

大學叢書

普通冶金學

蔣導江著

商務印書館發行

大學叢書
普通冶金學

蔣導江著

商務印書館發行

中華民國三十四年十月重慶初版
 中華民國三十六年七月初版
 上海再版

大學叢書
 普通冶金學一冊

（63333平滬報紙）

平裝
 基價拾貳元

印刷地點外另加運費

著者 蔣導 江

發行人 陳懋解

上海河南中路

印刷所 商務印書館

發行所 商務印書館

 * 版權所必 *
 * 翻印必究 *

序 言

冶金爲重要化學工程之一，盡人皆知，誠以冶金爲一切工程之母，任何工業，無論其規模之大小與繁簡，其所需工具及材料，莫不直接間接與金屬有關係，小而日常生活，大而國防資源，皆以冶金爲基礎。且也，人類之文明愈進化，工具之效力與技巧愈演進，故金屬性質之改良與應用，亦愈擴展。試按歷史，由石器時代進至今日之鋼鐵或電氣時代，實由冶金技術之進步以推動之。今者測一國之強弱與文化水準，即可以該國之金屬產量與消費量衡之，是冶金一項，實可爲測量文化進步之標尺，而其重要性，可不待引申而後知也。

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

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

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

(2) 普通冶金一書，國內尙無專冊；即求諸國外，欲一適合吾國大學鑛冶系之需要者，亦不可得。侯夫滿(Hofman)、富而敦(Fulton)諸氏之作，出版甚早，又無修正版：一則長篇巨幅，涉獵廣泛，使初學者如置身廣大博物院中，不辯輕重，不知取捨；一則範圍狹小，取材亦偏，不合教材實情。外國學校，鑛冶分立，普通冶金所包括各部常識，如燃料學、高溫學、耐火材料等，均分道揚鑣，各立專科教授，故每科均得充分闡揚。吾國至今，鑛冶合爲一系，欲各科分別教授，時勢均不可能；若合爲一體，又嫌冗雜，勢非改弦更張，斟酌損益，刪繁就簡，取精用宏，不足以盡普通冶金之涵義，而符吾國教科之體制，此作者數年來之經驗，亦此次率爾操觚之動機也。近來教育部頒發專科學程，科目較前爲多，亦有化整爲零之意，若科系不分，似難照令全開。將來無論學程若何，在鑛冶未分時，欲使初學者認識並連貫此類常識，此書或不

無小補也。

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

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

(5) 本書所取材料，大半出作者之筆記與經驗；但國外名著，如侯富兩氏之普通冶金學 (Hofman: General Metallurgy; Fulton: Principles of Metallurgy), 侃氏與富南希之鋼鐵冶金及製造法 (Camp and Francis: The Making, Shaping and Trating of Steel), 奧斯頓之普通金屬冶金 (Austin: The Metallurgy of Common Metals), 卜來梅之燃料學 (Brame: Fuel), 大林氏之高溫學 (Darling: Pyrometry), 塞爾及羅屯兩氏之耐火原料 (Searie: Refractory Materials; Norton: Refractories), 塞德兩氏合著之熱機學 (Severns and Degler: Steam Air and Gas Power), 各種冶金手冊 (Liddel: Metallurgists and Chemists Handbook; Hütte: Taschenbüch für Eisenhüttenleute; Bamford and Harris: The Metallurgists Manual, etc.) 及其他機電化工手冊等，均隨時取材。煤氣製造圖 (第 57、58 圖)，係承永利化學工業公司之特許，吾國煤之分類統計，係取材於地質調查所各項專報。第 39 圖係採自劉仙洲氏之熱機學。同時作者復蒙熊校長迪之之鼓勵，系內各同仁之贊助，范總經理旭東之審評原稿，李禹平女士之校稿，作者對上述諸家，謹此誌謝。

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

蔣導江

三十二年五月雲大鑛冶系

目 次

序言

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

普通冶金學

第一章 引言(Introduction)

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

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

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

冶金學範圍頗廣，大概可分為三大類於次：

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

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

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

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

鈷、砷、碲、鋁、鉻、錳、鎢、鉬、釩等等。

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

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

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

非鐵金屬之種類，遠過鋼鐵，故鋼鐵與非鐵之區分，乍視之，似有疑義。雖然，其所以如此分畫者，亦自有故。重要原因，約有四端：(一)鐵為賤金屬之分佈最廣者，適於大量製造，全世界每年產量超過百萬噸之非鐵金屬，僅銅、鉛、鋅三項，而鋼鐵一項之量；至少過七千萬噸。是後者規模之宏大，注意之集中，演進之迅速，遠勝前者。(二)鋼鐵之磁性(magnetism)，遠非其他金屬所及，而此性之利用，為電氣時代必需之原料。(三)鋼鐵機械力量(mechanical Strength)之強，非其他金屬所能望其項背，實為近代最嚴重工程上必須之材料。(四)鋼鐵可以加熱處理，或用合金方法，以改良或改變其性質，使適合吾人之奢侈要求。其他金屬，則少此類變化，無法改良，因之鋼鐵冶金技術之繁重，迥非其他冶金所能及。反之，非鐵金屬冶金，多共同之一原則與方法，使之更單純化。有此數端，鋼鐵與非鐵冶金，為研究及學習之便利計，允宜分道揚鑣，各自發展也。

