

跨座式旅游观光单轨同侧曲线道岔设计

仵叔强

(中铁宝桥集团有限公司, 721006, 宝鸡)

摘要 [目的] 某景区的旅游轨道项目为单线线路, 为了提高游客的输送效率, 需在既有曲线线路中对称布置两组单开曲线道岔, 因此需要设计一种同侧曲线道岔, 以解决实际工程问题。[方法] 首先对道岔设计需求进行了研究, 确定了同侧曲线道岔的基本线形; 考虑道岔动作时间、支承形式及景观设计要求等因素, 比选各道岔类型; 提出线形设计原则及要点, 并对动能损失、未被平衡的离心加速度、未被平衡的离心加速度增量等道岔设计参数进行评估分析; 考虑既有线路的线形和道岔的安装空间、安装方式等因素进行线形设计和方案设计, 以满足道岔的性能指标要求和特殊设计需求; 根据列车荷载等因素对道岔的主要构件进行有限元分析。[结果及结论] 推荐的道岔类型为单回转换梁型同侧曲线道岔, 其具有结构简单可靠、技术经济性高等优点, 能够满足道岔布置时的特殊需求。

关键词 跨座式单轨; 同侧曲线道岔; 道岔方案设计

中图分类号 U232

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2024.07.049

Turnout Design of Same-side Curved Track for Straddle Tourism Monorail

WU Shuqiang

(China Railway Baoji Bridge Group Co., Ltd., 721006, Baoji, China)

Abstract [Objective] The tourism rail project at a scenic area is a single-line route. To enhance tourists transportation efficiency, it is required to arrange two sets of single-opening curved track turnout symmetrically within the existing curved sections. Therefore, it is necessary to design a turnout for same-side curved track to solve this practical engineering problem. [Method] Initially, the design requirements for the turnout are investigated, and the basic alignment of the same-side curved track turnout is determined. Various turnout types are compared, considering factors such as turnout action time, support form, and landscape design requirements. Design principles and key points of alignment are proposed, and parameters such as kinetic energy loss, unbalanced centrifugal acceleration, and unbalanced centrifugal acceleration increment are evaluated. The alignment and scheme designs are completed by considering factors like the alignment of the existing line, the

installation space and method of turnout to meet the requirements of performance indicators and specific design needs of the turnout. Finite element analysis is conducted on the main components of the turnout based on factors including train load. [Result & Conclusion] The recommended turnout type is a single-crossing replacement beam type same-side curved turnout, which offers advantages such as simple and reliable structure, and high technical-economic efficiency, meeting the special requirements for turnout arrangement.

Key words straddle monorail; same-side curved turnout; design of turnout arrangement

1 道岔设计概述

最常见的普通单开道岔形式为, 道岔主线为直线, 其侧线向左或向右的分支为曲线。单开曲线道岔是指岔前线路向单侧或两侧的分支为两条曲线的道岔, 其按平面形式可分为同侧曲线道岔和对称曲线道岔。目前, 我国还没有曲线道岔的设计规范, 且在跨座式单轨交通、旅游轨道交通等新型轨道交通系统中, 曲线道岔尚无任何应用。因此, 对曲线道岔线形设计及其总体方案的研究具有现实意义。

某景区的旅游轨道项目采用跨座式旅游观光单轨制式, 服务于旅游景区, 起到连接景区与其他公共交通的作用, 能够为游客提供短途接驳及旅游观光体验。列车采用橡胶车轮跨行于梁轨合一的轨道梁上。除走行轮外, 在转向架两侧设置导向轮和稳定轮, 夹行于轨道梁的两侧, 以保证列车能够安全平稳行驶。该旅游轨道项目属于大型游乐设施, 其设计和施工均按照 GB 8408—2018《大型游乐设施安全规范》的审批、建设流程实施。该项目为单线线路, 全长约为 7 km, 为了提高游客的输送效率, 在线路中段设置一条避让线, 采取两列车在线路两端对开运行。

避让线布置示意图如图 1 所示。避让线由两组单开道岔和一条新建停车避让线路构成。避让线

路通过一组右开道岔从既有正线线路引出,用于列车的停车避让,再通过一组左开道岔使列车从避让线路驶入既有正线线路。根据线路平曲线设计,两组单开道岔从既有正线线路引出位置均为曲线段,为了实现道岔的转辙功能,与新建避让线路连接的道岔梁也应为曲线梁,因此需要“量体裁衣”非标设计的单开道岔为同侧曲线道岔。本文以左开道岔为例进行同侧曲线道岔设计,同侧曲线道岔基本线形示意图如图 2 所示。

