

地球化学

(修订本)

南京大学地质学系 编

科学出版社

06/8 P59/13

地 球 化 学

(修订本)

南京大学地质学系 编

科 学 出 版 社

1979

内 容 简 介

本书是一部地球化学方面的基础理论著作。主要内容是：反映近年来本学科国内研究的最新成就，适当地吸取了国外有关地球化学研究的最新资料。

全书除绪论外，共分十七章，大体可分为三个组成部分。第一部分阐述了地球化学基本理论。其中包括地球化学研究任务、发展简史和现状以及太阳系和地球的构造及组成；地球各层圈的组成；晶体化学和热力学基本原理；元素的分布和迁移富集的规律。第二部分详细地论述了各种地质作用过程中的地球化学问题。结合当前寻找富铁、富铜及稀缺矿种的任务，着重讨论了铁、铜等元素在地质作用中的地球化学迁移、富集规律及成因问题；并增加了火山作用的地球化学内容。第三部分介绍了现代地球化学迅速发展的某些新领域、新分支。除热力学、有机地球化学等在有关章节作了阐述外，还着重介绍了同位素地质年代学、稳定同位素地球化学、实验地球化学、应用地球化学和数理统计在地球化学研究中的应用等方面的最新成果。

本书适用于地质部门生产、教学、科研人员参考。

地 球 化 学

(修订本)

南京大学地质学系·编

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1979 年 10 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

1979 年 10 月第一次印刷 印张：32 3/4

精 1—7,630 插页：精 2

印数：平 1—9,400 字数：762,000

统一书号：13031·1000

本社书号：1413·13—14

定 价：精装本 4.10 元
平装本 3.30 元

再 版 序 言

为了推动我国地球化学的发展和普及地球化学基础理论知识的需要,我系曾在1961年编写出版了“地球化学”一书,至1965年重印七次,广为使用参考。时隔十余年来,由于学科的迅速发展,尤其我国地球化学在生产实践和理论研究方面所取得的成就,原书的许多内容已不能反映近代科学发展的新水平。为适应祖国社会主义革命和建设事业飞跃发展的新形势,满足生产、科研和教学单位的迫切需要,我们曾于1973年即对原书进行了修订,并于1975年上半年以油印本印出发送有关单位征求意见,准备正式再版,使之能在赶超世界先进科学水平、实现祖国四个现代化的伟大任务中,发挥它应有的作用。

修订过程中,我们曾征求了许多单位的意见,特别是武汉、长沙、桂林、贵阳等地的许多兄弟单位,在百忙中同我们进行了座谈讨论,提出了很多宝贵的修改意见,对本书的修订给予了热情的帮助和支持,在此我们谨表示衷心的感谢。我们在编写过程中,始终都受到党组织和校系领导的关怀,徐克勤、张祖还教授给予很多鼓励和指导,王德滋教授热情指导本书某些章节的编写和审阅文稿,书中全部图件承徐富林同志清绘,教研室曹励明、周亚东等许多同志参加讨论和协助誊写,一并在此致谢。

本书是集体劳动的成果,在共同讨论和原油印本基础上,各章编写人员分工情况如下:绪论和第一章由刘英俊编写;第二章和第三章由储同庆编写;第四章由李兆麟编写;第五章由李兆麟、王鹤年编写;第六章由李兆麟编写;第七章由王鹤年编写;第八章由孙承轅编写;第九章和第十章由王鹤年编写;第十一章和第十二章由储同庆编写;第十三章由张景荣编写;第十四章由潘恩沛编写;第十五章由李兆麟编写;第十六章由张景荣编写;第十七章由邱德同、时增金编写。施央申和高明同志曾参加1975年油印稿第一章和第二章的编写。全部初稿编写完成之后,由刘英俊、王鹤年负责统一阅改和整理。

