

基于压力迭代修正的大型冷却塔抗风性能分析

李刚^{*1}, 曹文斌¹, 张永军²

(1. 大连理工大学 工程力学系 工业装备结构分析国家重点实验室, 大连 116023;
大连市建设控股有限公司, 大连 116021)

摘要:目前,大型冷却塔的抗风性能分析主要把得到的风压分布施加到结构上进行结构计算,没有考虑风载引起的结构变形对风压分布的影响,会产生较大的误差。本文结合计算流体力学与有限元分析的特点,建立了考虑结构变形影响的风压迭代修正模型,进行平均风压下大型冷却塔的抗风性能分析,并讨论了内部空气流动及淋水层的影响。计算结果与规范分析结果进行了比较,表明随着基本风速的增加,迭代分析方法与规范结果的相差逐步增大,规范计算偏于保守。

关键词:冷却塔;抗风性能;计算流体力学;规范
中图分类号:TU311.4;O35 **文献标志码:**A

1 引言

冷却塔广泛地应用于电力、石油、化工及钢铁等领域。为了提高冷却效率和土地利用效率,冷却塔日益向高大发展。2001年在德国RWE发电站建成目前世界上最高的200 m冷却塔^[1-2]。由于冷却塔结构的特殊性,风载成为主要的控制载荷。研究冷却塔的抗风性能对于提高冷却塔安全性、抗塔体裂纹等方面具有重要的科学意义和工程意义^[3]。当前大型冷却塔结构的研究主要包括两个方面:一是对塔体薄壳结构的材料特性研究,如混凝土的材料非线性,多层的薄壳本构关系^[4-6],从而在材料层面上提高冷却塔安全性;另一方面是在外部环境下(特别是风载荷)冷却塔结构安全性的研究^[7-8]。

目前,风载荷下大型冷却塔结构分析方法主要有以下三种:一是基于实验^[9]与经验统计得出的近似体型系数和风振系数进行结构计算,如有关冷却塔设计规范中^[10-11]塔的风压系数计算是通过三角函数级数表征的,没有考虑到风压系数沿高程变化;二是基于计算流体力学CFD分析^[12]得到风场压力、速度等分布进行结构计算,这种方法采用了先进的计算流体CFD技术,通过运用适当的湍流

模型,可以比较精确的预测整个塔体表面的风压分布;三是谱分析。平均风压下的结构分析主要采用前两种方法,然而目前的研究很少考虑结构在受到风载后变形对风压分布的影响,而这对于大型冷却塔这类薄壳结构非常重要。

本文通过对压力进行迭代修正,考虑了冷却塔结构变形对风压分布的影响,研究了平均风压下的冷却塔结构的抗风性能,并讨论了淋水层对塔体结构的影响。本文提出的方法充分利用现有的CFD流体求解器与结构求解器(利用CFX流体求解器进行稳态CFD计算得到结构表面的压力,利用ANSYS有限元求解器进行结构分析得到结构响应)在结构与空气接触面上进行迭代分析,对压力进行修正,考虑了冷却塔结构变形对风压的影响,提高了分析精度。

2 平均风压下冷却塔抗风性能迭代分析

对于大型冷却塔的CFD计算经常采用 $k-\epsilon$ 湍流模型,因此本文也采用该模型进行稳态流体分析得到结构表面的流体力,然后将该载荷传递到结构系统中进行结构分析,结构位型的改变传递给流体系统,更新流体与结构的接触边界,再次进行流体分析,计算模型和迭代流程如图1和图2所示。其流体场控制方程分别为^[13]

$$\begin{cases} \frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \\ U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\overline{u'_i u'_j}) \end{cases} \quad (1)$$

收稿日期:2010-11-06;修改稿收到日期:2011-03-24。

基金项目:国家科技支撑计划(2006BAB03A07-02);

国家自然科学基金(90815023)资助项目。

作者简介:李刚*(1966-),男,教授,博士生导师

(E-mail: ligang@dlut.edu.cn);

曹文斌(1980-),男,博士生。

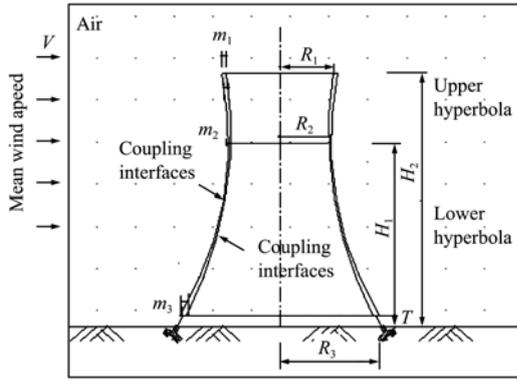


图 1 冷却塔计算模型

Fig.1 Computational model of cooling tower

式中 U_i 为平均速度分量, p 为压力, ν 为气体运动黏性系数, $\overline{u'_i u'_j}$ 为 Reynold 应力项。在标准 $k-\epsilon$ 模型中:

$$\overline{u'_i u'_j} = \frac{2}{3} k \delta_{ij} - 2 C_{\mu} k S_{ij} \quad (2)$$

