

Simulation Analysis of Operation Characteristics of Open Source Heat Pump Tower System

Yuan Lv, Meiqin Ni, Hairong Lu, Wenjing Wu

School of Hydraulic, Energy and Power Engineering, Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu
Email: lvyuan8010@163.com, nmeiq@126.com

Received: May 9th, 2018; accepted: May 23rd, 2018; published: May 30th, 2018

Abstract

In this paper, the open type crossflow heat source tower is taken as the research object. Through the research on the domestic and foreign literature of the heat source tower, analyzing the structure, the three-dimensional model of the air as a continuous phase and the droplet particles as the discrete phase is set up. The pressure field, velocity field and temperature field inside the tower are analyzed with Fluent, and the inlet velocity of the tower is changed to analyze the heat source tower under different working conditions.

Keywords

Heat Source Tower, Open Structure, ICEM-CFD, Fluent

开式热源塔热泵系统运行特性的模拟分析

吕媛, 倪美琴, 陆海荣, 吴文婧

扬州大学水利与能源动力工程学院, 江苏 扬州
Email: lvyuan8010@163.com, nmeiq@126.com

收稿日期: 2018年5月9日; 录用日期: 2018年5月23日; 发布日期: 2018年5月30日

摘要

本文以开式横流热源塔为研究对象, 通过对热源塔国内外文献的研究, 分析其结构, 建立以空气为连续相, 水滴粒子为离散相的三维模型, 使用Fluent流体力学分析软件对塔内部的压力场、速度场和温度场进行分析, 并改变塔的进风口速度来分析在不同工况下对热源塔运行性能的影响, 为热源塔实际使用时

的最佳工况和结构优化设计做参考。

关键词

热源塔, 开式结构, ICFM-CFD, Fluent

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

随着我国经济的高速发展和气候的不规律变化, 南方夏热冬冷地区的供暖需求会逐渐增长起来, 但是由于供暖方式不科学、设备能效低, 能源没有合理的利用而遭到了极大的浪费。热源塔热泵技术应运而生[1]。

热源塔热泵技术作为一种新型的空调节能技术, 与冷水机组夏季制冷、锅炉冬季供暖的方案相比较, 其取消了锅炉等辅助热源, 其设备利用率更高, 初投资更小且无环境污染问题。冬季运行时, 利用溶液与环境空气进行换热, 从空气中吸取热量作为机组的低位热源, 从而彻底避免了空气源热泵冬季制热运行时存在的室外换热器结霜问题。与埋管地源热泵系统相比, 热源塔热泵系统不受地质条件和环境的限制, 也没有吸热量和放热量失衡的问题, 适用范围较广泛。由于开式热源塔结构简单、造价低、换热效率高, 目前在工程上的应用[2]相对较多; 因此本文主要分析开式热源塔在夏热冬冷地区的供暖性能[3]-[8], 从而推动该技术在工程中的合理应用。

