

文章编号:1673-2049(2009)03-0055-04

大型冷却塔环基受力性能的影响因素分析

柯世堂¹, 赵林¹, 葛耀君¹, 高玲²

(1. 同济大学 土木工程防灾国家重点实验室, 上海 200092; 2. 华东电力设计院, 上海 200063)

摘要:以某大型冷却塔结构为例,建立考虑地基土影响的三维有限元分析模型,讨论了不同地基土条件、地基刚度变化、塔筒开孔大小及位置对冷却塔环基受力性能的影响。分析结果表明:桩基上冷却塔的基频小于岩基上冷却塔的基频,并且某些整体振型会提前被激发出来;环基轴力主要受径向刚度和环向弯曲刚度影响,其变化和径向刚度变化成反比,和环向弯曲刚度变化成正比,并且开始时增幅较大,随着弯曲刚度继续增大,其增幅变小;径向弯矩由环向弯曲刚度控制,其变化趋势和环基轴力正好相反;开孔会使竖向弯矩增大,并且随着孔洞直径增大而变大。

关键词:大型冷却塔;地基;刚度变化;环基内力;环基位移

中图分类号:TU991.42 **文献标志码:**A

Analysis of Influencing Factors of Mechanics Performance of Hoop Base for Large Cooling Towers

KE Shi-tang¹, ZHAO Lin¹, GE Yao-jun¹, GAO Ling²

(1. State Key Laboratory for Disaster Reduction in Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. East China Electric Power Design Institute, Shanghai 200063, China)

Abstract: Taking the large cooling tower as an example, the 3-D finite element analysis model considered the influence of subgrade soil was established. The influencing factors of mechanics performance of hoop base for large cooling powers, such as different subgrade soil conditions, the variety of base stiffness as well as the size and position of open hole were discussed. The analytical results show that the basic frequency of the pile foundation is less than the basic frequency of rock foundation for cooling powers, and the whole vibration modes will be excited. Meanwhile, the axis forces are mainly influenced by radial stiffness and hoop-bending stiffness, and the variety is inverse ratio with the radial stiffness, and is direct ratio with hoop bending stiffness, the amplitude is greater at the beginning, and then diminishes with the augment of bending stiffness. Finally, the radial moment value is controlled by hoop bending stiffness, and its variation tendency is opposite with the axis force, at the same time, the open hole will cause the augment of the vertical moment value, which is increased with the augment of diameter of the hole.

Key words: large cooling tower; subgrade; variety of stiffness; internal force of hoop base; displacement of hoop base

收稿日期:2009-04-20

基金项目:国家自然科学基金重大研究计划项目(90715039);科技部重大科技项目(2008ZX06004-001)

作者简介:柯世堂(1982-),男,安徽池州人,工学博士研究生,E-mail:keshitang@163.com。

0 引言

近年来,由于中国电力事业的快速发展,一系列的大型冷却塔正在兴建,而大型冷却塔作为一种大跨度的空间薄壁高耸结构,风荷载与地震作用下的安全性历来受到工程界的高度重视。目前,中国针对冷却塔这一结构已展开了较为广泛的研究工作^[1-5],北京大学较早地对冷却塔的实测风压分布和风致振动试验进行了相关研究,同济大学对超大型冷却塔的风荷载特性和风致干扰效应在风洞试验中进行了比较全面的研究,浙江大学采用计算流体力学(CFD)方法对冷却塔进行了风荷载模拟以及抗震模型试验和分析,还有其他研究机构和人员也进行了一定的研究,得出了一些有意义的结论。

冷却塔主要由塔筒、人字柱和环基三大主体结构构成。塔筒主要承受自重、风荷载和地震作用,其通过人字柱将力传递到环基,环基是整个冷却塔结构最薄弱也是最重要的部分,很多冷却塔事故的发生都是因环基的受力过大或不均匀沉降引起的,而环基的受力程度和地基种类及环基刚度大小有着密切的关系,所以研究地基和环基的相互作用是有重要意义的。中国在这方面的研究几乎处于空白状态,鉴于此,本文中笔者以某大型冷却塔结构为例,定量地评价了不同地基土条件、地基刚度变化、塔筒开孔大小及开孔位置对于冷却塔环基受力性能的影响,得出了一些有价值的结论,对于此类工程的设计有一定的借鉴作用。

