

MEIKUANGSHAN DIZHI HUANJING WENTI
YITI HUA ZHILI YANJIU

煤矿山地质环境问题 一体化治理研究

徐恒力 冯全洲 宁立波 著



地质出版社

煤矿山地质环境问题 一体化治理研究

徐恒力 冯全洲 宁立波 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

煤矿山地质环境问题对能源安全、社会发展和人民生活都有深远影响。本书从地球系统科学的角度将矿山地质环境问题纳入一个统一的系统进行研究,从系统的结构和功能、物质循环、信息反馈等方面对矿山地质环境问题进行一体研究,提出全新的技术思路和方法:①矿山地质环境治理必须是综合、全方位的,治理工程方案要体现“隔离”和“系统结构控制”的系统科学思路;②对地面变形机理提出新的认识和观点,提出用“稳定、暂时稳定、不稳定”三个级别对采空区地面稳定性进行评价;③提出了废水-废固-土地再造相结合的综合一体化处置方法;④利用矿区天然或矿坑排水形成的湿地,进一步改善综合一体化处理后外排水的水质,实现废水的资源化。

本书可供从事矿山地质环境研究的教学、科研和生产人员及高校研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤矿山地质环境问题一体化治理研究/徐恒力等著.

—北京:地质出版社,2010.11

ISBN 978-7-116-06974-9

I. ①煤… II. ①徐… III. ①煤矿—地质环境—综合
治理—研究 IV. ①TD163

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第216506号

责任编辑:李惠娣

责任校对:李 玫

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)82324514(编辑部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010)82324340

印 刷:北京印刷学院实习工厂

开 本:787mm×1092mm¹/₁₆

印 张:11.5 图版:7面

字 数:280千字

版 次:2010年11月第1版

印 次:2010年11月第1次印刷

定 价:35.00元

书 号:ISBN 978-7-116-06974-9

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

前 言

解决矿山地质环境问题已不仅仅是科学问题，更是经济问题、民生问题，甚至是政治问题，为此国家近年来投入了大量资金进行治理；众多的学者也从理论上进行探讨，试图从理论的角度指导实践。必须承认这些投资和研究已经对矿山地质环境的改善发挥了巨大作用，并使部分矿山的生产和当地居民日常生活顺利进行。但是这些成果距真正解决矿山地质环境问题、实现清洁生产、达到人地和谐还有着非常大的差距。

矿山地质环境问题是内外地质作用共同形成的，是一个复杂的、开放的巨系统。从目前绝大部分已经完成的矿山环境治理项目的效果看，普遍存在着“头疼医头，脚疼医脚”的弊端，缺乏整体治理。具体而言主要存在以下几方面问题：①缺乏煤矿山生态地质环境治理的综合一体化思想及具体途径；②治理工程手段单一，与矿山生产脱节；③治理手段科技含量低，工作粗放和低水平重复；④理论研究和新方法的探索较薄弱，缺少对已建工程的回访调查和经验教训的总结等反馈环节。究其根源在于，目前的矿山环境治理理论存在着一个突出的问题，即缺乏系统思考。矿山环境问题涉及诸多科学问题，需要多学科知识的交叉和融合，更需要运用多种方法综合解决问题。遗憾的是，目前众多的学者基本是立足于本学科而忽视其他学科，仅仅从本学科角度出发解决其中的某个问题，至于是否会诱发其他问题或者是否会造成二次危害缺乏足够的考量。

基于此，本研究以系统思想为指导，从地球系统科学的角度将矿山地质环境问题纳入一个统一的、大的系统中进行统一研究，力图从系统的结构和功能、物质的循环、信息的反馈等方面诠释矿山地质环境问题是进行一体解决的。我国是世界上的产煤大国，也是煤炭消耗大国，在我国一次性能源消费构成中约占 76.4%。在全球能源紧张，替代性能源还不够满足国民经济持续发展需要的今天，煤炭资源的开发利用仍将长期持续。据预测，2020 年、2050 年我国原煤产量将分别达到 21 亿吨和 26 亿~28 亿吨。我国目前煤炭开采大部分采用普通机械化和爆破的物理开采方法，且主要是井下开采，生产环节多，包括掘进、储运、选矿等，这些活动会对矿区以及周边地区的生态环境造成污染和破坏，甚至连带产生一些复杂的社会问题。因此本研究以煤矿山为例，在对其地质环境系统进行分析的基础上，将矿山塌陷、煤矸石山治理、矿山酸性废水的排放、土地复垦等问题综合运用地质学、水文地质学、矿山地质学、工程地质学、环境地质学、环境化学、生态地质学等学科和多种试验方法，从地球系统科学的角度分析了煤矿山生态地质环境问题产生的根本原因和解决的途径；对典型区因煤层采空引起的地面变形的机理，最终下沉量的平面分布及地面下沉现状的危险性进行了讨论，提出了防范风险和治理对策的基本要求；提出利用当地黄土作为天然中和剂和覆盖物，解决煤矸石占地和废弃物污染的综合一体化处理方案；首次运用生态地质学原理和方法对土地复垦、废弃物堆放场地的土地再造提出了相关

的技术指标和措施，从而探索了一体化综合治理矿山地质环境问题的新途径。

本研究依托河南省国土资源厅 2006 年地质矿产科技攻关项目《典型煤矿山环境保护与综合治理技术方法研究》，以河南省郑州市大峪沟煤矿作为研究靶区，在研究过程中得到了河南省地质环境监测院院长杨昌生教授级高工、副院长郑拓高工、副院长兼总工程师甄习春教授级高工等的大力支持；得到了大峪沟矿务局领导的支持和协助；河南省地质环境监测院黄景春高工和中国地质大学（武汉）硕士研究生陈绪钰、史珍珍、牛望、庞俊杰、周少卿等参加了项目的野外工作。在此一并向他们表示感谢。

