

中等专业学校教学用书

矿床学

煤田地質勘探专业用

太原煤矿学校編

学校内部用書



中国工业出版社

中等专业学校教学用书



矿床学

煤田地質勘探专业用

太原煤矿学校編

学校内部用書

中国工业出版社

本書系統介紹礦床的類型、成因理論及規律；對主要的金屬礦床、非金屬礦床（不包括煤、油頁岩、石油和天然氣），建築材料的用途和工業類型實例也作了比較全面的說明。
本書可作煤礦中等專業學校煤田地質勘探專業的教材。

礦 床 學
煤田地質勘探專業用
太原煤礦學院編

中國工業出版社出版（北京前門外大街10號）

中國工業出版社印刷四廠印刷
新華書店科技發行所發行：各地新華書店經售

*

開本 787×1092¹/₃₂ · 印張 57¹/₁₆ · 字數 112,000
1961年8月北京第一版 · 1961年8月北京第一次印刷
印數 0001—1,137 · 定價 (9—4) 0.53 元
統一書號：15185 · 860 (88·80)

目 录

緒論	5
----	---

第一篇 矿床成因論

第一章 成矿概述	12
第一节 地球的构造和地壳的平均成分	12
第二节 造矿元素和造岩元素	16
第三节 形成矿床的各种地質作用	17
第四节 矿床的成因分类	19
第五节 矿体的形状和矿石的结构、构造	20
第二章 內生成矿作用	27
第一节 內生成矿作用的基本概念	27
第二节 岩浆矿床	29
第三节 伟晶岩矿床	33
第四节 岩浆期后矿床	37
第三章 外生成矿作用	60
第一节 外生成矿作用的基本概念	60
第二节 风化矿床	62
第三节 沉积矿床	75
第四章 变質矿床	94
第一节 变質矿床的概念	94
第二节 受变質矿床	96
第三节 变成矿床	97

第二篇 金屬矿床

引言	99
第五章 鉄	101
第一节 概論	101
第二节 鉄矿床的主要工业类型	103
第六章 銅	115
第一节 概論	115
第二节 銅矿床的主要工业类型	117
第七章 鋁	127
第一节 概論	127
第二节 鋁矿床的工业类型	128
第三节 我国鋁土矿概述	131

第八章	放射性金属(铀、钍、钍).....	133
第一节	概论.....	133
第二节	矿床的工业类型.....	136
第九章	稀有元素和分散元素.....	140
第一节	概述.....	140
第二节	与煤层沉积有关的稀有元素和分散元素.....	141
第三节	煤层中的镭.....	141
第四节	煤层中的镓.....	145

第三篇 非金属矿床

引言	147
第十章 硫	148
第一节 概論	148
第二节 硫矿床的工业类型	149
第十一章 磷灰石与磷块岩	151
第一节 概論	151
第二节 磷灰石与磷块岩矿床的工业类型	153
第十二章 石墨	157
第一节 概論	157
第二节 石墨矿床的工业类型	158
第十三章 盐类矿床	160
第一节 概論	160
第二节 盐类矿床的工业类型	160
第十四章 石膏	162
第一节 概論	162
第二节 石膏矿床的工业类型	163
第十五章 粘土和高岭土	164
第一节 概論	164
第二节 粘土和高岭土矿床的工业类型	167
第十六章 建筑材料	169
第一节 火成岩和变质岩建筑石料	169
第二节 砂和砾	170
第三节 砂岩与石英岩	171
第四节 碳酸盐岩石	171
第五节 硅藻土与硅藻石	174

緒 論

一、矿产和矿床

矿产系指能够被人类利用的矿物(岩石)原料,人們可以直接利用这些原料,或从中提取国民經济所需要的各种元素和化合物。矿产可分为三类:

第一类是金屬矿产。将这类矿产加工后,能提炼出各种金屬。

第二类是非金屬矿产。这类矿产主要是能够直接利用的矿物集合体(如大理岩)或单体矿物(如压电石英)及少数非金屬元素(如磷块岩中的磷)。因此人們使用的絕大部分非金屬矿产并不是元素本身,而是它們的結晶集合体——矿物。

