

环境风对机械通风冷却塔冷却性能的影响

牛天淇

上海理工大学, 上海市动力工程多相流动与传热重点实验室, 上海
Email: 1037878875@qq.com

收稿日期: 2021年4月15日; 录用日期: 2021年5月14日; 发布日期: 2021年5月24日

摘要

通过对机械通风冷却塔进行数值模拟, 研究环境风速及风向对机械通风冷却塔冷却性能的影响。结果表明: 风速在0~16 m/s的范围内, 机械通风冷却塔的换热功率随风速的增大而增大; 风向角在0°~90°的范围内, 机械通风冷却塔的换热功率随风向角的增大而减小。

关键词

机械通风冷却塔, 冷却性能, 数值模拟, 风向角

Effect of Ambient Wind on Cooling Performance of Mechanical Ventilation Cooling Tower

Tianqi Niu

Shanghai Key Laboratory of Multiphase Flow and Heat Transfer in Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai
Email: 1037878875@qq.com

Received: Apr. 15th, 2021; accepted: May 14th, 2021; published: May 24th, 2021

Abstract

The influence of ambient wind speed and direction on the heat transfer power of mechanical ventilation cooling tower was studied by numerical simulation. The results show that the heat transfer power of mechanical ventilation cooling tower increases with the increase of wind speed in the range of 0~16 m/s. When the wind direction angle is in the range of 0°~90°, the heat transfer power of the mechanical ventilation cooling tower decreases with the increase of wind direction angle.

Keywords

Mechanical Ventilation Cooling Tower, Cooling Performance, Numerical Simulation, Wind Direction Angle

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国人均淡水资源较为缺乏, 仅为世界平均水平的四分之一。而我国的火力发电站的用水量极大, 严重影响居民生活用水。电站湿冷系统虽然散热效率高, 但用水量也极高, 是同规模空冷系统的 3~5 倍 [1]。所以采用空冷系统可以极大缓解当地用水紧张的情况。

国内外学者对空冷系统进行了大量研究。林闽城等 [2] 对空冷塔进行了数值模拟, 研究了不同风速下空冷塔的通风量和散热量, 结果发现: 无风时空冷塔的通风量和散热量最大。Al-Waked 等 [3] 对某 285 MW 机组空冷塔进行数值模拟, 结果发现: 当风速为 10 m/s 时, 换热量比无风时降低了 15%。张艾萍等 [4] 研究了挡风墙对空冷系统冷却性能的改善效果。王鉴 [5] 对机械通风空冷系统进行了数值模拟, 研究其冷却性能随风速的变化情况。李金刚等 [6] 分析了间接空冷系统发生冻结的原因, 并提出了改进方案和相关注意事项。

现有一 660 MW 机组的湿冷系统改造为空冷系统的方案, 由于湿冷塔内空间较小, 布置的空冷散热器无法满足冷却水所需的换热量, 所以在空冷塔四周布置额外的机力通风冷却塔(下称机力塔)以补充换热面积。本文对机力塔进行数值模拟, 研究环境风对其冷却性能的影响, 为今后研究及应用提供参考依据。

2. 计算模型

2.1. 几何模型和网格

某型机力塔的设计参数如表 1 所示。该机力塔单侧进风, 在进风口垂直布置 4 个冷却三角, 在顶部出风口处水平布置了轴流式引风机, 机力塔的三维模型如图 1 所示。整个计算域的长、宽、高分别为 225 m、100 m、100 m。采用四面体非结构网格, 网格数量为 150 万。风向用风向角来表示, 西风的风向角为 0°, 北风的风向角为 90°, 其示意图如图 2 所示。

Table 1. Mechanical tower design parameters

表 1. 机力塔设计参数

| 主要参数 | 单位 | 数值 |
|-----------------|----|---------------------|
| 机力塔离地面高度 | m | 13.60 |
| 风机离地面高度 | m | 36.86 |
| 机力塔迎风面宽度 | m | 11.70 |
| 风机直径 | m | 10.36 |
| 管束尺寸(长 × 宽 × 厚) | mm | 18,000 × 2560 × 136 |
| 单个机力塔内冷却三角数量 | 个 | 4 |
| 冷却水进出口平均温度 | °C | 54.53 |

