

中国地质大学（北京）国家级特色专业地质学系列教材



Geochemistry

地球化学

张德会 赵仑山 主编



地质出版社



中国地质大学(北京)国家级特色专业地质学系列教材
地质学基础课国家级教学团队项目资助

地球化学

张德会 赵仑山 张本仁 陈岳龙 编
毛世德 杨忠芳 侯青叶 袁国礼

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书是作者在多年教学和科研基础上,参阅了大量国内外最新文献资料,根据教学大纲的要求编写而成。

面对博大精深的地球化学学科,本书的编写原则是结合地质作用过程,重点阐述地球化学基本原理和基本方法。除绪论外,全书共分九章。内容涵盖了化学元素在太阳系和地球系统中的分布和分配、地球物质与元素的结合习性、地球化学热力学和动力学、元素在水溶液和熔体相中的地球化学迁移、微量元素地球化学、放射性同位素地球化学、稳定同位素地球化学、有机地球化学及历史地球化学等。编写者本着以地球化学、地质学及相关专业学生为主要读者对象,对基本原理、基本定律、基本概念的表述力求准确严谨,结合相关的地质过程,尽可能深入浅出地阐明原理、定律与方法在认识地质作用中的意义和应用。

本教材的读者对象为初学地球化学的本科生和研究生,也可以供地球科学和相关学科研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地球化学 / 张德会等主编. —北京:地质出版社,
2013.5

ISBN 978-7-116-08326-4

I. ①地… II. ①张… III. ①地球化学 IV. ①P59

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 095370 号

Diqiu Huaxue

责任编辑:罗军燕

责任校对:黄苏晔

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010) 82324508(邮购部);(010) 82324514(编辑部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

传 真:(010) 82324340

印 刷:北京纪元彩艺印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:34.25 插页:1 页

字 数:830 千字

印 数:1—3000 册

版 次:2013 年 5 月北京第 1 版

印 次:2013 年 5 月北京第 1 次印刷

定 价:48.00 元

书 号:ISBN 978-7-116-08326-4

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

总 序

中国古代有很丰富的地质思想。近代地质学作为研究地球及其演变规律的一门自然科学在 19 世纪中叶从西方引入我国。1909 年京师大学堂（北京大学的前身）开设地质学门（系），开创了中国地质教育的先河，距今不过百年光阴！在这一百年的时间里，特别是新中国成立后的 60 多年里，我国的地质事业和地质教育事业取得了突飞猛进的发展，培养了数十万地学人才，在地球科学的基础理论和实际应用中都取得了巨大的进展。进入 21 世纪，与国际地球科学发展同步，我国地球科学的发展在基础研究领域，以研究固体地球为主转向关注地球各圈层相互作用及其演变的地球系统科学；在应用领域已由“资源开发型”逐渐拓展为“资源开发与环境保护并重型”，进而全面为经济社会的可持续发展服务。地球科学与其他学科的交叉融合不断加强，研究领域和应用范围空前拓展。全球的地球科学出现了“上天、入地、下海、登极”全方位探索；“资源、环境、灾害、工程”多功能并举；“宏观、微观、定性、定量”全面结合；“星际、地球、区域、局部”，“远古、古代、当今、未来”无所不包的新局面。这种时间与空间上的大跨度、科学与技术方面的大交叉、理论与实践的紧密相联前所未有的。地质科学工作者正面临着前所未有的机遇与挑战。

地球科学的发展与进步依赖于地质教育。地质教育必须走在行业发展的前列，这是时代的要求，也是地质教育自身发展的要求。

创立于 1952 年的中国地质大学（原北京地质学院），现已发展成为以地质、资源、环境、地质工程为主要特色，理、工、文、管、经、法等专业相结合的全国重点大学。伴随共和国发展的脚步，她已经走过了近 60 年的历程，成为我国地学人才培养的摇篮和地学研究的重要基地。她已培养了 8 万余名专业人才，他们秉承“艰苦朴素、求真务实”的校训，献身于祖国的地质事业和其他各个行业。中国地质大学（北京）坚持“特色加精品”的办学理念，正在向地球科学领域世界一流大学的目标迈进。

