

条带开采的非线性 理论研究及应用

郭文兵 邓喀中 邹友峰 著

中国矿业大学出版社

TD823.83
G-842

青年科学基金项目(0612002100)

国家自然科学基金资助项目(50474064)

条带开采的非线性理论研究及应用

郭文兵 邓喀中 邹友峰 著

中国矿业大学出版社



作者简介

郭文兵, 博士, 副教授, 河南省商丘市人, 1969 年 10 月生。1991 年毕业于原焦作矿业学院(现河南理工大学)采矿工程专业获工学学士学位, 1994 年获采矿工程专业硕士学位; 2004 年在中国矿业大学获大地测量学与测量工程专业博士学位; 现为河南理工大学能源科学与工程学院副院长; 河南理工大学“优秀中青年骨干教师”; “河南省优秀中青年骨干教师”; “河南省杰出青年科学基金获得者”。一直从事采矿工程、岩层控制与“三下”采煤、采动损害与防护方面的教学与科研工作。主持或参加科研项目 30 多项, 获省部级科技进步奖 3 项。发表学术论文 40 余篇, 其中被 Ei 收录 10 篇。

序

煤炭资源从地下采出以后,周围岩体的原岩应力平衡状态遭到破坏。采矿工程活动诱发的开采沉陷可导致一系列的环境灾害问题,因此,开采沉陷一直是世界范围内亟待解决的技术问题。近年来,随着大量的煤炭资源从地下采出,地下开采所引起的地表沉陷及其环境灾害问题日益突出,不仅破坏了矿区生态环境,而且对地表建(构)筑物造成了严重损害。条带开采技术是煤矿“绿色开采技术”体系中的重要措施之一,目前已成为我国村庄下、城镇建筑物下及水体下等压煤开采的有效技术途径。为了最大限度地解放“三下”压煤,提高煤炭资源采出率,延长矿井服务年限,同时有效保护地表建(构)筑物、水体、铁路、公路、桥涵等设施,减少采动损害,改善矿山生态环境及促进矿区可持续发展战略的实施等,深入开展条带开采技术关键问题的研究具有重要意义。

煤炭科技工作者针对条带开采技术进行了大量而深入的研究,并取得了较为丰富的研究成果。研究内容涉及条带开采理论和实践过程中的一系列基本问题,主要有条带开采地表移动机理和规律、条带开采地表移动和变形预计方法、条带开采地表移动参数、条带煤柱稳定性研究与提高采出率、条带开采参数优化设计研究等。但由于开采所引起的岩层与地表移动过程十分复杂,它是许多地质采矿因素综合影响的结果,岩层与地表移动特征与地质采矿条件之间存在着复杂的非线性关系,用数学或力学的方法很难准确描述地表沉陷所涉及的复杂非线性力学过程,致使目前条带开采有关问题的理论和方法还不够成熟。

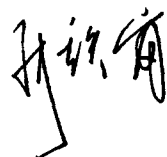
本书作者的学术思想比较活跃,勇于探索,抓住岩层与地表移动的非线性本质特征,创造性地将非线性科学理论与条带开采的关键技术问题研究相结合。本书总结了作者及国内外近年来的研究成果,并从以下方面对条带开采进行了研究:在条带煤柱受力分析的基础上,根据条带煤柱的不同情况,采用突变理论建立了条带煤柱的突变破坏失稳理论模型,对条带开采煤柱的稳定性及破坏失稳的非线性过程进行了探索研究,从一个新的角度研究了条带煤柱非线性破坏失稳机理与稳定性问题;在分析现有条带煤柱塑性区宽度计算方法的基础上,对条带煤柱塑性区宽度进行了数值模拟研究,提出了条带煤柱塑性区宽度随采出率增大而增大的观点;根据近年来作者在现场实施条带开采所积累的资料及国内外观测资料,分析研究了条带开采地表移动参数的影响因素、作用规律以及条带开采地表沉陷机理,建立了新的条带开采地表移动预计参数的计算公式;采用非