2 道岔类型比选

跨座式单轨交通道岔可分为关节型、关节可挠型、平移型、枢轴型和替换梁型五大类^[1]。其中,替换梁型道岔又分为单回转和双回转替换梁型道岔两种。在选用跨座式单轨道岔时,应充分考虑各类道岔的技术特点和使用条件,同时还需考虑其经济性。

由于本项目是具有轻量化特点的跨座式旅游观光单轨线路,根据同侧曲线道岔基本线形和所设置的具体位置,充分考虑道岔动作时间、支承形式及景观设计要求等因素,进行道岔类型比选。不同道岔类型优缺点对比如表 1 所示。由表 1 可知,单回转替换梁型为推荐道岔类型。

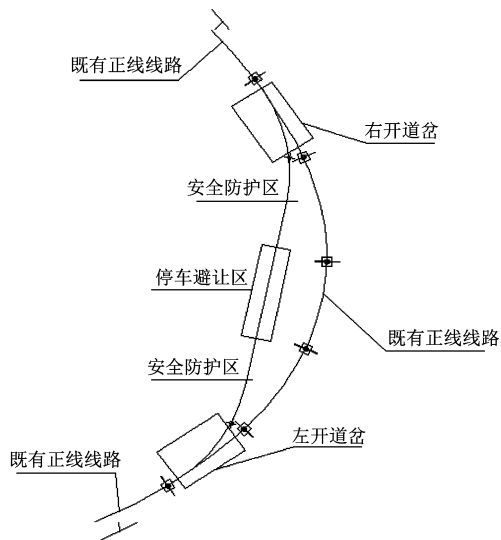


图 1 避让线布置示意图

Fig. 1 Diagram of avoidance track arrangement

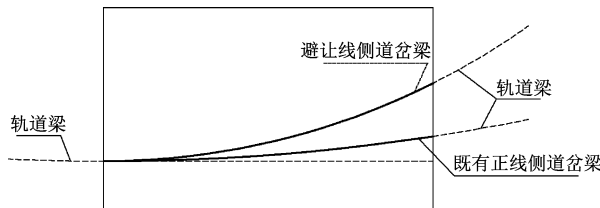


图 2 同侧曲线道岔基本线形示意图

Fig. 2 Basic line diagram of same-side curved track turnouts

表 1 不同道岔类型优缺点对比

Tab. 1 Comparison of merits and shortcomings among different turnout types

序号	类 型	优 点	缺 点
1	关节型	技术成熟	结构较复杂,设计难度较大,设置道岔桥景观效果差
2	关节可挠型	过岔速度快	挠曲机构设计难度大,安装空间受限
3	平移型	结构简单、过岔速度快	动作时间较长,占地面积大,转辙精度低
4	枢轴型	结构简单	与既有轨道梁接口不平顺
5	单回转替换梁型	结构较简单、过岔速度快	无
6	双回转替换梁型	结构较简单、过岔速度快	与轨道梁接口间隙较大

3 道岔方案设计

3.1 工作原理

单回转替换梁型道岔采用电力驱动,两根道岔梁整体绕一个固定点旋转,并与两端轨道梁对位形成岔道,完成道岔转辙。道岔的工作原理示意图如图 3 所示。图中, R 为曲线半径。

3.2 线形设计

3.2.1 设计原则及要点

设计原则及要点有:①线形设计根据既有线路

的线形、安装空间等进行“量身定制”,采用同侧曲线道岔形式;②道岔最小曲线长度须满足该项目线路最小曲线长度设计要求,这与关节型道岔等确定最小曲线长度的方法不同;③道岔线形设计须在结构及构造原理上是可实现的,须满足列车限界和通行要求,且应能保证列车过岔的平稳性、安全性和可靠性;④为了有利于道岔的整体受力性能,回转定心装置应尽可能设置在固定端台车的中间部位。

