

Sir William Braeger 著
林光澂 譯

漢譯世界
名著

舊職業與新智識

商務印書館發行

中華民國二十六年三月初版

(64133)

漢譯世界名著
舊職業與新智識一冊

Old Trades and New Knowledge

每冊實價國幣壹元貳角

外埠酌加運費郵費

* 版 權 所 有 *
* 翻 印 必 究 *

原 著 者 Sir William Bragg

譯 述 者 林 光 澂

發 行 人 王 雲 五
上海河南路

印 刷 所 商 務 印 書 館
上海河南路

發 行 所 商 務 印 書 館
上海及各埠

(本書校對者施伯朱)

譯者序

我們在衣食住行所需要的一切東西，沒有一件不是由他人犧牲了相當的勞力、精神和資本而造成的，沒有一件不是經過複雜的過程的，而這些過程又沒有一件不是過去人們的經驗、智識和努力的結晶。可是我們當拿一把刀來切東西的時候，也會想起牠是怎樣鍛煉起來的麼？當拿一幅布來做衣服的時候，也會想起牠是怎樣織起來的麼？當拿一隻盤來盛東西的時候，也會想起牠是怎樣燒起來的麼？也會想起這些鍛煉、紡織、燒製和其他種種的製造過程是怎樣地由古代粗劣簡陋的方法，進步到現代複雜精巧的技術麼？簡單地說，我們行一件事是很容易的，而知一件事是很艱難的。不過我以為憑我們的能力，我們固然不能知宇宙間一切事物的底蘊，而為發展應世的工具起見，卻值得增加我們的智識，那麼關於日常事物的常識，當然是更應該知道的了。布拉格 (Sir W. H. Bragg) 這部書所包含的共有航海、冶金、染織、陶、礦等六種職業，這些職業都與我們日常生活息息相關，而且作者又能夠將各業的基本問題：如航海者怎樣在海中推算船隻的方

位金屬原子怎樣在鍛煉的時候發生變化，和牠對於鍛煉過程有什麼關係？各種纖維怎樣地自
然的狀態進至完成的織物，和牠對於紡織過程有什麼影響？染料怎樣在織物上發生色的作用，染
料分子是怎樣組織起來的，和在染色時將要發生什麼變化？黏土的特性是什麼，黏土的分子有怎
樣的結構和經過怎樣的過程而後變成陶器？礦工怎樣地在礦坑中排除積水和制服毒氣等等，講
得清清楚楚，使我們對於日常所用的東西都有基本的觀念。那麼這部書之足以大大地增加我們
的常識是毫無疑義的。至這部書的材料，雖然不過是布拉格氏在英國皇家學院一個聖誕演講會
裏所講的一些東西，但據他的序文所說，他在演講的時候，曾得到各業專家的幫助，而且當這部書
付印的時候，又會增加了不少的材料。我們祇要看本書插圖的豐富，就可以知道這部書是一種智
識的寶庫了。

除對於我們的智識有相當的貢獻外，我以為這部書同時又包含了三種重要的意義為我們
所不容忽視的。作者在他的序文裏明明白白地說：『我的演講是具有一種倫理的作用的，目的就
在說明過去人類的工作史，並不是徒供我們的玩賞，同時還含有一種明白而迫切的教訓，促着我

們速去利用那些源源增加的新智識，來積極改良我們的工藝。』以後在講到各種職業的時候，他又不斷地將新智識改變舊職業的例子一一地舉出來，使我們明白智識對於職業是有怎樣重大的關係。所以我們可以說，各種職業的進步，是完全由於新智識的幫助的；這是本書所含的第一種意義。

各種職業果然是完全依靠着種種新智識的幫助，但反過來我們也可以說新智識所以發展，未始不由於各業迫切的需要鼓勵着許多科學家，使他們努力為推進新智識的工作。退一步說就是各業本身技術的進步，也完全是由於過去經驗的累積。這一點尤以航海業和礦工業兩種所昭示的更為顯明。例如有在海上推算經度的必要，而後纔有計時錶和迴轉器的發明，有在礦中排除積水和抵抗毒氣的必要，而後纔有蒸汽機和種種氣的定律的發現。作者在第六講裏說：『兩種職業都是不斷地應用已有的新智識，藉以幫助他們解除種種的困難，同時因為這樣，這些新智識卻越發豐富起來，并樹立了一個偉大的科學發展的基礎。』所以我們又可以說種種新智識所以有日升月恆的進步，也是由於各種事業的需要迫之使然；這是本書所含的第二種意義。

本書所述的各種職業，在開始的時候，總是遭遇着無數的困難，但這些困難卻鼓勵着他們爲更努力的嘗試，并「樹立了一個偉大的科學發展的基礎。」同時科學家和職業家們當做推進新智識的工作的時候，也沒有一個不遇着種種的挫折和困難，而結果卻找到了成功的途徑。作者在第三講裏說：「當他們的智慧戰勝若干困難的時候，其中必定經過了許多失望的和得意的時期。……但就是成功也要攜着許多痛苦而來。」可見困難是不必害怕的，我們對於困難是萬萬不必屈服的，反過來說，困難也就是成功之母。所以這可以說是本書所含的第三種意義。

這本書共包有六種專門的職業，要將各種職業的內容說得清清楚楚，當然不是一個人的能力所辦得到的。所以作者說：「我不免要像一個一無所精的萬能者。」又說：「各業的專家一定能夠在這本書裏找到許多的錯誤，」但他序文裏所提及的幫助他的專家，已在十人以上，未曾提及的還不計其數，同時，他所得到的說明材料，如標本照片等等，又都是由各業專家供給的，可見他希望「能夠將各業的大略設計顯示出來」的目的，是一定可以達到的了。至於我翻譯這部書，那當然要比作者所做的工作容易得多。可是我對於各業的內容，也不是完全明瞭，尤其是各業所用

的術語，更使我覺得萬分的困難；因為這些術語未經教育部審定公佈的還是很多。假使沒有蘇繼、陳自新、熊大經諸先生供給我參考材料，孫桂林、熊大絳、沈昭文、林秉益諸先生幫助我翻譯名詞，這部書無論如何是翻不起來的。所以我除極誠懇地盼望各業專家予以指正外，還要對於上述諸位表示充分的感謝。

譯者誌

二五，四，二

原序

有許多孩子很喜歡知道爲什麼這個或那個東西會由手工做出來，所以我決意在一九二五年的聖誕演講裏，專門討論新智識怎樣繼續不斷地改變舊工藝——尤其是那些曾經助長英國的繁榮的種種工藝——的問題。其次，我又須承認我的演講，是具有一種倫理的作用的，目的就在說明過去人類的工作史，並不是徒供我們的玩賞，同時還含有一種明白而迫切的教訓，促着我們速去利用那些源源增加的新智識，來積極改良我們的工藝。實則我們，一切國家的人們，既然不得不以我們手中所作的東西，來換取食物，維持生計，事實上我們就該得使這些東西做得好而有趣，然後別的國家纔願意和我們交易，這是顯而易見的。此外，我們還有一種理想在我們的眼前，這種理想雖然似乎不容易達到，可是我們卻要時常向着牠努力前進；這就是：我們必須使人人都有工作，而且又都覺得工作優良的樂趣。

當我依次用各種職業來說明我的見解的時候，我很顯明地覺得我不免要像一個一無所精

的萬能者。各業的專家一定能夠在這本書裏，找到許多的錯誤。可是我很希望我這部稿子，能夠將各業的大略設計顯示出來，雖然牠們的詳細內容是極不完全的，有時也許是有錯誤的。至於那些沒有差誤的地方，那完全是許多熱心的朋友幫助我的成績。他們的名字我已經隨時在書中提過了，現在假使還要在這裏，將他們一一地舉出來，恐怕這序文將要過於冗長了。不過我卻要特別地感謝海軍部的調查課 (Research Department)，因為他們曾經幫助我陳列種種實驗的材料，以說明現在水手們所用的航海技術。哈德非爾德爵士 (Sir Robert Hadfield) 特斯克博士 (Dr. Desch)，哈特非爾德博士 (Dr. Hatfield)，洛森海因博士 (Dr. Rosenhain) 和他的在國立物理實驗室冶金部 (Metallurgical Department of the National Physical Laboratory) 的同事，曾經幫助我說明冶工的技术；克勞斯雷博士 (Dr. Crossley) 和他的在棉花研究會 (Cotton Research Association) 的同事，黎芝大學 (Leeds) 的巴克教授 (Professor Barker)，威勞斯博士 (Dr. Willows) 及其他諸人又曾幫助我說明織工的技术。此外，自不列顛染料公司 (The British Dyestuffs Corporation) 和格林教授 (Professor Green) 那

裏，我又得到關於染業的許多最有價值的幫助。沒有麥勒博士 (Dr. Mellors) 和威次伍德先生 (Frank Wedgwood) 我的陶業演講恐怕將要無從下手。多爾敦氏諸先生 (Messrs Doulton) 曾經借給我許多很美麗的陶器標本。最後關於礦業方面，又承惠勒博士 (Dr. R. V. Wheeler) 和巴特雷先生 (Batley) 替我設計和陳列許多實驗的材料；這都是值得特別感謝的。

安得拉德教授 (Professor Andrade) 應許我借用他所苦心搜集的許多關於科學史的古書和說明材料，并會很熱心地對於我的演講加以若干有價值的糾正。來溫斯爵士 (Sir Henry Lyons) 曾經替我向南翠星吞 (South Kensington) 的科學博物院，借到許多古代的工具和機械，其中有不少是有歷史的價值的，使我得在演講的時候，陳列出來，這也是我所深表不忘的。

這真是在皇家學院 (Royal Institution) 擔任聖誕演講的人所感覺的一種無上的愉快，就是每一個人都願意幫助他，使那些到會聽講的青年都感到興趣。當然的，當這些演辭預備付印的時候，我曾經增加了不少的新材料，因為我似乎覺得，在這裏將那些演講時所不便解釋的科學問題，寫得比較詳細一些，是很有益的。不過書中對於演講的形式，還是繼續保留着，所不同的，就是：

凡書中所提起的參考材料，不是標本模型和幻燈照片而是附載的圖畫罷了。

一九二六年十月布拉格序於不列顛皇家學院

目次

原序

譯者序

第一講	航海業	一
第二講	冶工業	四五
第三講	織工業	八五
第四講	染工業	一二五
第五講	陶工業	一六五
第六講	礦工業	二〇五

舊職業與新智識

第一講 航海業

舊職業的歷史常常是有趣的，因為這是一部人們求達某種目的的努力史。每一種小小的成功，總是發現於多次的失敗以後。所以就是各種職業的工具，也有一些事蹟可以告訴我們，假使我們知道他們的術語。一把鐵槌或一張風帆的形狀，一具織機或一盞礦燈的設計，沒有一種不是好幾年的實用經驗的結果。原來人們是需要爲自己使用或和別人交易的目的，而製造各種東西的。例如在吉卜寧 (Kipling) 的故事裏，南達翁茲 (South Downs) 的人，都知道好好地飼養他們的羊羣，希望能夠得着相當的收入，可以和住在塞塞克斯 (Sussex) 森林區域的人互相交易。塞塞克斯的人知道用他們的煤熔化生鐵以造種種兵器，而南達翁茲的人卻需要兵器來抵抗殺

羊的狼羣。所以無疑地，這一般牧羊的人都不得不用力地改良牧畜的方法，以期因得到更好的收穫的緣故，可以換到更好的東西。在同一的情形下，那些森林區域的冶鐵工業，也就這樣地發展起來了。

當交易的範圍漸漸推廣，各地的人民都能夠更自由地和距離較遠的地方，并以種類較雜的東西互相交換的時候，各種工藝就漸漸地發展和漸漸地精巧起來了。這時個個人們必須努力打算怎樣使他們的東西可以極端地滿足別人的欲望。也許他們這時已經發展一種職業——陶器業，皮革業，羊毛業或冶金業——了，他們至少必須維持他們出品的品質，不然是一定要失掉他們的業務和交易上的一切利益的。同時他們的貨物又必須用船隻來運載，這些船隻當然是由那造得最好的人造起來，并由那最好的舵工來駕駛的，所以造船業和航海業也繼續不斷地進步起來了。那些在某個時期做得很好的。不久就有更能適應新環境和新需要的東西來代替。和蠶絲發現於歐洲的情形一樣，新的造船材料被人們找到了一個偉大的工業也就因此發展起來了。以後當人們知道閱讀印刷的書籍，和印刷工業因讀書風氣的激動而大大發展的時候，人們的嗜好和習

慣又漸漸地變遷。於是一個國家就常常有一種新事業發生，如十六世紀時愛爾蘭人初次知道種植馬鈴薯一樣；同時他們的農業也跟着環境改變了。例如當煙草發現以後，就有許多職業隨着發生或變化。人們一知道採用油質的燃料，全部的工程事業就立刻有巨大的變遷。這些例子我們并不要一一地舉出來；我們所看見的，就是各種職業怎樣一代地變遷下去；和人們的欲望，環境及機會所發生的無量數的影響，怎樣地變化種種職業，使他們有的發展，有的衰微；所以任何職業的歷史，其實就是一種人類的歷史。

一種變遷常常是一些新智識發動起來的。所謂新智識或許是由於長期的動作或觀察的結果。一個冶鐵的工人當他要把一塊鋼浸入水中使他變硬的時候，為什麼先要團團地攪動戽斗中的冷水呢？這大概是因為這種動作可以平均水的溫度，使那塊鋼不至受不規則的冷，而發生非必要的和有害的應變。木匠用木質的槌去敲他的鑿子，同時他的鑿子是木柄的；但冶工卻用輕質的鋼鑿和鐵槌，去劈削金屬的鑄品。這是因為後一種工作的目的是在破碎鐵的晶體，其所需要的一種急驟而偉大的力，所以敲擊的時候，必須敏捷和銳利而不需長久的時間。反之，一個木匠要在

一塊木頭上劈開一條很長的割口就需要一種用力較輕而時間較長的敲擊了。同時石匠的工作，適介於兩者的中間。他必須連續地敲下無數的晶體的小塊；所以他所用的是一柄鋼鑿和一把沈重的木槌。此外在一切的職業中，還可以找得到無數的像這樣應用智識於工藝方面的例子。這些智識當然都不是突然地發生和成熟，牠們都是慢慢地和不知不覺地蓄積起來，而且是由師父到徒弟一代代地傳下去的。

有時也有一些智識是因偶然的幸運發生的。有一種最美麗的彩色，即玻璃所能放射的，據說因為一個工人偶然地將他的銅勺落入一罐的玻璃溶液中，纔發現出來。現在自我們看起來，這種彩色其實是由於銅在極細微的分子中的分散作用 (dispersion)。在同一的情形下，我們下文所說到的紐昆門 (Newcomen) 氏，即活動蒸汽機發明家中的一個，所以發現用冷水噴射到圓筒上就可以凝結筒中蒸汽的原理，也是因為他曾經放一些冷水在一個圓筒的活塞上，以阻空氣的漏入，不知道那個活塞裝得不好，以致有些冷水湧入圓筒，而筒中的蒸汽就此凝結起來了。

這種表現事實很為顯明的偶然的幸運并不常常看見。那些比較常見的，往往惟有眼光銳敏

和心裏正在注意這種現象的人纔可以捉到牠們。可是這比較地不甚顯明的偶然現象，卻常是新智識所由發生的重要泉源。這個我們在遊戲和工作方面是都會經驗過的。現在可以舉出一個很常見的例子來：假如我們要想在玩板球，網球或其他球戲的時候學到某種特殊的技巧，我們常常會潛心冥想，聚精會神於別人的動作，并繼續不斷地嘗試這種手法，那麼到了一天我們自會突然覺得別人或自己的某種小動作是可以達到這種目的了；可是假如我們不曾時常注意這一點，這種機會是不會捉到的，所以這種的成功，完全是由於心裏先有相當準備的緣故。在同一的情形下，一個畫家可以忽然瞥見他所久經嘗試的結果；一個冶工可以忽然覺到怎樣可以使鋼變成某種特質；一個陶工可以忽然發現他的瓷器釉面正在依着他的預定目的開始變化。這些發現雖然都不過是一點點的痕跡，但自職業家看起來，卻已儘夠發展了。換一句話說，新智識不過在他的耳邊輕聲細語，而他已經完全聽到了。

這是很奇怪的，那些解決一種難題或啓發一種機會的新智識，常常發現於需要這種智識的職業以外。也許有時牠們是來自別種職業的，但大多數的時候，牠們總是由一二研究家發現出來，

這些研究家對於他門所發現的東西到底可以怎樣地應用，往往是不知道的。例如法拉第（Faraday）當第一次發現電流在一個線圈中的變動可以使第二個線圈發生電流的原理的時候，並不會想到一個偉大的電力工程可以建造在他實驗所得的基本原則之上。十九世紀前半的實驗家當努力研究電在真空的玻璃球中的狀態的時候，也並沒有知道後來的X射線或無線電話會應用到他們研究所得的結果。像這樣的事實古今來不知道發現了多少次，所以我們居然就蓄積了許多有用的智識，雖然在當時我們并不知道牠們的用途。同時我們也不知道什麼時候我們或許可以不需要種種新智識。爲了同一的理由，我們如要解決任何職業的難題，就不能不用到許多超出本業範圍以外的智識了。所以今日許多偉大的工業家，常常雇用精通各種學識如物理學，化學，動物學，植物學等等的人員，去研究他們所須解決的難題，同時至少假使他們是聰明的話，也必定要給予這些人員以充分的自由，使他們可以從任何方面，他們所認爲適當的，研究這些難題。這種實驗室所做的工作，當然都是很有趣的，而且也比較地不容易給外人知道。所以我這個聖誕演講的目的之一，就是要說些關於這方面的材料，這些材料我以爲不但有趣而且也很重要，因爲假

如我們要使種種的職業在日日進步的世界中維持着相當的地位，這些智識都是很需要的。

現在讓我們先講到一些航海業的內容，這就是我們所要陸續討論的第一個題目。

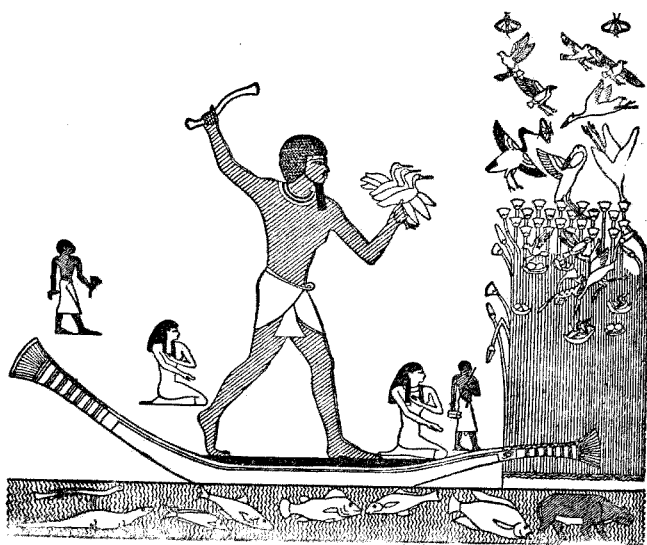
這真是一條很長的路，自原始時代的獨木舟發展到現在時代的大汽船——起始是這樣地簡單，現在是這樣地複雜，這樣地有力量。可是自起始到現在，關於航海業的本身，有幾點是可以說的。第一，航海者對於自己的船隻，總有一種很顯明的愛護心，同時對於他們在船隻中的管理法，也總有一種自負的心。原來一個人對於他自己的工作的愛護心，是世界上一種最美麗的東西。各種工藝的進步，其實不單是競爭的結果。同時人們還有一種藝術的感覺，或做事要做得好的一種欲望，這種欲望就是自欣賞成功的快樂心理發生出來的。所以當人們知道把木頭放在水面，或如埃及人一樣，將蘆葦縛在一起以便渡水的時候，他們對於這種工作就漸漸地精巧，并覺得非常自負了。第二，人們祇能夠利用他們所能得到的材料。埃及人用紙草（Papyrus）做船，就是因為那時木料奇缺，祇有載笨重的東西的時候，纔值得用到木頭。所以以賽亞（Isaiah）說：『他們用蘆葦載使臣到海外去。』此外上古時代許多可以得到獸皮和適用的木料的地方，他們都是用外面蒙

着獸皮的筐形小舟叫做『科雷古』(Coracle) (見插圖二甲) 這個我們在不列顛上古史中是常常見得到的，但同時——有時甚至到了現在——東方的各大河中，也有形式相同的小舟。無疑地當時『科雷古』的製造法，必然曾經成爲一種偉大的藝術；所以愷撒 (Julius Caesar) 很滿意地自不列顛人學到了『科雷古』的製造法以後，就靠牠遠征各處。有個古代的地理學家斯特累波 (Strabo) 曾經說，他坐在一個柳條編成的小筐裏到埃及去。這些故事都是很動人的啊！

在很遠很遠的南方各海中，又有一種船舷裝着支架的奇怪構造的小船，叫做『卡特馬倫』(Catamaran) (見插圖二乙和丙)。牠的設計極像裝着側車 (side-car) 的機動腳踏車，所以也和這種機動腳踏車一樣，自外觀看起來，是和任何效率的原則相反的；可是牠很能適應牠的目的。牠能夠走很遠的海程和抵抗惡劣的天氣，雖然牠也有牠自己特殊的危險。牠祇能在風向和牠的船舷支架處於同一方向的時候航行，因爲牠的穩定狀態完全靠支架的重量維持着；不過支架的重量也可以用一兩個人坐在上面而增加起來。所以他們常說這是『一個人的風』或『兩個人的風』。其次，牠也不能隨便地搶風，因爲牠的風壓極大，吃水極深。所以假使牠要回航的話，牠一

定不能像平常的船隻那樣地換方向，使牠的船舷支架處於和風向相反的地位。反之，牠必須完全翻轉，用船頭做船尾，同時并須改變桅和帆的地位。

『卡特馬倫』能夠發展到這樣的程度，當然要經過長久的時間。也許這種設計是不能再好的了，假使我們想到牠們的材料是怎樣地粗劣，和牠們的用途是怎樣地偉大。牠們曾經在距離極遠的島嶼間往來貿易；曾經出海捕魚，并曾經由熱



圖一 這是捕鳥者用紙草造成的小船：船身極輕，可以駛進淺灘或蘆葦裏。捕鳥者立在一張席子上以免兩足爲水所溼。讀者們可注意蘆葦中的鳥巢和水中的魚和其他動物。

心的船主們用以互相競賽。馬梭諾斯基博士 (Dr. Malinowski) 在他的一本書(1) (上述的插圖就是從這本書採下來)裏，也曾描寫：當一隻船拖到岸上的時候，牠的水手們怎樣地坐在艙面爭論這隻船和其他船隻的豐功偉蹟。所以這是很容易的知道，這種船隻的每一點的構造和每一件裝飾，都含有一段：當時人們怎樣地自他們的海上經驗得到種種利益，和怎樣連續不斷地把思想和勞力灌注到牠們上面的歷史。

假使當我們冥想的時候，我們能夠自這種構造比較簡單的小船上看到這許多東西，那麼當我們想到像現在這樣偉大的海上汽船，我們將要怎樣地驚奇呢！當然，我們不能夠在這很短的時間內，將汽船的一切情形都講出來；如要這樣我們就將要陷於迷離愴怳之中了。所以這都不是我的目的；我所計劃的就是要指定航海術的一方面——怎樣在海中確定船隻的方位——來講，因為這一點的本身，已經可以成爲一篇極有趣的故事了。

這個我們所要討論的問題所以發生的原因，是非常簡單的。當航海者看不見陸地的時候，他是沒有陸標可望的，又當浮雲蔽天的時候，他是不能用太陽或星來引導船隻的。他沒有普通的方法

法來告訴自己，他到底在什麼地方，或者應該取什麼方向纔可以達到他的目的地。所以在從前的時候，他常常留心着不使他的船隻駛到看不見陸地的地方。可是就是在那個時候，那些埃及太爾（Tyre）和羅馬的航海者已經能夠建立許多航海的奇蹟了。希羅多德（Herodotus）曾經告訴我們一個埃及人航海的故事，自這個故事裏，我們可以看到這些埃及人必然繞過非洲一周，因為他們駛出紅海以後，不久又在西方發現了。希羅多德的故事有許多是可疑的；這一個故事似乎連他自己都不大相信。他說：『我自己不信這個故事是確實的，雖然有許多人相信這樣。』他所以這樣地虛心，是因為這些航海者自稱在他們大部分的航程中，太陽常在他們的右面。這個，自我們看起來，其實是不錯的，假使他們曾經繞着好望角（Cape of Good Hope）自東方駛到西方。但是希羅多德不明白這個理由，所以他警告讀者不要輕信這個故事。可是這個使他發生疑竇的原因，到使我們相信這個故事或許是正確的了。

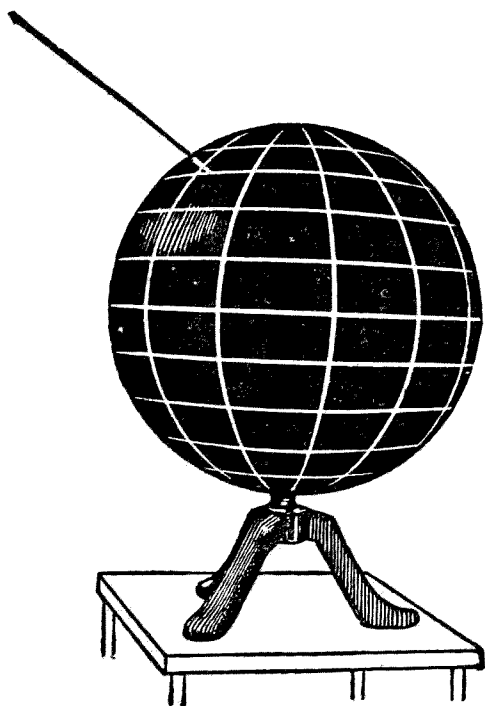
這是很自然的，當人們對於世界面積的智識開始進步的時候，他們就想抄近路再也不願沿着延長的海岸線航行了。他們當可能的時候，總是利用天空的太陽和星；而且他們也知道什麼方

向是東和西，什麼方向是南和北，假使天空是看得清楚的話。但是我們須要知道方向和方位是完全不同的；能指出那一個方向是北方這是一件事，能找出到某地去的航線或算出離開某地還有多少路程，這又是一件事。所以當人們知道依着星在海中駕駛船隻，或是在廣大的沙漠中旅行，同時并能利用天體做時計，而觀察日夜的逝流和季節的轉變，所謂天文學就漸漸成形和發展了。天文學發展以後，人們的第一需要雖然已經滿足，可是一般人們對於天文學的研究，還不肯因此終止；他們漸漸覺得這個科學的本身，也有值得研究的價值。因此他們又繼續發現了許多奇異的東西，這些東西以後都有極重要的實際用途。例如當時所發現的天體和地球繞着一軸而互相旋轉的事實，就是他們研究所得的一個最近的結果。接着他們就知道地是一個圓形的東西，而不得不用着經度和緯度等等名詞。有了這些智識以後，一隻船要在海中找到牠的方位的難題就可以有解決的辦法了。

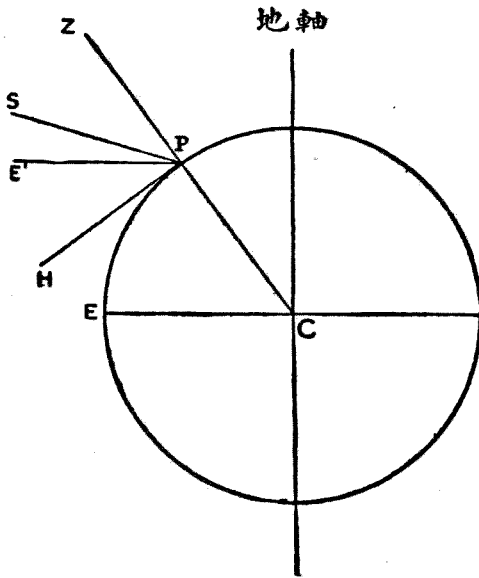
這是比較地容易去找地球的緯度，假使太陽是能夠看見的話，因為如果我們知道這是什麼季節，那麼根據午時，太陽在地平上的高度——這就是一天中間太陽離開地面最高的一點——

就可以算出地球的緯度了。現在讓我來說明一下（參閱圖二）。這是聖誕演講時代地球的一個大地球儀，上面已經畫好經線和緯線。球上有一根很長的繩子黏着的一點，代表一隻船的方位；繩的他端繫在樓座的一盞燈上面，這就是代表太陽。現在我們如使這個地球儀在一軸上，自這根繩正切着一面的地位旋轉到使牠正切着另一面的地位，那麼這兩面距離的中點，就是那隻船正對着太陽的方位，同時這根繩也要和球面形成一個最大的角。這個角就是我們航海的時候，所要實際測量的。但是牠并不能直接將地球的緯度表示出來。祇有當太陽在赤道的時候，這就是說，當這盞燈和地球儀的中心在同一地平的時候，地球的緯度纔可以直接知道。因為在這個情形之下，所謂緯度就是等於一個正角和這個角相減的差數。可是太陽在一年之中，祇有兩次在赤道上，一次是春分，一次是秋分。在夏季的時候，牠是在赤道的上面的，在冬季的時候，牠是在赤道的下面的。所以通常我們必須將所測到的太陽在地平上面的角度加減一些，纔可以算出地球緯度的確數。

航海者必須用能夠測量角度的儀器去觀察太陽。從前所用的十字測角器（cross staff）就是這些儀器中最簡單的一種。測量者祇要將測角器的一端放在眼前，如圖四所示，然後再將十



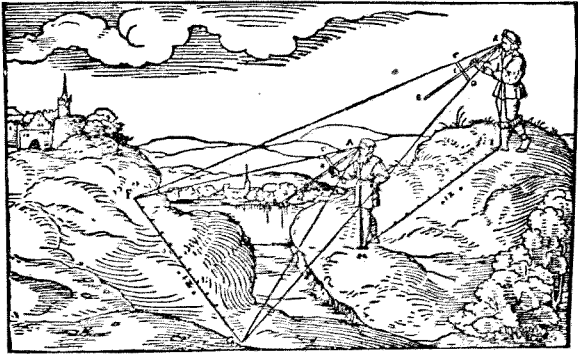
圖二 這是上述的地球儀。那根繩是在圖的上左角，直接連着代表太陽的一盞燈。繩中包着一根有彈性的橡皮線，所以當這個地球儀旋動的時候，這根繩常保留着緊張的狀態。下圖表明書中所述的角度較為明白，讀者可以仔細地參閱一下。



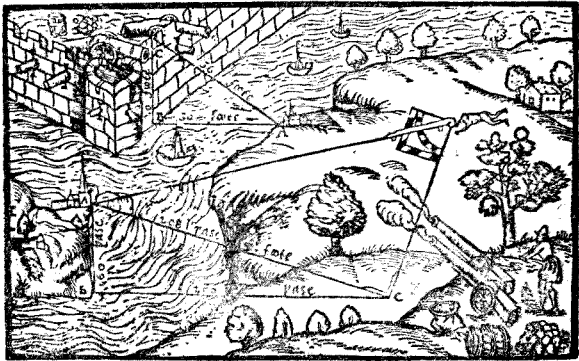
圖三 這條船是在 P 點, PS 是連接太陽和這隻船的直線。時間是在午時, SPH 是太陽在地平上的角度。SPE' 角是太陽在赤道上面的高度, 其大小隨一年的季節而變遷。E'PH 角是上述兩角的差額, ZPE' 角是地球的緯度。

字脚慢慢地移動，等到一端指着太陽，一端指着地平的時候，牠的角度就可以立刻算出來。不過，這種儀器一定十分不精確；因為單單眩目的太陽光一項，就可以使測量者難於措手了。這種儀器同時也可以用來測量地面種種的角度。下圖（採自狄格士 Thomas Diggs 的萬角測器圖誌 “Pantometra”）對於這一點解釋得很為明白。大概每具測角器總有三組的十字脚，那最小的一組，就是用以測量最小的角度的。

有一種更為著名的儀器——牠的標本現在還有許多留存着——叫做星盤（astrolabe）。牠是一個金屬的圓盤，大多數是黃銅或青銅製的，上面有個小環附着（參閱圖五和插圖三乙。）圓盤的直徑上，安着一個活動的指針，叫做照準規（alidade），能夠繞着圓盤的中心旋轉。照準規的兩端各有一個小孔。這種星盤是用小環吊着的，所以當牠懸掛起來的時候，那個圓盤將要在太陽光中直立着。觀察者祇要將照準規慢慢地旋動，等到牠的兩端的小孔，同時有太陽光射進的時候，或是等到這兩個小孔都能看得見星光的時候，假如是看星的話，那個圓盤上的角度就可以看到了。現在南嚳星吞（South Kensington）的科學博物館（Science Museum）裏，還有許



(甲)

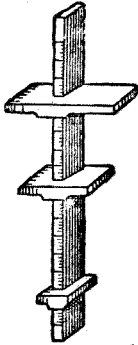


(乙)

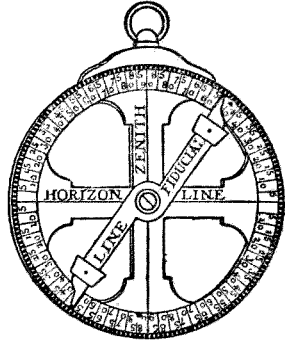
圖四 (甲)十字測角器測量地面圖。(乙)十字測角器在作戰時之功用。兩個測量者同時用 F 和 G 兩點，並量算兩付十字腳的角度和兩腳中間的距離。等到他們都量好之後，FG 的長度和 F 及 G 對於測量者的距離，就都可以算出來了。下列圖五有十字測角器的詳細圖式可以參閱。

多很美觀的星盤陳列着。本書插圖三所用的標本，是在法連西牙（Valencia）附近島嶼的岩石上找到，據說是西班牙的阿美達艦隊（Spanish Armada）遺在那裏的。至於牠所以那樣地結實和沈重，那當然是要牠很穩定地挂在強烈的海風中的意思。此外星盤又常常刻着美麗的圖案；也有額外多配着幾個圓盤，以備應付天文學上的複雜計算的需要的。

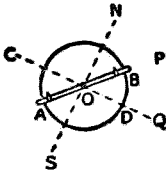
十字測角器和星盤自一七三一年那個更爲有用和更爲精確的反射六分儀（reflecting sextant）發明以後，就漸漸淘汰了。但是當哥倫布（Columbus）向西航行尋找到印度羣島（Indies）的時候，他所有的不過是上述兩種儀器，和那時剛纔通用的磁性羅盤。他不能找出他所到地方的經度，其實這種智識對於他也沒有什麼用處，因爲他對於他所要到的幾個國家，祇有一些極不完全的觀念。同時他又似乎把他的航程估計得太短了。當時人們對於歐亞二洲的總長的流行觀念，差錯得很爲利害，而他也似乎把世界看得比實際的面積小得許多。他所用的地圖，在歐亞二洲的中間，除幾個虛構的島嶼和一個哥倫布所認爲可以跨越的大洋以外，簡直是別無所有。那裏知道在這兩個大洲的中間，還有一個極大的空間，而其中還有一個美洲呢！下圖六就是哥倫



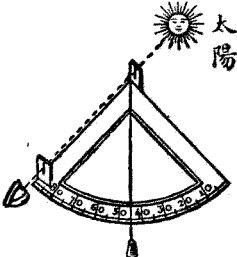
十字測角器



星盤



用星盤說明高度的簡圖



百代的象限儀

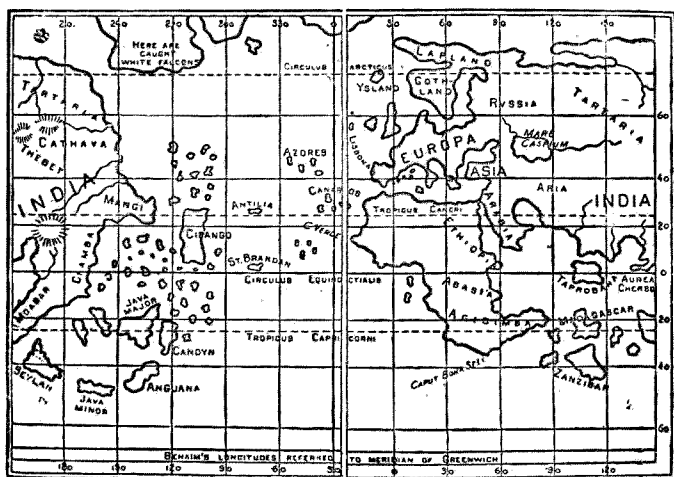


採自八世紀的著名文學聖路易祈禱文中

圖五 上列左上角是十字測角器的圖式，右上角是星盤的圖式，其餘係用以說明星盤的用法的。

布的朋友俾罕氏 (Martin Behaim) 所畫地圖的縮影。現在這個地圖還陳列在努連堡 (Nuremberg) 的市政廳裏。牠所用的地名是非常有趣的，例如：西彭古 (Cipango) 就是日本，塔不魯巴拿 (Taprobana) 就是錫蘭 (Ceylon)；此外我們又看見好望角 (Caput Bona Spey or Cape of Good Hope)，喀沙雅 (Cotha, a)，韃靼 (Tartaria) 和其他許多我們所知道的地名。

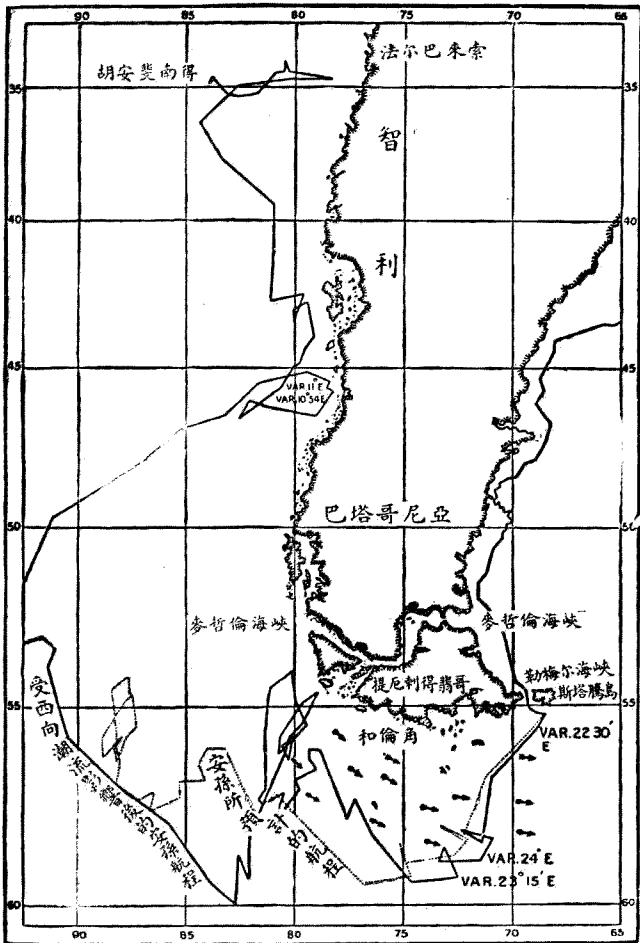
如何決定經度的問題，直至十八世紀的中間，還不會解決。可是那時解決這種問題的需要，已經是非常迫切的了。例如遲至一七四



圖六 俾罕氏地圖的縮影。

一年的時候，安孫 (Anson) 在他的環行世界的航程中，當他越過和倫角 (Cape Horn) 以後，還犯了一個大大的錯誤，以為他是在陸地的西面十度，其實他已經離開陸地很近了。又如當他在胡安斐南得 (Juan Fernandez) 的緯度中，離開智利 (Chili) 海岸大約有三百英里的時候，他要想向這個島嶼進行，可是因為他不能確定那個地方的經度的緣故，以致他不得不先向大陸開駛，一直等到看見了陸地以後，方纔依着正確的緯線進行，以達到他的目的地，——其實據他以後的觀察，當他開始這個迂迴的航行以前，他就早在遠處隱約地看見這個島嶼了。因為這個無謂的遲延，他的水手多死於壞血病的，大約有八十人。下圖七就是自安孫的牧師替他所寫的航海記事中採下來的。

現在讓我們再將經度的問題詳細地觀察一下，使我們可以明白這個難題的實際內容。假如有一隻船在一個汪洋大海中，而牠的駕駛者能夠觀察太陽在天空的行動。那麼他祇要測量太陽在最高的時候，離開地平的高度，就可以算出他所在地方的緯度了。同時他也可以知道這個時間就是午，午以後的日子，就是他所過的日期。但是假如他要知道他的經度和地球上其他標準地方



圖七 圖中下半截的虛線，表明安孫所預計的航程；虛線右面的黑線表明他的實際的航程。上角的黑線表明他為避免找不到胡安斐南得的失誤起見所取的迂迴的航線。

——例如格林尼治 (Greenwich) ——的經度中間的差異，他就必須決定什麼時候是他的午和什麼時候是格林尼治的午。只要他能夠知道這兩個時間中間的差異，就不難找到他所在地方的經度。因為太陽在表面上看起來，每二十四小時要環繞地球一周，假定航海者的午比格林尼治的午遲四小時，那麼如果他用穿過格林尼治的經線做他的起點，就可以知道他是在繞行地球一周的航線上走了六分之一的路程了。可是他怎麼知道什麼時候是格林尼治的午呢？這個答案到是很簡單的，只要他在他的航程中帶了一具計時錶 (chronometer) 并在開駛以前將牠對準了格林尼治就可以了。不過在安孫的時候，沒有一個人能夠製造一具比較準確的計時錶，這個方法他們是想不到的，所以那時常常有人建議航海者應該用天體做他的標準去觀察月在羣星中間的行動。因為月在任何時間的方位可以預先算出來，航海者也常常可以得到種種所謂『月距』 (Lunar distances) 的計算表。假使表上所列的距離是根據一二標準地方的時間算出來的，那麼航海者只要測量月的方位，和考查那個計算表，同時并將他的時間和表上的時間互相比較一下，就不難知道他的經度了。

