

无机化学丛书

第十八卷

地球化学

									2 He
			III A	IV A	V A	VI A	VII A		
			5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
			11 Al	12 Si	13 P	14 S	15 Cl	16 Ar	
II B 魏 菊 英									
28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	

64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

科学出版社

《无机化学丛书》

第十八卷

地球化学

魏菊英

科学出版社

1986

内 容 简 介

《无机化学丛书》为无机化学参考书，共十八卷，分为41个专题。前十卷为各族元素分论，后八卷为无机化学各重要领域专论。本卷包括十四章，分别介绍地球化学的基本概况、太阳系九大行星相互之间的关系和化学组成；地球的形成和分带、元素在地壳中的分布特征和结合规律；元素的活动历史及在不同地质条件下的酸碱性质；水圈及大气圈的化学组成；岩浆的形成、性质及化学演化；硅酸盐和硫化物的化学风化特点；地球化学中的热力学问题。

本书可作高等院校师生及研究生的参考书，也可供化学、地质、生物、农业、环境保护等方面的科技工作者参考。

《无机化学丛书》

第十八卷

地 球 化 学

魏 菊 实

责任编辑 赵世雄

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

1986年12月第 一 版 开本：850×1168 1/32

1986年12月第一次印刷 印张：11 7/8

印 数： 精 1—1,350 插页：精 2
平 1—1,350 字数：306,000

统一书号：13031·3358

本社书号：4711·13—4

定价： 布脊精装 4.15元
平 装 3.35元

《无机化学丛书》总目

- 第一卷 1. 稀有气体 2. 氢 3. 碱金属
- 第二卷 4. 铍 5. 碱土金属 6. 硼 7. 铝
8. 镓分族
- 第三卷 9. 碳 10. 硅 11. 锗分族
- 第四卷 12. 氮 13. 磷 14. 砷分族
- 第五卷 15. 氧 16. 硫 17. 硒分族
- 第六卷 18. 卤素 19. 铜分族 20. 锌分族
- 第七卷 21. 钪 22. 希土元素
- 第八卷 23. 钛分族 24. 钒分族 25. 铬分族
- 第九卷 26. 锰分族 27. 铁系 28. 铂系
- 第十卷 29. 铜系 30. 铜系后元素
- 第十一卷 31. 无机结构化学
- 第十二卷 32. 配位化学
- 第十三卷 33. 无机物热力学 34. 无机物动力学
- 第十四卷 35. 无机物相平衡 36. 非整比化合物
- 第十五卷 37. 有机金属化合物 38. 生物无机化学
- 第十六卷 39. 放射化学
- 第十七卷 40. 稳定同位素化学
- 第十八卷 41. 地球化学

《无机化学丛书》编委会

顾 问

戴安邦 顾翼东

主 编

张青莲

副 主 编

申泮文

编 委

尹敬执 曹锡章 吕云阳

顾学民 赵世雄

序

无机化学是化学科学的一个重要分支，也是最早发展起来的一门化学分支学科。无机化学研究的对象是周期系中各种元素及其化合物，不包括碳氢化合物及其衍生物。本世纪中叶以来，无机化学又进入了新的发展阶段。这是和许多新的科学技术领域，如原子能工业、空间科学技术、使用半导体材料的通信和计算技术等兴起密切相关的。这些科技部门要求人们利用无机化学的理论探索和研制种种具有特殊性能的新材料，研究极端条件下物质的性质和反应机理，以及提出新的无机物的工艺流程。与此同时，现代物理学、生命科学、地质科学以及理论化学的新进展等因素也都在日益推动着无机化学的发展进程。

我国在解放前缺少与无机化学有关的工业基础，因此无机化学人才培养得较少，科学研究工作的基础也比较薄弱。解放后我国无机化学虽有了很大发展，但仍然比较落后。为了扭转这种局面，加速无机化学科学人员的培养和提高，促使教学和研究工作的迅速发展，以及为了解决我国丰富的矿产资源的综合利用、新型材料的合成、无机化学新观点和新理论的提出等问题，有必要编辑出版一套中型的无机化学参考书。为此，科学出版社和中国化学会共同组织了《无机化学丛书》编辑委员会主持本丛书的编写工作。经过多次讨论和协商，拟订了丛书的编辑计划和写作大纲。确定丛书分十八卷，共四

