

大學叢書

普通冶金學

蔣導江著

省立新竹高中圖書館



00013944

商務印書館發行

大學叢書
普通冶金學

蔣導江著



商務印書館發行
013944



目次

| | |
|----------------|-----|
| 序言 | |
| 第一章 引言 | 1 |
| 第二章 金屬與合金之性質 | 5 |
| 第三章 礫石及其處理 | 26 |
| 第四章 冶金之重要原則 | 31 |
| 第五章 冶金爐 | 36 |
| 第六章 冶金之產品 | 48 |
| 第七章 冶金事業之計劃與準備 | 51 |
| 第八章 燃料學 | 57 |
| 第九章 高溫測量 | 120 |
| 第十章 耐火原料 | 162 |
| 第十一章 實際冶金作業之分類 | 178 |
| 第十二章 火法冶金 | 180 |
| 第十三章 濕法冶金 | 193 |
| 第十四章 電氣冶金 | 199 |
| 第十五章 冶金必需之機動範圍 | 213 |
| 常用度量衡制簡明對照表 | 237 |

序 言

冶金為重要化學工程之一，盡人皆知，誠以冶金為一切工程之母，任何工業，無論其規模之大小與繁簡，其所需工具及材料，莫不直接間接與金屬有關係，小而日常生活，大而國防資源，皆以冶金為基礎。且也，人類之文明愈進化，工具之效力與技巧愈演進，故金屬性質之改良與應用，亦愈擴展。試按歷史，由石器時代進至今日之鋼鐵或電氣時代，實由冶金技術之進步以推動之。今者測一國之強弱與文化水準，即可以該國之金屬產量與消費量衡之，是冶金一項，實可為測量文化進步之標尺，而其重要性，可不待引申而後知也。

吾國應用科學，發達較緩。自國民政府奠都南京後，即努力發展基礎工業，欣欣向榮，突飛猛進，乃根基未固，即有七七事變。抗戰軍興，於茲六年，艱苦奮鬥，始終不懈，倘使吾國重工業已具基礎，供求相應，則最後勝利，早已實現吾人之目前矣。

作者鑒於冶金之重要，及適應吾國鑛冶教育之需要，爰不揣簡陋，就已往之學習及在國立雲南大學鑛冶系任教六年之經驗，編成是書，其目的約有數點：

(1) 本書內容，不重金屬之實際冶煉法，而在各種理論與實際上必具條件之認識與準備。換言之，即冶金之普通常識也。此種常識，範圍甚廣，涉獵亦多，但學者必先明乎此，而後對實際冶金之認識、設計、準備及實施，方有把握及印證。

(2) 普通冶金一書，國內尚無專冊；即求諸國外，欲一適合吾國大學鑛冶系之需要者，亦不可得。侯夫滿(Hofman)、富而敦(Fulton) 諸氏之作，出版甚早，又無修正版：一則長篇巨幅，涉獵廣泛，使初學者如置身廣博博物院中，不辯輕重，不知取舍；一則範圍狹小，取材亦偏，不合教材實情。外國學校，鑛冶分立，普通冶金所包括各部常識，如燃料學、高溫學、耐火材料等，均分道揚鑣，各立專科教授，故每科均得充分闡揚。吾國至今，鑛冶合為一系，欲各科分別教授，時勢均不可能；若合為一體，又嫌冗雜，勢非改弦更張，斟酌損益，刪繁就簡，取精用宏，不足以盡普通冶金之涵義，而符吾國教科之體制，此作者數年來之經驗，亦此次率爾操觚之動機也。近來教育部頒發專科學程，科目較前為多，亦有化整為零之意，若科系不分，似難照令全開。將來無論學程若何，在鑛冶未分時，欲使初學者認識並連貫此類常識，此書或不

無小補也。

(3) 冶金既非獨立之工程，故欲具充分之常識，必先具數理化、地質、鑛物、機電、及經濟之普通常識，方顯運用及相得益彰之妙。本書固為大學鑛冶系教科書，但高中及工專學校有志習冶金者，亦可採用。

(4) 本脫稿適值抗戰進入最後階段，人力物力，俱感艱難。自繪圖至出版，遲遲經歷，出乎意外，而最可惜者，即戰時製圖之難，使全數無法出版，不得已，乃削去半數。當斟酌去留、忍痛割愛之時，實覺顧此失彼，大費苦心；而所留此數，已超過允許數量二倍以上矣。本書方於難產聲中，出而問世，明知此種辦法，對文意之暢達，不無妨害，但捨此實無他法補救。惟俟抗戰勝利後，相機全數補齊，此時尚希讀者共恤時艱，加以原諒是幸。

(5) 本書所取材料，大半出作者之筆記與經驗；但國外名著，如侯富南氏之普通冶金學 (Hofman: General Metallurgy; Fulton: Principles of Metallurgy)，侃氏與富南希之鋼鐵冶金及製造法 (Camp and Francis: The Making, Shaping and Trating of Steel)，奧斯頓之普通金屬冶金 (Austin: The Metallurgy of Common Metals)，卜來梅之燃料學 (Brame: Fuel)，大林氏之高溫學 (Darling: Pyrometry)，塞爾及羅屯兩氏之耐火原料 (Searie: Refractory Materials; Norton: Refractories)，塞德兩氏合著之熱機學 (Severns and Degler: Steam Air and Gas Power)，各種冶金手冊 (Liddel: Metallurgists and Chemists Handbook; Hütte: Taschenbuch für Eisenhüttenleute; Bamford and Harris: The Metallurgists Manual, etc.) 及其他機電化工手冊等，均隨時取材。煤氣製造圖 (第 57、58 圖)，係承永利化學工業公司之特許，吾國煤之分類統計，係取材於地質調查所各項專報。第 39 圖係採自劉仙洲氏之熱機學。同時作者復蒙熊校長迪之之鼓勵，系內各同仁之贊助，范總經理旭東之審評原稿，李禹平女士之校稿，作者對上述諸家，謹此誌謝。

(6) 本書記載務求簡明正確，體系務求清晰連貫，文字務求清順，同時又顧及重要材料之完全。惟此數端，談何容易，作者自知掛一漏萬，而於各種術語之譯名，更欠恰當，惟望海內賢達，隨時賜教，則不勝盼禱之至。

蔣導江

三十二年五月雲大鑛冶系



普通冶金學

第一章 引言(Introduction)

一 冶金之定義與範圍(Definition & Scope of metallurgy)

工程與研究，截然不同，後者為理論的，純粹的，只求發現自然之性質與原則，不計所採手段之費用與繁雜；前者為應用之技術，工業的製造，故其目的與手段，均須適應當時生存競爭之環境，及經濟狀況。質言之，即成品必須得有利之銷場，同時又必須輔以研究工作，使精益求精，不致他人有更簡便或更有利之新發明以代替之。總之，工程為一商業化之科學，其產品必具成本低，銷路廣之條件，方可生存，而此又係乎良好之技術，簡便之原料，與廣大之銷場。

冶金為工程之一，故其生存，自不能例外。冶金之定義，可視為一種技術，先由礦石冶煉為金屬，再加以精煉，最後變為適用之成品，而此種技術，均在有利之狀況下實現之。

冶金學範圍頗廣，大概可分為三大類於次：

a. 普通冶金 (General Metallurgy) 此部係普通討論金屬之沿革，機械性與化學性，合金及金屬化合物，冶金之產品，冶金作業理論與實際之大要，及冶金上重要之設備與原料，如機件、儀器、礦石、熔劑、燃料、耐火材料等等是也。

b. 實際冶金 (Practical or Process Metallurgy) 實際冶金可分為二大部：

(一) 鋼鐵冶金 (Ferrous Metallurgy)：即詳細討論鋼鐵製造步驟及方法。

(二) 非鐵冶金 (Non-ferrous Metallurgy)：與第一部之討論全同，但除鋼鐵外，其餘金屬之冶金均屬之，如銅、鉛、鋅、金、銀、鉑、錫、銻、汞、銻、鎳、

鈷、砷、碲、鋁、鉻、錳、鎳、鉍、鈳等等。

實際冶金，若按所採之方法言，可分為火法濕法及電氣冶金三種，詳見第十一至第十四章。

c. 金相學或物理的冶金學(Metallography or Physical metallurgy) 此部係研究金屬及合金之理化性質，內部組織及構造，並研究此種組織與其機械性(mechanical Properties)或物理性(Physical Properties)之關係，推其原理，藉以偵察工程材料之強弱，進而控制或改良冶金上之技術。

冶金一科，鎔數、理、化、機電工程及商業經濟知識於一爐。學者誠能於上述諸科，均有相當認識，則學習此科，必收事半功倍之效。

非鐵金屬之種類，遠過鋼鐵，故鋼鐵與非鐵之區分，乍視之，似有疑義，雖然，其所以如此分畫者，亦自有故。重要原因，約有四端：(一)鐵為賤金屬之分佈最廣者，適於大量製造，全世界每年產量超過百萬噸之非鐵金屬，僅銅、鉛、鋅三項，而鋼鐵一項之量，至少過七千萬噸。是後者規模之宏大，注意之集中，演進之迅速，遠勝前者。(二)鋼鐵之磁性(magnetism)，遠非其他金屬所及，而此性之利用，為電氣時代必需之原料。(三)鋼鐵機械力量(mechanical Strength)之強，非其他金屬所能望其項背，實為近代最嚴重工程上必須之材料。(四)鋼鐵可以加熱處理，或用合金方法，以改良或改變其性質，使適合吾人之奢侈要求。其他金屬，則少此類變化，無法改良，因之鋼鐵冶金技術之繁重，迥非其他冶金所能及。反之，非鐵金屬冶金，多共同一之原則與方法，使之更單純化。有此數端，鋼鐵與非鐵冶金，為研究及學習之便利計，尤宜分道揚鑣，各自發展也。

二 金屬之沿革(History of metals)

金屬之次第發現，與其應用範圍之推廣，確與人類文化史有關。故考其沿革，頗饒興趣，哈氏在其「冶金學及其對於近代文化進展之影響(Hatfield: Metallurgy and its influence on the Progress of modern Civilization)」一書，討論甚透澈，此處為篇幅所限，僅述其略。古時此種冶金工藝，無科學根據，祇是一種偶然的發現與嘗試，故金屬為人類使用之次序，必視自然環境，並隨人隨地而異。金銀銅鐵錫鉛六種，均用於人類有史以前，中外一致。普通均認金為最古，因其存在，多為自然金(Native gold)，且其比重、光澤、顏色及質軟易錘擊變形之性質，均為其與人類接觸最早之原因。其

次當推自然銅。銅較金稍硬，亦只須加以錘擊，即成有用之工具。以上二種，皆不需經高溫度處理。鐵在地面上無自然之存在，均為氧化狀態，欲作鐵器，勢非經高溫度下還原不為功。在當時原始之辦法，毫無此種化學變化之意義，不過將此種礦石，投於火中燒之，以試其結果。此種解釋，自屬可能，證以今日非洲窮鄉中黑人以純礦石加鼓風木炭爐中，煉成半流動體之「海綿鐵」(Sponge Iron)，可想作原始時代之寫照。惟由鐵煉鋼，則需甚高之溫度，決非當時技術所能勝任，故最古之純鐵器，多信隕石中之鐵鎳合金，為其來源，而此種解釋，又因分析證明古鐵器中有鎳之存在，而愈覺可信。

普通均稱歷史時期最早者，為石器時代 (Stone Age)，次為銅器時代 (Bronze Age)，以後為鐵器時代 (Iron Age)，但今人對銅鐵兩時代之先後，尚懷疑意。其理由即為製海綿鐵，或由海綿鐵製為可鍛擊之熟鐵 (wrought Iron)，其手續均不繁，溫度亦不特高；若古時銅器，除自然銅外，多為青銅 (Bronze) (即銅與錫之合金)。銅錫礦分佈，已不如鐵之廣，且須先還原成金屬，然後再鎔化金屬成合金，方可作用，此種手續，反較製鐵為難。據作者之意，此種討論，自有其理，似仍不能作為定識；因如用銅錫合礦 (Stannite) 為原料，則還原與鎔化，儘可以一步手續了之，不過此礦存在較少耳。

除上述六種金屬外，希臘及羅馬人，曾提及水銀，吾國古時煉丹，亦用辰砂 (硫化汞)，但直至十五世紀，人類對金屬之知識，似只以此七種為限。十六世紀，吾人方知有銻、鎳及錳，十七世紀，砒乃發現，十八世紀，遂有鎳、鈷、錳及鉛，其餘金屬均為十九世紀之發現。

冶金之歷史，除最近百餘年外，均乏詳文記載。普通分為四大時期：第一期係由遠古至第一世紀，此期中，祇有渺茫之原始方法記載。第二期由第一至十六世紀，此期內對於整理礦石，略有進步，可見於一五三〇年艾氏 Agricola 之 *De Re Metallica* 一書。第三期由十六至十九世紀初期，此期中，雖略有改作，但仍係一沿成規，毫無進步。自十九世紀初期迄今為第四期，吾人方用科學研究施於工程，而成近代之冶金，並發展為自立之科學。

吾國古時，向重士而輕工商，故對冶金技術，無專書可考。黃帝利用磁石作指南針，盡人而知，春秋戰國時之「干將」「莫耶」諸名劍，至今認為神奇，想當時冶金及加熱處理之方法，已有實際經驗，惜無筆傳可考。吾國古時，以煉丹術 (Alchemy) 著名，原料多為礦物，歐洲化學史之初期，亦有「智

者石」(Philosophers Stone),可兩相對照,桓溫有鹽鐵論,但在技術上,則語焉不詳,其他可考之書,如天工開物、抱朴子等,尚可參考。

第二章 金屬與合金之性質(Properties of Metals & Alloys)

一 金屬與合金之分別(Difference between metals and alloys)

金屬為單體或元素(Element)，其組織極均勻一致(Homogeneous)，故為一種純粹物質，惟在工商業上視之，則不能與化學上純粹相比。在工業冶鍊時，即有雜質滲入，而精鍊之結果，亦不過減低雜質，並不能完全除去。普通金屬中雜質之種類與分量，對於其用途，均有規定(Specifications)，總以不超過安全限度(Safety Limit)，或不危害金屬重要性質至某最低限度為原則。

合金係一種以上之金屬或非金屬所組成。如係由二種元素合成者，名曰二重合金(Binary alloys)；三種者，曰三重合金(Ternary alloys)；四種者，曰四重合金(Quaternary alloys)；以上則為多重合金，而元素中原有之微量雜質，尚不計也。水銀之合金，又另稱為汞膏(Amalgams)。在普通工程上，以二重合金之用處為最廣，單體之金屬，因其性質不適宜，反不多用。多重合金，大都具有特殊性質，在特種情形下採用之。

合金之內部組織或結構，較金屬繁複，且多不均勻現象(Heterogeneity)，而此種現象，又常受溫度及壓力之影響，而另起反應。組合之元素愈多，繁複之程度亦愈深，而研究之方法，亦愈困難。現在吾人所知之金屬，不下數十種，即以二重合金之組合計，其數量已大有可觀，若組成多重合金，其數量更將至驚人之距！截至現在，即以全世界不斷之努力，對於內部組織，及其變化，比較有明白之認識者，亦不過常用之二重組合，及極少數之常用多重組合而已。故欲擴大此項知識之範圍，有待於將來研究工作發展之處，正不知多少也。包括此項學問之科學，曰金相學，或物理的冶金學。

關於二重合金之內部組織，自非本書範圍之內，今大約言之，可分四種：

(1) 如兩種元素在液體狀態能互溶，而在固體時，互不相溶解者，則其固體之內部組織，為一種機械的混合體(Mechanical mixture)，其普通性質，大約可以原元素之折中數代表之。

(2) 如在固體時，仍能互相溶解，則其組織，為一固體的溶解物，或固溶

體 (Solid Solutions), 與液體之溶液, 完全相似, 所異者, 即一為液體而一為固體耳。在此種組織下, 不能自辨其原元素之單獨的存在, 故在適當的情形下, 其組織極均勻, 與單體之金屬組織無異。

(3) 如兩元素能化合者, 則組成一金屬化合物 (Intermetallic Compound), 如 Mg_2Si , Fe_3P 等是也。按化學原則, 化合物自有其理化性質, 不與任何母體元素性質相同, 金屬化合物亦然, 普通此種化合物, 類皆硬而脆, 不合工程之用。

(4) 普通合金組織, 係上述三種中之二種, 或全部的集合體。

上述各種金屬結構中, 有各種不同之組織, 每種自身, 均為均勻一致, 惟彼此各不相同, 有一自然界限。可以互相區分, 在冶金學中, 稱為各種金相 (Phase or metallographic Constituent)。

元素滲和後, 原有之各別性質, 互相影響, 按普通原則, 純金屬應比合金質軟, 融點較高, 韌性及傳熱傳電性較強, 抗張力較弱, 而合金則比金屬為硬、為脆, 韌性較低, 抗張力較強, 此一般之情形也。普通硬與軟, 韌性與脆性, 抗張力與韌性, 均在相反之地位, 若設法增高其一種性質, 其相對之性質, 必隨之減低。合金之利益, 即為:

(1) 改良組織, 使其晶體細密, 因而增強其普通機械性質, 如靜止及活動抗張力或應力 (Static and dynamic Stresses), 硬度等, 同時對於相對之良好性質, 如韌性等, 又不特別減低。

(2) 各種金相, 自有其機械性質, 吾人可利用加熱或加工之處理, 改變其存在, 及存在之比例, 因以發展某種相之特殊良好性質, 以適應工程上之要求。

(3) 有時合金能顯一特殊之物理性, 供吾人利用, 如「印法」(Invar) 合金, 在普通溫度限度內, 毫無伸漲率, 可作精密儀器之用。凡此數端, 皆為合金適用於工程上之原則, 非單體之金屬所能辦也。

二 金屬與合金之性質

a. 密度 (Density) 金屬具最大之密度或比重 (Specific gravity), 此其普通之性質也。除最強而不常見之金屬, 如銦、鉀、鈉等, 其比重小於一, 及常用之輕金屬, 如鎂、鋁等, 其比重在 1.7 至 2.7 之間外, 其餘一切常用之金屬, 其比重均大於五。最輕之金屬為銦 (0.59), 最重者為銻 (Os, 22.48)。

第一表 重要金屬與合金之比重

| | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------------------|---------|---------------|-----------|
| Os 銱 | 22.48 | Cu, wire 銅絲 | 8.94 | Fe, steel 鋼 | 7.7-7.9 |
| Ir 銱 | 22.42 | Ni 鎳 | 8.8 | Fe, white 白金鐵 | 7.58-7.73 |
| Pt 鉑 (Cast) | 21.50 | Bronze 青銅 | 8.8 | Fe, gray 灰生鐵 | 7.03-7.13 |
| Pt, melt, wire, 鉑絲 21.2-21.7 | | Monel metal 孟勒合金 | 8.8 | Sn, cast 錫 | 7.29 |
| W 鎢 | 19.70 | Cd 銻 | 8.6 | Zn, mean 鋅 | 7.15 |
| Au, cast, 金(鑄) | 19.25 | Mo 鉬 | 8.5 | Cr 鉻 | 6.52-7.73 |
| Au, hammered, 金箔 | 19.35 | Co 鈷 | 8.5 | Sb 銻 | 6.71 |
| Hg 水銀 | 13.59 | German silver 德銀 | 8.45 | Te 碲 | 6.25 |
| Pb 鉛 | 11.37 | Manganin 錳銅 | 8.42 | V 鈦 | 5.50 |
| Ag, Cast 銀(鑄) | 10.75 | Brass (70/30) 黃銅 | 8.1 | Ti 鈦 | 5.30 |
| Ag, Compressed, 銀箔 | 10.56 | Brass, rolled, 黃銅 | 8.4 | Al 鋁 | 2.70 |
| Bi 鉍 | 9.82 | Mn 錳 | 7.4 | Mg 鎂 | 1.74 |
| Cu, deposit, 電鍍 | 8.92 | Fe, 鐵(純) | 7.86 | Na 鈉 | .972 |
| Cu, Cast 鑄銅 | 8.80 | Fe, wrought 熟鐵 | 7.8-7.9 | Li 鋰 | .59 |

金屬之比重，視其純淨度(Purity)，成分(Composition)，冷卻之速度(Rate of Cooling)，及加工之程度(Extent of Mechanical Treatment or work)而不同。如驟冷之鋅，其比重不及慢冷者大；加工變形，如錘擊、壓脹，或抽絲等手續，能以壓力使分子緊密，或將空隙填滿，而致比重加大。但均有一定限度，過此則無效驗。其因壓力而使分子內部起變化，另成一物體或晶形者，亦不在此例。除鉍以外，液體金屬，均比在固體狀態時為輕。

合金之比重，其變化亦與金屬相似。如為混合體，則比重約為組合元素比重之平均數，如為固體溶解體，或有化合物存在者，其比重普通均較高。

b. 光澤與透光性(Luster and Transparency) 金屬與合金，均有光澤，為其特性，僅有程度不齊之分。有若干金屬(如銀)，或合金(如不銹鋼)，經括磨後，明亮奪目，能將全部光反射，此謂之金屬光(Metallic Luster)。凡粗糙之面及粉末狀者，均無此光澤。

在普通狀況下，所有金屬，均不透明(Opaque)，但法拉第(Faraday)於一八五七年，試將金箔鑄至三十萬分之一英寸薄時，即可透過綠光。凡祇能

透亮者，謂之透明 (Translucence)。能遵光學原理明晰透光者，謂之透光 (Transparence)。

c. 顏色 (Colour) 上項及此項，在冶金學上，遠不及礦物學上之重要。所有金屬之色，除銅為紅色，金為黃色以外，餘皆為由白色至深灰色。合金之色，視組成成分之色而異，如原係白色與灰色者，則結果色亦在灰白之間。但亦有例外，如銅與鋅或鋁之合金為黃色，但銅若含銀百分之十五，即變為白色，與原色不符，輔幣之合金，蓋即銅銀或銅銀鋅之合金也。

d. 結晶與解理 (Crystallization and Cleavage) 礦物有一定成分，及一定之晶形，在適當情形下，其分子之排列，有一定之幾何的形式，吾人按照其面 (Face)，稜 (Edge)，角 (Angle) 之排列，可分為六大結晶系統。金類之組織亦然，在和緩與正常狀態下，並非為無晶形之物質 (Non-Crystalline or amorphous material)，其分子亦按照其結晶系統，作有規則之排列，此種現象，為之結晶 (Crystallization)。金類在常態下，無論由氣體變固體 (名曰昇華 Sublimation)，液體變固體，或由一種固體變另一種固體時，均為結晶體 (Crystalline forms)。金類之晶體，彼此相接，彼此妨礙，求一發展完整之單獨晶體，不如鐵物之容易。冶金學上有時稱此類結晶體 (Crystals) 為結晶粒 (Grains)。

液體金屬結晶時，先從微粒之核 (Center or nucleus) 開始，次生其主要晶軸 (Crystallographic axes)，以後漸發展並填充，而成一結晶體。在非常適宜情形，得自由發展，成一完整晶體者，名曰全晶體 (Idiomorphic Crystals)；其因彼此叢生，互礙其發展，而均不得全晶體者，名曰孿生晶體 (Allotriomorphic Crystals)。全晶體不易得，非在極靜止狀態，及極慢之冷卻不可。在工業製造上，絕難得此情形，故亦無全晶體。冷速愈大，則晶體愈小，而愈不完整，在極速之冷卻下，儘可使其變為極微細之無晶形體。
故人造鑽石微細如細砂。

固體金類晶粒之大小及完整程度，與其有用之機械或物理性質，有絕大之關係。大概金類之最易結晶，且晶體大而整者，均為最柔弱之組織，不適工程之用。晶粒極細者，其機械性之強度，亦隨之而增。

有若干元素，能顯一種多體變化，或同質異性變化 (Polymorphism or Allotropy)，即在某溫度壓力階段內，為一種晶體，若超過此限度 (其分界之點為轉變點或臨界點 Transition or Critical Point)，則另入一階段，而

另變一種晶體，其化學性雖不變，物理性則大變，最明顯之例，即磷有赤磷黃磷之別，金屬如錫、鐵等亦然。合金亦時有此變化，且此種變化，在金屬中，為由一種固體，變另一種固體，此現象名曰固體轉變 Solid transformation。故金屬自初凝固至冷時，除無多體化之單體金屬外，其組織並非一成不變。如在冷卻時，有固體轉變，其結果多變大晶粒為小粒，換言之，此轉變可以改善其物理性，反之，小品體若熱至最高溫度時，又將長大，使材料變弱。此種原理，在冶金上極端重要，加熱處理，即利用此原則，以控制其結晶也。

解理者，晶體組織，有時顯一種或多種最脆弱之平面，若以外力擊之，最易沿此種平面或解理而破裂。在鑑定礦物時，解理為最有用之性質，但在冶金學上，則不甚重要，亦祇有銻、鋅、鋅等數種脆弱金屬，有此種性質耳。

e. 組織 (Structure) 金屬之內部組織，自與其結晶有關係，因結晶情形，而定各種金相之存在及多少，更由此可測定物理性之強弱。其因外力加工，而改其組織者，如晶體之永久變形 (Permanent Set)，及因壓碾之方向而成之流形線 (Flow Lines)，均為有關物理性之組織。觀察組織時，因方法不同，名稱亦異。凡用肉眼或低倍放大鏡可以觀察者，名曰具體組織 (Macrostructure)，用高倍顯微鏡者，曰微細組織 (Microstructure)。

金屬為外力所折斷，其斷口亦可表現其組織或結構。各種金屬，各有其特殊之表現，如柱狀 (Columnar)，纖維狀 (Fibrous)，放射狀 (Radial)，層疊狀 (Lamellar) 等。此雖與加熱、加工及化學成分有關，最重要者為金屬之本性 (Nature)。

f. 硬度 (Hardness) 硬度為金屬之普通性，亦為其工程應用上之重要性。平常純金屬之硬度，均不特大，成合金時，硬度即增高。普通硬度大者，其抗張力 (Tensile Strength) 亦強，但硬度大者，其韌性必弱，此二者互為消長，換言之，太硬之金屬，必較脆弱，除特殊用途，祇以硬度為前提者外，在機動工程上，脆性頗不相宜。普通宜按性質需要之程度，雙方兼顧。

硬度者，即對於局部變形之外力，發生抵抗力之程度也。金屬因加熱處理，或冷時加工，均能使之變硬。重要硬度可分為三種：

(a) 磨擦硬度 (Scratching Hardness)：——以一種標準硬度物體，與欲測物體互擦，軟者即為較硬者所擦傷，此為鑑別礦物之要性。礦物學上，多用莫氏硬度率 (Moh's Scale)，此率將礦物之硬度，定為十級，最軟者為滑石 (硬度為一)，最硬者為金剛石 (硬度為十)，但金屬之硬度，用此法頗不宜。

(b) 刻劃硬度 (Indentation Hardness):—測法以一標準之刻劃球或錐, 在定量壓力下, 於欲測之金類平面上, 刻一永久變形之凹痕 (Impression), 再由凹痕之球面積, 或梯形平面積, 以定其硬度, 而以每單位面積之壓力表示之。物質愈硬者, 而積愈小, 而硬度亦愈大。標準儀器, 爲白利來氏硬度測驗器 (Brinell hardness tester) 所得單位面積壓力之數 (Kg/mm^2), 曰白氏硬度數 (Brinell hardness number)。較硬之材料, 如鋼鐵等, 則用 10 mm. 直徑之標準硬鋼球, 及三千公斤之壓力, 如爲較軟材料, 如非鐵金類, 則壓力可減至五百公斤或更小, 但遇極硬之材料, 或鋼鐵之表面加硬者 (Case-hardened), 則此鋼球亦有變形之虞, 故又用金鑽石之刻劃錐 (Diamond indenter), 以代鋼球。最普通者, 如維克氏硬度儀器 (Vicker's diamond hardness tester)。

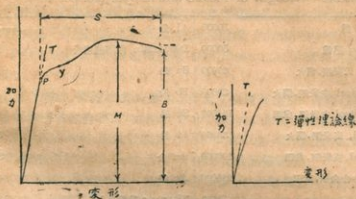
(e) 回跳硬度 (Rebounding Hardness):—其儀器名沙氏回跳計 (Shore Scleroscope), 係以一硬鋼球, 從一定之高度, 墜於欲測之金類平面上, 而以其回跳之高度, 測其硬度, 物質愈硬者, 回跳亦愈高, 此儀器甚簡單, 不需動力。

此外尙有其他方面之硬度測驗, 惟不甚重要, 故從略。

g. 金類之強度 (Strength of Metals) 金類之強度, 係指對普通變形之外力而生之抵抗力而言, 亦工程上最重要之機械性質也。重要者可略述如下:

1. 拉力或抗張力 (Tensile Strength), 亦稱最大張力 (Maximum Stress), 即該金類在拉斷之前, 每單位面積, 能抵抗之最大拉力也。普通以每平方吋若干噸或磅, 或以每平方公釐 (mm^2) 若干公斤表之。所有金類之最大張力不一定, 有時拉斷時之張力 (Breaking Stress), 不一定即爲其最大張力, 有韌性之材料 (如鋼), 大都如此, 其最後之拉斷張力, 反較未斷時所顯之最大張力爲小, 其加力與變形圖 (Stress-Strain or Load-extension diagram), 如第一圖左所示。若硬而脆之材料 (如生鐵), 則無此現象, 普通拉斷張力, 即爲最大張力 (見第一圖右)。在此種材料實驗中, 尙有兩種性質, 極爲重要。一爲彈性限度 (Elastic Limit), 在此限度內 (第一圖左之曲線), 所受張力, 與其相當之變形, 成一正比, 若外力完全除去, 則材料仍恢復原狀 (即無變形), 此即胡克氏定律 (Hooke's Law), 而彈性限度, 即是材料所能受最高張力仍能保持復原之彈性也。一爲降點或伏點 (Yield Point), 即外力超過彈

性限度，而材料忽現極大之永久變形（如Y點），與外力不成比例也。彈性限度與降點理論上略有差別，實則幾完全相同。



第一圖

P 彈性限度 Y 伏點 M 最大張力
B 拉斷張力 S 永久變形

在工程上，以彈性限度為最有用之性質。吾人設計，必用最經濟最少量之材料，而能愉快勝任，不致永久變形，或破斷。准此；則該材料之降點，決不能用為設計之標準，更無論其最大張力。為安全計，即彈性限度，亦不能全用，以防萬一重量有時超過常態，此種有餘地步之退讓，若以百分數表之，稱為安全數 (Safety factor)，安全數須相當寬裕。

2. 扭轉 (Torsion)，有時材料一端固定，而他端之外力，為使其以自身為軸而扭轉。好材料能轉 360° ，尚不折斷，鋼之韌性強者，抗扭轉力亦大。在規定之試驗中，扭轉係以扭至折斷時，所轉之度數為準。

3. 來復外力或動應力 (Alternating or dynamic stress)，機件中之旋轉輪軸，如上面所受外力為張力 (Tension)，但轉 180° 至下面時，外力又變為壓縮力 (Compression)，至 360° 復原時，又變為張力。如此周而復始，材料所受外力，一拉一壓，若旋轉速度愈高，此種外力之影響亦愈大，材料之不勝任者，即漸漸發熱，終至破損。考其所受外力，有時尚遠不及彈性限度，但終歸失敗，一如物質因外力來復頻任，致生「疲勞」(Fatigue)者然。材料在一定來復力之下，適不致失敗者，則所受此種外力，謂之疲勞強度 (Fatigue

Strength)。

此外尚有壓力(Compression),橫切力(Transverse)等,茲不贅述。

第二表 Strength of metals and alloys. (lb. per in²).

| | | | |
|-----------------------------|--------|------------------|--------|
| Cast iron 生鐵 | 30000 | Al, 鋁 | 13000 |
| Wrought iron 熟鐵 | 50000 | Duralumin, 鋁鎳錳鐵膏 | 55000 |
| Low-C-steel 低炭鋼, 鋼火 | 60000 | Su 錫 | 4000 |
| Medium-C-steel 中炭鋼, 鋼火 | 80000 | Pb 鉛 | 2000 |
| Medium-C-steel 中炭鋼, 處理 | 125000 | S, 錳 | 1000 |
| High-C-steel, 高炭鋼, 鋼火 | 83000 | Pt 鉑 | 35000 |
| High-C-steel, 高炭鋼, 處理 | 200000 | Am 金 | 30000 |
| Alloy steel, 合金鋼, 處理 | 225000 | Ag 銀 | 45000 |
| Cu, 銅 | 35000 | Nichrome 鎳鉻合金 | 150000 |
| Cast brass 黃銅 | 30000 | Constantan 銅鎳合金 | 120000 |
| Cast bronze or gun metal 青銅 | 38000 | Ni 鎳 | 40000 |
| Zn 鋅 | 12000 | | |

n. 韌性與脆性(Toughness and Brittleness) 韌性(Toughness)在工程上極端重要,而以活動或衝擊部分為尤甚。韌性適為脆性(Brittleness)之反面,具韌性之材料,縱所受張力,超過彈性限度,無論加力為穩健的或突擊的,亦不過生永久變形,使吾人得一警告,不至猝然破碎,而生不幸事件。韌性以加長率(Elongation Percentage),及面積收縮率(Reduction of area %)表示之,如實驗材料之原長為 l_1 , 原截面積為 a_1 , 拉斷後,變為 l_2 及 a_2 (最小處), 則加長率為 $\frac{l_2 - l_1}{l_1} \times 100$ 面積收縮率為 $\frac{a_1 - a_2}{a_1} \times 100$ 。此兩率大者,韌性亦大,即普通所稱之延性 ductility 與展性 malleability 是也。

有韌性之材料,其加力與變形之曲線圖,如第一圖左所示。

脆性(Brittleness)適與韌性相反,雖極小之機械的變形,或微受局部之溫度變化,即致破裂,此與硬度不同之點也。脆弱材料實驗之曲線圖,幾毫無加長率及面積收縮率,普通最大張力,即為其拉斷張力,如第一圖右所示。機動部分之材料,均須避免有脆性者。

所有金屬及合金,熱至將近其鎔點(Melting Point)時,均變脆,若將其

保持在此高溫，則其品粒之組織，變為非常粗大，甚至在外表附近之品粒邊界處，有被氧化之虞，術語稱為「過燒」"Burnt"。過燒之金屬，冷卻後，其物理性極壞，毫無用處，祇可作再鎔之廢料(Scrap)。此點在金屬之加熱處理上，非常重要，故加熱時之最高溫度，與停留在該溫時之久暫，均有嚴格之規定與控制，偶一不慎，溫度太高，品粒長大現象(Grain growth)，亦隨之加重，雖不至過燒現象，亦成過熱現象(Overheating)，其有利之機械性，亦因此減低。

金屬之韌性，普通比其合金大，合金之硬度及脆性，普通均比其原金屬大。金屬多因其含有有害之不純物(Impurities)，而使之變脆，有時此類不純物，雖存在之量不高，而其致脆效力(Embrittling Effect)極大，如.05% 鈹在銅中，使銅變脆，即其例也。金屬有在極低溫而變脆者。

i. 可塑性(Plasticity) 金屬有可塑性，即能對超過彈性限度之外力屈伏，而生永久變形，或可塑性流動(Plastic flow)，吾人藉此加工，如錘擊、壓碾、抽絲等，而製成各種形式。此性與韌性有關，韌性大者，可塑性亦愈大，金屬之可塑性，總比其合金大。

可塑性可分為延性(Ductility)與展性(Malleability)，延性可抽細絲，展性可錘薄片。普通可塑之金屬，多兩性俱全，但亦有例外，如鉛能碾成片，而不能抽成絲是也。

j. 鍛接性(Weldability) 普通組織均勻之金屬及合金，多有此性，在壓力下，可以鍛接成一固體的聯合。鍛接係分子相對滲散(Diffusion of Molecules)，故鍛接之兩部，必需絕對清潔，無油塵或氧化之隔絕，而成一金屬與金屬之接觸，庶接口方能結實。實際上鍛接，均在較高之溫度，以增分子遊動速度，同時加少許鎔劑，以去接口上不潔之物。

k. 金屬中之氣體(Gases occluded or diffused in metals) 金屬中有能溶解氣體者，尤以在液體狀態時為甚，如氫之溶於鉍鐵，氧之溶於銀銅鐵是也。亦有在高溫時，可以讓某種氣體透過(Permeable to Certain Gases)。滲透氣體，極少存留於金屬中，而溶解者，則留存不去。惟當溫度降低而凝固時，金屬對該氣體之溶解性(Solubility for that gas)減低，放出一部，成氣泡逸出，若金屬外部已凝固，此氣無法逃出，即被留滯於固體內，稱為含氣(Occluded gas)，此氣泡亦稱沙眼(Blow holes)。此項在金屬翻砂(Founding or Casting)時，常有此現象，應該設法避免或減少之。氣體為金屬吸收後，

亦可變為化合物，如氮、氫、氧等氣，即常如此，而成 Nitrides, hydrides, Oxides 等化合物。

1. 熔點及凝固點 (Melting and Freezing Point), 冷卻曲線 (Cooling Curves) 當溫度上升，固體金類開始變液體之溫度，即為該金類之熔點；反之，溫度下降，液體開始成固體之溫度，即為凝固點。除水銀外，在平常溫度時，所有金屬，均有固體。

純粹之金屬與一定成分化合物之合金，均如化學上之純粹化合物 (Pure Chemical Compound)，各有其自身之特殊理化性，其熔點與凝固點，均為恆一不變之溫度，且二者相同，合而為一 (at one and the same temperature)。吾人知物質有氣、液、固三態，或三相 (3 States or Phases)，因當時存在之情狀，如溫度、壓力，或成分有變化時，該物質即由一態，而變成另一態，同時分子之內能 (Internal energy)，亦隨之變化，或增或減，且為恆一之定性與定量的變化。譬如在 0°C 時，由一公分之冰變為水時，必吸收 80 cal. 之熔解熱 (Latent heat of fusion)，換言之，即一公分之化合物 (如水)，在一固定溫度 (即 0°C)，由固體變為液體 (即變相或態)，其內能之增加為 80 cal.。在汽化時，情形亦然。若反其道而行之，使溫度由高而低，此類物理變化之可逆性 (Reversibility)，亦為絕對完全的 (Perfect)，換言之，即溫度上升時之種種定性定量變化，在冷卻時，亦完全同樣經過，絲毫不爽，不過次序及方向，與前適相反耳。宇宙物質之有此種恆一性 (Uniformity of Nature)，實為吾人認識自然界之基本原則，否則，吾人不但不能認識自然，而自然界，亦將變化失常，乖謬百出，所謂「天行健」一語，亦將不能存在矣。

第三表 Melting point of metals

金屬之熔點 ($^{\circ}\text{C}$)

| | | | | | | | |
|----|-----------|----|------|----|--------|----|-------|
| Hg | -38.70 | Zn | 419 | Mn | 1260 | Pt | 1755 |
| K | 62.3 | Sb | 630 | Si | 1420 | Ti | 1800 |
| Na | 97.5 | Mg | 650 | Ni | 1452±3 | Ir | 2350 |
| S | 112.8-119 | Al | 657 | Co | 1610 | Mo | 2620 |
| Sn | 232 | As | 814 | Or | 1615 | Os | 2700 |
| Bi | 270 | Ag | 931 | Fe | 1535 | W | 3287 |
| Cd | 321 | Au | 1061 | Pd | 1550 | C | >3505 |
| Pb | 327 | Cu | 1084 | V | 1710 | | |

第四表 Latent heat of metals

金屬之熔解熱(Cal. Igram).

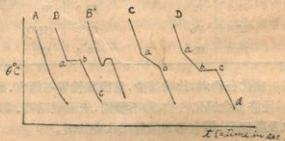
| | | | | | |
|----|------|----|------|--------------------|-------|
| Hg | 2.8 | Te | 19.0 | Cu | 41.1 |
| Pb | 5.6 | Zn | 25.5 | Fe | 49.2 |
| Bi | 10.3 | Ag | 20.0 | Co | 68.0 |
| Cd | 11.1 | Pt | 27.0 | Ni | 75.8 |
| Sn | 18.5 | Pb | 26.3 | (H ₂ O) | 80.05 |
| Au | 16.0 | Sb | 29.4 | Al | 86.5 |

合金之成一定化合物者，比較甚少，且因其性質不適宜，故應用之合金，鮮用化合物者；且許多金屬化合物，均不穩固，未至融點時，即行分解，故普通合金在融化及凝固後，鮮有仍為純粹之化合物者。

合金與元素不同，其熔點與凝固點，則非合而為一，彼此不相符合。其開始熔化與最後完全熔化之溫度，相差甚巨，在凝固時亦然。故合金之熔化與凝固，由開始至完全，須經一段溫度，而非固定一點之溫度，在此溫度段內，固體與液體兩種相，同時存在於平衡狀態中(In a state of thermal equilibrium)。故合金之熔點，定為開始熔化之溫度，其凝固點，則為開始凝固之溫度。因此合金之熔點，普通均較凝固點稍低。

吾人既知物質由一種相變為他種相時，有內能之變化，若該物質有多體變化，則雖由一種固體相，變為另一種固體相時，亦有內能之變化，吾人欲求此類分相，或物理變化之準確的轉變點(熔點及凝固點，亦為轉變點)，惟有藉冷卻曲線以表示之。大凡一物質由高溫以輻射慢慢冷卻，若無分相之變化，即無內能之突變，設物質四周之溫度保持一定，則其內能減低率(即每一時間內，所降下之溫度數)，在任何時亦應均勻一致， $\left(\frac{d\theta}{dt} = C\right)$ ，而冷卻線(即時間與溫度對照之曲線)，亦為連續的(Continuous or Smooth)(如第二圖 A)；若有分相，如液體變固體，則內能突變，許多熔解熱發出，使冷卻率變小(如 C)，甚至等於零 $\left(\frac{d\theta}{dt} = 0\right)$ ，即此變化自始至終，在一固定溫度，並不下降，如純金屬之凝固點(如 B)，冷卻線遂發生一不連續點或停滯點

(Discontinuity or Arrest), 吾人由冷却線上之停滯點, 可發現變相之轉變點(Transition Point)。此種方法, 甚為緊要, 研究金相學, 或畫合金之組織圖(Thermal equilibrium diagram or constitution diagram)時, 必待冷却線以測定之。



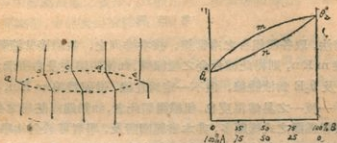
第二圖 冷却線

純金屬與純化合物之冷却線, 如B所示, a 示開始凝固, b 示最後凝固, 由 a 至 b 溫度未變, 必俟完全凝固後。此固體方慢慢冷却(由 b c 表示之)。

有時純金屬在靜止狀態, 慢慢冷卻, 至其凝固點時, 尚不結晶(B')。此種現象, 謂之過冷卻(Undercooling)。但至相當時期, 忽然全部結晶, 若金屬之量多, 則放出之熔解熱, 足將其溫度升至熔點, 以後冷卻情形, 與B線同。過冷卻現象, 純金屬比合金為多, 最高者為銀, 可過冷至 70° 而不凝固, 過冷卻可以攪動及誘導(Innoculation)(加入微量固體金屬)免除之。

若合金為一固體溶化物或固溶體(Solid Solution), 其冷卻線由C表示之。a 為開始凝固之點, b 為凝固終了之點, a 與 b 之間, 有一段溫度。在此段內, 固溶體與液溶體, 同時存在。茲以二種合金, 均能在液體與固體時完全互相溶解者而言: A, B 為兩種純金屬, 故其單體之冷卻線, 與第二圖之B同。A 之熔點或凝固點為 θ_1 , B 為 θ_2 , 如第三圖左之 a, e 二曲線所示。再取各種成分不同之組合, 各求其冷卻線, 如 b, c, d 所代表者, 按其成分排列, 而將各開始與最後凝固之點, 依次聯接成曲線, 則得第三圖右之 $\theta_1 m \theta_2$ 與 $\theta_1 n \theta_2$ 二線。縱座標代表溫度, 橫座標代表成分, 現 A B 兩金屬, 成一連續系統之固溶體合金(A Continuous Series of Solid Solution alloys), 成固體後, 如無多體化之轉變現象, 則第三圖右所示者, 即為 A B 合金之組織

圖。 $\theta_1 m \theta_2$ 為液體線 (Liquidus)，溫度在此線之上者，任何組合 (System)，皆完全為液體，適在此線上者，固體開始出現； $\theta_1 n \theta_2$ 為固體線 (Solidus)，溫度在此線下者，皆完全為固體，適在此線上者，最後所餘一滴液體，方完全凝固。此兩線之間，為固體液體同時存在之區域。故在此組織圖上，任何組合，在任何溫度時之組織，可一目了然。金銀或銅鎳之合金組織，即係如此。



第三圖

若合金在液體時，完全互溶，在固體時，完全不相溶解，而成 A B 之混合物，則其冷卻線之式樣，為第二圖之 D。吾人欲明此線之義意，須先了解金屬與其合金熔點之關係。如 A B 之合金，係連續之固溶體，則合金之熔點，普通約為 A B 熔點之平均數（如第三圖右），但亦有例外，而顯一最大或最小之熔點者，若 A B 之合金為混合物，則情形又稍異。普通在此種情形下，A 之熔點，因 B 之混入而降低，同時 B 之熔點，亦因 A 而降低，最後必有一個一定之組合，其熔點為全部 A B 之組合中最低者，此種組合，稱為易熔組合或易熔體 (Eutectic)，其成分稱易熔成分 (Eutectic Composition)，其熔點稱易熔點 (Eutectic temperature or Point)。吾人更應知易熔組合之熔點與凝固點，一如純金屬，二者完全相同，且合而為一，其冷卻線之式樣，與第二圖 B 同。

明乎此，即可知第二圖曲線 D 之意義矣。a 為開始凝固之點，A B 在固體時，既不相溶解，則此時凝結之固體，非純 A 即為純 B (C 線所示者，為固溶體之結晶，與此處純金屬結晶不同)，當視此組合內所含之 A 或 B，較易熔成分之 A 或 B 為多或少也。如 A 較多，則 A 凝結分出，殘餘液體內之 B，即相當富集或加高，若 B 較多，則 B 分出，液體內之 A 加高。故任何組合，經此種調整，其最後待凝之液體，皆必達易熔組合之成分，此時溫度，亦自然達易熔點，此即 D 線上之 b 點也。此時純 A 與純 B，在此恆一之溫度，同時凝固，如

b c 段所表示。至 c d 所示者，為完全固體之冷卻線。

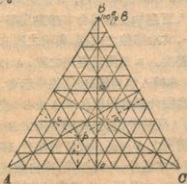


第四圖

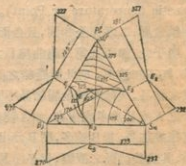
做前法，取各種組合之冷卻線，按次排列之，並聯接其液體線 $\theta_1 E \theta_2$ ，及固體線 $m E n$ ，則得此種合金之組織圖，如第四圖左及右所示。E 為易熔點， $\theta_1 E$ 及 $\theta_2 E$ 為液體線，但不一定為直線，惟固體線 $m E n$ ，為一直線，蓋即表示一恆一之易熔溫度也。組織圖類此者，如鉛錫或鎳錫之合金是也。

合金組織圖之式樣頗多，非本書範圍所及，學者可於金相學求之；但關於熔點與凝固點之部分，大概不出上述數種，或其聯合式，明乎此，則他種式樣，自易明瞭。

三重合金之成分，惟以平面等邊三角形表示之（如第五圖），由頂點至對邊中點之三中線，各代表一百分或 100%，任何組合 P 之成分，可以下法求之：由 P 向三邊作垂線 a, b 及 c，此三線之和，等於一百分（與中線等長），故 P 之成分，為 a% A, b% B, c% C。若欲表示其熔點，及凝固點，則非立體模型 (space model) 不可（第六圖）。將縱座標直立，代表溫度，而得一液體線所組成之面，但為平面畫圖之方便計，可在三角內，凡熔點相同之地點，畫一線以連之，此線謂之等溫線 (Isotherms)，與繪地質圖之等高線相似（見第六圖）。



第五圖



第六圖

若 ABC 在固體時，均彼此不相溶，而成混合體（鉛錫鎔即是），則 AB, AC, 及 BC, 可成三組易熔組合（第六圖共有 E_1, E_2, E_3 三個易熔點），而每一易熔組合，又與第三者，另成三組二重組合（每一易熔組合之熔點，因第三種金屬之加入，而更降低。），此三組之液體線 $E_1E, E_2E,$ 及 $E_3E,$ 均向下傾，最後合會於一點 E，此點之成分，稱三重易熔體（Ternary eutectic），為 ABC 組合中熔點最低之成分，且較任何二重易熔點為低。三重合金組織，惟有以空間模型，方能表出液體線之面。

m. 揮發性 (Volatility) 除水銀等少數外，一切金屬之沸點均極高，鉀與銻 (Os) 能直接氣化，而不經熔解，炭亦有如此之可能，但溫度高時，金屬均有氣體壓力 (Vapor Pressure)，換言之，即雖遠在沸點之下。金屬已有相當之揮發性矣。

n. 伸漲與收縮 (Expansion and Contraction) 每單位長物質升高攝氏溫度一度之加長 (Elongation)，謂之伸漲率 (Coefficient of expansion)，減低一度之收縮，為收縮率 (Coefficient of Contraction)。金屬與合金之普通性質，均為熱漲而冷縮，惟其率則不一致。升高同一段溫度，液體金屬，較固體時之伸漲為大，普通熔點低之金屬，其伸漲率反大，高者反小，但錫鎔為例外。吾人利用錫等金屬作鑄版之合字金 (Type metal)，蓋因其凝固時，不收縮，版上之纖細曲折處，均可畢露。

除鉛錫鎔等合金外，其他合金之伸縮率，均不規則，不能以原金屬之伸縮率平均計算之。合金有時發展特殊之物理性。如「印法」(Invar) 合金（係鐵與銻之合金，含銻 36%），在平常溫度變化時，幾毫無伸縮，故其形式與長短，總為恆一不變，極精密之儀器，及鐘錶之擺等均採用之。

第五表 Expansion coefficient of metals.

| | Al | Cu | Pt | Steel (.6% C) | Invar |
|------|---------|----------|---------|---------------|--------------|
| 10°C | .000023 | .0000169 | .000009 | .000012 | + .000000005 |
| 20°C | — | — | .000018 | .000024 | - .000000036 |
| 30°C | — | — | .000027 | .000036 | - .000000126 |

o. 比熱 (Specific heat) 比熱為單位重量之物質，升高攝氏一度，所需之熱量。此量並非恆一不變，如水由 0° 至 1°C 所需之熱，即不如由 90°C

至 91°C 所需熱之大。普通溫度升高時，金屬之比熱，亦漸漸增大，至近熔點時，比熱亦為最大。金屬之純度，與合金之成分，均影響比熱之變化，若溫度不高，除 Pb, Sn, Bi 之合金外。普通合金之比熱，約為其原金屬比熱之折中數。普通金屬之密度大者，其比熱即減小，杜龍氏 (Dulong) 證明元素之原子熱 (Atomic heat)，為一常數，即原子量愈大者，其比熱亦愈小之意也。

第六表 比熱 Specific Heat

| | 15°C | 近沸點 | 氣體 | | 15°C | 近沸點 | 氣體 |
|--------------|------|------|-------|-------------|-------|-------|------|
| Ag | .055 | .076 | .016 | Mg | .245 | | .208 |
| Al | .167 | .308 | .1852 | Mn | .122 | — | — |
| Bi | .030 | .030 | — | Monel metal | *.127 | — | — |
| Brass | .090 | — | — | Mo | .035 | — | — |
| Cd | .054 | .052 | .043 | Na | .293 | | .217 |
| Co | .106 | .204 | — | Ni | .129 | .161 | — |
| Cu | .091 | .118 | — | P | — | | .034 |
| Clay 土 | .190 | — | — | Pb | .03 | .034 | — |
| Coal 煤 | .240 | — | — | Pt | .032 | .046 | — |
| Fe | .116 | .162 | — | Sb | .048 | .054 | .416 |
| Germansilver | .095 | — | — | Si | — | | .107 |
| Hg | .033 | .032 | .025 | Sa | .055 | .059 | .424 |
| Ir | .030 | .040 | — | W | .035 | — | — |
| K | .166 | .230 | .128 | Zn | .093 | .122 | .076 |
| Li | .941 | .975 | .714 | Steel 鋼 | .120 | — | — |

* 20-400°C.

p. 導熱與導電性 (Heat and Electric Conductivity) 導熱導電兩性，均為金屬之特殊性質，所有金屬，均為良導體 (Good Conductors)。合金之此類性質，總比其原金屬差，尤以導電性之減弱，為最顯著。

金屬之導熱性，與其本身組織，純度、及溫度有關係。經鑄成之金屬，導熱較鑄體 (Castings) 為佳，雜質及本身溫度增高，均減低其導熱性。金屬之相對的導熱力，以銀為最高，故定為 100，按次得銅為 73.6，金為 53.2，鋁為

31.3, 銅為 20, 錫為 15.2, 鉛為 8.5, 鉑為 8.4, 銻為 4, 汞為 1.3, 銻為 1。

絕對導熱性 (Absolute heat conductivity) 係每平方公分面積, 每秒所傳之熱 (以 cal. 計), 若該金屬之厚為 1 公分, 而兩面之溫度差為 1°C , 測定之法, 比較麻煩。

導電性與金屬之長短、粗細、組織、純淨度及本身溫度有關係。凡短、粗、晶粒大而不受內應力 (Internal Stress) 影響, (最好經加工後, 即燻火 Annealing, 使晶粒恢復常態, 而除此種影響), 且品質純淨, 而溫度低者, 其導電性最佳。反是則低。金屬因雜質而變硬, 實際導電性與硬度, 適成一反比例, 溶化之金屬, 其導電性, 不如固體之佳。

所謂傳電比阻 (Electrical specific resistance or resistivity), R , 即為該物質一立方公分所有之 Ohm 數。導電性 C 即為比阻之倒數 ($C = \frac{1}{R}$ mhos per cm^2)。故凡與比阻發生影響之因子, 皆與導電性發生相反之影響。金屬導電, 亦以銀最佳, 銅次之, 可參看第七表。

第七表 金屬比阻及導電性 (18°C)。

| | 比 阻 microhms/cm ² | 導 電 性 mhos/cm ² |
|--------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Al | 2.94 | 340,000 ♀ |
| Sb | 40.50 | 24,700 |
| Bi | 119.00 | 8,400 |
| Cd | 7.50 | 133,400 |
| Cu | 1.78 | 562,000 ² |
| Au | 2.40 | 417,000 ³ |
| Fe | 9.0-15.0 | 1.1-0.6 × 10 ⁶ |
| Pb | 20.80 | 48,000 |
| Li | 4.50 | 222,000 ♀ |
| Hg | 95.60 | 10,400 |
| Steel * | 19.90 | 50,200 |
| Ni | 6.93 | 145,000 |
| Pt | 11.0 | 90,900 |
| Rh | 6.0 | 167,000 |
| Ag | 1.65 | 603,000 / |
| Sn | 11.30 | 88,500 |
| W | 5.40 | 185,000 ⁵ |
| Zn | 6.10 | 164,000 |
| Nichrome 60Ni 22cr | 6.60 | 151,000 |
| Constantan | 49.60 | 20,400 |
| Manganin | 43.50 | 23,000 |
| Monel metal | 46.00 | 21,800 |

合金之導電性，不及金屬大。除 Pb, Sn, 及 Zn, Cd 之合金為混合體，其導電性，勉強可由原金屬混合之體積比例算出外，餘均說減，有時較原金屬之劣者尤劣。上述各種影響導熱之因子，可適用於合金之導電性。合金硬度較大，故此性減低，尤以合金之成固溶體者為然。合金之成化合物者，因自有其特殊之物理性，故其導電性曲線，在該成分處，發生突變。

合金為混合體及固溶體者，其導電性均因溫度之升高而減低，與上述情形吻合；惟化合物，則因溫度高而增高，與導電之化學溶液或電解液 (Solution of electrolyte) 相似。

g. 透磁性 (Magnetic Permeability) 透磁性者，即物質之磁性 (Magnetism)，若置在一磁力場 (Magnetic Field) 中，能否讓該磁力線 (Magnetic Line or flux)，透過本身，因而誘導自成一「磁石」 "Magnet" 與否耳。設磁場之強度 (Field Strength) 為 H，自身之磁化強度 (Intensity of magnetization) 為 B，則透磁性 $\mu = \frac{B}{H}$ 。若 $\mu = 1$ (如空氣)，則 $B = H$ ，換言之，現在

透過此物之磁線，即等於本身磁化之強度，並未因 H 之誘導而增多或減少，僅等於原有之磁場強度而已。若 B 大於 H，則 $\mu > 1$ ，此物即謂之具有磁性，發拉兌氏將金屬之透磁性與空氣相比，視 μ 之大於 1 及小於 1 者，分金屬為有磁性與反磁性 (Paramagnetic and Diamagnetic) 兩種如下：

有磁性：Fe, Ni, Co, Mn, Cr, Ti, Pd 等。

反磁性：Bi, Sb, Zn, Sn, Cd 等。

鐵銻鎳三金屬之透磁性，因遠過於一，故又稱為重磁性 (Ferromagnetic)。

磁性之金屬，有因高溫而改變，如純鐵超過 768°C 時，即失其磁性。許多有磁性金屬，在磁場時，即能磁化，若磁場消失，而自身磁化強度，亦幾等於零，此種材料，即不能作永久磁石 (Permanent magnet)。永久磁石，雖外界之磁場消失，亦能保持其磁化強度，此種性質，謂之保磁性 (Magnetic retentivity or remanence)。電機中磁石之強度，即以磁場強度節制之。合金鋼中，有極強之保磁性者，有在極低之磁場中，發生極強之磁化強度者，皆為近代工業中極有用之材料。

r. 化學性質 金屬之此類性質甚繁，欲詳加討論，自有專冊，非本篇所能盡，茲篇所及，僅關於冶金之重要化學性質耳。

金屬能與其他非金屬原子，以不同之化合愛力 (Chemical affinity)，化

合成各種化合物，若取各種金屬，使與一擇定之非金屬化合（如擇定為氧或硫，而得各種氧化物 Oxides，與硫化物 Sulphides），亦各顯不同之化合愛力；此即可表金屬之化學性質，各有強弱不同。

金屬彼此相互之化學關係，最好以其電化次序 (Electro-Chemical Series of metals)，及週期表 (Periodic table) 之排列表示之。按照第八表，任取兩元素與一電解溶液 (Electrolyte)，組成一單純或原電池 (Galvanic or Voltaic or Primary Cell)，此在前之元素，對於在後者，為正電極性 (Electro-Positive)，若將兩極以銅絲接之，即使在前之元素，在溶液內溶解，在此電池中為負極 (Negative electrode or pole)；後者對前者為負電極性 (Electro-negative)，在電池中為正極 (Positive electrode or pole)。

吾人為比較計，擇氫為標準，在規定情形下，以其單極電位差 (Single electrode Potential) 為零。氫以上之各元素，稱為正電極之元素 (Electro-positive elements)，包括大部金屬；氫以下者，稱負電極之元素 (Electro-negative elements)，為弱金屬及非金屬，惟在前者均較在後者之金屬性為強。(亦有將上述正負電極性元素之秩序，完全倒置者，可參考第十四章電解法。) 凡金屬之氧化物，均為鹼性 (Basic)，加水成鹼性氫氧化物 (Hydroxides)，極少能與氫化合成氫化物 (Hydrides)；非金屬適相反，其氧化物為酸性 (Acid)，加水成酸類 (Acids)。且多與氫化合，如磷化氫 PH_3 等。金屬之氧化物與非金屬之氧化物，化合即為鹽類 (Salts)，又金屬溶於酸類中，亦成鹽類，極正電極之金屬，愈向極端，愈為最強金屬，如 Cs ， Rb ， K ， Na ，等，反之，極負者為最強之非金屬，如 Cl ， F ，等。此兩種能以極大之愛力化合，而發最大之分子化合熱 (Heat of formation)，其化合物亦極穩固 (Stable)，不易分解，弱者則反是。

第八表 Electro-Chemical Series of Elements

原子電化次序表

| |
|--|
| Cs , Rb , K , Na , Li , Ba , Sr , Ca , Mg , Al , Cr , Mn , Zn , Ga , Fe , Co , Ni , Ti , In , Pb , Cd , Sn , Bi , Cu , $\leftarrow \text{H} \rightarrow \text{Hg}$, Ag , Sh , Te , Pd , Au , Ir , Rh , Pt , Os , Si , C , B , N , As , Se , P , S , I , Br , Cl , O , F |
|--|

介乎極強之金屬與非金屬之間，在氫附近之幾種元素，如 Pb ， Sn ， Bi ， Sb 等，其氧化物之化學行動，亦在金屬與非金屬之間，無卓絕之鹼性或酸

性，蓋強鹼與強酸，均能與之化成鹽類也（此類元素，名曰中性元素 amphoteric element，其化學活動力 Chemical activity，均甚弱）。鹽類之熔點，普通均較其原金屬與非金屬氧化物為低，此為冶金學上重要之原理。

以冶金之狹意言，凡金屬以氧化而增高其原子價者，謂之氧化（Oxidation）；反之若金屬之原子價減低，或由氧化物中，將氧與金屬分離之現象，謂之還原（Reduction）。除金銀銅等少數金屬，有極少量之天然形式（Native form）存在，不待冶金手續而獲者外，普通金屬在自然界中，均為化合物，尤以氧化物為最多。即如碳酸及氫氧化物（Carbonates and Hydroxides），若以礦冶目光視之，仍為氧化物，因其所含碳酸氣與水分，經焙烘（Calcination）驅除後，僅存留氧化物也。其次為硫化物（Sulphides），但在冶金時，普通均經煅燒（Roasting），使硫被氧化去，結果仍多以存留之氧化物為原料。

在還原作用時，均需一還原劑（Reducing agent），以拉出氧化物中之氧，此種還原劑，或係由外加入（如煉鐵），或係原礦石中存留者（如煉鉛銅），須俟情形決定。所煉粗金屬（Crude metal）中之雜質（Impurities），在精煉（Refining）時，又須藉氧化作用，使之氧化，與主要金屬分開。故冶金工程，大部均是氧化與還原之化學變化，不過此類變化之先後程序，及進展程度，須明白認識，在何種適當條件下，吾人可以控制之。工程之意義，即為按原理之大規模實現，換言之，即須知在何種經濟情形下，能使需要之變化，促其完成也。

s. 腐蝕性（Corrosion） 金屬能為酸鹼或鹽類溶液所腐蝕，習化學者，類皆知之，即在空氣中，因風化、濕度及溫度變化而生銹者亦不少。普通金屬，被腐蝕之情形，約分三種：一為化學作用，如鋅鐵之溶於鹽酸或硫酸；一為腐蝕性溶液與空氣之連合作用，如海水或空氣中含碳酸、銻氣、二氧化硫，與水氣等，更因溫度等變化作用，使金屬起腐蝕；一為金屬中有雜質，因電解溶液之偶然存在，而起單純電池作用，使正電極之金屬溶解，而起腐蝕。最近研究之結果，多認為最後情形，為一切金屬腐蝕之普通原因。金屬之極純者，頗不易腐蝕，如極純之鋅鐵，有離伏（Passivity）現象，不溶於稀硫酸，熟鐵較鋼為純，故亦較不易腐蝕。但普通金屬，多含雜質，且其分配，亦不均勻，此類不同之元素，易組成單純電池，而起腐蝕。即使一純金屬，受局部之機械外力，如錘擊等，使一部之晶粒變形或變硬，則因電解液之連絡，此兩處亦可發生一電位差，較正極者即溶解，而生腐蝕。

合金之腐蝕性，須視其成分，組織及最後加工之情形而定。凡欲抗腐者，必避免不良之加熱或加工，使有局部不均勻之情形發生。吾人知合金有三種基本組織：若為易熔組織之混合體，則更使有效之單純電池作用，容易發生，故其腐蝕性，比金屬更大；若為固溶體之組織，則在適當加熱處理之下，可使晶粒之化學性與物理性，極為均勻，故其腐蝕性不大，幾與純金屬相似；若為化合物，則須視該物自身之理化性質而定。普通金屬化合物之腐蝕性，尚較固溶體之合金為小，而混合組織之合金，其腐蝕均較均勻之固溶體為大。

工程材料多用合金，故合金之腐蝕性，較金屬為重要，而此種性質，確為工程上極嚴重之問題。如一普通鋼橋，若不設法防腐，則二十年後，即無形摧毀。哈迪飛氏 (Hatfield) 估計鋼鐵一項，僅由風化生鏽，全世界每年之損失，其價值大約可達五十萬萬金鎊左右之鉅！此種數字，自非確實可靠，但亦非毫無根據，由此可推測影響之重大。外表油漆 (Painting)，僅係一層機械的掩護，一經脫落，即失功效。英國愛丁堡之福士橋 (Forth Bridge) 油漆工作，終年不歇，蓋所以防脫落也。他如鍍鋅 (Galvanizing)，及鍍錫 (Tinning) 之法，自較油漆為牢固，但若一經碰傷，或局部脫落，則兩種不同金屬之毗連，適為造成單純電池作用之好機會，其腐蝕率之速，反較未鍍時為甚也。現在已有合金，如不鏽之鋼鐵 (Stainless iron and Steel)，其抵抗自然界風化作用之腐蝕，確有特殊效用，此皆為合金在工程上必需之例也。

第三章 礦石及其處理 (Ores and their treatment)

一 礦石之定義

凡礦物之混合體 (Mineral aggregate), 其中含一種或多種金屬, 或其化合物, 若其質與量, 能達以當時冶金方法, 而獲得該金屬有利之提煉者, 稱為該金屬之礦石。礦石中金屬最低限度之含量, 變化甚大, 不可拘泥, 宜視礦石之理化性, 所含金屬之價格, 及採治技術進步之程度而定。例如金為貴重金屬, 每噸岩石含金僅一兩, 若採治方法上, 無大困難, 亦得稱為金礦。反之, 鐵為賤金屬, 當現在富礦 (Rich ore) 供給不難時, 雖每噸含鐵 15% 至 30% 者, 亦不稱為鐵礦。銀雖為貴金屬, 但在銀價低落時, 每噸岩石, 含銀僅二三兩, 不夠冶煉費用者, 亦不稱銀礦。硫化鐵 (Iron Pyrite, FeS_2) 含鐵達 46%, 亦不稱鐵礦, 因其含硫太多, 且對鐵有害, 欲完全除去, 尚非輕而易舉之事也。

二 雜石與熔劑 (Gangues and Fluxes)

礦石中, 除主要之金屬及其化合物外, 其他相伴之無用物質, 統稱曰脈石或雜石 (Gangue)。因礦石既為一種混合體, 故雜石之性質, 種類及多寡, 至為複雜。普通最多者, 為矽酸物 (Silicates), 氧化物, 碳酸物 (Carbonates), 硫酸物 (Sulphates), 硫化物, 及未化合之矽酸 (Free Silica) 泥土, 石灰石等。吾人對於礦石之認識, 不僅須知其雜石之多少, 更須知在高溫時其化學行為或作用 (Chemical behavior), 為中性酸性或鹼性。除極穩固之鹽類 (Stable Salts), 其行為為中性外, 未化合之雜石, 如矽酸泥土, 在高溫時為酸性, 石灰石、白雲石、菱苦土等則為鹼性。先明乎此, 然後在冶金時, 方能設法除去, 使與主要之金屬分開。

熔劑 (Flux) 者, 係冶金時所用之一種礦物, 在高溫時, 其化學性質或行為, 適與雜石相反, 結果互相「中和」, 化成一比重較小熔點較低之鹽類, 以與所治之金屬分開, 此為熔劑之第一重要使命。有時礦石中之金屬, 與一非金屬或「負基」 (Negative radical), 化成一極穩固之化合物, 在冶金時, 不

易分解，若所加之熔劑，與該負基之親愛力，較此金屬與負基之力為大時，則能促成此化合物之分解。例如氧化鐵 FeO 與矽酸 SiO_2 化為矽酸鐵之愛力，不及石灰 CaO 與矽酸化成矽酸鈣之愛力大，若投石灰於矽酸鐵中，則氧化鐵即易被驅出，而為還原成鐵之用。



此時石灰之功用，即為熔劑之第二使命。普通以中和作用為最緊要，因第二種情形，又比較少也。

普通雜石之化學性質，為酸性者較多，因地殼成分中，以矽酸為最普通而豐富。在工業上常用之鹼性熔劑為石灰，或石灰石。若雜石性質為鹼性，則酸性熔劑為矽酸（如沙）。因此二者，最合工業原則，供給最多，隨地可取，其成本甚低也。

三 礦石之分類

依觀察點之不同，礦石可分為若干類如下：

a. 按化合情形，可分兩種：

1. 單純礦石 (Straight or Simple Ores)。此類礦石，大都祇有一種重要金屬，如金礦、銀礦、銅礦、鉛礦等，其化學成分，亦為一單純之化合物，故其處理及冶金方法，亦甚簡單。

2. 複雜礦石 (Mixed or Complex Ores)。此類礦石，大都含兩種或多種金屬及其化合物，如金銀或金銀鉛礦，雖各種金屬，均可設法取出，但有時祇能取一種，其餘則在提煉該金屬時，遭受損失。但在冶煉銅銀或銅金銀礦時，金銀即溶於銅中，而不致損失，一如火試金之用鉛收集礦中貴重金屬然。

凡稱帶金或帶銀之某種金屬礦 (Auriferous or Argentiferous Ores)，除冶煉該主要金屬外，必其貴金屬之含量，有另行提取之價值，否則祇謂之賤金屬礦石 (Base metal Ores)。賤金屬礦之複雜者，多含若干有害雜質 (Impurities)，如銅鉛礦石中，有鋅錫鎳砷等，在冶煉時，亦被還原，而滲入主要金屬中，致受不良之影響。

b. 按所採冶煉方法，亦可分兩種：

1. 易煉礦石 (Free milling Ores)。此種多為單純礦石，質地既純，煉法亦易，普通祇需加以磨碎，然後用一簡單之濕法或火法冶金手續（見第十二及第十三章），即得粗金屬。

2. 難煉礦石 (Refractory or Rebellious ores)。此種適與易煉相反，多為複雜礦石，非一步手續所能提得者。普通須先經初走處理 (Preliminary treatment)，如焙烘 (Calcination)，煨燒 (Roasting) 等手續 (見第十二章)，然後再用冶金方法提取之。此種方法，多為火法 (Smelting)。

c. 按商業習慣，可分兩種：

1. 按礦石中主要金屬而名之者，如銅礦、鉛礦等。
2. 按礦石中金屬之化學成分而稱者，如硫化物礦石 (Sulphide ores) 等。

此外尚有數種名稱，如乾礦石 (Dryore) (含鉛甚少者) 等，均非重要，茲從略。

四 礦石之處理——選礦 (Ore Dressing)

礦石之處理，可分二部，一為礦石本質之處理，一為礦石之冶金方法處理。後者如冶金之初步處理，當於十一至十四章詳論之。茲就礦石本質，在未經冶金手續以前，應加以整理之情形，略述於下：

吾人應知礦石之成分愈高，則冶金之效力愈大，反之則愈小。因雜石愈多，則(一)每噸金屬所需之礦石亦愈多，致使採礦費用增加；(二)運輸費用增加；(三)需用人工，燃料及熔劑愈多；(四)經中和而成之易熔化合物或爐渣量愈多，所耗費之熱力亦愈大；(五)須費工將爐渣取出，並措置；(六)雜石愈多，有害之雜質亦增多；致影響出品之品質，並增加以後精煉之困難。由此可知雜石之影響，祇有弊無利。惟地面上純而富之礦石，產地不多，量亦有限，不能持久；反之雜而貧之礦石，產地較多，量亦豐富；故設法利用貧礦為冶金之原料，不但能使地盡其利，亦且勢所必然，含此實無他法可持久也。