可是這個方法在實行上是非常困難的。因為要在一隻活動的船上很精確地測量月的方位，本來不是一件容易的事，更加那時又沒有精美的儀器，這豈不是難上加難的麼？而且自本書的附圖（插圖三甲）看起來，月的方位在二十四小時中間的變動是極小的，變動既小，測量的時候便不能不力求精確。具體點說，假使我們在弧上算錯了一分，經度上面便要差了半度；可是就是這樣程度的精確，那時船上所用的儀器也是談不到的。

但是這個問題終久是太迫切了，所以在英王查理士二世（Charles II）的時候，格林尼治地方就單單爲了要計算月距的目的，而設立一個皇家觀象臺（Royal Observatory）。於是這個在天文學上和航海學上都有偉大貢獻的天文建築，就是這樣地成立起來了。後來他們一直繼續着計算月在各時間的距離，直至一九〇七年這種工作纔不再成爲這個觀象臺的重要工作的一部，雖然這種材料是早已沒有什麼用處了。換一句話說，計時錶的發明已經將經度的問題完全解決了。

可是在我們將要丟開這個計算月距的方法的當兒，我們須要注意，這個方法到曾在不多年

以前，有過一次偉大的貢獻。在一九一五年的年頭，南極探險團 (Antarctic Expedition) 對於他們所帶的計時錶，忽然發生了一些不信任的心理。這些計時錶曾經於一九一四年十二月在南佐治亞 (South Georgia) 地方最後校準了一次；但是他們對於這一次的校準工作根本有些懷疑，所以他們所認為比較可靠的最後一次的校準，還是那在前一年十月倍諾斯愛勒 (Buenos Ayres) 地方所舉行的一次。因為自從那時以後，他們都是在冰雪中過着艱苦的航程，船身顛播不已，而天氣的變遷又是非常嚴酷的。在這種環境之下，他們就想起那計算月距的舊法。他們以為有兩種理由可以使這個方法有得到準確的結果的機會：第一，他們的船那時已被堅冰包圍，飄流得很為穩定；第二，他們又在船上找到一具三吋的望遠鏡。所以一到了黑暗的冬月可以看見星的時候，詹姆士 (James) 和威士力 (Worsley) 二人就立刻將這具望遠鏡，安在一隻活動影片照相機的三腳架上，開始做觀察的工作。後來到了六月二十四日，他們忽然很倖運地發現了幾個掩星的現象 (Occultation)，能夠在每顆星經過月盤 (Moon's disk) 的當兒，將月距測得一毫不差，因此他們就覺得那些計時錶已經差了四分，而經度也差了一度了。這個結果自牠的本身說

起來，是很爲重要的，而自他們看起來，則尤其重要，因爲假使根據海圖，他們以爲在不久的時候，他們的船就將要擱在乾燥的岸上，其實那時他們下面還有一千八百尋深的海水哩！

現在讓我們再回到我們故事中所斷的所在罷。在一七一四年的時候，英國國會特地組織了一個委員會，專門討論經度的問題，由牛頓 (Sir Issac Newton) 和其他學者供給材料，牛頓替他們預備了一張表，將那時科學家所建議的「合於理論而難於實行的」幾個測量經度的方法，都列在裏面，其中的第一個就是要造一具十分準確的計時錶。他的建議書裏有這樣的幾句話：

「我們現在需要一具報時十分準確的錶；可是因爲船隻的動搖，冷熱的變化，燥溼的差異，和緯度不同的地方重力的不同種種原因，這樣的一隻錶還不能構造出來。」

牛頓提起重力，當然他的心中是想到那有擺 (pendulum) 的鐘了。原來在他的時候擺和擺輪 (balance wheel) 都已發明，不過這兩個大發明還不能使那時的鐘適應航海家的需要，至於以前的時計那就更不行了。這個自下列所引的一段文字可以看得出來；這段文字是自一六六一年所出版的一本有價值的著作，人類的工業 (Human Industry) 中摘出來的：

『可是這些所謂最準確的鐘和錶都有缺點，而且都沒有校準的方法。原來錶在第一半小時內，常走得比第二半小時快，以後第二小時又比第一小時慢，第三小時又比第二小時慢；其理由是因爲牠們的彈簧，當旋緊以後，如開始鬆動，和一切猛烈的動作一般，在起頭的時候，總是比以後的快。至於鐘的走動，卻恰好和錶相反；牠們在第二半小時內，常走得比第一半小時快，因爲牠們的擺，和一切笨重的東西一樣，當開始擺動的時候，總是比較地慢，以後越近地心，牠們的擺動也越快。同時那些懸擺的線（既然拉得很長）也可以增加擺錘的重量，而使牠們動得更快。關於這些缺點，據泰科（Tycho）所述，他已和赫森的蘭得格累甫（William Landgrave of Hesse）努力尋找糾正的方法。可是後來他們到底怎樣地進行，他並不會告訴我們。』

牛頓既然將測量月距的方法和其他種種建議，詳細告訴委員會，同時他的意見書又被委員會採作報告書的基礎。所以當時國會就宣佈了一種懸賞徵求的辦法，規定凡能夠在到西印度羣島（West Indies）的六星期航程中，測定經線，而其確度達半度以內的，獎英金二萬鎊；錯誤在一度的三分之二以內的，獎英金一萬五千鎊；在一度以內的，獎英金一萬鎊。在這個辦法之下，假使

一個應徵者要想得獎，就必須使他的計時錶——假如他是用這種儀器的話——在六星期中確守時刻，不得有二分以上的差誤。

當時應徵的人很多，結果獎金被約克郡 (Yorkshire) 的木匠哈禮孫約翰 (John Harrison) (見插圖四甲) 得去。他的計時錶的成功，大半是由於他的設計中所包含的溫度上的補償作用 (Compensation)。這個著名的計時錶，現在還藏在皇家觀象臺裏，牠的形式和補償溫度上的變化的設備，具見插圖四乙和丙。牠的原理非常簡單，但卻是很巧妙的。原來那時的錶，當溫度升高的時候，因為擺輪略略漲大以致擺動稍緩的緣故，常常會漸漸地走慢起來。哈禮孫爲補償這種缺憾起見，在他的設計中，特製了一種由兩塊金屬薄片黏合起來的短桿，一面是銅，一面是鋼。當溫度升高的時候，因為銅比鋼膨脹得利害的緣故，這條短桿自會彎曲起來，而那條彈簧上，被短桿觸着的一點，自會略略移動，使彈簧本身縮短一些，而動作也會慢慢地加快起來。這樣一來，溫度對於擺輪的影響就完全抵消了。

一七六一年哈禮孫約翰的兒子哈禮孫威廉 (William Harrison) 乘船到馬得拉 (Ma-

deira) 當這隻船離開朴次茅斯 (Portsmouth) 十八天以後，他就開始和船長爭辯這隻船所
 在的方位，因為他十分相信他的計時錶。據船長照航位推算法計算的結果，這隻船大概是在西經
 十三度五十秒，所以如地圖所示，他必須改變路程，方能駛到馬得拉。但哈禮孫以為據他的推算，這
 隻船是在西經十五度十九秒完全無須改變路程。後來船長總算很勉強地接收他的意見，依舊照
 原來的路程行駛，結果第二天果然
 到了馬得拉。這一次，和以後數次到
 西印度羣島的航行的成功，使哈禮
 孫越發相信他是已經解決舊日的
 難題了。所以從此以後，計時錶就成
 為一切船舶的重要儀器之一。同時
 皇家觀象臺也負擔了兩種責任，一
 種就是校準海上所用的計時錶；一



圖八 圖中箭形表明哈禮孫所乘的船的實際方位，虛線表明船長所計算的方位。

種就是根據天空羣星的行動，來紀錄準確的時間。至於擔任紀錄這種推算所得的時間的，就是臺上所設置的許多鐘。這些鐘都是非常的準確，對於補償溫度上的變遷的機構也極乎精緻。但他們爲要使所守時間的錯誤減少到最低的限度起見，還把這些標準鐘都藏在有固定溫度的屋子裏。這種鐘每組都有主鐘和僕鐘各一，主鐘藏在地下，僕鐘擔任一切使主鐘能夠繼續行動的工作，主鐘所擔任的，就是要全神貫注在時間上面，不使牠有一些差錯罷了。所以現在我們有無線電話的，都可以每天一次地靜聽觀象臺的鐘聲，而校準我們的鐘錶。下列插圖五就是這種標準鐘的照相。當時因爲拍攝的時候，需要露光兩分鐘的緣故，圖上的分針已經有些模糊，至於秒針那就更看不見了。同時一切的船隻凡裝有無線電的，也都可以每天照樣地校準鐘表一次，所以在這些年代，計時錶已經失掉牠的重要的地位，至多能夠守好一日的時間也就夠了。

假使天空爲雲霧所蔽，太陽，月和星的方位無法測量，上述的方法就不能應用了。在這種環境之下，航海者所依賴的，就祇有羅盤和根據羅盤的航位推算法。不過這些方法都不容易得到良好的結果。例如在從前的時候，航海者常用種種粗笨的方法，如自船頭上將一種東西投入水中，而後

計算船身經過這種東西所需的時間以求船隻的速度。現在的航海日誌也可以給予航海者以準確的數字。但事實上海潮的影響不能不加入計算，同時羅盤的指示和航海者解釋這種指示的方法，也不免常有發生錯誤的可能。又當一隻船的方位測定以後，航海者也要依賴羅盤來引導船隻，使牠朝着應取的方向行駛，但羅盤仍不能算是一種最完全的儀器，雖然當這種儀器流入歐洲的時候，歐人對牠是怎樣地歡迎和驚異。因為羅盤所指的，並不是真正的北方，牠的方向所差的角度很大，我們如要到處用牠，必須先用磁鐵將全世界測量一下。同時假使船中載有巨量的鐵，或者船是鐵所造的話，牠還要大大地受着影響，而發生偏向的狀態；而且偏向的程度，還要隨着船在地面的方位和牠所取的航程而差異。所以這是不足驚異的，一般航海家還要尋求一種更爲完妥的指示方向的方法，以備在純粹用鋼造成的船上應用。

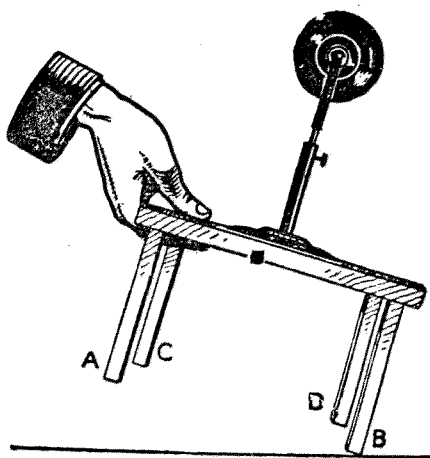
在這個緊要的關頭，一種具有不可思議的迷人能力的儀器叫做迴轉器 (gyroscope) 的，忽然發現了。牠的原理是非常簡單的。假如一隻輪或是一隻陀螺，或是其他相同的東西，正在繞着牠的軸線而旋轉的時候，我們忽然又使牠同時繞着別個軸線而爲第二次的旋轉，那麼這個東西就

將要漸漸地趨向某方而移動，使第一軸線與第二軸線合而爲一。現在讓我用實驗的方法來說明一下，使讀者可以更爲明白一些。

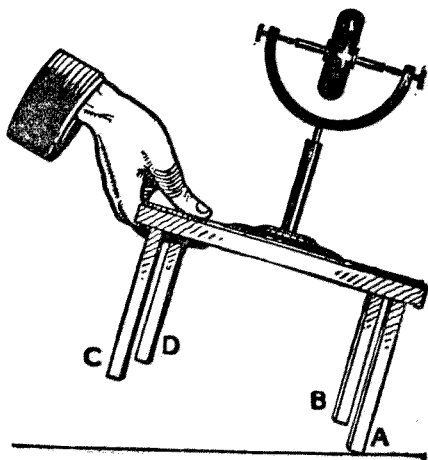
我們可以拿一具迴轉器——一隻如圖九甲和圖九乙所示的樣子的大陀螺——來實驗；牠是能夠繞着一個平軸而旋轉的。這個平軸是安在一個Y形架子的軸承上，同時架子的本身又能夠繞着一個直軸而旋轉，如圖上所示。我們可以將這具迴轉器放在一張四脚桌上，桌脚用A、B、C、D四個字來代表。迴轉器所繞着而旋轉的軸線和A、C及B、D是平行的。現在我們可以將手指按着桌沿的下面，慢慢地將桌舉起，使A和C離地而B和D站着不動。然後我們就以B、D爲軸線而使這張桌和桌上所有的東西繞着旋轉。這時平軸B、D和陀螺所已經繞着而旋轉的軸線，是恰好平行的，所以那個安在Y形架子上的軸承裝着平軸的部分，並不覺得有任何緊張的扭動，同時我們也不覺得比陀螺不動的時候多費氣力，換一句話說，一切都是很平常的。

現在我們可以換一個方向，將這張桌子輕輕舉起，使C和D離地，而A和B站着不動。那麼假使這個陀螺是很重的，我們將要立刻覺得當陀螺正在旋轉的時候，我們如要這樣地將桌舉起，一

定要比當陀螺不動的時候，難上幾倍；一定還要在軸承上對於陀螺用一些力。同時我們所見的結果是這樣的：陀螺將要在牠的直軸上旋轉，Y形架子的管將要在插座裏轉變方向，使牠所繞着而旋轉的軸線和A B平行。不過這時陀螺在牠的直軸上的旋轉是含有特殊意義的。例如假使我們



圖九 甲



圖九 乙

是立在CD一面，而陀螺的旋動是順着鐘錶時針的方向的，那麼牠的軸線向着我們的一端就將要向着右面，即C點，旋動。因為這張桌子自立着AC一方的人看起來，是順着時針的方向而傾斜的，所以陀螺，自同一方面的人看起來，也要順着時針的方向而旋動。

此外我們也可以用裝在平衡環上的回轉輪，來做同一的實驗工作；這種平衡環是可以使軸線向任何方面旋轉的。現在假使我們當執着這種回轉輪的時候，使我們的身體向四周旋動，同時回轉輪，也是繞着直軸而旋轉，那麼假使牠的旋動的方向和我們的一樣，我們是看不到有什麼變動的形跡的。但是假使我們旋動的方向和回轉輪的完全相反，那麼這個儀器上面的陀螺，就要處於不穩的平衡狀態（unstable equilibrium）下，而幾乎要立刻翻轉過來，使牠的和我們的旋動方向完全一致。

這些動作都可以用動力學的基本原理來說明，但是我們祇要知道這個事實，就是一個旋動的陀螺，常有使牠所繞着的軸線和新的旋動力的軸線互相平行的趨勢也就夠了。

就理論上說起來，一個陀螺假使沒有受着新的旋動力的影響，一定會永遠維持着同一的方

向而旋轉不已。所以我們常常有一種理想，想做出這樣的一個陀螺，使牠可以成爲一個永遠不變的指示方向的儀器，（這裏所謂方向完全是對於空間而言，並不是以安放陀螺的屋子爲對象）那麼假使牠的軸線對着某星而旋轉，牠是要永遠指着這個方向的。可是事實上因爲我們萬萬不能造成一種架子，使裝在上面的陀螺可以絕對自由旋轉的緣故，這種理想竟然沒有實現的可能。所以當任何陀螺旋動的時候，牠的平衡環上總是不斷地有一些勢力壓迫着，這種勢力，自陀螺方面看起來，就是迫牠時常改換新的旋轉軸線的一種壓力。

這種迴轉器原理的應用，在實用上說起來，還要靈巧而有趣。現在讓我們回到上面所說的第一種迴轉器。我們上面是用動搖桌子的方法迫牠旋轉，實則假使我們能夠極仔細地觀察迴轉器的旋轉狀態，我們將要見到，即使我們不將桌子傾斜，牠的旋轉軸線也要慢慢地轉變，這個現象，祇要用顯微鏡細細地注視迴轉器架子上面的一二細點的活動狀態，就可以很容易地觀察出來。原來一張桌子，因爲地球轉動使牠和屋子也隨着轉動的緣故，總是在不斷的動搖狀態之下，而動搖的軸線就是地軸，所以放在桌上的陀螺，在旋轉的時候，也有極力地使牠的軸線和地軸平行的趨

勢。但是我們裝置陀螺的方法使牠不能絕對地順着這個趨勢，因為牠不能向上傾斜的緣故，於是牠就不能不常常指着真正的北方和南方了。這真是很奇怪的，如培理（Perry）在他的旋動的陀螺（*Spinning-tops*）一書裏所說，一切引擎，發電機，汽車軸，以及其他旋動的機械，在牠們的架子裏，總是有極力向上傾斜而指着北極星的趨勢。所以假使一具迴轉器上的陀螺能夠裝置得法，而又能極迅速地旋轉，——用電旋轉是極便利的——牠就要在很短的時間內指着正確的方向，而且能夠很久地維持着相同的地位。這個就可以算是一個真正指着北方而又不受造船材料的影響的羅盤。

但是這是很顯明的，我們必須想些法子，去減除那些由於船隻在海面的動搖所發生的困難。假使迴轉器安在甲板上，而牠的架子當然會不斷地向各方傾斜。現在假使我們將在陸地上所用的迴轉器安放在一張安在平衡環上面的桌子上，我們上節所述的情形當然也不會改變。但平衡環因為屋子隨着地球的轉動而旋動的緣故，事實上是不會發生影響的。羅盤的軸線在最終的時候，也要指着真正的北方和南方；即使其中或會發生一些小小的變動，但這些變動是無足重視的。

所以同一的平衡環的設備，在海面祇可以除去船隻動搖的影響，而不能免掉地球旋動的影響。

那麼這個就是我們在實際上所用的指示方向的方法了。不過事實上這種儀器，比我們所描寫的還要複雜一些。因為平衡環和軸承的裝置總不能這樣地自由可使迴轉器的活動絲毫不受影響，我們如要企圖減少這些棘手的複雜問題，是不能不需要極大的聰明和實驗上的技巧的。

一種完全的儀器，不但可用以指示真正的方向，而且可用以駕駛船隻。例如我們可以在迴轉器上裝置一具電力儀器，當船隻駛出航線以外時，電流的接觸就可以立即撥動機器，使舵的方向復歸於正。這個就是我們所謂機械的舵工（mechanical quartermaster）了。真的，一般人都以為用迴轉器操舵要比用手操舵好得多。

所以現在的航海家已經有了一種合用的羅盤了，這種羅盤雖然成本極昂，但可以免去磁鐵的不能確定的缺點。有了這種儀器他的計算將要更為準確，同時在駕駛方面也將要更為得力。可是假使太陽和星都看不見的話，這種儀器還是不能幫助他直接決定船隻的方位。所以這裏我們又有一種應用近年所發現的新智識的機會了。這種新智識，我確信我們是都知道的，就是利用無

線信號來尋找方向。這種方法常常有偉大的成功，雖然有時還不免有些不可思議的錯誤，爲我們所不能了解的。所以近來航海家常用這種方法來決定方向。將來假使這種電站可以漸漸地增加，也像燈塔那樣地散佈在各處重要的地方，這種方法的用途，當然還會更爲推廣。不過關於應用方法方面，現在還有一個問題要待我們解決，這個問題就是：到底應由船舶發佈信號而後由岸上的電站推算呢？或是反過來由岸上發佈信號而後由船舶推算呢？第一個方法的優點，在使那個靈巧的機械能夠安放在穩定的陸地上；計算的手續可以更爲小心，如裝置的費用可以不計的話，而所得的結果也可以較爲準確。但是當船舶的方位需要推算的時候，這種消息就要立刻發給需要這種消息的船隻，假使有許多船隻同時需要這種消息，發電站就要感到應付艱難了。第二個方法顯然地較爲便利，因爲每隻船可以單獨計算這些時時發佈信號的岸上電站的方向。

還有一種推算船隻方位的方法是由戰時的需要發展出來的。這就是用一組電警器 (hydrophones) 在海中排成一行，然後用電和岸上的電站連絡。在這種設備之下，只要船旁的水，有小量的電荷爆發起來，那些感受電力的波浪，就可以立刻激動電警器，使牠們一地被感應。所以

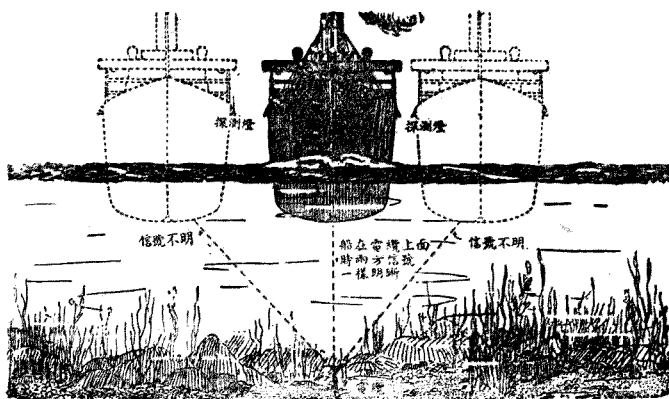
我們如能比較這些電警器感電的時間，就可以將船隻的方位推算出來。這種方法非常精確，而且不容易受潮水、海流或其他種種自然界的變動的影響。不過要實行這個方法，必須先有許多電站，而這些電站在平常的時候是沒有的，同時岸上推算所得的結果，一定還要用無線電播送到船舶方面。大概當一隻船祇在離岸不過數里的地方，而天氣又是非常惡劣，如發生狂風大霧的時候，這種方法是最有用的。因為在這種情形之下，其所得的結果將要非常地精確。

此外我們還可以用『導程電纜』(leader cable) 為推算船這方位的一種有用的指南。這個觀念的發生，大約有三四十年了，在一八九三年的時候，史蒂芬孫(C. A. Stevenson) 就已經得到這個觀念的專利權。以後在一九一一年，這個方法又曾在哈得孫河(Hudson River) 試驗過一次。牠的原理是很簡單的，方法就是在電纜上維持着一種交流電；當船隻駛到牠的相近地方的時候，船上的線圈和電話機就會受到相當的影響。在大戰的時候和戰後各年，這個方法在實際上曾經受過極嚴格的試驗。和許多其他的新發明一樣——其實也可以說和大多數的新發明一樣，第一次的觀念總是一個最重要的開場，第一次的試驗總是保證有燦爛的將來。可是接下去就

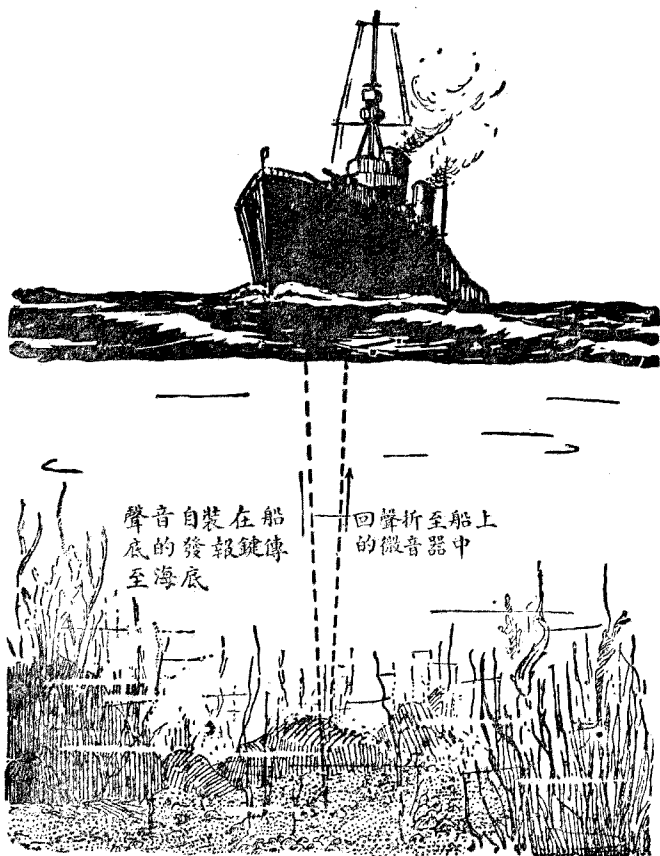
是一個最緊張的時期了，在這個時期裏有許多不能預料的困難接着發生，不能不想法應付；所以這常常是一個很長的時期，充滿着挫折和失望，但卻不能不硬着頭皮掙扎着，等到最後一步，纔算成功了。現在海底事實上確有這種電纜埋藏着，以備在大霧蔽空，船舶在險惡的海中行走的時候可以用着牠。（作者當演講的時候，是用一隻模型的船來說明的，這隻船能夠在裝在桌面的導程電纜上活動。船上載着兩個指示的線圈，每個線圈各用一付替續器（relay）和一盞燈連絡着——一盞是紅的，一盞是綠的。當我們在電纜上用手拖動這隻小船的時候，這兩盞燈就會依着船和電纜的相對位置而輪流地或同時亮起來。）

現在我們可以再講到一種極有用的和極有趣的近代新智識的實用方法。近年以來，一半為研究純粹的科學起見，一半為促進電話的發展起見，聲的問題已頗受一般人的注意。到了大戰的時候，航海者又都覺得一般船隻須要不必停船拋錘，也能夠決定海水的深度，於是向日學者所建議的方法，現在也開始研究了。他們在船殼的外面或內面裝置一具儀器，使牠發出一種尖銳而清晰的聲浪直達海底，然後再從那裏折回。他們就靜聽這種回聲，并計算發聲和回聲所需的時間，以

決定海水的深度，可是這種方法在實踐上有兩種困難。第一，聲浪在水中行動極快，差不多一秒鐘可走一英里，我們要把這個極短的時間計量得十分精確是不大容易的。第二，一種能夠感到回聲的電話機，一定要過於靈敏，一聽到初發的聲音就不能再聽回聲了。所以他們很聰明地在這具儀器的兩個主要電路上，安放了兩個電鑰，一個用以操縱電槌，一個用以管理電話機，使牠們及時活動。同時又裝置了一個電樞，使牠們接觸的時間可以任意變動和精確計算。在這種設備之下，他們祇要慢慢地變換間隔的時間，等到回聲聽得見的時候就行了。這個儀器的優點，自下列所示的西印度羣島某處



圖十 導程電纜圖



圖十一 用回聲測量海底圖

第二講 冶工業

冶金的事業發源極早，牠在最初的時候，到底是怎樣發展起來的，我們並沒有明白的紀載。現在我們所知道的，都不過是那些自古代的墳墓中掘出來的工具和軍器，或是那些自各處地下掘出來的古物所給予的材料罷了。不過我們說，冶工是而且一定常常是他的社會中一個重要的份子。因為人們能力的發展，大部分是靠著金屬的應用，所以社會上對於冶工的需要，總是在繼續不斷的形態下。他曾經為人們造戰時的軍器，他又曾為人們造種種平時所用的工具和飾物。每個人都需要他——無論是漁人，獵人，樵人，農人，造屋者和一切練習手藝的工人。

假使我們想起國內的鄉村社會，我們的腦海中總活湧着那個為鄉村生活的重要中心的冶工業，過去的情形如此，現在的情形也是如此，雖然現在冶工業務的對象，已經漸漸地自馬蹄鐵改趨於發電機。至於當那多年以前，戰士們的刀甲，和工人們的工具必須由冶工製造的時候，冶工事

業便越發重要了。或許這就是一個原因，爲什麼現在社會上冶工會這樣地多；同時我們卻不是這樣常常地遇着染工或陶工，更少地遇着織工或紡工。在從前的時候，每個人家都會自紡自織，可是冶鐵工場卻必須設在一個鄉村或一個堡寨內的中心點。其原因就是由於冶金事業常常需要一種極專門的技藝。牠是一種艱難的手藝，充滿着許多麻煩的要素，并有無窮的發展的機會；牠曾經發展了幾千年，而且現在進步得比從前更快。牠將要使我們更覺得有趣，假使我們自己問自己在這個事業裏有什麼東西會使牠的特點顯現出來。

這是很利益的，假使我們現在就來解答這個問題。大概冶工業所以這樣地複雜，是由於三個主要的原因。第一，這並不是容易的事去將金屬自礦石中鎔化出來，因爲鎔爐必須在長時間內維持着很高的熱度。我們可以很容易地想像，在這種種必要的技藝和學識完全發展以前，幾百年的時期是不得不過去了。

第二，金屬和合金的性質，大半是靠着牠們的混合的要素。牠們有的是柔軟而可延的，有的是堅硬的，有的是強韌的，有的是容易生銹的，有的是含有其他特性的。所以金屬的種類雖然不多，而

可能的合金卻不知其數。而且每種金屬或合金又都有牠們的特性。

第三，任何金屬或合金的性質，除牠的混合要素外，又隨着牠的內部結構或原子組織而差異。不過現在各種金屬的內部結構，可以用熱的作用或機械的作用，如鎚擊，滾展，引長等等方法大大地改變起來。此外一種金屬在任何時間的形態，有時也要受着牠的過去歷史的影響。這個又是使冶工業變成複雜的一種原因。

當我們想到這些事實的時候，我們自然不會驚疑爲什麼冶金業發展到現在的階段，會經過這樣長久的時間。同時我們也可以確信這個工藝在牠的發展途中一定會經過許多有趣的階段。這些進步的成績直至最近爲止，都是自那個最簡單的嘗試和錯誤（trial and error）的方法發展出來的。

可是在過去五十年中，我們已經知道怎樣地去精密研究金屬的內部結構，并曾經找出來許多有趣味的和有價值的東西。我們已經知道爲什麼舊日的冶工會遭遇到許多困難，爲什麼有時成功而有時卻會失敗。所以在新智識的潮流之下，近代的冶金業已受到了不少的恩澤；雖然現在

我們所知道的離開那些一切應該知道的還是很遠，但近代冶金業之確曾得到一種新刺激是毫無疑義的了。換一句話說，因為許多最有用的合金和牠們的鍛鍊方法的發現，冶金業已經大大地發展起來了。這些新發現的合金和鍛鍊方法，以下我將要一一地加以簡單的說明。現在讓我先談一些冶金業的歷史中的特殊事蹟，使我們以後可以知道牠們是怎樣發展出來的。

現在讓我們從頭說起來吧。當人們最初需要軍器或工具的時候，他們總是先用那些最易到手的東西，如火石，石頭，木頭，獸骨，蘆葦或各種纖維等等；金屬無疑地，到了後來纔發現，因為牠們是難於得到的。大概種種金屬當初發現的時候，總是屬於礦石的形式，所謂礦石其實就是化學的混合物，並不顯明地具有所含金屬的特性。所以我們如要得到金屬，便要先將礦石鎔化，而鎔化的方法是必須經過長久的期間纔可以知道的。

地面各處常常可以找到一堆堆的純粹的金屬，牠們或許就是人們所最先採用的。其實我們也有種種充分的理由使我們相信這樣。例如坎拿大各處有許多巨大的銅塊，其中有不少具着被人割削的痕跡。巨大的鐵塊也常常可以在地面找到，這種鐵塊顯然地是自空中落下來了的。牠們當

隕落以前就是在空中行動的流星。羅斯 (Ross) 所率領的北冰洋探險隊曾經於一八一八年在巴芬灣 (Baffins Bay) 發現約克角 (Cape York) 的厄斯啓摩人 (Eskimos) 所攜帶的小刀是自麥爾維爾灣 (Melville Bay) 的一個大隕星敲下來的鐵所鑄成的。阿根廷 (Argentine) 的鄂丹巴 大隕星 (Otumpa Meteorite) 現着被人割削的痕跡有六處之多。(一) 墨西哥 有一個大隕星，重約半噸，其中有一個長逾九公分的缺口，嵌着一把原始時代的工人所遺下來的破銅鑿。自這些事實看起來，可知上古人民第一次大概總是用這種方法得到生鐵。所以埃及 人和迦勒底人 (Chaldeans) 都叫生鐵做『天賜的金屬』。希臘 人也叫牠做『雪得洛斯』 (Sideros)，其語根和『星』的拉丁文 『雪得斯』 (Sidus) 是相連的。

我們不知道人們到了什麼時候纔知道鎔鐵取金，但我們可以確信人們得到任何冶金的學識，總必要經過長久的時間。銅 和錫 曾經很容易地被舊日地中海的商人找到；他們所得的錫，我們知道，是自西班牙 和不列顛 帶來的。青銅 是銅 和錫 的合金，但比銅 硬得許多，可以用以鑄造刀劍斧鑿 之類。同時還可鑄造許多東西——如銅像，盾牌 等等，并可置入模型，加以雕刻，而鑄成各種美麗

的形式。此外還可以加以槌擊使牠更爲堅硬。例如埃及人曾將他們的青銅器鍊成這樣地堅硬和銳利，使牠們可以割削花崗石。這幾種就是我們上文所提及的兩種金屬的特徵——合金的特性和金屬特性受機械處理 (mechanical treatment) 後所生的變遷——的例子。

有的國家，先有青銅而後有鐵；有的國家，石器時代 (Age of Stone) 以後，就緊接着鐵器時代 (Age of Iron)。但有的國家鐵和青銅卻同時發現。在埃及的脫雷城 (Troy) 舊址和其他地方，我們常常可以找到幾千年以前的舊鐵器。現在我們知道鐵的本質有時是極壞的。好的青銅常比壞的鐵來得適用，雖然在鍛鍊上青銅是更需特殊的技術的。但好的鋼和鐵卻更難鍛鍊；這或許就是許多需要用鐵的地方改用青銅的理由。波里比阿 (Polybius) 在他所記的西元前二一三年塞爾特人 (Celts) 侵入意大利的故事裏，曾提及塞爾特人所用鐵器的簡陋。他說羅馬人所以能夠在米蘭 (Milan) 附近的阿杜華 (Addua) 一役中把塞爾特人打得大敗，就是因爲塞爾特人的長刀極易彎曲，而且無論如何用力祇能向下斬削一次，一次以後，刀口就捲曲起來，除非有充分的機會讓使刀的人能夠用足把捲曲的地方在地上踏平，就不能再用了。

在埃斯蘭 (Iceland) 的前期居民史略 (The Story of the Pre-Dwellers) 裏也有這一段文字：

『於是大戰開始了，士泰因塞 (Steinthor) 在他的陣前用手左右奮擊；但他的精製的刀并不銳利，當牠擊着盔甲的時候，他必須用腳在地上將彎曲的地方踏平。』

在十三世紀的埃斯蘭古史裏，我們又可以見到紀載卡丹的最後一戰的文字：『於是卡丹拔出他的刀來，但他並沒有王的恩賜的兵器……鄂斯威夫 (Oswif) 的兒子和甲勃蘭 (Gublang) 圍着卡丹；他們一共五人，但卡丹和安 (An) 祇有兩個。安打得很好，并不離開卡丹——波爾第 (Bolti) 執着「胡特畢忒」 (Foolbiter) 遠遠地站着。卡丹努力戰鬥，但他的刀不行；所以他常常把刀在脚下踐踏。』這裏卡丹所用的刀顯然是軟鐵鑄造的。同時「胡特畢忒」卻一定是一把好刀，因為牠有一個名字；同一的理由，所以英王亞塔爾 (Arthur) 的刀叫做「埃克斯開利巴」 (Excalibur)，胡蘭德 (Völundr) 的刀叫做「密曼格」 (Mimung)。這種事實就是好刀和好盾都有著名的名字，很可以說明我們的觀點。因為好和壞的鐵既然有這樣大的差異，而鋼和鐵

又可以因化合和鍛鍊方法的差異而大有不同，那麼最好的鋼和鐵當然是可以享到偉大的聲名了。此外鋼和鐵的質地的好壞，又可以決定個人一生的幸運。一個能夠鑄造好刀的冶工，常可以成爲偉人。有時一個冶工的名字還可以永垂不朽，例如冶工威蘭 (Wayland the Smith) 曾成爲許多北歐稗史中的英雄。英格蘭的譯本并將他的工廠置在八克斯郡 (Berkshire) 的白馬谷 (Vale of the White Horse) 裏。聽說默林 (Merlin) 還有他所製的刀一把。

要鑄造一把好刀，應有三個成功的要素。第一，必須有良好的材料，但那時鎔鍊的方法既然不十分發展，這種材料是總不免含有許多不潔的成分的。第二，必須有熟練的技術，及精細的眼力和觸覺；第三，必須有極好的幸運，這一點和以上兩點是一樣重要的。

世界上有一二地方的冶工，因爲他的耐心和技术戰勝種種困難的緣故，常可使他的出品非常優美。著名的大馬色鋼 (Damascene steel)，是自印度經過大馬色 (Damascus) 輸入歐洲的；此外我們又常常聽到托利多 (Toledo) 的刀和米蘭的盔甲。這種鋼鐵，當我們談到鐵的內部結構的時候是可以用來做一個很有趣的說明例子的。

鍛鍊鋼鐵的最大阻礙，就在難於使鎔爐維持充分的熱度。舊日在地面掘出一個小洞，或在山邊疊起一堆石頭以受風力的方法顯然是不適用的；以後幾個聰明的人雖然發明了氣傘和風箱（見插圖六乙），但這種的進步還是不夠。因為他們不能夠實際將鐵鎔化和鑄造，祇能夠在鎔爐中將鐵鍊成軟質的鐵漿，這種鐵漿當自火中拉出來的時候，是含有不少的渣滓的。下列自阿基柯拉（Agricola）的冶金術（*De Re Metallica*）一書中所採的圖畫，很可以說明當時（一五五六年）冶金術的大概。誠然，鑄鐵（cast iron）在那時以前就早已發現，但並不是顯然地被視為普通製造手續的一種步驟。所以阿基柯拉的圖畫已經可以表明舊日的鍊鐵方法了。圖中那個主工正在照料他的鎔爐，爐上已經加上了鐵礦石和木炭；他的風箱是靠牆後。鐵渣鎔化後自C孔流出。那個執有木槌的工人，正對着那堆鎔化出來的鐵塊將附着上面的鐵渣敲下。鐵渣敲下後，這塊鐵又被工人放在鐵砧上面，用水車運轉的巨槌打擊，并用大鐵刀割成碎塊。到了這個時候，牠們祇要再在爐中鍛鍊一番，就可以放在鐵砧上打成方塊鋤頭或輪箍的形式，但其中最多數的還是長條的形式。圖中右下角所示的工人，就是在製鍊這種長條。



圖十三 阿基柯拉的冶金圖，A. 鎔爐；B. 鐵礦石；C. 鐵渣出口處；D. 鐵塊；E. 木槌、F. 鐵槌；G. 鐵砧。站在爐旁的工人面上有面具蒙着。

假使鐵礦石裏面還包了一些銅，或爲任何原因而難於鎔化，那麼他們便不能不用一個較大和較深的鎔爐，因爲惟有這樣的爐子纔可以維持較高的熱度。

鐵並不能直接流到模型裏去；牠是必須在爐中鍊成塊狀，然後再經槌擊和加熱的手續的。這是最爲重要的一點。我們看了這一點，就知道當時冶工的能力是完全被舊法限制了。他祇能夠將鐵礦石鍊成小塊；假使他要大塊的鐵，他便須將無數小塊接合起來。這就是羅馬時代的鍊鐵方法。這種鐵塊當我們發掘羅馬舊城考斯托庇坦（Corstopitum）的時候，曾經找到一塊。下列插圖七所示的，就是這種鐵塊的外觀，和牠怎樣由無數小塊接成的狀態。自這幅圖樣，我們可以看得出來，牠的接合的地方并不怎樣完好；或許我們也可以說羅馬人并不会真正地鍛接鐵塊。胡楞得博士告訴我們（見一九二五年十一月二十一日自然雜誌 *Nature*），他最近曾經看見在散得維齒（Sandwich）附近里赤保洛夫堡（Richborough Castle）地方所掘出來的一個鐵環，并没有鍛接的痕跡。大概這個鐵環是在一塊鐵板上鑽一個圓洞做出來的。其次，我們又曾看見在攸力康涅蒙（Uriconium）地方所找到的一個鐵管；當這個鐵管被人磨擦下去的時候，我們不難見

到牠是一張鐵片捲起來的圓筒，牠的周圍都是用銅或銅的合金的溶液鍛接起來的。此外又可以

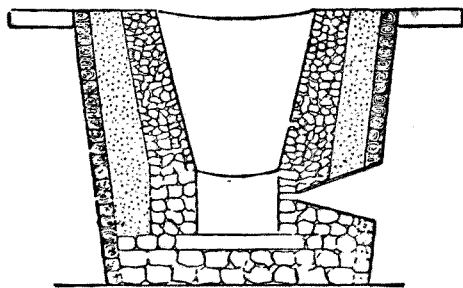
看到許多曾經由舊日的工人費了不少精力釘合起來的鐵器，其實牠們都是極易鍛接的東西。插圖六甲所示的一個鐵面具可以表明羅馬人很能鑄造美麗的鐵器。

鑄鐵的發明是一個極爲偉大的進步，這種進步不但使冶金工業煥然一新，而且也使世界的歷史發生一個重大的變動。因爲當大塊的鐵能夠鑄成許多東西的時候，冶工就不難開辦許多大規模的製造事業。同時冶金工業也就發生了一個大轉機，那些偉大的東西如橋樑，橫樑，鋼軸，鐵軌之類，都不難鑄造出來了。這個變遷的開始，實由於舊日鎔爐的擴大，使大塊的鐵有鍛鍊的可能。因爲在巨大的鐵塊的中心，溫度是自然會增高的。不過在近代的鎔爐裏，我們又將射氣器中的空氣在射入爐中以前燒熱，所以牠的溫度也能夠越發增高起來。這種方法，大規模的，還是一種比較晚近的發現，至於小規模的，那就早已爲人們所採用了。例如印度的冶工就早已知道這種辦法。他們有時築起兩座爐來，一座用以鍊鐵，一座用以燒熱預備送入爐中的空氣。無疑地，我們都會看見那些高逾百英尺的鎔爐，當晚間鐵礦石的溶液流出來的時候，牠是怎樣地發紅。那些溶液都是經由

