

国家科技支撑计划课题 2009BAB48B02

煤矿高浓度 胶结充填开采技术

■ 杨宝贵 著



煤炭工业出版社

国家科技支撑计划课题 2009BAB48B02

煤矿高浓度胶结充填开采技术

杨宝贵 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

煤矿高浓度胶结充填开采技术/杨宝贵著. --北京:煤炭工业出版社, 2015

ISBN 978-7-5020-4814-3

I. ①煤… II. ①杨… III. ①胶结充填法—采煤方法
IV. ①TD823.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 047108 号

煤矿高浓度胶结充填开采技术

著 者 杨宝贵
责任编辑 张江成
责任校对 姜惠萍
封面设计 于春颖

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
电 话 010-84657898 (总编室)
010-64018321 (发行部) 010-84657880 (读者服务部)

电子信箱 cciph612@126.com

网 址 www.cciph.com.cn

印 刷 北京市郑庄宏伟印刷厂
经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 17 字数 395 千字
版 次 2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷
社内编号 7669 定价 48.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换,电话:010-84657880

内 容 提 要

本书系统、全面地阐述了煤矿高浓度胶结充填开采方法与技术, 主要包括煤矿充填开采技术概述, 矸石、粉煤灰高浓度胶结充填材料特性, 煤矿高浓度胶结充填料浆输送性能, 矸石、粉煤灰高浓度胶结充填系统, 充填综采工作面液压支架的研制, 采空区高浓度胶结充填综采技术, 充填开采上覆岩层移动与矿压显现规律, 地表沉陷预测。

本书可供煤矿工程技术人员阅读、使用, 也可供相关院校师生参考。

前 言

随着煤炭资源的大量开采,我国“三下”压煤问题日益突出,严重影响许多煤矿企业的正常生产,科学合理地解放“三下”压煤资源,已成为煤矿企业急需解决的重大技术难题。充填开采技术是解放“三下”压煤资源最理想的技术途径,其优点是煤炭资源的采出率高,地表沉陷变形小。但由于充填成本高、充填工艺复杂等因素的限制,在进入21世纪之前充填开采技术没有在煤矿生产中得到大规模的应用。近年来,随着煤矿充填技术的不断发展和充填材料性能的逐步提升,充填开采技术在煤矿开采中的应用越来越广泛,取得了丰硕的成果。

目前在煤矿应用较普遍的充填采煤技术主要有矸石充填采煤技术、膏体充填采煤技术、似膏体充填采煤技术和超高水充填采煤技术。

当代煤矿充填开采技术大多由金属矿充填开采技术发展而来。煤矿充填开采技术具有如下特点:一般情况下,煤矿开采的井田范围要比金属矿大得多,并且开采强度高、产能大,因此煤矿充填开采最大的特点是充填材料的输送距离长、输送量大;煤矿一般采用长壁垮落法开采,采空区覆岩随采随垮,充填所需的空间与通道难以维护,覆岩运动控制困难,可进行充填作业的时间极短,充填与采矿作业在时空上相互干扰严重;煤矿实施充填开采多数是在建筑物下进行,对地表沉陷控制的要求较高,一般要求对建筑物的损坏程度控制在Ⅰ级破坏范围以内,并且要求对地表沉陷控制的长期稳定性和可靠性。结合煤矿充填开采的特点,现有煤矿充填开采技术或多或少地存在一些不足。因此,为了适应煤矿充填开采的需要,不断完善和提高现有煤矿充填开采技术,研究开发新型煤矿充填开采技术显得非常重要和紧迫。

针对煤矿充填采煤技术现状,充分考虑煤矿充填开采的特点,笔者提出煤矿高浓度胶结充填开采技术。煤矿高浓度胶结充填是指以煤矸石、粉煤灰等固体物料、水泥及外加剂,加适量的水作为充填材料,通过活化搅拌,从而将充填材料制备成高浓度料浆,通过管道输送到井下采空区的充填技术。高浓度充填料浆的真实质量浓度一般为74%~82%,塌落度在200~260 mm之间。其胶结充填体内粒级和水泥分布均匀,没有粗、细颗粒分层现象,充

填料浆易泵送，输送阻力较小，便于实现长距离、大流量的输送；井下不需要脱水，充填体强度高、压缩率低，整体性和稳定性好，能够较好地满足充填开采对地表沉陷的控制要求。该技术还有一个最显著的特点是矸石颗粒在充填料浆中具有很好的悬浮性，可大幅降低充填堵管的风险，充填系统的可靠性高。

