

资源枯竭型城市灾害预测及控制

潘一山¹ 赵扬锋²

(辽宁工程技术大学力学与工程科学系, 教授、博士生导师¹; 博士生² 辽宁阜新 123000)

〔摘要〕 矿业城市资源枯竭后, 矿山开采衍生灾害长时间继续发生, 同时还会形成新的灾害。资源枯竭城市灾害主要为地下、地表、水环境和大气环境灾害。分析了资源枯竭型城市灾害成因及演化过程, 并提出了资源枯竭型城市灾害预测与控制应开展的工作。

〔关键词〕 资源枯竭 矿业城市 灾害 预测与控制

〔中图分类号〕 X4 TD

〔文献标识码〕 A

〔文章编号〕 1000-7857(2004)10-0016-04

PREDICTION AND CONTROL OF RESOURCE-EXHAUSTED CITY DISASTERS

PAN Yi-shan ZHAO Yang-feng

(Department of Mechanics and Engineering Sciences, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning Province, China)

Abstract: After resources of mining cities are 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 disasters of resource-exhausted cities are underground disaster, ground surface disaster, water environmental disaster and atmospheric environmental disaster. This paper analyzes the causes of disaster formation and evolution process of resource-exhausted cities, proposes that research work of prediction and control of resource-exhausted city disasters should be launched.

Key Words: resource-exhausted, mining city, disaster, prediction and control

CLC Numbers: X4 TD

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2004)10-0016-04

1 引言

中国现有矿业城市 426 座, 其中煤城 150 座、化工 28 座、油气 25 座、建材及非金属 54 座、有色金属 80 座、黑色金属 38 座、综合 2 座。矿业城市在其发展过程中, 主要经历了成长期、鼎盛期和衰退期 3 个阶段。一般将处于衰退期阶段的矿业城市称为资源濒临枯竭城市或资源枯竭型城市。在资源枯竭的相当长时期内, 必然衍生对人类生命、财产、生存环境和安全生产构成威胁和造成事故, 即矿区灾害。中国现有矿业城市处于成长期的有 84 个, 占 19.7%; 处于鼎盛期的有 291 个, 占 68.3%; 处于衰退期的有 51 个, 占 12%。

目前全国约有 880 个矿井已经或将要关闭。“十五”期间, 需关闭的国有矿山还有 480 多个。据预测, 在未来 20 年内, 将有近 1/3 的矿业城市资源枯竭。随着资源枯竭型城市数量的增加, 衍生的矿区灾害及其所带来的环境问题越来越严重, 已成为影响经济可持续协调发展的重要因素^[1-3]。

2 资源枯竭型城市灾害类型

2.1 地下灾害

中国矿业城市大多建于 20 世纪五六十年代, 随着时间

推移, 这些矿业城市的矿井将进入深部开采, 由于深部开采环境的复杂性, 地下灾害将日趋严重。主要体现在以下几个方面^[4-8]。

(1) 煤矿地压灾害。如顶板事故(采场顶板、巷道围岩); 冲击地压(煤体压缩型、顶板断裂型、断层错动型、复合型和连锁型); 煤和瓦斯突出(压出型、倾出型、喷出型和复合型)。

(2) 煤矿爆炸灾害。如瓦斯爆炸、煤尘爆炸、氧化诱发煤体燃烧爆炸。

(3) 矿区地震。如人工诱发地震、天然地震、连锁型地震、群震。

(4) 煤矿火灾。如机电设备火灾(采煤、通风、运输、排水等设备运行和电力输送过程中诱发火灾); 采场、老塘残煤自燃(煤体氧化自燃发火、煤矿爆炸诱发火灾)。

(5) 煤矿水灾。如含水地层突水(石灰岩地层突水、溶洞突水、地下暗河突水、第四纪含流沙地层突水); 老塘积水突水(老采区积水、老巷道积水、小井积水、古采场积水); 地表水渗透(河流、湖泊、海洋与矿井形成通道); 断层等在雨季、融冰季节发生水灾; 污水排放污染、水质恶化; 水系变化(开采引起的水位变化、径流变化)。

