

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.08.024

宽墩窄塔独塔斜拉桥塔梁墩结合段设计与受力分析

王凯¹, 尹超²

(1.安徽省交通控股集团有限公司,安徽合肥 230088; 2.安徽省交通规划设计研究院股份有限公司,安徽合肥 230094)

摘要:为了解决柱式塔斜拉桥在塔柱横向尺寸受限情况下的塔梁墩结合段设计难题,以沪武高速公路罗埠河大桥为依托,通过理论分析和数值模拟的方法,对一种宽墩窄塔的塔梁墩结合段构造设计与受力性能进行研究。研究了宽墩窄塔的柱式塔与主梁结合段的合理构造及相应设计方法,并对这种新型构造进行了受力分析。结果表明,通过在结合段内设置合理的连接横梁和过渡构造,宽墩窄塔结合段可形成合理的构造形式,满足局部传力的要求;通过纵桥向设置刚度过渡段,增加主梁高度,配合横向弧形过渡结构,提高主梁和宽墩之间的刚度连接,使得主梁的内力可以直接传递至宽墩,降低对窄塔的影响;研究提出的宽墩窄塔塔梁墩结合段的传力可靠,应力传递平顺,应力状态均处于合理范围。形成的宽墩窄塔结合段构造形式及其设计方法可为类似在塔柱横桥向尺寸受限情况下的结合段设计提供参考。

关键词:斜拉桥;宽墩窄塔;塔梁墩结合段;构造设计;受力分析

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)08-0097-03

0 引言

斜拉桥是一种常见的大跨径桥梁结构形式,被广泛地应用在大跨径桥梁中,随着对桥梁跨越能力的提升,斜拉桥的应用范围越来越广泛。根据主梁结构形式的不同,可分为钢梁斜拉桥、混凝土梁斜拉桥、叠合梁斜拉桥和混合梁斜拉桥等类型^[1]。其中混合梁斜拉桥是一种非常适合独塔斜拉桥建造的主梁结构形式,通过边跨混凝土梁和中跨钢梁的重量平衡,提升了中跨的跨越能力。针对安全、美观的不同建设需求,斜拉桥的桥塔也形式众多,其中柱式塔以其优美挺拔的造型和优越的经济性正在被广泛应用在斜拉桥中。

独塔混合梁斜拉桥的结构体系多采用塔梁固结体系^[2-3],结合段既需要具备良好的承载能力,同时又要确保主塔和主梁内力的平顺过渡。因此,塔梁墩结合段的设计是独塔斜拉桥设计中需要解决的关键问题之一^[4-5]。传统斜拉桥的上塔柱和下塔柱在纵、横桥向的尺寸基本保持连续变化,在结合段位置通过主梁内设置横梁,完成主塔与主梁的固结设计。同时在结合段的主梁、主塔连接位置设置适当的倒角构造,实现应力的平顺传递^[6-8]。

对于上、下塔柱尺寸发生突变的塔梁墩结合段的固结设计尚无相关专题研究。为了研究在设计条

收稿日期: 2022-10-31

作者简介: 王凯(1988—),男,本科,高级工程师,从事桥梁工程技术工作。

件受限,采用宽墩窄塔的主塔形式时,如何进行塔梁墩结合段的设计,以沪武高速公路罗埠河大桥为依托,对宽墩窄塔的塔梁墩结合段合理构造与受力性能进行研究。

1 工程概况

罗埠河大桥是G42S沪武高速公路无为至桐城段跨越引江济淮河道的重要通道,大桥总体布置见图1所示,跨径布置为185 m+68 m+32 m。大桥中跨跨越在建引江济淮航道,主塔位于大里程侧河岸上,边跨设置一个辅助墩。大桥为中央索面独塔斜拉桥结构,结构体系采用塔梁固结体系。

