

· 矿山环境地质 ·

矿山地质环境调查研究现状及展望

徐友宁

XU You-ning

中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054

Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China

摘要:矿产资源开发引发的矿山环境地质问题已成为影响矿山正常生产和人居生态环境安全的重要因素,为了实现矿产资源开发与环境保护并重的绿色矿业目标,需要在合理开发利用矿产资源的同时,最大程度地减少、减轻矿业开发对矿山地质环境的负面影响。依据8年来矿山地质环境调查研究工作的经验和体会,简述了矿山环境地质的兴起与发展、研究意义和方法、现状与进展,提出了今后矿山环境地质研究的主要方向和内容,旨在推动矿山环境地质研究的同时,推进矿山地质环境保护工作。

关键词: 矿山环境地质; 矿山地质环境; 调查与研究; 现状; 展望

中图分类号: X141

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2008)08-1235-10

Xu Y N. Investigation and research on the mine geological environment: present status and outlook. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(8):1235-1244

Abstract: Mine environment geological problems caused and aggravated by mine resource exploitation are becoming important factors affecting the normal mine production and human ecological environment safety. For realizing the green mining objective of carrying out resource exploitation and environmental protection simultaneously, it is necessary to reduce and alleviate negative influences of mine development on the mine geological environment to the maximum extent while rationally exploiting and utilizing mineral resources. According to the experience and understanding of the investigation and research of the mine geological environment in the last eight years, the paper briefly introduces the rising, development, research significance, methods present state and progress of mine environmental geology and proposes the main direction and content of the study of mine environmental geology in the future, with an aim of giving impetus to the work of mine geological environmental protection while promoting the research on mine environmental geology.

Key words: mine environmental geology; mine geological environment; investigation and research; present state; outlook

一定的人类工程技术经济活动作用在一定的地质环境中,会产生特定的环境地质问题^[1]。矿山地质环境是资源与环境的同一体,矿产资源是人类生存与发展的物质基础,而环境则是人类生存与发展的必要条件。资源与环境有时互相影响、互相转化,矿产资源的不合理开发必然破坏矿山地质环境,而地质环境的恶化又反过来破坏矿山资源(如矿区土地

资源、风景景观资源、水资源等),唯有资源合理开发与环境保护协调的发展才是科学的发展^[2]。人类在开发利用矿产资源促进自身的生存与发展、社会进步与物质繁荣的同时,对矿山地质环境产生了巨大的影响,严重者导致资源毁损、诱发地质灾害、污染矿区环境^[3-8]。

资源与环境已经成为制约中国矿业经济健康发

收稿日期: 2008-06-02; 修改日期: 2008-07-02

地质项目: 中国地质调查局国土资源调查项目《1/400万中国矿山环境地质编图》(编号: 1212010741505)、《小秦岭金矿区环境地质问题调查与评价》(编号: 1212010741003)、《典型矿区地质环境调查研究方法》(编号: 200312300030)、《重点矿区环境地质问题专题调查》(编号: 200412300057)、《全国不同类型矿产开发环境地质研究》(编号: 200412300056)资助。

作者简介: 徐友宁(1963-),男,博士,研究员,从事矿山地质环境调查与研究。E-mail: ksdzhj@sohu.com

展的瓶颈之一。目前,中国不断加大、加强国内外矿产资源的勘探开发力度,资源压力有望缓解。但是,矿山地质环境防治工作通常会降低采矿权人的收益,加之法规不完善、监管的缺位及矿山环境地质研究的不到位等,导致中国矿山普遍存在较严重的环境地质问题,闭坑及破产矿山遗留的环境地质问题无人买单。新一轮矿业开发热潮当中,部分地区仍在重蹈“先破坏、先污染”的矿业老路。

矿产资源开发影响和破坏了矿山地质环境,不但直接危害矿山生产,而且直接或间接危害社会公众利益(如矿区土地沙漠化、矿区河流污染等)。严重的环境地质问题已经成为政府、公众关注的重要环境问题。与此同时,中国经济社会的可持续发展为地质工作者带来了新的发展机遇,服务和促进经济社会可持续发展是地质工作者的任务之一。矿山地质环境具有资源属性和社会属性,社会属性决定了它不属于社会的某个人或某个群体,而属于整个人类社会^[2]。因而,矿山地质环境调查研究是一项基础性、公益性的地质调查工作。本文试图总结2000年以来,国土资源大调查部署的矿山地质环境调查研究工作取得的成果,并提出今后矿山环境地质研究的方向和内容,为政府提供更加有效的地质环境监管及决策的科学依据,增强企业和公众对保护矿山地质环境重要性的认知和认同,推进“补偿性、循环性、可持续发展”的绿色矿业。

1 矿山环境地质的兴起

矿产资源开发区大多地处生态环境脆弱区,或崩塌、滑坡、泥石流原生灾害高发的山地区,其开发活动触发和产生了一系列矿山环境地质问题,一方面是原生地质环境条件决定的,另一方面矿产资源开发人为地质作用使其形成复杂化。大规模、高强度的矿产资源开发活动已成为影响和改变矿区地质环境的最活跃、最主要的地质作用力,成为加剧矿区地质环境变化的“催化剂”。矿山地质环境具有资源和环境双重属性^[3],较大的地质环境容量和良好的地质环境质量有利于矿业的正常生产,脆弱的或恶化的地质环境影响和制约矿山正常生产。在大多数情况下,人类不合理的工程活动造成的地质灾害已经超过了自然因素引发的地质灾害^[10]。矿产资源开发活动亦称矿山地质作用(剥蚀作用、搬运作用、弃土堆渣的堆积作用等塑造了人工地貌景观,改变了地

应力的平衡和地表地球化学场等),它叠加在矿山原生地质环境上并且与原生地质环境发生相互作用,导致原生矿山地质环境随矿业活动时间、强度而呈现复杂的、动态的变化。而矿山地质环境变化一旦超出了矿区地质环境的容量,就会产生突发性的地质灾害和累积性的土壤环境重金属污染等矿山环境地质问题,危及矿山正常生产和人居生存环境的安全。为了实现矿产资源开发经济社会的可持续发展,迫切要求在合理开发利用矿产资源的同时,减少、减轻矿业开发对矿山地质环境的负面影响,这就催生了一门专门研究矿山地质环境变化规律的应用性学科——矿山环境地质学。

