

高等学校教学用书

金属学

A. A. 博奇瓦尔 著

唐棣生 謝希文 吳云書 譯

冶金工業出版社

高等学校教学用書

金 屬 学

A.A.博奇瓦尔 著

唐棣生、謝希文 吳云書 譯

冶金工業出版社

本書系根据苏联科学院 A.A. 博奇瓦尔院士著“金屬学”1956 年第五版譯出。

原書經苏联高等教育部审定作为苏联高等学校冶金專業及工艺專業用教科書。

書中敘述了金屬合金的基本理論、二元及三元金屬系的狀態圖及其測定法，給出有关合金成分、組織、物理性能及工艺性能的必要知識。

本書可作为冶金專業及工艺專業学生用教科書，也可作为初从事金屬学方面工作的工程技术人员和科学工作者参考用書。

本書序、緒論、第一至第十章、第二十一至第二十三章由唐棣生翻譯；第十一章至第十七章、第二十四章至第二十六章由謝希文翻譯；第十八章至第二十章由吳云書翻譯；全書由唐棣生及謝希文共同校閱。

A.A. БОЧВАР

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

Металлургиздат (Москва—1956)

金屬学

唐棣生 謝希文 吳云書 譯

編輯：馬鴻鈞 設計：趙香荅 魯芝芳 責任校對：任少模

1953 年 5 月第一版 1953 年 5 月北京第一次印刷 精裝 1100 册
平裝 2100

850×1168. $\frac{1}{32}$ • 300,500 字 • 印張 15 $\frac{14}{32}$ • 定價 (10) 精裝 3.10 元
平裝 2.60

冶金工業出版社印刷厂印

新华書店發行

書号 0770

冶金工業出版社出版 (地址：北京市灯市口甲 45 号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第 093 号

高等学校教学用書

金 屬 学

A.A. 博奇瓦尔 著

唐棣生 謝希文 吳云書 譯

冶金工業出版社

本書系根据苏联科学院 A.A. 博奇瓦尔院士著“金屬学”1956年第五版譯出。

原書經苏联高等教育部审定作为苏联高等学校冶金專業及工艺專業用教科書。

書中敘述了金屬合金的基本理論、二元及三元金屬系的狀態圖及其測定法，給出有关合金成分、組織、物理性能及工艺性能的必要知識。

本書可作为冶金專業及工艺專業学生用教科書，也可作为初从事金屬学方面工作的工程技术人员和科学工作者参考用書。

本書序、緒論、第一至第十章、第二十一至第二十三章由唐棣生翻譯；第十一章至第十七章、第二十四章至第二十六章由謝希文翻譯；第十八章至第二十章由吳云書翻譯；全書由唐棣生及謝希文共同校閱。

A.A. БОЧВАР

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

Металлургиздат (Москва—1956)

金屬学

唐棣生 謝希文 吳云書 譯

編輯：馬鴻鈞 設計：趙香苓 魯芝芳 責任校對：任少模

1953年5月第一版

1953年5月北京第一次印刷

精裝 1100 冊
平裝 2100

850×1168 • $\frac{1}{32}$ • 300,500字 • 印張 15 $\frac{14}{32}$ • 定價 (10) 精裝 3.10 元
平裝 2.60

冶金工業出版社印刷厂印

新华書店發行

書号 0770

冶金工業出版社出版 (地址：北京市灯市口甲 45 号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第 093 号

