

教育部新世纪优秀人才支持计划 (NCET-08-0837)

国家自然科学基金项目 (51074163)

009092)

3计划) 项目 (2007CB209400)

国家自然科学基金重点项目 (50834005, 50834004)

国土资源部公益性项目 (200811050)

江苏省“青蓝工程”优秀青年骨干教师计划

中国矿业大学中央高校基本科研业务费专项资金

深部岩土力学与地下工程国家重点实验室专项基金

巷式充填采煤 理论与技术

马占国 著

Hangshi
Chongtian
Caimai
Lilun Yu
Jishu

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-08-0837)
国家自然科学基金项目(51074163)
江苏省自然科学基金项目(BK2009092)
国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2007CB209400)
国家自然科学基金重点项目(50834005,50834004)
国土资源部公益性项目(200811050)
江苏省“青蓝工程”优秀青年骨干教师计划
中国矿业大学中央高校基本科研业务费专项资金
深部岩土力学与地下工程国家重点实验室专项基金

巷式充填采煤理论与技术

马占国 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书针对煤矿边角煤储量、应力环境复杂、断层多、开采难度大以及拱桥等设防标准要求较高构筑物的保护煤柱开采和利用巷式矸石充填采煤提高开采上限等关键难题,通过综合运用理论分析、物理实验、数值计算、相似实验等手段,系统研究了巷式矸石充填采煤的相关理论和技术。主要包括:巷式矸石充填采煤围岩稳定性分析、煤岩体和矸石物理力学特性研究、巷式矸石充填采煤围岩变形控制、巷式矸石充填采煤围岩变形机理、巷式矸石充填采煤相似实验、巷式矸石充填采煤井下监测、巷式矸石充填采煤地表移动观测、巷采矸石充填地表沉陷对拱桥的影响及覆岩变形影响因素研究、巷采矸石充填覆岩及拱桥变形规律研究、薄基岩天窗下巷式充填采煤覆岩变形理论分析、薄基岩天窗下巷式充填采煤覆岩变形规律、薄基岩天窗下巷式充填采煤设计。

本书可供从事采矿工程、矿山测量、环境工程、地质工程、矿山安全以及岩石力学与工程等专业的科技工作者、研究生和本科生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

巷式充填采煤理论与技术/马占国著. —徐州:

中国矿业大学出版社, 2011. 9

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1250 - 4

I. ①巷… II. ①马… III. ①充填法—采煤技术—研究 IV. ①TD823.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 193584 号

书 名 巷式充填采煤理论与技术

著 者 马占国

责任编辑 王美柱

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 15 字数 374 千字

版次印次 2011 年 9 月第 1 版 2011 年 9 月第 1 次印刷

定 价 36.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前言

煤炭是我国的主要能源,在我国一次能源消耗中占70%以上,而且在未来几十年内,我国以煤为主的能源结构不会改变。我国煤炭资源分布广泛,建筑物下、水体下、铁路下压煤量大,特别是东部矿区,煤炭资源正在逐渐枯竭,矿井储量也在逐渐减少。各类保安煤柱压占了大量的煤炭资源,严重制约了煤炭资源的合理开发,是目前煤矿资源采出率较低的主要原因之一。据统计,全国“三下”压煤量达137亿t。煤炭资源开采导致了严重的塌陷破坏和生态环境问题,煤矸石露天排放和地表塌陷破坏是煤矿生产环境问题最主要的根源,是影响矿区经济发展和社会安定的重要因素。全国煤矿井工开采采空累计塌陷土地达到72.01万hm²左右。在许多老矿区曾发生过老采空区“活化”塌陷造成的财产损失和人身伤亡事故。这种不良地基条件对在采空区上方建设的各类建、构筑物安全构成威胁,是阻碍采矿塌陷区建筑利用的根本原因。同时,我国现有矸石山1500余座,堆积量约30亿t,占地约5800hm²,每年矸石产出量为1.5亿~2.0亿t,占地300~400hm²。如何解决煤炭资源开发与环境保护的尖锐矛盾,实现“三下”压煤开采及煤炭资源的绿色开采,是矿区社会可持续发展的关键目标和世界性难题。

