

融合地域文化的景观人行桥设计

陈小涛

(湖南省建筑设计院集团有限公司, 湖南 长沙 410012)

摘要: 结合县域人文特点创作了富有地方特色的景观桥梁方案,桥梁主梁采用工厂预制钢箱梁,造型顶棚采用现场焊接空间双曲管架,在桥梁功能性、施工便利性与景观特色中找到均衡点。希望对创作具有地域特色的城市人行天桥有所帮助,并为城市景观发挥应有的功能,城市增添亮点。

关键词: 地域文化;景观人行桥;结构验算;有限元分析

中图分类号: U448.11

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)02-0118-04

0 引言

随着过街矛盾的加剧,国内众多地方县市开始兴建首座人行天桥,天桥建设被赋予了很高的期望。过去,大部分人行天桥过于注重实用性,而忽略了造型的设计,对自身的美化和周围环境的协调考虑较少,单调简陋的人行天桥与当今日新月异的城市发展格格不入。现今,人行天桥的美学越来越受到各方的重视,天桥不仅是满足过街需求的结构物,更是当做一个城市的景观工程,让大众在享用天桥便利交通的同时也享受到它带来的各种美。文献[1-3]提出了不少天桥美学创作的切入点,在此,笔者认为将城市独有的文化元素融入天桥美学,其效果是独特的、自然的、深远的。本文以某县首座人行天桥为例,介绍了融合地域特色文化人行天桥的方案创作思路以及结构设计。

1 工程概况

天桥位于某县一中校门与体育馆之间,学校紧邻交通繁忙的国道,天桥主要为学生过街修建。该国道在城区段已进行市政化改造,道路标准横断面布置见图1。由于主辅侧分带下管线繁多不宜立墩,天桥需一跨跨越国道。本桥在满足基本过街需求的同时,亦要求将桥梁打造为城市的一张名片,成为对外展示的窗口。

2 方案构思

一张城市的好名片莫过于一座城市最深厚的文

收稿日期: 2021-05-19

作者简介: 陈小涛(1989—),男,硕士,工程师,从事桥梁工程设计研究工作。

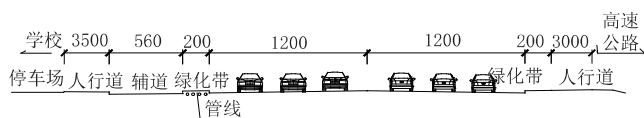


图1 道路标准横断面(单位:cm)

化。该县是全国著名的“竹木之乡”,编织竹器远销海外,久负盛名,如何将当地的竹器文化与现代建筑相融合是本次桥梁方案设计一直思考的问题。竹器文化的精髓在于精巧的编织工艺,因而将圆竹、编织、竹器元素融入桥梁方案:桥梁顶棚骨架采用整根圆竹空间双曲编织而成,遮阳板则采用竹片纵横叠织而成,并在中央开数个渐变方孔,以便桥上观景与透气。桥梁下部结构采用圆柱呼应圆竹元素,见图2。天桥的色调采用成熟竹节的黄色,能给人以柔和的感觉,也能给桥下通行的车辆一定的警示作用。天桥较为高大的尺寸在周边空旷低矮的空间内引人注目,整个实桥犹如一件精美的编织竹器盛置于圆竹墩柱上,行人过桥亦如游览一件工艺品,一步一景,心境怡然,见图3。



图2 方案意向图



图3 成桥实景

3 桥梁结构设计

3.1 桥梁总体布置

为了减少桥梁建设对现状交通的影响以及方便施工,天桥主桥采用单跨简支钢箱梁结构,箱梁全宽 4.5 m,净宽 4.0 m。主桥计算跨径 35.5 m,两侧悬挑 2.7 m,总长 40.9 m。为了满足造型顶棚与主桥一致的设计使用年限,在比选了竹、木结构后,顶棚管架与遮阳板均采用钢材。顶棚外轮廓尺寸取 6.2~8.6 m 时,整体有较为协调的高宽比例,此时天桥内净空高度为 4.2~5.4 m,造型顶棚与主桥之间通过水平杆件连接。天桥在两侧人行道上设置有 4 个钢结构梯道,各梯道全宽 3.0 m,净宽均为 2.5 m。主桥下部结构采用 V 型混凝土桥墩,梯道下部采用圆形混凝土墩柱,基础均为钻孔灌注桩。天桥立面、断面布置见图 4、图 5。

