

哈 尔 滨 工 业 大 学 讲 义

金 属 学

译 校
戈 人
枕 吉
張 正
戚 風

1957

譯 者: 枕 戈
校 者: 張 吉 人、戚 正 風
出版者, 哈 尔 濱 工 業 大 学
印刷者: 哈 尔 濱 工 業 大 学 印 刷 厂

1957年2月出版 工本費1.00元

序 言

金屬对于近代技術的作用是很难估計的。近代機器和建築物的全部重要零件及部件都是用金屬制成的。可以这样說，金屬是近代技術中的主要建築材料。从普通的鏈子和縫衣針起到巨型橋樑、龐大的海洋船隻、大型軋鋼機、地下鉄道、移動式掘土機、吸泥機、透平及發電機、反射式發動機及飛機、火車及電氣火車、汽車及拖拉機、推土機及自動裝卸機、火車車廂及無軌電車、金屬切削機床及紡織機、聯合收割機及播種機、石油管及煤氣管、送電線及電話電報線、無線電收音機及電視機、電影放映機及自動電鍍等等所有這些（至少是絕大部份）都是用金屬制成的。

因此金屬是所有近代工業基礎的基礎。金屬的生產已進行了許多世紀，並仍舊為社會各生產活動中的主要部門。一個國家生產的金屬愈多，這就是說她的技術水平就愈高，她就愈強大；一個國家生產的金屬少這就是說：她是落後的，是屬於農業國的。

當然，決不能由上述得出這樣的結論，即由於冶金工業的蓬勃發展和在各種技術部門中廣泛利用金屬，而使其他材料失去了本身的用途。例如，木材、石材等等其他材料。相反的，由於冶金工業的發展這些材料應用得更廣泛了，因為現在在許多重要的建築中這些材料都可以和金屬配合起來使用，例如，在高層建築、堤堰、地下鉄道、運河等等的建設中。

然而，如果將金屬材料與那些天然材料，如石材、木材、樹脂、各種粘土等等進行比較，則無論在強度方面、在應用的範圍和形式方面、在得到同樣效果所化費的勞動力方面以及其他許多方面，石材、木材、樹脂、粘土等都不如金屬。我們可以說，近代的世界物質文明水平是奠定在約二仟兆噸金屬的基礎上的；人類從自然取得了這些金屬並制成了各種機器、建築物，運輸和通信工具。因此金屬材料性能的知識對工程師的重要意義，就不難理解了。而你們從金屬和合金這門科學中是可以得到這些知識的。科學院士包赤瓦爾（А. А. Бочвар）對這門科學給出了以下的定義。

金屬學，或金屬與合金學是一門研究金屬與合金本質和性能的科学；是用改變其化學成份，或用機械、熱處理及其他方法來改善金屬材料性能的科学；是研究金屬材料在加工過程中所處的狀態及在國民經濟中合理地使用金屬材料的科学。

在這個定義中說明了金屬學這門科學的內容和目的。

然而除了這門科學的內容和目的外，還必須指出其研究方法，使金屬學發展的研究方法。

研究方法可以是多種多樣的：金屬零件的使用試驗，即在零件的工作過程中進行試驗；由金屬試件的實驗研究，可以了解金屬零件在機器中的工作情況，最後進行理論上的歸納。理論歸納是在實驗資料及物理和化學的一般定理的基礎上進行的。

應該指出，金屬學中絕大多數的重要規律都是從實驗中發現的。金屬學工作者的任務在於熟習關於確定金屬材料化學成份、內部構造和性能之間的关系的客觀規律，並且運用這些規律來得到最能滿足社會上的金屬制品要求的金屬材料。

金屬學作為一門科學是和其這部門的知識有密切联系的。金屬學是依據物理、化

学、物理化学、結晶学而發展的。金屬学又是一門实用的科学，它是由于工厂的实际需要直接在工厂中產生和發展起來的。許多工藝課程，例如，鑄工、金屬压力加工、銲接、金屬切削等都与金屬学有着更密切的联系。各工藝課程每天都向金屬学提出許多新的問題，同时也給金屬学提供了丰富的經驗資料。因此，在金屬学和各工藝課程間存在着非常密切的关系：从各工藝課程中吸取資料使金屬学本身得到發展，同时亦使这些工藝課程得到發展，即金屬学是这些工藝課程的基礎課程。

金屬学是冶金和机械制造各系的必修課程，無論該系的畢業生是設計工程师或工藝工程师都应學習這門課程。現在金屬和合金的科学知識对于在設計局中設計新机器的設計师和在工厂車間中制造这些机器的工藝师都是完全必需的，因為他們中間的每一个人都要經常的处理金屬材料問題；有时要求金屬具有很高的硬度，有时要求金屬具有很高的范性；有时要求金屬具有很大的導电性，有时要求金屬具有很大的电阻；有时要求金屬具有很大的磁感应和矯頑磁力，有时要求金屬实际上是非磁性的；有时要求金屬是耐酸的，有时要求金屬是易溶的等等。在設計局或在工厂工作的工程师經常需要解决器机、仪器或联合裝置中各零件材料的合理选择問題。正確选用材料能提高產品的質量，降低廢品率、增加產量、縮短新机器試制的时间。材料选用得不恰当会降低劳动效率、增加廢品、經常引起事故並造成物質損失。所有这些都說明金屬学是培养金屬热加工和冷加工工程师的基礎課程。

