

# 碳中和目标下蒸发冷却节能技术在 数据中心的應用

## Application of Evaporative Cooling in Data Center Under Carbon Neutral Target

程序,贺晓,张飞(中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司,河南 郑州 450007)

Cheng Xu, He Xiao, Zhang Fei (China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Zhengzhou Branch, Zhengzhou 450007, China)

### 摘要:

在国家提出的“碳中和”战略目标下,降低数据中心 PUE 尤为重要,空调系统能耗是数据中心能耗的主要组成部分之一,如何降低制冷负载系数是降低 PUE 的主要途径之一,介绍了一种蒸发冷却节能供冷技术,从原理和工程应用分析了其对降低数据中心 PUE 的贡献,并阐述了其局限性及解决方法。

### 关键词:

数据中心;蒸发冷却;PUE;节能;碳中和

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2021.06.012

文章编号: 1007-3043(2021)06-0063-04

中图分类号: TN91

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Abstract:

Under the strategic goal of "carbon neutrality" proposed by our country, it is particularly important to reduce the PUE of data centers. Energy consumption of air conditioning system is a major part of data center energy consumption, how to reduce the cooling load factor is one of the main ways to reduce the PUE. It introduces a kind of evaporative cooling and energy saving cooling technology, analyzes its contribution to reducing PUE of data center from the aspects of principle and engineering application, and expounds its limitations and solutions.

### Keywords:

Data center; Evaporative cooling; PUE; Energy saving; Carbon neutralization

**引用格式:**程序,贺晓,张飞. 碳中和目标下蒸发冷却节能技术在数据中心的应用[J]. 邮电设计技术, 2021(6): 63-66.

## 0 前言

数据中心是公认的高耗能行业,过去10年间,我国数据中心整体用电量以每年超过10%的速度递增,2018年全年共消耗1 608.89亿 kWh 电量,超过整个上海市用电量<sup>[1-3]</sup>。到2030年用电量预计将突破4 000亿 kWh,占全社会用电量的比重将升至3.7%<sup>[4-6]</sup>。可以看出,数据中心是未来为数不多能源消耗占社会总用电量比例持续增长的行业。因此,数据中心行业积极践行碳中和,对我国实现2060年的目标意义重大。

中央明确提出“扎实做好碳中和坚持绿色发展”,这表明国家在加速发展“新基建”的同时,将严格控制高耗能产业的发展,推进产业结构的调整和升级。目前我国从国家战略层面提出了“碳中和”目标,同时实施路径逐步明确<sup>[7-8]</sup>。对以电力消耗为主的数据中心而言,受限于目前我国的一次能源结构状况以及国内电力市场的交易机制,未来我们在“碳中和”方面将面临巨大的挑战。

为了降低碳排放,降低能耗,国家对新建数据中心 PUE(小于1.3)进行了更严格的约束,机房建设前期的设计和规划就把节能、环保考虑到,并在设计和规划的过程中达到机房的使用要求的前提下,把机房的

收稿日期: 2021-04-30

PUE值作为机房的设计和规划要求。

本文结合数据中心的用能特点,从降低制冷负载系数角度,介绍一种绿色节能环保的制冷技术-蒸发冷却技术,该技术可以减少国内数据中心碳排放,是实现能源侧“碳中和”目标以及“可再生能源”比例的可能路径。

### 1 蒸发冷却技术原理

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,在空气的饱和蒸汽分压力差的作用下,驱动液态水蒸发吸热而实现制冷的一种节能环保技术。利用直接蒸发冷却和间接蒸发冷却技术可以实现制取冷风和制取冷水。

#### 1.1 制取冷风原理

目前在实际工程中,主要是依靠直接蒸发冷却技术或间接蒸发冷却与直接蒸发冷却复合制取冷风。单独依靠直接蒸发冷却制取冷风如图1所示,循环水喷淋到填料或者雾化到空气中,W状态的室外空气与填料中的水膜或空气中的水滴进行热湿处理,液态水蒸发吸收空气的显热转化为潜热,将室外空气温度降低处理到状态O点,其制取的冷风温度极限温度为空气的湿球温度。图1(b)为利用原理制取冷风的设备。