利用井下采空区处置煤矸石的充填采煤技术,既可以减少煤矿固体废弃物排放,又可以减轻开采沉陷灾害、提高矿井资源回收率,是实现煤矿绿色开采的理想途径和关键技术之一。但长期以来由于缺乏高效的充填设备和工艺系统,造成了过去矸石充填采煤充填效果差、工艺复杂和充填成本高,使得煤矸石充填采煤技术一直无法得到大面积推广应用。巷式矸石充填采煤区域,由于充填物对覆岩的支撑作用及对煤柱侧向约束作用,充填开采可以减小覆岩的变形和破坏范围,改善煤柱的稳定性,因此可大大减轻地表沉降引起的危害性。为此,本书系统介绍了巷式矸石充填采煤的相关理论和技术。主要内容包括:巷式矸石充填采煤围岩稳定性分析、煤岩体和矸石物理力学特性研究、巷式矸石充填采煤围岩变形控制、巷式矸石充填采煤围岩变形机理、巷式矸石充填采煤相似实验、巷式矸石充填采煤井下监测、巷式矸石充填采煤地表移动观测、巷采矸石充填地表沉陷对拱桥的影响及覆岩变形影响因素研究、巷采矸石充填覆岩及拱桥变形规律研究、薄基岩天窗下巷式充填采煤覆岩变形理论分析、薄基岩天窗下巷式充填采煤覆岩变形规律、薄基岩天窗下巷式充填采煤设计。

本书研究过程中,得到了中国矿业大学茅献彪教授、郭广礼教授、张吉雄副

教授、陈占清教授、王连国教授、徐金海教授、李玉寿高工、赵鹏高工、关祥慧高工、查剑锋老师、李志坚老师的指导和帮助；潘银光、朱发浩、兰天、耿敏敏等研究生参与了部分章节的写作工作；孙凯、刘治军、龚鹏、范金泉、赵国贞、陆昭旭、张华磊、张国伟、李晓双等研究生参加了本书的有关实验、数据处理、插图绘制和文字校对等工作。

本项研究的应用实践基地涉及多个现代化煤矿。在此，对众多煤矿企业的大力支持和有关领导的无私帮助表示衷心的感谢。

感谢书中所引用文献的作者。

本研究还得到如下资助：国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2007CB209400)、教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-08-0837)、国家自然科学基金重点项目(50834005,50834004)、国家自然科学基金项目(51074163)、江苏省自然科学基金项目(BK2009092)、国土资源部公益性项目(200811050)、江苏省“青蓝工程”优秀青年骨干教师计划、中国矿业大学中央高校基本科研业务费专项资金、深部岩土力学与地下工程国家重点实验室专项基金。

由于作者学识所限，巷式研石充填采煤又涉及众多学科，本书难免存在疏漏、缺陷和错误，恳请广大同行专家和读者多加批评指正。

作 者

2011 年 9 月

目 次

第 1 编 高应力区超高巷采矸石充填采煤理论与技术

1 绪论	3
1.1 概述	3
1.2 国内外研究概况	3
1.3 研究技术路线	6
2 地质和开采条件	7
2.1 试验区地面相对位置及邻近采区开采情况	7
2.2 试验区煤(岩)层赋存特征	8
2.3 试验区地质构造	8
2.4 试验区水文地质条件	8
3 巷式矸石充填采煤围岩稳定性分析	9
3.1 贮矸空间尺寸设计	9
3.2 巷式矸石充填采煤力学模型	11
3.3 充填巷两侧煤柱稳定性分析	25
3.4 煤壁竖向裂纹扩展分析	27
4 试验区煤岩体和矸石物理力学特性研究	31
4.1 矸石级配试验研究	31
4.2 矸石压实实验研究	34
4.3 矸石与煤柱相互作用实验研究	38
4.4 煤岩力学特性研究	47
5 巷式矸石充填采煤围岩变形控制	49
5.1 充填巷道支护设计	49
5.2 支护工艺	51
5.3 卧底工艺	53
5.4 充填工艺	54

