

# 钢箱梁人行天桥承载力检算实例分析

袁腾文

(山西省交通规划勘察设计院, 山西 太原 030012)

**摘要:** 为保障某钢箱梁人行天桥的安全运营, 为日常养护管理提供技术参考, 对该人行天桥开展外观检查及病害成因分析, 同时进行组合荷载作用下桥梁结构检算分析, 判定该桥当前的实际使用状态。结果表明, 该桥强度、挠度、整体稳定性与局部稳定性均满足现有规范要求, 总体工作状态较好, 承载能力满足使用要求。

**关键词:** 桥梁; 人行天桥; 钢箱梁; 承载能力; 结构验算

中图分类号: U443.34

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)02-0141-03

人行天桥是城市交通网络和高速公路的重要组成部分, 保障城市交通的顺畅通行及行人安全。在过去, 一些城市人行天桥过于注重造型创新, 设计考虑的内外部受力因素不足、设计荷载偏低, 加上长期自然环境侵蚀等, 其安全性和可靠性存在隐患。目前对人行天桥安全性的研究主要围绕结构振动与稳定方面开展, 如何宗成等对大跨度人行天桥的振动影响进行了测试与分析, 张冠华等对砼箱形人行天桥进行了振动测试与分析, 李强等通过振动测试分析结合舒适度进行人行天桥综合评价, 尹越等采用有限元分析手段对车辆撞击钢结构人行天桥墩柱进行了分析。该文对某钢箱梁人行天桥进行组合荷载作用下上部结构有限元分析检算, 对其安全性指标进行分析。

## 1 工程概况

该人行天桥位于重庆市云阳县滨江路, 为一座连续钢箱梁桥。上部结构采用  $1 \times 14.6 \text{ m} + 1 \times 29.0 \text{ m}$  钢箱梁结构, 桥面全宽 6.0 m, 人行道净宽 5.5 m, 两侧设置宽 0.25 m 的栏杆。该桥共设置 3 个桥墩 (见图 1)。

## 2 病害调查及成因分析

### 2.1 病害情况

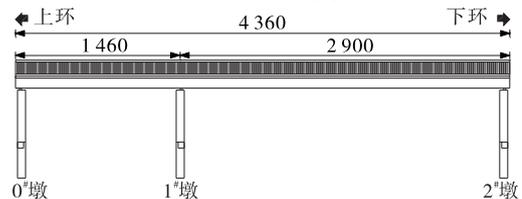
(1) 桥面系。人行楼梯侧墙勾缝不密实, 1 处地砖破损, 2 处开裂, 局部积水; 全桥栏杆多处涂装脱落, 局部锈蚀; 排水槽轻微堵塞。

(2) 上部结构。全桥钢构件多处涂装脱落、锈蚀, 1 处空洞, 2 处水渍、泛碱。

(3) 下部结构。 $2^{\#}$  墩局部泛碱。 $0^{\#}$  台前墙长



(a) 实桥概貌



(b) 立面图

图 1 某钢箱梁人行天桥 (单位: cm)

有杂草; 挡墙左侧有 1 条竖向裂缝, 长度 3 m, 宽 0.14 mm; 挡墙右侧有 1 条竖向裂缝, 长度 3.5 m, 宽度 0.42 mm。

(4) 桥位环境。桥位周围环境状况良好, 墩台周围没有滑坡、泥石流、人为开挖等病害。

按 CJJ 99-2003《城市桥梁养护技术规范》进行评定, 全桥技术状况评分为 85.2, 技术状况评定等级为 B 级。

### 2.2 病害成因分析

(1) 涂装层在风雨和阳光作用下产生老化, 附着力不足, 导致钢构件多处涂装脱落, 进而导致钢构件锈蚀。

(2) 人行道侧墙开裂主要是由于侧墙后填土防水功能减弱, 桥面排水不顺畅, 雨水通过缝隙浸入侧墙, 填土遇水膨胀, 对侧墙产生向外的推力。

(3) 0# 台挡墙开裂主要是由于桥梁向横坡方向偏移,挤压挡墙产生裂缝。

### 3 桥梁承载能力检算

#### 3.1 结构检算概述

根据 JTG/T J21-2011《公路桥梁承载能力检测评定规程》,钢结构桥梁结构构件验算的应力限值为  $Z_1[\sigma]$ ,荷载作用下的变形限值为  $Z_1[f]$ 。其中: $[\sigma]$ 、 $[f]$ 分别为容许应力、容许变形值; $Z_1$ 为检算系数,结合实桥病害情况,依据 JTG/T J21-2011 表 8.1-1 取值,该桥检算系数取 0.98。

