

《国家信息化领域节能降碳技术应用指南与案例(2024年版)》之一：数据中心节能降碳技术（高效冷却技术）

（一）间接蒸发冷却制取冷水技术

1.技术适用范围

适用于数据中心冷却系统。

2.技术原理及工艺

该技术以内冷式间接蒸发冷却器为核心，利用水蒸发吸热效应通过热交换制取冷水。制取冷水过程中蒸发过程与所制取冷水无直接物理接触，无机械制冷参与，所制取冷水出水温度可低于环境空气湿球温度 2~3℃。间接蒸发冷却冷水机组工作原理如图 1 所示。

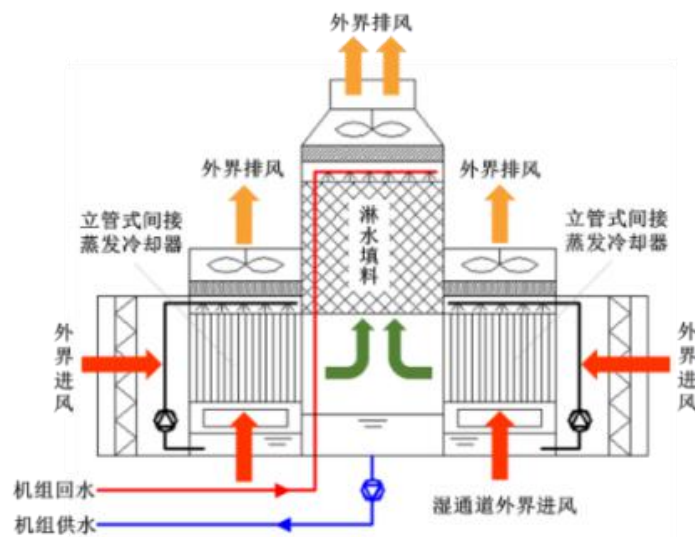


图 1 间接蒸发冷却冷水机组工作原理图

3.技术功能特性及指标

采用外冷式、内冷式间接蒸发冷却器相结合的方式预冷进入

填料塔的工作空气，可降低机组出水温度。

(1) 性能系数 (COP) ≥ 15 ;

(2) 节电 35%以上，节水 50%以上;

(3) 全年电能利用效率 (PUE) ≤ 1.1 。

4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为新疆华奕新能源科技股份有限公司，应用单位为北京电信瀛海数据中心。该数据中心地面主体建筑共 5 层，约 24 个机房模块，原空调系统采用离心式冷水机组+房间级冷冻水精密空调末端的形式给机房内服务器降温，主要耗能种类为电，IT 设备运行总负荷约 3150 千瓦。

(2) 主要技术改造内容:

在屋面设置 10 台制冷量为 350 千瓦的间接蒸发冷却冷水机组，当蒸发冷却冷水机组与原有机械制冷系统复合运行时，可有效提高压缩机能效比。项目改造周期为 6 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期:

项目年节电量为 652 万千瓦时，节能率为 42%，折合年节约标准煤 2021.2 吨，减少二氧化碳排放 5376.4 吨。投资额为 1220 万元，投资回收期为 2.5 年。

（二）基于间接蒸发冷水机组的综合冷源技术

1.技术适用范围

适用于数据中心冷却系统。

2.技术原理及工艺

该技术通过水循环回路工艺设计，将间接蒸发冷水机和压缩式冷水机组合成综合制冷系统，实现冬季间接蒸发冷水机组在北方寒冷地区数据中心安全运行。通过采用机组群控、系统自控等技术自动切换运行模式。工艺路线如图 2 所示。

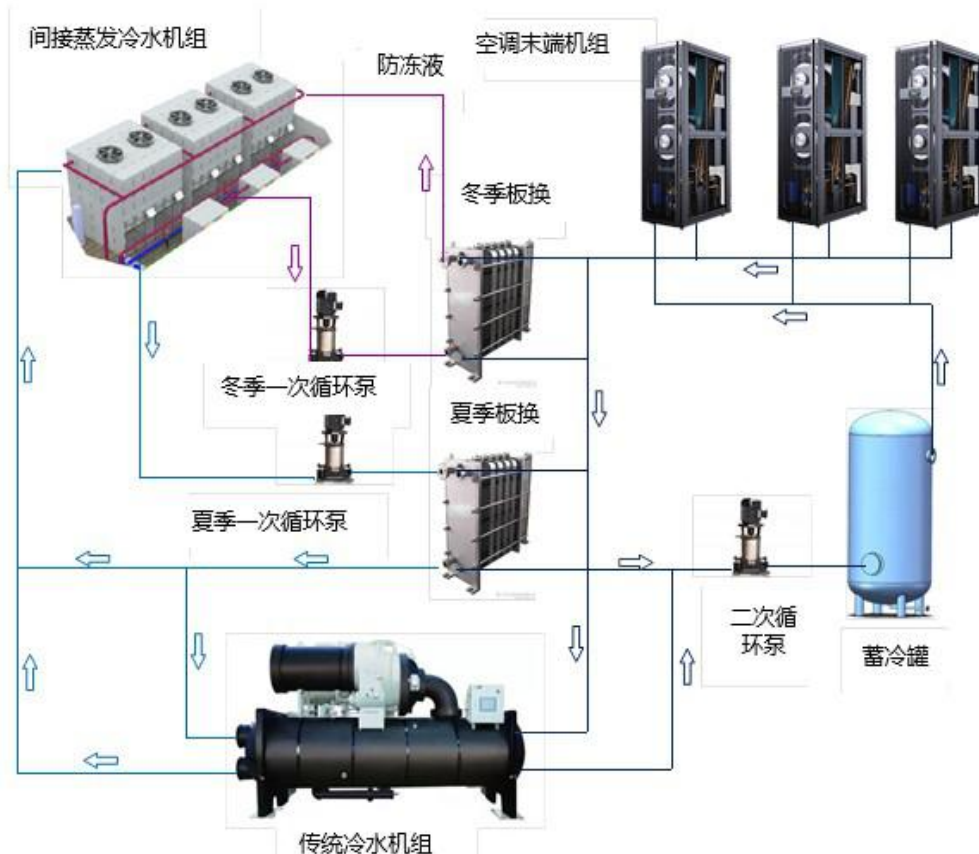


图 2 间接蒸发冷水机组为冷源的数据中心空调系统工艺路线图

3.技术功能特性及指标

将间接蒸发冷水机和压缩式冷水机组合成综合制冷系统，充

分利用室外干空气或低温空气降低能耗。

(1) 性能系数 (COP) ≥ 20 ;