在进入“十二五”之际，中国地质大学（北京）制订了地质学专业系列

教材的编写计划。这一套涵盖了地质学专业 20 多门课程的系列教材，有的是在我校原有使用了多年的老教材的基础上进行修订，有的是重新编写。本套教材依据中国地质大学（北京）地质学专业“十二五”本科教学培养方案和课程建设体系，努力彰显学校多年办学实践形成的特色和优势，加强基础理论、基本知识与基本技能的培养，培养学生“品德优良、基础厚实、知识广博、专业精深”的素质。教材编写过程中参考和借鉴国内外近年来新出版的相关教材，在教材体系上力求先进，在理论知识上力求创新。参加教材编写的教师既有年愈八旬、资深望重的老教授，也有年富力强的中年骨干，还有朝气蓬勃的青年教师，体现了中国地质大学名师荟萃的学术氛围。

本套教材总计千余万字，从地质学的基础理论，到研究方法，到实际应用；从课堂理论教学，到野外实践教学，囊括了地质学专业必修的大部分课程，代表了中国地质大学成立 60 年来所取得的丰硕教学成果和部分科研成果，集中了中国地质大学老、中、青三代人的智慧。谨向参与教材编写的各位作者表示敬意。相信本套教材的出版将对中国地质大学（北京）乃至全国地质教育的发展起到积极的推动作用。

地球科学博大精深，愿新时代的青年学子热爱地质科学、热爱地质事业，努力学习，大胆探索，揭开更多的地球科学奥秘！

中国科学院院士

赵鹏大
翟裕生
莫宣春

前 言

20 世纪初, 地球科学大家庭中诞生了一个新的成员, 称为“地球化学”。历经一个世纪的发展, 在相关化学基础学科和地球科学快速发展的推动下, 作为将化学原理应用于地球科学的地球化学, 其研究领域有了深广的拓展。在 20 世纪 70~80 年代, 地球化学逐渐走向成熟, 学科的涵盖内容和理论思路发生了质的飞跃, 由单纯研究地球和地壳等自然系统中元素的分布、分配和元素的行为等, 进入到对元素迁移化学机制的探索; 从重点关注资源的勘查开发, 发展到全面对各自然系统中物质化学运动的热力学和动力学原理的分析; 地球化学的研究方法正逐渐实现由表象到本质、由唯象到唯理、从微观到宏观、从定性到定量、从静态到动力学的全面的转变。地球化学的理论体系不断完善和拓宽, 地球化学的理论和方法技术已经全面渗透到地球科学各分支学科, 成为解决地球科学重大基础理论问题, 如宇宙、太阳系和地球形成、生命起源等研究领域必不可少的生力军, 真正达到了 170 年前瑞士化学家 Schonbein 提出“地球化学”这一名称时所预言的“一定要有了地球化学, 才能有真正的地质科学”的时代。

本教材是根据中国地质大学地球化学专业建立 50 多年来的教学经验和作者们在多年教学积累的基础上编写而成的。从 20 世纪 60 年代起, 中国地质大学曹添、於崇文、张本仁、赵仑山等先后出版过五版《地球化学》教材。进入 21 世纪以来, 地球化学学科的发展更为迅速, 国外地球化学教材包括 10 年间出了两版的 Albarede《地球化学引论》和 Walther《地球化学原理》, 以及 McSween 等和 White 的地球化学专著。国内多所高校, 如中国地质大学(武汉)、南京大学、中国科学技术大学、北京大学和吉林大学等也分别出版了地球化学教材。为适应 21 世纪地球化学教学的需要, 中国地质大学(北京)地球化学教研室的教师合力编写了新版《地球化学》教材。

本教材的绪论由张本仁和赵仑山编写, 第一章、第四章第一、四节、第五章、第九章第一、二、三节由张德会编写, 第二章由赵仑山和张德会编写, 第三章、第四章第二、三节由毛世德编写, 第六章、第七章由陈岳龙编写, 第八章由杨忠芳和袁国礼编写, 第九章第四节由侯青叶编写。张德会教授阅改了全书稿, 并统编定稿。

