

泰山学者建设工程专项经费（201309）资助

煤矿充填开采 技术与实践

孙希奎 赵庆民 李秀山 施现院 常庆粮 著



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

泰山学者建设工程专项经费(201309)资助

煤矿充填开采技术与实践

孙希奎 赵庆民 李秀山 著
施现院 常庆粮

中国矿业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

煤矿充填开采技术与实践 / 孙希奎等著. —徐州:
中国矿业大学出版社, 2017.11
ISBN 978 - 7 - 5646 - 3370 - 7
I. ①煤… II. ①孙… III. ①煤矿开采—充填法—研
究 IV. ①TD823.7
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 313278 号

书 名 煤矿充填开采技术与实践
著 者 孙希奎 赵庆民 李秀山 施现院 常庆粮
责任编辑 马晓彦
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 江苏凤凰数码印务有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 10 字数 191 千字
版次印次 2017 年 11 月第 1 版 2017 年 11 月第 1 次印刷
定 价 39.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

煤炭作为基础能源,在我国国民经济发展中占据不可替代的重要地位,占一次消耗能源构成的70%以上。然而,长期以来我国煤炭资源大多采用粗放的开采方式,煤炭资源的大规模开采给我国带来巨大经济效益和社会效益的同时,忽略了环境保护,致使煤炭资源回收率低、废弃物排放量大、矿区生态破坏严重。据统计,目前我国因采矿造成的地面塌陷面积近7 000 km²,发生采矿塌陷灾害的城市近40个,每年因采矿地面塌陷造成的损失达4亿元以上。同时,煤矸石是煤炭开采和洗选中的废弃物,是煤矿排放量最大的固体废弃物之一,目前已累计堆积40亿t,占地约20多万亩,而且还以每年近4亿t的速度增加,占用大量土地,污染水质、空气,并形成酸雨危害。

为了保护生态环境,推进煤炭生产方式的改革,近年来,绿色开采、绿色矿业、生态矿山等理念相继提出,并得到国际采矿界广泛的认可。我国广大煤炭科技工作者为此进行了大量的研究和实践,探索出了一系列减轻采动破坏的技术与方法,其中充填开采技术具有采动安全性高、采出率高、环境友好等优点,该技术是煤炭工业贯彻落实科学发展观、实现绿色采矿的重要举措,对保护我国矿区生态环境具有重要的现实意义及深远影响。

淄博矿业集团有限责任公司与山东省充填开采工程技术研究中心、山东康格能源科技有限公司、中国矿业大学、徐州中矿大贝克福尔科技股份有限公司合作,对充填开采技术进行了10余年探索研究与实践,取得了一定的成果,集成此书。本书以淄博矿业集团有限责任公司许厂煤矿、岱庄煤矿膏体充填开采为依托,结合国内外最新发展动态和研究状况,系统、全面地总结阐述膏体充填采煤的技术原理及其基础理论成果和实践经验。其中主要包括充填材料组成及选择、膏体充填开采采场覆岩控制机理及支护强度的确定、充填体强度确定、膏体充填矿压显现及岩层控制、膏体充填采煤系统及工艺流程等相关研究成果,为煤矿膏体充填开采技术提供理论与技术支撑,并将研究成果应用于煤矿生产实践,取得了显著的经济效益和社会效益。

借本书出版之际,对中国矿业大学周华强教授、吴锋锋副教授、徐营副教授;徐州中矿大贝克福尔科技股份有限公司总经理助理孙晓光,技术人员朱友荣、胡

兴斌、李亮、胡永锋、宋光远；中国矿业大学硕士研究生唐维军、李毅、李向阳、刘泽旭、屈稚林等支持和帮助本书出版的各位专家、老师和朋友表示衷心感谢！对本书引用文献的作者表示衷心感谢！