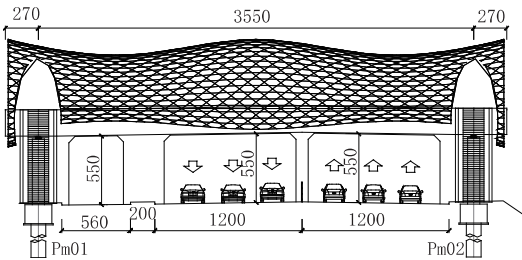


图 4 天桥立面布置图(单位:cm)

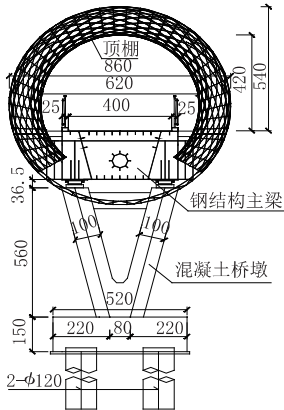
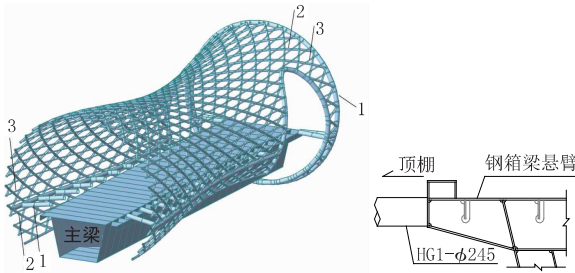


图 5 天桥横断面布置图(单位:cm)

3.2 桥梁细部结构

(1)钢箱梁《城市人行天桥与人行地道设计规范》(CJJ69-95)中要求天桥竖向自振频率不应小于 3 Hz^[5],在不考虑顶棚对桥梁竖向刚度的贡献时,竖向基频控制主梁高度设计。同时梁高与顶棚建筑高度宜相协调,综合取定梁高为 2.0 m。钢箱梁顶底板厚度均为 14 mm,腹板为斜腹板,板厚 14 mm。顶板设置纵向加劲肋 11 道,两侧腹板各 2 道,底板 7 道,加劲肋厚均为 14 mm。主梁标准段横向加劲肋间距为 1.5 m。

(2)造型顶棚 造型顶棚在结构设计时不考虑其对人群荷载的承载,因而其构件尺寸可相对较小。顶棚共设计有三种杆件:1 号杆 ZG($\phi 245 \times 16$)为顶棚的主杆,2 号杆 XJG($\phi 114 \times 4.5$)为斜向交叉排列的螺旋管架,3 号杆 SPG($\phi 60 \times 4$)为斜杆交点的水平连杆。1 号主杆布置在顶棚的外围,并通过与主杆同型号的 HG1 杆与钢箱主梁悬臂相连,连接大样见图 6。



1-ZG(主杆);2-XJG(斜交叉杆);3-SPG(水平杆)

图 6 杆件示意图与连接大样图

(3)桥面铺装 桥面铺装采用了有别于常规焊钉+混凝土铺装的做法,采用 3 mmMMA 彩色防滑铺装系统。薄层铺装能很大程度上减轻铺装恒载且施工便捷,亦与钢桥面板有很好的粘合与防水性能,铺装色彩也可辅助桥梁主题的表达。

