

煤矿充填开采

【编者按】2012年4月26日在全国煤矿充填开采现场会上，国家能源局副局长吴吟在《发展煤矿充填开采技术 推动煤炭生产方式变革》中指出：煤矿充填开采对推进煤炭生产方式变革、保障煤矿安全生产、提高煤炭资源综合利用水平、保护生态环境、建设和谐矿区等方面具有重要意义。实施充填开采可提高矿井安全保障程度，提高“三下”压煤采出率，处置矿区固体废弃物，减少占地和减轻地表沉陷，减少村庄搬迁，保护和改善矿区生态环境，有利于资源开发与生态环境协调发展。当前，我国煤矿充填开采技术仍处于起步阶段，为促进学术交流与成果应用，本刊组织了“煤矿充填开采”专题，对我国煤矿充填开采技术应用现状及发展、建筑物下压煤开采优化设计与开采方案技术经济比较、综合机械化固体充填采煤一体化技术等方面进行了研讨，旨在总结我国煤矿充填开采新技术与新经验，以促进煤矿绿色充填开采技术的发展。

我国煤矿充填开采技术及其发展趋势

胡炳南

(煤炭科学研究总院 开采设计研究分院, 北京 100013)

摘要: 基于煤矿可持续发展与环境保护的要求, 阐述了煤矿充填开采的必要性, 通过收集分析我国20个典型充填开采应用实例, 系统论述了巷道掘进抛矸充填、长壁普采矸石充填、长壁综采矸石充填、膏体充填和高水充填等技术特点, 得出了巷道掘进矸石充填适用于配采和重要保护场合, 长壁综采矸石和膏体充填适用于主采和普通保护场合, 高水充填适用于缺少充填材料和单一煤层场合; 提出了采煤量、充填量、采出率、吨煤成本、充满率、移近量、下沉量、减沉率、变形量和保护面积可作为充填开采效果的评价指标。最后, 建议对高效充填和充填空间密闭做深入研究。

关键词: 充填开采; 固体矸石充填; 膏体材料充填; 高水材料充填

中图分类号: TD823.7 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2012)11-0001-05

Backfill Mining Technology and Development Tendency in China Coal Mine

HU Bing-nan

(Mining and Design Branch, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

Abstract: Based on the requirements of the sustainable development and environment protection, the paper stated the necessity of the backfill mining in mine. With the collection and analysis on the application of 20 typical backfill mining faces in China, the paper systematically stated the technical features and suitable conditions of the mine roadway heading with the rejects backfill, conventional longwall mining with the rejects backfill, fully mechanized longwall coal mining with rejects backfill, high water material backfill and others. The solid rejects backfill of mine roadway heading is suitable for minor output and important protected buildings places. The longwall fully mechanized mining with solid rejects and paste backfill is suitable for the mechanized coal mining and conventional mining under the protected buildings places. The high water backfill material is suitable for the mine with shortage of backfill material and a single seam. The coal production, backfill value, coal recovery rate, cost per ton of coal, backfill rate, convergence value, subsidence value, subsidence reduction rate, deformation value and protected area were provide as the evaluation indexes of the backfill mining effect. Finally, a further study should be conducted on high efficient backfill mining, backfill space sealing and others.

Key words: backfill mining; solid rejects backfill; paste material backfill; high water material backfill

收稿日期: 2012-09-11; 责任编辑: 曾康生

基金项目: 国家科技重大专项资助项目(2011ZX05064)

作者简介: 胡炳南(1960—), 男, 浙江永康人, 研究员, 博士。Tel: 13601299120, E-mail: hubingnan@tdkcsj.com

网络出版时间: 2012-11-16 11:08:01; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20121116.1108.001.html>

引用格式: 胡炳南. 我国煤矿充填开采技术及其发展趋势 [J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(11): 1-5, 18.

