

引领世纪的地球系统科学研究现状

江永宏

(中国地质调查局发展研究中心情报室,北京 100037)

摘要: 随着人类社会谋求可持续发展意愿的加强,突出系统科学的服务和规范已成为我国公益性地质工作的战略要求,并且成为引领新世纪地球科学的发展方向。建立在地球探针等技术基础之上的系统科学,必将促进多学科交叉融合,从地球系统整体行为研究寻求解决办法。由此提出了地球系统和地球系统科学的概念。通过自由性、统计性、组合性的研究,研究自然界中的秩序与和谐,通过体系的完全性、参数性、层次性的研究,揭示不同空间的物质组成,解释不同结构的物性参数,通过地质学、地球物理、地球化学信息的研究,探索开发矿物原料、资源估算、水文生态、污染治理、矿山监测。

关键词: 地球系统;地球系统科学;矿产资源;挑战与机遇

中图分类号: N94;P691 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2012)04-0498-11

0 引言

地球系统是指由大气圈、水圈、岩石圈和生物圈(包括人类)组成的有机整体。地球系统科学就是研究组成地球系统的这些子系统之间相互作用的过程。地球系统科学的学科范畴跨越了自然科学与社会科学,地球系统科学研究的空间范围从地核到地球外层空间;研究的视角是地球各组成部分之间的相互作用,是将地球看作一个由各圈层构成的、相互作用的统一系统,进而综合估价固体地球/流体地球与生态圈之间的关系以及人文影响;时间的尺度从几秒到几百万年。地球系统科学是横跨固体地球科学、大气科学、海洋科学等的横断学科。1988 年美国《地球系统科学》一书提出了地球系统科学的概念框架^[1-2]。

自从上世纪 70 年代以来,国际地球科学界相继实施了一系列合作研究计划,如《国际地球动力学的计划》、《国际岩石圈研究计划》、《国际大陆动力学计划》和《国际深海钻探计划》等。存储在发达国

家图书馆里的众多地质资料使人相信,在上述计划的实施中获得的大量珍贵资料和数据,足以改变传统地球科学概念与面貌,使地球科学作为自然科学领域中的前沿学科,成为制约社会经济发展的战略学科^[3]。

按照二级学科统计,中国地质大学现有传统地学、地学延伸和非地学三大类学科专业,在学科专业数中大约各占 1/3,形成了较为合理的专业设置构架。但是,它们的发展是不平衡的。地学类基本属于特色明显的优势学科,但需要在新形势下扩展学科领域,构建地球系统科学^[4]。

地球系统科学作为研究地球系统的科学,包括 4 个部分。①辩证法则:主要通过体系的自由性、统计性、组合性研究,研究自然界中的秩序与和谐、进序与退序、海侵与海退,包括地球物理数据系统、地理空间开发数据系统、地下水环境评价数据系统、矿产资源勘探开发数据系统、自然灾害系统;②选择法则:揭示不同系统与模型的资源影响,解释不同成因的定位因子,能标示开发背景中地球的影响特征和评价特征,通过体系的完全性、参数性、层次性,揭示不同空间的物质组成,解释不同结构的物性参数,能

收稿日期: 2011-07-20; **改回日期:** 2012-10-07; **责任编辑:** 余和勇

基金项目: 国土资源大调查项目(编号:20001020223023,200313000068-02)和国家自然科学基金资助项目(编号 40073012)联合资助。

作者简介: 江永宏(1973-),男,副研究员,博士,2004 年毕业于中国地质大学(北京),现从事成因矿物学研究、地质调查项目情报编译与科技成果集成课题研究。通信地址:北京市阜外大街号,中国地质调查局发展研究中心情报室;邮政编码:100037;E-mail:jackykat@sina.com

标示自然背景中地球系统的地质特征和混合特征;
③随机法则:随机信息包括地质学、地球物理、地球化学信息,从低端、低组合、低模糊的地质信息、标本信息、事件信息和存储信息发展到高端、高组合、高详细的集成信息、使用信息、辅助信息和图表信息;
④战略法则:地球系统的战略涉及经济、社会、人文和自然,包括战略的客观性、依存性、长期性,揭示不同序次的战略高度,解释不同国情的论证含量,能标示经济背景中地球的自然特征和经济特征,适用于矿物原料、资源估算、水文生态、污染治理、矿山监测。以下分由来与发展、统一与思辨、内容与属性、挑战与机遇 4 个部分进行阐述。

1 地球系统科学的由来与发展

自 20 世纪 80 年代以来,地球科学开始进入一个新的发展时期^[5]。国际深海科学钻探计划已经开展了 35 年(DSDP, 1968—1983; ODP, 1985—2003),如果用一句话来概括其科学贡献,那就是推动地球科学进入了“地球系统科学”(或者说“地球系统演化”)的新阶段^[6]。随着地球系统科学与人文研究的深入,需要回答“地球资源的极限承载力及可持续性”、“资源能支持人类社会发展多久”、“生存环境对人类自身发展的制约”、“人与自然协调发展的契约性范围”和“全球环境在人类活动干预下的变化趋势”等诸多问题。

要回答这些问题,就要将地球的大气圈、水圈、生物圈、岩石圈、地幔和地核以及近地空间作为一个整体,并与物理、化学、生物过程和人类活动密切联系,实现多学科的交叉融合,从地球系统整体行为研究寻求答案。近 20 年来,国内外地球科学界的众多科学家广泛进行了由国际地圈生物圈计划(IGBP)、世界气候研究计划(WCRP)、国际全球环境变化人文因素计划(IHDP)、生物多样性计划(DIVERSITAS)以及大洋钻探计划(ODP—IODP)等大型研究计划组成的全球环境变化研究,使人们愈来愈认识到地球的各个组成要素处在相互作用的动态系统之中。任一层圈过程都在不同程度上与其他层圈不同时空尺度过程存在着相互影响和制约;任一层圈的结构、功能和行为都是地球系统在局部的反映;其中某一成分的改变都会带来其他成分的反应,同时这种改变也是其他成分共同作用的结果。由此提出了地球系统和地球系统科学的概念。地球系统科学是

以了解地球系统整体运行与变化为目的的一门新兴的、多学科交叉的复杂性研究学科^[8]。

2001 年,英、美地质学会在英国爱丁堡联合召开的“地球系统的过程”国际大会,首次提出了地球系统科学。经研究,将学科交叉分为 3 个层次:① Modidisciplinary:指形式上的学科交叉,原有学科界线依然存在,学科的发展依据科研技术;② Interdisciplinary:指学科间的或跨学科的学科交叉,学科的前沿决定领导力;③ Transdisciplinary:指彻底的学科交叉与融合,旧的学科已不存在,而是形成新的超级学科。会议确定的两大主题代表了地球系统科学的两大前沿:一是“地球系统的联系”,强调对地球不同层圈间相互作用的了解;二是“地球系统的演化”,旨在探讨地球形成以来其特征变化的过程,有科学家认为,地球系统变化的理论将成为 21 世纪地球科学的突破点^[9,10]。

