

文章编号: 1673-3363-(2012)01-0033-05

深部动压巷道高阻让压支护技术研究

张志康¹, 王连国², 单仁亮¹, 陆银龙²

(1. 中国矿业大学力学与建筑工程学院, 北京 100083;

2. 中国矿业大学深部岩土力学与地下工程国家重点实验室, 江苏 徐州 221008)

摘要 为解决深部动压巷道支护的技术难题, 针对曹村煤矿十采区下部人车下山巷的具体工程地质条件与生产技术条件, 在现场地应力实测的基础上, 采用巷道支护专家系统软件对动压巷道支护形式与参数进行优化设计, 确立了以高强让压锚杆与带肋锚索为核心的新型“高阻—让压”支护体系, 并进行了井下工业性试验和矿压监测。研究结果表明: 基于地应力实测的高强让压锚杆和带肋锚索联合支护提高了支护结构的整体承载力, 有效控制了围岩的变形, 达到了支护设计的预期效果, 保证了动压巷道的稳定和正常使用。

关键词 深部; 动压巷道; 地应力实测; 专家系统; 让压支护

中图分类号 TD 353

文献标识码 A

Support Technology of High Resistant and Yielding Property for Deep Roadway Under Dynamic Pressure

ZHANG Zhi-kang¹, WANG Lian-guo², SHAN Ren-liang¹, LU Yin-long²

(1. School of Mechanics & Civil Engineering, China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China;

2. State Key Laboratory for Geomechanics and Deep Underground Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China)

Abstract To solve the technological problems of deep roadway support, in view of the specific geological and technical conditions in dip roadway of No.10 District in Caocun Coal Mine, the in-situ stress was measured, and the roadway support form and parameters under dynamic pressure were designed and optimized with the use of roadway support expert system software. Then, the new support system of high resistant and yielding property was established, which uses the high-strength yielding bolt and ribbed anchor as core, and the underground industrial tests and ground pressure monitoring were carried out. The results show that the support system with high-strength yielding bolt and ribbed anchor, which is based on the in-situ stress measurement, can increase the overall capacity of support structure, and control the deformation of surrounding rock effectively. Thus, the intended effect of support design is reached, which ensures the stability and normal use of the deep roadway under dynamic pressure.

Key words deep level; roadway under dynamic pressure; in-situ stress measurement; expert system; yielding support

收稿日期: 2011-04-18

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2010CB226805); 国家自然科学基金项目(50874103); 江苏省自然科学基金项目(BK2008135)

作者简介: 张志康(1958-), 男, 山西省河津市人, 博士, 从事岩土工程、矿山工程方面的研究。

E-mail: zhangbei21060736@126.com

Tel: 13512560357

随着浅部煤炭资源的逐渐减少和枯竭,煤矿开采深度越来越大。在深部开采条件下,由于地质环境的恶化,采动应力与构造应力显著增加,巷道冒顶、片帮及底鼓现象层出不穷,巷道往往需要多次维护与翻修,安全性能得不到保证,支护成本加大,矿井效益下降^[1-3]。动压巷道泛指经受采动压力影响的井下巷道。动压或采动压力指由于矿山开采活动对附近巷道所形成的各种压力集中现象,包括回采平巷的超前集中压力,一侧采空区的单侧煤柱集中压力,两侧采空煤柱的集中压力,回采工作面跨采产生的集中压力等。动压巷道的基本特点是巷道在掘进过程中多处于原始应力场的静压状态,一旦受到周围采场的采动影响,在集中压力的作用下,原始应力场的平衡状态被打破,围岩压力增大并发生显著变形。对于深部动压巷道,如采用不适当的维护措施,巷道围岩变形会愈加剧烈,最终将导致巷道失稳破坏^[4-7]。因此,探索深部动压巷道合理支护方式已成为亟待解决的重大问题。

本文以山西霍州矿区曹村煤矿深部动压巷道工程地质条件为背景,通过理论分析及现场试验,研究了以高强高预应力让压锚杆与带肋锚索为核心的新型“高阻-让压”支护体系应用于动压巷道的可行性及有关技术问题,为其进一步推广应用提供技术参数和依据。

1 试验巷道工程概况

霍州矿区处于霍西煤田,受霍山断裂构造的影响,煤层赋存条件差,断层、无炭柱、构造应力影响因素较为突出,严重制约着各矿井的安全生产。曹村煤矿设计生产能力 150 万 t/a,由于矿井地质条件复杂,矿井内断层多、构造应力大,从建井以来,虽采用过锚网喷、砌碛、架棚等多种支护形式,但均不能达到理想的支护效果,巷道支护状况不断恶化,巷道掘出后顶沉、底鼓、片帮等现象十分严重,主要大巷返修率达 100%,最严重的区段返修达 4 次以上,矿井的正常运输、通风、行人均无法得到保证,生产成本大幅度上升。为此,探索矿井新型巷道支护技术已迫在眉睫。

