

第1章

21 世纪学科发展丛书

百年华诞

与世纪同步，地球化学这一学科也走过了 100 多年的发展历程。作为固体地球科学的一门支柱学科，地球化学学科对整个自然科学和人类的生存发展有着极其重要的意义。与其它自然科学学科一样，它之所以能自立于自然科学学科之林，之所以在人类社会发展中有自己的立足点，就是因为它能促进科学的发展和人类社会文明的繁荣。

第一节 什么是地球化学

我们先来看一看地球化学是一门什么样的学科？它的研究内容、对象是什么？研究它有什么意义？

简单地说，地球化学就是“地球的化学”。这样简单自有使人“一目了然”的好处，但是宇宙是一个物质的统一体，地球在宇宙中不是孤立的，组成它的元素当然也不是只会出现在地球上，因此把地球化学直观地解释为“地球的化学”也有其偏颇的一面。那么地球化学到底应怎样定义呢？地球化学是地球科学

的一门分支学科，它主要研究地球各个层圈与宇宙的化学组成和元素分布、集中、分散、共生组合、迁移的规律与演化的历史，概括地说就是我们这本书的书名所诠释的“地球化学：地球的化学过程与物质演化”。这样，研究“地球的化学”自然会演变成“宇宙的化学”。从研究的广度说，“地球的化学”自然没有“宇宙的化学”广，但“地球的化学”占着研究的深度的优势。因为人类居住在地球上，“生”于斯，“活”于斯，取之于斯，依赖于斯；最关心、最容易接触到的是地球，因此研究得最详细的自然是地球啦。反倒使大得多的“宇宙化学”成为“地球化学”的一门分支学科。

地球化学的研究范围起初当然是探索“地球的化学”：从地壳“探”到整个地球，从陆地“探”到海洋，从地表“探”到地球深处的地核与地幔的界面；又从现代追溯到燧古之初，一直“追”出地球，“追”到月球、行星和整个太阳系。地球化学研究内容的深度，也由起初的主要通过矿物、岩石得到的“地壳中的元素行为”与“原子”的知识，发展到“面”上的“地球的化学组成”与“化学演化”，以至最后发展为探寻“地球和行星演化中的所有化学方面”。从学科间的关系来看，现代地球化学学科是在结晶学、矿物学和岩石学的基础上发展起来的，这些学科都属于地质学的范畴；而地球化学又有别于地质学所研究的内容，更多地偏向于地球物质的化学属性的探讨。因此可以说，地球化学学科脱胎于地质学与化学，是用化学的“武器”研究地球与宇宙物质的一门边缘性学科。

用一句概括性的话说，地球化学就是研究各种地质体中的元素及其同位素的组成与时空变化的科学。它既探讨元素的共生组合、赋存形式和元素的物态、化合物种

类、形式、键型、价态与其在晶体构造中的配位位置,也探索元素在时空上的宏观与微观的分散、集中、迁移的动态过程,以至太阳系的化学组成与演化,即太阳星云的化学成分、分馏和凝聚,太阳系各行星与小天体(卫星、小行星、彗星、陨石与宇宙尘等)的化学组成与演化。

上面关于地球化学学科的研究内容、研究对象及研究意义的论述,都说得很简单、笼统,不过不要紧,在本书的下面许多章节会给予详细的介绍,这里读者只要对“地球化学”有一个很简单的认识就行了。

第二节 发展简史

人们说“地球化学是 20 世纪的科学”,确实是这样。经过长期的酝酿、演化与发展, F. W. 克拉克(Clark, 1847 ~ 1931 年)在 1908 年发表了世界上第一部关于地壳的化学成分的论著——《地球化学资料》(《The Data Geochemistry》)。在整个 20 世纪,地球化学学科从地质学与化学的“边缘”生发出来,在构筑自己的学科理论体系过程中,相继引入和创设了许多研究方法,研究地表、地下深处以至宇宙空间所有能取到的样品,把研究对象从初期的地壳表面的矿物与岩石推向地壳、地幔、下地幔与地核,以至整个太阳系的化学领域;把某种矿物或某种岩石的地球化学特征联系起来,延伸向某一类或几类矿物、岩石的地球化学循环,使之从“静态”走向“动态”,总结出某一种(或几种)元素在地球历史上的演化,从而达到研究地球、矿物、岩石与元素的变迁历史的目的。这就是一部地球化学学科发展史的概括。