爐前沙地的小溝，流入一個空穴裏而成爲商用的生鐵。（參閱插圖八）

鐵在這個階段含有自百分之二·五以至百分之五的碳，所以牠的本質變成堅而且脆。這種碳是在鎔鍊的時候混進來的，因爲木炭和鐵鑛石及火混合之後，牠的碳質常不免和鐵中的氧化合。化合之後，氣體逃到空中，鐵和渣滓便停留下來了。在這個時候，鐵鑛石中的不潔成分大多數都已除去，但若干成分的碳或矽（silicon），卻沈澱在裏面；這種成分就是鑄鐵的種種特性所由發生的最大要素。鑄鐵誠然不能鍛成種種形式，可是牠可以重新鎔化并置入模型裏，而鑄成各種東西。所以牠的性質雖然很脆，而因爲有這種特點的緣故，卻可以有很大的用途；例如廚房的器具有許多就是鑄鐵所造的。

我們要鍊鐵成鋼，必須將鐵中所含的碳除去一部分，

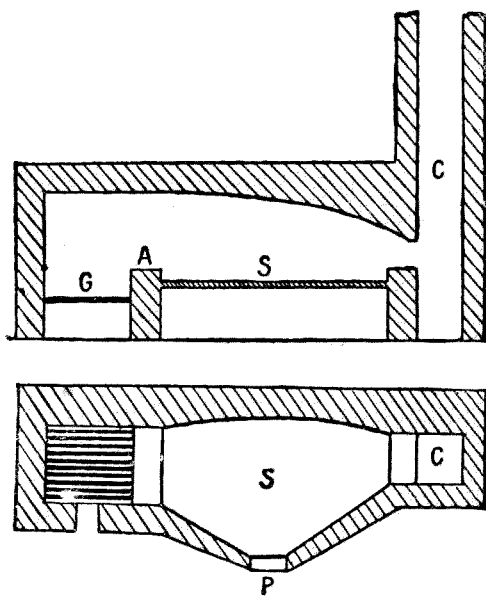


圖十四 十八世紀的鄂斯曼（Osmund）鎔爐。閱者可注意那高厚而用木柱支着的牆垣，和流通溶液的爐口。同時并參閱插圖六丙。

因爲這樣一來，鐵質就可以比較地堅韌而不脆了。鋼當受過充分的熱度以後，可以鑄成任何形式，但當冷下來的時候，卻完全是強韌的鋼，而不是易碎的鑄鐵。這就是牠的優點。要在生鐵中除去那過多的碳，必須將牠重新燒到鎔點，并使牠和含氧的空氣接觸，那麼空中的氧就可以將生鐵中的碳帶去。遲至五十年以前，冶工們要實施這種過程的，全部都是將鐵放在爐底鍛鍊，同時又使火焰自壁爐經過鐵的上面，而通到那個極高的煙肉裏。（圖十五）在這個過程之下，冶工們的手中，必執着末端有鈎的鐵棒，自那大約六方英寸的小孔伸入爐中。當爐中生鐵的鎔液上面有渣滓積聚起來的時候，他們就要不時地將牠掃除出來；以後碳質越變越少，鐵質越變越硬，而冶工們的工作也越爲緊張，直至爐中的鐵都變成漿狀而眩目的白鐵球的時候，他們就將這些鐵球一一地自爐口取出來。在這個鎔鍊的期間，大部分所需的氧，都是由爐壁所含的氧化鐵供給的。但在最後的階段中（就是當鐵都變成白鐵球的時候）空中的氧卻佔着重要的地位。同時鍊鐵者的工作也極爲艱苦。經過這種精鍊手續的鐵，都能夠槌擊和鍛鍊而成種種的形式。

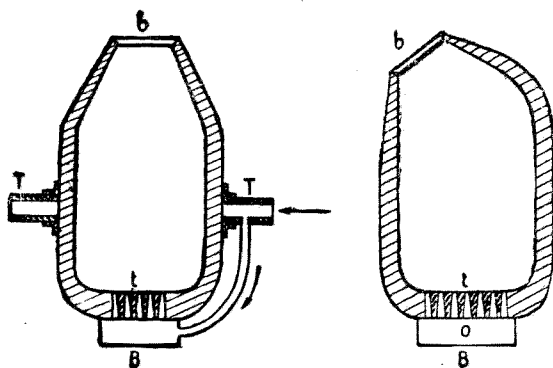
可是這個方法并不十分圓滿；以後差不多又過了一世紀的期間，仍舊沒有什麼有價值的改

良。鎔爐的熱度總是不夠，冶工們所費的勞力總是常常超過所出鋼鐵的代價。直至去此約半世紀以前，柏塞麥（Bessemer）發明了一種較為有效的方法，於是舊日的方法，就完全廢棄不用了。在柏塞麥的化成爐（Converter）裏，每不斷地有一股極強的熱氣衝進鐵的鎔液裏面。我們知道鐵當鎔化的時候，常含有不少的矽，這股熱氣中所含的氧就能夠和矽混合，所以鐵的鎔液能夠愈鍊愈熱，而全部鍛鍊的過程也有極大的效率。同時假使所鍊的東西并不需要極好的鋼質的話，如鐵軌和橫樑之類，這種過程的運用，還可以更爲迅速而且也更爲適宜。至關於需要精鍊的工作，同時



圖十五 攪拌爐的正面圖

G, 壁爐; C, 煙囪; S, 鎔爐; A, 火壇; P, 爐門。

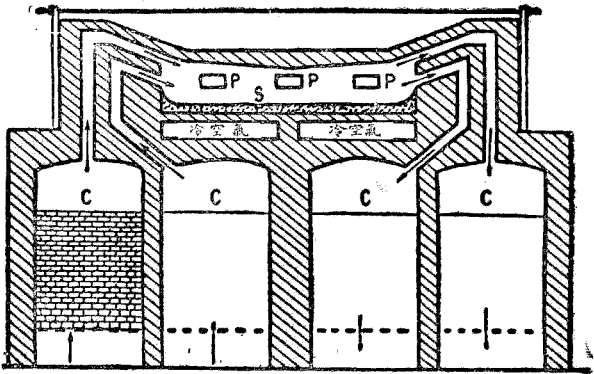


圖十六 柏塞麥的化成爐

T.爐管; B.風箱; t.空氣的入口; b.化成爐傾斜時鎔液的出路。

還有許多其他的方法。在這些方法裏面，有一種（見圖十七）鎔爐的工作是比柏塞麥的化成爐慢得多的。牠的爐竈和攪拌爐的用法一樣，但吹進的空氣卻有較高的熱度，其中所流出的鋼是一種流動的鎔液，並不是一種漿糊式的鋼塊。

就通常情形而論，凡需鋼的條件愈為嚴格的，所用的鎔爐當愈為特別，而所費的成本也愈為昂貴。又當所需鋼鐵的數量不多的時候，比較小型的鎔爐也可以代用，但所謂小型的爐也常常可以放下幾噸的鐵。這種鎔爐常用通過兩根大碳棒的電流來傳熱（參閱插



圖十七 西門和馬丁的鑄鐵爐
S.爐；P.門；C.蓄熱器。

這個鑄爐是用燃燒的氣體燒熱的，這種熱氣是自另外一個爐子通到鑄爐下面的一個圓筒C.裏。熱氣和空氣同時依着箭形的方向吹到爐中，而爐中的燃燒材料，則慢慢地進到右面的兩個圓筒，以後又通到煙囪。同時這兩個圓筒也變成極熱。約半小時以後，當爐中的熱氣，因為相當的門戶啓閉的緣故而改變相反方向的時候，那些吹入爐中的熱氣和空氣，在通到爐中以前都先經過這些極熱的圓筒，所以鑄爐的熱力更加利害了。

圖九）在普通傳電的弧光燈上面，所用的碳棒不過如鉛筆那樣粗；但在這裏牠就要如人的身體那樣大了。當這種鑄爐傾斜起來而使那眩目的鎔液流到桶裏預備傾到模型的時候，那一種景象的確是值得驚奇的。

將鑄鐵裏面所含的碳自百分之三或四減至百分之一或百分之一以下，就可以將牠鍛鍊成鋼；這個雖然并未大大

地變遷牠的混合的狀態，但已經可以使鐵的本質完全改變。因為這樣一來牠就要變成強韌，易展 (malleable) 和可以鍛接的了。同時牠還具有一種可貴的特質，就是當牠燒熱而浸入油，冷水或其他流質的時候，牠就可以完全變硬。所以嚴格地說，純粹的鐵是一種極軟的金屬；鋼是含有少量碳質的鐵；鑄鐵是含有多量碳質的鐵。自攪拌爐 (puddler's furnace) 鍛鍊出來的熟鐵 (wrought iron) 含碳的量雖然不比鋼多，但還是叫做鐵；而自柏塞麥或其他鎔鐵爐鍛鍊出來的相同材料，卻又叫做軟鋼 (soft steel)。這些名稱自常人看起來是極其混雜的。

加硬的程序 (hardening process) 極其有趣，而且是最近的冶金學上的一個重大的問題。現在讓我將這個過程的特性和進步的情形大略地敘述一下罷。

自某方面看起來，似乎我們可以說，現在的種種偉大的過程，都不過是將過去時代的冶工們的動作，大規模地重演一番罷了。例如近代的鎔爐和鐵工場，鐵砧和加硬桶，以及其他種種鍊鋼的方法，雖然在規模上已經有偉大的變遷而其實還脫離不了冶工業的基本特性。可是事實上就是單單規模的改變，其本身已經是一種困難的工作和偉大的成功，我們假使忘記了這一點，就不免

把冶工業看得太平凡了。我們常常會把冶工業所需的技巧和耐心，估視得太低。例如假使我們要
把一個螺絲軸 (screw shaft) 做得比從前所有的長兩倍，面積大一些，我們常常以為這是很容
易的，其實要達到這種目的，斷斷不僅在增加熔爐的容量，機械的馬力和燃料的數量。同時還有種
種問題會隨着發生，例如加熱和淬煉一個較大的鐵塊到底要經過多少的時間；鍛鍊的方法要如
何改變；冶工的技術要如何改良，就都是重要的問題。所以自製造小的東西進步到鍛鍊大的東西
並不是一個簡單的事，這實在是一個技術上和能力上的一個大成功。

可是假使我們更仔細地把近代的冶金業觀察一下，我們將要見到金屬製品的形式的增大，
並不是近代冶工的惟一的成功。同時他也知道怎樣地使他的製品堅強而耐久；怎樣地為牠們鍊
出種種形式的材料，使牠們適合於種種不同的用途，並具有任何方式的特性。從前我們所有的只
是一種的鋼；現在我們所有的鋼，則有的極為強韌，有的極為堅硬，有的是具有磁性的，有的是沒有
磁性的，有的當紅熱的時候是堅而強的，有的是能夠抵抗海水，酸質和其他物質的腐蝕作用的。這
些特性對於鋼的用途到底有怎樣偉大的影響，我們是不難想像出來的。

這裏你們可以看到，就是一種最新的鋼的合金——也是最先被人們多量應用的一種。牠的名字叫做哈德非爾德錳鋼合金 (Hadfield's manganese steel)。哈德非爾德 (Sir Robert Hadfield) 也是我們這裏的一個會員，最近并爲皇家學院 (Royal Institution) 的幹事，這次他曾將他在設斐爾德 (Sheffield) 的工廠裏所出的許多鋼的標本送給我們，可見他對於我們的友誼和熱心。

錳鋼合金有許多奇怪的特性。當我們將牠加熱和淬煉以後，牠可以變成強韌，但并不堅硬，同時也沒有磁性。例如那個放在左邊的標本，（參閱插圖十甲）一端是強韌的，而一端卻仍舊保留着當牠淬煉以後的特性。一端是含有磁性的，而一端卻完全沒有磁性；一端是堅硬，甚至是有些易碎的，雖然我不能將牠試驗給你們看；而那沒有磁性的一端，卻可以彎曲起來，而且你們可以看見是已經變成環形的了。這就是後面一種是最爲有用的合金。因爲牠是韌而且強的。那個放在石面的標本，是曾經引張到快要折斷的地步了。這個應力 (stress) 開始是每方英寸二六·七噸；以後應力愈增，伸張愈甚，直至牠的長度幾乎增加一倍的時候，應力已經增加到百分之八五·六。最後

當牠折斷的時候，這個引力是每方英寸七十三噸。這一塊和牠并排在一起的，是不會經過機械試驗的合金。我們可以注意牠的折斷的地方，並沒有扭傷的痕跡，而且還保留着沒有磁性的特點。

此外這種合金還有一個特性，就是能夠應付種種粗暴的動作，當被鈍擊或滾輾的時候，可以越發堅硬起來。所以遇到如插圖十乙所示的情形——一組互交叉的鐵軌——這種合金是最有用的。原來這種彎曲的軌道所受的磨損是極爲重大的，普通鋼軌在這種情形之下，往往極快地就損壞下來，所以我們所看到的這樣的電車軌道常現有很深的凹槽。但是錳鋼合金如用在這種地方卻非常堅硬，常可以有數倍於他種材料的耐久性。

其次尚有一種合金爲我們所常見的，就是所謂不銹鋼 (stainless steel)。牠是勃郎非特公司 (Brown Firth & Co) 的布利利氏 (Brearley) 當尋覓一種適宜的大礮承襯材料的時候，於無意之中所發現的。牠是一種鐵和鉻 (Chromium) 的合金，能夠抵抗水的生銹作用。其中鉻的成分佔四分之一，其餘都是純鐵。這種合金大部分是用以製造刀劍的，但是牠的優點卻似乎對於牠的聲譽有些弊害，因爲現在的刀受着不銹的影響都懶得上磨刀臺了。此外還有一種鐵

的合金，其中含有鉻百分之十八，鎳百分之八，牠的抵抗生銹的能力比上述的合金還強得多，同時牠的性質雖然很為堅韌，但卻可以經得起緊壓和穿孔的工作，而有製成各種器皿的可能。(二)

此外我們還有一種鋼就是可用以製鍊『高速度』(high speed)的工具；這就是說，這些工具將要在車床(lathe)上始終保留牠們的硬度，即使牠們曾經割削了不少的金屬而變成發熱了。還有一種鋼能夠抵抗鎔爐中的極高的熱度而不至一片片地剝落下來；這種鋼用以製造鉗子，活動爐柵和其他類似的東西是最為相宜的。

假使我們再想到鋼鐵以外的其他金屬和合金，那麼牠們的繁夥的種類和用途，就將要使得我們越發覺得目眩神昏了。例如鋁和錳的種種合金都是輕而且堅，可用以製造飛船和汽車引擎中的各種活動的機件。此外又有種種合金可用以製造發電機，電動機，裝飾品，電鈴，齒輪以及其他一切，真正是五花八門，不勝枚舉。在這些近代的合金中，那些最可以引人注意的或許就是帕蒙合金(permalloy)和曼蒙合金(mumetal)。這兩種的混成分幾乎完全一樣，前者五分之四是鎳，其餘是鐵；後者則含有百分之五的銅，鎳的成分比較略少一些。牠們比最軟的鐵還容易磁化，但當

導磁的電流一經停止，牠們也要立刻失掉磁性。現在讓我們舉一個簡單的例（參閱插圖十丙。）假如這裏有兩塊絕對相同的電磁鐵；牠們的心，一塊是軟鐵的，一塊是曼蒙合金的。同時牠們又能夠受同一電流的感應。那麼我們將要見到，當電流還很微弱不夠磁化第一電磁鐵時，而那第二電磁鐵已經能夠吸引某種重量的東西了。反之當電流足夠使牠們同時感受磁性，并能吸引相同重量的東西的時候，假如我們忽然將電流截斷，那第二電磁鐵所吸引的東西便要立刻落下，而第一電磁鐵則否。牠還要在某時間內保留相當的磁性。這種合金的特性，是西方電器公司（Western Electric Company）的實驗室當試驗各種成分不同的鎳鐵合金的時候，所發現出來的。這種發現，自經濟立場說起來，的確是非常重要的。例如一組電纜所用的是帕蒙合金的發信條，就可以在相同的時間內發出三倍多的信號。所以這種電纜的效用簡直是可以等於三組普通的電纜。我恐怕在這極短的時間內，不能將這些複雜的要點說明出來；諸位假如要明瞭牠們的內容的話，最好還要研究關於這些問題的學理。現在我們所要注意的，就是因為我們選擇各種不同成分的鎳鐵合金的結果，電纜的效用已經不期然地增加了好幾倍了。

我所以用這幾種合金做說明的例子，不但是因為牠們是有趣的和重要的，同時也因為牠們能夠使我們知道這個問題的複雜。這些複雜而神祕的東西，假使是有鑰匙可以啓示的話，我知道諸位是極希望去找到這種鑰匙的。不過我以為祇要我們能夠將過去五十年中，尤其是最近數年中各科學家在實驗室中研究所得的成績，觀察一下，我們的目的就可以達到一部分了。

在前世紀的中葉，當索俾氏 (Sorby) 在設斐爾德表演怎樣可以用顯微鏡觀察磨光的金屬標本的時候，冶金技術就有一個偉大的進步了。例如假使我們細閱本書所附的顯微照相（插圖十一至十三）的第一幅，——一個放大了二百五十倍的純鐵標本，——我們就可以立刻看到一種金屬的特徵，就是內部分成細粒的狀態。這種細粒一顆，可以代表一個單獨的鐵的晶體。不過我們萬萬不要以為這種細粒是容易分開的；其實牠們中間的結合到是非常地堅固。其次四幅代表四種含碳成分不同的鋼。其中最後一種所含的尖形的東西，就是鐵和碳的混合體，叫做碳化鐵 (Cementite)；牠們的存在可以使鋼越發堅硬。這幾種鋼在外觀上和特性上都是完全不同的。以下四幅代表錳鋼合金。第一幅（插圖十二丙）是一種標本曾經加熱到攝氏表一千度，而又在水

中淬煉的；第二幅表明同一的鋼，又被加熱到攝氏表五百度，以後就保留這個溫度直至六十小時之久纔慢慢冷下去的情形。後者是堅硬而含有磁性的；前者較為強韌，但不含磁性。其次兩幅表明機械處理（mechanical treatment）對於鋼鐵的影響。其中第一種的標本是曾經在試驗機中強拉過的；所以內中的細粒已經變成一副紙牌邊緣的形式，而成爲互相重疊的內層。至於第二種那就更爲複雜了。

這幾個證例可以表明，鋼的狀態，在顯微鏡下，可以怎樣迅速地隨着混合的成分和處理的方法而變遷。一個冶金者祇要專心觀察這些變遷，就可以知道什麼狀態和什麼特性是互相聯絡的，所以他的顯微鏡的觀察方法可以告訴他什麼是各種處理方法的結果，怎樣做纔可以變遷金屬的特性，什麼是相同的，什麼是差異的，以及其他種種的要點。當然地他也可以知道各種細粒，針狀物體，和其他結構要素的性質。總之，他是已經開始知道鋼鐵的變動狀態是怎樣地發展，和各種標本所受的是怎麼樣的處理方法了。

現在讓我們再舉一個例子，這個例子的本身也是非常有趣的。在不久以前士魯茲巴立

(Shrewsbury) 附近的地方曾經找到一把青銅的鑿子。他們將牠的各部分都割一些下來，預備用顯微鏡來觀察；其結果如插圖十三丙所示。自這些觀察的結果，冶金學家就知道這把鑿子的背面，是在鍊鍛的時候，自相當的熱度慢慢地冷下來的；其次，牠的邊緣一定在冷下來以後，纔受到相當的錘擊，——這自原來的照片中所示細粒的狀態可以看得出來，最後這把鑿子大概是燒到中和的溫度而後冷下去的，因為錘擊的結果已經使牠過於脆弱了。

這種用顯微鏡觀察金屬的方法，已經在冶金學上建立了不少的奇蹟。同時這個方法也因受到新發現的和極為準確的測量鎔爐溫度的過程所予的幫助，而更為進步起來。我們知道金屬在加熱的時候，假使在充分的時間內受到充分的熱度，牠們的內部結構是要改變的。所以假使我們能夠仔細地觀察和精確地測量這種內部變遷的狀態，我們對於鍛鍊過程的控制，就可以大有把握了。此外尚有其他種種量算的方法為我們所採用。這就是從這些新智識的應用，我們纔可以得到許多新發現的鋼鐵和其他合金。

在最近數年內又有一種新方法來幫助我們研究冶金的技術，這就是X射線。這種射線觀察

金屬內部結構的力量可以比顯微鏡強一萬倍，我很希望能夠將牠所表現的成績告訴你們，因為牠曾經發現了許多大有關係於冶工的事實。牠帶我們到各種東西的基礎裏去。牠使我們能夠直接自下面慢慢地築起來，不必自上面很辛苦地掘下去。

牠告訴我們，一種金屬的原子，就通常情形而論，都是在極簡單的狀態下疊起來的。現在讓我們拿一個方盤，并在牠的上面，如插圖十四甲所示，排列一層的圓球。這些圓球的中間，應依照我們下面所說的規則，保留一定的距離。在第一層上面，我們可以再疊一層，其狀態正如第一層一樣，所不同的就是在較高的平面罷了。其次，我們又可以在第二層上再疊一層，使這一層的圓球正在第一層上面。不過當我們愈疊愈高的時候，每層的面積一定會漸漸地縮小起來，因為除非我們造一個方形的玻璃匣，圓球是不能疊在邊緣的。結果第三層的圓球離開第一層的高度，可等於同一層的兩個圓球中間的距離，這就是我們上面所說的原則了。以後假使我們一層一層地疊下去，我們將要覺得我們正在建造一個特殊的結構，使其中的每個圓球恰好置在一個八顆圓球疊起來的立方形的中心。

這就是X射線所告訴我們的，鐵的原子的結構狀態。不過兩個鐵的原子的中心，相差的距離只有一英寸的一萬萬分之一，所以能夠計量出來這種距離的，也只有X射線，普通的顯微鏡是辦不到的。

假使有若干鐵的原子是依這個有秩序的樣子疊起來的，牠們就成爲一個真正的晶體。誠然當我們想起一個晶體的時候，我們的腦海中總會浮湧出來一個玻璃面的和有秩序的狀態的形體，如一塊石英或冰糖之類，但鐵之爲晶體也是完全這樣的。這三種東西——石英，冰糖，和鐵都一樣地有秩序的結構；不過鐵不能自外面看出來罷了。

現在假使我們再看到插圖十一甲所示的顯微照相，我們就可以更爲明瞭，因爲每個細粒實在就是一個晶體。在兩個接近的細粒中，原子結構的狀態，并不完全一樣，所以牠們不能有規則地現着犬牙交錯的樣子。誠然自這個標本的圖看起來，牠們中間確有一條很顯明的線痕，但這些結合的地方卻是非常牢固的；爲什麼牢固，我們并不知道，不過我們可以這樣地相信罷了。插圖十三甲，很明顯地將各個結晶細粒上面的線紋表示出來，在這個圖上結晶細粒中的一層層的原子，因

受外力引張的緣故，都現着互相重疊的狀態，所以每個晶體上面的線紋，和那些在附近的晶體上面的，每不能處於平行的地位。這些互相重疊的現象及縱橫交叉的線紋，和一副紙牌的錯亂狀態很有許多相似的地方。

X射線又告訴我們，當鐵的溫度超出攝氏表九〇〇度以上而變成透明紅熱時，牠的原子還可以有一種結構的狀態。這就是說，鋼鐵的溫度已經達到可以影響牠們的內部結構的一點了。這個狀態可以用一隻三角形的盤子，并在上面將若干圓球疊成如插圖十四乙的樣子來說明一下。在這種的結構之下，每層的圓球都能互相緊湊着，而且每個都可以觸到十二個圓球——在本層的六個，在上層和下層的各三個。但在前一種的結構狀態之下，每個圓球所能觸到的卻只有八個——上層的四個，下層的四個。所以當溫度較高的時候，鐵的原子的結構，是較為緊湊的。

現在有一個很妙的方法，可以說明這一點（參閱插圖十四丙）。一根長約六英尺的鐵線，用電流使之發熱。鐵線的一端固定在一個東西上面，一端當鐵線感熱而伸張的時候可以活動。同時我們又裝置一個放大的設備，使那裏有一個指針常指着一個分度規而活動。那麼當電流通過的

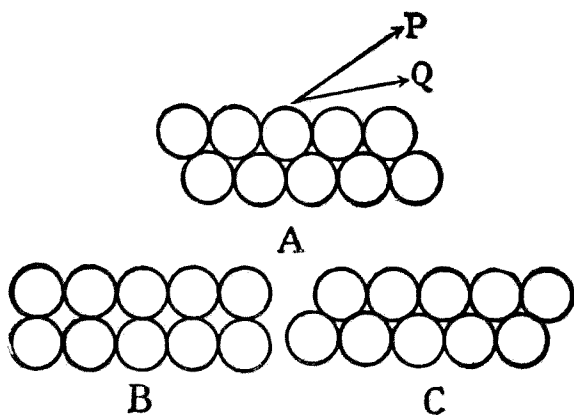
時候，鐵線一有伸張，指針就立刻移動。但當溫度達到臨界（Critical point）的一點，指針卻又停着不動，并退回一些；以後又漸漸地如前移動。這種狀態所以發生的理由，當然是由於當溫度達到這一點的時候，鐵的原子會重新結構起來，使牠們的接觸更爲緊湊，因之鐵線也稍爲縮短一些。所以當電流停止鐵線冷下來去的時候，相反的情形又重新發現了。

這是很奇怪的，只有當鐵的溫度在攝氏表七百六十度以下，和牠的原子結構是在第一種狀態的時候，牠纔可以發生磁性。

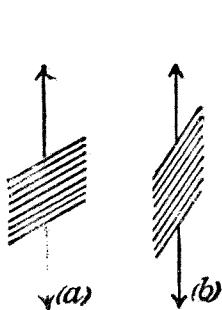
現在我們可以回到鐵和鋼的根本差異的問題，并研究X射線所供給的新智識是否能夠告訴我們爲什麼少量的碳質，能夠使鐵和鋼的特質有這樣偉大的差異。其實，X射線所供給的材料，雖然在細點上還不能怎樣使我們明白，已經儘夠成爲解釋這個問題的基礎了。

第一點當碳的原子和鐵混合的時候，牠們總是極力地在鐵的原子中間，儘量佔據所能找到的位置，使鐵的原子結構爲之擾亂。所以在這種情形之下，晶體的內部組織，是不能不發生變化的。這一點的要義，我們不久就可以明白。

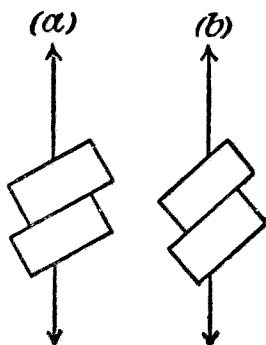
第二點當我們注意到一塊金屬受着任何應變 (strain) 的時候所發生的狀態，我們也可以找到一些材料。大概一塊金屬，總是一個很複雜的晶體集合。所以我們如要了解應變的狀態最好還是去選擇一種簡單的情形；換一句話說，就是只要去實驗單個的晶體，而不必去研究多數的晶體。最近我們發現，有幾種金屬在某種的應變和溫度之下，并經過充分的時間以後，可以變成幾個大晶體。這些金屬在開始的時候都是包含着多數的小晶體；但是到了後來卻祇剩着大的幾個了。插圖十五所示的就是一塊鋁經過這樣處理的情形。牠的表面是用酸質腐蝕的，所以各個晶體的輪廓能夠這樣地清晰。現在假使我們將經過這種手續的鋁幾塊放在一具試驗機上，使牠們分割為二，牠們便要很奇怪地分裂起來。大概首先脫落的，總是在最狹部分的晶體，而不是兩個晶體接合的地方。不過這種脫落的部分既然還是一個晶體，牠的原子結構便不會完全改變，所不同的就是一層原子將要在另外一層上面滑動罷了。這種情形正如圖十八的一層圓球忽然自A的地位，被P或Q力推過B的地位而至C一樣。這時假使所移動的，是一個單獨的晶體，牠當然要在一個平面上同時滑過。又如我們有兩塊玻璃用油膏黏在一起，如圖十九所示，假使我們將牠們



圖十八 表明金屬內部滑動的狀態。圖中的上層圓球被一種勢力 P 或 Q 拉過 B 的地位而至 C。



圖二十



圖十九

用力一拉，牠們便要在牠們中間的平面上滑過，而不至裂成碎塊。此外我們又可以用如圖二十(a)的一組線來代表一個晶體，假使我們順着箭形用力把牠們一拉，牠們便要變成(b)的形狀。一個金屬的晶體當被應變的時候，我們也常常可以看見牠們表面有種種標記表示內部原子滑動的線痕。

插圖十七乙是表明滑動線痕的一個很好的例子。圖中的形象代表一根鈉線被應變以後的狀態；牠的滑動的線痕是環形的。現在假使我們更仔細地把牠觀察一下，我們將要見到這些線痕實在是包有兩組互相交叉的圓環；這裏我們又可以得到一點很有趣的事實了。原來一個晶體裏面的平面，并不一定都是滑動的；其中有的平面比較的更易滑動一些。不過在一個晶體裏，總有這樣的平面幾組。例如插圖十四乙所示的鋁，銅和鐵在攝氏表九百度以上時的原子的結構，就有四組平面和四面體的各面處於平行的狀態。

當一個晶體裏面的平面互相滑動的時候，牠們常和拉動的線處於幾乎平行的地位，這自圖二十(a)可以看得出來。又如這裏有兩組同時可以發生滑動狀態的平面，結果那個實際發生滑

動的平面必然和拉動的線處於幾乎成爲正角的地位。這是一個實驗的事實。或許我們可以想到這種情形所以發生是由於那個比較直立的拉動勢力（例如就圖十八講起來，這種勢力就是P而不是Q）有舉起一層原子自A的地位移至C的地位的趨勢。所以現在我們又可以看到一種上下移動的狀態；當一個晶體在一組平面上一直滑動到將要和拉動的線幾乎平行的地位時，牠就要滑動到另一組平面上。最後等到兩組平面對於拉動勢力的傾斜度將要相等的時候，牠們的滑動就要同時發生了。這就是我們所以要見到鈉線上面有兩組滑動線痕的理由。

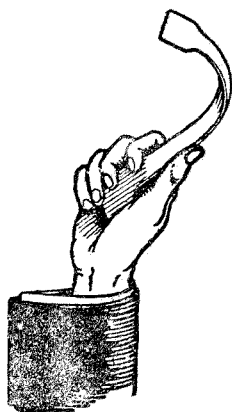
插圖十五所示的金屬塊，都是因一個單獨晶體平面的滑動而破碎。標本1和2的滑動是自兩旁發生的，其餘兩個的滑動，是自後面至前面的。所以前者發生一種腰形的狀態；而後者則在破碎以前必然自後面至前面漸漸地瘦削起來，這個當然自照片上是看不到的。

一塊金屬，如只含有一個單獨晶體常常可以非常容易地彎曲起來。例如一條經過試驗的鋁片，祇須在手中輕擊一下，就可以折而爲二。但普通大小相同的鋁片卻是非常堅硬的。這顯然是因爲當一種勢力要去扭斷這塊金屬的時候，牠的內部的一切晶體同時都要向着相同的方向而滑

動，但事實上這種情形是萬萬辦不到的，所以這塊金屬就能夠抵抗外來的勢力而變成非常堅硬。同時我們也可以假想各個晶體的接合點，也有抵抗這種外力的能力。這又是我們所必須更為深進研究的一點了。簡單地說，一個單個的晶體常常極容易和其他的部分分離；其次，正如一根鐵鍊不比牠的最弱的鐵環更強的情形一樣，我們又可以說，單個晶體常常是一個最弱的東西。

我們又可以更進一步地說，凡可以使原子的結構脫離單個晶體的整齊狀態的東西，都有使這塊金屬變成堅硬的能力。這種情形凡含有多數晶體的標本，和當任何單個晶體的內部被更強的原子或其他原因所擾動而發生應變的時候都可以發現。

現在我們可以知道為什麼一種合金能夠強於純粹的金屬的緣故了。這是因為合金的原子結構不像純粹金屬那樣地簡單而整齊。換一句話說，牠是受着相當的擾動和應變了。這當然也是一個理由，為什麼



圖二十一 一條含有單個晶體的鋁片可以很容易地彎曲起來。

鐵的裏面含有若干碳質以後就會發生鋼的硬度。原來碳和鐵混合之後，就變成一種結晶的物質叫做碳化鐵，其中每一個鐵的原子，必含有三個碳的原子。同時假使所含的碳不多的話，有種物質叫做淨鐵碳化鐵（pearlite）的，還可以發現出來，這種物質是鐵和碳化鐵夾層重疊的混合物；鋼所以具着強韌的特性，就是由於這種物質的存在。不過只有當碳的成分在百分之〇·九的時候，鋼的內部纔完全含有這種強韌的物質。假使碳的成分超出這個百分率，碳化鐵的針狀物體，就要在顯微鏡下發現，而鋼也要具着易折的特性了。關於這個特點，我們可以用舊日的大馬色鋼，做一個很好的例子——大馬色鋼含碳極多，而且當初受鍊刀者鎚擊的時候，又含有晶體極多。冶工將這種金屬放在他的小小的鎔爐裏燃燒，過了一下子，牠就具有略略可展的特性，於是他就以鎚打牠，並將牠鍊成任何需要的形式了。但是這種金屬的熱度是很快減退的，他必須時時將牠放入爐中。當他每次鎚打的時候，針狀物質必破碎一些，而使牠們的銳角漸漸地磨光。所以經了這些手續以後，鋼就漸漸地變成軟韌，以後更經過幾次的火鍛和鎚打，這個著名的大馬色鋼就產生出來了。

插圖十七丁所示的花紋是由於無數淡色的碳化鐵的斑點的存在。牠們都是當鍛鍊的時候，一層一層地排列起來，直至互相重疊而成爲波浪的形態時爲止，其形式正如有縐紋的麪包一樣。我們現在可以開始知道爲什麼加熱的鋼當淬煉以後會變成堅硬的緣故了。當鐵燒熱的時候，牠的原子都是如插圖十四乙一樣排列起來，同時碳的原子，卻在牠們裏面，以發生最少應變的方式，慢慢地四處散佈。但當這塊鐵驟然遇冷的時候，牠的原子就趕快地重新排列而成一種新形態，其時極速，不使碳的原子有充分的機會可以選擇那足以發生最少應變的地位。所以我們可以確實知道在這兩個不同的情形下，碳的原子的最方便的排列方式是一定不同的，其實假使我們任這種金屬慢慢地冷下去，我們將要見到碳和鐵是有些互相分離的趨勢的，鐵的原子將要互相集合起來，而成許多小塊的純鐵，這種純鐵在專門術語上是叫做淨鐵 (Ferrite)，同時大多數的碳卻和鐵的原子混合而成爲晶體的碳化鐵。在這種情形之下，假使所含的碳是不多的話，這種材料是很軟的。但是假如我們將牠放在冷水裏面，使牠速冷，來不及依着安閒自在的狀態而結構起來，牠就要變成非常堅韌。因爲自然的結構已經受着阻礙，滑動的平面也失掉原來的作用了。

那些更爲複雜的錳鋼以及其他性質相同的鋼鐵合金的結構現在也可以照樣解釋。這種錳鋼的變動狀態，似乎和鋼完全相反。牠在加熱和淬煉以後是柔韌可展的。但是假使我們於將牠加熱以後而使牠緩冷下去，牠就變成堅硬的了。同時假使我們於將牠加熱和淬煉以後，又使牠熱至比臨界熱點稍低一些的温度，并保留這個温度到相當的時間，牠也會變硬的。

事實是這樣的，錳和其他物質的存在，有緩和鋼鐵結構上的變遷的影響。當我們將鋼加熱和淬煉，牠的內部的變動，是遲至牠變冷的時候纔發動的，但這也太遲了。因之錳鋼的分子當被這樣處理的時候，還是保留着插圖十四甲的狀態。在這種狀態之下，這種鋼是沒有磁性的。同時因爲其中所含碳的原子的結構，和這種組織互相適合的緣故，牠也是柔韌可展的。但是現在假使我們將牠緩緩地加熱，那些鐵的原子便要慢慢地變動起來，因爲熱度已經增加牠們的活動，使牠們得以滑入新的地位了。這樣一來，牠便要立刻發生磁性，同時碳的原子卻并不安置在這些新位置裏。這兩個情形的不同，插圖十甲所示的標本解釋得很爲清楚。

世界大戰的時候，軍隊裏會備有錳鋼合金的頭盔，這種頭盔是具有抵抗榴彈的碎片的能力

的。不幸得很，兵士們竟用牠們爲烹調東西的鑊子。於是軍事長官祇好特出一道命令禁止這種行爲，因爲錳鋼經過燃燒之後，牠的原子的結構就要完全改變而失掉頭盔原來的效用了。（參閱插圖十七甲）

爲同一的理由，鎢（tungsten）和鉻（chromium）的加入，也可以防阻鋼的原子結構的變遷。所以車床上面所用以割削別種金屬而會變成紅熱的工具，都是用這種合金來製的。

加硬的手續（hardening）也可以用別種方法處理；例如鉛塊雖然用手指輕擊就可以彎曲，但并不能無限量地維持這種情形。牠可以愈變愈硬，因爲牠的原子的簡單結構是受着攪亂了；或許那些互相重疊的原子層是變成紛亂的了，這都是還要詳細討論的問題。總之在我們能夠將這個冶金工業上的基本問題，就是金屬的加硬手續和牠們的內部結構完全融成一片以前，還有許多未知的要素是需要發現的。不過現在的進步的確是已經很爲迅速的了，我深信以上所述的新智識一定可以收穫佳果，正如顯微鏡將種種重要的材料告訴索俾氏和以後一切研究冶金學的學者一樣。

(一)胡楞得 (Dr. Newton Friend) 博士的古代的鐵 (Iron in Antiquity) 一書關於此事有詳細的紀載，可以參閱。

(二)當作者演講的時候，勃郎非德公司曾送來許多標本以供陳列之用。如第一種合金所造的有輪槳，杓球棒及其他器具；第二種合金所造的有碟盤，燭臺，水管和鐵線等等。其中有一種標本曾經繫在船尾，而被帶到新西蘭去，但當回來的時候，仍舊是燦爛非常。

第二講 織工業

這是很有趣的，當我們爲自己裁製衣服和各種覆被的時候，我們所用的材料大部分還是和古代的人們所用的一樣。羊毛，棉花，亞麻和蠶絲都已發現了幾千年；所謂人造絲纔是我們的新材料。同時我們將這些材料紡織而成種種織物的方法，也大概和古代的相差不遠。祇有工作的規模曾經有過相當的變遷；現在偉大的機械所做的工作從前都是用手做的，有的地方至今還是這樣。但紡工和織工用手的動作，在現在的工廠中，卻沒有一種沒有相當的複本。其實這種情形是不得不然的，因爲纖維（*fibre*）的本身是一種極爲複雜的東西，具有特殊的性質，需要特殊的處理，——這種處理無論用手或用機械，其運用的原則總是一樣的。

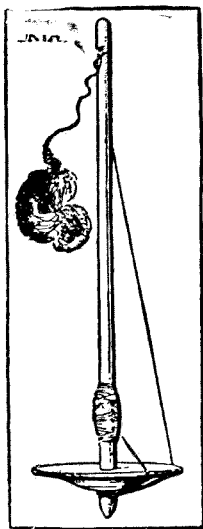
紡工和織工所需的技巧是大可驚奇的。當我們看到一種織物，如古代手織的佩斯雷（*Paisley*）披肩之類，其中精細的絲能夠編成那樣複雜而美麗的花樣，我們斷不會不發生一種驚嘆的

情緒。再想到印度的紡紗者，據說能夠從一磅重的棉花，抽成長約二百五十英里的紗線，這又是何等精巧的技藝！機械誠然不能產生這樣的作品。但牠們的特殊價值是在能夠擴大這種工作的規模，并能以其無限增殖的能力（power of multiplication）使無數的人們得以享受美麗的東西。假使除了手工以外，就沒有好的東西可以造得出來，人們平均所能享受的份量，就將要極其細微了。

現在讓我們來觀察一個人怎樣用舊法來紡毛線。我們可以假定他曾經將羊毛洗淨并已將備紡的纖維排列起來，現在可以開始梳毛（carding）了。他先拿起兩塊小小的板，板的一面各滿佈着彎曲的鈎子，如插圖十八丙所示的一樣。他將一撮羊毛放在一塊板的上面，而將另一塊板自牠們上面拉過，使兩組小鈎朝着相反的方向互相穿越。羊毛纖維經過這樣地梳了幾次以後，就差不多可以很平整地排列起來了。其次他又將一板穿過他板的方向翻轉過來，使這些纖維可以完全排在一塊板上；因為這樣一來，兩組鈎子的尖端將要指着相同的方向，那動得比較快的一塊板就可以將羊毛纖維全部收去。最後再用一些手術所有纖維便要變成許多圓筒狀的柔軟線條，術

語上就是叫做粗毛條 (siver)。這時羊毛纖維已經一條條地分開起來不相淆雜，而且也分佈得很爲均勻。等到這種粗毛條預備得很爲充足以後，他就可以拿起錠子 (spindle) 和捲線桿 (distaff) 來預備紡線了。

