

高速铁路秦岭太兴山隧道单线隧道衬砌施工技术总结

徐 斌

甘肃信达建设工程咨询有限公司 甘肃兰州 730000

摘 要：为适配旅客数量增长与区域发展需求，需在现有高铁网络基础上新增线路、整合轨道资源，构建“八纵八横”为主干的高铁网络，实现各省府高铁通达并提升区域交通效率使。

新建高铁干线建议设至少250km/h速度限值（特殊情况可放宽），穿发达城市线路可选350km/h最高速，区间联络线遵循250km/h以下标准，城际列车则低于200km/h。

作为中国“八纵八横”高速铁路网络的其中一部分，西康高铁属于包海路线的关键环节，同时也是陕西省“米”字形高铁网络的主要线路之一。一旦开通运行，从西安到安康的最快速度仅需四十分钟，这无疑对推动地区间的均衡发展具有重大价值。

秦岭太兴山隧道为单线双洞隧道，左线单线隧道长16.906km，右线单线隧道长16.923km，两单双联拱隧道长80m，单洞双线长1.925km。

关键词：高速铁路；秦岭太兴山隧道；工程施工

一、铁路隧道衬砌缺陷主要类型及原因分析

隧道衬砌是保障隧道安全和稳定的关键环节。衬砌台车作为隧道衬砌施工的重要设备，其设计和操作对衬砌质量具有重要影响。然而，在实际施工过程中，由于衬砌台车的设计和操作系统不当，常常会出现一系列缺陷，如裂纹、空洞、不密实等，严重影响隧道的安全性和使用寿命。因此，研究隧道衬砌台车对衬砌缺陷的影响及优化策略具有重要的现实意义。

（一）施工缝剥离、掉块

隧道施工缝剥离、掉块的成因主要包括四类：一是衬砌台车止水带定位加固不牢，浇筑时止水带偏移扭曲，影响施工缝处混凝土质量；二是衬砌顶部空洞上方岩石脱落，引发衬砌碎裂坍塌；三是施工质量缺陷造成衬砌结构欠厚、强度不足，在荷载作用下出现掉块；四是隧道地处膨胀性围岩地质，衬砌结构受膨胀压力影响开裂变形、掉块。

（二）层间缝和结构缝错台

产生隧道层间缝和结构缝错台的原因可能有：在建设期间，因供应材料的中断或管道更换导致混凝土灌注被暂停的时间超出了其初始硬化阶段，当再次开始灌注混凝土时，先前的混凝土基底表面的清理工作并未执行，也未设置水泥砂浆衬里，直接在新老混凝土交界区域进行了新的混凝土灌注，这导致了新旧混凝土连接处的裂

纹和结构间的错位现象产生。

（三）衬砌背后脱空

隧道衬砌背后脱空的成因涉及多环节施工问题：若基底稳定性不足，浇筑混凝土时模板易移动下降，而选用液压撑作支撑会因压力过载收缩，进而导致模板偏移形成脱空；拱脚部位混凝土浇筑时，若泵送加压或浇筑方法不当，易使该区域混凝土未充分密实而产生空隙；混凝土自身质量缺陷会使其在凝固过程中出现气孔、空洞，最终形成脱空；此外，模板拼接密封不严，会导致混凝土浇筑后界面出现缝隙，进而引发脱空问题。

（四）衬砌表面破损、麻面、水波纹及气泡

产生隧道衬砌背后脱空的原因可能有：

1. 由于水泥施工时限过长，导致下方墙体的水泥经过硬化，模板上浮和下沉从而撕开了混凝土表面，造成了破损、麻面以及水波纹等现象。

2. 拱部浇筑时漏浆严重。

3. 台车浇筑前打磨不到位。

4. 浇筑混凝土时振捣漏振。

（五）隧道衬砌混凝土的裂缝

产生隧道衬砌混凝土的裂缝的原因可能有：

1. 月牙型的衬砌端头开裂是由于二衬台车过早拆模，导致了衬砌混凝土硬度不够。在端部没有约束并且承受同一衬砌混凝土浇筑时的挤压作用下形成的。

2.隧道的挖掘效果不佳,其内部衬砌混凝土的厚度严重不平衡;同时,隧道内部衬砌混凝土背后出现了由于脱空导致的裂痕。

(六) 隧道衬砌混凝土不密实

产生隧道衬砌混凝土不密实的原因可能有:

1.地质及环境因素:随着时间的推移,细小空洞可能形成群落并逐渐联通,或者受周围松散围岩的影响,形成大范围的衬砌背后空洞。

2.原材料因素:隧道衬砌混凝土由骨料、水泥、砂等多种原材料拌和而成,其质量的好坏对隧道的长期稳定有很大的影响。若原料品质参差不齐,再加上计量失误和混合不足等因素,混凝土的搅拌过程中容易出现分层析出、渗水、干燥、结块等问题。由于混凝土本身是一种多相、多孔建筑材料,在拌和至浇筑整个过程中如果处理不当,就容易出现背后空洞等质量缺陷。在初始支撑阶段,混凝土的收缩性质也会产生显著影响,可能导致喷射混凝土与岩石表面不能紧密接触,形成空洞。

