通信机房蒸发冷却技术应用探讨

Discussion on Application of Evaporative Cooling Technology in Telecom Room

闫　健，郭　凯，侯永涛（中讯邮电咨询设计院有限公司，北京 100048）
Yan Jian，Guo Kai，Hou Yongtao（China Information Technology Designing & Consulting Institute Co.，Ltd.，Beijing 100048，China）

摘　要：
蒸发冷却技术因其具有较好的节能潜力，近年来在通信机房中的应用成为关注的热点。蒸发冷却分为直接蒸发冷却和间接蒸发冷却，分析蒸发冷却技术原理，并对该技术在通信机房中的应用现状进行概述，指出该技术的节能潜力及使用过程中存在的问题，并给出合理化的解决措施。蒸发冷却受气候因素影响显著，用湿球温度作为分区指标，对蒸发冷却进行适用性分区并介绍其效能评价方法，为蒸发冷却技术在通信机房中的应用提供指导性建议。

关键词：
蒸发冷却；节能；湿球温度；适用性分区；效能评价
doi：10.12045/j.issn.1007-3043.2021.02.017
文章编号：1007-3043（2021）02-0089-04
中图分类号：TU831
文献标识码：A
开放科学（资源服务）标识码（OSID）：

Abstract：
In recent years，evaporative cooling technology has become a hot spot for its application in telecom rooms because of its good energy-saving potential.Evaporative cooling is divided into direct evaporative cooling and indirect evaporative cooling. It analyzes the principle of evaporative cooling technology，and summarizes the application status of the technology in telecom rooms，points out the energy saving potential of the technology and the problems in the use process，and gives reasonable solutions. Evaporative cooling is significantly affected by climate factors. Using wet bulb temperature as zoning index，the applicability of evaporation cooling is zoned and its efficiency evaluation method is introduced，which provides guidance for the application of evaporative cooling technology in telecom rooms.

Keywords：
Evaporative cooling；Energy-saving；Wet bulb temperature；Applicability zoning；Efficiency evaluation

引用格式：闫健，郭凯，侯永涛. 通信机房蒸发冷却技术应用探讨[J]. 邮电设计技术，2021(2)：89-92.

0 前言

降本增效是通信运营商面临的一道难题，通信机房能耗，尤其是空调能耗约占通信机房总能耗的40%，通信机房采用空调节能技术是实现降本增效的重要措施。目前，基于干空气能的蒸发冷却技术在民用建筑中已得到了广泛的应用，具有节能、绿色环保等诸多优良品质，符合现代空调的发展方向。将蒸发冷却技术应用在通信机房，充分利用干空气能，在部分地区替代机械制冷或作为补冷系统，以实现空调系统节能。

收稿日期：2020-12-10

1 通信机房环境要求和特点

1.1 通信机房环境要求

2019年4月1日实施的《通信局（站）机房环境条件要求与检测方法》（YD/T 1821-2018）对通信机房温度、湿度做出了相关规定，具体见表1和表2。

对机房洁净度的表述：A类机房、B类机房、C类机房、D类机房内不应有导电、铁磁性和腐蚀性粒子，其浓度应满足直径大于0.5 μm的灰尘粒子浓度小于或等于18 000粒/L。应防止对通信设备有腐蚀性的气体和对人体有害的气体以及易燃易爆的气体流入机房。

表1 冷热通道隔离的机房温湿度要求

机房类型	设备进风口温度范围/℃	湿度范围/%
A类机房	18~26	30~70
B类机房	15~27	30~70
C类机房	10~28	20~80

表2 无冷热通道隔离或无进风口机房温湿度要求

机房类型	设备进风口温度范围/℃	湿度范围/%
A类机房	18~26	30~70
B类机房	15~27	30~70
C类机房	10~28	20~80
D类机房	5~30	20~80
E类机房	-5~40	-

