

矿物学发展现状及我国矿物学前景展望

秦善¹⁾, 刘金秋¹⁾, 迟振卿²⁾

1) 北京大学地球与空间科学学院, 造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京, 100871;

2) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037

内容提要: 矿物学是地球科学的基础学科, 历史悠久, 为人类文明进步做出了巨大的贡献。近些年来, 科学技术的长足进步以及相关学科的迅猛发展, 也深深影响了矿物学本身。本文从多个方面总结了矿物学的发展现状, 提出了我国矿物学的优先领域和重点发展方向, 并对矿物学的发展前景进行了分析和展望。

关键词: 矿物学; 发展现状; 前景展望

矿物是由自然作用所形成的结晶态的天然化合物或单质, 它们具有均匀且相对固定的化学组成和确定的晶体结构, 它们在一定的物理化学条件范围内稳定。迄今为止, 地球上发现的矿物超过 5000 种, 它们是最小的地质体, 构成固体地球的基本单元。矿物学是研究矿物的化学组成、内部结构、外表形态、物理性质和化学性质、形成和变化的条件等诸方面的现象和规律, 以及它们相互的内在联系; 在此基础上, 为矿物原料及其合理综合利用提供必要和充分的依据。同时, 也为探索并阐明地球深部以及其他天体的物质组成及演化规律, 提供重要的信息。人类的生存和发展离不开矿物, 历史上, 矿物为人类的生存和发展起到了重要作用。在进入了 21 世纪十几年后的今天, 随着现代科学发展和技术进步, 矿物学发生了什么变化? 中国矿物学的发展现状和前景怎样? 这是我们应当回答的问题。

1 矿物学是地球科学的基础, 与人类活动密切相关

矿物分布于整个地球系统, 从外太空的宇宙尘埃, 到大气圈、水圈、生物圈乃至地球内部的各个圈层, 无一不见矿物的身影。同时, 矿物的形成经历了地球(包括其他行星)从诞生到演化至今的整个过程, 是地球经历的物理、化学和生物过程的直接结果。因此, 矿物学研究为人类认识地球(包括其他行星)的形成与发展历史提供了最直接的证据。

矿物是在自然作用过程中形成的, 是组成岩石和矿石的基本单元。因此, 矿物学是固体地球科学的基础, 矿物学研究成果可以在地质科学的多个领域得到广泛应用。例如, 光性矿物学是研究岩石学的基础, 而且是岩石学分类的重要依据。金属矿床是矿石矿物的聚集体, 显然, 通过研究矿物的成因, 可以为揭示矿床的起源和形成机理提供直接证据。地球物理是用物理学的原理和方法, 对地球的各种物理场分布及其变化进行观测并探索地球本体及近地空间的各种自然现象及其变化规律。主要物理场(如地磁等)的载体均是岩石和矿物, 显然对矿物本身物理性质的认识, 是研究地球物理的基础。土壤是地壳表层岩石和矿物的风化产物, 在气候、生物、地形等环境条件和时间因素综合作用下形成的一种特殊的自然体。土壤的化学组成和矿物组成, 当然是土壤学的最为基础的内容。从上述例子不难看出, 矿物学不仅是传统地质科学(诸如岩石学、矿床学、地球化学、构造地质学、地层古生物学等)的基础, 而且也是诸如土壤学、地貌学、地球物理学、大气科学、海洋科学等地球系统科学分支的基础。矿物学的一些基础和原理, 如晶体结构的表达和结构分析等, 也是无机化学、固态物理、材料科学等相关学科所必需的基础。在强调向自然界学习的今天, 对于无机界矿物基本知识的认知程度, 制约着人类对自然界中无机过程与产物的认识和利用水平。

矿物也已渗透到国民经济发展和人类物质文化

注: 本文为中国地质调查局地质调查项目(编号: 1212011121133)资助成果。

收稿日期: 2016-01-29; 改回日期: 2016-06-15; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2016.04.014

作者简介: 秦善, 男, 1962 年出生。教授, 主要从事矿物学和晶体化学研究。通讯地址: 100871, 北京大学地球与空间科学学院。Email: sqin@pku.edu.cn。

生活的各个方面。无论是高新尖端技术,还是国民经济发展的各种支柱和支撑产业,抑还是人们的衣食住行、医疗保健,无不都与矿物密切相关。几乎所有的矿产资源,如金属、非金属、石盐、石材等,都有矿物的身影,它们都是矿物的资源属性的具体体现。事实上,矿产资源本身就是人类赖以生存和发展的

重要物质资源,目前我国工业生产所用的原料70%取之于矿物。在超导材料领域,几乎所有的超导材料都是钙钛矿型结构物质,显然,这类材料的合成与制备是建立在对矿物晶体结构理解基础之上的;又如,传统的光伏技术,是利用单晶硅将太阳能直接转换为电能,而获取单晶硅的原料,就是最为常见的矿