本教材的编写历经四年多, 终于完稿。由于作者学识水平所限, 书中不免还存在差错和疏误之处, 恳切欢迎使用本教材的师生和读者批评指正。

张德会 赵仑山

2013 年 12 月

· III ·

目 录

总 序 前 言

绪 论	(1)
第一节 地球化学的基本问题和研究内容	(1)
一、地球化学学科的性质	(1)
二、地球化学的基本思想及主要研究内容	(2)
第二节 地球化学发展简史	(4)
一、地球化学开创时期	(4)
二、现代地球化学	(6)
三、地球化学基本理论框架和技术方法体系	(8)
四、我国地球化学发展概况	(8)
第三节 地球化学的认知思想和方法论	(9)
一、地球化学的基本观点和方法论	(9)
二、地球化学的研究方法	(11)
复习思考题	(13)
主要参考文献	(13)
 第一章 太阳系和地球系统化学元素的分布与分配	 (15)
第一节 太阳系的化学组成	(15)
一、太阳系的构成	(15)
二、太阳系元素的丰度	(16)
第二节 陨石的化学组成	(18)
一、陨石的分类及组成	(20)
二、球粒陨石的化学组成	(25)
第三节 行星及月球的化学组成	(30)
一、行星的化学组成	(30)
二、月球的化学组成	(34)
第四节 太阳系的元素丰度和元素起源	(40)
一、元素的宇宙地球化学分类	(40)

二、太阳系元素丰度及其变化规律	(40)
三、太阳系元素的起源	(46)
第五节 地球的结构和组成	(48)
一、地球的结构	(48)
二、地球的元素丰度	(55)
第六节 地壳的元素丰度	(58)
一、元素丰度与大陆地壳元素丰度研究的意义	(58)
二、大陆地壳化学组成的研究方法	(60)
三、大陆地壳的结构和组成	(67)
四、地壳化学成分特征、规律与克拉克值研究的地球化学意义	(72)
第七节 元素在岩石和矿物中的分配	(80)
一、元素在岩石中的分配	(80)
二、元素在岩石各组成矿物中的分配	(82)
本章小结	(83)
复习思考题	(84)
主要参考文献	(85)
 第二章 地球物质与元素的结合习性	(88)
第一节 地球物质能量系统及其形成物	(89)
一、地球物质的组成与元素的地球化学亲和性	(89)
二、地球系统的物理化学环境与形成物	(91)
第二节 原子的基本物理化学性质	(92)
一、原子外电子层结构类型	(93)
二、元素化合作用的能量参数与能量制约	(94)
三、元素的电负性	(97)
四、元素的化合方式与成键规律	(100)
五、原子的大小和离子半径	(102)
六、离子电位	(106)
七、元素的酸碱性及硬软酸碱原理	(111)
第三节 元素的地球化学亲和性	(121)
一、元素的自然共生组合规律	(121)
二、元素的地球化学亲和性	(122)
三、元素选择性结合的能量制约	(124)
四、元素的地球化学分类	(125)

