



推荐阅读：

[我国煤矿冲击地压发展 70 年：理论与技术体系的建立与思考](#)

[我国大采高综采技术及围岩控制研究现状](#)

[保水采煤研究 30 年回顾与展望](#)

[煤矿“短充长采”科学开采模式研究](#)

[西部煤炭绿色开发地质保障技术研究现状与发展趋势](#)

[基于保水采煤的煤炭开采带与泉带错位规划问题](#)

[煤矿冲击地压灾害防控技术研究现状及展望](#)

[基于负煤柱巷道布置的煤矿冲击地压防治技术研究](#)

[软弱厚煤层沿顶掘进并沿底回采技术研究](#)

[松散煤岩组合体不均匀破坏试验研究](#)

[采场空间结构模型及相关动力灾害控制研究](#)

[坚硬顶板型冲击地压发生机理及监测预警研究](#)

[基于动静载叠加原理的冲击矿压灾害防治技术研究](#)

[大空间采场远场关键层破断形式及其对矿压显现的影响](#)

[岩层移动理论与力学模型及其展望](#)

[我国水体下保水采煤技术研究进展](#)

[层影响下岩体采动灾变响应研究现状与展望](#)

[特大断面冲击地压巷道破坏机理及控制技术研究](#)

[动压影响下的软岩巷道加固治理技术研究](#)

[弱胶结富水顶板巷道围岩控制技术研究](#)



移动扫码阅读

李西凡,熊祖强,孙亚鹏,等.薄煤层充填开采动态监测及工艺参数优化研究[J].煤炭科学技术,2020,48(6):37-41. doi: 10.13199/j.cnki.est.2020.06.003  
 LI Xifan, XIONG Zuqiang, SUN Yapeng, et al. Dynamic monitoring and optimization of technological parameters in thin coal seam filling mining [J]. Coal Science and Technology, 2020, 48 (6): 37 - 41. doi: 10.13199/j.cnki.est.2020.06.003

# 薄煤层充填开采动态监测及工艺参数优化研究

李西凡<sup>1</sup>,熊祖强<sup>1,2</sup>,孙亚鹏<sup>1</sup>,王 奕<sup>1</sup>,孙如意<sup>1</sup>,朱万刚<sup>3</sup>

(1.河南理工大学 能源科学与工程学院,河南 焦作 454003;2.煤炭安全生产河南省协同创新中心,河南 焦作 454003;  
 3.龙口矿业集团有限公司,山东 龙口 265700)

**摘要:**基于充填效果受采充步距、顶板支护强度、充填体力学性能等多种因素影响,以及采空区充填后无法进行人工实时监测顶底板移近量、难以实时评判充填效果等问题,针对采空区顶板动态实时监测需要,研发了充填工作面采空区新型顶板动态仪装置,重点研究解决仪器高度、防水、实时在线监测等关键技术问题,并将其应用于薄煤层超高水材料充填开采工作面。结果表明:通过在充填过程中对顶板进行连续、实时的动态监测,得到了采空区实时顶底板移近量,并根据监测结果对充填体力学性能等充填工艺参数进行了优化设计,有效减少了顶底板移近量,将充填效果评价关口前置,达到了良好的应用效果。

**关键词:**薄煤层;充填开采;顶底板移近量;顶板动态仪;充填效果

**中图分类号:**TD326      **文献标志码:**A      **文章编号:**0253-2336(2020)06-0037-05

## Dynamic monitoring and optimization of technological parameters in thin coal seam filling mining

LI Xifan<sup>1</sup>, XIONG Zuqiang<sup>1,2</sup>, SUN Yapeng<sup>1</sup>, WANG Yan<sup>1</sup>, SUN Ruyi<sup>1</sup>, ZHU Wangang<sup>3</sup>

(1. School of Energy Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China, 2. Henan Collaborative Innovation Center for Safe Production of Coal, Jiaozuo 454003, China; 3. Longkou Mining Group Co., Ltd., Longkou 265700, China)

