

考虑流体-结构耦合作用的大跨度 栈桥结构的风致动力响应

刘 艳 刘建波 刘志伟 张春鹏

(山东电力工程咨询院有限公司, 济南 250013)

摘要:采用 ADINA 有限元软件对某大跨度栈桥结构进行了流体-结构耦合数值模拟计算, 得出该类结构的风致动力响应特性。研究了流场速度、压力, 结构的位移、等效应力以及风振系数和风压分布系数。

关键词:大跨度栈桥结构; 流体-结构耦合作用; 风致动力响应; 风振系数; 体型系数

WIND-INDUCED DYNAMIC RESPONSE OF LONG-SPAN CONVEYOR GALLERY STRUCTURE CONSIDERING FLUID-STRUCTURE INTERACTION

Liu Yan Liu Jianbo Liu Zhiwei Zhang Chunpeng

(Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute Co. Ltd., Jinan 250013, China)

ABSTRACT: A long-span conveyor gallery structure model with fluid-structure interaction (FSI) is introduced to investigate the wind-induced dynamic response using ADINA in this paper. The velocity and the pressure in the flow domain and typical features of the structure such as displacement and equivalent stress are observed. Furthermore, the wind-induced dynamic coefficients and the wind pressure distribution coefficients are investigated.

KEY WORDS: long-span conveyor gallery; fluid-structure interaction (FSI); wind-induced dynamic response; wind-induced dynamic coefficient; pressure (shape) coefficient

1 概 述

大跨度栈桥结构体系跨度大、轻、柔, 对风的作用更敏感。风荷载产生的升力、推力或扭转力矩导致结构产生的弯曲或扭转问题也更加突出。对结构设计人员来说, 栈桥结构设计时, 风荷载的取值一直是个令人困扰的问题。现行的 GB 50009—2001《建筑结构荷载规范》对栈桥结构的风荷载没有明确的规定。而实际工程中, 设计者往往由于设计依据不足而很难选取合适的风振系数, 大多沿用高层或高耸结构设计规范或任意采用一个很保守的值来设定风振系数, 这样进行大跨度栈桥风振响应分析显然是不合理的。本文基于 ADINA 有限元软件, 通过对某大跨度栈桥结构进行流体-结构耦合数值模拟, 得出这类结构的风致动力响应, 可供实际工程参考。

2 工程概况

华能白杨河电厂采用 $2 \times 300\text{MW}$ 级以大代小供热机组, 其储煤场首次采用封闭式圆煤仓。由于老厂改造, 场地受限, 圆煤仓布置于防洪河道对面, 导致进出圆煤仓的 2、3 号输煤栈桥跨越白杨河河道

及道路。故采用大跨度特种结构方案, 设计难度很高。2、3 号栈桥为单皮带输煤栈桥, 总长约 230 m, 宽 4.4 m。栈桥中间设驱动间和拉紧间, 桥体主要采用钢桁架结构, 如图 1 所示。整个结构由几个单元组成, 其中圆形煤场与驱动间之间的栈桥总长 129.7 m, 最高处 44.47 m, 坡度为 7° , 其支柱为灯笼柱。工程抗震设防烈度为 7 度, 构造措施按 8 度设防, 基本风压 0.4 kN/m^2 , 场地土类别为 II 类。

2.1 结构建模

栈桥的结构形式如图 2 所示, 栈桥表面覆盖压型钢板, 弹性模量 $E = 2.07 \times 10^5 \text{ MPa}$, 密度 $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$, 泊松比 $\nu = 0.3$, 厚度为 0.53 mm。有限元模型中, 材料各向同性, 考虑几何非线性。屋面采用 Shell 单元进行网格划分, 并将其设置为流体-结构耦合面。

2.2 流体建模

根据结构尺寸, 计算流域取为 $1050 \text{ m} \times 317.7 \text{ m} \times 214 \text{ m}$, 屋面中心距离流场入口 118 m。

