

矿山压力与灾害控制

过大落差断层深孔预裂爆破施工工艺研究

张浩¹, 李廷春¹, 张治高², 孙广京², 贾绪路³

(1. 山东科技大学 山东省土木工程防灾减灾重点实验室, 山东 青岛 266590;

2. 山东新巨龙能源有限责任公司, 山东 菏泽 274918; 3. 山东管理学院, 山东 济南 250100)

摘要 深孔预裂爆破技术应用于综采工作面过大落差断层中, 能帮助提高采煤产量, 保障工作面生产连续, 但受井下环境恶劣、施工技术要求高以及工作面安全问题等因素影响, 制约着此技术推广使用。为克服上述困难, 结合以往施工经验, 对施工工艺进行了系统化研究, 提出了钻孔施工原则, 以满足高质量钻孔要求, 并对装药、封堵、起爆施工方法进行优化创新, 弥补原有技术中药包分布不均、封堵密实差以及爆破振动不易控制等缺陷, 保证了各项工序安全高效、衔接紧密。在新巨龙煤矿 2303S 工作面, 结合断层具体情况, 进行了过断层技术方案制定和施工工艺的应用, 通过分析爆后效果, 证明了深孔预裂爆破施工工艺能有效提高爆破效果、保障施工安全, 使采煤机顺利通过断层。

关键词 大落差断层; 深孔预裂爆破; 施工工艺

中图分类号 TD235.4 **文献标识码** A **文章编号** 1006-6225 (2018) 01-0046-05

Study on Deep-hole Presplitting Explosion Processing on Crossing Large Fall Fault

ZHANG Hao¹, LI Ting-chun¹, ZHANG Zhi-gao², SUN Guang-jing², JIA Xu-lu³

(1. Shandong University of Science and Technology, Shandong Province Key Laboratory of Civil Engineering Disaster Prevention and Reduction, Qingdao 266590, China; 2. Shandong Xinjulong Energy Co., Ltd., Heze 274918, China; 3. Shandong Management College, Jinan 250100, China)

Abstract: Deep-hole presplitting explosion technology was applied to crossing large fall fault of fully mechanized coal mining face, then coal production would be improved and continuous production of working face would be ensured, but the technology promotion was restricted by some factors, which include worse environment underground, high standard of the technology and safety problems of working face. And then the technology processing was analyzed systematize under the anciently experience, processing law was put forward, and high drilling quality would be meted, powder charge, block off and explosion and so on were innovated, some disadvantages of old processing that explosive cartridge distribution uneven, worse block off and explosion shaking could not be controlled easily and so on, and every process was assured safety and efficiency, the technology was applied in 2303S working face of Xinjulong coal mine under specific condition of fault, the results showed that deep-hole presplitting explosion processing could improved explosion results effectively, safety processing was ensured, coal cutter crossing fault successfully.

Key words: large fall fault; deep-hole presplitting explosion; processing

采煤工作面过大落差断层的难易程度与断层自身产状、煤层本身厚度、顶底板条件、生产技术条件等诸多因素有关^[1-3]。目前针对大落差断层常采用另开切眼重新布置工作面的搬家跳采法, 然而此方法需要投入大量人力物力, 采煤面部分区域搁置时间长, 导致工作面压力增大, 增加过断层期间矿压观测和顶底板控制的难度, 打破了工作面的正常施工工序。

预裂爆破是在不产生抛掷的条件下充分利用爆炸能量, 使岩石破碎成裂隙发育体的一种控制爆破技术。在煤矿综采作业遇到断层时应用深孔预裂爆

破技术, 预先破碎断层带岩石, 能有效帮助综采机顺利推进, 提高采煤产量, 保证工作面生产的连续性。然而深孔预裂爆破技术的现场施工存在诸多困难^[4-9]:

(1) 深孔预裂爆破孔深长, 对钻孔精度要求高, 实际钻孔达标率低。

(2) 传统装药、封堵技术的应用易出现炸药分布不均匀、封堵密实度差等问题, 起爆后块度级配差、冲孔现象严重。

(3) 工作面附近机械设备多, 加上断层带应力复杂, 必须合理设计起爆方式, 以控制爆破振

收稿日期 2017-11-14

DOI 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2018.01.012

基金项目 国家自然科学基金资助项目 (41772299, 51604166, 51279096)

作者简介 张浩 (1993-), 男, 山东东营人, 硕士研究生, 主要从事矿山爆破、巷道快速掘进等方面研究。

引用格式 张浩, 李廷春, 张治高, 等. 过大落差断层深孔预裂爆破施工工艺研究 [J]. 煤矿开采, 2018, 23 (1): 46-50.

