

# 巷道掘支锚连续平行作业机理及其应用

吴拥政<sup>1,2</sup>, 吴建星<sup>1,2</sup>, 王峰<sup>3</sup>

(1. 天地科技股份有限公司 开采设计事业部, 北京 100013; 2. 煤炭科学研究总院 开采设计研究分院, 北京 100013;  
3. 山西潞安环保能源开发股份有限公司 漳村煤矿, 山西 长治 046204)

**摘要:**为解决基于悬臂式掘进机与单体钻机配合的巷道快速掘进问题,介绍了基于悬臂式掘进机的掘支锚连续平行作业工艺,形成了掘进、支护、锚固连续平行作业的施工技术体系。采用现场试验的方法,对巷道掘进与锚固分离时,顶板离层和围岩锚固性能进行了测试研究。结果表明:在顶板预先施工4根锚杆,然后在临时支架后方补打其余锚杆锚索,不会出现明显离层;不同空顶距下锚杆锚索锚固性能可以满足掘进与锚固分离要求;确定采用临时支架可以满足掘支分离生产需求。开发了连续自移式快速掘进支护装置和掘支锚连续平行作业工艺,主要包括钻探、掘进割煤、临时支护、掘进工作面锚杆打设、后方锚杆锚索打设、转载运煤、除尘等工序。在潞安漳村煤矿西下山回风巷进行了现场试验,采用新型掘支锚连续平行作业后,月进尺达到745 m,支护效果良好,掘进效率提高65%以上。

**关键词:**掘支锚;巷道掘进;平行作业;巷道支护

中图分类号:TD263 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2016)06-0039-06

## Mechanism and application of excavation, support and bolting continuous parallel operation in roadway

Wu Yongzheng<sup>1,2</sup>, Wu Jianxing<sup>1,2</sup>, Wang Feng<sup>3</sup>

(1. Department of Mining and Design, Tiandi Science and Technology Company Limited, Beijing 100013, China; 2. Mining and Design Branch, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China; 3. Zhangcun Mine, Shanxi Lu'an Environmental Energy Development Company Limited, Changzhi 046204, China)

**Abstract:** In order to solve the rapid heading problems based on a boom type roadheader with individual rock drills, based on the boom type roadheader, the paper introduced excavation, support and bolting continuous parallel operation technique to form a construction technical system with a excavation, support and bolting continuous parallel operation. The site test method was applied to measuring and test study on roof bed separation and surrounding rock anchoring performances when heading and anchoring of mine roadway were separated. The results showed that when a pre-construction of four bolts made in roof, then additional bolts and anchors were put beyond temporary supports and there was no obvious roof bed separation occurred. Under the different free roof distance, the anchoring performances of bolt and anchor could meet separation requirements of excavation and anchoring. The temporary supports determined could meet requirements of excavation and support separation operation. A continuous self moving type rapid heading and support device and a excavation, support and bolting continuous parallel operation technique were developed and were mainly including drilling exploration, excavation and coal cutting, temporary support, bolting operation of the heading face, the bolt and anchor setting beyond heading face, coal stage loading, dust control and other procedures. A site test was conducted in dip air returning gateway of underground mine at Lu'an Zhangcun Mine. After the new excavation, support and bolting continuous parallel operation applied, a month rate was 745 m, the support effect was excellent and heading efficiency was improved over 65%.

**Key words:** excavation, support and bolting; heading of mine roadway; parallel operation; support of mine roadway

收稿日期:2016-03-20;责任编辑:杨正凯 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2016.06.006

基金项目:国家自然科学基金青年基金资助项目(51304119);山西省煤基重点科技攻关资助项目(MJ2014-03);中国煤炭科工集团科技创新基金重点资助项目(2014ZD001)

作者简介:吴拥政(1978—),男,河南修武人,副研究员,博士。E-mail:wuyongzheng@tdkcsy.com

引用格式:吴拥政,吴建星,王峰.巷道掘支锚连续平行作业机理及其应用[J].煤炭科学技术,2016,44(6):39-44.

Wu Yongzheng, Wu Jianxing, Wang Feng. Mechanism and application of excavation, support and bolting continuous parallel operation in roadway [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(6): 39-44.

