

附件

国内外数据中心节能技术及装备 典型案例汇编

广东省循环经济和资源综合利用协会
二〇二一年八月

目 录

第一部分 节能技术	- 3 -
1 板管蒸发冷却式空调机组制冷技术	- 3 -
2 HOLDSTORM•AIE 数据中心节能技术系列产品	- 7 -
3 “节能岛” 磁悬浮中央空调机房节能改造技术	- 10 -
4 双源互补冷却节能技术	- 17 -
5 微模块数据中心技术	- 20 -
6 预制模块化数据中心基础设施解决方案技术	- 27 -
7 数据中心智能管理技术（含 iCooling 节能技术）	- 30 -
8 风墙冷却技术	- 40 -
9 电力模块供电技术	- 44 -
10 华为智能光伏 (FusionSolar)	- 47 -
11 数据中心单排精准高效制冷系统关键技术	- 54 -
12 软件定义数据中心技术	- 55 -
13 TriIns Water 高效能冷却水循环处理系统	- 56 -
14 数据中心用 DLC 浸没式液冷技术	- 61 -
15 风冷空调室外机湿膜冷却技术	- 66 -
16 空调室外机雾化冷却节能技术	- 67 -
17 数据中心峰值功耗动态管控技术	- 68 -
第二部分 节能装备（产品）	- 69 -
1 数据中心高效节能喷淋液冷装备	- 69 -
2 间接蒸发冷却空调	- 77 -
3 蒸发冷却式冷水机组	- 84 -
4 变频离心式冷水机组	- 85 -
5 集成自然冷却功能的风冷螺杆冷水机组	- 86 -
6 节能节水型冷却塔	- 87 -
7 氟泵多联循环自然冷却技术及机组	- 88 -

8	智能锂电 SmartLi UPS.....	- 89 -
9	直流变频行级空调	- 97 -
10	美的“冰潜”系列阵列式机房空调	- 103 -
11	精密空调调速节能控制柜	- 107 -
12	SGB18-RL-NX1 敞开式立体卷铁心干式变压器	- 108 -

第一部分 节能技术

1 板管蒸发冷却式空调机组制冷技术

一、适用范围

新建数据中心或在用数据中心改造。

二、技术内容

（一）技术提供方

广州市华德工业有限公司

（二）基本原理：

1.采用平面液膜换热技术，用自主研发的板管蒸发式冷凝器取代传统的盘管型蒸发式冷凝器，可改善流体流动状态，增大流体对冷凝器表面的湿润率及覆盖面积；

2.在各板管式换热片之间设置填料，增加了流体经过的阻力，延长了流体的流程，同时增大了流体的蒸发式面积，提高了流体的蒸发量，充分热交换；

3.将板管蒸发式冷凝器关键技术应用到蒸发式冷凝空调设备中，实现制冷系统的机组化。

（三）关键技术：

1.通过平面液膜换热技术提高换热效率，提高自然冷源利用温度阈值，并进行不同运行模式下的匹配控制，实现在环境温度波动情况下的自然冷源高效梯级利用。

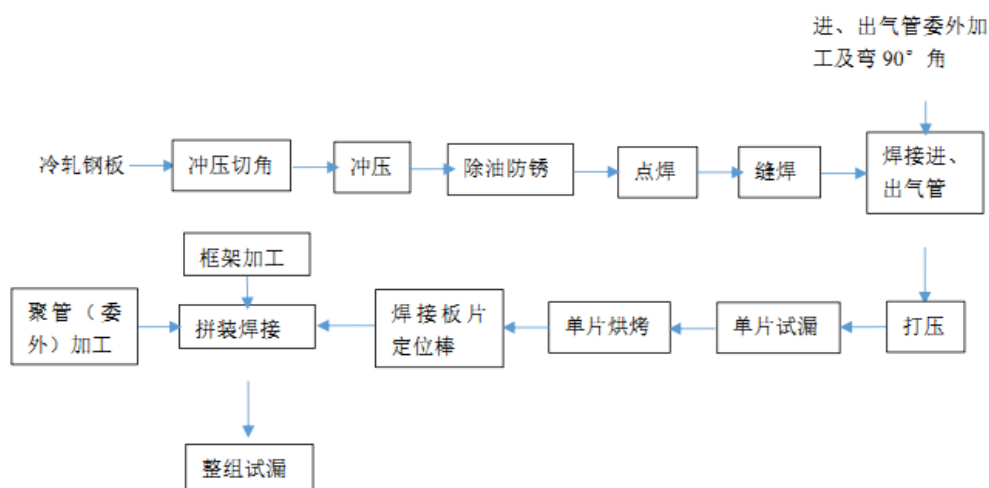
2.基于高密度蓄冷的双源互补冷却技术：研发袋式高密度蓄冷装置，突破常规水蓄冷技术依靠水体自然分层的限制，大幅提高蓄冷密度；利用自然冷源、机械制冷双源互补冷却技术对蒸发冷却自然冷源梯级利用、大规模自然冷源蓄冷进行集成和优化，实施双源多工况协同运行和控制，确保冷量稳定输出，实现节能效果和经济性最优。

3.数据中心复杂空调系统多目标动态优化关键技术：根据双源互

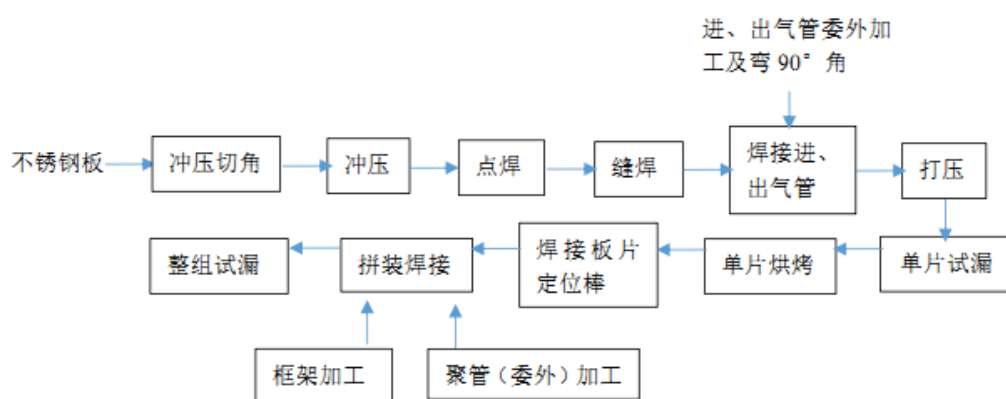
补系统和高密度蓄冷装置的动态运行特征，识别关键运行参数，研发数据中心复杂空调系统的在线优化策略，动态调节数据中心复杂空调系统的关键运行参数，实现数据中心复杂空调系统年能耗和运行成本间的最佳平衡。

（四）工艺流程：

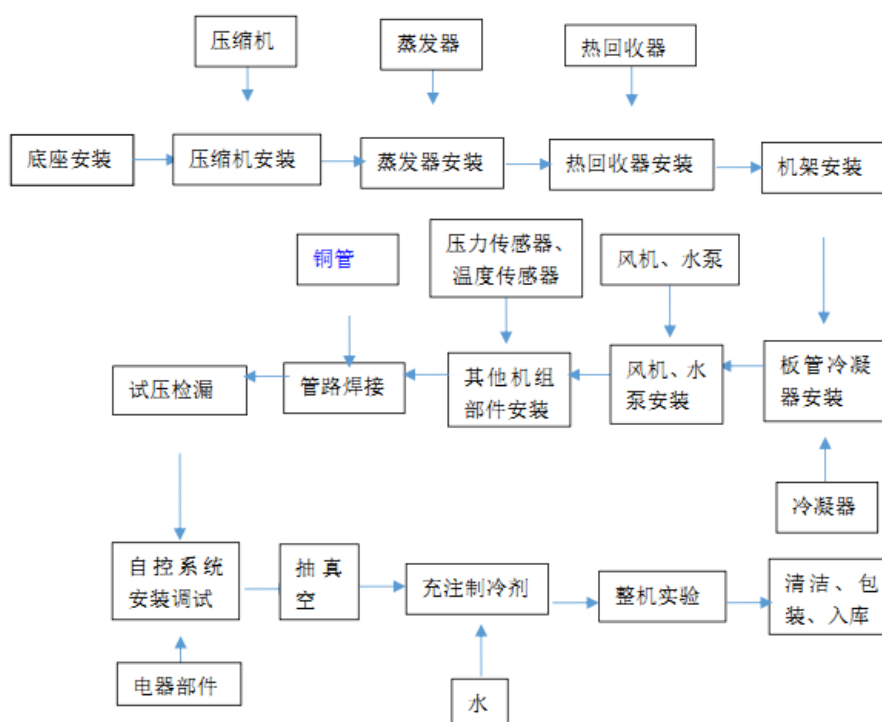
1.冷轧板板管冷凝器工艺流程：



2.不锈钢板板管冷凝器生产工艺流程：



3.总装工艺流程：



三、主要技术参数

1.蒸发冷冷水机组与常规水冷冷水机组对比检测工况：

空调类型	室外环境			设备装机容量 (kW)	空调负荷
	温度 (℃)	相对湿度 (%)	湿球温度 (℃)		
蒸发冷冷水机组	27.6	76	24.2	540	100%
常规水冷冷水机组	28.3	73	24.39	525	100%

2.对比测试结果：

	蒸发冷冷水机组	常规水冷冷水机组
制冷量(kW)	584	453
机组加载率(%)	100	100
冷机COP	5.04	4.62
冷源系统SCOP	3.91	3.36
空调系统效率	3.08	2.76

四、技术鉴定情况

获得有效专利 82 件，其中发明专利 21 件，实用新型专利 61 件。

五、应用实例

案例 1：广州大学城科学中心

建筑的冷源采用 4 台额定制冷量为 315kW 的蒸发式冷凝螺杆冷水机组，末端设备采用风机盘管，新风系统采用带独立冷源的蒸发式冷凝热回收新风空调热泵机组；在相对独立的地上一层大空间包括多功能厅、大型会议室采用具有独立冷源的蒸发式冷凝空调柜机。

投资额 163.35 万元，节能量 28.8 吨标煤，节约水费 5.26 万元/年，投资回收期 3.72 年。

案例 2：广州地下铁道总公司

三元里车站为广州轨道交通 2 号线第 7 个车站，车站为地下二层建筑，长 280.5m。车站公共区和设备管理用房区根据运营和工艺要求设有通风空调和防排烟系统。在车站站厅南(A)、北(C)两端分别设有环控空调机房。根据地铁站的使用功能、建筑特点和节能要求，不宜配置冷却水塔和大型室外机组的原则，对该项目进行节能改造：地铁站系统原采用风冷冷水机组，单台制冷量 230kW，功率 77.5kW，数量 2 台。通过改造其中一台风冷冷水机组并更换成额定制冷量为 231 kW，额定功率为 54kW 的蒸发式冷凝地铁专用空调机组，末端设备使用风机盘管。

