

文章编号: 1674—8247(2021)06—0070—08
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2021.06.014

350 km/h 高速铁路钢 - 混混合连续刚构桥设计研究

孙宗磊^{1,2} 向律楷³ 刘何亮³

(1. 中国铁路经济规划研究院有限公司, 北京 100845; 2. 中国国家铁路集团有限公司, 北京 100845;
3. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:对于跨度 200 m 左右的高速铁路混凝土连续刚构桥梁,梁体残余徐变值较大,难以满足高速铁路的要求。为解决此问题,可采用钢 - 混混合连续刚构。本文以广湛铁路西江特大桥为例,针对 350 km/h 高速铁路钢 - 混混合连续刚构桥梁开展设计研究。首先比选了钢 - 混混合连续刚构、矮塔斜拉桥及连续刚构拱桥等方案,考虑桥施工难度、施工工期、桥梁总造价等各方面因素,最终选取钢 - 混混合刚构桥作为推荐方案。其次,比选了双薄壁墩和矩形空心墩、钢 - 混接头位置、钢结构区段结构型式。由于矩形空心墩相比双薄壁墩受力更大,因此采用双薄壁墩;钢 - 混接头位置选取在弯矩零点;钢结构区段采用正交异性组合板,混凝土板全桥连续,通过剪力钉与钢箱梁连接。最后,介绍了结构设计及主要计算结果,结果表明各项指标均满足规范要求。

关键词:混合连续刚构; 高速铁路; 残余徐变; 双薄壁墩; 正交异性组合板

中图分类号:U448.36 文献标志码:A

A Study on Design of Steel-concrete Hybrid Continuous Rigid Frame Bridge for 350 km/h High-speed Railways

SUN Zonglei^{1,2} XIANG Lvkai³ LIU Heliang³

(1. China Railway Economic and Planning Research Institute, Beijing 100845, China;
2. China Railway, Beijing 100845, China;
3. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: The girders of concrete continuous rigid frame bridge for high-speed railways with a span of about 200 m are featured by large residual creep value, which cannot meet the requirements of high-speed railways. To solve this problem, the steel-concrete hybrid continuous rigid frame can be adopted. This paper takes Xijiang Bridge of Guangzhou-Zhanjiang Railway as an example to study the design of steel-concrete continuous rigid frame bridge for 350 km/h high-speed railway. Firstly, a comparison was made among steel-concrete hybrid continuous rigid frame bridge, low pylon cable-stayed bridge, and continuous rigid frame arch bridge. Considering the difficulties, work period and total construction cost of bridge erection, the steel-concrete hybrid rigid frame bridge was finally selected as the recommended scheme. Secondly, a comparison was made between double thin-walled pier and rectangular hollow pier, and then the positions of steel-concrete joints and the structure of steel segment were selected. As the result, double thin-walled pier was adopted since it is subject to less stress than rectangular hollow pier is; the steel-concrete joints were positioned at the points of zero bending moment; the orthotropic composite plate was selected as steel segment, and

收稿日期:2021-06-05

作者简介:孙宗磊(1974-),男,教授级高级工程师。

引文格式:孙宗磊,向律楷,刘何亮. 350 km/h 高速铁路钢 - 混混合连续刚构桥设计研究[J]. 高速铁路技术,2021,12(6):70-77.

SUN Zonglei, XIANG Lvkai, LIU Heliang. A Study on Design of Steel-concrete Hybrid Continuous Rigid Frame Bridge for 350 km/h High-speed Railways[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(6):70-77.

the concrete slabs were paved continuously along the whole bridge, and connected to the steel box girders by shear studs. Finally, the structural design and main calculation results were introduced. The results show that all indexes meet the specification requirements.

Key words: hybrid continuous rigid frame; high-speed railway; residual creep; double thin-walled pier; orthotropic composite plate

铁路连续刚构桥主要以预应力混凝土连续刚构为主,预应力混凝土连续刚构具有结构刚度大、施工技术成熟、耐久性好等优点,同时具有跨越能力较小、梁体收缩徐变大等缺点。目前已建成的大跨度铁路混凝土连续刚构桥有玉磨铁路阿墨江特大桥,跨度为(116 + 212 + 116) m;襄渝增建二线牛角坪大桥,跨度为(100 + 192 + 100) m 等。从既有工程实例来看,铁路

连续刚构的最大跨度为 200 m 左右,且轨道结构形式基本都为有砟轨道,梁体收缩徐变值也较大。而高速铁路无砟轨道 200 m 左右跨度预应力混凝土连续刚构还未见实例,主要原因在于无砟轨道对于徐变变形要求较高,难以满足高速铁路桥梁设计规范的要求。近年来主要铁路预应力混凝土连续刚构主要参数如表 1 所示^[1]。

