

中国地球化学学科发展史

(上册)

主 编 欧阳自远

副主编 胡瑞忠 徐义刚

中国地球化学学科发展史

(上册)

主 编 欧阳自远

副主编 胡瑞忠 徐义刚

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是中国地球化学学科及其紧密相关的矿物学与岩石学的发展历史、主要成就和发展趋势的全面、系统和综合总结。本书汇集了全国地球化学界 100 多位专家学者, 2012 年元月启动, 2017 年年底收齐稿件, 历时六年, 在中国科学院重点课题“中国地球化学、地球物理学科发展史研究”的支持下, 就地球化学学科发展的历史进程, 22 个主要分支学科的发展历史、主要成就和未来发展途径进行分析研究和综合论述。本书附录包括“中国地球化学学科大事记”和“中国地球化学家(已故)传略”。

本书可供从事地球科学及相关的月球与行星科学、天体化学等学科的研究人员、高校师生和地球科学爱好者参考, 为科学史的研究学者提供地球化学学科发展史的科学记录。

图书在版编目(CIP)数据

中国地球化学学科发展史: 全 2 册 / 欧阳自远主编. —北京: 科学出版社, 2018. 12

ISBN 978-7-03-060100-1

I. ①中… II. ①欧… III. ①地球化学-学科发展-概况-中国 IV. ①P59

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 292101 号

责任编辑: 韩 鹏 宋云华 王 运 / 责任校对: 张小霞

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 黄华斌

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京画中画印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 12 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2018 年 12 月第一次印刷 印张: 72 1/2

字数: 1 710 000

定价: 698.00 元 (上、下册)

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

谨以此书

纪念地球化学领域的学科先驱！

献给全国广大地球科学工作者！

献给中国科学院地球化学研究所 50 华诞！

本书由中国科学院地球化学研究所
和中国科学院广州地球化学研究所组织编写

《中国地球化学学科发展史》编辑委员会

主 编 欧阳自远

副主编 胡瑞忠 徐义刚

编 委 (按姓氏汉语拼音排序)

安芷生	曹裕波	陈 骏	陈毓蔚
丁仲礼	冯新斌	何宏平	李世杰
林学钰	刘丛强	刘 莉	刘文汇
倪集众	彭平安	宋云华	万国江
王成善	王德滋	王世杰	王中刚
项仁杰	谢学锦	翟明国	翟裕生
张 干	赵一阳	郑绵平	周卫健
周新华			

编辑部 (按姓氏汉语拼音排序)

倪集众	宋云华	万国江	王中刚
项仁杰			

序

地球化学是研究地球及其内外各圈层和太阳系各层次天体（包括行星际尘埃、陨石、小行星、彗星、矮行星、卫星和行星等）的化学成分、元素及其同位素组成、分布、聚散、迁移和演化规律，并对人类社会可持续发展具有重大影响的一门学科。

地球化学学科在我国经历了从古代至 19 世纪末的“孕育萌芽时期”、20 世纪初至第二次世界大战结束的“独立成型时期”，以及第二次世界大战结束后的“稳定发展时期”。到 21 世纪新的历史时期，地球化学学科的研究对象已从地壳延伸到包括地幔和地核在内的整个地球；对元素的研究从地壳中的元素行为拓展到原子的状态和元素同位素组成变化，从研究元素的组成到探索它们的形成与演化，以至地球和行星演化过程中所有化学元素的组成和演变过程，从现在看到的元素分布和演化过程，追溯地质历史时期以至太阳系形成之初的元素行为。

地球化学是由地质学与化学交叉、渗透和结合而诞生的新兴学科。百余年来，地球化学学科在学术上构建了自己的学科体系，创建了一套日趋成熟的研究方法、实验手段和测试技术；它的研究成果被广泛应用于当代人们最为关注的资源、能源、生态环境、防灾减灾、新型材料和人体健康，以及对地观测和月球、行星探测等与人类生存发展密切相关的诸多关键科学领域。

地球化学学科在百余年的发展历程中，在科学、技术、经济和社会发展等方面所发挥的作用，足以说明它是一门名副其实的地球科学的支柱学科。

我国地球化学思想的萌芽（包括人类最初对矿物和岩石的认识与利用）可以追溯到尚无文字记载的史前时期。经过漫长时间的萌芽和孕育，20 世纪 20~30 年代才开始了真正的科学探索，及至 20 世纪 50 年代被纳入国家科学发展规划，在 20 世纪 50 年代末至 60 年代中期，中国有了系统的大学地球化学专业（系）和专业的学术研究所和应用研究机构。虽然在其后的十年间遭受了“文化大革命”“倒春寒”的摧残，但地球化学工作者排除干扰，于艰难跋涉之中依然进行着自己热爱的教育和科研工作；随后迎着改革开放的春风，迅速进入学科发展的快车道，各科研、教育系统和产业部门的地球化学研究工作都有了较大而稳步的发展；并在此基础上顺利进入新世纪的自主创新发展阶段。

