

两硬薄煤层沿空留巷巷旁充填支护技术

周建峰 崔巍

(大同煤矿集团有限责任公司 矿井建设管理处 山西 大同 037003)

摘要:为了解决两硬薄煤层开采过程中半煤岩巷掘进量大的问题,实施沿空留巷巷旁充填支护技术。通过沿空留巷支护机理理论分析,确定了巷道加强支护的方案,开发出高效充填材料,对巷旁充填体支护参数进行了优化设计,并简化了沿空留巷施工工艺。实践结果表明:该支护技术效果显著,充填体能够密实接顶,接顶率不小于95%,充填体初凝时间小于40 min,早期抗压强度可达到2 MPa左右,具有一定可缩量,沿空留巷两帮和顶底板最大移近量分别控制在123和114 mm以内,沿空留巷巷旁充填支护效果达到了预期要求。

关键词:两硬煤层;薄煤层;沿空留巷;巷旁充填;巷旁支护

中图分类号:TD353

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2014)04-0019-04

Technology of Gob-side Entry Retaining and Roadside Filling Support in Hard Roof and Hard-thin Coal Seam

ZHOU Jian-feng, CUI Wei

(Mine Construction Management Office, Datong Coal Mine Group Corporation Ltd., Datong 037003, China)

Abstract: In order to solve the problem of large amount of excavation in coal-rock roadway in the mining process of hard roof and hard-thin coal seam, this paper introduced the gob-side entry retaining and roadside filling support technology. Through the theoretical analysis of the support mechanism, the authors determined the roadway reinforce support project, developed the high-efficient filling materials, optimized the support design parameters of roadside filling body and simplify the construction process. Practical results showed that the effect of this support technology was remarkable, the filling body could contact to the roof tightly and contacting roof rate was not less than 95%, the initial setting time of filling body was less than 40 minutes and its early strength could be achieved around 2 MPa, it also had some certain shrinkage. The max deformation value of the two sidewalls could be controlled within 123 mm and the max deformation value of the roof-to-floor convergence could be controlled within 114 mm, the support effects reached the anticipated requirement.

Key words: hard roof and coal seam; thin coal seam; gob-side entry retaining; roadside filling; roadside support

0 引言

大同煤矿集团有限责任公司部分矿井所开采煤层为侏罗纪煤层,为低灰、低硫、高挥发、高热量的优质动力煤,煤层具有“一平、两硬、多煤层”的特点,即煤层倾角小,属近水平煤层,煤层坚硬且煤层顶底板一般也为坚硬的砂岩或砂砾岩,可采煤层较多,间距较小,其中,“两硬”煤层是其最显著特点。经过多年的开采,原先赋存条件较好的煤层已

开采完毕,再加上周边小煤矿的“蚕食”破坏,储量锐减,剩余储量绝大多数赋存为厚度在1.5 m以下的较薄煤层。沿空留巷巷旁充填支护技术是指随着采煤工作面的推进,在上区段回采过后,通过巷旁充填及加强支护的方法隔离采空区,将上区段工作面运输巷保留下来作为下区段回采时的回风巷使用的一种支护技术^[1-3],此支护技术自20世纪50年代在我国开始使用以来,一直是我国煤炭开采的重要技术发展方向,国内很多学者都对沿空留巷进行了

收稿日期:2013-12-20;责任编辑:曾康生 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2014.04.006

作者简介:周建峰(1967—),男,山西怀仁人,高级工程师。Tel:0352-7868097, E-mail:tygwmyd@163.com

引用格式:周建峰,崔巍.两硬薄煤层沿空留巷巷旁充填支护技术[J].煤炭科学技术,2014,42(4):19-22,26.

ZHOU Jian-feng, CUI Wei. Technology of Gob-side Entry Retaining and Roadside Filling Support in Hard Roof and Hard-thin Coal Seam[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(4): 19-22, 26.