5.5	充填巷合理开掘顺序优化设计	54
6	巷式矸石充填采煤围岩变形机理研究	57
6.1	力学计算模型	57
6.2	计算结果分析	58
7	巷式矸石充填采煤相似实验研究	83
7.1	巷采充填相似模型实验	83
7.2	实验结果及分析	85
8	巷式矸石充填采煤井下监测	98
8.1	矸石充填巷围岩监测	98
8.2	测区内测点的布置	102
9	地表移动观测	103
9.1	地表移动观测站布设及观测情况	103
9.2	主要观测成果	106
10	综合效益分析	110
10.1	经济效益	110
10.2	社会和环境效益	110

第2编 拱桥下巷式矸石充填采煤理论与技术

11	巷采矸石充填地表沉陷预计及其对拱桥的影响	115
11.1	巷采矸石充填沉陷预计	115
11.2	桥梁规范	121
11.3	圆弧无铰拱桥计算分析	122
11.4	实例分析	127
12	覆岩变形影响因素研究	136
12.1	数值模拟模型	136
12.2	隔离煤柱和覆岩应力特征分析	137
12.3	关键层下沉分析	147
13	物理模拟实验研究	150
13.1	巷采矸石充填相似模拟实验	150
13.2	相似模拟实验结果分析	152

14 巷采矸石充填覆岩及拱桥变形规律研究	157
14.1 计算模型的建立.....	157
14.2 巷道围岩及拱桥变形分析.....	159
 第3编 薄基岩天窗下巷式矸石充填采煤理论与技术	
15 薄基岩天窗下巷式充填采煤覆岩变形分析	177
15.1 Winkler 弹性地基上开孔板模型	177
15.2 含天窗覆岩应力分布与变形影响因素分析.....	179
16 薄基岩天窗下巷式充填采煤覆岩变形数值计算	186
16.1 数值分析模型的建立.....	186
16.2 天窗尺寸影响分析.....	189
16.3 覆岩板厚影响分析.....	196
16.4 煤柱尺寸影响分析.....	203
16.5 掘充顺序影响分析.....	209
17 薄基岩天窗下巷式充填采煤相似实验研究	215
17.1 实验模型设计.....	215
17.2 实验结果分析.....	217
18 薄基岩天窗下巷式充填采煤设计	221
18.1 试验开采区域采矿地质条件.....	221
18.2 巷式充填采煤方案设计.....	221
18.3 试采后地表沉陷预计和影响分析.....	224
参考文献	226

第 1 编

高应力区超高巷采研石 充填采煤理论与技术

1 绪 论

1.1 概 述

煤炭是我国的主要能源,在我国一次能源消耗中占 70%以上,而且在未来几十年内,我国以煤为主的能源结构不会改变。我国煤炭资源分布广泛,“三下”压煤量大,特别是东部矿区,煤炭资源正在逐渐枯竭,矿井储量也在逐渐减少,资源枯竭与经济发展之间的矛盾日益突出。煤炭资源开采导致严重的塌陷破坏和生态环境问题,煤矸石露天排放和地表塌陷破坏是煤矿生产环境问题最主要根源,是影响矿区经济发展和社会安定的重要因素;同时,大量的各类保安煤柱压占大量的煤炭资源,严重制约煤炭资源的合理开发,是目前煤矿资源采出率较低的主要原因之一。如何解决煤炭资源开发与环境保护的尖锐矛盾,实现“三下”压煤开采及煤炭资源的绿色开采,是矿区社会可持续发展的关键目标 and 世界性难题。