3.2.2 基本参数

基本参数有:①曲线类型——由于列车运行速

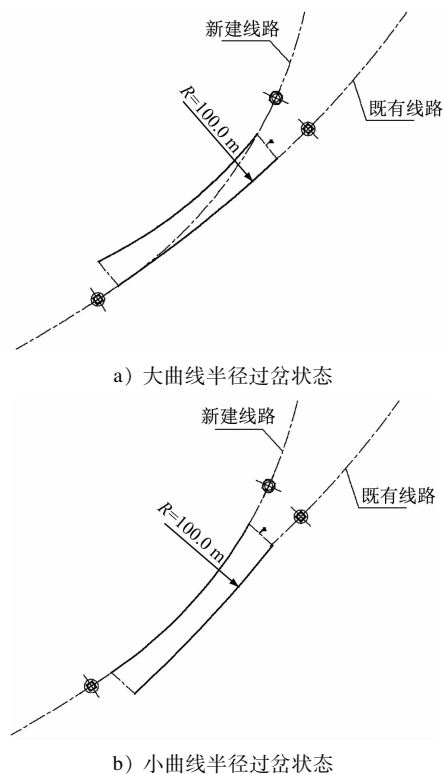


图3 道岔工作原理示意图

Fig.3 Diagram of turnout working principle

度较低,为了降低道岔梁的制造难度,采用纯圆曲线作为道岔的基本线形;②曲线半径——根据避让线的线路设计,道岔小曲线半径取为 33.5 m,道岔大曲线半径取为原既有线路轨道梁的曲线半径 100.0 m;③两根曲线最小间距——根据列车限界和曲线道岔梁轮廓计算可得,两根曲线的最小间距为 1 800 mm,能够保证列车安全通行;④道岔曲线长度——道岔曲线长度可根据道岔所处的两个立柱间距确定,且需满足道岔锁定装置、检修空间等构造的设计要求。

3.2.3 设计参数评估分析

由于 GB 8408—2018《大型游乐设施安全规范》中并没有舒适度等参数的相关要求,为了提高列车过岔的安全性和舒适性,参考 T/CAMET 04001—2018《轻型跨座式单轨交通设计导则》对道岔设计参数进行评估分析。在道岔设计中,制约侧向过岔速度、行车安全性及乘客舒适度的设计参数为:动能损失 ω 、未被平衡的离心加速度 a 、未被平衡的离心加速度增量 ψ ^[2]。根据 T/CAMET 04001—2018《轻型跨座式单轨交通设计导则》中的规定,道岔设计参数允许值分别为: $\omega_0 = 0.65 \text{ km}^2/\text{h}^2$; $a_0 = 0.65 \text{ m/s}^2$; $\psi_0 = 0.5 \text{ m/s}^3$ 。

动能损失 ω 可以表示为:

$$\omega = v^2 \sin \beta^2 \quad (1)$$

式中:

v ——列车过岔速度;

β ——列车进入道岔时的尖轨冲击角。

已知道岔小半径曲线与既有线路相切,即列车在进入道岔时的尖轨冲击角为 0° ,因此动能损失满足允许值要求。

未被平衡的离心加速度 a 可以表示为:

$$a = v^2/R \quad (2)$$

由式(2)可知, $a = 0.52 \text{ m/s}^2$, 小于允许值要求,即满足舒适度要求。

未被平衡的离心加速度增量 ψ 可以表示为:

$$\psi = v^3/(RL) \quad (3)$$

式中:

L ——列车全轴距,此处取为 7 m。

由式(3)可知, $\psi = 0.31 \text{ m/s}^3$, 小于允许值要求。

3.2.4 线形设计

根据设计要点和线形基本参数可获得道岔线形示意图,如图 4 所示。其中:Z08-12 和 Z08-13 立柱之间原设置一跨轨道梁,现设置一组左开道岔;XJ-05、XJ-06 为新建线路的立柱桩点;A 点—E 点为大曲线半径道岔梁与既有线路连通状态线形控制点;A'点—E'点为小曲线半径道岔梁与新建线路连通状态线形控制点;弧线 AD、BC 分别为大、小曲线半径道岔梁中心线,且 A 点、B 点分别为大、小曲线半径道岔梁在道岔活动端的端点;直线 CD 为固定端台车中心线,且 C 点、D 点分别为固定端台车中心线与两根道岔梁中心线的交点;E 点为 A 点与 B 点的中点;F 点为道岔的回转定心圆点。

考虑 Z08-12 立柱的构造和道岔的安装空间,将距离 Z08-12 立柱桩点沿原线路曲线 1.8 m 位置(即 A 点)设计为新建避让线路与既有线路的起点,同时 A 点也是新建避让线路与既有线路的切点。

