

神东矿区快速沿空留巷技术研究及应用

崔 亚 仲

(神华神东煤炭集团有限责任公司 机电管理部,陕西 神木 719315)

摘要:针对传统巷旁支护存在支护阻力、可缩性等力学性能与沿空留巷围岩变形不相适应问题,致使充填体密闭性能差,施工机械化程度低的问题,在分析风力充填留巷、高水材料充填留巷、端头钢模板支架及泵充填留巷和柔模混凝土充填留巷的基础上,对4种留巷方式的设备配置及运行情况进行了评价。最终确定榆家梁煤矿快速沿空留巷选用柔模混凝土充填留巷方式,实现了地面混凝土干拌及井下混凝土上料、加水搅拌与泵送的连续作业,研究表明该套设备符合神东矿区快速沿空留巷的要求,充填速度可达20 m/班,充填体抗压强度可达25 MPa。

关键词:沿空留巷;巷旁支护;柔模混凝土充填;围岩稳定性

中图分类号:TD823.48 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2014)01-0129-05

Application and Technology Research on Rapid Gob-side Entry Retaining in Shendong Mining Area

CUI Ya-zhong

(Electromechanical Management Department, Shenhua Shendong Coal Group Corporation Limited, Shenmu 719315, China)

Abstract: According to the inadequate, poor leakproofness performances and low mechanization degree problems between the support resistance, yielding and other mechanics performances existed in the conventional sidewall support of the gateway and the surrounding rock deformation of the gob-side entry retaining, based on the analysis on the pneumatic backfill gateway retained, high water material backfill gateway retained, face end steel module support and pumping backfill gateway retained and concrete backfill gateway retained with the flexible module, an evaluation was conducted on the equipment allocation and operation conditions of four gateway retained methods. Finally, a flexible module concrete preparation and conveyor unit was selected for the rapid gob-side entry retaining in Yujialiang Mine. A surface concrete dry mixing and a concrete feeding in underground mine, mixing with water and continued pumping operation could be realized. The study showed that the set equipment could meet the requirements of the rapid gob-side entry retaining in Shendong Mining Area, the backfill speed could be reached to 20 m/shift and the compressive strength of the backfill mass could be reached to 25 MPa.

Key words: gob-side entry retaining; side support of gateway; concrete backfill with flexible module; stability of surrounding rock

0 引言

沿空留巷是利用特种材料在巷旁施工一道护巷带,将该巷道保留下为本工作面或相邻工作面服务。沿空留巷取消了工作面煤柱,提高煤炭采出率7%~20%;沿空保留巷道一巷两用,降低采掘率20%~33%,高瓦斯矿井还可不留设高抽巷,1条留巷可以节省2条巷道,大幅缓解了采掘紧张关系,可

实现Y型通风及采空区瓦斯抽采,有效解决了上隅角瓦斯超限难题,并可实现相邻煤层瓦斯预抽采,为本煤层与相邻煤层安全开采提供了保障;沿空留巷处于低压区,同时不留煤柱,煤柱应力集中导致的冲击矿压发生的概率大幅降低,减少了矸石升井及占用土地;沿空留巷降低工人劳动强度,减少劳动量,经济和社会效益显著^[1-3]。巷旁支护作为沿空留巷的一个最重要技术关键点及难点,在我国一直没有

收稿日期:2013-10-24;责任编辑:杨正凯 DOI:10.13199/j.cnki.est.2014.01.030

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2012AA062203)

作者简介:崔亚仲(1976—),男,陕西绥德人,高级工程师,硕士,现任神华神东煤炭集团有限责任公司机电管理部副经理。

引用格式:崔亚仲.神东矿区快速沿空留巷技术研究及应用[J].煤炭科学技术,2014,42(1):129-133.

CUI Ya-zhong. Application and Technology Research on Rapid Gob-side Entry Retaining in Shendong Mining Area [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(1): 129-133.

