

【工程应用】

象山某玻璃栈道承载力验算及静载荷试验研究

张世华¹, 熊晓亮², 周甘霖³

(1. 浙江浙文工程检测技术有限公司, 浙江 温州 325011; 2. 杭州市勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310021;
3. 浙江创新工程检测有限公司, 浙江 杭州 310012)

摘要: 近些年来玻璃栈道成为新兴的旅游项目, 玻璃栈道设计、施工等却未能形成有效的管理体系, 因此存在较大的安全隐患。通过对已建并运营多年的象山某玻璃栈道进行承载力验算, 验算结果与现场存在的问题吻合较好, 表明承载力验算的合理性。随后对验算不符合的项目进行相应的加固处理, 加固处理之后通过荷载试验验证加固处理方法的有效性, 悬臂梁荷载试验表明加固后悬臂梁实测挠度值小于结构长度的 1/250, 满足混凝土结构悬臂端挠度限值要求, 加固处理效果显著。栏杆水平荷载试验表明加固后栏杆水平位移最大值为 10.14 mm, 满足护栏最大的相对水平位移值不应大于 30 mm, 加固处理效果显著。

关键词: 玻璃栈道; 承载力验算; 静载荷试验; 悬臂梁; 加固处理

中图分类号: TU74

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2022)03-0234-07

Bearing capacity calculation and static loading tests of a glass skywalk in Xiangshan, Zhejiang, China

ZHANG Shi-hua¹, XIONG Xiao-liang², ZHOU Gan-lin³

(1. Zhejiang Zhewen Engineering Testing Technology Co., Ltd., Wenzhou 325011, Zhejiang, China;

2. Hangzhou Survey, Design and Research Institute Co., Ltd., Hangzhou 310021, Zhejiang, China;

3. Zhejiang Innovation Engineering Testing Co., Ltd., Hangzhou 310012, Zhejiang, China)

Abstract: In recent years, the glass walkway has become a new tourism project, but the design and construction of glass walkway have not formed an effective management system, so there is a great potential safety hazard. Through checking the bearing capacity of a glass walkway in Xiangshan that has been built and operated for many years, the results are in good agreement with the problems existing in the site, indicating that the rationality of the bearing capacity check. After that, reinforcement measures were adopted, reinforcement methods are verified through the loading tests. The cantilever beam load test shows that after reinforcement the cantilever beam structure of the measured deflection value is less than 1/250 of the length, meets the demand of concrete structure of cantilever end deflection limit. This shows that the reinforcement effect is obvious. The horizontal loading tests of the railings shows that the maximum horizontal displacement of the railings after reinforcement is 10.14 mm, and the maximum relative horizontal displacement of the railings should not be greater than 30 mm. And the reinforcement treatment effect is remarkable.

Key words: glass skywalk; bearing capacity calculation; static loading tests; cantilever beam; reinforcement

0 引言

近些年来随着人们对精神、文化、娱乐多元化需求越来越旺盛, 各种新鲜的、刺激的旅游项目逐渐取代传统旅游项目, 这些旅游项目包括玻璃吊桥、玻璃栈道、高空观景平台等^[1]。由于栈道大多数建于悬崖峭壁、地形复杂的部位, 栈道的结构形式需要与地形完美融合, 因此实际工程中没有完全

相同的栈道。栈道的结构形式主要有立柱式、悬挑式、斜柱式或者多种形式组合等^[2]。

然而很多栈道由当地村委或旅游代建公司组织开发, 由于前期匆忙施工从而缺少完整的设计、施工、监理资料, 因此存在巨大的安全隐患, 此类栈道一旦出现事故就会造成人员伤亡等灾难性的后果^[2]。为顺应需求、方便管理, 河北省发布了关于玻璃天桥和玻璃栈道的规范《景区人行玻璃悬