收稿日期: 2004-09-17。

作者简介: 潘一山, 男, 1964~, 辽宁阜新中华路 47 号辽宁工程技术大学(123000), 主要从事煤矿冲击地压、煤和瓦斯突出、煤层气开采等研究, E-mail: panyishan@tsinghua.org.cn。

2.2 地表灾害

煤炭开采导致土地资源破坏及生态环境恶化。开采沉陷造成中国东部平原矿区土地大面积积水受淹或盐渍化,使西部矿区水土流失和土地荒漠化加剧。采煤塌陷还会引起山地、丘陵发生山体滑落或泥石流,并危及地面建筑物、水体及交通线路安全。据调查,中国因采矿直接破坏的森林面积累计达 106 万 hm^2 ,破坏草地面积为 2 613 万 hm^2 ,全国累计占用土地约 586 万 hm^2 ,破坏土地约 157 万 hm^2 ,且每年仍以 4 万 hm^2 的速度递增,而矿区土地复垦率仅为 10%。中国采矿历年累计固体废矿渣积存已高达 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 hm^2 ,金属矿山含有剧毒的尾矿库 1 600 座,且随着采、选工业的发展每年以约 10% 的速度增加^[3,9]。采矿无疑是造成地面环境损害的一大主要因素。主要体现在以下两个方面。一是矿区地层变形。地下资源开采引起矿区内覆岩层运动、顶板塌陷、地面沉陷、边坡滑移等重大工程灾害,造成对地面生态环境的严重破坏。如抚顺市沉陷区 50 多 km^2 ,最大塌陷量为 40m,矸石山占地 45 km^2 ;阜新市沉陷区 100 多 km^2 ,最大塌陷量为 8m,矸石山占地 35 km^2 ;本溪市沉陷区 45 多 km^2 ,最大塌陷量为 4m,矸石山占地 20 km^2 。二是地表废弃物。尾矿库、矸石山等矿区废弃物,经降雨携带恶化土壤。尾矿库、矸石山等矿区废弃物的存在不仅压占大量土地,而且通过长期风化、降雨、降雪淋溶和自身所载水分的作用,发生一系列物理、化学变化,使矸石中大量的有毒有害物质渗透到土壤和土壤-水环境系统中,造成水环境严重污染,对人们生产和生活造成极大危害^[10-11]。

2.3 水环境灾害

水是人类生存与发展的命脉,又是不可替代的战略资源。矿业城市开采过程中引起的地层下沉,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。随着采矿向纵深发展,上含水层地下水被疏干,形成了降落漏斗,由于开采,地下水位大幅度下降。如太原西山矿,原有泉水现已全部干涸。据资料,全国已形成区域降落漏斗 150 个,漏斗总面积 87 000 km^2 ,漏斗中心水位最大埋深已超过 78m。矿山废弃物中的酸性、碱性、毒性或重金属成分,通过径流,会对周围的土地、水域造成污染,其影响面将远远超出塌陷区的地域和空间^[3,12-14]。主要体现在以下两个方面。一是地表水系径流被改变、破坏。地下开采引起地层冒落、裂缝、变形、松动等,形成降水漏斗;露天采矿导致边坡变形、松动、水资源流失;地表水下降,井泉断流,造成旱灾;沉陷区积水,土地沼泽化、盐渍化,湖泊面积缩小,部分内陆湖泊咸化;河流、湖泊与废旧矿井相连发生水灾;水系径流变化,地下水流短路、改道;矿区水土流失;荒漠化。如山西煤矿开发,矿坑疏干排水,导致区域地下水位大幅度下降,水资源枯竭,造成 8 个县 26 万人吃水困难,200 km^2 保证水浇田变成旱地,全省井泉减少 3 000 多处。二是地下水、地表水的污染。矸石山、粉煤灰、地下岩体、煤体淋滤作用;有害物质渗入地下水系,造成矿区水质污染;采塌陷区、废旧地下采场、废旧露天矿坑积水污染;海水倒灌。如阜新新邱露天煤矿排土场附近的于家沟地区的地下水体就是由于露天煤矿排土场淋溶水渗入地下,使其受到了严重的污染而导致不能饮用的。

