

# 复杂条件沿空留巷充填液压支架设计研究

辛家祥

(天地科技股份有限公司 开采设计事业部, 北京 100013)

**摘要** 以阳煤集团新元公司沿空留巷为工程背景, 详细介绍了复杂条件工作面沿空留巷影响因素、充填液压支架支护系统组成、空间布置及井下试验, 通过液压支架压力监测, 评价支护效果。试验表明: 由锚杆、锚索配合单体支柱、铰接顶梁组成的巷内支护, 充填液压支架组成的采空区及待充填区支护, 高水充填墙体组成的巷旁支护, 能有效控制沿空留巷围岩变形, 保持留巷稳定。基于井下试验情况, 提出了复杂条件沿空留巷充填液压支架的设计原则, 并对存在的问题, 提出了改进意见。

**关键词** 沿空留巷; 液压支架; 松软破碎; 高瓦斯; 设计

**中图分类号** TD355.4 **文献标识码** A **文章编号** 1006-6225 (2019) 01-0048-05

## Backfill Hydraulic Support Designing of Gob Side Entry Retaining with Complicated Situation

XIN Jia-xiang

(Coal Mining & Designing Department, Tiandi Science & Technology Co., Ltd., Beijing 100013, China)

**Abstract:** It taking gob side entry retaining of Xinyuan company of Yangmei group as engineering background, and then the influence factors, system composition of backfill hydraulic support, spatial distribution and underground testing, according pressure monitoring of hydraulic support, the supporting effect was evaluated. The results showed that inner roadway supporting with bolt, cable and single prop and hinged roof beam, gob and waiting backfill supporting component by backfill hydraulic support, roadway side supporting was high water packing wall, and then surrounding rock deformation of gob side entry could be effectively controlled, the roadway could maintained stability. Based on underground testing, designing principle was put forward, some improved options for remaining questions were put forward.

**Key words:** gob side entry retaining; hydraulic support; soft and broken; high methane; designing

无煤柱开采分为沿空掘巷和沿空留巷, 沿空留巷即在留设巷道靠采空区侧人工构筑巷旁充填墙体, 支撑顶板并隔离采空区, 从而达到巷道复用目的。目前, 沿空留巷在埋深较浅 (<200m)、坚硬顶、底板条件工作面取得了较好效果, 但条件较差矿区成功经验较少。笔者结合阳煤集团新元公司3107工作面复杂地质条件, 设计了回风巷沿空留巷充填液压支架及支护系统, 根据留巷效果及充填支架使用情况, 对今后设计需改进之处进行了分析总结。

### 1 试验工作面概况

阳煤集团新元公司为高瓦斯突出矿井, 3107工作面煤层平均埋深 419m, 煤厚 2.82m, 工作面倾角  $2^{\circ} \sim 6^{\circ}$ , 实体煤长度 240m, 走向长度 1591.4m。直接顶为灰黑色砂质泥岩, 平均厚度 5.66m; 基本顶为中粒粉砂岩, 厚度 2.1~3m; 直

接底为砂质泥岩, 平均厚度 2.98m; 老底为灰色中粒细砂岩, 平均厚度 3.94m。进风巷断面尺寸 (宽度×高度): 5200mm×3000mm, 锚网支护; 回风巷断面尺寸 (宽度×高度): 4800mm×3000mm, 锚网支护。

由上可知, 试验工作面埋深 >400m, 属高瓦斯、松软破碎顶底板复杂地质条件沿空留巷, 技术难度较大。试验工作面三机配套设备如表 1 所示。

表 1 工作面三机配套设备

| 配套设备 | 型号             |
|------|----------------|
| 采煤机  | MG400/930-WD   |
| 输送机  | SGZ1000/1400   |
| 中部支架 | ZY6800/18/37D  |
| 过渡支架 | ZYG6800/18/37D |

### 2 沿空留巷支护系统及其关键技术

#### 2.1 影响因素分析

长期实践表明: 沿空留巷成功与否, 主要受煤

收稿日期 2018-08-03

[DOI] 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2019.01.011

基金项目 国家重点研发计划项目 (2017YFC0804308); 天地科技股份有限公司技术创新基金 (KJ-2015-TDKC-01); 中国煤炭科工集团有限公司科技创新基金 (2017MS005)

作者简介 辛家祥 (1983-), 男, 山东阳谷人, 副研究员, 主要从事采煤工作面支护设备设计。

引用格式 辛家祥. 复杂条件沿空留巷充填液压支架设计研究 [J]. 煤矿开采, 2019, 24 (1): 48-52.

