

隧道二衬混凝土纵向连续灌注 智能化施工工艺应用研究

王加东

(中铁十五局集团第二工程有限公司, 上海 201799)

摘要 新奥法山岭隧道二衬施工采用人工端模封堵, 自下而上分层浇筑至拱顶后, 在拱顶进行压力冲顶, 此工艺难以消除冲顶浇筑质量问题, 不密实、脱空、气泡等病害经常出现, 后期返工整改难度大、成本高。本研究以西渝高铁康渝段站前九标华蓥山隧道工程为背景, 使用纵向连续灌注台车并结合数字信息智能化技术, 开展隧道二衬混凝土纵向连续灌注智能化施工工艺研究。结果表明, 通过现场施工和检验, 该施工工艺取得了较好的效果, 可有效减少二衬拱顶厚度不足、背后脱空不密实、砂线气泡等多发病害, 改善了施工质量, 进而减少返工, 提高了施工效率, 旨在对类似工程施工具有借鉴意义, 为隧道机械化配套施工提供有益参考。

关键词 隧道二衬; 纵向连续灌注; 传感器; 智能化施工

中图分类号: U455.91

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.03.010

0 引言

隧道的二次衬砌是隧道施工的关键步骤, 新奥法隧道二衬是隧道围岩支护体系的最后防线, 与初期支护形成补充加固围岩作用, 高铁隧道二衬不同于普通公路隧道, 除实现基本线路美观, 防排水等功能外, 还要求保证四电线路稳定、预埋槽道牢固, 衬砌表面平顺、光滑、无裂缝掉块, 从而保证 350 km/h 列车的安全行驶。传统二衬施工多采用人工封堵, 逐层浇筑至拱顶后, 冲顶位置固定, 冲顶塌落体随机性较大, 易形成脱空、不密实等病害^[1]。为解决此问题, 赵一轩^[2]在制定二次衬砌拱墙施工方案的基础上, 严格把控衬砌台车的布置与行进、钢筋与混凝土施工、拱顶回填注浆等各环节施工质量, 最后取得较为理想的施工效果。牟金猛^[3]从管理角度聚焦问题导向, 对高铁隧道常见的问题通病进行分析, 从技术角度提出解决方案。陈胜和王军^[4]通过分析常见的二衬病害, 针对性地提出施工控制要点, 进而解决二衬常见问题。鲜云华^[5]对传统二衬施工浇筑进行分析, 研究纵向灌注技术, 有效改善了二衬拱顶浇筑质量。熊小锋^[6]基于二衬纵向灌注技术, 从技术要点、硬件装备进行分析, 依托现场工程对二衬纵向灌注技术进行适配性分析。以上研究多基于二衬纵向灌注较传统浇筑工艺的改善进行分析, 对隧道二衬混凝土纵向连续灌注施工技术细节研究相对较少, 本文将依托于西渝高铁康渝段站前九标华蓥山隧道工程, 使用纵向连续灌注台车并结

合数字信息智能化技术, 开展隧道二衬混凝土纵向连续灌注智能化施工工艺研究, 以解决隧道衬砌拱顶施工质量缺陷难题。

1 工程概况

华蓥山高速铁路隧道是新建西安至重庆高速铁路安康至重庆段站前九标控制性工程。正洞为双线铁路隧道, 设计时速 350 km, 起点里程 DK314+990, 终点里程 DK327+140, 全长 12 150 m, 隧道最大埋深 577 m。全隧正洞二次衬砌 12 150 m, 1 032 板。

2 纵向连续灌注施工工艺

2.1 纵向灌注施工原理

拱顶浇筑采用纵向灌注台车, 纵向灌注设备可搭设在钢筋挂布台车, 拱顶以下依旧采用逐窗分层浇筑, 拱顶部分以水平浇筑代替传统由下而上的压力浇筑, 采用纵向灌注枪深入至端部, 浇筑过程中观察混凝土堆积体, 依据压力传感器判断是否浇筑饱满, 采用灌注枪后退式均匀自流浇筑方式, 可有效提升二衬浇筑质量, 大大减少脱空不密实等质量问题^[7]。

2.2 纵向灌注工艺流程

纵向灌注台车就位→采用二衬台车浇筑至第五层入料口→纵向灌注台车润管→灌注枪就位→混凝土灌注启动→监控平台实时监控控制灌注枪移动→混凝土振捣→循环浇筑至二衬端头外侧→关闭封堵盒阀门→退出灌注枪→混凝土浇筑完成→泵管清洗, 收泵。施