1.2 通信机房环境特点

a）显热大，潜热少。由于通信机房内没有特定的湿源，湿量主要是来自工作人员及渗入的室外空气，因此散湿量较少。通信机房的热负荷90%以上是显热负荷，潜热负荷很小。

b）全年不间断制冷。通信机房内部设备属于全年不间断高负荷运行，即使在冬季，也可能存在需要供冷的情况。

2 通信机房用蒸发冷却现状

2.1 直接蒸发冷却现状

蒸发冷却在现有通信机房得到了广泛的工程应用，其节能效果日益显著，但在实际应用中也发现一些问题急待改进。图1是直接蒸发冷却技术原理简图，该系统通过风阀调节可实现新风+回风工况、新风工况、新风+湿膜工况3种运行模式。新风通过淋水填料（湿膜）实现蒸发降温，主要耗能设备为输配能耗，即风机能耗（水泵能耗较小可忽略不计），相比于常规机械制冷，具有较大的节能潜力。新风冷气机是一款较为简单的直接蒸发冷却产品，该产品4面有淋水填料，提供了较大的填料面积，通过底部引出风管把新风送入机房，以便获得更好、更廉价的供冷。影响直接蒸发冷却效率的关键是淋水填料的性能，淋水填料一旦发生堵塞会严重降低蒸发冷却效率。研究表明，填料的堵塞明显与局部流速有关，总的填料速度越低，堵塞进程就会越慢且越均衡。

通信机房采用直接蒸发冷却技术给机房环境和维护工作带来一定压力，由于新风引入机房，需对新风进行过滤处理，如室外环境质量差或过滤网更换不及时，对机房内设备均会造成不可恢复性损伤。因此，直接

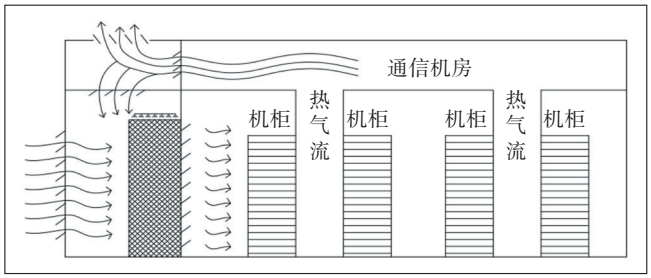

图1 直接蒸发冷却技术原理简图

蒸发冷却系统适宜用在室外环境质量较好的地区。

一般来讲，直接蒸发冷却的送风温差比常规的机械制冷送风温差小，因此同等条件下要求的送风量就要增大，相应的冷风在输送的过程中冷损失就会变大，所以机房净供冷量小于直接蒸发冷却系统的输出冷量。表3是J.R.Watt根据实际工程经多年实验得出的，反映了有效冷量的百分比同室外干湿球温差的变化关系。从表3中可以看出，冷量损失与室外干湿球温差成正比，而与送风温差成反比，这是因为增大送风温差，所需的风量将减少，通风冷损失就小。表3同时给出了推荐的通风良好区、运行区、供冷不均匀区。对于通信机房，室内负荷主要以显热为主，可适当提高送风温差来降低通风冷损失，提高蒸发冷却效率。

2.2 间接蒸发冷却现状

为解决新风引入机房所面临的问题，通信机房可以采用间接蒸发冷却技术，间接蒸发冷却技术关键器件是空气-空气换热器，其技术原理图如图2所示，一次空气和二次空气通过空气-空气换热器实现热量交换，二次空气可通过高压微雾进行直接蒸发，降低二次空气干球温度以提高系统换热效率。

空气-空气换热器的优劣直接影响换热效果，目前通信行业空气-空气换热器多采用薄铝板，直接对二次空气进行淋水，但使用一段时间后发现铝表面结垢严重，导致换热效率低下。为解决空气-空气换热器在使用中遇到的问题，用高分子材料替代薄铝板，可有效提高换热效率，延长换热器使用寿命。

影响间接蒸发冷却效率的另一个因素是淋水密度，换热器湿通道壁面上的水膜太薄，在表面张力的作用下，液膜会产生断裂，不能覆盖整个表面，在二次空气作用下，有些壁面甚至出现“干斑”，干斑处极易形成水垢，导致热质交换效果变差。淋水量过大，湿通道壁面完全湿润，热湿交换面积增大，但林水量增大到一定程度时，热湿交换效率变化不大，甚至出现降低的趋势，这是因为水对空气通道的阻塞愈加严重，形成水

