

拱肋倾角对蝶形拱桥弯曲与自振的影响分析^{*}

李唐

(长沙理工大学 土木与建筑学院, 湖南 长沙 410004)

摘要: 运用 MIDAS/Civil 软件建立钢—混组合结构中承式蝶形拱桥有限元分析模型, 分析不同拱肋倾角时蝶形拱桥拱顶、1/4 拱肋处的弯矩和位移及桥梁结构的自振特性。结果表明, 拱肋倾角的变化对蝶形拱桥拱肋弯矩和位移的影响较大, 对桥梁结构自振频率的影响小。

关键词: 桥梁; 蝶形拱桥; 拱肋倾角; 弯曲; 自振特性

中图分类号: U441

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)03-0127-02

蝶形拱桥由桥面向外倾斜的拱肋构成, 内侧拱肋通常为主拱肋, 主拱肋外另设副拱肋, 主副拱肋通过圆钢管或工字钢连接, 通过拉索和主副拱肋之间的连接拉杆共同维持空间体系的稳定。对于蝶形拱桥的异形桥梁结构, 许多学者从不同角度进行了研究: 霍学晋等分析了各种非线性因素对蝶形拱桥外倾拱和三类索非线性行为的影响; 牛辉等对空间曲线蝶形拱桥顶推施工进行了多尺度仿真分析; 赵中岩对蝶形钢管砼拱桥的拱座进行了局部受力分析; 蒲黔辉等以太原市南中环桥主桥为工程背景, 对大跨度蝶形钢管砼拱桥两类稳定安全系数进行了分析; 唐仁伟从拱肋抗弯刚度和倾角两方面分析了蝶形拱桥的稳定性; 陈淮等探讨了拱肋倾角变化对斜靠式拱桥稳定性的影响。但鲜见对蝶形拱桥拱肋倾角变化对结构力学特性影响的研究。该文结合实际工程, 应用有限元方法对不同倾角的中承式钢—混组合式蝶形拱桥拱肋的力学性能进行对比分析, 为蝶形拱桥设计和施工提供参考。

1 有限元模型的建立

以合肥市某高速公路车行天桥为背景, 该桥为钢—混组合结构蝶形拱桥, 与铅垂面呈 45° 倾角, 跨径 58 m, 桥台间距 63.72 m, 桥面宽度 10 m, 矢跨比为 $1:2.828$; 拱肋平面内的矢高为 20.506 m, 竖直面内的矢高为 14.5 m。主梁与拱肋用 11 根吊杆连接。

根据该桥的基本结构参数建立中承式蝶形钢管拱桥有限元模型, 全桥共有节点 1 199 个、各类结构单元 1 264 个(见图 1)。

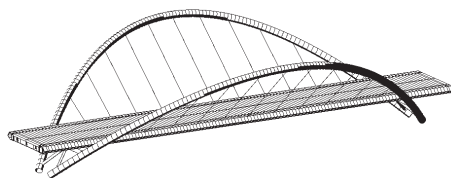


图 1 蝶形拱桥有限元模型

2 拱肋倾角对蝶形拱桥拱肋弯矩的影响

设定两种工况, 工况 1 为恒载+活载, 工况 2 为恒载+活载+支座沉降+整体升温, 分析不同拱肋倾角时蝶形拱桥拱肋拱顶和 1/4 拱肋处的弯矩, 结果见表 1、表 2。

表 1 不同拱肋倾角下拱顶弯矩

拱肋倾角/ $^\circ$	拱顶弯矩/(kN·m)	
	工况 1	工况 2
35	-800.9	-861.1
40	-650.5	-708.1
45	-536.1	-592.2
50	-429.6	-485.4
55	-328.7	-384.6

表 2 不同拱肋倾角下 1/4 拱肋处弯矩

拱肋倾角/ $^\circ$	1/4 拱肋处弯矩/(kN·m)	
	工况 1	工况 2
35	658.9	676.2
40	581.2	595.6
45	583.9	596.1
50	612.5	622.9
55	767.3	776.1

^{*} 基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划资助项目(201610536016)

从表1可看出:两种工况下拱肋拱顶弯矩变化趋势相近,随着拱肋倾角的增加,蝶形拱桥拱顶弯矩呈近乎线性状减小,变化速率较快。表明拱肋倾角变化对蝶形拱桥拱肋拱顶截面弯矩的影响较大。