煤矿高浓度胶结充填开采技术研究工作得到了国家科技部的支持。2009年9月至2014年9月，中国矿业大学（北京）作为主要技术负责方承担了国家科技支撑计划课题——“采空区矸石、粉煤灰充填综合机械化采煤技术”（课题编号：2009BAB48B02）的研究工作，并在汾西矿业集团高阳煤矿的10203工作面成功实现了高浓度胶结充填开采。该课题于2014年9月通过了山西省科技厅组织的专家验收，主要完成了以下研发内容：研究开发了煤矿矸石、粉煤灰高浓度胶结充填材料；研制了适合采空区矸石、粉煤灰充填综采工作面使用的材料制备装备，并实现充填料浆的安全高效输送；研制了综采工作面充填专用液压支架，满足了充填开采的要求；开发了采空区矸石、粉煤灰综采充填工艺技术系统，建成了采空区矸石、粉煤灰高浓度胶结综采充填示范工作面。

本书系统地总结了煤矿高浓度胶结充填开采技术的主要内容。第1章简要介绍了充填开采技术的发展概况，提出了煤矿矸石、粉煤灰高浓度胶结充填开采技术；第2章阐述了煤矿矸石、粉煤灰高浓度胶结充填材料的基础原料测试、材料配比和外加剂研究情况；第3章研究了煤矿高浓度胶结充填料浆的流变性能和管道输送特性；第4章介绍了矸石、粉煤灰高浓度胶结充填的地面制备系统和井下充填装备；第5章阐述了煤矿高浓度胶结充填综采工作面专用液压支架的研制情况；第6章阐述了煤矿高浓度胶结充填开采技术及其在示范工作面的实施和应用；第7章探讨了高浓度胶结充填开采上覆岩层移动与矿山压力显现规律；第8章介绍了高浓度胶结充填开采地表沉陷预测方法及其应用。

成书之际，要感谢那些对我给予关心、帮助和支持的同志。首先要感谢中国矿业大学（北京）资源与安全工程学院王家臣教授，他无私地为我提供了施展的舞台，并始终鼓励支持我开展研究工作；感谢汾西矿业集团韩玉林、李斌、赵有生、张丕林等优秀高级工程师；感谢太原理工大学康立勋、连清旺、冯国瑞、胡海峰等教授；感谢煤炭科学研究总院山西煤机装备有限公司刘金生、李刚等优秀高级工程师；感谢冀中能源集团刘建功、张步勤、史泽

波等优秀高级工程师，他们给予了我极大的指导和帮助；感谢以王俊涛、杨鹏飞、李永亮、李杨、党鹏、彭杨皓等为代表的众多研究生所做的贡献；感谢煤炭工业出版社张江成编辑，他为本书的出版付出了辛勤劳动。再次向所有关心、帮助和支持我的人们，表示衷心的感谢！

期待本书的出版，能够对煤矿充填开采技术的研究和推广应用产生积极的推动作用。由于作者学识水平和实践经验所限，谬误和不当之处在所难免，肯请读者批评指正。

作 者

2015年3月

目 录

1 煤矿充填开采技术概述	1
1.1 煤炭资源开采引发的环境问题	1
1.2 充填开采技术发展概况	3
1.3 煤矿充填开采的特点	4
1.4 煤矿充填开采技术分析	5
1.5 煤矿高浓度胶结充填开采技术的提出	15
2 煤矸石、粉煤灰高浓度胶结充填材料	17
2.1 煤矸石、粉煤灰基本性能测试	17
2.2 煤矿高浓度胶结充填材料配比研究	29
2.3 煤矿高浓度胶结充填材料外加剂研究	34
2.4 高浓度胶结充填体的基本物理化学特性分析	37
3 煤矿高浓度胶结充填料浆输送性能	40
3.1 高浓度胶结充填料浆流变特性研究	40
3.2 高浓度胶结充填材料环管试验	49
3.3 充填料浆管道输送数值模拟分析	63
4 矸石、粉煤灰高浓度胶结充填系统	77
4.1 矸石、粉煤灰充填材料破碎系统	77
4.2 矸石、粉煤灰充填材料配比搅拌系统装备	86
4.3 矸石、粉煤灰充填材料制备电气控制系统装备	98
4.4 现场输送设备选型	100
4.5 井下充填装备	113
5 充填综采工作面液压支架的研制	115
5.1 工作面设备选型配套	115
5.2 数值模拟分析支架工作阻力	116
5.3 支架参数化建模及有限元分析	129
6 采空区高浓度胶结充填综采技术应用	136
6.1 充填综采工作面设计	136

6.2	采空区矸石、粉煤灰充填采煤工艺	138
6.3	生产、充填系统及要求	146
6.4	充填应急处理	149
6.5	充填生产劳动组织	154
6.6	安全技术措施	157
7	充填开采上覆岩层移动与矿压显现规律	160
7.1	充填开采上覆岩层移动规律	160
7.2	充填开采工作面矿压显现规律	177
8	高浓度胶结充填开采地表沉陷预测	197
8.1	充填开采工作面覆岩变形规律研究	197
8.2	充填开采地表沉陷预计模型	228
8.3	充填开采地表沉陷预计	238
附录.....		246
参考文献.....		255