貧礦富集之處理，謂之選礦 (Ore dressing or Concentration)。選礦工作，幾為近代採冶工業中間必經之程序。現在工業發達，銷費甚鉅，富礦均將告罄，非整理並利用貧礦，不能另闢新源。如美國產銅，超過全世界出產總額之半，考其來源，除極少量來自蘇必利湖 (Lake Superior) 之純礦外，餘均來自富集礦 (Ore Concentrates)，有貧至含銅不及 1% 者，亦利用之。此亦技術進步，從前認為廢石者，現亦以礦石目之之例也。

選礦之原則與方法，大概可分三類：一曰電磁選礦 (Magnetic Separat-

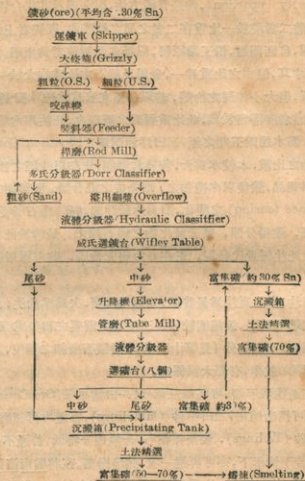
ion), 藉礦物之磁性, 用極強之電磁吸引, 以與無磁性之雜石分開; 二曰比重選礦 (Gravity Separation), 為最普通方法, 因金屬及其化合物之比重, 較雜石為高, 若將二者浸於一比重在二者之間之液體內, 則輕者上浮, 重者下沉, 可截然分開, 自無問題, 惟工業原料, 以量多而價賤者為原則, 適合此條件之液體, 惟有水耳, 但水之比重為一, 金屬及雜石之比重均大於一, 故不能將二者截然分開, 但大小相同之物體, 若以一適宜速度之流水衝過之, 則輕者必挾帶而去, 重者即滯留於後, 此比重選礦之原理也。此法用水頗多, 有時選富集礦一噸, 需水達四五噸之鉅; 三曰浮油選礦 (Flotation Concentration), 金屬化合物之比重, 本較水為大, 若將其磨細, 先和以較輕之油類, 或其他有效液體化學藥品, 然後以水攪和之, 則先成之混合體, 因整個的比重與表面張力 (Surface tension) 之變化, 而為水所浮起, 同時雜石所受之影響不同, 仍沉於水底, 遂得分開, 據云硫化物之礦石細末, 最適於此法選礦, 氧化物次之, 但此法係近代發現, 正在努力研究推廣, 將來應用範圍, 正未可量。

以上三法, 以比重法為最普遍, 故應用極廣, 次為浮油法, 至電磁法, 只以有磁性之礦物為限, 故範圍較狹。三法共同需要之初步處理, 即為機械的磨細, 與顆粒大小之變分 (見第十五章), 因礦石磨細之程度, 及顆粒大小之均勻, 與選礦之效率, 有絕大關係也。

礦石經過選礦手續, 可區為三部分: 一曰富集礦 (Ore Concentrates), 其成分提高, 可供冶煉用; 二曰中砂 (Middlings), 普通均再經磨細後, 重行選礦; 三曰尾砂 (Tailings), 幾全係雜石, 含礦成分特低, 普通不必再選, 儘可棄之, 但在若干情形下, 亦可再選一次, 然後拋棄。茲將雲南箇舊錫務公司錫石礦 (Cassiterite ore), 比重選礦之程序, 列表於左, 以見選礦經過之一般。

上述之三法, 均為物理選礦方法, 但亦有時而窮, 在特殊情形時, 尚借重化學選礦方法。此種方法, 有時稱為精選 (Purification Dressing), 如用牛南法 (Oxland Process), 精選錫礦, 及貝爾法 (Bayer Process) 精選鋁礦是也。

第九表 簡德錫務公司選鐵程序



第四章 冶金之重要原則(Basic Principles in Metallurgy)

冶金既為一種化學工程，故須應用化學及物理上之原則，在適當情形下，使需要之種種變化，得以次第順利實現，以達吾人冶金之最後目的。明瞭此種原則，而後對於各種變化進行之可能性與完全性，方有合理之推論與判斷，而對實際之設計，應用與管理，方有切實之把握。惟冶金上應用之原則極多，若欲一一討論，勢不可能，學者可於各別冶金之專冊上求之。茲將最重要而普通之基本原則，討論於次：

一 物質與能力不滅之定律(Laws of Conservation of mass and energy)

宇宙間物質與能力，均為一常數，換言之，物質因化學或物理變化，可以改變其形式與性質，而不能增減；能力可由機械的、熱力的或電氣的，彼此互相變換，但其量，總無變更，既不能增加，亦不可毀滅，雖近代物理，對此尚有議論，但由工程上視之，此理之真確性，儘可認為毫無疑異。吾人對於一種工業之設計與其平衡計算 (Design and Balance Sheet for an Industrial Operation)，均持此原則為根據。例如原來用去之能力與物質，必等於其有效之工作與成品及其無效之損失或消耗之總和，此種推理，因為極合邏輯之常識也。

準此原則，則一切工程，不過為改變物質之地方，形式、或性質，而藉能力之變換為手段，以達到此目的也。由此可推知一有利之工程，其條件必為使工作與成品之效率增高，無效之耗損減少，工程效率高者，其事業亦必佔優勝，而完全效率(100% or Perfect efficiency)，為絕對勝利之極限。惟完全效率，為一不可能之實事，如機械變能力為工作，其本身之磨擦吸熱等等，均使能力耗費，且不可免。故近代工程之進步，只能減低耗損，因而增加效率，此原則實為一切工業之前提，首先必得一相當之解決，至少亦須達最低限度，否則在生存上，終不能逃優勝劣敗之公例也。

二 化學變化之原則(Laws of Chemical Changes)

1. 化合與分解 (Combination and Decomposition) 化學變化，為一定量與定性之變化，且為恆一可靠，但在化學工程上，所注意者，為能力量之變化也。按金屬與非金屬，有強弱之分，此種區別，雖可以各種性質為標準，但由元素變為一化合物時所發生之分子化合熱量 (Heat of formation)，實為重要性質之一。茲按普通例，以一分子量之氧化物作比較，此熱量愈大，則該金屬元素亦愈強，彼此之親愛力愈大，而所成之化合物亦愈穩固；反之，欲使此化合物分解為原元素，則最低限度，須由外界加入等於發出之化合熱量，而後此種分解作用，方有開始發生之可能。蓋化合物之內能，已較原元素低，欲使還原，非補還其化合時之損失不可，此亦能力不減之例也。冶金所用之原料，普通均為化合物，故欲使分解而成單體之金屬，必須供給能力，若欲使分解加速，更非有大量能力供給不可，普通燃料，除供熱力外，並同時為還原劑 (Reducing agent)，所以冶金手續，必須在高溫舉行，而燃料為冶金不可少之原料也。

元素互相化合之親愛力，各有不同，吾人在冶金時，即常利用此類性質，以變化金屬之化合成分。例如銅對硫之親愛力大於鐵，而鐵對氧之親愛力又大於銅，今若將黃銅礦 (Chalcopyrite, CuFeS_2)，加熱而氧化之，最先分解者，必為硫化鐵，最先成氧化物者，必為氧化鐵，此時若加適量之酸性熔劑，則氧化鐵即可變為渣而除去，遂使原礦中之銅與鐵分開。

2. 氧化與還原 金屬之氧化與還原，曾於第二章內提及，茲就冶金觀點上，更申論其重要原則。

(a) 凡被還原而成之元素，在高溫下，均有互相組合成合金之趨勢 (Reduced elements tend to form alloy at high temperatures)。實際上，礦石到最後冶金時，多為氧化物，而提取金屬之手續，厥惟還原。但雜石內之其他金屬氧化物，在同一過程中，亦被還原，結果彼此互溶成合金。如煉鐵時，主要金屬為鐵，但附帶有炭、錳、矽、硫、磷等，或係由鐵直接吸收 (如炭)，或先還原成元素，再行吸收 (如錳等)，故所產為不純之生鐵。吾人初步冶金所得，多為粗金屬 (Crude metal)，除用極純之原料外，鮮能得質地純潔者 (還原熔煉者均如此)。

(b) 合金中之元素，若被氧化成化合物，則除極少之例外，大都脫離母體，而不再成合金 (Oxidized elements in alloys tend to separate out)。故精煉粗金屬時，使所含雜質被氧化，而自動分出，即以此為根據，所謂氧化熔

煉是也。惟應用此原則時，須留意二點：

(1) 各種元素與氧化合之親愛力不同，若加氧入溶化之合金中，則受強力強者，必首先化合，須俟最大者化合完畢，或大部完畢，方輪及次強者，理固然也。若主要金屬與氧之受力最強，則根本無機會將雜質氧化，以與之分開，例如鎢與氧最易化合，即不能以此法精煉之。

(2) 情形特殊者，如氧化銅之與銅，及氧化鐵或硫化鐵之與鐵，仍能溶化而成合金，故銅與鐵僅用氧化法，不能完全精煉。最好方法，即為先用氧化，提去其他雜質，最後投以最強之還原劑（特別對氧有強大受力量者），如鋁鎂等，以奪取銅鐵中之氧，此種方法，謂之去氧（Deoxidation），所投之物，謂之去氧劑（Deoxidizers）。

3. 爐渣之原理（Slag Formation） 當提煉主要金屬時，其附帶雜質，如礦石中之雜石，及燃料之灰份，必須設法排除，爐渣者即此種排除物也。爐渣所具之條件，必須（1）有適當之成分，不溶於金屬中；（2）其熔點較主要金屬為低；（3）其比重較金屬為小。欲達此目的，必須（1）先據理論與經驗，決定爐渣應達何種成分，方得順利之作業，與良好之出品。（2）先知應排除雜質之量與化學性，然後按著規定成分，計算所需熔劑之量，以便配合成複雜類之渣（參閱第三章）。在初步冶金時，爐渣為雜石、灰分、及熔劑之組合；在精煉時，為夾帶之少量沙泥，粗金屬中被氧化之雜質，及所加熔劑之組合。

凡單純之氧化物，其熔點均較高，若「中和」成鹽類，則熔點可降低，一如純金屬之熔點，因加入雜質而降低然。若進而使之成複雜類，互相溶化，則熔點更可降低，與化學試金，或吹管分析時所用之溶化複雜（Fusion mixture），同一原理。又非金屬（如矽礬等）之比重，大率普通金屬為輕，而金屬之氧化物，比未氧化者為輕，爐渣既為金屬與非金屬氧化物之組合，自較單體金屬之比重為小，此點可無問題也。

爐渣為一種組合物，而非礦物（Mineral），因其無一定之化學成分也。既為各種氧化物之組合，則不能復入金屬中成合金，在高溫時，為比重小之液體，則不與液體金屬混合，而分為上下兩層，其熔點較金屬低，則爐渣達液體金屬能自由流出時，渣之流動性更大，可與金屬完全分開矣。

4. 置換原則（Displacement） 試檢原子電化次序表，金屬之強者在先，弱者在後（非金屬反是），在化學反應時，強者即有驅除弱者，而代其地位

之趨勢，此種代替，謂之置換。試投鋅片於硫酸銅溶液中，銅即被逐出，而生沉澱。在冶金時，亦利用此理，例如煉鉛時，若加入廢鐵，則鉛即被逐出，此種冶金方法，謂之沉澱法(Precipitation)。

三 物理的原則

除化學原則外，冶金手續，亦利用物理原則，以為精煉及加熱處理等之根據。茲略分述於後：

1. 分液作用(Liquation) 分液作用者，係由不純之混合物，藉其不同之熔點，於適宜之溫度下，使有用之金屬或金屬化合物熔化，與無用之固體雜質分開也。例如將硫化銻礦石加熱，可將純液體硫化銻分出；又精煉錫時，可與鉛鐵等熔點較高之雜質分出。惟此原則，祇能應用於混合物，而不能用於化合物，或彼此互溶之固溶體，其理至明也。

2. 合金之不均勻性(Heterogeneity of alloys) 固溶體之熔點與凝固點不同，且其熔化與凝固，須歷一段之溫度，而非一固定之溫度，已於第二章言之矣(參看第二圖C及第三圖)。其最初凝固者，含熔點高之B，較熔點低之A為多，以後溫度逐漸下降，凝固之固溶體中，A之成分，亦逐漸增高，最後之固體，自含A最多。嚴格言之，此段溫度內陸續所成之固溶體成分，均各不相同，而以首尾所成者之差別為最大，且無一與原來之平均成分相同者。此種不均勻現象，謂之分凝化(Segregation)，或選擇的凝固(Selective Freezing)。在靜止慢冷情形下，可成粗大之晶粒，稱為枝狀組織(Dendritic or Cored Structure)。此種不健全組織，影響合金之機械性甚大，吾人須明此，方能以加熱處理方法改正之。

合金之為混合物者，其凝固點亦非固定溫度。若A之成分多，則A之凝固點，因B而減低，初成之固體，盡為A，而無B，殘餘之液體中，B之成分，即自然增加。若B之成分多，受A之影響亦然。任何情形，最後均達易溶成分，而在一固定溫度，A B同時凝固。吾人利用此種性質，以反覆結晶方法(Recrystallization)，可使鉛中之銀，成分增高至最大限度(即易溶成分)，然後設法提銀。巴定生方法(Pattinson Process)，即係如此。

又如A B為混合體，B量甚微，若B易溶於C，而成固溶體，同時C又不溶或難溶於A時，或投C於A B合金中，B即被C奪去，而成合金。若將A與C分開，則A中之B，即可提出。派克氏以鋅提取鉛中之銀(Parkes Process)，

即係此理。

3. 多體變化 (Allotropy or Polymorphism) 金屬與合金，有時在固體狀態時，因臨界溫度變化，可以固體轉變之現象，而完成其多體變化，同時改變其原有之機械性質 (參看第二章 d)。此種物理變化，關係材料之強弱甚鉅，吾人可利用加熱處理方法以控制之。

4. 溶解性 (Solubility) 金屬有溶解性，而成固溶體之合金，前已詳言之矣。但有時利用此種現象，藉以搜集礦石中含量極低之貴重金屬，如金銀鉛之類，復於精煉時，將此類貴重金屬提出，成為有利之副產品。如鍊鉛煉銅時，液體之鉛銅或硫化銅，均有收搜溶貴重金屬之性是也。

5. 揮發性 (Volatility) 金屬之易揮發者，冶金時即利用此性，以與雜質或彼此分開。例如混汞法 (Amalgamation)，提取金銀，藉蒸餾手續，可使水銀與金銀分離；又鋅與鎳之冶金，即全恃揮發性之差異，而先後分出。

6. 電解作用 按金屬之傳電，係電子之傳導 (Electronic Conduction)，導體本身毫無變化，亦無任何物質之移動 (Without any movement of matter)，如銅線之傳電是。但電解體 (Electrolyte) 之傳電，係由帶陰電與陽電二種游子 (Ions) 之運動以傳遞之，此種物質的行動，遂使本身亦起變化，如稀硫酸被電解而生氫與氧是。如此稱為電解的傳導 (Electrolytic Conduction)。普通無機酸鹼，及金屬之化合物能溶於水者，多為電解體，即在溶液中，其分子能自行電離或分離 (Dissociate) 而成游子，其行動亦完全遵從電解之原則 (Laws of Electrolysis) (參閱第十四章)。

在電解作用範圍內，其行動可分為兩種：一為本身作工，發出電流，如弗打電池，或雷氏電池 (Voltaic Cell or Leclanche Cell)，此係變化學能力為電力；一為由外面加工於電解體 (普通均以直流電通過之)，使起電解作用，而生物質的分解，帶陰電游子 (anions)，向陽極 (anode) 移動，帶陽電游子 (Cations)，向陰極 (Cathode) 移動，各在其電極上，成中性元素沉出。結果使電力變有效之化學能力，一如火法冶金時之熱力，使化合物分開為金屬然。此種情形，如電鍍及電氣精鍊 (Electrolytic Plating and Refining) 等手續均是。前者效用不大，規模亦小，不適於工業之用，後者為電氣冶金之重要原則，而為近代工業所不可少者，因其作業極有規則，出品之精良，為其他冶金方法所不及，更有數種冶金，須在極高溫度下操作者，惟有電冶方能奏效也 (見第十四章)。

第五章 冶金爐 (Metallurgical Furnaces)

冶金爐為耐火材料所作之器具，在高溫時，冶金必需之種種化學變化，均在此器具內進行也。本章所述，實為火法冶金設備之一部，應於第十二章詳之；惟因其自成系統，可成專篇，且在以後各章中，常常提及，為作者容易解釋，及讀者一貫明瞭起見，特先述之。

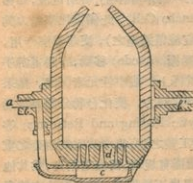
冶金所用之爐，大別之可分五種：(一)蒸餾爐，(二)貝色麥週轉爐，(三)直井爐，(四)倒焰爐，(五)電爐。茲分述大概於次：

一 蒸餾爐 (Closed Vessel or Retort furnace)

在此爐中，置若干罐或釜，欲加熱之物質，即貯入罐中，空氣與火焰，均不能入，每罐祇留一口，為揮發物之出路，爐下為空氣與煤氣之預熱器，每爐列此罐一排或數排，以便在罐外加熱，作蒸餾之用。煉鋅爐、煉汞或煉焦爐皆是。雖構造上略有不同，而原則固一也。

二 貝色麥週轉爐 (Bessemer Converter)

此爐之原則，係將液體之粗金屬，或半完之液體冶金產品 (Semi-finished metallurgical product)，注入爐中，而由爐底鼓入空氣，以氧化液體中之



第七圖 貝色麥週轉爐

雜質，同時因氧化所發生之化合熱，始終能保持爐中物質為液體狀態。此為 1855 年 Sir Henry Bessemer 之發明，而為冶金中最快之方法也。爐為鋼殼，內砌耐火材料，風由套管 a，經中空承軸 b，沿爐之下部，至底部之風箱 c，再經有孔之底 d，而分配入液體中 (第七圖)。爐以 bb' 為軸，至少能轉 270°，因鼓風時須直立 (口向上)，接受液體時須臥置，而出金屬時，又須倒置 (口向下)，且在週轉時，仍無礙於鼓風也。例如由生鐵鍊

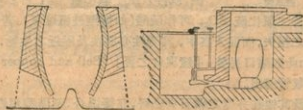
鋼，或由冰銅(Copper matte，即硫化銅)鍊粗銅，多用此法。

此爐之特點，即工作迅速，惟原料須用液體粗金屬，但以後燃料藏於裝料(Charge)之本身，無待外求。

三 直井爐 (Shaft Furnaces)

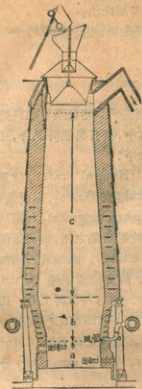
此類爐如一直立之井，或作煙筒狀，風由下面送入，經過礦石燃料熔劑之混合物(即裝料)，而由頂部之口逸出。故直井爐中，礦石與燃料混合，互相接觸者也。因其所用之風力不同，又可分為二種如下：

a. 通風爐(Wind Furnace)，係採自然通風(Natural draft)，故風力不大，僅恃自然之對流，故工作之速率較緩。爐底為爐橋(Grate)，以便通風，除平面式外，亦有用圓錐式或菌式(Cone or mushroom grate)(如第八圖左)，以便出爐時，易向四周傾斜也。第八圖右為放置坩鍋之用，如煉坩鍋鋼或配製合金，其效用僅為一種熔化(Crucible melting)，而無若何精煉手續。鍋內之裝料(Charge)，與鍋外之燃料分開，故又稱坩鍋爐(Crucible Furnace)。八圖左為焙烘礦石或燒石灰之直井爐，礦石與燃料混合，因燃料甚少，溫高不致將焙烘物(Calcines)熔化，可由下部四週之門取出。若於直井爐中裝一個或兩個烤箱或馬弗(Muffle)，則謂之馬弗爐(Muffle Furnace)。此爐在化驗室中，作火濕試金(Fire and Wet assaying)分析時，常用之。



第八圖

b. 鼓風爐(Blast Furnace)(德文稱高爐Hochofen)，此係採用壓力通風(Forced draft or Blast)，其風力自每方英尺數英兩(Ounce or oz.)至二十餘磅不等，故工作速率較高，且可節制。近來鋼鐵冶金之大量出產，皆賴此爐(第九圖為冶鐵鼓風爐)。



第九圖 鼓風爐

鼓風爐及其他直井爐之礦石與燃料，直接混合，不僅利用燃料之發熱為最有效，而彼此密接，燃料對於礦石之還原作用，亦在最有效之狀況中，故鼓風爐冶金，為最經濟之方法也。惟因礦石燃料及熔劑，均密接混合，若原料不純淨，則被還原而入於金屬中之雜質亦多，此點必須預先加以考慮也。

鼓風爐及其他直井爐之礦石與燃料，直接混合，不僅利用燃料之發熱為最有效，而彼此密接，燃料對於礦石之還原作用，亦在最有效之狀況中，故鼓風爐冶金，為最經濟之方法也。惟因礦石燃料及熔劑，均密接混合，若原料不純淨，則被還原而入於金屬中之雜質亦多，此點必須預先加以考慮也。

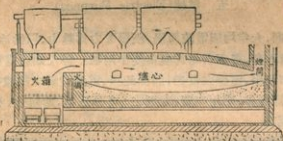
● 風力小而規模亦小之鼓風爐，謂之化鐵爐 (Cupola)，如翻砂廠之用以化生鐵者。此爐之目的，祇為熔化，而無冶煉等化學作用，故風力不大。又因所產氣體不多，即任其在爐口燃燒後逸去，此爐工作，大都時作時輟，故內壁可

風力較大之鼓風爐，規模宏大，高達數十呎或百餘呎，外係鋼殼，內砌上等火磚，全體大概可分三部：最下部 a 為爐心或爐底 (Hearth or Crucible)，所以盛液體金屬與爐渣，備有兩個出口，上部者稱出渣口 (Slaghole or Cinder Notch)，下部平爐底者為出金口 (Taphole)，蓋液體金屬如生鐵或冰銅等，即由此流出也。中段最熱帶 (hot zone) 如 b，稱為爐腰 (bosh)，在爐腰與爐心毗連處，沿爐周裝有三個至十餘個送風管 (Tuyere or twyere)，被壓之空氣，即由此送入爐中，而起燃燒，還原及熔化等作用，均在此帶完成。故爐腰一帶溫度最高，為保持爐壁火磚堅固耐用起見，外面用噴水 (Water spray) 冷之 (如冶鐵)，或外殼作夾層，其中空部分，令流水經過以冷卻之 (如煉銅)，此種裝置，稱為水套 (Water jacket)。最上部 c 謂之爐頭或「煙筒」 (Stack)，此部最長，溫度亦最低，裝料由頂上之爐口送入，氣體由下而上，經過全部裝料，而由爐頂逸出。大抵鼓風爐之氣體，均為有用氣體，或含大量一氧化碳 CO，可以燃燒 (如煉鐵爐氣體)，或含二氧化硫 SO_2 ，可作硫酸 (如煉銅鼓風爐氣)。若任其逸出，不但有經濟上之損失，而混入空中，其毒性亦將殃及附近之生物，普通均設法收集利用，如此則爐口另裝一「鐘與倉之蓋」 (Bell and hopper Covering)，而氣體則由氣管導出。

隨時修理。

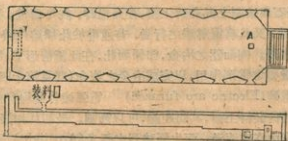
四 倒焰爐 (Reverberatory Furnace)

倒焰爐均為橫臥式，故長度較闊高為大。此爐構造，大概可分三部，如第十圖所示，在爐之左端為火箱 (Fire box)，中部為爐心 (Hearth or Laboratory)，他端為煙筒 (Stack)。火箱與爐心之間，隔一道火橋 (Fire bridge)，此係採自然通風，先於火箱內燒煤，所生火焰，經火橋時，由爐頂反射至爐心，最後由煙筒逸出。爐心之兩旁，均有爐門，可以開閉，為裝料及工人視察或攪動之用。



第十圖

若專作鍛燒之用時，裝料口在爐頂，位於煙筒之一端 (第十一圖)，礦石由此墮入爐心，自煙筒至火橋，略有傾斜，以便裝料由低溫之左端，逐漸被推動至火橋一端，此地溫度最高，裝料至此，已鍛燒完好，即由爐心之出口 A，墮入爐下之空車內，故工作可連續進行。



第十一圖

若作冶煉用時，爐心爲一凹形，可盛液體之金屬與爐渣。裝料口亦在爐頂之中後兩部，但爐門亦可用之。出口則由爐心低處，另作一橫穿半爐底之隧道，以達爐側外面。工作時，出口即以火土無煙煤或爐渣之混合物堵塞之，以防洩漏，至冶煉完成時，方打通。

爐爲耐火磚砌成，外部以建築鋼支持之。燃料普通用揮發物較高之煙煤，因其能發長焰也。但粉煤及柴油，均可用之。煉鋼之平爐 (Open hearth furnace)，實卽一氣體燃料之倒焰爐也。

此種爐之特點，卽爲裝料與燃料分開，僅火焰掠過前者之表面，多作煨燒及氧化熔煉或精煉之用。



五 電爐 (Electric Furnace)

電爐之原則，大半均因電流通過，祇變電力爲熱力，以供冶煉之用。除極少情形外，電流本身，多不引起其他重要作用也。吾人知通電於一阻力較大之導體後，熱卽發出，電燈之發光，卽係此理，電爐設計之根據亦如此。

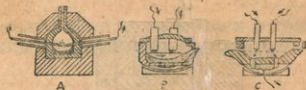
電爐之式樣頗多，應用亦廣，大別之，可分三類，卽阻力，弧光與感應電爐是也。茲略述之。

1. 阻力電爐 (Electric resistance furnace) 此係藉導體之阻力，因電流之通過而發熱。但導體本身，必須耐火，不易熔化，且須在高溫時，不易起化學變化，而致消耗，或雖有消耗，而補充價值甚廉者，方爲適宜。普通用於此種電爐之導體，爲石墨、焦炭或鎳鉻合金絲 (Nichrome Wire) 等類，作爲發熱體 (Heating elements)，置於爐中，待發熱時，欲加熱之物體，卽吸收其熱。故此類電爐，又稱爲間接阻力電爐 (Indirect resistance furnace)，非利用欲熱物體本身之阻力也。

此外有礦石與熔劑之混合熔化體，在高溫時，既可傳電，復具相當之阻力，且此種液體，又具有電解體之行動，若通電於此種熔化體後，發熱與冶金，可以一舉兩得。例如鋁之冶金，卽係如此，在此種情形下，電流除供熱力外，更能引起重要之電解作用，以完成冶金之使命 (詳見第十四章)。

2. 弧光電爐 (Electric arc furnace) 電弧爐普通均有兩個或三個石墨電極，置於爐內裝料上面，其間距離，可以節制。最初互相接觸通電後，漸漸分開，至使電由空中渡過，而生極強烈之弧光 (Arc light)，同時發生極大熱量，由輻射 (Radiation)，傳至裝料，以爲冶金之用，如電弧煉鋼爐卽是。第

十二圖，即示電弧爐之各種式樣。A 爲間接電弧 (Indirect arc)，電流未經過裝料，B 與 C 均爲直接電弧 (direct arc)，但在 B 中，電經過裝料，而在 C 中，則電透過裝料，且經爐底流出也。



第十二圖 電弧爐之式樣

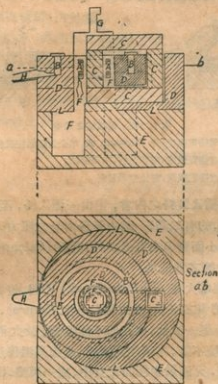
- A. 間接電弧爐，係 Stassano 式，熱全由輻射達裝料；
 B. 直接電弧爐，電經裝料，而不穿過；
 C. 直接電弧爐，電流穿過裝料。

亦有將兩電極，插入裝料之內者，電由一極入料，至他端由料入他極以流出，其發熱之來源，約有二點：一爲由裝料本身之阻力，一爲在裝料彼此接觸不密之點，發生微小而繁多之電弧。如作電石 (Calcium Carbide, CaC_2)，矽鐵 (Ferro-Silicon) 等之電爐是。

吾人須知電弧與電火花 (Electric Spark) 不同，後者係在高電壓 (high voltage) 下，使此不傳電之空氣，亦暫時游子化 (Ionize)，電遂得於一瞬間通過，而生火花，此後電壓一減低，火花即不能連續，故火花係斷續的，且須高電壓。若電弧則爲連續不斷，亦不須高電壓，蓋因高溫使炭極氧化，此種氣體炭 (Carbon Vapor)，充滿於兩極間之空中，成一導體，使電流通過，惟因其阻力極大，即發生熱與光也。普通電弧爐之作用，祇變電力爲熱力，並不須電流另生其他作用。

3. 感應電爐 (Induction furnace) 此爐係利用變壓器 (Transformer) 之原理，於裝料中生電，並利用裝料本身之阻力發熱，以熱自身，故亦稱直接阻力電爐 (Direct resistance furnace)，亦爲僅用電發熱之爐也。其構造係以高週率交流電 (High frequency current)，通過原線圈 (Primary Coil)，則在次線圈 (Secondary Coil) 中，即有感應電流發生。惟在此爐中，次線圈，即爲環形之爐心 (Circular bath)，而組成此「線圈」之導體，即爲被精煉之金屬。第十三圖示吉林感應電爐 (Kjellins Induction furnace)，C 爲電磁石，A A 爲原線圈，B B 爲次線圈，亦即裝料之環形爐也。H 爲出鋼口，D 爲

火磚，E爲爐基，F爲空間，G爲煙筒。由此可知，凡非導體之裝料，即不能發生感應電流，自不能用此爐冶煉也。



第十三圖 吉林感應電爐

凡備用電發熱之爐，當冶煉時，爐中種種化學作用必需之「藥品」或化合劑 (Reagent)，必須由外加入，等於化驗室中之用磁鍋 (Casserole)，坩鍋 (Crucible) 作實驗也。電力較其他普通燃料爲貴，故電爐祇適於高上之產品，但因其燃料潔淨，易於控制，且能生高溫等等特殊性質，爲他種爐所不及，故高上及難煉之產品，亦惟有此爐方能辦到也。

第六章 冶金之產品

冶金之產品甚多，其分類方法，亦因觀察點而異，且均無明白界限。茲為便利起見，以在普通溫度壓力時為限，分為固體、液體、氣體三大類。

一 固體冶金產品

重要之固體產品，除主要之金屬與合金外，尚有爐渣 (Slags)，冰渣 (Matte)，黃渣 (Speise)，昇灰 (Flue dust)，壁結與爐結 (Wall and hearth accretions)，及出爐廢物 (Furnace refuse) 等。除金屬與合金，已在第二章詳述外，茲將其餘分述於后：

a. 爐渣 (Slags) 關於爐渣之原理，已於第四章述及一部，吾人須知在任何火法礦石冶金，或金屬之精煉，除去金屬本身，及由煙筒逸去之物質外，一切雜質均變為液體之爐渣。爐渣之作用，概括言之，約有三點：(1) 在精煉時，能由粗金屬中提出雜質而保留之；(2) 渣輕上浮，能保暖並保護下層之液體金屬，免空氣，火焰及其他氣體，所發生之有害影響；(3) 在精煉時，爐渣為挾帶及分配氧氣之媒介物，以與金屬中之雜質起變化。故爐渣為冶金手續中不可免之物，亦為不可少之物也。

爐渣 (Slags) 為一總名，依其成分可分為矽渣 (Silicate Slags)，及非矽渣 (Non-Silicate Slags)。至冰渣與黃渣，嚴格論之，均不能視為「渣」，因多為有用之半成品 (Semi-finished Products)，尚可煉製，提出金屬，而非廢物也。爐渣之含主要金屬，少至最低限度以下，無須再行提煉者，謂之淨渣 (Clean Slag) (如冶鐵爐所出矽渣)，若尚有再提煉之價值者，則謂之富渣 (Rich or refinery slag)，如火法煉銅最後所出之渣，均須重行入爐也。爐渣為矽酸鹽及各氧化物之複雜固溶體，故亦應遵守溶液之定律 (Laws of Solutions)，如合金然。又 Slag 一名，多指帶矽酸之爐渣而言。

b. 矽渣 (Silicate Slags) 其成分為矽酸鹽 (金屬氧化物與二氧化矽)。在冶金學上，矽渣佔絕對重要地位，故其研究，亦最清晰。非矽渣之酸性部分，多為 P_2O_5 ， SO_3 ， B_2O_3 等，但亦非絕無 SiO_2 ，惟成份較少耳。因不關重要，故研究者較少，大概矽渣之原理，亦可援用之。實際上一切冶金爐渣，除冰渣

黃渣外，均為矽渣，不過其中有一小部之非矽渣混入耳。

按矽渣之化學成份，可分數種矽酸鹽（見第十表）。其稱為次，單純，二三，二重及三重矽酸鹽者，即視其中酸性之氧（Oxygen in acid），與鹽基之氧（Oxygen in base）之比率為 0.5, 1, 1.5, 2 或 3 而定。三重及二重矽酸鹽之熔點均較高，流動性不大，故在冶金手續上，均不希望產生，而計算裝料時，亦不如此配備也。

第十表 矽酸鹽之分類 (Types of Silicates)

| Name 矽酸鹽名稱 | Formula 公式 (R=金屬) | Ratio of O in base: O in acid 鹽基氧與酸氧之比率 |
|--------------------|------------------------------|---|
| 次 Sub-silica'e | $4RO \cdot SiO_2 = R_4SiO_8$ | 2:1 |
| 單純 Mono-silicate | $2RO \cdot SiO_2$ | 1:1 |
| 二三 Sesqui-silicate | $4RO \cdot 3SiO_2$ | 2:3 |
| 二重 Bi-silicate | $RO \cdot SiO_2$ | 1:2 |
| 三重 Tri-silicate | $2RO \cdot 3SiO_2$ | 1:3 |

有時因矽渣中之鹽基情形，分為含鐵與無鐵矽渣（Ferrous and non-ferrous slags）。如治鐵鼓風爐矽渣，即稱無鐵矽渣（法文稱為 Laitier），因其中幾無氧化鐵 FeO ，而其主要成分，僅為 SiO_2 , Al_2O_3 , CaO ($MgO + BaO$)，但煉鉛煉銅之渣，含 FeO 特多，故稱含鐵矽渣法文稱為 Scorie。

為便利配合鹽基與酸，而成各種矽酸鹽起見，特附巴林氏 (Ballings) 編製之對照表（第十一表），以為計算之用。反之，由一矽酸鹽之化學成分，而求其矽酸度 (Silicate degree)（即決定為何種矽酸鹽），吾人祇須先定其 SiO_2 之氧，與所有鹽基之氧之比率（參閱第十二表）。

第十一表 Ballings Table

| 1kg 鹽基 Ro, 若化為下列矽酸, 應需 SiO_2 之量 (kg) | | | | 1kg SiO_2 , 若化為下列矽酸, 應需 RO 之量 (kg) | | |
|--|-------------|--------|-----------|--------------------------------------|-------------|--------|
| 單純 Mono- | 二三 S. equi- | 二重 Bi- | RO | 單純 Mono- | 二三 Se. qui- | 二重 Bi- |
| .535 | .803 | 1.070 | CaO | 1.86 | 1.24 | .93 |
| .750 | 1.125 | 1.50 | MgO | 1.33 | .88 | .66 |
| .873 | 1.310 | 1.747 | Al_2O_3 | 1.14 | .76 | .57 |
| .416 | .625 | .833 | TaO | 2.40 | 1.60 | 1.20 |
| .422 | .633 | .845 | MnO | 2.36 | 1.57 | 1.18 |

例如一砂渣之成分為 SiO_2 40%, FeO 38%, CaO 22%, 在 SiO_2 之氧, 為 $40 \times .53 = 21.2$, 在兩種鹽基中之氧之和, 為 $38 \times .22 + 22 \times .286 = 8.44 + 6.30 = 14.74$, 故其砂酸度為 $21.2 \div 14.74 = 1.44$ 或 3:2 可知為二三砂酸鹽(表中 E 代表原子)。

第十二表 比率表(= $\frac{\text{O}}{\text{EO}}$)

| | |
|-------------------------|-------|
| CaO | .286 |
| BaO | .1043 |
| MgO | .40 |
| Al_2O_3 | .467 |
| FeO | .222 |
| MnO | .225 |
| SiO_2 | .530 |

若欲計算 MgO 之單砂酸鹽, 則一公斤之 SiO_2 需 1.33 公斤之 MgO (第十一表), 或 30 公斤 SiO_2 , 需 40 公斤之 MgO ; 若算 MgO 與 CaO 之單砂酸鹽, 則 30 公斤之 SiO_2 , 需 $\frac{\text{CaO}}{2} = 28 \text{ kg CaO}$ 及 $\frac{\text{MgO}}{2} = 20 \text{ kg MgO}$; 若算 MgO , FeO , CaO 三種鹽基之單砂酸鹽, 則 30 公斤之 SiO_2 , 需要 $\frac{\text{MgO}}{3} = 13.3 \text{ kg MgO}$, $\frac{\text{CaO}}{3} = 18.6 \text{ kg CaO}$, $\frac{\text{FeO}}{3} = 24 \text{ kg FeO}$, 故算法亦甚簡易。

在煉鐵時, 普通均為單純砂渣, 間亦有少量之二三及二重砂渣, 惟最後兩種, 多在倒焰爐用之。在煉鉛煉冰銅及火試金分析時, 亦以單純砂渣為宜。

砂渣之最大量出產, 惟在鋼鐵冶金。例如煉鐵之無鐵砂渣, 其成分幾全為 SiO_2 , CaO 及 Al_2O_3 , 此等三重組織, 曾經詳細研究, 在某成分範圍內, 熔點可降至 1400°C , 但因 MnO 等之存在, 熔點更可減低。酸性平爐煉鋼之砂渣, 其成分幾全為 SiO_2 , FeO 及 CaO , 在一定範圍內, 熔點可低至 1030°C 。

砂渣非一礦物, 無固定成分, 大概成分愈雜, 熔點亦愈低, 如 CaSiO_3 之熔點為 1500°C , 若與 CaF_2 成易熔體, 則減低至 1130°C , 煉鋼時多加螢石以稀釋(Thinning)爐渣, 卽此理也。

第十三表 爐渣之成分(鋼鐵冶金)

| | 冶鐵爐渣 blastfurnace | 酸性平爐渣 acid O. H. | 鹼性平爐渣 basic O. H. |
|--------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| SiO ₂ | 30—35 | 50—60 | 10 |
| CaO+MgO | 45—55 | 0—4 | 45—55 |
| Al ₂ O ₃ | 15 | 痕迹 | 痕迹 |
| MnO | 0—6 | 4 | 0—8 |
| FeO | <1 | 30—40 | 15—20 |
| P ₂ O ₅ | 0 | 0 | 15—25 |

爐渣因冷卻之快慢，其色澤、組織、硬度等性質亦不同，普通均為質硬而脆之無晶或玻璃狀(Vitrous)組織，無金屬之良好性質，少工程上之用途。

淨渣在冶金上，等於廢物，尚須用渣桶(Slag Ladle)運至遠處傾倒，但亦可設法利用，如作水泥(Cement)，渣絨(Slag Wool)，鋪路面或鑄成渣磚。

c. 冰渣(Matte) 冰渣為一不均勻之各種金屬硫化物(Sulphides)混合體，間亦含金屬氧化物，蓋為冶煉硫化物礦石之初步成品，間亦雜有少量砒銻。普通均含主要金屬成份甚高，以備復煉成粗金屬，與砂渣或非砂渣之情形不同。若用化學分析，則知其成分變化甚大，主要成分為硫、銅、鐵、鉛、銀，次要者為鋅、鈷、錳、鎳、銀、金、鈣等，再次則為少量之砒銻，若以冷卻曲線研究其組織，則知此種組合中，有成化合物者，如(Cu₂S)₂FeS，有成易熔體者，如Cu₂S-FeS, FeS-Pbs, PbsZns, Pbs-Ag₂S等，亦有成固溶體者，如Cu₂S-Ag₂S, Cu₂S-Cu, FeS-Fe, Pbs-Pb等是。

冰渣為暗黑色而脆之物體，惟光澤甚亮，斷口呈粗晶粒形(Coarse-grained)，或介殼狀(Conchoidal)，比重甚大，約為五至六，含鉛銀錫多者較重。

d. 黃渣(Speise) 黃渣一如冰渣，但多為金屬之砒化物及銻化物(Arsenides & Antimonides)，普通砒之成分較多，蓋為冶煉含砒銻礦石之初步成品也。其化學成分，亦與冰渣相似，不過易硫為砒與銻耳。其組織亦有化合物，易熔體及固溶體三種存在，但黃渣似較冰渣之化合物為多，在焙燒時，亦較不易氧化，黃渣性脆，多為黃色至灰白色之固體，光澤甚亮，惟比重則較冰渣為大。

e. 昇灰 昇灰者，凡用火法冶金，由煙道內逸出之固體物也。此噴出物，除大半為氣體外，昇灰係指帶出之固體，與能凝固之煙霧 (Smoke or fume) 或氣體而言。其成份大約為原裝料之細塊或微粒，為流動之出爐氣 (Flue gas) 所挾帶而出，有時在爐內已經過若干化學變化，如硫化物已變成氧化物或硫酸化合物，但多半均無足夠時間，能起任何完全變化者。若所用鼓風之壓力愈大，裝料遇熱之漲縮性不齊，而呈碎裂現象者，則此種昇灰之量亦愈多，其所成之煙霧或氣體，除水分外，多為易氣化或昇華 (Sublime) 之金屬及其化合物，如鋅、砒、銻、汞、銀、鉛等，或其他鹽類，如氯化鈉鉀等，或其他酸類，如三氧化硫等物，均在爐內熱處揮發，未及凝固，即為爐氣帶出，故昇灰之成分，至為複雜。

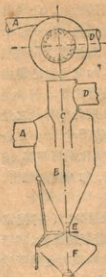
對於煙道噴出物之處理，因其目的而異，普通不外三種目的：(一)搜集固體之昇灰，再用冶金或化學方法處理之，以盡其利；(二)若氣體產物，為無用之廢氣，但含有害於生物之氣體 (Obnoxious gases)，如非鐵冶金時所生之硫氧氣或氮氣等，必先設法消除，方可放於空中，不生有害之影響；(三)若氣體產物，為一種氣體燃料，如煉鐵鼓風爐所出之氣，則為普通工業燃料，必先將固體灰塵，除去 90% 以上，若為內燃機之燃料用，更須清除盡淨，方合原則。

欲由氣流中，將固體昇灰分出，最普通經濟而有效之辦法，厥為乾分法 (Dry method of Condensation)。分出之昇灰，除極少量之水溶物 (Water Soluble Substances)，可以水分開外，其餘固體，可用團壓法 (Briquetting)，將細粒壓成適宜之塊狀，重行入爐冶煉，蓋昇灰中，幾全部為氣流之挾帶物也。

昇灰乾分法之手續，大約可分下列各部：

(1) 減低氣流之溫度——此為最有效之預先處理，因出爐之氣體，溫度均甚高，流動速率大，挾帶能力亦大，若加以冷卻，則縮小體積，凝固大量汽化體，減低速率，且使挾帶之物體，彼此距離接近，而易互相吸引，成一大而重之團體，易於下墜。實際係用一粗大之鐵管，將熱氣導出，一面減低流速至每秒十呎以下，一面使熱自管而輻射而消耗之，此管須有相當之傾斜 (40°—45°)，以防昇灰降落，而中途停滯。

(2) 減低氣流之速度——除因冷卻減低流速外，可再用其他方法，使較小之灰塵，亦可自行沉澱。此法係將氣管體積增大，變更氣流之方向，或增加流體之接觸摩擦力 (Surface friction)。第十四圖為勞伯氏離心除塵器 (Rob-



第十四圖

ert's centrifugal dust catcher), 氣體由 A 管成正切形, 射入粗大之除塵器 B, 經旋轉後, 上升入 C, 再由出口 D 離去。灰塵之速度因與內壁撞擊及改變方向而說減, 遂即沉下, 隔相當時間, 開 E 使墜入 F, 再由下口取出。或用曲折式煙道, 使氣體在粗大煙道中, 反覆升降, 遂將其挾帶之灰塵分出。

(3) 藉旋轉運動之離心力, 以分離灰塵——帶塵之氣體, 由風扇之中心送入, 由扇葉之四周, 用力拋出。設灰塵之比重為 1.5 至 3, 氣體為 0.013 則等量之力, 加於等體積之塵與氣上, 結果塵之加速率, 必大於氣 $1.5 \div 0.013 = 115$ 倍, 若以此離心力擊於圍扇之鐵殼上 (Casing), 則灰塵必滑下, 而落於腔內, 由下面陸續取出, 氣即由上部逸出。

(4) 濾過法 (Filtration)——氣流經過以前諸法, 將略大之灰塵均已除去, 溫度已冷卻, 最後方用此法, 以清除極細之昇灰, 或煙霧。如煉鋅廠最後提取揮發之鋅粉, 或氧化鋅粉是也。所用之物, 或為棉布, 或為法藍絨, 或為羊毛等物, 普通作成長四五呎, 直徑三呎左右之袋數百或數千, 套於 6 呎總氣管之各小支管, 過濾袋之下部, 直達地板上, 至上部開口處, 僅以銅絲布蒙之, 因絲布孔不久即為細塵所遮, 僅留此備緊急時之出口。每隔三小時, 即將布袋搖動, 以防昇灰積聚, 或酸類腐蝕。氣體溫度不能太高, 如超過 90°C 棉布即易烤焦, 如用羊毛品, 亦不可超過 120° , 但溫度低至四五十度時, 氣體內所含之酸類與水汽, 又將有腐蝕布袋之患。每次新袋, 只能用三個月左右, 且氣體過濾時, 所受阻力頗大, 必須有抽氣機 (exhauster), 將爐氣抽送入總管, 並增起壓力, 以便濾過。

(5) 電沉法 (Electric Condensation)——此法係使氣流中之煙霧帶電, 因異極電之吸引而下沉。科萃氏 (Cottrell) 用高壓直流電, 一端聯接於尖端之導體, 一端接於金屬板, 若二者相距不遠, 則此空間之電位差極大, 任何物體到此空間, 即帶與尖端相同之電, 而被對面板上之異極電所吸引, 此理謂之靜電沉澱 (Electrostatic Precipitation)。

f. 壁結 壁結多在直井爐上部較冷處結成, 為塊狀結晶組合物, 或為

裝料之小片，多少已經過化學作用，或為金屬化合物，在下部熱處揮發後，凝固於該處。若僅係黏附於爐壁上者，自易剝下，若與壁膜(Lining)，已起化學作用，牢不可破時，必須重換壁膜(Relining)。普通鋅下之壁結，擊破後，仍可入原爐冶煉之，惟鋅化物之壁結(Cadmia, $Zn + ZnO$)，則為例外，因又將揮發成壁結也。

g. 爐結(Hearth accretions or Sows) 爐結者，為沉於爐底之一種組合物，其熔點尚高於爐溫也。其成因多係裝爐及工作之錯誤，或因其他不幸事件(incident)發生所致。但在工作順利時，絕不致有此種壞結果也。爐結之有用與否，須視其成份而定，但對爐結之取出與處理，總為費時費工之工作。

h. 出爐廢物 此係金屬出爐後，尚有殘餘之液體，另加入少許灰沙攪拌，然後以坩堝出之廢物也。普通多為無用之物，但亦有可回入爐中者。

二 液體冶金產品

在火法冶金中，幾無此類液體產品，但在濕法冶金，如電解等手續，則常有之。如濁電解液(Foul electrolyte)是也。此種溶液內，大都含銅鐵鋅銻銻等金屬之鹽，且均達相當之濃度(Concentration)，其用途可分為(1)直接提取各金屬，(2)在團壓細礦石時，可用此液作黏合劑(Binders or Binding material)，使礦石藉以富化(Enrichment)，(3)加入焙燒之礦石中，使之富化。其為無用者，則棄去；但須視其中含有害物質否，如有。則須先設法中和之。

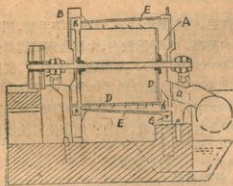
三 氣體產品

火法冶金，普通均有氣體產品，其成分之變化，亦甚懸殊，例如冶鐵鼓風爐之氣體，無氧存在，CO 高至 25%，CO₂ 反少，故為有用之氣體燃料。由非鐵冶金鼓風爐之氣體則反是，而多為廢氣(Waste gases)，亦有含大量 SO₂ 者。倒焰爐氣體，多含過量之空氣(Excess or unconsumed air)，此氣除可利用其廢熱(Waste heat)外，不能作他用。用硫化物礦石煉銅鉛之爐氣，多含二氧化硫氣，加鹽煨燒(Chloridizing roasting)之爐氣，含有氯及鹽酸氣，又如鋅銻鉍碲 Se 銻等揮發性之氧化物，亦在鍛燒時飛出，均可資利用。故氣體產品之成分，雖視其冶金方法及原料之性質與成分而定。普通言之，冶金

爐氣體，大都經過幾種清除灰塵手續，一以利用灰塵與煙霧，一以利用澄清之氣體也。

普通除灰與澄清氣體 (Dust recovery and gas purification) 兩種工作，均同時舉行，蓋將氣流中之灰塵除去，即是澄清作用。上述昇灰之除去，係用乾分法，若欲澈底澄清氣體，如煉鐵爐氣，用作內燃機燃料時，須清至每立方呎之含量少於 0.04 格林 (Grain) ($1 \text{ grain} = 0.0648 \text{ gram}$) 之灰塵，方不使氣缸與活塞受損，而減效率。此種清除程度，則非乾分法所能奏效，必須用濕分法 (Wet method of Purification) 以繼之。

例如冶鐵鼓風爐氣，經上述之勞伯氏除塵器後，凡體積較大之灰塵，均被除去。再經水洗塔 (Water scrubber)，內用焦煤塊或木柴塞之，塔頂為噴水器，使水平均四散噴出，慢慢透過各層之塞物而流下，欲洗之氣體，由下面放入，逐漸上升，與水滴相遇，其灰塵即被洗去，污水由下流出，清氣由上流出。



第十五圖

經過水洗塔之氣，仍含塵至 .20 格林，已合普通之用，但仍不適於內燃機，故最後清洗之工作，係用太生洗氣機 (Theisengas-washer)。此機效力極大，如第十五圖所示，形如一大臥式蒸汽輪 (Steam-turbine)，外腔 A 之內，有一大旋轉之圓筒 (Drum) D，此筒外表裝許多推進瓣 (blades)，旋轉時，將氣體成螺旋式，繞筒周推進。外腔之內壁，裝一層絲布 (Wire screen) E，沿腔之長度，於各處注入低壓之水，此水經絲布向內射出時，又為旋轉之瓣，打成細沫，此噴沫之方向，適與螺旋推進之氣流方向相反。欲清洗之氣，由一端 a 送入，即被旋轉之瓣扇 h 所吸，繞圓筒之周圍，逐步向他端推進，最後由瓣扇 (Vave) K 排出至 B，而達出口，沿途與反向之水沫，充分混合，故極細之灰塵，亦被洗下，所成細漿水或混水 (Slime) 由右下角 G 流出。此種洗法極有效，經此後，含塵可減低至 0.01 格林，望之幾與淨潔空氣無異矣。

第七章 冶金事業之計劃與準備

冶金事業，誠如第一章所述，必具理工商各項常識，方能通盤計劃。工程事業之成功，不惟創業難，守成亦不易，而此種守成，並非一成不變，必隨時留心考察，具日新之精神，且須留有餘地步，以防不測因子之發生。所謂臨事而懼，好謀而成者，必時時用心，不僅慎其始，更須以弘毅之精神，善其終也。

如作一周詳之計劃，必須先明許多先決之因子或條件。吾人對此類因子，不僅須認識，更須加以分析，換言之，即不僅有精密準確之知識，更須明此類因子變化之或然性與可能性，以留緊急措置之餘地。蓋大工程事業，投資鉅萬，工作分門別類，不知凡幾，其自始至終之組織系統，恰如人體各機關之整個複雜構造，缺一不可，萬一一部失調，則牽一髮而動全身。輕則全體不安，重則傷可致命，往往一事之停頓或失敗，僅因一小關節之不靈，誠可惜也。作者來滇五年，目及此類之例甚多，如路南圭山之煤，質量均佳，當時小規模計劃，將路面略加修築，運輸可無問題，乃不久西南抗戰局面大變，物價飛漲，致原計劃不能實現。推其停頓之原因，技術成本及銷場，均無問題，只是商品到市場之路途，發生障礙耳。故事先各項因子變化之慎重考慮，確為極重要之關鍵，若以為小節而忽之，則將來最嚴重之問題，或即由此發生也。

一種冶金事業，或其他製造工業，其物質建設，除土地之外，大約可分兩種：一曰設備，一曰原料。設備為比較有永久性之物質，可作廠內之財產，如房屋建築、機器、工具、傢具、儀器、用品等。此類設備，雖比較經用，但均非一成不變，永無損壞，故在成本會計時，均須按其壽命之久暫，以合理之折舊 (Depreciation) 算入之。同時吾人在最初設備時，即須按事業規模之大小，與壽命之久暫，以定設備之完備與永久性，以免資金之浪費，與中途常常改換，或修理之損失。若規模係由小而大，有逐漸發展趨勢者，更須留發展之餘地，與發展之方便。例如地下採礦，其設立基線，如何劃區分段進行，隧道之大小，及支柱之強弱等，均須以礦量及規模之大小，為先決條件。規模稍大之冶金工廠，普通均認為至少須有二十五至五十年之壽命，方值得一番籌畫與經營也。

所謂原料者，工廠每日必須之大量消耗品也。以冶金工程言，最重要之原料，約有五種：一曰礦石，或粗金屬，二曰熔劑，三曰燃料，四曰水，五曰空氣。普通冶金工廠，均須完備此五項，僅消費量有多寡之分耳。礦石粗金屬與熔劑，為冶金原料，其理至明，無容費解。燃料一項，包括三種功用，即全廠動力，冶金手續必須之能力，與還原劑是也。水與空氣，乍視之，似若無重大關係，細審方知為絕不可少之原料。選礦洗煤之大量用水，固無論矣，鍋爐蒸汽及工程用之加熱與冷卻等手續，均須藉水為媒介。焙烘、鍛燒、壓空氣機、及燃料之燃燒，均須藉空氣之作用以完成之，日產千噸生鐵之工廠，每日用水達數百萬加崙，用空氣達三千噸以上，若以量計之，此二項，均各超過其他任何一種原料之上，可見其重要性矣。廠址須近水源，亦為最初設計時重要之點。空氣在任何地點，均取之不盡，祇須設備風扇(fans)，鼓風機(Blowers or Bloweng engines)，或壓風機(Air Compressors)，及適當之管線，即可利用矣。

原料能按工廠之需要，照常保持其質與量，並能以最便利之運輸，嚴格履行其按時到廠之信條，以供廠用，方能使工作順利，實言之，原料之恆一質量，與按時給濟，為一切順利與有規則作業必需之條件。此又為設計時，所應密切注意者也。吾人須知同一礦石，若其雜石性質不同，所採之冶金方法與設備亦異。故必先對原料之質量，及運輸，有切實之認識及把握，方能着手設計，並擇定地址。吾國鋼鐵事業之發軔，係前清張文襄公督兩廣時肇其端，即吾人所知之漢冶萍鋼鐵廠也。當時國勢日弱，見到欲挽頹勢，非奠定重工業基礎不為功，自是張公卓見。惟因缺乏工程常識，一切原料及供給問題，均未考慮，即貿然決定，向英國訂製冶煉設備。待設備運到，張公已改督兩湖，廠址遂因人轉移，遷至漢陽，當時礦在何處，煤在何方，向毫無把握也。待工廠建築將完，方派人四出尋覓，幸在大冶發現鐵礦，但能煉焦之煤，尚無着落，為維持工廠開工計，不得不以巨舶，由德國遠涉重洋，運焦炭來廠應用，其狼狽情形，可想見矣。幸不久又在萍鄉發現焦性煙煤，至是原料問題，暫可解決。惟因預先不明原料之性質，所出生鐵，不能適用已有之設備與方法以煉鋼，結果惟有折換舊有，改弦更張，另起爐灶，而消耗更鉅矣。清廷認為糜費無功，嘖有煩言，為任勞任怨，補過圖功計，惟有借債，以充經費。日本即乘機染指，先後借給四千八百萬日元，訂立極嚴酷之條件，於是工程、行政、及原料與成品之買賣，均操日人之手，或作或輟，聽人命令，使役工萬人之資源機

關，嘔心費血，僅爲他人作嫁，陷於萬劫不復之地，不但壯志未遂，反以源資敵，痛心孰大於此！反觀日本之八幡製鐵所，其成立尚後於漢冶萍，而飛黃騰達，突兀三島，爲現在侵華與南進政策之重要資源地，兩相比較，奚祇天淵。作者之引此一段慘史者，絕無厚非先賢之意，但清廷之不如日本，加以贊助與維持，亦應負責。特作者欲證明凡一事業，必先待重要關鍵之解決，輔以充分之常識，及慎重之設計，而後事業之成功，方有希望，否則縱有精良之技術，亦終歸無用，甚至引起疾首痛心之不良影響，事業本身之失敗，尙爲失策之小者也。

工廠地點之選定，除具良好之水源外，須注意下列數點：（1）原料須便於運到廠內，（2）成品須便於運達市場，（3）廠址須有相當之伸縮性與安全性。關於運輸方面，原料總比成品之數量及體積爲大，故工廠應以接近原料之供給，較接近市場爲重。又運輸無論路程之遠近，水運終較陸運爲廉，路遠者，尤爲經濟。工廠地址，須留有餘地步，爲將來本工業及附帶工業之發展，更須顧及職工及地方福利之設施。廠內出產不能利用之廢物，其措置與堆積之地方，亦須預先籌畫，若爲有害物質，更須加以適當之處理，使不發生不良之影響，而妨害廠內或地方之秩序。廠址之安全，亦應預先考慮，如土壤情形，是否適宜，在特殊時節，是否有滯雨或大水之威脅，萬一當緊急時期，如戰爭發生，能否就近取得掩護，及可否作從容退避之準備。作者於來漢之先，曾參加一新興工業，當時選擇廠址，銀行家均主張設於上海，最後決定在南京附近。開工方半年，即逢七七事變，先擬之上海原址，不旋踵即於八一三淪於敵手。雖南京亦不免於十二月淪陷，但至少較有餘暇，可作撤退之準備，若在上海，勢必倉皇逃走，全部拋棄，可斷言也。此點固係特殊情形，普通設計，均以常態爲準，對於此項考慮，有時根本無法兼顧，因平時與亂時之安全地點，其情形適相反，但在可能範圍內，亦應爲考慮之一端也。

除上述各種原料、交通、運輸、市場及地方情形等，須有精密之調查與認識外，尙有一重條件，必預先解決，卽爲經濟原理之應用是也。例如一種工業，其原料、運輸等等，均無問題，則限制吾人設計之最大因子，卽爲資本。如爲雄厚資本，自可作大規模之設計，如爲逐步增加，則須分期發展之計劃，如係小本，則祇能小規模經營。反之，如原料等有問題，亦不能大規模經營，蓋二者能互相牽制也。其次爲供求問題，或銷場與市價問題，如銷場大而可盈，則市價與成本，雖相差甚微，獲利不多，亦可大量生產；反之則否。其次則爲

適應環境，例如某地，雖有原料，但交通不便，且原料之質量不特佳，而種類亦不完全，惟當地之生活情形甚好，人工亦廉，在此種情形下，是否值得發展，換言之，即能否經營獲利，則須俟精密之調查，設計及成本會計，在安全率下，可否與平穩之市價相比擬耳。惟在此情形下，縱可經營，亦祇能小規模為之，因其不測之因子(Variable factors)太多，因故發生障礙之危險性亦大，只能適應當時環境，不宜大規模發展也。反之，原料質量具佳，種類亦相當完全，且產品之銷路，亦無問題時，雖地方偏僻，亦宜大量舉辦，因其餘皆枝節問題，可以設法改進。總之，小規模事業，比較為暫時性質，隨環境變化為轉移；大規模事業，比較有永久性質，只要基本條件合宜，自不難征服環境，另開生面也。

事業規模之大小，極有關係。普通言之，規模愈宏大，出品愈繁多，愈合經濟原理，反之，則愈不經濟。如鋼鐵事業，歐美大組織，均自煤鐵探礦起，至各種工程機器成品止，其間利用副產品及廢物為原料之分廠，亦應有盡有，包羅齊全，故其管理與人工時間原料之利用，可以互相補助，通盤統籌，而得最有效之措置。若為小規模，凡所需要，均仰給於人，受制於人，且人工與時間之浪費亦多，附產物，大部無力利用，故其成本，均較大規模經營者為高，非在特殊有利環境下，實難與之競爭也。

廠址及規模既定後，即為具體之設計，換言之，即為技術問題也。吾人對於各項先決問題，既已有充分之認識，然後着手設計，但事先對於技術之選擇與信任，亦須經慎重之考慮。例如一種金屬之冶金，其方法不一而足，究以何法為最有利，則當視原料之品質，與其供給情形之難易而定。其中以原料之質為最重要，如其性質，根本不宜某種方法時，則絕不能勉強。大概言之，一般冶金方法，對於品質較好之富礦，類皆可以利用；若其品質適介於好壞間之臨界點時，則此事業之應否舉辦，或應用何法運辦，則應費一番研究工夫也。在此種狀況下，偶一不慎，以較粗率之法處理之，必遭失敗，若慎重從事，在同一情形下，亦可轉敗為功。

除工程外，尚有一重要點，即任何工程事業團體，必成一有組織，有系統，有規則之靈敏機構，方有效率，換言之，凡一事業，應有良好之行政與管理也。管理不得法者，呼應不靈，銜接不濟，時間金錢及人工，既多重複，而增消耗，復因缺乏，而損效率，甚至騙者策之，弛者懈之，不嚴號令，不明獎懲，凡事無規則可守，亦無正規可循，在此種紊亂狀態下，雖上述各項條件均備，

必終歸失敗，蓋工廠行政，與科學管理，乃順利工作之經常維持，任何事業成功之重要因素也。其範圍之廣，枝節之繁，自非本書所能及，學者可於專篇求之。惟因其重要性，決不在原料及技術等問題之下，故特表出，在設計時，不妨因時因地制宜，博訪諒諮，詳為規定，以維秩序，而增效率。

總上所述，約分四項。為簡單明晰計，茲概述如下：

1. 精密調查：

(a) 原料之質量及地點。

(b) 交通。

(c) 運輸。

(d) 市價。

(e) 市場。

(f) 物價及工資。

2. 經濟問題：

(a) 規定資本。

(b) 決定工廠規模。

(c) 選定事業中心點及地址。

(d) 交通運輸之整理。

3. 技術問題：

(a) 決定工程方法。

(b) 預定進行及生產程序。

(c) 規定發展及逐步實施方案。

(d) 測量製圖。

(e) 決定廠外佈置。

(f) 進行土木工程。

(g) 訂製及安裝機械。

(h) 成品製造及包裝。

(i) 修理部(包括鐵鑄木土電氣各部)。

(j) 材料室。

(k) 設立工程研究及實驗所。

(l) 工程會議及管理室。

4. 行政及管理：

A. 臨時辦法：

- (a) 土地之租借或購買。
- (b) 創業時代之組織及行政。
- (c) 呈報及立案。

B. 永久辦法：

(I) 管理規則：

- (a) 最高會議。
- (b) 永久之組織(組織大綱及系統辦事細則, 服務規則, 及其他)。
- (c) 職工問題(職工之生活問題, 如衣食住行醫藥衛生運動教育等)。
- (d) 工作制度。
- (e) 考勤辦法。

(II) 經營項目：

- (a) 基金會, 或財產整理委員會。
- (b) 起業費之科目及概算。
- (c) 營業之規定。
- (d) 採購之規則。
- (e) 總務之規定。
- (f) 會計之規定。
- (g) 行政與技術效率之研究。

上述各節, 不過示一種計劃開始時, 應注意之重要節目, 至詳盡之條款, 則非本篇範圍所能盡也。

另有一點, 雖無關設計, 確影響事業之成敗甚鉅, 亦為始業時應先加考慮者, 即政治問題, 與地方秩序是也。在政府贊助領導之下, 凡事輕而易舉, 否則磨擦橫生, 一籌不展。自清末以來, 吾國重要工業, 尙未樹良好基礎, 其間正不乏弘毅之士, 練達之材, 而奮關成功者, 寥若晨星。推其重大之困難, 類皆不在技術, 而在政治, 甚至與當他人民, 變成仇敵。作者近數年目睹此類實例, 亦不一而足, 反觀吾國之海關郵電銀行等略具規模之制度, 皆在政治力量不及之外人手中或租界上, 由孕育而發展, 而外人在國內所設之工廠, 反趾高氣揚, 居領導與統制之地位, 此皆工程界之所嘆惜, 政治界之所宜深慎者也。自我政府革新以來, 勵精圖治, 抗戰以來, 人民均知生產建國之重要, 在此種自覺自勵之下, 行見作者現在所提之問題, 將化為無問題矣。

第八章 燃料學(Fuel)

除水力發電外，工程上一切原動力，均仰給於燃料，在冶金工程上，除動力外，有時尚賴其化合力，以完成還原作用。水力既非隨時隨地可得，則燃料之重要可知矣。在相似之情形下，若燃料問題，能得一有效之解決，則事業之成功，即有大部分把握，誠以化學工業中，普通以燃料為消耗最大之原料也。考此部學問，亦甚複雜，茲逐一擇要討論之。

一 燃料與燃燒

燃燒 (Combustion) 者，為一種迅速之化學變^化（普通多為氧化作用），致有光與熱同時發生。凡一物質，若在空氣中燃燒，能發出熱量，以供工業上之用者，即謂之燃料 (Fuel)。普通燃料，均為還原劑，故在冶金上發熱與還原兩種作用，能同時利用。

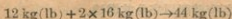
工業燃料之燃燒，必具下列三條件：(1) 燃料之溫度，必達最低之燃燒點 (Kindling Point)；(2) 須有足量之空氣，與之混合，以助其燃燒 (To support combustion)；(3) 須有時間以完全其燃燒。

火焰 (Flame) 者，氣體燃料燃燒時之現象也。故火焰之有無與長短，全視燃料中可燃揮發物之有無與多寡而定。例如木柴與煙煤 (Bituminous coal)，可生長焰，而木炭與焦炭 (Wood charcoal and coke)，則幾無火焰。但後者有時亦能於上面見極短之火焰，其成因約有二種：(1) 通入空氣過少，未能完全燃燒，遂有小部之一氧化碳 (Carbon monoxide, CO) 逸出，與上面空氣接觸時，燃燒而生火焰；(2) 燃料層 (Fuel bed) 過厚，最下部完全燃燒所成之碳酸氣 CO_2 ，復被上部熱炭還原，而成一氧化碳，再與上面空氣接觸而燃燒。

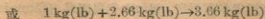
火焰有氧化，還原與中性焰 (Oxidizing, Reducing & Neutral flame) 之分，氧化焰最易得，祇需燃燒時，加以適當之過量空氣；還原焰較難，惟空氣欠足之帶煙火焰 (Smoky flame)，方近似之；中性焰在大量之工業燃燒，因無法控制，幾不可能，惟在電爐中用電發熱，不藉空氣助燃燒時，方可維持一真正之中性氣象 (Neutral atmosphere)。

二 分子化合熱與發熱量(Heat of formation & calorific power or heating value)

宇宙間一切現象，均可視為物質(matter)與能力(Energy)互相關係之表現。且均為定量之變化，不生不滅，工程上即據此原則，以作各種估計，其理已見前文。能力之存在，或為機械的，如位置與運動能力(Potential and Kinetic energy)，或為理化的，如聲、光、熱，或為電氣的，如電力(Electrical energy)，彼此均可互相變化。吾人須知任何物體，無論為單體或化合物，若其溫度在絕對零度(Absolute zero)以上，其本身均含有相當之內能力(Internal energy)，此內能多為位置能力，若因外界環境之變化，如溫度壓力或成份等，而引起本身之變化，無論此變化為形態的(如氣、液、固體)，組織的，或化學的，則其內能之涵量，亦隨之而增減，吾人利用冷卻線而發現其轉變點者，即依此理也。燃料代表一種位置能力，因溫度改變，而起化學變化，其內能亦變化，而過多之大量熱力，即發出以為吾人利用。此種變化，其關係均為定量的，換言之，即一定量之定質燃料，若使其恰到完全燃燒，則所需之空氣，及其所發之熱量，均為定量之常數。茲以炭為例：



+ 97200 Cal (175200 Btu), Heat of formation.

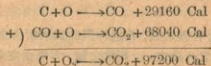


+ 8100 Cal (14600 Btu).....Calorific Power.

