

文章编号: 1673-3363-(2013)05-0642-06

预掘两巷前进式固体充填采煤技术研究

周楠, 张吉雄, 缪协兴, 张强

(中国矿业大学矿业工程学院, 深部煤炭资源开采教育部重点实验室, 江苏 徐州 221116)

摘要 针对部分“三下”压煤区域地质条件及已存在巷道系统的限制问题, 为保证固体充填开采之后对岩层移动及地表变形的控制效果, 提出了预掘两巷前进式固体充填采煤技术, 分析了该技术的原理及难点, 建立了预掘两巷前进式固体充填系统、优化了充填采煤关键设备结构及布置方案, 设计了固体充填采煤无煤柱沿空留巷方案及工艺, 优化了充填采煤与沿空留巷一体化工艺。现场实践表明, 预掘两巷前进式固体充填采煤技术可有效控制岩层移动与地表变形, 采空区充实率达90.6%, 无煤柱沿空留巷断面保持在原断面的90%以上, 地表最大下沉值125 mm, 可安全高效地开采类似条件“三下”压煤资源。

关键词 预掘两巷; 前进式开采; 固体充填采煤; 沿空留巷; 充实率

中图分类号 TD 823

文献标志码 A

Advancing solid backfill mining on condition of two entries pre-excavation

ZHOU Nan, ZHANG Ji-xiong, MIAO Xie-xing, ZHANG Qiang

(School of Mines, Key Laboratory of Deep Coal Resource Mining, Ministry of Education of China, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

Abstract Restricted by geological conditions and existing roadways layout of some mining area under buildings, railways, and water bodies, to guarantee the controlling effect of solid backfill mining to strata movement and ground deformation, the article proposed solid backfill mining technology on condition of two entries pre-excavation, analyzed its principle and the technical difficulties, established advancing solid backfill mining system on condition of two entries pre-excavation, optimized key equipment structure for backfill mining and corresponding layout, and designed an integrated technique and a comprehensive system based on the technical features of both solid backfill mining and gob-side entry. On-site practice shows that the filling ratio of 90.6% is achieved, the cross section of the retained entries account for more than 90% of the original one, and the maximal sinking value of the ground is 125 mm, which prove this technology can effectively control the strata movement and ground deformation. This integrated technology shows a great potential for excavating the coal resource under similar conditions.

Key words two entries pre-excavation; advancing mining; solid backfill mining; gob-side entry retaining; filling ratio

收稿日期: 2013-03-11

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-11-0728); 国家自然科学基金项目(51074165); 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(CXZZ12_0952)

作者简介: 周楠(1988-), 男, 安徽省宿州市人, 博士, 从事固体充填开采与岩层控制等方面的研究。

E-mail: zhounanyou@126.com

Tel: 13813458656

固体充填采煤技术是针对我国大规模“三下”压煤和生态环境破坏问题而开发的一种新型充填开采方法^[1-2]，将地面及井下矸石等固体废弃物，通过成套系统、装备充填入采空区，置换出煤炭资源的同时，控制上覆岩层移动与地表变形^[3-4]。鉴于在采出率、岩层移动及地表变形控制、生态环境保护等方面突出技术优势，固体充填采煤技术已成功应用于我国十多个矿区的二十几个工作面^[5-8]，安全高效地开采出密集建(构)筑物及水体下的压煤，显现出较为突出的推广应用前景。

保障采空区充实率是固体充填采煤控制岩层移动及地表变形的关键，据目前技术条件和设备性能^[9-11]，为实现较高充实率，适宜采用“仰采俯充”充填采煤工艺。而我国煤矿存在大量倾角超过 10° 的“三下”压煤，限于地质条件、系统布置及工作面接替等原因，无法在后退式开采前提下实现“仰采俯充”固体充填开采，为解决这些特殊条件“三下”压煤开采问题，必须改变固体充填采煤的方式。

基于以上背景，本文提出了预掘两巷前进式固体充填采煤技术，并在济宁矿业集团花园煤矿进行了工业性试验，对顶板及岩层移动有较好的控制效果，实现“三下”压煤的安全高效开采，为类似条件下的固体充填采煤设计提供参考。