地球化学与其他自然科学一样,在它正式诞生之前,

是经过长期的演化与积累的；没有人们长期对地球的认识和了解，没有前人一步一个脚印的研究、探索，就没有地球化学。暂且不说远古时代人们如何艰难探讨地球上的矿物、岩石的性质和所蕴涵的许多信息，即使从 1838 年臭氧的发现者 G. F. 许拜恩 (Schönbein) 明确提出“地球化学”一词，到 1872 年 F. W. 克拉克开始工作，再到 1882 年有了第一批资料数据，最后到 1908 年发表了世界上第一篇关于地壳的化学成分的论著，期间整整跨越了 70 年的时间。所以，一门学科的确立，不是偶然的，更不是“一蹴而就”的，而是通过一代又一代科学家的艰苦劳动，才得以建立的。

地球化学学科的发展，从时间坐标上看可分为 3 个时期：史前至 19 世纪末的萌芽时期，20 世纪初至中叶的独立成型时期及 20 世纪中叶之后的现代地球化学发展时期。这 3 个时期当然不能截然分开。从地域坐标上看，由于历史上的原因（特别是文明发展进程）与科学技术水平的差异，世界各国、各地区地球化学学科的发展是很不平衡的。为了论述方便，我们以时间为脉络，把学科的发展分为欧美、苏联与中国 3 大“块”来阐述。

一、萌芽时期

萌芽时期是指在作为一门学科出现在世界自然科学学科之林中之前的孕育、酝酿时期。这在世界各国、各地区出现和经历的时间的长短当然也是不一样的。在一些文明古国，早在人类文明的前期，人类的祖先就萌发了对自然界最早的认识。这些认识之中包含着人类对自己由“生”以来在自然界接触到的最早的生活资料与生产资料——“石头”的种种认识。而我们要讲的地球

化学学科的研究对象最早也正是包括矿物与岩石在内的这些“石头”。

中国作为文明古国，其科学技术可以说在世界上是最早萌芽的；素朴的地球化学思想的出现也是最早的。在中国数千年的文明史中，可以搜寻出许许多多有关地球化学思想的记载，只是由于受到长期的封建制度的扼杀和禁锢，在西欧国家冲决封建社会罗网得到迅速发展的时候，中国却固步自封，沾沾自喜地沉醉于自己“中央之国”的梦幻之中。这不仅仅是地球化学学科的发展悲剧，也是整个中国历史上科学技术发展的悲剧。而西欧诸国正是在 18 世纪中叶从研究自然界的博物学中发展出一门新的学科——地质学，再从地质学研究的岩石学与矿物学中脱胎出地球化学。

从猿到人，人类直立行走，使用工具采野果、渔猎、建窝棚，以至后来种植、发展农业，原始人类的一切生活、生产活动最早都是与土地、石头、矿物打交道。这一点，可以从古人类遗址的发掘中得到印证。

考古学家在中国猿人的遗址中发现过约十万件石器，这些石器都是由石英与燧石打制的。石英与燧石产自由石英组成的石英脉、石英岩与燧石岩。在周口店猿人与蓝田猿人遗址中也发现过许多由脉石英（即脉状的石英）、石英岩、石英砾岩、石英细砂岩和黑色燧石岩制作的用具。开始时多是作为“武器”防御野兽的侵袭，后来发展成为石针、石器或打砸器。归纳起来，这个时期主要是利用石头（或矿物）的物理性质（硬度或块度）。后来逐渐认识到矿物的颜色也是可以利用的：在周口店山顶洞人的骨化石旁发现过赤铁矿的赤赭色粉粒，胸部还摆有赤铁矿矿块，它们是人类最原始的祭奠物。考古学家在新石器时代的遗址中甚至找到了玩赏矿

物，如用玛瑙、叶蜡石、滑石、绿松石、蛋白石、玉石等制作的饰物。进入青铜器时代，人类进一步认识到矿物（铁矿石、铜矿石）与岩石（石灰岩、白云岩、耐火黏土）的化学性质是可以利用的：从中可以提炼出有用的成分。