第一作者: 刘艳, 女, 1982 年出生, 硕士, 助理工程师。

Email: liuyana@sdepci.com

收稿日期: 2010-05-10

采用 8 结点六面体 Fcbi-C 流体单元对流域进行网格划分,越靠近结构,网格越密,如图 3 所示。计算

模型中流体(空气)质量密度取为 1.29 kg/m^3 ,黏度 $\mu=1.74 \times 10^{-5} \text{ kg/(m} \cdot \text{s)}$ 。

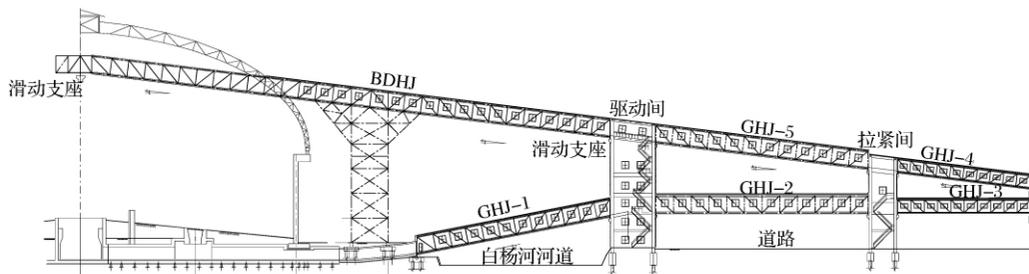


图 1 进出煤仓的栈桥示意

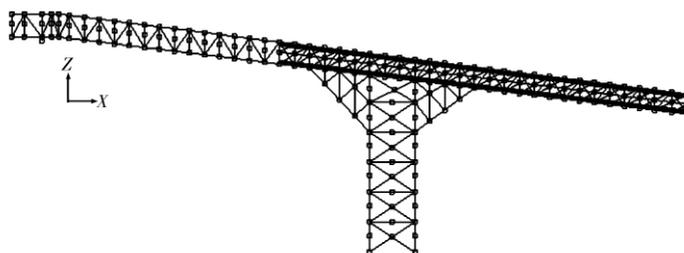
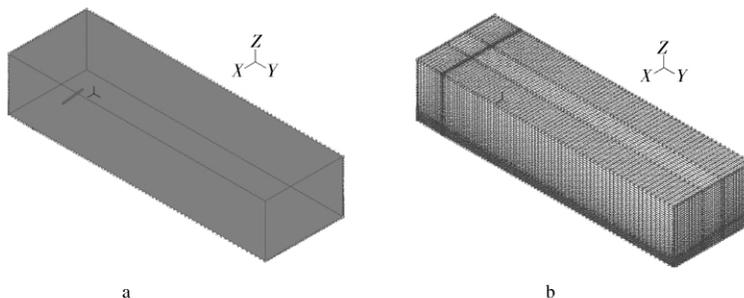


图 2 结构模型



a—流场透视;b—流场网格

图 3 流场模型

2.3 湍流模型及边界条件

当地的地貌类型为 B 类,50 年重现期,10.0 m 高度处的 10 min 平均基本风压 w_0 为 0.40 kN/m^2 ;

$$\text{相应的基本风速 } v = \sqrt{\frac{2w_0}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \times 0.4 \times 10^3}{1.25}} =$$

25.3 m/s。

10.0 m 高度处风速取 30 m/s,风向角取 0° 。

大气边界层风速剖面呈指数分布:

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{z}{z_0}\right)^\alpha \quad (1)$$

式中: z_0, v_0 为参考高度和参考高度处的风速,参考高度取 10.0 m; z, v 为流域中某高度和对应的平均风速; α 为地面粗糙度指数,本算例取 0.16(B 类地貌)。

流场为紊流场,雷诺数约为 1.82×10^8 。湍流模型采用标准 $\kappa-\epsilon$ 模型,参数值见表 1。

表 1 湍流模型参数值

速度 $v_0 / (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	湍流强度 I	湍动能 κ	湍动能耗散率 ϵ
30	0.014 8	0.30	0.004 6

注: $\kappa = \frac{3}{2} (vI)^2, \epsilon = 0.09^{3/4} \frac{\kappa^{3/2}}{l}, l$ 为湍流长度尺度。