## 0 引言

高效机械化掘进与支护技术是保证矿井实现高产高效的必要条件,也是巷道掘进技术的发展方向<sup>[1]</sup>。目前,多数矿区采掘衔接紧张,掘进无法满足采煤工作面快速推进的要求。根据2013年中国煤矿机械化生产情况年度报告统计,国有重点煤矿综采工作面平均月进度110.01 m,而掘进工作面月均单进仅166.03 m<sup>[2]</sup>。影响掘进效率的因素主要包括地质条件复杂、掘进工序多、临时支护差、支护速度慢、无法平行作业等。

很多学者对煤巷快速掘进技术和设备进行过研究<sup>[3-5]</sup>。目前,常用的煤巷快速掘进和支护技术大致可分为3种:连续采煤机与锚杆台车交叉换位掘进、掘锚一体化的掘锚机组掘进、悬臂式掘进机与单体钻机配合掘进<sup>[6-9]</sup>。前2种工艺由于巷道断面要求大或对地质条件要求高等因素限制了该工艺在我国大部分矿区的推广。掘进机与单体钻机配合是我国煤矿巷道目前最主要的巷道掘进方式,但该工艺中掘进与支护分开作业,机械化程度低,掘进速度慢,效率低,另外该方式中超前支护采用前探梁属于被动支护,且存在较大安全隐患<sup>[10-12]</sup>。

基于悬臂式掘进机,如何实现快速掘进,部分单位研制了掘进工作面超前支架<sup>[13-14]</sup>,主要包括机载式、自移式和悬挂式3种。机载式支架使用中顶板常处于半空顶状态,悬挂式移动困难,自移式应用中也存在较多问题,适用条件严格。笔者研究设计了掘进工作面连续自移式快速掘进支护装置、开发出基于悬臂式掘进机的掘支锚连续平行作业工艺,形成掘进、支护、锚固连续平行作业体系,以期提高巷道掘进效率。

## 1 工程概况

漳村煤矿是潞安集团生产能力3 Mt/a的主力矿井,巷道主要支护方式为锚网支护。随着生产规模扩大和开采强度提高,巷道需求量大幅提升,掘进效率较低已成为制约漳村矿快速高效发展的瓶颈。为提高掘进效率,在漳村煤矿进行了基于连续自移式快速掘进支护装备及悬臂式掘进机,配套运煤锚杆机组及高效除尘器的掘支锚连续平行作业技术体系研究试验。

试验地点选在漳村煤矿西下山回风巷。该巷道位于23采区大巷西侧,与西下山进风巷平行布置煤

柱为中对中15 m。巷道埋深约350 m,长度约1 870 m。巷道沿3号煤层顶板掘进,煤层平均厚度为6.2 m,直接顶为泥岩,平均厚度5.28 m;基本顶为5.2 m厚的细粒砂岩;直接底为2.8 m厚的泥岩,基本底为8.93 m厚的细粒砂岩。周边测试的最大水平主应力为8.87 MPa,垂直主应力为7.58 MPa,最大水平主应力方向为NW53.2°。3号煤层煤体强度为15~20 MPa,平均强度16.32 MPa。

## 2 连续自移式快速掘进支护装置

连续自移式快速掘进支护装置是掘支锚连续平行作业体系中的重要组成部分,根据漳村煤矿西下山回风巷断面形状及尺寸进行了设计。

### 2.1 装置的结构和尺寸

根据巷道断面形状尺寸、巷道内设备布置方式及通风要求等,确定快速掘进支护装置高度2.8~4.0 m,支护宽度4.6 m,支护长度为12.5 m。考虑掘进工作面的综掘机、风筒布置等设备或设施,为保证掘进工作面有足够的空间方便掘进施工组织和作业,设计的快速掘进支护装置为占用巷道空间少的框架式。

该快速掘进支护装置采用横梁和顺梁组成的上部支护体、滑道体、下部前后组架、立柱配合伸缩套支撑的框架结构形式。通过分别与前后顶梁和前后底座相铰接的移架千斤顶相互推拉行走。在移架过程中,支护体上部设置的滚轴机构与顶板保持接触,并沿滑道体随掘进作业的推进而向前移动。装置前端设置前护壁板和左右两侧护壁板机构。设计的连续自移式快速掘进支护装置结构如图1所示。