目前我国地球化学研究在矿产资源、化石能源、新兴能源（天然气水合物、核能、地热能等）、防灾减灾、生态环境、新型材料科学、海洋科学、空

间科学、月球和行星科学等诸多领域的研究、开发和利用方面获得骄人的成果，在社会与国民经济的科学发展中，在“上天、入地、登峰、下海”科学领域和地球系统科学的创新发展中，在现代分析测试技术的开发和应用过程中起到了不可替代的作用，显著提高了地球化学和地球科学的整体理论和应用水平，拓展了在社会可持续发展中的巨大前景。

“中国地球化学学科发展史”所包括的研究内容，汇集了全国地球化学界100多位从事教学与科研工作的专家、学者历时六年的辛劳付出，按照三条主线开展研究：①纵向的学科发展历史过程，包括国际地球化学思想的萌芽，学科发展过程及其对中国的影响；我国地球化学学科在各个历史时期的研究状况和研究成果；国内外地球化学学术文献记录本学科的历史发展脉络；中国地球化学研究机构、高等教育以及地球化学学会的发展状况。②“中国地球化学学科发展史”的研究重点是地球化学学科的二十多个分支学科的形成与发展历程、主要研究成果和发展趋势。③“中国地球化学学科大事记”和“中国地球化学家（已故）传略”相关资料性材料的汇集、研究与编撰。

《中国地球化学学科发展史》是我国地球化学学科发展历史、主要成就和发展趋势的全面、系统和综合总结；回顾和了解前人的认识、成果和经验，理顺学科的发展脉络，既为后人留下一份宝贵的历史资料，也为我们长期从事的科学事业树碑，为前辈科学家立传，担当起我们这一代人承前启后、促进学科发展的历史责任。

《中国地球化学学科发展史》编辑委员会

2017年12月

前 言

本书内容所源自的课题系中国科学院 2012 年重点部署课题“中国地球化学、地球物理学科发展史研究”(KZZD-EW-TZ-02)之子课题“中国地球化学学科发展史研究”。

本书的编写工作于 2012 年元月启动,经过六年来全国各系统各单位 100 多位同仁的共同努力,终于在 2017 年 12 月才收齐稿件,完成了全部编辑工作。

在接受任务之初,我们深知“中国地球化学学科发展史”研究是一项甚为紧迫、重要和需要集全国学界之力才能完成的工作。研究过程中必须通过探索、切磋和讨论,确立指导原则、研究方法和编纂程序,并以此原则确定学科发展史的编写大纲。在首席科学家欧阳自远院士的指导下,最后确定了从三个方面论述我国地球化学学科的发展历史:一是国际科学界地球化学思想的萌芽、发展过程及其对中国的影响,探索欧美、苏联和我国地球化学学科发展的异同点。二是从“纵向”即历史的角度论述我国在不同时期——古代、近代和现代地球化学思想的历程,尽可能全面地反映各个历史时期的研究状况和研究成果;为了扩大研究视域,我们邀请了中国地质图书馆的研究人员,参与收集和分析国内外地球化学学术文献记录,帮助诠释本学科的历史发展脉络。三是从本学科的二十多个分支学科的发展历程体现整个学科的萌芽、孕育、创建、成型和创新发展的历史。为了阐明本课题的主体内容,我们聘请了相应的数十位专家、学者共同参与研究和分析,撰写出区域地球化学、元素地球化学、同位素地球化学、环境地球化学、有机地球化学、生物地球化学、生态地球化学、海洋地球化学、水文地球化学、盐湖地球化学、构造地球化学、岩浆作用地球化学、沉积作用地球化学、变质作用地球化学、前寒武纪地球化学、第四纪地球化学、勘查地球化学、油气地球化学、矿床地球化学、矿物化学、水热实验地球化学,以及陨石学与天体化学等分支学科的发展史。