式中 δ_{ij} 为 Kronecker 符号, C_{μ} 为经验常数, S_{ij} 为偏应力。湍流动能 k 和湍流动能耗散率 ϵ 的控制方程为

$$\begin{cases} U_j \frac{\partial k_i}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + C_k \frac{k^2}{\epsilon} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - \overline{u_i u_j} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \epsilon \\ U_j \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + C_{\epsilon} \frac{k^2}{\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] - C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} \overline{u_i u_j} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - C_{\epsilon 2} \frac{\epsilon^2}{k} \end{cases} \quad (3)$$

式中 $C_{\mu} = C_k = 0.09, C_{\epsilon} = 0.07, C_{\epsilon 1} = 1.44, C_{\epsilon 2} = 1.92$ [13]。

结构的控制方程为

$$\mathbf{K} \mathbf{u}_s = \mathbf{f}(\sigma_f) + \mathbf{f}^{ex} \quad (4)$$

式中 \mathbf{K} 为结构刚度矩阵, $\mathbf{f}(\sigma_f)$ 为结构所受的流体载荷, \mathbf{f}^{ex} 为外部其他载荷在本文中为重力, \mathbf{u}_s 为结构位移矢量。上式结构方程可采用有限元方法求解, 本文采用有限元求解器 ANSYS, 流体计算采用了 CFX 求解器, 迭代计算流程如图 2 所示。文献 [14] 中也采用类似的迭代方法研究流体载荷对结构的作用。

3 冷却塔的风荷载计算与边界条件

平均风压及其边界处理主要有两种途径, 一种是等效风载法, 如利用基于经验的风压系数分布曲线直接计算结构平均风压, 如中国、印度和英国等国规范。Karisiddappa 建议采用 Fourier 三角级数 [15] 来描述圆周对称的风压系数, 采用下式计算结构表面的压力分布:

$$q(z, \theta) = \beta C_p(\theta) K(z) q_0 \quad (5)$$

式中 $q(z, \theta)$ 为作用在塔体表面的风载, β 为风振

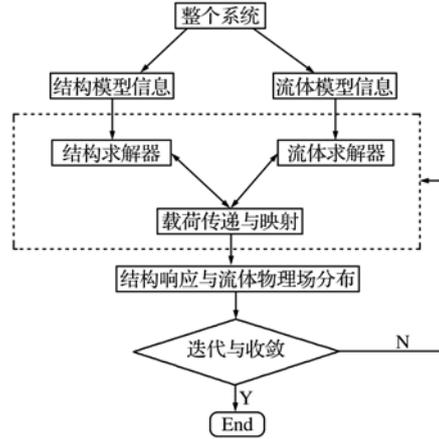


图 2 迭代计算流程图

Fig.2 The flow of iterative method

系数, C_p 是平均风压分布系数, $K(z)$ 是风压高度变化系数, q_0 是基本风压。

另一种是根据随地面粗糙度、高度和结构体型相关的风速分布规律, 通过 CFD 或者其他方式计算结构风压。本文通过 CFD 计算得到结构表面的风压, 在迭代分析中主要用到风速和湍流强度这两类边界条件, 风速随高度的变化服从指数律 [16]:

$$U_z = U_0 \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^{\alpha} \quad (6)$$

式中 Z_0 和 U_0 为参考高度 (10 m) 和该高度处的风速, α 为地貌粗糙度系数。入口处湍流强度公式为 [15]:

$$I_u = A \left(\frac{Z}{H} \right)^{-\alpha-0.05} \quad (7)$$

式中 A 为常数, H 为大气边界层的高度, 要求离地面 30 m 高度处湍流强度达到 16%。

4 冷却塔的结构与流体分析模型

4.1 冷却塔结构模型与设计参数

为了满足冷却塔热力和力学特性要求, 空冷却塔的母线方程通常不宜采用标准的双曲线方程。本文采用上下两个组合的双曲方程, 塔壳厚度连续变化, 这样有助于提高结构整体抗屈曲性。冷却塔底部支撑采用 I 字形支撑如图 3 所示。有关特征

