

文章编号: 1674—8247(2018)04—0030—05

孟加拉帕德玛大桥无砟轨道结构型式适应性分析

徐浩 林红松 代丰 颜华 崔文勇

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要:为指导孟加拉帕德玛大桥桥上无砟轨道结构选型,本文结合孟加拉帕德玛大桥铁路连接线的工程特点,分析了其对无砟轨道的需求及选型原则,研究了现浇板式无砟轨道、单元板式无砟轨道、双块式无砟轨道、弹性支承块无砟轨道和长枕埋入式无砟轨道的优缺点及其对帕德玛大桥的适应性。结果表明:(1)帕德玛大桥桥上应优先选用预制轨道、半预制半现浇轨道结构;(2)现浇板式无砟轨道的扣件系统周围易出现裂纹,施工精度不易保证;(3)单元板式无砟轨道的水泥乳化沥青砂浆在重载运营条件下的适应性缺乏研究;(4)弹性支承块无砟轨道的轨道几何形位难以保持,双块式无砟轨道的道床板易出现裂纹;(5)长枕埋入式无砟轨道结构整体性好,有一定的工程实践,考虑轨道结构高度限制,推荐帕德玛大桥采用单层长枕埋入式无砟轨道,相关成果可为重载铁路桥上无砟轨道的研究和选型提供参考。

关键词:帕德玛大桥;无砟轨道;适应性;结构选型

中图分类号:U213.2⁺1

文献标志码:A

Structural Adaptability Analysis of Ballastless Track on Bangladesh Padma Bridge

XU Hao LIN Hongsong DAI Feng YAN Hua CUI Wenyong

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

Abstract: In order to guide the ballastless track structure type selection of Bangladesh Padma bridge, the requirement and type selection principles for ballastless track were analyzed combined with the engineering characteristics of railway connecting lines of Bangladesh Padma bridge. The merit and demerit of cast-in-situ slab ballastless track, unit slab ballastless track, double-block ballastless track, elastic supporting block ballastless track and embedded long sleeper ballastless track and the adaptability to the Padma bridge were studied. The results show that: (1) Padma bridge should choose the precast track and half precast and half cast-in-situ track structure preferentially. (2) Concrete around the fastener system suffers from cracks and the construction precision of cast-in-situ slab ballastless track is not easy to be ensured. (3) As to unit slab ballastless track, the research of the adaptability of cement-emulsified asphalt mortar under heavy duty operating conditions is insufficient. (4) The track geometry of elastic supporting block ballastless track is difficult to keep, and the crack appears easily on roadbed slab of double-block type ballastless track. (5) Embedded long sleeper ballastless track has good integrity and engineering practice. Based on the limit height of track structure in Padma bridge, the single layer long sleeper embedded ballastless track was recommended. The research results could provide reference for the study and type selection of ballastless track on bridge of heavy load railway.

Key words: Padma bridge; ballastless track; adaptability; structure type selection

收稿日期:2017-09-12

作者简介:徐浩(1989-),男,工程师。

基金项目:中铁二院科学技术研究计划(KYY2016052(16-18)),中国中铁股份有限公司科技开发计划(2016-重点-28)

引文格式:徐浩,林红松,代丰,等. 孟加拉帕德玛大桥桥上无砟轨道结构型式适应性分析[J]. 高速铁路技术,2018,9(4):30-34.

XU Hao, LIN Hongsong, DAI Feng, et al. Structural Adaptability Analysis of Ballastless Track on Bangladesh Padma Bridge [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(4): 30-34.

