

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.08.042

单跨下承式空间拱梁组合桥设计

郭钰瑜¹, 宁平华²

(广州市市政工程设计研究总院有限公司, 广东 广州 510060)

摘 要: 从化大桥位于广州从化区中部, 南北向横跨流溪河, 主桥采用单跨下承式空间拱梁组合桥, 跨径为 136 m, 桥宽 40 m, 桥型设计提取“流溪映月”中水与月的元素, 让拱肋呈现月的造型, 犹如一轮新月升起在流溪河畔。以从化大桥为背景, 介绍了从化大桥设计的相关内容。

关键词: 空间钢桁拱; 简支拱梁组合桥; 自平衡体系; 与地铁共线

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)08-0162-03

1 桥址概况

从化大桥位于从化区中部, 南北向横跨流溪河, 是连接从化城北新区和南部河东综合区及研发产业区的重要通道。桥位北岸为河北新区, 未来规划为行政办公和居住用地, 建筑物类型较多; 南岸为河东综合区, 未来规划为绿地和居住用地; 西岸为河西传统城区, 河堤处有已建成并使用的河岛公园。该区域围绕流溪河这一生态景观轴布置成供市民休憩活动的场所, 形成有从化地方特色和自然特色的生态型园林绿化体系, 绘就一幅“园在城中、城在园中”的美丽景象。因此, 从化大桥的建设应尽量减少对自然滨江景色的影响, 并使之与周围建筑、景物有机融合, 创造出富有从化地方特色、滨江园林化的山水城市景观。

流溪河总体呈东北—西南向流经从化区中心城区, 从化大桥桥位处于流溪河中上游, 场区两侧属流溪河一级阶地, 地势平坦。河道宽约 200 m, 堤岸高程约为 34.2 m, 河底高程约为 23.8 m, 枯水期水深多为 1.00~5.00 m, 部分地段可见河床露出, 洪水期水流湍急。

桥位处覆盖层主要为人工填土层、粉质粘土、砂质粘性土、全风化和强风化花岗岩。基岩为花岗岩, 微风化岩面起伏较大, 埋深约 7.80~39.70 m。

广州地铁 14 号线过河隧道分左右双线, 其中左线隧道在从化大桥西侧通过, 右线隧道中心线与从化大桥中心线重合, 大桥桩基布置受限于地铁隧道

线位, 且两个项目工期重叠。需采取特殊设计和预防措施。

2 主要技术标准

- (1) 道路等级: 城市主干道。
- (2) 设计行车速度: 60 km/h。
- (3) 设计车道数: 双向 6 车道。
- (4) 人行道净宽: 2×3.5 m。
- (5) 通航标准: 规划 IX 级航道。
- (7) 抗震等级: 抗震设防烈度为 VI 度, 地震动峰值加速度 $0.05g$ 。

3 主桥设计^[1]

3.1 总体设计

主桥为单跨下承式空间拱梁组合桥, 跨径为 136 m, 桥宽 40 m, 如图 1、图 2。桥型设计提取“流溪映月”中水与月的元素, 让拱肋呈现月的造型, 犹如一轮新月升起在流溪河畔。

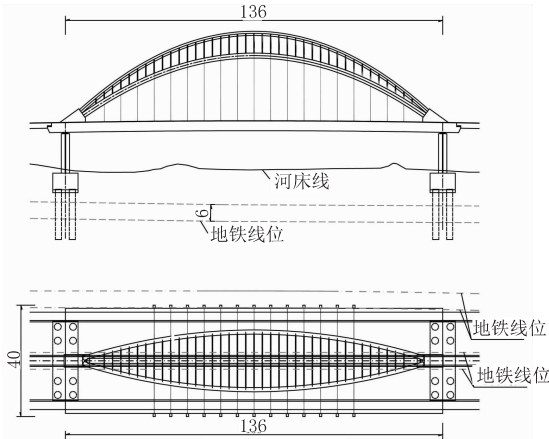


图 1 桥型立面图(单位:m)

收稿日期: 2021-03-05

作者简介: 郭钰瑜(1979—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁设计工作。

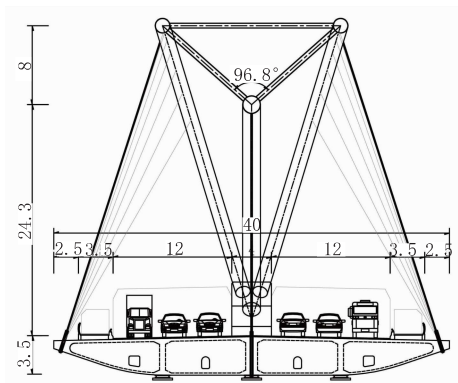


图2 主桥横断面图(单位:m)