本书由多位作者共同完成，其中徐恒力教授在研究思路和方法等方面予以全面指导，全书由冯全洲、宁立波执笔，具体分工为：第一章、第二章、第五章、第六章由宁立波编写；第三章、第四章、第七章由冯全洲编写。

由于时间仓促，且许多内容属于探索性质，难免会出现一些错误，为此，诚恳希望读者予以指正。

作 者

2010 年 8 月

目 录

前 言

第一章 绪论	(1)
1.1 研究背景及意义	(1)
1.1.1 研究意义	(1)
1.1.2 对矿山环境问题的思考	(4)
1.2 国内外研究现状及发展趋势	(7)
1.2.1 国内外研究现状	(7)
1.2.2 存在问题及发展趋势	(20)
1.2.3 研究内容及研究思路	(21)
1.3 生态地质学基本理论概述	(23)
1.3.1 植物地境及物种地境稳定层	(23)
1.3.2 植物物种生存域研究	(30)
第二章 煤矿山生态地质环境系统分析	(31)
2.1 煤矿山生态环境保护与综合治理的基本途径	(32)
2.1.1 煤矿山生态地质环境问题产生的自然本质	(32)
2.1.2 煤矿山生态地质环境问题产生的社会经济根源	(33)
2.2 煤矿山地质环境特点	(34)
2.2.1 矿山地质环境问题的产生	(34)
2.2.2 地质环境以系统的方式存在	(35)
2.2.3 地质环境是开放系统	(35)
2.2.4 地质环境的层次性	(36)
2.2.5 不断演化的地质环境	(37)
2.3 矿山地质环境系统的组成要素及结构	(37)
2.3.1 地质环境系统的组成要素	(37)
2.3.2 地质环境系统的结构	(38)
2.4 煤矿山生态地质环境保护与治理的基本思想	(39)
2.5 典型煤矿山生态地质环境系统分析	(41)
2.5.1 研究区自然地理	(41)
2.5.2 研究区生态地质环境系统结构	(42)
2.6 试点研究区研究现状	(49)

第三章 采空区塌陷问题及综合治理 (51)

3.1 煤矿采空区沉陷研究方法 (51)

3.2 大峪沟煤矿山地面沉降、塌陷现状 (54)

3.2.1 采空区地面沉降、塌陷的特征 (55)

3.2.2 采空区地面沉降、塌陷造成的危害 (57)

3.3 大峪沟煤矿地面变形分析 (62)

3.3.1 大峪沟矿区采空后地面变形估算 (62)

3.3.2 地面沉降、塌陷程度分区 (68)

3.3.3 地面破坏程度分级 (69)

3.4 大峪沟矿区地面变形预测评价 (71)

3.4.1 计算网格的布置及参数选取 (71)

3.4.2 采空区地面变形值的计算结果及评价 (76)

3.4.3 采空区地面稳定性评价 (84)

3.4.4 煤矿采空区地面沉降、塌陷的机理 (86)

3.5 采空区地面变形灾害的防治 (89)

3.5.1 地面变形灾害的预防 (90)

3.5.2 地面变形的治理 (92)

第四章 煤矸石和矿坑废水污染、占地综合一体化处理 (94)

4.1 酸性矿坑废水与酸化煤矸石的成因 (95)

4.1.1 煤矸石、矿坑废水的成因分析 (95)

4.1.2 煤矸石浸泡试验 (98)

4.2 煤矸石、矿坑水综合一体化处理 (99)

4.2.1 黄土、煤矸石、矿坑水综合处理试验 (100)

4.2.2 煤矸石、矿坑水、黄土的最佳配置问题 (108)

4.2.3 综合一体化处理的工程形式 (111)

4.2.4 设计参数 (112)

第五章 土地复垦的生态地质技术 (114)

5.1 关于土地复垦的认识 (114)

5.2 植物的地境与地境结构研究 (117)

5.3 植物地境 (118)

5.3.1 植物地境的深度 (118)

5.3.2 植物的地境结构 (118)

5.4 矿区地境结构研究 (119)

5.4.1 样地的选择 (119)

5.4.2 样地调查内容与方法 (119)

5.4.3 地境结构分析 (124)

5.5 土地整理中覆土材料及厚度的选择 (129)

5.5.1 表土基质的选择 (129)

5.5.2 覆土厚度的确定 (136)

第六章 利用煤矿山湿地实现废水资源化的生态地质技术..... (137)

6.1 湿地处理废水的研究现状 (137)

6.2 湿地对煤矿山废水的净化作用 (139)

6.2.1 湿地植物的净化作用 (140)

6.2.2 湿地底泥的净化作用 (141)

6.2.3 湿地微生物的净化作用 (141)

6.2.4 湿地的综合净化作用 (142)

6.3 研究思路 (142)

6.4 大峪沟矿区湿地概况 (143)

6.5 湿地生态地质调查 (145)

6.5.1 河川径流量 (145)

6.5.2 硫酸根的输入输出量 (145)

6.5.3 植被调查 (146)

6.5.4 底泥调查 (148)

6.6 大峪沟湿地现有净化能力 (148)

6.6.1 元素的输入输出量 (148)

6.6.2 大峪沟湿地植物对元素的吸收 (150)

6.6.3 大峪沟湿地底泥对元素的固持 (152)

6.6.4 大峪沟湿地对元素的年截留量 (153)

6.7 大峪沟湿地的改造 (154)

6.7.1 湿地改造的依据 (154)

6.7.2 湿地改造的生物措施 (156)

6.7.3 工程措施 (158)