表1 历届国际矿物学大会基本情况

Table 1 Basic information of previous International Mineralogical Congresses

届次	时间、地点、概况	专题和报告	特点和热点
12届	1980-07-04~06, 法国奥尔良国家32个,代表400名	提交的专题和报告有:①晶体生长16篇;②矿物物理学55篇;③电子显微镜在矿物学中的应用30篇;④晶体中的包体及其在岩石学中的意义19篇;⑤硅酸盐矿物学51篇;⑥宝石矿物与宝石材料17篇;⑦其他32篇	矿物物理(极端条件下的实验手段等);硅酸盐矿物(辉石—橄榄石—地幔矿物);电镜及其在矿物学中的应用
13届	1982-09-19~25, 保加利亚瓦尔纳国家33,代表400+,论文407	四个大组(综合组、晶体形态和晶体生长、相平衡、宝石矿物)和3个专题讨论会(矿物物理、金属矿物、电镜在矿物中的应用)	矿物物理、电镜在矿物中的应用、晶体形态和晶体生长、宝石矿物
14届	1986-07-13~18, 美国旧金山国家40+,代表700+,论文500+	20余个专题会场,含同步辐射的矿物学应用、硅酸盐体系、矿物反应热力学和动力学、宇宙矿物学、表面分析方法的理论及应用、矿物结构、应用矿物学、地幔矿物学等	地幔矿物学、夕卡岩矿物学、同步辐射在矿物学中的应用、矿物的波谱学理论和应用、天体矿物学
15届	1990-06-28~07-03, 中国北京国家34,代表559,论文769	专题和报告19个专题,4个大会报告:①矿物体系中原子构造与稳定性之间的联系;②岩石圈超高压变质作用的矿物学标志;③华北地台早寒武纪变质岩区变质矿物研究的新进展;④金属矿床为例对铅同位素在矿石成因研究中的应用	成因矿物学与找矿矿物学、应用矿物学、(高压)变质矿物、晶体结构与晶体化学、矿物物理和实验矿物学
16届	1994-09-04~08, 意大利比萨国家42,代表800+	9个学科组,30专题,重点报告5个:①与岩浆作用有关的高温高压原位实验;②玄武岩的微量元素和同位素作为地幔演化的示踪剂;③自然营力与人类活动对古迹建筑石材的破坏作用;④“高能矿物科学”的进展和展望;⑤核废料处置	应用矿物学、高温高压原位实验、同步辐射的矿物学应用、核废料处置
17届	1998-08-09~14, 加拿大多伦多国家42,代表600+	专题会场24个、大会报告9个:①人们从矿物颜色了解到了什么;②矿石矿物结构及其记述的地质事件;③现代矿物学展望;④原位同步辐射粉晶X射线衍射;⑤微量元素分馏作用;⑥键与矿物特性;⑦太阳系的矿物学;⑧矿物学:从地壳到地核;⑨核废料形式的设计;矿物学思路	应用矿物学、行星内部比较矿物学、同步辐射的矿物、核废料处置、矿物表面、环境矿物学
18届	2002-09-01~06, 英国爱丁堡国家60,代表800+	专题会场38个、大会报告9个。主要为①矿物学与可持续发展:矿物与环境;②行星矿物学:撞击矿物学、金刚石压腔(DAC);③矿物学研究新方法:TEM、Spring-8	环境矿物学、高压矿物学与宇宙矿物学、应用矿物学
19届	2006-07-23~28, 日本神户国家50+,代表400+	大会主题:矿物学——向纳米、生物与行星科学拓展 大会报告9个、专题会场37个	矿物与生物交互作用、矿物学与环境和健康、天体矿物学、水与矿物相互作用
20届	2010-08-21~27, 匈牙利布达佩斯国家50+,代表400+	大会主题:纽带和桥梁:矿物科学及其应用 大会报告7个:①矿物演化;②纳米矿物学;③岩石圈地幔演化与金刚石成因;④冰岛火山喷发的矿物学和熔体成分变化;⑤矿物—微生物界面及其对地表污染物活动性的控制;⑥向理论矿物学迈进;⑦同步辐射与地学材料的X射线谱学	应用矿物学、行星内部比较矿物学、同步辐射的矿物、核废料处置、矿物表面、环境矿物学
21届	2014-09-01~05, 南非约翰内斯堡国家70+,代表800+	大会主题:深入探究矿物:信息的矿藏 大会报告8个:①工艺矿物学在未来采矿业中的积极作用;②矿物学与晶体学的结合:致礼2014国际晶体学年;③3D岩相学;④矿物与微生物中的光电子:关于岩石圈与生物圈交互作用的一种新观点;⑤再论角闪岩—榴辉岩转换;⑥长石研究;⑦铂系元素纳米矿物学;⑧大陆岩石圈超高压矿物学	工艺矿物学、生物矿物相互作用、纳米矿物学、高压矿物学

物——石英；近期发展迅猛的无机—有机混合型光伏材料(如 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$)，便具有钙钛矿型结构，被称为钙钛矿型太阳能电池，其转换效率已高达 20.1% (Yang et al., 2015)，具有广阔的应用前景。而这里所说的石英、钙钛矿等，都是典型的矿物。上面两例，一个是利用了其资源属性(石英中的 Si)，一个是利用了矿物结构的特殊性(钙钛矿结构)。再例如，近期全国范围的雾霾天气，对人们是日常生活和身体健康业已造成了重要的影响，其中危害较大的是 PM2.5，已经是空气质量评价的一个重要参数指标。PM2.5 的主要组成便是颗粒细小的无机矿物，所以研究和深入了解 PM2.5 的矿物组成及其来源，对雾霾的防治具有重要意义。矿物学在人类历史进程中，已经而且必将对社会经济发展和人类生活做出巨大的贡献。

