

矿山环境研究理论与实践

武 强 刘伏昌 李 铎 著



地质出版社

X322.2
W-649

矿山环境研究理论与实践

武 强 刘伏昌 李 铎 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

矿产资源种类的不同导致了其开采的方法各异,因而不同类型的矿产资源和不同的开采方法与工艺,诱发了不同的矿山环境问题。本书首先提出了我国矿山环境问题的类型划分方案;然后充分应用现代新技术、新方法,提出了矿山环境调查的类型、内容、方法和具体技术要求;在查清背景、获取可靠数据的基础上,阐述了矿山环境现状、演变过程和发展趋势的单问题和多问题综合评价的基本理论和评价方法,并对各种矿山环境问题进行了实例解剖分析;最后系统地总结介绍了矿山环境修复与复垦治理的主要方法和措施,并研发了矿山环境信息系统。

本书作为矿山环境问题研究的专著,其研究内容和技术思路以及研究方法体系可供从事环境地质和地质灾害等方向的教学、科研和生产人员及高等院校本科生和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿山环境研究理论与实践/武强等著. —北京:地质出版社,
2005. 1

ISBN 7-116-04374-8

I. 矿... II. 武... III. 矿山—环境管理—研究—
中国 IV. X322. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 058607 号

责任编辑:孙亚芸

责任校对:郭小丽

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话:(010)82324508(邮购部);(010)82324573(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京地大彩印厂

开 本:787 mm × 1092 mm 1/16

印 张:22.25

字 数:540 千字

印 数:1—1000 册

版 次:2005 年 1 月北京第一版·第一次印刷

定 价:75.00 元

ISBN 7-116-04374-8/X · 24

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

前 言

矿产资源是国民经济、社会发展和人民生活的重要物质基础。我国是世界上矿产资源比较丰富、矿种比较齐全的少数国家之一。新中国成立以来，矿产勘查、开发和后续冶炼与加工等均取得了巨大的成就。截至 1995 年底，已发现矿产 168 种，矿产地（点）20 多万处，已探明储量的矿产 151 种，其中 20 多种矿产的探明储量居世界前列。经过几十年的发展，我国已建立了较为完整的矿业体系。截至 2002 年底，全国共有各类矿山企业 148556 个（不包括海域油田），其中大型矿山企业 489 个，中型矿山企业 1025 个，小型矿山企业 56768 个，小矿 90274 个；开采矿石总量 48.49 亿吨（不含天然气、煤层气和二氧化碳气，海域石油），各类矿山企业完成工业总产值 4542.38 亿元。矿业的发展为国民经济的迅速发展提供了坚实的基础，我国已成为世界重要的矿产资源大国和矿业大国，矿产开发总规模居世界第三位，矿业已成为我国国民经济的重要基础产业。

我国经过以煤炭资源开发为主的大规模能源化工基地建设，能源及各类高耗能原材料工业的发展取得了举世瞩目的巨大成就，为整个国家的经济发展和国民经济稳定运行作出了重要的历史贡献。然而经过 50 多年的大规模、高强度、大面积开采，各类高耗能工业的迅速发展，改变和破坏了地球表面和岩石圈的自然平衡，使地质环境不断地改变和恶化，生态环境失衡，出现“三废”排放严重、地面变形加剧和生存环境急剧恶化等生态环境问题，使本来就十分脆弱的生态环境系统承受着极为严峻的压力，对国民经济的可持续发展构成极大的威胁。特别是 20 世纪 80 年代以来，由于经济工作中急功近利的指导思想，各种采矿企业一哄而上，国有的、集体的、个体的，合资的、联营的、联办的，中央的、地方的、军队的，名目繁多，长期处于一种混乱无序状态，有的在建筑物下、铁路下、公路下、村庄下任意乱采滥挖，地质—生态环境急剧恶化，矿山地质灾害危机四伏。另外，矿井排水量随着开采水平的加大而剧增，造成人畜饮水困难，甚至有些地方由于无良好的水源，只能饮用矿坑水，从而导致各种肠胃疾病的流行，给人们的基本生存条件带来严重的威胁。我国许多矿区本身的自然气候条件恶劣，地质条件复杂多样，降水少且集中，旱涝灾害频繁，植被稀疏，水资源短缺，存在着沙漠化、水土流失、滑坡、崩塌、泥石流及草场退化、耕地面积减少等严重生态环境地质问题。由于这些背景条件的限制，造成该区的地质环境和生态系统十分脆弱，制约了资源的开发和社会经济的可持续发展。进行大规模的资源开发和各类经济活动，必将影响矿山地质环境与生态系统，诸如水土流失加重，土地沙漠化扩展，浅层水资源衰竭，水体污染，地面变形破坏，地质灾害加剧等，形成恶性循环。

我国煤炭资源丰富，是世界产煤最多的国家之一，原煤总产量的 95% 来自地下开采。然而我国煤田地质条件十分复杂，是世界上突水事故最严重的国家，受水威胁的煤炭储量占探明储量的 27%，采矿中频繁发生的地质灾害严重威胁着煤矿的安全生产。随着开采深度的增加，开采环境日趋复杂，水压不断增大，突水等灾害性问题突出，据国家煤矿安