目 录

序	4
緒論	6

普通部分 金屬和合金的理論

第一章 固态金屬的晶体性	16
第二章 金屬状态和金屬的主要物理性質	21
第三章 論金屬实际晶体或晶粒規則結構的合乎規律的破坏	41
第四章 金屬的各相和相轉變	53
第五章 实际金屬錠的晶体組織及其缺陷	62
第六章 实际金屬，其性能及在变形和加热时的行为	76
第七章 論二元合金中組元的相互作用	112
第八章 状态圖及其測定法	127
第九章 相律及其在分析加热曲綫及冷却曲綫时的应用	136
第十章 二元合金的状态圖以及在組元相互作用不同的情况 下合金的組織	144
第十一章 論状态圖上数据的准确性及任一状态圖的可应用范围	192
第十二章 三元系状态圖	201
第十三章 合金的物理性能及工艺性能以及如何为一定的用途 选择合金	232
第十四章 关于金屬及合金腐蝕的基本知識	252
第十五章 关于合金热处理的概念	264
第十六章 对于創制具有給定性能之合金的途徑的評價 (以耐热合金为例)	283

特殊部分 工業用合金

第十七章 鉄及其合金	294
第十八章 鋁及其合金	390
第十九章 鎂及其合金	423
第二十章 銅及其合金	429
第二十一章 鎳及其合金	452
第二十二章 鈦及其合金	462
第二十三章 鋅及其合金	468
第二十四章 錫，鉛及其合金	474
第二十五章 鎢及其合金	487
第二十六章 貴金屬及其合金	493

序

这一版里，縮減了特殊部分的材料，把叙述金屬及合金的基本理論的普通部分加以扩充。

在普通部分里，加进新的开始的前几章，其中討論純金屬的性質和性能（第二章），实际金屬晶体結構的特点及实际金屬内部各种过程进行得不均匀的原因（第三章），以及金屬内有关相变機構和相变动力学的基本概念（第四章）。此外，在普通部分的最后还加入了对学生並非必須的一章，其中將提高合金的高溫强度的各种方法加以比較。在普通部分的其余各章中，对以前發表过的、在科学和技术的急速發展过程中不可避免归于陈旧的材料也加以修改。

特殊部分里，則尽可能地按照自从前版刊印以来的10年中在工業上和在金屬科学方面所进行的改变来將材料加以更新。

在这專供冶金学院工艺系用的一版里，曾假定在學習金屬学以前学生已先學習了物理，化学，物理化学，結晶学及材料力学等課，且学生在学完普通金屬学这一課程之后还要學習一些独立的課程，如合金的热处理，金屬物理，金屬X射綫学，金屬腐蝕，金屬的机械性能以及特殊的工艺課程（“鑄造”，“金屬压力加工和切削加工”，“焊接”，“粉末冶金”），並且將在許多金屬实验室里做实验。

这就說明这本书叙述的特点，以及为什么缺少許多章节，这些章节在以金屬学当作了解金屬的唯一課程时是必須的。

对于學習普通金屬学課程的工艺系学生來說，有些章是專为选讀用，在准备考試时是不必要的。具有这样性質的章节有第九，十一，十四，十六，二十二，二十三，二十六章，以及第十章中的某些节。还有書中各处凡印有小号字体的也都屬於这样性質的部分。

在本版的出版准备工作中，技术科学副博士 О.С. 博奇瓦爾 (Бочвар) 对作者的帮助很多，为此作者特向他表示衷心的謝忱。同时还向教授 М.В. 札哈洛夫 (Захаров) 博士，技术科学副博士 М.В. 馬立采夫 (Мальцев)，技术科学副博士 М.Е. 德里茲 (Дриц)，烏克蘭社会主义共和国科学院通訊院士 К.П. 布宁 (Бунин)，教授 И.Н. 包格切夫 (Богачев) 博士，教授 В.Д. 沙多夫斯基 (Садовский) 博士和技术科学博士 М.М. 施坦因貝爾格 (Штейнберг) 等表示深深地感謝。他們曾經提过很多宝贵的意見。

作 者

緒 論

假如人类沒有各种各样的金屬，現代的技术將不可能存在。这些金屬有的硬度很高，有的范性很好；有的导电率很大，有的电阻很高；有些具有大的磁感和矯頑力，有些則实际沒有磁性；有些能抵抗酸的浸蝕，有些則很快就会被酸溶解等等。

