

资源枯竭城市灾害 形成机理与控制战略研讨

朱旺喜 王来贵 王建国 王志宏 主编

地质出版社

资源枯竭城市灾害形成机理 与控制战略研讨

朱旺喜 王来贵 王建国 王志宏 主 编

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

随着资源枯竭城市数量的增加,衍生地质灾害频发,现在已经危及人类的生存、阻碍社会进步和稳定,影响经济的可持续发展。多年来,我国的学者对“资源枯竭城市灾害形成机理与控制战略”课题进行了多学科、多方位、多角度的研究工作,取得了丰硕的成果,提出了很多优秀的治理方案。本书从诸多的成果中,选取了 32 篇论文,作成文集。本书从工程地质、矿山开采、岩土工程、水文地质、地质灾害、环境科学等各个学科角度出发,对矿山枯竭所引起的各种地质灾害,如滑坡、沉陷、地下水污染、地震等进行了形成机理的研究及控制战略的探讨。

本书可供工程地质、矿山开采、地质灾害、岩土工程及环境科学等专业的技术人员学习、参考。

图书在版编目(CIP)数据

资源枯竭城市灾害形成机理与控制战略研讨/朱旺喜等主编. -北京:地质出版社,2003.11
ISBN 7-116-03952-X

I. 资… II. 朱… III. 城市-地质灾害-防治-文集 IV. X4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 098875 号

ZIYUAN KUJIE CHENGSHI ZAIHAI XINGCHENG JILI YU KONGZHI ZHANLUE YANTAO

责任编辑:屠涌泉

责任校对:关风云

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)82324569(编辑部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京印刷学院实习工厂

开 本:889mm×1194mm¹/₁₆

印 张:11.625 图版:3 页

字 数:350 千字

印 数:1—600 册

版 次:2003 年 11 月北京第一版·第一次印刷

定 价:38.00 元

ISBN 7-116-03952-X/X·18

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

序

我国目前有矿业城市(镇)426座,其中处于枯竭期的有51座。矿山在其发展过程中,主要经历了成长期、鼎盛期和资源枯竭期三个阶段。在矿产开发和利用过程中以及资源枯竭后,必然衍生对人类生命、财产、生存环境和安全构成威胁和造成损失的矿山灾害。近期全国约有880座矿山已经或将要关闭,在未来的20年内,我国各类矿山又将有近三分之一的矿业城市资源枯竭。资源枯竭城市衍生灾害种类繁多,发生频次高,机理复杂,影响范围广,持续时间长。现有的防灾减灾理论与技术远不能解决,迫切需要深入研究灾害的发生机理、演化过程与控制技术基础,使我国资源枯竭城市衍生灾害的影响与损失降到最低程度,这将对于国民经济和资源枯竭城市区域经济发展,保障社会稳定,恢复生态环境和促进我国工程科学的发展具有深远的意义。

由于矿产资源赋存地质条件的复杂性,开发初期不合理规划设计或设计时没有考虑环境治理,致使几十、甚至上百年的掠夺式开采的同时没有及时治理环境,加之不可抗拒的自然因素,生产矿井从鼎盛时期就已经开始孕育、潜伏并出现衍生灾害。资源枯竭后闭矿阶段的灾害,主要是开采诱发和遗留并继续孕育、形成、发生的各类环境灾害。随着社会经济迅猛发展,人口逐步增长,在世界范围内各种因素导致的环境灾害问题日趋严重,已成为危及人类生存、阻碍社会进步和稳定、影响经济可持续协调发展的重要因素。21世纪全球可持续发展所面临的“人口、资源、环境”三大问题,无一不与资源枯竭城市衍生灾害息息相关。近年来,随着人民生活水平日益提高,资源枯竭矿区城市环境问题自然提到议事日程上来。

资源枯竭矿山灾害的孕育、发展和发生过程缓慢,损害程度由轻微到严重渐进发展,相对于开采有一个时间滞后的过程,即在开采数年、数十年时间甚至闭矿后才体现出来。从分布空间上来看,主要为地面环境灾害、水环境灾害、大气环境灾害,其影响面远远超过矿区存在的时间和空间范围。资源枯竭城市灾害表现为:继续大规模损毁土地、岩层结构抗震性能降低、水资源流失、塌陷区积水、废旧地下采场积水形成地下暗湖、固体废矿渣积存污染、有害气体污染、大型露天矿闭坑后对环境影响等主要衍生灾害类型和现象。

根据灾害现象,了解灾害发生的来龙去脉和前因后果,统筹考虑灾害的孕育、潜伏、爆发、持续、衰减等演化过程和控制因素。资源枯竭城市灾害是地层结构、水、气循环系统,生态系统与降雨(雪)、地震、地应力场调整等多种、多相复杂环境,物理、化学、力学甚至生物等过程相互耦合作用而导致的灾害。应对资源枯竭城市衍生灾害演化的复杂巨系统模型,多相、多场耦合作用下大面积采动地层结构演变与灾变机理,地表及地下水系破坏动态演化机理和地下水的污染、扩散与迁移规律以及废弃矿山有害气体生成、迁移、致灾机理及控制等几方面科学技术难题进行研究。该科学难题具有非线性、随机性、复杂性等特点,需深入开展以现代科学交叉、融合为特征,以现代高新技术为标志的资源枯竭城市衍生灾害机理与控制的基础理论研究,为科学有效地防灾减灾、保护环境提供理论基础。

我国资源枯竭城市衍生灾害基础理论研究已迫在眉睫,因此由国家自然科学基金委员会政策局和工程与材料科学部主办,辽宁工程技术大学和阜新市人民政府协办,在辽宁工程技术大学召开的“资源枯竭城市灾害形成机理与控制”战略研讨会,必然会对资源枯竭城市衍生灾害基础理论研究起到重大的推动作用;而本论文集的出版,是近年来该研究领域科研成果的汇总。相信以此次会议为契机,我国在资源枯竭城市衍生灾害基础理论研究方面将会取得重大成就,为恢复资源枯竭城市生态环境,提高人民生活质量做出贡献。