### 2.2 主要结构特点

1)整体框架式结构。掘进机完全掩护在装置下,便于扩大掘进机作业空间,易于在掘进机头的巷道有限空间内安装使用。

2)实现掘进—无支护—临时超前支护—永久性支护的衔接过渡,在一定区域内可实现连续掘进与连续支护作业方式。

3)采用多柱式支撑,整体铰接的框架结构,具有较好的稳定性,且初撑力较小,易于控制顶板。

4)保证综掘机始终在快速掘进支护装置下作业,有效地保证了作业人员和设备的安全。

5)临时支护紧跟掘进工作面,巷道实现一次性支护。根据巷道压力情况设计的支护强度,配合安设的带压移架阀组,满足支护和移架的要求。

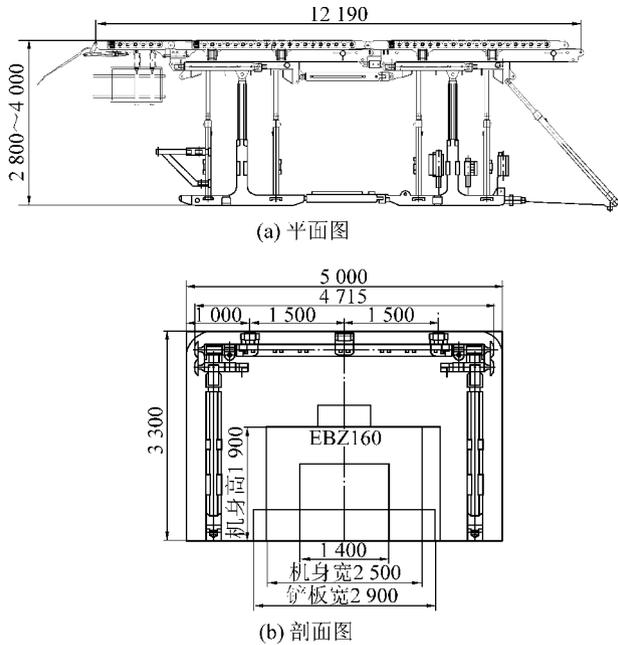


图1 自移式快速掘进支护装置结构

Fig.1 Self moving type rapid excavation supporting device structure

6) 顺梁上设置有前梁千斤顶,适当缩小了前部立柱空间,缓解了前探梁低头的现象。在移架过程中,设置在顺梁上的滚轴始终处于接顶状态,起到辅助拉架和推架以及支撑的作用;上部支护体与下部支撑结构通过滑道导向装置相连接,前、后架通过移架千斤顶相连接,实现不降架即可行走,节省移架时间,提高作业效率,更适合支架的直线运动,移架步距大,且稳定性较好。

7) 为便于装置的运输、安装和拆卸,连接横梁采用单根布置方式,在满足工阻要求的前提下,支架所有结构件的外型尺寸应尽可能小,所以将顶梁、顺梁、横梁、底座、前梁以及立柱、千斤顶等设计成长度较短、质量较轻的结构形式。

8) 由单独配置的乳化液泵站提供快速掘进支护装置的动力,通过对操作手阀的控制,实现装置的自移行走和各种动作。

同时,开发出集装运和锚护功能于一体的运煤锚杆机组,实现运、锚平行作业,提高了支护效率;左右钻架方位调整机构对立工作,调节范围大,操作方便,整机支护范围大,能够很好地满足掘支锚连续平行作业设备要求。

### 3 掘进与锚固分离可行性研究

国内外学者关于煤巷锚杆支护作用机理做了大

量的研究<sup>[15-20]</sup>,在实际应用中解决了不少问题。但对掘支锚连续平行作业支护机理研究较少。连续平行作业的工艺思路为:钻探后掘进机割煤,移动临时支护装置(只护不支),在掘进工作面打设少量锚杆,后方平台上打设剩余锚杆锚索,基本实现掘进与锚固支护分离,实现平行作业。