二 金屬之沿革(History of metals)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

關於二重合金之內部組織,自非本書範圍之內,今大約言之,可分四種:

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

(2)如在固體時,仍能互相溶解,則其組織,為一固體的溶解物,或固溶

體 (Solid Solutions), 與液體之溶液, 完全相似, 所異者, 卽一爲液體而一爲固體耳。在此種組織下, 不能目辨其原元素之單獨的存在, 故在適當的情形下, 其組織極均勻, 與單體之金屬組織無異。

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

(4) 普通合金組織, 係上述三種中之二種, 或全部的集合體。

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

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

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

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

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

二 金屬與合金之性質

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

第一表 重要金屬與合金之比重

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

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

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

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

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

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

c. 顏色 (Colour) 上項及此項，在冶金學上，遠不及礦物學上之重要。所有金屬之色，除銅爲紅色，金爲黃色以外，餘皆爲由白色至深灰色。合金之色，視組合成分之色而異，如原係白色與灰色者，則結果色亦在灰白之間。但亦有例外，如銅與鋅或鋁之合金爲黃色，但銅若含鎳百分之十五，即變爲白色，與原色不符，輔幣之合金，蓋即銅鎳或銅鎳鋅之合金也。

d. 結晶與解理 (Crystallization and Cleavage) 礦物有一定成分，及一定之晶形，在適當情形下，其分子之排列，有一定之幾何的形式，吾人按照其面 (Face)，稜 (Edge)，角 (Angle) 之排列，可分爲六大結晶系統。金類之組織亦然，在和緩與正常狀態下，並非爲無晶形之物質 (Non-Crystalline or amorphous material)，其分子亦按照其結晶系統，作有規則之排列，此種現象，爲之結晶 (Crystallization)。金類在常態下，無論由氣體變固體 (名曰昇華 Sublimation)，液體變固體，或由一種固體變另一種固體時，均爲結晶體 (Crystalline forms)。金類之晶體，彼此相接，彼此妨礙，求一發展完整之單獨晶體，不如鑛物之容易。冶金學上有時稱此類結晶體 (Crystals) 爲結晶粒 (Grains)。

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

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

有若干元素，能顯一種多體變化，或同質異性變化 (Polymorphism or Allotropy)，即在某溫度壓力階段內，爲一種晶體，若超過此限度 (其分界之點爲轉變點或臨界點 Transition or Critical Point)，則另入一階段，而

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

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

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

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

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

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

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

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

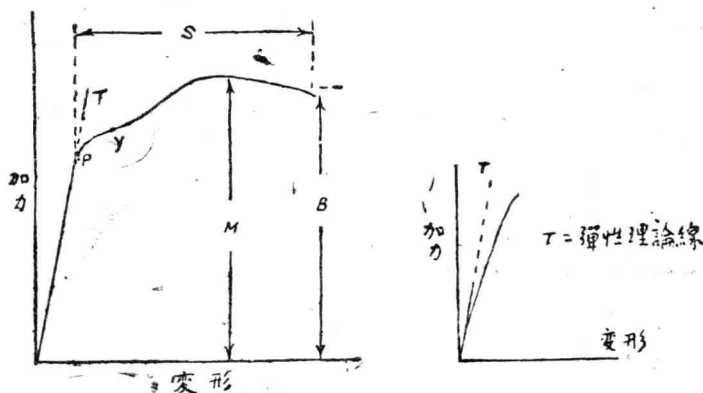
(c) 回跳硬度 (Rebounding Hardness):——其儀器名沙氏回跳計 (Shore Scleroscope),係以一硬鋼球,從一定之高度,墜於欲測之金類平面上,而以其回跳之高度,測其硬度,物質愈硬者,回跳亦愈高,此儀器甚簡單,不需動力。

此外尙有其他方面之硬度測驗,惟不甚重要,故從略。

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

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

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



第一圖

P 彈性限度 Y 伏點 M 最大張力
B 拉斷張力 S 永久變形

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

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

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