2 矿物学发展现状和进展

2.1 从国际矿物学大会看现代矿物学的热点领域

国际矿物学大会是矿物学界最为权威的国际会议，由国际矿物协会主办，通常 4 年一次，代表了矿物学发展的主流方向。为了了解和析矿物学的研究进展，我们统计和分析了第 12 届至第 21 届大会的情况，主要关注大会的主题报告、专题等，以总结矿物学的特点和热点以及新领域新方向，时间跨度是从 1980 年至 2014 约 34 年之久。表 1 列示了统计的国际矿物学大会情况，其中第 12 届和第 13 届会议分别与 1980 和 1982 年召开，可能是处于改革开放初期，我国仅有少数几人参加了此两次会议；从第 14 届开始，为 4 年举办一次，其后基本上我国都正常参加；从第 18 届开始，每届大会都还提出一个主题。

从 30 余年国际矿物学大会的特点和热点来看，现代矿物学的研究热点主要集中在以下几个领域：应用矿物学、矿物物理和高压(地幔)矿物学、天体(宇宙、行星)矿物学、环境矿物学(核废料处置)、矿物表面(水—矿物作用)、同步辐射(电镜、波谱)、矿物应用。它们引领着世界矿物学研究的潮流和方向。

2.1.1 应用矿物学

应用矿物学作为传统矿物学的一个分支，实际上是矿物学与工艺矿物学、材料学相结合的产物，是矿物学与矿物资源综合利用之间的桥梁和纽带，它的兴起与发展是现代科学理论和技术进步的必然产物(宋学信, 1991; 彭明生等, 2012)。矿物的应用

是永恒的主题，矿物应用的范畴很广，可以是矿物的资源属性的应用，如获取化学元素为目的的采矿业；也可以是矿物的环境属性的应用，如利用矿物进行环境污染的治理；也可以是矿物结构或性质的应用，如钙钛矿结构的太阳能电池、以无机水合盐为原料的相变储热矿物材料等，无不都是矿物的应用范例。此外，矿物的应用也当与社会的进步和国民经济发展的需求相适应。

2.1.2 矿物物理和高压(地幔)矿物学

我们可以用“高压矿物物理”这个名称来概括这个领域。实际上就是研究在高压状态下矿物的状态和性质，可视为是介于高压科学、矿物学、固体物理、量子化学之间的交叉学科，是近年矿物学研究最为活跃的内容之一(谢鸿森, 1997; 朱建喜等, 2012)。“矿物物理”是以固体物理和量子化学的理论与实验方法为基础来研究矿物的一门学科，之所以冠以压力并强调高压，是因为高压环境代表着地球深部或天际深空人们了解甚少的未知世界。所以，以月球和深空探测为目标“上天”以及和地球深部物质状态和组成为目标的“入地”等探索未知世界，是矿物学创新研究的驱动力。对前者，是与我国的探月工程、火星探测计划等国家科技发展战略相一致(在 2013 年 9 月 1~3 日，召开了首届北京月球与深空探测国际论坛)；而对于后者，则与重大基础地质问题(如全球深部碳循环、核幔边界的 D"层等)密切相关。

2.1.3 环境矿物学

环境矿物学基于矿物学与环境科学等多学科的相关理论和方法，研究地表矿物与环境的相互作用，为环境变化预测、环境质量评价和环境治理提供矿物学信息的一门交叉学科(刘瑞等, 2003; 鲁安怀等, 2015)。环境矿物学包含了矿物学在环境科学中的应用，以及运用矿物学的理论体系和研究方法处理环境问题。关爱环境就是关爱人类自身，环境矿物学在近十余年来一直是矿物学研究的热点领域，在环境日益恶化的今天，环境矿物学依然任重道远。

2.1.4 矿物表面研究

主要是应用现代固体表面物理和表面化学的理论和化学性质，研究矿物的表面原子结构、表面物理和化学性质，以及地球环境条件下发生于矿物表面和界面的化学过程和微观机制(陈丰, 2001)。这也是地球系统中广泛存在的水(流体)—矿物作用的基础。

2.1.5 同步辐射(电镜、波谱)矿物应用

这个领域实际上就是强调随着科学技术的进步,大科学装置(同步辐射、散裂中子源)以及新技术新方法要广泛引入到矿物学研究中。以高压矿物结构研究为例,因为高压产生装置(如金刚石压腔DAC)样品腔细小,如对矿物结构进行有效的探测,需要亮度和准直度均极高的X射线,只有同步辐射才能提供这样的光源(秦善等,2005)。又如电镜测量和分析中的FIB(聚焦离子束)技术,可实现对被测物体的操纵(如移动、定位)和测量(如三维形貌测量、电学测量等),大大提高了电镜的应用水平。这只有在科技发展的今天才能实现。