笔者对巷道掘进与锚固分离时,顶板离层测试和围岩锚固性能测试进行研究,探索特定地质条件下掘进与锚固分离的可行性,研究采用现场试验的方法。

#### 3.1 不同空顶距顶板离层测试

监测掘进对顶板离层情况影响,判定是否可进行支护参数及工艺优化。掘进后在临时支架下方首先打设4根顶板锚杆,并在临时支架下方打设顶板窥视孔,窥视孔布置方式为每2排3个,钻孔深度6m,采用钻孔窥视仪在13m(临时支架长度)范围内对巷道顶板进行连续窥视,临时支架后补打其余锚杆锚索,对比补强支护前后顶板离层情况。共打设了3个钻孔,在临时支架掩护下对其连续窥视5次,窥视结果显示,巷道顶板离层无明显增加,说明顶板先打设4根锚杆,临时支架后方补打其余锚杆锚索,不会出现明显离层,补强支护前后顶板离层情况的窥视照片如图2所示。

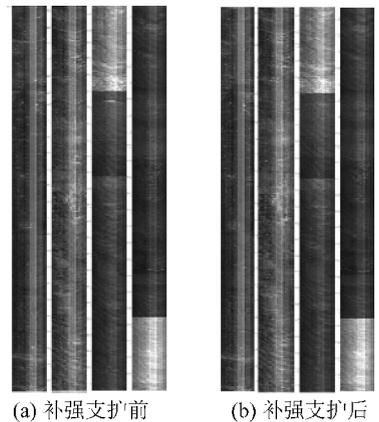


图2 补强支护前后顶板离层情况

Fig.2 Roof separation before and after reinforcing support

#### 3.2 不同空顶距锚杆(索)锚固性能测试

为分析不同空顶距对锚杆(索)锚固性能的影响,在西下山回风巷测试了及时支护及空顶3排单体支柱距离后支护时锚杆(索)锚固力。测试结果见表1—表3。从测试结果来看,随着空顶距增大,锚杆锚固力及锚索张拉力一定程度上会降低,且帮锚杆锚固力略小于顶锚杆锚固力。但空顶3排单体

支柱距离支护后顶帮锚杆平均锚固力分别为 193、187.3 kN,锚索平均锚固力为 283 kN,完全能够满足生产设计要求。

表 1 及时支护锚杆锚固力

Table 1 Timely support bolt anchoring force

位置	锚固力/kN			平均值/kN	最大值/kN
	第 1 次	第 2 次	第 3 次		
顶锚杆	192	196	205	197.7	205
帮锚杆	189	192	193	191.3	193

表 2 空顶 3 排支护锚杆锚固力

Table 2 Empty top 3 rows of bolt anchoring force

位置	锚固力/kN			平均值/kN	最大值/kN
	第 1 次	第 2 次	第 3 次		
顶锚杆	191	190	198	193	198
帮锚杆	183	189	190	187.3	190

表 3 锚索锚固力

Table 3 anchoring force of cable

位置	锚固力/kN		最大值/kN	平均值/kN
	第 1 次	第 2 次		
及时支护	283	292	292	287.5
空顶 2 排	287	285	287	286
空顶 3 排	275	291	291	283

## 4 掘支锚连续平行作业工艺

### 4.1 传统掘进巷道施工工艺

钻探后采用掘进机割煤,敲帮问顶,采用铺顶网并前探梁进行临时支护,打设并预紧全部顶板锚杆锚索及两帮锚杆后进入下一割煤循环(当前方安全距离不足时进行钻探)。

按照正规循环作业,每班工作时间为 360 min,除去交接班及吃班中餐时间 30 min,有效时间按照 330 min 计算,应至少完成 4.7 个循环,排距按 1 m 计算时,即掘进 4.7 m。

在每个作业循环中,割煤掘进时间占 28%,支护时间约占 57%,而包括敲帮问顶在内的其他工序及辅助作业时间仅占 14%。支护工序占用时间长成为影响提高掘进速度的主要因素。为缩短支护时间,要给工作面配备多台顶板锚杆钻机和帮锚杆钻机同时作业,并且要提供多台机具同时作业所必须的动力源。必要时需在压风管路中安装风包,以稳定风压。这是目前缩短支护时间、提高掘进速度的

主要手段。

### 4.2 掘支锚连续平行作业施工工艺

研发的掘支锚连续平行作业工艺,主要包括钻探、掘进割煤、临时支护、掘进工作面锚杆打设、后方锚杆锚索打设、转载运煤、除尘等工艺。

结合装置始终有一组顺梁接顶的特性,顶板支护取消原设计的双筋钢带,变为单体锚杆配合 W 钢护板支护,可直接在每组顺梁架间直接打设。通过试验“掘一锚一、掘二锚二、掘三锚三”多种不同的施工工艺进行全面的对比分析,最终确定了“掘三锚三”为 1 个正规循环、每小班 2 个循环的施工工艺。