(2) 冬季有防冻保护措施, 极端低温也可正常运行;

(3) 与传统机械制冷空调相比, 能耗降低 20% 以上。

4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为新疆绿色使者空气环境技术有限公司, 应用单位为中国电信新疆分公司云基地 3 号楼数据中心。该数据中心共有 14 个机房, 3015 台机柜, 主要耗能种类为电, 空调总负荷约为 16700 千瓦。

(2) 主要技术改造内容:

采用 55 台循环水量为 50 吨/小时的间接蒸发冷水机组, 其中 44 台主用, 11 台备用, 机组全部布置在屋面; 4 台蓄冷罐, 分别为 2 台 100 立方米、2 台 150 立方米蓄冷罐。项目改造周期为 1 年。

(3) 节能降碳效果及投资回收期: 项目与常规风冷冷水机组相比, 每年每台机组节电量为 32.35 万千瓦, 年节约总电量约 1423.4 万千瓦时, 折合年节约标准煤 4412.5 吨, 减少二氧化碳排放 1.2 万吨。投资额为 1716 万元, 投资回收期为 4.3 年。

（三）全自然冷却冷源液冷温控技术

1.技术适用范围

适用于数据中心冷却系统。

2.技术原理及工艺

该技术采用热管散热和水冷散热技术，在高热流密度场景下，通过液冷内外循环系统将电子芯片产生的热量传递至冷却塔散热，无须配置机械制冷设备，实现对电子芯片的温度控制。其技术路线如图 3 所示。

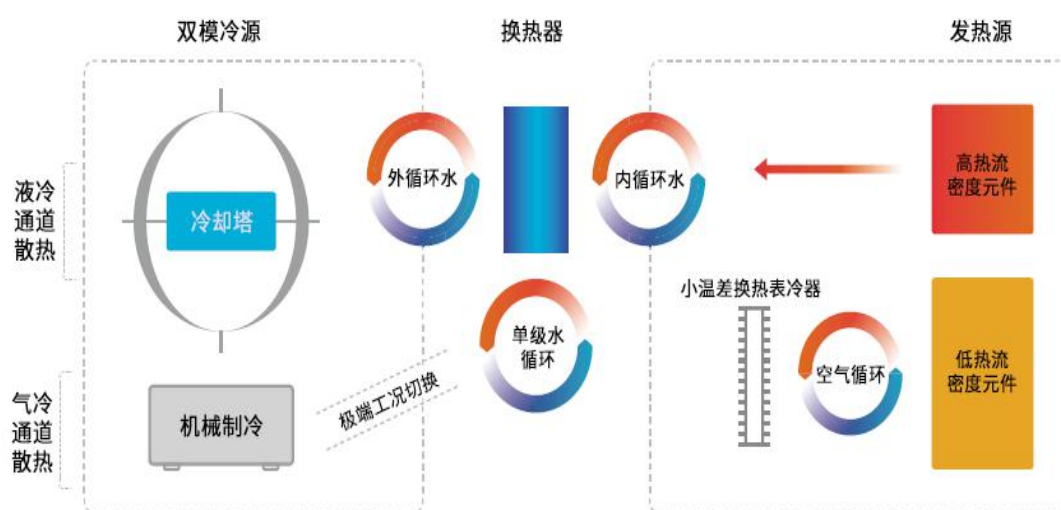


图 3 液冷温控整体解决方案技术路线图

3.技术功能特性及指标

换热部分采用上喷淋式结构设计，充分利用自然冷源，提高了湿工况条件下的换热效率。

（1）单机柜设计功率 ≥ 75 千瓦；

（2）制冷负载系数（CLF） <0.06 （南方地区）。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为广东申菱环境系统股份有限公司，应用单位为中国移动南方基地液冷试验局。项目共建设机柜 14 架，单机柜功率 6 千瓦，单业务机架装机 15 台服务器，最大装机容量 210 台服务器，该数据中心需在高热高湿环境下运行，主要耗能种类为电。

（2）主要技术改造内容：

建设 45 千瓦液/气双通道制冷系统 2 套进行液冷温控换热技术验证、测试分析，具体包括液冷一次侧（冷却塔、冷却循环泵、冷却循环管网）、液冷温控系统、二次侧输送管网、液冷分配单元、液冷机柜。项目建设周期为 90 天。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

该项目电能利用效率（PUE）可低于 1.15，年节电量 58.9 万千瓦时，折合年节约标准煤 182.6 吨，减少二氧化碳排放 485.7 吨。投资额为 200 万元，投资回收期为 2.2 年。

（四）全直流变频氟泵空调技术

1.技术适用范围

适用于数据中心冷却系统。

2.技术原理及工艺

该技术采用全变频架构，根据机房负载变化和室外环境温度进行系统寻优，自动调整压缩机、室内风机、室外风机等转速与电子膨胀阀的开度。在室外环境温度较低时，由氟泵驱动实现自然冷却循环，无须压缩机运行。机组架构如图 4 所示。



