

极限边中跨比混合梁斜拉桥关键技术研究

甄玉杰, 甄瑞杰

(中建三局集团有限公司西北公司, 陕西 西安 710065)

摘要:以主跨716 m混合梁斜拉桥为例,对结构体系、钢混结合段位置、边跨压重设计、索塔基础设计等关键技术进行研究。针对全飘浮、半飘浮两种结构体系,从主梁受力、主梁刚度、施工方案等方面进行分析研究,大桥采用全飘浮体系,既可避免大悬臂横梁设置影响美观、受力不合理等问题,又能方便钢箱梁吊装,故最终确定采用全飘浮体系。对于钢混结合段位于边跨和中跨位置的选择,从成桥状态、运营状态、支反力、施工方案等方面进行论证,考虑结合段位于中跨侧会导致主梁恒载弯矩分布不理想,同时造成边跨过重且高支架施工风险较高,最终选择边跨侧距桥塔35 m位置。针对边跨压重设计,对铁砂混凝土压重和厚板混凝土设计两种方案进行比选,考虑厚板混凝土设计结构受力满足要求,而且无须压重固定措施,简化施工工序。

关键词:边中跨比;混合梁斜拉桥;结构体系;钢混结合段;厚板混凝土;独塔柱

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)10-0099-04

1 概述

混合梁斜拉桥,即主梁在边跨的一部分或全部采用混凝土梁,其余梁段采用钢梁或组合梁的斜拉桥^[1]。混合梁斜拉桥边中跨比一般为0.3~0.45。某混合梁斜拉桥跨径布置为 $3 \times 60 + 716 + 3 \times 60 = 1\,076$ m,边中跨比为0.251,桥梁总体布置如图1所示。本桥边中跨比为0.251,接近极限边中跨比(地锚斜拉桥除外),故有必要对结构体系、结合段位置、边跨压重等关键技术进行研究。

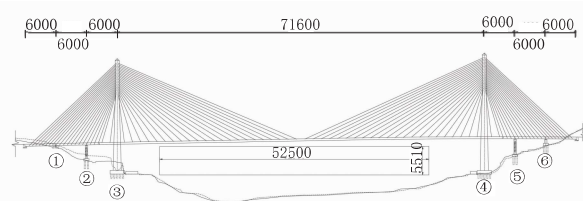


图1 桥梁总体布置图(单位:cm)

2 结构体系研究

斜拉桥按塔、索、梁三者结合方式,可组成4种不同结构体系,即飘浮体系(全飘浮体系)、支承体系(半飘浮体系)、塔梁固结体系和刚构体系^[2-5]。这4种形式均为成熟方案,在国内外有广泛的应用。塔梁固结体系和刚构体系多运用于主跨400 m以下的斜拉桥。本桥主跨为716 m,跨径较大,因此考虑全飘

浮体系和半飘浮体系两种方案,并建立相应的全桥有限元模型,分析计算并进行比选,选择较为适合的结构体系方案。

2.1 主梁受力对比

恒载+活载下主梁弯矩对比如图2所示。

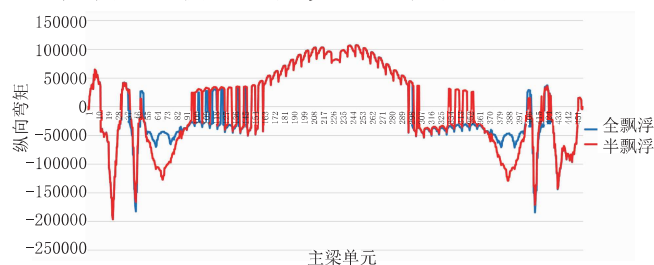


图2 恒载+活载下主梁纵向弯矩图(单位:kN·m)

从图2可以看出,恒载+活载工况下,全飘浮体系塔柱处纵向弯矩最大值为46 848 kN·m,半飘方案塔柱处纵向弯矩最大值为128 735 kN·m,全飘方案塔柱处弯矩仅为半飘浮体系的36.4%。其他区域两者加劲梁弯矩相当。