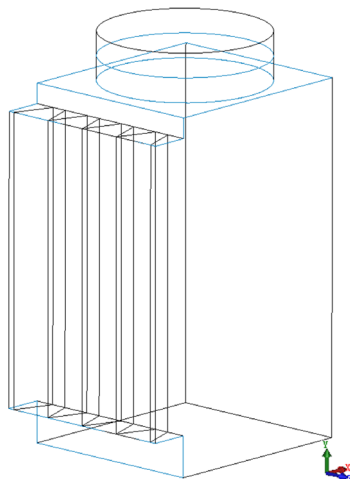


Figure 1. Three-dimensional model of mechanical tower
图 1. 机力塔三维模型

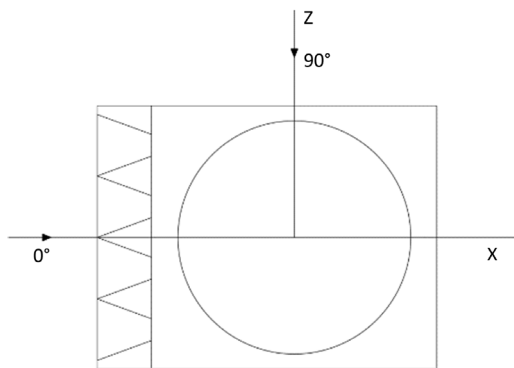


Figure 2. Schematic diagram of wind direction angle
图 2. 风向角示意图

2.2. 数值模型

计算域内的空气流动认为是不可压缩的定常流动，且涉及到热量交换，所以其满足的方程包含连续性方程、动量方程以及能量方程，如式(1)~(3)所示：

连续性方程：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0 \quad (1)$$

动量方程：

$$\rho \frac{D\vec{u}}{Dt} = -\nabla p + \mu \Delta \vec{u} + \rho \vec{f} \quad (2)$$

能量方程：

$$\rho \frac{D}{Dt} \left(e + \frac{1}{2} \vec{u} \cdot \vec{u} \right) = \nabla \cdot (\vec{\Sigma} \cdot \vec{u}) + \rho \vec{u} \cdot \vec{f} - \nabla \cdot \vec{q} \quad (3)$$

式中： ρ ——空气密度， kg/m^3 ； t ——时间， s ； \vec{u} ——速度矢量， m/s ； p ——压力， Pa ； μ ——动力粘度； \vec{f} ——单位质量力， m/s^2 ； e ——单位质量流体的内能， J/kg ； $\vec{\Sigma}$ ——应力张量， Pa 。

计算时考虑重力的影响,空气物性采用不可压缩理想气体;湍流模型采用标准 $k-\varepsilon$ 模型;采用 radiator 边界条件模拟散热器的换热及阻力特性;采用 fan 边界条件模拟风机的性能;其余各面均为 wall 边界条件。

3. 数值模拟结果分析

3.1. 环境风速对机力塔换热功率的影响

当环境温度为 15.5°C 时,机力塔换热功率随风速的变化曲线如图 3 所示,机力塔换热功率随风速的增大而增大,当风速为 16 m/s 时,机力塔的换热功率比无风时增大了 28.0% 。

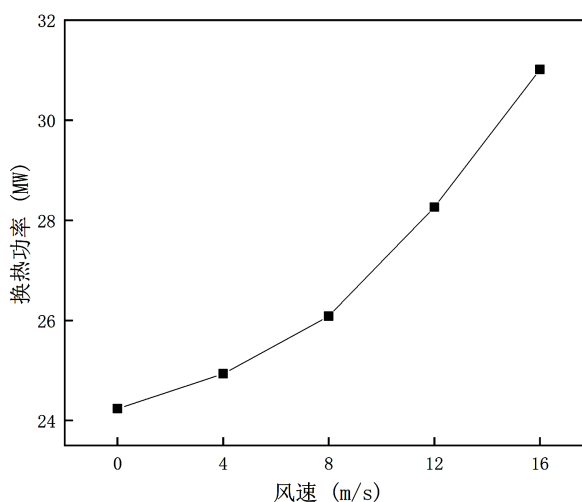


Figure 3. Curves of heat transfer power of timing force tower with wind direction Angle of 0° changing with wind speed
图 3. 风向角为 0° 时机力塔换热功率随风速的变化曲线