全监察局最新资料, 2001 年共发生一次死亡 30 人以上的煤矿特重大事故 8 起, 死亡 373 人, 分别比上年上升 33.3% 和 0.8%, 呈上升趋势, 造成巨大的经济损失和不良后果。因此, 煤矿突水被认为是安全生产的重大灾害之一, 也是世界产煤国家面对安全开采的一大难题。从早期前苏联、波兰、匈牙利等到当今科技和产煤大国美国、英国和澳大利亚等, 许多专家学者进行了不懈的研究和探索, 推动了该领域研究的进展。我国从“六五”将煤矿防治水列入国家重点攻关项目, 到“七五”、“八五”煤矿防治水一期和二期工业性试验的完成, 在煤矿灾害机理研究、采煤方法、防治水技术和装备等多方面取得了丰硕成果, 同时相关行业和科研院校等也在多方面取得了进展。鉴于煤矿区所面临的上述问题, 如果要想在保证安全采煤、满足水资源需求及减缓矿区生态环境恶化的前提下使矿区地下水系统处于合理的动平衡开采状态, 就必须把矿区的排水、供水、生态环境保护三个方面统筹规划, 统一管理, 作为一个完整的系统工程去研究。

总之, 矿山开发的目的是获取资源, 提高人类的生存质量。由于我国国土辽阔, 矿床类型齐全, 地质条件复杂多变, 长期的无序不合理开发, 实际上是以牺牲人类生存环境为代价, 造成了难以弥补的资源浪费和生态环境破坏, 导致了一系列严重的矿山环境问题。

因此, 科学地提出我国矿山开发过程中所存在的矿山环境问题类型, 应用现代新技术、新方法对矿山环境现状实施全面调查, 在查清背景、获取可靠数据基础上, 对矿山环境现状、演变过程和发展趋势作出科学预测与评价, 提出矿山环境修复与复垦治理的具体措施方法和规划方案, 研发矿山环境信息系统, 对保护我国矿山环境、全面实现我国矿业开发可持续发展均具有重要的理论指导意义和实用价值。

国土资源部地质环境司和中国地质调查局水工环部对我国矿山环境问题给予了高度重视, 组织实施了全国首次以省、市、自治区为单元的矿山环境调查工作, 并在矿山环境管理、立法法规建设和调查技术规范编制等方面做了大量有意义的工作, 为本书提供了许多有价值的素材和基础资料与数据。在此, 表示衷心的感谢。

应当指出, 本书的出版是我们研究小组集体智慧的结晶, 先后参加该项工作的研究人员包括: 董东林、傅耀军、沈智慧、张开军、郑铎鑫、杨明、薛东、魏学勇、孙占起、白喜庆、石少洲、李瑞军、连会青、崔芳鹏等, 在此深表谢意。

同时, 感谢书中所有引用参考文献的作者。

由于矿山环境研究在我国刚刚起步, 没有成熟的理论和方法可供借鉴, 同时, 由于作者理论水平有限, 书中难免存在不当之处, 敬请读者批评指正。

衷心希望本书的出版能为我国正在全面兴起的矿山环境工作贡献一份力量。

作者

2004 年 11 月

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 国内外研究现状及发展趋势	(1)
第二节 研究内容和思路	(8)
第二章 矿山环境问题分类	(10)
第一节 依据矿山存在问题性质的分类（不考虑工业灾害问题）	(10)
一、分类方案	(10)
二、各类矿山环境问题特征分析	(10)
第二节 依据矿种类型的分类	(18)
一、分类方案	(18)
二、各类矿山环境问题特征分析	(20)
第三节 依据矿山开发阶段的分类	(25)
一、分类方案	(25)
二、各类矿山环境问题特征分析	(26)
第三章 矿山环境调查	(28)
第一节 国内外研究现状及存在问题	(28)
第二节 调查基本原则	(29)
第三节 调查基本类型	(30)
第四节 调查主要技术手段和方法	(31)
第五节 调查组织形式	(35)
第六节 调查通讯保障系统建设	(35)
第四章 矿山环境单问题评价理论与实例分析	(36)
第一节 固相废弃物评价理论与实例分析	(36)
一、固相废弃物占地效应评价	(36)
二、固相废弃物堆积的边坡效应评价	(38)
三、固相废弃物淋滤污染效应评价	(38)
四、固相废弃物风化扬尘污染效应评价	(39)
五、煤层、煤矸石自燃效应评价	(40)
六、放射性污染效应评价	(45)

第二节	液相废弃物评价理论与实例分析	(46)
一、	液相废弃物对水环境污染的评价理论与方法	(46)
二、	液相废弃物对水环境污染的评价实例分析	(60)
第三节	气相废弃物评价方法	(74)
第四节	开采沉陷评价理论与实例分析	(74)
一、	开采沉陷现状及其危害	(74)
二、	采煤沉陷地的属性及破坏特征	(76)
三、	开采沉陷机理	(77)
四、	开采沉陷的主要控制因素	(79)
五、	开采沉陷主要评价方法	(81)
六、	开采沉陷数值模拟实例 1	(85)
七、	开采沉陷数值模拟实例 2	(102)
第五节	地面岩溶塌陷评价理论与方法	(108)
一、	地理信息系统 (GIS) 评价	(108)
二、	两级模糊综合评判	(109)
三、	人工神经网络评价岩溶塌陷	(110)
四、	直接测氡法	(111)
第六节	地面沉降评价理论与实例分析	(112)
一、	地面沉降评价理论与方法	(112)
二、	地面沉降评价实例	(114)
第七节	矿山泥石流评价理论与实例分析	(130)
一、	泥石流评价理论与方法	(130)
二、	泥石流评价实例 1	(136)
三、	泥石流评价实例 2	(152)
第八节	矿山崩塌评价理论与方法	(166)
第九节	矿山滑坡评价理论与方法	(169)
一、	滑坡基本特征	(169)
二、	边坡稳定性评价	(173)
第十节	排水、供水、生态环保三者结合的评价理论与实例分析	(179)
一、	三位一体结合的评价理论与方法	(179)
二、	三位一体结合的实例分析 1	(182)
三、	三位一体结合的实例分析 2	(213)
第十一节	沙漠化评价理论与实例分析	(221)
一、	沙漠化评价理论与方法	(221)
二、	沙漠化评价实例分析	(227)
第十二节	水土流失评价理论与实例分析	(240)
一、	水土流失评价理论与方法	(241)
二、	水土流失评价实例分析	(243)
第十三节	露天开采过程对水环境破坏效应分析	(260)