我国煤矿存有巨大“三下”压煤,基于环境保护与企业可持续发展要求,研究煤矿充填开采十分必要。据不完全统计,我国生产矿井“三下”压煤量达143亿t,其中,村庄建筑物下压煤主要集中在河北、河南、山东、安徽和江苏等5省的平原地区。为了充分采出这些矿井“三下”煤炭资源,延长服务年限,需要充填开采来解放“三下”压煤。原有传统的煤炭生产方式造成矸石山占地大,环境严重污染以及对土地的破坏,也需要推广应用井下充填。我国煤矿地面矸石山有1600多座,占地 $1.5 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。矸石山地面堆放产生的危害有:侵占土地、污染环境和危及人身安全等。与此同时,煤炭开采也带来土地破坏问题,据采煤沉陷率计算,我国每年采煤塌陷造成的土地破坏约 $4.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。因此,通过采用矸石井下回填可减

少矸石山污染,减少土地开采沉陷破坏,从源头上解决矿区环境问题,实现矿山绿色开采。

1 煤矿充填开采类型与工程实例

煤矿充填为利用充填材料回填采空区的一种工艺。目前,仅山东省就有充填矿井35对^[1],充填工作面136个。按充填材料分为沙子、粉煤灰、矸石、建筑垃圾和高水材料等充填法。按充填体中水的比例分为固体充填、膏体充填和高水充填等。按充填工作面采煤方法,又可分为巷采掘进刀柱开采充填、长壁普采充填和长壁综采充填等,表1列出了20个典型充填开采实例^[2]。笔者将充填开采归纳为固体矸石充填(巷道掘进抛矸充填、长壁普采矸石充填和长壁综采矸石充填)、膏体充填和高水充填。

表1 我国煤矿充填开采工程实例

序号	矿井	充填-开采类型	压煤类型	采高/m	技术特点
1	冀中邢东	矸石-巷采	工业广场	3.5	以矸置煤,抛矸
2	太原东山	矸石-巷采	建下	6.5	以矸置煤,渐进式,抛矸
3	淄博许厂	矸石-巷采	建下	4.9	回收条带煤柱,抛矸
4	枣庄高庄	矸石混凝土-巷采	建下和湖下	4~6	桥拱式全采,抛矸
5	新汶泉沟	矸石-普采	建下	1.7	壁式普采,抛矸
6	新汶鄂庄	矸石-普采	建下	1.0~2.1	壁式普采,抛矸
7	新汶协庄	矸石-普采	处理矸石	1.53	固体矸石,风力
8	新汶翟镇	矸石-综采	建下	1.5~3.0	综采充填,捣实
9	济宁花园	矸石-综采	“三下”	2.0	综采充填,捣实
10	兖矿济三	矸石-综采	河堤下	3.5	综采充填,捣实
11	冀中邢台	矸石-综采	建下	2.5~3.0	综采充填,捣实,并加强注浆
12	淄博岱庄	膏体-综采	建下	2.5~2.9	回收条带煤柱,综采膏体
13	济宁太平	膏体-综采	水体、河堤和建下	2.2	综采膏体充填
14	滕州级索	膏体-开采	建下	0.98~1.40	建筑垃圾、膏体短壁全采
15	兖矿北宿	似膏体-普采	建下	0.7~1.2	薄煤层、似膏体、泵送
16	新汶孙村	似膏体-普采	工业广场	2.1	似膏体、自流
17	肥城曹庄	似膏体-普采	承压水上	1.96	似膏体、倾斜短壁前进
18	淄博王庄	高水-巷采和普采	建下	0.95~1.83	高水膨胀、自流
19	临沂田庄	超高水-普采	建下	1.2	薄煤层、超高水,普采
20	冀中陶一	超高水-综采	建下	3.9	厚煤层、超高水、综采仰斜

1.1 巷道掘进抛矸充填开采

1) 巷道掘进抛矸充填技术^[3]。巷道掘进抛矸充填是指在压煤区采用掘进机掘进巷道,随掘随支,1条巷道掘完后,通过抛矸机抛入矸石,充满掘采空间。巷间留设煤柱,一般采出率为50%左右。在保护体安全的前提下尽可能多地采出煤炭,可采取渐进跳采方法。巷宽5m,第1轮跳采25m

