

文章编号:1671-6833(2008)03-0129-04

旅游栈道安全评价技术研究

宋建学, 袁英保, 刘贺龙

(郑州大学土木工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要: 旅游景区栈道通常就地取材, 设计、施工技术资料不详, 并经常发生人员拥挤现象, 存在安全隐患。提出栈道安全评价技术路线, 其内容包括栈道依附的岩体、栈道与岩体结点、栈道结构本身及栈道附属结构等4项; 根据结点连结方式不同, 建立悬挑式、立柱式、斜柱式栈道力学分析模型。按照实际栈道调查, 分别对8种模型在相应荷载下的弯矩、轴力和剪力对比分析, 发现最大弯矩和剪力出现在水平横梁上, 最大轴力出现在斜支撑上, 进而提出栈道最不利内力验算模式。结合案例工程, 对栈道工程实例进行安全评价, 验证了分析模型的适用性。

关键词: 杆件结构; 力学模型; 栈道; 安全评价

中图分类号: TU 312 **文献标识码:** A

0 引言

古代历史上的栈道方便山区与外界联系, 促进社会融合与进步^[1-2]; 而现代旅游景区的栈道通常是为了保持景区自然景观, 增加旅游情趣而将既有栈道改造或重新架设。

通常, 旅游景区栈道结构及受力形式复杂。从材料上看, 木材, 石材, 钢材, 钢筋混凝土等多种材料在栈道中都有应用。部分栈道也使用了其它材料, 如草绳、竹片等。从结构形式上看, 栈道的结构形式有悬挑式、立柱式、斜柱式、凹槽式、多层平梁重叠连缀式等。实际中有些栈道结构形式并非如此清晰, 而是多种结构形式组合而成。从建造环境看, 栈道多建在悬崖峭壁上, 由于地形复杂多变, 栈道也因地形而变化, 因此, 实际中几乎没有完全相同的两个栈道。历史栈道基本上由能工巧匠来建造, 无设计参数或施工记录可循。现代栈道也因其建造环境复杂多变, 仍然主要依赖经验设计、建造, 大多栈道设计、施工资料不详。另外, 栈道运营中多存在超员, 年久失修等问题, 带来严重安全隐患。

近年来旅游业空前发展, 而景区重大安全事故也时有发生。笔者针对旅游景区栈道(以下简称栈道)安全问题进行分析研究, 提出栈道安全分析技术路线, 并结合案例进行安全评价。

1 栈道安全评价一般程序

根据对栈道结构特点分析, 提出栈道安全评价的一般程序如图1所示。

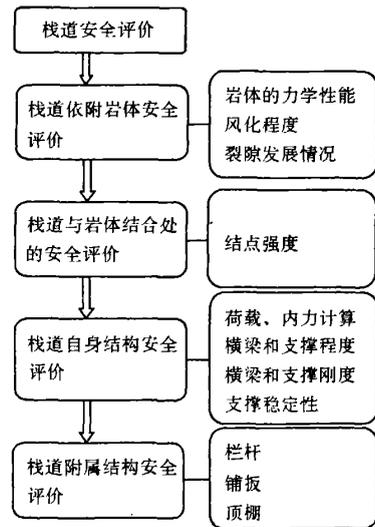


图1 栈道安全评价程序

Fig.1 Safety assessment procedure of TSA

1.1 依附岩体安全评价

栈道都是建在悬崖峭壁上, 所以所依附的岩体是否安全, 将直接关系到栈道的安全, 必须对栈道所依附岩体进行安全评价。如岩体的矿物组成、

收稿日期:2008-06-11; 修订日期:2008-07-20

作者简介:宋建学(1967-), 男, 河南省洛阳市人, 郑州大学教授, 博士, 主要从事工程结构安全监测研究, jxsong@zzu.edu.cn.