现在呈现在读者面前的这本书是以该课题的结题报告为主体撰写而成。全书分为“正文”和“附录”两大部分。“正文”即为纵向的历史论述,以及横向的主要分支学科的形成与发展历程、主要研究成果和发展趋势。“附录”部分包括两份资料性的材料:“中国地球化学学科大事记”和“中国地球化学家(已故)传略”。

从每个章节末尾所附的撰稿人名单可以看出，本书是我国地球化学界科研、教学和相关产业部门人员的集体创作成果，更渗透了数十年来全国数十万地球化学工作者和本书的幕后“作者”——审稿人付出的辛勤劳动和心血；他们中有年迈的老专家、老教授和资深院士，也有在职的单位领导、承担着重大国家课题的中年科学家，还有活跃在科研、教学和相关产业部门战线的年轻博士。他们放弃了安度晚年、含饴弄孙或难得的休息时间，不管严寒酷暑投入收集资料、撰文和审稿工作；编辑委员会对他们的敬业、勤业精神和事业心，致以崇高的敬意和诚挚的谢忱。

由于编辑时间和学术水平所限，书中的疏忽和不当之处，敬请不吝赐教。

《中国地球化学学科发展史》编辑委员会

2017年12月

目 录

序 前言

上 册

第一章 国际地球化学学科的发展及其对中国的影响	1
第一节 国际地球化学学科发展概况	1
第二节 地球化学学科发展的特点	6
第三节 国际地球化学对中国地球化学学科成长的影响	12
第四节 地球化学学科发展展望	15
主要参考文献	22
第二章 中国地球化学学科的形成和发展	24
第一节 古代中国地球化学思想的萌芽	24
第二节 现代中国地球化学学科的启蒙和孕育	34
第三节 中国地球化学学科创建时期	38
第四节 中国地球化学学科的成形阶段	50
第五节 中国地球化学的创新发展阶段	76
主要参考文献	91
第三章 从文献资料分析看地球化学学科的发展历程	105
第一节 研究背景	105
第二节 国际地球化学文献研究	105
第三节 中国地球化学文献研究	108
主要参考文献	125
第四章 中国地球化学研究机构、高校教育以及中国矿物岩石地球化学学会的 发展状况	131
第一节 地球化学专业学术研究机构的配置和发展	131
第二节 高等院校地球化学专业与院系的设置和发展	177
第三节 中国矿物岩石地球化学学会的发展状况	198
第五章 区域地球化学	219
第一节 区域地球化学学科的发展历程	219
第二节 中国区域地球化学学科的研究现状	222
第三节 区域地球化学研究新的生长点	226

第四节 今后发展方向和主要研究领域	232
主要参考文献	233
第六章 元素地球化学	239
第一节 元素地球化学学科的发展概况	239
第二节 元素地球化学学科在我国的发展	243
第三节 中国元素地球化学学科的主要研究成果	247
第四节 学科研究的趋势和发展方向	256
主要参考文献	258
第七章 同位素地球化学	267
第一节 学科建立与向苏联学习阶段	268
第二节 自力更生阶段	274
第三节 引进西方技术和赶上国际前沿阶段	287
第四节 交叉渗透阶段	307
第五节 结束语	315
主要参考文献	316
第八章 环境地球化学	331
第一节 环境地球化学学科的形成（1980 年前，形成阶段）	332
第二节 中国环境地球化学及其分支学科发展（1980 ~ 2000 年，发展阶段） ..	339
第三节 中国环境地球化学学科发展的未来（21 世纪以来，拓展阶段）	355
主要参考文献	377
第九章 有机地球化学	393
第一节 国际有机地球化学学科的主要研究成果	393
第二节 中国有机地球化学学科的主要研究成果	393
第三节 有机地球化学在新世纪的可能生长点	404
第四节 中国有机地球化学学科研究应重视的领域	411
主要参考文献	412
第十章 生物地球化学	425
第一节 生物地球化学学科的形成与发展	425
第二节 中国生物地球化学的研究现状与进展	430
第三节 生物地球化学学科的发展方向 and 主要研究领域	438
主要参考文献	441
第十一章 生态地球化学	449
第一节 生态地球化学学科产生的背景	449
第二节 生态地球化学的概念和研究内容	450
第三节 中国生态地球化学学科主要研究成果	452
第四节 生态地球化学学科的发展趋势	458
主要参考文献	459
第十二章 海洋地球化学	469
第一节 中国海洋地球化学学科发展概况	470