掘I类巷;第2轮跳采10m,掘II类巷;第3轮跳采2.5m,掘III类巷,总采出率75%(图1)。

2) 邢东矿巷道掘进抛矸充填工程。邢东矿地处邢台市近郊,市环保部门不允许矸石在地面堆积。所以,邢东矿把工业广场和先于村的保护煤柱作为矸石充填开采试验区,进行巷道掘进抛矸充填。该矿主采2号煤层,煤厚平均4.0m,倾角

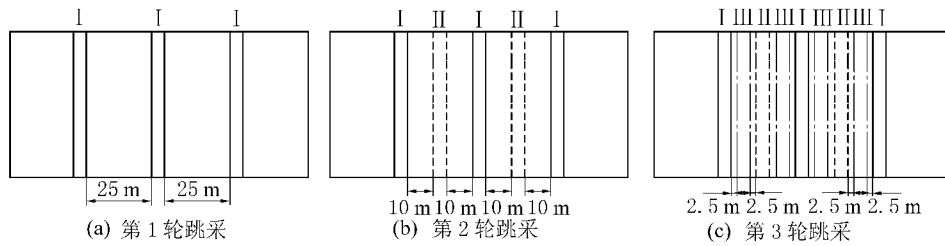


图1 渐进跳采方法

10°。第四系层厚 210 ~ 320 m，煤层埋深 842 ~ 975 m，平均 883 m。掘进巷道宽 5.0 m、高 3.5 m，每条巷道长约 400 m，巷道中采用锚网支护，掘进后即充填。同时，相隔一定宽度后再掘下一段巷道，依次进行。巷道掘进抛矸机如图 2 所示，具有抛矸、行走和左右上下转向功能，矸石运量 100 t/h，矸石粒度不大于 150 mm，抛射输送带宽度 650 mm，带速 2.5 m/s。该矿 2003 年实施矸石充填开采以来，掘充巷道数十条，充满率约 80%。经地面监测，地表设施稳定，地面建筑完好无损。



图2 邢东矿巷道掘进抛矸充填设备

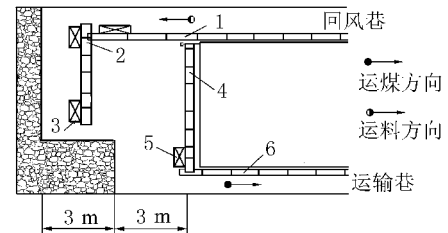
1.2 长壁普采矸石充填开采

1) 长壁普采矸石充填技术^[4]。长壁普采矸石充填是指在采煤工作面的后部增加支护空间，进行矸石充填。采煤工作面推进一定距离，用挡板将采煤工作面与采空区隔开，然后用抛矸机向挡板内侧采空区充填。充填顺序从内到外，从下山到上山。

2) 泉沟矿长壁普采矸石充填。泉沟矿在 21103 工作面进行了矸石充填，该工作面埋深 360 m，倾角 10°，工作面长度 50 m。采煤工作面采用单体支柱配金属铰接顶梁支护顶板，排距 1.0 m，柱距 0.8 m。采用“见六充三”的顶板控顶方式，每推进 3 m 进行一次矸石充填，即工作面推采控顶距达到 6 m 时，就对采空区封闭，然后用抛矸机向后方 3 m 的封闭空间由内向外后退式充填，边充填边撤柱，由下向上进行充填，边回撤支柱边充填，充填体支撑顶板，如图 3 所示。

1.3 长壁综采矸石充填开采

1) 长壁综采矸石充填技术^[5]。长壁综采矸石



1—固料带式输送机; 2—充填刮板输送机; 3—充填物料抛投机; 4—采煤刮板输送机; 5—采煤机; 6—运煤带式输送机

图3 泉沟矿长壁普采矸石充填布置

充填是在综采液压支架的后方增加了 1 部高度可以调节的充填材料刮板输送机，其底部钢板可以拆卸，以实现矸石的漏放。经刮板输送机运来的矸石到达采空区后，通过刮板输送机的漏口使矸石顺序和连续漏放，实现了充填开采的机械化和连续化，使充填与开采平行作业。该技术在翟镇矿和邢台矿等矿井进行了试验。

