

大断面掘进中锚网索支护技术的应用与优化研究

冯祥祥

焦作煤业集团赵固（新乡）能源有限责任公司，河南 新乡 453634

摘要：大断面巷道掘进在煤矿开采中占据重要地位，其施工质量直接关系到矿井的安全生产和长期运营。然而，大断面掘进面临顶板压力增大、围岩变形明显等问题，锚网索支护技术作为一种常用的支护形式，在提高巷道稳定性方面具有显著优势。本文结合西六盘区辅助运输巷的工程实际，分析了锚网索支护技术在大断面掘进中的应用，阐述了施工工艺及支护形式，并提出了优化策略。研究表明，合理的支护设计和优化措施能够有效提高巷道稳定性，保障施工安全和效率。

关键词：大断面掘进；锚网索支护技术；优化措施

Application and Optimization Research of Anchor Net Cable Support Technology in Large Section Excavation

Feng Xiangxiang

Jiaozuo Coal Industry Group Zhaogu (Xinxiang) Energy Co., Ltd. Xinxiang, Henan 453634

Abstract : Large section roadway excavation plays an important role in coal mining, and its construction quality directly affects the safety production and long-term operation of the mine. However, large section excavation faces problems such as increased roof pressure and significant deformation of surrounding rock. Anchor mesh cable support technology, as a commonly used form of support, has significant advantages in improving tunnel stability. This article combines the engineering practice of the auxiliary transportation roadway in Xiliupan District, analyzes the application of anchor net cable support technology in large section excavation, elaborates on the construction technology and support forms, and proposes optimization strategies. Research has shown that reasonable support design and optimization measures can effectively improve tunnel stability, ensure construction safety and efficiency.

Keywords : large section excavation; anchor net cable support technology; optimization measures

前言

随着矿山开采技术的不断进步，尤其是在煤矿开采过程中，巷道掘进工作面面临着越来越复杂的地质条件。大断面掘进技术作为矿井开拓的关键环节之一，广泛应用于煤矿、隧道和地下工程的建设。大断面掘进巷道需要承受的力学压力较大，尤其是在地质条件不稳定或复杂的情况下，巷道的支护问题成为施工中最大的挑战之一^[1]。传统的支护技术在面对复杂地质环境时，往往难以满足支护效果的需求，尤其是顶板下沉、塌方等安全问题时有发生。因此，探索并应用新型、高效的支护技术，对提高掘进作业的安全性和效率具有重要意义。

一、工程概述

西六盘区辅助运输巷位于二₁煤层中，承担西六盘区通风、行人、运输及设备安装等辅助运输任务，是西六盘区矿井开拓的重要通道。该巷道的掘进工程地质条件总体稳定，煤层赋存稳定，厚度为5.4~6.4m，平均为6.1m，煤岩层产状为156°~200°∠3°~16°，平均倾角为10°，地质构造以单斜构造为主。巷道设计为矩形断面，净宽7000mm，净高3500mm，净断面积24.5m²，掘进断面积25.92m²。

巷道围岩主要由泥岩、砂质泥岩和中粒砂岩组成，其中顶板以泥岩和砂质泥岩为主，具有滑面、裂隙发育等特征；伪顶厚度为0~3.50m，直接顶厚度为2.0~7.6m，老顶为中粒砂岩，厚度为4.9~18.6m；底板直接底为泥岩或砂质泥岩，厚度为9.5~10.8m，老底为灰岩，厚度为1.3~1.8m。巷道地质构造较简单，但存在一条正断层（走向82°~84°，倾向352°~354°，倾角37°~50°，落差3.9~4.5m），对掘进影响较大，巷道底板存在L₈灰岩水作为直接充水水源，需采取合理的防治水措施。本工程采用EBZ-160型悬臂式综掘机进行施工，采用分台阶截割方