目前,世界各国重载铁路的轨道结构型式主要采用有砟轨道,然而随着列车轴重和运量的增大,重载铁路有砟轨道的钢轨病害、道床粉化板结、残余变形大等问题日益突出,同时随着列车运行密度的提高,需要对轨道结构进行频繁的养护维修^[1-2]。近年来,随着无砟轨道的快速发展,它具有稳定性好、平顺性高、维修工作量少,耐久性强等优点^[3-6],逐渐成为重载铁路轨道的一个重要发展方向。为此,国内外学者开展了重载铁路无砟轨道理论与试验研究。美国在 FAST 重载铁路试验线上,提出了直接支承式和弹性支承块式两种无砟轨道结构,并开展了相关试验,试验表明两种轨道结构状态良好^[7-8]。结合山西中南部铁路通道工程的建设,国内研究学者开展了重载铁路隧道内无砟轨道关键技术研究。中国铁道科学研究院的王继军、李子睿等人提出了重载铁路无砟轨道设计荷载、轨道刚度等关键参数^[9-10];徐鹏等人基于车辆-轨道耦合动力学,开展了山西中南部铁路隧道内无砟轨道结构选型研究^[11];杨文茂通过研究重载铁路隧道内不同无砟轨道的静力和动力特性,推荐重载铁路隧道内采用弹性长枕式无砟轨道^[12];张弛易也针对不同无砟轨道结构,开展了无砟轨道力学特性研究^[13]。目前重载铁路无砟轨道的研究主要集中在隧道地段,尚未有针对重载铁路桥上无砟轨道的选型及关键设计参数的研究。

我国正承担设计的孟加拉帕德玛大桥铁路连接线设计轴重 25 t,远期考虑 32.5 t,桥上拟采用无砟轨道结构。由于国内外尚无如此大轴重桥上无砟轨道运营的先例,本文结合孟加拉帕德玛大桥铁路连接线的工程特点,分析不同无砟轨道结构型式对帕德玛大桥的适应性,提出孟加拉帕德玛大桥桥上无砟轨道结构方案,从而为孟加拉帕德玛大桥铁路连接线桥上无砟轨道建设提供参考。

1 工程概况

帕德玛大桥铁路连接线为连接孟加拉东西部铁路的主要通道,是孟中印缅通道的一部分,该线为单线客货共线铁路,全长 168.6 km,轴距 1 676 mm,设计轴重 25 t,远期考虑 32.5 t。其中,帕德玛大桥及其两端引桥、部分高架桥上采用无砟轨道设计,无砟轨道总长度约 30 km。帕德玛大桥全长 6.15 km,采用(6×150)m 一联的下承式连续钢桁梁结构,上层为公路桥,下层为铁路桥,铁路桥梁的桥面板为预制结构,通过预埋连接件与下层的工字纵梁连接,同时在桥面板上有预留门型钢筋与轨道连接,如图 1 所示。前期,帕德玛大桥铁路连接线的设计咨询公司建议帕德玛大桥桥上无砟轨道采用现浇板式无砟轨道结构,由钢轨、扣件系统和现

浇道床板组成。根据孟加拉的相关规范,钢桥上无砟轨道需设置护轨,因此现浇道床板上现浇混凝土块作为护轨,现浇道床板通过预埋门型钢筋与桥梁连接。

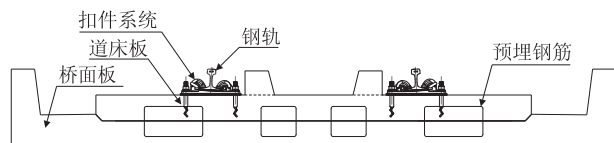


图 1 帕德玛大桥及桥上无砟轨道断面图

2 无砟轨道需求分析及选型原则

2.1 帕德玛大桥对无砟轨道的需求分析

结合孟加拉帕德玛大桥铁路连接线及帕德玛大桥的特点,帕德玛大桥对无砟轨道的需求如下:

(1) 轨道结构高度不能过高

帕德玛大桥为公铁两用桥梁,上层为公路桥,下层为铁路桥,考虑桥梁净空及限界要求,同时由于钢桥的刚度较小,易产生较大变形,因此,无砟轨道结构要求自重轻且结构高度不能过大。

(2) 具有足够的强度和承载能力

大秦和大包等重载铁路的运营实践表明,列车轴重增大将带来轨道部件伤损增多、轨道几何状态劣化、轨道维修周期缩短等不利影响^[9]。帕德玛大桥铁路连接线设计轴重远期考虑 32.5 t,大轴重的运营条件对轨道结构的破坏作用明显,因此,要求无砟轨道结构具有足够的强度和承载能力。