1 煤矿充填开采技术概述

1.1 煤炭资源开采引发的环境问题

我国煤炭资源丰富, 已知含煤区域面积约 $5.5 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。根据第三次全国煤田预测资料, 除台湾省外, 我国 2000 m 以浅的煤炭资源总量约为 $5.6 \times 10^{12} \text{ t}$, 仅次于美国和俄罗斯, 排名第三。我国煤炭资源赋存有以下主要特点: 一是总体呈现北多南少、西多东少的特点, 东南部煤炭资源比较匮乏, 埋藏较深, 开采条件复杂, “三下”压煤比较严重, 西北地区资源丰富, 开采条件相对简单。二是煤层赋存多样, 按煤层厚度分, 薄煤层占 17.36%, 中厚煤层占 37.84%, 厚煤层占 44.80%; 按煤层倾角分, 缓倾斜煤层占 85.95%, 倾斜煤层占 10.16%, 急倾斜煤层占 3.89%。

煤炭在我国一次能源生产和消费构成中长期以来占 70% 以上。2010 年, 我国煤炭、石油、天然气、其他能源生产构成的百分比为 77.4%、9.7%、4.3%、8.6%, 由此可见煤炭在能源消费比例中占绝对主导地位。根据有关机构预测, 到 2050 年, 我国煤炭消费在能源消费中的比重仍会占 50% 左右。

煤炭资源开采为社会经济发展做出巨大贡献的同时, 引发了一系列采动损害与环境问题, 如开采沉陷破坏土地与建筑物、采动破坏水资源与引发突水灾害、矸石排放与矸石山污染环境等。

1.1.1 开采沉陷破坏土地与建筑物

地下煤炭大面积开采导致地表沉陷, 从而严重破坏土地资源和地面建筑物。

煤炭的大规模开采对矿山及其周围环境造成了日益严重的破坏, 据估算, 全国平均每万吨煤开采引起的地表沉陷面积高达 0.2 hm^2 以上。全国已有开采沉陷面积 $4.5 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 以上, 分布于华东、华北、西北、西南、华中等省区。山西省 1949—1998 年共生产原煤约 $5.6 \times 10^9 \text{ t}$, 地面塌陷破坏面积达 $7.0 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 其中 40% 是耕地。开采沉陷造成的矿区环境灾害主要有土地塌陷或积水、农田减产或绝产、道路塌陷、房屋变形破坏等。开采引起的岩层移动是造成矿区塌陷灾害和区域变形的根源, 有效控制岩层移动进而减轻地面塌陷程度, 是解决这一问题的根本途径。

成因分析: 采空区形成后, 上覆岩层发生变形、移动和破坏, 向上发展, 达到地表形成塌陷。地表塌陷可分为连续性塌陷和非连续性塌陷, 这主要取决于煤层开采深度和开采厚度。采深和采厚比值较大时, 表现为连续性塌陷, 具有明显规律性。采深和采厚比值较小, 或有较大地质构造时, 则表现为非连续性塌陷。塌陷的同时, 地表可能还会出现裂缝、台阶和塌陷坑。裂缝一般出现在地表塌陷的外缘, 塌陷深度、宽度与地表岩土性质及变形值有关。采深与采厚比值较小, 裂缝规模较大时, 裂缝两侧产生落差。台阶和塌陷坑多出现在急倾斜煤层开采条件下。地表塌陷的范围、形状及特征, 取决于开采深度、厚度、采空区尺寸、重复采动、采煤方法、顶板控制方式、煤层及上覆岩层产状、岩性、地

质构造、地形、地下水等多种因素。

1.1.2 煤矿突水灾害与水资源破坏

煤矿突水灾害是矿山建设和生产过程中的主要灾害之一,在我国煤矿重大事故中,突水事故在死亡人数和发生次数方面,仅列瓦斯事故之后,居第二位,但给矿井带来的直接经济损失却是最大的。

煤炭开采过程中,人为疏干排水和采动形成的导水裂隙对煤系含水层自然疏干,导致地下水位大面积、大幅度下降,矿区主要供水水源枯竭,地表植被干枯,自然景观破坏,农业产量下降,严重时可引起地表土地沙漠化。

开采造成地表及地下水污染。矿井水、矸石堆淋溶水、选煤废水等普遍含有煤粉、岩粉悬浮物及可溶性的无机盐类。在我国西部、黄淮地区,矿井水矿化度较高,而南方矿井含硫高,矿井水多呈酸性。废水的排放对地表河、湖、水库等水资源污染严重,并导致矿区土地贫化,使植被受到污染,严重影响农业可持续发展。