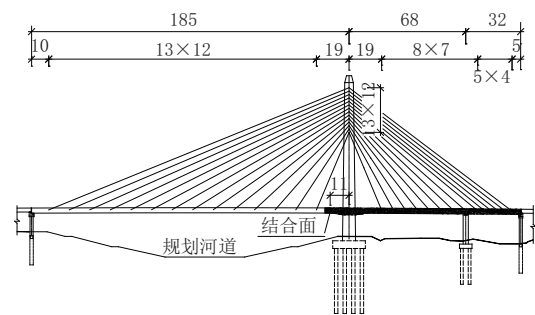


图1 罗埠河大桥总体布置图(单位:m)

主梁采用钢混组合梁,中跨为钢箱梁,边跨为混凝土箱梁,钢混结合面设置在中跨侧距离桥塔中心线11 m处。大桥拉索采用平行钢丝成品拉索,全桥共设置14对拉索,中跨拉索索距为12 m,边跨拉索间距为4.5~7 m,塔端拉索竖向间距为2 m。

混凝土主梁标准横断面采用单箱五室断面,主梁

顶面总宽度为 29 m,底板宽度为 14 m。中箱室为拉索锚固箱室,两侧各设置一个直腹板箱室和一个斜腹板箱室,中室腹板厚度为 0.5 m,两侧直腹板厚度为 0.4 m,外侧斜腹板厚度为 0.3 m。顶板厚度为 0.28 m,底板厚度为 0.3 m。

中跨钢箱梁断面外形与混凝土梁断面相同,采用单箱五室结构,顶板采用 U 肋和 I 肋进行加劲,底板和斜腹板采用 U 肋加劲。在断面外侧设置钢挑梁配合正交异形板,形成挑臂结构,单侧挑臂宽度为 3.1 m。

2 宽墩窄塔结合段设计

2.1 结合段设计难题

大桥采用中心索面柱式塔结构,拉索与桥塔均设置在主梁中央位置。但由于大桥平面线位受到路基断面限制,中央分隔带宽度需要控制在 3.5 m 之内,导致桥塔的横向宽度尺寸受限。而桥塔是承担斜拉桥的主要承重构件,其静力强度及抗震能力的需求较大,故塔柱的尺寸要求较高。因此该桥的塔柱尺寸与桥梁断面之间的矛盾关系是大桥在设计中需要解决的关键问题之一。

为了解决这一难题,该桥设计时创新性地采用了宽墩窄塔的主塔结构形式,即塔柱在主梁以下按照常规塔柱尺寸进行设计,桥面以上塔柱横桥向尺寸按照中分带宽度进行设置。对于这种采用宽墩窄塔的塔梁墩结合段构造设计尚无相关经验,这也是该桥塔梁墩结合段设计中需要解决的新难题。

2.2 结合段构造设计

在塔梁墩结合段设计时,对于纵桥向塔柱设计采用与传统塔梁墩结合段连接方式近似,塔柱纵桥向尺寸保持连续变化,在主梁下缘位置纵桥向尺寸为 7.50 m,在主梁上缘位置纵桥向尺寸为 7.09 m。在距离塔柱两侧各 5.50 m 范围进行主梁变高度处理,梁高由 3.0 m 变为 4.0 m,见图 2 所示,通过底板的变厚实现刚度的平顺过渡,缓解塔梁墩结合段的纵向应力集中现象。

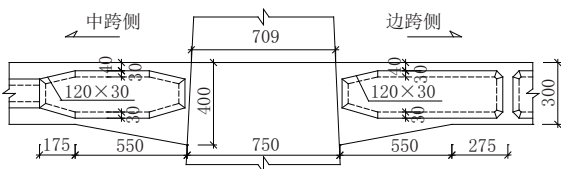


图2 结合段纵向构造示意图(单位:cm)

结合段的横向构造设计见图 3 所示,塔柱在桥面位置宽度为 3.5 m,与中分带宽度保持一致,下塔

柱横向宽度为 7.0 m。在结合段位置设置固结横梁,横梁高度为 4.0 m,横梁厚度与桥塔纵桥向尺寸保持一致,厚度为 7.5 m。主梁变宽段的横向宽度按照主梁斜腹板斜率保持不变向下延伸,在横梁和下塔柱之间通过圆弧进行过渡,圆弧半径为 2.0 m。通过设置大横梁和横向圆弧过渡段确保主梁的内力能够平顺地传递至下塔柱,满足塔梁墩结合段的传力要求。

