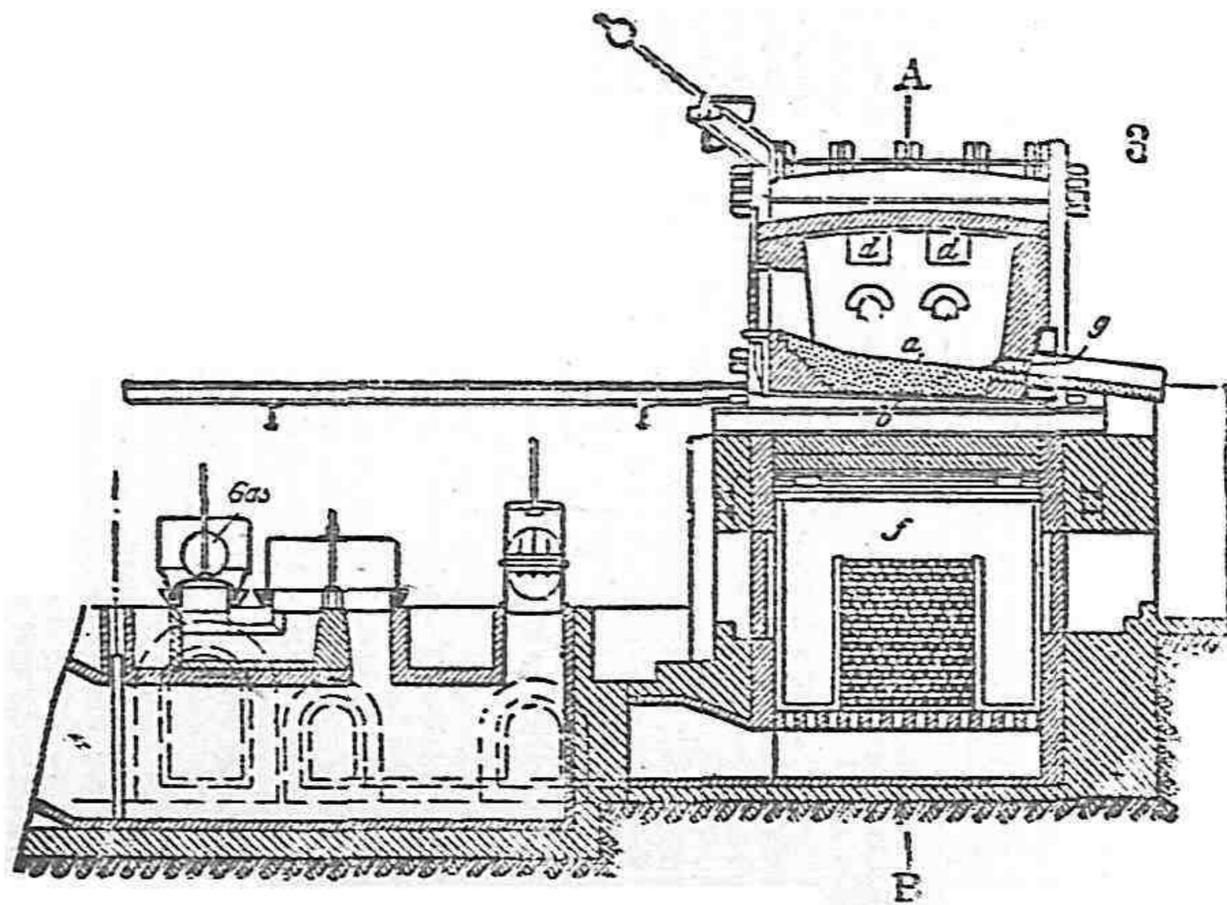


圖 135 平 爐 (3) 側面圖

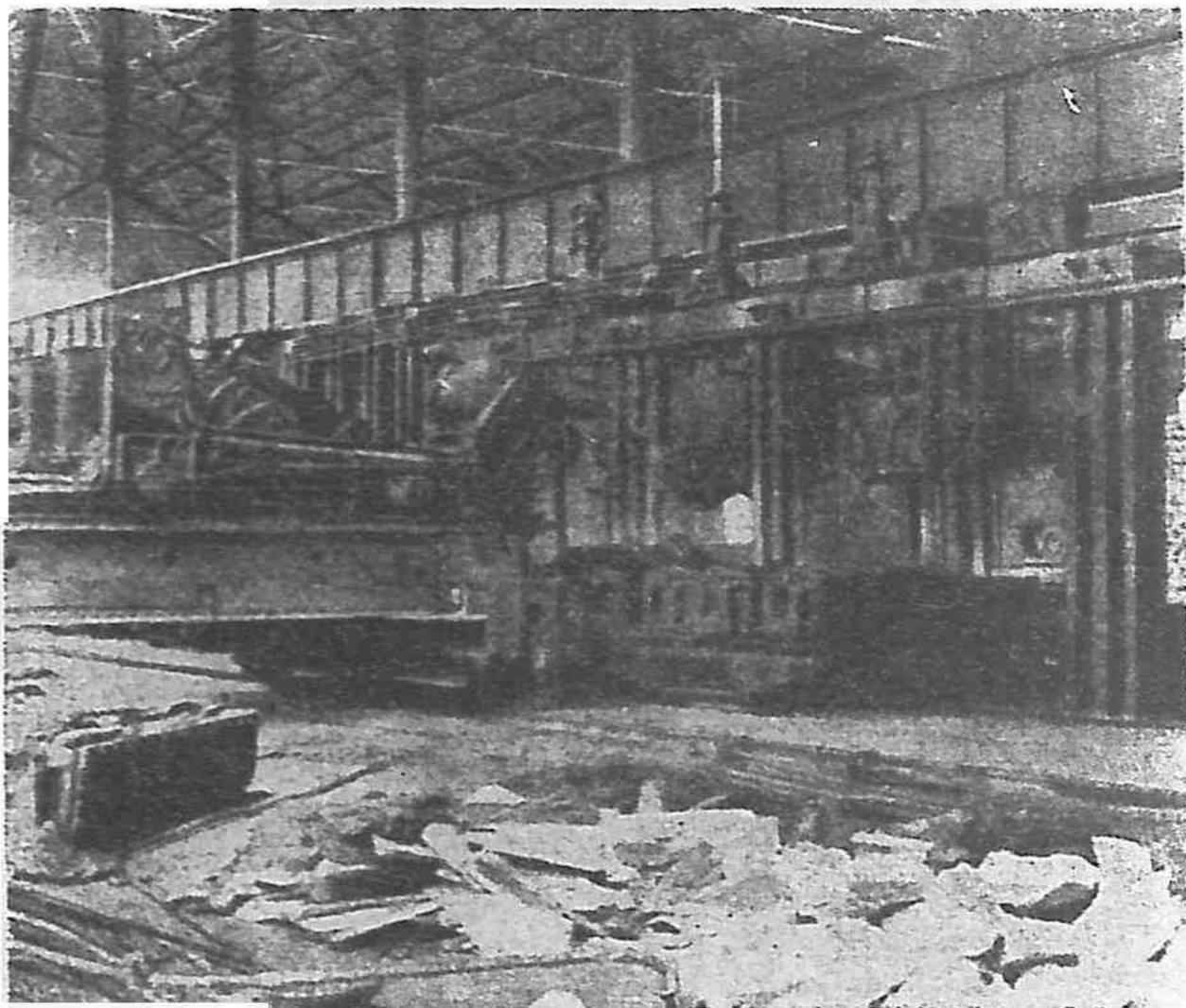


圖 136 平 爐 及 裝 入 機

立北平圖書館藏

平爐所用之燃料，以發生爐煤氣 (producer gas) 為主。發生爐 (producer) 如圖一三七所示，外皮爲鐵板，內側疊耐火磚以築之，內徑 2.5 ~ 3.0 呎，高約四呎。爐之中心，下部有火床 (grate)，送入之風，平均分布於爐內。爐之上部，有裝入石炭之裝置。發生之煤氣，由上部之煤氣出口，入於煤氣主管之內。爐內大體由三層而成：上層爲乾溜石炭之層；其下爲赤熱層，空氣由下方進入，石炭在此燃燒，爲溫度最高之處；最下層爲灰層。裝入之石炭，在上層乾溜，發生揮發物。在赤熱層燃燒，發生高溫。此時發生之碳酸氣，觸赤熱之石炭，遂還元而成一氧化碳。

發生爐若僅送入空氣，所發生之煤氣，稱爲空氣煤氣 (air gas)，主爲一氧化碳、碳酸氣及氮所成。此時赤熱層之溫度，非常之高，石炭之灰分，爲所熔融，黏着而生灰滓 (clinker)，工作陷於困難。然若水蒸汽與空氣一同送入，則水蒸汽觸赤熱之石炭，分解成爲氫氣及一氧化碳，其反應爲吸熱反應，爐之溫度，可爲之低下。此種除空氣外，又送入水蒸汽，所發生之煤氣，謂之半水性煤氣 (semi-water gas)。製鋼所用之煤氣，皆此種煤氣也。其成分如次：

一氧化碳

23 ~ 30 %

碳酸氣

2 ~ 5 %

氫	10~13 %	甲烷	2~3.5 %
氧	0.1~0.5 %	氮其他	
熱量，每立方呎	1400~1500 卡。		

使用之石炭，黏結性強者，不易使用。灰分少者，工作既易，又可得良好之煤氣。又灰熔融點高者，不生灰滓，工作較易。送風除用蒸汽注射器 (steam injector) 外，又並用送風機。煤氣發生量，石炭一甓，可得三·五立方呎。

日本之製鋼用發生爐，多遜式 (Dowson type)、刻爾白里式 (Kerpelly type) 最多。其他威爾曼式、伍德式 (Wood type) 等之全機械發生爐，亦使用之。全機械發生爐，石炭之裝入、攪拌、除灰等，全以機械行之，既省勞力，爐之能力亦大。

圖一三七所示，即刻爾白里式發生爐。爐底由水盤及火床而成，徐徐迴轉，水盤中之灰，自動的被扒出。

平爐製鋼法亦有酸性法及鹽基性法二種，酸性法，爐床以酸性物質作之，鹽基性法，爐床以鹽

基性物質作之。更詳言之：酸性法，爐床疊砂石磚以築之，其上以細砂石與極少量之黏土相混以搗固之，乾燥後，加熱熱之，至熔着為止。鹽基性法，爐床疊菱苦土石磚以築之，其上以白雲石與煤焦油相混以搗固之，乾燥後，加熱熔着之。

裝入原料，普通為銑鐵及屑鐵。銑鐵

三〇%。屑鐵七〇%，工作最易。此法謂之銑鐵屑鐵法 (pig and scrap process)。此外又有所謂鑛石法 (ore process)，裝入原料，以銑鐵為主，屑鐵 10~20%，又裝入多量之鑛石。銑鐵普通裝入冷銑，然有化鐵爐設備之工場，則使用熔銑。使用熔銑時，由化鐵爐流出之熔銑，先蓄積之於混銑爐 (mixer)，然後裝入平爐之中。

原料之裝入，小爐為手裝入，大爐用裝入機。

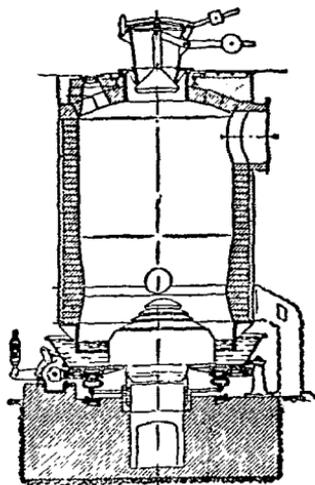


圖 137 刻爾白里式發生爐

裝入物熔解，砂及錳先燃燒，及溫度增高，碳遂燃燒。熔鋼中時時投入氧化劑鐵礦石，使生富於氧化力之鋼滓。此鋼滓氧化，發生一氧化碳而沸騰。碳既燃燒，燐亦燃燒。視熔鋼成分之變化及鋼滓之狀態，投入相當之石灰石。原料中之不純物，如上燃燒除去，至碳約低下至 0.1%，停止工作。此時普通之銹鐵，燐殆全已氧化。然同時熔鋼中多少生成氧化鐵，有害於鋼之性質，須加入錳鐵以除去之，然後由爐取出熔鋼。製鋼作業中，時時汲出熔鋼，鑄入小鐵鑄型之內，視其發散之火花及冷卻時鑄引之狀態。又於水中急冷而切斷之，驗其破面，以判斷碳之含有量。並以迅速之化學分析法，精確決定碳之含有量。

若製造硬鋼 (hard steel)，須行增碳。增碳劑用鏡鐵，或以達維法加入焦煤粉於取鍋中。鹽基性法，增碳之際，須充分注意。蓋一旦除去之燐，有再逆入鋼中之虞故也。是以鹽基性法，不適於硬鋼之製造，只適於軟鋼 (mild or soft steel) 之製造。

酸性法，脫硫、脫磷等，均不可能，原料須用此等不純物含有量少，極為純良之銹鐵。工作時不似鹽基性法之起強烈反應，徐徐精鍊，可製成甚良好之鋼。裝甲板以及大礮所用良質之鋼之製造，均

用此法，所不待言。鋼中添加鎳鉻時，投入金屬鎳或鉻鐵（ferro-chrome）於爐中以行之。鎳或於工業之始投入，或與鉻鐵同時投入。鉻鐵於鋼完工添加錳鐵後投入之。

鹽基性法，脫硫、脫磷，均屬可能，原料可用廉價之銑鐵。又可作氧化力強之鋼滓，以急速精鍊，作業所需時間，遠較酸性法為短，所需燃料亦少。二十五公噸爐，普通製鋼所需時間，約 90 ~ 100 點鐘。

燃料使用量，鋼每公噸需 $400 \sim 500$ 呎；爐之大達六〇公噸，每公噸可減少至三〇〇呎以下。使用銑鐵，碳砂之含有愈少，所需時間愈短，故化鐵爐又特製砂一%以下，錳一%以上之鹽基性銑鐵，以供製鋼之用。由化鐵爐流出之熔銑，先蓄積之於混銑爐中。混銑爐之形狀，與迴轉式平爐相酷似，僅蓄積熔銑之爐床，遠較平爐為深。爐之大，普通 300 ~ 500 公噸。混銑爐第一之目的，在混合多種之熔銑，使成同一之成分，以便於製鋼。蓋由化鐵爐流出之熔銑，有時其成分未能同一，不如此，製鋼作業上，發生種種之障害故也。第二之目的，熔銑久置混銑爐中，銑鐵中之硫黃分與錳分化合，成為硫化錳，浮於熔銑之表面，進入鋼滓中，可稍行脫硫之作用。第三之目的，在混銑爐中行預備精鍊，使碳、磷等燃燒，碳約使減少至二%，由此可以補助製鋼作用，縮短製鋼時間。

特殊之製鋼法，有所謂塔爾玻特製鋼法 (Talbot process)。此法使用傾動式平爐，精鍊之鋼，不全部流出，約留其半於爐內，加以鐵鑛石，使生反應力極富之鋼滓，裝入熔銑，使速行氧化作用，於短時間之內，製出多量之鋼。此種作業，約一星期連續行之，最後鋼全體流出，爐修理後，又開始下屆之工作。爐之大，大抵為二五〇公噸，爐床與鹽基性平爐之爐床相同。工作法，除留一部分鋼於爐內，使生富於氧化力之鋼滓外，與

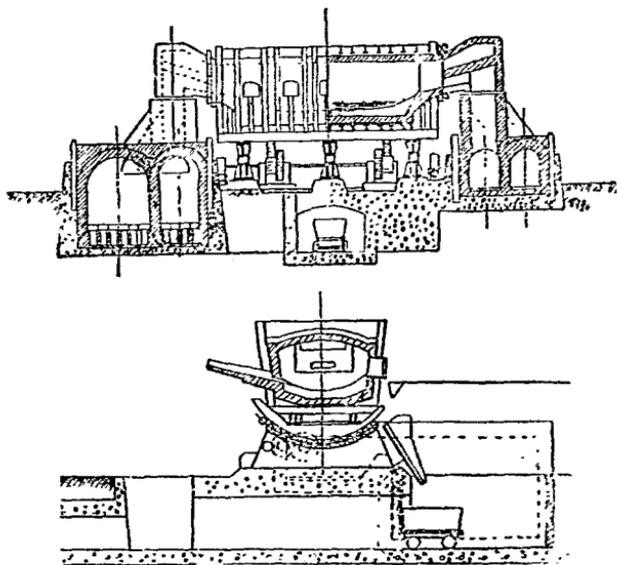


圖 138 塔爾玻特製鋼爐 (上)正面圖 (下)側面圖

鹽基性平爐法同。

(四) 電氣製鋼法

歐洲大戰以來，電氣爐盛用於鋼之製造，主使用於特殊鋼、高速度鋼、刃物鋼、合金鐵類等之製造，其他鋼鑄物、可鍛鑄物之製造等亦用之。

製鋼所用之電氣爐，可大別之爲電弧式電氣爐 (arc furnace) 及誘導式電氣爐 (induction furnace) 二種。前者使用最多，普通使碳電極之端，發生弧光，由其高熱以加熱於鋼。後者不用電極，應用變壓器 (transformer) 之型，被熔融之金屬，與變壓器之二次輸線相當，以爲所誘導之強電流熱之。

電弧式電氣爐 電弧式電氣爐內，使用最多者爲耶魯式、吉洛式等。此等爐，被熱之金屬與電極之間，使生電弧，爲電弧直接與金屬接觸之爐，此外電極相互之間，使生弧光，以此弧光之放射熱，間接加熱於金屬之爐，有斯塔薩諾式等。

斯塔薩諾式電氣爐 (Stasano electric furnace) 爐爲圓形或橢圓形。由爐壁插入電極

三個，使發生電弧。以 3000 ~ 3500 度之高溫之弧光放射之熱，熔融製鍊裝入物。爐有固定及傾動二式。

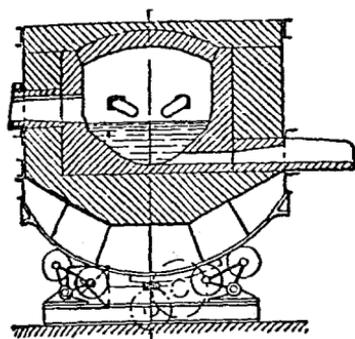


圖 139 斯塔薩諾式電氣爐

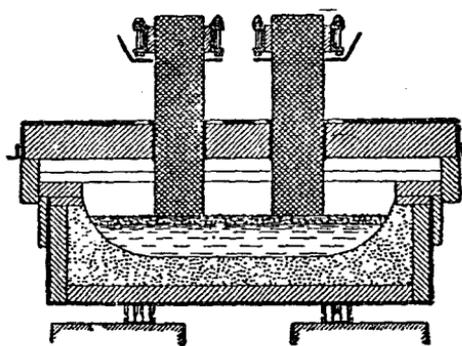


圖 140 耶魯式電氣爐

耶魯式電氣爐 (Heroult electric furnace)

普通由爐頂垂直插入電極二個或三個於爐內，爐頂有自動上下之裝置。於電極與熔鋼之間，發生電弧，以熱熔鋼。電流普通由電極流入金屬，通過熔體，傳入他電極，離爐而去。

吉洛式電氣爐 (Jind electric furnace)

電極一個或數個，由爐頂插入爐內，爐底埋有數個鐵製之電極。電流通過上方之電極與爐底之間，平均加熱於熔鋼全體。

此外電弧式之製鋼用電氣爐，尚有種種，然均上述耶魯式、吉洛式之電氣的改造者，構造大同而小異。

上述電氣爐之容量 (capacity)，小者自一公噸起，大者有三〇公噸以上之鋼一次製鍊之者。

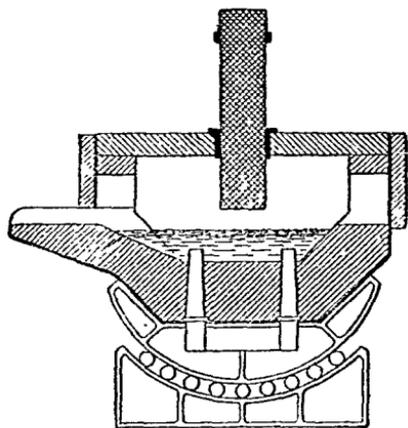


圖 141 吉洛式電氣爐

電流皆通用單相或三相交流，先以變壓器大致低下之為 110 ~ 70 弗之電壓，使與電氣爐之電極相聯絡。耶魯式爐，變壓器之容量，二公鐵爐六〇〇千弗安，六公鐵爐一、二〇〇千弗安。

誘導式電氣爐 此中使用最多者，為洛希林洛登浩左式。

洛希林·洛登浩左式電氣爐 (Roehling-Rodenhauser electric furnace) 此爐除誘導式電氣爐固有之環狀熔解溝 a 外，又有廣闊之熔解室 d。與變壓器鐵心相當之 b 之周圍，有與一次線輪相當之銅絲線輪 c。通以交流，則環狀溝中之鋼中，生極大之誘導電流，鋼為所熱而熔融。又線輪 c 之外，尚有第二線輪，此中誘導之電流，連結之於爐壁白雲石中所埋之銅板 e，電流因通過

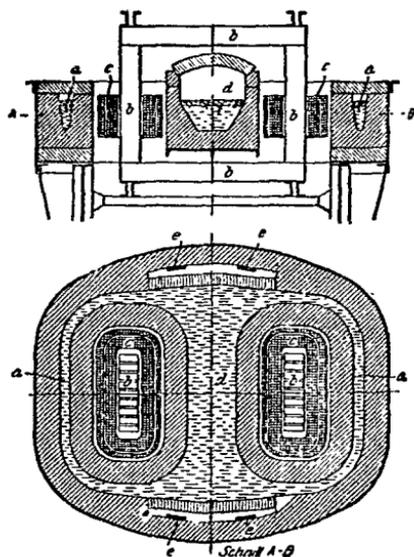


圖 142 洛登浩左式電氣爐

d 部之熔鋼而達於鋼板之電極間，可助加熱作用，增進爐之能率。使用三相交流時，設環狀溝三。此電氣爐之熱，全為電流之熱，故不能如電弧式電氣爐之發生極高之溫度。

電氣製鋼爐亦有酸性爐與鹽基性爐之別。酸性爐爐床以酸性耐火物搗固之，鹽基性爐爐床以鹽基性耐火物白雲石等搗固之。製鋼之原料，多用機械工場鐵鋼之削屑、斷片等。又有與平爐、轉爐聯絡工作，平爐、轉爐製鍊方半之熔鋼，流入大型之電氣爐內，以充分精製之者。鹽基性爐之工作，脫磷、脫硫兩作用，甚為完全。然酸性爐則行之甚難。故酸性爐不以脫磷、脫硫，行鋼之精製，僅鑄造鋼時，用以熔融之耳。現今主使用鹽基性爐，以廉價之材料，製造良好之電氣鋼。

酸性爐，普通使用含磷、硫黃極少之良好材料時，可完全脫氧，製出足以與坩堝鋼相匹敵之良質之鋼。

電氣爐中，電弧式電氣爐使用最多，就中耶魯式使用尤多。然極良質之材料，例如合金鋼，則用誘導式電氣爐製造之。蓋此爐不用電極，熔鋼中無電極之碳及灰分等不純物混入之虞故也。又此時所用之爐為酸性爐。

一般電氣爐製鋼之工作，與平爐較，既無燃料煤氣中之不純物混入熔鋼中之虞，又無曝於煤氣之強烈氧化作用中之虞。又製造合金鋼等時，添加之貴重元素鉻、錳等，失於鋼滓中者亦甚少，合金之製造，甚為容易。又加入鋼中之脫氧劑錳鐵，亦極少量即可。故電氣製鋼法不獨適於變壓器用鐵板錳分極少之鋼之製造，又侵蝕坩堝鋼之範圍，其製品之用途，日愈加廣。

又電力之使用量，雖因材料之種類、製品、爐之大小及工作法而異，大體原料用冷銑時鋼一公鐵，需一、五〇〇瓩時；用熔銑時，需 1000 ~ 1200 瓩時；用冷鋼時，需 600 ~ 800 瓩時；用熔鋼時，需 150 ~ 300 瓩時。

第六節 鋼塊鑄造及鋼塊之性質

以上各製鋼法所精鍊之熔鋼，或鑄造之為鋼塊 (steel ingot)，或鑄入乾燥之鑄型內，使成目的之形之鋼鑄物。

由製鋼爐流出之熔鋼，使流入取鍋 (ladle)。取鍋外面為鐵板所製，內面為耐火磚，底部有熔

鋼之流出口，有耐火磚之塞子以開閉之。熔鋼流入既畢，以架空移動式之起重機懸空搬運之至鑄型 (Ingot mould) 之上，去其塞子，使熔鋼由流出口注入鑄型之中。熔鋼因由取鍋之底流出，鋼滓無流入鑄型內之虞。此種由鑄型上部鑄入熔鋼於鑄型之法，謂之上注法。反之由鑄型底部鑄入之法，謂之下注法。下注法有注入熔鋼之漏斗，其下部有耐火磚之細管，以通各鑄型之底部，熔鋼由此細管進入各鑄型之中。熔鋼注入既畢，取去鑄型，鋼塊送至均熱爐 (saking pit)。又如為小鋼塊，則以冷鋼塊送往壓延工場 (rolling mill)。

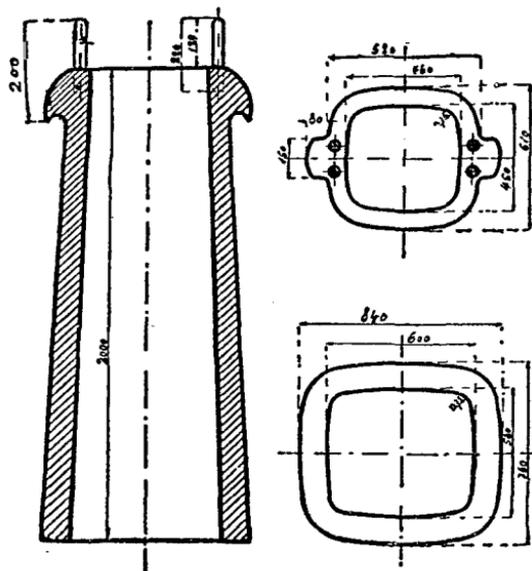
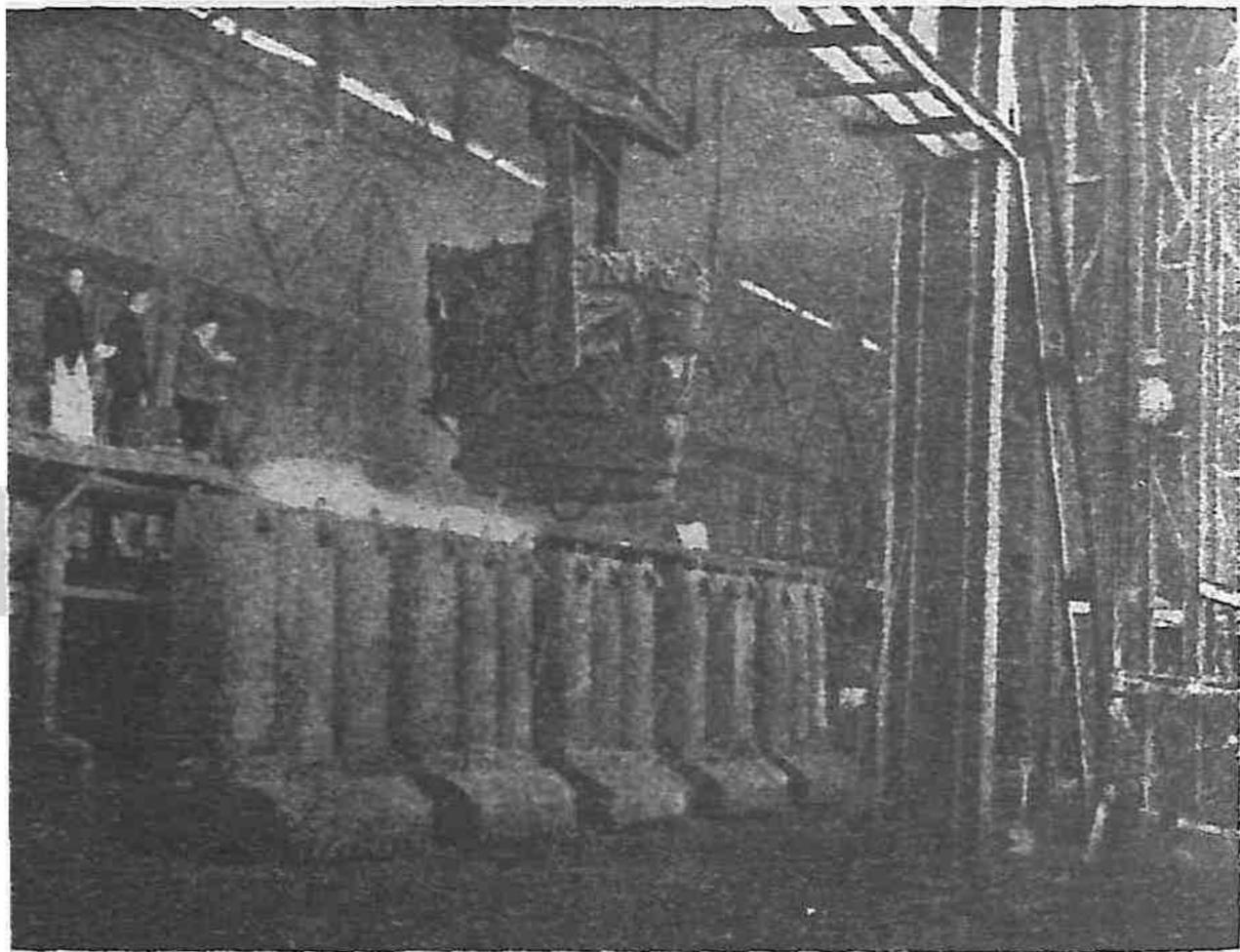


圖 143 鋼塊鑄型

鋼塊之大小及形狀等，因製品之種類而異。小者約自一〇〇起，大者數十公釐，百公釐者亦有之，普通約 2~3 公釐。其形以壓延為鋼棒時，為正方形之柱狀；以壓延為鋼板時，斷面為長方形。又如為以供蒸汽鎚及水壓機鍛鍊之大塊，則為六角形。長大體為寬之 2~3 倍。

鋼塊在鑄型中，與鑄型相接之部，先急冷而成外殼，凝固以次及於內部。鋼既凝固，體積縮小，全體凝固後，其內部生空洞，謂之收縮管 (shrinkage pipe)。上注法徐徐注流時，鋼塊之上部，最後冷卻，故上部生收縮管。至下注



法，收縮管有及於全體之勢。

熔鋼由外界吸收多量之氣體，本身亦發生氣體。此氣體，熔鋼之溫度降下，同時即由鋼之內部放出。然鋼凝固後，游離於其內部之氣體，則不能放出，於近外殼之處，成小氣泡 (blow hole)，存在於鋼中。此氣泡於鋼之性質，甚為有害。故熔鋼中須加入脫氧劑，如錳、矽、鋁等，以減少其中之氣體，此等脫氧劑，分解熔鋼中之氧化鐵，可使起因於氧化鐵之氣體發生之原因除去。

試取徐徐冷卻之鋼塊而觀之，其各部分之成分，決不同一。最先凝固之部分，碳、磷、硫、黃等少，最後凝固之部分反是。尤其磷、硫、黃等，影響更大。此種現象，稱為析出 (segregation)。愈大之鋼塊，析出之現象，愈為顯著。上注法，鋼塊

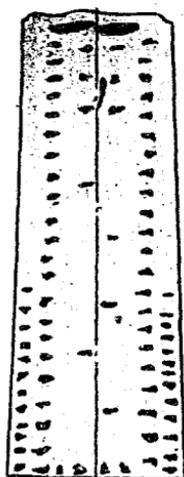


圖 146 氣泡

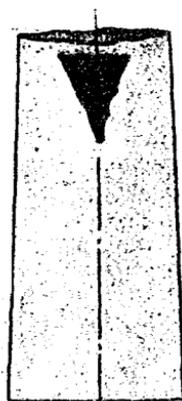


圖 147 氣泡

之頭部，最後猶保持熔融狀態，磷、硫黃等最多，又有收縮管，須切棄之，大礮及裝甲板用鋼塊，頭部及底部，均切棄之，僅使用品質均一之部分。

第七節 鋼材造形法

(一) 鋼塊、鋼條、鋼棒之壓延

由熔鋼漸次冷卻，猶在高温狀態之鋼塊，其外部雖已凝固，適於壓延，然內部則尚為熔融狀態，此種鋼塊，未能即壓延之。此鋼塊裝之入垂直之均熱爐 (soaking pit) 內，以 1200 ~ 1300 度之溫度，熱之約一點鐘，使其內外均達同一之溫度。均熱爐，燃料用發生爐煤氣或焦煤爐煤氣，鋼塊在內均熱後，取出縱置於鋼塊運搬車上，自動的運搬至分塊轆子機前之鋼塊輸送臺前，自動的倒於其上，由此臺運搬至轆子機上以壓延之。

轆子機 (rolling mill) 此機鑄鐵或鑄鋼製之轆子，以相反之方向迴轉。今若以材料插入其間，則材料為所壓薄，由其迴轉之方向送出，恰與鍛鍊之作用相同。此機由二轆子而成者謂之二

重轆子機 (two-high mill)，由三轆子而成者，謂之三重轆子機 (three-high mill)。二重轆子機，被壓延之材料，只由一方向送出，若欲反覆壓延之，材料須再送至轆子機之前面。爲省此手續，縮短所需時間，於是有三重轆子機焉。此機爲中轆子下轆子，所壓延之材料，可再舉至中轆子上轆子間壓延之。然大鋼塊，鋼塊之上下，頗需動力，於是又有變更轆子迴轉方向之逆轉二重轆子機 (reversing mill) 焉。

轆子之表面，視製品或爲圓鋼 (round bar)，或爲角鋼 (square bar)，或爲山形鋼 (angle)，預置適當之溝。無溝之平滑轆子，用於鋼板之壓延。又材料通過轆子間時，爲防其彎曲及捲於轆子之上，有誘導之之裝置。導子與護子，皆裝置於轆子機二支柱間之梁上，導子材料通

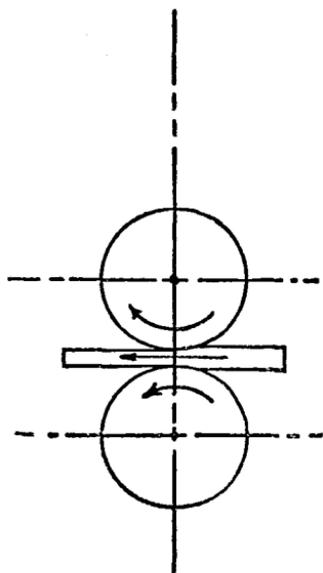


圖 147 二 重 轆 子

這孔型時，使不左右曲，筆直通過；護子材料通過孔型而出時，使不捲於轆子上，轆子之面，與護子之端相接觸而迴轉。

由鉅大之鋼塊，壓延為製品時，先以分塊轆子機壓延之，為適當大之鋼材。鋼板用鋼材，

斷面使成長方形。鋼條用鋼材，斷面使成正方形。鋼板用鋼材，稱為板用鋼片 (slab)。百耗角以上之鋼材，稱為鋼片 (bloom)，以下稱為小鋼片 (billet) 至大型製品，則即由鋼塊連續壓延以製之。分塊轆子機為逆轉二重轆子機，極大型之轆子機也。鋼塊由輸送臺運來轆子機前，即壓延之。通過轆子孔型十數回，方壓延為適當之鋼材。每通過孔型一次，鋼材迴轉九〇度。此等工作，全以機械行之。如上製出之鋼材，再以製鋼條、鋼板等時，再熱之至壓延溫度而壓延之，此時除使用修工轆子外，

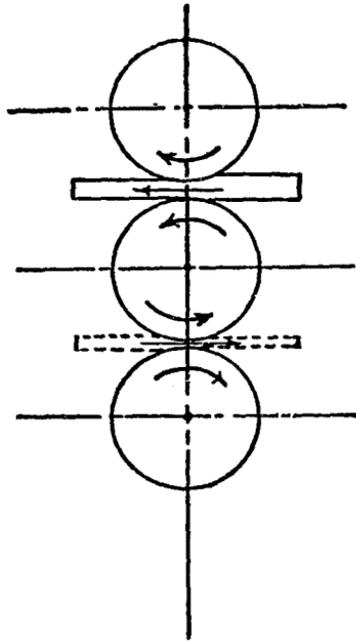


圖 148 三 重 轆 子

又使用三重轆子。由鋼材至成目的之製品止，須十數回通過轆子孔型，依次壓延之，且予以目的之形，但修工轆子，僅矯正精確其形，不再壓縮之。

製造鋼板時，用平滑之轆子。轆子間之距離，漸次縮短之，使達目的之厚。鋼板厚五耗以上者，謂之厚板；厚五耗以下者，謂之薄板。極薄之板如馬口鐵，則數枚重疊以壓延之。鋼絲類徑三。五耗以上者，以普通之法壓延之；不及三。五耗者，於常溫度索引之使漸細。

鋼絲壓延作業 鋼絲之壓延裝置，有二樣式。一為魯平式，一為連續式。

魯平式，數組之轆子機，依其軸之方向並列之。被壓延之鋼絲，其一端由一孔型出時，屈曲成輪狀，進入

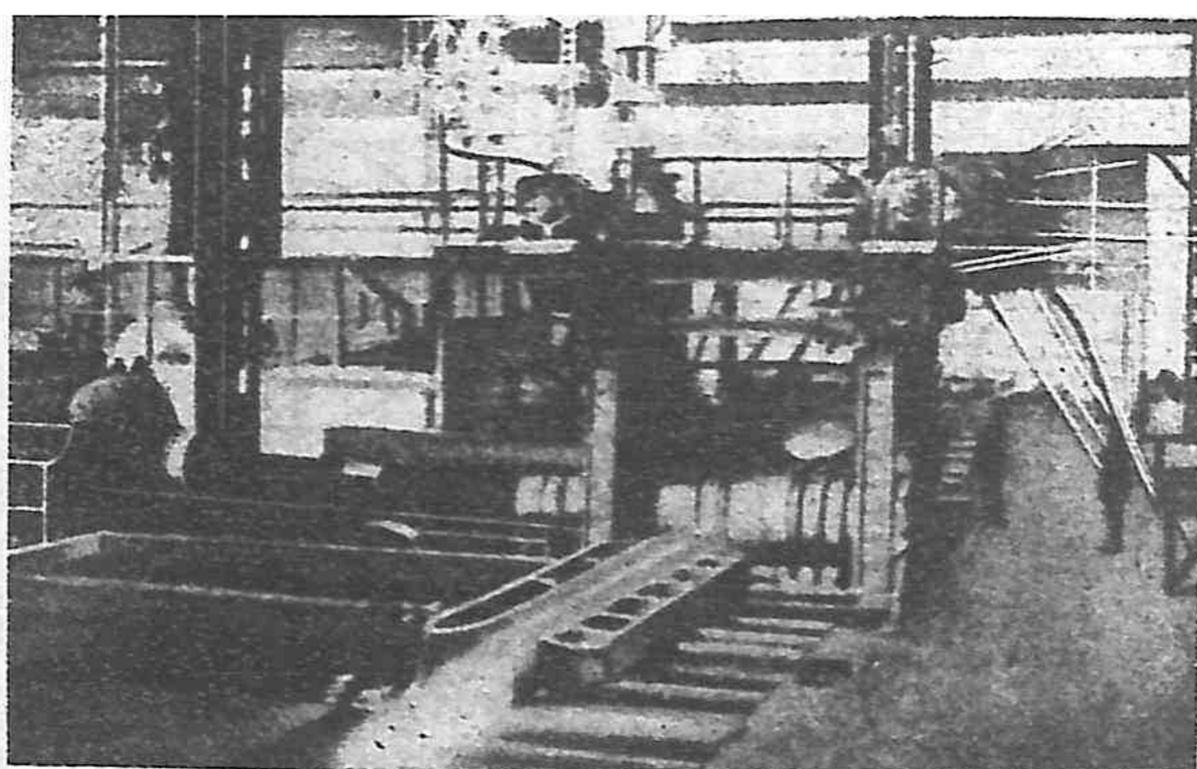


圖 149 分塊轆子機

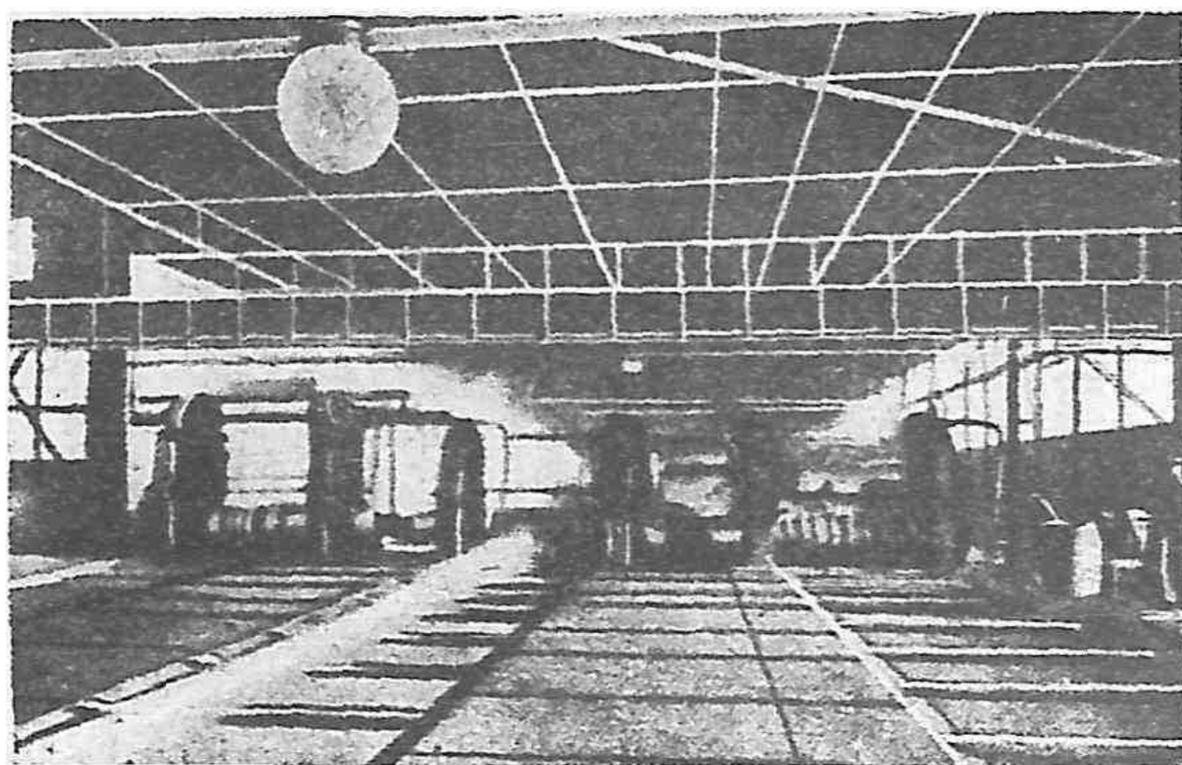


圖 150 軌條工場

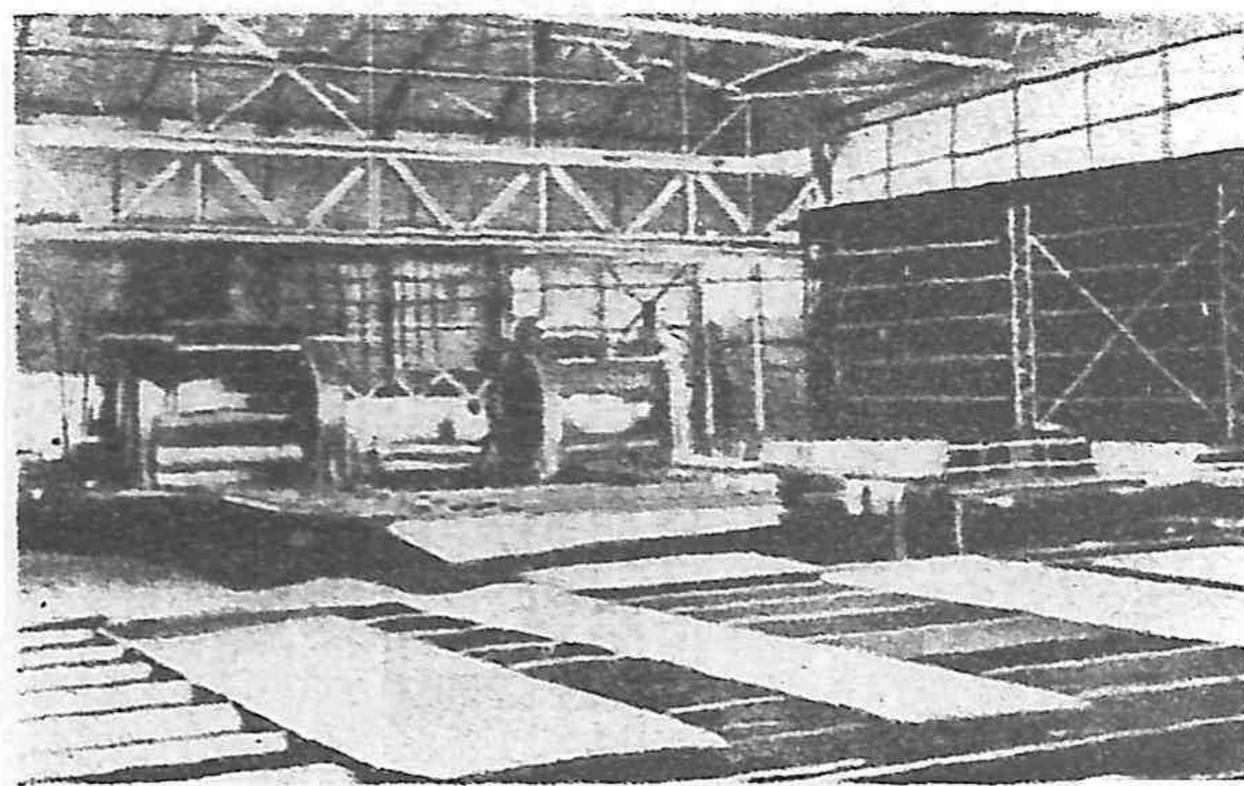


圖 151 厚板工場

他孔型，順次通過各孔型，最後通過修工孔型，修工後，捲於框上。

連續式，數組之轆子機，依轆子軸直角之方向並列之。材料通過一轆子之孔型後，即進入次轆子之孔型，順次如此，一直線進行，最後通過修工轆子，修工後，捲於迅速迴轉之框上。又加熱於鋼材之加熱爐(heating furnace)，鋼材為所加熱後，即進入轆子孔型內。各轆子機間，有有螺旋溝之管，線材通過其中，即迴轉九〇度，此等作業，全為自動的。

