

数据中心节能制冷技术浅析

潘冬玲

中国医药集团联合工程有限公司 广东 广州 510000

【摘要】：随着我国数字经济、信息经济、知识经济的大力发展，数据中心作为其中的核心基础设施，它的规模和数量也在不断的扩张，其能耗问题就愈发凸显。数据中心能耗中的空调制冷能耗占比最大，所以节能制冷就变得尤为重要。本文通过分析数据中心常用的空调冷源方式，探讨不同的节能制冷系统方案、适用场景和节能效果，旨在为数据中心的绿色建设和节能运行提供参考，助力数据中心的可持续发展。

【关键词】：数据中心；空调冷源；节能制冷；自然冷源；能耗；PUE；

DOI:10.12417/2811-0536.26.08.030

1 引言

在 AI 大模型、云计算、互联网、人工智能等技术的推动下，数据中心的需求呈现了爆发式的增长。数据中心因电力消耗巨大已成为社会的能耗大户，而数据中心的空调制冷能耗占比高达 35%以上。为了响应国家节能、低碳、环保的号召及降低运营成本提高公司的综合竞争力，数据中心的节能制冷技术也得到了社会各界包括空调厂家、建设方、设计公司、学校、个人学者等在内的大力支持和重视，助力开辟出一个高效节能的数据中心时代。

2 数据中心空调冷源的常用方式

数据中心空调冷源主要有水冷冷水机组制冷系统、风冷机组制冷系统、蒸发冷却式冷水机组制冷系统、液冷冷却制冷系统四种常用的形式。

2.1 水冷冷水机组制冷系统

水冷冷水机组制冷系统主要有冷水机、冷却塔、冷冻水泵和冷却水泵等组成，其系统相对复杂，需要独立的空调冷冻机房，占地面积较大，初投资较高，需要专业的维保人员，但系统较稳定及节能性较高，该系统运用在数据中心上 PUE 最低可以达 1.5。水冷冷水机组制冷系统的冷水机主要有螺杆式冷水机、离心式冷水机和磁悬浮冷水机，其中螺杆式冷水机适用于中型项目，离心式冷水机适用于大型项目，磁悬浮则使用范围较广。水冷冷水机组制冷系统建议在淡水资源丰富的中大型项目上使用。

2.2 风冷机组制冷系统

风冷机组制冷系统又区分为风冷直膨机制冷系统和风冷冷水机制冷系统。风冷冷水机组与水冷冷水机组同样都是制取冷冻水输送到空调末端给房间和设备降温，不同的是风冷冷水机冷凝器是通过室外空气带走冷凝热量，而水冷冷水机则是通过冷却塔的冷却水带走冷凝器的热量。风冷直膨机和风冷冷水机唯一的

区别是风冷直膨机没有冷冻水系统。因为风冷机组的制冷性能系数较低，其占地面积小且没有冷却水消耗问题，建议在缺水地区和中小型项目上综合对比后采用。

2.3 蒸发冷却式冷水机组制冷系统

蒸发冷却式冷水机组的散热原理和水冷冷水机组制冷系统类似，都是以环境中的空气和水作为热交换介质。蒸发冷却式冷水机组通常为一体化设计，其冷凝器、蒸发器、压缩机、储水箱等通常集合在一个模块中，通过循环冷却水直接喷淋到冷凝器的表面吸收热量再通过风机排向室外，有效的降低了冷凝温度，其冷凝温度最高可以做到不超 38.5℃，大大提升了冷水机组压缩机的效率。

由于蒸发冷却式冷水机组循环冷却水都暴露在空气中，对水质要求较高，后期需要特别关注塔体的冷却水质，以免冷却水结垢、藻类滋生等水质问题导致机组性能大大降低。

蒸发冷却式冷水机组性能的主要影响因素是室外的环境湿球温度，湿球温度越低，机组的冷凝温度越低，机组的性能就越高。蒸发冷却式冷水机组的耗水量比水冷冷水机制冷系统少 50%以上，建议在缺水和室外环境湿球温度较低地区的中小型项目上使用。

2.4 液冷冷却制冷系统

液冷是近几年在数据中心发展比较迅猛的一项冷却技术，其核心是用散热能力更强的液体代替风与数据中心的散热设备直接接触（浸没式液冷）或间接接触（冷板式液冷）。液冷冷却技术可以使数据中心的 PUE 下降至 1.2 以下，相比风的散热有很大的节能效果提升。但因其造价较高，通常在大功率的机柜上使用，当单个机柜功率大于 35KW 时应采用液冷冷却技术。

