

文章编号:1671-6833(2014)01-0051-04

600 MW 火电机组间接空冷塔流动换热特性数值研究

王为术, 张雨飞, 常娜娜

(华北水利水电大学 热能工程研究中心, 河南 郑州 450011)

摘要:采用 Fluent6.3 软件对 600 MW 超临界火电机组自然通风间接空冷塔流动和换热性能进行了数值模拟, 对不同的环境风速下空冷塔内流场特性和换热规律进行了研究. 研究表明, 空冷塔在风速为零的情况下流场较为稳定, 散热量和通风量最大, 随着风速的增大, 空冷塔内流场发生了较大的变化, 散热量和通风量都呈现下降趋势, 对间接空冷机组的运行产生不利影响. 研究结果为大型电站锅炉间接空冷塔的运行改造提供了理论依据.

关键词:环境风速; 空冷塔; 散热量; 数值模拟

中图分类号: TM614 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2014.01.012

0 引言

传统火电厂循环冷却水损耗大, 据统计, 600 MW 机组冷却塔水损失达 1 000 t/h, 我国以火电为主, 年耗水资源量巨大, 为适应国家火电西移布局 and 节约珍贵的水资源, 空冷技术被用于火电厂替代循环水冷却系统, 能节水约 65% ~ 90%^[1]. 间接空冷技术^[2]中凝汽器冷凝介质——循环水闭式循环, 在空冷塔底部四周设置散热器, 空气冷却循环水, 蒸发损失为零. 空冷塔是间接空冷系统中极其重要的设备, 其流动和换热性能对电厂的经济性和安全性有重要的影响^[3]. 空冷塔设备体积较大, 如果采用传统的试验方法, 投资成本高, 难度大, 影响因素多, 通常采用数值模拟方法进行性能的研究, 主要集中在塔内流场、塔外环境风影响和散热器性能等三方面. 唐革风^[4], 翟志强^[5], 宫婷婷^[6]和王晓华^[7]等分别研究了塔外横风、侧风对塔内流动和传热的影响; 王晓华^[7]还提出在背风侧设置挡风墙来优化塔内换热; 杨立军^[8-9]模拟了间接空冷系统空冷散热器的传热和运行特性; 卜永东^[10]对电站间接空冷系统的变工况性能进行了分析. 笔者采用 Fluent6.3 软件, 以 600 MW 超临界火电机组间接空冷塔为模拟对象, 研究在不同环境风速下空冷塔内流动和传热性能, 为大型间接空冷机组设计和运行提供理论依据.

1 研究对象及网格划分

1.1 模拟研究对象

模拟研究对象为 600 MW 火电机组自然通风间接空冷塔, 如图 1 所示. 空冷塔外形采用旋转双曲线形壳体, 塔体高 150 m, 出口直径 84.536 m, 喉部高度 140 m, 进风口高 26 m, 底部外围直径 134.544 m. 散热器采用翅片强化换热, 垂直布置在空冷塔底部四周.

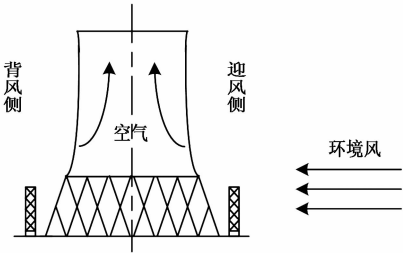


图 1 空冷塔示意

Fig. 1 Air-cooling tower

1.2 网格划分

利用 CFD 软件平台, 通过数值模拟方法对空冷塔内流动和换热特性进行研究. 空冷塔关于中心截面对称, 为便于计算, 选取几何模型的 1/2 进行研究. 散热器结构复杂, 为计算方便, 在数值建模的过程中将散热器简化为一个空心圆柱体. 利用 Gambit2.0 软件进行三维建模和网格划分, 采用结

收稿日期:2013-09-01; 修订日期:2013-11-09

基金项目:河南省教育厅自然科学研究计划资助项目(2011A470007)

作者简介:王为术(1972-), 男, 重庆开县人, 华北水利水电大学教授, 博士, 主要从事多相流动和传热方面的研究,
E-mail: wangweishu@ncwu.edu.cn.

构化六面体网格系统,并在空冷塔塔壁周围和散热器区域进行网格加密.空冷塔网格如图 2 所示.