2003年4月10日

目 录

会议纪要	(1)
加强资源枯竭城市衍生灾害与控制的基础研究	朱旺喜 (3)
矿业城市生态环境恶化机理及控制与重建构想	赵阳升, 万志军, 康建荣 (8)
抚顺矿区资源枯竭期城市灾害类型与成因机理	王建国 (11)
废旧地下采场残煤自燃及气体渗出爆炸机理	徐精彩, 邓 军 (18)
资源枯竭煤城环境灾害系统分析	王来贵, 潘一山, 王永岩, 章梦涛 (25)
矿产资源枯竭城市灾害成因及防治对策	范学理, 刘文生, 冯国才 (33)
矿山地层多频次多类型塌陷非线性耦合作用识别	于广明, 谢尚书, 丁雪峰, 杨 伦, 苏仲杰, 王旭春 (38)
矿区矸石山堆置场地下环境污染动力学效应	梁 冰, 薛 强 (44)
阜新矿区深部冲击地压研究	潘一山, 唐巨鹏 (48)
空间对地观测技术在矿山开采地表沉陷监测中的应用	姜 岩, 高均海 (56)
矿城地面变形的随机结构面三维网络数值模拟	陈剑平, 石丙飞, 王树林 (61)
岩土灾害非线性预测研究的新进展	谭云亮, 陈德怀 (67)
抚顺矿震的动力学特征及其在能量、几何、时间上的相关性与统一性	纪洪广, 王金安, 蔡美峰 (74)
露天煤矿闭坑环境灾害形成机制及控制对策	纪玉石, 申 力, 刘晶辉 (84)
阜新采煤沉陷区受损与治理情况	刘玉森 (89)
覆岩压力平衡拱力学模型及应用	苏仲杰 (92)
大同矿区地质灾害形成机理及防治措施研究	阎志义, 刘 胜, 王玉民 (97)
地理信息系统及其在深部矿床地质灾害防治中的应用	杨念哥, 李庶林 (101)
大庆油田南二区地表变形规律及控制方法	刘建军, 刘绍轩, 冯夏庭 (106)
合山市延缓矿业城市资源枯竭及消除灾害措施	赵召平, 侯长享, 熊仁钦 (113)
煤矸石对矿区环境污染及其防治	陈建平, 徐文章 (118)
已建建筑物的可靠性评估方法研究	刘书贤, 李奎明, 何振军 (122)
废弃尾矿库的地质灾害及其防治	王凤江, 滕志国, 王来贵 (126)
衰老矿井沉陷灾害的特点与防治对策	杨 伦, 苏仲杰, 李振宇, 于广明 (133)
矿坑煤层自燃机理及防治措施	田 涛, 张振文 (139)
减缓矿业城市资源枯竭的一项间接措施——矿井设计中的通风节能	熊仁钦, 赵召平, 侯长祥 (144)
构造环境对西北矿业城市采动损害控制机理探讨	夏玉成, 石平五 (148)
考虑土体失水附加沉陷的开采沉陷预计	张春会, 于广明, 于永江 (155)
京西矿区环境灾害分析	阙 兴, 何 峰, 王来贵 (159)
尾矿库工程环境岩土工程问题及其对策	陈殿强 (165)
地表沉陷对环境破坏程度的模糊综合评判方法	麻凤海, 杨 帆, 刘书贤 (171)
大型露天煤矿闭坑后生态环境问题及对策	刘志斌 (177)
图版	(181)

Contents

Meeting summary	(1)
Strengthen derived disasters' basic research and control of resource exhausted city	
..... ZHU Wang-xi	(7)
Mechanism of ecological environmental deterioration and control and rebuilding idea of mining city	
..... ZHAO Yang-sheng, WAN Zhi-jun, KANG Jian-rong	(10)
Resource exhausted city disaster types and forming mechanism of Fushun mining area	
..... WANG Jian-guo	(17)
Spontaneous combustion of coal and the exploding mechanism of releasing gas in abandoned mining stope	
..... XU Jing-cai, DENG Jun	(24)
Analysis of environment calamity system in resource exhausted coal city	
..... WANG Lai-gui, PAN Yi-shan, WANG Yong-yan, ZHANG Meng-tao	(32)
Cause, preventive and curing countermeasures of resource exhausted city	
..... FAN Xue-li, LIU Wen-sheng, FENG Guo-cai	(37)
Nonlinear coupling interaction identity of mine stratum' s multi-frequency and multi-type collapse	
..... YU Guang-ming, XIE Shang-shu, DING Xue-feng,	
..... YANG Lun, SU Zhong-jie, WANG Xu-chun	(43)
Dynamic effect of waste rock dumps on underground environmental pollution	
..... LIANG Bing, XUE Qiang	(47)
Study on rockburst in the deep rock mass of Fuxin coal field	
..... PAN Yi-shan, TANG Ju-peng	(55)
Application of the technology of space-to-ground observation to monitoring mining subsidence	
..... JIANG Yan, GAO Jun-hai	(60)
Primary study of ground deformation disasters in mining cities by random fractrues 3D networks numerical simulation	
..... CHEN Jian-ping, SHI Bing-fei, WANG Shu-lin	(66)
Advances of non-linear dynamics prediction of geomechanical disasters	
..... TAN Yun-liang, CHEN De-huai	(73)
Dynamics characteristic of fushun mine tremor and relevance and unity on energy, geometry and time	
..... JI Hong-guang, WANG Jin-an, CAI Mei-feng	(83)
Forming mechanism of environmental disaster and control countermeasures of closed large-deep open coal pit	
..... JI Yu-shi, SHEN Li, LIU Jing-hui	(88)
Damage and control of subsided area due to coal mining in Fuxin	
..... LIU Yu-sen	(91)
Cover the pressure balance arch of rock and join mechanics model and application	
..... SU Zhong-jie	(96)
Study of forming mechanism and preventive and control measures in Datong mining area	
..... YAN Zhi-yi, LIU Sheng, WANG Yu-min	(100)
Geographical information system and application of preventing deep mineral deposit geological calamity	
..... YANG Nian-ge, LI Shu-lin	(105)
Study on land deformation in south 2 area of Daqing oil field and control method	