表 1 近年来铁路预应力混凝土连续刚构主要参数表

序号	桥名	主跨/m	活载	轨道类型	设计速度/(km/h)	徐变/mm
1	兰合铁路刘家峡黄河特大桥	100 + 800 + 100	中活载	有砟	120	- 34. 1
2	襄渝铁路牛角坪大桥	100 + 192 + 100	中活载	有砟	140	- 22
3	玉磨铁路阿墨江特大桥	116 + 216 + 116	中活载	有砟	160	- 31
4	织毕铁路架盖河特大桥	100 + 192 + 100	中活载	有砟	120	- 25
7	连乐铁路九峰岷江特大桥	100 + 3 × 180 + 100	中活载	有砟	160	- 26. 5
8	广珠城际容桂水道特大桥	108 + 2 × 185 + 115	ZC 活载	无砟	200	- 23. 5

TB 10621 - 2014《高速铁路设计规范》规定残余徐变变形的限值为 20 mm。从表 1 可以看出,残余徐变变形普遍超过 20 mm^[2]。

为解决预应力混凝土连续刚构跨越能力较小、梁体收缩徐变大的问题,可采用了钢 - 混凝土混合连续刚构,即在主墩及两侧一定区域采用混凝土梁形式,而主跨跨中区域和边跨端部区域采用钢箱梁形式,混凝土梁和钢箱梁间设置钢 - 混结合段。钢 - 混凝土混合连续刚构与纯混凝土连续刚构相比,具有梁高低、自重小、跨越能力大、建设工期短和收缩徐变小等优点^[3]。

本文以广州至湛江高速铁路西江特大桥为例,详细介绍 350 km/h 钢 - 混混合连续刚构桥的设计研究。

1 工程概况

新建广州至湛江高速铁路西江特大桥,中心里程为 DK 49 + 146. 85。上距广昆高速金马大桥 16. 20 km,紧临下游广明高速富湾特大桥,距离约 50 m。本桥与既有广明高速富湾特大桥对孔布置,采用(109 + 2 × 200 + 109) m 钢 - 混凝土混合连续刚构。

桥位地处广东省佛山市,跨越西江主航道,该处航道等级为 I - (3) 级。桥址区地形平缓,水域宽阔,水流较急,过往船舶很多。

区内上覆地层为第四系全新统人工填筑土(Q4ml)、第四系全新统冲积的(Q4al)淤泥质土、松软

土、粉质黏土、粉细砂、中粗砂,下伏基岩为上第三系(N)泥质粉砂岩、下第三系(E)泥质粉砂岩夹页岩、石炭系下统岩关阶(C1y)灰岩。测段地表大部分被土层覆盖,厚度大,下伏基岩零星出露,未见明显构造形迹。地震动峰值加速度为 0. 11 g,地震动反应谱特征周期 0. 4 s。桥区岩溶强烈发育,工程地质条件较差。

桥位处属亚热带季风性湿润气候区,气候温和,雨量充足。年平均气温 22. 5 ℃,1 月最冷,平均气温 13. 9 ℃,极端最低气温曾达到 - 1. 9 ℃;7 月最热,平均气温 29. 2 ℃,极端的最高气温曾出现过 39. 2 ℃。年降雨量 1 681. 2 mm。年平均相对湿度为 76%。

2 主要技术标准

广州至湛江高速铁路主要技术标准如表 2 所示。

表 2 主要技术标准表

目	标准
线路等级	客运专线
正线数目	双线
桥上线路	纵向平坡,直线桥
正线线间距	5. 0 m
列车设计行车速度	350 km/h
设计荷载	双线 ZK 活载
轨道	无砟轨道
地震动峰值加速度	本桥址处地震动峰值加速度等于 0. 11 g。地震动反应谱特征周期 0. 4 s

3 桥型方案比选

考虑技术成熟度、可靠性、施工组织、经济性、地质条件等因素,本桥位合适的桥型方案有钢-混混合连续刚构方案、矮塔斜拉桥及连续刚构拱桥方案。根据

西江特大桥的建设条件以及上述分析,初步拟定 3 个桥型方案,方案比较如表 3 所示。

考虑桥梁方案施工难度、施工工期、桥梁总造价等各方面因素,选取(109+2×200+109) m 钢-混混合刚构桥作为推荐方案。

表 3 桥型方案比较表

桥式方案	方案Ⅰ:钢-混混合刚构(推荐方案)	方案Ⅱ:部分斜拉桥(比选方案)	方案Ⅲ:连续刚构拱桥
主桥跨径及结构形式	(109+2×200+109) m 钢-混混合刚构桥	(109+2×200+109) m 部分斜拉桥	(109+2×200+109) m 连续刚构拱桥
主桥总长/m	618	618	618
主桥投资	低	居中	高
施工	挂篮节段悬臂浇筑加钢梁节段整体吊装	梁部采用悬臂浇筑施工,一边悬灌一边挂索	梁部采用悬臂浇筑施工,然后转体施工拱肋
优缺点	施工较为方便,施工周期相对较短,37个月	施工工序复杂,施工周期较长,40个月	施工工序最长,施工周期较长,42个月
	梁体刚度较高,能较好适应高速铁路行车要求	梁体刚度相对较小,对高速铁路行车适应性相对较差	梁体刚度较高,能较好适应高速铁路行车要求
	投资小	投资大	投资大
	与相邻公路桥结构形式一致,协调性好	与相邻公路桥结构形式差异较大,协调性较差	与相邻公路桥结构形式差异较大,协调性较差
	钢-混结合段构造及受力复杂	无钢-混结合段,结构体系较成熟	无钢-混结合段,结构体系较成熟