一、露天开采不同阶段诱发的矿山水环境问题	(260)
二、实例分析	(260)
第五章 矿山环境多问题综合评价理论与实例分析	(277)
第一节 突变数法综合评价理论与实例	(277)
第二节 网格数字统计法综合评价理论与实例	(281)
第六章 矿山环境保护与复垦治理	(284)
第一节 工程复垦治理	(284)
一、工程复垦特点	(284)
二、工程复垦的方法	(284)
第二节 生物复垦治理	(300)
第三节 生态复垦治理	(305)
一、生态复垦的特点与步骤	(305)
二、生态复垦的方法	(306)
第四节 组合复垦治理	(312)
一、组合复垦模式	(312)
二、组合复垦模式实例分析	(313)
第五节 土地复垦治理造价	(322)
一、土地复垦资金来源	(323)
二、土地复垦费用与成本分析	(323)
三、土地复垦经济效益计算	(328)
第七章 矿山环境信息系统开发研制	(332)
第一节 信息系统设计	(332)
第二节 数据库设计	(333)
第三节 数据库结构的实现与应用	(335)
参考文献	(342)

第一章 绪 论

第一节 国内外研究现状及发展趋势

随着社会经济的发展,环境问题越来越突出。据统计,人类对环境的破坏每 15 年左右翻一番。而自然也对人类进行了报复,水土流失、“沙尘暴”现象、水体污染、草场退化、地面变形、采矿废石占地效应等愈来愈严重,采矿引起的一系列矿山环境问题不仅威胁到人民生命财产安全,而且严重影响和制约着经济的发展,也引发了一系列社会问题和矛盾。近年来,地质环境和生态系统问题已逐渐受到人们的重视,科学开发矿产资源与保护生态环境已成为人们的共识。各国的学者已围绕地质-生态环境恶化问题进行了大量的探索研究(常发强,1997),取得了一些可喜的成果。

我国较为系统的矿山环境调查研究工作始于 20 世纪 90 年代中后期,特别是自国土资源部成立以来,坚持“在开发中保护,在保护中开发”的原则,实现国土资源的开发与管理,资源开发与保护统筹考虑,统一安排,做了大量的矿山环境保护工作。

首先国土资源部联合国家财政部对我国的一些典型矿山开展了矿山环境治理示范工程,截止到目前,国家已先后投资约 6 亿资金(2350 万 + 17200 万 + 40000 万元左右),开展了 200 余个(18 + 74 + 100 个左右)典型矿山的矿山环境治理示范工程项目,取得了一些治理工程的初步经验和教训,为今后更大范围的开展矿山环境恢复治理工程奠定了坚实的基础。

与此同时,国家地质调查局在开展了山西、晋陕蒙接壤地区和江西三个典型大区域的矿山环境调查基础上,进行了以省、市、自治区为单位的区域小比例尺矿山环境填表调查(普查),首先在 2003 ~ 2004 年开展了以河北、陕西、辽宁等 12 省为试点的矿山环境调查工作,在 2004 ~ 2005 年将完成另外 19 省的调查工作。

另外,国土资源部已将矿山环境保护的内容列入国土资源总体规划和科技发展规划中。矿山环境保护管理基础、矿山环境保护法规、矿山环境保护规划、矿山环境保护技术方法、矿山环境保护恢复技术指南、矿山环境恢复保证金制度、矿山环境保护评价方法和矿山环境保护投资机制等一大批涉及矿山环境保护的规范管理和制度建设以及立法等工作正在起草或论证实施过程中。这些工作无疑将对有效指导矿山环境保护研究工作、对我国矿业可持续发展战略实施具有重要的理论意义和实用价值。

矿山环境问题一直受到国际社会的广泛关注和重视,国际上矿业发达的国家如美国、加拿大、澳大利亚、德国等,早在 20 世纪 70 年代就十分重视矿山环境保护和治理,大部分西方国家均实行了比较严格的矿山环境保护和矿山环境评估制度。尤其是近十年来,随着联合国可持续发展战略的提出和实施,矿山环境保护更加引起各国政府和矿业界的高度重视,加强了有关环保立法等方面的工作,并对矿山企业实行履约保证金制度。矿产资源

开发与环境保护一体化已成为当前国际矿业发展的一个重要趋势 (Bisset R., 1996)。近年来,在国际矿业界,将环境地质研究与资源开发和利用作为一个整体系统来研究,不仅研究其自然属性,而且加强了其社会属性的研究,在矿产-环境评价中增加了社会影响评价,把资源开发利用上升到可持续发展高度来看待。