本著作的研究和出版得到了山东省泰山学者专项经费(201309)的资助。在此表示衷心感谢！

由于研究水平和条件有限，书中难免存在不足之处，望读者不吝赐教。

作 者

2017年8月

目 录

第一章 我国煤矿开采技术的研究概况	1
第一节 我国煤矿开采的现状	1
第二节 煤矿充填开采研究现状	2
第三节 充填开采的技术特点与发展趋势	9
第二章 充填开采覆岩变形特征与控制机理	18
第一节 煤矿开采覆岩变形破坏的基本规律	18
第二节 充填方法及其特点	20
第三节 充填开采覆岩变形特征的模拟研究	23
第四节 充填开采覆岩变形控制机理	32
第三章 充填开采控制地表变形的影响因素分析	35
第一节 开采沉陷对建筑物的影响	35
第二节 充填开采的设计原则	35
第三节 充填开采地表沉陷预测公式	39
第四章 膏体充填材料选择与配比	49
第一节 充填原材料调查与选择	49
第二节 膏体充填原材料分析	51
第三节 膏体充填材料配比要求	56
第四节 贝福剂的组成及特性	56
第五节 充填材料配比试验研究	57
第五章 膏体充填材料性能试验研究	66
第一节 单轴压缩强度试验	66
第二节 抗剪强度试验	71
第三节 单轴压缩变形性能	77

第四节 膏体试件几何形态的影响	83
第六章 膏体充填液压支架与充填采煤方法研究	85
第一节 充填支架与工作面隔离	85
第二节 膏体充填采煤方法	92
第三节 工作面管快速整体前移技术	94
第七章 充填工艺系统组成与控制技术	96
第一节 充填工艺系统	96
第二节 关键技术	98
第三节 工作面管堵管处理方法	109
第四节 堵管搅拌泵送系统的处理	110
第八章 充填开采工程案例及效果	111
第一节 许厂煤矿工业性实践	111
第二节 岱庄煤矿工业性实践	113
第三节 矿山压力实测	115
第四节 地表沉陷实测	127
第九章 其他充填开采技术	138
第一节 矸石充填开采技术	138
第二节 高水充填开采技术	143
第十章 充填采煤相关政策及发展前景	145
参考文献	147

第一章 我国煤矿开采技术的研究概况

第一节 我国煤矿开采的现状

我国是“富煤、贫油、少气”的国家,这一特点决定了煤炭将在一次性能源生产和消费中占据主导地位且长期保持改变。2015 年我国煤炭消费量占能源消费总量的 64.0%,水电、风电、核电、天然气等清洁能源消费量占能源消费总量的 17.9%。目前我国煤炭可供利用的储量约占世界煤炭储量的 11.67%,位居世界第三。我国是当今世界第一产煤大国,煤炭产量占世界的 35%以上。我国也是世界煤炭消费量最大的国家,煤炭一直是我国的主要能源和重要原料,在一次能源生产和消费构成中煤炭始终占一半以上。

据统计,截至 2015 年底,中国煤矿总产能达到 56.47 亿 t。其中,生产矿井产能 39.23 亿 t,改扩建矿井产能 7.4 亿 t,新建矿井产能 9.16 亿 t,许可证注销矿井产能 0.68 亿 t。从产能分布来看,中国煤炭产能 27%分布在山西,数量高达 15.28 亿 t(包括山西省公告的 13 座未核准建设煤矿产能计 7400 万 t/a),其中生产矿井产能 10.4 亿 t,新建和改扩建矿井产能 4.88 亿 t;其次为内蒙古,该区产能为 11.7 亿 t,占全国总产能的 21%,其中,生产矿井产能 8.1 亿 t,新建和改扩建产能 5.6 亿 t;排名第三的是陕西省,产能共 6.7 亿 t,其中在产产能 4 亿 t,新建和改扩建矿井产能 2.6 亿 t。

对于我国目前煤矿开采技术水平而言,通过多年技术改造,技术水平已有很大提高,建成了一批具有世界先进水平的大型煤炭企业,这些企业基本上实现了采煤综采化、掘进综掘化、运输机械化、监测监控自动化、管理手段现代化。年产 400 万~600 万 t 煤炭的综采技术装备实现了国产化。2005 年,国有重点煤矿采煤机械化程度达到 82.7%,一批煤炭企业的生产和安全指标达到世界先进水平。但是与发达国家相比,我国煤炭行业整体技术水平较低,特别是中小型煤炭企业,小型矿井生产技术装备水平极低;乡镇煤矿生产工艺落后,浪费资源现象严重。