4 结构有限元分析

4.1 计算参数

结构受力与施工阶段息息相关,造型顶棚因不考虑其与主桥共同承受活载,只将其作为外荷载施加于主桥之上,因而桥梁施工需按照如下步骤进行:桥梁下部墩台与支座施工→主梁与梯道吊装→拆除主梁全部临时支墩→顶棚安装→附属结构施工。桥梁受力分析将分两大部分进行,其一为顶棚在自重、风荷载、雪荷载、温度荷载作用下的静力分析,其二为成桥阶段在恒载、活载、风荷载、雪荷载、温度荷载等组合工况下的静力以及动力分析。

顶棚基本风压取 0.45 kN/m^2 ,体型系数取 1.3,基本雪压取 0.65 kN/m^2 ,遮阳编织板取 0.16 kN/m^2 ,温度整体升降温 30°C 。成桥状态人群荷载根据主桥净宽计算取值为 $4.15 \text{ kN/m}^{[14-5]}$,铺装与栏杆共计 1.95 kN/m ,温度整体升降温 30°C ,由于设置有遮阳板可不考虑桥面温度梯度荷载。顶棚管架采用 Q345B,主桥钢箱梁采用 Q345C。

4.2 顶棚静力分析

在对顶棚单独进行静力分析时,边界条件取 HG1 杆在与钢箱梁连接处固结。根据计算结果分析表明,杆件应力比最大值为 0.91,应力比大于 0.7 的

仅占 0.1%,99.5%的杆件应力比在 0.5 以下,直观表达见图 7。杆件的挠度、屈曲稳定分析均能满足规范要求。由于 HG1 杆边界固结,在温度荷载下构件应力相比实际偏大(HG1 杆与主梁连接时,在温度荷载下可与主梁同伸缩),构件应力强度有一定的富余,见表 1。

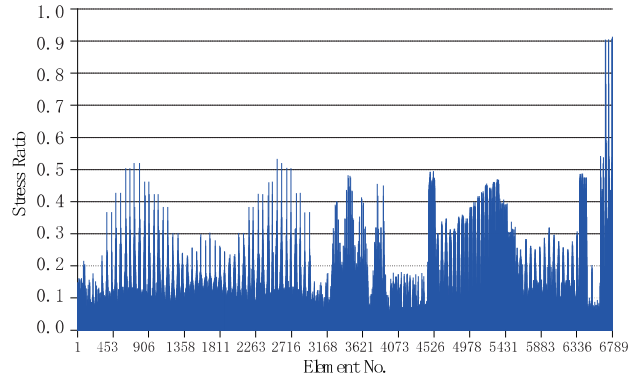


图 7 杆件应力比分布图

表 1 杆件应力比分布表

范围	大于 1.0	1.0 ~ 0.9	0.9 ~ 0.7	0.7 ~ 0.5	0.5 ~ 0.01
单元数	0	8	4	20	6 757
百分比	0.0%	0.1%	0.1%	0.3%	99.5%

4.3 成桥静力分析

成桥模型见图 8,支座自由度按实际模拟,支座节点与主梁节点通过刚性连接约束,顶棚与主梁节点通过刚性连接约束。由表 2 可知主梁应力幅值整体较小;顶棚中的 1 号杆与 2 号杆组成了棚顶受力骨架,应力值相对较大,3 号杆件起水平连接构造作用;顶棚与主梁之间的荷载转换杆 HG1 杆应力值最大为 212.2 MPa,此杆件为整个结构的关键杆件,杆件与主梁悬臂连接点为关键节点,需对该部位构造做实体分析验算,见表 2。