1. 边坡失稳问题

目前,岩体边坡稳定性研究已引起世界各国的普遍重视。美国、英国、加拿大等国对矿山边坡稳定性进行了大量研究工作,取得了很大进展,并发表了大量论文(董兆祥等, 1997; 耿富强, 2001)。值得指出的是 1971 年 8 月底至 9 月初在美国召开的第 13 届国际岩石力学会议上,专题讨论了岩体边坡稳定问题,并出版了专题论文集;1970 年 11 月和 1971 年在加拿大召开的第一届、第二届国际露天采矿场的稳定性会议以及在中国矿业大学(北京校区)召开的 99' 国际采矿会议,都出版了专题论文集(梁耀普, 2001; Guo GuangLi, 1999)。上述三次会议奠定了矿山岩体边坡工程研究的方向和稳定性评价的正确途径。此外,我国学者根据矿山露天开采的特点,提出了露天高边坡理论(常允新等, 1994)。

2. 煤矸石的五大环境效应

煤矸石的五大环境效应包括占地效应、自燃效应、淋滤污染效应、边坡失稳效应和风扬尘效应。边坡效应前已述及,这里重点说明占地效应和自燃效应。

煤矸石的堆积已经成为能源国家开采矿石燃料时愈来愈严重的问题,国内外都在对煤矸石的资源化进行研究,取得了卓有成效的成果(常允新等, 1994)。

对煤矸石的自燃问题,英美国家研究最早(唐建文, 1985)。英国 1966 年约有 6.23×10^8 t 煤矸石在自燃,美国 1964 年有 483 座矸石山在自燃。为此英国在 20 世纪 70 年代利用航空热红外遥感技术调查了煤层燃烧范围;美国开始应用陆地卫星数据调查研究煤层自燃与煤矿环境。近年来,印度应用遥感技术调查煤层自燃,帮助解决煤矿灭火和安全生产问题。

3. 水环境污染、酸性水问题

国外从 20 世纪 50 年代开始环境地质问题的研究,从 60 年代到 70 年代,随着环境污染的加重,不少国家先后建立了环境科学研究机构部门,进行了水、大气及土壤污染等方面的专门研究(陈天虎等, 2001; 何孟常等, 2002),70 年代以后,一些国家认识到要从根本上解决污染问题,必须加强基础理论研究,由定性到定量,由短时急效应到长期慢效应,由一般污染物到新污染物,由点污染源到非点污染源,由事后治理到预先防治,从而使研究工作进入了新阶段。70 年代中期以后,一些发达国家加强了行政管理措施和技术措施,使环境污染状况有了明显改善,环境质量得到了很大恢复。这时人们开始探索解决环境问题的根本途径,预测环境问题的发展趋势,开展对整个生物圈的基础性研究工作。如美国、加拿大已利用各种示踪法和物探(低频)方法圈定地下水污染范围,还进行了有机污染源和污染机理中的生物降解及转变的研究(Berthelsen B. O. et al., 1999; Fazeli M. S. et al., 1998)。目前,对地下水污染较普遍的研究方法是通过对污染机理与动态资料

的分析研究,建立污染物溶质运移模型,进行污染程度的定量计算,对污染发展趋势进行预测并为防治地下水污染提供决策方案(Srinivasan R. et al., 1994)。根据1978年资料,已有一些国家建立了可靠实用的地下水物质运移水质数学模型,其中美国22个,以色列7个,英国、加拿大各2个,联邦德国1个。总体而言,均是研究孔隙含水层的污染问题。

美国和俄罗斯对煤矿酸性水的形成与治理研究程度较高(董兆祥等, 1997; Bakerj P. et al., 1982)。研究认为,开采煤引起区域性污染,是由于含煤建造延伸距离和厚度较大,而且开采技术的环境效应也很大。煤矿开采对地下水作用表现得最突出的当属在北半球——欧洲、亚洲和北美洲各国,这里煤开采量占世界总量的95%,拥有高生产技术,且研究程度较高。在南半球,煤炭开采对地下水圈有强烈影响的是澳大利亚。环境效应最强烈地区是地台型地区,其开采方式有井工采煤和露天采煤(以褐煤占较大比例)。在向斜构造地区,开采硬(石)质煤,以井工开采形式为主。露天开采石煤(地台型矿井)广泛见于美国,那里有优越的矿山地质条件。在俄罗斯同样广泛采用露天开采形式,如在西伯利亚和中亚地区露天开采煤矿占50%。

在国内,采煤诱发的水环境问题越来越严重,在许多地方均出现环境负效应(武强等, 2002; Dong Dong Lin et al., 2000)。我国环境水文地质工作起始于20世纪60年代初期,当时主要研究地下水开采与地面沉降关系、原生水文地质环境与地方病关系等。70年代至现在进行地下水环境质量评价和地下水污染机理及污水资源化等研究(李然等, 1997; 陈炎等, 1988)。

目前部分地区已开展地下水环境背景值、酸雨研究及矿区开发前环境影响预测评价(董兆祥等, 1997; 赵大为, 1995),并采用同位素方法分辨地下水污染物(SO_4^{2-})的来源(董兆祥等, 1997),以及应用陆面卫星主题圈定地面污染源分布。在环境质量评价方法上,亦更多地趋向于用高等数学模型化。在预测评价上多据水质长期监测资料进行相关分析以及利用人工神经网络对地下水水质进行评价(李振亮等, 1995; 刘国东等, 1998)。

