

文章编号: 1671-6612 (2021) 05-670-04

干燥地区管式间接蒸发空气冷却器的数值模拟

王芳¹ 武俊梅² 黄翔³

(1. 陕西国防工业职业技术学院 西安 710302;

2. 西安交通大学 西安 710049; 3. 西安工程大学 西安 710043)

【摘要】 针对管式间接蒸发空气冷却器的整体热工性能模拟的数学模型, 使用自编的 Fortran 语言计算程序, 选取典型干燥地区进行了数值模拟, 计算得出其最佳一、二次空气质量流量比, 换热管间距和管径。计算结果表明, 包头、赤峰、榆林、宝鸡、酒泉、乌鲁木齐、吐鲁番、克拉玛依地区最佳空气质量流量比为: 0.38、0.54、0.4、0.3、0.58、0.5; 最佳纵向管间距为: 吐鲁番地区 0.03m, 其余地区 0.035m; 最佳横向管间距均为 0.030m; 最佳换热管管径均为 0.02m。

【关键词】 管式间接空气蒸发冷却器; 干燥地区; 数值模拟
中图分类号 TU83 文献标识码 A

Numerical Simulation of Tubular Indirect Evaporative Air Cooler In Dry Area

Wang Fang¹ Wu Junmei² Huang Xiang²

(1. Shanxi Institute of Technology, Xi'an, 710302; 2. Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 710049;

3. Xi'an Polytechnic University, Xi'an, 710043)

【Abstract】 According to the mathematical model of the overall thermal performance simulation of the tubular indirect evaporative air cooler, using the FORTRAN language calculation program, the typical dry area is selected for numerical simulation, and the optimal primary and secondary air mass flow ratio, heat exchange tube spacing and diameter are calculated. The results show that the best air mass flow ratio in Baotou, Chifeng, Yulin, Baoji, Jiuquan, Urumqi, Turpan and Karamay areas is 0.38, 0.54, 0.4, 0.3, 0.58 and 0.5; the best longitudinal pipe spacing is 0.03 m in Turpan area and 0.035 m in other areas; the best transverse pipe spacing is 0.030 m; the best diameter is 0.02 m.

【Keywords】 tubular indirect evaporative air cooler; dry area; numerical simulation

0 引言

《公共建筑节能设计标准》(GB 50189-2015) 4.2.1.7 规定: 夏季室外空气设计露点温度较低的地区, 宜采用间接蒸发冷却冷水机组作为空调系统的冷源。

目前对各种间接蒸发冷却器传热、传质过程的数学模型都是在不同的假设条件下建立起来的, 多数模型是针对简化的微元控制容积建立的, 没有考虑换热器内流体的实际流动方向和传热面结

构^[1-3]。现有的一些管式间接蒸发冷却器的热工计算模型简化时的假设条件也各不相同, 多数不能将换热器作为整体进行模拟^[4,5]。

文献[6]在分析管式间接蒸发空气冷却器传热、传质过程各环节及其影响因素的基础上, 建立了针对管式间接蒸发空气冷却器的整体热工性能模拟的数学模型。基于模型中管外二次空气侧空气与水膜之间的传热、传质系数是影响模型精度的重要因素, 所以对管外二次空气侧空气与水膜之间的传

热、传质系数进行了广泛的分析, 将修正后的公式用于水平单管外蒸发传热、传质系数的计算, 文献[7]将计算结果与文献[8]中的实验数据进行了对比, 证明了所选模型的正确性。对所建立的热工模型采用下山单纯形法来求解。根据下山单纯形法求多元函数最小值的思想, 使用 Fortran 语言自编了的计算程序。文献[9, 10]用所编程序计算了一、二次空气流量、入口温、湿度以及换热器几何参数对管式间接蒸发空气冷却器冷却效率的影响, 对管式间接蒸发空气冷却器工作参数和几何参数进行了性能优化。本文通过以上计算程序, 将干燥地区的最佳空气质量流量比、最佳换热管间距、最佳管径进行优化确定。

1 干燥地区的一、二次空气最佳质量流量比

1.1 内蒙古、陕西地区一、二次空气最佳质量流量比

换热管管径 0.02m, 管长 1.5m, 纵向、横向管间距均为 0.035m, 二次空气流速 2.8m/s, 以上数值为定值时, 包头地区一、二次空气均为室外新风, 如图 1 所示, 包头、赤峰、榆林一次空气流速 3.0m/s, 换热效率最大。宝鸡地区, 一次空气流速 5.0m/s, 换热效率最大。

