

文章编号: 1674—8247(2018)03—0059—04

# 铁路大跨双薄壁矮墩连续刚构桥设计研究

钟亚伟 陈思孝 向律楷

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘要:**为确定矮墩大跨连续刚构桥较为合理的设计参数,以兴泉铁路永安沙溪特大桥主桥(90+168+90)m连续刚构为研究对象,在分析矮墩大跨连续刚构桥受力特点的基础上,运用有限元软件建模计算,研究控制刚构桥设计的刚壁墩壁厚、刚壁墩间距、承台结构型式、桩土效应及地基系数的比例系数等参数对桥墩内力及刚度的影响。分析表明:刚壁墩壁厚对墩身内力影响较为敏感,考虑桩土效应能有效改善桥墩结构的受力,据此确定了本桥合理的墩身结构尺寸及计算分析模拟方法,可为同类工程提供技术参考。

**关键词:**矮墩;连续刚构桥;设计参数

**中图分类号:**U442.5 **文献标志码:**A

## Study on Design of Long-span Continuous Rigid Frame Railway Bridge with Low Double Thin-wall Pier

ZHONG Yawei CHEN Sixiao XIANG Lv kai

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

**Abstract:** To determine the optimal design parameters of low-pier and long-span continuous rigid frame bridge, the continuous rigid frame bridge project of Shaxi extra-long bridge with a main bridge of (90 + 168 + 90) m on Xingguo-Quanzhou railway is taken as the engineering background. Based on the analysis of the stress characteristics of the low-pier and long-span continuous rigid frame bridge, the influence of such parameters as thickness of rigid wall pier, distance between rigid wall piers, bearing platform structure pattern, pile-soil effect and proportion coefficient of foundation coefficient which dominate the bridge design on the internal force and stiffness of pier is studied by using the finite element analysis software. The results show that the thickness of rigid wall pier has the greater influence on the internal force of pier body and to consider pile-soil effect can effectively improve the stress of pier structure. Based on the results, the reasonable structural dimension of pier body and calculation and analysis simulation method of this bridge are determined, which can provide technical reference for similar projects.

**Key words:** low pier; continuous rigid frame bridge; design parameter

连续刚构桥因其桥式简单、受力明确、主墩无支座、整体刚度大、结构静动力性能较好、施工技术成熟且适应性强等优点,在活载大、刚度要求高的铁路桥梁中得到了广泛应用。但由于连续刚构桥墩梁固结,是多次超静定结构,在其合龙成桥后,梁体收缩、徐变及温度效应会对桥墩引起较大的附加弯矩及墩顶水平位

移<sup>[1-2]</sup>,尤其是当桥墩墩高较矮、刚度较大,且桥梁跨度较大、受力较复杂时,这种不利的影响尤为突出。

## 1 工程概况

兴泉铁路为客货共线 I 级铁路,设计荷载为中活载,设计速度 160 km/h。永安沙溪特大桥主桥位于福

收稿日期:2017-09-04

作者简介:钟亚伟(1981-),男,高级工程师。

引文格式:钟亚伟,陈思孝,向律楷. 铁路大跨双薄壁矮墩连续刚构桥设计研究[J]. 高速铁路技术,2018,9(3):59-62.

ZHONG Yawei, CHEN Sixiao, XIANG Lv kai. Study on Design of Long-span Continuous Rigid Frame Railway Bridge with Low Double Thin-wall Pier [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(3): 59-62.

建省永安市,为跨越沙溪河段规划V级航道而设的单线铁路桥,道砟桥面。由于通航的要求,桥梁需一跨跨越通航水域,主跨达到168 m。由于受桥址相邻工程的影响,线路标高无法抬高,导致本桥两主墩墩高分别为27 m和29 m。

本桥桥址范围内地势较缓,区内上覆地层为第四系全新统人工弃土( $Q_4^a$ ),冲洪积层( $Q_4^{al+pl}$ )粉质黏土、软土、粉细砂、粗圆砾,坡洪积层( $Q_4^{dl+pl}$ )粉质黏土,下伏基岩为白垩系上统赤石群崇安组(Kc)砾岩、含砾砂岩、泥岩。地震动峰值加速度为0.05 g,地震动反应谱特征周期0.35 s。

