

文章编号: 1671-6612 (2019) 04-355-05

利用冷凝水喷雾冷却冷凝器的实验研究

曹玉鹏 雷波

(西南交通大学机械工程学院 成都 610031)

【摘要】 采用空调冷凝水对冷凝器进行喷雾冷却, 研究不同室外温度和不同喷淋量对空调节能效果的影响。研究表明: 将雾化冷凝水喷淋至冷凝器表面, 可以提高空调机组制冷量和 COP, 且室外干球温度越高提升越明显。实验喷雾量范围内 (6.72L/h~33.54L/h), 室外干球温度分别为 30℃、35℃ 和 40℃ 工况下, COP 最大值与未喷雾状态下相比分别提高了 11.0%、15.2% 和 17.9%。

【关键词】 空调冷凝水; 冷凝器; 喷雾冷却; 实验研究

中图分类号 TU83 文献标识码 A

Experimental Study on Spray Cooling of Condenser Using Condensate Water

Cao Yupeng Lei Bo

(School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, 610031)

【Abstract】 In this paper, the influence of different outdoor temperature and different spraying amount on the energy-saving effect of air conditioner is studied by using air conditioning condensate to spray and cool the condenser. The results show that the cooling capacity and COP of the air conditioning unit can be improved by spraying the atomized condensate water on the surface of the condenser, and the higher the temperature of the outdoor dry ball, the more obvious the increase. Within the design flow range, 30℃, 35℃ and 40℃ conditions, the COP maximum value is 11%, 15.2% and 17.9% respectively compared to the non-spray state.

【Keywords】 condensate water of air conditioning; condenser; spray cooling; experimental study

0 引言

空调制冷运行过程中产生的冷凝水温度较低, 且制冷量越大、室内湿负荷越大, 产生的冷凝水也越多, 如果能够将空调中排出的冷凝水收集起来加以利用, 可以达到良好的节能效果。

目前空调冷凝水的回收利用方式主要分为两类, 一是利用冷凝水作为水资源; 二是利用冷凝水低温热源的属性, 既节约了水资源, 同时又利用其自身的冷量, 达到节能的目的, 使冷凝水的利用达到最大化。Kevin Teller 在 2002 年发明了一种使用空调冷凝水余冷进入冷凝器空气的装置, 这种装置可以很好的降低新风温度, 并且可以达到节能的目的^[1]。陈楠等^[2,3]将低温的冷凝水直接喷淋在冷凝器

翅片表面, 发现节能效果良好。张华廷等提出将回收的空调冷凝水用于冷却冷凝器是目前最有效的节能措施^[4]。以上这些研究大多停留在理论研究层面, 实验研究工况的单一, 对冷凝水回收应用技术没有指导意义。本文设计喷雾系统将空调冷凝水雾化后均匀地喷至风冷冷凝器表面, 研究不同喷雾量和不同室外空气参数对空调系统性能的影响, 从而为冷凝水回收应用技术提供设计参考。

1 理论分析

夏季空调室外温度较高, 高温条件下, 风冷冷凝器的换热效率较低, 空调系统性能降低, 制冷效果差。LIU H 等^[5]研究表明: 提升空调系统能效比

作者简介: 曹玉鹏 (1991.11-), 男, 在读硕士研究生, E-mail: caoyupeng1991@icloud.com

通信作者: 雷波 (1961.05-), 男, 博士, 教授, E-mail: leibo@home.swjtu.edu.cn

收稿日期: 2019-03-27

的最佳方式，就是降低系统的冷凝温度。

图 1 为蒸汽压缩式制冷循环的压焓图，由《空气调节用制冷技术》^[6]中关于蒸汽压缩式制冷循环的热力计算原理可知，当空调系统的冷凝温度由 T_k 降到 $T_{k'}$ 时，空调制冷剂的单位制冷量增加了 $\Delta q_0 = (h_1 - h_5) - (h_1' - h_5')$ ，单位压缩功减少了 $\Delta w_0 = (h_2 - h_1) - (h_2' - h_1')$ ，若不考虑压缩机吸气系数的变化，制冷剂的质量不变，则空调的能效比得到提高。研究表明冷凝温度每降低 1℃，空调机组 COP 提高 3.76% 左右^[7]。