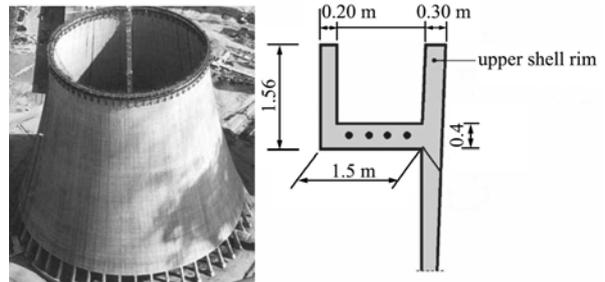


图 3 I 字形支撑与顶部加强环

Fig.3 I-shaped column and upper shell rim of the tower

表 1 几何与材料参数

Tab. 1 Geometry and material parameters

参数	数值	描述	参数	数值	描述
RHSS	1.30	H2/(2×R3)	Tanφ	0.35	底部边缘与垂直方向的正切值
RSH	0.75	H1/H2	R3/m	62.04	底部半径
RTSS	0.08	T/(2×R3)	R2/m	34.1	颈部半径
RASS	0.55	H1/(2×R3)	R1/m	36.1	顶部半径
ca_r	2	R1-R2	m3/m	1.10	底部厚度
T	10.00	支撑高	m2/m	0.25	颈部厚度
H1/m	121.0	颈部高度	m1/m	0.35	顶部厚度
H2/m	161.3	总高	U ₀ /m/s	26	平均风速
Zn	48	支撑柱的个数	E/GPa	32.5	弹性模量
			μ	0.2	混凝土泊松比

参数列入表 1。结构采用四面体单元(约 18 万),底部支撑柱为固定约束,同时考虑自重,如图 4 和图 5 所示。

4.2 流体域计算模型

流体计算域为一个圆柱型域,其半径为冷却塔底部半径的 5 倍,即 5×62.0 m,高度为冷却塔总高的 3 倍,即 3×161.3 m。冷却塔处于流体计算域的中心,如图 6 所示。

流体入口计算边界条件采用式(6,7)所述的速度入口和湍流强度分布模型,其中 U₀ 为 26m/s,

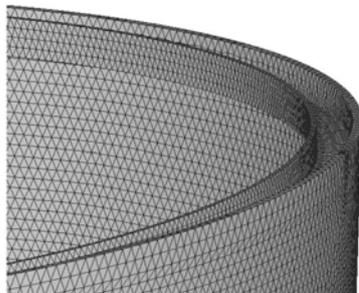


图 4 顶部加强环梁网格
Fig. 4 The top elements

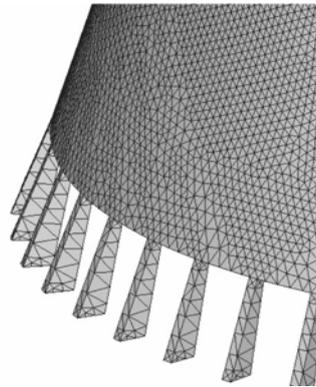
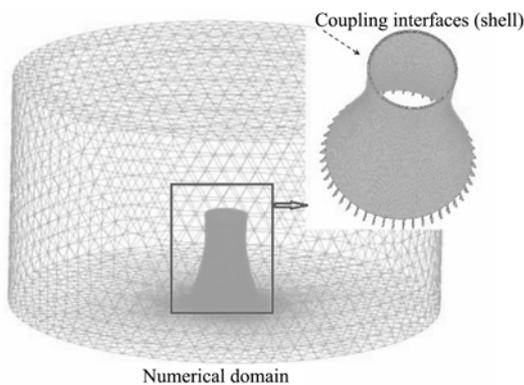
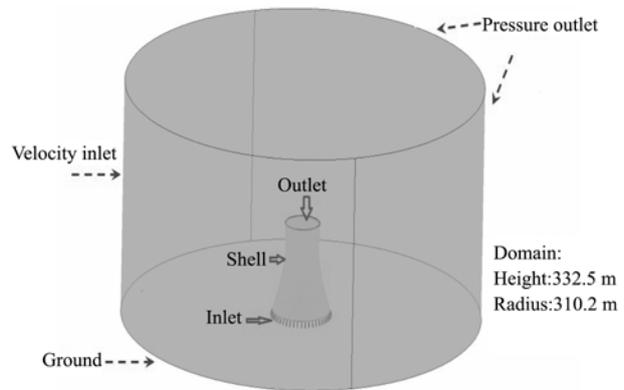


图 5 底部支撑网格
Fig. 5 The bottom elements



(a) 流体空气网格
(a) The grid of airflow



(b) 计算边界
(b) Boundary conditions

图 6 流体计算模型
Fig. 6 The fluid model

场地类型为 B 类,地面粗糙度为 0.16,在对冷却塔进行 CFD 分析时,由于 $k-\epsilon$ 模型能较好的模拟圆截面的流动,本文运用该计算模型,当计算单元数分别为 1251785 和 2195776 时,结构响应基本一致,因此流体域的单元采用前一种单元数,提高分析效率。此时塔体外表面网格大小尺寸为 1 m,考虑塔内空气流动,内部表面网格大小为 2 m。具体边界如图 6 所示。

5 结果对比分析

目前对于冷却塔内部的空气对结构影响的研究很少。根据冷却塔的工作状态分为干塔(淋雨层没有水流过)与湿塔(淋水层有水流过)。本文对三种计算方法和模型进行了对比分析:一种是本文提出的迭代分析模型;第二种刚性模型,将冷却塔作为刚性结构进行 CFD 分析,得到结构表面风压,然后再作用到结构上进行分析;第三种是基于规范方法对结构进行分析。后面两种模型都没有考虑结构变形对风载荷的影响。