## 2 桥式方案

桥型选择应根据桥位处地形、地貌、地质及水文等条件,按照受力合理、技术成熟、安全经济、利于养护等原则进行。由于本桥因通航要求主跨跨度已确定需采用168 m,若采用连续结构,则结构的温度联长较大,

考虑桥梁上铁路钢轨的受力要求,需设置钢轨伸缩调节器<sup>[3]</sup>。但本桥小里程侧处于平面曲线段,根据相关规范的要求不能设置钢轨伸缩调节器;若在大里程设置,则本桥主墩的刚度需满足一定的要求,导致墩身截面尺寸较大,对桥跨的通航和行洪有一定的影响,同时需设置大吨位支座。因此为减小桥梁结构的温度联长,且降低工程造价,本桥采用(90+168+90)m连续刚构方案,如图1所示。

## 3 梁部设计

主桥(90+168+90)m连续刚构上部结构为变截面悬灌预应力混凝土连续箱梁,梁体采用C55混凝土,采用单箱单室截面。梁顶宽7.6 m,箱宽6.5 m,主墩处梁高12.6 m,边跨及中跨跨中等高段梁高为6.4 m,梁底采用2次抛物线过渡。梁端及主墩纵向墩壁顶各设一道横隔板,横隔板中部设置进人孔,以利于检修人员通过,箱梁横断面构造示意如图2所示。

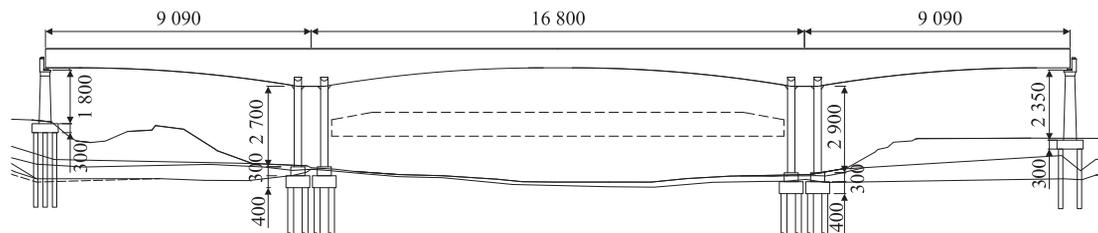


图1 沙溪特大桥主桥(90+168+90)m连续刚构总体布置图(cm)

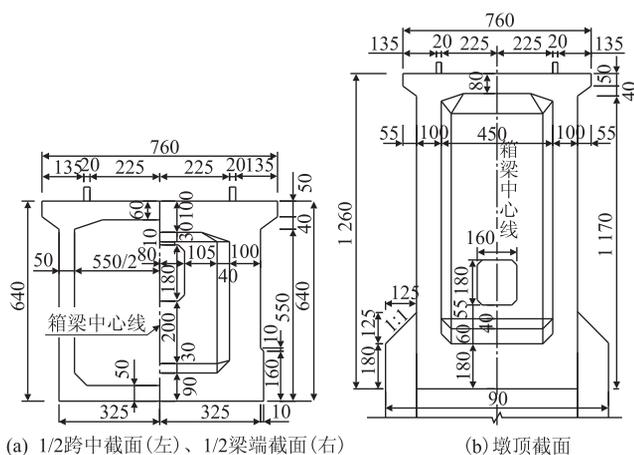


图2 箱梁构造示意图(cm)

## 4 下部结构设计

本桥主墩墩高相对较小,刚度大,由于桥墩的结构尺寸决定了桥墩的纵、横向刚度,桥墩的纵向刚度越大,其所承受的纵向力也越大,同时墩梁的相对刚度还决定了墩梁之间的内力分布。因此本桥下部结构设计时须考虑以下重点要素<sup>[4]</sup>:

(1)为适应纵桥向温度、混凝土收缩徐变等引起的变形,桥墩应具有适当的纵向抗推刚度;