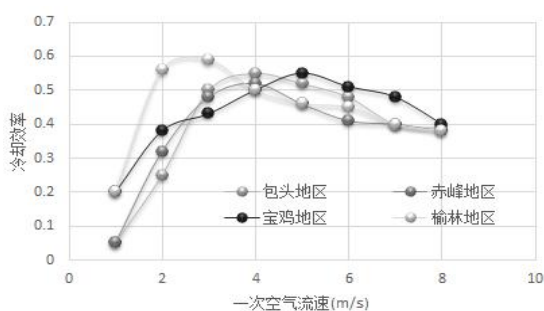


图 1 一次空气流速变化对换热效率的影响

Fig.1 The effect of the primary air velocity on the cooling efficiency

图 2 是包头、赤峰、榆林一次空气流速 3.0m/s, 宝鸡地区一次空气流速 5.0m/s, 计算出的换热效率随二次空气流速的变化关系图。可以看出, 包头、赤峰、榆林二次空气流速 2.0m/s (一、二次空气质量流量比 0.38 左右) 时, 冷却效率最大。宝鸡地区, 二次空气流速 2.0m/s (一、二次空气质量流量比 0.54 左右) 时, 冷却效率最大。

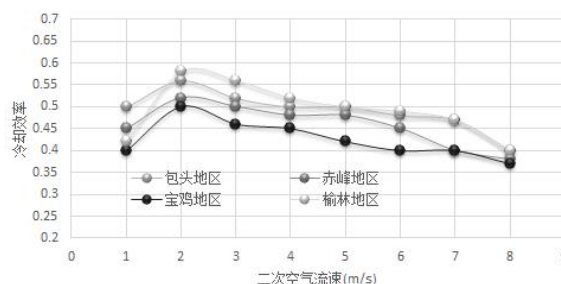


图 2 二次空气流速变化对换热效率的影响

Fig.2 The effects of the primary air heat convection coefficient on the cooling efficiency

1.2 甘肃、宁夏、新疆地区一、二次空气最佳质量流量比

换热管管径 0.02m, 管长 1.5m, 纵向、横向管间距均为 0.035m, 二次空气流速 2.8m/s, 以上数值为定值时, 一、二次空气均为室外新风, 图 3 所示, 酒泉、银川、乌鲁木齐一次空气流速 3.0m/s, 换热效率最大; 吐鲁番地区, 一次空气流速 5.0m/s, 换热效率最大; 克拉玛依一次空气流速 4.0m/s, 换热效率最大。

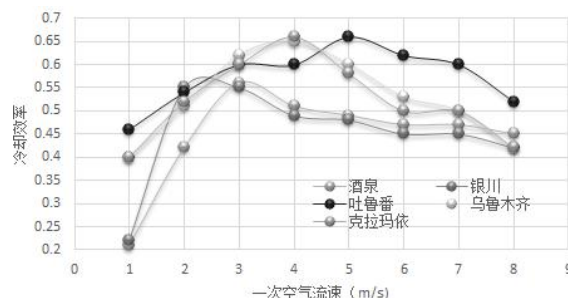


图 3 一次空气流速变化对换热效率的影响

Fig.3 The effect of the primary air velocity on the cooling efficiency

图 4 是酒泉、银川、乌鲁木齐一次空气流速 3.0m/s, 吐鲁番地区一次空气流速 5.0m/s, 克拉玛依一次空气流速 4.0m/s, 换热效率随二次空气流速的变化关系图。可以看出, 酒泉地区, 二次空气流速 2.0m/s (一、二次空气质量流量比在 0.4 左右) 时, 换热效率最大。乌鲁木齐地区, 二次空气流速 3.0m/s (一、二次空气质量流量比在 0.32 左右) 时, 换热效率最大; 吐鲁番地区, 二次空气流速 2.2m/s (一、二次空气质量流量比在 0.58 左右) 时, 换热效率最大; 克拉玛依地区, 二次空气流速 2.0m/s (一、二次空气质量流量比在 0.5 左右) 时, 换热效率最大。

