

文章编号:1004-2954(2021)11-0100-05

浩吉铁路常用跨度简支梁设计及优化

朱超¹, 刘玉亮², 徐立松², 梁磊², 汪鹏翔²

(1. 浩吉铁路股份有限公司, 北京 100073; 2. 中铁工程设计咨询集团有限公司, 北京 100055)

摘要:浩吉铁路是一条新建双线电气化重载铁路, 线路全长 1 814.33 km, 其中常用跨度简支梁 1.79 万单线孔, 数量巨大, 因此简支梁的结构设计对全线的工期和造价均有较明显的影响。介绍浩吉铁路后张法简支 T 梁的设计和某些优化措施, 结构设计满足重载铁路要求, 人行道首次采用了工字形钢横梁和混凝土 U 形槽及 RPC 盖板组成的组合结构, 对电缆的铺设和检修及声屏障的设置均提供了便利条件, 加宽人行道宽度, 取消了避车台, 梁端防排水采用挡水台及钢盖板方式。优化措施降低了施工难度和工程造价, 对重载铁路和客货共线铁路简支梁的设计具有一定的参考意义。

关键词:重载铁路; 预应力混凝土; 简支梁; T 梁; 设计; 优化

中图分类号: U24; U448.21⁺7; U448.35 **文献标识码:** A **DOI:** 10.13238/j.issn.1004-2954.202104280002

Design and Optimization of Common Span Simply Supported Beams on Haolebaoji-Ji'an Railway

ZHU Chao¹, LIU Yuliang², XU Lisong², LIANG Lei², WANG Pengxiang²

(1. Haoji Railway Co., Ltd., Beijing 100073, China; 2. China Railway Engineering Design and Consulting Group Co., Ltd., Beijing 100055, China)

Abstract: Haolebaoji-Ji'an Railway is a newly built double track electrified heavy haul railway with a total length of 1 814.33 km, in which 17 900 simply supported beams are used. On account of the huge number of beams, the structural design of simply supported beams has significant impact on the construction period and cost of the whole line. This paper briefly introduces the design and some optimization measures of the post-tensioned prestressed concrete simply supported T-beam of Haolebaoji-Ji'an Railway. The structural design meets the requirements of heavy haul railway. For the first time, the composite structure, composed of I-shaped steel beam, concrete U-shaped groove and RPC cover plate, is adopted in the sidewalk, which provides convenient conditions for the laying and maintenance of cables and the setting of sound barrier. The width of sidewalk is widened, refuge platform is cancelled, and water retaining platform and steel cover plate are used for waterproof and drainage of beam end. The optimization measures reduce construction difficulty and project cost, which has certain reference significance for the design of simply supported beam of heavy haul railway and mixed passenger and freight railway.

Key words: heavy haul railway; prestressed concrete; simply supported beam; T beam; design; optimization

收稿日期: 2021-04-28; 修回日期: 2021-05-31

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划项目 (J2019Z501); 铁道部科技研究开发计划课题 (2012G002-1-1)

作者简介: 朱超 (1984—), 男, 高级工程师, 2005 年毕业于兰州交通大学土木工程专业, 工学学士, 主要从事桥梁工程建设管理工作, E-mail: 25502630@qq.com。

通信作者: 刘玉亮 (1967—), 男, 正高级工程师, 1991 年毕业于西南交通大学铁道工程专业, 工学学士, E-mail: liuyuliang67@sina.com。

1 概况

浩吉铁路是一条新建双线电气化重载铁路, 线间距 4 m, 轨道类型为有砟轨道。浩吉铁路北起东乌铁路的浩勒报吉站, 经内蒙古、陕西、山西、河南、湖北、湖南、江西七省 (自治区), 终点到达江西省吉安市, 线路