(3) 纵横向稳定性好

孟加拉帕德玛大桥铁路连接线的最小曲线半径为 800 m,无砟轨道地段的最小曲线半径为 3 000 m,列车轴重增大必然增大横向力,同时列车运行时会产生较大的纵向力,因此,要求无砟轨道结构具有较强的横向和纵向稳定性。

为了适应孟加拉帕德玛大桥的重载运营条件,保证无砟轨道的可靠性,建议优先选用预制轨道或半预制半现浇轨道结构。

2.2 帕德玛大桥桥上无砟轨道选型原则

结合帕德玛大桥铁路连接线的工程特点,借鉴客运专线无砟轨道技术再创新的研究成果,帕德玛大桥上无砟轨道选型应满足如下原则:

(1) 结构安全可靠

安全可靠是无砟轨道选型的基本原则,在大轴重设计荷载作用下,无砟轨道结构应具有足够的承载强度储备,线路能保持安全、可靠的几何状态。

(2) 具有较强的耐久性

无砟轨道结构应能满足设计使用寿命的要求,同

时,在无砟轨道服役期内,减少病害,保证无砟轨道少维修,提高无砟轨道使用寿命。

(3)良好的适应性

无砟轨道结构不仅应与帕德玛大桥相适应,还应满足其他站前、站后工程的要求。

(4)施工简单方便

施工工艺的难易程度不仅影响工程造价和建设周期,还会影响轨道的初始质量,甚至导致无法满足耐久性的要求。因此无砟轨道结构应便于组织和施工,并能较易地实现有砟 - 无砟轨道的过渡。

(5)可修复性较好

在桥梁工程变形超限、结构部件损坏时,无砟轨道应具有一定的调整量和可修复性。

(6)合理的经济性

在满足轨道结构安全可靠和耐久性的前提下,应尽可能降低无砟轨道的建造成本,提高综合效益。

3 帕德玛大桥桥上无砟轨道方案研究

结合孟加拉帕德玛大桥铁路连接线及帕德玛大桥的工程特点,对原现浇板式无砟轨道方案及国内外重载和客货共线铁路典型的无砟轨道结构优缺点进行总结分析。

3.1 现浇板式无砟轨道

现浇板式无砟轨道结构,主要由钢轨、扣件系统、现浇道床板等部件构成,如图 2 所示。

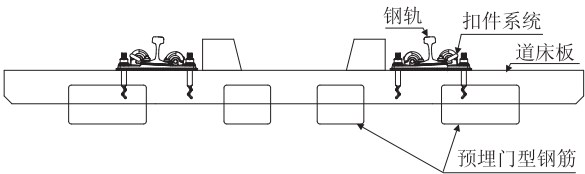


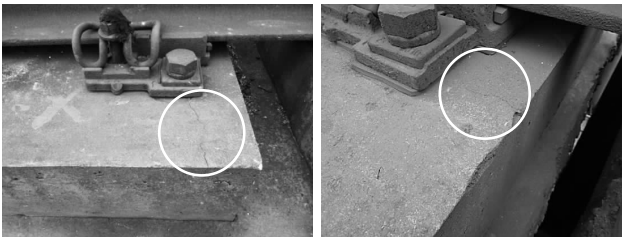
图 2 现浇板式无砟轨道

现浇板式无砟轨道仅在印度城市轨道交通的隧道地段应用,尚无重载铁路、客货共线铁路的运营实践。我国曾在某客货共线铁路桥上铺设了无砟无枕式现浇轨道,最大运营轴重为 23 t,其结构如图 3 所示。然而通过调研发现,无砟无枕式轨道的扣件系统锚固螺栓处混凝土出现了不同程度的裂纹,如图 4 所示,严重时甚至需要大修。

