

# 数据中心冷却系统中蒸发冷却技术的运用研究

邓钊帆

深圳易信科技股份有限公司

**摘要：**数据中心作为一种在全球范围内拥有广泛应用的IT设施，已成为当今信息技术发展的重要支柱之一。在数据中心的冷却系统中，蒸发冷却技术是一种高效率、低能耗的技术。它能以较少的能源消耗达到较好的冷却效果。它与传统的冷却方式相比，有许多优势。本文对蒸发冷却技术进行了概述，分析了其在数据中心中的应用，并与传统的冷却方式进行了比较。

**关键词：**数据中心；冷却系统；蒸发冷却技术

**【DOI】** 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.19.070

## 引言

在数据中心的机房空调系统中，蒸发冷却技术已成为一种主流的制冷技术。随着计算机和电子技术的快速发展，数据中心机房空调系统也发生了巨大变化。近年来，随着IT设备在数据中心机房中所占比重的增大，数据中心机房空调系统正朝着高能耗、高成本的方向发展。蒸发冷却技术在数据中心中的作用，除了可以带走IT设备的热量以外，更多地是降低冷水机能耗，提高冷水机能效，从而达到降低机房PUE值的效果。因此，开发一种高效节能、低成本、绿色环保的数据中心空调系统成为当今空调行业关注的焦点。

## 一、数据中心冷却系统简介

### （一）数据中心冷却系统特点

数据中心冷却系统的主要特点包括：需在短时间内将数据中心产生的热量快速冷却到环境温度以下，并在冷却过程中尽量减少热量的损失；系统运行时产生的噪声和震动要尽量小，以避免影响附近建筑物和其他设备；要具备良好的水循环系统，并能够将水从高温高湿地区输送到低温低湿地区，以减少水的蒸发损失；

需要具备高可靠性，并能够对系统进行有效的监控和管理。以上特点都决定了数据中心冷却系统需要具有较高的可靠性和稳定性，并且要保证对环境 and 设备的低影响性。对于数据中心来说，只有这样才能实现稳定可靠的运行。

### （二）数据中心冷却系统作用

数据中心冷却系统主要是为服务器、网络设备、存储设备和其他各种电子设备提供一个冷却环境，为其散热，以确保电子设备在其寿命周期内保持高水平的性能和可靠性。

冷却系统主要包括末端空调、冷水机组、板换、冷却塔以及管道。电子设备散发的热量通过末端空调的冷

冻水带走，高温的冷冻水回水通过冷水机组或板换进行降温，而冷却塔则是将热量从冷水机组或板换内带走排放到大气。冷却塔主要是依靠蒸发冷却进行降温，以此循环。此外在机房内还需要有合理化的气流组织，通过冷热通道全封闭模块，使得机房内冷热气体隔离，提高换热效率，减少冷量损失，热回风通过末端空调换热后形成冷风，再由静压地板全部输送到设备，设备的热量汇集到热通道，以此循环，实现定向精准送风，从而保证机房内温湿度能保持一个范围上下波动，确保服务器运行可靠。

## 二、数据中心冷却系统中运用蒸发冷却技术的必要性

数据中心是数据流接收、处理、存储与转发的“中枢大脑”。为激活数据要素潜能，不断做强做优做大数字经济发展，我国正加快构建新型数据中心基础设施体系。同时，在“双碳”宏观形势下，政府部门近年陆续出台多项文件，对数据中心PUE（电能利用效率）监管要求不断提高、达标时间不断提前。2022年1月发改委同意启动建设全国一体化算力网络国家枢纽节点的系列复函中明确要求国家算力东、西部枢纽节点数据中心PUE分别控制在1.25、1.2以下。因此当前数据中心冷却系统需创新应用，采用更为高效节能、低成本、绿色环保的冷却技术去攻克现有难题，突破技术瓶颈。而蒸发冷却技术以水为冷却介质，且水的蒸发能力为空气温差换热能力的2000多倍，符合当前冷却系统的需求，因此数据中心冷却系统运用蒸发冷却技术是很有必要的，需朝着蒸发冷却技术协同融合液冷技术这个技术路线深入研究，通过一次侧冷源与二次侧冷源的创新应用，来匹配高功率需求。