6.7.4 改造后湿地净化能力的预测 (158)

6.8 大峪沟湿地除硫能力分析 (159)

6.8.1 植物体内化学组分 (159)

6.8.2 大峪沟湿地植物除硫量 (161)

6.8.3 湿地底泥固硫量 (161)

6.8.4 湿地总除硫能力 (162)

6.9 煤矿山湿地生态建设 (163)

6.9.1 煤矿山湿地生态建设的目标 (163)

6.9.2 煤矿山湿地生态建设措施 (163)

第七章 结论与建议..... (165)

7.1 结论 (165)

7.2 建议 (166)

主要参考文献和资料..... (167)

图版

第一章 绪 论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究意义

我国是产煤大国,资源储量占世界总储量的 12.6%,已探明可采资源量约 $1145 \times 10^8 \text{t}$,在我国一次性能源消费构成中约占 76.4% (BP 集团,2007;姜军等,2002)。在全球能源紧张,替代性能源还不能满足国民经济持续发展需要的今天,煤炭资源的开发利用仍将长期持续。据预测(魏同,1996),2020 年、2050 年我国原煤产量将分别达到 $21 \times 10^8 \text{t}$ 和 $(26 \sim 28) \times 10^8 \text{t}$,届时煤炭占一次性能源的比例虽有所降低,但仍为 68% 和 50% 左右,但绝对量却比 2000 年高出 60% 和 100%。我国目前煤炭开采方法有 50 多种,其中大部分采用普通机械化和爆破的物理方法,且主要是井下开采,其产量占全国煤炭产量的 95%,井下开采为地下作业,生产环节多,包括掘进、储运、选矿等,这些活动会对矿区以及周边地区的生态环境造成污染和破坏,甚至产生一些复杂的社会问题。迄今为止,煤矿山的开发利用仍是环境负效应最为严重的一种生产活动,它所带来的问题主要有以下 4 个方面:

(1) 地面变形

采用自然崩落的放顶开采方法,可加剧采空区上覆地层应力调整、失稳,产生变形、崩落,从而引起地表沉降或塌陷,导致建筑物、道路等人工设施的严重损毁,大面积农田破坏,甚至造成生命财产的损失。据有关资料(姜军等,2002),全国煤矿山采空区形成的沉降、塌陷面积已达 $40 \times 10^4 \text{hm}^2$,其中耕地占 30%,为此,支付的补偿费用占总环境成本的 60% 以上。

(2) 废弃物占用土地

煤矿山产生的固体废弃物主要为煤矸石、灰渣和生活垃圾。其中煤矸石是煤矿开采、巷道掘进、选煤等生产环节排除的岩渣、残煤等混合物,排放量可占原煤产量的 20%。这些煤矸石大都露天堆放,占用了大量的土地。统计表明(耿殿明等,2002;韩杰,2005),我国现有煤矸石山约 1500 座,煤矸石堆放量达 $30 \times 10^8 \text{t}$,占地约 5500hm^2 ,而且每年还将产生 $1500 \times 10^4 \text{t}$ 的煤矸石需要处理。这对于人均耕地只有 1.39 亩[●]的我国来说,无疑是个不容忽视的问题。

● 1 亩 = 666.67m^2 。

(3) 环境污染

煤矸石的露天堆放会风化、自燃,产生大量的粉尘和 H_2S 、 SO_2 、 CO_2 、 CO 等有毒有害气体。固体颗粒物弥漫在空气中,使道路、地面、树木、建筑物落满黑色灰尘,有害气体的逸出和自燃产生的烟雾使矿区周围的空气严重恶化,危害人们的健康。另外,矿坑释放的废气不仅有 CO_2 ,还有大量甲烷。甲烷是一种稳定气体,产生的温室效应是 CO_2 的两倍。我国每年矿井排出的甲烷约为 $(70 \sim 90) \times 10^8 \text{m}^3$,约占世界甲烷总排放量的 30%,除 5% 左右集中回收利用外,其余全都排放到大气中。统计表明(耿殿明等,2002),煤矸石山排放的废气和废水约占全国总固废、废液的 25%,仅矿坑废水一项年排放量就达数十亿吨(2000 年为 $27.5 \times 10^8 \text{t}$,矿坑废水达 $23 \times 10^8 \text{t}$,洗矸水 $4500 \times 10^4 \text{t}$,洗煤水 $4000 \times 10^4 \text{t}$,煤泥 $200 \times 10^4 \text{m}^3$)。矿坑废水含有大量的岩粉、煤粉等高浓度悬浮物,以及 Fe 、 Mn 、 Zn 、 Cu 、 Pb 等重金属离子和 SO_4^{2-} 离子,常呈酸性,成为煤矿区及下游水体、土壤的主要污染源。

(4) 水资源减少

煤矿山开发中的疏排水活动常常使大面积的地下水水位显著下降,造成井、泉的干涸,进而导致河流断流、湖泊萎缩、湿地减少等地表水环境的急剧恶化,严重干扰了城乡的供水、养殖业发展和天然植被的正常生长。