因 12 為 C 之原子量，12 kg 之 C，與 32 kg 之氧，化合成 44 kg 之炭酸氣(即一分子量)，同時發出 97200 Cal 之熱量(1 Cal = 1000 cal)，由此可知凡由原子(如 C 與 O)化合成一分子量之化合物，(1 gram molecular weight of Compound)，所發出之熱量，稱為分子化合熱，如炭酸氣之分子化合熱為 97200 Cal 是也。此量不僅可定二種或多種原子之親愛力，更可決定該化合物之穩固性(Stability)。普通此類發熱變化(Exothermic Reaction)之分子化合熱愈大，則化合物亦愈穩固，愈小者，即易分解。若為吸熱變化(Endothermic Reaction)，其分子化合熱，為一負數，則更不穩固矣。化學家即以此決定某種變化需要之情形(Condition)，並計算該變化進行之程度；但工程師所常用者，為一單位重量之燃料(普通以 1 kg 或 1 lb 計)，完

全燃燒時，所發出之熱量，而名此量為該燃料之發熱量，如炭之發熱量為 8100 Cal/kg 或 14600 Btu/lb. 是也。

設使一原子量(12 kg)之炭，不完全燃燒為炭酸氣，而僅成一氧化碳氣，則其分子化合熱，即減低至 29160 Cal，尚不及完全燃燒時之三分之一。再將一分子量之 CO (28kg)，與一原子量之氧 (16kg)，使之燃燒，而成一分子量之炭酸氣 (44kg)，又能續發 68040 Cal。兩次之熱，適與一次完全燃燒之熱量相等：



由此一例，可知兩重要點：一為能力不滅之證明，即凡一種有定變化，無論為一步或逐步完成，祇要其最初之原子，與最後之化合物，完全相同，量亦相等，則其能力之變化，亦為定量，前後一致。墨氏定律 (Hess Law)，即係此理，吾人據此，可以推算許多不知之分子化合熱。一為燃料之完全燃燒，極端重要，如煙筒中每逸出二十八公斤之一氧化碳氣，即為 68040 Cal. 之損失，故良好之設計，必使燃料完全燃燒也。

同一炭量，若減低其所需氧氣一半，即減低其發熱量至三分之二以上。初視之，似不可解，其可能之解釋，為炭變一氧化碳時，係由固體變為氣體炭，一部分熱，被吸收為氣化潛熱 (Latent heat of vaporization)，待完全燃燒時，始全部放出。

三 燃燒之計算

關於原動力之消費，自為工程師所重視，而須加以估計，且燃燒為一種定量化學變化，其計算亦甚簡易，但此種計算，均係根據理論，實際所需空氣量，必遠過於理論所需者，有時超過至理論量之 50% 或 100%，方能使定量之燃料，完全燃燒也。

科學上所用度量衡之單位，均為公制(即 c. g. s. 制)，但工程上多用英美制者，(即 F. P. S. 制)，惟現在亦多用公制，以求簡明。吾國改用市制，亦此意也。茲於書尾，附有常用度量衡簡明對照表，學者如能熟記數種基本單位，則彼此變化無難矣。

a. 空氣之理論重量 由 $C + O_2 \rightarrow CO_2$ 或 $12 + 32 = 44$ 之關係, 知每一公斤之炭, 必需 $32 \div 12 = 2.667$ 公斤之氧, 始完全燃燒。空氣中 O 與 N 重量之比為 $23.1:76.9 = 1:3.33$ (按空氣成份雖多, 實際儘可當作氧與氮之混合體, 準此, O 與 N 體積之比為 $20.8:79.2 = 1:3.81$), 故一公斤之氧, 即代表 $1 + 3.33 = 4.33$ 公斤之空氣, 故每公斤炭完全燃燒所需之空氣為

$$1 \times 2.667 \times 4.43 = 11.55 \text{ kg.}$$

同理可知一公斤之氫, 須與八公斤之氧化合為水, 即與 $8 \times 4.33 = 34.64$ kg. 之空氣化合也。

按燃料成分中所含有機之氧, 普通均假設為與所含之氫, 首先化合, 所用氫之量, 適為該氧量之八分之一, 剩餘之氫, 方係由空氣供給氧氣以燃燒之。此剩餘之氫, 稱謂有效氫 (Available Hydrogen), 茲以 H, O 等字母, 代表燃料成分之百分數, 則有效氫等於 $H - \frac{O}{8}$, 計算時, 亦祇以有效氫為需空氣助燃及發熱之源, 其理至明也。

硫在燃燒時, 吸取與本身等量之氧, 以成二氧化硫氣 ($S + O_2 \rightarrow SO_2$, $32 + 2 \times 16 = 64$), 故一公斤之硫, 即需 4.33 kg 之空氣。

設有一公斤之煤, 或他種燃料, 若已知成分, 則其完全燃燒所需之理論

$$\text{空氣重量必為 } \frac{11.55C + 34.64\left(H - \frac{O}{8}\right) + 4.33S}{100} \text{ kg.}$$

茲舉一例以明之, 設有一煤, 其分析為 76.1% C, 5.1% H, 8.8% O, 5% H_2O , 5% 灰分, 試求每公斤完全燃燒之理論空氣量。

答: 按煤中之氧, 必與氫化合, 按 $16 \text{ g O} : 2 \text{ g H} = 8.8\% \text{ O} : x\% \text{ H}$, $x = 1.1 = \% \text{ H}$, 即 8.8% O 需與 1.1% H 化合, 而所餘之有效氫, 即為 $5.1 - 1.1 = 4\%$ ($= H - \frac{O}{8}$)。故每公斤所需空氣量為 $11.55 \times .761 + 34.64 \times .04 = 10.17 \text{ kg.}$

茲將各種習見之可燃原子與其完全燃燒時之量與熱的變化, 列於第十四表, 學者計算時, 可常用之。

b. 空氣之體積 氣體之體積, 隨壓力與溫度而變, 空氣近似理想氣體 (Ideal or Perfect gas), 故其體積壓力重量及溫度之相互關係, 可以氣體定

第十五表 氣體重量比重表 (N. T. P.)

| | 分子量 | 比重(H=1) | 每公升重 (gm/l) |
|---------------------|--------|---------|-------------|
| H ₂ | 2 | 1 | .09 |
| H ₂ O(汽) | 18 | 9 | .81 |
| N ₂ | 28 | 14 | 1.26 |
| O ₂ | 32 | 16 | 1.43 |
| CO | 28 | 14 | 1.26 |
| CO ₂ | 44 | 22 | 1.96 |
| CH ₄ | 16 | 8 | .72 |
| SO ₂ | 64 | 31.9 | 2.87 |
| 空氣(乾) | (28.9) | 14.35 | 1.293 |

普通計算時，不必如此繁瑣，既由上法求得空氣重量，再由十五表上求得空氣之比重或密度為 1.293，由此可得空氣在 N. P. T. 之體積，再用波以耳及卡爾氏定律 (Boyle's and Charle's Laws)，改正其壓力與溫度，即得所求之體積如下：

$$\text{空氣之體積 (在 } t^{\circ}\text{O 及 Pmm 下)} = \frac{\text{空氣重量 kg}}{1.293} \times \frac{760}{P} \times \frac{273+t}{t} \text{ m}^3.$$

再有一直接而簡便之法，可以求得空氣之體積。即一分子量氣體，僅含有一個原子之炭者，如 CO, CO₂, CH₄ 等，則在 N. P. T. 時，每 m³ 之氣，均含有 $12 \div 22.32 = .54$ kg 之炭，而在完全燃燒情形時，吾人僅以 CO₂ 為對象，而 CO₂ 之體積又等於所費氧氣之體積，故 $\frac{\text{所燒之炭 (kg)}}{.54} = \text{CO}_2$ 之體積 (m³) = O₂ 之體積 (m³)，吾人知空氣中氧之體積佔 20.8%，故空氣之體積 = O₂ 之體積 $\div .208$ m³ (N. P. T.)。

c. 發熱量 計算一種燃料之發熱量時，普通均認為等於該物質中各種可燃成份完全燃燒所發熱量之總和。故必先有其化學成份之分析，以為根據。但最準確之法，惟有實際用量熱計 (Calorimeter) 測定之 (見後)。普通以計算法求得者，大都較實際測定者為高，蓋計算時，對於燃料中各成份之分解 (Decomposition)，及氣化 (Gassification)，所必需之隱熱，均缺而不計，而所發之熱，均為可利用之有效熱 (Available heat) 也。故計算結果，祇能為

一近似數，但在無法實驗，或欲覆核 (Check) 實驗結果時，亦為不可少之方法。

(1) 如燃料本身之可燃部分 (Combustible Part)，只有固定炭素 (Fixed Carbon, F.C.)，餘均為不可燃者，如灰份 (ash)，與水份 (moisture) 等，則此類燃料 (如焦炭或無煙煤是) 之發熱量計算法，至為簡單。例如一焦炭，其成份為 87% C，3% 水份，10% 灰份，則其發熱量約為

$$.87 \times 8100 = 7047 \text{ Cal/kg.}$$

(2) 成份複雜如煙煤等者，可以杜隆氏公式 (Dulong's Formula) 計算之。設有一煤，其分析為 C% F.C. H% H, O% O, S% S, 則其發熱量為

$$\text{C. P.} = \frac{8100C + 34500\left(H - \frac{O}{8}\right) + 2220S}{100} \text{ Cal/kg.}$$

用此公式計算，自為理論的發熱量，其疏忽之點有二：一、硫之燃燒，均成二氧化硫，其有少量之三氧化硫成者，亦忽略之。二、有效氫所成之水，亦假設為液體之水，但實際上任何工業燃燒，其由煙筒逸出之氣體，均有相當之溫度，所有水份，均為汽體逸出，同時帶去多量之可覺熱 (Sensible heat)，與汽化隱熱，鮮有能使盡放所蓄之熱，而為冷水者。故德國工程界，另用一種實際算法，即實際發熱量，應從理論上，減去由水份蒸出之熱量。吾人雖知水之汽化熱為每公分 540 cal，但據 Regnault 按工業燃燒實情測定，應為 606.5 Cal，又每一量之氫能與八量之氧，化合成九量之水。故實際發熱量之計算，應為：

$$\frac{8100C + 34500\left(H - \frac{O}{8}\right) + 2220S - (9 \times H + W) \times 606.5}{100} \text{ Cal/kg.}$$

其中 W 表示煤中原來含有之水份百分數。

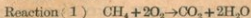
(3) 液體與氣體燃料，發熱量之計算亦如此，惟須先有其準確之分析。此點在液體燃料，極不易作到，因其所含之炭氫化合物，種類既多，成份亦雜，故最簡之法，普通均以量熱計，直接測定之。

關於氣體燃料發熱量之計算，較固體為繁，蓋因氣體發熱量，均不言重量，而言體積。普通為每立方公尺若干大卡 (Large Calorie, Cal)，或每立方呎若干 Btu (讀者須知書中凡言氣體體積，而不另規定者，均指在標準情形 N.P.T. 而言)。氣體由重量變為體積之法，亦至為簡易，因在標準情形

下，一分子量之任何氣體，其體積均為 22.32 公升也。故欲求每公升氣體，能發出熱量若干，吾人祇須將該氣體一分子量燃燒之總熱量，以 22.32 除之即得，茲設一例以明之：

茲有一冶鐵鼓風爐氣體 (Iron blast furnace gas)，其成份為 .2% CH₄，25% CO，3% H₂，12% CO₂，59.8% N₂，試求其發熱量 (按普通氣體之成份，若不另書明為重量，則均為體積之百分數)。

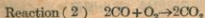
解：檢氣體之可燃部分，僅為 CH₄，CO 及 H₂ 三種，故其餘之 CO₂ 與 N₂，可置之不問。現逐一推算之



$$\text{分子化合熱} \quad 21700 + \text{O} = 97200 + 2 \times 57200$$

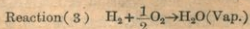
$$\begin{aligned} \text{一分子量 CH}_4 \text{ 完全燃燒所發之熱} &= 97200 + 2 \times 57200 - 21700 \\ &= 189900 \text{ Cal.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{每公升 CH}_4 \text{ 在 N. P. T. 燃燒所發之熱} &= 189900 \div 22.32 \\ &= 8520 \text{ cal/l.} \end{aligned}$$



$$\text{分子化合熱} \quad 2 \times 29160 + \text{O} = 2 \times 97200$$

$$\begin{aligned} \text{每公升 CO (N. P. T.) 燃燒所發之熱} &= (97200 - 29160) \div 22.32 \\ &= 3048 \text{ cal/l.} \end{aligned}$$



$$\text{分子化合熱} \quad \text{O} + \text{O} = 58060$$

$$\text{每公升 H}_2 \text{ (N. P. T.) 燃燒所發之熱} = 57200 \div 22.32 = 2560 \text{ cal/l.}$$

$$\text{由一公升氣體中，從 CH}_4 \text{ 所發之熱} = 8520 \times .002 = 17.04 \text{ cal}$$

$$\text{從 Co 所發之熱} = 3048 \times .25 = 762.00 \text{ cal.}$$

$$\text{從 H}_2 \text{ 所發之熱} = 2560 \times .03 = 76.80 \text{ cal.}$$

$$\begin{aligned} \text{一公升氣體所發之熱 (即發熱量)} &= 855.84 \text{ cal/l at N. P. T. 或} \\ &855.84 \times .11236 = 96.17 \text{ Btu/c.ft} \end{aligned}$$

發熱量可用 Cal/kg, cal/g 或 Btu/lb. 表示之，此外尚有一熱單位，即攝氏單位 (Centigrade unit 或 Pound Cal)，即每一磅水，升高攝氏一度所需之熱量也。其相互之關係如下：

$$1 \text{ lb-Cal} = 1.8 \text{ Btu.}$$

$$1 \text{ Btu} = .55 \text{ lb-Cal.}$$

$$1 \text{ Cal} = 1000 \text{ cal} = 3,968 \text{ Btu.}$$

$$1 \text{ Btu} = .252 \text{ cal.}$$

$$\text{Btu/lb} : \text{Cal/kg} = 1.8 : 1.$$

$$860 \text{ Cal/hr.} = 1 \text{ kw.}$$

$$0.239 \text{ cal/Sec} = 1 \text{ watt.}$$

$$102 \text{ kg. m./Sec.} = 1 \text{ kw.}$$

d. 發熱度 (Calorific intensity) 發熱度者，為一定量之燃料，在標準情形下，於空氣中完全燃燒，所得理論上最高之溫度是也。此為最理論之計算，必須假設其所發之熱，毫無損失於傳導 (Conduction)，對流 (Convection) 及輻射 (Radiation) 上，而完全為燃燒產品 (Products of Combustion) 所吸收。此在工業燃燒上，係一絕對不可能之事，故算出之發熱度，均為理想數目，離實際頗遠，惟可作一種指數及比較耳。

在理想情形下，一種燃料之發熱度，必視其重量，及燃燒產品之比熱與量為轉移。若為一定量之燃料，則其發熱量，即為一定量。若其燃燒產品之量少，而比熱亦小，則發熱度必高，反是則較低。設取一單位重量之燃料，其發熱量為 C ，若發熱度為 T ，各種燃燒產品之量與比熱為 W_1W_2 及 S_1S_2 等，則 $C = T(W_1S_1 + W_2S_2 + W_3S_3 + \dots)$ 。

吾人可知除上述減少 W 與 S ，可增高 T 外，若能設法使 C 加大，如預先加熱 (Preheating) 於所用之空氣，使帶進一部之可變熱，亦為升高發熱度之一法也。

按此公式，似甚簡單，但計算時，則頗複雜。因燃燒產品之比熱，非為常數，均與溫度之升高而增加也。設取標準情形下一立方公尺之氣體為準，則此定量之氣，在 $t^\circ\text{C}$ 時，其比熱可以一方程式表示之：

$$S = .303 + .000044t \text{ Cal/l}^\circ\text{C} \text{ (氫氣及 CO 均適用之)},$$

$$S = .406 + .00018t \text{ Cal/l}^\circ\text{C} \text{ (適用於 CO}_2\text{)}$$

$$S = .373 + .00010t \text{ Cal/l}^\circ\text{C} \text{ (適用於水汽)}$$

在 0°C 與 $t^\circ\text{C}$ 之間，吾人可求得一平均比熱 (mean specific heat), $S_m = \{(S_0 + S_t) \div 2\}$ ，而升高此定量之氣由 0°C 至 $t^\circ\text{C}$ 所需之熱量，必為平均比熱與 t 之積， $S_m \times t$ ，茲列如下：

$$\begin{array}{ll} S_m & S_m \times t \\ .303 + .000022t & .303t + .000022t^2 \quad (\text{H}_2, \text{O}_2, \text{N}_2 \text{ \& } \text{CO}). \end{array}$$

$$.406 + .00009t \quad .406t + .00009t^2 \quad (\text{CO}_2).$$

$$.373 + .00005t \quad .373t + .00005t^2 \quad (\text{H}_2\text{O}).$$

茲舉一例以明之。設有炭一公斤，於下列各情形下燃燒之，試求其發熱

度：(1)以理論完全燃燒量之氧燒之；(2)以理論完全燃燒量之乾空氣燒之；(3)如第(2)所規定，但加 50% 之過量空氣(Excess of air)；(4)如第(3)所規定，但所用空氣，均預先熱至 800°C 然後用之。

解：(1)炭之發熱量為 8100 Cal，而此量必全為 CO_2 所吸收，因在此情形下，祇有 CO_2 為惟一之燃燒產品也。又所成 CO_2 之體積，等於所用氧之體積，故可算出如下：

$$\begin{aligned}\text{CO}_2\text{ 之體積} &= \{32 \div 12\} \div 1.43 = 2.667 \text{ kg} \div 1.43 \\ &= 1.86 \text{ m}^3 \text{ at N. P. T.}\end{aligned}$$

$$1.86(.406 + .00009 \text{ t}^2) = .756 \text{ t} + .000675 \text{ t}^2 = 8100.$$

$$\therefore t = 5045^{\circ}\text{C}.$$

(2)如用空氣則燃燒產品為 $1.86 \text{ m}^3\text{CO}_2$ 與

$$1.86 \times 3.81 = 7.086 \text{ m}^3\text{N}_2.$$

$$\begin{aligned}1.86(.406 \text{ t} + .00009 \text{ t}^2) + 7.086(.303 \text{ t} \\ + .000022 \text{ t}^2) = .000324 \text{ t}^2 + 2.900 \text{ t} = 8100.\end{aligned}$$

$$\therefore t = 2235^{\circ}\text{C}.$$

(3)如用 50% 過量空氣則產品為 $1.86 \text{ m}^3\text{CO}_2$ ， $7.086 \text{ m}^3\text{N}_2$ 及

$$\frac{1.86 + 7.086}{2} = 4.473 \text{ m}^3 \text{ 空氣}.$$

$$\begin{aligned}\therefore 1.86(.406 \text{ t} + .00009 \text{ t}^2) + (7.086 + 4.473)(.303 \text{ t} \\ + .000022 \text{ t}^2) = .000422 \text{ t}^2 + 4.26 \text{ t} = 8100.\end{aligned}$$

$$\therefore t = 1635^{\circ}\text{C}.$$

(4)若預先熱至 800°C ，則加入之可覺熱

$$\begin{aligned}(1.86 + 7.086 + 4.473) \{ .303 \times 800 \\ + .000022(800)^2 \} = 3216 + 190 = 3406 \text{ Cal.}\end{aligned}$$

$$\therefore .000422 \text{ t}^2 + 4.26 = 8100 + 3406 = 11506.$$

$$\therefore t = 2155^{\circ}\text{C}.$$

以上之計算，均假設炭、氧及空氣，皆在標準情形下。在(1)項中，因減少吸熱之燃燒產品量，遂得極高之溫度。(2)與(3)兩項之差別，全因過量空氣加多，而溫度減低，故燃燒時空氣之節制，極為重要。(3)與(4)之區別，則為預先加熱所致，此亦為燃料經濟上重要之點，以後當申論之(見第五段)。

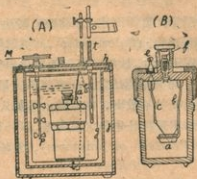
四 發熱量之測定

固體及液體燃料發熱量之實際測定，以前雖有數法，但均粗糙不準，已成歷史遺跡，現在均採用量熱計 (Calorimeter)，為標準儀器。其方法係將一定量之燃料，普通約一公分左右，放於一堅固而無化學作用之金屬燃燒盒，或「炸彈 (bomb)」內，而完全燃燒之。此盒置於定量之水中，而盛水之器，又完全與外界絕緣，使熱不散出，亦無熱由外加入，於是燃料所發之熱，全為水所吸收，再由水與量熱計先後之溫度差，以計算該燃料之發熱量，其原理如吾人用混合法 (Method of mixtures)，求物質之比熱完全相同也。

燃料既密閉於盒內，同時必閉有足量之氧，以供其完全燃燒，供給此氧之來源，約有兩種方式：一為放置足量易分解之氧化物，普通均用純二氧化鈉 (Sodium peroxide, Na_2O_2)，當燃燒開始時，此物能分其一部之氧，以供燃燒，此種方式，稱為氧化物式量熱計 (Peroxide type calorimeter)。惟近來所用者多為氧氣爆炸式量熱計 (Oxygen bomb calorimeter)，盒內燃料裝好密蓋後，再由預備之小孔，以高壓氧氣通入充滿之，以直接供給燃燒。前式較老，雖應用頗便，但氧化物之分解，燃燒後，碳酸氧復與氧化鈉 Na_2O 化合為碳酸鈉，以及其他種種化學變化，均引起內能增減之變動，除非研究此類變化之種類與程度，加以改正，不能得真正之發熱量。後式則為新式，燃料即在氧氣中燃燒，無其他副作用，但須備有壓縮氧氣筒 (Compressed oxygen cylinder)，且其所用之盒或炸彈，亦須特別堅牢，以耐突燃之爆炸。

如第十六圖，A 為一氧氣爆炸式量熱計，B 為其燃燒盒或炸彈，B 為特殊合金所製，異常堅固，並不為因燃燒而引起之化學作用所影響。當密蓋後，絕不漏氣，其容量普通約為半公升，f 為密蓋後之連通管，可以安全啓閉，高壓之氧，即由此通入，普通壓力約為 20 至 25 氣壓。設以後者計算，若室溫為 0°C ，則加入之氧，可供 $\frac{(25-1) \times .5 \times 1.43}{2.67} = 6.4$ 公分炭之完全燃燒矣。實驗時，先秤約一公分之燃料，置於白金杓 a 中，c 及 b 為二電極，b 連於蓋及底，由 d 引出，c 亦經過蓋面，由 e 引出，惟在經過處，與蓋之金屬絕緣，俾電流必經過 c a b 也。實際之燃燒，係 c 與 a 間，另連接一小段之細鐵絲或白金絲，此絲半截埋於燃料中，通電時，此絲即為引線 (fuse)。

立刻紅熱，而引起全部燃燒。



第十六圖 氧氣爆炸式量熱計

A 為量熱計全部之剖面略圖。g 為一盛定量之水之銅器，先將已裝好之炸彈，置於水中；將 e d 兩線，連於外面之電池，任何時一按電鈕，即可開始燃燒。同時在水中置有用小馬達 M 發動之旋轉槳 P，始終不停，以使水之溫度均勻，另置一準確之溫度表 t，可測至 $\frac{1}{20} - \frac{1}{100}^{\circ}\text{C}$ ，而此全部，置於一雙層之絕緣套箱 j 內上部覆以蓋 h，使在實驗時，整個量熱計之四週，均在一恆一狀況下。最近更有一種絕熱式量熱計 (Adiabatic type calorimeter)，其套箱中之水，始終以電保持其常溫，務使量熱器在一恆一環境中，雖非絕對在一熱的絕緣體內，但受外界影響而起之熱變化，其速度必為極有規則，吾人可得一較精確之改正。

量熱器內之水，普通開始時，均使其溫度較室溫低二三度，p 始終不停，每半分鐘，記其溫度，最初五分鐘，可以觀其溫度升高率，此時開始燃燒，以後可見溫度上升頗速，約三分鐘左右，即達最高記錄，以後開始慢慢下降，此時仍記錄五分鐘，以觀其下降率，由此吾人可得一準確之溫度升高數。

量熱計本身(包括炸彈，盛水器，旋轉槳，及溫度表等)之水當量 (Water equivalent)，須預先精密測定。其法一如上述，惟以標準純粹可燃物質燃燒之，如石樟腦 (Naphthaleno C_8H_8)，木炭酸 (Benzoic acid, $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$) 等皆可，從已知之發熱量，而求其水當量。若所用量，能使其發熱之結果，與實際測燃料之結果相似，或相差極微時，則冷卻之改正 (Cooling corrections)，

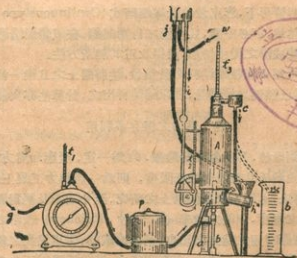
在工業上儘不可用，因均在相似或平行狀態下也。在此情形下，其計算之簡單公式為：

$$nH = W(t_2 - t_1) + K(t_2 - t_1)$$

$$H = \frac{(W + K)(t_2 - t_1)}{n}$$

式中 n 為燃料之重，(以公分計)， H 為欲求之發熱量， W 為水之重， K 為水當量， t_1 及 t_2 為水之最初與最高之溫度，或 $t_2 - t_1$ ，為水受熱所升高之溫度。由此所得之 H ，嚴格言之，除燃料之發熱量外，並包括其他副產物之分子化合熱，如微量之硝酸及硫酸，而引線所發之熱亦在內。如作精密測驗，此類酸類之量，可以分析定之，引線重量，亦預先秤定，以便有所改正。普通此量甚微，工業上均略而不計。

氣體燃料之可燃部分，均為混合體，燃燒時祇此部直接發熱，無分解等副作用。若已知其成分，則其發熱量，可由各別計算而得，且較準確可靠，若欲實際測定，則上述儀器，容量甚小，頗不適宜。普通所用者，多為容克教授所設計之測熱器(如十七圖)。A 為測熱計之本身，內部結構，如火管式之鍋爐，使本生燈 B 所燒之火焰，及其熱燃燒產品，曲折行管中，全部之熱，為水



第十七圖 容克氣體燃料測熱器

收吸，最後由 h 逸出時，其溫度已降至室溫矣。氣中之氫，燃燒成水後，即冷凝由 d 流出於量管 a 內，水由 w 加入一溢流器 (Overflow)，其過量之水，即由 j 溢出，永遠保持一定之水壓高度 (Hydro static head)，使經 i 流入 A 之水，常為一定之速度與流量。 e 為一流量開關，一經節制合宜，即不須更改，以保持每分鐘流入之量為一常數，水由 c 流出，當實驗時，使流入大量管 b 內以測定之。流入與流出之水之溫度，由溫度表 t_2 及 t_3 測定之。普通每一次測驗，約歷五至八分鐘，當 d 中已滿兩公升時，即停止燃燒，氣體由 g 入氣體流量計 (Gasmeter) (溫度由 t_1 測定之)，再經壓力調節器 P ，而入 B 燃燒之，每分鐘燃燒之量，不可太少，須 t_3 與 t_2 之差，約 20°C ，但須不宜太多， t_3 之最高數，不得超過 35°C ，以免蒸發之損失。此測驗須極有規則，各部先經節制合宜後，即保持不變，然後測驗開始。 t_3 與 t_2 之差，始終幾為一常數，無大差異。

設 H 為該氣體之發熱量 (每公升之卡數)， W 為每分鐘水之流量 (公升)， t 為流入水之平均溫度， T 為流出水之平均溫度， g 為每分鐘燃燒氣體量 (公升)， a 為每分鐘冷凝之水重 (公分)，則

$$H = \frac{W(T-t) - 540d}{g}$$

在此種規則情形下，容克量熱計為連續式 (Continuoustype)，可用以連續測氣體之發熱量，不必中斷，且可使之自動記錄。在氣體製造廠內，可用以隨時指示其氣體成份之變化情形，藉得改正其製造方法。

此儀器亦可用以測液體燃料之發熱量，法將圖上之 B 換一油燈，置於一平台天秤上，其已燃燒之液體量，可以隨時秤出之，計算法亦與前相同。

五 熱力之保存或利用

一切燃料到廠後，其所含之發熱量，均為一定，至應如何方能充分利用此定量之熱，或減低其耗廢至最低限度，則為一切熱力工程上最重要之問題，其合理之解決，必需科學與技術上之研究，至今猶未及絕對滿意程度也。

能力利用之程度，以能力效率 (Energy efficiency) 表示之。即所有加入之能力，與實際有用之能力之比也，例如熔鐵時，所用焦炭之總發熱量，與鼓風電力量之和，為加入之能力，而有用能力，僅為液體鐵所含之熱量，其比率不過 0.2 或百分之二十左右，若用坩鍋熔化，其效率僅達百分之十，即最

佳之電爐，亦在百分之四十以下，一切熱機 (Heat engines) 之效率，類皆小於百分之四十。可知吾人真正利用熱力之程度，尚不及一半！雖理論上可想到若干方法，以增進效率，但實事上困難殊多。如大規模工業，欲使整個系統毫無破綻，俾熱力不致因輻射，傳導等由而耗失，幾為一不可能之事，至多祇能設法減低此種耗失耳。

欲減低能力之損失，除改良設計，建築等等正常方法外，尚有積極與消極之法。所謂積極法者，即盡量阻止或減低凡可帶走或消耗一部分能力之來源，如減少燃料中之水份灰份等。消極法者，即由實際無法避免之廢熱 (Wasteheat)，抽回一部，以資利用。如煙筒之廢熱氣 (Hot fluegas)，帶去一部熱力，此為實際不可免之事，若不利用，總歸損失。倘在經濟情形下，充分利用，至少可收復失熱之一部，如裝置廢熱經濟器 (Economizer) 以熱水，或廢熱鍋爐 (Wasteheat boiler, W. H. B.) 以生蒸汽，或其他辦法，對於熱力經濟，均不無小補也。茲概括此意，以第十六表表示之。表中各節，讀者不難一目了然，惟有兩點，因其效用宏大，必須加以說明，即A項1節與B項3節也。

第十六表

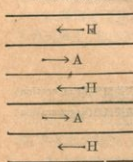
| | | | |
|-------------|--------------------|--------------------------------------|--|
| 熱效率之增進 | (A) 積極法 (減少燃燒產品之量) | (1) 用稀少之過量空氣 | (a) 間接預熱 (Recuperation) (b) 直接預熱 (Regeneration) |
| | | (2) 減少空氣之量 (如可能) | |
| | | (3) 減低燃料之水份 | |
| (4) 減低燃料之灰份 | | | |
| (5) 其他 | | | |
| 熱效率之增進 | (B) 消極法 (收復廢熱) | (1) 加廢熱經濟器 | (a) 間接預熱 (Recuperation) (b) 直接預熱 (Regeneration) |
| | | (2) 加廢熱鍋爐 | |
| | | (3) 空氣及燃料之預熱 | |
| 熱效率之增進 | (C) 正 常 法 | (1) 注意完全燃燒 | (a) 間接預熱 (Recuperation) (b) 直接預熱 (Regeneration) |
| | | (2) 改良設計及構造 | |
| | | (3) 注意熱之絕緣 (Thermal insulation) 以防耗失 | |
| | | (4) 注意熱力之節制與管理 | |
| | | (5) 其他 | |

所謂用極少之過量空氣者，實含有兩層意義。一曰過量空氣，吾人須知凡一種燃料，若僅以理論之空氣量供給之，普通均不能完全燃燒，尤以固體燃料為甚，因與空氣接觸而甚少也。此種情形，無論灰中有殘餘之炭，或煙筒氣體中有未燒之一氧化碳，均為極大之損失，曾於本章第二段詳言之。故普通燃燒均用過量空氣，有時須使煙筒氣體含百分之一之自由氧氣 (Free oxygen)，皆所以保證完全燃燒也。惟過量太多，亦不經濟，因空氣體積五分之四為氮氣，除帶去一部之熱量，由煙筒逸去外，毫無他用，故氮氣以愈少愈佳，且空氣中多含水份，其影響與氮氣同，且因比熱較大，所帶熱量亦較多。所以過量空氣，有極少之限制，實為增進效率之第二意義也。明乎此，則 A 項內所有各節之理由，均不待贅言矣。

在工業上鼓風燒煤所得之最高溫度，不過 1200°C 左右，若以發熱量最高之氣體燃料，小心節制空氣燃燒之，最高溫度，可達 $1300-1400^{\circ}\text{C}$ ；設將適量之氣體燃料與空氣，預先加熱，然後使之燃燒，則 1600°C 以上，亦不難獲得；此情曾於發熱度之計算題內，加以證明。故空氣與燃料之預熱 (Preheating)，不僅能增加熱力之經濟，而在冶金上，有時為必不可少之方法。例如用平爐法 (Open hearth process) 煉鋼，若無此法增高溫度，勢將無法使鋼煉化也。

此種預熱法，直接較間接為尤有效，因前者可達極高之溫度，而後者則否也。茲略述之：

間接預熱器 (Recuperator)，係利用對流原則 (Counter-Current Principle)，能收復一部分廢熱氣體之可覺熱。其法使帶



第十八圖

A = Air

H = Waste heat gas

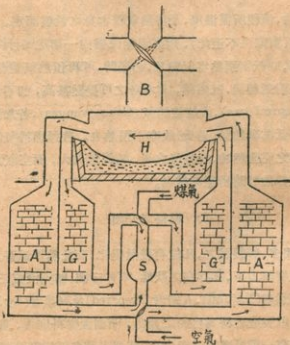
熱之燃燒氣體產品，向一定方向，包圍許多氣管而流，欲熱之氣體，即在此管內，以相反之方向流動，熱即由管壁傳入，而被吸收。如十八圖所示，係以廢熱氣 H 熱空氣 A，且左端之空氣為最冷，右端之廢氣為最熱，結果係以最熱廢氣熱最熱之空氣，以較冷者，預熱冷空氣，必如此，方為最有效也。按此種對流原則，應用甚廣，以後可隨處見之。

若將間接預熱器之管加多並加長，則受熱面與受熱時間，均可增大，而預熱亦較完全。以前用生鐵管，但超過 400°C 時，即易上銹。現用厚約一吋

之火土製成，但須防止漏隙，否則因內外壓力不齊，致彼此滲透，均非所宜。

間接預熱法，除有漏隙危險外，因火土非極良之導熱體，故效率不大。且火土管又不堅固，容易破壞，普通較滿意之裝置，或為少數之長管，或為多數之短管，但以後者較好，因便於清除管內積塵也。此法多用於反射爐，或蒸餾爐，預熱空氣，至多亦不過預熱至數百度耳。

直接預熱法(Regeneration or Regenerative System)，亦稱西門氏法(Siemens system)，係威廉西門氏(William Siemens)於一八五六年所發明。初用於熔化玻璃，以後除預熱空氣外，又將燃料氣化，加以預熱，遂應用於平爐法(Open hearth Process)煉鋼，至今為標準大量煉鋼法。此種發明，實係燃料學之重要進步，非僅燃料經濟而已。此法係一更迭進行之手續，先引爐心H之高熱廢氣，經空氣與煤氣之預熱室(Air and gas regenerators)(如第十九圖左所示之A與G)，室中滿裝織砌之磚(Check Work of bricks)，



第十九圖

面積極大，以便吸收熱量，而將廢氣冷卻，此冷氣即由煙筒S逸去。經一刻鐘或半點鐘後，A與G均被燒熱，乃將蝴蝶氣門 V_1 及 V_2 (Butter-fly Valve) (如B所示)，同時扭轉之，而導空氣與煤氣，以相反之方向，向左方A與G流入，於是將所儲之熱吸收，而本身即溫度增高，此二氣上升入爐心H，混合燃燒，即可得極高之溫度。廢熱氣由右端下行，入A'G'兩預熱室，遺熱於室中，最後復由S逸去。經一定之時間，復將 V_1 V_2 扭轉之，如是更迭進行，吾人可繼續得高溫於H中。此直接預熱法之原則與手續也。

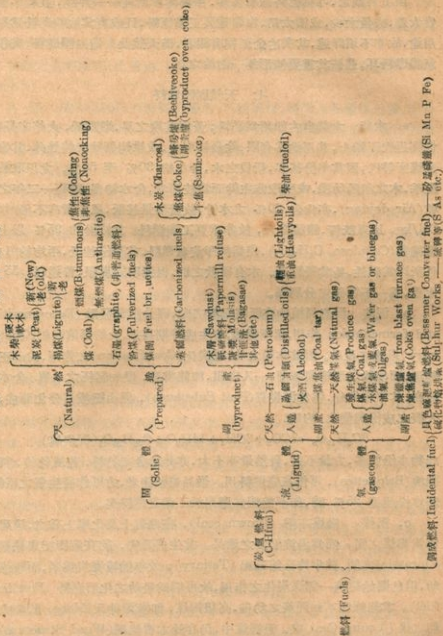
按此法亦係用對流原則，惟係直接傳熱，故效率宏大。能預熱氣體至 1000°C 以上，煉鋼若不用此法，即無由達純鋼之熔點。此法須注意熱氣所挾帶之渣及灰塵，恐阻塞室中氣道，因磚數鉅大，不易清除。普通熱氣入室時，先經一小落塵室(Slag Pocket)使氣體突改方向。減低速率。而致大部灰渣墮落也。

按氣體預熱法，須視所需溫度，及待熱氣體本身之性質而定。總不使燃燒溫度，超過所需(實際決不至此)，因高溫能使爐內一切建築材料，迅速損壞也。若溫度不高，則祇須預熱空氣即足，必要時，可再預熱氣體燃料。但有時氣體燃料，即在附近製造，抵爐時，其本身之可覺熱甚高，即不須再預熱。又如天然煤氣(Natural gas)，或煉焦爐氣(Coke oven gas)，若加預熱，反使其成分改變，而減低其發熱量(見後)故亦不預熱也。普通燃料氣體一容，必需數容之空氣，使之完全燃燒，故空氣之量，較煤氣為大，而空氣預熱室，亦較煤氣為大，此亦為設計時所應考慮也。

六 燃料之分類

燃料之種類繁多，廣義言之，凡能有發熱變化，而此熱可為吾人利用者，皆是也。在日常溫度壓力下，其存在之狀態，不外三種，即固液氣三態。就每種狀態言，又分天然者(Natural)，人造者(Prepared)及副產者(By Product)。人造燃料，係吾人以製造燃料為目的之產品，而副產燃料則否，蓋經營他種工業，而同時附帶有一種可燃物質產生也。茲列表將各種燃料分類於次(第十七表)。

第十七表 燃料分類

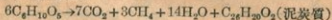


由上表觀之，可見燃料種類之多，勢非本章所能一一評述，且有多數之質太差，或量太少，或價太昂，均非重要工業原料，且或有其他較燃料為好之用途，故亦不須詳述，其與冶金工程有關者，僅天然及人造固體燃料，與各種氣體燃料耳。茲按其重要情形逐一討論之。

七 天然固體燃料

a. 木柴 木柴自古即用為燃料，蓋因其取之易，燃點低，火焰亦長也。惟在近代工業上，其用途甚有限，除最初引火，或烘烤新建之爐灶外，其他均為煤所替代，因其水份甚多，新伐之木，含水約 30% 至 50%，尤以取於春夏季，木之年齡幼稚，或所取非主幹而為枝節者，含水特多，雖經一二年之風乾 (Air drying)，亦尚含 20% 之水份，故發熱量甚低，風乾者亦不過 4600 Cal/kg。比重既輕，體積亦大，故非重要工業燃料。其成份約 95% 以上為纖維質 (Cellulose, $C_6H_{10}O_5$)，幾為純淨炭氫燃料，其灰份甚低，平均約 1%，且灰均為鹼性，是其優點也。木有硬軟之別，但無明顯界限，普通以 .55 之比重，為一不準確之分別點。

b. 泥炭 泥炭係植物在低窪潮濕之處，經分解與發酵 (Decomposition and fermentation) 作用，逐漸變成，其生成時期甚近，大約係第四紀 (Quaternary) 以後之產品。因其年齡太幼，煤炭化 (Coalification) 之作用，尚未正式經過，而植物之形態與脈理，一入肉眼，即能辨認，幾如腐朽之木質。含水份較高，其可燃部分，稱為泥炭質 (Peat Substance)，係由纖維質分化而成，其大概之成份與變化，約為：



此物水份既多，力量不強，發熱量亦不大，亦非冶金之燃料，若風乾後，製成團塊 (Briquettes)，可作家庭燃料用。惟品質較佳者，方可作發生氣之原料，若水份超過 25% 時，即不能視為應用於工業之燃料矣。

c. 褐煤 褐煤亦稱 (Brown coal)，在地質上及化學上言之，適居於泥炭與煤之間，而為過渡階段之產品。其生成時代，約在第四紀與侏羅紀 (Jurassic) 之間，強半均在第三紀 (Tertiary)，故年齡較泥炭為老，而較煤為幼，但已開始經過一部煤炭化之作用，故可稱為最幼之化石燃料 (Fossilized fuel)。其組織已不如泥炭之幼稚，高級褐煤，即漸漸伸入 (Merge) 低級或年幼之煤 (Young Coal) 矣。但褐煤中，仍存餘木質組織 (Wood Structure) 之

痕跡，惟非目力所及，須以放大鏡察之。褐炭之灰份，約為 5% 至 15%，水份可高至 15%，故發熱量亦不甚大。除作家常用外，普通可作發生氣及低溫蒸餾 (Low temperature Carbonization) 之用。

褐煤之質頗緻密，比重由 1.20—1.25，色褐暗，其裂口呈介殼狀 (Conchoidal)。

d. 煤 煤為植物化石燃料之總名，包括褐煤、煙煤及無煙煤三種。而普通命意，大都指煙煤而言。煙煤為主要冶金燃料，無論為生煤或加工製煉者，均屬重要。簡括言之，煤之成份，可視為水份、灰份、及可燃之煤質 (Coal Substance) 三部。

煙煤生成之時代，在侏羅紀之前，普通均在石炭紀 (Carboniferous)，較褐煤色黑、質軟、性脆、比重略大，含固定炭 (Fixed Carbon) 多，發熱量大，且毫無褐煤組織之痕跡，蓋其礦物化 (mineralization)，或煤炭化之程度，又較褐煤為深也。其表面所呈之光澤，由暗土光 (Earthy dull)，松脂光 (Resinous)，至次金屬光 (Submetallic)，若灰份不高，其比重約為 1.25—1.35，均為塊狀 (massive)。破裂時，現層疊狀，大致與煤層之平面 (Bedding plane) 平行，頗似頁岩 (Shale)，但非其理解 (Cleavage)，因非礦物，固無解理也。

煙煤中可燃之煤質部分，可分二種：一為揮發物 (Volatilmatter, V. M.)，若經蒸餾，或煉焦 (Coking) 手續，即變為氣體而揮發；一為固定炭，雖加熱亦不揮發，存留爐中如灰份然。以廣義言，水份亦為揮發物之一，但在表明成份時，普通均另稱水份，不與上述混作一團。高淨度 (High grade) 之煤，含灰份為 4%—7%，但劣質之煤，可高至 15%—20%，有時尚不止此。吾國如開深中興各礦之煤，灰份均較高，非極佳之質也。硫在煤中，普通均低於 2%，但亦有達百分之 3% 者。硫之存在，多為黃鐵礦 (Pyrites)，石膏，或含硫之有機物 (Organic Sulphur)，當煉焦時，有一部存餘不去者，稱固定硫 (Fixed Sulphur)；有一部 (多時可達全硫 4%) 能隨揮發物逸去，稱揮發硫 (Volatile Sulphur)。磷在煤中，大概為動物之遺骸，或磷灰石 (Apatite) 等物，大都係固定體，無若何揮發損失。煤灰中之無水磷酸 (Phosphorus Pentoxide, P_2O_5)，可高至 1.5%，但普通均較此量為低。

煙煤中，常含有吸收或隱藏氣體 (Occluded gases)，蒸餾時，即被熱逐出，若暴露於空中，則風化作用 (Weathering)，可漸漸使煤解體 (Disintegrate)

而分裂。其原因雖不甚明，但煤由空氣中，攝取氧氣，以氧化其有效氫等，當不失為重要原因之一。經風化之煤，其發熱量與煉焦性 (Coking Power or Coking Property)，或因之而減低。當煤自動氧化時，即有熱發生，有時大量存煤，因通風不良，至此種熱不易散失，愈積愈多，終至溫度升至燃點，即自然起火 (Spontaneous Combustion)。故理論上堆存煙煤之安全方法，即為置於水中，但不便實用，普通堆存時，均插置多數竹篾製之漏孔長風筒於煤中，所以便通風散熱也。

煉焦性為煙煤之特性，當加熱蒸餾時，焦化煙煤，能熔為稠糊狀之物質，其組織與成份，均起變化，且一部分解，最後所有揮發物，盡被逐出，存餘者，為一堅強多孔 (Porous) 之炭與灰份混合物，即焦炭 (Coke) 是也。吾人知煉焦需用煙煤，但非一切煙煤，均可煉焦，究竟煉焦性之根本原因為何，吾人至今，尚無定論。昔日之理論，以為蒸出之黑焦油 (Coal tar)，即黏合各小粒而成整塊之焦，但就組織觀之，此論殊不足以解釋實情。有謂焦性視揮發物之多寡而定，多數煙煤之揮發物，均不下 30%，但亦有僅含 20% 左右，而能煉焦者，故揮發物僅能作為焦性原因之一，而非惟一之原因也。或謂焦性須視有效氫之成分而定，但尚無切實之證明。有謂煤中氫與氧之比例 (H:O)，為決定焦性之重要因子，似較得多數燃料學者之默許。白氏 (White) 曾將美國多數煤樣，加以分析，而求其 H 與 O 之比例，結果凡此率在 59% 以上者，均為極佳之焦性，55% 者，可以煉焦，但在 50% 以下者，則焦性甚差，或無焦性。但此種比率，仍乏科學根據，雖較適用於美國煤，但可否同樣普遍適用，則不敢斷言。故欲決定煙煤之為焦性否，最可靠者，即以實際煉焦測定之。若實際不便，可以煤之黏合力 (Binding Power) 測之。法以一公分粉煤，與多量之細沙 (50 mesh)，混合入坩鍋中，密閉而熱之，俟冷後傾出，則沙被團結成塊狀。若一公分煤，能結合八公分以上之沙，則此煤大概係焦性，否則不可靠。因此種小型試法，只能表示可能性，而非最後之決定也。

此外有一種燭煤 (Cannel coal)，實係褐煤之一種，其年紀幼者，即為褐煤，稍老者，即升入煙煤區域矣。其與煙煤之區別，即較硬而密，色暗而不黑，且無層疊組織；惟因其揮發物頗高，含氫亦多，宜於煤氣 (Coal Gas) 之製造，且燃點低，甚易燃燒，故有燭煤之稱。

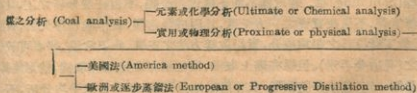
e. 無煙煤 無煙煤亦稱硬煤 (Hard Coal)，因其年齡之老，與煤炭化作用之完全，幾全失去其水份與揮發物，除少量之灰份外，幾全為固定炭 (普通

均超過 85%，亦有超過 90% 者。），故不易燃燒，燒時亦遲緩，火焰短而少，發熱量則極大。其外表為質密而呈黑色金屬光，且乾淨不污手，燃燒時幾無煙，故可為家庭之用。在冶金工業內，多用作還原劑 (Reducing agent)，或加炭劑 (Recarburizer)，頗少作重要燃料用也。

f. 天然固體燃料之分析 所有天然固體燃料之成分，可視為兩大部，即可燃與不可燃物質 (Combustibles and Non-Combustibles)。大約可燃質均為炭與氫，及其化合物，但有時有微量之硫與氮，如硫化氫及銻氣等，亦可燃燒。其不可燃之部，即水份與礦物質之灰份。關於燃料分析，自有專書可考，無須細述，大概言之，先將燃料與空氣隔開，徐徐加熱至 100°C 與 110°C 之間，則水份即可蒸發，可以決定水份之百分數。再將溫度升高至 950°C ，其可燃之揮發物，即被逐出，置於乾燥器 (Decicator) 內冷卻後秤之，即得揮發物，此時所存餘者，僅固定炭與灰份耳。再於高溫中，使之與空氣接觸，炭即全被氧化去，冷卻後，再秤所餘之灰，於是此四部之量，均可次第測定。用此種分析方法，僅測此四部分之百分數者，稱為實用或物理分析 (Proximate or Physical Analysis)。此法又可分二種，如祇定四部份，而不再求詳細者，稱美國方法 (American method)，如須將揮發物之各種成分，一一用分餾法 (fractionation)，加以測定，則另稱曰歐洲方法或逐步蒸餾法 (European or Progressive Distillation method)。實用分析，最適於普通工業之用，因其方法簡單，而結果亦能明示實際效用及品質。

至元素或化學分析 (Ultimate or Chemical analysis)，則須將燃料中 (除灰份外) 所有各種元素之百分數，一一測定，工作頗繁雜，但由此可以計算該燃料之發熱量。茲列表於後 (第十八表)

第 十 八 表



茲舉一例，以示同一之煤，可以上列三法，表示其分析結果：

| 元素分析法 | | 實用分析法 | | | | |
|-------|--------|---------|--------|---------|-------------------------------|-----------|
| | | (1) 美國法 | | (2) 歐洲法 | | |
| 灰份 | 7.16 | 灰份 | 7.16 | 焦炭 { | 7.16 | |
| C | 79.41 | F.C. | 59.98 | | F.C. | 59.98 |
| H | 5.14 | V.M. | 32.85 | { | 焦油(Tar) | 5.42 |
| N | 1.45 | | 103.00 | | 氮氣(Free NH ₃) | .235 |
| O | 5.81 | S | 1.002 | { | 氮氣 Combined NH ₃) | .041 |
| S | 1.02 | P | .005 | | V.M. | 水汽(Moist) |
| | 100.00 | | | | 揮發硫 V.S. | .313 |
| | | | | | 輕油(light oil) | 1.353 |
| | | | | | 氫氣(Gas) | 20.685 |
| | | | | | | 100.003 |

當分析時，所取之煤樣 (Coal Sample)，必須有一標準，可因採取之方便與分析之目的而異。如(1)原煤標準 (As-fired basis, as received basis, or Weibasis); (2)乾煤標準 (Moisture free or dry basis); (3)無灰標準 (Ash-free basis); (4)無灰無水標準 (Dry and ash-free basis)，即以純可燃質 (Combustibles) 為準; (5)無灰無硫無水標準 (Moisture ash and Sulphur free basis)。前四項多用於實用分析，後一項僅用於元素分析。如成份係按乾煤標準給出，若知水份，亦可改為原煤標準之分析，情形反是者亦然。設原煤標準分析為 5% H₂O, 10% 灰, 60% F. C., 則其乾煤標準分析，應為 $\frac{1}{1-.05} \times 10 = 10.5\%$ 灰, $\frac{.6}{.95} \times 100 = 63.1\%$ F. C.……。

按煤之分析，與其他大量工業原料分析相同，困難問題，不在分析，而在取樣 (Sampling) 也。若取樣不能正確代表全體，不但枉費分析之工，且結果亦無意義，不僅使買賣之一方受欺，且因成分常變，致作業程序失常，無法控制。故工廠原料之平均成分，實賴取樣方法之正確，此項常識，學者可於專冊求之 (見冶金手冊)。但煤在礦上取樣，與已到廠之定量煤取樣，情形略異，因礦量無一定，且成分隨礦層，及各層之地位而易，故今日之平均分析，不一定能代表明日出產之平均成分也。

吾國各煤礦產品之實用分析略數，曾由地質調查所加以整理。茲摘錄

該所所出『中國各省煤質分析』一書中之記錄，一見一般情形（見第十九表）。

第十九表 中國各省煤質分析

| 省 | 區 | 礦 | 地 | 水 分 | 揮 發 物 | 固 定 炭 | 灰 分 |
|---|---|-----|---|-------|-------|-------|-------|
| 河 | 北 | 門 頭 | 溝 | 2.3 | 6.50 | 75.2) | 15.00 |
| 河 | 北 | 開 | 平 | 0.6 | 25.98 | 69.78 | 13.34 |
| 河 | 北 | 井 | 櫃 | 0.56 | 20.20 | 69.20 | 9.20 |
| 河 | 北 | 臨 | 城 | 1.89 | 30.88 | 56.64 | 10.50 |
| 河 | 北 | 柳 | 江 | 0.70 | 6.57 | 77.57 | 15.20 |
| 河 | 北 | 怡 | 立 | 1.60 | 19.00 | 65.50 | 10.30 |
| 熱 | 河 | 北 | 票 | 3.95 | 30.50 | 54.35 | 11.00 |
| 熱 | 河 | 新 | 邱 | 12.00 | 35.00 | 42.50 | 10.00 |
| 遼 | 寧 | 撫 | 順 | 6.73 | 39.34 | 48.15 | 5.25 |
| 遼 | 寧 | 本 | 湖 | 0.68 | 23.95 | 64.07 | 11.20 |
| 遼 | 寧 | 煙 | 臺 | 1.15 | 12.00 | 71.20 | 14.70 |
| 遼 | 寧 | 八 | 道 | 12.65 | 20.85 | 41.65 | 14.12 |
| 吉 | 林 | 長 | 春 | 10.89 | 32.50 | 45.16 | 11.12 |
| 黑 | 龍 | 湯 | 源 | 1.50 | 32.21 | 58.14 | 7.50 |
| 黑 | 龍 | 札 | 爾 | 20.93 | 38.95 | 39.08 | 3.60 |
| 山 | 東 | 中 | 興 | 0.50 | 27.00 | 63.50 | 9.40 |
| 山 | 東 | 濰 | 川 | 0.57 | 14.90 | 74.70 | 10.00 |
| 山 | 東 | 博 | 山 | 0.85 | 18.90 | 69.80 | 9.85 |
| 山 | 東 | 坊 | 子 | 2.00 | 30.70 | 51.90 | 14.70 |
| 河 | 南 | 六 | 溝 | 0.55 | 19.16 | 72.05 | 8.40 |
| 河 | 南 | 焦 | 作 | 0.65 | 6.70 | 84.50 | 8.00 |
| 河 | 南 | 瀘 | 池 | 9.00 | 32.50 | 45.80 | 13.50 |
| 山 | 西 | 大 | 同 | 4.50 | 30.99 | 60.45 | 5.50 |
| 山 | 西 | 平 | 定 | 0.78 | 6.55 | 83.35 | 5.70 |
| 山 | 西 | 澤 | 州 | 1.80 | 9.35 | 80.99 | 7.80 |
| 江 | 西 | 萍 | 鄉 | 1.35 | 28.75 | 62.75 | 11.90 |
| 江 | 西 | 樂 | 平 | 1.00 | 45.90 | 44.00 | 9.10 |
| 江 | 蘇 | 賈 | 汪 | 1.35 | 29.54 | 51.50 | 17.00 |
| 安 | 徽 | 舜 | 山 | 0.85 | 34.90 | 54.75 | 9.50 |
| 安 | 徽 | 宣 | 城 | 0.75 | 35.47 | 49.77 | 22.00 |
| 浙 | 江 | 長 | 興 | 0.94 | 37.70 | 49.80 | 10.90 |

第二十表示各種天然固體燃料之實用分析，學者對此，應有相當之認

識，不但對於煤之成份性質有把握，而對煤之分類及用途，均可得而鑑別：

第二十表 天然固體燃料之實用分析

| | 風乾木柴 | 風乾泥炭 | 褐煤 | 煙煤 | 無煙煤 | |
|--------------|--------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|
| 揮發物(V.M.) | 42—1 | 30—35 | 30—45 | 20—45 | 0.5—6 | |
| 固定炭(F.C.) | 39—41 | 11—10 | 45—50 | 40—85 | 85—92 | |
| 灰份(Ash) | 15—2 | 3—75 | 4—15 | 4—20 | 2—15 | |
| 水份(moisture) | 20—25 | 6—20 | 10—15 | 1—6 | .5—4 | |
| 發熱量 | Cal/kg | 4500—5000 | 2000—5000 | 3000—7000 | 7000—9000 | 9000—9500 |
| | Btu/lb | 8300—9000 | 3600—9000 | 5400—10800 | 12600—16200 | 16200—17100 |

g. 煤之分類 以廣義言之，煤可分為四大類，即泥炭、褐煤、煙煤與無煙煤是也。每類又可細分，但嚴格言之，彼此均無明顯或一定之界限，因每一種與其相鄰上下二種，其特性均彼此互見，混為一團，無法區分。分類之法，幾將煤所有之特性，均利用為分類之標準，現在分類方法，不下十餘種，惟以全世界煤之特性，變化萬狀，迄今仍無一種方法，能普遍適用於任何情形者。概括言之，礦物化程度愈深，年齡愈老，則由木柴可逐漸變為無煙煤，隨此變化，所生之現象，即為揮發物與水份，漸漸減少，而固定炭與發熱量，逐漸增加，此為共同之情形也。

格魯勒(Grüner)，弗雷社(Frazer)，康倍爾(Campbell)，愛西雷(Ashley)，道林(Dowling)，巴氏(Parr)，格勞(Grout)……諸家，均為煤分類學者，其分類之標準，各取煤之一特性，以期能普遍適用。如煤之化學分析(Ultimate analysis)，炭氫比率(C-H ratio)，燃料比率(fuel ratio, or F. C. : V. M.)，固定炭比率(F. C. : Total Combustible)，發熱量等，種類甚多，茲將數種較重要之分類法，略述如後：

(a) 格魯勒法。此法最初係以化學分析，氧與氫之比率，發熱量，固定炭等性，為分類標準。所分之類，計有木柴、泥炭、褐煤、煙煤及無煙煤。復將煙煤細分為非焦性(Dry Non-Coking)，煤氣煤(fatgas Coal)，長焰煤(fat steam Coal)，焦性煤(fat coking coal)，及少揮發無煙性煤(Lean anthracitic coal)等類。其氧與氫之比率(O:H)，在木柴為7，漸漸降低，至無煙煤即為0.75左右。格氏原表，製於一八七三年，當時煤之記錄不全，尚可應用，

以後雖不完全，但其秩序嚴整，仍不失其分類表之價值。現在歐洲大陸，多採用其較簡單之法，以無灰無水之煤，算出其揮發物與純燃質 (Total Combustible) 之比率，以互相比較而歸納之，比率大者，揮發物亦多，此煤即近褐煤，小者反是，即近於無煙煤。

(b) 弗雷社法。此法以燃料比率，為分類之標準。其所分之四級如次：

(1) 比率由 0 至 5 者，為煙煤，(2) 5 至 8 者，為半煙煤 (Semibituminous)；(3) 8 至 12 者，為半無煙煤 (Semi-anthracite)；(4) 12 至 100 者，為無煙煤。此法對於美國本州 (Pennsylvania) 之煤頗適用，但對於極低級之煤，則不適宜，蓋其所分四級中，褐煤即無適當之地位也。

(c) 康倍爾法。係美國地質調查所康氏所製，先取炭氣比率為標準，以之分類，頗為滿意。後以無灰煤為準，重行計算其水份，揮發物與固定炭之百分數，則知由泥炭至無煙煤，其固定炭漸漸增高，無一例外，認為極合實用之分類法，由該調查所通告六零九四號 (U.S. Bureau of Mines, Circular No 6094)，加以承認。此法分煤為十一級 Rank，(rank 一字適用於煤之分類，若表示煤之品質，如含灰含硫之多寡等，則另用淨度 Grade 一字表示之。) 可參看第二十一表。

第二十一表 康倍爾分類法 (以無灰煤為標準)

| | 水份 (moisture) | V.M. | F.C. | C.P. (Btu/lb) |
|--------------------------------------|---------------|------|------|---------------|
| (1) 泥炭 (Peat) | 85 | 10.4 | 4.6 | 1290 |
| (2) 褐煤 (Lignite) | 45.5 | 25.8 | 28.7 | 6640 |
| (3) 次煙煤 (Sub-bituminous) | 23.4 | 34.2 | 42.4 | 9720 |
| (4) 低級煙煤 (Low rank bituminous) | 11.6 | 41.4 | 47 | 12880 |
| (5) 中級煙煤 (medium rank bituminous) | 5.0 | 40.8 | 54.2 | 13880 |
| (6) 高級煙煤 (High rank bituminous) | 3.2 | 32.2 | 64.6 | 15160 |
| (7) 低級半煙煤 (Low rank semibituminous) | 3.0 | 22 | 75 | 15480 |
| (8) 高級半煙煤 (High rank semibituminous) | 5.0 | 11.6 | 83.4 | 15360 |
| (9) 半無煙煤 (Semi Anthracite) | 2.5 | 11.7 | 85.8 | 14880 |
| (10) 無煙煤 (Anthracite) | 3.2 | 1.2 | 95.6 | 14440 |
| (11) 超無煙煤 (Super Anthracite) | 16.4 | 3.1 | 80.5 | 11480 |

(d) 愛西雷法。此法以固定炭對水份與揮發物之和之比率 $F.C. \div (Moisture + V.M.)$ ，為分類之標準。此比率稱為帶水燃率 (Moisture Comb-

ined ratio)。

我國煤之分類，始於翁文灝先生，當時以各種分類法，試用於中國之煤，考其優劣，以定去取。最後主張用愛西雷法，別我國之煤為九級，而以加水燃率區分之，詳見地質學報第八號。惟當時取材散漫，資源不豐，紀錄不確，後經沁園燃料研究室金開英先生根據多數煤樣分析，略加修正，其結果如第二十二表所示（見燃料研究專報第十二號）。

第二十二表

| 煤 | 類 | 帶水燃率 | 符 號 |
|-------------------------------------|---|------------|-----|
| 褐煤 (Lignite) | | 0.8 以下 | C |
| 褐性煙煤 (Lignite bituminous) | | 0.8—1.25 | BC |
| 低炭煙煤 (Low rank bitumite) | | 1.25—1.85 | Bo |
| 中炭煙煤 (Medium rank bitumite) | | 1.85—3.00 | Bm |
| 高炭煙煤 (High rank bitumite) | | 3.00—4.10 | Bh |
| 無煙性煙煤 (Anthracite bitumite) | | 4.1—4.9 | aB |
| 低炭無煙煤 (Low rank anthracite) | | 4.9—7.0 | Al |
| 中炭無煙煤 (Medium rank anthracite)..... | } | 7.0—12.0 { | Am |
| 高炭無煙煤 (High rank anthracite)..... | | | Ab |

h. 煤之灰份 (Ash in Coal) 煤之灰份，關於煤之品質甚鉅，為決定煤之用途與估價 (Valuation) 之重要因子也。除增加煤之重量、體積、及減低煤之發熱量外，煤灰尚有其他不良之影響。用於鍋爐之長焰煤，其灰之化學成分，必須使灰有相當之耐火性，至少熔點應在 1320°C 或 2400°F 以上，庶不至自身鎔化，結成鎔渣 (Clinker)，而妨礙通風燃燒。在焦性煤中，灰份高者，其焦炭之灰份亦特高。煤中之磷，在煉焦時，均富集於焦炭中，燃焦後，即存於灰中，此種焦炭之冶金用途，即為磷所限制。如用於煉鐵，則只能煉鹼性鐵 (Basic Iron)，而不能作酸性鐵，蓋生鐵含磷之多寡，能影響其煉鋼之方法也。硫雖可以蒸去一部，而存灰中之硫，多為硫化鐵等物，如能充分氧化，亦可燒去，但普通在煉鐵爐中，均為極強之還原氣象，結果被燒去者少，而被還原入於鐵中者多。硫在鐵中，使品質大為減低。且灰多時，加入熔劑亦多，所成之渣亦多，吸熱之量亦大，故煤之灰份，不僅宜低，且其成分亦當純淨合宜，方為良好之冶金燃料（按焦炭之主要用途為冶金）。普通煤在礦中，以在煤層之中部者為最純淨，磷以在煤層之上部為最多，但灰份與硫，則上下兩

部均多也。

e. 洗煤(Coal-Washing) 煤之灰份，既為有害無利之物，則無論為燃料經濟，或工作便利計，皆有減低灰份之必要。此種人工加高淨度之方法，稱為煤之選洗，或簡稱洗煤。選洗之費用，因提高煤之品質，而為買者與用者樂於擔負；反之，如煤含硫磷之礦物太多，不合冶金之用，勢非加以選洗不可。近代工業，凡在經濟情形許可，或實際情形必需時，均採此法，以提高效率。

洗煤之初步辦法，為手選 (Hand sorting or Picking)，因頁岩及硫化鐵等雜質，其色較煤暗黃，可以肉眼辨別，故於煤出礦井時，即可用手選出，次後所用之法，均用水洗法，如選礦然。純煤之比重，不過 1.50，而普通灰份之雜質，如沙土黃鐵礦、頁岩、石灰石等，均遠過此數。假使能用一種比重 1.5 之液體，則煤與雜質，儘可以比重法，選洗盡淨。惟在工業中，欲得此種液體，能量多而價廉者，尚非易事。有人以細沙混入水中，使其比重增高後利用之，但結果尚未至滿意程度。故現在洗煤法，均為自然水，惟按煤之大小，節制水之流速，以與重質分開，或用搖槽法 (Jigging)，使煤在搖動水中，水而升沉不定，較輕之煤，因物質之惰性，隨水升上而溢出，亦可逐漸與雜質分開。

按洗煤已成近代專門技術，其詳情非本篇範圍所及，學者如欲細究，可參看專書。洗後殘餘之物，灰份既高，含水又多。普通僅供當地礦廠蒸汽鍋爐之用。所洗之煤，亦須經相當時間之曬乾，方可應用。

f. 吾國煤層之分佈及統計 煤鐵為一切工業之基本，無待贅言，其中尤以煤為最要，因其消費量又遠過於鐵也。吾國方勵精圖治，發憤為雄，但對於重要資源之存量，多未留心。昔日侈言地大物博，殊無根據，譬如富人自豪，問其財產，竟瞠目不能對，寧不可哂。雖然，礦產蘊於地中，欲憑表面觀察，即得確實估計，誠不可能，而況調查之未能周到，地層構造之複雜，均使估計失實，現經地質調查所不斷之努力，對於煤量之調查，已漸達近似真實之數字矣。

關於煤層分佈情形，讀者可參閱該所所出地質專報丙種第一至第六號，至於統計方面，特據第五號(24年12月出版)及第六號(30年4月出版，僅西南區雲、貴、川、桂及西康五省)之記錄，加以整理，列成第二十三表，以享讀者。

第二十三表 中國煤礦總儲量表：單位兆噸(百萬噸)

根據地質專報丙種五號(24年)及第六號(30年)

| | 省名 | 約計數 | 無煙煤 | 煙煤 | 褐煤 | 儲量 | 佔總數% |
|--------|-----|------|-------|--------|--------|--------|---------|
| 本 部 | 察哈爾 | | 17 | 457 | | 504 | .21 |
| | 綏遠 | | 58 | 396 | 22 | 476 | .20 |
| | 山西 | | 35471 | 87985 | 2671 | 127127 | 52.70 |
| | 河北 | | 981 | 2088 | 2 | 3071 | 1.26 |
| | 山東 | | 25 | 1513 | | 1639 | .68 |
| | 河南 | | 4455 | 3309 | | 7764 | 3.20 |
| | 陝西 | | 750 | 7120 | | 71950 | 29.90 |
| | 湖北 | | 160 | 250 | | 440 | .18 |
| | 安徽 | | 60 | 300 | | 350 | .15 |
| | 江西 | | 216 | 776 | | 992 | .41 |
| | 浙江 | | 22 | 75 | | 100 | .04 |
| | 江蘇 | | 25 | 192 | | 217 | .09 |
| | 湖南 | | 1043 | 721 | | 1764 | .73 |
| | 四川 | | 225 | 5761 | | 5986 | 2.49 |
| | 雲南 | | 11 | 946 | 1384 | 2341 | .97 |
| | 貴州 | | 745 | 622 | | 1370 | .57 |
| | 廣東 | | 50 | 371 | | 421 | .17 |
| | 廣西 | 105 | 114 | 80 | | 300 | .12 |
| | 福建 | | 291 | 105 | | 396 | .16 |
| | 寧夏 | | 166 | 322 | | 488 | .20 |
| 甘肅 | | — | 1500 | | 1500 | .62 | |
| 西康 | | 3 | 501 | 27 | 531 | .22 | |
| 共計 | | | | | 229737 | 95.56 | |
| 東北四省 | 遼寧 | | 187 | 1649 | — | 1836 | .76 |
| | 吉林 | | 2 | 986 | 155 | 1143 | .47 |
| | 黑龍江 | | 6 | 619 | 392 | 1017 | .42 |
| | 熱河 | | 2 | 573 | 39 | 614 | .25 |
| 共計 | | | | | 4610 | 1.89 | |
| 約計部份 | 新疆 | 6000 | | | | 6000 | 2.50 |
| | 青海 | 500 | | | | 500 | .21 |
| | 蒙古 | | | | | | |
| 共計 | | | | | 6500 | 2.71 | |
| 總計 | | 6506 | 46089 | 183460 | 4692 | 240847 | 100.16% |

註：煙煤佔總儲量 78%，無煙煤佔 19.6%，褐煤 2%。

按該表，可知吾國煤之總量為四二〇八四七兆噸，其中除新疆、青海之六五〇〇兆噸，為未經詳查之約計數，及西藏、蒙古尚未列入外，餘均為比較可靠之數字。以煤質言，無煙煤約佔全量 19.6%，煙煤佔 78%，泥炭佔 2%，以單位言，山西居首，佔全額 52.6%，次為陝西，佔 29.8%，再次為河南，佔 3.2%，以後為新、川、冀、滇、奉各省。

吾國煤量，即以世界各工業先進國之消費率衡之，尚不愧地大物博一語，惟自金屬礦量言之，則多不能自給，未免相形見絀，此吾國地質界與工業界所應注意者也。且自七七事變以來，重要煤區，均淪於敵人手中，尤為痛心，是將來收復整理，發揮光大，皆責無旁貸也。

八 人造固體燃料

a. 粉煤 粉煤之意，與碎煤(Powder coal)有別，後者之大小不一致，而顆粒亦非特細者，前者之意，即將煤磨至極細之程度，至少須有 85% 能通過一百篩孔 (Mesh) (按即每一吋有平均分列之細銅絲一百根，即每平方吋有 $100 \times 100 = 10000$ 個篩孔，餘倣此)。如煤之揮發物甚高，且用於高溫之煉鋼平爐時，其研細程度更高，普通規定，須有 95% 通過一百篩孔，且 80% 須通過二百篩孔 (凡能透過篩孔而下者，稱細粒 Undersize，留於篩上者，稱粗粒 Oversize)。

遠在一八一八年時，即有人思利用粉煤為燃料，惟因技術尚有缺限，未得良好結果。以後經許多困難，逐漸改良，一八九五年試用於水泥旋轉爐 (Rotary Cement kiln) 時，以前所理想之利益，始得領會。一九一四年第一次世界大戰爆發，天然煤氣缺乏，石油來源困難，價亦昂貴，於是技術人員，不得不改良燃燒固體燃料方法，以期獲得較高之效率，由是迅速改進，遂至今日之完善地步。其應用範圍，亦漸漸擴展，凡大工業中，須大量使用燃料之處，均可用之。例如水泥製造，礦石焙燒，石灰製造，銅鉛鋅等之冶金，鍋爐燃燒，各種冶金回熱爐 (Reheating furnace)，倒焰爐，煉鋼平爐等。

1. 粉煤之利弊 燃燒粉煤之利益甚多，簡約言之，可分三點：

(a) 以前認為粉煤之原料，須揮發物較多之煙煤，方能立即燃燒，但近來已知無此限制，祇要研細，任何煤——由褐煤至無煙煤——均可作原料，惟灰份愈少者，結果亦愈佳，故原料取料，不受限制。

(b) 以前認為煤須先經乾燥，方易磨研，並可減少粉煤在倉中結餅機會，

及水份蒸發之熱力損失。但由經驗，已知無須此項乾燥手續，出礦煤 (Run-of-mine Coal) 如太濕，即任其在空中乾燥，至含水與大氣濕度 (Humidity) 相等時，即可應用，不須太燥，且水份太少，能使火焰不長。粉煤因其面積特大，易於蒸發，故常比原煤之水份少，故熱力之效率，自較燒原煤為大。

(c) 粉煤燃燒之最大利益，即燃燒之完全，空氣與粉煤量之節制，溫度之管理，均極方便；蓋粉煤之性質，頗似氣體燃料，故其利益亦相似，較之燒大小不齊，水份又多之原煤，其效率增高多多矣。

燃粉煤之弊，最初均認為設備費甚大，佔地面積亦大，而粉煤之製造及維持費，又格外增加成本。但據實際經驗結果，此數點均無足輕重，如在長期大量應用時，粉煤所得之利，遠非上述數點之弊所能比擬。

燃燒粉煤之大弊，即為無法處理其灰份。視溫度與灰份之化學成份如何，燒後之灰，全部或一部熔化為細小之球體，雖一部為廢氣 (Flue gas or Waste heat gas) 帶出，多在煤與煙筒中間流速較小之處停下，結為熔渣，損壞牆壁，或結於鍋爐水管上。阻止傳熱，甚至堆積過多，有礙廢氣之流通，如直接預熱室之構造，對於粉煤燃料，即不適宜。其未熔之灰末，被廢氣帶出，散於工廠附近，擾亂秩序，使人不安。

2. 粉煤之製造 粉煤之製造可分五步如次：

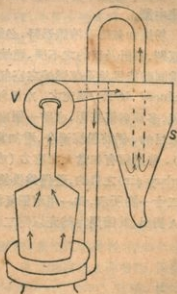
第一步為壓碎。出礦煤拖到後，即經過單級或雙級之壓碎機 (Crusher)，或壓碎碾 (Crushing rolls)，將煤塊碎至研煤磨需要之大小，普通約為 $\frac{3''}{8}$ 至 $1\frac{1''}{2}$ 直徑之塊狀。

第二步為乾燥。經第一步所出之碎煤，如水份太多，必須先行乾燥。所用之乾燥器 (Drier)，普通均為旋轉圓筒式，如燒水泥之旋轉窯 (Rotary kiln)。此為一臥式長約三十呎之大鋼筒，略有傾斜，內砌火磚由馬達轉動齒輪，使之徐徐旋轉。縱貫筒內者，為平均裝置之角鐵式 (Angles) 「肋骨」 (Ribs) 若干條，碎煤由上端裝入，以螺旋式旋轉下行，每轉一周，即為「肋骨」舉起，復自最高處倒下一次，同時熱氣，即由筒之下端送入，其方向適與下行之碎煤相反，而將其水份烘乾，由上端帶出。乾燥器之傾斜度，旋轉速度及所用熱氣之溫度，均與碎煤之濕度有關係，吾人可調節前三者，總須使一定溫度之碎煤，當達筒之下端出口時，即達需要之乾度。已乾之碎煤出口，即落於自動轉運籃或轉運帶 (Bucket or belt conveyer)，運至倉中，以供下面研煤磨

之用。

第三步爲研磨 (pulverizing)，使碎煤研爲需要之細度。所用之研磨 (Pulverizing mills)，式樣頗多，最常用者爲雷門氏 (Raymond) 與弗勒氏 (Fuller) 之煤磨。而以雷門氏磨爲最普通，其機動組織，有一層鋼製之軸心套筒，及外圈之鋼壁磨面 (Bull-ring)，此兩部均爲固定不動。中間卽爲磨煤之處或磨室，有二個或多個之轉子或研球 (Pulverizing rolls)，煤由自動喂煤器裝入磨室，再由推板推之向上，使入於研球與磨面之間，遂被磨碎。研球上部與中央之直軸相連，軸之旋轉由磨下之齒輪裝置節制之，研球因軸之旋轉，而急行於套筒與磨面之間，故研煤之壓力，大部係藉研球之離心力 (Centrifugal force)，施於套管及磨面之間所致。