线性科学理论中的人工神经网络理论,建立了条带开采地表移动参数计算的神经网络模型,研究和探索了条带开采地表移动参数的非线性理论计算方法,并基于所建立的神经网络模型和地表建筑物的抗变形能力,提出了条带开采优化设计的新方法。书中采用新的理论和方法深入研究条带开采的有关技术问题,取得了多方面的创新性研究成果,是一项开拓性的工作。

条带开采技术具有明确的理论性和工程实践性。本书是国内有关非线性科学在岩层移动、条带开采中应用的第一部专著。在当前,该著作的出版不仅对更好地利用条带开采技术解放“三下”压煤,促进条带开采的理论和应用研究具有积极作用,而且对于矿山开采沉陷和“三下”采煤技术的发展具有重要意义。

中国工程院院士

河南理工大学教授



2005年8月15日

前 言

煤炭在我国一次能源消耗中占 70% 左右,到 21 世纪 20 年代仍将占 50% 以上。随着大量的煤炭资源从地下采出,开采所引起的地表沉陷及其环境灾害问题日益突出。矿山开采沉陷不仅破坏了人们赖以生存的矿区生态环境,而且对地表建(构)筑物造成了严重损害。我国煤炭资源分布广泛,建筑物下、水体下、铁路下(称为“三下”)压煤量大。特别是我国东部地区,煤炭资源正在逐步枯竭,矿井储量逐年减少,剩余储量 50% 以上属于“三下”压煤,其中以村庄建筑物下压煤量最大。据不完全统计,我国生产矿井“三下”压煤量达 140 亿 t,其中建筑物下压煤 87.6 亿 t,村庄下压煤占建筑物下压煤的 60% 以上,仅河南、河北、山东、安徽、江苏五省压煤村庄达到 1 094 个,住户约 11 万户。据有关资料,我国每采万吨煤,平均塌陷土地 0.2 ha;在村庄稠密的平原矿区,每采出 1 000 万 t 煤需迁移约 2 000 人。

村庄建筑物下压煤开采已成为矿区面临的主要问题。因此,研究因地下开采引起的岩层与地表移动规律以及“三下”压煤开采方法已成为煤炭科技人员面临的重要课题。

在保证地面建(构)筑物安全的前提下,最大限度地开采煤炭资源是开采沉陷学科目前面临的主要问题。建筑物下采煤的关键问题之一是控制岩层及地表沉陷,岩层与地表沉陷控制也是矿山开采沉陷学的主要研究方向之一,其主要任务是研究合适的采矿方法,尽可能地减少岩层和地表移动。目前控制岩层及地表移动的方法主要有充填开采(水力充填、风力充填、机械充填、矸石自溜充填、固体废弃物膏体及似膏体充填等)、部分开采(条带开采、房柱式开采、限厚开采等)、覆岩离层注浆等。充填开采地表下沉系数一般为 0.1~0.3,但因充填开采系统和采空区充填工艺复杂、成本高、充填材料缺乏及对采煤工作面有不同程度的影响等原因,应用范围受到一定限制,在我国应用很不广泛,代表未来村庄压煤开采发展方向的膏体充填技术目前我国煤矿尚没有试验成功的报道。离层注浆是近年来发展起来的新方法,尚处于试验研究阶段,在上覆岩层离层发育的时空规律、离层形成的力学机理、注浆减沉效果评价等方面存在分歧,在国内应用也不广泛。

条带开采技术是将要开采的煤层区域划分为比较正规的条带形状,采一条、留一条,使留下的条带煤柱能够支撑上覆岩层的载荷,使地表只发生轻微的、均

匀的移动和变形,达到既回收一部分煤炭资源又能控制地表沉陷的目的。由于它能有效地控制上覆岩层和地表沉陷,保护地面建(构)筑物和生态环境,不需要增加或较少增加生产成本,生产管理简单,在我国煤矿区被广泛采用。因此,深入研究条带开采的有关技术问题,对更好地利用条带开采技术解放“三下”压煤,提高煤炭资源回收率、预防或减轻采动损害、保护地表建(构)筑物和矿区生态环境具有重要的理论和实际意义。