以河南省为例,现有平顶山、焦作、义马、鹤壁、郑州、永城 6 大煤炭开发基地和 2000 余座中小型煤矿的产煤格局。其中 6 大矿区开采历史长、规模大,集中了全省绝大部分的煤炭资源和原煤产量,同时也是环境破坏范围大、影响区域较大的地区。地下采空造成地表塌陷、滑坡、地裂缝是目前突出的地质环境问题。据不完全统计(徐莉等,2004),全省塌陷区面积约为 400km^2 ,焦作矿区为 70km^2 ,三门峡矿区为 60km^2 ,平顶山矿区为 100km^2 ,郑州矿区为 50km^2 。伴随地面变形、地表开裂,塌陷区的农田毁坏约为 $1/3$,建筑物、道路、水利工程设施破坏也较严重,特别是多数塌陷区为城镇、村落集中地,人口多、建筑物密集,造成的损失大且持久。由于地面塌陷,鹤壁市曾进行了 3 次搬迁;平顶山市西区位于塌陷区上,建筑、道路损毁明显。恢复治理矿山环境所需资金数额巨大。除此之外,矿山废渣、废水排放数量较大,鹤壁市煤矸石排放量达 $1124.93 \times 10^4 \text{t}$,废水年排放量为 $315 \times 10^4 \text{m}^3$;焦作矿区煤矸石排放量为 $1016 \times 10^4 \text{t}$,废水年排放量为 $6314 \times 10^4 \text{m}^3$;三门峡矿区煤矸石废土石排放量约 $1 \times 10^8 \text{t}$,废水年排放量为 $2640 \times 10^4 \text{m}^3$;平顶山煤矸石排放量为 $1 \times 10^8 \text{t}$,占地 1×10^4 余亩,废水年排放量为 $4620 \times 10^4 \text{m}^3$;郑州矿区煤矸石排放量为 $878.87 \times 10^4 \text{t}$,废水年排放量为 $1868 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

目前煤矿山备受关注的原因不仅仅是煤炭产量,更为引人注目的是生态环境的破坏和对粮食安全、生态文明建设的影响,煤矿区已成为当今世界陆地生物圈最为典型、退化最为严重的生态系统。在我国北方干旱、半干旱地区如何协调煤炭生产与生态恶化的矛盾?如何解决开采过程中土地破坏和水资源流失的问题?煤矿山生态修复或者说土地复垦中,如何确定覆土厚度?如何确定植物的引种?如何科学处理煤矸石和酸性废水?这些问题已经引起政府和学者的高度关注。

对于煤矿山生态环境治理,众多学者进行了理论探讨,但在煤矸石山治理方面偏重于运用生态恢复理论进行土壤重构和植物的引种,而忽视了植被地境问题;在酸性废水治理方面偏重于人工水处理工程,而忽视了天然生态系统在处理酸性废水方面的重要作用;更显不足

的是,至今并无学者对二者的综合治理进行理论探讨和实践。与大区域的地质体相比,煤矿山地质环境系统是人工-自然复合系统,系统中的人工活动十分强烈,作用的强度和速度远远超过自然作用,尤其是在岩土物质侵蚀、搬运、堆积方面所造成的元素迁移、聚集效应和随之发生的生物效应,都有可能改变原有环境系统的演化方向。不管这些变化是人们有意为之,还是自然产生,也无论其结局是否和谐,是否符合人在环境质量上的价值取向,大规模的采煤活动都将是人为改变原来系统塑造新系统的过程,煤矿山显现的地质环境或生态地质环境负效应则是自然地质环境系统向自然-人工复合系统转化过程中的各种响应的综合体现。

由土壤、部分母质及包含在其中的水分、盐分、空气、有机质等构成的地下空间实体,是植物赖以生存的营养源和根系的固持基质。植物的种类、群落结构及植物的生长状况都与地下空间的水土条件有着不可分割的关系。这一地下空间称为植物的地下生境,简称地境。在某种程度上可以说,在同等气候和地形条件下决定植物生存和长势的是地境。所以就生态系统而言,我们能改变的就是生境,或者更进一步说是地境,即地境内生态因子可以人为改变或者构建。Caldwell等(1998)指出,地下竞争对物种的生存和发展比地上竞争更为重要。所以在煤矿山环境治理中,地境的构建是生态系统恢复的关键,而在地境构建过程中,充分利用煤矸石和酸性废水使其资源化,将煤矿山的生态恢复与煤矸石治理、酸性废水的处理有机地结合起来,无疑将会使煤矿山环境治理的理论水平和实际效果都跃升到新的台阶。遗憾的是,到目前为止,在国内外的矿山环境治理活动中,还没有将其作为一个自然-人工复合系统纳入一个处理模型进行综合整治。特别是在我国干旱、半干旱地区,煤矿山生态环境问题不仅严重,而且恢复难度也大,但进行煤矸石堆积地生态恢复与景观重建的研究和实验示范尚属空白(黄志霖等,2002;毛德华等,2003)。

因此,进行煤矿山生态系统的地境重建,人为加速自然生态系统的自组织能力,促进生态的尽快恢复和健康发展,实现煤矿山环境综合治理的理论研究和实践,还煤矿山一片青山绿水,不仅对生态地质学、土壤生态学、植物生态学等的发展有重要的理论意义,而且对保护国家生态安全、粮食安全,保证当地居民安居乐业、可持续生产,构建和谐社会,实现煤矿山安全、高效生产等都有着重要的实际意义。

近年来,各级政府纷纷投入资金开展煤矿山环境保护与治理,取得了一定成效,但也存在一些问题。最突出的问题有三个:一是治理工程科技含量低,手段单一,重工程手段轻生态措施,且各种技术方法分属于不同的学科和部门,缺乏整合;二是环境治理与矿山生产脱节,有的地方甚至出现边治理边破坏的尴尬情形;三是对不同的煤矿山生态地质环境问题采取分而治之的方法,割裂了这些问题的内在联系,缺乏综合一体化治理的思想及具体途径。上述问题导致治理工程性价比低、治理成果难以体现整体效益,严重制约我国煤矿山环境保护与治理工作的健康发展。目前的投资水平和治理方式,无法根本改变我国煤矿山环境面貌,急需寻找一套符合我国实际的煤矿山环境保护与治理理论方法。如何解决煤炭生产与环境保护的矛盾,寻求煤炭资源开采与生态环境的协调发展途径,是一个具有重要价值的科学问题。