金屬學的發展簡史

如恩格斯所說，在未開化時代的中期人類初次熟悉了金屬。很難確切地指出人類最初利用金屬的時間；在某些地方人類在數千年以前開始利用金屬，在另一些地方人類利用金屬還不到一千年。人類初次使用的金屬無疑是經過冷鍛的天然銅。但是地球表面天然金屬的數量是很少的，所以這些少量的金屬對過渡到使用金屬工具，當然不能起決定性的作用。而這些天然金屬的主要作用是使人類初次熟悉了金屬，並在熟悉金屬的基礎上學會了鑑識新的優質的材料。

可能是火對石頭的破壞作用啟發了人類將金屬放到篝火中去加熱，隨後將金屬熔化。此後人類還學會了從地球的表面層內開采銅、錫和鉛。這一重要的發明完全可能是當人類為了維持篝火而將石頭砌在篝火周圍時發現的。石頭中可能摻雜着礦石，而這些礦石在篝火中還原成了金屬，於是原始人在耙出灰燼時得到了有光澤的軟金屬錠。從利用自然金屬到用炭來還原礦石是個很漫長的途徑，戰勝這一途徑是人類社會歷史上最偉大的成就之一。將銅和錫熔合后就得到了青銅，它具有相當高的硬度和較低的熔點。這個時代在人類歷史中稱為青銅時代。青銅時代是很長的，它的特征是鑄造和鍛造的青銅工具。許多發掘出來的古物和其他文獻說明約在公元前二千年在外高加索就有了銅和青銅的工具。與此同時在中國亦開始採用了青銅。在中國，青銅時代是從公元前二千年開始的。在公元前一千五百年的商朝時就廣泛的採用了青銅制品例如：執行宗教儀式用的器皿、兵器、裝飾品和日常生活用品。野蠻時代發展的最高階級始於熔鍊鐵礦時。因為鐵的質量很好，故促使人類用鐵斧代替了用青銅制成的斧頭。外高加索的居民首次鍊鐵約在三千年以前。中國在周朝時（元公前 8—3 世紀）逐漸地採用了鐵器，並且鐵器得到了廣泛的應用。中國在公元前六世紀時就制成了鐵鼎並在鼎上載有法律條文。以上說明。公元前六世紀時鐵的生產和鐵器的制造技術都具有很高的水平。此後（約二千年以前）在烏拉爾就開始了煉鐵（Аваньевская культура）。約在同一个時候，在蘇聯北方的黑海地方（包括克里米亞）在 Оке 和伏爾加河上游及其他地區都開始了煉鐵。因此認為中國在一千五百年前就首先得到了鑄鐵及鑄鐵這個字是由中國傳出的，是有根據的。

在幾個世紀內人類逐漸更廣泛和深入地獲得了關於金屬及其性能的各种知識。人類不僅學會了由礦石中得到較多的金屬，並且學會了配制各種合金、用機械加工的方法使金屬具有一定的形狀和用熱處理的方法使金屬具有不同的性能。但是這些知識的絕大多數都是些實際經驗，並不能包括對了解金屬材料本質起決定作用的因果關係和基本原理。這是很顯然的，因為直到上個世紀還沒有發現研究金屬材料內部構造可靠的方法和工具。而當沒有研究金屬和合金內部結構的可靠方法和專門的工具時，即使是相當簡單的现象與金屬材料中產生的過程之間的因果關係亦是很難確定的。

此外，當時的技術水平對冶金學者在金屬材料的性能和品種方面規定了相當狹小的任務。這時認為制造能夠承受超出實際規定很大的載荷的機器和結構在技術上是正確

的，即把重量和質量混為一談，認為設計的結構愈重，則這個設計亦愈好。因規定了過大的安全係數，故在設計中對金屬質量方面的偏差（組織不均勻、粗松、表面缺陷及其他種種缺陷）實際上沒有加以注意。但是技術的迅速發展要求冶金者在科學知識的基礎上，而不是在手工的基礎上造出新的優質的金屬材料和採用可靠的新加工方法。因此引起了深入研究金屬及其性能的要求。

第一個着手解決這個重大問題的是工廠工程師伯維爾·彼得羅維奇·阿諾索夫（П.П.Аносов）（1799—1851）。阿諾索夫幾乎終身都在烏拉爾的茲拉托斯托夫冶金工廠工作。還在古代時就已經知道金屬的性能與其化學成份有關。阿諾索夫第一個證明了金屬材料的性能不僅與其化學成份有關，並與其構造有關。我們又稱後者為金屬組織。這一結論的發現是由於阿諾索夫對金屬的研究採用了新的方法，首先是用顯微鏡來研究金屬而得到的。阿諾索夫用顯微鏡來研究金屬（1831年）是了解金屬內部構造的重要階段，因為它是第一個科學的研究方法。阿諾索夫在運用顯微鏡分析的同時在工廠實踐中進行了粗晶分析。他在工廠的條件下運用了這樣方法研究了各種元素（Mn, Cr, Al, Si 等等）對鋼的性能的影響。