2.2 从统计数据看我国矿物学研究

衡量一门基础科学的发展,科技论文的发表情况是一个极其重要的指标。据统计,2004年至2013年10年间WoS数据库收录的地球科学领域文章共329061篇,篇均被引频次为10.4次/篇;中国地球科学研究的论文量为40673篇,占全球的12.36%,仅居美国之后,在世界排名第2位,但篇均被引频次为7.98次/篇,排名第5位。对矿物学而言,我国研究论文年均增长速度(2.74%)、篇均被引频次(13.6次/篇)均略高于国际平均水平;但论文被引频次大于50的论文所占比例达5.9%,远高于平均水平的2.6%(张志强等,2015),在地球科学领域比较突出,也说明我国的矿物学论文数量和质量呈明显的上升态势,在国际上有一定影响。

国家自然科学基金申请和批准情况可以可靠反映包括学科的研究现状。从矿物学在地质学科中的地位来看,并非主流学科。以2010年数据为例,地质学科申请批准项目中,矿物学连同岩石学和矿床学等一起,仅占据总数的22%左右(图1)。

从2001~2011年间统计数据来看,地质学科申请总数从661项增加到2214项,增长约240%,其中青年基金增长尤为突出,从92项增加到741项,增长了约7倍。矿物学的申请数量也在稳步增加(表2),相对比较平缓,且大量申请侧重于环境矿物学或应用矿物学领域。从申请者的年龄结构看,1960年代出生,大致在1980年前后大学学习的这批申请人已成为申请基金项目的主要力量;而随着青年基金数量的迅速增加,对应于1976~1980年出生的申请者已成为申请青年基金的主要力量(姚玉鹏,2012)。

2.3 矿物学的发展规律和特点

矿物学科的发展具有悠久的历史,几乎与人类

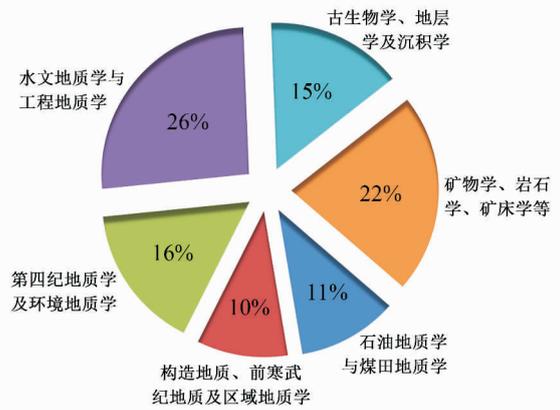


图1 国家自然科学基金2010年度地质学科批准项目分布

Fig. 1 The approved projects in geology subject of the National Natural Science Foundation of China in 2010

的文明同步。随着人类对自然需求的不断提高以及科学技术的进步,矿物学经历了从描述矿物学、晶体结构和微区研究、到以学科交叉为特征的现代矿物学几个阶段。19世纪中叶以前,人类对于矿物的认识尚处于萌芽阶段,此时只是人类已经能够用肉眼对矿物进行外表特征鉴定,并认识了一些矿物性质并加以利用,可称之为“描述矿物学”阶段。此后,偏光显微镜(19世纪中叶)、X射线(20世纪初)、物理化学和相平衡理论(20世纪30年代)不断引入矿物学,每一次都引发了矿物学研究的深刻变革和巨大进步,这个阶段是以矿物内部微观现象和晶体结构研究为特征的。20世纪60年代以后,物理学和化学学科中的一些近代理论,如晶体场理论、能带理论被应用于矿物学研究,一系列新技术和谱学手段的建立,如扫描隧道显微镜、同步辐射等大科学装置在矿物学研究中的运用,特别是高温高压等实验技术的实现以及电子计算机技术的快速发展等,促使古老的矿物学发生了全面深刻的变化,进入了可以从宏观到微观对矿物进行全面认识的现代矿物学阶段。

从矿物学分支学科的名称来看,我们也能窥见矿物学的发展特点。矿物学分支学科名称大体上有两类:一类是从研究内容角度划分的,如矿物化学、晶体化学、结构矿物学、晶体形貌学、矿物物理、成因矿物学和找矿矿物学、应用矿物学等,分别大致对应着矿物研究的化学组成、内部结构、外表形态、物理性质和化学性质、形成和变化的条件等。还有一类

则是从学科交叉的角度,诸如矿物学与材料科学交叉可称之为材料矿物学、与生命科学融合产生生物矿物学等。图2所示的就是矿物学与其他基础学科交叉融合衍生出来的边缘学科,从这个角度,有学者甚至建议将矿物学升格为“矿物科学”一级学科,以便与其他一级学科相对应,是有相当的道理的(汪灵,2005)。这从一个侧面也说明:矿物学已逐步摆脱作为基础学科的地位,进入了深度的跨学科的联合的领域。

2.4 我国矿物学的研究现状和动态

我国矿物学科的发展历史悠久,有文字记载的矿物学文献最早可见于《山海经》、《本草纲目》、《石雅》等古籍著作。矿物学科快速发展是在新中国成立后,伴随着我国地质找矿工作的热潮,矿物学也受到前所未有的重视,并在多个方面取得了具有国际水平的成果。

(1) 以彭志忠为首的课题组在矿物晶体结构解析和晶体结构研究方面的工作在上世纪80年代已具备国际水平,它们测定了大量的晶体结构,并以“结构矿物学的新成果”为题发表了一系列文章,不仅在晶体结构解析和结构矿物学领域作出了巨大的贡献,而且还培养了一批从事晶体结构研究的矿物学家,为我国的矿物学发展做出了杰出的贡献。