大量详实的研究^[4-6]。孙恒虎等^[7]揭示了沿空留巷围岩活动的前后期规律;张东升等^[8]提出了充填带宽度和充填材料抗压强度的具体要求;李化敏^[9]分析了沿空留巷顶板岩层运动的过程及其变形特征,确定了沿空留巷巷旁充填体支护阻力的控制设计原则,并建立了相应的支护阻力及合理压缩量数学模型;漆泰岳等^[10]提出了使沿空留巷巷道保持稳定的整体浇注充填体支护强度与变形的理论计算方法,但是对于两硬薄煤层条件下的沿空留巷技术并没有进行系统的研究。基于此,笔者以大同煤矿集团地煤公司姜家湾煤矿为研究对象,针对两硬薄煤层的特点,对沿空留巷巷旁充填支护技术进行研究,以期达到减少巷道掘进量、减少维护巷道的煤柱、提高矿井生产效率和煤炭资源利用率的目的。

1 工程概况

姜家湾煤矿建成投产于1964年,是一家具有40多年开采历史的国有中型煤矿,矿井井田面积为 8.2799 km^2 ,设计生产能力为90万t/a。截至2010年底,矿井工业储量为5430.6万t,可采储量为2848.6万t,其中1528.5万t储量的煤层厚度 $0.8\sim 1.1\text{ m}$,属难采煤层。

姜家湾煤矿7⁻²号煤层302盘区8213工作面,煤层平均厚度1.11m,煤层平均倾角 9.5° 。煤层直接顶为2.62m的砂质泥岩与粉砂岩互层,砂质泥岩浅灰色,致密,含植物化石碎屑,粉砂岩灰白色;基本顶以细砂岩为主,细砂岩、粉砂岩、炭质泥岩等互层,灰白色,以石英长石为主,少许暗色矿物,泥质胶结,具有小错动构造;直接底为6.57m的砂质泥岩与粉砂岩互层,以砂质泥岩为主,岩性同直接顶;基本底以细砂岩为主,炭质砂岩及粗砂岩互层,灰白色,以石英长石为主,暗色矿物,少许云母片,泥质胶结。

工作面采用综合机械化回采工艺,工作面走向长度674m,倾斜长度96.5m,面积 65903 m^2 ,工作面巷道有2213机轨合一巷和5213回风巷,沿空留巷在2213机轨合一巷进行。工作面北部为实体煤,南部为321运输巷、321轨道巷、521回风巷3条盘区巷道,东部为2211巷,西部紧邻 F_2 断层。

2 沿空留巷巷旁充填支护机理

“两硬”薄煤层条件下沿空留巷开采,顶板岩层强度高、厚度大、整体性强、节理裂隙不发育,煤层开采后顶板悬顶时间长、悬顶距大。在顶板运动的早

期阶段,旋转下沉的基本顶岩梁并未与采空区冒落矸石接触,此时的巷旁充填体将承受很大的顶板压力,到顶板运动的后期阶段,随着基本顶岩梁与采空区冒落矸石的接触,使得采空区冒落矸石带与巷旁支护体一起支承上覆顶板压力。同时,由于充填体的可缩性小,若使巷旁充填体能有效支撑上覆顶板,需要沿采空侧强制切断顶板,使基本顶岩梁回转下沉量较少,要求巷旁充填体有较小压缩量即可,从而减少巷旁充填体支护阻力。

在沿空留巷使用期间其顶板运动可分为前期运动、过渡期运动和后期运动3个阶段^[11-12]。在顶板前期运动和过渡期运动阶段,基本顶沿断裂线旋转运动,此时巷旁充填体将承受较大的压力,为防止充填体在基本顶岩块回转下沉中被破坏,充填体要具有一定的可缩性,可缓解顶板压力,防止充填体受压破碎,充分发挥围岩的自稳能力;在顶板后期运动阶段,充填体应具有一定的抗压强度,维护充填体上方顶板的完整,防止直接顶与基本顶之间出现离层,同时还能切断采空区侧顶板,使冒落矸石充满采空区,不仅能够减少上覆顶板的下沉空间,冒落矸石还能支撑上覆顶板,降低充填体承受的支护阻力。

由此可见,在坚硬顶板条件下沿空留巷,顶板前期运动阶段巷旁充填体抗压强度不必太高,但应该具有一定的可缩性,用于缓解上覆顶板压力,对上覆顶板起到了“让”压的作用;在顶板后期运动阶段巷旁充填体应具有一定的抗压强度,用于抵抗直接顶和部分基本顶重力,起到“抗”压的作用。

沿空留巷巷旁充填支护结构模型如图1所示。随着煤层的采出,直接顶发生规则或不规则的垮落,与上覆基本顶发生离层,基本顶岩层发生回转、断裂或弯曲下沉,最终形成由岩块A、岩块B与岩块C组成的铰接结构。岩块B经沿采空侧强制切断顶板后断裂。上覆岩块稳定以后,沿空留巷位于岩块B下方,通过巷旁充填体与采空区隔离。

