

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2024.07.021

某人行架空栈桥侧向舒适度及其控制措施

岳章胜, 蒋海军, 万淑敏, 刘 彬

(青岛市市政工程设计研究院有限责任公司, 山东 青岛 266100)

摘 要: 对比分析了独柱墩连续刚构人行架空栈桥不同墩高、不同桥墩直径条件下桥梁结构的应力、挠度、竖向频率和侧向频率, 结果表明: 结构应力、挠度和竖向频率较容易满足规范限值要求, 对于国内相关规范未作规定的侧向频率和侧向舒适度限值是这类桥梁设计的控制因素。在桥面上行人交通荷载繁忙的不利状况下, 为保证结构轻柔, 采用较小的桥墩直径, 设置侧向调谐质量阻尼器(TMD), 在桥梁侧向频率无法避开行人横桥向步行频率的情况下, 能保证结构的侧向舒适度要求。

关键词: 架空栈桥; 连续刚构; 舒适度; 调谐质量阻尼器

中图分类号: U448.11

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)07-0084-03

1 工程概况

本项目人行架空栈桥是方便行人公园内游览的交通要道, 标准段宽 3.5 m, 总长约 500 m。由于架空栈桥景观要求高, 前期进行了多轮方案比选, 综合现场自然和道路条件, 架空栈桥上部结构标准段采用 4 跨一联连续钢箱梁, 标准跨径 15 m, 梁高 0.8 m, 桥墩高 4~12 m; 下部结构采用钢管混凝土柱, 柱底采用 2.8 m × 2.8 m 钢筋混凝土扩大基础。

架空栈桥人群设计荷载为 4 kPa, 上部结构断面为倒梯形钢箱 + V 形钢悬臂, 中墩均采用墩梁固结, 过渡墩采用直径 150 mm、厚 28 mm 板式橡胶支座, 支座间距 50 cm。钢箱梁顶板、底板、腹板厚均为 12 mm, 中间隔板厚 10 mm, 支撑隔板厚 16 mm; V 形钢悬臂由 110 mm × 10 mm 角钢拼焊形成, 与隔板对应设置; 桥墩采用直径 600 mm、壁厚 20 mm 钢管, 内灌 C30 混凝土。

边支点处和中边支点处横断面分别如图 1、图 2 所示。

2 不同桥墩直径对比

钢管混凝土立柱的高度和直径大小对桥梁景观的影响极大, 在边界条件和钢管立柱壁厚相同的前提下, 本文选取 4 × 15 m 标准联桥梁对不同墩高 (6、8、10、12 m)、不同桥墩直径 (50、60、70、80 m) 条

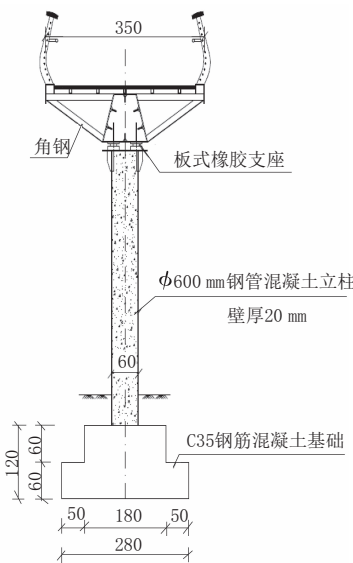


图 1 边支点处横断面 (单位: cm)

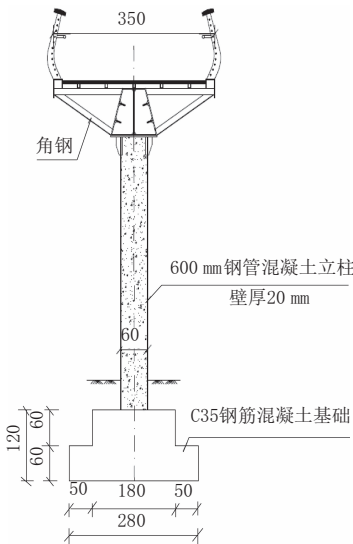


图 2 中边支点处横断面 (单位: cm)

