

双柳矿深部大断面巷道支护优化设计研究

王建军

(山西焦煤汾西矿业集团 双柳煤矿,山西 柳林 033300)

摘要:为解决双柳矿大断面巷道受掘进、采动等影响围岩变形量大、变形速度快等问题,采用井下调研、机理分析、数值模拟等综合方法,对大断面回采巷相关支护技术进行了研究,提出了适用于双柳矿深部大断面巷道的支护设计方案。结果表明:采用高强锚杆和高预应力锚索形成巷道支护结构的主体是提高支护强度的主要途径;拱形托盘有利于提升锚杆、锚索预应力的扩散,同时可提高锚杆索的综合承载力,用拱形托盘代替平托盘可实现锚杆索协同支护,从而提升巷道整体支护强度。

关键词:大断面;锚杆锚索;支护设计;拱形托盘

中图分类号:TD353

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Optimization Design of Deep Large-Section Roadway Support in Shuangliu Mine

WANG Jianjun

(Shuangliu Mine, Fenxi Mining Group, Shanxi Coking Coal (Group) Co., Ltd., Liulin 033300, China)

Abstract: Affected by excavation and mining, large and fast deformation of surrounding rock occurs in the large-section roadway in Shuangliu Mine. A series of comprehensive methods, such as underground investigation, mechanism analysis, and numerical simulation, were used to study the relevant support technology. And a support design for the deep large-section roadway was proposed. Studies have shown that high-strength anchors and high-prestressed cables can construct the main support structures, which could be the main ways to improve the support strength. Arched tray is conducive to the spread of the prestress of the anchors and cables, and increases their bearing capacity. The arched tray replaces the flat tray to realize the cooperative support of the anchor cable, thereby improving the overall support strength of the roadway.

Key words: large section; anchor and cable; support design; arched tray

近些年来,随着矿井煤炭生产能力的提高,对井下巷道的输送能力要求也越来越大,从而出现了较多的大断面回采巷道,该类巷道的支护也逐渐成为人们研究的热点问题。徐玉胜等^[1]采用耦合让均压支护技术确定了长平矿大断面巷道支护方案,并进行了工业性试验。史春生^[2]以李雅庄矿大断面回采巷道为背景,对巷道围岩失稳机理进行了研究,并提出了“高预紧力锚杆+树脂+锚索”联合支护方案。

孟庆安等^[3]阐述了引发综放大断面巷道顶板失稳的原因,研究了其冒顶机理与控制措施。张纯旺等^[4]通过理论分析和模拟计算确定了煤矿大断面巷道“预应力锚杆+钢筋网+预应力锚索”联合支护的方案。常江阳等^[5]运用 UDEC 软件对关岭山矿坚硬顶板大断面巷道围岩应力分布特征进行了分析,并优化了巷道支护参数。赵科等^[6]研究了厚煤顶大断面巷道围岩破坏变形特征,得出了相应巷道的合理

* 收稿日期:2020-02-25

作者简介:王建军(1985—),男,山西五台人,本科,工程师,从事采煤技术管理工作,E-mail:slwj126@163.com。

支护方式。

双柳矿三采区开采过程中,由于该采区所处地质环境较差,且采区回采巷道大多为大断面机轨合一煤巷,回采工作面已掘回采巷道在高应力条件下呈现出巷道围岩变形量过大、变形速度过快的巷道失稳现象。因此,本文以即将掘进的三采区 33(4)20 回采运输巷作为研究对象,并进行巷道支护技术研究,以实现工作面安全回采。

1 工程概况

33(4)20 工作面所采 4(3+4)[#] 煤层埋藏深度约为 500 m,煤层平均厚度为 3.75 m;煤层倾角 0~8°,平均 4°。含 2~3 层夹矸,夹矸属性为泥岩和砂质泥岩。基本顶为灰白色细砂岩,层厚 4.13 m;直接顶为灰黑色泥岩,层厚 2.8 m,性脆,中厚层状,半坚硬,含植物根茎化石;基本底为浅灰色细粒砂岩,层厚 8.15 m,夹粉砂岩薄层,下部裂隙发育;直接底为灰黑色泥岩,层厚 10.51 m,裂隙发育,含植物化石。

33(4)20 运输巷设计为 33(4)20 综采工作面一次采全高的运输巷,该巷设计长度为 1 160 m,掘进工程量为 1 195 m,巷宽设计为 5 400 mm,巷高设计为 3 800 mm,沿 3[#] 煤顶板、4[#] 煤底板掘进。巷道顶底板岩层赋存特征如图 1 所示。

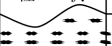
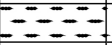




| 层厚/m | 柱状 | 煤岩名称 |
|-------|---|---------------------|
| 3.61 |  | 中砂岩 |
| 4.13 |  | 细砂岩 |
| 2.80 |  | 泥岩 |
| 3.75 |  | 3+4 [#] 煤层 |
| 10.51 |  | 泥岩 |
| 8.15 |  | 细砂岩 |

