

考虑流体结构耦合作用的单柱三面 广告牌结构的风致动力响应

刘 艳¹ 王 琳¹ 刘志伟¹ 刘振华²

(1 山东电力工程咨询院有限公司, 济南 250061; 2 山东大学土建与水利学院, 济南 250061)

摘 要: 流体-结构耦合作用的力学问题是当前计算风工程领域的研究重点, 针对当前广告牌结构风灾破坏的普遍性, 采用 ADINA 有限元软件对单柱三面广告牌结构进行了流体-结构耦合风致动力响应数值模拟计算, 得出了该类结构的风振系数和体型系数, 可供工程参考使用。

关键词: 单柱三面广告牌结构; 流体-结构耦合作用; 风致动力响应; 风振系数; 体型系数

NUMERICAL SIMULATION OF FLUID-STRUCTURE INTERACTION FOR WIND-INDUCED DYNAMIC RESPONSE OF TRIHEDRON ADVERTISEMENT BILLBOARD SUPPORTED BY SINGLE COLUMN

Liu Yan¹ Wang Lin¹ Liu Zhiwei¹ Liu Zhenhua²

(1 Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute Co Ltd, Jinan 250061, China;

(2 School of Civil Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

Abstract: Fluid-structure interaction (FSI) problem is the keystone in the research of computation wind engineering (CWE). Due to widespread damage of advertisement billboard, numerical simulation analysis of FSI for wind-induced dynamic response using ADINA is conducted in this paper. The wind-induced dynamic coefficient and shape coefficient that are significant for engineering are calculated.

Keywords: trihedron advertisement billboard supported by single column; fluid-structure Interaction (FSI); wind-induced dynamic response; wind-induced dynamic coefficient; shape coefficient

目前户外广告设施日益兴旺, 户外商业广告比比皆是: 高速公路两侧、铁路沿线、广场周围、机场、码头、楼顶等无处不有。广告牌作为一种特殊的构筑物, 在满足广告效果的前提下, 安全性也尤为重要。由于其构架大多采用钢结构, 并且具有竖向荷载小, 立面面积大的特点, 因此, 结构设计中起控制作用的是水平风荷载。如何确定广告牌风荷载参数的问题成为这类结构设计中一个亟待解决的问题。目前解决这一问题的方法: 一种是风洞技术, 另一种是数值风洞技术, 前者能得到准确的风荷载参数, 但比较昂贵, 且具有局限性; 后者相对便宜, 便捷。本文基于 ADINA 有限元软件, 通过对某公路两侧的单柱三面广告牌结构进行流体-结构耦合风致动力响应的数值模拟, 得出这类结构的风振系数和风压分布系数, 可供实际工程参考使用。

1 ADINA 模型

1.1 工程概况

某公路两侧的广告牌由框架式钢结构骨架和格构式水平及斜向支撑杆组成(图 1)。钢材为 Q235-B, 面板架采用 $\phi 60 \times 4.0$ 钢管, 面板使用 PVC 膜材, 尺寸分别为 $8.5 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ 和 $6 \text{ m} \times 4 \text{ m}$, 斜向支撑采用 $\phi 60 \times 4.0$ 钢管, 立柱为 $\phi 1000 \times 14$ 钢管, 柱高 16 m, 柱脚与基础刚接。基本风压 w_0 为 0.45 kN/m^2 。

1.2 流体模型

计算流域取 $100 \text{ m} \times 50 \text{ m} \times 30 \text{ m}$, 广告牌前缘距离流域入口处 15 m, 流体模型如图 2 所示。广告牌放置于气流场中, 每个表面都存在气动力作用。流场为紊流场, 湍流模型采用标准 $k-\varepsilon$ 模型, 参数

第一作者: 刘艳, 女, 1982 年出生, 硕士。

E-mail: liuyana@sdepei.com

收稿日期: 2011-04-20

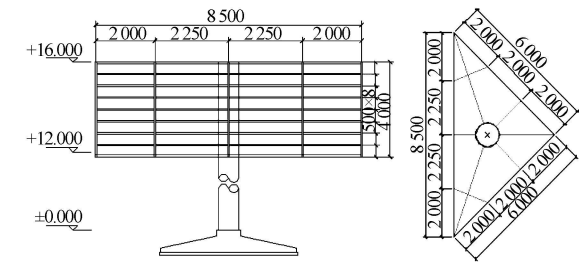
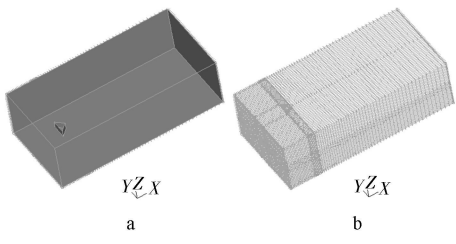


