

钢箱拱桥静风稳定性分析

王立聪 刘博楠

(重庆交通大学 土木工程学院 重庆市 400074)

摘要: 拱桥作为我国目前山区桥梁中常用的桥型之一,具有良好的结构性能。目前已有的钢箱拱桥正向着大跨度、轻柔化方向发展,这使得桥梁结构在风荷载作用下的静力响应问题越来越突出。利用二维线性静风失稳理论对所研究的钢箱拱桥进行有限元风致响应分析。由《公路桥梁抗风设计规范》和CFD(Computational Fluid Dynamics)数值风洞可以推知该拱桥拱肋的静力三分力系数,并对该桥的气动稳定性作简要评价。

关键词: 钢箱拱桥; 静风稳定性; 静风变形

0 引言

桥梁结构一般为非流线型钝体结构,当气流经过桥梁结构时产生旋涡,桥梁的钝体形状使气流产生分离,从而形成复杂的作用力。此时,若桥梁的刚度较大,这种空气作用力相当于静力作用在桥梁上,由这种作用所引起的结构失稳就是静风失稳。钢箱拱桥静风失稳不是桥梁自身强度所决定的,而是钢箱拱桥结构在风荷载作用过程中,自身对风的抵抗作用与风对桥梁的气动力作用两者间的规律所决定的。利用二维线性静风失稳理论并结合数值模拟软件可对桥梁风致响应作简单分析。

1、工程概况

本文对一在建钢箱拱桥进行风致响应研究。桥梁该桥桥型布置为:3×20m(预应力砼连续箱梁)+245m(中承式钢箱拱拱桥)+20m(预应力砼简支箱梁)。主桥结构为中承式钢箱拱拱桥,计算跨径布置为245m,主跨净矢跨比1/4.5,拱轴采用悬链线,拱轴系数为1.2,双侧钢箱间距10.6m。拱顶截面高为2.5m,拱脚截面高为4.5m。主桥行车道宽7.5m,两侧设1.5m护栏与人行道,每侧吊杆区宽2.05m,总宽度14.6m;引桥总宽度10.5m。全桥共设置9道风撑及2道拱间横梁。桥位处设计风速为V=27.3m/s,对其进行风致响应研究。桥梁立面布置图如图1-1。

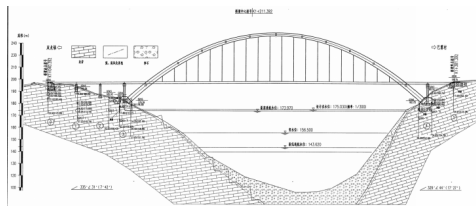


图 1-1 立面布置图

2、静风作用下桥梁稳定性

利用二维线性静风失稳理论对所研究的钢箱拱桥进行分析。对该钢箱拱桥进行有限元模型的风致响应分析。计算技术和计算流体力学(CFD, Computational Fluid Dynamics)方法的扩展给风工程研究提供了一种可能代替风洞试验的手段,对钢箱拱桥进行数值模拟试验研究,根据试验可得到不同风速、不同攻角下作用到钢箱拱桥模型上的三分力,根据静力三分力系数理论可以计算出该钢箱拱桥断面的静力三分力系数,得到的三分力系数可以用于对钢箱拱桥气动稳定性做出简要评价,还可以计算该桥在各风速下的风荷载,进而通过有限元软件分析相应静风变形和研究不同桥梁参数下的静风失稳问题。全桥有限元模型见图2-1。

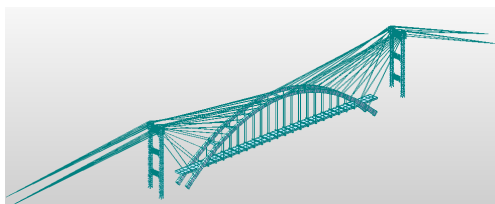


图 2-1 桥有限元模型

自然风作用到桥梁结构时,气流对桥梁结构的作用为一种特定的分布形势,这种大气压力是随时间不断变化的,一般情况下,将这种气压力分布合成为垂直于来流方向的升力、顺来流方向的阻力,及使加劲梁产生扭转的升力矩,这三种力被称为气动三分力。为了研究的方便,可将自然风分解为不随时间变化的平均风和随时间变化的脉动风。不随时间变化的风对桥梁结构的作用力称为静力三分力。按照桥梁断面本身的体轴坐标来描述三分力,称之为体轴系,分别以升力 F_v , 阻力 F_H , 扭矩 M_T 三个分量来描述。按照风轴坐标则成为风轴系,相应记为升力 F_L , 阻力 F_D , 扭矩 M_T , 如图2-2。下三分力可表示为式(2-1)、式(2-2)、式(2-3),风轴下的表达式为式(2-4)、式(2-5)和式(2-6)。

$$F_H = \frac{1}{2} \rho U^2 C_H D \quad (2-1)$$

$$F_L = \frac{1}{2} \rho U^2 C_L D \quad (2-2)$$

$$M_T = \frac{1}{2} \rho U^2 C_M B^2 \quad (2-3)$$

其中, U ——断面来流风速(m/s);

ρ ——空气密度(kg/m³);

D ——桥梁断面的高(m);

B ——桥梁断面的宽度(m);