5.1 壳体峰值响应对比

由表 2 塔体(壳体)结构的响应可以看出:迭代方法与规范方法计算的塔壁最大应力相对误差为 46%;整体结构的最大压应力为底部最大压应力 3.50 MPa(规范结果为 4.63 MPa),相对误差为 24.4%,其他结果比较一致。迭代分析的结构响应迭代历程如图 7 所示,经过 5 次迭代结构响应基本收敛。如表 3 所示,从刚性模型与迭代分析模型对

表 2 迭代分析与规范分析的壳体峰值结果
Tab. 2 Comparison of the iterative method and code-based method

响应	具体描述	迭代模型	规范模型	误差 / %
最大位移 (D _{MAX})	数值 / m	0.020	0.021	4.8
	相对高度	0.791	0.719	10
	发生角度	0	0	0
最大拉应力 (ZS ₁)	数值 / MPa	3.100	3.370	8.0
	相对高度	0.344	0.591	41.8
	发生角度	0	0	0
最大压应力 (ZS ₃)	数值 / MPa	0.416	0.770	46.0
	相对高度	0.789	0.785	0.5
	发生角度 / 度	9.053	0	/

* 误差 = | 迭代模型 - 规范模型 | / 规范模型

表 3 迭代模型结果与刚性模型结果比较
Tab. 3 Comparison of the iterative method and rigid model

结构极值	迭代模型	刚体模型	误差 %
壳体最大拉应力 / MPa	3.10	2.87	8.0
壳体最大压应力 / MPa	0.416	0.344	20.9
底部最大拉应力 / MPa	34.0	31.3	8.6
底部最大压应力 / MPa	3.50	3.35	4.5
结构最大位移 / m	0.020	0.016	25

* 误差 = | 迭代模型 - 刚体模型 | / 刚体模型

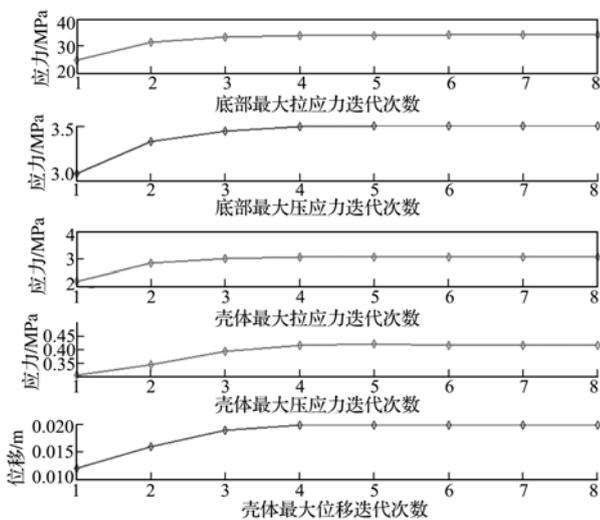


图 7 迭代历程

Fig. 7 The iterative history

比可以看出,两者的极值响应有差别,特别是位移相对误差达到 25%。因此有必要考虑结构变形对风压的影响,进行迭代分析。

5.2 冷却塔的径向位移

比较图 8 ~ 图 11 可以看出,三种计算方法都说明结构在颈部变形最大,整体趋势一致。但迭代法在 90° 迎风角到 180° 迎风角差异较大,关于产生差异的原因将在后面进一步讨论。

5.3 不同风速下冷却塔的响应

如图 12 ~ 图 15 所示,对不同风速下塔体结构在迭代分析与规范分析结果比较可以看出,规范分

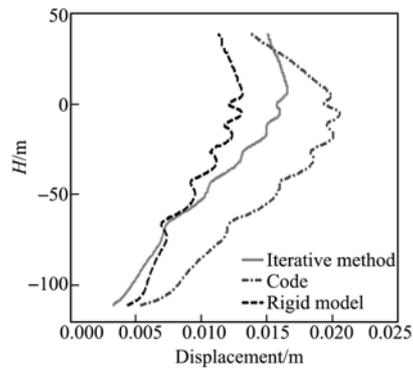


图 8 0° 迎风角的位移

Fig. 8 Displacement vs. height at 0° windward angle

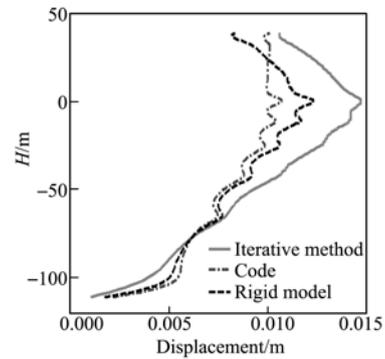


图 9 90° 迎风角的位移

Fig. 9 Displacement vs. height at 90° windward angle

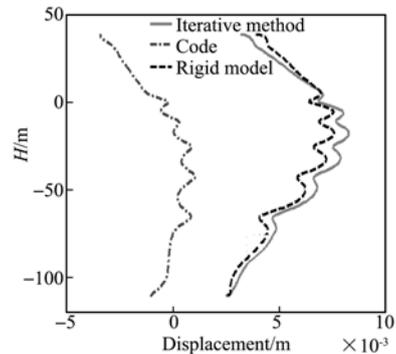


图 10 180° 迎风角的位移

Fig. 10 Displacement vs. height at 180° windward angle

析的结果比迭代分析的结果大,并且随着风速增大,两者的差别也增大,在相同风速下最大位移的相对误差小于最大拉应力的相对误差。在强风作用下(风速大于 20 m/s)迭代分析的最大拉应力发生