索桥与玻璃栈道技术标准》(DB13(J)/T 264—2018)^[3], 中国工程建设标准化协会标准编制了专门针对玻璃栈道的《玻璃栈道工程技术规程》(T/CECS 896—2021)^[4]。近些年也有一些学者对玻璃栈道进行了初步的研究, 如褚腾峰^[5]采用 SAP2000 有限元软件进行不同工况人行荷载下的玻璃栈道舒适度的数值模拟, 赵璐^[6]将层次分析法引进玻璃栈道安全评估中建立其递阶层次分析模型, 进而确立评估指标体系, 郝鹏^[7]对“三无”旅游栈道进行结构性能试验探索并讨论了检验此类栈道的承载能力及安全性能的方法。

但针对已建并运营多年的玻璃栈道承载能力验算及荷载试验的研究相对较少, 本文针对象山某玻璃栈道进行承载力验算并对未通过验算的项目进行加固处理, 加固处理后通过荷载试验验证加固的有效性, 为后续已建栈道的承载力验算及处理提供相关借鉴。

1 工程概况

象山某玻璃栈道海拔高度约 180 m, 玻璃栈道位于峭壁、依山势而造, 栈道宽约 1.5 m、全长约 160 m。栈道东西两侧共设置两个观光平台, 东侧依

地势设置回字型观光平台, 西侧设置方型观光平台(实景图见图 1、平面图见图 2)。根据现场地形地貌玻璃栈道竖向采用双立柱、单立柱承重, 立柱均采用直径约 230 mm 的圆柱, 立柱下方采用现浇钢筋混凝土独立基础(实景图见图 3、剖面图见图 4)。双立柱上方与钢筋混凝土框架梁两端刚接; 单立柱与上方钢筋混凝土梁刚接, 靠山一端搁置在混凝土纵梁上或采用锚筋与基岩连接; 栈道局部采用悬挑梁承重, 悬挑梁根部与基岩采用锚筋连接(见图 5)。栈道行人面板采用 8 mm+1.52 mm PVB+8 mm+1.52 钢化夹胶玻璃, 行人面板与钢筋混凝土梁采用结构胶连接。外侧栏杆采用不锈钢立柱作为主要竖向承重构件, 立柱根部采用连接件与栈道外侧混凝土梁连接, 栏杆采用 8 mm+1.52 mm PVB+8 mm 钢化夹胶玻璃, 栏杆与不锈钢立柱采用连接件连接(见图 6)。



