

文章编号: 1671-6612 (2023) 01-124-05

渭南市某通信机房蒸发式冷气机实测分析

沈天磊 黄翔 武茁苗 史东旭 杨柳 马钢

(西安工程大学 西安 710048)

【摘要】 介绍了陕西渭南某通信机房应用蒸发式冷气机的工程应用实例, 通过对机房所设置的直接蒸发冷却设备进、出口空气温度, 相对湿度、送风量的实际测试, 分析出该蒸发冷却设备的直接蒸发冷却效率以及机组制冷量。同时, 通过直接蒸发冷却设备与机房精密空调的耗电量测试分析, 直观对比了直接蒸发冷却设备的节能性。分析结果表明, 该直接蒸发冷却空调机组的出风效果良好, 能够满足该小型通信机房对供冷的需求, 而且节能效果明显, 为后期直接蒸发冷却技术在小型通信机房领域的应用以及小型通信机房的节能改造提供了现实的参考依据。

【关键词】 通信机房; 直接蒸发冷却; 蒸发效率; 制冷量

中图分类号 TU831 文献标识码 A

Test and Analysis of Evaporative Air Conditioner in the Communication Room in Weinan

Shen Tianlei Huang Xiang Wu Zhuomiao Shi Dongxu Yang Liu Ma Gang

(Xi'an Polytechnic University, Xi'an, 710048)

【Abstract】 This paper introduces an engineering application example of a communication room in Weinan, Shaanxi Province, which applies an evaporative air conditioner. Through the actual test of the inlet and outlet air temperature, relative humidity, and air supply volume of the direct evaporative cooler set up in the room, the direct evaporative cooling efficiency and the cooling capacity of the direct evaporative cooler are analyzed. At the same time, the power consumption test analysis of the direct evaporative cooler and server room air conditioner visually compares the energy efficiency of the direct evaporative cooler. The analysis results show that the direct evaporative cooler has good air output and can meet the demand of the small communication room for cooling, and the energy-saving effect is obvious, which provides a realistic reference basis for the application of direct evaporative cooling technology in the field of small communication rooms and the energy-saving transformation of small communication rooms in the future.

【Keywords】 Communication room; Direct evaporative cooling; Direct evaporative cooling efficiency; Cooling capacity

0 引言

随着时代的高速发展, 社会信息化进程不断加快, 我国的通讯系统正在呈现一股磅礴发展之势。但是, 伴随着通讯网络的高速发展, 随之而来的高能耗问题也日益凸显, 高能耗导致的高成本问题也不断加重。近些年, 国家双碳目标的提出使得节能降碳成为国家发展的重中之重。这就导致通信机房领域不得不做出改变, 运用节能环保的技术进行节

能降碳。在整个通讯行业中, 主要以电能消耗为主, 占整体能耗的 87%; 在电能消耗中, 又以通信设备和空调设备为主^[1]。因此, 降低空调能耗在通信机房领域节能降碳中起到了至关重要的作用。

在制冷空调领域, 蒸发冷却技术作为一种利用干空气能的绿色技术在节能减排方面发挥着重要的作用。蒸发冷却技术主要分为直接蒸发冷却技术和间接蒸发冷却技术。相较而言, 直接蒸发冷却技

作者简介: 沈天磊 (2000.04-), 男, 在读硕士研究生, E-mail: stl025576@126.com

通讯作者: 黄翔 (1962.07-), 男, 教授, E-mail: huangx@xpu.edu.cn

收稿日期: 2022-07-01

术具有成本低、安装维护方便等优点, 被大量应用于纺织厂、通讯机房以及轨道交通等领域。

直接蒸发冷却技术作为一项日益成熟的技术已经在通讯机房领域有了许多研究, 其中周海东等结合工程设计实例, 详细探讨了直接蒸发冷却器应用于通信机房(基站)的优势, 表明在通信机房的节能改造过程中, 采用直接蒸发冷却器在通信机房进行降温节能效果显著且较为经济^[2]。范坤等通过对西安某通信机房进行实测, 分析研究了管式间接-直接蒸发冷却空气处理机组在通信机房中的应用情况, 得出通过管式间接蒸发冷却技术与直接蒸发冷却技术组合, 在过渡季节可以起到良好的制冷节能效果^[3]。黄翔等通过理论分析对机组进行优化, 得出直接蒸发冷却在我国大部分地区的通信机房中都有很大的应用潜力^[4]。