对于机器制造者，电学技术人員，無綫电技术人員，自动机和飞机設計者，建筑师，化学工作者，冶金工作者等，經常需要解决有关選擇材料以滿足某一目的的重要問題。

正确地选择材料可以改善产品的質量，減低廢品率，增加产量，並且縮短掌握新生产方法所需的時間。材料选择得不正确，將會引起劳动效率的降低，廢品率增加；还常常会引起生产中的意外事故，浪費材料，甚至于人命的損失。因此我們可以理解到，具有关于金屬材料性質的知識和具有依据給定的要求来选择材料的本領，对于一个工程师是有多么重大的意义。

关于金屬及合金的科学——金屬学——就应该給我們这方面的知識。掌握了金屬学的工程师、技术人員和工人，就能够大大地提高劳动生产率，节省国家的財富，改善产品的質量和防止意外的事故。

关于金屬及其合金的基本知識已經經過了許多年代的积累，然而直到十八世紀，这方面的知識仍然很少。中世紀末期曾有过將有关金屬及合金的知識概括並使之系統化的尝试，但这些尝试都只有純粹敘述的性質。

十八世紀六十年代天才的俄国学者 M. B. 罗蒙諾索夫曾 尝试給金屬下一定义。

按照 M. B. 罗蒙諾索夫所下的定义，金屬就是“可鍛的、有光澤的物体”。这样，罗蒙諾索夫就把金屬的反射光綫的良好能力，或者叫金屬的光澤，以及良好的范性作为确定金屬这一概念的基础。金屬的这些特征，甚至在現代对于金屬所下的科学的定

义中也必須包括在內。此外这一定义还包括在罗蒙諾索夫时代所不知道的金屬的其它特征。

М.В. 罗蒙諾索夫还更进一步科学地說明了金屬的本質。他指出了自然界出現的純金屬（金和銅）的晶体性，並且注意到金屬晶体与鹽类晶体的相似性。固体金屬是晶体的这一概念，奠定了現代解釋金屬的范性和强度等性質的科学基础。

然而，現代关于金屬的科学是在十九世紀开始發展的。

金屬学作为一門科学也是根据技术上的需要而产生並發展起来的。最初关于測定金屬及合金性質的巨大实验工作是由工厂工作人員在工厂的設備条件下进行的。

現代金屬学的奠基者是工厂工程师 П. П. 安諾索夫（1799—1851年）和 Д. К. 切尔諾夫（1839—1921年）。

1831年，当 П. П. 安諾索夫在烏拉尔茲拉托烏斯托夫（Златоустов）工厂做工程师的时候，他在世界上首先使用化学藥品腐蝕金屬的磨光表面（显微試样）並借助于显微鏡来研究金屬。只在三十年以后，英国学者索拜才使用这一研究方法。

德米特里·康斯坦丁諾維奇-切尔諾夫（Дмитри-Константинович Чернов）——彼得堡奧布霍夫工厂（即布尔什維克工厂）的冶金家——在創立金屬的科学上起着特別巨大的作用。

切尔諾夫的功績在于將金屬学从純粹叙述性的科学改造成为創造性的，能指出以金屬結晶条件的改变及随后的机械加工和热处理作为改变金屬的結構和性能的方法的科学。

1868年，Д. К. 切尔諾夫做出重大的發現，对这一發現的意义所做出的任何估价，無論如何都不可能認為是过高的。

Д. К. 切尔諾夫在沒有仪器用来測量赤热鋼的溫度的条件下，用肉眼观察鋼的加热和冷却过程，發現当鋼在冷却达到已經是暗紅色的时候，其內部發生某一种轉变，同时还放出热来，因此鋼的顏色又变得明亮一些。Д. К. 切尔諾夫开始更深入地研究这一現象，發現在固态鋼中在某一些固定溫度下發生內在的变化，这些变化的溫度随鋼的成分不同而不同。