利用井下采空区处置煤矸石的充填采煤技术,既可以减少煤矿固体废弃物排放,又可以减轻开采沉陷灾害、提高矿井资源回收率,是实现煤矿绿色开采的理想途径和关键技术之一。但长期以来由于缺乏高效的充填设备和工艺系统,造成过去矸石充填采煤充填效果差、工艺复杂和充填成本高,尤其是不能实现地面沉陷的微变形和保障建(构)筑物安全,使得煤矸石充填采煤技术一直无法得到大面积推广应用,形成了大量矸石升井占地堆放并污染环境、地表塌陷破坏环境和“三下”呆滞资源浪费的多重被动局面。为此,针对边角煤储量大、应力环境复杂、断层多、开采难度大等关键难题,在广泛调研的基础上,提出了“深部厚煤层边角煤回采充填关键技术研究与应用”的试验研究课题,以提高资源采出率,降低资源损失,同时缓解边角煤柱常见的高应力集中现象,降低冲击地压灾害发生几率,并逐步实现矸石不出井直接处理和地面矸石的零排放,消除煤矸石固体污染源。

本编针对煤矿绿色开采技术的前沿问题,开发煤矿边角煤巷采矸石充填成套技术和装备,对于提高矿井资源回收率和减少环境污染具有重要的科学意义和现实价值;同时,研究内容对于进一步研究应用巷采矸石充填技术缓解边角煤柱应力集中和预防冲击矿压具有重要作用。

1.2 国内外研究概况

1.2.1 国外煤矸石处理概况

国外对煤矸石的处理与综合利用研究十分重视,矸石利用率一般在 30%以上,高者可达 80%以上。据资料报道,美国、英国、德国等西方国家煤矸石的总利用率达 90%以上。

美国矿业局从 20 世纪 70 年代开始,对所有的矸石山进行采样分析,并做出煤矸石综合利用规划。苏联煤炭部科技委员会于 1987 年召开了煤矸石的分类、性质和综合利用的专题

会议,研究了煤矸石分类、性质和综合利用有关技术、工艺和设备,除了用于发电、生产砖、多孔轻骨料等建材外,还用含碳较高的煤矸石生产有机矿物肥料。其他一些国家,如英国、法国、匈牙利等国家,也对煤矸石利用进行了研究,并形成了相应的产业链。

国外处理煤矸石的经验主要有两种途径:一是将其掩埋,用于复田造地等,如英国的阿克顿海尔井工矿,自1983年以来,该矿的矸石全部排入与之毗邻的春野露天采场中用于复田造地;二是将其用于发电、制造建材、铺设道路等,如美国成功研究出直接从燃烧着的煤矸石中回收热能,法国对煤矸石分选发电、制作建材,德国将矸石通过加工筛选用于建筑公路、防水堤和垃圾场、建筑物地基处理、地面塌陷区充填等。

还有部分国外煤炭企业对矸石山进行特别处理,使其表面形成表土层,以种草植树,进行绿化,使其恢复生态功能。如德国鲁尔煤炭公司除在矸石山上种草植树外,还进一步把矸石山建成一个完整的生态系统,有湖泊、陆地,为动植物的生存创造条件并成为供人们休闲游玩的自然风景保护区。

在国外,不仅煤矸石的地面综合利用技术先进,矸石的井下处理技术也有长足的发展。在英国、德国等煤矿中的前进式采煤采后成巷中,用挑顶或卧底的矸石,人工或机械构筑巷旁和支架壁后充填,不仅加强了巷道维护,也避免了矸石混入煤中;在薄煤层中,通过垒砌矸石带实现沿空留巷,既降低巷道掘进率,减少巷道掘进工程量和费用,也相应地减少矿井排矸量和煤中混入矸石的几率。

1995年,鲁尔煤炭公司用来充填采空区的矸石量已达20万 m^3 ,该公司与德国蒙坦矿业咨询公司合作研究出泥浆法,建立一套完整可靠的充填系统。矸石作为充填料的骨架,通过混合形成高浓缩固体料—水混合剂,充填采空区,不仅减弱了矿山压力及其对井巷建筑的破坏,防止采空区残煤的自燃,而且可以减轻地面塌陷以及对地面建筑物、耕地的破坏。