1 预掘两巷前进式固体充填采煤技术原理

1.1 预掘两巷前进式固体充填采煤系统布置

预掘两巷前进式固体充填采煤技术，是指采用预掘巷作为工作面进回风巷道，形成工作面后，背向采区运煤上山方向开采，随工作面推进同时进行双巷沿空留巷，沿空巷道作为运煤、运料、运矸、行人及通风通道。典型的预掘两巷前进式固体充填采煤系统布置如图1所示。

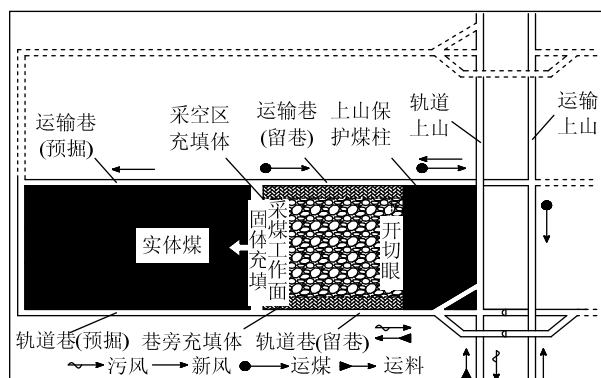


图1 预掘两巷前进式固体充填采煤系统布置图

Fig.1 The system layout of solid backfill mining under conditions of two entries pre-excavation

1.2 预掘两巷前进式固体充填采煤技术难点

实施固体充填采煤的主要目的之一是控制岩层移动与地表变形，如果在前进式固体充填采煤工作面继续采用原有的设备及工艺，会降低岩层移动控制效果及生产效率，因此，如何在保证生产效率的前提下提高岩层移动控制效果是实现预掘两巷前进式固体充填采煤的难点之一。

前进式开采工作面需要在后部采空侧进行沿空留巷，在开采之前，预掘巷道受到采动集中应力影响，开采过程中，沿空巷道的巷旁支护体需承受夯实引起的侧压力，开采之后在顶板缓慢下沉直至稳定的过程中，采空区充填体将持续向巷旁支护体施加侧向压力。因此，如何控制沿空留巷围岩变形、保证沿空巷道断面是实现预掘两巷前进式固体充填采煤的难点之二。

后退式固体充填采煤是在原综采工作面的基础上增加了充填设备及工艺流程，不仅要实现架前煤壁的采割运输、还要实现架后采空区的密实充填。而预掘两巷前进式固体充填采煤，进一步增加了双巷沿空留巷工艺流程，一个循环内需要完成采煤、充填和双巷沿空留巷3种工艺，3种工艺互相制约，如果配合不好，将严重影响工作面的生产效率^[12-13]。因此，优化充填、采煤及双巷沿空留巷工艺在时间和空间上的配合，是实现预掘两巷前进式固体充填采煤的难点之三。

2 前进式固体充填采煤工作面设备布置及液压支架结构优化

2.1 前进式固体充填采煤工作面设备布置

预掘两巷前进式固体充填采煤工作面设备主要包括采煤机、刮板输送机、充填采煤液压支架、自移式充填物料转载机、多孔底卸式输送机及夯实机等关键设备。其设备布置方案如图2所示。