(2)为满足结构自身的受力需求及上部轨道结构受力的要求,桥墩应具有较大的抗弯刚度;

(3)为满足桥墩墩顶横向位移、自振特性及列车运行的要求,桥墩应具有一定的横向刚度;

(4)墩型及尺寸应与周围环境相协调,同时需满足通航行洪的要求。

铁路连续刚构桥主墩一般采用双肢薄壁和空心墩。相比而言,双肢薄壁墩柔性强,综合抗弯刚度大,而水平抗推刚度约为单体墩的1/4,温差引起的内力小,结合矮墩刚构桥的受力特点,本桥主墩采用实体双肢薄壁墩,C40混凝土,墩身纵、横向均采用直坡,墩身直线段长6.5 m,两端采用半圆形截面。

## 5 下部结构刚度影响分析

### 5.1 桥墩尺寸的影响

对双肢薄壁桥墩,影响其刚度的桥墩尺寸主要有截面尺寸和两肢薄壁墩的间距。根据国内已建高墩大跨连续刚构桥的相关资料可知,双肢薄壁墩墩身纵向

壁厚一般为0.2~0.4倍主墩梁高。本桥主墩处梁高为12.6 m,考虑本桥为大跨矮墩结构,对墩身纵向壁厚取2.0 m、2.5 m及3.0 m,墩身间距采用8 m、9 m和10 m进行比较分析。

(1)内力分析,其计算结果如表1、表2所示。

表1 墩顶截面控制内力

墩身壁厚/m	墩身间距/m					
	8		9		10	
	轴力/kN	弯矩/(kN·m)	轴力/kN	弯矩/(kN·m)	轴力/kN	弯矩/(kN·m)
2.0	49 054	40 808	49 227	41 494	49 445	42 094
2.5	45 733	60 682	45 839	62 188	46 039	63 511
3.0	42 282	81 349	42 280	84 048	42 425	86 435

表2 墩底截面控制内力

墩身壁厚/m	墩身间距/m					
	8		9		10	
	轴力/kN	弯矩/(kN·m)	轴力/kN	弯矩/(kN·m)	轴力/kN	弯矩/(kN·m)
2.0	63 023	40 772	63 177	41 127	63 382	41 465
2.5	63 080	58 093	63 169	58 820	63 357	59 500
3.0	62 924	73 977	62 904	75 114	63 036	76 177

由表1、表2可知,墩身壁厚相同时,随着墩身肢间距加大,其内力有所增大,轴力与弯矩的增长率均在5%以下,且墩顶截面比墩底更为敏感;当墩身肢间距相同时,随着壁厚的增加,其轴力影响不大,但弯矩增长率约为40%左右,且墩顶截面比墩底更为敏感。因此,改善薄壁墩的壁厚对桥墩的内力受力影响较大。

同时,主墩间距应满足承受施工悬臂状态最大不平衡弯矩的要求。

$$W = \frac{ab^3/3 + abH^2}{H + b} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{\Delta M}{W} \leq 0.7f_{ct} \quad (2)$$

式中:W——墩柱截面惯性矩;

a——横向宽,取9.0 m;

b——顺桥向宽,取2.5 m;

H——墩间距,取9.0 m;

$\sigma$ ——应力;

$f_{ct}$ ——混凝土容许拉应力,本桥采用C40混凝土,取2.7 MPa。

施工最大不平衡弯矩取一个节段浇筑差+一侧悬臂5%梁体不均匀自重+挂篮掉落组合工况, $\Delta M = 266\,485 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 。

$$\text{墩身 } W = \frac{9 \times 2.5^3/3 + 9 \times 2.5 \times 9^2}{9 + 2.5} = 162.55 \text{ m}^3$$

$$\text{不平衡弯矩所需 } W = \frac{266\,485 \times 10^{-3}}{0.7 \times 2.7} = 141.0 \text{ m}^3$$