第四步爲分離粉煤 (Separation of Dust)。碎煤經磨研後，其已達細度者，須與碎煤分開，其方法係以一適當壓力之空氣氣流，由磨室下部多數切線方向小孔送入，上行時，卽將粉煤挾帶，由上部提出。故此法可繼續進行，又能任意控制粉煤之大小，極爲有效。第二十圖，示雷門磨中，氣流由研槽下輸入，流經槽時，卽挾帶粉煤，再經磨頂之管，由風扇 V 抽出，此帶煤氣流，遂入一直徑甚大之迴旋沉灰器 S (Inverted-cone cyclone dust separator)，氣流切圓周流入後，速度減低，粉煤碰壁，卽下沉於器底，現在空氣所帶粉煤量極少，又由上端逸出，再送入煤磨之下部，如是周而復始，循環不已。



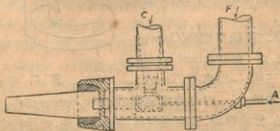
第二十圖

第五步爲粉煤之運輸與燃燒 (Conveying and burning of pulverized coal)。粉煤之運輸，約有三法：一曰車運 (Truck)，卽不經濟，惟道遠者用之；一曰螺絲推進管 (Screw conveyor)，卽管中裝有麻花鑽式之螺絲軸，當旋轉時，其螺旋頁卽將粉煤推進，此法較老，且只限於短距離；三曰氣壓運輸 (Pneumatic method)，此法最簡便，爲普通所採用者。因粉煤性質，頗似液體，故可由管線加壓力傳送之。但爲增進粉煤之移動

性(mobility)起見,均滲以少量空氣(aerate),與之混合,再加壓力輸送。亦有混入大量空氣傳送者,但此為直接送至爐內燃燒之用,非為存儲用也。極細之粉煤,頗與煤氣相似,能與空氣混合成爆炸體(Explosive mixture),故存儲與應用,均宜小心。

關於粉煤之燃燒,約有兩種制度:一曰單位制(Unit system),一曰集中制(Central plant system)。在前者,每一爐均自有其單獨之磨研設備,與爐毗連,隨時供給此爐之燃料,量隨需用而定,無須預研,或存儲之準備;在後者,須另有一廠,專為煤之磨研,分開及存儲之用,然後由此分配全廠各爐應用。凡粉煤由煤磨內抽出,即直接加空氣送至爐內燃燒,不經分開者,謂之直接燃燒(Direct firing)。其經分開存儲後,再行送至爐內燃燒者,謂之間接燃燒(Indirect firing)。直接燃燒多用於單位制;而間接燃燒祇能適用於集中制。

粉煤如氣體及液體燃料,必須有燃燒器(Burner)送入爐中,以便燃燒。依原則,設計及目的之不同,燃燒器之種類亦繁多,概括言之,可分兩大類:一為同時能供給全部燃燒之空氣者,一為只供給一部分,其餘則由誘導通風(Induced draft)補充之(冷風熱風均可)。最普通應用之燃燒器,其送入之空氣,多為兩個來源,或將一個來源之空氣,分作兩個氣流送入。其第一空氣流之目的,係將粉煤滲合,增加其流動性及散播性,故稱初段空氣(Primary air)。普通須有相當大之壓力(或壓縮空氣),以執行其使命;二段空氣(Secondary air)之目的,蓋僅為供給燃料一部,或全部完全燃燒所需之空氣也。第二十一圖所示,為一用兩個氣源之燃燒器。燃料由C入,經高壓之第一氣流A衝出,其四周均補充以第二段空氣F,以便完全燃燒。



第二十一圖 粉煤燃燒器

上述兩種制度,互見利弊,而甲之所長,適為乙之所短。採用之先決問

題，須視規模之大小，工作之久暫，與當地之情形而定。大抵單位制有獨立性，簡單明瞭，適宜工作之伸縮，規模小而情形不安定者，適用之；集中制則反是。

b. 壓製燃料 (Compressed fuel or fuel briquettes) 壓製燃料或煤團，係一普通名詞，包括各種不便單獨燃燒之粉碎燃料，經壓力壓成團塊狀者。此種化零為整之方法，於一八四二年，始於法國，以後各國均倣效而加改良，凡粉碎之末煤，無論為泥煤、褐煤、焦煤、煙煤或無煙煤，均可作原料，視其性質若何，酌加少量之黏合劑 (Binding material)，使在溫度與壓力下，得以團結。

煤團之佳者，須具下列各性質：(1)質勻而硬，敲之作響，無臭味，不潮解，含水份低於 5%，灰份低於 10%；(2)每塊之重量不超過十公斤，敲破時，不易粉碎；(3)本身須不致因轉運而破碎，縱有少量破碎，亦不得超過 5%；(4)須易於燃燒，不生濃煙，且具相當大發熱量。

黏合劑以瀝青(Pitch)為最佳，因可增加煤團之發熱量。他如樹脂(Rosin)，地瀝青(Asphalt)，糖漿澱粉之類均佳；若用無機物質，如黏土等，則不僅減低發熱量，且增加灰份，非所宜也。

如用煙煤為原料，則不加黏合劑，僅施乾壓法(Dry Pressing)即可；因在高壓下(2-2.5 tons/in²)，溫度可升高至 80° 或 100°C，其燃點較低之揮發物，均可暫時液化，其功效等於黏合劑。

近代大規模製造煤球，將碎煤碾至能透過八個篩孔，便入乾燥器，以熱氣略加乾燥，再加入 3% 之瀝青粉末，入混合器(mixer)內混合之。器內裝有過熱蒸汽管，當混合時，可熱至 400°C 左右，即在此溫度時，壓成煤球。

c. 蒸餾燃料 (Carbonized fuel) 蒸餾燃料或焦化燃料者，係將原燃料與空氣隔絕，經外面加熱蒸餾後所餘之物質。其目的在逐去揮發物，保留固定物，所得者，為一發熱量極高，還原力 (Reducing Power) 甚強，機械力 (mechanical strength) 甚大之燃料。此類蒸餾手續，耗費熱力，頗不經濟，非必要時不為也。

蒸餾燃料，包括木炭(Wood charcoal)、半焦炭(Semicoke)及焦炭。前二者皆非冶金重要燃料，故其製造方法，僅略述大概於次：

1. 木炭 木炭製法，幾無人不知，將木柴聚成堆(Heaps)，上覆以土，由下面升火蒸餾之，或置於直窰 (Stalls or kilns) 中，或置於蒸鍋 (Retort)

中蒸之。其揮發物為焦油(Tar)，帶酸性之液體(Acid liquor)(其中含少量之木醇 Wood or methyl alcohol 及醋酸)，及可燒之氣體(含氫沼氣及一氧化碳等)。殘餘之物，為灰份與固定炭素，成一輕疏多孔之體，即為木炭。木炭之產率，隨木柴之性質、形式、及蒸餾方法而異。聚堆法耗費最多，蒸餾法完全與空氣隔絕，故產率最高。木材交易，以體積計算，其單位為立方呎，或「可得 Cord」(一可得為 $4 \times 4 \times 8 = 128$ cu. ft.)，若為直徑，3" 至 6" 者，則一可得之木材，僅 56% 左右為淨木材，餘為無用之空間，如採連續複層制(Multi and continuous kilns)，並能搜集其揮發物，作為副產品，則每可得之木柴，平均可產 72% 之木炭(以體積言)，2.2 磅之焦油，21.4 磅之醋酸，7.7 磅之木醇及 176 立方呎之氣體(在 18°C 及 760 mm. 壓力下)。

木炭之孔隙(Pores)，與焦炭不同，均細密平均，彼此連通，極易通風燃燒，且質輕灰少(約 1%)，無其他有害之雜質，如硫磷等，而灰又帶鹼性氧化物(alkali Oxides or carbonates)，故在特殊情形下，亦作冶金之用，但因其質輕易碎，無機械力量，無強大還原力，且難得可靠之大量供給，故不適於大工業之用。

2. 半焦炭 半焦炭，係褐煤經低溫蒸餾(Low temperature carbonization)後，存留之物質。褐煤在較低之溫度(500° — 800°C)，與空氣隔絕而蒸餾之，逐去大部之揮發物，所餘者為質鬆之固體。因所用溫度較低，半焦炭仍留存少許之揮發物，其機械力量，亦遠遜於近代之焦炭，故祇可作家庭燃燒之用。蓋低溫蒸餾之目的，不在煉焦，而在提取褐煤中 useful 之副產品也。

3. 焦炭(Coke) 焦炭係由焦性煙煤蒸餾而得，因其質與量，均合工業之條件，故為冶金燃料中之最重要者。蒸餾之溫度，可高至 1200°C ，亦稱為破壞蒸餾(Destructive distillation)，使煙煤之組織，完全改變。所有焦炭，均為孔隙組織(Cellular or porous structure)，其光澤，視水份與蒸餾溫度及時間而異，由銀白色至暗黑色，良好之冶金焦炭(用於治鐵鼓風爐者)，敲之作金石聲，無碎末，大小均勻，約為四吋之方塊，質硬而堅，具強大之機械力(壓碎力 Crushing strength 約為 2 tons/in^2)，不因爐中之高壓而致粉碎，更能耐磨擦或驟擲之衝擊而不碎(可以擊擊試驗 Shock test 測之)，因焦炭末不但阻塞氣道，又將為爐氣所吹出，仍歸無用也。其所含之固定炭

(Fixed Carbon), 須達 85—90%, 灰份不宜超過 12%。灰份均為雜質, 須加熔劑除去, 故愈低愈佳。且灰份之成分, 亦應注意, 如含有害雜質(如磷硫等)太多時, 亦不適於冶金。又煉酸性生鐵時 (acid pig iron), 焦炭之磷, 不得超過 0.018%, 硫雖不全入生鐵中, 但亦以少為佳。普通焦炭含硫約 0.6—1.5%, 上等冶金焦炭, 含硫應低於 1%。

焦炭在製煉成功時, 即帶水份(見後), 但用時以低為佳。乾焦炭能自空中吸水份達 2.5%, 若天氣潮濕, 水份可增至 4% 或 6%。

煉焦時之變化 (Changes during coking) ⊗ 煉焦係將煙煤加以蒸餾, 當溫度逐漸上升, 先驅去煤中之水份, 次為氣體, 以後為輕油 (Light Oil), 重油 (Heavy Oils), 及黑焦油 (Coal tar), 最後賸餘爐內者, 為固定炭及灰份之混合物, 即吾人所稱之焦炭也。泥炭褐煤, 均可煉焦, 惟其焦之質太劣, 非冶金家所重視, 吾人所討論者, 為焦性煙煤所煉之焦也。

凡焦性煙煤, 含灰份較低 (8%), 揮發物 18—32%, 固定炭 60—74%, 均為製上等冶金焦炭之原料。但品質較劣之煙煤, 甚至適當之褐煤, 雖其本身無煉上等焦炭之可能, 若與適當量之高級焦性煙煤混合後, 仍可煉得滿意之冶金焦炭。實言之, 近代煉焦爐, 均採用此種混合法, 以利用各級之煤煉焦, 良因高級焦性煙煤之產量與產地, 均非得心應手, 隨時隨地, 能適合工業情形者, 若不採此法, 則工業經濟上, 必受嚴格之限制與打擊也。

當蒸餾時, 煤之溫度, 逐漸升高, 其所生變化, 可分述於次:

升至 200°C. 煤中之水份及少量氣體被逐出;

200—300°C. 煤開始變軟, 略呈熔狀而膨脹;

300—400°C. 黑焦油汽化, 同時可燃之亮焰氣體 (Illuminating gases), 如石蠟族或烷族 (Paraffins, C_nH_{2n+2}), 烯族 (Olefines, C_nH_{2n}), 石碳酸類 (Phenols) 等, 均逸出;

500—600°C. 殘餘水份分解, 重炭氫化合物 (Heavy hydrocarbons), 如石蠟族烯族等, 均大部逐出, 且因高溫而分解。氣體之量開始減少;

900°C. 祇有少量重炭氫化合物, 氣體逸出;

1100—1200°C. 此時已達煉焦溫度 (Coking temperature), 煤之分解已完全, 無揮發物存在矣。

焦炭之特性 (Character) 與出產率 (Percentage yield), 視煤之特性, 煉焦爐之種類, 及煉時所用之溫度與時間而定。大抵溫度高, 時間久者, 其性較

堅密，光澤則除上述各點外，尚與煤炭本身所含之水份有關係。入爐之煤，能含極少量之水份(2—4%)，不但無害，且為必要，因其裝入較妥貼，飛逸之量亦較少，尤以採慢熱法(Slow coking)為然。如用快熱法(Quick coking)者，水份可減少。裝爐時，如煤太乾，尚須加以適量水份。

煉焦方式(Modes of coking)及煉焦爐(Coke Ovens) 煉焦之方式，及採用之煉焦爐，須俟煤之質與量而定。除老法煉焦，不計煤塊大小，灰份多少，直接以出礦煤入爐外，用新法或提副產品焦爐(By Product Cokeoven) 煉焦時，其原料必先加以預備及配合。普通應先將煤磨碎，其大小約為 $\frac{3}{8}$ "之塊狀，如灰份及硫份太多者，須用洗煤法以減低之。煤經洗後，含水太多，須讓其曬乾，如欲裝爐，須使水份減低至適宜之程度。若係數種煤混合者，宜先將各種預備，然後按量以機械法混合之。配成之原料，即以轉運籃(Bucket conveyor)運至焦爐頂上之儲倉(Storage bin)，以便隨時取用。

廣泛言之，煉焦爐可分為兩大類，即老式與新式。前者無多變化，而後者因不斷之改進，故又可細分，茲列於下：

A. 老式爐或煉焦時加入少量空氣(Coking with admission of limited amount of air)：

- (1) Heaps 堆聚式。
- (2) Open stalls 直窰式。
- (3) Bee-hives 蜂窩式。

B. 新式爐，即完全蒸餾法，不讓空氣滲入，其副產品或籠統燃燒或分別提取(Coking in absence of air & with or Without byproduct recovery)：

(a) 斷續式爐(Intermittent ovens)，均為蒸鍋爐(Retort ovens)：

(I) 豎式蒸鍋爐(Retort ovens with vertical chambers)——如包爾爐(Bauer oven)，亞波爐(Appolt oven)等均是；

(II) 臥式蒸鍋爐(Retort Ovens with horizontal Chambers)，此式又分為兩種：

(1) 直行煙道式(with vertical flues)——如阿托侯夫滿爐(Otto-Hoffmann)，可林(Collin)，可啤(Coppee)，考柏(Kopper)，米勒

(müller), 貝克(Becker 等爐皆是;

(2) 橫行煙道式(With horizontal flues)——如賽白(Seibel), 皓生勒(Huessener), 伯訥(Bernard), 沙木沙而菲(Semet-solvay), 羅斯伯(Rothberg) 等爐皆是。

(b) 連續式爐(Continuous Oven)——如呂滿(Luran), 薛爾登(Sheldon) 爐。

在新式爐中,吾人應辨別蒸鍋(Retort or coking chamber, 與煙道或燃燒房(flues or heating chamber)。因在建造上,彼此更迭,錯綜排列, (如 ABABAB……), 形式頗相似, 但前者為儲煤「房」, 後者為燃燒「房」。後者燃燒之熱, 透過左右兩壁, 傳於兩鄰之蒸鍋內, 以供蒸餾之用。由上可知新式爐之式樣頗多, 尤以臥式蒸鍋爐為然。但任何式樣, 均同一理, 即在建築上, 亦僅大同小異之分, 但因佔地面(floor space) 較小, 而受熱面(Heating Surface) 又較大, 宜於迅速出焦(快熱法)之性質, 遂使臥式蒸鍋爐, 起而代豎式者。在臥式爐中, 直行與橫行煙道兩式, 均多採用, 但近代趨勢, 似均多採用直行煙道。其理由為建築上較方便, 而各「房」之砂酸磚牆, 可使加強, 同時燃燒後之熱氣, 由下而上, 較由左至右, 為順其自然, 結果煙道可縮短, 而熱氣至多不過經兩次改變方向, 即達煙筒, 沿途之阻力, 亦可減低。此式之最普通而效率亦最佳者, 可以考柏爐為代表, 後當詳述之。

新式爐之較老者, 多不另加提煉副產品之設備, 所有蒸出之副產品, 由蒸鍋內籠統抽出後, 即於煙道內燃燒之, 以供煉焦之熱力。但近代規模較大之新式爐, 無不另具提副產品及直接預熱等設備。

在老式爐加入少量空氣煉焦辦法, 不但有價值之副產品, 全被燒去, 有時燒及焦炭, 故在技術與經濟上, 均有缺限, 已成過時(out of date)之方法, 故無庸深究, 現代工業, 均不採此類方法。但蜂窩式煉焦爐, 為老式之最佳者, 在適宜之環境下, 尚有其存在之價值。因設置簡單, 始業費(Initial cost) 甚低, 原料直接用出礦煤, 故預備費(Cost of Preparation) 低; 工作簡單, 無特殊機械, 故經常或維持費(Running cost or cost of maintainence) 低; 產量較少, 又能隨時增減, 以適應當地情形(Local conditions), 故在工業不十分發達, 交通不便, 需要量不多之處, 仍可使用此法。吾國在抗戰前, 除山西井徑, 有新式副產品煉焦法外, 其餘之焦, 幾全用此法製造, 不無原因也。反之, 此法僅適用於很好之焦性煙煤, 不能如新式爐之採用法, 產量甚小,

不能供大工業之需要，耗損太大，不僅全部副產品被燒去，即焦炭產量，亦平均較新式蒸鍋爐少5%以上，而出品之品質，亦遠遜於新法，如機械力不強，硬度較小，焦之大小不一致等等，故此法除在特殊適宜情形能存在外，現已大半為新法所淘汰矣。

新式爐之唯一弊端，即為龐大之始業費。但在長期經營(In the long run)下，其利遠過於其弊，除焦炭之品質優良外，在大規模之工業經濟上，其利有五：

(1)新爐可設於交通適中之地點，凡在適宜運費限度內各地點之焦性煤，均可利用；

(2)採用適當之混合法，充分利用蜂窩爐不能用之煤，既得合用之焦炭，復可增加原料之來源；

(3)除煉焦所需熱力，由煉焦爐氣供給外，尚可完全提出有價值之副產品，及過剩氣體，而分類利用之；

(4)倘能與鋼鐵同時經營，則相得益彰之效，更可使煉焦之成本低廉；

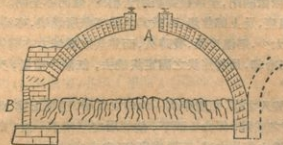
(5)規模愈大者，上述之利益亦愈大，始業費用，雖大無害也。

煉焦爐之建造與工作(Construction and operation of coke ovens)：上節所述煉焦爐，可分新舊兩大類，茲為簡明起見，擇最通用而能代表全類者論之，現於老式中，擇蜂窩爐，新式中，擇考柏爐。特分述於后：

A. 蜂窩爐煉焦法(The Beehive Process)：

1. 爐之建築 爐以蜂房名者，蓋狀其羣爐之排列，非爐之建築也。此爐形如一個圓頂(Dome)，以耐火磚砌於堅實之地基上，爐底為一略向前面爐門傾斜之平面，爐頂有一圓洞A(第二十二圖)，稱為頂門(Trunnel head)，上面架設軌道，以便推進煤車，沿線可以裝爐，同時蒸出物在爐內燃燒後之熱氣體，亦由此門逸出。前面爐門B為拱形，可以隨時封閉，或折開，一部需要之空氣，即由此放入，焦炭煉成後，亦由此門加水淬熄並取出之。爐之四壁為火磚，但圓頂則用矽酸磚，爐之大小不一，大者每爐約十二呎直徑，高八呎，可裝煤六噸半，須四十八小時煉成，若裝八噸，則需七十二小時。頂門頗小，只十四至十六吋直徑。小規模經營一二爐者，其燃燒後之熱氣，即任其由頂門逸出，無法利用；若爐多時，則排成兩行，爐背相連，爐壁之左右兩面，亦互相連接以減傳導及輻射之熱力損失。頂門均裝有活動支管，及活氣門

(Dampner), 各支管連接總廢熱氣管, 在此總煙道內, 裝廢熱鍋爐 (Wast heat boiler), 於是各爐熱氣, 均可經此而利用之, 最後方經煙筒逸去。但煉焦成熟時, 支管與頂門之連接, 即暫時各別折開, (活氣門先關閉, 以防空氣滲入總管。) 以便進行加水淬邊, 出焦, 及由上製爐等工作。



第二十二圖 蜂房煉焦爐

2. 煉焦手續 出焦後, 務須立即裝爐, 使爐內所存餘熱, 足以引起煉焦工作, 換言之, 即能蒸餾開始也。如係新建之爐, 則須徐徐加熱, 先於爐內以木柴升火, 經數日後, 再升煤火, 至爐壁紅熱, 即將灰渣記出, 續裝少量之煤以煉焦, 以後煉量逐次加多, 使爐達正常煉焦之溫度。

當裝爐時, 前面須以磚封閉至全門三分之二之高度, 所以防煤向門外滾出, 並減少加入空氣之量也。煤既傾入, 須即耙平 (Leveling), 使表面粗呈一平面, 此工作或由人工, 或以機械, 從爐門上部未封閉處行之。若爐溫正常, 則耙平後不久, 爐內存熱即可將煤之揮發物蒸出, 熱由爐壁而傳於煤, 故爐底與最下部之壁, 失熱較爐頂為快, 爐頂為暗紅色時, 爐底已呈黑色。但此時已有蒸餾工作進行, 揮發之氣體, 透出煤之表面, 與由爐門進入之空氣相混, 而爐頂之溫度, 又在該氣體之燃燒點以上, 故即起燃燒。最初發出小爆炸之聲, 此為可燃氣與空氣組成爆炸混合體燃燒之現象。以後即不然, 因揮發物繼續逸出, 供給燃燒, 祇見煤表面上, 一片小火焰耳。

此種揮發物之燃燒, 實為供給煉焦所需熱力之唯一來源。當蒸餾進行不久, 爐底存熱, 已用盡無餘, 不能繼續煉焦工作, 但因揮發物在煤之表面燃燒, 可使爐之上部及爐頂之溫度, 迅速升高, 以後熱即由爐之上部, 以輻射傳至煤之表面, 徐徐透入煤之下層, 使起蒸餾或煉焦之作用, 故爐之存熱, 祇為引起最初由下而上之極少量蒸餾, 而真正之煉焦, 實由煤之表面, 進行至爐

底時始完成。由此可知煉焦所需之時間，實以煤層之厚度為定也。

在煉焦初期，溫度漸漸升高，揮發物之量，由少而多，以後爐頂溫度，迅速升高，此量亦迅速達最高點。此量維持達相當時期後，即開始減低，最後幾等於零，煉焦手續，遂告完全。揮發物之燃燒，必時時小心節制其空氣量，爐門未閉之部，須徐徐關閉，至最後揮發物告罄時，爐門亦全閉。此種節制，可維持爐中最高溫度，及上部焦炭，不致為過量空氣所燃燒，亦為此法中，最重要之工作。空氣太少，則溫度低，費時久，而焦炭之機械力亦弱；空氣過多，不僅使爐頂及內部冷卻，且將焦炭之固定炭燒去，既減少產量，又使焦炭之灰份增加。

在開始時，裝入之煤，須配平為一均勻之煤層，已見上述，此亦為重要工作之一，因煉焦之成熟，係由上而下，倘煤層之厚薄不一致，則先成熟之薄處，即有被空氣燒去焦炭之虞，而厚處底部，尚未成熟也。

當揮發物停止發出時，(可由頂門煙量減少，及焦面之火焰降落查出)煉焦已經完成，須立即出焦，以免損失。將爐門完全打開，通入冷水管，噴水淬熄焦炭。然後以機器或由人工配出，再加水完全淬熄，即可應用矣。焦在爐中，為一大圓餅狀，故配出之焦塊，大小不一，因作業情形，使焦呈針狀組織(Needle structure)。

蜂窩爐煉焦，雖係老法，但在規模略大者，仍須有精密之管理，便各爐之作業，按步就班，依規定之時刻表(Time schedule)工作。若一遇不規則情形，則彼此衝突，而秩序大亂，不僅影響工作效率，而出品之品質，亦因之減色。

B. 考柏氏提取副產品煉焦爐 (Kopper's by product coke oven):

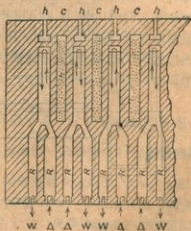
1. 新式提副產品煤爐之一般特性 (General features of by product coke ovens) 新式副產爐煉法，係用蒸鍋爐 (Retort ovens)，不讓空氣滲入，為真正之蒸餾。爐之建築，雖如上表所列，式樣繁多，但出入不大，普通可分為三大部：一曰煉焦房或蒸鍋 (Coking chambers or retorts)，一曰燃燒房或煙道 (Heating Chambers or flues)，一曰直接預熱房 (Regenerative chambers)。除預熱房之吸熱磚格 (Brick checker work) 為普通火磚，或特形火磚外，餘均為矽酸磚作成。蒸鍋為狹長之矩形，如一深巷，——長約三十至四十二呎，高約六至十三呎，寬約十二至二十二英吋。但一端約較他端窄二三吋，窄端名推動端 (Pusherend)，寬者名出焦端 (Discharging end)。推動時由窄而寬，便於焦炭之滑行之也。蒸鍋與燃燒房(一如蒸鍋之建造)，互相

間隔，加熱時蒸鍋之煤，可腹背受熱。每一爐必有蒸鍋數十個，或多至百個以上（燃燒房較蒸鍋數多一），煤由蒸鍋頂上加入，出焦時以電動推焦機（Power driven ram or pusher），——其大小可套入蒸鍋之推動端，其長與蒸鍋之長等。——由一端推至他端，將全鍋之焦，完全推出。紅熱之焦出爐後，或就池用水淬熄，或推焦入特製車中，再將車開至淋水塔（Quenching tower）下，加水淬熄之。煉焦時，蒸鍋兩端關閉，並以火泥封之，以防空氣漏入。鍋頂底有一揮發物出口，接於總管，導至副產品廠，分別處理之。煙道或豎或橫，已如前述，總以鍋中之煤，能各部一致受熱為宜；但鍋之兩端封門處，無法加熱，故該處之焦，品質較劣，名曰「黑頭」（Black ends）。

較舊之爐，有用間接預熱法，以預熱空氣，備燃燒房或煙道內燃燒之用。但新法均採直接預熱法，因效率較大，所需煤氣量亦較少。空氣直接預熱，可分兩種辦法：一曰集中制，全爐各煙道所需之熱空氣，由下部所裝之兩個大預熱器，更迭預備之。一曰單位制，每一煙道與其相連之蒸鍋下，分置兩個小預熱器，所熱空氣，專供該煙道之用，如此即將此一組蒸鍋與煙道，變為一獨立之組織，可以單獨運用，不因他組之停工或修理，而受影響。故後法較經濟，而有工作緩急之伸縮地，新式爐均採用之。

2. 考柏爐之建築 新式考柏爐之

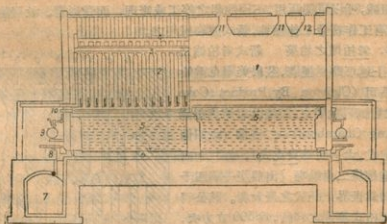
建築，上述可略見梗概，茲舉美國克雷敦煤焦公司（Clairton By-Product Coke Co.）之實例以說明之。該爐共有煉焦蒸鍋（Coking Chambers）一二五個（六四個為考柏式，六一個為貝克式），每二十四小時能煉煤二萬餘噸（出焦炭一萬四千餘噸），為世界上此式之最大者。該公司每一考柏式蒸鍋之容積，為500立方呎，其尺寸為 $37' \times 9' - 10" \times \left(17' - 19 \frac{1}{2}'\right)$ ，可裝煤十三噸，自裝至出，需時為十九小時。可由其縱橫截面圖，觀其內部之結構（第二十三及第二十四圖）。第二十三圖示蒸鍋c與燃燒房h之交互排列，及單



第二十三圖 考柏爐

h = 燃燒房 c = 蒸鍋
R = 預熱器 A = 預熱器
W = 廢熱氣

位制之預熱器；二十四圖示 e 及 h 之縱剖面(左半爲 h, 右半爲 e)；及燃燒後熱氣經過煙道之路徑。每蒸鍋之頂有四個裝煤口 (Charging holes) (11), 列成一直線, 以便橫行全爐頂上之裝煤車, 一次同時平均裝入。在爐頂極端另有一孔 (12), 爲揮發物之出口, 由短曲之支氣管 (Gas take off's), 連接總氣管 (Gas collecting main), 而導至副產品廠。此爐係直行煙道式, 每一燃燒房, 約有三十個彼此分隔之小直行煙道 (見二十四圖), 每小煙道底下, 有燃燒管 (Gas burner), 由總煤氣管 (9), 供給焦爐氣, 其四周有孔, 通下面之預熱器, 俾熱空氣流入, 以供燃燒 (在不燃燒時, 廢熱氣即由此入預熱器)。小煙道雖彼此隔開, 但由上部距頂不遠之大橫煙道 (Horizontal cross over flue) (3) 連通之。在考柏爐之燃燒法, 係將每個燃燒房, 分爲兩部, 每部各爲十五個小煙道, 如先燒左面一部, 熱氣上行, 會於橫煙道, 由此分配於右部之十五小煙道, 而由下部之孔入預熱器, 最後轉入煙肉逸去。每隔相當時間後 (或半小時或二十分鐘), 掉換焦氣與空氣之方向, 右部燃燒, 而熱氣由左部逸出。以後如此環循。至煉焦成熟爲止。



第二十四圖 考柏爐

- | | |
|----------|------------------|
| 1. 蓋板 | 2. 小煙道(下設燃燒管) |
| 3. 大橫煙道 | 4. 上部廢氣 |
| 5. 預熱器 | 6. 預熱器下之煙道(冷風通過) |
| 7. 地下預熱器 | 8. 支氣管 |
| 9. 總煤氣管 | 10. 煤氣供給管 |
| 11. 裝煤口 | 12. 揮發物出口 |

沿爐之兩旁，各有一個長大地下煙道 (Under-ground flue) (7)，以連煙筒。熱氣經預熱器後，溫度已下降，最後經生鐵曲管 (Cast iron goose necks)，而達地下煙道之出路。每個曲管內，均有氣門，以節制氣流之風壓 (Draft pressure)，更有一可啓閉之開口，與外面空氣相通。在預熱空氣時，冷空氣即由此放入，但在廢熱氣熱預熱器時，此口即關閉，俾廢氣可入地下煙道，而達煙筒。煉焦爐之煙筒，須達一定之高度，使熱氣有必具之風壓，雖經曲折，可流行無礙。

3. 煉焦之作業 (Coking operation) 若係新爐，必須預先熱至適當溫度後，方可裝煤，即須將整個複雜構造之爐，使其全部溫度升高，必以極遲緩，極均勻之方法提升之，否則因膨脹率之不均，將使爐之建築破裂，或變形。加熱之法，即在蒸鍋房底部升火，兩端之上半部，暫行封閉，留下部為引風燃燒之用。蒸鍋房兩壁之上部，先留若干可塞之小洞，與相鄰之燃燒房通，燃燒所生之熱氣，上升入燃燒房，由小直行煙道下降；入預熱器，轉地下煙道，經煙筒逸去，故全部均可受熱也。加熱分兩時期：一曰乾燥期，二曰加熱期。在第一期內，只用木柴升火，至少須歷兩星期，而爐之溫度，僅升至 120°C (250°F)，可見溫度上升之慢；第二期內，換升煤火，至少歷時四星期，雖溫度上升，較第一期略快，但每日平均亦不過升高 14°C (25°F)。在第二期末，爐之溫度，尚祇達 500°C 至 600°C ，但以後可以增加速度，使溫度迅速增至 900°C 。此時即可將蒸鍋內之火及灰撤去，上面小洞塞閉，兩端之門關閉，燃燒房之煤氣打開，以預熱空氣燒之，一如煉焦時然，爐內不久即可達正常之煉焦溫度矣。

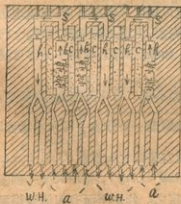
若以良好之焦性煙煤煉焦，其大小只要不過二吋半直徑者，均可用，但近代作業，欲得組織均勻之好焦炭，均將煤磨至一公分或 $\frac{3}{8}$ 吋大小為標準。煤經磨洗或烤乾後，即轉運至煉焦爐頂上架空裝置之大煤倉 (Coal bunker) 內，倉下為循軌橫行全爐頂裝煤車 (Charging Lorry)，每車只裝一個蒸鍋所需之量，由倉下漏斗放入，其量以體積估定之。此車下面有四個裝煤漏斗孔，車中之煤，亦平均分配於此四孔上部，如第五十號蒸鍋，須要裝爐時，即通知管車人，移車就該鍋頂上，此四漏斗孔，恰針對鍋頂之四裝煤口，此時將裝煤口蓋揭去，由四口同時加煤，即刻可以裝完。

當裝煤之先，必須將蒸鍋兩端之門封閉，其接口處，並以泥封 (To lute)

之，使勿漏氣，僅留門上端十吋許洞開，以便電動推焦機上部附帶之電動平煤機(Electric levelling machine)套入，來回兩次配平之。經此推平後，兩端之門即可完全封閉。此時蒸鍋之煤，深度大體一致，距爐頂約十吋左右。

此時蒸鍋頂上之裝煤口及兩端，均已密閉，支氣管內之氣門打開，與總管相通，蒸餾遂於此時開始。煉焦成熟，須歷十九小時，燃燒房內所發之熱，透過導熱性較良之矽酸磚，以蒸餾其兩鄰蒸鍋內之煤，故煉焦係由兩邊徐徐向中央推進，致煉成之焦，其中心呈一明顯之分界線，沿此平面，因其在高溫之時間較短，故其組織亦較弱，一受震動，如出焦時，由鍋內墜落，即易由此處分裂。故此平面，即稱為脆裂面(Plane of cleavage)。分裂之焦炭，為短塊狀，質堅而密，其蜂窩爐所出長大不整之針狀者有別。

裝爐出焦及燃燒與溫度之管理，均須按照規定時間表，嚴格執行，方能井井有條，不生擁擠雜沓之弊。因全爐只有一個裝煤車，一個平煤機，及一個推焦機而已。當某蒸鍋一到煉焦成熟時，立即準備出焦。先將連結總氣管之支氣管門關閉，兩端之門全開，推焦機即由窄端，將赤熱之焦，完全由出焦端推出，而墜落於盛焦斗車(Side dump hopper car)內，此車立即開至水塔下，加水淬熄之。出焦工作，須各部按時接地，準備就序，以最迅速貫之手續，一氣呵成，費時不過一二分鐘。因蒸鍋



第二十五圖 貝克爐換機情形
方向換動時，a 與 W.H. 對換，
s = 橫跨煙道 h = 煙道
c = 蒸鍋 a = 空氣
W.H. = 廢熱氣

兩端之門一啓，此高熱之焦炭，即與外界空氣接觸，起猛烈之燃燒，若手續遲延，則焦之損失不少也。蒸鍋出焦後，即準備裝煤工作。

當加熱時，除少數例外，普通煤均開始略形膨脹，以後即收縮。凡煉焦爐一經開工，均繼續使用，若作廢不定，時冷時熱，爐磚幾經脹縮，即告破裂。

克雷敦廠，較新之一部貝克式(Becker ovens)，與考柏式完全相同，僅燃燒房構造略異耳。考柏式係用一大橫煙道，連通同一燃燒房之各小煙道，使分作兩部，更迭互用，貝克式係用騎馬式之橫跨短煙道(Short cross-over flues)，經過蒸鍋頂部，

以連通相近兩個燃燒房之小煙道(見第二十五圖)。應用時,如蒸鍋之左邊燃燒,熱氣由此達右邊,方向換動時,由右邊燃燒,熱氣經左邊入預熱器而逸出。此種式樣,熱氣由一邊傳入他邊較易,熱之分配,亦較由一橫煙道分配各小煙道為均勻,且易節制,故多採用之,實際該廠貝克爐之煉焦時間,比考柏式可縮短兩小時。

4. 副產品之提取 (Recovery of By-products) 凡規模較大之新式煉焦爐,均提取煤中 useful 之副產品。欲達此目的,必另設一副產品廠 (By-product plant),以分途處理之,因其手續亦頗複雜也。煤經蒸餾後,所有之揮發物,種類繁多,混為一團,其逐一提取、精煉、及應用方法,支分節演,實為一有系統之化學工業,非本篇範圍所及,學者如欲詳研,可參考專書,茲僅略述大意,以見此種工業之一般。

煉焦副產品,為一極繁雜之混合物;簡約言之,在普通溫度壓力下,可分為三大類:

(1) 氣體產品: 氫 H_2 ; 沼氣(甲烷) CH_4 ; 及石蠟族氣體,如乙烷 C_2H_6 , 丙烷 C_3H_8 , 丁烷 C_4H_{10} ; 烯族氣體: 如乙烯 C_2H_4 , 丙烯 C_3H_6 , 丁烯 C_4H_8 ; 炔族氣體: 如乙炔 C_2H_2 ; 氨氣 NH_3 ; 硫化氫 H_2S ; 一氧化碳 CO ; 氮 N_2 ; 氧 O_2 等。

(2) 液體產品 (由氣體凝結而成): 苯 (Benzene) C_6H_6 , 甲苯 $C_6H_5 \cdot CH_3$, 二甲苯 $C_6H_4(CH_3)_2$; 二硫化炭 CS_2 ; 水及石蠟族液體等。

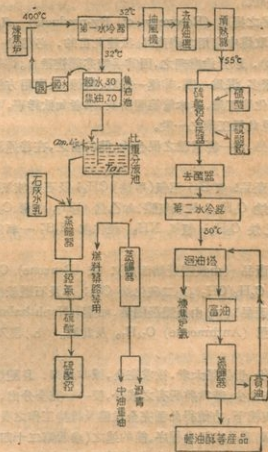
(3) 固體產品: (a) 由氣體凝固者,如萘 (Naphthalene) $C_{10}H_8$, 石炭酸 C_6H_5OH , 蒽 (Anthracene) $C_{14}H_{10}$ 及其他。(b) 帶入之固體,如煤屑、煤煙等。

上述各成份,皆華華大者,欲求完全,誠非易事,且隨煤之種類而異。愈稀有者,含量亦愈少,若欲將所有之成份,使一一完全分出,確為極繁雜之手續,且須在大規模下,方值得此種完全設備及維持工作之費用。

茲將提取副產品之初步程序,簡約述之(參看第二十四表)。揮發物由支管入總氣管時,約達 $400^\circ C$ 左右,由總管導至副產品廠時,其溫度即沿途下降。到廠後即入第一水冷器 (Primary water cooler), 管外以冷水冷卻之,使溫度降低至 $82^\circ C$ 左右,其中全部水汽及 95% 之黑焦油,均凝成液體,流入黑焦油池 (Tar wells or tanks)。因比重不同,可粗分為二部,上面為含銨之水,稱為 液 (Ammonia Liquor), 約佔全體 30%, 下面為黑焦油

(Coal tar), 約佔 70%, 一部份之輕油, 即用泵抽出, 打至煉焦廠之總氣管起點, 使之順流而回水冷氣器, 蓋管內沉積之煤煙, 及沿途因自然冷卻, 而凝結之焦油等物, 非經如此環流洗滌, 侵久必將管內阻塞, 須時時停工清理矣。

第二十四表



焦油池之液體(包括氨液及焦油), 使再流入比重分液池 (Gravity separation tank), 先經分液隔板(Baffle), 較輕之氨液, 留於第一間, 焦油由底部入第二間; 於是氨液與黑焦油, 又得重行分清。氨液與石灰水乳 (milk of lime) 混合, 入蒸餾器蒸之, 氨氣即被逐出, 通入硫酸中 (普通用硫酸銨合成

器，見下），使成硫酸銨，可作肥料用。黑焦油之成份，約為 2% H_2O （水），63% 瀝青（Pitch），30% 重油（Heavy oils），其發熱量約為每磅 16200 Btu，故為佳良之燃料，或用以鋪路面，及其他防水之用；但最大用處，即為再行蒸餾，提取有用之重油及中油。

由第一水冷器出來之氣體，除大部為煉焦爐煤氣（Coke oven gas）外，尚有其他有價值輕油氣體、氫氣、及極少量被挾帶之焦油細末，以後尚須一一加以處理。氣體經冷卻後，體積減小壓力亦減低，不能勝過以後各部處理時所生之阻力，故使經過一積極抽風機（Positive-exhauster），提高氣壓，送入去焦油機（Tar extractor）內，此機構造原理，係將氣體在壓力下，經細孔板，變為無數小噴流（Fine jets），而撞於第二層細孔板上，須改變方向，始能由第二層細孔內噴出。氣中所帶細焦油末，即被滯留於板上，積聚之焦油，即沿板流至機底，按時抽出之，出口之清氣，幾全無焦油踪跡矣。

氣體去焦油後，即送入廢蒸汽預熱器（Exhaust steam preheater），使其溫度由 $39^{\circ}C$ 左右，提高至 $55^{\circ}C$ 左右，此時再送入硫酸銨合成器（Hot saturator）。此為一大漏斗形，外係鋼殼，內襯鉛皮，貯飽和之熱硫酸銨溶液，在一定工作情形下，此液之溫度，及所含之過量硫酸（Excess or free acid），均保持一定，氣體中之氫氣，即與過量硫酸中含為硫酸銨（用去之硫酸，須繼續補充之），但在飽和液中，不能溶解，隨即沉澱，而由器下抽取之。

由合成器出來之氣，僅含有最揮發之輕油氣體，先使之經去酸器（Acid separator），以去其挾帶之溶液細末，再經第二水冷器（secondary water cooler），使溫度由 $54^{\circ}C$ 降至 30° 左右，蓋低溫易於輕油之抽提也。

冷卻之氣體，再經過過油洗氣塔（Oil scrubber），其構造及原理，與洗氣塔及對流原則，完全相同，惟後者用水，此處則用重油（Heavy oil），使氣中所含之輕油氣體，如苯及其族類，幾經旋迴，均為之吸收。最後重油吸收達一定程度時，稱為富油（Rich oil），可抽出蒸餾之，輕油即可分出。蒸後所存之貧油，又打入塔內補充之，離塔之氣體，即為純潔之氣體燃料，內燃機亦可採用之。

茲為明瞭副產品產量起見，可由克雷敦廠實際情形見之。平均每一噸煤，可出下列產品：（1）0.70 噸焦炭；（2）0.035 噸帶出之細煤末 breeze or dust，可用於蒸鍋爐；（3）12 加崙（U. S.）黑焦油；（4）27.3 磅硫酸銨；（5）2.85 加崙汽油，2.1 加崙之純苯 C. P. benzol；（6）0.48 加崙之純

toluol; (7) 0.44 加崙之純樟腦精溶劑(Solvent naphtha); (8) 0.44 磅粗萘(Crude naphthalene); (9) 11600 立方呎焦炭氣, 平均發熱量約為 590 Btu/ft³, 煉焦爐祇用 36%, 其餘之 64%, 可作他用。此為該廠煉焦副產品之情形, 普通任何煉焦廠情形, 雖略有差別, 但出入甚小, 由此可見一般。

上述副產品之提取, 尚祇將其大部分開, 餘如黑焦油及輕油之分儲, 尙未列入。若詳細提分, 並加以精煉, 則須另見專冊, 但由此可見手續之繁, 且非大規模工業, 不能應有盡有, 充分利用副產品也。

液體燃料 液體燃料, 工程上均樂用之, 因其具有氣體燃料之利, 而無固體燃料之弊, 燃時無灰份, 又易攜帶, 發熱量較固體燃料大, 故便於貯藏。而燃燒之完全, 份量與溫度之易節制, 尤為其優點。

反之, 液體燃料之供給不豐, 非隨時隨地可得, 價亦甚昂, 燒時須具種種設備, 如流動性不大者, 須預熱以增高之, 故非在特殊適宜情形之下, 用者極少。

液體燃料, 以天然者為重要, 無論其質與量, 皆遠勝一切人造者, 例如黑焦油及火酒, 皆非工業主要燃料, 而油頁岩(Oil shale)之蒸餾產品, 其本質實為天然液體燃料。除黑焦油已如上述, 火酒及頁岩蒸餾, 有化學工業叢書可參考外, 本篇僅略述天然液體燃料之梗概。

天然液體燃料, 即為石油 (Petroleum), 冶金所用者, 亦以此為重要燃料, 石油係一總名, 包括各種成份, 亦須以蒸餾法分開, 其分別提煉, 另成一有系統之化學工業, 非本篇所能細述。

石油蘊藏於地中, 須開鑿數千呎深之井以達之。世界產油區域不多, 最重要者, 首推美國, 其產量約當全球產量三分之二。其次為蘇俄之巴庫 (Baku), 產量約當五分之一。其次如伊蘭(波斯)、墨西哥、荷屬東印度, 及其他各國。吾國之陝、甘、川三省, 均有石油蘊藏, 以前未能切實探採, 現在抗戰愈久, 液體燃料問題, 亦愈形嚴重。現當局努力開發, 尤以甘肅玉門之油礦, 規模宏大, 現已有成績, 不久當有重大之發展。

石油之發熱量極大, 較煤約大 50% 至 100%, 每磅原油 (Crude petroleum) (即由井內打出, 未加提煉者) 之發熱量, 約為 21000 英熱單位 (煤僅為 9000—15000 英熱單位), 原油普通均經過蒸餾, 以分出各種有價值之成份, 而不直接用作燃料。若用於冶金, 則必該地情形特殊, 煤之質量及價格均無辦法也。

石油之成份極複雜，大概言之，除極少量之氮硫氧化合物外，百分之八十五以上，均為碳氫化合物 (Hydrocarbons)，其中之大半均為石臘族之化合物 (C_nH_{2n+2})，有若干產地之石油，含有少量之乙烯族 (C_nH_{2n})，間有含炔族 (C_nH_{2n-2})，惟不常見，且其含量亦僅痕跡而已。芳香族化合物 (Aromatic series C_nH_{2n-6})，如苯類，則所有石油中，均有少量存在。

原油當蒸餾時，其中各種化合物，以沸點之不同，依次揮發，更可以重復分溜法 (Fractional distillation)，使彼此完全分開。最後以酸鹼等物洗滌而精煉 (Refining or Purification) 之，即可分途應用。沸點最低之輕油 (Light oils)，最先蒸出，如石油以脫 (Petroleum ether) 等，次為飛機汽車用之輕油 (Petrol)，次為家用之煤油 (Kerosene)，再次為各種中油 (medium oils)，及重油 (Heavy oils)，可為化學工業原料，機器潤滑油 (Lubricants) 及柴油之用，為工程上重要之原料。最後存餘者，為石臘及瀝青。

原油係有色而帶臭味之液體，其色自淡黃至黑色，其比重自 0.73—0.97，若以「步梅」度 (Beaume) 表之，則為由 61° 至 14° Be' (按步梅度係示較水輕之液體比重，其階度由 10° 至 95° Be'，其相當之比重為由 1.0 至 0.6222，可參觀化學手冊)。原油之顏色愈淡者，其比重亦愈輕，而所含較輕油之成份亦愈多。

氣體燃料 氣體燃料，清潔便利，為冶金及其他工業燃燒上最佳之燃料。除用電發生熱力，為理想之燃料外，差可與電相比擬者，惟有氣體燃料。茲將其優點概括於次：

- (1) 氣體燃料，與空氣混合密接而均勻，可得完全燃燒；
- (2) 過量空氣，可減至最低限度；
- (3) 氣體燃料，經燃燒後之廢熱氣，最適於預熱法，可增燃料經濟；
- (4) 燃料之量及燃燒之溫度，可以隨意節制；
- (5) 氣體燃料之運輸最靈便；
- (6) 任何固體燃料，由木柴至無煙煤，均可為製造氣體燃料之原料，故可隨時隨地製造之；
- (7) 氣體燃料若用之於內燃機，其熱效率之高，為其他固液體燃料所不及。

由此可知氣體燃料，在工業上之重要，茲分論之。

1. 天然氣體 (Natural gas) 此為所有氣體燃料中最佳者，惜為產量

及產地所限，不能普遍應用。天然氣之利用，遠自十七世紀，吾國四川自流井天然煤氣之利用，已有數百年之歷史。當時記載，以爲「不見火之質，而用火之神。」蓋對此無色透明氣體燃料，由地下無形流露，認爲驚奇異常之事，無法解釋。

天然氣之成份，由 78% 至 97% 爲沼氣 CH_4 ，餘爲少量之 N_2 ， CO_2 ， CO ， O_2 。因其不可燃氣體 (Non-combustibles) 之成份特低，故幾爲一完全燃料，其發熱量之高，爲其他氣體燃料所不及。若將天然氣預熱至高溫度時，沼氣有被分解 (Decomposition) 之虞，若分解爲氫，則體積加大，而發熱量大減，反遜於原氣，故用天然氣時，均不預熱，且因其質佳，祇要管理得當，工業上所需之高溫，均不難獲得，亦無預熱之必要也 (祇須預熱空氣)。

天然氣蘊於地中，鑿井取出，亦如石油，有時氣壓可達每方吋七百磅之鉅。其藏量並非取之不盡，用之不絕。現在天然氣之開發及利用，最廣者莫過美國，最初以藏量無限，任意使用，經久方知其氣壓逐漸下降，終有告罄之日，故現在均避免大量使用，以省物力。天然氣之沼氣，即爲石油重要成份石臘族中之第一個炭氫化合物，故兩者之成因，實出一源。故有天然氣之區域，即可發現石油，或油區可有天然氣，皆極可能之事也。

2. 人造氣體燃料 (Artificial or Prepared gases) 人造氣體燃料，普通以煙煤爲主要原料，但其他固體燃料，亦可利用。製造之方法，視吾人之需要目的而異，茲分述之：

(1) 蒸餾氣體燃料 (Retort gases)。其製取之方法，係於蒸鍋中，實行蒸餾法，以煙煤爲主要原料，故氣體之主要成份，全爲煤中氣體揮發物。最重要者有兩種：

(a) 煉焦爐氣體 (Coke oven gases)。此氣之製造方法，已詳煉焦法中，茲不贅述。但吾人應知煉焦爐氣爲副產品，而非主要產品，蓋煉焦爐之目的，爲得一良好之焦炭，其氣體品質如何不同也，因其所採之溫度甚高，故氣中所含之氧極低，其品質較其他人造氣體爲佳。

(b) 城市煤氣 (Bench or coal gas or town gas)。爲城市中自來火 (煤氣) 公司 (Gas company) 製造，用小型蒸鍋 (約 26 吋 \times 16 吋 \times 8—10 呎長)，原料多用高揮發之煙煤或燭煤，蒸餾時間，僅四小時左右，溫度亦不及煉焦時之高。因其主要目的，爲得一燭光 (Candle power) 較強，或亮度 (Illumination) 較大之煤氣，以供家常燃料及照明之用，售價自較工業用之

氣體燃料為高，至其副產之焦炭若何，則不問其品質也。此法所產之焦，遠遜於煉焦爐之產品，但因所採之煤，含揮發物甚高，故此氣之燭光，較焦爐氣為大(約為 18 C. P. : 12 C. P.)。含氫較低，而沼氣及 C_2H_4 等發光氣體則較高。

上述兩種蒸餾氣體，為人造氣體燃料中之最佳者，勉強可與天然氣之發熱量及效率相比擬。如專為照明之用，則此種煤氣，尚須另以炭氫物富化之，普通稱為加油作用 (Carburization) (見後)。

(II) 發生爐氣 (Producer gas) 發生爐氣，係炭與少量空氣不完全燃燒之產品，若以簡明方程式表之，可得 $nir(N_2, O_2) + 2C \rightarrow 2CO + N_2$ ，故其主要之可燃氣體為 CO，而隨空氣混入之氮甚多。在新式發生爐氣，參用少量之水蒸汽，可得少量之氫，故發生爐氣之品質不佳，發熱量亦較低。但固體燃料之不直接燃燒，而先經此一番改造者，亦自有故，請申論之。

(1) 固體燃料，既多灰份，而水份含量又不一定，均不合經濟條件；

(2) 直接燃燒固體燃料，為效率最低者，塊狀大小不一，燃燒時與空氣接觸面少，若欲完全燃燒，至少須用超過理論量一倍以上之過量空氣；

(3) 直接用固體燃料時，溫度最不易節制，用工人亦多，雖加節制，其功效不大，反應亦不靈敏；

(4) 在新式大規模工業，需要均勻可靠之高溫度時，若直接用固體燃料，根本即無法可辦。

反之，發生爐氣除具上述數端之優點外，更有下列之利：

(1) 不如天然氣體之為產地所限，可隨地建爐製造之；

(2) 任何固體燃料，或低級之煤，均可用作原料。

故工業家不憚製造之煩，因兩相比較，仍以製造氣體燃料，為經濟合用也。

發生爐氣之重要冶金用途，即為平爐煉鋼 (Open hearth steel processes)，尤以規模較小之廠，無煉焦爐氣供給者為然。故其製造方法之記述，亦宜較為詳盡。本篇祇注重普通之理論與實際，若欲深研，當另考專篇。

發生爐氣之成份，已如上述，但亦須視製法及原料之種類，而略有變動。如用褐煤或高揮發性煙煤，則氣中之炭氫化合物可略高，而發熱量亦因之加大；反之，如用無煙煤或焦炭，則此類成份必減少。又製造時，如將空氣中混入少量之蒸汽通入之，則蒸汽被熱炭分解，使氣中之氫增多，否則較少。但近代製造法，均通入少量蒸汽，其目的並非為製氫氣，而為節制爐中溫度，使保

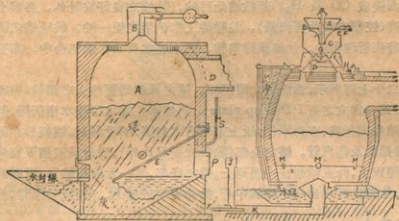
持一定，換言之，即保持氣體質量不變也。

發生爐利用自然通風，故氣壓不大。爐內可利用碎末煤焦，不致吹出，與藍氣造製爐(Blue gas generator)之用壓力鼓風者不同。此爐為一直立圓筒式。裝入之煤，約及容量之半，由爐下之爐條(grade)通風，此空氣經過燃料層(fuel bed)之熱炭，即起化學變化。遠在一八九四年，恩司特(Ernst)即研究炭之氧化作用，據云炭在空氣中加熱，至少須至 400°C 時，方有氧化之可能，而此化合作用之結果，皆為 CO_2 。此種完全燃燒作用，因溫度增高而加速，至 700°C 時，燃燒產品內，即有少量之 CO 發現。此後溫度再增高， CO 之量亦增加，待至 995°C 以上時，則燃燒產品，全為 CO 而無 CO_2 成功矣。吾人製氣所需要者為 CO ，故爐內溫度不能低，否則即得不能燃燒之 CO_2 ，此點當於以後製藍氣時證明之。今若按此理推算，如僅以空氣及焦炭為原料，且始終保持發生爐之溫度，不下於 1000°C ，則所得結果，應為一理論的 CO 與 N_2 之混合體。無論以體積或重量計，均為 34.6:65.4 之比率。(按科學記載上，凡氣體之分析報告，其所列各種成份之百分數，若不特別註明為以重量計算，則均為以體積計算，應注意。)但在實際上，任何發生爐氣，均有少量之 CO_2 存在，其原因不外兩端，一為爐中溫度，不能平均一致，一為燃料層厚薄不一，甚至有漏風道("Channels" or free air passage)，空氣入爐，與熱炭接觸之時間極少，即漏至燃料之上，而將少量之 CO 燒去，成為 CO_2 。又發生爐氣中，均有少量之氫存在，其成因係空氣中與煤中之水份，或在近代作業時加入之少量蒸汽，被熱炭分解所致，其變化如下： $\text{H}_2\text{O} + \text{C} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$ 。爐中之煤，須常撥動者，即減少漏風道之存在，同時使煤塊之位置變動，各部均與空氣接觸，氧化之機會及速度，得以平均。

爐之構造與製氣法 關於發生爐(Gas producer)之構造，式樣繁多，不勝枚舉，惟原則相同，均如上述。至如何方能使原則實現，則不知經過若干改進，方有今日之構造及作業，雖不敢云已達理想境界，亦可認為完滿之工具，茲逐步擇一標準式樣，而分述之。

1. 司密士爐(Smythe gas producer)。如第二十六圖左所示，為一連續自動除灰式(Continuous and self-cleaning type)，雖式樣較老，但建造及作業，均極簡單。爐為一直立圓筒式，底下以水封閉(Water-seal)，爐內係一傾斜爐條 E (Inclined grate)，灰即可滑入水中，而由左面記出之。爐條之下，由外面裝入蒸汽管 S (Steam blast pipe)，以便通入蒸汽。所需空氣，即

由爐門P流入。水面以上，沿爐壁裝有撥火及清除洞(Poking and cleaning holes)，以使用鐵桿插入攪動之。爐上裝煤設置，係鐘蓋漏斗式(Bell and hopper system)，以免裝煤時，氣體外逸。先啓最上之蓋，貯煤於漏斗B內，復將上蓋嚴閉，再將槓桿外端向上推之，則鐘即下墜，而斗內之煤亦落於爐中A矣。製成之氣體，即由D管導出。



第二十六圖

此式爐較老，其煤層之厚薄，顯然不一，裝入之煤，表面亦非平面。人工撥火，工作既不規則，煤層厚薄亦無法節制，故煤之耗費頗大，氣體品質亦不一致，但因其設備及工作均簡單，不需機械，亦自有其用途。

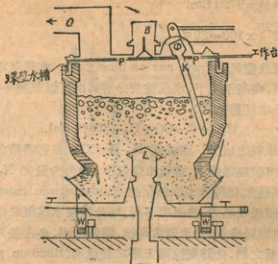
2. 摩干爐(Morgan gas producer)。此爐具有自動裝煤設備(Automatic feeder)，如第二十六圖右所示，爐頂有兩個上下相疊之漏斗A及C，由B啓開，而煤墜於C中。D為一旋轉分裝板(Revolving distributing disc)，繫於軸G上，而由E F之機動部分，使D得以起落旋轉。又D之形式，並不對稱，當降落旋轉時，煤即隨D緣入爐，得以平均分配，而粗成一平面。H為水封線，以防氣體滲漏，爐底出灰處，亦以水封閉之，J為風扇，K為風管，L為菌式爐條(Mushroom or conical grate)，上有小孔，以便空氣平均分配於燃料層。又K中可另裝蒸汽管K，直達爐條下，以便通入蒸汽，M為撥火洞。工作時，通入空氣及蒸汽之量，均可分別節制之。普通直徑十呎之爐，每小時

可氣化 (Gassify) 煤約六百磅，(或每小時每平方呎爐條面，可製煤 12.7 磅。)若用壓力通風 (forced draft)，則此量可增至每小時八百磅以上。

此爐之作業方法，與前式爐均同，但因裝爐與爐條之改進，可使爐中燃料層，厚薄比較均勻，作用亦較有規則，故氣體之質與量均較佳。

3. 侯氏自動爐 (Hughes mechanically poked gas producer)。按發生爐之效率，全靠裝爐與出氣之恆一有序，及所用空氣與蒸汽之完全與炭作用，而變成 CO 及 H_2 。若欲達此目的，(除爐之良好設計外，必須小心節制溫度(控制空氣及蒸汽量)，並維持工作情形之恆一性。侯氏爐之設計至佳，若使管理得法，始終維持常態，則上述之目的，雖不全中，亦不遠矣。

第二十七圖所示，為此爐之縱剖面。爐之外部為圓柱式之鋼殼，內砌火磚，爐頂為一獨立之蓋 PP (Top plate)，與爐身上端之環壁水槽銜接，但不固定。爐底出灰處，亦為水槽，故上下均有水封閉，不致漏氣。爐條 L 亦係齒式，下接通風及蒸汽管。爐之全部(除獨立蓋 PP 外)，安放於五個可旋轉之固定鋼輪 W 上，此五輪適在一圓周上。爐之底部，為一大齒輪盤 T，以機動組織推之，全爐即可以自身中線為中心，徐徐旋轉於輪上。(普通工作時，旋轉甚慢，約為 $\frac{1}{10}$ r. p. m.)，爐頂之蓋，即鑲連於工作台 (Charging or working floor)，與爐完全分開，爐在固定蓋下旋轉，但藉水槽封閉，不致漏氣。蓋上裝有氣體出口 O (gas outler) (左邊)，鍾蓋漏斗裝煤口 B 兩個 (圖中只示一個在中間)。機械自動撥火桿 K (右邊) 一個，及數個觀察孔 (Observation holes) (未表示)。裝煤口一在中心，一稍偏(地點與煤氣出口處相當)，所以保證裝煤之均勻也。撥火桿為鑄鋼所製，下端略細，中空為來回管，以便導流水由一半下，經桿端由他半上，藉以冷卻之，使不因高溫，而致迅速損壞。此桿藉槓桿原則 (Lever system)，以機械推挽上端，其下部即徐徐在爐內搗動，復因爐本身之旋轉，故桿端之軌跡，為一連續之正弦式弧線，使裝煤得一有效而均勻之撥動，非人工撥動所能比擬。爐底水封線，係一環形水槽，同時亦為出灰盤 (ash pan)，冷水經撥火管支點下流至桿端，再折回流出，經頂板至爐頂環壁水封槽，再溢出，經導管 (Drain pipe) (在爐之右邊) 而達出灰盤，故各部均利用此水，工作時，空氣與蒸汽混合，由爐條下向上噴入，其量可於工作台上任意節制之。



第二十七圖

發生爐之效率 發生爐之效率，即所生氣體燃料之含熱，與所用原料含熱量之比率也。設有一發生氣爐，不用蒸汽，祇用空氣及褐煤，煤含 C 57.7%，發熱量為每磅 9720 Btu。製成之氣含 2.8% CO_2 ，30.5% CO ，2% CH_4 ，其發熱量為 159 Btu/Cu. ft.，今求其效率於次：

在 N. T. P. 下，每立方呎之重量， CO_2 為 .1226 磅， CO 為 .078 磅， CH_4 為 .0447 磅。每立方呎發生爐氣內，計

$$\text{CO}_2 \text{ 之含 C 量} = .028 \times .1226 \times \frac{12}{44} = 0.00936 \text{ lb.}$$

$$\text{CO 之含 C 量} = .305 \times .078 \times \frac{12}{28} = 0.010196 \text{ lb.}$$

$$\text{CH}_4 \text{ 之含 C 量} = .02 \times .0447 \times \frac{12}{16} = 0.000670 \text{ lb.}$$

$$\text{每立方呎氣含 C} = 0.011802 \text{ lb.}$$

$$\text{每磅煤所生之氣} = \frac{.577}{.011802} = 48.9 \text{ ft}^3$$

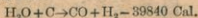
$$\text{或} \quad 109500 \text{ ft}^3/\text{ton.}$$

$$\text{每磅煤所生氣之熱量} = 48.9 \times 159 = 7775 \text{ Btu.}$$

每磅煤之熱量 = 9720 Btu.

$$\text{故效率} = \frac{7775}{9720} \times 100 = 80\%$$

(III) 水煤氣或藍氣 (Water gas or blue gas) 水煤氣之作法，係以蒸汽通入赤熱之炭，在高溫度下，水汽被炭分解為兩可燃氣體——氫及一氧化碳——其化學上之反應如次：

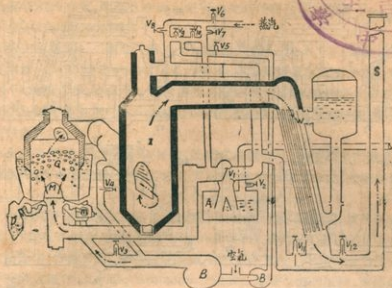


按理論言之，水煤氣之成份，應祇為 H_2 及 CO ，各佔體積之半，但實際上使炭變為赤熱，須鼓風燃燒之，普通水煤氣中，均含少量之 N_2 及 CO_2 。

上列之化學變化，係極強之吸熱反應 (Endothermic reaction)，換言之，炭之分解水汽，須吸收熱力，若溫度不高，則此種製水煤氣之作用，即無從發生。欲使爐中之燃料或炭，升至適當高溫，儲熱待用，必先鼓入空氣，使燃料起燃燒，而生大量之熱，此時期技術上謂之鼓風期 (Blast on period)，或加熱期 (Heating up period)。在此期末，爐內溫度升高，即停止鼓風，另通入蒸汽，以製成氣體，此期稱為通汽期 (Steam on period) 或製氣期 (Gas making period)。在實際作業上，鼓風與通汽兩期，係截然不同之步驟，彼此交互進行 (alternate)，每種時期，所歷之時，自五分鐘至十分鐘不等，視作業情形而定，但均有其一定之限度。

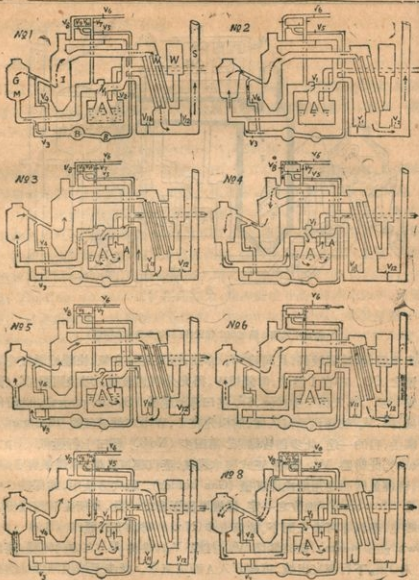
製水煤氣之爐，稱為藍氣製造爐，或簡稱煤氣爐 (Gas generator)，其構造頗似發生爐，惟因製造程序，較發生氣為複雜，故爐之建築，亦較繁雜。第二十八圖係永利化學工業公司南京硫酸銨廠最新式 (民國二十五年) 之煤氣廠設置略圖。G 為煤氣爐，其外層為水套，可以熱鍋爐給水。爐底為菌式爐條 M，空氣或蒸汽，可由 M 下通入。又 M 可以馬達 m 徐徐轉動，使灰自動落於存灰箱 D 中，按時啓 D 之門除之。G 上有門，其旁有管，與燃燒塔 (Igniter) I 相通。與 I 相連者，為廢熱煤爐 W，所以利用熱氣之可覺熱也。S 為煙筒，A 為洗氣桶，一切 V 均為可節制之自動開關氣門 (Valves)，B 為鼓風機，其全部連結如二十八圖所示。

關於水煤氣之製造，可以該公司之製造程序表 (Flow sheet) 表示之 (見第二十九圖)，全部共分六個步驟，參差接連舉行之。第一曰初步鼓風 (Generator blast) (第二十九圖之 No. 1 所示)，空氣由 M 入，經 G I W 而由 S 逸出。此步時間極短，緊接第二步之正式鼓風 (Set blast) 圖中 (No. 2)，此與第



第二十八圖 煤氣廠之佈置(圖示初步鼓風之情形)

一步相似，惟時間較長，且同時 V_4 亦開，送入足量空氣，使離爐熱氣中所帶少量之 CO ，亦在 I 燃燒，俾鍋爐 W ，得充分利用廢熱。以後關閉 V_4 （即回復第一步），再入第三步（No. 6），名曰蒸汽清除（Steam purge）。此時停止鼓風，開 V_6 ，使蒸汽由 M 入爐，將以先在 I, W 中之鼓風氣體（Blast gas，由 S 驅去，目的一達，此步即告結束。第四步（No. 3.）稱曰上行通汽（Up run steam）。此時將 V_{12} 關閉，正式製水煤氣，蒸汽經 M 入爐，水煤氣經 I, W 入 A ，再經氣管而達用處或儲氣櫃（Gas holder）。新式方法中，為保持 G 中紅熱帶（fire zone）地位之一定，煤層厚薄影響之一致，及所生氣體成份之均勻起見，蒸汽亦可由上而下。故第五步（No. 4）稱為下行通汽（Back run or down run steam），此時關閉 V_1 ，打開 V_8 ，並將 V_1 之方向轉變，蒸汽由 I 入 O 頂，下行經 M 出爐，再經 P 入 A 而達氣管。此步至爐溫漸低，即行停止。以理論言之，即須恢復第一二步之鼓風期，惟為安全及經濟各管線內存留之氣體起見，尚須先插兩個簡短步驟。即（1）回復第四步，將 P 管中氣體，以蒸汽趕至爐上部管線內；（2）再入第六步（No. 5），稱曰鼓風清除（Blast purge），或鼓風掃氣（Blast run）。將 V_4, V_6, V_8 均關閉，由下鼓風入爐，將



第二十九圖 水煤氣之製造

- No.1 Generator Blast
- No.2 Set Blast
- No.3 Up Run Steam
- No.4 Back Run Steam
- No.5 Blast Purge
- No.6 Steam Purge
- No.7 Up Run Air & Steam
- No.8 Back Run Air & Steam



圖例：(蒸汽 ———— 空氣 ————
 鼓風氣 ———— 煤氣 ————

爐上部管線內存氣，驅至 A 中而入氣管。此時任務已達，即開 V_{12} ，而轉入第一步，以後即如此循環。

按上述之第一二兩步（第二十九圖之 No. 1, & No. 2）為鼓風期，第四五兩步（No. 3 & No. 4），為通汽期。此四步為製氣之重要步驟。第三步（No. 6）及第六步（No. 5），為轉換時必需之簡短步驟。其時間之分配，約如第五十八圖之藍氣周（Blue gas cycle）所示，但全周所需總時間，亦僅五分鐘左右而矣。

上述每周內，計主要步驟有六，連續之步驟有八，轉換時氣門啓閉，均須按時動作，有絕對之恆一性，若以人工為之，必不可能，故均以機械自動節制之。

水煤氣較發生爐氣為昂貴，故用量亦較少。如小坩鍋爐，及各種氣鋸等是也。但其最大用途，則為照明（Illumination）及化學工業原料之用。如鐵之大量製造，即以此法，然後設法將氣中之 CO 除去。永利化學工業公司南京綜合銨氣廠（Synthetic Ammonia Plant），用氮及氫為原料。氮係取自空氣中，氫即由水煤氣而來。

水煤氣除直接用作燃料外，若作照明或其他工業用時，須將製法略加改變，以適合需要。此類改造之水煤氣，重要者，約有兩種：

(a) 加水煤氣（Carburated watergas），如水煤氣專作照明之用時，則其本身之亮度或燭光（Candle power），尚不夠強，必需以含重炭氫化合物之油富化之。（按氣體所含之炭愈多，或炭氫化合物之不飽和程度愈高者，其火焰之亮度亦愈大，）但液體之油，須先行氣化，然後方能與水煤氣混合。其法先將石油盛於化油器（Carburator）內，將溫度升高，使之氣化，並加以攪動（Agitation），再以清潔之水煤氣通過之，流出之氣體，即帶有炭氫化合物之氣體（Vapor），燃時發光亮之火焰。

(b) 半藍氣（Semi-bluegas）。在製造、成分、及發熱量上言之，半藍氣適居發生爐氣與藍氣之間，其製法與製藍氣大致相同，亦係用煤氣爐，惟在製氣期中，除通蒸汽外，同時通入適合需要之少量空氣，此即半藍氣之名所由來也。

若與藍氣相比，半藍氣多兩個步驟，即上行混合氣體（蒸汽與空氣）（Up run air and steam）（No. 7，第二十九圖），與下行混合氣體（Back run air & steam）（No. 8）是也。此兩步為製氣期，按半藍氣周圖，可見時間分配之

緊縮，與連續步驟之繁雜，各氣門啓閉，亦係機械自動節制。

由此可知，所含不可燃氣體，較藍氣為多，較發生爐氣為少。其最大用處，為製造綜合銻，因其氮與氧之比例，可節制至一比三也。燃料多用焦炭塊，以避免其他揮發物，因炭氫化合物之存在，反不適於製銻氣也。