由于我们编写人员政治思想和业务水平有限,理论基础不够,掌握资料不全,缺点错误在所难免,不当之处敬希批评指正,以便将来修订时参照改正。

南京大学地质系地球化学教研室

1977年6月于南京

目 录

再版序言	(i)
绪论	(1)
一、地球化学的定义和任务	(1)
二、地球化学的研究方法	(4)
(一) 获得地球化学实际资料的方法	(4)
(二) 实际资料的地球化学分析方法	(6)
三、地球化学与其它科学的关系	(7)
四、地球化学的发展简史	(9)
(一) 国外地球化学发展概况	(10)
(二) 地球化学在我国的发展	(12)
五、地球化学的研究现状和发展方向	(13)
第一章 太阳系和地球的构造及组成	(18)
一、太阳系的组成	(19)
(一) 太阳的组成	(20)
(二) 太阳系元素的起源	(21)
(三) 行星的组成	(22)
(四) 形成行星的物质来源	(24)
(五) 元素在宇宙中的丰度	(24)
二、月球的组成	(26)
(一) 月球的基本参数及一般特征	(26)
(二) 月球的主要岩石类型及化学成分	(27)
(三) 月球物质的演化	(28)
(四) 月球研究成果的若干启示	(31)
三、陨石的化学成分及其分类	(32)
(一) 陨石的类型	(33)
(二) 陨石的平均化学成分	(35)
(三) 陨石的演化历史	(37)
(四) 我国陨石学研究的新发展	(37)
四、地球的内部构造及组成	(41)
(一) 地球内部的主要分层	(41)
(二) 地球内部的若干地球化学特征	(46)
五、地球的化学元素丰度及物质演化	(48)
第二章 大气圈、水圈和生物圈的组成及其地球化学作用	(52)
一、大气圈的组成及其地球化学作用	(52)
(一) 大气圈的构造	(52)
(二) 大气圈的成分	(53)
(三) 大气圈中主要气体的形成历史	(54)

(四) 大气圈中气体的平衡及主要气体的循环	(55)
(五) 研究大气圈的地球化学意义	(58)
二、水圈的组成及其地球化学作用	(59)
(一) 海水的成分	(59)
(二) 陆地水的组成	(63)
(三) 地下水	(65)
(四) 重水	(67)
(五) 研究水圈的地球化学意义	(67)
三、生物圈的组成及生物地球化学作用	(68)
(一) 生物圈的质量	(68)
(二) 生物圈有机体的组成	(69)
(三) 生物地球化学作用	(71)
四、大气圈、水圈及生物圈的演化	(75)
第三章 地壳中化学元素及其同位素的分布	(78)
一、地壳中化学元素的分布	(78)
(一) 分布与分配的概念	(78)
(二) 克拉克值与丰度及其研究意义	(78)
(三) 地壳中化学元素和同位素的分布量	(79)
(四) 地壳中元素的同位素的分布量	(84)
二、地壳中化学元素及同位素分布的若干规律	(86)
三、各类岩石中化学元素的平均含量	(90)
四、地壳中化学元素的分布在空间上及时间上的不均匀性	(90)
第四章 原子的构造及元素地球化学分类	(102)
一、原子的构造及其地球化学意义	(102)
(一) 原子的电子层结构	(102)
(二) 电离和电价	(112)
(三) 电离能(电离势)	(113)
(四) 负电性	(114)
(五) 离子电位	(117)
二、化学元素的地球化学分类	(120)
三、化学元素的发现及新元素的探索	(125)
(一) 新元素发现的意义及其探索途径	(125)
(二) 找寻新元素的现状和方向	(128)
第五章 晶体化学基本原理	(131)
一、原子和离子半径	(131)
二、配位数	(137)
三、极化现象	(139)
四、晶体中键的类型	(143)
五、晶体场理论	(145)
(一) 晶体场理论概要	(145)
(二) 晶体场理论在解释过渡元素晶体化学-地球化学的某些问题上的应用	(149)
六、晶格能及晶体化学第二定律	(152)

七、类质同象	(157)
(一) 决定类质同象的基本因素	(157)
(二) 类质同象类型及其规律	(160)
(三) 类质同象的分解——出熔现象	(164)
(四) 类质同象的研究方法	(164)
第六章 热力学基本原理	(168)
一、理想气体和理想溶液	(168)
二、化学平衡和平衡常数	(169)
三、逸度和活度	(170)
四、热力学第一定律	(175)
五、内能	(176)
六、热函(焓)	(177)
七、热容	(182)
八、熵	(185)
九、热力学第二定律	(187)
十、自由能	(188)
第七章 元素的迁移	(197)
一、元素迁移的一般概念	(197)
二、影响元素迁移的内在因素	(197)
三、影响元素迁移的外在因素	(200)
四、元素迁移的形式	(211)
第八章 岩浆作用和伟晶作用的地球化学	(218)
一、关于岩浆的起源问题	(218)
二、岩浆熔融体中元素存在的形式	(221)
三、岩浆演化过程中元素的活动规律	(222)
(一) 主要元素的地球化学行为	(223)
(二) 微量元素的地球化学行为	(227)
(三) 元素比值的变化	(229)
四、超基性和基性岩的地球化学特征	(232)
(一) 概述	(232)
(二) 超基性、基性岩中某些成矿元素的地球化学行为	(233)
五、中性岩的地球化学特征	(236)
(一) 矿物成分上的特征	(236)
(二) 化学成分上的特征	(237)
(三) 含矿中性侵入岩体的主要特征	(237)
六、花岗岩类的地球化学特征	(238)
(一) 概述	(238)
(二) 不同成因花岗岩的地球化学特点	(239)
(三) 华南不同时代花岗岩的地球化学演化	(239)
(四) 含矿花岗岩体的主要特征	(242)
(五) 花岗岩中某些成矿元素的分布特征	(243)
七、碱性岩的地球化学特征	(245)