(二) 馬口鐵製造

馬口鐵(fin plate)為表面鍍錫之薄鋼板，日本八幡製鐵所於一九二三年六月開始製造之，茲就該所製造法之大略述之。

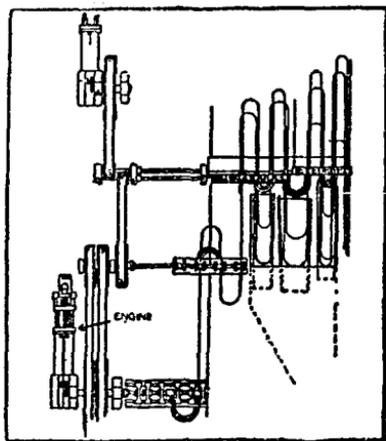


圖 152 管平式轆子機

馬口鐵之材料爲平爐鋼，先於壓延工場，約壓延之爲厚一〇耗，寬三〇〇耗，長五〇〇耗之薄板用鋼片 (sheet bar)。其表面須無鐵肌 (氧化鐵之薄皮) 附着，內部須無氣泡。此種薄鋼板之壓延，因赤熱之板，數枚相重壓延，材質中之砂或磷，須適當加減之，以使其容易剝離。壓延時，材料先於加熱爐中熱之。每次取出二枚，運搬至壓延機前，除去其表面之鐵肌後，先各各壓延之，再二枚相重壓延之。次剝離各折疊爲二，共成四枚，再相重加熱而壓延之。同樣再剝離各折疊爲二，共成八枚，再相重加熱而壓延之。

如上壓延既畢，照規定之尺寸剪斷之。剪斷後，因八枚相重，一一剝離，以稀硫酸洗之，以除去其表面附着之鐵肌。酸洗後，韌鍛之，使帶韌性。韌鍛後，以修工轆子修工矯正之，俾便於鍍錫。修工矯正後，因柔軟性減少，不甚適於馬口鐵之用，再韌鍛以恢復之。次再酸洗以清潔其表面，然後運至鍍錫場。鍍錫以有氯化鋅熔液、熔錫及椰子油三層之鍍錫機 (tinning machine) 行之。相接續之二鍋，滿盛熔錫，板通過氯化鋅層後，進入第一錫鍋，大致鍍錫，再進入第二錫鍋，美麗鍍錫。錫鍋表面，均覆有薄層之椰子油，以防氧化。此等層內，有轆子數對，以供美化板面，調節板面錫量之用。板既鍍錫，送

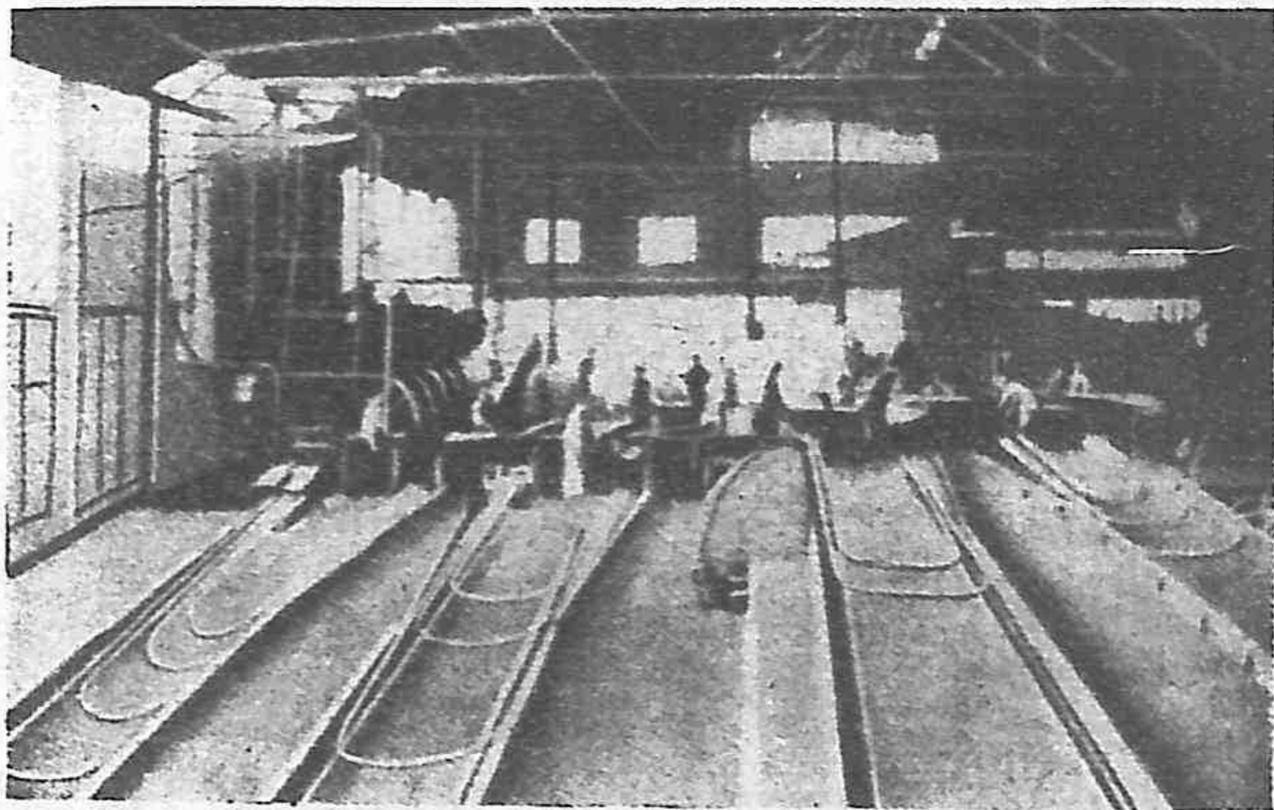
至研磨機，使通過研磨轆子，即成馬口鐵。馬口鐵之厚，因用途而異，有種種。惟寬及長，則各國一定。市場一般之製品，有下列二種。

14吋 X 20吋 20吋 X 28吋

(三) 鋼絲牽引作業

直徑三・五耗以下之鋼絲，以常溫作業，使之通過牽板(dies)之種種直徑之孔型，使其漸細，以成目的直徑之絲。牽板之孔型，甚易磨滅，以極硬極牢之特殊鋼製之。

牽引之材料，為高溫作業所壓延之細絲材，表面有氧化鐵之硬皮膜。浸於淡硫酸溶液中酸洗之後，再水洗之以去其酸，浸之沸騰之石灰水中，使酸中和。同



四二二

圖 153 絲 材 工 場

時絲材之表面，成生石灰之皮膜，此皮膜爲牽引時之一種滑劑。上述浸於石灰水後之細絲材，以約二〇〇度之溫度乾燥之後，以牽引機牽引之。牽引時，絲材之一端，先以錘等擊之使細，通過牽板之孔型，固着之於迴轉框上。迴轉框迴轉，則絲材通過牽板之孔型，捲於其上。牽引速度，一分鐘約百呎。視目的之絲之直徑，一回或數回行之。牽引後，先軋鍛而酸洗之，次浸於水槽中，最後再浸於石灰水中，而乾燥之。

製極細之鋼絲時，須牽引多次，軋鍛及酸洗，亦須數回行之，然後成目的直徑之絲。鋼絲之表面，以鋅鍍之，以防生銹。鋅槽之溫度，約490~500度，鋼絲數條同時通過其中以鍍之。

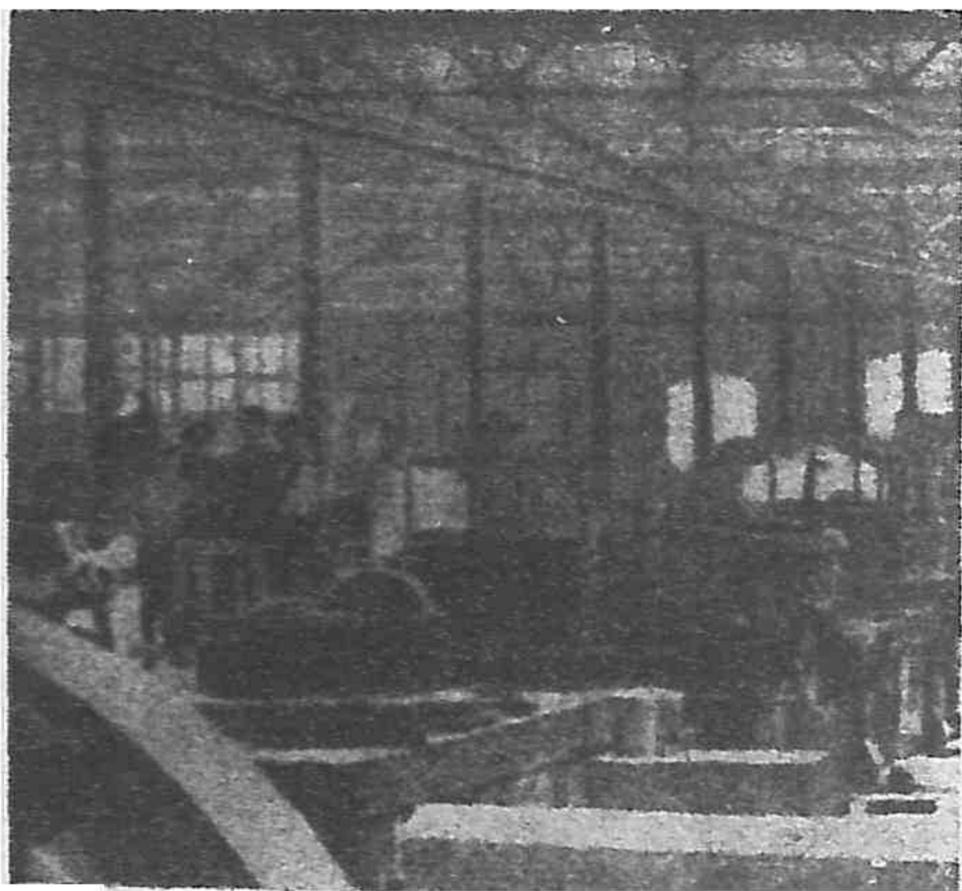


圖 154 鋼絲製造工場

第八節 鐵鋼之組織及碳鋼之性質

(一) 鐵鋼之同質變態 (Allotropic modification)

純鐵由常溫漸次熱之至高溫，則於七七〇度附近，變為性質不同之他種鐵。再熱之，又於九〇〇度及一四〇〇度，各變為性質不同之他種鐵。七七〇度以下之鐵，謂之 α 鐵 (alpha iron)。有強磁性，殆不吸收碳。七七〇度、九〇〇度間之鐵，謂之 β 鐵 (beta iron)，磁性甚弱，如 α 鐵之殆不吸收碳。九〇〇度、一四〇〇度間之鐵，謂之 γ 鐵 (gamma iron)，質硬，磁性甚弱，吸收碳之力甚大。一四〇〇度以上之鐵，謂之 δ 鐵 (delta iron)，磁氣分析及熱膨脹試驗之結果，可視為與 α 鐵相同之鐵。此種發生同質變態之溫度，謂之變態點 (transformation point)。七七〇度之變態點，謂之 A_2 點；九〇〇度之變態點，謂之 A_3 點；一四〇〇度之變態點，謂之 A_4 點。然由磁氣之方面及X線的研究，關於 β 鐵，予以否定，謂 A_2 點乃原子內部能之變化，並非變態點之說，現已為一般所承認。

變態點，加熱時與冷卻時，略有差異。加熱時之變態點，謂之 A_{c2} 、 A_{c3} 、 A_{c4} ；冷卻時之變態點，謂

之 A_2 ; Ar_2 ; Ar_3 ; Ar_4 。

以上乃就純鐵而言，若鐵中加入碳，成鐵碳合金，則不獨此等變態點起變化，又發生其他之變態點。鐵碳合金，於七二〇度，發生變態點，謂之 A_1 變態點。加熱時謂之 Ac_1 ，冷卻時謂之 Ar_1 。此變態點與碳之含有量無關，一定不變。 A_2 變態點隨碳含有量之增加而下降，碳約含 0.9% 時，與 A_1 一致；然再增加，亦不再變化。 A_4 點隨碳含有量之增加而上昇。又由磁氣分析，在二一五度，有磁氣的變化，為鐵與碳之化合物「塞門泰特」(cementite) 之磁氣的變態點，謂之 A_0 變態點。

(11) 鐵碳合金之組成圖 (Constitution diagram)

普通工業上之鐵及鋼，除碳以外，常含有矽、錳、磷、硫、黃等。就中碳之影響最大，其他影響較小。故吾人便利上，先就鐵碳合金，加以研究，而後考研其中其他成分之影響。

圖一五五為鐵碳合金之組成圖，橫軸示碳之百分率，縱軸示溫度。圖中有實線與虛線，「塞門泰特」(Fe₃C) 由融液 (liquid) 析出時，以實線表之；黑鉛由融液析出時，以虛線表之。「塞門泰特」非安定之物，在安定系 (stable system) 應分解為鐵與黑鉛。即實線所示，為準安定平衡狀態

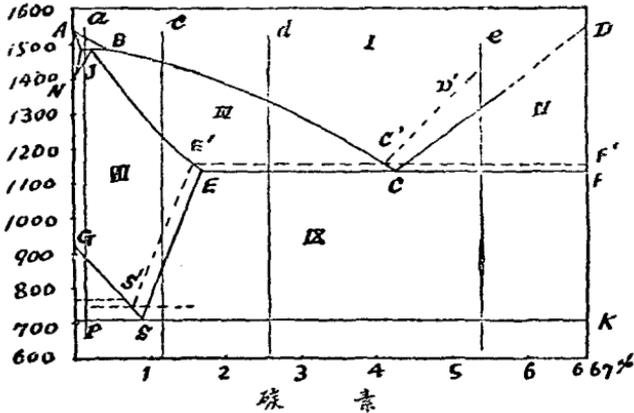


圖 155 鐵 碳 合 金 組 成 圖

- 領域 I 融液
- 領域 II 融液及 δ 固溶體 (δ 鐵與碳之固溶體)
- 領域 III 融液及 γ 固溶體 (γ 鐵與碳之固溶體)
- 領域 IV 融液及「塞門泰特」
- 領域 V δ 固溶體
- 領域 VI δ 固溶體及 γ 固溶體
- 領域 VII γ 固溶體
- 領域 VIII α 鐵及 γ 固溶體
- 領域 IX γ 固溶體及「塞門泰特」
- 領域 X α 鐵及「塞門泰特」

又圖中之諸曲線，冷卻之際，示下之諸變化：

- AB δ 固溶體分離開始之線
- CB γ 固溶體分離開始之線
- CD 「塞門泰特」分離開始之線
- AH δ 固溶體分離終止之線
- JE γ 固溶體分離終止之線
- HB 由 δ 固溶體及融液生 γ 固溶體之溫度(一四八六度)
- EF 共晶之凝固溫度(一一四五度)
- HN δ 固溶體變化為 γ 固溶體開始之線
- JN δ 固溶體變化為 γ 固溶體終止之線
- GS α 鐵由 γ 固溶體分離開始之線
- ES 「塞門泰特」由 γ 固溶體分離開始之線
- PK 凝共晶析出之溫度(七二一度)

(metastable equilibrium)；虛線所示，為安定平衡狀態 (stable equilibrium)。茲將實線所示組成圖，說明如次：

與BC及CD之交點C相當之成分，為碳四·三%。此成分在鐵碳合金中，凝固溫度最低，一四五度即凝固，「塞門泰特」與固溶體 (solid solution) 同時結晶而成微細之組織。此組織稱為共晶 (eutectic)，此成分稱為共晶成分。與ES及GS之交點S相當之成分，為碳〇·九%。此成分之 γ 固溶體，於七二一度，分解為 α 鐵與「塞門泰特」而成層狀組織。此組織稱為擬共晶 (eutectoid)，此成分稱為擬共晶成分。

次就虛線所示安定平衡狀態說明之：

C'D 黑鉛分離開始之線。

E'S' γ 固溶體與黑鉛之共晶凝固之線，此凝固溫度為一一五二度。

E'S' 黑鉛由 γ 固溶體分離之線。

又圖中諸點之碳含量如次：

H	碳	○・〇七%	J	碳	○・一八%
B	碳	○・三六%	E	碳	一・七〇%
C	碳	四・三〇%	C'	碳	四・一五%
S	碳	○・九〇%			

據此組成圖，各種成分之鐵碳合金，在各種溫度，為如何之組織，可以一目了然，例如H點J點間， α 線所示成分之合金，其融液徐徐冷卻之，至達 α 線 \triangleright \square 線交點之溫度，則 δ 固溶體開始分離。領域II內， δ 固溶體與融液共存。及達 \square \square 線之溫度，又由 δ 固溶體與融液生J組成之 γ 固溶體。領域VI內， δ 及 γ 兩固溶體共存。及達 \sqsubset \square 線之溫度，全體變為 γ 固溶體。此時溫度再降下，達與 \square \square 線相當之溫度， α 鐵遂開始由 γ 固溶體中分離。及達 \sqsupset \square 線，即所謂 A_1 變態點，殘餘之 γ 固溶體，分解為「塞門泰特」與 α 鐵而生擬共晶。故 α 組成之合金，在常溫由 α 鐵與擬共晶而成。

c 組成之合金，融液冷卻，達 \square \square 線，則 γ 固溶體開始分離。領域III內，融液與 γ 固溶體共存。達 \sqsubset \square 線，則全體成爲 γ 固溶體。領域VII內，爲 γ 固溶體。達 \square \square 線，則「塞門泰特」開始分離。領

域 IX 內，爲「塞門泰特」與 γ 固溶體。溫度再降下，達 γ 線，則殘餘之 γ 固溶體，分解而生「塞門泰特」與 α 鐵之擬共晶，入於 X 之領域。由 O 間成分之合金，例如 d 成分之合金，由融液分離 γ 固溶體，達共晶溫度， γ 固溶體與「塞門泰特」之共晶凝固，由此以入 IX 之領域，溫度再降下，則「塞

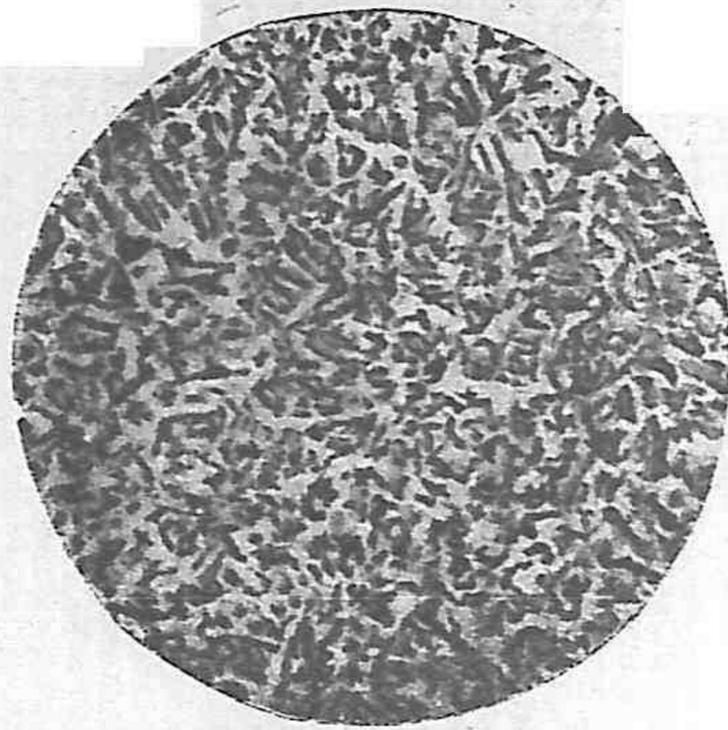


圖 156 碳 0.2 % 鋼
(120倍)

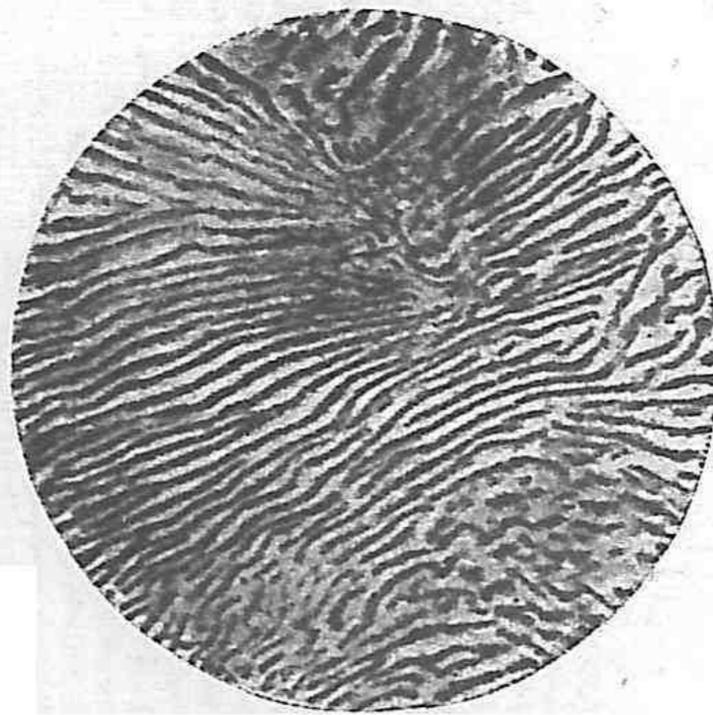


圖 157 「巴來特」組織
(1000倍)

白線爲碳化鐵，黑線爲 α 鐵。

門泰特」由 γ 固溶體分離而出。達擬共晶之溫度，遂生擬共晶組織。故領域 X 內，由「塞門泰特」與擬共晶組織而成。

C點右方之成分例如c成分之合金，融液冷卻，「塞門泰特」先成爲初期晶而分離；達共晶溫度，凝固爲共晶；溫度再降下，「塞門泰特」又由共晶中之 γ 固溶體內游離而出；及達擬共晶溫

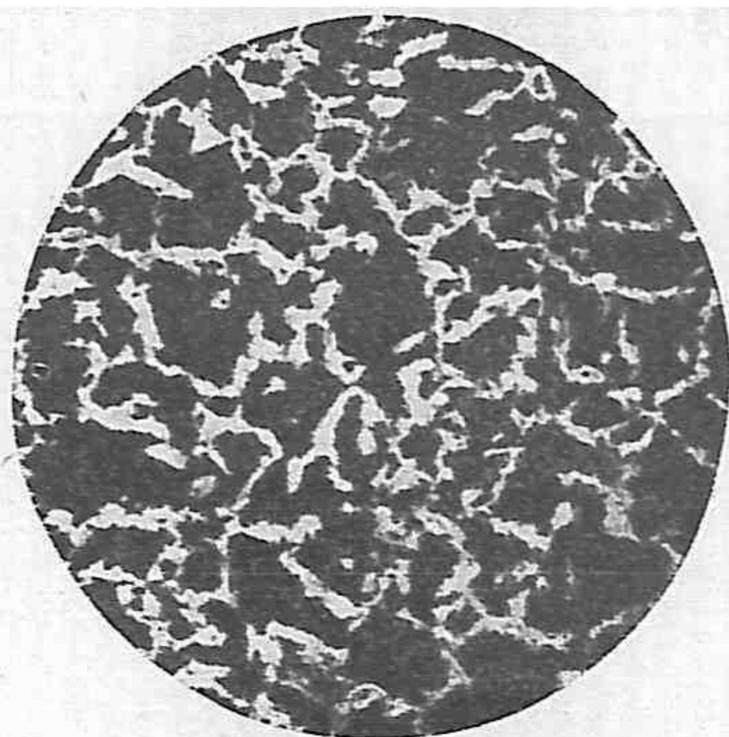


圖 158 碳 0.6% 鋼
(120倍)

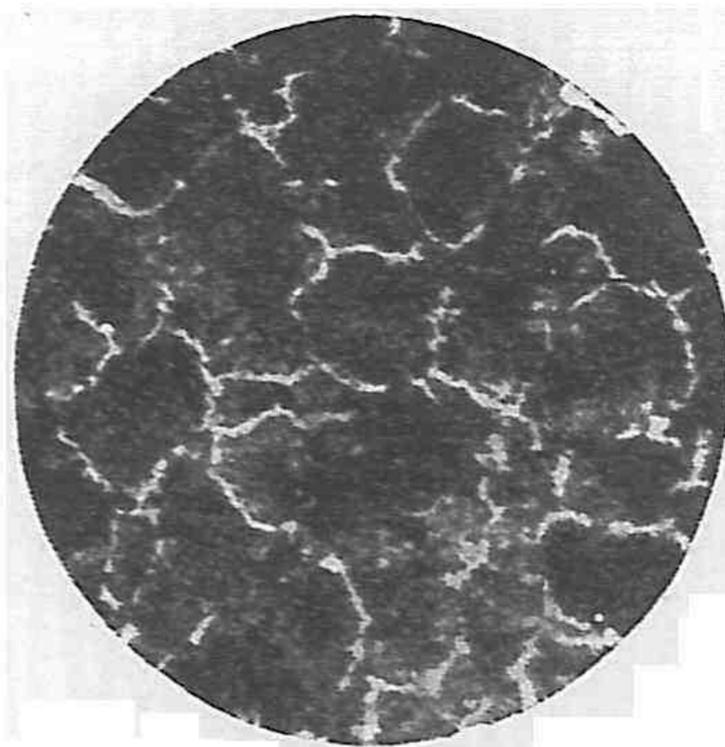


圖 159 碳 0.8% 鋼
(120倍)

度，遂生擬共晶。圖一五六所示，爲碳含有量0.2%之碳鋼在顯微鏡下之寫真。未着色之白地爲 α 鐵，金屬組織學上謂之「斐來特」(Ferrite)呈網狀者爲其粒。黑色之斑點，爲擬共晶組織，再擴大之如圖一五七所示，爲層狀組織，此組織，金屬組織學上謂之「巴來特」(Pearlite)。「巴來特」

地爲「巴來特」。碳 0.9% 以下之鋼，謂之亞擬共晶鋼 (hypo-eutectoid steel)。碳 0.9% 以上之鋼，謂之過擬共晶鋼 (hyper-eutectoid steel)。碳 1.7% 以上之合金，有共晶組織，成銑

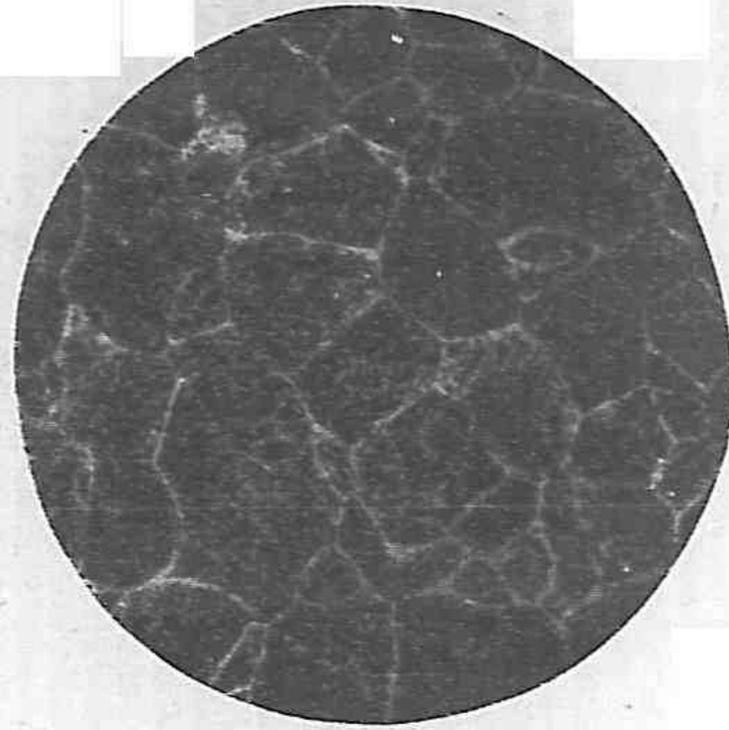


圖 160 碳 1.2% 鋼
(120倍)

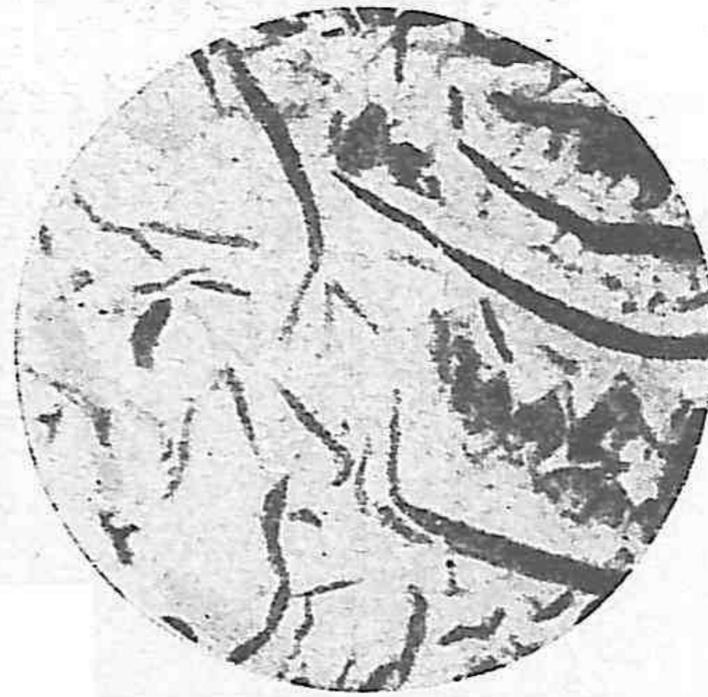


圖 161 灰銑鐵之黑鉛組織

組織，隨碳含有量之增加而增大，含碳 0.9% 者，全體爲此組織。圖一五八所示，爲碳 0.6% 之鋼之寫真。圖一五九所示，爲碳 0.8% 之鋼之寫真。碳 0.9% 以上之鋼，有游離「塞門泰特」存在其中。圖一六〇所示，爲碳 1.2% 之鋼之組織，白色之網，爲由 γ 固溶體游離之「塞門泰特」，黑

鐵之組織。一般碳量一·七%以下者稱為鋼，以上者稱為銑鐵。

銑鐵由融液徐徐冷卻之，則黑鉛分離，成為灰銑鐵。由融液急激冷卻之，則「塞門泰特」結晶成

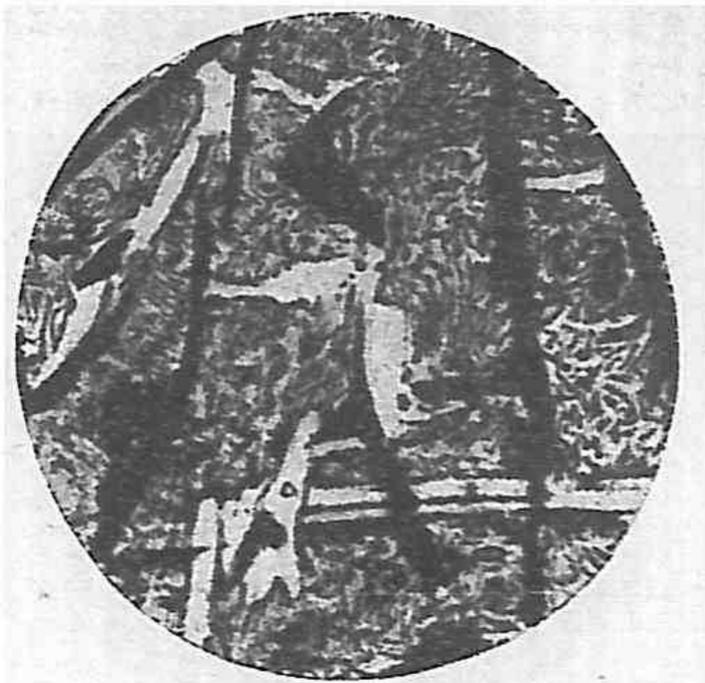


圖 162 灰銑鐵組織，白色結晶為「塞門泰特」。

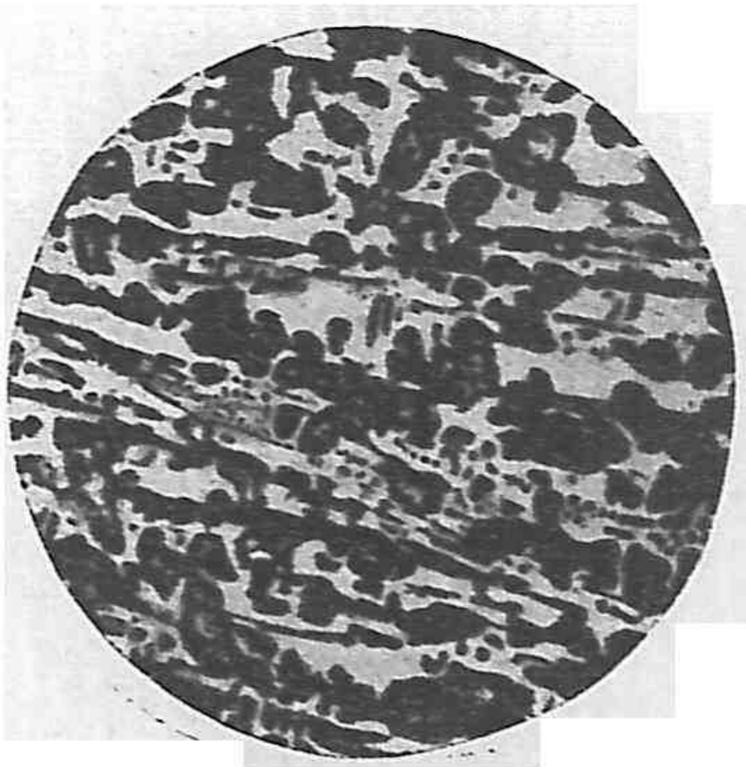


圖 163 白銑鐵組織

為白銑鐵。黑鉛之生成，雖有種種之說，然極徐徐冷卻時，黑鉛直接由液體結晶之說，已為一般所公認。鐵碳合金組成圖中，虛線所示，為黑鉛分離之安定平衡狀態；實線所示，為準安定平衡狀態，「塞門泰特」由融液結晶時之狀態也。

織。

圖一六一所示，為銑鐵之黑鉛組織。圖一六三所示，為急激冷卻之銑鐵之組織，即曰銑鐵之組

(三) 鐵鋼之急冷效果

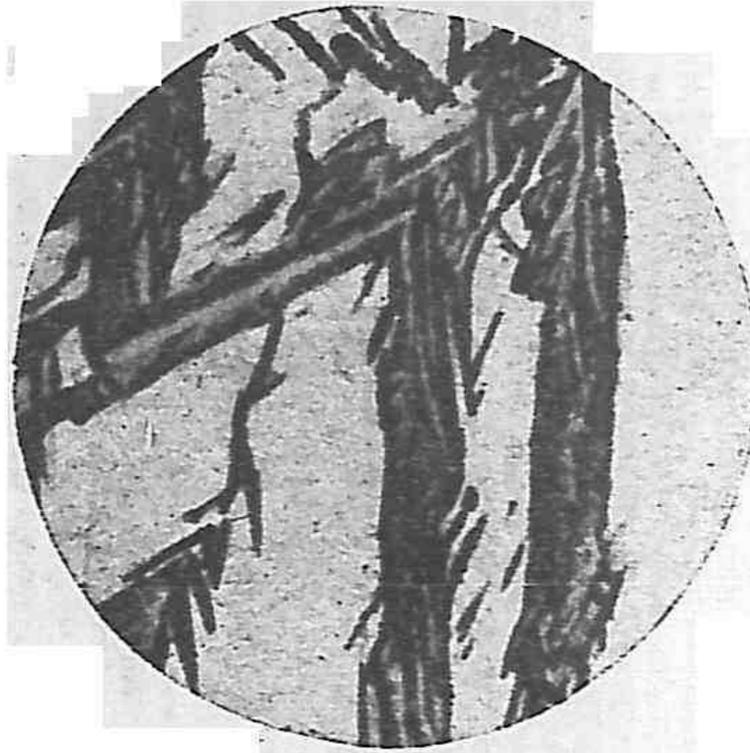


圖 164 碳鋼 1.5 %
白地為「奧斯得奈特」，黑色部為「馬爾騰賽特」。

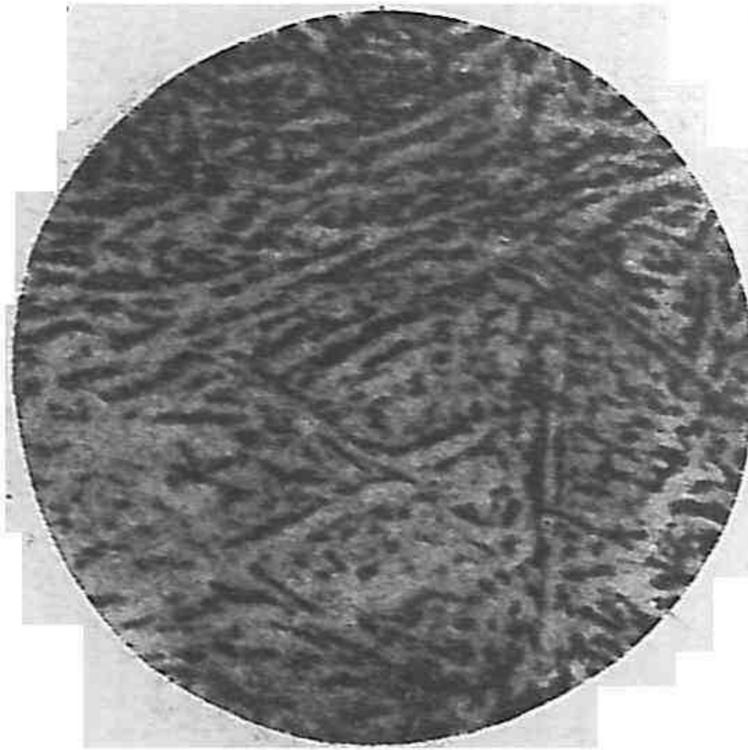


圖 165 「馬爾騰賽特」組織
碳鋼 0.5 %

鐵鋼各種溫度平衡狀態之組織前節已述之。鐵鋼由高溫急冷卻之，又可得種種之組織。

「奧斯得奈特」(austenite) 為 γ 固溶體由 γ 固溶體之領域內，於水中急冷卻之，在常溫

時所得之組織。鋼中若含有多量之鎳、鉻、錳等元素，雖不如此急冷卻之，亦易得此組織。然碳鋼，則含多量碳之鋼，於水中急冷卻之，始得此組織。惟並非全體得此組織。同時「馬爾騰賽特」亦存在其中。圖一六四之白地，即此組織，為均一之組織。常溫時之「奧斯得奈特」，無強磁性，硬度大，富於韌性。

「馬爾騰賽特」(martensite) 為鋼由 γ 領域內急冷時所得之組織，圖一六五所示，即此組織，為針狀組織。此組織為由「奧斯得奈特」移入「巴來特」之第一階段，硬度較「奧斯得奈特」更強，有強磁性。

「特魯斯泰特」(troostite) 鋼由高溫度冷

卻之速度，較前者為小時，得此組織，易為腐蝕液所腐蝕，圖一六六黑色着色之處，即此組織，此組織為由「馬爾騰賽特」移入「巴來特」之第一階段，蓋極細微之「塞門泰特」分布於「斐來特」中者也。此組織較「馬爾騰賽特」為軟，韌性遠過之。

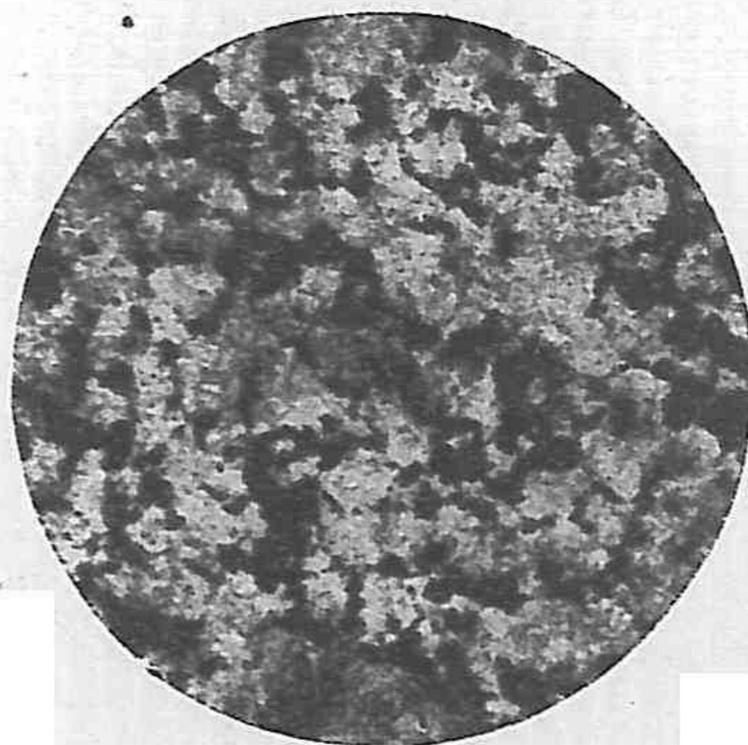


圖 166 黑地為「特魯斯泰特」，白地為「馬爾騰賽特」。

「索爾拜特」(sorbite) 爲鋼之冷卻速度更加遲緩時所生之組織，「特魯斯泰特」與「巴來特」之中間階段也。此組織「塞門泰特」之粒子較「特魯斯泰特」更集合而成大粒子，較「特魯斯泰特」爲軟，延性大。然韌性低，強度及對於擊力之抵抗大。有此組織之鋼，用爲構造材料，強度最強。鋼絲材之成此組織者，最爲良好。

(四) 鐵鋼之熱處理 (Heat treatment)

鋼可由熱處理以變化其組織，改善其機械的性質等。熱處理可分爲硬煅、強煅及朝煅三種。

鋼之硬煅 (hardening) 鋼加熱至 A_3 以上，於水中冷卻之，則成「馬爾騰賽特」之組織，硬度大增。此種處理，稱爲硬煅。硬煅之目的，在以急冷卻阻止高溫安定之 γ 固溶體（謂之「奧斯得奈特」）移入「巴來特」之變化，而得極硬之「馬爾騰賽特」。硬煅效果之如何，與鋼之成分、加熱溫度及冷卻速度有關係。