针对曹村煤矿动压巷道支护存在的主要问题,选择十采区下部人车下山巷为试验巷道。巷道地面位于上乐坪平原及山梁上,地面最大标高为+774 m、最小为+696 m,煤层底板等高线最大标高为+248 m、最小为+135 m,盖山厚度最大为 609 m、最小为 448 m,左侧为回风下山和皮带下山延伸段,

巷道设计长度为 1 309.5 m,巷道平面位置如图 1。

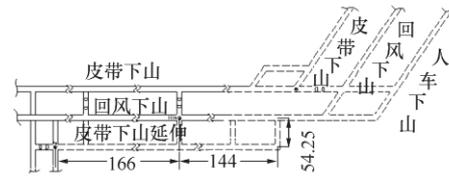


图 1 试验巷道平面位置 (mm)
Fig.1 Plane position of test roadway

2#煤层平均厚度为 3.70 m,倾角为 $4^{\circ} \sim 12^{\circ}$,煤层结构复杂,煤层底板等高线最大标高为+250 m,最小为+150 m,煤岩层综合柱状如图 2 所示。

系	组	柱状图	厚/m	岩性描述
二 叠 系	下 石 盒子 组		8.0	灰白色砂岩,以长石为主含大量石英,钙质胶结、坚硬、K8 砂岩
			2.3	灰色泥岩、节理发育、块状、比较硬
	山 西 组		0.7	煤线
			3.0	灰色或灰黑色泥岩,块状,节理发育,局部顶板为灰色细砂岩,厚 0.8 m
			0.8	灰白色细砂岩、节理发育、坚硬
			0.5	灰黑色泥岩、节理发育、易破碎
			3.21	煤层结构复杂含三层夹石结构为 0.80(0.03), 0.40(0.20),0.90(0.03),0.85
			4.0	黑色泥岩,性脆、遇水易膨胀,泥质胶结、水平层理发育
			0.5	煤线

图 2 2#煤层综合柱状图
Fig.2 Integrated histogram of 2# coal seam

2 基于地应力实测的动压巷道支护方案设计

2.1 地应力实测

地应力是引起各种地下工程变形和破坏的根本作用力^[8-10],地下工程的失稳主要是开挖引起的应力重分布超过围岩强度或围岩变形过大而造成的,而应力重分布是否达到危险的程度还要看所属区域的地应力场分布状态。随着矿井采深增加,巷道支护难度加大,高地应力条件下巷道支护成了制约矿井高产高效建设的关键。为掌握曹村矿井田地应力分布状况,本着测点布置覆盖面广以及真实反映实际情况的原则,结合该矿工程地质及开采技术条件,在十采区两个水平上布置测点,采用空心包体进行三维地应力测量。

将带有应力计的岩芯由钻孔取出后,放入围压率测定仪,给岩芯加围压同时记录读数,绘制出应力-应变曲线,求出岩石弹性模量为 18.56 GPa 和泊松比为 0.22。

将应力解除测量数据、岩石弹性模量、泊松比等数据输入到地应力计算软件中,计算得出曹村矿地应力状态如表 1 所示。

表 1 曹村矿地应力实测值

Table 1 Ground stress measured value of Caocun Mine

测点	名称	应力值 /MPa	方位角 /($^{\circ}$)	倾角 /($^{\circ}$)
1#	σ_1	19.32	116.82	27.21
	σ_2	12.96	77.31	-56.30
	σ_3	8.70	197.03	-18.29
2#	σ_1	18.99	166.48	6.99
	σ_2	16.38	89.54	-61.48
	σ_3	11.08	252.82	-27.48

由地应力实测结果可以得出：最大主应力倾角均小于 20° ，最小主应力倾角均小于 30° ，最大主应力方向总体上为 NW-SE 向；最大主应力和最小主应力成正交关系，最大主应力是最小主应力的 1.71~2.22 倍，主应力具有较强的方向性。因此，曹村矿地应力场宏观上属于水平构造应力场，地应力是以水平压应力为主，该区域地应力水平中等偏上，应根据实际情况适当加强巷道支护。