得到很好解决^[4]。传统的巷旁支护存在支护阻力、可缩性等力学性能与沿空留巷围岩变形不相适应、密闭性能差和机械化程度低等缺点,不利于巷道维护和防止采空区漏风与煤自然发火。基于此,笔者在分析沿空留巷及其设备的基础上进行神东矿区快速沿空留巷技术研究,以期达到矿井安全高效回采的目的。

1 煤矿沿空留巷技术现状

根据护巷带浇筑的形式以及采用的材料与支护方式,我国机械化充填沿空留巷技术大致划分为以下4个阶段:①巷旁风力充填构筑护巷带。应用风力充填护巷,其材料为水泥、矸石、速凝剂。1985年唐山煤矿引进德国的风力充填设备开展巷旁充填,结果表明充填体强度较高、巷道断面收缩率降低。但是由于充填系统复杂,使其应用受限。②高水速凝材料泵送充填构筑护巷带。1990年3月在平煤一矿进行高水速凝材料泵送充填成套技术的工业性试验,取得预期效果,充填及时接顶限制顶板离层等优点完全替代了传统的木垛、密集支柱、矸石带、混凝土砌块和风力充填技术。但存在高水材料强度低、宽度大,深入采空区作业不安全,成本高,经济效益差等缺点。③刚模现浇混凝土隔墙构筑护巷带。混凝土墙体承载能力高,能够形成足够的切顶强度,安全可靠,现在已被广泛接受。但是,大型自移式沿空留巷充填支架的缺点在于其比较高的工程费用和施工的复杂性,以及施工速度、抗压强度上升的速度不能适应高产高效矿井工作面。此外,一些施工方法不能保证墙体及时紧密贴顶,影响施工的质量。④柔模混凝土连续墙构筑护巷带。柔模混凝土沿空留巷成套技术,完全克服了以往隔离墙结构、工艺及设备配套的诸多缺点:充填体能主动接顶,混凝土能缓凝结、急增阻并与矿压显现规律相匹配,施工速度可达20 m/班,支模简单,不需拆模,神东煤炭集团研制出符合柔模混凝土沿空留巷工艺要求的成套机组,实现巷旁充填全部机械化,目前已在40多个工作面进行应用。

2 沿空留巷巷旁充填设备现状

2.1 风力充填设备、材料及工艺

风力充填设备早期采用混凝土喷射机^[5],主要采用搅拌机、喷射机、输送管等设备。目前对风力充

填设备进行了改进^[6],采用的风力充填系统主要由上料机构、螺旋给料机构和罗茨风机低压风力输送机构组成,其中上料机构包括翻车机、电动滚筒、破碎机、耙装机、给料机。

1)早期风力充填设备、材料及工艺。①充填材料:水泥、煤矸石、HMI 激化剂,其中,水泥、煤矸石质量配比为(13~15):(87~85),HMI 激化剂掺量为水泥质量的5%~6%,水灰比控制在0.55左右。②充填工艺:将3种充填材料分别装在搅拌机的3个料斗→搅拌机供料阀按比例自动供料搅拌后直接输入喷射机→喷射机借助风压通过管道将混合料输送到充填点附近→在喷嘴处与压力水混合喷入荆笆片围起的草袋中。③该种充填方式设备投资少,系统简单,设备易于安装、操作与维修,工程量小;但充填站粉尘大、管道磨损严重、充填距离小(不大于180 m),能力小($3 \text{ m}^3/\text{h}$),且混凝土水灰比难以控制,混凝土抗压强度低(28 d后的抗压强度仅达12 MPa),易漏浆。

2)目前所采用的风力充填设备、材料及工艺。①充填材料:水泥、砂、石子。②充填工艺:混凝土通过运输巷依次经过翻车机、给煤机、电动滚筒、带式输送机将混凝土输送到混凝土料仓处→由耙装机耙入工作面上巷输送带式输送机→带式输送机末端的卸料斗输送的混凝土送入螺旋给料机中→罗茨风机与螺旋给料机尾部的送料管相连,通过持续、低压送风将混凝土在管道内吹送至木板围起的充填区内。③该种充填方式设备复杂,上料机构繁多,必须留设下巷,否则设备无处放置,不具备推广性。

2.2 高水材料充填设备、材料及工艺

高水材料充填沿空留巷技术是1990年从英国引进的,先后在平顶山、韩城、邯郸等矿区^[7]进行了应用,主要采用搅拌桶、注浆泵、输送管、混合器等设备。①充填材料:该材料由甲料、乙料2种质量比1:1配合使用。其中甲料是以硫铝酸盐水泥熟料为基材,与悬浮剂及少量超缓凝剂混磨而成,乙料是由石灰、石膏、悬浮剂和复合速凝早强剂等混磨而成。②充填工艺:充填前,首先向搅拌桶内蓄水至所需水位,然后启动搅拌桶,待搅拌桶启动之后向桶内加料,将料加入桶内之后搅拌3~5 min开始向充填点供料。在充填点严密监控出料情况,待料均匀之后将混合管插入充填袋内开始充填。充填结束之后,泵站开始供清水,冲洗管路并清理充填点,充填即可结束。③该种充填方式设备投资少,设备简单,