图 4 全直流变频氟泵空调室内机组架构图

3.技术功能特性及指标

通过压缩机、风机、膨胀阀的优化设计和精确控制，可实现机组低至 10%负载时连续稳定除湿。

（1）全年能效比（AEER）10.90（75%负荷）；

（2）北方地区 100%负荷下全年能效比（AEER）6.16；

(3) 北方地区 75%负荷下全年能效比 (AEER) 10.90;

(4) 北方地区 50%负荷下全年能效比 (AEER) 16.57。

4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为华为数字能源技术有限公司, 应用单位为华为云乌兰察布数据中心。该项目为新建项目, 总共建设 1500 个 IT 机柜, 主要耗能种类为电。

(2) 主要技术改造内容:

制冷系统采用全变频架构的 60 台高效制冷变频氟泵空调, 在室外环境温度较低时, 由氟泵驱动实现自然冷却循环, 无须压缩机运行。项目实施周期为 3 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期: 项目全年能效比 (AEER) 为 10.9, 年节电量 405.1 万千瓦时, 折合年节约标准煤 1255.8 吨, 减少二氧化碳排放 3340.4 吨。投资额为 1215 万元, 投资回收期为 5 年。

（五）全变频三驱相变制冷技术

1.技术适用范围

适用于数据中心冷却系统。

2.技术原理及工艺

该技术使用相变工质，通过压缩机、气泵、液泵三种驱动模式实现相变冷却循环。结合全变频智能控制策略，在过渡季节运行气泵驱动模式，低温季节运行液泵驱动模式，高温季节运行压缩机驱动模式。技术原理如图 5 所示。

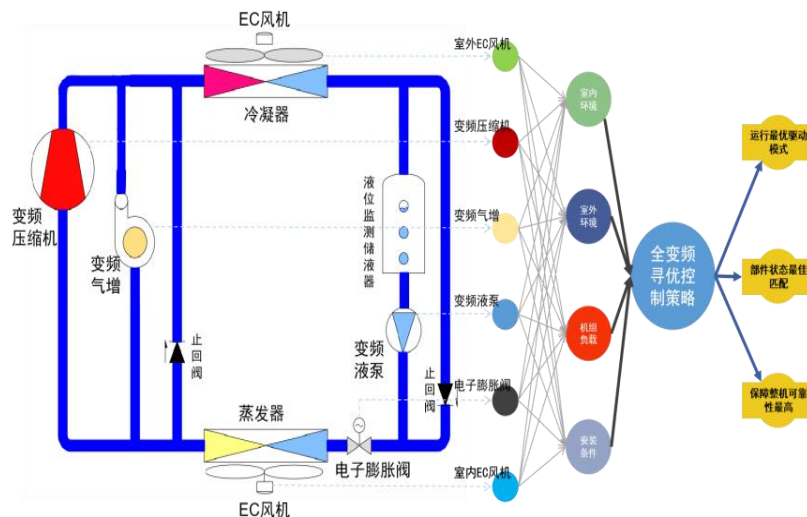


图 5 全变频三驱相变制冷技术原理图

3.技术功能特性及指标

通过采用智能寻优控制策略，缩短压缩机运行时长，延长自然冷源利用时间，降低能耗。

（1）全年能效比（AEER）> 16.5;

（2）噪声 < 54 dBA。

4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为中国移动通信集团设计院有限公司，应用单位为湖北移动楚平路数据中心。该项目一期总共可装机架为 414 架，二期改造可装机架 736 架，园区形成 1150 架总装机能力，主要耗能种类为电。

(2) 主要技术改造内容:

应用全变频三驱相变温控技术空调对二期冷却系统进行改造，结合全变频智能控制策略，分季节进行使用。项目改造周期为 24 天。

(3) 节能降碳效果及投资回收期:

项目空调系统节能率 39.5%，年节电量为 75.6 万千瓦时，折合年节约标准煤 234.4 吨，减少二氧化碳排放 623.5 吨。投资额为 421.7 万元，投资回收期为 9 个月。

（六）气体增压型氟泵空调技术

1.技术适用范围

适用于数据中心冷却系统。

2.技术原理及工艺

该技术采用氟泵和压缩机串联设计，通过低压缩比变频压缩机与智能算法软件控制相结合，可在同一系统中实现压缩机模式、气体增压模式、氟泵模式三种模式自动切换运行。系统结构如图 6 所示。

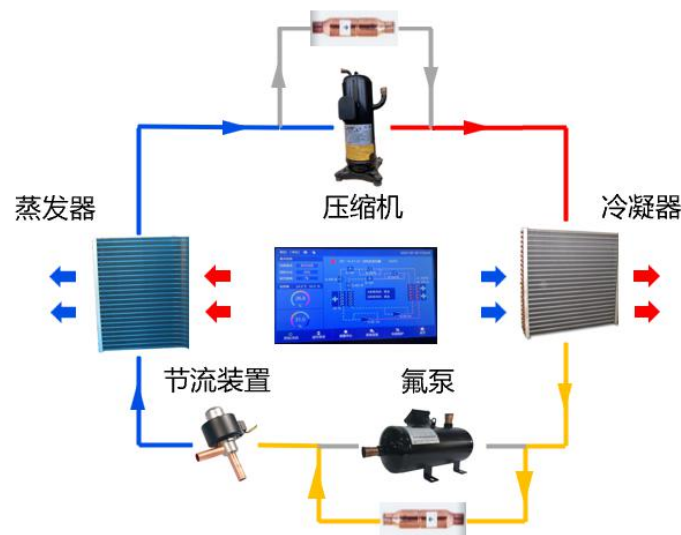


图 6 气体增压型氟泵空调技术结构图

3.技术功能特性及指标

通过采用低压缩比变频压缩机，结合双变频技术（变频压缩机+变频氟泵），实现全年能效比（AEER）显著提升。

全年能效比（AEER） ≤ 13.59 。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为广东海悟科技有限公司，应用单位为中国联通天津华苑数据中心。改造前数据中心采用 14 台 100 千瓦定频风冷空调进行制冷，主要耗能种类为电，每小时用电量为 149 千瓦时。改造目标是充分利用自然冷源，降低机房空调耗电量。