国内外学者对条带开采技术进行了大量的研究。国外如波兰、前苏联、英国等欧洲主要采煤国家在20世纪50年代就开始应用条带法开采建筑物尤其是村镇、城市下压煤,取得了较为丰富的实践经验。我国在条带开采生产实践方面,已对包括急倾斜煤层在内的各种倾角的煤层、大采深煤层进行了条带开采试验研究,先后在全国10多个省、100多个条带工作面进行了条带开采,已取得了丰富的研究成果和实际观测资料。在理论研究方面,我国科技工作者对条带开采进行了大量的研究。其研究内容有条带开采地表移动机理和规律、条带开采地表移动和变形预计方法和预计参数、条带煤柱稳定性研究与提高采出率、条带开采参数优化设计研究等。

非线性科学理论是20世纪70年代以后发展起来的,它研究大千世界中复杂奇妙的现象,成为解决非线性复杂系统问题的有力工具。非线性动力学理论的出现从根本上改变了人们的思维,随着研究的深入,在不同领域相继掀起了转变认识观的伟大变革。近20多年来,非线性科学理论取得了令人瞩目的成就,被称为20世纪内继量子力学、相对论两项重大科学发展的第三次科学革命。本书采用非线性科学的理论和方法,对条带开采煤柱的稳定性及破坏失稳的非线性理论进行了研究,条带开采的关键问题之一是条带煤柱的稳定性问题,条带煤柱的稳定与否是条带开采成败的关键。同时,准确进行地表移动和变形预计是条带开采合理设计的前提,而目前条带开采预计参数给不准是提高地表移动和变形预计精度的瓶颈问题。深入研究和探索条带开采地表移动参数的非线性理论计算方法,实现对条带开采地表移动参数的准确计算,以有利于提高条带开采地表移动和变形预计精度,最终实现条带开采设计参数的优化。这些研究成果已形成了一个完整的理论体系,对促进条带开采的理论研究以及条带开采技术的应用和发展具有重要意义。

本书由郭文兵、邓喀中、邹友峰编著。其中,第一章由邓喀中编写,第二章由邹友峰、郭文兵编写,其余章节由郭文兵编写。在作者的研究和写作过程中,得到了中国矿业大学吴侃教授、郭广礼教授、高井祥教授、汪云甲教授等老师的热情指导和建议,谭志祥副教授、周鸣工程师给予了热情支持和帮助,河南理工大学柴一言教授、周英教授、勾攀峰教授、李化敏教授、郭增长教授等给予了关心和帮

助,在此作者一并表示衷心的感谢。特别是尊敬的中国工程院院士张铁岗教授欣然为本书作序,我们特向他表示衷心的感谢和崇高的敬意。此外,书中引用了一些单位和国内许多矿井工程技术人员和有关学者发表的文献资料,在此对所引文献的作者表示衷心的感谢。由于时间仓促,作者水平有限,书中缺点和错误在所难免,恳请读者批评指正。

作者

2005年8月于焦作

目 录

1 岩层与地表移动控制技术概述	1
1.1 煤炭开采造成的损害概述	1
1.2 部分开采方法	6
1.3 充填开采方法	11
1.4 覆岩离层注浆技术	18
1.5 协调开采方法	24
2 条带开采技术及其研究现状	27
2.1 概述	27
2.2 条带开采岩层与地表移动机理和规律	33
2.3 条带开采地表移动和变形预计方法	34
2.4 条带开采地表移动和变形预计参数	37
2.5 条带开采煤柱的稳定性	39
2.6 条带开采优化设计	42
2.7 条带开采地表沉陷预计的三维层状介质理论	44
2.8 条带开采存在的主要问题及研究方法	54
3 非线性科学的发展及在相关学科的应用	58
3.1 非线性科学概述	58
3.2 突变理论及其在相关学科的应用	60
3.3 神经网络理论及其在相关学科的应用	73
4 条带开采煤柱稳定性及突变失稳理论研究	93
4.1 条带煤柱稳定性影响因素	93
4.2 条带煤柱的流变失稳理论与模型	95
4.3 条带煤柱突变失稳方式与研究方法	103
4.4 水平煤柱破坏失稳的突变理论模型	106
4.5 倾斜条带煤柱破坏失稳的突变理论模型	113