项目总投资 40 万元，包括板管蒸发式冷凝冷水机组，专用/特种工具和测试仪器等设备。节约单位冷量能耗成本为 0.19 元，约 3 年可以收回全部投资成本。

2 HOLDSTORM•AIE 数据中心节能技术系列产品

一、适用范围

新建数据中心或在用数据中心改造。

二、技术内容

（一）技术提供方

广州汇安科技有限公司

（二）基本原理：

通过全封闭冷热通道和分区域负载均衡二维动态控制技术，精确送风、按需送风，提高冷能利用率，达到节能高效的目标；配备智能化集中管控平台，实现精细化运行工况管控、故障风险预警和远端实时监控查询。

（三）关键技术：

1.全封闭冷热通道隔离供冷技术：通过 HOLDSTORM•AIE 送、回风密闭导流系统与空调送、回风通道连接构成与外部空间隔离的全封闭送回风系统，实现物理冷热通道隔离。完全消除数据中心围护结构的热耗散，减小数据中心空调制冷的能耗。同时密闭通道循环气流避免外部对空气洁净度和温、湿度产生影响。

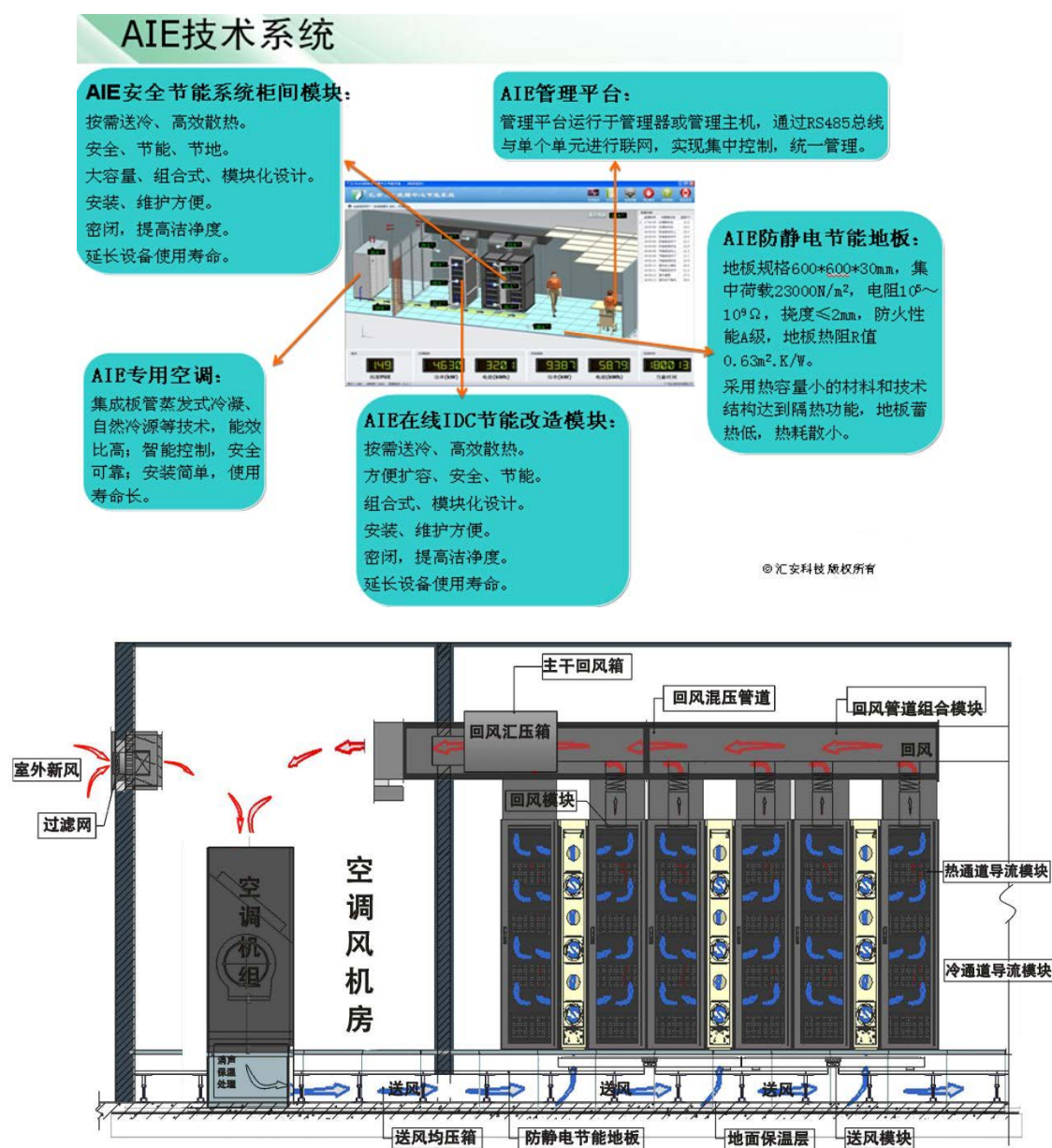
2.二维动态平衡变量导流送风技术：HOLDSTORM•AIE 二维动态平衡变量导流送风系统内部垂直方向配置多套变风量装置，机柜内部在水平截面方向实现高效冷却的平行流气流组织，在垂直截面方向实现分层变风量差异化供冷并通过自动调整风量，解决 IDC 整体送风压力差异，保持远近端风压稳定。应用自主研发的智能控制模型，智能管理平台调节变风量装置自动实现机柜二维空间的负荷与供冷的动态匹配。还可根据各机柜的不同温度要求，选择不同机柜的多温区差异化供冷，大幅提高冷量的利用效率。

3.系统控制技术：智能精确管控系统，通过嵌入式模块安装与机

柜末端，对每台机柜实施监控，达到精细化运行工况管控、故障风险预警、远端实时监控查询。

（四）工艺流程：

通过精确气流组织管理技术系统，提高末端冷热交换效能，降低精密风柜及前端冷机工作负载能耗，实现空调制冷系统高效节能。



三、主要技术参数

HOLDSTORM•AIE 技术系统对制冷系统送出的冷风和数据机柜排出的热风集中处理，避免了冷量在数据机房大空间内的消耗和浪费，

同时提高了制冷系统的回风温度，改善了制冷系统运行的能效，与其他机房常用的节能技术相比，HOLDSTORM•AIE 技术系统主要有如下特点：

不同负载与 HOLDSTORM•AIE 技术系统风量的关系；

不同静压与 HOLDSTORM•AIE 技术系统风量的关系；

不同负载与 HOLDSTORM•AIE 技术系统能耗的关系。

四、技术鉴定情况

到 2020 年数据中心业务全年总耗电量为 5765 亿千瓦时，折算为 1.8 亿吨标准煤，CO₂ 排放量 4 亿吨。若 HOLDSTORM • AIE 数据中心节能技术系列产品推广至 5%（节能率按 35% 计算），全年可节约 100 亿度电、315 万吨标准煤、减少 CO₂ 排放量约 700 万吨。（所有数据参照中国产业竞争情报网数据中心用电量数据、换算系数按照经信委表格标注数值）。

五、应用实例

广州市公安局萝岗分局萝岗中心区治安视频系统补点租赁建设项目机房装修工程；广州市智能安防视频监控机房项目。一般情况下，每个数据中心使用周期为 15 年，相比传统数据中心，采用 HOLDSTORM•AIE 系统数据中心节能技术系列产品后，后期 13.5 年每年节约的电费 1682 万元为纯收益（HOLDSTORM•AIE 系统维护费用与传统数据中心产品相当），即后期 13.5 年每装机 1kW 每年可收益 0.42 万元。

3 “节能岛” 磁悬浮中央空调机房节能改造技术

一、适用范围

新建数据中心或在用数据中心改造。

二、技术内容

(一) 技术提供方

广州市铭汉科技股份有限公司

(二) 技术原理

按能效因子优选控制策略



1.将传统的冷水机组更换为磁悬浮离心冷水机组

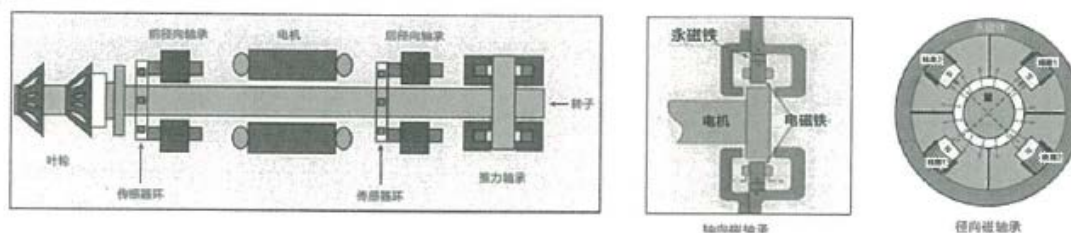
1.1 磁悬浮无油变轨运转技术

(1)电机转轴和叶轮组件通过数字控制的磁轴承系统在旋转过程中悬浮，完全消除金属与金属之间的接触，不会磨损表面。

(2)通过 5 组定位传感器感应,轴承控制器调整电流,改变磁轴承磁场大小,将转子调整至运转中心位置,保证安全通行。

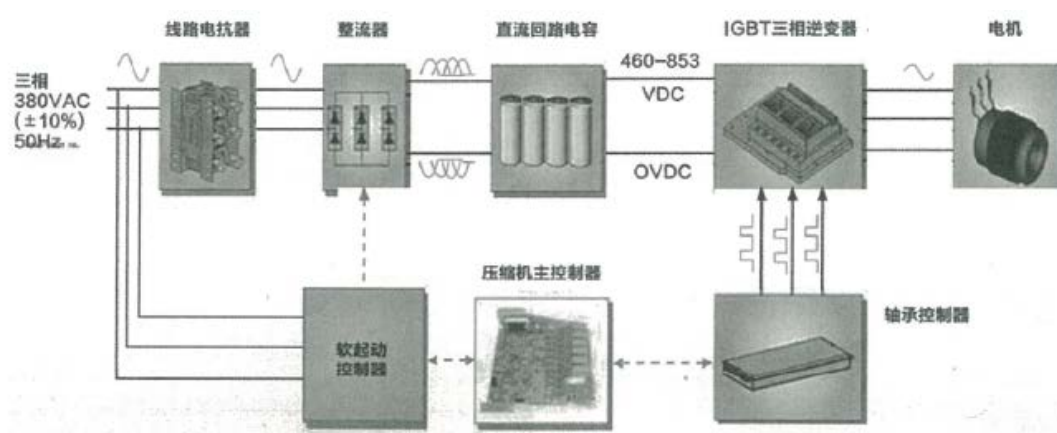
(3)转轴转速为 48000rpm,定位信号相应频率 50kHz

(4)三级变轨控制能够保证机组在正常轨道外也能安全地运行并停机,不会发生轴与其他零部件摩擦而烧毁的情况。



1.2 直流变频技术

机组采用直流变频技术,压缩机转速随着负荷的变化,可实现能力在 2-100%内无级调节,优化机组能耗。



1.3 高速永磁同步电机

- (1)电机功率密度小,体积小,重量轻,结构紧凑
- (2)电机效率高,在机组运行范围内,电机效率达 97%
- (3)电机采用冷媒冷却,电机温度场均匀,可控制电机温度在 40℃左右,保证电机安全高效运行
- (4)根据美国空调制冷协会研究表明:常规冷水机组冷媒内润滑油平均含量占到 9%-10%,附着在换热器表面造成 15%—20%的额外系统能耗,而磁悬浮机组无润滑油,不存在这样的问题。