2.4 大气环境灾害

据统计,中国 600 多个城市中大气质量符合世界卫生组织标准的不到 1%,60% 以上的南方城市出现酸雨,酸雨面积约占国土面积的 1/3,是世界 3 大酸雨区之一。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。

残煤(地下采空区残煤、露天开采残煤、矸石山残煤)释放瓦斯、 CO_2 、CO 等气体,其它采矿释放 CO_2 等,污染大气环境。各种因素残煤自燃污染大气环境,甚至爆炸。煤层气的排放、矸石堆和高硫煤的燃烧污染大气环境。由于矿区荒漠化而引起矿区沙尘暴。中国每年从矿井开采中排放 CH_4 达 70~90 亿 m^3 ,约占世界 CH_4 总排放量的 30%,除 5% 左右的集中回收利用外,其余全部排放到大气中。矿区地面矸石山自燃释放出大量含 SO_2 、 CO_2 、CO 等有毒有害气体,严重污染大气环境并直接损害周围居民的身体健康。煤矸石产出量很大,其排放量约占煤矿原煤产量的 15%~20%。统计资料显示,2000 年,全国废气中 SO_2 排放总量 1 995 万 t,其中工业来源的排放量 1 612 万 t、生活来源的排放量 383 万 t;烟尘排放总量 1 165 万 t,其中工业烟尘排放量 953 万 t、生活烟尘排放量 212 万 t。

3 资源枯竭型城市灾害成因及演化过程

3.1 资源枯竭型城市灾害成因分析

3.1.1 采矿诱发地表沉陷 矿体采掘后在地下形成采空区,随采空区面积不断增大,覆岩失去支撑,造成顶板弯曲、断裂、垮落。垮落过程引发采空区周围岩体变形、松动、破坏,采空区上覆岩层随之弯曲下沉。这种弯曲变形达到地表后,形成地表沉陷现象。

3.1.2 采动引发地下断层活化 采动岩体内断层的存在,使采动影响集中在岩体薄弱面上,引起断层活化或矿震,表现为直通地表的地裂缝和台阶状破坏。

3.1.3 含水层疏降条件下的地表塌陷 采动覆岩层垮落和断裂过程中,将产生垂直层面的竖向裂缝,使松散层及岩体中强含水层内原为顺层流改为垂向流动,含水层的饱和水流向地下巷道内或采空区,导致含水层变薄,增大了地表下沉量和地表下沉范围。

3.1.4 采动破坏地下水系 采动引发矿层底板及上覆岩层变形、破坏与垮落,使本来相对独立稳定的不易破坏与污染的地下含水系统变成了大连通的极易破坏与污染的新地下含水系统。导致地下水位下降,矿区的污染波及到人类直接使用的整个地下水系统。

3.1.5 矿区地表废弃物中的有害物入渗 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、矸石山等,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。结果使土壤板结、土地贫瘠化、地表植被破坏、沙尘暴频发。

3.1.6 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 CH_4 气体,矸石山自燃排放 CO_2 、 SO_2 、 CH_4 等气体。由于矿层上覆岩层垮落、破碎,形成良好的渗透通道,浅层地下水系破坏,地下残煤中含有大量 CH_4 气体难以封闭,经上覆岩层破碎区,直接排入大气。赋存于上覆岩层中的孔隙裂隙中的各种气体,如 CH_4 、 CO_2 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。