本结构体系特征为:单跨简支体系、空间钢桁拱、预应力混凝土加劲梁。上部结构属于简支体系,外部无多余约束,属外部静定结构。该种体系具有结构轻巧美观、跨度大、桥宽较宽、地质条件适应性强、结构受力合理和施工便捷快速、造价低等特点。

3.2 结构设计

3.2.1 主副拱

(1)拱圈^[1]

拱圈由三根非平行钢管通过横向连接系组合而成的倒三角形,在拱脚处汇聚到一点。三根钢管线型均为二次抛物线。一根外径1.8m的主拱肋位于竖直平面内,主拱拱肋中心线理论跨径136m,理论矢高 f 为26.2m,矢跨比为1/5.2;两根外径1.5m的副拱肋由竖直平面向两侧旋转 16.8° 而成,副拱拱肋中心线理论跨径136m,理论矢高 f 为31.7m,理论矢跨比 $f/L=1/4.1$ 。

拱肋采用单圆管截面,如图3,壁厚为26mm、22mm,管内灌注C50微膨胀混凝土。钢管内壁沿圆弧每隔 45° 设一道纵向加劲肋,板宽160mm,厚16mm;沿纵桥向每隔3m设环形加劲板,加劲板均竖向设置,其位置与斜撑腹板位置对应,板厚16mm。

(2)拱肋钢管间的连接系(横撑、斜撑)

主副拱肋之间及两副拱肋之间,设置间距3m的斜撑与横撑,共37道。横斜撑均采用矩形断面,板厚为16mm。

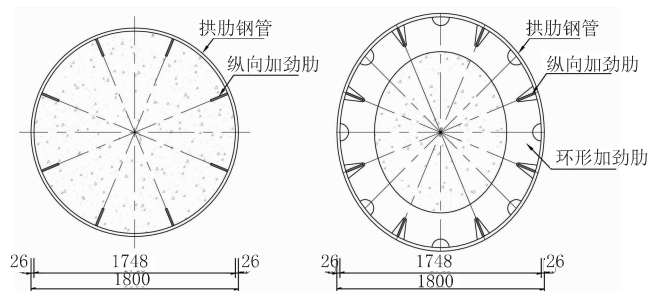


图3 主拱肋标准横断面图(单位:mm)

3.2.2 主梁

(1)预应力混凝土主梁

为节省造价和降低后期维护费用,主梁采用等高预应力混凝土现浇箱梁,中心线处梁高3.9m,高跨比为1:34.8。桥梁横向按整幅设计,采用单箱多室鱼腹式断面,吊杆处箱梁顶板宽40m,宽跨比为1:3.4,高宽比为1:10.3;无吊杆处箱梁顶板宽37.8m,如图4。箱梁顶板设置双向2.0%的横坡,底板水平,底板与边腹板采用半径为20.0m的圆弧连接,顶板厚0.28m,底板厚0.22m。中腹板为系杆布置区及拱肋锚固区,厚0.9m,边腹板厚0.6m。

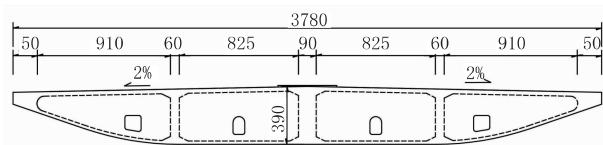


图4 主梁标准横断面图(单位:cm)

主梁除在端部拱座处设置6.5m宽端横梁外,在对应吊杆位置每隔6m设置一道横隔梁,横隔梁厚0.2m。在两道吊杆横隔梁之间3m间距处加设一道厚度为0.16m的小横隔梁。

主梁采用纵横双向预应力体系,钢束均采用 $\Phi^{15.2}$ 高强度低松弛预应力钢绞线,钢绞线抗拉强度标准值 $f_{pk}=1860$ MPa。纵向预应力布置于混凝土箱梁中腹板内,纵向与两拱脚连线重合,兼起到系杆的作用,形成自平衡体系。

(2)拱梁结合部^[2]