我国在采用综采开采技术后,虽然提高了煤炭开采效率,降低了开采成本,

提高了煤矿开采安全保障度,但是一直以来却忽视了煤炭开采带来的生态环境问题,致使煤矸石等废弃物排放量高、环境破坏严重。据统计,目前我国采矿造成的地面塌陷面积近 $7\,000\text{ km}^2$,发生采矿塌陷灾害的城市近 40 个,每年因采矿地面塌陷造成的损失达 4 亿元以上。同时,煤矸石是煤炭开采和洗选中的废弃物,是排放量最大的固体废弃物之一,目前已累计堆积 40 亿 t,占地约 20 多万亩,而且还以每年近 4 亿 t 的速度增加,占用大量土地,污染水质、空气,并造成了酸雨的危害,构成了对生态和环境的双重破坏。

为深入贯彻落实党的十八届五中全会、中央财经领导小组第六次会议和国家“十三五”规划纲要精神,践行“创新、协调、绿色、开放、共享”发展理念,推动实施能源“四个革命、一个合作”的战略思想,充分发挥能源技术创新在建设清洁低碳、安全高效现代能源体系中的引领和支撑作用,促进煤炭工业与生态环境协调发展,建设和谐社会,推进煤炭生产方式变革势在必行。

第二节 煤矿充填开采研究现状

一、充填开采技术的发展历史

世界上记载有计划的矿山充填已经有近百年的发展历史,经历了废石干式充填、水砂充填、低浓度胶结充填、高浓度充填/膏体充填等四个发展阶段,一般认为:

第一个阶段,20 世纪 40 年代以前,以废石干式充填为代表,充填的目的是处理废弃物。如澳大利亚塔斯马尼亚芒特莱尔矿和北莱尔矿在 20 世纪初进行的废石干式充填;加拿大诺兰达公司霍恩矿在 20 世纪 30 年代将粒状炉渣加磁铁尾矿充入采空区;中国为 20 世纪 50 年代初期以废石干式充填作为金属矿山的主要采矿方法之一,1955 年在地下开采的有色金属矿山中采用废石干式充填方法的比重占 38.2%,在黑色金属矿山地下开采中采用该方法的达到 54.8%。废石干式充填方法的主要问题是其效率低、生产能力小和劳动强度大,满足不了采矿工业发展的需要。自 20 世纪 50 年代以后,废石干式充填所占比重逐年下降,1963 年,中国有色金属矿山采用废石干式充填方法的只占 0.7%。

第二阶段,20 世纪 40~50 年代,以水砂充填为代表。水砂充填在国内外煤矿一度作为解决地表开采沉陷、保护建(构)筑物的主要方法,曾经得到比较广泛的应用。世界上水砂充填最先进、应用最好的是波兰。1967 年波兰水砂充填法采煤占到总产量的 50.2%,目前,水砂充填法产煤量仍占波兰煤炭产量的 10%~20%。波兰以水砂充填为主,配合协调开采等措施,成功进行了卡托维兹(Ka-

twice)、比托姆(Bytom)等城市下采煤。波兰吴杰克煤矿(Wujek)是欧洲最大的水砂充填矿井,年产量220万t/a,水砂充填产煤量占70%,充填管线最长达4.5 km,典型的水砂充填工作面布置在卡托维兹市国际铁路车站下,工作面煤壁长214 m,走向长2 000 m,采高3.2~3.5 m(煤层厚度7 m左右,分两个分层开采),煤层倾角 $4^{\circ}\sim 6^{\circ}$,采深700 m,采用综合机械化采煤,液压支架为带铰接尾梁和爬梯的支顶掩护式,其中尾梁由固定在掩护梁上的立柱支撑,采煤机割煤以后,即用圆木架棚,液压支架顶梁作用在圆木棚架下面支护顶板,支架后面每3.5~4.2 m为一个充填步距,充填区由圆木棚架和木点柱支护,用木点柱与编制塑料布作隔离墙,水砂充填料的水砂比为1:1,一天一个正规循环,两班采煤,一班充填,工作面煤炭产量为3 500 t/d,年产量超过100万t/a。中国也是世界上最早应用水砂充填的国家之一。1901年,扎赉诺尔煤矿开始应用水砂充填。1952年以后,水砂充填逐渐在抚顺、阜新、鹤岗、辽源、蛟河、井陉、新汶等煤矿推广应用。1957年,水砂充填采煤量达1 117万t,占全国煤炭产量的15.58%。1965年,锡矿山南矿首次采用尾砂水力充填。20世纪70年代之后,由于水力充填开采需要脱排水,以及系统复杂、成本高等原因,逐渐减少,目前中国煤矿已经基本不再使用。