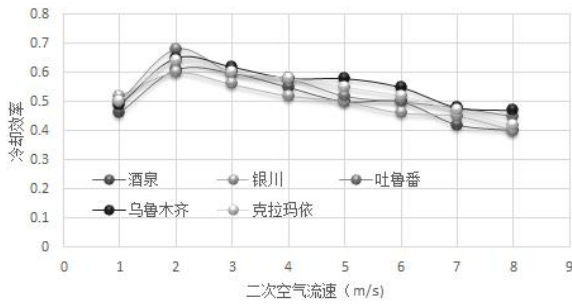


图4 二次空气流速变化对换热效率的影响

Fig.4 The effects of the primary air heat convection coefficient on the cooling efficiency

2 干燥地区最佳换热器管间距

2.1 内蒙古、陕西地区最佳换热管间距

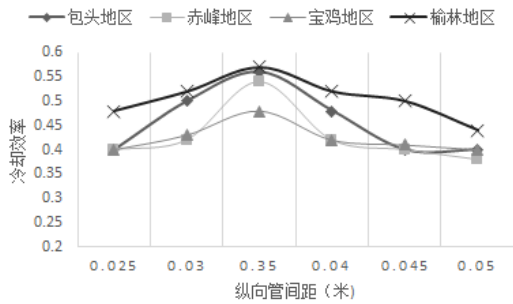


图5 纵向管间距对换热效率的影响

Fig.5 The effects of longitudinal tube spacing on the cooling efficiency

换热管管径 0.02m, 管长 1.5m, 二次空气均为室外新风, 二次空气速度均为 0.2m/s, 包头、赤峰、榆林一次空气流速 3.0m/s, 宝鸡地区一次空气流速 5.0m/s, 图 5 是换热效率随纵向管间距的变化关系图。可以看出, 各地区纵向管间距 0.035 m 时, 换热效率最大。

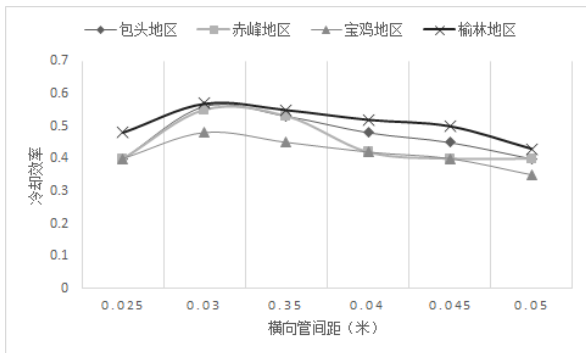


图6 横向管间距对换热效率的影响

Fig.6 The effects of horizontal tube spacing on the cooling efficiency

图 6 是纵向管间距 0.035m 时, 冷却效率随横向管间距的变化关系图。可以看出, 横向管间距 0.030m 时, 换热效率均为最大。

2.2 甘肃、宁夏、新疆地区最佳换热管间距

换热管管径 0.02m, 管长 1.5m, 一、二次空气均为室外新风, 二次空气速度 0.2m/s, 酒泉、银川、乌鲁木齐一次空气流速 3.0m/s, 吐鲁番地区一次空气流速 5.0m/s, 克拉玛依一次空气流速 4.0m/s, 图 7 是冷却效率随纵向管间距的变化关系图。可以看出, 吐鲁番地区纵向管间距 0.03 m, 其余地区纵向管间距 0.035m 时, 换热效率最大。