观测、研究和模拟相结合是进行地球系统研究的基本方法,对地观测技术是推动地球系统科学进步的引擎。在地球过程的各层次研究中,地球系统科学着重于全球尺度、几十年到百年时间尺度的变化。地球系统各要素的观测实验数据的长期积累是研究地球过程的基础,因此,新的数据观测获取技术,数据的转化—处理—压缩技术和模型计算技术,数据资料的信息共享系统至关重要。用数学模型描述各子系统相互适应的关系,各种循环(水、碳、生物地球化学循环等)和各种过程的内在联系,最终达到定量模拟和预测未来地球环境变化的目的^[5]。地球科学系统的研究必须从系统的和整体的观点出发,把地球当作一个行星,研究地球的大系统及其子系统,即地球的整体演化方式、全过程的形成机制和可能发生的变化趋势,在这个意义上获得全新的认识^[11];而传统地球科学的各分支学科多注重研究自然分类的资源属性和环境属性,进而把地球客体划分为不同的部分,将对各部分研究成果的简单叠加视为“地球科学”。

2 地球系统科学的统一和思辨

2.1 统一的难点

我国地球系统科学研究中可能遇到的难点是如何加强模拟计算与平台建设,以及如何正确理解地球系统的整体运行机制等。进入 21 世纪,地球科学的研究对象将会产生重大转变,将从研究地球系统

天然地质作用及其产物为主,转变为研究地球系统天然地质作用及其产物与人为地质作用及其产物同时并重。即由早先的“理论地球科学”逐步转化成为“人为地球科学”的全新学科体系^[12]。

复杂性科学是研究“复杂性涌现机制”的科学,它是集多种现代科学理论于一体的横断学科。①地球系统的复杂性无处不在,复杂性科学正是以自然界的复杂性为研究对象,自然复杂性的共性表现为非线性、多变性、多层次、多因素、峰谷性、后退性、阈值性、妥协性、自体性、对称性、时空演化多样性、奇异性、确定性和随机性等;②地球系统是总体上远离平衡、时空延展的多圈层综合集成、连续开放的复杂耗散动力巨系统;③地球系统的复杂性与非线性是由其属性所决定的,主要表现在地球系统的层次性、无特征尺度性、开放性、相干性、临界性和自组织性和其结构与动力学行为的自相似性及分形性等诸多方面;④地球系统复杂性的研究必将导致一种全新的地球系统科学方法论和地球观的出现^[13]。

2.2 重要的问题

1972年,以麻省理工学院 D. L. Meadows 为首的研究小组提交了罗马俱乐部成立后的第一份研究报告——《增长的极限》,在学术界引起了强烈的反响。报告中表现出对人类前途的“严肃的忧虑”,并籍此唤起人类自身的觉醒;同年,斯德哥尔摩召开的联合国人类环境会议也首次将环境问题纳入世界各国政府和国际政治的议程,并通过了《人类环境宣言》;1987年,世界环境与发展委员会(WCED)向联合国大会提交了研究报告——《我们共同的未来》,系统探讨了人类面临的一系列重大经济、社会和环境问题,提出了“可持续发展”的概念,把环境的保护置于人类的发展的语境中,从而实现了人类关于环境与发展思想认识的重要飞跃。1992年6月,在巴西里约热内卢召开的联合国环境与发展大会(UNCED),通过了《里约环境与发展宣言》(即《地球宪章》)和《21世纪议程》2个纲领性文件,标志着人类对环境与发展的认识提高到了一个崭新的阶段^[14]。

在中国,上世纪六七十年代兴起的对自然地理各要素进行综合研究的思想,可以看作是(表层)地球系统科学在中国的萌芽,代表人物是钱学森等学者。系统论思想和方法的引入,推动了地下水系统理论和成矿系统理论的研究,出版了一些相关的论著,形成了上世纪80年代地球系统科学的部分雏形^[15]。南京大学于2000年11月设立了国际地球

系统科学研究所(ESSI)^[16]。

十多年来,地球系统科学的发展有2种趋势:一是地球科学的相关学科更多地从地球系统概念推动学科发展,使原有学科焕发出新的活力,一些学科之间的界限变得模糊,学科间的交叉渗透更为普遍和深入,促进了新的分支学科的形成;以火山和地震为例:近年来,一方面重视壳—幔和幔—核相互作用,通过矿物(地球细胞)的分子级研究,联合—整合—兼容其他原子级别和块体级别的元素、同位素、岩石和地质构造等研究板块俯冲和折返过程、岩浆作用、变质作用、地幔柱活动和地球化学循环;另一方面重视岩石圈—水圈—大气圈—生物圈相互作用,通过沉积岩、化石、黄土、湖泊沉积、岩溶和深海沉积等研究沉积作用、海底热液活动、生物地球化学循环、环境变化和生物的演进^[17-19];二是将地球系统科学作为一门新学科加以推动和发展,《地球系统科学》一书指出:“地球系统科学将地球视作各部分相互作用的整体系统,对这一系统的研究应当超越学科界限”。中国科学院地学部多次强调发展地球系统科学是21世纪初叶的重要学术方向^[20-21],并在其组织编撰的《21世纪中国地球科学发展战略报告》中提出了我国地球科学发展的8个重大科学问题:①行星地球的物理、化学、生物过程及其协同演化;②海洋的物理和生物地球化学过程及其资源环境效应;③陆面地表过程、资源环境、人类活动与可持续发展;④天气、气候系统和空间天气的变化与趋势预测;⑤全球变化与地球系统科学;⑥矿产资源和能源的形成机制,勘查新技术与可利用性;⑦水资源与可持续发展;⑧自然灾害与防治^[22]。

我国的经济已经进入全球经济的大循环体系,无论从地球系统科学的性质考虑,还是从参与国际竞争的需求出发,我国的地球科学研究都应在立足本国的前提下积极参与国际竞争;同时通过国内的辐射效应,推动整个地球科学界扩大眼界、面向全球;从而在国内研究项目中具有全球意识,在参加国际合作时也应本国的目标。中国进入地球系统科学的核心研究圈,需要结合我国的实际情况,根据自身的力量和积累,瞄准有突破前景的学科方向,实行记录、模型与观测的结合,选定既有本国特色又有与国际接轨的长期性研究计划。比如“中国宏观自然环境格局及其演变趋势”,可以对青藏高原、季风气候和边缘海盆的内在联系、形成机理与演变方向等问题进行系统研究,实现基础理论和实际应用的突破性成果。同时,应大力推进地学和生命科学在分

