

永安广场天桥上部结构验算及舒适度分析

翟志雄, 刘 勇, 卫 超

(武汉市市政工程设计研究院有限责任公司, 湖北 武汉 430015)

摘 要: 襄阳市永安广场人行天桥横跨人民路和大庆西路, 主桥主梁分为三个梁段, 平面呈 U 型布置。该桥处于襄阳市永安广场商圈, 为襄阳繁华的商业地带, 自然形成的庞大休闲人群, 对过街需求量较大。故对本桥进行上部结构验算分析, 确保其运营安全, 并进行人行舒适度分析, 是一个重要的问题。采用 Midas 有限元软件, 建立精细化钢箱梁天桥有限元模型, 根据实际施工步骤确定计算工况, 开展天桥受力情况有限元分析, 参照《德国人行桥设计指南》(EN03-2007) 规范进行人行舒适度分析。结果表明: 桥梁结构强度、刚度、安全性均满足规范要求, 人行舒适度满足规范舒适性指标限值。

关键词: 天桥; 钢箱梁桥; 舒适度; 有限元

中图分类号: U443.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2020)12-0078-03

0 引 言

本文襄阳市永安广场人行天桥为背景, 采用 Midas 有限元软件, 建立精细化钢箱梁天桥有限元模型, 根据实际施工步骤确定计算工况, 开展天桥受力情况有限元分析, 参照《德国人行桥设计指南》(EN03-2007) 规范进行人行舒适度分析。分析成果为繁华地带钢箱梁天桥桥的设计提供参考^[1-4]。

1 设计概况

1.1 工程概况

根据该桥位处的地形及建筑物分布情况, 人行桥采取分别横跨人民路和大庆西路的 U 型平面布置形式, 主桥净宽 5.0 m, 总宽 6.0 m (含栏杆和绿化预留空间)。

主桥主梁共分为 3 个梁段, 其中 A 梁段横跨人民路, 桥跨布置为 2.207 m+24.354 m+37.25 m, 永安广场侧在主桥两侧均设置一座梯道和一座坡道, 梯(坡)道净宽为 3.6 m, 总宽 4.0 m, 天元四季城侧搭接在 B 梁段牛腿上; B 梁段横跨大庆西路, 桥跨布置为 2.1 m+18.464 m+37 m+1.47 m, 天元四季城侧在主桥两侧均设置一座梯道和一座坡道, 梯(坡)道净宽为 3.6 m, 总宽 4.0 m, 定中街侧设置一座坡道, 坡道净宽 3.6 m, 总宽 4.0 m。C 梁段横跨大庆西路, 桥跨布置为 25.5 m+2.072 m, 永安广场侧设牛腿与 A 梁段焊接, 定中街侧在两侧分别一座梯道和一座坡道, 梯(坡)道净宽为 3.6 m, 总宽 4.0 m。平面布置、断面布置见图 1、图 2。

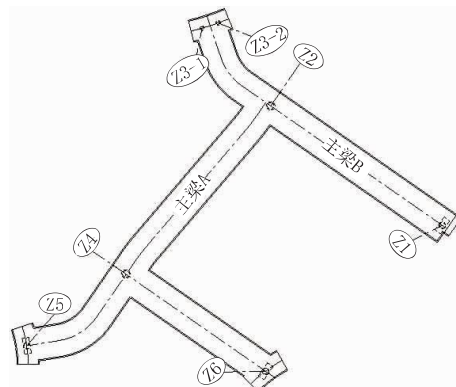


图 1 天桥主梁平面布置示意图

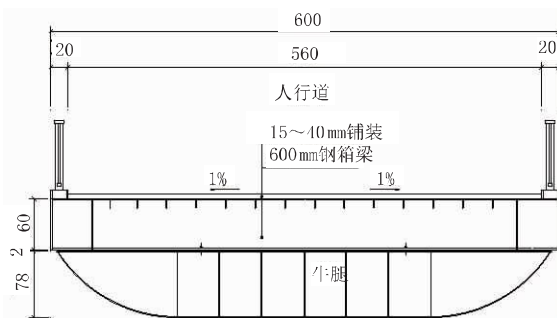


图 2 天桥主梁断面示意图(单位: cm)