此外，学者们还考证出古代中国是世界上最早认识与利用硫磺、水银、雄黄、雌黄，以及矿物中的包裹体的国家。在中国数千年的历史流传下来的浩瀚的史籍、药典、游记、著作中，有许许多多关于矿物、冶炼、岩石、矿药及当时认为很神秘的地球化学现象的记载、描述、传说与解释。王炳章教授早在 40 年前就考证出中国人在 3000 年前就知道用卤水煎熬出盐，而且知道盐是有一定形状的固体。公元前 2 世纪，韩婴曾指出“凡草木花多五出，雪花独六出”，这是中国人对矿物结晶对称的理解。公元 5 世纪有人专门研究过雌黄的“解理”，在公元五六世纪间陶宏景探讨过辰砂与石英的“晶形”^①。

中国史籍中有关地球化学观点的阐述和地球化学现象的记载、描述与解释，可以说比比皆是。

人们认为，西周时期把自然物质分为金、木、水、火、土的“五行”说，实际上是人类对物质的最早分类，也是元素分类的萌芽。

现代科学已经知道，陨石是运行于宇宙空间的陨星

^①解理与晶形都是矿物的自然属性，解理是指矿物受外力打击时沿一定结晶方向裂开的平面。以前有个更直观的名称叫“劈开”。比如方铅矿的解理永远是平行 {100} 的结晶轴方向，也称立方体解理。所以用一定的力敲击方铅矿时，碎下来的方铅矿小粒永远是一个个的立方体；而剥落的云母片则永远是一片一片的。晶形是指矿物一定的、自然产出的形态，这是由矿物内部的化学组成与晶体结构所决定的；矿物晶形的研究有助于了解其形成条件，借以阐明矿物成因

偶尔进入地球轨道而陨落到地上的，它给我们带来了十分珍贵的宇宙空间信息，是自然界馈赠给人类的大自然“考古”样品。把 20 世纪以来人类在飞向月球和星空探索中所花费的人力、物力，和所取得的数百千克样品对比一下，你就会知道这些自然界之“馈赠”确实是弥足珍贵的。但是，这些陨石常常落到荒无人烟的地方而无人知晓，那些落到有人群居住之地的陨石，被哄炒一时之后也常常被历史的烟尘所湮没，不大会被载入史册。只有中国，从公元前 21 世纪到 1949 年的 14 万卷地方志、史书中就记载了确有实据的陨石事件 365 次，陨石雨 4 000 多次，有关陨石的民间传说、游览胜地近 400 处，其中有世界上有关陨石的最早记载。如《竹书纪年》上记录的公元前 2133 年“帝禹夏氏八年六月，雨金于夏邑”，是世界上最早的陨石雨报道。中国古代学者不仅将其记载在案，而且进行分析。战国时期诸子百家之一的荀子（公元前 313 ~ 公元前 238 年）指出，陨石的成因是“星之坠”（天上的星星掉下来即为陨石），而且说“星之坠，木之鸣”是很平常的事，“怪之可也，而畏之非也”。这就是告诉你：对陨石的陨落大惊小怪一下倒也说得过去，只不过不必害怕。北宋科学家沈括（1031 ~ 1095 年）在《梦溪笔谈》中详细描述了宋治平元年（1064 年）陨落于江苏宜兴的一块陨石，并说这块陨石在地上打出一个如杯大的“窍”，“极深。下视之，星在其中荧荧然”。可见他也认为陨石是“星之坠”的结果。生活在春秋战国时期的荀子和距今近 1000 年前的沈括，能够有这样的认识，有这样一种对自然现象的坦然态度，确实是难能可贵的。笔者看到过这样一份材料，说的是 1790 年 7 月 24 日，法国南部朱里亚克落下一块陨石，居民们用铁索把它拴在教

堂的石柱上“示众”，又将这一奇观上报法国科学院，院士们不仅不相信有此等“怪事”，还讥笑当地居民是“天生的吹牛大王”，狠狠地挖苦了一番：你说天上能掉下石头？这岂不“与天上掉下 5 吨牛奶，外加 1 000 块带血的美味牛排”一样荒唐可笑！