2. 研究对象

本课题选用厂家型号 E-12S 热源塔为研究对象, 为了便捷计算, 只研究开式横流热源塔的换热部分, 对模型进行简化处理如图 1 所示。

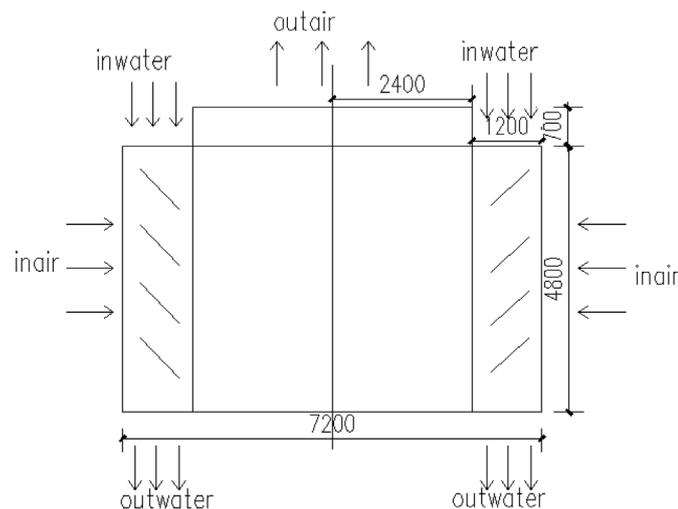


Figure 1. Model of heat source tower

图 1. 热源塔模型

3. 数值模拟方法及边界条件

3.1. 离散相(DPM)模型

离散相模型是两相流动的一种模拟方法，本课题的热源塔模型中，由于液滴的体积分数远小于 10% [9]，液滴在换热过程中满足均匀的球形，并且不会变形。因此，忽略两相之间的相互作用和液滴的相互碰撞，采用离散相模型对其内部热质交换过程进行数值模拟。在 DPM 模型中，将空气作为连续相，使用欧拉法来求解；而将水滴轨迹作为离散相，使用拉格朗日法来求解[10]。

3.2. 边界条件和参数设置

热源塔尺寸参数：冬季各项参数：

在空气传导方向热源塔宽度：7200 mm：大气压力： 1.021×10^5 pa

垂直于纸面的该热源塔长度：5000 mm：空气进口温度： 3°C

填料高度：4800 mm：抗冻溶液密度： 1.0×10^3 kg/m³

填料宽度：1200 mm：抗冻溶液比热容：3.62 kJ/(kg.k)

风机直径：4600 mm：溶液进口温度： -3°C

溶液进口流量：450 m³/h

3.3. 网格划分

本课题使用 ICEM 对热源塔模型网格划分，网格类型采用结构化六面体网格[11] [12] [13] [14] [15]。在划分网格时，假如网格数量太少，计算结果容易收敛，但是结果精确度较低，假如网格数量太大，计算结果精确度比较高，但是计算量过大，对计算机的要求也比较高。综上，热源塔结构图如图 2，本次模拟网格如图 3 所示。