非金屬矿产又可依据用途和性質的不同而分为两类:一类是非金屬矿物原料,例如,鋁硅酸盐、硅酸盐、磷酸盐、硫酸盐等;另一类是建筑材料,如各种自然状态的岩石。

第三类是可燃矿产。

矿床是受某种地質作用的影响而在地壳的某些部分所形成的矿物堆积体,它的質与量适于工业应用,并且在一定的工业要求和經济技术条件下能够加以开采。

一个矿床往往由許多矿体組成。所謂矿体,就是具有一定体积并在空間上占有一定位置的矿物富集的地段(岩体)。矿体可以有各种各样的形状,规模也很不一致。

矿石就是从矿床中开采出来的矿物集合体,这种矿物集

合体在目前的技术条件下，人們既能直接利用，又能經濟而合理地从中提取金屬或金屬化合物。

矿石一般是由矿石矿物和脉石矿物組成。所謂矿石矿物，即指我們开采利用的有用矿物；脉石矿物又称脉石，它是与矿石矿物伴生在一起的无用矿物。例如，有的鉄矿石主要是由磁鉄矿和石英組成的集合体，其中，磁鉄矿就是矿石矿物，石英則是脉石矿物，因在炼鉄过程中石英算是杂质。

随着生产的发展及科学技术的进步，矿床和矿石的种类也不断增多。

各类矿床的工业价值很不相同。有工业价值的矿床固然应该有足够的儲量、良好的矿石矿物质量和适宜的經濟地理条件。但在确定矿床的工业价值时还应该考虑国民經济发展的需要这一重要因素。

通常使用“品位”来評定矿床的质量。所謂品位指矿石中的有用金屬元素含量，一般用百分数表示。例如，品位为50%的鉄矿，表示100吨鉄矿石中有50吨金屬鉄。由于某些貴重金屬在矿石中的含量較低，它們的品位以用每吨矿石中含多少克金屬来表示比較合适。一些稀有元素及分散元素在矿石中的含量有时更低，一般則用P.P.M.来表示(1P.P.M.表示矿石中的含量是矿石重量的百万分之一)。对矿石品位的要求是随着国民經济的需要和选矿、冶炼技术水平而改变的。例如，过去銅矿的可采品位为1%，目前对銅的最低可采品位仅要求达到0.4%。

二、矿产在国民經济中的意义

矿产是国民經济中的不可缺少的原料。我們都知道，鋼鉄工业是国民經济的重要部門，在鋼鉄冶炼中应当解决一系

列的原料問題，其中首先必須有鐵矿石，另外還需要焦炭、各種熔劑（例如石灰石、螢石等）及耐火材料（例如粘土、白云石、菱鎂礦等）。有了這些原料，高爐和平爐才能開工生產。為了適應各工業部門的不同需要，還須在鋼里加入不同比例的各种金屬，例如錳、鉻、鎳、鉛、鉬、鈮等，以製成具有不同性能的各种合金鋼。只有鋼鐵和合金鋼仍然不能滿足現代工業需要，還必須生產其它金屬，例如銅、鋁、鋅等，以便滿足不同材料品種的需要。

現代的農業除施用各種有機肥料外，已經廣泛利用礦物肥料，例如：供制磷肥的磷塊岩，供制鉀肥的鉀鹽和長石以及天然有機肥料——泥炭等。此外，還須用農藥來防止病蟲害，以保證農產品的丰收。製造農藥就離不開硫磺和黑礬（硫酸鐵）等，這又有賴于硫磺和黃鐵礦。