由单回转替换梁型道岔工作原理可知,该道岔是由两根道岔梁绕回转定心圆点旋转的方式实现转辙的。已知 Z08-12 和 Z08-13 的立柱间距为 20 m,为了简化道岔线形设计,取两根曲线道岔梁与固定端台车的交点至活动端道岔梁端头的曲线弦长 15 m 进行设计,即用线段 AD、BC 分别代表两根道岔梁。由于两根道岔梁的弧长大于弦长,且远大于列车的全轴距 7 m,故道岔梁长度完全满足道岔最小曲线长度的设计要求。

当道岔转辙至小曲线半径道岔梁与新建避让线路连通的状态时,B 点旋转至 A 点,与其重合(见图 4 a))。由平面几何关系可知:道岔的回转定心圆点 F 即为道岔转辙前、后状态两个道岔梁活动端

端点连线(即线段 AB、线段 A'B')的垂直平分线 EF、E'F 的交点(见图 4 b))。通过适当调整两根道岔梁中心线的相对位置,尽可能将回转点 F 设置在固定端台车中间部位。

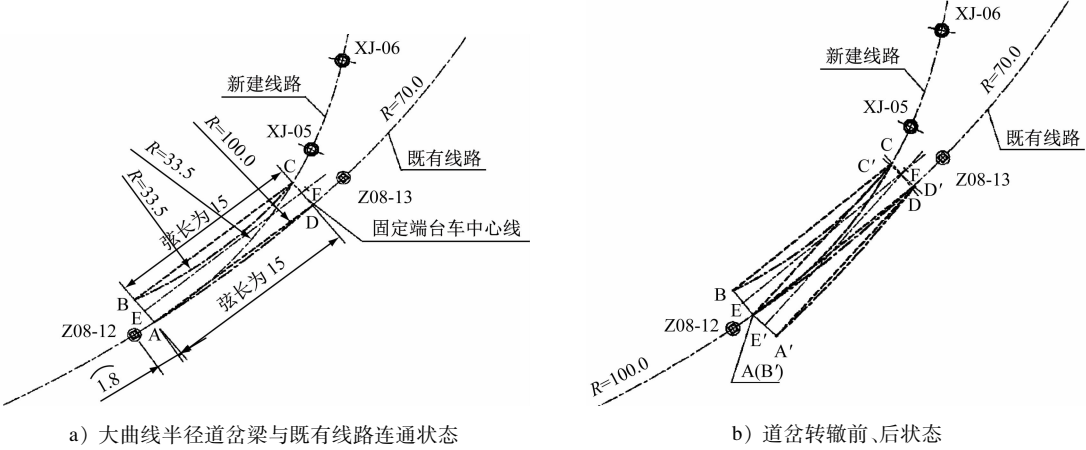


图 4 道岔线形示意图

Fig.4 Diagram of turnout line types

3.3 总体方案

道岔主要由道岔梁、台车、回转定心装置、锁定装置、驱动装置、基础底板、控制系统等组成^[3],其结构组成示意图如图 5 所示。当道岔接收到信号后,电动推杆拉动锁销实现道岔梁解锁;解锁后减速电动机驱动活动端台车滚动,并带动道岔梁绕回转点旋转一定的角度;转辙到位后,驱动电动机停止,电动推杆推动锁销实现锁定,列车从道岔梁上安全通过。

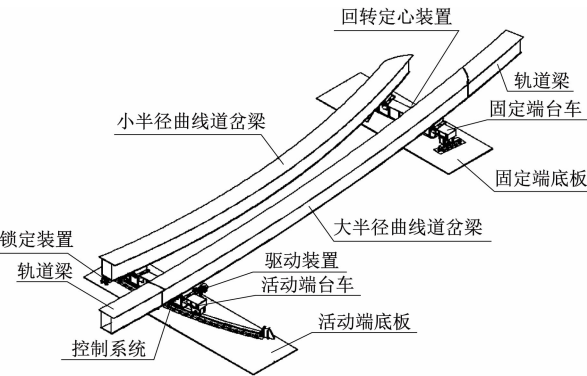


图 5 道岔结构组成示意图

Fig.5 Diagram of turnout structural composition

3.4 主要技术参数

道岔主要技术参数如表 2 所示。

表 2 道岔主要技术参数

Tab.2 Turnout main technical parameters	
技术参数	取值或说明
道岔全长/m	17
允许过岔速度/(km/h)	15(小半径曲线道岔梁);不限速(大半径曲线道岔梁)
驱动方式	电动机驱动齿轮齿条传动
锁定方式	电动推杆驱动锁销实现锁定
电源	交流 380 V
控制系统	道岔转换动作和监测采用 PLC(可编程逻辑控制器)控制,表示信号及接口电路采用继电器逻辑联锁电路
道岔转换时间/s	≤15