现浇板式无砟轨道结构型式简单,轨道结构高度低、自重轻,可减轻桥梁二期恒载。现浇结构施工工艺成熟,利于掌握,线路适应性好,造价相对较低。然而,现浇板式无砟轨道采用扣件系统直埋、道床现场浇筑的施工方式,轨道施工难度较大,施工精度难以控制;横向力主要由扣件系统的锚固螺栓承担,因此锚固螺



图 3 某客货共线铁路桥上无砟无枕式轨道



(a) 横向裂纹 (b) 纵向裂纹

图 4 无砟无枕式轨道扣件系统周围开裂

栓周围易出现裂纹,轨道结构几何形位出现劣化后,只能通过扣件系统调整,结构可修复性一般。

3.2 单元板式无砟轨道

单元板式无砟轨道主要由钢轨、扣件系统、预制混凝土轨道板、砂浆充填层及钢筋混凝土底座等部件组成,如图 5 所示。

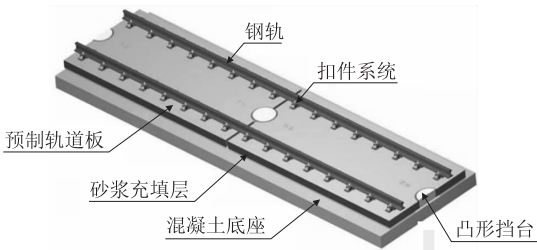


图 5 单元板式无砟轨道

我国已建成的赣龙线枫树排隧道和遂渝线无砟轨道综合试验段,采用了单元板式无砟轨道。遂渝线最大运营轴重为 25 t。

单元板式无砟轨道结构型式简单,力学传递路径明确。轨道板采用工厂预制,混凝土质量容易保证,现浇混凝土量少,施工进度快,具有较好的减振效果和可维修性。尽管单元板式无砟轨道施工进度快,但无砟轨道的耐久性主要受砂浆充填层影响,而砂浆充填层的灌注需要专业设备,工序复杂,铺轨时轨道状态的调整工作量大,同时重载作用下水泥乳化沥青砂浆的耐久性和力学特性缺乏研究。此外,由于该钢桥桥上空间有限,采用单元板式无砟轨道时,轨道结构高度较大,可能超过结构限界;若将桥面板作为板式轨道的底座板,则预制轨道板与桥面板之间的连接存在问题,同

时预制轨道板上设置护轨较难。

3.3 双块式无砟轨道

双块式无砟轨道由钢轨、扣件系统、双块式轨枕、混凝土道床板和支承层(底座)等组成,如图 6 所示。双块式无砟轨道目前在襄渝线、遂渝线等客货共线铁路上应用,最大运营轴重为 25 t。

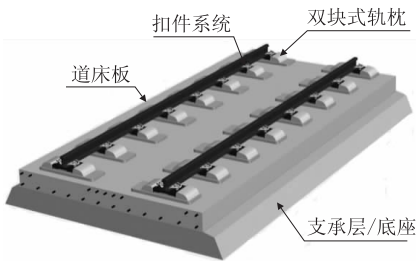


图 6 双块式无砟轨道

双块式无砟轨道通过桁架钢筋连接双块式轨枕,施工时将组装成轨排的轨枕现浇入道床板,结构整体性较好,便于施工。双块式无砟轨道在新老混凝土结合面处易出现裂纹,如图 7 所示。双块式无砟轨道的可维修性一般,尽管考虑轨道结构高度限制,可将桥面板作为双块式无砟轨道的底座板,道床板直接浇筑在桥面上,但设置护轨较困难。



图 7 道床板裂纹

3.4 弹性支承块无砟轨道

弹性支承块式无砟轨道由钢轨、扣件系统、混凝土支承块(2 个)、橡胶套靴、混凝土道床板组成,如图 8 所示。弹性支承块无砟轨道在我国秦岭隧道、乌鞘岭隧道铺设,最大运营轴重 25 t。