基于上述认识,本书依托河南省国土资源科技攻关项目(编号:0723),选取河南省大峪沟煤矿为试点开展研究,在总结前人认识的基础上,提出了综合治理的科学思路及相应的技术方法,为解决我国煤矿山地质环境问题进行了探索。

1.1.2 对矿山环境问题的思考

(1) 对煤矿山地质环境问题的认识

煤矿山地质环境问题是一个人工-自然复合的巨系统，其形成既有内地质作用，也有外在环境的影响，尤其是人类活动的影响可以说已经对该问题的形成起着决定性的作用，煤矿山地质环境系统的失稳是由于人类活动的参与打破了系统的平衡。因此，煤矿山地质环境的治理更多的应从人为活动方面入手，也就是说如何将人类活动对煤矿山地质环境的影响降低到最低限度，或者说如何使人类活动与煤矿山地质环境系统协调发展。煤矿山地质环境治理是一项系统工程，涉及社会、经济、矿山、能源、人口等诸多问题，我国目前的治理体制存在着许多问题制约着该问题的有效解决，也制约着煤矿山循环经济的实现。这些问题主要表现在以下方面。

一是责任不明。我国至今并没有任何的法律法规明确规定煤矿山地质环境治理应该属于哪个部门，煤矿企业的责任仅在于怎么最大限度地挖掘资源，使煤炭产量能够满足国民经济发展的需要，至于对环境的破坏、水资源的浪费与污染，它并不负有直接责任。这就导致了煤矿企业不惜以破坏环境为代价拼命地赚取利润。虽然现在一些企业开始对矿山所在地的居民给予适当的补偿，那也是由于无序开挖对居住环境造成了巨大影响，不得已而为之，这实际上也是治理责任不明造成的。而且对于当地居民而言，这些补偿远远无法弥补他们的损失，煤矿企业可以在资源枯竭后一搬了之，这些居民则不得不承受环境破坏所带来的长期恶果，有些环境破坏甚至造成生命财产的巨大损失。

那么，煤矿山地质环境治理的责任应该是政府吗？似乎是也似乎不是，为什么这么说呢？因为就现今的治理资金来源看是政府，迄今为止，我国政府已经投资十几个亿进行矿山环境治理；但同时我国政府又有明文规定“谁治理，谁受益”，就是说任何单位甚至个体都可以投入到矿山环境治理当中去，而且治理后所得收益由治理单位享有。这就明显出现了矛盾，既然单位和个人都可以进行治理，国家没有必要投入大量资金进行治理。不过，虽然国家规定单位和个人可以进行矿山环境治理，但并没有具体的、具有可操作性的规定，也没有具体条款可以保证这些治理者的合法权益，造成这些个体缺乏积极性。

二是投资主体不明、渠道不畅。就目前的投资体制看，进行矿山环境治理的单位并不是投资单位，而是经过所谓的招投标后中标的施工单位，真正的投资主体是国家，那么其资金来源很显然是财政拨款，也就是整个国家纳税人的钱。相反，真正的矿山开采受益者反而不用投资进行环境治理。但这么说对矿山企业来说也存在不公平之处，因为他们也为国家上交了利税。这里深层次的问题在于矿山环境治理的投资主体不明、渠道不通，在不明确投资主体的情况下，矿山环境问题又是迫在眉睫的问题，那么，国家不得不来承担这个责任。例如，在一些煤矿出现矿难的时候，对于遇难者的救抚金都是由政府承担，或者说由纳税人承担。但是如果能够在出事之前未雨绸缪，规定每个企业必须在营业收入中拿出一定比例的资金建立风险基金，那么在事故发生时可以将这笔资金用于救难和安抚。就投资渠道而言，国家目前并没有健全的投资体制，也没有完善的制度来保证投资人的合法权益，渠道不通阻碍了一些单位和个人投资矿山环境治理的热情。

三是相应的法律法规不健全。我国正在向法治国家迈进，但还有很长的路要走，在许多方面制度的缺失严重影响了社会经济的健康发展。就矿山环境治理而言，迄今也没有一部切实可行的法律法规，对于一些问题的出现缺乏预见性和问责制度，对于一些突发性事件的处理往往是用行政手段代替法律约束，用行政处罚代替法律惩罚。矿山环境问题是一系列相互关联、相互影响的问题，有时候很难把某一个简单的问题归结为某一个人的责任，这些问题的产生是日积月累的结果，所以如果要从根本上解决问题，必须建立健全法律法规，从建矿之初就从法律的角度明确相应的责任和权利，明确出现各种事故或者环境问题的责任方和相应的惩治措施与补偿方案。尤其是煤矿山作为一个独立的具有法人资格的经济主体，它的责任不应仅仅是追求利润的最大化，它还必须承担相应的社会责任或者说承担部分社会公益任务。1988年国务院颁布了《土地复垦规定》，但该规定过于原则和笼统，特别是对于复垦资金的筹集渠道过于狭窄，没有给社会资金提供机会，而且许多规定偏于定性，在实践中不便于操作。2006年，财政部、国土资源部和国家环保总局又联合发文，提出我国要从2006年起，逐步建立矿山环境治理和生态恢复机制，建立矿山环境治理恢复保证金制度，但仍然和《土地复垦规定》相似，定性多于实际操作。