收稿日期: 2023-05-03

作者简介: 岳章胜(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 长期从事城市市政和轨道交通工程桥梁的设计与研究工作。

件下采用 MIDAS 建模进行了计算分析。计算模型如图 3 所示。

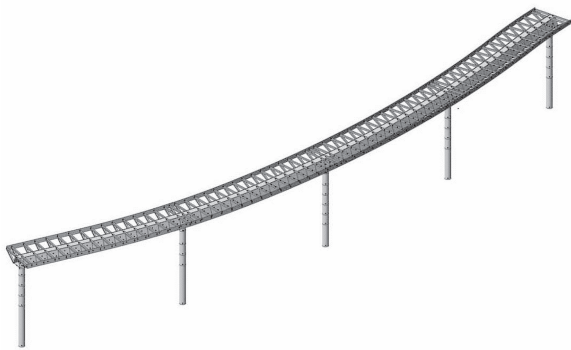


图 3 计算模型

在桥墩高 8 m、直径 60 cm 条件下,钢结构最大应力 55 MPa,小于 270 MPa,主梁活载挠度 $f=5.6$ mm,小于 $15\,000/600=25$ mm,均满足规范要求^[1],且有较大富余,说明结构的强度和主梁刚度不控制设计。

根据《城市人行天桥与人行地道技术规范》(CJJ 69—95)规定:“为避免共振,减少行人不安全感,天桥上部结构竖向自振频率不应小于 3 Hz。”^[2]依据《德国规范人行桥设计指南》及相关文献,横向频率不小于 1.3 Hz 才能避开人行横向步行频率^[3]。

由表 1、表 2 可知,桥梁主梁竖向频率均满足规范要求,横向频率与墩高、桥墩直径密切相关。为满足横向频率大于 1.3 Hz 要求,平均墩高 12 m,需采用直径 80 cm 钢管混凝土柱;平均墩高 10 m,需采用直径 70 cm 钢管混凝土柱;平均墩高 8 m,需采用 60 cm 钢管混凝土柱;平均墩高 6 m,需采用 50 cm 钢管混凝土柱。为了保证桥梁景观,本工程在平均墩高 8 m 条件下,需采用直径 60 cm 钢管混凝土立柱。

表 1 竖桥向频率

墩高 /m	直径 /cm			
	50	60	70	80
竖桥向频率 /Hz				
12	7.96	8.28	8.34	8.48
10	7.53	8.04	8.46	8.85
8	7.90	8.34	8.75	9.14
6	9.95	10.82	10.98	11.1

表 2 横桥向频率

墩高 /m	直径 /cm			
	50	60	70	80
横桥向频率 /Hz				
12	0.75	0.98	1.20	1.43
10	0.97	1.24	1.52	1.78
8	1.27	1.61	1.91	2.20
6	1.74	2.10	2.32	2.52

3 人行天桥舒适度要求

人类行进时,两下肢交替运动,行人重心每两步左右摆动一次,因此横向步行力的频率正好是竖向步行力的一半^[4]。《德国规范人行桥设计指南》综合了各国的研究成果,建议先验算人行桥自振频率是否在竖向 1.25~2.3 Hz、横向 0.5~1.2 Hz 范围之内。若在此范围内,则采取最大加速度作为舒适度评价指标,其建议的振动加速度限值见表 3。

表 3 行人舒适度定义与限值

舒适度等级	舒适度	竖向加速度峰值 / ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	横向加速度峰值 / ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)
CL1	最大限度	<0.5	<0.1
CL2	中等	$0.5\sim1.0$	$0.1\sim0.3$
CL3	最低限度	$1.0\sim2.5$	$0.3\sim0.8$
CL4	不可接受	>2.5	>0.8

在本工程中,选择人行天桥最大竖向振动加速度限值为 0.5 m/s^2 ,横桥向最大加速度限值为 0.1 m/s^2 。为满足舒适度要求,采用在桥墩顶部施加侧向 TMD,保证结构横桥向舒适度满足要求。