**Abstract:** The filling effect is affected by various factors such as the backfilling step, roof support strength, mechanical properties of the filling body, real-time monitoring of the roof-to-floor convergence and the difficulty in real-time evaluation of the filling effect after filling the gob. In this paper, in view of the dynamic real-time monitoring needs of the gob roof, a new type of roof dynamic meters for the gob filling face was developed, focusing on solving key technical problems such as instrument height, waterproofing and real-time online monitoring, and applying it to the ultra-thin coal seam super high water material filling working face. The results show that the real-time roof-to-floor convergence of the gob is obtained through continuous and real-time dynamic monitoring of the roof during the filling process. According to the monitoring results, the filling process parameters such as the mechanical properties of the filling body are optimized and effectively reduced. The amount of the roof-to-floor convergence was decreased, and the filling effect evaluation threshold was placed forward, which achieved a good application effect.

**Key words:** thin coal seam; filling mining; the roof-to-floor convergence; roof dynamic meters; filling effect

## 0 引言

充填开采作为煤炭“绿色开采”体系中的一部分,是煤炭开采过程中生态保护、延长矿井服务年限和提高资源采出率的重要手段<sup>[1-2]</sup>。充填开采可有

效降低开采扰动对采场围岩的破坏程度,控制覆岩间的离层,减轻地表沉陷,进而大幅度提高“三下”压煤的采出率<sup>[3-5]</sup>。充填体的稳定性是保障充填开采成功的重要前提,但采空区一经充填,将作为隔离区,无法对其充填效果顶底板移近量进行实时人工

收稿日期:2019-03-06;责任编辑:杨正凯

基金项目:河南省创新型科技团队支持计划资助项目(CXTD2017088);河南省高校科技创新团队和创新人才支持计划资助项目(17HASTIT032)

作者简介:李西凡(1995—),男,河南杞县人,硕士研究生。E-mail:253388430@qq.com

监测。充填区顶底板移近量作为评价充填效果的重要参数,综合反映了充填体胶结程度和强度,为下一步调整充填材料配比保证充填开采成功提供可靠依据,同时实时的顶底板移近量在一定程度上也反映了采充工艺合理性,可及时调整回采和充填速度、充填工艺参数等从而实现协调最优化,实时观测充填区顶底板移近量由此显得极为重要。充填效果评价目前多采用地表布点观测和数值模拟等方法,地表布点观测在地表布置移动观测站,通过观测其水平位移、垂直位移等关键参数进行充填效果评价,但该方法缺乏时效性,只能进行滞后评价;数值模拟方法通过获取充填体力学参数,模拟充填体受力和上覆岩层移动情况来评价充填效果,但煤矿井下条件复杂多变,数值模拟方法只能作为一种参考手段,缺乏工程可靠性<sup>[6-7]</sup>。现山东临矿集团田庄煤矿为提高资源回采率开采工业广场保护煤柱,工作面需采用充填开采保护地面建筑物。为此,基于线位移模拟输出信号为原理,自主研发充填工作面采空区顶底板移近量动态监测仪,该装置将顶底板移近量转换为线位移,同时线位移输出模拟电流数字信号,能够实现信号采集、储存、显示和输出等功能,从而实现了实时监测充填开采工作面采空区顶底板移近量,为分析充填体性能、顶板和充填体受力关系提供理论依据<sup>[8]</sup>,也可对充填效果及时做出评价和优化。

## 1 工程概况

### 1.1 工作面概况

本次充填工作面为 1619 工作面,位于田庄煤矿工业广场南侧 6~190 m,东西长约 427 m,南北长约 200 m,开采 16 上煤,16 上煤平均煤厚约 1.22 m,埋深约 265 m,煤层倾角 2°~6°,平均倾角 4°。工作面整体布置方向为东西方向,布置方式为高档普采对拉工作面,3 条巷道,上平巷兼顾回风及辅助轨道运输,下平巷兼顾回风及主要带式输送机运输,中间巷兼顾进风及主要辅助运输,工作面工业储量 7.5 万 t。