3 数据中心自然冷源冷却

所谓的自然冷源冷却就是利用自然环境的低温，通过传热降低输送至室内的液体或气体温度的过程。当室外空气温度足够低时，可以完全关停制冷压缩机，把室外的冷风和室内的热风混合降温后再送入室内，达到冷却降温的效果。也可以利用室外低温环境冷却空调系统的循环水，在关停制冷压缩机后仍可以降低空调循环水的温度，使循环水温度达到设定温度。数据中心自然冷源冷却方式主要有如下五种：

(1) 直接引入室外冷风：可以将室外冷风直接送入数据中心机房，当室外环境温度足够低的时候可以利用其的冷量带走机房内的热量。当室外温度高而不足以带走室内热量时，则仍需开启空调工作。

(2) 新排风热交换: 新排风热交换系统主要利用板式换热器通过设备自带的风机将室外冷新风和室内的热排风进行热交换, 风机排走室内的热量同时将室外的冷量带入室内, 从而达到降低室内温度的目的。

(3) 离子液热交换: 离子液热交换系统通常是将室外的空气和乙二醇溶液通过干盘管进行能量交换, 乙二醇溶液通过自然冷却降低温度, 再用循环泵把低温乙二醇溶液送至空气处理机的盘管与室内的回风接触, 吸收热量降低回风温度再送入室内。

(4) 热管技术应用：热管的导热系数很高，是常用导体铝、铜等金属材料的 200 倍以上，因其优良的导热性能常在军事、航空、半导体等领域用到，是热交换系统的优良设备。热管利用其内部的液体的相变可以无需额外动力，用较小的截面积传递大量的热量。

(5) 水冷板式换热：水冷板式换热器是由多排板翅片组成的换热设备，其内部设计出两条相互独立的冷水通道分别走不同温度的冷水，冷水通过较好传热效果的翅片进行换热，负荷侧较高温的回水和室外较低温的进水进行换热，制取较低温的冷水送入负荷侧。水冷板式热交换在大型的数据中心空调系统应用的较多。

4 数据中心冷源节能方案分析

4.1 数据中心冷源方案的选择

4.1.1 常规制冷与自然冷源结合

冷源方式有常规制冷和自然冷源两种方式。

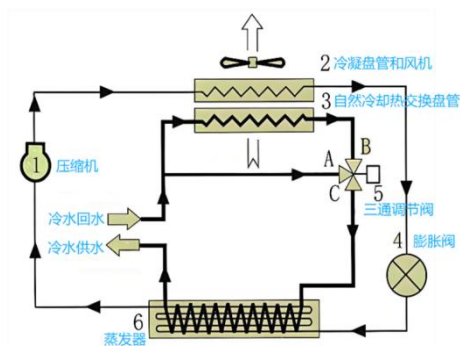
常规制冷方式主要有电动压缩式冷水机组制冷,即是常用的水冷冷水机制冷、风冷冷水机制冷、蒸发冷却式冷水机制冷等。由于数据中心冷负荷主要为设备散热的显热负荷,冷负荷比较稳定,且一年四季都

需要供冷, 常规制冷在室外环境温度较低的季节制冷能耗较大。为了降低运行能耗提高系统的节能性, 自然冷源系统就显得非常的重要。

所以，常规制冷+自然冷源冷却的系统方案就应运而生。通常在室外干湿球温度较高的季节下采用常规制冷方式，在室外干湿球温度较低的季节关停压缩机利用自然冷源为数据中心提供足够的冷量，达到冷却目的。

4.1.2 风冷冷水机+自然冷源冷却系统

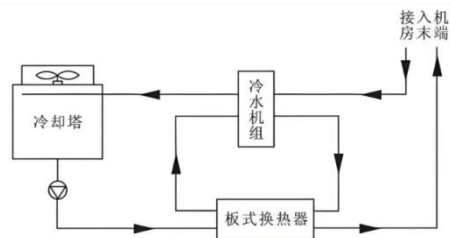
风冷冷水机+自然冷源冷却系统需要风冷冷水机带自然冷源的运行模式，其主要有压缩机、冷凝盘管、风机、自然冷却热交换盘管、膨胀阀、三通调节阀、蒸发器等组成。当冷凝器的进风温度低于回水温度超过 2℃时，系统开启部分自然冷却模式，当冷凝器进风温度继续降低至小于冷冻水出水温度 10℃以上时，压缩机停止运行，系统转为完全利用自然冷源冷却模式。