3.5 主要部件方案设计

道岔梁由两根半径不同的曲线梁构成,采用箱形焊接结构。每组道岔采用一台安装在基础底板上的减速电动机驱动,经齿轮齿条传动驱动道岔梁实现转辙。道岔梁驱动到位后,采用电动推杆驱动锁销,实现道岔的锁闭和解锁。锁定装置设有位置检测装置,并与控制信号联锁,传递和显示闭锁状态位置信息。台车除支撑两根道岔梁外,还分别安装了驱动齿条和回转定心装置。回转定心装置是道岔的固定点和回转中心,可抵抗列车过岔时产生的纵向力及横向力。基础底板由活动端底板和固定端底板两部分组成,分别安装台车走行轨、驱动

电动机安装座、台车安全端挡等。

控制系统通过控制道岔各机构的动作,使道岔梁可以转辙到所需位置,并即时检测道岔位置和各部件的状态,保障列车安全通过。

4 主要构件有限元计算分析

4.1 荷载取值及组合

4.1.1 计算荷载

根据设计规范中的荷载分类,作用在道岔结构

上的荷载可以分为三类:主力、附加力、特殊荷载。其中:列车竖向静活载取值及分布示意图如图 6 所示,其取值由车辆专业提供,是道岔设计的输入条件;其余荷载按相关标准取值。