子水平上的结合,采取有力措施,组织有关学科的力量,在地微生物学、演化基因组学等方面参加国际前沿性研究^[23]。

2.3 讨论的热点

2004年,欧美地球物理学会在尼斯联合举行万人大会,会议讨论的“显生宙的大气历史”、“地球与类行星的岩浆发生演化”、“大气圈与生物圈的交换”、“从源到汇的全面探讨”、“地幔构造与成分:地球物理与地球化学模型的协调”等热点问题均属于地球系统科学的范畴;其中既包含基础性的现象描述、采集记录方面的研究,也包括目标性的追踪过程、探索机理方面的思考。

地球系统不同于经典力学和阿里斯多德力学,偏向于地震衍射力学、冰川亿年演变规律和行星地球耗散规律,因为过于复杂,不可能用牛顿定律或者门德列夫周期律这样简明的基础理论加以概括。比如,人们早已注意到厄尔尼诺现象,上世纪60年代认为是热带太平洋海气相互作用中的重大异常,但是对其形成机制不甚了解;1985年,在热带大洋与全球大气计划(TOGA)实施过程中,在太平洋赤道两侧放置了近70个锚系,连续十几年的观测,跟踪大气和上层海水的变化,揭示出西太平洋暖池海温与东太平洋上升流的关系,为厄尔尼诺的预测提供了依据^[23]。随后的研究不断有所发现,通过现代观察、测试与古代记录的分析,揭示出热带过程影响全球气候系统的重要途径,成为地球系统科学研究的一个范例。

大气中CO₂浓度的上升及其全球变暖使与海洋内无机碳含量密切关联的“溶解泵”(solubility pump)和“生物泵”(biological pumps)呈现负反馈。CO₂在温度低、盐度高的水域易于溶解,但全球变暖促使海水产生分层现象,使CO₂从海水表层向深层传输的速度减慢,影响固定的碳量;由于全球变暖和极地冰溶解增多等原因,海水表层形成了一层低盐度的盖(cap),使表层水更易结冰,导致CO₂溶解度减小,减少了传输的CO₂量;大多数的水生生物(藻类)并不直接利用海水中的CO₂,而较多地利用HCO₃⁻作为光合作用的碳源,浮游生物光合作用降低了上层海水的CO₂分压,促进了海洋对于大气CO₂的吸收;每年大约有110~160亿t的碳因此由海洋表层转移至海洋内部;此外,无机碳泵的作用使CO₂最终以碳酸盐的形式被固定^[24]。

挪威特罗姆瑟大学天然气水合物研究组认为,天然气水合物除了一般的形成机制外,在北太平洋

洋底的扩张带中洋壳裂隙—孔隙层中水的热对流也是一种可能的形成机制。我国对天然气水合物研究刚起步,但进展较快,而且投入了大量的工作,包括“西太平洋气体水合物找矿前景与方法调研”、“中国海域气体水合物找矿前景研究”、“海底气体水合物资源勘察的关键技术”等研究^[25]。

2.4 可供性问题

世界矿产资源丰富,对我国具有一定可供性,但尚未形成满足我国经济快速发展的稳定供给格局。我国短缺和严重短缺的矿产,在世界上均有丰富的资源,在今后几十年内不会出现全球性的资源危机。从国家经济安全考虑,中国政府和企业要共同努力建立利用国外资源的稳定格局。刚刚进入进入21世纪,国土资源部就组织力量开展了我国45种矿产资源的可供性论证研究,针对矿产资源现状与特点、开发利用情况和条件、矿产可供性、矿产资源供需形势、资源对社会经济发展的保证程度、利用两种资源和两个市场、存在的主要问题与对策^[26]等问题展开详细研究。

2.5 循环性问题

由于人类长期使用大量的矿物燃料,致使大气和海洋中污染性的二氧化碳大量增加,而大片的森林、草地、湿地变为农田、城镇及类似的变化,陆地生物群落碳的贮存能力却大为减少,地球碳的循环分布被迅速改变^[27];水循环和碳循环是贯穿地球表层系统的“红线”,其实二者都深入到地球内部,只是在地球深部循环的速度比在表层系统中慢得多,通常被人们所忽略;而在以百万年为计量单位的时间尺度中,地球系统碳循环的主角就是地幔和地壳。造山作用影响到岩石圈,由于高温高压反应放出CO₂,岩石圈随板块俯冲至地幔深处,通过火山活动又返回到地表和大气中。Berner等首次计算了1亿年来碳酸盐/硅酸盐地球化学的循环,提出了著名的BLAG模型,突破前人局限于静态物理和动态势能的角度研究温度压力关系的研究思路,探讨了碳循环和大气CO₂浓度的演化:一方面地幔物质在洋中脊不断排气,另一方面俯冲到深部的碳酸盐岩变质脱碳,产生的CO₂从火山口排出,这是深部成因的温室气体对地表系统产生的重大气候效应。对氮循环的影响也如此:化石燃料和生物量的燃烧、氮肥的使用以及污水的排放,致使大气中的N₂O总量以每年0.2%~0.3%的速度增加,水生生态系统的N₂O积累估计每年达到1012g。磷和硫循环也受到人类活动的影响:生产和消费活动增加了磷酸盐的排

放,大多数河流和河口遭受了富营养化过程,酸雨可能改变原有生态系统的全部功能^[27]。

3 地球系统科学的内容与属性

地球科学与人类社会发展有重要的联系^[28]。上世纪30—40年代诞生了系统论、信息论和控制论等跨学科的横向科学,并在60—70年代产生了耗散结构论、协同论、超循环论、突变论与混沌论等,将现代科学的边缘化、交叉化、综合化的新趋向推向新的高峰,我国著名科学家钱学森将这新兴起的学科称为系统科学。系统科学的兴起拓展了人们的视野,使人们重新审视文艺复兴以来产生的近代科学,以分析方法为手段所研究的是简单性世界,而系统科学则以系统的有序运动为特征,研究的是复杂性世界,它将成为本世纪现代科学研究的主题^[29]。地球系统科学的内容与属性表现在人类与社会的圈子与自然和资源存在本质依存关系。人类生活在地球上,一切活动都离不开地球:人们从地球上获取生活资料,以求生存;就要从地球上获得生产资料和矿产资源,以期发展与进步;为求得更好的生存条件,抵御自然灾害,人类需要不断地认识地球系统,了解地球系统的形成规律,逐步形成以研究地球系统为对象的科学——地球系统科学,并不断得以丰富和完善^[28]。