2) 邢台矿长壁综采矸石充填。邢台矿 7606 和 7608 工作面位于该矿工业广场下方，回采 2 号煤层，倾角 9°。7606 工作面埋深 295 ~ 335 m，倾斜长 55 m，走向长 460 m，采高 2.5 ~ 3.0 m。7608 工作面埋深 364 ~ 444 m，倾斜长 88 m，走向长 659 m，平均采高 2.79 m，均采用厚煤层分层综采。充填设备主要是自夯式液压支架和刮板输送机，如图 4 所示。充填输送机的中部槽上设置 500 mm × 400 mm 卸料孔，孔间距 3 m；在中板上增设插板插口并安设推拉插板的液压缸；采用可调高单挂链悬挂中部槽。在完成割煤和移支架后进行充填，充填由机尾向机头进行，前卸料孔充填到一定高度后开启后卸料孔，同时对前卸料孔充填料顶推夯实，直至

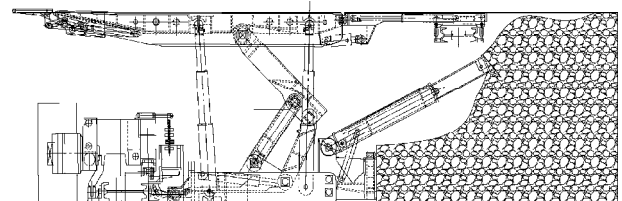


图4 邢台矿长壁综采矸石充填工作示意

整个工作面全部充满。然后,将输送机拉至支架尾梁前部,用夯实机构将机下充填料上推接顶并压实之后,关闭所有卸料孔。最后,对输送机机头进行充填,并将输送机推至支架尾梁后部。此时,完成了第1轮充填,依次进行第2轮充填。

根据7608工作面岩移观测站数据分析,铁路专用线最大下沉量206 mm;最大倾斜1.05 mm/m;最大拉伸水平变形0.53 mm/m,最大压缩水平变形-1.35 mm/m。救护队楼、南办公楼、招待所、食堂和副井绞车房地表最大下沉量分别为112、7、10、19和136 mm。根据现场测量,采后建筑物墙体出现微小裂缝,裂缝宽度均小于2 mm,建筑物损坏极轻微。

1.4 膏体充填开采

1) 膏体充填技术。膏体充填(含似膏体充填)是将煤矸石、粉煤灰、工业炉渣、劣质土和城市固体垃圾等加工制作成不需要脱水处理的膏状浆体,采用充填泵或重力加压,通过管道适时输送到井下采空区。在采空区形成膏体充填体,有效控制地表沉陷。将膏体充填固体材料破碎至25 mm以下,配制形成两相流,流动状态为柱塞结构流。一般膏体充填材料质量分数65%~88%(含水率12%~35%),膏体料浆本质是不沉淀、不离析、少泌水,膏体到达充填点后,能够在较短时间内凝固承载。充填工艺可分普采工作面膏体充填和综采工作面膏体充填2种。综采膏体充填的应用实例有岱庄矿和小屯矿等。

2) 岱庄矿综采膏体充填。岱庄矿地面村庄密集,共有78个自然村,村庄下压煤占80%。井田地面标高平均+39.5 m,主采 $3_{\text{上}}$ 煤层,在2351工作面进行了充填试验。该工作面埋深393~502 m,平均440 m,倾角3~11°,平均6°,走向长度1 074 m,倾斜长度95 m,平均煤厚2.6 m。综采一次采全高,双滚筒采煤机割煤,截深0.6 m,采煤机割4刀煤充填1次。

采用ZC4000/17/32型四柱支撑式充填支架,整体顶梁,顶梁前设护帮板,顶梁后铰接尾梁。靠液压缸的伸缩实现尾梁支护顶板或作为上隔离板,尾梁的中部设有布料管连接孔;底座后部整体高起形成下隔离板。尾梁(上隔离板)和下隔离板相互搭接,构成隔离墙。支架中心距1 500 mm,顶梁长度4 700 mm,尾梁长度1 800 mm。支架总质