(2) 在晶体结构领域,叶大年(1988)开创了结构光性矿物学的新领域,他在这个领域的创新性工作,使我国的矿物学理论研究跻身国际先进行列。

(3) 发现新矿物也是我国矿物学研究的一个特色。自1958年黄蕴慧发现了我国第一个新矿物“香花岭石”以来,截止到2013年,中国发现的新矿物共计132种(王濮和李国武,2014;蔡剑辉,2014^①)。发现新矿物最多的个人是於祖相,迄今已发现了近20个新矿物,也是世界上发现新矿物最多的人。

(4) 在陨石矿物学,特别是冲击变质高压矿物的研究在上世纪90年代以来一直受到国际同行的高度重视。我国在上世纪80年代将透射电镜显微技术引入矿物学研究(赵景德和谢先德,1989),使得我国的矿物微结构研究迅速赶上国际步伐。

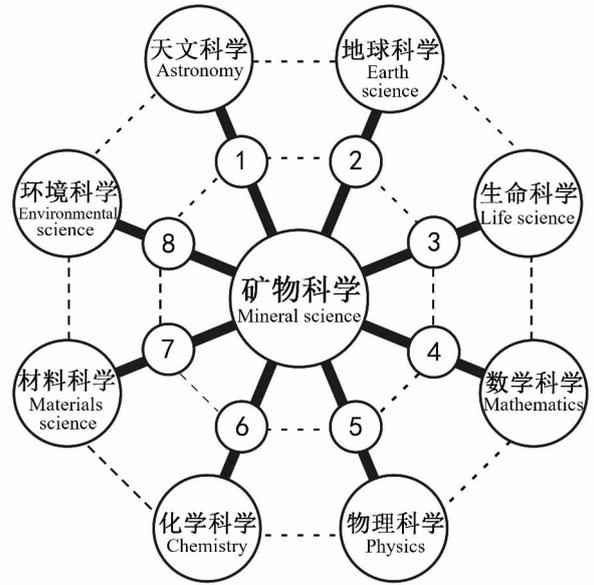


图2 矿物学与其他学科的交叉科学(引自汪灵,2005)

①宇宙成因矿物学/天体矿物学;②造岩矿物学/成因矿物学/找矿矿物学等;③生物矿物学等;④计算矿物学/数学矿物学等;⑤矿物物理/量子矿物学/矿物谱学等;⑥矿物晶体化学/矿物化学等;⑦矿物材料学/工业矿物学/工艺矿物学/合成矿物等;⑧环境矿物学

Fig. 2 Interdisciplinary branches produced by mineral science with other subjects (revised from Wang Ling, 2005&)

①Cosmic Mineralogy/Planetary Mineralogy;②Rock-forming Mineralogy/Genetic Mineralogy/Prospecting Mineralogy;③Biological Mineralogy;④Calculation Mineralogy/Mathematical Mineralogy;⑤Mineral Physics/Quantum Mineralogy/Mineral Spectroscopy;⑥Crystal Chemistry/Mineral Chemistry;⑦Mineral Materials/Industrial Mineralogy/Process Mineralogy/Mineral Synthesis;⑧Environmental Mineralogy

进入21世纪后,我国在矿物学的发展紧跟国际发展趋势,重视了矿物学与其他学科之间的交叉领域的研究,在某些领域取得了长足的发展。例如,环境矿物学,它面向我国环境污染防治得到许多科研院所的重视,在这个领域,不仅成立了专业学术机构

表2 国家自然科学基金矿物学(D0203)申请项目数统计

Table 2 The number of application for NSFC project in mineralogy subject (D0203)

年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
青年基金	6	6	6	8	5	2	4	10	12	14	22	34	26
面上项目	32	38	35	41	33	40	42	49	45	47	56	57	50

(中国矿物岩石地球化学学会环境矿物学专业委员会)并召开全国范围内的学术会议,而且十余年来在国际和国内期刊(*Acta Geologica Sinica (English Edition)*)、*Elements*、*Geomicrobiology Journal*、岩石矿物学杂志、矿物学报、矿物岩石地球化学通报)组织出版了14部“环境矿物学”专辑,发表了大量高质量的研究论文,而且还得到两个国家重点基础研究发展计划工作“973”项目的支持(2007~2011,若干生命活动中矿化作用的环境响应机制研究;2013~2018,光电子调控矿物与微生物协同作用机制及其环境效应研究),在国际矿物学界具有重要的影响。

除此之外,在高压矿物物理领域,随着毛河光领衔的“高压先进科研中心”在国内的建立和完善,大大提升了我国在此领域的研究水平和国际影响力;表面科学的飞速发展与交叉,使得我国的表面矿物学研究也得到了快速的提升;我国非金属矿物材料的研究在国际上也具有特色明显等。