但高水材料强度低,一般为2~5 MPa,宽度大(2~3 m)^[8],且易风化,墙体深入采空区,给安全施工带来隐患。墙体宽,不能有效切顶,最终导致矿压大,墙易压碎且留巷效果差,留巷工程成本高。

2.3 端头钢模板支架及泵充填设备、材料及工艺

端头钢模板支架及泵充填设备主要包括:真空吸盘起吊机、拆包机、输送带、上料皮带、搅拌机、混凝土泵、混凝土输送管和端头钢模板支架,其充填工作面布置如图1所示,其主要特点如下:①充填材料:水泥、砂、碎石、外添加剂、粉煤灰。②充填工艺:干料地面装袋→运至井下仓室→真空吸盘起吊→拆包机拆卸散料→带式输送机输送→上料带式输送机→搅拌机搅拌→混凝土泵送→混凝土输送至端头钢模板支架拼接的充填区内。③该种方式设备多、投资巨大;需要提前扩帮,工艺复杂;三班充填留巷,作业人员多;钢模板易漏浆,接顶效果差;待混凝土凝固8 h后(抗压强度需达到1 MPa)才能拆模移架,一次浇注长度短(3 m),钢模板支架与工作面生产紧密联系在一起,影响煤炭产量;整个装袋、运料、拆袋、上料环节多,设备多,带式输送机输送混凝土易损坏,整体运行可靠性低^[9]。

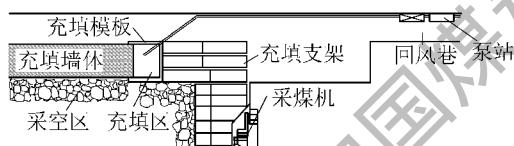


图1 端头钢模板支架及泵充填布置示意

2.4 柔模混凝土充填设备、材料及工艺

经过多年的改进及在20多个工作面的应用^[10~15],柔模混凝土制备输送技术已相对较为成熟,成为柔模混凝土充填沿空留巷技术的重要组成部分,其系统的主要组成:柔模混凝土地面制备系统、运输系统、柔模混凝土上料机、柔模混凝土井下制备机、矿用柔模混凝土泵、混凝土输送管。①充填材料:水泥、砂、碎石、外添加剂、粉煤灰。②充填工艺:地面采用柔模混凝土制备系统按设定比例配制混凝土干料→通过底卸式矿车或无轨胶轮车运输至井下混凝土施工地点→底卸式矿车和无轨胶轮车直接卸至上料机→上料机运至柔模混凝土制备机进行搅拌→溜入柔模混凝土泵料斗→通过混凝土输送管远距离输送至柔模内自成型。

沿空留巷技术目前使用的设备种类齐全,柔模混凝土制备输送机组经过近10年的持续改进,结构合理,功能完善,可连续作业。地面制备系统已实现

计算机控制;运输系统复杂多样(有底卸式矿车运输、无轨胶轮车运输、钻孔下料和钻孔下料+管道运输4种方式);井下上料系统采用液压马达驱动的刮板输送机,上料高度低,上料速度快,可实现机械化上料;井下制备系统采用超长卧轴双螺旋连续搅拌机构,具有物料搅拌均匀,连续出料和搅拌速度快的特点;井下泵送系统采用进口液压元件,可靠性高,泵送能力大,输送距离长。针对不同矿井情况,沿空留巷配套设备种类和数量都很多,基本可以满足生产需求。但是国内针对大采高和综采工作面快速回采的工艺和配套设备还没有成熟的经验,技术应用和矿压研究水平还在摸索过程中,设备选型、生产工艺和系统装备配置标准不统一。