至于中国古代对地面上的地球化学现象的描述、记载与分析更是既众多又详细准确，有些经验甚至到近代、现代都还屡试不爽。在《山海经》中就有一个“石谱”，反映金属与非金属之间的关系。在《管子·地数篇》（公元前 300 年？）中有这样的记载：“黄帝曰：此若言可得闻乎？伯高对曰：上有丹砂者，下有黄金；上有慈石者，下有铜金；上有陵石者，下有铅、锡、赤铜；上有赭者，下有铁。……此山之见荣者也”。这里的“荣”就是矿体的露头。从现代矿床地球化学的角度看，这就是矿石的垂直分带现象，是符合地质事实与地球化学规律的。还有的学者则把地面所见的植物“延伸”向地下，从地表的植物“看”地下有什么矿。唐代颜真卿说：“山上有葱，下有银；山上有韭，下有金；山上有姜，下有铜锡。”晋代张华也说：“地多蓼者，必有禹余粮。”意思是说蓼草茂盛的地方，下面必有赤铁矿。明代方以智的《物理小识》中曾援引著于 1421 年的《庚辛玉册》中的一段话，说蔓菁中含有金气，石杨柳含有银气，艾蒿、粟和大麦、小麦中有铅气、锡气，三叶酸（草）中含有铜气；利用植物中的各种“气”，便可推断地下可能有什么矿藏。当然，不能说根据古代史书中的记载都能找到矿，因为这些记载有的没有足够的证据，有的不是普遍规律的总结，但毋庸置疑，利用这些线索再加上现代手段，有可能也确实找到过一

些矿藏。这种从植物与矿产的关系来找矿的方法，就是现代地球化学中的生物地球化学方法的萌芽。

研究科技史特别是研究矿床学发展史的专家指出，中国古代矿冶经历了从隋唐到宋代的繁荣发达阶段，在明王朝开国 50 年（大约相当于 1425 ~ 1435 年的仁宗和宣宗）之后，虽然中国对矿冶有关的地质学研究仍在平稳发展，但没有太大的进展，即使像李时珍（1518 ~ 1593 年）的《本草纲目》和宋应星（1637 年）的《天工开物》这样闪耀着先进科学思想的巨著，学者们也认为只是“强弩之末”了。因为从总体上看，中国在地质学上的成就“已经失去了昔日的光辉，失去了早期引人注目地位”。

阿拉伯地区是世界另一个古代文明的发源地。那里的人们也积累了丰富的矿物学知识，有着高超的炼金术。著名的地球化学家 A. E. 费尔斯曼（Ферсман, 1883 ~ 1945 年，按中国人的习惯可简称费氏）在科普读物《趣味地球化学》中曾介绍过，在公元 9 世纪到 10 世纪的阿拉伯思想家所写的文章里，就闪烁着对自然现象有着独特见解的自然辩证法的光辉。路卡·本·西拉比昂在他的《石头录》的序中指出：“自然界里的石头，有的聚在一起，有的彼此躲着；由一种变成另一种的，还有的把另一种染上颜色。”阿拉伯哲学家阿维森纳（985 ~ 1037 年）把矿物分成 4 类：石头与土，可燃性化合物与硫化物，盐类，金属。这种分类到现在还有一定的意义。另一个生在花刺子模的学者阿尔·比鲁尼（973 ~ 1048 年）用阿拉伯文写了一部名著——《贵重矿物鉴定录》，是当时所知矿物的集大成者。据费氏考证，炼金术诞生于亚历山大里亚，炼金术士们把化学知识与实验技巧传到叙利亚，叙利亚人又把它传

给了阿拉伯人，游走四方的阿拉伯商人通过西班牙把它“撒”向欧洲。中世纪的炼金术除了想从矿石中找到养性和“长命百岁”的神丹妙药外，还试图把普通的金属变成白花花的银子或金灿灿的黄金，这个变金变银的闹剧却歪打正着让人们得到了不少化学知识。有一位哲学家评论说，他们为了骗人，也为了自己能遁入“空门”，“从实验和观察自然所知道的事实，常常比受人尊敬的科学家知道的还多”。