图 4 是风向角为 0° 时不同风速下 $z=0$ 截面(沿宽度方向的对称面)的速度矢量图,当风速为 0 时,机力塔迎面风速较低,出口气流无偏斜,随着风速增大,机力塔迎面风速也增大,受来流的影响,气流在机力塔出口处受到的阻力随着风速的增大而增大,所以出口气流的偏斜角度也随之增大。

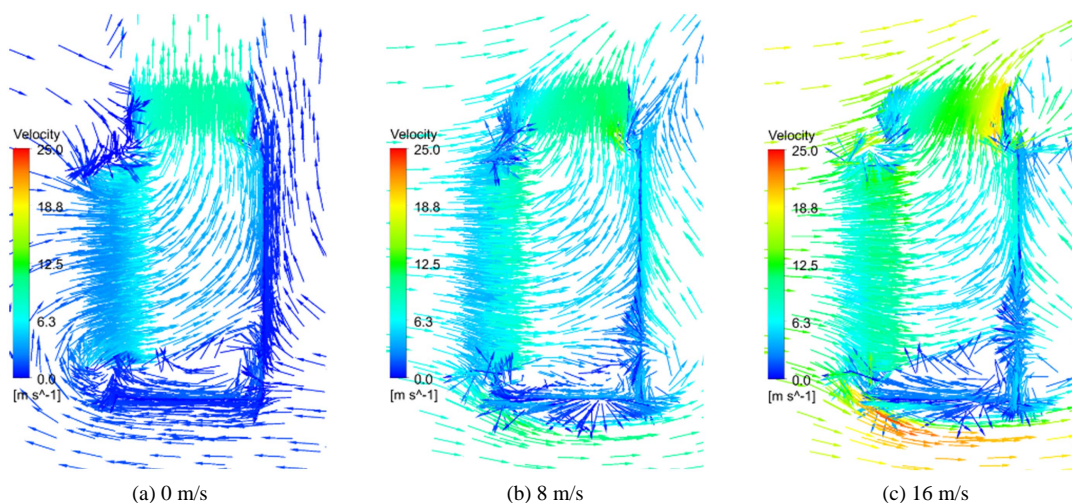


Figure 4. Velocity vector diagram of section $z=0$ when wind direction angle is 0°
图 4. 风向角为 0° 时 $z=0$ 截面的速度矢量图

3.2. 环境风向对机力塔换热功率的影响

各风速下机力塔换热功率随风向角的变化如图 5 所示，当风速为 0 时，不同风向角下机力塔换热功率基本相等；当风速为 8 m/s 时，机力塔的换热功率随风向角增大而降低，风向角由 0° 增大到 90° 时，机力塔的换热功率降低了 37.4%；当风速为 16 m/s 时，机力塔的换热功率随风向角增大而降低，且降幅更大，风向角由 0° 增大到 90° 时，机力塔的换热功率降低了 54.3%。

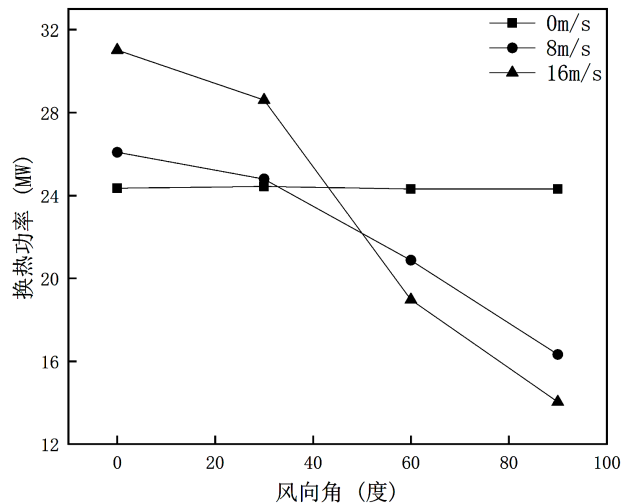
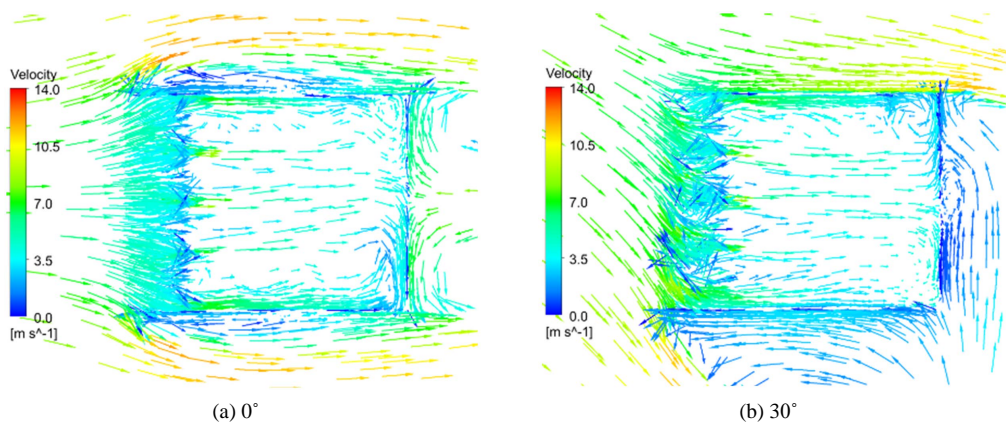