（2）主要技术改造内容：

采用 14 台 100 千瓦氟泵空调系统进行改造，通过低压缩比变频压缩机与智能算法软件控制实现三种模式自动切换运行，降低综合能耗。项目改造周期 2 个月。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

项目可实现年节电量 76.8 万千瓦时，折合年节约标准煤 238.1 吨，减少二氧化碳排放 633.3 吨。投资额为 168 万元，投资回收期为 2.19 年。

（七）基于磁电协合波的冷却水管路防结垢技术

1.技术适用范围

适用于数据中心循环冷却水系统。

2.技术原理及工艺

该技术将一种超低频率时变电磁波与离子电流脉冲波融合形成磁电协合波，激励钢铁表面形成致密的四氧化三铁（ Fe_3O_4 ）磁铁钝化层，促使碳酸钙过饱和以无附着性微细文石粉末析出，防止设备及管路结垢、腐蚀及微生物滋生。工艺流程如图 7 所示。

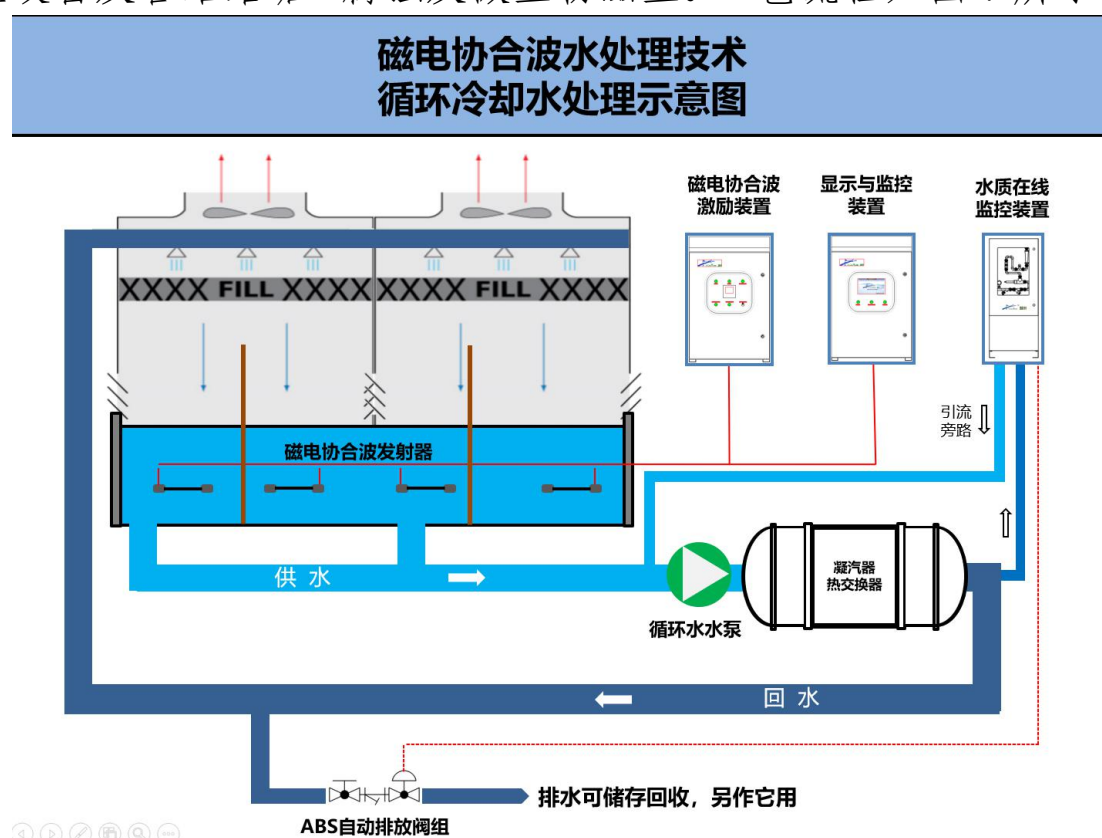


图 7 基于磁电协合波的冷却水管路防结垢工艺流程图

3.技术功能特性及指标

通过磁电协合波，控垢、除垢效果优于传统化学法处理，有

效提升换热效率。

(1) 可避免换热器冷却水侧生成新碳酸钙硬垢，提高散热效率；

(2) 循环水中总铁 (Fe) 浓度 $\leq 1.0\text{mg/L}$ ；

(3) 循环水中异养菌总数 $\leq 1.0 \times 10^4 \text{CFU/mL}$ 。

4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为上海源自达环境技术有限公司，应用单位为唐镇数据中心循环冷却水处理改造项目。该数据中心额定总功率 984 千瓦，中央空调总制冷量为 1950 冷吨，主要耗能种类为电，冷却水总循环量 1410 立方米/小时。

(2) 主要技术改造内容：

安装磁电协合波系统，配套发射器及激励装置的挂靠、ABS 自动排放阀组及电导率监控系统。项目改造周期为 2 周。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

项目每小时节电量为 23.6 千瓦时，以每年运行 10 个月计算，年节电量为 17.0 万千瓦时，折合年节约标准煤 52.7 吨，减少二氧化碳排放 140.2 吨。投资额为 85 万元，投资回收期为 2 年。

（八）磁/气悬浮压缩机及氟泵双擎驱动多联热管空调技术

1.技术适用范围

适用于数据中心冷却系统。

2.技术原理及工艺

该技术综合采用多联热管、磁/气悬浮无油压缩机和氟泵技术，室外侧可根据气候类型选择蒸发冷或风冷冷凝器，室内侧可选背板末端、列间末端、房级末端、风墙末端等多种形式。液态制冷剂在室内末端吸热蒸发为气态，气态制冷剂在室外冷凝器冷凝成液态，液态制冷剂在氟泵作用下送回室内末端完成制冷循环，系统可智能切换压缩机、液泵驱动模式。系统架构如图 8 所示。

