

某快线某某隧道大断面衬砌工装应用技术

王启辉

中铁二局集团有限公司 四川 成都 610032

摘要：某快线某某隧道渐变断面衬砌工装通过复用标准台车核心部件与模块化拓展实现了变断面二衬施工的安全高效实施。该隧道下穿复杂地质区域，最大开挖跨度25.89m、断面面积342.84m²，衬砌断面经三次突变加宽加高，施工难度大。本工装以标准三车道衬砌台车核心部件为基础，模块化增配副门架、桁架及组合小钢模，形成可変断面二次衬砌台车，按流程完成分级改装后应用于施工，实现了施工质量与安全的双重保障，为同类超大变断面隧道施工提供了技术参考。

关键词：隧道大断面；衬砌工装；应用技术

引言：某某隧道为某市重点市政工程，位于市中心区域且穿越板障山，线路长约1.78公里，设计为双向六车道并采用矿山法施工，左、右线分别设长度135.699m、105.021m的渐变断面段，二衬采用60~90cm厚C40防水钢筋混凝土，衬砌断面经三次突变加宽加高形成施工技术难点。为适配工程断面渐变特征，研发了基于标准台车模块化改装的大断面衬砌工装，本文详细阐述该工装的设计、分级改装及现场施工应用的具体技术要点，为同类工程提供实操性技术支撑。

1 大断面衬砌台车的设计

1.1 设计总体原则

大断面衬砌台车的设计基于隧道左、右线渐变断面的结构特征展开，经对比各加宽段衬砌结构断面可知，左线3个加宽段衬砌净空半径在线路右侧保持固定数值，结构尺寸的变化集中体现在线路左侧区域，右线3个加宽段则呈现出线路左侧净空半径不变、右侧尺寸渐变的特征，且左、右线各加宽段的边墙衬砌弧形均与标准三车道衬砌弧形完全一致^[1]。基于该结构特征，台车设计确立了复用既有标准三车道衬砌台车核心部件的原则，通过模块化增配对应宽度的副门架、对应高度的桁架及可调式组合小钢模，实现台车在不同渐变断面间的快速转换。

1.2 加宽参数设定

大断面衬砌台车的模块化增配参数以隧道左、右线各渐变段的加宽加高指标为核心依据，各渐变段的具体加宽加高参数经实测与设计核算后确定，具体数值见表1，该参数为副门架、桁架的规格设计及组合小钢模的尺寸选配提供了精准的技术指标，确保台车改装后能完全适配各渐变段的衬砌施工断面要求。

表1 左、右线大断面加宽参数

| 序号 | 变化断面 | 加宽(m) | 加高(m) |
|----|------|--------|-------|
| 1 | 渐变段1 | 2.954 | 1.051 |
| 2 | 渐变段2 | 7.493 | 1.594 |
| 3 | 渐变段3 | 10.047 | 3.396 |
| 4 | 渐变段4 | 10.063 | 3.250 |

1.3 结构组成设计

大断面衬砌台车的设计长度确定为12.4m，为适配衬砌施工的轮廓要求，台车外轮廓比隧道衬砌理论内轮廓面外扩5cm，台车整体由门架系统、桁架、模板三部分组成，各部分结构设计均围绕断面渐变的施工需求展开，且各部件间的连接与组合方式均满足快速改装的施工要求。门架系统作为台车的主要受力构件，为空间整体框架结构，由主门架和副门架通过螺栓连接组成，主门架直接复用既有三车道衬砌台车门架系统，副门架设置在断面加宽侧，采用H型钢通过立柱、横梁、分配梁组合焊接而成，竖向立柱及上部横梁选用400*300H型钢，下部横梁选用300*300H型钢，分配梁选用200*200H型钢。桁架设置在门架上部，用于调节台车在断面高度上的变化，根据各渐变段的加高参数增配对应桁架，桁架由上下弦杆、腹杆与斜杆组成，单榀桁架高度约1.6m，每榀桁架腹杆位置均立设H型钢以实现模板的有效支撑，弦杆选用标准H型钢^[2]。模板系统采用通用模与组合小钢模结合的设计方式，边模直接复用原三车道通用边模，顶模根据各渐变段的弧长需求增配组合小钢模，模板拱部圆弧与边墙圆弧产生的误差通过增配调节块进行精准调节，小钢模主要采用300*1500cm规格搭配200*1500cm小钢板调节不合模数问题，窗口及冲顶孔位置采用600*1500型小钢模，模板间通过螺栓连接固定成整体，为保证模板结构强度，模板面板厚度设定为12mm，

