

文章编号: 1674—8247(2023)05—0029—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2023.05.006

高速铁路桥梁病害整治顶梁工作对轨道结构的影响分析

方 宜 卓建成 陈 丽

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:针对某高速铁路地震后桥梁受损情况及修复方案,研究了修复桥梁工程的顶梁工作对轨道结构稳定性及强度的影响,从减少轨道结构受扰动和缩短修复工作时间的角度,提出了不同顶梁方案在不同轨温下顶梁高度的理论建议值,结果表明:(1)从减少有砟轨道结构扰动的角度考虑,控制顶梁允许高度的主要影响因素为轨道的稳定性;(2)某高速铁路按照建议顶梁高度实施顶梁操作,并在顶梁过程中对桥梁和轨道几何状态进行监测。监测结果表明,钢轨应力及位移均在允许范围内,这验证了轨道适应性理论计算结果的正确性。研究成果可为桥梁病害整治顶梁修复提供参考和借鉴。

关键词:修复;顶梁工作;有砟轨道;稳定性;强度

中图分类号:U216.4

文献标志码:A

Analysis on the Impact of Girder Jacking for High-speed Railway Bridge Defects on Track Structure

FANG Yi ZHUO Jiancheng CHEN Li

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: In response to the damage and restoration plan of bridges after earthquake on a high-speed railway, this study investigated the impact of bridge girder jacking on the stability and strength of track structure. From the perspective of reducing disturbance to the track structure and shortening the restoration time, theoretical recommended values for the height of girder jacking under different rail temperatures were proposed for different girder jacking schemes. The results showed that: (1) Considering the reduction of disturbance to the ballast track structure, the main impact factor for controlling the allowable height of girder jacking is the stability of the track. (2) Girder jacking was carried out on a high-speed railway to the recommended height, and the geometric state of the bridge and track was monitored during jacking. The monitoring results showed that the rail stress and displacement were within the allowable range, which verifies the correctness of the theoretical calculations of track adaptability. The findings can provide reference and guidance for girder jacking and repair of bridge defects.

Key words: repair; girder jacking; ballasted track; stability; strength

高速铁路因其速度快、运力强和安全准时等优点成为我国大力发展的公共交通方式之一。作为中国

改革发展新成果的“国家名片”,中国高速铁路已经实现了巨大的飞跃。运行速度高、线路稳定性好已成为

收稿日期:2023-08-11

作者简介:方宜(1984-),女,高级工程师。

引文格式:方宜,卓建成,陈丽. 高速铁路桥梁病害整治顶梁工作对轨道结构的影响分析[J]. 高速铁路技术,2023,14(5):29-33.

FANG Yi, ZHUO Jiancheng, CHEN Li. Analysis on the Impact of Girder Jacking for High-speed Railway Bridge Defects on Track Structure [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(5):29-33.

铁路建设发展的基本要求^[1]。高速铁路线下结构及轨道的稳定性和平顺性是保证高速铁路快速安全运营的前提条件,线下工程质量的好坏、病害发生与否将直接关系到列车的正常运营和乘客的人身安全^[2]。随着高速铁路运营里程的不断加大,近些年来受到施工工艺、施工经验、地震、极端雨雪、环境温度变化等影响,高速铁路线下结构不可避免地出现了不同程度的病害与损坏^[3],对上部轨道结构产生了不利影响。因此,在对线下结构进行修复时,应采用适宜的保护措施来避免对上部轨道结构产生过大的影响和调整,从而减少修复工作量和修复时间。

1 高速铁路常见线下基础病害对轨道的影响

1.1 路基不均匀沉降、翻浆冒泥

根据路基结构分类,主要分基床病害和地基层病害。基床病害受到地质水文、周边环境、列车荷载、填料性质等的影响,主要有不均匀沉降、翻浆冒泥等病害特征。地基层作为线下结构最下部结构,承受着基床的上部荷载,病害主要表现为不均匀沉降,尤其是在特殊地质条件下表现更加明显。我国既有线铁路路基病害比较普遍,其中路基下沉和翻浆冒泥尤为严重^[4]。

路基不均匀沉降和翻浆冒泥问题往往也会导致上部轨道结构的不均匀沉降和翻浆冒泥。若轨道结构为无砟轨道,可能导致轨道板下沉、开裂、翻浆冒泥等病害,采取措施修复或加固路基结构之后,需通过扣件调高、钻孔注浆加固等方法修复无砟轨道结构。若轨道结构为有砟轨道,采取措施修复或加固路基结构之后,可通过调整道砟厚度来恢复轨道结构。