EBZ-160T 掘探一体机(钻探割煤)高效除尘器(除尘)→快速掘进支护装置(临时支护、打设掘进工作面锚杆)及配套乳化液泵站(支架供液)→运煤锚杆机组(转运煤、打锚杆锚索)→桥式转载机、带式输送机(运煤)。其中高效除尘器与 EBZ-160T 掘探机联动,保证了工作面割煤时立即开始除尘。施工工艺如下:

1) 步骤一:超前钻探。采用 EBZ-160T 掘探一体机中机载勘探钻机部分进行,调整好勘探钻机的探孔角度,将掘探一体机行走部与截割部闭锁,启动超前勘探钻机打设探孔,按照超前钻探参数要求打设探孔完毕后,收回钻机并闭锁。

2) 步骤二:割煤、出煤。启动高效除尘器,EBZ-160T 掘探一体机截割头破煤、落煤,煤经掘探机的后溜出口掉落至运煤锚杆机组的转载料斗内,经运煤锚杆机组送至带式输送机运出;同时由运煤锚杆机组中的锚杆钻机在快速掘进支护装置后方进行永久支护。

3) 步骤三:临时支护。割煤完毕后闭锁掘进机,启动端头支架的乳化液泵站,通过快速掘进支护装置的集控面板,操作将其向前移 1 个步距,并展开两侧护帮装置及迎面煤墙护网。

4) 步骤四:掘进工作面与快速掘进支护装置后方同时永久支护。快速掘进支护装置到位后,在掘进工作面搭设好作业平台,将快速掘进支护装置所带的掘进工作面锚杆钻机装置移至掘进工作面,进行掘进工作面处永久支护,掘进工作面支护满足临时控制巷道围岩的要求后,立即收回掘进工作面锚杆钻机装置、作业平台,同时由运煤锚杆机组中的锚杆钻机装置在快速掘进支护装置后方进行永久支护。

5)步骤五:连续重复上述步骤二—步骤四。超前钻探安全距离不足时重复步骤一;在快速掘进支护装置后方的支护作业施工贯穿整个施工步骤中,实现连续支护的目的,从而提高掘进效率。

## 5 现场试验

漳村煤矿西下山回风巷断面为  $5.0\text{ m} \times 3.5\text{ m}$ ,根据数值模拟结果,结合现有科技成果和工程实践确定支护方案。支护方案为:顶板采用直径  $22\text{ mm}$ ,长度  $2.4\text{ m}$ ,材质为 CRM500 的锚杆,锚杆排距  $1\text{ m}$ ,每排  $6$  根锚杆,间距为  $0.80, 0.95\text{ m}$ (结合掘进临时支护装置尺寸确定),锚杆预紧转矩要达到  $400\text{ N} \cdot \text{m}$ ,采用 W 钢护板护表。采用直径  $22\text{ mm}$ ,长度  $6.3\text{ m}$ , $1 \times 19$  股高强度低松弛预应力钢绞线锚索,每  $2$  排锚杆打设  $2$  根锚索,排距为  $2\text{ m}$ ,锚索初始张拉至  $300\text{ kN}$ ,损失后不低于  $250\text{ kN}$ 。两帮锚杆排距  $1\text{ m}$ ,每排  $4$  根锚杆,间距  $0.9\text{ m}$ 。支护顺序为:在连续自移式快速掘进支护装置支护下,掘进工作面首次打设  $4$  根顶板锚杆,其余锚杆锚索在连续自移式快速掘进支护装置后方打设。锚杆布置方案如图 3 所示。