因此,从结构受力考虑,本桥主墩选用壁厚2.5 m,墩身间距9.0 m较为适宜。

(2)抗推刚度分析,其计算结果如表3所示。

表3 墩身抗推刚度值

墩身壁厚/m	墩身间距/m		
	8	9	10
	刚度值/(kN/cm)		
2.0	1 026	1 046	1 059
2.5	1 637	1 681	1 712
3.0	2 242	2 326	2 387

由表3可知,墩身壁厚相同时,随着墩身肢间距加大,其抗推刚度变化较小;当墩身肢间距相同时,随着壁厚的增加,其抗推刚度变化相对较大。因此,改善薄壁墩的壁厚对桥墩的抗推刚度影响较大。结合桥上轨道力分析,采用壁厚2.5 m、墩身间距9.0 m的刚度可满足设计要求。墩身截面图如图3所示。

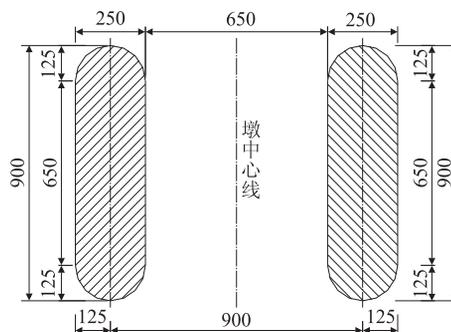


图3 墩身截面图(cm)

## 5.2 承台结构的影响

对两肢墩高相等的双肢薄壁墩结构,其桥址处地形较平缓,承台基础可设计为整体式承台与分离式承台结构。针对本桥,分析其两种承台结构对墩身内力的影响,其结果如表4所示。

表4 承台对墩身内力的影响

部位	承台型式	轴力/kN	弯矩/(kN·m)
墩顶	合修	48 077	64 964
	分修	45 839	62 188
墩底	合修	65 378	68 098
	分修	63 169	58 820

由表4可知,承台合修的墩身内力较承台分修时略大,墩顶约增大5%,墩底约增大15%,可见,随着承台合修,墩身刚度加大,对墩身内力有一定的影响。在满足墩身刚度要求的条件下,为减小墩身内力,同时降低工程投资,本桥采用承台分修的方案。

## 5.3 基础刚度的影响

本桥基地土层为泥质砂岩,基本承载力450 kPa,抗压强度4.5 MPa,由于墩底竖向力及弯矩较大,若采用扩大基础,基地应力较大,地基承载力难以满足要求同时本桥主墩位于河道中,因此选用桩基础,

桩径 2.0 m。

### (1) 基础的影响分析

计算中,是否考虑桥梁基础的作用,对桥墩刚度有一定的影响,从而导致对刚构梁桥结构的受力有一定影响。通常为简化设计,对桥墩检算时可不考虑桩基础的作用。针对本桥,桩基础采用等代土弹簧“m”法模拟<sup>[5-7]</sup>,分析桩基础对墩身内力的影响,结果如表5所示。

表5 基础对墩身内力的影响

部位	地基模拟	轴力/kN	弯矩/(kN·m)
墩顶	墩底固结	46 357	79 865
	含桩基础	45 839	62 189
墩底	墩底固结	63 506	83 069
	含桩基础	63 169	58 820

由表5可知,计算考虑桩基础的效应后,墩顶、墩底内力均有较大改善,其中墩顶弯矩减小约20%,墩底弯矩减小约30%,可见,基础效应对矮墩刚构桥的墩身内力较为敏感。

### (2) 地基系数的影响分析

地基系数的比例系数取值不同,将影响等代土弹簧“m”法的计算结果,进而对基础刚度有一定的影响<sup>[8]</sup>。目前铁路桥涵设计规范中,对地基系数的比例系数根据土层给出了相应的取值范围,但没有给出具体对应的、确定的数值。为了解此系数对刚构桥桥墩的影响,本桥设计工作中,就此进行了一些探讨,其计算结果如图4所示。