十一个专题,从 1982 年起陆续出版。全丛书共约六百余万字,前十卷为各族元素分论,后八卷为无机化学若干重要领域的专论。

本丛书适合高等学校教师、高年级学生和研究生、科学研究人员和技术人员参阅。编委会竭诚欢迎广大读者对本书的内容提出宝贵的意见,以便在再版时加以修改。

《无机化学丛书》编委会

1982 年 9 月

第十八卷 前 言

地球化学 (Geochemistry) 是地质学和化学相结合的一门边缘学科,它是研究地球及其各圈层中化学元素和同位素的分布、富集、分散、迁移形式、赋存状态、共生组合和地球的化学演化历史的科学。概括地讲,地球化学是研究地球的化学组成、化学作用和化学演化的科学。近年来由于科学技术的迅速发展,现代地球化学的研究范围不只局限于地球,而是已经扩展到月球和太阳系的其它星体,同时研究的广度和深度日益增强,随之相应地产生了许多地球化学分支学科,如元素地球化学、同位素地球化学、有机地球化学、生物地球化学、矿床地球化学、区域地球化学、构造地球化学、实验地球化学、环境地球化学、宇宙化学等。在应用方面也已经从地质矿产扩大到环境保护、工程建设、地震预报、海洋开发及太空探测等领域。

从地球化学的发展趋势来看,它不仅与化学,而且与物理学、数学、生物学、医学、天文学等许多学科的关系将愈来愈密切,进而为找矿、资源开发和综合利用、环境保护以及天体演化、生命起源等方面的研究提供科学依据。

由于地球化学涉及的学科愈来愈广泛,因此,从现有的地球化学书籍来看,不论是教科书还是参考书,其内容侧重点各有所不同,有的是某一地球化学分支学科的专著。

本书作为《无机化学丛书》的一卷,主要介绍地球各圈层和太阳系星体的化学组成、化学作用和化学演化等。全书共包括十四章。前四章介绍了地球化学的基本概况,并对太阳系九大行星相互之间的关系和化学组成,以及对研究地球的形成和演化具有重要意义的天体物质陨石和月球分别进行了叙述。第五、六、七章介绍地球的形成和分带,以及元素在地壳中的分布特征和结合规律。地球特别是地壳,是人们直接研究的对象,有关地球化学方面的研究资料比其它行星丰富得多,因此将地球和地壳分别单

独列出。第八、九章介绍了在地质作用过程中元素的迁移、富集和分散过程，即元素的活动历史，以及元素随介质条件的变化所表现出的酸碱性质。第十、十一章阐述了大气圈和水圈的化学组成及其与地球、地壳之间的关系。第十二章作为内生地质作用的代表，介绍了岩浆的形成、性质及其化学演化。第十三章作为外生地质作用的代表，介绍了硅酸盐和硫化物的化学风化特点及其化学反应。第十四章对近年来在地球化学中某些热力学问题的应用作了介绍。

地质学特别是其中的矿物学、岩石学、矿床学与地球化学密切相关。考虑到各方面读者的需要，在有些章节中对一些地质名词和概念作了必要的解释，如岩浆、超基性岩、基性岩、酸性岩等。

本卷所采用的元素离子半径，均引自R.D.Shannon(1976)的有效离子半径表（见附表）中配位数为6的半径。

在编写本卷过程中得到北京大学化学系张青莲教授的关心和帮助；南京大学地质系刘英俊教授认真地审阅了初稿，并提出许多宝贵意见；北京大学地质系江培谟同志提供了“地球化学中的某些热力学问题”的有关资料；科学出版社赵世雄同志对编写本卷给予热情帮助。在此一并表示衷心的感谢。

魏菊英

1983年12月

于北京大学地质系

目 录

41.1 绪论	1
1.1 地球化学的定义	1
1.2 地球化学的基本任务	2
1.3 地球化学的发展简况	3
参考文献	7
41.2 宇宙化学	9
2.1 宇宙中化学元素的分布	10
2.2 太阳的性质及其成分	14
2.3 太阳系行星的化学成分	18
2.3.1 水星	18
2.3.2 金星	19
2.3.3 火星	20
2.3.4 木星	20
2.3.5 土星	21
2.3.6 天王星和海王星	21
2.3.7 冥王星	22
2.4 元素的产生和行星的化学演化	22
2.4.1 化学元素的核合成作用	22
2.4.2 原始行星物质的化学演化	26
2.4.3 内行星的化学演化	26
2.4.4 外行星的化学演化	31
2.4.5 宇宙年代史	33
参考文献	34
41.3 陨石的分类和化学组成	35
3.1 陨石的分类	36
3.1.1 铁陨石	36
3.1.2 石陨石	38
3.1.3 铁石陨石	42