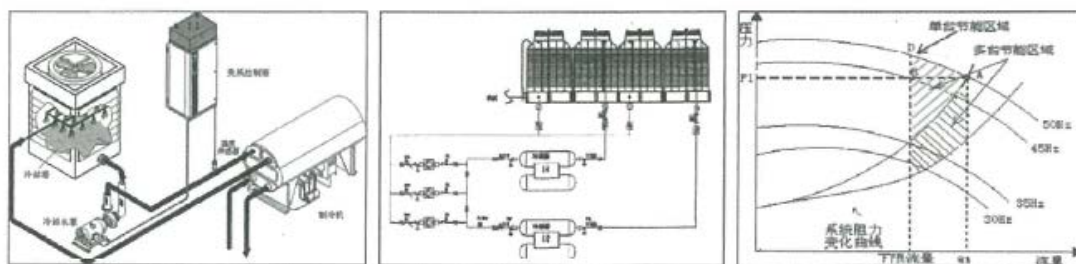


2.同时将冷冻水泵、冷却水泵及冷却塔加装变频器，并将磁悬浮

冷水机和冷却水泵、冷却塔、冷冻水泵四个部分实现全变频联合控制(全柔性化系统)。

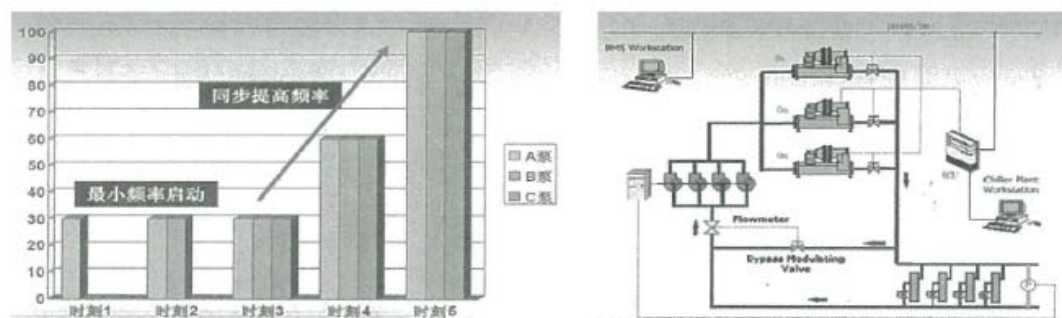
2.1 冷却水变频系统

冷水机组对冷却水流量要求为定流量。冷却水系统大都来用多泵并联方式。中央空调系统 95%以上时间泵不会全开,大管道小流量工况将使管道阻力大幅度降低冷却水泵频率变化大都在 35_45Hz 区间,所以冷却水泵使用变频控制也有不错的节能效果。

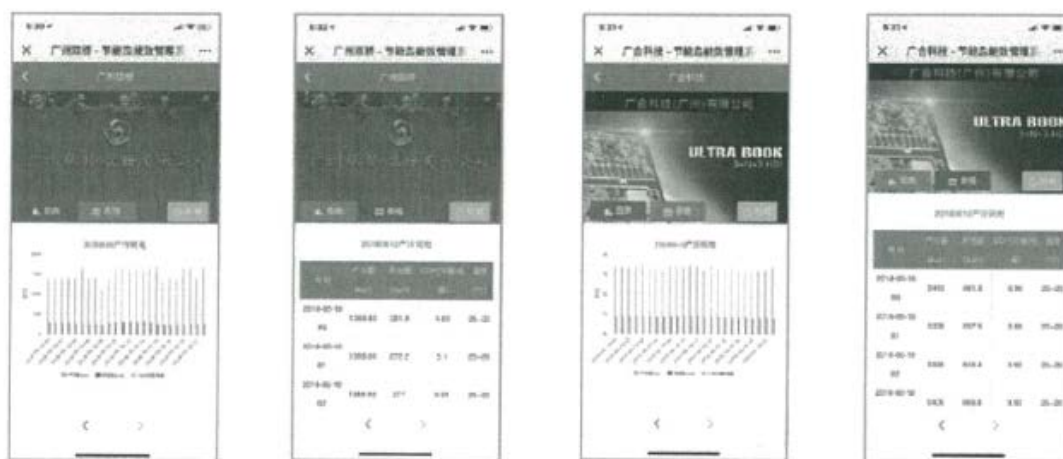


2.2 冷冻水变频系统

变频器和冷冻水泵采用一对一同步变频,设置电磁流量计准确测量冷冻水流量,控制流量变化速率小于冷水机许可流量变化速率,通常流量变化速率<30%/分钟。根据客户冷负载、环境温度湿度,使用“大数据蛮力计算法”优化计算最佳控制频率参数。每十分钟采集计算更新一次运行参数,将最佳控制频率发送给各个变频控制器运行,确保机房整体设备能效持续保持最高效状态运行,从而实现高效冷源站的设计目标。



3.为每个机房安装云能效监测智慧平台,随时随地查看机房各个末端数据。



云能效监测智慧平台采用先进的物联网技术,通过物联网网关直接将数据由耗能设备上传至云端服务器,有效解决大数据传输可靠性、存储安全性、分析计算高效率三个核心问题,投资成本低,运维效率高。

(1)能效数据可视化:可视化管理设备能效数据,及时反馈改善运行工况,实时提升设备能源使用效率;

(2)设备通行参数可视化管理:确保设备处于最经济最优化状态运行,在降低能耗成本的同时,延长了设备寿命,降低运维成本;

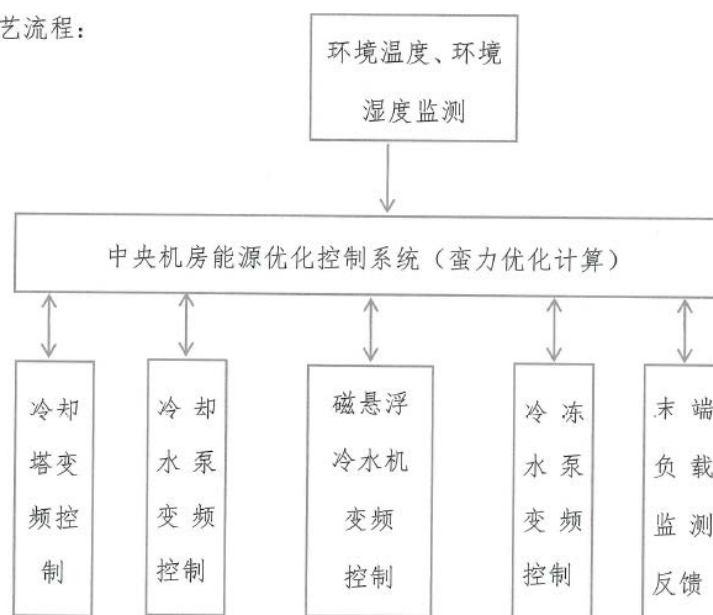
(3)能效大数据挖掘价值:通过云端服务器对数据进行在线分析,精确锁定过程高能耗时刻,便于用户明确节能方向和潜力,降低能耗成本;

(4)内部大数据信息综合分析,全方位综合分析能耗信息、工艺信息、设备控制信息、产品单耗信息等,提升通用设备能源转化效率,辅助改善工艺流程,增强企业竞争力;

(三) 关键技术

- 1、磁悬浮冷水机节能技术;
- 2、能效大数据优化计算技术;
- 3、能效实时监测“节能岛”云能效技术。

工艺流程：

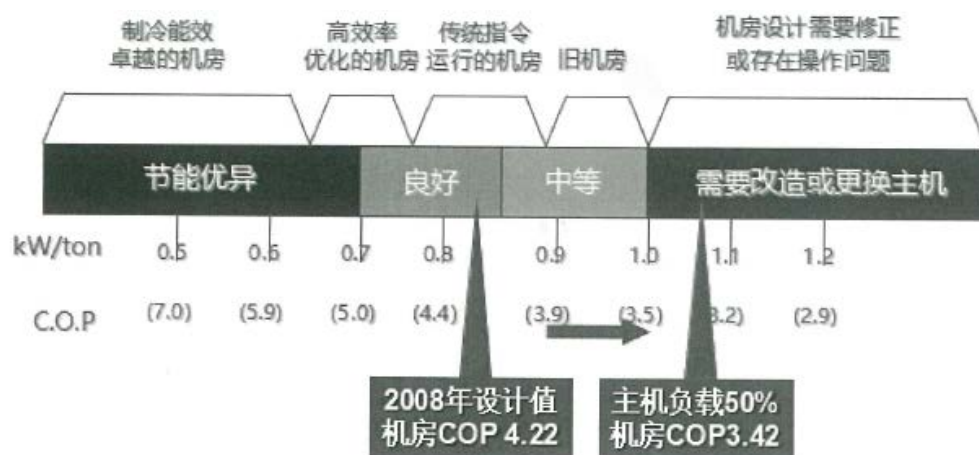


三、主要技术参数

主要技术参数及其与替代的技术对比，特别是能效指标对比。

类型	改造前	改造后	投入和节能率
设备状况	螺杆或离心式冷水机组、工频离心式水泵、工频冷却塔	磁悬浮离心式冷水机、变频控制离心式水泵、变频控制冷却塔、能效控制优化系统	平均改造投资标准：3860 元/冷吨
主机 COP	3.5-4.2	7.0	44%--50%
机房 COP	2.8-3.2	5.6--6.0	46%--50%

下表为指导 “节能岛” 高效冷源站机房改造的尺度。



传统中央空调在使用 6 年—10 年以上的机房,均可以使用“节能岛”高效冷源站技术运用替代,主要商业模式可以分为 EPC 模式、EMC 模式及 BOT 三种模式。

(1) EPC 模式为能效改造工程总承包模式,我方负责方案设计、采购、施工和验收,最后将“节能岛”高效冷源站移交给业主,我方负责售后服务。

(2) EMC 模式为合同能源管理模式,即我司负责方案设计、投资、采购、工程、验收及合作期内的营运管理和结算。直到合作期结束将资产移交业主,我司继续负责后期的技术服务。

(3) BOT 模式为新建项目,我司投资“节能岛”高效冷源站全部设备及工程负荷和运管服务,以买冷量的方式和用户结算。

四、技术应用情况

“节能岛”磁悬浮中央空调机房节能改造技术现已稳定运用于铭汉股份所投资运营的十余个中央空调机房中,这些机房分布于广州、东莞、海南三亚等地。据客户反馈的信息表示,节能效果十分显著,所创造的经济效益不菲。

五、应用实例

案例应用单位: 广合科技(广州)有限公司

广合科技空调机房中原有 3 台 400RT 和 1 台 500RT 的离心式冷

机 400RT,用冷高峰期 5 月-11 月耗电达 470 万度。节能改造为 2 台 600RT 的 SMARDT 牌无油磁悬浮离心式冷水机组及配套的水泵等。项目节电量为 1,658,857 度,折算节约标准煤约 204 吨,节能 35%。项目投资额 491.73 万元,投资期 10 年,预计 4 年内可以回本。