(IV) 冶鐵鼓風爐氣體 (Blast furnace gas) 鼓風爐氣，係新式冶鐵爐之副產品。爐中之氧化鐵及焦炭，與鼓入之熱空氣起作用，空氣首先與炭燃燒成 CO_2 ，後又被熱炭還原為 CO ，此 CO 即為使氧化鐵還原為鐵之主要還原劑。故鼓風爐氣之主要可燃部分，為 CO ，約佔體積 25% 左右， CO_2 佔 12% 左右，而大半為氮氣，故其發熱量，為所有人造氣體燃料中最低者。在平爐煉鋼時，此氣若無較富之煉焦爐氣與之混合，則不能單獨使用，但可施於普通不需高溫之用途，如蒸汽鍋爐。鋼鐵廠之回熱爐 (Reheating furnace) 及內燃機等。且鐵廠所出此種氣體，產量極多，故在工業經濟上，實為一重大之補償也。

茲將上述各種氣體燃料之普通分析及發熱量，列表比較之，以見一般情形：

第二十五表 氣體燃料成份之比較

| | 天然氣 | | 煉焦爐氣 | 城市煤氣 | 加 油 水煤氣 | 小煤氣 或藍氣 | 發生爐氣 | | 治 鐵 鼓風爐 |
|---|------|-----|------|------|------------|------------|------|------|------------|
| | 第一種 | 第二種 | | | | | 第一種 | 第二種 | |
| CO_2 | .2 | .2 | 1.7 | .2 | 3 | 3.8 | 5.0 | 10.6 | 12.9 |
| 亮焰氣 Illuminates C_2H_4 etc. | .4 | .5 | 3.0 | 3.7 | 10.0 | 0 | .2 | .4 | 0 |
| O_2 | 0 | .3 | .1 | .8 | .5 | .5 | 0 | 0 | 0 |
| CO | 0 | .5 | 3.5 | 7.5 | 34.0 | 43.1 | 25.6 | 17.6 | 26.3 |
| H_2 | 0 | 0 | 53.9 | 48.5 | 35.5 | 47.5 | 10.2 | 11.8 | 3.7 |
| CH_4 | 77.7 | 945 | 34.5 | 34.0 | 12 | .8 | 3.8 | 4.4 | 0 |
| C_2H_6 | 19.4 | 0 | 未定 | 未定 | 未定 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| N_2 | 2.3 | 4 | 3.2 | 4.5 | 5.0 | 4.3 | 55 | 55 | 57 |
| 發熱量 Btu/ft ³ | 1184 | 953 | 583 | 578 | 505 | 300 | 157 | 143 | 95 |

關於氣體燃料之製造與運用，有兩點須特別小心，以防危險，即氣體之毒，與易成爆炸性之混合物也。各氣體燃料中，均不免有 CO 之存在，此氣最

毒，空氣中雖含萬分之一以下，亦可致命。故氣體燃料之製造，運輸及儲存工具上，若須加拆除改造，則事先須計畫周到，應如何啓閉，工人須帶防毒面具以預防之。平時應常檢視管線是否漏氣，尤以氣體經過密室，或地道之處，因通風不良，洩漏之氣，無法逃出，積於一處，人若吸之，即致暈倒。又可燃氣體，若與氧氣或空氣混合至適當程度時，即成一爆炸體(Explosive mixture)，若一但溫度升高，或與明火(Naked fire)接觸，則全部立即猛烈爆炸，可致慘重之犧牲與損失。一九三一年德國龍克西城某廠之大氣櫃，半夜爆炸，聲聞百英哩以外，破鋼片飛至二十英哩外，幾將全城毀滅，死亡以萬計，可想見慘案之鉅，故凡氣體漏洩，與空氣混合於通風不良之處，皆為危險之處。凡運輸及儲存氣體之管線與氣櫃，難免無微細之漏縫，為安全計，氣體之壓力，必較大氣壓力略高，雖微有漏洩，為量極少，不能與大氣混合達爆炸之程度；否則空氣能滲入管線內，極易達爆炸程度，危險更大也。製造藍氣或半藍氣手續中之簡短步驟，多為驅除煤氣，使不致與空氣混合，讀者不妨按圖細索，何以必具此類繁雜步驟也。

第九章 高溫測量 (Pyromet)

一 高溫學之沿革 (Historical Sketry)

在每種化學工業製造過程中。按其性質之逐漸變化，必經過不同之階段，在每一階段內能使該變化恰到好處之原因固多，而以溫度控制 (Temperature control) 為最重要。近代工業，均視溫度管理為絕不可少之工具與設備，且因吾人對於化學變化之理論與實際，了解愈多，則要求於溫度管理之條件，亦愈繁難。昔之粗率者，今須精巧，昔僅知其大概，今日則須準確，總之，近代工業，實近於一大規模之科學實驗矣。

應用科學原理於工業之價值，人皆知之，高溫測量學之原始與改進，為此種科學應用最明顯而有趣之實例。考其演進之跡，皆不出「需要為發明之母」及「理論經實際印證而相得益彰」之兩種原動力。明乎此，可知學術與技術，實不可偏廢而獨存也。

牛頓 (Sir Isaac Newton) 實為欲以科學方法測定高溫之第一人，彼見爐火熊熊，即聯想其溫度，乃以鐵籤插火中，熱至與爐溫相等時抽出，使在空中自然冷卻至一定溫度而記其所需之時，以作比較。其結果雖於一七〇一年發表，但僅為相對之比較，且係理論，不切實用。一七八二年，魏忌武氏 (Wedgwood) 始首製測溫儀器。魏氏為英人，業瓷窰，感溫度不一致影響出品，亟欲設法管理。因見火土加熱，有隨溫度上升而收縮之特性，乃作徑吋之火泥球，燒至各種溫度後取出，量其大小，故由球之收縮藉以斷定大約之溫度，窰窰作業之恆一，遂得維持。但火土之性質成分，隨地變動，故此法之粗率可知；但在當時，確為唯一可靠之測溫儀器，雖不能表示度數，但若選定一種火土，其功效總大致可靠，故其應用垂四十年。至一八二二年，戴黎氏方有膨脹測溫計之設計，蓋利用金屬之熱漲冷縮性，以一定之小白金桿，測知其加熱後之伸漲，而定其溫度也。

與戴黎氏同年，色百克 (Seebeck) 發現熱電現象 (Thermo-electric phenomenon) 為科學研究上偉大貢獻。凡用兩種不同金屬，聯為一輪道 (circuit) 或偶 (couple)，若其兩接口之溫度不同，即有電流發生該輪道中，此發現實

定近代熱電高溫計(Thermoelectric pyrometer)之基礎。一八二八年,普令塞(Prinsep)首先採用黃金製成之盛氣球(gold bulb),以推廣完全氣體溫度計(Perfect gas thermometer)之應用。一八六二年拜司坦(Byström)引用雷那氏(Regnault)測比熱之混合法,而發明量熱高溫計(Calorimetric or "Water" Pyrometer)。一八七一年,西門氏(Sir W. Siemens)引用金屬電阻(electric resistance),隨熱加高之性,而發明電阻高溫計(electric resistance pyrometer),於是測普通高溫之儀器,遂漸臻完備。

上述各種儀器,雖式樣繁多,但發明未久,乖謬百出,尙未達完善可靠之程度。一八七二年巴利教授(Barett)發現鋼鐵加熱或冷卻時,有一多體變化(Allotropic change),且此變化點,均在恆一不變之溫度出現,鋼鐵之加熱處理,全靠此溫度之準確。自此種情形發現後,冶金學者益感溫度之精密控制,為絕不可缺之技術,由是因需要而促成各種儀器之改良,最完滿者,首推一八八六年夏特烈(Le Chatelier)之熱電高溫計。當時此種儀器之最大困難,即為熱電偶(Thermo-couple)金屬本身易生變化,與所發電壓過小,未得精密之量電儀器。夏氏採白金及鉑鎳合金(Platinum-Rhodium)二種作偶,而以精確之「亞生法」電表(d'Arsonval galvanometer)測所發之電力,由是珠聯璧合,遂成精密可靠之標準儀器。

普通高溫雖有儀器可測,但特別高溫,超過一切金屬熔點之上時,仍無法可定。遠在一八六三年,貝克來(Bequerel)即試由熱物體之光亮程度或亮度(luminosity),而推演出該物體之溫度,但直至一八九二年夏特烈氏之光學高溫計(Optical Pyrometer)出,方達完滿程度。一九〇二年費利氏(Fery)本司推凡及博次滿兩氏定律(Stefan-Boltzmann law),而發明輻射高溫計(Radiation pyrometer),藉物體放射熱力之大小,而測定其溫度。有此兩儀器出,任何高溫度皆可測定矣。

二 高溫學定義

高溫學(Pyrometry)者,係一種測量高發熱度或高溫度之科學也。其所用之儀器,稱為高溫計(Pyrometers)。惟此處所稱之高溫度,普通均限於超過尋常水銀溫度表最高限度而言。高溫計之設計與製造,幾將物質所有之熱的物理性,完全利用,故有數種高溫計之構造原理,頗為微妙。本篇所及,側重現代工業中最常用而精確者,摘要論其原理,詳細闡其用法,至於過時而

不常用者，多為歷史上之陳蹟，僅略述梗概，備數而已。茲分論於後。

第二十六表 高溫計表

- | | |
|--|---|
| (1) 膨脹高溫計 (Expansion pyrometers) | { (a) 水銀溫度表 (Hg-thermometer) (b) 氣體溫度表 (Gas or air thermometer) |
| (2) 熔化高溫計 (Fusion Pyrometer)-Segor cones | |
| (3) 測熱高溫計 (Calorimeter Pyrometer) | |
| (4) 流滯高溫計 (Viscosity Pyrometer) | |
| (5) 發聲高溫計 (Acoustic pyrometer) | |
| (6) 電氣高溫計 (Electric pyrometers) | { (a) 電阻高溫計 (Resistance pyrometer) (b) 熱電高溫計 (Thermo-electric pyrometer) |
| (7) 輻射高溫計 (Radiation Pyrometer) | |
| (8) 光學高溫計 (Optical Pyrometer) | |

三 膨脹高溫計 (Expansion pyrometers)

凡藉物質受熱，平均膨脹之性而設計之高溫計，均謂之膨脹高溫計，故此係一概括名詞，重要者可分為兩種。

a. 水銀溫度表 (Mercury thermometers)。溫度之升降，藉水銀在一直徑均勻之細管中，平均伸縮以指示之。其原理與製造，見於普通物理，茲不贅述。普通玻璃真空管水銀溫度表，其最高溫度之限制，為 367°C ，即水銀之沸點也。若用硬玻璃製管 (bore)，管內之真空部分，以無化學變化之隋氣 (inert gases)，如氮氬等充之，則上述之限度，可展至 550°C 。近來用熔化之石英 (fused quartz) 作管，而以六十氣壓之壓力，將隋氣填充之，此種溫度表可量至 750°C 。現在即以此為最高限度，過此則有永久變形或破裂之虞矣，此類溫度表製造困難，價亦昂貴，工廠中除特殊之固定及安全地帶，偶然採用外，餘均不適宜。

b. 完全氣體高溫計 (Perfect gas pyrometer or gas thermometer) 在原則上，此種氣體高溫計，為一切高溫計中之最合理最可靠者，因其設計，即係按照氣體原理 (gas laws)，除實驗上之謬誤 (experimental error) 外，吾人視之為標準，以校正 (Calibrate) 其他一切高溫計；惟因其式樣笨重，又易

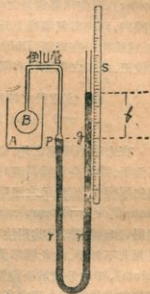
被損，工業上絕無直接採用此類儀器者。

氣體高溫計(有時即簡稱空氣溫度表 air thermometer)之原理，係根據熱力學(Thermodynamics)或分子運動原理(Kinetic theory)上之基本原則；簡言之，即查爾與波以耳之定律也(Charle's and Boyle's laws)。按此原則，知一定量完全氣體之壓力 P 與體積 V ，係與其絕對溫度 T (absolute temperature, $T = 273^\circ + t^\circ\text{C}$) 成正比例，故 $P \cdot V$ 及 T 之連帶關係，即為

$$PV = nRT$$

n 為氣體之分子量數 (number of mols)，可由氣體之分子量及重量測之。 R 為一氣體常數。此兩數均不變，吾人隨時測定其 P 與 V ，即可推知其溫度。此種儀器之裝置，略如第三十圖所示，定量之完全氣體(普通即用空氣)，藏於固定體積之空球 B 中，由極細之倒 U 形管連

於較粗之玻璃管，其接點， P 以錐入管內之白金絲標識之。 P 下套一皮管 r ，中貯水銀，他端則接於玻璃管 g ，此 g 管附於標尺 S 之旁，可沿 S 上下移動，置 B 於 A 鍋中。 A 中加水加油或其他物質，以便加熱後，使 B 中之氣，可升高至所欲達之溫度；但既達一溫度，則必須保持不變，以便在此常溫下，舉行觀測及記錄。其手續如次： B 中既達一常溫，設此溫較首次為高， B 中氣膨脹，將 r 中之水銀壓下，現將 g 管徐徐提高，增高 B 中壓力，使氣體積縮小，水銀面上升至適抵 P 端而止，換言之，即每次觀測氣體之體積均相等 (v 為一常數)，然後量其壓力 f ，即 g 中之水銀面至 P 點之一段水銀柱也。按照上式，除 P 與 T 外，餘均為常數，今既知 P 。則 T 可知矣。



第三十圖 標準氣體高溫計

此種儀器，雖合原理，但困難之點極多：(一)此倒 U 管內之氣，雖屬極少量，但其溫度，總不能與 B 球完全相同；(二) B 球之膨脹與氣體不同，嚴格論之，每次之 v ，均不是一常數，且不易改正；(三)溫度太高時，不僅因膨脹而改變體積，而製球之物質，亦因高壓而永久變形，使 v 改變；(四)球之物質，是否堅固耐用，在高溫時，是否對於所盛氣體，有滲透之可能，使氣體之重量

減少，致影響 n 之常數性 (Constancy)。凡此各端在設計與取材上，均難達滿意之程度，且其影響又因溫度之升高而益增劇。一八二八年，普令塞採用金球，係防氣體滲漏，以後有採用陶瓷 (Porcelain) 或鉑鎳合金 (Pt-Rh alloy) 製球者，但因質軟，在高溫時易變形。有將球外再套一球，兩球間之中空部分，成一氣套 (gas jacket)，以壓力打入氣體或空氣與內球中所試氣體之壓力，相差無幾，蓋所以防內球之變形也。

吾人既以氣體高溫計，為合理之標準，自應盡量提高其最高溫度之限度，以為校正其他儀器之用。但溫度愈高，困難愈大，而實驗上之錯誤亦大。現在最高限度，不過 1100°C 左右耳。

唯一應用於工業上者，為韋波氏之氣體高溫計 (Wiborgh's air pyrometer)，以瓷球盛定量之空氣，經微細管達於指示表上，將球置於欲測之熱物體內，球內空氣溫度上升，壓力增高，即推動表下之槓桿與齒輪之簡單機械。遂使指針在表面 (Dial) 移動，以表示溫度。表面刻畫須先考準，用時應常常校正。此表之準確性有限，且易打破，現已為較好之儀器，完全代替矣。

四 高溫計之校正及固定溫度 (Pyrometer Calibration and Fixed Points)

在未繼續講述之先，尚有一點，為高溫學上最重要而應注意者，即一切高溫計，除完全氣體高溫計外，均須隨時加以校正。庶不致因久用而起物理或化學變化，使指示之溫度 (indicated temperature)，與實際或真正之溫度 (actual or true temperature)，不相符合。誠如上段所述吾人本可用氣體高溫計，作為標準，但其用法不簡單，又需時間，若欲將溫度一一校正，勢非積日累月不為功。故此標準儀器之功用，在確立幾個固定溫度或固定點 (Fixed points)，平均分配於全段溫度內，如 200°C ， 400°C ， 600°C ， 800°C ， 1000°C ，然後將其他簡便合用之高溫計，同時校正刻畫，或改正度數，使在同一溫度時，彼此均示同一之度數，且與標準儀器所示者亦同。

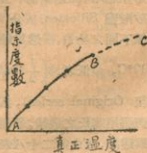
上述之固定點，雖已減少逐度校正之繁，但使用標準儀器時，仍覺瑣碎，不適於工廠之用。因純粹之元素或化合物，在一定情形時，均有固定不變之熔點及沸點，茲擇其純粹易得之物，其固定點，又平均相距不遠者，列於第二十七表。此皆為校正時常用之物體，若取量稍大，均能表出其正確之溫度；如能保持其純潔，可重複用之。

第二十七表 固定溫度點(校正高溫計用)

| 物 體 | 物 理 情 形 | 溫 度 | C |
|----------------|------------|------|---|
| 冰 | m.p. | 0 | |
| 水 | b.p.760mm. | 100 | |
| 酸(Aniline) | 同上 | 184 | |
| 萘(Naphthaline) | 同上 | 320 | |
| 錫 | m.p. | 232 | |
| 鉛 | m.p. | 327 | |
| 錫 | m.p. | 419 | |
| 硫 | m.p. | 444 | |
| 鉛 | m.p. | 657 | |
| 食鹽 | m.p. | 800 | |
| 銀(蓋以炭) | m.p. | 931 | |
| 金 | m.p. | 1054 | |
| 銅(在空气中) | m.p. | 1054 | |
| 銅(蓋以炭) | m.p. | 1084 | |
| 銀 | m.p. | 1452 | |
| 鐵 | m.p. | 1535 | |
| 鉑 | m.p. | 1755 | |

既得一高溫計之各固定點後，其點與點間溫度之刻畫，則可假設此種物理性之均勻性(uniformity)，而將該段距離，平均分畫之。此法稱為內測法(interpolation)。如此類推出全部溫度劃一校準溫度弧線(Calibration curve)如第三十一圖之AB一段是也。若B為最高之固定點，今勉強將弧線由B延至C，以增大該高溫之用程，則BC段之分割，謂之外測法(extrapolation)。此法因投機性較大，故其準確性即相當減低矣。

高溫計經相當時間應用後，其準確性，因種種原因，即逐漸減低，其所指示之溫度(第三十一圖示)，已非真正溫度矣。於是再經校正，



第三十一圖 溫度弧線

仍用其原指示數，但改正其橫座標之真正溫度，而另製一校正弧線，此圖每經校正，即毀去而用新圖。

五 熔化高溫計(Fusion Pyrometer)

熔化高溫計之原理如次：設有一羣純粹而不同之物體，各有其固定而不同之熔點，今按熔點高低，順序排列，置於爐中，經若干時取出，則見有數種完全熔化、另有數種祇帶熔化之形跡，更有數種則屹然不動，毫無變化。由此試驗，可測知該爐溫度，大約在全熔與未熔物體熔點之間，若所置之物體種多，且彼此順序之熔點愈接近，則所測亦愈近似該爐準確之溫度。

凡具有固定熔點之金屬，合金或化學鹽類，及鹽之混合物 (Salt mixture)，在理論上，皆可用以測高溫。用時各分別盛於特製之火土盤中，放於爐內，並避免與火焰直接接觸，普通於爐壁上備一可閉之探視洞 (Peep hole)，可隨時直窺此類物體之熔化情形。

實際應用此類物體時，必須經嚴格之選擇：貴金屬類價昂易失，彼此熔點太接近者，均不可用；若用賤金屬，又易氧化，或成無定熔點之合金，或與爐內沙灰熔成鹽類。合金除易熔體及化合物外，類皆無恆一不變之熔點，化學鹽類及被氧化之金屬，在高溫時，多與土製盛器起作用，成複鹽類 (Complex Salts)，使熔點變化不定。凡此諸端，均宜避免，而可用物體之數，因之大受限制。且用過之物體，其成分與形式，均大改變，不適於再用，故必為價廉量多之物，方合工業條件。

最簡單而適用之熔化高溫計，首推塞格氏之火度椎 (Seger cones or Pyrometric cones)。吾人知凡一純粹耐火原料或化合物之熔點，可因混合之助熔劑遞增，而逐漸低。塞格氏根據此原則，研究熔點由高降低之各種不同之矽酸鹽 (Silicates) 成分及配合，而於一八八六年，發表其結果。彼用此法得一組不同之物質，按熔點順序排列，最高者之成分為 $(1Al_2O_3 + 1SiO_2)$ ，熔點為 $1890^{\circ}C$ ，最低者為 $(\frac{1}{2}Na_2O + \frac{1}{2}PbO + 2SiO_2 \cdot B_2O_3)$ 之 $590^{\circ}C$ 。塞氏所定之原組 (Original series)，因溫度距離較大，不合實用，以後又改為新組，但大部仍襲用塞氏之成績。新組共有六十四號，由 022 號起至第 42 號止，其號碼與熔點，可由第二十八表見之 (21 至 25 號刪去，因其熔點相距太近，不常用之。)，但所示溫度，均係約數。

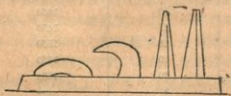
第二十八表 塞氏火度椎(新組)

| 椎 號 | 熔 點 °C | 椎 號 | 熔 點 °C |
|-----|--------|-----|--------|
| 025 | 600 | 11 | 1320 |
| 024 | 650 | 12 | 1350 |
| 020 | 670 | 13 | 1380 |
| 019 | 690 | 14 | 1410 |
| 018 | 710 | 15 | 1435 |
| 017 | 730 | 16 | 1460 |
| 016 | 750 | 17 | 1480 |
| 015 | 790 | 18 | 1500 |
| 014 | 815 | 19 | 1520 |
| 013 | 835 | 20 | 1530 |
| 012 | 855 | 21 | — |
| 011 | 880 | 22 | — |
| 010 | 900 | 23 | — |
| 09 | 920 | 24 | — |
| 08 | 940 | 25 | — |
| 07 | 960 | 26 | 1580 |
| 06 | 980 | 27 | 1610 |
| 05 | 1000 | 28 | 1630 |
| 04 | 1020 | 29 | 1650 |
| 03 | 1040 | 30 | 1670 |
| 02 | 1060 | 31 | 1690 |
| 01 | 1080 | 32 | 1710 |
| 1 | 1100 | 33 | 1730 |
| 2 | 1120 | 34 | 1750 |
| 3 | 1140 | 35 | 1770 |
| 4 | 1160 | 36 | 1790 |
| 5 | 1180 | 37 | 1825 |
| 6 | 1200 | 38 | 1850 |
| 7 | 1230 | 39 | 1880 |
| 8 | 1250 | 40 | 1920 |
| 9 | 1280 | 41 | 1950 |
| 10 | 1300 | 42 | 2000 |

各種物質配好後，均磨至一定細度，加極少量之水及黏合劑，入模壓成三角椎形，如金字塔，稱為塞格火度椎。前四十七號（由 022 至 25）之椎，均高三吋，其底為等邊三角形，每邊長 $\frac{5}{8}$ 吋。後十七號（由第二十六至四十

二), 則高爲 $\frac{25}{32}$ " , 底邊長爲 $\frac{3}{8}$ "。每椎上均壓印其號碼, 以示其成分及溫度, 乾燥後, 即可應用。

火度椎限用一次, 一經燃倒, 不可復用; 惟因其價極廉, 用法極簡便, 故不覺耗費。用時以數個相連號碼排列, 如第三十二圖, 爐溫當以左方第二爲準。(普通所示溫度, 以燒倒至該椎一半爲度。) 使用火度椎時, 燃燒之情形, 頗爲緊要。若爐溫升高太速, 則所指示之溫度, 較在正常狀態時稍低; 若太慢



第三十二圖 火度椎所示之溫度

則所示又略高。故此等方法, 祇適用於非連續性之爐 (intermittent Kilns or furnaces), 每次由冷爐, 以正常之速度, 升至最高溫度, 以後即停止燃燒, 讓爐徐徐冷卻, 如老式磚窯然。此類火度椎, 不能表示溫度之降落, 及其變化, 僅示溫度至少有一次達該椎所代表者, 故除窯業上之簡單溫度控制外, 科學上鮮用之。

六 量熱高溫計

此種儀器之原理, 卽爲測比熱之混合法, 已如前述。其所用燒熱之金屬, 稱爲帶熱體 (heat carrier)。設此物之恆一重量爲 W , 其燒熱至欲測之高溫爲 T , 其在 0° 與 $T^\circ\text{C}$ 中間之平均比熱爲 S' , 落入定量 w 之冷水中, 經混合後, 水之溫度由 t_1 升至 t_2 , 現本帶熱體所失之熱, 等於水與測熱器所吸之熱之原則, 可得下列之方程式:

$$S'W(T - t_2) = (t_2 - t_1)(w + cs)$$

$$\therefore T = \frac{(t_2 - t_1)(w + cs)}{WS'} + t_2$$

由此可將 T 算出。式中之 CS , 稱爲測熱計之水當量 (Water equivalent of calorimeter), 可以下法測定之:

爲簡便計, 測熱器中之水, 無論測當量或溫度, 均永遠保持爲一定量, 卽 w 恆不變。現取 $\frac{W}{2}$ 之冷水置儀器中, 攪勻後, 知其溫度爲 t_1 , 再加入 $\frac{W}{2}$ 之熱水混合之。熱水溫度爲 t_2 , 約較 t_1 高 10°C 左右, 俟混合後, 測得結果熱爲 t_3 。此測驗可重複數次以核定之, 每次可變更冷水與熱水之比例, 惟總量仍

爲 w 。設冷水量爲 w_1 ，熱水爲 w_2 ，則每實驗中 $w_1 + w_2$ 恆等於 w ，由是將水當量 E ，算出如下：

$$E = \frac{w_2(t_2 - t_3) - w_1(t_3 - t_1)}{t_3 - t_1}$$

又前式中之因子 $(w + cs)/WS'$ ，如選定一種帶熱體，則各數均爲常數，廠家每於一種帶熱體，均使此因子，成一簡單整數，如 50, 100, 150 等數，以減輕實驗時計算之勞。

使用此項儀器時，應注意下列兩點：(1) 帶熱體均爲中空之小圓柱，以便在水中易於散熱，惟此物體之本質，必須爲一永久而不氧化之金屬，俾其比熱與重量，每次均無變化。此兩點即使物質之選擇，受極大限制。白金爲最適宜之金屬，但至少應有 400 公分，因其價昂，且易被偷竊，故亦不普遍應用。其次爲銀，普通溫度不超過 1000°C 時，均用之。銅之氧化較銀容易，故祇能勉強用於 900°C 以下，且在試驗之先後，均須秤準其重量。近有採用鎳鎂合金者，但仍須時時加以稽核。(2) 金屬與合金之比熱，並非常數，溫度升高時，其比熱亦隨長，故必先求得該物在欲測溫度段內之準確平均比熱，方能合用。求法惟有在已知之各溫度點作實驗，求其在各點時真正比熱值，然後畫出弧線，而推算其在各溫度段內之平均值，以備採用。

量熱高溫計之使用，雖已注意上述兩點，尙需諳練之技藝，方得可靠之結果。如取帶熱體入儀器之敏捷手續，以減少空中輻射之損失，及此種損失之改正方法，物體入水後數十秒鐘，應停止攪動，以防蒸氣之外溢等等，皆爲應注意之事。且此儀器亦不方便，故現在已不常用，漸爲較好之儀器所代替矣。

七 流速高溫計(Viscosity Pyrometer)

巴勒氏(Barus)曾實驗氣體之流動性(fluidity)，據其研究結果，知氣體在一定壓力下，流過一固定之毛細管，其每秒鐘之流量，全靠氣體本身之溫度而定。溫度愈高，流動性愈大，流量亦愈多；反之則愈少。此種儀器，即應用此原則，由其流速之變化，以推測溫度。惟此項儀器，亦不簡單，又難準確，已成歷史遺跡，現已無人問津矣。

八 發聲高溫計(Acoustic pyrometer)

此種儀器之唯一代表，即爲韋波氏發聲高溫計(Wiborgh's thermoph-

one)。此爲一耐火材料所製之小圓筒，長一吋，徑 $\frac{3}{4}$ 吋，內裝一金屬殼(metal casing)，中儲少量之炸藥，用時投於熱物體中，熱至適當溫度時，炸藥即爆發而聞一小炸裂聲。自放入時起，至聞聲時止，其所歷時間之長短，與欲測之高溫，適成一反比。使用時，須將此時間，精密測至 $\frac{1}{5}$ 秒。製造之廠家，先加測定，將時間與其相當之溫度，畫成弧線表，用時祇須記其時間，再由表上可以翻出溫度。

此儀器既不準確，且有許多地方，不能適用，現在已完全被淘汰矣。

九 電氣高溫計(Electric Pyrometers)

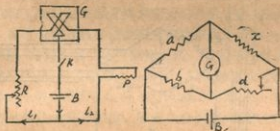
電氣高溫計，可分爲兩大類：一爲電阻高溫計(Electric resistance pyrometer)，一爲熱電高溫計(Thermo-electric Pyrometer)，均使用方便，準確可靠，爲研究室及工廠所常用，實爲高溫學上之一大進步也。茲分述之：

A. 電阻高溫計 此種儀器之原則，即爲普通金屬之導電阻力，均因溫度升高而增加，吾人即由其增加之電阻，而推測其溫度也。此理論雖極簡單。但欲選得適宜之金屬，則頗困難。理想之條件，必需(1)電阻之增加，與溫度之升高成正比；(2)穩固耐用，不因高溫而起內部物理變化，使電阻亦起變化，致指示之溫度，不恆一可靠；(3)須不起化學變化，如外部腐蝕或氧化等作用，使金屬線之有效橫截面(effective cross section)逐減，其電阻即逐漸增高，所示溫度，亦常不同。

合乎上列三種條件之金屬極少，現在合選者，僅有白金一種，但仍不能認爲絕對滿意。白金絲之電阻增加，並不與溫度上升成絕對正比例，其定量關係，須實際校準，以內測法測定之。其他金屬，關於此種性質之不規則情形，尤較白金爲甚。如『錳合』合金(manganin)之電阻，在普通溫度漲落時，幾毫無變化，即其例也。白金熔點甚高，在化學及物理性上，均頗穩固，皆其佳點；但過高之溫度，與停留在該高溫過久之時間，均須盡量避免，以防萬一有何變化發生，致影響其可靠性(reliability)。

電阻高溫計之構造，可分三大部：一爲供給直流電之電池(battery)；一爲固定之白金線圈(platinum coil)，此線電阻之變化，即吾人所應精密測定者；一爲電表(galvanometer)，爲測電阻時之用。依構造情形，微分電表(differential galvanometer)或『惠司橋』(Wheatstone bridge)均可用。

微分電表之構造，係以兩個形式相同電阻相等之線圈路，交互置於同一磁場內，用時，電分兩源入表，各經一線路，而匯齊於一總線流出（見第三十三圖左G）。當電流經過時，依馬達定理（Motor rule），使一個線圈，發生一旋動力（torque），向一方旋動，而他一線圈，因電流方向相反，故發生一反之旋動力。若兩力相等而相銷，則此一對線圈組之排列，即靜止不動，而懸於此排列上之指針亦不動。欲達此靜止情形之唯一條件，即為同時入表之兩電流應相等也。第三十三圖左所示，由電池B所發出之電流，分為兩部， i_1 與 i_2 ，一經固定白金絲阻力 P，一經可變電阻 R (Variable resistance or rheostat)，分途入微分電表 G，而由下部總線會合流出，故欲達靜止情形，必須節制 R，使 $P=R$ ，然後 $i_1=i_2$ 。



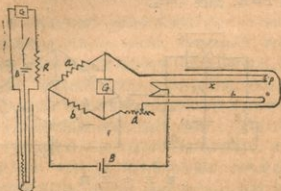
第三十三圖

在惠司橋組織中，有兩對不同之阻力，如 a, b, x, d 是也（第三十三圖右）。 a 與 b 為已知而固定之一組， x 與 d 為欲測之組。 x 為欲測之白金絲阻力， d 為一可變電阻。由電池 B 發出之電流，亦分兩部流入此組織中，若調節 d 至電表 G 達靜止狀態時，吾人即得一定量關係為 $a:b=x:d$ 。由此比例，可求得 x 之值。又 $a:b$ 之比率，可自由選定，如 $a/b=1$ ，則 $x=d$ ；若 $a/b=1/100$ ，則 d 值大於 x 百倍，如 $d=108$ 歐姆，則 $x=1.08$ 歐姆。在此種比率下，欲將 x 測至 0.01 ohm，固易事也。

(I) 實用電阻高溫計 (Practical resistance pyrometers) 實用之儀器，重要者約分二種，一為西門氏高溫計，一為卡南德高溫計，尤以後者為完滿，幾已完全替代前者之地位，茲分述之。

1. 西門氏電阻高溫計 (Siemens resistance pyrometer) 最初之西門氏儀器，係採用微分電表，其構造略如第三十四圖左所示。P 為固定之白金

絲，置於下端，以便裝入保護套管、可達熱物體，以測溫度（裝入管內之各電線，均須彼此用絕緣體分開，以免接觸，而生短接（Short circuiting）之患）。由電池B發出之電，在管底分爲兩部，一經P，一經阻力R，而在電表G會合。在平常溫度時，P與R之阻力相等，故G靜止不動。今若將P燒熱，使其阻力加大，R則仍無變化，於是G即發生振轉（deflection）。爲便利測量溫度計，可將R之值，固定不變，而將G上指針扭轉程度，刻劃爲度數表，加以校正，可一見而知溫度。若欲測P之阻力，須將R改爲可變電阻，調節至G達靜止狀態爲止。此時R增加之值，亦即P增加之值也。再由阻力與溫度之弧線表上，可以查明相當之溫度。



第三十四圖

此種儀器，常不可靠。G中指針靜止點（Zero point）之地位，常有變動，測量亦不精確。以後採用卡氏之補救導線（Compensating leads）及惠司橋量阻法，乃臻完備。

2. 卡南德電阻高溫計（Callendar resistance Pyrometer）卡氏幾經研究，方知西門氏儀器之無極一可靠者，實由其受熱部分之不均勻（non-uniform heating），或電線變形（Straining），或與雜質化合（impurity contamination）而變質所致。氏乃設法改正，並增加其對稱與均勻性，於是引用白金補救導線L，其物質、構造、大小及阻力，均與連於白金絲P之導線x，完全相同（見第三十四圖右）。爲穩固計，L與x，均爲白金製，在保護套管內。L與x，平行相對排列，在此同一情形之下，凡由任何受熱不均或其他原因所引起之阻力變化，二者所受之影響皆相等。氏又採用惠司橋量阻

法，使 L 與 x 中阻力之任何同量變化，均可抵消，使吾人所精確測量者，僅為欲測之白金絲 P 之阻力耳。如在三十四圖中，將 d 調節至 G 靜止時，則所得之關係，為

$$\frac{a}{b} = \frac{x+P}{L+d},$$

若令 $a=b$ ，又已知 $x=L$ ，由是可知 $P=d$ 。

此法所得結果，頗為可靠，現代可用之電阻高溫計，亦僅有此一種而已。

(II) 電阻高溫計之名詞 電阻高溫計，經卡氏努力，方至今日之完滿，惟有數種較緊要之名詞，在實際高溫學上，必須加以解釋於次：

1. 白金溫度 (Temperature on platinum scale) 及卡氏公式 (Callendar's difference formula.) 所謂白金溫度者，係假設白金之阻力，與溫度之升高，成一絕對正比，即白金之溫度與其阻力之關係，係一直線，而非曲線，乃根據此假設，按電阻之升高，而劃分為溫度數也。設有一固定之白金絲一根，在 0°C 時，其阻力為 2.60 歐姆，至 100°C 時，增至 3.60 歐姆，即以後認為每增一歐姆，溫度即增高 100°C 。以後即以此武斷之假設為準，如 4.60 歐姆時，代表 200°C ，5.60 時，代表 300°C ，……12.60 時，代表 1000°C 。準此以外測法求得之溫度，稱為白金溫度。事實上此種溫度，與其真確溫度 (True temperature or Temperature on gas scale)，相差頗大，溫度愈高，差別亦愈大。如上述白金絲之阻力達 8.0 歐時，其白金溫度應為 545°C ，但其真確溫度，實已達 600°C 矣。

然則白金溫度制之效用果何在？卡氏認為白金制，實際最易測定，然後藉表示該制與真溫度關係之卡氏公式，可以隨時由白金溫度，算出其相當之真確溫度。今設 t 為真確溫度， p 為其相當之白金溫度， s 為一白金常數 (與白金之成分大小有關)，則卡氏公式為

$$t-p=s\left\{\left(\frac{t}{100}\right)^2-\frac{t}{100}\right\}$$

若用直徑 1 mm 之純白金絲， s 之數值，約為 1.5，實際用時，可買純度一致之白金絲一批， s 之值，一經測定，即可長用不變。

2. 基本阻力 (The fundamental interval) 基本阻力者，即一固定白金絲，由 0°C 升至 100°C 所增加之電阻也。或以 $R_{100}-R_0$ 表示之 (此 0°C 及 100°C 均為真確溫度，應注意)。若以外測法求白金溫度，即以此

段為標準。吾人須知此種電阻增加，由 200°C 至 300°C，與由 300°C 至 400°C，均彼此不同；否則 t 與 p ，即無分別矣。

3. 基本係數(The fundamental coefficient) 基本係數者，係某一定之白金絲，在 0°C 與 100°C 之間，平均每升高溫度一度之阻力變化，與在 0°C 時原阻力之比率也。或以 $\frac{R_{100} - R_0}{R_0 \times 100}$ 表之。

4. 基本零度(The fundamental zero) 在白金溫度制上，若溫度下降，其阻力即按比例減低，其最後阻力等於零時之溫度，即稱為基本零度。按此零度，即為基本係數之負倒數，或 $-\frac{R_0 \times 100}{P_{100} - R_0}$ 。

在上述之純白金絲例中， R_0 為 2.60 歐姆， R_{100} 為 3.60，故此絲之阻力，在 -260°C 時，即等於零。

B. 熱電高溫計(Thermo-electric Pyrometers)

1. 熱電高溫計之種類 此類儀器之設計，係根據色百克 (Seebeck) 氏熱電偶(thermocouple) 現象之發現，即凡兩種不同之金屬線，若連成一輪道(Closed circuit)，即組成一熱電偶，如將一個聯結點(junction) 溫度加高，則此輪道中，即有一電動力(Electro-Motive force e. m. f.) 發生，而得電流通，宛如置一小電池於此輪道中然。若所選配之熱電偶適宜，則此電動力，亦隨該點之溫度升高而增加。

色氏之發現，遠在 1822 年，以後雖有人欲利用此性質，以測溫度，然皆困難滋多，結果不恆一可靠，直至 1886 年 (Le Chatelier) 氏用白金偶及精密電表配合，方證明此種設計之實用性。

熱電偶之金屬，並非任取一對，即得適用之配合。例如銅鐵熱電偶所發之電動力，最初隨溫度上升，但達一限度後，即漸漸下降，最後更發方向相反之電動力，但考其真正溫度，實為繼續上升。此種現象，稱為熱電反向(Thermo-electric inversion)。其他金屬，亦多呈不規則之現象，故欲選一對適用熱電偶之金屬，必須具下列各種條件：

- (a) 所發出之電動力，須與溫度同時均勻上升；
- (b) 兩種金屬之熔點，最低者亦須遠高於所欲測之最高溫度；
- (c) 所發電動力之均勻與可靠性，須不因長期受熱而起變化；
- (d) 金屬之成分與組織，應均勻一致，在一定之情形下，所發之電動

力，均恆一不變；

(e) 如能再具有價廉耐用之性質，則更佳。

現代所用之儀器，約可分為兩大類：一為貴金屬高溫計(Precious metal Pyrometers)，一曰賤金屬高溫計(Base metal Pyrometers)。茲將其名稱，金屬及能測之溫度限制，列表於后(第二十九表)。

第二十九表 熱電高溫計之種類

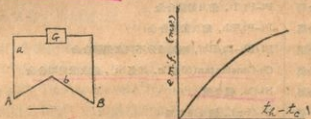
| 儀器種類 | 熱電偶之金屬 | 最高溫度 |
|----------|---|--------|
| (1) 貴金屬 | Pt-Pt/Ir, 鉑及鉑銻合金 | 1100°C |
| (2) 貴金屬 | Pt-Pt/Rh, 鉑及鉑銠合金 | 1400°C |
| (3) 貴金屬 | Pt/Rh-Pt/Rh', 兩種成分不同之鉑銠合金 | 1600°C |
| (4) 賤金屬 | Cu-Constantan(60%Cu, 40%Ni), 銅及康司坦合金 | 800°C |
| (5) 賤金屬 | Ni-Cu, 鎳及銅 | 900°C |
| (6) 賤金屬 | Ni-Cons., 鎳及康司坦 | 1000°C |
| (7) 賤金屬 | Ni-Fe, 鎳及鐵 | 1000°C |
| (8) 賤金屬 | Fe-Cons., 鐵及康司坦 | 1000°C |
| (9) 賤金屬 | Chromal (Ni-Cr-Fe)-Alunal (Ni-Mn-Al-Si) | 1300°C |
| (10) 賤金屬 | 2 Nichrome alloys, 兩種鎳鉻合金 | 1350°C |
| (11) 賤金屬 | W-WMo, 鎢及鎢鉬合金 | 1600°C |

表上所示最高溫度，係指可在該溫度經久使用，不致發生不良影響之最高限制也。在不得已時，亦可暫時突破此限數十度，但只可偶一為之，且不得在此高溫久留，以免受損。第十一種之鎳與鎢鉻合金偶，雖為賤金屬，價亦頗昂，若應用得宜，尚可量較高之溫度，但必須在惰氣壓中，如氮氬氫等氣內，因鎳與鉻之熔點雖高，若與氧接觸，即在較低之溫度，亦易氧化而失其可靠性也。賤金屬儀器，不如貴金屬穩固，且易因高溫及爐煙氣，而生變動；但因價廉，可用粗大材料製造，堅固而耐用，即配換補充，亦所費不多。更有一優點，即普通一切賤金屬儀器所發之電動力，均較貴金屬偶在同溫度所發者為大，故不須用極精緻之電表，即能使指針明白表示溫度，故最合工廠之用。

一切熱電高溫計，經長久使用後，其可靠性，均有漸漸改變可能，而以使

用不當，如溫度過高，或受熱太久等情，影響尤鉅。故小心使用與隨時校正，爲任何種類儀器所必具之條件也。

2. 熱電偶之應用原則 吾人欲使用儀器得法，必先明其基本原理。如第三十五圖左所示，爲兩種不同金屬線， a ， b 所組成之熱電偶。 A B 爲兩個聯結點，如僅將 A 點加熱，則電表 G 表示有電流經過；設使 A B 兩點之溫度相等，則 A 點所生之電動力，適爲 B 點所生之相等而相反之力所抵銷，結果必無電流通過輪道內，由此可得第一條原則於下：凡熱電偶輪道內可測之電動力，全靠兩聯結點之溫度差而定。



第三十五圖

按上述之電動力，雖視兩點之溫度差而定，但不成一絕對正比例，因此兩項，並非一簡單直線關係，吾人至今，尚未發現兩種作熱電偶之理想金屬也。

普通適用於 A B 兩聯結點之名詞，即爲熱點與冷點 (Hot and cold junctions)。由此原則，可知任何結點之溫度變化，均能影響指示之溫度，即使兩結點之溫度變化，或升或降，同時相等，其所示溫度，亦不得稱爲準確，良因電動力與兩點溫度差之關係，並非爲嚴格的正比例相消長也。故欲求所測溫度之正確，必先維持冷點之溫度，恆一不變。如校正時，冷點爲 0°C 或 15°C ，以後應用，最好永遠保持該溫度，則熱點之溫度，即爲正確；若冷點有變化，即須照校正弧線 (Calibration curve)，加以改正，此之謂冷點改正 (Cold junction corrections)。

校正弧線之製繪，即用電動力 $e. m. f.$ (in $mv.$) 與兩點之溫度差 $t_h - t_c$ (非單用熱點溫度 t_h)，作爲縱橫兩座標，如第三十五圖右所示。應用時，由儀器所發之 $e. m. f.$ ，在弧線上求得相當之 $t_h - t_c$ ，再加冷點溫度 t_c ，即得所求之近似溫度 t_h 矣。如能維持冷點溫度與校正時同，則 t_h 即爲準

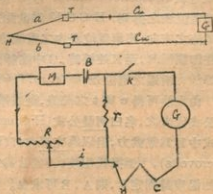
確溫度，無須改正。在實驗室與工廠內，多有將冷點放於冰中，或埋入地面下入九尺之深處，使終年溫度無顯著變化，皆為保持冷點溫度不變，而免加以改正也。

由電學之原理，吾人可得第二原則於次：熱電偶所發生電動力之大小，不因金屬線之粗細而受影響。

吾人知電阻可由線路之粗細長短而改變，電動力則否，此條為熱電偶之優點，蓋電動力可以電位表法 (Potentiometer method) 之對銷法 (null method) 準確測定，不受線路長短及其阻力之限制，此則非電阻高溫計之構造所能及也。

第三十六圖上所示之金屬線 a，必具相當之長度，作為導線，以引至指示表 G。若距離不遠，金屬價廉，此點可無問題，否則須另以他金屬線插入。此種聯接，是否與原則相衝突，則不可不加以考慮。第三十六圖上即示此種

接法，a b 兩線一端結成熱點 H，他端則分接於二個黃銅鈕 T T 上，由此再以銅絲作導線，與電表 G 相連。考此輪道中，嚴格言之，祇有三個不同之聯結點，一為熱點 H，一為 a 至 T，一為 b 至 T。其餘二個，即為 T 至 Cu 與 Cu 至 T，因兩種聯接金屬全相同，而電流經一點之方向，適與經他一點時相反；故 T T 在同一溫度時，其所生之影響，適相抵銷。今以同理推之，若將 T T 之溫度，保持相同，使 T G T 一段，作為一單純



第三十六圖

之冷點，則此熱電偶所發生之電動力，不應因銅線之插入而受影響。故 T T 之溫度必相同，實為此類儀器應用之原則，若能將 T T 維持至校正時之冷點溫度，始終不變，以免冷點改正之煩，則更善矣。

一切金屬，無一能耐久熱而不變其理化性質者，雖白金亦不免。若聯結點之受溫度特高，成份又較複雜，則變性較易。白金若久熱於 1100°C 以上，亦起變化，但在 1000°C 以下，則可長久耐用。

8. 電動力之測量 (Measurement of e. m. f.) 熱電偶所發出之電動

力，均不甚大，普通由數個至數十個 (Millivolts)，故測量儀器，須相當精緻。按準確程度，可使用米立弗打表 (Millivoltmeter)，或電位表 (Potentiometer)。前者之指針所示，或為 Millivolts (m. v.)，或直接校正為溫度度數均可。惟有一重要之點，即米立弗打表之阻力 R_v ，與高溫儀器線之阻力 R_p ，均須預先規定。表上所表示之數量，必定在 R_v 極大， R_p 極小之條件下，方才正確可靠。設 E 為該熱電偶之電動力， V 為該弗打表所示之電位差，必須

$$\frac{E}{R_v + R_p} = \frac{V}{R_v} \text{ 關係成立，} V \text{ 始可靠。}$$

最準確可靠，且為校正儀器之標準量電壓法者，即為電位表法 (Potentiometer method)，蓋因對銷法所得之終點 (End point)，極準確也。此法之排列，如第三十六圖下所示， B 為電池， M 為一米立安培表 (milliammeter)， R 為一可變電阻， r 為一固定電阻， H 與 C 為熱電偶之熱點及冷點， G 為一掛鏡電表 (Suspended mirror type galvanometer)， K 為開關。按 M, R, r, B 為電位表之排列， $HCGK$ 為欲測之 $e. m. f.$ 。吾人連接於 r 上時，必留意電流之方向，使與電位表內之電流方向相反，以便對銷。若已知 H 之溫度，現在即調節 R ，至 K 連接時， G 中達靜止狀態為止。此時熱電偶之 $e. m. f.$ ，即等於 r 兩端之電位差，或 $e. m. f. = i. r.$ (i 可由 M 上看出)。

由上法可得 θ 與 t 之記錄，畫成弧線表。何曼氏由 θ 與 t 之關係，求得一公式代表之，名曰何曼公式 (Holman's formula)，即 $\text{Log } E = A \text{ log } t + B$ 。此式中 E 為電動力，但以邁克羅弗打 (Microvolts)表之，(1 millivolt = 1000 microvolts)， t 為攝氏溫度， A 與 B 為二常數，若用一已定之熱電偶，在二個已知溫度時測定 E ，則 A, B 可求也。

4. 實用熱電高溫計 (Practical forms of thermo-electric pyrometers) 實用之形式，係一熱電偶，其熱點最好以一適宜之金屬，將兩不同之金屬線鑲接，以避免兩線之扭結 (Twisting together)，因鑲接較牢實可靠也。此兩線須彼此分開，故以細小之矽酸 (Silica) 或其他火土製之絕緣管 t (Insulating tubes) 套之 (見第三十七圖左)，此整個熱電偶，另套以一粗大而結實之耐熱金屬管，或其他耐火原料製之保護管 T (Protecting tube)。此管長度為二至三呎半，下端可插入熟物體內，故外管不僅資保護，亦為便使用也。管之上端，為一金屬盒 (Casing)，盒內藏熱電偶兩線之上端終點 (Terminals)，蓋即其冷點也。銅絲導線，即由此兩終點，連接至電表或溫度表上，故此金屬

盒之作用有二點，一為儀器之柄，一為導線與熱電偶之連結處。盒厚而中空，務使外面溫度變化，不易影響裏面冷點溫度之均一與固定性。

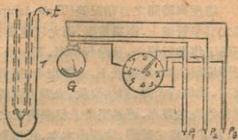
使用賤金屬儀器時，因其價廉量大，故可作成粗牢式樣 (Robust form)，而將外面之保護管取消。例如以鎳鐵熱電偶言，可用一

內徑及時之厚鐵管，一端閉口，而以一徑半吋之鎳槓套入鐵管內，以絲扣 (Screw) 牢接底端，即成一熱點。管內中空部分，即以氧化鎂粉塞入，作絕緣體之用。管可稍長，上端可加盒及銅導線，於是成一堅固耐用之儀器，雖因銹壞換新，所費甚低廉；同時因用外面保護管而引起傳熱緩應 (Thermal Lag) 現象，亦可避免。故可用以測變化之溫度，因熱點可立即達到欲測之溫度也。

工業上所用之高溫計，普通均直接刻劃為溫度，至於冷點改正，除有在冷點處；加一種補救設計裝置 (Compensated cold junction) 外，普通均略而不計；因所差甚微，不生若何影響也。但在科學研究上，冷點必始終維持其常溫，以期準確。

5. 工業上高溫計之連結與記錄 (Industrial pyrometer wiring & recording) 工業上應用高溫儀器甚多，對於管理及控制，必以簡單、迅速、經濟為原則。普通祇有一個控制房 (Controlling Office)，將若干儀器，用長導線接入，僅以一個指示電表 (表上示溫度)，次第公用之。但各儀器之熱電性質，須完全相同，方可公用同一電表也。

工業上之連結，略如第三十七圖右所示。同一電表 G，可以應用於 P_1 、 P_2 、 P_3 等高溫計。其結法係先將每個儀器之一線，均連於 G 之一端，而他一線，則連於時錶面形之開關板上，各按號碼連接之，開關板之旋轉中樞 D，則與 G 之他一端相連。由此可知，開關臂 A 如在 0 處，則無一高溫計，與 G 相通，亦即平常不測溫度時之靜止狀態地位。如置於 1 處，則在 G 上可看出 P_1 之溫度，其餘 2, 3, 4 等處，均可類推，故任何儀器之溫度，一舉手即可測定也。

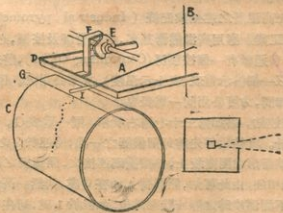


第三十七圖

絕緣管 T 保護套管

溫度與時間之自動記錄(Time-temperature automatic records), 在工業之科學管理上, 極端重要, 而尤以逐步有聯續性之化學工業, 為不可少; 因不僅工作進程序, 及進行情形, 可一目了然, 而萬一有何疎忽, 或某階段有何障礙發生時, 記錄表上, 立即指示, 使負責人得趕早改正或調節, 以免經久病重, 致鑄成大錯, 無法改救, 或雖可改救, 而耗時費工, 已損失不貲矣。且各種記錄表之保存, 更為工業上科學研究之必要參考資料, 因其工作情形與效率, 及其相當之時間, 均源源本本, 互相對照, 研究者不難按圖索驥, 考其得失利弊之所在也。

溫度時間自動記錄表之式樣繁多, 為述明原理起見, 特舉墨線紀錄表為例。第三十八圖左, 示墨線紀錄表(Inkthread recorder)之構造大要, B為電表之直懸線, 其上即為平置之溫度指針A, A端帶V形之象牙片I。上面之E, 為一偏瓣(Cam), 以時鐘機械(Clock work)旋轉之。D為一U形金屬片。如E每分鐘轉一周, 即將F與D升降各二次; D上升時, A即自由擺動, 成普通電表之指示針; D下降時, 即壓I, 使潮濕之墨水線G, 留一黑點於下面捲在圓筒C之空白表格上, 而成一點線(Dotted line)。圓筒C亦以時鐘機械旋轉之, 每25小時轉一周, 表上橫座標示溫度, 縱座標示時間, 於是即得一自動紀錄表, 可查明任何時之溫度。又I前可裝一固定之條, 尅劃溫度, 則看溫度時, 可無須看表格, 而成一普通溫度表矣。



第三十八圖

十 輻射高溫計 (Radiation Pyrometers)

1. 普通原則 當吾人以手移近熱物體時，即生熱感，證明熱由物體向外射出，且此輻射之熱，因該物體溫度之升高而增加。以前曾有許多嘗試，欲由輻射熱之強度，以推測溫度，但均未見成功，後經澈底研究，至近時方有滿意儀器之設計。此類儀器與光學高溫計，均有一優點，即儀器不與熱物體直接接觸，故所測溫度，雖有一最低限度，但無最高限度。他項儀器，若超過 1000°C ，長久使用，即漸漸變壞，若溫度超過 1600°C 時，則均歸無用矣。

欲明瞭輻射高溫計之設計，須先明熱之普通原則，茲將各重要點提示於后：

(a) 任何物體，若其溫度高於絕對零度 (Absolute zero) 時，均不斷以「以太」波浪 (Ether Waves)，將能力向其四圍 (Surroundings) 放射，物體之溫度愈高者，其放射之能力亦愈多，故熱學上以交換理論 (Theory of Exchange)，解釋物體之冷熱。一熱物體因輻射而失熱，其溫度即下降，四圍之溫度較低，即吸收此放出之熱，溫度因之徐徐升高，至最後雙方溫度相等為止。此時雙方之輻射與吸收作用，並未停止，特此兩種作用之速度，相等相銷，故其結果溫度，彼此相同也。

(b) 光與熱同一來源，故為同一之本質 (Identical nature)，均為一種能力，藉以太波，經空中傳達，其行經空間之速度亦相同，其惟一之區別，即為波長 (Wave Length, λ) 之不同，在 400°C 以下，所發熱浪太長，為吾人目力所不能見，僅有熱感，若波長太短，如 X 光之波長時，亦不能見。故吾人目力能感覺而為光者，僅限於某一段波長之能力波浪耳。由光熱之速率 v 相等，及 λ 之不相等，可推知震數或頻率 (Frequeny) n 亦不等。 n 與 λ 適成反比例，因 $v = n \lambda$ 也。

(c) 輻射為能力之流行，惟其定量關係，則須先明該物體之吸收 (Absorption)，與放射 (Emission) 性之原則。一種物體，無論放射本身之熱，或吸收外來之熱，其速度與其表面情形 (Surface nature) 有關係。色黑而粗糙之表面，其吸收與放射之能力，均較磨光之金屬表面為佳，蓋磨光之面，為極佳之反射體 (Reflector)，外來之能力，全反射回去，毫不吸收，地瓦氏 保溫瓶 (Dewars thermo-flask)，即據此理。

科學上所謂之全黑物體 (Black body), 必為毫無反射能力, 凡由外來能力, 落於其面上者, 將全被吸收, 而同時由他一面, 又將其吸收之能力, 全部放射, 其本身溫度, 始終保持一定。凡在此種情形下之輻射, 稱為全黑物體輻射 (Black body radiations)。

在普通情形下, 欲覓一完全放射面, 殊不可得, 但據克肖甫 (Kirchoff) 之實驗, 若將一物體置於密箱中, 將溫度保持一定不變, 則此物體, 即成一全黑物體。若在箱面開一小孔, 則由該物體或箱內所出之放射, 即為全黑物體放射, 因該物體之溫度既不變, 則所放射之能力, 必等於所吸收者也 (第三十八圖右)。

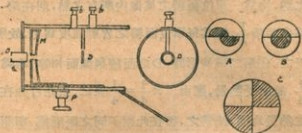
克氏之實驗, 實為一重要之發現, 吾人可以隨時得一完全黑物體情形, 而輻射高溫計, 實以全黑物體放射為標標, 因不在此情形下, 其放射均不規則也。在冶金工業上, 或以儀器測量爐中之金屬溫度, 或以一端閉口之火泥管, 插入欲測之熱物體中, 俟其溫度已達熱物體溫度時, 由他端之開口處測之。凡此類情形, 均與全黑物體之情形無異。此點頗為重要, 若在空曠中, 則情形較差, 輻射高溫計, 即不準確, 普通多用光學高溫計代之, 但仍非合理之辦法也。

(d) 全黑物體放射與該物體之溫度之定量關係, 曾經史推凡試驗於前, 扑次滿演證於後, 亦即輻射高溫計之根據, 所謂史、扑兩氏定律 (Stofan-Boltzmann Law), 亦稱為四次方定律 (4th. Power Law), 以方程式代表如下: $E = K(T_1^4 - T_2^4) \dots \dots (1)$ 。式中之 E , 為全黑物體每秒所放射之能力, T_1 為全黑物體之絕對溫度, T_2 為接受放射儀器之絕對溫度, K 為一常數, 須視 E 所用之單位而定, 若 E 為 Watts/sq.cm. , 則 $K = 5.32 \times 10^{-12}$, 若 E 為 Cal/sq.cm. , 則 $K = 1.28 \times 10^{-12}$ 。

簡言之, 此定律所示者, 為全黑物體所放射之熱能, 與其絕對溫度之四次方成正比也。吾人應知式中之 T_2 , 理論上應存在, 因 $E = KT_1^4 \dots \dots (2)$ 一式, 惟 T_2 為絕對零度方可, 又如使 $T_1 = T_2$, 則 $E = 0$, 此兩點均與原理相合也。但為實際情形計, T_1 極高, T_2 祇近室溫, 且 $T_1^4 - T_2^4$, 必相差更微, 普通可略而不計, 只用 (2) 式, 因影響甚微也。

2. 實用輻射高溫計 (Practical forms of radiation Pyrometer) 代表此類儀器者, 為費來氏之高溫計 (Fery's radiation Pyrometer)。此種儀器之構造, 略如第三十九圖左所示。形如一臥式之筒, 下面以三腳架支穩, 筒

內置一凹鏡 (Concave mirror) M. 可以齒道與齒輪之機構 (Rack and Pinion), 使在筒內前後移動, 而由筒外之 P 節制之。D 為筒中所懸之小圓銅片, 外面塗黑, 以便吸收熱力。當應用時, 熱浪入筒, 被 M 反射至 D, 又 M 之中心有小孔, 與筒端之接目鏡 (Eye piece) 相通, 故吾人由 O 可以窺見由 M 至 D 上所成之真像。又 D 之圓周, 包以兩片半圓之反光鏡, 如第三十九圖左 B 所示, 為上下兩片, 但不在一平面, 接連處成一鈍角。所對熱物體之像, 由 M 反射至 D 上, 但由 O 窺 D, 則見像為上下二部, 若 D 不在 M 之焦點距離處, 則此兩像, 成兩個半圓, 上下不符合 (第三十九圖右 A), 若 D 適為 M 之焦點, 則可見一圓整之像 (如第三十九圖右



第三十九圖

B)。此種適當之地位, 惟以 P 移動凹鏡 M 以達到之。如節制妥當, 則凡入筒之熱力, 均全部凝結至 D 片上, D 因吸熱而溫度升高, 此時 D 即成一熱電偶之熱點, 由銅線與康斯坦線, 連至銅鈕 b b, 再由此以銅線連至測溫電表, 在標準情形下, 加以校正, 以後電表即可直接指示溫度矣。

溫度太高時, 入儀器之熱力太大, 致內部受損害。為安全計, 即將儀器向熱之端, 加一隔膜 (Diaphragm), 任意遮去一部, 而熱力減低 (第三十九圖右 C), 普通熱點 D 之最高溫度, 必維持在 110°C 以下也。

此外有一重要點, 應加以解釋者, 即儀器與熱物體之距離問題也。若此距離太近, 則儀器受損, 太遠則溫度量不出, 若必須一定之地點, 則用時又不便。但吾人試考其原理, 則知此問題, 極易解決, 祇要在範圍之內, 任何地點, 即可使用儀器, 而得正確結果也。吾人知放射能力之強度 (Intensity of radiation), 與距離之平方成反比, 但此儀器上 D 點所接受之熱量, 在某種距離限度內, 不生變化, 換言之, 即在此限度內, 與距離之變化無關係也。此種儀器, 以 D 上所受之熱量, 為惟一關鍵。若距離在範圍內變動, 而此量不變, 則 D 之溫度上升, 與電表所示之溫度, 均極一可靠也。茲由凹鏡之性質, 推測此理如下:

設 r 為鏡之半徑, u 為物體 (Object) 與鏡之距離, v 為像 (Image) 與鏡

之距離，又 d 與 d_1 爲物體與像之高度 (Linear dimension)，則由光學原則，可得： $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{2}{r}$ ……(1) $\frac{d}{d_1} = \frac{u}{v}$ ……(2) 今知 d 爲常數，又物體之面積 a ：像之面積 $a_1 = d^2:d_1^2 = u^2:v^2$ ，故由此可得 $a_1 = a \frac{v^2}{u^2}$ 。此意即是像之面積，與 u 之平方成反比。或 u 愈大，成像愈小。今設物體與 M 之距離爲 1 及 2，其平方比爲 1:4，在 D 上成像面積之比爲 4:1。假使吾人每次令 D 所吸之熱，均爲一單位面積之真像內所有之熱，則在第一種情形時， D 之面積，僅爲像面積 $\frac{1}{4}$ ，但其每單位面積之放射強度爲 1，故所受熱量，可以 $\frac{1}{4} \times 1 = \frac{1}{4}$ 表之。在第二種情形時， D 之面積與像面相等，均爲 1，但強度已減至以前之 $\frac{1}{4}$ ，故所受熱量，應由 $1 \times \frac{1}{4} = \frac{1}{4}$ 表之。由此可知在此兩種情形下，熱點所吸之熱量均同，換言之，即在此兩不同之距離處，所測溫度，均同一可靠也。

由上述原則，可得一最遠距離之限制。吾人既認 D 之面積，即爲一單位面積，則凡成像之面積，小於 D 者，均不足一單位。由是可知無論選擇任何地點，其成像面積，必須大於 D ，而以像面積等於 D 面積之距離，爲能測準確溫度之最遠距離。

費來氏之儀器，用時須節制焦點。福斯特固定焦點距離之輻射儀器 (Foster's fixed focus radiation pyrometer)，其原理與構造，與費氏完全相同，但用時不宜距熱體太遠，且宜常保持一大約之規定距離。惟無須節制焦點，祇看電表而已。

輻射高溫計，因其利用熱電偶，故可用工業上聯結，及自動記錄之方法。

十一 光學高溫計

1. 光學儀器之意義 上節所述之儀器，係藉物體放射之熱能，以求其溫度，此節則從物體所發之光亮程度，或亮度 (Luminosity)，以求其溫度也。一種物體，須達到一相當之溫度，始能發光，故光學高溫計與輻射高溫計所測之溫度，均有一最低之限度也。試將一固體加熱，至少須至 450°C 以上，方能在暗處見到暗紅色，以後溫度上升，其亮度亦隨之增強，顏色由紅而黃，最後即達白熱，皓威氏 (Howe) 曾試列各種發光之顏色，以代表其溫度，茲列表於後 (第三十表)。

第三十表 薩威氏亮度與溫度對照表

| 差 | 或 | 相當之溫度 | |
|--|---|----------|-----------|
| | | C° | F° |
| (1) 在暗處最初能見之紅色 (Lowest visible red in darkness) | | 470 | 878 |
| (2) 在白天最初能見之紅色 (Lowest visible red in day Light) | | 475 | 887 |
| (3) 暗紅 (Dull red) | | 550—625 | 1022—1157 |
| (4) 櫻桃紅 (Full Cherry) | | 703 | 1292 |
| (5) 鮮紅 (Light red) | | 850 | 1562 |
| (6) 黃色 (Full yellow) | | 950—1000 | 1742—1832 |
| (7) 淡黃 (Light yellow) | | 1050 | 1922 |
| (8) 白色 (White) | | 1150 | 2108 |

此表至今，均認為合理，但在未經調驗，或無其他儀器幫助之肉眼 (Unaided eyes)，欲將此分類之種種程度，一一辨識，極不容易；雖熟練之工人，時時祇觀察一種顏色，亦有時能猜到 20°C 以上之錯誤。故此表祇能作一極粗率之辨別，不能與科學儀器之測量，相提並論也。

冶金學者，曾製有一同樣之顏色對照表，以為工具鋼 (Tool steels) 回火 (Tempering) 之用，亦稱為回火顏色 (Tempering Colors)。如將鐵面磨光，再行加熱，則該表面之顏色，次第變化，最初呈淺草黃色，最後因溫度上升，可呈極亮之藍色，其相當之溫度，約如第三十一表所示。此表在工業界，已夠準確，可以應用；惟學者應知此類顏色之變化，純係鐵受氧化之程度深淺不齊所致，非亮度之變化，因其溫度，尚不夠最低亮度之程度也。

第三十一表 回火顏色

| | |
|--------------------------|-------|
| 淺草黃色 (Pale straw yellow) | 210°C |
| 草黃色 (Full straw) | 230°C |
| 棕色 (Brown) | 250°C |
| 紫色 (Purple) | 270°C |
| 藍色 (Blue) | 300°C |

2. 光學儀器之原則

(a) 拉西公式(Rasch's formula): 吾人既知光與熱, 同為一物, 既可藉熱能之放射, 以測溫度, 未嘗不可藉光之亮度, 以推測之。拉西氏研究高熱固體所放出全部白光浪之濃度或強度(Intensity), 與該物之絕對溫度之關係, 約可下列公式表示之:

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^X, \quad X = 25000/T_1.$$

此式中之 $I_1 I_2$, 為在絕對溫度 $T_1 T_2$ 時放光之強度, 今設 $T_1 = 1250^\circ$, 則 I 之變化, 與溫度之 20 次方成正比, 若 $T_1 = 2500^\circ$ 時, 則與十次方成正比。此種溫度稍稍升高, 即使亮度迅速增高之情形, 可使吾人能測極小量溫度之變化, 此為光學儀器之優點。

(b) 全黑物體溫度(Black body or apparent temperature): 光學儀器, 雖可測小量溫度之變化, 但實際上有一極大之困難, 即是各種不同之固體, 在同一溫度時, 呈不同之亮度。蓋各物體均自有其散光性(e), (Emissivity or emissive Power), 彼此不同, 如 ThO_2 所製之煤氣燈罩, 與白金燈罩, 在同溫時, 前者之亮度, 遠勝後者, 惟 ThO_2 之情形特殊, 普通一切物質之散光性, 均小有差異。吾人欲矯正此參差不齊之弊, 惟有取全黑物體為標準, 因全黑物體之散光性(e_b), 均相同, 換言之, 即各種全黑物體, 在相同之溫度時, 其亮度亦相等也。

所謂全黑物體溫度, 或假溫度者, 係以全黑物體標準溫度, 測定非全黑物體之溫度也。設一非全黑物體之光, 與一在 T 度時之全黑物體亮點相等時, 則 T 即為該非全黑物體之假溫度。在普通情形下, e 均較 e_b 為低, 換言之, 即物體之假溫度, 較其真溫度稍低, 若欲求其真溫度, 則須加以改正:

$$\text{真溫度} = \text{假溫度}(T) \times \frac{e_b}{e}.$$

此 e 即為該非全黑物體之散光性也。由此式可知若 $e = e_b$ 時, 則假溫度即為其真溫度, 惟各物體之 e , 不易求得, 光學儀器雖較輻射儀器為佳, 但應用時, 仍以逼近全黑物體情形為宜。

(c) 芬氏定律(Wein's Law): 一熱物體發光, 其光譜(Spectrum)中各部之亮度, 至為均勻; 若將該物體之溫度增高, 則光譜中各部之亮度增強, 亦普遍而均勻, 並無某部有特殊現象。因此可祇取某部波長之光, 以代表全體, 換言之, 即只取某種顏色之光, 以便比較也。

試取一全黑物體之一定波長入之光(普通均取紅光), 芬氏定律, 即表示此光之亮度。與該全黑物體之溫度之關係如下:

$$I = C_1 \lambda^{-5} \times e^{-C_2/\lambda T} \dots \dots \dots (1)$$

式中之 I , 為該波長 λ 光之亮度, T 為該全黑物體之絕對溫度, e 為納氏對數底 ($=2.718$), C_1 及 C_2 為二常數, 可在兩個已知溫度及已知 λ 下求得之。德國物理學家普蘭克 (Planck), 曾將芬氏方程式, 略加修正, 使應用範圍推廣, 但在光學高溫計, 用 $\lambda = 65 \times 10^{-6}$ cm. 之紅光時, 芬氏定律, 可以應用無訛。

芬氏定律之第(1)式, 可改為:

$$\text{Log}_{10} I = K_1 + K_2 \frac{1}{T} \dots \dots \dots (2)$$

在此式中, $K_1 = \text{Log } C_1 - 5 \text{Log } \lambda$, $K_2 = C_2 \text{Log } e / \lambda$.