欧洲人对最常见的火、气、水与石头也有过自己的初期萌芽的观点。古代著名的自然研究者亚里斯多德（Aristotle，约公元前 384 ~ 公元前 322 年）最早指出地球是球形的：许许多多的星球组成一个球体状的宇宙，它的中心是地球；地球的周围是水，水的外面是空气，形成“地圈”。他认为所有的宇宙物质都是由火、气、水、土（地球）这 4 种“元素”组合而成的，其中火最轻，依次排下来，土最重，所以地球占据着宇宙的中心。尽管亚里斯多德的许多观点是错误的，但是在那个时候就能以某种观点观察世界和研究地球，却是难能可贵的，对于后世自然科学的发展有着无可估量的意义。比如他通过对这些“元素”形成过程的研究，指出火是由“热”和“干”两种性质结合而成，气是由“热”，与“湿”合成的，水是“冷”与“湿”，合成的，土是由“冷”与“干”合成的。太阳光照到地球上，渗入地壳，遇到地壳中的土“元素”，便产生石头；而在土“元素”与水“元素”按一定比例搭配得当的地段，在太阳光作用之下便形成了金属或金属矿产。在这位老先生看来，地球上的矿产都是天体成因的。他的这种观点虽然有点荒诞不经，但他的“物质是由元素组成”的观点却是很有意义的。亚里斯多德的学生提奥夫拉斯塔

(公元前 371 ~ 公元前 286 年) 最早记载了当时所知道的矿物, 并对其进行了分类。因此, 他被后人认为是矿物学、土壤学与植物学的鼻祖。

到了公元 1 世纪, 在自然研究者老普林尼的论著中已经有许多有关矿物的可靠知识, 书中所提到的一些名词一直沿用至今。可惜这位老普林尼在公元 79 年维苏威火山喷发时不幸罹难。

整个中世纪欧洲在封建主义统治之下, 社会发展缓慢。在神学占统治地位的社会中科学技术受到残酷的压制与摧残, 有关自然科学的研究几乎裹足不前。而从 16 世纪中叶文艺复兴时起, 在欧洲处于严酷的封建主义禁锢之下的时候, 欧洲开始有了资本主义的萌芽, 欧洲人开始积累包括地质学知识在内的自然科学知识。随着资本主义的发展, 资本主义生产方式刺激了采矿业, 矿井愈开愈深, 采矿的手段与技术的进步使人们有更多的机会看到深处的岩层与矿脉; 航海与探险不但丰富了地理知识, 也开拓了地质学研究的空间; 资产阶级要推翻封建主义统治, 武力是其唯一的选择, 向外扩张、争夺商品与原料市场不可避免也要发动战争, 枪炮弹药的制造又需要更多的矿石原料。文艺复兴使人们的思想得到解放, 自然科学挣脱了神学的束缚, 取得了独立的地位, 开始创立科学的认识论与方法论。

地质学家与岩石学家常常是喜欢“游山玩水”的学者。他们注意到山石的组成与形态, 研究山脉的走向, 探讨成层与分不出层理的石头, 琢磨为什么有的石头那么轻, 而有的又那么重, 有的石头里面“长”出树和鱼, 有的石头却能烧; 砸开石头, 其中藏着更多的奥秘: 有的矿物闪闪发亮, 有的矿物暗淡无光, 有的矿物像一枚一枚的“针”, 有的矿物任你把它们砸得再细,

却“永远”是一粒一粒的立方体……于是地层学、岩石学、矿物学成为一门门学科，迈上了科学圣坛。

文艺复兴的早期代表人物达·芬奇第一个提出山与海并不总是现在这个样子的；沧海桑田的变迁是在缓慢的变化过程中得到完善，从现在的变化中可以了解到过去地质时代所经历的变化。这就是此后几百年来在地质学界经久不衰的“将今论古”原理。这一原理彻底动摇了古希腊自然科学家和中世纪炼金术士们对沉积成岩作用的荒谬解释与对地球形成过程的错误理解。它是地质学上一次深刻的认识论与方法论革命。1543年哥白尼的日心说更是地球科学上的一次飞跃，给教会的“地球中心论”一个沉重的打击，解放了人们的思想，使地球科学得到迅速的发展。

人类在数学、化学与物理学等基础学科方面所取得的每一项新的认识与新的进展，都推动着地质学的发展；而化学和包括矿物学和岩石学在内的地质学的每一项研究成果及认识论、方法论的改进，则是地球化学学科诞生的催生婆。

