

# 铁路隧道预制装配式拱形明洞结构设计

裴昌进

(中铁二院重庆勘察设计研究院有限责任公司, 重庆 400023)

**摘要:**当前铁路隧道和拱形明穿洞施工大多还采用机械现浇桩施工, 施工资金投入比例大、工作安全效率低, 施工组织设计安排工作繁杂且沥青混凝土基础养护需要时间较长。以铁道部某地动车工程运用设计院的试产车线地面拱形隧道明洞结构为例, 从拱形墙结构、轨面下结构、隧底仰拱结构、防水抗震设计方法及工程耐久性试验设计原则等多个方面, 系统介绍工程结构方法简单、拆装试验方便、结构稳定性能力强的新型铁路隧道地面预制装配式拱形明洞结构, 以期为今后铁路类似项目工程耐久性设计试验提供参考。

**关键词:**铁路隧道; 预制结构; 装配式结构; 拱形明洞

**中图分类号:** U455.4 **文献标志码:** A



近年来, 许多地方的铁路枢纽工程建设尤其是沿海城市铁路隧道工程均有突飞猛进的发展。截至2019年年底, 投入生产和安装运营的各种专用铁路隧道可达16084座, 总施工长度达18041 km。为解决地下现浇道路施工技术中存在困难的新问题, 参照盾构隧道的预制结构施工设计施工方法, 本文以铁路某地动车运用设计院的试产车线地面隧道拱形明洞结构设计工程为例, 介绍新型预制及装配式地下铁路隧道地面拱形明洞结构设计的施工方法, 为今后研究类似铁路技术工程的设计实践提供借鉴<sup>[1]</sup>。

## 1 工程简介

### 1.1 工程概况

某地现有动车所环线的试测停车线主要指建于某地既有动车所环线之间和设在该地既有所的环线之间。试产车线主要产品可以直接用于铁路重载高速旅客列车技术综合装置性能的检测分析, 以及铁路列车转向架等辅助轨道性能检测和系统设备型号规格的型式标定、铁路机车牵引和移动轨道装备技术系统综合设备系统的试验及检测分析与高速铁路重载快速铁路技术系统型式试验。

试车段I号线的设计总长度约为正线全长4.150 km, 按照现行国际重载干线铁路的标准要求进行设计。技术参数在试车段I号线地面线路段落范围内专门设置全长各约50 m的拱形地面隧道明洞结构施工, 用以现场测试及模拟地下隧道工况, 其中段长各

80 m段均为预制装配式拱形隧道结构试验段, 采用预制装配式拱形明洞结构的特殊施工工艺<sup>[2]</sup>。

### 1.2 隧道建筑限界及内轮廓

建筑限界根据《标准轨距铁路限界 第2部分: 建筑限界》(GB 146.2—2020)中规定的“隧限-A”标准, 综合运用隧道建筑限界规定标准和隧道检查时车辆通行的隧道安全与通行规定标准及标定方法的规定要求, 隧道衬砌件的隧道内轮廓采用《时速350公里客运专线铁路双线隧道复合式衬砌》(通隧〔2018〕0301)标准设计隧道的内轮廓, 轨面线以上最大净空面积要达到约60 m<sup>2</sup>。

### 1.3 地质概况

#### 1.3.1 工程地质

该地原为哈尔滨动车机务运用工程所试造车线隧道施工作业场地(简称场地), 勘测深度范围内地层类型为第四系全新统冲洪堆积层类型(Q41), 主要为黏土、粉质黏土、粉土、粉砂, 第四系地层上的类型为更新统冲洪积层类型为(Q31), 主要为黏土、粉质黏土、粉土、粉砂、细泥砂、中灰砂, 表层主要为第四系人工堆积层(Q)素填土、杂填土。土壤标准冻结土层深度下限应小于0.8 m。

#### 1.3.2 水文地质

场地保护区内地下水沉积的主要地质类型为第四系孔隙潜水, 含沉水层土壤类型主要层类特征为第四系细石粉岩土、砂类土。勘测预报工作干旱期间实测

地下水位的平均总埋深范围为4.50~5.30 m。主要降水量多由地面大气和降水及径流共同补给,水位高程随每年干旱季节降水量而发生变化,幅度高达3~5 m。

场地范围区域内地下水长期稳定在中性低氯盐的环境状态下,同时在经常遇雨有明显干湿季节变化交替的气候作用条件下对地下铁路混凝土结构具有盐性化学侵蚀,环境作用等级划分为L1级。在盐类化学腐蚀沉淀性侵蚀破坏的环境条件下具硫酸盐化学的侵蚀,环境作用等级划分为H1。在具有盐类结晶沉淀的破坏的环境条件作用下具有盐类结晶的沉淀被破坏,环境作用等级依次升为Y2<sup>[3]</sup>。