3.4. 模型的验证

利用 Fluent 软件对实际工况下的热源塔进行数值模拟，得出热源塔出塔模拟水温，将其与实际测试

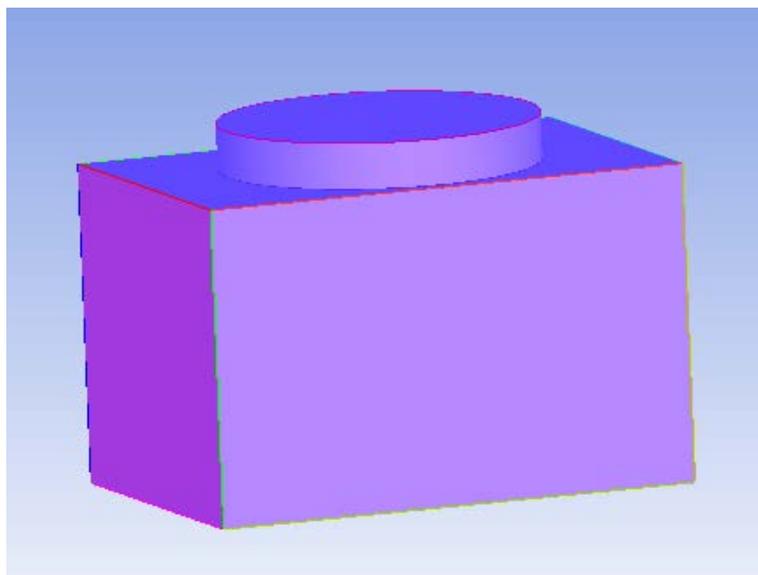


Figure 2. Appearance of heat source tower
图 2. 热源塔外观图

所获得的出塔水温进行比较，结果如图 4。

从图 4 可以看出，数值模拟结果与实验结果基本吻合，表明该模拟结果比较准确，模型可以进一步研究热源塔的性能。

4. 结果分析

当塔内其他参数不变时，随着热源塔进风口的进风速度的变化，塔内的速度场、压力场的分布及变化情况，并且分析各个流场之间的关系。

1) 风速为 2 m/s 的热源塔计算：

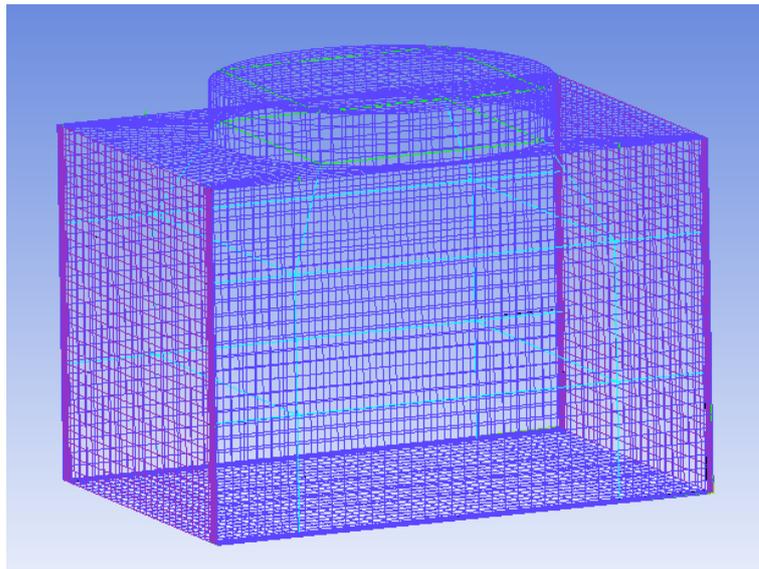


Figure 3. Grid diagram of heat source tower

图 3. 热源塔网格图

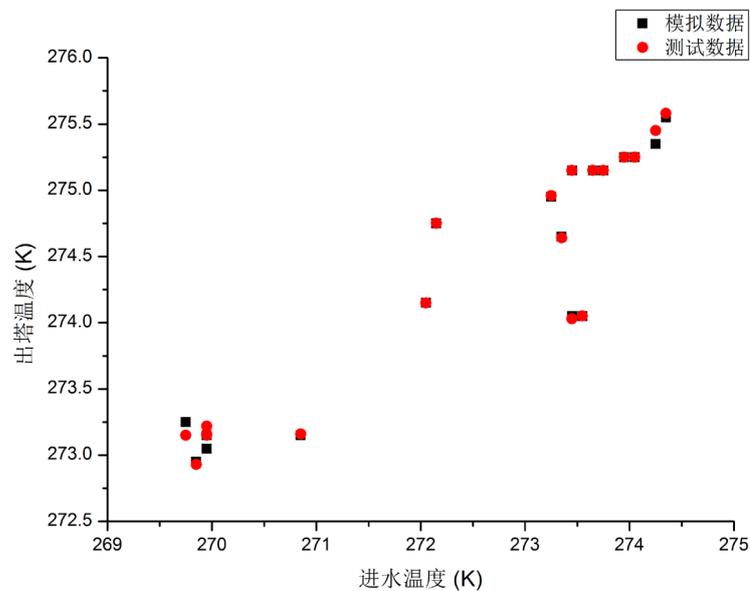


Figure 4. Comparison diagram of simulation and experiment

图 4. 模拟与实验对比图

由图 5 看出, 塔内压力以中心线为轴成对称分布。由于风机具有抽吸作用, 塔中压力从塔底沿出口风口逐渐减小, 塔内压力值在塔的出口处出现最小值 -20 Pa 。同时由于塔是在进风口的两侧对称进入空气, 因此在塔中心线靠近塔底部处出现了压力最高区域, 达到最大压力 2.09 Pa 。

由图 6 看出, 空气进入塔后速度方向从水平逐渐转变为竖直向上, 并以均匀的流速流经填料层, 最后从上方的空气出口离开热源塔。由于风机在顶端的抽吸作用, 在塔内的中心区, 气流的速度由下而上逐渐在增加, 在与向下流动的水粒子接触时速度的增加开始减缓, 最后在塔上部的出口处达到了最大速度 5.98 m/s 。而在塔底中间处出现了 1.2 m/s 最小的气流速度, 这是由于塔的进风口左右相互对称, 所以在热源塔进风口底出现了一个空气低速流区。

2) 风速为 4 m/s 的热源塔计算:

图 7 显示了开式横流热源塔塔压力分布, 从图显示可以看出, 热源塔的压力场的分布基本上是以塔的中心线为轴成对称分布。随着热源塔的进口风速增大, 塔内压力由塔底到出口的数值也逐渐变大。同时, 进口风速越大, 塔内压力值变化的幅度越大。当进口风速为 4 m/s 时, 在热源塔中心线的底部压力的