表3　直接蒸发冷却系统输出冷量的有效供冷量百分比（单位%）

Δt_1/℃	送风温差 Δt_2/℃													
	1.7	2.2	2.8	3.3	3.9	4.4	5.0	5.6	6.1	6.7	7.2	7.8	8.3	8.9
6.7	31	42	52	63	73	84	94							
7.8	27	36	45	54	63	71	80	89	98					
8.9	23	31	39	47	55	62	70	78	86	94				
10.0	21	28	35	42	49	56	63	69	76	84	90	97		
11.0	19	25	31	37	44	50	56	62	69	75	81	88	94	100
12.2	17	23	28	34	40	45	51	57	62	68	74	80	85	91
13.3	16	21	26	31	36	42	47	52	57	63	68	73	78	83
14.4	14	19	24	29	34	38	43	48	53	58	63	67	72	77
15.6	13	18	22	27	31	36	40	45	49	54	58	63	67	71
16.7	12.5	17	21	25	29	33	37	42	46	50	54	58	62	67
17.8	12	16	20	23	27	31	35	39	43	47	51	55	59	62
18.9	11	15	18	22	26	29	33	37	40	44	48	51	55	59
20.0	10	14	17	21	24	28	31	35	38	42	45	49	52	56
21.1		13	16.5	20	23	26	30	33	36	40	43	46	49	53
22.2		12.5	16	19	22	25	29	31	34	38	41	44	47	50
23.3		12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48
通风良好区				推荐的运行区					供冷不均匀区					

注：Δt_1为被处理空气干、湿球温差。

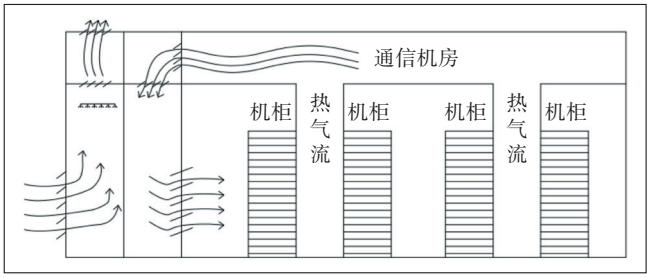

图2　间接蒸发冷却技术原理简图

桥，阻力增加，势必引起风机和水泵功耗增加。因此，在对二次空气进行淋水时应保证淋水的均匀性和淋水量，避免效率衰减。

通信机房用间接蒸发冷却和机械制冷相结合的空调系统打破了蒸发冷却空调系统单独运行受室外气象参数影响的局限性，扩大了蒸发冷却的使用范围。该系统在蒸发冷却系统单独运行无法满足机房冷负荷时，开启直膨式压缩机或冷水型末端换热盘管，对蒸发冷却系统进行补冷以满足机房散热设备制冷需要。

3 蒸发冷却适用性分区

蒸发冷却受气候条件影响较大，我国建筑热工设计分区根据气候特点分为严寒地区、寒冷地区、夏热冬冷地区、夏热冬暖地区、温和地区，即便在同一分区气候也有较大差异，而影响蒸发冷却效果的主要因素是室外湿球温度，湿球温度决定了空气温降幅度，因此本文采用夏季空调室外计算湿球温度作为蒸发冷却适用性的评判标准。表4是根据室外湿球温度对蒸发冷却进行适用性设计分区，给出全国范围内的适用性指导建议。

表4　蒸发冷却适应性分区范围

设计分区	分区指标/℃	区域特点	分区名称	典型城市
设计一区	$t_s<20$	干燥凉爽	通风区	乌鲁木齐
设计二区	$20\leq t_s<23$	干燥较热	高适应区	呼和浩特
设计三区	$23\leq t_s<28$	干燥炎热	适应区	郑州
设计四区	$t_s\geq 28$	潮湿炎热	非适应区	武汉

依据《中国建筑热环境分析专用气象数据集》，统计乌鲁木齐、呼和浩特、郑州、武汉4个典型城市全年蒸发冷却适用性时间占比。乌鲁木齐全年最高湿球温度值低于20℃，呼和浩特、郑州、武汉湿球温度值低于20℃的时间占比分别为98.5%、77.8%、66.9%，蒸发冷却在应用时不仅要参考湿球温度，还要参考干湿球温差。武汉地区虽然湿球温度值低于20℃的时间占比为66.9%，但武汉地区相对湿度较高（相对湿度越高，空气越接近饱和），使得蒸发冷却温降幅度受限。不同地区在使用蒸发冷却时应综合考虑当地气候特性，且需根据通信机房的环境要求，对蒸发冷却系统进行设计和应用。

