

Key points and strategy optimization of needle beam trolley in circular tunnel lining construction

Xiaoliang Wang

Sinohydro Construction Group 15th Engineering Bureau Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710016, China

Abstract

Needle beam trolleys, known for their high template integration, fast operation cycles, and strong adaptability, have been widely used in the construction of circular tunnel linings. This paper analyzes the applicability and key operational points of needle beam trolleys in different rock conditions, section forms, and turning sections, based on the actual construction of the C1 section of the Horgut Hydropower Station in Xinjiang. It identifies the factors affecting construction efficiency, clarifies the technical control points for key processes such as concrete pouring, formwork sealing, and trolley positioning, and proposes optimization strategies from the perspectives of structural modularization, operation scheduling, and personnel organization. The findings provide a technical reference for equipment configuration and construction management in long-distance circular tunnel linings under complex geological conditions.

Keywords

needle beam trolley; circular tunnel; lining construction; operation control; construction optimization

针梁台车在圆形隧洞衬砌施工应用中的要点分析及策略优化

王晓亮

中国水电建设集团十五工程局有限公司, 中国·陕西 西安 710016

摘要

针梁台车因其模板集成度高、作业循环快、适配性强,已广泛应用于圆形隧洞衬砌施工中。结合新疆霍尔古吐水电站C1标引水隧洞标准断面施工实际,本文分析了针梁台车在不同围岩条件、断面形式、转弯段施工中的适用特征与作业要点,梳理了施工效率影响因素,明确了混凝土浇筑、模板封闭、台车就位等关键环节的技术控制要点,并从结构模块化、运行调度与人员组织等角度提出优化策略。研究结果可为复杂地质条件下长距离圆形隧洞衬砌提供装备配置与施工管理的技术参考。

关键词

针梁台车; 圆形隧洞; 衬砌施工; 作业控制; 施工优化

1 引言

在长距离引水隧洞混凝土衬砌施工中,施工效率、断面质量和作业安全是控制工程进度和成本的核心要素。随着工程建设标准的提升与施工机械化水平的发展,针梁台车因具备模板成型精准、模板可调节范围大、施工循环节奏明确等技术优势,逐步成为圆形隧洞衬砌的主力设备。新疆霍尔古吐水电站C1标引水隧洞衬砌工程具有断面长、作业面多、结构形式变化复杂等特点,对针梁台车的布设、运行及调度提出了更高要求。基于本工程施工实践,系统分析针梁台车在隧洞衬砌施工中的关键应用环节和策略优化路径,对于提升长距离地下水工结构的衬砌质量与施工组织效能具有重要意义。

2 针梁台车在隧洞衬砌施工中的结构特性与适应性分析

针梁台车主要由模板总成、针梁系统、梁框系统、液压操作机构、调整装置、抗浮组件和牵引机构组成。模板总成采用高强度钢板精加工,分为弧形模块拼装,适配全圆断面衬砌成型,整体长度12.1m,配套针梁长度30.48m,满足12m标准浇筑仓一次成型需求。台车采用轨道轮行走方式,通过卷扬机进行牵引移动,在仓面定位后由液压系统对模板展开并锁固。水平和垂直方向通过丝杠和液压顶调整,使模板贴合隧洞钢筋骨架及基面,确保混凝土衬砌结构轮廓精准。模板端头预留混凝土投料口及观察窗,配合下料管进行分层布料,施工过程与圆形断面一致性高,具备良好的成型重复性与适应性^[1]。

【作者简介】: 王晓亮(1992-),男,中国陕西合阳人,本科,工程师,从事水利水电工程施工技术研究。

3 圆形隧洞衬砌施工中针梁台车的关键作业环节

3.1 台车就位与精确定位控制技术

台车就位环节要求结合测量放线及液压调整系统实现模板全断面精准对位。标准断面每仓长 12m，安装允许误差在 5mm 以内。台车通过轨道轮牵引至目标仓面，由测量队引出设计轴线中线和边模控制线，引导台车模板展开定位。纵向方向以混凝土底板钢筋定位桩为参照，横向调整通过液压缸推动模板沿导轨微调，最终使模板内轮廓与已绑扎钢筋控制边线重合。垂直方向依托顶拱点位引线控制高程，利用千斤顶将模板顶升至设计标高。端模与模板闭合处拼缝间隙不得大于 2mm，所有接缝采用橡胶垫条严密封缝。就位过程控制时间为 6 小时，通过精度控制减少浇筑错台、钢筋碰撞及表面缺陷。