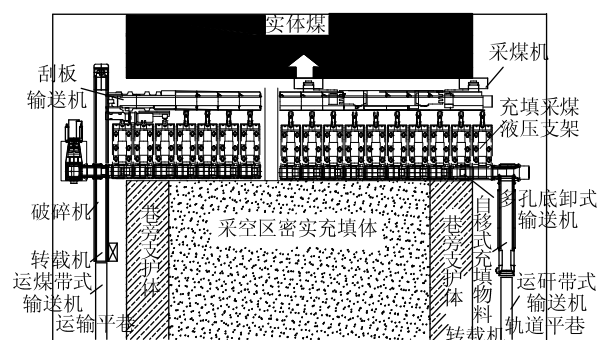


图2 预掘两巷前进式固体充填采煤工作面设备布置

Fig.2 Equipment arrangement in workplace

采煤及运煤设备与普通综采工作面布置相同, 运矸带式输送机及自移式充填物料转载机等充填运输设备布置在轨道巷, 保证充填物料运输与煤炭运输互不干扰, 减小巷道断面。

2.2 充填采煤液压支架结构优化

以往使用的充填采煤液压支架, 采煤与充填工作均在前顶梁掩护下的同一通道进行; 同时由于受正四连杆机构限制及后立柱影响, 在充填作业时视觉空间差, 不能有效掌握充填进度及质量^[14-17]。设计了双通道充填与采煤一体化液压支架, 该支架由前顶梁、后顶梁、6 个立柱、反四连杆机构、夯实机及底座组成。具备有独立的采煤操作通道和充填操作通道, 避免了相互影响, “反四连杆” 结构更是加大了充填作业面的操控与可视空间, 提高充填效率与效果, 其结构如图 3。

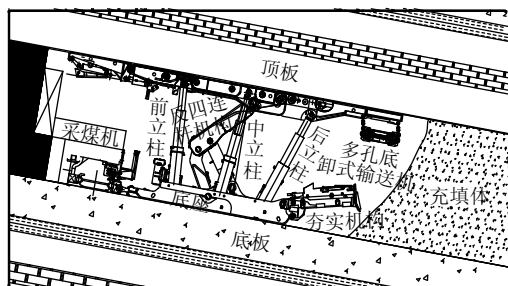


图 3 双通道充填与采煤一体化液压支架

Fig.3 A backfill support integrated mining and backfill

3 前进式固体充填采煤沿空留巷原理与方案

3.1 前进式固体充填采煤沿空留巷围岩变形特征

在预掘两巷前进式固体充填采煤工作面, 由于采空区充填体的支撑作用, 较小的采动影响和垂直方向的压力为无煤柱沿空留巷创造了有利的条件。但是固体充填采煤无煤柱沿空留巷仍需要经历 2 个阶段的压力:

1) 当工作面进行采空区充填时, 靠近沿空留巷位置的夯实机构将 2 MPa 的压力作用于采空区内的充填体, 充填体受压之后向侧面膨胀, 从而挤压沿空留巷的巷旁支护体, 引起沿空留巷断面收缩。根据力学分析, 工作面后方 10 m 范围内的巷旁支护体均会受到夯实机构引起的侧压力影响^[18]。

2) 采空区顶板开始下沉时, 顶板主要由采空区内的充填体支撑, 由于剪切力作用, 充填体受顶板压力之后发生侧向滑移, 引起沿空留巷巷旁支护体的变形。充填体越密实, 其受压时侧向滑移作用力越小, 对巷旁支护体的维护效果越好。

由以上分析可知, 采空区的充填效果直接影响沿空留巷围岩控制, 沿空留巷的巷旁支护体主要承受采空区充填体变形产生的侧压力。通过建立力学模型, 采用理论分析与实测相结合的方式, 确定巷旁支护体的宽度为 3.0 m, 并进行加固支护, 确保其稳定性^[19]。

3.2 前进式固体充填采煤沿空留巷支护方案

1) 加强支护方案

工作面开采前方, 在预掘巷道的原支护基础上沿巷道走向布置 2 列 $\Phi 17.8 \text{ mm} \times L4800 \text{ mm}$ 的锚索加槽钢进行加强支护, 锚索间排距为 $2000 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$, 内侧锚索距离巷旁支护体 700 mm。

2) 巷旁支护体支护方案

采用垒砌矸石墙的方法进行巷旁支护, 矸石墙由编织袋装满矸石, 人工堆砌而成, 垒砌时向采空区偏移 300 mm。矸石墙宽度 3 000 mm, 高度接顶接底, 并使用规格为 $\Phi 20 \text{ mm} \times L3200 \text{ mm}$ 双头螺纹式锚杆加金属网、钢筋梯和钢带进行固定, 钢带与钢筋梯采用“十字”交叉布置的方式, 垂直于巷道顶底板布置 2 500 mm 钢带, 沿巷道走向布置 1 000 mm 的钢筋梯。具体支护方案如图 4 所示。