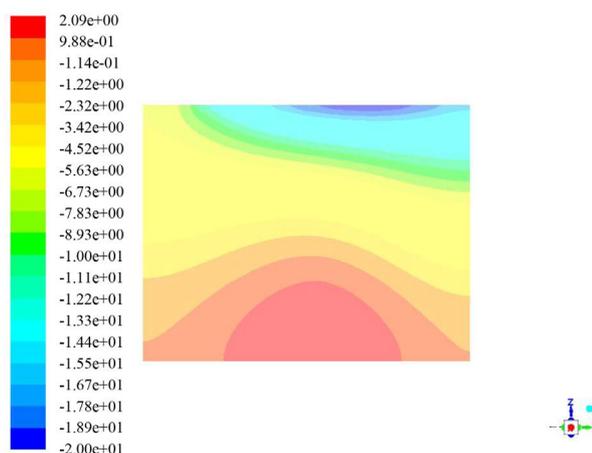


Figure 5. Pressure of heat source tower

图 5. $v = 2\text{ m/s}$ 热源塔压力图

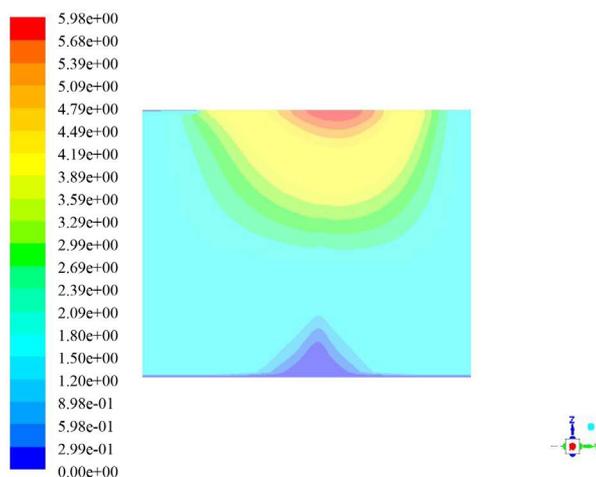


Figure 6. Velocity of heat source tower

图 6. $v = 2\text{ m/s}$ 热源塔速度图

数值达到最大值 8.47 Pa, 从热源塔的底部到出风口的这段区间里, 塔内压力沿着垂直中心线逐渐在降低, 在塔出风口顶部到达最低值-79 Pa。

由于开式热源塔进风口结构采用的是对称进风口, 因此得到的速度场分布基本上是对称的。在热源塔其他参数不变的情况下, 进风口处风速逐渐增大, 单位时间的通过的风量也增加, 使得塔内的空气流动加快, 速度也随之增加。当进口风速为 4 m/s 时, 空气在出风口的速度达到了最大值 11.9 m/s (图 8)。

3) 风速为 6 m/s 的热源塔计算:

图 9 可以看出, 随着热源塔的进口风速增大, 塔内压力由塔底到出口的数值也逐渐变大。同时, 进口风速越大, 塔内压力值变化的幅度越大。当进口风速为 6 m/s 时, 在热源塔中心线的底部压力的数值达到最大值 19.1 Pa, 从热源塔的底部到出风口, 塔内压力沿着垂直中心线逐渐在降低, 在塔出风口顶部到达最低值-177 Pa。

图 10 可以看出, 在热源塔其他参数不变的情况下, 随着进风口处风速逐渐增大, 塔内流速也随之增大; 当进口风速为 6 m/s 时, 空气在出风口的速度达到了最大值 17.9 m/s。

对比图 6、图 8、图 10 可以看出, 随着热源塔进口风速的增加, 热源塔内压力逐渐增大。由图 6、图 7、图 10 可以看出, 在热源塔其他参数不变的情况下, 随着进风口处风速逐渐增大, 出风口风速最大