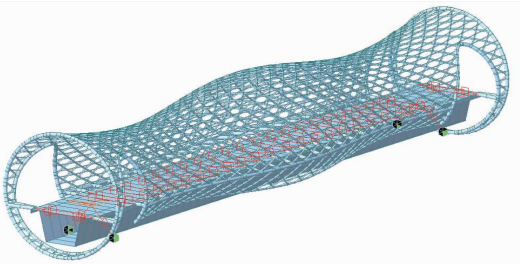


图 8 全桥杆系模型

表 2 构件基本组合包络应力值 单位:MPa

构件	最大拉应力	最大压应力	备注
主梁	108.5	66.4	考虑剪力滞
1 号杆 ZG	105.7	104.2	φ 245 × 16
2 号杆 XJG	131.6	114.8	φ 114 × 4.5
3 号杆 SPG	43.0	78.1	φ 60 × 4
HG1	109.9	212.2	φ 245 × 16

4.4 成桥动力分析

保持成桥状态的边界条件,将结构自重以外的恒载转化为质量,得到前 6 阶自振频率与振型特征见表 3。结构 1 阶振型为全桥正对称竖弯,自振频率为 4.85 Hz,避开了行人步频 1.6 ~ 2.0 Hz 区间,亦大于规范限值 3 Hz,满足设计要求^[5],见图 9。

表 3 结构自振频率及振型特征

模态阶数	频率 /Hz	振型特征
1	4.85	全桥正对称竖弯
2	11.525	顶棚正对称扭转
3	12.63	全桥反对称竖弯
4	13.94	全桥反对称竖弯
5	14.72	顶棚反对称扭转
6	15.01	顶棚正对称扭转

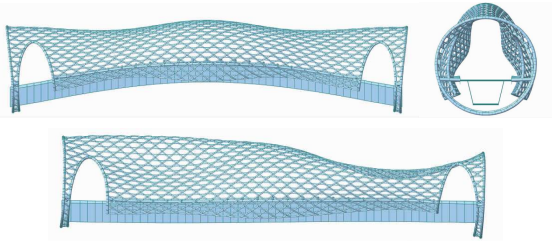


图 9 振型图(仅示前三阶)

4.5 关键节点局部分析

从成桥静力分析结果中可以看出,顶棚与主梁之间连接杆件 HG1 杆应力值最大,连接杆件与主梁悬臂的焊接节点是结构传力的关键部位。为了保证节点构造合理、传力路径明确、且有足够的强度和刚度,有必要对该节点进行局部实体分析,以便为构件细部设计提供依据。

选取受力最大的悬臂节段做对称分析,边界条件为对称截面施加对称约束,荷载从静力杆系模型中提取悬臂端部内力包络值见表 4。

表 4 悬臂端部最大内力值

节点力	F _x	F _y	F _z
数值	-20.2 kN	-73.6 kN	-157 kN
节点力	M _x	M _y	M _z
数值	16.1 kN·m	-132 kN·m	36 kN·m

节段有限元模型见图 10。由图 11 应力云图可知,悬臂节段的 Von-Mises 应力值在 235 MPa 以内,HG1 杆与悬臂焊接圆周局部出现应力集中现象,节段的应力值均小于 Q345qC 钢材的屈服强度 345 MPa。