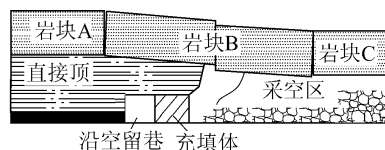


图1 沿空留巷巷旁充填支护结构模型

3 巷道加强支护方案

通过采用巷道加强支护,与巷旁支护共同提供足够的初撑力与支护阻力,保证支护具有一定初撑

力、增阻速度及较高的支护刚度,防止顶板离层。

考虑到巷道断面的尺寸、顶板厚度及施工条件,确定使用锚杆-钢带-网组合的支护方式,支护参数如下:顶板和两帮均采用直径 18 mm、长度 2 400 mm 的全螺纹等强锚杆,并全部挂网,锚杆间排距为 850 mm × 850 mm;顶板锚索为直径 17.8 mm、长 8 000 mm 的钢绞线锚索,锚索间排距为 1 700 mm × 2 550 mm。顶板锚杆锚固力不小于 80 kN,帮锚杆锚固力不小于 60 kN,锚索锚固力不小于 120 kN,顶板和实体煤侧需加钢带并挂网。巷道加强支护断面如图 2 所示。

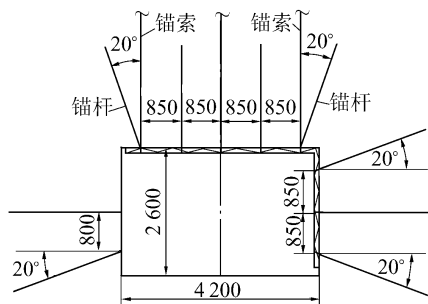


图 2 巷道加强支护断面

4 巷旁充填支护方案

4.1 充填材料

巷旁充填材料的选择直接决定着沿空留巷的成败,用于巷旁充填的材料应具有支护强度高、速凝早强、较大的可缩量、较高的残余强度、较好的密闭性、来源广且成本低等特点。

常用充填材料的组份可以分为 3 大类:惰性材料、胶凝材料和改性材料^[13-15]。综合考虑姜家湾煤矿实际情况,选择水泥作为胶凝材料,粉煤灰作为有胶凝性能的活性混合材料,煤矸石、河砂作为惰性材料,并加入了其他改性材料。其中,水泥与惰性材料最佳配比为 1:4,惰性材料中河砂与石子最佳配比为 2:3,早强剂占总量的 1.2%,减水剂占总量的 1.5%。因此,巷旁充填材料现场施工配合比水、水泥、粉煤灰、矸石粉、河砂、石子、早强剂、减水剂质量分别为 134、164、44、85、227、340、2.8、3.2 kg/t。

4.2 充填体支护参数设计

采用沿空留巷方案,在工作面推进过周期来压步距 L_{\max} 煤体上方部分应力得以释放后,再使巷旁充填体承受压力,这就要求充填体的支护阻力可以达到足以抵抗垮落直接顶的强度。利用如下公式对巷旁充填体支护阻力 P 进行计算。

$$P = k [h_E \gamma_E L_{\max} / 2 + h_z \gamma_z (x_0 + c + d)]$$

其中: k 为应力集中系数,取 4; h_E 为基本顶厚度,取 8 m; γ_E 为基本顶岩层容重,取 25 kN/m³; L_{\max} 为周期来压步距,取 16 m; h_z 为直接顶厚度,取 2.91 m; γ_z 为直接顶岩层容重,取 25 kN/m³; x_0 为煤体内极限平衡区宽度,取 2.1 m; c 为巷道宽度,取 4.2 m; d 为巷旁充填体宽度,分别取 1.5、1.8、2.0、2.3 和 2.5 m 进行计算。

根据充填体单轴抗压强度试验结果,确定巷旁充填体宽度为 2.3 m 时能较好地满足支护要求。根据现场实际经验,充填体抗压强度越大,充填体破坏程度越小,顶板下沉量及两帮水平位移都越小,即沿空留巷效果越好,但配置成本越高且工艺越复杂,综合考虑确定充填体强度为 23 MPa 左右,能够满足本工作面开采支承压力的影响。