图 1 玻璃栈道卫星图及实景

Fig. 1 Satellite view and live photo of glass skywalk

单位: mm

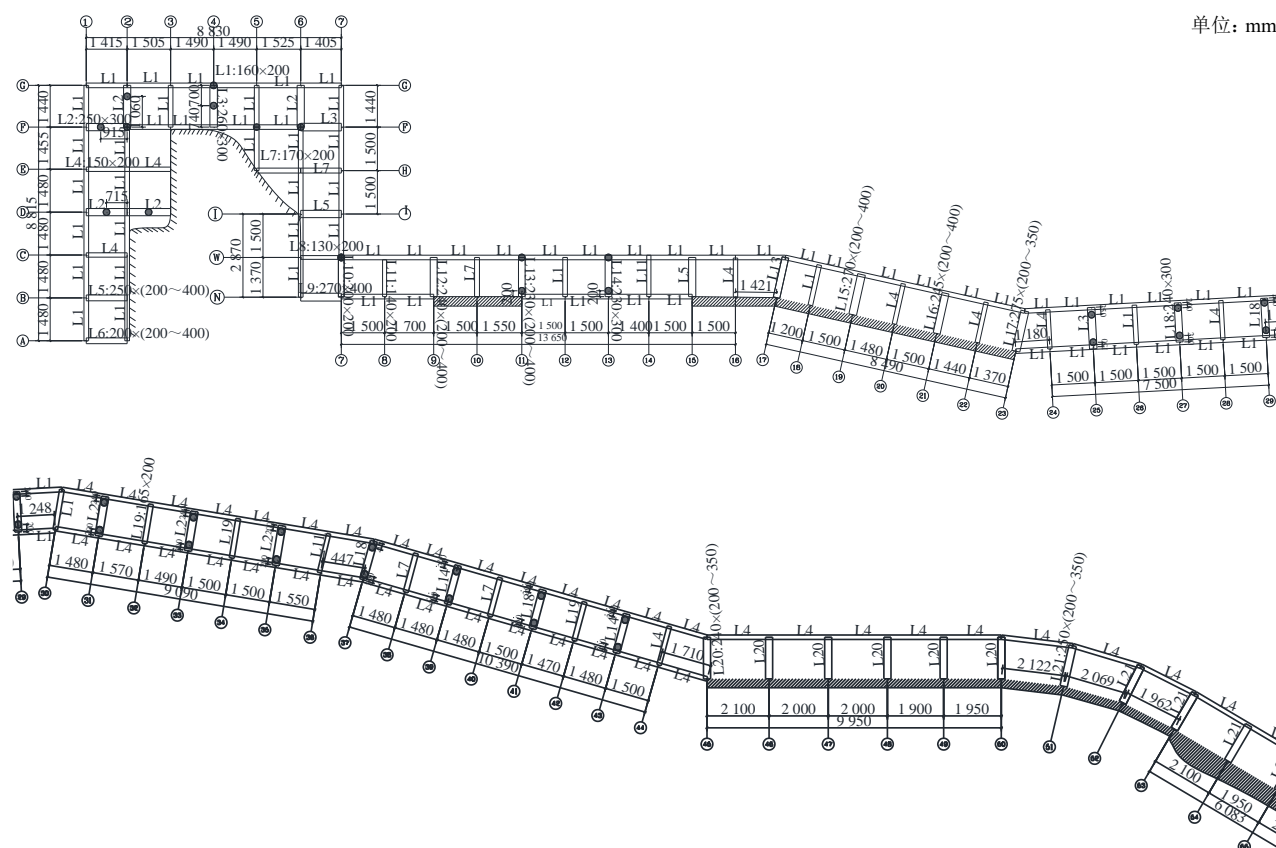


图 2 玻璃栈道总平面图

Fig. 2 General plan of glass skywalk



图3 立柱及立柱基础图

Fig. 3 Column and column foundation



图6 栈道外侧栏杆实景

Fig. 6 Outer railings of the boardwalk

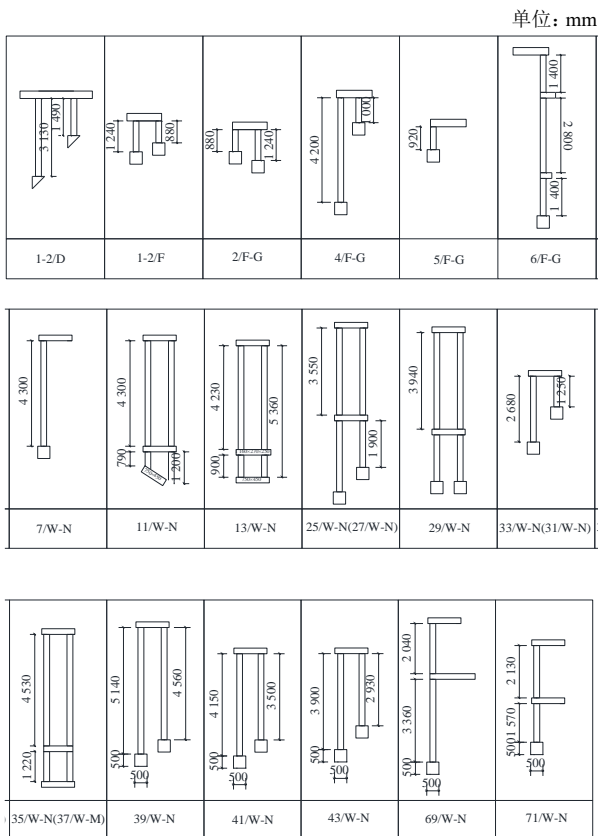


图4 构件单元剖面图

Fig. 4 Section view of component unit



图5 悬挑梁根部与基岩连接

Fig. 5 Connection between root of overhanging beam and bedrock

通过现场踏勘结合钻孔取芯对岩体完整性、坚硬程度、风化程度及软化系数进行分析判断, 经综合判断场地岩体为不软化、微风化的坚硬岩, 岩样照片详见图7。

经现场勘查发现: 局部玻璃栈道行人面板被风掀翻, 栏杆扶手外推时晃动明显; 同时栈道主体结构缺少设计资料及验收资料。



图7 岩体芯样照片

Fig. 7 Rock samples

2 玻璃栈道验算原则及项目

(1) 鉴于该玻璃栈道整体位于海拔高度约180 m的山谷(风荷载较大), 现场查勘发现局部行人玻璃面板被风吸力掀翻, 因此本次需要对栈道行人玻璃面板抵抗风吸力的情况进行验算。

(2) 鉴于该玻璃栈道有很长一段采用悬臂梁嵌入基岩的型式建造, 悬臂梁比双立柱支撑梁受力不利, 因此本次限于篇幅仅选取悬挑长度较长、面板间距较大的悬挑梁进行验算。

(3) 鉴于该玻璃栈道栏杆主要受力杆件(不锈钢立柱)截面尺寸偏小, 且根部连接较为薄弱, 现场外推时晃动感明显, 因此本次选取其中受荷面积较大的栏杆竖向杆件进行验算。

其余如立柱抗压验算、立柱稳定性验算限于篇幅本文不作讨论。

3 玻璃栈道风荷载验算

3.1 风荷载最大位置(谷口)验算

玻璃栈道行人面板风荷载验算选择在风力较大的谷口、山口,并且位于悬挑部位,即类似于檐口、雨篷的部位进行。验算取50年一遇的基本风压进行验算。

(1) 根据《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)^[8]第8.2.1条、第8.2.2条、第8.2.3条:
 $\mu_z=1.536$ 。

