

人行斜跨钢箱拱桥设计与分析

程利鹏

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 介绍某城市人行钢箱斜跨拱桥的总体设计方案;建立空间有限元模型分析设计控制要点,包括索力、应力、位移、动力特性和稳定性。结果表明,各项静动力指标均满足规范要求。介绍桥面铺装和抗浮销铰两个特色设计,可增强结构安全性、耐久性和景观性,以期为类似人行桥梁设计提供参考。

关键词: 人行桥;钢箱斜跨拱;斜吊索;静力分析;自振频率;稳定性;陶粒铺装;抗浮构造

中图分类号: U448.22

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)05-0111-03

0 引言

近年来,城市景观步道项目日益增多,对于滨水步道项目则经常需要设置人行桥跨越水系障碍,为满足景观要求,桥梁结构需新颖美观。斜拉桥、悬索桥和拱桥变化多样,造型丰富,是景观桥常用桥型;其中拱桥在中小跨径更具经济性和适用性,常成为人行桥的首选方案^[1-5]。本文以国内某城市滨水项目实践,分析一座人行斜跨钢箱拱桥。

1 工程概况

该人行拱桥跨越现状水闸口,为斜跨钢箱拱桥结构,桥梁总长 70 m,跨径组合为(10+50+10) m,主梁高度 0.8 m,桥梁结构总宽度 8.5 m,桥面宽 5.5 m。拱肋及主梁材料均采用钢结构,吊索采用双索面非对称倾斜索面。桥梁总体造型美观、结构新颖,已成为该景观步道标志性景点,桥梁效果图如图 1 所示。



图1 钢箱斜跨拱桥效果图

2 结构设计

2.1 总体设计

桥面功能宽度 5 m,总宽度 8 m,桥梁总长 70 m,

桥型采用(10+50+10) m 斜跨拱桥,桥梁总体图如图 2 所示。

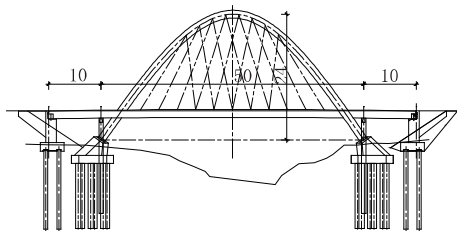


图2 桥梁立面布置图(单位:m)

2.2 主拱设计

主拱斜跨跨长 52.38 m,拱矢高 24.0 m,拱轴线近似抛物线形。拱肋采用双肢钢箱拱结构,双肢钢箱拱肋断面尺寸为高 1.6 m,宽(0.9+1.0+0.9) m=2.8 m。

2.3 主梁设计

主梁梁高 1.5 m。为避免桥梁浸水后产生较大上浮力,采用双工字钢主梁开口断面。因空间索布置下为满足桥下净空,拉索在梁端锚固点须拉到桥梁功能宽度之外,桥面每侧加宽 1.25 m,桥宽共计 8.0 m;双主梁间距 3.6 m,挑臂 2.2 m。钢桥面板作为主梁上翼缘参与整体受力。每隔 3.5 m 设置 1 道板式钢横梁。

梁端 3.5 m 范围内须设置混凝土压重,防止端支座出现负反力,压重荷载 100 kN/m。

2.4 吊索设计

吊索采用倾斜非对称双索面设计,每侧设置吊索 8 根,吊索采用平行钢丝拉索,两端采用销铰式锚固构造分别与钢拱和钢梁连接。

2.5 下部结构及基础

拱采用 6 根直径 1.0 m 的群桩基础,承台厚 1.5 m,承台上设置混凝土拱座,以分散钢拱脚受力。

桥台采用重力式桥台,每个桥台下布置 4 根直径 1.0 m 的钻孔灌注桩。

收稿日期: 2020-09-27

作者简介:程利鹏(1989—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

2.6 支座及挡块、抗浮构造

竖向支撑采用板式橡胶支座。

在桥台处横桥向设置混凝土挡块,挡块与梁体之间设置弹性橡胶垫块,防止梁体在正常使用情况及洪水横向冲击、横向地震等情况下的侧移。在桥台台身处预埋双耳板,与钢梁腹板对齐并销接,防止洪水情况下梁体上浮。销钉孔顺桥向呈长腰型,满足正常使用纵向变形要求。在跨中最高点梁体腹板上方便适量开气孔,防止水位上升时两片钢梁间形成倒扣盆效应而产生较大浮力。