空调冷凝水温度较低，一般在 15℃ 左右，且水的汽化潜热巨大，常温下约为 2260kJ/kg。利用回收的冷凝水的显热和潜热来降低冷凝器换热管和翅片的温度，可以有效地提高冷凝器的换热效率，降低空调系统的冷凝温度，进而提高空调系统的 COP。

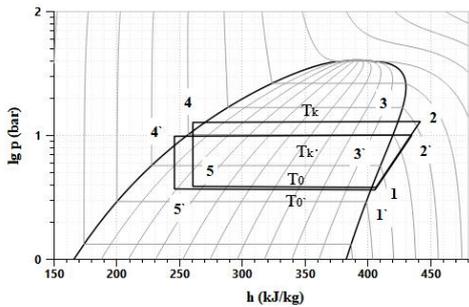


图 1 蒸汽压缩式制冷循环的压焓图

Fig.1 Pressure enthalpy diagram of vapor compression refrigeration cycle

2 实验设计

2.1 实验方法

本实验室内温、湿度采用机房空调国标测试温湿度，即干球温度 24℃，湿球温度 17℃。室外侧选取了干球温度分别为 30℃、35℃ 和 40℃ 三组工况做测试，同时选取了 6 组喷雾量，分别为 6.72L/h，9.02L/h，16.8L/h，22.32L/h，26.34L/h，33.54L/h，与未喷雾工况进行对比实验。

需要进行测量的数据包括室内机进出风温湿度和风量，室外机送排风温湿度和风量，喷雾量，耗电量，冷凝水量，未蒸发回水量以及制冷系统各测点温度压力。

2.2 实验装置

本实验在焓差实验室进行，焓差实验室由室内

侧环境室和室外侧环境室两个相对独立的空间组成，能够分别建立起符合测试要求并相对稳定的环境。

实验装置由测试空调机组、喷雾装置以及焓差实验室的数据测量仪器组成，实验装置系统图见图 2。

(1) 实验测试机组

本实验选用的是一台分体落地式机房空调器，分体落地式机房空调器的具体参数见表 1。

表 1 测试空调机组额定参数

Table 1 The rated parameters of the measured air conditioning unit

| 名称 | 参数 |
|-----------------------------|----------|
| 型号 | KFH-40TJ |
| 额定制冷量 (kW) | 9.7 |
| COP | 2.6 |
| 功率 (kW) | 3.75 |
| 制冷剂 | R410A |
| 室内机循环风量 (m ³ /h) | 3100 |
| 室外机风量 (m ³ /h) | 5500 |

(2) 喷雾装置

喷雾系装置由水箱、水泵、喷头、定位装置、过滤器、管路、压力表、电子秤等组成，见图 2 室外侧部分。

喷头和水泵的选取对喷雾效果的影响较大。实验对不同的喷头进行了比选，确定选用实心圆锥高压雾化喷头，喷头型号有四种，分别对应不同的流量。雾化水泵采用型号为 JDT-0.5A (0.5L) 的高压雾化水泵，最大流量 0.5L/min，压力调节范围为 4~7MPa，功率 150W。喷雾量的调节采用更换不同型号喷头及调节水泵压力来实现。