鋼中碳之含有量愈大，則硬煅之效果，愈爲顯著。一般鋼之急冷，最好於較低之溫度，且溫度正在降下之際行之。若於過高之溫度，且溫度正在上昇之際行之，則生龜裂或強大之內力，有害於鋼

之性質。硬煨液普通用水，欲更和緩時用油及熔融鉛，欲更迅速時，用食鹽水。

「馬爾騰賽特」之密度，較「巴來特」爲小，故鋼硬煨後，容積增大，長棒及板等，有長之方向加長，其他方向縮短之傾向。鋼硬煨後，久放置空氣中，其容積發生變化。此種現象，謂之時效（aging）。強煨（tempering）鋼經硬煨，硬度雖高，韌性缺乏，易於破損。故視鋼使用之目的，又須予以韌性。此時已經硬煨之鋼，熱之至數百度，使「馬爾騰賽特」組織之一部或全部，變爲「特魯斯泰特」組織，富於韌性。此種處理，謂之強煨。

強煨溫度，視所處理之鋼之種類，及其用途而異。例如刃物鋼硬度不能過於減少，又須予以韌性，強煨溫度，約在 210 ~ 320 度之間；受大打擊之鑿，須多予以韌性，須以更高之溫度強煨之，是也。強煨溫度大略之標準，有用已經研磨之鋼，熱之時，其表面所呈之色者。蓋此時鋼之表面，生薄氧化膜，其色彩，因溫度及時間而異，由此大體可以判斷加熱之溫度。此色謂之強煨色。例如：

二三〇度淡黃色

二五〇度暗黃色

二六〇度黃褐色

二八〇度淡紫色

二九〇度暗紫色

三〇〇度暗青色

鋼行強煨時，如於油及熔融鉛中加熱，可均一加熱於其全體，強煨可得佳良之結果。
韌煨 (annealing) 加適當之溫度於鋼，以除去其在常溫加工時內部所生之歪，使其粒子，

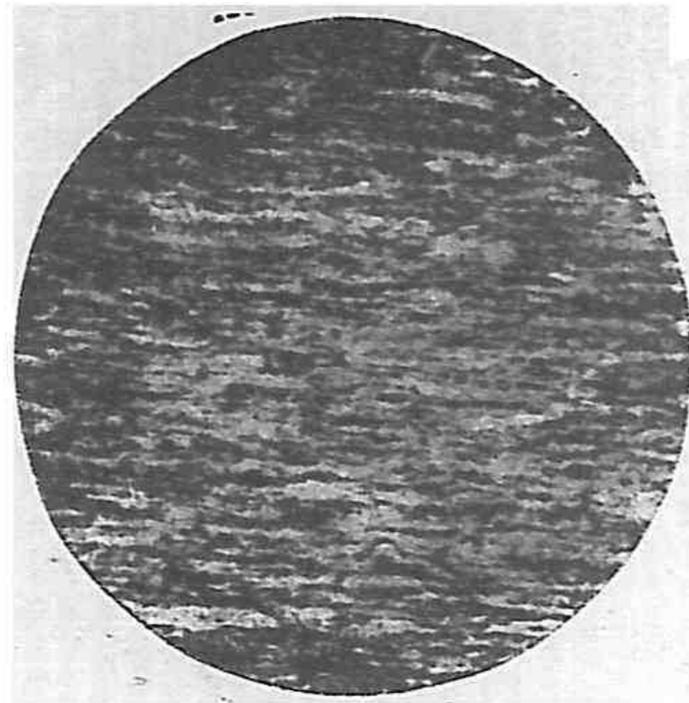


圖 167 在常溫時牽引之
碳 0.08 % 鋼絲之組織
(100倍)

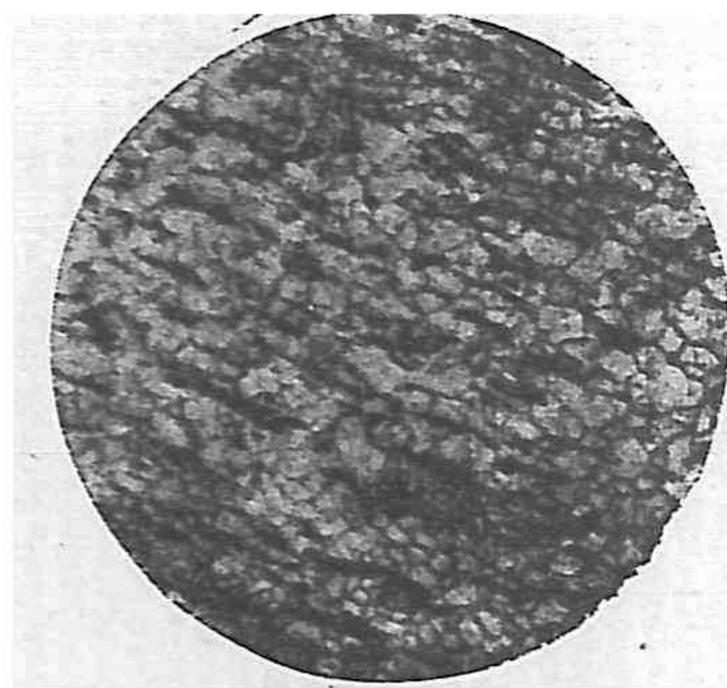


圖 168 前圖之物，於低
溫度韌煨之，得此組織。
(100倍)
「斐來特」成結晶，「巴來特」
尙存層狀。

微細均一，改善其機械的性質，謂之韌煨。鋼在常溫加工，其內部生歪，有害於鋼質，除去之之法，熱之至 A_1 點以下即可。此時所加溫度愈高，則所需時間愈短。鋼鑄物為粒子大且粗鬆之組織，改善之之

法，軋煅之至較 A_3 點略高之溫度即可。

鋼加熱時，在 A_1 點與 A_3 點之間，其粒子變細。在 A_3 點以上，則粒子盛行發達。溫度愈高，加熱時間愈長，碳之含有量愈多，其發達愈為顯著。故軋煅溫度，失之過高時，粒子盛行發達，成所謂過燒鋼，有害於鋼之機械的性質。

(五) 加工之組織改善

鋼熱之至高溫度時，延性增加，易於加工。加工不獨予以相當之形，製品之機械的性質，亦須考

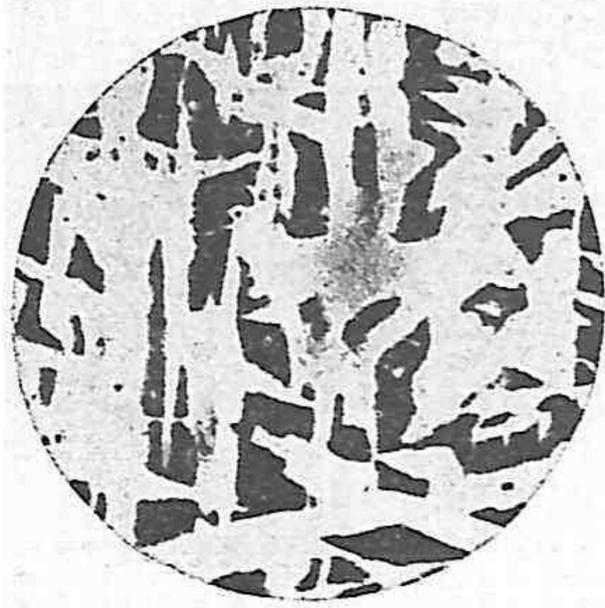


圖 169 碳 0.3% 鋼
鑄造狀態之組織

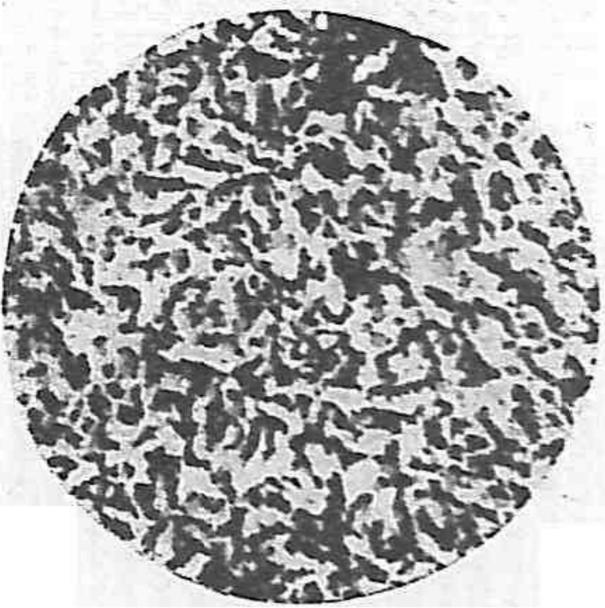


圖 170 前圖之鋼，
加熱至八七〇度，於爐
中冷卻之所成之組織。

慮及之。鑄造狀態之鋼塊，其組織極粗鬆，為機械的性質劣等之鋼。組織愈緻密之鋼，其機械的性質愈良好。

鋼熱之至高溫度而加工，其粒子雖變細微，然終止加工之溫度即修工溫度過高時，冷卻時立

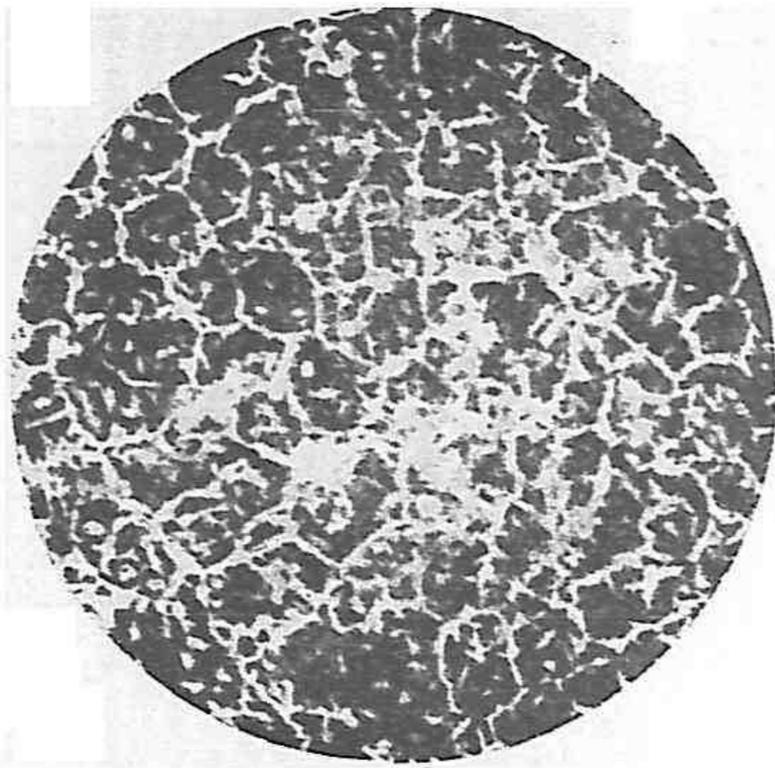


圖 171 碳0.5%鋼完工溫度
過高之組織

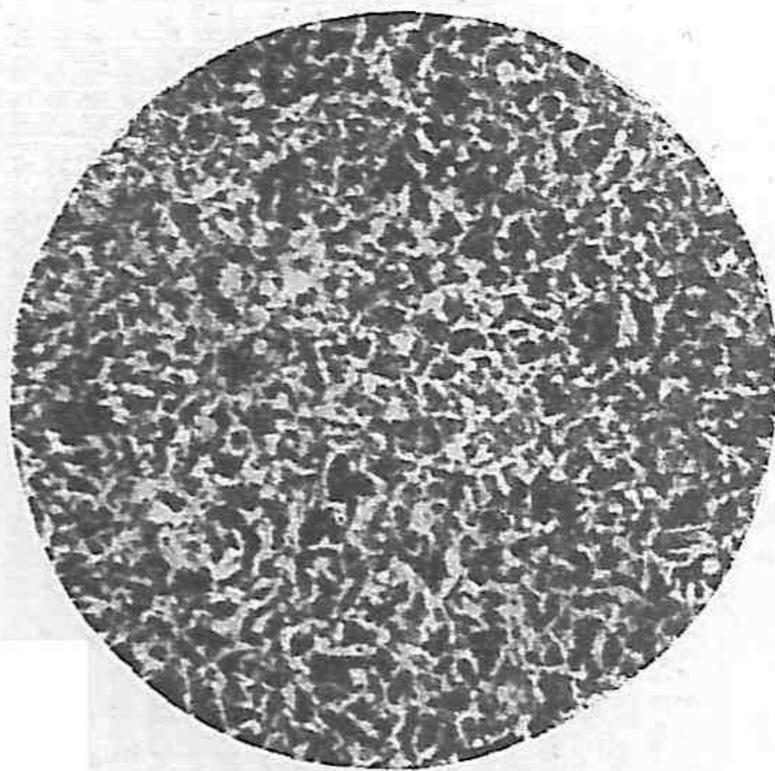


圖 172 前圖之鋼，以適當之
溫度完工之組織

子發達，有害於製品之機械的性質。反之，過低時，發生內力，亦有害於其性質。故修工溫度，須為適當之溫度。此溫度為較 A_3 點略高之溫度，以其失之過高，稍低害較甚少。又在低溫度加工，製品有形

狀正確，強度增加之利。故今日普通市場之鋼製品，皆作業繼續至較上述溫度略低之溫度爲止。

鋼高溫度之加工，用蒸汽鎚(steam hammer)、壓延機(rolling mill)、壓縮機(press)等。用蒸汽鎚時，其作用爲瞬間的，影響不及於鋼之內部。用壓縮機時，其作用充分達於鋼之內部。

(六) 碳鋼之性質

工業上所用之鋼，除碳外，尚含有少量之錳、矽、磷、硫、黃等。此中碳之影響最大，其他與碳相較，影響甚微。

鋼之抗張力(tensile strength)及硬度(hardness)因碳之增多而增大。彈性限界(elastic limit)雖亦與碳同時增加，然其比率不大。延伸率(elongation percentage)及衝擊抗力，則因碳之增加而減少，其減少之比率，約至零下二〇度止，不甚急，以下則甚急。衝擊抗力亦隨溫度之降下而急減。

鋼加熱時，抗張力初雖稍減，後乃增加，在 200 ~ 300 度之間，達於最大之域。然溫度再高，則又急減。

延伸率最初漸次減少，在二〇〇度附近最小，過此又漸次增加。
 次表爲美人涅特氏之實驗結果，碳鋼大體之機械的性質，觀此可以知之。

表一四

鋼之種類		軟鋼		中鋼		硬鋼		鋼	
抗張力 (延平方耗)	延	延	延	延	延	延	延	延	延
碳含有量 %	〇.四	〇.八	〇.三	〇.四	〇.五	〇.七	〇.八	一.〇	一.〇
錳含有量 %	〇.〇	〇.〇	〇.〇	〇.〇	〇.〇	〇.〇	〇.〇	〇.〇	〇.〇
壓	四九	四一	五九	六六	七五	九六	九三	一〇四	一〇四
新	三二	四三	四〇	五七	六五	九〇	九八	一〇六	一〇六
水硬煨	三〇	三三	四四	五五	六五	—	—	—	—
油硬煨	四七	六一	七七	八二	九四	一二二	一二八	一三九	一三九
壓	三五	三五	四七	六八	九九	一二二	一二四	一三二	一三二
新	二七	二七	二六	三六	四〇	三六	四四	五七	五七
水硬煨	—	—	—	—	—	—	—	—	—
油硬煨	三六	三二	四三	五三	六五	七〇	七六	八九	八九

銑鐵含碳多，質脆弱，無鍛冶性。熔點低，易於鑄造，以供鑄造材料之用。

銑鐵中之碳，普通約為 3.2%。銑鐵有白銑與灰銑。白銑中之碳，成「塞門泰特」存在於其中，質硬，不能以銼等銼削之。灰銑中之碳，成石墨游離於其中。此石墨之生成，古來有二說：第一為「塞門泰特」先由融液凝固，於凝固溫度附近，分解為石墨之說；第二為白涅幾克斯（Benedict）氏所倡二重組成圖（double diagram），融液極徐徐冷卻之，則石墨結晶，急激冷卻之，則「塞門泰特」晶出之說，即石墨系為安定平衡狀態，是也。第二說可說明種種石墨之組織，為近來一般所承認之說。

銑鐵中之砂，白銑為 0.8% 以下，灰銑達 3%。此砂成固溶體，存在於鐵中，助石墨之發生，間接使銑鐵之質柔軟，減其收縮。含砂達 3% 之銑鐵，石墨甚為發達，強度減少，每平方耗約 10 疋。砂約減至 2.0~2.6%，石墨組織變細微，可得強力之銑鐵。

普通之銑鐵，含 0.2% 以下。此元素助石墨之分離，多量含之之銑鐵，對於衝擊，抵抗力弱。然為增加熔銑之流動性計，無需強度之薄物用銑鐵，其含量使增至 1%。

硫黃阻止石墨之分離，增加銑鐵之硬度，稍增銑鐵之強度。然使銑鐵質變脆，收縮增加，易生孔巢。

鈣，銑鐵內普通約含有0.4~1.0%。此元素阻止石墨之發生，增加銑鐵之全碳量，又使銑鐵之硬度及強度增加。然含量過多，則質脆弱。又錳成硫化錳，有脫硫之作用。

其他銘亦阻止石墨之分離，使銑鐵硬度強度增加，鎳稍助石墨之分離，鋁亦然。

石墨之形狀、分布及量，於銑鐵之機械的性質，影響甚大。石墨極力減少之，使成細微之組織，可得強力之銑鐵。近來強力之鑄物，愈見鑄造，所用銑鐵，為每平方耗三〇妊以上之銑鐵。此種銑鐵之製造，亦須微細黑鉛之組織。其法先減少銑鐵中之碳至三%以下，如此則石墨不發達，且其結晶有生彎曲之傾向，彎曲者之強度，較直線者為強。次銑鐵鑄造之際，熱之至一五〇〇度，熱之至此溫度，則石墨組成，變為微細之組織。又銑鐵之鐵質，使成「巴來特」質，「巴來特」自身既頗強韌，一方又使分離成石墨之碳減少。今日所用之高級鑄物，皆有「巴來特」組織。例如齊生圓美爾法，碳二·六%，砂二·五%，鐵質為「巴來特」組織，強度在三〇妊平方耗以上。又克魯伯稱為「斯得龍

古斯」銷行市場者碳約二·六%，矽約二·五%，鐵質爲「巴來特」組織，強度每平方耗30~40。此等製品，皆極力於高溫度熔融銑鐵以製造之。

又石墨之組織，與由融液冷卻之冷卻速度，大有關係。以適當之速度冷卻之，則成微細之組織。爲加減此速度，有使用鐵型，視鑄物之厚，適當加熱而使用之之法。

(一) 可鍛鑄物之製造

銑鑄物，以白銑之狀態鑄造之，長時間以高溫度熱之，則「塞門泰特」分解，成軟化碳（temper carbon）而分離。此碳可氧化除去之，使鑄物變爲鋼。此種鑄物，稱爲可鍛鑄物（malleable casting）。對於強打擊，抵抗力甚大。可鍛鑄物有白心與黑心二種，白心可鍛鑄物，破面呈灰白色；黑心可鍛鑄物，破面呈黑色。

白心可鍛鑄物（white heart malleable casting）鑄物以白銑之狀態鑄造之，包以鐵鑛石，熱之至八七〇度附近，則軟化碳分離，爲鐵鑛石氧化而除去，鑄物遂變爲含碳0.3~0.7%之鋼，破面呈白色。原料銑鐵之成分，據哈德斐爾德氏之說如次，鑄物肉愈厚，愈減少其矽。

碳 2.8 ~ 3.5 % 砂 0.5 ~ 0.9 % 錳 0.15 % 以下

硫黃 0.35 % 以下 磷 0.2 % 以下

白心可鍛鑄物，抗張力為每平方耗 30 ~ 45 尅，降伏點為每平方耗 15 ~ 28 尅，延伸率為 6 ~ 2 %。

黑心可鍛鑄物 (black heart malleable cast-

ing) 鑄造成白銑組織之鑄物，裝入鑄鐵性韌鍛箱

內，箱中間隙，填塞以鐵肌或鐵鑽石等，以黏土密閉之。

於韌鍛爐內，以約八五〇度之溫度，數日間熱之，則軟

化碳即分離。此時溫度如過高，雖短縮加熱時間，亦於

鑄物之質有害。此組織為「斐來特」中有軟化碳存

在之組織。抗張力每平方耗 21 ~ 28 尅，降伏點每平方耗 15 ~ 32 尅，延伸率 15 ~ 5 %。與白心可鍛鑄

物相較，抗張力雖稍弱，然延伸率則較大。又白心可鍛鑄物，只約限於十二耗以下之物品之製造，黑

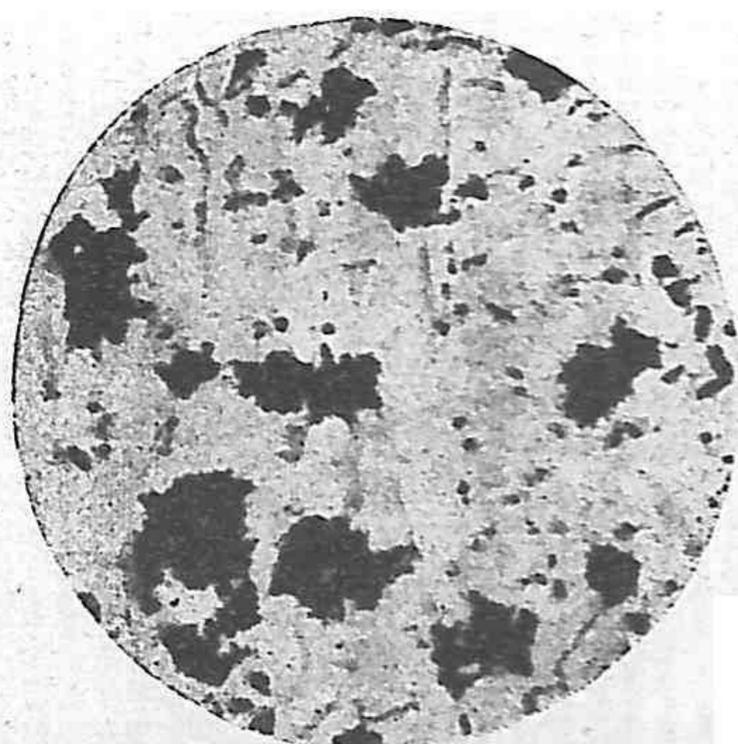


圖 173 黑心鑄物組織

心可鍛鑄物，則厚70~80耗之物品，亦可製造之，且製造費亦較廉。黑心可鍛鑄物所用銑鐵之成分如次：

碳	2.8~3.5 %	砂	0.4~1.0 %
錳	0.4 %以下	硫黃	0.07 %以下
磷	0.2 %以下		

製造可鍛鑄物時，銑鐵之熔解，用電氣爐、反射爐或平爐。

(二) 冷剛鑄物之製造

冷剛車輪類須耐磨耗之鑄物，其表面急冷之，使成堅硬之白銑組織。此種鑄物，稱為冷剛鑄物 (chilled casting)。銑鐵之融液，急冷卻之，則成白銑組織，前已述之。冷剛鑄物之鑄造，須行冷剛之部分用鐵型，其他之部分，用普通之乾燥型。冷剛所及之厚，除因冷卻速度及鐵型之厚而異外，銑鐵之成分，亦有關係。冷剛層與內部組織之境界，若過於劇然，則受打擊時，冷剛層有剝離之虞，故冷剛層須使之成漸次消失之形。冷剛鑄物之成分如次：

表一五

類	別	全	碳	矽	錳	磷	硫	黃
冷剛	鑄	子	3.00~3.25%	0.6 ~ 0.8%	1.0~1.2%	0.2~0.4%	0.06~0.08%	
一般之冷剛	鑄物	—	0.75~2.25%	0.8~1.2%	0.2~0.4%	0.08~0.10%		

第十節 鑄造法

所謂鑄造法，爲作目的製品之鑄型（mould），注入熔融之金屬於其內而冷卻之，使成鑄物（casting）之法。此法須先熔解原料。鑄造銑鐵鑄物時，用以熔解原料銑鐵之爐，主爲熔銑爐（cupola furnace），此外反射爐、平爐、電氣爐等，亦使用之，然均不及熔銑爐之廉價。熔銑爐之形狀，如圖一七四所示，爲圓筒形，外側包以鐵板，內側疊耐火磚以築之。爐底有熔銑之流出口，上部爐壁之周圍，有數風口。此部分爐壁之外側，繞有帶狀管之風箱。送入之風，先進入風箱，由此經風口以入爐內。爐底部有貯藏熔銑鐵之處。風口上約一呎之間，溫度最高，爲裝入物被熔銑之處，此部分稱

爲熔融域。爐之直徑，普通以此部分之內徑表之，約爲一呎。

爐工作時，先修理之，以薪乾燥之。次裝入炭火於爐底，裝入焦煤（下層焦煤）約達風口上○。五呎之處。再次交替裝入銑鐵、焦煤、石灰石等。俟下層焦煤充分着火後，送風入內。俟裝入物熔融，由

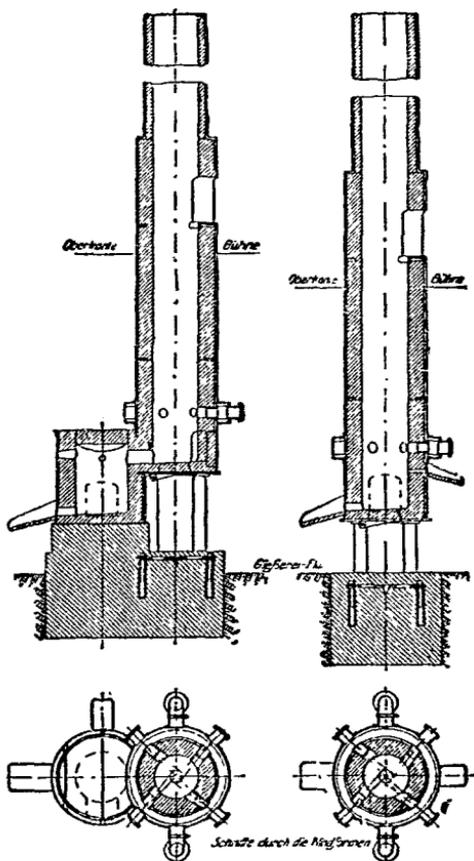


圖 174

熔 鐵 爐

抽出口流出，閉塞熔銑之流出口。熔銑漸次蓄積於爐底，至達鑿滓口時，流出鑿滓而閉塞之。熔銑蓄積至相當量時，使流入取鍋，注之鑄型之中。若熔銑內須加入錕、砂等，即以粉碎之錕鐵及砂鐵加入取鍋中。爐內裝入物既漸次下降，再順次裝入以連續工作。焦煤之裝入量，約為銑鐵之 $10:80$ 。下層焦煤之高度，與送風量及其分布，最為重要。送入之風，須注意使其平均分布於爐內。製造強力之鑄物，碳分須在三%以下，故銑鐵以外，須裝入屑鐵 $60:40$ 。又熔銑須極力熱之至高溫度，焦煤須選用緻密而灰分硫黃分少者。

銑鑄物使用之鑄型，以生型 (Green sand mould) 為主。生型為天然產出之鑄物砂 (moulding sand) 所作成之鑄型，鑄物砂之選擇，最為重要，耐火度、通氣性以外，又須有適當之黏度，鑄成之製品，表面須美觀。其成分，矽酸分約七〇% 內外，礬土約一二% 內外。生型除就其原形使用外，又乾燥其表面而使用之。鑄造鋼鑄物時，使用乾燥型 (dry sand mould)，砂須為耐火度極高之砂，普通混合矽粉末於耐火黏土內使用之。乾燥型為使此等材料有通氣性及黏性，混合少量之焦煤粉末或羊毛等於其中以作之，裝入炭火或乾燥爐內乾燥而使用之。

鑄型之尺寸，考慮所鑄造之金屬之收縮及製品之修工切削，酌留餘裕，以決定之。鑄型設有注入熔銑之入口 (Pouring gate)，導熔銑入其內之通路 (runner)，及氣體之出口，又於上部置押銑 (head)，流入需要量以上之熔銑，以助氣體及鐵滓之分離。

第十一節 特殊鋼 (Special steel)

碳鋼內，加入他種元素，可得種種性質特別良好之鋼。此種鋼稱為特殊鋼。茲述其主要者於次：

(一) 錳鋼 (Manganese steel)

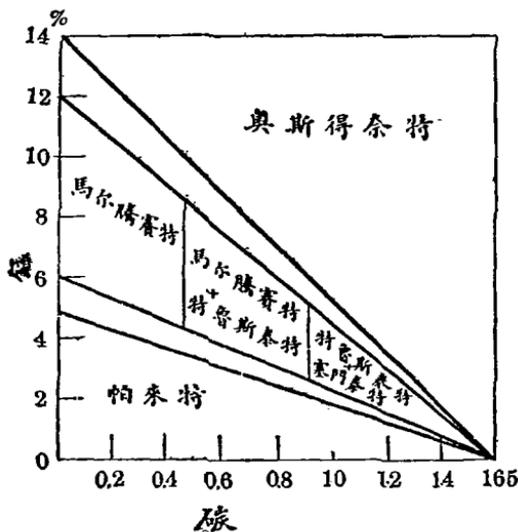


圖 175 錳鋼之組織圖

碳鋼內加入錳，則 A_1 點降下。就中 A_{C_1} 點之降下不甚劇， A_{R_1} 點之降下甚劇。據哈得斐爾多蒙氏之說，含錳一三%之錳鋼， A_{C_1} 為 $670 \sim 680$ 度， A_{R_1} 為常溫以下。高錳鋼在空氣中由高溫冷卻，亦發生硬鍛效果，換言之，即有空氣硬鍛性是也。此性質除錳以外，碳之含有，亦有關係。圖一七五所示，為種種成分之錳鋼在空氣中由高溫冷卻時所生之組織。例如錳一〇%、碳〇·五%之鋼及錳六%、碳一%之鋼，均為「奧斯得奈特」之組織，是也。由此，錳鋼可區別為三種，即「巴來特」鋼、「馬爾騰賽特」鋼及「奧斯得奈特」鋼是也。普通所使用者，為「巴來特」鋼及「奧斯得奈特」鋼。「巴來特」鋼之機械的性質，如次表所示：

表一六

抗 張 力						
	(一)	(二)	(三)	(四)	(五)	(六)
碳含有量%	〇·四〇	〇·四〇	〇·四〇	〇·六〇	〇·六〇	〇·六〇
錳含有量%	〇·七五	一·五〇	一·九五	〇·七五	一·五〇	一·九五
歷延	四五	七三	八三	七七	九〇	一〇二
韌鍛	四七	六五	七一	六五	六六	八八

熱處理之硬 度	延伸率%			彈 性 界 限			延 伸 率 %
	熱 處 理	軀 鍛	壓 延	熱 處 理	軀 鍛	壓 延	
九〇〇	一七	二二	二三	五七	四一	四〇	六四
八五〇	一三	一八	一四	六八	五八	六三	八〇
八三〇	一二	一七	一一	七七	六九	七四	八九
九〇〇	一〇	一九	一五	九五	五九	七二	一〇〇
八五〇	九	一四	一二	一一三	七一	八二	一一九
七五〇	三	一二	五	一一九	九二	九五	一二六

上表中，軀鍛溫度為 800~900 度，熱處理之強鍛溫度皆為 600 度。

「奧斯得奈特」鋼，錳含有量 10~14%，碳含有量 0.8~1.4% 者，使用最多。高錳鋼在水中由高溫急冷之，則成「奧斯得奈特」組織而變軟。此性質稱為水韌性，軀鍛之反變硬。高錳鋼由千度急冷之，則完全成「奧斯得奈特」組織。圖一七六所示，為高錳鋼由高溫度硬鍛後之組織。圖

一七七所示，為高錳鋼由高溫緩緩冷卻後之組織，「奧斯得奈特」多角形之周圍，有分離出之碳化物。

圖一七八所示，為更緩緩冷卻後之組織。下表

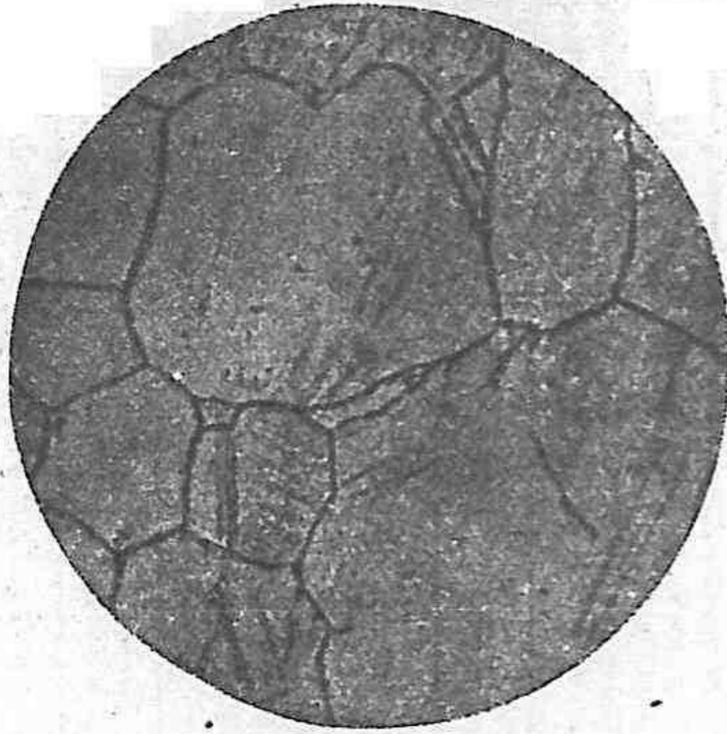


圖 176 高錳鋼之硬鍛組織 (120倍)

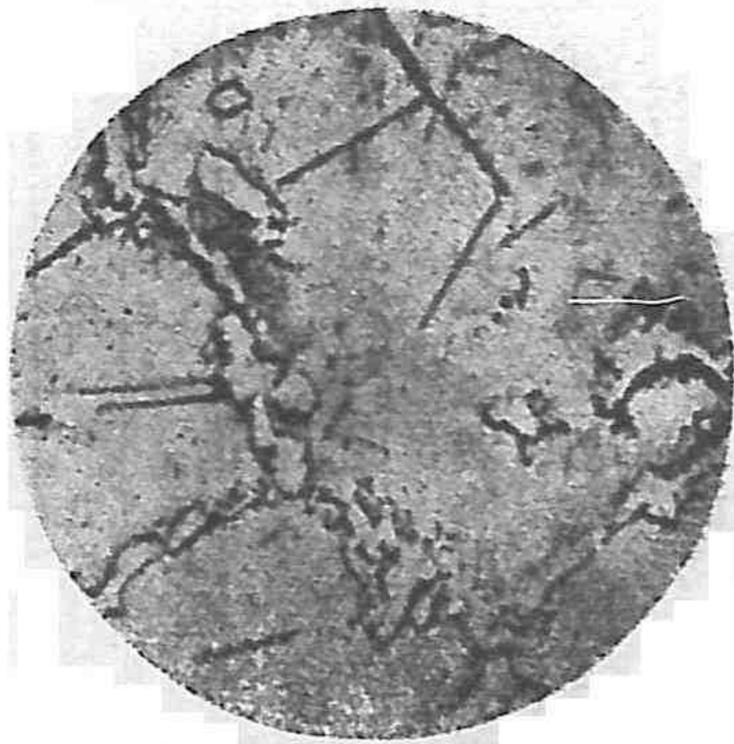


圖 177 高錳鋼由高溫緩緩冷卻所成之組織

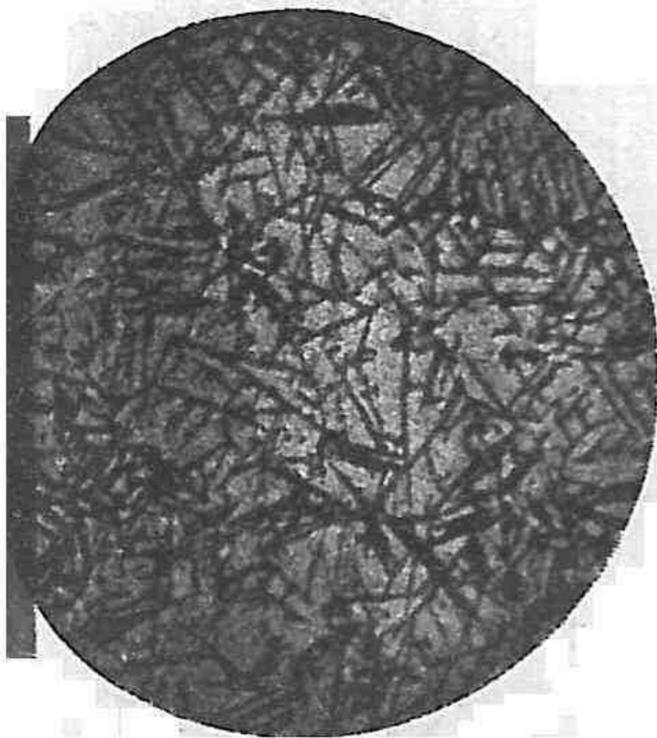


圖 178 高錳鋼由高溫較前更緩緩冷卻所成之組織

示高錳鋼（錳 11.0 ~ 11.5%，碳 1.0 ~ 1.15%）之硬鍛溫度之影響（依據斯特勞斯氏）。

硬鍛溫度	九四〇度	九〇〇度	八一〇度	七〇〇度
抗張力(妊 平方耗)	一〇七	一〇九	九六	五九
延伸率(%)	五一·六	五六·七	四四·八	一〇·七

下表示種種高錳鋼硬鍛後之機械的性質（依據哈德斐爾德氏）。

表一七

延 伸 率 %	抗 張 力 (妊/平方耗) %	錳 含 有 量 %	碳 含 有 量 %
二七·三〇	八四·〇〇	一一·二六〇	一·一〇
三七·四〇	九九·四〇	二四·四八	一·一〇
四四·四〇	一〇五·〇〇	一四·〇四	〇·八五
三一·〇〇	九五·〇〇	一五·〇六	一·二四

低錳鋼之主要用途為軌條，含錳 0.7~1.4%，含碳 0.15~0.40%。含錳 0.7~0.9%，含碳 0.5~0.6%者，以供破裂彈外筒製造之用。含錳 1.4~1.45%，含碳 0.25~0.30%者，以供高壓氣體鋼壘製造之用。高錳鋼能耐磨耗作用，碎岩機之顎，浚渫機、蒸汽錘、轆子混凝土混和機等之部分，鑛山用車輪，十字軌條，彎曲軌條，金庫等之製造用之。

(11) 鎳鋼 (Nickel steel)

鎳亦使 A_1 點降下，與錳同。尤其 Ar_1 點之降下，最為急激。高鎳鋼徐徐冷卻之，亦成生「奧斯得奈特」組織。圖一七九示鎳鋼之組織。表一八示鎳

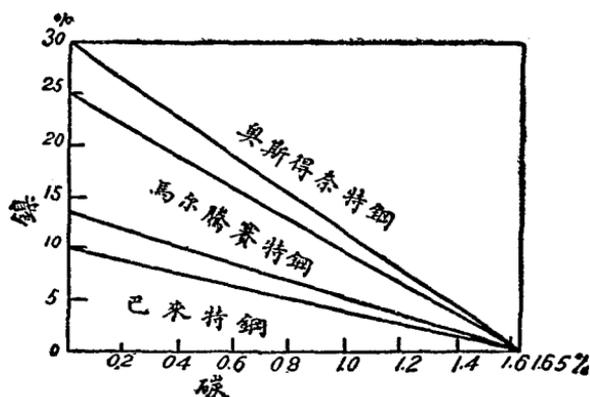


圖 179 鎳鋼之組織圖

鋼之機械的性質。

表一八

碳		% 錳		% 熱處理		彈性限界	抗張力	延伸率	斷面收縮率	
						耗/平方耗	耗/平方耗	%	%	
0.20—0.45	1.5—3.5	7—8	燒	遲	四〇—四五	六〇—七〇	二五—一八	六〇—四〇	—	
										四—六
		〇.〇五—〇.一五	二.五—三.五	一—二	硬	—	—	—	—	
										硬
		〇.〇五—〇.一五	二.五—三.五	二—五	硬	—	—	—	—	
										硬
	〇.〇五—〇.一五	二.五—三.五	二—五	硬	—	—	—	—	—	
										硬
	〇.〇五—〇.一五	二.五—三.五	二—五	硬	—	—	—	—	—	
										硬
	〇.〇五—〇.一五	二.五—三.五	二—五	硬	—	—	—	—	—	
										硬
〇.〇五—〇.一五	二.五—三.五	二—五	硬	—	—	—	—	—		
									硬	—

〇・二〇—〇・四五	三一四	燒	遲	四〇—四五	七〇—七五	一六一—二五〇—四五	
		韌熱處理	四五—五五	七五—八五	一一—八	六〇—五〇	
〇・二五—〇・四五	四—六	硬熱處理	六五—七五	八五—九五	一〇—六	—	
		燒	遲	四五—五〇	七五—八五	一五—一二五—四五	
		韌熱處理	五〇—五五	八五—九五	一一—八	六〇—五〇	
		硬熱處理	六五—七五	九五—一〇	一〇—六	—	
〇・三〇—〇・五	二五—二八	—	—	二五—三五	六〇—六五	三五—三〇	六〇—五〇
〇・三〇—〇・五	三五—三八	—	—	四五—五五	七〇—八〇	三五—二五	六〇—四〇
〇・一五	四六	—	—	三〇—四〇	六〇—七〇	四五—三五	—

高錳鋼中，含錳 25~28%，含碳 0.3~0.5%者，電氣抵抗強，用以供電氣抵抗器之製造。含錳一八%以上者，耐海水之浸蝕，用以供船用蒸汽鍋鋼管之製造。含錳三〇%者，用為水雷防禦之材料。含錳四六%內外，含碳〇・一五%者，膨脹係數(Coefficient of expansion)恰與玻璃或鉑同大，稱爲「卜拉齊奈特」(Platinite)，以代鉑，用於電球之製造。含錳35~38%者，稱爲「安法」(Invar)，

膨脹係數甚小，以供精密器械之製造。一般所用者，含鎳35~38%，含碳0.1~0.3%，含錳0~4%
 內外，零度時之膨脹係數為○·○○○○○、八七七。

表一九 鎳鋼之用途

線	% 碳	% 用	途
1~8	0.05~0.15		管、板、紙釘，以滲碳法硬化表面而使用之機械發動機之部分品例如： 齒車、鎖車、傳動子、曲柄軸、兩頭釘等。
1.5~3.5	0.02~0.45		蒸汽鍋板橋、梁材、殼、身材。
3~4	0.02~0.45		曲柄軸、傳動軸、連接桿。
3~6	0.25~0.45		齒車、兩頭釘、曲柄軸。
25~28	0.3~0.5		爆發發動機之殼、電氣抵抗器。
35~38	0.3~0.5		測時器、測量器、其他精密器械。
48	0.15		白熱電燈用線、「卜拉齊奈特」透鏡散具。

(三) 鉻鋼 (Chrome steel)