风冷自然冷源冷水系统原理图 (图 4.1.2)

4.1.3 水冷冷水机组+自然冷源冷却系统

由水冷冷水机组、板式换热器、开式冷却塔、电动切换阀等组成的自然冷源冷却系统是中大型数据中心较为常用的解决方案。当过渡季节或冬季室外湿球温度小于冷冻水出水温度 6°C （设板换换热温差为 1°C ）以上可以完全利用室外的自然冷源，但需要板式换热器，板式换热器温差为 $1\sim 3^{\circ}\text{C}$ 。

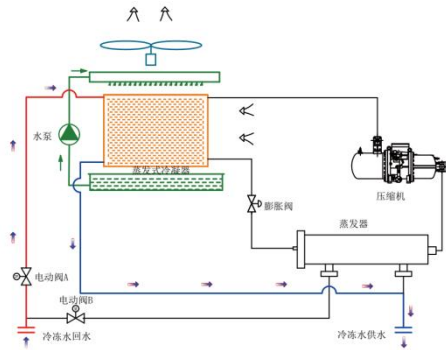


水冷自然冷源冷水系统原理图 (图 4.1.3)

4.1.4 蒸发冷式自然冷源冷水机组

蒸发冷式自然冷源冷水机组在夏季采用压缩机机械制冷，压缩机以满负荷输出。在过渡季节，蒸发冷式自然冷源冷水机组可以实现部分自然冷却。在冬季，蒸发冷式自然冷源冷水机组可以采用热管进行自然冷却，冷水机组在冬季可实现热管与压缩机的自由切换，冬季制冷处于“非制冷即热管”状态，大大减少了压缩机运行时间。

蒸发冷式自然冷源冷水机组可以采用双系统串联大温差工况，系统1出水温度15℃，回水温度20℃，系统2出水温度20℃，回水温度25℃，结合热管和闭式水塔方式联合运行实现自然冷源运行，当室外湿球温度低于12℃时（室外干球温度22-29℃），可实现系统2满负荷自然冷源运行，当室外湿球温度低于7℃时，可实现系统1满负荷自然冷源运行，自然冷源运行系统COP可达35。



蒸发冷自然冷源冷水机组原理图（图 4.1.4）

参考文献:

- [1] 利用自然冷源制冷对通信基站节能降耗的研究.陈杰(导师:马国远)-《北京工业大学硕士论文》-2012-05-01.
- [2] 浅谈通信机房的节能减排(下).湖北朱少华-《电子报》-2013-11-10.
- [3] 绿色电信网络中基站节能技术初探.胡薇(导师:曾志民)-《北京邮电大学硕士论文》-2012-01-10.
- [4] 大型数据中心部分自然冷却方式的节能性分析.张亚男,李斌,李子逸-《暖通空调》-2022.
- [5] 自然冷却技术在数据中心的应用探讨.张谦-《科技资讯》-2013.

4.2 数据中心冷源方案比较

4.2.1 风冷、水冷、蒸发冷系统方案比较

表 4.2.1 风冷、水冷、蒸发冷系统的节能对比

冷凝方式	风冷式	水冷式	蒸发式
冷凝温度	45℃	40℃	38.5℃
单位冷量风机风量	420-500CMH	120-200CMH	110-160CMH
冷却水泵能耗	无	至少 18 米扬程	3-5 米扬程
单位冷量冷凝能耗	0.026KW	0.038KW	0.014KW
冷源系统 SCOP	2.5-3.5	3.5-4.6	4.2-5.1
对比节能	蒸发式比水冷、风冷系统节能 10%~30%		

4.2.2 制冷运行能耗费用比较

根据中科院建筑所的检测数据，蒸发冷却式空调机组的能耗费用与水冷式空调机组、风冷式空调机组的能耗费用之比为：1:1.16:1.31，即蒸发冷却式空调比水冷式空调运行能耗费用节约 16%，比风冷式空调运行能耗费用节约 31%。

5 结语

在上述分析的基础上，项目应根据造价预算、规模大小、当地气候条件、水资源是否匮乏、制冷系统是否可靠稳定等综合情况做详细的对比论证分析，选出最佳的冷源节能方案。