我国矿物学科属于地质科学领域中的小学科,目前研究队伍主要集中在传统高校、中国科学院和中国地质科学院系统,队伍规模不足美国研究队伍的一半。在国家自然科学基金委员会的支持下,当前矿物学科在培养研究队伍、发展交叉方向等方面已有所改善;由国家自然科学基金委员会地学部组织和支持下每年都召开关于矿物学或矿物科学相关的战略研讨会,以讨论和推进矿物学的发展;近年来,每年矿物学科资助的基金项目已达到20多项。然而,我国矿物学科的现状仍十分令人担忧,突出问题表现在:缺乏面向重大科学问题的攻关研究,以矿物学为重点的研究项目极少,高水平科研队伍相对薄弱;此外,后备队伍建设不容乐观,受就业面的限制,本科生、研究生报考和招收人数不足,每年全国招收的矿物学研究生不足50人;也因为学科规模小,单位对矿物学科的重视程度也较以前有所削弱,学科建设经费投入较少,重要仪器设备更新换代问题难以解决,也是制约矿物学科发展的重要原因。

3 展望和建议

3.1 我国矿物学的优先领域和重点发展方向

根据国际矿物学的发展趋势和我国地球科学发展的总体现状,我国矿物学科在未来5~10年的发展目标应该是:以中国特色地质研究为强大动力,以矿产资源、材料和环境重大需求为契机,充分利用现代分析技术,形成中国特色的矿物学科发展模式,推动我国矿物学科进入国际先进行列。

我国矿物学科发展目前正处于历史发展机遇之一,无论是基础矿物学研究,还是应用矿物学研究都有稳定的研究队伍、研究平台和研究成果。以系统矿物学、矿物晶体化学和矿物微结构研究为基础矿物学研究,以研究天然矿物与地球表面各个圈层之间交互作用为特征的环境矿物学研究,以材料为主的应用矿物学研究,以微生物作用与表生过程有关的交叉研究,以实验和计算模拟为主的理论矿物学研究应是当前我国矿物学科的总体格局(王汝成, 2014^⑨)。矿物学科的优先发展领域和重点发展方向为:

3.1.1 地球深部矿物物理与高压矿物学

虽然因探测技术未突破,地球科学界探究地球深部的愿望未能如深空探测那样令人兴奋,但是,地球深部研究仍是地球科学家的不懈努力的方向,其中就包括矿物学家。矿物物理以固体物理和量子化学的理论和实验方法为基础来研究矿物,是矿物学与固体物理学和量子化学相结合的边缘学科。矿物物理能够通过矿物物理性质的变化而探知深部物质,并结合高压矿物学研究而使人类对地球深部的了解不断加深。本领域重点发展的方向有:

(1) 高温高压矿物结构和物理性质:揭示极端条件(高温高压)下矿物的结构和物理性质,重点是晶体、原子和电子结构研究和相变、物理性质(光、声、电、磁、力)等。

(2) 高压矿物晶体化学:微量元素、 H_2O 、挥发分晶体化学将是该方向今后关注的重点,如这些微量组分在地幔矿物中的微区地球化学及地幔储库、以及对地幔矿物的结构、物性及深部地质过程的重大影响,地球深部含Fe矿物相中Fe的价态和自旋态等。

(3) 矿物相变的实验与计算模拟:重点关注下地幔和地核温压条件下矿物相变研究,微量元素对矿物高压相变的影响等。

3.1.2 不同介质体系中的矿物表面科学

矿物表面具有与矿物体相完全不同的结构、化学、电场效应等特征,矿物与介质之间的相互作用显著受表面反应性的控制。随着表面分析技术的普及和提高,矿物表面研究也与表面化学等相关学科一样得到飞速发展。矿物表面科学将侧重于揭示粘土、硫化物、硅酸盐等矿物在无机、有机、生物等介质中的表面特征和表面行为,利用实验、计算模拟等先进方法精细表征和重点解决溶解、沉淀等表面行为的机制问题。本领域的重点发展方向有:

(1) 粘土矿物结构调控与表面修饰:从原子水平揭示粘土矿物在地球系统物质循环中的作用及其微观过程,研究粘土矿物表—界面反应性的形成机理与作用机制,建立粘土矿物结构调控与表面修饰的新技术、新方法。

(2) 矿物表面溶解机制:重点开展介质条件对矿物表面溶解过程的影响、表面膜控制矿物溶解机制、以及表面溶解—再沉淀模型的实验研究。

(3) 分子水平的生物矿化机制:生物矿物结构类型、化学组成、形貌和大小,生物矿化控制机制,生物矿化中微量元素富集机制等将是我国生物矿物学重点攻关的问题。

(4) 纳米矿物:微生物控制的纳米矿物结晶机制、纳米矿物表面反应性与环境意义等是需要更多关注的问题。

3.1.3 我国重要和特色矿产资源的系统矿物学研究

我国地质现象复杂,矿产资源丰富,尤其是许多超大型矿床世界闻名,我国前辈矿物学家曾经开展了一系列重点矿床的系统矿物学研究,为矿床学研究和找矿工作作出了贡献。随着我国对矿产资源需求日益迫切,矿床勘探和研究更加重视,矿物学应充分利用未来我国地质学发展的良好局面和先进的研究手段,为我国矿床学研究和地质找矿工作提供最重要的基础矿物信息。本领域重点发展方向包括:

(1) 重要矿床的系统矿物学:我国超大型金属矿床的矿物学研究、有用元素综合评价等。

(2) 成岩成矿过程的精细矿物记录:加强我国特色成矿类型副矿物示踪理论研究,突出基于微束分析技术的“定年”副矿物的研究。

(3) 矿床成因与找矿矿物学:拓展我国重要矿床和成矿区成因矿物学研究,建立适用于深部地质找矿的矿物学找矿标志。

(4) 新矿物研究:加强和鼓励开展我国新矿物研究。

3.1.4 宇宙矿物学

宇宙矿物学主要以陨石和陨石撞击坑岩石为研究对象,探索其中矿物的物理与化学的特征,为行星科学和地球科学提供信息。我国近年在南极共收集到将近1万块陨石,成为仅次于日本和美国拥有南极陨石最多的国家。大量陨石样品的发现,为我国研究太阳系的起源和演化创造了有利的客观条件。宇宙矿物学未来的研究重点将体现在两个方面:

(1) 高压冲击变质作用:开展天体撞击事件中

的冲击变质矿物研究,探索陨石和地球陨石坑岩石由撞击引起的极端高温高压条件下矿物的响应,特别是矿物的变形和相变,为了解天体撞击的能量、天体的演化和核爆炸效应提供信息,以及为地球等类地行星的核—幔—壳形成和深部物质组成和结构获得新的认识。

(2) 陨石与类地行星矿物学:研究陨石矿物及其所揭示的太阳系的化学分异作用,建立太阳星云化学分异的时空模型,获得月球、地球、火星等类地行星的初始物质组成;以深空探测为目的的宇宙矿物学谱学特征研究,为发展我国太空遥测技术提供矿物学理论基础。

3.1.5 环境演化与控制矿物学

环境矿物学作为现代矿物学的重要分支学科,是研究天然矿物与地球表面各个圈层之间交互作用及其反映自然演变、防治生态破坏、净化环境污染及参与生物作用的科学。该领域面向反映不同时间空间尺度上环境变化的矿物信息载体的研究、面向矿物影响人类健康与破坏生态环境的本质及其防治方法的研究和面向具有治理环境污染与修复功能的天然矿物材料的研究。本领域将重点发展以下方向:

(1) 不同时空尺度地质环境变化的矿物记录:开展地球早期生命起源非生物途径生命物质合成的矿物催化作用研究,地质历史环境演变过程的矿物标识作用研究,地表系统生态环境质量与区域环境容量评价的矿物评价作用研究。

(2) 污染物治理矿物材料:研究开发矿物在治理环境污染与修复环境质量上的重要功能,包括发掘无机界矿物自净化功能与原理,开展多种金属矿物和非金属矿物防治环境污染的基本性能研究;环境矿物材料开发与应用研究,发展点源与面源中高浓度强污染水体矿物学治理方法研究,固体废弃物无害化处置与资源化利用的矿物学研究,温室气体抑制和固定化矿物学研究。

(3) 核废物处置矿物材料:揭示矿物材料对核素迁移的阻滞与存留效应,开展核废物地质处置陶瓷的类比矿物研究。

矿物学研究涉及矿物物理、晶体化学、矿物表面行为,矿物形成不仅与无机过程有关,也可是微生物作用的结果,矿物所具备的材料属性决定了矿物不仅仅只属于矿物学自己。因此,鼓励矿物学与其他学科交叉、渗透是未来矿物学发展的重中之重,重点交叉方向有:

(1) 生物起源和演化是生命科学关心的重大问

题之一。粘土矿物、硫化物或硫酸盐矿物对于生命起源及生命繁衍具有重要的作用。极端环境中与矿物共存的微生物使我们相信,矿物与微生物相互依存、相互作用无时不在。因此,与地球生命过程有关的矿物行为已成为矿物学与生命科学交叉的重点方向。

(2)自然产出的许多矿物的材料属性不断被矿物学家和材料学家所认识和重视。揭示矿物的材料性质,发现矿物新的物理化学性能,提升矿物资源利用价值,都涉及重要矿物材料高性能应用中的基础矿物学研究,更需要矿物学科与材料学科共同推进这一重点交叉方向的发展。

3.2 建议

矿物学科是地球科学的基础学科,矿物学科兴衰会制约我国地球科学的发展潜力,因此,我国有必要设立国家层面的矿物学研究中心或平台,以推动学科发展。

现代矿物学是与物理、化学、生物、材料等其他学科交叉、融合的学科,因此,要鼓励设立和优先支持矿物学与其他学科交叉的重大、重点项目。

为推动我国矿物学的快速发展,设立专门的矿物学发展基金,用于举办现代矿物学短训班、参与高层次国际学术合作等。

鼓励和扶持矿物学科优秀人才,通过获得“杰出青年基金”、“优秀青年基金”等高层次人才项目,成长为学科领军人才。

致谢:在本文思考和撰写的过程中,笔者等与多位国内矿物学专家进行了广泛的交流和讨论,并深受他们的一些观点和思想的影响,在此表示衷心感谢!

注 释 / Notes

- ① 蔡剑辉. 2014. 中国新矿物的发现和研究进展. 2014年全国矿物学发展研讨会发言.
- ② 王汝成. 2014. 地球科学学科发展战略研究报告. 未发表资料.