图 1 结构示意

值见表 1。计算模型中空气质量密度为 1.29 kg/m^3 ，黏度 μ 为 $1.74 \times 10^{-5} \text{ kg/(m} \cdot \text{s)}$ 。有限元模型中,采用 8 结点六面体 FCB+C 流体单元对流体域进行离散,越接近结构处网格越精细。



a- 透视; b- 流场网格划分
图 2 流体模型

表 1 湍流模型参数值

参数	速度 U_0 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	湍流强度 I	湍动能 k	湍动能耗散率 ϵ
模型	35	0.02075	0.79	0.3434

注: $k = \frac{3}{2}(U)^2$, $\epsilon = 0.09^{3/4} \frac{k^{3/2}}{l}$ 。

模拟大气边界层风速剖面指数分布^[6],即 $\frac{\bar{U}}{U_0} = \left(\frac{z}{z_0}\right)^\alpha$, 式中: z_0 、 U_0 为参考高度和参考高度处的风速,本文取 $z_0 = 10 \text{ m}$ 处 $U_0 = 35 \text{ m/s}$; z 、 $\bar{U}$ 是流域中某高度和对应的平均风速; α 为地面粗糙度指数,本文取 0.16(C 类地面)。本文进行了 4 种情况下的数值模拟,即风向角 $\theta = 0^\circ, 67.5^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ (如图 3)。

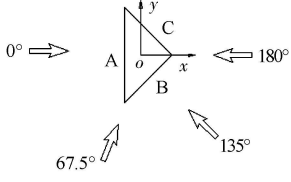


图 3 风向角

1.3 结构模型

结构模型如图 4 所示。Q235-B 钢材的弹性模量为 $E = 2.07 \times 10^{11} \text{ Pa}$, 密度 $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$, 泊松比 $\mu = 0.3$ 。考虑了几何非线性,如小位移小应变和各向同性弹性材料特性。杆件采用 beam 单

元,广告牌面板采用 shell 单元,厚度为 1 mm ,面板定义为流体-结构耦合面。

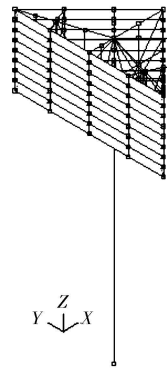


图 4 结构模型

2 数值模拟结果分析

2.1 风振系数

$$\text{风振系数}^{[5]} \beta_{Uj} = \frac{U_{ij} + U_{dj}}{U_{sj}} = 1 + \frac{U_{dj}}{U_{sj}} = 1 +$$

$\frac{\mu \sigma_{Uj}}{|U_j|}$, 其中, U_j 为 j 节点的位移均值; σ_{Uj} 为 j 节点的位移均方差; μ 为保证率系数,本文取为 1.645。在 35 m/s 风速下求得 4 个方向的风振系数如表 2 所示。

表 2 4 个方向的风振系数

位置	方向角				平均值
	0°	67.5°	135°	180°	
A	1.91	1.92	1.77	2.10	1.92
B	1.91	1.91	1.72	2.10	1.91
C	1.90	1.92	1.77	2.10	1.92

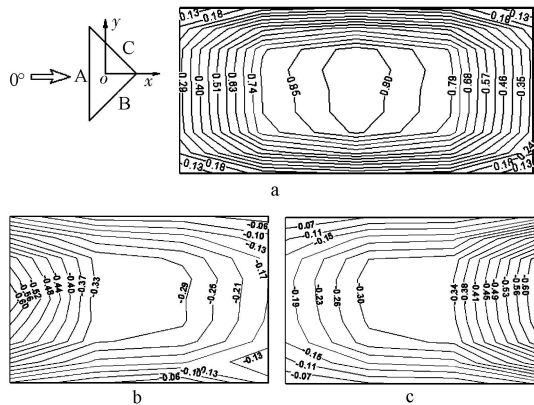
可见,在不同风向下,单柱三面广告牌的风振系数是不同的,本文建议取平均值 1.92。

2.2 风压分布系数

$$\text{风压分布系数}^{[5]} C_{pi} = (p_i - p_\infty) / \frac{1}{2} \rho U^2, \text{ 其中,}$$

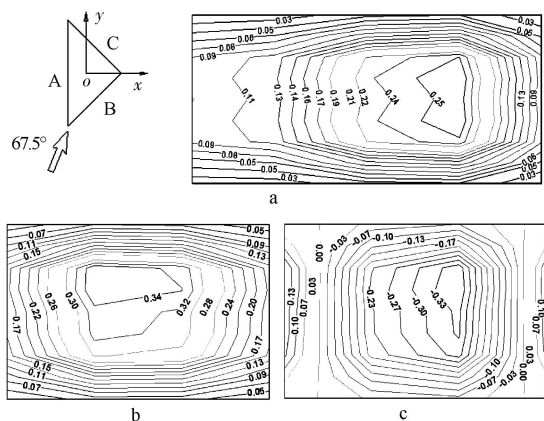
p_i 为某点风压, p_∞ 为静压, $\frac{1}{2} \rho U^2$ 为来流风压。 0° 至 180° 风向下的风压分布系数如图 5- 图 8 所示。