八、伟晶岩的地球化学特征	(246)
(一) 花岗伟晶岩的地球化学特征	(247)
(二) 霞石正长伟晶岩的地球化学特征	(251)
第九章 火山作用的地球化学	(253)
一、火山作用的一般地球化学特点	(253)
二、不同地质构造环境及海相、陆相火山作用的地球化学特点	(255)
(一) 不同地质构造环境火山作用的地球化学	(255)
(二) 各类火山建造的地球化学特点	(259)
(三) 陆相、海相火山作用的地质-地球化学特征	(260)
三、火山-岩浆作用的地球化学	(260)
四、火山-热液作用的地球化学	(268)
五、火山-沉积作用的地球化学	(272)
六、我国火山作用地球化学研究实例——长江中下游某地区火山岩及玢岩铁矿	(277)
(一) 长江中下游某地区火山作用的地球化学	(277)
(二) 玢岩铁矿及其地球化学	(278)
七、火山岩地球化学研究的取样方法和资料的整理应用	(281)
(一) 火山岩的地球化学取样方法	(281)
(二) 火山岩地球化学资料的整理和应用	(282)
第十章 热液作用的地球化学	(284)
一、热液成因以及成矿物质的来源	(284)
(一) 热液的种类及成因	(284)
(二) 热液中成矿物质的来源	(284)
二、热液中金属元素的迁移形式	(286)
三、热液作用过程成矿元素的沉淀原因和方式	(289)
四、热液作用过程中的化学动态	(291)
(一) 地壳中氧的性状及其对热液成矿作用的影响	(291)
(二) 硫在热液沉淀中的动态	(293)
(三) 关于二氧化碳在热水溶液中的动态	(295)
五、围岩蚀变的地球化学	(296)
(一) 围岩蚀变的类型	(297)
(二) 围岩蚀变过程中化学反应类型	(298)
(三) 围岩蚀变过程中元素的活化转移	(299)
(四) 围岩蚀变的交代分带	(300)
(五) 研究围岩蚀变的意义及研究方法	(302)
六、与含矿花岗岩有关的气成-高温热液蚀变的地球化学	(303)
七、含矿火山岩、次火山岩中近矿围岩蚀变的地球化学	(306)
八、矽卡岩化及其成矿作用的地球化学	(309)
第十一章 风化作用的地球化学	(316)
一、影响风化作用的因素	(317)
二、风化作用过程中化学元素的分异	(323)
三、风化壳的地球化学	(325)
(一) 风化壳形成的地球化学阶段性及风化壳剖面的分带性	(325)

(二) 风化壳的地球化学类型	(327)
(三) 超基性岩风化壳的地球化学	(329)
(四) 花岗岩风化壳的地球化学	(331)
(五) 前寒武纪含铁石英岩风化壳的地球化学	(332)
四、硫化物矿床氧化带的地球化学	(335)
(一) 硫化物矿床氧化的一般地球化学特征	(335)
(二) 硫化物矿床氧化带的地球化学演化	(336)
第十二章 沉积作用的地球化学	(339)
一、物质的搬运、沉积机制及沉积分异作用	(339)
二、前寒武纪铁质石英岩沉积过程中铁的地球化学行为	(341)
三、成岩过程中元素的再分配	(343)
四、沉积岩中微量元素的分布规律	(345)
(一) 沉积岩中微量元素的分布	(345)
(二) 沉积岩中微量元素的组合	(349)
五、地球沉积壳中岩石成分的地球化学演化	(350)
六、地球化学相及确定沉积作用氧化还原环境的标志	(355)
(一) 地球化学相	(355)
(二) 沉积作用氧化还原环境的标志	(356)
七、判别海陆相地层的地球化学标志	(357)
(一) 海陆相地层的微量元素标志	(357)
(二) 同位素方法	(358)
(三) 有机质的标志	(359)
八、有机地球化学	(359)
(一) 地质体中有机化合物的主要类型	(359)
(二) 有机地球化学在石油地质上的应用	(361)
(三) 有机地球化学在沉积成矿中的应用	(362)
(四) 作为地球化学环境指标的有机化合物	(363)
(五) 利用氨基酸测定地质年龄	(363)
(六) 有机地球化学的研究有助于生命起源与演化问题的解决	(364)
第十三章 变质作用的地球化学	(365)
一、影响区域变质作用的因素	(365)
二、变质相和变质相系	(369)
三、变质交代作用中元素活动的一般规律	(370)
四、混合岩化、花岗岩化作用的地球化学特征	(373)
五、变质岩恢复原岩的岩石化学及地球化学方法	(379)
六、变质成矿作用的地球化学	(386)
(一) 变质成矿作用过程中元素活动的一般规律	(386)
(二) 变质成矿作用中铁的地球化学	(388)
附记: 关于地质叠加与再造作用	(391)
第十四章 同位素地球化学	(393)
一、自然界同位素及其丰度变化的原因	(393)
(一) 放射性同位素及其蜕变规律	(393)