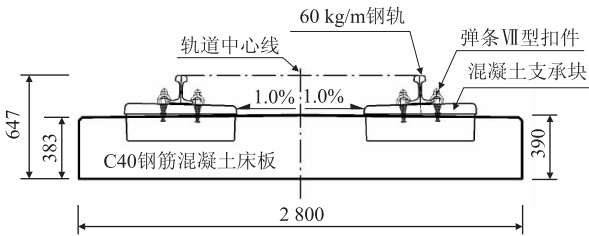


图 8 弹性支承块式无砟轨道(mm)

弹性支承块式无砟轨道的弹性由扣件系统和轨下

垫板共同提供,弹性较好;两个混凝土轨枕块相对独立,对线路适应性好,轨道结构的可修复性较强。同时由于弹性支承块无砟轨道的轨枕块相互独立,因此轨道结构的几何形位保持能力较差,橡胶套靴的防水还需研究。弹性支承块式无砟轨道应用于重载铁路时,需要重点研究轨道结构刚度匹配、弹性材料的耐久性以及轨道几何形位的保持能力。

3.5 长枕埋入式无砟轨道

长枕埋入式无砟轨道主要由混凝土道床板、预制轨枕、底座板和扣件系统等组成。长枕埋入式无砟轨道的道床板采用现浇结构,轨枕之间通过纵向钢筋连接并浇筑于道床板,加强了轨道的整体性能。目前,长枕埋入式无砟轨道在渝怀线鱼嘴 2 号隧道、圆梁山隧道和遂渝线无砟轨道综合试验段应用,最大运营轴重为 25 t。

长枕埋入式无砟轨道整体性好,轨枕采用预制结构,质量可靠,设置护轨方便,扣件系统安装精度易保证,轨枕运输吊装方便;轨枕单根设置,线路适应能力强;道床为现浇结构,为常规施工工艺,经济性较好。长枕埋入式无砟轨道的预制轨枕与现浇道床板间存在新老混凝土结合面,可修复性一般。由于长枕埋入式无砟轨道结构高度较大,为适应孟加拉帕德玛大桥的结构空间,可以将桥面板作为长枕埋入式无砟轨道的底座,在桥面板式直接浇筑道床板,即单层长枕埋入式无砟轨道结构,如图 9 所示。

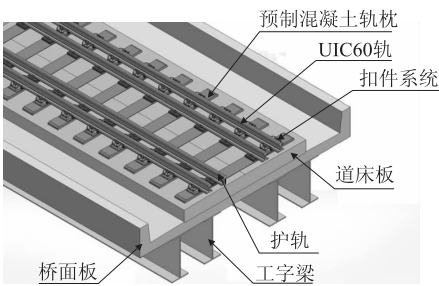


图 9 钢桥上单层长枕埋入式无砟轨道

综上所述,尽管上述无砟轨道结构均具有较好的耐久性,但根据孟加拉帕德玛大桥的结构特点,推荐采用长枕埋入式无砟轨道,且将原帕德玛大桥的桥面板作为长枕埋入式无砟轨道的底座板。考虑帕德玛大桥为公铁两用桥梁,采用长枕埋入式无砟轨道结构后,还需针对工程实际研究轨道结构变化对结构限界、轨道与桥梁的接口关系、工程造价及桥梁二期恒载的影响,从而满足工程建设需求。

4 结论及建议

无砟轨道具有高平顺、高稳定和耐久性等优点,已成为重载铁路轨道结构的发展趋势。为此,本文结合孟加拉帕德玛大桥铁路连接线的工程特点,针对帕德玛大桥,分析了不同无砟轨道结构的优缺点及其对帕德玛大桥的适应性,得到如下结论:

(1)现浇板式无砟轨道对施工质量要求较高,且扣件系统安装精度及周围混凝土质量不易保证,重载列车长期作用下容易出现开裂,不建议采用。

(2)单元板式无砟轨道的水泥乳化沥青砂浆层在重载运营条件下的耐久性有待研究,同时轨道板上设置护轨较难。

(3)双块式无砟轨道、长枕埋入式无砟轨道和弹性支承块无砟轨道均为半现浇半预制结构,且有一定的工程应用经验,在重载列车作用下,双块式无砟轨道容易出现裂纹,弹性支承块无砟轨道的轨道几何形位不易保持,且设置护轨较为困难。

综上所述,建议孟加拉帕德玛大桥桥上采用长枕埋入式无砟轨道。

参考文献:

[1] 宋洪锐. 重载铁路隧道地段无砟轨道结构参数动力学分析[D]. 成都: 西南交通大学, 2015.
SONG Hongrui. Dynamic Analysis on Structural Parameters of Ballastless Track of Heavy Haul Railway Tunnel [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2015.