的位置要低于规范计算的位置,最大压应力则相反,总体上规范计算结果偏保守。

5.4 冷却塔的流场分析

图 16 ~ 图 18 为在 0°(顺风向)的对称面上的风场速度与风压分布图,在塔体出口处与塔体内部,在强风作用下表现出复杂的流动状态,容易出

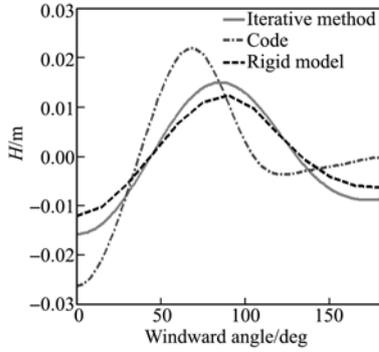


图 11 颈部径向位移
Fig. 11 Displacement of throat

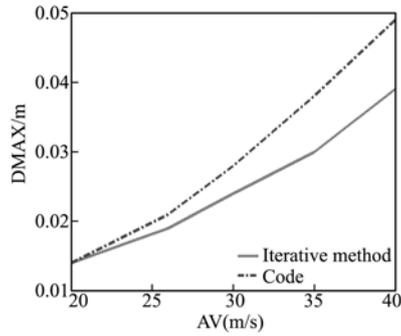


图 12 最大位移 DMAX 与风速
Fig. 12 Wind speed vs. DMAX

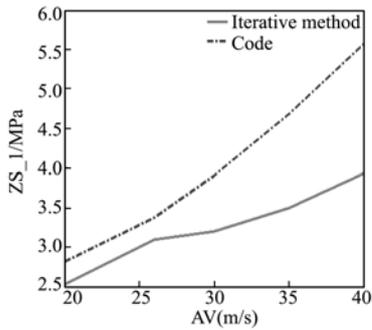


图 13 最大拉应力与风速
Fig. 13 Wind speed vs. ZS_1

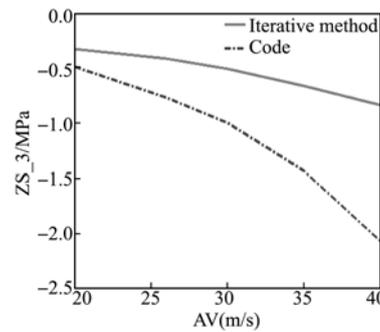


图 14 最大压应力与风速
Fig. 14 Wind speed vs. ZS_3

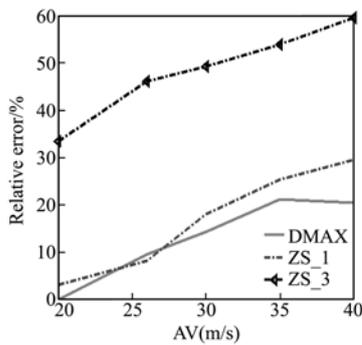


图 15 相对误差
Fig. 15 Relative error

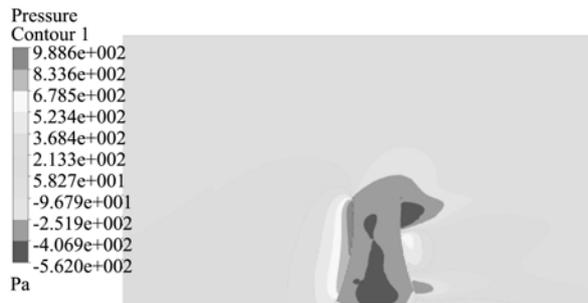


图 16 风场压力分布图
Fig. 16 The pressure in steamwise direction

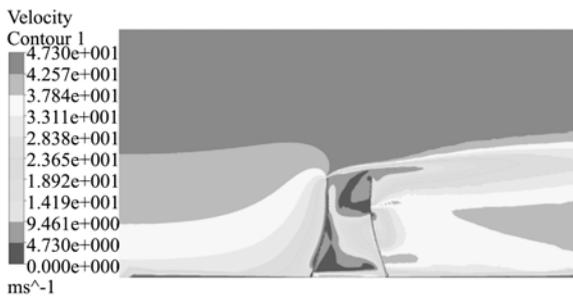


图 17 风场速度分布图
Fig. 17 The speed in steamwise direction

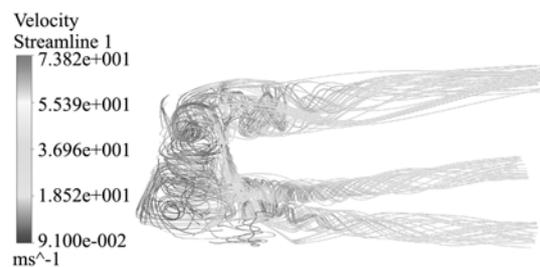


图 18 塔体迹线图
Fig. 18 The track from the surfaces of tower