3.2 陨石的物质组成	43
3.2.1 矿物组成	43
3.2.2 化学组成	43
3.2.3 氧同位素组成	52
3.2.4 硫同位素组成	60
3.3 陨石成因	61
参考文献	63
41.4 月球的化学组成	64
4.1 月岩的化学组成	64
4.2 月球结构	73
4.3 月球的成因和演化	75
参考文献	79
41.5 地球的化学演化	80
5.1 地球成因假说	80
5.1.1 均质聚集假说	80
5.1.2 非均质聚集假说	82
5.2 地球的化学分带	86
5.2.1 地壳	87
5.2.2 地幔	89
5.2.3 地核	92
5.3 地球的化学演化	93
参考文献	99
41.6 地壳中化学元素的分布	100
6.1 地壳中元素分布的规律性	100
6.2 地壳中元素的赋存特征	110
6.2.1 主要(大量)元素	110
6.2.2 微量元素	125
6.2.3 阴离子	132
参考文献	134
41.7 地壳中元素的结合规律	135
7.1 元素的地球化学分类	135

7.1.1 Goldschmidt的分类	135
7.1.2 Зава́рзинский 的分类	139
7.2 元素的结合规律	141
7.2.1 与氧、硫结合及呈自然金属状态的元素性质	141
7.2.2 氧、硫的性质	149
7.2.3 类质同象	151
参考文献	155
41.8 元素的迁移	156
8.1 确定元素迁移形式的根据	156
8.1.1 矿物的共生组合	157
8.1.2 围岩蚀变的特点和强度	157
8.1.3 共生矿物中气液包裹体的成分	157
8.1.4 元素和化合物的物理化学性质	158
8.2 元素的迁移形式	161
8.3 溶液中元素迁移的化学规律	166
8.3.1 离子交换反应	166
8.3.2 酸碱反应	167
8.3.3 氧化还原反应	168
8.3.4 胶体作用	175
8.4 元素迁移介质条件的判断标志	176
8.4.1 矿物和化学元素标志	176
8.4.2 气液包裹体标志	183
参考文献	185
41.9 化学元素、矿物和岩石的酸碱性	186
9.1 化学元素的酸碱性	186
9.1.1 一价元素	186
9.1.2 二价元素	191
9.1.3 三价元素	197
9.1.4 四价以上的高价元素	200
9.2 矿物和岩石的酸碱性	204
参考文献	208
41.10 大气圈的地球化学	209

10.1 大气圈的分层结构·····	209
10.2 大气圈的化学组成·····	211
10.3 影响大气圈化学组分的作用 ·····	219
10.3.1 带入气体组分的作用·····	219
10.3.2 带出气体组分的作用·····	220
10.4 古大气圈特征及其演化 ·····	220
参考文献 ·····	221
41.11 水圈的地球化学 ·····	222
11.1 海水·····	224
11.1.1 海水的化学组成·····	224
11.1.2 海水的盐度和氯度·····	229
11.1.3 海水的起源和演化·····	231
11.2 河水和湖水 ·····	233
11.3 地下水 ·····	234
11.4 天然水的pH和 Eh 及其关系 ·····	235
11.5 地球化学作用中的水 ·····	245
11.5.1 内生作用中的水·····	245
11.5.2 外生作用中的水·····	247
参考文献·····	248
41.12 岩浆作用的地球化学 ·····	249
12.1 岩浆岩的主要类型·····	249
12.1.1 超基性岩·····	249
12.1.2 基性岩·····	251
12.1.3 中性岩·····	252
12.1.4 酸性岩·····	252
12.1.5 碱性岩·····	253
12.2 岩浆岩的化学组分·····	255
12.3 岩浆的性质 ·····	257
12.3.1 岩浆的化学组分·····	259
12.3.2 岩浆的结构·····	280
12.3.3 岩浆的温度·····	285

12.3.4 岩浆的粘度·····	286
12.3.5 岩浆的氧化-还原环境 ·····	287
12.4 岩浆的演化 ·····	287
12.4.1 结晶分异作用·····	288
12.4.2 熔离作用·····	288
12.4.3 同化混染作用·····	290
12.5 岩浆作用的氧同位素组成 ·····	291
12.6 岩浆成因 ·····	294
12.6.1 玄武岩浆成因·····	294
12.6.2 花岗岩浆成因·····	295
参考文献 ·····	299
41.13 化学风化作用 ·····	300
13.1 影响化学风化作用的主要因素 ·····	300
13.1.1 H_2O 、 CO_2 和 O_2 ·····	300
13.1.2 pH值 ·····	302
13.1.3 Eh值·····	303
13.2 硅酸盐矿物的化学风化 ·····	304
13.2.1 硅酸盐矿物的风化顺序及其化学组分变化·····	304
13.2.2 硅酸盐风化过程中的化学反应·····	306
13.3 硫化物的化学风化·····	309
参考文献 ·····	318
41.14 地球化学中的某些热力学问题 ·····	319
14.1 矿物和矿物组合的平衡条件 ·····	319
14.1.1 体系平衡时的温度 (T) -压力 (P) 条件 ·····	321
14.1.2 体系平衡时的 P - T - x (组分) 关系 ·····	324
14.1.3 体系平衡时的 G (自由能) - x 关系 ·····	328
14.1.4 体系平衡时的PH-Eh关系·····	331
14.2 矿物地温计和地压计方法 ·····	333
14.2.1 矿物中微量元素地温计和地压计方法·····	334
14.2.2 平衡矿物对地温计和地压计方法·····	337
14.3 微量元素的分馏 ·····	341