第二节 中国海洋地球化学研究若干重要成果	483
第三节 中国海洋地球化学学科发展趋势	485
主要参考文献	487
第十三章 水文地球化学	500
第一节 本学科的科学意义及其在国际上的发展状况	500
第二节 中国水文地球化学学科的发展历程和主要特点	505
第三节 今后发展方向和主要研究领域	512
主要参考文献	514
第十四章 盐湖地球化学	517
第一节 中国盐湖地球化学学科的发展历程	517
第二节 中国盐湖地球化学主要成果与进展	518
第三节 盐湖地球化学的发展趋势和展望	533
主要参考文献	535
第十五章 构造地球化学	544
第一节 构造地球化学研究的历史和背景	544
第二节 中国构造地球化学的研究现状和进展	546
第三节 存在问题和学科发展方向	556
主要参考文献	560

下 册

第十六章 岩浆作用地球化学	569
第一节 开拓时期：20 世纪 50 年代之前	569
第二节 初创时期：20 世纪 50 年代至 70 年代	570
第三节 稳定发展时期：20 世纪 80 年代至世纪之交	572
第四节 蓬勃发展时期：新世纪之初的十余年	579
第五节 小结	586
主要参考文献	587
第十七章 沉积作用地球化学	599
第一节 沉积作用地球化学学科的形成	599
第二节 中国沉积作用地球化学研究现状	602
第三节 中国沉积地球化学研究主要成果	604
第四节 中国沉积作用地球化学学科发展方向	609
主要参考文献	609
第十八章 变质作用地球化学	615
第一节 变质作用地球化学学科的形成和发展历程	615
第二节 中国变质作用地球化学学科简史	619
第三节 变质作用地球化学学科发展趋势	624
主要参考文献	627

第十九章 前寒武纪地球化学	633
第一节 前寒武纪地球化学学科的形成	633
第二节 中国前寒武纪地球化学学科的发展历程	634
第三节 中国前寒武纪地球化学学科的研究现状和成果	635
第四节 新的生长点和发展方向	649
主要参考文献	657
第二十章 第四纪地球化学	669
第一节 第四纪地球化学学科的形成	669
第二节 中国第四纪地球化学学科发展历程	670
第三节 中国第四纪地球化学研究重要成果	671
第四节 第四纪地球化学学科发展趋势	694
主要参考文献	695
第二十一章 勘查地球化学	718
第一节 中国勘查地球化学学科的发展历程	718
第二节 中国勘查地球化学学科的发展特点与经验	727
第三节 今后发展方向和主要研究领域	729
主要参考文献	732
第二十二章 油气地球化学	734
第一节 中国油气地球化学学科的发展历程	734
第二节 分析技术的发展	745
第三节 油气地球化学研究展望	746
主要参考文献	748
第二十三章 矿床地球化学	754
第一节 中国矿床地球化学学科的形成	754
第二节 中国矿床地球化学研究若干重要成果	756
第三节 中国矿床地球化学研究现状和发展方向	759
主要参考文献	774
第二十四章 矿物化学	787
第一节 矿物化学的研究对象和研究方法	787
第二节 矿物化学学科的科学意义及其在国际上的发展概况	789
第三节 矿物化学学科在我国的发展历程	792
第四节 展望与期待	798
主要参考文献	799
第二十五章 水热实验地球化学	802
第一节 中国水热实验地球化学学科的形成和发展	802
第二节 中国水热实验地球化学主要研究成果	805
第三节 发展趋势与建议	812
主要参考文献	813
第二十六章 陨石学与天体化学	820

第一节 陨石学与天体化学的发展历程	821
第二节 中国的研究现状	822
第三节 中国陨石学与天体化学研究展望	833
主要参考文献	833
附录一 中国地球化学学科大事记	840
附录二 中国地球化学家（已故）传略	851

第一章 国际地球化学学科的发展及其对中国的影响

1838 年瑞士化学家 C. F. 舍恩拜因 (Schönbein) 首次提出了 “geochemistry (地球化学)” 这个名词。他预言: “一定要有了地球化学, 才能有真正的地球科学。” 至此, 人们才开始意识到建立一门地球化学学科的必要性和现实性。如果以 1908 年 F. W. 克拉克 (Clarke) 出版的《地球化学资料》(第一版) 为标志, 作为一门学科的地球化学已经走过了一百多年的发展历程。