同时采用14#双拼槽钢进行加强处理,槽钢布置间距为300mm。

2 大断面衬砌台车的分级改装

2.1 改装整体流程

大断面衬砌台车的改装流程基于现场施工组织方案确定,隧道渐变段二次衬砌施工按从小断面至大断面的方向推进,因此台车改装遵循与之匹配的顺序开展,整体改装顺序为标准三车道→渐变段1→渐变段2→渐变段3或渐变段4。台车改装全程依托原标准三车道衬砌台车的无轨液压系统,无需对核心操作系统进行改造,仅通过在宽度方向增配不同规格的副门架、在高度方向增配不同规格的桁架,确保改装过程中台车的结构稳定性,且所有增配部件均采用模块化设计,可实现快速拼装与拆卸,适配现场高效施工的需求^[3]。

2.2 标准三车道至渐变段1改装

从标准三车道至渐变段1的台车改装为首次分级改装,改装过程以原标准三车道台车为基础进行局部增配,改装的技术参考为图1与图2。改装时直接采用既有三车道无轨式液压行走台车门架系统,在隧道断面的加宽侧增配副门架1,副门架1的宽度设定为2.984m,实现台车宽度方向的精准调节,边墙模板继续使用原台车的边墙通用模板,模板与断面间的局部差异采用调节块1进行填充处理。在高度调节方面,在原门架上部增配桁架1,桁架1的高度为1.4m,满足渐变段1的加高施工要求,顶模部分采用弧形拱架分配梁与组合小块钢模组合而成,弧形拱架分配梁的纵向布置间距设定为75cm,保证顶模的整体支撑强度,组合小钢模根据渐变段1的顶模弧长进行精准选配,确保与衬砌理论轮廓匹配。

2.3 渐变段间逐级改装

渐变段间的逐级改装分为渐变段1至渐变段2、渐变段2至渐变段3或渐变段4两个阶段,各阶段改装均在前期改装台车的基础上进行部件增配与局部调整。渐变段1施工完成后,台车行走至渐变段2施工区域开展改装,按从上至下的结构顺序逐一拆除拱部小钢模、环向分配梁及未增加副门架侧的通用边模,完成拆除后调整台车至设计施工位置,在副门架1的对侧增配2个副门架2,副门架2的宽度为2.247m,副门架间采用铰接的方式进行连接,且副门架均设置伸缩支腿,拼装过程中对支腿进行支垫稳固处理,高度方面在桁架1的基础上增配桁架2,桁架2的高度为1.25m,顶模根据渐变段2的弧长需求增配相应规格的组合小钢模。渐变段2施工结束后,移动台车至渐变段3或渐变段4施工区域,按与渐变段1至2相同的拆除方式拆除拱部小钢模和环向弧形分配梁,为减少拆除

工作量,边模仅拆除增加副门架侧的部分,宽度方面在渐变段2已增配的副门架1侧增配副门架3,副门架3的宽度为2.556m,边墙继续使用原台车边墙模板,局部差异采用调节块2进行处理,高度方面在原有桁架基础上增配250工字钢及桁架3,桁架3的高度为1.552m,顶模重新拼装环向分配梁与组合小钢模,环向分配梁纵向间距保持75cm,确保顶模的支撑效果与轮廓精度。