3.2 资源枯竭型城市灾害演化过程

3.2.1 开矿前的岩层结构 开矿前的岩层结构,经过了漫长的地质年代的演化,处于稳定的平衡状态。尽管煤系地层中含有大量断层、褶曲等构造形迹,并且大部分为沉积岩,但由于岩层系统结构没有受到破坏,抵抗外界扰动的能力较大。

3.2.2 开挖过程 开挖是人为调整岩层系统结构的过程,是一个典型的动态结构非线性问题。当开采的规模较小时,系统结构的变化并不会影响原来岩层结构的性质,可忽略结构变化。当开挖规模达到一定程度时,系统岩层结构已不是原来的结构,抵抗外界扰动的能力将会降低,遇到扰动就可能发生破坏,此时系统岩体结构的变化不能忽略。当开挖造成的岩层系统结构变化达到对人类的生存、生活、生产、财产构成威胁或造成损失时,灾害就发生了。资源枯竭城市经几十年开采,沉陷、塌陷和裂缝区面积累积达几十甚至上百 m^2 ,矸石山也遍布几十 km^2 ,与开矿前的岩层结构分布相比,发生了重大变化。资源枯竭矿区的生态环境严重恶化,灾害不断发生。

3.2.3 外界环境作用过程 对资源枯竭城市这个系统来说,它是一个开放的系统,与外界环境有物质、能量和信息的交换与传递,干扰时时刻刻都在产生。外界作用主要有:天体如太阳系对地球的万有引力引起固体潮;太阳给地球输送的能量;地球的自重及自转;降雨、降雪;刮风;地震、火山爆发;人为活动如开挖、回填、堆积、行车、放炮、核爆炸、抽水、排水、植树等;其它生物、植物作用。

3.2.4 系统演化过程 在环境的作用下,矿山城市灾害不断演化,其演化过程主要包括:边界演化过程;岩层系统结构演化过程;岩层参数演化过程;岩层结构破坏过程;灾害演化过程。

4 资源枯竭型城市灾害预测与控制研究应开展的工作

人类活动以开发资源为起点,资源枯竭是矿业城市的必然结果。中国资源枯竭型城市灾害已达到十分严重的程度,必须依靠科学技术控制与治理资源枯竭城市灾害,必须加强资源枯竭型城市灾害预测与控制的基础理论研究。研究内容可考虑以下几个方面。

4.1 矿区井群诱发地震灾害的预测与控制研究

减轻、控制多个临近矿井留下的大面积采掘空间发生的大范围高强度冲击地压产生的灾害。在中国有冲击地压矿区已经出现这种趋势,但还没有得到相关研究。相关研究包括:矿井群冲击地压连锁反应发生的机理及理论;矿井群冲击地压连锁反应发生的成因规律;矿区渗流场对矿井群冲击地压连锁反应的作用和影响;矿井群冲击地压连锁反应发生的各种前兆;矿井群冲击地压连锁反应发生的预测技术机理。

4.2 关井后矿井结构失稳诱发矿震的预测与控制研究

减轻和控制关井后地下空间结构失稳发生的高强度冲击地压产生的灾害。当前中国已有多处冲击地压矿井关闭留下的地下空间结构,因灾害及非原有结构弱化,有发生整体更大范围失稳的征兆。目前已有发生灾害的实例及可能性的研究,但总体来说缺乏详细的研究。相关研究包括:矿井关井后地下空间结构发生的失稳机理和理论模型的研究;

关井后水对矿井结构稳定性影响的研究;关井后发生大规模失稳和冲击地压发生前兆的研究;矿井结构失稳预测及监测技术机理及技术的研究;矿井结构失稳控制和防治机理及措施的研究。