动, 保障支护体系以及周围设备安全。

目前关于深孔预裂爆破过大落差断层实际应用还不够成熟, 由于技术方案要求高, 现场施工难度大, 采取以往的施工工艺在施工质量、效率以及爆后效果等方面都很难达到标准。因此, 探索合理、高效的深孔预裂爆破施工工艺对保证井下爆破作业的安全以及提高煤炭生产具有重要意义。

1 深孔预裂爆破施工工艺及安全技术

爆破施工过程包括钻孔、装药、封堵、起爆等方面, 每一环节都需要合理的设计, 保证高精度施工、高效率作业。

1.1 钻孔施工原则

深孔预裂爆破钻孔深度大、精度要求高, 钻孔间距、倾角的偏差很容易造成爆破后孔间裂隙不贯通, 岩石块度不均匀。为保证每一钻孔达到设计标准, 提出以下施工原则:

(1) 设备选型 钻机性能要求应保证移动方便、固定牢固、易操作、效率高、过载能力强、成孔率高等。

(2) 钻孔标准 钻孔工作严格按照设计位置及坡度进行施工, 满足定位准、角度精、推进稳、炮孔齐 4 项要求。

(3) 施工要求 钻孔开孔时, 应尽量避免钻杆与锚杆、锚索相交, 同时协调工作面综采设备安装与钻孔平行作业, 钻孔过程中, 遇软岩立即停钻, 防止孔内坍塌, 影响围岩结构平衡。

(4) 质量检查 钻孔施工完毕后, 应组织专人(施工、主管技术员及项目组成员)验收, 对不符合要求的钻孔应进行补钻或择点另行钻孔。

(5) 完工处理 每一钻孔结束后, 须进行探孔, 若发现炮孔内煤渣、岩渣, 插入高压风管冲洗, 并立即装药, 避免在地应力及振动作用下发生塌孔现象。

1.2 装药施工工艺

1.2.1 装药结构

由于深孔封堵长, 最小抵抗线小于临界抵抗线, 爆破作用只发生在岩石内部, 正向装药与反向装药结构爆破效果差别不明显, 然而正向装药利于施工, 节省起爆器材^[10-11], 因此采用正向不耦合装药结构, 以每 3 节药卷捆绑的方式增加药柱直径, 按线装药量分段绑扎在导爆索上, 炸药沿预裂孔分布均匀, 装药截面见图 1。本装药结构通过增加单位长度装药量, 能有效提高预裂爆破效果, 保证稳定传爆, 同时结合该装药特点提出了一整套衔

接性强、安全高效的装药、封堵施工技术。

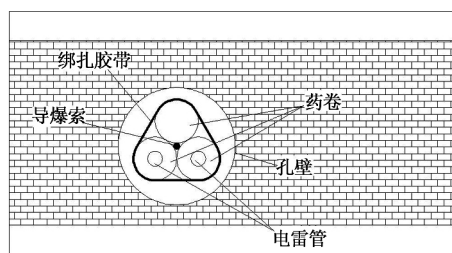


图 1 装药截面

1.2.2 装药施工

目前常用的深孔装药方法是先将炸药装入 PVC 管中, 再将其整体送入炮孔, 对于长度较长的药包, 采用多段 PVC 管送入炮孔时, 在每段接点处易出现错位、打折现象, 若施工时再无察觉, 导致炸药分布不均匀, 起爆后大量爆炸能量作用于岩石, 爆生气体作用时间减小, 对应粉碎圈增大, 裂隙圈减小, 孔间块度级配差, 无法达到预裂爆破的目的。

为了保证高质量的装药结构, 结合多次施工经验, 提出了适于深孔的简易装药方法: 首先利用包扎胶带制作 2~3m 条形药包, 用木制端头的炮棍将药包捣入炮孔底部, 导爆索延伸至炮孔外; 随后在导爆索上捆绑一段相同结构的 3 节药卷, 再用炮棍将捆绑好的药包沿导爆索顶入炮孔内前一药包位置, 反复此步骤直至达到规定装药长度; 最后制作炮头时, 同样将 3 节药卷绑扎在导爆索周围, 对其中的 2 卷药卷顺着顶部中心插入电雷管, 用电雷管脚线缠在药卷周围后, 使用炮棍顶住未装雷管的药卷并推入炮孔中, 引出电雷管脚线。