力学性能、风化程度、裂隙发展等都要进行相应的鉴定评价。

1.2 栈道结构与岩体结合处安全评价

栈道自身结构,可能会在某一固定的作业区或者工厂加工完成,其加工环境相对比较稳定,质量比较容易保证;但是栈道结构与岩体结合处必须在现场施工完成,其工作环境是悬崖峭壁,地形复杂、施工不便,因此结合处的施工难度大,质量难以保证,必须对结合处进行安全评价。例如,使用锚杆技术进行连接的栈道(锚杆与岩体连接),必须对锚杆的强度、注浆的成分、质量,锚杆与栈道连接的承载力等做出鉴定。

1.3 栈道自身结构安全评价

1.3.1 荷载、内力计算

栈道荷载包括永久荷载和可变荷载。永久荷载是指栈道本身结构和附属结构(栏杆、铺板等)自重。活荷载指栈道上的移动荷载,旅游景区主要指游客荷载,不同地区需要根据当地具体情况考虑风荷载、雪荷载以及地震荷载等加以调整。

栈道结构与空间框架结构类似,可以取一个单元进行计算。内力计算要充分考虑栈道所用结构形式、材料、节点连接方式等因素,合理提取栈道受力计算模型。

1.3.2 强度验算

根据上述内力计算结果,可确定栈道各部分受力特点。根据具体材料特性,验算其相应的抗弯承载力、抗拉承载力、抗压承载力、抗剪承载力和抗扭承载力等。不同的受力构件可相应地验算其最不利受力条件。

1.3.3 刚度验算

根据内力计算结果,验算构件的挠度。特别是旅游景区栈道,变形不易过大,必须考虑到游客心理反应,这一方面目前尚无技术标准。

1.3.4 稳定性验算

立柱式和斜柱式栈道的支撑杆件是受压构件,可能因发生失稳破坏而导致整个结构的破坏,所以需要验算支撑杆的受压稳定性。

1.4 栈道附属结构的安全评价^[3]

栈道附属结构包括栏杆、铺板、顶棚(起到防雨、防上方石块坠落等作用,历史上又称这种栈道为阁道)。虽然附属结构对栈道自身结构安全没有直接的影响,但是附属结构的安全却与使用者的人身安全直接相关。如果铺板或者栏杆出现问题,栈道自身结构可能仍然是安全的,但是上面的行人却可能坠崖,所以有必要对附属结构进行安

全评价。

2 栈道计算模型

2.1 悬挑式栈道

悬挑式栈道结构与悬臂梁结构相似,型可以采用悬臂梁模型。

2.2 立柱式栈道

立柱式栈道结构及其简化结构如图2所示。

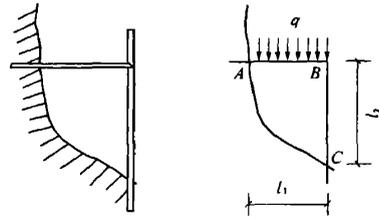


图2 立柱式栈道结构及简化模型

Fig. 2 Original and simplified model for column supported aisle

由于栈道材料性质、施工质量等不同,图2中A、B、C三结点连接方式实际上差别很大,分别可能是刚结、铰结等。根据这三结点连接方式不同,笔者针对立柱式栈道提取8种不同力学模型,并分别对八种模型在相应荷载下的弯矩图、轴力图、剪力图对比分析,发现:即使 l_1 、 l_2 的尺寸不同,最大弯矩和剪力都出现在水平横梁上,最大轴力出现在立柱上。在相同荷载和结构尺寸条件下,8种力学模型中,(a)模型将产生最大弯矩和轴力,(b)模型产生最大剪力(如图3所示)。因此,在进行立柱式栈道内力分析时,根据具体的结构尺寸,可以使用图3所示两种模型分别验算弯矩、轴力和剪力。