德国萨克森矿业中心的医师兼矿物学家乔尔格·巴乌埃尔(1494~1555年)的著述总结了当时已知的矿物学和矿床学知识,其中最有名的是《矿物的性质》(1546年)和《金属制品》(1556年)。他所进行的矿物分类是当时最为科学、最卓有成效的,因为他的分类最早引入了化合物复杂性的概念。他的这种依据化学原理进行的矿物分类,直到18世纪末仍被广泛地使用。

以J. 贝赫(Becher, 1635~1682年)为代表的德国医疗化学学派将矿物与岩石分为3类:石土、油土与汞土。1703年,G. E. 斯塔耳(Stahl, 1660~1734年)将“油土”称为“燃素”,引出了“燃素说”的概念。瑞

典的矿物学、化学教授 A. F. 克朗斯台特 (Kronshedt, 1722 ~ 1765 年) 尝试进行矿物化学分类, 发明了用于鉴定矿物化学成分的吹管法。1783 年, 拉瓦锡的化学革命打破了燃素说的束缚, 他首先把元素定义为“化学分析所能达到的真正终点”, 从而否定了土、气、水和火作为元素的“身份”: 它们本身不是“元素”而是由其他元素组成的物质。在他所著的《化学纲要》一书中记载了 23 种元素。稍后, 斯德哥尔摩科学院院士、彼得堡矿物学会创始人 B. M. 谢维尔金 (Севергин, 1765 ~ 1826 年) 对矿物进行了大量的化学分析, 研究了矿物的共生现象。瑞典化学家兼矿物学家柏齐利阿斯 (1779 ~ 1848 年) 研究了矿物的化学分析法, 按照化学成分进行矿物分类; 他还首次使用了“硅酸盐”一词。1819 年 E. 米契尔利希 (Mitscheli, 1794 ~ 1830 年) 注意到化学成分相同的化合物具有同样的晶形 (同晶形定律), 后来又发现了类质同象现象^①。当 1790 ~ 1830 年地质学进入一个被科技史学家称为“英雄时代”的时候, 化学家从地质学家所提供的矿物与岩石的样品中发现了 31 种新的元素; 这样大量发现新的化学元素可以说是空前绝后的。元素的大量发现, 促进了此后 30 年间矿物学的大发展: 1837 年丹纳出版了《系统矿物学》; 1859 年海德堡大学化学教授 R. 本生 (Bunsen, 1811 ~ 1899 年) 和物理学家 G. R. 考奇霍夫 (Kirchhoff, 1824 ~ 1887 年) 发明了分光镜, 帮助化学家在矿物与岩石的样品中发现了铯、铷、铊、碘、镓、

①指物质结晶时, 一部分介质中性质类似的其他种类离子或原子代替了晶体中的某种离子或原子的位置, 而形成另一种均匀的单一相混合晶体。如橄榄石 $(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$ 中的 Fe 被 Mg 取代, 形成了镁橄榄石 $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$; 橄榄石与镁橄榄石就是类质同象物质。这种现象称类质同象现象。

钪、锆等一系列新元素；1861年 A. M. 布特列洛夫（Бутлеров）创立了化学结构理论。于是，科学家所知道的元素名单愈来愈长。新发现化学元素的增多，使 Д. И. 门捷列夫（Менделеев）和 L. 麦伊尔（Meyer）在 1869 年同时发现了元素周期律。分光镜与元素周期律成为科学家手中物理的与化学的“武器”，使化学家如虎添翼，从理论和方法两个方面加快了矿物化学资料的积累速度。

1853 ~ 1891 年 Н. И. 柯克沙罗夫（Кокшаров，1818 ~ 1892 年）等人出版的《俄国矿物学资料》中记载了 400 多种矿物。1845 ~ 1854 年德国化学家 G. 毕朔夫（Bischof）完成了教科书《化学地质学与物理地质学》（三卷本）。1891 年 E. C. 费多罗夫（Федоров，1853 ~ 1919 年）论证了晶体内原子排列的 230 种可能型式，预言一定元素原子排列型式具有特定的物理性质，使晶体化学成为一门新的学科。1895 年 W. K. 伦琴（Röntgen，1845 ~ 1923 年）发现了 X 射线，为矿物学提供了又一种强有力的鉴定工具。