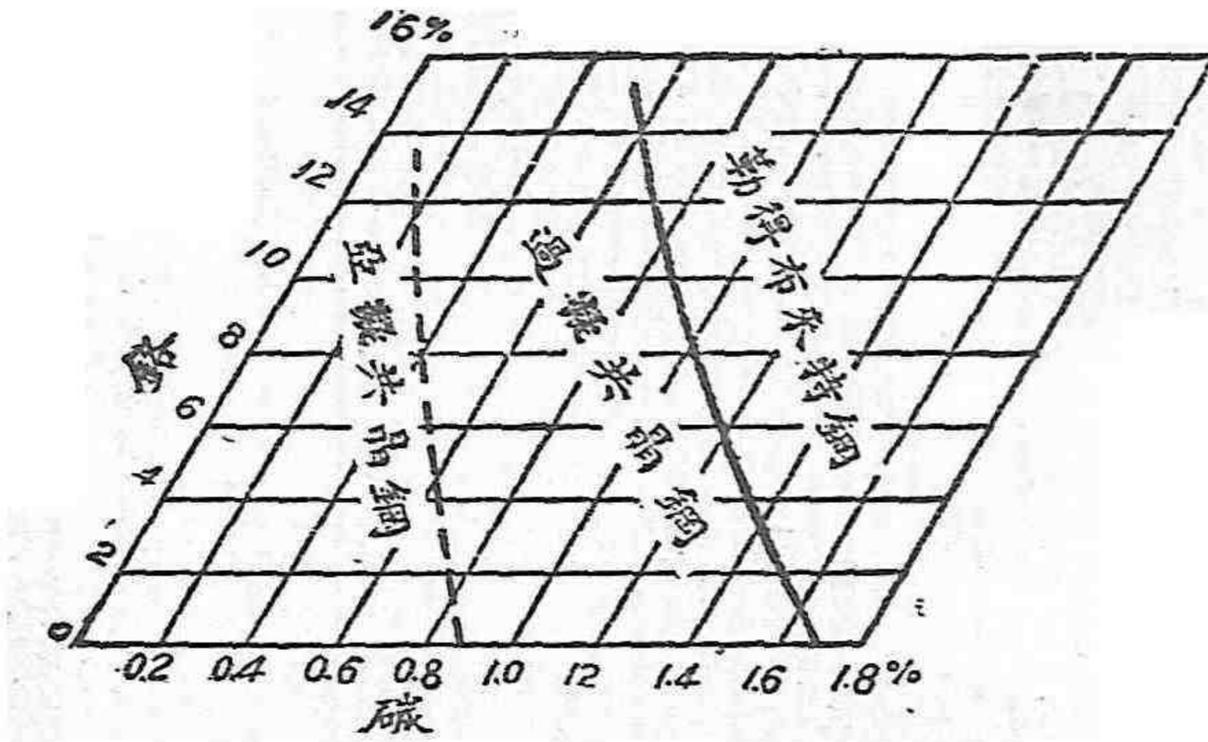


圖 180 鉻鋼之組織圖

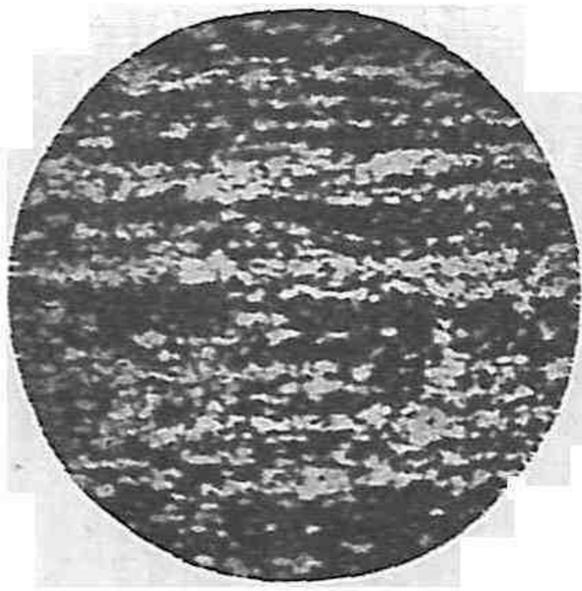


圖 182
前圖之鋼鍛鍊後之組織
(200倍)

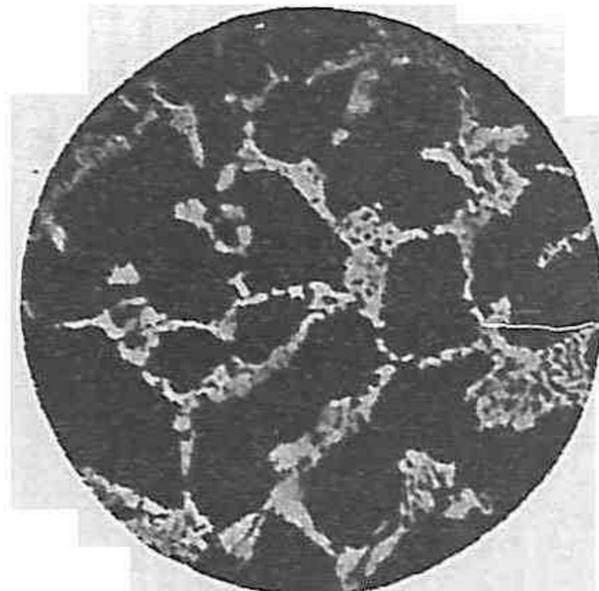


圖 181 高鉻鋼 (鉻
12%, 碳 2%) 之組織
(鑄造狀態 200倍)

鉻鋼之組織雖複雜，據奧巴霍法氏及拉巴茲氏之說，如圖一八〇所示，因碳及鉻含有量之差異，成亞凝共晶鋼、過凝共晶鋼及「勒得布來特」鋼。即鉻與碳增加，同時其碳化物即分離。圖一八一所示，為高鉻鋼（鉻一二%，碳二%）之組織，成「勒得布來特」之組織，即與銑鐵相似之組織。圖一八二所示，為此種鋼鍛鍊後之組織。

以作構造材料，多量使用之鉻鋼，為亞凝共晶組織鋼。

表二〇為鉻鋼之機械的性質之一例。

表二〇

碳 (%)	鉻 (%)	強鍛溫度(度)	彈性限界 (廷/平方廷)	破斷限界 (廷/平方廷)	延伸率(%)	斷面收縮 率(%)
〇·一六	一〇〇	六七〇	二八·三	四五·六	三九	七七
〇·二四	一·五〇	六八〇	三九·二	五八·二	二九	七二
〇·三二	二·九〇	六九五	四八·六	六四·五	二七	七四
〇·三〇	四·九〇	七四五	四五·七	六六·二	二七	七二

○·四一	三·〇五	七〇〇	五五·〇	七五·五	二七	六九
○·三八	五·〇三	七二五	四九·〇	七五·五	二七	六八
○·五二	一·一〇	六七五	五九·八	九一·五	二〇	五六
○·四七	二·二三	六八五	六三·〇	八六·五	二一	六三
○·四八	五·九五	七三五	四九·〇	七〇·六	二六	六六
○·六四	二·二七	六八五	七四·〇	九四·五	二〇	五六
○·五九	三·七三	七〇八	六一·五	八二·〇	二二	六三
○·七二	〇·九五	六七〇	六六·〇	一〇四·二	一九	四七

上表中硬鍛溫度為 A_{c1} 以上 90° 度，於油中硬鍛之。強鍛之際，於油中冷卻之。

鉻增加，則對於鑄之抵抗力加大，不銹鋼 (stainless steel) 爲含鉻 12%、15% 之鉻鋼。此鋼耐高熱，且膨脹係數小，故用以製發動機之瓣。不銹鋼對於鑄，對於鹽水、鹵精、硝酸、有機酸，雖有抵抗力，然對於硫酸及鹽酸，則易爲所作用。含鉻 12% 之不銹鋼，其抗張力如次：

碳	% 0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
抗水方(延平方耗)	四七—一〇	六三—二六	七一—四二	七九—七三	—	—

鉻鋼磁性力及殘留磁性大,可用以作永久磁石。

表二一 鉻鋼之用途

鉻	% 碳	% 用	途
0.4	0.26	0.5	行滲碳之轆子。
1.5	0.20	0.40	車輛發條、運動發條。
1.0	1.5	0.30	空氣鑿。
0.3	0.7	1.30	剃刀、小刀、鋸、切削工具等。
1.3	1.8	1.00	球軸承。
1.0	1.3	0.85	球。
1.0	1.5	1.00	粉碎機之顎。
1.2	1.6	0.10	不銹鋼。

11.0	—	14.0	—	0.30	—	0.40	—	內燃機用鋼。
2.0	—	4.0	—	0.60	—	1.00	—	常溫加工小轆子、高溫用唧筒、索引板。

鉻含有最多之鉻鋼，如不銹鋼，足以抵抗鏽、鹽水、有機酸、硝酸等，其機械的性質亦優，以供特殊目的之用。含鎳 35~38%，含鉻 2~2% 之鋼，膨脹係數甚小，且較之「安法」鋼，有楊格彈性係數 (Young's modulus of elasticity) 溫度上之變化小之優點。

(四) 鎳鉻鋼 (Nickel-chrome steel)

鎳鉻鋼為今日最優秀之構造用材料。表二二示此鋼大體之成分、機械的性質及用途。

表二二

碳 %	鉻 %	鎳 %	抗張力 噸/平方吋	彈性限界 噸/平方吋	延伸率 %	用	途
0.10	以下	0.6—0.9	110—120	20—25	3—9	硬鉞	以行滲碳。
0.10	以下	0.6—1.0	110—120	20—25	3—9	硬鉞	齒車、轆子、軸等。

0.16 以下	0.85—1.18	4.5—5.0	1.5—1.00	3.0—1.5	2.0—1.5	硬鍛	曲柄，動軸，車軸，連接桿，齒車。
0.30—0.55	0.5—1.2	2.5—4.5	0.8—1.30	1.5—1.5	1.6—1.7	飛機部分，兩頭釘。	
0.55	1.7—2.0	3.7—5.0				彈丸，裝甲板。	
0.35—0.45	1.0—1.5	4.5—6.0	1.0—1.0	1.0—1.0	約 1.1	硬鍛	空氣硬鍛鋼，齒車等。
0.11—0.14	1.8—2.0	5.0—7.0	0.8	0.5	1.5—1.8	自 1.00—1.200 度急冷卻之	不銹鋼

(五) 鎢鋼 (Tungsten steel)

鎢鋼酷似鉻鋼，由熱處理可得粒細質硬強度大之鋼。因價不廉，不適於構造材料之用。然以為工具鋼及磁石鋼，使用甚廣。此鋼之組成，與鉻鋼相似，鎢、碳含有量增加，則成為碳化物而分離。圖一八三所示，為此鋼之組織。

此鋼之重要性質，為硬度不因加熱而減退。高速度鋼之所以必需鎢，其故蓋在於此。此鋼之硬度甚高，鎢及碳之含有量愈增加，愈加硬。碳含有量高之鎢鋼，在硬鍛狀態，殘留磁性及磁性力，增加甚大，可用以作永久磁石之材料。次表示鎢鋼之用途：

表二三

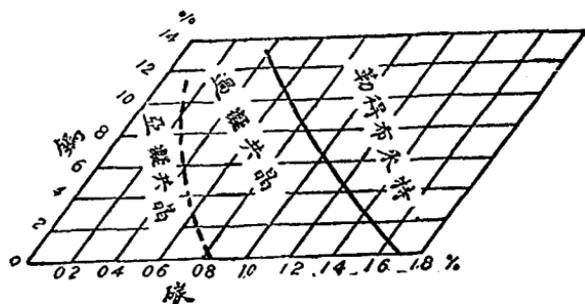
鋼	% 碳	% 用	途
五〇一六〇	〇・六—〇・六五	永久磁石。	
一〇一三〇	〇・六—〇・七	銑身材。	
〇・六一〇・七	一〇—一二	切削工具, 螺絲。	
八〇一九〇	〇・六—〇・六五	高溫引拔型, 壓機型。	
一〇一二〇	〇・三一—一〇	盤。	
一・五一—二・〇	〇・五—〇・六	揮發油機關之揚瓣。	

(六) 鉼鋼 (Molybdenum steel)

鉼鋼與鎢鋼相酷似。

(七) 鈮鋼 (Vanadium steel)

鈮鋼內加入他元素, 使成四元合金或複成鋼而使用之。例如鎳鈮鋼、鉻鈮鋼、鉻鎳鈮鋼、鉻鎢鈮鋼等, 是



圖六六

也。

鎳鈳鋼含碳 0.2 ~ 0.35 % 鎳 0.35 % 內外 鈳 0.12 ~ 0.14 % 抗張力及彈性限界高，對於應力及衝擊，抵抗力大，為汽車重要部分之材料。

鉻鈳鋼含鉻 0.75 ~ 1.50 % 鈳 0.16 ~ 0.20 % 受衝擊之機械部分之製作用之。例如車軸、活塞、連結錐、傳動軸、齒車其他汽車之重要部分之製作用之，是也。

(八) 矽鋼 (Silicon steel)

含矽 0.6 ~ 15 % 錳 0.4 ~ 1.0 % 碳 0.5 ~ 0.6 % 之鋼，由熱處理，可成彈性限界極高之鋼，鐵道、汽車等所用發條之製作用之。

含碳 0.1 % 以下，矽 1 ~ 2 % 之鋼，變壓器用板之製作用之。含碳 0.1 % 以下，矽 2 ~ 4 % 之鋼，發電機用板之製作用之。

(九) 高速度鋼 (High speed steel)

普通之工具鋼 (Tool steel) 切削速度過大，則因摩擦熱之故，質變軟而失其切削能力。高速度

鋼摩擦熱縱達六〇〇度，呈暗赤色，不惟質不變軟，且有硬度增加之特徵。故此鋼可以供高切削速度工具製作用，有普通工具二倍之切削能力，有高速鋼之名。高速鋼為一八九八年帖伊洛（F. W. Taylor）及懷特（M. White）二氏所發明，為含碳0.5~0.9%，錳12~20%，鉻3~5%，

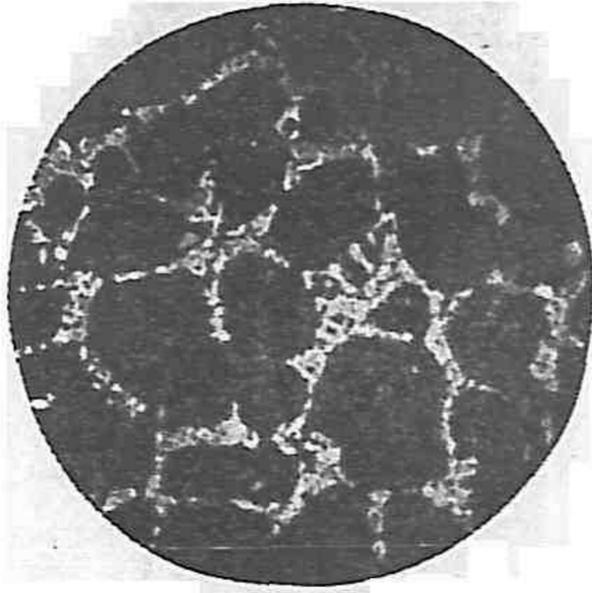


圖 184 高速度鋼之組織
(鑄造狀態10倍)

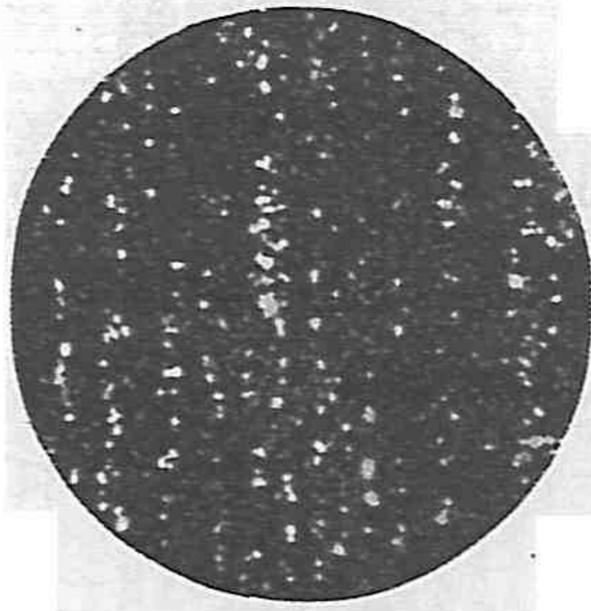


圖 185 前圖之鋼經
延後之組織(100倍)

之鋼。今日其成分殆猶未變，僅加入鈮、鈷等於其內耳。

高速度鋼之特性，為硬鍛時所生之「奧斯得奈特」及「馬爾騰賽特」組織，不易因加熱而

分解。鎢、鉻等有阻止此分解速度之特性，前已述之，高速度鋼，不過此特性之顯著者耳。高速度鋼鑄造之物，於 900 ~ 800 度壓延或鍛鍊之，由 1300 度硬鍛而使用之。在此高溫硬鍛者，切削之際，硬度不惟不減小，反有增加。然者由千度內外之溫度硬鍛之，則無此特性，切削能力變小。圖一八四為高速度鋼在鑄造狀態時之組織，圖一八五為圖一八四壓延後之組織。

「斯得來特」(Stellite) 此為美人海因茲(Edmond Haynes)氏所發明，為高速度鋼之代用合金。其成分因用途而異，大致如次：

鉻	1.5 %
鈷	40 ~ 65 %
鎢	20 ~ 45 %

此合金質硬，切削能力較高速度鋼尤大，鍛冶困難，鑄造後，以金剛砂砥研磨而使用之，為價格甚高之物。

(十) 其他

此外尚有鈷鋼 (cobalt steel)、鋁鋼 (aluminium steel)、鈦鋼 (titanium steel)、鉭鋼 (tantalum steel)、鈾鋼 (uranium steel)、錫鋼 (tin steel) 等茲略之。

第五章 石炭

第一節 石炭礦業之發達

現代，鐵之時代也。然非石炭（coal）之利用，則此燦爛之鐵時代，莫由完成。今日各種工業之發達，一面固由於鐵之利用，一面亦由於石炭之利用也。

石炭又稱爲煤，其用爲工業的燃料，以取煤氣，以煉焦煤，以取諸種之副產物，雖皆極最近之事，然其發見之歷史，則已數千年矣。

我國自太古以來，卽利用石炭，石炭發達之歷史極古。古代不惟以供燃料，並乾溜之使成可燃氣體，以供陶器、火藥之製造，製鐵等之燃料。

歐洲石炭之歷史更古，相傳青銅時代，金屬之加工，就中武器之製造，有採掘使用海濱河底露

頭之石炭之形跡。又亞里斯多德 (Aristotle) 氏之高尼提奧夫刺斯塔 (Theophrastus) 氏，紀元前二三八年，曾著一書名石論，中有「此等爲業已化石之物質，稱爲 anthracite，裂之則成土塊，發焰而燃燒，如木炭然，於窩林皮亞途中里歐里亞及葉里斯發見之，用於鍛冶」，其所謂 anthracite，現今雖爲無煙炭之義，當時一般爲石炭之通稱。

英國相傳有史以前，卽使用石炭。羅馬人侵入後，特種工業發達，亦從事於石炭之採掘。曼徹斯特克勒義巴克之石炭層中，曾發見石斧，又某地方亦曾發見形似灰燼之物。然英國一般之以石炭作燃料使用，作商品買賣，則始於十三世紀亨利三世之時代。初紐喀斯爾北方諾森伯蘭布里斯海岸露頭之石炭，爲波浪所碎，沖至砂灘上，因而拾集之，拾集權爲紐斯塔亞白之僧侶所有，稱爲海炭 (sea coal)。及一二一五年，馬古那加爾塔氏列石炭入貿易品之內。後紐喀斯爾市民，亦獲得採掘權，盛行採掘，送往倫敦。紀元一三〇〇年，因其發生煤煙與惡臭，使人不快，不適於衛生，曾禁止使用。然後又設煙突而使用之，炭山 (coal mine)則掘鑿坑道，設排水道，石炭鑛業，漸見隆盛。惟至十六世紀止，木材猶爲一般之燃料，石炭僅視爲下等燃料。及森林伐採漸盡，木材之供給不足，價格騰貴，

石炭之地位遂漸上昇。及森林保護法、製鐵所設立限制法、木炭製造法等法律案通過議會，燃料界爲之一變。當此之時，又有焦煤製造之發明，石炭之利用，愈爲擴大。一方又因坑內之湧水漸多，有時且坑內爆發，發生火災，紐喀斯爾地方，爲蠟燭火之不慎，坑內發生，延三十年之大火災，於是又研究排水通風之設備，以爲預防之計。以汲揚機 (bucket elevator) 排水，以火爐通風，此外坑內特留炭柱，以防地表陷落之法，亦漸盛行。

十八世紀爲石炭史上劃時期的時代。此時代坑內加深（最深之坑，達一二〇呎，達水準以下），坑口加多，經濟上不能再如以前之濫開坑口，運搬只有由豎坑行之，排水通風，愈加困難。於是時也，



■ 186 昔時歐洲炭山石炭及人之提揚

紐科遜氏一七二二年，於福得州設置蒸氣機關以供排水之用。後WATTS、TRIGG年，有名之瓦特氏之機關完成，不獨用於揚水，又用於捲揚、運搬，石炭採掘之礦業的價值，於是遂劃期的發達焉。

十九世紀全為石炭之時代。石炭以為原動力，最為有效，為一般所知後，於其採掘運搬，特加研究，其發達有足令人一驚者。石炭礦業既大發達，一八〇七年福爾敦氏發明蒸汽船，一八一四年喬治斯梯分孫氏發明火車，又促進諸種機械熔鑄爐之發明，煤氣其他副產物之工業，日臻隆盛，遂出現燦爛之物質文明。

第二節 石炭之成因及存在

埋木 (bog wood) 為石炭成生途上之物，亞炭 (lignite) (褐炭 (brown coal))、黑炭 (black coal) 為炭化作用 (carbonization) 之依次進步者，無煙炭 (anthracite) 為炭化作用之最進步者。埋木及亞炭，固不待言，即褐炭亦有年輪尚可辨識者。

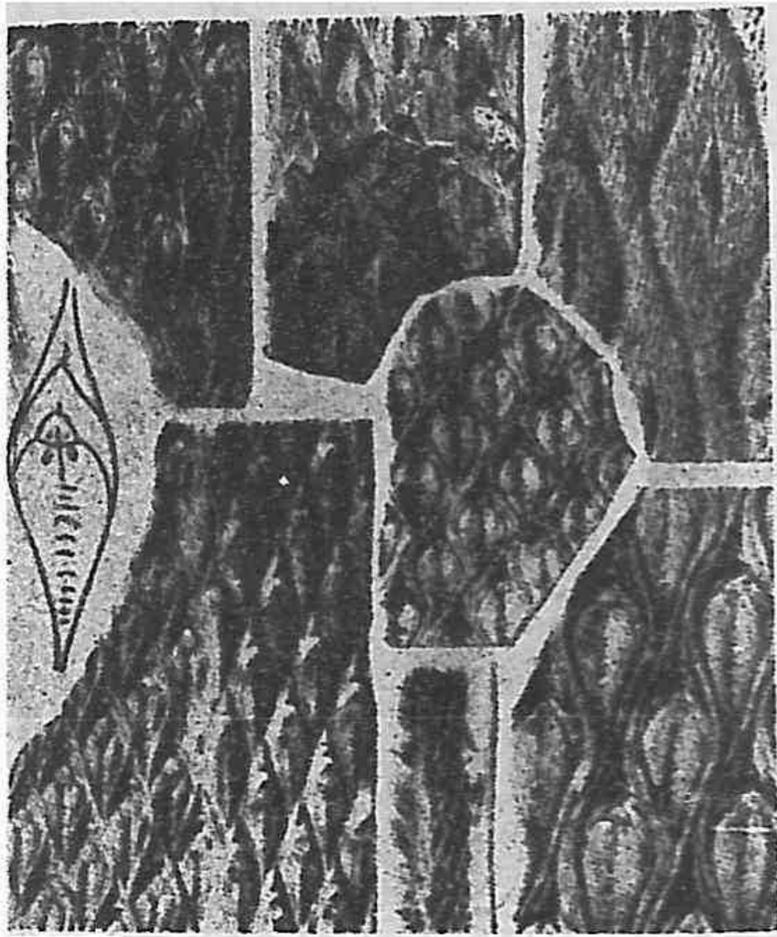
燒木材使成木炭 (charcoal) 之法，於窯中並列木材，點火後，稍隔片時，以黏土封閉其口，斷絕

空氣之流通而蒸燒之，即成木炭。此種炭燒作用，自然的進行，遂成石炭。

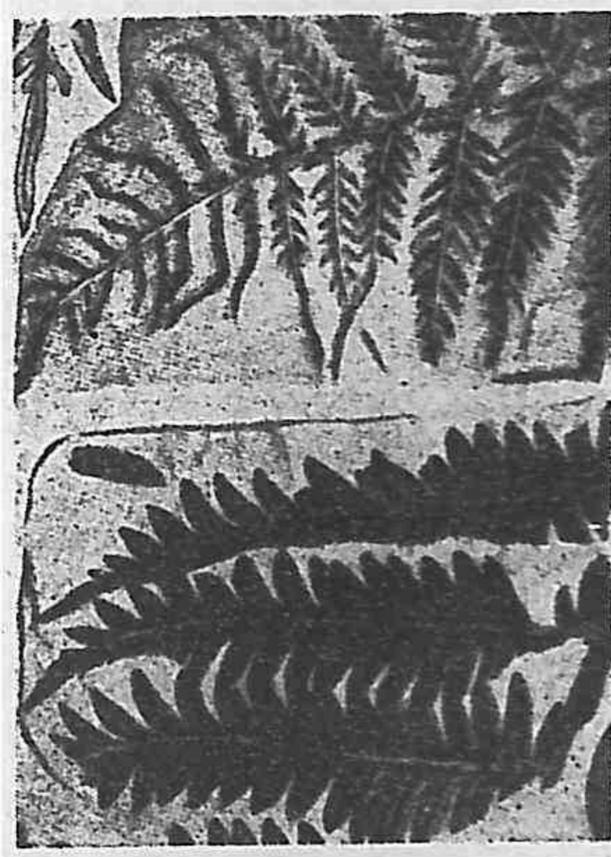
距今約數千萬年乃至數百萬年之太古，地球之表面，曾有植物極其發達繁茂之時代。此等植物，倒仆於地表，不久即腐敗而逸散。其因種種之原因，埋沒於地中者，則因特殊之細菌作用與地壓地熱之故，自然的發生炭燒作用，遂成今日之石炭。此不可思議之細菌之存在，顯微鏡的實驗，已迭次證明之。威廉茲 (Williams) 氏曾見「阿密洛巴克特爾」之乳酸醱酵，齊赫蒙 (Ziegler) 氏曾發見石炭紀 (carboniferous period) 松柏科遺物中之炭化細菌，但年伯爾 (Dannenberg) 氏謂僅在炭化之初期，可以見之。勒略 (Reaumur) 氏謂泥炭、褐炭、黑炭等各種石炭中，均曾發見之。植物去其水分，所餘者纖維組織耳，此纖維組織乃成生石炭之原料。密閉器中，裝入植物而灼熱之，先發生氣體，次發生水分、醋酸、醇、焦油等，遂成木炭。同樣，自然的炭化作用，亦先發生碳酸氣、水，次因無空氣之流通，缺乏氧，發生甲烷氣，最後所餘大部分之碳，即石炭之主體。木材中所含灰分，約一·五%，至此蓄積至八%。此灰分因含有可溶成分，炭化作用進展至成無煙炭時，由內流出而減少。又硫黃木材中雖未含有之，常二次的成硫酸化合物，混入其中，然石炭進展至成無煙炭時，普通

亦再分解逸散而減少。

最初爲石炭成因之說者，爲鑛物學之祖阿古尼可拉 (Agricola) 氏。氏於一五五四年倡「石炭爲石油之濃厚者」之說。後克來因 (Balthasar Klein) 氏、阿諾尼蒙斯 (Anonymus) 氏、胡克 (Hooke) 氏等，或謂爲木所成，或謂爲火山之噴出物，或謂爲有機物。至十八世紀之初，勺易則爾



■ 187 石炭中發見之鱗木



■ 188 石炭中發見之木葉

(Schuchner) 氏認石炭中有植物之遺跡，高倡爲植物變成物之說。後一八三三年，哈頓 (Hutton) 氏及林克 (Linn) 氏，約同時於顯微鏡下，發見無數之已炭化之植物細胞，又屢於炭層上盤中，發見枝葉等之遺跡，植物變成說，遂成確實之學說。

惟至今，此種植物，究爲何物，到達炭化之過程如何，猶有種種之學說。原地堆積說謂石炭爲埋沒炭化於往昔植物繁茂之原地所成，流積說謂石炭爲由未開之大森林流積於現地埋沒炭化所成。植物之種類，或謂爲石炭紀繁茂之羊齒類，或謂爲松柏類，或謂爲沼地之水草或海藻。然事實上均不無一理，由炭層 (coal seam) 附近之化石 (fossils) 推測，普通之石炭，爲羊齒類、松柏類所變成；北美加利福尼亞州某農園之泥炭層，爲淡水植物所變成；瑞典、挪威、阿拉斯加、西比利亞等寒帶地方將進入炭化初期之薄泥炭層，爲沼地之水草堆積所變成；此外爲似海藻之植物所變成之地，方亦有之。一方石炭之附近，有木根之遺跡，所以示原地堆積說之不謬；日俄戰爭後，日人曾爆破流水，上溯未有人跡之幌內川，以定國界，似流積說，亦未可非，要而言之，石炭之成生，必需水分，謂其爲溼地性植物或海藻所成，皆因其需要水分之故。由今觀之，石炭成生之當初，必鉅大之草木，鬱鬱蒼

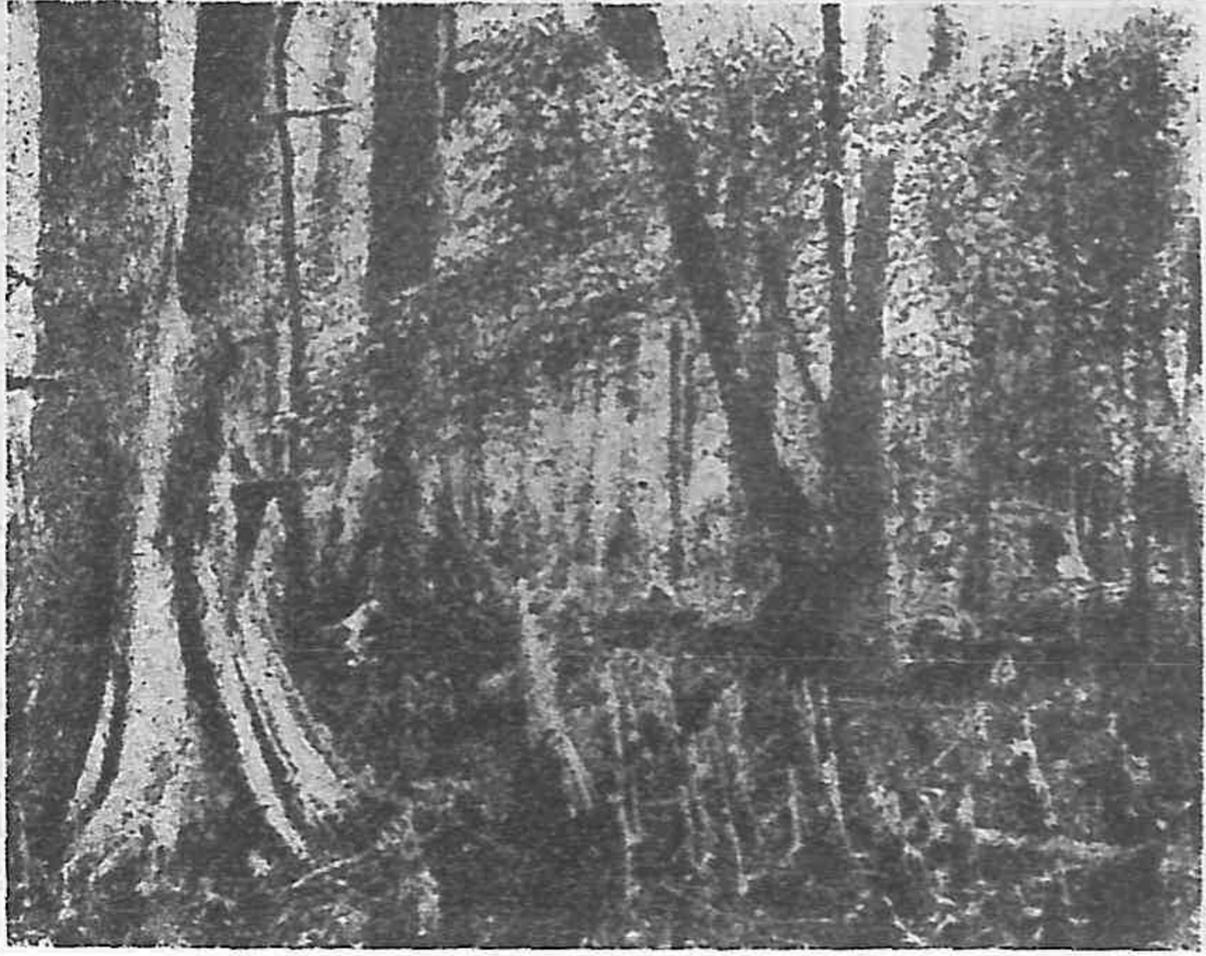


圖 189 原始林之鉅樹，相繼倒仆而腐朽，其在溼地者，則被埋沒而成泥炭，經過長年月後，變成石炭。

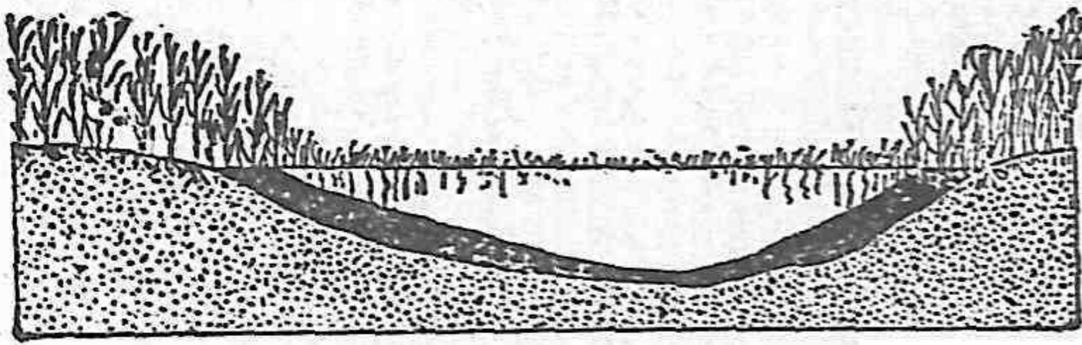


圖 190 泥炭之成生
沼澤地泥炭層之成生，今猶可見。

蒼，繁茂達數千年數萬年，當時空氣中碳酸氣之含有量，適於助長其繁茂，此等草木，必參天覆地，壯絕之至。然當時地殼尙未甚厚，未甚硬，與今相較，地震及地殼之變動必甚多，滄海桑田之事，必常有，於是此等繁茂之植物，或被埋沒，或堆積於水邊，漸次爲土砂所被覆，爲細菌所作用，失去水分、碳酸氣、沼氣等，及土砂層愈積愈厚，空氣之流通斷絕，上有土砂層之壓力，下有地熱之作用，經過數百萬年、數千萬年，遂成石炭而爲吾人所利用。又此等作用，時時反覆，故今日地下之炭層，自數層起，多者至達數十層，薩爾地方達八十餘層。厚自數裡起，有達三十裡者。

植物變成石炭後，由重量言之，約原重量之 $50\% \sim 80\%$ ；由容積言之，約原容積之一〇%。歐洲北部有約經百年，厚約三十裡餘之泥炭層，植物質尙無多大之變化。植物至成石炭止，照上述容積減少之法，三十裡之石炭層之生成，至少需千年，三裡之石炭層之生成，至少需萬年。然實際之生成狀態，較爲不良，所需時間，尙當更長也。又石炭成生當初，原爲水平狀態，後因地殼之變動，或生皺曲，或生傾斜，或露出於地表，或深埋於地中，至成今日之狀態。今日將入炭化初期及在炭化過程中者，掘出後謂之埋木、泥炭、亞炭，其稍進步者爲褐炭，再進步者爲純黑之普通之石炭，炭化最進步之老齡

炭，卽世所寶貴之無煙炭也。

石炭之種類 一言石炭，卽聯想及於黑煙濛濛之有煙炭 (bituminous coal)。有煙炭有燃而發長焰者，有燃而發短焰者，有燃而黏結者，有燃而不黏結者，因此等性質之不同，有長焰炭、短焰炭、黏結炭 (caking coal)、不黏結炭 (non-caking coal) 等之稱。

一般石炭炭化作用之愈進步者，愈爲良炭，自古生代 (Palaeozoic era) 以至中生代 (Mesozoic era)、新生代 (Cainozoic era) 時代愈新，則炭化作用，愈不充分，石炭之質，亦愈惡劣（惟或因受地殼變動、火成岩噴出之影響，或因地壓地熱之高低，不無若干之例外）。石炭中所含固定碳愈多，揮發分灰分愈少，其炭化作用，愈爲進步。普通因其炭化作用之程度，分之爲無煙炭 (anthracite)、半無煙炭 (semi-anthracite)、半瀝青炭 (semi-bituminous coal)、瀝青炭 (bituminous coal)（普通之石炭或黑炭，有高度瀝青與低度瀝青之分）、褐炭 (brown coal)（黑炭與褐炭）等數種。

歐美及我國之石炭，多成生於古生代及中生代，故其質良好，固定碳多，揮發分灰分少，發熱量

大。

日本之石炭，屬於新生代第二期，故不及歐、美、我國石炭之優良。下列之石炭分類表，為日本商工部地質調查所所制定。

表二四 石炭分類表

類別	無煙炭	半無煙炭	半瀝青炭	瀝青炭高度	瀝青炭低度	黑褐炭	褐炭
燃料比	三〇以上	三〇—七〇	七〇—四〇	四〇—一八	一八—一〇	一〇以下	〇·八七
黏結性	無	無	無或有	有	無或有	無	無
焰	無焰、短青焰、弱九	短焰、小煙、弱光	稍有光、短焰、有煙	有煙	有煙	有煙	有煙
發熱量	五五七—七五五	六〇七—六五九	五六一—五九七	五九七—六六七	六六〇—七七一	六三三—六六八	四六六
固定碳	四六·六—四九·六	五五·一—六二·六	五九·三—六六·七	六三·五—六九·四	六九·三—七三·一	七三·五—七九·六	七九·〇
揮發物	三四—五·六	六·七—一〇·四	一〇·〇—一四·五	一四·四—一九·六	一九·七—二四·二	二四·〇—二九·九	二九·〇
灰分	五·二—一五·五	六·八—一〇·六	八·〇—一三·〇	一三·五—一七·九	一七·九—二二·三	二二·三—二七·三	二七·三
硫黃	〇·三—一·九	〇·三—一·九	〇·四—一·三	〇·四—一·六	一·六—二·二	二·二—三·六	三·六

泥	炭	三〇—五〇	五〇—六〇	〇.五—〇.八	九.三	一.七
稱	炭	三〇—四八	四〇—五〇	一.〇	九.三—一.二	二.三
瀝青	炭	四八—七三	二〇—四〇	一—五	一.一—二.〇	五.六
半瀝青	炭	七三—八三	一四—二〇	五—七	二.〇—三.三	八
中無煙	炭	八三—九三	一〇—一四	七—一〇	二.三—二.六	一.二
無煙	炭	九三—九六	八—一〇	一〇—二〇	二.六—三.〇	一.九

普通石炭照上法，由其成分性質以分類，最爲合理。然在商業上，有時由其形狀及大小以分類，亦屬必要。

黑炭大概分爲大塊、中塊、小塊、混合炭、粉炭、微粉炭六種。塊炭 (lump coal) 爲七、五糎以上之塊，粉炭 (small coal) 爲一糎以下之粉，混合炭 (unscreened coal) 爲塊粉混合之炭。大塊之價常高，炭粉常較之低廉。

無煙炭爲高價之炭，除由其大小以區分之外，又由其加工後之形狀，予以種種之名稱。

塊炭	75 耗以上	卵炭	50 ~ 75 耗
暖爐炭	25 ~ 50 耗	豆炭	13 ~ 25 耗
蕎麥炭	6 ~ 13 耗	鳥目炭	3 ~ 6 耗
粉炭	3 耗以下		

石炭又由其用途，予以蒸汽用炭、製鐵用炭、煤氣用炭、焦煤用炭、家庭用炭、鍛冶用炭、窯業用炭、製鹽用炭等名稱。

炭田 (coal field) 之分布 天惠之富源石炭之分布，以北大西洋之兩岸為最豐富，就中國尤為豐富。美國、加拿大、英國、德國、法國等所埋藏之石炭，為古生代石炭紀 (carboniferous period) 之石炭。美國之炭田，賓夕爾瓦尼亞州最為發達，炭層之厚 1 ~ 18 呎，僅此地一年即產瀝青炭 120 ~ 172 百萬噸，此外又產多量之無煙炭。美國之炭田，可大別為四區，上述之賓夕爾瓦尼亞及西勿爾吉尼亞、俄亥俄、干特基、阿拉巴馬等地方之炭田為東部炭田，伊里諾斯、印第安等地方之炭田為中部炭田，此外為哥羅拉多等山脈地方之炭田及太平洋岸之炭田。以上各州，每州每年均產出

瀝青炭一千萬噸乃至一億一千萬噸。英國自昔有多數著名之炭田，蘇格蘭之愛丁堡、格拉斯哥附近，東海岸由紐喀斯爾以達希佛爾得之約克、達拉蒙地方，中部之曼徹斯特、白明翰附近，南西之加的夫、布里斯它爾附近等，其主要者也。德國有以鑛業技術發達著名之魯爾炭田及細里細亞炭田。魯爾炭田，炭層之厚，達五五呎，屬半瀝青炭，煙少而發熱量大，為優良之石炭。德國戰後雖失亞爾薩斯、勞蘭、盧森堡、薩爾上部細里細亞等地方，然每年石炭之產出，尚有二億數千萬噸。

由北大西洋以至北冰洋沿岸，除石炭紀之石炭外，多新時代之泥炭。又丹麥約 300 ~ 350 年，有厚約二呎之泥炭層之生成，德國哈諾威約四〇年，有一呎弱之泥炭層之生成，此外愛爾蘭、俄國、瑞典、加拿大、法國等，亦有泥炭之發見。據義醒氏之說，此等泥炭層，生成於緯度四十五度，一年之平均溫度在攝氏七度以下，適於溼地性植物之生長，水分之蒸發不過激，植物之分解不急激之地。然則南大西洋沿岸之少足道之炭田，其由於溫度過高，枯倒之植物，易於腐朽分解之故歟？

太平洋兩岸，產新生代第三紀 (Tertiary period) 之石炭，北美大陸西部及日本所產，即此種石炭也。亞洲大陸，就中我國，多產石炭紀二疊紀 (Permian period) 以至中生代三疊紀 (Triassic

period) 侏羅紀 (Jurassic period) 之無煙炭，埋藏量約世界之一三·五%，雲南、山西，最爲發達。據稱雲南埋藏量達十萬億噸，山西埋藏量達七萬億噸。其次爲湖南、四川、甘肅、貴州、河北、江西、河南、山東等省。又東三省亦有三百億噸，蒙古雖尙未詳，亦約有十二億噸。

法屬安南、東京、炭田之埋藏量，約二百億噸。荷屬東印度、蘇門答拉、婆羅洲以至印度之炭層，成生於古生代之二疊紀，孟加拉、貝哈爾、敖黎薩等地，最爲發達，埋藏量達五三二億噸，中部印度之埋藏量，亦約二二六億噸。

澳洲石炭之埋藏量，約世界之二%，非洲約一%弱。

要而言之，石炭之分布，北半球極多，南半球極少。

產額及埋藏量 世界之石炭產額，一八六三年爲十三億噸。經五十年至一九一三年，爲十三億五千萬噸。其後約在十三四億噸之間。

表二六 世界石炭產出量

國	別數	量	國	別數	量
---	----	---	---	----	---

捷	克	三九、三〇六	其他	共計	一、五四〇、〇〇〇
日	本	三六、〇〇〇	澳	洲	一三、六四七
波	蘭	四六、二五七	中	國	一八、三〇〇
法	國	五四、九二四	印	度	二二、五〇〇
德	國	三三八、六一五	俄	國	三四、三八四
英	國	二六四、八一六	加	拿	一五、八七八
美	國	五五二、四六五	比	利	二六、九三一
		千公噸		時	千公噸

世界各國之產出量，如表二六所示，美國約占世界總產出量之四〇%。美、德、英三國，約共占世界總產出量之九〇%。德國戰後失去盧森堡、亞爾薩斯勞蘭、薩爾、上部細里細亞等地方，產出量較前減少。

石炭之埋藏量，欲完全知之，殊為不易。然石炭與其他礦物或石油較，較易推定。據一九一三年加拿大所開萬國地質學會之推定，世界之石炭埋藏量共為七、三九七、五五三、〇〇〇、〇〇〇噸，即共約七兆四千億噸，是也。但此乃就現今之技術，以收支相償之炭層為限度所推算。即就厚在