本文通过对陕西渭南某通信机房采用蒸发式冷气机运行期间的使用情况进行测试分析, 探讨直接蒸发冷却设备在小型通信机房使用的可能性与节能性, 并对类似通信机房的节能改造提供依据。

1 蒸发式冷气机工作原理及特点

蒸发式冷气机由填料、布水器、风机、水泵、输水装置、电控装置等部件所组成, 作为一种应用直接蒸发冷却技术的空调设备, 有着降温效果好、安装维护方便、占地面积小、运行费用低等特点^[5]。在设备工作过程中, 水通过布水器均匀的被喷淋在纸质填料表面, 在纸质填料表面形成一层水膜。处于状态点 W 的外部空气由机组四周的进风口进入机组, 经过粗效过滤后与纸质填料表面的水膜进行热湿交换, 最后被等焓冷却至接近室外空气湿球温度(状态点 O), 再经风机送入室内, 此时空气处于状态点 N。该处理过程焓-湿图如图 1 所示^[6]。该设备内部结构如图 2 所示。

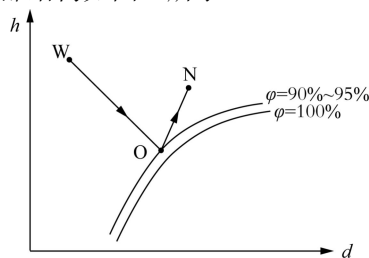


图 1 直接蒸发冷却空气处理过程焓-湿图

Fig.1 Enthalpy and humidity diagram of direct evaporative cooling air treatment process

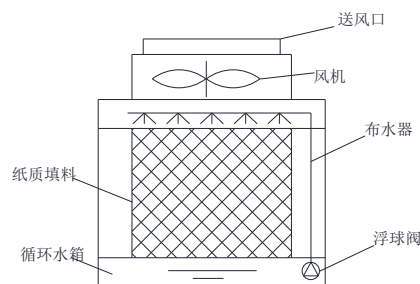


图 2 蒸发式冷气机结构图

Fig.2 Structure of evaporative air conditioner

2 蒸发式冷气机运行测试

2.1 工程概况

该通信机房位于陕西省渭南市高新区, 整个机房层高为 4m, 机房占地面积 30m², 为小型通信。整个机房共包含数据机柜 17 个, 呈 3 列布置, 机柜总功率 19kW。通信机房平面布置图如图 3 所示。

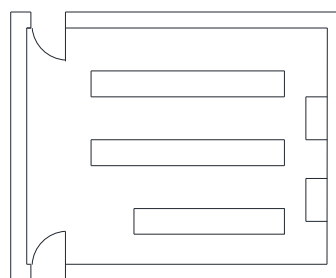


图 3 通信机房平面布置图

Fig.3 Layout of the communications room

整个机房采用分散式空调系统形式, 机房共设置两种机型的空调设备, 其中 2 台精密机房空调, 1 台蒸发式冷气机。室内精密空调与机柜垂直摆放。蒸发式冷气机置于室外阳台, 机组采用四面进风, 出风口连接镀锌风管, 在 2.5m-3m 高处, 风管转直角弯, 成水平送风, 沿机柜布置方向送风, 风管共 20m, 空调送风方式采用顶部送风。蒸发式冷气机相关参数如表 1 所示。

表 1 蒸发式冷气机参数

Table 1 Parameters of evaporative air conditioners

电源电压/频率/(V/Hz)	220
最大输入功率/kW	1.4
最大风量/(m ³ /s)	18000
蒸发量/(L/h)	55
进风口面积/m ²	4.37
出风口面积/m ²	0.42
风机类型	直流变频调速

2.2 测试方法

本文将矩形风管按截面平均划分成 9 个等面积的小矩形, 利用测试仪器, 在各小矩形中心布置测点进行测量, 最后取平均值作为测量结果。机组进出风截面测点布置图如图 4 (a)、(b) 所示。