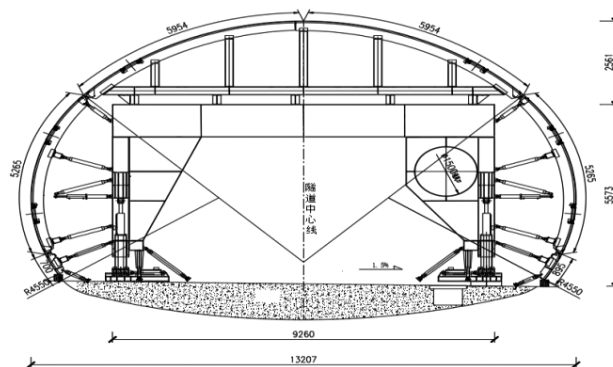


图1 主线标准三车道台车断面示意图

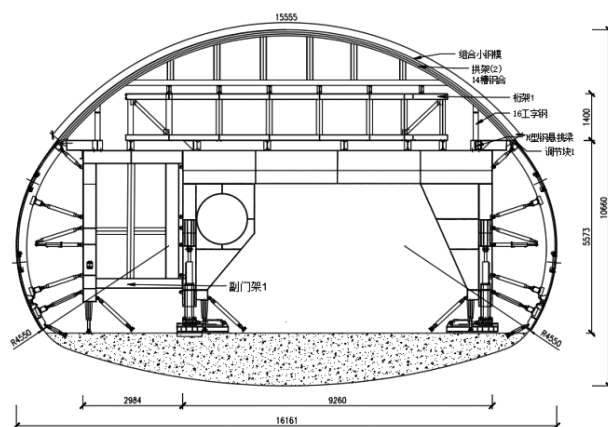


图2 渐变段衬砌1台车断面示意图

3 大断面衬砌台车的施工应用

3.1 施工核心流程

大断面衬砌台车改装完成后,按标准化流程开展二次衬砌混凝土施工,分为定位调平、模板拼装加固、混凝土浇筑、施工监测、脱模养护五个核心环节。定位调平采用液压系统调整台车至设计轴线位置,全站仪复核,误差控制在 $\leq 10\text{mm}$,底部垫设调平钢支座控制沉降。模板拼装按通用模与小钢模组合顺序进行,通用边模采用丝杆顶撑加固,小钢模用 $200\times 1500\text{mm}$ 调节模补偿弧长差,接缝处粘贴3mm橡胶止浆带防漏浆。混凝土浇筑采用分层对称方式,分为底板、边墙、拱部三层,单层高度控制2m,间隔时间 $\leq 2\text{h}$,坍落度 $180\pm 20\text{mm}$,入模温度 $\leq 28^\circ\text{C}$ 。施工监测在台车顶部等距布置监测点,全程监控数据变化。脱模养护严格按强度要求,同条件

试块强度需 $\geq 12\text{MPa}$ 方可脱模, 养护周期14天。

3.2 施工质量管控

大断面衬砌施工质量管控围绕核心风险点, 从对称浇筑、混凝土离析、振捣效果、拱顶脱空四个维度实现精准管控。针对台车宽度大易出现浇筑不平衡问题, 采用两台混凝土输送泵同时泵送, 左右侧各布置一台, 泵送速度控制 $10\text{m}^3/\text{h}$, 实现对称均衡浇筑。针对大断面浇筑易出现离析问题, 优化输送方式, 利用软管通过捣固窗口直接送料, 严格控制坍落度在 $160\sim 180\text{mm}$ 范围内。针对钢筋间距小、密度大、混凝土厚度达 90cm 易出现振捣不充分问题, 实行窗口专人负责制, 每个振捣窗口固定专人操作插入式振捣棒, 确保混凝土密实度^[4]。针对拱部混凝土易出现脱空的质量缺陷, 在拱部混凝土冲顶施工时, 由当班技术员和领工员共同现场值守, 全程观察冲顶施工情况, 必须待混凝土泵送至拱部满仓后再停止混凝土输送。