第三阶段,20世纪60~70年代,以低浓度尾砂胶结充填为代表。由于非胶结的水砂充填体无自立能力,难以满足高回采率和低贫化率的需要,在水砂充填工艺得以发展和推广应用以后,开始发展采用尾砂胶结充填技术。代表矿有澳大利亚芒特艾萨矿,20世纪60年代采用低浓度尾砂胶结充填工艺回采底柱。20世纪70年代中国凡口铅锌矿、招远金矿和焦家金矿率先应用细砂胶结充填。目前,中国有20多座金属矿山应用细砂胶结充填。

第四阶段,20世纪80~90年代,以高浓度膏体充填为代表。1979年德国在格伦德铅锌矿为了克服低浓度胶结充填泌水严重等不足,在世界上首次试验成功膏体充填技术。膏体充填技术在德国试验成功以后,逐渐在南非、英国、美国、摩洛哥、俄罗斯、加拿大、澳大利亚、葡萄牙、坦桑尼亚、土耳其等世界主要采矿国家的金属矿山得到发展和应用。1991年德国矿冶技术公司与鲁尔煤炭公司合作,把膏体材料充填技术应用到沃尔萨姆煤矿,充填长壁工作面后方的冒落采空区,控制开采引起的地表下沉和处理固体废弃物,试验工作面煤层厚度为1.5 m,采深为1 000 m,所用膏体充填材料由粉煤灰、浮选矸石、破碎岩粉等制成,无胶结料,物料的最大粒径小于5 mm,质量分数达到76%~84%。中国1994年在金川有色金属公司二矿区建成第一条膏体泵送充填系统,以后有铜绿山铜矿、湖田铝土矿、喀拉通克铜矿等也建设了膏体充填泵送系统。

近些年来,国外非煤矿山膏体充填技术的研究一直十分活跃,至2016年底,

已举办了 19 届国际充填技术研讨会,其中热门问题集中在尾矿的浓密脱水、膏体的流变性能、管道输送技术等方面。

二、煤矿充填开采研究现状

煤矿充填开采是高产高效矿井建设和绿色开采技术体系的重要组成部分。目前,以中国矿业大学为代表的煤矿充填开采技术主要包括三类:膏体充填、固体充填、高水/超高水充填,均在煤矿得到了应用和发展。

(一) 膏体充填开采的研究发展

膏体充填开采就是把煤矿附近的煤矸石、粉煤灰、炉渣、劣质土、河砂或城市固体垃圾等固体废物在地面加工成无临界流速、不需脱水的膏状浆体,利用充填泵或重力作用通过管道输送到井下,适时充填采空区,形成以膏体充填体为主的覆岩支撑体系,有效控制地表开采沉陷在建筑物允许值范围内,保护地下水资源不受破坏,提高煤炭资源采出率,改善矿山安全生产条件,实现不搬迁采煤,解放村庄建筑物下、铁路下、水体上下煤炭资源,保护矿区生态环境,并使固体废物得以资源化利用的现代绿色采矿方法与技术。

21 世纪中国煤矿研究发展膏体充填的根本目的是借助这种特殊的开采方法/技术解放建筑物下、铁路下、水体下和承压水上(简称“三下一上”)压煤,提高煤炭资源采出率,控制地表沉陷,保护矿区生态环境和地表建(构)筑物不受或少受开采损害,实现煤矸石等固体废物的资源化利用。

膏体充填把固体废物利用与“三下一上”开采关键的上覆岩层开采沉陷控制有机结合,在采煤工作面后方直接顶未垮落前,即利用矸石等固体废物膏体充填形成有效的支撑体系,从开采沉陷的源头进行控制,是一种新的探索,这项技术经过十余个矿山的应用实践,已经显示出巨大的技术优势,主要表现在以下六个方面:

第一,膏体充填可以大幅度提高煤炭资源采出率,为煤矿可持续发展创造有利条件。国家发展和改革委员会与国土资源部 2005 年组织专家进行煤炭资源采出率调查表明,长期以来我国煤矿平均采出率只有 40% 左右,比世界先进水平落后 20 个百分点。我国煤矿采出率低的一个主要原因是存在大量的“三下”压煤和现行采煤方法需要留设大量的煤柱。对于“三下”压煤,长期以来主要采用条带开采方法,煤炭资源采出率一般只有 40%~50%,而采用膏体充填开采以后,绝大多数“三下”压煤,可以布置长壁工作面无煤柱开采,采出率达到 80% 以上。膏体充填开采可以有效减少采煤工作面回采过程中对顶板、底板岩层的破坏程度与影响范围,可以大幅度减少煤层露头保护煤柱、断层保护煤柱范围,可以大幅度提高水体下采煤的开采上限,可以大幅度拓宽承压水上安全采煤范

围,增大煤矿可采储量。

第二,膏体充填可以显著提高煤矿安全保障度。膏体充填开采有效减少采煤工作面回采过程中对顶板、底板岩层的破坏与影响范围,同时降低了采场周围矿山压力集中程度,有利于采煤工作面和回采巷道的维护安全,也为取消区段煤柱,实现沿空留巷 Y 形通风,解决高瓦斯煤层通风安全创造了有利条件。对于有自然发火倾向的煤层,工作面后方采空区膏体充填以后,采空区不再具备漏风条件,采空区再难以自然发火。对于地方煤矿房柱式开采,膏体充填不仅可以回收遗留煤柱资源,还可以防治采空区大面积来压引发的地质灾害。

第三,膏体充填可以有效地减少开采沉陷对煤矿当地土地和生态环境的破坏,保护地表建(构)筑物。与干式充填、水砂/矸石充填等比较,膏体充填体具有更好的密实性,采用膏体充填可以取得更好的减少开采沉陷、减少煤矿开采对土地和地下水资源的破坏,以及有效地保护地表建(构)筑物的效果,改变传统垮落法开采好似掠夺者的不良形象。

第四,膏体充填可以使煤矸石、粉煤灰等固体废弃物得到资源化利用,减少矸石排放等固体废弃物导致的土地占用和环境污染问题。膏体充填体每立方米可以利用煤矸石、粉煤灰等固体废弃物 1.5 t 左右,坚持使用膏体充填可以逐步消灭煤矿矸石山、发电厂灰场。

第五,膏体充填能够显著减少巷道掘进工作量和费用。膏体充填由于减少了煤柱损失,在“三下”压煤条件下能够大幅度提高采出率,还能够实现沿空留巷无煤柱开采,与传统条带开采等比较,将显著减少巷道掘进工作量和费用。

第六,膏体充填可以利用矿井排放的污水,能够减少矿井污水处理量。

周华强在对比分析传统迁村开采、条带开采存在问题的基础上,率先提出了固体废弃物膏体充填不迁村采煤技术,并初步考虑了 5 种充填开采方法:全采全充法、短壁间隔充填法、长壁间隔充填法、冒落区充填法、离层区膏体充填法。与此同时设计了太平煤矿膏体充填系统,作为我国煤矿第一个膏体充填示范工程,从 2006 年 5 月进行工业性试验,试验工作面煤层厚度 9 m 左右,基岩厚度 5.4~50 m,埋深 200 m 左右,基岩上方即是第四系强含水层,如果采用传统的条带开采,采出率不足 10%,而应用膏体充填开采技术,采出率可提高到 90% 以上。该项目于 2008 年 11 月进行了鉴定,整体技术达到国际领先水平。近 10 年以来,该技术先后在峰峰小屯矿、焦作朱村矿、小马矿、淄博岱庄矿、许厂矿、葛亭矿、鹤壁二矿等十余个矿山进行了推广应用。如图 1-1 所示。