錠子是一根圓形的木棒，下端附有一個泥質的，木質的或金屬質的圓盤，旋動的力就是加在這個圓盤上面。同時牠的末梢又有一個刻痕以備繫住第一列備紡的纖維。錠子有時是用兩手旋動的，有時如意大利農人所用的方法一樣是在手掌和大腿中間往復摩擦而使之迅速旋動的。羊毛自那已經洗淨和梳過的很鬆的粗毛條中抽出來，一面捻成紗線，一面就纏繞在捲線桿上。其長度漸漸地增加起來。現在我們的心中或許要開始發生一個很基本的問題了，這個問題就是：纖維是怎樣抱合起



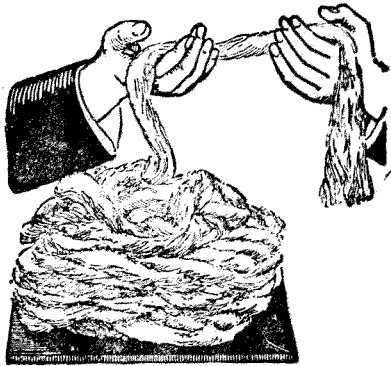
圖二十二 錠子圖。左邊的一束線球，就是備紡的羊毛。錠子當動作的時候是和附在線球上的一條半練成的紗線互相聯絡的，所以一經轉動紗線就捲在錠子上面。

來的，和錠子怎樣地使牠們黏成一起？假使我們用顯微鏡來觀察各種纖維，我們將要見到牠們是具有種種不規則的狀態的。例如羊毛的纖維有鱗甲的狀態，亞麻的纖維有竹節的狀態，棉花的纖維也具有許多扭結。所以假使牠們被外力緊壓起來，這些纖維表面的扭結就可以互相牽絆而不至易於滑動（參閱插圖十八甲和乙；二十七甲）這些壓力可以自撚回的手續（twist）發生出來。

此外還有一種極有趣的補償作用（compensating effect）為我們所必須注意的，這種作用就是紡紗手續的基本要素。原來當我們將一個小小的粗毛條抽成紗線的時候，其中總有一點比別的部分細弱一些，這個部分，假使我們將毛條抽引過甚，便會完全破裂。而當牠將要破裂的當兒，這個部分當然是要變成有頸部的狀態的。可是假使我們對於這根紗線予以相當的撚回，那個最為細弱的部分，卻得到最大的撚度；以後纖維抽引愈甚，牠們的抱合也愈為緊湊。最後那個細弱的部分卻要比其餘肥大的部分強得許多，因之同時又有其他部分開始受着抽引和撚回而變成強固的了。這一點可以用下列二圖來說明。所以假使我們繼續不斷地撚回和抽引，一根紗線是可以變成非常勻整和堅固的。

當紡工紡得相當長度的紗線以後，他可以將完成的部分纏繞在錠子上；一面仍可以如前一様繼續工作。

紡車 (spinning wheel) 的結構比簡單的錠子複雜得多，但是牠的用法中有一種的動作竟然和上述簡單的錠子完全一樣。牠有一種掣動帶 (driving band) 將錠子連在紡車上而使之迅速旋轉。紡工當動作的時候，先要使手中所執着的線和這根線所繫着的錠子大



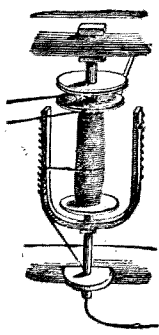
圖二十三 粗毛條圖



圖二十四 這根粗毛條是曾經抽引過的。現在正在受着抽紡的狀態下，所以那個最爲細弱的部分已得到最大的撻度。

略處於同一的軸線上，而後照上述簡單的方法來紡紗線。等到紡得相當的長度以後，他又改換手的位置使線的方向對於紡車恰成一垂直的狀態，那麼當錠子轉動的時候，牠就可以將紗線捲起來了。插圖十九對於這一點解釋得很爲明白。

此外，紡車還有一種用法比上述的還要複雜和靈巧，因爲牠能夠同時抽紡和捲取（*winding*）爲達到這個目的起見，有一種工具叫做錠殼（*filer*）的就被紡工們採用了。牠的運用方法看了下列圖二十五就可以明白。牠好像是一隻機械的手，繞着錠子而飛動，因能將紡成的線都捲在牠的上面；同時牠又具有無數小鉤使紗線在牠們中間穿越而過，恰如穿過我們的手指一樣。但牠必得比錠子動得稍快一點。



圖二十五 圖中裝有鈎子的Y形物體就是錠殼，牠是受着圖中所示的一個小輪的控制，而在共有的輪軸上旋轉的。此外又有一個小輪控制着筒管而使之旋轉，但這個小輪的旋轉比第一個小輪慢得多。紗線自捲線桿上通入圖中下端的管狀軸中而後又自軸承上面的小孔出來，穿過錠殼上的一個小鈎，而達筒管。兩個小輪的掣動帶是被未曾示入圖中的一個大輪控制着的。

假使牠們兩個轉動得一樣快，其結果將使紡車上沒有捲取的工作，但同時卻有最多量的撚回工作。反之，假使錠殼的轉動比錠子快得很多，其結果又將使紡車上的紗線捲得太多，撚得太少。所以錠殼和錠子的轉動，必須有略為差異的速度。在這個程序之下抽紡和捲取是可以同時進行不必更迭交換的。

假使我們能夠明瞭這些數千年來所發展的簡單的機械和方法，我們便也能夠同樣地明瞭近代紡紗工場的要點。或許在最初的時候，我們會被那偉大機械的複雜和繁夥的狀態，弄得眼光撩亂，但稍稍地沈思一下，便可以知道我們現在所看見的無非是一種嘗試——一種極為成功的嘗試，想用機輪 (wheels) 滾子 (roller) 和導板 (guides) 等等來代替紡工的手，并使他們的簡單工具的數量無限地增加起來。我們雖然看見幾千個的錠子在我們的兩旁排成行列，其實每個這樣的錠子簡直就是一具紡車。

現在羊毛和棉花所經過的過程，在表面上看起來，似乎要比專用手工的時候麻煩得多，其實這是因為現在的紡工們需要更多的和更為簡便的方法去達到相同的目的。例如纖維的洗淨

現在是用幾種機械連續處理的。簡單的梳毛器現在是由一具偉大的機械（參閱插圖二十乙）來代替的，這種機械有無數裝着小鈎的大滾子，能夠在纖維上面做梳理的工作，並能夠將所理成的粗毛條，自機械的他端源源不斷地輸送出來。

又在舊日的紡紗方法之下，紡工們都有一種很簡單的手的動作，就是自捲線桿上將粗毛條抽引至相當長度，而後紡之成線。這種動作就是等於現在紡機上粗毛條連續不斷地穿過一對對滾子的情形。這種滾子的轉動是一對速過一對的，所以那些鬆弛的粗毛條能夠很均勻地抽引出來毫無斷頭的毛病；有時幾個粗毛條同時被引出來，併合一起，而後又經過一番抽引的手續，俾使併合的粗毛條可以更爲勻整。當這種過程反覆重演的時候，每一回都可以加上一些撚回的手續，使毛條不至因伸展而中斷，同時在這種過程下所紡成的粗而且鬆的紗線可以叫做粗紗（*Coarse*）。粗紗經過撚回的手續很少，所以是極其軟弱的，一直到了最後一步的精紡工作，其強度纔增加起來。這個普通情形的敘述可以同時應用於羊毛和棉花方面，但這兩種材料的處理方法，仍有許多極重要的異點。

這是大約在十八世紀的中葉人們纔開始應用機械。當時的情形我們是可以想像得到的。當時在南朗卡郡 (Lancashire) 和約克郡 (Yorkshire) 的小山中和附近的低原一帶，住有一羣活潑而聰慧的人民，他們都是各自各地在他們的小屋中自紡自織。假使他們是住在鄉村裏，他們都是用馱馬運載製成的東西到附近的市鎮裏去。那時的人行道，好像是一組的踏脚石 (stepping stones)，現在有許多地方還可以見得到。當他們將現款和新工作的原料帶回家鄉的時候，他們必然會慢慢地思量怎樣可以增加他們的簡單工作的數量。他們既然能夠不假思索地從事紡紗，那麼他們爲什麼不能同時多紡幾根紗，而爲家庭和子女多賺幾個錢呢？所以最終到了一七六七年哈格理佛士 (James Hargreaves) 一個布拉克本 (Blackburn) 地方的織工竟然達到了這個目的。他造成了一具木架，上面裝着許多錠子（參閱插圖二十二），每個錠子就是等於一具紡車。此外又有一個承着許多筒管 (bobbins) 的移動紡床 (travelling carriage)，所謂粗紗（即曾經伸展和略爲撚回過的粗毛條）就是捲在這些筒管上面。這種紡機的應用方法南黎星 (South Kensington) 科學博物館 (Science Museum) 的紡織機械目錄 (Textile

Machinery Catalogue) 敘述得頗爲詳盡，同時該館還陳列有一具標本。現在將該項目錄中關於這個紡機的記載文字摘錄一段如下：

『在紡紗機械的發展史上，佔着第一頁位置的紡機 (Spinning jenny) 是布拉克本的一個窮織工哈格理佛士在一七五〇至一七五七年間所發明，並於一七七〇年得到專利權的。這個發明的主要優點，在使一個紡工能夠同時紡一百二十根紗，而從前的紡車則祇能一次紡一根紗。此外還有其他種種重要的特點，如：移動紡床能夠自筒管上抽出一定長度的粗紗，伸展牠們，並利用錠子的旋動將牠們加以撚回；最後那個鐵線的導板 (wire guide) 又能夠壓在那已經撚回的粗紗上面，使牠們於移動紡床回轉的時候在錠子上變成許多圓錐狀的線球 (Cops)。至於那使粗紗穿過一對對的速度不同的滾子而變成細紗的方法那是保羅 (Lewis Paul) 於一七三八年所發明的，不過保羅的專利權雖然是早已滿期於一七五二年，而哈格理佛士卻似乎不會知道這個方法，因爲他的紡機並沒有利用這一點。但是後來的阿克來 (Arkwright) 於一七六九年所發明的水力機 (water frame) 就知道採用這一個方法了。

『哈格理佛士的紡機直接促成克倫普吞 (Crompton) 的精紡機 (mule) 的發明，但精紡機可紡細紗的種種動作大多數牠都沒有，而且精紡機自被羅伯 (Robert) 改變為自動式以後，直至最近為止，並沒有什麼重要的變遷。』

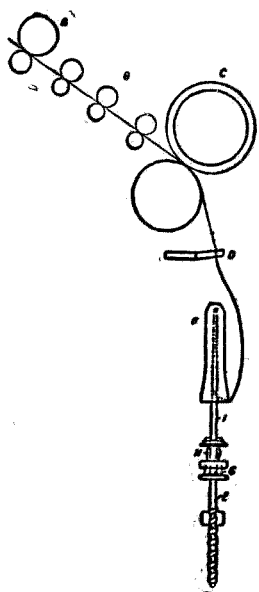
上文所述的克倫普吞的精紡機是在一七七四至一七七九年間所發明的。牠的運用原理和哈格理佛士的紡機一樣，但有許多重要的改良。同時牠還有一種練條滾子 (drawing roller) 能夠在精紡以前，先將粗條練成較細的線條，而且當紡紗的時候，牠又能夠極小心地處理紗線，所以牠所紡出來的紗比什麼機器所紡成的都精細。這真是可以使我們迷惘的，假使我們看見牠在大工廠裏的工作情形，（參閱插圖二十一）牠的動作是那樣地經過聰明的設計和那樣地有完善的平衡。我們可以看見那裝着幾百個錠子的移動紡床自捲紗機 (reels) 附近開始移動，這些捲紗機就是捲着備紡的粗紗的。這個紡床一面引着粗紗，一面向後移動，同時并將粗紗略略撚回，因為這時錠子也正在微微地轉動。當粗紗被引到相當長度的時候新的粗紗就不再輸送出來了，但那個移動紡床還是繼續向後移動，將粗紗緊緊地伸展，可是這個緊張的狀態，粗紗因為略略撚回

的緣故，到可以抵抗得住。於是紡床就此停止了，同時那旋動的錠子還是繼續將粗紗撚回，因此那個紡床又不得不順着原來的轍跡略爲回退一些，藉以鬆動這過分緊張的狀態。在這個時候紡床的移動就突然地停止了；各個錠子裏都有鐵線落下將粗紗止住，不使牠們仍如抽紡的時候一樣繼續滑出，同時紡床也漸漸回轉，將紗線捲在錠子上。

紡機和精紡機都是插圖十九所示的紡車運用方法（就是更迭地抽紡和捲取）在機械設計上繼續發展的結晶。在若干點上牠們確比連續抽紡和捲取的方法好得多，因為牠們能紡比較後者所紡的更爲纖細的和更爲精緻的紗；或許這是因爲將紡和捲的手續分得清楚的緣故，所以每種手續的成績也能更好一些。但連續方法，即抽紡和捲取同時進行的方法，在機械上也有相當的發展。這就是阿克來所發明的。他開始所造的幾種機械現在還藏在科學博物館裏。插圖二十三所示的就是他在一七七五年所造的第二具紡機。這種紡機一共有八個錠子，每個錠子都如紡車一樣，各由一具錠殼供給粗紗。粗紗由錠殼的空幹中通過，而後由錠殼的旋動作用將其抽紡，由錠殼和筒管的差異速度的作用將其捲取，其情形恰如插圖二十甲所示的紡車的用法一樣。阿克來

并曾在機中設置一種摩擦的作用 (frictional arrangement) 藉以控制這種速度上的差異。此外他又包入一種設計使紗線可以很均勻地捲在筒管上面。在舊日的紡車裏，錠殼上裝有若干各自分立的鈎子以備紗線輪流地穿過，但紗線的移動是完全用手的。現在阿克來卻採用一種更為有效的方法，使筒管能夠更迭地上下旋動不已，而紗線可以很均勻地捲在上面；這個觀念據說是哈格理佛士所孕育的。

插圖二十四甲所示的就是近代的紡機。在近代的紡機裏，有不少的設計可以代替錠殼。如圖二十六所示的帽式設計 (cap device) 就是其中的一種。此外還有一種特宜於迅速動作的，叫



圖二十六 紡機上的帽式設計。紗自上面的滾子垂下，經過帽子下的邊緣而通入筒管。筒管的轉動固然是很迅速的，但紗和帽緣的中間有充分的摩擦，足以牽制紗線，使牠不至隨着筒管而動得太快，所以牠可以一面受着繞捲，一面受着纏回。

做環式設計 (ring device)。但這些設計的運用方法，除實際觀察外，很難說得明白；總而言之，牠們都不過是根據相當的比例，而將抽紡和捲取的手續合併起來罷了。

自這些舊日的模型，現在居然發展了這樣偉大的機械。現在看見這種舊式機械的人斷然不會不感到牠們對於牠們的創造者到底曾經發生過什麼意義。現在牠們是不動的了；我們所見的，不過是幾根無用的紗線，牽連在一組朽腐的滾子，錠子和捲紗機上面。但是牠們的創造者曾經用過熱烈的手去造成牠們的各部分；迫切的眼睛去睜視着牠們迅速的動作；而且當他的智慧戰勝若干困難的時候，其中必定經過了許多失望的和得意的時期。於是最後牠們就可以動作了。但是就是成功也要攜着許多痛苦而來。當哈格理佛士造成紡機并在他的小屋中祕密工作的時候，他的左右鄰舍覺得他所做成的工作數量，不像是一個小小的家庭用舊式的方法所能做到的。因此他們就去偵察他，發現他的祕密，打壞他的機械，并趕他出去，於是他就不得不逃生到諾定昂 (Nottingham) 去了。其實這種事實之所以發生，我們是不難知道的。他的左右鄰舍一定以為他是一個貪得無厭的人，想攫得他的應得數額以外的東西，因此他們都怕他們的生計要被剝奪。

去了。像這樣的事實不知道已經發現過了多少次。一個舊日的作家曾經說：『但澤 (Danzick) 地方會有人發明過一種希世的織機，能夠在同時時間內，不需任何人力的幫助，而織成四五個的織品；而且這是一種自動的機械能夠一天到晚工作不輟；可是這個新發明的東西後來竟然被人燬壞了，因為牠是有害於那個地方的窮人的，同時牠的設計者也被人驅逐出去——』

這個啞謎有人能夠解答麼？爲什麼一個人不該利用他的腦力和一切能力去做比別人以前所做的更好的東西？爲什麼當他做了這種東西以後，他的儕輩或會在某時期內受到相當的損害？這些問題或許是應由經濟學家來解答的，但我很疑惑他們的答案會超出這個我們個個都能給予的答案以外，就是，當一個人努力做一種東西的時候，他萬萬不要專爲自己着想。

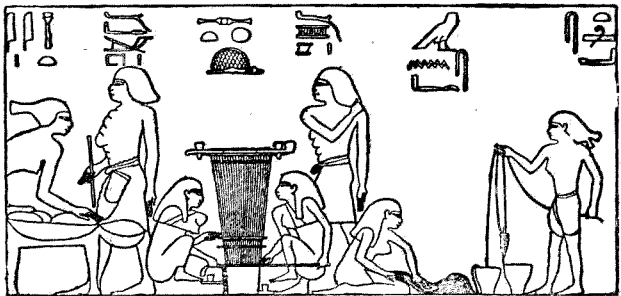
這真是很奇異的，假使我們想到一切紡機和一切依賴着紡機而生活的人們都環繞着一種纖維——羊毛，棉花或其他——而活動。假使纖維的長度增加，牠的強度，牠的對於濕氣的反應，牠的任何物理的性質，有何變遷，紡機的設計和工作的步驟便不能不隨之改變。換一句話說，纖維的性質簡直是可以控制一切的處理方法。就是到了現在這種纖維方面可以影響製造方法的種種

要點還大有研究的餘地；這誠然是一種千真萬確的事實。所以近年以來那些爲促進我們的工業而設立的種種研究機關，關於紡織方面，都十分注意於纖維的觀察。他們努力地去找探求牠的結構，牠的一切特質，和牠在逐一製造過程中的種種變遷。他們將植物學，生物學，化學，物理學和工程學的學識都應用到裏面去；他們在試驗纖維的性質，解釋失敗的原因和建議新的處理方法的時候，也曾遇着種種真正奧祕的難題。

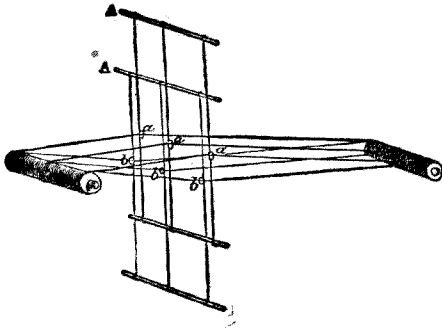
織的主要特徵和紡一樣，也是與幾千年以前的一般無二。大概在最初的時期中，人們都是用極簡單的方法，將細長的草葦或一條條的樹皮編織起來，等到這個時期一過，所謂經紗（warp）和緯紗（weft）便立刻發現了。那時經紗是直掛起來的，如埃及古代的圖畫所示的一樣（參閱圖二十七）。不久那個簡單的織補方法（darning method），便爲一種現在仍舊沿用的方法所代替，在這種方法之下，有一組經紗和其他經紗互相隔離起來，使其中留着一個空間，叫做梭道（Shed）。有了這個梭道之後，梭子（shuttle）就可以一次直投進去，不必如織機那樣，要連續地在每條經紗的上面和下面穿過。此外又要用一把『梳子』（comb）去梳理經紗使牠們中間各

維持着一個相當的距離，而每條緯紗就在那時依次打
入，(beat) 又梭子每投一次，經紗也必要整理一次，使
那些曾被拉向一面的經紗，現在可以拉到相反的方向。

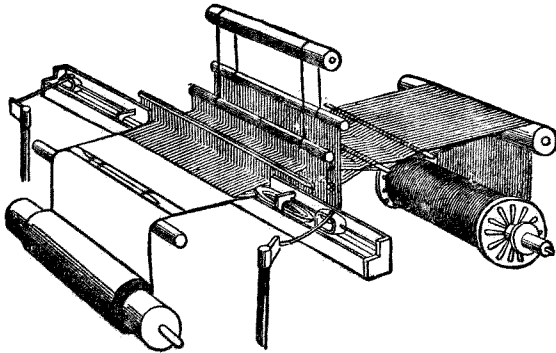
一切國家的手織機 (handloom) 都有相同的
要素和構造，不過有的地方經紗是平放的而不是直立的。
這是在一七三三年的時候，柏立 (Bury) 地方的 撥
約翰 (John Kay) 纔開始為第一次偉大的變遷，將
投梭的方法完全改變。他并不是用一手投梭，一手去接，
然後又將牠投回去，而是當梭子每次活動終了的時候，
用一個梭箱去接；這種梭箱一共有兩個，每個各用繩子
和一根竹竿連着，這根竹竿就執在織工的右手裏。當織
的時候，織工只要用手將應該先動的一個梭箱急拉一



圖二十七 右面是麻線正在分解和搓紡的情形。那個站在極右邊的人方在運用錠子，在中央偏左一些的人方在織麻，那站着的
就是監工。



圖二十八 此圖表示綜統的活動狀態。圖中一個綜統正在舉起經紗 a, a, a, 一個正在壓下經紗 b, b, b. 這兩組經紗中間的空間就是叫做梭道。



圖二十九 此圖表示織機的構造比上圖更為詳細。右邊的經紗正自大滾子上送出來，而左邊織成的布則正在捲進去。綜統和梭子在這個圖中都看得見。那個豎立起來像廣告柱的東西是叫做投梭器，牠在每一個適當的期間必突然地繞着一個直立的軸旋轉一下并急擊那個藏梭的箱子，使梭子自裏面急投出來而穿到梭道裏。

下，裏面的梭子就會很迅速地投出來，穿過梭道而進入第二個梭箱。同時他再用腳將踏盤 (tre-
adle) 壓下，使那曾經舉起的綜統 (heald) 和經紗下落，而那曾經壓下的上昇，然後他再手急拉
梭箱一下，梭子就又要投回去了。後來他的兒子羅伯 (Robert Kay) 在一七六〇年又發明一
種起落梭箱 (drop box)，能夠同時容納幾個梭子和幾組顏色不同的緯紗，並能夠上升和下落
使所需的一種顏色的緯紗，可以隨着織工的拉動而投出來。

以後的動力織機 (power-loom) 更使織工的實際工作輕鬆不少。因為現在他祇要看着幾
具織機自動工作，隨時修補斷頭的紗，並留心着一切部分的活動就行了。

這是很有趣的，動力織機的發展，並不等待着蒸汽的發明。所謂織機能力的增殖時期 (age
of multiplication) 完全是獨立開始的。大概在最初的時候人們總先發生了一種目的，想用一
個人的力量去運用許多機械，如哈格理佛士就想同時能夠驅使幾個錠子。後來這個目的達到了，
他們又想利用一二沒有性靈的力去運用這種機械，而由人去佈置，看顧，和指揮。所以有時他們會
用着馬匹，有時又用着水力，如阿克來的水力機的名稱就是由這樣發生的。我們的第一具動力織

機是卡特賴特 (Rev. Edmond Cartwright) 於一七八五年所發明的，這個織機已經具有近代織機中的許多設計。他當一七八五年在唐卡斯忒 (Doncaster) 設立一所紡織工場的時候，曾用過一頭牡牛來轉動這具織機，四年以後他就改用蒸汽機了。

近代的織機是一種極為複雜的機械，在這種機械裏，人們的智慧對於處理經紗的機械結構的設計，已經超過從前的一切，所以就是極為複雜的花樣現在也可以織得起來了。有幾種織機所有的大梳子可以連續不斷地向前移動，這些梳子上面的適當地方都已穿有小孔，所以每個梳子輪流地有一組鍵穿入孔中，并連帶地有一列經紗被其舉起。但是這種織機仍舊不過是手的動作的增殖作用。而且有的地方還不能完全代替那單獨由一個頭腦指揮的手。例如現在各處還有幾千具的手織機仍在織造那些比較精細的絲織物。

織工所用的纖維，每含有相當數量的濕氣 (moisture)。這種濕氣第一，足以增加牠們的重量；第二，足以變更牠們的性質。其中尤以重量的變化一點最為商人們所重視。可是要使一種織物完全乾燥是絕對辦不到的。即使這種織物曾經在爐中烘過，所有濕氣都被驅走，但當牠一經放在

露天裏，相當數量的濕氣便要進去了。所以羊毛或其他纖維，當在市場上買賣的時候，依法可以含有若干水分，都有相當的規定，這種規定的水分數量就是叫做纖維濕量 (regain)。現在英國毛織工業區域的纖維濕量都是由布刺德佛德 (Bradford) 的商品檢驗所 (Conditioning House) 規定的，其額率大抵自百分之十六以至十九，視材料的形式而定。所以當我們買若干尺布的時候，我們同時也買進相當的水分；不過這也沒有什麼不方便，假使我們確實知道所含的水分究有若干。

濕氣對於纖維性質的影響，尤為一種複雜的，有趣的和重要的問題。這種影響，屬於普通性質的，大概人人都能知道。例如我們都知道當衣服被水潤濕的時候，牠們的形態和式樣將要怎樣地受着損害。牠們有時是實際縮短了，有時是僅僅地把樣子失掉了。這種我們所常常遭遇的困難，對於製造家其關係將更為重要。我們對於這種小小的損害或許可以置之不問，但製造家是要預備將他的貨物出賣的。而且當一種紗在紡的時候，或一種布在織的時候，其中有許多機會使牠不得不受着應變，濕氣和熱的作用的，確，牠這時所受的處理比我們對待我們的衣服要粗上幾倍。有時

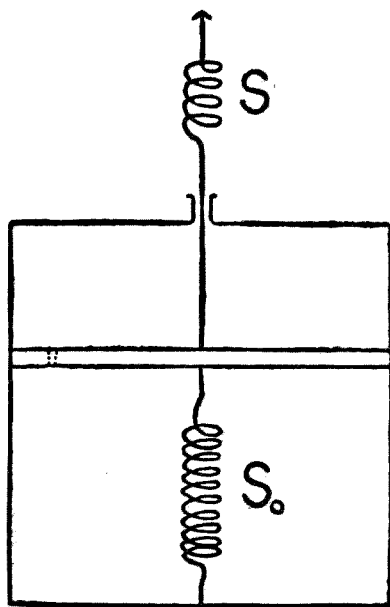
一個製造過程中所發生的應變狀態，在別的過程中或許會突然地重新發現，因此這種材料就免不了變成不平，起皺，或有斑點的了。這個當然是一個最爲嚴重的弊點。因爲假使一塊布在外觀上不能齊整，牠的吸引顧客的能力便要大大地減少了。此外，一塊布的斑點當染色的時候，也常常會更爲明顯起來，因爲牠所吸收的染料數量，大概視材料的情形和應變的狀態而定。這個情形尤以人造絲爲甚，所以我們處理人造絲的時候也要特別小心，不然牠的各部分便要發生不同的應變狀態了。關於這種困難，織工們曾經以長久的經驗發現了種種剋制的方法。同時各個研究會，爲促進這些方法的改良，和解除牠們在應用上的困難起見，也曾開始去研究濕氣，熱和應變對於單條纖維的影響。因爲這是比較地容易去捉到種種問題的癥結，假使我們先研究單條的纖維，而後去處理複雜的織物。不過這個問題至今還不會完全解決，雖然這方面的工作已經做了不少；同時各個織工的意見也不能完全一致。但是有幾種普通的結論，在要點上已經由各方同意接收了，所以我現在不妨將牠們解釋一下。因爲牠們能夠很澈底地幫助我們了解這些東西，在我們想到實際上的許多複雜問題以前，先研究這些普通原則當然是很好的。

一條單獨的纖維常常可以伸長起來，但是牠并不如一條彈簧那樣一經放鬆就可以恢復原有的狀態。誠然當牠很迅速地受着伸長而又放鬆的時候，牠的行爲恰如彈簧一樣；但是假如應力施得太久，牠就要漸漸地伸長到相當的限度。以後當應力撤去的時候，牠誠然要立刻回退一些，但是我們如要牠完全恢復原有的狀態，假使事實上是可能的話，那就非得經過長久的時間不行了。現在我們可以用棉花研究會

(Cotton Research Associa-

tion) 蕭武 (Shorter) 博士

所製的一個小模型來說明一下。圖中的活塞可以上下活動；同時圓筒中又裝着一種黏滯流體 (viscous liquid)，這種流體能夠自活塞的一面，經過



■三十 蕭武的模型

一個小孔而流到活塞的別一面。活塞上裝着兩個螺簧，一個露在圓筒的外面，所以我們可以用手牽拉；一個在下面使活塞和筒底相接。

現在假使我們很迅速地將上面的螺簧（見圖三十）緊拉一下，並立刻將牠放鬆，那個活塞因為受着黏滯流體的阻礙的緣故，將沒有機會為顯明的移動。同時那個上面的螺簧當放鬆的時候，也要立刻恢復原來的狀態。這個就是等於纖維受着迅速的伸長時的情形。又當上面的螺簧突然地受着伸長的時候，這種伸長的力或許可以使牠中斷，但是假如我們慢慢地並安穩地將相同的力施在螺簧上面使活塞有上昇的機會，這種情形就不會發生了。這又恰如一條纖維能夠抵抗緩和的伸長勢力一樣。又如我們連續不斷地將力加下去使活塞能夠上昇到相當的距離，而後將上面的螺簧放鬆，這個螺簧當然會立刻反動；但下面的螺簧卻須經過長久的時間纔可以復原。這些情形都可以說明我們剛纔所提及的纖維上面的第二種影響。

這些單條纖維所能表現的種種影響，在那由許多纖維組織起來的織物上當然也可以照樣地表現出來。一塊布曾經迅速地應變的，也可以迅速地復原，但是假如經過應變過久，牠就似乎要

永久維持新狀態了。不過假如我們任牠有絕對自由的機會，牠也可以大大地恢復原來的狀態。所以當一件衣服休息了相當的時間以後，常常可以恢復原來的式樣。又一條曾經伸長的纖維，如受着水的潤濕，復原可以比較地快；這好像上述模型中的流體曾經變成不甚黏滯時一樣。現在讓我們用一個簡單而顯明的實驗來說明濕氣對於棉花的影響。假如我們將潤濕的棉花壓成許多插頭，并使牠們在壓縮的情形下乾燥起來，當壓力移去的時候，這些插頭的樣子是不會改變的。現在假如我們將一個插頭浸在一瓶苯（benzine）裏，牠的式樣因為棉花不會吸收苯的緣故將不至改變；但是假如我們將牠浸在一瓶水裏，牠就要很迅速地膨脹起來了（參閱插圖二十六甲）。而且我們可以在一塊洋布上做一個很顯明的皺紋，同時即在這起皺的部分剪一塊下來，并抽出一些棉紗使牠們變成V字的樣子。那麼現在假如牠們是放在燈前的一塊玻片上并受着潤濕，牠們就要立刻伸長起來了。

像這種性質的影響，在實驗上實在是很多的，而且也是很重要的。假如一塊材料在製造的過程中曾經受過各種形式的應變，當牠受着潤濕的時候，這些應變便可以一一地消滅下去。其實在

任何環境之下，牠們本來也總有消滅的一天，雖然其所需的時間，或許是比較長久一些。但是濕氣卻能夠很迅速地使這些應變一律弛緩下來。所以假使那些在製造過程中所發生的應變，不能想法消除，一塊布當潤濕的時候便要發生一種不平均的緊縮，這種現象，我們上面已經說過，是很不好的。不過我們如要明白應變的消除狀態，便不能不研究另外的一個要點，這就是熱對於纖維的影響。原來熱，至少是溫和的熱，對於纖維有和水一樣的作用，如以上述的例子來說，就是能夠使圖三十所示的模型中的流體，減少牠的黏滯性，因而能夠解除那些比較不易消失的應變。所以那些放在抽屜或提箱中的有皺痕的衣服，如懸挂在火爐的旁邊常常是很有益的；因為熱可以將皺痕除去。此外一種比較高的溫度還可以更進一步地將纖維的性質永久改變。這種情形就恰如上述模型中的螺簧曾經完全改變牠們的位置一樣。所以假如一塊布上留有任何應變的痕跡，祇須使蒸汽在這種材料的中間穿過，牠們就可以完全消失了。又一塊布如有發生皺紋，也可以當牠在緊捲的狀態時放在沸水裏面。這樣一來所有纖維中的應變便可以完全除去，而這塊布的形式也就可以成爲自然的形式；這種處理在我們洗淨織物的油質和塵埃以前是常常應用的。

當織物因洗淨而潤濕的時候，我們可以將牠張在一個架子上面使牠平坦光滑；這個架子的四周邊緣密佈着許多鈎子，織物就是張在這些鈎子上面。這個過程可以叫做拉幅（*tentering*），而那些鈎子可以叫做拉幅鈎子（*tenter-hooks*）。織物當張在架子上面的時候，就開始受着烘乾的手續（*drying*）；不過烘乾時所需的溫度比水的沸點低得許多，所以這幅織物在架子上所得的應變將要變成半永久性——換一句話說，牠們將要經過長久的時間纔可以消滅。不過潤濕的手續卻可以立刻將牠們除去；這所以有幾種材料有時會縮得那樣利害。但是假使當牠們張在架子上面的時候，我們用蒸汽處理這些應變便可以平坦下來，而那伸張的形式，也要成爲自然的形式；這種過程就是叫做噴汽（*blowing*）。此外爲要確實保證布上不留下任何應變起見，我們又可以應用一種特殊的處理方法叫做『倫敦縮布法』（*London shrinking*）。這種程序是將織物完全浸濕并任其乾燥，不使任何非必要的張力有加入的可能。（一）其整理的程序，據蕭忒博士所說，計包有兩點：

（一）冷水解除潛伏應變（*latent strain*）的作用。

(二)沸水或蒸汽破壞應變的作用。

上列的第一個作用就是等於上述模型中的流體黏滯性的改變，第二個作用就是等於彈簧位置的改變。

當縫工壓平衣服的時候，他總是先在上面放一塊濕布，然後應用熨斗。這種動作就是由於熱和濕氣都是整理纖維所需要的東西。

纖維裏面必定有一些東西等於上述模型中的兩個部分，彈簧和流體。其實這一個事實，即纖維能夠吸收這樣多的濕氣已經暗示我們，纖維裏面必有一種東西，在性質上，恰如膠質物體一樣。我們假定膠質物體有一個骨架，其中的小孔可以容納多量的水。所以我們也以爲各種纖維必然也有一個骨架其中充滿着黏滯的媒介物。冷水和熱都可以減低這個媒介物的黏滯性，但不能大地破壞這個骨架，假使事實上是可能的話。可是蒸汽到可以實際地破壞牠，并將牠重新組織起來。我們所以能夠壓平衣服就是利用這個事實。大概這種動作對於纖維的結構總不會沒有相當的影響，因爲每次壓平結果的持久性總比前一次的稍遜一些。

這些事實大概各種的纖維都是一樣，不過在細點上牠們也有許多不同的地方。例如棉紗，棉布和亞麻布的強度都是隨着濕量而增加，但羊毛和人造絲織物的強度卻是隨着濕量而減少。羊毛纖維當潤濕的時候，總是較弱一些，所以毛線的強度也因之低減，但是棉花纖維卻不會大大地受着影響。至於棉紗強度所以增加乃是由於無數纖維密切抱合的緣故。原來一種紗線的強度完全依着兩個條件而定：一，每條纖維的強度；二，多數纖維互相抱合的力。

有一種極爲有趣的工作足以發生織物的吸引力的，就是去增加牠們的光澤 (luster)。所謂光澤是很難予以定義的。我們誠然都大略地知道什麼是叫做光澤，但是假使有幾個人分別地請我們將光澤的意義寫出來，我們所寫的就將要有很大的差異了。或許我們的答案可以比較地相似，假使我們用種種例子來說明我們的意思；例如我們可以說一切的絲和緞子 (sateen) 都是有光澤的，或許也可以同意真珠母是有光澤的。同時我們也可以說到有光澤的頭髮或眼睛；這最後兩個的例子也許是不錯的，可是假使光澤在這些例子上的意義果真不錯，那麼這個名詞在我們這裏便不能不別有一種不同的意義了。當一隻貓的眼睛能夠在黑暗裏發光的時候牠們可以

說是有光澤的麼？一種有光澤的器皿所發出來的光澤，我們到底知道牠是什麼東西麼？據我看起來，所謂有光澤的東西，在要點上，似乎就是能夠在我們意料不到的時候將光線反射過來。不過一種有光澤的物體，往往不單是一種很好的反射體 (reflector)。假使牠們果真是一樣的話，那麼一種塗有水銀的鏡就將要認為有光澤的了，而其實這種的鏡我們都知道並不是一種有光澤的東西。大概我們可以說金剛石是有光澤的。因為牠所以能夠動人，就是由於牠的折射性 (refractivity)，能夠將所射入的光線，自我們一切意料不到的方向反射出來——這裏所謂『意料不到』就是說一直要等到我們坐下來估算的時候纔可以覺得。換一句話說，金剛石能夠自我們所以為毫無關係的地方將光線發射出來；牠的本身好像會發光一樣。誠然有的金剛石能夠在黑暗裏發出燐光，但是這完全又是另外一件的東西。

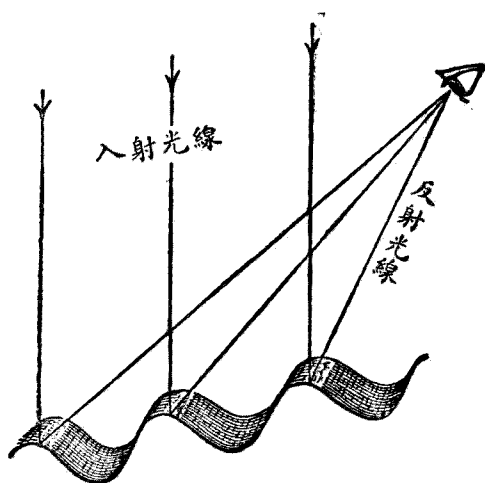
這一點在材料的織造上既然是這樣地重要，所以在最近幾年中一般研究紡織學的人，都在很辛勤地為光澤建立定義，并想發明一種測量光澤的儀器。因為沒有相當的數量上的測量方法，那些發生光澤的種種過程的成績是難以確定的。僅僅依賴各個人的眼光和判斷力無非是空費

光陰罷了，關於儀器的構造大概視對於材料所反射的光線的測量方法而定，這裏所謂反射的光線，就是指那些自各方向，尤其是光滑表面如鏡子之類的反射方向以外的一切方向所反射的光線而言。現在我們可以不必詳述牠們的構造方法，只要用一個簡單的實驗來說明牠們的大略性質和我們對於光澤的觀念也就夠了。我們可以使光線自一盞燈射到一塊緞子上，光線和緞面適成一斜角；緞子最好是有色的。現在假使光線的來源是在我們的後面，同時放緞子的地方是放着一面鏡，那反射的光線是不會觸到我們的眼睛的。但是假使我們將緞子在牠自己的平面上旋轉一周，那麼牠每旋轉一次，我們的眼睛就要觸着閃光 (Flash) 一次——其實是兩次。同時爲使這種閃光更爲明顯起見，房中其他一切的燈光是要熄滅的。（參閱插圖二十六乙）現在我們要知道這種閃光是從那裏來的麼？

假使我們用一個放大鏡觀察這塊材料，我們將要見到牠的經紗是互相平行的。原來這塊材料的編織方法，如自一面——即有光彩的一面看起來都是使經紗越過幾條緯紗的上面而後潛入下面，如下列圖三十一所示。所以這一面所呈現的經紗大部分是互相平行的。在上述的實驗中，



圖三十一 緞子中經紗的編織狀態圖



圖三十二 緞子上的光澤圖 圖中有紋波的表面，將要發出光線，使圖中的眼看得到紋波旁邊的反射光線。絲帶上比較明亮的部分就是代表眼睛所見得到的有光部分。假使我們將這條絲帶拉直圖中的眼睛就見不到亮光了。又圖中紋波的線是垂直於紙上的，而入射和反射光線則是和紙處於相同的平面。

當緞子發出閃光的時候，那將材料和我們的眼睛以及和燈球連接起來的兩條線適交叉而成一角，緞子表面的經紗就是垂直於這個角的平分線 (bisector) 上。其實這塊緞子的表面是具有無數溝狀的線紋的，光線就是自這種溝狀線紋的邊緣反射出來。此外，除經紗的平行狀態足以發生反射作用外，每根經紗的本身當然也都具有很好的反射表面。反之，緞子的裏面因為沒有這種同一方向的結構的緣故，也就沒有這樣明顯的光澤。所以我們可以說這些排列齊整的溝紋就是就緞面發生光澤的原因。同樣的情形，我們在一塊新耕的田地裏也可以看得到，因為那裏的新掘溝畦的邊緣，往往會現着無數亮晶晶的犁痕。

爲了這個原因，所以我們有時又用一種機械的方法來加深緞面的溝紋。這個只須使緞子在加熱的一組滾子裏穿過，并在那裏切出許多極精細的平行溝紋就可以達到預期的目的了。這個過程，爲紀念牠的發明者的功績起見，現在就是叫做『雪雷涅林』(schreinerling) 而在這個過程下所織造出來的有光澤的織物現在也有很大的用途，因為無論如何我們總是喜歡用有光澤的東西的。