图 1 巷道顶底板岩层柱状图

Fig. 1 Stratum histogram of roof-floor of roadway

2 巷道变形破坏机理分析

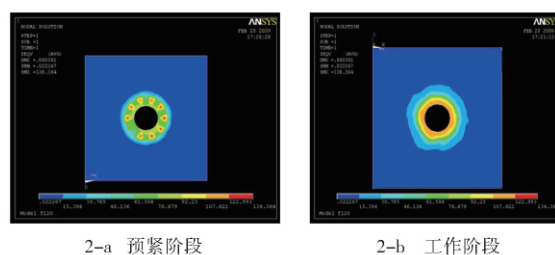
1) 由于双柳矿井下巷道多处处在埋深较大、地应力较高的环境下,从根本上导致巷道开挖后围岩塑性破坏程度加深、破坏范围扩大,特别是巷道两帮煤体由于本身强度较小,在后期受采动影响作用破坏将更加严重,进而减弱了其对巷道顶板的支撑稳定作用。

2) 巷道上覆围岩较大载荷通过两帮传递作用至巷道底板。由于受实际施工条件所限,巷道底板支护滞后或不做支护,致使底板强度较小,所以深部煤

层巷道在高应力环境下底臃现象突出。

3) 巷道所使用的锚杆托盘多为不可调心托盘,根据井下巷道现场调研结果,井下存在大量锚杆破断问题,大多在锚杆尾部螺纹段形成断裂。综合分析认为,此类锚杆托盘孔口径较小,使得锚杆末端与托盘衔接处杆体易受到剪切力作用而发生磨损甚至断裂;尤其肩部斜角锚杆,此托盘不能起到调节杆体偏心的实质意义,锚杆安装后易受到偏载作用,从而引起锚杆螺纹段弯曲甚至破断。

4) 双柳矿锚索托盘使用大平托盘,该种托盘在实际使用中其预应力扩散效果较差。平托盘不同阶段的预应力场分布如图 2 所示。



2-a 预紧阶段

2-b 工作阶段

图 2 平托盘不同阶段的预应力场分布

Fig. 2 Distribution of prestressing field of flat tray at different stages

图 2 所示为平托盘在预紧阶段和在工作阶段时的预应力场分布状态特征,表现为应力分布范围偏小,容易受应力集中而受损。此外,当锚索承载载荷较大时,平托盘易发生边角弯曲导致支护效果骤降;同时,平托盘仅适用于锚索垂直于顶板布置的情况,对巷道复杂的围岩环境适应性较弱。

3 巷道支护优化设计

3.1 临时支护方案

巷道掘出后,为确保永久支护作业时的安全操作,当工作面控顶距大于 300 mm 时,须采取以下临时支护措施。

1) 工作面选取“吊环—铸铁管—棚板”前探梁作为永久支护前的临时支护,采用 4 个螺母吊环(2 个备用,共 6 个)、2 根 3.6 m 长的铸铁管(铸铁管梁头处加工耳子)配合一根 3.8 m 长的棚板(宽为 200 mm,厚为 40 mm)进行支护。

2) 工作面每循环截割完毕后,及时清理浮矸;然后将前探梁吊环向煤壁移动,吊环固定在紧靠迎头对应顶板锚杆上;再将金属网片铺设至铸铁管上方,并与上循环预留的网片搭接好;最后将棚板置于紧跟掘进面的 2 根铸铁管上方并用木楔背牢,之后方可在此基础上进行永久支护。

3.2 永久支护设计

3.2.1 支护优化机理

1) 巷道整体支护结构选取较高强度的锚杆和锚索组成, 高强度的锚杆和锚索在对巷道围岩的控制程度上体现出其明显的性能优势, 可有效地提升其锚固范围内煤岩强度及承载能力, 同时可一定程度上抑制裂隙、节理的再生发育, 减少巷道开挖后塑性破坏区的加深。

2) 对遇到断层等构造地段下的巷道围岩破碎现象进行锚注浆加固支护。通过向巷道四周围岩进行注浆的手段配合锚杆索支护, 可有效地提升浆液扩散范围内的煤岩强度以及内聚力, 同时可加强层间黏聚, 从而提升围岩整体完整程度, 达到其自身承载强度增强的目的。

3) 针对巷道支护薄弱区域, 如巷道帮角处, 该区域范围内围岩受应力集中程度较高, 受破坏程度较大, 此时通过控制及调整锚杆锚索的布置角度或者适当加大该区域范围内的支护强度, 达到针对性补强加固的目的。