阿諾索夫的研究工作對建立新的科學部門——金屬與合金學——起了巨大的作用，實質上這是最早的研究金屬的工作。

A.C.拉夫羅夫（А.С.Лавлов）和卡蘭奴茲基（Н.В.Калануцкий）繼續阿諾索夫的研究工作，他們研究了鋼錠的組織、鋼錠中的各種缺陷和消除這些缺陷的方法；確定了鋼錠中不同部份化學成份的不均勻性；發現了鋼錠中內應力的產生機構；並得到了許多其他的重要發現。拉夫羅夫和卡蘭奴茲基亦曾在烏拉爾的茲拉托斯托夫工廠工作。

這些研究工作又一次的証實了建立新的冶金方向的必要性，即建立有關冶金科學的必要性，也就是說應系統的研究金屬和合金的成份和組織，確定成份、組織與性能之間的關係，並找出這些關係的規律。

但是金屬學作為一門獨立的科學來說，直到十九世紀的下半世紀才正式形成。在十九世紀下半紀化學和冶金學的飛躍發展是與德米特里依·依萬諾維奇·門德雷也夫（1834—1907）和德米特里依·康斯坦丁諾維奇·切爾諾夫（1839—1921）這兩位科學和技術思想家的工作分不開的。門德列夫的工作不僅是根據週期表預定了化學和物理的發展道路，並為許多新學術的產生和發展开辟了廣闊的道路，特別是為建立合金理論的物理化學基礎开辟了廣泛的道路。

金屬學是一門科學，在它的建立過程中切爾諾夫的卓越發現起了決定性的作用。切爾諾夫是世界聞名的，還在生前他就被光榮地稱為「金屬學之父」。他在1868年就發表了他的著作，這是鋼的熱處理過程和一般金屬合金本質學術上的一個激變。切爾諾夫在工廠條件下用肉眼發現了鋼的臨界點，即加熱到一定程度時鋼的狀態有所轉變，確定了用不同方法冷卻鋼時其轉變對構造和性能的影響，並建立了第一個不同含炭量鐵合金的熱處理轉變狀態圖。人們很早就知道借助於加熱和冷卻的方法可以改變鋼的性能，但誰也不知道這種改變的實質和原因。數千年來人類雖然運用了金屬，但並不知道金屬中會產生那些轉變，而且這些金屬都是用手工藝方式生產的。Д.К.切爾諾夫以科學知識和理論代替了簡單的經驗，他將手藝變成了基於自然規律的科學。Д.К.切爾諾夫還有許多

其他重要發現，但他最主要的成就是奠定了近代金屬和合金理論的科學基礎。

1895年切爾諾夫的親密同事惹少塔爾斯基（А. А. Ржевотарский）繼續了他的工作，惹少塔爾斯基在俄國建立了第一個工廠的金屬實驗室。根據這個實驗室中的工作結果惹少塔爾斯基於1898年發展了當時著名的「鐵、鋼和生鐵的顯微研究」，大家都認為這本著作是最早關於金屬學的實際入門書籍。科學上的新潮流不僅引起了俄國冶金者的關心，並引起了其他國家的冶金者的關心。

從這門新科學的產生和建立到廿世紀初對它的發展和成就起了很大的作用的，在英國有索拜（Сорби）和羅別爾特氏—奧氏丁（Робертс—Аустин），在法國有奧氏莽德（Осмонд）和李沙特（Лешателье），在德國有馬丁斯（Мартенс）和格蘭（Гейн），在瑞典有別涅基克斯（Бенедикс），在美國——索維爾（Совер）。這些科學家和其他許多研究者的工作基本上可歸納為擬定和改善金相分析的方法、設計專門的儀器、收集廣泛的實驗資料和加深理論基礎等方面。

由於許多國家的科學技術工作者的共同努力，在廿世紀初以前金屬學就成為一門獨立的科學，成為專門技術學校中的一門課程，並在許多工業部門中得到了廣泛的應用。

此後，蘇聯出色的化學家尼古拉·謝苗諾維奇·庫爾納可夫（Николай Семенович Курнаков）（1860—1941）創立了先進的研究方法，即物理——化學分析方法、使金屬學的發展向前躍進了一大步。他和他的學生用他自己發明的微差高溫計（庫爾納可夫高溫計）進行了許多研究並確定了數百個狀態圖和「成份性能」狀態圖。這些狀態圖不但載入所有的教科書和手冊，並且是世界科學的寶藏。庫爾納可夫及其學生們的創造性活動，只有當偉大的十月革命勝利後才獲得了真正的發展。

尼古拉·依萬諾維奇·別爾也夫（Николай Иванович Беляев）（1877—1920）切爾諾夫事業光榮的承繼者。別爾也夫繼續了切爾諾夫關於根據鋼錠的結晶來研究鋼錠構造的研究工作、按用途不同時特種鋼進行了分類、制出了數種新鋼種和進行了許多其他重要的工作。

蘇聯十月革命後金屬學才得到空前的發展。數個五年計劃中建立了許多專門從事金屬學的科學研究所。在各冶金和機械制造高等學校中設立了金屬學教研室和實驗室，並在这个基礎上形成了巨大的科學力量。數個五年計劃中在數百個冶金和機械制造工廠中設立了設備完善的實驗室，即建立了生產中的科學大本營。隨着社會主義工業化的增長使關於金屬與合金的科學——金屬學——也得到了成長。