3 工程应用

3.1 工程概况

高水速凝材料与高水灰渣材料巷旁充填、硬石膏等风力充填、钢模架泵注混凝土充填都需要建立一套较为复杂的充填系统,而且充填设备性能不佳、充填材料成本较高、留巷速度慢,不高于6 m/d,且接顶效果差,不能及时支护,漏风严重,尾巷易瓦斯超限,整体安全性差。神东煤炭集团年产煤炭2.6亿t,工作面煤柱宽度一般20 m左右,但每年因留煤柱损失煤量约1 400万t。

为了提高煤炭采出率,解决瓦斯超限等问题,2011年开始在神东矿区榆家梁煤矿进行沿空留巷试验,经对国内沿空留巷巷旁充填设备进行了前期考察,最终选定采用柔模混凝土制备输送机组进行留巷。榆家梁煤矿43308工作面位于榆家梁井田中南部范家沟村和斗峁沟村,工作面北部为43号煤层辅助运输巷、主运输巷和回风大巷,西侧的43307工作面正在回采,东侧的43309工作面正在掘进,南侧为井田边界,上部13~17 m为42208工作面采空区。工作面推进长度2 147.4 m,工作面长300.6 m,煤层厚度1.70~2.08 m,平均厚度1.87 m,倾角1°~3°。推进速度10~14 m/d,工作面对应地面标高+1 217.2—+1 337.1 m,煤层底板标高为+1 181.2—+1 194.5 m。地质结构简单,属于低瓦斯矿井。

43308工作面从开切眼推进174.65 m至41联络巷,需将工作面的运输巷采用柔模混凝土充填沿空留巷的方法保留下,保留巷道至43308工作面回撤通道处,留巷长度共1 980 m。保留下来的巷道

作43309工作面的回风巷,回采43309工作面之前,增加该工作面的液压支架数量,以适应43308运输巷与43309运输巷间的煤柱变短而工作面变长,工期为8个月。原有巷道宽度5.5 m,留巷宽度4.5 m,高度2.1 m。43308运输巷原支护情况为:采用 $\phi 15.24 \text{ mm} \times 5000 \text{ mm}$ 的锚索,间排距为 $3000 \text{ mm} \times 3000 \text{ mm}$,每排2根;采用 $\phi 16 \text{ mm} \times 1800 \text{ mm}$ 一次性紧固锚杆,配 $120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ 的蝶形钢板托盘,采用 $\phi 23 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$ 树脂药卷和 $\phi 6.5 \text{ mm} \times 1200 \text{ mm} \times 5200 \text{ mm}$ 的钢筋网。43308运输巷超前补强支护:采用 $\phi 22 \text{ mm} \times 6500 \text{ mm}$ 锚索,间排距 $2100 \text{ mm} \times 1500 \text{ mm}$,每排3根,选用 $300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$ 钢板托盘,锚固长度2 m,采用2支Z2370和1支CK2650树脂锚固剂,锚固力不小于520 kN。

巷旁支护采用柔模混凝土墙支护,柔模要求具有透水不透浆、自成型、支模速度快、无需回收等特点,尺寸可按要求制作,一般长度为2或3 m。混凝土墙厚度1.0 m,高度2.1 m,墙体上设置锚栓,锚栓规格为 $\phi 20 \text{ mm} \times 1100 \text{ mm}$,两端各带 $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 托板及100 mm丝扣,锚栓间排距为900 mm $\times 1000 \text{ mm}$ 。柔模混凝土为自密实混凝土,主要材料为碎石、山砂、水泥、粉煤灰及专用外加剂,标号C20。通过合理的试验配比,混凝土的泵送性能及物理力学性能达到了留巷要求。沿空留巷支护如图2所示。

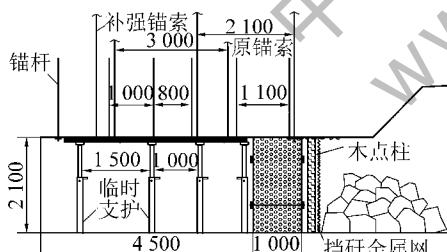


图2 沿空留巷支护示意

3.2 沿空留巷施工设备配备

榆家梁煤矿采用一套柔模混凝土制备输送机组进行沿空留巷。柔模混凝土地面制备系统包括柔模混凝土地面制备配料系统与柔模混凝土地面制备搅拌系统。①柔模混凝土地面制备配料系统生产能力 $80 \text{ m}^3/\text{h}$,电动机功率 $3 \times 4 \text{ kW}$,电压为 380 V 。柔模混凝土地面制备搅拌系统生产能力 $50 \text{ m}^3/\text{h}$,电动机功率 37 kW ,电压为 380 V 。②井下柔模混凝土上料机上料能力 $50 \text{ m}^3/\text{h}$,电动机功率 55 kW 、最大粒径40 mm、链宽420 mm、链速1.2 m/s、提升高度