1.2 技术标准

主要设计技术标准:

(1) 荷载标准: 人群荷载按《城市人行天桥与人行地道技术规范》(CJJ 69-95)(2003 年修订)取值;

(2) 桥梁结构设计基准期 100 a;

(3) 桥梁结构设计使用年限 50 a;

(4) 桥梁设计安全等级一级, 结构重要性系数为 1.1;

(5) 震设防烈度: 地震基本烈度 6 度, 地震动峰值加速度 0.05g, 设防分类为丙类。E1 地震作用下,

收稿日期: 2019-05-27

作者简介: 翟志雄(1992—), 男, 助理工程师, 从事桥梁工程设计工作。

$C_i=0.46$ 。抗震设计方法 C 类;
(6)通车净高:净高不小于 5.0 m;
(7)环境类别:I 级。

2 连续钢箱梁桥支点外扩横梁精细有限元建模

2.1 全桥有限元单梁模型建立

运用 Midas 软件建立全桥有限元模型,主梁模型共 213 个节点和 212 个单元。采用 Midas 有限元软件,建立精细化钢箱梁天桥有限元模型,根据实际施工步骤确定计算工况,结构离散见图 3。



图 3 全桥有限元计算模型

2.2 计算模型参数

钢梁采用 Q345,其钢材性能应符合 GB/T 714—2000 的要求。弹性模量 $E=2.06 \times 10^5$ MPa。线膨胀系数 $k=0.000\ 012$ 。考虑钢梁自重、铺装、护栏、雨棚及附属结构自重,由程序自动计算,结合设计重量添加;基础间不均匀沉降按 5 mm 计;按规范考虑整体升降温;人群荷载,取 3.9 kN/m^2 。

3 计算结果分析

3.1 持久状况正常使用极限状态主梁应力验算及挠度验算

根据 Midas 模型计算结果提取了主梁弯矩包络图,钢箱梁天桥截面上缘正应力包络图、钢箱梁天桥截面下缘正应力包络图,荷载作用下钢箱梁天桥竖向最大位移,结果见图 4、图 5。

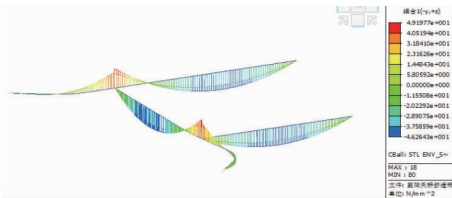


图 4 钢箱梁天桥截面上缘正应力包络图

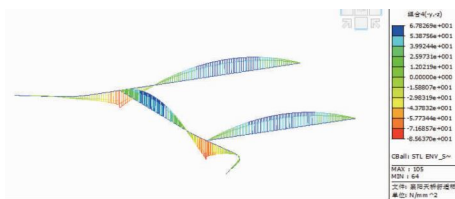


图 5 钢箱梁天桥截面下缘正应力包络图

由图 4、图 5 可知,该钢箱梁天桥截面上缘及下缘的弯曲应力极值为:上缘最大拉应力为 49.2 MPa,

最大压应力为 46.3 MPa,下缘最大拉应力为 67.8 MPa,最大压应力为 85.6 MPa。

天桥主梁在人群荷载作用下的挠度最大绝对值为 37 mm,不大于 $L/600$,此处 L 为的计算跨径: $L/600=38\ 000/600=63\text{ mm}$,满足规范要求。主梁最大挠度为 60 mm,满足规范要求。

3.2 主梁振动分析

《城市人行天桥与地道技术规范》(CJJ 69—95)第 2.5.4 条规定: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。根据 Midas 模型计算结果可得,主梁 A 第一阶竖向自振频率 2.46 Hz,主梁 B 第一阶竖向自振频率 2.57 Hz,不满足规范要求,振型见图 6、图 7。