1.2 桥梁裂缝、跨中挠度增大、支座病害

高速铁路桥梁病害大致可分为3类:(1)裂缝病害,包括温度裂缝、结构性裂缝、施工与材料引起的裂缝、钢筋锈蚀引起的裂缝等。(2)桥墩沉降、梁体错台和梁端转角病害。(3)桥梁支座病害,包括支座脱空、变形、锈蚀活动支座位移超限,支座锚栓折断等。

温度裂缝、钢筋锈蚀引起的裂缝、施工与材料引起的裂缝往往对桥梁上部轨道结构影响较小。由于桥梁结构承载力不足或基础不均匀沉降而产生的结构性裂缝,桥墩沉降、梁体错台和梁端转角等多种病害引起的竖向变形,会导致上部轨道结构不平顺,进而影响旅客乘坐的舒适性和行车的安全性^[5]。桥梁结构在针对病害产生的原因进行修复和加固后,需要

通过扣件调整、道床板修复甚至重构(有砟轨道进行道砟调整)、轨道精调等措施对轨道结构进行修复和调整。

1.3 隧道基底渗漏水、仰拱下沉、仰拱隆起

高速铁路隧道的常见病害包括渗漏水病害、衬砌结构裂损病害、隧道基底病害等。隧道基底渗漏水、仰拱下沉、仰拱隆起均会造成轨道结构的下沉、抬升、轨道不平顺等病害。当轨道结构为无砟轨道时,混凝土道床会开裂。

近年来,仰拱隆起病害时有发生,有研究认为地下水和高地应力是造成隧道仰拱隆起的主要原因^[6]。针对仰拱隆起造成的轨道结构抬升,需认真分析产生的原因,综合制定隧道仰拱加固整治和轨道结构恢复整治方案。

2 某高速铁路地震后桥梁顶梁修复对轨道的影响分析

2.1 既有线地震后灾害简介

某高速铁路设计速度250 km/h,全线以铺设无砟轨道为主,部分上跨高速铁路地段铺设有砟轨道。地震发生后该高速铁路停运3 d,经动检车进行轨道检测,发现64 km范围线路受影响,轨道局部有移位。为解决沿线人民群众出行需求及时恢复运营,运营单位对受损严重桥梁进行临时加固、轨道整修,经开行综合巡检车验证后恢复通车并在该区段限速运行。

经详细调查评估,得出主要结论:(1)位于震中较近的车站站房等5栋建筑均为钢筋混凝土框架结构,主体结构未见明显震损病害,主要为填充墙和隔墙饰面层开裂、剥落以及装饰、吊顶等脱落等,不影响主体结构安全,但对建筑使用适用性及耐久性有一定影响,应及时维修。(2)共13.2 km桥梁及轨道需要进行综合整治。9座桥梁共229个支座受损(其中127个支座梁底连接螺栓剪断,共450颗螺栓),8个支座防落梁装置螺栓松动、脱落,13个支撑垫石开裂、破损,116处砂浆垫层开裂、破损,2处梁体开裂破损,1处锥体开裂。其余桥梁受地震影响较小,仅存在少量支座砂浆脱落等病害,不影响结构安全。

2.2 桥梁复旧方案简介

(1)针对简支梁梁底预埋钢板与支座上板间连接螺栓剪断、梁体横向滑移的病害,需起顶整孔简支梁及相邻两孔简支梁的相邻支点。首先取下梁底防落梁挡块,梁体起顶后取出断裂的螺栓,抽出支座上板、

固定支座以及砂浆垫层有破损开裂的支座需整个取出,检查支座受损情况,对损坏的耐磨板进行更换。

(2) 针对简支梁支座上座板与梁底预埋钢板间锚固螺栓大部分存在不同程度的损坏和变形的情况,为保证后期运营安全,需对螺栓进行更换。首先取下防落梁挡块,竖向起顶一个桥墩上相邻两孔简支的相邻支点,梁体起顶后取出梁底预埋钢板与支座上板间连接螺栓,抽出支座上板,检查支座受损情况,对损坏的耐磨板进行更换。

(3) 针对支座砂浆垫层破损的病害,首先在顶梁更换螺栓过程中,取出支座,检查支座下板范围内砂浆垫层是否存在破损开裂情况并进行修复。

(4) 针对支承垫石开裂的病害、梁体裂缝、梁端破损等病害,需采用转孔灌注环氧树脂砂浆的方法或超强高韧性树脂混凝土对破损部位进行修复。

桥梁顶梁有2个方案。顶升方案一:每次起顶1个桥墩上相邻两孔简支梁的相邻支点,该方案仅适用于两孔梁均未发生平面偏位,无需调整平面位置的情况。顶升方案二:1次起顶一孔梁及相邻两孔简支梁相邻支点。顶梁方案如图1所示。