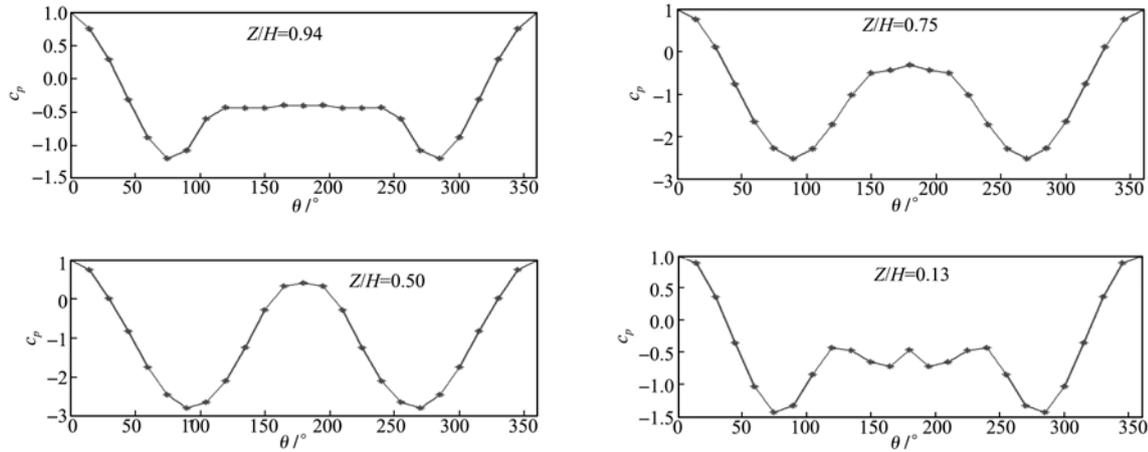


图 19 各个高度处外表面风压系数沿圆周角的分布
Fig. 19 Variation of surface wind pressure coefficient with azimuth at various height

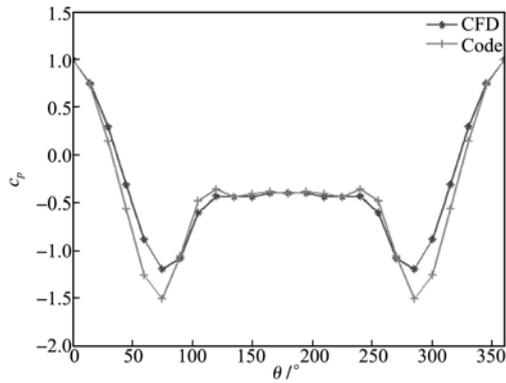


图 20 145 m 处 CFD 与规范风压系数对比
Fig. 20 Comparison between CFD and code data at 145 m

现湍流漩涡。

5.5 压力分布与规范压力的比较

如前所述,在塔的顶端和底部背风区域出现比较强烈的湍流现象,使得该区域的风压趋于均匀,如图 19 ~ 图 21 所示,靠近结构顶部和底部风压系数相对大小比较一致的区域(即曲线中间较平的一段)比较大,这种现象与文献[17]所计算的较一致。如图 21 所示,相应的风压系数在颈部附近达到最大(颈部相对高度 0.75)。例如,考察背风区域负压区充分发展的高度(145 m)处的风压分布与规范进行比较,如图 20 所示,整体比较一致,只是在 ±90° 附近有些差异。但是如图 19 所示,不同高度处的风压系数是不同的。

综上,迭代计算结果与规范结果存在不同程度的差别,其原因主要是:(1) 规范的计算公式中的 C_p 是沿高度不变,而事实并非如此;(2) 规范中背风处(180°)的风压系数是相等的,而分析结果表明(图 21)该处的风压并不相同;(3) 另一方面 CFD 本身的湍流模型理论有误差;(4) 风洞试验和实验的模型的粗糙度与 CFD 中的可能不一致,导致分

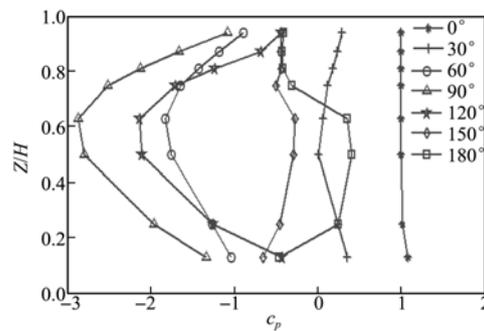


图 21 各个圆周角下外表面风压系数 c_p 沿高度分布
Fig. 21 Variation of surface c_p with height at various azimuth
离点的变化。