图 6 主梁 A 第一阶竖向自振频率



图 7 主梁 B 第一阶竖向自振频率

经设阻尼装置后,计算结果如下。

3.3 主梁舒适度分析

参照《德国人行桥设计指南》(EN03—2007)规范,人行天桥的加速度舒适性指标见表 1。

表 1 人行天桥加速度舒适性指标

舒适性级别	舒适度	竖向加速度限值	侧向加速度限值
CL1	最好	$<0.5\text{ m/s}^2$	$<0.1\text{ m/s}^2$
CL2	中等	$0.5 \sim 1.0\text{ m/s}^2$	$0.1 \sim 0.3\text{ m/s}^2$
CL3	差	$1.0 \sim 2.5\text{ m/s}^2$	$0.3 \sim 0.8\text{ m/s}^2$
CL4	不可接受	$>2.5\text{ m/s}^2$	$>0.8\text{ m/s}^2$

主梁 A 工况一:人群密度 $d=0.5\text{ 人/m}^2$,桥长 $L=64.3\text{ m}$,桥净宽 $B=6\text{ m}$,桥面面积 $S=385.8\text{ m}^2$,桥上总人数 $n=d \times S=192.9$ 人;结构阻尼比 $\xi=0.004$;等效的完全同步人群密度 $n'=0.0246\text{ 人/m}^2$;折减系数 $\psi=0.072$ 。通过计算可求得工况一下天桥跨中加速度最大为 0.111 m/s^2 ,满足 CL1 的要求。加速度时程曲线见图 8、图 9。

主梁 A 工况二:人群密度 $d=1.5\text{ 人/m}^2$,桥长 $L=64.3\text{ m}$,桥净宽 $B=6\text{ m}$,桥面面积 $S=385.8\text{ m}^2$,桥上

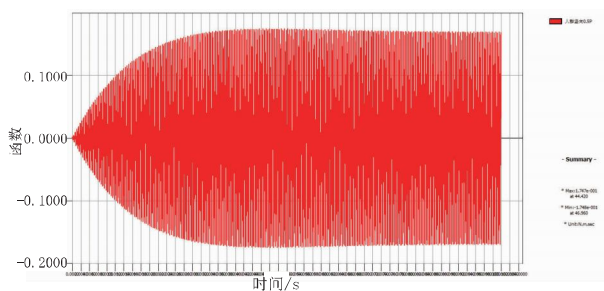


图8 主梁A工况一加速度时程曲线

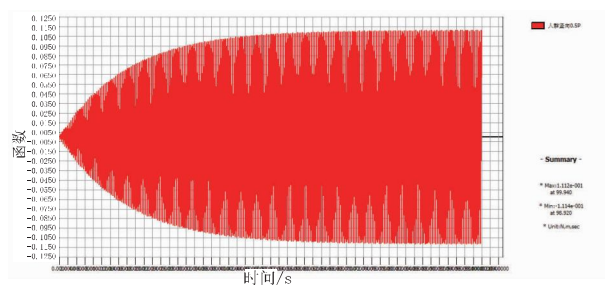


图10 主梁B工况一加速度时程曲线

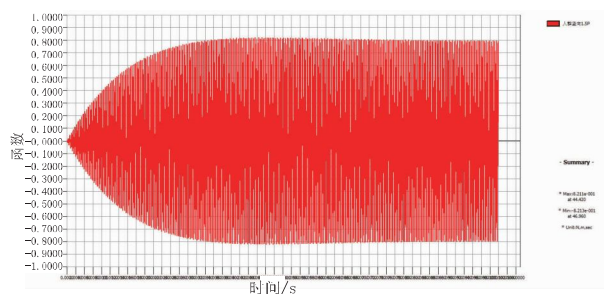


图9 主梁A工况二加速度时程曲线

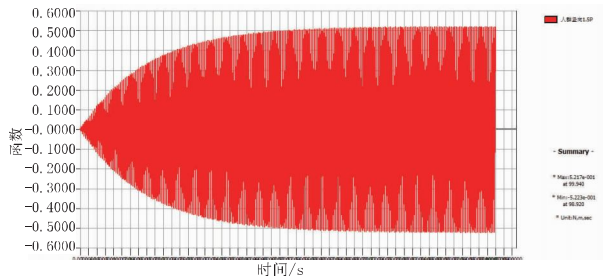


图11 主梁B工况二加速度时程曲线

总人数 $n=d \times S=578.7$ 人; 结构阻尼比 $\xi=0.004$; 等效的完全同步人群密度 $n'=0.1154$ 人/ m^2 ; 折减系数 $\psi=0.072$ 。通过计算可求得工况二下天桥跨中加速度最大为 0.52 m/s^2 , 满足 CL2 的要求。