### 1.2 充填工艺

田庄煤矿目前三下压煤占矿井总储量的 55%,煤层赋存稳定,地质条件简单,矿井的矸石排放量低,同时周围没有火力发电厂,粉煤灰资源也不丰富,田庄煤矿下属企业绿源特种材料有限责任公司,是目前国内规模最大的超高水材料生产基地之一,故根据田庄煤矿自身特点,田庄煤矿充填开采材料选用超高水材料。超高水材料是一种双组分无机材料,由 A 料、B 料 2 种组成,A 料主料为硫铝酸盐水泥熟料,B 料主料是由石灰、石膏混合而成的<sup>[10-12]</sup>。

A、B 两种料浆混合后能够在水固比高达 11:1 的条件下凝固,终强可达 0.66 MPa,大幅降低了每立方的干料使用量,一定程度上降低了充填成本。其固结体抗压强度可根据水灰比和外加剂调节,凝结时间可在 8~90 min 按需调整。综合该矿井下空间和所需超高水材料充填量情况,选择在工业广场建设小型地面充填制浆站<sup>[13-14]</sup>。

地面制浆站分为 A、B 两个系统,每个系统又包括储料、储水、制浆、储浆等子系统,单液材料经地面制浆站制浆完毕后泵送至井下工作面采空区混合,由充填挡板和防水袋作用进行自流充填<sup>[15-16]</sup>。根据工作面回采速度采用“随采随充”方式,即每次回采移架后充填一个回采步距,使充填体及时起到一定的顶板支护作用。

## 2 顶板动态仪研制

本次采用超高水材料充填采空区,采空区内部本身存在大量积水,充填体受力后内部析水也会出现水压较大的游离水,仪器的防水性能不容忽视;同时由于采空区上覆岩层的压力作用,仪器传输电缆等远程传输信号设备也需做好保护;现有的顶底板动态仪利用刻有齿牙的杆体压缩弹簧带动齿轮转动进行顶底板移近量的监测,现有仪器虽能满足对顶板的动态实时观测,但由于齿牙杆体不可压缩、弹簧压缩量小、量程小等缺陷,利用此原理在监测时对顶底板空间要求比较高且量程有限,仪器安装整体高度为量程的 4~5 倍,增加量程的同时也大幅增加了仪器总体高度,加上仪器的防水性较差,不适用于田庄煤矿等薄煤层充填开采,存在一定的局限性<sup>[9]</sup>。以上因素是目前煤矿井下采空区监测面临的难题,导致很多监测设备不能正常使用,针对以上技术问题研发出一种新型实时监测采空区顶底板移近量的方法和装置。

### 2.1 测量原理

顶板动态仪主体由测量架体、线位移传感器、信号接收转换器和数据采集器 4 部分组成。线位移传感器中的钢丝绳穿过下部缸体与上部活塞柱体连接,当上部活塞柱体受压时下沉带动钢丝绳收缩,之后在线位移传感器上产生数字信号,从而实现了顶底板位移和数字信号间的转换。由于将原有顶板动态仪的齿牙杆体部分转换为可收缩的钢丝绳,利用此原理方法的测量架体高度仅为量程 L 的 2 倍,同时量程也得到大幅增加,解决了仪器高度大、量程小的问题,满足薄煤层开采监测需求。顶板动态仪的监测原理、安装布置如图 1 和图 2 所示。