$1600 \sim 2600 \text{ mm}$ 、电压为 $660/1140 \text{ V}$ 、可自行走。③矿用柔模混凝土泵输送量 $80 \text{ m}^3/\text{h}$ 、最大出口压力 22 MPa 、电动机功率 110 kW 、电压为 $660/1140 \text{ V}$ 。④输送管路系统采用 $\phi 125 \text{ mm}$ 的高压耐磨管,配套 $\phi 125 \text{ mm}$ 截止阀和 $\phi 25 \text{ mm}$ 双层钢丝高压软管。⑤混凝土下料采用5辆胶轮3E平推车。

3.3 柔模混凝土制备输送机组设备布置

柔模混凝土沿空留巷需要大量混凝土,考虑到运输以及混凝土拌合物存放时间有限等因素(榆家梁煤矿井下混凝土干料存放时间为3 d),柔模泵注混凝土采用二次搅拌工艺:一次搅拌在地面进行,使用柔模混凝土制备系统将水泥、砂、石子、外加剂等按设定配比拌合成混凝土干料,干料储备量应满足至少7 d的施工用量。根据43308工作面实际回采进度 14 m/d ,每天用新拌混凝土 30 m^3 计算,干料为 45 m^3 。柔模混凝土地面制备系统布置在地面,柔模混凝土地面制备系统布置如图3所示。由于原材料需要干燥及冬季保暖,在地面建造了厂房,厂房面积 700 m^2 ,将地面设备及原材料全部放置其中。

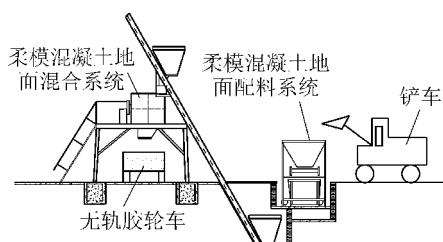


图3 柔模混凝土地面制备系统布置

井下设备一字摆开,放置在辅助运输巷靠正帮一侧,柔模混凝土刮板输送机在前面,柔模混凝土制备机在中间,柔模混凝土泵在后面,依次搭接,铲车上料、搅拌、泵送连续不间断进行,完成混凝土的井下现场施工过程,柔模混凝土机组井下设备布置如图4所示。

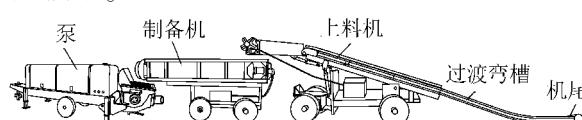


图4 柔模混凝土机组井下设备布置

3.4 现场应用效果

榆家梁煤矿柔模混凝土充填留巷1600 m,柔模

混凝土制备输送机组使用状况良好,未发生堵管现象。混凝土输送距离400 m,每隔400 m设备前移1次;混凝土的抗压强度3 d内可达到10~20 MPa。柔模混凝土泵注速度为36 m/班,日回采速度最快为14 m/班,柔模混凝土墙体浇注完全满足了回采速度要求,根据现场情况施工速度可达20 m/班。柔模混凝土制备输送机组结构合理,功能完善,实现了连续作业。地面制备系统实现计算机控制;运输系统复杂多样;井下柔模混凝土上料机采用液压马达驱动的刮板输送机,上料高度低、速度快,可实现机械化上料;井下柔模混凝土制备机采用超长卧轴双螺旋连续搅拌机构,具有物料搅拌均匀,连续出料和搅拌速度快的特点;井下柔模混凝土泵采用进口液压元件,可靠性高,泵送能力大,输送距离长;柔模混凝土制备输送机组满足安全高效矿井快速安全生产需求。