层厚度及埋藏深度、直接顶厚度及其岩性、工作面倾角等因素影响。

### 2.1.1 煤层厚度及埋藏深度

(1) 煤层厚度越大, 直接顶及基本顶的垮落高度、垮落空间及顶板来压强度也越大, 巷道围岩变形严重, 留巷断面收缩率急剧增加, 不利于巷道围岩控制。

(2) 煤层开采高度越大, 充填墙体高度及宽度也需相应增加, 充填成本大幅提升。

(3) 埋深越大, 受“三高一扰动”影响越大, 沿空留巷施工越困难, 对充填支架要求也越高, 要求: 增加液压支架结构宽度, 提高支架稳定性; 增加液压支架工作阻力, 减小纵向支撑长度, 提高支护强度, 改善切顶效果。

试验工作面埋深 $>400\text{m}$ , 平均煤厚  $2.82\text{m}$ , 属埋深较大的中厚煤层沿空留巷, 难度及成本适中, 效果容易保证, 但充填支架设计时要考虑增加支护强度及支护结构宽度。

### 2.1.2 直接顶厚度及其岩性

(1) 直接顶厚度越大, 垮落后越有可能及时充满采空区, 上覆岩层在煤体和矸石支撑下, 取得运动平衡, 巷道围岩变形趋向缓和直至稳定, 有利于巷道围岩的控制和稳定。若直接顶厚度较小, 垮落后的直接顶不足以充满采空区, 会导致上覆岩层破断, 造成巷道及巷旁充填体变形量较大, 严重影响留巷稳定性, 需采取特殊支护措施, 从而增加成本。试验工作面直接顶厚度较薄, 留巷过程中需采取措施严格控制巷道围岩及充填墙体变形。

(2) 煤层直接顶岩性及抗压强度对留巷影响显著。直接顶抗压强度小, 巷内顶板易破碎, 需采取高预应力锚杆、锚索加强支护及架前铺网等措施, 防止顶板冒落, 施工工艺较复杂; 直接顶抗压强度大, 则巷道顶板的垂直位移和垂直应力也大, 巷旁切顶阻力也大, 需要提高支架支护强度, 以及及时切断直接顶, 减小巷旁支护载荷, 控制巷道变形。

试验工作面直接顶为砂质泥岩, 属松软顶板, 需对巷道采取补强措施。

### 2.1.3 工作面倾角

试验工作面倾角  $2^{\circ}\sim 6^{\circ}$ , 属近水平开采, 煤层倾角对实施沿空留巷工艺基本无影响, 沿空留巷液压支架无需采取防倒措施, 但要考虑采取措施防止采空区冒落矸石窜入支架内部, 影响支架正常使用。

## 2.2 沿空留巷支护系统

如图 1 所示, 沿空留巷支护系统包括: 巷内支护, 即留设巷道内的支护, 包括原有支护及巷道补强支护等; 巷旁支护, 即充填墙体支护; 待充填区域支护; 采空区支护, 即充填墙体采空区侧支护; 其他辅助设施。只有合理构筑沿空留巷支护系统, 才能更好适应大埋深、高瓦斯、松软顶、底板条件沿空留巷。

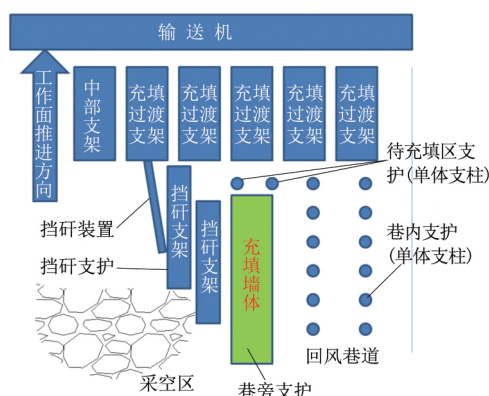


图 1 沿空留巷支护系统构成

### 2.2.1 巷内支护

为了实现巷道复用, 巷道内原有支护及补强支护(绝大多数为锚杆、锚索)均需保留并维护, 因此巷内支护不能采用液压支架, 避免支架频繁升降、拉移破坏巷道原有支护、补强支护及顶板的完整性, 只能采用单体支柱配合铰接顶梁组成的简单支护系统, 必要时须辅以木垛等密集支护以控制顶板下沉。