2.2 主梁刚度对比

活载作用下主梁竖向位移如图3所示。

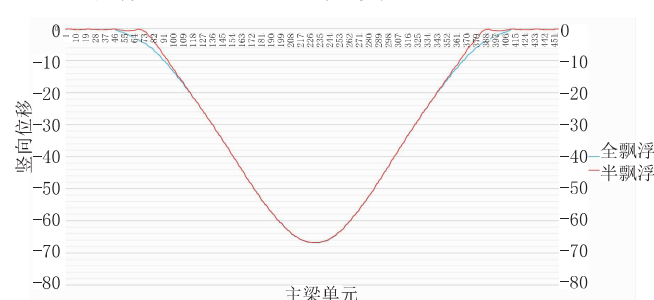


图3 活载作用下主梁竖向位移(单位:cm)

收稿日期: 2021-02-24

作者简介:甄玉杰(1983—),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为大跨桥梁结构设计。

全飘方案塔区附近边跨活载位移略大于半飘方案,但差别不大。两个方案竖向刚度均满足规范要求。

2.3 施工方案分析

为避免索塔区采用现浇混凝土箱梁带来高支架施工风险高的问题,索塔两侧索塔区施工方案调整为吊装存放于低支架上的钢箱梁。本桥采用独柱式索塔,索塔处若设置支承,需要采用大悬臂横梁,不仅影响美观,而且横梁受力不合理。若采用全飘体系,既可避免大悬臂横梁设置影响美观、受力不合理等问题,又能方便钢箱梁吊装,因此大桥宜采用全飘浮体系。

综合以上因素,从主梁受力对比看,全飘浮体系与半飘浮体系两种方案,结构受力、位移等均满足规范要求。从施工方案考虑,大桥采用全飘浮体系,既可避免大悬臂横梁设置影响美观、受力不合理等问题,又能方便钢箱梁吊装。从工程实例上看,大跨分体式主梁的斜拉桥基本是采用全飘体系。综合考虑各项因素,本桥采用全飘浮体系。同时,为限制结构横向位移和纵向位移,索塔处设置横向抗风支座和纵向带限位功能的黏滞阻尼器^[6]。

3 钢混结合段位置研究

3.1 结合段位置选择

混合梁合理利用两种材料的性能,使得结构受力、跨越能力和经济性得到大幅提升,但钢混结合段处于材料和结构特性突变处,是混合梁设计的关键控制部位^[7-8]。根据桥梁总体布置的不同,综合考虑结构受力、施工和经济性等因素,混合梁斜拉桥主梁钢混结合部的位置可以设置在中跨、桥塔中心处、边跨。从结构受力考虑,混合梁斜拉桥合理结合段位置需要兼顾桥梁结构整体受力和结合段局部受力两方面结构性能要求^[9-10]。对于公路桥梁来说,由于活载较恒载要小得多,通常不超过恒载的20%,因此本项目采用以考虑恒载为主、兼顾活载的思路来确定大桥结合段合理位置,设计结合段不同位置的两种方案,并建立全桥有限元模型,计算分析并进行比选,选择较为适合大桥的结合段位置。

为研究适合本桥的结合段位置,根据已建斜拉桥经验,按结合段位置在边跨与中跨的方式进行受力对比分析,方案一为结合段位于边跨侧距桥塔35 m位置,方案二结合段位于中跨侧距桥塔20 m位置。

3.2 成桥状态分析

成桥状态下,主梁纵向弯矩对比如图4所示。

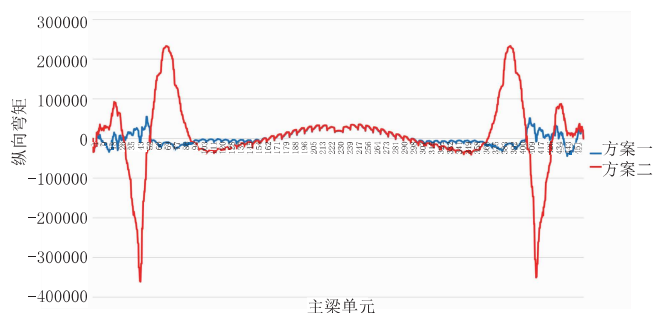


图4 成桥状态下主梁纵向弯矩图(单位:kN·m)

从图4可以看出,恒载作用下方案一结合段位置处弯矩为9 310.3 kN·m,方案二结合段位置处弯矩为232 820.1 kN·m,远大于方案一。主梁恒载弯矩分布不理想,同时造成边跨过重。