从图 5- 图 8 可见,正负压力分布随着风向的变化而变化。风向角 $\theta = 0^\circ$ 时, A 面出现风压力, B、C 面为风吸力,并且风压分布系数呈对称布置。风向角 $\theta = 67.5^\circ$ 时,风压力出现在 A、B 面, C 面除了边缘为风压力,其他均为风吸力。 $\theta = 135^\circ$ 时, B 面为风压力, A、C 面为风吸力。 $\theta = 180^\circ$ 时, B、C 面为风压力, A 面为风吸力,并且 B、C 面的压力分布系数呈对称性。



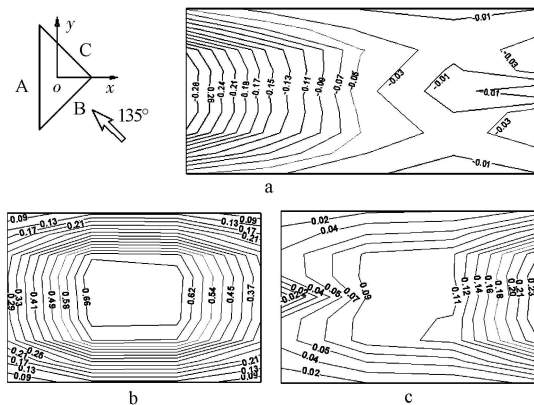
a- A 面; b- B 面; c- C 面

图 5 $\theta = 0^\circ$ 不同面平均风压分布系数等值线



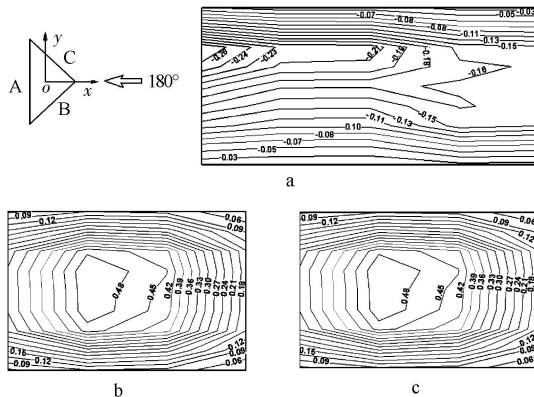
a- A 面; b- B 面; c- C 面

图 6 $\theta = 67.5^\circ$ 不同面平均风压分布系数等值线



a- A 面; b- B 面; c- C 面

图 7 $\theta = 135^\circ$ 不同面平均风压分布系数等值线



a- A 面; b- B 面; c- C 面

图 8 $\theta = 180^\circ$ 不同面平均风压分布系数等值线

3 结 语

通过采用 ADINA 有限元软件对公路两侧的单柱三面广告牌结构进行流体-结构耦合风致动力响应数值模拟计算, 得出了不同风向下广告牌表面的风振系数和风压分布系数, 这对实际风工程的研究和设计具有一定的指导意义。

参考文献

- [1] 王保国, 刘淑艳, 黄伟光. 气体动力学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2005
- [2] 易中, 吴萱, 周丽珍. 低速空气动力学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2005
- [3] 王福军. 计算流体动力学分析——CFD 软件原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004
- [4] 黄本才. 结构抗风分析原理及应用[M]. 上海: 同济大学出版社, 2001
- [5] 刘振华. 膜结构流体-结构耦合作用风致动力响应数值模拟研究[D]. 上海: 同济大学土木工程学院, 2006
- [6] GB 50009-2001 建筑结构荷载规范[S].
- [7] CECS 148: 2003 户外广告设施钢结构技术规程[S].
- [8] 陈新礼, 沈世钊, 向阳. 鞍形薄膜结构的风振响应分析及风振系数[J]. 天津城市建设学院学报, 2001, 7(3): 159 - 163
- [9] Bathe K J. Finite Element Procedures[M]. Prentice Hall, Inc., 1996
- [10] Batchelor G K. An Introduction to Fluid Dynamics[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000
- [11] ADINA Theory and Modeling Guide Volume I[M]. 2004
- [12] ADINA Theory and Modeling Guide Volume III: ADINA-F[M]. 2004

(上接第 421 页)

- [4] 丁万涛, 李术才, 朱维申. 某海底隧道岩石覆盖厚度及选线方案优化研究[J]. 地下空间与工程学报, 2007, 6(3): 464- 468
- [5] 李术才, 李树忱, 徐帮树. 海底隧道最小岩石覆盖厚度确定方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 11(26): 2290- 2292
- [6] 李树忱, 李术才. 数值方法确定海底隧道最小岩石覆盖厚度研究[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(10): 1305- 1308

- [7] 玄光男, 程润伟. 遗传算法与工程设计[M]. 北京: 科学出版社, 2000
- [8] 潘正君, 康立山, 陈毓屏. 演化计算[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998
- [9] 张顶立, 李兵, 房倩, 等. 基于风险系数的海底隧道纵断面确定方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(S1): 9- 19