主桥拱脚位于拱梁交汇处,承受整个拱圈传来的轴力、弯矩及剪力,同时受到主梁预应力轴向压力的作用,其局部应力大。为了有效减小局部应力,本次采用埋入式拱脚构造设计,钢管拱肋采用剪力钉和锚固钢筋相结合两种锚固形式把正应力传递给混凝土。剪力钉沿钢管内外壁均匀布置,如图5。

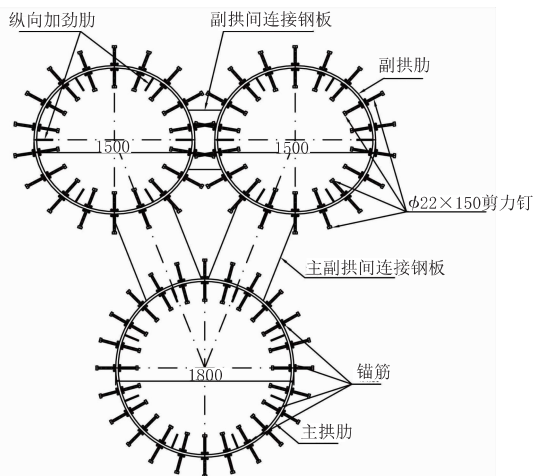


图5 拱脚横断面图(单位:mm)

三根非平行拱肋在拱脚处集中锚固,其与主梁相交锚固节点的受力复杂。本次设计提出了一种新的适用于多根非平行拱肋在拱脚集中锚固的解决方案:通过将两根副拱肋的两端拱脚均向外侧弯折,可避免主拱肋和两根副拱肋在拱脚处由于位置冲突导致被截断,用以保证主、副拱肋的完整性和传力的连续性,同时方便拱肋结构的制造安装;与拱肋交叉再锚固相比较,三根拱肋平行锚固可简化拱脚节点处锚固的连接设计,有效降低拱脚处节点应力水平,使整个拱脚结构受力更均匀;拱肋之间设置横向连接板,可进一步提高拱肋的整体锚固性能;插入式拱脚构造,传力途径明确、安全可靠度高、施工简便。

3.2.3 吊杆

吊杆采用三向布置形式,可大大提高拱肋的横向刚度及空间整体稳定性。吊杆索体采用 PES(FD) 系列新型低应力防腐拉索,按顺桥向 6 m 间距布置。主副拱肋吊杆索体规格分别为 PES(FD)7-187、PES(FD)7-73。

吊杆两端分别锚固在主梁和拱肋内,主梁处为张拉端,拱肋处为固定端,均做成承压式连接,构造简单。吊杆两端锚头做成外露式,使其对拱肋、主梁截面削弱相对较小,通过将锚具防护罩做成球冠形,以提升其景观效应。

3.2.4 下部及基础

主墩采用弧形板式墩,截面尺寸为:3 m(纵向)×18 m(横向)。主墩下设 8 根 $\phi 2.5$ m 嵌岩桩,桩基础与桥墩之间通过承台连接。

为降低地铁隧道施工、地铁运营对桥梁下部结构传力功能的不利影响。本次设计对桥梁下部结构进行了优化,具体措施为将主墩设计成大宽度板式墩,除了增加下部结构稳定性和承载性能外,还从空间避让的角度在主墩下设置大跨度承台,使桩基结构从空间上避开地铁隧道结构,并保证桩基与地铁隧道的最小距离不小于 2 m;同时加大桩基长度,使桩基持力层位于地铁隧道以下,同时保证隧道埋置于桥墩承台以下不少于 4.5 m,如图 6 所示,将地铁隧道施工和地铁运营对桥梁下部结构的不均匀沉降和振动影响降低。

4 施工过程

由于地铁 14 号线穿越流溪河段右线隧道中心线与从化大桥中心线重合,且两个项目工期重叠,两者施工相互影响,形成复杂的施工工况。经协调从化

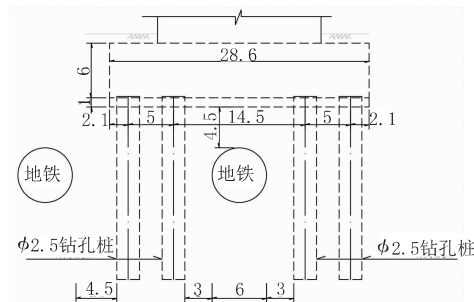


图 6 主桥桥墩构造图(单位:m)

