

智能矿山数据中心绿色节能技术研究与分析

文/郑 兵 刘军军 曹敬哲 曹昱媛
国家能源集团准能集团

摘要：近年来，随着准能集团信息技术的不断推进应用，以及5G通信、人工智能、矿车无人驾驶及数据治理等技术和场景的不断出现，集团智能数据中心规模日益扩展。结合公司数据中心建设情况，以及国家和自治区对数据中心节能的要求，研究相关数据中心节能减排技术，从新风节能和液冷两个方面研究降低数据中心电源使用效率（PUE值），进一步降低数据中心碳排放，助力公司降本增效，提升产业效益。

关键词：数据中心；电源使用效率；节能减排；新风节能；液冷系统

近年来，国内数据中心产业规模的扩展十分迅速，每年平均增速为30%左右。2020年，全国数据中心机架数为428.2万架，耗电量占全社会耗电量的2.7%，预计未来仍将保持快速增长的势头。数据中心规模持续扩展的同时，其能源消耗、绿色和低碳发展进程正在成为社会关注的焦点。在“双碳”目标下，园区数据中心需认真改造，减少碳排放，逐步实现园区数据中心“碳中和”目标。

如今绿色能源、节能减排等理念深入人心，数据中心面临着能耗巨大的难题，各地政府不断出台政策，控制高耗能数据中心项目的落地。电源使用效率（PUE值）作为评价数据中心能源效率的指标，是数据中心所有设备的总能耗与IT负载能耗之比。

PUE值越接近于1，说明数据中心能效越向好的一方面发展，同时也展示了数据中心通信算力等设备的电力利用率越高，数据中心绿色低碳化水平也越高。

政策背景及数据中心能耗现状

1. 政策背景

低碳发展已成为我国新时代发展的重要理念。

如何降低数据中心PUE值，各地就数据中心低碳节能化发布了一系列政策。

2020年，国家发展改革委、中央网信办等四部委联合印发的《关于加快构建全国一体化大数据中心协同创新体系的指导意见》制定了PUE值发展目标，到2025年国内企业园区数据中心的PUE值不高于1.3。

2021年，工业和信息化部印发的《新型数据中心发展三年行动计划（2021—2023年）》提出，到2023年新建数据中心PUE值降低到1.3以下，绿色低碳等级达到4A级以上。严寒和寒冷地区PUE值力争降低到1.25以下，引导新型数据中心走高效、清洁、集约及循环的绿色低碳发展道路。

2022年，内蒙古自治区印发的《内蒙古自治区2022年坚持稳中求进推动产业高质量发展政策清单》提出，大数据中心电源使用效率（PUE值）应降低到1.3以下。

2. 园区数据中心能耗现状

目前园区数据中心的电能消耗主要由IT设备（45%）、制冷设备（47%）及供配电系统（8%）等构成。数据中心新引进智慧园区服务器、存储

器、GPU服务器及无人驾驶相关服务器等大量设备，PUE值维持在1.9左右，数据机房达不到《内蒙古自治区人民政府关于印发自治区2022年坚持稳中求进推动产业高质量发展政策清单的通知》中节能技术改造项目的标准。主要原因有：

1) 设计上更多地追求高可靠，对节能指标重视程度不够。

2) IT负载率不高，导致电气、空调系统运行状态无法优化。

3) 设备部署不科学，造成冷热气流的紊乱，冷量浪费。

数据中心的节能路径从开源和节流两个方面入手，前者是在相同能耗下提升设备性能，后者是在保持设备性能不变的条件下尽可能地降低能耗。数据中心内的网络算力存储设备功率固定且难以改变，所以数据中心要降低PUE值，可从制冷系统及算力设备等耗电大户出发，优化改造园区数据中心环境模块，考虑方案的经济性，提高能源利用效率。

数据中心降低PUE值研究

1. 机房新风系统

目前公司机房坐落于鄂尔多斯，该地建立数据中心的优势十分突出。该地地广人稀、电力富余且电价低廉，气候寒冷、地质稳定且自然灾害少，符合数据中心对外界环境的要求。当地全年平均气温为4~14℃，一年约有4~5个月不需要空调制冷，可以为数据中心节约大量电力成本，同时也为机房进行新风系统改造创造了条件。

(1) 数据中心新风系统原理

新风系统是由新风换气系统及管道附件组成的一套独立系统，新风换气系统将室外新鲜气体过滤、净化送进室内，这种方式也称为热交换。同时该系统也可过滤、净化数据中心内的污染气体。

本文结合一种高效节能的热管式新风系统进行研究，热管式新风换气系统是在传统强制排送风的新风系统上添加了热管热回收装置。在冬夏季机房室内外温差较大时，传统的新风系统直接进行室内外换风，导致机房内部冷量大幅流失，造成能耗损失。热管式新风换气系统利用设备内的热管换热器，在机房外空气引入内部前，与机房内引出外部