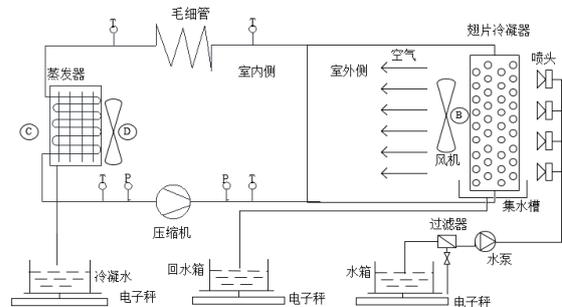


图 2 实验装置系统图

Fig.2 The layout of experimental system

(3) 数据测量仪器
焓差实验室数据测量仪器主要包括: 温湿度测

定仪、铂电阻温度传感器、风量测量系统及压力传感器等, 参数见表 2。

表 2 测量仪器参数

Table 2 The parameters of measuring equipment

| 仪器名称 | 型号 | 量程 | 精度 |
|--------|-----------------|--------------------------------|-----------------------|
| 温湿度测定仪 | 150W-1Φ-200V-5m | -20~60℃ | 0.01℃ |
| 温度传感器 | NR901A | -200~850℃ | 0.01℃ |
| | Pt100 | | |
| 压力测量仪 | VMG-2-R410A-B | 低压: -30~500PSI 高压: 0~800PSI | 0.01kPa |
| 风量测量仪 | — | 100~5000m ³ /h | 0.01m ³ /h |

测点布置见图 2, A 为室外机进风空气状态测点, 测量其干湿球温度; B 为室外机出风空气状态测点, 测量其干湿球温度, 以及风量; C 为室内机进风空气状态测点, 测量其干湿球温度; D 为室内机出风空气状态测点, 测量其干湿球温度, 以及风量; P 为制冷系统专用压力表, 测量制冷系统各点压力; T 为热电偶, 测量制冷系统各点温度。喷雾温度用水银温度计测量, 喷雾量、冷凝水产生量和未蒸发回水量采用计时称重计量。

2.3 实验内容

本实验的主要内容包括:

(1) 对冷凝水喷雾系统进行优化设计, 主要包括喷淋量、喷淋方式(喷嘴形式以及喷嘴的布置), 使其节能效果最大化;

(2) 对比测试不同喷雾量和不同室外空气参数对空调系统性能的影响。

3 实验结果与分析

3.1 冷凝温度

冷凝温度与冷凝压力之间有一定的对应关系, 本实验通过测量冷凝器进口压力, 查制冷剂 R410a 的温度压力对应表, 得到不同室外干球温度下冷凝温度与喷雾量之间的关系。如图 3 所示, 冷凝温度受室外干球温度和喷雾量的影响较大。室外干球温度越低, 冷凝器的换热效率越高, 冷凝温度越低。随着喷雾量的增加, 冷凝器的换热效率随之提高, 冷凝温度随之降低, 喷雾量达到最大(33.54L/h)时, 30℃、35℃和 40℃三种室外干球温度工况下的冷凝温度分别下降了 4.9℃、5.3℃和 6.0℃。