相关课题涵盖了村庄下、水体下、铁路下、承压水上等条件下的煤柱开采,均取得了较好的效果,因其技术路线合理,地表沉陷控制效果显著,引起了越



图 1-1 膏体充填站

来越多煤矿的关注与重视,典型的膏体充填系统如图 1-2 所示。目前膏体充填开采已形成了较为完整的技术体系,也进一步丰富了绿色开采理论与技术体系。

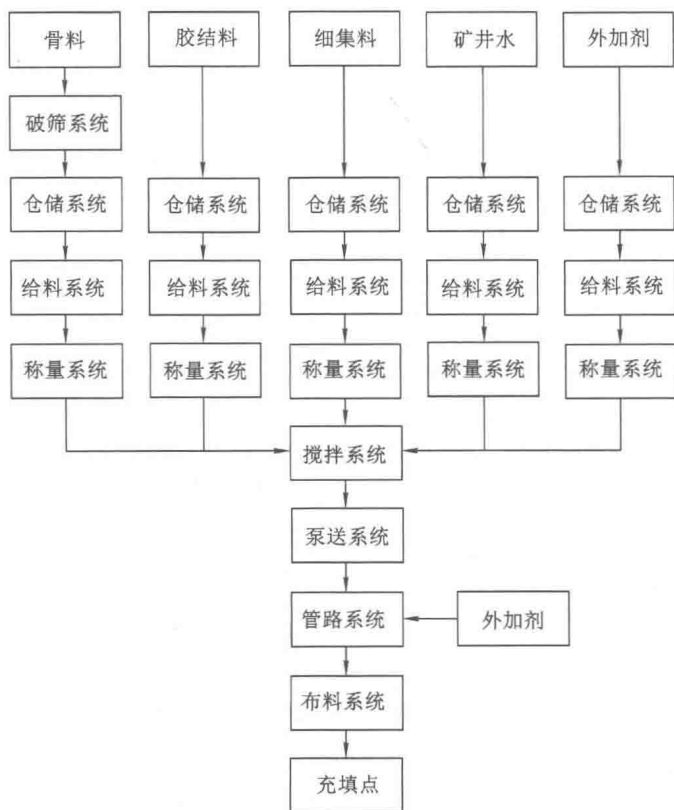


图 1-2 典型膏体充填系统框图

技术发展以理论研究为先导,瞿群迪从空隙量守恒理论的角度求解地表沉陷盆地计算公式,初步对充填开采控制地表沉陷的关键因素进行了探讨,研究指出:充填开采地表下沉主要由充填前的顶底板移近量、充填体的欠接顶量和充填体压缩量造成。提高充填体的接顶率是减小充填开采地表下沉系数的最有效途径,提高充填体的强度也可以提高地表沉陷的控制效果,但其提高的幅度有限。赵才智对用作煤矿膏体充填原材料的煤矸石、粉煤灰、黄土的物理、化学性质进行了系统的论述,提出了含泥量较大的煤矸石与劣质粉煤灰用于煤矿充填的技术途径,从保证充填体维持上覆岩层长期稳定性需要出发,分析了膏体充填体后期强度的性能要求,并对膏体充填材料力学性能指标进行了初步试验。常庆粮以弹性地基梁理论为基础,建立了考虑充填体作用过程的组合顶板岩梁力学模型及其微分方程,推导出了充填体、支架和煤体三区相互作用顶板关键岩层的挠曲方程。探究了充填开采顶板岩层稳定性判据,进一步阐明了充填开采控制地表沉陷的机理。于健浩在详细分析影响急倾斜充填开采围岩移动和地表变形机理的基础上,分别研究单因素和多因素影响条件下采场围岩移动规律和地表变形规律,并对各因素对地表移动变形的影响程度进行排序。王新民全面分析了自由降落料浆对深井垂直管路的冲击作用机理,建立了料浆在垂直管路中运动的理论模型,并运用数值模拟的方法对满管流输送系统进行了分析研究,诠释了满管流系统的工作原理及实现的主要技术途径。冯瑞敏分析了胶结充填体在房柱法开采条件下对煤柱稳定性的作用机理及其充填效果。应用弹性地基梁及多支点梁理论,建立了充填开采顶板岩梁力学模型,推导了采场直接顶岩梁挠曲微分方程。此外,一些学者从不同角度对承压水膏体充填开采、刀柱式膏体充填开采、孤岛煤膏体充填开采等进行了深入研究,这些都大大丰富了膏体充填开采的理论研究成果。

