

文章编号: 0253-9993(2009)09-1153-07

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

康红普, 林健, 吴拥政

(煤炭科学研究总院 开采设计研究分院, 北京 100013)

摘要: 分析了目前煤矿锚索支护存在的问题, 在高预应力强力支护理论的基础上, 提出高预应力、长度较短的强力锚索, 并全断面垂直岩面布置, 是高地压、大变形巷道的有效支护方式。介绍了强力锚索及配套护表构件的力学性能, 将强力锚索、拱形大托板及钢筋网组成全断面强力锚索支护系统, 在锚索施加预应力的同时, 给钢筋网也施加了较高的预应力, 使钢筋网成为预应力支护系统的重要组成部分。在潞安矿业集团有限责任公司漳村煤矿一条与回采工作面对掘的、受2次强烈动压影响的巷道中, 进行了全断面高预应力强力锚索支护技术试验, 巷道支护状况发生本质变化。巷道两帮移近量比原支护方式降低90%, 顶板离层几乎为0, 围岩变形得到有效的控制。不仅解决了巷道支护难题, 而且验证了支护理论的正确性。

关键词: 全断面锚索支护; 高预应力; 强力锚索; 动压巷道

中图分类号: TD353.6

文献标识码: A

High pretensioned stress and intensive cable bolting technology set in full section and application in entry affected by dynamic pressure

KANG Hong-pu, LIN Jian, WU Yong-zheng

(Coal Mining and Designing Branch, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

Abstract: The present problems of cable bolting in coal mines were analyzed. Based on high pretensioned stress and intensive bolting theory, it was put forward that the high pretensioned stress and intensive cable bolting with shorter length, set in full section and vertical to surface of roadways is an effective supporting type to the roadways with high stress or large deformation. The mechanical properties of intensive cable bolts, plate and steel mesh were introduced. The full section intensive cable bolting system was formed by intensive cable bolts combined with large domed plates and reinforced steel mesh. The reinforced steel mesh was put higher pretensioned stress when the cable bolts were pretensioned, which became an important part for pretensioned supporting system. The underground experiment of the full section high pretensioned stress and intensive cable bolting was carried out in an entry driven close to a facing working face, which was affected by twice violent dynamic pressure, and essential changes were taken place in entry supporting state. The side-to-side convergence of the entry is reduced about 90% compared with the former supporting type, the roof delamination is reduced to almost zero, and the deformation of the surrounding rock is effectively controlled. The difficult problems of roadway supporting were solved, meanwhile, the validity of the bolting theory was verified.

收稿日期: 2009-05-04 责任编辑: 常琛

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2008BAB36B07, 2006BAB16B02)

作者简介: 康红普(1965—), 男, 山西五台人, 研究员, 博士生导师. Tel: 010-84263125, E-mail: kanghp@163.com

Key words: cable bolting in full section; high pretensioned stress; intensive cable bolt; entry affected by dynamic pressure

我国煤矿巷道锚杆支护经历了从低强度、高强度,到高预应力、强力支护的发展过程。从锚杆支护形式分,有单体锚杆、锚网支护、锚梁(带)支护、锚梁(带)网支护、锚梁(带)网锚索支护及锚杆(索)桁架支护等,以适应不同的巷道条件。

锚索具有锚固深度大、承载能力高、可施加较大预应力的特点,能够获得比较理想的支护效果。预应力锚索技术在岩土加固工程中占有十分重要的地位。在交通、水利水电岩土工程,隧道和地下洞室工程,城市基坑工程中,预应力锚索得到广泛应用^[1]。煤矿预应力锚索支护技术也得到长足发展。特别是 1996 年研制成功小孔径树脂锚固预应力锚索后,锚索在煤巷中得到大面积推广应用。小孔径树脂锚固预应力锚索已广泛应用于破碎、复合顶板巷道,高地应力和受采动影响的巷道,放顶煤开采的煤顶巷道,以及大断面巷道和交叉点,取得了良好的支护加固效果^[2-3],显著拓宽了锚杆支护的使用范围,保证了巷道的安全状况。