在蘇維埃時代庫爾納可夫（Н. К. Курнаков）巴依可夫（А. А. Байков）明克維奇（Н. А. Минкевич）、包赤瓦爾（Бочвар）、庫爾久莫夫（Г. В. Курдюмов）古德錯夫（Н. Т. Гудцов）及其他優秀的金屬科學家們培養了許多蘇聯的金屬學工作者，建立了許多科學部門來繼續奠基者和先師們的事業。例如，亞力山大·亞力山大羅維奇·巴依可夫（Александр Александрович Байков）、古德錯夫、В. Н. 斯維奇尼可夫（В. Н. Свечников）、斯塔爾克（В. В. Старк）斯拉維斯基（М. П. Славинский）、明克維奇等都是出自科學院的蘇聯科學家，他們的科學工作、教育和工廠實際工作都是非常著名的。

關於蘇聯金屬學者的成就我們將在課程中逐漸加以敘述。蘇聯的金屬學是最先進的

科学，它是負有很重大的使命的。苏联金屬学在最近数年來的成就是和苏联的金屬学家、物理学家、化学家、物理化学家和工厂工作者的共同努力分不开的；是和苏联工業密切关連着的各問題的解决分不开的。

中國在世界歷史中佔有很重要的地位。中國人民以自己積極的創造性的劳动給人类文化宝庫帶來了巨大的供獻。中國在許多世紀中以自己的文化、經濟和政治領導着东方的亞洲。可惜現在具有的材料非常不完全，还没有关于中國在冶金和金屬加工方面的系統資料。因此你們——中國未來的工程师和科学家們——有責任恢复中國人民在这方面的优先地位，小心謹慎地保护它並不断地用自己的日常劳动去丰富它。

中華人民共和國成立后，中國人民在中國共產黨的領導下，聚精会神並滿腔热忱地为完成和超額完成第一个五年計劃而劳动着，那就是說，为逐步的建立社会主义工業化和逐步的对農業進行社会主义改造而劳动着。建立重工業是最重要的。中華人民共和國在苏联兄弟般的援助下目前正在建設新的工業部門——机械制造業、汽車制造業、拖拉机制造業、透平制造業等。动力和冶金業亦在高速的發展着。

金屬学热处理，特別是金屬学方面的專家是出色完成上述各項任务所必需的。

中華人民共和國政府为广泛的發展工業、培养必需数量的具有高度技術水平的干部並且为实际解决社会主义工業化各問題尽量开展科学研究工作創造了完善的条件。

共和國設立了从事近代金屬学的專門科学研究所。在高等技術学校中設立了許多「金屬学和热处理」教研室。在冶金和金屬加工工厂中建立了金屬学實驗室。在这个对國民經濟有重要意义的部門中增添了專家的人數。中國的金屬学者无疑將对这門年青科学的發展有所貢獻，並給与祖國工業化和社会主义建設必要的帮助。

目 錄

序 言

金屬學的發展簡史

第一章 金屬的一般概念

第二章 金屬的構造與性能

I	金屬的三態.....	6
	氣態.....	6
	液態.....	6
	固態.....	7
II	固態金屬中原子的運動.....	14
III	晶體異向性.....	15
IV	金屬的粗晶組織和顯微組織.....	17
	斷口分析及實際意義.....	17
	粗晶分析.....	18
	顯微分析.....	19

第三章 金屬的結晶

I	熱分析.....	22
II	金屬的熔化及結晶溫度.....	24
III	金屬的過冷.....	24
IV	結晶原理.....	25
V	金屬鑄錠的構造及其缺陷.....	29
VI	獲得優質鑄錠的途徑.....	32

第四章 固態金屬在加熱及冷卻過程中的轉變

第五章 合金理論

I	基本定義.....	38
II	金屬及合金中各組元間的相互作用.....	39
III	二元系狀態圖的基本類型.....	45
	二組元在液態與固態時彼此均可無限互溶的狀態圖.....	45
	二組元于液態下彼此無限溶解，于固態下有限溶解並在一定溫度形成二固溶體的共晶混合物的狀態圖。.....	53
	二組元于液態下彼此無限溶解，于固態下有限溶解並形成包晶混合物的狀態圖。.....	62
	二組元于液態下無限溶解，于固態下形成化學化合物的狀態圖.....	65
	二組元于液態時有限溶解的狀態圖.....	68
	具有同素異構轉變的狀態圖.....	72

IV	应用相律檢查状态圖的正確性	73
V	三元系状态圖	78
	三組元于液态下和固态下均无限溶解的三元系	79
第 六 章 變形與加熱時金屬及合金中的變化		
第 七 章 熱處理的一般概念		
第 八 章 鐵 碳 合 金		
I	鐵碳状态圖	98
	鐵碳系中的相	99
II	碳鋼	101
III	鑄鐵	105
IV	可鍛鑄鐵	111
第 九 章 鋼的熱處理		
I	鋼的不平衡組織及其性能	117
II	奧氏体的等温轉變	121
III	鋼的晶粒度	123
IV	鋼的淬透性的一般概念	124
V	加熱時淬火鋼組織的改變	125
VI	化学热处理后碳鋼的組織及性能	127