4. 开采沉陷、地裂缝问题

开采沉陷问题,是国内外矿产资源开采后面临的最普遍的问题。国外主要针对开采沉陷问题进行了机理和评价方法的研究(Whittaker B. N. et al., 1989; Khair A. W. et al., 1987),取得了一些成果。我国对开采沉陷的研究也很重视,1994年我国开始实施《中国21世纪议程》,1995年将可持续发展写入《国民经济和社会发展“九五”计划和2010年远景目标纲要》,江泽民同志在党的十五大报告中又将“可持续发展战略”确定为国家发展战略。如何协调煤炭资源开发与环境保护的关系,促进经济社会可持续发展是摆在科技工作者和生产决策者面前的一项艰巨的任务。为此,必须正确地预测煤层开采引起的地面沉降灾害造成的影响。这就需要研究地面沉陷的发生规律、机理及其预测和计算方法(刘宝琛等, 1965)。

我国从1956年开始地表移动观测研究工作,近50年来取得了大量实测资料,并建立了相应采矿地质条件下的地表移动变形的计算方法(阿维尔申, 1995; 李金柱等, 1987),为建筑物下、铁路下和水体下采煤提供了依据,并且取得了明显的经济、环境和社会效益。但是,由于地质采矿条件的复杂性以及以往对地质边界条件、岩土物理力学性

质和岩移对比的研究很少, 尽管借助于现在力学方法和计算机技术可以部分解决岩层内部移动变形方面的问题, 但目前主要是建立半经验公式。近年来, 在狄乾生教授的领导下, 以工程地质理论为基础, 建立了开采岩层移动工程地质研究的新途径和新方法 (狄乾生等, 1991; 隋旺华等, 1999)。这一方法, 从工程地质和水文地质勘测入手。我国许多学者在仔细了解地质、工程地质、水文地质条件的基础上, 建立了物理模型和数值模型, 研究岩土体移动变形破坏的模式、机制及规律 (Sui Wanghua et al., 1994), 在解释岩层移动机理 (常允新等, 2001; 杨仑, 1985), 揭示岩层内部应力、变形和移动规律, 预测覆岩破坏高度和地表沉陷方面取得了一定成果 (刘宝琛等, 1965), 并相继应用于煤田勘探阶段岩土移动规律及防水煤岩柱预计、采前勘探阶段合理防水煤岩柱及地表移动预计 (吕泰和, 1990)、浅部老采空区上覆岩体稳定性评价与预测等 (陈剑平, 1995; 李永树等, 1999)。目前我国许多学者提出了开采沉陷和地裂缝的防治方法 (Guo Guangli et al., 1999; 曹丽文等, 2002)。

5. 泥石流问题

欧美国家对泥石流的系统研究始于 19 世纪中叶。在 19 世纪初, 阿尔卑斯山区的一些国家随着资本主义发展, 为了获取大量木材, 砍伐了大片森林, 致使山坡上层和岩石普遍裸露。到了 19 世纪中叶, 泥石流灾害频发, 成为阿尔卑斯山区河谷地带居民的祸害, 于是法国 (1860 年)、奥地利 (1872 年) 颁布了森林保护法, 建立了泥石流防治管理机构。前苏联的泥石流研究始于高加索山区修建公路时碰到的泥石流问题, 于是在 1859 ~ 1895 年斯塔特科夫斯基提出了一系列工程防治措施, 这标志着欧洲泥石流系统研究的开始。美国泥石流研究始于 19 世纪末, 但发展缓慢, 直到 20 世纪 60 年代才开始蓬勃发展 (张丽萍等, 2001)。

亚洲国家泥石流研究起步于 20 世纪中叶, 日本泥石流研究进度最快, 技术先进, 成效显著。

此外, 在有泥石流发生的其他国家, 如德国、英国、南斯拉夫、罗马尼亚、加拿大、挪威、澳大利亚和新西兰、印度尼西亚等地也先后开展了泥石流的系统研究 (张丽萍等, 2001; Xie H., 1993)。

国内泥石流研究在许多方面做了大量工作, 尤其在区域分布规律、泥石流运动力学特征、搬运堆积过程及防治等方面成绩显著, 泥石流作为一门独立学科已基本上自成体系。但由于我国泥石流研究起步晚, 加之受十几年的文革动乱影响, 使我国的泥石流研究与世界先进水平相比还存在一定差距 (花晓根, 1997; 宋豫秦等, 1999)。

6. 沙漠化问题

对沙漠化问题的研究可追溯到 19 世纪中叶。西非的沙漠化研究始于 20 世纪初, 美国围绕 30 年代的土地荒漠化问题进行了大量的研究。另外, 法国、英国及西非等学者对撒哈拉沙漠及非洲森林、草原的退化进行了研究, 逐步提出了干燥化说、沙漠化扩大说 (Desertification, 由 A. Asbrev. He 首次提出) 和人为环境荒废等观点 (Adrian D. C., 1987; Stach A. et al., 1990), 国际地理联合会早在 1972 年就组建了“干旱地区及其周围地区沙漠化工作小组”; 联合国环境规划署在此基础上先后召开了“联合国人类环境会

议”(UNCHE, 1972)和“联合国沙漠化会议”(UNCOD, 1977),并设立了沙漠化部门。这些措施的实施促进了沙漠化研究的飞速发展,许多国家在学术研究和实际治理上取得了一些成果,如印度、伊朗及前苏联等。联合国环境规划署1992年出版的《世界沙漠化图集》(Fyfe W. S. C., 1999; Toshiaki Imagawa, 2000),介绍了导致沙漠化的各种因素间的相互作用。