量15 t,如图5所示。

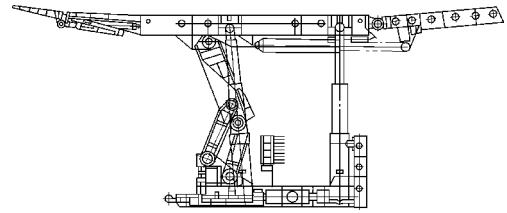


图5 膏体充填支架及其尾梁和隔离板结构示意图

在充填空间密封时,首先,调整后挡板与待充填区隔离;其次,采用单体支柱和木板使上下两巷与待充填区隔离;最后,为了防漏浆,架后吊挂塑料编织帘,顶板方向固定在支架顶部与顶板间,底板方向固定在支架底座部与底板间,上山方向与轨道巷煤帮相连,下山方向与运输巷煤帮相连。

2009年2月开始在岱庄矿2351工作面进行充填试验,采后村庄建筑物受损90%在I级以内,10%在II级。采出率大于70%,充满率大于90%。

1.5 高水充填开采

1) 高水充填技术。高水材料(含超高水材料)以粉煤灰或尾矿等硅质材料为主料,延缓剂、速凝剂、固化剂和膨胀剂等为辅料,与水充分搅拌混合后,制成充填料浆。高水材料主要由A和B两种物料组成。A料主要以铝土矿等矿物质烧制,并与超缓凝分散剂混合,B料由石膏等矿物质与复合速凝剂构成。A和B料分别加水制成A浆液和B浆液,将2种浆液混合,形成的浆体即可在一定时间内胶结、凝聚,达到设计强度,实现采空区充填。高水充填材料含水率66%~97%。井下充填系统主要包括浆体制备、浆体输送、浆体混合及工作面充填等4个子系统。核心技术为充填材料的加工制作,关键技术为井下充填工艺。由于充填体流动性强,充填面最好是倾斜煤层工作面,以仰采为佳,要求顶底板岩层较为完整。

2) 田庄矿普采超高水充填。田庄矿主采 $16_{\text{上}}$ 煤层和17号煤层,平均厚度分别为1.2和0.9 m,倾角均为8°。顶板为石灰岩,致密坚实,较为稳定;底板一般为黏土岩,偶含粉砂。井田内村庄及地面工业建筑物密集,为了解放建筑物压煤,采用超高水材料充填。1611工作面为该矿第1个超高水材料充填工作面,工作面埋深228 m,采高0.80~1.38 m,平均1.22 m,走向长118 m,倾斜长420 m,采用倾斜长壁后退式采煤法。2009年7月开始生产,2010年8月结束,置换采出煤炭

7.96万t, 充填空间5.02万 m^3 , 使用充填材料6808t, 充填率82%。2011年起对三采区村庄下压煤进行超高水材料充填开采, 三采区的3605和3603工作面宽分别为45和95m, 充填率为92%。采煤工艺均为炮采, 采用“六采一充”的循环作业方式, 多面充采交替作业。随着全封闭挡浆技术的完善, 水平及仰斜的回采工作面全部做到接顶充填(图6)。



图6 田庄矿超高水充填接顶情况

3个工作面实测资料分析表明, 超高水材料充填能有效控制地表移动量。三采区充填工作面地表岩移观测, 自2011年3月8日至2012年1月2日共测18次, 其中最大下沉点位于回采范围的正中央, 最大下沉量34mm。

2 技术特点、适用条件和效果评价指标

2.1 煤矿充填开采技术特点和适用条件

1) 巷道掘进矸石充填。关键设备为抛矸机和输送系统。主要技术特点是巷式开采, 系统投资小, 巷道布置灵活方面, 采动影响可循序渐进, 充填效果易于控制, 但产量相对较低。它适用于构造复杂、配采、重要保护体的场合。

2) 长壁普采矸石充填。关键设备是抛矸机和输送系统。主要技术特点是壁式开采, 系统投资小, 普采产量相对较高, 但充填效果较难控制。它适用于普通保护体场合。

3) 长壁综采矸石充填。关键设备是充填支架、充填输送机 and 输送系统。主要技术特点是壁式开采, 机械化程度高, 综采产量高, 带捣实装置后充填效果较好, 但系统投资较大。它适用于煤层稳定、主采、普通保护体场合。