L ——节段模型长度(m)。

$$\text{风轴气动阻力系数 } C_D = \frac{F_D}{1/2 \rho U^2 B L} \quad (2-4)$$

$$\text{风轴气动升力系数 } C_L = \frac{F_L}{1/2 \rho U^2 B L} \quad (2-5)$$

$$\text{风轴气动扭矩系数 } C_M = \frac{M_T}{1/2 \rho U^2 B^2} \quad (2-6)$$

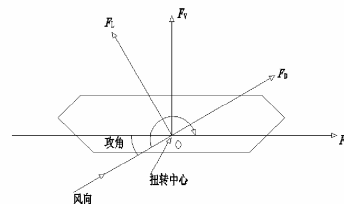


图 2-2 体轴与风轴下的三分力模型

采用CFD数值风洞模拟分析,本次分析采取风攻角范围为: -12°、-9°、-6°、-3°、0°、3°、6°、9°、12°共9个;试验风速:27.3m/s。试验流场类型为均匀流场。其中B取值为2.00m, H取值为2.50m该钢箱拱桥拱顶截面如图4。

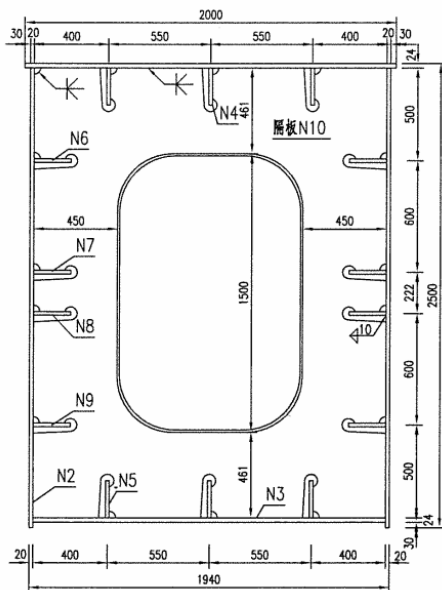
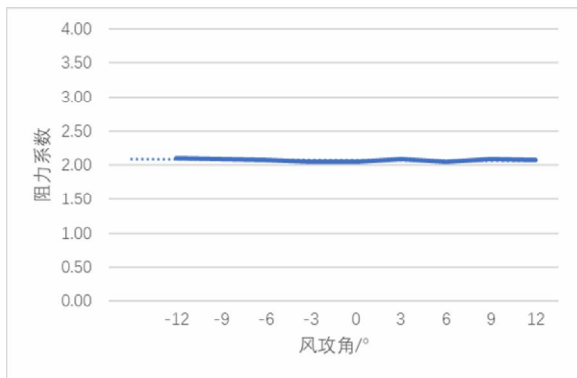


图 2-3 拱顶截面图

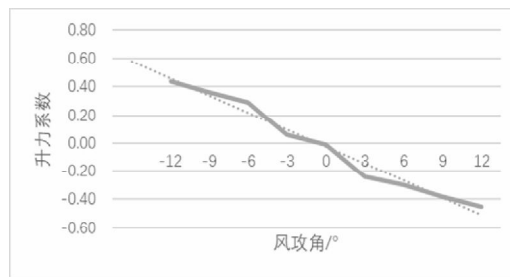
CFD 数值模拟分析结果如表 2-1 所示

表 2-1 CFD 数值模拟分析结果

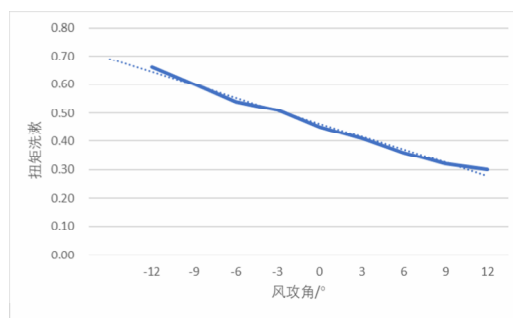
| 风攻角 (°) | 阻力系数 | 升力系数 | 扭矩系数 |
|---------|------|-------|------|
| -12 | 2.10 | 0.44 | 0.66 |
| -9 | 2.08 | 0.36 | 0.60 |
| -6 | 2.07 | 0.29 | 0.54 |
| -3 | 2.05 | 0.06 | 0.51 |
| 0 | 2.04 | -0.01 | 0.45 |
| 3 | 2.08 | -0.24 | 0.41 |
| 6 | 2.04 | -0.30 | 0.36 |
| 9 | 2.09 | -0.38 | 0.32 |
| 12 | 2.07 | -0.45 | 0.30 |



(a)



(b)



(c)

图 2-4 27.3m/s 风速下静力三分力系数曲线

从表 2-1 和图 2-4 可以看出风攻角的变化对升力和扭矩均有影响，升力曲线和扭矩曲线随风攻角由负攻角到正的变化呈现递减趋势，阻力随攻角的变化趋势不明显，风速仅对阻力数值大小有影响。

3 结论

该钢箱拱桥位移大小和位移曲线斜率随风攻角的增大而增大，初始负攻角静风荷载作用下，风速变大，结构位移风速曲线斜率没有产生突变，即不会发生静风失稳，桥梁结构会发生因风荷载作用过大，超过桥梁极限承载能力的破坏。

参考文献

- 【1】石凯. 人行悬索桥抗风稳定性研究[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2018.
- 【2】中华人民共和国交通部. JTG/T D60-01-2018 公路桥梁抗风设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2018.
- 【3】方明山, 项海帆, 肖汝诚. 大跨境缆索承重桥梁空气静力稳定性理论[J]. 土木工程学报, 2000, 33(2): 73-79.
- 【4】谢理文. 大跨度人行悬索桥抗风稳定性研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2014.
- 【5】晏致涛. 大跨径中承式拱桥风致振动研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2006.