全长 1 814. 33 km, 为世界上一次建成最长的重载铁路^[1]。

目前,常用跨度简支梁是我国铁路桥梁的主要形式^[2],简支梁的结构设计及优化对工程的质量、功能及造价具有明显影响。浩吉铁路全线常用跨度简支梁合计单线为 1.79 万孔,折合双线为 8 950 孔,其中无声屏障梁 7 958 孔,有声屏障梁 992 孔。常用跨度简支梁数量在全线的桥梁中占比较大,其结构型式选择和结构设计对工程外观、质量、建设工期及造价均有重要影响。经技术经济比选,常用跨度简支梁结构类型采用有砟轨道后张法预应力混凝土 T 形梁,单线梁采用 2 片梁,双线梁采用 4 片梁,各片梁之间通过横隔板和桥面板现浇混凝土连成整体,隔板处加设横向预应力筋。简支 T 梁按有、无声屏障分为两个系列,每个系列包含 32、24、20 m 和 16 m 四个跨度梁型^[3]。研究表明,重载铁路经济性能最优的梁型为跨度 32 m 简支 T 梁和跨度 64 m 简支箱梁^[4]。结合现有运架梁设备,浩吉铁路以采用跨度 32 m 简支 T 梁为主,跨度 24、20 m 和 16 m 梁作为配跨使用。

2 简支 T 梁设计

2.1 主要设计标准^[5]

- (1) 环境类别及作用等级
一般大气条件下无防护措施的地面结构,环境类别为碳化环境,作用等级为 T1、T2。
- (2) 设计速度
客车 160 km/h,重载货物列车 100 km/h (C62、C64 为 80 km/h)。
- (3) 线路情况
单、双线,正线直、曲线,线间距 4.0~5.0 m。
- (4) 适应线路最小曲线半径
线路曲线半径根据设计标准、地形及地物确定,其中一些联络线上需要设置更小的曲线半径。常用跨度简支梁工点多,需要适应各种不同的曲线半径,设计中采用不同跨度简支梁以满足不同曲线半径工点桥的需要,详见表 1。

表 1 适用最小曲线半径				
简支梁跨度/m	32	24	20	16
特殊困难单线梁允许最小曲线半径/m	600	—	—	—
允许最小曲线半径/m	800	600	500	400
满足大机养护构造要求的最小曲线半径/m	1 200	800	500	400

跨度 32 m 梁用于曲线半径小于 1 200 m,跨度 24 m 用于曲线半径小于 800 m 地段,应调整边梁与边梁或边梁与中梁腹板中心距以满足大机养护的要求。

(4) 线路设备轨枕为Ⅲ型枕,轨底枕下道砟厚度

最小为 350 mm,轨底至梁顶的设计计算高度取 700 mm。

2.2 设计荷载

2.2.1 恒载

- (1) 梁体混凝土容重按 25 kN/m³ 计算。
- (2) 二期恒载包括线路设备、道砟、人行道钢横梁、人行道板、RPC 盖板、声屏障及其立柱、横隔板湿接缝、工地制防水层和保护层及挡砟块的重力。设声屏障梁声屏障自重按每侧 4 kN/延米进行计算。设计采用二期恒载如表 2 所示。

线别	无声屏障/(kN/m)		设声屏障/(kN/m)	
	直线	曲线	直线	曲线
单线	78.34	85.48	87.55	94.94
双线	159.86	175.01	171.80	185.95

2.2.2 活载

- (1) 列车活载:采用中-活载(2005)ZH 标准($z=1.2$),如图 1 所示。

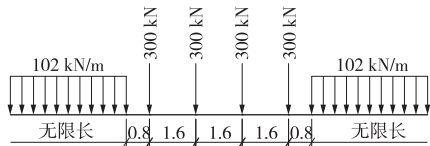


图 1 列车活载标准图式(单位:m)

特载图式如图 2 所示。

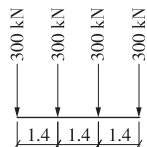


图 2 特载图式(单位:m)

动力系数按 TB10002.1—2005《铁路桥涵设计基本规范》计算,即

$$1 + \mu = 1 + 12 / (30 + L)$$

式中, L 为计算跨度,m。

(2) 人行道活载

人行道竖向静活载值为 4.0 kPa,计算主梁时人行道活载不与列车活载同时组合。人行道板按竖向集中荷载 1.5 kN 计算。

(3) 曲线桥梁上的离心力大小等于列车竖向静活载乘以离心力率 C ,水平向外作用于轨顶以上 2.2 m 处,离心力率 C 按 TB10002.1—2005《铁路桥涵设计基本规范》第 4.3.6 条计算。