另外,国外在减少煤矸石排出量方面也做了大量的工作。一是改革巷道布置,积极推广全煤巷布置。美国、澳大利亚、南非等国家几乎全部采用多煤巷开拓方式。德国和英国也逐渐向全煤巷发展。德国许多矿井已取消了排矸系统。实现全煤巷开拓方式的若干支持技术也有了很大发展:高度集中生产的快速掘进技术使煤巷维护矛盾显得不那么突出,锚、网、喷等综合支护新技术的发展使大断面煤层巷道能长期维护使用,新型辅助运输技术和装备的出现使煤层巷道的适应性有了很大提高。二是选择高效清洁的采煤方法和工艺。采煤方法和工艺直接影响矿井生产的原煤量和地面环境。目前,已开展的工作主要体现在如下几个方面:积极推广大采高开采技术,减少5 m厚以下煤层分层开采时矸石和其他杂物混入煤中的几率;降低原煤含矸率和灰分,同时减少巷道准备工作量,简化煤层多层并采的程序,提高工作面产量和效率。

1.2.2 国内煤矸石研究概况

(1) 煤矸石的组分与性质

煤矸石是煤矿在建井、开拓掘进、采煤和煤炭洗选过程中排出的含碳岩石及岩石,是煤矿建设和生产中的废弃物。然而,其作为一种资源的另一面越来越被学者们所关注,因此对煤矸石性质和分类的研究也日益增多并取得了一定的成果。

煤矸石主要由残煤、碳质泥岩、泥岩、砂质泥岩、粉砂岩、砂岩和硫铁矿等组成,其岩石和矿物成分主要为高岭石、伊利石和绿伊混层等黏土矿物,其余为煤、石英和黄铁矿等。煤矸石中化学成分主要有碳、氢、氧、氮、硅、铝、钾、钙、钠、镁等。煤矸石产地不同,其组分和性质

亦不同。其固定含碳量为 10%~30%, 发热量低者仅为 6 000 kJ/kg 左右, 高者可达 12 000 kJ/kg 以上。

针对煤矸石的分类, 国内学者提出了多种科学的分类标准, 其中, 得到大多学者认可的是以煤矸石的产出方式为主要划分依据, 将煤矸石划分为煤巷矸、岩巷矸、剥离矸、手选矸、选煤矸和自然矸(过火矸)等六大类。

(2) 国内煤矸石利用概况

虽然我国在这方面的研究工作与发达国家相比起步较晚, 技术水平有一定差距, 但是我国在煤矸石供热发电、生产建筑材料和化工产品等诸多资源化技术领域的研究中, 已取得了一系列符合我国国情的具有显著社会环境和经济效益的重要成果, 从而使我国在短短的十几年内, 把煤矸石的资源化利用率由 1987 年的 17% 提高到 2000 年的 43%, 大大缩小了与工业发达国家煤矸石资源化技术水平的差距。

我国《煤矸石综合利用技术政策要点》指出: 煤矸石综合利用以大宗量利用为重点, 将煤矸石发电、煤矸石建材及制品、复垦回填以及煤矸石山无害化处理等大宗量利用煤矸石技术作为主攻方向。发展高科技含量、高附加值的煤矸石综合利用技术和产品。我国矸石处理与利用应以环境保护为目标向资源化方向发展, 体现以下转变: 一是应从开采设计上尽量采用减少矸石产出量的开拓布置与开采技术, 并实现部分矸石井下处理; 二是应对矸石从消极治理转向积极利用与回收资源和能源; 三是应从初级型利用转向高级型利用。