現在，由於科學技術的不斷革新，原子能工業、火箭技術（人造衛星、宇宙飛船）、遠距離操縱、半導體工業等許多新技術和尖端科學有了飛速的發展。因此，必須應用各種稀有元素和分散元素來製造特种材料，以滿足這些新技術和尖端科學的不同要求。例如，具有很大硬度、強度和抗蝕性的鈹青銅，用來製造耐高溫鋼材和具有高度電子發射力的電子管設備的鎢和鉭，製造各種半導體的原料硒和鎘，作核燃料的鈾、鈾以及用于原子能工業中的鋰、鈹、鉛等。這些稀散元素的獲得全靠礦產的開發。

三、礦床學的研究內容、研究方法及 与其它地質科學的關係

礦床學是地質科學中的一門重要分科，它的研究對象是由地質作用所形成的各種礦床。研究礦床學的目的在於提供

发展国民经济所需的各种矿产資源，为社会主义的經济建設事业服务。

矿床学的研究內容主要是：

1. 确定形成各种矿床的地質条件，即研究和确定形成各种矿床的原因及成矿的規律；
2. 研究各种矿床在地壳内的分布規律，以闡明現在哪种地質条件下可能找到哪种矿产。

上述兩項內容是互相联系的；首先确定个别类型矿床的成因，然后研究某种金屬矿床或非金屬矿床的各个类型的成因，最后在上述基础上得出各种矿床在地壳内的分布規律。因此，矿床学必須研究矿床的形状、产状及其与围岩的关系，矿石的矿物組成成分、矿物共生情况、矿石的結構和构造等。

这样看来，矿床学是一門綜合性的科学，它与地質科学的其它分科有着密切的关系。在学习矿床学之前，必須具备一定的普通地質学、矿物学、岩石学、地史学和构造地質学的知識。另外，矿床学与大地构造学和地球化学也有緊密的联系。

矿床是經過复杂的地質作用形成的。成矿作用一般不能直接观察到，只能根据成矿作用所表現出来的地質現象进行研究和分析。这就决定了矿床学的研究方法必須先将地質測量和勘探所获得的資料加以研究分析，提高到理論，然后找出一般規律。

矿床学的研究方法可以分为野外观察和室內研究两部分，二者要密切配合进行。找到了一个矿床以后，首先应根据它在地表的露头来研究和确定矿物的組份及矿石的結構、构造，矿石在氧化带的次生变化，并利用地質測量的方法确

定矿体的形状、产状和规模。但仅靠地表露头往往不能判定矿体深部的情况，因此，应当用探槽、坑道或鑽孔等探明矿体深部的情况。只有这样才能准确地确定矿体的形状、产状和规模。同时也应研究围岩的性质和围岩的次生变化及其与矿体的关系，然后根据矿区内的地质构造特征，研究矿体的赋存与矿区地质构造间的内在联系。为了进一步研究和确定矿床的成因及判定矿石的质量，还须根据需要来系统地采取各种样品，送回试验室进行分析。

室内研究工作一方面是进行显微镜下的观察，确定矿石的矿物成分、矿石的结构和构造。显微镜下的观察和研究结果是最后确定矿床成因的重要参考，也是确定矿石洗选工艺的重要材料。为了确定矿床的质量，需要进行一系列的化学分析；对于微量元素，还须进行光谱分析或极谱分析，以确定矿石中有益组份和有害杂质的含量，或确定非金属矿产的工艺性质，最后将在野外和室内所获的原始材料加以综合和整理，并编制各种图表。

经过一系列的野外观察和室内研究以后，即可确定矿床的成因、矿床的质量及其中所含的金属或非金属矿产的储量，及矿床开采和矿石洗选、冶炼所需要的资料，为矿床的开发提供可靠的依据。这样也同时丰富了矿床学的实际内容。

四、我国矿床学的发展简述

我国利用矿产的历史极为悠久，积累了许多关于矿床学的知识，古籍“禹贡”中即有关于金、银、铜、铁、铅的记载，“山海经”中记载了金属和金属光谱。到春秋战国时代，管子在“地数论”中总结了找矿的经验，如“上有丹砂者下有金，上有慈石者下有铜金，……上有赭者下有铁，……”，

