

Research on the Design and Construction of Suspension Supporting Formwork

Yingguai Rao

The Seventh Engineering Co., Ltd. of CFHEC, Zhengzhou, Henan, 451450, China

Abstract

According to the characteristics of the engineering structure and the actual situation in the construction of the tunnel lining, the paper uses the existing two lining to carry out the suspension form cast-in-place concrete, which greatly reduces the construction difficulty, reduces the engineering cost, improves the efficiency, and guarantees the engineering quality and the safety of railway operation.

Keywords

tunnel; suspension method; structural features; concrete; construction

悬吊法支模设计与施工研究

饶应贵

中交一公局第七工程有限公司, 中国·河南 郑州 451450

摘要

论文就隧道套衬施工中根据工程结构特点及现场实际情况, 利用既有二衬进行了悬吊支模现浇混凝土, 大大减轻施工难度, 降低工程成本, 提高功效, 保证工程质量和铁路运营安全。

关键词

隧道; 悬吊法; 结构特点; 混凝土; 施工

1 引言

在现浇钢筋混凝土工程中, 模板工程占重要地位, 它直接影响整个工程的质量、工期和成本。在铁路隧道套衬施工中, 我们根据工程既有线施工特点, 利用隧道二衬结构进行悬吊法支模现浇套衬混凝土, 取得了较好的质量、工期和成本效益。

2 工程概况及方案的选择

该隧道位于中国重庆合川区境内, 于 2010 年开工建设, 2015 年底开通运营, 全隧围岩 III ~ V 级, 局部节理较发育, 该段线路为双线有渣轨道, 隧道净空断面采用时速 200km/h 开行双层集装箱客货共线衬砌, 目前运行时速 160km/h。套衬位于隧道 K771+028~K771+031 段下锚段(共计 3m)。根据施工图, 在该段既有二衬外加衬厚度为 25 公分的 C40 细石混凝土。在既有隧道内, 现浇混凝土, 模板设计及施工成了该套衬是否成功的关键。根据多方论证和计算, 我们采用悬吊法支立模板浇筑混凝土的方案进行。

【作者简介】饶应贵(1984-), 男, 中国四川内江人, 本科, 工程师, 从事桥梁与隧道工程研究。

3 悬吊支撑系统设计与施工工艺

3.1 模板及连接杆设计与标准

模板采用定型组合钢模板厂家定制, 规格为 50(宽)cm × 150(长)cm, 面板采用厚度为 3mm 的钢板, 背棱设 35cm 间距角钢支撑, 单块模板重量 45kg。每块钢模板上设置螺栓孔, 利用既有二衬砣, 植入 M20 化学锚栓, 植入原衬砌深度大于 20cm, 且不能刺破防水板, 外露锚栓加工成丝杆形式, 穿过模板螺栓孔后用螺母进行固定, 每块模板间采用 M16 螺栓连接^[1]。

螺栓强度控制标准依据 GB50017—2017《钢结构设计标准》, 螺栓内力控制标准, 本次计算 M20 螺栓拉力控制标准选取 50kN。本次计算 M20 螺栓剪力控制标准选取 28.5kN。依据中国相关技术规范、工程标准等给出的套衬钢板强度控制标准值, 本次计算选用钢板设计强度抗压强度为 200MPa。根据 GB50204—1992《混凝土结构工程施工及验收规范》第 2.2.4 条及本隧道跨度最小约 14m, 套衬钢板变形控制标准为模板构件计算跨度的 1/400, 计算值为 35mm。

3.2 模板受力分析

3.2.1 计算假定

①模型采用荷载—结构模型进行计算, 将二衬结构考虑为稳定结构, 忽略二衬对模板的影响;

②套衬模板浇筑砼施工期间不考虑地震作用，灌注混凝土荷载，模板重力和列车空气动力学效应叠加作用下的每块模板按 3 根 M20 化学螺栓进行受力和变形检算；

③由于列车产生的轨道振动力传至墙脚很小，故可忽略不计；

④ M20 螺栓采用 beam 单元进行模拟，模板采用 shell 结构单元，螺栓与混凝土接触位置的位移边界考虑为固端。

3.2.2 荷载计算过程简述及结论

计算过程中考虑：模板重力公式（1）：

$$M = \rho V g \quad (1)$$

其中， M 为模板重力； ρ 为模板材料密度； V 为模板体积； g 为重力加速度；采用理论自重。

灌注砼竖向荷载公式（2）：

$$P_v = \gamma_{c40} h \quad (2)$$

其中， P_v 为灌注混凝土竖向压力； γ_{c40} 为灌注混凝土 C40 重度，依据 GB50010—2010《混凝土结构设计规范》取值 24kN/m^3 ； h 为套衬厚度，只考虑俯视范围。