#### 3.2 建立有限元模型

利用 MIDAS/Civil 2015 有限元分析软件建立该桥上部结构分析模型,共分为梁单元 60 个、节点 61 个(见图 2)。

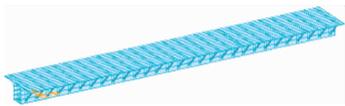


图 2 桥梁有限元分析模型

##### 3.2.1 材料参数

模型所用材料与实桥一致,主体构件采用 Q345B 钢材,次要构件采用 Q235B 钢材。材料的技术指标见表 1。

表 1 材料的技术指标

材料	弹性模量/ MPa	容重/ ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	热膨胀 系数
Q345B 钢	$2.06 \times 10^5$	78.5	$1.2 \times 10^{-5}$
Q235B 钢	$2.06 \times 10^5$	76.9	$1.2 \times 10^{-5}$

##### 3.2.2 荷载及荷载组合

一期恒载包括主梁材料重,二期恒载由桥面铺装、栏杆等自重构成(见表 2)。

表 2 二期恒载

位置	材料/构件名称	每延米重量/kN
桥面铺装	C30 砼	15.6
栏杆	栏杆、雨篷等	14.9

人群荷载取  $5.0 \text{ kN/m}^2$ ,温度荷载取整体升降温  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,局部温差计算按 JTG D60-2004《公路桥涵设计通用规范》计算(见表 3)。

分别按照承载能力及正常使用极限状态进行荷

载组合(见表 4、表 5)。

表 3 梯度温度

项目	$T_1/^\circ\text{C}$	$T_2/^\circ\text{C}$	$A/\text{mm}$
升温	25.0	6.70	300
降温	-12.5	-3.35	300

表 4 承载能力极限状态荷载组合分项系数

荷载组合	永久作用		可变荷载效应					
	恒载	$\Psi_c$	人群荷载		梯度温度		整体升降温	
			最大	最小	最大	最小	最大	最小
sLCB1	1.0	0.8	1.4	1.4	—	—	—	—
sLCB2	1.0	0.7	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
sLCB3	1.2	0.7	1.4	1.4	—	—	—	—
sLCB4	1.2	0.7	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4

注: $\Psi_c$ 为活荷载的组合值系数;结构重要性系数在检算中引用;基础变位分项系数取 0.5。

表 5 正常使用极限状态荷载组合分项系数

荷载组合	荷载组合类型	永久作用效应 (恒载)	可变荷载效应					
			人群荷载		梯度温度		整体升降温	
			最大	最小	最大	最小	最大	最小
sLCB5	短期	1	1.0	1.0	1	1	0.8	0.8
sLCB6	长期	1	0.4	0.4	1	1	0.8	0.8
sLCB7	标准	1	1.0	1.0	1	1	1.0	1.0

### 3.3 承载能力检算

#### 3.3.1 主梁强度验算

通过有限元分析计算,验算主梁在各工况组合作用下的最大正应力及最大剪应力是否超过限值,结果见表 6、图 3、图 4。

表 6 主梁最大应力

项目	单元号	位置	荷载组合	应力值/MPa
最大正应力	41	1# 墩支点处	sLCB4	-73.6
最大剪应力	40	1# 墩支点处	sLCB4	26.2



图 3 主梁最大正应力包络图(单位:MPa)



图4 主梁最大剪应力包络图(单位:MPa)

由表6得主梁最大正应力为 $-73.6 \text{ MPa} < Z_1[\sigma] = 0.98 \times 200 = 196 \text{ MPa}$ ,主梁最大剪应力为 $26.2 \text{ MPa} < Z_1[\tau] = 83.3 \text{ MPa}$ ,该桥强度满足要求。

### 3.3.2 腹板厚度验算

该桥腹板设计厚度为 $10 \text{ mm}$ 。由表6得主梁腹板最大应力为 $26.2 \text{ MPa}$ ,根据《公路钢结构桥梁设计规范》,钢板梁腹板最小厚度为:

$$\frac{\eta h_0}{310} = \frac{\sqrt{26.2/180} \times 1500}{310} = 1.84 \text{ mm} < 10 \text{ mm}$$

钢板最小厚度满足要求。

### 3.3.3 挠度验算

主要对恒载及人群荷载组合荷载作用下的最大竖向挠度进行检算。挠度限值采用《公路桥涵设计通用规范》规定的限值与检算系数的乘积,即 $Z_1[f] = 0.98 \times L/600 = 48.33 \text{ mm}$ 。经有限元分析计算,在人群荷载作用下该桥主梁最大竖向挠度为 $7.01 \text{ mm}$ ,在自重和人群荷载作用下主梁最大竖向挠度为 $25 \text{ mm}$ ,均小于限值 $48.33 \text{ mm}$ ,挠度满足规范要求。图5、图6为主梁变形云图。