上述埋藏量，由石炭之種類觀之，無煙炭最少，不滿七%；瀝青炭最多，占五三%；其餘約四〇%爲褐炭。

由大陸觀之，北美最多，占六九%，次爲亞洲一七%，歐洲一一%，澳洲二%，非洲一%。由國家觀

共計	其他	荷蘭	日本	西班牙	比利時	法國	印度支那	科倫比亞	非洲
六·七五%	—	—	—	—	四、〇〇〇	一二、〇〇〇	—	—	一三、〇〇〇
五二·七五%	—	五、〇〇〇	八、〇〇〇	九、〇〇〇	一二、〇〇〇	—	三〇、〇〇〇	五九、〇〇〇	四九、〇〇〇
四〇·五%	—	—	—	—	—	—	—	—	—
一〇〇%	一一·三	—	〇·一	〇·一	〇·二	〇·三	〇·四	〇·八	〇·八

之，美國以一國而占全世界之過半數，次爲加拿大、我國、德國、英國等。

萬國地質學會在加拿大開會之一九一三年，世界石炭之產出量爲十三億二千萬噸，依此推算，全埋藏量之掘盡，約需六千年。又美國之石炭壽命約七千三百年，英國之石炭壽命約七百五十年。惟此等計算，石炭需要量之累進率，尙未加入。

第三節 炭山之作業

探礦 鑛山及炭山，雖多爲偶然所發見，然爲科學的探鑛法所發見者，亦不少。又露頭發現後或石炭層之存在大致推知後，調查時亦不可不行探礦。含炭層由地質上雖可追尋之，然有因急傾斜之故，深埋入地中者；有因大斷層之故，失其所在者；有因火山岩岩脈之故，爲所切斷者；又有因地層錯亂之故，經濟上不堪採掘者。故由露頭等發見炭層後，須先行探礦，經詳細之調查後，方可採掘之。

調查地下之炭層，有試鑽探礦與坑道探礦之二法。試鑽探礦分爲迴轉式試鑽（rotary bor-

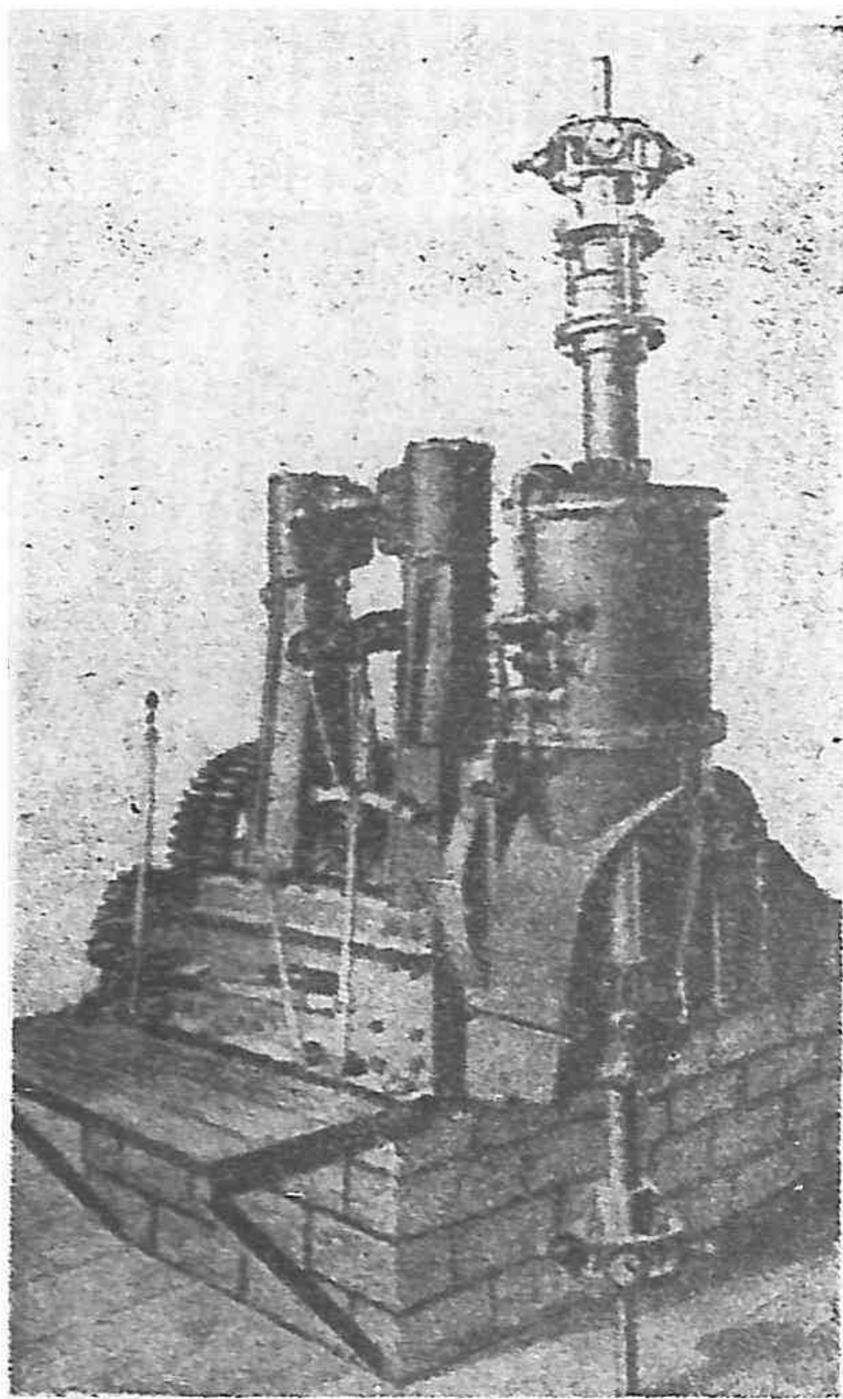


圖 191 金鋼石試鑽機
(薩里凡型之一種)



圖 192 鑽冠

ing)與衝擊式試鑽(percussive boring)前者予鑿以迴轉運動,使鑿入地下,有花萼試鑽(calyx boring)水壓迴轉試鑽(hydraulic rotary boring)金剛石試鑽(diamond boring)等法。

金剛石試鑽,環狀鋼鐵鑽冠(crown)之周圍,裝有重0.5~2.0「加拉特」之黑色金剛石(black diamond)6~24個,以機械迴轉之,使鑿入岩石內。被鑿之岩石,成圓柱狀,取出以供詳細檢

查地下岩層之用。此法爲最進步之法，硬岩用之，效力甚大。用此法掘鑿之深度，以德國楚勺（Carst chow）之11,111〇呎爲最深。此法所用黑色金剛石，較普通金剛石爲硬，價亦較高，多產於巴西。

衝擊式試鑽之代表的方法爲索試鑽法（rope boring）。此法爲四千年前我國所發明，用以鑿井之方法。後經歐洲，傳入美國，改良發達，遂成今日之方法。日本之上總法，爲此法之原始者（此等試鑽法，與石油鑿井法相同）。

坑道探礦爲由露頭沿炭層掘鑿坑道，以調查炭層狀態之法。此法最初即可出炭，可稍補經費之不足，所謂試掘，卽此是也。

世界各國，一般鑛物定爲國有，新發見鑛床炭層時，設定鑛區，陳請政府，予以許可，然後始行試掘或探掘。試掘爲調查該鑛區內鑛物或石炭之有無及是否果有經營鑛業之價值。試掘後果有經營鑛業之價值，然後陳請政府，予以許可，着手探掘。

一 探礦

由探礦確知石炭之存在後，應卽着手探礦。然炭山之探礦，與金屬山異，石炭較鑛石爲輕，同重

量之石炭，其體積遠較鑛石爲大；通風不完全，則有窒息、爆發之危險；排水不完全，則不能掘進，有時且因是而成廢山；通風、排水、運搬等問題，殊感困難而費苦心也。

(一) 坑道

炭山恰如都市計劃之有幹線道路與支線道路，亦有幹線坑道與支線坑道。與幹線道路相當之坑道，爲水平坑道、斜坑道或豎坑。

水平坑道 (Level) 水平坑道以採掘水準或水準以上之區域之石炭爲目的，有最初即逐炭層之走向掘進者，有先水平向岩石掘進，到達炭層後，再逐炭層之走向掘進者。此二法中，應採何法，考慮排水、運搬及岩石捨棄之處所等而決定之。若在同一狀態之下，則最初掘

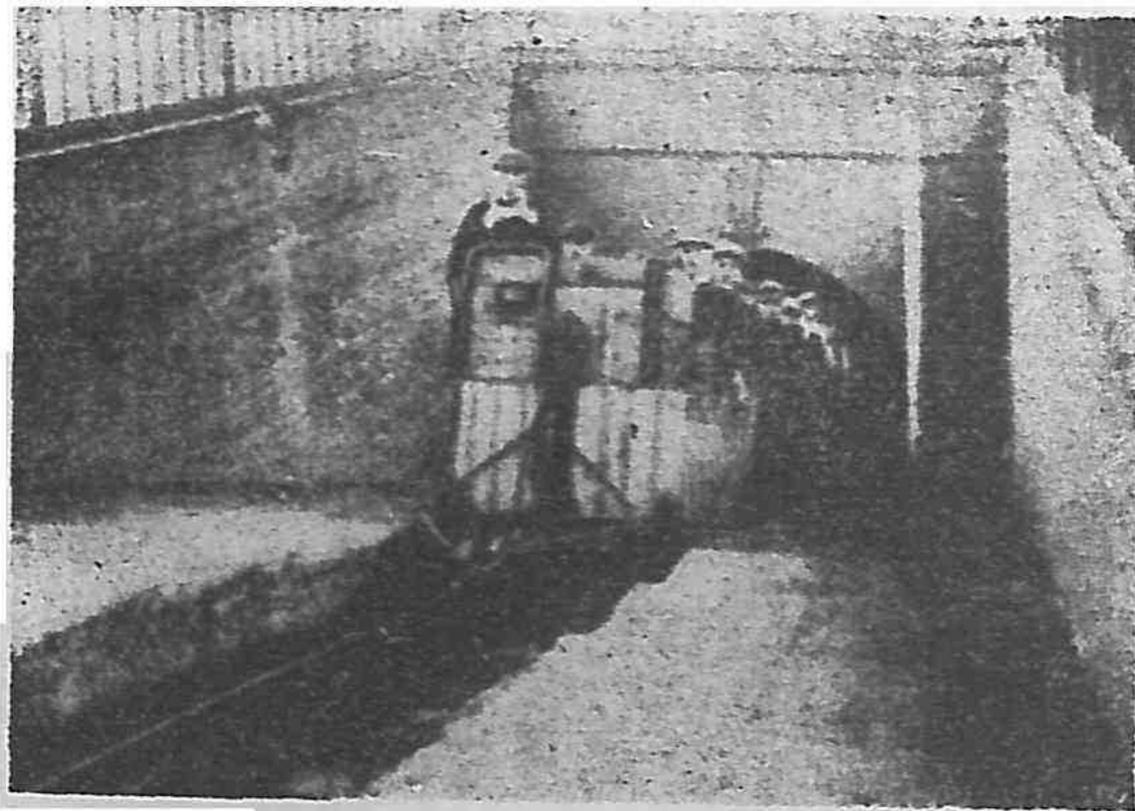


圖 193 炭礦之入口

進炭層之法，經濟上較爲有利。然若應行開坑之露頭之位置，排水、運搬等不便，則暫時掘進岩石，雖稍需經費，將來經營上便利實多，以採後法爲佳。

斜坑道 (incline) 斜坑道一般爲沿炭層之傾斜掘進之傾斜坑道，有露頭之處，主用此法。又有時掘鑿岩石以設斜坑之處亦有之。

水平坑道及斜坑道，均寬 3 ~ 4.5 呎，高 1.8 ~ 2.7 呎，由運搬及通風等之關係決定之。水平坑道略傾斜八十分之一乃至千分之一，俾便於運搬、排水。斜坑或以炭層之傾斜爲傾斜，或傾斜 $1:10 \sim 2:10$ 度，間亦有傾斜二十五度者。

豎坑 (shaft) 豎坑爲由地表垂直向地中掘下之深井，爲矩形或圓形，間爲橢圓形，壁以磚及混凝土 (concrete) 等築之。若爲圓形，直徑爲 4.8 ~ 6 呎，有時亦有六呎以上者。豎坑之掘鑿，工程最難，最難處置者爲湧水。湧水時或以急結水泥 (quick setting cement) 充填之，或以製冰裝置使其周壁之水結冰，或用壓縮空氣，或預作周壁逐漸使之沈下，有種種之方法。每一豎坑，區劃爲二區或三區，其一以捲揚機上下車架 (cage)，以供石炭之搬出及人員之出入，他以供電線、蒸汽管、

排水管、非常用鐵梯子等諸設備之用。

支線坑道 豎坑之開鑿，既達炭層，於是開設基準之水平坑道。基準水平坑道之左右或上下，更開設片盤坑道。各片盤坑道，每隔5~8呎，沿炭層之傾斜，開設昇或降坑道，以行採炭。炭層有若干枚時，以豎坑到達各層，於各層內照上法開設坑道採掘之。

通風坑道 凡掘進炭層內之坑道，須二坑道並行掘進，俾便通風。蓋炭層之新面，常不斷的噴出多量之沼氣，此種氣體，蓄積既多，足為窒息或爆發之導線故也。豎坑普通亦掘鑿一對，以一為入氣坑，並以供搬出石炭之用；以一為排氣坑，並以供人員之出入，坑內材料之搬入及排水等之用。

保存炭柱 炭層內開設之各種坑道，其兩側須各餘留3~8呎之炭柱，使支盤壓，以保存之。地表建築物之下，亦須於一定之區域內，餘留炭柱，以防地表之陷落。

(二) 採炭之方式

各炭山採炭之方式，十山十法。蓋炭層之厚薄，傾斜之緩急，兩盤之強弱等，各炭山莫不互異，採掘之方式，不能不隨之互異故也。然大要由收支上言，不外力求其經濟；由人道上言，不外力求其安

全；由國家之經濟上言，不外力求地下之無遺利耳。採炭之方式，茲述其二三於次：

採炭之法，先分坑內爲若干區劃，再就各區劃，以下述之方法採掘之。如此則萬一爆發或湧水，其害只及於一區劃，不致延及全坑。

柱房式採炭法 (pillar method) 以 18 ~ 36 呎之間隔，遺留炭柱 (coal pillar) 於炭柱之間，縱橫開掘寬 2.7 ~ 5.4 呎之坑道，向前掘進。天盤 (roof) 堅牢時，再加大之者亦有之。掘進完後，採掘炭柱而退，此時作業最爲容易，爲經營者最有利之時。炭柱採掘後，或任其自然，或施以支柱。此方法自來行之者最多，近因其有損礦利，通風複雜，漸次改良爲他種方法。

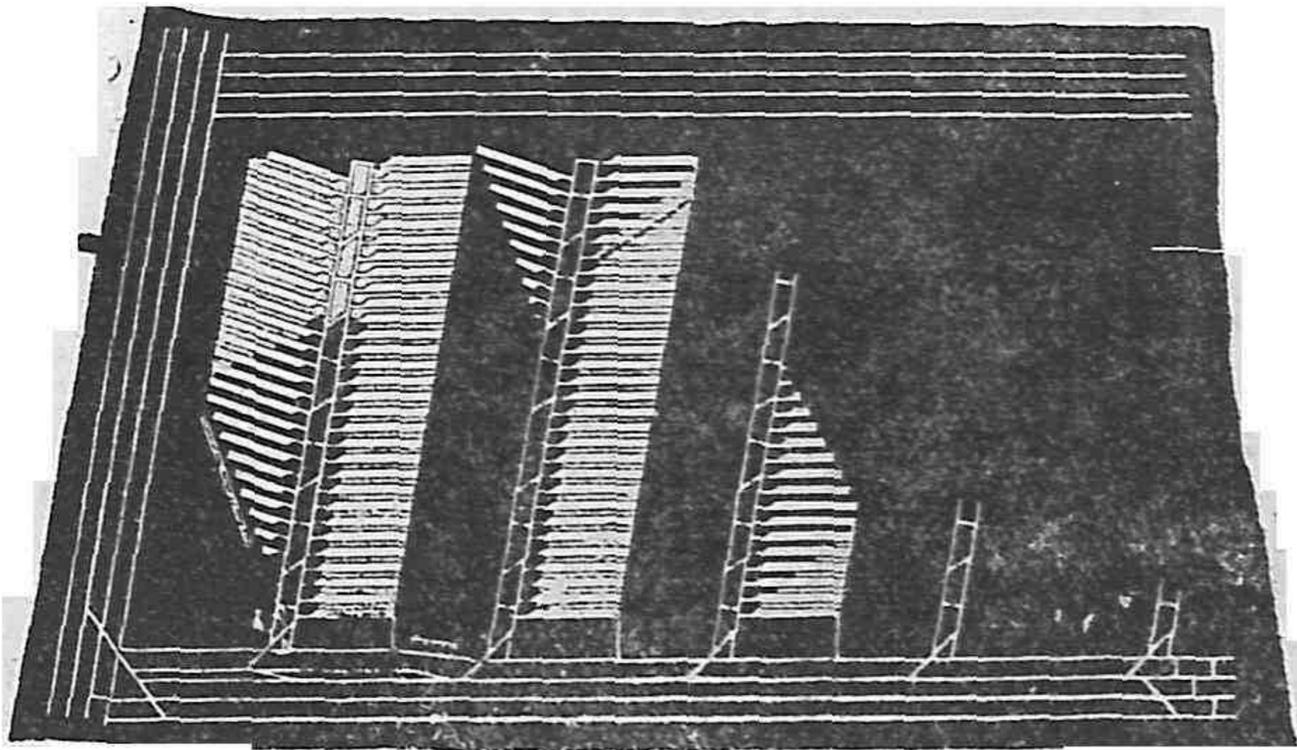


圖 194 坑道之一例

入口有四處，示採掘炭柱之狀況。(美國賓夕爾瓦尼亞之例)

長壁式採炭法 (long wall method) 此法有前進式與退卻式。採炭場 (working face) 作長壁形，故有此名。此法除豎坑或主要坑道之炭柱留存外，其他之炭，自某地點開始採掘，漸次向外前進，全部採掘之。此法因採掘跡 (coal) 盤壓之故，採掘場之面生裂縫，採掘極為容易。採掘跡除留運搬及通風之坑道外，其兩側以廢石或支柱支持之。厚一·五呎以下，傾斜緩慢之炭層，此法可理想的施行之。此法不留炭柱，石炭可全部採掘，為其特點。然炭層過厚，則採炭場之採炭遲滯，危險增多；夾石 (parting) 少之優良炭層，充填採掘跡之廢石，須由坑外搬入，亦其缺點。又爆發氣之进出多，採掘跡有爆發氣蓄積，發生危險之虞，則採用退卻式。

階段式採炭法 炭層直立或急傾斜時，垂直應用柱房法以作採炭之準備。惟坑道之寬及高，須稍減小，或為 8×8 ，或為 10×8 ，或為 12×8 (單位尺)，由炭層之厚決定之。此法之方式，與鑛石之採掘同。

露天掘 露天掘與坑內掘異，在新鮮之空氣內與日光下作業，勞動能率遠較坑內掘為高，危險少，監督易。又大規模之機械，亦能使用，支柱炭柱亦不要，故所需經費少而石炭可全部採掘。惟炭

層之被覆層，除去之頗需經費，天氣不良時，工作有礙，是其缺點。然炭層厚時，縱除去之表土，達炭層之厚之 $2\sim 3$ 倍，此法亦為有利。

露天掘先除去表土，露出石炭，然後採掘石炭，結局形成一盆地。此盆地之周圍，設寬 $3\sim 15$ 呎之環狀階段圍繞之。此階段即採炭場，上設軌條，以供運搬之用。日人在我國遼寧省經營之撫順炭礦，其西端之古城子（圖一九），即行大規模之露天掘。此法表土之除去，頗需經費，薄層



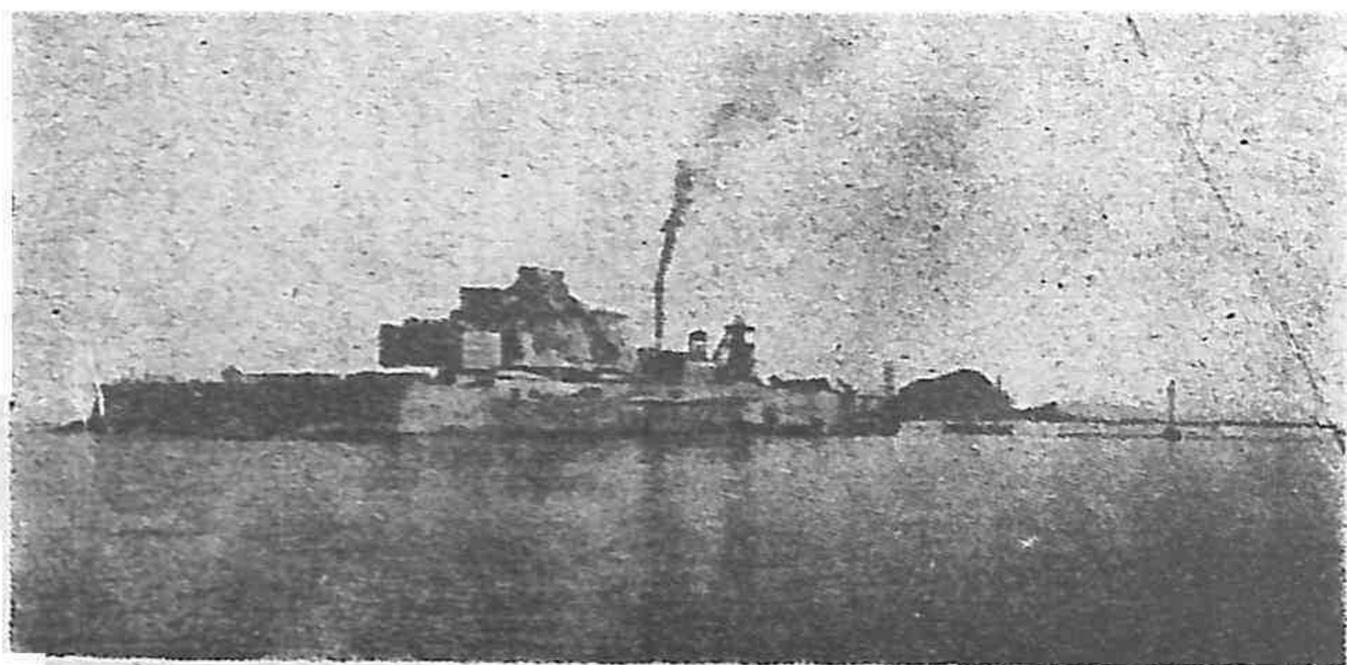
圖 195 露 天 掘

行露天掘時，炭層上面之被覆層，須先全部除去之。

之炭層與深埋地中之炭層不適用。

海底之採炭 近於海岸之炭層，其一端縣延達於海底之深處。日本三池炭礦之萬田坑、四山坑，山口縣之沖山、東見初炭礦，長崎縣之高島、松島、戶崎諸炭礦，均採掘海底之石炭。此種炭礦，普通坑口設於陸上，以豎坑及水平坑或斜坑到達炭層而採掘之。

採炭之方式，與陸上之炭礦，無甚不同，惟採炭場與海底面之間，須留適當之厚，以防海水浸入之危險。又採炭跡若崩落，發生陷沒，則岩石中生裂罅，有海水浸入成廢坑之虞，故採炭法採用遺留炭柱之殘柱式採炭法，否則採用流砂充填法（sand



■ 196 高島炭礦端島，爲周圍僅一哩之小島。島之中央，有豎坑三。因土地狹隘，礦夫宿舍爲鐵筋混凝土之七層樓。所用之水，一部蒸溜海水以充之。

pushing) 或其他之支柱法，以充分防止上盤之崩落。海水一浸入，即成廢坑，明若觀火，故於海水之浸入，須絕對講求預防之法。又排水機之裝置，亦須期其完全。據稱現在此種炭礦之採炭，僅能達到距海岸 4000~5000 呎之處，然將來更遠之處，將亦能採掘也。

(三) 石炭之掘法

由採炭場之面採掘石炭，透掘、鑿孔（鑿爆破孔）、冠炭掘落三作業，交互反覆行之。此等作業，有機械掘與手掘之別。歐美普通用機械掘，日本普通用手掘，現亦漸用機械掘。

手掘、透掘及爆破作業 採炭場面，普通先於下部行透掘（有時於上部，間於中央部）。透掘，行手掘時，高 0.3~0.5 呎，深約一呎，以尖鋤行之；行機械掘時，高 0.2~0.3 呎，深 0.9~1.8 呎。次如爲手掘，以鎚及鑿鑿直徑約二呎，深 0.6~0.9 呎之爆破孔；機械掘亦然。鑿孔作業既終，裝入黑色火藥 (black powder) (安全爆藥)、「日里古奈特」(gelignite) 或雷火藥 (dynamite) 以爆破之。最後冠炭以尖鋤掘下之。此時因爆破之效果，採掘場面之石炭鬆弛，採掘甚爲容易。又礦夫因尖鋤作業困難，透鋤多忌避之，然透掘之施行與否，於採炭能率，影響甚大，以行之爲佳。上述三種爆藥，一般用

安全爆藥。「日里古奈特」煙多而臭氣強烈，礦夫不喜用之。雷火藥礦夫雖喜用之，然價高，爆發力過強，多生粉炭，除岩石或質特硬之炭外不用之。

機械掘及機械之種類 機械掘，均質之炭層，行之甚為有效。截炭機 (coal cutter) 有圓盤型、鎖型、棒型及衝擊式等種類。構造堅牢，體積不大，狹隘之處易於使用，需大馬力之原動機，為其必要條件。採炭機除截炭機外，尚有鑿孔機等，茲列舉於次：

(a) 圓盤型截炭機 (disc coal cutter) 形如圓鋸，如圖一九七所示。

(b) 鎖型截炭機 (chain coal cutter) 突出之長方形框之周圍，繞有強力之鎖，鎖上裝有鋸齒，迴轉之以

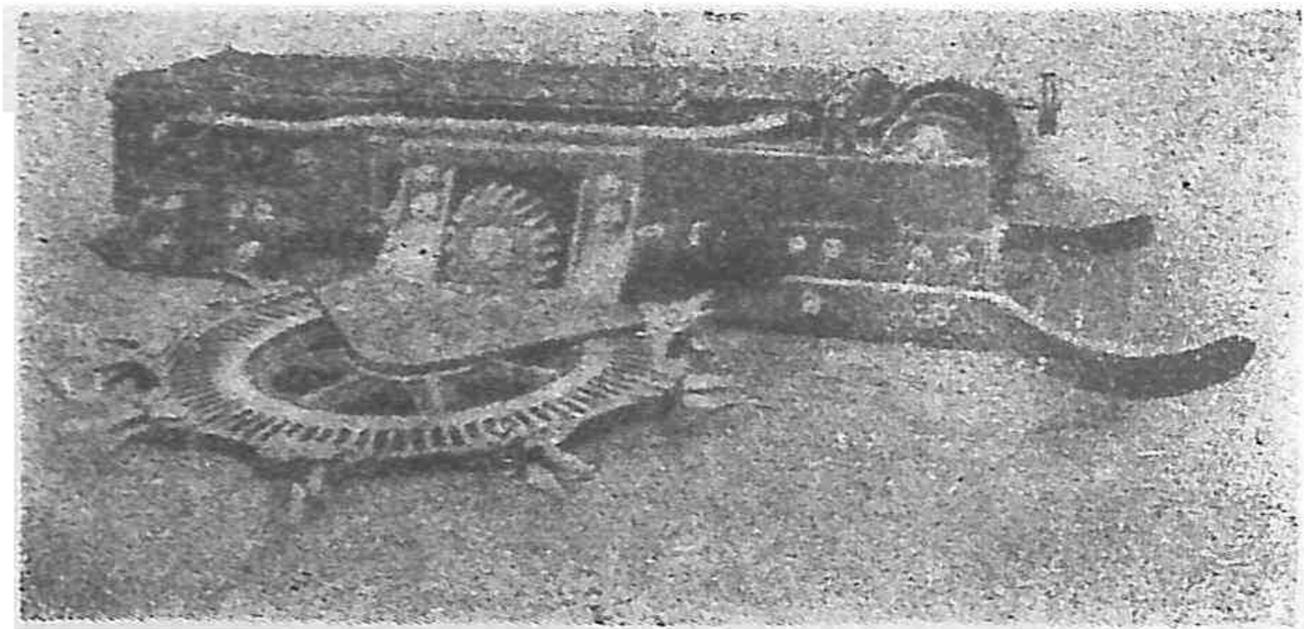


圖 197 圓盤型截炭機

切石炭。美國之阿克爾截炭機、薩里凡、顧德曼截炭機，英國之詹夫勒截炭機，等是也。

(c) 棒型截炭機 (bar coal cutter) 與機臺成直角突出之鐵棒，上裝鋸齒，迴轉之以切石炭。此式最初普及於英國，近時發達於德國，英國之比克、苦克截炭機，德國之那卜愛刻爾機等是也。

(d) 衝擊式截炭機，於直立軸之周圍，以適度之振幅，反

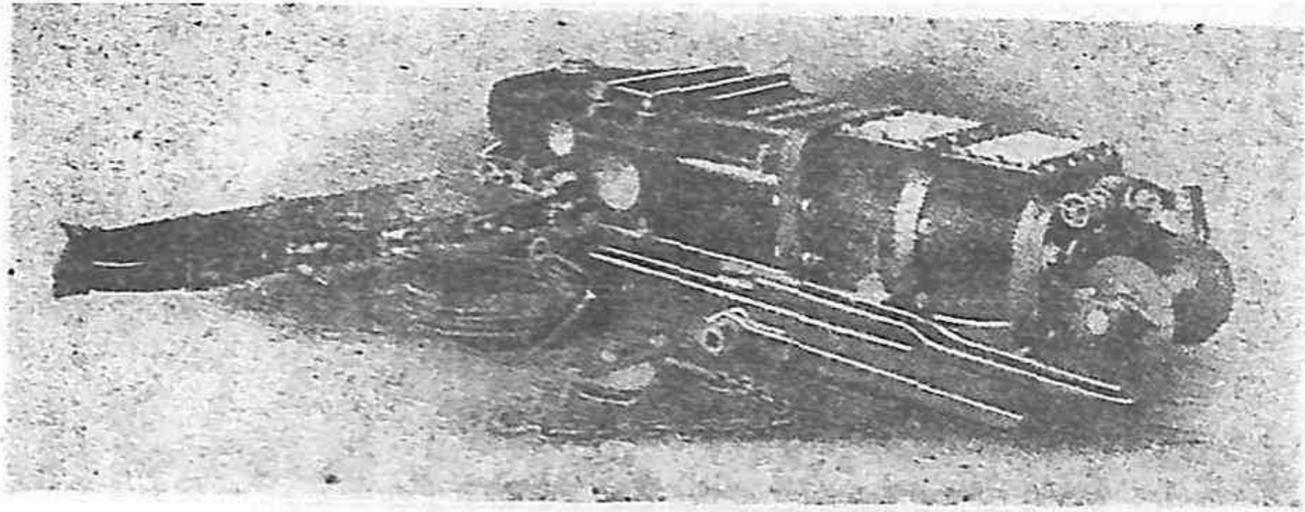


圖 198 鎖 型 截 炭 機

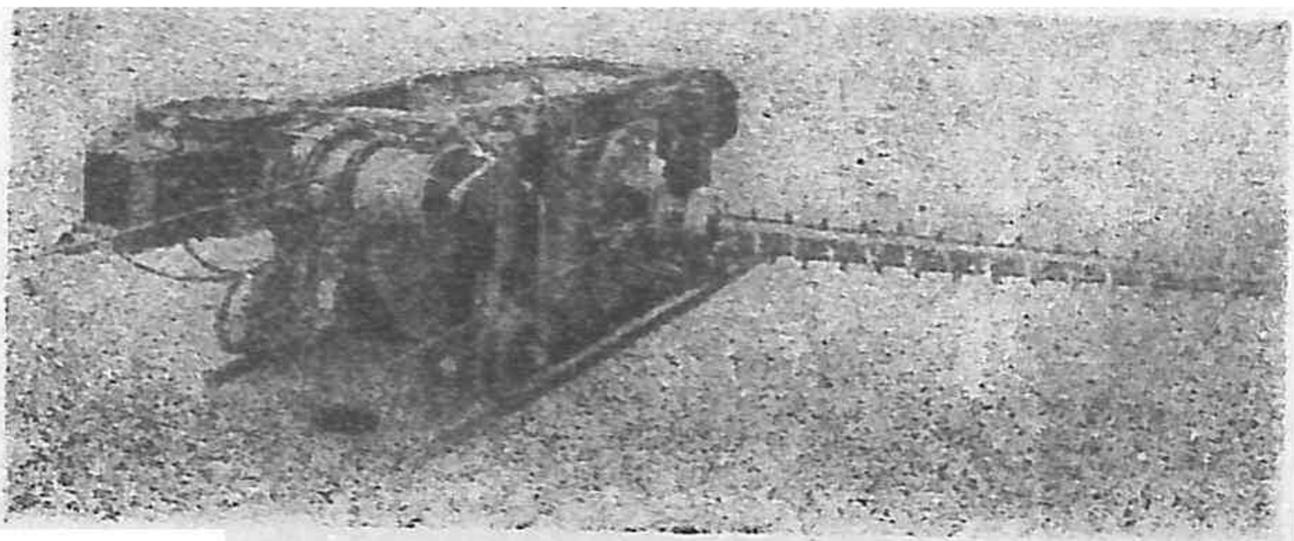


圖 199 棒 型 截 炭 機

覆運動，透棒之端，裝有複鑽，一般以壓縮空氣運轉之，應用電力者尙少。

(e) 石炭鑿孔機 此機用以掘鑿爆破孔，有衝擊式與迴轉式二種。後者較前者鑿孔能力大，所需動力少，電力或壓縮空氣，均可用作動力，無不愉快之噪音，不使塵粉飛散，作業圓滑，礦夫不甚感覺疲勞。

(f) 石炭鎚尖鋤 機內流通之壓縮空氣，因球瓣之開閉，予機端裝置之鑿以衝擊。

以上諸機械所用之原動力，為電力或壓縮空氣。壓縮空氣在爆發氣多之處，不惟毫無危險，其廢氣且有使氣量稀薄之益。然電力之原價及運轉費較之低廉，且運轉確實，苟坑內狀況，可用電氣，以用電氣為得策，最近使用電氣之機械，甚為增加。

(四) 坑內支柱

坑道為石炭運搬、人員通行、通風、排水等之重要通路，須極力安全保持之。採炭場為礦夫作業之所，石炭須全部採取，在此期間內，須支持之，使無危險。支柱普通用木材。木材固無論如何組立，不能完全支持母岩。然天盤之沈下，係屬徐徐，最初坑木先折斷，由此以預知附近之危險即可。崩落之

前，打柱折斷，上盤生裂縫，起一種奇異之鳴動，謂之山鳴，不無充分避難之機會。然實際坑內時時發生受傷者，此種保安，不可不注意也。

坑道之支柱 主要坑道，就中坑口附近，有以鐵骨、混凝土或磚築爲橢圓形、馬蹄形等形者，然一般則爲木材支柱。木材支柱坑道內每約隔一呎，順次組立之。爲防天盤及側壁石塊之落下，以細圓木沿坑道之方向，並置於其上及其兩側。

斜坑之支柱，與水平坑道相同，惟因力之關係，應傾斜於兩盤組立之。又打入冠木及腳木上部之楔，應向昇之方向打入。

一般排氣坑之支柱，較入氣坑易於朽腐。支柱局部折斷或破裂時，於其處再加一補助之支柱。坑木之大小，因坑道之大小而異。主要坑道，末口最小二四種以上，普通 ∞ 種，四五種者有時亦用之。採炭坑道及其他小坑道，末口 $15 \sim 20$ 種即可。坑木之種類，松、栗、櫟等最佳，雜木力弱。

坑內捲揚卸機械場、唧筒場、事務室、廢舍等建築物所在之地，須施以磚、混凝土、鐵材或其他堅強之支柱。

豎坑之支柱 矩形之豎坑，以方木作木框，豎坑內每隔1~1.5呎，置一木框，兩框之間，以柱支持之。框每第四枚或第五枚，設一臺框，其長框木，於岩石上鑿深0.6~0.9呎之孔，嵌入其中，使支兩臺框間之重量。

圓形或橢圓形之豎坑，以鐵框、混凝土或磚壁支持之。

採炭場之支柱 採炭場之支柱，用實木積（solid crib-timbering）空木積（open crib-timbering）打柱（post）等。

流砂充填法 地下石炭採掘後，其處即生空洞。雖石炭之一部，留作炭柱，不盡採掘，上層亦漸次沈下。若距地表不甚深，則地表發生陷落，坑內坑外，均極危險。4.5~6.0呎以上之厚炭層，採炭甚感困難，完全採掘，勢不可能。又採掘跡剩餘石炭，不惟有損鑽利，因盤壓之故，為所粉碎，生粉炭與炭塵，又助長氧化作用，增加氣溫，為釀成自然發火、爆發氣爆發，炭塵爆發之誘因。此等厚層之炭，欲完全採掘之，欲採掘殘餘之炭柱而防止上層之移動，只有行土砂充填法。此法最能完全防止地表之沈下陷落，近時日本主要之炭山，均採用之。

充填用之土砂有種種，最簡便者爲用挾石及廢石。又坑內他處之挾石、廢石，兩盤之岩石亦用之。此外又由坑外搬入廢石、土石等而使用之。

此法混土砂於水，使成流動狀態，由流砂槽或鐵管中，流入採掘跡，土砂沈澱於採掘跡內，水通過前面所張之席，如爲砂質，由下部溢出，如爲黏土質，由上部溢出，以唧筒排之坑外。此法縱充填材料，能相當選擇，有相當之供給，注水入坑內，不無煩瑣與困難，需多額之經費。然以大規模之設備行之，則所需經費較小，一方又可防止地下水之湧出及自然發火。此法充填土砂爲盤壓所壓縮者甚少，上層無陷沒之憂，炭柱可全部採掘之。無論如何厚層之炭層，順次反覆行之，地下無論何處之石炭，均可採掘，可以償充填之經費而有餘，誠國家經濟上深堪嘉許之方法也。日人在我國東北經營之撫順炭礦之大山、東鄉、龍鳳塔連等坑，均大規模施行此法。其法先連岩石、土砂等充填材料於坑口廣大之貯砂槽內，以高壓之水泥和之，由內徑50—100厘米之鐵管，流至相隔數千呎之採掘跡充填場充填之。

二 運搬

以搬出地下採掘之石炭於地表爲主，其他坑內所用材料及種種機械之搬入，亦在此內。炭礦出炭之多少，雖謂以運搬能力之大小爲轉移，亦非過言，其使命之重大如此，不可不留意也。

採炭場運搬 採炭夫採掘之石炭，由採炭場搬至片盤坑道，是爲採炭場運搬。採炭夫謂之先山，運搬夫謂之後山。普通採掘之石炭，盛以容量約十尅之箱或籬，背負之至炭車之處，傾入其中。時或用手推車，以手推之；或鋪鐵軌或木軌於地上，石炭裝入容量約一五〇尅之種箱內，由前挽之，或由後推之。又吊下流炭槽或鐵板，縱搖動之，使石炭流入炭車內之法亦有之。

又或用機械力，由天盤或支柱以鎖吊下流炭槽，或於流炭槽之下置轆子，以電氣或壓縮空氣振動之，謂之採炭場運搬機 (face conveyor)。現今雖尙未見盛用，將來將漸次盛用也。

坑道運搬 坑道運搬，概以軌條 (rail) 及炭車 (coal tub) 行之。軌條之軌隔 (gauge)，通常爲18~24吋。軌條之大，爲12~20磅。如用機械運搬，以20~30磅爲適當。炭車有木製與鐵製二種。木製者容量爲0.5~0.85噸，普通長一·三呎，寬〇·七呎，深一呎內外，全部釘以鐵具，使其堅牢。

由採炭場運搬裝石炭入炭車後，普通以運搬夫或馬匹推挽之。至斜坑捲揚炭車之處，以捲揚

機捲揚之至幹線或水平坑道。

幹線水平坑道之勾配，因坑道之長短而異，約爲 $\frac{1}{300}$ 至 $\frac{1}{1000}$ 。運搬多用馬匹，無極索或電車。電車有架空線式與蓄電池式二種。又以汽油爲燃料之汽車式機關車，亦有用之者。

斜坑運搬 採掘水準以上之石炭時，炭車須捲下之。此時雖亦有用機械力者，然普通則用需費不多極爲簡便之自動斜面 (self acting incline) 實車 (loaded tub) 以其自重下降，同時捲上空車 (empty tub)。

採掘水準以下之石炭時，炭車須捲揚之。捲揚之法有種種，茲略述之於次：

(a) 單索運搬 (single rope haulage) 敷設單線軌條，其上端安置捲揚機，一次捲揚實車數十，空車則以其自重捲下之。

(b) 無極索運搬 (endless rope haulage) 此運搬不限於斜面，水平之位置，亦可使用之。法於運搬之始點及終點，安置滑車，滑車上繞以鋼索，鋼索上於每一一定間隔之處，繫一炭車而運搬之。軌條爲複線。如爲斜坑，普通以利用炭車之重之抱子 (clip) 與炭車上之鎖相連結，繫炭車

於鋼索上；如爲水平坑道，以人力繫炭車於鋼索上。此法之優點，爲炭車之循環，極有秩序。

豎坑運搬 豎坑普通掘鑿一對，入氣坑以司石炭之搬出，排氣坑以司人員之出入。材料之搬入，前已述之。豎坑運搬之方法，與高層建築物之用升降機 (elevator) 相同，由繞於捲筒 (winding drum) 上之鋼索之兩端，吊下車架 (cage)，車架各於其區劃內，把持導條 (slide) 而上下，不稍動搖。在乘降臺 (platform) 靜止時，亦有支持機 (keps) 支持之，以防其動搖。捲揚之速度，因豎坑之深淺而異，人員升降時，每分鐘120~300呎，炭車300~1200呎。一回捲揚之炭車2~8車，間亦有8~16車者。一次捲揚多數之炭車時，車架分爲數層，每層數車。又坑口及坑內之乘降臺，有特別之設備，以使載車卸車敏捷。

石炭容積雖大，重量則輕，豎坑深達四八〇呎時，僅鋼索之重，已四噸有餘，較石炭尤重，捲揚上殊感困難。此時鋼索愈至下部，愈減小其直徑。據稱豎坑深達一八〇〇呎以上，捲揚遂不可能。

豎坑捲揚之原動力，一般多用蒸汽，然近來用電力者亦漸多。壓縮空氣雖亦有用之者，但其規模極小。

坑外之輸送及貯藏 選炭場處理後之塊炭、小塊、粉炭等，貯藏於選炭場之下部或其附近，由此直接裝入鐵道貨車，運往需要各地。石炭容積大而重量小，處理時不加注意，又易成粉炭，低下其價值，運搬時宜深加注意。

石炭堆積貯藏時，因與空氣中之氧化合而發熱，自身之發熱量，為之減少，光澤失去，易成粉炭，有時且因是而自然發火。堆積愈高，愈易自然發火，宜極力減低其高度，增加其面積。石炭庫常通風不充分，就中蒸汽船中之石炭庫為尤甚，蒸汽鍋室熱傳來，自然發火甚易，且甚迅速，二者之間，須設不傳導之隔壁，以預防之。

三 排水

坑內之排水，甚為重要，作業亦甚困難，所需經費，占炭礦經營之重大項目。坑內湧水多時，不惟直接排水困難，坑內且為之潤溼，影響於礦夫之能率者甚大。

鑿孔一遇含水層，地下水即猛烈噴出，此豎坑掘鑿時所常見者也。故坑道一遇含水層，炭礦之運命，即為所制。

排水坑道 水準以上之水，由水準主要坑道之排水溝排之坑外。水準以下之水，一般先揚之至水準坑道，再由排水溝排之坑外。水準以上之水量，比較不多，然降雨降雪，即行增加。

揚水裝置 水準以下之坑內水，先集之於一處，然後大規模的揚之至水準坑道，較爲便利。揚水作業用唧筒 (pump) 揚水費大致由揚水量及揚程 (head) 而定，機械亦然。唧筒之種類甚多，須選適合條件者用之。普通使用最多者爲渦輪唧筒 (turbine pump)，水量多時，甚爲有效。此外往復動圓壩唧筒式唧筒 (reciprocating plunger pump)，水量少時用之。蒸汽力運轉之唧筒，有德威式、窩新頓式、耶巴勒斯式、蓋斯威爾式等，然在電力使用發達之今日，其使用已日漸減少矣。