假使我們能夠更爲精細地研究一下，我們將要覺得有的紗線所織成的東西會比別的紗線好，同時種種紡織的方法也大有好壞的不同。據不列顛棉花研究會（British Cotton Research Association）的報告，那些具有最爲圓滑的表面的紗線；纔算是最好的材料，這一點或許也是我們所預料得到的。因爲光澤的發生完全由於一塊材料的各部分——當然是如上所述，指那些意料不到的各方向而言——同時發生反射的作用。假使棉花纖維在形式上不能齊整，反射的作用便要受到相當的阻礙；現在假使有了圓滑的纖維，那些撚紡出來的紗線便可以有很齊整的外觀了。這就是一種原因，爲什麼棉花纖維經了一種很重要的麥塞化程序（Mercerisation）之後，牠的光澤會大大地增加起來。所謂麥塞化不過是用鹼性溶液（alkaline solution）處理棉花的一種過程。棉花當浸在溶液裏的時候，即吸入少許溶液，使之通過纖維的外皮，而達到纖維素（Cellulose）裏，因即於外皮和細胞腔（lumen）的中間成一薄層。同時纖維素就此膨脹起來，使纖維的外廓成爲更大的圓管，而牠的外皮也更爲緊張和明亮。這些作用有幾點已由插圖二十五和二十七說明得很爲清楚，讀者看了牠們之後，就可以知道棉花纖維在麥塞化以前和以後的形態

是怎樣不同的了，在這些插圖裏其中有一幅說明麥塞化的溶液對於那些極短纖維的影響；那些纖維的尖端於吸收溶液以後都特別脹大起來，所以牠們的狀態很像啞鈴一樣。又在一幅圖裏，那些纖維是曾經在處理以前受過酸質的損害的，所以牠們的外皮都有破裂的痕跡。自這幅圖的說明，我們可以得到一個教訓，就是凡管理電池組 (Electric Batteries) 的孩童們，萬萬不要如他們現在所做的一樣，用手巾揩手，尤其是假使牠們是棉紗所造的。因為纖維的外皮只要觸着一些酸質就要受到相當的損害了。

此外紡織的方法如選擇得宜，也可以使織物的光澤增加。例如我們可以撚合 (doubling) 兩根單紗而使之成爲一種良好而有光澤的紗線，這種撚回的方向是和單紗相反的。所以每根紗線可以包有若干撚回的纖維，其形式恰如圖三十三所示。據研究所得，單紗和紗線中間的撚回必須維持着一種相當的關係，而後乃可以發生一種最大的光澤。而據實際觀察的結果，當單紗的纖維和紗線的方向互相平行的時候，這種目的的確是可以完全達到的。至實驗這種手續的方法，乃是將幾根撚回比例不同的紗線在一個黑暗的背景上排列起來，而後用自左至右強度漸減的光



圖三十三 單紗纖維的撚回。和兩根單紗併合起來的撚度的中間是維持着這樣的一個關係，就是使纖維和後者的軸線處於互相平行的地位。

線去照耀牠們。在這種情形之下，照相機祇能自一點上看到牠們，大概那最有光澤的紗線就是那看起來最爲明亮的，而且那明亮的地方也是最長的（參閱插圖二十六丙。）圖中最亮的幾根紗線是在中央，牠們的撚回方法都如圖三十三所示的一樣。

所以，其次，我們又可以說，爲要得到最大的效力起見，那些實際具有反射作用的紗線，都要極力地使其處於同一的方向。當這個方向對於我們的眼睛和光線的來源果然是處於對稱（symmetrical）的地位，如上述的實驗一樣，——換一句話說果然是成一反射角——反射的強度就可以說是最大的。同時假使我們更將織物加以「雪雷涅林」的處理，使這個方向的溝紋更爲清晰和更爲整齊，那麼牠們的光澤就可以更大了。

最後有的織物是用人造纖維來代替自然纖維（即動物或植物的纖維）的。這種纖維就是那因非常強烈的光輝而受人重視的人造絲（artificial silk）。這是很自然的，當聰明的人們看見蜘蛛或其他小蟲吐絲結網的時候，他們或會想起也用同樣的方法去造成一種有用的絲線。關於這種性質的建議我深信一六六七年胡克（Hok）的微物誌（Micrographia）是最早的。胡克是那時一位眼光最爲銳利的觀察家，而且也是一個英國的大科學家。他備有一具顯微鏡——在當時還算是一種新發明的東西，并寫了一本書將他用顯微鏡觀察一切東西所得的結果都詳載在裏面。在各種東西中他也曾研究過絲織物，『關於精細的絲織品』（Of fine waled silk or taffety）就是他專論這種東西的一篇論文的題目。在這篇論文的最後一段中他以爲人造絲的製造是可能的，他的文字是這樣：

『我常常想或許有一種方法可以造成一種膠質的東西，和蠶作繭時所吐出來的排洩物或其他物質大略相似，假使不能一樣地好或更好一些。假使這種的東西果真是找得到的話，我們便可以很容易地將牠抽成細絲以供應用了。我現在可以不必細述這種發明的價值和牠對於發明

者的利益，牠們都是很顯明的。所以我希望這一個小小的暗示或許會給予那些有天才的人一種嘗試的動機，這種嘗試假使是成功的話，我的目的果然是達到的了，但是他的本人也將要覺得十分欣幸的。」

現在這個觀念果然實現了，一種極為美麗的纖維，果然恰如胡克氏所預期的方法一樣製造出來了。

人造絲在性質上與其謂為與絲相似，無寧謂為與棉相似；實則牠絕對不是絲。牠也如棉花一樣地能導電。牠也能導熱，所以當觸着的時候，是覺得很冷的；這個祇須我們將一球的人造絲，緊壓在臉上就可以覺到。同時羊毛的纖維則與之相反是很溫暖的。人造絲的造法，大概是先由一種木漿抽出若干的纖維素，而後加以化學的處理，而使之變成黏滯的東西，最後又由細管中注入一種流質裏而使之凝固。（參閱插圖二十四乙。）

人造絲是一種極長的紗線；不像除絲以外的其他纖維一樣，必須由無數短的纖維用紡紗的方法接合起來。牠是粗硬的，明亮的，不易伸展的和冰冷的；牠的強度祇及棉花纖維的一半，比羊毛

纖維雖然稍強一些，但因缺乏羊毛的結合性的緣故，所以不易撚紡。羊毛，我們已經知道，是有一種特殊的結構，可以使牠的纖維互相抱合的。又人造絲當潤濕的時候，牠的強度也大大地減退。可是牠雖然有這些缺點，而因牠有特殊光澤的緣故，到是一種極有吸引力的材料。同時牠也能抵抗磨損，因為牠是非常光滑的。所以近來牠常常和羊毛或棉紗合織，以期同時可以得到牠的光澤和抵抗磨損的優點。

這是很可注意的，牠是第一種由人工製造出來的纖維，第一種不必取給於自然來源的材料。牠的來源實際上是無限的，同時牠的供給也可以不必受着天時的影響。牠或許是許多其他人造纖維的前驅者，漸漸地會發生許多有價值的優點，如溫暖，堅固，及抗濕力等等，雖然現在還不能和其他的自然纖維，在用途上為有力的競爭。

(1) 見蕭忒的法拉第學會會刊 (Transactions of the Faraday's Society) 卷十。

第四講 染工業

染工業中有一個特點是我們所須立刻注意的，就是：化學家已曾發現了各種主要染料的分子結構，同時即由於他的新智識的幫助，又能夠用從前所不會知道的種種方法，和沒有用過的種種來源，來產生這些染料。他已經增加了不少種類的染色和濃淡 (shade)，直至無須再增時為止；他確能造出種種新染料，并具有和舊染料一樣的固着性。誠然，現在還有許多問題等着解決，但是牠們都不過是關於製造過程的改良，耐光性和耐用性 (fastness to light and wear) 的促進，和種種染色對於新材料的適用性的推廣等等方面罷了。

所以這就是染工業的特色。他已經一直達到這個工藝的基本元素裏，就是染料的分子；同時即因為他已經這樣，所以他對於這種工作已有一種特別的技術。別種工藝果然也向着同一的方向前進；例如：冶工研究他的金屬晶體；織工，他的纖維；陶工，他的黏土。但是染工在他的本行中卻比

別的工藝深進得多。這些進步都不過是過去五十年中的成績罷了。這當然是很有意味的，假使我們能夠觀察這種工藝的過去歷史，并以之和現在的情形互相比較。現在讓我們來看染料化學家所成就的到底是什麼。

我們可以開始觀察關於染色和染色東西的種種要點。現在我們所知道的第一個原則，就是一種顏色的發生，常由於他種顏色的破壞。我們常常以爲當白光通過一塊紅玻璃時會變成紅光，可是假使我們找出來紅色和紅玻璃並沒有什麼關係便要覺得奇怪了。太陽或任何其他光源所發的光，包含有一系的光波 (a series of light waves)，其長度自一英寸的四萬分之一遞減至八萬分之一。這些光波集合起來就是白色；但是其中如有任何一部忽然失蹤，那裏便有一種顏色發現出來了。紅玻璃將射入的較短的光波吸收，而任那些較長的光波通過。那些短的光波就使我們的眼發生藍的感覺，而長的光波發生紅的感覺。所以玻璃現着紅色不過是由於藍的光波被其吸收而紅的光波不受影響的緣故。此外一切染色染料和油漆所發生的作用也都是這樣。

我們可以用一個極簡單的實驗來說明這個要點。當一柱白光自電弧 (electric arc) 裏射

出來的時候，我們可以使牠通過一個稜鏡，這種稜鏡是可以使光柱折入新方向的。但是因爲藍的光波比較紅的，或短的光波比較長的折得更甚的緣故，各種不同波長 (wave lengths) 的光就要全部顯示在一幅布幕上。那最長的一個將要現着深紅的色，而那最短的現着紫色；其餘波長的光則依着次序在這兩色中間排列起來。這時假使我們放一塊紅玻璃在光柱的中間，或在牠射入稜鏡以前，或在牠離開稜鏡以後；那麼我們就要見到除紅色外一切的顏色都被吸收了。

染色東西常自整個色系中的不同部分，吸收若干劃分顯明的波長的光，所以光譜 (spectrum) 上的各部分會發現許多暗帶 (dark band)；而其餘波長的光則混合起來而成若干色，使我們的眼發生特別的濃淡的感覺。當然的我們的眼對於這種濃淡的合成，并無任何具體的觀念；牠絕不能自色譜的各部分將濃淡所含的成分一一地分析出來。牠在這方面的能力可以說和我們的耳絕對不同，因爲耳是能夠分析混合的聲和弦 (Chord) 的，有時如經過充分的訓練，還能夠辨別極爲複雜的弦。例如當我們敲擊兩把音叉 (tuning fork) 而使牠們發生 C 和 G 的音符時，我們都知道這個悅耳的諧和 (harmony) 是含有兩個音符的。沒有別的音符的混合會發

生相同的感覺。但是眼就不能做同一性質的工作了。假使我們看見兩種波長不同的色，我們往往祇有一種極簡單的色的感覺，而不能明白分別那由一種波長所發生的色和牠有什麼不同。所以假使我們用各種方法將光譜中各部分的光波混合起來，牠們對於眼所發生的感覺總是一樣的。可是我們卻萬萬不能在一架鋼琴上發生各種混合的弦使我們的耳會感到絕對相同的聲的感覺。

現在我們可以在光線的中途，放

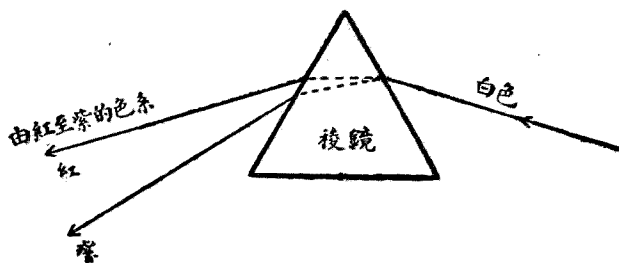


圖 三 十 四

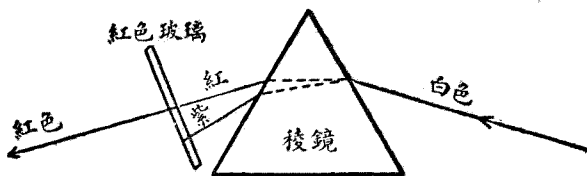


圖 三 十 五

着二種著名的染料，如土耳其紅 (Turkey Red) 和藍靛 (indigo) 之類。我們能夠在光譜中看得出來那幾種波長的光是被吸收的，那幾種是遺留下來的，因之我們可用一種適宜的過程看到什麼是後者所組成的顏色。

一種物體的表面，如曾經染色過的，自我們看起來，就是一種有色的表面，因為白光貫穿到染色物體裏面的時候，一達到極短的距離以後就立刻回轉；同時就在牠進去和回轉的時候有若干波長的光被其吸收。又我們應用水彩 (water color) 的時候，也是依賴背後的白紙來反射光線的，所以假如我們在背景的一部分上，不經相當的攷慮，頻頻施用水彩，其結果將使我們的畫完全失掉光彩而漸漸地模糊起來。又白紙上每施漆一次，其反射能力必減損一些。我們所以用油就是要利用牠在着色物體上所放入的白色微粒，藉使漆可以一層一層地塗上去。所以我們每塗漆一次，就等於加上新的反射材料一次。

一個物體所能顯示的顏色，不但要看牠的表面狀態如何，同時也要看照耀牠的光線所含的是怎麼樣的顏色。假使一塊紅玻璃置在一柱僅僅含有藍色短波的光線前面，牠是不能發送什麼

顏色的；牠所能顯示出來的，只是黑色而已。假使我們用那在本生燈（Bunsen burner）的無色火焰中變成白熾的常鹽的鈉汽（sodium vapour）來照耀一間屋子，則那時屋中僅有的光波將只有黃色的幾種；因為鈉的特性祇能發射黃色的光波；所以那些能夠吸收黃色的東西將要現着黑色，而其他的東西則現着黃色；不過同時所顯示的種種黃色，自然有濃淡的不同罷了。舊日的一種聖誕遊戲叫做『捉龍』（ana-p-dragon）的，所以能使在場的人個個都現着鬼臉，就是利用這一種光線。實則同一的現象我們在平日也常常可以看到，雖然其所表示的並沒有這樣地顯明。例如當太陽光射入一間屋子并照着一二顯色的東西的時候，那間屋子就將要充滿着這一種顏色，同時其他東西的相對濃淡，也要隨之而變遷。在晚間日落的時候，藍色的光波在牠經由空氣傳送到我們的途中大多數都已消滅，所以我們所見得到的就祇有落日的紅光；同時紅色的光在各種花木中也要覺得格外顯明。最後我們都知道各種顏色在太陽光中和在人造光中，尤其是在那蠟燭，油燈和舊式電燈的黃色光線下，會使我們的眼發生完全不同的感覺，所以近代染廠的各間屋子裏，常有特別的光線裝置，使藍色光波格外加濃，而屋子裏的光線可以和自然的日光相差不遠。這

樣一來，紗線織物和花樣就能夠顯出牠們的真正顏色了。

顏色對於我們的眼和腦所發生的感覺還可以受到另外一種形式的影響。換一句話說，除原來光線的特性和着色物體的本質外，我們的視覺機構（mechanism of vision）對於色覺也有相當的影響，因為眼對於同一的對象，並不一定發生同一的感覺，同時牠們在接觸這個對象以前所見過的東西也有影響色覺的效力。有一種常見的經驗，或許我們是都知道的，就是當兩隻手曾經分別在一盆冷水和一盆熱水裏浸了大約一二分鐘以後，假使牠們再放入一盆溫水裏，一隻手便要覺得牠是冷的，而別的一隻手卻要覺得牠是熱的。在同一的情形下，假使我們的眼曾經注視過紅的東西，現在再使牠們注視一二居間的顏色如綠色之類，那麼牠們所見的對象在濃淡的程度上將要比牠們先看過藍色的東西後所感覺的更藍一些。因為牠們對於久經注視的顏色已經覺得疲倦了。又如當我們注視了紅色圓盤一會兒以後，再去注視在牠旁邊的白紙，我們將要見到有一個藍色圓盤在牠的上面，這是因為我們的眼對於紅色已覺得疲倦，所以那由白紙發射出來的白光，會使我們發生所覺得缺乏的感覺。同樣的情形也可以顯示出來，假使我們使兩盞燈在

白幕上映出兩個互相重疊的圓盤。在這種佈置之下，假使我們放一塊紅玻璃在一盞燈的前面，那被白光所映着的部分C便要現出帶綠的藍色，而A則現出紅色（參閱圖三十六）。反之，假使我們放一塊黃玻璃在牠的前面C便要現出紫色，其餘以此類推。總之我們須要常常記得，當我們要

為某色設計的時候，如以其他各色置在牠的旁邊，使我們的眼對於其他一切的顏色發生疲倦，這個顏色便要越發覺得顯明。

現在讓我們來談一些吸收過程 (absorptions process) 的內容；這些過程如用一種類似的情形來解釋，或許可以更為明白一些，假使牠們是可以說明的話。

這是一種波動的原理 (a principle of wave motion)，假使一個波浪打在別的東西上面，而這個東西的本身恰能發生同一性質的波浪則牠的能量 (energy) 在經過這個東西的時候，將有一部分被其吸收。我們可以假想一隻船在一陣陣

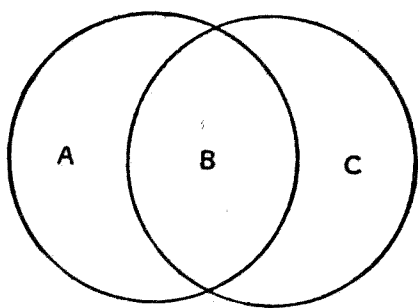


圖 三 十 六

的波浪上擺動的情形。當牠擺動的時候，牠將要向着各方向發生副波動 (secondary wave motion)，副波動的能量是得自原波動 (primary wave motion) 的，所以此時原波動的能量必減；因爲如上文所說，牠在經過那隻船的時候，已有一部分被其吸收了。又如我們敲擊音叉一下，使牠發出聲波 (sound wave) 則同一音調 (pitch) 的音叉，將要自經過牠的旁邊的聲波中吸收相當的能量，而再發同一性質的波動；換一句話說，牠的本身也要發出聲波了。這個實驗是誰都知道的，而且也是很容易說明的。可是假如第二音叉的音調和第一音叉的不同，這種影響便不會發現；第二音叉便不會響應。又船在波上擺動的時候，調整工作的需要，并不怎樣顯明；但是我們如要兩個音叉發生顯明的共振 (resonance)，便不能不使牠們很緊湊地互相調諧 (tuned) 一下。不過假如原聲波曾經給予第二音叉以相當的能量，而使之重新分佈於各方向，牠的本身當然會大大地微弱下來。此外我們又可以假設一種實驗，將一百多個同一音調的叉橫列在聽者和一個相同音調的音叉的中間，而使後者發出音符 (note)。在這種情形之下，那橫列的一排音叉，將要截取聲波的一部，而散佈於各處，所以聽者所得到的聲音，將要比沒有這一排音叉阻隔在中間

時爲少。不過這種實驗在實施時頗爲費力，我們現在可以不必舉行了。最後我們凡實驗過電話或無線電話中的電振動 (electrical oscillations) 狀態的，也可以明白這種原理。我們可以將同一音調的振動器 (oscillators) 連接起來，使牠們受着振動的能量而動作，并重新分佈這種能量於各方向，這樣一來那很爲費力的振動作用便可以發生了。

現在我們雖然因爲視覺機構的內容過於微小，祇可想法間接研究，不能用眼直接觀察的緣故，以致不能十分明白這種機構吸收和發射光線的作用，但是上述證例和牠有極相類似的，地方，是很爲明白的。當一種物質吸收紅光的時候，牠的本身必定有一種和共振器 (resonator) 相似的東西，能夠發射牠所吸收的紅光波。這種共振器只有一個地方是可以找得到的。原來一種染色或染料和任何其他純粹的物質一樣，也是一種相同分子 (molecule) 的集合體。我們知道分子當改變形式的時候，也大概能夠變遷這種染料所能吸收的顏色。所以我們也可以假定吸收作用的中心是在分子裏面；換一句話說，分子裏面必定有一種像共振器的東西能夠吸收和散射那些想要穿過牠們中間的能量。現在讓我們來觀察一些分子的結構情形，以期對於這所謂共振機構

的內容，可以有相當的觀念。

第一，我們須要記得，所謂分子是由若干原子 (atoms) 以相當的形式互相組合起來的，其組合的形態，在沒有一種外力足以破壞牠們的結構以前將要永遠不變。有許多物質的分子祇含有極少數的原子，例如水，碳酸 (carbonic acid) 或鹽都是，但是染料分子卻是一種比較複雜的東西，包有二十、五十甚或更多的原子，其中最主要的就是碳 (carbon)，氧 (oxygen)，氫 (hydrogen) 此外則雜有若干奇零的原子如：氮 (nitrogen)，硫 (sulphur)，氯 (chlorine) 或一種金屬。分子的性質不但視牠的成分而定，同時也要隨着牠的設計而變遷。我們可以用木頭和釘子造成許多東西——一隻船，一座涼亭或一隻梯子；但足以影響這些東西的特性的，不僅是所用的材料，同時還有構造的方法。分子的性質也是這樣。

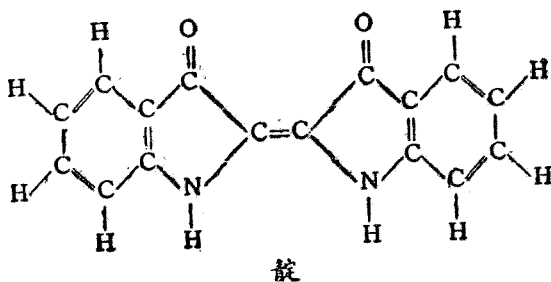
這個似乎是一個很簡單的事實；但我們如要完全了解牠卻不是在短時間內所能辦得到的。分子比較我們肉眼所看得見的最小東西，不知道還要小過若干倍，所以我們的本身，雖然是很密切地受着分子的影響，而牠的內部結構到底有什麼關係，卻不容易迅速了解。普通大小的分子一

萬萬個排列起來恐怕還不到一英寸，以這樣細微的東西，我們怎麼會想到牠的結構部分——當然是比牠更小——會有重大的影響呢！不過事實上斷沒有一個人曾經看見過分子，而且也永遠沒有看見的希望。我們現在所以知道牠們的存在和特徵，完全是由過去人們累次觀察的結果推知出來的。至於將這些材料整理而成種種不可推翻的結論，那完全是化學家的偉大的成功。這些結論自有X射線幫助我們更深進地研究物質的結構以後，已經完全證為確實，因為X射線對於分子的理論祇有增益沒有修改。

化學家自他的種種實驗推知出來分子的結構和成分。這些實驗是一種冗長而複雜的過程，牠的詳細的說明將要等於一部化學的論文；至於這種論文到底要多少長纔講得完，那我們祇須到一所化學圖書館裏參觀一下，就可以立刻知道了。不過我們可以無須詳細研究化學家的工作的內容和他所用的方法，我們所需要的，就祇是這些實驗的結果。要說明這些結果我們便須利用化學的簡圖（Chemical diagram），可是我們可以不必害怕；因為牠在外表上雖然似乎奧秘，而其實是很簡單的。現在讓我們立即提出一種很複雜的分子，這種分子其實也是和簡單分子一

樣地易懂。例如下列就是靛的公式。

我們也要知道這個公式的意義麼？第一，每個C是代表一個碳的原子，每個H是一個氫的原子，每個O是一個氧的原子，每個N是一個氮的原子。各個字母中間的直線表明這些原子中間的結合關係，至於這種關係到底是什麼東西，這裏是不會說明的。所以這種公式已經告訴我們，靛的分子所包含的是什麼原子，有幾個碳，有幾個氫，和有幾個其他的原子。其次，牠又告訴我們每個原子是有一種力量和其他原子互相結合的。最後，這個分子又不僅是一撮隨隨便便地聚在一起的原子的；牠們是像公式所示的樣子結合起來的。不過這就是我們所知道的一切了；除此以外，這個公式并不會說什麼。可是分子的結構裏必定有許多奧妙的東西爲我們所急欲知道的，爲我們現有的字彙所不能說明的。例如像這樣簡單和明白的問題我們就沒法解答：原子的形式是怎



靛

樣的？每個原子有多少？大牠們中間的距離有多少？寬？牠們是不是橫臥在同一的平面上？如簡圖在表面所示的一樣？（實則簡圖並沒有這個意思）牠們是怎樣結合起來的和能夠結合到多少時候？像這種性質的問題，我們可以連續不斷地問下去，但沒有一個答案可以自這個公式裏找出來。現在假如我們以這個簡圖爲一座屋子的設計，其中C是代表臥室，H是浴室，N是飯廳，O是會客室，直線是走廊和扶梯。則這個設計就將被建築師視爲一張毫不完全的圖樣，因爲他雖然可以在這個圖上得到相當的材料，但他所要知道的還是很多。例如他就完全不知道這座屋子到底有多少層。

這當然是不對的，假如我們說化學家所知道的，不過是簡圖上所表示的一點。其實他也知道原子並不是都在一個平面上，及分子的性質不但靠着牠的成分和簡圖所示的結構狀態，同時也靠着簡圖上所未示的空間中的結構狀態。甚至他也曾找出一些關於後者結構的大略形式。但是這些額外的智識現在還是非常模糊的。所以我們現在所須注意的要點，第一就是：這種簡圖所表示的智識，已經是一種耐心的和技巧的工作的結果。貝爾（Baeyer）實際上曾經苦心研究了十

八年纔找出來靛的分子的結構。第二就是一種簡圖，即使是不完全的，但一經發現就可以成爲將來工作的起點；例如在這裏就可以成爲染工業的發展基礎。有了這種簡圖，化學家就能夠用他所知道的種種方法，從各種煤焦油的蒸餾產物（products of the distillation of coal tar）中，將靛的分子結構起來。實則當時的化學家祇要知道什麼是組成分子的原子，及那一種原子應和那一種結合就儘夠應用了；因爲這樣一來，他在從事工作的時候，就知道將各種煤焦油（coal tar）的產物及若干種物質，在某種的情形下，以某種的方法混合起來，使牠們各自分裂，各自化合，而成若干新分子，而所謂靛就是這些分子中間的一個。平心而論當時化學家發現製靛過程所經的時間實在並不算多，但是直至這一世紀我們纔知道怎樣用大規模的方法自煤焦油製靛可以比直接自木藍（indigo plant）製靛便宜得多。

我在上文已經說過，靛的分子裏面必含有一種具有共振器作用的東西。這種東西到底在什麼地方我們是需要知道的。一個有經驗的化學家一看這個簡圖，就可以立刻知道牠是一種具有染料性質的東西。那麼他所見的到底是什麼呢？

這個問題的答案，可以分成兩個部分。第一，錠的分子裏面必含有一種東西使牠發生共振的本領。這個我們現在可以先說。第二，牠的分子裏面又必含有一種東西，使牠對於所染的物質可以比單純的漬 (stain) 更進一步而具有固着的本領。這個我們可以留待下文再說。

共振本領的存在，當然和那在分子裏面的原子結合的狀態，有密切的關係。這種結合或叫做鍵 (linkage)，在通常情形之下，每受相當定則的控制；其情形我們可以用上述的分子來說明。例如假使我們看到圖中的氫，我們就要覺得和牠結合的原子並不超出一個以上。這是一個定則，不但錠的公式如此，其他一切的公式也都是如此。換一句話說，氫是從來沒有和一個以上的原子結合的。其次假如再看看到碳的原子，我們就要覺得牠常和三個其他的原子結合。這個卻不是一個普通的定則，因為一個碳的原子常能和四個其他的原子結合；例如在金剛石裏面每個碳的原子，總有四個其他碳的原子和牠連成一起。但是這種定則本來有許多例外；不過當牠們的數目不及四個的時候，常有種種不完全的狀態表示出來罷了。例如碳的原子在結合的狀態下，常有再加一個原子的傾向，或可以加入一個而毫無困難；又如當牠的分子在未飽和的狀態 (unsaturated

state) 之下時，牠常含有特殊的性質，如這裏說的分子一樣。又氮的原子在氮的分子中，每有三個原子和牠結合；這個到是和氮的普通定則相符。可是氧的原子在這裏卻只有一個原子和牠結合，實則在普通情形之下，一個氧可以有兩個而且常常有兩個和牠結合的原子——如水的成分就是氫二氧一。又在簡圖裏面氧的原子和碳的結合，都是用雙線來代表。這個是化學家所用以表明氫氧結合的特殊狀態的；其實假如這種結合恰等於兩個普通的鍵，（這裏「等於」一語到底是什麼意義很難說得明白）則氧也可以說有兩個鍵，碳有四個鍵，其結合的能量都已完全足額，雖然所與結合的原子數目，並未達到最高的限度。

像這樣的說明似乎很不精確，甚至也可以說是有些不實，但是用牠們來說明過去經驗的結果，到是很方便的。我們祇有希望將來的學者，能夠給予牠們以更爲明確的意義，並將牠們的實際狀態詳細告訴我們罷。原來當種種不同的分子，在種種不同的情形下，合在一起的時候，牠們的原

子必定要互相交換，重新組合；舊的分子將完全破裂而新的分子則組織起來。這是化學家的責任去研究這些變遷並探求控制牠們的技術。所以自他看起來這些定則已有相當的重要的意義，雖

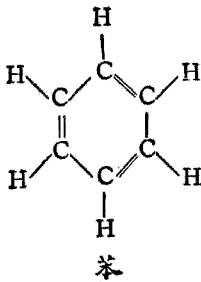
然牠們的全部意義是更待發現的。

假如我們將這個錠的簡圖給一個化學家看，並假定他從未見過這種簡圖，他一定會說他能夠依據這個公式製成一種染料。因為在這個公式裏面他將要立刻瞧見一二近代大多數的染料所共有的特徵。第一，這種結構的兩端將各有一個著名的碳的原子的六角環，叫做苯環（benzene ring）。這種苯環是各種染料所共有的；誠然，有許多的有色物質的分子並不包有這種六角環，但是如果這樣，牠們就不能成爲染料了。

這種苯環在我們這裏有一種特別可以注意的要點。當法拉第第一次在裝有照光氣體的圓筒中，將苯自筒底的賸餘物質隔離出來的時候，這不過是一百年前的事。但法拉第祇找到苯的成分，而不曾發現牠的結構，他並不知道牠是環形的。這種事實直至四十年以後纔爲我們所發現。這種苯環不但是一切染料的結構基礎，而且也是許多其他重要物質的構成要素；事實上甚至有一個整個的化學支系自這種學識發生出來。所以在數月以前（一九二五年六月）世界各處的化學會都會派遣代表參加皇家學院的百年大會，以慶祝法拉第的偉大發現，那麼這種學識的重要也

可想而知了。

不過苯的本身是無色的；各種光波可以自由通過牠而不被吸收。所以牠並不是我們所欲找到的共振器，而不過是共振器的合作者，並須為達到合作的目的起見，構合在染料的分子裏面。可是假使我們更密切地觀察一下，我們將要見到苯也能夠吸收和我們的眼所能吸收的一樣的光波，不過其性質略有不同罷了。簡括地說苯所吸收的是一組極短的光波，比在可見的光譜中最短的紫波還要短。其吸收的狀態我們現在可以用一個很美麗的實驗來說明。原來有幾種物質能夠使那射在牠們上面的光線減低，牠們吸收一種波長的光而發射一種波長較短的光波。這種情形就是叫做發螢光 (fluoresce)。奇怪得很，牠們從不會是一種純粹的物質，而總必有一些別的物质雜在裏面，不然就不會有螢光發生了。硫酸金雞納 (sulphate of quinine) 就是這樣的物質，現在讓我們將牠散佈在我們所用的幕上。同時並使幕上有一個弧光譜 (spectrum of an arc light) 射着；而弧則在鐵點中間通過，因為這樣形成的弧光可以含有本質



驗所需的較短的光波極多。又玻璃是極易吸收這種較短的光波的，所以我們的儀器上所用的透鏡 (lenses) 和稜鏡都用石英 (quartz) 造成，使短的光波可以自由通過。當我們應用這種發螢光的幕的時候，那個光譜似乎比以前的長得很多，因為那些在紫色以下本來看不見的短波，現在可以看

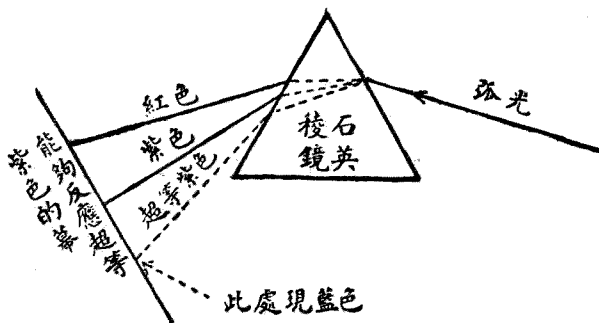


圖 三 十 七

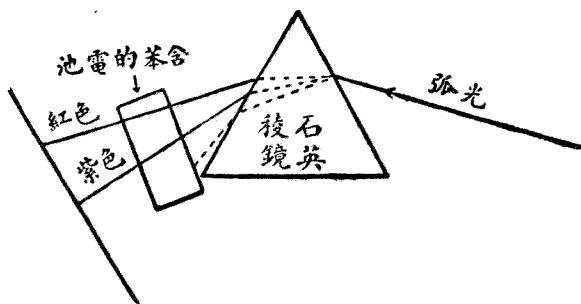


圖 三 十 八

得見了。原來幕上的螢光物質將牠們吸收之後，而又將牠們的能量變成我們所可見的藍光發射出來。所以這時幕上所現出來的燈縫，即弧燈發射光波的空隙，是現着黯淡的藍色的。現在我們只要在燈縫的前面，放着一隻裝着苯質的石英匣子，使光線通過牠，則幕上的藍條將要立刻不見，雖然光譜並未受着其他的影響。這樣看起來可知苯雖然是無色的，但也能吸收一部分的光譜。所以假使我們的眼看到這個部分，苯也要變成一種有色的東西，雖然這種顏色是我們所不知道的。

我們在上文已經說過，苯中的碳並不含有足數的結合原子。這些情形如用化學上的術語來說就是叫做未飽和的狀態。據各次實驗的結果未飽和的碳在色的機構上總佔有一個很重要的地位。或許這些原子因為所與結合的原子並不足數的緣故，不能有十分密切的組合；牠們能夠變動恰如一具機械當螺釘鬆動時一樣。不過這種分子裏面，如祇有一點點的接合是鬆弛的，將不會發生一種可見的顏色，所以如要牠有色就必須使牠包有兩個這樣的接合點；換一句話說，這個公式裏面，必須有兩個部分的原子其接合點恰如旋的分子中的雙鍵一樣。同時因為某種的原因，這兩個需要雙鍵的部分，又必在中間隔着一個普通性質的單鍵。下列的一個公式，就是代表適合於這

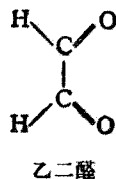
些條件的一種最簡單的分⼦。

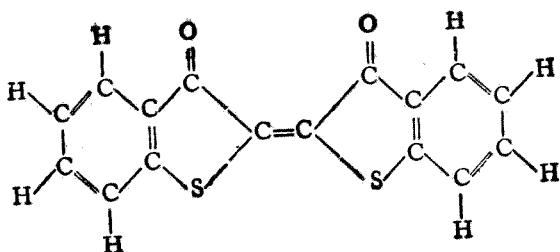
這個分⼦是叫做乙二醛 (glyoxal) 其所含的祇有一種極淡的顏色。

同時那含有未飽和的碳的原子，也可以說和這些定則適合，因為苯既

然有這些雙鍵包在牠的三面，使每個碳的原子在實質上都有足額的鍵，則對於這些定則當然是沒有不合的地方的。至於牠所以不是一種有色的物體，那完全是由於牠所發射的和所吸收的光波過短不易為肉眼所見的緣故。所以當牠構成一個較大的分⼦，其中也有若干部分適合於這些條件的時候，則其所吸收的光波便要發現在可見的光譜裏面，而使我們可以得到一種染料。或少是一種有色的物體了。現在假使我們看到靛的分⼦，我們便要覺得牠的兩個苯環和其他的部分都能適合於這些定則。

此外還有一個極有趣的要點就是當發生顏色的分⼦構成以後，假使更有別的分⼦加入這種結構裏面，牠的顏色便要隨着改變。例如我們可以自靛的分⼦裏面取出氮的原子及和牠們結合的氫而代以硫的原子使牠的公式變成這樣：

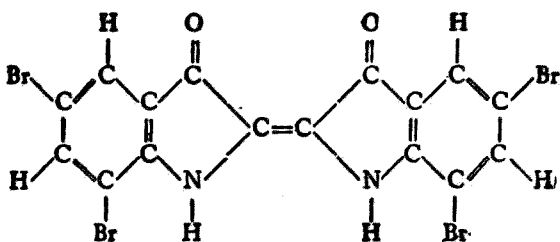




硫靛紅

S=硫

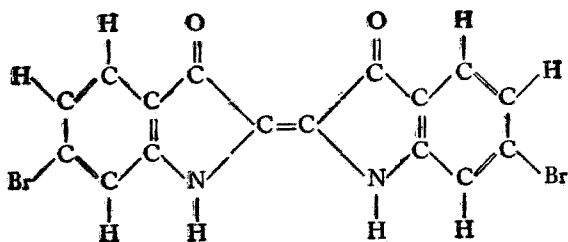
這個分子是叫做硫靛紅 (thio indigo red) 其所現的顏色是紅的。又如我們以溴 (bromine) 的原子代一部份的氫則上述公式便要變成這



西巴藍

Br=溴

而染料便要變成藍色叫做西巴藍 (Ciba blue)。最後又如我們以溴代氫而略改變其方式如下：



泰爾紫

則這種染料便要變成泰爾紫 (Tyrian purple) 或羅馬紫 (imperial purple of Rome)。

我們還不曾述完那些造成染料分子的種種特點的關係；同時也必要注意到靛以外的其他幾種的染料，可是這裏我們似乎不能不轉而研究這些東西的學識對於染工業的關係了。

著名的和常用的天然染料是極少的。我們須要記得所謂染料不但是顏色而已，同時又必須能夠很堅固地附着在物體上面，不受太陽雨水和摩擦的影響，而具有耐光耐洗和耐磨的特性。這些條件很少的有色東西是能夠適合的。過去的人們曾經很努力地自植物土地，甚至自昆蟲和魚介身上抽取種種的染料，並曾多數試用過。可是實際上可以適用的實在是很少很少。例如靛，茜草 (madder)，泰爾紫和大青 (woad) 就是比較可以適用的幾種。此外舊約裏面所

載的「猩紅」(scarlet)是得自一種橡樹的昆蟲身上；又有一種著名的猩紅是在比較晚近的時期自墨西哥的胭脂蟲 (cochineal insects) 身上得到的。這種昆蟲是屬於甲蟲的一類，其雌性當曬乾和緊壓以後會發生一種顏料。我們軍隊的赤色外套就是這種顏料所染的。羅馬人所用的黃色染料是得自番紅花屬 (crocus)，蘇木 (logwood) 是得自中亞美利加，其用途頗廣，因為牠能夠染出極好的黑色。可是我們須要注意這些從自然物中所抽取的染料，實在並不為自然界所採用。自然在施色的時候並不和人們一樣着重於耐久一點；即使顏色褪了，牠的外衣還是一樣地美麗。至自然當實際需要一種永久顏色的時候，則牠所用的並不是染料或顏料，而是一種繞射作用 (diffraction effects)。所謂繞射作用就是一列細點，細線，或纖維，如鳥類的羽毛，蝴蝶的翼翅，和甲蟲的外殼之類，對於光的影響所發生的色的作用。

靛或許是一切古代染料中的最老的一種，因為古代的梵語文學已經描寫到印度人用靛的方法了。據梵文的記載，牠是從專為這種目的而種植的各種植物抽取出來的；當時的印度人已經知道怎樣去製造比較純淨的固體的靛，並於用牠為染料的時候，怎樣去溶解牠。後來埃及人就由

自印度攜靛到他們國中的商人手中學到用靛的方法，所以他們在五千年前的木乃伊包布就已經用靛染成了。希臘和羅馬又自埃及得到用靛的學識；普林尼（Pliny）曾經提到這個東西並叫牠做『印第坎』（indicum）。他以為這是從印度來的，所以應給牠這個名字；同時他並以為這不過是黏住在籐、竹、蘆、葦上面的一種浮膜。據他的意見『印第坎』常常有偽造的，但真正的『印第坎』可以在火中試驗，因為牠能夠發出一種美麗的紫焰和海水的氣味，所以爲了這個原因竟然有人相信牠是採自海中的岩石的。自這個試驗看起來可知普林尼所說的就是現在的靛，雖然他關於來源的見解是不對的。可是奇怪得很羅馬人似乎並不以靛爲染料而祇當牠是一種漆。（一）換一句話說，牠們所用的靛是都在天然狀態之下的，實則真正的染色方法必須先以特別的化學處理，將靛化成溶液，然後放入材料上面，最後還要用一些處理使牠恢復原來的形式。這樣一來染料纔會固着在材料上面，纔會成爲真正的染色而不單是一種漬。這一點我們以後是還要討論的。

靛的用法何時和怎樣傳入歐洲是沒有人知道的，大概這總是五百多年以前的事罷。當靛初次傳入歐洲的時候，大青的用法早已非常流行，所以歐洲的種植大青者都很努力地抵制這個新

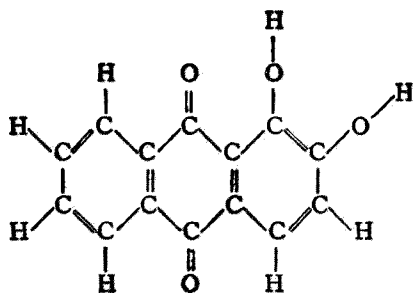
發現的染料。有許多法律並以極嚴厲的刑罰禁止用靛；據說英國關於這種禁令的法案至今還不會廢除！實則大青爲染料的主要分子完全和靛一樣，雖然產生大青的是另外一種的植物，至於牠所以最終被靛打倒，那完全是因爲牠在處理上不及靛那樣容易的緣故。