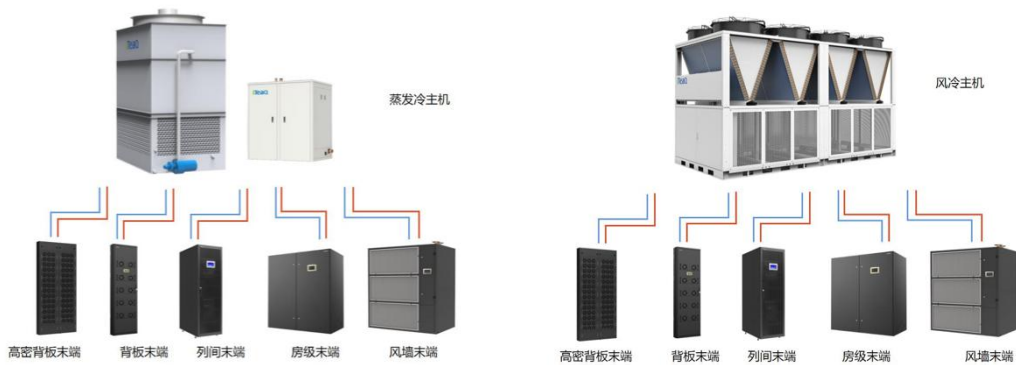


图 8 蒸发冷/风冷式无油热管相变多联冷源系统架构图

3.技术功能特性及指标

采用相变制冷剂作为载冷介质，利用无油悬浮式压缩机及变频冷媒泵，降低运行能耗。

（1）制冷量覆盖范围 50 ~ 550kW；

（2）全年能效比（AEER） ≥ 8 。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为深圳市艾特网能技术有限公司，应用单位为坪山荔景通讯网络 5G 技术应用及测试研发中心。该项目为新建项目。数据中心共 6 层，总建筑面积约 14264 平方米，数据中心拥有机柜 1506 个，单机柜功率 8 千瓦，可部署服务器 33000 台，主要耗能种类为电。

（2）主要技术改造内容：

该项目共采用 71 套制冷量为 240kW 无油热管相变多联冷源系统，室内末端采用热管列间空调 568 台，室内末端送/回风温度 25/37 摄氏度。项目建设周期为 3 个月。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

项目全年能效比（AEER）为 8，年节约电量为 1688.2 万千瓦时，折合年节约标准煤 5233.4 吨，减少二氧化碳排放 1.4 万吨。投资额为 1 亿元，投资回收期为 2.7 年。

（九）智算中心复合液冷技术

1.技术适用范围

适用于智算中心冷却系统。

2.技术原理及工艺

该技术面向高功率密度人工智能（AI）计算服务器，由室外冷源系统、冷量分配单元（CDU）、环状管网、微负压冷却工质供回歧管、液冷板、监控模块、配电模块等组成，可满足高功率密度机柜散热需求，提高空间利用率。可灵活兼容冷却水、相变工质等多种形式冷源，适应匹配液冷与风冷部分对冷源不同需求，实现液冷数据中心单冷源设计。工作原理如图 9 所示。

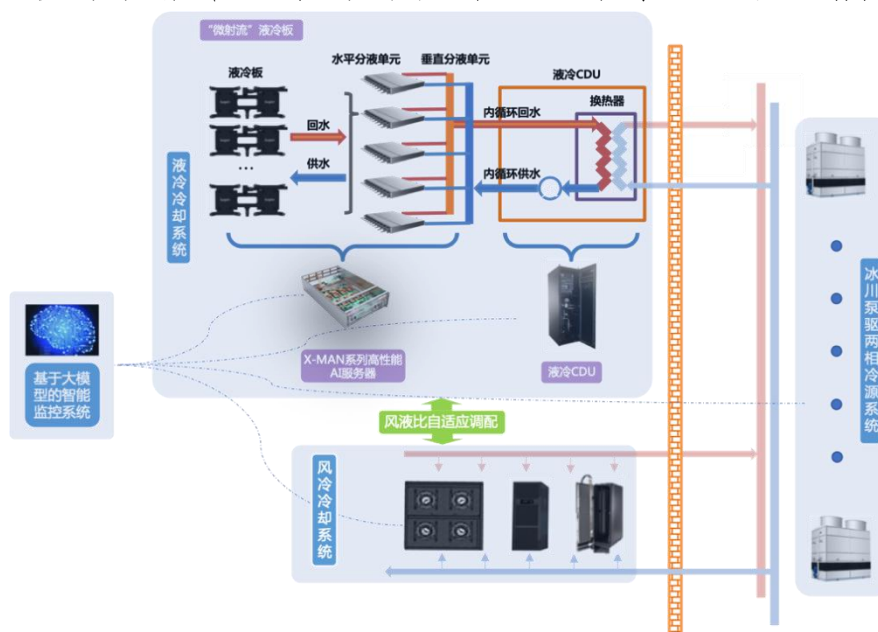


图 9 智算中心复合液冷技术工作原理图

3.技术功能特性及指标

采用大模型算法进行系统运行状态寻优，可实现运行能效提升 15%以上。

- (1) 支持单芯片散热能力 $\leq 1200\text{W}$;
- (2) 支持单台服务器设计功率 $\geq 10\text{kW}$;
- (3) 支持单机柜设计功率 $\geq 70\text{kW}$;
- (4) 制冷负载系数 (CLF) 0.07。