(4) 横向摇摆力取 120 kN,作为一个集中活载作用于桥梁结构最不利位置,其作用点在垂直线路中心线的钢轨顶面,对于双线桥只取一线上的横向摇

摆力^[6]。

2.3 主要材料^[7]

(1) 混凝土

梁体混凝土强度等级 C60。

封锚混凝土采用补偿收缩细石混凝土,纵向预应力封锚混凝土强度等级为 C60,横向预应力封锚混凝土强度等级为 C40。

现场浇筑横隔板及桥面板连接湿接缝混凝土采用补偿收缩细石混凝土,强度等级为 C40。

人行道板、L 形挡砟块混凝土强度等级为 C40。

电缆槽盖板采用 RPC 盖板,内设 E5 钢筋网。

(2) 预应力筋

纵向预应力筋采用公称直径为 15.2 mm 的钢绞线,抗拉强度为 1 860 MPa,弹性模量为 1.95×10^5 MPa。

横向预应力筋采用公称直径 16 mm 预应力混凝土用钢棒,抗拉强度 1 420 MPa,弹性模量为 2.0×10^5 MPa,松弛率 2%。

(3) 钢筋

研究表明^[8],在客货共线、重载铁路简支 T 梁中采用高强度钢筋经济性更好。因此。普通钢筋采用 HPB300 钢筋及 HRB400 钢筋。

(4) 人行道横梁钢料、预埋钢板采用 Q345,预埋套筒采用 45 号钢调制。

2.4 桥面布置

铁路桥梁的桥面布置除满足行车要求外,还需考虑大机养护、检修通道及电缆铺设的要求。根据线路大机养护的要求,线路中心距挡砟墙内侧距离不小于 2.2 m^[9],同时考虑曲线上桥梁按平分中矢法布置,桥面中心线至挡砟墙内侧距离采用 2.25 m。单线(图 3)采用 2 片边梁,双线(图 4)采用 2 片边梁和 2 片中梁。双线梁按线间距 4.0 m 设计,当线间距在 4.0~5.0 m 时,调整中梁间湿接缝宽度,当线间距大于 5.0 m 时采用双单线并置布置,同一座桥全桥采用一种布置形式。桥面两侧设人行道,无检查梯侧人行道宽为 0.85 m,设检查梯侧人行道宽为 1.0 m。人行道采用装配式结构^[10],钢横梁结构上铺设预制混凝土 U 形槽+RPC 盖板形式,挡砟墙上预埋套筒。钢横梁与声屏障基座焊接成整体,采用螺栓与预埋套筒连接。电缆铺设于 U 形槽内,顶部采用 RPC 混凝土盖板覆盖。

2.5 结构设计要点

2.5.1 影响结构尺寸因素

重载铁路桥梁的恒载和活载均大于一般客货共线铁路^[11],对简支梁结构设计提出了更高的要求。结构尺寸确定不仅要综合考虑梁体抗弯、抗剪、预应力管道

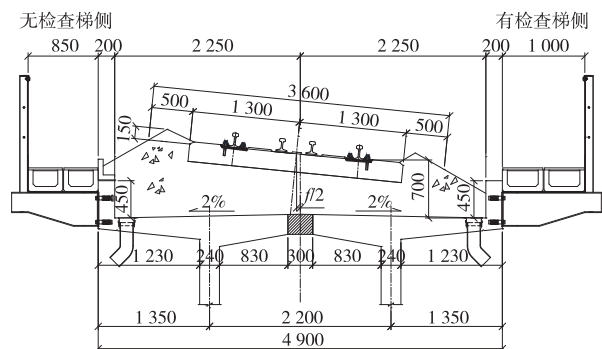


图 3 单线梁桥面布置(单位:mm)

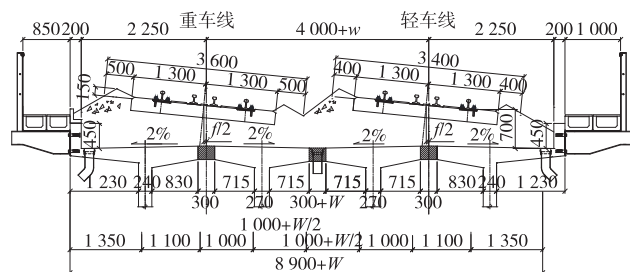


图 4 双线梁桥面布置(单位:mm)