也许我们应该从国外的相关法规能够得到一些启示。美国国会于1977年通过并颁布了《露天采矿管理与土地复垦法》（以下简称为《复垦法》）。《复垦法》规定，所有煤矿主必须在矿山关闭后复垦土地，并规定煤矿主必须向美国内政部交纳复垦保证金。保证金的形式可以是现金、担保债券、信托基金和不可撤销的信用证。加拿大以省政府为单位建立相关的矿业法，规定采矿权人必须交纳复垦保证金，其额度要保证在该矿山关闭时，能够支付土地复垦的成本，防止矿山环境的破坏。澳大利亚1999年颁布了《联邦环境和生物多样性保护法》，该法自2000年7月施行。这部法律规定土地复垦要经过初期规划、审批通过、养护恢复和检查验收几个程序，而且采矿权申请人要交纳复垦保证金，在完成复垦工作后，保证金可退回。

综上所述，可以说目前造成煤矿山地质环境问题及其治理困难的根源很难归咎于哪一方，但也必须指出的是哪一方都有一定的责任。作为政府而言，以什么角色出现、什么时候出现非常关键，在目前我国社会主义市场经济体制下，政府更多的应该扮演裁判和监管者的角色，制定相应的法律制度、理顺各种投资渠道，同时承担一些公益性责任。就是说政府既不能把所有责任一身承担，也不应一推了之；就煤矿山企业而言，开发矿山绝不是只管开采、不管治理，应该采、治结合，充分明确自身的经济责任和社会责任，尤其是对所在地居民的生产生活问题应该妥善安置，这不仅关系到当地的社会稳定，而且也可以为煤矿山创造一个良好的生产环境；对于煤矿山地质环境的治理必须从制度的角度明确，作为矿山开采的直接受益者，开发者必须承担治理责任，从法规的层面规定他们在开采过程中就要充分考虑环境问题，真正做到边采边治，达到采一片矿山还一片绿地的目的。同时，政府应该从利税方面明确，煤矿山企业所上交利税可以设定一定比例费用作为环境治理费用，即从治理资金的角度明确资金来自何处、用于何处。

（2）煤矿山地质环境综合治理思想

在明确投资主体的条件下，进行矿山环境的治理是当务之急。但目前国内外对于煤矿山地质环境治理的思想仅限于对某一方面问题的治理，或者是对煤矸石山的治理，或者是对排放废水的处理，或者是对矿山生态环境的恢复，或者是对影响地质环境问题的单一因

子进行分析,缺乏综合治理的理念。所谓综合治理是对煤矿山地质环境问题的系统分析,运用多种科技手段,将多种环境问题纳入统一的治理思路,进行“一揽子”解决,真正实现循环经济,还矿山一片绿山。综合治理的思想包括两方面的内涵。

一是系统科学思想,即用系统思维指导矿山环境问题的处理,具体而言主要从三个方面进行。①对地质环境系统的外部输入加以控制。外部环境影响因素种类、个数的改变、作用强度的变化、作用强度速率的变化及影响因素排序的变化都有可能对地质环境系统失稳。构成这些变化的具体形式是多种多样的,有些是可控的,有些在目前难以实现人为控制。其中有些自然的作用如大气降水的强度目前人们还难以控制,但人们通过某些工程措施却可以改变一些尺度较小的地质体接受降水输入的方式,从而达到改变输入的目的,至于那些人为活动构成的输入完全可以纳入人为控制体系之中,通过改变作用方式和强度,不让地质环境系统失稳。在地质灾害防治工作中,现有的许多工程技术都起到改变输入的作用。例如滑坡防治中,坡面防渗、后缘引排水、植被铺设等可起着防止大气降水入渗或减弱强度的作用。又如泥石流的防治,常采用的治水工程即在上游建造水库、蓄水池以减缓洪水的水量与水能,以及治泥工程即拦蓄泥沙,沟头种树种草、稳固坡积体以减小松散岩土物质产生量和聚集速度。②人为改造地质环境系统的局部结构。地质体是自然演化的产物,目前科技发展水平还没有使人类具备重构和完全控制地质环境系统的能力。有些地质灾害如火山、地震等内动力地质作用引发的现象和过程,人力是无法阻止的,但对于大多数地质灾害和渐进式地质环境问题,人们都有能力对地质体施加“干扰”,使某些方面和某些地点的响应发生改变,达到防止或减轻危害的目的。这里所讲的“干扰”主要是指运用工程手段改变地质环境系统的局部结构,包括改变局部的硬结构和诸如地下水渗流场、应力场等软结构。例如滑坡防治工作中,削坡、阶地化、清除滑坡体就属于改造坡体形态结构的办法;锚索、抗滑桩、灌浆、电化学加固等措施则是改造斜坡体内部硬结构的手段,它们都会影响斜坡体内部的应力分布,减小滑动力提高抗滑力。在泥石流防治中,构筑拦坎、挡墙、谷坊和拦泥库、停淤场,其实质是改造泥石流沟的天然形式和泥石流的动力学特征,即改变软硬结构。③物质迁移过程的系统思维。在长期的地质过程中,物质经过沉积、搬运、风化等作用形成如今的地质体,在这些物质迁移过程中每一个阶段之间都存在着各种各样的联系,是一个完整的系统过程。即使目前人为活动所施加的影响也仅是对该系统输入或输出的某个方面所施加的影响,不可能改变系统整体的结构和功能。因此,在矿山环境的治理工作中必须贯彻物质迁移的系统思维,系统地对地质环境问题进行处理。

二是治理手段的多样化统一。矿山地质环境问题多种多样,变化多样,所以治理手段也各不相同。比如为解决酸性废水的排放问题,方法之一是往水中投放石灰;为解决煤矸石山占地问题,将其推平复垦。正如前文所言,许多问题表面看互不相干,实际上都属于一个系统之内,即从地质系统观来说,一个煤矿山的所有问题都在内部具有不可分割性,互相联系,互相影响。所以在很多时候,解决一个问题时往往会产生其他问题。因此,解决煤矿山地质环境问题的思路必须着重于综合化,即所有问题一体化解决。所谓一体化就是根据煤矿山的实际情况,针对存在的所有问题,采用“一揽子”解决方案。例如,废水问题、煤矸石山问题、生态恢复问题、水资源保护问题等,可以将这些问题纳入一个大的系统,将多种方法统一运用,全面解决问题。