(2) 根据《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)第8.3.3条第2款,取 $\mu_{s1}=-2.0$ 。

(3) 根据《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)第8.6.1条,阵风系数取值为 $\beta_{gz}=1.6$ 。

(4) 根据《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)附录E续表E.5,象山县石浦50年一遇基本风压取 $\omega_0=1.2\text{ kN/m}^2$ 。

根据《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)第8.1.1条:

$$\omega_k=\beta_{gz}\mu_{s1}\mu_z\omega_0=5.9\text{ kN/m}^2>g_k=0.8\text{ kN/m}^2 \quad (1)$$

经风荷载验算表明:玻璃栈道行人面板风荷载作用效应大于抗力效应,不满足要求。

以上验算不考虑结构胶连接的有利因素,仅考虑面板自身重力抵抗风荷载。

3.2 一般部位风荷载验算

玻璃栈道行人面板风荷载验算选择在一般地段。验算取50年一遇的基本风压进行验算。

(1) 根据《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)第8.2.1条: $\mu_z=0.82$ 。

(2) 根据《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)第8.3.1条,取 $\mu_{s1}=-1.3$ 。

(3) 根据《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)第8.4.3条,阵风系数取值为 $\beta_g=1.0$ 。

(4) 根据《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)附录E续表E.5,象山县石浦50年一遇基本风压取 $\omega_0=1.2\text{ kN/m}^2$ 。

根据《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)第8.1.1条:

$$\omega_k=\beta_g\mu_{s1}\mu_z\omega_0=1.28\text{ kN/m}^2>g_k=0.8\text{ kN/m}^2 \quad (2)$$