目前, 在煤矸石处理与利用中, 主要基于地面处理及综合利用与井下处理利用两方面。

① 煤矸石地面处理及综合利用。主要基于以下三点: 一是利用煤矸石中的热值部分; 二是利用煤矸石中的化学、矿物成分; 三是作为工程填筑材料。根据我国煤矸石的组成特点, 目前我国矸石地面处理与综合利用途径主要有以下几种:

a. 作为燃料供热发电。我国经过“六五”、“七五”和“八五”的国家科技攻关, 研究成功了利用煤矸石、煤泥等为燃料的沸腾炉和循环流化床锅炉燃烧技术, 建设了一批煤矸石发电厂, 取得了显著的经济效益和环境效益。

b. 制取化工产品及新型材料。以煤矸石为原料可制取氯化铝、聚合铝、明矾、白炭黑和水玻璃等, 也可生产农肥、工业填料及合成系列分子筛、高效絮凝剂等新型材料。如郑州、龙口、南票等矿务局与有关单位合作, 先后开发生产了以煤矸石为主要原料的生物肥料, 改善了土壤的性能, 提高了农产品的产量和质量, 降低了化肥对环境的污染。早在 20 世纪 80 年代, 焦作矿业学院就使用平顶山五矿煤矸石成功合成了 4AMS(即 4A 分子筛)。

c. 生产建筑材料。利用煤矸石可生产建筑材料, 如矸石砖、矸石水泥、轻骨料、空心砌块及陶瓷制品。其中煤矸石烧结砖和煤矸石水泥技术已比较成熟。在我国以煤矸石全部或部分代替黏土, 适当烧制砖的技术成熟于 20 世纪 60 年代初, 并很快就投入生产。目前, 我国用 100% 煤矸石做原料、不用任何燃料烧结空心砖的技术, 在世界上已处于领先水平。

d. 复垦土地, 改善土壤。利用煤矸石作为复垦采煤塌陷区的充填材料既可使采煤破坏的土地得到恢复, 又可减少煤矸石占地及煤矸石对环境的污染。这在我国不少矿区得到了充分的应用, 再造优质农田, 重塑矿区环境。

e. 工程填筑。煤矸石工程填筑是以获得较高的充填密实度, 使煤矸石地基具有较高的承载力并保持足够的稳定性为目的。如徐丰公路庞庄矿区段塌陷区 1.21 km 长路段的路基, 全部采用煤矸石填筑, 使用性能良好。

② 煤矸石井下处理利用。煤矸石井下处理技术的核心是实现矸石不出井或少出井。实际上是通过一定手段,将巷道掘进及煤炭开采过程中产生的矸石处理于井下,实现矸石地面零堆积。我国对煤矸石井下处理的研究工作开始较晚,但是也取得了不少成绩。

a. 减少矸石排放量方面。通过改善矿井开拓与准备方式,优化巷道布置,推广全煤巷布置。兖矿集团取消岩石集中巷后,采用煤层集中巷和单一煤层布置,降低排矸量 20%~40%。我国一些新设计的大型矿井,如济三煤矿、大柳塔矿、补连塔矿,基本上是按全煤巷开拓设计的。积极采用先进的开采工艺和开采方法,推广大采高开采技术,优化综放回采工艺,降低贫化率。如阳泉、潞安、兖矿集团东滩矿等在实践中确定的合理放煤工艺、实现采放平行作业,有效地提高了工作面的采出率,降低了煤的含矸率,实现了洁净开采。煤岩分采,将夹石层掷于采空区或垒砌矸石带护顶,可有效减少含夹矸煤层的矸石混入率。新汶矿业集团泉沟煤矿对含夹矸煤层在采空区垒砌矸石带的洁净开采研究成果取得十分满意的效果。

b. 井下矸石利用方面。现阶段我国通常采用的方法是宽巷掘进、沿空留巷、矸石充填、用做井下喷浆材料(替代沙子)等。这些技术在我国少数矿井已被采用并取得了一定的效果。如在焦作演马庄矿、鸡西城子河矿等地应用风力充填技术对井下巷道进行了巷旁充填,新汶矿务局张庄煤矿以煤矸石代替沙子充填井下采空区,已经取得了较成熟的经验。

尽管我国在井下矸石的处理利用方面已经有了很大的进步,但与国际先进水平差距还很大,利用范围较窄,并且都是从“治”的角度来考虑,即属于滞后处理,不能从根本上解决矸石的井下处理问题。