工流程图如图 1 所示。

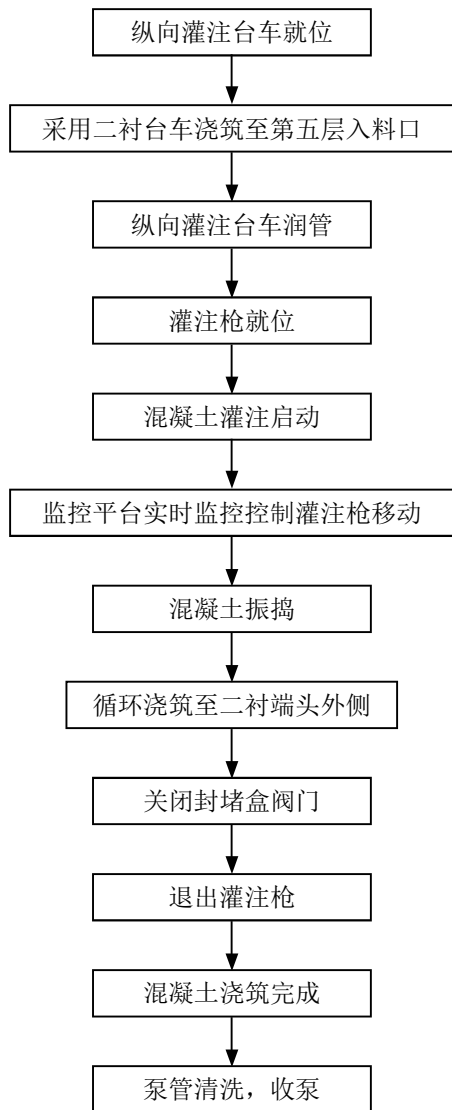


图 1 施工流程图

3 纵向灌注施工工艺要点

3.1 安装拱顶防脱空传感器

为有效监测二衬拱部混凝土与初支间的密实程度,在华蓥山隧道中采用了两套防脱空压力传感器监测预报并相互验证。

一是中南大学提供的条带形防脱空压力传感器,侧点间距约 1 m。防水板挂设前沿拱顶纵向粘贴于土工布表面。混凝土浇筑前通过延长线连结专用充电式显示终端。

二是纵向灌注台车自带防脱空压力传感器。该传感器为单个独立圆饼形,可自由布设,隧道二衬采用沿拱顶纵向每 2 m 安装 1 个,二衬模板台车就位合模前,

将传感器粘贴于防水板表面,混凝土浇筑前连结纵向灌注台车显示终端。

3.2 预留纵向灌注枪走行通道

华蓥山隧道二衬钢筋安装时,不安装拱顶中线两侧 25 cm 范围内二衬钩筋,为灌注枪顺利通过二衬钢筋提供通道。

3.3 安装灌注枪封堵盒

二衬台车拱顶 3 m 范围内二衬端模,更换为由锐龙厂家提供的专用端模+灌注枪封堵盒。先安装灌注枪封堵盒,再安装其两侧二衬台车堵头模板。该板二次衬砌有预埋槽道时,需特别注意微调灌注枪封堵盒位置,保证灌注枪行驶过程不接触槽道锚杆,避免影响预埋槽道定位。

3.4 空车试枪

空车状态将纵向灌注枪从灌注枪封堵盒伸入二衬台车内部,通过摄像头检查灌注枪运行是否顺畅,同时可以目测检查二衬钢筋、预埋槽道安装情况。

3.5 拱部以下混凝土浇筑

华蓥山隧道拱部以下混凝土采用二衬台车混凝土布料系统浇筑,逐窗分层浇筑至第五层入料口,及时关闭入料口,换为纵向灌注台车继续浇筑拱顶段混凝土至完成浇筑。按设计断面计算纵向灌注总量约 30 m³。

3.6 纵向灌注台车润管及连续灌注

纵向灌注台车灌注前采用砂浆润管(装载机配合),润管完成后,将灌注枪伸入二衬模板内,距上一循环二衬混凝土端头约 75 cm,开始连续灌注,布料速度约 0.5 m³/min,根据灌注方量总时长控制在 1~1.5 小时。当连续灌注混凝土总量的 2/3 或混凝土完全掩埋灌注枪时,开始退枪,每次退枪不大于 1 m,退枪时,连续灌注不小于 3 泵,防止抽枪后形成脱空,保证密实度;循环至最后 1 m 处,待最后一个传感器压力到达阈值时,缓慢退枪,每次退枪不大于 0.3 m,连续灌注不小于 1 泵,防止抽枪后形成脱空。

3.7 纵向灌注混凝土振捣

采用二衬台车自带的拱顶插入式和附着式振捣器配合进行振捣,根据视频监控系统及厂家参数,30 m³混凝土分 4 次振捣计算,累计分别为 10 m³、15 m³、20 m³、25 m³ 时进行振捣,振捣时间分别为 3~6 s,剩余 5 m³ 时根据压力传感器阈值结束浇筑。