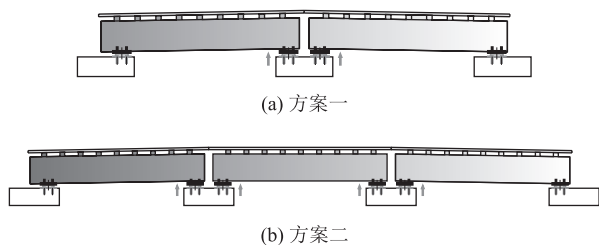


图1 顶升方案示意图

2.3 桥梁顶梁对既有轨道的影响分析

桥梁整治需要对桥梁进行顶升以更换支座螺栓、垫板及修复砂浆垫层等,其整治过程会对轨道状况产生一定的影响。由于部分简支梁梁底预埋钢板与支座连接螺栓被剪断,同时梁体存在平面位置偏移以及部分螺栓拧出困难的情况,所以在顶梁工作实施之前,难以确定顶梁操作的最大顶升高度。然而顶升高度不同,对轨道工程的影响也不同。通过分析顶梁高度对有砟轨道结构稳定性及强度的影响,从轨道工程少受扰动的角度给出了顶梁高度的建议。

2.3.1 顶梁对轨道稳定性的影响

顶梁地段均铺设无缝线路,采用60N钢轨、Ⅲc型混凝土轨枕、弹条V型扣件,特级碎石道砟,单层道床厚35cm,无缝线路历史最高轨温60.3℃,最低轨温-1.9℃,设计锁定轨温32±5℃。

(1) 计算公式

轨道稳定性采用统一公式^[7]进行检算,即:

$$P = \frac{\pi^2 \beta EI \frac{(f + f_{0e})}{l^2} + \frac{4}{\pi^3} Q l^2}{f + f_{0e} + \frac{4}{\pi^3 R'} l^2} \quad (1)$$

$$l^2 = \frac{\theta \omega + \sqrt{(\theta \omega)^2 + (\frac{4Q}{\pi^3} - \frac{\theta \omega v}{f}) \theta f}}{\frac{4Q}{\pi^3} - \frac{\theta \omega v}{f}} \quad (2)$$

式中: P ——钢轨温度压力;

β ——轨道框架刚度系数;

EI ——轨道横向刚度;

f ——轨道弯曲变形矢度, $f = 0.2 \text{ cm}$;

f_{0e} ——原始弹性弯曲矢度;

l ——变形曲线长度, $l = l_0$;

Q ——等效道床阻力。

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_{0p}} \quad (3)$$

式中: R ——曲线半径;

R_{0p} ——钢轨原始塑性弯曲曲率半径;

f_0 ——原始弯曲矢度($\frac{f_0}{l_0} = 0.0991\%$, $\frac{f_0}{l_0^2} = 2.103 \times 10^{-6}$, $f_0 = f_{0p} + f_{0e}$, $f_{0p}/f_0 = 83\%$);

l_0 ——原始弯曲波长;

f_{0p} ——原始塑性弯曲矢度;

f_{0e} ——原始弹性弯曲矢度。

(2) 计算参数

计算参数如表1所示。

表1 计算参数表

参数	数值	备注
钢轨钢的弹性模量 E/Mpa	2.1×10^5	—
钢轨钢线膨胀系数 $\alpha/^\circ\text{C}$	1.18×10^{-5}	—
钢轨横断面面积 F/cm^2	77.45	—
对垂直轴线的惯性矩 I_z/cm^4	524	—
钢轨垂直磨耗/mm	6	—
对水平轴线的惯性矩 I_y/cm^4	2 879	—
钢轨上部断面系数 $W_{\text{上}}/\text{cm}^3$	291	—
钢轨下部断面系数 $W_{\text{下}}/\text{cm}^3$	375	—
钢轨支座刚度 $D/(\text{kN/mm})$	33	—
轨枕间距 a/mm	600	—
屈服强度 σ_s/Mpa	457	钢轨材质为U71MnG
等效道床阻力参数 $Q/(\text{N/cm})$	115	—
顶梁范围内最小曲线半径 R/m	3 000	稳定性条件计算时按最不利情况检算