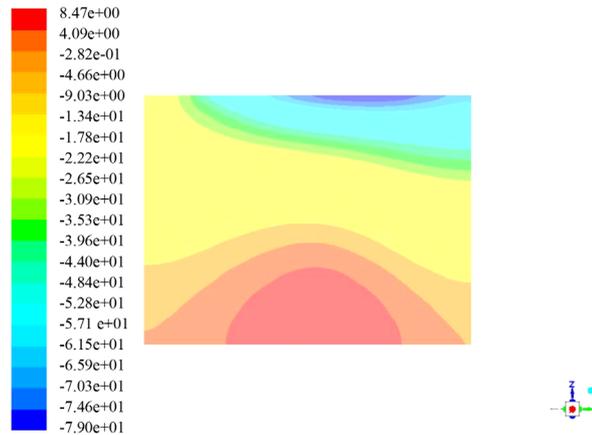


Figure 7. Pressure of heat source tower
图 7. $v = 4$ m/s 热源塔压力图

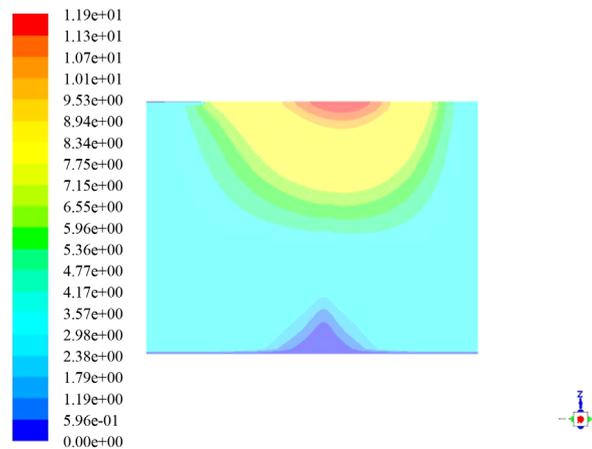


Figure 8. Velocity of heat source tower
图 8. $v = 4$ m/s 热源塔速度图

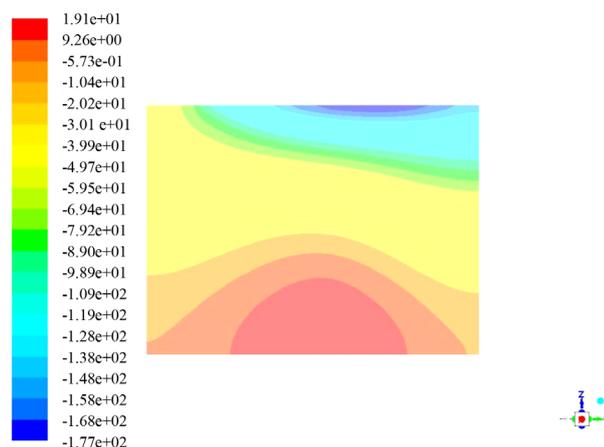


Figure 9. Pressure of heat source tower

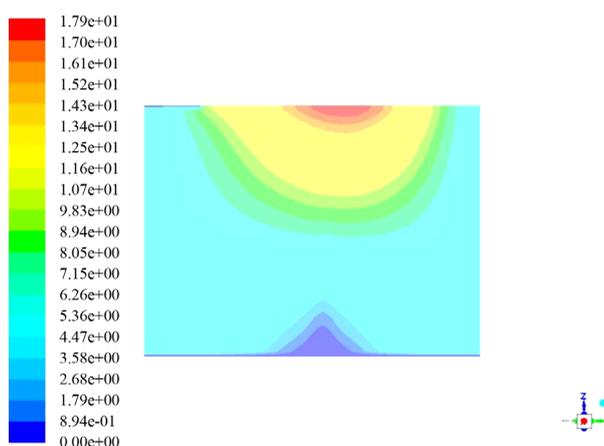
图 9. $v = 6 \text{ m/s}$ 热源塔压力图

Figure 10. Velocity of heat source tower

图 10. $v = 6 \text{ m/s}$ 热源塔速度图

Table 1. Water temperature of heat source tower

表 1. 热源塔出塔水温

出塔水温(K)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均温度
$v = 2 \text{ m/s}$	272.153	274.954	275.252	275.553	275.356	275.258	275.254	275.673	275.675	275.675	275.080
$v = 4 \text{ m/s}$	271.213	273.158	274.754	274.954	275.254	275.454	275.405	275.547	275.598	275.428	274.677
$v = 6 \text{ m/s}$	271.135	272.055	273.054	273.159	274.055	274.589	274.657	274.749	274.956	275.254	273.766