### 1.3.3 不良地质

场地位于平原地区,为区域地面沉降发育区。2012—2014年年沉降量为80~110 mm,2015年沉降量为80~100 mm,2016年沉降量为90~110 mm,2017年沉降量为80~100 mm,2018年沉降量为50~70 mm。地面沉降尤其是不均匀沉降对隧道结构的影响较大。

## 2 预制构件分块设计

在有效提高拱形铁路隧道明洞稳固性、保证拱形铁路隧道明洞有良好地基支撑性能力的前提下,为提高施工使用效率、便于设备安装施工和工程后期管理维护和保养,对拱形明洞结构型式进行预制分块结构设计,具体内容包括预制装配式拱外墙结构、预制装配式轨柱下结构、预制装配式隧底仰拱结构等<sup>[4]</sup>。

各预制构件分别在同一高精度钢模板内先预制后成型,再统一由运送人员送至吊装现场进行加工组装。同时应考虑对预制装配式结构拱形明洞的基底表面进行硬化处理,确保有效满足各种预制装配式结构建筑对建筑基底平整性能的要求。

### 2.1 预制装配式拱墙结构设计

(1) 拱顶墙块对应平行地分别设于明洞基底顶面的洞口上下与两侧,且在其最下端两侧均未与明洞口基底之间有明显固定的结构或连接构件的地方。各邻接块的两端可分别或对应独立分设于每个拱墙块最末上端,且以其中任何一端分别与各个独立拱墙块之间彼此固定连接或相对连接。各拱封顶块可以将两端分别与各个独立邻接块进行固定分隔与相互连接,形成相对封闭的拱形结构。

(2) 应先在各类预制件及各类装配式钢管混凝土拱顶护墙结构环缝面间及各纵缝件的接触面之间设置榫槽,用以分别加强对不同规格结构分块件之间必要部位的紧固连接<sup>[5]</sup>。

(3) 预制混凝土拱形墙结构采用通心缝拼装的模式,衬砌混凝土厚度达300 mm,环宽2000 mm。

### 2.2 预制装配式轨下结构设计

预制装配式轨道下结构通常被设置在隧底仰拱结构的上方,在固定在与两个仰拱墙块之间的连接上的且彼此相互垂直呈镜像型的布置连接两个F形的预制块,以及另一个是固定连接在F形预制块之间布置的门形预制块组成。在F形预制块间与门形预制块间及其相邻块的纵缝间分别采用4根M4的直拉式螺栓进行螺栓连接,相邻块的预制块环缝之间可适当考虑多加一根M4螺栓。

### 2.3 预制装配式隧底仰拱连接结构设计

(1) 预制拱块装配式隧底仰拱结构,一般布置在隧道基底上部。在固定地与相邻两个F形预制拱块之间互相连接固定,且分别相互平行呈镜像型排列布置,连接相邻两个边仰拱块以及与在固定地互相连接,且布置于在相邻两个边仰拱块之间,相互连接相邻的两个中仰拱块组成<sup>[6]</sup>。

(2) 隧底仰拱结构可采用通孔缝的拼装结构型式。

### 2.4 连接螺栓设计

(1) 螺栓产品等级为B级,机械性能等级为8.8级,预埋钢螺栓套管采用Q345钢材,螺纹采用粗螺纹,垫圈硬度最低为300 HV。

(2) 为保证螺栓连接的可靠性与安全性,螺栓拉拔强度指标需满足最小拉力荷载 $\geq 466$  kN,螺栓套管拉拔强度指标需满足荷载 $\geq 516$  kN,保证应力 $\geq 920$  N/mm<sup>2</sup>。

### 2.5 其余部分设计

(1) 施工单位进行预制方块墙的拼装时,应在施工设计准备实施过程中,尽可能优先安排工人进行底部仰拱墙结构设计施工准备和轨距下部结构的施工拼装,待实现下部结构全部的拼装或设计并完成基础施工任务后,方可允许开始进行上部仰拱式方块墙结构上部基础拼装施工<sup>[7]</sup>。

(2) 当隧底仰拱及其上部主体结构全部拼装或制作施工完成后,可利用原隧底下部及仰拱与中部主体结构基础中已预埋桩料的灌浆桩料孔,人工对原隧底部结构间隙的灌浆密实进行填充及回填,灌浆的材料一般为M10水泥砂浆。开展灌浆施工时,需保证作业面与拼装区位置至少保持5个环线及以上的直线距离,并要在确保与相邻灌浆施工区

