

# 隧道二次衬砌灌注拱顶防脱空施工工艺研究

东鹏飞 冯华民 胡金伟

中铁九局集团有限公司 辽宁沈阳 110000

**摘要:**近年来,伴随着国家对交通基础设施投资的显著增长,铁路工程的建设规模持续扩大,隧道修建的数量也随之增加。目前,我国已经成为全球隧道工程数量最多、发展速度最快的国家之一。然而,作为隧道工程质量通病之一的二次衬砌背后脱空问题,对交通运营安全的影响日益凸显。当前,隧道衬砌的设计主要采用复合式结构。在进行设计结构分析计算时,通常是基于复合式衬砌背后回填密实、且衬砌背后的围岩能够提供径向弹性抗力的前提来进行考虑的。无论是二衬拱部出现脱空、拱腰部位发生脱空,还是边墙背后存在脱空现象,这些情况都会改变二次衬砌结构的受力状态,导致局部区域承受更大的压力,进而引发潜在的安全隐患。因此,开展针对隧道二次衬砌背后脱空现象的研究,探索有效的预防措施和处理方法显得尤为重要。

**关键词:**隧道;衬砌灌注;拱顶防脱空工艺

## 前言

中铁九局负责的新建重庆至昆明高速铁路宜宾至嵩明段站前工程YKYGZQ-3标管段位于云南省曲靖市会泽县境内。本工程涉及8座隧道,全长10.917km。由于设置钢拱架进行初期支护,会遇到钢拱架之间喷射的混凝土不够饱满,或是局部区域挖掘不足的情况。这些问题会导致钢拱架的实际安装位置与设计要求的位置之间出现偏差。这种偏差进而会造成初期支护时喷射混凝土表面出现起伏不平的现象,从而影响到防水板与喷射混凝土表面的紧密贴合,造成局部脱空。通过对隧道二次衬砌施工过程中采用新型防脱空装置、拱顶斜向60°带压反向冲顶灌注、拱顶插入式振捣器等进行了研究与分析,确保了隧道二次衬砌背后的密实,取得了较好的经济、社会效益,而且推广应用到标段的其他隧道,经过对隧道二次衬砌灌注拱顶防脱空施工工艺的不断总结和完善,形成本工艺研究。

## 一、工艺研究特点

### 1.1 创新使用新型防脱空装置

采用了一种先进的分布式压密传感器技术。这种技术利用条带状的传感器来精确识别混凝土是否已经达到了预期的压密状态。具体来说,这些传感器被精心布设在隧道拱顶位置的土工布上,以便在浇筑过程中进行实时监测。在浇筑过程中,工作人员需要密切关注显示终端器上的指示灯变化。当15个红色指示灯全部转变为绿色时,这是一个明确的信号,表明防水板与二次衬砌混

凝土之间的挤压已经到位,同时土工布与初期支护也实现了紧密贴合。这一变化可以作为初步判定二次衬砌混凝土浇筑密实度的依据。

### 1.2 创新采用拱顶斜向60°带压反向冲顶灌注

采用了一种创新的斜向60°带压反向冲顶灌注技术。这种技术的核心在于,通过特定的倾斜角度和压力作用,使混凝土在带压状态下能够顺畅地流动至已浇筑完成的二衬端头上。随后,混凝土会继续流动填充到尚未浇筑的空间中,从而确保整个二次衬砌空间内的混凝土浇筑饱满,无遗漏,保证了二衬拱顶的施工质量,工艺研究前脱空率4%,工艺研究后脱空率0.5%,减少隧道二次衬砌拱顶不密实的产生,避免了二次处理,节约成本。

### 1.3 创新使用机械装置控制拱顶插入式振捣

采用拱顶插入式振捣,使用机械装置控制振捣棒进行振捣作业,自动化程度高,对拱顶二衬混凝土进行全方位振捣,避免只振捣模板表面附近的混凝土,密实度起不到实质性的效果。同时减少工人投入,提高施工效率,保证二次衬砌施工质量。有效解决了传统隧道二衬拱顶混凝土强度不均匀,不密实及空洞缺陷。