(二) 固体充填开采的研究发展

固体充填开采是煤矿充填开采的一个重要研究方向,目前已发展成为综合机械化固体充填采煤一体化技术。

煤矿固体充填起源于矸石充填处理技术。早在1975年,中梁山煤矿就在急倾斜煤层中试验成功了矸石充填采煤法。新汶矿务局孙村煤矿利用选煤厂建成了矸石洗选充填系统,通过充填井筒向井下自重落料,实现了地面矸石的机械化破碎和运输。淄博矿务局在薄煤层及极薄煤层中,将矸石充填带应用于沿空留巷巷旁充填、建筑物下开采,开创了建筑物下矸石充填开采的先河。李凤鸣对矸石自溜充填开采建筑物下压煤技术进行了系统介绍,并对矸石自溜充填减小地表移动和变形机理、自溜充填工艺进行总结分析,使得矸石充填理论得到发展。此后,矸石充填应用也拓展到沿空留巷领域。

近年来,随着矿井产能的提升,矸石提升对矿井辅助运输的压力日益突显,如何实现矸石不上井便提上了议事日程。淄博矿业集团有限责任公司许厂煤矿和河北邢东煤矿先后试验了巷道串采矸石充填技术,成功地对条带煤柱进行了部分回收,实现了井下矸石破碎、运输、快速机械化充填的突破,并发展成为矸石充填巷采技术。

2006年,新汶矿业集团翟镇矿率先将矸石机械化充填技术应用到综采工作面,开发形成了“综采工作面高效机械化矸石充填技术”并通过了山东省科技成果鉴定,达到了国际领先水平,成为综合机械化固体充填采煤的标志性技术。中国矿业大学对该项技术的革新发展进行了大量研究,重点开发了大垂深投料技术和系列充填支架,逐步完善成为综合机械化固体充填采煤一体化技术,并提出固体充填控制地表沉陷的“等价采高”模型,为固体充填技术应用提供了理论依据。固体充填技术先后在我国的兖州、济宁、徐州、淮北、皖北、平顶山、冀中、开滦、阳泉、西山、潞安和乌海等多个矿区进行推广应用,取得了丰硕成果,典型固体充填系统如图 1-3 所示。

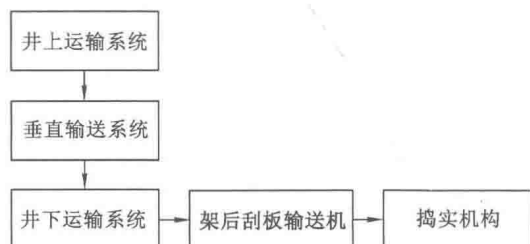


图 1-3 典型固体充填系统框图

(三) 高水/超高水充填开采的研究发展

高水充填是将高水材料引入充填开采的成功典范。高水充填材料是一种新型的特种水泥混合材料,特别适合于高水灰比条件下应用,具有水用量大(水体积比可达 90% 以上)、固体料用量少、凝固体韧性好等特点,是一种理想的煤矿井下充填或注浆材料。高水材料最早在英国研制成功,中国矿业大学从 1986 年开始进行高水巷旁充填技术的研究,通过承担国家“七五”科技攻关项目,研制成功高水灰渣充填材料,先后在徐州庞庄煤矿、夹河矿,鹤壁一矿、淮南潘二矿、平顶山四矿等多个矿区进行了高水材料巷旁充填的推广应用,一度成为巷旁充填的主要技术。鹤壁四矿率先开展了高水材料在巷道支架壁后充填的试验研究,探讨了支架壁厚充填的机理。由于高水材料具有良好的力学性能和快速施工工艺,其应用先后拓展到巷道注浆加固、井筒堵水、井下防火、软土地基的防渗加固等多个领域,取得了较好的效果。典型的高水材料