大桥及地铁 14 号线的工期安排,该范围施工顺序为:桥梁桩基、承台施工→地铁盾构隧道施工→桥梁墩身及上部结构施工。同时还对地铁施工和运营对桥梁的影响以及桥梁上部结构施工对地铁隧道的影响进行全过程同步监测,以确保地铁和桥梁的结构安全。

5 结构分析计算

5.1 静力分析

主桥整体结构静力计算采用桥梁专用有限元软件 Midas Civil 进行空间梁格模型分析,其中拱肋、主梁采用空间梁单元,吊杆采用只受拉桁架索单元。计算模型如图 7。全桥共划分为 1 322 个单元,951 个节点。钢管混凝土拱肋截面采用 Midas 自带组合截面模拟,通过不同阶段截面的组合实现管内混凝土依次参与受力。

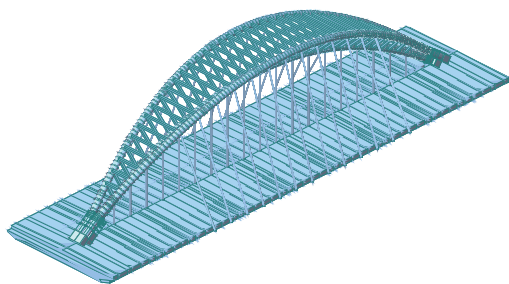


图 7 整体计算模型

计算荷载考虑了结构自重、二期恒载、预应力、混凝土收缩徐变、活载、风荷载、温度荷载及施工阶段临时荷载等。

通过仿真分析得知,在恒载、最不利活载组合作用下,主拱、副拱及连接系正常使用状态和承载能力极限状态均满足规范要求。

5.2 稳定分析

考虑自重、二期恒载、汽车荷载、人群荷载及风荷载等的作用,分为以下两种荷载工况,分别作了稳定性分析。计算结果表明,一阶失稳模态为横桥向失稳,在两种荷载工况作用下的稳定安全系数均大于

(下转第 167 页)

方案的 52.5%;当采用“增加桥台挡墙长度,减小桥台放坡,同时考虑减小桥台开挖深度,增加桥台桩基”的方案后,轨道轨道结构沿轨道纵向位移为原方案的 105.3%,垂直于轨道方向的位移为原方案的 13.8%,竖直方向的位移为原方案的 30.2%。

从上述分析可以看出,减少台后路基部分的填土量,将桥台由扩大基础改为桩基础,使上部结构产生的反力由桩基传递至地层的方法可以极大的减小轨道结构的位移,改善新建结构对轨道结构的影响。

4 结 论

本文依托一座下穿轨道高架区间结构的新建桥梁,分析不同的结构处理形式对轨道高架结构的影响,分析表明:

(1)在采用减小靠近轨道结构的原始地貌变化的方案后,垂直于轨道方向的位移为原方案的

57.7%,竖直方向的位移为原方案的 52.5%;

(2)在考虑减小轨道结构附近原始地貌变化的情况下,同时将原本作用在地表上的荷载传递至地层中,垂直于轨道方向的位移为原方案的 13.8%,竖直方向的位移为原方案的 30.2%;

(3)由以上分析可以看出,减小轨道结构位移的两个优化方案从根本上均是减小了靠近轨道结构的地表层荷载的改变,故在今后类似方案中,应尽量减小地表的堆载或卸载,若无法避免的情况下,可将地表荷载传递至地层下方。

参考文献:

[1] CJJ/T 202—2013,城市轨道交通结构安全保护技术规范[S].
[2] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
[3] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].

(上接第 164 页)

4,结构的整体稳定性符合要求。稳定特征值见表 1。

表 1 稳定分析特征值和失稳模态

序号	荷载工况	稳定系数	屈曲形态
1	恒载	5.346	横桥向弯曲失稳
2	恒载 + 活载	5.143	横桥向弯曲失稳

5 结 语

从化大桥于 2018 年 9 月通过竣工验收并投入运营。项目建设效果赢得了市各行政主管部门的一

致好评,大桥通车后因其“流溪映月”的新颖造型,被从化市民公认为“网红桥”。本文以从化大桥为背景,介绍了该桥的桥址概况、总体设计、主体结构设计及计算。为同类型桥梁设计提供参考价值。

参考文献:

[1] 陈宝春.钢管混凝土拱桥设计与施工[M].北京:人民交通出版社,1999.
[2] 李生智,王玮瑶,邬妙年.异形拱桥[M].北京:人民交通出版社,1996.