经风荷载验算表明:玻璃栈道行人面板风荷载作用效应大于抗力效应,不满足要求。

以上验算不考虑结构胶连接的有利因素,仅考虑面板自身重力抵抗风荷载。

4 玻璃栈道悬臂梁验算

本次验算拟选择悬臂长度最长、跨度最大的(9/N-W)轴悬臂梁进行,具体验算位置详见图8。

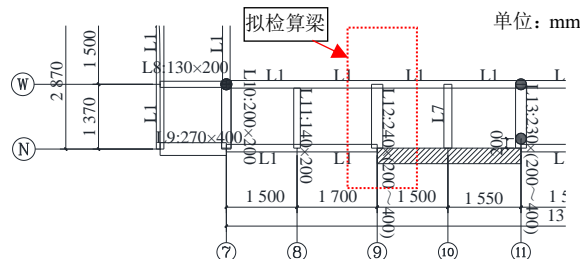


图8 玻璃栈道验算梁位置图

Fig. 8 Glass skywalk check beam position diagram

4.1 荷载取值及荷载简图

(1) 恒荷载取值

a) 栈道行人面板特种玻璃自重取为 80 kg/m^2 (即 0.8 kN/m^2)。

b) 栈道钢筋混凝土梁、柱自重取为 25 kN/m^3 。

c) 综合考虑玻璃栏板、钢栏杆、不锈钢扶手后按 0.8 kN/m 取值。

(2) 活荷载取值

a) 基本风压取 1.2 kN/m^2 。

b) 本次验算考虑适当限流措施,故人群荷载标准值按 4.0 kN/m^2 进行验算。

(3) 荷载简图

栏杆作用在梁端集中荷载标准值为 1.28 kN ;混凝土梁自重荷载标准值为 2.4 kN/m ;玻璃行人面板自重标准值为 1.28 kN/m ;人群荷载标准值为 6.4 kN/m 。恒荷载、活荷载分项系数分别取1.3、1.5。作用在(9/N-W)轴悬臂梁上的荷载设计值详见图9。

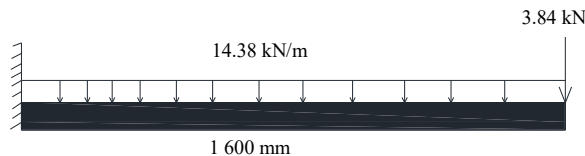


图9 (9/N-W)轴悬臂梁荷载简图

Fig. 9 Load diagram of (9/N-W) axis cantilever beam

4.2 材料强度取值情况

验算梁长度按 1.6 m 取值,根部截面尺寸为 $240\text{ mm}\times 400\text{ mm}$,顶部配筋为3根直径为 16 mm 的带肋钢筋(验算偏保守考虑为HRB335级钢),本次验算偏保守考虑取混凝土强度等级为C20。

4.3 抗弯承载力验算

根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010, 2015版)^[9]本项目环境类别为海风环境(三a类),梁保护层厚度取为 40 mm ,根据《玻璃栈道工程技

术规程》(T/CECS 896—2021)^[4]重要性系数取为1.1,不考虑梁底受压钢筋的有利作用,不考虑风吸力的有利作用。《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010, 2015版)第6.2.10条、6.2.14条:

(1) 最大抗弯承载力:

$$M_u = \alpha_1 f_c b x (h_0 - \frac{x}{2}) = 55.1 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad (3)$$

(2) 最大弯矩设计值:

$$M = 1.3 \times M_{GK} + 1.5 M_{QK} = 21 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad (4)$$

(3) 抗弯承载力极限状态计算:

$$\gamma_0 S \leq R, \text{ 即:}$$

$$\gamma_0 M = 23.1 \text{ kN}\cdot\text{m} < M_u = 55.1 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad (5)$$

经抗弯承载力验算表明:拟验算的梁抗弯承载力满足要求。

4.4 抗剪承载力验算

根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010, 2015版)第6.3节进行抗剪承载力验算。

(1) 剪力设计值:

$$V = 1.3 \times V_{GK} + 1.5 \times V_{QK} = 1.3 \times 7.2 + 1.5 \times 10.2 = 24.7 \text{ kN} \quad (6)$$