作者简介：冯祥祥（1990.01-），男，汉族，河南省修武县人，学历大专，助理工程师，工作领域：煤炭开采。

式成巷，分两次掘进完成。顶板和帮部均采用锚网索支护技术，通过短锚索、补强锚索和槽钢梁等形式，确保巷道围岩稳定性。

二、大断面掘进工法

大断面掘进是一种用于煤矿巷道和其他地下工程的高效掘进方式，特别适用于需要较大断面以满足通风、运输、设备安装等多功能需求的巷道。西六盘区辅助运输巷大断面掘进工法基于地质条件和设计要求，采用科学合理的施工方案，以确保工程质量施工安全。

1. 设备选型与施工工序

该工程采用 EBZ-160型悬臂式综掘机进行施工，该设备具备切割效率高、稳定性强、操作灵活等特点。掘进过程中配合机载前探梁进行临时支护，采用带式转载机与带式输送机联合完成煤炭运输。掘进采用分台阶形式，由上至下、由左至右循环进行截割，每次掘进宽度为4m，高度为2.1~2.6m。先掘南帮或北帮，并进行支护，随后完成另一帮的截割和支护，以确保巷道的稳定性。

2. 支护技术

大断面掘进对围岩稳定性要求高，因此顶板和帮部均采用锚网索支护技术。顶板支护采用短锚索+钢筋梯、槽钢梁锚索和点锚索相结合的方式。其中短锚索间排距为 $800 \times 900\text{mm}$ ，搭配钢筋梯支护，锚索预紧力参数严格控制，以提升顶板承载能力。帮部支护采用锚网索结合钢筋梯，锚索布置需考虑肩窝、底脚等关键部位的特殊受力特点。

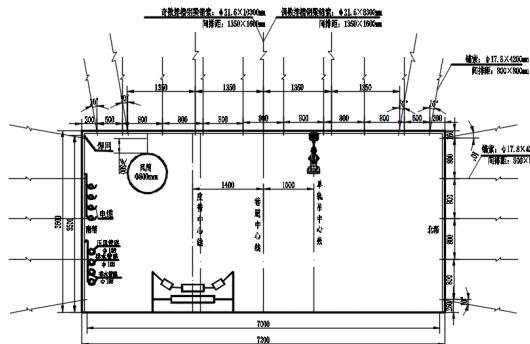
3. 工序衔接与优化措施

为提高施工效率和支护效果，采用分工明确的作业方式，掘进、支护和运输环节无缝衔接。施工中，通过实时监测围岩变形和支护效果，根据地质条件调整锚索间距，确保支护与围岩特性相适应。针对掘进过程中遇到的断层等地质构造带，采取顶板加强支护和超前探测的措施，防止发生突发事故。

4. 工法特点与优势

西六盘区辅助运输巷的大断面掘进工法具有空间利用率高、施工效率快、安全性强等特点。采用分台阶掘进方式，避免了大面积开挖带来的围岩失稳风险，同时提高了作业灵活性。科学的支护设计有效保障了巷道结构的长期稳定性，为后续使用提供了安全可靠的条件。

直接决定锚杆和锚索的布置密度和长度，对于稳定性较差的围岩，应采用密集布置和长锚索设计，以确保有效支护。本工程的施工工法规划图如图1所示。



>图1本工程的施工工法规划图

锚网索支护需通过锚杆、锚索和钢筋网的协同作用构建整体性支护体系^[3]。锚索负责提供点支撑和深部加固，钢筋网、槽钢梁则用于分散应力并加强表面稳定性，形成均匀受力的支护结构。在大断面掘进中，围岩受力分布不均，顶板和侧帮常为关键部位，设计时需加密关键部位的锚索，确保支护力分布合理，以防止局部失稳。具体的设计需考虑地质条件的变化和施工过程中的围岩变形反馈，锚索直径、锚索长度、预紧力等参数需具备灵活调整能力，以适应实际施工需求，确保支护体系的有效性。

