

深埋大断面巷道底鼓影响因素及治理技术研究

Research on the Influencing Factors and Treatment Techniques of Bottom Bulging in Deep Buried Large Section Tunnels

赵丹(山西高平科兴申家庄煤业有限公司, 山西 晋城 048400)

摘要:为研究深埋大断面巷道底鼓的影响因素及针对性的综合治理措施,以260303轨道巷为工程背景,对其深埋大断面巷道底鼓影响因素进行深入的理论分析,进一步对分析结果提出了综合性的治理措施。结果表明:260303轨道巷发生底鼓的主要原因是地质应力环境复杂、巷道围岩自身条件差、岩石水化作业明显、原有支护形式不合理等多因素叠加,导致巷道出现多次频发的底鼓现象,进一步地针对影响因素提出了改变原有巷道形状-打卸压孔-长锚索交错短锚杆联合支护-底部可摩擦滑动的全封闭式钢支架支护的综合性治理措施,通过现场监测底板变形量由48 mm减小为15 mm,满足矿山生产需求,大大减小返修、维修工程,能够保障矿山进行安全高效生产。

关键词:深埋巷道;大断面;底鼓

中图分类号:TD325

文献标志码:A

文章编号:1672-609X(2024)05-0084-04

Abstract:In order to study the influencing factors of deep buried large section roadway floor heave and targeted comprehensive treatment measures, taking the 260303 track roadway as the engineering background, this paper conducts in-depth theoretical analysis of the influencing factors of deep buried large section roadway floor heave, and further proposes comprehensive treatment measures based on the analysis results. The results showed that the main reasons for the occurrence of floor bulges in track roadway 260303 were the complex geological stress environment, poor surrounding rock conditions, obvious rock hydration operations, and unreasonable original support forms, which resulted in multiple frequent occurrences of floor bulges in the roadway. Further comprehensive measures were proposed to change the shape of the original roadway, drill pressure relief holes, alternate long anchor cables and short anchor rods for joint support, and fully enclosed steel support with frictional sliding at the bottom. Through on-site monitoring, the deformation of the floor was reduced from 48 mm to 15mm, meeting the production needs of the mine, greatly reducing repair and maintenance projects, and ensuring safe and efficient production of the mine.

Key words:deep buried tunnels; large cross-section; bottom drum

1 前言

随着中国工业化进程逐步加快,能源消耗快速增加,作为能源第一消耗品的煤炭资源消耗迅速,导致开挖深度逐渐累进。随着开采的加深,深埋大断面的力学环境、地质条件以及赋存状态都有了较大的差别,受各种因素叠加影响,深埋巷道或多或少呈现出大变形的地压显现情况,其形成机制成为许多学者的研究热题。许阳^[1]针对大断面巷道的底鼓破坏机制开展了力学模型分析,获得有效本构后利用有限元模拟软件探讨了底鼓形成机制及破坏过程。李宝龙^[2]利用板理论探讨了深埋巷道的力学

形成机制,并得到了变形的解析解,确定了岩层底板稳定性的判别公式。经来旺^[3]针对高应力大理深的软岩硐室的底鼓问题,利用弹性力学与塑性力学理论探讨了其成因问题,探讨了影响因素之间的相互关系及力学联系。冯万里^[4]针对特厚煤层的深埋大断面软岩底鼓问题,通过现场勘察及测试,明确了相关的影响因素,进一步引用极限平衡理论得到了底板稳定性判定依据。对明确机制的底鼓问题,许多专家学者分别提出了针对性的控制措施,加强了对巷道底鼓的治理。刘文龙^[5]针对山西某矿6采区硐室底鼓问题提出了采用使用底板预注浆+底板注浆锚索加固的治理方案。郭鹏飞^[6]针对6502工

[作者简介] 赵丹(1989—),男,汉,山西高平人,工程师,主要从事煤矿安全,煤岩动力灾害防治方面研究。

[引用格式] 赵丹. 深埋大断面巷道底鼓影响因素及治理技术研究[J]. 中国矿山工程,2024,53(5):84-87.