4 双源互补冷却节能技术

一、适用范围

新建数据中心或在用数据中心改造。

二、技术内容

（一）技术提供方

中国科学院广州能源研究所

（二）基本原理

在冬季和过渡季节，充分利用自然冷却直接供冷；夜间在自然冷源满足供冷需求情况下对富余冷量进行蓄存，并于白天进行放冷，实现自然冷源深度利用；夏季充分利用高密度蓄冷实现电力的移峰填谷，提升电网效率。

（三）关键技术

1.双源互补自然冷源梯级利用技术。自然冷源与电制冷冷源双源互补供冷，当自然环境温度无法直接利用时，利用自然冷源一次冷却，电制冷二次冷却，实现自然冷源梯级利用。

2.自然冷源深度利用技术。在冬季和过渡季节，充分利用自然冷源供冷，并在夜间自然冷源高于供冷需求情况下对富余冷量进行蓄存，并于白天进行放冷供冷，实现自然冷源深度利用，有效降低运行费用。

3.基于高温供冷的大温差高密度蓄冷技术。采用与工艺相匹配的中高温供冷温度，实现高温供冷设计与运行控制。采用高温冷水供冷，直供制冷机组 COP 可显著提高，同时提高自然冷源利用温度阈值和蓄冷密度，实现自然冷源深度利用和大温差、高密度蓄冷。

4.自然冷却、高密度蓄冷集成及运行控制技术。自然冷却、电制冷和高密度蓄冷技术的集成优化，可根据室外温度实现自然冷源单独供冷、自然冷源联合冷水机组供冷、自然冷源联合冷水机组蓄冷、冷水机组单独供冷、蓄冷水池供冷、冷水机组蓄冷、自然冷源单独蓄冷

等多种运行模式的灵活切换。

（四）工艺流程

可根据室外温度实现自然冷源单独供冷、自然冷源联合冷水机组供冷、自然冷源联合冷水机组蓄冷、冷水机组单独供冷、蓄冷水池供冷、冷水机组蓄冷、自然冷源单独蓄冷七种运行模式的灵活切换，工艺流程如图 1 所示。

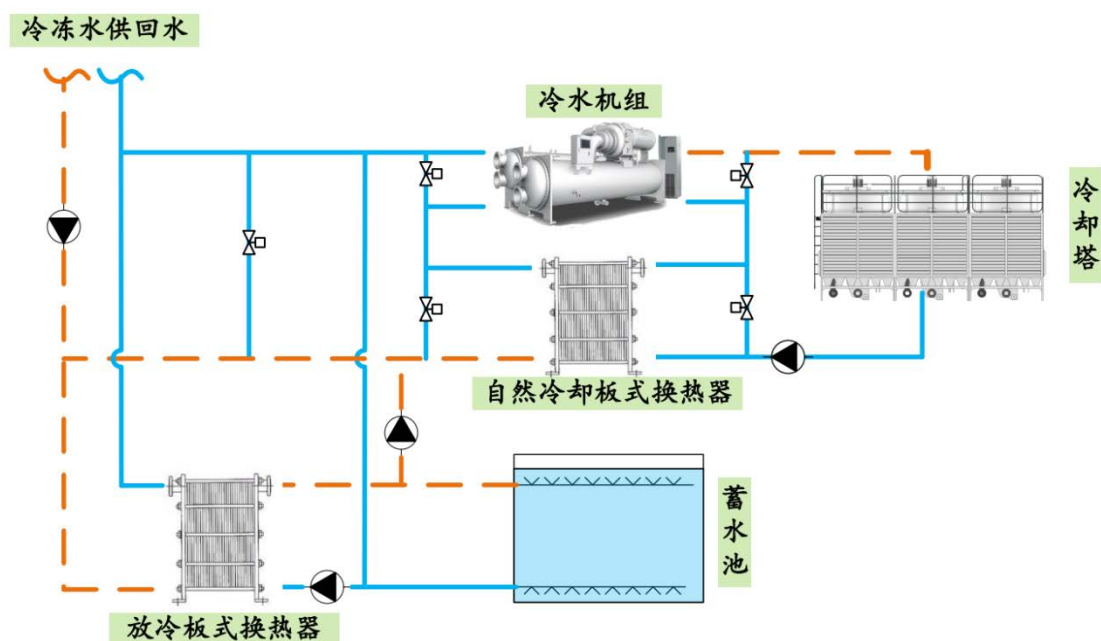


图 1 数据中心双源互补冷却节能技术工艺流程图

三、主要技术参数

冷冻水供冷温度由 7℃ 提高至 10℃（或更高），制冷机组直供状态下机组能效比 COP 提高 8% 以上。

在自然冷源供冷（蓄冷）工况下，制冷机房综合 COP 最高可达 9.0。

将蓄冷温差由 4/11℃ 提高至 4/15℃，可降低蓄冷容积 30% 以上。

四、技术鉴定情况

该技术已申请相关专利 24 项，应用项目已经过第三方机构检测证明节能效果较好。

五、应用实例

典型用户：中国联通华南（东莞）数据中心

建设规模：建筑面积 17572m²,设计冷负荷 7738kW。

项目在设计 and 建设中采用了双源互补冷却节能技术，设置 6 台高效冷却塔兼具自然冷却和常规冷却功能；设置 1 个 4150m³的蓄冷水池；设置 3 台 1100RT 离心式冷水机组，2 用 1 备；冷冻水泵、冷却水泵均采用变频水泵，实现节能及变流量控制。项目年节能量：节省电 65.63 万 kWh,转移峰电量 263.84 万 kWh。节能量折合成标准煤：节省 210tce（吨标准煤），二氧化碳减排量 492tCO₂（吨二氧化碳）。

六、推广前景

该技术未来 5 年在行业内的推广比例可达到 5%，预计未来 5 年，总投资额可达到 30 亿元，节能能力可达到 80 万 tce/a，减排能力可达到 188 万 tCO₂/a。

5 微模块数据中心技术

一、适用范围

新建数据中心或在用数据中心改造。

二、技术内容

（一）技术提供方

华为技术有限公司

（二）基本原理

华为依托在模块化 UPS、智能温控以及 ICT 领域的积累，通过全模块化、全智能化打造极简、绿色、智能、安全的智能微模块数据中心。

华为智能模块化数据中心产品集 IT 机柜、制冷系统、供配电系统、监控系统、照明、布线、安防系统等于一体，它率先在数据中心领域采用了人脸识别技术，并集成了 iPower 智能供配电、iCooling 智能温控和 iManager 智能营维等一系列智能特性，使得数据中心更加简单、高效、可靠。

（三）关键技术

1. 一体化集成



采用模块化设计，一体化集成方案，主要具备一体化集成、安全可靠、节省机房占地面积、节约能源、安装省时、省力、省心、架构兼容、部署快速灵活和监控完善等特点，是新一代智能微模块数据中

心产品的显著特征。

一体化集成机柜系统、供配电系统、制冷系统、机房管理系统、防雷接地系统、消防系统和综合布线系统，高集成设计，提供完整的解决方案。

为服务器、存储、网络设备和网络柜设置不同的供电电源，支撑混合密度组网。

智能母线槽集成供配电和监控系统部件，缩短设备安装时间，提高供配电和监控系统可靠性，并进一步提升机房的空间利用率。

2.SmartLi inside

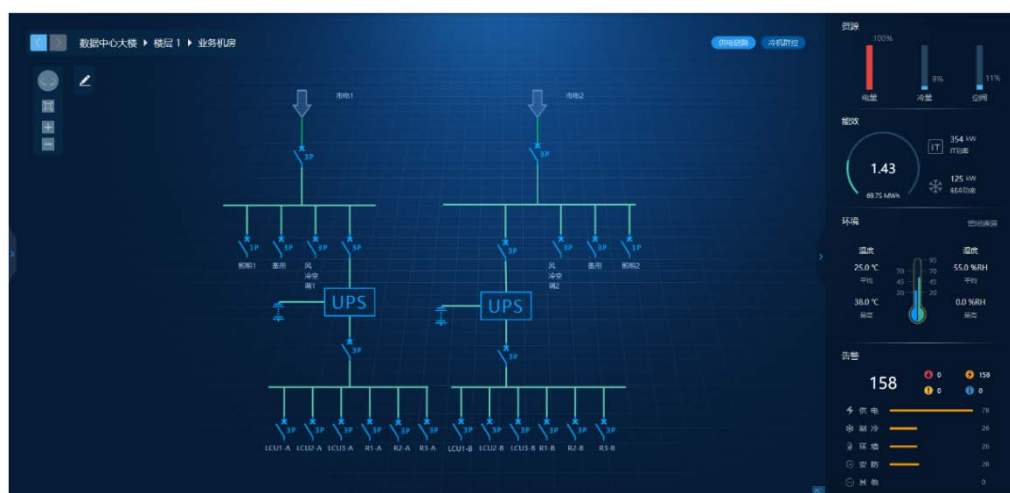
锂电入列，解决了传统铅酸电池寿命短、体积大、承重要求高等问题，节省 70% 的占地，为 IT 设备提供更多的白空间。

三层 BMS 结构，从部件级到系统级全方位保证数据中心的备电系统安全，独创智能均压和主动均流技术，提高系统的可用性，实现备电系统匹配 IT 演进节奏灵活扩容。

3.人脸识别技术

华为率先将人脸识别技术应用到数据中心产品中，以超高的识别准确度，助力运维效率的提升，通过微模块管理系统的人脸识别系统，可实现权限分配和无感开门，显著提升运维效率和客户体验。