蒸发冷却技术作为一种全新的绿色冷却技术，利用水作为冷却介质，结合水蒸发冷却特点，在散热设备上对机房产生的热负荷进行散热。蒸发冷却技术的应用极大地缩短了冷水机组使用时长，降低冷水机组功耗，从而有效地降低整体的PUE<sup>[2]</sup>。数据中心多数采用冷却塔作为一次侧冷源，在冷却塔中通过换热芯体增大换热面积，使得喷淋下来的冷却水在换热芯体上形成水膜，换热更充分，通过冷却塔的压差，促使与水接触的饱和空气逃逸到未饱和的空气当中去，带走大量的汽化潜热，从而达到降低水温的效果，并且在风机的抽吸作用下，以少量的电能驱动，将冷却水的热量转移到大气当中，完成整个蒸发冷却过程。另外，由于蒸发冷却技术对水系统不做特殊要求，所以对水资源非常丰富且具有一定

湿度要求的地区尤为适用。而且随着我国建筑能耗在整个社会总能耗中所占比例不断增加,通过蒸发冷却技术来解决数据中心空调系统高能耗问题显得尤为重要。

### 三、数据中心冷却系统中蒸发冷却技术的具体应用

#### (一) 数据中心冷却系统的冷源

现有数据中心冷却系统的冷源包括以下四种:1、冷水机组:作为机械制冷,在夏季炎热以及冷却塔无法提供全自然冷的时候使用,为末端空调提供机房所需的冷冻水,满足机房内空气的温度和湿度要求,其不受环境影响,是目前数据中心必备的冷源,但是冷水机组功率高,能耗大;2、冷却塔:作为自然冷源,在春秋季节承担机房内部分负荷,在冬季可实现全自然冷,绿色环保,高效节能,对于降低数据中心机房PUE值尤为重要,但其受环境影响较大;3、柴油发电机组:为数据中心的备用冷源,在机房断电后启用,可维持8h不间断供电;4、蓄冷罐:为数据中心的备用冷源,在机房断电后可维持供冷15min,放冷完后需要冷水机组或者冷却塔进行蓄冷,充当冷却系统的末端设备。目前一次侧冷源基本为自然冷却+机械制冷复合制冷方式,在湿度较低地区,如新疆、内蒙古等地区,更利于蒸发冷却技术的应用,自然冷源利用率高。

#### (二) 蒸发冷却技术与液冷技术融合应用

随着云计算、元宇宙、人工智能、大数据等信息技术的快速发展和传统产业数字化的转型,数据呈现爆炸式增长,算力和硬件部分能耗也在不断增加,促使通讯设备性能不断提升,功率密度持续升高,传统的风冷散热架构无法满足高功率密度机柜散热需求。而液冷作为数据中心新兴制冷技术,可攻克当前算力爆炸式增加所带来的高功率机架散热需求的难题。

液冷技术分为接触式及非接触式两种,接触式液冷是指将冷却液体与发热器件直接接触的一种液冷实现方式,包括浸没式和喷淋式液冷等具体方案。非接触式液冷是指冷却液体与发热器件不直接接触的一种液冷实现方式,包括冷板式等具体方案。其中,冷板式液冷采用微通道强化换热技术具有极高的散热性能,目前行业成熟度最高;而浸没式和喷淋式液冷实现了100%液体液冷,具有更优的节能效果。

液冷市场需求保持逐年增长状态,冷板式液冷和浸没式液冷是行业内目前共存的两条主流技术路线;伴随国家双碳节能政策驱动,市场对液冷的需求将逐步提升。考虑到技术成熟度、可靠性、技术通用性、结构颠覆性等多个方面,当前液冷数据中心仍以冷板式液冷占据主流地位;

行业内较为成熟的液冷技术为冷板式液冷技术。该系统分为一次侧与二次侧,一次侧为冷却塔、CDU、一次侧管路,应用蒸发冷却技术;二次侧为二次侧液冷管

路、液冷机柜、冷却介质,应用液冷技术。在我国绝大部分地区,液冷系统均可以使用自然冷却。常见的自然冷冷源可分为开式冷却塔、闭式冷却塔、干冷器。冷源的选择需要根据项目所在地的气候、场地、水电等因素综合考量。而如何将自然冷冷源利用最大化,也是当前蒸发冷却技术深入研究的方向。