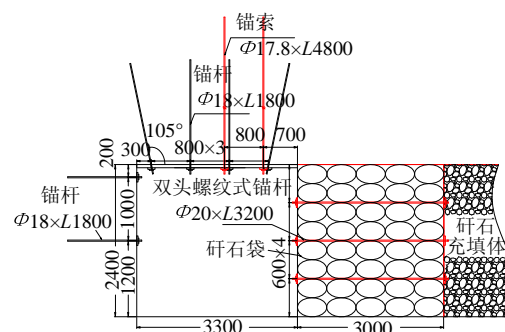


图 4 沿空留巷支护方案示意图 (mm)

Fig 4 A support scheme of gob-side packing body

3.3 前进式固体充填采煤沿空留巷支护工艺

前进式固体充填采煤沿空留巷支护的工艺流程主要包括 4 个方面:

1) 支护材料准备

支护材料包括矸石袋、 $\Phi 20 \text{ mm} \times L3200 \text{ mm}$ 双头螺母锚杆、 $\Phi 17.8 \text{ mm} \times L4800 \text{ mm}$ 锚索、钢筋梯、单体液压支柱、18#槽钢、菱形金属网、钢带等。矸石袋需工人在后顶梁的掩护下人工装袋, 严禁在多孔底卸式输送机下接矸。

2) 临时支护措施

在巷道内沿走向打 2 排单体液压支柱, 一排紧靠矸石墙, 另一排距离矸石墙 2 000 mm, 每排 3 根

单体液压支柱，柱距均为 800 mm，托铰接顶梁进行支护；在支架后顶梁与巷旁支护体之间支设 3 个单体液压支柱，柱距 1 000 mm，托钢梁支护，钢梁长度为 3 000 mm；为防止采空区矸石充填体滑落伤人，在充填体与支架后顶梁之间支设 1 个戴帽单体液压支柱。

3) 垒砌矸石墙

垒砌矸石墙循环步距为 0.6 m，即移架 1 次垒砌 1 次，采取由里向外、先下后上的顺序压茬垒砌，为防止施工的一面倒塌砸人，采用梯形坡度垒砌的方式，最高处矸石袋的垒砌滞后移架距离不能大于 1.2 m。

4) 矸石墙支护

随矸石墙的垒砌，先铺设金属网，金属网要求覆盖整个矸石墙面，然后安装垂直于巷道顶底板的钢带及沿巷道走向布置的钢筋梯；固定好钢带及钢筋梯之后安装双头螺纹式锚杆，先装采空区侧，固定托盘及螺帽要保证其不会脱落，后安装巷道内侧的托盘及螺帽，滞后矸石墙垒砌进度 1.2 m 紧固。

4 前进式固体充填采煤与沿空留巷一体化工艺优化

为提高预掘两巷前进式固体充填采煤生产效率，在普通固体充填采煤工艺的基础上，设计了前进式固体充填采煤与沿空留巷一体化工艺，将充填、采煤与沿空留巷 3 种工艺有效地组合在一起，优化其在时间空间上的配合，实现了 3 种工艺平行作业，工艺流程如图 5 所示。

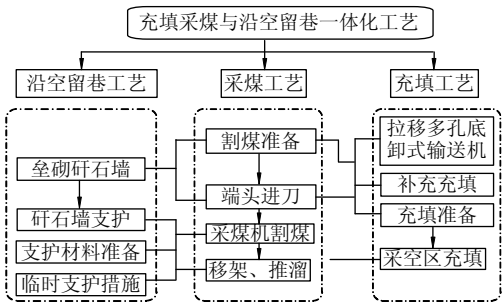


图 5 充填采煤与沿空留巷一体化工艺流程
Fig 5 The process flow of the integrated technology

充填采煤与沿空留巷一体化工艺将完成 1 个步距的割煤、充填和沿空留巷工作作为 1 个循环。采煤工艺与普通综采相同，端部割三角煤斜切进刀，循环进尺 0.6 m，包括割煤准备、端头进刀、割煤、移架及推溜等工艺流程；充填工艺整体包括充填准备、采空区充填、拉移多孔底卸式输送机以及补充