作面底鼓问题,提出了使用围岩浅部注浆改性+长短锚杆索加固处理的治理方案。孙谦^[7]对山东某矿的掘进工作面底鼓问题,通过分析底鼓形成机制以及影响机理,提出了实体煤帮施工卸压孔+底板长锚杆联合钢带加固的治理措施。温超^[8]针对山西某矿15062深埋工作面底鼓问题,提出了使用长锚索优化原有支护系统基础上利用底板注浆改性底板围岩的治理措施。杨茂清^[9]针对上庄1503工作面煤巷底鼓问题,由于是厚大煤层,提出了通过合理布置煤柱位置减少应力集中,同时优化支护方案联合注浆围岩改性的治理方案,大大减小了底板底鼓的问题。上述研究不仅对底鼓问题的发生机制开展了理论研究,还进行了大量的底鼓治理工程实践,均效果显著,为进一步开展相关研究和工程实践提供了科学指导。但是针对受多因素联合影响的深埋大断面巷道底鼓发生机制及治理仍缺少技术支撑,本文以某矿260303轨道巷发生的底鼓问题为研究背景,采用理论分析、现场观测等手段开展了深入研究,提出了一种适用于深埋大断面巷道底鼓的加固治理技术,对实现矿山安全生产提供了科研指导,也为相似工程提供了可靠借鉴。

2 工程概况

260303轨道巷井下标高1374.3~1301.8 m,平均埋深688.5 m,工作面走向长538.8 m,倾向长148.5 m,平均煤厚为2.2 m,倾角29°。顶板结构复杂,伪顶为0.7 m薄层泥岩、直接顶为4 m粉砂岩,基本顶为6 m粗、中砂岩,直接底为泥岩,厚1.3 m,软化系数为0.58,基本底为碳质泥岩,厚度为5.4 m,软化系数为0.23,裂隙发育,遇水易发生泥化,且胶结能力差。巷道为宽4 m、高4 m的标准三心拱形式,具有较好的支撑性。巷道掘进揭露交叉小断层F2($H=3.6\text{ m}$, $349^\circ\angle 74^\circ$)、F3($H=4.8\text{ m}$, $53^\circ\angle 65^\circ$)巷道平面布置如图1所示。顶板支护采用间排距1000 m×1000 mm的 $\phi 22\text{ mm}\times 2\ 200\text{ mm}$ 左旋螺纹钢高强锚杆,顶网采用 $\phi 6.5\text{ mm}$ 的1.7 m×2.0 m细钢编网。顶帮锚杆从拱顶依次向外布置5根,两帮各布置2根,具体如图2所示。

巷道掘进完成至断层交错位置之前,巷道较为干燥,基本无淋水,围岩变形较小,当揭露到F2、F3断层后,巷道出现明显淋水,此时巷道出现底鼓现象,但由于断层较小,未采取封闭措施,在进行卧底处理后进行掘进,支护形式沿用之前设计,在巷道掘