4.1.2 荷载组合

计算时,考虑结构上可能同时出现的荷载作用,取最不利荷载组合进行设计。不同工况下的荷载组合方式如表 3 所示。其中: k_1 为冲击系数; k_2 为振动系数。

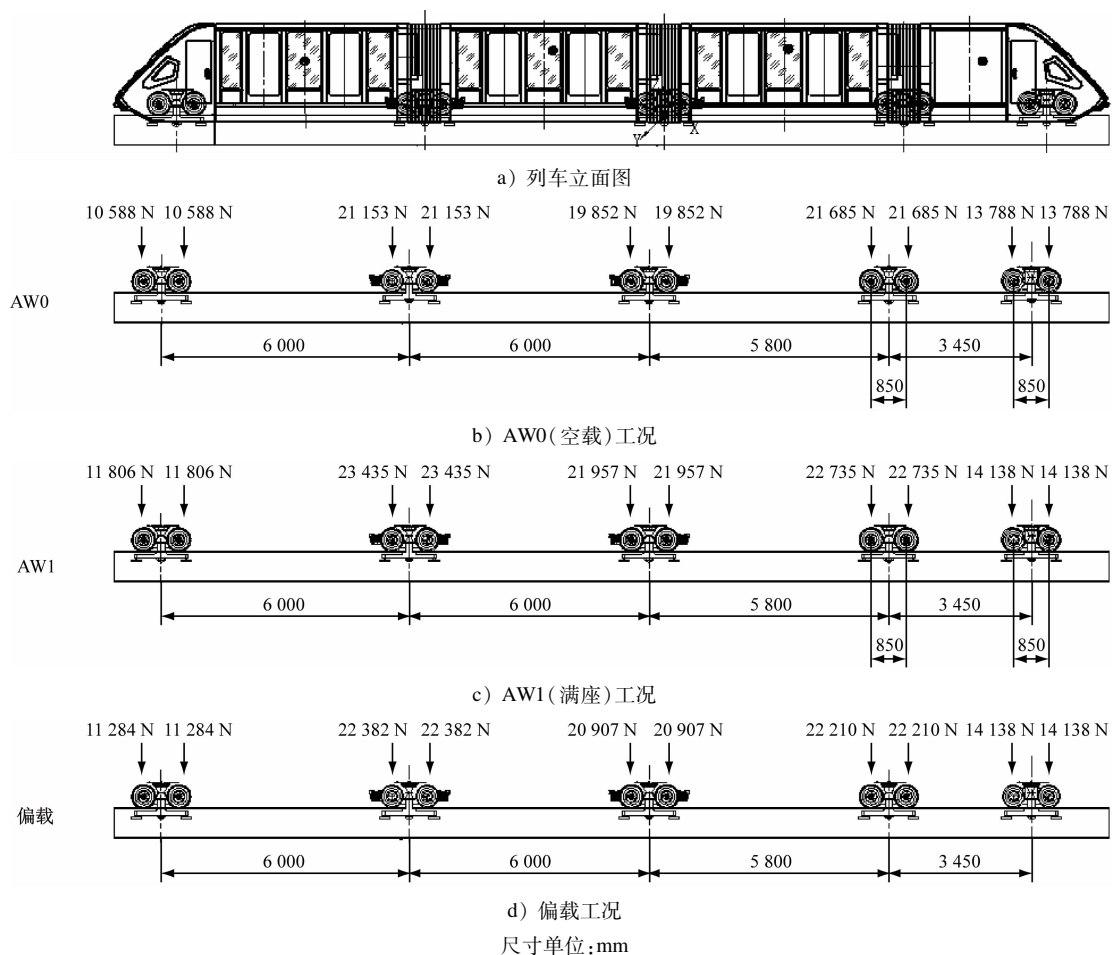


图 6 列车竖向静活载取值及分布示意图

Fig. 6 Diagram of train vertical static load values and their distribution

表 3 不同工况下的荷载组合方式

Tab.3 Load combinations under different working conditions

序号	工况	组合方式
1	正常运行工况	永久荷载 + $k_1 k_2$ (满载活荷载 + 惯性力) + 驱动力或制动力 + 常风荷载 + 温度荷载 + 横向摇摆力
2	正常运行工况	永久荷载 + $k_1 k_2$ (偏载活荷载 + 惯性力) + 驱动力或制动力 + 常风荷载 + 温度荷载 + 横向摇摆力
3	非正常运行工况	永久荷载 + $k_1 k_2$ (满载活荷载 + 惯性力) + 急停制动力 + 常风荷载 + 温度荷载 + 横向摇摆力
4	非正常运行工况	永久荷载 + $k_1 k_2$ (偏载活荷载 + 惯性力) + 急停制动力 + 常风荷载 + 温度荷载 + 横向摇摆力
5	非正常运行工况	永久荷载 + 满载活荷载 + 常风荷载 + 温度荷载 + 人群荷载
6	极限状态工况	永久荷载 + 空载活荷载 + 大风荷载 + 雪荷载 + 地震荷载 + 温度荷载

4.2 设计控制条件

4.2.1 材料参数及强度要求

道岔主要构件包含道岔梁和台车,材质均为 Q355D 钢,抗拉强度 $\sigma_b = 470$ MPa。根据 GB 8408—2018《大型游乐设施安全规范》,安全系数取为 3.5,容许弯曲应力 $[\sigma] = 134.3$ MPa。

4.2.2 结构变形要求

在列车竖向静活载作用下,轨道梁竖向挠度不得超过跨度的 1/900。

4.2.3 结构疲劳要求

荷载循环次数按列车每日工作 10 h 计,道岔转辙间隔按 12.5 min 考虑,设计使用年限为 50 年。根据设计标准,以及 GB 50017—2017《钢结构设计标准》第 16.2.2 条进行疲劳验算。容许应力幅可以表示为:

$$[\Delta\sigma] = \left(\frac{C_z}{n} \right)^{1/\beta_z} \quad (4)$$

式中:

n ——应力循环次数,本文取为 876 000 次;

C_z, β_z ——与构件和连接相关的参数。

根据 GB 50017—2017《钢结构设计标准》,计算翼缘板与腹板连接焊缝的正应力幅疲劳寿命,构件及连接类别取 Z5, C_z 取为 2.0×10^{12} , β_z 取为 3,则通过计算可知,容许应力幅为 131.7 MPa。

4.3 主要结构检算

采用 MIDAS CIVIL2015 软件进行计算,按梁单元建模,分别模拟列车在大、小曲线半径的过岔状态,采用影响线法对道岔梁和台车进行计算^[4]。

4.3.1 强度分析

经有限元软件分析获得的道岔梁和台车的应力分布云图,如图 7 所示。在大曲线半径过车状态、荷载组合 1 作用下,道岔梁最大应力为 58.3 MPa,位于大曲线梁跨中。在小曲线半径过车状态、荷载组合 4 作用下,台车最大应力为 106.4 MPa,位于回转端台车与道岔梁连接处。两者的计算应力均小于许用应力,满足强度要求。