4.3 资源枯竭型城市二次沉陷、塌陷灾害的预测与控制研究

煤炭作为一次能源在国民经济发展中的作用,其开采引发地表塌陷,造成地面建(构)筑物及各种设施的损坏十分严重,对土地资源及生态环境的破坏十分严重,已成为诱发社会不稳定因素之一。资源枯竭型城市采煤塌陷灾害历史遗留问题多,情况复杂,急需治理。采煤塌陷预测与控制技术研究是防灾减灾计划制定与实施的必要保证。在这方面应开展如下研究:采动地层演变规律研究与地质力学模型建立;地表塌陷机理与塌陷动态预测方法研究;采煤塌陷灾害的灾度评价系统研究;采煤塌陷控制实用技术研究(部分开采技术、充填技术);压煤开采的技术经济评价研究。

4.4 资源枯竭型城市地下水环境修复的研究

防止堆积矿山废弃物经淋滤作用和矿井水形成的地下水污染区域在地下水流动扩散和加剧,进而对地下水环境的污染进行控制及修复,解决资源枯竭型城市随水资源日益匮乏影响经济发展和人民生活生存的重要问题。目前对工业废水、生活污水对地下水环境污染及修复已有大量的研究,对于矿区地下水污染的研究也偏重于工业废水对地下水污染方面,而对于大量矿业废弃物堆置对地下水的污染国外已有研究,但对矿山废弃物特别是煤矿废弃物对地下水污染、已污染的地下水环境修复理论和措施尚不见有专门研究。在此方面可以做如下研究:矿山废弃物有害物质溶滤浓缩入渗机理;地下水污染物迁移动力学;地下水对水源地水质污染预测;地下水污染阻截技术措施;地下水修复的技术措施;矿区地下水环境质量综合评价。

5 结论

由于矿山长时间大面积开采,还会有更多的资源枯竭型城市形成,资源枯竭型城市衍生灾害还会继续发生,而且有不断加剧的趋势。本文从系统的角度分析了资源枯竭型城市灾害成因及演化过程,并提出了从矿区井群诱发地震灾害的预测与控制、关井后矿井结构失稳诱发矿震的预测与控制、资源枯竭型城市二次沉陷、塌陷灾害的预测与控制、资源枯竭型城市地下水环境修复这4个方面对资源枯竭型城市灾害预测与控制开展工作。

参考文献(References)

- [1] 王来贵,潘一山,王永岩,章梦涛. 资源枯竭煤城环境灾害系统分析[A]. 见:朱旺喜,王来贵,王建国,王志宏主编. 资源枯竭城市灾害形成机理与控制战略研讨[C]. 北京:地质出版社, 2003. 25~31
- [2] 王来贵,刘向峰,于永江,何峰,潘一山,赵阳升. 资源枯竭城市衍生灾害问题探讨[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15(2): 63~70
- [3] 赵阳升,万志军,康建荣. 矿业城市生态环境恶化机理及控制与重建构想[A]. 见:朱旺喜,王来贵,王建国,王志宏主编. 资源枯竭城市灾害形成机理与控制战略研讨 [C]. 北京:地质出版社, 2003. 8~10
- [4] 朱旺喜. 加强资源枯竭城市衍生灾害与控制的基础研究[A].

富勒烯的理论研究

杨金龙¹ 李群祥² 陈招英³(微尺度物质科学国家实验室和中国科学技术大学选键化学重点实验室, 教授¹, 副教授、博士²; 博士生³ 合肥 230026)

〔摘要〕 对中国富勒烯领域的理论研究现状作简要评述之后, 侧重介绍本课题组近几年来在富勒烯结构、稳定性、取代型掺杂富勒烯、内嵌金属富勒烯等方面的理论研究工作。最后简述富勒烯的应用, 并给出对富勒烯及其相关领域的理论研究的几点初步看法。

〔关键词〕 富勒烯 掺杂 富勒烯结构 富勒烯应用

〔中图分类号〕 G3 06

〔文献标识码〕 A

〔文章编号〕 1000-7857(2004)10-0019-03

THEORETICAL STUDIES ON FULLERENE MOLECULES

YANG Jin-long LI Qun-xiang CHEN Zhao-ying

(National Laboratory of Physical Sciences at Microscale, Laboratory of

Bond Selective Chemistry, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract: The progress on the theoretical study of the fullerenes in China is briefly reviewed. And related works in this field by authors which include the geometry and stability of fullerenes, substitutionally doped fullerenes, and endohedral metallofullerenes. Finally, the possible applications of fullerenes as well as several suggestions of the theoretical study on fullerenes were presented.