Л.К.切爾諾夫完全正確地估計了他這一發現的價值，並把他所觀察到的加熱色彩的改變與鋼的內部結構變化連系起來。

由於這一發現，Л.К.切爾諾夫就確立了關於鋼及其他合金因加熱和冷卻條件的不同，其組織和性能可能發生變化的現代理論的基礎。這一發現同時也可以使我們解決很久以前就為人們所熟知的鋼的淬火之謎，並且奠定了現代關於鋼的熱處理的理論基礎。

Л.К.切爾諾夫引進關於合金的臨界點，也就是合金內部發生變化的溫度這一概念，並且證明鋼中臨界點的位置隨着含碳量——碳是使鐵具有強度的主要合金元素——而改變。隨着金屬學進一步發展，Л.К.切爾諾夫關於合金臨界點的概念就發展成為關於合金組織和性能與其成分和溫度間關係的學說。

稍後（1878年）Л.К.切爾諾夫接着發表了一篇關於金屬結晶和鑄錠結構的著作。在這一著作里實際上包含了幾乎所有關於現代金屬和合金的鑄造理論的基本原理及獲得致密的高質量鑄件的條件。

Л.К.切爾諾夫在這一著作中以極大的遠見指出象离心澆鑄，壓力下結晶及具有方向性的結晶等最新的澆鑄合金的方法發展的遠景；這些方法已經在二十世紀內發展起來了。

Л.К.切爾諾夫在發展金屬的科學方面所起的作用如此之大而且肯定無疑，以至那些很少承認俄國科學的優越性的外國人也不能抹煞Л.К.切爾諾夫的工作價值。

1903年著名的美國冶金學家X.胡威發表了他所寫的世界上第一本金屬學巨著“鐵，鋼及其它合金”，他將這本書獻給Л.К.切爾諾夫，並寫上：

“這本書獻給鐵的金相學之父，德米特里·康斯坦丁諾維奇·切爾諾夫教授，以表示真誠的敬意”。

從那時起，鐵的金相學之父這一稱呼就與Л.К.切爾諾夫的名字牢固地結合起來了。

1900年，國際博覽會開幕，當代最有名的冶金家在巴黎集

会，會議主席法国冶金家蒙哥費叶（Монгольфье）發言道：

“我觉得有必要在这样众多的專家面前公开宣布，我們的工厂以及所有的鑄鋼事業之所以有目前这样的發展和成就，在相当大的程度上应归功于俄国工程师切尔諾夫的劳动和研究，我向你們提議以全冶金工業界的名义向他致謝”。

金屬学的繼續發展，要求有精密的物理和化学仪器及精确的研究方法，同时，我們还需要扩充在金屬的物理和化学領域內的知識。

所以在我們这时代里，金屬学不可能和物理、化学明确地分开，但正如在金屬学的最初發展阶段中一样，就是在目前的情况下，金屬学也仍然首先是一門关于工業用的金屬及合金的科学。

金屬学里应用各种不同的物理和化学的研究方法，而研究物質內部結構的方法佔首要地位，因为性質与結構有关。金屬学的目的就是研究工業用金屬及合金的性質，及其在加工过程中的行为；找出人为的改善合金性能的方法；創造具有新性能的新金屬材料；为在国民經济中合理地使用金屬和合金找出科学根据来。

借助于机械的，声学的，光学的，热学的，电学的，磁学的，热电的，X射綫的， γ 射綫的以及电子管等仪器，各种不同的金屬試驗方法一个接着一个被發現並且为大家所使用。几十年来，由于化学家，物理学家和冶金家的共同努力，进行了数万次实验工作，研究了几百种金屬系的性質，为科学的金屬学打下了牢固的基础。

几乎与切尔諾夫的發現同时，Д.И.門德雷也夫的化学元素週期系的發現，以及根据使用X射綫研究固态物質的結果，关于金屬晶体的原子結構概念的發展，对于保証使金屬学具有科学的，物理化学的基础起着决定性的作用。