四 通風

通風爲炭礦之呼吸作用。蓋炭礦須由完全之通風，以供給工人畜之呼吸及燈火之燃燒以氧，以稀釋坑內發生之有毒性及爆發性之氣體於無害之程度，以緩和因地熱及其他原因而起之溫度之上升，而後人畜之健康可以保持，勞動之能率可以增進，作業之危險可以減除。故炭礦之通風，與人類之呼吸相當，最爲重要，爲炭礦之生命。

坑內空氣 (mine air) 坑內之空氣，因種種之原因而污穢。今就構成之之各種成分略述之：

(a) 氧 人畜之呼吸，燈火之燃燒，坑木之腐敗，石炭之氧化，爆藥之爆發等，皆為使坑內空氣中氧減少之原因。氧之量減至一五%，則燈火熄滅，人類不能長時間呼吸。普通之炭礦，排氣坑附近，氧之含有量為二〇%以上；減至一九%，即為通風不良。

(b) 氮 雖占大氣之七九%，與人類之呼吸無關係。

(c) 水蒸汽 水蒸汽之含有量，溫度高時遠較溫度低時為多。坑內溼氣多，則勞動能率，大為低下。坑內發生火災時，因空氣乾燥，故溫度達攝氏六〇度，猶能充分工作。然在溼氣多之空氣中，則溫度僅 30°C ，勞動已甚困難。

坑內有溫泉及坑內水之湧出，尤其施流砂充填法或因預防炭層爆發而撒水時，坑內空氣，常甚潤溫。更加因氧化或地熱之故，溫度上昇，水蒸汽之含有更多。此種狀態，為使礦夫勞動能率低下之原因。故坑內須常測定其溼度，注意通風，勿使水蒸汽達到飽和狀態。

(d) 碳酸氣 (choke damp or black damp). 大氣中碳酸氣之含有量，約〇・〇四%

內外。此氣體本無毒，然空氣中其量多，則氧減小，人在其中，呼吸困難，遂致窒息。通常含有量達3%，則燈火熄滅，人類感不快；達6%，則呼吸痛苦；達10%，則呼吸困難，現麻痺之徵候；達25%，則窒息而死。

坑內排出之空氣，通常含碳酸氣 CO_2 0.5%，無達1%者。然自然發火、坑內火災、爆發氣及炭塵爆發等災變發生時，多量發生，此時須注意勿使其蓄積於局部。

(c) 一氧化碳 (white damp) 此氣體有猛烈之毒性，與血管中血紅素之親和力，為氧之二一〇倍，一入人體，即與血紅素結合而阻礙氧之吸收。空氣中，此氣體含有0.04%時，血球素之二〇%飽和，發現徵候；含有0.1%時，血球素之五〇%飽和， $\frac{1}{2}$ 點鐘，即失知覺， $\frac{1}{2}$ 點鐘即死。其危險若此，其存在須注意調查之。金絲雀對此氣體，其中毒之敏感，約人之十倍，有此氣體存在之虞時，有攜之以入坑者。又鼠對此氣體，其中毒亦敏感。

一氧化碳為空氣之供給不充分時，不完全燃燒所發生之氣體。坑內火災、炭塵爆發之際，固不待言，自然發火時，亦發生之。坑內火災、炭塵爆發之際，救援隊之罹災害，即遇此氣體之故。人類生存

上，此氣體含有量之最大限度爲 $0 \cdot 01\%$ 以下。然約增至 $0 \cdot 05\%$ ，長時間呼吸之，通常亦無甚毒害。勞動中稍感覺眩暈時，一入新鮮空氣中，卽行回復，蓋血紅素在新鮮空氣中，放逐此氣體甚快故也。

(f) 炭礦氣 所謂炭礦氣，爲沼氣與空氣之混合物。含有沼氣 CH_4 及 H_2 者，富於爆發性，亦稱爆發氣 (fire damp)。沼氣爲石炭成生之際所發生，因受地壓之故，潛於多孔質之石炭及母岩裂縫之中，及石炭被採掘，遂發散於外，地下愈深，其量愈多。

炭礦氣常誘起坑內爆發，發生悲慘事件。沼氣含量不及 3% 時，不爆發。達 15% 以上時，失其爆發性，亦不爆發。沼氣因頗輕，常集積於上盤近處。工作人員入坑之初，固不待言，卽平時亦須時時以安全燈檢查其含有量。其量冠部最多。安全燈之焰，因其量之加多而伸長。達 3% ，淡青色之焰，長約一吋。達 5% ，充滿於安全燈內。日本炭礦之管理規則， 1% 以上，禁止使用爆藥； 2% 以上，禁止作業； 3% 以上，禁止通行；排氣中之含有量，須在 $0 \cdot 5\%$ 以下。

沼氣本身雖於人體無害，然空氣中其含有量多，則氧之含有率減少，呼吸因之困難。

(g) 硫化氫 (stink damp) 硫化氫可由其似腐卵之異臭而感知之。爲有毒之氣體，先刺激呼吸器及眼，使人嘔吐暈眩，發生皮膚冷卻，呼吸困難，脈膊不規則，頭痛等徵候。空氣中含有此氣體 〇・〇五%，人在其中，不久即失知覺；含有 〇・〇七%，一點鐘即死；含有 〇・二〇%，數分鐘即死；含有 〇・二五%，馬在其中亦死。硫化氫存在於坑內溫泉湧出之處，宜深加注意。然無溫泉湧出之坑，含量甚少，殆無受其危害者。

(h) 氫 氫無甚毒性。

坑內必需之風量 試觀坑內空氣之構成，最危險者爲炭礦氣及一氧化碳，次爲氧之缺乏，碳酸氣之增加，及其他有毒氣體之存在。

坑內氧之缺乏，概因化學上氧化作用之故。此氧化作用既發生氧化熱，使坑內之溫度上昇，坑之內，又受地熱之影響，溫度於是愈高。坑內溫度既高，水蒸汽飽和量隨之增加，於礦夫之健康與能率，影響至大。故須送人新鮮空氣，以使溫度降下。

送風之目的，如上所述，故送風量視入坑人員及各種氣體之發生量，各有規定。日本認爲有爆

發氣爆發之虞之處，每一人一分鐘，以二・七八立方呎為最低限度。

自然通風 坑內坑外，因溫度高低不同，故生氣壓而自然起風，謂之自然通風。二坑口僅高低不同，夏季風即由低坑口向高坑口流動，冬季反是。昔時為嫌自然通風力之過弱，於坑口設高煙突，或於排氣坑底焚火，加大坑口氣壓之差以補助之。

扇風機 (Fan) 炭礦漸發展，則坑道漸加長，所需空氣量漸加多，於是自然通風漸感困難，不能不用扇風機以通風。

通風為利用氣壓之差之作業，或壓入空氣以行之，或吸出空氣以行之，均無不可。以前曾用電力壓入空氣之機械，因成績不良，現今大部分殆皆採用吸出渦卷型。此型西洛可扇風機 (Sirocco Fan) 最便利，形小能吸出多量之空氣。來特型、倭爾加型，理論相同而形大。扇風機之動力，用電力或蒸汽力。

通風裝置 炭礦礦夫，不分晝夜，交替作業，故扇風機之運轉，亦須夜以繼日，毫不間斷，採炭場無論何處，須有相當之空氣到達。氣流之速度，過於緩慢，則集積於局部之有害氣體，不能使之擴散，

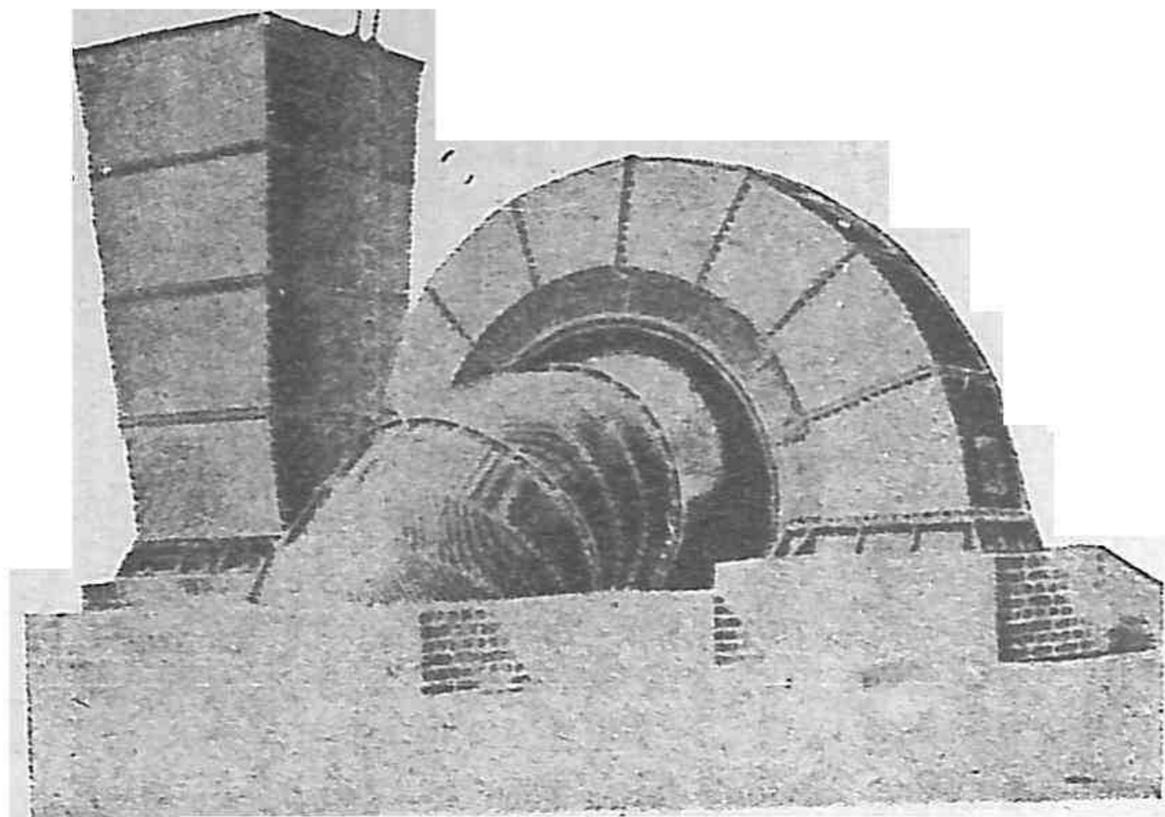


圖 200 扇 風 機

扇風機為炭礦之肺臟，須設置有充分餘裕之大型者，以清淨坑內之空氣。

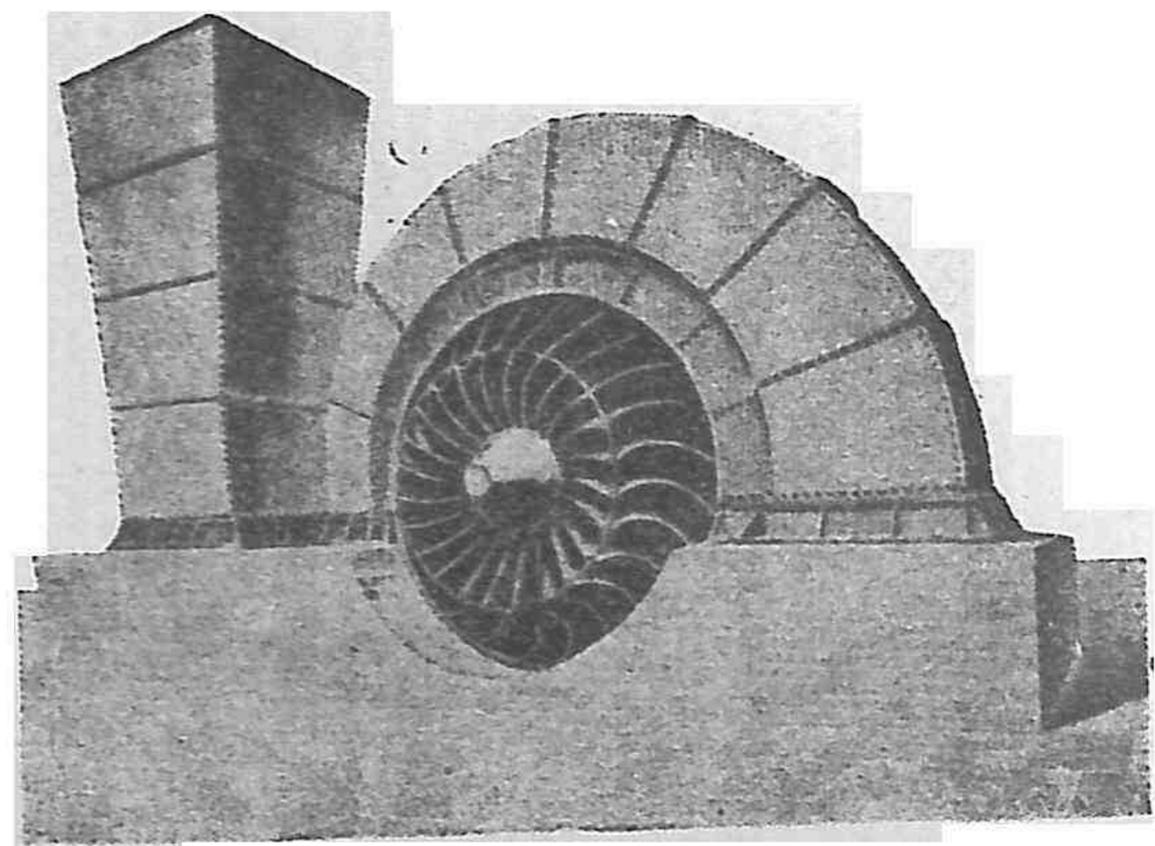


圖 201 扇 風 機 之 內 部

反之過於急速，則炭塵爲之飛揚，燈火爲之不安定，又於作業有妨，故須適當限定之。日本之鑛業管理規則，每分鐘限定四十五呎以下，惟入氣豎坑及入氣坑道，可增至六〇〇呎。

風道最好專用以通風，必須時加巡視。若有落盤及其他障礙物，須速即除去之。

入氣坑以一線路，循環坑內，則道程長而抵抗大，以分之爲數系統，各循環其區劃內之採炭場爲佳。如此行之，局部之爆發，不致延及他系統，災害之範圍，可以縮小。

五 變災與保安

一言炭礦變災，即聯想及於炭礦爆發，炭礦爆發誠極悲慘之事也。炭礦採掘既久，坑道愈延長，深度愈加增，爆發氣及炭塵之量，亦隨之愈增多，各種作業，均感困難。故技術須日求進步，保安須日求安全，以防止變災於未然。

炭山與金屬山較，除坑內爆發外，落盤速搬等，一般死傷者亦較多。蓋炭山一則因母岩較爲脆弱，一則因大量採掘之故，設備作業，極爲複雜，尤其運搬極爲頻繁，故也。

災害之原因，大別之如次：

(A) 坑內 (a) 落盤 (b) 運搬, 捲揚豎坑, 自動斜面或捲揚斜坑, 炭車 (c) 煤發氣或炭塵爆發, 坑內火災 (d) 其他爆破, 有害氣體中毒, 出水, 機械, 電力等。

(B) 地表 機械, 蒸汽鍋破裂, 爆藥, 炭車, 架空索道, 灼熱熔融物, 電力等。

據美國鑛山局之調查, 一九〇〇年至一九一〇年十年間, 世界主要石炭產出國之變災事故死亡者如次:

表二八 各國變災死亡者數

類別	國別	英	國比	利時	美	國德	國法	國日	本
礦夫千人中死亡者數		一·三六	一·〇二	三·七四	二·一一	一·六九	二·九二		
採炭百萬噸死亡者數		四·四〇	五·五六	五·八三	七·五五	七·七九	二二·七一		

據一九二六年日本之統計, 每礦夫千人, 死亡者三人, 重傷者一四·四人, 輕傷者五九五人。傷之部分, 下肢爲多, 占二〇·四%, 次爲手部一九·三%, 足部一七·七%, 背腰一三·六%, 及頭、胸、顏面、腕等。坑內與坑外比較, 坑外僅七%, 坑內達九三%。此中占多數之下肢及足部之負傷, 爲釘

傷、躓傷等。

落盤所起之災害 落盤之死傷者，在變災事故之死傷者中，與躓傷同占多數，約三八%。死亡者之數，達爆發死亡者之 $3\frac{1}{2}$ 倍，約五八%。此種災害，無論如何支柱，無論如何注意，未能絕對防止之。然人力雖未能及偉大之自然力，適當處理之，以減少危險，最為緊要。落盤之原因甚多，未能一一列舉。要而言之，須注意礦夫之注意力，教導監督，不可或怠；須使礦夫對於天盤、側壁、採炭場之面，常有周到之注意，常行檢查；坑道尤其採炭場，須充分施以適當之支柱；作業概須以安全為主義。

運搬所起之災害 運搬所起事故之多，亦在意想以外，死傷者及死亡者，占全事故之一四%及一九%。此中起因於炭車者極多，起因於自動斜面及捲揚斜坑者，亦相當不少，起因於捲揚豎坑者最少。其原因或與炭車相衝突，或為所挾，或因其脫線，有時又因抱子誤繫，速度過急，炭車由馬背滑走（斜坑上部水平乘降臺上），炭車鋼鎖折斷等。皆由充分之監督與注意，大部分可以防止之。

爆發氣或炭塵之爆發 沼氣或炭塵與空氣相混和，達到某比率，則遇火即爆發，如次所述。此種爆發，關係人命，又為石炭鑛業興廢之重大問題，故國家莫不設特別之爆發管理規則以管理之。

現今因此種規則之勵行，技術之進步，知識之普及，防止設備之完成，災害之數，漸次減少。

表二九 大爆發與死亡者數

炭	礦	名	國	名	爆	發	年	月	死	亡	者	數
克	里	厄	法	國			一九〇六年	三月				一二〇
豐		國	日	本			一九〇七年	一月				四二九
摩	盤	喀	美	國			一九〇七年	十二月				三六一
夕		張	日	本			一九一二年	四月				二七三
心	革	斯	英	國			一九一三年	十月				四三九
新	夕	張	日	本			一九一四年	十一月				四五三
方		城	日	本			一九一四年	十二月				六八七
輝		縣	中	國			一九一五年	二月				八〇〇
撫		順	中	國			一九一七年	一月				九一七

(a) 爆發氣爆發(gas explosion) 含有沼氣5.4~14.3%之坑內空氣，一經引火，即行爆

發。故坑內須行適當之通風，以擴散集積之爆發氣，保持安全之狀態。國家所訂爆發管理規則，規定極爲嚴重，採炭場自無危險氣體之存在。然有時亦突然多量發生，須注意之。

沼氣發淡青色之焰而燃燒。此時如與空氣之混和量，不幸達到爆發程度，則發一大音響而爆發。惟據前所述，爆發氣之蓄積，僅屬局部，故若僅爆發氣爆發，被害固不甚大。然若附近有炭塵之飛散，則因是而釀成火災。

坑內因管理規則之規定，嚴禁火，固不待言。坑口設監視所，使檢查入坑者之身體，嚴禁攜帶煙類、火柴等物入內。

安全燈使用如不注意，有時亦爲爆發之原因。此燈

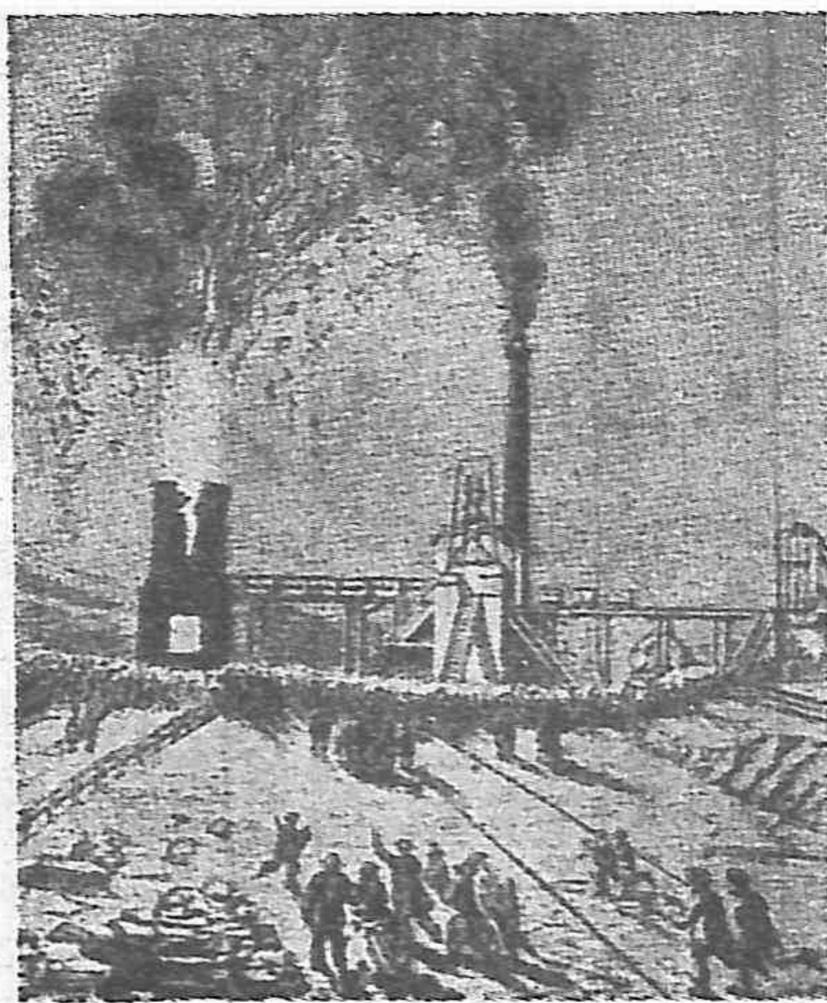


圖 202 蘭德喜爾炭礦爆發之光景

英國本斯勒附近之蘭德喜爾炭礦，一八五七年二月十九日，因爆發氣爆發，坑內發生火災，正午起大音響，同時感覺強震，至午後三時，噴出如圖所示之大火柱。

傾斜懸掛，或有破損，甚為危險。各燈須記明號數及礦夫之姓名，人各專用一個，並須常檢查之。

爆破有時亦為爆發氣爆發之原因，爆破前須檢查爆發氣之存在，是否在規定以下。

坑內之火災，裸燈及漏電，為其主要原因，此原因又與後述之自然發火，同為爆發氣爆發或炭塵爆發之原因。

爆發氣爆發之預防法，一為極力防止爆發氣之蓄積，二為極力斷絕爆發氣着火之根源，由上所述，可以推知。

(b) 安全燈 (safety lamp) 坑內之照明 (lighting) 入氣坑及通風充分之捲揚唧筒等機械室與主要坑道，設置外有鐵絲網包被之電燈，其他處所，一般用倭爾夫安全燈 (Wol lamp)，間亦用電氣提燈。

炭礦內昔時用裸燈，及一八一五年得味安全燈 (Davy lamp) 發明，後克朗尼安全燈 (Clan-ny lamp) 發明，倭爾夫安全燈發明，現在一般均用倭爾夫安全燈。此燈之開閉，以碰石行之。又坑內爆發氣含有量之檢定，亦利用之，已如前述。

微量爆發氣之檢定，用匹拉檢定燈 (Pieler Lamp)。醇內加入硫酸銅之溶液，依其燃燒之青焰以檢定爆發氣。

電氣安全燈，電球與帽狀套皮之間有發條，套皮破壞則電球同時被毀而熄滅，以保安全。此燈不能檢定爆發氣，須與倭爾夫安全燈併用。

(c) 自然發火 坑內之石炭採掘跡及貯藏炭，屢有自然發火之事。其原因由於構成石炭之大部分之碳或蓄積發生之碳化氫所發生之氧化熱之故。

自然發火只限於瀝青炭及褐炭，高級之無煙炭，無此傾向。自然發火之程度，因揮發分之含量而異，揮發分之含有愈多，愈易自然發火。其他因黃鐵礦之氧化而發火者亦有之。

自然發火，水分之存在，為其一因。貯藏炭為降雨所濡，水分蒸發乾燥時，常起自然發火，此一般所知者也。又壓力大時，亦易起自然發火。例如二呎以上平堆之粉炭，四呎以上平堆之塊炭，屢起自然發火是也。其他尚有種種之原因。由學理上言之，亦有種種之議論。要而言之：(一) 外溫高而有溼氣；(二) 石炭破碎，氧之吸收面積增大；(三) 有氧化作用所需之空氣而無驅逐氧化熱之通

氣；(四)揮發燃燒性之成分多，皆自然發火發生之絕好條件也。

自然發火防止之方法：(一)注意使通氣良好，(二)注意防止粉炭炭塵之發生等，是也。

自然發火，不惟爲坑內爆發之原因，其所發生之氣體，有使人中毒或窒息者。一旦不幸而發火，視其燃燒之程度，或撒水，或水淹，或充填，或密閉，以適當之方法，使之熄滅。坑內各處，平常須備救火器、給水管、蛇管等，以供防止火災之用。

水淹法爲使火災區域淹於水中之法。此法火熄後，水之排出不易，又需鉅額之經費。

充填法爲於火災區域設堰隄，由地表流入土砂及水，以充填之之法。此法雖需多數之經費，乃完全之救火法，尤其採掘跡之火災，用之最爲相宜。

密閉法爲以鐵板或磚壁密閉火災區域之法。密閉後，分析由鐵管排出之氣體，以測定推論密閉處所之火災狀態及溫度。

(d) 炭塵爆發 (dust explosion) 炭塵 (coal dust) 爲極微細之石炭粉，混於空氣中，往往釀成爆發之慘事。爆發氣爆發之際，炭塵爲所煽動，順次傳播瞬間的爆發而大爆發。所謂炭礦爆

發之大災害，卽由炭塵之爆發而起者也。

炭塵爲採掘採炭場之際所成。就中採掘殘餘之炭柱時，炭壁受強大之盤壓，碎而成炭塵者尤多。又爆破亦生炭塵，由天盤或炭車落下之炭塊，因炭車坑夫之通行，漸次粉碎，亦成炭塵。此等炭塵，常浮游於空氣中。

炭塵爆發之原因爲爆發氣爆發及坑內火災，此外爲火柴、火藥、雷火藥等長焰爆藥、電車架空線動力線之火花等。

炭塵爆發之預防，在防止其根源炭塵之發生，及對於誘導爆發之火，加以嚴禁。此外通風宜使良好，不用爆藥，或用而分量決不過多。

若炭塵已發生，則爆發之防止，一爲撒水，一爲撒布岩粉，共有二法。

撒水法，撒水之量，約炭塵之二倍，撒於採炭場及其他危險處所。此外於適當處所，設潤溼地帶，由此噴霧於通過之炭車及浮游之炭塵。

岩粉撒布法，爲粉碎頁岩、石灰岩，使成細微之粉，撒布之使與炭塵相混，減少炭塵之密度，以防

止其爆發之法。岩粉以愈細愈能浮游爲佳，因礦夫呼吸之關係，用矽酸質少之黏土質之岩粉，且須爲不燃燒質。炭塵內混和岩粉40%以上，爆發即可防止。又據稱此岩粉地帶，延長5~20呎，爆發即可防止。

救命器 (Rescue apparatus) 不幸發生炭礦爆發，自然發火或其他之坑內火災，人命救助，熄火、密閉等工作，不可不迅速着手，以期被害之減少。故平時即須組織救命隊 (Rescue crew)，訓練以迅速之工作及人命應急診治之方，庶一旦災變發生，即攜帶救命器，入坑從事救助。救命器有二種：一爲長管式，由地表送風，管之他端，接續於口腔，適於密閉作業等位置不變之作業；一爲攜行壓縮氧氣之卜洛脫式 (Proto type)、亨斯式、得勒革爾式 (Dräger type)、謝蒙洛克式、衛斯特法里亞式 (Westfalia type) 等。

救命器之能率在熟練，救命隊如消防隊，平時須勤於訓練，養成迅速輕靈之身手。一旦事變發生，以富於義俠心，踊躍挺身，以盡救護防備之責任爲貴。昔年歐洲大戰，四十萬之礦夫，凜然上道出征。此種義勇，赫古元帥亦爲之賞歎無已，宜哉。

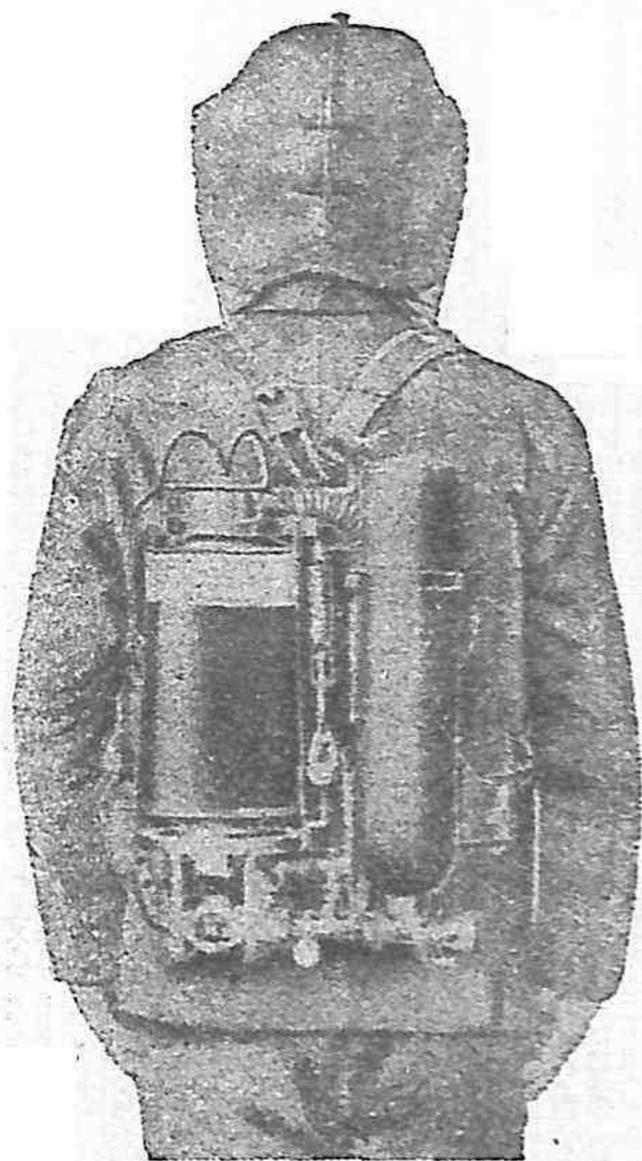


圖 204 救命器之例

背負氧素唧筒及空氣清淨裝置
(吸收碳酸氣之裝置)，胸前吊下
呼吸袋，手提安全燈。袋有瓣，可自
由呼吸。用此器，在惡氣體中，可數
點鐘從事救助作業。



圖 203 救命器之例

一旦火災或爆發事變發
生，應即盡全力以救出坑內
人員。此時入坑救助者，身服
圖示之救命器，無論如何惡
劣之氣體中，均可安心前進。

落盤、運搬、爆發以外之變災 此等死傷者，合計達四七%。其半數由種種複雜之原因，由爆破、爆藥及器械而死傷者亦有之。

六 選炭及煉炭

選炭 (coal dressing) 之主要目的，在選除坑內搬出之石炭中所含之岩石，兼分之為良質炭與尋常炭，塊炭與粉炭。煉炭 (coal briquetting) 之目的，在捏合粉炭，使成塊狀，以便於以供燃料之用。

選炭 坑內未能選除之岩石，由選炭以除去之，一則以增高石炭之價格，一



圖 205 手 選 炭

塊炭在運炭帶上運行時，由並列其兩側之選炭夫，選其中之不純物。

則以免除無價值之廢石之輸送，同時並分之為塊炭、中塊、小塊、粉炭，使各適於相當之用途。

附隨石炭由坑內搬出之不純物，以稱為挾石之頁岩、炭質頁岩、骨質炭等為主，此外石炭及岩石裂縫斷層中所含之黏土、黃鐵礦、石膏、方解石砂岩等，亦含有之。此等不純物，皆由選炭以除去之。

選炭之方法 選炭場因輸送之關係，建設於鐵道路線之上部或其附近，俾便於選炭後裝入貨車。又如可能，以與坑口相距不遠為佳。

(a) 塊炭之處理法 由坑內搬出之炭車，置入選炭場上部大轉車機 (trippler) 之中，迴轉之使石炭落於大眼篩之上。此篩篩眼大七五耗，不能通過篩眼者

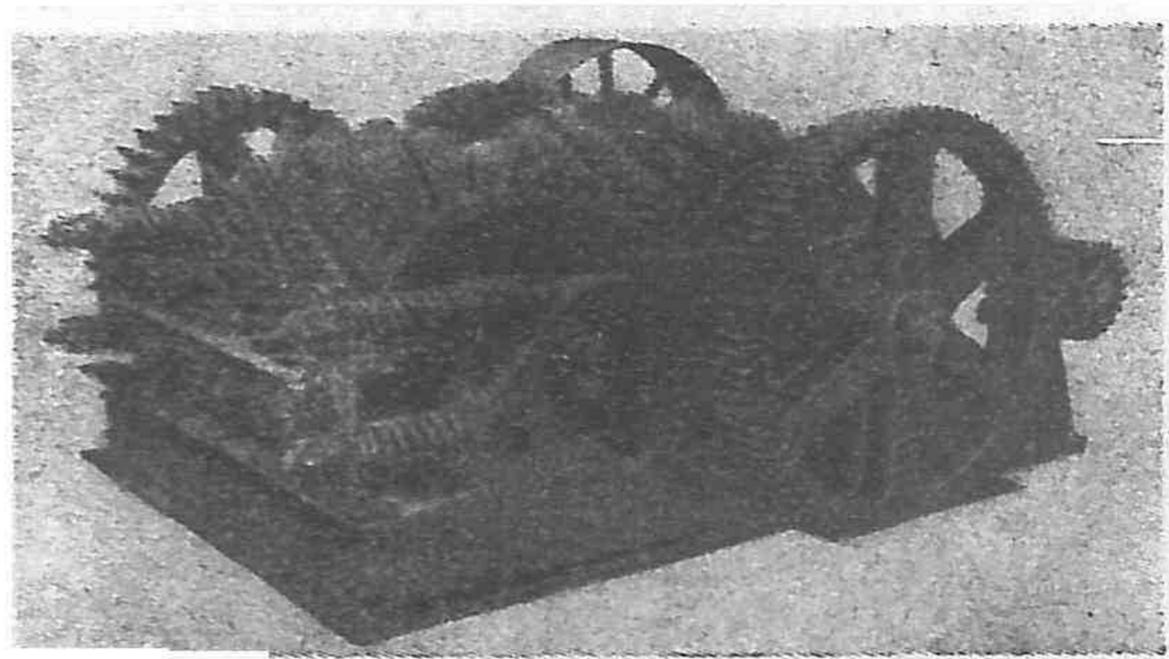


圖 206 塊炭破碎機

塊炭之破碎，以圖所示之有齒之轆子行之。

爲大塊炭，在運炭帶上運行時，由並列其兩側之選炭夫選除其中之不純物，謂之手選。通過大眼篩者，再以三〇耗之篩，篩分之爲中塊與小塊，各以手選精選之。由手選選出之廢石塊，以碎炭機碎之，拾取其中之石炭。手所不能處理之粉粒，送往水選機選別之。

(b) 小塊及粉炭之處理法 小塊及粉炭，以水洗機 (coal washer) 處理之。石炭之比重甚輕，約 1.2 ~ 1.8，廢石則甚重。利用此比重之差，比重大之廢石，使洗於水洗機之下底，比重較小之石炭，使之流出。

水洗機有圓筒式水洗機 (tube washer)、活塞式淘汰機 (piston jigger)、鍋式淘汰機 (pan jigger) 等。

應用水洗機處理之粉粒，須力均整其大小，俾能率良好。由此產出之精炭，大者以爲小塊炭，小者以爲水洗粉炭，送諸市場。由水洗機與水一同流出之微粉炭，流入大洗澱池，使之洗澱，再以淘汰盤處理之。

(c) 微粉炭之處理法 歷來殆無價值，不值一顧之微粉炭 (pulverized coal)，自微粉炭

燃燒法發達，煉炭製造、低溫乾溜、焦煤製造之途開，其價值漸高，處理之之法，日漸發達。

水洗機排出及坑內搬出之微粉炭，以淘汰盤或浮選法處理之。淘汰盤主使用馬加斯式、巴黎式、康麥特式等。浮選法英國、加拿大等之炭礦，大規模的使用密涅拉爾、塞巴勒循式 (Mineral Separation Floater) 及壓氣式浮選機 (Pneumatic Floater) 以行之。

(d) 粉炭之乾燥 石炭含水分，既使發熱量減少，又使重量增加。故溼式選炭後之粉炭，須以脫水機或乾燥機 (Drier) 除去其水分。乾燥機，粉炭用耶爾摩亞式遠心乾燥機，微粉炭用玻特蘭德式、者尼斯式、窩里巴式等。

煉炭 石炭為脆弱之物，無論如何採掘選炭，均生相當之粉炭。又含夾石類不純物之石灰，破碎之而以水洗機選別之，亦生相當之粉炭。此等粉炭，加以適當之黏着劑 (Binder)，團結之使成適當之大，以供燃料，謂之煉炭。

煉炭可製為適當之大與形，運搬貯藏，可免損失，且甚便利。歷來不值一顧之粉炭，稍稍加工，即成完全之燃料，現在各國莫不注意之。

日本德山煉炭所，現亦使用轆子式及活塞式之煉炭機以製造之。

七 炭鑛之原動力

一次的原動力，爲水力、蒸氣力及煤氣力。由此等動力發生之二次的動力，爲電力及壓縮空氣。
(a) 水力 (water power) 不變其形，卽以供動力之用，使用既欠圓滑，亦不經濟，故以之發電而用其電力。

(b) 蒸氣力 (steam power) 爲炭鑛使用最古之動力。然送至各機械，途中多損失；且用於坑內，坑內溫度，爲之上昇，爲增加危險與低下勞動能率之誘因。

(c) 煤氣力 (gas power) 熱量之利用，甚爲有效，且其製造，可得副產物，經常費甚爲低廉。然需多額之設備費，且因炭質之如何，有不適於發生煤氣者。又由保安上言，坑內之使用，尤不相宜。故一般不適於炭鑛動力之用。

(d) 壓縮空氣力 (compressed-air power) 由空氣壓縮機 (air compressor) 壓縮之壓縮空氣，以送氣管送入坑內使用之。此動力途中之損失，較蒸汽爲少；且其廢氣在坑內，有裨局部

之通風，保安上最爲相宜。惜能率較電力爲低，價亦不廉耳。

(e) 電力 (electric power) 或以水力、蒸汽力、煤氣力等一次的原動力運轉發電機，發生電力而使用之；或由附近之發電所購買電力而使用之。此動力雖送至遠距離，損失不大；且經常費低廉，送電及電動機使用之方法簡單；更加近來可以完全絕緣，無論何處，均可使用。故最近炭鑛之原動力，殆大部分利用之。

八 炭鑛之鑛夫

炭鑛之勞動者，謂之鑛夫，有坑內夫與坑外夫之別。坑內夫中，採炭夫從事石炭之採掘，亦稱先山 (Tower)；運搬之者稱爲後山 (putter)；從事坑道之掘鑿者，稱爲掘進夫；其他尚有支柱夫、坑內運搬夫等。從事坑外之工作者，有選炭夫、運搬夫、機械夫、電工、木工、雜夫等。此外又有見習鑛夫，爲工作上之補助。坑內夫之工作時間，爲 8 或 10 點鐘，一日二交替或三交替。

鑛夫之工資，有包工制與點工制之別。普通採炭夫之出炭，掘進夫之掘鑿坑道，支柱夫之支柱，運搬夫之運搬石炭，由其工作之量，依包工制支給之；其他之鑛夫，則由其工作之日數，以點工制支

給之。

第四節 石炭之利用

石炭利用之推移 石炭之用爲家庭或小工業之燃料，始於一二一五年英國列之爲貿易品之一之稍前。其後至十六世紀中葉，因木材缺乏，石炭之使用頓盛，貿易上，燃料上，其量大增。至一七三五年，達比氏之焦煤製鐵成功，益以蒸汽機關之完成，石炭之消費，更大爲增進。後一七九六年，馬多克氏煤氣之製造成功。十九世紀後半，煤氣製造之副產物煤焦油、苯、駢苯、氨之採收成功。一八八〇年，科拍氏及加布斯氏副產物採收之焦煤爐之設計成功。又孟德式、李蒙式之煤氣發生裝置發明，副產物既可完全採收，又可發生廉價多量之煤氣。石炭之低溫乾溜發明，石油代用之燃料油，可得多量製造，其他廉價製造氫之複式煤氣發生爐，微粉炭之燃燒，石炭之種種利用法現猶日日在可驚之發達之過程中。

石炭之成分與燃燒

水分 (moisture) 褐炭, 其量最多, 含 10~30%。普通之石炭, 含 1.0~3.5%。

氫 普通含 3~6%。

氧 普通之石炭, 含 8~12%。炭化作用最進步之無煙炭, 所含最少。

氮 普通含 0.7~2.0%。在煤氣工業上, 頗為重要, 以製硫酸銨, 供肥料之用。

硫黃 含有量因產地而異, 普通含 0.3~3.0%。與發熱量無甚關係, 可謂為有害成分。

灰分 (ash) 除原植物中所含之灰分外, 又挾有多量之母岩及骨質炭等不純物。灰分之含有量, 普通之石炭, 約 6~28%, 為甚阻礙石炭性質之物。

固定碳 (fixed carbon) 為石炭中之有效成分, 其含有量因炭化之程度而異。普通之石炭, 含 70~60%, 無煙炭含 62~85%。

石炭之發熱量 (calorific value) 主為碳及氫燃燒發生之熱。惟碳之含有量雖多, 揮發分 (volatile matter) 少者, 不易點火。反之揮發分多者, 多成半燃燒氣體而逸散, 發熱量減少。石炭之燃燒, 由此等揮發分及固定碳之燃燒而生碳酸氣、一氧化碳、水蒸氣、煤煙等, 最後生灰。空氣之供給

充分，燃燒完全時，僅發生碳酸氣體及水蒸氣。

由石炭之成分言之，固定碳及氫之含有量多者，自屬佳良。水分多者，蒸發需多量之熱，爐中溫度，爲之低下。又揮發分二〇%以上者，完全燃燒困難，除薄撒布於火床上，使通風良好以燃燒之外，無他法。一般此種石炭，不適於蒸汽鍋之用，以用於煤氣之製造爲佳。

石炭燃燒之際，高其能率之法，利用煙突排氣之熱，以熱入氣，使石炭與空氣充分接觸，且供給以適量之過剩空氣，爐中保持高溫，使揮發分之燃燒良好等，皆緊要之事也。

(一) 石炭之燃燒法

石炭之燃燒法有三：(1) 爲直接於爐中火床上燃燒石炭之法；(2) 爲混微粉炭於空氣內，送入爐內燃燒之之法；(3) 爲液化或氣化石炭而燃燒之之法。

石炭之燃燒 石炭直接於火床上燃燒時，以塊炭爲佳，然價格失之高，粉炭價格雖低廉，然或由火床之間隙落下，或塞其間隙而阻礙空氣之流通，故實用上，塊粉混合炭有效而經濟。又石炭固定碳多者，價高而不易着火；揮發分多者，着火雖易，未燃氣體成煤煙而逸出，能率不佳；故二者須適

當混合使用之。此外黏結性強者與黏結性弱者，灰分多與灰分少者，亦須混合使用之，使互相切長補短，得近於理想之結果。

焚石炭之法，有手焚 (hand stoking) 與機械給炭 (mechanical stoking) 之二種。前者石炭由火夫以鏟送入之，後者石炭由給炭機 (stoker) 送入之。火床上，小塊與薄層之處，通風良而燃燒速；大塊與厚層之處，燃燒遲滯，易於熔融固結，煤煙多而效率不良；故火床上給炭之厚，不可不使之略相均一。用大蒸汽鍋時，以用給炭機為佳；蒸汽之發生量，須時有增減時，以行手焚為佳。給炭機為無極式鎖狀之帶，大蒸汽鍋以之給炭，石炭之燃燒能率，可期良好，灰分揮發分多之石炭，亦可相當有利的使用之。蒸汽鍋之熱效率 (thermal efficiency)，普通為 50~75%。