第四节 类质同象与固溶作用·····	(127)
一、类质同象与固溶作用·····	(127)
二、控制类质同象置换的晶体化学因素·····	(128)
三、类质同象置换法则与规律·····	(129)
四、固溶作用热力学·····	(131)
五、类质同象和固溶作用的地球化学应用·····	(134)
第五节 过渡族元素的结合规律·····	(135)
一、晶体场理论概要·····	(135)
二、八面体择位能对过渡金属元素的控制·····	(138)
三、晶体场理论与过渡族元素地球化学·····	(139)
第六节 自然有机物质和生物圈系统元素结合特性·····	(142)
一、生物圈和生命物质的化学组成·····	(143)
二、有机化合物：碳骨架结构及其衍生作用·····	(145)
三、细胞的化学组成与生物大分子化合物·····	(149)
第七节 元素的赋存状态及研究方法·····	(153)
一、元素在地球固相中的赋存形式·····	(154)
二、元素在表生产物中的赋存形式·····	(155)
三、元素在高温流体相中的迁移形式·····	(156)
四、元素赋存形式的研究方法·····	(158)
五、元素赋存形式研究的地球化学意义·····	(159)
本章小结·····	(160)
复习思考题·····	(161)
主要参考文献·····	(162)
 第三章 地球化学热力学和地球化学动力学·····	(164)
第一节 地球化学热力学基础·····	(164)
一、热力学基本定律·····	(164)
二、热力学参数及其基本性质·····	(166)
三、化学平衡·····	(168)
四、矿物稳定性及自然过程进行方向和限度的判断·····	(173)
第二节 多组分体系的热力学·····	(175)
一、气体混合物中各组分的化学位·····	(175)
二、溶液热力学·····	(176)
三、固溶体热力学·····	(179)
四、热力学基本公式·····	(182)

第三节 相律和相图·····	(183)
一、吉布斯相律及 Clapeyron 方程·····	(183)
二、地球化学相律·····	(186)
三、矿物相平衡计算·····	(187)
四、相图的编制·····	(190)
第四节 地球化学动力学·····	(193)
一、基本概念·····	(194)
二、地球化学动力学研究步骤和方法·····	(195)
三、均相反应的速率方程·····	(196)
本章小结·····	(197)
复习思考题·····	(197)
主要参考文献·····	(198)
 第四章 元素的地球化学迁移·····	(202)
第一节 地球系统的化学作用和化学迁移·····	(202)
一、地球系统的化学作用类型·····	(202)
二、元素的地球化学迁移·····	(203)
三、元素迁移作用实例·····	(204)
四、元素迁移机制研究的层次·····	(209)
五、元素迁移的化学模型·····	(210)
第二节 水溶液中元素的迁移·····	(213)
一、水的性质和溶解作用·····	(213)
二、溶解沉淀平衡和交代作用·····	(214)
第三节 介质 pH 值与氧化还原反应对元素迁移的控制·····	(218)
一、自然水溶液 pH 值控制反应及其计算·····	(218)
二、介质 pH 值对元素迁移的控制规律·····	(221)
三、标准氧化还原电位的地球化学意义·····	(225)
四、任意态氧化还原反应与环境的氧化还原电位·····	(229)
五、岩浆体系中的氧化还原反应·····	(232)
六、氧化还原反应的地球化学意义·····	(235)
第四节 岩浆体系中元素的迁移·····	(238)
一、硅酸盐熔体的结构与岩浆的化学性质·····	(238)
二、地幔的熔融作用·····	(244)
三、分离结晶作用·····	(249)
四、部分熔融和分离结晶过程中元素的迁移·····	(251)

五、液态不混溶作用·····	(252)
六、岩浆水流体相的分离·····	(256)
七、元素在流体-熔体之间的分配·····	(265)
本章小结·····	(268)
复习思考题·····	(269)
主要参考文献·····	(269)
第五章 微量元素地球化学·····	(273)
第一节 微量元素及其分配的一般规律·····	(273)
一、微量元素概念·····	(273)
二、亨利定律和拉乌尔定律·····	(275)
三、微量元素在共存相之间的分配·····	(277)
第二节 分配系数的测定及其影响因素·····	(279)
一、分配系数的测定·····	(279)
二、分配系数的影响因素·····	(282)
三、微量元素的分类·····	(289)
第三节 岩浆作用中微量元素分配和演化的定量模型·····	(292)
一、岩浆结晶过程元素分配演化的定量模型·····	(293)
二、部分熔融过程元素分配演化的定量模型·····	(295)
三、微量元素分配演化的计算实例·····	(299)
第四节 稀土元素的地球化学行为·····	(300)
一、稀土元素的晶体化学和地球化学性质·····	(300)
二、稀土元素组成数据的表示·····	(304)
三、稀土元素组成球粒陨石标准化图解的解释·····	(309)
第五节 微量元素分配研究的地球化学意义·····	(314)
一、元素分配的定量研究及自然过程的平衡标志·····	(314)
二、微量元素地质温压计·····	(316)
三、指示地质作用的演化历史和机制·····	(319)
四、岩浆成岩过程的鉴别·····	(321)
五、在元素富集成矿研究中的意义·····	(323)
本章小结·····	(324)
复习思考题·····	(324)
主要参考文献·····	(325)