## 二、施工工艺操作要点

### 2.1 粘贴分布式压力传感器

土工布铺设完毕后,开始粘贴分布式压力传感器条带,以隧道拱顶为中线粘贴一条分布式压力传感器条带,传感器条带上,带有胶贴(胶贴下即传感器位置)可以将胶贴表面背胶撕下粘贴在土工布上。条带传感器可以使用相应魔术贴固定,使用防水板条固定在条带上,将

枪钉打在防水板条两端。传感器粘贴过程中，保证传感器和数据延长线粘贴平整，避免传感器打结折叠，传感器粘贴完成后，连接终端，按压传感器，通过测点亮灯检查数据线是否正常，数据线畅通终端灯色改变，即数据线畅通可铺挂防水板。待冲顶结束，结束数据监测，将数据上传铁路平台中的隧道衬砌拱部防脱空模块，目前完成的309个监测段落，评级均为A，如图2.1-1、2.1-2所示。



图 2.1-1 分布式压力传感器安装图



图 2.1-2 数据上传铁路工程管理平台

## 2.2 拱顶斜向带压反向冲顶混凝土浇筑

二次衬砌混凝土浇筑至二衬台车第三层窗口时，对混凝土进行振捣整平后关闭第三层浇筑窗口，开始进行拱顶带压反向冲顶混凝土浇筑，传统浇筑采用垂直浇筑封顶，本工艺研究采用拱顶单斜孔反向浇筑封顶，斜向

角度为 $60^\circ$ ，带压反向冲顶主要采用靠近已衬砌方向的孔进料。如图2.2所示。

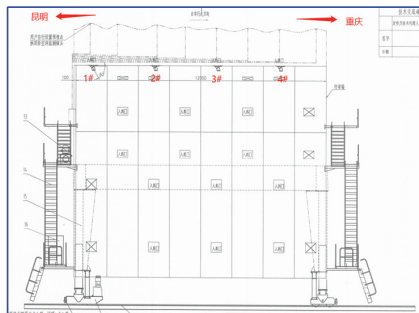


图 2.2 拱顶斜向带压反向冲顶混凝土浇筑设计图

## 2.3 拱顶插入式振捣和气动附着式相结合

隧道拱顶创新性采用液压插入式振捣器，在隧道二衬台车钢模板的背面上设置4组自动插入式振捣装，且自动插入式和气动附着式振捣装置主要通过气体压缩机带动高频气动振捣器实现二衬混凝土的振捣。实现了隧道二衬混凝土自动插入式振捣，解决了深厚混凝土振捣不到位、混凝土不密实等问题，保证拱顶混凝土密实。如图2.3所示。

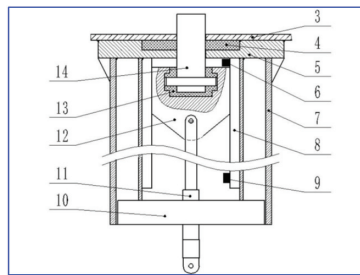


图 2.3 拱顶插入式振捣器振捣图

### 三、过程质量控制

(1) 二衬施工前由测量人员使用全站仪进行测量放样, 指导台车或模板定位。脱模结束后测量人员使用全站仪对二衬进行断面扫描, 绘制二衬断面图, 确保二衬不侵入净空范围。

(2) 二衬施工前检查拱墙施工缝位置是否有虚渣、杂物、积水等, 并及时进行清理。

(3) 对二衬绑扎钢筋的规格、数量、加工形式、尺寸进行检查量, 对台车或模板的位置进行量。

(4) 混凝土浇筑时盯仓, 确保混凝土现场浇筑工艺符合施工标准。

(5) 混凝土浇筑结束后对喷淋养护作业及效果进行检查。

(6) 全自动液压二衬台车带有拱顶空洞预警和带模注浆功能, 注浆前联系试验室对注浆配合比进行检测, 注浆时现场监控保证注浆压力, 注浆结束后检查注浆效果。

(7) 二衬脱模后使用衬砌养护台车对二衬进行喷淋养护, 对于蜂窝麻面、凹凸不平的缺陷, 及时进行打磨整治, 缺陷整治台车可使用养护台车, 先整治后养护。

(8) 在混凝土浇筑过程中, 必须严格控制浇筑口至浇筑面的距离, 确保其不超过2米, 这样做是为了防止混凝土发生离析现象。同时, 为了保持结构的平衡和稳定, 混凝土的浇筑应从两侧交替进行, 并注意左右侧的高差不得大于50厘米, 以避免产生偏压的问题。此外, 混凝土的运输、浇筑以及间歇时间都应控制在混凝土初凝时间之内, 以确保混凝土浇筑的连续性。在底层混凝土初凝之前, 应完成上一层混凝土的浇筑工作, 以保证两层之间的紧密结合。