2.2 支护方案的专家系统分析

采用课题组研制的巷道支护专家系统 RSES 完成试验巷道的优化设计。

根据动压巷道顶板和两帮围岩变形破坏特征及巷道围岩稳定性评价结果，并结合现场工程实践，对支护方案与参数进行了正交数值模拟试验计算。计算结果表明采用“高强让压锚杆”与“带肋树脂锚索”联合支护能够较好的维护动压巷道变形破坏的发展，其基本结构如图 3 所示。

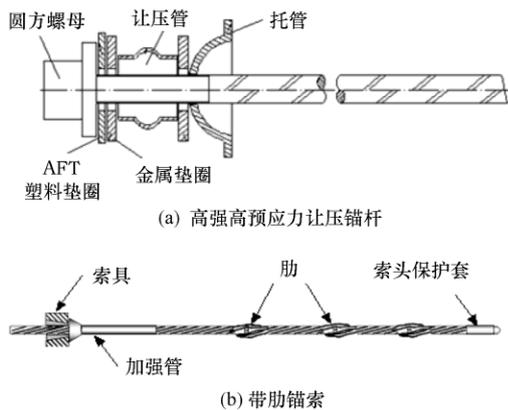


图 3 锚杆、锚索结构示意图

Fig.3 Structural sketch of bolt and cable

采用以“高强高预应力让压锚杆”和“带肋锚索”为核心的支护系统具有较高的支护强度和“让压”性能，对于动压巷道，采用该支护系统，能保证围岩在一定支护强度的前提下进行缓慢让压，释放一部分不可控制的围岩变形，减轻了支护系统承

受的围岩压力，进而合理的利用巷道围岩的自承力，有效地控制围岩的大变形。

动压巷道支护设计如图 4。由于巷道围岩松软破碎，顶板和两帮的表面控制对整个支护系统至关重要，经综合考虑采用纵横钢筋梁+金属网作为护表措施。

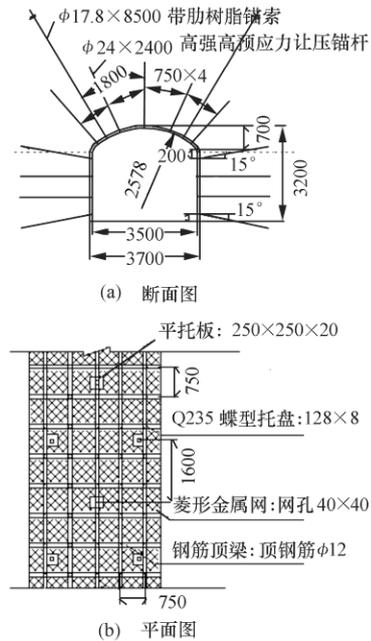


图 4 巷道支护方案示意图 (mm)

Fig.4 Schematic diagram of roadway support program

2.3 巷道支护效果数值模拟

在初始支护设计方案的基础上，RSES 对巷道支护效果进行了数值模拟。通过计算得出了十采区人车下山围岩中的水平位移和垂直位移云图，如图 5、6 所示。

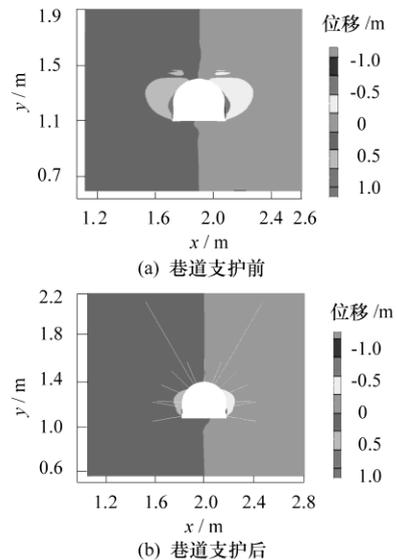


图 5 水平位移云图

Fig.5 Horizontal displacement contour

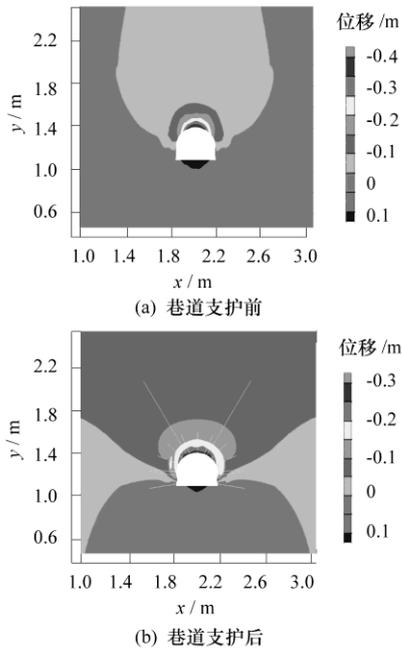


图 6 垂直位移云图

Fig.6 Vertical displacement contour

从图中可以看出,巷道支护前,顶板的最大下沉量为 165 mm,两帮的最大移近量为 242 mm;巷道支护以后,顶板最大下沉量降低为 82 mm,两帮最大移近量降低为 136 mm,分别降低了 50.3%和 43.8%。因此,支护后巷道顶板及两帮围岩的变形得到了有效的控制,明显降低了巷道断面的收缩变形。