5 条带开采煤柱塑性区宽度及地表沉陷的数值模拟研究	121
5.1 数值模拟方法及 FLAC 有限差分程序简介	121
5.2 数值模拟模型的建立	132
5.3 模拟方案与模拟结果	135
5.4 模拟结果的分析	145
6 条带开采地表移动参数的影响因素与作用规律研究	149
6.1 条带开采地表移动参数的影响因素	149
6.2 条带开采地表移动参数研究	158
6.3 结果对比分析与实例应用	176
7 条带开采地表移动参数计算的神经网络模型研究	180
7.1 概述	180
7.2 基于神经网络的地表移动参数建模方法	182
7.3 条带开采地表下沉系数计算的神经网络模型	191
7.4 条带开采水平移动系数计算的神经网络模型	198
7.5 条带开采主要影响角正切计算的神经网络模型	203
8 神经网络模型在条带开采中的应用	208
8.1 求取条带开采地表移动预计参数	208
8.2 在条带开采尺寸优化设计中的应用	215
8.3 规律与特征的提取	217
参考文献	226

1 岩层与地表移动控制技术概述

1.1 煤炭开采造成的损害概述

煤矿开采引起的岩土体位形的变化,不仅可能对矿山工程本身造成影响和危害,还可能对其他岩土工程及含水层和地面上的工程造成影响和危害,它早已成为采矿工程中的一个重大科学技术课题,受到人们的关注。早在15、16世纪,比利时人就已发现地下开采对地下含水层的影响,曾颁布一项法令:在列日城下开采时,开采深度应大于100 m,对由于采矿而破坏供列日城用水的含水层者处以死刑。德国的陶德曼矿山管理局曾在备忘录中记载:1875年在约汉·载梅尔矿出现有因地表沉陷使铁路钢轨悬空事故。1895年德国的《幸福》杂志刊载:在波希米亚的柏留克城发生地下开采危及地面建筑物的严重事故,地面的突然崩塌毁坏了66所房屋,严重破坏的有35所。其原因是煤层的开采厚度高达28~30 m,采深小于100 m,且存在有流砂层,地下开采引起流砂溃入井下使地表产生崩塌。

事实上,在德国当开采煤炭在居民区范围以外进行时,如在山区(像在哈茨、泽格尔兰特和阿尔卑斯山)并不存在大的采动损害问题。那时(1356年)的矿业法规定矿山开采权属于土地所有者。随着开采强度的增大,以及土地所有权与矿藏权的分离,开采影响及其损害问题日益突出,从1830年到1850年,此问题在普鲁士议院进行了长期讨论,并形成决议:开采对土地所有者造成的损害应由矿山企业主予以补偿。这项决议在1865年纳入普鲁士国家总矿业法中。

在我国,煤炭在一次能源消耗中占70%左右,预计2010年仍将占60%以上。随着大量的煤炭从地下采出,所引起的岩层与地表沉陷及环境灾害问题日益突出。据不完全统计,我国生产矿井“三下”压煤量达140亿t,其中建筑物下压煤87.6亿t,村庄下压煤占建筑物下压煤的60%以上。据统计,仅河南、河北、山东、安徽、江苏五省压煤村庄达到1 094个,住户约11万户。据有关资料,我国每采万吨煤,平均塌陷土地0.2 ha;在村庄稠密的平原矿区,每采出1 000万t煤需迁移约2 000人。村庄建筑物下压煤开采已成为矿区面临的主要问题。目前,强烈的人为开采活动已使矿区环境发生了巨大的变化,带来了严重的矿区生态环境问题,如造成农田以及建(构)筑物破坏,村庄迁徙,矸石堆积如山,使河川径流量

减少,地下水水源干枯,导致土地沙漠化,由于开采而使矿物内的有害物质流入地下水中等。

煤炭资源的开发已带来了威胁人类生存的地质灾害。煤炭开采造成的沉陷灾害主要表现在以下方面。

1.1.1 使建(构)筑物损害

煤炭开采造成建(构)筑物损害的特点是范围广、损害量大、危害大。如1993年9月22日凌晨,甘肃窑街矿务局发生大面积地面沉陷,使几十人丧生,塌陷坑深达几十米,其原因是小煤窑乱采所致。美国由于采用房柱式开采方法,在开采几十年后,煤柱失稳,使地面房屋损害。我国建筑物下、水体下、铁路下(称为“三下”)压煤量大,其中以村庄建筑物下压煤量最大。在我国,随着大量的煤炭资源从地下采出,所引起的岩层与地表沉陷及其对建(构)筑物造成的损害问题日益严重,见图1-1所示。