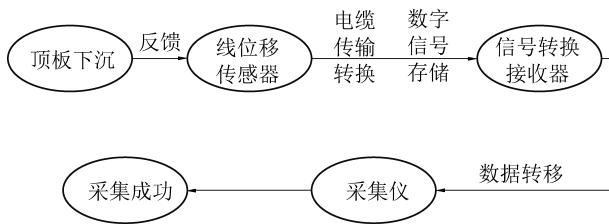


图 1 顶板动态仪监测原理

Fig.1 Monitoring principle of roof dynamic meters

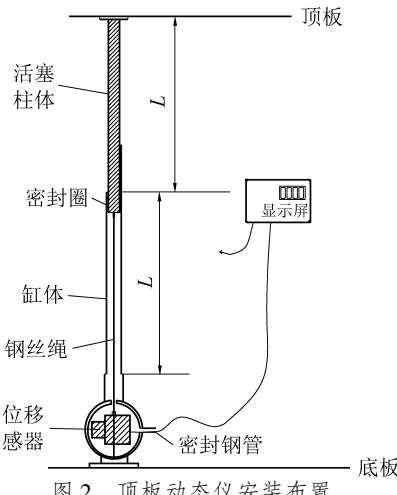


图 2 顶板动态仪安装布置

Fig.2 Installation and layout of roof dynamic meters

## 2.2 仪器防护

本次顶板动态仪防水利用小型液压油缸的密封原理(图 2),只保留油缸缸体和活塞柱体部分,将液压油进出口电焊密封,利用缸体与活塞柱体间的密封圈防止高压水进入;同时密封圈与缸体内壁的摩擦阻力作用使活塞柱体克服自重不会自动下沉,省去了原有仪器的内部弹簧,解决了弹簧压缩量小、占用较大空间的问题。同时在仪器底部线位移传感器与传输电缆出口部分加长外接钢管的长度,提前在钢管内部填满密封胶使电缆与管壁完全密实接触并保证胶体硬化做好防水。

在充填体受力过程中为避免远程传输电缆在充填体内部破坏,将位于采空区部分的远程传输电缆套上钢管预埋于采空区底板中,其余外接的传输电缆悬挂工作面巷帮做好保护。

顶板动态仪解决了以上问题后便可按照图 2 进行采空区顶底板实时动态监测,利用采集仪对其顶底板移近数据进行定期采集。

## 3 顶板动态监测与分析

### 3.1 测点布置

为对田庄煤矿充填效果及时做出评价,现将顶板动态仪应用于该矿 1619 工作面。在工作面中央距开切眼 100 m 安装 1 套顶板动态仪(编号 16191),顶板

动态仪在移柱充填前预先安装顶板动态仪,充填时直接将仪器充填包围。监测地点布置如图 3 所示。

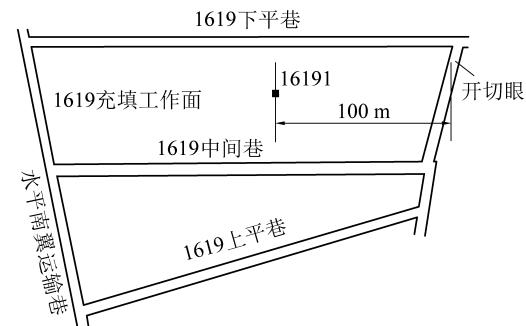
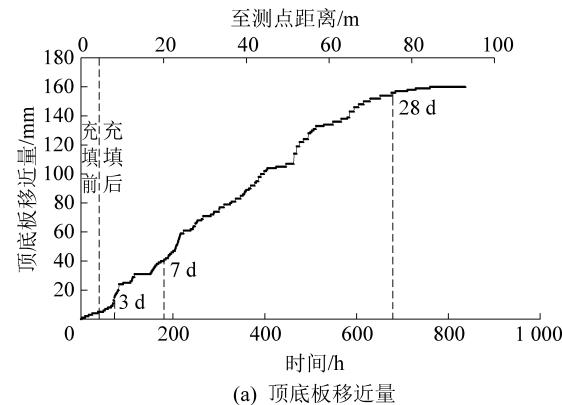


图 3 监测地点布置

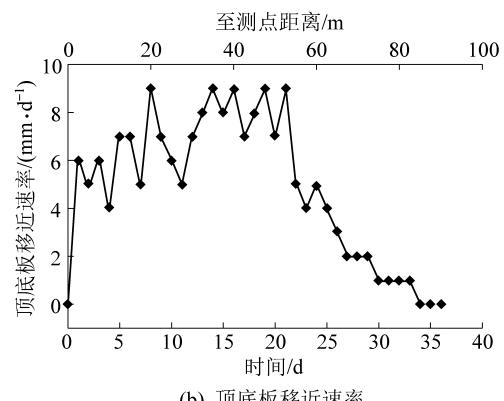
Fig.3 Monitoring site layout

### 3.2 监测数据分析

类比垮落法<sup>[17]</sup>对顶板下沉情况进行全程监测,直到顶板动态仪数据稳定为止。编号 16191 顶板动态仪监测的顶底板移近曲线和速率如图 4 所示,通过分析其顶底板移近曲线和速率,对充填效果进行评价,同时也可对后期充填过程中是否需要调整充填工艺参数有一定参考。