6 淋水层对塔体结构响应的影响

淋水层是冷却塔主要部件之一,主要用来热工业废水与空气进行热交换,淋水材料的阻力可以用下式表示^[18]:

$$\frac{\Delta P}{\gamma_a} = A_p v^M \quad (8)$$

式中 ΔP 为填料的阻力 N/m^2 , γ_a 为空气的比重 N/m^3 , v 为通过填料的风速 m/s 。填料的阻力和填料的形状、风速和淋水密度有关, A_p 和 M 可以用式(9)计算。

$$\begin{aligned} A_p &= A_1 q^2 + A_2 q + A_3 \\ M_p &= M_1 q^2 + M_2 q + M_3 \end{aligned} \quad (9)$$

式中 q 为淋水密度,其他的参数为填料参数,本文计算采用的是双斜波材料,高度为 1.5 m,片距为 30 mm,则式(9)具体为

$$\begin{aligned} A_p &= 2.78 \times 10^{-2} q^2 + 0.877 \\ M_p &= 3 \times 10^{-4} q^2 - 1.11 \times 10^{-2} q + 2 \end{aligned} \quad (10)$$

式中 $q = 15 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 。

在研究湿塔的时候,淋水层对空气的影响采用

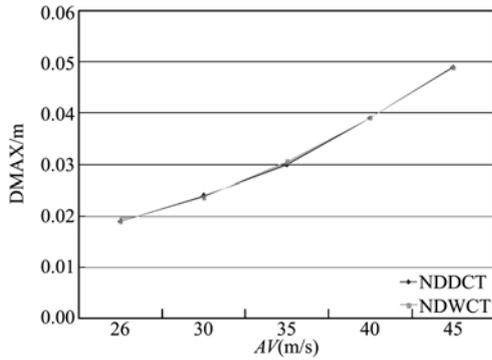


图 22 最大位移 DMAX 与平均风速
Fig. 22 DMAX vs. AV

Darcy 定律进行计算为

$$-\frac{\partial p}{\partial x_i} = \frac{\mu}{k_p} U_i + k_l \frac{\rho}{2} |U| U_i \quad (11)$$

式中 μ 为动力粘性系数, k_p 为渗透率, k_l 为实验损失系数。

由图 22 和图 23 可以看出, 在干塔与湿塔的情况下, 结构的最大位移和最大拉应力基本相同, 其他的结构峰值响应也有类似的规律。说明冷却塔内部气流的改变, 对结构的峰值响应没有明显的影响, 外部气流对结构的影响占主导作用。

7 结 论

本文运用 CFD 与有限元相互迭代方法对大型冷却塔进行分析, 得到结构响应和流场特性, 并与规范结构进行对比分析, 结果表明: (1) 规范方法计算结果大于迭代方法, 并随着平均风速的增大, 差别也增大, 同时 CFD 刚体模型与迭代模型也存在一定的误差, 特别是结构位移; (2) 冷却塔淋水材料的空气阻力作用对结构峰值响应的影响甚微, 塔外空气流动对塔体结构起控制作用, 但是淋水层对空气流动的影响直接影响冷却塔的冷却效果; (3) 塔体结构在颈部附近变形最大, 除底部区域(支柱与底部环梁交界处)外, 壳体压应力也在颈部稍低的地方达到最大, 但是最大拉应力发生在相对高度 0.35 左右的地方; (4) 在塔体顶部出口和底部背风处, 容易出现复杂的强烈的湍流现象, 塔的中心区域压力最低也有漩涡现象; (5) 规范得到的压力系数与迭代计算结果有一定差异, 规范方法无法体现迭代计算时出现的压力系数随高度的变化。

参考文献 (References):

[1] Busch D, Harte R, Krätzig W B, Montag U. New natural draft cooling tower of 200m of height [J].

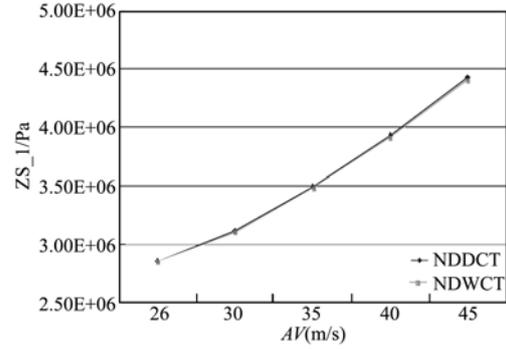


图 23 最大拉应力 ZS_1 与风速 AV
Fig. 23 ZS_1 vs. AV

Engineering Structures, 2002, **24**:1509-1521.