成因分析:一是我国煤矿水文地质条件比较复杂。大中型煤矿中,水文地质条件属于复杂或极复杂类型的煤矿占 25.04%,属于水文地质条件简单的仅占 39.49%。二是煤炭生产过程中常有地下水或地表水涌入矿井,超过矿井排水能力时,可导致矿井水灾的发生。矿床充水或矿井涌水的水源和通道,是形成矿井充水的主要因素,也是形成矿井涌水的两个方面,其他因素仅能影响矿井涌水量。煤矿开采过程中破坏了地下含水层原始径流,大量排出地下水,造成区域含水层水位下降,形成大规模地下水降落漏斗,直接影响区域水文条件。

1.1.3 煤矸石露天排放占用土地、污染环境

煤矸石是煤矿排放量最大的固体废弃物,排放量占当年煤炭产量的 10%~15%,占全国工业固体废弃物的 20% 以上,为工业固体废弃物排放累计量和占地面积最大的一种。矸石的排放,进一步加剧了我国土地资源短缺的局面。煤矸石大量堆积,除了占用大量土地,侵蚀大片良田外,煤矸石风化后的扬尘还会危及周边环境。煤矸石中含有的重金属、硫化物在风化或遭受淋溶后,严重污染大气、土壤和地下水源;煤矸石长期堆积发生自燃,排放的二氧化硫、氮氧化物、碳氧化物和烟尘等有害气体污染大气环境,影响矿区居民的身体健康。

成因分析:煤炭是我国的第一能源,我国发电总量的 70% 由燃煤电厂供给。在我国现代化进程中必须有足够的能源保证,在大力发展煤炭和电力生产的同时,就必然相伴产生大量的煤矸石。由于种种原因,我国煤矸石综合利用率还比较低,目前,我国煤矸石利用率不足 50%,这就必然占用大量土地进行堆放。据统计,我国煤矸石积存量约 3.0×10^9 t,矸石山占有土地 $(3.5 \sim 4.0) \times 10^5$ hm²,且每年以 $(2 \sim 5) \times 10^3$ hm² 的速度递增。

造成上述煤炭开采问题的原因尽管是多方面的,但究其主要因素,则与我国井工开采顶板控制的方法有关。我国井工开采顶板控制的方法,目前以长壁垮落顶板控制法最为普遍。长壁垮落顶板控制法便于实现采煤工作面机械化、高产、高效,操作方便,适用于薄、中、厚各种煤层,是我国煤矿开采主导的顶板控制方法。这种方法着重考虑回采过程中顶板灾害对于回采空间的危害,而较少考虑开采后岩层下沉运动对环境、生态、建筑物

等的破坏。因此,垮落顶板控制法的使用条件与改进途径,是一个十分迫切并值得研究的重大课题。我国煤炭科研工作者近年来研究并实践了用煤矿充填采煤技术解决垮落顶板控制法的弊端。

1.2 充填开采技术发展概况

随着采矿工业的不断发展和矿山环境保护的需要,矿山充填技术逐渐发展起来,至今已有百年历史。1915年澳大利亚的塔斯马尼亚芒特莱尔矿和北莱尔矿首次应用废石进行充填,成为历史上最早有计划进行充填的矿山。河砂、煤矸石和电厂粉煤灰等常作为充填使用的材料。波兰主要采用水砂充填来开采城镇及工业建筑物下压煤。我国蛟河煤矿以破碎矸石为充填材料,抚顺矿区用废油母页岩充填采空区。在充填材料输送方法中,除传统机械输送外,英国、法国、比利时等国还不同程度地采用了风力充填方法。

近60年以来,国外金属矿山和非金属矿山在充填开采领域均取得了较大的进展,我国积极吸取国外的先进经验,并加大自主研发力度,已逐步缩小与国外的差距。总体来看,国内外矿山充填技术的发展大致可以概述为4个发展阶段。

第一阶段:20世纪40年代以前,在没有认识充填材料性质和使用效果的前提下,为了处理固体废物,将矿山开采所产生的固体废料充入井下采空区。例如,澳大利亚北莱尔矿、加拿大诺兰达公司霍恩矿分别将废石和粒状炉渣加磁黄铁矿充入井下采空区,以处理固体废物。

我国在20世纪50年代以前,一直选择废石作为矿山充填材料,主要目的是为了处理固体废弃物。在50年代初期,废石干式充填开采技术是当时我国主要的矿山充填开采方法之一。在50年代中期,废石干式充填开采技术在有色金属矿山开采中占到了约40%,在黑色金属矿山开采中接近55%,之后,其低效率和生产能力小的特点制约了该充填采矿技术的进一步发展,导致干式充填开采技术逐渐被淘汰。到了60年代前期,其产量在有色金属矿山之中只占0.7%。