1.3 封堵施工工艺

深孔预裂爆破孔深长、孔径大、封堵炮泥用量大, 封堵施工一般采用压风封孔器进行压风喷泥操作^[12], 该方法充分利用井下丰富的风压资源, 将炮泥输送管送至炸药顶端, 通过边抽管边输泥完成封堵, 然而实际封堵时仅是利用风压将炮泥挤入炮孔中。虽然炮泥自身密实度较高, 但不能保证炮泥与孔壁的紧密性和粘结性, 对于装药量较大的炮孔, 起爆后易出现冲孔现象, 严重影响施工安全。为解决冲孔问题, 提高封堵整体密实度, 提出利用素水泥浆替代炮泥作为封孔材料, 水泥浆能流入孔壁裂隙, 当水泥浆凝固养护至指定强度时水泥与周围岩石可视为同一种介质, 增强了与孔壁粘结性。

考虑灌入的素水泥浆具有流体性质, 受所设计不同倾斜炮孔影响在重力作用下向孔口或孔底任意流动, 因此提出了俯角炮孔与仰角炮孔两种施工方

法，炮孔装药封堵结构如图 2 所示。

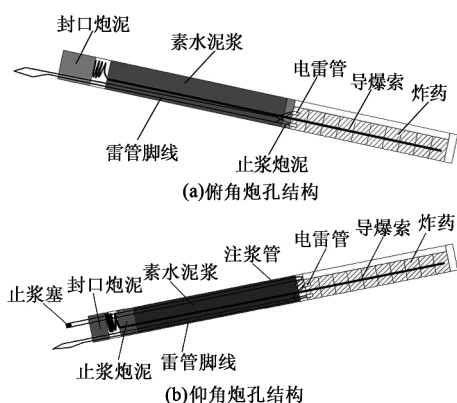


图 2 炮孔装药封堵结构示意图

(1) 俯角炮孔 利用炮棍向炮孔内送入一小段止浆炮泥至装药顶端，随后向炮孔内注入素水泥浆，孔口处留 0.3~0.5m 空间，将炮孔外延伸出来的导爆索团在水泥浆表面处，最后用封口炮泥将剩余空间填塞。

(2) 仰角炮孔 向炮孔内插入带有回弯头的注浆管顶住药包，炮孔内 0.3~0.5m 处塞入一小段止浆炮泥，利用注浆泵向孔内灌入水泥浆，完成后注浆管口处填塞止浆塞，将炮孔外延伸出来的导爆索团在水泥浆表面处，最后用封口炮泥将剩余空间填塞。

为保证水泥浆能达到指定强度，需要对其进行 48h 的凝固养护，水泥浆可加入一定量早强剂提高强度，减小凝固时间，具体见表 1。

表 1 普通水泥浆与加早强剂水泥浆强度比较

水泥浆类别	凝固 24h 后强度/MPa	凝固 48h 后强度/MPa
普通水泥浆	3~5	6~8
加早强剂水泥浆	4~6.5	8~10

1.4 起爆施工工艺

1.4.1 爆破振动预测

断层带围岩应力复杂、稳定性差，炸药爆炸产生爆破振动容易带来安全隐患，轻则引起巷道局部岩石脱落、锚杆松动，重则造成巷道垮塌、诱发冲击地压，因此，对爆破振动进行验算，预测其影响范围是保证爆破安全必不可少的环节^[3]。爆破振动质点振动速度计算：

$$v = k (\sqrt[3]{Q/R})^{\alpha} \quad (1)$$

式中， v 为质点峰值振速，cm/s； Q 为最大一段起爆药量，kg； R 为爆心距，m； k ， α 为与场地、装药等情况有关的拟合参数。

通过式 (1) 可以看出，降低一次起爆药量是控制爆破振动的最直接方法。对于矿山巷道的振动

安全允许标准为 18~30m/s；大落差断层受地质构造影响，振动速度应控制在 20m/s 左右，结合式 (1) 确定了起爆药量与爆破振动影响半径的对应关系，见表 2。

表 2 起爆药量与爆破振动影响半径对应关系

起爆药量/kg	影响半径/m	振动速度/(m·s ⁻¹)
100	18	19.64
200	22	20.55
300	26	19.59
400	28	20.24
500	30	20.41
600	32	20.29