在搜集、分析及总结大量的实验結果方面具有特別偉大功績的是俄国的H.C.庫尔納可夫院士和A.A.巴依可夫院士，英国学者罗伯茨-奥斯汀，德国学者塔曼，法国学者奥斯孟德和呂-查理以及日本学者本多。

H.C.庫爾納可夫, A.A.巴依可夫, A.Л.巴伯申, A.M.博奇瓦爾及其他俄國高等學校的化學及冶金教研室領導者繼承了П.П.安諾索夫和Д.К.切爾諾夫所開創的事業,並在他們自己的教研室里建立起實驗室。這些實驗室曾經在很長時期內都是俄國金屬科學的中心。

在偉大的十月社會主義革命之後,蘇聯關於金屬及合金的科學開始特別強烈而迅速地發展起來。巨大的科學研究機關網和工廠實驗室特別迅速地成長起來,它們主要的活動就是研究金屬和合金。而且高等學校的金屬實驗室也成長壯大了。以前的在冶金,金相,化學教研室中的幼小的萌芽已經轉變成為巨大的金屬學派。

在金屬學中又產生了金屬物理這一新的發展方向(С.Т.康諾別也夫斯基, Г.В.庫爾久莫夫),它的基础是建立在金屬和合金的X射綫研究上。由於С.Т.康諾別也夫斯基, Г.В.庫爾久莫夫和他們的工作的結果,在熱處理時固態金屬內所進行的轉變過程,其物理本質已經在很大範圍內都被揭露出來了。

H.C.庫爾納可夫及其學派(Г.Г.烏拉卓夫, С.Ф.日姆楚日內, С.А.帕國金, В.Я.安諾索夫, Н.В.阿格也夫, Д.А.彼得羅夫等)進行了多年的實驗,創造了關於合金物理化學分析的學說,並確立了一系列合金性能與其成分間關係的顯著的規律(關於‘成分——性能’圖解的學說)。在H.C.庫爾納可夫的巨著(物理化學分析引論, 1940)和В.Я.安諾索夫及С.А.帕國金的著作(物理化學分析的基本知識, 1947)中,這些實驗工作都被加以總結。

A.A.巴依可夫學派(Н.А.明凱維奇, М.Г.奧克諾夫, Н.Т.古德錯夫, Н.И.別里雅也夫, Б.В.斯達爾克)發展了以前A.A.巴依可夫的發現。巴依可夫發現鋼在足夠高的溫度時,是一種碳溶於鐵里的固溶體晶體。他還發現任何熔化了的金屬都包含有非金屬的,不溶解於金屬而是在金屬液內呈懸浮狀態的小粒子(硅酸鹽及其他);這些小粒子,按照A.A.巴依可夫的說法,

破坏了合金的純度或“透明度”，並且剧烈地影响合金的結晶过程。这一学派成功地制定出冶煉高質量鋼及其結晶方法的条件，創造出一系列新鋼种，改善了鋼的热处理方法。

A.A.巴依可夫和他的学生在供应鉄軌鋼，輪帶鋼及其他形式的質量鋼以保証苏联鉄路运输方面也做了許多工作。

烏拉尔金屬学派(C.C.施坦因貝尔格，B.Д.沙多夫斯基，И.Н.包格切夫)及德涅泊彼得罗夫金屬学派(K.П.布宁，B.Н.斯維奇尼可夫，K.Ф.斯达罗杜伯夫)在鋼的热处理方面和鋼及鑄鉄的結晶方面繼承了Д.К.切尔諾夫的工作，把金屬学中有关这方面的知識更为提高一步。

A.M.博奇瓦尔——莫斯科金屬学派的創始人——研究了工業中所用的黑色及有色合金的結構和性能，和有关这些合金在国民經济中合理使用的問題，制造出新的軸承合金並且为根据軸承使用条件来選擇軸承合金找出科学的根据。他还領導关于有色金屬及合金的標準化的工作。