的保护层厚度^[12],而且还需要考虑梁体刚度和车桥动力响应效应。研究表明^[13-14],桥梁在徐变、温度、桥墩沉降等作用下会发生多种静态变位,而且跨度越短、车速越高则对桥梁静态变位的要求越严格。设计时需预测桥梁静态变位的基础上合理选择桥梁刚度。桥梁结构的动力响应与重载列车的轴重有较明显的相关性,竖向位移和横向位移均随着列车轴重的提高而增大^[15-16]。预制梁桥面宽度、腹板厚度及梁体高度综合考虑以上影响因素和现有运架梁设备确定,跨度 32 m 梁梁高 2.6 m,腹板厚度 0.24 m,边梁桥面宽 2.3 m,中梁桥面宽 1.7 m。

2.5.2 预应力筋布置

预应力筋布置根据预制梁需要的预应力度及梁体允许变形量和存梁、运输时支点的设置位置综合考虑,统筹兼顾。预应力筋布置于下翼缘和腹板内,采用曲线布置形式,从跨中至梁端分批弯起,起弯点及弯起角度根据结构受力计算确定。

3 细部结构优化

浩吉铁路常用跨度简支 T 梁设计总结了山西中南部铁路通道简支 T 梁设计经验,并结合客货共线简支 T 梁使用中发现问题,对养护维修通道、梁端伸缩装置等附属设施进行了较大幅度优化改进,改善了其使用性能,降低了 T 梁工程造价。

3.1 调整人行道宽度,取消避车台设置

根据 TB/T10002—2017《铁路桥涵设计规范》规

定,重载铁路线路中心至人行道栏杆内侧的净距小于 3.25 m 时设置避车台。

客货共线简支 T 梁人行道宽度有 2 种,分别为 1.05 m 和 0.8 m,当人行道宽度采用 0.8 m 时,直线段即可满足线路中心至人行道栏杆内侧的净距不小于 3.25 m,曲线段由于线路中矢的影响,线路中心至人行道栏杆内侧的净距小于 3.25 m。

适当加宽人行道的宽度,检查梯设置于人行道下方。不设检查梯侧宽度 0.85 m,设检查梯侧宽度 1 m,从而保证了线路中心至人行道栏杆内侧的净距不小于 3.25 m,取消避车台设置。取消避车台简化了结构,降低了施工难度和工程造价。

3.2 人行道结构优化

3.2.1 铁路简支 T 梁人行道概况

浩吉铁路开始设计时铁路简支 T 梁通用参考图分为无声屏障和设声屏障两个系列。

无声屏障梁人行道由挡砟墙处预埋 T 形钢、外设角钢拼结三角支架和钢筋混凝土人行道板组成,角钢之间采用螺栓连接,其中水平肢角钢伸出栏杆外侧,以便安装电缆槽,外挂式电缆槽设置于栏杆外侧,见图 5。

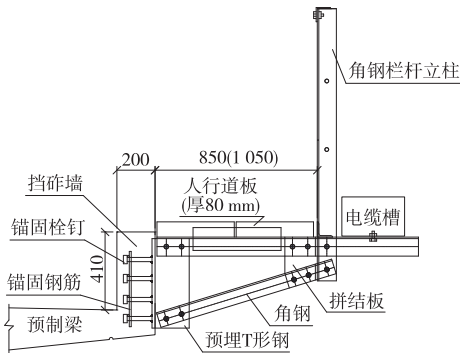


图 5 无声屏障梁人行道结构(单位:mm)

设声屏障梁的人行道结构采用整体桥面形式,两侧现浇桥面板与预制梁之间采用叠合搭接方案,搭接厚度 13 cm。现浇悬臂板与预制梁之间设置横向预应力,横向预应力筋采用 3 根一束钢绞线,顺桥向间距 1 m,见图 6。

