

文章编号: 1674—8247(2019)01—0097—04
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.01.020

四线铁路连续梁空心薄壁刚架主墩设计

刘 彬

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:文章以玉磨铁路立新寨四线特大桥为例,介绍了山区铁路站内四线连续梁主墩采用双柱空心薄壁刚架墩的设计,并针对连续梁主墩与桥上轨道附加及桥梁动力特性等进行了分析探讨。论述了山区地形、车站布置、地质情况及桥上轨道附加力对桥梁结构静动力性能的影响,总结出针对四线铁路连续梁空心薄壁刚架墩的设计与计算方法,有效地降低了多线连续梁高墩的建造成本,为山区多线铁路大跨度连续梁下部结构的设计与计算提供了可借鉴的经验。

关键词:空心薄壁刚架墩;四线铁路;连续梁;轨道附加力

中图分类号:U443.22 **文献标志码:**A

Design of Hollow Thin-wall Rigid Frame Main Pier of Bridge with Continuous Beams on Four-line Railway

LIU Bin

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

Abstract: Taking Lixinzhai four-line super major bridge of YuMo Railway as an example, this paper introduces the design of double-column hollow thin-wall rigid frame of main pier of four-line bridge with continuous beams in mountainous railway station, and analyzes and discusses the main pier of the continuous beam, the additional force of track on the bridge and the dynamic characteristics of the bridge. This paper discusses the influence of mountainous terrain, station layout, geology and additional force of track on the static and dynamic performance of the bridge structure, summarizes design and calculation methods for hollow thin-walled frame piers bridge with continuous beam on four-line railway, which effectively reduces the construction cost of multi-line continuous beam high piers, and provides the experience for design and calculation of substructure of multi-line long-span continuous beam.

Key words: hollow thin-wall rigid frame pier; four-line railway; continuous beam; additional force of track

在我国西南山区铁路的桥梁建设中,受地形地貌、道路立交、行洪通航、车站选址等多重因素的影响,易出现站内多线高架桥,一般采用上部结构大跨度连续梁,下部结构为高墩的形式,桥墩及基础工程过大。本文以玉磨铁路立新寨四线特大桥为例,对多线高架桥桥墩构造及结构分析进行探讨。

1 工程背景

玉磨铁路为双线时速160 km的客货共线铁路。立新寨四线特大桥为站内多线铁路桥梁,桥上为立新越行站。该桥前接立新隧道出口,后接月牙田隧道进口,桥位受立交、地形、水文、道岔控制。

收稿日期:2018-09-11

作者简介:刘彬(1984-),男,工程师。

引文格式:刘彬. 四线铁路连续梁空心薄壁刚架主墩设计[J]. 高速铁路技术,2019,10(1):97-100.

LIU Bin. Design of Hollow Thin-wall Rigid Frame Main Pier of Bridge with Continuous Beams on Four-line Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(1): 97-100.

桥位处地形地貌属构造侵蚀低中山地貌,地形起伏较大,地面相对高差约 140 m,自然坡度约 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$,局部稍陡。坡面植被不发育,多为灌木及杂草,平缓地段多被垦为耕地,局部为荒地,经济农作物主要为芒果树,施工便道与 310 省道相通,交通方便。桥区地震动峰值加速度为 0.15 g,地震动反应谱特征周期为 0.40 s。主桥跨越底宽为 3.5 m 的山区冲沟,根据形态勘测法算得水文三要素 $H_{1\%} = 1158.11$ m、 $Q_{1\%} = 485.46$ m³/s、 $V_{1\%} = 4.75$ m/s。测区主要地质成分为粉质黏土、泥质板岩夹白云岩、变质砂岩。

2 总体布置

立新寨四线特大桥中心里程为: D1K 67 + 407, 孔跨布置式样为: (2 × 24) m 简支梁 + (17 × 32) m 简支梁 + (48 + 3 × 80 + 48) m 连续梁, 全长 952.80 m。线路在 D1K 67 + 287 ~ D1K 67 + 527 采用 (3 × 80) m 双幅连续梁跨越 V 字型深沟, 轨面至沟底最大深度为 74.5 m, 最大墩高为 62.5 m。全桥轨面位于 -3‰ 的下坡段, 线路平面位于直线上, 主墩分别采用双柱实体钢筋混凝土墩、双柱空心薄壁刚架墩和实体墩。其中双柱空心薄壁墩配普通钢筋混凝土帽梁, 承台加设 2 层垫块, 基础采用钻孔摩擦桩, 总布置图, 如图 1 所示。