1.2 国内外研究现状及发展趋势

1.2.1 国内外研究现状

关于煤矿山环境保护与治理,牵涉到不同的学科,内容繁杂,包括地质、生态、环境、水文、农业、矿业等诸多领域。工程技术方面,主要运用了农业、林业、生物以及建筑工程等方面的技术方法。研究的焦点集中在采空塌陷问题、煤矸石山治理、煤矸石综合利用以及酸性矿坑水处理。

1.2.1.1 采空塌陷问题

采空塌陷是岩土体快速变形、向下坠落的动力学过程,其过程的发生必须具备一定的内、外条件。

(1) 岩土体的内部条件

A. 地下存在空洞

与其他岩土体变形的条件不同,地面塌陷必须具备一定规模的地下无岩土的空间,即空洞。地下空洞的存在有着两方面的意义:其一,它是洞体顶板、侧壁局部冒落物以及塌陷发生时坠落物的储容空间,在地下岩溶发育区,地下洞穴以及隙宽稍大的溶蚀裂隙还起着将洞穴暂时堆积物输移到远处或深处溶洞的通道作用。所以,地下空洞的存在是地面塌陷发生的先决条件,或者说地下空洞是地面塌陷——地下空间置换地面变形空间的基础。其二,地下空洞为具有多个临空面的空腔,空洞的顶、底板和侧壁在周围岩压的作用下极易发生应力集中而处于稳定性很差的状态,一旦受到外力干扰,容易失稳而发生覆岩的冒落,甚至发生波及地表的塌陷。

地下空洞的形成,可以是自然力而为,也可以是人工挖掘的结果。

在可溶盐岩分布区,尤其是以碳酸盐岩为主的岩溶地区,石灰岩、白云岩中的裂隙在地下水流的溶蚀、冲刷作用下,可不断加宽、扩容,形成较大的地下空洞或洞穴系统。这种岩溶空洞的形成通常需要经历长时间的发育过程,甚至与构造变动的历史有关,所以,在岩溶地面塌陷高发区,空洞的形成时间与塌陷发生时间会相差甚远。

岩溶洞穴包括各种形态的溶洞、溶隙、管道等。由于岩溶作用受地下水水流系统的控制,因而各种岩溶现象也往往组成一定的系统,称为岩溶系统。受各种因素的影响,岩溶的发育有强弱之分。一般而言,当可溶岩岩性较纯、岩层厚度较大、出露分布较广、断层较发育、岩层较破碎时,岩溶较易发育;当可溶岩岩性不纯,含泥质及其他不溶杂质成分较多,岩层厚度不大或夹有多层非可溶性岩层,出露分布较局限,断层不发育,岩层较完整时,岩溶发育较弱。

岩溶发育愈强烈,岩溶洞隙数量愈多,其规模也愈大,愈有利于岩溶塌陷的形成。岩溶洞隙的发育一般受岩溶地下水排泄基准面的控制,多发育于浅部,向深部逐渐减弱。浅部岩溶洞隙由于地下水活动频繁,交替强烈,一般连通性较好,成为塌陷物质的储集空间

和运移通道。塌陷坑与开口洞隙存在着密切的垂向对应关系。洞穴愈大，塌陷规模也愈大；洞隙开口愈大，塌陷速度愈快。洞隙的平面展布形态对塌陷平面形态有着决定性影响，裂隙状洞隙往往形成长条状塌陷坑，沿地下河管道往往产生链状或串珠状分布的塌陷坑群。

地下井巷系统是最易引发地面塌陷的一种人工洞室。这种空洞与自然形成的岩溶洞穴有很大的区别。其一，人工洞室是针对某种专门目的人为挖掘的，可以出现在不同的岩性地层中，而不只限于可溶盐岩地层，洞室的规模可大可小、可深可浅；其二，人工洞室随施工进度或采矿计划不断扩大，也就是说在施工完成或闭矿之前，洞室的面积和体积是随时间而变化的，采掘区地应力的变化和调整一直在持续进行，而处于宏观的不稳定状态。因此，人工洞室尤其是长时间不间断采掘的矿山发生地面塌陷的几率也最大。

B. 洞穴围岩状况

地下洞穴的受力状况如同梁的受力，洞的顶板相当于承载上覆岩土体自重的梁，洞的两侧如同位于梁端的两个支点。若洞顶的直接顶板或间接顶板为坚硬完整的岩层，例如许多发育在巨厚灰岩层中的溶洞，顶板和两侧壁均有足够的支撑力，保证洞穴的稳固。若洞体围岩缺失坚硬完整的岩层，或洞的跨度过大，围岩的稳定性就会降低，即使不发生全部覆岩的变形、垮塌，也会形成局部的失稳现象。一般而论，当洞穴埋藏深度与洞穴高度之比大于25:1时，洞顶上部就会形成三个变形特点不同的带，即冒落带、裂隙带和弯曲带。冒落带常常位于洞顶和洞壁上方，是洞体形成过程中围岩受力变形破裂而局部垮落的部分，垮落物会堆积在洞底，成为洞穴堆积物，在岩溶洞穴中，这些崩落物常常会被地下水流带走，而见不到它的痕迹。裂隙带又常被称为断裂带，位于冒落带之上一定高度，它是因洞顶冒落后新的顶板所受的向下拉张力减小，而处于暂时的稳定状态，由于围岩的压力，顶板岩层仍以切层、离层的方式开裂，形成众多相互嵌合的块石集合体，借助块石之间的咬合，裂隙带整体微微向下凸起，起着支撑洞顶覆岩自重的作用。裂隙带以上直至地表为弯曲带，该带裂隙发育程度不如裂隙带，主要表现为整体弯曲变形，其上表面即是下沉的地面。