[2] 娄会彬. 重载车辆作用下无砟轨道结构力学分析[D]. 成都: 西南交通大学, 2014.
LOU Huibin. Mechanics Analysis of Ballastless Track Structure Under Heavy-haul Vehicle Loads [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2014.

[3] Esveld C. Low-maintenance Ballastless Track Structures[J]. Rail Engineering International, 1997, 26(3): 13-16.

[4] 徐浩. CRTS I 型板式轨道 CA 砂浆动态力学性能试验及理论研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2015.
XU Hao. Experimental and Theoretical Study on the Dynamic Properties of CRTS I Type Slab Track CA Mortar [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2015.

[5] 刘学毅, 赵坪锐, 杨荣山, 等. 客运专线无砟轨道设计理论与方法[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2010.
LIU Xueyi, ZHAO Pingrui, YANG Rongshan, et al. Design Theory and Method of Ballastless Track on Passenger Dedicated Line [M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2010.

[6] 田春香, 颜华. 高速铁路岔区无砟轨道选型分析[J]. 高速铁路技术, 2010, 1(1): 46-49.
TIAN Chunxiang, YAN Hua. Lectotype of Ballastless Track for Turnout of Passenger Dedicated Line [J]. High Speed Railway Technology, 2010, 1(1): 46-49.

[7] W. P. Kucera, Bilow, Ball, et al. Laboratory Test Results and Field Test Status of Heavy Axle Loads on Concrete Slab Track Designed for shared High-speed Passenger and Freight Rail Corridors. AREMA Annual conference & Exposition[R]. Chicago, Illinois, 2003.

[8] David N, D Li, Bilow. Concrete Slab Track Test on the High Tonnage Loop at the Transportation Technology Center AREMA Annual Conference & Exposition[R]. Chicago, Illinois, 2005.

[9] 王继军, 尤瑞林, 杜香刚, 等. 重载铁路隧道内无砟轨道结构选型分析[J]. 铁道建筑, 2013, 53(5): 132-136.
WANG Jijun, YOU Ruilin, DU Xianggang, et al. Structure Selection Analysis of Ballastless Track on Heavy Haul Railway Tunnel [J]. Railway Engineering, 2013, 53(5): 132-136.

[10] 李子睿, 李炜红, 司道林, 等. 30t 轴重重载铁路轨道刚度研究[J]. 铁道建筑, 2014, 54(6): 135-137.
LI Zirui, LI Weihong, SI Daolin, et al. Study on the Track Stiffness of 30t Axle Load Heavy Haul Railway [J]. Railway Engineering, 2014, 54(6): 135-137.

[11] 徐鹏, 蔡成标. 山西中南部铁路隧道内无砟轨道结构动力学选型研究[J]. 铁道建筑, 2013, 53(12): 103-105.
XU Peng, CAI Chengbiao. Dynamic Selection Research of Ballastless Track on Mid-south Area of Shanxi Railway [J]. Railway Engineering, 2013, 53(12): 103-105.

[12] 杨文茂. 重载铁路隧道内无砟轨道结构选型研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
YANG Wenmao. Study on Selection of Ballastless Track in Heavy Haul Railway Tunnel [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2012.

[13] 张驰易. 重载铁路隧道内无砟轨道结构力学分析[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.
ZHANG Chiyi. Structural Mechanics Analysis of Ballastless Track in Heavy-haul Railway Tunnel [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2012.

(编辑:车晓娟 苏玲梅)