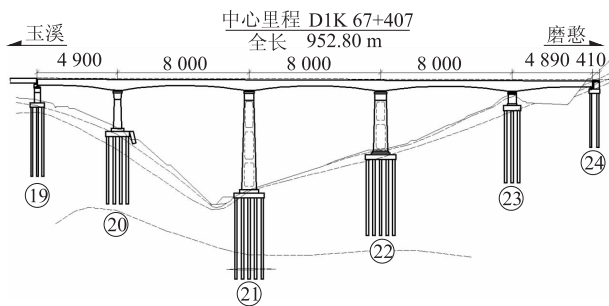


图1 立新寨四线特大桥总布置图 (cm)

3 空心薄壁刚架墩构造

在墩高不超过 15 m 的情况下, 四线并行的简支梁桥墩采用单线 + 双线 + 单线布置时, 均采用相应通用图中的实体墩, 这样布置的优点在于各线桥墩结构分离, 受力明确, 设计采用普通桥墩, 可减少设计和施工成本; 当墩高大于 15 m, 桥墩坡度为放坡设置时, 单线与双线墩的墩底截面会相互重叠。为避免这种情况的发生, 一般可采用双柱或三柱刚架墩的型式予以避免^[8]。但双柱或三柱刚架墩在受不良地质情况影响时, 若控制不好不均匀沉降, 柱身与帽梁之间混凝土易

发生开裂。

当墩高超过 40 m 时, 双柱式或三柱式实体刚架墩则显得不经济。因为随着墩身高度增加, 桥墩的稳定性、综合线刚度会随之降低, 为了满足各项指标要求, 实体墩尺寸及自重显著增大, 从而造成结构及基础成本的增加。本桥 21 号墩墩高达 62.5 m, 且上部结构为双幅双线大跨连续梁, 通过对实体墩、双柱实体墩、三柱实体墩、双柱空心墩、三柱空心进行综合比选, 推荐立新寨四线特大桥 20 号主墩采用双柱式实体刚架墩, 21 号、22 号主墩采用双柱式空心薄壁刚架墩, 23 号主墩采用了板式实体墩。

21 号、22 号主墩采用的双柱式空心薄壁刚架墩, 其优点在于自重轻、刚度大、稳定性强、检修方便且施工技术成熟^[5]。帽梁采用厚度为 5.0 m 的普通钢筋混凝土结构, 柱身采用分段的普通钢筋混凝土空心结构, 并在柱身的实体段设置变截面实体横梁, 以提高墩柱横向稳定性。考虑到空心墩检查需要, 在柱身顺桥向的侧面设置进人洞, 并在柱身实体段设置竖向的过人孔, 以方便检修人员能进入不同分段的空心段内。21 号和 22 号墩均位于横坡较陡的山坡上, 为最大限度减少基坑开挖对坡面的破坏, 采用不等高双柱及分离式桩基础的形式。由于横桥向为柱间距 13.0 m 的双柱, 横向刚度较纵向易控制, 因此, 柱身仅在纵向设置 40:1 放坡, 横桥向采用 1:0 直坡。22 号墩墩高虽低于 21 号墩, 但固定支座设置于该墩, 受 (48 + 3 × 80 + 48) m 连续梁全联制动力影响, 22 号墩纵向墩颈尺寸比 21 号墩略大。为统一全桥桩径、节约投资、方便施工, 通过对直径 1.5 m 与 1.8 m 的桩基础进行分析比较, 最终选用直径为 1.5 m 的群桩基础。

4 结构计算分析

双柱式刚架墩为超静定结构, 受力较为复杂, 结构内力受外荷载、各构件刚度大小、结构边界条件、温度变化及混凝土收缩徐变产生的二次内力的影响^[7], 计算时简化为平面杆系结构。本桥 21 号主墩设置活动支座, 不受列车制动力影响, 其横向设计是该墩的关键。本桥 22 号固定主墩, 虽构造与 21 号墩大体一致, 但为满足无缝线路轨道结构的变形要求, 纵向设计是该墩的关键^[1-4]。

4.1 单墩建模计算

采用 MIDAD CIVIL 软件分别建立 21 号和 22 号桥墩模型, 帽梁、墩柱、横系梁均用梁单元模拟, 桩基础采用与承台连接节点 6 个方向的实际刚度模拟, 墩柱混凝土弹性模量 E 采用 $0.8E_c$ (E_c 为混凝土的抗压弹

性模量)。

单墩 MIDAS 模型中柱身按偏心受压构件检算了 X 与 Y 方向的强度、稳定性、裂缝宽度、墩顶位移、综合线刚度等。帽梁与横系梁均按普通钢筋混凝土纯弯构件检算了抗弯强度、抗剪强度、裂缝宽度等。根据 GB 50111-2016《铁路工程抗震设计规范》相关规定,对墩柱进行了延性简算,结果表明在罕遇地震工况下,墩柱的 μ 值满足不大于 4.8 的要求,地震工况不控制设计。