需要指出的是，在某些条件下，上述三个变形带可能会缺失一个甚至两个。另外，洞顶变形的同时，洞壁也会变形，并形成大量裂隙，无论哪个部位的裂隙都有继承性和新生性的特点，即有些裂隙是地质体原有的，如构造裂隙、节理、层面等，而有些则是洞穴形成过程中围岩受力条件变化而新产生的，或是追踪原有裂隙的结果。所以，洞穴和围岩的稳定性分析，必须充分结合区域地质背景，对褶皱、断层的分布规律要做到心中有数。

(2) 岩土体的外部条件

引发地面塌陷的外部条件，包括自然影响因素，也包括人为活动的影响。

A. 自然影响因素

大气降水 激发地面塌陷的各种自然因素中，大气降水的影响最普遍也最重要。无论是岩溶地面塌陷，还是矿山采空区地面沉降，雨季都是其高发期。首先，降雨入渗水可以使洞顶覆岩的含水层增大，自重加大，提高了对洞顶的垂向压力；其次，下渗水流会湿润裂隙面，降低岩石块体间的抗滑阻力，从而引起洞顶和洞壁的进一步变形而失稳。另外，降雨强度大、历时较长时，入渗的水流可以以灌入的方式快速进入围岩中的宽大裂隙，形成较大的动水压力和冲刷作用，使原已不稳定的洞室（穴）瞬间垮塌。在岩溶地区，大

气降水除上述作用外,还可起到另一种激发效果,即降水入渗对岩溶水的水量补给,会抬高岩溶水水位,若洞穴顶部开口被松散的黏土物质覆盖呈封闭状,快速上升的岩溶水会压缩洞内空气,形成上挤的压力,导致气爆发生,引发洞顶塌陷。

河、湖近岸地带的侧向倒灌作用 河、湖近岸地带多有阶地发育,普遍分布着孔隙潜水与岩溶水组成的双层含水介质。一般情况下地下水向河、湖排泄。其水位随河、湖水位的起落而波动。但在汛期洪水位急剧上升的情况下,河、湖水将向地下水产生侧向倒灌,地下水位随之上升。这时岩溶地下水对洞隙上覆盖层土体产生正压力或使浮托力增大。在洪水位迅速回落时,岩溶地下水位由于其径流较通畅亦随之很快下降,对洞隙上覆盖层的浮托力很快消减,而潜水位因渗透性相对较弱则下降较缓慢,使潜水位与岩溶水位之间的双层水位差增大,从而通过洞隙开口处从潜水含水层向岩溶洞隙产生垂向的渗透潜蚀作用,在盖层中形成土洞进而扩展形成塌陷。这种现象称为洪水倒灌潜蚀塌陷,简称为洪水塌陷。

地震 地震对地面塌陷的发生产生两个作用,一是地震力可使洞顶覆岩以及洞壁的裂隙进一步扩大,引起岩层破裂、位移加剧;二是洞隙上覆松散饱水细粒物质发生“液化”,从而形成地面塌陷。

B. 人为活动的影响

对于矿山采空区的地面塌陷来说,人为激发活动主要表现在地面施加荷载、人为爆破和车辆振动、水库蓄放水的人工调节等。对于岩溶地面塌陷,除上述人为活动外,地下水的抽排、回灌,尤其是快速、大降深的抽水活动往往是引发地面塌陷最普遍的原因。

目前关于采空塌陷问题的研究,涉及地面塌陷形成机理及地面稳定性分析、变形控制预防和塌陷区土地复垦等内容,研究现状如下。

采空塌陷机理及地面稳定性研究 关于地面塌陷形成机理方面的研究,有多种假说及理论模型,迄今尚未形成通用公认的矿山塌陷理论。运用较多的假说和理论主要有:拱形冒落理论与压力拱假说、悬臂梁(板)冒落理论与冒落岩块碎胀充填理论、冒落岩块铰接理论(纪万斌等,1997,1998)等,我国学者于20世纪70~90年代提出砌体梁理论(钱鸣高等,1991)和关键层理论(钱鸣高,2000);国内外学者根据上述理论和实证研究,总结出采空后覆岩将出现冒落带、裂隙带、弯曲带三个变形带,以及非充分采动、充分采动、超充分采动等地表变形过程,成为各种预测及评价方法的理论基础。

塌陷区稳定性评价及预测方法目前主要为力学方法、经验分析方法和数值分析方法。此外,还有一些其他预测方法(童立元等,2004),如灰色预测方法、采空区矢量法(戴华阳,1995)、模糊数学法(傅鹤林,1994)、神经网络法(Tomaž等,2003)等,但这些方法尚需在实践中进一步验证。

近年来,国内外学者对于采空区对公路、铁路、建筑物稳定性影响的研究较多,如:剩余变形对高等级公路危害程度,以及采空区对公路影响程度概率积分法(余学义等,1997;余学义,2000,2001);ANSYS有限元数值模拟(何志攀,2004);高速公路与采空区相互作用(董立元,2003);运用随机介质理论分析采空区对高速公路的影响(刘维民等,2002);弹塑性有限元理论的应用研究(常江,1995;王秋生,2003);以建筑物荷载影响深度与采空区冒落裂缝带发育高度判断采空区地面稳定性、确定建筑物层数的方法(腾永海等,1997);残余移动变形等效采厚的概率积分预测方法(郭广礼等,2002;