4 推荐方案细部比选

4.1 主墩结构型式

对于连续刚构桥,常用的墩型有矩形空心墩和双薄壁墩。由于本桥主墩较矮,跨度较大,矩形空心墩在温度及收缩徐变作用下将产生较大的弯矩,而双薄壁墩由于桥墩刚度较低,在温度及收缩徐变作用下产生的弯矩较小^[4]。因此有必要对矩形空心墩和双薄壁墩两种方案进行研究。

(1)双薄壁墩方案:双柱中心距 10 m,墩顶横向宽 12.5 m,纵向长 2.5 m。纵向为直坡,横向坡度为 25:1,主墩墩高均为 41 m,承台采用分离式承台。细部构造如图 1 所示。

(2)矩形空心墩方案:墩顶横向宽 10 m,纵向长 6 m。纵向为直坡,横向外坡为 25:1,内坡 30:1,主墩墩高均为 41 m,水面以上桥墩为矩形空心截面,水面以下为圆端形空心截面,细部构造如图 2 所示。

对两方案的内力及配筋计算进行对比分析,如表 4、表 5 所示。

表 4 最不利工况内力对比表

桥墩	部位	双薄壁/(kN·m)	矩形空心墩/(kN·m)
边主墩	墩顶	82 674	511 592
	墩底	81 482	445 814
中主墩	墩顶	56 626	391 306
	墩底	50 067	298 723

从表 4 可以看出,双薄壁墩方案的桥墩内力远小

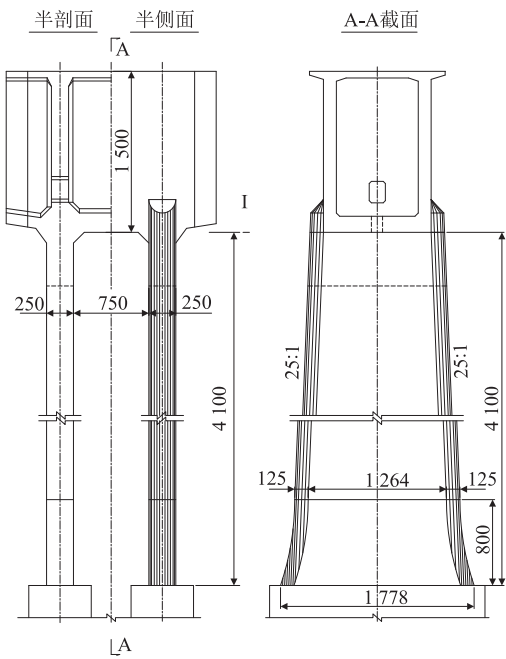


图 1 双薄壁墩立面图(cm)

于矩形空心墩方案。这是因为双薄壁墩的刚度比矩形空心墩小,温度及收缩徐变产生的弯矩也相应小。

表 5 配筋计算对比表

项	双薄壁墩/(kN·m)	矩形空心墩/(kN·m)
配筋	φ32 的 HRB400, 2 根 1 束,间距 125 mm	φ32 的 HRB400, 2 根 1 束,间距 125 mm
最大混凝土压应力/MPa	9.2	15.3
最大钢筋拉应力/MPa	178.4	173.7
裂缝/mm	0.17	0.18

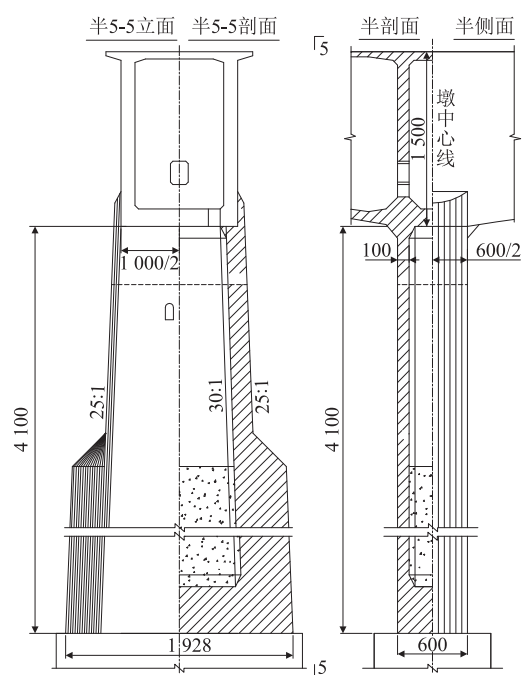


图2 矩形空心墩立面图(cm)

从表5可以看出,双薄壁墩方案和矩形空心墩方案的最大钢筋拉应力和裂缝基本一致,但是矩形空心墩方案的最大混凝土压应力较大。

经过上述分析,可得到以下结论:

(1)采用双薄壁墩方案,整体刚度较小,工程投资较小。

(2)采用矩形空心墩方案,整体刚度较大,工程投资较大,同时墩顶混凝土压应力较大。矩形空心墩由于行洪阻水率指标控制,其墩身纵向(迎水面)尺寸仅为6.0 m,其截面高度与主梁相比差距过大,不协调,采用双薄壁墩方案更合理。

4.2 钢-混接头位置的确定

钢-混接头位置是钢-混凝土混合连续刚构受力的关键部位,原则上应设置在受力弯矩零点,由于桥梁受活载作用,要找到绝对的零点是不可能的。经研究,拟选定恒载+0.5倍活载弯矩受力为零点的弯矩附近。为此,进行不同钢-混接头位置的比选,包括跨中钢箱梁长度分别为59 m、67 m、75 m和83 m 4种情况,为保证混凝土T构为对称结构,边跨钢箱梁长度根据中跨钢箱梁长度做相应调整。

综上对比4个方案,中跨钢箱梁长度取75 m,边跨取47.2 m时,钢-混接头位置较接近弯矩零点,且接头位置处的弯矩值较小,钢箱梁长度设计较合理,选为推荐方案。

4.3 钢结构区段结构型式

常见的钢结构桥面有正交异性板桥面板、钢-混

组合桥面板及正交组合桥面板方案,正交异性板由于易疲劳且不宜与无砟轨道底座板直接连接,所以不适用于本桥。钢-混组合梁方案和正交异性组合板都适用于本桥,但是由于正交异性组合板相对于钢-混组合梁在抗震性能、施工费用、维修难度等方面具有优势,且整体性更好,因此推荐采用正交异性组合板方案。

常见的混凝土桥面板纵向型式有连续、设断缝两种型式。由于钢结构区段位于中跨跨中及边跨端部,混凝土桥面板位于截面受压区,因此混凝土板与钢箱梁宜共同参与受力。另外,经计算,当混凝土板不参与整体受力时,梁端转角为 $1.3‰ > 1‰$,不满足规范要求,故混凝土桥面板纵向连续,不设纵向断缝,钢箱顶板上通过剪力钉与混凝土桥面板连接成整体。

高速铁路无砟轨道混凝土底座与钢桥面板连接可根据轨道结构、桥梁主体结构特点通过钢筋焊接、设置剪力键等措施实现,连接构造及设置位置既要适用混凝土板底座,满足轨道结构受力及变形要求,又要符合桥梁主体结构的受力和构造要求。常见的轨道板底座与钢桥面板的连接主要有剪力钉连接、焊接U形钢筋连接、PBL剪力键连接、预埋钢筋连接等方式,其中剪力钉连接和焊接U形钢筋连接,需要在桥面上焊接,焊接工作对桥面板有很大损伤,且允许疲劳应力较小;PBL剪力键连接是在钢桥面板上焊接钢板,在钢板上打孔穿钢筋,这种方式仍然要在桥面上焊接,此方法实际应用较少;预埋钢筋连接方式要在钢桥面板上铺1层混凝土,无需在桥面板上焊接,可避免损伤钢桥面板,也可减少焊接疲劳问题。因此,本桥无砟轨道板底座和梁面的连接推荐采用预埋钢筋方式,如图3所示。

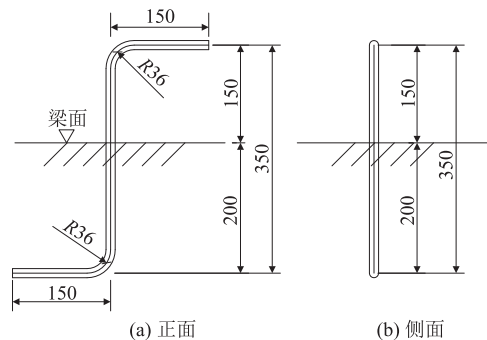


图3 轨道板底座与梁面连接形式图(mm)

5 推荐方案结构设计

5.1 孔跨布置

主桥结构采用4跨连续刚构,跨径组合为:(109 +

2 × 200 + 109) m, 支座中心距梁端的距离 0.7 m, 梁缝值 0.3 m, 主桥全长 619.4 m。边跨 47.2 m 段, 中跨 75 m 段为钢箱组合梁段, 其余为预应力混凝土梁段,

3 个主墩与梁体固结,2 个边墩采用球形钢支座的活动支座,如图 4 所示。

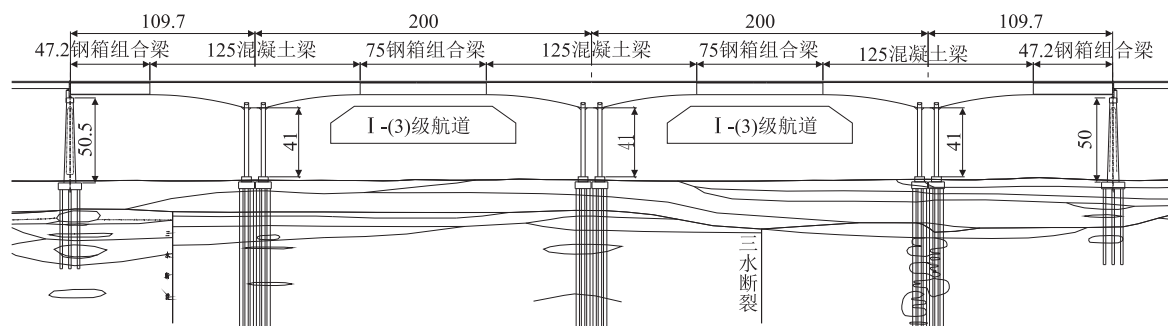


图4 钢-混凝土混合连续刚构立面布置图(m)