4.3.2 疲劳分析

道岔梁和台车的疲劳应力幅云图如图 8 所示。道岔梁在大曲线半径过车状态、疲劳荷载组合 ($k_1 k_2$ (满载活荷载 + 惯性力) + 横向摇摆力) 作用下,疲劳应力幅最大值为 38.6 MPa,位于大曲线道岔梁的跨中位置。台车在小曲线半径过车状态、疲劳荷载组合作用下,疲劳应力幅最大值为 42.5 MPa,位于

回转端台车与道岔梁连接处。两者的疲劳计算应力幅均小于容许应力幅,满足疲劳要求。

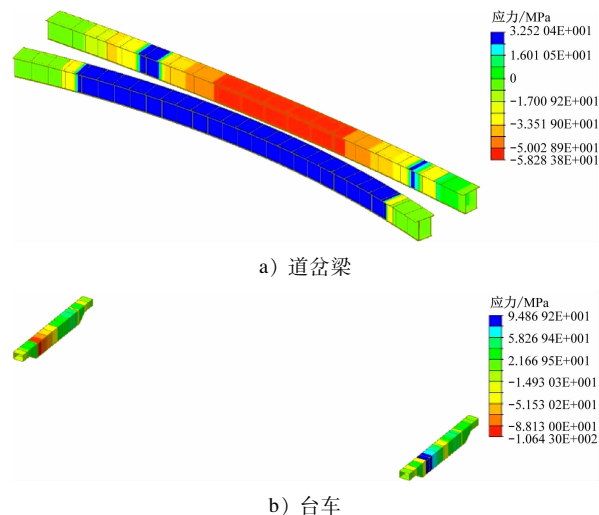


图 7 道岔梁和台车应力分布云图

Fig. 7 Nephogram of turnout beam and gantry stress distribution

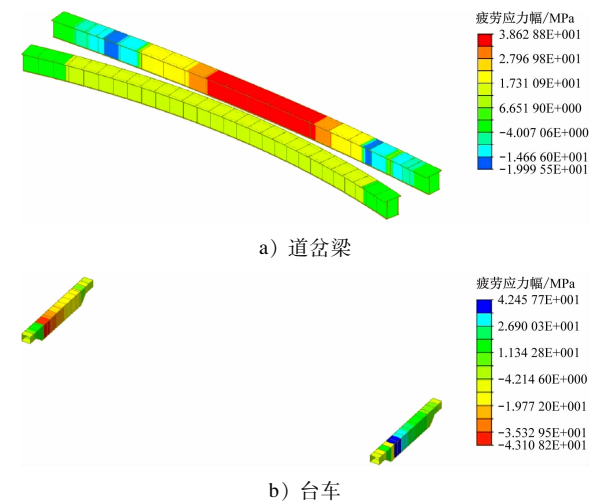


图 8 道岔梁和台车的疲劳应力幅云图

Fig. 8 Fatigue stress amplitude nephogram of turnout beam and trolley

4.3.3 刚度分析

经过有限元分析可获得道岔梁的变形分布。道岔梁在小半径过程状态、列车竖向静活载作用下,最大竖向挠度为 5.3 mm,满足控制条件。

5 结语

目前,所提同侧曲线道岔已制造并安装调试完成。经现场运行后发现,各项性能指标均满足设计要求和设计要求。通过对跨座式旅游观光单轨曲线道岔的设计研究,主要获得以下结论:

1) 基于列车参数、限界要求和相关设计标准,所提同侧曲线道岔设计方案科学合理,不仅解决了

工程中的实际问题,还为对称曲线道岔设计等其他类型的道岔设计提供了借鉴。

2) 该道岔具有结构简单、维护方便、造价低等特点,满足跨座式旅游观光单轨系统的功能要求和景观要求。

3) 单回转换梁型曲线道岔可满足道岔布置时的特殊需求,不仅适用于既有线路的改建、扩建或过渡工程,还适用于项目用地紧张的新建线路。

4) 通过有限元分析,对道岔主要构件的刚度、强度、结构疲劳进行计算,所设计的道岔在各方面均满足设计要求。

5) 单回转换梁型曲线道岔的基本型式不仅适用于跨座式旅游观光单轨系统,也适用于跨座式单轨和悬挂式单轨等其他制式线路。

参考文献

- [1] 王金. 跨座式单轨道岔技术参数分析[J]. 铁道建筑技术, 2020(6): 64.
WANG Jin. Technical parameters analysis of straddle monorail turnout[J]. Railway Construction Technology, 2020(6): 64.