(a) 进风口测点布置图



(b) 出风口测点布置图

图 4 测点布置图

Fig.4 Layout of measuring points

机组进风平均温度与平均风速按公式(1)、(2)进行计算^[9]:

$$\bar{T}_a = \frac{T_{a1} + T_{a2} + \dots + T_{an}}{n} \quad (1)$$

式中: \bar{T}_a 为机组平均进风温度, °C; T_{a1} 为第一个记录机组温度数据, °C; T_{an} 为第 n 个记录机组温度数据, °C; n 为记录机组温度数据的数量。

$$\bar{v}_p = \frac{v_1 + v_2 + \dots + v_n}{n} \quad (2)$$

式中: \bar{v}_p 为机组平均进风风速, m/s; v_1 、 v_2 、 v_3 为各个测点的风速, m/s; n 为测点数。

在测量出风口平均温度以及平均风速后, 可根据公式(3)算出机组送风量 q_v :

$$q_v = \bar{v}_p \cdot F \quad (3)$$

式中: q_v 为机组风量, m³/h; \bar{v}_p 为断面平均风速, m/s; F 为测定断面面积, m²;

最后根据蒸发式冷气机制冷量计算公式(4), 可以计算出机组制冷量:

$$Q_z = \rho_i q_v c_p (t_1 - t_2) \quad (4)$$

式中: Q_z 为蒸发式冷风机制冷量, kW; ρ_i 为风口处空气密度, kg/m³; t_1 、 t_2 分别为机组进风干球温度和出风干球温度, °C。

2.3 评价指标

蒸发效率是评判机组冷却性能的一个重要参数^[7]。越为干燥炎热的地区, 空气的干球温度差越大, 空气中能容纳水的能力就越强, 其蒸发效率也就越强。蒸发效率定义为进出风干球温度差与进风干湿球温度差的比值。蒸发式冷气机的蒸发效率可由公式(5)计算:

$$\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_{s1}} \quad (5)$$

式中, η 为蒸发效率, %。 t_{s1} 为进风湿球温度, °C。

2.4 误差分析

本实验利用 K 型热电偶、Testo405V1 热敏式风速仪、Testo174H 温湿度自记录仪以及多路数据记录仪进行空气状态参数的测量。由于测量会产生测量误差, 因此需要对实验数据进行不确定度分析。根据测量得到的直接量可以通过公式(6)计算得到相应的间接量的不确定度^[8]。

$$\frac{\Delta y}{y} = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \right)^2 \left(\frac{\Delta x_1}{y} \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n} \right)^2 \left(\frac{\Delta x_n}{y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

公式中, 直接测量值标准不确定度 Δx 分为两类:

(1) 多次连续测量所造成的不确定度, 其计算公式如下:

$$u_a = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} \quad (7)$$

(2) 由于仪器给定误差所产生的不确定度, 其计算公式如下:

$$u_b = \frac{\alpha}{k} \quad (8)$$

最后, 实验直接测量值标准不确定度 Δx 可由公式(9)计算:

$$\Delta x = \sqrt{u_a^2 + u_b^2} \quad (9)$$

通过进风口与出风口温湿度等直接测量, 可以求得蒸发效率的不确定度。以测量中某一点测量值为例, 当 $t_1=33^\circ\text{C}$, $t_2=25.9^\circ\text{C}$, $t_{s1}=23.8^\circ\text{C}$ 时, 湿球效率的理论值为 0.78, 绝对不确定度为 ± 0.001 , 相对不确定度为 $\pm 0.15\%$ 。

3 结果分析

3.1 机组进/出风测试结果分析

机组进/出风空气状态测试结果如图 5 所示。从图中可以看出, 进风干球温度随时间的推移逐渐升高, 由 31℃ 升高至 38℃。进风湿球温度波动较平缓, 保持在 23℃-25℃ 之间。整体进风相对湿度较低, 伴随时间推移, 进风相对湿度由 51.7% 降低至 34%。进风干湿球温差随时间推移不断增大, 在 18:00 时进风干湿球温差最高可达 13.5℃, 此时利用蒸发式冷气机处理空气将冷却的更加充分。