3.2.2 存在的主要问题

客货共线简支 T 梁在制造和运营养护过程中陆续发现了一些问题或不便之处,主要有如下 3 方面。

(1) 无声屏障梁拼结的角钢支架整体性较差,连接螺栓多,加大了后期的养护工作量。电缆槽放置于栏杆外侧,给施工和检修带来了一定的困难,且外挂式电缆槽造价较高。

(2) 声屏障梁的人行道结构复杂,施工工序繁琐,

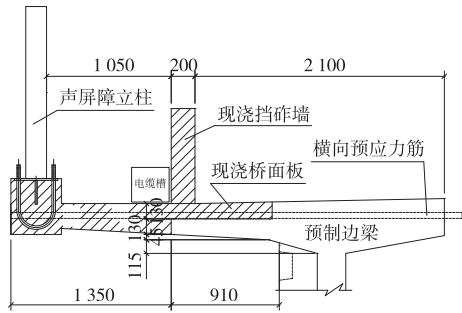


图 6 设声屏障梁人行道结构(单位:mm)

质量不易保证。

(3) 有、无声屏障梁的人行道高度和宽度均不同,电缆槽位置在平面和立面上也不在同一位置上,有、无声屏障梁相接孔跨人行道和电缆槽均需要采取过渡措施。

3.2.3 优化措施

(1) 人行道支架改为组合工字形钢横梁,钢横梁上铺设钢筋混凝土双 U 形槽,每侧提供两个电缆槽道,顶部采用 RPC 混凝土盖板覆盖,见图 7。电缆铺设于 U 形槽内,铺设、检算方便,且节省了外持电缆槽费用。工字形钢横梁在工厂焊接成型,质量易于保证。

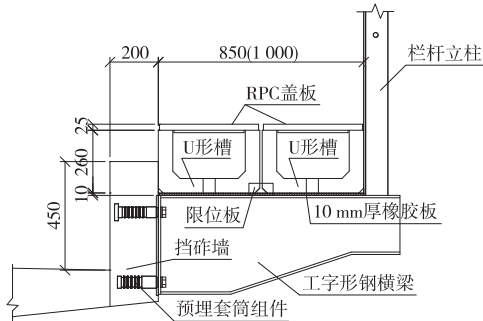


图 7 浩吉铁路无声屏障梁人行道结构(单位:mm)

(2) 整体焊接的工字形钢横梁整体性好,刚度大,为设置声屏障提供了条件,设声屏障采用了与无声屏障梁类似的人行道结构,在钢横梁的外侧端部焊接声屏障立柱基础,声屏障立柱与基础间螺栓连接。立柱基础采用钢板围成的盒状结构,为在人行道内检查声屏障连接螺栓提供了便利条件,见图 8。

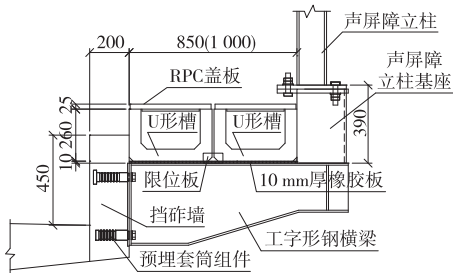


图 8 浩吉铁路设声屏障梁人行道结构(单位:mm)

3.3 梁端防排水设施

铁路简支 T 梁一般梁端均设置防排水设施,防排水设施由预埋角钢、套筒和橡胶止水带及钢压条组成,其上采用纤维混凝土封闭,钢盖板覆盖,见图 9。原设计结构较复杂,工序多,造价高。

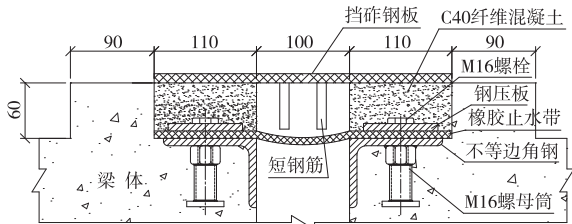


图 9 梁端防排水构造(单位:mm)

防排水设施主要防止雨水从梁端直接下排,影响梁端预应力锚具和支座的耐久性。目前在预制梁生产时均对锚具和封锚混凝土进行了防水处理,支座距梁端还有一定距离,且端缝处覆盖有挡砟钢板,下排的雨水对锚具和支座的影响较小,本次优化设计取消橡胶止水带及其相应预埋件,仅保留上部挡砟钢板,如图 10 所示。设计方案简化了施工,降低了造价。梁端设置挡水台,挡水台高出桥面保护层 1~5.2 cm。挡砟钢盖板平置。