当代科学一个突出的特点是学科之间的相互渗透、交叉或融合^[11],依据研究目的、对象的不同,向高度分化和高度综合2个方面并进。矿山环境地质学从环境地质学中分出,是学科发展和研究需要的必然产物^[12]。1980年第26届国际地质大会提出环境地质问题宣言,标志着环境地质学兴起,20多年来环境地质学得到了迅猛发展,由于其研究领域十分广泛,专业化趋强,所以向许多分支学科发展。矿山环境地质学的提出可以追溯到1995年,王思敬^[13]认为初具轮廓或正在发展中的分支学科有环境地球化学、城市环境地质学、矿山环境地质学等。1995年刘传正^[14]在其《环境工程地质学导论》中提出了矿区环境(工程)地质。1996年刘起霞^[15]提出了矿山环境工程地质学。2001年张永波^[16]在其《水工环研究的现状与趋势》一书中,认为矿山环境地质学是介于矿山地质学与环境学之间的边缘学科。2003年刘广润^[17]在环境地质学与其他学科的关系图中,明确了矿山环境地质学是一门独立的学科。2003年潘懋^[18]认为矿山环境地质学是环境地质学比较成熟的分支学科。综上所述,矿山环境地质学作为一门分支学科已经得到了众多学者的认可,但此前尚无专门论述矿山环境地质学的专著和论文。

笔者^[5-8]认为,矿山环境地质学是以人类赖以生存与发展的地质环境为研究对象,运用环境地质学的有关理论、方法,研究矿产资源开发过程中,自然地质作用和人为地质作用与地质环境之间的相互影响及制约关系,以及由此产生、引发和加剧的矿山环境地质问题,是旨在合理开发利用矿产资源的同时,采取积极有效的措施,减轻和减少矿业活动对地质环境的负面影响,以促进矿业可持续发展为目的的一门应用

性学科。

2 矿山地质环境调查的意义、对象和方法

矿山地质环境调查评价工作作为环境地质研究的一个主要手段和途径,在矿山环境保护中的作用愈来愈重要。矿山地质环境调查评价工作是一项集实用性、基础性、公益性、前瞻性(制定矿山地质环境保护规划和防治方案)、交叉性(各种学科知识的综合运用)和系统性(资源毁损、地质灾害和环境污染)六位一体的地质工作,在调查中推动矿山环境地质学科的发展,学科的发展又促进了矿山环境保护工作。2000年中国地质调查局开始在国土资源大调查中,有计划地部署了矿山地质环境调查工作,标志着中国公益性、系统性矿山地质环境调查的开始。

2.1 矿山地质环境调查的意义

发达的资本主义国家,已经走过了工业化初期“先污染、后治理”、“先破坏、后恢复”的开发模式,一系列矿山环境公害事件促进了矿山环境保护工作。目前矿山环境保护工作已经步入了法制化和规范化轨道,普遍实施了较为严格的矿山环境准入制度,严格的执法力度有效地控制和减少了矿产资源开发对环境的负面影响。在矿山环境保护方面的研究成果较多^[19-21]。目前研究的热点主要集中在矿山水土环境重金属污染及其环境效应方面,包括环境修复治理及矿山闭坑后重金属对水土环境持续污染的风险研究^[22-35]。

可持续发展观要求矿业开发“既要金山银山,更要清水绿山”。依法监督管好矿山地质环境体现了党和政府以人为本、执政为民的理念。建设绿色矿山、保护矿山地质环境、保障矿区人民群众的合法权益应是矿山企业义不容辞的社会责任。但是,由于历史原因,矿山企业在获取经济利益的同时,引发的矿山环境地质问题损害了当代人及后代人的利益,损害了矿区及其影响区公众的利益,其危害的广泛性、社会性决定了现阶段中国矿山环境地质问题调查研究具有鲜明的公益性特点,不同于西方发达国家的地质调查工作。旨在查明矿产资源开发会产生哪些问题,影响和控制因素是什么,不同的地质环境、不同的开发方式、不同的开发阶段的问题是什么,矿山地质环境时空如何演化,减少或减轻其危害的方式和途径,如何预测预防,等等。

矿山地质环境调查工作主要服务于:①为政府

建立健全矿山地质环境保护的法律法规提供技术支撑;②为政府部门编制矿山地质环境防治规划提供基础资料;③为行政管理部门依法监管、科学决策提供依据;④为矿山地质环境保证金征收额度提供核算依据;⑤为矿山地质环境保护与治理提供技术支撑;⑥促进学科研究、推动学科发展。

2.2 矿山地质环境调查研究的对象

公益性、基础性矿山地质环境调查研究的对象为矿区及其明显影响区、影响公众利益的矿山环境地质问题,包括2个方面:一是调查评价矿山原生的地质环境质量和容量,预测评估原生地质环境对矿山建设、开采、选冶活动的影响,有目的地采取针对性预先措施;二是调查研究因矿产资源开发引发、加剧的矿山环境地质问题的类型、分布和危害情况,研究影响和控制矿山环境地质问题的主要因素,矿山地质环境的评价方法,矿山环境地质问题的形成机理,不同类型的矿产开发环境地质问题模型。其调查内容包括:①矿山社会经济概况;②矿山地质环境条件;③矿山主要环境地质问题;④矿山地质环境防治措施和效果等。

2.3 矿山地质环境的调查方法

正如环境地质学面临的许多问题涉及到海量的数据、多种多样错综复杂的相互关系,不可能通过单一的学科或仅某个学科就能加以解决^[10]一样,矿山地质环境调查要充分借鉴和吸收环境地质、灾害地质、生态环境、环境科学等的调查研究方法,通过资料收集、遥感解译、野外调查、资料整理、综合研究、图件编制、数据库建设等工作程序。以传统的地质调查方法和先进的“3S”技术相结合,调查与研究结合,一般性调查与重点解剖相结合,调查与动态监测相结合,野外调查与试验研究相结合的原则,调查数据化、评价定量化、结果科学化、过程规范化。要求其主要工作方法及手段如下。