微粉炭之燃燒 使用最困難之微粉炭，自利用法發見以來，其熱效率且駕塊炭而上之，利用大為發達。最近美國使用之結果，熱效率達 77~84% (石炭一公噸，發生蒸汽 9,200 呎³)。燃燒之法，石炭粉碎至九五%可通過百孔篩，八五%可通過二百孔篩，使與空氣相混噴出而燃燒之。燃燒溫度甚高，無需過剩空氣，故熱效率甚高。所用機械，有耶亞洛式、洛巴爾可式、霍爾白克式、夫

拉式、克魯伯式、苦格勒式等。我國遼寧省撫順炭礦（日人經營），亦有微粉炭燃燒之設備。自微粉炭之燃燒法發見以來，褐炭、焦煤粉、粗惡炭或泥炭，亦可相當有利的使用之。

煤氣之燃燒 加熱於石炭，使發生煤氣而燃燒之，既可得高溫，又不生灰滓煤煙，可謂理想之至。又混和空氣與煤氣，噴之於白熱之粗鬆耐火材之表面而燃燒之，謂之表面燃燒。據最近應用此法之蒸汽鍋之實驗，其熱效率達九二·七%。

製造煤氣所生之副產物煤焦油等，亦可以供燃料，後項述煤氣工業之副產物時，再說明之。煤氣之燃燒，雖為最有效之燃燒法之一，然現今全世界所使用之石炭，四分之三以上，皆以其原形燃燒。就中我國，猶全部以其原形燃燒也。

（二）燃料用之石炭

石炭之種類不同，所含固定碳、揮發分、灰分量，亦各不同。又有含有磷、硫黃者，有帶黏結性與不帶黏結性者，有發長焰與發短焰者。因成分性質之不同，使用之途，各自相異。

蒸汽用石炭（Steam coal） 蒸汽鍋所用之石炭，因發熱量之關係，以固定碳多者為佳。又由

前述之理由，塊粉混合炭，普通相當使用之。各種石炭中，以高度瀝青炭為最良，半無煙炭、無煙炭次之，低度瀝青炭亦可使用。揮發分在三五%以上者，熱效率不高。鐵道使用之石炭，須煤煙少，以無煙炭及含粉炭不多之半無煙炭為佳。船舶使用之石炭，因貯藏地位之關係，尤以發熱量多之高度瀝青炭為佳。

煤氣用石炭 (Gas coal) 製造煤氣之石炭，雖以揮發分多之瀝青炭即普通揮發分 35% 左右，灰分 5% 以下之瀝青炭為佳，然須就石炭之價格，煤氣與焦煤之生成量，副產物之採收量等，加以考慮，最經濟的選擇之。煤氣製造之際，可得多量之焦煤。就中用黏結性石炭時，成生之焦煤，較用不黏結性石炭時成生者，用途為廣，普通多用前者。製造法，歷來以製造煤氣為主，以得焦煤為輔之法，因煤氣製造之效率低，不能得廉價之煤氣，且所成生之焦煤——煤氣焦煤，質過於軟，近來已漸衰頹，有以製造焦煤為主，產生煤氣為輔之傾向。又化鐵爐煤氣及低溫乾溜煤氣，亦以副產物產出，用於種種之用途。此外燈用煤氣及其他工業煤氣，後再述之。

焦煤用石炭 (Coking coal) 煤氣製造之副產物煤氣焦煤，質軟，只可以供普通之燃料，難以

供冶金之用。製鐵所用之焦煤，須其強韌之程度，足以耐化鐵爐內多量裝入物之重量，不為所碎；且須為多孔質，須含磷及硫黃極少，不害於鐵之性質。此種焦煤，有亞金屬光澤，擊之發類似金屬之聲。其製造須用適當性質之石炭，即揮發分 20-30%，灰分少，磷、硫黃極少之瀝青炭。

家庭用石炭 用於炊爨、火爐、浴場等。無需高熱，煤煙極少。為最要之條件。又穩靜燃燒，無黏結性，不含硫黃，亦為必要之條件。若含硫黃，有發散臭氣，使人不快之虞。

家庭用石炭，由衛生及保安上言之，以用上等炭為佳。由國家經濟上言之，以製石炭為煤氣、焦煤或半焦煤而使用之為佳。

其他之燃料 冶金有時亦用石炭。因需強烈之火力或長焰，故選用有相當揮發分之石炭。因須維持精製金屬之優良品質，故選用含磷、硫黃等不純物少之石炭。

窯業用石炭，以揮發分少，燃燒溫度高之石炭為適當。磚、陶磁器、石灰等之製造，一般用低級之無煙炭、天然焦煤、煽石等。煽石中，俗所謂「哈西里」者，燃燒之際，爆發落至爐格下，雖不適於發生蒸汽之用，然甚適於石灰之製造，用之者甚多。

鍛冶用石炭，燃燒之際，須維持其堆積之山形，須不因風箱之通風而吹散，以有黏結性者為適當。

製鹽最古即用石炭。因無需高溫，無需特殊之性質，選價廉者使用之即可。灰分多之劣等石炭，多使用之。

(三) 煤氣工業及其副產物

沿革 遮斷空氣，加熱於石炭，使生可燃性氣體之法，古已知之。然至一七九二年，繆爾多克氏始於英國實施之。一八一一年，倫敦之街燈，用之以點燈。及一八八〇年白熱之燃罩 (Manly) 發見，其燈用之價值，大為增進。

煤氣窯 一七七九年，繆爾多克氏於鑄鐵製之蒸溜器 (Retort) 內，一次裝十五磅之石炭，由外部熱之，使發生煤氣 (Coal Gas) 是為最初之蒸溜器。後漸次改良，遂進步如今日。今日之蒸溜器，以耐火磚築之；其內之壓力，以抽氣機低下之至極小，使煤氣之發生量增多，品質優良，同時使蒸溜器壁之附着，減至極少。傾斜式蒸溜器 (Inclined retort) 為一八八五年科茲厄氏所設計，所以便

石炭之裝入及焦煤之取出。直立式蒸溜器 (Vertical rectort) 一九〇二年提倡於英德，後經改良，遂成今日之連續式裝炭之直立蒸溜器。

煤氣 裝填石炭於蒸溜器內，以 900、1300 度之溫度乾溜之，可溜出煤氣、煤氣液、煤焦油等。溜出之煤氣，由蒸溜器之嘴 (mouth piece) 經昇氣管 (ascension pipe) 橋管 (bridge pipe) 入於浸管 (dip pipe)。浸管浸於聚氣管 (hydraulic main) 內之水中約二五耗，通過其中之煤氣，於此為水所洗，同時蒸溜器之煤氣，於此為水所封，不與外部相通。煤焦油及碳物質，多量蓄積於此等管內，時時取出之，以製副產物。煤氣在聚氣管內，約冷卻至六〇度，再導入冷卻裝置 (condenser) 中，極徐徐冷卻之，以採收其中之煤焦油及駢苯。冷卻裝置之後，有抽氣機 (gas exhauster) 以之抽出煤氣，使蒸溜器內之煤氣壓力低下，以達增加煤氣產出量，增進煤氣品質，延長蒸溜器壽命及減少蒸溜器碳之生成等目的。煤氣出煤氣抽氣機後，以煤焦油排除機充分除去其中之煤焦油，再使通過駢苯排除裝置、氰酸排除器、氮採收裝置等，最後以煤氣精製機除去其中之硫黃化合物，蓄積之於鉅大煤氣槽之中。

精製煤氣，對空氣之比重為 $0.4 \sim 0.5$ ，有特殊之臭，發熱量約 $5,000$ 卡。

副產物 煤氣製造除在上述各裝置中，成生煤氣液 (Gas liquor)、煤焦油 (coal tar)、駢苯 (naphthalene)、氰酸 (cyanic acid)、氮等，各精製之為副產物外，又成生多量之主要副產物焦煤。

煤氣液為含氮、碳酸銨、硫化銨、氰化銨等揮發性物質及氯化銨、硫酸銨、鐵氰酸銨、硫酸銨、一硫酸酸銨等不揮發性物質之水溶液。比重約 1.011 。一呎之中，含有 $15 \sim 30$ 克之揮發性化合物及 $2 \sim 5$ 克之不揮發性化合物。精製之，可得硫酸銨、碳酸銨及其他之副產物。

煤焦油為煤氣製造之重要副產物之一。最初因不知其處理之方，僅以供木石鐵材之塗料。及一八二六年苯胺色素發見以來，用途大開，煤焦油乾溜工業，至成重要工業之一。自最初由此發見「摩夫」色素 (Maue's colour) 以來，洋紅 (magenta)、苯胺青 (aniline blue)、可溶性青 (soluble blue)、荷夫曼氏紫 (Hofmann's violet)、甲基紫 (methyl violet)、更進而偶氮色素 (azo colour)、人造藍、硫化染料等，依次發見，現今猶在進步之途上，煤焦油乾溜工業，將來將愈

發達也。

煤焦油之溜出量比重及成分，因石炭之種類及乾溜之溫度而不同。溜出量平均約石炭量之五%以下，大部分蓄積於聚氣管中，其餘蓄積於各處。煤焦油爲濃厚黑色油狀之液體，比重 1.1、1.2，發熱量 8500 ~ 8700 卡，主成分爲烷族、烯族、炔族、苯族、駢苯族、蔥族、松油精族等之碳化氫，石炭酸類、有機酸、氮伍燻等之含氮物，有機性含硫黃物，游離碳等。其含有化合物，詳細調查之，有戊烷，二硫化碳以下七十餘種之多。普通使之脫水後，蒸溜分離之爲第一溜出油、輕油、石炭酸油、柏油精、綠油、腦油、瀝青等，再精製之爲苯（煤焦油之 0.2 ~ 0.8%）、甲苯（0.1 ~ 0.3%）、二甲苯（0.2 ~ 0.3%）、溶劑石腦油（0.5 ~ 0.7%）、石炭酸（0.3 ~ 0.7%）、柏油精（0.5 ~ 0.8%）、駢苯（1.8%）、綠油腦（0.2 ~ 0.4%）等。又由煤焦油分溜製品誘導成生之色素、爆發藥、人造香料、殺菌防腐劑、醫藥化學品等，不下數百種。

此外，煤焦油又以供燃料、塗料、道路築造、煤煙製造等之用。

煤氣、焦煤（Gas coles），乾溜一公鐵之石炭，約得六五〇疋以上，在煤氣製造之副產物中，其量

最多。故其利用法之有無，於煤氣之製造價格，有極大之影響。煤氣焦煤之用途，或以供家庭之用，或以製煉炭，或以作工業原料，或以供營業之用。

(四) 工業用氣體

水煤氣 (Water Gas) 此氣體，一七八〇年，已通過水蒸氣於赤熱之碳物質上以製之。後閱五十年，都柏林市大規模以之作點燈之用。然後因為煤氣所壓倒，遂致衰微。現在美國以油氣增碳使用之，其他諸國以作煤氣補助之用。

水煤氣為發生爐中裝入焦煤、無煙炭等，送入空氣赤熱之，使水蒸氣觸之所生之一氧化碳與氫之混合氣體。當反應時，因吸收熱，爐之溫度降下。故一定之時間後，停止送入水蒸氣，再送入空氣，使之燃燒。加熱與水煤氣發生，反覆行之。又加熱之際，若使行不完全之燃燒，則發生發生爐煤氣，亦可以供使用。焦煤一疋，平均發生水煤氣一立方呎及發生爐煤氣四立方呎，或水煤氣 $2\frac{1}{2}$ 立方呎。此水煤氣含碳酸氣六·二%、一氧化碳三八·六%、氫五·一%、氮四·二%。發熱量，每立方呎約二、五〇〇卡。

水煤氣與煤氣異，含不純物少，精製簡單，除去其中之硫化氫、硫酸、碳基質鐵等即可。

增碳水煤氣 (carburetted water gas) 水煤氣因發熱量低，故普通增碳而使用之。冷增碳法 (cold carburation) 於廣闊之器中，滿盛輕碳化氫九〇% 苯，其表面使水煤氣通過，則苯即氣化而飽和於水煤氣中，水煤氣之發熱量，可以相當增加。熱增碳法 (hot carburation) 導高熱廢氣或發生爐煤氣熱增碳機 (carburator) 及過熱機 (superheater) 至 650 ~ 680 度後，導水煤氣入增碳機內，滴下氣油 (gas oil)，使水煤氣為油之蒸汽所飽和，再導入過熱機，使油蒸汽充分分解，以達增碳之目的。由此方法，焦煤一尅，氣油 0.7 ~ 1.2 尅，可發生增碳水煤氣 1.7 ~ 2.0 立方呎。成生之增碳水煤氣，冷卻後再精製之。又所謂甲烷氫煤氣，為水煤氣經煤焦油分解成生之油氣增碳所成之氣體。

發生爐煤氣 (producer gas) 堆積石灰或焦煤於發生爐中，使達相當之高度，由爐下部送入一定量之空氣而燃燒之，則炭層下部，完全燃燒而生碳酸氣體。此氣體昇至上部，觸赤熱之碳物質，更變為一氧化碳。此一氧化碳與氮之混合氣體，即所謂發生爐煤氣是也，又此時原料如用石灰，

則石炭乾溜時所生之煤氣，亦含於其中，固不待言。

發生爐煤氣有種種，主要者爲普通之發生爐煤氣、吸入煤氣、壓入煤氣、孟德煤氣等。此煤氣之製造，爲一八三〇年畢勺夫(Bischoff)氏所創始，自西門子氏發明放熱回收裝置，熱效率增大成功以來，遂呈今日之發達。

吸入煤氣(Inlet Gas) 此氣體爲一八九四年白里爾氏最初所設計，利用發生爐所生煤氣之高熱，使水蒸發，此水蒸氣與空氣，進入發生爐之下部，遂成生吸入煤氣。如上成生之吸入煤氣，預熱水蒸氣與空氣後，通過摩洗機、精製裝置、煤氣調節瓣，進入煤氣機關之燃燒室內。得空氣之供給，即爆發而推動活塞。因活塞之吸引力，發生爐中之煤氣，爲所吸引，同時發生爐又由下部吸入水蒸氣及空氣。原料用焦煤及無煙炭。吸入煤氣常與煤氣機關相直結，數千馬力之機關，屢見不鮮。

壓入煤氣(Down Gas) 稱爲混合氣，爲一種之半水煤氣(Semi water Gas)。發生爐煤氣發生之際，使水蒸氣與空氣一同通過，即生一氧化碳、氫、氮之混合氣體。壓入煤氣之製造，水蒸氣之添加量，若適當加減之，則不必另加熱，僅碳之燃燒熱即可。一疋之焦煤，可發生4.5~5.0立方呎之

壓入煤氣，所加之水蒸氣爲0.5~0.7 尪。

孟德煤氣 (Mond gas) 此煤氣爲一八七九年孟德博士所設計，雖亦爲一種之壓入煤氣，然與壓入煤氣較，因吹入之水蒸氣較多，故爐中之溫度較低，煤氣中剩有多量之水蒸氣，氮不分解，石炭中所含之氮 60~65 %，可成爲氮而收回之，爲極有利之方法，此法盛行於英國，日人在我國遼寧省經營之撫順炭礦，亦大規模製造之。此法石炭一尪，雖需二·五尪之空氣及二·五尪之水蒸氣，此空氣與水蒸氣，以煤氣之廢熱及發生爐之輻射熱預熱之至三五〇度而後用之，故熱效率甚大。如上成生之孟德煤氣，含多量之水蒸氣，出發生爐時，溫度約四五〇度，於廢熱收回裝置內稍失其熱後，水洗之，使上昇入硫酸之高塔。此時硫酸以霧狀由上部下降，使煤氣中之氮固定。

化鐵爐氣 (blast-furnace gas) 化鐵爐中放出之氣體，含有一氧化碳、碳酸氣、氮等，以供鼓風爐加熱、蒸汽鍋加熱之用。

空氣氣 (air gas) 此氣體爲常溫時，使比重 0.64~0.68 之揮發油飽和於空氣中所成。普通一立方呎之空氣中，含有揮發油 250~300 克。燈及加熱用之。

油氣 (oil gas) 石炭乾溜之際所生之煤焦油，石油分溜之際所生之石油、重油等（比重 $0.83 \sim 0.88$ ，引火點 100° 度以上，凝固點零下五度以下），以爲原料，裝入鑄鐵或鋼鐵製之蒸溜器內，加熱至 $750 \sim 800$ 度，使之分解以製之。成生之油氣，列車及海中浮標之點燈等用之。德、美盛利用之。一〇〇呎之氣油，可製出油氣 $50 \sim 60$ 立方呎。此油氣光度爲 $65 \sim 75$ 燭光，發熱量爲 $10000 \sim 12000$ 卡，比重爲 0.6 。

布腦氣 (Brain Gas) 與油氣相似，爲在低溫度分解之氣體。

工業用氣體之用途，爲以供冶金之燃料，鋅爐、氣體蒸溜器、反射爐、烙爐、蒸汽鍋、坩堝爐、石灰窯、水泥窯、玻璃窯、陶磁器窯等之加熱，及氣體機關之動力等之用。

氣體燃料之優點爲加熱均一，溫度之增減自由，適於嫌忌過剩空氣之加熱，氧化焰及還元焰可自由得之，使用簡便，使用處所清潔等。

表三〇 各種氣體燃料之成分及發熱量

	增碳水			甲燒			發生爐煤氣			化鐵爐氣			吸入煤			孟德煤氣			空氣		煤		水煤氣				
	煤氣	氫	氮	石炭	無煙	焦油	無煙	炭焦	煤	石炭	煙炭	煙炭	石炭	煙炭	石炭	煙炭	石炭	煙炭	者粗	者精	者粗	者精	者粗	者精			
飽和 化氫	18.9	0.8																									
甲燒							0.1~2.5	1.6~11.5	0.3~2.5	3.5	1.2	2.5	—	31	32												
戊燒																											
不飽和 碳化氫	12.8	19.2																									
乙燒		0.1											0.4														
苯																											
一氧化 碳	28.3	28.8	27.9	29.4	29.0	20.0	35.0	24.2	24.9	23.2	29	58.8	21.0	10.2	8	8	38.6										
碳酸 氫	0.14	2.8	2.0	4.0	2.0	4.0	~17.0	2.2	3.7	2~7	4.9	8.2	16.2	2.5	2	6.2											
氮	0.08	0.2	0.1					0.4	1.0			0.2	19.2														
氫	2.6	5.8	67.6	86.7	64.5	56	~63	58.4	60.4	52	64	46.3	54.2	44.0	72.8	39	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4.2	
氮																											

發熱量 (卡)	3100	948	965	953	800	1228	1000-1300	1762	1871	1320	2800	5000	2500
氫												0.15	0
酸													

(五) 低溫乾溜 (Low temperature distillation)

石炭於密閉器中以低溫度乾溜之，其成生物與用高溫度乾溜時異。保持低溫度蒸溜時，成生之煤焦油中，石蠟族之飽和碳化氫內，含有少量之芳香族碳化氫；又普通高溫煤焦油中多量含有之石炭酸少，而其高級體木油精多；萘 (naphthalene) 之含有少，而含有少量之綠油腦。要而言之，低溫蒸溜成生之油，極類似石油，僅含有石油所無之石炭酸族之碳化氫，與石油相異耳。

煤氣及焦煤工業上，為欲得優良之煤氣與焦煤，故蒸溜用 900 ~ 1300 度之高溫。然若用低溫度，較之用此種高溫，煤氣之產出量雖少，其發熱量較大，油之產出亦較多。高溫加熱時，在低溫成生之溜出物，因高溫之故，或起熱分解作用，或起重合作用，故所產生之煤焦油，比重增大，其中所含物質之種類，與低溫加熱時不同。又低溫乾溜時所生之焦煤，尚含有揮發分一五%，易於着火，為良好之家庭燃料。

乾溜溫度，450~550 度時，謂之低溫乾溜；650~800 度時，謂之半低溫乾溜；900~1300 度時，謂之高溫乾溜，以相區別。各溫度溜出物之比及低溫煤焦油之分溜品，如表三一、及表三二所示：

表三一 高溫及低溫乾溜製品

類	別	低	溫	中	低	溫	高	溫
煤氣發生量(立方呎)		57~85	140~200			285~340		
煤氣發熱量(卡)		5300~7100	6350~9200			4000~4900		
煤氣成分		甲烷、乙烷等之石蠟族碳化氫，烯族亦含有之。	與低溫製品相似，含甲苯多。			甲烷、氫多，甲烷以外之石蠟系碳化氫，未含有之。		
煤氣液		氫以外，含有高級石炭酸族	與低溫乾溜時同。			除氫外，含有氟化物、黃血鹽、砷化物。		
破酸鉍		2.3~3.2 呎	4.5~6.8			9.1~13.6		
煤焦油量(呎)		63.7~109	63.7~109			26.3~54.6		
煤焦油比重		1.073	1.102			1.206		
煤焦油成分		烷系、萘系之碳化氫，含有石炭酸以外之石蠟族類，樹脂質，軟澀膏。無苯，游離碳少。	烷系、萘系之碳化氫，含石炭酸族，苯，軟澀膏，游離碳少。			石油精及其高級氫，萘、蒽、油臘等之芳香族碳化氫，石炭酸類等，含有少量之萘酚，游離碳，硬澀膏。		
焦	煤	半焦煤，含有一五〇之揮發分，粗而脆，易着火。	半焦煤，含一〇之揮發分，質脆，着火易。			焦煤中之揮發分以下，緻密堅牢，不易着火。		

表三二 低溫煤焦油分溜品

類	別分	溜溫	度容	量	百分比	重
水	分	一〇〇		六四・〇		一・〇
輕	油	一〇〇—一七〇		三・一		〇・八四〇
石炭酸	油	一七〇—二二五		一三・七一		〇・九五七
柏油	精	二二五—二四〇		八・三五		〇・九八八
綠油	腦	二四〇—二七〇 二七〇—三〇〇 三〇〇—三二〇		八・三五 一・三二 一・三二		〇・九二三 〇・〇二九 〇・〇三三
瀝青	乾溜殘渣			四一・七一		(重量%)

德國以褐炭及亞炭行低溫乾溜，使成生主產物熏炭油及副產物「格魯德」焦煤。只柏林附近，此種焦煤之年產額，已達三百萬噸。日本此種焦煤之年產額，約四百萬噸，有文化炭、斯頓炭、「科來特」等名稱，家庭及其他用之。

低溫乾溜法為二十年前英人托馬斯・巴加(T. Parker)氏所倡導，後經不少之改良，其方式

極多。有由直立蒸溜器之外部加熱者，有由靜置水平式蒸溜器之外部加熱者，有由迴轉蒸溜器之外部加熱者，有用「里格諾」煉炭法及其他之內熱法者。

(六) 焦煤

焦煤爐 有採收副產物與不採收副產物之二種。後者即蜂房式焦煤爐 (Beehive coke oven)，一八八〇年以前，冶金用之焦煤，專用此爐製造之。此爐爲耐火磚所築造，形如木炭窯，直徑約四呎之半球形之爐，數十座並列築造之。如製造木炭之法，於爐內蒸燒石炭，經 2 或 3 晝夜，即得約原料 55 ~ 60 % 之焦煤。發生之煤氣，由煙突逸散。然有時亦以供蒸汽鍋加熱之用，每原料石炭一公噸，蒸發 0.75 公噸之水之熱量，可被利用。

採收副產物之焦煤爐，最初爲科拍 (Coppée) 氏及加夫斯 (Carvès) 氏所設計，近時其數大增，有俄脫式 (Otto type)、賽孟加夫斯式 (Simon Carvès type)、科巴斯式 (Koppers type)、科拍式 (Coppée type)、塞麥特索爾末式 (Semet-Solreay type)、威爾普特式 (Willputte type)、科林式 (Collin type) 等。寬 0.4 ~ 0.55 呎，長 1.0 呎，高 2.5 呎之長方形之耐火磚爐之兩

側，有煤氣燃燒室，25~60 座並列築造之。使用時密閉之，使不與空氣相通，熱之 18~36 點鐘。或以蓄熱室預熱空氣及煤氣而燃燒之，以其高熱加熱，使炭化時間縮短，消費煤氣減少。炭化完後，開兩端之戶，向一方推出焦煤，注水以急冷之。溜出之煤氣，採收副產物後，約半以供蒸溜加熱之用，所餘以供其他之用途，例如製鐵工場，所餘以熱蒸汽鍋，運轉發電機，發生電力以供工場之用，尚有餘力，是也。

焦煤爐之副產物 焦煤製造之際溜出之煤氣，與燈用煤氣同，可由其中採收諸種之副產物。此種副產物之採收，以前用煤氣工場所行之冷卻凝縮法，近則以半直接法或直接法採收其中氨之法多行之。

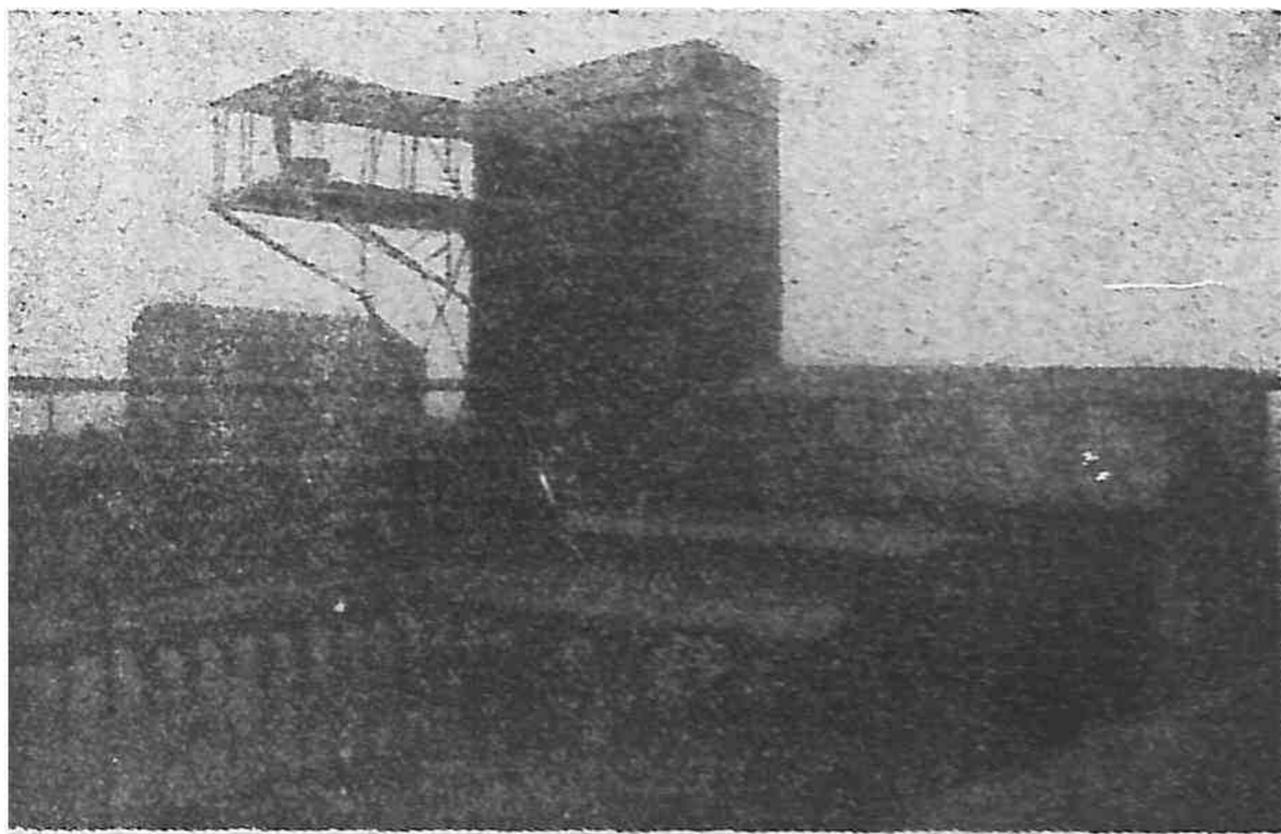


圖 207 焦煤爐及焦煤推出機

半直接法 (semi-direct process) 煤焦油全部及大部分之水蒸氣業經冷卻除去之煤氣，使由外部熱以溜出煤氣之鐵管，通過滿盛稀硫酸之飽和器中，以採收其中之游離氨。又先時冷卻凝縮而得之氨溶液，加以石灰，以高溫度之水蒸氣通過其中，蒸發其中之氨，送入上述飽和器內，使成硫酸銨。

直接法 (direct process) 以高壓使多量之煤焦油及水溶液成噴霧狀噴出，使煤氣通過其中；煤氣中之煤焦油除去後，送入硫酸飽和器，採收其中之氨。此法損失之氨較少，設備亦簡單。

焦煤爐煤氣，如上所述，煤焦油及氨除去後，尚含有水分、駢苯、苯等。此等物質，採收之，分解精製之為燃料、染料、溶劑、藥品等，及由煤焦油分溜輕油、中油、重油、綠油腦、煤焦油、瀝青等，精製輕油、苯、石炭酸、柏油精、駢苯等，與煤氣工業相同。

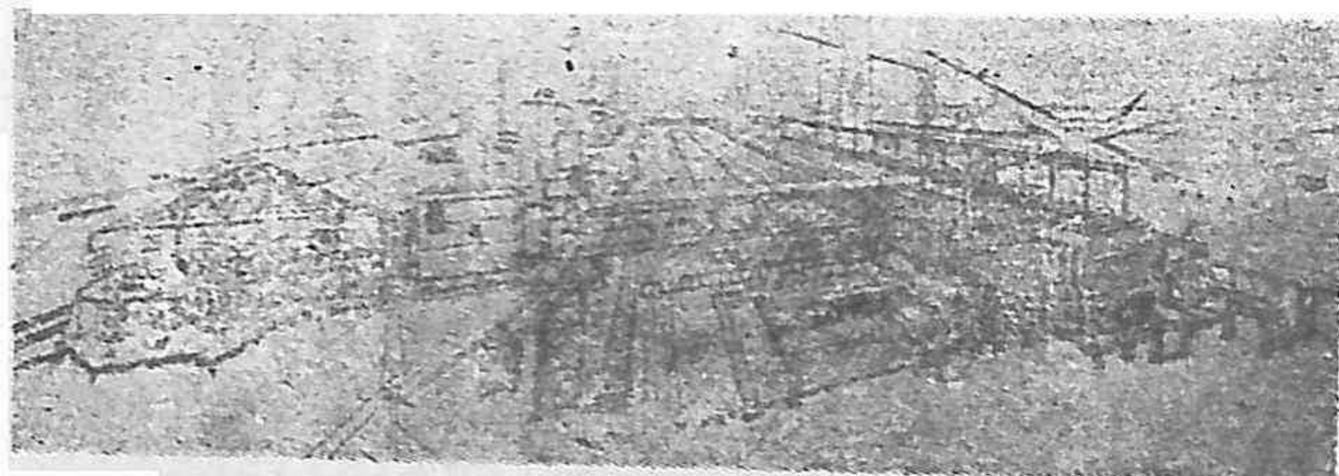


圖 208 科巴斯式副產物採收焦煤工場

第六章 石油

第一節 沿革

石油 (petroleum)，我國稱爲煤油，亦稱洋油。英語稱爲 petroleum，蓋連結希臘語之 petro (石) 及 oleum (油) 而成者也。

外國石油之發見及利用甚古，巴庫 (Baku) 附近拜火教殿堂之聖火，相傳爲距今三千年前，地層裂罅天然氣燃燒之火焰；朱匹塔神殿之獻燈，據稱爲紀元前一世紀之初，羅馬人在西西里採油所點。又據古書，紀元前四五〇年，波斯產油會分離爲鹽、瀝青及石油。然在近世紀以前，石油之利用，只局限於一地方，工業上之利用，乃一八五九年美國賓夕爾瓦尼亞州大規模採油開始以後之事也。十九世紀後半，大規模之採油既開始，石油之用途，遂隨各種工業之發達，大爲擴張；各地油田，

相繼開發。及二十世紀，石油之需要，因汽車、飛機之發達，日愈增大，遂與鐵及石炭，同帶國防上之重要性。英、德爲爭美索不達米亞油田，遂誘發世界大戰，此有名之事實也。及大戰勃發，石油在軍需品中，占極重要之地位，至使當時有「一滴之石油，其價值等於一滴之血」之歎。大戰既終，平和恢復，石油之用途，愈急激擴張，空中以飛機供郵件、旅客運輸之用；陸上之汽車，急激增加；海上之軍艦、商艦，至捨石炭而競用石油。其他潛艇之擴張，內燃機關之發達，莫不使石油之需要，增加無已。識者至謂：「現在各國石油需供之如何，其國運之消長繫之」焉。

第二節 成因及分布

成因 石油之成因，有無機成因說 (inorganic origin) 與有機成因說 (organic origin)。無機成因說中，地下成因說 (hypogene origin) 謂：含水碳酸氣在地球內部高壓高熱之下，與鹼質金屬相接觸，因生石油。火山作用成因說 (volcanic origin) 謂：由火山之作用而成。然均爲理論方面之學者所倡導，均以假設及理論的考察爲基礎，由野外實地之研究觀之，均未能謂爲充分。

之學說也。

有機成因說可分爲動物成因說 (animal origin)、植物成因說 (vegetable origin) 及動物成因說 (both animal and vegetable origin) 三種。動物成因說謂：魚類、貝類、珊瑚、軟體動物等，埋沒於地下，主因地壓地熱之故，分解蒸溜，遂生石油。植物成因說謂：植物繁茂時代，陸生、海生之植物，遭地殼之變動，爲所埋沒，遂分解而生石油。然近來，尤其自十九世紀末葉巴格拉 (Baker) 氏實驗的發表其說以來，石油主爲含脂肪及蛋白之動物所成，植物中，含此二物質，不含纖維之矽藻類亦可爲石油之母體之動植物成因說，最爲有力，爲多數之人所信仰。

分布 地球上生物之出生，至早當在地球表面溫度冷卻至蛋白質凝固點即攝氏七十度以下以後。即寒武利亞紀 (Cambrian period) 以前之地層既未有動植物化石 (fossil) 之發見，亦未有石油存在之發見。然志留利亞紀 (Silurian period) 以後之地層，則無論何地質時代，均有石油之發見。又各地之石油，各有其癖。例如美國賓夕爾瓦尼亞、俄亥俄、俄克拉荷馬等州之油田，多屬於古生代 (Palaeozoic era)。窩明、蒙大拿、得撒之中東部、路易西亞那之北部、亞爾干薩斯等地之

油田，多屬於中生代（Mesozoic era）；得撒之西南部、加爾夫科斯特地方、加利福尼亞州等地之油田，皆屬於第三紀；日本之油田，只限於第三紀（Tertiary Period）等是也。

石油之世界的分布狀態，由地理上觀之，多有與大山脈相平行者。例如由匈牙利以達羅馬尼亞之喀爾巴阡山脈，俄國之高加索山脈，北美之亞勒牙尼山脈，南美之安達斯山脈等地方之油田是也。又由國家觀之，原油產出最多之國為美國，次為墨西哥及俄國，其他諸國，多少產出之者亦多。

石油之埋藏量 石油埋藏量之測定，殆不可能，所謂世界埋藏量，殊乏可信之數字。茲將美國地質研

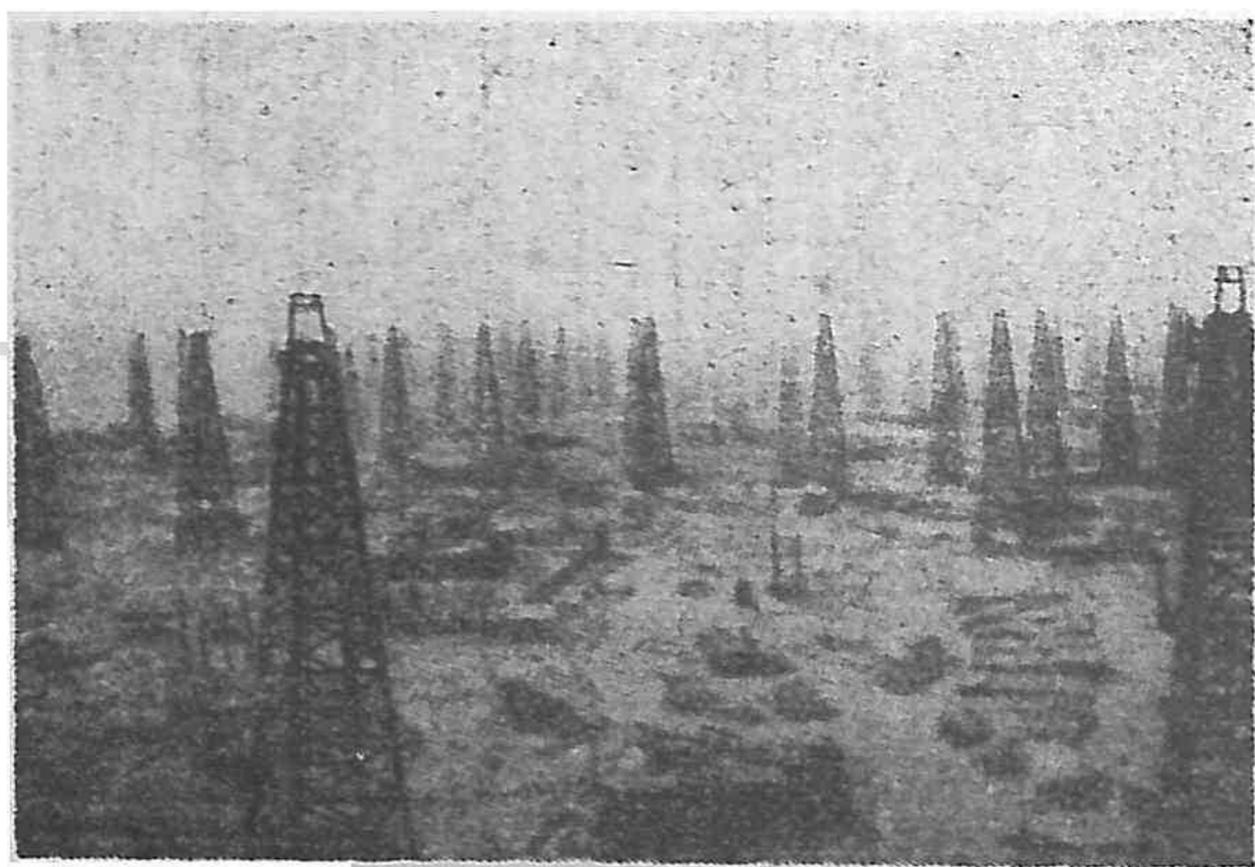


圖 209 得撒油田之一部

究所斯特賓牙氏之所計算列下，以供參考。

表三三 石油埋藏量（單位百萬立方呎）

美	國	一、一、二二	中	國	二一九
俄	國	九二六	日	本	一九六
波	斯及美 米不達 米亞	九二五	歐	洲大 陸地 方	一七九
南	美	九一一	印	度	一五八
南	美	五六四	加	拿	一五八
墨	西	七一九	亞	爾日 利亞 及埃 及	一四七
東	印	四七九	俄	國北 部及 庫頁	一四七

第三節 石油之產出

集積 各種動物及某種植物質，遭地殼之變動，埋沒地中，主因岩壓及地熱之故，分解蒸溜，遂生石油。成生之石油，如其上之岩層為多孔質，則因水壓、毛管壓、岩壓、氣壓等之故，遂透過之而上昇。

集積於適當之處所。此種石油移棲集積之地層，謂之含油層。含油層必為多孔質，其上必有石油不能透過之不滲透質之蓋岩 (cap rock)。又常為水成岩，就中砂 (sand) 或砂岩 (sandstone) 最為普通，有時為石灰岩 (limestone)、礫岩 (conglomerate) 等。含油層之孔質度 (porosity) 至少須約其容積之一〇% 以上，否則足供採油之油量，不能集積。油砂 (oil sand) 之孔質度，普通為 20 ~ 30 %。孔質度愈大，則石油之集積愈多。故砂及礫，務須等大，且須無角而帶圓形，方為上質含油方多。蓋岩或為石油

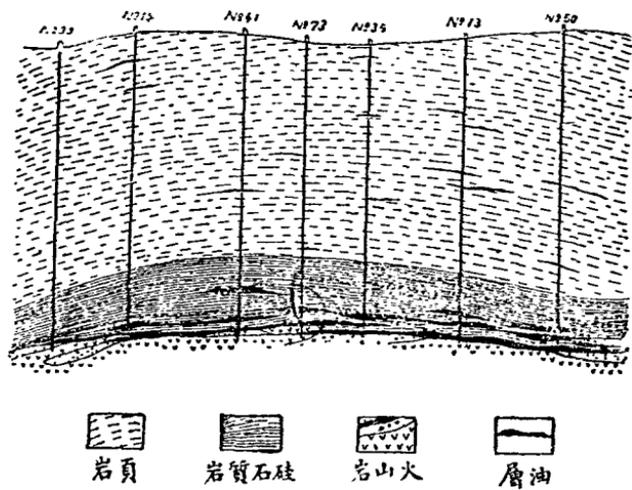


圖 210 石油埋藏之狀態

及石油氣不能透過之頁岩 (shale) 或為不滲透質之黏土 (clay) 或黏板岩 (slate) 等，有時僅透水不透石油之岩盤亦有之。然無論如何，不能有裂縫，若有裂縫，則石油、石油氣不能集積，縱集積亦由此逸散，失蓋岩之作用。普通石油為如上由其成生之處，移棲於他處，形成含油層，而存在於其中者，存在於原來成生之處者甚稀。

地質構造 適於油座 (oil

boat) 之地質構造，為單斜 (monocline) 背斜 (anticline) 向斜 (syncline) 穹窿 (dome) 等形。就中成背斜、穹窿之形者，石油之集積尤易。又密閉之斷層，亦有形成含油層之可能。惟沿斷層，若有裂縫或岩層，則石油即由此逸散。

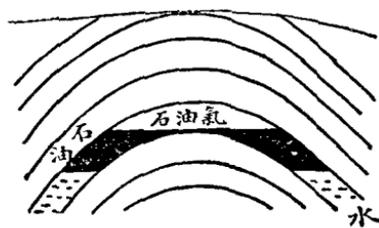


圖 211 背斜構造

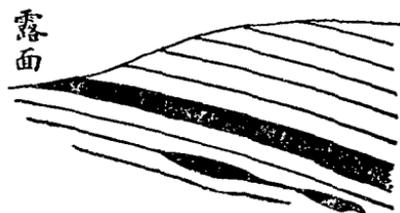


圖 212 單斜構造

表三四 世界原油產額（一九二八年）

美 國	一、四三一、九二五（十萬噸）	六八・〇%
委 內 瑞 拉	一六八、二七五（十萬噸）	八・〇%
俄 國	一三九、三八三（十萬噸）	六・六%
墨 西 哥	七九、六一三（十萬噸）	三・八%
波 斯	六六、八〇二（十萬噸）	三・二%
羅 馬 尼 亞	四八、五七八（十萬噸）	二・三%
荷 屬 東 印 度	四五、二四四（十萬噸）	二・一%
科 倫 比 亞	三一、五九一（十萬噸）	一・七%
秘 魯	一九、〇〇二（十萬噸）	〇・九%
阿 根 廷	一四、四四六（十萬噸）	〇・七%
印 度	一三、一七六（十萬噸）	〇・六%
特 里 尼 達	一二、三〇三（十萬噸）	〇・六%
加 里 綏 亞	八、七七九（十萬噸）	〇・四%

婆羅洲	八、三九八(十萬畝)	○・四%
日本	三、一二二(十萬畝)	○・二%
其他	九、四七〇(十萬畝)	○・五%
共計	二、一〇〇、〇九七(十萬畝)	

第四節 採油

油田之露面 石油埋藏之處，地表多有徵候 (surface indication)。蓋地下之石油，往往由油層之露頭，或其鄰接岩石之裂罅，滲出於地表故也。日本之油田，此種現象，最為普通。然蓋岩完全，全無裂罅，石油全不滲出於地表之油層亦有之。例如美國，即有此例。由蓋岩之作用言，全無裂罅，絕對不透石油，最為理想，地表無徵候之處，反有包藏豐富之石油之可能，未能即謂為無石油之存在。然吾人由地表觀察，油座之存在，要以有石油滲出時，為最確實。

石油滲出地表時，由其特殊之臭，可以知之。若滲出之量極微，其臭無由感知，則稍取其土砂，浸

之水中，水面即生石油獨有之美麗之薄膜，亦易知之。日本北海道聲問地方，石油由海底滲出，波靜時，於水面可以見之。

又石油常與若干之氣體一同存在，此種氣體，有由地層之間隙噴出者。凡由地中噴出之氣體，若為可燃性，大抵即石油氣（oil gas）。石油氣無色無臭，若只少量噴出，不易發見。然若由沼澤地之水中或海中噴出，則在水面成氣泡，易於識別。日本尼