(a) 顶底板移近量



(b) 顶底板移近速率

图 4 16191 测点顶底板移近量和速率曲线

Fig.4 Convergence curve and rate curve of

No.16191 roof-to-floor

从顶底板移近量和速率曲线图中可以看出,随着工作面的推进,采空区顶底板移近量不断增大,最大值为 160 mm。其中,在采空区充填前,需利用液

压支柱对留设充填步距的采空区顶板进行支护,以控制充填前早期的顶板活动,同时可对充填柔膜袋进行密封,也对充填体初期固化形态起到保护作用,提高充填率和充填体的整体强度。从图4可以看出采空区充填前顶底板移近量很小,仅占顶底板移近总量的3%左右,未出现工作面回采结束后顶底板活动强烈的现象,表明工作面采充步距控制比较合理,采空区顶板支护强度能够控制充填前采空区上覆岩层活动。

采空区充填后,顶底板移近量不断增加,移近速率较充填前也有所增加,但移近速率在充填体龄期7 d时达到峰值,之后移近速率基本保持稳定,说明充填体开始对顶板起到了一定的支撑作用,充填体强度和顶底板移近量呈线性关系。

随着充填体强度的不断增长,从图4可以看出,顶底板移近速率在充填体21 d龄期减缓,之后不断下降,表明充填体强度在一定程度上已经能够控制顶板,明显减缓了顶底板活动<sup>[18]</sup>。在充填体龄期达到28天后,可以看出顶底板移近曲线明显减缓,移近速率趋零,说明充填体的支撑力大于上覆岩层作用力,充填体能够完全控制上覆岩层活动,充填体最终强度达到工程要求。

### 3.3 充填工艺优化

通过分析16191顶板动态仪数据可以得出:采充步距、支护强度、充填体的最终强度等充填工艺参数均能满足控制顶板的要求,顶板在终强充填体支撑下基本不再运动。但在整个充填体强度上升至稳定过程时间过长,顶底板移近量持续增长,仅需要对充填体力学性能进行调整,缩短充填体达到最终强度时间,使顶底板活动提前得到控制,从而减少顶底板移近量,优化充填效果。

根据编号16191顶板动态仪的数据反馈,对充填材料配比做出调整,通过增加早强剂、速凝剂等外加剂来使充填体达到终强的时间缩短,调整前后其单轴抗压强度对比如图5所示。

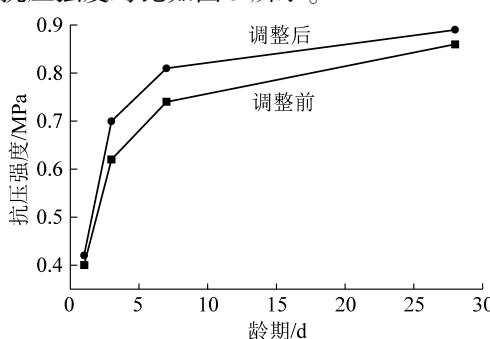


图5 单轴抗压强度对比

Fig.5 Comparison of uniaxial compressive strength

同时安装第2套编号为16192顶板动态仪对新调整后的充填体性能进行检验。16192顶板动态仪顶底板移近量和速率曲线如图6所示。

从图6可以看出,充填体配比经调整后顶底板移近量明显减少至95 mm,充填体达到终强的时间缩短至21 d,整体移近速率与调整前相比明显减缓,说明充填体强度比调整前上升快,能早期控制顶板使其位移量大幅减少。综上得出,经过调整后的充填体能够更早的控制上覆岩层的活动,充填效果得到明显改善。根据顶底板移近量和该矿区的下沉系数计算,下沉系数取0.82<sup>[19-20]</sup>,地表下沉量仅为78 mm。同时,根据地表布置的观测站的观测数据,地表观测点最大下沉量为65.7 mm,测点之间最大变形为1.25 mm/m,地面沉降在I级破坏之内<sup>[19]</sup>,对地表建筑物产生影响较小,基本能够保护工业广场建筑物不受开采沉降损害。