.....	LIU Jian-jun, LIU Shao-xuan, FENG Xia-ting	(112)
Measures of delaying resource being exhausted and avoiding disaster in Heshan city		
.....	ZHAO Zhao-ping, HOU Chang-xiang, XIONG Ren-qin	(117)
Environment polluted by coal gangue and its prevention in mining area		
.....	CHEN Jian-ping, XU Wen-zhang	(121)
Method study of appraising building's reliability		
.....	LIU Shu-xian, LI Kui-ming, HE Zhen-jun	(125)
Geological hazard and control of disused tailing reservoir		
.....	WANG Feng-jiang, TENG Zhi-guo, WANG Lai-gui	(132)
Characteristics and countermeasures to subsidence calamity in exhaustive mine		
.....	YANG Lun, SU Zhong-jie, LI Zhen-yu, YU Guang-ming	(138)
Prevention and management of spontaneous combustion of diggings coal seam		
.....	TIAN Tao, ZHANG Zhen-wen	(143)
Study of mine ventilation and saving energy for decreasing resource being exhausted		
.....	XIONG Ren-qin, ZHAO Zhao-ping, HOU Chang-xiang	(147)
Discussion on control mechanisms of tectonic environment over surface damage induced by coal mining in northwestern mining cities	XIA Yu-cheng, SHI Ping-wu	(154)
Mine subsidence computation accounting for affixing subsidence caused by underwater losing	ZHANG Chun-hui, YU Guang-ming, YU Yong-jiang	(158)
Analyses of environment calamity in Beijing west mining area		
.....	KAN Xing, HE Feng, WANG Lai-gui	(164)
Geotechnical engineering problems of environment and countermeasures in tailings reservoir engineering	CHEN Dian-qiang	(170)
Fuzzy comprehensive judgement for degree of damaged environment by surface subsidence	MA Feng-hai, YANG Fan, LIU Shu-xian	(176)
Ecological and environmental problems caused by closure of large-scale open pit coal mine and countermeasures	LIU Zhi-bin	(180)
Appendix		(181)

会议纪要

(资源枯竭城市灾害形成机理与控制战略研讨会)

由国家自然科学基金委员会政策局和工程与材料科学部主办, 辽宁工程技术大学、阜新市人民政府承办的“资源枯竭城市灾害形成机理与控制”战略研讨会于 2003 年 2 月 26 日~28 日在辽宁工程技术大学召开。本次研讨会的主题是: 资源枯竭城市衍生灾害形成机理与控制。中国科学院院士宋振骐教授、马瑾教授参加会议。科技部等 8 个国家有关政府部门、东北大学等 11 所高等学校、中科院武汉岩土所等 7 个科研院(所)、大同煤业集团等 3 家厂矿企业等共 66 位专家与代表参加了大会, 其中 5 位是国家杰出青年基金获得者、长江学者或中国科学院百人计划入选者。科技日报社等 11 家新闻单位对会议进行了采访。

国家自然科学基金委员会材料与工程科学部工程科学一处处长朱旺喜博士主持了开幕式。辽宁工程技术大学邵良杉副校长致欢迎词, 介绍了辽宁工程技术大学的情况, 并对参加会议的代表表示欢迎与感谢。阜新市杨学海副市长致辞并介绍了阜新市资源枯竭过程中衍生灾害的严重状况及阜新市经济转型情况, 对与会专家寄予厚望, 为阜新乃至全国资源枯竭城市衍生灾害控制与治理出谋献策; 科技部资源开发处延吉生处长、国家煤矿安全监察局信息与技术装备保障司副司长何学秋博士、辽宁省教育厅科技处处长孙华林博士分别致辞, 对本次会议的召开表示热烈的祝贺, 并预祝研讨会圆满成功。

研讨会分别由马瑾院士、宋振琪院士主持。在主题报告会上, 宋振琪院士作了“资源枯竭城市发展的战略思考”的报告, 指出人类活动以开发资源为起点, 资源枯竭是矿业城市必然结果; 提出了大中型枯竭城市衍生灾害控制的重要性和经济转型面临的严重困难; 倡议必须依靠科学技术控制与治理资源枯竭城市衍生灾害; 同时呼吁国家加大投入力度, 加强衍生灾害发生的基础科学研究。国家经济贸易委员会资源司杨尚宝教授介绍了矿山城市可持续发展战略及相关政策, 特别强调: 大力推行清洁生产, 积极治理资源枯竭城市衍生灾害, 开展资源综合利用。赵阳升、王来贵、冯夏庭、徐精彩等教授、王建国等研究员也从资源枯竭城市灾害发生的机理、控制措施、研究方法等角度做了大会主题报告。

在本次战略研讨会上, 有 25 名专家专题发言。介绍了资源枯竭城市衍生灾害国内外研究现状、分类和生产矿井与资源枯竭后发生灾害的关联性; 并用大量翔实的资料、生动的图表介绍了资源枯竭城市灾害发生的现象, 如大面积沉陷区变形、开裂及塌陷、建筑设施损毁等; 水系变化及水质污染情况; 大面积矸石山形成的相应灾害; 大气环境恶化及爆炸灾害; 大型露天矿闭坑后灾害及矿井关闭后的矿震灾害等。研讨了上述灾害形成机理和发生规律及控制技术基础。部分专家还介绍了有关实验监测手段及预测、预报新方法。

研讨会上大家畅所欲言、各抒己见。经过与会代表充分讨论, 认为资源枯竭城市衍生灾害形成机理与控制, 作为防灾减灾、恢复生态、保护环境的基础理论, 应得到足够重视并加以研究。建议国家自然科学基金委员会在以下研究领域给予重点资助:

- 一、资源枯竭城市衍生灾害演化的复杂巨系统模型研究
- 二、多相、多场耦合作用下大面积采动地层结构的演变与灾变机理
- 三、资源枯竭城市地表及地下水系破坏动态演化机理及地下水的污染、扩散与迁移规律
- 四、废弃矿山有害气体生成、迁移、致灾的机理及控制

五、资源枯竭城市残余资源安全开采与利用的技术基础

会议期间,专家们还参观、考察了阜新市即将闭坑的海州露天矿、矸石山、沉陷区等灾害发生现场,并在灾害现场进行了专业性的讨论。通过会议报告、研讨及现场实地考察,与会专家、学者一致认为:

资源型城市依赖资源开发为主发展经济时期在历史的长河中是短暂的,但资源枯竭后城市面临的衍生灾害与严重恶化的生态环境却影响久远与深重。我国现在已有 51 个城市(镇)资源枯竭,这些城市(镇)面临的再就业,社会稳定,产业调整和经济可持续发展,人文、生态环境的恢复与重建问题摆在了资源枯竭城市(镇)人民和政府的面前。据预测,随着社会的发展,在未来 20 年内,我国还有近百个城市(镇)资源枯竭。因而迫切需要首先开展资源枯竭城市衍生灾害形成机理与控制基础科学研究。

由于矿区长时间大面积开采,致使在漫长的地质年代中形成的原始地层结构,水、气循环系统与生态环境系统遭到严重破坏,加之降雨(雪)、地震、地应力场调整、地表及地下残留矿岩原生及次生有害气体溢出、水系破坏及水质污染等多种、多相复杂环境耦合作用,导致资源枯竭城市衍生灾害严重,种类繁多,发生过程复杂,机理不清,影响深远,涉及多学科的交叉与融合,是国内外尚未涉猎的研究领域与重大科学技术难题。它的研究对学科发展与社会可持续发展具有重大战略意义。希望国家有关部委与地方政府在相关研究领域给予大力支持。与会专家学者建议:矿业城市衍生灾害演化机理、发生规律及其控制理论基础是普适的,可选取适当矿区城市(如阜新市)作为资源枯竭城市衍生灾害形成机理研究示范区,抓住资源枯竭城市经济转型这一历史机遇,组织重点科学与技术研究、联合攻关,以指导全国各类生产矿井与矿业城市开采期间和采后衍生灾害的预防、预报和控制。

主办单位:国家自然科学基金委员会

承办单位:辽宁工程技术大学、阜新市人民政府

2003 年 2 月 28 日

加强资源枯竭城市衍生灾害与控制的基础研究

朱 旺 喜

(国家自然科学基金委员会 工程与材料科学部, 北京 100085)

摘 要: 资源枯竭后, 矿山开采衍生灾害在长时间继续发生, 同时还会形成新的灾害。资源枯竭矿山衍生灾害主要为地面环境灾害、水环境灾害、大气环境灾害, 其影响面远远超过矿区存在的时间和空间范围, 并且与资源的地质赋存条件、矿种、生产过程及管理过程有密切的关系。资源枯竭矿山衍生灾害成为迫切需要解决的重大课题。

关键词: 资源枯竭; 矿山城市; 衍生灾害; 基础研究

中图分类号: X4

文献标识码: A

0 引 言

我国目前有矿业城市(镇)426座。矿业城市在其发展的过程中, 主要经历了成长期、鼎盛期和衰退(资源枯竭)期三个阶段。矿产资源开发和利用过程中以至资源枯竭后相当长时期, 必然衍生对人类生命、财产、生存环境、安全、生产等构成威胁和造成损失的事故, 即矿山灾害。在全国现有矿业城市(镇)中, 处于衰退期的有51个, 占12%。近期全国约有880座矿山已经或将要关闭。据专家预测, 在未来的二十年内, 我国各类矿山又将有近百座矿业城市资源部分或全部枯竭。

多年来, 大量学者一直注重采矿学科中与开采相关的主要研究方向, 即①开采过程岩石的力学行为——岩石力学; ②开采系统研究; ③新的开采方法; ④整治矿山环境。优先支持的前沿课题主要体现在以下几个方面: ①矿业工程岩体失稳研究及其预测; ②复杂地质条件下的高效采矿(煤)方法; ③深部采矿问题; ④改善矿山安全和环境; ⑤矿山系统工程和矿山讯息工程的研究。与生产相关的矿山废水处理和利用、损毁土地的复垦、煤矿有毒有害气体和粉尘处理等环境灾害方面的探讨, 也是采矿学科一大研究领域。

随着资源枯竭城市数量的增加, 衍生灾害频发, 导致的环境灾害问题日趋严重, 并衍生了很多新的灾害, 已成为危及人类生存、阻碍社会进步和稳定、影响经济可持续协调发展的重要因素。同时, 21世纪全球可持续发展所面临的“人口、资源、环境”三大问题, 无一不与资源枯竭城市衍生灾害息息相关。近年来, 随着人民生活水平和质量的日益提高, 人们普遍关注环境问题, 矿区城市的衍生灾害问题自然提到议事日程。

1 资源枯竭城市衍生灾害

我国每年由于各类突发性自然灾害造成的直接经济损失约为当年新增国民生产总值的25%~35%, 占当年国民生产总值的3%~6%。环境、灾害和水资源短缺造成的经济损失加起来, 则相当于我国国民经济每年减少8%的增长量, 加上化石能源与矿产工业占国民经济产值的17%, 从这两个数字可以看出, 资源、环境和灾害问题对我国经济的持续增长有着至关重要的影响。环境、灾害问题还直接影响人民的身体健康乃至生命安全, 后者随着人民生活水平的提高和价值观念的转变将变得越来越重要。

矿井在生产过程中,相应灾害治理的速度,远小于开采损毁的速度。人类工程活动对环境的破坏超过了环境的自然恢复能力。资源枯竭城市中,大部分灾害孕育、发展和发生过程缓慢,损害程度由轻微到严重渐进发展,相对于开采有一个时间滞后的过程,即在开采数年、数十年时间甚至闭矿后才体现出来。从空间上来看,主要为地面环境灾害、水环境灾害、大气环境灾害,其影响面远远超过矿区存在的时间和空间范围,具体体现在以下几个方面。