第六章 放射性同位素地球化学	(329)
第一节 放射性衰变与衰变定律	(329)
一、放射性衰变	(330)
二、放射性衰变定律	(331)
三、主要的放射性定年方法	(332)
第二节 放射性同位素分析测定技术与方法	(333)
第三节 衰变体系的封闭性与封闭温度	(335)
第四节 数据处理	(337)
第五节 Rb-Sr 法与 Sm-Nd 法定年	(338)
一、陨石	(339)
二、模式年龄	(341)
三、变质岩定年	(342)
四、Rb-Sr 沉积岩定年	(344)
第六节 K-Ar 与 Ar-Ar 定年法	(346)
一、继承氩与 K-Ar 等时线	(346)
二、氩丢失	(347)
三、 ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年	(347)
第七节 U-Th-Pb 法与普通 Pb 法	(352)
一、锆石 U-Pb 定年	(353)
二、Pb-Pb 定年	(358)
三、Pb 模式年龄	(360)
第八节 其他定年法	(361)
一、Re-Os 法	(361)
二、Lu-Hf 法	(363)
三、La-Ce、La-Ba 法	(365)
第九节 年轻地质体的定年方法	(366)
一、U 系定年	(366)
二、 ^{14}C 及其他宇宙成因核素定年法	(367)
三、裂变径迹法定年	(371)
四、热释光与光释光定年	(373)
第十节 同位素地质年代表	(377)
一、显生宙地质年代表	(377)
二、前寒武纪地质年代表	(377)
本章小结	(379)
复习思考题	(380)
主要参考文献	(382)

第七章 稳定同位素地球化学	(384)
第一节 稳定同位素组成的表示法	(384)
一、 δ 表示法	(384)
二、分馏因子	(385)
第二节 同位素分馏	(386)
一、平衡同位素分馏	(386)
二、同位素动力学分馏	(389)
三、生物系统中的同位素分馏	(391)
第三节 稳定同位素地质温度计	(392)
第四节 氢、氧同位素地球化学	(398)
一、水圈中的氢、氧同位素	(398)
二、岩石中氢、氧同位素的变异	(401)
三、岩浆结晶作用中的稳定同位素	(406)
四、分离结晶与同化混染过程	(408)
五、水-岩相互作用	(408)
六、氧同位素与古气候学	(411)
第五节 碳同位素地球化学	(411)
一、碳同位素平衡分馏	(411)
二、碳同位素的动力学分馏	(412)
三、天然物质的碳同位素组成	(412)
四、碳同位素地层学与古气候学	(415)
第六节 硫同位素地球化学	(416)
一、天然物质的硫同位素组成	(417)
二、硫同位素地层学	(420)
三、硫同位素现代环境地球化学	(420)
第七节 硅、氮、硼、锂同位素地球化学	(424)
一、硅同位素地球化学	(424)
二、氮同位素地球化学	(431)
三、硼、锂同位素地球化学	(437)
第八节 非传统稳定同位素地球化学	(439)
一、分析仪器	(439)
二、标准及结果表示法	(440)
三、天然物质中 Fe、Zn、Mg、Mo、Cu 等同位素变化范围	(441)
本章小结	(445)
复习思考题	(446)
主要参考文献	(446)