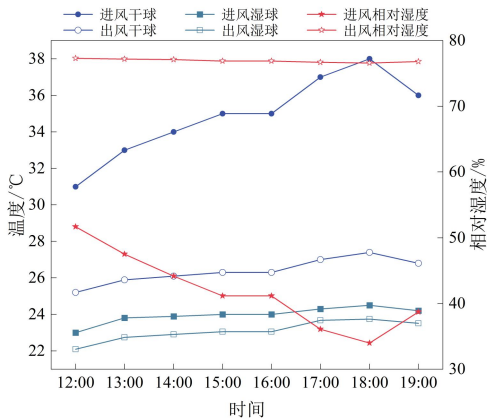


图 5 机组进/出风状态测试结果

Fig.5 Test results of unit inlet/outlet air conditions

机组出风干球温度与机组进风干球温度存在着相同趋势的变化, 机组进风干球温度升高, 其出风干球温度也会随之升高, 两者温升程度存在差异。机组总体维持出风温度在 26.5℃ 左右, 出风湿球温度由开始的 22.1℃ 增加至 23.74℃ 再降低至 23.52℃, 机组出风相对湿度在 77% 左右进行波动。

3.2 机组蒸发效率及制冷量测试结果分析

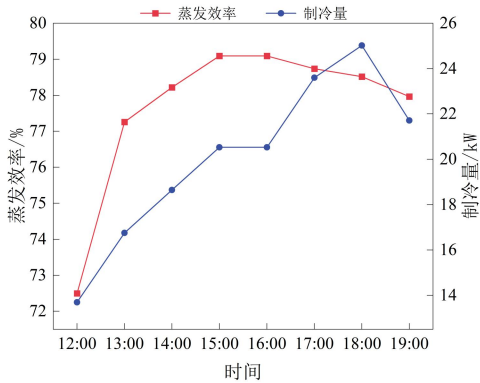


图 6 机组蒸发效率及制冷量测试结果

Fig.6 test results of unit evaporation efficiency and cooling capacity

机组蒸发效率及制冷量测试结果如图 6 所示。从图中可以看出, 在同一风速下, 机组制冷量与蒸发效率均先增加后下降。随着时间变化, 机组制冷量由 13.7kW 逐渐增加至 25kW, 随后又缓慢降低至 21.7kW, 机组蒸发效率由 72.5% 增加至 79%, 随后又降低至 78%。

3.3 送风口到机柜相对湿度变化分析

按照《通信中心机房环境条件要求》^[9]要求, A、B 类机房室内相对湿度要求为 30%-70%, C、D 类机房室内相对湿度要求为 20%-80%。因此本文实测了机房室内 12:00-19:00 的逐时相对湿度, 如图 7 所示。

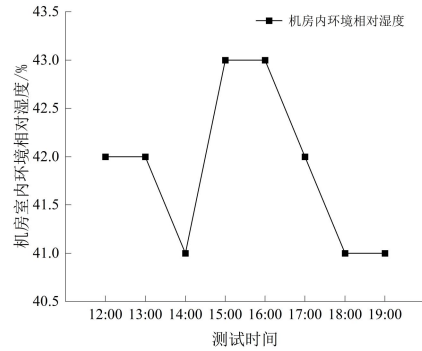


图 7 机房室内环境相对湿度

Fig.7 Relative humidity of indoor environment in the equipment room

如图 7 中所示, 机房内部环境相对湿度在 42% 左右不断波动, 满足机房相对湿度要求。随后沿蒸发式冷气机出风口垂直向下, 按 0.5m 间隔分别取 4 个测点, 测量了出风口垂直距离上的空气相对湿度分布情况。在同一风速下, 检测到离出风口垂直方向上相对湿度变化如图 8 所示。

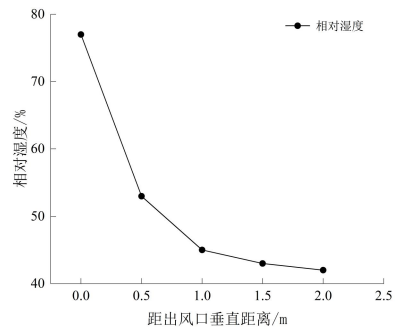


图 8 出风口垂直方向相对湿度分布

Fig.8 Relative humidity distribution in vertical direction of air outlet

从图中可以看出, 随着不断远离送风口, 空气相对湿度由 77% 逐步降低到 40%, 逐渐在 40% 左

右波动。分析其原因可能是机房室内整体空气相对湿度较低，蒸发式冷气机送入室内的高相对湿度的空气经过与室内空气混合，整体相对湿度会迅速下降，最后处于机房要求的湿度范围之内。