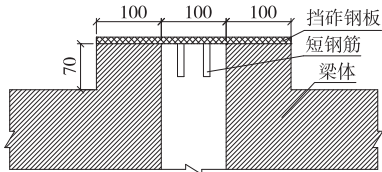


图 10 优化后梁端挡水台及挡砟盖板(单位:mm)

3.4 浩吉铁路 T 梁与客货共线铁路 T 梁工程数量的对比

浩吉 T 梁与客货共线 T 梁每孔跨度 32 m 双线梁的主要工程数量及造价见表 3,工程数量及造价里均仅包含梁部预制、现浇和桥面系。客货共线 T 梁采用通桥(2016)2101 系列梁。

表 3 浩吉铁路 T 梁与客货共线铁路 T 梁工程数量及造价对比

类别	无声屏障 T 梁		设声屏障 T 梁	
	客货共线	浩吉铁路	客货共线	浩吉铁路
混凝土/m ³	243.5	245.5	295.7	255.6
钢筋/t	30.7	38.2	56.4	38.2
预应力筋/t	13.5	15.4	17.0	15.9
钢材/t	5.3	4.9	2.3	7.7
外挂电缆槽/m	65.4	0	65.4	0
工程造价/万元	63.7	65.4	82.4	68.6

浩吉铁路为重载铁路,其设计列车活载为客货共线铁路设计活载的 1.2 倍。在设计列车活载加大的前

提下,浩吉铁路无声屏障简支 T 梁与客货共线简支 T 梁相比造价基本相当,设声屏障梁造价远低于客货共线梁,优化效果明显。

4 试制、试验

浩吉铁路常用跨度简支梁人行道组合结构是一种新型的铁路简支 T 梁人行道结构,为保证施工工艺的可操作性和结构的可靠性,批量使用前,通过试验梁的试制试验进行了验证。试验内容包含一片梁的静载试验、人行道结构制造和安装,以及 6 m 长的设置声屏障人行道结构加载试验,试验结果验证浩吉铁路简支 T 梁设计方案可行,结构安全,其强度和刚度均满足规范要求。试验通过评审后,在浩吉铁路全线推广使用。

5 结语

本文简要介绍浩吉铁路后张法简支 T 梁的设计和 一些优化措施,浩吉铁路首次采用一种新型的工字形钢横梁和混凝土 U 形槽及 RPC 盖板组成的组合结构,为电缆的铺设和检修及声屏障的设置均提供了便利条件,节省了造价较高的外挂式电缆槽。有、无声屏障梁的桥面宽度和高度完全一致,相接顺畅,避免了复杂的过渡措施。取消避车台和优化梁端防排水设施简化了结构,降低了施工难度。浩吉铁路简支 T 梁优化设计后提高了其使用功能,降低了工程造价,对重载铁路和客货共线铁路简支梁的设计具有一定的参考意义。

参考文献:

[1] 陈良江,文望清.中国铁路桥梁:1980—2020[M].北京:中国铁道出版社,2020.

[2] 杨鹏健,周勇政,高策,等.铁路常用跨度标准梁技术发展与创新[J].铁道标准设计,2020,64(11):51—56.

[3] 中铁工程设计咨询集团有限公司.蒙西至华中地区铁路通道后张法预应力混凝土简支 T 梁施工图[Z].北京:中铁工程设计咨询集团有限公司,2016.

[4] 杨勇.重载铁路高墩大跨简支桥梁技术经济比选[J].铁道工程学报,2018,35(12):31—35.

[5] 国家铁路局.铁路桥涵设计规范:TB/T10002—2017[S].北京:中国铁道出版社,2017.

[6] 国家铁路局.重载铁路设计规范:TB10625—2017[S].北京:中国铁道出版社,2017.

[7] 国家铁路局.铁路桥涵混凝土结构设计规范:TB10092—2017[S].北京:中国铁道出版社,2017.

[8] 高策,林辉,徐升桥.铁路桥梁工程应用高强钢筋经济性分析[J].铁道标准设计,2018,62(8):59—63.

[9] 侯建军,徐升桥,邓运清.客货共线铁路简支箱梁设计研究[J].铁道标准设计,2018,62(10):68—73.