3.3 运营状态分析

运营状态在活载作用下,主梁纵向弯矩对比如图5所示。

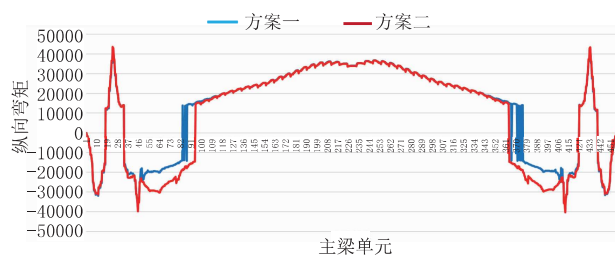


图5 活载作用下主梁纵向弯矩图(单位:kN·m)

从图5可以看出,活载作用下除结合段位置处,方案二大于方案一,其余各区域内力大致相当。

3.4 施工方案分析

本桥大桩号侧索塔处桥梁高度超过70 m。若结合段设置于中跨,索塔附近的混凝土梁现浇支架存在较大的施工安全风险。而把结合段设置于边跨,混凝土梁现浇支架高度减小至55 m以下,索塔区钢箱梁则采用存放于低支架上吊装的施工方案。低支架的架设可减小对两岸道路的影响,使索塔区主梁施工安全风险更可控。因此从施工方案考虑,本桥结合段宜设置在边跨。

3.5 支反力分析

恒载+活载作用下,结构支反力如表1、表2所示。

表1 方案一支反力一览表 单位:kN

支座位置	最小支反力		最大支反力	
	左侧	右侧	左侧	右侧
0号桥台	10 547	10 422	16 624	16 481
1号辅助墩	16 380	16 438	29 360	29 464
2号辅助墩	17 303	17 605	29 738	30 078
5号辅助墩	17 376	17 211	30 047	29 885
6号辅助墩	7 874	7 892	20 553	20 568
7号桥台	5 576	5 581	11 373	11 378

表 2 方案二支反力一览表 单位:kN

支座位置	最小支反力		最大支反力	
	左侧	右侧	左侧	右侧
0 号桥台	12 134	11 990	18 138	17 976
1 号辅助墩	10 453	10 166	23 525	23 288
2 号辅助墩	35 256	35 808	49 157	49 744
5 号辅助墩	35 191	34 921	49 373	49 100
6 号辅助墩	2 455	2 374	15 221	15 139
7 号桥台	7 179	7 151	12 913	12 886

由表 1、表 2 可以看出,在近桥塔辅助墩处,方案二支反力明显大于方案一。方案二大桩号侧远桥塔辅助墩处支反力储备偏小。从支反力角度考虑,方案一优于方案二。

综合考虑结构受力、施工方案、支反力等因素,本桥结合段设计在位于边跨侧距桥塔 35 m 位置。

4 边跨压重设计研究

混合梁斜拉桥的基本设计理念是用边跨混凝土梁的重力平衡中跨钢梁的重力,边跨混凝土主梁起到压重和锚固作用,从总体上提高了整座桥的刚度^[1]。当边跨长度较小时,为确保边跨各支点均不出现负反力,避免设置拉压支座,往往在边跨一定范围配置压重。

本桥经过全桥有限元结构计算分析,在边跨主梁按常规板厚过渡,则需要在辅助墩及桥台附近适当配置压重,才能保证成桥及施工状态边跨各支点均不出现负反力并处于受压状态。具体压重方案为在箱室内放置铁砂混凝土块^[12],铁砂混凝土容重为 35 kN/m³。压重铁砂混凝土块布置在箱梁箱室底板上,在动荷载作用下有错动问题,需要增加固定构造措施。

考虑压重铁砂混凝土块平铺在箱梁箱室底板上的厚度仅为 30 cm,等代换算为混凝土的厚度约 40 cm,在压重范围内混凝土顶底板由 30 cm 加厚至 50 cm,则不需要另行压重。经过有限元结构计算分析,计算结果同样满足受力要求。采用厚板混凝土,不仅可以保证成桥及施工状态边跨各支点均不出现负反力并处于受压状态,而且具有无须压重固定措施、简化施工工序、方便后期检查和维修养护等优点。

综合以上因素,边跨压重选择厚板混凝土压重设计方案。

5 独塔柱基础研究

独柱塔斜拉桥外观上高耸挺拔,外形壮观,给人

以视觉冲击;结构上可看作纵向、横向悬臂构件,承受双向偏压作用,应针对其若干关键问题予以研究。

本桥索塔基础的持力层为微风化花岗岩,地基承载力基本容许值为 4 MPa,饱和单轴抗压强度标准值为 82.1 MPa。根据岩层的力学性能,可采用的基础形式有扩大基础、桩基础方案。以下就这两种基础形式进行研究比选。