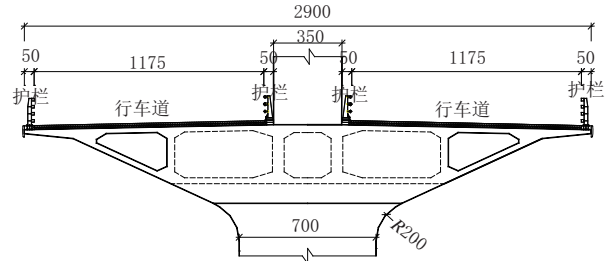


图3 结合段横向构造示意图(单位:cm)

3 塔梁墩结合段受力性能分析

3.1 计算模型

为了对这种新颖的宽墩窄塔斜拉桥塔梁墩结合段的传力特点和受力性能进行研究,对塔梁墩结合段的局部受力性能进行数值分析。研究宽墩窄塔结合段在使用阶段的受力状态与传力规律,确保该局部构造可满足受力要求。

塔梁墩结合段的局部受力性能分析采用通用有限元软件 ANSYS 建立空间实体有限元模型进行数值分析,采用 solid45 单元模拟混凝土,link8 单元模拟预应力。有限元模型的选取范围为:下塔柱按照全高建模,上塔柱截取 20 m 高度,中跨侧主梁截取至钢混结合段位置,边跨截取至距离塔柱 50 m 范围,有限元模型见图 4 所示。

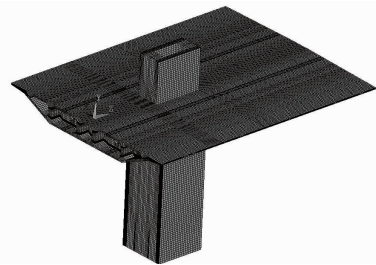


图4 塔梁墩结合段局部有限元模型示意图

有限元模型的位移边界条件为桥塔底部设置固结边界,荷载边界分别在上塔柱顶部和边、中跨模型端部位置施加梁端荷载。梁端荷载根据总体杆系模型计算确定,同时主梁顶面施加对应的可变作用。计算中考虑结构自重、拉索索力、汽车作用、整体升降温、梯度温度和基础变位作用,荷载组合按照标准值组合进行考察。计算中分别考虑结合段主梁最大

弯矩工况和最大扭转工况。

3.2 结合段受力分析

在成桥状态下塔梁墩结合段的竖向应力云图见图5所示,图中压应力为负,拉应力为正。由图可知,结合段竖向应力基本控制在 $-6\sim 0$ MPa之间。在塔梁墩结合段位置主梁采用变高过渡处理后,结合段内的竖向应力平顺的由塔柱传递至桥墩,应力过渡平顺。结合段的横桥向与纵桥向应力均处于受压状态,压应力基本在 $-10\sim -2$ MPa之间。

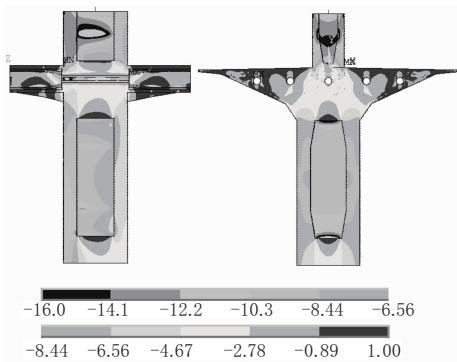


图5 结合段竖向应力云图(单位:MPa)