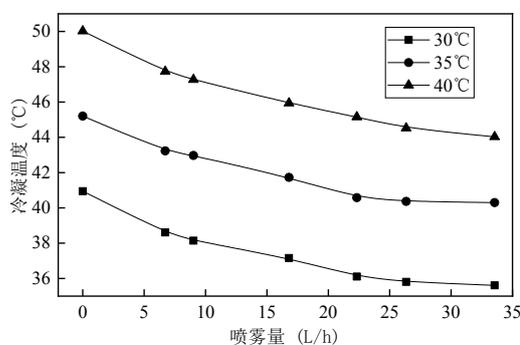


图 3 喷雾量对冷凝温度的影响

Fig.3 The effect of spray volume on condensing temperature

3.2 空调机组制冷量

图 4 是不同室外干球温度下喷雾量对空调机组制冷量的影响。制冷量受室外干球温度和喷雾量的影响。室外干球温度越高冷凝器换热效率越低, 进而影响空调的制冷量; 喷雾量的增加加强了冷凝器的换热, 制冷剂的过冷度增加, 空凋制冷量随之增加, 同时可以看出室外干球温度为 35℃和 40℃时, 喷雾量增加到 9.02L/h 过程中, 空凋制冷量增加的速率较快, 分别提高了 2.4%和 4.3%, 喷雾量从 9.02L/h 增加到 33.54L/h 过程中, 空凋制冷量增加速率变缓, 分别提高 4.8%和 6.1%。室外干球温度为 30℃时, 喷雾量增加到 16.8L/h 时, 空凋制冷量达到最大值, 提高了 3.2%, 当喷雾量继续增大, 制冷量反而缓慢降低。分析原因, 发现室外干球温度为 30℃的工况下, 当喷雾量增加到 22.32L/h 时制冷循环高压差骤减, 压缩机进、出口温度明显升高, 制冷剂克服节流装置阻力的能力下降, 最终造成系统制冷剂循环流量下降, 制冷量下降。此现

象说明冷凝温度过低反而导致空调制冷量下降。

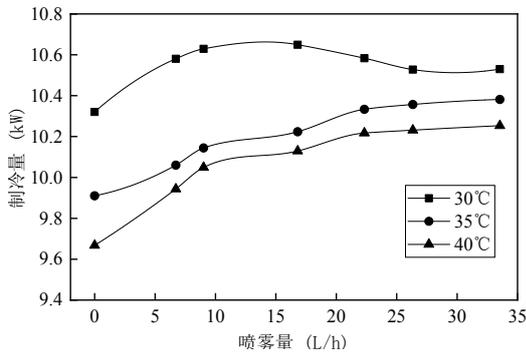


图 4 喷雾量对空调机组制冷量的影响

Fig.4 The effect of spray volume on refrigerating capacity

3.3 空调机组能效

图 5 是不同室外干球温度下喷雾量对空调机组功率的影响。由图中可以看出室外干球温度越低，空调机组功率越小，这与冷凝温度的降低有一定关系。室外干球温度为 35°C 和 40°C 工况下，随着喷雾量增大至 9.02L/h 过程中，空调功率减小速率较快，分别减小了 4.5% 和 6.0%，继续增大喷雾量时，空调功率减小速率变缓，喷雾量达到最大时，功率分别减小了 9.2% 和 10%。室外干球温度为 30°C 工况下，当喷雾量增加到 22.32L/h 时，空调功率减小到最小值，减小了 7.6%，当喷雾量继续增大，空调功率缓慢增大，这是由于制冷剂循环流量下降，导致压缩机进、出口温度明显升高，压缩机功率增大，进而使空调的功率增大。

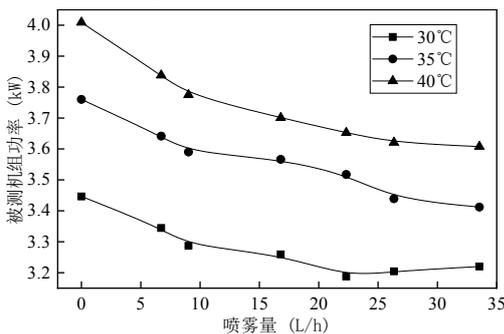


图 5 喷雾量对空调机组功率的影响

Fig.5 The effect of spray volume on power of air conditioning unit

图 6 为不同室外干球温度下喷雾量与空调机组能效比的关系。由图可以看出能效比随室外干球温度和喷雾流量的变化趋势与制冷量十分相似，不同之处在于 30°C 工况下喷雾量增加至 22.32L/h 时，

COP 达到最大值。三种温度工况下 COP 的最大值比未喷雾状态下分别提高了 11.0%、15.2% 和 17.9%。三种温度工况下 COP 变化率最大点对应的喷雾量均为 9.02L/h，分别提高了 8.1%、8.6% 和 10.9%。