4) 膏体充填。关键设备是地面搅拌站、输送系统和密闭封堵系统。主要技术特点是壁式开采, 充填体强度大, 充填效果好, 综采产量较高, 但充填与开采需要间歇作业, 输送线路长时易堵管。它适用于煤层稳定、主采、重要保护体场合。

5) 高水充填。关键设备是井下搅拌站、输送

系统和密闭封堵系统。主要技术特点是固体材料少, 含水量高, 可用井下废水, 输送距离远、输送能力大, 但材料投资大, 充填与开采需要间歇作业, 多次重复扰动开采影响其充填结晶体强度。它适用于缺少固体充填材料、单一煤层、配采、普通保护体场合。

2.2 充填开采效果评价指标

煤矿充填开采效果的评价指标主要有: 采煤量、充填量、回收率、吨煤成本、充满率、移近量、下沉值、减沉率、变形量和保护面积。

充填开采主要用于“三下”压煤中。所以, 代表减沉率的下沉系数是关键因素。对于一般固体矸石充填, 包括巷道掘进矸石充填、长壁普采矸石充填和长壁综采矸石充填, 下沉系数主要取决于充填率^[6], 一般为0.15~0.35。对于膏体充填, 包括似膏体充填, 下沉系数主要取决于充填率和抗压性, 一般为0.10~0.30。对于高水充填, 包括超高水充填, 下沉系数主要取决于充填率和抗压性, 一般为0.25~0.45。

3 煤矿充填开采技术发展趋势

通过近10年的试验^[7-11], 我国充填技术得到了极大提高。但依然存在着充填与开采之间相互干扰、充填空间隔离工作量大等问题。膏体和高水充填, 通常需要备用工作面, 两面交替开采。因此造成生产效率不高, 生产规模较小。目前, 固体充填采煤生产能力不到100万t/a; 膏体充填和高水充填需较严格密闭和较长凝固时间, 其充填采煤生产能力50万t/a左右。目前充填开采吨煤增加成本50~120元。因此, 我国煤矿充填开采技术在以下方面具有较好的发展趋势, 应进行深入研究。

1) 高效充填开采技术。高效充填增加产量, 降低成本。加强研究采煤充填平行作业技术, 实现充填与开采同步作业。

2) 充填空间隔离密闭技术。目前固体矸石充填已经得到较好发展, 但膏体和高水充填空间封闭隔离问题尚未解决, 人工铺设塑料编制布, 成本高, 效率低。亟待研发膏体和高水综采充填空间隔离密闭关键设备。

3) 因地制宜充填开采技术。我国地域辽阔, 煤层赋存条件多种多样, 绿色充填开采技术也需要

(下转第18页)

结构及相关的安全保障技术,得到如下主要结论。

1) 完整的固体充填物料垂直输送系统应由生产系统、垂直投料系统、投料缓冲系统、安全保障系统组成,而垂直投料系统是固体充填物料运输关键系统,其结构包括垂直投料井和储料仓。

2) 垂直投料井的基本参数决定了投料系统的合理性。固体充填物料粒径为50~100 mm时,垂直投料管内径为486 mm较合理;储料仓直径为6 m、高度为28 m可以满足工作面一班充填量,储料仓的尺寸应根据矿井实际条件而改变。

3) 针对投料过程中带来的冲击力问题,根据缓冲原理,设计了锥形缓冲器,并在皖北煤电集团五沟煤矿进行了应用,最大缓冲能力达到2.0 t,已实现约22万t固体充填物料的投放。

4) 提出了垂直投料降尘技术、高压气流导排技术、防堵仓技术、储料仓清理技术等安全保障技术,确保综合机械化固体充填采煤技术正常应用。

固体充填物料垂直输送系统是近几年随着综合机械化固体充填采煤技术发展而研发的一种固体充填物料从地面至井下的运输方式,该系统已在我国多数矿区成功应用,但投料过程中带来的噪声污染问题还需要进一步解决。随着国内外开采深度的逐渐加大,更大深度的垂直投料系统伴生出来的问题仍需探索与解决。

参考文献:

[1] 缪协兴,张吉雄,郭广礼. 综合机械化固体充填采煤方法

(上接第5页)