4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为北京百度网讯科技有限公司，应用单位为百度阳泉云计算中心。该项目为新建项目。建设一个中规模高密液冷机房，共 88 个 120 安培液冷整机柜，主要耗能种类为电，单机柜额定功率 30 千瓦，风液比 2:8。

(2) 主要技术改造内容:

采用智算中心 (AIDC) 高密度复合液冷却系统为该机房提供液冷部分冷量，风冷部分负荷由间接蒸发冷却空调系统进行处理。项目建设周期 3 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期:

该项目 88 个 30 千瓦高功率密度液冷机柜年可节约电量 312 万千瓦时，折合年节约标准煤 967.2 吨，减少二氧化碳排放 2572.8 吨，投资额为 480 万元，投资回收期为 3 年。

（十）风侧间接蒸发冷却技术

1.技术适用范围

适用于数据中心冷却系统。

2.技术原理及工艺

该技术利用湿球温度低于干球温度的原理，通过非直接接触式换热器将室外空气或者经加湿预冷处理室外空气冷量传递给数据中心内部较高温度回风，实现风冷和蒸发冷却相结合。其运行状态如图 10 所示。

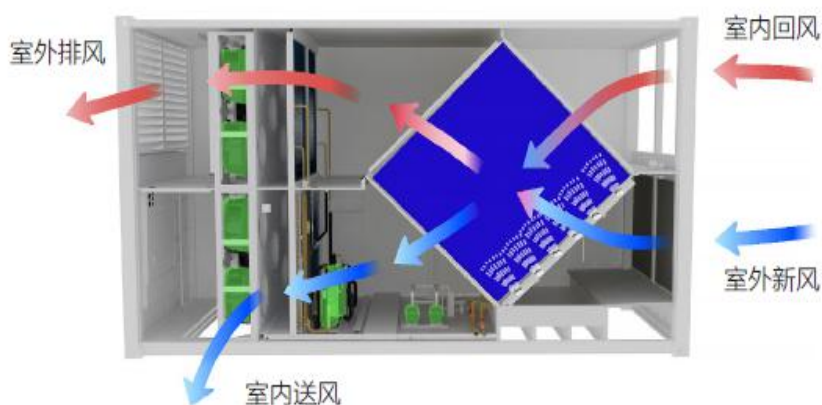


图 10 间接蒸发冷却混合模式运行状态示意图

3.技术功能特性及指标

拥有智能巡检和冷媒泄漏检测等功能，可实现故障诊断，提高运维效率。

- （1）额定冷量 260kW/400kW；
- （2）制冷负载系数（CLF）<0.015；
- （3）电流谐波畸变率（THDi）<5%；
- （4）功率因数（PF）>0.99。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为华为数字能源技术有限公司，应用单位为临沂大数据中心。该项目为新建项目。项目严格按照国家 A 类机房标准建设，要求电能利用效率（PUE） < 1.30 ；项目共有 6 个标准的模块化机房，部署的 19 英寸机柜超过 1000 架，可承载 10000+ 台服务器运行。

（2）主要技术改造内容：

该数据中心冷却系统使用 10 套间接蒸发冷却产品、1.2 兆伏安供电融合解决方案以及新一代 DCIM+管理系统。项目建设周期 3 个月。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

该数据中心电能利用效率（PUE）低于 1.25，年节电量 210.2 万千瓦时，折合年节约标准煤 651.6 吨，减少二氧化碳排放 1733.3 吨。投资额为 4000 万元，投资回收期为 3 年。

（十一）浸没式液冷用零臭氧消耗潜能值、低全球变暖潜能氟化冷却液技术

1.技术适用范围

适用于数据中心冷却系统。

2.技术原理及工艺

该技术将服务器或芯片等发热器件设备全部或部分浸没在单相或相变氟化冷却液中，依靠冷却液显热变化或潜热变化传递热量，替代传统风冷散热技术，解决高热流密度器件散热问题。

工作原理如图 11 所示。

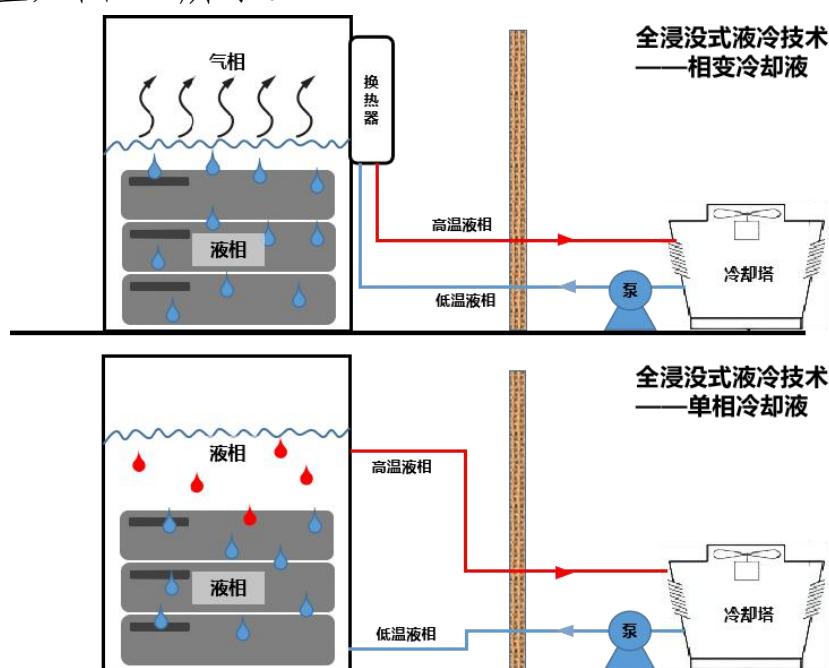


图 11 全浸没式液冷技术工作原理图

3.技术功能特性及指标

冷却介质比热容大，散热效率高，可提高设备功率密度，有效节约占地面积和用电量。

- (1) 产品绝缘不导电，无闪点；
- (2) 相变氟化液相变潜热 93.22kJ/kg；
- (3) 25° C 时单相氟化液导热系数 0.0623W/(m · K)。