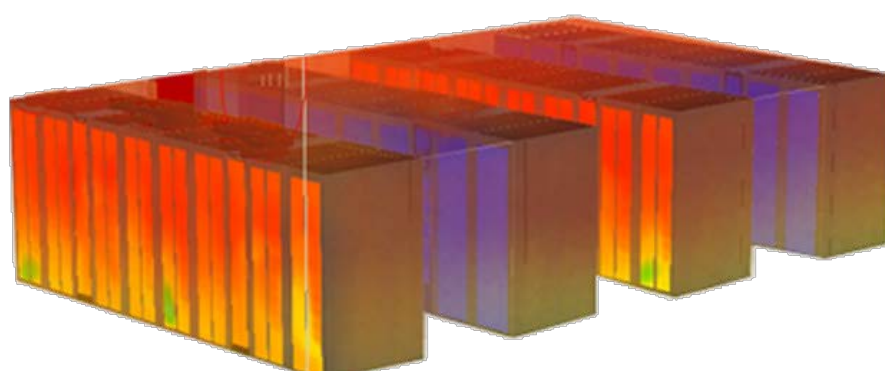
4.iPower 智能供配电



华为智能微模块集成 iPower 智能供配电技术，通过智能化监控

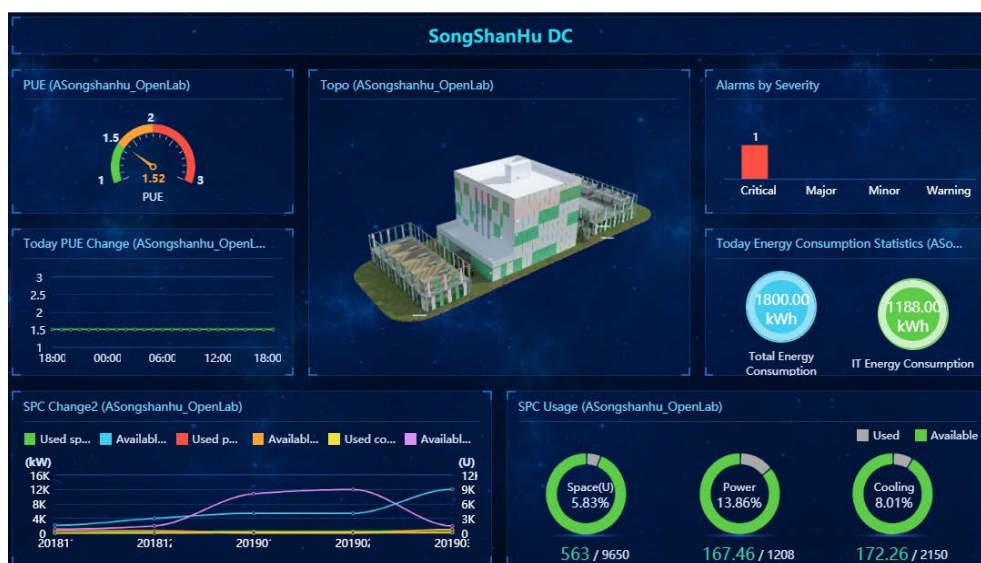
系统，对供配电全链路进行检测，做到可视可管。iPower 智能供配电具备告警收敛和故障主动隔离技术，通过对故障告警进行智能分析，迅速定位根因告警，减少告警风暴和故障排查时间；故障主动隔离可将故障部件主动切断，避免故障蔓延导致业务中断，全面保护供配电系统可靠性

5.iCooling 智能温控



华为 iCooling 智能温控方案，通过对温控系统建立数学模型，应用 AI 技术进行智能分析，寻找最优化制冷状态，并将运行数据存入本地数据库，不断学习优化，智能寻优，有效降低温控系统能，并通过 AI 技术智能控制，消除机房热点，确保机房温度场稳定。

(5) iManager 智能营维



华为智能微模块集成 iManager 智能营维特性，包含电力管理、空间管理和冷量管理，通过可视化的 3D 视图，全方位帮助数据中心运营者管理数据中心，并通过人工智能技术做到故障预测，资产自动盘点等工作，降低数据中心运营成本，打造绿色智能数据中心。

三、主要技术参数

（一）快速部署，模块化设计，标准化接口。

在数据中心建设过程中，将主机房区域设备的部分安装工作剥离出来放在工厂去预制完成。这样一来，可以同步其他基础设施建设，一旦设备进场，只需简单的组装，就可以完成部署，快速上线，节省业务上线时间 40~50%。而且模块化的设计在二期、三期的建设中，省去再次设计规划的时间，所发挥的快速部署的特点更为显著，匹配数据中心业务的快速增长的需求；

（二）弹性扩容。

按微模块为单位，每个模块都是一个独立的小型数据中心，这使得数据中心的架构是弹性的。不同模块间的功率设计可以是不同的，以精细匹配不同 IT 业务的需求，充分的利用资源，避免制冷量和供电单元过配而导致能耗的浪费。并且供电模块及制冷模块都是统一与机柜采取同样规格，所以，一旦 IT 设备更新换代，需要对模块内部进行扩容，只需简单的调整相应的供配电及制冷模块数量，就可以满足新 IT 设备的运载。

（三）高效节能。

采用行级空调和密闭冷/热通道技术。一方面行级空调与机柜并排安装，近端制冷，有效的解决机房局部热点问题，并且更加精确的制冷，减少能耗；另一方面，通过 iCooling 智能温控技术，在保障数据中心制冷的前提下，有效降低温控系统能耗，从而降低 PUE，大大降低运营成本，与传统数据中心相比，可节电约 20%，PUE 可达到 1.245 以下（北京地区实测年平均 PUE），对于一个 1MW 数据中心，

每年节省电量 100W kW · h（50%负载率，对比 PUE1.5）。

四、技术应用情况

主要应用于政企客户自用中小型数据中心，也可采用多个模块应用于大型企业分支机构的数据中心，可满足政府、教育、医疗、金融、电信等行业大型数据中心的部署需求。根据赛迪顾问《2020-2021 中国微模块数据中心市场研究年度报告》，华为智能微模块在运营商、IDC、政府、金融、教育、医疗、制造、交通等各行业得到广泛应用及认可，稳居中国市场份额第一。

五、应用实例

某大学机房用华为智能微模块数据中心，采用模块化设计，布局上采用室内双排，密封冷通道的部署方式，实现了客户现场空间的最大利用。

（一）一体化集成，解决了客户原数据中心设备厂家众多，界面复杂，现场交付工作量大，运维困难的问题。

（二）密闭冷通道，近端制冷，支持高密部署，同时对层高要求低，有限的空间内承载更多的业务。

（三）采用模块化设计，工厂预制，现场快速安装，15 天交付完成，减少建设时间，客户业务 1 个月内快速上线，节省交付周期，同时因采用模块化设计，客户可按需扩容与部署。

（四）采用自动休眠（ECO 技术）的高频模块化 UPS，最高效率达 96%，密闭冷热通道，行级空调近端制冷，并提升回风温度，客户现场实测 PUE 1.26。

IT机柜	IT机柜	IT机柜	半柜行级空调	IT机柜	IT机柜	IT机柜	半柜行级空调	IT机柜	IT机柜	IT机柜
通道	通道	通道	通道	通道	通道	通道	通道	通道	通道	通道
一体化UPS柜	IT机柜	IT机柜	半柜行级空调	IT机柜	IT机柜	IT机柜	半柜行级空调	IT机柜	IT机柜	IT机柜

某大学机房华为智能微模块数据中心布局

六、推广前景

随着云计算技术的出现，使数据中心的建设呈现出大型化、集约化的趋势，然而众所周知，建设一个大型数据中心，从前期的规划设计到验收并交付运营，整个建设周期需要花费大约 2 年的时间，而 2 年的时间对于数据中心行业来说太长。业务在快速地增长，IT 设备也在不断更新换代，等到数据中心建设完毕，可能原先的设计已经完全不能承载现有的业务需求。因此在国内，运营商和百度、阿里、腾讯等互联网企业在新建数据中心时，纷纷采用模块化数据中心产品，均在建设周期、能耗及全生命周期成本方面获得收益。

根据 ICTresearch 研究调查显示，当前中国数据中心每年新增投资规模在 1000 亿元人民币左右，包含服务器、网络存储、网络设备、基础设施产品等，随着中国信息化社会的快速推进，以及云计算、物联网等产业的崛起，数据中心作为终端海量数据的承载与传输实体，每年的投资增速日益加快，2015 年中国数据中心保有量约为 5.2 万个，总面积约为 1450 万平米，预计到达 2020 年，中国数据中心保有量将超过 8 万个，总面积将超过 3000 万平米。智能微模块按照“简单、高效、可靠”的建设理念来构建的新一代数据中心基础架构的解决方案，是专门针对云时代数据中心的需求而提出的。随着数据中心云化

加速，2016 年厂商纷纷进入模块化数据中心市场，随着智能微模块的简单、可靠、高效的显著特点，未来智能微模块市场将会成为数据中心建设的主流方式。

6 预制模块化数据中心基础设施解决方案技术

一、适用范围

新建数据中心

二、技术内容

（一）技术提供方

华为技术有限公司

（二）技术原理

（1）创新性地将预制装配式建筑技术与模块化数据中心技术相融合，现场土建与模块工厂生产同时进行，上线交付时间缩短一半以上；有效降低初始投资，缩短投资回报周期；

（2）支持各类制冷方式、如间接蒸发冷却系统、冷冻水风墙、风冷行级及房间级等；独有 iCooling 制冷系统能效优化技术，AI 加持，有效降低 PUE；装配率达 97%，乐高积木式搭建，建设过程绿色环保化，施工环境无三废，碳排放少；

（3）独有 iPower, iManager 智能营维技术，降低运维成本，提升资源利用率；

（4）一层一 DC，支持在线单柜功率密度弹性翻倍，支持整层在线垂直扩容，随需而建；采用独有 FE-Kit 垂直扩容连接组件，支持精准互锁，10 分钟快连，超强缓冲，在线业务“0”冲击；独有 F-lock 技术，三粗一精设计，精准定位；免焊接对接，快速互锁；高强抗震螺栓连接；独有 E-shock 技术，采用超弹复合材料，中空防压溃防撕裂结构设计；

（5）业界唯一可以支持 5 层堆叠、50 年寿命、唯一可以按照建筑标准交付的预制模块化数据中心。

（6）采用独有磐石架构建筑结构技术，创新性地将预制叠箱架构与框架-支撑钢结构相融合，最高支持 9 度抗震。其采用多维互联

支撑架构：增加整体性，宏观强抗剪抗扭；大而不倒，高而不晃；密肋蒙皮盖板系统：楼层地震力可靠转载，抗剪力>3800kN；星阵节点连接：仿榫卯设计，免现场焊接，箱体多而不散；保障数据中心负载设备安全运行。

三、主要节能指标

以东莞地区 3000 柜，24M IT 容量数据中心为例，建筑垃圾相比传统方式减少 506 吨，施工用水减少 19000 吨，相比传统方式减少 80%。施工碳排放可降低 15000t。PUE 达到 1.28，年节省用电量 6067 万 kWh，二氧化碳减排量约合 27374tCO₂/a。建成后整个项目总工业增加值为 1419500 万元，年综合能源消耗量当量值为 80830.36tce，等价值为 197305.11tce。项目单位工业增加值能耗=197305.11 ÷ 1419500=0.139tce/万元，远优于东莞市当地标准 0.585tce/万元。

四、应用实例

案例 1

项目名称：华为云乌兰察布数据中心

实际运行时间：2019 年 9 月一期上线运行

建设规模：乌兰察布华为云数据中心 D01~D03 期每期建筑面积 9223.66 m²，共计三期总容纳 3000 机柜，总 IT 设备功率容量达 30MW，共计 1100 个预制模块，PUE 1.15

节能量：D01~D03 共三期年节省用电量 6339 万 kWh，二氧化碳减排量约合 28600 tCO₂/a

案例 2

项目名称：华为云东莞数据中心

实际运行时间：2019 年 3 月一期上线运行

建设规模：华为云东莞数据中心 T1~T3 期每期建筑面积 5950 m²，共计三期总容纳 3000 机柜，总 IT 设备功率容量达 24MW，共计 570 个预制模块，年均 PUE 1.28

节能量：T1~T3 共三期年节省用电量 6067 万 kWh，二氧化碳减排量约合 27474tCO₂/a

五、推广前景

来 5 年，全球复合增长率超过 25%，推广前景广泛。各大云数据中心厂商，如华为云、腾讯等纷纷采用预制化方式作为主流方式建设数据中心；运营商加大 IDC 业务投资，技术创新，也开始大规模采用预制模块化数据中心；此外，随着 5G、人工智能、工业物联网等融合发展，全国掀起了人工智能示范区及 AI 超算中心的建设高潮，纷纷采用预制模块化方式建设数据中心，满足快速上线，算力领先的要求。