1.3 研究技术路线

本研究采用现场调研、理论分析、实验室实验、数值计算、工业性试验等综合研究方法,具体技术路线如图 1-1 所示。

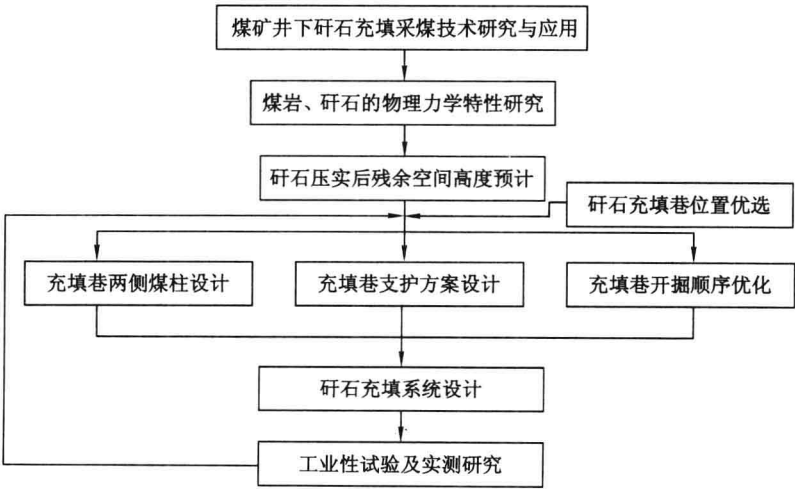


图 1-1 研究技术路线

2 地质和开采条件

2.1 试验区地面相对位置及邻近采区开采情况

试验区位于某矿工业广场西北部,南阳湖农场四分场东部农田下。试验区地面标高 $+32.93\sim+33.08\text{ m}$,井下标高 $-642\sim-636\text{ m}$,走向近 EW,倾向 S,东部为 163_F05 工作面(正在准备),南部为北区 3 条大巷,西部及北部靠近 KF₅₉ 断层。部分试采区已进入南阳湖农场四分场保护煤柱。

试验区井上下对照如图 2-1 所示。



图 2-1 试验区井上下对照示意图

2.2 试验区煤(岩)层赋存特征

试验区主采 3_下 煤, 坚固性系数 $f=1\sim 2$, 厚 5.88~6.20 m, 平均 6.04 m, 属于稳定的厚煤层, 走向近 EW, 倾向 S, 倾角 $0^{\circ}\sim 3^{\circ}$ 。

底板为泥岩、粉砂岩, 顶板为粉砂岩、中砂岩。泥岩、粉砂岩坚固性系数 $f=4\sim 6$, 中砂岩坚固性系数 $f=8\sim 10$ 。顶底板岩性见表 2-1。

表 2-1 顶底板岩性特征表

顶底板名称	岩石名称	厚度/m	岩性特征
基本顶	细砂岩或中砂岩	$\frac{28.7\sim 32.3}{30.5}$	上部灰绿色, 中下部灰白色, 成分以石英为主, 含少量长石、暗色矿物, $f=8\sim 10$
直接顶	粉砂岩	0~1.55	灰至黑色, 以粉砂岩为主, 夹薄层细砂岩水平层理, 含黄铁矿, $f=4\sim 6$
直接底	泥岩	$\frac{0\sim 1.92}{0.84}$	黑灰色, 具滑感, 含植物化石, $f=4\sim 6$
老 底	中砂岩	$\frac{10.7\sim 15.0}{13.61}$	灰白色, 成分以石英为主, 含少量长石, 黏土质胶结, 坚硬, 具斜层理, 并有少量炭质条纹, $f=8\sim 10$

煤层二氧化碳相对涌出量为 $0.417\text{ m}^3/\text{t}$, 瓦斯相对涌出量为 $0.25\text{ m}^3/\text{t}$, 煤尘爆炸指数为 41.15%, 煤层自然发火期为 3~6 个月。