5.2 梁部

本桥梁部为钢-混凝土组合刚构结构,中跨跨中 75 m 节段和边跨端部 47.2 m 节段为单箱单室钢箱组合梁,其余节段采用单箱单室预应力混凝土梁,预应力混凝土梁采用悬臂浇筑施工,钢箱组合梁节段采用节段整体提升吊装施工。

箱梁中支点处梁高 15.0 m,端支点及主跨跨中处梁高 7.2 m,中支点处(梁高 15.0 m)等高段长 12.0 m,主跨跨中(梁高 7.2 m)等高段长 75 m,边跨梁端(梁高 7.2 m)等高段长 47.2 m,其余部分梁底曲线按二次抛物线变化,箱梁桥面宽 12.6 m,箱宽 10 m。梁部横断面如图 5、图 6 所示。

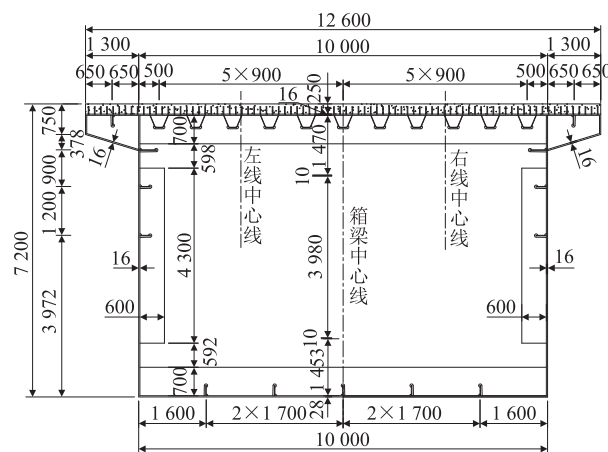


图 6 钢-混组合梁横截面图(mm)

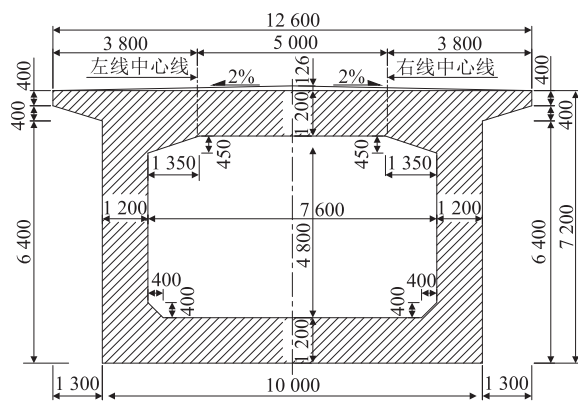


图 5 混凝土箱梁横截面图 (mm)

(1) 混凝土梁

混凝土梁为单箱单室、变高度、变截面箱梁,梁体全长 125 m,梁高 7.2 ~ 15.0 m;主墩支点处 12.0 m 梁段为等高梁段,梁高为 15.0 m,其余梁段梁底下缘按二次抛物线 $Y = 7.2 + 7.8X^2/56.5^2$ (m) 变化,其中以 14 号或 52 号截面顶板顶为原点, $X = 0 \sim 56.5$ (m)。

箱梁顶板宽 12.6 m,箱底宽 10.0 m。顶板厚 67 cm;底板厚 50 ~ 120 cm,在梁高变化段范围内按抛物线变化;腹板厚 60 ~ 120 cm,按分段线性变化。梁体在主墩处设横隔板,横隔板中部设有孔洞,以利检查人员通过。

(2) 钢箱梁

钢箱梁为单箱单室、等高度、等截面箱梁,边跨梁体长 47.2 m,中跨梁体长 75 m。中跨钢箱梁顶板上铺设 25 cm 厚混凝土板,钢梁顶板上设有剪力钉,顶板、腹板和底板厚度为 16 mm;边跨钢箱梁顶板和底板上均铺设 25 cm 厚混凝土板,钢梁顶底板上设有剪力钉,顶板和腹板厚度为 16 mm,底板厚度为 28 mm;支座位置截面设横隔板,板上仅开设人洞,横隔板厚度为 12 mm;梁体纵向每 6 m 设 1 道横隔肋,每 2 道横隔肋间设 2 道加劲肋,间距 2 m,顶板上设 0.7 m 高横梁,腹板上设 0.6 m 宽加劲肋,底板上设 0.7 m 高加劲肋,横隔肋和加劲肋厚度均为 12 mm;腹板上设 3 道横肋,

间距为 0.9 m 和 1.2 m,横肋厚 10 mm;底板上设 5 道纵向加劲肋,间距为 1.7 m,厚 10 mm;顶板上设 U 肋,U 肋横向间距 0.9 m,厚 8 mm。