1 工程概况

某大型双曲线型现浇钢筋混凝土冷却塔塔高 167 m,已突破了现行《火力发电厂水工设计规范》(DL/T 5339—2006)^[6]和《工业循环水冷却设计规范》(GB/T 50102—2003)^[7]塔高 165 m 的限制,喉部标高 132 m,进风口标高 11.5 m,喉部半径 38.1 m,风筒壳体采用分段等厚,最小厚度 0.26 m,最大厚度 1.20 m。冷却塔风筒由 52 对人字柱与环基连接,人字柱采用 $\Phi 1\ 000$ 预制或现浇钢筋混凝土结构。环基为现浇钢筋混凝土结构,宽度 7.5 m,厚度 2.5 m,人字柱中心线与环基顶面交点处半径为 67.337 m。冷却塔环基下设置 $\Phi 800$ 钻孔灌注桩 312 根。

为了研究地基土成分对环基受力性能的影响,考虑岩基和桩基 2 种方案进行分析。根据地基土的地质条件设置 2 种基础的分析参数,见表 1。

表 1 不同地基土条件下的等效刚度设置

Tab. 1 Equivalent Stiffness Settings Under

Different Subgrade Soils $10^6 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$

环基类型	径向刚度	环向刚度	竖向刚度	径向弯曲刚度	环向弯曲刚度	竖向弯曲刚度
桩基	0.38	0.50	3.04	2.96	15.14	2.60
岩基	0.72	0.72	42.01	1.37	197.00	0.00

2 计算模型

采用通用有限元计算程序建模,冷却塔塔壁离散为空间壳单元 Shell63,下部环基及与环基连接的 52 对人字柱采用空间梁单元 Beam188 模拟,环基划分为 104 段,基底 312 根桩基础采用空间弹簧单元 Combin14 模拟,弹簧单元一端与环基刚性连接,另一端固结约束。模型的整体和局部单元连接如图 1 所示。

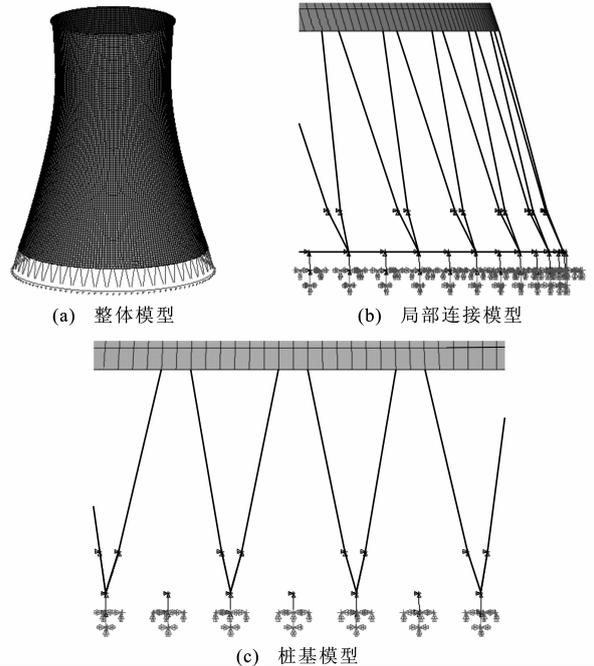


图 1 冷却塔结构模型

Fig. 1 Models of Cooling Tower Structures

3 参数分析

为了研究主要参数设置对冷却塔环基受力性能的影响,先对冷却塔在桩基和岩基上的整体动力特性和环基受力进行分析,然后改变环基 6 个方向的等效刚度,分析其对环基受力的影响,最后对比在塔筒开孔后的环基受力性能。通过参数分析找出影响环基受力最敏感的参数,优化冷却塔的设计。

3.1 桩基和岩基

表 2 为冷却塔在桩基和岩基上前 8 阶结构整体

表 2 冷却塔动力特性对比

Tab. 2 Contrasts of Dynamical Characteristics of Cooling Towers

桩基				岩基			
阶次	频率/Hz	振型特点	振型图	阶次	频率/Hz	振型特点	振型图
1,2	0.707 33	4 个环向谐波 2 个竖向谐波		1,2	0.800 63	4 个环向谐波 2 个竖向谐波	
3,4	0.767 90	3 个环向谐波 1 个竖向谐波		3,4	0.810 24	5 个环向谐波 2 个竖向谐波	
5,6	0.847 66	5 个环向谐波 2 个竖向谐波		5,6	0.910 84	6 个环向谐波 2 个竖向谐波	
7,8	0.958 17	6 个环向谐波 2 个竖向谐波		7,8	0.976 43	3 个环向谐波 1 个竖向谐波	