1.1 地面环境灾害

当前我国人均耕地面积为 $1\,000\text{ m}^2$, 只及世界人均水平的 $1/3$ 。森林和草地面积人均拥有量也很低, 分别只占世界人均水平的 14.3% 和 32.3% , 并且面临不断降低的危机。由于过度农垦、过度放牧、破坏植被、超采地下水等不合理利用资源行为, 荒漠化土地面积正在以每年 $2\,460\text{ km}^2$ 的速度扩展, 荒漠化面积已达 262 万 km^2 ; 水土流失加剧, 流失面积达 180 万 km^2 ; 生物的多样性也遭到破坏, 640 个世界濒危物种中, 中国占 156 种, 40% 的生态系统处于退化状态。全国采矿历年累计已损毁土地达 43 万 hm^2 ; 固体废矿渣积存高达 70 亿 t , 其中煤矸石有 30 多亿 t 。已形成煤矸石山 $1\,500$ 余座, 占地 $5\,000\text{ hm}^2$, 金属矿山含有剧毒的尾矿库 $1\,600$ 座。采矿无疑是造成地面环境损害的一大主要因素。主要体现在以下几个方面:

(1) 继续大规模占用、损毁耕地、草场、山林。产生原因: 地下开采、露天开采占用耕地、草场、山林; 地下开采、露天开采矸石山、排土场、尾矿库占用耕地、草场、山林; 地下开采、露天开采引起地表沉陷(包括岩溶塌陷)、变形损毁耕地、草场、山林; 矸石山、排土场、尾矿库在雨(雪)水的淋滤作用下, 造成水土流失、土地荒漠化; 大气污染形成酸雨, 造成耕地、草场、山林等植被酸化腐蚀; 污水排放污染土地、水系; 采动地层影响地表和地下水系, 造成降水漏斗, 形成旱灾; 露天矿边帮、矸石山、排土场、尾矿库等发生崩塌、滑坡、泥石流; 地面及边坡开挖、地下水位降低、废水排放、废渣、尾矿排放。

(2) 继续引起矿业城市地表下沉、变形、裂缝、坍塌。产生原因: 地下开采引起地表沉陷、变形、裂缝、坍塌(包括岩溶塌陷); 露天开采引起边帮变形、裂缝、坍塌等, 发生崩塌、滑坡、泥石流; 水的渗入, 导致岩层软化, 强度降低, 变形量增加。

(3) 继续大面积弱化资源枯竭城市岩层结构, 降低岩层抗震能力。产生原因: 地下开采弱化岩层结构; 露天开采弱化岩层结构; 水的渗入, 导致岩层软化, 强度降低, 弱化岩层结构。

1.2 水环境灾害

水是人类生存与发展的命脉, 水又是不可替代的战略资源, 中国人均水资源量为 $2\,300\text{ m}^3/(\text{人}\cdot\text{年})$, 仅相当于世界人均占有量的 $1/4$ 。据统计, 全国 600 多个城市中有一半存在不同程度的缺水问题, 其中 32 个百万以上人口的大城市中有 30 个长期受缺水困扰, 每年因缺水影响的工业产值达 $2\,300$ 亿元。全国排放污水总量达 360 亿 t , 70% 的河流受污染, 50% 的地下水被污染。很多城市和城镇已处于垃圾的包围之中, 一些有毒废物的排放和泄漏给人民的健康和耕地的种植造成了严重的损害, 耕地污染面积近 $2\,000\text{ 万 hm}^2$, 约占耕地总面积的 $1/5$ 。每年因污染造成的损失达 $2\,000$ 亿元。而采矿已使全国形成区域降落漏斗 150 个, 漏斗总面积 $87\,000\text{ km}^2$, 漏斗中心水位最大埋深已超过 78 m 。漏斗的加深与扩大对水质也有很大影响。另一些矿业城市开采引起的地层下沉, 形成了大面积低洼区, 破坏了地表地下水系, 耕地被水淹没, 甚至形成了沼泽地, 既不能种植, 又不能养殖, 成为污垢汇集之地。矿山废弃物中的酸性、碱性、毒性或重金属成分, 通过径流, 甚至会大面积破坏周围的土地、地表和地下水域。主要体现在以下几个方面。

(1) 水系径流改变、破坏。产生原因: 地采引起地层冒落、裂缝、变形、松动等形成降水漏斗; 露天采矿导致边帮变形、松动、水资源流失; 地采塌陷区积水; 废旧地下采场积水; 废旧露天矿坑积水。

(2) 水质污染。产生原因：地表水系污染；矸石山、排土场、尾矿库在雨（雪）水的淋滤作用，造成附近土地和地下水污染；采塌陷区、废旧地下采场、废旧露天矿坑积水污染；海水倒灌。

1.3 大气环境灾害

据统计，600 多个城市中大气质量符合世界卫生组织标准的不到 1%，全国酸雨面积已超过国土面积的 29%。此外，温室气体排放量居世界第一，影响到全球环境问题的压力日增。在全国国有重点煤矿 1500 座矸石山中，有 300 余座自燃。煤矿生产每年约有 50 亿~60 亿 m^3 煤层气逸散于大气，井下抽排约有 3 亿 m^3 。主要体现在以下几个方面。

(1) 残煤释放瓦斯、二氧化碳、一氧化碳等。产生原因：地下采空区残煤释放瓦斯、一氧化碳等；其他采矿释放二氧化碳等。

(2) 各种因素残煤自燃污染大气环境，甚至爆炸。产生原因：地下采空区残煤自燃释放瓦斯、二氧化碳、一氧化碳、二氧化硫等，污染大气环境，甚至爆炸；露天开采残煤自燃释放瓦斯、二氧化碳、一氧化碳、二氧化硫等，污染大气环境，甚至爆炸；矸石山残煤自燃释放瓦斯、二氧化碳、一氧化碳、二氧化硫等，污染大气环境，甚至爆炸。