4.应用案例

(1) 项目基本情况：技术提供单位为浙江诺亚氟化工有限公司，应用单位为深圳绿色云图科技有限公司液冷边缘数据中心。该项目为新建项目，为功率为 20 千瓦的机架建设冷却系统，主要耗能种类为电。

(2) 主要技术改造内容：

采用浸没液冷技术设备对该机柜进行冷却，依靠冷却液显热变化或潜热变化传递热量，替代传统风冷散热技术，解决高热流密度器件散热问题。项目建设周期 15 天。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

项目节约 11%占地面积，缩短 33%建造时间，可实现年节约电量 9.6 万千瓦时，折合年节约标准煤 29.8 吨，减少二氧化碳排放 79.3 吨。投资额为 32 万元，投资回收期低于 1 年。

（十二）蒸发冷凝式氟泵双循环多联高功率背板空调技术

1.技术适用范围

适用于数据中心冷却系统。

2.技术原理及工艺

该技术综合采用高效油分离器及无油氟泵。室内机为背板空调形式，采用高效换热器技术实现轻薄化，并实现对高功率机柜精准制冷。室外主机采用两级蒸发冷却闭式蒸发式冷凝器，支持 500 米超长冷媒连管，可在负 30 米至正 50 米落差范围内安装。技术原理如图 12 所示。

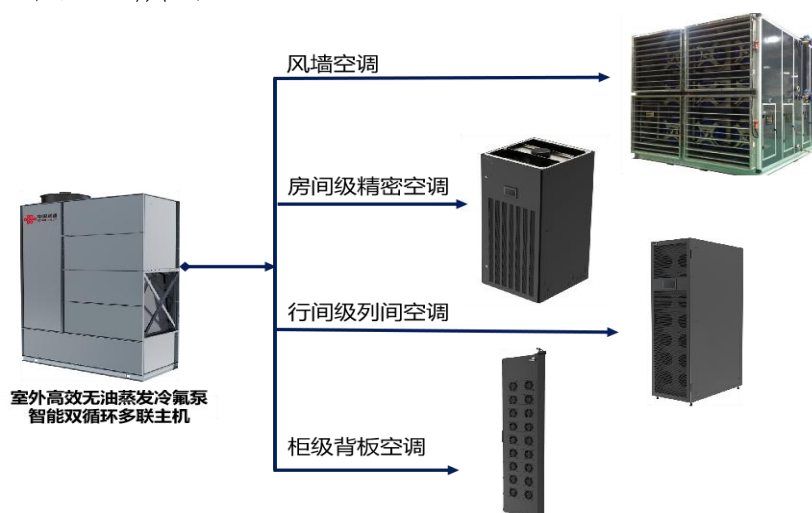


图 12 无油蒸发冷氟泵多联系统技术原理图

3.技术功能特性及指标

采用高效油分离器和无油氟泵，可实现空调系统无油运行，减少冷媒与管壁的摩擦。

- （1）全自然冷运行模式开启温度 $\leq 18^{\circ}\text{C}$ （室外温度）；
- （2）最大可支持单机柜制冷能力 30kW；

(3) 背板空调厚度 $\leq 10\text{cm}$ 。

4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为中国联合网络通信有限公司广东省分公司。
应用单位为中国联通广东省分公司东莞松山湖数据中心，该项目为新建项目，新建 100 架功率密度 4 千瓦的机柜。

(2) 主要技术改造内容:

采用 3 台 140 千瓦制冷量的高效无油氟泵节能蒸发冷主机，3 台 80 千瓦制冷量的高效无油氟泵节能蒸发冷主机，15 台 40 千瓦制冷量的蒸发冷室内列间末端，2 台 20 千瓦制冷量的蒸发冷室内列间末端，2 台 45 千瓦制冷量的风冷氟泵精密空调及相关辅助设施进行制冷。项目建设周期 5 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期:

项目电能利用效率(PUE)可低至 1.22, 可实现年节电量 272.0 万千瓦时, 折合年节约标准煤 843.2 吨, 减少二氧化碳排放 2242.9 吨。投资额为 694 万元, 投资回收期为 3 年。

（十三）一体式预制化氟泵空调技术

1.技术适用范围

适用于数据中心冷却系统。

2.技术原理及工艺

该技术基于变频氟泵技术，采用内外机集成一体化、并联压缩机制冷、低风阻风墙送风及高回风温度设计等技术，具有氟泵空调冷量大型化、机组全预制化、无长连管、无管网及无室内末端等特点，可不占用室内空间，整体易维护。空调搭载智能化控制系统，根据机房负载率和室外环境温度变化，实现氟泵自然冷、双擎混合、压缩机制冷三种模式智能切换。一体式预制化氟泵空调室内外气流示意如图 13 所示。



图 13 一体式预制化氟泵空调室内外气流示意图

3.技术功能特性及指标

采用高蒸发温度、低冷凝温度设计，氟泵与压缩机协同耦合，深度利用自然冷源，提升系统能效比。

（1）制冷量覆盖范围 60~300kW；

（2）全年能效比（AEER） ≥ 8 。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为深圳市艾特网能技术有限公司，应用单位为中联数据集团内蒙古亚信数据港项目。该项目为新建项目。占地 66849 平方米，总建筑面积 70122 平方米，设计安装机柜 10000 架，承载 10 万台服务器。

（2）主要技术改造内容：

数据中心冷却系统采用两套主机制冷量为 250 千瓦的一体化氟泵自然冷空调，包括内外机集成一体化、并联压缩机制冷、低风阻风墙送风及高回风温度设计等技术。项目建设周期 2 个月。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