(3) 稳定性检算结果

根据该段无缝线路锁定轨温,最大温升为60.3—

27 = 33.3 ℃。按此温升进行稳定性计算,则允许的初始轨道弯曲矢度为 3.08 cm。如按照最大温升 10 ℃ 计算,允许的初始轨道弯曲矢度为 4.69 cm。根据计算结果按照不利情况考虑,轨道弯曲矢度^[8]按最大的横向偏移 3 cm 考虑。经计算,为满足轨道稳定性要求,顶梁时需限制顶升高度,如表 2 所示。

表 2 允许最大顶升量表(cm)

假设实际温升	最大温升 33.3 ℃	最大温升 20 ℃	最大温升 10 ℃
允许最大顶升量: 顶升方案一	0.8	1.4	2.3
允许最大顶升量: 顶升方案二	0.7	1.2	2.1

2.3.2 顶梁对钢轨强度的影响

针对桥梁顶升方案,钢轨强度计算工况为:(1)工况 1:顶升的桥墩一侧为简支梁,另一侧为桥台;(2)工况 2:顶升的桥墩两侧均为简支梁。工况 1 为一侧建立 5 跨桥梁,另一侧建立 120 m 路基,桥梁跨径 32 m。分别计算顶升位移为 5 mm、10 mm、15 mm、20 mm、25 mm、30 mm 时,钢轨的应力和位移。

计算模型中使用三维梁单元模拟钢轨,桥梁用实体梁单元模型,同时,利用非线性弹簧单元线路纵向阻力模拟,并假定结构在桥墩偏斜的变形状态上已达到平衡状态。

经计算,工况 1 和工况 2 的钢轨附加最大应力值如图 2 所示。

由图 2 可知,钢轨附加应力值随着顶升位移的增加而增大。轨道稳定性计算中允许最大顶升高度需控制在 23 mm 以内,顶升高度为 23 mm 时钢轨产生的附加应力为 12 MPa 和 25 MPa,钢轨结构处于安全状态。

2.3.3 理论计算结论

通过以上计算,从减少有砟轨道结构扰动的角度考虑,控制顶梁允许高度的主要影响因素为轨道的稳定性。顶梁方案一和方案二的最大允许顶升高度如表 2 所示。在该顶升高度范围内,进行顶梁操作时轨道不需要松扣件、扒道砟及锯轨。

2.4 桥梁顶升轨道监测

为监测桥梁顶升复旧过程中钢轨的实时状态,选取桥梁顶升处钢轨进行应力和位移监测。

选取顶梁时还需要纵向纠偏的最不利工况,考虑到道砟、轨道对主梁纵向的约束,需要监测纵向顶推对钢轨和梁体应力的影响。测点 1 为轨道应力监测,传感器安装在轨道的腹板侧面。测点 2 为梁体应力扰动监测,安装在腹板端部中间区域,用于评价纵向顶推力对梁体应力影响规律。

纵向纠偏过程中的梁体应力扰动及轨道应力变化监测结果表明:不利工况下,梁体纵向纠偏 11.8 mm 时,引起轨道应力增量为 18 MPa。总体来看,纵向纠偏对轨道应力影响较小。

2.5 工程实施结果

该高速铁路地震后修复工作于 11 月进行,当时轨温较低(温升小于 10 ℃)。根据理论计算结果,对桥梁进行顶梁复旧。部分地段采用顶梁方案一,顶升高度控制在 2.3 cm 以内,部分地段采用顶梁方案二,顶升高度控制在 2.1 cm 以内。顶梁过程中对轨道几何状态进行了监测,钢轨应力及位移均在允许范围内。

桥梁整治工作主要是桥梁顶升及更换支座螺栓等。顶梁过程在一定程度上影响了顶升桥墩附近道床纵横向阻力的变化。顶升及纠偏过程中,线路高程和平面位置发生改变,且无缝线路钢轨未被锯断,导致钢轨应力重新分布。完成桥梁复旧后,对一定范围内的无缝线路重新进行了放散及锁定。

完成桥梁复旧工程后,轨道整治复旧工程主要包括:轨检测量、局部地段补砟、道床捣固及整形、轨道精调整理,直到轨道几何状态恢复到地震前的状态,即轨道静态几何尺寸容许偏差及轨道动态质量容许偏差管理值应满足相关要求。该高速铁路地震后复旧工作为断道施工,全程用时 13 d,目前已恢复运营一年多,运营状况良好。