4) 采用拱形可调心高强托盘配合锚杆索进行支护, 拱形锚索托盘在预紧阶段和工作阶段时的预应力场分布特征, 如图 3 所示。

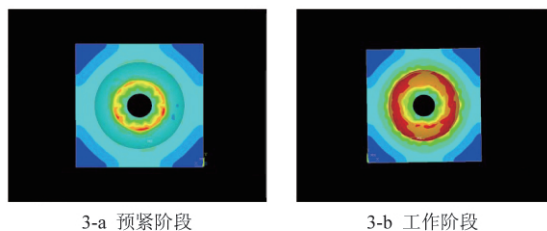


图 3 拱形托盘不同阶段的预应力场分布示意图
Fig. 3 Distribution of prestressed field of arched tray at different stages

由图 3 可见, 拱形托盘支护条件下, 锚索预应力扩散范围较大, 不仅仅在紧邻索体中心有应力分布, 同时在整个托盘平面范围内均有较大程度的预应力扩散分布。此时的应力场分布特征与图 2 中所示的平托盘相比支护效果有了明显的提升, 对巷道顶板和帮部煤壁均有着良好的控制作用。

3.2.2 支护材料优化

为便于施工, 统一采用如下规格支护构件。

1) 锚杆: 采用 $\Phi 22$ mm (BHRB500) 高强度螺纹钢锚杆, 其中, 顶锚杆长度 $L=2.5$ m, 帮锚杆长度 $L=2.4$ m。

2) 锚索: 采用 $\Phi 21.8$ mm、 1×19 股高强度预应力锚索, 锚索长度 $L=6.4$ m, 理论锚固长度 1 892 mm。

3) W 钢带: BHW-280-3-2600-800-4 mm 两块搭接。

4) 托盘: 锚杆和锚索均采用高强度拱形配套托盘, 其中, 锚杆托盘尺寸为 $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$, 锚索托盘尺寸为 $300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 14 \text{ mm}$ 。

3.2.3 支护参数优化

33(4)20 回采运输巷支护设计可分为顶板支护、两帮支护两部分。

1) 顶板支护。图 4 为顶板支护布置图。

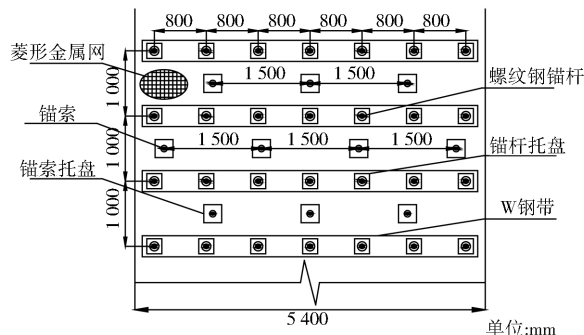


图 4 顶板支护布置图
Fig. 4 Roof support layout

如图 4 所示, 巷道顶板支护形式为锚杆、锚索协同支护, 即一排锚杆、一排锚索交错布置, 同时配合使用配套锚杆钢带以及金属网。由图可知, 顶板锚杆布置间距为 800 mm, 排距为 1 000 mm, 其中最外侧锚杆距巷道两帮 300 mm, 且这两根锚杆布置时向外侧倾斜布置, 倾角为 $0 \sim 10^\circ$, 而其余锚杆均竖直布置, 锚杆紧固力 $\geq 300 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。顶板锚索布置方式为“4-3”布置, 即一排布置 4 根, 一排布置 3 根, 依此循环布置; 锚索间距均为 1 500 mm, 排距为 1 000 mm; 锚索预紧力 $\geq 200 \text{ kN}$, 锚固力 $\geq 363 \text{ kN}$ 。

2) 两帮支护。33(4)20 回采运输巷断面整体支护布置如图 5 所示。

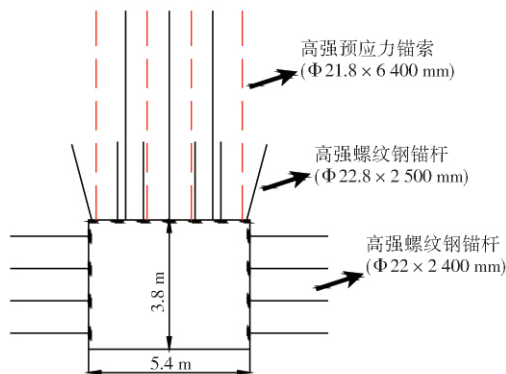


图 5 巷道支护断面图
Fig. 5 Section view of roadway support

巷道两帮支护形式为锚杆支护, 配合使用 W 型护帮板以及菱形金属网。巷道帮锚杆均垂直于煤帮

安装布置,布置排距为 1 000 mm,布置间距为 900 mm。其中最上排锚杆距巷顶 400 mm,锚杆紧固力 ≥ 300 N·m。

4 工程应用与监测

为能够准确、具体地验证以上支护优化方案的合理性,在双柳矿 33(4)20 试验段巷道展开系列监测来检验巷道的稳定情况。在靠近掘进工作面且便于施工及观测的区域沿巷道轴向共计布置 3 组测站,各测站间距 30 m;采用 MCS-400 矿用本安型锚杆(索)测力计对巷道锚杆、锚索受力变化进行动态监测分析;采用 YHW-300 矿用本安型围岩位移测量仪对巷道顶板离层情况进行检测分析。图 6 所示为试验段巷道某测站锚索工作载荷变化监测曲线,其中,7[#]、8[#] 锚索为巷道顶板两侧锚索,9[#] 锚索为巷道顶板中心锚索。