第二阶段:20世纪40—50年代,澳大利亚和加拿大等国开发并应用了水砂充填技术,如澳大利亚的布罗肯希尔矿,加强了对充填材料和工艺的相关研究与应用。使矿山充填工艺过程成为矿山开采系统的工作计划之一。水砂充填选用尾砂、炉渣、碎石等为材料,充填材料利用管道水力输送到井下采空区,以达到防止围岩破坏的目的。水砂充填料浆的浓度在60%~70%之间,被输送到井下采空区后需大量脱水。

从20世纪60年代起,我国开始采用水砂充填工艺。60年代,湖南冷水江锡矿山南矿采用尾砂水力充填采空区工艺,有效控制了大面积地压活动,减缓了地表下沉;湘潭锰矿为防止矿坑内因火灾,采用碎石水力充填工艺,效果显著。70年代,水砂充填技术进一步发展,已有60余座金属矿山采用该项技术。

第三阶段:20世纪60—70年代,尾砂胶结充填技术开始得到广泛研究和应用。该技术特点是充填料浆胶结后形成的充填体自立性好,能够保持较高的强度。尾砂胶结充填技术能够满足新形势下矿山开采对充填技术的要求,逐渐成为应用最广泛的充填采矿技术。同时,也开展了关于充填材料、充填体稳定性、充填体—围岩关系等研究工作。

在20世纪60年代,我国胶结充填主要采用传统的混凝土充填;从70年代开始,凡口铅锌矿、招远金矿和焦家金矿等矿山采用水泥作为主要胶凝材料,选用尾矿、天然砂和

棒磨砂等作为充填集料,进行细砂胶结充填开采。细砂胶结充填工艺具有充填体强度高和料浆易于输送的优点,在 80 年代得到广泛应用。截至 90 年代,细砂胶结充填技术越来越成熟,国内 20 余座矿山采用了该技术。

第四阶段:20 世纪 80—90 年代,为实现高效回采、降低开采成本和保护环境,国内外学者在充填骨料、充填料浆的特性等方面的研究工作取得了很大进步。充分利用充填料浆的特性,发展了高浓度充填、结构流或似结构流充填和膏体充填等技术;利用充填材料,发展了全尾砂胶结充填、废石胶结充填,以及矿山固体废弃物胶结充填开采等技术。

经过几十年的发展,充填开采技术在金属矿山得到普及。煤矿从最早的矸石充填,到目前的胶结充填,充填开采技术已发展成熟,为开采煤矿“三下”压煤提供了技术支持。但是,由于煤矿开采环境的复杂性,导致充填采矿法并不能照搬非煤矿山的开采工艺及系统,采矿工作者不得不借鉴非煤矿山的成熟充填技术,并结合煤矿特有的开采特点,研究开发适用于煤矿开采的充填采煤法。目前,我国煤矿应用的充填开采技术主要有矸石充填、膏体充填、高水充填、高浓度胶结充填和覆岩离层注浆充填等。

1.3 煤矿充填开采的特点

近几十年以来,充填开采在金属矿山的推广应用取得长足进步,这一方面是由于金属矿山地下开采深度逐步增大,需要维护金属矿山和采场的稳定,另一方面是由于提高资源回收率 and 环境保护的需要。但充填开采在煤矿还没有得到广泛使用,这与煤矿采用充填开采的特殊条件密不可分。与金属矿山充填开采相比,煤矿充填开采的特点主要表现在以下几个方面。

1. 采煤生产能力与充填生产能力不均衡

充填开采中,采矿和充填互相制约,由采矿和充填这两个作业环节组成的回采作业大循环共同决定矿井的开采效率。因此,只有实现采矿和充填的均衡,充填技术才有生命力,才会在矿山有效应用。

事实上,采煤生产能力与充填生产能力的不均衡问题非常突出,即充填生产能力与采煤生产能力无法匹配。与金属矿山炮采工艺相比,煤炭地下采矿法早已实现综合机械化,即落煤、装煤、运煤、支护和放顶 5 道工序全部采用机械化作业,涌现出工作面年产百万吨以上,甚至千万吨的地下特大型煤矿。因此,煤矿充填技术必须适应矿山高产高效生产要求。但是目前的充填能力一般无法与高产高效的采煤技术相匹配。