泰爾紫是得自一種介殼動物叫做骨螺 (murex) 的身上，可是骨螺極不容易大量採取，所以這種染料是極爲昂貴的。大約在五十年以前，夫勒蘭得 (Friedlander) 曾經在幾千隻的骨螺身上抽取一喱半的顏料。但是他不能找出來牠的全部結構，因爲他在這種染料的兩個組織要素中，只有一個是分析成功的。據分析的結果，這種染料也和靛的分子有密切的關係，如我們在上文所說的一樣。那兩個代氫的原子可以表明牠和海水的關係。這種泰爾紫和近代的染色相比是差得遠的。

這是很奇怪的，在世界上無數東西抽取出來的一切染料中，有三種最著名的，差不多有相同的結構。

自茜草根 (madder root) 抽取出來的染料分子和靛的分子完全不同；這種染料是叫做

茜素 (alizarin) 其公式可表明如下：

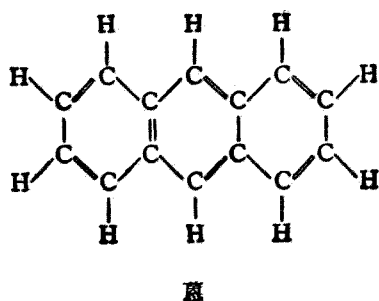


茜 素

這裏我們也可以看到苯環和蒽及一般染料分子所含的種種奇怪的單鍵及雙鍵。和蒽一樣，茜草在最早的時候就由印度和埃及的人民培植，並大大地流行於歐洲一帶直至最近為止。五十餘年以前，牠的結構曾經有人發現並曾由人工製造出來，但現在所用的製造法卻是比較地新式。茜素的分子極像在煤焦油 (Coal-tar) 裏面所找出來的一種物體叫做蒽 (anthracene) 的分子，牠的公式是這樣：(見下頁)

假使我們比較以上兩個公式，我們將要見到牠們的結

構差不多要完全一樣，所不同的就是邊緣的原子。近來學術界於多次嘗試以後，曾經發現了一種過程能夠以製造的規模將這兩種染料互相變換，而且手續也很為簡單，所以近來茜草的種植實際上差不多要完全停止了。



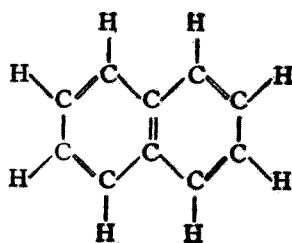
述的變遷又可以由我們隨意處理，所以近來已經有無數濃淡不同的染色自這兩種基本染料的分子上發生出來。

近代商業上所用為製造茜素的基礎的萘的分子是一種三環的結構。苯，我們記得是一種單環的結構。而在這兩種中間的就是一種雙環結構的萘 (naphthalene)；牠是製造靛的基本要

所以在過去數年中的化學上的成就，已經完全改變了染料的生產情形。現在世界上所需的靛只有一部分是由植物的來源抽取出來的，其餘的靛和茜素則大部得自煤的產物。不過這種來源在性質上還是和前者一樣，雖然這種植物已經有數百萬年的歷史了。

這裏我們又要注意，染色工業中所發生的偉大變遷，不但是一種來源能代替別種來源一點而已。同時靛或茜素的分子又可以因為其結構中的各部分有其他原子或一羣原子如苯環之類加入的緣故，而完全變遷其顏色。這些染料的結構我們既然完全知道；而上

素，這是我們所尤當注意的。



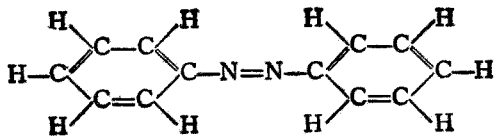
苯

此外還有一種染料的分，在我們提出別的問題以前，是值得注意的。和別的染料一樣，牠也是從煤的產物抽取出來的，可是牠從不會如牠們一樣，可以由別的來源得到。牠的結構可以因別的原子，或一組的原子，以種種不同的方式加入的緣故而發生無數的變遷，其名稱就是叫做偶氮苯 (azo benzene) 茲將其公式例下：(見下頁)

這裏我們又可以見到許多雙鍵和苯環，這些雙鍵每對都有一個單鍵在中間隔開。至於那兩個氮的原子中間所以插入一個雙鍵，那是因為氮在通常情形之下都是和三個別的原子結合，而這裏祇有兩個原子和牠結合的緣故；所以這裏兩個氮的原子的關係不啻就等於鹼和茜素中的氧和其他原子的關係。同時偶氮苯所以有染色的能力也就是由於這一點。可是這種分子在牠的單純的結構下，還不能用做染料，因為牠不能很堅固地附着於所染的材料上面。所以在使牠成爲一種真正的染料以前，牠的結構裏面必須還要加上一些東西，這個

又使我們不得不回到「染料是怎樣做成的」這一個問題上面了。換一句話說，我們既然研究了分子的顏色是那裏來的；現在又要研究分子裏面到底有什麼東西會使牠發生固着於所染材料上面的本領。

一種真正的染料染在某種材料的上面以後，我們不能就以同一的染色手續將牠洗掉；換一句話說，染色手續是不能逆轉的。所以染料和漆完全不同；例如我們在一張白紙上塗上一些水彩，並任牠乾燥起來，我們以後還可以用清水將牠洗掉一些，或移到紙上的別個部分。但是假使我們將一種材料浸在染料的溶液裏，並將全部的染色過程一一辦妥，我們以後便絕對不能再將溶化染料的流體去清除掉這種材料上面的染色。這種事實是由於染料已經發生了一種變遷，使牠深深地附着在材料上面，不再接受起先使牠溶化的種種影響。換一句話說，牠現在是完全不受種種擾動的影響了。那麼假使是這樣，牠就可以耐久，耐磨和耐洗，或至少含有這些特性的一二了。



偶氮苯

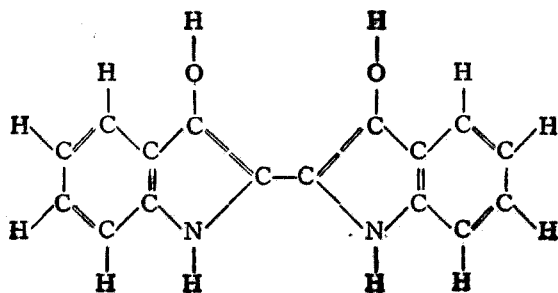
現在讓我們再看到錠的分子。當錠維持着牠的本來結構的時候，牠是不能溶解的，而且也不能勉強地染到一塊材料上面。但是我們可以略略地將牠改變一下，而使之有溶解的可能；以下就是牠經過變遷以後的公式。這裏我們可以見到，牠的兩個氧的原子現在每個都有兩個原子和牠結合，而不單是一個了；這個就是使牠可以溶解的一種變遷。原來當錠的分子保留原有狀態的時候，牠們都有互相吸引的傾向而使牠們互相抱合起來；換一句話說，牠們是要以有秩序的方式自相排列起來而成一種晶體的。所以即使牠們爲水所包圍，牠們是寧可自相結合，而不願和水的分子互相結合的。

要使染料變成這種新的結構，祇要把牠放入含有鹼質和其他生氫物體 (hydrogen giving substance) 的水中就行。至於這種過程爲什麼有這種效力和怎樣生效的詳細解釋，我以爲我們是不必知道的。化學家根據他們過去的經驗，自會知道這種變遷是必定會發生的；其實我們所需要的也並不是這種變遷的解釋。誠然和對於其他一切的化學反應一樣，我們也很想將這種實驗加倍地放大，使我們能夠看到染料分子，鹼和水的全部動作。也許那助我們看見許多

所不能見的東西的X射線將來會幫助我們達到這個目的。但是在現在我們只要接收化學家根據實驗所說的話，而相信這種變遷是實際發生的，是這樣這樣進行的，也就夠了。

現在這種新分子是可以溶解的了，並已經實際溶解了。我們可以看到分子裏面和顏色締合的部分已經發生了一種顯著的變遷；我們也不要驚奇這個新的物體已不再保留着原來的藍色；牠現在是黃色的了，而且假使這種溶液是比較純淨的話，牠還可以變成白色。在這種染料的溶液裏，假使我們將所要染的材料放入，則染料中的容易變化的分子就將要放棄和牠結合的水的分子，而附着在材料上面。

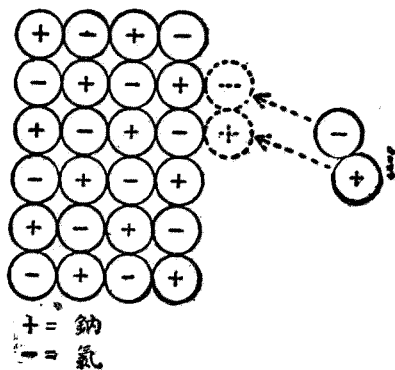
這個當然又是一個很簡單的說明；可是有許多關於染色過程的詳細內容我們是還要研究的。或許我們能夠極明



藍的分子已經變化可以溶解了

白地使這些學識和我們在別的方面的學識聯絡起來，假使我們記起這一點，就是任何物體的表面都滿佈着電的引力，其中有若干原子是陽的，有的是陰的；假使有若干游離的原子經過牠們的旁邊，這些原子就將要被其吸引而定着在陽點上或陰點上。其實一個分子的本身可以同時有若干陽點和陰點，而且可以同時定着在不同的位置上。所以假使一個分子有若干陽點定着在一個物體的陰點上，同時又有若干陰點定着在牠的陽點上，牠們的結合就要非常地堅固了。現在可以用一個極簡單的例來說明，一個普通的鹽的晶體，在表面上每含有許多疊成方形的陽點和陰點；這種晶體在鹽的溶液裏將要膨脹起來，因為鹽水裏的鈉的原子是陽的，而氯（chlorine）的原子是陰的，牠們都要定着在這種晶體的相反性質的原子上面。又如鹽水裏面的鈉和氯已經結合得很牢固，牠們中間的排列和隔離狀態也要這樣，使牠們恰好和鹽晶體的表面互相貼合，陽的對着陰的，陰的對着陽的。其次，我們又可以用一種比較地不甚簡單的萘的分子來說明。這種物質當在溶液裏或受冷而結晶的時候，牠的陽性原子也必定和附近物體的陰性原子互相結合，而且結合的狀態又必非常勻整，使晶體可以在極整齊的狀態下膨脹起來。

所以當染料分子離開溶液而固着在所染材料的上面的時候，這一定是由於材料的表面滿佈着有引力的陰陽點，其中有的單純是陰的，有的單純是陽的，有的是陰陽混合起來而現着一種正或負符號的。關於這一點，各種的毛、棉和絲是大不相同的。所以當染料分子固着在材料上面的時候，其黏力的強弱完全視染料和材料的種類而差異。總之我們可以假想，染料的分子既然是很整齊地排列起來恰好和材料表面的陰陽點相配，這兩方面的原子自然會互相吸引使牠們的結合越發永久了。這種情形凡一切晶體膨脹的時候都可以見到。其實我們還可以更進一步地假想染料的分子和晶體一樣，也可以一層一層地重新排列起來，使第二層疊在第一層上，而第三層又疊在第二層上，其餘以此類推。凡此要點當然不能說是已經確定的，所以說的就是過去人們研究晶體的經驗已使我們相信牠們是比較可能的。



圖三十九 晶體膨脹的狀態

罷了。

現在我們已經到了用靛過程的最後一步了。我們將材料自染缸中取出來，並使牠暴露在空氣和日光裏面。不轉瞬間，這些染料分子將要受着空氣中的氧和光的侵襲；氧的分子並要將染料裏面剛纔所吸收的氫奪去，使染料分子恢復其原來的狀態而重現藍色。因此染料也要重新變成不能溶解的了。這時染色是耐洗的，同時也是耐光的，因為牠也曾受過光的作用的緣故。所以人人都知道靛是一種最爲耐用的染料。

上述的過程是極爲陳舊的。那麼這些一切關於靛的分子的結構和變遷的學識，到底對於染色工藝有什麼貢獻呢？我以為牠們的貢獻就在當這些事實發現了以後，我們就能夠造出無數濃淡不同的染料，其結構、用法和固着性完全和靛一樣。換一句話說，我們從前祇有一種好染料，現在已經有幾千種成績相同的染料了。

靛和茜素在應用方法上有一種極爲有趣的差異。後者也可以放入溶液裏面，可是除非牠們曾經受過一種處理而發生了相當的固着性，牠們是不會染到材料裏面去的。這種處理就是先將

若干物質，即所謂媒染劑 (mordant) 的，印在材料上面。原來媒染劑的分子常含有一個金屬的原子，這種原子對於染料分子每有偉大的親和力 (affinity)；所以當這種材料放入溶液的時候，那含有染色要素的染料分子就要襲擊媒染劑的分子，而以牠的含氧的氫和金屬原子互相交換。這樣一來，這個新分子就會很牢固地附着在材料上面，同時那個金屬原子可以說是含有使牠固着的作用的。這種情形好像一隻船駛進一個港口，看見另外一隻船泊在那裏，就去將牠的錨解開，而把自己繫上一樣。在這種情形之下，染料的顏色是大大地受着這種金屬原子的性質和重量的影響的。所以我們可以用一個含有若干不同的媒染劑的花樣，置在一種材料上，使牠似乎在同一染缸中能夠得到種種不同的色彩。

以上所述的兩種染色方法，即靛和茜素，已經將染料分子所以固着在材料上面的要點大略說明了。其他的例子似乎無再說的必要。我們所必須注意的就是每種真正能染織分子都應含有兩個要素：一，發生顏色的結構；二，固着於材料上面的能力。

人造茜素始造於一八六八年，人造靛始造於一八八〇年；可是牠們的分子結構和製造方法

的發現，都不過是著名的卯凡英 (mauveine) 發現以後的餘波罷了。卯凡英是第一種的人造染料，而為拍爾金 (W. H. Perkin) 於一八五六年所發現的。當時拍爾金是倫敦大學皇家化學院 (Royal College of Chemistry in London) 霍夫曼教授 (Prof. Hofmann) 的助手，因為受了霍夫曼所講「金雞納霜的偉大價值」一文的鼓勵，就發生了一種用人工製造金雞納霜的宏願。他想自英國化學家曼斯非爾德 (Mansfield) 所造成的大量氨基苯 (aniline)，一種煤焦油的產物中，抽取金雞納霜。他以為他的理想是有實現的可能的，因為氨基苯和金雞納霜有許多相同的地方。可是他所找的是金雞納霜，而結果卻得到一種新染料，並證明他的發現是有相當價值的。

氨基苯染料 (aniline dyes) —— 即卯凡英的通稱 —— 雖然因為牠們顏色的豔麗和種類的繁夥而有偉大的吸引力，但還有一些容易褪色的缺點，所以在這一點上牠們是享不到盛名的。牠們早已被人停止採用，維克多利亞女王 (Queen Victoria) 時代的一便士郵票所用的染色，大概便是卯凡英最後一次的成績了。自此以後牠們的地位便為許多上述的新染料所代替，這

些染料就是拍爾金和其他化學家所發明的。總之，一切人造染料都可以說是由拍爾金開始，因為他造成了第一種染料，並使一般化學界對於這種以正確的理解和方法研究煤焦油所得的偉大結果覺得驚奇。所以染工業的神奇事蹟，不但在於牠爲應付人們愛好色彩心理而努力的悠久歷史，同時也在這七十年前所忽然發現的新智識，因爲這些智識是足以大大增加這種工藝的規模，品格和美麗的。換一句話說現在的染工藝已不是種種一知半解的規律和方法的集合，而是一種已有豐富結果的有秩序的科學並滿佈着繼續蕃衍的希望。

(1)見托普 (Thorle) 和印格爾 (Ingold) 的變染顏色 (Vat Colours) III

本書裏封面彩色圖的說明

本圖的目的是在說明一二染色過程的要點。圖中上左角的玻璃器所盛着的是藍的溶液；牠是黃色的，雖然那和空氣接觸着最多的地方是現着藍色。牠下面的兩束棉紗線球，一束是剛纔染過的，所以當牠初自溶液中取出的時候是黃色的，但不久便要變成藍色了。一束是取出已久的，所以牠的顏色可以說真正是藍所染的。這種的染色過程就是叫做變染 (Vat dyeing)。

右上角所示的是媒染的說明。那塊布曾經印着鉛和鐵的媒染劑其強度和比例各各不同；上面表示牠經過媒染過程以後的狀態，下面表示牠再由茜素染過的狀態。

在牠們下面的是兩塊木棉西楞泥斯混和物 (cotton celanese mixture) 的標本。左面的一塊是曾經由杜拉奴紅 (Durazol Red G Paste) 染過的，其中西楞泥斯已將染料吸收，而木棉則否。右面的一塊是曾經由克洛拉索猩紅 (C. R. Chl. Razol Fast Scarlet 4BS) 染過的，其中木棉已將染料吸收而西楞泥斯則否。此外的一對標本是硫磺酸纖維素西楞泥斯混和物 (viscose-celanese mixture)。其中左邊的一塊是杜拉奴藍 (Durazol Blue G Paste) 所染的。右邊的一塊是克洛拉索淺藍 (C. R. Chlorazol Sky Blue FF) 所染的。這種的染色過程就是叫做選擇染 (selective dyeing)。

第五講 陶工業

陶工業和上次所講的染工業有一種顯然相反的特點。關於染色工藝方面，化學家已曾很成功地確定染料分子的結構，其成績足使染工對於他的工藝有偉大的控制能力。染料分子本來是染色工藝中的一切東西所依賴的要素；染工既然知道他所使用的工具的性質和重要特徵，自然會更爲順利地向前工作，並具有更爲充分的理解力。他又能更深進地知道怎樣去得到他所需要的東西；假使有任何東西發生錯誤的話，他還能夠更迅速地找到錯處，同時凡所欲嘗試的新東西也會很迅速地在他的理想中實現出來。

冶工近年以來也是這樣地有偉大的成功，因爲他已經知道很精細地研究他的材料的結構，並很明白地察出造成這些材料的小晶體的特性。同時織工也知道將他的全部工作建造在纖維的結構上；他以爲纖維是自然所賜與的，所以他的工作也完全以自然纖維的本質爲根據。只有當

他開始以人工製造纖維的時候，他纔放棄舊日的工作方法。其實這也是一個很有趣的問題，到底他能不能將自然纖維儘管改良下去；或許在若干年以後，他於許多方面確能達到這個目的，而使牠們的地位完全爲人造纖維所奪。但是這總要經過長久的時間纔能成功，在目前的情形以下，一個織工對於這些千百年來爲紡織工藝基礎的纖維是不能不明白了解的。

但是當我們談到陶工我們就要覺得他對於他的工作材料所知道的要比上述任何一種的工藝爲少。假使我們要問像這樣簡單的一個問題：『什麼是黏土 (Clay)？』我們將得不到一個完全的答案。就是學校所用的教本對於這個東西，也祇好同時舉出幾個定義使我們自己去選擇。不過我們都能大略地知道什麼是黏土，陶工並能更透切地知道；他的經過訓練的手和眼都能辨別我們所不能認識的各種黏土的性質和差異。我們同時也都熟悉牠的受範性 (plasticity)；牠能夠塑成任何需要的形式，並能始終維持這種形式而不至恢復原狀。此外我們又知道牠可以受火煨燒而改變其性質，因煨燒而變成堅硬，不受冷和熱的影響，並具有幾乎不可煨滅的特性。這些性質都是我們所以在地面一切材料中選出黏土以製各種器皿、磚瓦、牌匾、筒管，以及其他一切滿足

我們愛美心理的東西的理由。（參閱插圖二十八和二十九）

可是當我們問到什麼是受範性，我們又不能得到一種確定的答案；許多人曾經很努力地想替牠造出一個完妥的定義，但結果關於這一點都沒有一致的意見。至於舊日陶工用姆指試驗黏土的方法，雖然指定所謂黏土必須能夠刻着一個完好的指印而不至使姆指受濕或受污，但是這個試驗對於黏土的特性到底有什麼意義呢？

或許我們會想到陶工們既然能夠製出這樣美麗和有用的器具，則他們對於黏土的性質儘可不必於他們所知道的以外，再求深進的學識了。可是假使我們果真抱着這種見解，我們就不免要犯着兩個重大的差誤。第一，我們是忘記了這個事實，就是當任何工藝的基本材料不為人們所完全了解以前，製造的過程是常常會受着種種未能預料的阻礙的。當阻礙發生的時候，我們誠然可以試行各種救濟的方法，而於最後得到一種真正的救濟，或許這種阻礙可以暫時自行消滅而於他日重新發現。但是這種救濟即使可以找到，往往是屬於實地法則（rule of thumb）的性質，在學理上完全沒有根據；同時其說明也往往不是真正的說明，因為凡不完全知道的東西是沒

有法子可以說得明白的。這種情形常常可以發生重大的損失。如上次我在特稜特河邊的斯多克 (Stoke on Trent) 的某大工廠中所見的事實就是一個很簡單的例子。該廠所燒製的瓷質浴盆外觀很爲美麗，成本也很爲昂貴，但是因爲牠們的表面常常發生許多綠色細點的緣故，這種出品就不爲顧客們所歡迎。實則假使他們果真了解全部製造過程的內容，自分子晶體以至其他一切，他們是不難知道這種污點的發生原因和預防方法的。像他們那樣的情形，這種損失當然極難避免，至於要想舉行種種實驗去發現困難的原因那當然是耗費更大的了。

第二種的誤點就是：無論現在的陶器是怎樣地美麗，和怎樣地有用，假使我們更能控制牠們的基本材料，那麼以上述同一的理由說起來，我們是一定可以得到無窮的新機會，使牠們更爲美麗更爲有用的。我們知道種種實驗非耗費許多時間、材料和勞力不可，但是假使我們不以理解爲根據，而僅僅地以嘗試和錯誤 (trial and error) 的方法去施行各種實驗，那當然是極不經濟的。

黏土的基本性質所以難於了解，完全是由於這種材料的本性是這樣的。我們不能說這是因

爲沒人注意的緣故，其實從事研究這種材料的陶工是很多的；我們也不能說這是由於陶工缺乏技巧的緣故，因爲有許多第一流的物理學家和化學家已會兢兢業業地注意到這個問題。我們所最感困難的就是怎樣去找出來什麼是黏土的基本特性，即受範性的真正原因。爲什麼種種黏土的受範性各各不同呢？爲什麼那些粗看起來，似乎無關緊要的原因，如酸質、鹼質、或有機體等等對於黏土的受範性會有這樣大的影響呢？

當然的這就是這些變異的和無定的要素，會使陶工業這樣地充滿着意外的發展，神奇的事蹟，傳授的祕訣，私藏的祕方和興奮而怪異的歷史。大概當某種具有可貴性質的黏土，在某個國家發現的時候，便有一個工業發展起來，同時跟着發現的便是這個民族的製陶工藝和技巧。不久以後，因爲商業的關係，這些出品，甚至連製陶的技術便慢慢地傳到遠方了。有時因爲遇着一二新材料或新智識的緣故，這種移到遠方的技術還會發生一種新生命。例如施鹽釉的方法 (salt-glazing) 當十八世紀初葉傳到斯塔福 (Staffordshire) 的時候，便立刻應用到已經在那裏發展的陶業裏。這種方法就是當陶器將要燒成的時候，將相當數量的鹽撒入爐中，使燒成的器皿都敷着

一層釉，這種器皿我們在屋裏以及街上的普通用具中，自茶壺以至溝道，是都可以看得到的。結果當時就發生了一種特殊的陶工業，其聲名不但顯著於英格蘭，而且廣播於歐洲全部。所以因為這樣互相傳播的緣故，陶工業竟然發展為一種世界的工藝，包含着各個國家和各個民族的特徵，而具有極濃厚的人性。同時陶器的不壞性又使人類對於牠們覺得越發有興趣，因為牠們一代代地傳留下來的成績使我們都能實際欣賞，並不是單靠着口頭的傳說和文字的紀錄的。

黏土的成分是鋁、矽和氧，而雜有分量不同的水。這三種元素當混合的時候，常有若干氧化鋁 (alumina) 和二氧化矽 (silicon dioxide) 的小分子跟着發現。氧化鋁當成為晶體形式的時候是叫做金剛砂 (corundum)，其中有色的，可以分為紅寶石 (ruby) 和藍寶石 (sapphire) 二種。二氧化矽當成為晶體形式的時候，是叫做水晶 (rock crystal) 或石英 (quartz)。氧化鋁的分子一個，含有鋁的原子兩個和氧的原子三個，其化學符號是 Al_2O_3 。這種分子，當成為晶體形式的金剛砂的時候，其三種形式的原子結構，自近代的 X 射線發明以後已經可以看得出來，是完全一樣的。石英的結構也是由矽和氧的原子以二與一的比例組合起來，其結構的狀態據 X 射線

告訴我們，是一種很奇怪的螺旋式。黏土的分
子，假定世界上果真有這樣確定的東西的話，如單以牠的原子的結合而論，是由一個氧化鋁的原子，兩個二氧化矽的原子和兩個水的原子組合起來的。但是牠們的結合狀態到底怎麼樣卻沒有人知道。大概我們現在所能依靠的最好方法，也許是僅有的方法，就是X射線能。我們知道當任何物體的分子互相結合的時候，牠們每有依一定的花樣而排列起來的趨勢，這種花樣，如能夠放大到我們肉眼所看得見的地步，一定會現着晶體的形
式。但是即使牠的體積過小不易為肉眼所見，X射線也可以把牠顯示出來。其次，X射線還可以更進一步地觀察分子裏面的原子結構。

當我們應用X射線到黏土的時候，我們可以立刻瞧見就是那含有極小的微粒的黏土，也是一種晶體形式的結構。不幸得很，這種射線所供給的材料，雖然對於這一點顯示得很為明確，卻不容易將黏土的分
子結構解釋得清清楚楚，因為我們關於新X射線方法的學識不過發展到第一階段，有的問題性質過於深奧，還不是我們現在的學識所能解決的。大概我們現在所能說的就是黏土的分
子自有一種特殊的晶體結構，其形式既不像氧化鋁，也不像石英。可是就是這一點點的

材料已經是很有用的了。

種種來源不同的黏土往往有同一形式的結構，不過牠們也可以同時呈示出來別種的結構；有時牠們或會現着若干石英的晶體。可是這個並沒有什麼可怪，因為黏土的形成，大約是由於地下發熱的酸質對於花崗石或同類岩石的作用的結果，而這種岩石是常常含有石英的。原來黏土常被水沖來沖去，當岩石化成碎砂的時候，其所含的石英晶體常慢慢地被磨擦下來，等到黏土沖過那裏，牠們就和黏土互相混合了。

據化學的分析各種黏土的成分可以有種種不同的組合。有的顯然是雜有不純淨的物體的，如上述的砂，多量的雲母，(mica) 滓土 (silt)，石子和各種的石粉等等。這些雜質有許多可以用一種簡單的方法除去，這種方法就是用多量的水和黏土混合使各種細粒都浮在水面，而成爲一種混濁的混合物，儼如那曾經流過黏土地的水流一樣。在這種情形之下，大的細粒常比其餘的沉得快些，所以我們如要使黏土在一個或一組的沉澱池 (settling tank) 裏除去大多數的雜質，到不是一件煩難的事。我們不是都見過江河湖泊裏面，重的砂石常沉澱在一個地方，而輕的又沉在

別的一個地方麼？總之這種沉澱的狀態完全要看水流的速率和其他物質的因素而定。可是我們卻絕對不能用這種方法將一切的雜質除去，因為雲母和其他物質有許多也恰和黏土的細粒一樣小，而且牠們的密度又相差不遠，所以要使這種方法達到十分完滿的地步當然是辦不到的。不過這種手續如施行得越為深進，則所餘的黏土細粒也可以越近於上述的成分，就是氧化鋁、二氧化矽、和水。所以在這個時候或許就有上述成分的真正晶體的結構發現出來了；在任何質量的黏土裏，常包有各種大小不同的晶體，其中有的僅僅含着幾個分子，有的竟然大至可以用顯微鏡窺察的體質，而現着薄片的形式。

黏土在世界各處都可以找得到。實則在我們所知道的地面元素中，氧佔二分之一，矽佔四分之一，鋁佔百分之七；同時氧化鋁和石英都是這三種元素的自然結合，而黏土在一方面看起來，卻都包有這兩種分子。所以這是很自然的，不論何處都可以找得到黏土，不論何處和不論何時，人們都知道用着牠，祇要牠的種種特性曾經被人們察出。不過牠的優點並不是立刻都被人們發現的；在原始的時候人們祇要能夠用乾燥的黏土做成一種水壺可以貯穀和水也就夠了。大概在牠的

重要特性中，濕的時候有受範性和乾的時候有耐久性的事實是最先被人們發現的。後來當牠被放在火上的時候，人們又覺得這種材料的結構有時可以變更，而成爲一種更爲堅固的物質；最後等到陶器爐發現的時候，人們又可以用一種更高的熱度，使燒製的手續達到完成的階段。

黏土雖然在世界各處都找得到，但是牠的特性常常有很大的差異，有的地方所出的黏土竟然可以比別處所出的值錢得多。例如高嶺土（kaolin）就是最著名的黏土中的一種；這種名稱的發生，大概是由於中國的陶工曾經採用高嶺地方的黏土，因之各處所出的黏土凡性質相同的也都採用這種名稱，即使牠們的相同性不是絕對的。這種黏土就是中國陶工用以製造瓷器（porcelain）的。盜，我們都知道，是一種潔白、堅硬、而半透明的陶器，其價值因具有這些特性的緣故也較一般陶器爲高。那麼英國的陶器所以能夠有那樣大的聲譽和價值，大概也就是由於康瓦爾（Cornwall）地方出有多量而精美的高嶺土罷了；其次，德法兩國所出的高嶺土也很爲著名。此外得文（Devon）和多塞特（Dorset）的球土（ball clay）也是一種很著名的黏土；這種黏土在成分上和高嶺土極爲相似，同時也含有極少量的其他物體，如高嶺土一樣。但球土含有百

分之二或三的鈉 (sodium) 和鉀 (potassium) —— 這些元素在裏面都不是獨立的金屬原子而是分子的一部分——而瓷土 (即高嶺土) 所含的鈉和鉀則不過佔有極爲微末的分量。此外其他小小的差異也很多。現在我們看到球土的受範性有那樣地大，而瓷土的同一性質卻差得很遠，都以爲是很奇怪的；實則自這一點看起來，可知各種黏土的成分如有小小的差異，這個極重要的受範性是可以有偉大的差異的，其理由可以留到下文再說明罷。又高嶺土是一種極爲耐火的 (refractory) 物質；換一句話說，就是必須有極高的溫度纔可以熔解牠。所以我們當燒黏土的時，常常要加入其他容易熔解的物質，使牠當燒軟而熔化時將黏土抱合起來。康瓦爾地方也產有極合於這種用途的礦物很多，叫做康瓦爾石 (Cornish stone)；這種物質的成分極爲複雜而且常有極大的差異，但其中每含有石英和長石 (felspar)，其熔解性比瓷土要強得多。此外，英國的陶工在燒製瓷器的時候又常加入煨燒的骨灰 (bone ash)，因爲骨灰也可以幫助黏土的抱合，同時又含有使瓷器變成半透明體的可貴的特性。這些方法就是英國的各種瓷器所由以造成的，所以其國中的瓷器廠都有很大的聲譽，其名稱簡直是變成家喻戶曉的了。例如折爾息及布 (Chelsea)。

sea and Bow) 德被 (Darby), 烏司特 (Worcester), 普里穆斯 (Plymouth), 布里斯它爾 (Bristol), 和斯塔福郡 (Staffordshire) 所包的明敦及斯波德 (Minton and Spode), 衛次武德 (Wedgwood), 達九波爾特 (Davenport) 及其他都是著名的瓷器出產地。

瓷器自一方面看起來，可以說是第一等的陶器會這樣地堅固、潔白、而半透明。牠有一部可以驚異的發展史。當十五世紀的時候，歐洲大部分的地方所製的陶器都是用劣等的黏土造成的，其表面的釉 (glaze) 也極為粗糙；同時亞洲西部和在回教勢力下的歐洲各國，如西班牙及西西里 (sicily) 所製的陶器則比較地精美，比較地有光采；但中國的陶工在燒製瓷器的技術上卻更比他們進步得多。後來中國的瓷器漸漸地傳入歐洲，各地的陶工就開始去仿造。當時他們所遭遇的困難當然是非常重大的，因為黏土當在火中煨燒的時候，往往會大大地改變牠的性質，而不留一些本來的面目；而且在那時又沒有化學的分析方法可以幫助他們。所以一直到了十六世紀的末葉，佛羅稜薩 (Florence) 地方纔有第一次的成功作品發現出來，但是這個工廠不久就失敗了，後來這種工作又由法國人繼續下去。結果他們雖然不會找到了真正的瓷器材料，可是他們已經

知道用那在熔解以後可以成爲玻璃的幾種物質和堅硬的黏土混合熔解，而燒成一種和真正的瓷器相去不遠的陶器。最後到了一七一〇年日耳曼美森 (Meissen) 地方的波格氏 (Böttger) 纔燒成真正和中國的瓷器一樣的器皿，這個就可以算是歐洲最早的瓷器了。當時各方對於研究瓷器的狂熱可以自種種防止洩漏祕密的方法上看得出來。例如兼任薩克森侯 (Electoral of Saxony) 和波蘭王的奧古斯都第二 (Augustus II) 曾經將陶工關在一個和外面幾乎斷絕的堡壘裏，以防技術洩漏。後來有一個工人自裏面逃出，而維也納和日耳曼的許多地方因此就有若干製陶工場勃興起來了。

英格蘭也有真正的中國瓷土的事實，是得文郡欽斯布立治 (Kingsbridge) 的庫克高塞 (W. Cookworthy) 於一七五五年所發現的。他不但找到真正的中國瓷土，而且找到應和瓷土混合熔化的康瓦爾石，這兩種物質都出在特勒岡甯山 (Tregonning Hill) 上。以後康瓦爾的其他部分也找到牠們。不過普里穆斯的工廠並不會維持到多少的時候，現在的瓷器很少是那個工廠所製的。他們的工作後來都移到布里斯它爾，而在那裏慢慢地發展起來。

這真是一個極爲奇怪的事實，黏土在歐洲有一個時期曾經大量地供人吃食；其實就是到了現在，世界上還有一二民族吃食黏土數年以前，有一個著名的陶器史學家梭倫氏（M. Solon）曾經不時地替製陶學會（Ceramic Society）寫了多篇極有趣味的論文，其中都是關於各個時期的陶器發展的史實。這些論文當時不過由私人刊印，未經大衆閱覽，但是最近已經輯成陶器崇拜（Pottery worship）一書發行了。在這一本書裏，有一篇是專論吃食黏土的風俗的。據梭倫的意見，在許多年以前，愛琴海（Aegean Sea）的勒謨諾斯（Lemnos）曾經爲供人吃食的目的而輸出瓷土，這種瓷土都是製成糕餅的形式，並在上面印有第安娜女神（Diana）的表像。他以為這就是 terra sigillata（即有印的泥土的意思）一個名詞的真正來源。十五世紀的時候，克里特（Crete）爲土耳其人所佔，但是黏土還是繼續輸出。而且輸出的數量還漸漸地增加起來，和歐洲各處所掘出來的黏土互相競爭。所以波格氏當施行實驗的時候不必到遠方去找黏土，祇要在附近的藥鋪裏就可以買到許多了。薩克森與古斯都所設盜廠的說明書裏也有一段說：『這個工場自薩克森所得到的黏土燒成各種器皿如花瓶，人像和食器等等，其精美不亞於那些自中

國和日本輸入的瓷器。」更可怪的，當時人們不但吃自然的黏土，而且還要吃燒過的黏土。陶器本來是隨來源而差異的，同時又極不容模仿，所以那時竟有因為某種特殊原因而特別重視某種陶器的；於是各種關於陶器的神話也應運而生了。例如當時自墨西哥輸入而以後由葡萄牙人仿製的瓷瓶，即很著名的「高貴的布卡洛斯」（Noble Buccaros），據說是具有一種神力的，能夠使一個黑人飲了瓶中的水以後，立刻變成白人。此外也有種種的傳說以為某種陶器是可以察驗毒質的。所以當牠們破碎的時候，牠們的碎片常被人們用金銀煨接起來以作護身符，或研成粉末以作藥劑。梭倫並說德勒斯登（Dresden）有個醫師叫做格野博士（Dr. Daniel Geyer）於一七三五年所寫的小冊子裏，曾經敘述有個婦人因為相信神話有些太過了，竟然吞了一隻杯子和碟子下去，而不得不請他去開方救治。在中國高嶺土於用以燒製陶器以前也曾作為一種藥餌。

英格蘭自從找到了精美的瓷器材料，並製成種種著名的器皿以後，他們的製陶工藝就大大地著名起來。不過我們須要記得瓷器並不是英國工業上惟一或主要的出品，其他的出品也是很多的。英國的白色瓷器大約在十七世紀末葉纔開始發現，以後就漸漸地流行於世界各國。自從這

種瓷器發現以後，那些舊日用燒紅的黏土所製的粗劣的陶器就完全消滅，而到了十九世紀的前半，英國的陶器竟然是聞名於世界了。這種陶器的優點在於美麗、潔白、精緻、堅固而耐用。所以別的国家得了這種陶器以後就開始去仿造，祇有遇着必要的時候纔向英國去買，因之現在斯塔福（即英國陶業的中心）的陶器，已經有許多新出品和牠競爭了。不過英國的陶工業至今還是非常發達，而且此後也萬萬不至失掉牠的領袖地位。因為那裏的陶工在過去二百年中已經漸漸地積下了偉大的專門學識和應用這種學識的技術。以這樣聚積了許多上選陶工的工業，而去打開新出路，利用新發明和計劃新方法，當然是非常順利的。

現在讓我們將燒製陶器的過程簡略地說明一下。實際上我們可以到英格蘭西南部抽取各種黏土和岩石的地方去觀察。現在姑且先拿瓷土來做一個說明的例子罷。瓷土大概是在土地的表面，可以如開石坑一樣地掘下去。黏土的表面須用有偉大力量的水柱（jet of water）橫噴，如插圖三十一甲所示一樣，使那一塊塊被水沖下的大小不同的黏土，隨着一股混濁的水流，流到一個沙坑（and pit）裏，在這裏那些粗重的沙石就沉澱下來了。這一股曾經這樣粗粗地濾過

的黏土濁流，經過幾個沙坑之後，就要用抽機抽到一個雲母池（mica drag）裏（見插圖三十二甲）使沙和雲母都沉澱下去，而水則慢慢地流過一組灣灣曲曲的水槽；此後這股水又以更慢的速率流過第二組的水槽，使水中的雜質繼續向下沉澱，而後又流到若干靜置池（settling pits）裏。在那裏黏土就慢慢地沉澱下來，而水則完全流去，於是不久以後那沉澱的材料又流到第二組的靜置池裏，並在那裏慢慢地結成塊狀。這種黏土當完全乾燥以後，就可用以燒製陶器了。黏土的受範性常常可以隨着年齡而進步。但牠應該保藏在潤濕和陰涼的所在，同時假使牠能飽含着種種價值低廉的有機物質，如植物混和物（plant infusion），廢糞液（lannery waste），泥炭（peat），陳舊的醋以及其他種種廢物，細菌的活動還可以更爲強烈一些。有時保藏的期間稍爲縮短一些似也無妨，就是幾星期，幾個月或幾年亦無不可。據說中國極精美的盜土有時是藏到一百年以上的。

除盜土以外，康瓦爾石，球土和燧石（見插圖三十一乙）等等，也都各有特殊的採取方法。牠們在瓦窯裏是要研成粉末（見插圖三十二乙）並用水噴灑的。瓦窯的地下有個大坑，陶工們就

在裏面將牠們混合起來；至混合的成分，則著名的瓷器所含的是球土、瓷土、燧石和石等四種，其比例大約爲三：三：三：四；骨瓷 (bone clay) 所含的是煨燒骨、瓷土和康瓦爾石等三種，其比例大約爲二：一：一。此外如加以少許的氧化鈷 (oxide of cobalt) 末，還可以使燒成的陶器更爲潔白一些；這個手續正如我們當洗染亞麻時加入藍粉 (blue powder) 一樣。其次陶工們又應該用篩 (lawns) 將這種混合物中所含的雜質篩淨；那些本在原料裏面或在燒製時發生的鐵斑 (specks of iron) 則須用極強的磁鐵將其吸去。最後陶工們又須用濾壓法 (filter pressing) 將這種混合物中所含多量的水擠出，並使其通過一具捏和機而成爲一種捏和的黏土 (putty)。這種手續的目的在使黏土中所含的水均勻分佈，而一切的氣泡可以完全消除。

消除黏土中的氣泡是一個極爲重要的過程，因爲黏土中如有任何氣泡的存在，則在窯中的時候是要發生重大的禍害的。所以黏土常須經過捏和 (kneaded or wedged) 的手續。又在特別必要的情形下，即當黏土塊不得有任何裂縫時，就是現在的陶工也有仍舊沿用舊法的（見插圖三十甲和乙）。例如那在坩堝 (crucible) 中熔解的鋼液所傾入的深坩就是用舊法捏和的；

現在將設斐爾德 (Sheffield) 用舊法製坭的過程說明節錄如下：

『製坭的材料是瓷土和斯托布立治黏土 (Stourbridge) 的混合物，而含有少量的焦炭屑 (coke dust) 的粉末，其重量大約自百分之一至百分之三。此外又要加入充分的水使其成爲一塊堅硬的濕泥；這塊濕泥須平鋪在一個大約十英寸的淺盤裏。