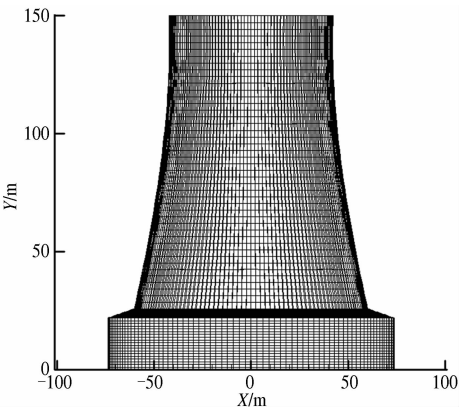


图 2 空冷塔网格

Fig. 2 The grid diagram of the air-cooling tower

2 数学模型

空冷塔入口和侧面均设置为速度入口,出口设置为压力出口,空冷塔的顶面和底面均设置为内部边界条件,其他均为固壁边界条件.湍流流动模型采用标准 $k-\varepsilon$ 双方程模型,控制方程求解采用 SIMPLE 算法,近壁面采用标准壁面函数法.空冷塔散热器的流动和传热性能采用 Fluent 中的散热器模型,模拟计算中忽略散热器的辐射换热.

用空冷塔散热量和通风量描述空冷塔宏观传热和流动性能,空冷塔散热量定义为通过空冷塔散热器交换的热量;通风量定义为通过散热器进入空冷塔内的空气流量.通过 Fluent 计算可以得到通过散热器的热流量 q ,则空冷塔的散热量计算公式为

$$Q_1 = qA. \tag{1}$$

式中: Q_1 为空冷塔的散热量, W; A 为散热器的面积, m^2 .

对于空冷散热器,由于能量守恒,冷空气吸收的热量和热流体放出的热量相等,通过散热器的空气流量可由热平衡方程式求得

$$Q_2 = c_a m_a \Delta t_a = c_w m_w \Delta t_w = Q_1. \tag{2}$$

式中: Q_2 为冷空气吸收的热量, W; c_a, c_w 分别为水和空气的比热容, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; m_a, m_w 分别为水和空气的质量流量, kg/s ; $\Delta t_a, \Delta t_w$ 分别为水和空气进口和出口的温度变化, K.

3 计算结果与分析

3.1 散热量和通风量

据统计,我国大部分地区常规平均风速不超

过 4 m/s,选取环境风速分别为 0, 2, 4, 6 和 8 m/s 等 5 种风速对空冷塔内流场和换热情况进行数值模拟,通过模拟计算,得到间接空冷塔在各工况下空冷塔的散热量和通风量,由于计算模型的对称性,散热器的散热量和通风量分别为计算结果的 2 倍.空冷塔散热量和通风量如图 3 和图 4 所示.从图中可以看出,在所研究的工况中,随着风速的增大,空冷塔的散热量和通风量都呈现下降趋势,对空冷电厂的运行产生不利影响.当风速为 8 m/s 时,相比 0 m/s 计算结果,其散热量下降了约 25%,通风量下降了约 45%.

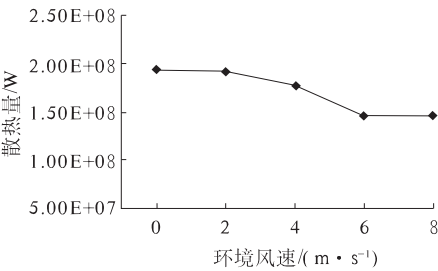


图 3 各工况空冷塔的散热量

Fig. 3 The heat dissipation of air-cooling tower under different working conditions

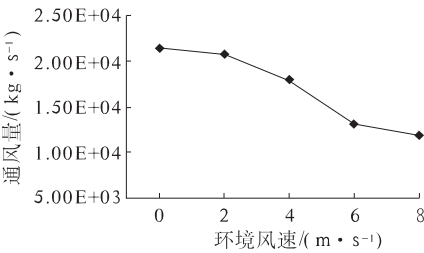


图 4 各工况空冷塔的通风量

Fig. 4 The ventilation quantity of air-cooling tower under different working conditions

从图中可以看出,风速从 4 m/s 到 6 m/s 时散热量和通风量降低最多,选取 0 m/s、4 m/s 和 6 m/s 3 个工况进行分析对比,3 种工况下空冷塔内的速度、温度和压力分布如图 5 ~ 7 所示,其中温度单位为 K,压力单位为 kPa.

3.2 无风时的情况

当环境风速为 0 m/s 时,空冷塔内的流动参数分布如图 5 所示.空气处于自然对流状态,是一种理想状况,从图中可以看出,空冷塔内流场分布均匀,空冷塔塔体底部的压强最小,驱使塔外的空气流经散热器进入到空冷塔内部,同时散热器与空气进行对流换热,使空气温度升高,达到了 298 K,相比环境温度为 289 K 时空气密度减小,与塔外的空气形成密度差造成塔内空气上浮运动,塔内中心气

流上升速度高于四周,进塔风速为 2 m/s.