充填。
充填紧随采煤之后同步进行，即割煤之后，每移 1 个支架，即进行该支架后部的充填，当所有支架充填完毕之后，将多孔底卸式输送机整体向前拉移 1 个步距，再次将所有支架进行补充充填，从而完成整个工作面的充填工作，补充充填在下一个采煤循环开始之前的准备时间内进行。由于充填过程中，多孔底卸式输送机在不断运行，无法进行矸石墙的垒砌工作，因此，应在充填工作开始之前垒砌好矸石墙，当充填工作开始时，同步进行支护材料准备、临时支护以及矸石墙支护工作，其中矸石袋可以在检修班准备完成；供垒砌矸石墙的时间较短，此时采空区充填工作没有开始，可以集中充填操作人员垒砌，保证矸石墙在采空区充填开始之前垒砌完成。采煤、充填及双巷沿空留巷工艺并行作业，完成一个循环约需要 2~3 h。

5 工程应用

5.1 前进式固体充填采煤工作面布置及设备配套

1) 试验区域概况

试验区域为花园煤矿一采区南部，位于一采区带式输送机下山以东，井田边界保护煤柱以西，北部为 FD2 断层，南部为 FD39 断层。开采煤层为二叠系山西组 3 煤，煤层平均厚度 2.50 m，倾角 7°~19°，平均 12°。地表主要为村庄房屋、公路及河流等建(构)筑物，约有住户 200 余户，人口 1 000 人。

2) 工作面布置方案

限于该区域地质条件及已有巷道布置情况，为达到更好的岩层移动及地表变形控制效果，布置 1312 和 1316 这 2 个预掘两巷前进式固体充填采煤工作面，系统布置方案及主要参数如图 6 所示。

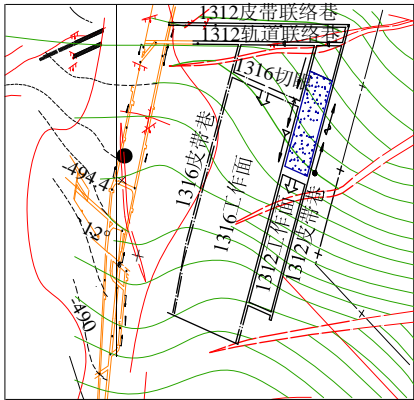


图 6 预掘两巷前进式固体充填采煤系统布置方案
Fig.6 The system layout of an application mine

3) 关键设备配套

煤一体化液压支架和 SGBC764/250 型多孔底卸式

花园煤矿采用 ZC9600/16/32 双通道充填与采

输送机, 具体参数见表 1。

表 1 花园煤矿预掘两巷前进式固体充填采煤关键设备

Table 1 The key equipment in solid backfill workface of Huayuan coal mine

序号	设备名称	型 号	主要技术参数
1	双通道充填与采煤一体化液压支架	ZC9600/16/32	支架中心距: 1 500 mm; 支撑高度: 1 600~3 200 mm; 初撑力: 8 322 kN; 工作阻力: 9 600 kN; 支护强度: 0.8 MPa
2	多孔底卸式输送机	SGBC764/250	电机功率: 250 kW; 工作电压: 1 140 V; 卸料孔尺寸: 长×宽=345 mm×460 mm
3	采煤机	MG250/601-WD	采高范围: 1.85~3.5 m; 截深: 630 mm; 电压等级: 1 140 V
4	刮板输送机	SGZ764/160	电机功率: 160 kW; 输送量: 800 t/h; 链速: 1.1 m/s; 刮板链型式: 双中心链

5.2 应用效果分析

1) 工作面充填效果

自 2011 年 4 月 1312 工作面开始试采, 至 2012 年 6 月, 1312 和 1316 工作面均开采完毕, 利用预掘两巷前进式固体充填采煤技术共采出煤炭 13.6 万 t, 充填矸石约 18 万 t, 无煤柱沿空留巷长度超过 2 000 m。