1.4.2 分组集中起爆方式

考虑到爆破振动和起爆网路设计，提出了分组集中起爆方式，将爆破区域以 10m 为一区间分组，同组炮孔装药量大于 200kg 再分组。起爆时同组炮孔集中起爆，保证预裂效果；一组起爆后应对爆破区域做质量检查，由于封堵施工时将成团导爆索置于孔口附近，可根据各孔口处是否有封口炮泥隆起或冲飞的现象判断炸药起爆情况，及时处理“盲炮”等问题；确认安全后下一组炮孔再起爆。

1.4.3 安全技术措施

(1) 采用双雷管并联起爆、双导爆索加炸药传爆，确保稳定的起爆和传爆。

(2) 装药前，导通雷管、连接线，装药后重复上述步骤；爆破连线必须按照规程执行，接头要清洁并拧紧，线连接完毕后，爆破员再检查连接是否正确，有无错误或漏连。

(3) 装药时，爆破员应手拉直雷管脚线使其紧靠炮眼的孔壁，注意不要把脚线捣断或捣破脚线绝缘皮。

(4) 所有接线头必须使用防水胶带包扎，接头处必须悬空，不得同任何物体接触。

(5) 起爆前，应在巷道薄弱点设置单体液压支柱，对施工现场进行清理，将需要保护的设施移至安全允许距离之外，无法移动的施工机械设备可采用挂炮被的防护措施。

以上述深孔预裂爆破施工工艺为指导，先后在新巨龙 2302N，2303S，2304S 工作面过断层方案中进行了技术应用，本文以 2303S 工作面典型工程为背景，对过大落差断层方案进行设计。

2 过大落差断层方案设计

2.1 工程概况

新巨龙煤矿 2303S 工作面倾斜长度 268.4m，走向长度 2294.3m，根据上、下平巷以及切眼揭露

资料,煤层厚度 4~10.7m,平均 7.4m,煤层倾角 4~13°。工作面下端头推采至导线点 2X33 以南 24m 时揭露 FD6 断层,如图 3 所示,断层顺工作面方向 26m 后进入 2303S 工作面,落差 10.3m,根据三维地震勘探资料,FD6 断层在工作面内延展约 430m,对工作面影响很大。

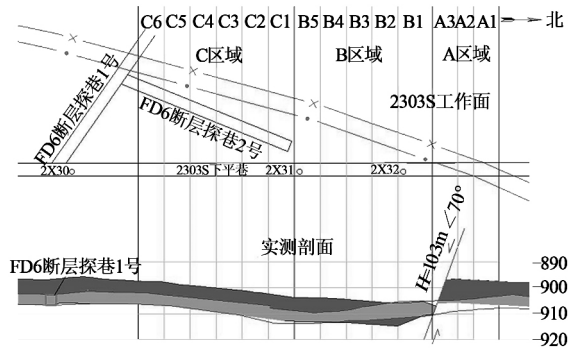


图 3 2303S 工作面 FD6 断层产状

2.2 爆破方案设计

根据 2302S 下平巷实测剖面分析断层产状,设计 FD6 断层探巷 1 号在导线点 2X30 以南 5m 处开门,沿断层走向继续开 FD6 断层探巷 2 号,划分了对工作面推采影响较大的爆破区域 A, B, C。

A 区域 该区域北起下平巷揭露岩石 1m 处 (2X32 探孔北 38m),南至下平巷有煤揭露处 (2X32 探孔北 12m),工作面长度约为 26m,将其细化为 A1~A3 这 3 个区段,预裂孔布置在 2303S 下平巷。

B 区域 该区域北起 A 区域北边界 (2X31 探孔),南至 2303S 工作面 FD6 断层探巷 2 号终止处,工作面长度约为 53m,将其细化为 B1~B5 共 5 个区段,预裂孔布置在 2303S 下平巷。

C 区域 该区域北起 B 区域北边界 (2X31 探孔),南至 2303S 工作面 FD6 断层探巷 1 号与断层交界处,工作面长度约为 73m,将其细化为 C1~C6 共 6 个区段,预裂孔布置在 FD6 断层探巷 2 号,结合实测剖面图可知,C3~C6 区段无需爆破。

2.3 爆破施工工艺应用与参数设计

2.3.1 钻孔布置

由于采煤工作面断层构造复杂,随着断层走向的变化,影响采煤机正常运行的区域也在发生变化,特根据所爆岩层厚度对钻孔布置方式进行合理分级^[4]:岩石厚度 0~1.5m 时,采用单排孔布置方式;岩石厚度为 1.5~2.5m 时,采用上下交错的双排孔布置方式;岩石厚度为 2.5~3.5m 时,采用上下交错的三排孔布置。钻孔采用 KHYD115 型岩