(3) 钢 - 混接头

目前,桥梁结构中使用的钢 - 混凝土接头大致有

钢板式、填充混凝土前板式、填充混凝土后板式 3 种^[5]。经调研,填充混凝土后板式构造刚度过渡较好,应力传递比较顺畅,应力扩散比较缓和,更为合理。因此本桥采用填充混凝土后板式的钢 - 混凝土接头,如图 7、图 8 所示。

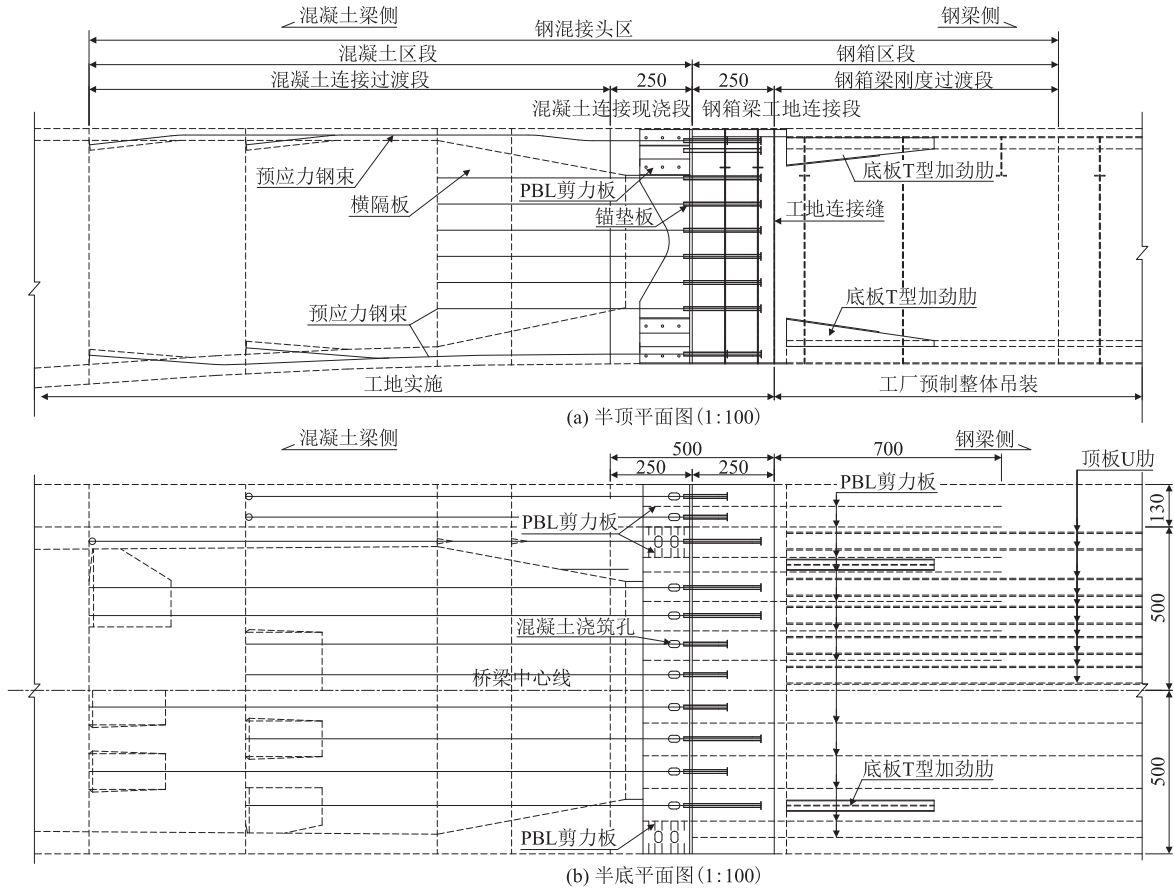


图 7 西江特大桥钢 - 混接头平面图(mm)

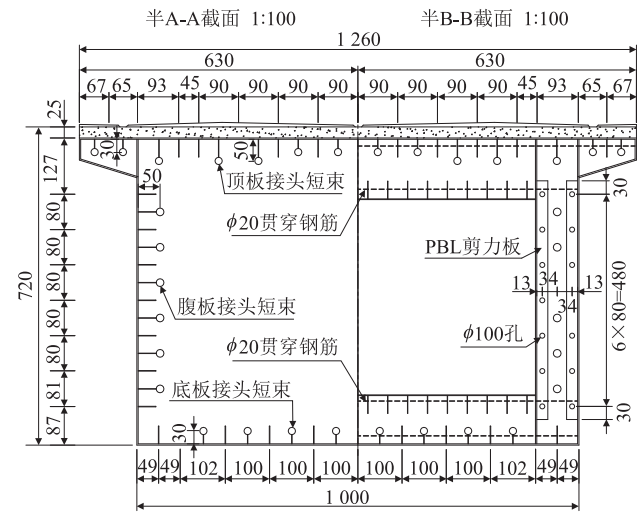


图 8 西江特大桥钢 - 混接头截面图(mm)