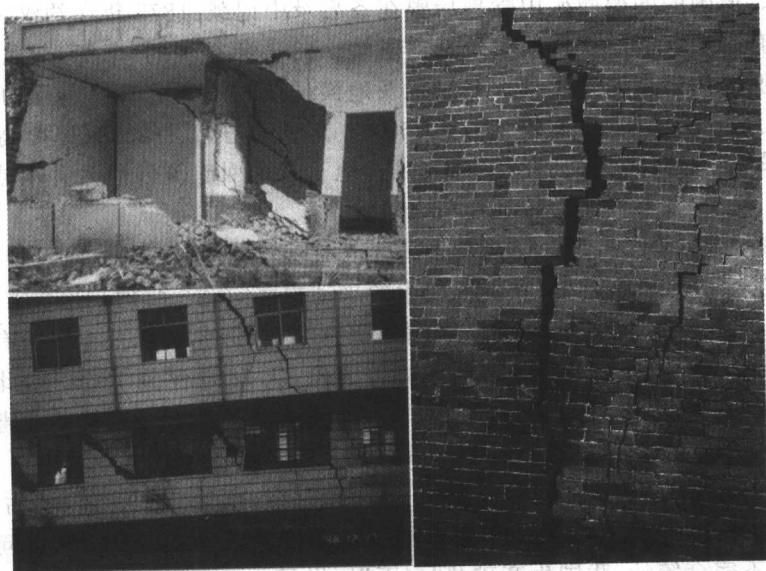


图1-1 受开采影响的建筑物

1.1.2 开采沉陷使土地资源破坏

我国人均占有土地面积0.93 ha,人均耕地面积为0.087 ha。据不完全统计,目前,我国因煤炭开采造成的沉陷土地面积约为60万ha(相当于690万人的耕

地),平均每采万吨煤塌陷土地约为 0.2 ha,全国因煤炭开采每年新增塌陷土地面积为 2.4 万 ha(相当于 27 万人失去耕地),这些土地中约有 1/3 位于经济发达的东部平原矿区,土地塌陷后地面积水,导致农民失去土地。煤炭开采还使土地淹没、盐渍化、沙漠化,如图 1-2 所示。在我国西部,地下水较少,开采造成地下水位下降,进一步加剧了土地的沙漠化。在山区,开采使山体、边坡滑移,导致巨大的灾害。