小孔径树脂锚固预应力锚索主要应用于 2 个方面:①新掘巷道的补强加固,即在锚杆支护的基础上,安设一定数量的锚索,与锚杆共同支护围岩;②维修和返修巷道的加固,当围岩破碎时,与注浆加固联合使用,会取得良好的加固效果^[4-5]。近年来,阳泉、平顶山等矿区尝试了将巷道顶板锚杆全部换成锚索,即顶板全锚索支护,控制强烈动压、高地应力、破碎围岩等复杂困难巷道变形,其支护效果明显好于锚杆与锚索联合支护^[6-7]。但是,在锚索的使用过程中也发现了一些问题,归纳为以下几点:①目前煤矿使用的小孔径锚索主要是 1×7 结构的钢绞线,大多为 $\phi 15.2$, $\phi 17.8$ mm,索体直径偏小,与钻孔直径(28 mm)不匹配,孔径差过大,明显影响树脂锚固力,易出现锚固端滑动现象。②锚索索体破断载荷较小,与高强度锚杆的拉断载荷相当,锚索锚固力大、承载能力强的特点不能充分体现,而且在地应力、受采动和地质构造影响的巷道中经常出现拉断现象。③由于锚索索体强度低,施加的预应力水平低,导致锚索预应力作用范围小,控制围岩离层、滑动的作用差。当锚索比较长时尤为如此。④缺乏对锚索预应力损失的足够认识,井下施工时只将锚索张拉到设计的预应力值,实际上由于预应力损失会导致锚索实际的预应力值明显低于张拉值,不能满足设计要求,严重影响锚索支护效果。⑤不重视与锚索索体配套使用的托板、钢带、钢梁等护表构件的作用,导致锚索预应力扩散效果差,控制锚索与锚杆之间围岩的作用小。⑥缺乏锚索与锚杆支护作用的匹配性研究,井下经常出现各个击破的现象,锚杆受力很小,锚索受力很大,甚至破断。⑦对于顶板全锚索支护的巷道,两帮仍使用锚杆支护,顶板、两帮支护强度与刚度相差悬殊,导致两帮变形大、底臃明显,从而影响顶板乃至整个巷道的支护效果。

针对上述情况,本文开展了从锚索支护理论、设计、材料等方面的研究,并在强烈动压巷道中进行了试验,力求能逐步解决锚索支护存在的问题。

1 高预应力、强力支护理论

1.1 复杂困难巷道支护理论

目前,对于高地压、大变形复杂困难巷道,主要有 2 种支护理论。

(1) 二次支护理论。二次支护理论认为,对于高地压、大变形巷道,1 次支护不能有效控制围岩变形。巷道支护应分 2 次进行,1 次支护在保持巷道围岩稳定的前提下,允许围岩有一定的变形以释放压力;隔一定的时间后实施 2 次支护,保持巷道的长期稳定。这种支护理论已经得到广泛认可与应用,并且在一定条件下取得良好效果。但是,随着开采深度的不断增加,开采地质与生产条件的复杂化,二次支护理论遇到了极大的挑战,在千米深井巷道、强烈动压影响巷道、地质构造应力带及软岩破碎带等地段,采用 2 次支护后仍出现变形破坏等问题,甚至需要 3 次、4 次支护,巷道周而复始的发生破坏,围岩变形长期得不到有效控制。

(2) 高预应力强力一次支护理论. 强力一次支护理论的实质是大幅度提高支护系统的初期支护刚度与强度, 有效控制围岩变形, 保持围岩的完整性, 减小煤岩体强度的降低. 采用高预应力、强力支护, 尽量1次支护就能满足生产要求, 避免2次支护和巷道维修^[8].