3.1 地球科学是推动人类社会发展的重大科学

地质工作是一项涉及地质历史、地球物理和地球表面的综合学科。我国地质学科发展多年,主要获取了以下几方面的地质信息:①基础性地质信息;②与重大基础项目建设所需的地质工程信息;③矿产资源地质信息:包括能源、矿产品、工业材料、农业土壤所需的地质信息^[30]。迄今为止,世界上已发现的矿产资源种类达162种,已探明一定储量的矿产达148种,矿产资源的开发和利用已成为人类社会经济发展重要的物质条件。在20世纪的100年间,地球资源开发利用的速度和数量迅速增长:石油的年消费量由2043万吨增加到35亿吨,增长了177倍;钢、铜和铝的年消费量分别由2780万吨、49.5万吨和6800吨增加到8.47亿吨、1400多万吨和2454万吨,分别增加30倍、28倍和3600倍;与此同时,全球GDP增长了18倍,人类创造的财富超过了以往历史时期的总和^[28]。矿产资源作为人类生长的极限所有物,不仅要解决21世纪矿产资源供需

问题,而且要解决矿产资源开发带来的环境和土地利用方面的问题,所以可供性问题属于经济安全和生态安全的问题,为实现矿产资源的可持续供应,美国国会责成美国地调局制定未来美国矿产资源活动计划,即《国家矿产资源调查计划》^[30]。在全球经济异常繁荣的世纪之交,地质资源开发市场异常活跃,1996—2005年,全球贱金属和金的并购额超过1100亿美元,2005年大型矿业公司并购达到顶峰,涉案金额达428亿美元。矿业公司的大规模联合和兼并,使全球矿业的集中度进一步提高,并且解决了上游断水的商业龙头危机。因为资源和生态业是重要的经济产值行业,有关数据显示全球前50位的大型矿业公司产值份额占全球矿业产值的59.01%^[30]。

3.2 人类社会的发展为地球科学的丰富和发展创造了条件

地球科学在提供人类认识地球,充分利用自然资源和环境,促进人类发展的理论和知识的同时,也在不断吸收和容纳人类文明进步的成果,使自己得到不断地发展和丰富,逐步成为了一门综合性的、较完善的科学,并在如下方面有了较快的发展^[27]。

3.2.1 从侧重固体地球的研究发展为对地球系统科学的研究

由于人类空间探测技术、航空—航天遥感、大陆海洋深钻、地震层析成像、大规模海洋观测、计算机和信息科学技术等的发展,使人类对地球的研究能上天、入地、下海、探极,视地球为地核、地幔、地壳以及岩石圈、大气圈、水圈、生物圈、人类圈各部分组成并相互作用的一个整体,形成了地球系统的观念^[28]。

协同演化原为生物学和生态学的概念,指某一个或多个物种的特征受到其他物种特性的影响而产生的相互演化现象。为了避免引起生物学家的误会,我国地质学家过去并没有用协同演化来表达生物圈与地球系统之间的相互作用;然而,生物圈与地球系统之间的协同演化这一概念在国外很早以前就已普遍应用^[31]。

生命过程与地球非生命部分的演化是相互作用、相互制约的协同演化过程。继大陆漂移—海底扩张—板块学说之后,人们从地球系统整体行为角度综合多学科的知识,又一次探索地球及其大气圈、水圈和生物圈在地质历史时间演化的记录,进而发现和了解了地球历史上地球环境演变对生命演化的影响,同时一定程度上又揭示了目前尚未知晓的

地质事件。例如,始新世以及其后的生物“跨太平洋分布”及其相关的太平洋海盆形成的历史等。对极端环境条件(如“深部生物圈”)的现代生命过程认识不仅在生物技术应用上有巨大潜力,而且对于进一步理解生命起源和地外生命都有重要的理论意义^[32]。

地球的整体性是有机联系的,整体中性包含着各事物之间相互联系、相互作用而存在。整个地球是由物质转换、能量流动、信息沟通的多样性构成的相互作用体,并且客观存在于主观性之先,一物的存在离不开与他物的联系和对整个系统的依赖。地球的多样统一性的本质,突出表现在作为生命世界的地球生物圈现象上。现在的生物圈是宇宙在几十亿年中进化出来的有机系统,它把地外物质环境、地球上的无机物和生物种群协调为一个维持自我平衡的和谐整体。这个整体性必然需要更为宽余的巨大构造运动体系,所有组织的自由度和非自由量度增长都有其隐含规律,所有矿物种所具有的特殊性都是对岩石圈中所有特殊环节相适应的结果。此外无机自然界的每一种非生命形式的转变都对其他非生命形式的进化以及对岩石圈协调功能的完善做出了自己的贡献^[33]。

3.2.2 现代科学技术的发展促进了地质系统科学的量化研究

高温高压实验技术、同位素地质年龄测定技术、电子计算机技术、电子显微镜、大陆超深钻和海洋深钻技术的发展,为科学研究地球提供了较为准确的地质数据,对地球的科学逐步由定性描述与分析向定量一半定量分析与研究发展^[28]。

我国极为重视“数字地球”这一人类历史上最大的信息系统建设,加速“数字中国”的建设进程;在加大硬件等基础设施建设的基础上,积累了大量建立“数字地球”所需的原始数字化数据和相应资料,包括海量的数字化地理基础图、专题图、城市地籍图等。据不完全统计,全国已有光纤 100 万千米,计算机 1 200 万台,因特网用户 400 万户,国家公用信息网络已覆盖约 300 个城市,各地建设的大中型地理空间数据库多达 200 多个。国家先后启动了“中国重要矿种的原产地调研计划”、“中国隐伏矿床的寻找计划”、“中国紧缺矿产资源风险评估和对策”等计划;国家科技部组织了第 4 次国产 GIS 软件测评,国产 GIS 软件取得了重大进展,国土资源部开始启动“数字国土”工程,国家测绘局建成了 1 : 250 000 数据库,建立了七大江河重点防范区 1 : 10 000 数

字高程模型(DEM),并开始启动 1 : 50 000 基础地理数据库工程。中科院院士徐冠华认为,在工业化尚不充分的条件下,中国完全有条件通过“数字中国”的构想,在信息化方面实现跨越式发展^[34]。

GeoMapper 是相当完整的经过野外测试的基于 Windows 的软件,可在野外生成地质图的填图系统,可用于地质填图、采矿、勘探专业的地表和地下填图及工程;该系统有较为完备的野外数据采集、解释功能,丰富的图形图像显示、编辑处理功能,用户定义的 GIS 数据库和数字高程模型等功能;内置了各类地质花纹、符号及其生成器;设置了一批非常实用的功能性系列按钮;它的外部设备接口包括 GPS、激光测距仪、快速分析仪、光谱仪、数码相机等;可生成多种数据格式的输出^[35]。2002 年对系统进行了完善,增添了图例生成软件、与 ArcMap 的无缝输出等^[36]。