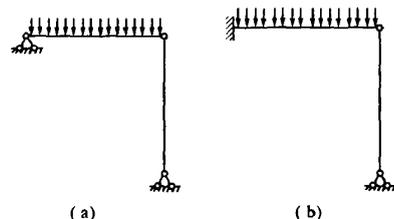


图3 立柱式栈道结构模型

Fig. 3 Calculation model for column supported aisle

2.3 斜柱式栈道

斜柱式栈道结构及其简化结构模型如图4所示:

仿2.2节有关讨论,斜柱式栈道也可以提取8种不同的力学模型。

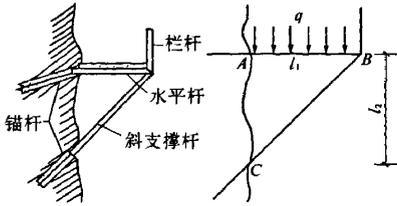


图 4 斜柱式栈道结构及简化模型
Fig. 4 Original and simplified model for tilting-column supported aisle

为简化计算,根据实际栈道调查,取 $l_1 = l_2$, 分别对 8 种模型在相应荷载下的弯矩、轴力和剪力对比分析,发现:最大弯矩和剪力在水平横梁上,最大轴力在斜支撑上.在进行斜柱式栈道内力计算时,根据具体的结构尺寸,可以使用图 5 所示 3 种模型分别验算弯矩、轴力和剪力.

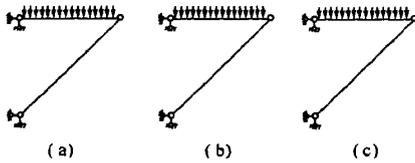


图 5 斜柱式栈道结构模型
Fig 5 Calculation model for tilting-column supported aisle

对 8 种模型内力对比分析还发现:斜柱式栈道的水平横梁上的弯矩、剪力、轴力都较大,所以在对水平横梁进行评价时,其抗弯、抗拉、抗剪承载力都应该进行验算;斜柱式栈道的斜支撑上弯矩和剪力相对于横梁都较小,但轴压力较大,起控制作用,所以在进行斜支撑的安全评价时,可只验算其抗压承载力和稳定性.

3 林州红旗渠景区栈道安全评价

林州红旗渠是当地人民在 20 世纪 60 年代,凭着一锤一钎一双手,苦战十年建成的.1996 年,红旗渠游览区被命名为“全国中小学爱国主义教育基地”;2002 年被国家旅游局评定为 AAAA 级景区.整个景区天然丽质与人工胜迹结合,成为红色教育与旅游观光的胜地.现在年接待游客量已达 80 万人次.

红旗渠景区属山区地貌,峡谷内地形变化复杂,绝对高程大约 1 000 m,地貌单元属太行山脉,地震设防烈度为 7 度.现场检测发现,景区栈道结构复杂,且部分栈道结构受力主筋有挠曲现象.以下介绍栈道安全评价有关内容(见图 6).

万方数据



图 6 景区栈道
Fig. 6 View of truss supported aisle

3.1 荷载集度 q 确定

根据现场测量得到的栈道构件截面尺寸,结合文献[4]规定的活荷载量值,综合取定栈道均布荷载为 3.5 kN/m^2 (包括恒载和活载,以活荷载为主).

栈道单元一般跨度为 3 m,因此单元内线荷载集度为:标准值 $q_k = 3 \times 3.5 = 10.5 \text{ kN/m}$;设计值 $q = 1.4 \times 3 \times 3.5 = 14.7 \text{ kN/m}$.

3.2 强度验算

栈道结构如图 4 所示,采用 14 号工字钢,则 $E = 206 \times 10^3 \text{ MPa}$, $A = 21.5 \text{ cm}^2$, $W = 102 \text{ cm}^3$. $l_1 = l_2 = l = 0.65 \text{ m}$. 计算最大弯矩、剪力、轴力分别是: $M_{\max} = 0.13ql^2$, $N_{\max} = 0.74ql$, $V_{\max} = 0.63ql$.