- [2] 武际可. 大型冷却塔结构分析的回顾与展望[J]. 力学与实践, 1996, **18**(6): 1-5. (WU Ji-ke. Retrospect and prospect about structural analysis of large cooling tower [J]. *Mechanics in Engineering*, 1996, **18**(6): 1-5. (in Chinese))
- [3] Chen W F, Eric M L. *Handbook of Structural Engineering* [M]. CRC Press, Boca Raton New York, 2005.
- [4] Noh H C. Nonlinear behavior and ultimate load bearing capacity of reinforced concrete natural draught cooling tower shell [J]. *Engineering Structures*, 2006, **28**: 399-410.
- [5] Waszczyszyn Z, Pabisek E, Pamin J, Radwan' ska M. Nonlinear analysis of a RC cooling tower with geometrical imperfections and a technological cut-out [J]. *Engineering Structures*, 2000, **22**: 480-489.
- [6] Jurkiewicz B, Destrebecq J F, Vergne A. Incremental analysis of time-dependent effects in composite Structures [J]. *Computers and Structures*, 1999, **73**: 425-435.
- [7] Viladkar M N, Karisiddappa P, Bhargava P N, Godbole. Static soil-structure interaction response of hyperbolic cooling towers to symmetrical wind loads [J]. *Engineering Structures*, 2006, **28**: 1236-1251.
- [8] Noorzaei J, Ali Naghshineh, Abdul Kadir M R, Thanoon W A, Jaafar M S. Nonlinear interactive analysis of cooling tower-foundation-soil interaction under unsymmetrical wind load [J]. *Thin-Walled Structures*, 2006, **44**: 997-1005.
- [9] 李佳颖, 任春玲, 黄志龙. 自然通风冷却塔的试验与有限元分析[J]. 力学季刊, 2007, **3**(28): 443-447. (LI Jia-ying, REN Chun-ling, HUANG Zhi-long. Experiment study and finite element analysis of a natural draft cooling tower [J]. *Chinese Quarterly of Mechanics*, 2007, **3**(28): 443-447. (in Chinese))

- [10] 建筑结构荷载规范[M]. GB 50009-2001. (GB 50009-2001. *Load Code for the Design of Building Structures* [M]. China Architecture & Building Press, 2002. (in Chinese))
- [11] 工业循环水冷却设计规范[M]. GB/T 50102-2003. (GB/T 50102-2003. *Code for Design of Cooling for Industrial Recirculating Water* [M]. China Planning Press, 2003. (in Chinese))
- [12] AlWaked R, Behnia M. CFD simulation of wet cooling towers [J]. *Applied Thermal Engineering*, 2006, **26**:382-395.
- [13] 陶文铨. 数值传热学[M]. 西安:西安交通大学出版社, 2001.
- [14] 徐 枫, 欧进萍. 低雷诺数下弹性圆柱体涡激振动及影响参数分析[J]. 计算力学学报, 2009, **26**(5): 613-619. (XU Feng, OU Jin-ping. Analysis of vortex induced vibration of an elastic cylinder and influence parameters at low Reynolds number[J]. *Chinese Journal of Computational Mechanics*, 2009, **26**(5): 613-619. (in Chinese))
- [15] Karisiddappa, Viladkar M N, Godbole P N, Krishna P. Finite element analysis of column supported hyperbolic cooling towers using semi-loof shell and beam elements[J]. *Int J Eng Struct*, 1998, **20**(1-2): 75-85.
- [16] Architectural Institute of Japan. Recommendations for loads on building[S]. Architectural Institute of Japan, Tokyo, 1996.
- [17] 鲍侃袁, 沈国辉, 孙炳楠. 大型双曲冷却塔平均风荷载的数值模拟研究[J]. 空气动力学学报, 2009, **27**(6): 650-655. (BAO Kan-yuan, SHEN Guo-hui, SUN Bing-nan. Numerical simulation of mean wind load on large hyperbolic cooling tower[J]. *Acta Aerodynamica Sinica*, 2009, **27**(6): 650-655. (in Chinese))
- [18] 赵顺安. 海水冷却塔[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2006:58-62. (ZHAO Shun-an. *Salt Water Cooling Tower* [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2006:58-62. (in Chinese))

Wind-resistant analysis of large-scale cooling tower based on the iterative method

LI Gang^{*1}, CAO Wen-bin¹, ZHANG Yong-jun²

(1. Department of Engineering Mechanics, State Key Laboratory of Structural Analysis for Industrial Equipment, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China;

2. Dalian Construction Holding Co. Ltd., Dalian 116021, China)

Abstract: At present, when computing the wind-induced response of the large-scale cooling tower, the obtained wind pressure distribution is imposed on the tower structure to perform structural analysis, and the variety of wind load caused by the deformation of cooling tower is not considered, which may result in some error. In this paper, the analysis of wind-induced responses of the large cooling tower based on the iterative method is studied, in which the advantages of computational fluid dynamics (CFD) and finite element method (FEM) are combined in order to improve the accuracy, and the influence of the air inside the tower and the water distribution system on the structural response is discussed. The comparative study between results obtained from the code regulations and the proposed iterative method is conducted, their difference becomes larger with the increment of the average wind speed.

Key words: large-scale cooling tower; wind-resistant analysis; computational fluid dynamics; code