(二) 天然核反应与宇宙射线	(396)
(三) 同位素的分馏	(399)
二、放射性地质年代学与放射成因同位素地球化学	(402)
(一) 钾-氩法	(403)
(二) 铷-锶法	(406)
(三) 铀-钍-铅法	(412)
(四) 年青样品的放射年龄测定方法	(419)
(五) 地质年表	(420)
三、稳定同位素地球化学	(422)
(一) 碳同位素地球化学	(422)
(二) 氧同位素地球化学	(424)
(三) 硫同位素地球化学	(426)
四、同位素地质温度计	(429)
第十五章 实验地球化学	(432)
一、成岩作用的地球化学模拟实验	(433)
(一) 几种常用实验设备	(433)
(二) 花岗岩类形成机理及地球化学模拟实验研究	(435)
二、内生成矿作用的地球化学模拟实验	(438)
(一) 铌、钽成矿作用的地球化学模拟实验	(438)
(二) 铁的成矿作用模拟实验	(440)
三、淋滤交代蚀变作用地球化学模拟实验	(443)
四、外生成矿作用的地球化学模拟实验	(445)
五、矿物中包裹体的地球化学系统研究	(446)
(一) 包裹体类型的划分与成岩、成矿关系	(446)
(二) 利用气-液相包裹体进行成岩、成矿温度测定	(451)
(三) 包裹体中固体矿物及气-液体成矿介质化学成分测定	(455)
第十六章 应用地球化学	(466)
一、地球化学在找矿勘探上的应用	(466)
(一) 几种常用的地球化学找矿方法简介	(467)
(二) 同位素在地球化学探矿上的应用	(471)
(三) 遥测技术在化探上的应用	(471)
(四) 海洋地球化学探矿	(472)
(五) 矿物中包裹体测温找矿方法	(472)
二、地球化学在矿产资源综合利用方面的应用	(473)
三、环境地球化学在工农业和保健事业中的应用	(477)
(一) 地质环境与生物体的关系	(478)
(二) 环境地球化学与环境保护	(480)
(三) 环境地球化学在医疗保健上的应用	(482)
(四) 环境地球化学在农牧业上的应用	(485)
第十七章 数理统计在地球化学研究中的应用	(487)
一、地球化学实测数据的特征数	(488)
(一) 实测数据的属性	(488)

(二) 平均数的计算方法	(488)
(三) 标准离差(方根差)的求法	(490)
(四) 异常下限的求法	(490)
(五) 数据的分组	(490)
二、元素在地质体中的概率分布形态	(492)
(一) 正态分布	(492)
(二) 用正态概率格纸确定平均值、标准离差和异常下限	(493)
(三) 用正态概率格纸作图法进行多个地质体的分解	(494)
三、数据质量的检验	(496)
(一) 数据可利用程度的简单估计	(496)
(二) 用相对误差评价分析质量	(496)
(三) 质量检验的方差分析方法	(497)
四、一种处理数据的方法——滑动平均分析	(499)
五、趋势分析	(500)
六、判别分析	(502)
七、点群分析	(505)
参考文献	(508)

绪 论

一、地球化学的定义和任务

自然界是由物质构成的。物质和运动是不可分离的,一切物质都在不停地运动和变化着。“运动是物质的存在方式。无论何时何地,都没有也不可能有没有运动的物质”。(恩格斯《反杜林论》,马克思恩格斯选集第三卷98页)。物质的运动形式是多样的,有物理运动、化学运动以及更高级复杂的生命运动等形式。毛泽东同志说:“人的认识物质,就是认识物质的运动形式,……”。(《矛盾论》,毛泽东选集合订本 283 页)。我们研究自然科学,就是研究物质的运动形式;各门科学就是以不同的物质运动形式作为自己研究对象的。只有从自然界物质的运动或变化中去认识它,才能对它获得更深刻的了解,达到改造自然界的目。

地球化学从其命名本身来看,乃是研究地球中物质的化学运动形式的科学。也就是研究地球中一切地球化学现象和本质。当地球化学成为一门独立的地质科学以后,各个研究者都曾根据自己的科学观点,对这门科学下过不下一、二十种各自不同的定义。现仅列举几个具有一定代表性和通常认为比较经典性的定义如下:

B. И. 维尔纳茨基的定义:“地球化学科学地研究化学元素,即研究地壳的原子,在可能范围内也研究整个地球的原子。它研究原子的历史、原子在空间及时间上分配与运动的情形,以及它们在地球上的相互成因关系”^[78]。

A. E. 费尔斯曼的定义与上述定义非常接近:“地球化学研究地壳中化学元素——原子的历史,及其在自然界的各种不同的热力学与物理化学条件下的行为”。“地球化学的目的在于研究地壳以及能直接观察到的宇宙条件下的化学元素——原子。地球化学研究: 1) 化学元素在地壳中的定量分配及其分散与局部富集; 2) 地壳各部分中不同元素的组合以及各种化学作用的影响下化学元素在空间和时间上的分配; 3) 化学元素的迁移以及为迁移环境的各种热力学条件所决定的迁移规律; 4) 化学元素在地壳环境中的行为或者呈化合物特别是呈晶体时的行为”^[249]。

V. M. 戈尔德施密特的定义:“地球化学是根据原子和离子的性质,研究化学元素在矿物、矿石、岩石、土壤、水及大气圈中的分布和含量以及这些元素在自然界中的迁移”^[6]。地球化学的主要目的,一方面是要定量地确定地球及其各部分的成分,另一方面是要发现控制各种元素分配的规律”^[1]。

此外,1969年由 K. H. 魏德普尔主编的《地球化学手册》中归结为“地球化学是研究整个地球中化学元素及其同位素分布的规律性”^[146]。1972年, B. B. 谢尔宾纳在其《地球化学基础》一书中写道:“地球化学——研究地壳的化学作用的科学——化学元素的迁移,它们的集中和分散,地球及其层圈的化学成分、分布、分配和化学元素在地壳中的结合”^[260]。其它还可以举出一些^[72,79,110,147]。

对地球化学所下的不同定义,实际上决定于不同的社会条件和科学发展水平。由于

地球化学是一门比较年轻的科学,目前正处在飞跃发展的阶段,因此,它的定义和范围暂时尚难作最后的确定,这是因为许多新问题不断地被解决,同时又不断地出现新问题,其定义也必然会相应地改变而日臻完善。

虽然地球化学的任务一般说来是研究地球上原子的行为,但现在多半只是研究直接所能够达到的地壳的上部。近年来由于地球物理学的发展,现在已能尝试提供地球内部层圈化学元素的分布和分配情况。另一方面,由于天体物理学和宇宙化学取得一系列新的成就,从而使地球化学远远超出了地球的范围,而把它与地球有成因关系的陨石、行星、太阳和其它星球也列入了研究范围,因此地球化学乃是寻求地球上以及宇宙间原子的分布及其运动的一般规律性。从这一意义上说,可以把地球化学看为宇宙化学的一个部分。

尽管现代地球化学的研究范围尚在不断扩大,但目前我们仍可以认为,地球化学主要是研究地壳(尽可能整个地球)中的化学成分和化学元素及其同位素在地壳(地球)中的分布、分配、共生组合、集中分散及迁移循环规律、运动形式和全部运动历史的科学。也就是研究地壳(地球)中物质的化学运动和变化过程的科学。它是地质学和化学互相融合的一门独立的边缘科学。

从定义上可以清楚地看出,地球化学的研究对象是地球各层圈特别是地壳中的包括迄今为止周期表上所列的 105 种化学元素和天然产出的大约 330 多种稳定的或非稳定的同位素。在现在已发现的 105 种化学元素中,天然元素只有 92 种,由于钨和钼两元素没有稳定同位素,因此自然界实际上只存在有 90 种化学元素*。它们呈原子、离子、络离子、分子等各种形态运动着,运动形式是以化学运动为主,而与其它运动互相联系和互相转变。

由于地球上一切物质都在不断发展和变化,所以在研究地壳(地球)中原子的性状时,必须与其所处的环境联系起来,不但研究元素现阶段的情况,而且还要研究它的过去和将来。也就是说,原子有它的历史发展过程,它们是随着时间的进展和环境的改变而变化的。研究原子的性状而脱离它们所处的具体的热力学和物理化学环境,是不可能得出正确的认识的。

现代地球化学和三、四十年前有着很大的不同,即地球化学研究地质现象和地质作用,不仅用化学解释了它们在何处和如何发生的问题,而且还有它们为什么发生的问题;不仅从元素——原子的角度出发,而且还要从原子核的角度出发。现代地球化学已经确定:自然界中元素及其同位素的分布量是取决于原子核的构造,而元素在地壳中的集中和分散主要是与原子核外电子层构造有密切的关系。