2 矿山开采过程衍生灾害研究进展

矿山开采过程中，发生大量的衍生灾害。国家自然科学基金委员会数理科学部、地球科学部以及工程与材料科学部在该领域资助的项目主要集中在矿山岩石力学、矿山安全和矿山环境等方面。具体体现在瓦斯抽放机理与技术、瓦斯与煤尘爆炸灾害机理与防治、冲击地压与煤和瓦斯突出等动力现象、矿业工程岩体稳定性、深部采矿问题以及城市、铁路、水体“三下”采矿等问题。近年来，煤体自燃有害物质释放模式、废弃矿井地下水污染、大型矿床地下开采工程与环境互馈作用、超大地地下洞群在动荷载与地下水共同作用下的稳定性、岩土工程与复杂岩体互馈机理、露天开采的环境工程地质效应、煤矸石废弃物回填采矿区、地面沉降条件下各向异性介质越流系统水流模型、地裂缝扩展机制和扩展速率等相关项目的研究也在论证和进行中。通过多年对各种灾害发生机理的研究，相继提出了瓦斯抽放理论、瓦斯流动与煤体流变机理，提出了灾害发生的假说，建立了灾害发生的基础理论，在采矿及其相关学科的发展中起到重要作用，并得到广泛的应用。先后建立的“冲击地压失稳理论”、“冲击地压、瓦斯突出统一失稳理论”等已经成为岩石力学界普遍接受、反映岩石工程失稳破坏的基础理论。在此基础上，又建立了“煤（岩）瓦斯固流耦合理论”、“岩石工程应变局部化失稳理论”和“岩石力学系统运动稳定性理论”。在瓦斯流动和煤体变形相互作用原理方面，提出了“瓦斯流动与煤体流变假说”，并且提出了利用测试煤体失稳破坏时释放电磁波、红外信息预测预报冲击地压、瓦斯突出等灾害。在传统理论的基础上，发展了岩层移动理论，提出了结构化岩体协同演化规律。资源枯竭城市衍生灾害机理与控制理论基础的研究，散见于一些文献，系统化研究工作刚刚起步。

3 加强资源枯竭城市衍生灾害与控制基础研究

资源枯竭城市衍生灾害的发生，与资源的地质赋存条件、矿种、生产过程及管理过程有密切的关系。与地质赋存条件的关联性主要体现在资源在原始地层结构中，经历了漫长的地质年代和复杂的地质构造运动而形成的复杂结构。采动过程实质上是对地层结构的人为调整和弱化。不同的矿体，一般具有不同的赋存条件和特征。甚至同一矿种矿体也有不同的赋存状态。在开采时不同矿体具有不同的开采方法，因而形成不同的采动地层结构。长时间大面积开采形成了大面积弱化地层结构，如果生产过程采用充填式开采，则采动损毁的地层结构在某种程度上得到缓解；如果是冒落式

开采,则采动损毁程度要大得多。同时回填、矸石山的堆积等过程均是人为对地层结构的调整和控制,在外界复杂环境作用下,采动导致的地面环境、水环境、大气环境及其相互耦合灾害的演化过程显示出明显的复杂性。因此可从以下研究领域进行考虑。

(1) 地面环境灾害:采动地层结构演变与环境互馈机理;大面积采动地层演化趋势研究;地震作用下大面积采动地层结构稳定性;复杂采动地层结构演变规律和灾变机理;大面积采动地层灾害控制基础理论。

(2) 水环境灾害:水系破坏与动态演化规律;水质复合污染形成机制与特征;受污染水环境和生态系统修复基础研究;水资源演化过程及周边水分循环;水污染控制的新理论与方法。

(3) 大气环境灾害:有害气体的生成机制;有害气体的运移扩散规律;可燃气体的致灾机制;有害气体控制的新理论与方法。

(4) 地面环境、水环境、大气环境及其相互耦合灾害演化过程。

4 结 语

由于矿山长时间大面积开采,资源枯竭城市衍生灾害还会继续发生。资源枯竭矿山衍生灾害主要为地面环境、水环境、大气环境灾害甚至相互耦合灾害。资源枯竭城市衍生灾害的影响面远远超过矿区存在的时间和空间范围,同时与资源的地质赋存条件、矿种、生产过程及管理过程有密切的关系。采动过程实质上是对地层结构的人为调整和弱化。资源枯竭矿山衍生灾害实质上是复杂地层结构承受复杂环境作用的演化过程,体现出明显的复杂性。因此资源枯竭矿山衍生灾害自然成为迫切需要解决的重大科学问题。

参 考 文 献

- [1] 隋鹏程.中国矿山灾害[M].长沙:湖南人民出版社,1998
- [2] 周世宁,鲜学福,朱旺喜.煤矿瓦斯灾害防治理论战略研讨[M].徐州:中国矿业大学出版社,2001
- [3] 程伯禹.矿山地质灾害防治与地质环境保护[J].中国地质灾害与防治学报,1994,5(sup):147~151
- [4] 王来贵,刘向峰.大中型露天煤矿闭坑地质灾害浅析[J].中国地质灾害与防治学报,2002,13(3):51~54
- [5] 赵明鹏.阜新地区矿山地质灾害及其防治对策[J].中国地质灾害与防治学报,2000,11(4):64~68
- [6] 武军.试析云南矿山环境地质的主要问题[J].云南环境科学,1999,18(4):7~10
- [7] 王贵成,全宝强.平顶山市主要地质灾害的综合防治研究[J].河南城建高等专科学校学报,2001,10(3):37~40
- [8] 徐德兰,赵敏.浅论城市发展与地质灾害的关系[J].中国地质灾害与防治学报,2002,13(1):5~6
- [9] 冯东梅,王重军.矿山灾害影响矿区城市经济发展分析[J].辽宁工程技术大学学报(社会科学版),2002,4(1):12~14
- [10] 尹国勋,胡斌,韩星霞.煤矿区环境地质灾害链及其环境效应[J].焦作工学院学报(自然科学版),2000,19(6):426~429
- [11] 国家自然科学基金委员会.自然科学学科发展战略调研报告:冶金与矿业学科[M].北京:科学出版社,1997
- [12] 国家自然科学基金委员会.“十五”优先资助领域论证报告集[M].北京:原子能出版社,2002