(9) 在混凝土浇筑的过程中, 我们采用插入式振捣棒与附着式振捣器相结合的方式进行振捣。对于捣固方法, 插入式振捣器应垂直或略有倾斜地插入混凝土中, 插入时应稍快一些, 拔出时则应略慢, 并在提拉的同时进行振捣, 以防止混凝土中出现空洞。振捣棒的移动间距不应超过其作业半径的1.5倍, 并且与侧模保持5~10厘米的距离。同时, 振捣棒还应插入下层混凝土5~10厘米, 以确保上下层混凝土能够牢固结合。当观察到混凝土表面停止下沉、不再出现显著气泡, 且表面呈现平台状, 模板边角部位也填满充实的混凝土时, 即可判断混凝土已经密实。需要注意的是, 在有预埋件的部位进

行振捣时, 要特别小心不要触碰到钢筋和预埋件。

(10) 加强混凝土坍落度的控制, 拌和站施工现场联动, 发现问题及时反馈及时调整, 保持稳定的塌落度和水灰比, 避免出现色差、冷缝及蜂窝麻面; 浇筑速度每 $10\text{m}^3$ 在20~30分钟浇筑完较为合适。

(11) 当拱墙二衬混凝土的强度超过10兆帕时, 才允许进行拆模操作。在拆除模板的过程中, 必须确保混凝土内部与表层、以及表层与环境之间的温差不超过20摄氏度, 同时结构内外侧表面的温差也不能大于15摄氏度。在进行拆模工作时, 应采取一系列措施来保护混凝土表面及其棱角不受任何形式的损伤。具体的拆模步骤如下所述: 首先, 需要拆除挡头板, 并通过操纵垂直油缸将顶升托架与模板连接起来; 接着, 移除侧向千斤顶和侧向油缸上的机械插销; 然后, 拆开模板收拢铰和翻转铰处的对接螺栓, 放下脚手板, 并松开基脚千斤顶; 随后, 将翻转模板收拢起来; 最后, 同步降低垂直油缸的高度, 使模板回到穿行状态。此外, 在混凝土浇筑完成后的12小时内, 应对混凝土表面进行保湿养护。根据《铁路混凝土工程施工技术规程》Q/CR9207-2017中表6.9.7关于养护的规定, 并结合现场实际情况, 浇水养护的时间不得少于14天, 且浇水次数应以保持混凝土处于湿润状态为标准。需要注意的是, 当日平均气温低于5摄氏度时, 不应进行浇水养护。在整个养护过程中, 还需做好详细的施工记录。

(12) 二衬带模注浆采用双层搅拌制浆注浆一体机, 注浆采用微膨胀性水泥, 具有微膨胀、高流动性、无泌水等特性, 起到空洞填充和弥补、修复衬砌混凝土缺陷的作用。衬砌台车模板上设置注浆孔、排气孔(兼做观察孔), 注浆时机原则上不迟于混凝土浇筑完毕后12小时, 脱模前注浆完成, 至排气孔和端头模流出浓浆即结束注浆。

### 参考文献

- [1] 王金波. 浅析高速铁路隧道二次衬砌质量控制措施[J]. 四川建筑, 2021(05)
- [2] 刘大双, 赵海霖. 基于荷载结构法的隧道微膨胀性围岩二次衬砌受力安全性研究[J]. 四川建筑, 2020(03)
- [3] 谷思文, 刘成龙, 杨雪峰, 杨帆. 超长铁路隧道洞内平面控制网横向贯通误差仿真计算分析与应用[J]. 铁道标准设计, 2023(03)