2.7 其他附属设施

桥面铺装采用 5 mm 厚度彩色陶粒薄层铺装;伸缩缝采用简易钢板伸缩缝;桥面横向不设置横坡,纵桥向中间高,两侧低,水沿地袱向两端流入步道排水沟中,桥上不设置泄水孔;栏杆采用钢制栏杆。为避免桥梁浸水后产生较大上浮力,主梁做成开口断面,之后两片工字钢主梁之间建议不做装饰,仅在两侧做,并且两侧采用的装饰与主梁之间也应避免形成封闭箱室。

3 结构受力分析

3.1 计算模型

采用 midas Civil 软件建立空间有限元模型,拱肋、主梁纵横梁采用梁单元模拟,桥面板采用板单元模拟,吊索采用桁架单元模拟,边界条件设置为拱脚固结,主梁在桥台和辅助墩处设置简支支座。计算荷载包括结构自重、二期恒载、人群荷载、温度荷载、基础变位、风荷载和水流冲击荷载(100 a 一遇水位下)。

3.2 索力确定

全桥共 16 根吊索,每侧 8 根,按双索面非对称布置。为求得较为优异的索力计算结果,根据主梁梁段自重与吊索竖向分力基本相当的原则初步确定索力,再进行局部微调,保证索力的均匀性。所求得成桥阶段索力见表 1。

表 1 成桥索力

吊索编号	1	2	3	4	5	6	7	8
左侧索力/kN					53.7	55.3	57.4	59.8
右侧索力/kN	65.2	64.2	63.0	61.6	59.8	57.4	55.3	53.7
吊索编号	9	10	11	12				
左侧索力/kN	61.6	63.0	64.2	65.2				

从索力的分布可以看出,中间索的索力较小,边索的索力稍大,但由于设置了辅助墩,边索与中间索的索力差异较小。

3.3 应力计算

拱肋、主梁在作用基本组合下的应力极值见表 2。

表 2 主梁主拱应力极值

部位	最大拉应力		最大压应力	
	数值/MPa	位置	数值/MPa	位置
拱肋上缘	60.2	拱脚	-77.5	拱脚
拱肋下缘	41.3	拱脚	-82.9	拱脚
主梁上缘	121.9	辅助墩	-56.0	近辅助墩
主梁下缘	36.3	跨中	-65.7	辅助墩

应力计算结果表明,由于拱肋轴线为近似抛物线形,拱脚受力较为不利,拱顶处受力较小,而主梁受力则表现为辅助墩处和跨中较为不利。应力验算均满足规范要求。

3.4 位移计算

成桥阶段桥梁在恒载、人群活载作用下主要构件的位移见表 3。

表 3 恒活载位移

构件	恒载竖向位移/mm	恒载水平位移/mm	活载竖向位移/mm	活载水平位移/mm
拱肋	1.5	1.6	0.8	1.1
主梁	9.5	9.4	12.7	4.2

位移计算结果表明,拱肋、主梁在人群活载作用下,最大竖向位移为 12.7 mm,挠跨比为 $1/3\ 937 < 1/600$,表明本桥整体刚度较大。主梁在恒活载均产生了一定的水平位移,表明不对称的拉索布置导致主梁出现了一定的扭转变形,但幅度较小,对结构安全和使用均无影响。

3.5 动力特性分析与屈曲稳定分析

桥梁在成桥状态下的前 7 阶自振频率及振型见表 4。计算结果表明,主梁一阶竖弯自振频率为 3.65 Hz,动载试验的实测值为 5.01 Hz,实测值/理论值为 1.37,即结构实际刚度大于理论刚度。究其原因,除了材料特性和荷载的微小差异外,桥梁栏杆和抗浮销铰(见下文 4.2 节详细论述)对主梁竖向刚度也有较大贡献。

表 4 自振频率及振型

阶次	频率/Hz	振型特点
1~3	0.60~0.80	主梁横向漂移
4	1.82	拱肋横向弯曲
5	3.65	主梁竖向弯曲
6~7	3.8~4.0	拱肋、主梁横向弯曲

结构的第一阶失稳模态为主梁面内失稳,稳定系数为 29,具有较高的稳定系数,不会成为设计的

控制因素。

4 特色设计

4.1 桥面铺装

根据《城市人行天桥与人行地道技术规范》(CJJ 69-95) 要求, 人行桥竖向自振频率不应小于 3 Hz。人行桥景观要求高, 结构跨度大, 造型轻盈, 结构基频往往成为控制因素。本桥采用薄层抗滑耐磨铺装, 铺装总厚度 5~6 mm, 可较大减轻二期恒载质量, 提高结构基频。