3.3 施工应用成效

大断面衬砌台车已成功应用于某某隧道左线渐变段1的二次衬砌施工, 现场施工应用成效经实测与核算后得到验证, 充分体现了该工装的实用性与经济性。截至目前, 某某隧道左线渐变段1已完成二衬混凝土浇筑 48m , 对已完成施工的衬砌结构进行质量检测, 衬砌厚度合格率达到 100% , 完全符合设计值 60cm 的要求, 且混凝土结构表面无错台、脱空、漏浆等质量缺陷, 衬砌线形顺直, 结构尺寸精准。在施工安全方面, 台车从设计、改装到施工应用的全过程均未发生任何安全事故, 模块化的设计与标准化的施工流程有效降低了现场施工的安全风险, 提升了大断面隧道施工的安全保障水平^[5]。在施工效率与成本方面, 台车依托标准三车道核心部件的复用与模块化部件的增配, 大幅减少了新工装的制作成本, 且模块化部件的快速拼装与拆卸有效缩短了台车在各渐变段间的转换时间, 节约了现场施工工期, 实现了隧道渐变段大断面二次衬砌施工的安全、便捷、经济的施工目标。

4 施工适配优化与问题处置

结合某某隧道复杂地质条件及断面渐变特性, 在大断面衬砌工装应用过程中, 针对现场出现的适配性问题进行针对性优化, 进一步提升工装应用的稳定性与可靠性, 为后续渐变段施工奠定基础。施工中发现, 台车在

大断面区域行走时易出现轻微偏移, 通过在台车底部增设导向限位装置, 结合全站仪实时监测校准, 将行走偏移误差控制在 5mm 内, 有效避免模板对位偏差。针对组合小钢模接缝处易出现细微漏浆问题, 优化接缝处理工艺, 在橡胶止浆带外侧增设密封胶条, 同时调整螺栓紧固顺序, 采用对称分步紧固方式, 彻底解决漏浆隐患。此外, 复杂地质段围岩沉降易影响衬砌精度, 通过优化监测频次, 将每小时监测一次调整为每30分钟一次, 根据监测数据及时微调台车高程, 确保衬砌结构与围岩变形适配。针对模块化部件拼装效率不足的问题, 提前预制拼装节点连接件, 优化现场拼装流程, 将单阶段改装时间缩短12小时。通过上述针对性优化与问题处置, 工装适配性显著提升, 进一步验证了模块化设计的灵活性, 为同类复杂地质条件下大断面衬砌施工提供了可借鉴的问题解决思路。

结语

某快线某某隧道大断面衬砌工装基于工程断面渐变特征设计, 以标准三车道衬砌台车核心部件复用为基础, 通过模块化增配副门架、桁架及组合小钢模形成可变形断面二次衬砌台车。该工装按标准三车道至各渐变段的顺序完成分级改装, 各改装环节的部件增配均与断面参数精准匹配, 施工应用中通过标准化流程与针对性质量管控措施, 实现了衬砌施工的质量与安全双保障。现场应用验证了该工装的适配性与实用性, 其设计思路、分级改装方法及施工管控要点, 为国内同类超大断面隧道的二次衬砌施工提供了可复制、可推广的技术参考与实践依据。

参考文献

- [1]李飞. 特长大断面隧道混凝土施工智能化控制技术[J]. 铁道建筑技术, 2024(10):40-42,76.
- [2]姚研究. 智能衬砌台车在超大断面二衬施工中的应用[J]. 山西建筑, 2024,50(11):160-163,175.
- [3]申志军, 皮圣. 浩吉重载铁路隧道建设管理与技术创新[J]. 隧道与地下工程灾害防治, 2020,2(1):42-52.
- [4]樊江苏, 刘涛影, 唐敏. 超大断面地铁双线隧道开挖地表沉降规律研究[J]. 铁道工程学报, 2025,42(9):92-98.
- [5]程坤, 徐强, 陈海, 等. 超大断面软岩隧道开挖变形特征及工法优化[J]. 科学技术与工程, 2025,25(21):9118-9129.