如果能实现1次支护, 服务于采煤工作面的回采巷道基本不需要维修, 保证了采煤工作面的快速推进和产量的提高; 大巷和硐室等永久工程, 能够保持长期稳定, 满足安全生产的要求. 实现复杂困难巷道1次支护应满足以下条件: ① 支护系统应有足够的初期支护强度与刚度, 有效控制离层、滑动、裂隙张开及新裂纹产生等不连续变形, 保持围岩的完整性. 一方面保证锚固体整体结构不破坏, 另一方面确保锚杆、锚索的锚固力, 并使其有效扩散到围岩中. 否则, 锚固体整体结构将遭到破坏, 锚杆、锚索的后期锚固力大大降低, 支护阻力无法有效传递到围岩, 支护系统将会失效. ② 支护系统应具有足够的延伸率, 允许巷道围岩有一定的连续变形和整体位移. 但是, 巷道在服务期间的总位移量应满足生产要求. ③ 支护系统应有可操作性. 提供的支护设计在井下应能比较方便的操作, 有利于井下施工管理和掘进速度的提高. ④ 在保证巷道支护效果和安全程度, 技术上可行、施工上可操作的条件下, 做到经济合理, 有利于降低巷道支护综合成本. 强力锚杆与锚索是满足上述条件的有效支护方式. 考虑到预应力是锚杆、锚索能否实现1次支护的关键参数^[9], 而锚索能够施加较大的预应力, 下面分析全锚索支护应力场分布特征.

1.2 全锚索支护预应力场特征分析

锚索支护预应力场是锚索的预应力在围岩中产生的应力场, 在文献[10]中有详细论述. 锚索预应力场分布特征及影响因素主要有以下方面:

(1) 预应力大小对锚索预应力场分布有决定性影响. 当预应力比较小时, 锚索引起的压应力小, 有效压应力区小, 分布孤立. 当预应力比较大时, 锚索产生的应力大, 在锚索自由段长度范围内, 形成了相互连接成一片的、叠加的有效压应力区. 在锚索之间, 有效压应力区相互连接、重叠, 形成网状结构, 锚索对其间的围岩有明显的支护作用.

(2) 锚索长度的影响. 主要表现在随着锚索长度增加, 有效压应力区的范围在高度方向上逐渐增加, 但在宽度方向上变化不明显, 而且随着锚索长度增加有减小的趋势. 随着锚索长度增加, 锚索长度中上部分及锚索之间围岩的压应力逐步减小; 当预应力一定时, 短锚索的主动支护作用优于长锚索; 锚索越长, 施加的预应力应越大. 根据目前锚索预应力水平, 锚索不宜过长, 选择在4~6 m比较合理.

(3) 锚索密度的影响. 主要表现在随着锚索密度增加, 单根锚索形成的压应力区逐渐靠近、相互叠加, 锚索之间的有效压应力区扩大, 并连成一体; 当到一定程度, 再增加密度, 对有效压应力区扩大、锚索预应力的扩散作用变得不明显.

(4) 锚索角度对预应力场分布有显著影响. 当锚索垂直布置时, 2根锚索形成的有效压应力区相互连接与叠加, 在顶板形成厚度较大的压应力区, 锚索预应力扩散与叠加效果最好. 随着锚索角度增加, 每根锚索形成的有效压应力区逐步减小、分离, 叠加区域越来越小, 锚索长度中上部、锚索之间的压应力变得很小, 甚至出现拉应力区. 在近水平煤层巷道中, 顶板锚索最好垂直布置.

可见, 高预应力、短强力锚索, 并全断面垂直岩面布置, 是高地压、大变形巷道的有效支护方式.

2 强力锚索支护材料

2.1 强力锚索

针对小孔径锚索存在的问题, 煤炭科学研究总院开采设计研究分院联合有关单位, 开发研制出煤矿专用高延伸率、强力锚索钢绞线. 钢绞线采用新型的1×19根钢丝捻制结构. 为了与锚杆支护强度与施工工艺相匹配, 钢绞线直径形成系列, 分别为 $\phi 18$, $\phi 20$, $\phi 22$ mm, 其中后2种为强力锚索. $\phi 22$ mm强力锚索实验室载荷与位移曲线如图1所示, 力学性能参数见表1.

$\phi 22$ mm钢绞线破断载荷达到600 kN以上, 断时伸长率达到7%左右, 明显高于同直径的1×7结构的钢绞线, 真正实现了大直径、大吨位及高延伸率.