7 数据中心智能管理技术（含 iCooling 节能技术）

一、适用范围

新建数据中心或在用数据中心改造。

二、技术内容

（一）技术提供方

华为技术有限公司

（二）基本原理

华为数据中心智能管理系统基于人工智能的数据中心能效优化技术，是通过对大量数据的业务分析、清洗，利用机器学习，探索影响能耗的关键因素，形成一套可对耗能进行预测、调优的模型。并将上述模型应用到实践体系中，通过规范化的实践引导和目标导向评测，不断调整优化，获取均衡 PUE。

（三）关键技术

1. AI 原理

基于相等边际效能的按需控制，可以满足部分场景的控制需求，但由于 BMS 系统在进行控制时，往往事先写入曲线、逻辑控制策略，而对于变化的场景，特别是对于 IT 负载变化的场景，此类控制系统往往无法感知，因此，在实际的控制过程中，往往只能在特定的负载区间变现出一定的调试性能，当进入到实际工作中，整个数据中心的效能往往无法保障最优。

针对此类系统，需要找到一种新的控制算法，来达成整体最优。大数据，人工智能成为能效优化的一个探索方向。使用历史数据训练神经网络，输出预测的 PUE，以及 PUE 与各类特征数据的关系，指导 DC 根据当前气象、负载工况，按预期进行对应的优化控制，实现节能目标。

一般来说，基于大数据的分析具有如下的几个步骤：

(1) 数据采集：采集冷冻站、末端空调及 IT 负载等系统的相关运行参数

(2) 数据治理：利用自动化治理工具，对参数进行降维、降噪、清洗等处理。

(3) 特征工程：利用数学工具，对治理完成后的表格进行相关性分析，找出与 PUE 相关的关键参数，含控制因子、环境因子及过程因子

(4) 模型训练：利用 DNN 算法，训练出 PUE 模型（预测精度要求不低于 99.5%，误差不超过 0.005）。

(5) 推理决策：将预测以及决策模型发布到集控系统中，以在线给出可以调优的决策模型。



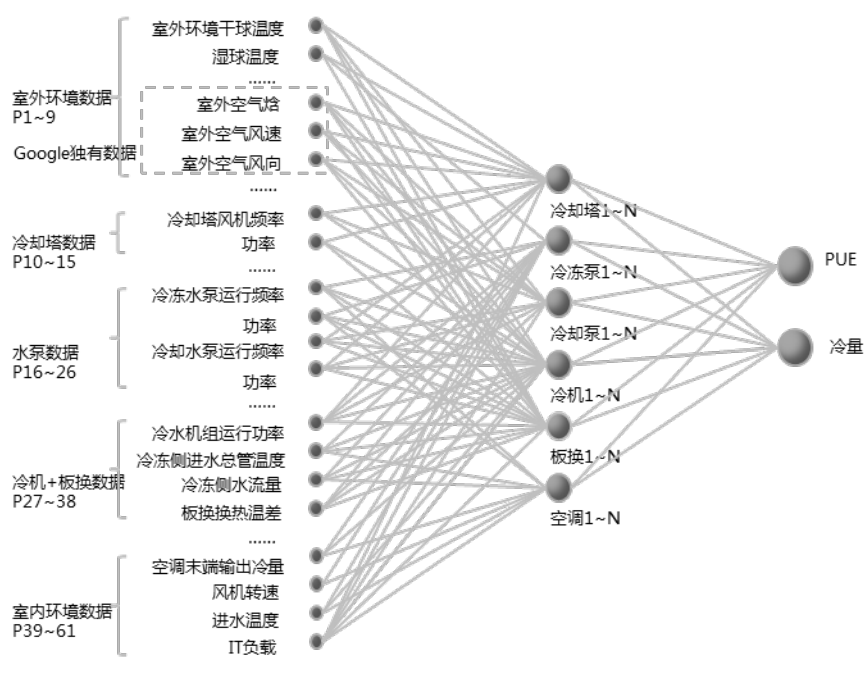
2. 构建深度神经网络 DNN

神经网络是一类机器学习算法，它模拟神经元之间相互作用的认知行为。针对数据中心制冷效率提升瓶颈，采用神经网络，利用机器学习算法可以找到不同设备，不同系统间的参数的关联关系，利用现有的大量传感器数据来建立一个数学模型，理解操作参数之间的关系从而找到最优的参数。

神经网络拥有输入层、输出层以及多个隐含层，输入的特征向量通过隐含层变换达到输出层，在输出层得到分类结果。多层感知机可

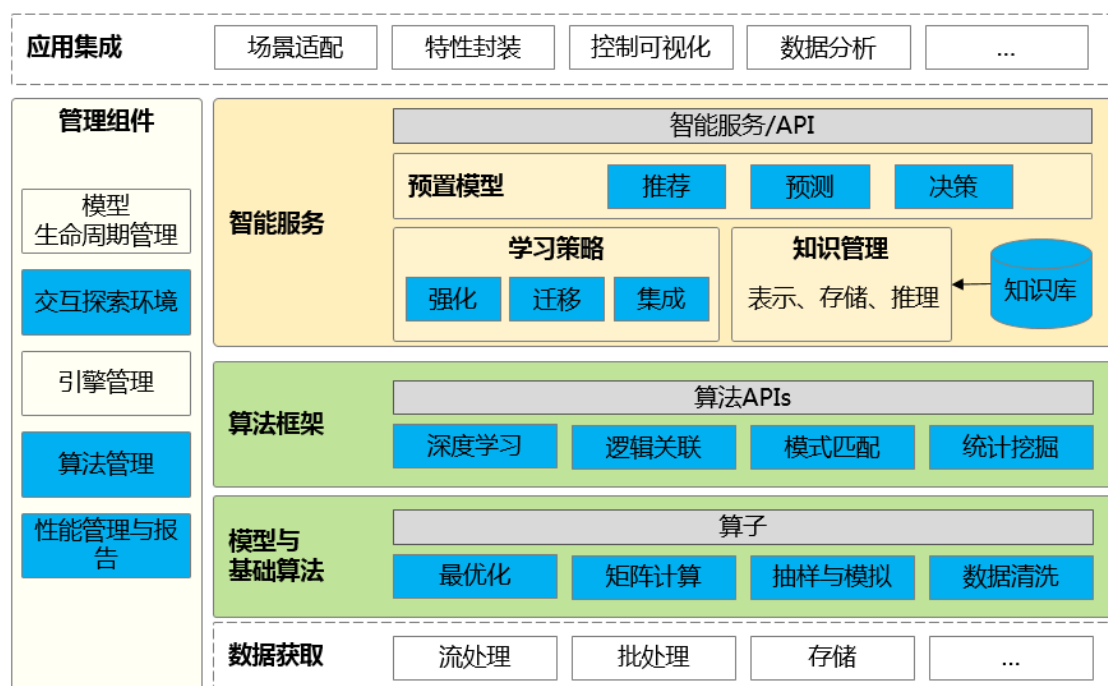
以摆脱早期离散传输函数的束缚，使用 sigmoid 或 tanh 等连续函数模拟神经元对激励的响应，多使用反向传播 BP 算法训练。