我国是在1977年才开始进行沙漠化研究的,并从1978年以来,先后完成了“中国北方地区沙漠化过程及其治理区划”、“中国沙漠化及其治理”等研究,以沙漠化过程及其治理为中心,以北方干旱、半干旱地区为主,把沙漠化的过程-监测-整治作为一个整体研究。大多学者都从沙漠化的历史过程、现代过程、物理过程及其逆转过程进行系统分析和研究,采用一些常用的计量地理学方法如相关分析、回归分析和主成分分析等方法来研究沙漠化的原因与过程。但定量研究不够,极少利用定量手段去筛选沙漠化的主导因子。来定量估算各类因子在沙漠化过程中的作用并对各种防治措施给出定量的决策依据。对采矿工程活动加剧了沙漠化进程的研究报道也不多见。

7. 水土流失问题

水土流失是当今社会与经济发展的重要障碍,在国际上已引起高度重视,我国是水土流失严重的国家,也是开展水土保持及研究最早最多的国家之一。自从美国学者W. H. Wischmeier等于1985年首次提出降雨侵蚀力因子的计算方法,并将其应用到土壤流失通用方程以来,先后由英国、保加利亚、前苏联、日本及中国诸多学者提出了不同形式的 R 指标及其简易计算方法,世界上已有20多个国家、地区分析计算了 R 指标并编制了本国或本地区的 R 值等值线图(Water D. H. I. et al., 2000; Robert B. et al., 1993)。近年来,我国不少学者对各地的 R 值也进行了研究,并对水土流失的定量分析进行了探讨,但这种研究仅是局部和小区域的,对大区域,特别是生态脆弱矿区的水土流失防治尚未有成熟的经验和技術,对采矿工程活动加剧水土流失问题的研究报道也不多见。

8. 地下水控制、利用与环境保护结合问题

国外发达国家在这方面的实践与研究起步较早,由于他们具有先进的工业技术,拥有许多一流的抽(排)水设备,如各种型号的大流量、高扬程潜水电泵,同时因为大部分矿均属私人企业,老板追求矿体开采的整体经济效益,把矿山排水作为矿体开采的一种伴生资源,矿井水愈大,盈利愈多,经济效益愈好。因此,这些国家的矿井水利用率较高,美国煤矿井排水在20世纪80年代初利用率就已达到81%,前苏联顿巴斯矿区1985年矿井水的利用率已高达90%。总体而言,国外矿山的排、供结合思路较为简单,且十分有效,但在供、排结合的理论及方式方法研究方面存在不足(王梦玉, 1983; Coldewey W. G. et al., 1994)。他们购置大量的潜水泵,在矿区地面实行强排,疏干主采煤层的直接充水含水层组的地下水,在解除水患危险、地下水得以控制后,开始进行大规模机械化作业开采。由于在矿区地面直接排水,避免了地下水流入矿井被污染这个环节,故地面排放水的水质绝对优良,无需或稍加处理便可以直接输入需水用户,按照不同的供水用户和输送距离等指标收取水费。因此,国外矿井排水不是一种负担,而是一种获利的手段,矿井水越大,盈利越多,经济效益越好。例如,从20世纪70年代开始,德国的莱茵褐煤矿和

希腊南部的米加罗波里褐煤矿，就是利用大量的潜水电泵，在煤矿井地下水补给边界处强排，排出的地下水直接通过管道输送至电厂，供其发电用。80年代匈牙利外多瑙河煤矿和铝土矿把矿井的排水直接卖给城市供水部门作为当地人们的生活饮用水源。这些煤矿仅依靠经营矿井排水这一项伴生矿产资源，就获得了十分可观的经济效益。

纵观我国排供结合发展的历史，可将其大致划分为三个阶段。

第一阶段为矿井水利用阶段。

在煤矿开采过程中，利用矿井排水作为矿山的供水水源，在我国已有近百年的历史。新中国成立以来，我国煤炭工业迅速发展，矿井涌水量不断增加，特别是一些喀斯特大水煤矿的开发，矿井排水量甚为可观。大流量的矿井排水形成了大面积的地下水降落漏斗，使得矿区地下水水位大幅度下降，许多矿区自备水源井的供水能力受到了影响，出现了矿区供水紧张的局面。因此，华北地区的部分煤矿区开始利用部分矿井排水作为矿区自身的生产和生活用水，即自排自供。矿区附近的农民也在开始利用矿井水灌溉农田，实现了矿井水与灌溉的初步结合。在这一阶段，焦作矿区是华北型煤田矿井排、供结合较为成功的代表。第一阶段的排、供结合理论研究主要着重于矿区的矿井水利用，以提高矿井水的使用率为目的。在排、供结合的实践方面，主要以自排自供为特征，矿井既是排水点又是供水水源。

第二阶段为水害防治与矿井水综合利用阶段。

自1974年在广东肇庆召开全国首次“综合治理和利用矿床大面积地下水”的经验交流大会以后，无论是排、供结合的理论研究，还是实践运用，均得到了进一步的发展与深化，特别是在理论研究方面，对排、供结合的内涵进行了更深层次探讨，认为排、供结合不仅仅简单指矿井水的综合利用，使矿井的排水为矿区所用，且包含着更深层次的涵义，即排、供结合本身也是一项防治水害、解除矿井水患威胁的防治水技术。所以说，排、供结合的实质就是指在解除矿山水害前提下，将矿井排水经过一定处理后用于矿区供水。排、供结合的首要任务是解除水患、保证煤炭安全开采，其次才考虑矿井水的综合利用。该阶段缺乏生态环境保护意识（叶贵钧等，1988；辛奎德等，1986）。