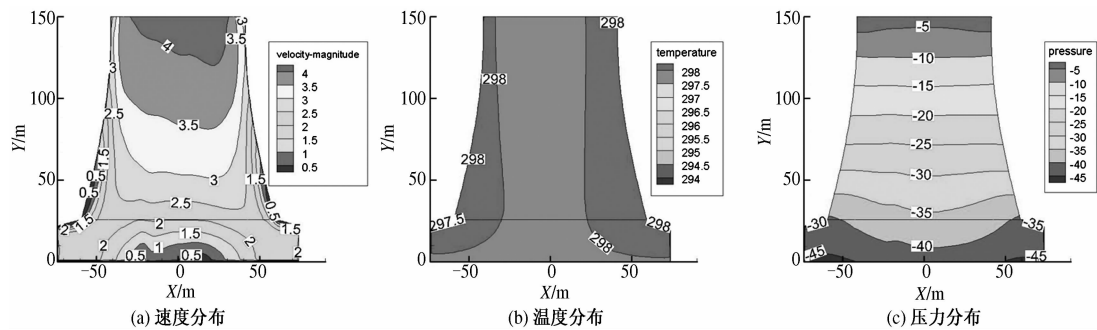


图 5 风速为 0 m/s 时空冷塔的参数分布

Fig. 5 The Parameter distribution of air-cooling tower under the condition of the wind velocity is 0 m/s

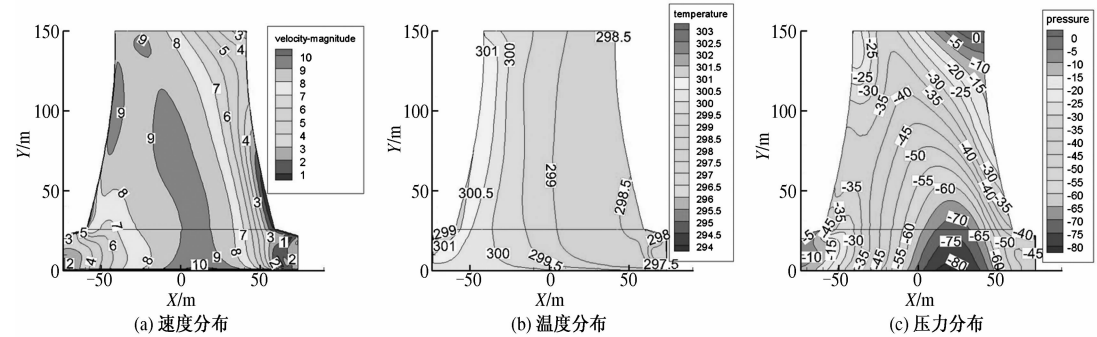


图 6 风速为 4 m/s 时空冷塔的参数分布

Fig. 6 The Parameter distribution of air-cooling tower under the condition of the wind velocity is 4 m/s

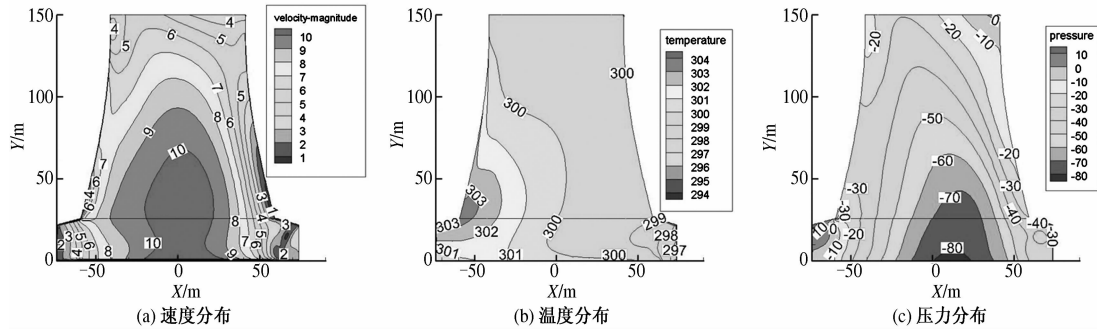


图 7 风速为 6 m/s 时空冷塔的参数分布

Fig. 7 The Parameter distribution of air-cooling tower under the condition of the wind velocity is 6 m/s

3.3 有环境风时的情况

当环境风速大于 0 m/s 时,空冷塔内的流动参数分布如图 6、7 所示. 由于环境风速随地面高度呈现指数分布,表明空冷塔对应的离地面高度越高,所对应的环境风速越大,由于风速的不均一性,使得塔内的速度、温度分布不像无风时呈现对称的现象.

当有环境风速存在时,空冷塔内流场及换热情况都随着环境风速的不同而发生变化. 在空冷塔的迎风侧,塔外散热器会对空气的流动产生相应的阻碍作用,造成空气速度降低,压力升高,空冷塔内外压差增大,随着环境风速的不断增大,空冷塔内外两侧的压差也随着逐渐增大,塔外冷空

气进入塔内的速度逐渐升高,从而造成迎风侧的换热量增加;在空冷塔的背风侧,随着环境风速的增大,塔外冷空气进入塔内的速度逐渐降低,使得背风侧的散热量下降.