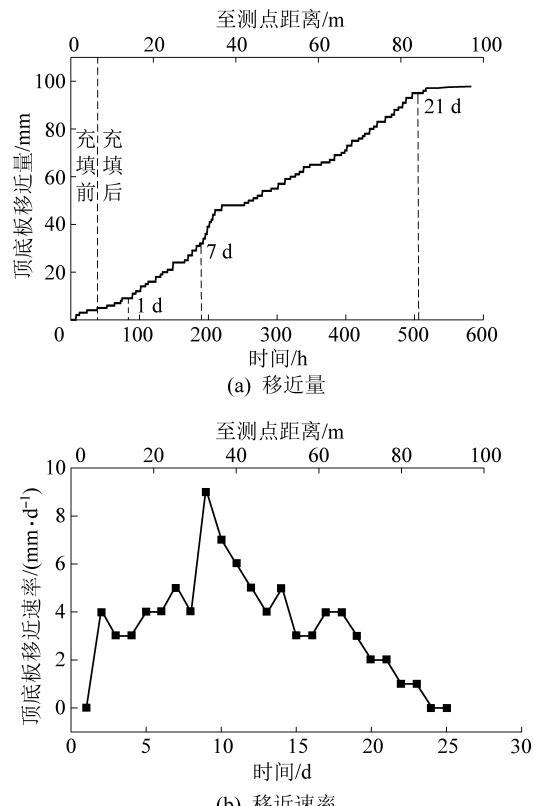


图6 16192测点顶底板移近量和速率曲线

Fig.6 Convergence curve and rate curve of No.16192 roof-to-floor

## 4 结论

1)为解决充填效果评价的滞后性问题,研制出新型顶板动态仪,达到对煤矿封闭区域顶底板进行实时监测的目的。

2)分析采集得到的顶底板移近量,得到充填体

变形与顶底板移近规律;验证充填过程中充填步距、顶板支护强度等充填工艺参数的合理性;同时说明超高水材料充填体能够控制覆岩活动,能够实现绿色充填开采。

3)根据顶底板移近情况对充填体力学性能等充填工艺参数进行优化。工程实践表明:经过调整后的充填体能够更早地控制上覆岩层的活动,减少采空区顶底板移近量,将充填效果评价关口前置。