(2) 截面限制条件验算:

$$h_w/b = 1.43 < 4$$

$$\gamma_0 V = 27.2 \text{ kN} \leq 198.1 \text{ kN} \quad (7)$$

(3) 按不配置箍筋考虑抗剪验算:

$$\beta_h = 1$$

$$0.7 \beta_h f_t b h_0 = 63.5 \text{ kN} > \gamma_0 V = 27.2 \text{ kN} \quad (8)$$

经抗剪承载力验算表明:验算的梁抗剪承载力满足要求。

4.5 挠度验算

根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010, 2015版)第3.4.3条钢筋混凝土受弯构件的最大挠度应按荷载的准永久组合,并考虑荷载长期作用影响进行计算。

(1) 挠度限值

根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010, 2015版)表3.4.3及注1、2的规定(使用上对挠度要求较高考虑): $[v_u] = 3\ 200/250 = 12.8 \text{ mm}$ 。

(2) 挠度计算

根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010, 2015版)第7.2.1条:

$$f = \frac{Fl^3}{3B} + \frac{q_a l^4}{8B} = 0.74 \text{ mm} \quad (9)$$

故: $f = 0.74 \text{ mm} < 12.8 \text{ mm}$

经挠度验算表明:拟验算的梁挠度满足要求。

4.6 裂缝验算

(1) 裂缝宽度限值

根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010, 2015版)表3.4.5的规定(本项目为三a类环境): $w_{lim} = 0.2 \text{ mm}$ 。

(2) 裂缝宽度理论计算值

根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010, 2015版)第7.1.4条:

$$\sigma_{sq} = \frac{M_q}{0.87 h_0 A_s} = 55.4 \text{ N/mm}^2 \quad (10)$$

第7.1.2条:

$$w_{max} = \alpha_{cr} \psi \frac{\sigma_s}{E_s} (1.9 c_s + 0.08 \frac{d_{eq}}{\rho_{te}}) = 0.02 \text{ mm} \quad (11)$$

$$w_{max} = 0.02 \text{ mm} < w_{lim} = 0.2 \text{ mm}$$

经裂缝验算表明:拟验算的梁裂缝宽度未超出规范要求。

5 玻璃栈道栏杆水平位移验算

根据《玻璃栈道工程技术规程》(T/CECS 896—2021)^[4]第3.3.7条第7款:作用在栏杆扶手上水平荷载应不小于2.0 kN/m。本次验算栏杆高度取1.1 m,栏杆水平间距取为1.5 m。

根据《建筑用玻璃与金属护栏》(JG/T 342—2012)^[10]第6.3.1条:护栏最大的相对水平位移值不应大于30 mm。

$$f = \frac{Pl^3}{3EI} = \frac{3\ 000 \times 1\ 100^3}{3 \times 206 \times 10^3 \times \frac{1}{12} \times 8 \times 60^3} = 44.87 \text{ mm} > 30 \text{ mm} \quad (12)$$

经栏杆水平位移验算表明:栏杆水平位移超出规范限值要求。

6 玻璃栈道加固后荷载试验

玻璃栈道悬臂梁(共计67根:长度介于1.4~1.6 m之间)锚入岩体中的具体深度无法明确。因悬臂梁是工程关键受力构件,也是风险管控最重要的构件,为安全起见现场对悬臂梁采用间隔加筋加腋加固。为了增加栏杆体系整体稳定性,现场对半数栏杆预埋件底部加焊镀锌钢板,同时钢板通过化学锚栓锚进梁体中进行加固。加固后选取长度较长、受荷面积较大的悬臂梁进行静载荷试验;加固后选取栏杆进行水平推力试验,验证以上加固措施的有效性。

6.1 悬臂梁静载荷试验

为了检验悬臂梁加固后施工质量以及受力性能和承载能力, 选取 15/W-N 悬臂梁作为静载试验对象, 对其挠度进行测试 (详见图 10)。现场采用水袋分级加载, 选择实验参数如下: 受力区域为 $1.5 \times 1.4 = 2.1 \text{ m}^2$, 根据《玻璃栈道工程技术规程》(T/CECS 896—2021)^[4] 考虑栈道开放期间将采取适当限流措施, 故取人群荷载标准值 4.0 kN/m^2 , 所以总加载力取 8.2 kN 。现场采用水袋法进行五级加载, 三级卸载。