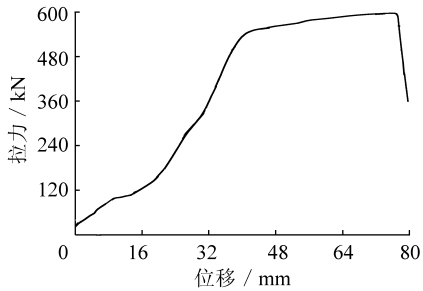


图1 强力锚索载荷与位移曲线

Fig. 1 Tensile load-displacement curves for intensive cable

表1 不同锚索索体的力学性能

Table 1 Mechanical performance of different cable strands

结 构	公称直 径/mm	拉断载 荷/kN	伸长 率/%
1×7 结构	15.2	260	3.5
	17.8	353	4.0
1×19 结构(实 验室试验数据)	18.0	408	7.0
	20.0	510	7.0
	22.0	607	7.0

2.2 护表构件

护表构件包括托板、钢带、钢梁及金属网。

锚索托板有多种形式。最常用的是平托板，由一定厚度和面积的普通钢板制成。另一种是采用一段槽钢（如12，14号槽钢）制成。有的矿区还采用工字钢或废旧溜槽制作锚索托板。这几种托板力学性能差。当锚索预应力和承受的载荷比较大时，平托板四周易翘起，托板承载能力显著降低；槽钢托板易变形、扭曲，甚至压穿槽钢，使锚索失效。为克服以上托板的缺点，开发了与强力锚索配套的拱形锚索托板，尺寸为300 mm×300 mm×16 mm，并配调心球垫。一方面托板的承载能力显著提高，与强力锚索强度相匹配；另一方面，托板可调心，改善了锚索受力状态，使锚索支护能力得以充分发挥。

目前使用的钢带、钢筋托梁、槽钢梁及铁丝网，与强力锚索的强度与刚度不匹配。为此，选择 $\phi 6.5$ mm钢筋网、拱形锚索大托板及强力锚索，组成全断面锚索强力支护系统。井下施工时，给锚索施加预应力的同时，给钢筋网也施加了一定的预应力，使钢筋网成为预应力支护系统的重要组成部分。

3 强烈动压条件下全断面强力锚索支护技术井下试验

潞安矿业集团有限责任公司漳村煤矿进入二水平开采以来，随着开采深度的增加，地质条件日趋复杂，给巷道掘进与支护带来了较大困难，导致采掘接续紧张，不得不在相邻工作面还没回采完毕，在工作面回采动压强烈影响区掘进巷道，形成了掘进与采煤工作面对穿的强烈动压影响巷道。这类巷道要受到相邻工作面超前支承压力影响，掘进与回采叠加影响，工作面后方强烈采动影响，以及本工作面超前支承压力影响。而且该类巷道维护时间要比普通回采巷道长很多，巷道支护难度极大。

目前一般的巷道支护方式无法满足上述对穿巷道支护的要求。如漳村煤矿2101工作面回风巷，与2102工作面运输巷相邻，两巷间煤柱宽度10 m。回风巷采用普通高强锚杆、锚索支护。2101回风巷受2102回采动压影响，矿压显现剧烈，导致巷道掘进期间和成巷后变形剧烈，巷道遭到严重破坏。

如果能够解决这种对穿巷道支护难题，不仅可大大缓解煤矿采掘接续紧张的局面，同时也可在目前高瓦斯矿井采煤工作面多巷布置中，2次甚至多次动压影响巷道提供有效的支护手段。为此，在漳村煤矿开展了对穿巷道全断面高预应力强力锚索支护试验。