### 2.2.2 巷旁支护

巷旁支护经历了木垛、密集支柱、矸石、混凝土砌块、高水材料及混凝土等支护方式, 由于高水材料和混凝土具有较好的泵送及速凝性能, 目前多使用这两种材料构筑充填墙体。

### 2.2.3 充填墙体采空区侧支护

由于巷旁充填墙体从构筑并达到所需强度需要一定空间和时间, 在这个空间与时间内, 充填墙体两侧须设置高阻力的加强支护, 以保护充填墙体。常见的有木支柱、单体支柱配合铰接顶梁等。

### 2.2.4 待充填区域支护

待充填区域支护主要是针对松软、破碎、易冒落顶板, 在煤壁侧预先铺设柔性顶网及充填墙体前方采取打设锚杆、锚索等措施对破碎顶板进行加强支护, 维护顶板完整, 方便施工。

### 2.3 巷道补强支护

试验工作面回风巷掘进时未考虑沿空留巷, 锚杆支护强度较低, 且两帮为点锚杆支护, 不能有效控制两帮移近和底鼓。为控制巷道围岩变形, 实现

留巷复用，需对巷道两帮及顶、底板进行补强支护。

采取措施：顶板每 2 排锚杆加打 1 根  $\phi 21.6\text{mm} \times 6300\text{mm}$  锚索。两帮采用锚杆、锚索加强支护，在每排锚杆底角距底板 300mm 处补打 1 根  $\phi 20\text{mm} \times 2400\text{mm}$  锚杆，俯角  $15^\circ$ ，并配合使用  $\phi 16\text{mm}$  钢筋梯子梁；在两帮每 2 排锚杆补打 1 排 2 根锚索，第一根距顶板 800mm，仰角  $10^\circ$ ，第二根距顶板 2200mm，水平布置。煤柱侧采用  $\phi 21.6\text{mm} \times 5200\text{mm}$  锚索，实体煤侧采用  $\phi 21.6\text{mm} \times 4200\text{mm}$  锚索，并配合  $\phi 16\text{mm}$  的钢筋梯子梁。

2.4 充填墙体构筑

2.4.1 充填材料选择

理想的充填材料应具有支护强度高、接顶及可缩性能好、速凝早强、泵送性能好、残余强度高、密闭性好等特点，试验工作面采用国内使用较多且效果较好的高水速凝材料。

2.4.2 充填墙体设计

经理论计算，所需充填体宽度为 1.61m。根据 3107 工作面回风巷顶板岩层实际情况，确定充填体宽度为 2.0m，高度为巷道高度，并在充填时设置对拉锚杆对充填墙体进行加固以增加承载能力和抗变形能力。

2.5 充填液压支架及支护系统设计

经充分论证，试验工作面回风端头区采用沿空留巷充填液压支架（组）支护（如表 2 所示），包括充填过渡支架及挡矸支架，该系统支护强度高，能自行前移，减轻人工劳动强度，增加了工作面推进速度，能隔离采空区矸石窜入支护系统内部，为充填作业提供安全空间。

表 2 充填液压支架及支护系统

| 支架名称   | 型号              | 数量 | 备注     |
|--------|-----------------|----|--------|
| 充填过渡支架 | ZCG8300/22/35D  | 5  | 与输送机连接 |
| 挡矸支架 A | ZZC8300/22/35AD | 1  | 充填墙体侧  |
| 挡矸支架 B | ZZC8300/22/35BD | 1  | 采空区侧   |