(1)遥感调查。采用大比例尺SPOT5卫星遥感影像解译,较准确地圈定部分面积性的矿山环境地质问题,通过历史上多期影像的对比,揭示面积性对象的时空变化。

(2)地面调查。1:5万矿山地质环境调查以路线穿越法为主,结合追索法。在重要地段和典型点实施剖析工作,提高调查研究水平。

(3)样品测试。采集矿山地表水、地下水、土壤等环境介质样品,部分矿区还可采集环境污染响应样

品,分析重金属及其他污染物的含量。通过与地区背景值、国家相关标准的对比评价,评价矿山水土环境质量现状。与矿山历史上已有的数据对比,分析水土环境污染的变化趋势。

(4)动态监测。对重大矿山地质灾害类型隐患点、水土环境重金属及其环境响应严重区实施动态监测,为矿山地质灾害、缓变性地球化学灾害^[36]的防治提供基础依据。

(5)其他手段。如探槽、浅井等轻型山地工程,原位试验,尾矿渣淋溶试验,土壤复垦及室内盆栽试验,树木年轮重金属元素的含量变化反演矿区环境污染历史^[37]等方法,提高调查研究的水平及创新能力。

3 矿山地质环境调查研究的现状与进展

8年来,中国地质调查局在国土资源大调查项目中安排了近4000万元的调查经费,涉及区域性矿山环境地质综合研究、全国性矿山地质环境调查与评估、典型矿山环境地质问题专题调查、矿山地质环境调查方法研究、全国性图件编制等50余个项目,是国土资源大调查项目绩效最为显著的业务领域之一。在以下几个方面取得了重要成果和进展。

3.1 初步查明了中国矿山地质环境现状

2002—2006年,由中国地质环境监测院实施了《全国矿山地质环境调查与评估》项目,组织完成了对31个省(自治区、直辖市)矿山地质环境的调查与评估工作,是建国50年来第一次初步摸清了国内矿山环境地质问题的类型、分布及危害。在此基础上,各省区编制了省级矿山地质环境防治规划,为矿山地质环境监管、防治提供了重要的科学依据。2001—2006年,西安、沈阳、天津、宜昌、南京地质调查中心及成都矿产资源综合利用研究所完成了西北地区、东北地区、华北地区、中南地区、华东地区及西南地区区域性矿山环境地质问题类型、分布规律和影响因素的研究。2004—2006年由西安地质调查中心、中

煤水文局、辽宁地质调查院分别完成了《陕西潼关金矿区矿山环境地质问题》、《陕西大柳塔煤矿区环境地质问题》、《东神—准格尔煤矿区环境地质问题》及《辽宁阜新煤矿区环境地质问题》等专题调查,详细查明了矿山环境地质问题及其形成因素。

3.2 矿山环境地质问题的类型及特点

矿产资源开发利用过程,既是矿山企业获取经济效益和社会效益的过程,又是一个影响、破坏矿山地质环境的过程。改革开放之前,中国矿山环境地质问题主要集中分布于大、中型矿山。改革开放以来,矿山环境地质问题呈现分散、普遍的趋势^[9],旧有的矿山环境地质问题没有消除,新的矿山环境地质问题又接踵出现,矿山环境地质问题从局部点发展演化到区域性。

矿山环境地质问题分类的原则不同,研究的侧重点不同,有不同的分类方案和分类系统。目前有以矿山环境为研究对象的矿山环境问题分类^[38]和以矿山地质环境为研究对象的矿山环境地质问题分类^[3-5,7,39-40]。笔者^[3-5,7]从公益性矿山地质环境调查研究的目出发,遵循实用性、科学性的原则,以矿业活动导致的结果将矿山环境地质问题划分为资源破坏、地质灾害和环境污染三大类型及众多的表现形式(表1)。

矿山环境地质问题与一般的环境地质问题最突出的区别在于矿业活动是矿山环境地质问题产生的主导因素,其主要特点如下。

(1)矿山地质环境问题的发生发展是有规律可循的,其类型、严重程度与开发的矿产资源种类(如石油天然气类、煤矿类、金属矿产类、石材类、水泥灰岩类、卤水盐矿类等)、开发方式(露天开采、井下开采等)、地质环境条件(山地型、黄土高原型、戈壁沙漠型、平原盆地型等)、开采规模等因素密切相关^[5,7-8];勘探、开发和闭坑不同阶段会产生不同的矿山环境地质问题。矿产资源开发引发的矿山环境地质问题

表1 矿山环境地质问题的类型划分
Table 1 Types of problems of mine environmental geology

类型划分	主要表现形式
资源破坏	土地与植被压占破坏、疏干排水破坏地下水均衡系统、地表水量减少、地质遗迹破坏、地形地貌改观、人文风景景观破坏等
地质灾害	崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝、地面沉降、水土流失、土地沙化、尾矿库溃坝等
环境污染	地表水污染、地下水污染、土壤污染及其环境效应等

既有地表矿山环境地质问题(崩塌、滑坡、泥石流、土地破坏、土壤污染等),也有井下矿山环境地质问题(如矿井热害、瓦斯及煤尘爆炸、偏帮冒顶、矿井透水等),后者不属于公益性调查研究的对象。

(2)矿山环境地质问题具有频发性。如陕西潼关金矿区采矿弃渣随意堆放在高陡山坡、峪道中,1994年、1996年发生2次特大泥石流地质灾害,目前矿渣型泥石流隐患仍然十分严重,属高频泥石流区。

(3)矿山环境地质问题类型既包括了崩塌、滑坡、泥石流等人类经济活动共有的地质灾害,还包括了矿山特有的地质灾害,如采矿塌陷、尾矿库溃坝、矿山水土环境污染。危害严重,影响持久,以致于矿山闭坑后相当长的时期内仍存在影响。

(4)矿山环境地质问题具有较强的可控性,受国家法律政策的影响明显,只要法律完善、依法监管到位,矿业活动对地质环境的影响程度就会降低。

3.3 矿山地质环境评价趋于成熟

矿山地质环境评价方法是在矿山环境地质问题调查的基础上,定性和定量地评价矿山地质环境质量优劣或矿山环境地质问题的严重程度。按照评价目标、对象的不同,可分为矿山地质环境质量评价和矿山环境地质问题评价。依照评价阶段可分为矿山地质环境历史评价、现状评价和预测评价。按照评价对象的数量多少可分为单问题评价、多问题综合评价等^[38,41-43]。

(1)矿山环境地质问题评价:以矿山环境地质问题作为评价的对象,在划分矿山环境地质问题种类指标等级的基础上,直接以“问题”的多少、严重程度作为评价对象,将其评价结果分为“极严重”、“严重”、“中度”和“轻度”4级,或“严重”、“中度”和“轻度”3级^[41-42,44]。