第一章 金屬的一般概念

十八世紀米哈依尔·華西里也維奇·羅蒙諾索夫(Михаил Васильевич Ломоносов) (1711—1765) 給金屬下了第一个定义。羅蒙諾索夫在1763年發表的「冶金或采礦的初步理論」中說過：「金屬是富有光澤而可鍛的物体。这种物体只有六种：金、銀、銅、錫、鐵和鉛」*。这个定义是在二百年前下的，但直到今天仍具有一定的意义。金屬光澤到今天亦是金屬的一个突出的特征；金屬的可鍛性——作为金屬的另一个突出的標誌仍然是正確的。然而現在我們可以給金屬一个更广义的和精確的定义。導电性是用以確定和区别金屬与其他物体最重要的物理特性之一。但只凭導电性的大小來区别金屬和非金屬是不恰当的。因为金屬虽然能够導电，但不同金屬的电阻在数值上有很大的差别（見表1）。

表 1

各种金屬的比电阻（欧姆公分）

銀	1.49×10^{-6}	金屬
銅	1.56×10^{-6}	
金	2.04×10^{-6}	
鋁	2.5×10^{-6}	
鎂	91.0×10^{-6}	
鈹	14.3×10^{-6}	
錳	71.0×10^{-6}	非金屬
碳	3×10^{-3}	
矽	20	
硫	10^{17}	

由表1可見，某些金屬（鈹、錳）的电阻与某些非金屬（碳）的电阻並沒有很大的区别。

此外，电阻和温度有关，比較时不明確應該在什么温度下測定电阻，这也就增加了用电阻來分类的复雜性。如果选室温为測定电阻时的温度，則某些金屬（例如汞）在室温时处于液态，故很不方便。

然而，正因为电阻和温度有关，故电阻仍可視為金屬的特征；金屬的电阻随温度增高而增大（見圖1），相反地，非金屬的电阻却随温度的增高而減小（見圖2）。

約廿种金屬具有所謂「超導电性」，其特点为低于某一定温度（通常为絕對零度以上几度）时金屬的电阻即將消失。

金屬除了具有上述特性外还有：

* 在羅蒙諾索夫时代已發現了六種以上金屬，但其中只有上述六種是符合于上述定義的，故羅蒙諾索夫把鈹（不能鍛造）和汞（在一般條件下是液體）視為半金屬。

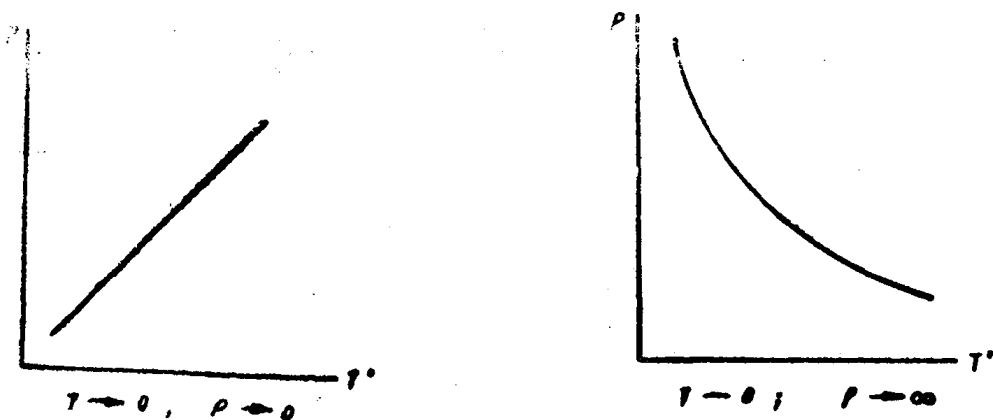


圖 1 和 2 金屬和非金屬的電阻與溫度的關係曲線

- (1) 較高的導熱性;
- (2) 光滑的金屬表面能反射光線, 故具有突出的金屬光澤;
- (3) 較高的力學變形能力(可鍛性、可輻性)。

金屬的性能決定於金屬物體的特殊狀態, 即金屬狀態。

很早人們就假設所有的物體都是由原子組成的, 這一假設在不久前已得到了實驗上的証實。

原子質量的主要部份都集中在原子核上。

$$M_{\text{原子核}} = 99.9\% M_{\text{原子}}.$$

此外, 原子核的半徑約與電子的半徑相等

$$R_{\text{原子核}} \approx R_{\text{原子}};$$

原子本身的構造是很松的。原子的大小與其原子序數有關, 約為 10^{-8} 公分。故原子的直徑約等於 $1 \text{ \AA}$ 可粗略地認為。

$D_{\text{原子核}} \approx \frac{1}{10,000} D_{\text{原子}}$ 。這個數值可以用以下的比譬來說明, 即如果假想原子有教室這麼大, 則原子核的大小相當於一個別針頭。在這個假想的教室里除了原子核外還有運動着的電子, 每個電子的大小亦相當於一個別針頭。以上說明原子、原子核和電子之間尺寸上的對比關係。雖然原子是由原子核和許多按一定軌道繞原子核運動的電子組成的, 即其構造是很松的, 但它卻仍然是很穩定的。原子核是由質子和中子組成的。質子和中子都是很重的質點(其重量約相等)。質子和中子之間有着巨大的引力。目前對這個引力還沒有足夠的研究, 但正在進行着大規模的詳細研究工作。中質脫離原子核時放出的能量約比最強烈的化學反應所放出的能量大一百萬倍。

在金屬學中, 我們首先要研究的並不是中子和電子之間的作用力, 而是原子核和電子之間鍵力。這些力的本質主要是靜電引力, 這也就簡化所有的計算。電子的速度每分鐘為數千萬公尺。