目前,地球化学已经成为现代地质学最主要的生长点之一,成为研究地球科学的重要组成部分。由于地球化学尚在不断向前发展,现仅就地球化学定义本身,提出地球化学的基本任务如下:

(1) 研究地球各层圈内,尤其是在地壳中以及各种岩石、矿石和矿物中各种化学元素及其同位素的含量分布和分配,阐明决定元素(同位素)不同分布的原因和支配法则。

(2) 研究化学元素(同位素)在地壳的不同地区和不同地质作用条件下迁移演化和集

* 据报道曾在非洲铀矿中发现过痕迹量天然的第 93 号元素镎,但现在人们一般只提天然元素为 90 种。

中分散、共生组合的规律,揭明矿物、岩石、矿床的成因和形成条件,总结地球化学找矿前提和标志。

(3) 研究各别元素的地球化学,包括元素的性质、分析测定方法、自然界中的同位素、宇宙体、地球、地壳中的分布量和各种矿物岩石中的含量分配、各种地质成矿作用中的迁移演化历史、共生组合特点和集中分散规律等。

(4) 地球化学各种基础理论的研究,包括化学元素(同位素)的起源与衰亡过程、新元素(同位素)的发现探索、地球化学作用的能量分析和模拟实验,以及化学元素的迁移、分配与集中分散的机理等。

从以上所述,我们可以明显地看出地球化学和其它自然科学一样,都是以我们周围的物质世界的客观属性为研究对象。它研究组成地球物质最普遍的化学运动形式及它们之间的互相转换。由于地球化学所研究的物质化学运动和它们的规律所具有的很大普遍性,使地球化学成为其它地质科学的基础。如果没有一定的地球化学知识,就不能顺利地研究和了解地球到处可见的各种化学现象,特别是化学元素在地壳中分布不均匀、造成集中和分散的原因。从而不能对成矿作用有本质的认识,而直接影响找矿的效果。

毛泽东同志:“马克思主义的哲学认为十分重要的问题,不在于懂得了客观世界的规律性,因而能够解释世界,而在于拿了这种对于客观规律性的认识去能动地改造世界”。(《实践论》,毛泽东选集订本 268 页)。我们学习自然科学,学习地球化学的一些基本知识,目的在于了解自然、利用自然、改造自然,把握住自然规律来更好地为社会主义革命和社会主义建设服务。

地球化学的使命,除了要解决那些过去没有解决的以及到目前为止还未为其它科学所解决的许多理论问题(诸如宇宙、地圈的起源和演化、古地理古气候的变迁、地球能量的循环、岩石矿床争辩不明的成因、许多基础地质中的疑难问题等)之外,其主要目的乃是揭露那些支配着各种原子在地壳(地球)的各种条件下的分散和集中的基本规律,来为人类社会服务。在区域成矿预测、找矿勘探、矿石综合利用、农业和环境保护等方面,地球化学都有着特殊重要的实际意义。

地球化学研究区域克拉克值,化学元素在区域中的集中分散,它们在各种地质体中的分布、分配,利用微量元素研究岩浆岩的成矿专属性,研究接触带和蚀变带元素的带进带出,划出地球化学成矿区,进行区域地球化学找矿预测,可以缩小找矿范围,减少找矿盲目性,增加普查找矿的自觉性。

在目前找矿勘探工作中,地球化学探矿已成为综合找矿勘探的重要组成部分,它可以有效地找寻有色、稀有、放射性和石油等多种矿床,特别是利用元素分散晕方法找盲矿、找富矿,更具有愈来愈大的重要性。化探方法找铁矿,现在也在进行实验和推广。当前化探可以划分为地球化学土壤测量、岩石化学测量、水系沉积物测量、水化学测量、植物测量、气体测量以及同位素化探等多种方法,现正得到进一步发展和广泛应用。

在矿床综合评价和矿石综合利用方面,地球化学也起着十分重要的作用。研究矿石中含有的元素种类、化学元素的共生组合、微量元素的地球化学特征、元素的存在形式、富集的原因等,对于发现新种矿石类型,综合利用可能利用的元素和除去有害成分,拟订选矿与加工方案和设计,有着很大意义。

研究微量元素在土壤中、水中、植物中含量之不足或过剩,对农作物和畜牧业有重要

意义。现在已知约三十种元素的不正常含量会引起植物或动物发生疾病。近些年来所进行的生物地球化学省的研究,对于利用许多微量元素,对于农业实践中的理论基础,开辟了应用微量元素肥料来提高农作物收成的很大远景。

还须强调的是,近年来世界各国都在注视着环境污染和环境保护问题。地球化学在环境污染的调查和环境质量评价研究工作中起着非常重要的作用。研究各种污染元素在地壳上迁移、集中的变化规律,可为判断污染提供依据,为消除污染寻找新途径。