第三阶段为矿山排水、供水、环境保护三位一体结合的优化管理阶段。

前两个阶段的排、供结合研究，主要考虑矿井排水的利用，而未考虑矿区环境地质问题。煤矿的开采常形成数十至数百平方公里的地下水疏降漏斗，如此大范围的漏斗严重影响了矿区和周围地区各类供水设施的供水能力，从而产生排、供矛盾。同时，矿区深降深、大流量排水引起了一系列严重的环境地质问题，特别对于已逐步转入石炭系下组煤开采或上组开采水平正在逐渐向深部延伸的北方各煤矿山，类似矛盾和问题更为突出。1989年作者在全面分析华北型煤田矿井水患和矿区水资源合理开发利用以及矿区生态环境等方面的基础上，首次提出了煤矿矿井排水、供水、环境保护三位一体结合的新思想。根据研究矿井所在区域的水资源开发情况和矿井自身的水文地质条件，划分出排、供、环保结合的两大基本模式和对应的优化结合管理模型（武强等，1995）。排、供、环保三位一体结合模式是一种理论性较强的新型模式。它从理论上探讨了综合解决我国煤矿区目前和今后愈来愈严重的排、供矛盾和环境问题的可能性，使得这些本来相互联系甚为密切的矛盾和问题能够在统一的模型中同时得以解决，从而大大减小了由于分别处理和解决这些矛盾和问题所带来的计算上的误差，提高了评价和管理它们的准确程度。同时，对于不同的排、

供、环保三位一体的结合模式，还从理论上论证了它们的具体适用条件，使它们发展成为能够进行具体实施操作的实用性模式。

9. 矿山环境调查

尽管采矿业于 20 世纪 90 年代初在技术上已取得重要进步，但矿山环境调查、评价与保护仍未受到人们的足够重视。90 年代中后期，随着采矿及相关学科突飞猛进的发展，矿山环境调查与保护问题引起了人们关注，涌现出一大批新技术和新方法，如“3S”技术、光栅显示、并行计算机和微观物质分析以及小波变化等技术，为矿山环境调查与保护提供了强有力的技术保障，为调查所获数据的分析处理提供了有效的方法。国外用重力梯度测量法进行矿山勘探，利用遥感进行矿山地质环境调查，运用电波法调查矿山中岩体的性质、分布等情况，并应用统计学的方法减少数据中的噪音干扰，建立空气监测站调查矿区空气污染情况，利用三维地震反射波调查矿山堆积的废弃物，所有调查所获数据应用三维可视化技术直观地显示出来，以进行准确清晰的分析、处理与评价。

10. 矿山环境保护和复垦治理

随着矿山开发的进行，大量土地被破坏和长期荒废，其中有很大一部分可重新恢复利用。开展土地复垦工作，对被破坏的土地进行整治，使其恢复到可供重新利用的状况，根据不同情况，分别提供给农、林、牧、渔、工业生产和城乡建设使用，对缓解耕地供需矛盾无疑是非常必要的。

目前，国内外对土地复垦都比较重视，近年来复垦技术发展很快，由过去的地形地貌恢复、土地利用发展到生物复垦、化学复垦和生态复垦。例如，在植物根系接种真菌菌株（内生菌株或外生菌株），对促进植物根系对土壤中磷、钾、钙等吸收，扩大根系吸收面积，提高植物抗逆性，达到增产效果，Gerdemann 等通过对矿区复垦的一些植物研究认为，通过 VA 菌根接种，幼苗干重比对照增加 3~5 倍；Abbot. Robson 在温室和田间室验中观察到被采矿翻动后的土壤，因降低了菌根真菌的浸染而缺磷，严重妨碍绿化。D. M. Sylia 在美国佛罗里达磷矿向排土场新复垦地的林木接种 VA 菌剂，由于高浸染率使植物获得足够的营养，提高了生长速度（Kumar A. et al., 1999）；印度 Boni 在废弃石灰矿上选择刺槐为最佳树种。埃塞尼亚 Kaar 等用 52 个乔灌木树种造林，选出了欧洲赤松、落叶松、桦树、桤木植物种生长最好。在 Bulgaria 煤矿复垦时，根据该区土壤理化性质，通过混播种植先锋树种如刺槐及其他种，能最终形成森林状态。印度 Soni 等还根据物种生态活力，选择乔灌木植物种。其他如美国、德国、捷克斯洛伐克等也进行了广泛的树种选择试验研究。

11. 矿山环境信息系统研发

随着矿产资源开采量的增大，矿山环境地质问题的危害已越来越受到人们的重视，国土资源部、国家发展改革委员会等许多部委投巨资着手矿山环境调查。面对调查获得的海量信息和数据，需要研发一套矿山环境信息系统，其目的是能够对矿山环境问题做出适时准确的评价与预测，从而提高矿山环境问题评价管理工作的效率。通过这样系统的研制，可以做到矿山环境信息的及时更新、快速查询、科学统计、规范管理和综合评价，从而为

决策部门的科学决策提供依据。

矿山环境信息系统的研究刚刚起步，国际上尚无统一标准的、通用的管理软件。目前各国或各矿山根据自己的需要和管理目标开发了一些管理软件，这些软件仅适用于各自的企业，通用性差。