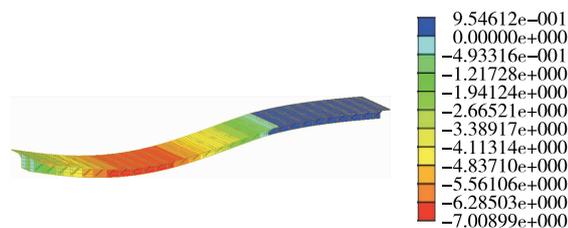


图5 人群荷载作用下主梁挠度(单位:mm)

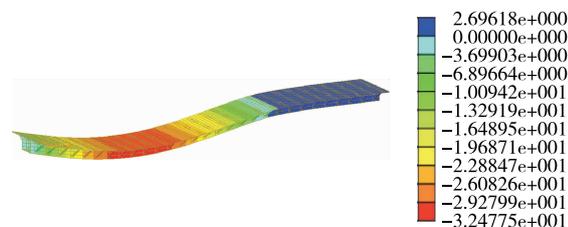


图6 恒载+人群荷载作用下主梁挠度(单位:mm)

### 3.3.4 稳定性验算

(1) 整体稳定性。根据 GB 50017—2003《钢结构设计规范》,若 $h/b_0 \leq 6$ ,且 $l_1/b_0 \leq 95(235/f_y)$

(其中: $h$ 为截面全高; $b_0$ 为箱梁顶板处腹板间的无支承宽度; $l_1$ 为受压翼缘侧向支撑间距; $f_y$ 为钢材的屈服强度),可不验算结构的整体稳定性。该桥 $h/b_0 = 1.5/1.75 = 0.857 < 6$ , $l_1/b_0 = 2.125/1.75 = 1.21 < 95(235/f_y) = 64.7$ ,可不计算整体稳定性,其整体稳定性满足要求。

(2) 局部稳定性。根据《钢结构设计规范》,当式(1)成立时,结构满足局部稳定性要求。

$$\left(\frac{h_w}{100t_w}\right)^4 \left\{ \left(\frac{\sigma}{900}\right)^2 + \left[\frac{\tau}{120+59(h_w/a)}\right]^2 \right\} \leq 1 \quad (1)$$

式中: $h_w$ 为腹板高度; $t_w$ 为腹板厚度; $\sigma$ 为主梁最大正应力; $\tau$ 为主梁最大剪应力; $a$ 为净支承间距。

该桥 $h_w = 1500 \text{ mm}$ , $t_w = 10 \text{ mm}$ , $\sigma = -73.6 \text{ MPa}$ , $\tau = 26.2 \text{ MPa}$ , $a = 1500 \text{ mm}$ 。带入式(1),得:

$$\left(\frac{1500}{100 \times 10}\right)^4 \left\{ \left(\frac{73.6}{900}\right)^2 + \left[\frac{26.2}{120+59(1500/1500)}\right]^2 \right\} = 0.14 < 1$$

该桥局部稳定性满足要求。

## 4 结论

(1) 该人行天桥技术状况等级为B级,状况良好,无严重病害,现有病害缺陷不会对结构的正常使用和安全造成影响。

(2) 该人行天桥主梁最大正应力为 $-73.6 \text{ MPa}$ ,最大剪应力为 $26.2 \text{ MPa}$ ,均小于应力限值,结构强度满足使用要求。

(3) 该人行天桥腹板设计厚度为 $10 \text{ mm}$ ,大于设计最低值 $1.84 \text{ mm}$ ,腹板厚度满足使用要求。

(4) 该人行天桥在人群荷载作用下主梁最大竖向挠度为 $7.01 \text{ mm}$ ,在自重和人群荷载作用下主梁最大竖向挠度为 $25 \text{ mm}$ ,均小于限值 $48.33 \text{ mm}$ ,挠度满足使用要求。

(5) 该桥整体稳定性与局部稳定性均满足规范要求。

## 参考文献:

- [1] 王屏,徐洁.城市化进程中公共交通规划探析[J].山西交通科技,2005(6).
- [2] 张天申,杨光,王元清,等.某钢桁架人行天桥现场检测与安全性评定[J].沈阳建筑大学学报:自然科学版,2013,29(3).