3.施工条件:由于局部混凝土骨料团簇的阻碍,二衬混凝土在浇筑过程中容易出现振捣不足、浇筑量不够等问题,这可能导致衬砌厚度不足或者拱顶部位产生空洞,从而给隧道的安全运行带来风险。

二、铁路隧道衬砌工艺使用

(一) 混凝土自动布料功能

混凝土自动布料功能是一种能够提高混凝土浇筑效率和质量的技术。它能够在连续的混凝土浇筑过程中,实现全面、无死角的施工,从而显著提升了施工效率和质量。

自动布料功能由自动爬升系统来完成,能够在施工中达到一次性连续浇筑,降低人工换管的劳动强度。同时,自动布料功能可满足衬砌混凝土逐窗、分层浇筑。这种技术可以减少传统混凝土浇筑中出现的冷缝、不密实等缺陷,提高其质量和耐久性。

(二) 带压浇筑功能

隧道衬砌带压浇筑是一种新的施工方法,它允许在保持一定压力的情况下进行混凝土浇筑。这种方法主要应用在那些对防渗要求较高,且不能允许有微量渗漏的隧道衬砌工程中。

隧道衬砌带压浇筑有以下特点:(1)可以有效防止混凝土离析和泌水,从而提高混凝土的密实度和强度。(2)保持适当压力可以有效阻止混凝土中气泡生成,从而增强混凝土的防渗性。(3)由于缺乏卸货和运输等步

骤,能够降低人工和物资的消耗,从而提升施工效率。

(4)可以减少施工时间,不需要等待混凝土达到一定的强度就可以进行下一道工序。(5)衬砌背后压浆工艺可以有效提高衬砌与围岩间的密实性,提高隧道的防水性能。

(三) 拱顶空洞预警及带模注浆功能

隧道衬砌台车拱顶空洞预警是通过一种压力传感装置实现的。这种压力感应器能够被设置在拱顶和两侧拱腰的位置,并通过微弱电信号线将信号传送到车辆底部,同时连接警报灯。当检测到拱顶灌注不饱满或者不密实时,该装置会自动报警。

为了确保检测的准确性,该装置在拱顶的防水上等间距地设置了4个传感器。当这些传感器接触到冲顶混凝土后,反馈到浇筑信息监测系统上,从而实时显示拱顶的灌注状态。这种预警设备实现了对拱顶模板注浆流程的实时监控,从而有效地保障了拱顶建设的安全性和质量。

(四) 附着式和插入式组合振捣功能

依据振捣器的功率和工作范围进行设计安装的附着式振捣器,每台都需要编码并配置分控开关,以便在相应位置上实施独立的振动操作。尽可能地使用短时间、多次重复、左右对称的方式来避免衬砌台车因为振动导致过大的位移或形状改变。

台车两侧下部1.5m范围内应设置不少于一排附着式振捣器,每侧不少于5件,以减少二衬边墙气泡、水泡病害。

在台车两端边缘不超过30cm的地方,设置小型附着式振捣器(保证其穿透深度达到20cm以上),并配备分控开关,每次启动都会进行振动操作,以确保施工缝部位的施工品质。

通过附着式振捣器和插入式振捣器相结合的方式,对混凝土浇筑时无法进行人工振捣的部位进行振捣。衬砌施工薄弱部位,如施工缝、拱顶等,加强薄弱部位的混凝土浇筑工艺,提高施工质量,满足现今高速铁路隧道衬砌施工质量要求。

(五) 防顶裂功能

衬砌混凝土面的搭接模板边缘设置橡胶等柔性材料(挤压缓冲及密封防漏浆),配置挤压预警装置。

隧道衬砌台车软搭接的作用主要是连接和固定衬砌台车面板和支撑加强板,以增强混凝土外观质量效果,同时减少后续混凝土在施工缝处由于台车定位对已浇筑

混凝土进行破坏，产生衬砌缺陷。在软搭接结构中，通过胶粘设置软搭接，用于与上一板二衬进行联结，保证混凝土浆液无外漏。

因此，软搭接在隧道衬砌台车中的作用是十分重要且必要的。

（六）端模具备止水带准确定位及可视化功能

（1）使用可视化的组合端模，其中包含钢和高分子材料。

（2）在上下封堵设备之间以及主模板与下封堵设备之间，我们采用了快速拆卸的结构。而且，上部封堵设备具有伸缩调节能力，同时，我们也使用了工厂制造的橡胶等柔性材料来替代拼接式木模。