更可用亮度比例, 另寫為:

$$\text{Log} \frac{I_1}{I_2} = \frac{C_2 \text{Log } e}{\lambda} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \dots \dots \dots (3)$$

式中之 C_2 , 已求得為 1,450,000, 但 λ 應以 $\frac{1}{1,000,000}$ cm. 為單位。若

$\frac{I_1}{I_2}$, C_2 , λ , 及 T_2 為已知數, 則 T_1 可以算出。

按芬氏定律, 亦可以拉西公式推演之如下:

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{2000}{T_1}} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^k \text{ 今以 Log series 展開之,}$$

$$\begin{aligned} \text{Log} \frac{I_1}{I_2} &= \frac{k}{T_1} \text{Log} \frac{T_1}{T_2} = \frac{k}{T_1} \text{Log} \left(1 + \frac{T_1 - T_2}{T_2} \right) \\ &= \frac{k}{T_1} \left[\left(\frac{T_1 - T_2}{T_2} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{T_1 - T_2}{T_2} \right)^2 + \dots \right]. \end{aligned}$$

若

$$-1 < \frac{T_1 - T_2}{T_2} \leq 1,$$

$$\text{Log} \frac{I_1}{I_2} = \frac{k}{T_1} \left(\frac{T_1 - T_2}{T_2} \right) \text{ approx.} = \frac{k}{T_1} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \dots \dots \dots (4)$$

按式中 $\frac{T_1 - T_2}{T_2} = \frac{T_1}{T_2} - 1$ 多為大於 -1 , 而小於 $+1$, 故上式可與(3)式相同。

3. 實用光學高溫計(Practical forms of optical Pyrometers)

(a) 實用之全黑物體標準 光學高溫計,均用光度比較法(Photometric methods)。惟欲時時得—全黑熱物體之固定光度,作為標準,實際頗不易辦到。為方便計,可用—容易辦到,而亮度不變之光,如在—定情形下之電燈,或用—定燈芯,點—固定燃料(如 Amyl acetate)之燈,作為標準,以與其他欲測之光度相比較,但須用—已知溫度之全黑物體,以校正此標準燈,而得此燈之全黑物體溫度或假溫度,以後任何熱物體之假溫度,均可以此燈作標準求得之。

如溫度太高,或亮度太強時,可用—吸收玻璃(Absorption glass),插入光源與儀器之間,以減低—部分亮度。普通均用—定之紅玻璃,使透入之光,祇有—種波長,且其對光源與標準光所減低之亮度均相等也。若任意取—玻璃,雖顏色相同,而吸收程度不一致,學者應注意及之。又凡加用此類玻璃時,所得結果,除製造廠家精密致華外,必須在標準全黑物體情形下校正之。

(b) 實用光學高溫計之分類 實用光學高溫計,約可分為三類:

(1) 將欲測熱物體光源之亮度變動,使與恆—之標準光度相等。如費來氏(Fery's)、夏特烈氏(Lechatelier)及萬勒氏(Wanner)光學高溫計是;

(2) 將標準光度變化,至與光源之亮度相等。如霍克爾氏(Holborn-Kur-lbaum)儀器是;

(3) 用其他光學方法者。如用比色法之 Lovibond, 用極化光之 Measure' and Nouel, 及用吸收法之各種儀器皆是。

上述三種中,以前兩種為最重要,茲擇要各舉—例於後。

A. 萬勒氏高溫計 此儀器之原理,即將光源與標準光,各取—部同波長之紅光,經過極化(Polarizing)後,而比較其亮度。其製造略如第四十圖所示,層次頗形複雜,標準燈與欲測之光源,各分別由縫口 S_1 與 S_2 進入儀器內,而達透鏡 O_1 (Achromatic Lens), S_1 及 S_2 之地點,適當 O_1 之焦點距離,故離 O_1 之光線,均成平行線。此平行光經散光鏡 P (Direct vision spectroscopy), 使之分散(Disperse),再經極化稜鏡 R (Polarizing Prism), 使由每個來源之光線,分為二部,彼此均極化,但光波震動面,則互成直角。B 為—雙稜鏡(Biprism), 又與—透鏡 O_2 (Achromatic Lens) 組合,此組合之地位與角度,必須精確,使此兩個極化之紅光場(Field),或像(image),

一來自光源(So)，一來自標準燈(St)，均同時清晰映在D'上(D'適當E焦點，隔膜D則遮去其他不需之像)，此兩光即由E鏡隔分析鏡A(Analyser)窺見之，形為一紅色之圓，但上下兩部，為不同之來源所照亮，於是將A旋轉，至光源之亮度，與標準亮度相等為止。當A旋轉，管外即附有分度器，故A向左或向右旋之角度，可以看出，由校正表上，即可將角度翻成溫度，或直接将分度器劃為溫度。

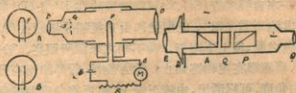


第四十圖

此種儀器之校正，即可用芬氏定律，其公式可改為 $\frac{I_2}{I_1} = \tan^2 O$ 。式中之 I_2 及 I_1 ，為光源與標準光之亮度，O為旋轉之角度。此儀器最好應用於 900°C 以上。

B. 霍克氏高溫計(Holborn-Kurlbaum Pyrometer) 此項儀器之原理，與上述萬勒氏適相反。最初莫司(Morse)，曾慮及此點，將一標準電燈之亮度變化，使與外來光源之亮點相同，然後由該燈所消去之電流，計算其溫度。此意之實現，幾經改良，現在西門子廠所製之霍克氏高溫計，即莫司氏儀器加以改進的產品也。

霍克氏之儀器，略如第四十一圖左所示，亦為臥式之筒狀，但全部輕巧，使用方便，無須三足架。筒內附一形如押髮迴針之細燈絲F(Filament)，與一四伏電池B，可變電阻R及米立安培表M，同連於一輪道內。F之位置，適在接目鏡D，及接物鏡O之焦點。用時以O向光源，以D接目，隔紅玻璃G觀之，可見物像為一紅色之圓，其中有黑色燈絲(見A)。於是將電流接通，燈絲漸紅，乃將R節制電流C，如C小，則F之亮度不及其背景，相形之下，顏色較暗；若太大，則F又較明亮。適當之終點，即F之尖端，適與背景之亮度相同，至不可分辨為止(見B)。此時即在M上，記其電流之大小，或校正後，即直接刻畫為溫度，可一目了然矣。此種節制，極為簡單，需時僅數秒鐘，而光度之比較，又極容易，即使素無經驗者為之，相差亦僅數度而已，故工業中均樂用之。



第四十一圖

電流 C 與溫度 t 之關係，隨所有標準燈之不同而異。但據實際所得，可以一公式代表之： $C = a + bt + ct^2$ 。其中 a b c 為三常數，在一定之燈下，其值均不變；若在三個已知溫度下，各測得 C 之值，則此三常數，可以算出。此類儀器，亦稱燈絲消失高溫計 (Disappearance filament pyrometer)，蓋狀其應用時之情形也。在極高溫度時，為免除燈絲之高熱起見，可另用一深色紅玻璃，但 M 上所刻溫度，須另加校正也。

C. 梅洛氏高溫計 (Mesure' and Nouel's pyrometer) 上述第三類高溫計式樣雖有幾種，但均非標準儀器，故不多述。梅洛氏儀器，並不準確可靠，若無經驗，即無由決定可靠之結果；惟因其小巧簡單，又無附件，亦不須補充或修理，可隨時自衣袋中取用，如須作極頻繁之初步溫度測驗時，惟此為最適宜，故略述之。

第四十一圖右，示此儀器光學上之配合。此鏡筒內，有兩個立科稜鏡 (Nicol prisms)，接近前端接物鏡 O 者，稱分極鏡 P (Polarizer)，與後端接目鏡 E 相近者，為分析鏡 A (Analyser)。 A 與 P 之間，為一橫切 (切面垂直其主軸) 之石英片 Q 。由熱物體所來之白光，經 P 極化為同一震面，但經 Q 後，則按波長之不同，而有多面，再經 A 後，吾人所見之顏色，須俟 A 與 P 安放之角度而定。 A 連於一旋轉圓片 D 上， D 之周緣，刻有度數，如向一方轉動 A ，則由 E 窺見之顏色為紅，若向相反之方向轉之，則為綠。適當之點，為轉至一檸檬淡黃色為止。此點須有經驗者，方能斷定。於是 D 上所轉之度數，即可從校正表上，覺得相當之溫度。

此儀器之優點，已如上述，為冶金技師及工頭最便攜帶之儀器；其劣點即為審辨恰當顏色之不易準確，無經驗者，可差至 100°C 以上之鉅，但習用者，不難得近似之確數也。

近代測量高溫之法，均不外以上各節所述，吾人既明理論與實際，則對於儀器之愛護與選擇，均有把握。愛護儀器，為經常之原則，如應用得法，其壽命可無限延長，否則一旦即毀壞無餘。凡超過安全限度，或在高溫時有引起物理與化學上變化之可能者，均宜盡量避免，一面又須時時加以校正，因長久使用，可使儀器發生變動，致紀錄前後不恆一可靠也。

所謂選擇儀器者，即儀器之安全，與結果之正確，能雙方兼顧是也。吾人應先知儀器之性質，及優劣之點，以求於應用時，能適合當時之條件。譬如電阻高溫計，因其僅限於貴重金屬，且電阻易生變化，故現在用者極少。熱電高溫計，因其價廉物美，遂起而代之，為現代工業應用之最廣者。惟其最高溫度，約為 1000°C 至 1100°C ，過此限度，即須用輻射及光學儀器，因此兩種不受最高溫度限制也（但最低須達 800°C 以上）。在與全黑物體情形相差太遠時，光學高溫計，較輻射儀器為佳；但光學高溫計，有一極大之劣點，即不能自動紀錄是也。若電阻、熱電、及輻射儀器，均可自動作聯續之紀錄，再用工業上之連結法，則一人可控制全部溫度也。

第十章 耐火原料 (Refractory materials or Refractories)

一 耐火原料之定義

一切冶金作業，均在高溫度舉行，故煉爐、坩鍋、及凡與熱金屬及其產品相接觸之器具，均宜用適當之材料建造，不僅耐熱，且應抵抗由高溫引起之物理或化學變化之反應，保持本身之完整，以達到冶鍊之使命。

耐火性之定義，普通以「不易熔」三字解之，若以近代冶金所需之耐火材料而言，則此三字之涵意，未免掛一漏萬。嚴格論之，一完全之耐火材料，必須具下列各種性質：

- a. 不易熔性 (Infusibility)。
- b. 高溫下之機械力量 (Mechanical strength at high temperatures or Refractoriness under Load)，即在高溫下，能抵抗壓力，不致改變原來之大小與形式。
- c. 震動及磨擦抵抗力 (Resistance to vibration and abrasion)，在高溫下，不因震動或磨擦而碎裂。
- d. 漲縮遲鈍 (Insensitive to temperature change)，溫度雖常常變化，但因感應遲鈍，不隨之漲縮，能始終保持其完整形式。
- e. 不滲透性 (Impermeability)，不致因外面冷空氣滲入，使爐內溫度減低。
- f. 不易傳熱 (Poor conductor for heat)，致使爐溫減低，能力損耗。
- g. 不起化學變化 (Chemical inertness)，如在高溫下，爐內之氧化或還原氣象 (Oxidizing or Reducing atmosphere)，爐渣之作用 (Slag action)，或不同原料之接觸影響 (Contact effect) 等，均不能使起變化，成一耐火性較差之物質，而使本身消蝕或崩潰。

以上各點，可謂責任繁重而完備，吾人至今，尚未發現一天然原料，能如此完全，而諸善均備者。

但在實際工作時，上列各性，須一時全備之機會甚少，且有時需要條件，竟與上述之性質相衝突，如煉焦爐磚，須傳熱較易，即與 f 項相反。故吾人只

能按實際情形，選擇相當之原料耳。

二 耐火原料之分類(Classification of Refractories)

耐火原料之分類，約有兩種方法：

A. 按照化學成分，可分類如次：

- (1) 矽酸 (Silica)；
- (2) 火土 (Clay) 及 (Silimelite)；
- (3) 耐火氧化物：(a) 氧化鎂；(b) 石灰 (Lime)；(c) 氧化鋁 (Alumina)
- (d) 氧化鉻 (Chrome)，
- (4) 炭素 (Carbon)，
- (5) 耐火陶瓷料 (Refractory porcelain)。

B. 按照高溫時之化學行動 (Chemical behavior)，可分類如次：

a. 酸性材料 (Acid refractories)，在高溫時，能與金屬氧化物，化合為鹽。

- (1) 火土 (Fire Clay)；
- (2) 矽酸 (Silica) 沙 (Sand)，石英岩 (Quartzite) 等類。

b. 鹼性原料 (Basic refractories)，能抵抗液體金屬氧化物之作用，但與酸性材料化合為鹽。

- (1) 白雲石 (Dolomite)；
- (2) 菱苦土 (Magnesite)；
- (3) 石灰 (Lime)；
- (4) 鋁土 (Alumina) (帶中性)；
- (5) 鎢石 (Zirconia) (帶中性)。

c. 中性原料 (Neutral refractories)，能抵抗酸性及鹼性物之化合作用。

- (1) 鉻礦 (Chrome)；
- (2) 炭 (Carbon)；
- (3) 碳化矽 (Silican Carbide or Carborundum)；
- (4) 鋁土及鎢石 ZrO_2 。

第一種分類法，不適實用，普通所採用者，均為第二種。吾人由助熔劑原理，可知凡酸性原料，不能與鹼性者，同在一處受熱，反之，鹼性與酸性者亦

然。中性者之化學行動獨立，不受同時接觸之酸性或鹼性物質之影響。茲將此三種原料之重要者，逐一討論之。

三 酸性耐火原料

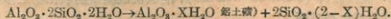
1. 火土 (Fire Clay)

a. 定義 泥土或黏土 (Clay) 係一種天然礦物質，其主要部分之成份，為複雜之矽酸鋁 (Alumino-silicic acids)，但與沙粒及其他雜礦物相混，在任何不同地點所取之土，絕無成份完全相似者。惟在潮濕時，多少略具黏性 (Plasticity)。

凡稱火土者，必須該土在 1580°C 時，毫無熔化現象之表現。因火土之成份不一定，故無一定之熔點。溫度升高時，先變軟 (Softening)，然後慢慢熔化。此種熔化須經一段溫度之現象，稱為熔化帶 (Melting range)。

b. 泥土之成因 (Formation of clays) 泥土係由原生岩石，經風化作用 (Weathering)，漸漸崩潰 (Disintegration) 後，所留之產品。例如從正長石之分解，即成泥土，其重要變化，可表示如下：

$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ (長石) + $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (陶土) + $\text{K}_2\text{O} \cdot 4\text{SiO}_2$ 鋁土礦 (Bauxite)，係由泥土再經分解而成：



泥土可分兩種：其由母岩分解，未經天然之轉運，即在母岩附近，未與其他雜質混合者，稱為遺留土 (Residual clays)；若母岩崩潰之細粒，先由天然流水挾帶，注入湖海，漸漸沉澱，經久而固結 (Consolidate) 者，稱為水成土 (Transported or sedimentary clays)。後者因其來源複雜，成份不一，普通較前者之耐火性稍差，煤層中所夾之土層，皆為水成土，但亦有為極佳之火土者。

c. 泥土中之雜質 (Impurities in clays) 泥土為各種礦物之混合體，無彼此相似者，除主要之高嶺土 (Kaolin) $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ，為需要之成分外，其餘大都為雜質。重要者可列舉於次：

- (1) 鹼類 (Alkalis)，多由長石中來；
- (2) 鐵，由黃鐵礦，褐鐵礦，及碳酸鐵礦等來；
- (3) 雲母，亦為鐵鹼與鎂之來源；
- (4) 石灰及鎂氧，普通為石灰石，石膏及白雲石等；

(5) 錯氧，土中均多少含有之，如紅金石 (Rutile) 及錯鐵礦 (Ilmenite) 等；

(6) 鈦氧；

(7) 過剩石英 (Free quartz)；

(8) 炭素。

d. 雜質對於火土之影響 (Effects of impurities on clays) 火土在高溫時，此類雜質，多少均發生影響，茲分述之。

(1) 鹼類所發生之影響極壞，遠過其他一切雜質，因其能與土中之石英，化合成矽酸鹽 (Alkali silicates)，熔點既低，流動性亦大，致將火土之耐火性，完全摧毀。以長石言：

鈉長石 (Albite) m.p. 1250°C.

鉀長石 (Orthoclase) m.p. 1200°C.

鈣長石 (Anorthite) m.p. 1500°C.

前兩種最壞，可見鹼類所生影響之大；鈣長石較佳，但其熔點，仍不夠火土之標準。

(2) 鐵所生之影響，須俟情形而定；一為爐內氣象之氧化或還原，一為與鐵同時存在，並接觸之他種雜質若何也。在氧化氣象時，鐵之存在為高價之 Fe_2O_3 ，此物極穩固，不生若何影響；但在還原情形，或與其他還原劑之雜質 (如炭) 相接時，則鐵即還原為 FeO 。此物為一鹼性之氧化金屬，即與 SiO_2 發生作用，可成為熔點低至 1100°C. 之矽酸鐵 $FeSiO_3$ 。

(3) 雲母亦可生助熔性之影響 (Fluxing effect)，惟不如長石之嚴重，因雲母本身之熔點，即在 1300°C 以上也。

(4) CaO 與 MgO ，本為矽酸之助熔劑，火土中之矽酸，普通約 50% 左右，故此等氧化物，自為有害之雜質，為害僅次於鹼類。且此種壞影響，因其他有助熔性雜質之存在而加劇，因複鹽類之熔點，更較單純鹽類為低也。

(5) 錯氧及鈦氧本身之熔點均高，而在高溫時之化學行動，亦為酸性，故無如何壞影響。

(6) 過剩石英，即除火土內一切金屬氧化物，按照其礦物成份所需之矽酸外，剩餘之矽酸是也。吾人試取純粹之高嶺火土與石英 (過剩) 之混合物，而求其熔點，可得一組織圖，高嶺土之熔點，因過剩石英之增加而減低，至土與石英之比例為 1:4 時，得最低之熔點為 1580°C。故純火土中，雖無其他

雜質，即石英亦能減低其耐火性，而 1580°C 之所以定為火土之最低熔點者，良有以也。

(7) 炭之來源，多為夾雜之含炭物質 (Carbonaceous matter)，在煤層中之火土，常有此種現象，多時可達 .5—1%。炭對火土無直接影響，但在間接方面，可以將 Fe_2O_3 還原成 FeO ，使之發生不良結果。故含炭之火土，在未用之先，宜設法將炭氧化盡淨，以免以後之間接影響。

吾人應注意者即鋁氧 Al_2O_3 為火土中最優良而有利之成份，因其熔點既高 (2000°C)，又無助熔性質。按實際分類，鋁氧應為一中性原料，而無顯著之鹼性也。火土中此類成份增高，實為吾人所希望，而火土之價值實以此為標準也。

上述各雜質之不良影響，在單純情形時，當不致若何嚴重，若同時各種雜質存在，則益加劇，故雜質之種類與分量，愈少愈妙也。

e. 火土之分析 (Analysis of clays) 純粹之高嶺土 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 含 46.3% SiO_2 ，39.8% Al_2O_3 ，13.9% H_2O 。但火土之成份甚雜，其平均分析約為：

| | |
|--|---------------|
| Al_2O_3 | 22—38% |
| SiO_2 | 41—64% |
| Fe_2O_3 | .8—4% |
| $\text{CaO} + \text{MgO}$ | 痕跡 (Trace)—1% |
| $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ | .5—4% |
| H_2O | 不定 |
| Others | 微量 |

火土之分析，必以在赤熱烤過之土為標準 (On ignition basis)，方好比較。若將一切元素各別測定者，謂之化學或絕對分析 (Ultimate analysis)，惟此種方法，耗時費力，普通在工業上所需要之分析，祇定其 Al_2O_3 ， SiO_2 及 Fe_2O_3 之百分百數。三者之和，應在 95% 以上，其品質之佳否，亦可估定。

絕對分析之佳處，即為 (一) 品質佳否，可以確定；(二) 火土之礦物成份 (Mineralogical composition)，可以算出。計算時，係假定鹼類及 CaO 為長石， Fe_2O_3 為褐鐵礦， Al_2O_3 為高嶺土， SiO_2 除滿足上述各礦物之成份外，所餘者即作為過剩石英。

f. 火土之提淨 (Purification of clays) 在必要情形時，火土內之雜

質，亦可設法提出一部；但普通此種手續，均不需要，吾人可用品質不同之火土數種，任意配合，而得適當之成份。

提淨火土之方法約分兩種：

(1) 風化法 (Weathering)，如雜質為黃鐵礦 (Pyrites) 等物，經風化後，可氧化為硫酸化合物，以後用水沖洗之。

(2) 水洗法 (Washing)，高嶺土可成極細之粉末，流水極易挾帶，其他雜質之礦物，或體積較大，或比重較高，均可設法分開，土與水先混合，使之流經許多沉澱箱 (Settling tanks)，較重而大之顆粒，即沿途墜落，在最後數箱內，吾人幾可得純粹之火土。

極細之土，在水中能成一種膠性液體 (Colloid or "gel")，幾無法使之沉澱。若加入少許之電解體 (Electrolyte)，使之恢復普通溶液狀態 ("Sol" condition)，增加其流動性，細土即易沉下，普通所用之電解體，為少量之泡花鹼 (Sodium silicate)。

g. 火土之物理性 (Physical properties of fire clay) 火土之物理性頗多，茲僅將其與耐火原料有關者，提出討論之。

(1) 黏性或可塑性 (Plasticity) 黏性者即能屈伏於外力之下，可以任意變形，而不破裂之性質也。火土之黏性，與其水份有關係，在某限度內，水份愈多，黏性愈大。又土粒之細度，亦為最大之因子，顆粒愈細，黏性愈大。但據最近研究之結果，知泥土黏性之極重要因子，並非水份與細度，而為該土所含膠性物質 (Colloidal matter) 之多寡，含此愈多者，黏性愈大，無膠質物者，幾無黏性，如沙即為明例也。

普通膠質，均能吸收各種顏料，故以標準之顏料溶液 (Dye solution)，試定量土之吸收性，實為一初步測量膠質含量之方法。

土之極黏者名曰肥土 (Fat clay)，黏性弱者曰瘠土 (Lean clay)，若欲使肥土變瘠，可加以適量之無黏性物質 (Non-Plastic material)，此種物質，在陶業上之術語，稱曰熟料 (Grog)，當於以後火磚製造時詳述之。

黏性對於火磚製造之影響甚大，黏性愈大者，其結合力 (Binding Power) 亦愈強，但在乾燥時，其變形 (Distortion) 之趨勢亦愈大。

泥土之黏性，可藉「老成」法 (Seasoning or ageing) 而加強。此法即將新鮮泥土，存放一二年後，方才使用。在此長期內，燥濕冷暖不齊，且有生物化學作用，使其膠質成份增高，黏性亦隨之而長。陶堯業所用原料，普通均經

過老成作用，即此理也。

(2) 受熱後所起之變化(Changes of clay on heating) 試取任何土樣，先在 105°C 乾燥之，然後取等量，置若干坩鍋中，於爐內徐徐加熱，並繼續計取爐溫與土溫，每隔若干溫度後，取一樣出，而秤其重量。吾人可知此兩種溫度，並非同時相等，其重量亦常常變化，茲將其變化情形，略述如下：

(a) 重量變化——一切之土加熱後，均損失其重量。 100 至 200°C 時，有少量之損失， 200 至 400°C 時，幾無若何損失，而 400 至 600°C 時，則損失較大。

(b) 溫度之變化——凡土加熱後，其溫度皆有一特殊之變化，即土之溫度，並不與爐溫同時相符合，而成一理想的直線關係之時間溫度曲線表(Time-temperature curve)。例如土加熱至 850°C 時，中間至少有三個溫度階段(Temperature ranges)，表示土溫與爐溫不符合，或土溫之變化。第一段在 150°C — 200°C ，此時土之溫度，低於爐溫，此種現象，稱為熱之緩應(Thermal Lag)。但此種緩應，又絕非因土之體積太大，內外溫度不能同時一致所致。第二段在 450°C — 550°C ，此時又有一緩應現象。第三段在 800°C — 850°C ，此時土之溫度，突然較爐溫為高。

按一火爐中，置少量之土樣，令爐溫徐徐上升，若土本身不起物理或化學變化，使內能改變，則土溫應隨時與爐溫相符，其理至明也。惟事實所示，知土之組織，並非一簡單物體，受熱即起變化，吾人可由「加熱曲線」(Heating curve)，作初步之測探；惟此種變化之原因(Causes)與結果如何，則非此類簡單方法，所能決定。晚近科學家苦心研究，並以X光測其結晶組織之變化，始明真象，茲簡述於次：

(一) 100 — 110°C . 損失其吸收之水份(Hygroscopic water)；

(二) 150 — 200°C . 膠質物失去水份(Dehydration of colloids)；

(三) 450 — 500°C . 土分解(Dissociate)為自由(不化合)之 SiO_2 及 Al_2O_3 ，所餘之化合水(Combined water)即揮發；

(四) 800°C . 以上 Al_2O_3 分子，起多元化作用(Polymerization)，體積縮小，比重增加，並發熱；

(五) 1100°C . 以上 Al_2O_3 與 SiO_2 重行化合物而成『麻石』(Mullite)， $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ；

(六) 1200°C . 以上『麻石』(Mullite)結晶；

(七) 1400°C. 漸呈鎔狀(Gradual sintering);

(八) 1700°C. 鎔化(melting)。

故在第一、二兩段時之變化，因吸收熱力，而致熱之緩應；第三段內，因化合發熱，故有高於爐溫之現象。上述第五六七八各階段之變化，均係大概情形，不能一定，須視該土樣所含鎔劑之多少，顆粒之粗細等因素為轉移。

(3) 孔隙度(Porosity)與縮性(Shrinkage) 孔隙度者，係土之孔隙與該土全部體積之百分比也。孔隙度達 800°C 時，因 Al_2O_3 之多元化，而逐漸增加，土之本身，漸漸縮小，直到 1000°C 時，又開始減低，蓋因土之縮小率加大故也。

孔隙度對於火磚之用途，頗有關係，空氣為一不良之導熱體，故孔隙愈多，絕熱效力亦愈大。近代絕熱磚(Insulating bricks)之製造即據此理；但在其他用途，如抵抗腐蝕及磨擦等，則孔隙度不宜太大。

縮性係在高溫度呈鎔狀時表面張力之作用，使物質成最小體積所致。但化合水之損失，及 Al_2O_3 之多元化，使體積縮小，比重增加，確為火土在高温縮小之重大原因。當溫度升至 1400°C 時，孔隙度與縮性之變化，其方向與以前適相反。其原因為在此高溫時，表面已呈鎔化狀態，此半流動體，包裹微小孔隙，被包之少量氣體，無法外溢，遂因膨脹，而使土之總體積增大。此種氣體漲大現象謂之氣漲(Bloating)。

(4) 鎔漿化(Vitrification) 此為土在高温呈鎔化之狀態。惟此種鎔化，與金屬或其他有定礦物(Definite mineral)之鎔化有別；後者有一定之熔點，且以後溫度冷卻，即復結晶；鎔漿化無一定之熔點，先變軟，次成半液體狀態，最後成液體，溫度冷時，變為固體，但無結晶體分出。狀如飴糖或玻璃，可名之為過冷卻之固溶體(Super cooled solution)。

由上段觀之，鎔漿化溫度之高低，必與該土之縮性有關係。可鎔漿之土(Vitrifiable clays)，雖在一常溫時，亦繼續縮小，因無固定熔點，且變化遲鈍也。故在一定之溫度時，其體積與該溫度之平衡點，極不易達到，製造上極不適宜，因其易變形也。不鎔漿之土(Non-vitrifiable clays)其情形適相反。普通在製造時，均係兩種配用，大概可熔土較不熔土之顆粒為細，含助熔劑之成份亦較高。

h. 火磚之製造(Manufacture of fire bricks)

A. 原料(Raw materials) 在火磚製造時，普通均不祇用一種原料，

而係數種相混合。其細度與分量，均妥為搭配，務使土之熔漿性與不熔漿性，互相消長，至適當程度，而得一需要之成分，組織及耐火度。此種配合方法，視材料之性質，及需要之目的而定。

肥土或熔土之耐火度，均較差，且在乾燥期中，收縮較大，易於破裂，入窯燒時，其縮性較大，對於溫度變化，所引起之漲縮亦較靈敏，在高溫時，其強度大都較瘠土或不熔土為弱。反之，後者又不適於火磚製造，因其缺少黏性，不能團結。

普通製火磚方法，即係取適當比例之黏土與非黏土 (Plastic and Non-Plastic clays) 而混合之。所謂非黏土者，即上文所稱之熟料 (Grog) 也。製造時直接採用天然「熟料」者極少，普通係預備者，如已在高溫焙燒之火土 (Calcined clay)，或破碎之舊火磚 (Old bricks)，碾至適當細度後使用之。蓋經熟後，其縮性與黏性，均減低至最小限度，強度增至最高，適合「非黏土」之條件，而熟料名詞之來源，即根據於此也。

在火磚製造中，熟料之功用或目的，大約可分四種：

- (1) 減低縮性 (Reduce shrinkage)；
- (2) 便利乾燥 (Facilitate drying)；
- (3) 增加強度及減少變形 (Increase strength and reduce deformation)；

(4) 火磚在高溫之行爲，如因急速冷熱變化而起之漲縮反應等，可以熟料之多少及細度改進或節制之 (Improve brick behavior towards rapid temperature changes by varying percentage and grain size of grog)。大約言之，熟料之成份高，而顆粒大者，其耐火度必高，強度亦高，不易變形，對於漲縮之反應亦遲鈍，但其組織不細密，易崩潰，不能耐磨擦及震盪，若其成份低而粒細者，其結果則反是。嚴格論之，熟料必須先加熱，至已表現其最大縮性，使以後作磚加熱時，不再收縮。熟料之顆粒，無論大小，不宜圓滑，而宜稜角，方能彼此勾搭，與生料 (或黏土) 伏貼緊密，而增其強度。最後一點，即熟料之成份，及其他之耐火或耐腐蝕力，須與混合之生料相似，庶在應用時，整個火磚之行爲，無差參不齊之弊。

B. 磚之作法 (Brick making)

(1) 熟料之格篩 (Grading of grog) 最初將熟料用咬碎機 (Jaw Crusher) 粗磨，次即用碾碎滾 (Crushing rolls) 細磨，以後即用格篩 (Screens)，

分爲各種細度。作磚用之熟料，其顆粒細度約爲 $\frac{1}{20}$ 至 $\frac{1}{4}$ 直徑。

(2) 火土之預備 (Preparation of clays) 生料之火土，均須磨細，務使與熟料得密接之混合，俾組織加強，機械力量亦加大。

(3) 混合 (Mixing) 生料與熟料預備完成後，即須各按預定比例量出，互相混合，此種混合，應求透澈，而得一成份組織極均勻，且具相當黏性之物質。混合時有先不加水，俟在機中混合均勻後，再加水攪拌之；亦有開始即加水，以後即爲混合與攪拌，同時進行。吾人應知火泥所含水份多寡之適當，亦與混合之均勻，同等重要，此點須視原料之性質，及製造方法而定，仍宜以經驗測定之。

混合機 (Mixers) 可分若干種，最習用於火磚製造者，約有下列數種：

(a) 平碾盤 (Tempering mill)。係兩個重大之鋼圓 附於一直軸上，以齒輪使之旋轉於盤中。盤內置欲混合之物，混合時，兼有少許磨細之功用。普通均加水，因此機之混合效率，以流體物質爲最大。

(d) 混合槽 (Trough mixer)。爲一矩形平槽，中有一對長軸，上裝槳片，兩軸相對旋轉，以便混合槽內之土。槳片與軸幾成直角，僅略有偏斜，如此則生熟料，由一端裝入，爲槳片攪動，一面混合，一面向他端推進。混合時，須加適當之水量。

(c) 攪泥機 (Pug mill)。若將上部全開之混合槽，改爲封閉，僅留出口一端，爲一較火磚橫剖面略大之矩形管，內部之一對混合推進軸，一與 b 相同；如是即爲攪泥機，所出之混合體，緊密無空隙，可以隨時用鐵絲或鐮截成小段，每段如磚之長，此段即可入壓磚機製磚矣。普通初步混合，均有混合槽，以後方用攪泥機。

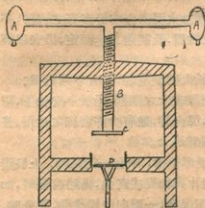
(4) 製磚方法 按原料配合時，所含水份之多少，可分兩種製磚法：一曰乾法 (Dry or semi-dry method)，二曰濕法 (Plastic method)。

乾法比較簡便而經濟，故多採用之。所謂乾法者，並非毫無水份滲合，僅在混合時，祇加少量之水，使混合體在壓力之下，其顆粒能互相結合而已。故又稱半乾法。乾法需較大之壓力，普通多用機製 (Machine moulding)，因手製 (Hand moulding) 之壓力較小，且不均勻也。

乾法機製磚，稜角分明，式樣整齊，因壓力較大，故磚之孔隙度亦小，是其特點。惟當壓時，細粒有被擠至表面及邊際之趨勢，此種粗細粒分佈不均，

謂之層狀分佈 (Lamination)。此種現象，在加熱時，即有破裂之虞，因粗細顆粒之伸縮不等故也。可將熟料之成份增加，或將其細度減低，或將混合均勻程度加高，以改正之。

乾法製磚，亦有用手搖壓磚機製者，但大量製造，均須機械力量。有時亦經手製及機製兩種手續，初步用手製成「毛坯」，俟其略乾，再入機壓之，而得式樣整齊之最後形式。



第四十二圖

- AA 鐵球 C 模蓋(隨B升降)
B 螺旋軸 D 模底(可以上下活動)

濕法因水份較多，原料即成黏泥，故適宜於手製，或手搖機製。如第四十二圖所示者，為手搖製磚機之大概，其壓力全因上端兩大鐵球旋轉之運動量，由中間之螺旋旋轉軸，向下傳達於磚上。我國江南及唐山一帶，多採此機製造。濕法因水份較多，需有較長時間之乾燥，其縮性亦較乾法為大，乾時及燒時，須特別小心，否則易破裂或變形。

因火土加熱後，即起收縮，故製磚之模 (moulds)，必須較實成磚之尺寸，稍為放大，庶燒成之磚，其大小方與規定相符。此種放大，須視火土及混合料之性質，水份之多寡，及燒時所達之溫度而

定，普通約放大自 $\frac{1}{10}$ 至 $\frac{1}{12}$ 。

磚之形式完整，對於冶金爐之構造，有極大之關係，因砌磚所用之水泥 (Cement)，雖成份與磚相同，但受熱之先後不一，總不能至高溫時，與磚之行爲絕對一致。故牆之水泥線，即為其弱點，所以砌磚，以用最少量之水泥為原則，惟有完整之磚，方可使用最少量之水泥，而在高溫時，能得最良之結果也。

(5) 磚之乾燥 (Drying bricks) 新作之磚，必須經過極小心，而透澈之乾燥手續，方可入窯加熱，否則磚內部之水份，受熱成汽，不及散出，而致火磚變形或破裂。乾時必須小心，務使水份由表面慢慢蒸發，內部水份，方可徐徐滲散至外表，最後至整體之水份，低至無害之程度時，方可入窯。普通

乾燥方法，可分三種：

(a) 地坑法 (Hot floor)。室內有平整地面，在地面下裝蒸汽管，或作成煙道，由室之一端地下燒煤，與吾國北方之臥坑相似。室頂須有良好之通風，以便熱汽外溢。近燃燒之一端，地面溫度較熱，新磚入地坑室之他一端，俟其漸乾，然後逐漸移至較熱之一端。此法最簡便，始業費用 (Initial Cost) 最低，吾國窯業界，幾全採此法（在北方冬季用此法，春季初夏無雨雪時，用日晒法）。惟其劣點，即為熱效率極低，各處溫度及乾燥之速率，不易節制，而磚之轉運與遷移，易增高損壞率。

(b) 隧道法 (Tunnel drier)。在地面或地下作一極長之拱形 (arch) 涵洞，內敷輕單軌，欲乾之磚，即載於長列車上，由隧道之一端，徐徐前進，他端則送入熱氣（利用廠內廢熱，以預熱空氣），磚與迎頭對流之熱氣相遇，即逐漸乾燥，吾人可按磚之水份，氣之溫度，以節制前進之速度，至最後出洞時，即可入窯。此法係採對流制，最熱之風，即熱最乾之磚，故理論與實際，均極合宜，惟以大規模工廠引用，方較合算。

(c) 濕度控制法 (Humidity drying)。此法將欲乾之磚，置於乾燥室中，而將此室中空氣之溫度，常常保持稍低於磚之溫度，於是磚內之水份，即逐漸潮散而蒸發，此法磚既無須移遷，溫度亦不須特高，乾燥速度，可在安全率之內，以最高速度乾燥之，故此法最為理想。

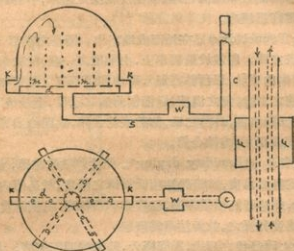
乾燥率對於火磚最後之形式，影響極大，若太慢則不經濟，太快則被蒸汽漲裂，或外表已乾，內部餘汽，雖當時不致使磚裂口，但在將來加熱時，必使之變形或破裂也。

(6) 磚之燃燒或加熱 (Burning of bricks) 燒磚所用之窯，式樣繁多，大概可分為兩種：一曰不繼續式 (Intermittent type)，一曰繼續式 (Continuous type)。前者為普通常用，後者僅大規模工廠採用之。

本節所及，並非欲將兩種式樣之構造及作用，詳加敘述，僅擇一常用而效率最高之代表，簡單述之。燒磚所用之溫度，若係普通火磚，至少須達 1200°C ，若為高等火磚，則須有 $1500-1550^{\circ}\text{C}$ 之溫度，更須加用直接或間接預熱法。作者於此，不憚一再提示，引起讀者對於燃料經濟之注意，此處之預熱法，不僅增加熱效率，亦為達到高溫之必要手段也。

(a) 底焰窯 (Down draught kiln) (不繼續式) 此窯適用於規模不大之工廠，窯之形式，頗如蜂房式煉焦爐，可為圓頂形 (Dome-shape)，亦可為

矩形(見第四十三圖左),彼此牆壁相連,以防熱之失散。窰之底,有若干空洞 m ,連通底下烟道 d ,窰之外部,周圍有六個燒火處 K (Fire place),此熱火焰,即沿窰頂上升,但因通風之壓力差,使熱氣下行,經過窰內排列之磚,由底洞 m 至底下烟道,復經總烟道 S 及廢熱鍋爐或經濟器 W (可有可無,視廢熱氣量之多寡而定),而入煙筒 c 。因熱氣下行,故稱為底焰窰。此窰建築頗簡單,效率可高至 50-60%,為此種式樣之最佳者。



第四十三圖

(b)隧道窰 (Tunnel kiln) (繼續式) 此窰係連續式,並採用預熱法及氣體燃料。設備費高,效率亦大,非大規模生產,不能採用。此式窰之原理,與上述隧道乾燥法相似,但因目的不同,故構造與作法亦略異。現在此式窰之作風,均分兩途發展,一為以移動之火焰燒固定磚 (Travelling fire zone for stationary bricks),一為以固定火焰燒移動磚 (Fixed fire zone for travelling bricks)。以後者之構造簡單,且效率宏大,為世界最通用之窰,故特述之。

此窰為一長隧道式涵洞,燒火之處 (F),適在中部,下層有預熱器,火焰橫跨隧道左右,按時交互,亦如平爐煉鋼法然。隧道內鋪鋼軌,有單軌者,但普通均為雙軌,以便兩車相對進行,第四十三圖右示此窰構造之大意。鋼軌

均特殊製造，且用流水冷卻，以防過熱。裝磚之列車，亦須特殊裝置其上而及四旁，均用耐火及絕熱原料保護，以防經過火焰帶時，受高溫影響，致損機械力量。兩列車磚，以相反方向，徐徐進入隧道，其進行速度，均預先測定，妥為控制，務使經過F帶後，即完全燒好可用。離F前進時，此最熱之磚，即將其大部之可覺熱 (Sensible heat)，給與相鄰之磚，使後者準備即刻入火焰帶，正式加熱。燒好之磚，再向前進，沿途給熱與鄰磚，本身漸漸冷卻，至出隧道時，即可搬運下車，而此入口之新磚，亦以溫度最低之出窯磚熱之，故利用對流制原則，最為有效。此窯之效率最高，雖高等火磚，不過四十八小時左右，即可燒好，且繼續工作，繼續出產。若不連續式之窯，以裝窯、燒窯、冷卻，出窯各部手續計算，每次出產非經半月，不辦矣。

(7) 燒窯之作業 (Burning operations) 燒窯作業，由外表視之，似乎極端簡易，祇要達到需要之溫度，即告蕝事；實則此項工作，極為重要，必須小心從事，否則影響結果甚鉅。

此項作業，可分為三個步驟，即預熱時期 (Smoking or steaming stage)，正熱時期 (Full-fired stage)，與冷卻時期 (Cooling stage) 是也。茲分論之。

三期中，以預熱期為最重要，其目的在驅除最後之水汽，且使各種必經之化學變化，得有充分時間，逐步完成，而不影響磚之品質。故此期中，須特別留意，不僅在下列各步時之加熱速度，加以節制，更須防止已驅出之水汽，在磚叢中較冷靜之處，重行凝結成水，使磚變形或破裂。應注意之各階段如下：

(一) 直至 130°C ——速度須極慢，以驅除水份；

(二) $130-400^{\circ}\text{C}$ ——速度可較第一步略快；

(三) $400-500^{\circ}\text{C}$ ——速度又須遲緩，使土中之分解作用 (Dissociation)

完成；

(四) $500-650^{\circ}\text{C}$ ——速度可稍增高；

(五) $650-850^{\circ}\text{C}$ ——速度又須遲緩，使土之多元化及氧化作用進行。

燒磚必須氧化焰，為氧化完全起見，窯內必須有過量空氣，否則含炭或低鐵 (Ferrous iron) 之物質，仍可存在磚內，此種現象謂之黑心 (Black coring or Black-hearting)。此未氧化物質之被包藏，皆係燒時速率太大，致孔隙表面，起熔化現象，而成一保護層，以後在正熱時期，雖溫度上升，亦不能改正。黑心磚在高溫熔爐中，影響極壞，以前於火土所含雜質影響中，曾論及之。

過 850°C 後，即入正熱時期。此時即可以穩健而繼續之速度，使溫度漸漸升至最高點。此溫度須視原料及產品之品質而定，即平常火磚，約為 1150—1200°C，最佳火磚，為 1500—1550°C 是也。在此最高溫度，須在可能範圍內，與以最長時間之停留，最少亦不能少於二十四小時，如此方可希望一切變化，一次抵於完全。

冷卻時，亦極重要，任何式樣之窯，冷卻均須慢而有規則，若冷卻太快，或有局部之冷風貫入，使磚之收縮不均，內部頓起應力 (Internal stress)，如玻璃之未經良好燻火 (Good annealing) 然，此磚之機械力量，必減低，尤以對於抵抗磨擦震動及溫度變化之力，特別減小。

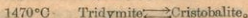
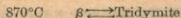
由上述各條觀之，可見溫度控制，確為燒窯術之重要秘訣，否則以前種種注意，皆功虧一簣矣。節制溫度時，老法均用火度錐，但新法均於高溫處，用輻射或光學高溫計，低溫則用電熱偶，但亦偶用火度錐補充之。

2. 矽酸或石英

a. 矽酸之性質 在高溫度時，矽酸之化學變化，全為酸性反應，至其物理性質，經沙式滿 (Southman) 之精細研究，知矽酸有同質異形之變化，現在已知者，至少有七種不同之晶形 (Crystalline forms)，即

- (1) α -矽酸, α -Quartz;
- (2) β -矽酸, β -Quartz;
- (3) α 鱗石英, α -Tridymite;
- (4) β_1 鱗石英, β_1 -Tridymite;
- (5) β_2 鱗石英, β_2 -Tridymite;
- (6) α 白矽石, α -Cristobalite;
- (7) β 白矽石, β -Cristobalite.

其主要或正轉變點 (Major transition points) 有三，即



至於鱗石英及白矽石之異性體，均各有其轉變點，惟不如上述三種之顯著，且在加熱與冷卻兩種情形下，又非固定不變，略有參差，故名之曰副轉變點 (Minor transition points)。反之，正轉變較遲鈍，副轉變較爽快，惟因同時存在之少量不純物，如 FeO 等，能間接顯出接觸劑 (Catalyst) 之功效，亦可促

進此類變化之完成。

火土加熱起收縮，而矽酸則反膨脹，茲就下列之比重觀之：

矽酸(Quartz)=2.65, 磷石英(Tridymite)=2.27, 白矽石(Cristobalite)=2.33, 可知由矽酸變為磷石英或白矽石時，即發生體積增大之現象。磷石英之比重最小，故其體積之變化，亦較其餘兩種為小，故最理想之矽酸磚(Silica bricks), 必為全部之矽酸，盡變成磷石英。實際上吾人定矽酸磚之品質，即以該磚所含磷石英成份之高低為準，成份愈高者愈佳，因以後重熱時，其體積變化亦小也。

b. 矽酸之原料 江河沖積之白沙，有時極純潔，可達 98% SiO_2 ，為普通建築及酸性煉鋼爐修補之原料，但不適於製矽酸磚，其原因有二：沖洗之沙，顆粒圓滑，而無稜角，若以之製磚，其機械力量必弱，一也；又此種沙粒，幾全無膠質物，故毫無黏性，製磚時，必須加大量之熔劑，作為黏合劑(Binding material or bond), 如此又使耐火性大為減低，二也。

矽酸耐火材料之原料，仍取於組織完善之石英岩石，如 Quartzite, gneiss 等，其 SiO_2 之成份，至少須達 97%。如為一良好之原料，則此種岩石之物理性，更較其化學成份為緊要。設使該石之化學成份無問題，若易於容含氣體或水份，一經加熱，即片片飛裂，而失採用之價值。故欲試石英石之可否適用，可取石熱至 1500—1600°C 取出，在靜空中，讓其自冷，若無飛裂現象(Shattering), 則其組織必佳，且其體積變化，必為均勻而有規則。

矽酸材料，因其成份較純，故雜質亦少，偶有炭鐵等物至 2% 左右，對於燒製良好之磚，亦無大影響。反之，此種物質之存在，由製矽酸磚之觀點言之，可認為有益，因其可以促進磷石英之轉變也。

當磨碎時，石英岩所成之細粒，應保存其稜角，在製磚時，此種顆粒，可以大小搭配牢實，增加機械力量。普通言之，凡岩石之質硬而細，組織緊密而均勻者，大概均為好原料。

c. 矽酸磚之製造 由火土製造火磚之方法，以前既加詳述，故矽酸磚之製造，更易明瞭，因其方法，亦不外磨碎、分格、混合、壓製、乾燥及燃燒等步驟，與製火磚大致相同也。惟矽酸之物理性，與火土略有分別，故製磚時之手續，亦須略加變更，茲將其重要不同之點提出，以便於注意。

(1) 磨碎石英石之顆粒，實際上幾全無黏性，徒加壓力，不能團結，若勉強入窯加熱，上下排列，更不能耐壓。故矽酸磚製造時，必須加適量之黏合劑。

普通採用者，為濃厚之石灰乳 (Milk of Lime)，加入之量，約為 $1-2\frac{1}{2}\%$ ，如為煉鋼用時，可以酌減至 $1-1\frac{1}{2}\%$ 。

(2) 石英之吸水量，遠不及火土，故其含水量自較火泥為少，乾燥期亦較短，為混合透澈計，在磨碎石英時，即將石灰乳，傾入機盤中，使磨碎與混合，同時進行。

(3) 濕磨法 (Wet grinding) 之結果，較乾磨為佳。據實際經驗，磚之組織與耐久性 (Durability)，可以增加細粒之百分數 (Percentage of fines) 改進之。普通用於煉鋼爐之矽酸磚，其混合體之成份，約為 4—8 篩孔細度者一分，8—25 篩孔細度者一分，及細粒 (Fines) 一分所合成。

(4) 矽酸磚普通均用機器壓製，因需壓力較大，但須小心防止層狀分佈之現象。手製者可免此種現象，但需技術及相當之壓力，因比火土製磚為難也。

(5) 火磚加熱，起收縮作用，矽酸磚則相反。故製磚之模型，普通須較成品尺寸 (Finished size) 小 $\frac{1}{9}$ 至 $\frac{1}{10}$ ，以便燒成後，適合需要之大小。

(6) 燒矽酸磚時，有兩點應特別注意。一為高溫度，無分等級，至少須達 1500°C ，一為在此高溫所停留之時間，須較燒火磚時為長，至少亦須達四十八小時，庶石英轉變為磷石英或白矽石之變化，可望完滿。燒矽酸磚所需之燃料，亦較燒火磚為多。

試驗矽酸磚之品質，最好以其真比重 (True specific gravity) 為標準。(真比重者，為除去孔隙，而祇算該磚物質之比重)。高級之磚，須不可超過 2.35，此數可代表矽酸變轉之近似完全性，以後採用時，可不至因熱重生不可忽略之「遺響」(After effect)。一即體積變化甚小，無若何妨害也。

d. 砌矽酸磚之水泥 砌此種磚，所用之水泥，其成份與配合，約有下列三種：

- (1) 石英岩研至極細末，加 2—3% 石灰混合之；
- (2) 石英岩研至極細末，加 1—3% 火土混合之；
- (3) 研舊矽酸磚為細末，加適量之肥土混合之。

使用水泥之最要原則，即水泥之性質，與在高溫時之力量 (Refractoriness under load)，須與該磚相似。使用之量，愈少愈妙，因其膨脹時之壓力頗大也。

e. 矽酸磚之性質 矽酸磚之傳熱性(Thermal Conductivity),較火磚略大,故煉焦爐採用之。其顏色較火磚為白,易於反射,故各種煉鋼爐之爐頂均用之。工業上所用之煤,若含揮發鹽類(Volatile salts)甚多,此種鹽類磚吸收後,即與加熔劑之效用相似,致磚起腐蝕。在此種情形下,矽酸磚最為可靠,因已轉變之矽酸,對於此類之鹼性作用,不若火磚之易受影響也。

3. 翻砂耐火原料(Foundry refractories) 翻砂所用之主要耐火原料,即為製模沙(moulding sand)。按模沙為一特殊物質,須具相當之條件,並非隨地採取,即可合用。天然模沙,極不易得,普通均用人工配製,取各種品質不同之沙,爐母或紅土(Loam),及少量之土混合之,並須含適量之水份。

普通翻砂;視所鑄金屬不同,可分三種:一曰鑄鋼翻砂(Steel foundry),一曰鑄鐵翻砂(Iron foundry),一曰非鐵金屬翻砂(Non-ferrous casting),均須用模沙。茲將模沙所應有性質,略述於次。

a. 耐火性 鑄鋼用之模沙,其熔點須達 1650°C ,鑄鐵用者,須達 1400°C ,非鐵金屬用者,能達 1200°C 即可矣。模沙之耐火性,須視下列三點而定,一曰化學成份,二曰顆粒細度,三曰鑄物(Castings)之大小。第一點至明,無容解釋,至於細度,則粗粒變為純粹之石英,故熔點高,極細之物質,普通均不能純粹,故耐火性較差,鑄物之體積大者,其藏熱量大,冷卻速度慢,細砂經長時間之加熱,若其耐火性不夠時,即呈熔化狀態,附於鑄物表面,不易除去,術語名之曰粗糙鑄物(Dirty castings)。

b. 機械力量 普通之沙若和以適量之水,在壓力下,或稍有黏性,惟乾時必崩潰。模沙必須有足夠之力量,能保持木模型母(Wood pattern)之形式,且能抵抗液體金屬注入時之震動與衝激力,而不損壞。吾人須知純淨之沙,毫無黏性,亦全無力量,必須加最低限度之黏合物,如爐母或肥土等。若土之成份多,力量亦較大,但其孔隙度,則反減小。在一定之限度內,水份可以增加模沙之力量,但過度則反是。普通限度,約為 $1\% - 6\%$ 之水,後者係用於濕沙或青沙製模法(Green-sand moulding)。

定質與含定量水份之模沙,其力量可因製模時工具所施壓力之大小而增減。施力大者為牢巧法(Hard-ramming),小者為鬆巧法(Loose-ramming)。前者所作之模形,自較後者之力量為大,但牢巧將減低孔隙度與透氣性。

c. 透氣性(Permeability) 模沙之機械力量,雖極重要,但具有良好

之透氣性，使氣體能經模沙逸出，亦為同時之重要條件。當熱金屬注入時，模形內之空氣，突然膨脹，沙內水份，亦立即汽化，此大量氣體，決非模形之小小出口 (Riser)，所能銷容，故模沙必有相當之孔隙，使氣體隨地散逸，否則氣體將模形內之空間佔據，壓力增高，輕則使鑄物之形體殘缺不齊，重則使模形受壓崩潰。

好模沙所具空隙 (Pores)，可佔全體積 40%，但平均數量，僅達 27% 左右。模沙之極細者，稱為沙泥 (Silt)。沙泥多時，即將沙粒間之氣道阻塞，使透氣性大減，牢坳法之效果亦然。最理想之沙粒，為直徑不太小而均勻之圓球，彼此相接之處，僅為一點，餘大量之空隙，以便氣體散逸。

d. 化學成份與顆粒細度 (Chemical composition and grain size) 模沙之化學成份，雖可決定其耐火性，但非唯一之方法，前已提及；且其成份，因實際之應用，而常常變化，故工廠中之模沙，均不常作化學分析也。

顆粒細度，實際反較化學成份為緊要，如係鑄鋼用者，細度必須達 .5— .25 mm.，鑄鐵者，為 .25— .01 mm.，非鐵金屬者，為 .01 mm. 以下。

鑄鋼用之模沙成份大概為 SiO_2 85—95%， Al_2O_3 3—6%， Fe_2O_3 1%。鑄鐵用者，約為 SiO_2 60%， Al_2O_3 20%， Fe_2O_3 6%。非鐵金屬用之模沙，其化學成份，可略而不計，因其耐火性，總可夠用也。

e. 天然沙 (Natural sand) 與人製沙 (Synthetic sand) 之比較 所謂天然沙，即僅增減其水份，即可應用，但天然沙對於某一種鑄物所需之上述各種條件，每多不全，故極少使用；惟在特殊情形，偶有湊巧合用者，廠家亦樂用之，其理由為：

(1) 節省混合及預備工夫，製模工作，亦較容易；

(2) 天然沙含有有機物少，受熱時所發生之氣體亦少，故對鑄物生沙眼 (Blowholes) 之弊較少，鑄物有光滑之表面 (Good finishing)；

(3) 可作人製沙之原料。

反之人製沙亦自有其優點：

(1) 可以隨時配合，不受地方限制，必要時，可以使其條件與規定，嚴格相符，故為常用之模沙；

(2) 人製沙經調整配合後，可以重複使用，如其耐火性降低，可以由鑄鋼沙變為鑄鐵或非鐵金屬用，不僅限於一種鑄物。

4. 火磚之品質及試驗 (Quality and Tests of fire bricks) 無論任

何現代工業，對於現在所用材料之品質，均有嚴密而安全之規定 (Specifications)。在此規定情形下，將材料加以檢察及試驗，及格者方認為滿意，蓋必如此，方能在實際應用時，該材料始可負起指定之使命，不至中途摧損，或力量不夠，而引起困難，或竟致重大之危險。時至今日，此類測定材料品質達到規定標準之試驗，益形嚴格，良以近代工程所要求於材料之責任，已日行苛刻而嚴重矣。

火磚亦為工程材料之一，故其接受檢察與試驗，自亦不能例外。關於火磚性質之種種規定與試驗，種類繁多，讀者如欲細研究，可參考美國材料實驗學會，規定全文 (American Society for Testing Materials codes or ASTM Codes)，吾國各種材料規格，亦正在編製中。本篇為篇幅所限，僅就重要各點，簡述於后：

(1) 化學分析。此點無待多述，為工業目的計，最重要者，祇知 Al_2O_3 ， SiO_2 ， Fe_2O_3 及 Alkalis 即可。若前三項之和已達 98% 以上時，餘類儘可不分析矣。

(2) 熔點 (Fusion point or refractoriness)。耐火材料之熔點與其細度，化學成份，及加熱速度有關，前已言之。普通由其成份，亦可推測其約數，但仍以實際為準。法將原料磨至規定細度，製成標準火度錐，置電爐中，以規定之加熱速率熱之，至熔倒為止。

(3) 組織 (Texture)。此點包括磚之顆粒細度、孔隙度、透氣性、及磚之均勻性 (Homogeneity) 而言。此數端對於火磚應用時所生之影響，至為重要。例如顆粒細而組織均勻者，其耐磨擦力 (Resistance to abrasion)，與冷時之機械力，或壓碎力 (Cold crushing strength) 均極大，但在高溫時之機械力 (Refractoriness under Load) 與熔點，則較弱，且對溫度迅速變化所生之漲縮感覺，亦較靈敏，反不如細度較大之磚為可靠。

磚之孔隙度，亦極重要，多孔之磚，可作絕熱磚用，但不宜冶金爐之建築。因其吸收爐渣，易起腐蝕作用也。又孔隙之情形，亦當注意，如彼此連通者，透氣性必大，隔絕者即較小。

(4) 傳熱性 (Thermo-conductivity)。此與絕熱性 (Thermo-insulation) 完全相反，但各有其用途。如煉焦爐及預熱室之吸熱磚，須容易傳熱，與普通煉爐之以保熱不散為目的者，完全不同。傳熱性與磚之組織有關，尤以孔隙度為然。火磚之比熱，因溫度之升高而增加，故在高溫時蓄熱之量較多。欲測

磚之傳熱性，頗不容易，手續亦繁，普通以在單位溫度坡段 (Unit temperature gradient) (即平均每單位厚度之溫度差為一度)，用每秒鐘每單位面積所傳導之熱量表示之，如 $\text{cal/cm}^2/\text{sec}$ at $1^\circ\text{C}/\text{cm}$ 或 $\text{Btu/ft}^2/\text{min.}$ at $1^\circ\text{F}/\text{in.}$

(5) 顏色與響聲 (Color and sonority)。磚之顏色不能代表其品質，因微量之雜質，燒時窰內為氧化抑還原氣象，燃燒之溫度與久暫等，均能影響其顏色，故顏色非可靠之象徵也。但由磚之響聲，尚可測其燃燒情形，若為燃燒良好之磚，其變化與組織，透澈均勻，以錘擊之，發金屬聲 (Metallic ring)，若火候未到，則聲音甚啞。

(6) 機械力量 (Mechanical strength)。火磚之機械力量，可分兩種，在低溫或常溫時，稱為冷壓力 (Cold crushing strength)，普通標準九吋直磚 (9" Straight bricks)，其尺寸為 $9" \times 4\frac{1}{2}" \times 2\frac{1}{2}"$ 試驗時，其上下受壓面為 $4\frac{1}{2}" \times 2\frac{1}{2}"$ (此種放置，稱為小頭放法 "End on" Position)。壓力徐徐增加，至該磚破裂為止，冷壓力即以每方吋若干磅 (lb/sq. in.) 表示之。若將此種試驗，另行設計，於高溫時施行，稱為高溫抗壓力 (Hot Crushing strength or refractoriness under Load)。普通不必到磚之破裂，祇達其伏點 (Yield point) (即壓力不變，而開始繼續變形) 即止。按火磚之冷壓力，與組織有關，普通均有相當之大力量，若用於溫度不高之處，儘可不經試驗，認為及格；但在高溫時，則大為減低。例如冷壓力達 3000 lb/sq. in. 之火磚，一達 1500°C 時，即減至 20 lb/sq. in.。

(7) 爐渣抵抗力 (Slag resistance)。此項試驗不普通，僅在特殊冶金情形下舉行之。法將各種磚挖一標準窩形，各放入等量之標準爐渣而熱之，經一定之溫度時間後取出，驗其腐蝕情形，以比較其抵抗力。

(8) 淬火試驗 (Spalling test)。此法係試火磚對於溫度迅速變化時，其伸縮反應之靈敏性如何也。普通火磚，以感應不靈敏為佳。試驗之法，係將磚一半置爐內，一半在爐外，爐中燒至欲達之溫度，經一至二小時，迅速取出，投入大量冷水中，視其破裂否。此法可繼續試驗，至破裂為止，而記其次數。

(9) 漲率試驗 (Expansion test)。與物理上求漲率之方法相似，亦在某溫度段時，以百分率表示之。

以上僅就普通數點論之，全部尚不僅此也。由此可知無一種耐火材料。

可以滿足全部試驗，實際亦不可能，因有數種性質，根本相反，如傳熱性與絕熱性是也。故吾人試驗僅擇一二種重要而必需之特性，希望能適合某種特殊情形耳。

5. 鹼性耐火原料 (Basic refractories)

鹼性耐火原料，為鋼鐵冶金重要原料，而普通炭鋼之大量生產，非此不可，但在非鐵冶金工業中，則用途較少。

石灰量多而賤，隨處各得，且具強鹼性，宜若可居重要地位；惟因其吸潮性 (Hygroscopy)，而致瓦解，平時既不能收藏，用時溫度不能中斷冷卻，故未能列入耐火原料，誠可惜也。惟熔煉白金時，係用石灰坩鍋。石灰在鋼鐵冶金中之最大用途，非為耐火，而實為熔劑。

讀者試就本章卷首分類項目查之，除鋁土及 Zircon ZrO_2 ，兩種量小且非鹼性，及石灰不計外，此節所可述者，僅白雲石，與菱苦土兩種而已。茲分述於后：

a. 白雲石 (Dolomite) 白雲石為一種礦物，其結晶完整者，具一定之化學成份，其方程式為 $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ ，兩種碳酸物，各佔分子量之半數，(以重量言，為 54.35% $CaCO_3$ + 45.65% $MgCO_3$)，但普通之白雲石，均非純淨者，雜質頗多，成份不一。普通含碳酸鈣特多，尤以石灰石之一部為鎂所置換者為甚。此種轉變之礦物，稱為鎂化石灰石 (Dolomitized Limestone)。

此種天然岩石，不能直接用作耐火原料，必須先焙燒至 $900^\circ C$ ，將其中 CO_2 全部逐出，而成無晶形之 CaO 與 MgO 混合體。所含雜質不可太多，此後即可應用。按純碳酸鈣，在 $800^\circ C$ 時，開始分解，而放出 CO_2 ，純碳酸鎂在 $780^\circ C$ 時，即起同樣變化。故工業上焙燒至 $900^\circ C$ ，此種分解作用，實際已告完全。

已經焙燒之白雲石，因含多量之石灰，仍能攝取空中水份，在相當短期內，即行潮解。此種焙燒物 (Calcines)，非與外面濕氣來源隔絕，不宜長時間之存儲，普通煉鋼廠內，均以隨燒隨用為原則。焙燒良好之白雲石，呈顯著之收縮，比重亦大為增加，此種質密之物，抵抗潮解力量亦較大，所謂「死燒」(Dead burning)者，須焙燒至 $1500^\circ C$ 以上，所得產品，較能經久不受潮解，蓋在高溫時，所含雜質或成爐渣物質 (Slag forming materials) 皆溶化而附於焙燒物之表面，成一防潮之外層。

焙燒所用之爐，即為普通之生鐵熔煉爐 (Cupola)，此為直井鼓風爐，冷

風由下部環爐風箱，經送風管入爐，爐中裝以焦炭及岩石，更迭成層，空氣入爐燃燒焦炭，即焙燒岩石，燒好者墜入爐底，由出產口陸續取出（灰亦混入）。裝爐由頂上陸續加入，故工作可繼續進行，惟焦炭須經選擇，務使灰份低而質無害，不致影響出品之品質。

與燒水泥相似之旋轉窯 (Rotary kilns)，亦可用以焙燒白雲石，燃料必須用粉煤，如必要時，可擇燃料灰份，能在高溫成適當之防潮層者，以利焙燒物之存儲，或長途轉運。

焙燒之白雲石，普通均經磨碎至不過半吋直徑，鹼性煉鋼爐之內腔 (Lining)，均用此物，或將其磨細，與無水煤焦油混合，用牢圪法砌上，或先將爐燒熱，然後以少量之焙燒物，舖一薄層，藉高溫使密結 (Sinter)，如是重複結合之。每次出鋼後，必用此焙燒物修補爐腔 (Fettling)。

白雲石火磚 (Dolomite bricks)，係以磨碎之焙燒白雲石，與糞開之黑焦油 (少量) 混合，用高壓製成之。焦油經糞，即提去水份，故磚之乾燥期，可縮至最短，或儘可直接入窯，因此磚如須數日乾燥，偶一不慎，反使水汽及炭酸氣被吸收，而致漲裂。⑥

白雲石火磚之最大用途，即為建造鹼性煉鋼爐及混合爐 (Hot metal mixer) 等。此磚吸潮性向未能完全防止，現正在研究中。

b. 菱苦土 (Magnesite) $MgCO_3$ 菱苦土為第二種重要鹼性耐火原料，實際上較白雲石為優，惜其天然產地與產量，至為有限，不如白雲石之普遍也。吾國至今尚無重要菱苦土礦之發現，故對鋼鐵事業前途之發展，實不無影響也。全世界之來源，在第二次歐戰以前，有三個重要國家，即奧國 (Austria)，捷克 (Czechoslovakia)，與希臘 (Greece) 是也。希臘所產者，最為純淨之無晶形碳酸鎂 (約 93—98% $MgCO_3$)，奧國所產者較雜，其重要雜質，約為 2—7% $FeCO_3$ ，惟此種鐵質，並不妨害其耐火性，反可視為有利，蓋因其能幫助死燒工作之完全，而菱苦土非經死燒，不能用作耐火材料也。美國最先全賴上述各種輸入，自第一次歐戰發生來源斷絕，不得不努力開發，現已差可自給矣。

菱苦土之死燒法，與白雲石之焙燒相同，用化鐵爐或旋轉窯均可，但溫度必須甚高。輕燒至 800—900°C 時，菱苦土之比重，約為 3.24，溫度再升高時，比重即逐漸增加，體積收縮，最後至熔化時，比重可達 3.70。普通經過適當焙燒之菱苦土，其比重約為 3.6—3.65。

菱苦土作耐火材料用時，多為火磚。製法亦與白雲石火磚相似，黏合劑用膠質或無水黑焦油，壓力頗大，至少 500 lb/sq. in.，經短時間乾燥後，即入窯，溫度須在 1500°C 以上。燃燒良好之磚，其真比重須至 3.65，工業上所用之火磚，其成份約為：

| | |
|--------------------------------|--------|
| MgO | 82—86% |
| CaO | 2—3.5% |
| Fe ₂ O ₃ | 5—8% |
| Al ₂ O ₃ | 1—3% |
| SiO ₂ | 2—4% |

菱苦土火磚之用途，與白雲石火磚相似，惟多用於爐之建築，而不常用其磨碎物於爐之修補，因較不易熔結也。

已燒過之菱苦土，在空中不易潮解，故用時更較白雲石為方便。使用鎂磚時，須特別小心，加熱須遲緩，漸漸增高溫度，因其傳熱性與漲率均高，加熱太快，對於漲率不勻而起破裂之感覺，亦甚靈敏也。

菱苦土之焙燒，以死燒為最好，其水份與 CO₂，須完全逐出，若死燒不完全，以後應用時，氣體分解作用(Dissociation)，仍繼續進行，此亦為漲裂(spalling)原因之一也。

6. 中性耐火原料(Neutral refractories) 中性耐火材料之最大用途，亦為鋼鐵事業，非鐵冶金上，幾無人採用，即鋼鐵冶金採用量亦甚少。中性材料，既對酸性或鹼性熔劑，均不生作用，應為最理想之原料；惜因其價值太昂，或產量過少，或因其他物理變化，不適於工業情形，致受種種限制，不能充分利用，亦天然之缺點也。茲就重要數種，簡單分述之：

a. 鉻鐵(Chrome) 鉻鐵之原料，即為鉻鐵礦(Chromite)。此礦類皆混雜，不合耐火材料之標準，故須加以採擇配合，使達下列規定之成份：

| | |
|--------------------------------|--------|
| Cr ₂ O ₃ | 40—48% |
| Fe ₂ O ₃ | 12—25% |
| Al ₂ O ₃ | 8—16% |
| MgO | 8—16% |
| CaO | 0—2% |
| SiO ₂ | 8—6% |

如作鉻磚用者，其 Cr₂O₃ 之成份，至少須達 43%。作磚之手續，亦與鎂

磚同，惟銘礦可無須焙燒，但在燒窯時，須用高溫，使銘磚收縮至最低限度，否則一如鎂磚，將來應用時，繼續收縮，致建築物生裂縫。

銘磚多用於鹼性煉鋼平爐中，以隔開鹼性與酸性磚，俾免其熔劑作用之發生。銘磚能抵抗鹼性及酸性渣之作用，對於錫渣之作用，亦可抵抗。鋼鐵工業中之回熱爐 (Reheating furnaces)，常有鹼性之鐵銹片 (Iron or mill scale) 墜落，故亦用銘磚作之。

b. 炭素 普通所用者為石墨 (Graphite or plumbago)，最佳者產於印度南端之錫蘭 (Ceylon)，含炭可達 90% 以上。普通所產者純雜不一，其成份約為 85—90% C，2—3% 揮發物 (V. M.)，2—7% 灰份。以片狀 (Flaky) 含 C 高灰份低者為最好。

石墨用作耐火材料時，多製成坩鍋，製時先混少量之土作黏合劑，然後入模，壓成坩鍋，全部含炭 25—90% C，視需要情形而定。製成之坩鍋，先經長時間之乾燥，再行燃燒，燃時須在還原氣象中，庶 C 不致燒去。普通包於焦炭末中燃燒之，所加之土不必極端耐火，最好在燃燒時，能略呈熔滲化現象，使表面孔隙遮蓋，以防炭之氧化。

炭為中性元素，如在中性或還原氣象中，為最理想之耐火材料。其傳熱性，幾大於火土一倍，用時多置於燃料中，以防氧化。鐵能吸炭成合金，故石墨坩鍋，不宜於煉鋼，多於熔非鐵金屬之用。

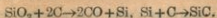
c. 鋁土 (Alumina) 有若干含鋁較高之土，可達 42% Al_2O_3 ，普通火磚之品質較高者，其成份即係如此。含鋁最高之材料為鋁土礦 (Bauxite)，其成份自 $Al_2O_3 \cdot H_2O$ 至 $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ ，但普通均含雜質，而 Al_2O_3 之含量不過 60 至 75%。如作耐火原料，則氧化鐵成份，只可達 3% 或 4%，但有時 Fe_2O_3 可到 20%，此時只可作煉鋁之原料矣。

含氧化鋁甚高之礦物，如『麻石』 (Mullite) $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ 及矽線石 (Silimanite) $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ ，亦為最有價值之耐火材料，惜此類之產地及產量太少，在工商業上，均不佔重要地位。

高鋁火磚之製造，與製火磚完全同，故不贅述。氧化鋁在高溫時，並無顯著之酸性變化，若成份高時，實為一良好之中性耐火原料，熔點又高，故在冶金工業上，凡溫度最高，同時爐渣作用亦厲害之處，即採用之。例如鐵鼓風爐 (Iron blast furnace)，最熱部分之爐腰 (Bosh) 即是。

d. 炭化矽 (Silicon carbide or carborundum, SiC) 炭化矽為沙與

焦炭，在電爐(Electric furnace)，經高溫熔煉所得之產品。欲得滿意之變化，溫度須達 1500—1900°C，故非用電爐不可。裝爐之物為沙，焦炭末，鋸末屑及用作熔劑之少量食鹽，混合入爐，而以極大之電流通過之(6000—7000 amp., 125 V)，混合物之電阻力頗大，因而生熱，經過三四十小時後，下列變化，漸漸完成，而生碳化矽：



冷後取出，為一大塊，其中心一部熔結之物，大致全為碳化矽，取出磨碎，混以 2.5—5% 之火土，壓製成磚，乾燥後，復入電弧爐，燒至不下製碳化矽之溫度，務使碳化矽重新組合，分配全磚。

此磚之耐火度極高，可以想見，且其傳熱性，大於普通火磚六倍，故可為小型電馬弗爐(Muffle furnace)之內壁，或電熱體(Resistors or heating element)之用。惟吾人應注意者，即溫度若高於 1200°C 時，爐內不可呈氧化氣象，因此時碳化矽，開始被氧化而成 SiO_2 。又液體之氧化爐渣(Hot oxidizing slag)，亦可使之起變化，且此種材料製造之難，與成本之高，遠過於矽酸磚及火磚，故其用途甚有限。普通作磨用，即俗所謂之金剛砂也。

e. 金屬(Metals) 以功效言之，金屬亦有時可作為中性耐火原料使用。譬如化驗室之鐵線及白金坩鍋，作熔化(Fusion)之用，學理工科者，皆知之。

在冶金工業中，以金屬直接作耐火材料，而與欲熔化或精煉之物質相接觸者，尚不見多，惟間接用者，情形較多。吾人知欲保護耐火材料，使與高溫物質接觸時，不致失其機械力量，或起腐蝕作用之最妥方法，即為使該材料冷卻。金屬因其傳熱性大，可設法夾置於耐火材料中，再以冷水冷卻此金屬，則耐火料之熱，即被迅速移去，使自身不致因高溫而減低其耐火性。常用者，如生鐵、熟鐵、鋼、銅及其合金。例如冶鐵鼓風爐最熱部分之爐腰，常加砌鐵板(Bosh Plate)及水箱(Water box)，冶銅鼓風爐之水套(Water jacket)，均係此理。

第十一章 實際冶金作業之分類(Classification of Practical or Process Metallurgy)

吾人對於冶金之重要原則及原料，均已有相當之常識，現在可討論實際冶金。此項可分為兩大部；一曰鋼鐵冶金，一曰非鐵冶金，已詳第一章內。此種分類法，係按冶煉之金屬與手續之難易，蓋為講述系統上之方便計也。