3.4 节能性分析

为更直观的研究蒸发式冷气机的节能性，本文根据实际情况设定了两种空调设置方案的对比研究。选取相邻两天，在相同负荷率条件下，分别针对（方案一）启用 2 台机房精密机械空调+关闭蒸发式冷气机和（方案二）启用 1 台蒸发式冷气机+关闭两台机房精密机械空调进行了逐时耗电量测试。同时运用 Testo174H 温湿度自记仪对机房内部和外部环境温湿度进行记录。方案一实测数据如图 9 所示，方案二实测数据如图 10 所示。

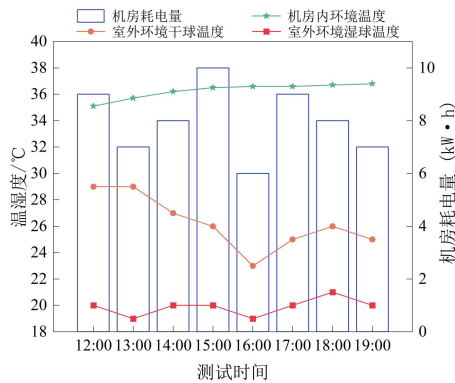


图 9 方案一实测数据

Fig.9 Measured data of Scheme 1

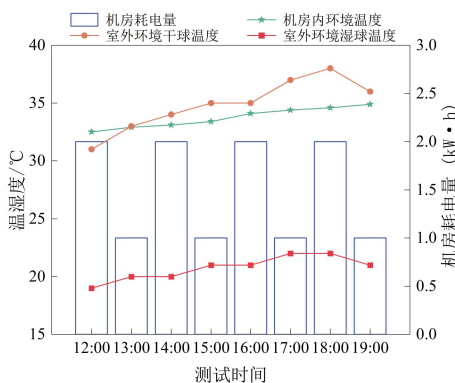


图 10 方案二实测数据

Fig.10 Measured data of Scheme 2

由图 9 可以看出，在只开启 2 台机房精密机械制冷空调，不开启蒸发式冷气机的情况下，机房精密机械空调的制冷量不足以满足机房制冷需求。在测试时间内，室外平均干球温度为 36.3℃，室内环

境平均干球温度为 26.3℃，机房总体耗电 55kWh。

由图 10 可以看出，在只开启 1 台蒸发式冷气机，不开启机房精密机械空调的情况下，蒸发式冷气机的制冷量可以满足机房制冷需求。在测试时间内，室外平均干球温度为 34.8℃，室内环境平均干球温度为 33.7℃，机房总体耗电 10kWh。

根据两者对比可以看出，蒸发式冷气机具有良好的节能性。在相同时间内，同负荷率的条件下，蒸发式冷气机在满足室内制冷需求的基础上消耗电能更少。

4 存在问题及解决措施

(1) 机组位于室外阳台通过风管送风进入室内，由于风管排布不太合理，存在 2 个上翻弯头导致整个送风过程局部阻力较大，造成出风口风速较低，达不到机组设计风量。所以，后期改造可将风管位置进行调整，减少弯头的产生，保证风管内气流组织顺畅，由此可以使得出风口能有更大的风速，提高机组的制冷能力。

(2) 在实际测试中发现，蒸发式冷气机淋水系统采用不间断持续淋水方案，由此造成较大的能量损耗。后期可考虑采用相应的间歇式淋水方案进行淋水，降低能量损耗，更加节能。

5 结论

(1) 经过实验验证，本文所测试的蒸发式冷气机在室外平均干球温度为 34.9℃，室外平均湿球温度为 24℃的条件下可以将空气冷却至干球平均温度 26.4℃，湿球平均温度 23℃向室内送风。机组进出风温差为 8.5℃，机组出风口处平均相对湿度为 77%。

(2) 机组蒸发效率以及制冷量均随机组进出口空气状态变化而变化，通过实测研究发现该机组平均直接蒸发效率为 77%，平均制冷量为 20kW。机组最大直接蒸发效率可达 79%，最大制冷量可达 25kW，且直接蒸发效率最大点不一定对应制冷量最大点。

(3) 针对于小型通信机房，蒸发式冷风机具有良好的实用性与节能性。在老旧通信机房改造方面，可适当使用蒸发式冷气机，以较低的成本实现老旧机房的节能改造。

(下转第 152 页)