空冷塔外围在来流下游产生了低压区,造成空气回流,影响空冷塔塔顶流体的运动,空冷塔塔顶敞口处,其下游的流体速度均比上游的大,这主要是因为塔内流体速度发生变化,对于塔顶敞口处上游流体,由于受到塔外上游来流的压制,改变了塔内流体原本的流动规律,降低了流动速度;而塔顶敞口处下游流体所受塔外上游来流的影响则相对较小. 但随着环境风速的增大,塔顶敞口处受到上游来流的压制就越强,大大降低了空冷塔通

风量,从而降低了散热器散热效果.这也可从塔内空气温度看出,随着环境风速的增大,塔内温度分布逐渐升高,在所研究的工况中,无风时塔内温度分布均匀,温度约为 298 K,而当环境风速达到 6 m/s 时,塔内最高温度达到了 303 K,塔内温度升高,说明换热效果不理想.

另外,由于空冷塔外围在来流下游产生低压区造成的空气回流,速度和温度在空冷塔顶部区域呈羽状流分布,且随着环境风速的增大,羽状流越受压制,同时在塔顶部区域形成明显回流,降低了空冷塔顶部出口速度,致使空冷塔通风量降低,同时也抑制了空冷塔散热效果.如在环境风速为 4 m/s 时,空冷塔顶部出口风速约为 8 m/s,而当环境风速为 6 m/s 时,空冷塔顶部出口风速约为 4 m/s.

4 结论

(1)当环境风速为零时,空冷塔内流场分布均匀,当有环境风速时,塔内流场发生了较大的变化.当风速达到一定程度时,空冷塔出口气流会与塔内壁出现壁面脱流,塔外冷风随涡流重新倒流回塔内,造成空冷塔通风量降低,散热量下降.

(2)空冷塔在无风的情况下散热量最大,在有环境风存在的情况下,空冷塔的散热量下降,且散热量随着环境风速的增大而逐渐减小,产生这种结果的主要原因是空冷塔背风侧的进塔风速随着迎风侧进塔风速的增大而明显减小,引起背风侧散热量降低所造成的.

参考文献:

- [1] 陈立军,米利俊,徐超,等.新形势下直接空冷和间接空冷的发展分析[J].电站系统工程,2010,26(6):5-6.
- [2] 温高.发电厂空冷技术[M].北京:中国电力出版社,2008.
- [3] 徐士民,白旭,蒋雪辉,等.发电厂空冷系统的特点和发展[J].汽轮机技术,2000,42(3):140-144.
- [4] 唐革风,苏铭德,符松.横向风影响下空冷塔内外流场的数值研究[J].空气动力学学报,1997,15(3):328-336.
- [5] 翟志强,唐革风,符松.横向风对自然通风干式冷却塔运行性能影响的实验与数值研究[J].热力发电,1997(3):3-7.
- [6] 宫婷婷.侧风对于间接空冷塔性能影响的实验研究及数值模拟[D].山东:山东大学能源与动力工程学院,2012.
- [7] 王晓华.侧风情况下空冷塔性能的数值模拟[D].天津:天津大学机械工程学院,2005.
- [8] 杨立军,杜小泽,杨勇平.间接空冷系统空冷散热器运行特性的数值模拟[J].动力工程,2008,28(4):594-599.
- [9] 杨立军,贾思宁,卜永东,等.电站间冷系统空冷散热器翅片管束流动传热性能的数值研究[J].中国电机工程学报,2012,32(32):50-57.
- [10] 卜永东,杨立军,杜小泽,等.电站空冷系统变工况性能的数值研究[J].中国电机工程学报,2012,32(35):66-73.

Numerical Simulation on the Flow Field and Heat Transfer Characteristics of Indirect Air-Cooling Tower in 600MW Supercritical Thermal Power Unit

WANG Wei-shu, ZHANG Yu-fei, CHANG Na-na

(Institute of Thermal Energy Engineering, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: The flow field characteristics and heat transfer of the natural ventilation indirect air-cooling tower in 600MW supercritical thermal power unit were numerically simulated by Fluent6.3 at different environment wind speeds. The results indicate that when the wind velocity is 0, the flow field is relatively stable. The heat dissipating capacity and the ventilation quantity are the largest in the air-cooling tower under this condition. With the increase of wind speed, large changes of the flow field inside the tower have taken place, at the same time, heat dissipation and ventilation quantity showed a trend of decline. It can cause an adverse impact on the operation of the indirect air-cooling units. The results provide a theoretical basis for the operation of indirect air-cooling tower in the large power plant unit.

Key words: environment wind speed; air-cooling tower; heat dissipating capacity; numerical simulation