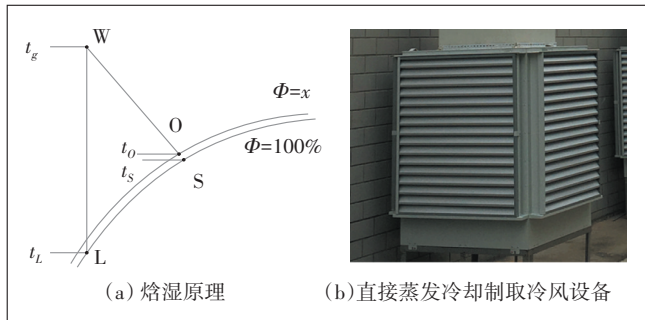


图1 直接蒸发冷却制取冷风原理

间接蒸发冷却与直接蒸发冷却复合制取冷风原理如图2所示,W状态室外空气首先经过间接蒸发冷却器进行等湿降温到 $W_1$ ,湿球温度得到降低的 $W_1$ 状态的空气再进入到填料与湿膜进行热湿交换,液态水蒸发吸收空气的显热转化为潜热,将室外空气温度降低处理到状态O点,其制取的冷风温度可以低于W状态空气的湿球温度,极限温度是 $W_1$ 状态空气的湿球温度。图2(b)为利用该原理制取冷风的设备。

#### 1.2 制取冷水原理

在实际工程中应用蒸发冷却技术制取冷水与制

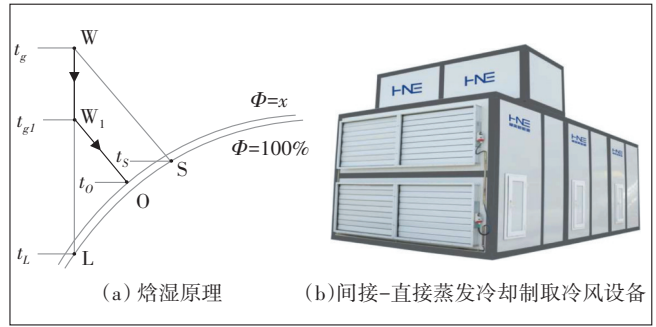


图2 间接-直接蒸发冷却制取冷风原理

取冷风原理类似,也是依靠直接蒸发冷却技术或间接蒸发冷却与直接蒸发冷却复合制取冷水。单独依靠直接蒸发冷却制取冷水如图3(a)所示,循环水喷淋到填料或者雾化到空气中,W状态的室外空气与填料中的水膜或空气中的水滴进行热湿处理,液态水蒸发吸收喷淋水的显热转化为潜热,将喷淋水温度从E点温度降到F点,其制取的冷水温度极限温度为W状态空气的湿球温度。图3(b)为利用原理制取冷水的设备。

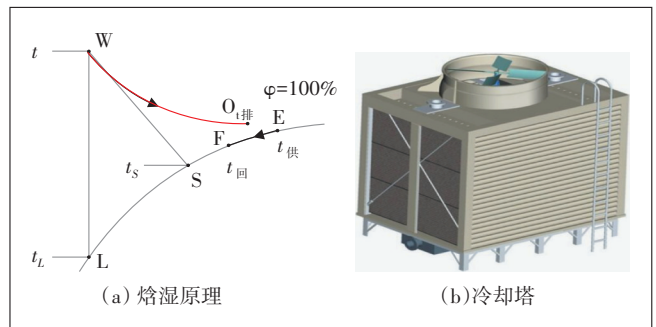


图3 直接蒸发冷却制取冷水原理

间接蒸发冷却与直接蒸发冷却复合制取冷水原理如图4(a)所示,O状态室外空气首先经过间接蒸发冷却器进行等湿降温到C,湿球温度得到降低的C状态空气再进入到填料与湿膜进行热湿交换,液态水蒸发吸收淋水的显热转化为潜热,将淋水温度从H点降低到G点,其制取的冷风温度可以低于O状态空气的湿球温度,极限温度是C状态空气的湿球温度。图4(b)为利用原理制取冷水的设备。

## 2 蒸发冷却技术在数据中心应用节能分析

### 2.1 节能分析

根据夏季空调室外设计湿球温度,可将全国分为干燥地区、中等湿度地区及高湿度地区,如表1所示,湿球温度低于23℃的地区被定义为干燥地区,大于等于23℃小于28℃的地区为中等湿度地区,大于等于

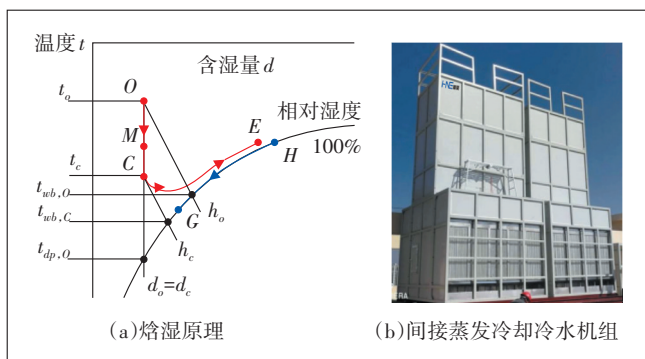


图4 间接-直接蒸发冷却制取冷水原理

表1 蒸发冷却空调系统与传统空调节能性对比表

| 蒸发冷却空调系统与传统空调系统节能对比 |      |             |       |
|---------------------|------|-------------|-------|
|                     | 干燥地区 | 中等湿度地区      | 高湿度地区 |
| 夏季空调室外设计湿球温度/℃      | < 23 | 28 > x ≥ 23 | ≥ 28  |
| 对于风冷直膨平均节能率/%       | 85   | 74.3        | 70    |
| 对于风冷冷冻水系统平均节能率/%    | 82.5 | 70.1        | 65    |
| 对于水冷冷冻水系统平均节能率/%    | 65   | 40          | 30    |