STRENGTHEN DERIVED DISASTERS' BASIC RESEARCH AND CONTROL OF RESOURCE EXHAUSTED CITY

ZHU Wang-xi

(Dept. of Engineering and Materials Sciences, National Natural Science
Foundation of China, Beijing 100085, China)

Abstract: After resource is exhausted, derived disasters caused by mine exploiting will continue to take place for a long time, and will also form new disasters at the same time. Main derived disasters of resource-exhausted mine are ground environmental disaster, water environmental disaster and atmospheric environmental disaster. Its influences on the mine area far exceed time and space range, and there are close relations among the geology condition of resource storage, type of mine, process of production and management. Derived disasters of exhausted resource mine become a great subject that need to be solved urgently.

Key words: resource-exhausted; mining city; derived disaster; basic research

矿业城市生态环境恶化机理及控制与重建构想

赵阳升^{1,2} 万志军¹ 康建荣¹

(1. 中国矿业大学 采矿系, 江苏 徐州 221008; 2. 太原理工大学 采矿研究所, 山西 太原 030024)

摘 要: 重点论述了矿业城市生态环境恶化的主要机理, 揭示地下水循环系统是破坏的最根本原因, 并提出了控制矿区生态环境恶化的技术途径的设想, 论述了亟待开展的相关科学与技术研究的课题。

关键词: 生态环境; 机理; 控制; 重建

中图分类号: X171

文献标识码: A

0 引 言

城镇的成因颇多, 诸如商业、交通、行政管理、工业集中、经济集中等等, 而矿业城市正是由于矿产资源的开采, 相关矿产品的加工与利用, 以及为其服务的行业密集而逐渐形成或发展与繁荣的, 这类城市称之为矿业城市(镇)。例如, 以煤矿开采与加工为主要产业和经济命脉的有: 鸡西市、双鸭山市、阜新市、抚顺市、阳泉市、大同市、平顶山市等等。以石油天然气开采为主的有: 大庆市、东营市等等。以金属矿山开采为主的有: 马鞍山市、金川市等等。由于矿床资源量十分有限, 以矿业为主的工业与经济格局在城市发展的历史长河中, 注定是一瞬间, 少则几十年, 多则几百年。而任何矿业城市资源经济的模式, 带来的则是生态环境方面的日益恶化, 人文环境方面则是城市人口素质的整体下降, 而对于资源枯竭型城市而言, 上述问题更是严重到无以复加的地步, 给矿业城市后续的经济结构调整、发展与繁荣留下了深重的阴影, 背上了难以偿还的债务。

因此, 认真研究矿业城市(镇)生态环境恶化机理, 从综合的社会发展的视野, 研究其控制及其重建对策, 对于资源枯竭城市来说, 极为必要。对于处于壮年、青年和童年时期的矿业城市都具有重要的意义, 而所有控制与重建包含了科学、技术、经济、政策、法律法规等极为广泛的内容。

1 矿业城市生态环境恶化机理分析

矿山开采给矿区及其更大的地质区域带来的环境恶化机理, 可以粗略地归结为 4 个方面。

(1) 资源开采导致地表大面积的不均匀沉降, 整个地层处于不稳定的新的平衡状态。在最普遍的科学的意义上讲, 从地层深部采出多少体积的资源, 就必然有几乎近似相等体积的地表沉陷量来响应。但由于矿层埋深不同, 开采方法不同, 导致这种响应的剧烈程度不同, 响应的的时间不同, 有的响应时间要延续几十年, 甚至几百年。

我国煤矿开采深度普遍较浅, 一般在 1 000 m 以内, 绝大部分在 500 m 以内。煤层开采厚度大, 有许多是煤层群开采, 因此, 矿区地表在采后很短的时间内, 就发生明显的沉陷。即使在生产矿区, 沉陷盆地也是随处可见。按照多年来, 矿业工作者研究的结果, 上覆岩层随着煤层开采, 形成冒落垮落带, 裂隙剧烈带和缓慢下沉带, 一直波及到地表。以致处于完好的、原始的稳定的平衡的地层, 最终被块体相嵌、杂乱无章组合的不稳定的岩层结构所代替, 这种结构的岩体, 抗御地震等自然灾害的能力十分脆弱。

盐类矿床一般采用水溶开采方法,芒硝矿层一般相对较薄,赋存厚度几米到十几米为多。钙质芒硝矿床与氯化钠矿床厚度巨大,达到几百米,甚至上千米,这一类矿床的开采如同煤矿一样,必然导致同样的上覆岩层结构和地表沉陷。

金属矿山开采也造成类似煤矿开采的覆岩破坏和地表沉陷。

石油天然气属于流体矿床,赋存于砂岩孔隙储层、裂隙性灰岩或砂岩储层,以及碳酸盐溶腔的储层中,按照有效应力规律,当油气采出后,流体孔隙压力承担的部分应力全部转移到储层固体骨架上,导致储层变形加剧,最终以变形和缓慢沉降的方式波及到地表,形成地表沉陷区。但由于油气储层埋藏深,整个地层以恢复弹性变形的形式弥补了较多的开采变形,因而地面沉陷并不剧烈。