A.M.博奇瓦尔学派(K.Ф.格拉切夫，И.И.西多林，Г.В.阿基莫夫，С.М.伏龙諾夫，A.Д.阿索諾夫，A.П.斯米里雅金，A.A.博奇瓦尔等)广泛地研究了飞机和汽車所用金屬材料的性質、創造了一系列新合金，改善了合金的冶煉过程和用这些合金制造零件的过程；研究出防止金屬發生腐蝕的方法。

苏联的另一巨大的有色金屬学派是列宁格勒的M.П.斯拉文斯基学派，这一学派对銅基合金有特別深入的研究。

还必須指出国外在金屬科学方面最傑出的代表人物的成就。

英国早期傑出的金屬研究者有：索拜，他繼安諾索夫之后發展了金屬的显微分析方法；罗伯茨-奧斯汀——首先系統地研究了鉄和碳的合金，並把他研究的結果用鉄碳系状态圖形式表示出来；海柯克和涅維尔，他們做出各种合金的一系列的狀態圖。現在，尤姆-罗瑟丽領導英国的金屬学派，他們正在为确立合金組元的相互作用与組成合金的金屬晶体性能和金屬原子性能之間的关系而工作着。

在法国，最偉大的学者和工程师奥斯孟德是 П.К. 切尔諾夫工作的繼承者。他的工作又由于物理化学家呂-查理創造出热电高溫計和現代的金屬显微鏡，变得更为順利。現代最偉大的法国金屬学者是波尔特文——著名的关于合金鑄造，結晶及合金热处理的研究者；以及謝維納尔，他創造出許多研究金屬用的仪器，同时他在研究合金的膨脹和磁性方面也做过很多工作。

在德国，塔曼和他的学派（休特列尔，福格尔，馬金格，札烏艾尔瓦尔特，乔斯帖尔等人）研究了大量的二元合金的性質和結構；对于工業用合金的性質有馬丁氏，海因，維尤斯特，奥伯霍福等人研究过。

在美国，П.К. 切尔諾夫的最著名的繼承者是胡威，他曾領導美国的金屬学派有許多年之久。現代美国的傑出金屬学者是梅尔，他对于金屬的結晶合金內的扩散現象，和其他金屬物理問題做过大量的實驗工作。

簡單地了解过金屬学的历史之后，就應該在現代的知識基础上来建立起金屬学的概念。

依据以上所談过的內容，可以給金屬学下一定义如下。

金屬学（或关于金屬及合金的學問）是一門科学，它研究金屬和合金的性質，研究怎样用改变合金的化学成分或用随后的机械加工，热处理，磁性作用或其他处理的办法来人为地改善金屬材料的性質，研究金屬及合金在加工过程中以及在制成零件使用过程中所表現的行为，並且还研究在国民經济中合理使用金屬材料的問題。

为了敘述的便利，这本金屬学分为兩部分：即理論金屬学，或合金理論，以及实用金屬学。合金理論部分是要熟習金屬及合金的本性，研究金屬及合金的方法；了解金屬及合金內当改变溫度或在机械及化学作用下所进行的那些变化，並且了解合金由于成分不同其結構和性能变化的規律。

在实用金屬学部分講述关于工業中所使用的金屬及合金的

物理，化学及工艺性能等方面所必須的知識，同时还指出为了特定用途合理地選擇金屬材料的方法。

在金屬学發展的第一阶段，自然，大部分注意力都集中在鉄及其与碳的合金，即鋼及鑄鉄方面，但逐漸地，研究工作也包括了其他金屬和合金，而如今在金屬学者的宝庫里我們可以看到所有的金屬元素；假如我們还注意到类金屬也能用作合金的配料时，那么我們說，現代金屬学者在制造新合金时，所处理的几乎包含Д.И.門德雷也夫週期系上所有的元素也不算夸大。