(上接第 289 页)

- LIU Heng. Experimental research on the influencing factors of the shear characteristics of the contact surface between coarse sand and concrete[J]. Communications Science and Technology Heilongjiang, 2020, 43(12): 142.
- [2] 于森, 任传斌, 李芳凝, 等. 溶洞地质体三维建模与注浆量定量分析[J]. 地质论评, 2021, 67(增刊1): 7.
YU Miao, REN Chuanbin, LI Fangning, et al. Three-dimensional modeling of karst cave geological body and quantitative analysis of grouting quantity[J]. Geological Review, 2021, 67(S1): 7.
- [3] 冯明辉, 陈虹宇, 吴贤国, 等. 某地区隧道岩溶区段施工处置对策分析[J]. 建筑技术, 2020, 51(5): 575.
FENG Minghui, CHEN Hongyu, WU Xianguo, et al. Construction technology of karst in construction of tunnel in a certain area[J]. Architecture Technology, 2020, 51(5): 575.
- [4] 邢志豪, 朱斌, 王健, 等. 溶洞注浆加固的空间属性对地铁盾构隧道建设安全的影响效应[J]. 山东大学学报(工学版), 2021, 52(4): 183.
XING Zhihao, ZHU Bin, WANG Jian, et al. Influence of spatial attribute of karst cave grouting reinforcement on the safety of subway shield tunnel construction[J]. Journal of Shandong University (Engineering Science), 2021, 52(4): 183.
- [5] 张巍. 地铁隧道岩溶区处理方案及工程实践[J]. 土工基础, 2021, 35(4): 438.
ZHANG Wei. Engineering practice of metro tunnel construction in karst area[J]. Soil Engineering and Foundation, 2021, 35(4): 438.

- [2] 李卓然, 解丽霞. 跨座式单轨曲线半径 100 m 换梁型道岔设计[J]. 铁道勘察, 2021, 47(5): 131.
LI Zhuoran, XIE Lixia. Design of straddle monorail curve radius 100 m substituted switch[J]. Railway Investigation and Surveying, 2021, 47(5): 131.
- [3] 解丽霞. 跨座式单轨整体平转式道岔系统研究[J]. 铁道勘察, 2021, 47(5): 125.
XIE Lixia. Research on straddle monorail turnouts with integral horizontal rotation system[J]. Railway Investigation and Surveying, 2021, 47(5): 125.
- [4] 杜子学, 左长永, 何希和. 跨坐式单轨列车与平移式道岔耦合作用力仿真分析[J]. 城市轨道交通研究, 2014, 17(6): 42.
DU Zixue, ZUO Changyong, HE Xihe. Analysis of coupling force simulation between straddle-type monorail train and sliding-type turnout[J]. Urban Mass Transit, 2014, 17(6): 42.

· 收稿日期:2022-05-24 修回日期:2022-09-26 出版日期:2024-07-10
Received:2022-05-24 Revised:2022-09-26 Published:2024-07-10
· 通信作者: 仵叔强, 正高级工程师, 5017392@qq.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

- [6] 童朝锋, 魏芷阳, 孟艳秋. 基于 FLUENT 的垂向二维数值波浪水槽的造波效果[J]. 水运工程, 2020(3): 13.
TONG Chaofeng, WEI Zhiyang, MENG Yanqiu. Wave making effect of vertical two-dimension numerical wave tank based on FLUENT[J]. Port & Waterway Engineering, 2020(3): 13.
- [7] 胡志高, 吴一鸣, 王彦芳, 等. 基于 FLUENT 数值模拟的离心泵内冰浆两相流流动特性分析[J]. 流体机械, 2021, 49(4): 48.
HU Zhigao, WU Yiming, WANG Yanfang, et al. Flow characteristics analysis of ice slurry two-phase flow in centrifugal pump based on FLUENT numerical simulation[J]. Fluid Machinery, 2021, 49(4): 48.
- [8] 翟之平, 杨忠义, 高博, 等. 基于 Mixture 模型的叶片式抛送装置内气固两相流模拟[J]. 农业工程学报, 2013, 29(22): 50.
ZHAI Zhiping, YANG Zhongyi, GAO Bo, et al. Simulation of solid-gas two-phase flow in an impeller blower based on Mixture model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(22): 50.

· 收稿日期:2022-02-16 修回日期:2022-03-25 出版日期:2024-07-10
Received:2022-02-16 Revised:2022-03-25 Published:2024-07-10
· 第一作者: 余希明, 工程师, fish2005fly@163.com
通信作者: 陈俊生, 副教授, jschen@scut.edu.cn
· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license