总之,地球化学在国民经济很多部门都有很大的需要和应用的远景,为了使其在我国社会主义革命和建设发挥更大的作用,摆在现代地球化学的面前,有着一系列急待发展的任务,须进一步扩大和加强对其各个领域中的研究工作。

二、地球化学的研究方法

除了学习地球化学中所阐述的各种基础理论问题外,学习地球化学的研究方法,研究这些理论和各种规律怎样被发现,和对于物质世界的认识怎样逐步深入,也是有很大意义的。

地球化学为了解决自己的问题而采用各种不同的方法。由于地球化学过程本身就是各种元素在不同条件下矛盾斗争发展的历史过程,因此首先从方法论上必须是辩证唯物主义的和历史唯物主义的;研究方法必须自始至终贯彻对立统一,质量互变,时空运动,内因、外因和二次飞跃等观点,从实际事实出发进行具体分析。同时由于很多地球化学作用过程难以直接观察到,而只能见到各种作用阶段的元素活动迁移留下的历史痕迹,各种地球化学现象和异常,因此,要求透过现象,抓住本质,对比差异,发现矛盾,从不同地质体中元素的质量变化,来把握元素进出和迁移集散的规律。

在具体方法上,除了借用已有地质、矿物研究方法外,地球化学特别必须用现代化学、物理学、物理化学和原子核物理学等基础科学的理论、观点和方法来研究元素活动的历史和地质作用过程。可见地球化学乃系采用综合性的研究方法,按这些方法的性质可以归纳为两大类:1)获得地球化学实际资料的方法;2)实际资料的地球化学分析方法^[72]。

实际资料的获得,是地球化学研究方法的基础。有了足够丰富的观察、实验的实际资料,经过整理分析而可得出反映某些客观规律性的理论知识。从观察、实验到规律、理论,地球化学的研究还没有完结。认识从实践开始,经过实践得到了理论的认识,还须回到实践中去。一个能够正确反映客观实际的理论,不仅能够解释已知现象,而且还能够预测未知现象,指导进一步新的实践,推断出尚未发现的新的自然规律。如果理论总结的结果,得到了新的实践的验证,就更加丰富了理论的内容。所以地球化学的研究如同一切科学的研究一样,是理论和实践的统一,实践具有决定的作用,理论具有指导的作用。在理论和实践的相互影响、相互提高中,地球化学逐步地达到完善的程度。

(一) 获得地球化学实际资料的方法

1. 地质法 由于地球化学的任务现在还多半是研究直接观察所能够达到的地壳的上部中原子的行为,因此,这就不能脱离多数地质科学所用的寻常的地质方法,亦即系

统全面的野外地质地球化学观察,地质编录制图和合理采取样品,确切了解研究对象的地质位置及其特征,并通过岩石、矿石和矿物的专门研究,查明它们的矿物共生组合、生成的先后次序、原生和次生变化现象等,这些都是以后地球化学研究工作的前提,即进一步研究任何地质形成物形成时的物理化学环境、介质成分和元素的共生关系、集中分散、分布特征、存在形式等所不可缺少的基础资料。所以决不能把地球化学研究只是理解为室内的实验分析,或者忽视通常的深入地质研究,这样将很难或者直接影响得出符合客观实际的正确结论。

应强调指出的,对地球化学研究来说,取样方法的选择,也显得很重要。特别是由于许多稀有微量元素在岩石和矿物中的含量一般很低微,因此在取样、样品处理和实验室工作中所造成的错误,都会使我们对所研究的地质体或个别元素所得到的地球化学规律性认识不正确,直至影响矿床的评价。所以在取样的严格性和代表性以及样品加工处理的严肃性等方面,地球化学研究远较岩石、矿床和矿物的研究为突出,这点应引起我们特别的注意。

2. 实验法 在地球化学研究过程中,除合理的取样和与取样相应的岩矿鉴定及地质研究外,运用化学和物理学中一些重要的研究方法进行实验工作,是极其关键的一个环节。没有灵敏精确和有效的分析实验方法,就不能保证地球化学研究工作获得成功。

在实验法中可以分为物质组分的化学分析、仪器分析和地球化学作用过程的模拟实验两个部分。

应用于地球化学研究的现代物质成分分析的具体方法,主要包括化学分析(常量及微量、超微量分析)、光谱分析、伦琴光谱分析、原子吸收光谱分析、极谱分析、火焰光度分析、放射性测量、活化分析、质谱分析、激光光谱、电子探针和离子探针及共振波谱分析等。通过精密灵敏的各种化学分析和仪器分析手段,取得元素在各种地质体中的含量数值,乃是研究地球化学的基本依据。地球化学在分析方法上力求灵敏、精确、全面,而且还要求快速性和现场性。由于地球化学不仅研究元素的集中,而且也同时研究元素的分散,因此,要进行微量、超微量的分析。通常岩矿分析达到 0.01% 的含量即可满意,而地球化学研究,有时即使精确度达到 0.0001% (即 1 ppm) 还不能满足,而要求分析到 $10^{-7}\%$ (又称 ppb) 或更低。