一立方公分物體中含有的分子和原子數是非常巨大的。例如, 若將一立方公分水中含有的分子排成鏈狀, 則其長度要比從地球到太陽的距離(149 百萬公里)遠六七倍。

使大家注意这一点是为了说明，本课程中要研究的并不是个别的原子或分子，而是在一起的许多原子和分子。

近代科学已发现了 92 种稳定的元素。^{*} 在 92 个元素中约有 70 种元素是金属。现在约有 60 种元素具有一定的工业用途。

我们已经提到了门德雷也夫——週期定律的創立者，工作的巨大意义。门德雷也夫的基本定律为：「不同元素的質子数 m 不同」。

在任何原子核中都含有 n 个中子和 m 个質子，而知道了原子核就可以决定该元素的全部性能。现在又称元素的原子序数为门德雷也夫数。圍繞着原子核运行的各电子的能量并不相同。在任何一个原子中，电子都具有佔据能量最低的軌道的趋势，但亦有例外的时候。

固态金属的價电子是共有的。这就是說这些價电子并不属于某一个原子，而是所有原子共有的。这些公共的电子均具有一定的活动能力。这就是說它們能在金属所佔具的空間內任意的移动。这时原子在實質上是帶有正电荷的离子。因此，固态金属可視為一羣活动范围較小的离子，这些离子都相对着一定的中心在不断的振动着，同时这些离子的周圍許多共有的價电子。这些共有的價电子又称为「自由」电子。这些「自由」电子的存在首先就可以用来解释上述的各种金属特性。所謂金属状态的實質亦在于此。

前面我們已講过了原子構造上的特点，即原子的結構是很松的。这一特点对金属來說亦是恰当的。

無論是用肉眼或在顯微鏡下來观察金属都会認為金属是一个高度緊密的整體。然而不久前進行了一个很有趣的實驗它証明了金属的構造亦是很松的。實驗是用很薄（厚度为 1 公微）的金属片進行的。按前述資料，該薄片的厚度約相当于 5,000 个原子層（1 公分 $\approx 5 \times 10^6$ 原子層；1 公微 $\approx 5,000$ 原子層）。用 α ——質点打击該片的結果指出，在 10,000 个 α ——質点中有 9,999 个 α ——質点穿过了該金属片，並保持着原有的运动方向。

这些 α ——質点在穿过金属时和穿过真空时是没有区别的（即並沒有和金属的原子相碰撞）。只有一个 α ——質点在穿过金属片后改变了原来的运动方向。只要回憶一下原子核和原子尺寸之間的比例，就可以理解这一实验的结果。因此，金属不透明这一概念是相对的。故用尺寸很小的質点打击金属时，与其說是轟击緊密的固体，不如說是打击真空。

所有元素的性能都是按门德雷也夫的週期定律來變化的。

元素的性能可分兩类：

（1）核心的性能；

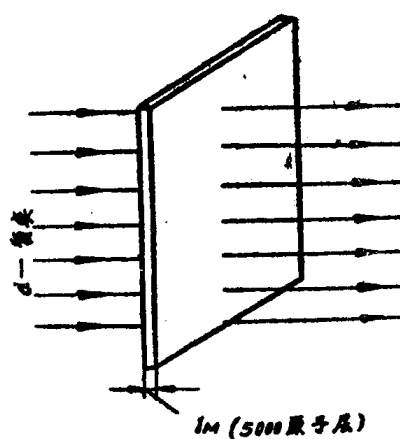


圖 3 金属薄片試驗

^{*} 现在又发现了几種不稳定的元素。鐳、釷、錒等等。但目前在自然界中還沒有發現它們的存在。這些元素都是用人工方法得到的。

(2) 外圍的性能。

例如，原子量和門德雷也夫週期表中原子序数之間的變化关系（見圖 4）即为核心性能。核心性能是由原子核的構造决定的。核心性能的改變是單值函数（或增加，或減少）。外圍性能与外电子層的構造有关，是按週期函数變化的。

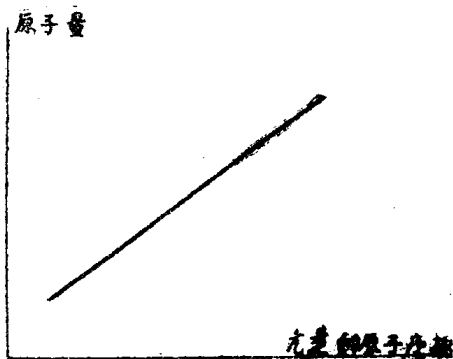


圖 4 核心性能的改變范例

例如，随着原子序数而改變的原子直径或熔点的變化（見圖 5）可視為外圍性能。

按週期性改變的还有許多其他的性能：原子的体積、热膨脹系数、硬度、电离电位等等。

門德雷也夫週期表中元素的金属性能是自右向左增加的。在同一組中元素的金属性能是自上向下增加的。

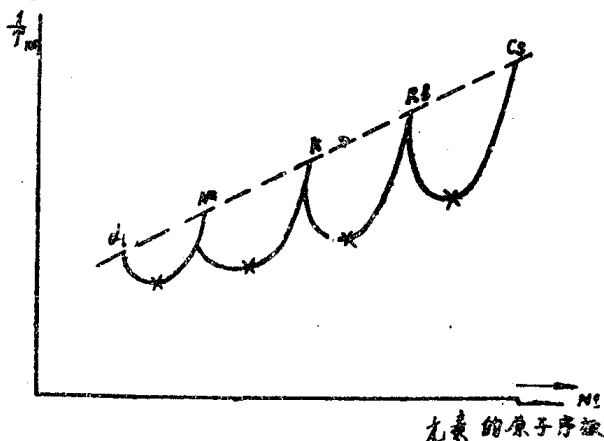


圖 5 元素熔化温度的变化曲线 (X——最難熔的元素)