薄层抗滑耐磨铺装是在打砂的钢桥面板上先后涂刷防腐底漆、树脂防水层, 然后撒布耐磨性能强的硬质骨料, 通常为金刚砂、陶瓷或专门配制经过锻烧的铝矾土等材料。黏结料和骨料能紧密形成一体, 且保持良好的抗滑性。由于使用了高硬度骨料, 抗磨性、抗滑性及耐久性强, 其中骨料可以根据景观要求, 采用不同颜色材料。薄层抗滑耐磨铺装结构见表 5。

表 5 薄层抗滑耐磨铺装结构

磨耗层	耐磨骨料(陶瓷或铝矾土) 1.0~2.0 mm
防水层	树脂防水层 2.5 kg/m ²
防腐层	防锈底涂 0.3 kg/m ²
桥面板	钢板: 喷砂除锈, 清洁度 Sa2.5 级, 粗糙度: 60~100 μm

薄层抗滑耐磨铺装结构应满足如下技术要求: 铺装层与钢板在 25 ℃下黏结强度不低于 5.0 MPa; 防水层拉伸强度不低于 10.0 MPa; 在 -20 ℃低温弯曲试验下不产生裂缝。同时铺装层还应具有良好的耐化学腐蚀性(柴油、汽油、除冰盐)和良好的抗滑性能。

4.2 抗浮销铰

由于本桥设计水位较低, 在百年一遇水位下桥梁将处于完全淹没状态, 为防止桥梁主梁在洪水及漂浮物的冲击下发生偏位甚至落梁, 通过在主梁桥台处设置抗浮销铰来解决这一问题。抗浮销铰限制主梁的竖向及横向位移, 纵向正常温度伸缩不受影响, 具体构造如图 3 所示。

5 结 语

本文介绍并分析了人行斜跨钢箱拱桥的受力,

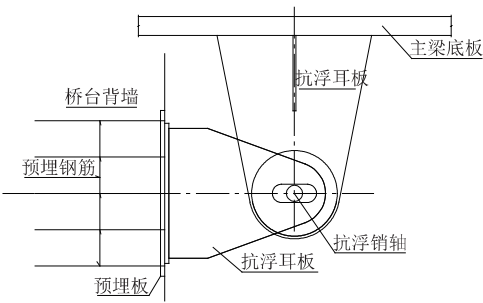


图 3 抗浮销铰立面构造

分析结果表明:

(1) 人行桥的设计应兼顾结构的安全性、美观性和耐久性, 并因地制宜, 综合考虑各项细节, 才能做到以人为本的桥梁设计。

(2) 成桥吊索索力与吊索布置一样, 呈现反对称的特征, 但总体上吊索索力差异不大; 主拱和主梁在恒载和活载的作用下, 应力和位移均较小, 桥梁整体刚度较大。

(3) 结构的一阶竖弯基频计算值为 3.65 Hz, 实测值为 5.0 Hz, 结构实际刚度大于理论分析刚度, 主要是由于栏杆对结构静力刚度的贡献以及抗浮销铰对结构竖向振动的约束; 结构的稳定系数较高, 稳定性好。

(4) 由于人行桥桥面板局部荷载小, 采用薄层抗滑耐磨铺装可以减轻结构的自重, 提高结构的基频; 还可自主选择铺装颜色, 进一步提高景观性能。

(5) 抗浮销铰设计可以有效保障结构的被水位完全淹没的情况下, 桥梁不发生移位, 同时又不会限制静力状态的温度伸缩。

参考文献:

[1] 杨昌树, 阮涛, 廖义. 异形拱人行桥设计[J]. 城市道桥与防洪, 2019(10): 88-90.
[2] 成凯, 叶锡钧, 梁伟. 大跨度异形拱桥动力特性分析[J]. 中外公路, 2019(4): 64-67.
[3] 奚灵智, 陈亮. 绍兴市梅龙湖人行桥总体与景观设计[J]. 城市道桥与防洪, 2012(5): 95-96.
[4] 常柱刚. 尼尔森体系拱桥在城市人行天桥中的应用研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2017, 14(8): 1681-1688.
[5] 罗美辉, 彭崇乾. 城市人行天桥造型构思[J]. 城市道桥与防洪, 2016(9): 140-141.