达到了 17.9 m/s 。

4) 出塔水温的计算

在热源塔内从顶端到出口端中也等间距取的十个节点，求得其出口水温，出口水温值见表 1。

由表中数据可以看出，在同一进口风速下，出塔水温基本上是从塔顶向出口端方向的出塔水温在逐渐上升。当进口风速从 2 m/s 到 6 m/s 变化时，平均出塔水温逐渐降低。

5. 结论

本文使用 Fluent 流体分析软件对实际运行的开式横流热源塔内的传热和传质的过程进行了数值模拟，

分析了热源塔进风口速度对塔内流体传热及传质的影响, 得出以下结论:

1) 由于热源塔的进风口是对称的, 因而塔内压力场、速度场的分布是基于塔的中心线为对称的图形。进口风速不仅影响着塔内空气的速度场和压力场分布, 而且对塔の出塔水温也有一定的影响。

2) 热源塔进风口速度从 2 m/s 到 6 m/s 增加时, 塔内空气的压力随着进口风速的增加而增大, 压力值由 $\Delta P = 2.09 \text{ Pa}$ 变化到 $\Delta P = 19.1 \text{ Pa}$, 其增长比 3.05%; 从热源塔的底部到出风口, 塔内压力沿着垂直中心线逐渐在降低, 在塔出风口顶部到达最低值 -177 Pa 。

3) 随着进口风速的增加, 热源塔单位时间通过的风量也增加, 使得塔内的空气流动加快, 塔内空气流动速度也在增加, 塔内的最小速度为 1.2 m/s, 而最大速度达到 17.9 m/s。

4) 进口风速的增加使空气与水滴接触的时间变短, 传热和传质减弱, 导致热源塔出塔水温稍有降低趋势, 热源塔换热性能降低。进风速度为 2 m/s 时, 热源塔出水温度为 275.08 K; 改变进风速度为 6 m/s, 出塔水温变为 273.766 K, 下降比为 0.477%。综上, 当进风速度在 2 m/s~4 m/s 时, 热源塔的出水水温较高, 换热性能较好。

基金项目

江苏省扬州大学研究生实践创新计划项目 SJCX17_0627。

参考文献

- [1] Wu, J.S., Zhang, G.Q., Zhang, Q., *et al.* (2011) Artificial Neural Network Analysis of the Performance Characteristics of a Reversibly Used Cooling Tower under Cross Flow Conditions for Heat Pump Heating System in Winter. *Energy and Buildings*, **43**, 1685-1693. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.008>
- [2] 宋应乾, 等. 能源塔热泵技术在空调工程中的应用与分析[J]. 暖通空调, 2011, 41(4): 20-23.
- [3] 文先太. 热源塔换热过程特性分析及优化研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学, 2013.
- [4] 徐政宇. 夏热冬冷地区开式热源塔热泵技术的供暖性能研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2014.
- [5] 樊晓佳. 闭式热源塔热泵系统运行性能的模拟分析[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2013.
- [6] 刘成兴. 热源塔冬季工况下塔内凝水特性研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学, 2013.
- [7] 苏湛航. 开式热源塔热泵系统在北方冬季工况下的性能研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2010.
- [8] 文先太, 等. 填料型叉流热源塔不同运行模式下换热性能实验分析[J]. 重庆大学学报, 2011(34): 67-71.
- [9] 游江. 逆流密闭式冷却塔热力特性数值模拟与优化[D]: [硕士学位论文]. 上海: 东华大学, 2010.
- [10] 刘力健. 机械通风闭式冷却塔传热性能实验研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2010.
- [11] Li, N., Zhang, W., Wang, L., *et al.* (2011) Experimental Study on Energy Efficiency of Heat-Source Tower Heat Pump Units in Winter Condition. *ICMTMA*, 135-138.
- [12] 姚丽华. 热源塔换热性能研究与应用[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京师范大学, 2015.
- [13] 延洪剑. 机械通风冷却塔热工性能数值模拟[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安石油大学, 2016.
- [14] 吴加胜. 冷却塔逆用理论与水-水热泵制热运行优化研究[D]: [博士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2012.
- [15] 张鼎. 热源塔热泵空调系统在长沙地区的适用性分析[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2015.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2326-3458，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：hjce@hanspub.org