2. 煤炭生产过程中产生的废弃物与充填材料供需不均衡

金属矿山一般采用掘进废石、尾砂(占矿石开采量的 50%~99%)、冶炼炉渣等废弃物作为充填料,完全解决了充填材料供需均衡的问题。与金属矿山相比,煤矿自身工业废弃物比例小,煤矿的矸石一般仅为煤炭开采量的 15% 左右,采空区全部充填难以解决充填材料来源困难的问题。因此,寻找丰富低廉的充填材料,以解决充填材料供需均衡问题,是充填采煤方法成功应用的必要条件之一。

3. 煤系地层采后岩层移动与破坏规律复杂,充填作业时空受限

金属矿脉及其顶底板一般都属于硬岩,矿石被采出后留下的地下空间在相当长的时间内可以保持稳定。因此,其充填的空间非常规则和完整,而且充填的顶板岩体控制十分简单,基本可以实现采矿与充填作业的分离,充填与采矿作业相互干扰较小。但对煤矿而

言,煤矿所开采的煤炭资源分布在层状沉积岩层中,采用长壁垮落法开采时采空区覆岩随采随垮,难以维护充填所需的空間,可进行充填作业的时间极短。因此,煤矿充填与采煤作业相互干扰严重。

4. 充填成本与采矿效益均衡问题

充填开采与其他开采方法相比,最大限度地采出地下煤炭资源,保证了安全生产,增加了矿山经济效益。但充填开采需要增加充填设备和充填工序,矿山必须为此支出充填费用。就我国煤矿目前充填现状而言,只有当充填成本小于因开采引起的土地破坏和村庄搬迁所需赔偿费用时,充填成本与采矿效益才可实现均衡,充填技术才会在煤矿得到有效应用。

1.4 煤矿充填开采技术分析

随着煤炭资源的大量开采,“三下”(建筑物下、铁路下、水体下)压煤问题越来越突出,严重影响煤矿企业的正常生产。目前,我国几乎每个矿井都存在“三下”压煤,压煤量一般占矿井储量的10%~40%,华东矿区有的矿井高达60%以上。因此,在保证地表建(构)筑物安全的前提下,开发充填采煤新技术,提高“三下”压煤的采出率和合理处理固体废弃物,已成为我国煤矿企业急需解决的重大技术问题。

我国矿山充填工艺与技术的发展,经历了废石干式充填、分级尾砂和碎石水力充填、混凝土胶结充填、以分级尾砂和天然砂作为充填料的细砂胶结充填、废石胶结充填、高浓度全尾砂胶结充填和膏体泵送胶结充填的发展过程。煤矿充填开采是建筑物下压煤开采的最理想技术途径,其优点是煤炭资源的采出率高,但由于受充填成本高、充填工艺复杂等因素的制约,没有得到大范围的应用。近几年,随着煤矿充填技术的不断发展,充填开采技术在煤矿开采中的应用也越来越广泛。

从我国煤矿充填发展过程来看,充填开采技术可分为传统煤矿充填技术和现代煤矿充填技术。

1.4.1 传统煤矿充填技术

1. 水力充填法

水力充填法是采用水力输送方式,通过充填管路将充填料浆送入采空区进行充填的煤矿采空区充填工艺。

水力充填由于采用管道输送,因此对充填材料的最大粒径有所限制,否则管道易被堵塞。同时,要求充填材料遇水后不发生崩解,能够迅速沉淀,细颗粒不能过多。常用的水力充填材料有碎石、砂卵石、山砂、河砂和工业废渣。水力充填采煤法在阜新、辽源、鹤岗、鸡西、淮南等矿区得到应用,并成功解决了“三下”压煤问题。

2. 粉煤灰充填法

1978—1979年,山东新汶矿务局张庄煤矿首先在国内进行了高浓度粉煤灰胶结充填随采随充试验,解决了粉煤灰脱水、流失、压缩沉降等关键技术问题,系统充填能力与河砂充填相比提高50%,未发生堵管事故。

3. 风力充填法

风力充填法是利用风压实施充填,将充填材料通过垂直管路输送到井下贮料仓,然后

由普通输送机输送到采空区风力充填机。风力充填机利用风压,通过充填管道,将充填材料输送到采空区进行充填。风力充填的主要设备是风力充填机、空气压缩机、充填管和供水管等。

充填机一般设在距充填作业面 50 ~ 100 m 处。作业面风力充填的关键设备是与其相匹配的液压支架。该液压支架后部设有后梁和尾梁,用以维护充填空间和悬挂风力充填管。充填工作一般是从充填管出口端开始,后退进行。充填时,充填体被挡板式掩护板隔离。充填前移后,充填体塌落并堆积成自然安息角,由此形成的空间在下次充填时,再予以充满。