石电钻,技术特征见表 3。

表 3 KHYD115 型岩石电钻主要技术特征

技术特征	参数
外观尺寸/(mm×mm×mm)	1080×460×540
主机重量/kg	155
钻孔直径/mm	42~80 (岩层) /80~120 (煤层)
钻孔深度/m	30 (岩层) /40~100 (煤层)
钻孔速度/(mm·min ⁻¹)	280 (岩层) /470 (煤层)
额定功率/kW	7.5

2.3.2 装药设计

采用 3 节捆绑式装药结构,应满足大直径钻孔、小直径药卷的要求。因此,现场钻孔孔径 76mm,炸药选用煤矿许用二级水胶炸药,规格:质量 100g/个,长度 100mm,直径 27mm。

2.3.3 封堵施工

早期封堵材料选用黄土炮泥,冲孔问题频繁发生,增加封堵量后,对于封堵段周围岩石破碎不充分甚至未破碎;改进后利用素水泥浆封堵炮孔,控制水灰比为 1:1 以增加黏稠度,并按水泥量 3.5% 加入甲酸钙早强剂,养护时间为 1d,相比炮泥材料可减小封堵长度 40%~60%。

2.3.4 参数设计

依据深孔预裂爆破理论,结合实际断层情况与采煤要求,对各区域爆破参数进行设计,见表 4。

表 4 各区域爆破参数统计

区段/区域	A			B					C	
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2
爆破面长度/m	10	6	10	13	10	10	10	10	12	12
最大爆破厚度/m	1.2	1.9	3.0	3.0	2.7	3.3	3.0	3.0	1.9	1.2
炮孔数目/个	10	11	26	17	17	17	10	10	10	10
总炮孔深度/m	26	35	103	142	164	260	290	320	100	55
总封堵长度/m	7.5	9.5	30	39.5	47	75.5	82	90	29	15.5
用药量/kg	41.6	56	165	227	262	416	464	512	62.5	34.4

2.3.5 起爆施工

A, C 区域各区段装药量小,可直接进行起爆;B 区域位于下平巷,各区段装药量大,须分 2 次或 3 次起爆。为保护巷道围岩,分次起爆时对于保护侧边缘孔以及次边缘孔适当加强封堵长度,降低先爆区域的自由面效应,见图 4。

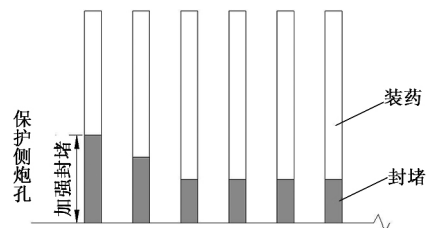


图 4 保护侧炮孔加强炮孔封堵

2.4 爆破效果评价

(1) 爆破后各个炮孔封口炮泥隆起较多,冲

飞较少,未出现冲孔、盲炮等现象,割煤机运行到爆破区域时,观察到孔间裂缝贯通,岩石块度均匀,预裂效果比较理想,原因在于高质量的钻孔、装药结构,结合水泥浆封堵炮孔,保证了炸药能量在孔内的充分利用,延长爆生气体作用时间,促进了岩石裂隙扩张、发展。

(2) 起爆后仅在 2303S 下平巷装药量较大的区段引起少量顶板岩石脱落,支护体系未受影响,原因在于对爆破振动的影响范围进行分析后,采用分组集中起爆方式,降低了一次性起爆药量,有效控制了爆破振动。

3 结束语

通过分析深孔预裂爆破技术在过大落差断层中传统施工工艺的不足,对钻孔、装药、封堵、起爆等环节的合理设计,实现了以下有益效果:

(1) 为克服深孔预裂爆破受钻孔精度高而引起的诸多限制,对钻孔每一项工序提出施工原则,在高质量钻孔条件下,后续施工速度明显提高。

(2) 通过优化装药结构与装药技术,实现了边制作药包边装药,孔内炸药分布均匀,相比原有技术节省大量材料消耗。

(3) 采用水泥浆作为封孔材料,封孔密实度显著提高,实际应用后再无出现冲孔现象,同时将导爆索团在孔口附近能有效检验孔内起爆情况。

(4) 提出了分组集中起爆方式,通过控制一次起爆药量,减小爆破振动影响范围,保护了支护体系和机具设备。

以优化后的施工工艺为指导,深孔预裂爆破技术过大落差断层在新巨龙煤矿得到了成功运用,采煤机过断层顺利,相比传统的搬家跳采方法,施工

耗时节约了一倍时间,取得了良好的工程应用效果,也为其他相似工程提供了借鉴。

参考文献

- [1] 郭守泉,彭永伟.综采工作面过断层技术综述[J].煤矿开采,2008,13(4):30-31.
- [2] 李卫平.采煤工作面过断层爆破工艺[J].煤矿安全,2015,46(2):139-142.
- [3] 马立强,余伊河,金志远,等.大倾角综放面预掘巷道群快速过断层技术[J].采矿与安全工程学报,2015,32(1):84-89.
- [4] 邵晓宁.厚硬砂岩顶板破断规律及深孔超前爆破弱化技术研究[J].淮南:安徽理工大学,2014.
- [5] 李廷春,刘洪强.超深孔一次爆破成井施工工艺研究[J].爆破,2012,29(1):40-44,58.
- [6] 王青泉,焦宏兴.溜煤眼深孔爆破一次成井施工技术[J].矿业安全与环保,2003,30(S1):198-199,204.
- [7] 崔晓荣.露天煤矿高温爆破施工工艺与组织管理[J].爆破,2016,33(2):149-154.
- [8] 汪开旺,李守国,张兴华,等.深孔控制水压爆破工艺技术[J].煤矿安全,2011,42(5):44-47.
- [9] 胡本军.深孔松动爆破技术在 5413_{II}顺槽施工中的应用[J].矿业安全与环保,2003,30(S1):43-45,2.
- [10] 黄文尧,穆朝民,宗琦,等.水胶药柱深孔预裂爆破弱化综采面硬岩断层分析[J].重庆大学学报,2013,36(7):102-107.
- [11] 刘优平,龚敏,黄刚海.深孔爆破装药结构优选数值分析方法及其应用[J].岩土力学,2012,33(6):1883-1888.
- [12] 王启明,许卫东,张学博.瓦斯分源抽放技术的应用与实践[J].煤炭科学技术,2011,39(4):65-68,93.
- [13] 李廷春,刘洪强,王超.超深孔一次成井微差爆破技术研究[J].岩土力学,2012,33(6):1742-1746.
- [14] 吴帅,李廷春,贾绪路,等.过大落差断层深孔预裂爆破合理孔距研究[J].科学技术与工程,2017,17(6):163-166.

责任编辑:潘俊卿

(上接 7 页)

支护或欠支护,同时减少了反复高强支撑对巷道顶板造成的破坏,增强了超前支护效果,有效地保护巷道顶板。

参考文献

- [1] 康红普,王金华,林健.煤矿巷道支护技术的研究与应用[J].煤炭学报,2010,35(11):1809-1814.
- [2] 潘永健,卫进.工作面巷道超前支护设备的设计[J].中国煤炭,2009,35(3):64-66.
- [3] 赵宏珠,戴秋梁.加大综采工作面几何参数对大采高支护设备发展的新要求[J].煤矿开采,2009,14(6):1-6.
- [4] 王国法,牛艳奇.超前液压支架与围岩耦合支护系统及其适应性研究[J].煤炭科学技术,2016,44(9):19-25.

- [5] 卢进南,毛君,谢苗,等.巷道超前支架全支撑态动力学模型[J].煤炭学报,2015,40(1):50-57.
- [6] 谢苗,白雅静,毛君,等.不同工况下超前支护装备的模态分析[J].工程设计学报,2015(3):236-242.
- [7] 谢苗,刘治翔,毛君.迈步过程接触刚度变化对超前支架动态响应影响分析[J].中国机械工程,2017,28(12):1406-1412.
- [8] 潘一山,肖永惠,李忠华,等.冲击地压矿井巷道支护理论及应用[J].煤炭学报,2014,39(2):222-228.
- [9] 曾明胜.深部综放工作面巷道强力超前支护系统设计[J].煤炭科学技术,2011,39(6):26-29.
- [10] 徐亚军.两柱掩护式液压支架围岩耦合关系研究及相关参数优化[J].北京:煤炭科学研究总院,2013.
- [11] 徐亚军.液压支架顶梁外载作用位置理论研究与应用[J].煤炭科学技术,2015,43(7):102-106.

责任编辑:施红霞