Figure 5. Curve of wind direction angle of heat transfer power
图 5. 换热功率随风向角的变化曲线

风速为 8 m/s 时，不同风向角在 $y = 25$ m 截面(散热器二分之一高处)的速度矢量图和压力云图如图 6 和图 7 所示，随着风向角增大，风向与机力塔迎风面的夹角越来越小，使得空气越来越难以进入机力塔；此外，当风向角增大到 60° 时，空气在遇到机力塔壁后，在最北侧的散热器附近产生了绕流区，且风向角越大，影响的散热器数量越多；如图 7(c)和图 7(d)所示，绕流区的压力随风向角的增大而降低，从而使得散热器空气进出口的压差越来越小，由于机力塔的进风靠风机的抽吸力和散热器两侧的压差共同作用，所以随着散热器两侧的压差越来越小，机力塔的进风量也越来越小，机力塔的换热功率也随之降低；当风向角大于 60° 时，机力塔内形成了明显的涡，使空气在塔内的流动阻力增大。

当风向角为 0° 时，最北侧散热器的换热功率占机力塔总换热功率的 25%，而当风向角增大到 90° 时，最北侧散热器的换热功率仅占总换热功率的 6%。风向角增大使得最北侧散热器冷却性能恶化严重。



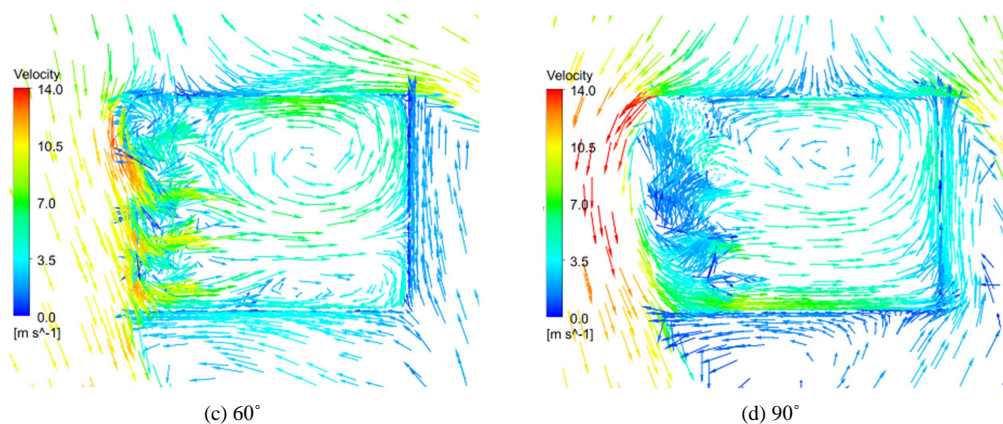


Figure 6. Velocity vector diagram of different wind direction angles at the section $y = 25$ m when wind speed was 8 m/s
图 6. 风速为 8 m/s 时不同风向角在 $y = 25$ m 截面的速度矢量图