3 数值模拟结果分析

在风速 $v_0 = 30, 40, 50 \text{ m/s}$ 条件下,考虑流体-结构耦合作用的屋盖风致动力响应数值模拟,并对结果进行分析,得出屋面的风振系数和风压分布系数。

3.1 流场

在风速 $v_0 = 30 \text{ m/s}$ 条件下,结构中心断面流场

压力及速度矢量如图 4 和图 5 所示,速度矢量图局部放大如图 6 所示。



图 4 结构中心断面流场压力 N

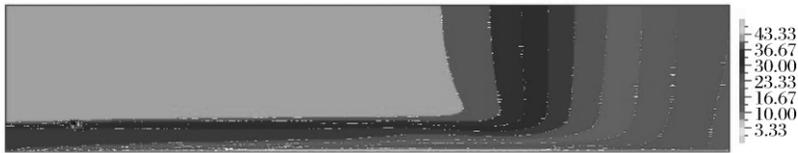
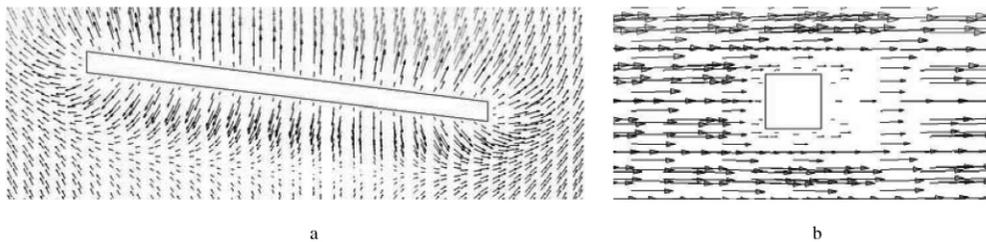


图 5 结构中心断面流场 Y 向速度矢量 m/s



a-XZ 平面; b-YZ 平面

图 6 结构中心断面在 XZ 和 YZ 平面流场速度矢量图局部放大

3.2 结构的位移和等效应力

在 3 种不同风速条件下,屋面位移、等效应力及反力云图如图 7—图 9 所示。



图 7 最大位移 mm

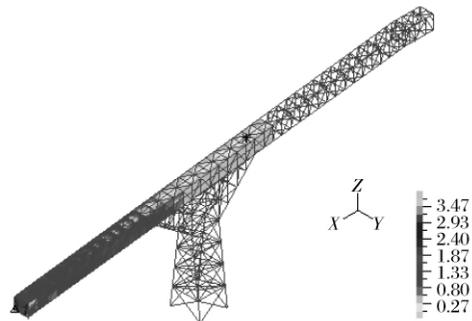


图 8 等效应力 Pa

3.3 风振系数

$$\text{风振系数 } \beta_{vj} = \frac{U_{sj} + U_{dj}}{U_{sj}} = 1 + \frac{U_{dj}}{U_{sj}} = 1 + \frac{\eta \sigma_{Uj}}{|\bar{U}_j|}$$

式中: \bar{U}_j 为 j 节点的位移均值; σ_{Uj} 为 j 节点的位移均方差; η 为保证率系数,本文取为 1.645。在 30 m/s 风速条件下,求得栈桥顶部风振系数为 1.25,迎风面风振系数为 1.46,背风面风振系数为 1.29。

GB 50135—2006《高耸结构设计规范》4.2.9 条规定,自立式高耸结构在 z 高度处的风振系数 β_z 计算公式为:

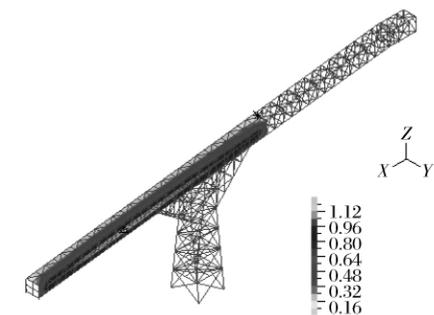


图 9 反力 kN

$$\beta_z = 1 + \xi \epsilon_1 \epsilon_2 \quad (2)$$

式中 ξ ——脉动增大系数;

ϵ_1 ——风压脉动与风压高度变化等的影响系

数;