美国航空航天局编写的《地球系统科学》一书表达了美国人对“全球变化”的认识^[37]。书中认为,地球系统科学将地球视作一个具有相互关联现象的协同物理系统,由涉及到地圈、大气圈、水圈和生物圈的复杂过程所控制;建立地球系统科学方法的基本途径是要强调相应的化学、物理、生物及其相互作用的动力学过程,这些过程在空间上可以从微米到行星轨道尺度,在时间上可以从毫秒到数十亿年;脱离传统学科,走向新兴学科,地球系统研究观点已经完全与现代发展的交叉前沿两头兼重的学科群目标吻合。1991 年,美国开始实施地球系统科学教育计划(ESSE)。其目标是通过经费的支持,在大学中建立地球系统与全球变化科学的学术基地;这个举措不但积极推动了地球系统科学的研究,而且使美国成为探索地球系统科学教育、培养新型人才的先锋^[38]。

欧亚大陆北部研究计划最早是由美国宇航局和俄罗斯科学院发起制定的,旨在对欧亚大陆北部开展多学科的综合研究,查清这一区域对于全球地球系统的作用,同时开展广泛的国际间的科学合作。该计划支持开展多学科(如气候过程、环境变化和社会发展)的交叉研究,其重点是观测、监测、评估和研究环境变化对社会的影响和反馈,主要的研究手段为遥感、数据分析、信息技术和模拟^[39]。

国际科学联合会(ICSU)在 1986 年提出国际地圈—生物圈计划(IGBP),并得到科学计划专门委员会的确认^[40]。该计划设立之初便开辟了多学科性的地球表层作用研究,发展了人地关系观和地球表

层动力观,将地球表层整合为一个系统(即地球系统)进行研究,从外层地质营力的角度拓宽了人的肉眼可见圈层的地质观点,并将人视作地质成因营力(anthro-pogenic process),强调了环境再生和人的预测探讨,标示了新人地关系的“以地为亲,以人为纽带”,巩固和发展了新的以传统地质为辅助、以现代地质为主体的全新地学观。IGBP 计划强调对地球进行系统研究,重视跨学科研究,在时间上囊括了过去及现代的考察,并通过模拟和分析来探讨未来的可预测性。IGBP 核心计划的设置包括:①强调生命之源——水的水文循环的生物圈计划;②强调全球的全球分析、集成和模拟计划;③强调陆地的全球变化与陆地生态系统计划;④强调海洋的全球海洋生态系统动力学计划;⑤强调气体的国际全球大气化学计划;⑥强调海洋生物的联合全球海洋通量研究计划;⑦强调海洋陆地的海岸带海陆相互作用计划;⑧强调土壤的土地利用和土地覆被的变化计划;⑨强调气候的古全球变化计划;⑩强调海洋和大气的海洋表面与大气底层研究计划;⑪强调发展中国家的全球变化系统的分析、研究与训练计划^[41]。

地球是一个系统,不仅由生命本身控制,而且超越生命变化的气候范围,具有正在性、加速性、长周期性和复杂性。这种全球变化不是简单的因果关系,而是一种扩散性(reverberation)的或串联式的人类活动,局部或区域尺度的变化可能会以多种方式在全球出现。从机械力学和量子力学的角度说,地球的动力学特征是它具有一个临界阈值,而且具有突变性,并可能触发灾难性的后果。目前地球的运动是处于一个没有相似形的状态^[42]。

地球科学的进展不但加深了人们对地球的认识,同时也总结出了全新的科学思维方法。复杂性理论和系统思维是科学认识论的一次飞跃,系统思维和逻辑演绎法相结合的思维方式是研究和认识地球复杂巨系统并推动地球科学理论创新的指导思想;运用现代地球系统理论和方法体系,可以更深入地认识地球系统的行为机制,为解决人类面临的资源、环境和灾害问题提供新的思路^[43]。

4 地球系统科学研究的挑战与机遇

地球系统科学是一个迅速成长中的具有战略意义的领域,是人类文明向信息社会过渡时期形成的新的学科群。《联合国 21 世纪议程》(1992)第 35 章

“可持续发展的科学”指出:“地球系统科学的研究是可持续发展战略的科学基础”。我国著名地理学家黄秉维先生亦反复强调“地球系统科学是可持续发展战略的理论基础”。从这个意义上看,地球系统科学已不单纯是学术思想,而已经上升为一种理论、一种科学,其一系列特定的研究对象、指导思想、研究方法以及理论框架已逐步明确^[44]。地球系统科学具有整体性、临界性、适应性的特征,与其他自然科学和社会科学交叉融合产生的新技术、新方法和新理论将推进复杂地球过程的研究,对资源环境和政府管理将产生革命性的影响^[45]。地球系统科学涉及到自然体系与属性、生成介质和有用信息、勘探前沿的发展与研究、资源的开发与模型、循环特色的经济战略。地球系统学是综合运用地表和深部的物理和化学的信息,预测和分析矿物谱学和图表数据,进行矿体、地质体、隐伏体、物质体、目标体的地质和矿床普查、勘探、开采,用于探测和发现深部和地表矿体、解决环境与灾害、自然和人类等问题。

4.1 挑战性

1991 年,美国普林斯顿大学的经济学家 G·格鲁斯曼和 A·克鲁格对 66 个国家和地区的 14 种空气污染物和水污染物的变动情况进行研究,结果发现,大多数污染物的变动趋势与人均国民收入的变动趋势间呈倒 U 型的关系,因此提出了环境库兹涅茨曲线(EKC),该曲线通过对人均收入与环境污染指标之间的演变模拟,说明经济发展对环境污染程度的影响^[46]。

1986 年以来,在国家科技部、自然科学基金委员会和中国科学院的组织下,我国在全球变化研究领域已有了较大规模的投入,推动了我国多项全球变化研究项目的相继展开。1985—1995 年间,国家科技部、中国科学院和有关部委实施了大约 350 项与全球变化有关的项目,投入经费为 1.5 亿元人民币;“九五”期间,国家科技部、中科院和自然科学基金委在全球变化研究项目中的投资额度达 2.45 亿元。2000 年以后,我国又相继开展了“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”、“全球变化及其区域响应”等重大项目的研究,海洋环境、城市环境和水环境等与全球变化有关的国家重点基础研究也先后立项实施^[47]。

在全球变化研究计划的组织与实施过程中,中国科学家提出了一系列具有导向性的重大全球变化问题:在 IGBP 计划的酝酿阶段,提出要以气候变化作为全球变化的中心问题加以研究^[48],从而导致