在这百余年历史中, 经过几代科学家的努力, 地球化学学科的研究对象已经从地壳延伸到整个地球, 从陆地到海洋与大气层, 从地表到地球深部以至地核; 再从地球拓展到月球、行星和太阳系。对物质层次研究的范围已从地壳中元素的行为延伸到原子的状态和同位素的变化, 从元素的组成到探索元素的演化, 以至地球和行星演化中所有化学元素的初始状态和演化过程。对元素研究的范围, 已从现代的元素分布和演化追溯到地质历史时期, 以至太阳系形成之初的元素行为。

所有这些研究, 引导着学术研究的主导思想, 从原来被动地阐述元素的分布、解释各种地质现象和地球化学过程, 转变为从热力学和动力学过程能动地解释地质现象、过程起因, 使地球化学学科深入参与到探讨地球的起源、太阳系的起源、元素的起因和生命、人类的起源演化, 以及全球变化等一系列重大基础性科学问题的研究之中。

可以说, 现代地球化学脱胎于地质学和化学, 而更多地吸取了海洋科学、环境科学、生命科学、空间科学、天文学和物理学研究的新进展、新成果, 并与之深度渗透和结合。在数代科学先驱的努力下, 地球化学学科已经构成了自己完整的学科体系, 完善了一整套研究方法和科学实验系统; 使地球化学与地质学、地球物理学和大地测量学一起, 有能力承担起作为固体地球科学四大支柱学科的作用。

国际地球化学学科的发展为现代科学做出了巨大的贡献, 也大大影响和促进了中国地球化学学科的发展。本章试图以国际地球化学学科的发展及其对中国地球化学学科的影响作为背景, 看一看我国这一学科的发展历程, 找一找差距和问题, 帮助读者了解我国地球化学学科的发展历史, 促使这一学科尽快融入与国际发展同步前进的行列。

第一节 国际地球化学学科发展概况

地球化学简言之就是地球科学与化学的有机结合形成的一门独立的交叉学科。与所有的自然科学学科的发展经历一样, 地球化学学科也经历了艰难而漫长的发展历程。纵观国际地球化学学科的发展历史, 在一百多年里经历了三个时期: 萌芽期、成型期和发展期。

一、萌芽期：史前至 19 世纪末

17 世纪之前,科学思想被禁锢在封建主义自然经济的牢笼之中。17 世纪中叶,英国资产阶级革命首先冲破了封建庄园经济的桎梏,蒸汽机的应用促进了经济的大发展,也对矿产资源的开采利用提出了新的要求,从而推动了地质勘探和地质学的发展。生产力的进步和生产关系的转变也改变了科学技术的命运,一批批学者走出书斋,下矿井,赴野外,风餐露宿,栉风沐雨,在寻找工业所需矿产工作中,促进了地质科学水平的提高(倪集众和欧阳自远,1999)。

然而,最初人们对大自然的认识大多只是从“天”“地”“气”入手,并不知道这些矿物原料中的金属是由元素组成的。直到 1789 年,法国科学家拉瓦锡在《化学概要》中指出 23 种化学元素,才打破了这一僵局;对“石头”的化学知识迅速增加。从 18 世纪末到 19 世纪中叶,化学家从地质学家提供的矿石样品中发现了 31 种新元素。1859 年,R. 本生(Bunsen)和 G. R. 基尔霍夫(Kirchhoff)发明的分光镜使矿物和元素的研究工作如虎添翼,接二连三地发现更多的元素。1869 年 Д. И. 门捷列夫(Менделеев)和 L. 迈耶尔(Meyer)同时发现了元素周期律,于是化学界进入了从矿石中有意识地寻找和研究新元素的阶段。元素周期律的创立,指出了元素在自然条件下的共生组合;直到现在,它们仍然是研究元素地球化学和矿床地球化学的理论基础(刘洪波和关广岳,1992)。1891 年,Е. С. 费多罗夫(Фёдоров)论证了晶体内部原子排列的 230 种可能形式,使人们对“元素”和“矿物”的认识豁然开朗,明白了“矿物”是由元素按一定晶体结构组成的,岩石则是多种矿物在自然条件下的集合体;“矿石”是有用矿物组成并可供利用的岩石。

作为一门学科,地球化学与其他任何一门学科一样,是人类社会和经济发展的产物。随着社会的发展和科学技术的进步,人类在认识自然、利用各种矿物原料的过程中,由于对自然界的各种地质作用及其地质产物,如矿物、岩石、矿床等认识的不断深化,地质科学随之成长发展。构成这些产物的化学元素也自然而然地成为人们注意和研究对象,蕴含在地质学中的地球化学思想也随着孕育萌芽。光谱分析法的使用和元素周期律的发现使地质学家和化学家有了岩矿样品成分分析的先进方法和理论,使关于地壳化学成分的资料迅猛增加。