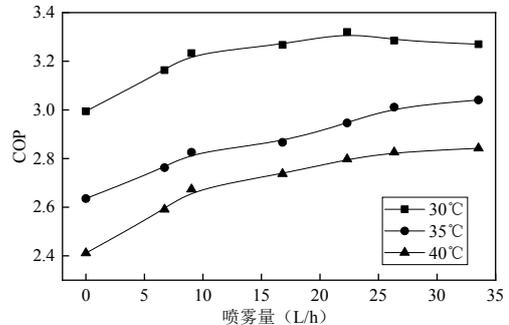


图 6 喷雾量对空调机组能效比的影响

Fig.6 The effect of spray volume on COP of air conditioning unit

4 结论

本文通过设计喷雾系统将空调冷凝水雾化后均匀地喷至风冷冷凝器表面，研究不同喷雾量和不同室外空气参数对空调系统性能的影响，得到以下结论：

(1) 室外干球温度分别为 30°C、35°C 和 40°C 的工况下，冷凝器的冷凝温度随喷雾量的增加不断降低，最大流量（33.54L/h）下分别降低了 4.9°C、5.3°C 和 6.0°C。

(2) 三种室外干球温度工况下，随着喷雾量的增大，制冷量最大分别提高了 3.2%、4.8% 和 6.1%，空调机组输入功率最小分别降低了 7.6%、9.2% 和 10%，COP 最大分别提高了 11.0%、15.2% 和 17.9%。制冷量和 COP 的提高速率随喷雾量的增大由快变慢，提升速率最大点对应的喷雾量为 9.02 L/h 左右。30°C 工况下，当喷雾量增大到 26.34L/h 时，空调机组 COP 反而降低。说明当冷凝温度过低时，机组 COP 反而减小。

参考文献：

[1] Kevin Teller. AC System Utilizing Condensate Water to Precool Hot Gas [P]. United State Patent: US006463751B1, Oct. 15, 2002.

[2] 陈恩,史敏,郭建,等.利用空调冷凝水冷却冷凝器节能效果的分析[J].制冷与空调,2004,(5):75-77.

- [3] 金听祥,张彩荣,李改莲,等.带超声波雾化冷凝水装置的家
用空调节能效果实验研究[J].轻工学报,2016,31(6):74-79.
- [4] 张华廷,吴蔚兰,向灵均.空调冷凝水在电子工业园区中
的回收利用[J].暖通空调,2013,(1):173.
- [5] LIU, ZHOU Q, LIU Y, et al. Experimental study on
cooling performance of air conditioning system with
dual independent evaporative con-denser[J].
International Journal of Refrigeration, 2015,55:85.
- [6] 彦启森.空气调节用制冷技术[M].北京:中国建筑工业
出版社,1985.
- [7] 郑慧明,邹磊,徐祯祥,等.论蒸发温度和冷凝温度对制
冷效率的影响[J].发电与空调,2013,34(2):32-35.

(上接 354 页)

- [9] 刘刚.吸收式热泵在供热机组中适用性及经济性研究
[J].汽轮机技术,2018,60(2):216-220.
- [10] 赵玺灵,付林,王笑吟,等.分布式热泵调峰型热电联产
烟气余热回收系统评价[J].哈尔滨工业大学学
报,2018,50(2):153-159.
- [11] 王斌,马素霞,马红和,等.乏汽吸收式热泵动态特性实
验研究[J].汽轮机技术,2017,59(1):31-34.
- [12] 周崇波,俞聪,郭栋,等.大型吸收式热泵应用于火电厂
回收余热供热的试验研究[J].现代电
力,2013,30(2):37-40.
- [13] 戴军,周崇波.热泵机组水侧污垢系数对火电厂余热经
济性的影响[J].华电技术,2013,35(11):90-92.
- [14] 周崇波,程雪山,陈志刚,等.胶球清洗系统在大型吸收
式热泵机组上的首例试验研究[J].华东电
力,2013,41(9):1962-1964.
- [15] 冯永华,徐文忠,孙始财.火电厂循环冷却水废热回收利
用问题研究[J].节能,2007,(3):17-19.
- [16] 崔明根,章森,胡乃丽.求解超定线性方程组的直接修正
法[J].哈尔滨工业大学学报,1990,(2):20-27.