然而在創制新合金以及估計这一合金在工業上广濶使用的远景时，除了考虑这一材料的实际工作条件和对它提出的要求之外，常常應該考虑合金內基本組元在自然界中的分佈和儲藏量。关于元素在地壳內可能达到的地層中分佈情况的表解（表1）可以給我們以在这方面所必須的指示。当然，並不常常是在地壳內分佈得最广的元素才是最有使用前途的。元素使用的前途不仅只决定于它在地壳內的儲藏量是否丰富和集中，而且也决定于它的提煉是否容易和經濟，当然，还要考虑它的化学、物理、机械等性質的总合。所以，举例來說，虽然鈉、鉀和鈣在地壳中儲量都很丰富，但这些化学性質活潑的元素是不能当作結構材料的基体的；縱然鈉和鉀已被用作原子反应堆以及航空發动机的排气門內的液体冷却剂。

所以，不必談到鉄，只是像鉛、鋅、銅那些比較便宜而且易于从矿石中提煉的元素，直到現在仍然比那在所有金屬中分佈得最广泛的鋁更为大量地应用着。这是由于鋁的生产首先要消耗相当大量的电能，其次目前只掌握了从某些最富的矿石中煉鋁的方法。但是，鋁有好的綜合性能以及在国际上与和平建設方面对它的需求如此迫切，以致在过去和現在都一直在寻求新的增加鋁的产量的方法，这是完全可以了解的。目前鋁的生产規模已仅次于鉄而牢牢地佔据第二位，这是不容置疑的了。我們自己就是这一产量增長动态的見証人。

有些金屬，例如鉭、鎢等，按其綜合性能來說也能找到很多

的应用地方，但因为在地壳中分佈量極少，所以不能大量地生产出来。因此，虽然这些金屬具有工業上的价值，金屬学者也只能在个别的情况下，考虑用这些金屬当作合金的基本成分。与此相反，像镁、鈦、錳及部分的鋅，这些金屬按照性能來說無疑地可能被广泛地使用，同时也能进行大量的生产。

表 1

地壳內的金屬元素及一些非金属元素以重量百分数計的分佈情况表

(根据 B.И.維尔納得斯基和 A.П.維諾格拉多夫)

元 素	%	元 素	%	元 素	%	元 素	%
氧	47.2	錳	0.09	鈷	0.003	銅	5×10^{-5}
硅	27.6	鋇	0.05	鎳	0.0018	鎘	4×10^{-5}
鋁	8.8	鋁	0.04	鉛	0.0016	鉍	2×10^{-5}
鐵	5.1	鉻	0.02	鎳	0.0015	銀	1×10^{-5}
鈣	3.6	鎢	0.02	鈮	0.001	汞	7×10^{-6}
鈉	2.6	鈳	0.015	鈦	8×10^{-4}	金	5×10^{-7}
鉀	2.6	銅	0.01	鐳	7×10^{-4}	鉑	5×10^{-7}
鎂	2.1	鎳	0.008	鉍	3×10^{-4}	鈹	1×10^{-7}
鈦	0.6	鋅	0.006	鈾	3×10^{-4}	鐳	1×10^{-10}
氫	0.15	鉀	0.0045	鉍	2×10^{-4}	鈾	2×10^{-14}
碳	0.10	錫	0.004	鎢	1×10^{-4}		

为了获得各种金屬在工業上所起的作用大小的概念，我們把現代金屬的产量排成順序加以比較（見表 2）。

表 2

金屬的世界产量表

金 屬	世 界 年 产 量 (按数字順序) 吨	金 屬	世 界 年 产 量 (按数字順序) 吨
鐵	大于 200,000,000	鈦	每一項金屬从 1000 到 10000 之譜
銅	大于 3,000,000	汞	
鋁	約 3,000,000	鉍	
鋅	大于 2,000,000	鎢	
鉛	約 2,000,000	鈷	
鎂	大于 100,000	銀	約 1000 数量級为 10
鎳	約 200,000	金	
錫	約 200,000	鉑	