上有鉛者下有銀，……。”这是对矿床中矿物的共生組合規律和矿床在氧化带的次生变化規律的重要总结，直到今天仍然是矿床学中的重要原理。明朝李时珍所著“本草綱目”中的金石部記載了160种矿物，不但記述每种矿物的产地和产状，同时还描述了矿物的物理性質和当时的用途。在明末，宋应星所著“天工开物”內的“燔石”、“石金”等章，对当时的金屬原料和非金屬原料的生产状况更有精确的記載。

上述一系列記載說明我国劳动人民在生产实践中，积累了丰富的地質科学知識，但是由于长期处在封建統治下，生产力发展很慢，这些实践知識絕大部分缺乏系統的总结。鴉片战争以后，帝国主义势力侵入中国，矿产資源成了帝国主义掠夺的对象。因此，在十九世紀末和二十世紀初，帝国主义国家的地質学者来我国进行了一定的資源調查工作。在此期間，中国地質学者也开始了对矿床的研究工作，但是由于反动階級的統治，工农业生产得不到发展，地質科学的发展也很慢。

解放后，在党的正确領導和苏联及其他兄弟国家的援助下，随着生产力的解放，地質科学得到了全面飞跃的发展，大規模地勘探了矿产資源，积累了丰富的矿产地质資料，因而对許多矿床的成因、类型和成矿規律获得了较为系統的了解，并肯定了一些在工业上具有重大意义的新矿床工业类型。

在矿床学的理論上也取得了巨大成就。例如，总结了我国鉄、銅、鉛、鋅、鈾、鉻、鎢、鋁等許多种矿产的特征，划分了矿床类型，找出了分布的規律。

可以預計，随着社会主义建設事业的飞跃发展，矿床学

的发展前途也是光明灿烂，在不久的将来，一定取得更大的成就。

第一篇 礦床成因論

第一章 成矿概述

第一节 地球的构造和地壳的平均成分

在普通地質學中已經提到，根据推断和对地震波在不同介質中传播速度的研究工作可以确定地球具有圈层构造。但是研究地球的构造，不能局限于今天我們能够直接观察和利用的地壳表层，因为，地壳表层上許多形成矿床的岩漿活动，都同内圈深部有关。因此，研究地球的构造和成分就具有指导意义。

关于地球内部的构造，存在着許多不同的意見。現在只介紹挪威科学家戈尔德史密斯的学說。他将地球自地心至地表分为鉄鎳核，硫化物、氧化物带，榴輝岩带和硅酸盐带四

层(图1)。由于各带的比重的不同，它們形成同心圓体。在这四层中，榴輝岩带(榴輝岩系以柎榴石和輝石为主要組成成分的岩石)是硅酸盐带和硫化物、氧化物带之間的过度层。根据推测，各圈层的物質成分是：

1. 鉄鎳核；

本带以鉄为主要組成成

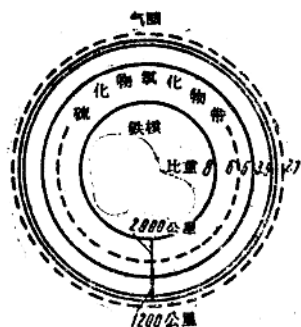


图1 地球的內部构造

分，另外还有与鉄經常共生的元素，如鎳 (Ni, 6~10%)，鈷 (Co, 0.4~0.7%)，鉬 (Mo) 和少量的硫 (S)、磷 (P)、碳 (C)、鉑 (Pt)、鐱 (Os)、銥 (Ir)、鈳 (Ru)、銩 (Rh) 等。上述这些元素和鉄有着亲密的共生关系，所以又称为亲鉄元素。鉄鎳核的平均密度为 8~10；