『這時製坭的工人和他的幫手就開始用足跟踐踏黏土，先就一個方向動作，而後又轉向正角的方向繼續踐踏。這種踐踏的手續須經過了四五小時方可應用。大約他們所預備的是一噸黏土，自這一噸黏土可以製成六十隻以至七十隻的瓦坭，每坭的平均重量大約自三十二以至三十三磅。黏土經過踐踏以後，就要分別地依相當的重量（即三十三磅）而集成球形；其法是由製坭者將黏土塊高舉至和他的肩部相齊的地位，而後擲到一塊離地高約二英尺以至二英尺又三英寸的鐵板上；鐵板的上面須蓋着一塊潤濕的粗麻布。

『這種過程的目的是在消除黏土中所含的空氣。』

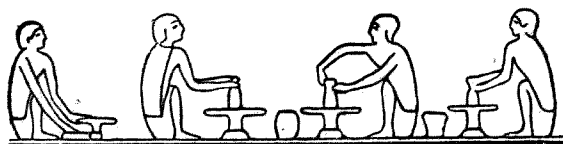
這常常是非常有趣的，假使我們找到機械有時不能完全代替舊式方法的事實。又在一個過

程中，凡那些隨時需要智慧和细心的部分，和那些不能僅用某種指定的機械方法去處理的各點，也是我們的注意力所時常集中的地方。我覺得在這一點上我們的確可以找到一二不但有趣而且重要的材料。

現在讓我們再回到那些預備作形 (moulded) 和燒製的混合物那裏罷。這些混合物到底爲什麼會包含某種的成分，事實上是沒有方法可以完全解答的。牠們都是自那經過長久時間和重大犧牲的經驗所得來的結果；牠們是幾千幾百的失敗的製方中僥倖得勝的成功者。可是我們也不是絕對地不能解答上述的問題，不過這種答案是不完全的罷了。例如高嶺土是一種極爲耐火的物質，被火煨燒後就會變成白色，但是牠是過於耐火了，單用一種是不成功的。所以同時又必加入一些熔劑 (fluxing material) 使其在黏土裏面成爲一種熔化的物質 (vitreous mass)，而將各個部分密切地黏合起來。這種工作就是康瓦爾石所做的，而由骨灰幫助牠。這樣一來黏土的混合物當作形的時候就可以比較地柔軟了，這種情形當我們參觀精練的陶工工作的時候是可以看得到的。反之英國盜土的成分是極易受範的，但煨燒時收縮得很利害，所以又必須加入一

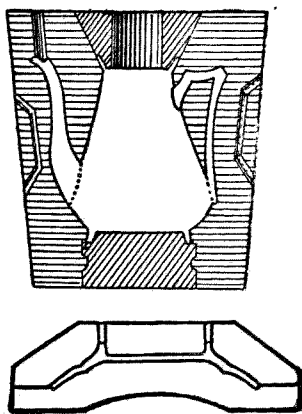
些燧石藉以減少牠的縮力。又康瓦爾石是幫助牠自相黏合起來而使燒成的陶器會現出結實的紋地的；同時這種材料又會使牠當被敲擊時發出清脆的鳴聲。

當我們將黏土置入模型裏，使其範成某種形式的時候，古代的拉胚輪車 (potter's wheel) (見下列圖四十甲) 現在還是繼續沿用的，例如插圖三十三乙所示的，就是一個斯塔福的陶工正在塑製一隻普通瓷碟的樣子。但是有一種新的而極爲有趣的方法卻是比較地常用，這種方法在我們國裏已經大大地發展了。在這種方法之下，黏土是要製成泥漿 (slip) 的，換一句話說，就是將多量的水加入黏土裏面，使其變成能夠自由流動的黏液。其次，又要用焦石膏 (plaster of Paris) 製成一個模型 (參閱圖四十乙和插圖三十四丙) 而將這種泥漿盛在裏面。泥漿盛入以後，那些接近模型腹壁的部分所含的水就要被焦石膏吸去。而那去水的黏土則定着在腹壁上，以後如再經過半小時以至一小時——時間的長短視所塑東西的形式而定——這種定着的黏土便要積成相當的厚薄了。這時我們又要將模型倒置過來，約幾分鐘，使那些未曾定着的流質漸漸傾出。等到牠們完全傾出之後，我們便可將模型平放過來，並將其靜置約一小時之久，使裏面的胚



拉胚輪車圖

圖四十甲 拉胚輪車圖



圖四十乙 模型截面圖：(甲)茶壺；(乙)碟子。

可以漸漸地乾燥起來到了這個時候我們就可以擊破模型，將茶壺的胚拿出來。這種方法當然最合於製造那些具有不整齊形式的器皿。同時這種器皿當然也是非常貴重的。成形器物自模型中取出來以後，再放在暖房中若干日使其完全乾燥，便可以着手煅燒了。

使成形器物完全乾燥的過程必須十分小心地處理，因為黏土有一種特性，就是當牠完全乾燥的時候，往往會大大地收縮起來。據經驗所示，潤濕的黏土常可以收縮其體質自八分之一以至三分之一。所以這是很顯明的，成形器物的各部分，必須有同一的收縮率，不然就一定會發生裂縫，裂縫發生，器物便要損壞，因為在這種情形之下，牠的強度是會隨着裂縫的大小而比例地低減的。其次假使所塑的東西具着一種不整齊的形式，則處理的時候越發要小心一些，因為那些比較薄的部分或許會比其餘的部分乾燥和收縮得更快一些。

有時這是很需要的，將一種外來的物質加入黏土裏面，使牠在受着乾燥處理的時候，可以全部很均勻地乾燥起來。但是我們必須使外面以至內部的水都能沾着這種物質。所以最適用於這種處理的材料就是木屑；至於那用倫敦黏土所燒成的磚，則必須加入大量的灰和熔塊 (clinker)。

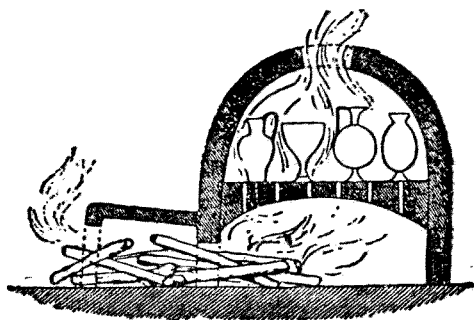
因爲這種黏土發生裂縫的危險性是極大的。此外，我們記得，以色列人 (Israelites) 所燒製的磚，據說也是因爲同一的理由，而雜有草藁的。

在煨燒的時候，黏土還會發生收縮的現象，這種收縮的性質是極爲複雜的，所以我們當設計燒製一種陶器的時候，必須預先考慮到這種情形。一種粗疏的設計常會使陶器發生裂縫，而精密的設計則否。

現在讓我們用一二圖樣來說明煨燒黏土的過程。在插圖三十三丙裏，我們可以見到陶工們正在瓦窯裏安放陶器。陶器假使觸着強烈的火焰或是受着不均勻的熱的話，是會損壞的。所以當煨燒的時候，陶器必須放在一種開口的瓷盆裏，叫做燒盆 (Saggars)，圖中的燒盆已經由陶工們一個個地自地板上疊到窯頂了。圖四十一和四十二所示的，是古代的和近代的瓦窯的截面圖，自這兩幅圖我們可以見到窯中熱度的分佈方法。窯中煨燒過程的進行狀況，可用一組量熱錐 (cones) 來指示，這些量熱錐是由黏土和長石混合製成，而於開始煨燒的時候置在爐中的。(參閱插圖三十四甲) 當煨燒過程達到某種階段的時候，這些小錐便會慢慢地萎縮 (squatt) 下來，

同時因為牠們的成分本有相當差異的緣故，所以每個量熱錐的萎縮，各可表示某一種階段的完成。例如在插圖三十四甲裏面，一個量熱錐是已經完全萎縮的了，第二個正在將要倒下的光景，第三個則正在開始彎曲。自這三個小錐所指示的狀態，我們便可以得到所需要的消息。這裏有一點是很為有趣的，就是用這種方法來計量溫度有時竟然會比任何形式的溫度計，或高溫計（pyrometer）好得多；這是因為後者所紀錄的是某一個特殊時間的溫度，而陶工們所需要的卻是煨燒過程的經過情形。

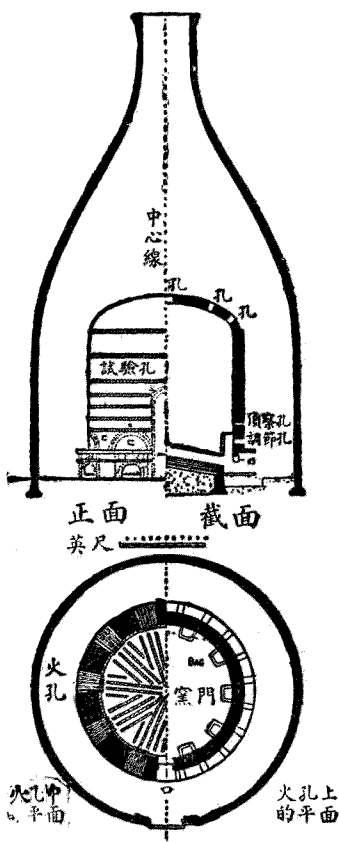
陶器有時是祇燒一次的；凡普通的器皿如磚瓦花盆之類都是這樣。但許多其他的東西都要燒過兩次。這種東西當燒過一次以後，就要浸入泥漿裏，或塗上泥漿或其他黏土，而使其於再燒一



圖四十一 希臘瓦窯圖

次之後變成釉面和彩色。插圖三十四乙所說明的就是這種浸漬的過程 (process of dipping) 此外，其他的器物，凡施彩方法比較複雜的，都要經過兩次以上的燒製。

現在讓我們再述一些鑄胚過程 (casting process) 的性質，因為這個過程的研究可以使我們立刻接觸着黏土問題中最有趣的幾個。例如陶工當應用泥漿以前，必須加入一些鹼質——



圖四十二 胎窯圖

矽酸鈉 (sodium silicate) —— 就是一個奇怪的特點。這種泥漿本來是一種難以流動的硬塊，但一經加入多量的水使其變成漿狀以後，便合於應用的條件了。據鑄胚過程的經驗，凡未經精製的黏土須加入百分之四十的水，精製的黏土須加入百分之三十的水。這種水分在第一次的乾燥過程中就除去一部分，但加入鹼質以後，水分就大大地減少，所以乾燥過程中容易發生的種種危險可以因此而消除了許多。這種手續對於陶工是極為重要的。

現在假使我們問起這種奇怪作用的理由，我們便要接觸着整個的黏土性質的問題，這種問題的重要和神祕我們是早已知道了。實則黏土的這種行為，自一二點上說起來和一種物質當研成細末而分散在別種物質裏面時所表現的種種作用是完全一樣的。近年以來因為這種類似的情形發生得很多，已經有人以為這種行為應有歸併而成一類問題的必要了。例如我們所說的膠狀物體或似膠行為的物質就是屬於這一類。但類推的方法在從前初用的時候，雖然人人都覺得很好，而在現在則並不為我們所重視，因為從事實的本身着手研究總是比較地簡單的。

我們可以慢慢地冥想那懸掛在天空的雲。牠包含有無量數的大小差不多相同的水點。因為

這種水點的體積是極小的，所以牠自空中下落的速度極低，同時又因為每個水點的情形都是一樣的，所以整個的雲幾乎可以完全不動地浮在空中。這些水點所以能夠集合起來，並不是因為牠們中間有互相吸引的力量，而是因為牠們是同一時間和同一地方造成的而且不會漂散的緣故。牠們所以集成一片，或許是由於空氣膨脹的時候，風的運動的作用，因為風所發生的寒冷可以使那已在空中的水的分子動作遲緩，而集成細點，尤其是當空中有飛揚的塵埃，可為水點核心的時候。這時假使牠們分成無數的中心而集合起來，這些水點當然是很小的；但如塵埃的數量不多，這些水點便要變成很大的了。這種水點一經造成以後，便可以維持很久；所以雲在天空中往往可以歷久不變。可是在別種情形之下，例如溫度忽然降低了，或是雷電忽然發生了，這些水點便會互相集合而成大的雨點落下來了。在同一的情形下，煤煙所以能夠懸在空中，也是由於牠所集合的碳的細粒極為微小，使我們看不見牠們降落的緣故。同時牠們在集合的狀態下也好像是一個整塊的東西，雖然在實際上牠們都是各自獨立，不過偶然集在一處罷了。所以黏土或任何其他細粒，都可以懸在水中，並久維着同一的狀態，雖然牠們都是互相分立的，甚至連魚類的羣集本能都沒

有。總之，牠們的體積愈小，則牠們在水中的沉澱率也愈緩；反之那些較大的細粒則可以慢慢地沉澱下來而在水底成一薄層。所以自這樣看起來，一羣細粒當分散在任何介質如空氣或水的裏面的時候，常可以很自然地集在一起，而不至有迅速的變動。

此外，這種情形不但是時常發現的，而且可以隨時造成。例如墨所包含的就是分散在水中的碳的細粒。其次，許多金屬也可以分成細末而分散於水中。法拉第氏曾經用金和銀做了許多實驗。這些實驗我當在下文敘述一二。

其次，我們所要注意的，就是一種材料當這樣地分散以後，對於包含牠的液體所顯露的表面是極大的。例如一立方體的金，如重一克，其面積可達一平方厘米之六分之五。但如這一克的金，分成一百萬分，則其各部分的總共面積，假定仍舊是一個立方形，將增加一百倍；如照樣再分一次，其總共面積將增加一萬倍；以後如更照樣地分析一次，其面積又要比原來的增加一百萬倍。換一句話說，這時牠的面積已可等於一間大屋子的空間了。反之，假如一個固體和液體接觸，則液體對於牠的作用將要限於這個固體的表面；所以物體的表面越大，這種作用的傳播也越快。我們所以在

一杯茶裏，必須將糖壓碎使其容易溶解，也就是利用這種原理。

可是現在又有一點呈示在我們的面前了。當上述的作用發生的時候，這實在就是固體和液體的兩種分子間無數小作用的綜合現象。例如當糖的晶體在水中溶解的時候，假如我們能夠很密切地觀察裏面的動作的話，我們將要見到一個晶體的外面分子，將如牠們在晶體裏面，而另有若干分子在牠們外面時那樣的狀態排列起來。牠們大概都有些離開原來地位的狀態，因為活動的分子常在外面襲擊牠們。所以在不久的時候那些常欲和糖的分子互相結合的水的分子必定要將糖的分子一個個地打開並將牠們帶去。但假如水中糖的分子數目極多而溶液又漸漸地冷下來，則相反的狀態將要發現；換一句話說，那些黏合糖的分子的力，將要使晶體漲大，而不會使之溶解。總之，一切現象都是視兩種相反勢力中間的平衡狀態而定的。

有時我們如在固體微粒的表面分佈一層分子或原子就可以阻止上述作用的發生。因為溶液裏面或許有一二物質對於固體的分子有偉大的吸收力，現在如以某種分子或原子定着在固體的表面，則溶液中的分子作用，便可以完全隔絕了。不過這是很奇怪的，這種用途所需物質的數

量，常常是極乎細微的。例如這裏有一克的金其表面已經因為一再分析的緣故，而達到等於一間屋子的面積，現在假如要在牠的表面滿佈一層厚約等於一個分子的物質，則其所需這種物質的數量，根據一個分子的平均體質算起來，將不會超過一立方厘米的百分之一。這個事實可以幫助我們了解：怎樣少量的物質，假如用得不錯的話，就能夠促進或阻礙液體對於物體微粒的作用。現在讓我們在逢氏 (Bone) 所研究燃燒作用 (Combustion) 的實驗中，舉出一個奇怪的例子，來說明一種極薄的塗在表面的物質所能發生的影響。兩種乾燥的氣體，一氧化碳 (Carbon mon-oxid) 和氧當混和在一起的時候，如得着相當的助力就要化合起來；甚至還可以很迅速地互相化合，而發生炸裂的作用。現在假如我們使這兩種氣體同時通過在一個玻璃管中的金屬線網 (metal gauze)，牠們的化合行為因為線網表面的奇怪作用，將要變成非常迂緩。在這個時候，假如線網的表面是在普通我們所謂乾燥的情形下，這種作用是很小的；假如牠是曾經很小心地用實驗室的方法乾燥過的，這種作用便不甚活潑，但假如牠是用極小心的手續，經過幾天或幾星期的功夫乾燥起來的，這種作用便要完全停止了。所以這是很顯明的，線網表面所蓋着的一層薄膜

的水，實大有促進這兩種氣體的化合的作用，但這種薄膜必須要非常的薄，甚至就是經過普通乾燥手續以後所留下來的一層薄膜。又如我們滴一些硝酸銅（copper nitrate）的溶液在一塊剛纔淨過的鋼板上，那些滴過溶液的地方將要立刻受着化學的作用而發現許多銅斑。但如我們將這塊鋼板放在露天裏約經過一日的期間，則牠將不會受這種溶液的化學作用。因為鋼板的表面已經在空氣中澱積下了一層薄膜足以保護牠了。不過事實上我們在鋼板上是看不見什麼東西的。

當我們看到懸置在水中的泥漿（clay suspension），加入少許的某種物質以後，便可以大大地改變牠的特性，又當我們看到盜土和球土的組織成分雖然極為相似，而牠們的受範性卻大大不同，我們不由得不起當少許的物質加在一種表面的時候可以完全改變牠的行為的許多其他的特例。可是黏土裏面到底有什麼變遷我們是不能知道的。不過我們如想到當一種物質，如鹽之類，加入泥漿以後，牠會發生什麼變遷，我們便可以知道這種關係的大略情形了。據研究所得，鹽的分子，在水中的時候，將分裂而成鈉和氯兩個部分，鈉的原子含有正電荷，而氯的原子含有負

電荷。現在我們已經知道黏土的微粒是微微地荷有負電的。所以當鹽在泥漿中溶解的時候，那荷正電的鈉將要吸收在牠們周圍的荷負電的黏土微粒，同時這些微粒也開始吸收其他荷正電的原子，以後因互相吸收的結果，這些黏土微粒就完全結合起來並沉澱到下面去。因此有許多人說，河水中所搬送的黏土，遇着含鹽的海水就要沉澱下去。其次鹽酸 (hydrochloric acid) 的作用也是這樣，而且還要有力一些；不過這裏荷着正電的不是鈉而是氫的原子罷了。所以我們如將一些鹽酸傾入泥漿裏，後者在頃刻的期間就要變成硬塊。但是我們如將一些鹼質如氫氧化鈉 (caustic soda) 之類置入泥漿裏，則這種鹼質的分子，於分成荷正電的鈉原子和荷負電的一氧一氫的混合原子以後，後者便要很容易地吸收氫的原子而變成水的分子，同時這種泥漿也要變成流質了。在這種情形之下，荷正電的鈉雖然仍舊存在，但牠們的作用過於遲緩是不會發生什麼影響的。

此外，黏土又有一種特性和普通物質的一種很著名的特性極為相似。黏土是可以使之乾燥的，而且當乾燥的時候又必略為收縮一些；此後假使我們再用一些水加入，牠便又要膨脹起來。自

這一點說，牠和膠 (gelatine) 是相似的。誠然砂當和水混合的時候，也和黏土一樣可以入模，並具有相當的受範性，但牠當乾燥的時候便要變成粉末，這個和黏土就完全不同了。所以黏土裏面的一種似膠的行爲是必須解釋的。原來膠和許多其他類似的物質，在液體中的時候，每有一種凝結的本領 (power of setting)，假使牠的數量和液體比起來是很少的。所以膠的百分之二的溶液，在水中的時候是個固體。蓖麻油的石鹼 (castor oil soap) 在千分之一的濃度時，如加入相當數量的鹼便要成爲近於固體的膠狀物。這種膠狀物的性質當然是很特殊的；牠的組織很爲薄弱，牠的形態也易於改變。因此有許多人都以爲膠狀物必定是若干長纖維或長形的分子組織起來的，其排列的形態至爲參差不齊，其中也必有許多空隙使其他的原子或分子可以在裏面活動。這種活動我們現在可以用下述一個很著名的實驗觀察出來。一個試管 (test tube) 裏，一半滿貯着膠狀物，而後再用一些有微粒懸置的液體傾入。在這個情形之下，假使這些微粒就是分子，而且不是很大的分子，牠們就要慢慢地混入膠狀物裏面，否則膠狀物就要保留着澄清的狀態。（參閱插圖三十五乙。）例如硝酸銅的分子可以離開溶液而入膠狀物，而金的微粒就不會這樣。

所以當一種膠狀物乾燥的時候，我們可以假想裏面的水已經自牠的小孔中趕出去，而那長形的分子，或纖維則互相緊湊起來，成爲固結的狀態以待有水傾入的時候再行開張。黏土的行爲大概也是這樣的。那麼我們以爲黏土裏面也有纖維或其他東西和膠狀物體一樣麼？關於這個問題我以爲現在是沒有正確的答案的；我們須要知道，我們現在對於黏土的分子和牠和外面液體的關係所知的還是極乎細微。或許我們可以進至這一步，認定每個黏土的微粒是一個晶體或若干晶體的集合，而外面又包有一層膠狀的殼。這種外殼或者是一種黏土的原子和水的原子所合組起來的結構；或者就是水的原子的結構而由黏土分子的種種作用所促成的。

假使我們將原子加熱到四百度以至六百度的溫度時，牠就要失掉吸水的本領和受犧牲；實則當熱到六百度時，黏土分子已經完全破裂而另外形成一種新物質；或許牠們是先變成氧化鋁和二氧化矽的分子的。這種變遷我們可以用X射線觀察出來。黏土分子當變成新物質以後無論加入怎樣多的水，都不能使之恢復黏土的原狀。反之牠們已經變成一種新的晶體結構，其中或許是含着一個氧化鋁的分子和兩個二氧化矽的分子的結構；而黏土裏面的水的分子則完全消

滅了。此後假使我們再將溫度加高，這種新物質還要重新變化而形成一種由三個氧化鋁和兩個二氧化矽的分子所合組的晶體。（參閱插圖三十五甲）

任何物質的晶體結構如有任何變化，牠的特性就要大大地受着影響；其實我們也可以說這種變化可使一種物質變成他種物質。所以這一定是很有趣的去研究瓷器關於結構方面的特性，而且這一點X射線也可以大大地幫助我們。

當我們想到這些晶體結構的變化都是在煨燒的時候慢慢地發現出來的；當我們想到燒製過程的進行要大大地靠着所用材料的性質，因為不同的物質將要在不同的溫度和速率下熔解、流動和變化；當我們想到器物的形態，窯中安放器物的方法和熱度分佈的情形，對於燒製的結果都有相當的影響，我們便可以覺到這種工藝的複雜了。當我們能了解這種工藝怎樣地成爲口傳的法則和盲目的公式的結晶品，我們對於這種出品的美麗更不能不表示驚奇，因為陶工們得到這種結果的代價是非常偉大的。實則我們只要能夠更深進地知道黏土分子——全部工藝所依賴的要素——的實際形態、結構和特性，就不難了解那些使陶工們感覺棘手的種種陶業上的神

祕。我以為這個工藝在將來總必有一番新發展和其他工藝一樣。

我已經將陶工業的情形最簡略地說出來了。我現在想再講一些關於釉的內容。釉對於陶器的實用上和美觀上是最為需要的，牠和陶工業的本身一樣也是一個充滿着無數困難的技藝；牠的本身也有一部歷史，並且也是一種充滿着無窮興味的科學。

不過這個問題的本身也極乎偉大，我現在祇好單就一點來講。我們不是都很欣羨釉面所呈示的色彩麼？這些色彩常常是由於極細的金屬微粒分散於釉藥中的作用，這種作用我們已經知道是自然界中常見的情形，而且也是許多奇怪現象的原因。其中有一種影響就是能夠發生強烈的色彩。例如金的微粒如分散在水中就可以發出一種很為美麗的紅色，這種現象當時曾經大大地引起法拉第的興趣，至今他的作物還有一二保存在皇家學院中而且顏色也不會褪去。所以在這裏金的微粒還可以說是在懸置狀態之下的。

釉的顏色常跟着其中所含微粒的大小而變遷，而且當變到充分的程度時還可以發出一種藍色。所以這種作用有些和真珠母及天空的顏色相似。換一句話說牠是視微粒的大小而變遷的。

但同時牠的顏色也可以因一二共振分子的存在而受着相當的影響，如顏料和染料中的色的作用一樣。

玻璃和搪瓷可以施釉的事實，顯然地是一種偶然的發現；所以當中古的時代，有不少的祕方由人們極嚴密的保存着。直至一六八五年加西阿斯（Cassius）寫出一部關於金的著作的時候纔正式把施釉的方法介紹出來。他告訴我們，有一種物質當和釉藥混合煨燒以後可以發出一種紅寶石的顏色。這種物質是一種金和氧化錫的混合物，牠的顏色就是叫做加西阿斯紫（Cassius purple）。據一般人的猜想，這種物質大概是含有若干金的微粒或原子，而每個微粒又各有一層氧化錫的薄膜保護着。當煨燒的時候金的微粒將要集成無數球形的小粒，於是因這些小粒的存在顏色就發現出來了。現在有一種淡紅（pink）叫做巴來紅（Rose du Barry）以及褐紅（maroons）深紅（crimson）各色，也是由這種方法發生出來的。此外我們如以鉻代金，則釉面可以發出深紅色，如以銅代金，就可以發出一種著名的血紅（rouge flambe or sang-de-bœuf）；這就是最可寶貴的中國花瓶的顏色。又紅寶石本身的顏色也就是由於牠的表面有極精細的鉻

的微粒的存在。

這是極爲可怪的，這種作用所需要的金屬微粒，往往爲數極微；例如十萬分的玻璃，如含有一分的金，就可以發出一種極爲美麗的玫瑰紅。

最後我希望我在這些時間內所講的一些材料，已能將這個極有興趣的工藝的複雜內容大略地敘述出來了。不過這個希望我已覺得非常滿足，因爲我以爲一般人們努力研究這種工藝的基本材料的結果，或許還可以造成無數的新智識或新發展。

第六講 礦工業

礦工業的情形，在上述的任何一種的職業中最像航海者。他並不是一個手藝的工人會製一些東西如刀、壺或布之類。他的工作是從土地裏面掘出種種原料，以供別人使用並製成各種形式的東西。當他進入升降機裏，而將他帶到礦坑的時候，他是像一個航海者開始他的航程，預計回來的時候有什麼報酬可以抵償他的勞力和所冒的危險。他進了一次礦就是冒了一回險；所以這不是沒有理由的當一個人說『他戰勝了礦。』阿基柯拉 (Agricultura) 在十六世紀中葉曾寫了一部很著名的冶金術 (De Re Metallica)，在這部書裏，他說到礦工生活的種種災殃和危險，有害於礦工肌肉的極冷的水，足以發生喘息和肺癆的塵埃，可使骨骼損傷和潰爛的含鉀鈷 (arsenical cobalt) 的礦石，毒氣和山崩以及一二礦山所發見的面貌猙獰的惡鬼，這些惡鬼僥倖還不多，只有祈禱和禁食纔可以嚇退。關於最後一個的信仰，我們還可以記得鈷 (cobalt) 字的來源，

因爲鈷字大概是從『鈷波爾德』(Kobald)一字轉變而來，而『鈷波爾德』是許多日耳曼的故事和圖畫中的地下惡鬼的名字。

礦工業和航海業還有第二點相似的地方。兩種職業都是不斷地應用已有的新智識，藉以幫助他們解除種種的困難，同時因爲這樣，這些新智識卻越發豐富起來，并樹立了一個偉大的科學發展的基礎。這個第二點相似的地方，或許就是第一點的結果。天文學和牠的儀器、時鐘、遠鏡，及其他種種磁的理論，活動流體的定律及船體的線圖；這些東西和許多其他的學識，所以有人研究，就是由於航海術上的種種需要，和海上困難有制勝的必要。在礦業上新智識的關係，也完全一樣；或許礦工們對於世界的科學和工業所發生的影響還要更大一些。例如蒸汽機是爲排水的需要而產生的，種種氣的定律是爲幫助礦工們趨避毒氣的目的而研究的，安全燈(safety lamp)是爲使礦工們在危險的地方有適當的燈光起見而發明的，鐵道和升降機對於工業的服務是從礦業開始的。

誠然，假使我們自第一步開始，想到探礦者(prospector)在地面搜尋礦物——普通是某

種指定的礦物——的情形，我們便可以知道他必定要漸漸地學得許多關於那個地方的種種特性的智識，這個地方就是大概可以使他的工作得到報酬的。原來我們所需要的礦石並不是毫無區別地分佈於各處，而是和某種地層 (strata) 聯合着。例如煤大概是在某種層狀的岩石下找出來，這些岩石的成分和所含的化石 (fossils) 都是很顯明的。別的地層就沒有煤了。所以地質學可以大大地幫助探礦者，同時也可以說牠的大部分是從探礦的工作上發展起來。礦山的開掘和打鑽 (boring) 等等工作在地質學的圖書館裏可以佔着大部分的地位。此外就是礦山表面所生的植物也可以幫助我們，因為牠們常常隨着土壤的性質而變遷，這是我們所知道的。例如有二氧化矽的地方常會生長着栗，金雀花 (broom) 和窄葉越橘 (heath)；有白堊土的地方常會生長着黃楊 (box)，龍膽 (gentian) 和飛燕草 (larkspur)；有的植物喜歡砂，有的植物喜歡黏土。有一種堇菜 (viola) 在有鋅的土壤上是長得最好的；在苦因士蘭 (Queensland) 有一種植物對於產銅的地方常有一種極強的表示。又在礦區裏，有時土壤會特別吸收或拒絕熱和濕的作用對於植物所發生的影響，可以表示某種礦石的存在。阿基柯拉曾經告訴礦工們去注意白霜，因

爲惟有在礦脈 (veins) 上的草地，白霜不能使之變成白色。但他所寫的大概都是關於金屬礦石的情形，并不曾提及煤，因爲煤在那時歐洲大陸還不是一種重要的礦物。這部阿基柯拉所寫的書極爲有趣，對於那時歐洲的開礦情形敘述得很爲詳盡；其出版日期是一五五六年。我們用這部書的種種說明和圖畫，來敘述種種主要的開礦過程，總比用近代複雜機械的圖畫，更容易形成一種完整的觀念。

他的無數的例圖都是非常地明白和詳細；他有一種有趣的方法將一切分佈在礦地上的重要機件的分圖，包圍在一幅主要機械或過程的總圖的旁邊，不過這種圖解似乎不大注意透視法，因爲用了透視法就不免要犧牲明瞭的作用了。圖四十三所示的，就是他的圖解的一種；牠是用以說明礦工的初步工作的。我們可以看見圖中的礦工正在掘地和開溝，那執着探礦棒 (divining rod) 的，則正忙着在搜尋礦脈。阿基柯拉并不是相信這種棒的功用，他不過將他所看見的東西描寫出來罷了。所以他在一篇很明白的文字裏，差不多用現代的眼光，來說明探礦棒的理論和用法，其結論并以爲礦工還以不用這種東西爲妙。



圖四十三——礦工的初步工作。圖中兩人執着探礦棒（A），別的礦工都在掘地。在左邊的兩人顯然地是在討論工作的計劃。

在這些最初步的開礦過程中，探礦者所依賴的面示 (indications)，不過是上面所述的幾種。有時他或許可以偶然發現那些自整塊的礦石上所破裂下來的碎塊。不過在大規模的工作下，他就不能不需要精練的地質學家和礦物學家的更爲複雜的學理，同時地質學的本身所以自能探礦的問題上大大地發展起來也就是由於這種原因。

當一座礦不過是一個地面的石坑 (quarry) 時，開礦的工作是非常簡單的；但如礦工開到地下極深的所在，他的種種困難便要一一地發現起來了。原來礦中的一切坑道 (galeries) 都是在礦山周圍土地的水平面之下，所以其中積水頗多；這種情形或由於雨水自上層的地層湧入，或許是由於鑿豎井 (shaft) 或坑道時，地下的水道被其截斷以致有水流入。這種水的問題當然是非常嚴重的。現在讓我們再將阿基柯拉書中所用的一個例圖提示出來，使我們可以知道當時的礦工到底用什麼方法來解決這個問題。我們現在不妨認定這一個例圖是可以精確地表示當時歐洲比較進步的礦業中心普通所用的方法的。至於那時的英國在這方面卻是非常地落後；所謂煤礦不過比開口的石坑進步一些。直至許多年以後，當煤礦的事業變成非常重要的時候，



圖四十四——用踏車發動的鍊條戽斗排水圖 圖中一個人正在端着新的戽斗，一個人正在將夾鉗（如 F 及 G）嵌入一個捲筒（如 B）裏。

英國總在礦業上佔着領袖的地位。阿基柯拉的圖畫所示的是一個鏈條戽斗的制度 (bucket and chain system) 由兩個人用踏車 (treadmill) 轉動着。我們可以看見那些滿貯着水的戽斗，正在將水傾入圖中左上角的一個水槽裏，同時其他一切的部分我們也都看得清楚。圖中所示踏車轉動的方向，雖然似乎已經相反了，但牠所表示的大意是極爲明白的。當礦工們可得到水力的時候，他們就可以用水車來代替踏車。

在極深的礦坑中用這種方法來排水，當然是一種極爲嚴重的工作。我們國內的煤礦在最初的時期都沒有這種困難，即使有時有些困難也可以很容易地克制，因爲那時所用的煤都是採自地面的。當時我們所用的煤完全是自諾森伯蘭 (Northumberland) 的海濱拾得，那裏的煤是潮水自海中的露頭 (outcrop) 沖洗下來的；所以我們都叫牠做海煤 (sea coal) 藉以和木炭互相區別，因爲木炭在那時也是叫做煤的。後來當我們開始自地下採煤的時候牠也不過是自各處露天的煤層 (seams) 中掘出來，不然其採掘的方法也是極乎容易的。在那個時候，假使開採的方法能夠使礦中的水可以很自然地流出去，那當然是很好的；圖四十五的A點所示的，就是

這種簡單的方法怎樣可以實施的情形。但是假使那些煤層的露頭是在最高的一點，例如圖中的B，那麼我們便不能不用別種的佈置了。在這種情形之下，我們須自一二附近的山谷裏，一個水平面較低的地方掘一條隧道（adit）直通到有煤的地方，然後再自上面鑿一個豎井和隧道相接。這樣一來因這條隧道略向下傾斜的關係，礦坑裏面的積水就可以在重力的影響下流出去了。這種隧道是極狹的，有時甚至只有十八英寸寬；但牠們可以有一英里以至二英里長，所以開掘的成本很為昂貴。同時這種方法也祇有那些有一二深谷橫斷在煤層中間的地方，如得尼的森林區域（Forest of Dene）和南威爾斯（South Wales）的賓南區域（Pen-nant Country）等等纔可以採用；可是現在就是這些地方

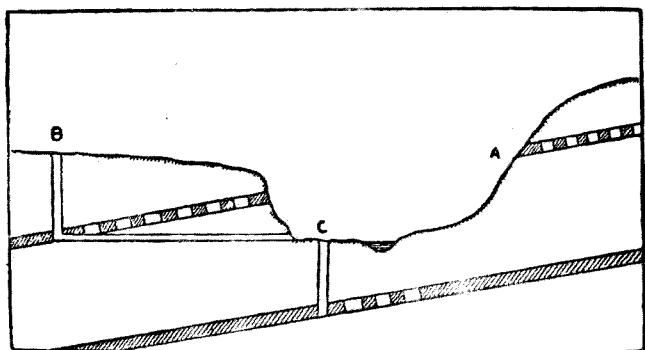


圖 四 十 五

因爲豎井和坑道掘得太深的緣故，也不能採用這種方法了。總之每一個地方終必有一個時期須用機械的方法排水；阿基柯拉的圖畫所示的當然就是當時他的地方所常用的方法。同時這幅圖畫無疑地也可以表示後來英格蘭所用的機械；至於圖四十六所示的，那卻是從這種方法所改良出來的，而於十七世紀末葉所通用的馬力機（horse gin）。不過當時排水的困難已經大大地增加，非任何現有的制度所能應付，就是馬力也不中用了。以致有許多礦當還值得繼續開採的時候，往往因爲水的緣故而不得不放棄了。所以當時這個問題會成爲一個極大的工業問題，許多聰明的人并會兢兢業業地想找出一個解決的方法。

在同一的期間，即十七世紀的後半，大氣和氣壓問題也極爲重要。托里拆利（Torricelli）在同一世紀的初期，曾經造成了氣

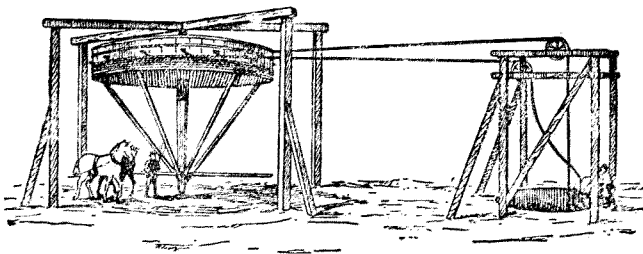


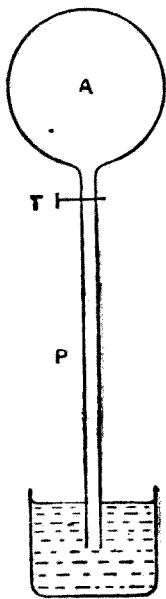
圖 四 十 六

壓計 (barometer) 并顯示出來一個可驚的事實，就是空氣的壓力可使汞柱支持着七十六厘米左右的高度。在同一世紀的中期，巴斯噶 (Pascal) 又曾在奧汾涅 (Auvergne) 的譜伊得多 謨高山 (Puy-de-Dôme) 上作一個極著名的實驗，將氣壓計的高度在山巔和在山麓時的差異找出來。結果汞柱的高度竟達三英寸，使我們大大地贊嘆和驚奇。於是舊日「自然憎惡真空」(Nature abhorred a vacuum) 的觀念就完全消滅，而代以一種新認識，就是空氣所施的壓力，實爲那些難倒許多哲學家的種種現象的原因。這種觀念竟然迷惑了當時的人們；歐洲的科學界不知道做了多少的實驗去試驗牠。馬德堡 (Magdeburg) 的葛利克 (Guericke) 曾特製了一個銅球并用一具唧筒附在下面；然後使銅球裏面滿貯着水，而將其除和唧筒相連的地方以外的部分封固。在最初的時候，唧筒的活塞是很容易抽動的，但後來兩個人的力還不能移動牠，於是在一剎那間，砰然一聲，四座震動，而銅球完全破裂了。此外他又做成較大的半球兩個，而將其中的空氣抽出，結果好幾匹的馬還不能將牠們分開。

在英格蘭這個新智識曾經一樣地鼓起興趣。皮普斯 (Pepys) 在他的日記（一六六三年

二月一日)中告訴我們,當他走到白廳 (White hall) 的時候,英王也跑進來他,看見格勒善學院 (Gresham College) ——就是帝國學會 (Royal Society) ——專門耗費時間於權空氣的輕重不覺大笑。胡克 (Hooke), 帝國學會的創辦人之,也會為同一的問題而工作并寫了許多東西;波義耳 (Robert Boyle) 也是這樣,同時他又說明壓力和一種氣的容積間的正確關係的第一人,所以那個規定這種關係的定律,竟然用了他的名字。

這是當然的,早晚總會有人會想到利用這種新發現的原理來排水。最早想這樣做的就是薩佛利 (Savery), 他的方法是極為簡單和直捷的。下圖就是他的機器的基本原理的說明。現在假定我們可以將蒸汽通入



圖四十七——薩佛利抽水機的原理的說明。

容器A裏,或在其中將水煮沸,而使其滿貯蒸汽;其次又用p管使牠和在較低水平面的水連通着,同時并用冷凍的方法使A的蒸汽凝結,則A將要變成真空,而水面的氣壓將使水自p管昇入容

器中。這時假使再將分接頭T關緊，上昇的水就要被其截住了。此後我們便可以將容器中的水傾出，以備繼續再為排水的工作。當時薩佛利曾為這種新發明的「用火推進力排水」的方法，而於一六九八年七月二十五日得到專賣的特許權。

可是，這是當然的，即使機器有完全的效力，我們總不能使水上昇到氣壓所及得到的高度以上，或三十四英尺左右。薩佛利的抽水機既然是根據這種用初步方法所說明的原理的，當然也要受到相同的限制。誠然薩佛利也曾利用蒸汽的壓力迫水更為昇高一些，藉以增高抽取的力量，但他在這方面並沒有多大的成功，因為他所用的汽鍋不夠堅固。總之在實用上薩佛利的抽水機，所能抽取的力量是不過十五英尺左右的。

要在很深的礦坑中，用薩佛利的抽水機排水，惟一的方法就是在礦中不同的水平面，裝置幾具的抽水機，使每具的機都能夠將水引至上面的機所抽得到的地方，那麼這樣一來就是幾百英尺深的礦坑，也可以應付了。可是就是為了這個理由，這種抽水機到始終不會用在預期的用途上。因為牠們不但是笨重而昂貴，而且牠們的火或許會使容易着火的氣體燃燒起來因而發生重大

的危險。

當薩佛利用這種方法試行解決排水問題的時候，大得茅次（Dartmouth）的紐昆門（Thomas Newcomen）也和同邑的考來（John Cawley）合力為獨立的試驗。他的機器的設計，也根據相同的原理，不過他的應用方法是不同的。或許他的心裏記起了極熟悉的人們用手抽動唧筒的樣子，因而發生了一種觀念，想在活塞的柄，裝置一種機械來代替人工，使之推動活塞一如用手一樣。此外，紐昆門又自擬採用『以凝結蒸汽方法來造成真空』的原理，這種真空就是氣壓所欲填滿的；在這裏他是和薩佛利同走上一條道路的了。這種觀念如何會被他想到我們不能知道，不過，這是一定的，他必然曾經聽到那時學者所熱烈討論的種種關於大氣的問題。據說他曾和上述的胡克通信的，確，同時又有人說，帝國學會所保藏的文件中本常夾有一組胡克應紐昆門的請求而寫的關於氣壓和蒸汽問題的短札。