14.4 水溶液中物质的溶解度	345
14.4.1 配位作用与物质的溶解度	346
14.4.2 pH- E_h 与物质的溶解度	348
14.4.3 高温高压下物质溶解度的计算	349
参考文献	351
附表 有效离子半径表	353
矿物索引	358
内容索引	362

41.1 绪 论

1.1 地球化学的定义^[1-3]

在地球化学发展的不同历史阶段,不同学者曾给地球化学下了定义。1922年В.И.Вернадский的定义是:“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。研究原子的历史、在空间和时间上的分配和运动及其在地球上的成因关系”。在同一时期(1922),А.Е.ферсман的定义是:“地球化学研究地壳中化学元素-原子的历史及其在自然界各种不同热力学和物理条件下的行为”。1933年V.M.Goldschmidt的定义是:“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”。1969年K.H.Wedpohl的定义是:“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”。1972年В.В.Щербина的定义是:“地球化学是研究地壳化学作用的科学。它研究元素的迁移、集中、分散、地球及其圈层的化学组成、分布、分配和化学元素在地壳中的结合”。1973年美国地球化学全国委员会提出:“地球化学是关于地球和太阳系的化学组成及化学演化的一门科学,它包括了与其有关学科的化学方面;地球化学包括组成太阳系的宇宙尘埃化学;地球、月球和行星化学;地壳、地幔和地核化学;岩石循环(包括风化、侵蚀、搬运和抬升)化学;海洋与大气的化学演化,岩石中有机质的化学”。

从上述定义来看,毫无例外地均强调地球化学是研究地壳和整个地球的化学组成、化学作用和化学演化的科学。只是七十年代以后,随着宇宙空间技术的迅速发展,对于地球以外的行星化学研究工作也日益增多,随之对地球化学的研究领域扩大到太阳系的其它行星。不论是研究地壳、地球或其它行星,其内容本质是一致的。因此,对上述定义可概括为:“地球化学是研究地壳、

地球和太阳系其它星体中化学元素和同位素的分布、集中分散、共生组合、迁移和存在形式及其在不同物理化学条件下的化学演化规律的科学”。就目前地球化学的研究资料来看，对地壳研究得最多和最广泛，因为地壳特别是上地壳人们可直接进行探索。

1.2 地球化学的基本任务^[1]

根据地球化学定义所包含的内容，其基本任务如下：

(1) 研究地球各圈层包括大气圈、水圈、岩石圈、地幔和陨石、月球物质中化学元素和同位素的分布，集中分散、共生组合、迁移演化等规律，以及各圈层之间和陨石、月球的相互关系，从而阐明它们的成因关系及其相互制约规律。

(2) 研究不同矿物、岩石、矿床中化学元素和同位素的地球化学特征，进而判断这些不同地质体的形成过程和条件，为进一步扩大找矿远景提供依据。

(3) 研究个别元素和同位素的地球化学，包括个别元素和同位素在自然界的分布、不同地质作用（如岩浆作用、热液作用、沉积作用、变质作用等）中的迁移富集规律，以便说明不同地质作用之间的关系和对成岩、成矿的影响。

(4) 研究不同地区的地球化学，即区域地球化学，如火成岩地区、沉积岩地区；或成矿区、非成矿区；或地台区、地槽区等。研究这些不同地区的地球化学特征，可为成矿预测提出远景规划区，并可判断它们在地球或地壳形成过程中所起的作用，进而了解地球或地壳的化学演化规律。

(5) 地球化学理论的研究，包括在地球和其它行星形成过程中元素的产生和衰亡历史、地球化学作用的热力学、动力学、数学模式、成岩成矿模拟实验等，为进一步阐明地球和其它行星的起源、形成条件和演化规律提供理论根据。

就近年来的地球化学研究来看，其中化学元素比同位素、热力学比动力学研究的较为广泛。这与分析测试和科学技术的发展