灌注砼水平荷载公式（3）：

$$F = 0.2 \gamma_{t0} \beta_1 \beta_2 V^2 \quad (3)$$

$$F = \gamma H$$

注：取二式中小值。

其中， F 为新浇筑混凝土对模板的最大侧压力（ kN/m^2 ）； γ_c 为混凝土的重力密度（ kN/m^3 ）； t_0 为新浇筑混凝土的初凝时间（h），本次取 3h； V 为混凝土的浇筑速度（m/h），本次取 5m/h ； H 为混凝土侧压力计算位置处至新浇筑混凝土顶面的总高度（m）； β_1 为外加剂影响修正系数，不掺外加剂时取 1.0，掺具有缓凝作用的外加剂时取 1.2，本次计算取值 1.0； β_2 为混凝土坍落度影响修正系数，当坍落度小于 30mm 时，取 0.85，50~90mm 时，取 1.0，110~150mm 时，取 1.15，本次计算取值 1.15。考虑倾倒砼产生的水平荷载，计算取 4KN/m^2 ；由于是自密实砼，不考虑振捣产生的水平荷载^[2]。

列车空气动力学效应公式：

$$\Delta P = kv^2 \beta^N$$

其中， ΔP 为车体表面压力变化幅值； k 为条件系数，与车头外形、隧道长度等有关； β 为阻塞比； v 为列车运行速度； N 为车体表面压力变化幅值对应的阻塞比幂指数系数，根据压力变化幅值与阻塞比的关系可知， N 约等于 1。

4 施工方法及顺序

利用既有二衬面打设的锚栓悬吊模板，实现砼现浇施工。锚栓环向间距和纵向间距均为 0.5m 设置，锚栓植入二衬深度大于 20 公分，每根锚栓抗拔力大于 30KN（逐根做抗拔力试验）。模板宜提前洞外试拼和打磨后，由人工将模板逐块搬运至作业架上，利用火车轨道推行至安装地点进行安装，拱顶模板采用定滑轮运至拱顶安装。安装时，应将模板插入预留的锚栓孔位置后，拧紧锚栓螺母和模板间螺母。模板安装时从两侧拱脚开始，对称均匀安装，推荐一次性安装成环，

也可先安装满足首次浇筑砼高度模板，模板安装加固完成后，应报检，合格后方可浇筑砼。

5 主要技术措施

为保证施工及运营安全，拱部衬砌 120 度范围模板加固，采用 6 根 I14 工字钢 +M20 化学锚栓（每根抗拔力 $\geq 30\text{KN}$ ）综合受力。I14 工字钢设置 6 根，向均布设置，工字钢锚垫板处设置 4 根化学锚栓，锚入既有衬砌不少于 40cm。M20 化学螺栓环、纵向间距均为 0.5m，锚入既有衬砌不少于 20cm。套衬模板，采用 $\Phi 10$ 钢管在模板背面设置背肋，所有加固采用焊接或栓接，化学锚栓、格栅拱架、模板及工字钢需成为一个受力整体。根据施工需要，在拱顶位置设置进浆孔，出气孔和观察孔。混凝土浇筑分 3 次进行，第一次浇筑高度应小于 4m，依据受力计算，如果浇筑高度大于 4m，边墙底的每根化学锚栓承受重量超过安全系数，随时可能存在爆模风险；第二次浇筑高度为第一次浇筑位置到拱墙 120 度范围边缘；第三次浇筑为拱部 120 度范围。在浇筑第三次浇筑时，可用钢管加顶托将工字钢顶住，增加稳定性。浇筑过程中派专人察看模板情况，发现模板变形或漏浆时，应暂停浇筑，及时采取有效措施加固或封堵^[3]。

6 主要经济技术效果

6.1 降低工程成本

由于取消了常规支模，下部大量支撑系统，使支撑系统大大简化。支模施工不受通车运营影响，满足既有铁路施工要求。各种构配件、模板、支撑杆件、连接杆必须回收，运出洞外，大大减少了模板损耗，降低了工程成本。

6.2 提高工效

采用悬吊法支立模板，省去了现场搭设作业架，作业架在洞外搭设后，推行至施工地点，大大节约了搭设架子时间；每块模板重量只有 45kg，人工即可搬运，提高了架子工，模板工的工效。

6.3 缩短工期

由于模板在洞外提前试拼且设置了锚栓孔，模板运至现场即可安装，大大节约了，模板调整时间，缩短了工期。

6.4 保证工程质量

模板采用定型钢模板，模板拼装，采用丝杆和螺母形式固定，操作简便，易调整和拆卸，保证了工程外观质量。

参考文献

- [1] 侯前亮,牛俊,王金增,等.“补片悬吊法”与“悬吊法”在原发性三叉神经痛微血管减压中的应用[J].中国临床神经外科杂志,2021,26(6):455-457.
- [2] 鲍峰,吴宗阳,袁云锋.右后纵隔胸膜悬吊法清扫第7组淋巴结的临床应用[J].中国临床解剖学杂志,2021,39(2):211-215.
- [3] 师兵兵,钟秋,赵翰霖.采用悬吊方式对抽柱后结构进行加固法的理论研究[J].四川建材,2021,47(2):59-60.