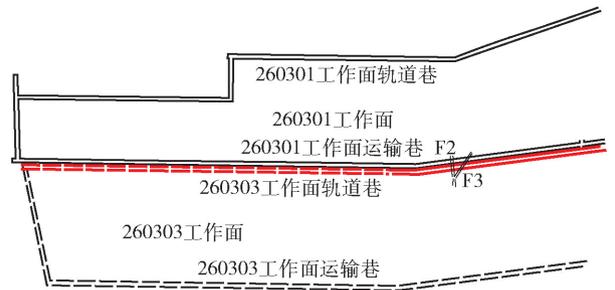


图1 260303巷道平面布置图

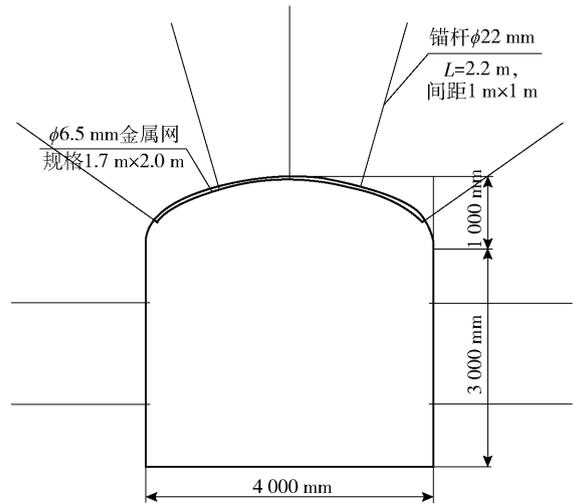


图2 260303巷道断面及支护布置图

进至切眼,该位置又出现较大底鼓,进行了二次卧底处理,此时底鼓长度较之前增加。

3 深埋大断面巷道底鼓影响因素

3.1 地质应力环境复杂

260303巷道位于260301工作面运输巷道下行,埋深为685 m,最大、最小水平应力分别为18.55 MPa、10.13 MPa,垂直主应力为15.64 MPa,该区域以构造应力影响为主,地压较大,同时由于260301工作面运输巷道先行掘进,此位置采动应力集中,应力环境复杂。而出现底鼓的位置有两条交叉的小断层,此位置围岩结构较为破碎,地质条件同样复杂,在高应力的加持下,该位置极易发生底鼓等围岩变形现象,地压显现显著。

3.2 巷道围岩自身条件差

巷道底板受断层影响,较为破碎,围岩整体性差,同时岩性以泥岩和碳质泥岩为主,强度低,软化系数低,遇水极易发生软化现象。在底板稳定性不佳时,受高应力影响及采动应力扰动极易发生大变形形成底鼓现象,同时巷帮也会将一部分承载力下传至底板,产生较明显的承载内聚效应,增大巷道底

板的变形量。此外该位置断层切割岩层,产生顶板淋水,渗入底板厚,加剧底板强度降低甚至丧失,使底板极以受不稳定因素影响发生底鼓。

3.3 岩石水化作业明显

巷道直接底为泥岩,基本底为碳质泥岩,软化系数均较小,极易受水化作用影响,同时 F2、F3 断层切断了顶底板完整性,淋水严重,而底板内含有黏土矿物水化后快速反应,发生水化崩解,导致底板发生底鼓变形,随着水化时间增长,底鼓出现频率增加,同时导致临近底板同时发生底鼓现象。

3.4 原有支护形式不合理

原有支护形式针对顶板进行了强化处理,但未对底板采取有效的支护措施,同时巷帮支护强度也不足。因此导致底板在发生较为明显的变形后,两

帮围岩无法维持稳定将部分力传递至底板加重了底鼓的程度。在受高应力、采动应力、复杂地质环境及较差底板条件的复杂因素综合影响下,原有的支护设计对于此处的承载远远不足,导致底板形成自由薄弱面,开放式发生变形,出现明显的底鼓变形现象。

4 深埋大断面巷道底鼓治理措施

通过对深埋大断面巷道底鼓影响因素的综合探讨确定了该处发生底鼓的主要原因包括地质应力环境复杂、巷道围岩自身条件差、岩石水化作业明显、原有支护形式不合理。针对上述影响因素,提出了综合的底鼓治理措施,具体施工布置如图 3 所示。