(2)矿山地质环境质量评价:以矿业开发导致的主要环境地质问题作为主要评价对象,同时考虑了矿山地质环境背景、植被、气象水文、矿业开发的强度、开发方式及人口密度等因子^[45],将矿产资源开发区地质环境的质量分为“极差”、“差”、“一般”和“较好”4级。

无论何种评价,最关键的问题是确定矿山环境地质问题的指标等级。其方法有三,一是直接引用国家或行业标准,如崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝等灾情指标;二是依据有关资料设定的指标,如土地压占与破坏、水资源破坏、水土流失、土地沙化

等指标;三是依据矿山地质环境调查数据制定有关比率指标或绝对指标^[41-42]。目前矿山环境地质评价方法较多,如指标加权分值综合评价法、模糊数学综合评判法、灰局势评判法、环境污染指数法等。

3.4 矿山环境地质编图成果丰富

矿山环境地质图件是调查研究的主要成果之一,在调查、评价和综合研究的基础上,以规范的点、线、面的符号、颜色、花纹等图式图例,直观形象地表达矿山环境地质问题的类型、程度、分布等。基本图件包括基础性图件、评价性图件和对策性图件三大类。基础性图件包括了矿山地质环境调查实际材料图、矿山环境地质问题遥感影像解译图、实测剖面图、各种原始数据分布图等。评价性图件如矿山环境地质问题现状评价图、综合评价图、预测评价图等。依据评价对象可细分为单项问题评价,如泥石流灾害及其隐患分布图、矿山地面塌陷地裂缝分布图、矿山土地沙漠化时空演变图、矿区土壤Hg污染评价图、矿区地表水重金属元素综合污染评价图、土壤重金属元素综合污染评价图等。对策性图件为矿山地质环境保护和恢复治理提供的区划建议图,是矿山地质环境调查的目的性图件,是在现状评价图的基础上,依据矿山环境地质问题的严重程度、矿山区位条件的重要性、矿山地质环境发展趋势等完成的。如矿山地质环境恢复治理分区图、矿区农田土壤污染防治建议图等。

依据矿山地质环境调查精度及范围,中国已经编制了不同尺度的矿山环境地质图件。如1:2.5万—1:5万典型矿区环境地质问题专题调查图,1:12.5万陕西潼关金矿区环境地质问题图集,1:50万—1:100万31个省区矿山环境地质图系,1:250万区域性不同类型矿产开发环境地质图系。目前西安地质调查中心正在编制1:400万中国矿山环境地质图。上述图系(件)从不同尺度、不同方面、不同层次反映了中国矿山环境地质问题的类型、分布、程度及矿山地质环境防治内容。

3.5 调查的技术要求日趋完善

2002年5月,国土资源部地质环境司组织编制了《矿山地质环境调查技术要求》。2002年8月中国地质环境监测院组织编写的《全国矿山地质环境调查技术要求实施细则》,规范了全国31个省区地质环境调查评估项目的实施,在全国矿山地质环境调查与评估工作中发挥了重要作用。2003年西安地质矿产研

究所系统总结了《陕西潼关金矿区环境地质问题》、《陕西大柳塔煤矿区环境地质问题》等项目调查评价的工作方法,编制了《大型矿山(区)地质环境调查技术要求》。目前,正在实施中国地质调查局《1:5万矿山地质环境调查与评价规范》项目,将为进一步规范1:5万矿山地质环境调查工作起到重要作用。

3.6 矿山环境地质研究成果丰富

2003年11月,由国土资源部地质环境司、中国地质调查局、西安地质矿产研究所等联合举办的首届全国矿山环境保护研讨会,出版了中国首部以矿山环境地质为研究内容的主题专辑(《西北地质》2003年增刊),有力地推动了矿山地质环境研究及防治工作。出版了《矿山环境理论与实践》^[38]、《中国西北地区矿山环境地质问题调查与评价》^[8]、《矿床地质环境模型与环境评价》^[43]专著。截至2008年5月10日,在CNKI数据库中,检索下列关键词的论文有:“矿山环境”1606篇,“矿山地质环境”551篇,“矿山地质灾害”449篇,“矿山重金属污染”74篇。内容涉及矿山环境地质研究对象、矿山环境地质问题分类、矿山地质环境评价、矿区水土环境污染及其效应、矿山地质灾害、矿区生态地质环境修复与治理、矿山地质环境保护法规政策、图件编制、信息系统建设等众多方面,丰富和发展了矿山环境地质。目前研究的热点主要集中在矿山地质环境评价、矿山地质灾害形成机理、矿山重金属污染及其环境效应、脆弱生态环境条件下矿业开发地质环境保护与重建等内容。

(1)生态环境脆弱区煤炭资源开发环境响应研究。陕蒙接壤的神府东胜煤矿区是中国13个亿吨级矿区之一,由于地处生态环境脆弱区,煤炭资源大规模开发对地质环境、生态环境和水环境的影响成为政府和科学家关注的热点问题,不同的学者从不同方面研究了矿区环境地质问题及其对策^[46-52]。笔者在《陕西大柳塔煤矿区环境地质问题》项目的基础上,从不同侧面较为系统地研究了大柳塔煤区矿山环境地质问题及其效应,一些新的认识对于干旱半干旱区生态环境脆弱条件下煤炭资源开发地质环境保护提供了新的科学依据^[53-60]。

(2)矿山重金属污染及其环境效应。金属矿产资源的采、选、冶活动会导致矿石、围岩中的重金属释放到地表水、地下水和土壤环境中,造成矿区水土环境重金属元素污染,进而污染农作物、水生生物等人体食物链,最终危害人群健康,严重者可导致矿区人

群癌症高发,影响矿区社会的和谐与稳定。众多的研究者研究了矿山环境重金属元素污染^[61-70],某些矿区成为集中研究的对象^[71-76]。其中,研究热点当数小秦岭金矿区,众多的研究者^[77-87]从不同方面研究了金矿开发矿区水土环境重金属污染及其环境效应,揭示了十分严重的环境污染现状,为政府加强环境污染防治提供了科学依据。