频率和振型图。从表 2 可以看出,桩基上冷却塔的结构频率小于岩基上的结构频率,并且 3 个环向谐波、1 个竖向谐波的整体振型在桩基作用下提前发生在第 2 阶振型。分析其原因,是因为桩基刚度明显比岩基刚度小,致使结构整体频率降低 14.2% 左右,这可能会导致某些整体振型提前被激发出来。

3.2 环基刚度

通过改变环基 6 个方向的等效刚度,找出影响环基受力性能对应的敏感参数。图 2、3 为径向和竖向刚度、环向和竖向弯曲刚度改变时在自重作用下环基轴力、径向和竖向弯矩的变化。

从图 2、3 可以看出:径向刚度的改变对环基轴力的影响最大,其值随着径向刚度变大而减小,环基的径向和竖向弯矩基本没有变化;而对环基的径向弯矩影响最大的是环向弯曲刚度,随着环向弯曲刚度的增大,径向弯矩迅速减小,而后随着环向弯曲刚度的继续增大其增幅较小,环基轴力的变化趋势则和径向弯矩正好相反,随着环向弯曲刚度的增大,轴力迅速增加,接着增幅就比较小;随着上述 4 个参数的改变,竖向弯矩变化很不明显,为了找到关键参数,下面对塔筒进行开孔对比分析。

3.3 开孔影响

在相同地基刚度参数设置下,开孔和不开孔的冷却塔环基内力如表 3 所示。从表 3 可以看出,冷却塔塔筒开孔对环基的竖向弯矩影响最大,开孔后,环基的竖向弯矩明显增大,并且随着孔洞直径的增大而变大,而开孔对于轴力和径向弯矩的影响几乎可以忽略。分析其原因,开孔前,冷却塔筒体是对称

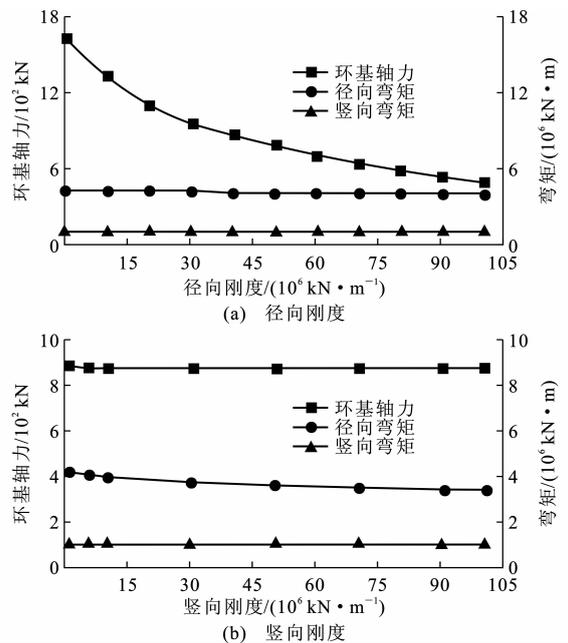


图 2 径向和竖向刚度变化下的环基内力

Fig. 2 Internal Forces of Hoop Base Under Variety of Radial and Vertical Stiffnesses

的旋转壳结构,环基在各个方向下的竖向弯矩相同,而开孔后破坏了壳体的对称性,使得环基的径向和环基内力发生变化,并且在开孔对应的角度下环基竖向弯矩增大,设计时应引起足够的重视。