第八章 有机地球化学	(450)
第一节 自然界几种重要的有机物	(450)
一、碳水化合物.....	(450)
二、含氮有机化合物：蛋白质、核苷和核酸.....	(452)
三、脂类.....	(454)
四、木质素和单宁酸.....	(456)
五、色素.....	(457)
六、生物的平均组成.....	(458)
第二节 自然水体和土壤中的有机物	(459)
一、溶解有机物.....	(459)
二、腐殖质.....	(461)
三、土壤中的有机物.....	(463)
第三节 沉积有机质、煤和石油的形成	(465)
一、沉积有机质的形成和成岩作用.....	(465)
二、干酪根.....	(469)
三、有机质热演化和石油的形成.....	(472)
四、石油运移和次生变化.....	(474)
五、原油成分.....	(475)
六、煤的成分演化.....	(476)
七、碳氢化合物的同位素组成.....	(478)
第四节 有机污染物地球化学	(479)
一、环境有机污染物的定义.....	(479)
二、持久性有机污染物.....	(480)
三、持久性有机污染物的污染现状.....	(482)
四、持久性有机污染物的主要危害.....	(483)
五、生物有效性的评价方法.....	(484)
本章小结	(487)
复习思考题	(487)
主要参考文献	(488)
 第九章 历史地球化学	 (490)
第一节 早期地球系统	(490)
一、早期地质记录的性质.....	(490)
二、太古代地壳类型和地质记录.....	(491)

第二节 地球的分异——最初的地球系统·····	(494)
一、月球的形成·····	(494)
二、地核的形成·····	(496)
三、地球岩浆洋·····	(499)
四、硅酸盐地球的球粒陨石模式·····	(502)
五、地球的加积历史·····	(504)
第三节 大陆地壳的成因·····	(506)
一、地球是拥有大陆地壳的唯一类地行星·····	(506)
二、现代地壳的形成模式和机理·····	(507)
三、大陆地壳的长期演化·····	(512)
第四节 大气圈和水圈的演化·····	(518)
一、大气圈和水圈的成因·····	(518)
二、早期大气圈的组成·····	(520)
三、早期大洋的组成·····	(521)
四、大气圈和水圈的演化历史·····	(521)
本章小结·····	(528)
复习思考题·····	(530)
主要参考文献·····	(530)

绪 论

地球化学，就是地球的化学，英文为 Geochemistry 或 Earth Chemistry (Cobb, 2009)。从词源学上，地球化学是地质学和化学的“联姻”(White, 2013)，是使用化学的工具来解决地质学问题，即依据化学去理解地球以及地球的物质运动。

地球化学是研究地球的化学特征和自然化学作用的科学，它主要的研究内容包括地球的化学组成、化学作用和地球历史过程的化学演化。地球是宇宙天体的一员，地球化学从一开始就不把研究范围局限于地球，而是扩大到宇宙物质，如陨石、月球和太阳系行星，因此广义上讲地球化学是研究地球及其所处天体系统物质化学运动的科学。它于 20 世纪 20 年代成为一门独立的学科。经过近百年的研究积累，尤其自 20 世纪 70 年代以来的迅猛发展，地球化学已形成一套完整的学科基础理论和专门的研究方法，成为地球科学的主要支撑学科之一，与地质学、地球物理学等并列为地球科学的二级学科。

百年地球化学的迅速发展是与她从诞生以来就紧密关注人类社会和经济发展的需求密切相关。近几十年来，改善人类生存和生活环境，缓解矿物燃料和矿产资源短缺的压力及防止和减轻自然灾害等问题，成为地球科学愈来愈迫切的重大研究课题。这些问题将在很大程度上制约着人类社会的生存和发展。例如，跨入 21 世纪以来，世界各国一致认识到人类不断加剧的工农业活动强烈地干扰了地球的自然碳循环，导致全球大气升温，给人类生活和生存带来多种灾难。为了解决这些问题，要求我们更加深入地了解人类居住的地球。对地球化学来说，要加深对构成地球的物质以及在地球上所进行着的各种自然和人为过程的了解。地球化学将在解决人类当前面临的发展问题和一系列基础理论问题中发挥重大和独特的作用，并在推动人类社会发展和经济繁荣的努力中不断得到提高和完善。