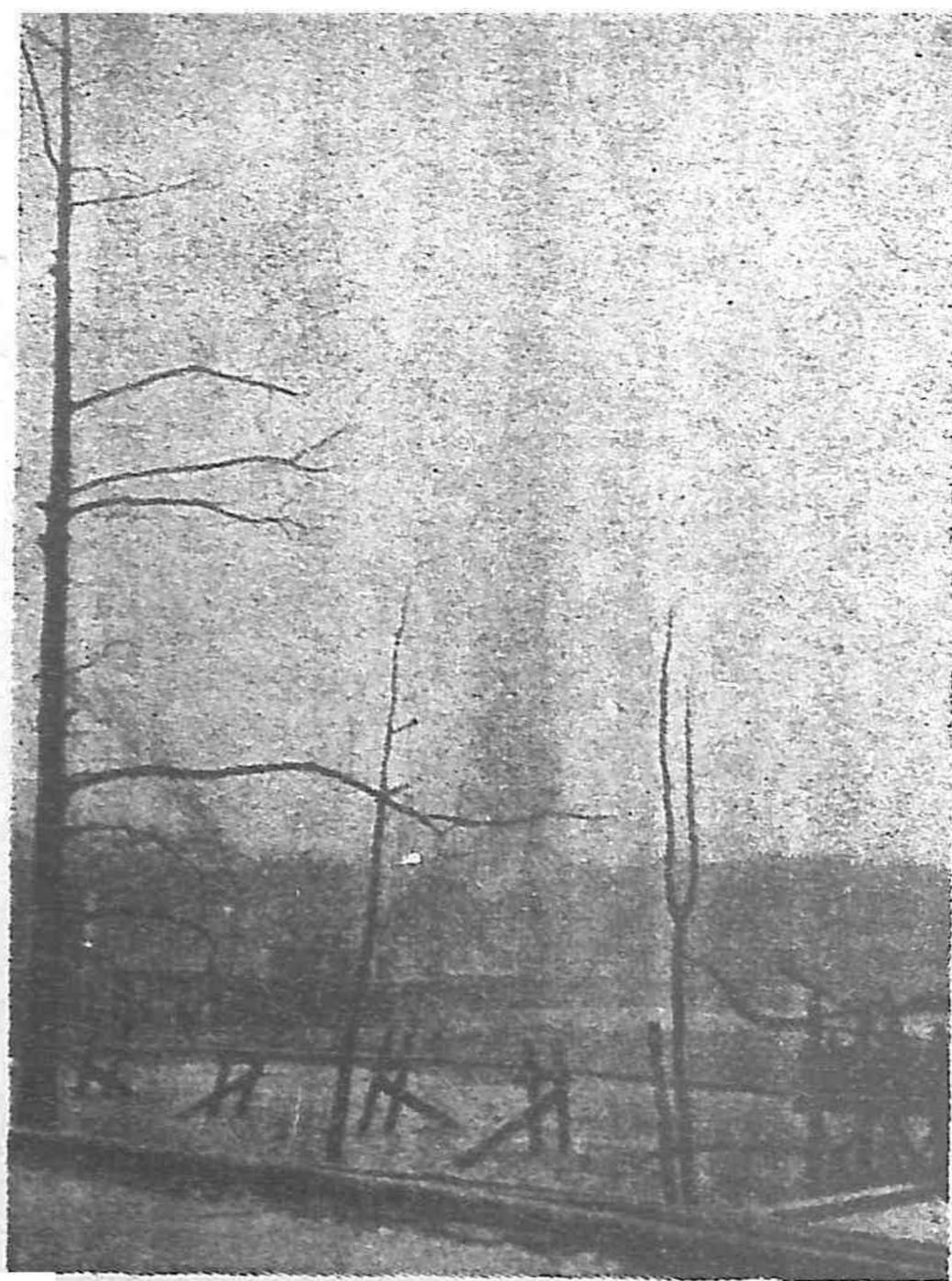


圖 213 天然氣與砂泥一時噴出之例

瀨地方、天鹽地方、海及沼中，均有此種氣體之噴出，陸上其例更多。然因天然氣之噴出，即謂該處確有油座之存在，亦屬不可。此種氣體，僅足證明其地層適於石油之存在，石油之果否存在，須再進而研究之。

此外油田之地表徵候，尙有四端。即含石油或瀝青 (Bitumen) 之砂或砂岩之露出，瀝青湖 (bituminous lakes) 或瀝青脈 (bituminous dykes) 之存在，泥火山 (mud volcano) 之存在，食鹽水及硫化氫之噴出等，是也。含石油或瀝青之砂或砂岩露出時，必有若干石油之存在。瀝青湖、瀝青脈，特里尼達、委內瑞拉、北庫頁等處，其例甚多，日本秋田有土瀝青鑛床，蓋瀝青質之石油流出，遺留瀝青之殘滓於地表岩石中所成者也。泥火山爲天然氣及石油（就中多爲天然氣）與泥土一同噴出時形成之小山，巴庫地方，有高及四百呎者，臺灣、緬甸亦有之。食鹽水及硫化氫，亦多與石油相伴。

以上爲石油露出之諸徵候，除石油滲出一項外，餘均不足爲油座存在之確實證據。此等徵候中，有一或二發現時，油層之果否存在，須再進而研究調查岩石之性質，是否適於石油之胚胎，地層

之構成，是否適於石油之包藏等。

若地表發見有相當之徵候，地質及地質構造，適於油座，亦經推定，應即開鑿試井以調查地質，探查油層。

探鑛 油座探鑛之法，先詳細調查地表之徵候，次研究地質及地層。石油之存在，雖志留利亞紀(Silurian period)以後之地層，無論何地質時代，均發見之，然各地各有一種之癖，已如前述，此種癖，探鑛時不可不預加考慮也。又含油層僅限於水成岩，海成、河口、三角洲之水成岩，最爲重要。油層有有露面者，有無露面者，未可以無露面之故，即謂決無油座之存在。美國俄克荷馬油田(Oklahoma field)，即掘全無露面之處，而產出豐富之石油；日本金照寺山油田，亦研究地質構造，預想有石油胚胎，試掘果發見油層。此外輕油質之石油，縱滲出於地表，不久即逸散，發見較難；重油質之石油，殘存甚久，且氧化變爲土瀝青質，容易發見之。

始業價值 調查既終，應即綜合所得結果，參酌地方情形，以決定始業價值之有無。此時石油之埋藏量及品質，交通運搬之狀況，物品之供給，氣象之如何等，均須加以研究。

然石油埋藏量之決定，極爲困難，不似石炭埋藏量之可相當正確決定，金屬礦物之可相當推定，雖謂推定殆不可能，並非過言。蓋石油地表縱有露面，其根源果在何處，油量果如何，莫由知之；縱數露面相連續，果否爲確實而豐富之油座，亦難決定；反此種現象，所以示裂罅之多，埋藏量反未能多；全無露面之處，或有豐富之油座，亦未可知，故也。故石油埋藏量之推定，除研究有完全之岩盤以作蓋岩否，有適當之地層以作含油層否，地質構造是否

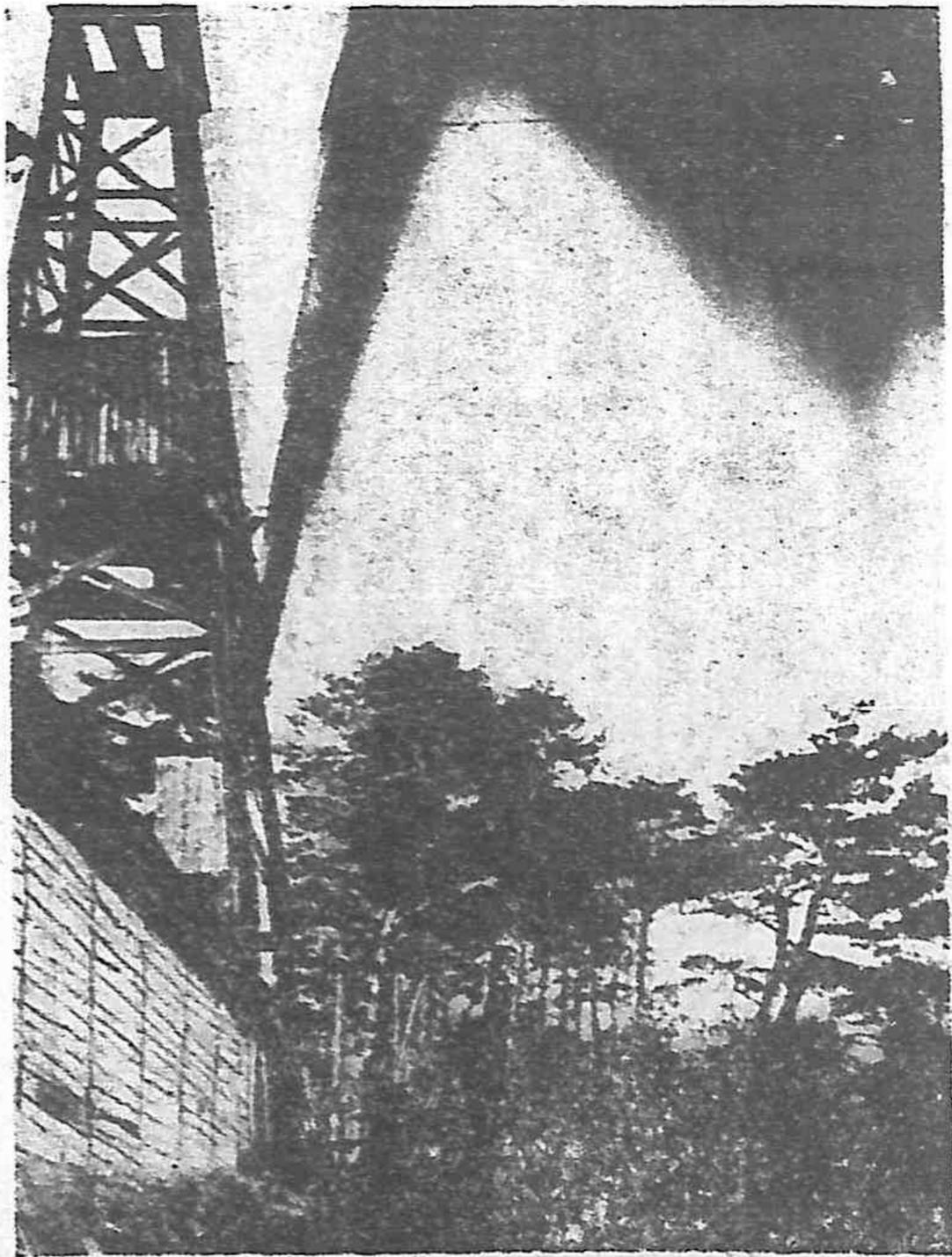


圖 214 油井噴油之實況

適於油座外，別無他法。

又油質亦只知其近似數，縱鑿試井，未必即遇油層。已開發之油田，新鑿油井，遇油層之率較多，未有油井之地，其率更惡。

然不安之一面，有時遇大噴油，噴出極多之油，獲得他種鑽業所不能夢想之利者，其例亦多。昔年墨西哥空前之大噴油，旬日之間，噴出之量，達二三百萬立方呎；一九二七年七月南洋塔拉敢島之噴油，亦一日達千五百公墩之多。

由種種方面，考究調查，石油之存在，已確有望，其他各條件，可以人力相當調節之。石油之運搬，或用送油管，或用油槽車，或用油槽船，可以廉價送至市場。即交通極不便之地，極寒之他，苟準備充分，亦無困難之可言。要而言之，動工以前，調查當期其周密，準備當期其完全，如是而已。

鑿井 (drilling) 視油層之深度，地質之軟硬，有種種之方法，茲述之於次：

(a) 手掘 工作以人力為主，殆不用機械。井為方形，口之一邊約五尺內外，普通漸掘下漸縮小至四尺、三·五尺、三尺等。鑽夫一人，於井底工作，所掘之土塊岩石，於井口設滑車以搬出之。視

地質之如何，井之側壁，以木框、木條、木板支持之，以防土砂之崩壞。深度約達 50 ~ 80 尺時，因通風不良，運轉足踏風箱，使新鮮之空氣，由風槽進入井底。若遇水層，視水量、地形及深度之如何，以適當之方法排出之。

此法所能到達之深度，因井內天然氣噴出之狀況，水量之多少及地質之狀況而異，大致約 500 ~ 600 尺前後。此法現在日本猶有行之者，美國石油鑛業之初期，亦曾行之。

(b) 上總掘 此法初為日本上總地方用以掘鑿水井之方法，後該國又應用於油井，故有此名。法於地上設一槽，槽頂置一滑車。槽一方之側面，設一踏臺，臺之內側，設一直徑十五尺之多角形之木車，謂之索條車。鑛夫數

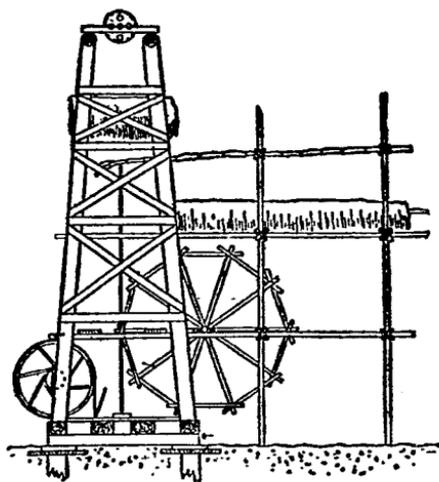


圖 215 上總掘

人在輪內向上前進，利用人體之重，以爲捲上吊下掘鑿用具於井內之竹條之用。槽之他一側面亦設一車，以爲昇降掘鑿用具及其他重量品之用。索條車之上，有緊束之竹一束，一端被固定，一端恰在井心之上，由此吊下掘鑿用具，利用竹之彈性，使作上下動，向地中掘下。井中之泥，以吸子汲取之。此法所需經費不多，適於 600 ~ 900 尺之淺層之掘鑿。一日之掘鑿速度約十餘尺，欲更速時，用石油發動機者亦有之。

(c) 索掘 (cable tool drilling) 此法因盛行於美國，又稱爲美國式掘。一八五九年美國德勒基氏以此法鑿井，插入鐵管，以防井壁之崩壞，大告成功，是爲此法之始。後各國羣起採用，於石油鑛業之發達上，其功績殊不小也。

此法上總掘法之竹條，以代呂宋麻索 (Manila rope) 或鋼索 (wire rope)。索之末端，與重約 0.7 ~ 1.5 公噸之掘鑿用具相連結，由其衝擊，以向地中掘下。索之上下動，以迴轉軸上所裝之曲柄 (crank) 行之。槽 (derrick) 高約二五呎，動力用蒸汽機關、石油發動機、電動機等。此法適於堅硬地層之掘鑿，一日之掘鑿速度約 30 ~ 40 尺，最大深度可達二千尺。井內之岩層試料，以採

泥器採取之。

可搬式鑿井法爲此式之輕便者，櫓以一柱代之，動力易於搬動者，其他亦以輕便爲主。

(d) 水壓循環掘 (water flush drilling) 此式爲

上述之索掘之一部與下述之

水壓迴旋掘之一部合成之方法，爲索掘之裝置，不用採泥器而用循環泥水之法。

(e) 水壓迴旋掘 (hydraulic rotary drilling) 此法爲法人所設計，一九〇〇年成功於美國油田，要點有二，一爲掘鑿鐵管 (drill pipe) 之迴旋，一爲泥水之循環。掘鑿鐵管之下端，與魚尾形 (fish tail) 之鑿 (bit) 相連結，上端以櫓臺上之迴旋盤 (turn table) 把持之。以蒸汽機關

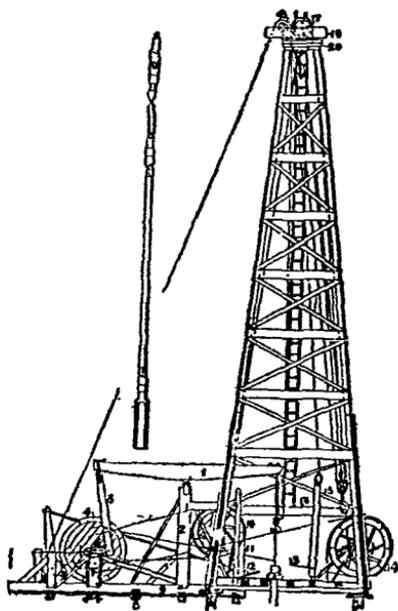


圖 216 索掘

或電動機迴轉迴旋盤，則鑿與鐵管一同迴旋向地中掘下。被掘之岩石，成爲細泥，與由上進入鐵管，由鐵管尖端噴出之泥水，一同由鐵管之外側上昇，途中予井壁以糊塗作用。泥水既上昇至地上，導入沈澱池，使稍脫去土砂，至比重達 1.05 ~ 1.35，再使由鐵管頭，流入鐵管內，循環不息。

此法適於質軟之地層。掘鑿速度，一日達 800 ~ 3000 尺以上。最大深度，可達六千尺以上，美國有達萬尺者。所需費用，較之索掘，遠爲低廉。

此法以前因井內之岩屑試料，未能採取，地質之判斷，頗感不便。然近來已有採取岩心之法，又用特殊形之鑿，硬質之地層亦可使用，無復不便之處。現在此種機械之大型者，各處盛用之。



圖 217 水壓迴旋掘（背面）

採油 鑿井既終，應即採油。有時正在鑿井或採油之際，石油自行噴出者亦有之。蓋石油常伴有若干之氣體，油井既達油座，石油因氣體之壓力，遂自行噴出故也。噴出之量，有時非常之多。一九二二年，墨西哥捨洛·亞茲爾曾一日噴出四六、〇〇〇立方呎，噴出高度，達一五〇呎。

油井之引油區域，因含油層之組織、孔質度、原油之性質等而異。油井與油井之間隔，以此等關係與掘鑿費用相參照決定之。美國為60、2000呎，巴庫地方及羅馬尼亞等急傾斜之處約七十六呎，日本秋田地方，上總掘法為37、55呎，索掘法為64、128呎，水壓迴旋掘法為72、125呎。

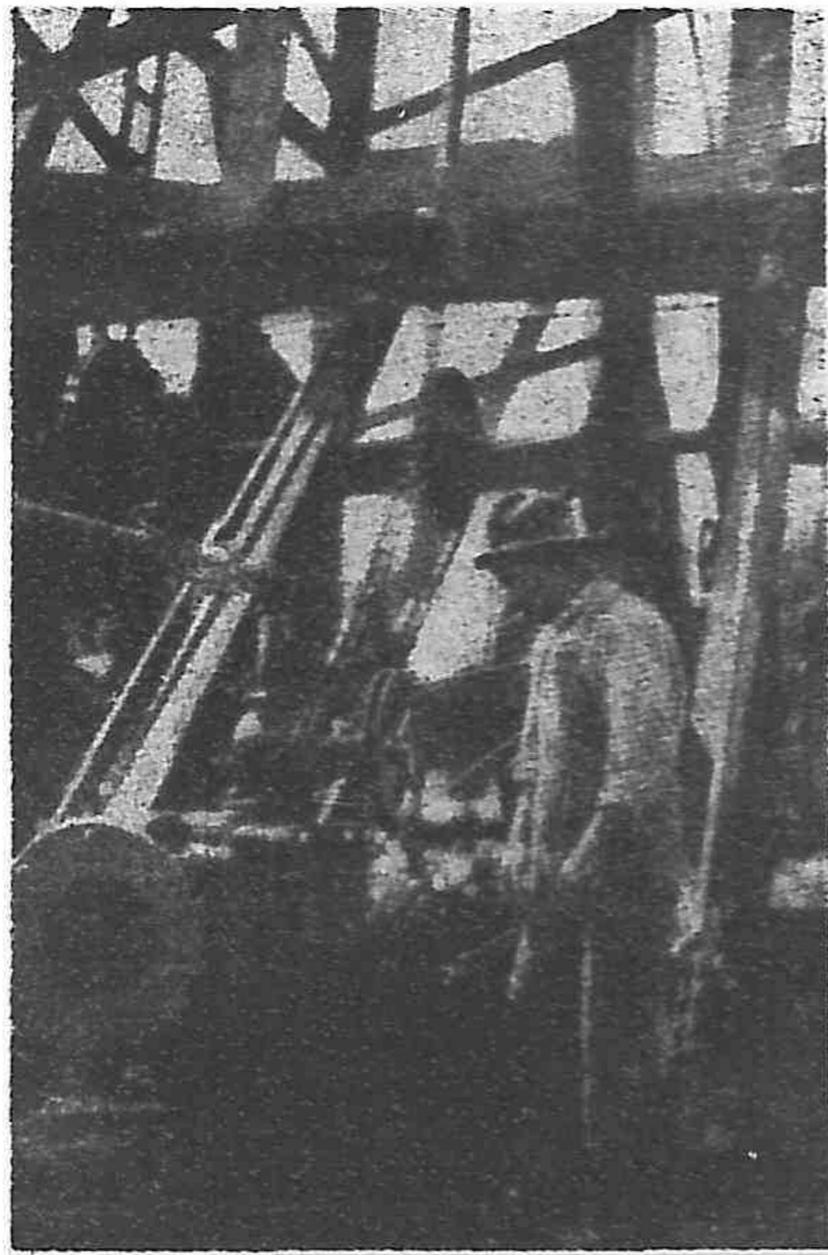


圖 218 水壓迴旋掘

自噴多氣體壓力減小即漸減退，或間歇噴出以至停止。停止後以唧筒汲上之油井用唧筒，以徑 50~127 耗，長 1500~3000 耗之圓筒，裝於採油鐵管之下，降至井底附近，圓筒內懸吊唧筒桿，以原動機連轉圓筒內之唧筒，石油即被汲上。有時淺井密集，數井乃至三十井，以一原動機連轉之，謂之共同動力（pumping power）。汲上之油，貯之於附近鐵槽（steel storage tank）之內。

故障 油井之故障中，最常遇者，為正在掘鑿或採油之際，地下水之出現。此水或另成一層在油層之上或下，或與石油同在一層之中。前者防之雖易，後者則止水甚為困難。地下水出現時，須速行止水法，否則水蓄於井內，壓迫油層，阻礙出油，不惟使該井廢滅，且有使油田全體荒廢之虞。昔年墨西哥廣大油田之荒廢，即因地下水出現之故。故地下水之出現，實油田之大敵也。地下水出現發覺時，以適當之器具，探查井內出水之處所，於鐵管之端，置止水靴，插入井內，以遏止之，謂之迫止法。又或插入鐵管，於鐵管與井壁之間，充填水泥，使之硬化，以完全遏止之，謂之水泥硬化法（cementing）。就中後者最為有效，深度增加時，亦能完全止水，用之者甚多。

油井除因止水法不完全而衰滅外，有因不滲透性沈澱物之故，而石油採取陷入困難者。此時油井再掘下以增其深度，或掃除其底，圓滑採油器具，使石油之通路良好，以增加油量。又或投硝酸甘油類之爆藥於井底，爆破井底附近之岩層油砂，使爲原油分離物石蠟及其他不滲透性沈澱物所塞之通路開通，亦有效果。

因石油氣逸散或石油被汲取，油座內壓力減退而油量減少者，亦有之。此時用斯密斯丹法，以一已入老境之油井爲空氣井，送入三氣壓乃至二十數氣壓之壓縮空氣，則油座內之壓力復活，油層內殘餘之石油，被壓縮空氣驅至鄰接油井，由鄰接油井汲取之。

由一油井採取之石油總量，一般只埋藏量之 10~20%，其餘全部殘留於地下而成廢井。故所謂廢井，並非埋藏石油全部或大部分已採盡之意，不過因上述之理由，出油量減少，未能再行經濟的採油耳。近來有所謂石油坑道掘，即油井達老境後，其中殘餘之石油，全部由坑道以採收之是也。此法，在法國白設爾布倫行之已有效果。

油井之壽命，各井不同，普通約繼續十數年，間亦有繼續至數十年者。出油常最初最多，漸次減

少。減少之狀態，普通最初急激，漸次緩慢。世界最長壽之井，爲美國俄亥俄州佐意·法蒙之四號，井自一八六四年以來，六十餘年間，繼續出油。

鑛夫 從事採油製油之鑛夫，細別之爲鑿井夫、汲油夫、製油夫、運搬夫、機械夫、工作夫、容器製作夫、天然揮發油榨取夫、雜夫等。石油鑛業與其他鑛業相較，無甚變災事故之可言，負傷者亦甚少。

第五節 製油 (Refining)

原油 (crude oil) 由油井採收，貯入鐵槽內之原油，以鐵管送至製油所，於製油所分溜精製之爲種種之製品。

分溜 先靜置原油於槽中，使泥水與原油分離。有時加熱，應

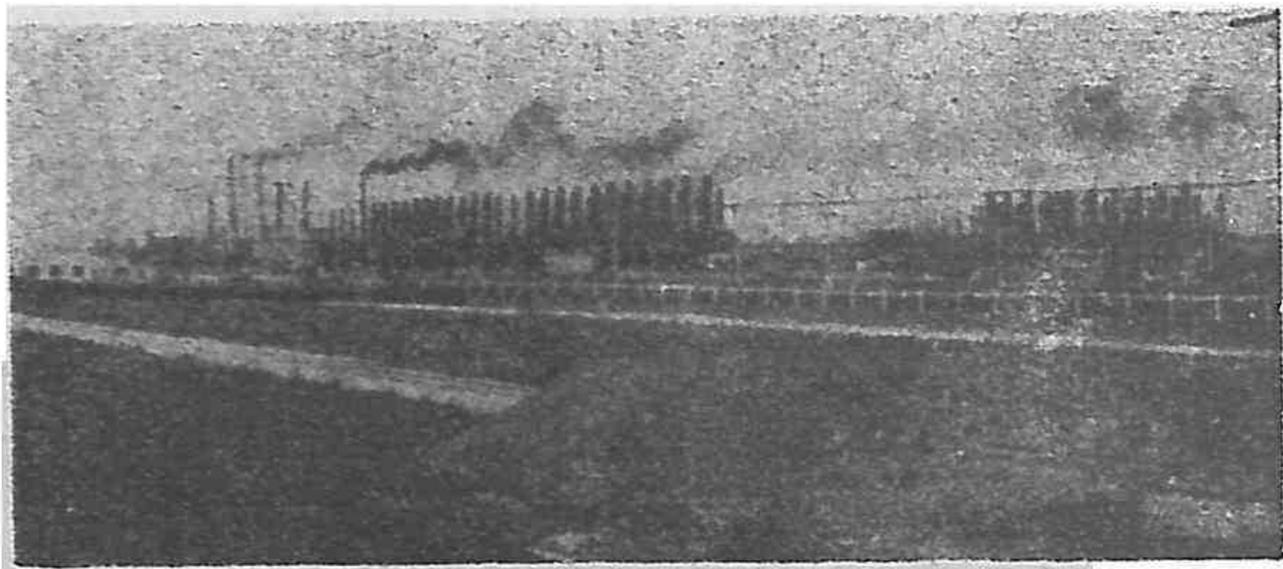
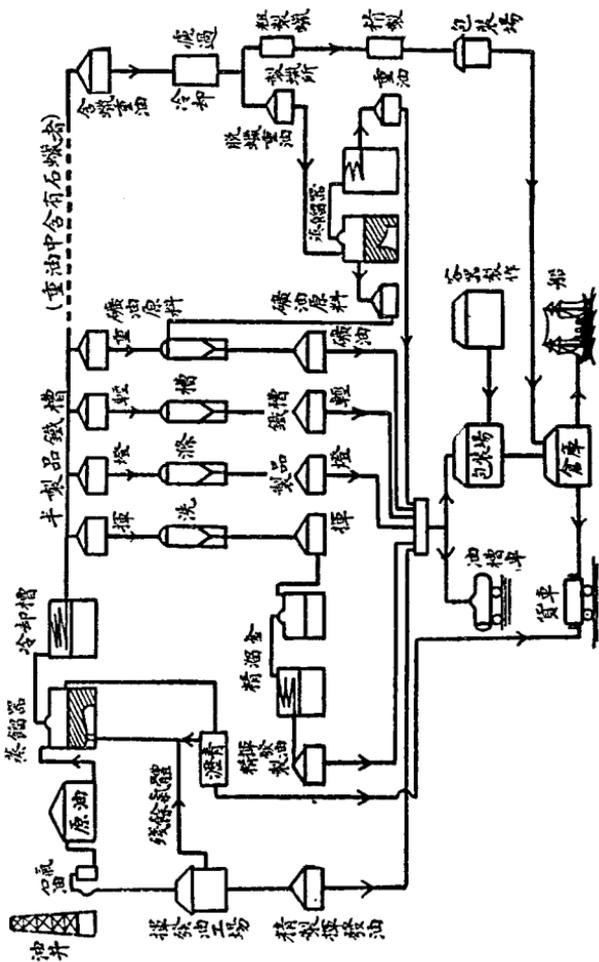


圖 219 美國得撒州喀爾夫製油公司製油所

圖 220 製油順序

石油氣送往揮發油工場，採收其中之揮發油後，所餘以爲燃料。原油及渣爲揮發油等各種油後，再一一精製之。惟含有石蠟之重油，須送往石蠟工場，採收其中之石蠟。如上製出之數十種之製品，一一裝入樽罈，送往市場，或以地中埋藏之鐵管或油槽車船送往亦可。



用遠心力或化學作用以分離之者亦有之。原油視其性質如何，有分水非常困難者，就中水與油相混成乳狀液時，分水尤為困難，須通以高壓電流，始克分離之。泥水既分離，裝入鋼鐵之蒸溜釜(器)內，由低溫度順次使之氣化。氣化之油，送入冷卻槽 (condenser) 使之液化。蒸溜雖亦有一次即畢事者，普通反覆數次精密分溜之。最初至攝氏一五〇度間溜出者為揮發油 (volatile oil) 一五〇度至二七〇度或三〇〇度間溜出者為燈油 (kero ene)。

原油中含有石蠟 (paraffin) 時，分溜之際，石蠟殘留於重油 (heavy oil) 中。此時導重油至冷卻室，以製冰機冷卻之。至零下七度，石蠟即凝固。凝固之石蠟，其內尚含有若干之重油，以高壓力壓榨之，再加熱熔融而濾過之，使成精製之石蠟。

重油或行真空蒸溜，或以多孔質之物濾過之，或利用其對醇溶解度之差，精製之為種種之機械油 (lubricating oil)。

分溜油內，尚含不純物，裝入洗滌槽內，混以硫酸而攪拌之，則不飽和碳化氫、芳香族碳化氫、硫化物等不純物與硫酸化合而沈於下，除去後以水洗之。水洗後再加入適量之苛性鈉而攪拌之，使

之中和，靜置除去其廢液，再水洗之。最後漂白之，即脫色而成帶石油獨有之美麗光澤之製品。

分溜製品及其用途

揮發油 爲最初至攝氏一五〇度間溜出之油，比重在〇・七八八三以下。飛機及汽車之燃料，樹膠及防水布之製造，動植物油之抽出，鑛山安全燈之洗濯等用之。

燈油 石蠟系燈油爲攝氏 150 ~ 300 度間所溜出，萘系燈油爲 150 ~ 270 度間所溜出，比重 0・7883 ~ 0・8498。燈火、農業用石油發動機、石油廚爐、石油火爐等用之。

輕油 (light oil) 爲攝氏二七〇度或三〇〇度以上所溜出，漁船等之石油發動機及機械之洗滌用之。

重油及機械油 比重 0・885 ~ 0・9659。機械油有主軸油 (比重 0・885 ~ 0・895)、各種機械油 (比重 0・895 ~ 0・91)、氣筒油 (比重 0・91 以上) 及瓣油、發動機油、機關油、變壓器油等，以供各種減摩、防銹、絕緣、醫藥、消毒等之用。重油以供軍艦、潛艇、商船、陸上蒸汽鍋、漁船之發動機等之燃料及除蟲之用。

土瀝青 (asphalt)、瀝青 (pitch)、焦煤 (coke)、鋪道、煉炭製造、燃料、防水工事、電氣絕緣塗料等用之。

石蠟 以製蠟燭。

其他 共計五十餘種。

人造揮發油 近時因航空機、汽車之發達，揮發油之需要大增，分解重油以製揮發油之分解法 (cracking distillation) 甚為盛行。據稱美國現在所消費之揮發油，三〇%以上，為此法所製出。

人造石油 無論何人，一考現今石油需要供給之關係及其將來，莫不痛感人造石油之必要。故各國莫不就其國情，從事研究。或由石炭以製之，或由鱈油、鯨油以製之，或由大豆油以製之，或由乙炔氣以製之，其他尚有種種之方法。雖尚無工業的成功者，然此種研究，現正在白熱化，深望其不久能達到成功之域也。

送油 製成之種種製品，不可不以最低廉之費，迅速送至市場。其法或用送油管 (pipe line)，

或用油槽車 (tank car) 或用油槽船 (tank steamer) 用送油管時，於油田與製油所間或港灣都市間，設直徑 50~200 耗之鐵管，由此可以最迅速廉價輸送石油。現在美國之送油管，延長達一四五、〇〇〇 呎以上，其中石油之容量，達二五〇萬立方呎。油槽車為容積 7~20 噸之鐵槽貨車，陸上之送油用之。此外河川海路之送油，多用油槽船，數十噸乃至二萬餘噸之船，由一港灣都市之油槽，滿載石油運至他港灣都市之油槽。現在美國油槽船之總容量達二三〇萬噸，英國達一八〇萬噸。

第六節 油母頁岩 (Oil shale)

油母頁岩為層狀堅硬之水成岩，產出狀態，與石炭相似，含灰分二二三%餘，乾溜之產生原油。此種乾溜產生原油之有機物，稱為油母 (kerogen)。油母頁岩於蒸溜器中熱之，油母即成瀝青，再分解之，遂成氣體、液體及固體之碳化氫，與油井中之原油無異。又油母頁岩中，常含有若干之氮，可製之為硫酸銨，其殘滓可製為與焦煤相似之固定碳。

油母頁岩工業之發達最早者為蘇格蘭。此地採掘蒸溜之頁岩，屬於古生代石炭紀，厚1~3呎。原礦一噸，可製出石油90~120呎，硫酸銨14~27呎。一年之原礦採掘量，達三〇〇萬噸。此外美國、新南威爾士、西班牙、加拿大等，亦產出之。

表三五 頁岩油製品

頁岩一噸之乾溜製品

產	地原油	(呎)比	重硫	酸	銨
蘇格蘭	布洛克斯班	八〇—一五〇	〇·八七七	一五—一九	
美國	烏台	九五	〇·九〇三		二四

原油分溜製品

產	地揮發油%	燈油%	輕油%	機油%	蠟	%	土溼背%
布洛克斯班	一·四二	二七·六二	一·七五	二八·〇三	一〇·七六		
烏台	九·六	三七·三〇	—	—	四·九〇		二·〇

我國撫順炭鑛炭層上部之油母頁岩，最厚處達一三六四呎，埋藏量達五五億公噸，一公噸可製出石油 40、100 磅。雖非上鑛，然石炭行露天掘時，必須除去，探掘幾無需經費，且副產物可得硫酸銨，誠國防上重要之寶藏也。惟現歸日人經營，日人以日金五〇〇萬圓之資本，創設頁岩處理工場，每年產出重油 25000 ~ 40000 噸，硫酸銨 7000 ~ 8000 噸，石蠟五、〇〇〇噸，焦煤二、五〇〇噸云。

第七節 天然煤氣 (Natural Gas)

油田地方產出之石油氣即天然煤氣，爲甲烷、乙烷、丙烷等所成。此氣體與石油同時成生，形成油座時，蓄積於石油之上部。因水壓等之故，爲所壓縮。美國賓夕爾瓦尼亞州之天然煤氣，據稱有一一五氣壓之壓力。石油氣由地殼之裂罅或油井噴出時，須設法捕集而利用之。美國一年間利用之天然氣，達三二〇億立方呎，較由石炭製出之人工煤氣使用量，尤遠過之。

天然煤氣有乾性氣 (Dry Gas) 與溼性氣 (Wet Gas) 之二種。溼性氣壓縮之，或使輕油吸收

之，可製出揮發油。乾性氣不能製出揮發油，只以供燃料之用。溼性氣一立方呎中，含有揮發油 $0.08 \sim 0.185$ 呎以上者，壓縮冷卻之，採收其中之揮發油；含有量少者，使爲比重 $0.865 \sim 0.844$ 之輕油所吸收，然後分溜採收之。

天然煤氣內，常伴有氫，最多者達一·五%，與空氣中之含有量十八萬五千分之一相較，可謂極爲豐富，可分離之，以供飛船或輕氣球之用。其浮揚力雖稍劣於氫，然氫有燃燒性，易爆發，氫爲不燃燒性，甚爲安全。

第八節 土瀝青 (Asphalt)

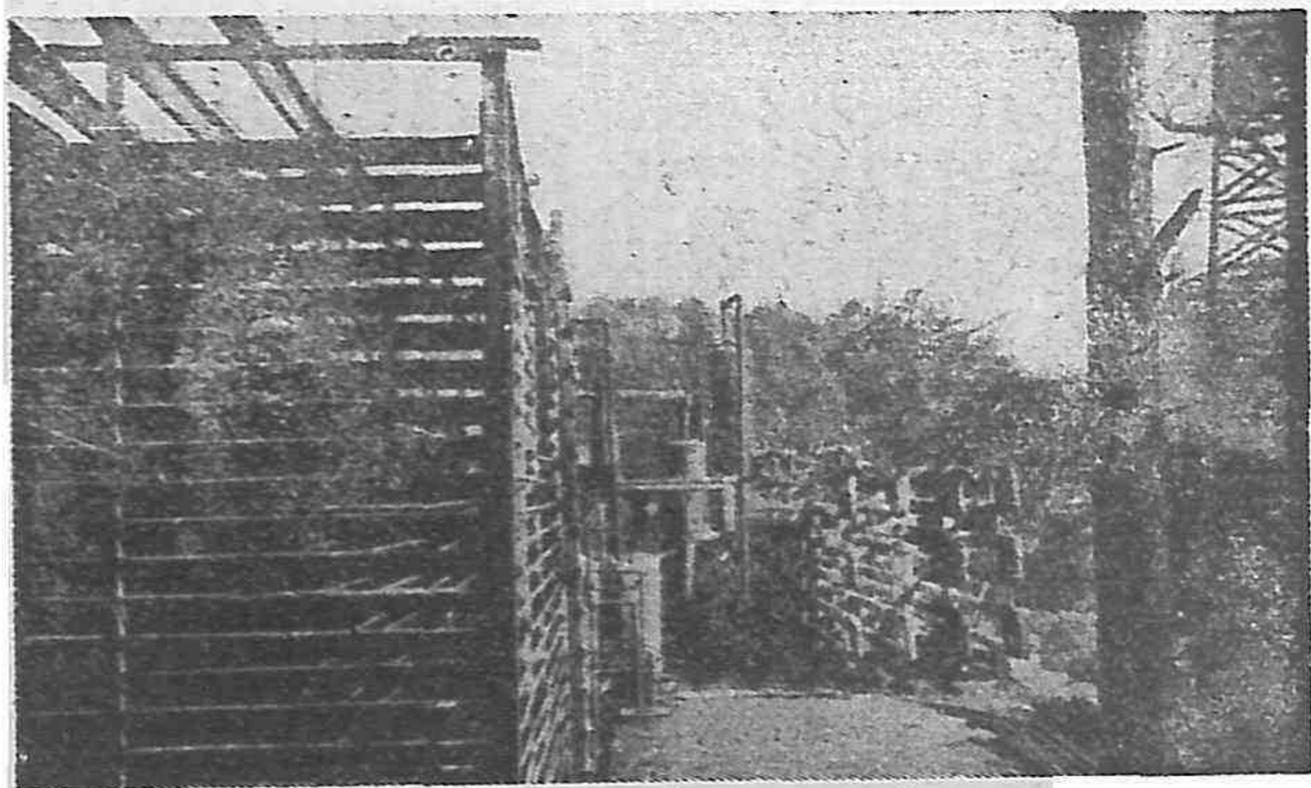


圖 221 天然揮發油採收裝置
天然煤氣壓縮冷卻之，由其中採收揮發油。

成因 現今文明之都市，莫不競以土瀝青鋪道，土瀝青果爲何物乎？

土瀝青爲土瀝青質之原油氧化或重合所成，其化學成分不一。其成因爲深閉地下之石油，通過因地殼變動而生之裂罅或斷層而上升，或停滯於途中，或滲出於地表，沈澱土瀝青於其處所成。即石油爲最初所成，土瀝青鑛床爲其後二次的成生物，是也。

製造法 土瀝青除天然品外，又有人造品，人造品又有蒸汽製品與空氣製品之別，其製造法如次：

天然品 裝土瀝青岩入半圓筒形之鍛鐵釜內，加熱攪拌，使之熔融。浮上之草根、木片，由上扒去之；沈下之土礫類，以鐵網掬取捨棄之。及達一定之溫度，使之冷卻，俟達適當之溫度，流之入木型之內。

普通品 瀝青分 40~50% 室內鋪地用。

精製品 瀝青分 50~60% 道路橋梁用。

優良品 瀝青分 60~90% 防水工程、耐酸性鋪地、土瀝青工藝品等用。

蒸汽製品 卽石油土瀝青。因製法與石油瀝青相似，故有時與石油瀝青相混同。蒸溜原油，最終殘留於釜底之固形或半固形之瀝青物爲石油瀝青。此時原料如爲土瀝青基或半土瀝青基之原油或重油，蒸溜特加注意，使成生之固形瀝青物，適於土瀝青之用途，則所成生者，卽爲石油土瀝青。其法，用與石油蒸溜釜相同，底有多數小孔，裝有多數蒸汽管之蒸溜釜，裝入原油或重油於其內，調節溫度而加熱，勿使局部過熱；充分吹入蒸汽，攪拌而蒸溜之，勿使分解；視原油或重油分解之難易，勿使超過一定之最高溫度（ $320 \sim 400$ 度）；俟達一定之稠度，停止加熱而冷卻之；俟達不自然發火之溫度（ $280 \sim 320$ 度），移入冷卻槽；於 100 度內外，裝入木桶，以爲商品，送往市場。製品之善惡，原料固大有關係，然技術之關係亦不小。蒸溜溫度過高或過低，均足使製品惡劣。

空氣製品 卽布琅士瀝青(Blown asphalt)。照上法蒸溜，殘留於釜底之物，使達一定之稠度（因原料及製品之性質而異），冷卻之至 200 度，由釜底之鐵管，吹入空氣及蒸汽，徐徐加熱，保持油之自然發火點下 20 度之溫度（ $230 \sim 300$ 度），再吹入空氣或空氣與蒸汽。此時，時時取試料試驗，俟成所期之性質，移入冷卻槽，裝入木桶之內。空氣之吹入時間，因原料及製品之性質

而異。三六立方呎之原料，需 200 ~ 250 點鐘。欲得優良製品時，須選擇原油，空氣吹入前之原油之性質，空氣吹入之溫度及分量之調節，須注意之。

空氣製品，質最優良，除用於蒸汽製品之用途外，又用於便利瓦、塗料、樹膠充填料、電線被覆、土瀝青工藝品等。所謂鑛物樹膠，即此製品中熔融點在 115 度以上者。

空氣製品之特長，為不純物少，（伸度小）熔融點高，對於溫度感受性少，對於溫度之差硬度之變化少，彈性大有樹膠性，強韌而不脆等，將來其需要將愈增加也。

結語

以上上自古代鑛業之起源，下至現代聚科學之精華之採鑛冶金術，已說述其大要矣。

竊採鑛冶金二分科，以物理、化學為基礎，而建設於其上。與土木、機械、電氣、建築等學術之進步相俟，遂發達如今日。其所關係，旁及百般學術之應用。以如此浩瀚之學術，網羅其主要事實，作為是區區小篇，深感所述未周。苟本篇能稍有裨於斯界，則幸甚矣。

中華民國二十五年二月初版

壽

工學叢書採冶工程概論一冊

(G. S. I. I.)

每冊定價國幣壹元伍角

外埠酌加運費匯費

原著者 宮崎虎一

譯述者 郝新吾

發行人 王雲五
上海河南路

印刷所 商務印書館
上海河南路

發行所 商務印書館
上海及各埠

* 有 所 權 版 *
* 究 必 印 翻 *

(本書校對者林仁之)

六

三〇一上

44
306022