加载前在悬臂梁端部粘紧十字反光贴; 加载过程中, 采用高精度全站仪对悬臂梁端部挠度值进行观测和记录。每级加载后利用静止时间检查结构构件, 未发现明显开裂、屈服、屈曲的迹象。达到满级荷载 8.2 kN 后, 每隔 15 min 测取一次变形值, 持荷 1 h , 各级荷载等级下实测挠度详见表 1。



图 10 悬臂梁现场静载荷试验

Fig. 10 Field static loading test of cantilever beam

表 1 静载试验结果汇总表
Table 1 Results of static loading tests

梁轴号	荷载等级	加载值/kN	实测挠度/mm
15/W-N	一级加载	1.68	0.32
	二级加载	3.36	0.68
	三级加载	5.04	1.14
	四级加载	6.72	1.37
	五级加载	8.40	1.53
	一级卸载	5.60	1.31
	二级卸载	2.80	0.55
	三级卸载	0.00	0.09

由试验数据可知, 实测挠度值小于结构长度的 $1/250$, 满足《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010, 2015 版)^[9] 第 3.4.3 条对混凝土结构悬臂端挠度限值的规定。

6.2 栏杆水平推力试验

为了检验栈道栏杆的施工质量和承载能力, 选取 14-16/W 轴水平栏杆作为试验对象, 对其水平位移进行测试 (详见图 11)。现场采用均布荷载进行分级加载, 加载相关实验数据如下: 现场选取刚度大、平整顺直的木条作为荷载传递介质, 木条宽

20 cm , 长度 194 cm , 厚度 5 cm 。栏杆水平推力取 2.0 kN/m , 选择总加载力为 3.88 kN 。现场采用加载量程为 10 kN 的千斤顶进行五级加载, 三级卸载, 分级加/卸载值取总加载值算术平均值。

加载前在水平栏杆顶部粘紧十字反光贴。加载过程中, 采用高精度全站仪对十字丝位移值进行观测和记录。每级加载完毕后保持 15 min , 未发现明显屈服、屈曲的迹象。达到满级荷载 3.88 kN 后, 每隔 15 min 测取一次变形值, 持荷 1 h , 各级荷载等级下实测位移详见表 2。



图 11 栏杆水平推力现场试验

Fig. 11 Horizontal thrust field test on railing

表 2 水平推力试验结果汇总表
Table 2 Results of horizontal thrust test

梁轴号	荷载等级	加载值/kN	实测位移/mm
14-16/W	一级加载	0.776	2.11
	二级加载	1.550	4.62
	三级加载	2.330	7.25
	四级加载	3.100	9.96
	五级加载	3.880	10.14
	一级卸载	2.590	8.43
	二级卸载	1.290	4.29
	三级卸载	0.000	0.27

由试验数据可知, 栏杆水平位移最大值为 10.14 mm , 满足《建筑用玻璃与金属护栏》(JG/T 342—2012)^[10] 第 6.3.1 条: 护栏最大的相对水平位移值不应大于 30 mm 。

6.3 玻璃栈道行人面板加固

玻璃栈道玻璃行人面板位于谷口时, 风荷载作用效应大于抗力效应, 不满足要求, 后续根据加固设计单位的意见将谷口附近玻璃行人面板均更换为现浇混凝土板, 确保安全; 加强对一般部位玻璃行人面板与钢筋混凝土梁连接处结构胶的检查, 确保连接的有效性。

7 结 论

(1) 根据现场实际情况进行悬臂梁抗弯强度、抗剪强度、挠度及裂缝宽度验算结果, 表明以上项

目均满足要求。

(2) 根据玻璃栈道行人面板在谷口位置及一般位置风荷载验算结果,表明在不考虑结构胶有利作用效应的情况下谷口位置风荷载作用效应远大于抗力效应,一般位置风荷载作用效应略大于抗力效应。以上验算结果与现场玻璃行人面板在谷口位置被掀起、一般位置未被掀起的情况吻合。