實際冶金，亦可按其作業方法，重行分類，方可應用以前之原則，蓋冶金方法，須視金屬與其化合物(礦石)之理化性，然後設法冶煉也。按照此法，可分三大類：

- (1) 火法冶金(Pyro-metallurgy)；
- (2) 濕法冶金(Hydro-metallurgy)；
- (3) 電氣冶金(Electro-metallurgy)；

第一法須在高温舉行，亦稱熔冶法(Smelting Process)。手續既繁，節制亦不易。以普通慣例言，火法為最經濟之法，但產品大率皆為粗金屬(Grude metal)，成份不十分純淨。故火法冶金，適用於難煉之礦石，而不宜於粗金屬之精煉，即勉強以火法精煉之，所得產品，亦遠不及第二第三兩種之純潔。

濕法冶金之情形，適與火法相反，手續簡便，溫度不高，控制亦較容易，出產之品質，普通均優良；惟礦石原料，必須簡單純潔，礦量亦豐富，所須化學藥品之供給，亦無問題，方有辦法。例如智利之銅礦(Brochantite)， $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ ，祇須以 2—3% 稀硫酸，即可溶解。又純潔之石英脈金礦，亦可以 KCN 溶液或赤銀溶化之。現代濕法冶金之應用地方有限者，非方法本身之缺點，實礦石之苛刻條件所致也。

電氣冶金，管理最易，實為近代冶金學上之大進步。普通火法所煉之粗金屬，多須藉電氣冶金以精煉之(如銅)。其實際作業，在高温或低溫時，均可舉行。故電氣冶金，實可包含於第一及第二法中，其區別即在使用電力與否而已。

雖然，電氣冶金，自有其理論與方法，故另成一類，自有充分理由，非僅為講述便利而已，電氣應用於冶金，其目的有三：

- (1) 專供發熱之用，使冶煉可在高温下舉行，如電氣煉鋼是；

(2) 專供精煉或分離(即主要金屬與雜質分開)之用,如電解作用(Electrolysis)是;

(3) 能供發熱及精煉兩用者,如鋁鎂之冶金是。

故電氣冶金,在火法與濕法中,均可適用,茲於下例各章分述之。

第十二章 火法冶金(Pyro-metallurgy)

火法冶金，範圍至廣，佔一切實際冶金 70% 以上。蓋天然間之礦產，其簡潔合吾人條件者甚少，而難煉者較多，必須經高溫處理，甚至須經多次高溫處理後，方可得一粗金屬。

火法冶金，涉獵頗廣，以普通冶金立場而言，祇能就其具有普通性者歸納之。此點可分兩大類，即作業方法(Processes)，與作業工具(Apparatus)是也。原則與設計，在任何火法冶金，均一致相同，至方法之詳細節目，及作業之特殊工具，為適應各別金屬冶金之需要，容有大同小異，學者當另考鋼鐵及非鐵冶金專書；但明乎此，則一切可駕輕就熟，思過半矣。

一 作業方法(Pyro-metallurgical Processes)

火法冶金作業，均在高溫度舉行，其加熱之目的，或為改變其物理性，或改變其化學性，然後藉此種變更，設法使主要金屬與雜質分離。普通言之，此類作業方法之種類，及實施步驟，略如下述：

1. 乾燥(Drying) 乾燥手續，係逐出所含之水份，溫度僅 102°C 左右。在化學藥品製造工業中，極為平常，但在冶金工業中，極少單獨舉行，普通礦石在含水份 5% 左右或較多時，均不經乾燥，直接入爐冶煉，但在下列情形時，亦採用最簡便之乾燥方法。

a. 在舉行氯化煨燒(Chloridizing roasting)時(見後)，物質必先乾燥，方能磨細，與食鹽混合。

b. 細末之富集硫化物礦，含水份過多(超過 10%)，須先乾燥，然後煨燒。

c. 經水洗之煤末，須先加以相當之乾燥處理，方可壓製煤塊。

d. 木柴與泥炭(Peat)，須經相當時間之乾燥，方可認為冶金燃料。

以上各節，均可以極簡易之風乾法 (air drying) 為之，尤以後兩點為然。前兩點之乾燥法，則視礦量多寡而定：量少者，即以熱風通過乾燥室(Drying chamber)為之，利用過熱蒸汽，或廠內其他冶金爐廢熱氣之熱，以得熱風，量多者，則須用反焰爐與直井爐，其情形與焙烘相似矣。

2. 焙烘(Calcining) 焙烘之目的,在驅除礦石中之揮發物(水份、碳酸氣、硫磺等等),同時使其組織疏鬆而多孔隙,以便在第二步作業時,易起需要之變化。所需溫度,視情形而異,雖較乾燥工作為高,但遠不及礦石之熔點,因其目的,僅止於此,並不須礦石之氧化。如焙烘碳酸鐵礦及頁岩(Shale)時,其中之鐵與硫化物,亦間有被氧化者,均係偶然如此,而非必需。總之,焙烘只起減輕重量之物理變化,不須起加重之化學變化也。

烘焙工作在冶金上比較普通,尤以原料或礦石含揮發物多,且須長途運輸者為宜。此類物質,即可於採礦處焙烘之,既可改良組織,使成份富集,又可減低雜質重量,以便運輸。

焙烘之溫度不一,含水物質(Hydrates),約 300°C 即可除去水份,碳酸化合物,須達 600°C 至 800°C ,硫酸化合物及火土頁岩等,須達 600°C 至 1000°C ,方能使之分解,或改變其組織。常須焙燒之物質,如燒石灰,白雲石,菱苦土,使 CO_2 完全逐出;氧化鋅礦,褐鐵礦,碳酸鐵礦,火土及頁岩等,使之分解,而散去 CO_2 及 H_2O 。

3. 煨燒(Roasting) 煨燒與焙烘相似,但溫度較高,目的亦異。普通係將礦石或冶金產品,燒至相當之高溫度(但低於熔點),使之起氧化或類似氧化之化學變化,而將其原成份改變,以便下次可用還原法提取金屬。所謂死燒(Deadburning or dead roasting)者,須將該金屬之化合成分,完全燒去,最後祇餘該金屬之氧化物而已。

煨燒為火法冶金之初步重要工作,自有其目的與使命,尤以對於難煉之礦石,為必經之手續。煨燒因目的不同,可分五種:

a. 氧化煨燒(Oxidizing roasting)。此為普通之煨燒,礦石中之水份、硫、砒、銻、硒(Se)、銻(Te)等,均可由化合物中逐出,原有之金屬,最後即成容易冶煉之氧化物。例如方鉛礦(Galena),硫化銅礦(Cu pyrites),硫化鋅礦(Zinc blende),及含砒銻之礦石等,均可如此處理。此皆對難煉礦石(Refractory ores)之初步處理法,普通此法只能將大半之雜質逐去,頗難完全除去。

b. 氯化煨燒(Chloridizing roasting)。即將礦石與食鹽混合於倒焰爐中,以氧化焙燒之,使礦石中之金屬,變為氯化物。如硫化銀礦,即先用此法,變為氯化銀,然後可用混汞法提取。

c. 硫酸煨燒(Sulphatizing roasting)。此法非將礦石加硫酸,再行煨

燒，乃將硫化物直接煨燒成硫酸化合物(Sulphates)，實即氧化煨燒之一部，而進行程度，不及氧化煨燒之完全也。例如冰銅(Cu matte)，即可如此處理，所成之硫酸銅，可溶於水，以濕法提取之。

d. 鼓風或半熔煨燒(Blast or sinter roasting)。此法將礦石或冰銅，置於適當之罐或槽內，鼓風燃燒之，不僅硫可燒去，金屬亦被氧化。又細末之硫化礦，或冶鐵鼓風爐，所吹出之昇灰，可加以適量之焦炭末為燃料，及石灰為熔劑，混合後，置於適當器具上，以氧化焰吹燒之，結果不僅氧化，且可使物質半熔(Sinter)，冷後凝結成塊，復可為裝爐之用。

e. 還原煨燒(Reducing roasting)。此名詞不甚妥當，因吾人提及煨燒，即聯想到氧化作用也。還原煨燒之工作極少，僅在特殊情形下舉行。如將金屬氧化物，與含C之物質混合，熱至熔點以下之溫度，使之還原，赤鐵礦(Fe_2O_3)在此還原氣象中，可變成磁鐵礦，然後可以電磁選礦法提出。此法只能視為選礦之步驟，而非冶金之階段，近時用此名稱者甚少，姑存此以備參考。

此外有所謂反應煨燒(Reaction roast)，如煉鉛時，一部氧化之鉛，被未氧化之硫化鉛還原，俱變成粗金屬 $2PbO + PbS \rightarrow 3Pb + SO_2$ ，即其例也。此種名稱，亦欠妥當，冶金學者，多不採用。實際此種作用，僅可視為熔煉作業(Smetting processes)中之一種變化而已。

關於煨燒之效率，最緊要者，約有三點：一曰溫度，二曰時間，三曰通風。煨燒之化學作用極簡單，但必達最低限度之溫度，方能發生。如為吸熱之反應(Endothermic reaction)，則熱力必須繼續補充，以維持作用之進行(如還原煨燒)。但普通氧化作用，均為發熱反應(exothermic reaction)，如煨燒硫化鐵礦時，有時儘可不須另用燃料。煨燒須有時間，方得完成，同時須有良好通風，或時時擾動，使作用進行，普遍而均勻。此三點均須隨時留意，否則影響出產之品質。例如硫化鋅礦之煨燒，目的在求得出產全為氧化鋅(氧化煨燒)，若工作不慎，則一部變成硫酸鋅(硫酸煨燒)，此部在以後提煉時，即無法取出矣。

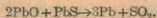
4. 熔煉作業(Smelting processes) 熔煉工作；係將已經初步處理之礦石，加以必須之反應劑(Reagents)(如熔劑 flux，氧化劑，或還原劑等)，熱至溶化之溫度，使起化學作用，而將金屬或化合物與雜質分開，同時礦石中之雜質，亦得反應，而成與金屬可分離之渣也。此部為火法中最後之重要

手續。

普通言之，熔煉手續，大概可分兩大類；一為還原熔煉，一為氧化熔煉，茲分述其大義。

a. 還原熔煉 (Reducing fusion or smelting)，適用於氧化物礦石，(Oxide ores) (如已經煨燒者)，或半煨燒之硫化物礦石 (Sulphide or arsenide ores)，經還原熔煉後，除主要金屬外，其他雜質，亦被還原，而成合金 (參看第四章)，故所出之金屬，或其化合物，為一不純潔之產品 (粗金屬)。例如用氧化礦石，而得生鐵 (Cast iron)，生錫 (Pig tin)。若為硫化礦，則除上述反應煨燒之作用，可得粗金屬外，有時產品，祇為硫化物，總稱為冰渣 (matte)。(此種冰渣，應注意並非無用之渣，係火法冶金之中間產品 (Intermediate product)，以後可以氧化熔煉而得粗金屬。)若礦石為砷化物時，所出為黃燧 (speise)。若所用為混雜礦石，則產品為冰渣黃燧之混合體。此種均須再經氧化，方可提出金屬。

用氧化礦石時，作用比較簡單，普通所用還原劑為 C 及 CO。廣泛言之，1000°C 以下，CO 之還原力較大，超過 1000°C，則熱炭之直接還原力較大矣。其次則為氫，再次則為含炭之氣體，如 C_xH_y，(CN)₂ 等，但在工業中，極少作還原劑之用。礦石中之自由硫 (free sulphur)，或硫化物，即為一還原劑，例如氧化鉛中，加適量硫化鉛而熔化之，即可照反應煨燒作用，而得粗金屬之鉛：



還原之溫度，情形不一，難還原者，須高溫度，易者則較低。欲決定難易，須先知氧化物之穩固性。金屬氧化物之化合熱 (Heat of formation) 愈大者，即愈穩固，亦愈難還原，小者反是。除 MgO 外，一切金屬氧化物，均可以固體炭還原，除最難還原之 Al₂O₃、CaO 外，普通應用金屬氧化物還原溫度，均不過 1000°C 上下。

用硫化物或砷化物時，其熔煉方法，可分兩途：一為將其煨燒後，照上述之氧化礦石處理之，一為直接熔煉 (如含硫砷太多，可略加煨燒，除去一部，再行熔煉)，所出者非粗金屬，而為冰渣或黃燧之中間產品。但在特殊情形時，亦可得粗金屬。例如硫化礦石中，有 Fe 及 Pb 兩種金屬，鐵量較多，而鐵與硫之親合力，又較鉛與硫為大，若在熔煉之先，將硫大半除去，僅留能與鐵化合之量，則此時一經熔煉，鐵即將硫完全奪去，鉛即沉澱而出矣。

在煉鉛銻時，有時加廢鐵以沉澱其金屬，此法即謂之沉澱法 (Precipitation method)。故冶金方法，只在有利條件下，利用理化原則而已。

b. 氧化熔煉 (Oxidizing fusion or smelting) 之目的有三：一曰粗金屬之精煉，如生鐵之煉鋼，粗銅之精煉是；二曰使冰渣黃渣分解，以提取金屬；三曰較富之硫化物礦，直接熔成冰渣 (亦稱帶硫熔煉 Pyritic smelting)。

氧化熔煉之原料，為粗金屬、冰渣、黃渣及其他適當之礦石，所用之氧化劑，有空氣、蒸汽、金屬氧化物，及氧化鹽類 (Oxide salts)。空氣為最普通之氧化劑，多少均可利用。貝色麥法 (Bessemer process)，即完全利用空氣中之氧。又在高溫時，能分解蒸汽，而自身氧化之金屬，如錒、鐵、鋅、鈷、鎳等，即可利用過熱蒸汽為氧化劑，通入時又可攪動熔體之金屬，惟用量須有節制，勿使溫度降低過甚。金屬氧化物應用最普通者，如錳鐵礦 MnO 、 Fe_2O_3 、 CuO 等，投入爐中，即等於加入固體之氧，平爐 (Open hearth) 煉鋼之爐，含 FeO 達 30%，此爐即為氧化傳達及分配之媒介物，以氧化下層鐵中之雜質。氧化鹽類，如 $NaNO_3$ 、 $KHSO_4$ 等，因價較昂，工業中大量使用時較少，僅在火法試金 (Fire assaying)，或精煉貴重金屬時用之。

精煉粗金屬時，先使之熔化，並使接近高熱之氧化焰與空氣，其目的在使凡大於主要金屬本體與氧親合力之雜質，均可藉此先行氧化，而分立成渣。例如錫、砷、銻、鋅之與鉛分立，矽、錳、炭、磷之與鐵分立，鐵之與銅分立，是也。吾人應注意金屬與氧親合力之次序，有時因溫度而起變動。例如在貝色麥正常煉鋼情形時，初鼓入之氧，即與矽化合成 SiO_2 。至裝料熱至適當溫度時，C 即被氧化；若裝料太熱，則 C 與 Si 同時氧化，或 C 竟先 Si 氧化，於是矽即不能完全提去。又如平爐正常煉鋼，在熔化初期，溫度不宜過高，使鐵得先炭氧化，否則炭先氧化，而所餘之磷，以後即不易除去矣。

冰渣多為銅鎳之硫化物 (Copper and Nickel matte)，但均有硫化鐵，其氧化熔煉法，約有兩法；一為用貝色麥法，鼓風入液體冰渣，煉成粗金屬；一為煨燒熔煉法 (Roast smelting)，冰渣之成份太低者，可藉氧化除去一部 FeS ，使之富集；成份佳者，即藉反應煨燒之理，可提出粗金屬。黃渣亦可以氧化熔煉，使之富集，因砷化物對氧之親合力頗大，可藉此除去也。

可以氧化熔煉之礦石，僅限於硫化物，而熔煉方法，亦僅為帶硫熔煉。在此種作業程序中，與硫親合力較大之銅鎳，均成冰渣，與氧親合力較大之 Fe ，則被氧化成 FeO ，復變成矽渣而分立，產品即為成份較高之冰渣。

c. 熔煉之目的，係在熔點以上之溫度，藉理化性質，使主要金屬與雜質分開。此種分開方法，除上述還原與氧化外，尚有其他方法。例如分液法 (Liquation)，藉金屬或其化合物之熔點，與雜質熔點之差，在適當溫度時，使固體與液體分開 (如煉錫)。又有結晶法 (Crystallization)，藉金屬之高凝固點，可由液體相金屬中，先行分出；如 Pattinson 法，由鉛提銀是。又有蒸餾法 (Distillation)，藉金屬之揮發性，與雜質分開，如煉鋅等是。

金屬能與爐渣分離之原因，約有三點；一曰二者之互不溶化與互不混合性 (Insolubility and immiscibility)；二曰比重之差別，金屬及其化合物，普通均較爐渣為大；三曰熔點之差別，金屬之熔點，均較爐渣為高。故在同一液體溫度時，二者能完全分開 (參見第四、六兩章)。

爐渣為熔煉時附帶之產品，實亦必需之產品也。爐渣可分為矽渣 (Silicate slags) (酸性氧化物多為 SiO_2) 與非矽渣 (Non-silicate slags, 其酸性氧化物，除少量 SiO_2 以外，多為 B_2O_3 , P_2O_5 , PbO , As_2O_5 , Sb_2O_5 等)。此類組合，全由礦石與熔劑之成分而定。爐渣之成分及性質，均已詳第六章，茲不贅述；惟吾人應注意者，即爐渣在冶金作業上，不能完全認為廢物，毫無功用，蓋彼自有其使命也，茲簡言之：

(1) 當氧化熔煉時，爐渣覆於金屬之上，使金屬與外面，完全隔絕。此氧化作用所需之氧化劑，無論為礦石或空氣，均經爐渣以傳遞於金屬。故爐渣為反應劑之攜帶及分配者，而一切作用，均在渣與金屬之接觸面，穩健進行。假設熔煉時，取銷爐渣，而將反應劑，直接加於金屬上，其作用不亦更為簡便；但考實際情形，則知此點為不可能。炙熱之冶金爐中，除電爐可維持一中性或還原氣象及直井爐可維持還原氣象外，其他多數使用燃料之熔爐，均祇能得一氧化氣象。若熔煉為還原作用，則所加之還原劑，將即刻被氧化或燒去無餘矣。又金屬所露面積極大，若上面又無保護層，則頃刻間，金屬必被氧化，不僅損失重大，而雖欲無渣，又安可得？若熔煉為氧化作用，自可迅速進行，但爐渣必因同理而自然成功；且氧化太速，吾人即不易節制，而最重要者，所煉之金屬，必因氧之滲入，使品質大為減色，所謂過氧化現象 (Over-Oxidation) 是也。

上述爐渣之功用，吾人在煉銅煉鋼時，即可充分證明此類理由之正確，惟有一層保護渣時，既無過氧化作用，而所需起之化學作用，又可節制爐渣之分配情形，使在穩健與均勻條件下進行，而金屬之品質，亦可藉以控制之。

(2) 爐渣除免過氧化外，更可隔絕有害雜質之滲入。電弧之劇烈熱力，亦賴爐以護金屬。

(3) 金屬出爐入模時，上面爐層，可使熱力不易消散，俾液體金屬可從容鑄入模中。

上述爐之功用，自不可忽視，惟在各種熔煉情形下，其功用有顯著與否之別耳。

5. 熔化(melting) 熔化與熔煉，均係將裝料熱至熔點以上，但後者多少有一部精煉工作，裝料必經過氧化或還原等化學作用，出產之成份，大抵均較原裝料為佳；至熔化僅為中性的加熱，其目的祇求裝料液體化，藉得一成份均勻之產品，或便於鑄造特殊之形式，故必避免任何氧化及還原等作用，致原來配料之性質或成份受影響，不能與希望相符。

熔化既為中性作業，裝料不起任何變化，故欲得何種產品，則必慎重選配裝料於先，一經熔化混合，即得均勻之產品，其品質與原來計算配合，自無符。例如用坩鍋熔化各種合金，用坩鍋或高頻率感應電爐(High frequency induction furnace)煉鋼是也。為避免與空氣接觸，致受氧化計，必將坩鍋密閉，或加適應之中性「渣」，如玻璃、炭末，或其他熔劑，使裝料得一層保護面。

6. 加熱處理(Heat treatment) 金屬或合金之加熱處理，係火法冶金之最後一種作業。受處理者，多為金類之最後成品，或半成品，其方法係將該物件，按其性質及使命，熱至某一定之溫度(但在該金屬熔點以下)，然後以不同之率速冷卻之。其目的則在改良該物質之內部組織，因而改良其物理性，普通使其有用性質，或特別發展，或平均發展，以適應其最有效之用途。

加熱處理，係一概括名詞，其理論之微，方法之繁，非先明金相學，不能知此種作業之原理。本書為範圍所限，不能闡發，僅介紹幾種重要名詞於後：

所謂燻火者(Annealing)，即將金屬品熱之一定之溫度(普通須超過其臨界溫度 Critical temperature，以後之處理，方能生效)，而後令其慢慢冷卻，如此可將以前因受種種壓力。所生之內應力(Internal stresses)消除，使物質之硬度減低，韌性加高。所謂淬火(Quenching)，或硬化(Hardening)者，即由臨界溫度以上，驟然冷卻，使內應力增加，硬度及脆性，增至最高限度，但韌性即大減。所謂明火或正常處理(Normalizing)者，即熱至臨界溫度以上，取出在空中冷卻，其影響適在燻火與淬火之間。所謂回火或退火

(Tempering or drawing) 者，即焯火之物，內應力及脆性太大，甚易破裂，不適實用，故再回熱至臨界溫度下某一定之溫度，使脆性減低，韌性增大。但硬度亦隨之下降。所謂表皮變硬(Cementation or case-hardening)者，即將金屬與能使該金屬變硬之物質(固體、液體、或氣體形狀均可)，同熱至熔點以下之某一定溫度。此物質及滲散於金屬之表皮層，而成一硬度甚大之合金。例如嵌炭(Carbon cementation)，或嵌氮(Nitriding)法，使極軟鋼(Dead soft steel)之表面變硬是也。

二 作業工具(Pyro-metallurgical Apparatus)

火法冶金作業，均在高溫度舉行，故所用之工具，亦須耐火。其最重者，莫過於冶金爐。此點已於第五章述及，此處無待贅言，惟須補充而已。

凡建築冶金爐，須具數種先決條件：一曰設計(Design)，須按冶煉之方法，噸位之大小，以定爐之方式及圖案；二曰地點(Position)，須在廠內擇適宜之地點，對於原料之供給，出品之運輸，工作之便利，須不互相妨礙；三曰基礎(Foundation)，須視其重量情形，先奠穩固之基礎；四曰支柱(Support)，爐之重量，須分佈於支柱，不可積聚於爐身之一部，其顯露之處，受各種理化作用之影響，致壽命有長短不齊者，均須彼此獨立，易於修理及更換；五曰支撐(Reinforcement)，如與牆壁或其他震動部分相連之處，均須設法加強其機械力量，又爐之四週，為保護耐火材料漲縮變形計，須裝可以伸縮之聯條(Tie-bars)；六曰冷防(Protection by cooling)，欲保持爐之耐火性，最好使耐火材料，溫度不高，尤以爐內受熱最烈，及爐渣影響最鉅之處為然，如煉鋼平爐之門及風口(Air and gas ports)，煉鐵爐之熱風管(Tuyeres)，及爐腰(Bosh)，均用冷水冷却之。

1. 乾燥工具 乾燥所用之工具，須視物質之細度(Grain size)及多寡而定。最簡者為風乾，祇需通風而無雨露潮濕之地點。次之為低溫乾燥房(Drying chambers)，通入暖氣(Warm air)，或連於一抽氣機(Exhaust fans)，使室內空氣流通。溫度較高者，可用製火磚之熱地法及隧道乾燥法等。量大粒小，且須高溫者，可用烘煤之旋轉乾燥器(Rotary drier)，或燒水泥之旋轉窯(Rotary kiln)。大量礦石，可用特製之長大倒焰爐，或直井爐，此則與焙燒或煨燒所用之工具相等矣。

2. 焙烘及煨燒工具 焙烘與煨燒所用工具相同，所差者僅溫度之高下

耳，至於採取何種工具，則視情形而定，如：(1)礦石之大小；(2)礦石之成份，如係硫化物，含硫之貧富；(3)礦石之性質，係耐火或易熔者；(4)煨燒之程度，係死燒抑輕燒；(5)每日所燒之礦量多少；(6)建爐始業費之預算；(7)工廠地點之適當與否。

a. 煨燒最簡單者，為堆燒法 (Heap roasting)。宜於塊狀礦石，堆於木柴底火之上，多半以硫化礦為主，一經引火，其本身即可燃燒。每堆可達二三百噸，費時約兩月，無需大始業費。但須地僻近海，得適宜風向，使氧化硫氣，不致妨害生物。

b. 其次為倉式窯煨燒 (Stall roasting)。各倉為方形，可裝二十噸左右，兩排背相連，形如煉焦之蜂房爐，每倉上有出口，經總連通管而達煙筒，倉之下部有風門，以供煨燒用之空氣。

c. 適於大量礦石之低溫焙烘者，為自然通風之直井爐。所用燃料極少，爐如第五章之第八圖左 (第 39 頁)，底為錐形爐橋，四圍分置四門，以便取出焙燒物。普通爐頂鋪軌，礦石車直達爐頂，以便將裝料及燃料傾入爐中。此爐適于燒石灰、鋅礦、鐵礦及硫化礦石等，至於鼓風之直井爐，均為熔煉之用。

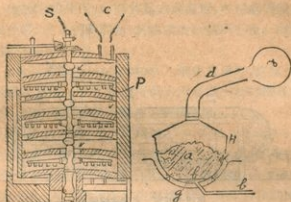
d. 小塊礦石，多用倒焰爐 (Reverberatory furnace)。此爐分手攪動 (Hand-rabbed or hand-raked) 及機械攪動 (Mechanically-raked) 兩種。前者見第五章 (第十一圖)，茲不贅。後者如愛德華爐 (Edwards mechanical roasting furnace)，全爐中分配若干個耙，以機械旋轉之，耙中以流水冷卻，以防高溫。

倒焰爐為焙烘及煨燒常用之工具，一切礦石之顆粒細小者均用之。溫度高低可以節制。如含硫甚富之硫化礦 (72.5% S)，除開始須要外來燃料，使爐內達煨燒溫度外，以後硫即燃燒，無待再費燃料矣。

e. 馬弗爐 (Muffle furnace)。為煨燒粉末狀之礦石，但煨燒溫度，不至呈熔化狀態。所含發熱元素 (如硫) 之量，須不影響煨燒品之品質 (如在硫酸煨燒時，其所發之熱，不至使硫酸物分解)。煨燒所需之熱，係由馬弗外之燃燒房 (Fire place) 發生，必要時，燃燒產品，可不與煨燒之揮發物相混合，故宜於硫酸及氯化煨燒，可利用純潔之揮發物。

f. 煨燒窯 (Roasting kilns)。礦石所含之硫，須發熱自給，無待外求者為佳，最普通之式，如赫氏 (Herschelt)，或伊克麥氏 (Evans-klepetko-Medougall type) 式之煨燒窯 (第四十四圖左)。此窯係中空圓柱式，內分數

層。窰之中心，有直立旋轉之軸S，軸上帶有旋轉之耙P，礦石由頂上C加入，耙至中心，墜落第二層，此層之耙齒，與第一層方向相反，逐漸推礦石至外周，落至第三層。如此層層降落，熱氣上升，至最後一層，煨燒工作，即告完成。此爐效率極大，但須有適當之礦石。



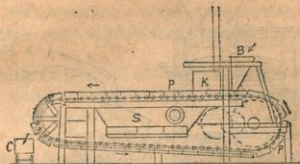
第四十四圖 伊克麥氏假燒窰及鼓風罐

g. 鼓風煨燒之工具，大別為兩種。一為向上鼓風式(Up-draft)，一為向下鼓風式。前者以鼓風罐(Huntington-Heberlein or "H & H" roasting pot)為代表，後者以惠羅式繼續煨燒機(Dwight-Lloyd continuous roasting machine)為標準。

鼓風罐為一生鐵鍋K(第四十四圖右)，上為可移之罩H，由d管連至清塵管e(Dust flue)鍋下為穿孔鐵板f，作為爐橋(Grate)，橋下為一回風板g(Baffle-plate)，由底下b管傳入之風藉g而得平均分配於欲煨燒之裝料a中，廢氣即由d入e，至煨燒完全時，停止鼓風，取出煨燒物。此為向上鼓風式，裝罐出罐，更迭進行。

惠羅式機約有三種：一為直線(Straight Line)式，二為平台(Horizontal table)式，三為圓柱(Drum)式，但以第一式為最普通。此機如第四十五圖所示，構造複雜，重要者，為周而復始之一羣旋轉鐵槽P，形如小盒，排成列車狀，已配好之細礦石(小於 $\frac{1}{4}$ "直徑)，由倉B落至槽內，槽底有孔，可以通風，槽底之底片(Pallets)，與下面之抽風箱S(Suction box)密接，槽上為一燃

燒爐 K (Ignition furnace), 火焰噴射於礦石面上, 但因下面之抽風, 煨燒遂由上向槽底進行, 至全部礦石煨燒時, 此槽即向前移動, 俾後面新槽礦石之煨燒, 可以開始。如此繼續進行, 已燒好之礦石, 至他端向下行時, 即滾落下面之車內 (C)。



第四十五圖 直型式煨燒機

鼓風煨燒, 適用於細末之礦石, 或鼓風爐吹出之灰塵。其產品不僅為煨燒物, 且有化零為整之熔結作用 (Sintering)。原料之成份, 須先經調和, 務使半熔作用, 得以發生。產品略經敲碎, 即可作鼓風爐之裝料。如原料為氧化鐵, 再混以熔劑及炭末, 經此種處理後, 產品即非煨燒物, 而為大部還原之粗鐵塊, 可作冶鐵或煉鋼之原料。此種方法, 最經濟而有效。此法最初係為煨燒方鉛礦之細末用, 因其熔點太低, 易致膠結, 不合倒熔爐之用, 但現在鋼鐵礦末, 亦適用之。

3. 熔煉工具 (Smelting apparatus) 熔煉之主要工具, 即為冶金爐, 已詳第五章, 其他為適宜各別作業之零星工具, 因瑣碎而不普通, 茲不一一贅述。

大概言之, 還原熔煉之工具, 首推直井爐。最原始之土爐 (Hearth furnace or smiths' forge), 及德國古時之原爐 (Stückofen) 均屬之。其產品均為粗金屬, 或金屬化合物。次為蒸餾爐, 其作用亦為還原性質也。還原熔煉之原料, 多係原礦石, 或為氧化物, 或為硫化物, 有經焙烘或煨燒者, 有直接裝爐者, 因此兩種礦石, 為最普通之金屬礦石, 故還原熔煉, 為火法冶金中最普通而重要之初步熔煉。

氧化熔煉之工具，最重要者為倒焰爐及貝色麥週轉爐。其目的多為精煉(Refining)，藉氧化以除去粗金屬中之雜質，故其原料，多為粗金屬。惟亦有為硫化礦石者，如韋西法(Welsh process)煉銅是也，蓋藉反應煨燒原理，亦可用氧化法提取粗金屬。普通言之，氧化熔煉之產品，多較還原法為純。

電爐為一理想之熔煉工具，因其熱力與溫度，可任意節制，而爐內氣象之氧化還原或中性，均可隨時調節，為他式冶金爐所不及。故氧化及還原熔煉，均可於電爐內執行之。

4. 熔化工具(melting Apparatus) 熔化之目的，直接而清楚，故其工作之進行，以迅速為佳，惟如此方可免去因高溫引起之種種可能變化與損失，即萬一不免，亦必使之達最低限度，方稱滿意。

熔化之工具，約有三種：一曰坩鍋爐(Crucible furnace)，將成份配合齊全之原料，置坩鍋中熔化之，而得成份均勻之合金產品，熔化非鐵金屬時，多用之，但有時亦可配製上等鋼料之用。一曰熔鐵爐(Cupola)，亦為一鼓風直井爐，惟風力不大，其目的為熔化生鐵塊(Pig iron)，以供翻砂之用，惟因原料與燃料相接，故成份略有變化，特熔化甚速，故變化亦小。一曰電爐，溫度既高，在中性氣象下，為熔化之良好工具。鋼之熔點，較生鐵及其他非鐵金屬為高，故電爐特別適宜於鑄鋼翻砂之用。

熔化須在中性氣象下舉行，因氧化與還原，均將影響原有之成份與重量，上述三種工具，除熔鐵爐稍遜外，餘均良好。熔化之目的，除坩鍋鋼外，均為製造合金及翻砂之用。

5. 加熱處理之工具(Heat-treating Apparatus) 加熱處理之工具，除機械一部分(如錘擊)外，祇有回熱爐(Reheating furnace)。因被處理之物件，或為成品，或為半成品，均需重行加熱，方能處理。

回熱爐係一總名，其設計與式樣甚多，其先決條件，須視燃料之種類，每日進出量之多少，及被熱物件之大小與形式而定。大多數之回熱爐，均為倒焰式，燃料用煙煤、液體、或氣體燃料均可，但以氣體燃料為最簡便。爐下亦可附加預熱設備。至用間接阻力之馬弗電爐，則容積既小，費用亦大，除實驗室外，工廠中均不採用。

回熱爐之最大者，如鋼廠中用以熱大鋼錠(steel ingots)之熱坑(Soaking pit)。普通用作加熱處理之回熱爐，均不太大，因受熱之物件，形式較為一律，且不特大也。近代最通用之繼續回熱爐(Continuous reheating furnace)，係

用對流原則，爐底略有傾斜，氣體燃料燃燒後，由下而上，他端裝入之件，逐漸向下移動，被下端噴出之熱焰燒熱，在適當之速度下，至下端出爐時，即達預定之溫度。火焰向上進行，達上端時，溫度漸低，用以熱初入爐之冷件，最後由爐頂入爐管。如不採預熱制時，此熱氣即入煙筒；若須預熱空氣，則熱氣先經預熱爐，再入煙筒。

第十三章 濕法冶金(Hydro-metallurgy)

概括言之，濕法冶金可分兩大類：一曰溶濾法(Lixiviation)，一曰混汞法(Amalgamation)。此二者之重要分別，即在所用溶劑(solvent)之不同：後法係用水銀，以提取(extract)礦石中之主要金屬，成水銀之合金，稱曰汞膏(amalgams)；前法多用反應或化合劑(reagent)之水溶液(aqueous solutions)，以取金屬，使之溶解於溶液中。至於溶劑之選擇，則視礦石與提取金屬之性質而定，一經選定後，冶金方法，亦隨之而定，蓋溶劑之特性，能影響冶金之手續也。

溶濾與混汞兩法，普通多單獨進行，不相夾雜，但有時亦混合用之。如取金時，先以 KCN 溶液提取，後用電解法將金分出，即在水銀陰極(Hg-cathode)合成汞膏。

一 溶濾法

此法之大要，係將原料中之可溶體(Soluble substance)與不可溶體，藉適當之溶劑，使之分開，然後從溶液中，將欲得之金屬，藉蒸發(evaporation)，結晶(crystallization)或沉澱(Precipitation)等法提出之。

1. 原料 原料多為簡單易處理之礦石，但黃燧、冰燧、粗金屬或合金，亦有時用之。普通須先經顆粒減小(reduction of grain size)之工作，使溶解較易，且提取亦完全。為使主要金屬易於溶解起見，或須將礦石經過初步處理(Preliminary treatment)，最常用者，莫如煨燒。例如氧化煨燒，用於銻化金礦(telluride gold ore)硫酸煨燒，用於硫化銅礦，氯化煨燒用於銀礦、銅礦等是。濕法較火法所需之燃料為少，而提取之效率甚高，主要之費用，為化合劑或化學藥品。故濕法冶金之普通原則，為利用低級礦石(Low grade ore)，但其大量之雜質，須不與所用化合劑起作用，致耗費大量藥品，至多亦不過略有作用，使所費不多而已。有若干方法，其所費之藥品，最後尚可用簡單方法，使之復生(regeneration)，重複使用。以工業經濟言之，自以此類方法為最有利。

黃燧較難溶，多先經死燒，然後以濕法處理。冰燧或直接處理，或先經帶

燒，逐去一部或全部之硫，使易於溶解。金屬與合金，均不需初步處理也。

2. 溶劑 (Solvents) 普通多為水溶液，加入之化合物或溶質，多為氯化物硫酸化物或其他鹽類或酸類，須視情形而定。例如金礦或硫化礦，用氯氣溶液 (chlorine water)，粗銀及粗銅，可用硫酸溶液，金礦用 KCN，氯化銀礦用 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 等。亦有直接用氣體者，如金礦用氯氣，銅礦用 SO_2 及空氣，使變成可溶於水之鹽類。

礦石之量較多，按普通原則，凡適用於處理礦石者，均為稀溶液，熱冷視情形而定。若為雜質提淨之黃燧或冰燧，則可用較濃而較熱之溶液，使工作加速；若所用原料，為粗金屬或合金，則更可用較迅速之手續處理之。

3. 溶解法 (method of leaching or extraction or solution) 溶解之方法及工具，須視原料之性質及分量而定，例如金脈石英礦 (gold-bearing quartz ore)，量多而成份低，溶液必須多而淡，除極少量之金被溶解外，遺下者為大量之殘餘 (residue)。在處理金屬或冶金，如含金銀塊之分開 (Parting of dore silver) 時，大部為熱濃之溶劑所溶化，幾無殘餘。

為增進工作效率計，濕法處理之礦石，均須磨細，但磨細之程度，又影響溶解之方法。磨時多採濕磨法 (Wet grinding)。普通加溶劑入磨機內，使磨細與溶解兩種工作，同時進行。

磨細之礦石，大概可分兩種；一曰粗砂 (Sands)，一曰細漿 (slimes)。粗砂可置於固定之溶解桶 (leaching vat) 中，讓溶劑反覆透流 (Percolation)，以溶化欲提之金屬，最後祇需濕乾，及簡單之濾過，即可使溶液與粗砂完全分開。細漿則不然，因顆粒過細，不能靠透流溶解，須有機械攪拌 (agitation)，而固體與液體之分開，亦非容易，須藉機械力量，如用壓力濾器 (filterpress)，或藉化學沉積 (Coagulation)，及分層傾瀉 (decantation)。由此可知粗砂之透流溶解 (leaching sands by percolation)，較處理細漿為簡單而容易，但細漿或為磨細工作中不可免之一部產品，又因其分裂愈細，溶解愈速，提取愈盡，亦自有其優點，特別適宜於分佈均勻之低級貴重金屬礦石 (如金礦)，現代所謂完全細漿提煉法 (all-sliming process)，即此旨也。

粗砂與細漿，無一明顯之界限，以濕法冶金言之，凡顆粒之大，能夠以透流法溶解者，稱為粗砂，細漿則否。粗砂均用固定之溶解桶，有木製或鋼筋水泥製者，內壁多塗一層防腐劑，為墨焦油，地氈青等，以防溶劑之侵蝕，但亦有用臥式旋轉長桶 (revolving barrel) 者。直立固定桶下層，多裝一簡單濾

過器，即爲一層大小適宜之石英塊，上加淨砂，再上爲一層棕蓆或石棉布，按時加以清理。溶解之快慢，按其情形，以透流之速率表示之。溶速低者 (low leaching rate)，每小時溶劑在桶內之水面降落，有僅達半吋者。高者可達十二吋。

粗漿與細漿，須彼此分開，使不妨礙工作，如粗砂中含細漿成份太高，致影響透流，或使工作太慢，則須以液體或水分級器 (hydraulic classifier) 分開，以便各別處理。

細漿可分爲三種：一曰細粒混合體 (Suspensions)，二曰膠狀混合體 (Colloidal suspensions)，三曰膠性體 (Colloids)。第一種爲微粒混雜於水中，可以靜置 (repose) 而使之沉落，其沉落之速度，全視細度比重與靜置時間之長短爲定，而不能如膠性化學中之加一電解體 (electrolyte)，使之沉積 (Coagulate)。其沉落之物質與原料之物理性，毫無分別。第三種則不然，其微粒已細至不能肉眼辨別其各個性 (individuality)，且均帶有陰陽電，互相吸拒，不能靜止，因其將地心吸引作用抵消，不能以靜置法沉落，但可以適當之電解體沉積之，因彼此帶電相中合，此中性之微粒，即可因比重之差而沉落也。此沉積之物，若蒸乾取出視之，則已失其原有之膠性。第一三兩種，各走極端，工業上所遇之細漿，多爲第二種，性質適在上二種之間，惟程度不齊耳。

4. 溶液之處理 (Treatment of leached solutions) 經溶解作用後，吾人即得一含有金屬之溶液。處理之法，即爲藉此主要金屬之特性，用最便利之方法與形式，使變成固體，以與大量之液體分開，此法大別可分兩種。

a. 沉澱法 (Precipitation) 如由溶液內提出，不論爲金屬或其化合物，但不復溶於液中者，或該溶液爲一膠性體者，均適用此法，使成固體沉澱，與大量液體分離。進行此法時，須另加入一種藥品或化合物 (reagent)，換言之，即另加沉澱劑 (Precipitant) 是也。此種沉澱劑，固體液體，氣體均可。固體沉澱劑，常用賤而強之金屬，以沉貴而弱之金屬，如銅鹽之沉銀，鐵之沉銅，鋅炭之沉金銀等。液體藥品中，如硫化鈉 Na_2S 之用於二硫酸銀 $\text{Ag}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ，硫酸鐵或氯化低鐵之用於氯化金 AuCl_3 ，碳酸鈉之用於氯化鎳 NiCl_2 等是。氣體多爲硫化氫，二氧化硫等氣，以還原氯化金溶液。

沉澱時，因溫度及攪拌情形不同，能影響沉澱物之大小顏色等特性。凡用沉澱法所得之金屬或其化合物，類皆非極純淨者因化學性相似之他種金

屬，亦可同時沉澱，且沉時更挾有混合物也。沉澱物須經乾燥，以後類皆再經過簡單之精煉手續。

b. 蒸發(Evaporation)與結晶(Crystallization) 若從溶液內提出之金屬，須為其結晶體之鹽類(Crystallized salt)，則除直接沉澱外，可用此法。大抵溶液須先加蒸發，使之濃集(Concentrate)至某程度，並節制至某溫度，務使完整之晶體，得以結出。普通初結出之晶體，多不純淨，有須再行溶化(redissolving)，經澄清(Clarification)濾過後，重複結晶(re-crystallization)，於是即得純粹之晶體。

蒸發時，或用高熱蒸汽管，通入溶液內，或將溶液置於蒸發皿(evaporation or concentration pans)中，以熱氣通過之。用燃料時，可分兩法加熱，即上面與下面加熱(Over heat and under heat)是也。熱氣由溶液面上經過，蒸發較經皿下者為快，故效率高；但有時熱氣挾帶雜質，落於皿中。不能與液面接觸者，則惟有下面加熱之法。至真空蒸餾(evaporation in vacuo)，冶金方法中多不適用。

第一次結晶提取後之母液(mother liquor)，尚含原鹽，再經濃集後，又可結晶；惟因雜質增加，二次產品，即不如第一次之純，須以少量之水，洗去表面之母液，再以重複結晶法精製之。最後之母液，因雜質加多，不能以結晶法提取。可視雜質之種類及多少，如某種特多者，即設法提取該物，所用方法亦不一，例如電銅廠(electrolytic copper refining plant)之粗液(foul electrolyte)，可先用結晶法，提取硫酸銅，次用沉澱法，提取鎳、鈷等金屬是也。

二 混汞法

此法以水銀為溶劑，普通僅限於金銀之冶金。因水銀最易溶化金銀，成為汞膏(amalgam)也。預先經適當處理之礦石，再以水銀混合之，即得汞膏。此膏可藉比重，與雜石分開，復用壓濾法(Straining)使與過剩之水銀分開，然後將汞膏蒸餾之，水銀揮發，另凝於一處，以便重複使用，存留於蒸餾鍋內之貴金屬，普通均不純粹，蓋礦石中凡能與水銀成合金之賤金屬，此時均被遺下，與貴金屬混合矣。此粗金屬，必須經火法精煉後，始鑄為錠塊(bullion or ingot)。

水銀與許多金屬，均能在常溫下組成汞膏，如鉀、鈉、銀、鈣、鎂、鋅、銅、

錫、鉛、銻、金、銀、銅是也。溫度稍高時，亦能與鉛銻成合金，僅有少數金屬，如錳、鐵、鈷、鎳、銻、鉍等，不能直接成汞膏，但可以電解法，使間接與陰極之水銀組合之。汞膏如含有過量之水銀(excess of mercury)，則為液體；如被溶之金屬較多時，則成固體。液體汞膏中之過量水銀，可以布或皮袋(Chamois-leather bag)加壓力濾過而分出之，但此濾出之水銀，並非純潔，仍含有被溶化之金屬。固體汞膏加熱即軟化(Softening)，溫度高時，可使一切汞膏分解，水銀揮發，所留者為溶化或半溶為海綿狀(spongy)之金屬殘餘。僅待蒸餾，有時不能將水銀完全除去，須待金屬殘餘溶化時方去。

混汞法雖似乎極簡單，但仍須留意，使水銀與磨細之礦石，保持密接，且須注意下列數點：

a. 所提之金屬或其化合物，必在礦石中呈可混汞之形式(Amaigamable form)，否則應先用乾法或濕法初步處理之。金礦多為自然金，普通不須此項處理(除 AuTe_2 外)，銀礦則有時需用之。

b. 礦石須細磨，使散雜于脈石中之微細主要礦物，得有與水銀接觸之機會。普通磨細與混汞兩手續，須各別行之，若混作一次，則水銀被機械力分散為極細之微粒，外面為夾塵所蔽，既失溶化效力，復彼此不能凝聚成團，終歸損失，此類現象，術語名之曰粉末現象(flouring)。

c. 所用水銀，必須活潑“guick”而「受載」“Charged”所謂活潑者，即水銀相當純潔，不含其化合物，如 HgO ， Hg_2Cl_2 ，亦不含賤金屬及其化合物，如氧化物，碳酸化物，硫酸化物，或其他之細塵土滑石等物，油膩之物，尤宜避免。凡此皆使水銀之作用遲鈍，或使彼此表面隔絕，不能凝聚成團。所謂「受載」者，即水銀之極純粹者，其提取及溶化金屬物之力反弱，但水銀含有少許之金(0.1%)或銀(0.05%)，或其他賤金屬，如鋅銅均可。若所受此種載，不超過定量時，其溶化能力即增強。此類受載，不能用壓濾法除去，惟受載越過定量，即生有害影響，能使水銀易分散，而生粉末現象。術語稱之曰水銀病態(Sickening of mercury)。

d. 與礦石同用之水，其量與純潔性，均須達相當之程度。

e. 視礦石混汞之難易，以節制其溫度。難者須將溫度提高(如銀礦)。

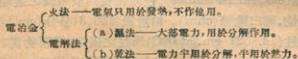
f. 凡由機械與化學上所生之損失，均須設法減少至最低限度。機械之損失，多由於粉末現象，或用水及水銀太多，或混合太劇烈，或銜接不嚴密所

致。化學上之損失，多由賤金屬太多，致起水銀病態，或礦石中雜有較水銀為陰電極性之金屬，而使水銀溶解，終致損失。

第十四章 電冶金(Electro-metallurgy)

電冶金，為冶金之一部，惟在此部製煉過程中，多少須藉用電力以完成之。當應用電力時，或將其完全變為熱力，以供一火法作業所需之溫度，如感應爐或電弧爐煉鋼是也；或將電力用於濕法電解(Wet electrolysis)，使金屬從合金或化合物中分離，而成純潔之金屬，如銅之精煉等是。濕法電解中，大部電力，用於化學分解上，僅小部變為熱力；若將電力用於乾法電解(Dry electrolysis)，如提取鋁鎂等金屬時，則一部電力，須使金屬分解，一部又須發熱，以保持爐內裝料之熔化狀態，故電力之消耗頗鉅。第三十二表所示，為其簡單之分類。

第三十二表 電冶金分類



由此可知電氣冶金，實可包括於火法及濕法冶金中，惟因電氣之使用，其理論與實際，自成系統，為學習與講述之方便計，均有獨立分門之必要。但讀者於電氣常識，須先具根基，方知應用之理。茲於敘述電冶金之前，特將最基本之電氣常識，略加摘錄，以便初學；若為詳盡計，則當另考理化專書，非本篇範圍所及也。

工業用電始於一八三一年，法刺登氏電磁感應原理(Electro-magnetic induction)之發明，現代交流發電機，即係此理。工業用電均為交流，為利用電機之空間，及增進生產效率計，極少發單相電(Single-phase current)，而多為三相電(3-phase current)，周率多在每秒 25 至 60 之間。如須用直流電，除少量者，可藉化學作用之簡單電池供給外(如鉛板硫酸之儲電池)，大量者，皆係由交流電轉變而成。

交流電不僅發生便利，且可利用感應原理，任意變其電壓(Voltage)與電流(Amperage)，故宜於遠道傳達，及分站利用。若用電生熱，或藉電動原理，變能力為工作，雖交流與直流，均可應用，但用交流之儀器，反較簡單適

宜。惟有在電解時，須方向一致不變之直流，才得結果，此則非交流電所能代替者。

茲將有關之電氣常識，及量電之實際單位，先加以檢討如下：

1. 電流 (Current strength)。電流強弱之單位，曰安培 (Ampere)，即在規定溶液內 (AgNO_3 or CuSO_4)，每秒鐘能沉澱 0.001118 gm. 之銀，或 .0003285 gm. 之銅之直流電。

2. 電流密度 (Current density)。即平均每單位面積之電極 (陰極或陽極) 所流過之安培數，其記錄之法為 amps/sq.ft., $1\text{cm}^2./\text{dm}^2$, or /sq.in. 均可。

3. 電量 (quantity of electricity) 之單位曰可倫 (coulomb)，即一安培之電流，每秒所傳之電量也；反之，每秒能傳一可倫之電流，其強度等於一安培。所謂安培時 (ampere hour) 者，亦為電量之單位，即一安培之電，流經一小時之總量，等於 $60 \times 60 = 3600$ 可倫之電也。

4. 電阻 (electric resistance)。任何物質對於電流之通過，均發生阻力，此阻力之單位，稱曰歐母 (ohm)，相當於 106,3 公分 (cm.) 長， 1mm^2 面積之純水銀柱 (14.4521 gm. at 0°C) 所呈之阻力。所謂物質之比阻 (specific resistance, or resistivity, K.)，即每單位體積物質 (1 c.c.) 所呈之歐母數。任何導體之電阻，可由其比阻 K 及長度 l cm，及橫截面 $a\text{cm}^2$ 算出之。因電阻與物質之長成正比與 a 成反比也。即 $R = K \frac{l}{a}$ ohms。

5. 導性 (conductance)。係電比阻之倒數，其單位為『莫』 (mho)，設一物質之電比阻為二歐，則其導性為 $\frac{1}{2}$ 莫，故電比阻與導性適成反比例。金屬導體之電阻，隨溫度增高而漲，電解體之溶液，其阻力隨溫度而降，故其導性，前者隨溫度降，而後者隨之增漲也。

6. 電動力 (electro-motive force, e. m. f.) 與電位差 (Potential difference, p. d.)，此兩種均稱為電壓。因凡一輪道 (closed circuit) 中，必須有電壓，方有電流動也。電動力者，即在電路未通時 (open circuit)，該發電組織 (generator set) 中所具之最大之電壓力。若電路已通，此輪道中，任何一段起訖兩點之電壓差，則以電位差表示之。故前者為全部之潛動力，而後者為局部之推動力。量此動力之電壓單位全相同，即伏打 (volt) 也。若以一伏打

電壓，施於一電路中，若此電路之電阻為一歐母，則適得一安培之電流。

7. 歐母定律 (Ohm's Law)。表示電流強度 I ，電動力 E ，及電阻 R 之互相關係，換言之，即 I 與 E 成正比，而與 R 成反比 $I = \frac{E}{R}$ 。此律為電學之

基本常識，可施於全部，亦可施於局部。前者之 E 為電動力， R 為全電路之電阻；後者 E 為該段之電位差（或 $p.d. = e = Ir$ ），而 R 僅為該段之電阻。（ $=r$ ）而已。

8. 電能 (electric energy)，其單位為加爾 (Joule = J)，以力學言，即等於 10^7 愛格 (erg)，以電學言，相當於一可命之電流，經一弗打之電位差，所發出之能力，或等於 1 Volt-Coulomb。

9. 電力或電工 (Power)，即每單位時間內所發出或銷費之電能是也。若每秒鐘發出一加爾之電能，即為電工之單位，而名之曰瓦特 (Watt)，即等於 1 joule/sec，或 1 volt \times 1 amp。普通一瓦特之單位太小，不合實用，故工業上皆用啓羅瓦 (Kilo-Watt = KW = 1000 Watts)。機械上所用之單位為馬力 (Horse power = H. P.)，其關係為 1 H. P. = 746 Watts = .746 KW。若有一發電機，能發一千安培之電流，其電壓為 60 弗，吾人即稱此機之容量為 $60 \times 1000 \div 1000 = 60$ KW，或 $60 \times 1.34 = 86$ H. P.，故任何電路，如其 E (弗打)， I (安培)，或 R (歐母)，即知其電力為 $EI = I^2R$ Watts，但普通以 E ， I 兩項，較 R 容易測量。交流電機，並須計入 Power factor。

由歐母定律，知 $E = IR$ volts，故任何電路段，祇須知其電阻及流經該段之電流，即可推知該段起訖兩點之電位差，吾人稱電位差為 IR drop，即此理也。由此可知 E 在一固定之電池或電機中，為一常數，無法增減，但 I 則可因電路中之 R 而變，互相消長。今若分全電路為若干段，每段之電阻為 r_1, r_2, r_3, \dots ，則各段電位差之總和，必等於全部之電動力，即 $E = \Sigma p.d.s. = e_1 + e_2 + e_3 + \dots = I(r_1 + r_2 + r_3 + \dots) = IR$ 。

10. 電流之發熱 (Heating effect of electric current)。電流之生熱，係由一種變為他種能力，遵能力不滅之定律，而成定量之轉變。任何傳導體，對於電流之通過，均生阻力，電流克服此項阻力，所作之工。即變為熱。故加爾定律，4.18 J 之能，相當於 1 g. cal.，故 $1 J = \frac{1}{4.18} = .24$ cal.，故電流通過，每消耗一瓦特之工，即每秒有 .24 cal. 之熱量發出，若電流通過之時

間為 t 秒，則所發熱量 $H = .24 \times I^2 R t$ 或 $.24 E I t$ cal.

由上式可知熱量與 I^2 成正比， I 大時發熱愈多，故電力遠道傳達，最忌 I 大，即短途傳達大電流時，亦必用極粗之導線，以減低 R ，蓋所以減低發熱之損失也。

①

一 火法電冶金 (Electric pyrometallurgy)

火法電冶金，與第十二章所述者相同，其惟一之區別，即在熱力之來源。以前所述者，熱力均來自燃料之燃燒，此則由電力變為熱力，而電氣應用之使命，亦僅為供給熱力而已。

吾人應知以電力供熱力，除世界上少數特殊地點，有極廉之水電外，實為一不經濟之「燃料」。惟火法電冶金之存在，亦自有故：(1) 電為最淨之燃料，不致有其他雜質滲入裝料之危險；(2) 電爐可達其他使用燃料爐所不易達之高溫；(3) 電量使用，以需要為度，不致浪費；(4) 電爐溫度可隨意節制；(5) 電爐內之氣象，無論氧化還原或中性，可任意操縱，以適應冶金作業之需要；(6) 電爐出品之品質，高於其他冶金爐之產品，故如需極優良之產品，火法電冶金，仍為最重要之冶金方法也。

電流既以發熱為惟一目的，故設計亦以發熱之原理為依據。按上述各節，發熱應用強大電流及大阻力，第五章所述電爐，即係此理。同時吾人應用於發熱之電力，均為交流電，因其可以遠道傳來，且其電壓 (Voltage) 與電流 (Amperage)，可以任意改變，又無電解現象發生，致引起爐內其他副作用，使無法管理也。

火法電冶金，概括言之，約分三部：一曰加熱處理 (Reheating for treatment)，二曰熔煉 (Electric smelting)，三曰電焊 (Electric Welding)。

加熱處理者，即藉電力使欲處理之物質，回熱至適當之溫度，亦電力應用於火法冶金之一種。以前所述之各種間接阻力電爐，均可適用，但在適當時，亦可直接利用發熱物體之阻力以發熱。例如抽製鋼絲，因冷時加工 (Cold Work) 太多，性硬而脆，須以燭火改正之，使重結晶 (Recrystallize)，最簡之法，即將電通過該絲，使熱至適當程度為止。電在此種用途，頗不經濟，但為加熱方便，溫度及爐內氣象之準確控制，與出品之精良計，固自有其用途也。

電氣熔煉，為火法電冶金之主要應用，因用電爐時，溫度既可任意調整，爐內復潔淨，不受其他外來雜質之影響，與化學室使用坩鍋或燒杯無異裝料

內欲提去之雜質，可以加適當之化合物(Reagent)，——除去之，例如用電弧爐煉鋼，即係如此，而電鋼品質之所以駕乎其他方法所煉鋼之上者，即因其在製煉時，無時不在精密控制之下也。

銲接亦稱曰銲，惟因所用以連接兩部之媒介物成分而有分別。吾人須先假設欲銲之兩部，成分相同，如所用媒介物之成分，與銲接之部全同，則此種銲接，名曰直銲(Welding)。如成分相異者，名曰補銲(Soldering)。此媒介物，即名曰補銲劑(Solders)。所謂電銲者，係藉電流通過接口之大阻力而發熱，致起熔化現象，使雙方銲接。若熱力之供給，係由強火焰來(如用阿西太林 C_2H_2 及氧氣生火焰)，則稱曰氣銲(Gas flame Welding)。媒介物或為塊狀，或為細條之電極狀(Welding rods or electrodes)。

電銲約可分二種：一曰赤熱電銲(Incandescent or resistance welding)，一曰電弧銲接(Arc Welding)。前者將欲銲之兩端洗淨，在壓力下緊接，而以低壓之大交流電通過之，因接口之不勻，其電阻亦大，在一分鐘左右，即至紅熱，而呈熔化狀態，此兩端在壓力下，即可銲接。普通多在接口處，先置少許硼砂，作為熔劑(Flux)，在赤熱時，接口內如有該金屬之氧化物成功，即可被硼砂吸去，化合成渣，使兩端為純金屬之結合，極為牢固，若含氧化物混入銲接面內，則結合不牢矣。

電弧銲接極方便，為現在最普通之銲法，一切普通鋼料建築，已有全部電銲，替代鑄釘(Rivetting)之趨勢。所用媒介物，多為成分相同之電極條。銲時將欲銲之部，連於電力之一端，而將電極條連於他端，此電極一與欲銲接之兩部毗連點接觸，而電流即通，惟因該處之電阻極大，致電極之端，發生電弧，此電極即在高溫下熔化，滴於銲接口上，以完成其使命。

二 電解法(Electrolysis)

電氣應用於冶金，除上述火法外，即為電解法。按火法之重要工業，為電氣熔煉，而此法大部以鋼鐵冶金為限；若電解法之應用，則較簡便而普通，不僅由礦石提取金屬(如鋁、鎂等)，又可由粗金屬精煉為純金屬(如銅、鉛等)，且為其他化學工業(有機與無機)之重要製造方法。

誠如第三十二表所示，電解分濕法與乾法兩種。前者所用之原料，多為金屬鹽類之水溶液(Aqueous solutions of metallic salts)，通電後，純金屬即在陰極沉澱，故此法多用於粗金屬之電解精煉(Electrolytic refining of

crude metals), 電鍍法 (Electro-plating), (即將耐腐蝕之金屬, 如金銀鍍銻等, 鍍一薄層於其他金屬上以防鏽。) 或電鍍製版 (Electro-typing) 等事業上。乾法之原料, 為礦石或金屬化合物, 不用液體溶劑, 即通電乾熱至熔化點以上, 使金屬在陰極分出, 故多為直接由礦石冶金之用。

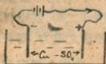
吾人在述電解法之前, 應將關於電解之各種特徵, 略加解釋於次:

1. 一切傳電或導電體 (Electric conductors) (簡稱導體), 可分兩種: 一曰電子導體 (Electronic conductor), 電流之經過, 除照歐母率發熱外, 導體之物質本身, 毫不起其他物理或化學之變化, 故該導體可永久使用, 如金屬製成之電線是也; 第二種為電解導體 (Electrolytic Conductor), 或簡稱電解體 (Electrolytes), 電流之通過, 全靠電解體之物質運行以傳帶之, 在第四章內, 已略提及。此種傳電之速率, 視物質之本性 (Nature), 濃度 (Concentration), 及電壓之大小而定, 當此帶電物質, 由一電極傳達他極時, 其所帶之電即消失, 此物質即成自由之元素分出, 故電解體若不隨時補充, 有時即用罄矣。

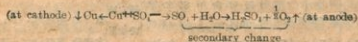
2. 電解體多為金屬之化合物, 但除一切鹽類外, 酸鹼類亦為良好之電解體。在濕法中, 普通以水為溶劑, 所得原料, 稱為電解體之水溶液 (aqueous solutions of electrolytes)。溶劑頗有關係, 例如氯化鈉之水溶液, 為良電解體, 若溶於無水酒精, 或純液體炭氫化合物內, 所得者又為一不良導體。乾法中亦常用鹽類作助熔劑, 如使 Al_2O_3 熔溶於冰晶石 (Cryolite, $3NaF \cdot AlF_3$) 內, 而成電解體, 此種原料, 稱曰熔溶電解體 (Fused or molten electrolytes)。

3. 電解體之帶電運行物質, 稱曰伊洪或游子 (Ions)。當通電時, 游子既各向陰極與陽極背道而馳, 則電解體之分子, 至少應分解為一種以上之不同游子。解釋此類電解現象之學說, 名電解理論 (Theory of electrolytic dissociation)。按電解體之每一分子, 至少可分解為兩種游子, 此種分離, 自有其特殊方式, 同時在各電極上, 或有金屬沉澱, 或有氣體分出, 或有其他化合物成功, 均視電解體與電極之性質, 及游子失電後, 能否引起其他副作用 (Secondary changes) 而定。例如電解硫酸銅之水溶液, 若陰陽極均用白金, 使不生副作用, 則在陰極 (Cathode) 有銅沈出, 在陽極 (Anode) 有氧氣與硫酸產出, 其作用與在各電極所生之產品, 略如第四十六圖所示。硫酸銅分子, 分解為正游子 Cu^{++} , 及負游子 SO_4^{--} , 電由陽極 (Anode) A 入電解池, 經電解體, 由陰極 (Cathode) B 流出。因異極相吸之理, 正游子之銅, 向陰極移

動，故正游子亦名 Cations，負游子之硫酸基 (Sulfate radicals)，因向陽極進行，亦名曰 An-ions。游子有為單體元素者(如銅銀等)，有為數種元素組成之基或根(Radicals)者(如 SO_4^{--} ， NO_3^- ， OH^- 等是)。游子達其相當之電極時，所帶之電即被中和(Neutralize)，而成自由體(Free substance)。此自由體，均為最易化合之活潑狀態(Nascent form)，在可能範圍內，即起副作用，而生他種產品。例如陰極之銅，因其化合性太弱，故無副作用；若為強金屬，如 K Na 等，若不預先設法與水隔離，吾人所得者，將為氫與氫氧化鈉， $Na + H_2O \rightarrow NaOH + \frac{1}{2}H_2 \uparrow$ ，而非金屬之鈉矣。在陽極之 SO_4^{--} ，即與水起副作用生硫酸，同時發生氧氣。若負游子為 NO_3^- ，或 $C_2H_3O_2$ ，其結果亦如此。故當其他金屬化合物電解時，其變化均可類推。



第四十六圖



4. 電解既需要游子順一定之方向，達到其相當電極，使起預定變化，而得需要之產品，則所用之電力，必須有一定之方向，其理至明，換言之，即電解必需用直流電也。若用交流，則電極之正負性，每秒鐘有數十次之改變，而游子之運行方向，必無所適從，等於靜止狀態，結果只有發熱，而毫無產品也。

5. 電解時，金屬沉澱之量，均遵守發刺兌氏之電解定律 (Faraday's Laws of electrolysis)，即在每個電極所產生物質之量 W ，與通過之電量 Q 成正比，亦與該物質之化學當量 (Chemical equivalent) C 成正比。設電量為安培時，或為 It 可命，則吾人可得兩層關係：

a. 通過之電量愈多，所得產品亦愈多，即 $W \propto Q$ 或 $W \propto It$ ，或 $W = KIt$ (K = 該元素之單位電化當量)。

b. 元素之化學當量 C ，即在化合時，該元素相當於 1.008 公分氫之量也。設元素之原子量為 a ，原子價為 V ，則 $C = \frac{a}{V}$ 。此式中 a 既為一常數，故

C 之大小，以當時電解體中該金屬之 V 為準。吾人由此可知：(1) 相同之電量，所沉得各種元素之重量，雖彼此不同，但將各重量變為其化學當量數時，則彼此相同，換言之，即等量之電，能沉出相等之各種元素的化學當量數，今以沉澱一個化學當量之元素言之，則所需之電量，彼此均相同。以銀為例，求得此同量之電，為 $\frac{107.88}{.001118} = 96500$ 可倫，或 26.80 安培時，為紀念前人之功績計，此電量即名曰一發刺兌 (Faraday)。(2) 由上述原則，可得 $Q \propto \frac{W}{C}$ 或 $Q \propto \frac{Wv}{a}$ ，若 $Q = 1$ Faraday (1 F)， $W \propto \frac{aQ}{v}$ 或 $W = \frac{K}{v}$ (K = constant)。由此可知以一發刺兌之電，沉澱某一定之元素，則沉出之量，適與其元子價成反比例。設原子價為一，則所得產量，適等於該元子之原子量之重 (如銅之元子量為 63.6，若用一價銅之電解體，則 1 F. 之電，適沉澱 63.6 公分之銅)，如原子價為二時，則所得適為原子量之半。茲將常用各金屬，電解時所沉之量，與其相當之電力，列表于次 (第三十三表)：

第三十三表 常用金屬電解重量表

| 金屬 | 原子量 (a) | 原子價 (v) | 化學當量 (c) | 每可倫所沉之重 gm; $\left(= \frac{c}{96500} \right) =$ 單位 電化當量 (unit electro Chemical equivalent) | 每安培 時產量 (gms) | 每 746 安培時 = (1 h. p. hr.) 之產量，英兩 Oz. (= 28.35 gm) |
|---------------------|------------|------------|-------------|--|---------------------|--|
| 銅 Cu ^{II} | 63.6 | 2 | 31.8 | .00329 | 1.182 | 31.0 |
| 銅 Cu ^I | 63.6 | 1 | 63.6 | .00658 | 2.364 | 62.0 |
| 金 Au ^{III} | 197 | 3 | 65.7 | .00059 | 2.440 | 58.5 金衡兩 (= 31:1 gm.) |
| 金 Au ^I | 197 | 1 | 197 | .00204 | 7.320 | 176.0 金衡兩 |
| 鐵 Fe ^{II} | 56 | 2 | 28 | .000290 | 1.040 | 27.3 |
| 鉛 Pb ^{II} | 207 | 2 | 103.5 | .001070 | 3.870 | 101.0 |
| 鎳 Ni ^{II} | 58.6 | 2 | 29.3 | .000302 | 1.085 | 28.5 |
| 銀 Ag ^I | 103 | 1 | 108.0 | .001118 | 4.025 | 95.5 金衡兩 |
| 錫 Sn ^{II} | 118 | 2 | 59 | .000610 | 2.190 | 57.5 |
| 錫 Sn ^{IV} | 118 | 4 | 29.5 | .000305 | 1.095 | 28.7 |
| 鋅 Zn ^{II} | 65 | 2 | 32.5 | .000333 | 1.210 | 31.8 |

6. 發刺兌之電解定律，實為一自然現象之真實發現，其準確性，不僅為

電解之原則，且為近代物理及化學上計算分子數 (Avogadro's No.)，及電子帶電量 e 之可靠記錄，但實際在工廠進行電解時，每鎊費 1 F. 之電，而產量多不到一化學當量者，非因定律之謬，實係工作時各種必需之條件，未能嚴格達到耳。此類條件頗多，最普通者，為漏電 (Leakage)，短途連接 (Short Circuiting)，及產品之不能完全收集。所謂電流效率 (Current efficiency) 者，即實際產量，與按定律計算之理論產量之比率。在工業中，此率有高達 90% 以上者，亦有低至 40% 左右者。

7. 第三段所舉電解硫酸銅之例，陽極為無變化之白金，亦稱為不溶陽極 (Insoluble anode)，故銅於陰極沉出，氧氣泡於陽極洩出，若如此進行不歇，電解液中之銅，愈變愈少，最後之電解液，幾為一純稀硫酸，陰極所沉出者，不為銅，而為氧氣泡矣。此種無用之氧氣，不僅代表電力之耗損，且因不傳電之氣體，包圍兩極，增加電阻，發生極化現象 (Polarization)，使電力之消耗量，異常增多。故用不溶陽極電解，在冶金中，僅於特殊情形時，偶一用之 (見下文)。

設將前例之陽極，換為粗銅 (Crude copper)，當 SO_4^{--} 達到時，即與銅化合，而成硫酸銅 $SO_4^{--} + Cu + 2\oplus \rightarrow CuSO_4$ ，純銅仍於陰極沉出，如此即為一適宜之可溶陽極 (Soluble anode)，不僅電解液中之銅，可以常常補充，而陽極亦無氧氣泡發生，故粗銅由陽極溶化，精銅由陰極沉出，在極低之電力消耗率下，順利進行，不致有氧氣泡在陰極發生之現象矣。電銅之精煉，即係如此。

8. 吾人欲解釋電解時，何以陽極之各種金屬能溶解，及何以能在陰極沉出，必須先明金屬有電溶壓力 (Electrolytic solution pressure) (即與溶液接觸時，此壓力使金屬有溶解之趨勢)，已溶之金屬游子，均有滲透壓力 (Osmotic pressure) (即使游子有沉出於固體金屬上之趨勢，使溶液內該游子之濃度減低)，然後了解冷斯迪之「可逆金屬電極」之電位差理論 (Nernst theory of the potential of „reversible metal electrodes’’)。

讀者欲深究此理，須考電化學專書，此篇所及，僅為解釋電解之基本現象而已。吾人按照電溶壓力之大小，可將常用數種金屬，排列如下 (順序前者較後者大)：

正電極性 (Electropositive) Na Ca Mg Al Mn Zn Cd Fe Co Ni Sn
Pb ← H → Bi Sb As Cu Hg Ag Pt Au 負電極性 (Electro negative)

所謂可逆金屬電極者，即作電極之金屬，置於含有該金屬游子之鹽類溶液中，使上述兩種壓力，相反相消，成可逆之反應(Reversible reaction)。其最後之差，即決定該金屬與該溶液間之電位差，此電位差，即稱為單極電位(Single electrode potential)。按冷氏理論，此單極電位 e ，可以下式表之：

$$e = \frac{RT}{n} \text{Log} \frac{P}{p} = \frac{.058}{n} \text{Log}_{10} \frac{P}{p} \text{ (at } 18^\circ\text{C)}$$

式中之 R ，為氣常數 (Gas constant)， T 為絕對溫度， n 為金屬之原子價， P 為金屬電溶壓力， p 為該金屬游子之滲透壓力。故視 P 與 p 之大小，可以決定此單極電位 e 。m. f. 之大小及性質，其情形有三種：

a. 若 $P > p$ ， $e = +$ ，此金屬將溶於溶液內成游子，此游子使溶液帶正電，金屬電極帶負電；

b. 若 $P < p$ ， $e = -$ ，金屬游子有由溶液而沉於金屬電極之趨勢，使後者帶正電，溶液帶負電；

c. 若 $P = p$ ， $e = 0$ ，此時電位差為零，無若何變化發生。

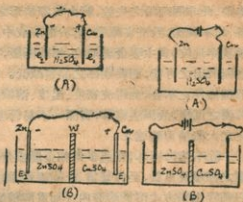
吾人由單極電位差，可以推算原電池 (Primary cells) 之電動力，因後者即為組成原電池之二個單極電位差之代數差也，或 $E = e_1 - e_2$ 。