3.8 退枪出仓

混凝土浇筑至二衬端模处时,灌注枪退出堵头板,及时关闭灌注枪封堵盒阀门,浇筑完成。关闭阀门时

灌注枪内混凝土须保持泵送压力。

4 数字信息智能化技术

4.1 视频信息监控技术

在灌注枪堵封堵盒灌注孔两侧,安装有外置摄像头和补光灯,均采用网线插口、网线供电。摄像头可以将混凝土浇筑到堵头时的状态视频摄录,通过2个工业显示屏呈现。

4.2 顶部自粘埋设式防脱空传感器技术

纵向灌注台车融合了目前较为先进的顶部自粘埋设式防脱空传感器技术,对拱顶混凝土浇筑的密实度及时进行有效验证和检测。其主要优点有:

(1) 使用方便、灵活,钢筋绑扎完成后,可将拱顶压力传感器粘贴到防水板上。(2) 安全:所采用电气元器件均为低压电气,压力传感器供电电源为DC5V。(3) 加入PLC进行数据记录,实现数据采集。

(4) 加入HMI人机界面,实现可追溯化,可使用U盘下载报警数据,压力历史曲线图。(5) 报警阈值可设置,为达到混凝土稳压状态,可设置延时报警时间。(6) 采用蜂鸣报警器,可及时提醒施工人员。(7) 提供远程平台,管理人员可远程平台实时监测。(8) 可提供混凝土固化及养护温度。(9) 可提供3~12个监测点位。(10) 可提供方量输入及总方量累计功能。

按照编号,将插头插入控制箱,进入防脱空参数设置,到达设定值,首页报警灯将会变绿,说明拱顶混凝土浇筑饱满,可结束浇筑。

4.3 无线遥控及手机APP控制技术

纵向灌注台车系统除配备遥控手柄操作外,同时还兼有手机APP操作系统功能,利用隧道WiFi信号与台车局域网连接,可实现集中控制。

4.4 纵向灌注拱顶混凝土信息化收集

纵向灌注台车不仅具备视频监控,还设置有信息化收集系统。灌注前输入、核对工程信息,设置参数。系统对拱顶浇筑方量、混凝土入模温度、浇筑时间等参数进行检测、存储和上传,实现过程可控制、可追溯。

5 与传统冲顶工艺比较

5.1 混凝土配合比

与传统施工工艺相同,不需要另行设计。

5.2 施工工效

第一,2名工人即可完成纵向灌注全过程操作,较传统竖向冲顶节省人工;第二,智能化机械化工艺节省人工;第三,已经施工的4板二次衬砌采用纵向灌注,施工用时平均为1小时20分钟,较传统冲顶2小时左右更为省时。

5.3 质量控制

视频监控系统可视化操作结合防脱空压力传感器监测,能够实现及时预判,及时干预,及时补救,通过调整退枪速度、泵送压力等,有效预控混凝土的浇筑实体质量;纵向灌注可实现封顶混凝土连续灌注,较传统竖向冲顶减少了换管,避免了二次衬砌混凝土表面冲顶浇筑痕迹。

5.4 设备配置

纵向连续灌注台车本身可作为二衬钢筋施作台车,减少了投资成本,也为隧道二衬流水线作业提供了条件。但为实现纵向连续灌注,台车布置的混凝土泵送管道长、弯管多,需要配备高压混凝土输送泵。

6 结论

通过对华蓥山隧道进行隧道二衬混凝土纵向连续灌注智能化施工,结果表明,该施工工艺可有效解决传统二衬施工所存在的拱部脱空不密实通病,衬砌表面更为平顺、光滑。根据华蓥山隧道出口连续4板二次衬砌混凝土采用智能二衬台车+纵向连续灌注台车的使用情况得出,纵向连续灌注工艺的使用能够实现机械化减人员、降低劳动强度,提升二次衬砌混凝土内在和外观质量。同时,该工艺所采用的数字信息智能化技术可有效检测施工过程,提高隧道二衬浇筑效率,减少拱顶质量通病,并实现了施工过程信息的收集、保存和检测,让工程具备可追溯性,隧道纵向二衬浇筑是新型浇筑工艺,本研究解决了浇筑工艺的痛难点,丰富了工艺实施细节,有效提升了二衬机械化水平,与开挖支护机械化共同形成了全过程高铁隧道大机配套体系,具有很好的推广价值。

参考文献:

- [1] 张应迁,姜勇,冯源,等.基于冲击回波声频法和迁移学习的铁路隧道衬砌质量检测自动判识技术[J].铁道建筑,2021,61(01):69-72.
- [2] 赵一轩.公路隧道二衬施工质量控制研究[J].交通科技与管理,2024,05(14):173-175.
- [3] 牟金猛.高速铁路隧道二次衬砌质量控制及缺陷预防施工技术研究[J].居业,2024(05):80-82.
- [4] 陈胜,王军.铁路隧道二衬脱空原因分析及防治研究[J].运输经理世界,2023(32):103-105.
- [5] 鲜云华.铁路隧道二衬纵向连续灌注施工技术研究[J].价值工程,2024,43(06):90-92.
- [6] 熊小锋.隧道二衬拱顶混凝土纵向连续灌注施工技术研究[J].铁道建筑技术,2024(05):142-144,195.
- [7] 同[5].