#### (三) 蒸发冷却+机械制冷的复合制冷应用

该冷却方案为常规数据中心的风冷散热方案,处理6kW以下功率机架的散热需求,一般分为3种工况:1、全自然冷模式,冷却塔机组出水温度较低时,湿球温度在15℃左右,可独立承担空调冷负荷的单独供冷工况;2、冷却塔机组出水温度较高时,一般为春秋季节时候,冷却塔机组仅起到预冷作用,对末端空调的高温回水进行预冷,然后再送至冷水机组进行二次冷却,得到机房所需的冷冻水温度,为冷却塔与压缩机联合运行工况;3、夏季模式时,冷却塔机组出水温度高,此时已经无法对冷冻水回水进行预冷,需要机械制冷承担机房空调内所有冷负荷,而冷却塔机组仅为冷水机组提供冷却水降温。这3种工况对应的室外参数分布时间可反映出蒸发冷却节能优势是否得到充分发挥,也是自然冷却与机械制冷模式切换,协同运行的重要依据。

#### (四) 蒸发冷却的表现形式

目前对于空气质量好、气候温和的地区,可采用组合式机组模式与风机墙模式;对于干燥地区,可使用空气-空气换热器、转轮换热器以及空气侧间接蒸发冷却机组;对于冬季室外冷量充足地区,可使用乙二醇系统与蒸发冷却冷水机组相结合的形式,充分利用室外环境温度对其进行降温。

当直接蒸发冷却在数据中心空调系统中应用时,需要将大量外界环境空气引入数据中心IT设备机房,这会增加机房内环境污染以及湿度范围不受控的风险,进而对IT设备的可靠运行造成威胁。因此,目前大多数数据中心的运营商更倾向于在数据中心空调系统中采用间接蒸发冷却方式。数据中心多采用混合式间接蒸发冷却空气处理机组(与机械制冷相结合),根据室外环境温湿度的变化情况,选择不同间接蒸发冷却芯体满足数据中心降温需求。

未来数据中心制冷方式更多地表现为技术集成化,具体可以有:蒸发冷凝技术、氟泵技术以及热管技术相结合;蒸发冷却技术与机械制冷技术相结合;蒸发冷却技术与液冷技术相结合;蒸发冷却冷凝技术、氟泵技术以及机械制冷技术相结合。其次是形式多样化,根据数据中心选址的气象条件、能源供给及政策、建筑风格及条件选择不同制冷形式。

蒸发冷却主要分为直接蒸发冷却和间接蒸发冷却。直接蒸发冷却是指空气与水大面积的直接接触,由于水

的蒸发使空气和水的温度都降低，此过程中空气的含湿量有所增加，空气的湿热转化为潜热，这是一个绝热降温加湿过程。整个蒸发冷却过程通常在冷却塔、喷水室或其他绝热加湿设备内实现。直接蒸发的应用在冷却塔上更多地是以开式冷却塔的结构表示，闭式冷却塔内的光管外表面与喷淋水直接接触，干冷器在夏季炎热时增加的喷雾，都属于直接蒸发的一种。直接蒸发的极限温度为湿球温度，而要达到极限温度，换热面积则需要无限大，因此这是无法实现的，一般冷却塔的出水温度为湿球温度的4℃以上。

间接蒸发冷却是指空气与水经过间接蒸发冷却器与经蒸发冷却后的水或空气进行热交换而被冷却的过程。目前间接蒸发冷却器的表现形式可分为以下几种：表面式换热器、立管式换热器、卧管式换热器、板管式换热器、板翅式换热器、露点型间接蒸发冷却器。间接蒸发冷却是通过间接蒸发冷却器降低环境干球温度以及湿球温度，使得冷却塔的出水突破湿球温度的极限，而是以露点温度作为极限温度，因此间接蒸发冷却比直接蒸发冷却的冷却水出水温度低至5℃以上，据知名冷机厂家数据，冷却水出水温度每降低1℃，冷水机能效提升3%。由于间接蒸发冷却的单位面积的散热量比直接蒸发的大的多，相同散热量下结构更为紧凑，因此如果应用在液冷集装箱上，可减少冷源侧的尺寸，增加液冷机柜的数量，冷却能力更强。