4. 矸石自重充填

当煤层倾角较大时,采用矸石自重充填法对采空区进行充填。该充填工艺用单轨吊车、齿轨车或卡轨车等新型辅助运输工具,将矸石由掘进工作面直接运输、倾卸到采空区。

我国多数煤层一般以一定的角度赋存,因此当矸石置于采场上部煤层底板时,均不同程度地产生向下的滑动和滚动效应,且其趋势随煤层倾角的增大而增加。因此,从静力学角度来看,矸石自重充填要求煤层的最小倾角为

$$\alpha = \arctan f$$

式中 α ——煤层倾角;

f ——物体与斜面间摩擦系数。

实际上,硬度不同的岩石与岩层面之间的摩擦系数是不同的,对于中硬岩石,摩擦系数的取值范围为 0.8 ~ 1.0。当煤层倾角 $\alpha \geq 45^\circ$ 时,即可满足自重充填的条件。随着充填材料在自重充填过程中滚动效应的增强,满足自重充填条件的倾角随之减小。为了取得较好的充填效果,要求在煤层倾角不小于 30° 时使用。

5. 矸石带状充填

矸石带状充填是沿工作面开切眼或推进方向,每隔一定距离垒砌一个矸石带来支撑顶板,以达到减少地表下沉的目的。矸石带状充填有人工砌筑矸石带和矸石袋充填两种。其减沉效果取决于垒砌的矸石带能否承受住上覆岩层的压力。矸石带的长轴方向尽量避免与地面建筑物的长轴方向正交,以避免地表扭曲变形对建筑物的影响。

在特定条件下,如薄煤层且夹矸较厚时,可采用矸石带状充填法,该方法可减少矸石外运量,提高煤质和改善顶板控制。采用炮采工艺的薄煤层工作面、交通不便的边远地区,以及缺煤地区或煤层厚度小于 0.8 m 的缓倾斜及不稳定煤层,均可采用该法。

1.4.2 现代煤矿充填技术

现代煤矿充填技术按是否可实现减沉,可分为减沉充填开采和其他充填技术两大类。减沉充填开采即充填采煤,一般应用在解放“三下”压煤、合理处理固体废料、控制地表下沉等方面;其他充填技术是指不涉及减沉开采的充填技术,包括混凝土膏体材料充填沿空留巷、高水速凝材料充填密闭等技术。

按充填量和充填范围占采出煤层的比例不同,现代减沉充填开采技术可分为全采全部充填开采与全采部分充填开采两种。

1.4.2.1 全采全部充填开采

全采全部充填开采是指在煤层采出后、顶板未冒落前,对所有采空区域进行充填,充

填量和充填范围与采出煤量大体一致，完全靠采空区充填体支撑上覆岩层，控制开采沉降。该开采方法在金属矿山得到了广泛的应用。由于全采全部充填开采法是一种采出率高、贫化率低的采矿方法，特别在地表不允许破坏和有自燃倾向的矿床开采中，具有无可替代的优势。

1. 矸石充填采煤技术

矸石充填采煤法是利用风力、重力、机械等作为动力，将充填材料（煤矸石）抛入或输入采空区的充填采煤方法。根据充填料充填采空区的动力方式不同，可将矸石充填方法分为人工矸石充填、矸石自溜充填、风力充填、机械化矸石充填。充填系统的充填料一般由矸石、砂子、采石场碎石及粉煤灰等组成，但成分以煤矸石为主，一般不需要加入胶结料或其他添加剂。

1) 机械化矸石充填

机械化矸石充填根据工作面采煤工艺的不同，可分为普通机械化矸石充填和综合机械化矸石充填两种，前者主要应用于炮采、普采工作面，后者应用于综采工作面。

(1) 普通机械化矸石充填工艺特点是多采用专门的机具（如抛矸机等），将矸石抛向采空区进行充填。新汶矿业集团泉沟煤矿于 2006 年开始试验和使用这种充填采煤法。该法利用井下矸石充填采空区，充填系统简单，装备投资少，多用于薄及中厚煤层普采或炮采工作面回收井筒煤柱、工业场地煤柱，当煤层有一定倾角时，有利于矸石充填密实。普通机械化矸石充填工作面布置如图 1-1 所示。