28℃的地区为高湿度地区。蒸发冷却空调系统在不同地区的数据中心应用节能率不同,在干燥地区应用,相对于水冷冷冻水空调系统平均可节能65%,相对于风冷空调系统节能率平均达80%多;在中等湿度地区应用,相对于水冷冷冻水空调系统平均可节能40%,相对于风冷空调系统节能率平均达70%多;在高湿度地区应用,相对于水冷冷冻水空调系统平均可节能30%,相对于风冷空调系统节能率平均达65%左右。具体地区节能率需要以当地气象参数计算得出。

## 2.2 经济效益分析

以制冷量需求为11 000 kW新疆某地区数据中心为例,分析蒸发冷却冷水系统的经济效益,如表2所示,采用蒸发冷却冷水空调系统,每年节约电费920余万元,投资回收期在2年内。

## 2.3 适用性分析

蒸发冷却技术因其制取的冷水冷风温度与室外

表2 蒸发冷却冷水系统经济效益分析

| 序号 | 制冷方式        | 自然冷却风冷螺杆冷水空调 | 自由冷却水冷式冷冻水空调系统 | 蒸发冷却冷水空调系统 |
|----|-------------|--------------|----------------|------------|
| 1  | IT负载/kw     | 10 000       | 10 000         | 10 000     |
| 2  | 制冷量需求/kw    | 11 000       | 11 000         | 11 000     |
| 3  | 全年耗量/(kw·h) | 29 536 259   | 17 292 240     | 8 646 120  |
| 4  | 全年电费/万元     | 1 329.1      | 778.15         | 389.07     |
| 5  | 全年水费/万元     | 0            | 40             | 19.8       |

空气的干燥程度有关,所以也有自身的限制因素。在数据中心应用时,像乌鲁木齐这样气候的城市可以做到全蒸发冷却供冷,但如果在全国其他城市,因气候因素,蒸发冷却技术在全年运行时有一部分时间达不到运行条件,可以采用压缩补冷的方式解决问题。比如目前采用的间接蒸发冷却与机械制冷结合的AHU机组,蒸发冷却冷水机组与机械制冷冷水机组结合的一体化冷站。

另外,针对蒸发冷却冷水机组制取的冷水温度,可以采用高效末端来尽可能地延长蒸发冷却供冷的时长而节能。

## 3 蒸发冷却技术在数据中心的实际应用

### 3.1 系统运行模式

以中国联通(新疆云)数据中心为例,分析蒸发冷却技术为数据中心制取冷源的节能优势。从图5可以看出,蒸发冷却冷水机组与机房末端通过板式换热器间接连接,系统有3种运行模式<sup>[9-10]</sup>。模式 I:极端天气开启风侧、水侧复合蒸发冷却模式,蒸发冷却冷水机组制取的冷水通过板式换热器冷却机房末端回水,此时机房为全新风模式;模式 II:夏季或过渡季节开启水侧蒸发冷却模式,蒸发冷却冷水机组制取的冷水通过板式换热器冷却机房末端回水,此时机房内部为全回风模式;模式 III:冬季开启乙二醇自然冷却模式,乙二醇自然冷却段与机房末端通过乙二醇水溶液管道连接,机房内部发热量通过乙二醇溶液传递。项目机组实物图如图6所示。

### 3.2 系统运行性能及安全性分析

对项目实际机组运行状况进行了测试,如表3所示,蒸发冷却冷水机组的出水温度比湿球温度低2.75℃,能效比达15.77;蒸发冷却新风机组送风温度比湿球温度低3.59℃,能效比达18.08;机房内冷通道平均干球温度22.32℃,机房内冷通道平均相对湿度46.39%<sup>[11-15]</sup>。全年空调系统运行制冷系数达16.44,项目PUE在1.2以下<sup>[16]</sup>,与传统机械制冷数据中心相比节能效果显著。

另外该项目通过中国质量认证中心CQC认证,表明该项目具有较高的质量、安全、电磁兼容性等。

## 4 结论

蒸发冷却技术是一种节能环保的制冷技术,将该技术应用到数据中心具有以下特点:

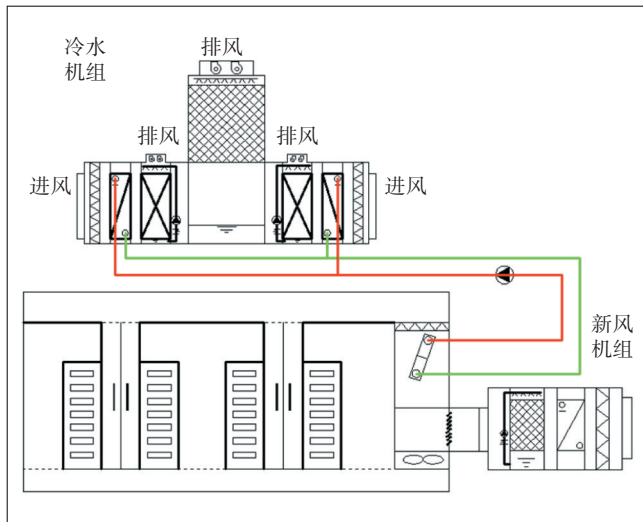


图5 数据中心蒸发冷却空调系统图



图6 项目机组实物图

表3 项目机组性能测试

| 项目          | 蒸发冷却冷水机组 | 蒸发冷却新风机组 |
|-------------|----------|----------|
| 平均干球温度/℃    | 33.52    | 33.58    |
| 平均湿球温度/℃    | 18.14    | 18.19    |
| 平均露点温度/℃    | 9.61     | 9.68     |
| 平均出水/出风温度/℃ | 15.39    | 14.6     |
| 机组能效比       | 15.77    | 18.08    |

a) 蒸发冷却技术安全性比较高,可满足国A机房标准要求。

b) 蒸发冷却技术节能性比较好,可大幅度降低数据中心PUE,是碳中和的最佳选择之一。

c) 随着蒸发冷却技术的发展,蒸发冷却技术应用区域和领域将不断扩大。

参考文献:

- [1] 田振武,黄翔,郭志成,等.新型蒸发冷却空调系统在数据中心的运行测试分析[J].制冷与空调(四川),2020(3):297-302.
- [2] 严锦程,黄翔,周理,等.新疆某办公楼蒸发冷却空调系统应用及效益分析[J].制冷与空调,2020(3):1-9+22.
- [3] SUN T, HUANG X, CHEN Y, et al. Experimental investigation of water spraying in an indirect evaporative cooler from nozzle type and spray strategy perspectives [J]. Energy and Buildings, 2020, 214: 109871.
- [4] SUN T, HUANG X, QU Y, et al. Theoretical and Experimental study on Heat and Mass Transfer of A Porous Ceramic Tube Type Indirect Evaporative Cooler [J]. Applied Thermal Engineering, 2020 (173) : 115211.
- [5] 孙铁柱,黄翔,魏敬茹,等.淋水密度对多孔陶瓷管式间接蒸发冷却器湿球效率影响的试验研究[J].流体机械,2019(4):54-58.
- [6] 孙铁柱,黄翔,汪超,等.蒸发冷却空调设备的研究进展与应用概况[J].制冷与空调,2014(3):40-45.
- [7] 黄翔,孙铁柱,汪超.蒸发冷却空调技术的诠释(3)[J].制冷与空调,2012(4):1-3+12.
- [8] 黄翔,孙铁柱,汪超.蒸发冷却空调技术的诠释(1)[J].制冷与空调,2012(2):1-6+14.
- [9] 田振武,黄翔,吴志湘,等.水侧蒸发冷却技术在数据中心的应用[J].西安工程大学学报,2019(6):625-630.
- [10] 金扬帆,黄翔,屈悦滢,等.数据中心间接蒸发冷却空调机组结垢原因分析及应对措施[J].制冷与空调,2021(1):14-19.
- [11] 贺红霞,黄翔,何华明,等.数据中心用露点间接蒸发冷却与机械制冷复合空调的实验研究[J].制冷学报,2020(6):71-76.
- [12] 刘明亮,王娟,郭丰.蒸发冷却技术在数据中心应用[J].现代信息技术,2020(12):51-53.
- [13] 常健佩,黄翔,安苗苗,等.蒸发冷却冷水机组的原理、性能与适用性分析[J].化工学报,2020(S1):236-244.
- [14] 贾晨昱,黄翔,田振武,等.间接蒸发冷却技术在国内外数据中心的应用研究[J].制冷与空调,2020(1):61-67.
- [15] 赵磊,肖武+.间接蒸发冷却技术在数据中心应用的经济性分析[J].制冷与空调,2020(1):68-73.
- [16] 舟丹.中国2030年碳排放达峰路径分析[J].中外能源,2017(5):60-60.

作者简介:

程序,高级工程师,学士,主要从事数据中心空调方案研发及咨询设计工作;贺晓,高级工程师,学士,主要从事数据中心建筑业务相关咨询设计工作;张飞,工程师,硕士,主要从事数据中心空调业务相关咨询设计工作。