IGBP 的执行计划以全球气候变化为中心展开;叶笃正等在 21 届 ICSU 大会上提出,将土地利用引发全球环境问题作为已经引起关注的另一类重大全球变化问题,导致土地利用/土地覆盖核心计划的诞生;在国际地圈生物圈计划中国委员会(CNC-IG-BP)1988 年的国家报告中提出,到目前为止到底发生了一些什么样的全球变化?人类处在(变化中的)什么阶段?这些问题引起后来国际一批科学家的关注与探讨;21 世纪初,符淙斌等提出了亚洲季风是具有全球意义的重大区域环境问题,从而使季风亚洲成为 IGBP/START 第二阶段集成研究的重点^[48]。

2005 年召开的第八届国际矿床地质会议总结了过去 27 年间取得的重大进展,中国经济的快速增长使矿物、燃料和原料的需求量巨增,成为全球经济市场的驱动力。特别是鼓励中国西部矿产资源勘查与开发的国家政策吸引了国内外众多的地质、矿业公司。会议安排的讨论有:全球金属省、巨型成矿带的构造、岩石圈、和地幔控制;盆地演化;沉积物中的基性和贵重金属;铀矿床;冶金学和勘探学;岩浆和基性金属矿床;表生金系统;浅海矿床系统和古代类矿物;全球 VMS 对比;通过精确地球化学理解矿石系统,同位素示踪和微地球化学;通常经济地质学;中生代到近来的地球动力学和东亚矿床学;特提斯到喜马拉雅成矿带的矿床学;阿尔泰造山带的地球动力学和矿床学;金银铂铀矿化系统的矿床学;矿床的概念靶区;中国的勘探、发现和矿床发展^[49]。

我国在较长时间内都将处于工业化快速发展时期,“高投入、高消耗、低质量、低效益”的粗放型经济增长方式势必带来矿产资源的快速枯竭。我国矿产资源品种比较齐全,已探明储量的矿产资源达 158 种。按 45 种主要矿产资源的统计,我国矿产资源储量总约占世界的 14.64%,排名世界第三,但由于我国人口占世界总人口的 20%,使得矿产资源的人均占有率只有世界平均水平的 58%^[50]。对超大型矿床的详细分析、解剖、研究发现,超大型矿床在形成过程、形成环境和控矿条件方面与中小型矿床没有显著的差别,目前许多地质学家开始把与之伴生的大、中、小型矿床作为一个整体,即把矿集区作为研究对象,并将其与深部地质作用、大规模流体活动等有机地联系在一起,拓展了研究思路^[51]。

从总体而言,我国的全球变化与地球系统研究与国际的发展态势具有明显差距,国际前沿的许多热点问题在我国还尚未提上日程;“原料输出”的状

况还没有根本性的改变;与国际的差距仍然有继续扩大的趋势;主要表现在学术影响力、科学贡献、能力建设和财政投入诸多方面。这些给广大的地球系统科学家以广阔的挑战空间和想象力^[6]。

4.2 机遇性

目前,我国的全球变化研究队伍已经形成规模,研究工作取得了一批具有国际影响的成果,地球系统的整体观念不断增强。在全球气候变化的研究中,我国自行设计了气候系统动力模式(包含有大气、大洋和陆面过程相耦合的气候系统模式);对于青藏高原气候环境变化的研究已成为国际关注的科学热点,特别是高原冰心的研究、青藏高原上空夏季臭氧异常低值中心的发现等在国际上产生重要反响;而在生物过程、社会经济与水循环、农业与水承载力等与农业有关的水问题与大气水循环、流域水循环、水循环相互影响的研究中获得重大进展;在全国尺度气候植被分类、区域蒸散模式、自然植被 NPP 与碳储量的空间格局、土壤有机碳库的储量、生态系统的碳密度与收支、湿地生态系统的 CH₄ 及相关痕量气体的通量观测和产生及排放问题的探索研究中取得重要研究成果;在世界上率先开展了陆架边缘海海洋通量的研究,系统开展了渤海、东黄海生态系统动力学研究,估量了陆架边缘海海气碳通量的数据,为研究全球陆架在碳循环中的作用提供了有力的科学依据^[52]。

我国的内生矿床分布极为广泛,研究和建立构造成矿模型并用以进行内生金属矿床的深部成矿预测具有典范意义。因为矿物共生组合则代表着成矿阶段,不同矿化阶段属于不同的构造阶段,二者有着良好的同步耦合关系。地壳发展不同阶段在不同大地构造性质的构造层中赋存不同类型的矿床。内生金属矿床的类型与地块结构有密切的关系,由于受同生和后生构造的影响,同一大地构造单元中的构造不一,形成具有单层结构、双层结构和三层结构的地块。比如河北的迁安铁矿,初期认为矿体是受单斜构造控制,后经详细的研究和综合分析,认为矿体是受倒转向斜构造的控制,并据此在深部转折端探到厚大的矿体^[53]。

在矿产勘查工作部署时,将整个成矿带作为一个整体(系统)考虑,把区域地质研究与普查找矿工作紧密地结合起来,不再孤立地评价局部的矿床(点),这样强化了区域成矿地质背景的分析,把找矿靶区集中在重要的矿带上,使整体勘查工作方向更为明确;同时也能更为客观地认识同一构造单元内

不同矿种或不同矿床类型之间的内在联系,有助于建立“成矿系列”的理念。在成矿预测的方法组合上,强调多学科、多方法的综合,这种综合并非多种方法的简单拼凑,而是根据预测区的具体情况,将各种预测方法合理地组织运用,充分发挥不同方法的互补性;实践表明,地质模型和物化探方法的结合是成矿预测工作的最佳组合^[54]。

新兴科学与传统学科、自然科学与社会科学的交叉融合不仅会使传统学科迸发出无穷的活力,而且会衍生出一系列新的边缘学科,带来众多新的学科前沿与研究方向(如纳米科技、微系统及其应用、生物和仿生材料与生物质转化、功能基因组学与蛋白质学、极端条件下物质科学与生命现象、复杂系统与复杂性科学、全球与区域变化、战略能源等);地球科学与计算机技术、信息技术的结合将使数字地球计划、地球系统科学的研究变为可行并大大缩短了实施的进程;环境科学使人类更加重视地球系统整体行为的集成研究、地球系统各圈层间相互作用的研究、人类活动引发的重大全球环境变化的研究。围绕全球碳循环、全球水资源与水循环、食物与纤维三大主题,在更高层次上开展综合集成研究,必将极大地推动地球系统科学的发展。21世纪地球科学的重要特征是数字地球推动地球科学从对自然现象的定性描述向量化方向发展,地球科学对资源、环境、灾害的认识深度和广度以及研究的重点正在发生重大变化,逐步从地球表层走向深部、从陆地走向海洋,从单纯注重矿产资源逐步转移到同等重视资源的合理利用与环境保护,走向可循环和可持续发展,对环境问题的关注已从局部走向全球,对自然灾害的研究也从单一灾害走向群发灾害的研究,从单纯的监测、预报走向集监测、预报、预警、定性评估和防治于一体的综合研究^[55]。