2. 硫化物、氧化物带：

本带以六方硫鉄矿 (FeS) 为主要組成成分，次要成分是鎳鉄矿 [(FeNi)S]、黄銅矿 (CuFeS₂) 及其它金屬氧化物。这一带是“亲硫元素”（也称亲銅元素）集中的部分。亲硫元素系指有色金屬——銅 (Cu)、鋅 (Zn)、鉛 (Pb)、鎘 (Cd)、汞 (Hg)、銻 (Sb)、鉍 (Bi)、砷 (As)，貴金屬——金 (Au)、銀 (Ag) 及似金屬——硫 (S)、硒 (Se)、碲 (Te)。硫化物、氧化物带的平均密度为 5~6；

3. 硅酸盐带：

本带主要由亲石元素的硅酸盐化合物組成，元素成分有：氧 (O)、硅 (Si)、鋁 (Al)、鈣 (Ca)、鎂 (Mg)、鈉 (Na)、鉀 (K)、鋰 (Li)、銣 (Rb)、銯 (Cs)、銪 (Sr)、鋇 (Ba)、鈦 (Ti)、鋯 (Zr)、釩 (V)、鉬 (Mo)、鎢 (W)、錫 (Sn)、釷 (Th)、鈾 (U)、釷 (Be)、硼 (B)、氟 (F)、氯 (Cl)、溴 (Br) 及稀土族元素 (TR) 等。本带的平均密度为 2.8。

在地球外面包围着大气圈。大气圈系由“亲气元素”如氧 (O)、氮 (N)、碳 (C)、氢 (H)、氦 (He)、氖 (Ne)、氩 (Ar)、氪 (Kr)、氙 (Xe)、氡 (Rn) 等組成。

今天，人类开发的矿产資源都取自硅酸盐带的表层——地壳。根据費尔斯曼的意見，地壳厚度为 15~20 公里。在此范围内，由于地壳运动的结果，地壳深部的岩石也可能翻到地表上，这样，就可以根据地表露头直接研究地壳的組成。

1889年，美国人克拉克对地壳的化学成分进行了研究。根据他的统计，在地壳16公里深度范围内，95%系由火成岩组成，沉积岩仅占5%；在5%的沉积岩中，頁岩占4%，砂岩占0.75%，碳酸盐岩石占0.25%。可以看出，沉积岩中比例最大的是碎屑岩，它也来源于火成岩。这就明显地表明，只要统计出火成岩的平均化学成分，就可以说明地壳的平均化学成分。它根据6000次左右的各种岩石准确的化学分析资料求出约50种分布最广的元素在地壳内的平均含量。为了表彰克拉克在研究地壳的化学元素分布学说所作的贡献，苏联的地球化学家建议把元素在地壳内的平均含量称为克拉克值。继克拉克之后，许多地质学家又进行了这一项工作，使克拉克值更为准确和完善。表1和表2是根据苏联费尔斯曼计算所得的组成地壳各种元素的克拉克值（计算范围包括地壳表层16公里、水圈和大气圈下部15公里）。

从表1和表2中可以看出：

1. 前8种元素（O、Si、Al、Fe、Ca、Na、Mg、K）占地壳重量的97.13%，其余90种元素只占2.87%，这说明绝大部分化学元素在地壳中的含量极少；

2. 组成地壳的化学元素在含量上极为悬殊，有些元素的含量相差可达几十亿倍，如铁的克拉克值为5.1%，而镭只有 $1 \times 10^{-10}\%$ ，二者相差达500多亿倍；

3. 在地壳中，原子量小、原子序数小的轻元素为主；

4. 在地壳中，具有偶数原子序数和偶数原子量的化学元素占优势；

5. 有价值的金属元素（如有色金属、稀有金属、贵金属、放射性金属、大部分黑色金属和某些轻金属）的克拉克值均较低；

表 1 地壳中各元素的克拉克值
(根据费尔曼的资料)