考虑到数据中心制冷系统的复杂性，需要对电系统，制冷系统、环境参数进行系统数据，找到系统的特征值，并利用特征值组织 DNN 网络，如下：



3. AI 算法框架

AI 算法分数据获取，模型，算法框架，管理组件，以及智能服务，应用集成几个部分。如下图所示：



数据获取，主要是实现数据采集，数据的处理与存储。

模型与基础算法：主要解决大数据的抽样、清洗，获取最优的算子，支持模型的快速求解。

算法框架，主要根据逻辑关联，选择机器学习的算法，进行模式匹配，找到适用性的求解。

管理组件，主要是根据模型的演进，对模型的生命周期进行管理，如发布新的模型、模型的回退，支持强化学习后模型的演进。

智能服务，主要是对推理模型进行预置，实现模型的推荐，预测以及对可调参数的决策，在实际的运行过程，通过决策系统获得可以调节的参数组。

集成服务，主要解决 AI 服务的可视化，不同制冷系统的场景适配以及对数据过程分析、控制效果进行可视化。

4. AI 部署运行框架

AI 提供训练、推理平台。都可以使用云部署方式，推理平台（承载模型）可以独立于管理系统部署到物理机，或者云端，也可与管理系统同机部署；训练平台单独部署。

iCooling-Fusion(冷冻站-末端联动节能寻优)和 iCooling-Edge(室内末端空调系统群控寻优)。

iCooling 总体架构如下：

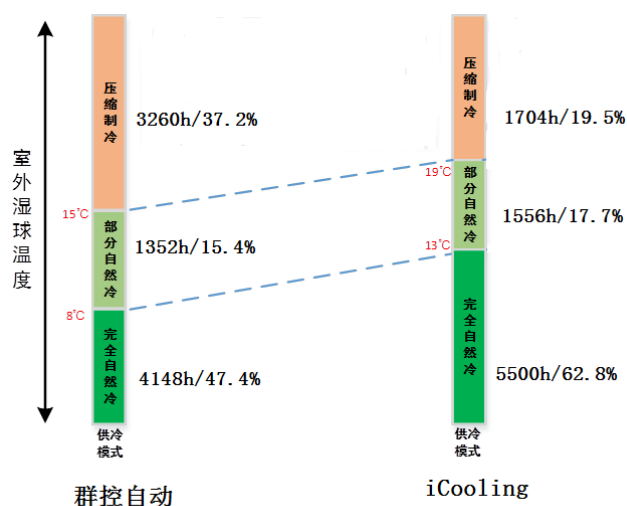


iCooling 技术运行之后，可以实现以下效果：

1、iCooling-Edge 能够实现：末端风机同转速控制节能降噪、最佳水温寻优能够根据末端实时负载，实时给出冷冻水最佳水温建议：

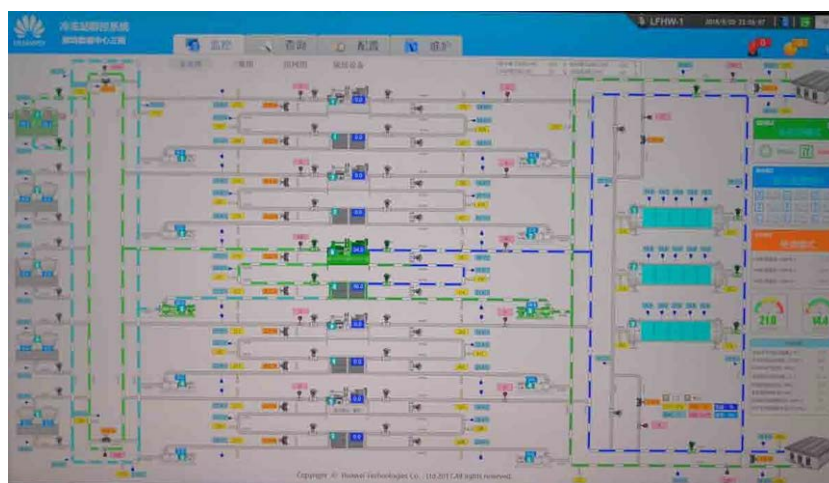


2、iCooling-Fusion 能够实现制冷系统的模式智能切换，增加自然冷却运行时间。

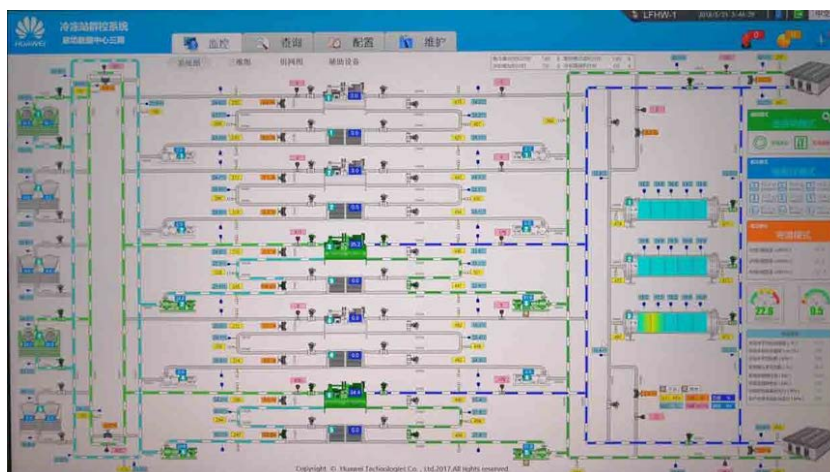


3、iCooling-core 能够实现制冷系统内最佳设备数量组合和功率组合。

群控模式：单套制冷单元，运行效率低；示意图如下：



运行 iCooling：寻优开启两套制冷单元，提升制冷 COP；示意图如下：



四、效益评估

（一）经济效益

基于 1000 机架，每机架功率约 4kW，IT 负载量 50%的数据中心典型场景，计算如下：

1) 节能量：按降低 PUE 0.1，节能 8%来评估，每年节省用电量 $1000 \times 4 \times 50\% \times 0.1 \times 24 \times 365 = 1,752,000 \text{ kWh}$ ；按平均工业用电电价 1 元/度，每年节省电费 175.2 万元。

2) 投资额：硬件一次性改造投资约 80 万元；软件使用费按电费节约量的 20%收费，约合每年 35 万元。

3) 投资回收期： $(80+35)/175.2=0.65$ 年

（二）环境效益

按每度电 0.96 千克的碳排放量的基准线，预计年平均的碳排放削减量： $1752000 \times 10 \times 0.96 = 16,819,200$ 千克。

五、应用实例

案例用户：华为廊坊云数据中心项目

案例内容：华为廊坊云数据中心项目利用 L2 厂房，规划 4000 个机柜，单机柜平均功率 8KW，当前负载率为 70%。廊坊云数据中心由华为自行设计、建设，基于互联网最佳实践，进行了许多理念创新：华为自研微模块（IP44 保温外壳，冷热通道均封闭）、T2+/T3

可靠性等级混合设计，高效模块化 UPS、NetEco 智能管理平台等绿色设计。

廊坊云数据中心配备有高效易用的 NetEco6000 智能管理平台，实现云计算数据中心全面可视化管理，运营活动一目了然，所见即所得，使能运维走向运营。管理系统首先可以实时监控机房内部的关键信息，包括模块内的温度湿度风速；空调管路的漏水检测、配电柜内的电压电流频率功率因数等；还可以通过检测负载的功耗情况，实时调整空调、UPS 输出，当负载率过低时，关闭部分设备或模块，从而提高整体效率降低 PUE 值；此外还对空调、UPS 内部的关键器件有失效预警，可以在失效之前提前更换，从而防范于未然。

经廊坊云数据中心验证，该项目进行节能效果实测，共 4000 柜，平均 8kW/柜，IT 负载率 70%，应用 NetEco6000 智能管理系统之前 PUE 为 1.42；实测环境不变的情况下，应用后 PUE 降低 0.17，达到 1.25。智能化管理系统自 2018 年 9 月份上线使用以来，预计可年平均节省用电量约 33,360,000kWh，节省全年电费约 12%。

六、推广前景

研究表明，在数据中心后期运营，能耗是最大成本，占比超过 60%。降低能耗效率(PUE)值，一直是业界相关部门关心的重点。2019 年 2 月，三部位发文：到 2022 年，数据中心平均能耗基本达到国际先进水平，新建大型、超大型数据中心的电能使用效率值达到 1.4 以下。在这样的大背景下，数据中心运营商如何运用新技术、新架构降低能源降耗，实现数据中心的绿色发展，将成为行业的关注热点，与此同时，节能降耗的大趋势之下，也将带来更多的市场机遇。

华为数据中心智能管理系统，基于 AI 算法和大数据平台，针对数据中心制冷效率提升瓶颈，通过 DNN 深度神经网络，对大量的历史数据进行业务分析，探索影响能耗的关键因素，利用寻优算法，获取调优参数组，下发到控制系统，实现制冷系统的控制。最终通过规

范化的实践引导和目标导向评测，不断调整优化，获取最佳 PUE。经实际项目验证，在冷冻水制冷场景下，可有效降低 PUE 8%-15%，是大中型数据中心的首选,也是业界最佳的数据中心节能方案。

未来 5 年，国内大型数据中心建设即将进入一轮新的高潮。华为数据中心智能管理系统适应性广，可靠性高，在国内 DCIM 市场上预计占有率可进入前三（华为承建数据中心 100%覆盖，其他行业市场占有率 30%），年复合增长率超过 20%。

8 风墙冷却技术

一、适用范围

新建数据中心或在用数据中心改造。

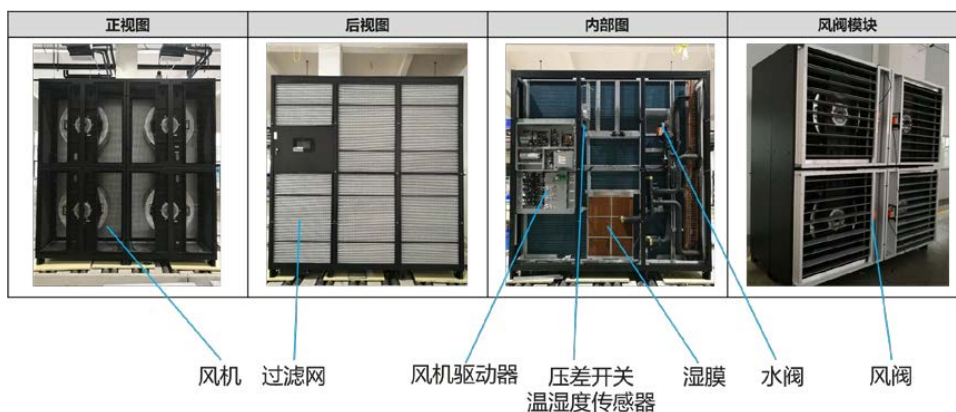
二、技术内容

（一）技术提供方

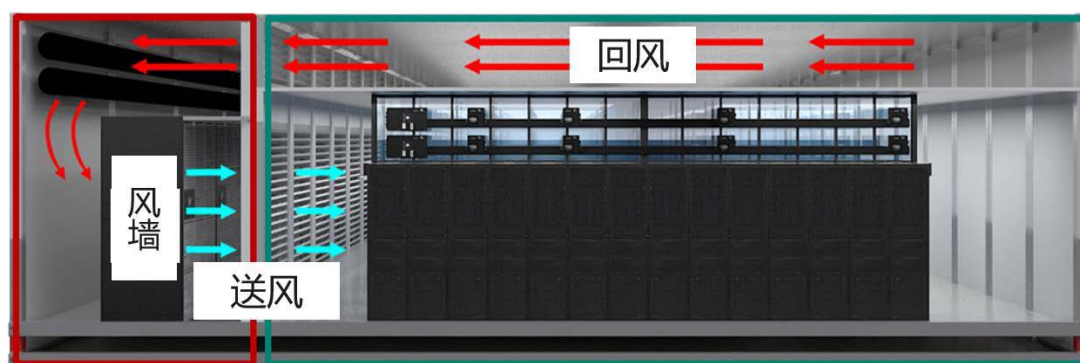
华为技术有限公司

（二）基本原理

产品结构：风墙冷却系统是应用于数据中心的高效制冷系统。如下图所示，其主要部件有风机、换热器、过滤网、水阀、风阀等。



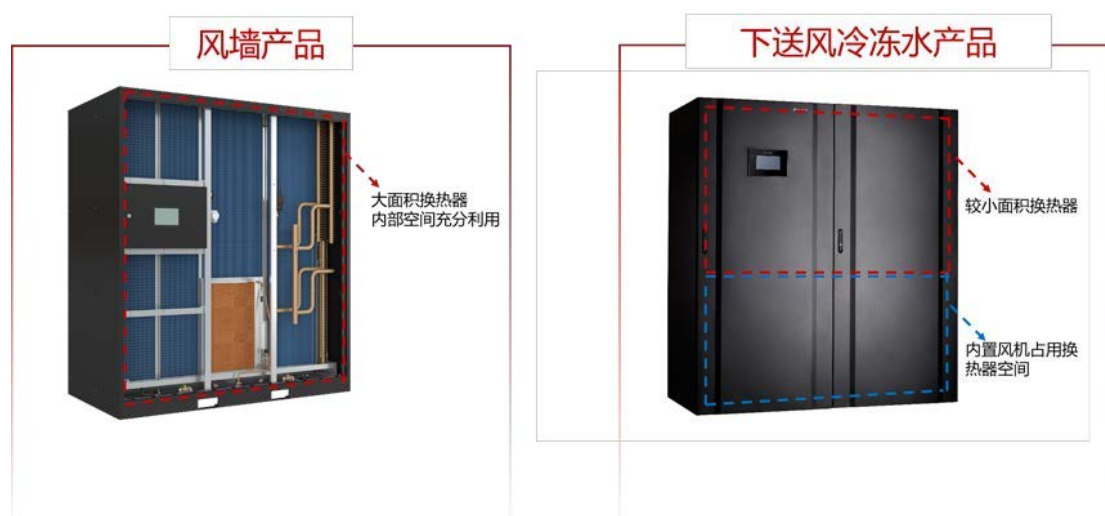
如下图所示，在数据中心的，风墙一般安装在主机房旁，通过水平送风的形式将冷空气送入机房。冷空气与机房内的 IT 设备换热之后，通过密闭的回风通道回到风墙设备，并与风墙内循环流动的冷冻水换热，实现将数据中心内产生的热量源源不断传递到外部环境。



（三）关键技术、工艺流程

传统的数据中心一般多采用下送风的形式，换热器及风机各占用一部分机组内空间。在体积有限的情况下，换热器对冷源的利用率受到限制，尤其是在高水温的情况下制冷量降额较大。国标《GB50174-数据中心设计规范》要求服务器进风温度应为18-27℃。因此，传统的冷冻水制冷系统对冷冻水温度要求较低，冷冻水机组需要消耗更多的功耗达到更低的出水温度。