从表2可看出:两种工况下1/4拱肋处弯矩变化趋势相近,随着拱肋倾角的增加,1/4拱肋处弯矩呈凹状曲线变化。拱肋倾角为 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 时,1/4拱肋处弯矩较小;拱肋倾角减小或增大,1/4拱肋处弯矩均迅速增加。因此,在蝶形拱桥设计时应避免将拱肋倾角设计得偏小或偏大,以免拱肋失稳。

3 拱肋倾角对蝶形拱桥拱肋位移的影响

上述两种工况下不同倾角蝶形拱桥拱肋拱顶截面和1/4拱肋处的位移分别见表3、表4。

表3 不同拱肋倾角下拱顶位移

拱肋倾角/ $^{\circ}$	拱顶位移/mm		拱肋倾角/ $^{\circ}$	拱顶位移/mm	
	工况1	工况2		工况1	工况2
35	361	377	50	240	247
40	322	335	55	209	214
45	283	298			

表4 不同拱肋倾角下1/4拱肋处位移

拱肋倾角/ $^{\circ}$	1/4拱肋处位移/mm		拱肋倾角/ $^{\circ}$	1/4拱肋处位移/mm	
	工况1	工况2		工况1	工况2
35	113	132	50	56	74
40	94	113	55	41	58
45	76	94			

从表3可看出:两种工况下拱肋拱顶位移变化趋势相近,均随着拱角的增大而不断减小。适当增加拱肋倾角可减小蝶形拱桥拱肋拱顶处位移。

从表4可看出:两种工况下1/4拱肋处位移变化趋势相近。相比于拱顶位移,1/4拱肋处的位移小得多,说明拱肋倾角变化对拱桥1/4拱肋处变形的影响不大。

4 拱肋倾角对蝶形拱桥自振特性的影响

拱肋倾角变化时蝶形拱桥前10阶自振频率见表5。从表5可看出:随着蝶形拱桥拱肋倾角的增大,桥梁结构的前三阶自振频率变化不明显,其变化趋势近似一条水平线;其他七阶自振频率略有增加,但幅度较小。说明拱肋倾角对结构自振特性的影响

较小,可忽略。

表5 不同拱肋倾角蝶形拱桥的自振频率

阶次	不同拱肋倾角下的自振频率/kHz				
	35°	40°	45°	50°	55°
1	1.638	1.633	1.631	1.632	1.635
2	1.649	1.651	1.655	1.656	1.654
3	2.951	2.982	3.011	3.037	3.057
4	3.181	3.206	3.0239	3.278	3.324
5	4.353	4.453	4.406	4.344	4.287
6	4.499	4.474	4.548	4.631	4.695
7	4.542	4.797	4.945	5.032	5.094
8	5.283	5.518	5.526	5.413	5.274
9	5.515	5.605	5.561	5.545	5.577
10	5.875	5.715	6.046	6.498	6.891

5 结论

(1) 随着拱肋倾角的增大,蝶形拱桥拱顶弯矩近似呈线性递减,1/4拱肋处弯矩呈凹形曲线变化。蝶形拱桥结构设计时拱肋倾角不宜过大,以免拱肋失稳。

(2) 蝶形拱桥拱顶和1/4拱肋处位移均随着拱肋倾角的增加而逐渐减小,且1/4拱肋处的位移变化小于拱顶。蝶形拱桥结构设计中可通过增加拱肋倾角来减小拱顶变形。

(3) 拱肋倾角变化对蝶形拱桥结构自振特性的影响较小。

参考文献:

- [1] 霍学晋,韩立中.蝶形拱桥的非线性行为分析[J].公路交通科技,2013,30(9).
- [2] 牛辉,汪劲丰,张仪萍,等.空间曲线蝶形拱桥顶推施工的多尺度模拟分析[J].浙江大学学报:工学版,2013,47(7).
- [3] 赵中岩.蝶形钢管混凝土拱桥的拱座局部受力分析[D].成都:西南交通大学,2011.
- [4] 蒲黔辉,霍学晋,杨永清.基于统一理论的蝶形拱桥空间稳定性分析[J].西南交通大学学报,2010,42(6).
- [5] 唐仁伟.蝴蝶拱桥的稳定性及动力特性分析[D].衡阳:西华大学,2013.
- [6] 陈淮,孙应桃.斜靠式拱桥拱肋倾角变化对稳定性能的影响[J].铁道科学与工程学报,2009,6(1).
- [7] 肖勇刚,丁炜.钢-混组合结构蝶形拱桥索力优化[J].长沙理工大学学报:自然科学版 2015,12(3).