因地制宜。如,榆林矿区为了岩层控制和保水目的,正利用风积沙进行连采面充填开采试验,综采充填风积砂试验和刀柱煤柱充填回收试验。

参考文献:

[1] 吴吟. 发展煤矿充填开采技术 推动煤炭生产方式变革 [R]. 泰安: 全国煤矿充填开采现场会, 2012.
 [2] 山东省煤炭工业局. 山东省煤矿充填开采技术工艺汇编 [R]. 济南: 山东省煤炭工业局, 2012.
 [3] 胡炳南, 张文海, 高庆潮, 等. 永久煤柱矸石充填巷式开采试验研究 [J]. 煤炭科学技术, 2006, 34 (11): 46-48.
 [4] 煤炭科学研究总院, 天地科技股份有限公司. 科技部社会公益项目煤矿绿色充填开采技术研究 [R]. 北京: 煤炭科学研究总院, 2007.

与技术研究 [J]. 煤炭学报, 2010, 35 (1): 1-6.

- [2] 缪协兴, 钱鸣高. 中国煤炭资源绿色开采研究现状与展望 [J]. 采矿与安全工程学报, 2009, 26 (1): 1-14.
 [3] JU Feng, ZHANG Ji-xiong, ZHANG Qiang. Vertical Transportation System of Solid Material for Backfilling Coal Mining Technology [J]. International Journal of Mining Science and Technology, 2012, 22 (1): 41-45.
 [4] 黄艳利, 张吉雄, 张强, 等. 充填体压实率对综合机械化固体充填采煤岩层移动控制作用分析 [J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29 (2): 162-167.
 [5] 徐俊明, 张吉雄, 周楠, 等. 综合机械化固体充填采煤等价采高影响因素研究 [J]. 中国煤炭, 2011, 37 (3): 66-68.
 [6] 缪协兴, 张吉雄, 郭广礼. 综合机械化固体废物充填采煤方法与技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2010.
 [7] 张吉雄, 安百富, 巨峰, 等. 充填采煤固体物料垂直投放颗粒运动规律影响因素研究 [J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29 (3): 312-316.
 [8] 巨峰. 建筑物下矸石与粉煤灰充填综采关键技术研究 [D]. 徐州: 中国矿业大学, 2009.
 [9] 巨峰, 张吉雄, 安百富. 充填采煤固体物料垂直投料井施工工艺研究 [J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29 (1): 38-43.
 [10] 张蓓. 矸石充填综采大垂深投料及堵管监控系统设计 [J]. 采矿与安全工程学报, 2009, 26 (3): 386-390.
 [11] ZHANG Qiang, ZHANG Ji-xiong, HUANG Yan-li, et al. Backfilling Technology and Strata Behaviors in Fully Mechanized Coal Mining Working Face [J]. International Journal of Mining Science and Technology, 2012, 22 (2): 151-157.
 [12] 郑兵, 贺茂盛, 肖兴明, 等. 煤仓新型自动疏松机的设计 [J]. 煤矿机械, 2010, 31 (6): 11-13.
 [5] 刘建功, 赵庆彪. 煤矿充填法采煤 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2011.
 [6] 国家煤炭工业局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设及压煤开采规程 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2000.
 [7] 蔡嗣经. 矿山充填力学基础 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2009.
 [8] 胡炳南. 煤矿充填技术 [C] // 地下开采现代技术理论与实践. 北京: 煤炭工业出版社, 2002: 277-281.
 [9] 许家林, 朱卫兵, 李兴尚, 等. 控制煤矿开采沉陷的部分充填开采技术研究 [J]. 采矿与安全工程学报, 2006, 23 (1): 6-11.
 [10] HU Bing-nan, ZHAO Qing-biao, FAN Shi-min, et al. Study on Subsidence and Interaction Between Backfill and Pillar in Coal Mining [C]. Proceedings of the 7th International Symposium on Mining with Backfill, 2001: 181-185.
 [11] 胡炳南, 郭爱国. 矸石充填材料压缩仿真实验研究 [J]. 煤炭学报, 2009, 34 (8): 1076-1080.