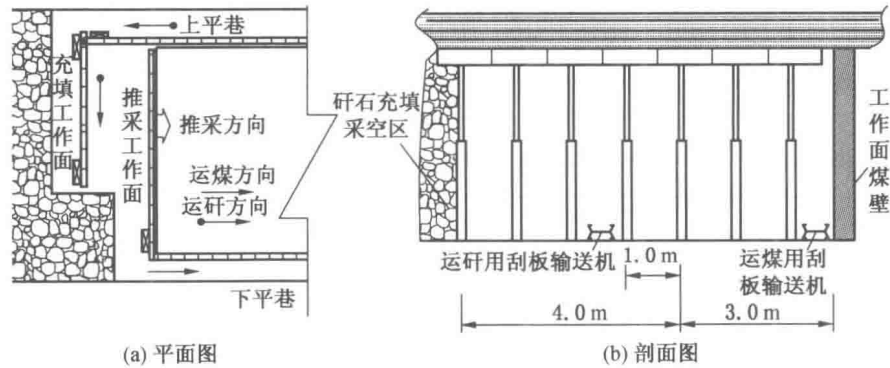


图 1-1 普通机械化矸石充填工作面布置

(2) 综合机械化矸石充填采煤是指在综合机械化采煤作业面上同时实现综合机械化矸石充填作业。实现充填采煤的技术难点是解决实施充填的充填空间、充填通道和充填动力问题。该技术可实现在同一液压支架掩护下，采煤与充填同时作业，且采煤与运煤系统布置与传统综采完全相同。为实现矸石从地面运至充填工作面的高效连续充填，需布置 1 个充填运输系统。充填装备由后端带悬梁的自移式液压支架和充填刮板输送机组成。充填输送机中部溜槽内设置溜矸孔，溜矸孔开在溜槽的中板上。在溜矸帮上增设带插板的插槽，以控制矸石的充填顺序和范围。刮板输送机上链运输矸石充填，下链推平矸石。进行充填时，每次打开 2 个溜矸孔，自下而上进行充填。采空区充填完毕后，随工作面采煤机

割煤及支架推移，进入下一个循环。为了减少充填矸石的压缩量，以实现更好的减沉效果，支架后部增设了液压夯实装置，具体如图 1-2 所示。

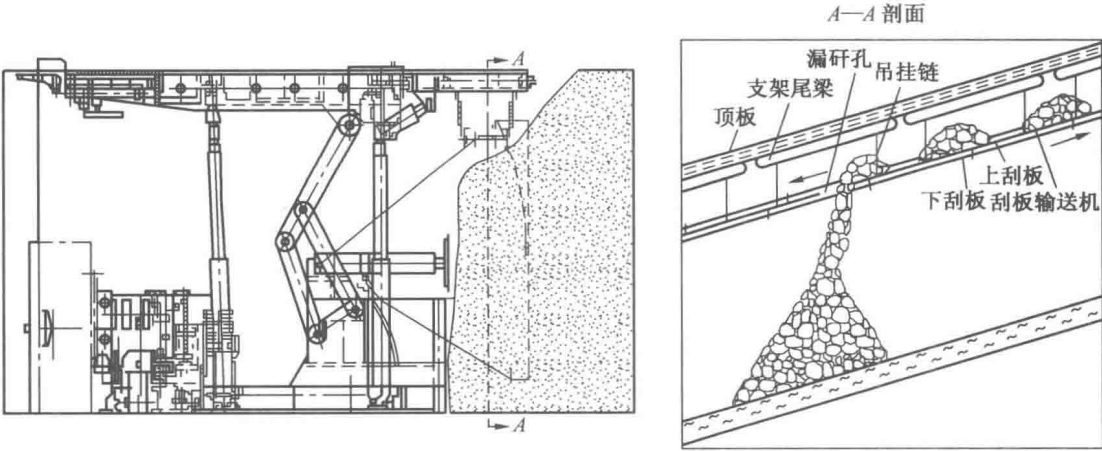


图 1-2 综合机械化矸石充填工作面设备配套

综合机械化矸石充填系统相对简单，机械化程度高，充填系统的初期投资比膏体充填低，一般小于 1000 万元，吨煤充填成本相对较低，一般为 40~80 元。但矸石充填的密实度相对较低，对岩层移动与地表沉陷的控制效果不如膏体充填。目前，综合机械化矸石充填采煤技术已在新汶、淮北、皖北、平顶山等矿区开展试验和推广应用。表 1-1 列举了矸石充填采煤技术在部分煤矿中的应用情况。

表 1-1 矸石充填采煤技术应用情况汇总

项 目 名 称	煤 矿 名 称	进 展 情 况
综采工作面高效机械化矸石充填技术	新汶翟镇煤矿	已实施
煤矿井下原生矸石充填技术	新汶生盛泉矿业公司	已实施
县城下综合机械化矸石充填技术	淮北杨庄煤矿	正在准备
巨厚火成岩综合机械化矸石充填技术	淮北海孜煤矿	正在准备
建筑物下综合机械化固体充填采煤	冀中能源邢台矿	已实施
含水层下矸石充填开采	皖北煤电五沟矿	正在准备
普采矸石充填技术	新汶鄂庄煤矿	已实施
村庄下普采矸石充填技术	枣庄大兴煤矿	已实施
普采矸石充填技术	新汶华丰矿	已实施

2) 不同矸石充填采煤法对比