的空气进行热交换，把外部的热空气预冷或预热后再送入室内，防止机房内能量的大幅流失，节约了数据中心精密空调设备的能耗。热管式新风系统原理如图1所示。

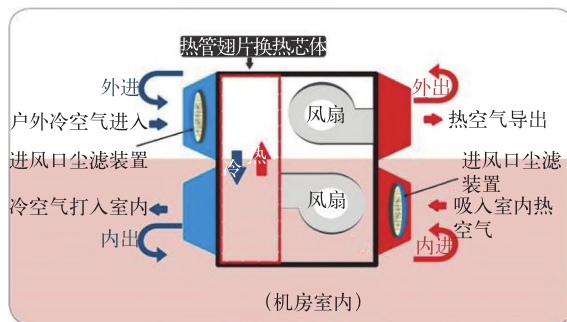


图1 热管式新风系统原理

(2) 新风系统的优势

数据中心新风换气系统可在降低机房能耗的同时，维持机房室内恒温。当前公司园区数据机房空调数据显示，空调耗电在机房耗电中占到45%以上，机房节能最有效的方式就是对空调系统进行节能改造。热管式新风换气系统的原理是：利用室内外空气温差，使热管排热设备的冷凝端和蒸发端通过冷凝工质的气液相变和独特的分离式热管结构，迅速将机房环境中产生的大量热量带出室外，使机房IT设备运行在安全、稳定和可靠的环境温度下，这就大大节省了机房空调设备主要制冷耗电部件压缩机的工作时间，与同等排热量的热管排热机组和机房空调设备相比，其耗电仅为机房空调设备的12.5%。

应用热管式新风换气系统，可大大降低数据中心环境控制能耗，对公司数据中心节能降耗、降低运营成本发挥重要的作用，具有很好的应用推广前景。同时，通过新风系统可以及时把数据机房的热和灰尘散走，减少服务器、存储器及其他微电子设备的故障。

(3) 建造水喷雾系统

通过新风系统不断优化气流组织机构，同时可在机房外部对空调设备的外机进行降温。一般是在数据中心楼顶的空调外机附近搭建空调冷凝喷雾系统，将雾化水喷淋在空调的冷却器翅片上，提高空调冷凝器散热效率，缩短空调压缩机的运转时间，实现空调设备的节能。

2. 数据中心液冷技术

在“双碳”战略目标下，数据中心绿色低碳发展已成趋势。液冷在解决数据中心高能耗问题上有着得天独厚的优势，未来公司数据中心可以考虑引入液冷技术进行节能改造。液冷是采用液体接触热源进行冷却的方式。根据冷却液和服务器接触换热方式的不同分为直接液冷和间接液冷。其中，间接液冷以冷板式液冷技术为主；直接液冷以浸没式液冷技术为主。结合公司园区机房现状，直接探讨冷板液冷系统的可行性。

(1) 冷板液冷系统原理

园区数据中心属于传统机房，采用直接接触式液冷方式进行改造的可能性较低，本文直接研究间接式液冷方式的代表——冷板液冷系统。该种液冷方式中发热元件和冷却介质不直接接触。冷板液冷系统散热的原理是：通过装有冷却液体的冷板与设备接触完成，或者在设备间加装导热体，将设备元件热量导至冷板系统上，冷板系统内部液体吸收热量，通过循环系统完成散热。在冷板液冷系统散热方式中，算力设备内部等发热元件不直接接触冷却液，因此该方式对数据中心算力设备组件及附属配

套设备几乎没有改动，系统设计的可操作性很强。

(2) 冷板液冷系统

冷板液冷系统主要通过循环导热系统将室内热量传导至数据机房外部完成散热，这种方式可降低机房空调设备使用率，降低数据中心整体PUE值，提升机房能耗利用率。该系统包括一次侧和二次侧两部分：一次侧系统为对机房供水，设备包括室外冷却塔设备与冷水机组，通过系统内水温的变化实现导热；二次侧系统由供液环路和算力设备内部流道两部分组成，通过冷却液完成导热。两个系统之间由冷液分配单元（Coolant Distribution Unit, CDU）中的板式换热器实现间壁式换热。CDU在冷板液冷系统中起到很关键的作用，除了完成循环冷却液的功能外，还负责监测并调节机架供水的温度。CDU将辅助供水的温度控制到比机房露点温度高，防止发生冷凝。