(3)矿山泥石流研究。矿山泥石流是山地矿山最主要的地质灾害类型之一^[88-89],严重危及矿山的正常生产和人居安全。采矿、选矿过程中不合理的废石弃渣堆积成为矿渣型泥石流的主要物源,由于具有人为性、易发性、频发性、危害集中性、可控性等特点^[90-93],相对研究程度较高^[94]的自然泥石流而言,矿山泥石流研究程度较低。钟敦伦^[95]对矿山泥石流的发生条件及影响因素进行了较系统的论述,张丽萍^[96]对神府煤矿区泥石流的形成有较深入的研究。小秦岭金矿区由于矿渣型泥石流危害严重且十分典型,因此成为研究矿渣型泥石流的地区^[97-98]。笔者^[90-93]就小秦岭金矿区矿渣型泥石流做了较详细的调查研究,丰富了泥石流灾害学的研究内容。

3.7 矿山地质环境保护与治理实践

进入21世纪后,矿山地质环境保护工作日益受到了政府的重视。2002年以来,国土资源部、财政部通过探矿权、采矿权两权价款费用,开展了国有老矿山、闭坑矿山及责任人灭失矿山的地质环境综合治理工作,内容包括了矿山地质灾害防治、病险尾矿库加固治理、采煤塌陷区治理、矿山废弃土地复垦或绿化、煤矸石山治理与绿化、矿山固体废弃物综合利用等。截止2007年底,中央财政资助治理的矿山环境项目累计达1118个,投入治理资金37.1亿元,其中2007年安排项目321个,投入治理资金12.9亿元(2007年中国国土资源公报,2008),有力地改善了矿山地质环境,减轻了地质灾害隐患对人居安全的威胁,化解了一些矿区矿地紧张的矛盾。截止2007年,20个省(自治区、直辖市)建立了矿山地质环境恢复治理保证金制度。开展了28家国家矿山公园建设^[99],其中黑龙江鸡西恒山、黑龙江嘉荫乌拉嘎、吉林白山板石、湖北黄石、浙江遂昌5个国家矿山公园开园,促进了矿山生态环境治理、珍贵矿业遗迹保护及矿业城市的转型。2007年5月21日,国土资源部发布了《矿山环境保护与综合治理方案编制规范》的行业标准(DZ/T223-2007),将会更加规范地推进矿山地质环境保

护工作。

4 矿山环境地质研究展望

社会进步和人民生活水平的提高,对矿山地质环境保护提出了更高的要求。加强矿山环境地质的研究,推进“资源节约型、环境友好型、生态型”的矿山建设势在必行,需要加强以下几方面的研究。

(1) 矿山环境地质问题的形成机理研究

研究不同类型矿产、不同开采方式、不同地质环境条件下,矿产资源开发的矿山环境地质问题类型、影响和控制因素;加强典型矿山地质环境演变研究,如山地矿山泥石流形成机理及防治研究、生态环境脆弱区资源开发生态环境演化研究、金属矿山土壤重金属元素污染及其环境效应研究、金属矿山废弃矿场土地复垦农作物种植安全研究等;构建矿产资源勘探、开发、闭坑不同阶段矿山环境地质问题的模型,为矿山地质环境保护提供理论指导依据。

(2) 矿山环境地质问题评价指标体系研究

研究建立科学、实用的矿山环境地质问题评价指标体系,关键是制定矿山环境地质问题评价指标,建立多指标、多层次的综合评价模型,以及不同类型矿产矿山环境地质问题评价模型,为矿山地质环境监督、管理及预警提供技术平台。

(3) 矿山环境地质编图理论与方法研究

由于矿山地质环境调查研究的目的、对象、范围的差异,需要编制不同尺度和内容的矿山环境地质图系。重点是研究中、小比例尺图件的图面“点”、“线”、“面”的表达方式,制定基本图式图例,规范省区、区域性、全国性等中、小比例尺图件的编制。

(4) 矿山地质环境保护与矿业可持续发展研究

为了实现矿产资源开发与地质环境保护并重的可持续发展目标,需要研究矿山绿色开采技术、固体废弃物减量化生产技术、废弃物资源化利用技术、矿山地质灾害防治技术、矿山废弃土地复垦技术、污染土壤修复技术、干旱地区生态建设技术等。建立健全矿山环境地质保护的法规制度,矿山地质环境损坏鉴定制度,矿山地质环境恢复治理保证金征收核算依据、补偿机制,矿山地质环境监管与评估的方法等。

(5) 矿山地质环境动态监测研究

为了掌握矿山地质环境在矿山地质作用下的变化规律,选择典型矿山或矿区(不同类型矿产、不同地质环境背景区、不同开采方式)开展地质环境的动

态监测工作,采用遥感解译、实地调查、污染监控、GPS监测等方法手段,研究矿产资源勘探、开发和闭坑活动的不同阶段矿山环境地质问题的类型、危害及变化规律、形成机理,为科学预测和保护矿山地质环境提供理论依据。

(6) 矿山地质环境综合治理关键技术示范研究

中国地域辽阔,区域地质环境条件差异大,因而矿山地质环境保护及重建工作要因地制宜。目前矿山地质环境综合治理缺乏示范性工程和技术标准,导致中央财政资助的治理经费难以发挥应有的效应。选择不同类型矿产、不同地质环境区的典型矿山,开展地质环境综合治理的关键技术及治理示范研究,制定矿山地质环境防治的技术标准,促进矿山地质环境保护与综合治理的科学化与规范化。

(7) 制定和完善相关的技术标准

矿山地质环境调查、评价、动态监测、管理、防治等技术规范或要求,是矿山地质环境调查及研究的重要工作内容。因此,需要制定矿山地质环境动态监测技术要求、矿山地质环境评价指南、矿山地质环境编图指南、矿山地质环境恢复治理技术规范、矿山地质环境损害鉴定、赔偿管理办法等,为科学调查、依法监管、合理赔偿提供技术依据。

(8) 矿产资源勘探、开发及闭坑一体化研究

在新一轮矿业开发大潮中,矿产资源的勘探开发既不能重走“先开发、后治理”的老路,也不能模仿发达国家的“严格环境限制下的资源开发”模式,必须走资源开发与环境保护并重的绿色矿业之路^[100-101]。应树立全新的资源勘查评价、开发观念,规范勘探、开发、闭坑等全过程活动对地质环境的影响,在资源评价与勘查过程中注重提取环境信息,为评价资源开发对水土环境的累积影响提供历史背景资料,将矿床环境模型和矿山环境地质问题的响应模型有机结合,为开发前预防、开发中治理、开发后恢复提供理论依据。