3.2 模板封闭与脱模剂应用操作标准

模板封闭精度直接影响混凝土外观质量与结构尺寸偏差。端模采用 5cm × 5cm 方木竖围圈及双钢管横围圈构成刚性封闭框架，螺栓拉锚间距 50cm，夹角大于 45°，保证封模整体抗压稳定。挡头模板拼缝处打密封胶条，端部以 $\phi 12$ 钢筋与锚杆连接固定，设 1 道水准拉锚控制位移。脱模剂选用环保型乳化脱模油，涂布厚度 0.3mm，采用喷枪均匀雾化施工，施工前彻底清理模板表面，避免油污与粉尘残留影响成型质量。每套模板使用前必须完成脱模剂涂刷，覆盖率达到 98% 以上。施工现场每日抽查模板封闭紧密度与油膜完整性，出现模板漏拼、油膜损失情况需返工处理，确保衬砌表面成型均匀、无冷缝、不漏浆。

3.3 混凝土浇筑过程中的振捣与料流协调方式

标准衬砌仓体内混凝土采用三层分层浇筑方式进行，每层铺料厚度控制在 35cm，左右两侧对称投料，采用混凝土车载泵从下弧段开始送料。下弧段采用 ZN70 插入式振捣器进行点位振捣，插点间距不超过 40cm，振捣时间控制在 20 秒以内，插入下层混凝土 5cm 重叠振捣。顶部拱部通过台车上设的 24 个 2.2kW 附着式振捣器实现连续振动，确保仰角段混凝土密实无空洞。振捣器与混凝土供料保持同步推进，混凝土泵管压力稳定在 0.6MPa 左右，浇筑速度控制为每小时 10m³，确保料流连续稳定。混凝土初凝前完成全部振捣，不允许漏振、过振，表面泌水随时清除。混凝土塌落度保持在 18cm ± 2cm，确保泵送顺畅与填充密实，图 1 为该针梁式钢模台车横剖面示意图。

4 圆形隧洞针梁台车施工常见问题与控制要点

4.1 仓面错位、钢筋干扰等影响模板闭合的问题

在隧洞衬砌施工过程中，仓面错位和钢筋干扰是常见的施工问题，尤其是在台车进场后，模板的安装精度不达标时。

根据施工现场的实际情况，当台车就位后，常常会出现模板与钢筋位置不符的情况，导致模板闭合不严密，从而影响混凝土的浇筑质量，施工现场必须在每次浇筑前进行严格的钢筋位置复核，并加强模板安装精度的管理。必要时，采用调节器微调模板，使其精确贴合钢筋和预埋件，确保模板闭合完整，从而避免浇筑过程中混凝土泄漏和结构强度不足^[2]。

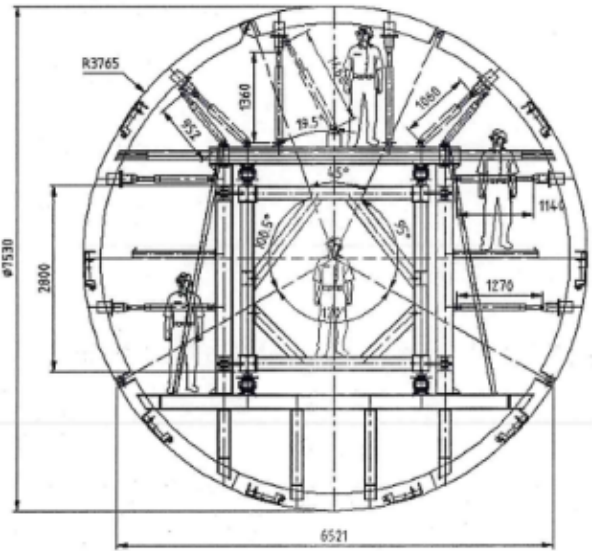


图 1 针梁式钢模台车横剖面示意图

4.2 混凝土离析、泌水等衬砌质量异常现象分析

混凝土离析和泌水是影响隧洞衬砌质量的常见现象，特别是在使用传统混凝土时更为突出。在霍尔古吐水电站的引水隧洞施工中，由于大面积的浇筑及施工环境的湿度变化，可能会存在混凝土出现离析现象，尤其是在浇筑过程中的下弧段。根据施工现场记录，为控制这一问题，通过采取了加入纤维增强材料的方式来改善混凝土的流动性和粘结性，同时在振捣过程中采用定点和分层振捣技术，确保混凝土在全断面内均匀分布，避免发生泌水现象。此外，混凝土的浇筑温度控制也是防止泌水和离析的重要措施，施工期间对混凝土温度进行了严格的控制，以避免大温差引起的水分过快蒸发。

4.3 台车运行卡滞、液压系统失稳的应急处置方法

台车在隧洞内运行时，常会受到液压系统失稳或卡滞的影响，尤其在长距离施工或复杂地质条件下，这种问题更为突出，项目组在每次施工前进行液压系统的全面检查，包括更换液压油、调整压力值，并通过冷却系统降低油温，确保液压系统的稳定性。此外，施工期间对台车的运行轨道进行清理，去除可能影响台车移动的岩屑和杂物，防止卡滞现象的发生。在出现液压系统失稳时，台车操作员立即通过备用液压系统进行应急处理，确保施工不间断进行，图 2 为台车坡道衬砌示意图。