Key Words: fullerene, electronic property, stability, structure, doping**CLC Numbers:** G3 06**Document Code:** A**Article ID:** 1000-7857(2004)10-0019-03

1 中国富勒烯理论研究的概况

中国在富勒烯的研究方面起步较早, 发表的论文数量处于世界前列, 尤其在富勒烯和金属富勒烯的理论研究、功能化研究、结构表征和形成机理等方面做出了一些国际上具有较大影响的研究工作。近年来在富勒烯相关研究领域已两次获得国家自然科学奖: 唐敖庆先生等的“原子簇的结构、化学键和结构规则”和朱道本先生等的“ C_{60} 的化学和物理基本问题的研究”分别荣获 2000 年和 2002 年国家自然科学二等奖。中国科学院化学所、物理所、高能物理所、长春应用化学所, 吉林大学, 南开大学, 北京大学, 北京理工大学, 厦门大学, 中国科学技术大学, 北京师范大学及香港科

技大学等科研院所对富勒烯和纳米管的对称性分析、结构规律预测, 新型富勒烯的结构、光谱、稳定性、掺杂, 以及富勒烯衍生物、富勒烯笼构成的寡聚体和内嵌富勒烯等诸多问题进行了深入的理论计算研究。一些理论计算结果不仅具有前瞻性、富有特色, 而且对进一步的实验工作, 具有积极的指导作用。

2 富勒烯的结构和性质的若干理论研究

2.1 富勒烯的几何结构

作为富勒烯类分子中最典型的分子—— C_{60} , 它具有截角 20 面体的超高对称结构, 由 20 个六边形和 12 个五边形组成, 所有原子都是等价的, 点群为 I_h 结构。高分辨 STM 成

收稿日期: 2004-08-22。

作者简介: 杨金龙, 男, 1966~, 安徽省合肥市中国科学技术大学选键化学重点实验室(230026), 主要从事系统化学物理研究, E-mail: jlyang@ustc.edu.cn。

见: 朱旺喜, 王来贵, 王建国, 王志宏主编. 资源枯竭城市灾害形成机理与控制战略研讨[C]. 北京: 地质出版社, 2003. 3~7

[5] 潘一山. 冲击地压发生和破坏过程研究[D]. 北京: 清华大学工程力学系, 1999

[6] 潘一山, 徐秉业. 考虑损伤的圆形洞室岩爆分析[J]. 岩石力学与工程学报, 1999, 16(2): 152~156

[7] 尹向林. 论矿山环境灾害问题与对策 [J]. 矿产保护与利用, 2003, 4: 37~39

[8] 潘一山, 杜广林, 张永利等. 煤体振动方法防治冲击地压的机理研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1999, 18(4): 432~436

[9] 潘一山, 杨小彬, 王学滨. 多孔介质局部化与煤和瓦斯突出射流[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2001, 20 (4): 446~447

[10] 张永波, 买凌云. 采煤诱发的自然灾害及其防治对策[J]. 自然灾害学报, 1999, 8(4): 133~138

[11] 王存玉. 人为地质灾害和地质环境[J]. 工程地质学报, 1997, 5 (4): 362~367

[12] 潘一山, 杨小彬, 章梦涛. 煤体变形局部化、孔隙瓦斯压力局部化及射流 [A]. 周世宁, 鲜学福, 朱旺喜主编. 煤矿瓦斯灾害防治理论战略研讨[C]. 徐州: 中国矿大出版社, 2001

(责任编辑 胡春华)