4 柔模混凝土充填沿空留巷问题分析

1)柔模混凝土充填留巷支护的速度仍是制约生产的主要因素。主要存在的问题如下:工作面端头支架对留巷顶板支护的锚杆锚索造成破坏,是沿空留巷顶板的一大隐患;采用木点柱挡矸、单体挂模,木点柱不能回收,浪费较严重,挡矸木点柱支护时有矸石挤出伤人隐患;临时支护的单体及钢梁工作量较大,需要大量的人力物力;该套沿空留巷地面配料通过胶轮车运输,井下搅拌注浆,胶轮车运输任务量较大,该套设备井下需人工上料,自动化程度较低。

2)沿空留巷装备应包括:支护(临时、短期、长期)、配料、储备、运料、搅拌、泵送等相关设备。在设备选型时应系统考虑单台设备参数的匹配。同时,在设备选型时要结合巷旁支护参数设计、支护速度与泵送速度相匹配,避免频繁启停泵。

3)支架后临时支护系统需增加对顶板的支护强度,可采用垛式支架或立柱框式支架,保护支架后作业人员的安全。原巷道内单体支护方式由迈步式支架代替,先选用较为成熟的ZQ30000/27/50型巷道支架进行支护,对于不同矿压情况需按照支护设计进行配置。

4)地面搅拌站应实现智能计量,提高原材料混合质量,同时为矿井大规模使用混凝土干混料提供装备保障。对现有泵送设备需增加电控保护和集中自动控制系统,供水流量保护,水压保护,入料称重保护,混凝土塌落度保护等。要增加柔模浇注口的

视频监控,流量、压力等数据监测,并可远程上传。搅拌机操作、泵输送机需实现加水、搅拌、注浆的集中自动控制系统。

5 结语

柔模混凝土充填沿空留巷设备简单,实现了连续作业,施工简便,墙体接顶接底较好,混凝土急增阻且早期抗压强度高;墙体窄用料省(墙宽1.4 m以内),支模、浇注速度快,柔模混凝土制备输送机组更适合于神东矿区地质情况下大采高快速推进工作面沿空留巷。目前国内煤矿对于沿空留巷技术应用和矿压研究水平还在摸索过程中,留巷配套的设备选型、生产工艺和系统装备配置标准不统一,建议制定煤炭行业沿空留巷设备统一标准。

参考文献:

- [1] 钱鸣高,许家林,缪协兴.煤矿绿色开采技术[J].中国矿业大学学报,2003,32(4):344~348.
- [2] 宋振骐,崔增娣,夏洪春,等.无煤柱矸石充填绿色安全高效开采模式及其工程理论基础研究[J].煤炭学报,2010,35(5):705~710.
- [3] 袁亮.低透气性煤层群无煤柱煤气共采理论与实践[J].中国工程科学,2009,11(5):72~80.
- [4] 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):78~81.
- [5] 华心祝,谢广祥,刘廷陵.风力充填巷旁支护在芦岭煤矿的试验[J].煤,1995,4(4):11~14.
- [6] 郭信山.基于低压风力充填混凝土工艺的沿空留巷技术[J].煤矿安全,2011,42(3):47~49.
- [7] 潘海良,卢志敏.高水材料巷旁充填沿空留巷技术研究与应用[J].中国煤炭,2009,35(8):48~50.
- [8] 贾民,马纪安.煤矿井下巷旁充填早强混凝土沿空留巷技术[J].煤炭科学技术,2013,41(5):58~62.
- [9] 陈勇,柏建彪,王襄禹,等.沿空留巷巷内支护技术研究与应用[J].煤炭学报,2012,37(6):903~910.
- [10] 吴玉意.柔模泵注混凝土支护原理与参数研究[D].西安:西安科技大学,2009.
- [11] 张智强.双突矿井中柔模混凝土沿空留巷应用研究[D].西安:西安科技大学,2012.
- [12] 白书民.薄煤层无巷旁充填沿空留巷技术研究[J].煤炭科学技术,2012,40(11):42~44.
- [13] 武书泉.柔模泵注混凝土沿空留巷技术方案设计[C]//第五届全国煤炭工业生产一线青年技术创新文集.北京:煤炭工业出版社,2010:63~71.
- [14] 毛国力,闫德忠,尹成荣.柔模混凝土支护在沿空留巷中的应用研究[C]//第七届全国煤炭工业生产一线青年技术创新文集.北京:煤炭工业出版社,2012:265~273.
- [15] 张子飞,贺安民.浅埋煤层柔模混凝土沿空留巷支护及稳定性分析[J].煤炭科学技术,2013,41(9):24~28.