通过将钢箱梁端部的顶板、底板和腹板做成双壁板,将填充的混凝土与紧邻的混凝土箱梁段的顶板、底板和腹板通过 PBL 剪力键、预应力筋、普通钢筋等连接,再稍往前延伸将其与混凝土横隔板连接,预应力筋锚固在混凝土箱梁的齿块和钢箱梁的横隔板上,钢箱梁内的预应力筋采用预应力管道进行锚固。

西江特大桥为连续刚构桥,在荷载作用下,钢 - 混凝土接头主要承受弯矩和剪力作用。为使钢 - 混凝土接头混凝土结构在弯矩作用下不产生拉应力,设计采用大量的局部预应力筋,使钢 - 混凝土接头区段有较大的轴力。在接头部位设计考虑了足够的压力储备,增加局部预应力束。为了局部预应力在接头部位能充分发挥作用,需保证局部预应力产生的轴向力通过钢箱梁截面传递给钢 - 混接头结合面处的承压板,使承压板上预应力轴向力均匀分布。

5.3 主墩及基础

主墩采用 C40 混凝土,双薄壁墩,双柱中心距 10 m,墩顶横向宽 12.5 m,纵向长 2.5 m。纵向为直坡,横向坡度为 25:1,主墩墩高均为 41 m。

主墩采用 C40 混凝土分离式承台,即各墩柱单独设置承台,承台尺寸为 30.7 m(长)×9.15 m(宽)×4 m(高)。主墩基础采用 C40 混凝土,均采用钻孔桩基础,桩基直径 2 m,采用 34 根,梅花式布置。

5.4 边墩及基础

本桥边墩均采用圆端形空心墩,承台采用矩形承台,尺寸为 12.8 m×23.5 m×4 m。桩基础采用直径 1.5 m 的钻孔柱桩,梅花形布置,共 17 根。

5.5 指导性施工方案

针对本桥的特点,提出如下施工方案:(1)施工桩基、承台及桥墩等下部结构;(2)用挂篮对称悬臂浇筑混凝土梁段;(3)先合龙边跨,施工边跨临时支墩,分两段吊装边跨钢梁,在临时支墩上焊接成整体后与混凝土梁段连接为一体;(4)合龙中跨,即同步起吊两个中跨的钢箱梁,为保证中主墩混凝土梁段的平衡,架梁吊机需要安装多点同步提升系统,保证每台架梁吊机的受力一致;中跨钢箱梁提升到位后,先与混凝土梁段临时连接,再与钢-混接头焊接成为整体,至此,全桥合龙;(5)施工钢箱梁梁上面的混凝土桥面板,为减小混凝土的收缩徐变对结构的影响,混凝土桥面板采用预制+现浇湿接缝的形式,即先预制混凝土板,存放一段时间后,再将预制混凝土板安装在钢箱梁上,然后现浇湿接缝,将混凝土板连接为整体;(6)施工桥梁附属设施。

6 推荐方案主要计算结果

6.1 主要计算结果

(1)位移

列车竖向静活载作用下的主跨跨中梁体竖向挠度为 81.9 mm,挠跨比为 1/2 443;列车竖向静活载作用下梁端转角 0.89‰;在列车横向摇摆力、离心力、风力机温度作用下,主跨跨中梁体水平位移为 21.1 mm,挠跨比为 1/9 465;轨道铺设完成后梁体的徐变变形主跨跨中为 -12.43 mm。上述位移指标均满足规范要求。

(2)梁部应力

运营阶段,最不利工况下混凝土梁顶板最小压应力为 -1.4 MPa,底板最小压应力为 -1.4 MPa,顶板

最大压应力为 -13.3 MPa,底板最大压应力为 -12.3 MPa;钢箱梁顶板最大压应力为 -75.1 MPa,底板最大拉应力为 199.0 MPa,应力均满足规范要求。

(3)桥墩计算结果

运营阶段,最不利工况下边主墩顶最大名义应力为 -10.9 MPa,墩底最大名义应力为 -8.0 MPa;中主墩顶最大名义应力为 -8.4 MPa,墩底最大名义应力为 -6.3 MPa。

布置 $\phi 32$ 钢筋,2 根 1 束,间距 125 mm,计算结果如表 6 所示。

表 6 最不利工况下桥墩检算汇总表

墩身位置	混凝土应力/MPa	钢筋最大应力/MPa	裂缝宽/mm
边主墩左肢顶	8.25	-178.35	0.17
边主墩右肢顶	9.22	-33.48	0.03
中主墩左肢顶	6.96	-71.45	0.07
中主墩右肢顶	6.96	-71.60	0.07
边主墩左肢底	6.86	-62.04	0.06
边主墩右肢底	7.55	-12.86	0.01
中主墩左肢底	5.98	-7.72	0.01
中主墩右肢底	6.00	-7.50	0.01