在结合段最大弯矩工况下,主塔处于全断面受压,塔柱的竖向应力沿横桥向分布均匀;结合段的纵向应力基本处于受压状态,压应力在 $-10\sim -1$ MPa之间,结构具有良好的抗裂性。在结合段主梁最大扭转工况下,塔梁墩结合段的横桥向应力云图见图6所示,图中压应力为负,拉应力为正。在扭转效应下,结合段的横桥向处于受压状态,压应力在 $-10\sim 0$ MPa之间,横桥向的应力分布较为均匀,结合段横梁均处于受压状态,具有良好的抗裂性,且结合段范围内的横桥向基本无应力突变现象。结合段在最大扭转工况下的竖向应力分布也较为均匀,传力状态良好。

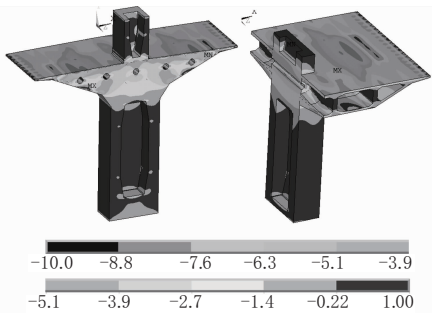


图6 结合段横桥向应力云图(单位:MPa)

通过对结合段在成桥状态及使用阶段可能出现的最不利状态下的受力分析可知,该桥采用的宽墩窄塔结合段的构造合理,传力性能良好,能够安全平

顺地将主梁及上塔柱的荷载传递至下塔柱。塔梁墩结合段局部的抗裂性满足要求,同时最大压应力水平也控制在合理范围内。

4 结语

针对沪武高速公路罗埠河大桥设计中遇到的塔柱尺寸与路基断面受限的矛盾问题,分析了一种宽墩窄塔的柱式塔与主梁结合段的构造设计。并针对这种新颖的塔梁墩结合段的受力性能进行了数值分析,得到了以下结论:

(1)中央索面柱式塔与主梁固结段构造可以桥塔总体尺寸设计参数为基础,通过在结合段内设置合理的连接横梁和过渡区,以满足结合段局部传力的要求。

(2)宽墩窄塔结合段可在纵桥向设置刚度过渡段,通过增加主梁高度,提高主梁和宽墩之间的刚度连接,使得主梁的内力可以直接传递至宽墩,降低主梁对窄塔产生的影响。横向以斜腹板配合弧线过渡,能够实现主梁与下塔柱的平顺过渡。

(3)有限元分析结果表明,设置过渡段的宽墩窄塔塔梁墩结合段的传力可靠,应力传递平顺。结合段在使用阶段基本处于全受压状态,纵、横向应力基本都控制在 $-16\sim 0$ MPa之间,受力状态良好。

(4)研究形成了宽墩窄塔的塔梁墩结合段构造形式和设计方法可为类似的结合段设计提供参考,解决柱式塔塔梁墩结合段设计的关键问题。

参考文献:

- [1] 甄玉杰, 顾瑞杰. 极限边中跨比混合梁斜拉桥关键技术研究[J]. 城市道桥与防洪, 2021(10):99-102.
- [2] 孟杰, 马振栋, 李岳, 陈家勇. 刚构体系叠合梁斜拉桥塔梁固结结构设计研究[J]. 中外公路, 2021, 41(6):95-98.
- [3] 冯钰. 徽水河大桥塔梁结合段构造优化研究[J]. 铁道建筑技术, 2022(2):76-78, 116.
- [4] 潘振宇, 蔡禄荣, 卢汉文. 大跨度斜拉桥墩塔梁固结区受力特性及结构优化[J]. 广东公路交通, 2021, 47(1):31-35.
- [5] 张树清. 组合-混合梁斜拉桥塔梁固结段研究[J]. 山西建筑, 2022, 48(14):147-149.
- [6] 罗宜, 张华华. 异形斜拉桥塔梁结合段应力状态与剪力滞效应研究[J]. 交通科技, 2020(6):23-26.
- [7] 陶重民. 平行单索面斜拉桥塔梁固结节点受力性能研究[C]//2019年泛长三角公路发展论坛论文集, 2019:308-316.
- [8] 刘充. 斜拉桥塔梁固结处局部应力有限元分析[J]. 国防交通工程与技术, 2022, 20(1):22-25, 73.