5 结论

地球系统演化的最终行为是由不同时间和空间尺度变化过程的叠加所决定的。要真正理解地球系统的运行规律,必须研究不同时空尺度的变化过程,乃至宇宙和行星运动对地球系统的影响。否则,将难以认识许多变化的因素和机理,认识也将是不完善的。以地球环境变化为例,百万年量级的变化为更短尺度的变化奠定了基本的框架,同时对较短尺度的变化有调控作用;而一些突发性的变化则是较

大尺度上的变化达到某种临界状态所诱发的^[56]。可以说,近年提出的地球体系和地球系统科学已经成为当前地学研究的热点。地球系统科学是研究行星尺度的地球科学,是超出原有的学科界限的多种学科相互交叉渗透的地球科学,其目的是揭示全球变化的规律。这个关系到人类未来社会生存条件变化的重大综合研究,代表了一个最富活力的科学发展方向,并将成为21世纪地球科学发展的主旋律^[57]。

参考文献:

- [1] 刘树臣. 世界地球科学发展动向及我国地学发展的基本思路[J]. 国土资源情报, 2002(2): 1-5.
- [2] 牛彦军. 论地球系统科学的可持续发展观[J]. 学术研究, 2006(11): 78-79.
- [3] 吴凤鸣. 关于当代地球科学发展趋势的点滴认识[J]. 吉林地质, 2001, 20(4): 4-6.
- [4] 吴淦国. 努力创建地球科学领域世界一流大学[J]. 北京教育, 2004(4): 13-16.
- [5] 马福臣, 林海, 黄鼎成, 等. 从地学过程到人地和谐: 关于地球系统研究科学战略的思考[J]. 地球科学进展, 2005, 20(5): 490-498.
- [6] 汪品先. 走向地球系统科学的必由之路[J]. 地球科学进展, 2003, 18(5): 795-796.
- [7] NASA. Earth system science[M]. Washington D C: NASA, 1988.
- [8] 周秀骥. 对地球系统科学的几点认识[J]. 地球科学进展, 2004, 19(4): 513-515.
- [9] 柴育成. 浅议学科交叉与地球系统科学[J]. 地学前沿, 2002, 9(3): 2-4.
- [10] National Research Council(USA). Earth sciences overview [R]. 1998.
- [11] 白屯. 现代地学系统思维: 从地学哲学的理论创新来看[J]. 中国地质教育, 2002(3): 25-28.
- [12] 吕克解, 周小刚. 地球系统探测新原理与新技术优先领域与地球系统科学[J]. 地球科学进展, 2006, 21(10): 1097-1100.
- [13] 王瑞廷. 浅议地球系统的复杂性及非线性[J]. 世界地质, 2001, 20(4): 313-320.
- [14] 孟华. 论全球变化研究中的可持续发展思想[J]. 泰安师专学报, 2002, 24(6): 85-88.
- [15] 王焰新, 朱永红, 张治河. 发展地球系统科学的背景、问题及对策[J]. 中国地质大学学报: 社会科学版, 2003, 3(1): 9-12.
- [16] 毕思文, 许强. 地球系统科学[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [17] 孙枢. 对我国全球变化与地球系统科学研究的若干思考[J]. 地球科学进展, 2005, 20(1): 6-10.
- [18] 孙枢. 中国地质科学的过去、现在和未来: 庆祝中国地质学会成立80周年[J]. 地质论评, 2002, 48(6): 576-584.
- [19] 孙枢, 周新华. 中国地质科学的回顾与展望[C]//路雨祥. 中国科学进展. 北京: 科学出版社, 2003: 209-218.
- [20] 中国科学院地学部“中国地球科学发展战略”研究组. 中国地