中国有句古话：“工欲善其事，必先利其器”。现在有了物理的与化学的两件锐利武器，矿物学和岩石学，特别是矿物化学与岩石化学取得了前所未有的成就，大大促进了地球化学学科的诞生和发展。

最早对岩石化学的研究是通过显微镜下测定的矿物百分含量与已知的矿物化学成分计算出来的。1841 年，俄国学者 Г. В. 阿比赫（Абих，1806 ~ 1886 年）根据二氧化硅的含量将火成岩划分为酸性岩、中性岩与基性岩。此后一直到 20 世纪二三十年代，西欧、俄罗斯及苏联的岩石学家们都致力于从岩石化学成分的角度进行岩石的分类。岩石分类的研究与矿物化学的探讨共同

促进了地球化学的发展。

在俄国，地球化学思想最先明确地写在 M. B. 罗蒙诺索夫（Ломоносов，1711 ~ 1765 年）所著的《论地层构造》和《论金属的产出》两本书中。他指出金属与矿物是“会移动的”，即会从地底下运移到地层浅表处，地表则会“从一个地方转移到另一个地方”。他确立了矿物的新概念：矿物是由于地壳发生变化而生成的。这个概念对于地球化学学科的产生与建立有着至关重要的意义。因为地球化学所研究的就是元素在地壳（包括后来扩展了的空间）中的产生、运移、分散和富集过程。大家知道，矿物是由元素组成的，而岩石又是由矿物组成的，整个地壳是由矿物和岩石构成的——说到底就是由地球化学研究的对象“化学元素”组成的；所以，要研究地球（地壳）的化学，就要探索矿物与岩石，摸清元素在矿物和岩石中的来龙去脉。这就是矿物学和岩石学之所以称为地球化学的基础学科的原因。

现在我们可以回忆一下，元素周期律的发现给化学学科指出了新的发展道路，而地质学家则借助这个定律把矿物学、岩石学与化学、物理学、物理化学结合起来，从而对地壳中各种元素的搭配有了一个新的、系统的认识，让元素在地壳中“活”了起来，成为地球化学家研究元素（原子）在地壳中运移、搭配、分散与集中时的指导理论。因此，在 19 世纪的最后几年间，在科学家的头脑中自然产生一种想法：先了解一下元素在地壳中的“分布”，再探测一下它们是怎样“运动”的。也是在这个时候，人们想起了 G. F. 许拜恩在 1838 年说过的一段很有预见性的话。他说：“我坚信，一定要先有地球化学才能谈到真正的地质科学。因为很明显，

地质学一定要注意研究构成我们地球的那些物质的化学本质，研究那些物质的成因，至少也还有研究地球上的各种生成物以及埋在这些生成物里的古代动植物残骸的相对年龄。……未来的地球化学家为了扩大这门学科的范围，一旦化石不能充分地满足他们研究上的需要，他们就势必另找辅助的研究资料。因此毫无疑问，一到那时候，地质学里就要导入矿物的化学研究方法。这个时期在我们看来已经不怎么远了。”

所以，在有了对矿物与岩石基本的化学认识的同时，美国地质调查所化学分析师 F. W. 克拉克才萌发了解开整个地壳化学成分之谜的念头。经过十几年的努力，终于获得了地壳的“克拉克值”，出版了全球最早的《地球化学资料》。这是地球化学学科发展过程中的一个重要标志：它标示着这门学科已经从萌芽时期过渡到独立成型时期；一门独立的学科从古老的地质学中脱颖而出，在矿物学、岩石学与化学、物理学相结合的“边缘”，经过“撞击”与“杂交”生发出从化学的角度研究地球的新学科。人们不约而同地采用“地球化学”这一名词，因为它最能简洁明了地反映这一研究领域的内涵和形式，反映地质学与化学之间的边缘学科的发展方向，实在是到了“水到渠成”的时候了。

一门新的学科就这样走进了世界自然科学学科之林。

二、独立成型时期

在独立成型时期，地球化学家已经不满足于仅仅从矿物与岩石中获取基本的地球化学数据，而是将研究的目光转向地球化学过程的探讨：在“平面”上讨论元素的运移、分散、集中和富集，在“纵向”上研究它的历