以上分析可以看出,曹村煤矿 2[#]煤人车下山巷采用巷道支护专家系统提出的高强让压锚杆、带肋锚索、钢筋梁和金属网联合支护方案,巷道围岩应力状态得到明显的改善,围岩的承载能力显著增强,能够有效控制巷道围岩的变形及破坏,维护巷道稳定。

3 深部动压巷道围岩稳定性控制效果评价

3.1 支护观测内容

锚杆支护围岩活动具有隐蔽性,围岩的破坏失稳一般没有明显预兆,具有突发性,因此采用锚杆支护的巷道应对其进行日常矿压观测,巷道支护观测的主要参数包括:锚杆拉拔力、锚杆锚固力、顶板离层、围岩表面位移及围岩深部变形与位移等。对巷道支护进行系统和适时的观测监控,目的是为了掌握锚杆及锚索承载工况、围岩变形特征以及巷道支护状况,为支护设计进行修改、调整提供依据。

在十采区下部人车下山巷共布置了 3 个观测断面。

3.2 支护观测结果及分析

在原支护巷道布置了 1[#]观测断面,在实验巷道布置了 2[#]和 3[#]两个观测断面,取 1[#]和 2[#]观测断面监测结果进行分析。

1) 锚杆受力观测结果及分析

原支护断面顶板锚杆轴力在 50~70 kN 的范围内变化,帮部锚杆轴力在 40~60 kN 的范围内变化,锚索受力在 100~130 kN 的范围内变化;而新型支护断面顶板锚杆轴力的变化范围是 70~90 kN,帮部锚杆轴力的变化范围是 50~70 kN,锚索锚固力在 110~150 kN 的范围内变化。可以看出,新型锚杆及锚索支护的整体工作状态良好,适应于动压巷道的支护。

2) 顶板离层观测结果及分析

由图 7 顶板离层观测数据曲线可知,新型支护断面顶板离层在第 14 d 左右趋于稳定,顶板浅部离层量稳定值为 19 mm,深部离层量为 12 mm;原支护顶板浅部离层量稳定值为 30 mm,深部离层量为 20 mm,与新型支护相比,原支护断面顶板离层较为活跃,持续时间较长。

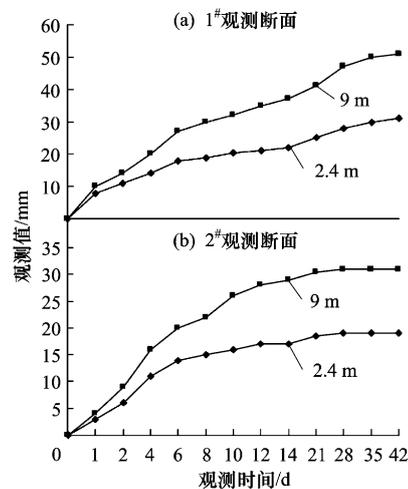


图 7 顶板离层仪观测数据曲线

Fig.7 Monitoring curves of roof separation indicator

3) 巷道表面位移观测结果及分析

由图 8 巷道表面位移观测结果可知,原支护断面顶底板相对移近量为 220 mm,两帮相对移近量为 160 mm;新型支护断面顶底板相对移近量为 120 mm,比原支护断面下降了 45%;两帮相对移近量为 85 mm,比原支护断面下降了 47%。

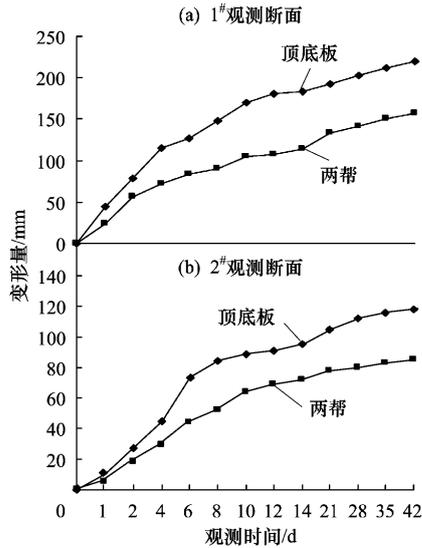


图 8 表面位移观测数据曲线

Fig.8 Monitoring curves of surface displacement

井下工业性试验和矿压监测表明，基于地应力实测的高强让压锚杆和带肋锚索联合支护提高了支护结构的整体承载力，有效控制了围岩的变形，达到了支护设计的预期效果，保证了十采区人车下山巷的稳定和正常使用。