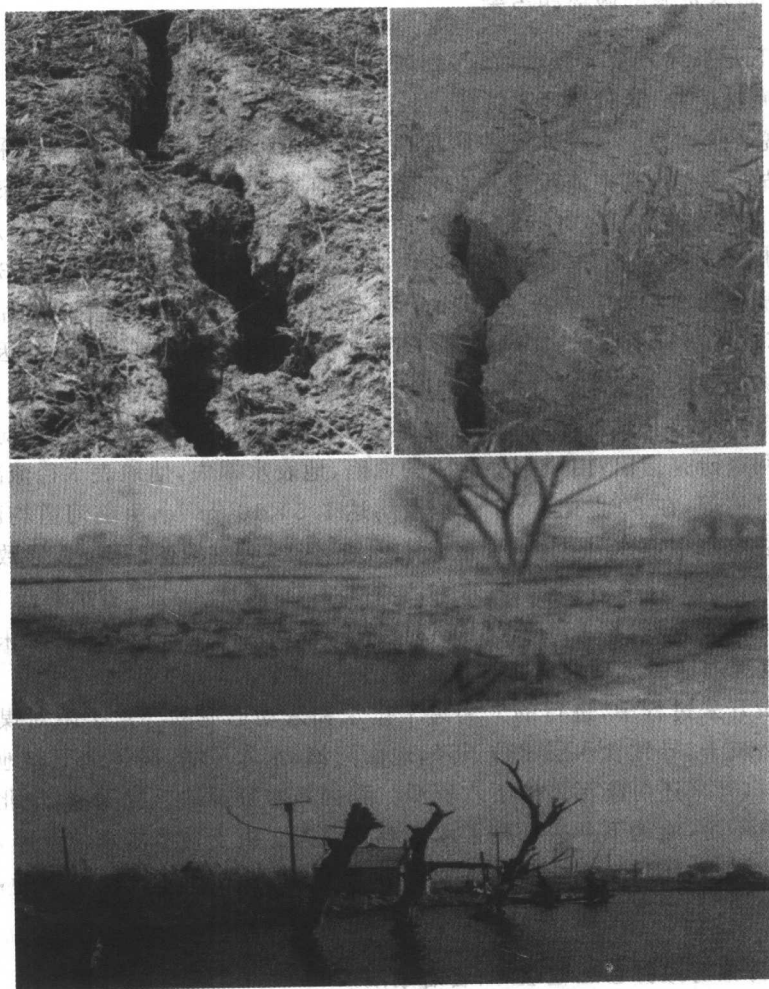


图 1-2 开采对土地资源的破坏

如淮北矿区,每采万吨煤沉陷土地面积 0.28 ha,每天约沉陷土地面积 1.07 ha。其中,积水绝产面积约占 35%,最大积水深度 10 m;34%为季节性积水或盐渍荒芜;仍可耕种的占 30%,很多农民失去土地,给社会带来不安定因素。再如山西省,1949~1998 年共生产原煤 56 亿多吨,地面塌陷破坏面积达 100 多万亩,其中 40%是耕地,矸石山占地 3 万多亩。到 1998 年煤炭地下采空面积达 1 300 km²。

1.1.3 对水资源的破坏和污染

地下开采导致覆岩移动破坏,当破裂岩体影响到地下、地面水体时,使水进入井下淹没矿井,同时破坏水资源。我国受水害严重威胁的矿井大约有 285 对,占矿井总数的 47.5%,受水威胁储量超过 250 亿 t。1955~1985 年因开采引起的突水事故 769 次,其中淹没矿井 218 次。国有重点煤矿平均每年发生突水事故 125 次,如开滦范各庄矿 1984 年突水淹井,矿井最大涌水量达 2 053 m³/min,为世界矿井涌水量之最;丰城矿务局云庄矿、皖北矿务局任楼矿(1996 年 3 月)、徐州矿务局张集矿(1997 年 2 月)等由于突水淹没矿井,堵水恢复生产费用均超过亿元,不仅经济损失巨大,还严重破坏了水资源。地方和乡镇煤矿每年因突水造成的损失约是国有重点煤矿的 2~3 倍。1990~1996 年全国一次突水死亡 10 人以上的重大事故共发生 56 次,死亡人数达 1 062 人。山西省煤炭开采对水资源破坏的调查研究指出:由于采煤造成的塌陷,地表水漏失,使地表水径流减少,如大同十里河等,在 20 世纪 80 年代流量均达 1.5×10^6 m³/a,目前河道均已断流。破坏了裂隙水引起水井报废,人畜吃水困难,采煤造成的矿区漏水,导致井水位下降或断流共计 3 218 个,影响水利工程 433 处,水库 40 座,输水管道 793 890 m,使 1 678 个村庄、812 715 人、108 241 头牲畜饮水困难。采煤破坏开采深度在 300 m 范围内地下水动储量相当于 4.2 亿 m³/a,13.32 m³/s。

煤炭开采过程中,进行的人为疏干排水和采动形成的导水裂隙对煤系含水层的自然疏干,导致含水层水位下降,地面河流、水库干涸,破坏地下和地面水资源。同时,开采还可能污染地下水资源。我国是水资源缺乏的国家,华北地区水资源严重不足,而地下开采加剧了水资源的流失。由于含水层水位下降,使土体产生固结沉降,导致地面大面积沉降。由于开采沉陷使含水层水位下降,植被生长受到影响,土壤更干燥,加剧了西部地区的沙漠化。