3.1 试验巷道地质与生产条件

试验巷道为2203综放工作面瓦斯排放巷。2203工作面位于22采区的北部，南面为2202工作面。工作面巷道布置如图2所示。2203回风巷与2202运

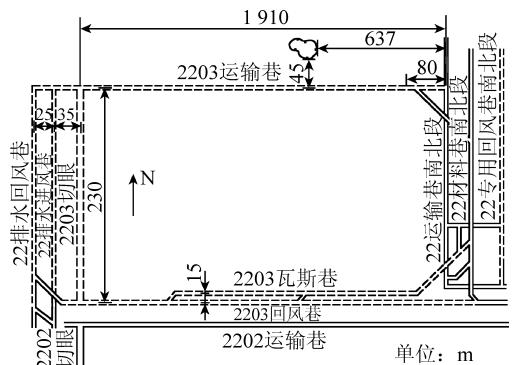


图2 2203工作面巷道布置

Fig. 2 Roadway layout of face 2203

输巷间煤柱宽度为 8 m. 回风巷另一侧 15 m(巷道中线距离)为 2203 瓦斯排放巷. 瓦斯排放巷埋深 325 ~ 396 m. 煤层平均单轴抗压强度为 8 MPa, 直接顶为厚度 3.62 m 的泥岩, 老顶为厚度 3.97 m 的细粒砂岩. 邻近的 2202 工作面正在回采, 2203 瓦斯排放巷大部分要在 2202 工作面未回采前掘进, 而且先掘进瓦斯排放巷, 后掘进回风巷, 瓦斯排放巷要经受回风巷掘进、2202 工作面及 2203 工作面回采影响.

3.2 巷道支护设计

根据理论分析与数值模拟研究成果, 确定 2203 瓦斯排放巷采用高预应力、全长预应力锚固、短强力锚索, 并全断面垂直岩面布置的支护方式. 采用有限差分数值计算进行了多方案比较, 得出锚索支护参数.

锚索索体为 1×19 结构的 $\phi 22$ mm 钢绞线, 延伸率 7%, 长度 4 300 mm. 顶板锚索钻孔直径 28 mm, 树脂端部锚固后施加预应力, 然后其余部分采用水泥浆全长锚固, 采用锚索专用止浆塞进行封孔. 锚索托板为 $300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$ 高强度可调心注浆用托板, 采用钢筋网护帮护顶. 顶板锚索排距 1.2 m, 每排 5 根锚索, 锚索间距 900 mm, 全部垂直岩面安设. 设计锚索预应力 200 ~ 250 kN.

帮锚索钻孔直径 42 mm, 树脂端部锚固后施加预应力, 然后其余部分采用水泥浆全长锚固. 锚索排距 1.2 m, 每排 6 根锚索, 锚索间距 1.2 m; 全部垂直巷帮安设. 全断面锚索支护布置如图 3 所示.

3.3 井下监测数据分析

在巷道施工过程中对锚索预应力进行了检测, 在巷道掘进及经历强烈动压影响前后, 进行了矿压监测.

(1) 锚索预应力检测. 在锚索施工过程中, 对张拉千斤顶油压与锚索实际预应力的关系进行了测试, 结果如图 4 所示. 随着张拉千斤顶油压增加, 锚索预应力不断增大. 在油压 40 MPa 之前, 预应力增加较快, 之后增加缓慢, 甚至有少量降低. 油压到 50 MPa, 大部分锚索的预应力能够达到设计的 200 kN. 但是, 预应力损失明显. 油压 50 MPa 时张拉千斤顶的张拉力为 272.7 kN, 预应力损失在 20 ~ 80 kN, 损失率为 7.3% ~ 29.3%. 解决预应力损失主要有 2 种方式: ① 超张拉, 使损失后的预应力能达到设计要求; ② 采取有效措施, 降低预应力损失. 如果仅按张拉千斤顶油压计算出的力张拉锚索, 锚索实际的预应力达不到设计值, 从而影响支护效果.

(2) 巷道位移监测. 巷道表面位移观测曲线如图 5 所示. 巷道两帮最大位移量为 280 mm; 顶底板移近量最大为 210 mm; 顶板离层仪显示, 顶板基本无离层现象. 巷道掘进初期变形不大, 掘进影响阶段约 10 d 时间. 巷道在 2202 工作面后方矿压显现强烈, 两帮移近量增幅较大. 井下巷道支护状况如图 6 所示. 总的来说, 巷道位移较小, 两帮移近量与原支护相比降低 90%, 而且主要是整体位移, 顶板几乎无离层. 巷道围岩完整、稳定, 没有出现明显的破