- 球科学发展战略的若干问题:从地学大国走向地学强国[C]. 北京,科学出版社,.
- [21] 中国科学院地学部“中国地球科学发展战略”研究组. 地球科学:世纪之交的回顾与展望[C]. 济南:山东教育出版社, 2002.
- [22] 祝魏玮. 《21 世纪中国地球科学发展战略报告》发布[N]. 科学时报, 2009-2-23(A1).
- [23] 汪品先. 我国的地球系统科学研究向何处去[J]. 地球科学进展, 2003, 18(6): 837-851.
- [24] 王凯雄, 姚铭, 许利君. 全球变化研究新热点:碳循环[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版, 2001, 27(5): 473-478.
- [25] 杨永强, 翟裕生, 薛林福, 等. 天然气水合物的资源环境效应[J]. 世界地质, 2002, 21(1): 30-32.
- [26] 何贤杰, 刘斌. 开展我国矿产资源可供性论证的框架[J]. 中国地质, 2000(10): 3-7.
- [27] 张军民, 侯伟. 地球系统的统一性及其科学思辩[J]. 石河子大学学报, 2005, 23(2): 225-228.
- [28] 李建华. 地球科学与可持续发展[J]. 经济问题探索, 2005(7): 130-132.
- [29] 陈必忠. 系统科学和 21 世纪[J]. 山西师范学院学报, 1999, 46(1): 3-4.
- [30] 刘树臣. 当代世界地质工作发展态势[J]. 国土资源情报, 2008(2): 45-49.
- [31] 殷鸿福, 谢树成, 童金南, 等. 谈地球生物学的重要意义[J]. 古生物学报, 2009, 48(3): 293-301.
- [32] 地球科学发展战略研究组. 世纪之交的地球科学发展展望[J]. 世界科技研究与发展, 2000, 23(1): 10-14.
- [33] 何涛. 论生物多样性与可持续发展[J]. 时代教育, 2007(9): 122.
- [34] 朱大明, 高建国, 秦德先. 数字地球与地质矿产资源开发利用[J]. 地矿测绘, 2001: 37-40.
- [35] John H Kramer. Digital mapping system for field data collection, digital mapping techniques'00[R]. Workshop Proceedings, USGS Open File Report 00-325, 2000.
- [36] 姜作勤. 国内外区域地质调查全过程信息化的现状与特点[J]. 地质通报, 2008, 27(7): 956-964.
- [37] 美国国家航空和宇航管理局地球系统科学委员会. 地球系统科学[M]. 陈泮勤, 马振华, 王庚辰, 译. 北京:地震出版社, 1992: 3-9, 13-22.
- [38] 姚玉鹏, 马福臣. 美国地球系统科学教育概况及对我国地球系统科学教育的启示[J]. 地球科学进展, 2004, 19(5): 712-714.
- [39] 郭艳君, 翟盘茂, 巢清尘. 欧亚大陆北部地球科学计划[J]. 气候变化研究进展, 2005, 1(3): 137-138.
- [40] 吴志峰, 胡伟平. 海岸带与地球系统科学研究[J]. 地理科学进展, 18(4): 346-351.
- [41] 刘东生. 全球变化和可持续发展科学[J]. 地学前缘, 2002, 9(1): 1-8.
- [42] IGBP. Science highlights[J]. IGBP Science Series, 2001(4): 2-3.
- [43] 赵伦山. 现代地球化学的理论思维结构[J]. 地学前缘, 2005, 12(1): 288-293.
- [44] 张锦高. 用科学发展观引领我校构建以地球系统科学为特色的学科体系[J]. 中国地质教育, 2005(4): 23-26.
- [45] 孙枢. 对我国全球变化及地球系统科学研究的若干思考[J]. 地球科学进展, 2005, 20(1): 6-10.
- [46] Grossman G M, Krueger A B. Economic Growth and the Environmental[J]. Quarterly Journal of Economics, 1997, 110(2): 353-377.
- [47] 张雪芹, 葛全胜, 林海. 中国全球变化战略行动计划纲要[J]. 中国科技论坛, 9-12.
- [48] Yeh T, Fu C, Climatic change: A Global and multidisciplinary themes[C]//Malone T F, Problems J G. Global change: The Proceedings of a symposium sponsored by the ICSU[M]. Canada: Cambridge University Press, 1985: 27-146.
- [49] Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge, Proceedings of the Eighth Biennial SGA Meeting Beijing, China, 18-21 August 2005. Editors: Jingwen Mao, Frank P. Bierlein.
- [50] 李素矿, 杨昌明. 论循环经济与我国矿产资源开发利用[J]. 科技进步与对策, 2006, 3:
- [51] 王安建, 侯增谦, 李晓波, 等. 成矿理论与勘查技术方法现状与发展趋势[J]. 中国地质, 2001, 27(2): 30-33.
- [52] Ye Duzheng, Lin Hai. China contribution to Global change studies[M], Beijing: Science Press, 1995.
- [53] 潘龙驹. 内生金属矿床聚矿构造简介[J]. 科普之窗, 1999(11): 40-41.
- [54] 施俊法, 吴传璧. 矿产勘查的新思路、新方法、新技术[J]. 有色金属矿产与勘查, 1995, 4(2): 108-113.
- [55] 路甬祥院长对“地球系统科学发展”的殷切期望: 2001 年中国科学院工作会议报告摘记[J]. 地球信息科学, 2001(2).
- [56] 郭正堂, 吴海斌. 浅谈固体地球科学与地球系统科学[J]. 地球科学进展, 2004, 19(5): 699-705.
- [57] 杨承运. 关于新世纪地球科学人才培养的思考[J]. 中国大学教学, 2002(6): 21-22.

The development and current situation of the earth system science

JIANG Yong-hong

(Department of Information, Development and Research center of the
China Geological Survey, Beijing 100037, China)

Abstract: With strengthening of the wish for sustainable development of the human society, the earth system science is playing leading role in development of the earth science in the new century. The earth

system science is based on multi-discipline researches, such as the earth probe technology and so on and will result in multi-discipline intersectional merge. We are looking for the method to solve the entire behavior of the earth system. So we put forward the conceptions of earth system and earth system science. By virtue of the freedom, statistics, and combination research, we research the order and harmony of the nature. By virtue of the entity, parameter, and layer of the earth we reveal the material composition of the different layers, and explain the physical feature parameter of different infrastructure. By virtue of the geology, geophysics and geochemistry information research, we explore and develop the mineral material, make resource and hydro-ecological evaluation, control pollution and monitor mining activity.

Key Words: Earth system; Earth system science; Mineral resources; Challenge; Chance

欢迎订阅 2013 年《地质找矿论丛》

《地质找矿论丛》为国家新闻出版总署批准,由中钢集团天津地质研究院有限公司主管、主办的地学科技期刊,创刊于 1986 年。

《地质找矿论丛》为中国科技核心期刊,被美国《化学文摘》(CA)、俄罗斯《文摘杂志》、《中国学术期刊文摘(中文版)》、《中国地质文摘》等著名文摘刊物收录,是《中国科技论文统计》、《中国学术期刊综合评价数据库》和《中国科学引文数据库》的来源期刊,期刊全文入编《中国学术期刊(光盘版)》、《中国知网》(CNKI)、《万方数据科技期刊群》、《中文科技期刊数据库》(维普)和《华艺 CEPS 中文电子期刊》等电子出版物及数据库,以多种媒体方式向读者提供服务。

《地质找矿论丛》主要报道矿产成矿理论与成矿预测、物质成分及综合利用、矿产地质勘查新技术新方法及其应用、地学信息技术、水文地质与工程地质、环境地质调查与治理、资源勘查工程、矿产品深加工技术、地质矿产技术经济等方面的科研成果、进展评介、研究简报,并不断开拓报道领域与深度。

《地质找矿论丛》刊物信息丰富、学科跨度大、兼顾理论与应用,是地学研究、矿产勘查、矿业开发领域专业人员和院校师生的良师益友。热忱欢迎地矿行业、地学院校、文献信息部门的单位和个人踊跃订阅并投稿。

《地质找矿论丛》为季刊;国际标准连续出版物号 ISSN 1001-1412,中国标准连续出版物号 CN 12-1131/P;铜版纸彩色印刷,国际开本(A4),每季末月 25 日出版;每期定价 20.00 元,全年定价 80.00 元;公开发行,国内邮发代号:6-283。

订阅办法

(1)通过各地邮局订阅

邮发代号:6-283,全国各地邮局均可办理订阅。

(2)通过“全国非邮发报刊联合发行部”订阅

地址:天津市大寺泉集北里别墅 17 号,全国非邮发报刊联合征订服务部

邮政编码:300385

电话:022-23973378;23962479 传真:022-23973378

E-mail:LHZD@public.tpt.tj.cn “刊林网”网址:www.LHZD.com

(3)向《地质找矿论丛》编辑部订阅(只限不需要发票者):

汇款地址:天津市河东区友爱东道平房 4 号,中钢地质院《地质找矿论丛》编辑部

邮政编码:300181 电话:022-84283083 联系人:任光义

E-mail:luncong@163.com; luncong@yeah.net