4.6 抗倾覆验算

由于桥梁建筑高度较高,顶棚内置防风遮阳板,桥梁有在横向风荷载、人群荷载偏载下倾覆的可能性。为了尽可能增大抗倾覆力矩,桥梁下部结构采用

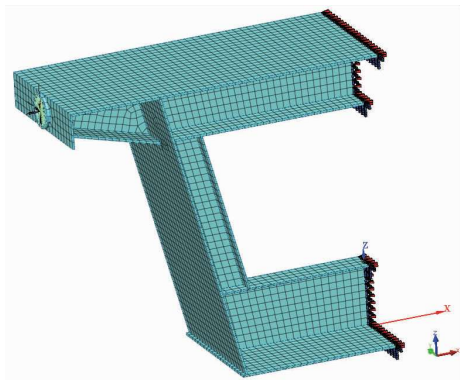


图 10 节段有限元模型

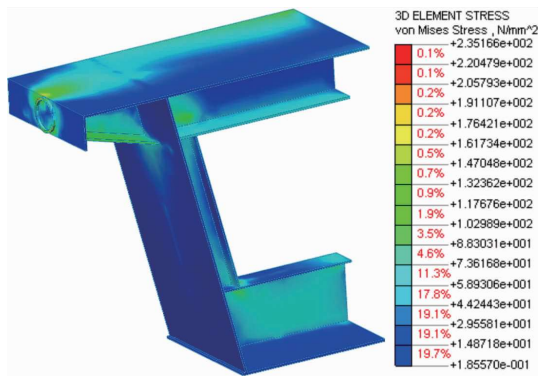


图 11 节段 Von-Mises 应力(单位:MPa)

V 型墩,支座置于墩顶,支座横向间距 3.5 m。抗倾覆验算的轴线为外侧纵向支座连线,重心在倾覆轴线以内的恒载抗倾覆弯矩计入 ΣSbk ,反之计入倾覆弯矩 ΣSsk ;人群活载按倾覆线以外 0.25 m 区域布载、风荷载按桥面以上竖向投影面积计算,两种倾覆弯矩计入 ΣSsk ^[6]。

整理得: $k = \Sigma Sbk / \Sigma Ssk$
 $= 4\,828.6 / 628.2 = 7.69 > 2.5$
其中: $\Sigma Sbk = 689.8 \times 4 \times 1.75 = 4\,828.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$\Sigma Ssk = 4.15 \times 0.25 \times 40.4 \times 0.125 + 1.3 \times 1.13 \times 0.45 \times 4.8 \times 40.9 \times 4.8 = 628.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$

5 结 语

(1)本工程在挖掘地域特色文化,并将其融入天桥建筑方案中做了一些探索,取得了一定的成果。桥梁整体造型新颖雅致,让人耳目一新,给类似景观人行桥的创作提供了一种思路。

(2)景观人行桥的建造是一把“双刃剑”,景观效果越优,通常工程造价越高,施工越困难,需要在功能性、施工便利性与景观特色中找到均衡点。本工程主梁采用工厂预制吊装以便利施工,造型顶棚现场焊接利于造型效果。

(3)经过全桥的静力与动力分析以及节点的局部分析表明:结构有足够的强度、刚度、抗倾覆稳定性;成桥状态后顶棚结构在一定程度上对桥梁整体刚度有贡献,全桥基频 4.85 Hz,超出规范限值较大范围;悬臂连接节点是传力关键点,类似桥梁需加强该类型节点的分析。

参考文献:

[1] 陈正斌.城市人行天桥美学造型简析[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2007(4):120-123.
[2] 李敏玉.人行天桥在城市景观中的应用研究[D].山东济南:山东建筑大学,2012.
[3] 杨士金,唐虎翔.景观桥梁设计[M].上海:同济大学出版社,2003.
[4] GB 50009—2012,建筑结构荷载规范[S].
[5] CJ69-95,城市人行天桥与地道技术规范[S].
[6] JTG D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].

(上接第 100 页)

在地震响应上的差异,得出不同步受力时,结构的地震响应更大的结论,传统的支座同步受力分析模式在位移估算上偏不保守,对制动墩的内力计算亦偏小。但从数值上,两种方法的位移地震响应与活动支座的纵向自由程存在内在的关联。

虽然不同步受力模式模拟实际情况更真实,但是该方法也有不足之处,由于非线性单元较多,有限元计算的速度大大降低,相比同步受力分析模式,所花费的时间需多数倍甚至数十倍。在工程设计中仍

需根据设计的不同阶段采取合理的计算假定,不宜盲目精细化。

了解了支座不同步受力时的地震响应机理和同步受力与不同步受力的差异,对工程设计时地震变形的估算可以进行更有效的预判,可为以后类似工程提供借鉴。

参考文献:

[1] JTT 852—2013,公路桥梁摩擦摆式减隔震支座[S].
[2] CJJ 166—2011,城市桥梁抗震设计规范[S].