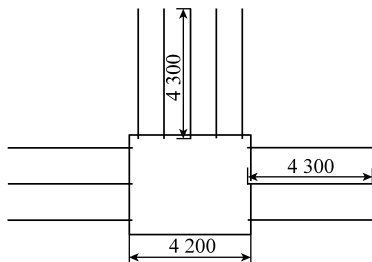


图3 全断面锚索支护布置

Fig.3 Supporting pattern of full section cables

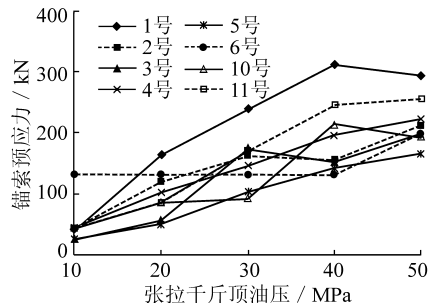


图4 锚索预应力与张拉千斤顶油压的关系

Fig.4 Relation of pretensioned force in cables and oil pressure in tensioning jack

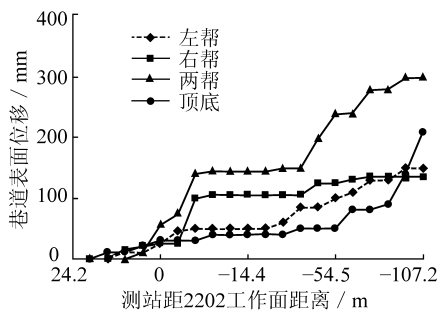


图5 巷道表面位移观测曲线

Fig.5 The displacement observation curves of entry convergence

坏, 支护效果良好.

在距绕道口 42 m 处安设了一排锚索测力计, 其中 1~3 号、9~11 号为帮锚索, 4~8 号为顶锚索. 对一排锚索受力进行了监测, 监测结果如图 7 所示. 两帮锚索受力普遍大于顶板锚索. 其中, 两帮下部第 1 根锚索受力最大, 靠 2202 工作面一侧的底角锚索受力小于靠实体煤底角的锚索. 实体煤侧底角锚索受力甚至达到 512 kN. 主要是由于巷道底板是煤层, 有底臌倾向, 造成底角锚索受力较大. 可见, 对于这种强烈动压巷道, 应采用全断面锚索, 即顶板、两帮甚至底板, 均应采用全锚索支护. 如果仅顶板采用全锚索, 两帮仍然是普通锚杆支护, 则不能有效控制两帮位移, 导致两帮收敛、底臌严重, 显著影响顶板及整个巷道的支护效果.



图 6 全断面锚索支护

Fig. 6 Supporting status of entry reinforced by full section cables

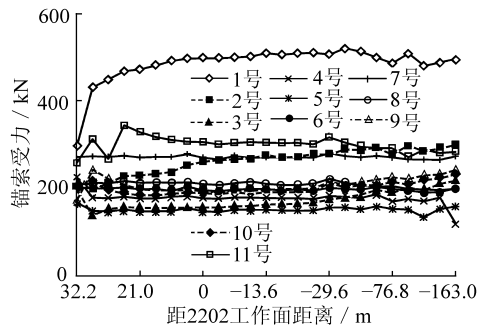


图 7 锚索受力监测曲线

Fig. 7 The monitoring curves of cable force

从锚索受力变化趋势看出, 锚索施加较高的预应力后, 锚索受力受掘进及临近 2202 工作面回采后的影响不大, 锚索受力变化不大, 基本趋于稳定. 这说明高预应力、强力锚索有效控制了锚固区内围岩离层、滑动、裂隙张开及新裂纹的产生等扩容变形, 保证了锚固区的强度和完整性. 锚固区围岩的位移差很小, 产生的只是少量的整体位移. 反过来, 锚固区围岩几乎不发生离层、完整性好及整体位移又保证了锚索锚固力不降低, 锚索受力变化不大. 否则, 如果锚索预应力低、强度小, 不能有效控制围岩初期的离层、滑动等扩容变形, 将会使锚索安装后受力急剧增加, 但增加的支护阻力由于受离层、滑动等不连续面的阻隔, 不能有效扩散到围岩中, 对围岩的继续离层、破坏控制作用不大, 导致锚索成为受力的主体, 到一定程度, 锚索就会破坏, 失去支护能力. 因此, 锚索预应力有 1 个临界值, 支护系统存在临界刚度, 达到临界值后, 围岩才能保持长期稳定. 本次试验中, 锚索预应力设计为 200~250 kN 是比较合理的.