（3）可视化组合端模应采取有效措施，确保中埋式止水带牢固定位不弯折。

隧道衬砌台车端模具有止水带准确定位及可视化功能，可以更好地控制止水带的定位和施工效果。端模能够稳定环向中埋式止水带的施工流程和通过稳定工装来稳定矮边墙纵贯中埋式止水带，从而克服了环向与纵贯止水带线型扭曲、位置不易等实际提问，保证止水带的正确位置和不变形。同时，端模还具有可视化功能，可以实时监测止水带的安装情况，确保止水带的正确安装和使用。

隧道衬砌台车端模的可视化功能是指通过端模上的观察窗口，将衬砌施工过程中的实时画面呈现给操作人员，以便更好地掌握施工情况，确保衬砌质量和安全。

可视化功能在隧道衬砌台车端模中的应用具有以下优点：

1.实时监控：通过观察窗口或摄像头等手段，操作人员可以实时掌握衬砌施工情况，包括混凝土的浇筑、振捣、收面等过程，及时发现和解决施工中的问题。

2.提高质量：通过可视化功能，操作人员可以更加直观地了解衬砌施工中的细节和质量情况，便于及时调整施工参数和工艺，提高衬砌施工质量。

3.安全性高：可视化功能可以减少操作人员进入隧道的风险，避免因无法直观掌握隧道内部情况而发生安全事故。

4.施工效率显著：借助可视化功能，操作人员能够更迅速地了解施工状况，降低重复劳动和浪费，从而提升施工效率。

总之，隧道衬砌台车端模的止水带准确定位及可视化功能可以有效地提高衬砌施工的质量和安全性，减少

操作人员的工作强度和风险，提高施工效率。

（七）浇筑信息监测及存储功能

信息化隧道衬砌台车是指通过应用信息科技和智能设备，对衬砌台车施工进行数字化管理和监控，以提升施工效率和品质，并确保施工安全。

隧道衬砌台车信息化主要体现在以下几个方面：

1.智能化设备：隧道衬砌台车采用先进的智能化设备，如自动化浇筑设备、振捣设备、液压控制设备等，实现衬砌施工的自动化和智能化。这些设备能够根据施工要求和地质条件等因素，自动调整施工参数和操作流程，提高施工质量和效率。

2.数字化管理：利用信息技术和数字化手段，对衬砌台车的施工过程进行实时监控和管理。例如，通过传感器和监测设备，实时监测衬砌台车的运行状态、浇筑情况、温度湿度等参数，并将数据传输到管理系统中，以便操作人员和管理人员及时掌握施工情况，调整施工方案和工艺。

3.数据分析与应用：通过对衬砌台车信息化施工过程中收集的数据进行分析和处理，可以提取出有价值的信息和知识，用于优化施工方案、预测设备故障、预防安全事故等。同时，这些数据还可以为其他工程提供参考和借鉴，促进隧道施工技术的进步和发展。

总之，隧道衬砌台车信息化是隧道施工现代化的重要标志之一，能够提高施工效率和质量，保障施工安全，同时推动隧道施工技术的创新和发展。

结论

衬砌台车的设计和操作对衬砌质量具有重要影响。通过对衬砌台车功能的增加，从而起到对隧道衬砌施工质量提升的作用。

隧道智能衬砌台车相比传统衬砌台车具有以下优势：

1.自动化程度高：隧道智能衬砌台车采用先进的自动化技术，能够实现自动行走、自动定位、自动浇筑、自动振捣等功能，大大提高了施工效率和质量。

2.施工精度高：隧道智能衬砌台车采用高精度定位技术，能够实现毫米级别的定位精度，确保衬砌施工的准确性和稳定性，有效避免人为因素造成的误差。

3.减轻工作负担：隧道智能衬砌台车的自动化和智能化水平较高，这不仅降低了员工的劳动压力，也缩小了人工操作的规模，从而有效地减少了安全隐患。

4.适用范围广：隧道智能衬砌台车适用于不同直径、

不同长度的隧道施工，具有更广泛的适用范围。同时，它也适用于不同地质条件和气候条件下的隧道施工。

5.提高施工安全性：隧道智能衬砌台车能够减少人工操作的数量，降低安全风险，提高施工安全性。

6.降低成本：由于隧道智能衬砌台车的自动化和智能化水平较高，可以减少人力和物力的消耗，从而降低施工的总成本。

综上所述，隧道智能衬砌台车具有自动化程度高、施工精度高、降低劳动强度、适用范围广、提高施工安全性、降低成本等优势，是现代化隧道施工的重要设备之一。

参考文献

- [1] 高速铁路隧道工程施工技术规程 (Q/CR9604-2015) [P]. 中国铁道出版社, 2015.
- [2] 高速铁路隧道工程施工质量验收标准 (TB10753-2018 J1149-2018) [P]. 中国铁道出版社, 2018.
- [3] 铁路隧道衬砌施工技术规程 (Q/CR9250-2020) [P]. 中国铁道出版社, 2020.
- [4] 关宝树. 隧道工程施工要点集 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [5] 王毅才. 隧道工程 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.