5 结 语

中国现阶段处于社会经济快速发展的时期,需要大量矿产资源支撑经济发展。但经济发展不能以牺牲环境为代价,在矿产资源合理开发利用的同时,保护矿山地质环境和修复被破坏的矿山地质环境日显重要,这一切为新兴的应用性学科——矿山环境

地质学带来了前所未有的发展机遇。科学历来是由任务带动而发展的,是在社会发展中获得长足进步的^[2],因此适应社会需求,充分吸收、借鉴和融合多学科的研究方法,通过矿山地质环境调查评价、动态监测和专题研究,促进矿山环境地质学的创新与发展,达到矿产资源开发与矿山地质环境保护协调发展的目的。

致谢:8年来,在矿山地质环境调查研究领域,中国地质调查局副总工程师及水文地质环境地质部主任殷跃平博士、环境地质处处长张作辰博士给予了极大的支持和悉心指导,在此表示衷心的感谢。

参考文献:

- [1]哈承佑,何庆成,贾雪浪.环境地质学的发展与挑战[J].地质通报,2002,(3):118-122.
- [2]蒋承蕊.完善环境地质学科促进环境地质工作[J].地质通报,2004,23(8):732-736.
- [3]徐友宁,武征,赵子长.西北地区矿产资源开发的环境地质问题及其类型[J].西北地质,2001,34(2):28-33.
- [4]徐友宁,武征,赵子长.西北地区不同类型矿产开发环境地质问题及其产生的主要原因[J].西北地质,2002,35(1):45-51.
- [5]徐友宁,何芳,陈社斌,等.矿山环境地质问题特点及类型划分[J].西北地质,2003,36(增刊):19-25.
- [6]徐友宁.矿山环境地质学——一个新的地质调查研究领域[J].地学前缘,2005,(2):53-55.
- [7]徐友宁.矿山环境地质与地质环境[J].西北地质,2005,38(4):108-112.
- [8]徐友宁,何芳,袁汉春,等.中国西北地区矿山环境地质问题调查与评价[M].北京:地质出版社,2006.
- [9]张卫东,叶晓斌,张梁,等.地质环境经济学[M].北京:地质出版社,2008:203.
- [10]殷跃平.全球地质学复兴:我们正在进入“人类纪”——第32届国际地质大会环境地质述评[J].地质通报,2005,24(2):99-103.
- [11]刘锡清.环境地质学概论[J].海洋地质动态,2005,21(5):1-9.
- [12]黄润秋.环境地质现状:问题及对策(代序)[J].成都理工学院学报,1997,24(增刊):1-8.
- [13]王思敬,周平根.环境地质学的现状及发展方向展望[J].工程地质学报,1995,3(4):12-18.
- [14]刘传正.环境工程地质导论[M].北京:地质出版社,1995.
- [15]刘起霞,李清波,邹剑锋.环境工程地质[M].郑州:黄河水利出版社,2001.
- [16]张永波.水工环研究的现状及趋势进展[M].北京:地质出版社,2001.
- [17]刘广润.关于环境地质学的一些基本问题探讨[J].工程地质学报,2003,11(4):340-343.
- [18]潘懋,李铁峰.环境地质学[M].北京:高等教育出版社,2003:3.
- [19]United Nations Environment Protection Agency. Assessment of environmental impact of the mineral mining industry[M].Virginia: National Technical Information Service,1979.
- [20]Hester R E, Harrison R M. Mining and its environmental impact [M]. Cambridge: Thomas Graham House,1994.
- [21]United Nations Environment Programme Industry and Environment Centre. Mine rehabilitation for environment and health protection a training manual[M]. France: United Nations Publication,1998.
- [22]Alena Klukanova Stanislav Rapant. Impact of mining activities upon the environment of the Slovak Republic: two case studies [J]. Journal of Geochemical Exploration,1999,66:299-306.
- [23]Appleton J D, Williams U T M, Brewarda N. Mercury contamination associated with artisanal gold mining on the island of Mindanao, the Philippines [J]. The Science of the Total Environment,1999,22(8):95-109.
- [24]Gavin Hilson, Barbara Murck. Sustainable development in the mining industry: clarifying the corporate perspective [J]. Resources Policy,2000,26:227-238.
- [25]Gavin Hilson. Pollution prevention and cleaner production in the mining industry: an analysis of current issues [J]. Journal of Cleaner Production,2000,8:119-126.
- [26]Marszalek H, Wasik M. Influence of arsenic-bearing gold deposits on water quality in Zloty Stok mining area (SW Poland) [J]. Environmental Geology,2000,39(8):888-891.
- [27]Rene Van Berkel. Integrating the environmental and sustainable development agendas into minerals education [J]. Journal of Cleaner Production,2000,8:413-423.
- [28]Bell F G, Bullock S E T, Halbach T F J, et al. Environmental impacts associated with an abandoned mine in the Witbank Coalfield, South Africa [J]. International Journal of Coal Geology,2001,45:195-216.
- [29]Jason S Ogle, Winnie V Mitullah, Monica A Omulo. Impact of gold mining on the environment and human health: A case study in the Migori gold belt, Kenya [J]. Environmental Geochemistry and Health,2002,24:141-158.
- [30]Olga Rigin. Environmental impact assessment of the mining and concentration activities in the Kola Peninsula, Russia by multitemporal remote sensing [J]. Environmental Monitoring and Assessment,2002,75:11-31.
- [31]Sergio H Castro, Mario Sa' nchez. Environmental viewpoint on small-scale copper, gold and silver, mining in Chile [J]. Journal of Cleaner Production,2003,11:207-213.
- [32]Rapant S, Dietzova Z, Cicmanova S. Environmental and health risk assessment in abandoned mining area, Zlata Idka, Slovakia [J]. Environ. Geol.,2006,51:387-397.
- [33]Worash Getaneh, Tamiru Alemayehu. Metal contamination of the environment by placer and primary gold mining in the Adola region of southern Ethiopia [J]. Environ. Geol.,2006,50:339-352.
- [34]Sergio T Bosso Jacinta Enzweiler. Bioaccessible lead in soils, slag, and mine wastes from an abandoned mining district in Brazil [J]. Environ. Geochem. Health,2008,30(3):219-229.
- [35]Chopin E I B, Alloway B J. Distribution and mobility of trace ele-