#### 参考文献(References):

- [1] 钱鸣高.煤炭的科学开采[J].煤炭学报,2010,35(4):529-534.  
QIAN Minggao. The scientific exploitation of coal [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(4): 529-534.
- [2] 李叔磊,冯涛.条带膏体充填开采地表沉陷研究[J].采矿技术,2012,12(6):9-14.  
LI Shulei, FENG Tao. Strip subsurface subsidence study with paste filling [J]. Mining Technology, 2012, 12(6): 9-14.
- [3] 许家林,钱鸣高.绿色开采的理念与技术框架[J].科技导报,2007,25(7):61-65.  
XU Jialin, QIAN Minggao. Green mining concept and technology framework [J]. Science and Technology Review, 2007, 25 (7) : 61-65.
- [4] 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,2009,20(1):1-14.  
MIAO Xiexing, QIAN Minggao. The current status and prospects of China's coal resources green mining research [J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2009, 20(1) : 1-14.
- [5] XU Jialin, LAI Wenqi, QIAN Minggao. The development of China's coal mine filling mining prospects and technical approaches. [C]// The Eighth International Mining Conference. Beijing: Mining Research and Development; 2004.
- [6] 康红普,颜立新,郭相平,等.回采工作面多巷布置留巷围岩变形特征与支护技术[J].岩石力学与工程学报,2012,31(10):2022-2036.  
KANG Hongpu, YAN Lixin, GUO Xiangping, et al. Deformation characteristics and support technology of surrounding rock in multi-lane layout of mining face [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(10) : 2022-2036.
- [7] 权凯,刘治成,徐向阳,等.固体充填采煤沿空留巷顶板下沉力学机理研究[J].煤炭科学技术,2018, 46 (03) : 33-38.  
QUAN Kai, LIU Zhicheng, XU Xiangyang, et al. Study on mechanical mechanism of roof subsidence in gob side entry retaining under consolidated backfill mining [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46 (03) : 33-38.
- [8] 孔恒,马念杰,王梦恕,等.基于围岩动态监测与反馈的锚固巷道稳定控制[J].岩土工程学报,2002,24(4):475-478.  
KONG Heng, MA Nianjie, WANG Mengshu, et al. Stability control of anchor roadway based on surrounding rock dynamic monitoring and feedback [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2002, 24 (4) : 475-478.
- [9] 苏夏收,魏红印,苏毅.复杂顶板条件下切顶留巷关键技术研究[J].煤炭科学技术,2019,47(8):70-77.  
SU Xiaoshou, WEI Hongyin, SU Yi. Research on key technology of gob-side entry by roof cutting with complex roof condition [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(8) : 70-77.
- [10] 冯光明.超高水充填材料及其充填开采技术研究与应用[D].徐州:中国矿业大学,2009.
- [11] 丁玉,冯光明,王成真,等.超高水充填材料基本性能试验研究[J].煤炭学报,2011,36(7):1087-1092.  
DING Yu, FENG Guangming, WANG Chengzhen, et al. Experimental research on basic performance of ultra-high water filling materials [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(7) : 1087-1092.
- [12] 冯光明,孙春东,王成真,等.超高水材料采空区充填方法研究[J].煤炭学报,2010,35(12):1963-1968.  
FENG Guangming, SUN Chundong, WANG Chengzhen, et al. Study on filling method for goafs of ultra-high water materials [J]. Chinese Journal of Coal Society, 2010, 35(12) : 1963-1968.
- [13] 冯光明,王成真.超高水材料采空区充填工艺系统与应用研究[J].山东科技大学学报,2011,30(2):1-8.  
FENG Guangming, WANG Chengzhen. Super high water material goaf filling process system and application research [J]. Journal of Shandong University of Science and Technology, 2011, 30 (2) : 1-8.
- [14] 王旭锋,孙春东,张东升,等.超高水材料充填胶结体工程特性试验研究[J].采矿与安全工程学报,2014,31(6):852-856.  
WANG Xufeng, SUN Chundong, ZHANG Dongsheng, et al. Experimental study on engineering properties of super high water material filling cement [J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2014, 31 (6) : 852-856.
- [15] 冯光明.超高水充填材料及其充填开采技术研究与应用[D].徐州:中国矿业大学,2009:36-68.
- [16] 冯光明,王成真.超高水材料采空区充填工艺系统与应用研究[J].山东科技大学报:自然科学版,2011,30(2):1-8.  
FENG Guangming, WANG Chengzhen. Research on filling process system and application of goaf in ultra-high water materials [J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science, 2011, 30(2) : 1-8.
- [17] 贾后省,马念杰,赵希栋,等.深埋薄基岩大跨度切眼顶板失稳垮落规律[J].采矿与安全工程学报,2014,31(5):702-708.  
JIA Housheng, MA Nianjie, ZHAO Xidong, et al. The law of instability and fall of large-span cut-off roof in deep buried thinbed rock [J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2014, 31(5) : 702-708.
- [18] 杜坤,李地元,金解放.充填体与岩体能量和强度匹配的分析及应用[J].中国安全科学学报,2011,21(12):82-87.  
DU Kun, LI Diyuan, JIN Jiefang. Analysis and application of energy and strength matching between backfill and rock mass [J]. Chinese Journal of Safety Science, 2011, 21(12) : 82-87.
- [19] 郭文兵,柴华彬.煤矿开采损害与保护[M].北京:煤矿工业出版社,2008.
- [20] 杜蜀宾.济宁太平煤矿建筑物下条带开采与充填开采比较研究[D].西安:西安建筑科技大学,2007.