2.5.1 充填液压支架空间布置

充填液压支架及支护系统布置如图 2 所示，机尾第 1~5 架为充填过渡支架，第 6 架开始布置中部支架，2 架挡矸布置在充填过渡支架后部，其中挡矸支架 A 布置在充填墙体侧，挡矸支架 B 超前挡矸支架 A 1 个步距（与采煤机截割步距一致）布置在采空区侧。挡矸支架 B 随前部充填过渡支架同步移动，挡矸支架 A 待充填作业完成且墙体凝固后才可移动，为保证顶板支护及防漏矸效果，一般挡矸支架 A 及挡矸支架 B 的顶梁应有不小于 2

个步距的重叠量。

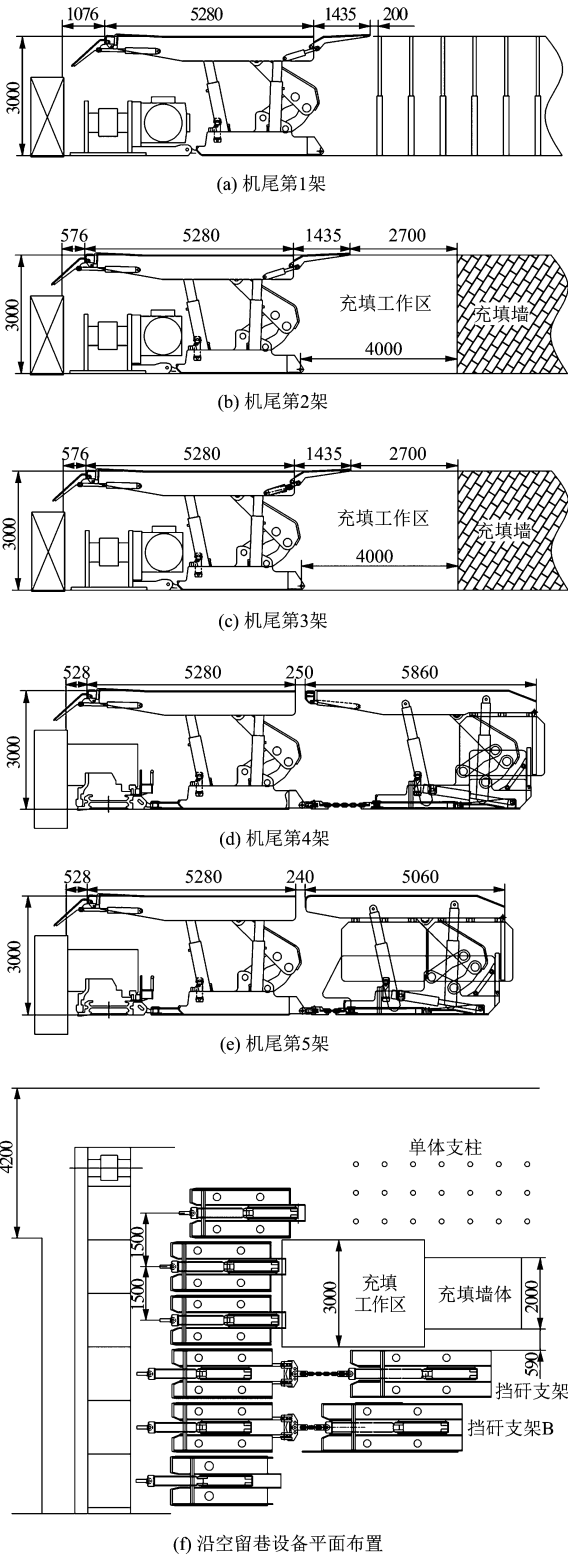


图 2 试验工作面沿空留巷设备布置

2.5.2 充填液压支架技术参数及结构特点

(1) 充填过渡支架（图 2（a）~（e））技术参数见表 3。

结构特点：

充填过渡支架移架方式与中部支架相同，与刮

表 3 充填过滤支架技术参数

| 序号 | 项目                              | 参数             |
|----|---------------------------------|----------------|
| 1  | 型号                              | ZCC8300/22/35D |
| 2  | 支架高度/mm                         | 2200~3500      |
| 3  | 支架宽度/mm                         | 1430~1600      |
| 4  | 支架中心距/mm                        | 1500           |
| 5  | 支护强度/MPa                        | 0.94           |
| 6  | 底板比压 (底座前端, $f=0.2$ ) /MPa      | 1~1.8          |
| 7  | 工作阻力 ( $P=42.3\text{MPa}$ ) /kN | 8300           |