4 蒸发冷却效率评价方法

对于直接蒸发冷却系统，淋水填料的性能直接影响其使用效果，目前淋水填料主要分为有机填料、无机填料和金属填料3类。有机填料是由加入了特殊化学

原料的植物纤维纸浆制成，具有较大的比表面积，一般1 m^3填料可提供440~660 m^2的接触面积。无机填料是以玻璃纤维为基材，经特殊成分树脂浸泡，再经烧结处理的高分子复合材料，无机填料具有较强的吸水性。金属填料主要有铝合金填料和不锈钢材料2种，金属铝箔填料的比表面积为400~500 m^2/m^3。

表5为国家空调设备检验中心对3种填料的检验结果，从填料的热工性能看，无机填料效果最好，但综合考虑填料的防腐、耐久、防火、除尘及经济性后，认为金属填料的综合效能最好，在实际中应用较多。

表5 3种淋水填料的检验结果

湿材类型	加填料前			加填料后		测试结果		
	干球温度/℃	湿球温度/℃	迎面风速/(m/s)	干球温度/℃	湿球温度/℃	前后温差/℃	加湿量/(g/kg)	风侧阻力/Pa
有机	40.02	24.99	2.59	32.66	25.48	7.36	4.06	36.8
无机	40.06	23.54	2.45	29.58	23.74	10.48	9.70	26.7
金属	40.01	23.50	2.61	37.10	25.01	2.91	3.63	38.4

直接蒸发冷却的热湿交换效率(饱和效率)可表述为：

$$\eta_{dec} = \frac{t_{g1} - t_{g2}}{t_{g1} - t_{s1}} \quad (1)$$

式中：

t_{g1}——进风干球温度(℃)

t_{g2}——出风干球温度(℃)

t_{s1}——进风湿球温度(℃)

蒸发冷却空调系统的温降幅度$\Delta T=t_{g1}-t_{g2}$与设备的蒸发效率η和室外干湿球温差相关，从式(1)可以看出干湿球温差越大，即环境相对湿度越小，蒸发冷却空调的降温效果就越好。

直接蒸发冷却空调的经济性能评价指标，即E_{dec}，可表述为：

$$E_{dec} = E\frac{\Delta t_{des}}{\Delta t_{avr}} \quad (2)$$

式中：

E——按常规制冷模式计算的直接蒸发冷却空调的能效比

Δt_{des}——供冷期平均干湿球温差(℃)

Δt_{avr}——当地设计干湿球温差(℃)

间接蒸发冷却的热湿交换效率(饱和效率)可表述为：

$$\eta_{iec} = \frac{t_{g1}' - t_{g2}'}{t_{g1}' - t_{s1}'} \quad (3)$$

式中：

t_{g1}'——一次空气进风干球温度(℃)

t_{g2}'——一次空气出风干球温度(℃)

t_{s1}'——二次空气进风湿球温度(℃)。

5 结束语

通信机房采用蒸发冷却技术具有较大的节能潜力，可为通信运营商节省较大的空调能耗成本，蒸发冷却技术在具体应用时需结合机房环境温湿度要求进行设计。本文分析了通信机房用蒸发冷却常用技术形态，同时指出直接蒸发冷却使用过程中填料类型、淋水密度、室外干湿球温差及送风温差会对其效能产生直接影响。间接蒸发冷却的核心器件是空气-空气换热器，采用高分子换热器材质，可有效提升换热效率，延长换热器寿命。但该技术因受气候因素的影响，在产品形式、使用时间、应用形态上会出现“地域化”差异，因此蒸发冷却在使用时应充分考虑地区差异性，最大化延长蒸发冷却的使用时间，发挥蒸发冷却的节能优势。

参考文献：

[1] 陈朋飞，沈洪. 典型蒸发冷却空调系统的应用能效分析[J]. 制冷，2016，35(4)：43-48.

[2] 狄育慧，刘加平，黄翔. 蒸发冷却空调应用的气候适应性区域划分[J]. 暖通空调，2010，40(2)：108-111.

[3] 陆亚俊. 间接-直接蒸发冷却在空调中的应用[J]. 暖通空调，1982，12(6)：37-40.

[4] 周斌. 间接蒸发冷却器中均匀布水的实验研究[D]. 西安：西安工程科技学院，2005.

[5] 黄翔. 蒸发冷却空调理论与应用[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2010.

作者简介：

闫健，工程师，硕士，主要从事通信机房空调制冷相关技术研究工作；郭凯，工程师，硕士，主要从事通信机房空调制冷相关技术研究工作；侯永涛，高级工程师，硕士，主要从事通信电源、空调制冷、动环监控等相关技术研究工作。