(下转第148页)

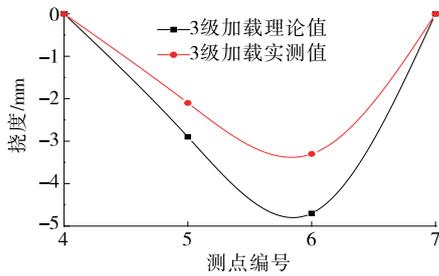


图 18 第二跨 1# 边梁偏载荷载—弹性变位曲线

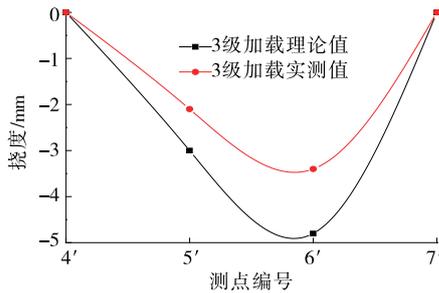


图 19 第二跨中梁偏载荷载—弹性变位曲线

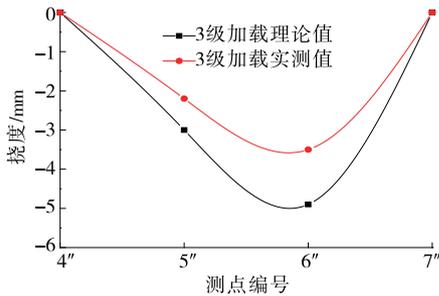


图 20 第二跨 2# 边梁偏载荷载—弹性变位曲线

根据试验实测数据,工况四下该桥相对残余变位最大值为 0.061,相对残余应变最大值为 0.091,均小于容许值 0.2,符合规范要求;挠度校验系数最大值为 0.724、平均值为 0.714,应变校验系数最大值为 0.739、平均值为 0.671,均在合理范围内,符合相关规范要求。

### 4 结论

(1) 该桥各静载试验工况下的荷载效率系数均在 0.95~1.05 范围内,符合《公路桥梁承载能力检测评定规程》的规定,试验加载有效。

(2) 每级静载试验荷载下的主梁挠度平均校验系数均在 0.6~0.8 内,主梁的实际刚度比理论值大,结构满足安全要求;相对残余变位都不大于 0.2,主梁在各静载试验工况下均处于弹性工作阶段。

(3) 静载试验各工况下关键截面的实测挠度具有较好的线弹性关系,基本符合平截面假定。

(4) 静载试验各工况下桥梁变形均满足规范要求,桥跨结构刚度满足设计及正常使用要求;偏载工况实测值的变化规律与理论计算值基本吻合,结构整体横向联系与理论状态基本一致,符合结构设计要求。

### 参考文献:

[1] 郭东升,贾艳敏.静载作用下的预应力空心板单梁受力试验分析[J].山西建筑,2014,40(26).  
 [2] 赵维涛.静载作用在静载和疲劳荷载作用下结构系统失效机理与可靠性分析[J].哈尔滨工程大学学报,2006,27(2).  
 [3] 王世杰.大型桥梁静载试验中的测量技术及应用[J].兰州交通大学学报,2004,23(3).  
 [4] 邵旭东.桥梁工程[M].第二版.北京:人民交通出版社,2007.  
 [5] JTG D60—2004,公路桥涵设计通用规范[S].  
 [6] 何鑫.基于梁格法的双曲拱桥损伤状态受力分析[J].公路与汽运,2016(4).  
 [7] 黄利,曾志威.某三跨变截面连续箱梁桥荷载试验分析[J].公路与汽运,2015(4).

收稿日期:2017-03-20

(上接第 143 页)

[3] 何宗成,王柏生.大跨度人行天桥的振动影响测试与分析[J].振动与冲击,2006,25(4).  
 [4] 张冠华,葛耀君.砼连续箱梁人行天桥振动特性测试与分析[J].振动与冲击,2009,28(2).  
 [5] 李强,单美弟,黄铭枫,等.钢桁架人行天桥的振动实测分析与舒适度评价[J].深圳大学学报:理工版,2015,32(1).  
 [6] 尹越,黄逸群,王秀泉.车辆撞击钢结构人行天桥有限

元分析[J].天津大学学报:自然科学与工程技术版,2016,49(增刊).  
 [7] CJJ 99—2003,城市桥梁养护技术规范[S].  
 [8] JTG/T J21—2011,公路桥梁承载能力检测评定规程[S].  
 [9] JTG D60—2004,公路桥涵设计通用规范[S].  
 [10] GB 50017—2003,钢结构设计规范[S].

收稿日期:2017-06-16