从表 6 可以看出,最不利工况下双薄壁墩墩顶墩底的混凝土应力,钢筋应力和裂缝宽度均满足规范要求。

6.2 无砟轨道适应性

佛山特大桥跨西江主桥自振特性计算结果如表 7 所示。

表 7 佛山特大桥跨西江主桥自振特性计算结果表

模态号	频率/Hz	周期/s	自振模态
1	0.55	1.81	主梁纵飘
2	0.68	1.48	主梁一阶反对称横弯
3	0.89	1.12	主梁一阶对称横弯
4	1.07	0.93	主墩一阶反对称竖弯
5	1.29	0.78	主墩一阶反对称横弯

为判断高速列车通过桥梁时运行的安全性及舒适性,进行了车桥耦合动力分析^[6-7]。采用国产 CRH3 动车组,16 辆编组,速度等级 160~420 km/h,轨道不平顺采用德国低干扰轨道谱,为考虑温度计及徐变对轨道不平顺的影响,将温度计徐变变形与德国低干扰谱叠加,作为轨道高低不平顺。车桥耦合动力分析表明,列车以 160~420 km/h 运行时,西江桥的动力性能均满足要求,列车的运行安全性有保证,乘坐舒适性均达到“良好”以上。

另外,由于列车竖向静活载作用下梁端转角

0.89‰,小于无砟轨道桥梁梁端转角限值 1‰;主跨跨中为 -12.43 mm,小于残余徐变变形限值 20 mm。

由此可知,轨道的平顺性满足列车安全性及舒适性要求,结构变形值满足无砟轨道的要求,说明本桥结构与无砟轨道具有较好的适应性。

7 结论

本文以广湛铁路西江大桥为例,开展了相关研究,得出以下主要结论:

(1) 根据广湛铁路西江桥的桥位特点,比选了钢-混混合连续刚构、矮塔斜拉桥及连续刚构拱桥等方案,考虑桥施工难度、施工工期、桥梁总造价等各方面因素,选取(109+2×200+109) m 钢-混混合刚构桥作为推荐方案。

(2) 由于本桥桥墩较矮,矩形空心墩相比双薄壁墩方案弯矩更大且混凝土的压应力过大,因此推荐本桥桥墩采用双薄壁墩。理论上钢-混接头位置选取在弯矩零点较为合适,根据计算中跨钢箱梁长度取 75 m,边跨取 47.2 m 时,弯矩较为接近弯矩零点。为解决正交异性板由于易疲劳且不宜与无砟轨道底座板直接连接的问题,钢结构区段采用正交异性组合板,混凝土板全桥连续,通过剪力钉与钢箱梁连接,参与整体受力。

(3) 静力计算结果表明各项指标均满足规范要求,车桥耦合动力分析结果表明列车的安全性有保证,舒适性达到良好以上。

广湛铁路西江特大桥工程设计表明,钢-混混合连续刚构桥具有梁高低、自重小、跨越能力大、建设工期短等优点,能够有效解决大跨连续刚构桥残余徐变值较大的问题,各项计算指标均能满足规范要求。桥

型方案结构形式新颖,切实可行。

参考文献:

- [1] 中国铁路总公司科研项目. 高速铁路 200-450 米跨度混凝土桥设计关键技术研究—典型桥梁设计资料汇编, 2017.
Scientific research project of China Railway Corporation. Research on Key technology for Design of 200-450 m Span Concrete Bridge of High-speed Railway-compilation of Typical Bridge Design, 2017.
- [2] TB 10621-2014 高速铁路设计规范[S].
TB 10621-2014 Code for Design of High Speed Railway[S].
- [3] 邓文中,代彤. 重庆石板坡长江大桥复线桥总体设计[J]. 桥梁建设, 2006(6): 28-32.
DENG Wenzhong, DAI Tong. Overall Design of Double-Line Bridge of Shibampo Changjiang River Bridge in Chongqing[J]. 2006(6): 28-32.
- [4] 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. 高速铁路技术, 2018, 9(3): 59-62.
ZHONG Yawei, CHEN Sixiao, XIANG Lvcai. Study on Design of Long-span Continuous Rigid Frame Railway Bridge with Low Double Thin-wall Pier[J]. 2018, 9(3): 59-62.
- [5] 李国峰,李丹,张京. 混合梁结合部受力研究. 城市道桥与防洪, 2013(6): 84-86.
LI Guofeng, LI Dan, ZHANG Jing. Study on the Joint Stress of Hybrid Beam[J]. Urban Roads Bridges and Flood Control, 2013(6): 84-86.
- [6] 左家强. 商合杭铁路矮塔斜拉桥无砟轨道适应性研究[J]. 铁道工程学报, 2018(6): 36-40.
ZUO Jiaqiang. Applicability Research on the Low-pylon Cable-stayed Bridge to Ballastless Track in Shangqiu-Hefei-Hangzhou Railway[J]. 2018(6): 36-40.
- [7] 朱志辉,闫明明,李晓光,等. 大跨度斜拉桥无砟轨道结构变形适应性研究[J]. 中国铁道科学, 2019, 40(2): 16-23.
ZHU Zhihui, YAN Mingming, LI Xiaoguang, et al. Research on deformation adaptability of ballastless track structure of long span cable stayed bridge[J]. 2019, 40(2): 16-23.