元 素	重量百分比	元 素	重量百分比	元 素	重量百分比
氧 (O)	49.13	锰 (Mn)	0.10	铷 (Rb)	0.008
硅 (Si)	26.00	磷 (P)	0.10	铈 (W)	0.007
铝 (Al)	7.45	氯 (F)	0.08	硼 (B)	0.005
铁 (Fe)	4.20	钡 (Ba)	0.05	钇 (Y)	0.005
钙 (Ca)	3.25	氮 (N)	0.04	锂 (Li)	0.005
钠 (Na)	2.49	锶 (Sr)	0.035	钴 (Co)	0.0029
钾 (K)	2.35	铬 (Cr)	0.03	镍 (Ni)	0.002
镁 (Mg)	2.35	钨 (W)	0.025	铈 (Ce)	0.0017
氢 (H)	1.00	镍 (Ni)	0.02	铅 (Pb)	0.0016
钛 (Ti)	0.61	钒 (V)	0.02	铊 (Tl)	0.001
碳 (C)	0.35	铈 (Ce)	0.02	钼 (Mo)	0.001
氮 (N)	0.20	铜 (Cu)	0.01	溴 (Br)	0.001
磷 (P)	0.12	锡 (Sn)	0.008	钍 (Th)	0.001

表 2 地壳中含量比较少的元素的克拉克值
(根据费尔曼的资料)

重量百分比	元 素
0.001—0.0001	铍 (Be) 氩 (Ar) 铈 (Ce) 镓 (Ga) 锗 (Ge) 砷 (As) 铈 (Ce) 碘 (I) 铈 (La) 铈 (Pr) 钐 (Sm) 钆 (Gd) 铈 (Tb) 铈 (Dy) 铈 (Ho) 铈 (Er) 铈 (Tm) 铈 (Yb) 铈 (Lu) 铈 (Hf) 铈 (U)
0.0001—0.00001	铈 (Se) 铈 (Nb) 铈 (Ag) 铈 (In) 铈 (Sb) 铈 (Eu) 铈 (Ta) 铈 (Pt) 铈 (Tl) 铈 (Bi)
0.00001—0.000001	铈 (He) 铈 (Ru) 铈 (Rh) 铈 (Pd) 铈 (Te) 铈 (Os) 铈 (Ir) 铈 (Hg) 铈 (Po)
<0.000001	铈 (Ne) 铈 (Kr) 铈 (Xe) 铈 (Rn) 铈 (Au) 铈 (Ra) 铈 (Pa)

6. 地壳中最分散的元素是：氮、氦、镭和钷。

第二节 造矿元素和造岩元素

各种化学元素在地壳上的存在状态与周期表有密切的关系。在周期表上的一定范围内的各元素不但具有相似的物理性质和化学性质，同时也具有相似的地球化学性质。在周期表上一定范围内的具有这样性质的元素称为“地球化学区”。现在地球化学区的划分方法很多，最普通的就是美国华盛顿的分类方法。他在周期表中划了一条折线，将周期表上的元素划分为两组(图2)。位于折线上部的元素称为“造岩元素”，位于折线下面的元素称为“造矿元素”。这两组元素在地壳上的出现状态是完全不同的；造岩元素组成各种造岩矿物或非金属矿物，为构成地壳的基本成分；造矿元素在地

族	1	2	3	4	5	6	7	8
1								
2	Li 6.94	Be 9.01	B 10.81	C 12.01	N 14.01	O 16.00	F 18.99	
3	Na 22.99	Mg 24.31	Al 26.98	Si 28.09	P 30.97	S 32.06	Cl 35.45	
4	K 39.10	Ca 40.08	Sc 44.96	Ti 47.88	V 50.94	Cr 52.00	Mn 54.94	Fe 55.85
5	Rb 85.47	Sr 87.62	Y 88.91	Zr 91.22	Nb 92.91	Mo 95.94	Tc 98.91	Ru 101.07
6	Cs 132.91	Ba 137.33	Hf 178.49	Ta 180.95	W 183.84	Re 186.21	Os 190.23	Ir 192.22
7	Fr 223.02	Ra 226.07	Rf 261.10	Db 262.11	Sg 266.10	Bh 264.10	Hs 277.10	Me 288.10
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								

注：1. 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000.

图2 华盛顿制订的元素地球化学表