充填系统如图 1-4 所示。

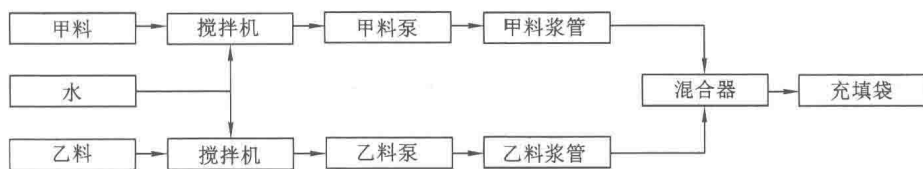


图 1-4 典型高水材料充填系统框图

为进一步提高非煤矿山尾砂充填的效果,1997 年,开发出了铁铝型高水材料作为金属矿山尾砂充填的胶结料,丰富了高水材料的种类。进入 21 世纪以来,一些学者和矿山企业将高水充填和“三下”采煤结合起来,发展成为高水充填采煤技术,使得高水材料的应用焕发新的活力。淄博王庄煤矿研制出具有膨胀特性的高水材料。2007 年底,完成高水膨胀材料充填开采地面模拟试验;2008 年初,开始井下煤柱充填开采工业试验;2009 年,该项技术通过了山东省科技厅组织的专家鉴定,鉴定结果为国际先进水平。为了进一步降低高水材料充填成本,中国矿业大学冯光明在原高水材料反应体系的基础上,研制出了超高水材料,将高水料浆中水的体积比例由 90% 提高到 97%,发明了包式充填技术,并成功地在邯矿集团陶一矿等矿区进行了工业试验。张立亚、孙春东先后对高水充填采煤的设计方法、覆岩移动规律、地表沉陷控制等课题进行研究,为高水充填采煤应用提供了理论依据。

第三节 充填开采的技术特点与发展趋势

一、充填开采技术的特点

膏体充填开采技术具有充填密实度高,地表沉陷控制效果好,充填体强度可调节能力高等特点,但充填材料需要利用大量的固体废物,所用固体废物需要破碎加工,充填系统比较复杂、投资较大。

矸石直接充填不使用胶结料,充填材料费用较低,但是矸石充填体密实度低,只适合地表沉陷控制要求较低的开采条件。

超高水材料充填具有系统简单、投资较小的优势,但材料成本高,另外超高水充填开采适用范围窄,主要适用于仰采、俯采时需要采用全包式充填法,即在采空区布设充填袋充填,充填包架设工序烦琐,劳动组织较复杂,工作量大,对作业环节安全要求高,充填与回采存在较大的相互影响,配合管理技术

要求较高。针对目前的三种主要充填开采技术,现在就其特点进行了对比分析,见表 1-1。

表 1-1

各种充填方法比较

序号	比较项目	膏体充填	超高水充填	矸石直接充填
1	充填材料组成	固体废物、粉煤灰、胶结料、水	超高水材料、水	固体废物、粉煤灰
2	充填体压缩率	小	较大	大
3	充填体强度	高	低	低
4	充填成本	较低	较高	较低
5	充填料运输方式	单一管道输送	双管道输送	皮带输送
6	充填系统投资	大	少	大
7	充填体构筑方法	隔离要求高	隔离要求高	隔离要求低
8	减沉效果	好	好	较差
9	采出率	高	高	较低
10	适应性	各种条件	低强度条件	减沉要求低

二、充填开采技术发展的必然性

充填开采技术作为煤矿绿色开采技术的重要组成部分,能够把固体废弃物利用与地表沉陷控制结合起来,具有“高安全性、高采出率、环境友好”的基本特征,能够实现地表破坏程度低、煤炭资源采出率高、固体废弃物资源化利用、保护矿区生态环境等目标,已成为煤炭工业贯彻落实科学发展观、实现绿色采矿的根本途径之一,具体表现在以下方面。

(一) 充填开采是推进煤炭生产方式变革的需要

我国煤炭工业“十二五”规划指出:煤炭是我国的主体能源,在一次能源结构中占 70%左右,在未来相当长时期内,煤炭作为主体能源的地位不会改变。但我国煤炭资源埋藏较深,95%资源靠井工开采。由于煤层赋存条件多样,开采条件复杂,因此,我国也是世界上采煤方法最多的国家之一。长期以来,我国煤炭生产形成了以壁式体系为主的采煤方法。一定程度上讲,煤炭生产方式的变革也是采煤方法的变革。

自 20 世纪 50 年代以来,我国煤炭工业得到了迅速发展,逐步革新了落后的回采工艺,分别于 20 世纪 60 年代和 70 年代研制和推行了普通机械化和综合机械化的采煤设备与工艺,采煤机械化水平有了较大的提高。20 世纪 80 年代,我国采煤机械化进入全新的发展阶段,应用推广了连采技术及装备;普通机械化工