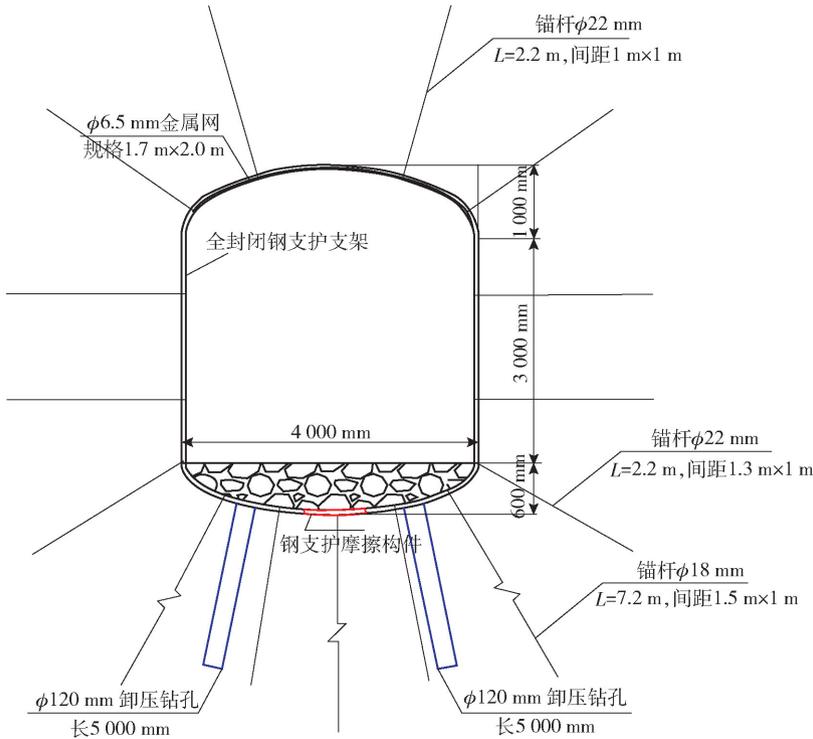


图 3 260303 巷道底鼓治理方案施工布置图

4.1 改变原有巷道形状

通过深挖卧底将巷道由三心拱形改为不规则椭圆形,通过改变巷道原有形态,增加巷道支撑能力。不规则椭圆拱形的最大优势是将巷帮与底板的传递铰接力有平面分散挤压改为向底板承压拱中心挤压,形成承压拱,通过挤压底板逐渐密实,形成较为合理的承载模型,同时给予底板一定的自由变形空间。在底板布置道砟进行密实处置,通过道砟空隙减小底板自由变形空间。

4.2 打卸压孔弥补岩石变形空间

在拱形底板的中心两侧施工两个 φ120 mm x 5000 mm 的卸压钻孔,通过卸压钻孔的布置,将底板岩石的变形吸收,将变形自由面从垂直向上改变为卸压孔内部,一方面减缓了底鼓变形,另一方面减少水的积聚,阻止浅层底板发生强烈水化作用。

4.3 使用长锚索交错短锚杆提高底板支护强度

在底部使用长锚索交错短锚杆进一步提高底板支护强度。直接底的泥岩层厚 1.3 m,基本底的碳

质泥岩厚 5.4 m,可变形高度达 6.7 m,长锚索的长度必须超过此厚度。因此选用锚索参数为 $\phi 18 \text{ mm} \times 7\ 200 \text{ mm}$,在底板拱中心及两侧对称位置布置 3 根,间排距为 $1.5 \times 1 \text{ m}$ 。锚杆与锚索交叉布置,且必须在两帮底板处增加 45° 侧斜锚杆,参数为 $\phi 22 \text{ mm} \times 2\ 200 \text{ mm}$,间排距为 $1.3 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 。

4.4 使用底部可摩擦滑动的全封闭式钢支架

通过分析可知,之前发生的多次底鼓均对底板岩层的支护成开放状态,无支护会增加底板的自由变形量。因此在进行治理时,在该位置使用底部可摩擦滑动的全封闭式钢支架对整个断面进行全封闭的刚性被动支护,使用这种支护形式不仅可以和锚杆联合控制顶板及两帮的破碎围岩,增加支护强度与系统性,同时可以进一步阻止底板发生向上的自由变形。同时使用了底部可摩擦滑动的支护构件进一步给与了底板和两帮的变形自由度,可以最大程度地保障该位置巷道变形通过其他形式转化,从而减小巷道的返修、维修次数,提高巷道的服役时间。