由图 6 可见,7[#] 锚索在监测前一周内其工作载荷增长明显,之后有略微下降并趋于稳定;8[#] 与 9[#] 锚索在监测前 3 d 内其工作载荷增长明显,之后呈缓慢增长并逐渐趋于稳定。其中,7[#]~9[#] 锚索在监测期内其载荷最终分别稳定在 222 kN、225 kN、285 kN,而试验段巷道所使用的锚索材料屈服载荷为 500 kN,破断载荷为 607 kN,可见,试验段锚索受力合理。同时,据现场实测及观察,试验段巷道掘出后巷道完整程度较好,围岩较为稳定,完全满足回采工作面正常采煤生产需要。

参考文献:

- [1] 徐玉胜,孔宏伟.长平矿大断面巷道耦合让均压支护技术研究[J].煤炭工程,2019,51(5):92-95.
XU Yusheng, KONG Hongwei. Research on Coupling and Equalizing Support Technology for Large Cross Section Roadway in Changping Mine[J]. Coal Engineering, 2019, 51(5): 92-95.
- [2] 史春生.大断面巷道围岩失稳机理及稳态支护控制研究[J].中国煤炭,2019,45(2):45-48.
SHI Chunsheng. Study on Instability Mechanism of Surrounding Rock in Large Section Roadway and Steady State Support Control[J]. China Coal, 2019, 45(2): 45-48.
- [3] 孟庆安.大断面巷道顶板失稳分析与控制技术[J].煤炭科学技术,2018,46(3):44-48.
MENG Qingan. Analysis and Control Technology of Roof Instability of Large Section Roadway [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(3): 44-48.
- [4] 张纯旺,宋选民,严国超.大断面巷道联合支护顶板控制及效果分析[J].矿业研究与开发,2017,37(11):37-40.
ZHANG Chunwang, SONG Xuanmin, YAN Guochao. Control and Effect Analysis of Roof of Combined Support of Large Section Roadway[J]. Mining Research and Development, 2017, 37(11): 37-40.
- [5] 常江阳,张东峰.坚硬顶板大断面巷道的破坏机理及合理支护研究[J].煤炭技术,2014,33(7):109-112.
CHANG Jiangyang, ZHANG Dongfeng. Study on Failure Mechanism and Reasonable Support of Large Section Roadway with Hard Roof[J]. Coal Technology, 2014, 33(7): 109-112.
- [6] 赵科,张剑.厚煤层大断面巷道支护技术研究[J].煤炭科学技术,2019,47(3):101-105.
ZHAO Ke, ZHANG Jian. Research on Support Technology for Large Section Roadway in Thick Coal Seam [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(3): 101-105.

(编辑:樊 敏)

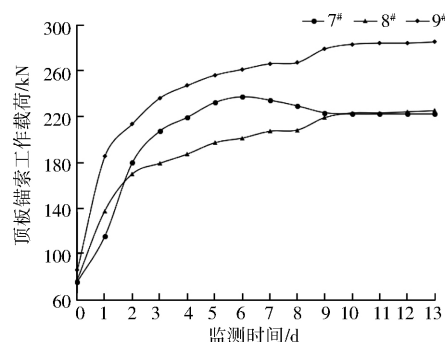


图6 顶板锚索工作载荷监测曲线图

Fig. 6 Monitoring graph of working load of roof anchor cables

5 结论

1)对于双柳矿 33(4)20 工作面巷道断面大、应力高,采用高强锚杆和高预应力锚索是提高巷道支护强度的有效途径,通过优选支护参数可形成可靠支护结构主体。

2)双柳矿井下锚杆托盘多为不可调心托盘,锚索托盘为大平托盘,托盘结构缺陷会导致部分锚杆(索)受力较大时易发生破断失效;由此采用拱形托盘替代平托盘,有利于提升锚杆(索)预应力的扩散和锚杆(索)的综合承载能力,实现锚杆、锚索协同支护。

3)针对双柳矿 33(4)20 大断面巷道提出了合理的支护设计方案,经 33(4)20 巷道试验应用与动态监测,锚杆索受力稳定,围岩变形较小,巷道整体稳定性较好。