[10] 杨斌,尹京,李运生,等.高速铁路桥梁装配式桥面系力学性能试验研究[J].铁道工程学报,2020,37(9):29—34.

文章编号:1004-2954(2021)11-0105-08

川藏铁路昌都至林芝段桥梁设计研究

康 炜, 李 侠, 文 强, 乔雷涛, 王 辉, 周友权

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 西安 710043)

摘 要:为解决川藏铁路严苛的建设环境给桥梁建设带来的巨大挑战和超高风险,通过对复杂的地形、近断层高烈度地震、频发的地质灾害、大温差强紫外线、敏感的生态环境、薄弱的基础交通进行详细调查分析,确定了主要设计原则,并通过方案比较和计算分析对色曲特大桥、瓢打曲特大桥、易贡藏布大桥确定了桥式方案,论述大跨悬索桥、拱桥、斜拉桥的技术特点,开展气象观测、岸坡稳定、泥石流、抗风、抗震、轨道形位、隧道锚受力等多项专题研究。所确定的设计原则合理,3座大桥分别采用主跨880 m悬索桥、主跨246 m矮塔斜拉桥、主跨310 m中承式钢桁拱桥,桥式方案合理、环境匹配度高、技术可行,具有良好的技术经济性和耐久性。

关键词:川藏铁路;铁路桥梁;悬索桥;拱桥;矮塔斜拉桥;抗震设计

中图分类号:U448.13; U442.5 **文献标识码:**A **DOI:**10.13238/j.issn.1004-2954.202106300003

Research on Bridge Design of Chamdo-Nyingchi Section on Sichuan-Tibet Railway

KANG Wei, LI Xia, WEN Qiang, QIAO Leitao, WANG Hui, ZHOU Youquan

(China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Xi'an 710043, China)

Abstract: In order to cope with the great challenge and high risk due to the adverse environment in Sichuan-Tibet Railway construction, main design principles are determined based on the investigation of complex topography, near-fault high intensity earthquake, frequent occurrence of geological hazard, large temperature difference and strong ultraviolet, sensitive ecological environment, weak basic transportation. Bridge type scheme of SeQu Bridge, RangdaQu Bridge, Yigong River Bridge are decided by means of comparison, selection, calculation and analysis, and technical characteristics of long-span suspension bridge, arch bridge, cable-stayed bridge are illustrated. The researches on meteorological observation, bank stabilization, mud-avalanche, wind resistance, earthquake resistance, form and position of track, and stress performance of tunnel anchorage are carried out. The main conclusions are as follows. The design principles are reasonable, the suspension bridge with 880 m main-span is applied to SeQu Bridge, the extradosed cable-stayed bridge with 246 m main-span is applied to RangdaQu Bridge, the half-through steel truss arch bridge with 310 m is applied to Yigong River Bridge. The bridge type schemes of the three

long span bridges are proved applicable with high environment matching degree, technical feasibility, good economy and endurance.

Key words: Sichuan-Tibet Railway; railway

收稿日期:2021-06-30;修回日期:2021-07-12

基金项目:中国铁建股份有限公司科研重点课题(2019B-15)

作者简介:康 炜(1973—),男,正高级工程师,1997年毕业于西南交通大学桥梁工程专业,主要从事大跨桥梁设计研究工作, E-mail: 729608145@qq.com。

[11] 徐辉,张世基,严章荣,等.重载铁路预应力混凝土梁桥设计及经济性分析[J].铁道标准设计,2015,59(12):53-57,58.

[12] 邓运清,徐升桥,侯建军,等.高速铁路标准简支箱梁设计优化[J].铁道标准设计,2019,63(5):71-75.

[13] 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.

[14] 李奇,吴阅,吴琪.考虑轨道静态变位的简支梁竖向刚度限值研究[J].铁道工程学报,2020,37(3):34-39.

[15] 谈遂,余志武,金城,等.重载铁路桥梁动力响应的随机性分析及最大值估计[J].中国铁道科学,2017,38(2):42-48.

[16] 肖烨,罗小勇,刘晋宏.大轴重列车作用下桥梁结构的动力响应研究[J].铁道工程学报,2018,35(5):44-51.