4 结语

(1) 桩基上冷却塔的基频小于岩基上结构基频,并且某些整体振型会提前被激发出来。

(2) 环基轴力主要受径向刚度和环向弯曲刚度

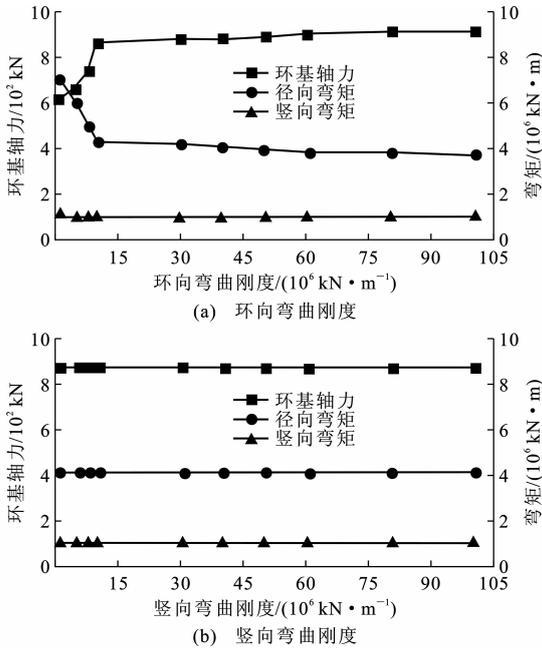


图3 弯曲刚度变化下的环基内力

Fig. 3 Internal Forces of Hoop Base Under Variety of Bending Stiffnesses

表3 开孔和不开孔的环基内力对比

Tab. 3 Comparisons of Internal Forces of Hoop Base with Open Hole and Without Open Hole

试验编号	开孔参数	环基内力		
		轴力/kN	径向弯矩/(kN·m)	竖向弯矩/(kN·m)
1	不开孔	661.7	201.7	99.3
2	开孔直径 6 m	661.7	203.4	116.6
3	开孔直径 10 m	661.9	207.1	156.4
4	开孔直径 15 m	662.3	212.4	184.8

影响,其变化和径向刚度变化成反比,和环向弯曲刚度变化成正比,并且在刚开始增幅较大,随着弯曲刚度继续增大,其增幅变小。

(3)开孔对于环基受力有影响的是竖向弯矩,开孔后,环基的竖向弯矩明显增大,并且随着孔洞直径的增大而变大。

(4)通过有限元计算研究了不同参数对于大型冷却塔环基受力性能的影响,总结了不同参数变化下环基的受力变化趋势。结果表明:大型冷却塔环基受力性能与若干参数相关,特别对于塔筒开孔的排烟冷却塔而言更需谨慎对待,而相应的规范在这

些方面有待商榷和补充规定,需要进一步展开相关研究。

参考文献:

References:

- [1] 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. Review and Expectation of Structure Analysis for Large Cooling Tower[J]. Mechanics in Engineering, 1996, 18(6): 1-5.
- [2] 赵林, 葛耀君, 曹丰产. 双曲薄壳冷却塔气弹模型的等效梁格设计方法和实验研究[J]. 振动工程学报, 2008, 21(1): 31-37.
ZHAO Lin, GE Yao-jun, CAO Feng-chan. Equivalent Beam-net Design Theory of Aero-elastic Model About Hyperbolic Thin-shell Cooling Towers and Its Experimental Investigation[J]. Journal of Vibration Engineering, 2008, 21(1): 31-37.
- [3] 赵林, 李鹏飞, 葛耀君. 等效静风荷载下超大型冷却塔受力性能分析[J]. 工程力学, 2008, 25(7): 79-86.
ZHAO Lin, LI Peng-fei, GE Yao-jun. Numerical Investigation on Performance of Super Large Cooling Towers Under Equivalent Static Wind Load[J]. Engineering Mechanics, 2008, 25(7): 79-86.
- [4] 刘若斐, 沈国辉, 孙炳楠. 大型冷却塔风荷载的数值模拟研究[J]. 工程力学, 2006, 23(增1): 177-183.
LIU Ruo-fei, SHEN Guo-hui, SUN Bing-nan. Numerical Simulation Study of Wind Load on Large Hyperbolic Cooling Tower[J]. Engineering Mechanics, 2006, 23(S1): 177-183.
- [5] 王铭, 黄志龙, 张丽强. 烟塔合一自然通风冷却塔的有限元分析[J]. 力学与实践, 2006, 28(4): 65-67.
WANG Ming, HUANG Zhi-long, ZHANG Li-qiang. Finite Element Analysis of a Natural Draft Cooling Tower with Flue Gas Inlets Integrated[J]. Mechanics in Engineering, 2006, 28(4): 65-67.
- [6] DL/T 5339—2006, 火力发电厂水工设计规范[S].
DL/T 5339—2006, Technical Specification for Hydraulic Design of Thermal Power Plant[S].
- [7] GB/T 50102—2003, 工业循环水冷却设计规范[S].
GB/T 50102—2003, Code for Design of Cooling for Industrial Recirculating Water[S].