4.1.1 21 号活动主墩横向受力分析

根据活载作用情况,桥墩设计计算了主力、主+附和主+地震的荷载组合共 7 种工况,其中体系温度变化按整体升降温 20℃ 考虑。

表 1 21 号墩柱偏压计算结果表

位置	工况	轴力 /kN	弯矩 /(kN·m)	最少钢筋配置			应力		裂缝 /mm
				规格 /mm	受拉区面积 /mm ²	根数 /根	受拉区钢筋 /MPa	混凝土 /MPa	
柱顶	主力	62 118.1	17 670.8	32	8 400	63.7	6.4	0	0
	主+附	63 715/6	23 901.2	32	8 400	11	61.8	6.2	0
横系梁	主力	73 799.4	6 977.9	32	10 426	13	54.3	5.4	0
	主+附	64 112.7	9 825.1	32	10 426	13	49.9	5	0
柱底	主力	83772.5	21 173	32	14 532	19	55.3	5.6	0
	主+附	80 336.5	35 311.8	32	14 532	19	61.8	6.2	0

在各工况计算中,通过对比帽梁的正、负弯矩值和横向位移来确定最佳的横向柱间距,结果表明,柱间距 13.0 m 时,帽梁最大正弯矩为 6.46×10^4 kN·m,最大负弯矩为 8.12×10^4 kN·m,墩顶横向位移值为 1.346 cm,满足帽梁上下缘配筋、梁端水平折角及连续梁横桥向位移的要求。根据帽梁内力包络图配置钢筋,上缘支点及下缘跨中处均配 $\phi 32$ HRB400 主筋(3 根 1 束),箍筋间距 10 cm,并在支点剪力较大处设置抗剪斜腹筋。

墩柱受到列车横向摇摆力、风力、温度力及收缩徐变的影响,在横桥向,墩柱控制截面一般在墩柱与帽梁、横系梁及基础的连接处,根据内力包络图对墩柱进行了运营阶段的结构强度及裂缝等检算。根据以往经验,一般在柱高超过 15 m 时应设置横系梁,本桥 21 号墩左柱高 54.5 m,右柱高 57.5 m,为提高墩柱的横向刚度及墩柱稳定性,在距帽梁底 18 m、37 m 处分别设置 2 道横系梁。

4.1.2 22 号固定主墩纵向受力分析

22 号墩与 21 号墩构造形式一致,也采用了双柱式空心薄壁刚架墩,左柱高为 31 m,右柱高为 28 m。该墩上部为主跨(3×80) m,联长 337.4 m 的双幅连续梁,墩顶设置了双幅连续梁的固定支座,墩顶承受四

(1)主力组合

组合一:恒载+到发线 1 线偏载

组合二:恒载+到发线 1 线偏载+正线 1 线偏载

组合三:恒载+到发线 1 线偏载+正线 2 线活载

组合四:恒载+到发线 2 线活载+正线 2 线活载

组合五:恒载+8 股道的伸缩力或挠曲力(取较大者)

(2)附加力组合

组合六:各主力组合+支座摩阻力+风力+整体升降温 20℃

(3)地震力组合

组合七:恒载+2 线活载+多遇地震荷载

各工况下 21 号墩柱偏压计算结果,如表 1 所示。

线竖向活载,同时全联连续梁 2 线制动产生的制动力均由固定支座承担。经计算,为满足全联连续梁制动产生的纵向力,桥墩加强了纵向尺寸的设计,墩径纵向尺寸调整为 6.50 m,比 21 号主墩宽 0.5 m。桥墩计算共考虑 7 种工况。

(1)主力组合:同 21 号墩

(2)附加力组合:各主力组合+全联连续梁制动力+风力+整体升降温 20℃

(3)地震力组合:同 21 号墩

在 22 号墩纵向刚度设计中,需重点考虑连续梁上轨道力对刚架墩的影响。在铺设无缝线路的桥梁上,因梁部结构与轨道的相互作用而产生的“长钢轨纵向水平力”往往控制桥墩的纵向变形,必要时需在轨道上设置温度调节器。一般主跨不大于 120 m 时可不设置温度调节器^[6],基于此本桥未设置温度调节器。