第一节 地球化学的基本问题 and 研究内容

一、地球化学学科的性质

每门科学的性质都是由其所研究的物质运动的形式和特征决定的。例如，力学研究物质的力学运动，物理学研究物质的声、光、电、磁、热等物理运动，化学则专门研究物质的化学运动——各种物质的组成、结构、性质以及物质分解和化合的变化。只有从物质运动特性来认识一门科学才易于把握该科学的本质。地球化学属于地球科学，它的研究对象是地球，那么地球系统中的物质运动（包括地球各子系统物质运动）究竟属于什么样的运动？这一问题在过去由于受地质学发展和认识水平的局限，长期以来是模糊不清的，

而现在已经逐步明朗。

现今科学界的共识是地球系统的物质运动，以及太阳系的物质运动均为高级综合的物质运动，其中包含着相互作用和相互制约的力学、化学和物理学形式的运动，在地球表层系统中还有生物学形式运动的参与。例如，力学运动表现为星体的轨道运动、板块的移动、地形的隆升与拗陷、岩层的变形、海洋和大气环流等；化学运动表现为太阳星云自中心向外随温度压力变化而发生的物质化学分异，地球早期核、幔和壳分离形成过程中物质的分异；岩浆、风化、沉积和变质等作用过程中伴随着的熔融、结晶、溶解、沉淀、蒸发、凝聚、吸附、离子交换等机制所导致的原物相（矿物及岩石）的消失与新物相的形成等过程；地球中的热、电、地震波等的传导、物质密度和重力的分布、磁场的变化等则属于地球物质的物理运动；生物通过光合作用吸收大气圈中的二氧化碳同时向其中输入氧，从而促使大气圈的成分变化，则属于典型生物活动对地球产生影响的生物学形式的运动。需要特别强调的是，寓于地球物质运动中的这些不同形式的基础运动总是相互依存、相互影响和相互制约的，有着不可割裂的联系。例如，俯冲作用可将俯冲板片具有表生自然化合物组合的岩石带入地壳深部（力学运动），使岩石所处环境的温度和压力增高（物理场的变化），而导致原始岩石矿物组合的失稳消失和新矿物组合的形成（变质作用），并伴有化学元素的重组合和再分配（化学运动）。

既然地球物质运动和地质运动本身均始终包含着相互联系的不同形式的基础运动，为了更全面地认识地球形成和演化等地质问题，就特别强调要从力学、物理学、化学和生物学等角度进行综合研究，即多学科的综合研究。另一方面，为了更深入地了解寓于地球物质运动中的力学、化学、物理学、生物学形式的运动及其规律，以便能在更深层次上进行综合，在地球科学中，除了主要由宏观地质体在时间和空间上的相互关系探讨固体地球发展动力学的地质学外，地球科学还必须要有研究海洋和大气动力学的学科——海洋动力学和大气动力学，研究地球系统物质物理运动的学科——地球物理学，以及研究地球系统物质化学运动的学科——地球化学。针对研究寓于地球物质运动中的生物学运动，形成了古生物学及生物地球化学，该分支学科通过研究煤田、石油、天然气成藏的形成，以及金属矿床学的生物成矿作用，揭示生物学运动在地球物质演化中的重大意义。

二、地球化学的基本思想及主要研究内容

自然科学的学科发展都会受到所处时代科学和技术总体水平的制约及社会需求的推动，因而在其发展的不同阶段，每门学科的主导思想、主要任务、研究内容和范围，甚至定义不是一成不变的。可以根据不同发展阶段地球化学家给出的地球化学定义，或关于地球化学主题和任务的表述，来把握地球化学的基本学术思想、研究内容、范围和任务及其发展趋势。

地球化学奠基人之一，苏联维尔纳斯基（В. И. Вернадский）于1922年给出的地球化学学定义为：“地球化学科学地研究地壳中的化学元素，即地壳的原子，在可能范围内也研究整个地球的原子。地球化学研究原子的历史，它们在空间和时间上的分配和运动，以及它们在地球上的成因”。同期该学派另一代表人物费尔斯曼（А. Е. Ферсман）提出了类似