基顶埋深取 1.0 m,对不同扩大基础尺寸进行试算。纵横尺寸达 32 m × 34 m 时,基底最小应力仍为 -12 kPa(拉应力),而该尺寸基础已侵入现状道路。前期已论证道路改移困难,扩大基础尺寸难以再加大,故扩大基础方案对索塔稳定十分不利,影响结构安全,且在地震作用下不能满足要求。综上所述,从结构安全性与可靠性角度考虑,本桥索塔采用桩基础方案。

桩基础方案的承台顶面可以高出地面,从而减少边坡开挖。基础边缘距离道路边线尚有一定距离,满足施工要求。

本桥索塔采用桩基础方案,承台高 7.0 m,桩径 2.8 m,桩长不小于 12 m。基本组合作用下,对桩基承载力进行验算,最小安全系数为 1.477,满足要求。桩基础的承台顶面可以高出地面,从而减少边坡开挖,且基础边缘距离现状道路有一定安全距离,满足施工要求。

综上所述,由于扩大基础在标准组合下基底出现拉应力,且在地震作用下不能满足要求,不满足大跨度桥梁的受力要求。因此,本桥索塔采用桩基础方案。经验算,各项指标均满足要求。

6 结 论

(1)针对全飘浮、半飘浮两种结构体系,从主梁受力、主梁刚度、施工方案等方面进行分析研究。主梁受力方面,全飘浮体系塔柱处弯矩仅为半飘方案的 36.4%,其他区域两者加劲梁弯矩相当。主梁刚度方面,全飘浮体系与半飘浮体系差别不大。施工层面,半飘浮体系索塔处若设置支承需要采用大悬臂横梁,不仅影响美观,且横梁受力不合理;而采用全飘浮体系既可避免大悬臂横梁设置影响美观、受力不合理等问题,又能方便钢箱梁吊装。

(2)对于钢混结合段位于边跨和中跨位置两个方案,从成桥状态、运营状态、支反力、施工方案等方面进行论证。成桥状态方面,结合段位于中跨侧纵向弯矩远大于边跨侧方案,且会导致主梁恒载弯矩分布

不理想。运营状态方面,活载作用下两个方案的主梁纵向弯矩大致相当。施工方面,结合段位于中跨侧高支架施工风险较高,位于边跨侧施工风险相对较低。支反力方面,结合段位于中跨侧,近桥塔处辅助墩支反力远大于边跨侧方案。

(3)针对边跨压重设计,对铁砂混凝土压重和厚板混凝土设计两种方案进行比选。考虑厚板混凝土设计不仅可以保证成桥和施工状态边跨各支点均不出现负反力并处于受压状态,而且具有无须压重固定措施、简化施工工序、方便后期检查和维修养护等优点。

参考文献:

- [1] JTG/T 3365-01—2020,公路斜拉桥设计规范[S].
- [2] 上海市市政工程设计研究总院.桥梁设计工程师手册[M].北京:人民交通出版社,2007.
- [3] 严国敏.现代斜拉桥[M].成都:西南交通大学出版社,1996.
- [4] 林元培.斜拉桥[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [5] 徐君兰,孙淑红.钢桥[M].北京:人民交通出版社,2011.
- [6] 朱斌,林道锦.大跨径斜拉桥结构体系研究[J].公路,2006(6):97-99.
- [7] 冯亚成.主跨 532 m 混合梁斜拉桥总体设计[J].铁道建筑技术,2018(10):46-48.
- [8] 金龙,杨永伟,邓露,等.混合梁斜拉桥钢—混结合段受力性能的有限元分析[J].中外公路,2019(4):70-73.
- [9] 林一宁,蔡巍,姚泽锋.混合梁斜拉桥钢—混结合段力学性能研究[J].世界桥梁,2019(4):53-55.
- [10] 唐瑜,吴庆雄,袁辉辉.混合梁斜拉桥主梁钢—混凝土结合段受力性能研究[J].福建工程学院学报,2019(3):247-249.
- [11] 李涛.重庆轨道交通环线高家花园嘉陵江专用桥总体设计[J].公路交通技术,2020(6):72-75.
- [12] 刘永松,权宝安,潘冬冬.钢箱梁斜拉桥压重混凝土施工技术[J].施工技术,2018(6):1275-1277.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smeli.com