1.1.4 开采导致井巷工程破坏、岩溶塌陷

开采使覆岩中的井巷工程、井筒变形破坏,表现为轴线偏斜、竖向拉断或压垮、径向截面变化或沿弱面错开。在我国南方,由于岩溶发育,开采使溶洞塌陷,

在地面形成塌陷漏斗,导致巨大的灾害。

1.1.5 使交通、通讯、管线设施受到损害

我国矿山开采使大量的公路、铁路受到损害,特别是矿区,基本上无完好的公路。地下开采使输电线路如高压线路、通讯线路受到损害。1875年德国约汉·载梅尔矿,地面塌陷使铁路悬空,交通中断。地表沉陷还使桥梁、隧道、堤坝等破坏,影响人民的生命财产安全和交通运输安全。

1.1.6 开采引起矿区局部地震

开采还会引起震级 $R_2 \sim 3$ 级的地震,引起当地居民极大的恐慌。我国部分矿区,如兖州、开滦、抚顺等相继出现了局部地震。随着开采深度的增加,地震发生的频率、震级均将增大。

我国是一个产煤大国,每年有十几亿吨煤炭从地下采出,而这些矿区的地表多属建(构)筑物、水体、铁路、农田、公路、桥涵等设施的分布区。为了最大限度地解放“三下”压煤,提高资源采出率,延长矿井服务年限以及缓解矿井生产接替紧张的矛盾,同时最大限度地控制岩层与地表移动,有效保护地表建(构)筑物、水体、铁路、公路、桥涵等设施,减少采动损害,改善矿山生态环境及促进矿区可持续发展战略的实施,国内外学者已对岩层与地表移动控制技术进行了深入研究。

经过近百年的研究与实践,特别是近20多年对岩层与地表移动控制技术的研究,它已逐渐发展成为采矿和岩体力学学科中一个相对独立的分支学科,是矿山开采沉陷学科的一个主要研究方向。其研究和服务的对象较广,包括:建(构)筑物下采矿与保护,水体下和近水体采矿与水体保护,铁路、公路下采矿与保护,巷道附近采矿及井巷保护,采矿区山体崩塌和滑坡的原因分析与防治,开采沉陷区新建建(构)筑物的可行性分析,矿山各类各级受保护物的安全煤柱设计,矿体的最佳开采顺序,矿山开采沉陷与土地保护、利用与治理等。

研究岩层与地表移动控制技术的目的是通过研究合适的采矿方法或相关技术,尽可能多地采出地下煤炭资源,减少岩层与地表移动。

目前,国内外岩层与地表移动控制措施主要有以下几种:

- (1) 部分开采方法(条带开采、房柱式开采、限厚开采等);
- (2) 充填开采方法(水力充填、风力充填、机械充填、矸石自溜充填、固体废弃物膏体及似膏体充填等);
- (3) 覆岩离层注浆;协调开采方法等。

1.2 部分开采方法

部分开采方法主要有条带开采、房柱式开采、限厚开采和刀柱法等。

1.2.1 条带开采

条带开采技术的基本做法是将要开采的煤层区域划分为比较正规的条带形状,采一条、留一条,使留下的条带煤柱能够支撑上覆岩层的载荷,使地表只发生轻微的、均匀的移动和变形,达到既回收一部分煤炭资源又能控制地表沉陷的目的。实践表明:条带开采的采出率一般在40%~68%之间,下沉系数不超过0.3。由于它能有效地控制上覆岩层和地表沉陷,保护地面建(构)筑物和生态环境,有利于安全生产,不需要增加生产成本,即使增加生产成本也较少,且生产管理简单,在我国煤矿区被广泛采用。其优点是在不改变采煤工艺的前提下,可大幅度地减少地表沉陷。条带开采按顶板管理方式分为冒落条带开采和充填条带开采;按条带煤柱长轴方向分为走向条带、倾向条带和伪斜条带;按布置方式分为正规条带和非正规条带等。我国自1967年开始应用充填条带法开采“三下”压煤以来,先后在全国10多个省、100多个条带工作面进行了条带开采,如抚顺、阜新、蛟河、峰峰、淄博、鹤壁、平顶山、焦作、郑州、枣庄、徐州等多个矿区都曾进行过建筑物下压煤的条带开采实践,取得了丰富研究成果和实际观测资料,详见第二章。