项目年节电量 49.5 万千瓦时，折合年节约标准煤 153.5 吨，减少二氧化碳排放 408.3 吨。投资额为 700 万元，投资回收期为 2.7 年。

（十四）流场优化通风冷却技术

1.技术适用范围

适用于数据中心通风系统。

2.技术原理及工艺

该技术通过叶轮流场优化、电动机效率提升、智能调整转速等技术，在宽载荷、宽转速范围内，实现流场整体优化和电动机速度可控。技术原理如图 14 所示。

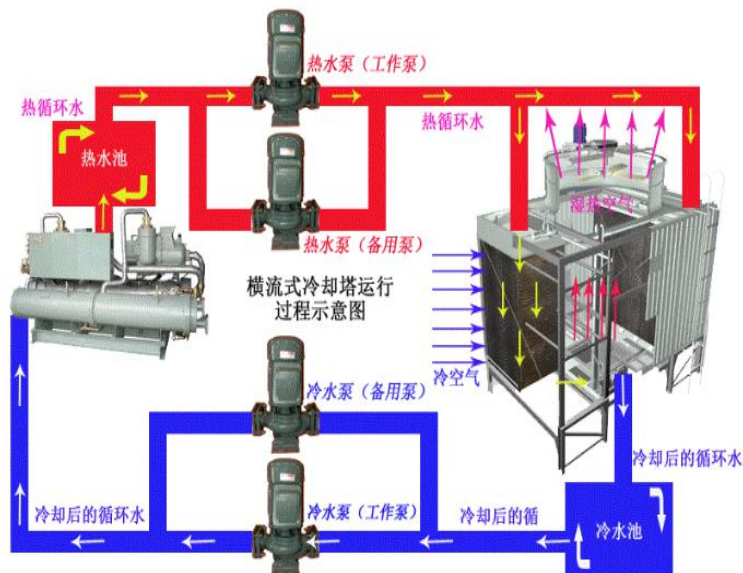


图 14 流场优化通风冷却技术原理图

3.技术功能特性及指标

采用高效冷却通风机，采用叶轮流场优化技术，提高电动机速度可控效率，在宽载荷、宽转速范围内保持高效低能耗。

- （1）通风机效率高于国家 1 级能效；
- （2）比 A 声级 $\leq 35.0\text{dB}$ 。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为威海克莱特菲尔风机股份有限公司，应用单位为北京益园数据中心。该数据中心室外机组安装了 10 台通风机，主要耗能种类为电，单台每小时耗电量 7.1 千瓦时，能耗较高，故障率高。

（2）主要技术改造内容：

利用高效冷却通风机替代原有通风机，在宽载荷、宽转速范围内，实现流场整体优化和电机速度可控。项目改造周期 2 个月。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

据统计，相比原有通风机节能 30%，年节电量 14.4 万千瓦时，折合年节约标准煤 44.6 吨，减少二氧化碳排放 118.6 吨。投资额为 15 万元，投资回收期为 1.5 年。

(十五) 智能变频双循环氟泵空调技术

1.技术适用范围

适用于数据中心冷却系统。

2.技术原理及工艺

该技术采用智能变频双循环设计，仅在室外温度较高时，采用压缩机对制冷剂进行压缩循环换热，降低空调能耗。在室外温度较低时，利用制冷剂泵（氟泵）对制冷剂进行室外循环换热。不同季节制冷模式技术原理如图 15 所示。

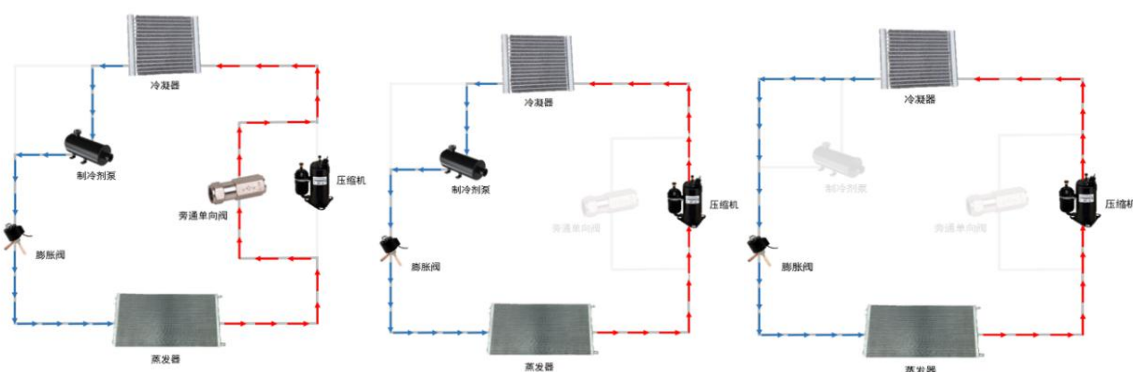


图 15 不同季节制冷模式原理图

3.技术功能特性及指标

通过智能系统控制机组部件，实时计算制冷需求，调节各部件工作状态，降低能耗。

- (1) 能效比（机械制冷模式） ≤ 4.77 ;
- (2) 能效比（混合制冷模式） ≤ 13.73 ;
- (3) 能效比（完全自然冷却模式） ≤ 27.64 。

4.应用案例

- (1) 项目基本情况:

技术提供单位为长沙麦融高科股份有限公司，应用单位为中国电信股份有限公司内蒙古分公司。机房内原使用 2 台 5 匹立柜式空调制冷，主要耗能种类为电，采用上出风，下回风的方式，年耗电量为 7.0 万千瓦时。

(2) 主要技术改造内容：

采用 1 台全时变频双循环氟泵列间空调对原设备进行改造。项目改造周期为 1 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

项目年耗电量为 3.9 万千瓦时，年节电量 3.1 万千瓦时，折合年节约标准煤 9.6 吨，减少二氧化碳排放 25.5 吨。投资额为 3 万元，投资回收期为 3 年。