4 结 论

1) 深部动压巷道初期变形与压力十分剧烈，往往导致普通锚杆支护系统在短时间内破坏；随着围岩初期剧烈变形与压力释放完毕，巷道变形速率开始降低，变形破坏逐步向围岩的深部发展。为更好地适应高应力碎胀围岩巷道的变形与压力，合理地利用围岩自身的承载能力，应采用“高阻-让压”支护体系，对围岩初期的剧烈变形进行“让压”释放，对围岩后期缓慢发展的变形进行“高阻”限制，以保证围岩的长期稳定。

2) 曹村煤矿的现场地应力实测结果表明：最大主应力倾角均小于 20° ，最小主应力倾角均小于 30° ，最大主应力方向总体上为 NW-SE 向；最大主应力是最小主应力的 1.71~2.22 倍，主应力具有较强的方向性。矿区地应力场宏观上属于水平构造应力场，地应力是以水平压应力为主，地应力水平中等偏上，应适当加强巷道支护。

3) 提出以高强高预应力让压锚杆与带肋锚索为核心的高阻让压支护方案，监测结果表明高阻让压支护体系有效地控制了动压巷道变形破坏的发展，有力地保证了巷道围岩的长期稳定和矿井的安全生产，具有广阔的推广应用前景。

参考文献：

- [1] 何满潮，谢和平，彭苏萍，等. 深部开采岩体力学研究[J]. 岩石力学与工程学报，2005，24(16)：2803-2813. HE Man-chao, XIE He-ping, PENG Su-ping, et al. Study on rock mechanics in deep mining engineering[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(16): 2803-2813.
- [2] 王连国，李明远，王学知. 深部高应力极软岩巷道锚注支护技术研究[J]. 岩石力学与工程学报，2005，24(16)：2889-2893. WANG Lian-guo, LI Ming-yuan, WANG Xue-zhi. Study on mechanisms and technology for bolting and grouting in special soft rock roadways under high stress[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(16): 2889-2893.
- [3] WANG J X, LIN M Y, TIAN D X, et al. Deformation characteristics of surrounding rock of broken and soft rock roadway[J]. Mining Science and Technology, 2009, 19(2): 205-209.
- [4] 柏建彪，王襄禹，姚喆. 高应力软岩巷道耦合支护研究[J]. 中国矿业大学学报，2007，36(4)：421-425. BAI Jian-biao, WANG Xiang-yu, YAO Zhe. Study of coupling support in soft rock roadway under high stress[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2007, 36(4): 421-425.
- [5] 董方庭，宋宏伟，郭志宏，等. 巷道围岩松动圈支护理论[J]. 煤炭学报，1994，19(1)：21-32. DONG Fang-ting, SONG Hong-wei, GUO Zhi-hong, et al. Roadway support theory based on broken rock zone[J]. Journal of China Coal Society, 1994, 19(1): 21-32.
- [6] LI G F, HE M C, ZHANG G F, et al. Deformation mechanism and excavation process of large span intersection within deep soft rock roadway[J]. Mining Science and Technology, 2010, 20(1): 28-34.
- [7] 张玉祥，陆士良. 破裂岩石的力学性能及在深井软岩控制中的应用[J]. 岩石力学与工程学报，1998，17(6)：622-627. ZHANG Yu-xiang, LU Shi-liang. Mechanics properties of broken rock and its application in the control for soft rock in deep mine[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1998, 17(6): 622-627.
- [8] 蔡美峰. 地应力测量技术和原理[M]. 北京：科学出版社，2000.
- [9] 蔡美峰，陈长臻，彭华，等. 万福煤矿深部水压致裂地应力测量[J]. 岩石力学与工程学报，2006，25(5)：1069-1074. CAI Mei-feng, CHEN Chang-zhen, PENG Hua, et al. In-situ stress measurement by hydraulic fracturing technique in deep position of Wanfu coal mine[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(5): 1069-1074.
- [10] 刘允芳. 岩体地应力与工程建设[M]. 武汉：湖北科学技术出版社，2000.