国外如波兰、前苏联、英国等欧洲主要采煤国家在20世纪50年代就开始应用条带法开采建筑物尤其是村镇、城市下压煤,取得了较为丰富的实践经验。如波兰采用充填条带开采法,成功开采了卡托维兹(人口35万)、贝托姆(人口25万)等城市下的煤炭资源,采出率为45.8%~60%,地表下沉系数仅为0.009~0.036。

1.2.2 房柱式开采

房柱式开采^[17~20]是在开采煤层内掘进一系列宽为5~7 m左右的煤房,煤房间用联络巷相连,形成近似于长条形的煤柱,煤柱宽度由数米至10多米不等。煤柱可根据条件留下不采或在煤房采完后,将煤柱按一定要求部分采出,剩余的煤柱用于支撑顶板。房柱式开采分为巷房掘进和回收煤柱两个阶段,当区段内的巷道(煤房)全部掘完后,采煤机开始后退回收煤柱。煤柱回收方式很多,具体应根据煤柱尺寸大小和围岩条件确定。对于“三下”采煤,可利用房柱式采煤法,只采煤房不回收煤柱,以煤柱支撑上覆岩层,有效地控制覆岩移动,减少地表移

动和变形,达到限制岩层和地表沉陷的目的,特别适合于不能搬迁又不便加固维修的密集建筑物下采煤。

房柱式开采的保留煤柱可控制直接顶板岩石的局部工作性能和围岩的整体反应。直接顶板可能是不支护,或者进行人工加固或支护。它不仅具有矿井开拓准备工程量小、出煤快、设备投资少、工作面搬迁灵活等优点,而且巷道压力小、上覆岩体破坏程度低、地表沉陷量小。尤其是采用房柱式连续采矿工艺,采煤机、装载机、梭车和锚杆机协调作业时,具有很高的生产效率。

房柱式采煤方法广泛应用于美国、加拿大、澳大利亚、印度和南非等国。美国是世界上采用连续采煤机房柱式开采最早和产量最高的国家,通常采用房柱式开采法来保护地面建筑物。美国井工开采的煤量中,采用房柱法开采的煤量占一半以上。回采率一般为 50%~60%,地表下沉系数为 0.35~0.68。开采实践证明,采出率为 50%时,煤柱能够支撑地表长期稳定不沉陷。英国、美国、南非等国对房柱式开采时煤柱的稳定性、尺寸留设方法进行了研究,获得了大量的研究成果,重点研究了煤柱的高宽比对煤柱稳定性的影响。

在我国,房柱法采煤工艺应用较少。西山矿务局西曲煤矿为回收高压输电线路下的压煤,采用连续式采矿设备(LN800 采煤机、IOSC—40B 梭车、TD1—4S 锚杆机)成功地回采了 2.2 m 厚的近水平煤层^[106]。鸡西矿务局小恒山矿、大同矿务局姜家湾矿也先后采用过房柱法开采。20 世纪 90 年代以来,神华集团公司的大柳塔矿曾达到过月产 9 万 t 的产量。我国神府东胜矿区大柳塔煤矿采用连续采煤机房柱式采煤法开采不适于布置长壁工作面的边角煤,取得了较好的经济效益。

陕西黄陵矿是我国第一个完全采用连续采煤机房柱式采煤法设计的大型矿井,设计采出率达 75%以上。此外,兖州集团公司南屯煤矿等也采用了房柱式开采。由于缺乏配套技术与设备以及受地质采矿条件的限制,我国总体上还较少采用房柱式开采方法。

房柱式开采法一般适用于以下条件:

- (1) 倾角在 30°以下的水平或缓倾斜层状(或扁豆状)矿体;
- (2) 矿体及其顶底板岩层比较坚硬,直接顶板上只有少量的横向节理;
- (3) 矿体的埋藏深度较小,一般在 300~400 m 以下。

在进行房柱法开采设计时,一个矿体如果在二维方向尺寸较大,则应通过设置隔离煤柱把矿体划分为几个开采区或盘区,以避免煤柱的大面积破坏。如图 1-3 所示,由于隔离煤柱的尺寸较大,可视为不可破坏的,因此,每盘区是一个独立的开采区,煤柱破坏仅限于本盘区内。

房柱式开采的主要特点是:设备投资少、运转灵活、搬迁快、巷道压力小、便