二、成型期：20 世纪初至中叶

在谈论地球化学的形成并成为一门真正独立的学科的时候,不能不提到为地球化学的产生和发展做出过巨大贡献的几位代表人物:F. W. 克拉克(Clarke)、V. M. 戈尔德施密特(Goldschmidt)和 В. И. 维尔纳茨基(Вернадский)。

F. W. 克拉克是美国地质调查所的总化学师。他和他的同事们不断地探索和改进矿物和岩石的分析方法,系统地采集和分析世界各地的岩石、土壤、水和气体的样品,致力于探讨岩石圈、水圈和大气圈的平均化学成分。

他们努力工作的结果,于 1908 年出版了《地球化学资料》(*The Data of Geochemistry*)一书。这是第一本关于地球化学组成的专著,首次发表了地壳中 50 种元素的平均含量。

此书先后于1911年、1916年、1920年和1924年再版了4次。最后一次是他与H. S. 华盛顿(Washington)合作,根据文献收集到的5159个数据,计算了地壳的平均化学组成;这就是后来一度被地球化学界奉为圭臬的“克拉克值”。虽然现在克拉克值已只是偶见于学术文献,但它在地球化学确立时期的历史功绩是不可磨灭的:学术界会永远记住这位开辟了以岩石为对象,进行各类地质体化学成分研究的全球首位地球化学家。

V. M. 戈尔德施密特是挪威的地球化学家。1922~1926年他采用X射线方法测定了大量矿物的晶体结构,为阐明元素在结晶物质中的分配规律和支配因素打下了基础。1930年他在德国哥廷根大学建立了地球化学研究所。这个时期他系统研究了个别元素的地球化学性质,尤其是在研究了Ge、Be、Ga、As、Se、Pt等微量和稀有、分散元素的地球化学行为之后,发现根据元素的类质同象法则和共生组合规律,可以进行元素的地球化学分类。鉴于V. M. 戈尔德施密特对元素地球化学分类和地球化学分异作用的研究所取得的成果,1929年他被提名为诺贝尔化学奖的候选人;虽然最后没有中选,但更坚定了他一生从事地球化学研究的信念:他以矿物为对象,在地球化学热力学和晶体化学领域为地球化学学科的发展提供了坚实的理论基础;他所开创的元素地球化学后来得到了继承和发展,成为地球化学学科中一门重要的基础学科(倪集众和欧阳自远,1999)。

B. И. 维尔纳茨基是俄罗斯著名的地球化学家。它强调生物作用在地质和地球化学过程中的重要性。他1926年所写的《生物圈》和1940年所著的《生物地球化学概论》,集中地体现了他关于生物地球化学作用的观点。他不愧是人们所赞誉的“生物地球化学之父”。在他的影响下,1927年苏联科学院组建了生物地球化学实验室。后来以该实验室为基础,建立了苏联科学院地球化学和分析化学研究所。

作为维尔纳茨基的学生,A. E. 费尔斯曼(Ферсман)以自己杰出的工作推动了地球化学学科的发展。他所从事的矿床地球化学、区域地球化学和找矿地球化学,迄今仍是俄罗斯地球化学学科研究的主要领域。

在这些先驱者的努力下,地球化学进入了一门独立学科的发展历程。20世纪30年代以后,随着同位素的发现和质谱仪的发明、改进,地球化学研究的深度和广度大大前进了一步。

20世纪30年代中后期,美国诺贝尔化学奖获得者H. C. 尤里(Urey)开拓了稳定同位素地球化学研究,建立了陨石学的分类,提出了元素的宇宙丰度,创立了宇宙化学。在人们认识到同位素放射性衰变规律之后,30年代到40年代,逐步发展了铀-钍-铅法、钾-氩法、普通铅法和碳-14法等,同位素地质年代学有了一套逐步完善的研究方法,实现了地质时间的科学“定量”。

三、发展期:20世纪中叶迄今

20世纪中叶至今的半个多世纪的时间里,在相对和平稳定的社会环境下,全球进入了科技大发展时期;受惠于科学技术的进步,作为物质科学的地球化学学科从宏观和微观的角度都得到了发展。特别是20世纪50年代后以电子计算机发明和人造地球卫星上天为标志的科学技术革命,是包括地球化学在内的自然科学的巨大推动力。

由于科学技术的发展,诸如精确的光谱仪、质谱仪、电子探针、电子显微镜、扫描电