(2) 矿层底板及上覆岩层变形、破坏与垮落,使原先相对独立的含水系统全部沟通,形成新的大连通的地下水系。正如机理 1 所述,煤矿、金属矿山、盐矿山开采,矿层底板岩层变形破坏隆起,对煤矿而言,有些甚至波及和影响到奥陶纪灰岩水系,而上覆岩层更是垮落、塌陷,岩体形成绞接结构,对沉积地层而言,原先相对隔水的泥质页岩、砂岩层、石膏层全部破坏,渗透系数成十倍、百倍、千倍的增加,最终使地表冲积层水系,各个时期的灰岩砂岩水系,甚至奥陶纪灰岩水系全部连通,地表水、浅层冲积层水经过矿层开采的沉陷的严重污染区,补给了深层含水系,例如奥陶纪水系,或石炭二叠纪水系,一方面导致地下水位下降,更主要的是矿区的污染波及到人类直接使用的整个地下水系统。使本来相对独立的稳定的不易破坏与污染的地下含水系变成了大连通的极易破坏与污染的新的地下含水系统,这是矿区生态环境恶化的根本原因。它使相对静态的固体矿物污染源经过大连通的含水系统的携带,变成了动态的污染源,因而,很容易长久的污染和影响矿区,乃至一个地质区域。

(3) 地表废弃矿物、尾矿库、矸石山等矿区废弃物,经降雨携带恶化土壤。矿区地表由于长期输运矿物,废弃矿物遍地皆是。矿区尾矿库及矸石山等等,经风化与分解,大部分随降雨入渗地表,或汇聚流入矿区开采沉陷区,再缓慢入渗到地下,最终与地下水沟通。结果是土壤结板,土地贫瘠化,地表植被破坏,沙尘暴频发。

(4) 矿区残余气体排空,导致大气污染。矿区地表残矿排泄废气,如地表残煤排放甲烷气体,矸石山自燃排放二氧化碳、二氧化硫、甲烷等气体。由于矿层上覆岩层垮落、碎裂、形成良好的渗透通道,浅层地下水系破坏,地下残煤中含有的大量甲烷气体难以封闭,经上覆矿层破碎区,直接排入大气中。此外,赋存于上覆岩层砂岩与灰岩等孔隙裂隙中的各种气体,如甲烷、二氧化碳等,也由于失去浅层水的圈闭,而迁移至地表,排入大气中,造成矿业城市大气持续不断的污染。

总结以上四条机理,可以清楚看出,上覆岩层开采破坏,地表沉陷,这一单纯的固体区域的破坏的影响与灾害是极为局限的。重要的是固体变形破坏,导致了地下水和大气等流体系统,而流体的影响就是大范围的、全域的、长远的和难以控制与治理的。

2 矿区生态环境恶化的控制与重建

作者认为,矿区生态环境恶化的根本原因,莫过于开采引起的原始相互独立的水系的破坏,而形成大连通的水系,以至于使矿区的污染变得无法控制,几乎使矿区生活用水破坏殆尽。针对这一严重问题,可以采取的控制与重建方案,做如下讨论。

(1) 控制方案

在矿层开采过程中,全面实施全粘土注浆,以保证绝对封闭矿层开采导致的覆岩沉陷破裂垮落区,使地下水含水系统维持相互独立的原始状态,这一方案同时也封闭了所有的污染源。显然,这是治理矿区污染,保障矿区生态环境的根本措施。但却耗资巨大,因为这几乎要求用同样体积的粘土置换同样体积的矿体。

从社会角度讲,制订矿产品的价格时,必须将长久的环境治理费用追加上去,国家应设制高额

的矿产资源开采税,并全部返还矿区,用以支持生态环境恶化的控制工程与研究费用。

(2) 重建方案

实施矿业城市生态环境重建计划(以煤矿为例),内容包括:

- ① 实施废弃矿坑储水工程,使矿区沉陷区及其矿坑与上覆岩层裂隙区始终用水充满;
- ② 实施储水净化工程,主要研究生物净化技术,例如研究和培养繁殖大量微生物,用微生物吞噬污染物(实际上,噬硫微生物已研制出)。
- ③ 形成生物链,发展生物与养殖工程。

与上述控制与重建方案对应的关键基础与技术课题有:

- ① 以大量的水文钻孔、视踪剂连通试验的工程为基础,搞清开采引起的新的地下水系的连通、补给、主要径流带等等,研究建立大面积开采矿区新的地下水循环系统;
- ② 以大量水文钻孔为基础,建立矿业城市污染监测系统,搞清开采引起的地下水污染物类型和丰度,污染物迁移扩散规律,波及的时空范围和关系。
- ③ 在采掘区域建立气体排放监测站,并在整个矿区形成监测网,研究建立矿区地表扩散气体的组分和排放密度随时间与空间的变化。建立矿区采后的气体扩散理论与大气污染理论。

作者认为,上述问题与规律对于所有矿区是普适的,不妨以阜新市与阜新矿区作为一个资源枯竭城市的范例,组织重点科学和技术的研究与攻关,以指导全国矿区与矿业城市开采期间和采后的生态环境控制。

在写作本文的过程中,作者愈加感到:矿山开采给矿业城市、矿区乃至一个区域造成的生态环境的恶化与破坏的影响是极其深重和久远的,这些地区为治理恶化的生态环境,为资源经济的转型,生态环境与人文环境的改善,所要付出的代价将是极其高额的,也是无法预计的。矿业城市生态环境保持,矿业城市经济的可持续发展,矿业城市的经济模式,特别是资源枯竭型矿业城市的出路,是关系国计民生的重大科学、技术、社会学方面的课题,政府应投入巨资资助研究。

MECHANISM OF ECOLOGICAL ENVIRONMENTAL DETERIORATION AND CONTROL AND REBUILDING IDEA OF MINING CITY

ZHAO Yang-sheng^{1,2}, WAN Zhi-jun¹, KANG Jian-rong¹

(1. Department of Mining Technology, China Mining University, Xuzhou 221008, China;

2. Mining Research Institute, Taiyuan Technology University, Taiyuan 030024, China)

Abstract: The article expounds the main mechanism of the ecological environmental deterioration in mining city, reveals that the groundwater circulatory system of destruction is basic reason, and proposes the idea of the technological way of controlling ecological environment deterioration and discusses urgent need to carry out relevant scientific and technical research.

Key words: ecological environment; mechanism; controlling; rebuild