为了监测采空区内充填效果, 在 1316 工作面充填区域内埋设了 3 排 KBU101-200 型顶板位移动态监测仪, 分别距离切眼 15, 45, 95 m, 至工作面开采完毕, 实测的最大顶板下沉量为 236 mm, 由此可知, 该工作面充实率大于 90.6%。

2) 前进式固体充填采煤沿空留巷变形实测

1316 工作面轨道巷沿空留巷变形监测结果如图 7 所示, 巷道两帮移近量最大值为 157 mm, 顶底板移近量最大值为 103 mm, 巷道断面保持在原断面的 90% 以上。

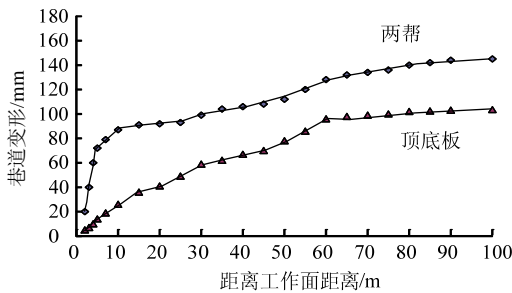


图 7 工作面后方沿空留巷变形监测结果

Fig.7 The entry deformation monitoring afterward during the period of entry retaining

3) 前进式固体充填采煤地表变形实测

为了监测地表变形情况, 在一采区南部地表设置了 4 条监测线, 工作面回采之前(2011 年 4 月)即开始监测, 至全部工作面开采完毕之后 6 个月(2012 年 12 月), 共得到监测数据 27 组, 监测结果表明,

一采区南部采用预掘两巷前进式固体密实充填采煤技术后, 地面最大下沉值为 125 mm, 水平变形 0.3 mm/m, 倾斜变形 0.4 mm/m, 地表建(构)筑物未出现破坏现象。

6 结 论

1) 实施预掘两巷前进式固体充填采煤技术需克服 3 大难点: 同时保证生产效率与岩层移动控制效果, 实施前进式固体充填采煤沿空留巷, 优化前进式固体充填采煤与沿空留巷工艺之间的相互配合。

2) 通过优化工作面设备布置方式和关键设备结构, 实现了特殊地质条件下的“仰采俯充”, 采空区充实率达到 90.6%, 地表最大下沉值为 125 mm, 扩大了固体充填采煤技术对地质条件的适用范围, 可以安全高效地开采建(构)筑物下压煤。

3) 采用垒砌矸石墙作为巷旁支护体的方式, 可以实现预掘两巷前进式固体充填采煤完全无煤柱沿空留巷, 留巷之后断面保持在原断面的 90% 以上, 确保了工作面的行人、通风和运输通道。

4) 前进式固体充填采煤与沿空留巷一体化工艺, 优化了采煤、充填与沿空留巷工艺之间的时空关系, 实现 3 项工艺之间的平行作业, 提高了预掘两巷前进式固体充填采煤工作面的生产效率。

参考文献:

[1] 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.
MIAO Xie-xing, QIAN Ming-gao. Research on green mining of coal resources in China: current status and future prospects[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2009, 26(1): 1-14.

[2] 张吉雄. 矸石直接充填综采岩层移动控制及其应用研究[D]. 徐州: 中国矿业大学矿业工程学院, 2008.