利用充填墙支撑顶板,能够缓和上覆岩层旋转下沉对巷旁支护的冲击,使直接顶切顶断裂线向采空区深入,减轻采空区矸石对充填体的侧向冲击,保持巷旁充填体的稳定性;提高早期支护强度,为安全生产提供保障,同时充填墙可起到防漏风作用,并且可提高后期对顶板支撑作用。

4.3 充填设备选型

由于 2213 机轨合一巷铺设带有带式输送机等大型设备,充填泵站不能布置其中,故将充填泵站布置在轨道大巷中,充填管路布置在 2213 机轨合一巷中,充填和运煤系统分开。经计算选用 HBMG30/21-110S 混凝土充填泵,其电动机功率 110 kW,最大出口压力 21 MPa,最大水平输送距离 1 200 m,最大排量 30 m³/h,最大骨料尺寸不大于 40 mm,整机质量 5 170 kg。

充填管路敷设于巷道底板上,并固定牢固,选用低阻尼耐磨无缝钢管,管道连接处采用耐压 10 MPa 管道快速接头及“O”型橡胶圈密封。

充填模架支设如图 3 所示。工作面回采推进时,紧跟工作面留巷侧端头支架,在待留巷充填区内段安设单体支柱,并做挡矸处理;当支架后方待充填

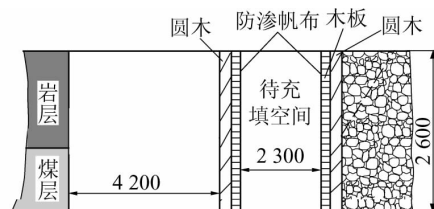


图 3 充填模架支设

长度达到充填步距时,安装圆木点柱替换单体支柱,排距1 000 mm(采空侧排距800 mm),确保充填墙体宽度不小于2 300 mm。临时支护空间达到一次充填长度3 m后,在木柱内侧钉装木板,除留下充填口外,木板应自底板至顶板钉装严实,然后在木板内铺设一层抗静电阻燃帆布或风筒布,防止充填材料从木板缝隙外漏。

4.4 临时支护设计

在回采期间,超前工作面前方25 m、滞后工作面200 m范围内受采动影响的区域,采取单体液压支柱的加强支护形式,保证顶板岩层整体协调变形,防止顶板发生过大离层。

在工作面两侧巷道进行超前支护,超前支护从工作面煤壁前方开始,采用DW28-250/100X型单体液压支柱配合HDJA-800型铰接顶梁支护顶板,支柱3排,柱距1 800 mm,排距1 500 mm,支护范围为工作面煤壁前方25 m。工作面两侧端头采用ZZT4500支撑掩护式支架支护,两侧端头架与巷帮间空顶处采用DW28-250/100X型单体液压支柱

加铰接顶梁支护,柱距800 mm,排距1 500 mm,支护至工作面煤壁前方5 m。从工作面端头支护后方开始(与端头单体支护相接),采用DW28-250/100X型单体液压支柱配合HDJA-800型铰接顶梁支护顶板,支柱4排,柱距1 000 mm,排距1 200 mm,支护范围为工作面煤壁后方200 m。

4.5 充填工艺

充填工艺流程:锚索加固充填区域顶板→清理碎石与遗煤→支模→搅拌输送→充填清洗→拆模。

5 支护效果分析

在2213机轨合一巷沿空留巷期间,在沿空留巷段距工作面分别为50、100和150 m处各设1个观测站,记作1、2、3号观测站,每个观测站设1个观测断面,分别设1组顶底板移近量观测基点和1组两帮移近量观测基点。当每个观测站距离采煤工作面煤壁50 m以外时,每2天观测1次,当观测站距离采煤工作面50 m以内时,每天观测1次。巷道内3个观测站的巷道变形观测结果如图4所示。