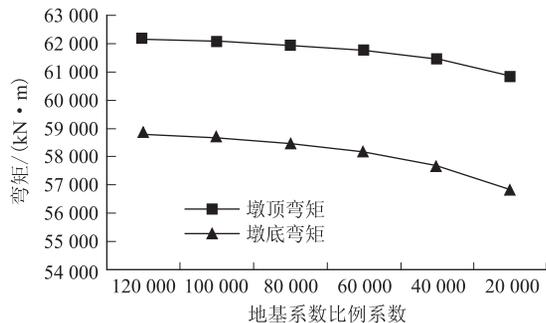


图4 地基系数比例系数对墩身弯矩的影响

计算结果表明,随着比例系数的降低,刚构桥桥墩墩顶、墩底弯矩有一定的影响,也就是随着桥墩刚度减小,桥墩内力变小,但影响较小,敏感性较低。按规范中同一土层的地基系数的比例系数范围,其对墩身弯矩影响较小。

## 6 结束语

(1) 对于双肢薄壁墩的铁路矮墩大跨连续刚构桥,其桥墩的壁厚对桥墩的刚度及内力较为敏感。因

此,主墩的结构尺寸在满足刚度和受力要求的同时,可优化结构尺寸,以减小桥墩的内力。

(2) 双肢薄壁墩的矮墩连续刚构桥,采用分修承台或合修承台,对墩身内力有一定的影响。具体设计中需根据桥址处的地质及地形条件合理确定。

(3) 矮墩连续刚构桥整体计算中,桩基础对桥墩的内力影响较大,但同一土层的地基系数的比例系数对桥墩的内力影响较小。因此设计中,须考虑桩基础的作用,地基系数的比例系数可在规范给定的范围内合理选用。

## 参考文献:

- [1] 王树旺. 铁路高墩大跨连续刚构双肢薄壁墩设计关键技术研究[J]. 铁道标准设计, 2016, 60(2): 81-84.  
WANG Shuwang. Key Techniques for the Design of Double-leg and Thin-wall Pier of High-pier and Large-span Continuous Rigid Frame Railway Bridges [J]. Railway Standard Design, 2016, 60(2): 81-84.
- [2] 廖高茂, 马杰, 杜新, 等. 贵开铁路南江特大桥连续刚构设计[J]. 高速铁路技术, 2012, 3(6): 42-45.  
LIAO Shangmao, MA Jie, DU Xin, et al. Design of Continuous Rigid-frame Bridge on Guiyang-Kaiyang Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2012, 3(6): 42-45.
- [3] 延力强. 高速铁路矮墩大跨连续刚构拱桥设计研究[J]. 铁道标准设计, 2016, 60(3): 56-60.  
YAN Liqiang. The Application Research on Short-pier-long-span Continuous Rigid Frame Arch Bridge in High-speed Railway [J]. Railway Standard Design, 2016, 60(3): 56-60.
- [4] 彭元诚, 方秦汉, 李黎. 超高墩连续刚构设计中的关键技术[J]. 桥梁建设, 2006(4): 30-33.  
PENG Yuancheng, FANG Qinhan, LI Li. Key Techniques for Design of Continuous Rigid-Frame Bridge with Very High-Rise Piers [J]. Bridge Construction, 2006(4): 30-33.
- [5] 高欣梅. 对规范中铁路桥梁桩基计算方法的补充[J]. 高速铁路技术, 2013, 4(6): 58-61.  
GAO Xinmei. Supplement to Calculation Method for Bridge Pile Foundation in Railway Code [J]. High Speed Railway Technology, 2013, 4(6): 58-61.
- [6] TB 10093-2017 铁路桥涵地基和基础设计规范[S].  
TB 10093-2017 Code for Design on Subsoil and Foundation of Railway Bridge and Culvert [S].
- [7] 李国豪. 桥梁结构稳定与震动[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2003.  
LI Guohao. Stability and Vibration of Bridge Structures [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2003.
- [8] 钟亚伟, 陈思孝, 李锐. 地基对铁路A型超高墩刚构连续梁桥的受力影响研究[J]. 铁道标准设计, 2015(4): 53-57.  
ZHONG Yawei, CHEN Sixiao, LI Rui. Study on Influences of Foundation on Rigid Frame Continuous Girders with A-type Super High Pier [J]. Railway Standard Design, 2015(4): 53-57.

(编辑: 赵立红 张红英)