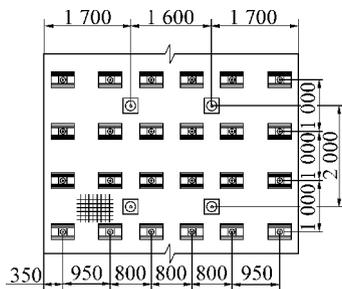


图 3 锚杆布置方案

Fig. 3 Rock bolt arrangement

基于掘支锚连续平行作业支护机理开发的连续自移式快速掘进支护装置能够提供足够的支撑力,有效控制顶板变形,且连续快速移动,实现了掘支锚连续平行作业;支护方案合理,巷道变形较小,锚杆锚索受力稳定,支护效果良好;掘探一体机能够快速高效地对工作面前方探测  $70\text{ m}$ ;运煤锚杆机组能够实现连续自移式快速掘进支护装置后方锚杆打设与运煤同步进行,保证了掘支锚连续平行作业的顺利进行,达到提高掘进效率的目的。在 2013 年 8 月在漳村煤矿西下山回风巷掘进月进尺达  $745\text{ m}$ ,剔除不良地质条件影响,月进尺可突破  $800\text{ m}$ ,2014 年 3 月在 2206 运输巷,采用新型桥式转载带式输送机及快速自移式液压钻锚平台后,月进尺达  $960\text{ m}$ 。综合来看,采用掘支锚连续平行作业后,掘进效率提高

$65\%$ 以上。

## 6 结 论

1)实现煤巷快速高效掘进的主要途径是采用综合机械化掘进与支护技术。掘进机与单体钻机配合是我国煤矿巷道目前最主要的巷道掘进方式,但该工艺中掘进与支护分开作业,因此机械化程度低,掘进速度慢、效率低。

2)采用现场试验的方法,对巷道掘进与锚固分离时,顶板离层和围岩锚固性能进行了测试研究。顶板布置  $4$  根锚杆,临时支架后方补打其余锚杆锚索,不会出现明显离层;不同空顶距下锚杆锚索锚固性能可以满足掘进与锚固分离要求,确定采用临时支架可以满足掘支分离生产需求。

3)对连续自移式快速掘进支护装置进行了结构设计。介绍了掘支锚连续平行作业工艺,主要包括钻探、掘进割煤、临时支护、掘进工作面锚杆打设、后方锚杆锚索打设、转载运煤、除尘等工序。

4)在潞安漳村煤矿西下山回风巷进行了现场试验,试验结果表明,基于掘支锚连续平行作业支护机理,开发的自移式支护装置连续快速移动,实现了掘支锚连续平行作业;支护方案合理,有效控制顶板变形,支护效果良好。采用掘支锚连续平行作业后,掘进效率提高  $65\%$ 以上。

## 参考文献 (References):

- [1] Wang Jinhua. Development and prospect on fully mechanized mining in Chinese coal mines [J]. International Journal of Coal Science & Technology, 2014, 1(3): 253-260.
- [2] 煤炭工业采掘机械化信息中心,中国煤炭科工集团上海研究院信息中心. 2013 年中国煤矿机械化生产情况年度报告 [R]. 北京:中国煤炭工业协会, 2013.
- [3] 康红普,林 健,吴拥政. 全断面高预应力强力锚索支护技术及其在动压巷道中的应用 [J]. 煤炭学报, 2009, 34(9): 1153-1159.  
Kang Hongpu, Lin Jian, Wu Yongzheng. High pretensioned stress and intensive cable bolting technology set in full section and application in entry affected by dynamic pressure [J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(9): 1153-1159.
- [4] 王金华. 全煤巷道锚杆锚索联合支护机理与效果分析 [J]. 煤炭学报, 2012, 37(1): 1-7.  
Wang Jinhua. Analysis on mechanism and effect of rock bolts and cables in gate road with coal seam as roof [J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(1): 1-7.
- [5] 胡 林. 综掘临时支护技术的研究与应用 [J]. 煤炭科学技术, 2008, 36(6): 9-11.