4 人行桥 TMD 减振方案设计

根据《德国人行桥设计指南》(EN 03—2007)及《建筑振动荷载标准》(GB/T 51228—2017),人行桥的人行振动荷载采用均布荷载,宜按下式计算:

$$F_v(t)=F_b\times\cos(2\pi ft)\times\gamma'\times\varphi$$

式中: $F_v(t)$ 为单位面积的人行振动荷载,Pa; F_b 为人行天桥上单个行人行走时产生的振动荷载,N,详见表 4; f 为人行荷载频率,Hz; γ' 为等效人群密度, $1/\text{m}^2$; φ 为荷载折减系数。

表 4 单人行走时产生的振动荷载

人行方向	竖向	纵桥向	横桥向
振动荷载 /N	280	140	35

本次选择 $1.0\text{ 人}/\text{m}^2$ 作为行人密度,行人密度 $1.0\text{ 人}/\text{m}^2$ 意义为交通繁忙行走不舒适,变得拥挤,行人不能自由地选择步伐^[5]。

将上述激励输入到人行桥的有限元模型中,查看其加速度峰值,判断加速度是否超限导致行人舒适度受损。模型响应加速度时程曲线如图 4、图 5 所示。

不施加侧向 TMD 时,横桥向一阶自振频率 1.27 Hz ,横桥向最大加速度 0.18 m/s^2 ,超出规范限值,导致舒

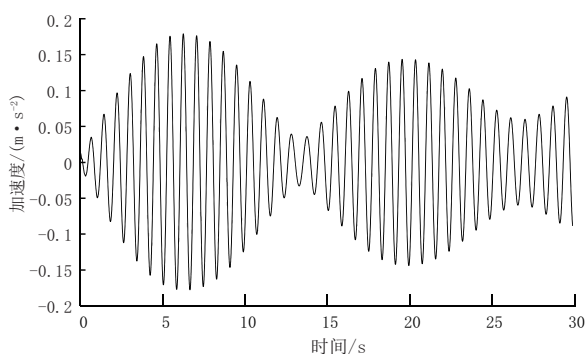


图4 不设置TMD横桥向加速度响应时程曲线

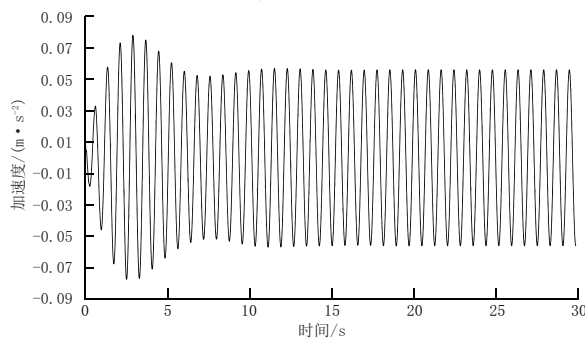


图5 设置TMD横桥向加速度响应时程曲线

舒适度受损。

质量比为3%时,施加侧向TMD后,人行桥的横向加速度峰值为 0.07m/s^2 ,减振幅度达61.1%,符合

《德国人行桥设计指南》中CL1的限值要求。

5 结论

本文对连续刚构人行架空栈桥进行舒适度分析,结果表明,对于连续刚构体系独柱式人行架空栈桥,结构竖向频率、挠度和应力较容易满足规范要求。国内《城市人行天桥与人行地道技术规范》(CJJ 69—95)中仅仅规定了结构竖向频率,而对这类桥梁的横桥向频率和侧向舒适度等设计控制因素未做规定,容易导致桥梁侧向振动过大引发舒适度问题。通过分析得到了不同墩高、桥墩直径与桥梁侧向频率的关系。为保证结构轻柔,采用较小的桥墩直径,设置侧向TMD,能保证结构的舒适度要求。

参考文献:

- [1] JTG D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].
- [2] CJJ 69—95,城市人行天桥与人行地道技术规范[S].
- [3] 孙利民,闫兴非.人行桥人行激励振动及设计方法[J].同济大学学报(自然科学版),2004,32(8):29-34.
- [4] 陈政清,华旭刚.人行桥的人致振动理论与动力设计[M].北京:人民交通出版社,2009.
- [5] EN 03—2007,德国人行桥设计指南[S].

《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

投稿邮箱:cdq@smedi.com 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com