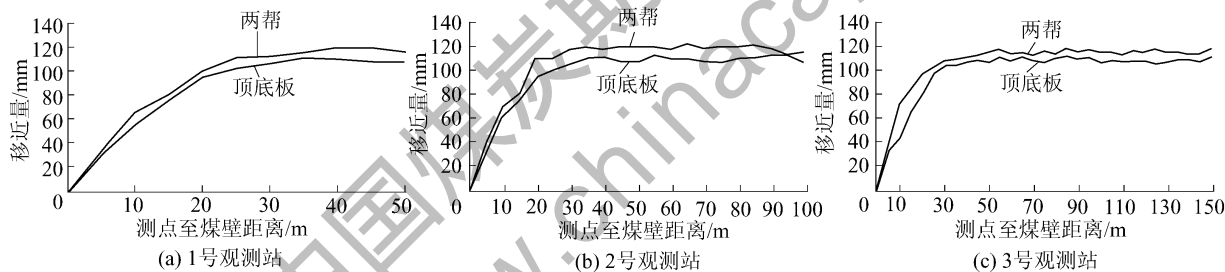


图4 至工作面不同距离沿空留巷围岩变形观测结果

由图4可知,在距工作面后方0~20 m内,巷道围岩变形速度最快,变形量最大,两帮和顶底板最大移近量分别为92和103 mm,这是由于受采动影响较大,巷道围岩矿压显现较剧烈;在距工作面后方20~50 m内,巷道围岩变形速度逐渐降低,变形量缓慢增大,两帮和顶底板最大移近量分别为123和114 mm,这是由于随着工作面的继续推进,后方受采动影响较小,围岩破坏趋于平缓;在距工作面后方50 m以外,巷道围岩变形速度接近0,变形量不再增大,巷道基本稳定,两帮和顶底板平均移近量分别为118和108 mm,这是由于随着早期充填体抗压强度的迅速发展,充分发挥了巷旁支护的作用,有效地支撑了巷道顶板。由此可见,离煤壁越近巷道围岩变形速度越快,变形量越大,随着工作面的推进,变形速度趋于缓和,变形量达到最大值,当充填体的早期抗压强度形成后,巷旁支护的作用显现,巷道趋于稳

定,不再发生新的变形。

6 结 论

1) 提出了沿采空区侧强制切顶技术和坚硬顶板沿空留巷支护机理,在顶板运动的前期和后期对充填体的可压缩性和强度要求不同。

2) 采用锚杆-钢带-网组合的支护方式进行巷道加强支护,巷旁充填支护以水泥、粉煤灰、煤矸石和河砂等配合其他改性材料作为充填材料,有效提高了沿空巷留的稳定性,通过实际观测,沿空留巷两帮和顶底板最大移近量均较小。

3) 通过对两硬薄煤层沿空留巷支护技术的研究,对类似条件下煤炭资源的开采具有借鉴意义,但是针对坚硬顶板运动的特点,今后需对充填材料进行深入开发,以提高充填体的早期强度和可压缩性。

(下转第26页)

采出率,所以在放煤过程中混矸现象较为明显。

对放煤过程中的混矸比例进行统计可知,放煤后有10.3%的放煤口未见矸石,89.7%的放煤口见矸,放煤口的矸石比例控制在60%以下的有86.9%,矸石比例在60%以上的有13.1%。通过合理增加放矸量来达到提高顶煤采出率的目的,又减少了混矸比例,说明放煤程度控制较好。综放工作面煤炭采出率如图5所示,由此可见综放工作面的平均采出率约80.41%,最高采出率为84.3%。

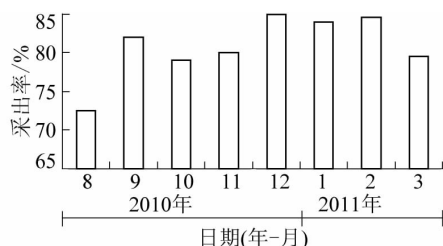


图5 综放工作面煤炭采出率

4 结 语

采用一刀一放、两刀一放、三刀一放时的顶煤采出率平均值分别为93.36%、83.61%、80.07%,含矸率平均值分别为14.97%、7.31%、7.08%。因此现场采用0.6m的放煤步距,即一刀一放。上行放煤比下行放煤的顶煤采出率高,因此采用上行放煤。现场实测分析表明:单架平均放煤时间为84s;顶煤在2次支承压力的作用下破碎比较充分,顶煤的破碎块度在10cm以下,直接顶的破碎也很充分,破碎块度较小,在30cm以下;放煤后有10.3%的放煤口未见矸石,89.7%的放煤口见矸,放煤口的矸石比例控

制在60%以下的有86.9%;综放工作面的平均采出率约80.41%,最高采出率为84.3%。

参考文献:

- [1] 国家煤矿安全监察局. 煤矿安全规程[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2010.
- [2] 张百胜, 杨双锁, 康立勋, 等. 极近距离煤层回采巷道合理位置确定方法探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(1): 97-101.
- [3] 琚宜文, 王桂梁, 胡超. 海孜煤矿构造变形及其对煤厚变化的控制作用[J]. 中国矿业大学学报, 2002, 31(4): 374-379.
- [4] 卢士超. 近距离煤层联合开采技术的应用[J]. 煤炭技术, 2006, 25(9): 59-60.
- [5] 刘纯贵. 四台矿近距离煤层采空区下围岩承压性能模拟分析[J]. 中国煤炭, 2005, 31(5): 33-35.
- [6] 于斌. 大采高综放割煤高度合理确定及放煤工艺研究[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(12): 29-32.
- [7] 刘峰. 屯留煤矿高瓦斯松软厚煤层大采高综放开采技术[J]. 煤炭科学技术, 2008, 36(2): 12-15.
- [8] 苏志. 范各庄矿综放开采技术的实践[J]. 煤炭科学技术, 2005, 33(7): 34-36.
- [9] 赵经彻. 兖州矿区综采放顶煤技术[J]. 煤炭学报, 1999, 24(1): 16-20.
- [10] 左建平, 赵洪宝, 杨建立, 等. 大采高综放开采煤岩体冒落规律数值模拟研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(1): 56-59.
- [11] 朱涛, 张百胜, 冯国瑞, 等. 极近距离煤层下层煤采顶板结构与控制[J]. 煤炭学报, 2010, 35(2): 26-30.
- [12] 杨胜利, 刘颢颢, 李杨, 等. 极近距离煤层分层综放技术[J]. 煤炭学报, 2011, 36(3): 371-376.
- [13] 刘生优, 姚强岭. 近距离煤层大采高综放开采技术[J]. 采矿与安全工程学报, 2008, 25(3): 347-351.
- [14] 王绍勇, 张勇. 渭北煤矿近距离三软煤层合并综放开采技术[J]. 煤炭科学技术, 2009, 37(7): 24-27.
- [15] 出版社, 1993.
- [8] 张东升, 茅献彪, 马文顶. 综放沿空留巷围岩变形特征的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(3): 331-334.
- [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] 漆泰岳, 郭育光, 侯朝炯. 沿空留巷整体浇注护巷带适应性研究[J]. 煤炭学报, 1999, 24(3): 256-260.
- [11] 李迎春, 华心祝. 沿空留巷顶板稳定性分析及其控制[J]. 煤炭工程, 2011(1): 54-57.
- [12] 唐建新, 邓月华, 涂兴东, 等. 锚网索联合支护沿空留巷顶板离层分析[J]. 煤炭学报, 2010, 35(11): 1827-1831.
- [13] 郭育光, 柏建彪, 侯朝炯. 沿空留巷巷旁充填体主要参数研究[J]. 中国矿业大学学报, 1992, 21(4): 1-11.
- [14] 王佳喜, 秦涛, 冯俊杰, 等. 沿空留巷巷旁充填材料的配制[J]. 煤炭技术, 2012, 31(3): 91-93.
- [15] 李孝胜, 王军, 王世法, 等. 机械化沿空留巷工艺技术与新型充填材料实验研究[J]. 煤矿开采, 2010, 15(4): 60-62.
- [1] 钱鸣高, 石平五. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [2] 布铁勇, 冯光明, 贾凯军. 大采高综采沿空留巷巷旁充填支护技术[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(11): 41-44.
- [3] 刘坤, 张晓明, 李家卓, 等. 薄煤层坚硬顶板工作面沿空留巷技术实践[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(4): 17-20.
- [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] 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.
- [6] 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.
- [7] 孙恒虎, 赵炳利. 沿空留巷的理论与实践[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1993.

(上接第22页)

参考文献:

- [1] 钱鸣高, 石平五. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [2] 布铁勇, 冯光明, 贾凯军. 大采高综采沿空留巷巷旁充填支护技术[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(11): 41-44.
- [3] 刘坤, 张晓明, 李家卓, 等. 薄煤层坚硬顶板工作面沿空留巷技术实践[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(4): 17-20.
- [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] 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.
- [6] 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.
- [7] 孙恒虎, 赵炳利. 沿空留巷的理论与实践[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1993.