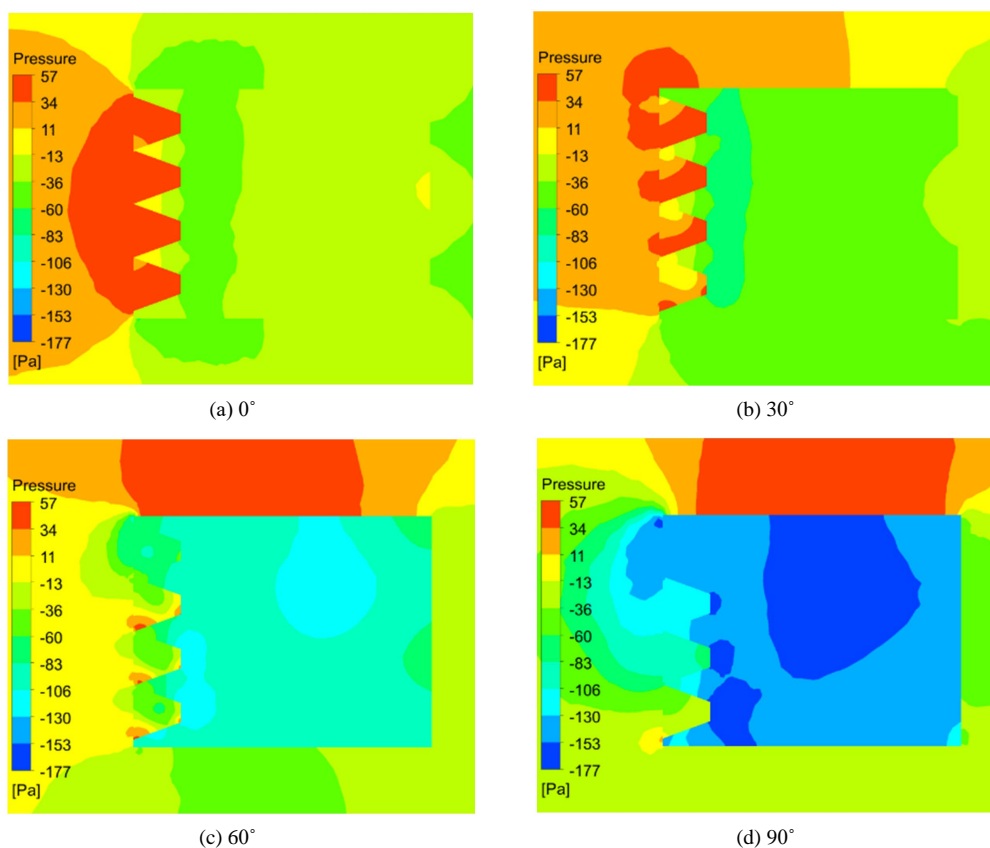


Figure 7. Stress nephogram of different wind direction angles at the section $y = 25$ m when wind speed was 8 m/s
图 7. 风速为 8 m/s 时不同风向角在 $y = 25$ m 截面的压力云图

4. 结论

对不同风速及风向角下的机力塔进行数值模拟得出以下结论:

- 1) 当风向角 0° 时, 机力塔的换热功率随风速的增大而增大, 风速为 16 m/s 时比无风时, 机力塔的换热功率增大了 28.0%;
- 2) 当风速为 0 时, 机力塔的换热功率随风向角的增大无明显变化;

3) 当风速为 8 m/s 和 16 m/s 时, 风向角由 0°增大到 90°, 机力塔的换热功率呈减小趋势, 分别减小了 37.4%和 54.3%。

参考文献

- [1] 王圣, 朱法华. 火电厂空冷机组水耗及煤耗性能分析[J]. 环境科学与管理, 2008(5): 46-48.
- [2] 林闽城, 华敏, 王林林, 宋涛. 不同环境风速下间接空冷塔性能的模拟分析[J]. 电站系统工程, 2020, 36(6): 5-7.
- [3] Al-Waked, R. and Behnia, M. (2005) The Effect of Windbreak Walls on the Thermal Performance of Natural Draft Dry Cooling Towers. *Heat Transfer Engineering*, **26**, 50-62. <https://doi.org/10.1080/01457630591003763>
- [4] 张艾萍, 卢贺, 毕帅. 挡风墙对小型间接空冷塔性能影响的数值模拟[J]. 热力发电, 2015(3): 110-114.
- [5] 王鉴. 机械通风空冷系统热力性能分析及设计[D]: [硕士学位论文]. 北京: 华北电力大学(北京), 2018.
- [6] 李金刚, 李亚中, 郭洪波, 王国珍. 海勒式间接空冷系统防冻改造及经济性分析[J]. 华电技术, 2014, 36(6): 40-44+78-79.