第二节 研究内容和思路

根据提出问题、分析评价问题和解决问题的研究思路，在进行矿山环境评价之前，首先需要对矿山环境所存在的问题进行分类研究，之后依据不同精度的矿山环境调查成果和基础数据，针对不同问题，选择不同方法和方案进行矿山环境评价，在此基础上，才能提出合理解决矿山环境问题、保护和修复矿山环境的各种治理方案，最后应用现代信息与可视化技术，研发矿山环境信息系统，以信息系统来最终表达矿山环境研究成果。因此，矿山环境问题分类、调查、评价、修复和信息系统建设五者之间环环相扣，缺一不可，是矿山环境研究的五大内容。

根据研究对象，矿山环境研究应该包括矿山地质环境、矿山水环境、矿山生态环境、矿山大气环境和矿山空间环境五个方面。

1. 矿山环境问题分类

矿产资源的开发是人类重要的经济活动。人类每年对矿产资源的开发多达上百亿吨，如把开采废石和剥离矿体盖层的土石方计算在内，数字更为惊人。如此巨大的矿山开挖工程必然要对环境造成损害，随着矿山开采强度的不断增加，由采矿工程活动诱发的环境问题和地质灾害将日益突出。

地质环境是一个复杂系统，矿山各种环境问题和地质灾害完全是以煤田地质条件为背景的，以矿产开发为诱发因素，受矿区构造特征及与之相关的区域地壳稳定性和人类经济活动等影响控制。所以研究矿山环境问题和地质灾害，必须全面认识煤田地质环境特征及变化，从成因和受灾体两个方面进行分析和研究。采矿活动既是灾害成因，又是受灾体，并由此危害其周围环境。

矿区的建设与开发，不可避免地诱发各种环境问题和地质灾害，出现了许多不利于区域社会经济发展、影响人群身体健康、破坏矿山环境自身平衡等问题，而且随着矿区开采规模的扩大、开采深度的延伸和时间的延长，暴露的问题越来越多，严重地影响着矿山环境及矿业可持续发展。因此，对众多矿山环境问题进行深入调查和科学分类研究，目的是寻求更加有针对性的防治对策措施。

矿山环境问题类型划分是矿床水文地质学和环境地质学理论的重要组成部分，是现代环境地质学的一个重要研究方向。对众多复杂的矿山环境问题实施科学的分类研究，不仅可使现代环境地质学在基础理论上得以进一步完善和发展，更重要的是可以有效地指导矿山环境调查、评估评价、预测预报和保护与复垦治理等后续研究工作（武强，2003）。

本书介绍了三种类型划分方案：一是依据矿山存在问题的性质分类；二是依据矿种类型分类；三是依据矿山开发阶段分类。

2. 矿山环境调查

矿山环境调查就是根据不同的工作任务,按照经济技术合理的原则,运用各种技术方法,揭示矿山环境基本状况和背景条件,为国民经济发展规划制定提供科学依据。矿山环境调查研究的内容主要包括矿山环境调查的基本原则、矿山环境调查类型、矿山环境调查的技术手段与方法和矿山环境调查的组织形式与通讯保障系统建设(武强等,2004)。

3. 矿山环境评价

矿山环境问题复杂多样,其评价方法也众多。不同的矿山环境问题有其自身的特点,其适用的评价方法也各异。如何选择适宜的评价理论和方法,是正确评价矿山环境问题的基础。

矿山环境评价是矿山环境问题研究的核心内容,它是在现场调查和收集分析整理已有成果资料基础上,根据矿区所存在的各类环境问题所做出的现状模拟和预测预报。根据评价的环境要素,矿山环境评价可划分为单环境问题(要素)评价和多环境问题(要素)综合评价两大类(武强等,2005)。

本书就12类矿山环境单问题评价和矿山环境多问题综合评价的基础理论和评价方法进行了详细论述,并举以实例分析。

4. 矿山环境修复与复垦治理

我国幅员辽阔,但与众多的人口相比,又是一个土地资源比较贫乏的国家。我国的人均土地面积数和人均耕地面积数,都不到世界平均数的1/3。随着经济建设的飞速发展,各方面对土地资源的需求迅速增长,人多地少的矛盾日益突出,土地资源紧缺的压力,已经成为我国社会和经济发展的一个重大制约因素。我国一方面人地矛盾尖锐,另一方面又存在大量土地被破坏和长期荒废的现象,其中有很大一部分可重新恢复利用,但到目前为止,这些土地还没有得到很好的整治利用。因此,开展土地复垦工作,对被破坏的土地进行重新整治,使其恢复到可供利用的状况,根据不同情况,分别提供给农、林、牧、渔、工业生产和城乡建设使用,对缓解耕地供需矛盾无疑是非常必要的(武强等,2003)。

本书详细论述了矿山环境修复和破坏土地的各种复垦治理方法的基本原理、特点和适用条件及范围。

5. 矿山环境信息系统建设

矿山环境问题众多且复杂,信息多数据量大,需要对其进行合理管理与开发。同时,如何对矿山环境调查所获得的海量数据信息和各类图件进行空间分析与空间操作也是应该考虑的问题。因此,研发矿山环境信息系统是矿山环境研究的一个重要问题。矿山环境信息系统建设应该包括数据库、图形库、模型库、方法库、文本库等内容。

根据所研究问题,确定数据库的总体构架,分离出数据源,并对数据库进行分类,以完成数据库结构的设计,并由GIS支持的空间数据库和有数据仓库美誉的SQL SERVER的属性数据库有机地链接起来,以完成各个矿山环境问题的SQL查询。对所开发的数据库要经常进行调试,增加错误捕获和处理功能,使得数据库更加完善。