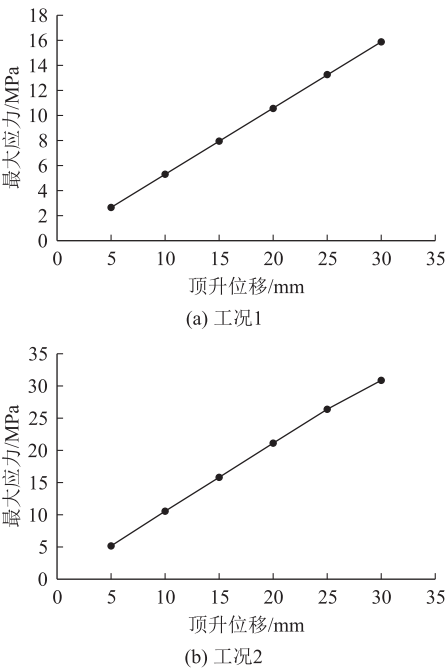


图 2 钢轨最大应力图

3 结论

(1) 针对高速铁路线下设施和轨道结构的病害问题,需要先分析其产生的原因,并据此制定线下结构加固及轨道结构恢复的综合整治方案。

(2) 在治理高速铁路线下结构病害时,需通过整治方案设计,采取保护性措施避免对上部轨道结构产生过大的影响和扰动,从而减少整体修复工作量,缩短修复时间。

(3) 无论轨道结构是否存在病害,在对线下结构进行病害整治时,均需制定详细的监测方案,对施工过程中的线下结构状态变化、受力情况和轨道状态进行实时监测,以确保工程和运营的安全。

(4) 本文通过数据分析高速铁路顶梁高度对轨道结构稳定性及强度的影响,从减少轨道结构受扰动的角度,提出了不同顶梁方案在不同轨温下的顶梁高度建议。后续按照建议顶梁高度实施顶梁操作,同时对桥梁和轨道几何状态进行监测。监测结果表明,钢轨应力及位移均在允许范围内,这验证了轨道适应性理论计算结果的正确性。研究成果可为桥梁病害整治顶梁修复提供参考和借鉴。

参考文献:

- [1] 杨享荣. 高速铁路有砟轨道维护技术研究[J]. 高速铁路技术, 2019, 10(2): 55-59.
- YANG Xiangrong. Research on Maintenance Technology of Ballasted Track of High Speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(2): 55-59.
- [2] 钟鹏飞, 车爱兰, 冯少孔, 等. 高速铁路线下结构典型病害分析及快速无损检测方法研究[J]. 振动与冲击, 2017, 36(11): 154-160.
- ZHONG Pengfei, CHE Ailan, FENG Shaokong, et al. Typical Defects' Analysis and Nondestructive Detection Method for Under-track Structures of High Speed Railways [J]. Journal of Vibration and Shock, 2017, 36(11): 154-160.
- [3] 汤政. 高速铁路线下结构病害全波场无损检测方法研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2015.
- TANG Zheng. The Detection Methods and Research about Full-wave Field Imaging Detection Method on High Speed Railway Under-track Structure [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2015.
- [4] 陶智亮, 熊洪强, 咎月稳. 既有线路基病害车载 GPR 检测数据的处理方法[J]. 高速铁路技术, 2018, 9(2): 14-18.
- TAO Zhiliang, XIONG Hongqiang, ZAN Yuewen. Data Processing Method of the Vehicle-mounted GPR for Detection of Railway Subgrade Diseases [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(2): 14-18.
- [5] 徐庆元, 林青腾, 方子匀, 等. 徐变上拱对桥上纵连无砟轨道线路动力影响[J]. 铁道工程学报, 2018, 35(1): 56-61.
- XU Qingyuan, LIN Qingteng, FANG Ziyun, et al. Influence of Creep Camber of Bridge on Dynamic Characteristics of Railway with Longitudinal Connected Ballastless Track on Bridge [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2018, 35(1): 56-61.
- [6] 魏强, 汪昆生. 高速铁路隧道仰拱隆起病害分析及整治方案[J]. 铁道建筑, 2020, 60(2): 56-60.
- WEI Qiang, WANG Chansheng. Cause Analysis and Treatment Scheme of Inverted Arch Heave for High Speed Railway Tunnel [J]. Railway Engineering, 2020, 60(2): 56-60.
- [7] 中铁第四勘察设计院集团有限公司. 铁路无缝线路设计规范[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2013.
- China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd. Code for Design of Railway Continuous Welded Rail [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2013.
- [8] 陈秀方, 娄平, 向延念, 等. 无缝线路原始弯曲的极值概率分析[J]. 中国铁道科学, 1999, 20(1): 17-22.
- CHEN Xiufang, LOU Ping, XIANG Yannian, et al. The Probability Analysis of the Extreme Values of Initial Inflections in CWR [J]. China Railway Science, 1999, 20(1): 17-22.