(3) 栈道栏杆水平位移验算结果表明其水平位移超限,即水平抗推刚度不满足要求。以上验算结果与现场栏杆受人群水平推力后晃动的实际情况吻合。

(4) 悬臂梁锚固端及栏杆根部加固处理后的荷载试验结果表明,经加固处理悬臂梁的挠度及栏杆的水平位移都满足要求,表明加固处理的效果显著。

(5) 本文的验算方法及荷载试验合理、有效,可为类似未批先建的栈道验算、加固提供参考。

参考文献

- [1] 王综轶,王元清,李运生. 玻璃天桥和玻璃栈道中钢化玻璃的受力及设计分析[J]. 工业建筑, 2019, 49(10): 110-116.
WANG Zong-yi, WANG Yuan-qing, LI Yun-sheng. Design analysis of tempered glass in glass flyover and glass skywalk[J]. Industrial Construction, 2019, 49(10): 110-116.
- [2] 宋建学,袁英保,刘贺龙. 旅游栈道安全评价技术研究[J]. 郑州大学学报:工学版, 2008, 29(3): 129-132.
SONG Jian-xue, YUAN Ying-bao, LIU He-long. Safety evaluation technology of tourist boardwalk[J]. Journal of Zhengzhou University: Engineering Science, 2008, 29(3): 129-132.
- [3] 河北省住房和城乡建设厅,等. 景区人行玻璃悬索桥与玻璃栈道技术标准: DB13(J)/T 264—2018[S]. 北京: 中国建材工业出版社, 2018.
Hebei ministry of housing and urban-rural development, et al. Technical Standard of Pedestrian Glass Suspension Bridge and Glass Skywalk in Scenic Area: DB13(J)/T 264—2018[S]. Beijing: China Building Materials Industry Press, 2018.
- [4] 中国工程建设标准化协会. 玻璃栈道工程技术规程: T/CECS 896—2021[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.
China construction standardization association. Technical Regulations for Glass Skywalk: T/CECS 896—2021[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2021.
- [5] 褚腾峰. 深坑主题乐园玻璃栈道人荷荷载试验及有限元分析[J]. 智能城市, 2021, 7(15): 17-18.
CHU Teng-feng. Pedestrian load test and finite element analysis of glass skywalk in deep pit theme park[J]. Intelligent City, 2021, 7(15): 17-18.
- [6] 赵璐. 基于最优传递矩阵的不确定型层次分析法在玻璃栈道安全性评估中的应用[J]. 建筑安全, 2017, 32(5): 15-17.
ZHAO Lu. Application of uncertain analytic hierarchy process based on optimal transfer matrix in safety assessment of glass skywalk[J]. Building Safety, 2017, 32(5): 15-17.
- [7] 郝鹏. 景观栈道结构性能检验方法探讨[J]. 工程质量, 2020, 38(10): 76-79.
HAO Peng. Study on structural performance inspection method of landscape walkway[J]. Engineering Quality, 2020, 38(10): 76-79.
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 建筑结构荷载规范: GB 50009—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
Ministry of housing and urban-rural construction of the People's Republic of China, general administration of quality supervision, inspection and quarantine of the People's Republic of China. Load Code for the Design of Building Structures: GB 50009—2012[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2012.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 混凝土结构设计规范: GB 50010—2010[S]. 2015 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
Ministry of housing and urban-rural construction of the People's Republic of China, general administration of quality supervision, inspection and quarantine of the People's Republic of China. Code for Design of Concrete Structures: GB 50010—2010[S]. 2015 Edition. Beijing: China Architecture and Architecture Press, 2015.
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑用玻璃与金属护栏: JG/T 342—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
Ministry of housing and urban-rural construction of the People's Republic of China. Glass and Metal Guardrail for Building: JG/T 342—2012[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2012.