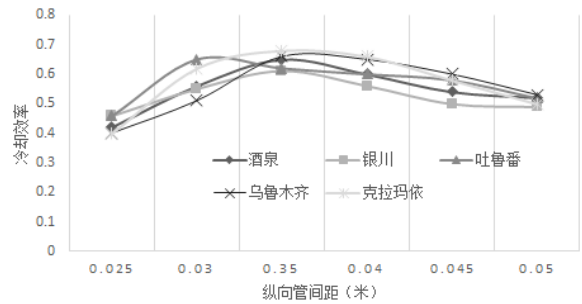


图7 纵向管间距对换热效率的影响

Fig.7 The effects of longitudinal tube spacing on the cooling efficiency

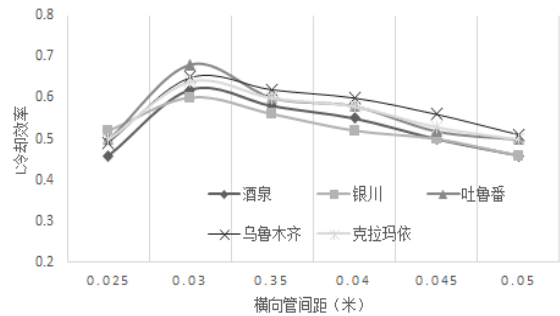


图8 横向管间距对换热效率的影响

Fig.8 The effects of horizontal tube spacing on the cooling efficiency

图 8 是吐鲁番地区纵向管间距 0.03m, 其余地区纵向管间距 0.035m 时, 冷却效率随横向管间距的变化关系图。可以看出, 横向管间距 0.030m 时, 换热效率均为最大。

3 干燥地区最佳换热器管管径

换热管管长为 1.5m, 横、纵向管间距均为最佳间距, 一、二次空气流速为最佳流速, 以上数值为定值时, 图 9 是包头、榆林、克拉玛依、银川地

区冷却效率随管径的变化关系图。可以看出,换热管管径为0.02m时,冷却效率均为最大。

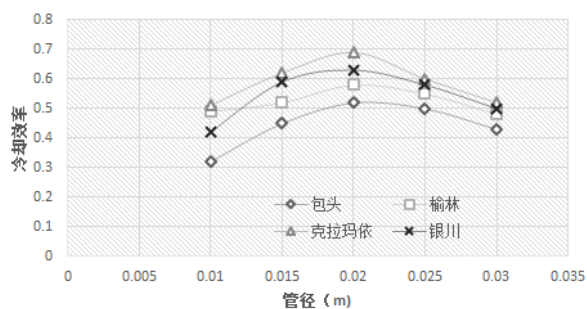


图9 换热管管径对换热效率的影响

Fig.9 The effects of heat exchange tube diameter on the cooling efficiency

4 结论

本文通过模拟计算,得到了管式间接蒸发空气冷却器用于不同干燥地区的最佳空气流速、最佳管间距和最佳管径。模拟结果表明:

(1) 不同干燥地区的一、二次空气质量流量比分别为:包头、赤峰、榆林地区0.38;宝鸡地区0.54,酒泉地区0.4,乌鲁木齐地区0.3,吐鲁番地区0.58,拉玛依地区0.5。

(2) 吐鲁番地区纵向管间距0.03m,其余地区纵向管间距0.035m时,换热效率最大。横向管间距0.030m时,换热效率均为最大。

(3) 换热管管径为0.02m时,冷却效率均为最大。

参考文献:

- [1] 屈元,黄翔.间接蒸发冷却器热工计算数学模型及验证[J].流体机械,2004,32(11):50-53.
- [2] 丁杰.间接蒸发冷却器的数值模拟及传热传质系数的研究[D].长沙:湖南大学,2006:10-58.
- [3] 张旭,陈君红,陈沛霖.管式间接蒸发冷却器传递过程的解析解及验证[J].同济大学学报,1998,26(4):461-463.
- [4] 张旭,陈沛霖.管式间接蒸发冷却器中传递过程熵分析及优化[J].同济大学学报,2000,28(4):457-460.
- [5] 黄翔,武俊梅.管式间接蒸发冷却器数学模型分析及验证[J].建筑热能与通风空调,2007,(4):2-3.
- [6] 王芳,武俊梅,黄翔,等.管式间接蒸发空气冷却器传热传质模型的建立及验证[J].制冷与空调,2010,10(1):45-50.
- [7] 王芳,武俊梅,黄翔.管式间接蒸发空气冷却器热工模型的求解方法[J].制冷与空调,2013,27(3):272-274.
- [8] 鱼剑琳.管式间接蒸发冷却器水平单管外对流传质的实验研究[J].西安交通大学学报,1999,33(3):69-70.
- [9] 王芳,武俊梅,黄翔.管式间接蒸发冷却器热工性能模拟结果[J].制冷与空调,2013,27(2):208-212.
- [10] 王芳,武俊梅,黄翔.典型地区管式间接蒸发空气冷却器的性能优化[J].制冷与空调,2018,32(3):242-246.