本桥墩所受的钢轨力如表 2 所示。根据 TB 10002-2017《铁路桥涵设计规范》表 4.3.13,考虑了最不利工况为恒载+双线活载+双线制动力+4 股道钢轨伸缩力+活动墩传递的摩阻力+温度力。经计算,控制截面墩底空心交界面纵向弯矩为 $1.511\ 29 \times 10^5$ kN·m,轴力为 $5.995\ 1 \times 10^4$ kN,配置 $\phi 32$ mm 的 HRB400 钢筋 60 根(2 根 1 束)。混凝土最大压应力

$\sigma_h = 8.8 \text{ MPa}$, 受拉钢筋最大应力 $\sigma_g = 126.3 \text{ MPa}$, 墩顶纵向位移 $d_y = 2.312 \text{ cm}$, 桥墩混凝土压应力 $\sigma_c = 3.438 \text{ MPa}$, 均满足规范要求。

表 2 22 号墩墩顶轨道力

墩台编号	伸缩力/(kN/轨)	挠曲力/(kN/轨)	断裂/(kN/轨)
22 号	386.4	45	624

4.2 全桥建模计算

建立主跨(48 + 3 × 80 + 48) m 全桥模型, 主要对连续梁主跨部分的横桥向自振频率进行检算分析。采用 Midas 软件进行建模, 各构件采用空间单元模拟。预应力连续梁箱梁的刚度与质量集中到主梁 1/2 梁高处; 桥墩、承台采用梁单元进行模拟, 桩基础刚度的影响通过承台底节点弹性支承中 3 个方向的水平刚度与 3 个方向的转动刚度进行模拟, 梁和墩之间的联结根据实际支座类型采用主从关系处理, 几何模型如图 2 所示, 二期恒载取 166.7 kN/m, 作为均布质量加载到梁体单元中, 通过 344 个单元的特征值分析模型, 得出在模态 2 工况下, 主振型在横桥 Y 方向的自振频率 $f = 0.723 \text{ Hz}$, 周期 $T = 1.383 \text{ s}$, 满足最大自振周期允许值 $[T] = 0.25 \times \text{SQRT}(H) = 1.976 \text{ s}$ (H 取全桥最高墩高 62.5 m) 的要求。

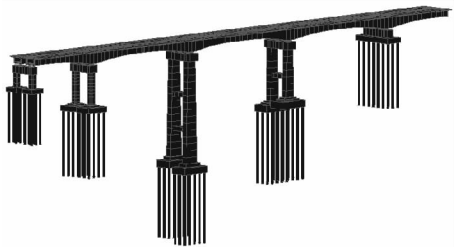


图 2 MIDAS 几何模型

5 结束语

(1) 山区四线铁路连续梁高墩采用双柱薄壁空心刚架墩是可行、合理的。

(2) 列车活载在连续梁上产生的制动力是控制立柱构造尺寸的主要因素。

(3) 合理选择墩型、构造尺寸以及适当提高固定墩纵向线刚度值, 对车站渡线范围的梁部与轨道协调受力起重要作用。

参考文献:

[1] TB 10002 - 2017 铁路桥涵设计规范[S].
TB 10002 - 2017 Code for Design of Railway Bridges and Culverts [S].

[2] TB 10092 - 2017 铁路桥涵混凝土结构设计规范[S].
TB 10092 - 2017 Code for Design of Concrete Structures for Railway Bridges and Culverts [S].

[3] GB 50111 - 2006 铁路工程抗震设计规范[S].
GB 50111 - 2006 Code for Seismic Design of Railway Engineering [S].

[4] TB 10015 - 2012 铁路无缝线路设计规范[S].
TB 10015 - 2012 Code for Design of Railway Continuous Welded Rail [S].

[5] 铁道部第四勘测设计院. 铁路工程设计技术手册 - 桥梁墩台 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1999.
The Fourth Survey and Design Institute Ministry of Railway. Technical Manual of Railway Engineering Design-Bridge Piers and Abutments [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1999.

[6] 田春香, 殷明旻, 王平. 关于桥上无缝线路使用伸缩调节器的几点思考[J]. 铁道建筑, 2006, 46(2): 85 - 87.
TIAN Chunxiang, YIN Mingmin, WANG Ping. Thinking about Using Expansion-contraction Adjuster in CWR on Bridge [J]. Railway Engineering, 2006, 46(2): 85 - 87.

[7] 史进. 超宽圆端形薄壁空心墩温度效应分析[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2014.
SHI Jin. Analysis of Temperature Effect of Super-wide Circular Thin-walled Hollow Pier [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2014.

[8] 赖小刚. 山区铁路车站内四线高桥设计[J]. 重庆建筑, 2010, 9(11): 18 - 21.
LAI Xiaogang. Design of Four-line High Bridge in Mountainous Railway Station [J]. Chongqing Architecture, 2010, 9(11): 18 - 21.

(编辑: 刘会娟 张红英)