(二) 施工工序与关键控制点

1. 钻孔施工

本工程在钻孔过程中，首先需要根据设计要求和地质条件选择合适的钻机和钻头类型^[4]。顶板常用的设备是 MQT-130/3.8型锚杆钻机打孔，帮部使用 ZQS-65/2.5S 型气动手持式钻机打孔，这些设备可以高效地完成大直径深孔的施工。钻孔时，应严格控制钻孔角度、深度及孔径，以确保锚索的布置与支护设计一致。钻孔位置应根据围岩条件进行调整，特别是针对断层、破碎带或软弱带等特殊地质条件，需要进行精准定位。

在钻孔过程中，必须时刻关注孔壁稳定性，避免孔壁坍塌或污染，这对后续的锚固效果有重要影响。钻孔结束后，需要清理孔内泥沙和碎屑，以确保锚固剂的有效注入。钻孔的质量直接关系到整个支护系统的受力和稳定，因此，对钻孔施工质量的控制至关重要^[4]。施工过程中要严密监测设备运行状态，并进行必要的技术调整，确保孔深、孔径、孔斜等参数符合设计要求。钻孔直径、锚杆（索）直径、锚固剂直径“三径匹配”符合设计要求。

2. 锚索的安装

锚索安装时，首先需要将锚索准确地放置到预定的深度，确保其安装位置符合设计要求。锚索的布置应根据地质条件、巷道断面以及支护要求进行合理设计，一般采用交叉布置以增强支护效果^[9]。

根据锚索间排距定好孔位，顶锚索采用 MQT-130/3.8型锚杆机打眼，帮锚索采用 ZQS-65/2.5S 型气动手持式钻机打眼，打完眼后，装入树脂锚固剂，用钢绞线逐支轻推至孔底，将锚杆机或手持式钻机安上搅拌器，然后进行搅拌，搅拌时间 20 ~ 35s，退下锚杆机（或气动手持式钻机）和搅拌器，等待 8min 后，上锚索

三、大断面掘进中锚网索支护技术的应用

(一) 设计原则与关键参数选择

大断面掘进工程中，由于围岩受力复杂且巷道断面较大，支护设计需要综合考虑围岩条件、工程需求和经济可行性。锚网索支护技术作为大断面掘进的核心技术，其设计原则和关键参数选择直接影响施工安全和支护效果^[2]。以下从设计原则和关键参数两个方面进行阐述。设计的第一步是对围岩稳定性进行全面评估，包括围岩等级划分、岩体结构特征、地应力分布等。围岩稳定性

梁（点锚索托盘）、托盘和锁具，采用风动式锚索预应力张拉机具紧固。

3. 钢筋网铺设

钢筋网的铺设应遵循设计要求，确保网片的规格、尺寸符合设计标准。通常，钢筋网由冷拔钢筋制成，网孔尺寸常为 $70\text{mm} \times 70\text{mm}$ 。在铺设过程中，首先需要清理巷道表面活矸危岩，确保表面平整，以便网片能够与岩壁充分接触。接着，按照设计图纸的位置，将网片逐一铺设到位^[7]。网片的搭接部分应不少于三格，并用铅丝或钢丝绑扎牢固。每隔两格进行一次绑扎，确保网片的稳定性。网片的铺设过程中应特别注意与锚杆、锚索的结合，确保其与锚固系统的连接紧密。安装完成后，需进行必要的检查，确保网片的张紧度和安装位置符合设计要求，避免因松弛或错位导致支护失效。

4. 施加预紧力

施加预紧力是锚网索支护系统中至关重要的步骤，它直接关系到支护结构的有效性和长期稳定性。预紧力的施加通常分为两部分：一部分是对锚杆的预紧，另一部分是对锚索的预紧^[8]。预紧力的大小和均匀性直接影响支护结构的变形和稳定性。

施加预紧力时，使用MQ18-250/63、MQ22-400/63型矿用风动锚索张拉机具张紧锚索。预紧力的大小应根据设计要求，通常顶板锚索的预紧力控制在300kN以上，帮部锚索的预紧力控制在200kN以上。预紧力的施加过程中，应保持锚索的拉力均匀，以确保支护系统的稳定性。在张拉过程中，要监控锚固设备的工作状态，防止超载或松动现象的发生。