5 现场应用效果分析

为检测使用深埋大断面巷道底鼓治理措施的应用效果,使用原布置在治理位置的 1 个底板表面位移观测站,对表面位移变化情况进行持续监测。监测结果如图 4 所示。由图可知,巷道底板移近量在未使用巷道底鼓治理措施时,巷道底鼓变形量为 48 mm,而使用底鼓综合治理措施后,底板变形量仅

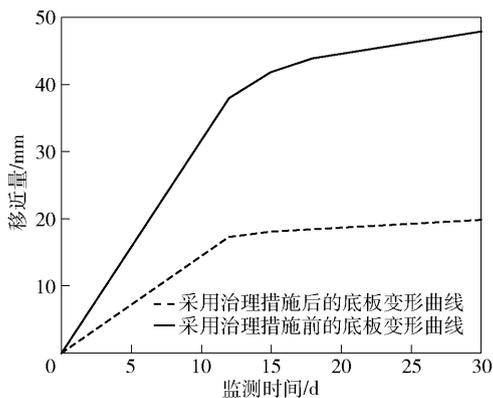


图 4 采用治理措施前后的底板变形监测曲线

为 15 mm。由此可看出,使用深埋大断面巷道底鼓综合治理措施后巷道底板变形较小,稳定性好,未出现较明显的底鼓现象,满足巷道使用需求。

6 结论

(1)分析了 260303 巷道发生底鼓大变形的影响因素。主要包括了地质应力环境复杂、巷道围岩自身条件差、岩石水化作业明显、原有支护形式不合理等。这些综合因素的叠加使靠近断层的位置发生了底鼓大变形现象。

(2)通过针对底鼓大变形的发生影响因素,进一步得提出了综合治理方案,分别是改变原有巷道形状,由三心拱形改为不规则椭圆形;打卸压孔弥补岩石变形空间,改变岩石变形自由面;使用长锚索交错短锚杆提高底板支护强度;使用底部可摩擦滑动的全封闭式钢支架,将两帮及底板的变形进一步限制,增加围岩稳定性。通过现场监测发现使用综合治理措施后,底板变形量由原有的 48 mm 减小为 15 mm,满足了矿山的使用需求。

[参考文献]

- [1] 许阳. 大断面隧道仰拱底鼓破坏模式探析[J]. 工程建设与设计, 2024(3): 74-76.
- [2] 李宝龙. 大断面岩巷底鼓机理分析与控制技术研究[J]. 煤矿现代化, 2019(5): 71-73+77.
- [3] 经来旺, 严悦. 高应力软岩硐室底鼓发生机理与控制技术研究[J]. 煤炭工程, 2022, 54(3): 112-117.
- [4] 冯万里. 特厚煤层大断面软岩巷道底鼓治理措施与效果[J]. 江西煤炭科技, 2024(1): 4-6+10.
- [5] 刘文龙. 深部开采大断面硐室底鼓控制技术研究[J]. 当代化工研究, 2021(2): 110-111.
- [6] 郭鹏飞. 深部开采大断面软岩巷道底鼓防治技术研究[J]. 当代化工研究, 2021(5): 58-59.
- [7] 李季. 基于 3DEC 的大采高回采巷道围岩变形特征研究[J]. 中国矿山工程, 2023, 52(1): 67-71.
- [8] 潘子恒. 主动支护技术在综放工作面回采巷道超前支护中应用[J]. 中国矿山工程, 2023, 52(2): 64-69.
- [9] 杨茂青. 深部软岩大断面巷道底鼓防治技术应用[J]. 江西煤炭科技, 2022(4): 61-63+67.