不断研究和改进元素(同位素)的分析测定方法,将可发现以前研究得很差的化学元素及其同位素在地壳中分布的规律性,最新和最有效分析方法的广泛应用,将导致在地球化学研究中得到新的巨大的科学和实践上的重要成果。

在现代地球化学研究的实验方法中,除了物理及化学分析实验之外,还有很重要的新近才开始并愈来愈迅速发展的另一方面工作,即地球化学作用过程的人工模拟实验。它是了解地球化学作用过程的物理化学条件和化学机理,检验假说正确程度的重要途径。通过可能的给定条件进行的地球化学作用过程的模拟、重演再造的实验,验证推论从而得出新的启示。虽然在实验室中创造出的条件和自然界相比是大大简化了的,然而这却是揭露自然界秘密的有力工具。在这方面有进行高温高压和常温常压等各种专门方法,有关这些方法的原理、设备和取得的成果资料,将在后面专门章节中详加阐述。

(二) 实际资料的地球化学分析方法

在综合分析研究实际资料 and 自然现象中用专门的地球化学的处理方法, 可以称为地球化学分析法。即以上述的野外、室内所获得的大量可靠而有代表性的实际资料为基础, 运用地球化学特有的理论及图解分析等方法来总结各种规律性。

一般的地球化学分析方法有以下几种:

1. 化学元素周期表法 这种分析方法是以元素在地壳中的活动取决于原子构造的基本地球化学规律为出发点的, 利用周期表上的相应位置, 找寻各元素在各种自然作用过程中彼此间的各种关系, 特别是共生关系。这种方法能够使我们作出化学元素以及不同地区中它们组合的规律, 特别是根据一地区或一作用过程中已定出的所有元素, 以周期律的理论为指导, 可以预测该地区或该作用过程中可能存在的其它元素。

2. 地球化学图解法 这种方法是用各种图解来表示各地质成矿作用阶段, 不同时间空间的物理化学条件变化和元素含量及共生组合的改变, 从而分析化学元素的迁移演化规律。它很大的特点是能一目了然地反映出元素在各种自然作用中的演化进程和分散富集的规律性, 故常为大家在实际资料的综合整理中所运用。

3. 地球化学制图法 这种方法在进行地球化学测量时得到普遍应用。根据在基岩或疏松沉积物中系统地采取样品, 将其分析结果在地形和地质的底图上, 用相应的线条把每一个元素的浓度相同的点适当地连接起来, 绘成元素含量的等值线图。一方面是表示某一元素集中和分散的地点, 另一方面表示元素之间的彼此关系, 在决定了各该地区的元素背景值以后, 圈出元素的地球化学异常地带。

此外, 还有一系列地球化学制图法, 如地球化学地层柱状剖面图(可对地层特别是䟽地层进行详细地划分和对比)、地球化学剖面图以及各种元素含量变化对比图等。

地球化学制图, 不仅对发现化学元素在不同区域内分布的规律性, 合理地指导找矿和利用矿产资源, 而且对阐明区域地质的发展历史, 都具有特殊的意义。

4. 微量元素指示剂法 这种方法系利用各种地质体中稀有微量元素的种类和含量以及相近似元素“对”的比值来作为各种成岩成矿作用的灵敏指示剂。方法的实质是利用微量元素的两方面特点, 一是这些元素在具体的地质体中的微浓度, 它们的含量随着介质条件变化, 往往即会发生较大的变动; 二是它们的地球化学特性, 特别是经常受着主要成分元素行为的支配。微量元素指示剂法目前被广泛用来分析解决岩体的成因联系、形成阶段的划分、成矿专属性 and 普查隐伏矿体等。

5. 同位素分析法 这种方法简单说来就是先有实验或理论计算, 然后以各种方法分析出各种地质形成物中欲测的同位素在各种地质作用中发生的百分比改变或某同位素的比例变化, 最后在上述实验或理论计算的基础上, 反过来推知作用进行的规律和时间。起初在地球化学中主要集中于自然条件下放射性同位素的行为分析, 随后出现了根据稳定同位素来进行的地球化学分析。现代地球化学正充分利用同位素这一新的分析方法, 来揭示矿物、岩石和矿床的形成时间、成因、物质来源以及地质成矿作用的环境条件等。

6. 晶体化学分析法 在地球化学研究工作中经常运用晶体化学的原理和规律来