四、大断面掘进中锚网索支护技术的优化策略

（一）优化支护结构设计

对于不同类型的地层，尤其是软弱层、破碎带或断层带，支护结构的布置和锚索的预应力应做适当调整^[9]。例如，针对含水层或断层带，要加大锚索的布置密度，确保支护力的均匀分布，并

且提高锚固强度。在支护结构的设计过程中，应采用有限元分析等先进计算方法，对巷道内的受力情况进行模拟分析。通过数值模拟，能够提前预测支护结构在实际施工中的变形、应力分布等情况，从而优化锚索的布置位置和预紧力的大小，确保支护体系能够有效应对地质条件的变化。同时，考虑到大断面掘进对空间的要求，设计应尽量减小支护结构的占地面积，以提高施工效率和空间利用率。

（二）改进施工工艺与设备

一方面，应根据不同的地质条件和掘进进度，合理安排施工工序和关键控制点，在顶板支护过程中，应采用分层、分步支护技术，即先进行局部区域的锚索张拉，再进行整体支护，避免一次性支护造成的应力集中。分层支护不仅可以有效降低支护结构变形的风险，还能提高支护施工的安全性和可靠性^[10]。另一方面，可以采用高效、精密的钻孔设备，可以保证钻孔的精度和孔径一致性，减少误差带来的不利影响。

五、结语

西六盘区的地质条件相对复杂，尤其是存在正断层的影响，使得支护设计和施工难度加大。为确保巷道的安全性，采用了锚网索支护系统，并结合岩层特征与实际施工情况进行优化设计，合理安排锚索的布置和预紧力参数，以应对复杂地质条件。施工工艺和支护设备的选择对掘进效果至关重要。精确的钻孔施工、合理的锚索安装、钢筋网的铺设及预紧力的施加等工序控制，保障了支护系统的稳固性与持续性。优化支护结构设计，结合先进设备和智能化监测手段，进一步提高了施工效率和支护效果。基于该工程的实际，本文提出了大断面掘进中锚网索支护技术优化策略，包括支护结构的设计优化与施工工艺改进，为大断面掘进中锚网索支护技术的应用提供了宝贵的经验。通过多方面的优化措施，能够有效提高支护系统的稳定性，确保掘进过程中的人员和设备安全，并推动相关技术在类似项目中的推广应用。

参考文献

- [1] 王林. 大断面煤巷综掘锚杆支护快速掘进关键技术研究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2015(1):080.
- [2] 张梦良. 大断面煤巷快速掘进与锚网索支护参数优化研究 [D]. 中国矿业大学, 2023.
- [3] 黄昕, 邵林林, 孙斌. 煤矿掘进巷道中锚网(索)喷支护技术分析 [J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(12):235-237.
- [4] 李安云, 康鑫, 李森, 等. 富水弱胶结砂岩破坏特性与优化措施 [J]. 科学技术与工程, 2024(13).
- [5] 李虎. 煤矿巷道掘进过断层破碎带围岩支护技术研究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2024(6):37-39.
- [6] 史超, 张占涛, 李鹏. 锚网索注联合支护技术在大采高工作面中的研究与应用 [J]. 同煤科技, 2017(5):4.
- [7] 张逸龙. 厚煤层底板巷大断面在软岩支护技术中的应用 [J]. 价值工程, 2014, 33(23):3.
- [8] 张松军. 冲击地压煤层掘进锚网索支护技术优化及应用 [J]. 中国煤炭工业, 2016.
- [9] 李方见, 吉升阳, 刘纪芳. 深部高地应力软岩大断面巷道支护技术 [J]. 陕西煤炭, 2024, 43(7):118-122.
- [10] 胡彦斌. 深部高应力区大断面切眼支护技术研究 [J]. 山西冶金, 2023, 46(3):192-193.