一般可認為第一週期中沒有金属。第二週期中有兩個元素 (Li 和 Be) 是金属，其余的都是非金属。第三週期中有三个元素 (Na、Mg 和 Al) 是金属。第四週期中的大多数元素都是金属，只有 Se、Br 和 Kr 是非金属。第五週期中亦只有三个元素是非金属 Te、J 和 Xe。第六週期中除最后的二三个元素 (Po、At 和 Rn) 外都是金属。第七週期中只有一个元素是金属。

有这样一个問題，即在地球表層中各种元素的数量相同嗎？这个問題的答案是否定的。地球表層中各元素在数量上是不相等的。这个問題之所以重要，因为它在某种程度上予定了將來应用某种金属的远景。

只要去研究一下岩石圈（深度为 19 公里的地球表層），則可以發現一个非常有趣的情况。

分析的結果指出，虽然全部 92 种元素在地球表層中差不多全都存在的，但是这些元素在蘊藏量上的差別是非常大的。

岩石圈中蘊藏量最多的元素是氧 —49.5%（重量百分比）* 矽的蘊藏量佔全重的 25.7%。因此，这两个元素（都是非金属）就佔了岩石圈全部重量的約四分之三。岩石圈中蘊藏量最多的金屬是鋁 —7.5%。不久前曾把这个金屬称为「未來的金屬」。現在已广泛采用了这种金屬，特别是在特种机械制造（汽車制造、航空制造、仪表制造、船舶制造等等）中用得最廣。鋁的特性是比重很小（2.7）和在空气中的耐腐性很高。鋁是最有前途的金屬之一。

鋁以下佔第二位的是鉄 ——4.7%。鉄的重要性是无須細講的。鉄及其合金的世界年產量約为一億八千万吨（所有其他各金屬年產量的总和約为一千万吨）。岩石圈中鈣的蘊藏量为 3.4%，鈉——2.5%，鉀——2.4，然而直到今天这些金屬在工業中还没有得到广泛的应用。

地球表層中鎂的蘊藏量也很大——1.9%。海水中含有大量的鎂（每 800 立方公尺中約含有一吨鎂）。鎂的比重很小（1.7），目前在特种机械制造中已得到了广泛的应用。

岩石圈中氫的蘊藏量約为 1%。

岩石圈中鈷的蘊藏量約为 0.6%。近來也經常把这个金屬称为未來的金屬，因为它具有非常出色的性能。以鈷为基体可得到比重很小的重要合金。鈷的比重为 4.5。

岩石圈中碳的蘊藏量为 0.3%，氯——0.1%，磷——0.1%，硫——0.1%。这些元素中最有價值的是碳，它被广泛地用來生產鋼和鉄。

地球表層中錳的蘊藏量为 0.09%。

上述十五种元素蘊藏量的总合佔岩石圈的 99.89%。其余七十七种元素只佔 0.11%。

蘊藏量佔第廿一位的是鈾（0.02%），第廿二位的是鉻（0.01%）。岩石圈中其他重要元素，如鎳、銅、鋅、鎢、鉬，的蘊藏量約为 10^{-3} %。地球表層中金的蘊藏量約为 10^{-8} ，鐳—— 10^{-11} % 等等。

各种元素在岩石圈中的分佈既然如此，因此最有前途的金屬有鋁、鉄、鎂、鈷、錳。

此处指出的只不过是一个重要發展規律，而金屬的实际生產情狀却並不如此。

近來工業上广泛利用的主要金屬是鑄鉄和鋼，即以鉄为基体的合金。虽然今天又出現了許多新的工業部門，須要大量的有色金屬，但鉄仍具有最重要的地位。

若黑色金屬的世界年產量为 100%，則普通黑色金屬佔 ~75%，優質的（特殊鋼）佔~25%。

* 岩石圈的成份是因地而異的。此處指的各元素平均含量。

第二章 金屬的構造与性能

I 金屬的三態

金屬可处于三种状态：气态、液态和固态。

氣態 气态时金屬的質点大部份時間是在作等速直線运动，直到与其他質点碰撞时为止。这样的碰撞是不多的。气态金屬質点在碰撞时就象彈性球一样，其互相作用的时间是極为短促的。圖 6 为上述之示意图。因此可以認為当 $D \gg d$ ；質点的立体分佈及其运动方向是紊乱的（或精確地說，在統計上是均匀的）。因此我們只能指出 $\frac{d}{D}$ 的平均值，而不能保証气态金屬中每一个質点均具有相同的 $\frac{d}{D}$ ，因为該数值是變数。因