- Hu Lin. Study and application of temporary support technology for fully mechanized mine roadway heading [J]. *Coal Science and Technology*, 2008, 36 (6) : 9-11.
- [6] 于励民, 樊晓虹, 杨艳初, 等. 掘进巷道悬挂式迈步超前支架的方案设计[J]. *采矿与安全工程学报*, 2009, 26(3) : 391-394.  
Yu Limin, Fan Xiaohong, Yang Yanchu, *et al.* A new design for preceding support of the hanging and striding pattern on laneway roof [J]. *Journal of Mining & Safety Engineering*, 2009, 26 (3) : 391-394.
- [7] 徐锁庚. 综掘机载临时支护装置技术研究[J]. *煤矿机械*, 2009, 30(11) : 121-123.  
Xu Suogeng. Study on mechanization of temporary support in digging laneway [J]. *Coal Mine Machinery*, 2009, 30(11) : 121-123.
- [8] 杨 壮. 大断面煤巷综掘锚杆支护快速掘进关键技术研究 [D]. 淮南: 安徽理工大学, 2008.
- [9] 康红普, 吴拥政, 褚晓威, 等. 小孔径锚索预应力损失影响因素的试验研究[J]. *煤炭学报*, 2011, 36(8) : 1245-1251.  
Kang Hongpu, Wu Yongzheng, Chu Xiaowei, *et al.* Tests on affecting factors for pretension loss of cables with small borehole [J]. 2011, 36(8) : 1245-1251.
- [10] 张 农, 高明仕. 煤巷高强预应力锚杆支护技术与应用[J]. *中国矿业大学学报*, 2004, 33(5) : 34-37.  
Zhang Nong, Gao Mingshi. High-strength and pretension bolting support of coal roadway and its application [J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2004, 33(5) : 34-37.
- [11] 张忠国. 煤巷快速掘进系统的发展趋势与关键技术[J]. *煤炭科学技术*, 2016, 44(1) : 55-60.  
Zhang Zhongguo. Development tendency and key technology of mine seam gateway rapid driving system [J]. *Coal Science and Technology*, 2016, 44 (1) : 55-60.
- [12] Kang Hongpu. Support technologies for deep and complex roadways in underground coal mines: a review [J]. *International Journal of Coal Science & Technology*, 2014, 1 (3) : 261-277.
- [13] 杨东辉, 宁掌玄, 吕兆恒, 等. 新型迈步自移式超前临时支架的研制与应用[J]. *煤炭科学技术*, 2015, 43(6) : 112-115.  
Yang Donghui, Ning Zhangxuan, Lyu Zhaozheng, *et al.* Application and development on new type walking self moving advance temporary powered support [J]. *Coal Science and Technology*, 2015, 43 (6) : 112-115.
- [14] 陈加胜, 高明中. 快速掘进配套临时支护液压支架设计[J]. *煤矿机械*, 2011, 32(2) : 12-15.  
Chen Jiasheng, Gao Mingzhong. Hydraulic supports design of temporary support for quick tunneling [J]. *Coal Mine Machinery*, 2011, 32(2) : 12-15.
- [15] 王金华. 我国煤巷锚杆支护技术的新发展[J]. *煤炭学报*, 2007, 32(2) : 113-118.  
Wang Jinhua. New development of rock bolting technology for coal roadway in China [J]. *Journal of China Coal Society*, 2007, 32 (2) : 113-118.
- [16] 康红普, 王金华, 林 健. 高预应力强力支护系统及其在深部巷道中的应用[J]. *煤炭学报*, 2007, 32(12) : 1233-1238.  
Kang Hongpu, Wang Jinhua, Lin Jian. High pretensioned stress and intensive bolting system and its application in deep roadways [J]. *Journal of China Coal Society*, 2007, 32(12) : 1233-1238.
- [17] 康红普, 林 健, 张冰川. 小孔径预应力锚索加固困难巷道的研究与实践[J]. *岩石力学与工程学报*, 2003, 22(3) : 387-390.  
Kang Hongpu, Lin Jian, Zhang Bingchuan. Study on small borehole pretensioned cable reinforcing complicated roadway [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2003, 22 (3) : 387-390.
- [18] 吴拥政. 地应力异常区上山群巷道蠕变围岩控制技术[J]. *煤炭科学技术*, 2012, 40(8) : 6-10.  
Wu Yongzheng. Creep surrounding rock control technology of rise Group roadway in abnormal ground stress zone [J]. *Coal Science and Technology*, 2012, 40(8) : 6-10.
- [19] 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.  
Kang Hongpu, Wang Jinhua, Lin Jian. Study and application of coal roadway technology [J]. *Journal of China Coal Society*, 2010, 35(11) : 1809-1814.
- [20] 吴拥政. 全长预应力锚固强力支护系统的应用研究[J]. *煤炭科学技术*, 2011, 39(11) : 27-30.  
Wu Yongzheng. Application study on pre-stressed full length bolting powerful support system [J]. *Coal Science and Technology*, 2011, 39(11) : 27-30.