(1) 验算横梁上最大弯矩处的强度:

$$\frac{M_{\max}}{\gamma_x W_x} \leq f \quad (1)$$

$$\frac{0.807 \times 10^6}{1.05 \times 102 \times 10^3} = 7.54 \text{ N/mm}^2 < f = 215 \text{ N/mm}^2.$$

(2) 验算横梁上最大剪力:

$$\tau_{\max} = \frac{V_{\max} S_x}{I_x t_w} \leq f_v \quad (2)$$

$$\frac{6.02 \times 10^3}{12.2 \times 10 \times 5.5} = 8.97 \text{ N/mm}^2 < f_v = 125 \text{ N/mm}^2.$$

(3) 验算作用在斜支撑上的受大轴压力:

$$\sigma = \frac{N_{\max}}{A} \leq f \quad (3)$$

$$\frac{7.07 \times 10^3}{21.5 \times 10^2} = 3.29 \text{ N/mm}^2 < 215 \text{ N/mm}^2.$$

因此,栈道强度满足要求.

3.3 刚度验算

3.3.1 受弯构件刚度验算

$$\frac{v}{l} \approx \frac{M_{k,\max} l}{10EI_x} = \frac{1}{39107} \leq \frac{[v]}{l} = \frac{1}{400} \quad (4)$$

式中: v 为由荷载标准值产生的最大挠度; $[v]$ 为容许挠度值.

3.3.2 受压、受拉构件刚度验算

长细比:

$$\lambda = \frac{l_x}{i_x} = \frac{0.92 \times 10^2}{5.75} = 16 < [\lambda] = 150.$$

因此,刚度满足要求.

3.4 稳定性验算

验算斜支撑的受压稳定性:

$$\frac{N_{\max}}{\varphi A} = 3.33 \text{ N/mm}^2 \leq f = 215 \text{ N/mm}^2.$$

因此,满足要求.

4 结论

(1) 栈道安全评价技术内容包括栈道依附的岩体、栈道与岩体结点、栈道结构本身及栈道附属结构四项.

(2) 尽管结点连结方式不同,悬挑式、立柱

式、斜柱式栈道最大弯矩和剪力出现在水平横梁上,最大轴力出现在斜支撑上.

(3) 栈道结构本身的安全评价包括强度、刚度和受压稳定性三方面.

参考文献:

- [1] 税晓洁. 藏在历史迷雾中的汉江古栈道[J]. 中国西部, 2004(3): 80-83.
- [2] 立山, 刘卫国, 任桂园, 等. 绝壁上的史诗 永远消逝的三峡古栈道[J]. 中国公路, 2006, 16: 49-53.
- [3] 刘旭政, 黄平明, 张永健. 基于模糊神经网络的大跨悬索桥安全评估研究[J]. 郑州大学学报: 工学版, 2007, 28(3): 48-51.
- [4] JGJ 130—2001, 建筑施工扣件钢管脚手架安全技术规范[S].

Safety Assessment on Truss-supported Aisle in Scenery Zone

SONG Jian-xue, YUAN Ying-bao, LIU He-long

(School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou, 450001, China)

Abstract: Truss-supported aisle (TSA) is the main structure in mountain area scenery zone. However, most of the TSAs are made of raw material, and without formal design and construction controlling. Firstly, the safety assessment procedure on TSA is suggested. It is proposed that the procedure of TSA safety assessment be divided into four steps: the assessment of supporting rock, evaluation of joint between rock and TSA, calculation on TSA and checking on the appendix structure of TSA. Then, the calculation algorithms about cantilever, vertical-columned and tilt-columned TSA structure are put forward. Based on the parameters obtained from field survey, there are eight structural patterns summarized. It is found that for a TSA structure, the maximum moment and shear forces come into being in the horizontal beam, and the maximum axial force exists in the tilt rod. The maximum internal force models are set up after structure analysis. Finally, a case study is carried out to show the validity of the suggested principle about TSA assessment.

Key words: rod member structure; mechanism model of structure; truss-supported aisle, safety assessment