#### 四、数据中心冷却系统中蒸发冷却技术的未来发展展望

随着大数据、互联网、5G时代的快速发展，在国家“新基建”新形势背景下，不断提升的芯片热流密度和不断严苛的设备能耗设计要求成为制冷技术不断演进的两大重要驱动力，液冷技术具有高散热、低噪声、低能耗、低TCO等优势，是解决数据中心散热压力和节能挑战的必由之路。目前蒸发冷却与机械制冷联合机组和传统机组有相似之处，虽然在很多性能方面均实现了优化，节能效果得到了一定的提升，但是对于空气环境、电子设备的运行工作、成本预算、复杂天气的应对等问题的解决依然不足。例如：宁夏中卫亚马逊云计算数据中心、宁夏中卫亚马逊云计算数据中心、宁夏中卫亚马逊云计算数据中心等较为大型的数据中心采用的间接蒸发节能技术以外，国内大部分中小型数据中心的节能技术和效果依然不理想，与发达国家存在一定的技术差距。蒸发冷却技术在石油、化工、动力、制冷、空调等行业得到了广泛的应用，实践证明其具有优良的节能节水效果，因此近年来，美国、加拿大的一些电厂开始将这项技术引入到电厂冷却系统中去，采用蒸发式冷凝凝汽系统作为电站凝汽系统以代替传统凝汽器和冷却塔的组合，以期能取得较好的经济效益和社会效益。因此，

在国家“碳达峰”、“碳中和”目标的推动下，利用蒸发冷却技术作为节能产品的代表，具有高效能、低能耗的优点，越来越受到数据中心行业的关注和认可。间接蒸发冷却技术在应对低碳节能数据中心改造中具有重要地位，具有非常广阔的推广前景。

由此可以看出，蒸发冷却技术在数据中心冷却系统中的应用，为传统的冷冻水系统带来了新的挑战，也为数据中心节能减排提供了新的思路<sup>[5]</sup>。蒸发冷却技术在数据中心中的应用是一种可行的节能减排方案，其核心是利用自然冷源来提高服务器散热效率。对于大型数据中心而言，自然冷源的引入可以带走大部分服务器的散热量，从而达到降低运行费用和减少能源消耗的目的。在蒸发冷却技术中，空调系统只需在室外自然冷源与水之间进行简单的换热过程，大大减少了空调系统的数量和占地面积。蒸发冷却技术还可以实现一定程度的水资源回收利用。在一定程度上，蒸发冷却技术可以实现数据中心节能减排、降低运营成本、减少碳排放和提高能源利用率的目的<sup>[6]</sup>。

#### 结束语

数据中心的空调系统是影响数据中心能耗和IT设备工作效率的重要因素之一，在满足IT设备散热需求的前提下，如何通过对空调系统的优化，降低能耗是一个重要课题。蒸发冷却技术作为一种节能型的空调技术，在数据中心空调系统中应用越来越广泛。

#### 参考文献

- [1] 蔺旭东, 张振, 徐腾蛟. 400MW蒸发冷却水轮发电机定子带绕组整体吊装技术应用[J]. 水电与抽水蓄能, 2023, 9(06): 47-51.
- [2] 程自然, 阮琳, 杨劼, 等. 基于定子全浸式及绕组内冷式的蒸发冷却永磁直驱风力发电机优化设计研究[J]. 大电机技术, 2024, (01): 22-28+39.
- [3] 沈天磊, 黄翔, 白本通, 等. 间接蒸发冷却技术在数据中心节能改造中的应用[J/OL]. 制冷与空调, 1-4[2024-04-09].
- [4] 崔科, 谢若怡, 檀志恒, 等. 间接蒸发冷却数据中心余热利用技术应用分析[J]. 暖通空调, 2023, 53(07): 120-125.
- [5] 翁磊超, 孙铁柱. 直接蒸发冷却技术在榆林某水泥厂适用性分析[J]. 制冷与空调, 2023, 23(09): 53-56.
- [6] 蒋苏贤, 黄翔, 褚俊杰, 等. 家用露点间接蒸发冷却空调研究进展[J]. 制冷与空调, 2023, 23(11): 18-23.

作者简介：邓钊帆（1996年7月-）女，汉族，广东省清远市，本科，助理工程师，研究方向：蒸发冷却方向。