板输送机互为支点实现推溜和移架作业; 支架均为四柱、正四连杆、支撑掩护式液压支架, 四连杆机构布置在后排两根立柱中间, 结构紧凑。

顶梁形式与中部支架一致, 为整体顶梁+伸缩梁+一级护帮, 可翻转护帮板便于实现架前铺网。顶梁带侧护板, 能有效防止架间漏矸; 支架顶梁后部带可翻转护板, 为打设锚杆、锚索等作业提供安全空间; 翻转护板开  $600\text{mm}\times 450\text{mm}$  孔, 相邻支架后护板之间留有  $450\text{mm}$  间距, 方便架间打锚杆锚索, 如图 3 所示。

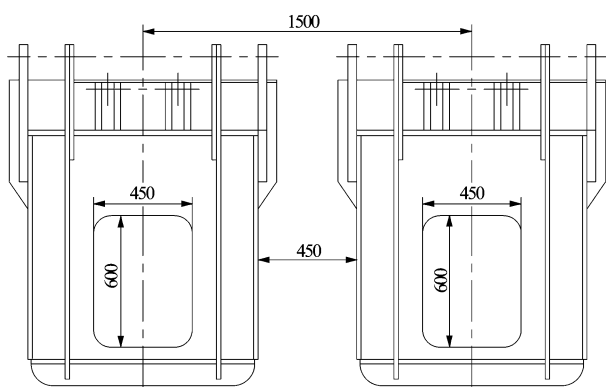


图 3 可翻转护板

(2) 挡矸支架 (图 2 (d) ~ (e)) 技术参数见表 4。

表 4 挡矸支架技术参数

| 序号 | 项目                              | 支架 A 参数         | 支架 B 参数         |
|----|---------------------------------|-----------------|-----------------|
| 1  | 支架型号                            | ZZC8300/22/35AD | ZZC8300/22/35BD |
| 2  | 支架高度/mm                         | 2200~3500       | 2200~3500       |
| 3  | 支架宽度/mm                         | 1454~1624       | 1454~1624       |
| 4  | 支架中心距/mm                        | 1500            | 1500            |
| 5  | 支护强度/MPa                        | 0.97~0.98       | 1.15~1.16       |
| 6  | 底板比压 (底座前端, $f=0.2$ ) /MPa      | 0~0.1           | 0~0.1           |
| 7  | 工作阻力 ( $P=42.3\text{MPa}$ ) /kN | 8300            | 8300            |

结构特点:

(1) 主体结构 with 充填过渡支架相同; 挡矸支架底座前端均设置抬底装置, 防止支架扎底; 两架挡矸支架顶梁及底座之间均设置有调架装置, 防止支架错位及歪斜。

(2) 挡矸支架 A 顶梁设置伸缩梁结构; 挡矸支架 B 顶梁不带伸缩梁, 顶梁长度较挡矸支架 A 短, 符合矿压分布规律, 不仅有利于该区域顶板支护, 还能加强对采空区顶板的切顶效果。

(3) 挡矸支架与前部充填过渡支架之间通过拉移油缸及高强度圆环链实现软连接, 结构简单可靠, 强度高, 能实现快速拉架, 且拉架时便于纠正、调整挡矸支架姿态。

(4) 挡矸支架采空区侧及支架后部设置有挡矸装置, 防止采空区冒落矸石窜入支架内部, 实现对该区域顶板的全封闭支护, 提供安全作业空间。

### 2.5.3 充填工艺

采煤机割煤→推溜→机尾第 2~3 架前铺设柔性顶网, 如遇顶板不完整, 机尾至少第 1~7 架与输送机相连的支架架前都要铺顶网→拉架→机尾第 1 架后, 打单体; 第 2~3 架后打锚杆、锚索→充填→采煤机割煤, 完成 1 个作业循环。