按上列原子電溶壓力次序表，即為電動次序表 (Electromotive series)，亦即第二章金類化學性內所示之電化次序表 (Electro-chemical series)。現以氫為標準，其電位差為零 (即 $P = p$)。所謂正電極性者，即該原子較易於失去電子 (Electron)，而溶解為正游子 (即 $P > p$)，負電極性者則反是。由此可知，正電極性之原子，均為較強之金屬，負電極性者，為弱金屬及非金屬。

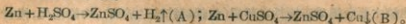
此表另有一種解釋 (Liddall: Handbook for Metallurgists and chemists, 1930 edition, p. 371)，亦可認氫以上各金屬，為負電極性，氫以後各原子為正電極性，因以單極電位論， $H = 0$ ，而 K, Na 等為負， Cu, Ag, Au 等為正也。若以帶電之愛力解釋，則與上段之意無抵觸，因負電極性之原子 (如 K, Na 等)，對於帶正電 (Positive charge) 之愛力大而易成正游子，正電極性之原子，易帶負電 (Negative charge)，而成負游子也。本書仍循慣例，應用上段之解釋。

所謂原電池者，即兩個不同之電極，置于一種或多種之電解液中所組成。若在外面，以導體連接兩極，使通電路，則全部因兩極之電位差，而有電流發出。如四十七圖左 A，為最簡之電池 (Voltaic cell)，即為鋅銅片各

一、置於硫酸中。B 為代氏電池 (Daniell cell)，係以鋅置硫酸鋅液中，更以銅置硫酸銅液中，惟兩液間，以無釉之滲透瓷片 W (Un glazed porcelain wall) 隔之，不使混合，但游子可以通行耳。按上述之理，鋅之電溶壓力，較銅為大，故鋅在 A，B 兩種情形內。均溶化，使鋅極成負極。在銅極處，則 A 中為氫氣放出，B 中則為銅之沉澱。

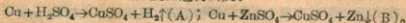


第四十七圖



此類變化，均有內能之變化，惟在電池內，即使此化學能力，轉變為電力之發現，而此轉變，係由電池本身工作，不假外力，此即原電池之命義也。

9. 原電池自動工作，即變化學能力為電力，今若反其道而行之，以相反之方向，通入外界電動力，則變化適得其反：



銅在陽極溶化成游子，而使鋅與氫在陰極沉出。此類化學變化，在正常情形下，均不可得，但由外界加工於此類電池中時，即可強迫使之發生。此種由電能力轉變為化學能力之加工，即是電解。吾人更可推知電解時，由外界加入之電動力，至少須略大於此原電池之電動力，而後電流方能通過，換言之，必如此方能電解也(第四十七圖右)。

原電池之鋅極與銅極，可稱為負極與正極(Negative and positive pole)以別於電解池之陰極與陽極(Cathode and anode)。

三 濕法電解(Wet Electrolysis)

濕法電解之原料，多為金屬化合物之水溶液，與可溶之粗金屬陽極，藉外加之電力，使溶解而起化學分解及沉澱作用，吾人可於陰極得純金屬也。此部工作，大都不在高温舉行，但普通比室溫略高數十度，以促進變化之速度。

上述各段之理論，均適用於本節，惟在實際工作進行時，其情形亦略有

參差。此非關理論之失效，實由實際情形之複雜所致也。大抵實際所用之原料，均不純潔，致許多雜質，溶於電解液中，愈積愈多，其中有許多金屬之電動秩序地位，與主要金屬地位，相差極微，在電解時，即有與主要金屬同時在陰極沉出之可能，而使產品之品質減低。即使地位相差較大者，但因工作時種種條件之不合，如電流密度、溫度、溶液成分、溶液流速等等之不適宜，亦可使之沉出。故濕法電解，實係一不易管理之工作。茲將電解時，兩極所生變化之大概情形略述之。

除不溶陽極外，普通多為粗金屬或金屬化合物之可溶陽極，其中所含雜質之種類及重量，至為繁雜。此種雜質，除已成不良導體之化合物，而又不能以純粹化學方式溶於溶液內（如電解精煉銅時，粗銅陽極內所含之 Cu_2S ），及貴重金屬之帶非常負電極性（如金銀），非實際所用之電力所能溶化者外，其他較主要金屬為正極性之雜質（如銻、銻、錳等之於銅），均能溶化，惟較主要金屬為負電極性之金屬則否。此雜質金屬之較主要金屬為正為負，須視冷氏方程式中 P 與 p 之大小而定。 P 既因雜質在溶液中聚積而生變化，故雜質之能溶與否亦不定。有時如溶液純潔，某一定之雜質金屬，較主要金屬為正，而能溶解；但至積聚達某濃度時，亦可變為較負，而停止溶化。

在陰極之變化，亦與上述之陽極情形同。電解液中之雜質，如較主要金屬為負電極性者，則必沉出；若為較正者，則不然。但此情僅在溶液純潔之正常情形為然，若雜質濃度增加時，此情又有改變。在純潔時，此雜質相對的較為帶正電極性，而不沉出；但雜質濃度增高時，此雜質之電位差，可以逐漸變負，至與主要金屬之電位差相同時，即與主要金屬同時沉出矣。

用可溶陽極之濕法電解，為主要之冶金方法。如銅鉛鋅之電氣精煉 (Electrolytic refining)，或用冰銅作陽極，以煉得精銅均是也。用不溶陽極時較少，且規模亦小，如貴重金屬之電鍍是。在特殊情形下，亦可煉銅。如南美洲有純潔之銅礦，且能以硫酸溶滲是也。惟此法進行時，液中之金屬游子，因沉出而消耗甚速，致兩極之變化，亦受影響，故必隨時補充之。

可溶電極經相當時期後，即大部溶去，須更換新極，其所含不溶體，或未溶之物；或已溶而經副作用致沉澱之物，均沉落於陽極附近，稱曰陽極泥 (Anode slimes or mud)，須隨時清除，另行提煉。陰極之純金屬，愈積愈厚，亦須隨時更換。電解液愈用愈雜，亦須按時精製 (Regeneration)。由此可知陽極或電解體原料愈純，則出品亦愈佳，工作亦愈順利。

濕法電解廠之設計，先決問題應注意下列各項：(1)每日之產量；(2)陽極與電解體之最低純淨度；(3)金屬沉澱之速率(與原料之淨度，電流密度之大小，及沉出金屬組織之細密或粗鬆有關)；(4)兩電極之大小，及陰極之面積；(5)電解池(Vats)之大小，及每池所容兩極之數量；(6)電解池製造之材料、數量、及最佳之排列，使地面(Floor space)及導線之佔用，均極經濟；(7)電力消費之估計與設備；(8)原料之供給，及出品之出廠，均應有適宜之配備。

欲使電解效率之增加，須有經常之考察或管理(Constant supervision)，以便隨時改正。最重要者，為(1)電流密度之適宜與恆一；(2)電解體之溫度；(3)電解體之循環流速；(4)電解體之成分及純淨度；(5)兩極之更換；(6)陽極泥之清除。

四 乾法電解(Dry electrolysis)

乾法電解之原料，均為金屬鹽類(如 PbCl_2 NaCl etc)，或溶於導性較大鹽類之該金屬氧化物(如 Al_2O_3 溶於 $3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$)，在相當高溫時，使成熔化電解體(Fused electrolyte)，經電解作用，吾人可於陰極，得希望之金屬。

熔化電解體，在電解時，亦遵法氏電解定律，使吾人於兩極處，各得欲期之元素，且熔化電解體之導電性，均大於其水溶液，實為乾法之優點。普通乾法電解之溫度，鮮有超過 1000°C 者。所用電力，一部為化學分解作用，其餘即為發熱，以維持電解體之熔化，無待另求其他熱力，故乾法所用之電流極大，遠非濕法所能及也。

乾法電解，除以較小規模應用於化學工業外，最大者，當推鋁鎂(beryllium)等輕金屬之冶金。例如鋁之冶金，即用 Al_2O_3 溶於冰晶石 $3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$ 溶劑中，蓋非如此，則 Al_2O_3 之熔點太高，且其導性亦不大也。乾法電解，普通無可溶陽極，故均用不溶電極(普通為炭極)，而電解之成份，必須隨時補充均一，以保持電流之恆一性。如取鋁時， Al_2O_3 須隨時加入，但冰晶石可以久用，惟偶有不足時，補充而已。由此可知原料愈純，電解中積聚之雜質愈少，其理由與濕法無異也。

以上所述之原則及應注意之處，可用於濕法電解者，亦可同樣施於乾法。但在乾法中，濃度既大，溫度既高，電流密度亦大，各種變化之速度亦增加，故經常之管理，尤須特別留意，以防失常之事件。例如此法之溫度頗高，

金屬沉出時，多為微粒之液體，滲合於電解體，不即刻下沉，擾亂電流之正常通過。陽極所出者，多為氣體（如取鋁時，即為 CO 與 O_2 ），亦使電流不易通過。又金屬在高速易氧化，陽極之氧，有時滲透至陰極，而氧化出品，結果不僅使電流效率減低，而陰極之表面，經此一層不良導體之蒙蔽，益使電力消耗大。乾法溫度較高，金屬因之揮發成霧（Metal fog），而致出產減低，亦為常見而難防之現象。他如電解體之熔點不宜太高，其比重應較液體金屬產品有顯著之低落，以便金屬易於沉下等等問題，皆為乾法電解中特有之注意點也。

第十五章 冶金必需之機動範圍

冶金所需之機動範圍，至為廣大，若欲一一細述，不但為篇幅所不許，亦為本書範圍所不及。按鑛冶機械一項，至今尚無專書能包括完全，且合近代製造者，惟實際亦不可能，因此類機械之改進，均在日新月異中，非一成不變。故讀者欲加詳究，除普通標準機械，久經應用，無大改易者，可以參考標準手冊(Hand books)(如採鑛、冶金、化工、機械、電機)及選鑛專書(如 Rizhards: Ore dressing)外，餘均散見於鑛冶與機械雜誌，及各製造廠家之傳單目錄，頗不易立刻搜集。故此篇之存，特為普通冶金備一格，所指示者，不在各機件之結構(Structure)與機動(Working mechanism)，而在指示初學以所需之機械範圍，及每個範圍內所需機件之種類，及應用之系統。其間偶有各別機件之敘述，亦僅限於普通常用之標準機械而已。

冶金機械可分為兩部：一曰基本的，一曰專門的。前者為必需之動力設備，如動力廠(Power station)，包括鍋爐(Boilers)，原動力機(Prime movers)包括使用蒸氣、油類、氣體燃料，或壓縮空氣之機械)，電機(Electric machineries)，水泵(Water pumps)，及轉運機械，如機車(Locomotives)，高線路運輸(areal cableways)，短途運輸帶(belt conveyors)，或連續運輸箱(bucket conveyors)，電動天車(Overhead travelling cranes)等類。凡屬工廠，多少均須有此類基本之設置，且此種機械，現代已進至完全耐用之標準製造，無大改變，讀者可考熱機電機等專書，茲不贅述。

至於專門機械，則分門別類，種類繁多，當視工廠之活動範圍，及所處理之原料與出品性質而定。例如處理固液氣體之各種物質，及處理至何程度，均須不同之機械設備。冶金常有之工作，如粗砂之壓碎與磨細，礫石及燃料細末或昇灰，須經團壓之工作，方能利用廢物，所產之金屬，又須經壓碾錘擊等等加工，方得成品之形式；濕法冶金之溶液，常須轉運，或須與固體滲分；熔煉工作之需用壓力通風，或燃料與空氣之預先加熱；氣體產品之須澄清，或提取其中夾帶之有價值副產品等等工作，皆須有相當之機械設備，惟工廠祇視其製造範圍，擇需要部分設置耳。本篇所及，即以此部為限，茲將其分類及種類，概述於後，以見一般。

一 處理固體之機械

1. 鐵石類

(I) 磨碎(Crushing) 對於鐵石之機械處理，普通多為磨碎 (crushing)，按細度分類(classification)及團壓(Briquetting)三項，而磨碎一項，又因程度不齊，分粗中細三種機械，如第三十四表所示，惟此表雖標明為處理鐵石，但其他固體原料之為塊狀而有脆性者，如燃料、熔劑、及中間產品(如冰燧等)亦適用之。

第三十四表

| | | |
|----|---------------------|---------------------------------------|
| 鐵石 | 磨碎 | (a) 粗碎機 (coarse crushing breaker) |
| | | (b) 中碎機 (medium crushing machineries) |
| | | (c) 細磨機 (Fine crushing machineries) |
| | 分類 (classification) | |
| | 團壓 (briquetting) | |

磨碎亦稱體積減小 (reduction in size)，為一統名詞，但磨碎程度至為不齊。近時露天採礦 (Opencut or open quarry) 及使用蒸氣勺 (Steam shovel) 裝車之大規模開採，原鐵石之體積 (run of mine ore size)，有大至數個，至數十立方呎者，為熔煉計，普通祇需粗碎，即可，但為選鐵或濕法冶金計，則需中碎與細磨等手續。茲將各步手續之分類，所用原料及出品之差別，及各類所用之主要機械名稱，列表於次 (第三十五表)。由此可知，細磨無特殊機件，多將較細之中碎結果重行磨碾至適宜之細度。

第三十五表 磨碎之機件次序及出品

| | 原料體積 | 出品體積 | 主要機械名稱 |
|------------|-------------------------|----------------------|---|
| (1) 粗碎亦稱擊碎 | 出礦原體 (run of mine size) | $1\frac{1}{2}$ - 3' | (1) 咬碎機 Jaw crusher (2) 轉磨機 Gyrotory crusher |
| (2) 中碎 | (a) 二次壓碎 粗碎之出品 | Pass 3-6 mesh. | crushing rolls stamps and tube mills |
| | (b) 碾碎 二次壓碎出品或粗碎出品 | 15-20% 可通過 200 mesh. | ballmills, yhilean mills, grindingpans, Raymond Pulverizing mill. |
| (3) 細磨亦稱重磨 | 碾碎之出品普通均須通過 20-mesh. | 50-90% 可通過 200 mesh. | first use ballmills or Chilean mills, finished in tube mill. |

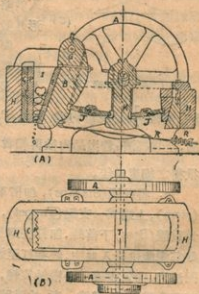
鑛石由大而小，照上法逐步磨細者，稱為分段磨細(stage grinding)。磨時所需之能力，與鑛石面積之增加成正比。設有一噸一吋方體之石英鑛，若碎至半吋方體($\frac{1}{2}$ cubes)，面積即增大至二倍，若碎至四分之一方體，面積即大四倍，如前者需 .26 H. P.，則後者為 .52 H. P.。此理應用在粗鑛石頗可靠，但細鑛石之面積，增加太快，所需之動力似較小。

各種磨碎機之動作，約分兩種：一為兩個硬平面之衝擊，如咬碎機(jaw crusher)，吞碎機(stamps)及壓碎滾(crushing rolls)是也。一為兩面互相移動使中間之鑛石，因磨擦與剪割(abrasion and shear)力而碎裂，如碾盤(grinding pans)，智利磨(Chilean mills)是也。兩種動作兼有者，如管磨(tube mill)及球磨(ball mill)是也。

如目的在求適合透流性之粗砂，則磨時應設法避免大量細砂之產生。大抵衝擊法之出品，所含細葉成分較用磨擦法者為少。最好分段磨細時，每段均實行細度分類，將細度已夠者分出，無使重複磨碾，以增加細葉之生產。

各種機械之組織與動作，勢不能一一記述，現僅擇每類之標準常用者，略加解釋。

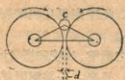
a. 咬碎機之普通者，為布雷克氏之偏心跳碎機(Blake eccentric crusher or breaker)，如第六十四圖所示，A為此機之縱切面，B為平面圖，H為一生鐵外殼，內面之左端，為固定之鋼顎P(fixed jaw)與左右擺動之鋼顎E(Swinging jaw)，BE之軸為G，鑛石即在I中壓碎之。T為偏心跳軸，每轉一週，使下面之K柱，各升降一次。K升時，使兩片強大之鋼簧(Toggles)JJ伸直，其結果使左邊之J，推B及E之下部，向固定鋼顎片P接近，而成壓碎鑛石之動作，K下降時，JJ復原，B遂因連桿R及彈簧R'之拉回，復退原處，以便碎鑛砂由下口落出，及I中所存鑛石，逐漸壓碎後下降。



第四十八圖

A A 爲兩飛輪，可使此壓碎工作之進行，亦增穩定。

b. 壓碎滾 (Crushing rolls) 爲極經濟而有效之中碎機，其原則約如第四十八圖之 A、C 所示，此機有一對相等之鋼圓柱或鋼滾 (Steel rolls)，其構造如第四十九圖之 B 所示，但滾身頗長，兩滾之軸，平行橫臥，兩外殼 (shells) 相距最近之空間 (Clearance) d，可以節制，以定出品之細度。兩



(A) 軸端或用齒輪 (gear)，或用滑車及皮帶 (Pulley and belt)，使兩滾以相反之方向旋轉，欲碎之鑛石 c，由上面加入，兩滾之力，曳之向下，而壓碎之。



(B) 壓碎之力量 (capacity) 以其直徑表之。所謂含角 (angle of nip) 者，決定一定大小之滾，所能曳入之最大鑛石體積是也 (見 C 圖)。



(C) 鑛石大於此角者，即不能曳入而壓碎。如將滾之外殼，製成鋸齒形 (Corrugated shell)，則較光滑而所能曳入者略大，若雜石爲滑石或泥土等帶滑性者，齒形外殼，尤爲適宜。

第四十九圖 壓碎滾之原則

壓碎滾之產品，含細末甚少，因小於中間距離之顆粒，即自行墜下，不被擠壓爲細末也。直徑 42" 長 16" 之滾，每日可壓 440 噸之鑛石，由 $1\frac{3}{4}$ " 減至 $\frac{1}{4}$ "，費電約爲 15 H. P.。此類壓碎機，對於不下 16 Mesh 之出品，至爲經濟；若出品尚欲再細者，最好以此碎至 $\frac{1}{4}$ " 之直徑，再以球磨磨至欲得之細度爲佳。

c. 春碎機 (Stamps)，即借重物體之墜落，以錘擊鑛石，此機爲一長桿 (stem)，上端爲一支點 (Tappet)，由旋轉之曲弧瓣 (cam) 起落之。長桿下端爲重體 (Boss) 下落時，即打在鋼製臼皿底之鋼砧 (Die) 上，鑛石與水，由皿之後部源源供給入皿中，經春打至適當細度時，即被水帶起，經鐵絲篩而由前門流出。曲弧瓣繞中心橫軸旋轉，每轉一周，可起落長桿或春打兩次，長桿及下部全體之重，幾達一噸，故墜時可春碎鑛石。但重體與鋼砧之耗損頗大，故須隨時更換。實際應用，多爲若干排 (battery)，每排有春機十個左右，而

以同一之曲弧瓣橫軸動作之。此機適用於濕舂法 (Wet stamping)，如濕法處理石英金鐵石，在南非洲 Rand 提金即用此法。混汞板 (amalgamating table)，即緊接前門，俾流出細礦中之自然金，即被水銀吸收，而成汞膏。

d. 磨碾機 (Roller mills)。此類機械之磨碎礦石，全賴磨擦力，故細末之成份多，宜於細磨之工作。屬於此類者如雷門碾磨 (Raymond pulverizing mill)，智利磨 (Chilean mill) 及碾盤 (grinding pan) 皆是，雷門磨已於粉煤製造時述及，茲不贅。

e. 管磨 (tube mill)。管磨為最普通之工具。其原則為一橫臥旋轉之圓筒或圓管，具有堅實而粗糙之內壁，以增進磨擦作用，管內普通裝以火石礫岩 (flint pebbles)，形體均等之圓球，旋轉之速率，須節制適宜，務使球體將達最高點時，即行直落，以增加打擊作用。欲碎之物質，由一端裝入，經磨擦與衝擊兩種作用，即變為粉末，由他端流出。管磨之原料，大都採取自動裝入機 (automatic feeder)。管磨普通均宜於濕磨法。

若將管磨內之礫岩，換為一批橫臥之長鋼桿，旋轉時，此鋼桿互相衝擊磨擦，亦得同樣之功效，如此即稱槓磨 (rod mill)。若將礫岩換為一批生鐵球或硬鉻鋼球 (Chromium steel balls)，即稱為球磨 (ball mill)，普通球磨之管較短，其原則實均與管磨無異也。球磨有時不用長管，而用中間比兩端較粗大之臥式圓錐體者，稱曰椎體球磨 (conical ball mill)。

無論磨內所裝為球為槓，應用時損耗頗大，應時時考察，凡重量不及或形式彎曲者，須隨時更換之。普通管磨均附帶細度分級器 (classifier 見下節)，凡出品有過大之粗粒，可以分出，重行入磨細碾之，故管磨適於製泥漿之產品。

(II) 細度之分類 凡按物之顆粒大小，以機械方法區分者，名曰細度分類 (Sizing or grading)。由大而小，照其區分程序，可大別為兩種，一曰過篩 (screening)，一曰分級 (classifying)。

過篩為最簡便之分類法，粗細不同之混合體，經過篩後，可得兩部，一曰在篩上過大之粗粒，或簡稱粒粗 (Coarse or oversize)，一曰篩下之細粒 (fine or undersize)。每部均可用粗細不同之篩，重行區分為若干類，如需要僅為某一定之細度時，可將粗粒返至磨碎機重碾之。

篩之粗細或大小，普通以篩眼之大小分之。凡每吋平均有二至四根絲通

過(即每方吋有四或十六個方眼),且不超過此數者,稱為 $\frac{1}{2}$ "或 $\frac{1}{4}$ "之篩洞(openings),蓋用於篩眼較大之名詞也。凡篩眼較小者,均稱篩孔(mesh),如二十篩孔,即為每方吋有 $20 \times 20 = 400$ 篩孔也。真正之篩孔,須知製篩絲布之直徑,方能算出,普通均有一定之規定也。

所謂條篩(bar screen or grizzly)者,係一排長約六至十二呎之鋼條,彼此平均距離,則隨需要之最大塊狀而定,此條篩以四十五度之傾斜,置於倉面,鑛石由車中直倒於篩上,細粒即落於倉內。所謂震篩(Impact and tension screen)者,為縱橫織成篩眼之布,用鐵框(frame)及橫視(cross bars)製成篩,亦以四十五度傾斜裝置之,但以簡單機械使之震動,細粒即透過而下墜,粗粒即在篩面上滑下。所謂轉篩(revolving screen or trommel),為入式旋轉之圓筒篩,略有四五度之傾斜,以便鑛石以螺旋式下行,篩為鐵絲織或為鑽眼鋼皮(punched plate),其大小可預先決定。鑛石由高端加入,經轉篩時,細粒即下落至V形之槽內,粗粒由他端出。

分級(classification)之術語,僅用於粗砂與細漿之區分,且不用過篩方法。如已磨之金銀鑛石粉末,除細漿外,最粗者亦在二十篩孔以下,若以過篩法分之,則細粒過多,篩孔阻塞,且無特細之篩孔,可責細分也。

物體在同一媒介物中(如空氣和水),其自由下沉之速度,視該物質之比重、大小、及形式為轉移。重而大之該物,較輕小者為速,等體積者,重者為速,等比重者,大者為速,體小而比重大者,有時亦與體大而比重小者,等速下沉,又體積與重量均相等者,球形者較大而薄之片狀為速,此在平靜之現象也。若將墜體之速度,設法降低,或使媒介物以相當之上升速率逆行,則物體之墜落必緩,相差亦大,然後設法分開,此分級器(classifier)之原理也。

分級器可分兩種,以空氣為媒介物者,稱曰機械分級器(mechanical or box classifier),粉末與空氣混合,以相當之速度流入器中,乃設法節制,使之遲緩,而讓物體自由沉落,按級分出,如Dorr and Akins classifier是也。以水為媒介物者,稱為液體分級器(hydraulic classifier),欲分之粉末,由上面流入器內,流水由器下上升,輕而小者,即被浮出,如賈德可隔膜水分器(Caldecott diaphragm cone or hydraulic classifier),即據此理。此器形如尖端向下之圓錐,直徑約六呎,高約九呎,常用以供給管磨之原料。水由下部尖端上升,粉末由流槽送來,再經上面器中心處流入,直抵回流板

(Deflecting plate)，從此速度減低，粗砂徐徐下降，細漿被上浮，而由圓周溢於圓流槽中，再行流出，亦有用數個圓錐連續使用者。

水較空氣比重大，故墜體在水中速度，較在空中緩，分級亦較易節制而有效。普通工廠中，均喜採用液體分級器，在濕法冶金及選鐵，均為不可少之工具。如搖分器(vanner)，及威氏選鐵台(Wilfley table)等。

(III)團壓 (Briquetting) 團壓為利用細末廢料，使之化零為整，致用時不再飛散。團壓約分二種，一曰物理的，一曰化學的。例如壓制燃料(第八章)，火磚製造(第十章)之以壓力團結者，皆物理團壓也。又如鼓風煨燒之結果，實為化學團壓，其團結實由半熔所致，非壓力也。物理團壓，機械頗簡單，化學團壓工具，已如前述，茲不贅。

2. 金屬或合金類 在製金屬與合金成品時，中間經過加工之手續，使其形式及大小，變為與原規定相符，此種經過，稱曰金屬之形成(shaping of metals)。金屬成形除一小部份，係由製模(moulding)與翻砂(foundry)，直接鑄成最後形式外，大部均藉機械力量，加工於金屬上；使之一次或逐次變形，而達最後之形式。

金屬成形之機械設計甚多，惟均利用外壓力及金屬本身之可塑性。由此可知凡無韌性或脆性太大之金屬，不能機械變形。變形時所施壓力，必須大於其彈性限度(elastic limit)，方得永久變形；亦不得超過該金屬之抗張力，而使之崩潰或破裂。凡金屬之彈限與抗張力，相差甚鉅者，其能忍受之機械加工或變形之程度亦大，除少數金屬略顯例外，普通現象，均係溫度加高，其彈限與抗張力，均同時減低，惟有程度不齊耳。若彈限減低之速率，大於其抗張力，則該金屬可以加壓變形之溫度段(temperature range)愈擴大，否則減少，故有若干金屬之加壓變形，僅能在某限度之溫度段內舉行。即此理也。

受壓變形時，組成金屬之晶體(crystals)，即順壓力之方向，沿其自身之劈開面(Cleavage plane)而滑動(glide)，晶體本身亦變形，故經加工愈多者，組織改變亦愈大，其物理及機械性亦隨之而變；若欲恢復原來之物理性，必須先令「受傷」(strained)之晶體，使之重行調整(rearrangement)，解除其由加工引起之內應力(internal stress)。此種調整之作用，亦稱重結晶(recrystallization)，全視溫度與加工之程度而定，溫度高而加工少者，恢復較易，否則較難；若係冷時加工，則加工多者，恢復之溫度亦低，少者反較高。

金屬加工後，若其溫度不高，多須燜火，以促成調整作用，即此理也。

金屬在高温加工變形，謂之熱加工(hot work)，若在室溫時，即稱冷加工(cold work)。熱加工因金屬之彈限降低，故所需變形之壓力，亦可減低，能力消費，自較冷時為小。若加工完畢時之溫度(finishing temperature)不太低，則內部調整作用，亦可隨之完全，同時因壓力增加其密度，減少其孔隙度或沙孔(blow holes)，因而增其抗張力，此熱加工之利也。惟因溫度高，且易在空中氧化，故形式不能絕對準確。冷加工可得極精確之成品，但每次變形不多，且能力消耗亦大。更有一點應注意者，即冷加工能使彈限及抗張力均增大，且前者之增大，較後者為速，其結果兩者之差減小，不僅每第二次加工，較第一次費力大而變形小，且最後物質變為脆弱，不能加工(彈限與抗張力之差為零)，若勉強加工，即行破裂。故冷加工之舉行，均有一定之限度，而加工之金屬，均須燜火，以恢復原狀，如冷加工不能一次完成，中間須經燜火後，重行加工，以免破裂之危險。

金屬成形之機械，因其施壓之狀況，可別為三類：一為施力慢，而退力即在金屬變形之後者，如滾碾(rolling)及抽絲(wire drawing)是也；一為施力慢，退力亦慢者(金屬變形後數秒鐘，壓力方退)，如水壓機(hydraulic press)；一為施力快而退力亦快者(退力時變形尚未完全)，如錘擊(hammering)是也。按錘擊與水壓，均可統稱為打煉(forging)。普通最後成形，須經多次打煉，但有所謂合模打煉(drop forging)者，錘與砧相合時，中間適留成品之空模，如將金屬置於中間打煉，一次即可得成品也。茲按金屬成形之方法，可分類如下(第三十六表)：

第三十六表

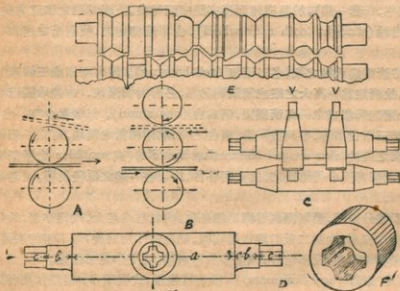
| | | | |
|---------------------|----------------|------------------|--------------------|
| 金屬成形(metal shaping) | 熱加工(hot work) | 滾碾(rolling) | 錘擊(hammering) |
| | | 打煉(Forging) | 合模打煉(drop forging) |
| | | | 水壓 pressing) |
| | 冷加工(cold work) | 抽絲(wire drawing) | |
| | | 滾碾(rolling) | |
| | | 水壓(pressing) | |

(I) 滾碾機 (Rolling mills) 滾碾機之原則，與壓碎滾 (crushing

rolls) 相似，以兩臥式平行之實滾 (solid rolls)，相對旋轉，惟其目的不為壓碎，而為變形，詳言之，即使金屬每經過一次滾口 (pass)，其橫剖面 (cross section) 即減小若干，至最後之成形為止。

按滾碾為金屬成形最速而最經濟之辦法，普通鋼鐵建築材料之大量生產，全恃此法。惟此法實際非常繁瑣，欲知詳細，必須參改鋼鐵冶金專書，本篇為範圍所限，僅能述及大概。

滾碾機分為二重 (two high)，三重 (3-high)，及平整式 (Universal rolling mill) 三大類，第五十圖中 A, B, C 所示，即其大意也。二重式又分能回旋 (reversing) 及不能回旋 (non-reversing or pull over type) 二種，(A) 為不能回者。欲碾之金屬，祇能由左方餵入，因兩滾之方向，不能回旋，既到右方，則須挑起，或借機械舉起至上部之滾上，借滾之旋轉，帶回至左方，然後由另一面積較小之滾口碾出，如此反覆而成形。此機工作頗不便，廢時廢工，不如回旋式，金屬可左右出入，每次均變形。惟機械回旋，磨損既大，能力消耗亦不小，此困難，可以三重連續式 (B) 解除之。在此式內，中滾之方向，與上下兩滾不同。金屬由下滾口入，而由上滾口出，每次均變形，但每碾兩次，必須有一次用力舉至上滾口耳。



第五十圖 示各種形式之滾口

平整式滾碾機(C)爲作碾形式扁平之板用，目的爲避免其兩邊不規則之鋪張，特於滾之兩邊，各裝置一對直立之滾，V V，其距離可以節制，以定金屬板之寬窄，工作時，此直滾向內壓金屬，而成整齊之直邊，此機亦有二重與三重之分。

滾(rolls)分生鐵與鑄鋼兩種：前者硬而脆，但表面光滑，出品較好，後者面雖較粗，但強韌耐用。實際用時，上面常加冷木，以防回火而變軟。如碾鋼板時，即用平滾(plain roll, D)，中間距離，可以節制，以定厚度(普通下滾爲固定的，上滾可升降)，若所碾爲各種形式，如 I. L. U. T 等，則須用帶槽滾(grooved rolls)。帶槽滾均在機器廠(machine shop)製好，普通有製滾專廠(roll-turning shop)，上下兩滾相合時，適湊成各種不同剖面之滾口(pass)，如(E)所示。由鋼錠(約正方剖面)碾至成品，中間須經十餘次至二十餘次之滾口，故滾口之形由大而小，至最後之滾口，稱曰全口(finish)，其尺寸即達規定之數矣。

欲知滾之各部，可閱(D)，a爲滾身(barrel)，b爲滾頸(neck)，用時此部即落於承軸(bearing)上，c爲十字形橫面之滾頭(wobbler)，由(F)之中空十字考不令管(coupling box)，可以與原動機軸之同樣軸端，兩相固接(此管之半，各套一端)，於是機轉而滾亦隨之而轉矣。上滾轉動之相反方向，則以平齒輪(straight tooth spur wheel)，由下滾轉達之，使兩滾之速率一致。

支持滾兩端承軸之架，名曰滾架(roll-housing)。因有兩個或三個滾上下排列，故滾架爲一高大之鐵或鑄鋼翻砂品，必有兩個滾架，方能承開滾之兩端，此兩架所組成之一部滾碾機，稱爲台(stand)，每機至少有一台，多時可至三四台不等，平列成一排，兩台之間，其兩相當之滾端，可以一個十字形橫面之連柱(star shaped connecting spindle)(與wobbler之橫剖面相等)及兩個考不令管連接之，故全機各台，均以在一端之原發動機，同時轉動之。

原動機分兩種，蒸氣機與電機馬達是也。前者佔地甚大，式樣亦老，故後者多爲近代採用。如爲二重回旋式滾碾機，則馬達亦能回旋；若不須回旋時，兩種原動機均可用，且不常停，機上多加以飛輪，使工作更形穩定。

(II)打煉錘(forge-hammers) 機械打煉錘，式樣頗多，但最常用者爲直擊錘(direct acting or stamp hammer)。此類亦有各種形式，如用彈簧

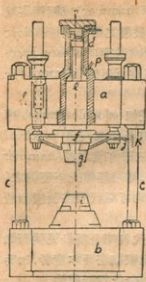
(power spring hammers), 偏心軸(eccentric shaft hammer)或壓縮空氣運動之錘(pneumatic hammer), 皆輕巧靈便。若被擊之金屬體積不太大時, 最為合用。但在大規模冶金工廠中應用者, 則首推蒸氣錘(steam hammer), 即以動力使錘在導軌(guide)中, 直線起落, 以擊下面鐵砧(anvil)上之金屬。

汽錘視力量之大小, 分單架(single frame)及雙架(double frame)兩種。其組織約分四部: 一曰錘架本身; 二曰直立汽缸及各部汽門(vertical steam cylinder and valves), 全包於錘架之上部; 三曰打擊之錘(hammer block or tup), 即在汽缸活塞槓(piston rod)之下端, 可以蒸氣上下運動之; 四曰錘下基礎鞏固之鐵砧。錘之起落及打擊之力量, 均可以汽門控制槓節制之。

3. 水壓機(hydraulic presses) 水壓機為近代打煉金屬最兇猛而偉大之工具, 凡鉅大之製造, 須加工透徹, 使金屬內部組織細密而牢實者, 如兵艦裝甲, 大砲管及砲座, 抵抗高壓高溫之化學工具等, 舍此實無他法。

吾人應知加工於金屬, 其目的不僅為變形, 同時並可改善其內部之組織, 增其比重, 使粗大之品粒變為細緻, 因之可改進其機械性質。故凡機械最要緊之部分, 須經打煉製成, 而不用翻砂品者, 即此理也。滾碾之目的在迅速變形, 增加產品, 同時亦得改良組織之效果, 惟其加工之時短, 且僅順一個方向, 不能面面俱到, 故以此點言之, 似較錘擊與水壓為差。今若將後二者相比, 則錘擊又不及水壓矣。茲申論於次: (1) 水壓施力極穩健, 由小而大, 且機之水缸(hydraulic cylinder)與基礎(base) (相當於錘擊之鐵砧), 以支柱(column)連成一片, 被壓之金屬在中間, 能力全用於打煉, 毫無耗費, 若錘擊之大部能力, 均耗於聲音及鐵砧與基地之震動, 實用者僅一部耳。(2) 錘擊之施力時間太短, 其影響金屬組織之厚度不大, 其中心即無法改良。水壓施力大而久, 直至金屬屈伏, 故其改良程度, 深而透徹, 且變形亦較快, 又水壓可加工至金屬可能最低溫度為止, 可減少回熱之機會, 且溫度低時, 出品之尺寸亦較準確。(3) 水壓機堅固耐用, 雖始業費頗高, 但同量加工之經常費則較低。

水壓機之重要機構, 略如第五十一圖所示, a 為牢實之頭部(cross head), b 為堅厚之基礎(base), 此兩部以四個粗壯圓鋼柱 C, 連為一片, a 中含有堅強之水壓缸(hydraulic cylinder) d, 在 b 內套有移動活塞(ram or



第五十一圖 水壓機

plunger) e, e 下為連接盤 f, 其下為上壓板 (upper die) g, 正對下面之下承板 (lower die) i, 金屬即於 g 與 i 間壓之。e, f, g 連成一片, 此片又因 f 而連於 a 中兩個副汽缸 h (h 亦可以水壓運動之), 施力時, 高壓力之水 (由 1000 - 10,000 lb/sq. in), 由 P 管入 d, 使 e, f, g 受壓下降而作工, 施力完畢, 水壓退去, 即由 h 運動, 而使 e, f, g 上升, d 中之水, 復由 P 排出。加工時, 全部張力, 均由四個鋼柱 C 承受, 在適當之柱 C 上, 可以刻劃尺寸, K, 其鄰近 f 之端, 可加裝指針 j, 每次加工變形之多寡, 即可以 j 在 K 上之移動指示之。水壓打煉機之所施全部壓力, 由 600 噸至 14000 噸, 此外尚有特製之鉅大者, 如德國愛森 (Essen) 之克虜伯工廠 (Fried Krupp) 內, 有達十萬噸以上者, 可謂鉅製矣。

二 處理液體之機械

冶金廠內處理液體之機械, 亦頗繁多, 須視液體之性質與處理之目的而定。例如液體有為純淨之水者, 但有挾帶泥沙, 或溶有酸鹼及鹽類者, 機械材料必需有相當強度, 且與液體無化學變化為宜。動作時, 亦須避免機械之磨損或衝擊。處理液體之目的, 或為空間之轉變, 如升高位置 (Lifting), 或更動地位 (即轉運 Conveyance), 或為一種攪動 (agitation), 如攪之使細粒不沉落, 而成混合體 (Suspension); 或促其溶解而成均勻之溶液。或為溶液之蒸發 (Evaporation), 使溶劑與溶質 (Solute) 分開, 或為液體壓力增大 (Compressed liquid), 如經壓力濾器 (filter press) 時, 液體須透過極大之阻力以分出, 或在水壓機中, 液體須有高壓以作工, 故機械設計, 亦因目的而異。茲按功用或目的, 將各重要機件, 大概分類於后 (第三十七表):

第三十七表

- | | | |
|--------|---|---|
| 處理液體機械 | { | (1) 液體運行 (Moving liquids) —— 各種水泵 (pumps), 虹吸管 (Siphons) 等。 |
| | | (2) 攪拌 Agitation —— 攪拌器 (agitator)。 |
| | | (3) 蒸發 (Evaporation) —— 蒸發器 (Evaporator)。 |
| | | (4) 加壓 (Compression) —— 加壓濾器 (pressure filter), 水壓 (pumps) 等。 |

表中所示機械種類甚多，非本篇所能一一記述，讀者可於熱機、化工及選礦等於專書求之。茲僅將最重要之水泵，攪拌器及壓濾器略述之。

1. 水泵(pump) 泵為使液體或流體獲得壓力及速度之工具。吾人知液體運行，必須有地位差 (Potential difference) 或壓力 (under pressure)，既有壓力，則不僅自身運行，且能作工。第三十七表上所列各項功用之完備，無不直接間接與水泵有關，是水泵為處理液體機械中最重要者，特先述之。

水泵可按其構造或動作，分為四大類，其名稱與式樣如第三十八表所示，茲擇要分述之。

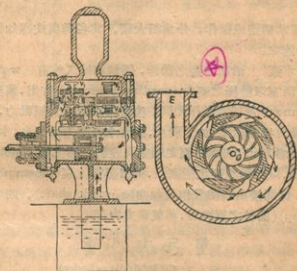
a. 活塞水泵 活塞水泵之動作，係將水抽入水缸 (water cylinder) 內，由來復之活塞以積極之壓力 (positive pressure) 打出，與蒸氣機之汽缸 (steam cylinder) 及活塞動作相同。後者係以蒸氣為原動力，使推動活塞，而前者係以動力推動活塞，加工於水，而使水之壓力增高也。水泵之原動力，直接來自蒸氣者 (如汽機與水泵之活塞同連於一活塞槓 piston rod 上，藉汽機活塞之運動，以帶動水泵之活塞。)，稱曰蒸氣水泵 (Steam pump)。若水泵活塞之運行，係間接由機械動作 (如曲軸 crank shaft)，則名曰動力水泵 (Power pump) (曲軸之原動力，蒸氣電力均可)。

第三十八表

| | | | | |
|----|-----------------------------|----------|--------------------------|------------------------|
| 水泵 | { | (1) 活塞水泵 | { | 單缸 (single cylinder) |
| | | | | 複缸 (multiple cylinder) |
| | (2) 離心水泵 (centrifugal pump) | | | |
| | (3) 對旋水泵 (rotary pump) | | | |
| | { | (4) 接力水泵 | { | 連續水泵 (continuous flow) |
| | | | 斷續水泵 (intermittent flow) | |

蒸氣水泵之帶飛輪者，稱為飛輪水泵 (flywheel or rotative pump)，其不帶者，稱為直動水泵 (direct-acting steam pump)，第五十二圖左所示，為常用之直動水泵。汽活塞 (Steam piston) 之壓力，直接傳於水活塞 (water piston)。圖中 V_1, V_2 為出水門 (discharge valves)， V_3, V_4 為進水門 (suction valves)， P 為吸水管，當水活塞相左移時，即壓缸中之水由 V_1 衝出，同時缸之右端即成為半真空 (partial vacuum)，達一定程度時，大氣壓

力壓水由 P 入，衝開 V_1 而入水缸，待活塞右移時，缸中之水由 V_2 出，同時水源由 V_3 補入缸中，如此循環不已。此種一水缸，一缸之組合，名曰單級蒸氣水泵 (simple or Simplex steam driven pump)，如為二水缸，二缸者，名曰雙級蒸氣水泵 (duplex steam driven pump)。後者給水較均勻，佔地亦較少，故常常採用之。此種直動水泵之蒸氣，未經膨脹作用 (expansion)，故蒸氣之消耗量頗大。



第五十二圖 單級蒸氣直動水泵及單級轉輪水泵

活塞水泵之普通活塞，亦可以堅實之衝擊活塞 (plunger) 代之，名曰衝擊活塞水泵 (plunger-pumps)。活塞水泵為積極壓力，每次衝程 (stroke) 之給水，其量與壓力，均有一定。凡激行至高遠之處，且須抵抗高壓，以供給可靠量之水者，均採用之 (如鍋爐給水 boiler feed water)。衝擊活塞水泵壓力更大，而活塞與水缸接觸部分，因完美之派根 (packing)，使摩擦力減小，凡壓力超過 200 lb/sq. in 者，均用之。

b. 離心水泵 離心水泵為一極簡單之機構，既無水門 (valve)，又無彈簧 (spring)，僅有一個旋轉槳 (impeller)，在一鑄鐵之殼 (casing) 中急速旋轉而已。第五十二圖右為一單級轉輪水泵 (single stage turbine pump)，外具螺形外殼 volute casing 此轉輪即為旋轉槳，水由中心 O ，繞輪軸吸入，

分布成輻射狀外流，因葉頁 (impeller blade) 旋轉；增其壓力與速度，至葉頁尖端時，達最高之常數，而後繞外殼之內壁與轉輪間所成之蝸牛式夾道 (snail-shaped channel)，以漸減之速度，流至出口 E，此時又達一定之壓力與速度矣。

所謂轉輪水泵 (turbine pumps)，即離心水泵也。惟轉輪水泵，有單級 (如第五十二圖右) 及復級之別 (multi-stage turbine or centrifugal pumps)，後者有一個以上之轉輪，每級打出之水，又入隨後之一級，水壓每經一級，增加一次，最後排出之水壓，則視級數之多寡而定。普通水壓須在 100 lb/sq. in 以上者，方用複級離心水泵。

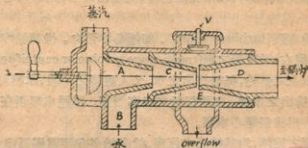
離心水泵之旋轉，均為較高之速度，故直軸多直連電機馬達或蒸氣透平 (steam turbine) 上，其動力傳達效率 (power transmission efficiency) 之高，式樣之簡單與小巧，轉動之平衡 (balanced rotary motion)，出水量之連續與均勻，機身之輕便可靠，均為其優點。現在高壓給水，亦多採用此種機械，如用八級離心水泵，可得 850 lb. 以上之水壓。其設備及維持費，均較活塞水泵為低，又因其構造簡單，無自相摩擦之零件，故液體中雖含有泥沙或小石塊，亦可應用，無怪工廠普通採用者，均為此種式樣也。

c. 對旋水泵 對旋水泵之構造及原理，與鼓風器相似 (如樂次鼓風器 Roots blower)，為一雙對旋葉 (rotating impellers or screws)，下面抽入，上面排出，功用似聯合活塞泵之積極壓力，與離心泵之連續吸入與排出，但其效用有限，現代已不常用，其情形可參閱鼓風機。(3)

d. 接力水泵 此類機械之原理，係採用兩種液體，一種含有原動力，如高壓蒸氣或壓縮空氣，在相當之高速高壓下，直接加於另一種液體，致前者所含之一部或全部能力，給予後者，使後者得以運行。屬於連續流行式者，如射水器 (injectors)，燒油器 (oil burners) 等；屬於斷續流行式者，如脈動水泵 (pulsometer pump) 等。使用此類機械，非先有一種含原動力之液體不為功，故工業上僅能在特殊情形下偶然用之，其功效遠不及上述各種水泵，茲僅將射水器之原理略述之。

第五十三圖所示，為一蒸氣射水器 (steam injector) (亦可射油，此時稱燒油器)，其原則為高速蒸氣，遇冷水 (或油) 而凝結，即將其運動量 (momentum)，給予冷水 (或油)，使轉變為相當之速度，自行前進。當高壓蒸氣由 A 入 C，B 中之壓力，因此稍減，使冷水由 B 上升，至 C 與汽相遇，蒸氣

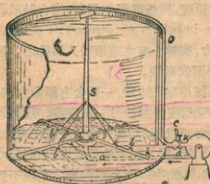
凝結，即將運動量子水，此混合體遂以相當速度，由D衝出。鍋爐亦有裝此器給水者。燒油器之理，亦與此同。



第五十三圖 蒸汽射水器

開始啓用射水器時，先將器內之汽水及空氣壓入外腔E中，更啓汽門V，使由出口O流出，直至B中之水與蒸氣接觸為止。

2. 攪拌器 (Agitators) 攪拌器之式樣亦有數種，其攪動之方法，或用壓縮空氣 (compressed air)，或用循環液流 (circulation liquid stream)。如



第五十四圖 春氏攪拌器

第五十四圖所示者，為春氏攪拌器 (Trent Agitator)，常用上述兩種方法，在濕法冶金中，常用於精化法 (cyaniding)，以溶濾金銀鑛石細漿。圖示一大圓桶 (tank)，其底部中心，為一中空之直立承軸 S (step bearing)，其下與桶外之進口管 a (inlet pipe) 相接，上面套一中空之十字形反動輪 (reaction wheel)，輪上裝若干向下之噴口管 b (nozzles)，桶之右邊，示一溢流槽 O (overflow

channel)，溢出之混合細漿水，經此下行而達一離心水泵之中心吸入管 K (suction pipe)，至此壓力增高，由底下之進口管 a 入桶，高壓液體，由噴口射出至桶底，因反動而使直軸以倒退方向旋轉，噴出之泥漿水，掃過桶底，將下沉之泥漿掀起，繼續攪動，故為一種循環動作，如須參和空氣 (aeration)，

以促進溶解時，可將水泵吸入管上附帶之空氣考克(air-cock)扭開，使空氣與液體同時吸入，如此則不僅桶中液體可得滲和空氣，而攪拌之效力亦可增加。

3. 蒸發器 蒸發器除第十三章所述之蒸發皿外，尚有其他專製。所謂複式蒸發皿(multiple effect evaporator)者，係按減低氣壓，連續蒸餾之理，其功效則遠過單級蒸餾器，惟蒸餾在冶金上無重要地位，故從略。讀者如欲細究，可參考化工專書。

4. 壓濾器 濾過(Filtration)為由混合體中，將固體與液體分開之手續，凡固體顆粒大，能讓液體透流者，普通以比重濾過，為最經濟之處理法；若固體太細，或為糊狀之沉澱，將濾器之細孔堵塞，勢非增加壓力以排擠液體不可。此時濾器必須堅牢，而具孔隙，同時孔隙須相當嚴密，以防固體之透過。此種加壓濾過(forced filtration)之工具，可分兩種：一為積極壓力，使液體透過濾器者，稱曰壓濾器(filter press)；一為濾器下成一真空，使大氣壓液體流出者，稱曰抽濾器(suction filter)。後者如化驗室所用之抽水泵(suction pump)，人所共見，不須贅述，茲述壓濾器之大要於次。

壓濾器形如一長方架，如右端為固定板(fixed head)，則左端為一移動板(movable head)，以最左端之螺旋機械推動之。兩板之間，掛有許多方形濾箱(filter chamber)，可以沿支架移動，每濾箱為兩個套合之穿孔框，欲濾之泥漿水，貯入箱中，然後推動螺旋，向右進行，箱中之液體，受壓擠出，最後將螺旋抵退回，由各箱中取出壓成餅狀之固體。

三 處理氣體之機械

處理氣體之機械，視目的而異。最廣泛而常有之目的，即為增高氣體之壓力，使之流行，在冶金作業中，尤以空氣之供給(air supply)為最重要，但其他氣體，亦常同樣處理之。第二目的，或為空氣與其他氣體之預熱及乾燥。第三目的，或為挾帶煙塵氣體之清洗(gas purification)，使氣體與固體分開，分途利用。茲將其重要機件與設備，除已述者外，約記於後，惟吾人應知氣體與液體同為流體，除氣體有壓縮性(Compressibility)及液體無壓縮性外，其餘性質均大致相似。故處理氣體之機件設計，與液體相同。又增高氣壓之機械，為處理氣體工作之基本設置，亦如處理液體之水泵然。

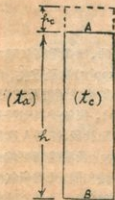
1. 空氣供給之機械(air supply apparatus) 在冶金時，或為燃料之

燃燒，或為氧化之原料，均須供給空氣，而供給之工具，則視所須量及風力之大小而定。風力小者，普通稱為通風(draft)，大者稱為鼓風(blast)。通風可分為兩種：一曰自然通風(natural draft)，無需機械，僅恃煙筒(stack or chimney)之設備；一曰機械通風(mechanical draft)，必需力量較小之簡單吹風機械，如風扇(fan)，或射風器(injectors)是也。至鼓風機械，力量較大，且為積極施力，故送風之速與量，均可準確節制或估計，一如活塞水泵之給水然。此類機械，力量較小者，如鼓風器(air blowers)，大者如鼓風機(blowing engines)，壓力大者為壓氣機(compressors)。茲將空氣供給之種類及工具，列表於後(第三十九表)。但在規模較小時，機械通風之工具，亦可用於爐橋下進口鼓風(under grate blast)之用。

第三十九表

| | | |
|------|----|---|
| 空氣供給 | 通風 | 自然——煙筒 |
| | | 機械 <ul style="list-style-type: none"> (1) 壓力通風——風扇，鼓風器 (2) 誘導通風 <ul style="list-style-type: none"> 射風器 抽風機 |
| | 鼓風 | <ul style="list-style-type: none"> 大量(large scale)——鼓風機，鼓風器，壓氣機 小量(small scale)——鼓風器，風扇。 |

a. 通風 自然通風，全恃煙筒內熱氣與外界冷空氣壓力之差別，而生對流，故通風之大小，大都靠煙筒之溫度(頂部至爐橋面)，及廢熱氣與冷空氣之平均溫度差，但大氣變化，及爐內燃燒情形，亦有關係。



第五十五圖

能生理論上必須通風之煙筒高度 h (呎)，可以下法推算之。設煙筒 AB 之高度為 h (第五十五圖)，其中廢熱氣之平均溫度為 t_c ，外面相當之冷空氣柱(air column)，有相等之高與橫切面，惟平均溫度為 t_a ，故空氣柱較廢氣柱為重，不能平衡而生對流，輕者上升，重者(空氣)由爐橋湧入補充之。設使 AB 增高 h_0 ，而使熱冷兩氣柱之壓力相等(平衡)，則冷氣量 Q 與熱氣量 $Q+Q_0$ 之比應等於其絕對溫度(華氏)之比，即

$$Q:(Q+Q_c)=h:(h+h_c)=(460+t_a):(460+t_c), h(460+t_c)=(h+h_c)(460+t_a)$$

由此得
$$h_c = \frac{h(t_c - t_a)}{460 + t_a} \dots\dots\dots (1)$$

此 h_c 爲不平衡之一段。熱氣高度(head)，即能決定通風力之大小，但後者普通以壓力 h_w 表示之，即兩氣柱之壓力差，等於 h_w 吋之水柱高度也。設 d 與 D 爲熱氣及水之密度，均以每立方呎若干磅表之，則得：

$$h_c = \frac{h_w D}{12d} \dots\dots\dots (2)$$

由(1)(2)
$$h = \frac{h_w D ((460 + t_a))}{12d (t_c - t_a)} \dots\dots\dots (3)$$

此 h 爲一理論之煙筒高度，視 t_a 及 t_c 爲轉移，惟因熱氣之滲漏及遭遇之阻力，故實得之通風力均爲 $0.8 h_w$ 。

機械通風，可分二種：一曰壓力通風(Forced draft)，將空氣經爐橋下吹入爐內，多用風扇，但亦有用鼓風器者；一曰誘導通風(Induced draft)，即在煙筒下裝一抽風機，或射風器，增加燃燒產品逸出之壓力或速率，間接可以加速對流作用也。有時兩種通風法，均採用之，而尤以鍋爐(boiler)中裝有空氣預熱器(air heater)(間接)，及給水預熱器(Economizer)時爲然。因此兩種設備，增加燃燒產品逸出時之阻力也。

風扇可分兩種，一曰推進風扇(disc or propeller fan)，形似一球體，中置旋轉軸，軸上裝若干形似推進器(propeller)之扇頁(fan blades)，當旋轉時，風由後半部入，被扇頁由前半部推出。此種扇祇能用於室內通風，如排除乾燥室中之濕氣等。扇出之風壓甚低，若供給之空氣，須超過某阻力，則無若何效率矣。

第二種名曰離心風扇(centrifugal fan or fan blowers)，形與離心水泵相似，較第一種之效率爲佳，爲供給大量低壓空氣之用(如倒焰爐及化鐵爐 cupola)，風壓均在一磅以下。空氣由兩面之中心吸入，由漿頁之端推出，繞圓周之出口，而達出口管。離心風扇分左右向(left and right hand)，旋轉速率甚高，與離心水泵相似。

射風器(injectors or jet blowers)之構造及原理，與上述射水器完全相同。普通置於煙筒之底，因高壓蒸氣之運動量，傳於廢熱氣，以促進後者逸出之速度。

抽風機 (exhausters or boosters) 與離心風扇之原理相同，其構造亦大部相似，惟僅有一個中心吸入管 (central inlet)，以便與欲抽出之氣體相連接。以原則言之，同一離心風扇，用於積極鼓風者，稱曰風扇，用於消極抽風者，即稱爲抽風機。

b. 鼓風 (Blast) 凡通風之壓力與供給量均大時，則必賴積極之鼓風。概括言之，凡風量大而壓小 (小於每方吋半磅者)，可稱曰通風，或爲自然，或輔以簡單之風扇均可。凡壓力超過此限度者，稱曰鼓風。而鼓風之機械，則視風之壓與量而定 (壓力均爲表壓力 gage pressure)。凡風力達十磅者，可用對旋鼓風器 (rotary blower)，達二十磅，可用單級離心壓氣機 (single stage centrifugal compressor or turbo compressor)；若壓力達一百二十五磅時，可用複級壓氣機，至於活塞氣機 (piston compressor) (亦分單級及複級)，則爲更大風壓之用。

鼓風機容量之大者，多爲冶金之用，例如冶鐵時，每出生鐵一噸，即須鼓入空氣三至四噸 (壓力由八磅至二十磅)。日出千噸之爐，所需空氣，非有大規模機械，不能供應矣。各種鼓風機之構造原理，與水泵及蒸氣輪之理相似，讀者可參考熱機專書，茲僅將常用之對旋鼓風器，略述於後。

最常用者爲樂次鼓風器 (Roots rotary blower)，爲兩個繞平行軸相反旋轉之鞋形葉 (impellor)，架於橢圓形之框 (casing) 中，框下爲空氣入口，上面爲出口，轉時即將葉與框間之氣，帶至上面排出之，實際兩葉間，及各葉與框間，無一刻無接近之點，惟僅爲接近，而非真正之接觸，致生摩擦。不過此空隙度 (clearance)，已減至最低限度，幾連成一不透氣之隔膜矣。此機應用頗廣，且壓力與風量均可靠，可以旋轉速率則定之。如出入口均爲四吋直徑，每分鐘轉五百五十次，則每分可送壓力二磅之風二百七十四立方呎。

2. 氣體預熱及乾燥之設備 氣體預熱及乾燥之設備，除氣體流動及壓縮，須輔以簡單之風扇及壓氣機外，餘均爲靜止之設置，不須原動力之消費。茲將方法之分類，列表於後 (第四十及四十一表)，更將各法之工具及動作略述之。

第四十表

| | |
|-----------------------|--|
| 氣體預熱 (gas preheating) | { 間接加熱制 (recuperation) 直接加熱制 (regeneration) } |
| | |

第四十一表

| | | |
|-------------------|---|----------------------------|
| 氣體乾燥 (Gas drying) | } | (1) 加冷法 (by refrigeration) |
| | | (2) 加壓法 (by compression) |
| | | (3) 聯合法 (combined method) |
| | | (4) 吸收法 (by absorption) |

a. 氣體預熱 氣體或空氣之預熱，可分間接及直接預熱兩種制度。其設備與工作，已見第八章，茲不贅述。

b. 氣體乾燥 普通空氣中，均含有水氣 (moisture)，含量多寡，以濕度 (humidity) 表之。在某一定溫度時，空氣中可能之最大含水量，稱為飽和量 (saturated vapor)，其濕度為一，或 100%。而此種飽和水氣之壓力 (saturated vapor pressure)，亦為一定數。普通均未達飽和量 (濕度即指達當時飽和量之百分數)，惟在夏季潮濕之地，亦相差不多。

火法冶金所需空氣，若含水氣過多，能減低工作效率：(1) 水氣吸熱而分解；(2) 雖不分解，亦與廢熱氣同時攜帶一部熱力逸去；(3) 潮濕空氣，含氧相當減低，定量之燃燒，需濕空氣之量，較乾者為多，熱之耗費亦較大，溫度亦較低；(4) 乾風可使作業之溫易於控制；(5) 乾風可得高溫，可使工作減少，燃料減少。

第四十一表所示乾燥法，約有四種，所用機械，不外上述增加壓力之工具而已。但此類乾燥法之執行與否，及執行至如何程度，則以經濟條件為限制，若得不償失，即不值得。

(a) 加冷法，如在夏季執行，工廠多以達 10°C 為限，以深井水冷之即是。若欲冷至 0°C 以下，吾人應用製冰機 (ice machine)，及液體銨 (liquid ammonia) 等，除在特別情形外，多為得不償失。

冷却能除空中水氣之原理如下：普通空氣中之水氣，多未飽和，若將此空氣冷至某一溫度時 (此溫度名曰露點 dew point)，即達飽和程度，若繼續冷却至某點，則水氣存在之量，以滿足該點時之飽和程度為限，多餘部分，即凝結成液體而分出矣 (在加冷時間，壓力不變)。

(b) 加壓法之原理，與加冷法相似。將水氣未飽和之空氣加壓 (溫度不變)，則水氣之局部壓力 (partial pressure of vapor)，亦隨之而增，達某一定壓力時，空氣即為水氣所飽和 (水氣之局部壓力，達該一定溫度時之最大

飽和水汽壓力 P_s), 設繼續加壓至 P , 超過 P_s , 即使水汽凝結, 以保 P 等於 P_s 。

(c) 聯合法者, 即加冷加壓, 兩法同時進行, 其效率較單獨任何一法為大。

(b) 吸收法係將濕空氣中之水氣, 用吸水劑吸去。普通吸水劑為乾燥之氯化鈣 (CaCl_2), 或濃硫酸, 但工廠中不常用此法, 故不多述。

為證明前三法之效率計, 特設一題於次: 設空氣之溫度為 30°C , 濕度為 85%, 大氣為一氣壓, 問 (1) 冷至 14.5°C 時 (壓力不變), 有幾許水汽凝結? (2) 若溫度不變, 須加若干有效壓力 (effective pressure) (即原壓不計), 方達飽和程度? (3) 若有效壓力為一氣壓 (溫度不變), 應有幾許水氣凝結? (4) 若有效壓力為一氣壓, 同時溫度亦冷至 14.5°C , 水汽凝結程度若何?

答: (1) 從水汽壓力表上, 可知飽和氣壓在 30°C , 為 31.5 mm. Hg, 在 14.5°C 時, 為 12.7 mm.

$$\text{水汽之部分壓力}(30^\circ\text{C}) = 31.5 \times .85 = 26.8 \text{ mm.}$$

$$\text{空氣本身與所含水汽之體積比率} = (760 - 26.8) : 26.8 = 733.2 : 26.8 = 1 : 0.0367.$$

$$\text{未凝水汽之部分壓力}(14.5^\circ\text{C}) = 12.7 \text{ mm.}$$

$$\text{空氣與水氣體積之比率}(14.5^\circ\text{C}) = (760 - 12.7) : 12.7 = 1 : 0.017.$$

$$\therefore \text{未凝結之水汽當全部} \frac{0.017}{0.033} \times 100 = 46\%$$

$$\text{已凝結之水汽當全部} 100 - 46 = 55\%$$

(2) 在 30°C 時, 空氣中之水汽壓力, 僅等於其最大飽和壓力之 85%, 故欲達飽和程度, 必須按 85:100 或 1:1.177 之比率增高。

$$\therefore \text{應增之有效壓力} = 1.177 - 1.0 = 0.177 \text{ atm. 或 } 2.6 \text{ lb/sq. in.}$$

(3) 有效壓力增為一氣壓, 則絕對壓力 (absolute pressure) 為二氣壓, 或 $2 \times 760 = 1520 \text{ mm. Hg.}$ 未凝水汽之部分壓力 (30°C) 仍為 31.5 mm.

$$\text{空氣本身與水汽之體積比率} = (1520 - 31.5) : 31.5$$

天... 鐵... 石... 成... 因... 由... 高... 溫... 至... 冷... 却... 均... 緩... 慢... 的... 高... 壓... 熔... 岩... 熔... 鐵... 均... 為... 極... 佳... 之...



1960

$$= 1488.5:31.5 = 1:0.0212.$$

$$\therefore \text{未凝結之水汽當於全部之 } \frac{0.212}{0.307} \times 100 = 57.8\%$$

$$\text{已凝結之水汽當全部之 } 100 - 57.8 = 42.2\%$$

(4) 在兩大氣壓與 14.5°C 時，空氣與水汽體積之比率為 $(1520 - 12.7):12.7 = 1:0.0084$ 。

$$\therefore \text{未凝結之水汽爲 } \frac{0.0084}{0.0367} \times 100 = 23.4\%$$

$$\text{已凝結之水汽爲 } 100 - 23.4 = 76.6\%$$

3. 氣體澄清或洗滌之設備 所有火法冶金之作業，多少均有氣體之產品(參閱第六章)，此種濁氣(crude gases)，爲一機械混合體，成分及多寡，視冶金之性質而異。挾帶之固體物質，名曰昇灰(flue dust)。氣體物質(vapors)，除水份外，多爲有揮發性之金屬化合物，未及凝結，出爐後，溫度稍冷，即凝爲煙霧(fog or mist)，若多假以時間，減低流速，亦可沉澱。氣體大半爲 N_2 、 CO_2 及 CO ，但間亦雜有少量 SO_2 、 Cl_2 及氮之化合物。帶 S 與 Cl 之氣體，均有害於生物， CO 亦然，除少量者可以高煙筒，使經空氣稀釋(dilute)至無害程度外，必須設法收集利用，或設法中和爲無害物質，方可任其外逸。

氣體澄清之目的有三：一曰利用潔淨之氣體，如鋼鐵冶金之冶鐵爐氣體，可作燃料；二曰利用昇灰(包括凝結之煙霧)；三曰收集或中和有害氣體，而成有用之產品。

氣體澄清之方法，略如第四十二表所示。乾法爲最普通之方法，即採用濕法者，其最初之幾個步驟，亦多用乾法，誠以乾法甚有效，設備簡單，且不需大原動力，故維持費較輕，而所得之昇灰，可直接供團壓之用。

第 四 十 二 表



乾法中之冷却，分普通冷却(如管外以空氣或冷水冷之 air or water

cooling)與冰凍法(freezing by refrigeration),後法先將爐氣,以普通法冷至 100°C 以下,再通入冰箱(refrigerating chamber),水氣結成霜時,不僅將浮灰帶下,而 SO_2 亦被凝結。熔霜時,既可得純 SO_2 氣,復得剩餘有價值之昇灰。惟此法甚費,多不值舉行。普通法較合用,祇須簡單設備,增加冷卻面積,或管之長度而已。冷卻所生之影響,可使氣體之體積減少,壓力減小,流速減低,許多氣體即可凝結,即固體細粒,亦起緊縮黏合作用,而便沉下。

減低流速,為使比重較氣流為大物質下沉之方法。欲達此目的,可以(1)加大流體之體積,(2)變更流體之方向,(3)增加流體之接觸或摩擦面積。按此種原則設計之工具,如離心除塵器(centrifugal dust catcher),曲折煙道(zig-zag flue),離心扇塵器(centrifugal dust separator)等均屬。此類工具之構造與應用,已詳第六章,茲不贅述。

濾過法之使用,大抵均在氣體已經過前法清除之後,其情形亦詳第六章。普通在一澄清工作中,多將上述各工具,聯成一系統,次第使用之。各工具之設計,可同時利用數種原則,如離心除塵器,係利用冷卻、減速,增加固體運動量,與磨擦面諸條件是也。

電沉法已詳第六章,茲不贅述。

濕法較乾法為透澈,可將氣中之細塵,清除至極低之限度。惟工具之設備費較高,維持費亦較大。且氣體溫度低落,濕度增加,若用為燃料,則損其價值矣。濕法清洗之步驟,為(1)溫度降低至氣體物質凝結煙霧,(2)使煙霧及細塵,得飽和之水份,(3)再用水使飽和之塵埃沉下。所用工具有水洗塔(water scrubber),太生洗氣機(Theisen gas washer),分水器(water separator)等,均詳第六章內。

濕法清洗,普通均在乾法之後,因此時大部昇灰,已用便宜方法除去,所餘不多,且為細塵,清除較易,不致有充塞之虞。惟濕法因氣體之性質不同,可分為處理非鐵冶金及鐵冶金之氣體產品兩種。非鐵部之原料複雜,故其氣體中,多含 SO_2 , SO_3 , Cl_2 等酸性氣體,若與水份化合,即成強酸,對於工具材料,如鋼鐵火磚水泥等,腐蝕甚鉅,必須用耐酸材料(acid-proof material),如水塔須用耐酸磚砌成,塔中之禦寒物,不用木柴等,而用耐酸之拉氏圈(Raschig rings),抽氣機與水泵,均須耐酸合金製造。若治鐵爐氣,則無此類有害氣體,僅用普通工具而已。至清洗工作情形,大致相似,可參閱第六章。

常用度量衡制簡明對照表

(1) 度:

$$1 \text{ 市尺} = \frac{1}{3} \text{ 公尺 (m)} = 33\frac{1}{3} \text{ 公分 (cm)}.$$

$$1 \text{ 公尺} = 100 \text{ 公分} = 39.37 \text{ 英寸 (inch)} = 3.2808 \text{ 英尺 (ft)} (\text{呎}).$$

$$1 \text{ 英尺} = 12 \text{ 英寸} = .30479 \text{ 公尺}, 1 \text{ 英寸 (吋)} = 2.54 \text{ 公分}.$$

$$1 \text{ 公里} = 1000 \text{ 公尺} = 0.622 \text{ 英里}.$$

$$1 \text{ 英里} = 1760 \text{ 碼 (yard)} = 5280 \text{ 英尺} = 1.609 \text{ 公里}.$$

(2) 量:

$$1 \text{ 市升} = 1 \text{ 公升 (l.)} = \frac{1}{1000} \text{ 立方公尺 (m}^3) = 1000 \text{ 公勺 (cc.)}.$$

$$1 \text{ cc.} = .051027 \text{ 立方英寸 (in}^3) = .0000353 \text{ 立方呎 (ft}^3).$$

$$1 \text{ 立方吋 (in}^3) = 16.387 \text{ cc.}$$

$$1 \text{ 立方呎} = 1728 \text{ 立方吋} = .028317 \text{ m}^3 = 28.317 \text{ 公升}.$$

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ l.} = 35.3145 \text{ ft}^3 (\text{c. ft.}).$$

$$1 \text{ 美加崙 (U. S. gal.)} = 3.785 \text{ 公升}.$$

$$1 \text{ 英加崙 (Imp. gal.)} = 4.543 \text{ 公升} = 1.201 \text{ U. S. gal.}$$

$$1 \text{ 立方呎} = 7.50 \text{ U. S. gal.} = 6.25 \text{ imp. gal.}$$

(3) 衡:

$$1 \text{ 市斤} = \frac{1}{2} \text{ 公斤 (kg.)} = 500 \text{ 公分 (g.)}.$$

$$1 \text{ 公分} = 15.4323 \text{ 格林 (grain)}.$$

$$1 \text{ 格林} = .064792 \text{ 公分}.$$

$$1 \text{ 金衡兩 (Oz. troy)} = 31.1035 \text{ 公分} = 480 \text{ 格林}.$$

$$1 \text{ 英兩 (盎司) (Oz. avoi.)} = 28.3495 \text{ 公分} = 437.5 \text{ 格林}.$$

$$1 \text{ 英磅 (lb.)} = 16 \text{ 英兩} = 7000 \text{ 格林} = 453.6 \text{ 公分}.$$

$$1 \text{ 英擔 (Hundredweight, cwt.)} = 112 \text{ 英磅}.$$

$$1 \text{ 英噸或長噸 (long ton)} = 20 \text{ 英擔} = 2240 \text{ 磅}.$$

$$1 \text{ 短噸 (Short ton)} = 2000 \text{ 磅}.$$

$$1 \text{ 公噸 (metric ton)} = 1000 \text{ 公斤} = 2204 \text{ 磅}.$$

$$1 \text{ 公斤} = 2.204 \text{ 磅}.$$

$$1 \text{ 氣壓 (atmosphere)} = 760 \text{ mm. 水銀柱} = 1033.3 \text{ g./cm}^2 = 14.7 \text{ lb./in}^2.$$

2.104
58
17632
11020
127832

1000

P₁ / (h₁)²

454
也 乃 ぬ ぬ 乃
ゆ

complete
computable.

ゆ
ゆ
ゆ
ゆ



國立中央

書 碼

454
468
4433

登錄號碼

013944

013944

93 11 83

中華民國三十四年十月重慶初版
中華民國三十六年七月上海再版

翻印必究
版權所有

大學普通冶金學一冊

定價 拾貳元
印刷地點外另加運費

著者 蔣導江

發行人 陳懋解

印刷所 商務印書館

發行所 商務印書館

3370

669/4033

4