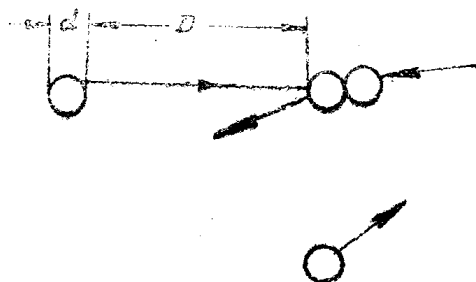


圖 6 氣態金屬質点的运动示意图

此，气态金屬和气体相同都不能很好地導电。

液態 达尼罗夫 (В.И. Данилов)、福連克尔 (Я. И. Френкел) 在液态金屬的研究方面有很大的成就，並創立了近代的液态理論。当气态金屬的質点彼此靠得很近时，便產生了液态金屬。若視金屬物体为一巨大之分子，則上述过程与原子聚集为分子这一过程相似。但当气态金屬凝聚后，其價电子將与原子失去原有的連系，此时电子屬於全部原子，確切地說屬於全部正离子，是公有的。这些正离子也就是与價电子分离了的原子。这时电子可在各原子之間自由地运动，並保持着各原子之間的連系。

在液态金屬中 $D \simeq d$ （其差別僅为百分之几），其距离約为 10^{-8} 公分。如果說气态时这些質点彼此作用的时间很短促，那么液态时質点彼此作用的时间却要長得多。

應該特別指出，液态金屬質点的运动軌跡是曲線的。液态金屬質点除了作曲線运动外，並相对某一中心振動，同时这些中心在液体中不断地游动着。因为液态金屬的質点在同一个位置上停留的时间很長，故在离开該位置到另一个相隣的位置以前，該質点已振動許多次（数十万次或百万次）。液态金屬質点停留在某一中心位置上振動这一特征和固态金屬的特征（后面將講到、極为相似，其区别为固态金屬質点停留在某一中心位置上振動的时间还要長得多。因此，無論是按結構、質点的运动特征，热容以及密度來說，液态金屬和固态金屬要比和气态金屬相近得多。当然，随着温度的增高，液态金屬与固态金屬的相似程度將減小，而与气态金屬的相似程度增加。

液态金属具有一定的流动性（粘度的倒数）。液态金属能流动的原因自然应与其原子间的空隙较大有关。

在说明液态金属的特征时。常说其原子排列具有近程规律，而不具有远程规律。这就是说，如果我们假想在液态金属中割出某一很小的体积，则在这一很小的液体中可以发现其原子在排列上是有规律的。若将这一很小的液体扩大，则其原子的排列将失去原有的规律性（见图7）。

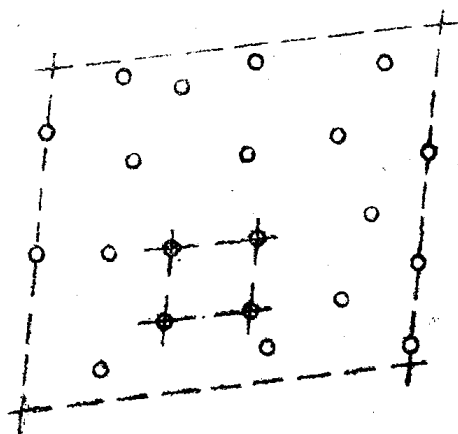


图7 液态金属中近程和远程规律的示意图

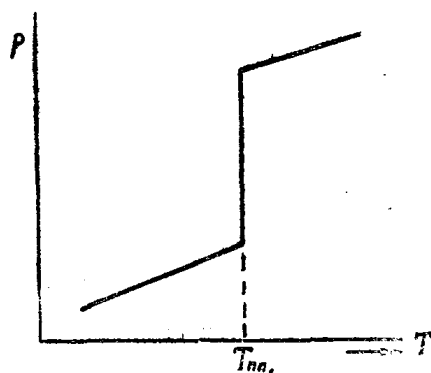


图8 金属于固态转变至液态时电阻的改变图

换句话说，在液态金属中相近原子的排列是有规律的，彼此距离较远的原子排列是没有规律的。

苏联科学家达尼罗夫指出，当液态金属接近凝固点时其原子排列具有严格的规律，在结构上和金属晶体很相近。

液态金属的电阻比固态的约大 2—3 倍，而在熔化时其电阻将突然的增大（见图8）。

只有三种金属（铊、铯、镓）在熔化时，其电阻是减小的。

金属从一种状态转变为另一种状态时，电阻的改变可用其体积上的改变来解释。

固态 尽管各种金属及金属合金的生产方法和加工方法都不相同，固态金属及金属合金均具有明显的晶体构造。

晶体构造的主要特征就是原子的排列有严格的规律。晶体中每个原子的周围都存在一定数目的相邻原子。若已知某一原子的座标 x_1 ; y_1 ; z_1 及其排列规律，则可求出任一原子的座标 x_n ; y_n ; z_n （见图9）。

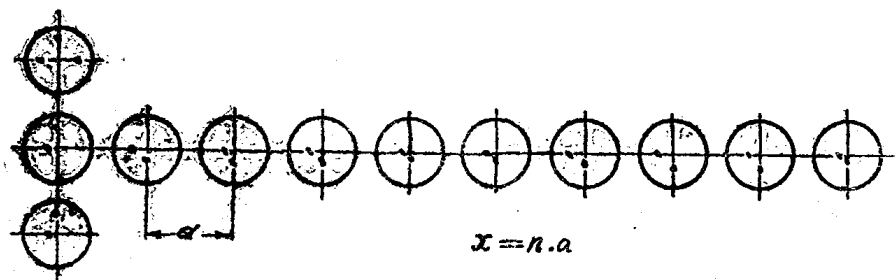


图9