的孔接缝冒浆处理完毕的前提下,将后方作业完全停止<sup>[8]</sup>。

(3)可先在桥隧底板仰拱墙结构、拱面墙结构等构件的预制结构与预制装配式构件处预留预纵向和预纵向拉紧连接的焊接连系接条,待证其连续成批地拼装焊接完5环及以上焊缝后,利用已经预纵向留接好焊接的钢筋张拉孔进行钢筋预纵向预拉紧,确保提高其在预制结构过程和构件拼装生产过程时钢筋焊接工艺精度水平的安全与质量。

### 3 防水设计及耐久性设计

#### 3.1 防水设计

(1)因预制拱形结构一般位于平面室内的地面,防水荷载能力等级一般宜降为二级,并考虑在局部采用防水型钢筋混凝土,抗渗性能等级要求不宜小于P8。尽可能采用混凝土结构外侧墙的屋面防水层材料。

(2)预制橡胶密封板结构图中的纵缝部分及环缝部位等均需采用复合弹性橡胶密封垫+高密度遇水橡胶膨胀止水条等进行防水,弹性橡胶密封垫宜采用以进口EPDM(Ethylene Propylene Diene Monomer,三元乙丙)胶芯为主、以进口高密度遇水橡胶及膨胀止水橡胶条为辅配合的复合弹性聚氨酯复合密封垫。

#### 3.2 耐久性设计

(1)隧道结构部件及隧道不可随意更换结构部件的设计,允许使用的年限级别均为第1级,设计允许使用最高年限为100年。

(2)参照行业标准《铁路混凝土结构耐久性设计规范》(TB 10005—2010)和现行标准中相关参数规定,降低钢筋混凝土碳化速率、提高钢筋结构耐久性,预制构件应采用优质C40钢筋混凝土<sup>[9]</sup>。

(3)为切实保证工程结构整体安全性和增强钢筋整体抗流水侵蚀变形能力,预制主构件设计混凝土最大纵向裂缝宽度设计允许偏差值原则上不超过0.3 mm,同时纵向不得有明显贯穿型裂缝,主筋净保护层厚度宜等于40 mm。

(4)各预制建筑主体构件连接内外侧的紧固连接螺栓件必须采用塑料封闭保护密封罩子密封进行封闭固定及密封保护,螺栓件及其与建筑物其他部位预制混凝土框架结构主体部位之间应预留充分的密封保护空隙,利用水泥砂浆进行密封保护填充均匀及密实。对所有金属连接件材料的要求,只需先进行纳米复合粉末渗锌层防腐镀锌的技术处

理,要求防腐镀锌层厚度最好不小于50 μm,同时需注意避免表面发生机械性磨损,确保更有效防止锈蚀。

### 4 结束语

本文系统介绍铁路隧道中预制装配式拱形明洞结构及其设计,在尽量满足设计规范要求的总前提下,选择经济合理、先进的分块式设计方式与组合结构形式,并系统地从拱墙结构、轨下结构、隧底仰拱连接结构、防水耐久性设计方法及结构耐久性试验设计要求等方面,系统阐述各种拱形明洞设计的常用预制装配式结构和设计方法。设计方案及预制的结构质量完全可控、施工方法快捷、操作便利安全且绿色环保,可迅速实现明洞设计的安全快速规范施工,对设计同类工程项目具有一定的设计参考价值。

#### 参考文献

- [1] 田四明,巩江峰.截至2019年底中国铁路隧道情况统计[J].隧道建设(中英文),2020,40(2):1-6.
- [2] 刘彬斌,李旭升,胡苏.成都市一环磨子桥隧道工程工业化预制拼装设计[J].城市道桥与防洪,2019(2):212-215,.
- [3] 张宇宁,岳岭,刘方,等.大直径盾构隧道全预制结构拼装技术实践[J].铁道标准设计,2020,64(1):147-152.
- [4] 顾铮嵘.盾构法隧道双层结构预制立柱拼装机设计与分析[J].上海建设科技,2020(2):32-35.
- [5] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.标准轨距铁路限界第2部分:建筑限界:GB 146.2—2020[S].北京:中国标准出版社,2020.
- [6] 马伟斌,王志伟,张胜龙,等.一种预制装配式铁路明洞及其施工方法:CN110344442A[P].2019-10-18.
- [7] 张胜龙,刘艳青,马伟斌,等.基于结构受力模式主动调整的高速铁路单线隧道预制拼装衬砌设计选型研究[J].铁道建筑,2020,60(5):59-62.
- [8] 马伟斌,马超锋,柴金飞,等.一种具有预应力外筋的预制装配式明洞结构:CN210768795U[P].2020-06-16.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部.混凝土结构耐久性设计规范:GB/T 50476—2019[S].北京:中国建筑工业出版社,2019.