這些短札似乎已有一百多年沒人看見了。牠們曾經由洛畢孫（Roisson）採在一七九七年所出版的不列顛百科全書（Encyclopaedia Britannica）裏，和他所著的機械哲學（Mechan-

nical Philosophy) 卷二頁五七上。我以為胡克大概總能夠將帕賓 (Papin) 的實驗告訴紐昆門的。帕賓是一個法國的科學家和帝國學會的會員，他曾經在會內宣讀幾篇論文，說明怎樣用一個半真空的管將能量傳遞到某種的距離以外。他的方法是在管的兩端各裝一個有活塞的圓筒。當圓筒 A 的活塞抽出來的時候，裏面的氣壓便為之減少，而 B 的活塞便要為之推進。胡克以為用這種方法來傳遞能量是極沒有效力的。同時洛畢孫在胡克的短札中又曾徵引了這一句話：『假使他（指帕賓）能夠在你的第二活塞下很迅速地造成真空你的工作便完成了。』他這句話是置在引用符號裏面的，所以自這一點看起來，洛畢孫必然親自見過胡克的短札，或是自別人那裏聽來。據胡克的意見，似乎帕賓的方法絕對不能使 B 變成完全的真空，或是使牠迅速地變成真空。他在那時，如別的學者一樣，已經知道假使 B 果真能夠變成真空，則大氣壓即可施在 B 的活塞上面，但如要使 B 變成真空，便須使牠滿貯着蒸汽而後使之凝結起來。我們現在還有一個極簡單的實驗來說明這種

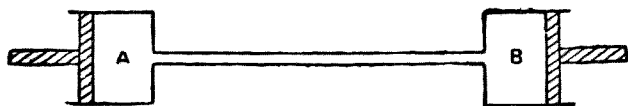
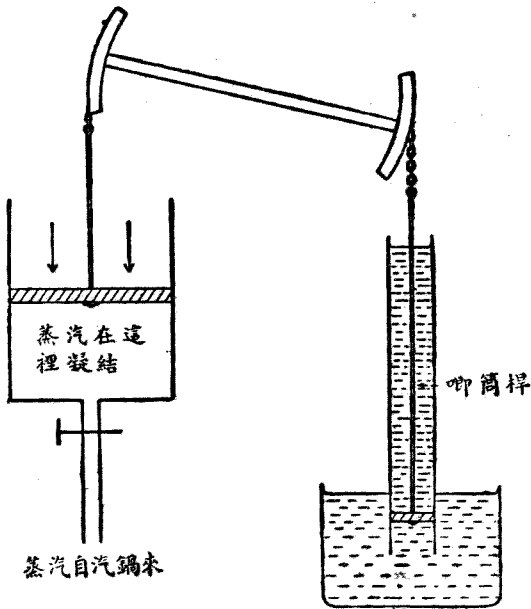


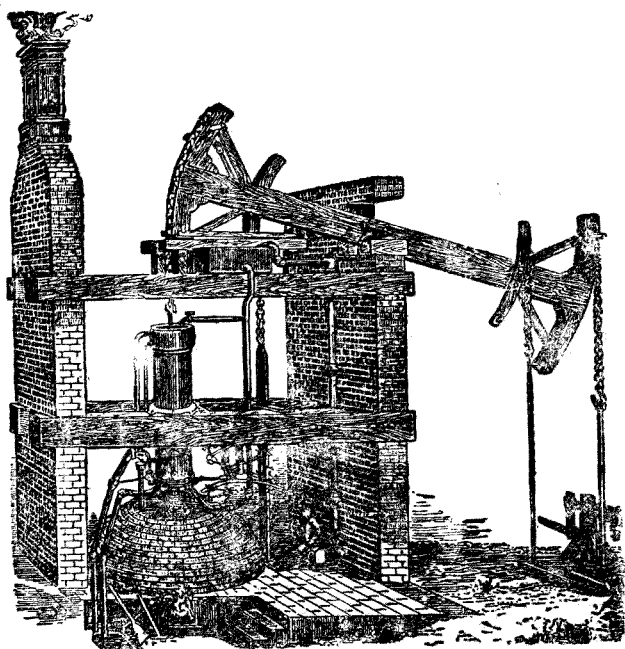
圖 四 十 八

氣壓的力量；這種實驗在兩年前的聖誕演講裏，已曾在這裏試驗過了，插圖三十六乙所示的便是牠的說明。

紐昆門抽水機的基本觀念可以用下列圖四十九和五十來說明。唧筒柄本來須用一個人執着，現在已由一個圓筒來代替，圓筒裏面的活塞是可以上下活動的，同時活塞桿的頂端又和唧筒柄連接着，這個唧筒柄現在也換了一根具有偉大強度的圓柱了。當蒸汽通入圓筒中，活塞下面的時候，其壓力是可以勝過氣壓而使活塞上升的；同時唧筒



圖四十九——說明紐昆門抽水機的原理



圖五十一——紐昆門在窩立克郡 (Warwick shire) 格利夫 (Griff) 煤礦所裝置的抽水機(這或許是他所造的第二具)

桿就要隨着下降這時我們如用冷水噴入圓筒裏面，使蒸汽凝結，則活塞上面的氣壓將要迫之下降，而使唧筒桿隨着上升。

用這種方法來運轉抽水機，其結果是大不相同的。唧筒桿可以任意地加長，雖然這具機器仍放在地面，所以汽鍋和火都可不必置在礦坑裏。同時抽取的力量又可以比三十英尺增加好幾

倍，因為我們能夠使蒸汽圓筒的面積比唧筒圓筒的面積比例地加大。例如假使蒸汽圓筒的直徑是二十一英寸（這就是紐昆門最初所造的抽水機中的一座所用的直徑）唧筒本身的直徑是七英寸（這種直徑的尺寸是未見於任何紀錄的），則蒸汽圓筒的面積將要九倍於唧筒的面積，所以三十四英尺的水對於活塞的壓力——大氣壓——能夠在唧筒中支持着一個三十四尺之九倍或三百零六尺高的水柱。總之要抽取任何深度的水是都可以辦得到的，所不同的，就是深度愈高所抽取的數量就愈少罷了。所以我們當要抽取極深的水的時候，常常將這個深度分開幾段由幾組的唧筒分別吸取。上列圖五十所示的就是一七二二年在窩立克的煤礦所裝置的抽水機，這具機器每分鐘可以有十個動程 (strokes)，每個動程可以舉起十加倫的水至一百五十三英尺的高度。紐昆門的抽水機造成以後就立刻有偉大的成績，所以大約有半世紀以上的時間，牠是可供任何用途的惟一的蒸汽機。

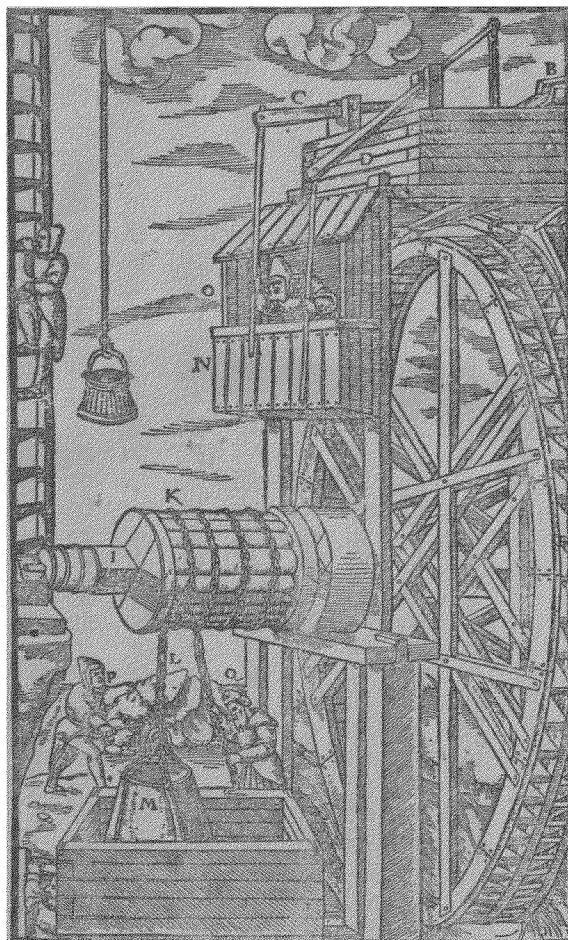
這是可以注意的，紐昆門的機器是那些關於各種氣體和空氣特性的新智識，那些對於學問和推廣學問的工作感覺有興趣的人們——托里拆利、巴斯噶、帕賓、胡克和波義耳——所發現的

新智識應用於一個偉大而迫切的實用問題的成績。這些哲學家們，沒有一個會將這種智識置諸實用；他們大多數都是對於工業沒有多大的接觸，足使他們想到這一點。但是薩佛利紐昆門和其他卻是深切地知道，假如要使大水氾濫的礦山可以繼續開發，什麼是應該先行解決的問題，同時當紐昆門求助於胡克的時候，後者是顯然地極願幫助他的。

紐昆門的蒸汽機祇能適用於推動唧筒的工作；實則此外必定還有許多人會想到這種機器或許可以用於除排水以外的其他用途。例如當時就有人想：牠也能擔任那運載礦工和煤的升降機的上落的工作麼？這個目的似乎後來經過了非常長久的時間纔能達到。不過有時牠也會間接地被人用着；他們利用牠將水吸至相當的高度而後使之轉動水車。阿基柯拉的書載有一幅用天然水力發動的雙輪水車的圖（見圖五十一），這種水車後來在英格蘭就被用爲紐昆門的蒸汽機和繞組齒輪（winding gear）的連絡機構。這種水車的雙輪裝有兩組方向相反的戽斗，所以管理蒸汽機的人能夠利用水力轉動甲輪或乙輪而使升降機上升或下落。

此外還有一種用途似乎蒸汽機是一定可以適用的，這就是使牠曳拉載重車（truck）在礦

山的坑道中行走，或自礦山開至裝貨的所在。但是要達到這個目的卻是更爲麻煩的。



圖五十一——阿基阿拉書中的雙輪水車圖。圖中的字母係各部分的拉丁名稱的符號，不過這幅圖畫是極爲明白的，所以這些名稱這裏不再說明。

最初在這方面的種種偉大的改良，使上述的目的有達到的可能的，完全要歸功於瓦特（James Watt）。他的改良計劃中的一種就是在蒸汽凝結以前使之離開圓筒。在紐昆門的蒸汽機中我們須用冷水注到圓筒裏；但瓦特以爲這種方法將使圓筒失掉過多的熱，而使第二次通入圓筒的蒸汽也有一部分凝結起來。換一句話說，圓筒是越熱越好的。所以他特爲增加了一個隔離的容器叫做冷凝器（condenser）。此外他又將圓筒的上面完全封固起來，而使蒸汽更迭地通入活塞的上面和下面，這個是可以使蒸汽機在同一時間內做兩倍的工作的，因爲每個動程同時所用着的不單是一組蒸汽而是兩組蒸汽。這裏我們須要記着，上述的兩種蒸汽機完全是由蒸汽發動的，或者我們也可以說，這種機器所做的工作是由煤的燃燒作用促成的。至於空氣就是在紐昆門的蒸汽機中也完全沒有做什麼工作；牠在每個動程後的情形和在這個動程以前時一樣。

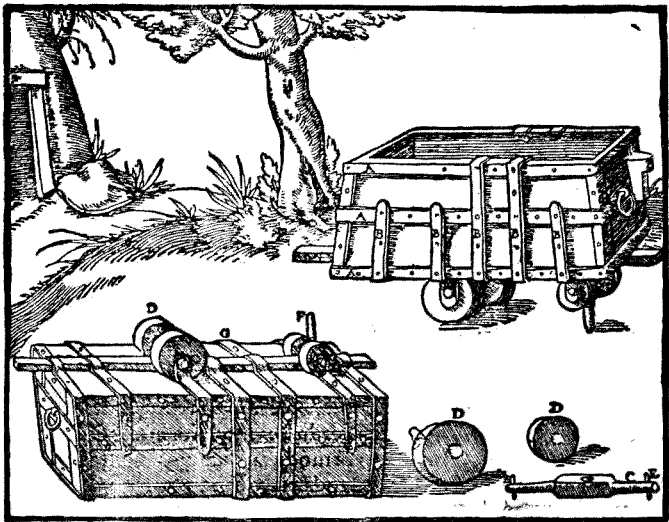
其次瓦特又用一種曲拐（crank）將復運動（to and fro motion）化成輪轉運動（rotary motion），以後當別人取得這種構造方法的專利時，他又發明一種「太陽行星齒輪」（sun and planet gear）來代替牠，此外他還有許多其他的改良。

後來特立維狄克 (Trevithick) 又發現假使我們用高壓力的蒸汽來代替低壓力的，蒸汽機的效力還可以更大幾倍；紐昆門機器中的蒸汽壓力不過比大氣壓略大一些罷了。所以當這些變遷完全實現以後蒸汽機就可以適合於礦工們所需要的一切用途和其他各業的用途。不過後來所有蒸汽機的改良已不在本書的範圍內了。

不但蒸汽機就是鐵道也是發源於礦業。在一二礦山裏，就是比較晚近的時代，煤都是由人，甚至由婦人和孩童搬運。但是比較好一點的辦法是用滑板 (sledge) 拖運，或是更好的就是在煤箱的下面裝着四隻小輪使其在軌道上行走。這種軌道起初都是用木頭製的；直至後來用鐵的習慣漸漸流行的時候，牠們纔加上一層鐵板。下列自阿基柯拉的書中所採的一幅圖（圖五十二）是說明當時運輸礦石的方法的。這種載重車的下面，各裝有幾個木質的轉軸；圖中的 F 是一個粗重的鐵梢，這種鐵梢，據原書所說，是預備當車輛在軌道上行走的時候放在溝槽裏使車身不至出軌的。後來當這種軌道開始在英國發現的時候，那個貨車的輪又加上一種凸緣 (flanges)，同時軌道中間的距離又經過一番極小心的配置，使凸緣的作用適能制住車輪不會脫軌。所以自這一

方面看起來礦工也可以說是處於前驅的地位的。

通風的問題 (problem of ventilation) 在礦業發展的初期就已經非常地嚴重了，後來豎井愈深，坑道愈長，這種問題也愈為重要。當礦坑比較淺的時候，開一道斜溝去收風井使其直吹入豎井裏，或許是夠用的；阿基柯拉的圖（圖五十三）所示的就是當時所用的通風的法子，我們在圖中的確可以看見風自旁邊吹進木桶的方孔裏，而後又自桶底的圓管通入豎井裏，這個圓管同時也作



圖五十二——阿基柯拉書中的載重車。車底的鐵梢F 是用以放在軌道的溝槽中的。

爲木桶的軸。木桶的旁邊又有一個輪葉使牠可以得着風向。此外在自阿基柯拉的書所採取的另
一幅圖畫裏（圖五十四）我們又可以看見有三種不同的通風器（blower），兩種用馬力推動，
一種用人力轉動。圖中的第二匹馬是利用裝草的筐子的地位誘之踏動踏車的。又圖中導風入礦
的大通風器和氣管我們也可以看到。

我們所以必須使新鮮空氣通到礦坑裏，其目的不止一個。我們不但要用牠來補還那些已經
消耗於呼吸的空氣，同時更爲重要的就是還要用牠來驅散那些容易蓄積起來的毒氣。在古代的
時候礦坑是很淺的，所以其中能夠發生傷害的就只有碳酸氣（stythe or chokedamp）一種。
這種毒氣是二氧化碳和氮的混合物，不能夠維持生命。我們須要記得，在一個煤礦裏，是不斷地有
一種燃燒的作用的。煤中所含的碳常有和空氣中的氧互相結合的趨勢；假使溫度充分地增高，這
種現象的發生還要越發迅速，這當我們放一塊煤在火裏的時候是可以看得見的。可是就是在較
低的溫度下這種現象也照樣地可以發生，不過發生的速率比較遲緩些罷了。所以因碳和氧混合
的緣故，二氧化碳常有漸漸蓄積起來的趨勢，同時又因爲牠比空氣略重的緣故，牠常積在礦坑裏

較深的所在；這時假使礦工進到那個地方他就要立刻失掉知覺而死在裏面了。又當煤塊破碎的時候牠裏面所含的二氧化碳和其他氣體是跟着放出來的；其次人和馬的呼吸也可以增加毒氣的數量，因為呼吸實在也可以算是一種燃燒作用，雖然其發生的方式是不同的；此外又有燈火的燃燒；採礦工作所發生的種種化學的作用；和礦坑中酸質的水（因黃鐵礦的氧化作用形成的）



圖五十三——阿基柯拉書中所示的通風器。圖中自左邊吹來的風我們可以見到。



圖五十四——各種導風入礦的方法

對於含有碳酸鹽的礦物的作用（見温伯力 Wembley 博覽會所出版的石炭礦業的史的評論 Historical Review of Coal Mining 頁一〇九）最後氮當然也常在空氣中，同時木材的腐化和其他時常發生的化學變遷又可以增加牠的數量。總之碳酸氣是住往蓄積在井中和其他深穴裏的；所以任何人入礦的時候，必先放下燃着的蠟燭，因為燭光接觸着碳酸氣就會立刻熄滅。

在十七世紀的後半這些氣體也成爲那時新成立的帝國學會的會員所覺爲有興趣的題目，他們很努力地搜集了許多材料。他們在該會一六七五年的議事錄裏曾經發表了一段自約克郡 (Yorkshire) 的澤索普博士 (Dr. Jessop) 所寫的一封信裏節錄下來的摘要，其文如下：『在這些地方有四種最普通的毒氣。第一種是很平常的，我可以不必多講，因爲各地的人都知道牠了；當牠來臨的時候，我們所感到的外部預兆便是燭光變成球形，其光焰又要漸漸地減低，以至完全熄滅爲止；內部預兆，便是呼吸短促。凡觸着這種毒氣的，如能避免暈厥的現象，我從未聽見有什麼重大的危險發生。但如已經暈厥而呼吸未曾停止的，則當他們剛纔蘇醒的時候將要感到猛烈的痙攣的苦楚；這種苦楚將使他們於開始恢復知覺的時候發出尖銳的喊叫。普通的急救方法，是

在地上掘了一個洞，然後使患者俯臥以口向着牠；假使這種方法失敗，便須用上好的麥酒灌入他們的腹中；但是假使這個方法仍舊無效，患者便要完全絕望了。我曾經遇見幾個用這種方法救活的人（同時他們的同伴有幾個是不能救活的），他們告訴我，當他們恢復知覺以後不多時就覺得完全復原了，而且此後也從未發生過任何痛苦。

「他們叫第二種毒氣做豌豆花氣（Peas bloom damp），因為據他們的傳說，牠的氣味是很像豌豆花的。他們告訴我這種毒氣常在夏季發生，礦中的溝道如發現了這種毒氣便不可以繼續工作。但我從未聽說，牠是以致命的，或許牠的氣味能使他們預先趨避罷；可是許多很好的溝道往往因為有了這種毒氣而不得不於一年中最好的和最有利的時候，即地下的水最淺的時候，一一地閒置了。他們猜想牠是來自一叢的紫雲英（trifol flowers）中的，這種花，他們都叫做忍冬（honey suckle），在山巔石灰岩（limestone）的草地上是生得最多的。

「第三種的毒氣是最為奇怪的而且是毒的，假使一切關於牠的傳說是完全不錯的話。據一般自以為見到這種毒氣的人的口述（因為牠是看得見的），牠的形態是這樣的：在那些自主要

溝道所分支出來的通道的最高部分他們常常看見有一種大小如足球一樣的圓形東西懸掛着；其外皮的厚薄和顏色儼如蛛網一樣；這種東西，據他們說，如遇着意外的事故而和石塊一樣地破裂起來就要立刻分散到各處去，使聞着的人完全閉息而死。所以爲避免死傷起見，他們當見到這種東西的時候常用一根杖和一條繩子在很遠的地方去打碎牠；打碎以後他們又要用火將毒氣燒淨而後纔敢進到裏面去。

『第四種。他們也叫做一種毒氣（這種名稱是否適當我現在不要辯論）是一種遇着他們的燭光就燃燒起來的汽；同時牠又會發出爆裂的聲音如發礮一樣，并具有種種等於閃電的效力。當時有一個人，即他們所常呼爲「多貝利赤」（Dobby Leech）的，可以說是哈斯勒堡山（Hartleberg Hill）上的這種毒氣的犧牲者，他的臂和腿都折斷了，他的身體又很奇怪地扭曲起來了。』這四種氣體中的第一種無疑地是碳酸氣；第二和第三兩種祇好隨便揣測罷了；第四種是做沼氣（fire-damp），這種沼氣當上述的一段文字在寫的時候已開始成爲礦工的一種仇敵了。後來牠更成爲一種可怕的災殃。因爲礦工們一步步地深掘下去，等到他們過了那些爲水患原

因的濕地層而進到那較為乾燥的地層，他們就要在這些地層的下面遇着沼氣了。關於沼氣的紀錄，瑟力博士 (Dr. Thomas Shirley) 於一六六七年所送到帝國學會的一篇論文可以說是最早的一種。他在這篇論文裏描寫威根 (Wigan) 附近的泉水怎樣地會燃燒起來，和他怎樣地找到這種奇事所以發生的原因。他以為這是由於沼氣散在水面化成氣泡，而後因着火而燃燒起來的。這種沼氣就是化學家所謂的甲烷 (methane)，其結合公式是 CH_4 ；換一句話說，牠是由一個碳和四個氫組合起來的；牠有極端的傾向要和氧結合，所以牠不但可燃而且會爆炸。牠是在植物腐化的時候構成的，而且是那浮遊在沼澤一帶的磷光的來源，磷光所發出的微光就是由於沼氣的緩燃作用。沼氣當和空氣混合的時候，如其比例大約是前者一而後者九，是最易爆炸的；但如這種比例是大一些或少一些就完全沒有這種的趨勢了。

要在礦坑中消除這些毒氣，必須有一個流暢的通風制度，但是這種需要是好久沒人了解和應付的。最初的有效方法，是在比較寬大的礦坑中開鑿兩個豎井，希望空氣在某種風的流動狀態下能夠由一個豎井吹進去而由別的豎井出來。這種方法假使是可以推行的話，那當然是很好的，

同時他們又發現了一種有效的方法就是在坑底或一個豎井的某點上燃一些火。這種方法可使那裏發生了一股風自這個豎井通出去，所以這個豎井就叫做出氣井 (upcast)，同時那個入氣井 (downcast) 則可用爲進行工作的所在，煤也要自各處坑道搬運到這個井底，因爲這個豎井和那些坑道都是充滿着新鮮空氣的。



圖五十五——更迭地用水和火來分裂岩石。圖中上面的礦工正在做一束一束的柴把，下面的礦工則正將火燃着而後趕快地離開。

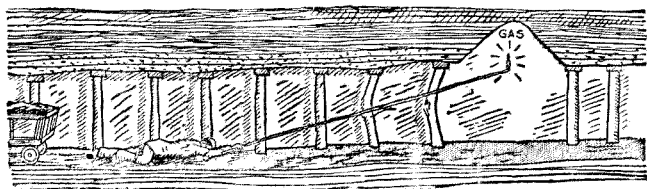
一六六五年在帝國學會裏所宣讀的各篇論文中有一篇是專述這種方法在列日 (Liège) 的進行狀態的；插圖三十六甲所示的通風制度就是自這篇論文採出來。當然，這是必要的，沼氣萬萬不可通到火焰裏，所以這種沼氣必須引導到爐以上很遠的地方。在這個和毒氣對抗的奮鬥中，人們對於種種通風的問題曾學到了不少的智識。他們必須解決怎樣可以在偉大的面積中滿佈空氣的困難；又如坑道的總共長度或許可以達到十、二十以至三十英里，所以空氣又必須分成幾段藉以供給幾個不同的區域，這個困難也是要想辦法解決的。其次豎井裏所用的火也往往不足以清除一個大礦坑，不過這個困難後來因為用了一種由蒸汽轉動的大扇，就完全解決了。這些大扇在阿基柯拉的時候就已經用到；不過要使牠們的效率進步到現在的地步，這卻完全是一個工程的問題。

可是沒有一種通風制度能夠消除一切爆炸的危險。甲烷常不斷地自煤礦石中爆發出來，因為牠在礦囊 (pocket) 中壓力極高，有時或比氣壓大上幾倍。這種毒氣無疑地是在幾百萬年的煤的變遷中累積起來的，這種變遷實在就是植物腐化的連續而遲緩的過程。有時礦中或可以數

年不斷地噴出毒氣。

當毒氣最初發現的數量比較微少的時候，我們用燃燒的方法去消除牠，是不會發生什麼大不了的危險的。在紀錄上最初用這種方法來消除毒氣的是在十七世紀的末葉。那時有幾個地方的礦工（是專做這種工作的）所採的方法大概是用一枝燭伸到坑頂的凹處；他們把燭裝在一根極長的竹竿上，然後自己俯伏在地上，俾使毒氣可以在上面爆炸。這種礦工常被叫做「懺悔者」（penitent）這實在是很適當的，不過有人說這種「懺悔者」也有至今還活着的。有時他們或用一個滑車繫在坑頂上而後使一根線一端縛着燭臺，一端通過滑車，俾其可以舉到很遠的地方去。在這種方法之下，他們就可以將自己關閉在一間很便利的屋子裏，而後將線收起，使燃着的燭舉到坑頂，而迫使那裏的毒氣爆炸起來。

在十九世紀初葉歐洲各處曾發生了幾個慘痛的爆炸事件，因此就激



圖五十六「懺悔者」

起了幾個人，各各地爲獨立的嘗試，以期克制那方興未艾的危機。那時所最需要的就是要找一種燈使礦工們可以很安全地將牠帶到礦裏去。有幾處礦山是沒有毒氣而安全的，所以無蓋的燈光也可以應用，但是大多數的礦山卻是不斷地有毒氣發散出來，有時即使改良的通風設備也沒法將牠除去。所以他們就要求那時皇家學院（Royal Institution）的幹事德斐氏（Humphry Davy）想法來解除這種困難。德斐立刻舉行了一組實驗來試驗甲烷的炸裂性，並很迅速地找到了兩個事實，這兩個事實他認爲是非常重要的。第一，甲烷和空氣的結合只有在極高的溫度下纔會爆炸；第二，牠們在燃燒的時候所發出來的熱是比較地分量很少的。他以爲這或許是可能的，將燈的熱度除去，俾使礦中的溫度不至達到甲烷能夠爆炸的一點，那麼這樣一來，昔日所感覺的有光而不能沒有危險的困難就可以解除了。所以他把燭放在一個容器裏，而以若干極細的金屬管來通氣，希望火焰可以不至通過這些細管。因爲牠們的導熱本領將使甲烷的混合物不能得到所需的溫度。他以爲他的希望是可以實現的，只要這些細管的長短和廣狹都能配得適當，他相信他們如能做得愈細，其長度也可以愈短。最後他又找出來一個金屬的線網，假使能夠做得極爲精

細，并不至燒成紅熱，就可以使牠裏面的火焰不至燃着在牠外面的爆炸物。這種線網的眼就等於無數極細的和極短的金屬管。

德斐原來所做的模型，現在都保藏在皇家學院裏（參閱插圖三十八）。一八一五年十一月九日他曾在帝國學會說明他的實驗，敘述他自這些實驗所得到的結論，并呈示他用這些原理所造成的安全燈。

德斐并不是這方面的惟一工作者。克楞尼博士（Dr. Clanny）曾發明一種燈使空氣必須先在水封裝置（waterseal）上發生起泡沫作用而後方能與火焰接觸，同時燃燒的產物也要用同一的方法經由水中取出。不過這種方法是有些過於麻煩的。同時史梯芬（George Stephen）也發明了一種燈使空氣自多眼的板上通入；他的燈是叫做「佐第」（Geordie）其用途也很爲普遍。這三個人——克楞尼、史梯芬和德斐對於這個大問題的貢獻到底是誰偉大一些，是難以定奪的。不過一般人的意見都以爲他們誰都值得受到他們在工作上所得到的榮譽。德斐的安全燈，自發明以後，就很迅速地得到礦工們的信仰。「這真是使我感到無限的驚奇和歡欣，我不能表示我

那時的感覺到到底是怎麼樣，當我初次將這種燈放入礦坑裏，並見到牠變成紅熱的時候；假使這真是一個魔鬼被除了，我所感到的快樂也不過這樣。我告訴我旁邊的人說：「我們最後果然克服這個魔鬼了。」這就是那盡瘁於礦中的安全問題的巴德爾氏（Buddle）在狂熱的歡欣中所說的話。德斐在陳述他的工作的一本小冊子裏，曾告訴我們他所收到的許多經理和礦工們所寫的信，這些信札都是對於他的工作表示感謝的；我們可以確信他當收到這許多信的時候，必定要覺得十分地快樂。據說他當晚年的時候會屢屢地說到他所做的安全燈是他的一生事業中最使他感到快樂的一種。或許最可使我們驚奇的，就是當他開始工作的時候，這個問題的內容他本一無所知，但結果在幾個月的期間，他居然將答案找到了。他從未索取任何報酬；就是史梯芬和克楞尼也不會這樣。據巴德爾說他曾對德斐提起這個問題，但德斐回答道：「不，我的好朋友呀，我從未想到這種東西；我的惟一目的是在爲人類服務，假使我是成功了，那麼我在這方面所感到的快樂就是一種偉大的報酬。」

現在有一種實驗可以說明金屬線網阻住火焰的原理。這裏是一組由兩個玻璃管集合起來

的實驗器（圖五十七。）我們可使能爆炸的甲烷和空氣的混合物自A孔通入；牠充滿了大玻璃管以後，就自C孔噴出。這時假使我們用火來燒這噴出的氣，牠就要發出藍焰了。這種火焰不會回到管裏去，因為裏面的氣噴出來太快；但是假使我們將A孔的插頭移去，使通入管中的不是甲烷的混合物而是空氣，則氣自C孔噴出將要一步慢似一步，而C孔的火焰也要漸漸地縮小下來了。原來那使氣繼續地自C噴出的惟一力量，就是玻璃管的煙囪作用：管裏的混合物是比空氣輕，假使這些玻璃管被火焰燒得稍熱一些，牠還要更輕一點，當空氣自A孔流入的時候，煙囪的作用便漸漸地消滅了。現在假使我們注視C孔的火焰，我們將要見到牠當變成極小的時候就會突然地進入管裏，并在一二秒鐘的時間達到B點。這時這種氣體是在燃燒而不是在爆炸；同時那燃燒的所在，熱度也要漸漸地增高起來，足以影響那在燃燒點的一面的混合物，而使其溫度激增也輪着牠燃燒起來，於是火焰

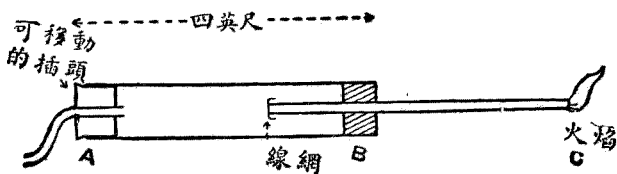


圖 五 十 七

就因此延到管裏去了。這時假使那個玻璃管是狹小的，或混合物是比較地不易爆炸的，這種火焰的流動便要比較地慢。反之假如管是比較地寬大，或流動的速率不甚均勻，這種火焰的流動便要促成爆炸的現象。理由是這樣：假使這種氣體在某一點上一經燃燒得太快，其所發生的熱也要累積得太快；但一切新增的熱都要燃起更多的氣體，所以結果裏面的情形就越發緊張起來了。其次，焰浪在管中流動得太快；一時燃起來的氣分量過多，也足以激起偉大的爆發力。

我們看見火焰自C流到B；牠的流動狀態很為和緩，因為裏面的燃燒并不太快。同時那個小玻璃管的末端，曾經有一個小小的德斐的線網帽蓋着，所以火焰到了那裏就被阻住和熄滅了。牠不會流到較大的A B管。

現在讓我們在線網上面用一個士釘鑽 (Bradawl) 鑿開一洞，然後再將這個實驗重演一次。這時我們便要見到當這個火焰流到線網的時候，牠便不再被其阻住，而要直接地流到大玻璃管裏，同時那個開始噴氣的地方，火焰的流動將要大大地擾亂起來，而使那裏的熱度突然增加。結果爆炸現象就要立刻發生了。

有了這種新的安全燈，那些許多曾經放棄的礦山，現在都可以繼續工作了。礦業上的發展可以說又更進了一步。可是爆炸的事件并不是從此完全絕跡，而且後來有的爆炸的結果也是非常慘痛的，所以礦工們又覺得大大地失望，因為這個新發明的安全燈似乎又失敗了。無疑的，礦工們所用的火藥有時也可以引起爆炸；這當然是完全無效的，假使他們把燭光封閉得很小心，而同時卻使那個能爆炸的混合物有被發鎗時的火焰燃着的危機。但是實際上礦中實在還有未曾察出的第二種爆炸的原因；沼氣的危險誠然有相當的預防辦法了，而煤屑 (coal dust) 所可發生的災殃則還沒有抵抗的方法。原來當一八四五年的時候，哈斯威爾煤礦 (Haswell Colliery) 會發生了一次大爆炸；當時他們因此就請求地質學家來伊爾氏 (Iyell) 和皇家學院德斐的繼任者法拉第氏來研究這種爆炸的原因。結果他們都以爲這次慘劇的發生完全由於煤屑所致。即使煤是可燃的，但煤屑能夠爆炸的事實，粗看起來似乎總是很奇怪的。可是假使我們自煤斗 (coal scuttle) 中拿一粒煤屑而將牠拋入烈火中，這個事實就很容易的看出來了；砰的一聲！這就是表示在大規模的情形之下時其結果將怎麼樣。這種事實其實就是上次我講染工業時所

提起的分散作用的一種例子。煤屑在懸置的時候對於牠的體積比起來有一個極大的表面；但如溫度一經增高碳和氧的結合便可以在牠的表面上普遍地發現起來。所以假如一個地方有一部分的煤屑發生燃燒作用，或是有些沼氣忽然爆發起來，或是不規則的火藥的發射，則燃燒行爲在那含有煤屑的空氣中，將要一步緊似一步，直至發生爆炸的現象時爲止。粉屑 (flour dust) 當懸置在空氣中時也能夠爆炸；同時鎂粉 (magnesium dust) 也是這樣，所以當我們製造鎂質東西的時候，必須特別小心。又當混合物的每個部分燃燒的時候，牠各能供給充分的熱足以燃着附近的部份，所以一如玻璃管中的火焰在空氣和甲烷的混合物上步步延燒的狀態(圖五十七)，火焰在含有煤屑的空氣中也會漸漸地展開燃燒的領域；在同一的情形下爆炸的現象也可以這樣地發生起來。

我們可以用一個簡單的實驗來說明這種現象。一個立方形的箱，每方各一英尺高，其中可以裝滿着普通的煤氣和空氣。和這個箱相連的是一條木製的坑道，長六英尺，截面廣九方英寸。在這條坑道上我們可以撒些石松粉 (Lycopodium powder)；這種粉——其實就是蕨類植物的種

子——是極易着火的，所以當研成極細的粉末時，也會爆炸。這個模型的全部可以代表一座礦因沼氣爆炸而引起長坑道中煤屑爆炸的情形。當煤氣在箱中流動到了相當的時間以後（在我們這裏八九秒鐘就夠了）我們可以將煤氣管退出，箱頂的開口關閉，同時並將活動的小門舉起，使箱和坑道相通。其次我們又可用燃着的小蠟燭將箱裏的煤氣混合物燃燒；這個就是等於沼氣的爆炸引起更爲猛烈的煤屑的爆炸，同時坑道末端的開口處將有一柱火焰露出。

這是很奇怪的，我們經了極長久的時間以後，纔能夠發現煤屑在爆炸行爲中所負的責任。法拉第和來伊爾的報告都是在安全燈發明後三十年纔寫成的。以後又經過了三十年煤屑的作用纔普遍地被人知道，又經過了五十年——其

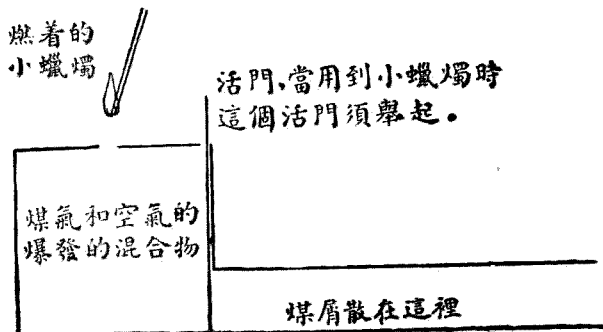


圖 五 十 八

實是已經很晚近的了——調查局 (Research Board) 還覺得有組織種種表演的必要，藉以啓發礦工們使其注意這種可怕的危機。這些表演是在昆布蘭 (Cumberland) 的厄斯克密爾 (Fisk meals) 舉行的，其中所用的坑道是築在曠野上面，以期可以避免危險的發生（插圖二十九乙）。這種坑道共有幾百碼長，而且容積很大可容許多人走進去，所以事實上簡直可以代表一個真正礦山的坑道。坑道的兩旁從頭到尾全安着架層，架層的上面都要撒着煤屑。當舉行實驗的時候我們可用一尊小礮，轟擊坑道上的任何一點。不過結果牠是否會爆炸起來，完全要看這個實驗的陳列方法而定。有時牠竟會這樣地猛烈，甚至將坑道的末端炸成碎片而使其飛射各處；插圖四十所示的就是這種狀態。有時這些煤屑並不會爆炸，其情形僅如一陣氣波自礮中發出，將含有煤屑的空氣變成一塊黑雲。這個調查局是英政府於數年以前委派若干人所組織的，其目的在研究種種足以增加礦中安全的方法。我以為假使當安全燈初次發明的時候已經有了一個調查局，如現在我們所有的一樣，則在這一百數十年中所發生的大慘劇必有不少是可以避免的。

煤屑大概是散布在自開採的地方連煤到外面的一條道路上，這條道路所以用以運煤，是由

於通風制度將新鮮空氣自這裏送到礦工那裏去。礦中的爆炸大概在這條路上發現；所以沼氣的爆炸只是一個部分的事件，而散佈的煤屑則常常可以使爆炸的範圍擴大到極大的距離以外。

爆炸的本身是極爲可怕的，牠能夠炸壞機械和支柱并使上面的石堆崩陷下來而將坑道塞住。但是，還有更壞的，煤屑能和氧混合并將牠吸盡，而以不能維持生活甚至有害的氣體來代替那生活上所必需的氣體。例如一氧化碳（carbon monoxide），就是牠們中間最毒的一種。這種氣體的分子含有一個氧的原子和一個碳的原子；其顯明的特徵就是有一種極強的趨勢去再吸一個氧而化成二氧化碳。牠當人們將其吸入的時候能夠深入血管，破壞血液將氧輸送至身體各部的能力——這是血的主要功用之一。空氣中如有少量（百分之二以下）的牠就可以成爲致命的混合物。牠是人體的官能所感覺不到的，就是觸着牠以致喪命也沒有什麼痛苦；所以因此我們就更難和牠抵抗了。當沼氣在礦中發現的時候，礦工們總可以先得着一種警告，就是安全燈的火焰當變成一點的時候，其頭上必有一個極微弱的藍色帽子；但一氧化碳就沒有這種警告。大概這種毒氣的最有效的信號，就是牠能使小小的熱血動物，如小鼠或金絲雀等等感受痛苦；牠們的

呼吸比人們快得多，所以毒氣對於牠們的攻擊也來得更快。現在已成爲一種定例，煤礦裏面必須養些小鼠或金絲雀。不過礦工們總是很愛惜這些小玩物的，所以常常有這種情形，當礦工們疑心有毒氣發生，將使他們本身發生危險的時候，他們也不願意將這些小玩具帶下去。

煤屑爆炸的危險可以用石粉攪入的方法使之減少，這種石粉當然是不會燃燒的。不過，并不是一切的石都可供這種用途，因爲有幾種石如石英等等能夠傷肺，但有許多石是無害的。其次，就是煤的本身也大有差異，有的是極爲猛烈的，有的則頗爲緩和；所以要使牠們安全所需石粉的數量也大有參差。

這樣看起來，要使礦工能夠在無礙於身體和健康的形势下，將煤帶到地面，同時其所得的數量，又值得酬報他的勞力，即使礦坑是極深和難採的，有許多問題必須先行解決。他曾經不斷地求助於種種已有的新智識，因得以一一地制服種種已往的困難。這當然是一件極偉大的事，現在的礦工能夠在一切顯然的危險和困難之中維持着和其他人們一樣的健康。在五十年以前一切情形就不是這樣了。這種變遷所以發生完全由於科學研究，曾經將種種危險的原因和排除危險的

方法，一一地尋找出來，和國家立法常常跟着科學研究的結果而有相當的規定。現在這些工作還在繼續進行之中；同時還有專門從事礦務研究的種種實驗室存在着，牠們有的是私人組織的，有的是國家設立的。這些工作都是充滿着無窮的興趣；或許我所說的許多話已經使你們覺得這樣。同樣的情形，也可以講到上文所提及的種種職業的實驗室，牠們都是用新智識來替舊職業效勞。你們這裏或許也有幾個當開始你們的職業生活的時候，會加入上述的一種實驗室；我可以替你們保證，這些職業無論是否會使你們致富，總可以有一種很好的普通收入，并可使你們的生活充滿着無窮的興趣和快樂的工作，除非你們所擇的職業是不適宜的。