- ments in soils and vegetation around the mining and smelting areas of Tharsis, Riotinto and Huelva, Iberian Pyrite Belt, SW Spain[J]. Water Air Soil Pollut., 2007, 182: 245–261.
- [36] 陈明, 冯流, 周国华, 等. 缓变型地球化学灾害: 特征、模型和应用[J]. 地质通报, 2005, 24(10/11): 916–921.
- [37] 西安地质矿产研究所. 陕西潼关金矿区环境地质问题专题调查报告[R]. 2006.
- [38] 武强. 矿山环境理论与实践[M]. 北京: 地质出版社, 2006.
- [39] 武军. 云南矿山环境地质问题[J]. 中国地质, 1999, (4): 14–16.
- [40] 姜建军, 刘建伟. 中国矿山环境地质问题及其对策[J]. 西北地质, 2003, 36(增刊): 1–5.
- [41] 徐友宁, 袁汉春, 何芳, 等. 矿山环境地质问题综合评价指标体系[J]. 地质通报, 2003, (10): 829–832.
- [42] 魏迎春, 徐友宁. 矿山地质环境量化评价模型研究[J]. 华南地质与矿产, 2004, (4): 47–50.
- [43] 赵元艺, 王金生, 李德先, 等. 矿床地质环境模型与环境评价[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 5.
- [44] 何芳, 徐友宁, 袁汉春. 矿山环境地质问题综合评价客观权值确定方法探讨[J]. 中国地质, 2008, 35(2): 337–343.
- [45] 张进德, 张德强, 田磊. 全国矿山地质环境调查与综合评估技术方法探讨[J]. 地质通报, 2007, 26(2): 136–140.
- [46] 聂镇龙, 张光辉, 李金河. 采煤塌陷作用对地表生态环境影响研究——以神木大柳塔煤矿区为例[J]. 勘查科学技术, 1998, (4): 15–19.
- [47] 叶贵钧, 张莱, 李文平, 等. 陕北榆神府矿区煤炭资源开发主要水工环问题及防治对策[J]. 工程地质学报, 2000, 8(4): 446–454.
- [48] 唐燕波, 付利群, 华解明, 等. 榆神府矿区土地沙漠化现状及发展态势研究[J]. 河北建筑科技学院院报, 2001, 18(2): 79–82.
- [49] 何芳, 徐友宁, 袁汉春, 等. 煤矿地面塌陷区的防治对策[J]. 煤炭工程, 2003, 7: 10–13.
- [50] 杨宏科, 范立民. 榆神府煤矿区地质生态环境综合评价[J]. 煤田地质与勘探, 2003, 31(6): 6–8.
- [51] 王文龙, 李占斌, 张平仓. 神府东胜煤田开发中诱发的环境灾害问题研究[J]. 生态学杂志, 2004, 23(1): 34–38.
- [52] 侯新伟, 张发旺, 李向全, 等. 神府东胜矿区主要地质生态环境问题及其效应[J]. 地球与环境, 2005, 33(4): 43–46.
- [53] 徐友宁, 袁汉春, 何芳, 等. 煤矸石对矿山环境的影响及其防治[J]. 中国煤炭, 2004, 30(9): 50–52.
- [54] 徐友宁, 袁汉春, 刘瑞平. 酸性矿井水治理方案灰局势决策择优法[J]. 环境工程学报, 2007, 1(3): 142–144.
- [55] 徐友宁, 何芳, 武自生, 等. 神东矿区开采沉陷及塌陷指数预测[J]. 中国煤炭, 2005, 12: 37–40.
- [56] 徐友宁. 关于解决煤矿塌陷区社会矛盾的对策建议[J]. 中国矿业, 2006, 15(8): 14–16.
- [57] 徐友宁, 陈社斌, 陈华清, 等. 大柳塔煤矿开发土壤重金属污染响应研究[J]. 中国矿业, 2007, 16(7): 48–54.
- [58] 徐友宁, 陈社斌, 陈华清, 等. 陕西大柳塔煤矿区土地沙漠化时空演变研究[J]. 水文地质工程地质, 2007, 34(4): 97–102.
- [59] 徐友宁, 陈社斌, 陈华清, 等. 大柳塔采煤塌陷对土地沙漠化进程影响研究[J]. 中国地质, 2008, 35(1): 157–162.
- [60] 徐友宁, 吴贤, 陈华清. 大柳塔煤矿地面塌陷区的生态地质环境效应分析[J]. 中国矿业, 2008, 17(3): 38–40.
- [61] 刘占旗, 罗福堂, 高增林, 等. 某铅锌矿及周围镉污染区镉接触者健康状况调查[J]. 2001, 17(10): 923–924.
- [62] 王庆仁, 刘秀梅, 崔岩山, 等. 我国几个工矿与污灌区土壤重金属污染状况及原因探讨[J]. 环境科学学报, 2002, 22(3): 354–358.
- [63] 王湖坤. 有色金属矿山关闭后地质环境保护的思考[J]. 矿产与地质, 2003, 17(4): 556–558.
- [64] 卢新卫. 黔东湘西汞矿区的环境健康问题研究[J]. 西北地质, 2003, (增刊): 146–148.
- [65] 丁振华, 王文华, 翟丽雅, 等. 贵州万山汞矿区汞的环境污染及对生态系统的影响[J]. 环境科学, 2004, 25(2): 111–114.
- [66] 廖国礼, 王云海, 吴超. 铅锌矿产资源开发重金属污染风险评价[J]. 中国安全生产科学技术, 2005, 1(5): 39–43.
- [67] 张鑫, 周涛发, 袁峰, 等. 铜陵矿区水系沉积物中重金属污染及潜在生态危害评价[J]. 环境化学, 2005, 24(1): 213–217.
- [68] 黄长干, 邱业先. 江西德兴铜矿铜污染状况调查及植物修复研究[J]. 土壤通报, 2005, 36(6): 991–992.
- [69] 陈翠华. 江西德兴地区重金属污染现状评价及时空对比研究[D]. 成都理工大学博士论文, 2006.
- [70] 杨军, 郑袁明, 陈同斌, 等. 某铅锌冶炼厂废弃土地复垦整理区土壤重金属污染评价[J]. 水土保持, 2006, 20(2): 97–101.
- [71] 吴攀, 刘丛强, 杨元根, 等. 矿山环境中(重)金属的释放迁移地球化学及其环境效应[J]. 矿物学报, 2001, 21(2): 213–217.
- [72] 吴攀, 刘丛强, 张国平, 等. 黔西北炼锌地区河流重金属污染特征[J]. 农业环境保护, 2002, 21(5): 443–446.
- [73] 宋书巧, 吴欢, 周兴, 等. 刁江流域锡矿尾砂库植被恢复与重建野外试验研究[J]. 有色金属(矿山部分), 2004, 56(3): 44–47.
- [74] 周永章, 宋书巧, 杨志军, 等. 河流沿岸土壤对上游矿山及矿山开发的环境地球化学响应——以广西刁江流域为例[J]. 地质通报, 2005, 24(10/11): 945–951.
- [75] 周永章, 宋书巧, 张澄博, 等. 河流对矿山及矿山开发的水环境地球化学响应——以广西刁江水系为例[J]. 地质通报, 2005, 24(10/11): 940–945.
- [76] 宋书巧, 吴欢, 黄钊, 等. 刁江沿岸土壤重金属污染特征研究[J]. 生态环境, 2005, 14(1): 34–37.
- [77] 张成渝, 张鑫, 常祖峰. 小秦岭金矿带混Hg提金法中的Hg污染及对策研究[J]. 地质灾害与环境保护, 1999, 10(2): 18–22.
- [78] 陈社斌, 徐友宁. 潼关金矿区环境污染及危害性浅析[J]. 西北地质, 2003, 36(增刊): 172–175.
- [79] 戴前进, 冯新斌, 仇广乐, 等. 陕西省潼关采金地区汞污染的初步研究[J]. 环境化学, 2004, 23(4): 460–464.
- [80] 柯海玲. 陕西潼关金矿区土壤重金属环境地球化学特征及污染评价[D]. 长安大学硕士论文, 2005.
- [81] 徐友宁. 陕西潼关金矿区农田突然重金属污染及其环境效应[D]. 西北大学地质系博士论文, 2006.
- [82] 徐友宁, 柯海玲, 刘瑞萍, 等. 潼关金矿区农田土壤汞污染评价[J]. 黄金, 2006, 27(7): 47–50.
- [83] 徐友宁, 柯海玲, 刘瑞萍, 等. 陕西潼关金矿区农田土壤汞污染的环境效应[J]. 地质通报, 2006, (11): 1349–1353.