2.3 试验区地质构造

试验区煤层走向近 EW, 倾向 S, 倾角 $0^{\circ}\sim 3^{\circ}$, 为北高南低的单斜构造, 地质构造较简单。预计发育的断层构造见表 2-2。

表 2-2 断层产状参数表

构造名称	走向/ $(^{\circ})$	倾向/ $(^{\circ})$	倾角/ $(^{\circ})$	性质	落差/m	对掘进的影响程度
SF ₄₀₆	180	270	60	正	4.0	较大

2.4 试验区水文地质条件

试验区主要受 3_下 煤顶板砂岩水的影响, 顶板砂岩含裂隙水, 但不均匀, 含水性一般, 以静储量为主。预计最大涌水量约 $15\text{ m}^3/\text{h}$, 正常涌水量为 $3\sim 5\text{ m}^3/\text{h}$ 。

3 巷式矸石充填采煤围岩稳定性分析

巷式矸石充填采煤主要目的是为了实现矸石不出井和开采边角煤资源,故需在保证安全的情况下设计贮矸空间及其两侧煤柱的宽度,进行巷道围岩稳定性力学理论分析,最大限度回收煤炭资源。

3.1 贮矸空间尺寸设计

在设计贮矸空间尺寸及两侧煤柱宽度时,充分布置贮矸空间,最大限度充填矸石,减小煤柱宽度,回采率保证在 45%~70%。此种布置方式需将地表的沉陷与贮矸空间的掘出做统一安排考虑,其时间因素是关键。在一般的开采中,若煤柱宽度设计统一尺寸,在整个开采中,势必造成先采先沉和采动应力叠加,对保护巷道安全极为不利。因此,在设计时,先期掘贮矸空间两侧煤柱宽度可适当加大,后期掘贮矸空间两侧煤柱宽度适当减小。

在煤层中掘进贮矸空间后,顶板岩层被贮矸空间两侧煤柱支撑,形成类似于“梁”的结构。根据岩层物理力学性质,刚度较小的松软岩层将随其下部刚度较大的坚硬岩层一起变形,则岩梁弯曲变形过程中,将与下部的松软岩层发生离层。此时,上覆岩层产生的压力将向梁两端的煤柱上转移,使下部已离层的岩层处于卸压区的范围之内。

根据贮矸空间两侧煤柱对顶板岩梁的约束条件,顶板岩梁可按“简支梁”或“固定梁”的情况进行分析。在正规开采设计中,需通过理论计算与数值模拟的方式相结合,以此来确定合理贮矸空间及其两侧煤柱的宽度。

3.1.1 贮矸空间宽度的确定

根据分析,贮矸空间的合理跨度可按梁的理论进行设计,在进行设计之前首先要确定顶板岩梁所受的载荷。

(1) 顶板岩梁所受的载荷

顶板一般是由一层以上的岩层组成。因此在计算第一层岩层的极限跨度时所选用的载荷大小应根据顶板上方各岩层之间的相互影响来确定, n 层岩层综合影响形成的载荷 $(W_n)_1$ 为

$$(W_n)_1 = \frac{E_1 h_1^3 (\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \cdots + \gamma_n h_n)}{E_1 h_1^3 + E_2 h_2^3 + \cdots + E_n h_n^3} \quad (3-1)$$

式中 $E_1, E_2, \cdots, E_n$ ——顶板各岩层弹性模量;

$h_1, h_2, \cdots, h_n$ ——顶板各岩层厚度;

$\gamma_1, \gamma_2, \cdots, \gamma_n$ ——顶板各岩层容重。

当计算到 $(W_{n-1})_1 < (W_n)_1$ 时,即以 $(W_n)_1$ 作为施加于第一层岩层上的施加影响,而第 $n+1$ 层及以上岩层的重力将不对第一层岩层施加影响。此时即可利用式(3-1)的结果作为岩梁所受载荷来计算煤房的极限跨度。