## 3 工业性试验

### 3.1 概况

试验工作面成功留巷 1500 余米。留巷基本满足设计要求, 但留巷靠近充填墙体侧底鼓明显, 相较神东地区浅埋深、坚硬顶板矿井, 效果有较大差距。

### 3.2 试验效果及讨论

#### 3.2.1 试验效果分析

(1) 沿空留巷液压支架与巷旁充填墙体强度匹配基本合理, 充填墙体能承受初次来压和周期来压强度, 顶板下沉及底鼓处于可控范围内, 留巷效果良好。

(2) 工作面“Y”型通风系统成功解决了隅角瓦斯积聚难题; 取消瓦排巷, 缓解了采掘衔接紧张, 节约巷道掘进费用 420 余万元。

(3) 经测算, 取消区段煤柱使工作面采出率由 69% 提高至 83%。

#### 3.2.2 充填液压支架使用分析

充填液压支架较好地满足了工艺需求, 减轻了工人劳动强度, 但工作面回采过程中发现如下问题:

(1) 充填过渡液压支架压力监测显示: 沿空留巷实施第 45~70d 之间, 立柱安全阀长时间处于频繁开启状态, 表明充填过渡支架支护强度不足, 工作阻力有待提高。

(2) 由于压力监测系统故障, 没有采集到挡矸支架压力值, 无法判断充填墙体采空区侧的矿压

显现,但施工过程中经常出现挡杆支架被压死,支架拉移困难等现象,同样表明挡杆支架的支护强度也有待提高。

(3) 回采过程中,充填过渡支架及挡杆支架顶梁、掩护梁、连杆均出现不同程度的焊缝开裂,表明支架的工作阻力需要适当增加,另外支架设计时需提高掩护梁等结构抗扭强度。

#### 4 结论及建议

对于埋深较大,高瓦斯、破碎松软顶底板等复杂地质条件沿空留巷,充填液压支架设计时应遵循以下原则:

(1) 充填过渡支架及挡杆支架结构要紧凑、轻便,方便移架,通风断面要进行验算;支架应有足够的结构宽度,增强稳定性,防止支架承受外载时发生歪斜。

(2) 支护强度要高于工作面中部支架,挡杆支架高度伸缩比要尽量大,防止支架压死。设计时,安全系数特别是抗扭安全系数比中部支架要大 10%~20%。

(3) 挡杆支架应设置抬底装置,避免支架扎底。进一步优化挡杆支架与充填过渡支架连接装置,避免支架走偏。

(4) 有条件的矿井,应在留巷巷道开展水力压裂、超临界液态二氧化碳致裂等试验,弱化顶

板,减少基本顶悬顶长度,减小支架及充填墙体受力,改善留巷效果。

#### 参考文献

- [1] 康红普,牛多龙,张 镇,等.深部沿空留巷围岩变形特征与支护技术[J].岩石力学与工程学报,2010,29(10):1977-1987.
- [2] 张红军,丁可可.突出矿井高水材料沿空留巷技术研究与应用[J].煤矿开采,2017,22(1):77-79,35.
- [3] 王平虎,王 春.晋城区域兼并重组矿井沿空留巷技术应用研究[J].煤矿开采,2017,22(2):31-33,43.
- [4] 何 明.采煤工作面沿空留巷专用支护系统研究[J].煤矿开采,2017,22(6):62-65.
- [5] 曹树刚,陈先哲,杨红运,等.沿空留巷巷旁控制技术及其适用条件分析[J].煤炭科学技术,2016,44(4):27-33.
- [6] 雷转霖,柏建彪,陈 勇,等.深部矿井沿空留巷围岩控制技术研究[J].煤矿开采,2014,19(05):16-19,40.
- [7] 华心祝.我国沿空留巷支护技术发展现状及改进建议[J].煤炭科学技术,2006,34(12):79-80.
- [8] 柏建彪,周华强,侯朝炯,等.沿空留巷巷旁支护技术的发展[J].中国矿业大学学报,2004,33(2):183-186.
- [9] 李化敏.沿空留巷顶板岩层控制设计[J].岩石力学与工程学报,2000,19(5):651-654.
- [10] 刘少沛,程相克.厚硬顶板沿空留巷关键结构优化控制研究[J].煤矿开采,2016,21(3):71-74.
- [11] 张友谊.平煤二矿沿空留巷综合控制技术研究[J].煤炭工程,2012(6):46-48.
- [12] 刘亚东.岩石和钢结构受冲击波作用动力学响应的计算研究[J].合肥:中国科学技术大学,2008.
- [13] 叶列平,林旭川,曲 哲,等.基于广义结构刚度的构件重要性评价方法[J].建筑科学与工程学报,2010(1):1-6.
- [14] 刘长友,钱鸣高,曹胜根.采场支架与围岩系统刚度的研究[J].矿山压力与顶板管理,1998(3):2-4.
- [15] 刘欣科.液压支架试验台调高控制系统的研究[J].煤炭科学技术,2007,35(9):62-65.
- [16] 徐亚军,王国法,任怀伟.液压支架与围岩耦合理论与应用[J].煤炭学报,2015,40(11):2528-2533.
- [17] A. K. Verma; D. Deb. Numerical Analysis of the Interaction between Hydraulic Powered Support and Surrounding Rock Strata at Indian Longwall Faces [A]. The 12th International conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics [C]. 2008: 394-402.
- [18] 冯 斌.液压油有效体积弹性模量及测量装置的研究[D].杭州:浙江大学,2011.
- [19] 周志刚.液压系统工作介质研究[J].筑路机械与施工机械化,2012(6):86-88.
- [20] 石熙年,万柏群.液压传动[M].徐州:中国矿业大学出版社,1990.
- [1] 钟新谷.顶板岩梁结构的稳定性与支护系统刚度[J].煤炭学报,1995,20(6):601-606.
- [2] 刘长友,钱鸣高,曹胜根.采场支架与围岩系统刚度的研究[J].矿山压力与顶板管理,1998(3):2-4.
- [3] 刘欣科,赵忠辉,赵 锐.冲击载荷作用下液压支架立柱动态特性研究[J].煤炭科学技术,2012,40(12):66-69.
- [4] 王国法,庞义辉.液压支架与围岩耦合关系及应用[J].煤炭学报,2015,40(1):30-34.
- [5] 徐 刚.采场支架刚度实验室测试及与顶板下沉量的关系[J].煤炭学报,2015,40(7):1485-1490.
- [6] 徐传亮.刚度理论在工程结构设计中的应用[D].上海:同济大学,2006.
- [7] 张俊峰,王协群,邹维列,等.土-格栅界面强度参数和剪切刚度试验研究[J].长江科学院院报,2014,31(3):77-82.
- [8] B. 铁摩辛柯, J. 盖尔.材料力学[M].北京:科学出版社,1990.
- [9] 顾海明,周勇军.机械振动理论与应用[M].南京:东南大学,2007.
- [10] 伍 曾,刘学毅.弹性长枕无砟轨道动刚度垂向耦合动力及能量分析[J].铁道学报,2012,34(2):80-85.

责任编辑:徐亚军

责任编辑:施红霞

#### (上接 44 页)

- [1] 钟新谷.顶板岩梁结构的稳定性与支护系统刚度[J].煤炭学报,1995,20(6):601-606.
- [2] 刘长友,钱鸣高,曹胜根.采场支架与围岩系统刚度的研究[J].矿山压力与顶板管理,1998(3):2-4.
- [3] 刘欣科,赵忠辉,赵 锐.冲击载荷作用下液压支架立柱动态特性研究[J].煤炭科学技术,2012,40(12):66-69.
- [4] 王国法,庞义辉.液压支架与围岩耦合关系及应用[J].煤炭学报,2015,40(1):30-34.
- [5] 徐 刚.采场支架刚度实验室测试及与顶板下沉量的关系[J].煤炭学报,2015,40(7):1485-1490.
- [6] 徐传亮.刚度理论在工程结构设计中的应用[D].上海:同济大学,2006.
- [7] 张俊峰,王协群,邹维列,等.土-格栅界面强度参数和剪切刚度试验研究[J].长江科学院院报,2014,31(3):77-82.
- [8] B. 铁摩辛柯, J. 盖尔.材料力学[M].北京:科学出版社,1990.
- [9] 顾海明,周勇军.机械振动理论与应用[M].南京:东南大学,2007.
- [10] 伍 曾,刘学毅.弹性长枕无砟轨道动刚度垂向耦合动力及能量分析[J].铁道学报,2012,34(2):80-85.