4 结 论

(1) 高预应力强力支护理论的实质是大幅度提高支护系统的初期支护刚度与强度, 有效控制围岩扩容变形, 保持围岩的完整性, 减小煤岩体强度的降低. 采用高预应力、强力支护, 尽量 1 次支护就能满足生产要求, 避免 2 次支护和巷道维修.

(2) 高预应力、长度较短的强力锚索, 全长预应力锚固, 并全断面垂直岩面布置, 是高地压、大变形巷道的有效支护方式. 预应力是影响锚索支护效果的关键因素. 锚索预应力有 1 个临界值, 支护系统存在临界刚度, 达到临界值后, 能够将锚固区围岩离层控制到很小, 甚至接近 0, 产生的只是少量整体位移, 而且锚索受力比较稳定, 变化不大.

(3) 强力锚索、拱形调心大托板及钢筋网组成全断面高预应力、强力锚索支护系统. 井下施工时, 给锚索施加高预应力的同时, 给钢筋网也施加了较高预应力, 使钢筋网成为预应力支护系统的重要组成部分.

(4) 潞安漳村煤矿 2203 瓦斯排放巷是一条与回采工作面对掘的、受 2 次强烈动压影响的巷道. 采用全断面高预应力、强力锚索支护技术, 有效控制了围岩变形, 巷道两帮移近量比原支护方式降低 90%,

顶板离层几乎为0,支护效果良好.不仅解决了巷道支护难题,而且验证了支护理论的正确性.

参考文献:

- [1] 程良奎,范景伦,韩 军,等.岩土锚固[M].北京:中国建筑工业出版社,2003.
Cheng Liangkui, Fan Jinglun, Han Jun, et al. Anchoring in soil and rock [M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2003.
- [2] 康红普,王金华.煤巷锚杆支护理论与成套技术[M].北京:煤炭工业出版社,2007.
Kang Hongpu, Wang Jinhua. Rock bolting theory and complete technology for coal roadways [M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2007.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 吴志祥,赵英利,梁建军,等.预应力注浆锚索技术在加固大巷中的应用[J].煤炭科学技术,2001,29(8):10-12.
Wu Zhixiang, Zhao Yingli, Liang Jianjun, et al. Pre-stressed grout bolting technology applied to reinforcement of mine large cross section roadway [J]. Coal Science and Technology, 2001, 29(8): 10-12.
- [6] 冯京波.松散厚煤层全煤巷沿空掘巷锚索支护技术[J].煤炭科学技术,2008,36(2):23-26.
Feng Jingbo. Bolt and anchor combined support technology for full seam gateway driving along next goaf in soft thick seam [J]. Coal Science and Technology, 2008, 36(2): 23-26.
- [7] 樊永东.高地应力下大断面煤巷全锚索支护[J].煤炭技术,2005,24(9):69-70.
Fan Yongdong. Bolting support for high stress and large section coal roadway [J]. Coal Technology, 2005, 24(9): 69-70.
- [8] 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.
- [9] 康红普,姜铁明,高富强.预应力在锚杆支护中的作用[J].煤炭学报,2007,32(7):673-678.
Kang Hongpu, Jiang Tieming, Gao Fuqiang. Effect of pretensioned stress to rock bolting [J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(7): 673-678.
- [10] 王金华,康红普,高富强.锚索支护传力机制与应力分布的数值模拟[J].煤炭学报,2008,33(1):1-6.
Wang Jinhua, Kang Hongpu, Gao Fuqiang. Numerical simulation study on load-transfer mechanisms and stress distribution characteristics of cable bolts [J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33(1): 1-6.