- [3] 张吉雄, 缪协兴, 郭广礼. 矸石(固体废物)直接充填采煤技术发展现状[J]. 采矿与安全工程学报, 2009, 26(4): 395-401.
- ZHANG Ji-xiong, MIAO Xie-xing, GUO Guang-li. Development status of backfilling technology using raw waste in coal mining[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2009, 26(4): 395-401.
- [4] 缪协兴, 张吉雄, 郭广礼. 综合机械化固体废弃物充填采煤方法与技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2010.
- [5] 缪协兴, 张吉雄, 郭广礼. 综合机械化固体充填采煤方法与技术研究[J]. 煤炭学报, 2010, 35(1): 1-6.
- MIAO Xie-xing, ZHANG Ji-xiong, GUO Guang-li. Study on waste-filling method and technology in fully-mechanized coal mining[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(1): 1-6.
- [6] ZHANG Ji-xiong, ZHOU Nan, HUANG Yan-li, et al. Impact law of the bulk ratio of backfilling body to overlying strata movement in fully mechanized backfilling mining[J]. Journal of Mining Science, 2010, 47(1): 73-84.
- [7] JU Feng, ZHANG Ji-xiong, HUANG Yan-li, et al. Waste filling technology under condition of complicated geological condition working face[C]//Procedia Earth and Planetary Science, The 6th International Conference on Mining Science & Technology, 2009: 1220-1227.
- [8] HUANG Yan-li, ZHANG Ji-xiong, LIU Zhan, et al. Underground backfilling technology for waste dump disposal in coal mining district[C]//2010 International Conference on Digital Manufacturing and Automation. Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2010: 872-875.
- [9] 周跃进, 陈勇, 张吉雄, 等. 充填开采充实率控制原理及技术研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(3): 351-356.
- ZHOU Yue-jin, CHEN Yong, ZHANG Ji-xiong, et al. Control principle and technology of final compression ratio of backfilling materials [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2012, 29(3): 351-356.
- [10] 张文海, 张吉雄, 赵计生, 等. 矸石充填采煤工艺及配套设备研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2007, 24(1): 79-83.
- ZHANG Wen-hai, ZHANG Ji-xiong, ZHAO Ji-sheng, et al. Research on waste filling technology and its matching equipment in coal mining[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2007, 24(1): 79-83.
- [11] 缪协兴. 采动岩体的力学行为研究与相关工程技术创新进展综述[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(10): 1897-1998.
- MIAO Xie-xing. Review of research on mechanical behaviors of mining rock mass and its related engineering technological innovation progress[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29(10): 1897-1998.
- [12] 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.
- [13] 黄艳利, 张吉雄, 张强, 等. 综合机械化固体充填采煤原位沿空留巷技术[J]. 煤炭学报, 2011, 36(10): 1624-1628.
- HUANG Yan-li, ZHANG Ji-xiong, ZHANG Qiang, et al. Technology of gob-side entry retaining on its original position in fully-mechanized coalface with solid material backfilling[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(10): 1624-1628.
- [14] 缪协兴. 综合机械化固体充填采煤矿压控制原理与支架受力分析[J]. 中国矿业大学学报, 2010, 39(6): 795-801.
- MIAO Xie-xing. Principle of underground pressure control in fully-mechanized coal mining with solid filling and force analysis of mining support[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2010, 39(6): 795-801.
- [15] 缪协兴, 张吉雄. 矸石充填采煤中的矿压显现规律分析[J]. 采矿与安全工程学报, 2007, 24(4): 379-382.
- MIAO Xie-xing, ZHANG Ji-xiong. Analysis of strata behavior in the process of coal mining by gangue backfilling[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2007, 24(4): 379-382.
- [16] 张吉雄, 吴强, 黄艳利, 等. 矸石充填综采工作面矿压显现规律[J]. 煤炭学报, 2010, 35(8): 1-4.
- ZHANG Ji-xiong, WU Qiang, HUANG Yan-li, et al. Strata pressure behavior by raw waste backfilling with fully-mechanized coal mining technology[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(8): 1-4.
- [17] 张吉雄, 李剑, 安泰龙, 等. 矸石充填综采覆岩关键层变形特征研究[J]. 煤炭学报, 2010, 35(3): 357-362.
- ZHANG Ji-xiong, LI Jian, AN Tai-long, et al. Deformation characteristic of key stratum overburden by raw waste backfilling with fully-mechanized coal mining technology[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(3): 357-362.
- [18] 咎东峰. 综合机械化固体密实充填采煤沿空留巷技术研究[D]. 徐州: 中国矿业大学矿业工程学院, 2012.
- [19] 张吉雄, 姜海强, 缪协兴, 等. 密实充填采煤沿空留巷巷旁支护体合理宽度研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2013, 30(2): 159-164.
- ZHANG Ji-xiong, JIANG Hai-qiang, MIAO Xie-xing, et al. Rational width of the support body of gob-side entries in fully mechanized backfill mining[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2013, 30(2): 159-164.