计算结果表明, 人行天桥主梁 A 在工况一和工况二的跨中最大竖向加速度值分别为 0.11 m/s^2 和 0.52 m/s^2 , 均满足舒适性指标限值。

主梁 B 工况一: 人群密度 $d=0.5$ 人/ m^2 , 桥长 $L=58 \text{ m}$, 桥净宽 $B=6 \text{ m}$, 桥面面积 $S=348 \text{ m}^2$, 桥上总人数 $n=d \times S=174$ 人; 结构阻尼比 $\xi=0.004$; 等效的完全同步人群密度 $n'=0.0259$ 人/ m^2 ; 折减系数 $\psi=0.25$ 。通过计算可求得工况一下天桥跨中加速度最大为 0.175 m/s^2 , 满足 CL1 的要求。

主梁 B 工况二: 人群密度 $d=1.5$ 人/ m^2 , 桥长 $L=58 \text{ m}$, 桥净宽 $B=6 \text{ m}$, 桥面面积 $S=348 \text{ m}^2$, 桥上总人数 $n=d \times S=522$ 人; 结构阻尼比 $\xi=0.004$; 等效的完全同步人群密度 $n'=0.1214$ 人/ m^2 ; 折减系数 $\psi=0.25$ 。加速度时程曲线见图 10、图 11。

计算结果表明, 人行天桥主梁 B 在工况一和工况二的跨中最大竖向加速度值分别为 0.11 m/s^2 和 0.82 m/s^2 , 均满足舒适性指标限值。

4 结论

(1) 采用 Midas 有限元软件, 建立精细化钢箱梁天桥有限元模型, 根据实际施工步骤确定计算工况, 开展天桥有限元分析, 计算可得桥梁结构强度、刚度安全性、舒适度均满足规范要求, 分析结

果合理可靠。

(2) 钢箱梁天桥截面上缘及下缘的弯曲应力极值为: 上缘最大拉应力为 49.2 MPa , 最大压应力为 46.3 MPa , 下缘最大拉应力为 67.8 MPa , 最大压应力为 85.6 MPa , 均低于钢材 Q345 容许应力值 210 MPa 。满足规范要求。

(3) 天桥主梁在人群荷载作用下的挠度最大绝对值为 37 mm , 不大于 $L/600$, 此处 L 为的计算跨径: $L/600=38\,000/600=63 \text{ mm}$, 满足规范要求。

(4) 主梁 A 第一阶竖向自振频率 2.46 Hz , 主梁 B 第一阶竖向自振频率 2.57 Hz , 不满足《城市人行天桥与地道技术规范》(CJJ 69-95) 规定。

(5) 参照《德国人行桥设计指南》(EN03-2007) 规范进行人行舒适度分析。人行天桥主梁 A 在工况一和工况二的跨中最大竖向加速度值分别为 0.11 m/s^2 和 0.52 m/s^2 , 人行天桥主梁 B 在工况一和工况二的跨中最大竖向加速度值分别为 0.11 m/s^2 和 0.82 m/s^2 , 均满足舒适性指标限值。

参考文献:

- [1] 余凤翔. 城市人行天桥设计上几个问题的探讨[J]. 城市道桥与防洪, 2004(2):29-32.
- [2] 黄健, 王庆扬, 姜宇. 基于国内外不同标准的人行天桥舒适度设计研究[J]. 建筑结构, 2008(8):106-110.
- [3] 饶波. 大跨度钢箱梁人行天桥设计[J]. 城市道桥与防洪, 2009(2):30-32.
- [4] 高婷婷, 石宇. 大跨人行天桥基频研究[J]. 地震工程与工程振动, 2014, 34(1):199-203.