ε_2 ——振型、结构外形影响系数。

采用上述公式计算各节点(图 10)的风振系数 β_z 如表 2 所示。

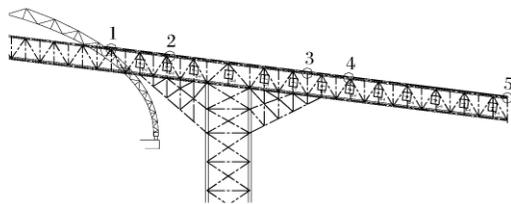


图 10 节点分布

表 2 风振系数 β_z

节点号	z/m	β_z
1	43.146	1.82
2	41.474	1.79
3	38.222	1.74
4	36.588	1.71
5	33.299	1.68

由式(2)算得各个节点的风振系数沿坡度变化,这种计算方法适用于一维的单质点体系,仅考虑了结构自振周期、基本风压、节点高度等因素的影响,而未考虑迎风面和背风面风振系数的差异。大跨度栈桥不能简化为一维的单质点体系,而是属于多质点体系,所以式(2)不适用于计算大跨度栈桥结构的风振系数。本文模型没有考虑周围环境因素的影响,为保守起见,大跨度栈桥的风振系数取值为 2.0。

3.4 风压分布系数

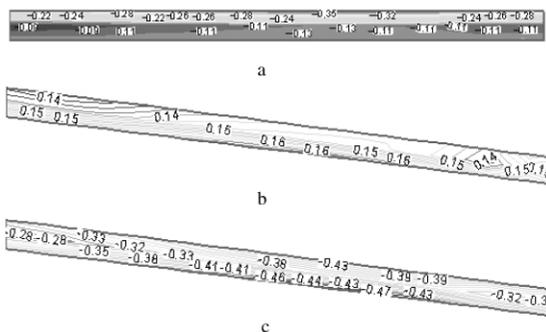
风压分布系数按下式计算:

$$C_{pi} = \frac{(p_i - p_\infty)}{(p_0 - p_\infty)} \quad (3)$$

式中: p_i 为点 i 处的压力; p_0 和 p_∞ 分别为参考高度处的总压和静压。

根据式(3)对所记录的数据进行统计分析,可以获得各个测点上的平均风压系数。在 30 m/s 风速条件下,栈桥表面的风压分布系数等值线如图 11 所示。

从图 11 中可以看出:风压系数等值线基本垂直



a—顶面;b—迎面;c—背风面

图 11 风压分布系数等值线

来流风向,栈桥迎风面为正压区,背风面和顶面为负压区。背风面风压系数变化梯度较大。顶面在靠近迎风面处风压系数变化梯度较小,在靠近背风面风压系数变化梯度较大。

4 结论

本文采用 ADINA 有限元软件对大跨度栈桥结构进行流体-结构耦合风致动力响应数值模拟计算,得出了流场的压力、风速,结构的位移、等效应力等特征及栈桥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] GB 50017—2003 钢结构设计规范[S].
- [2] 徐芸,郭耀杰,吴东平. 90 m 直径圆形贮煤仓进煤大跨度钢栈桥设计优化[J]. 钢结构,2008,23(4):44-47.
- [3] GB 50009—2001 建筑结构荷载规范[S].
- [4] 周岱,舒新玲. 单层球面网壳结构的风振及其参数分析[J]. 空间结构,2003,9(4):6-12.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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,2006.

坚朗荣获 2010 年广东省企业 500 强荣誉称号

2010 年 7 月 15 日广东省企业联合会、广东省企业家联合会在广州珠江宾馆召开表彰会议,对 2010 年广东省企业 500 强颁发了荣誉证书、牌匾。其中广东坚朗以雄厚的实力作为坚实后盾,获得广东企业 500 强荣誉称号,名列入选广东企业 500 强的东莞企业第三名。广东省作为中国经济第一强省,企业数量之多冠列全国各省之首,具有国际竞争优势和国内市场领导地位的大企业星罗密布。广东企业 500 强,是对企业实力的一种检验。获得广东企业 500 强的荣誉,是对企业取得成就的认可。