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; the literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

- 陈丰. 2001. 二十一世纪的矿物学. 矿物学报, 21: 1~13.
- 刘瑞, 鲁安怀, 秦善. 2003. 新世纪国际环境矿物学研究的现状与进展——第18届国际矿物学大会环境矿物学研究综述. 岩石矿物学杂志, 22: 458~461.
- 鲁安怀, 王长球, 李艳, 等. 2015. 矿物学环境属性概论. 北京: 科学出版社.
- 彭明生, 刘晓文, 刘羽, 杨志军. 2012. 工艺矿物学近十年的主要进

- 展. 矿物岩石地球化学通报, 31: 210~217.
- 秦善, 刘景, 祝向平, 巫翔, 李晓东. 2005. 同步辐射与高压矿物学研究. 地学前缘, 12: 115~122.
- 宋学信. 1991. 国内外矿物学研究现状与发展趋势. 地质论评, 37: 460~464.
- 汪灵. 2005. 矿物学的概念. 矿物学报, 25: 1~8.
- 王濮, 李国武. 2014. 1958~2012年在中国发现的新矿物. 地学前缘, 21: 40~51.
- 谢鸿森. 1997. 地球深部物质科学导论. 北京: 科学出版社.
- 姚玉鹏. 2012. 地质学基础研究队伍现状——根据国家自然科学基金申请格局的分析. 地球科学进展, 27: 581~588.
- 叶大年. 1988. 结构光性矿物学. 北京: 地质出版社.
- 张志强, 郑军卫, 王雪梅, 等. 2015. 地球科学资助战略与发展态势. 北京: 科学出版社.
- 赵景德, 谢先德. 1989. 地质研究的微矿物学技术. 北京: 科学出版社.
- 朱建喜, 何宏平, 陈鸣, 董发勤, 冯雄汉, 蒋引珊, 王林江, 袁鹏. 2012. 矿物物理学研究进展简述(2000~2010). 矿物岩石地球化学通报, 31: 218~228.
- Chen Feng. 2001&. Mineralogy in the 21st century. Acta Mineralogica Sinica, 21: 1~13.
- Liu Rui, Lu Anhuai, Qin Shan. 2003#. Current research and advance of environmental mineralogy in the new century: a review of the the 18th International Mineralogical Convention. Acta Petrologica et Mineralogica, 22: 458~461.
- Lu Anhuai, Wang Changqiu, Li Yan, et al. 2015#. Introduction to Environmental Properties of Mineralogy. Beijing: Science Publishing House.
- Peng Mingsheng, Liu Xiaowen, Liu Yu, Yang Zhijun. 2012&. The main advances of process mineralogy in China in the last decade. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 31: 210~217.
- Qin Shan, Liu Jing, Zhu Xiangping. 2005&. Synchrotron radiation and high-pressure mineralogy. Earth Science Frontiers, 12: 115~122.
- Song Xuexin. 1991#. The research and development trend of mineralogy at home and abroad. Geological Review, 37: 460~464.
- Wang Ling. 2005&. The concepts of mineral science. Acta Mineralogica Sinica, 25: 1~8.
- Wang Pu, Li Guowu. 2014&. New minerals found in China (1958~2012). Earth Science Frontiers, 21: 40~51.
- Xie Hongsen. 1997#. An Introduction to the Earth's Deep Material Science. Beijing: Science Publishing House.
- Yang W S, Noh J H, Jeon N J, Kim Y C, Ryu S, Seo J, Seok S I. 2015. High-performance photovoltaic perovskite layers fabricated through intramolecular exchange. Science, 348: 1234~1237.
- Yao Yupeng. 2012&. Current workforce pattern of the geological basic research in China——Based on the statistics of the proposals for the National Natural Science Foundation of China. Advances in Earth Science, 27: 581~588.
- Ye Danian. 1988#. Structural—Optical Mineralogy. Beijing: Geological Publishing House.
- Zhang Zhiqiang, Zheng Junwei, Wang Xuemei, et al. 2015#. Funding Strategy and Development Trend in Earth Sciences. Beijing: Science Publishing House.
- Zhao Jingde, Xie Xiande. 1989#. Micro Mineralogical Techniques for Geological Researches. Beijing: Science Publishing House.
- Zhu Jianxi, He Hongping, Chen Ming, Dong Faqing, Feng Xionghan, Jiang Yinshan, Wang Linjiang, Yuan Peng. 2012&. An overview

The Development and Prospect of Mineralogy in China

QIN Shan¹⁾, LIU Jinqiu¹⁾, CHI Zhenqing²⁾

1) *School of Earth and Space Sciences, Peking University and Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, MOE, Beijing, 100871;*

2) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*

Abstract: Mineralogy is one of the basic subjects in earth sciences, which has a long history and made a great contribution to human civilization. In recent years, the great progresses of science and technology, as well as the rapid development of related disciplines, have deeply affected the mineralogy. This report summarizes the present research and the development of mineralogy from multi-aspects, and puts forward the priority areas and the key development directions of mineralogy in our country. The perspective of mineralogical development in the future is also prospected.

Keywords: mineralogy; development status; prospect

Acknowledgements: This paper was supported by China Geological Survey (No. 1212011121133).

First author: QIN Shan, male, born in 1962, professor of mineralogy at Peking University. Email: sqin@pku.edu.cn

Manuscript received on: 2016-01-29; Accepted on: 2016-06-15; Edited by: ZHANG Yuxu.

Doi: 10.16509/j.georeview.2016.04.014