- [84]徐友宁,柯海岭,赵阿宁,等.小秦岭某金矿区农田土壤重金属污染评价[J].土壤通报,2007,38(4):732-736.
- [85]徐友宁,刘瑞平,柯海岭,等.金矿区农田土壤重金属污染环境效应分析[J].中国地质,2007,34(4):716-722.
- [86]徐友宁,张江华,陈社斌,等.小秦岭金矿区不同污染方式土壤垂向上重金属含量特征[J].农业环境科学学报,2008,(1):200-206.
- [87]张江华,杨梅忠,徐友宁.金矿区水系沉积物重金属含量影响分析[J].黄金,2008,29(1):49-51.
- [88]谢洪,游勇,钟敦伦.长江上游一场典型的人为泥石流[J].山地研究,1994,12(2):1259-128.
- [89]陈廷方,崔鹏,刘岁海,等.矿产资源开发与泥石流灾害及其防治对策[J].工程地质学报,2005,13(2):179-182.
- [90]徐友宁,陈社斌,张江华,等.潼关金矿区矿渣型泥石流潜势度熵权评价[J].地质科技情报,2006,(5):101-104.
- [91]徐友宁,陈社斌,李育敬,等.陕西潼关金矿区泥石流潜势度评价[J].水文地质工程地质,2006,33(2):89-92.
- [92]徐友宁,李育敬,陈社斌,等.潼关金矿区矿渣型泥石流地质灾害特征及防治对策[J].山地学报,2006,(6):667-671.
- [93]徐友宁,何芳.西北地区矿山泥石流分布及特点[J].山地学报,2007,25(6):729-736.
- [94]康志称,李焯芳,马葛乃,等.中国泥石流研究[M].北京:科学出版社,2004:1-62.
- [95]钟敦伦,严润群,陈精日.初论矿山泥石流[C]//中国科学院成都地理研究所.泥石流论文集(1).重庆:科学技术文献出版社重庆分社,1981:43-49.
- [96]张丽萍,唐克丽.矿山泥石流[M].北京:地质出版社,2001:1-9.
- [97]李昭淑.陕西潼关金矿区94'人工泥石流灾害研究[J].灾害学,1995,10(3):51-56.
- [98]刘世建,谢洪,韦方强,等.小秦岭金矿区人为泥石流[J].山地研究,1996,14(4):259-263.
- [99]王同文,田明中.中国国家矿山公园建设的问题与对策研究[J].矿业研究与开发,2005,27,(2):76-78.
- [100]寿嘉华.走绿色矿业之路——西部大开发矿产资源发展战略思考[J].中国地质,2001,(12):1-6.
- [101]徐友宁,袁汉春,何芳,等.西北地区矿业可持续发展问题[J].资源·产业,2003,4:53-55.

《地质通报》第 27 卷第 9 期要目预告

- 早中生代的华北北部山脉:来自花岗岩的证据 张 旗等
- 晚中生代的中国东部高原:证据、问题和启示 张 旗等
- 大陆岩石圈对扩张机制的响应
- 辽蒙地质走廊中—新生代火山活动的时空分布 邵济安等
- 印度板块和亚洲大陆在何时何地碰撞 Jonathan C Aitchison 等
- 郯庐断裂带中生代构造演化史:进展与新认识 张岳桥等
- 通过构造岩鉴别岩石动态重结晶的机制 杨天南等
- 柴达木北缘鱼卡—落凤坡榴辉岩—片麻岩单元的变质变形演化 张建新等
- 秦岭造山带宽坪群中的变铁镁质岩的成因、时代及其构造意义 闫全人等
- 秦岭南缘大巴山褶皱—冲断推覆构造的特征 董云鹏等
- 西藏冈底斯带石炭纪—二叠纪岛弧造山作用:火山岩及地球化学证据 王立全等
- 西藏冈底斯带中生代岩浆岩的时空分布和相关问题的讨论 朱弟成等
- 山东沂水地区英灵山花岗岩及其捕虏体的地质、岩石地球化学特征
- 和锆石 SHRIMP U—Pb 定年 赵子然等
- 关于中国构造地质学研究中几个问题的探讨 万天丰
- 地质科学方法论的思考——以构造地质学为例 潘桂棠