冷板液冷系统主要有开式循环系统和闭式循环系统两种类型，二者的散热循环架构区别为：一次侧室外冷却系统的循环水散热方式不同。循环式冷板液冷系统运行链路如图2所示。

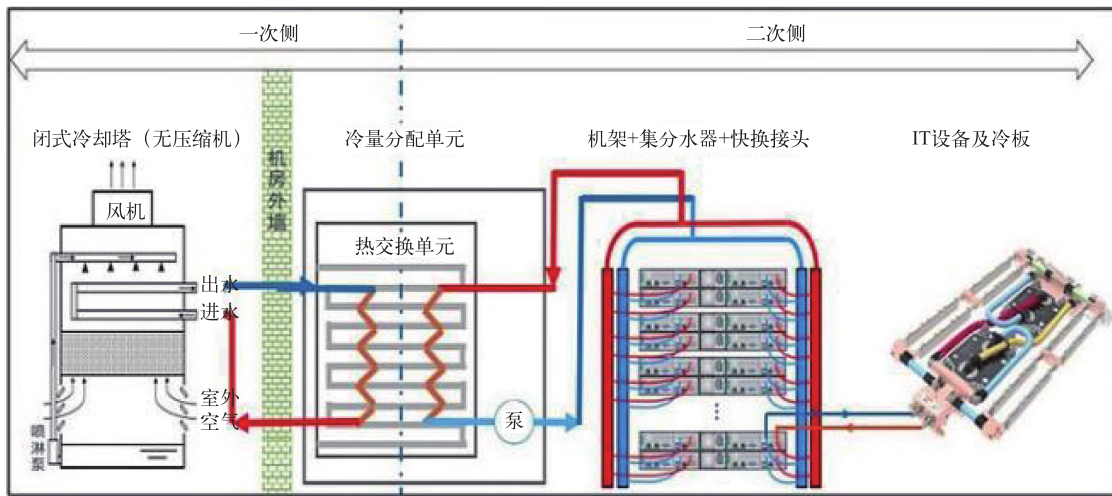


图2 循环式冷板液冷系统运行图

(3) 冷板液冷系统应用分析

冷板液冷系统目前在低碳化的算力中心表现优异，可降低算力设备的PUE值。通过对相关厂商的冷板液冷系统的调研，对该系统在集团园区数据机房的应用进行思考。对冷板液冷系统进行模块化处理，划分为液冷服务器、液冷机柜、分水管、电源

分配单元（Power Distribution Unit, PDU），及CDU五部分。其中，分水管将制冷液分流至各个服务器，提供冷热液体交换通道。CDU为冷却液分配装置，使用集中式或分布式的方式对服务器设备CPU、DIMM及GPU等部件进行精准制冷，通过高效制冷有效提升服务器的使用效率和稳定性。此

外, 园区机房还存在许多模块化的网络设备, 可对设备的相关业务板卡进行液冷化改造, 实现低碳节能。冷板液冷机柜模块如图3所示。



图3 冷板液冷机柜模块

在系统的一次侧方向, 结合公司园区所在地的气象条件, 采用闭式冷却塔完成热量交换, 换热器封闭式于冷却塔内, 通过室外流通的冷空气、塔内的喷淋水完成管内循环水向外部散热。由于内换热器不与室外介质直接接触, 因此内循环水水质较好, 减少了相关对接的热交换设备的损耗。如果当地气温较低, 则无须开启机械制冷进行降温, 直接利用散热器的大散热面积即可完成降温。

总之, 数据中心应用冷却液冷系统可大幅降低PUE值, 展现绿色节能的优势, 同时使数据中心在单位空间布置更多的服务器, 提升服务器密度, 节约机房空间, 提高数据中心运算效率。

(4) 冷板液冷系统的特性

结合园区数据中心的特性, 应用冷板液冷系统数据中心的主要优势如下:

1) 单柜算力设备密度进一步扩展。目前园区数据中心正在大力引入大算力设备, 自然风冷的数据中心单柜密度一般只支持 8~10 kW, 导致数据中心能效性价比大幅降低, 采用液冷技术的数据中心的散热能力和经济性均有明显优势。

2) 冷板液冷系统已在大算力领域应用多年, 技术相对成熟, 配套设备完善, 总体成本较为经

济, 对数据中心的运维模式及环境场景基本不产生影响。

3) 冷板液冷系统导热性能好、稳定性强, 在复杂恶劣的工作环境下可稳定运行, 减少散热系统失控的可能性。研究数据表明, 液体介质的散热能力是空气的20多倍。

4) 需要考虑冷板液冷系统构造的可靠性, 数据中心在改造液冷系统、故障检测、故障运维等方面对该系统将有更多要求, 只有在算力设备、机房设施等各个层次上做到全面可靠, 才能使液冷系统在园区数据中心稳定运行。

结束语

通过分析园区数据中心新风系统以及算力设备冷板液冷系统两项节能技术的前景和可行性, 为园区数据中心下一步节能改造提供两个发展维度, 助力数据中心节能降耗, 降低数据中心PUE值。在国家“双碳”背景下, 未来凭借先进的智能降耗设计, 在保持业务负载的情况下, 打造低功耗、低成本的绿色数据中心, 助力公司降本增效。EA

参考文献

- [1] 任河, 王翠, 杨杰. 大型数据中心节能管理的研究与思考[J]. 电子通信与计算机科学, 2023, 5(5): 10-12.
- [2] 高景, 张军甫, 潘庆瑶, 等. 贵州信息园数据中心智能新风系统的设计与应用[J]. 暖通空调, 2016, 46(10): 27-32.
- [3] 赵春晓. 浅谈液冷技术在数据中心的应用[J]. 工程建设标准化, 2021(51): 107-110.
- [4] HEYDARI A, SHAHI P, RADMARD V, et al. Liquid to liquid cooling for high heat density liquid cooled data centers[C]//International Electronic Packaging Technical Conference and Exhibition. American Society of Mechanical Engineers, 2022, 86557: V001T01A007.