风墙冷却系统的关键技术是高性能换热器及风机系统。**换热器与风机在气流方向前后重叠**。设备在同等的占地面积下可以安装更大面积的换热器和更多的风机数量。在这种设计条件下，设备可以充分利用冷冻水，实现满足同样的送风温度条件下，冷冻水的温度可以更高，冷冻水的工作功耗也相应更低。



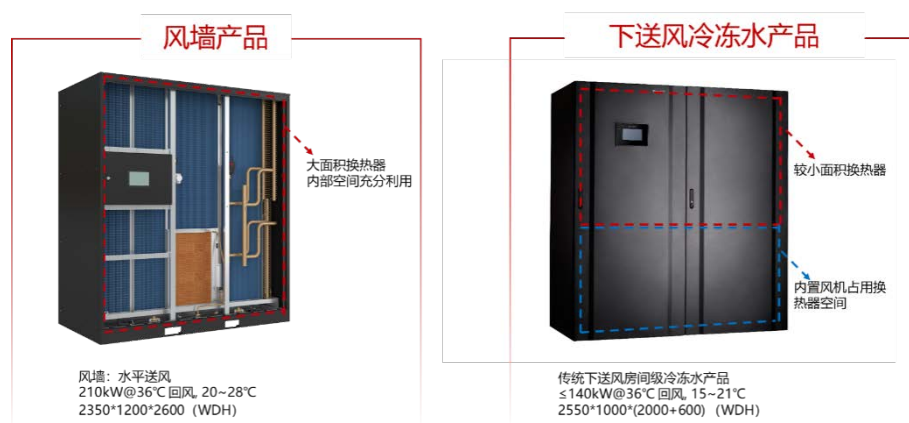
在换热器的设计上，风墙冷却技术应用场协同原理，优化流场

与温度场，使换热器针对高水温、大温差的工况特点进行优化设计。

在风机的设计上，为了更高效地利用高温冷冻水，需要更大的风量实现对高温冷冻水的高效利用，同时支持远距离送风。风墙冷却技术采用的风机针对数据中心场景进行风机工作曲线优化，实现能效和性能的平衡。

三、主要技术参数

如下图所示，风墙冷却产品可以支持更高的水温，典型情况下：风墙可支持 20℃ 的进水温度和 28℃ 的出水温度，而传统的房间级冷冻水产品可支持 15℃ 的进水温度和 21℃ 的出水温度。根据测试分析数据，进水温度每提高 1℃，冷水机组的效率可以提升约 3%，这意味着风墙冷却产品可以提供冷水机组效率约 15%。



另外，如上图所示，在近似的占地面积下，风墙冷却系统可以实现单机 210kW 的制冷量，而传统的房间级风冷水只能达到约 120kW 的制冷量，风墙的制冷密度更大。

四、应用案例

案例用户：广州某数据中心项目

项目设计总规模 12.3MW，采用 76 套风墙冷却系统，节省 223 万元初始投资，10 年生命周期节省电费 507 万元。按照电费 0.6 元/kWh 计算，生命周期减少煤消耗 3813 吨，减少 10142 吨二氧化碳排放。

该项目采用创新的风墙冷却系统，带来突出的节能效果，对耗能巨大的数据中心行业有良好的示范作用。

案例二：东莞某数据中心项目

项目设计总规模 6MW，采风墙冷却系统，节省 133 万元初始投资，10 年生命周期节省电费 304 万元。按照电费 0.6 元/kWh 计算，生命周期减少煤消耗 2288 吨，减少 6085 吨二氧化碳排放。

该项目在国内首次在预制模块化数据中采用了创新的风墙冷却系统，带来突出的节能效果，对耗能巨大的数据中心行业有良好的示范作用。

9 电力模块供电技术

一、适用范围

中大型新建数据中心。

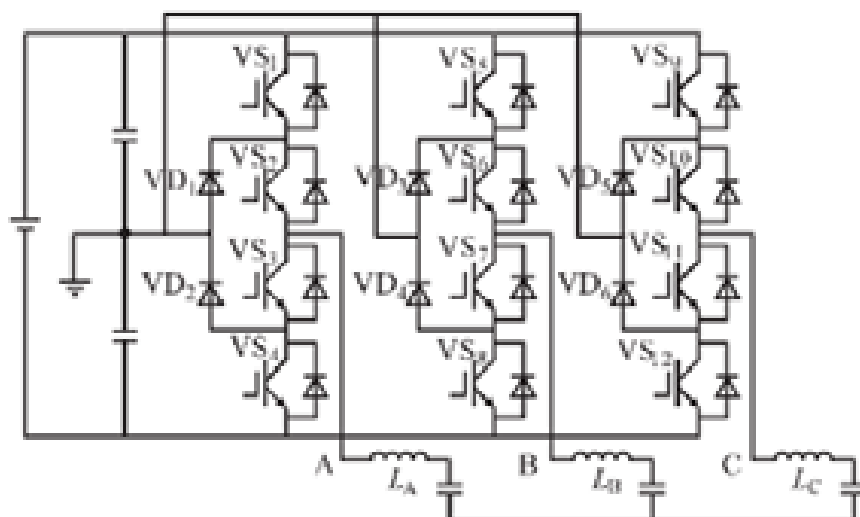
二、技术内容

（一）技术提供方

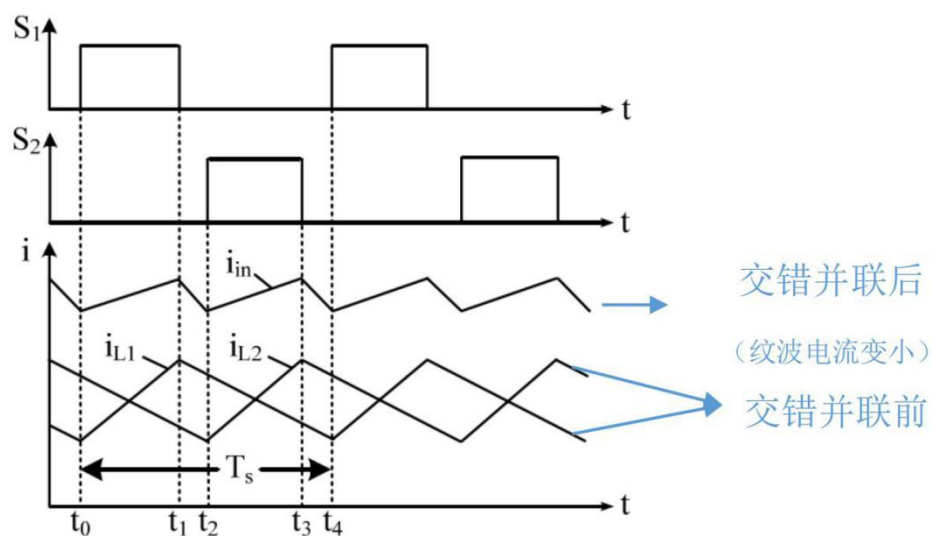
华为技术有限公司

（二）技术原理

1. 三电平 IGBT 变换器，损耗更低



2. 交错并联技术进一步降低功率器件和滤波器件损耗



3.电力电子损耗优化

IGBT：第五代低损耗技术 IGBT 导通/开关损耗降 20%；

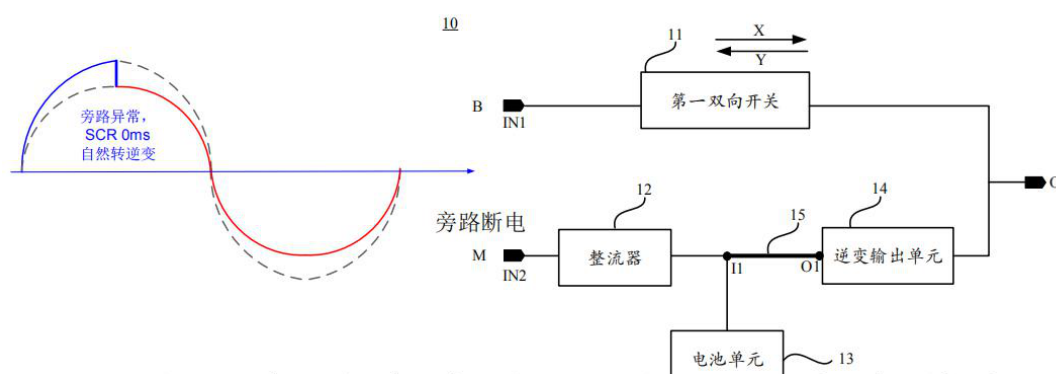
二极管：SIC（碳化硅）二极管 0 开关损耗；

电感：专利磁芯铜损和铁损降 10%。

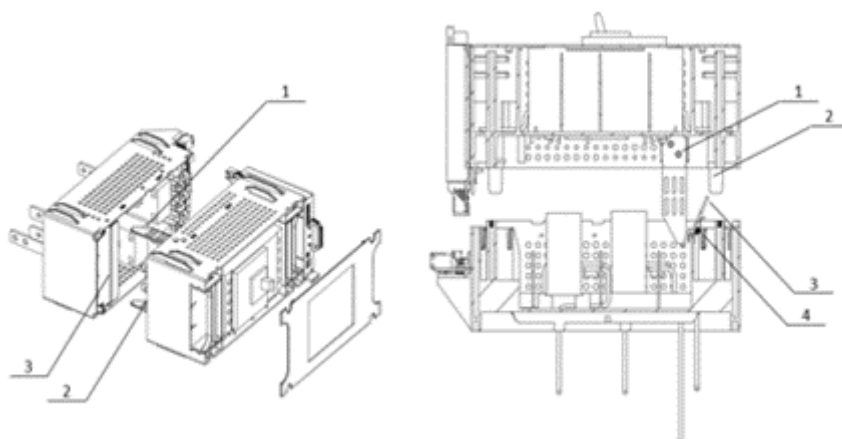
4.数字技术深度融合降损耗

风扇转速最优化降损：无级调速，与负载率完美匹配；先进数字及通信技术保障模块均流，良好的一致性。

5.超级 ECO 专利技术实现 0ms 主旁切换，UPS99%高效能源转换效率。



6.供配电融合高密，独有的塑壳热插拔底座专利技术整柜密度提升 40%+，独有的铜排叠层设计将链路从线缆连接-->铜排连接，整个电力模块链路短 30%，链路效率提升 0.3%。





三、主要技术参数

与行业常见 UPS 电力模块技术参数对比情况如下。

项目	华为电力模块	行业
UPS 整流逆变效率	97%	95%
UPS 主旁切换	99%效率, 0ms 切换	99%效率, >4ms 切换
供电线路损耗	0.5%	0.8%

四、应用实例

案例用户：华为云东莞数据中心 T4 项目。

项目内容：项目设计总规模 84MW，4698 个机架，采用电力模块你系统，78 套 2.0MVA 电力模块+2 套 1.25MVA 电力模块，10 年生命周期节省用电 34000 万 kWh，按照电费 0.6 元/kWh 计算，节省电费 20400 万元。生命周期减少煤消耗 22360 吨，减少 59490 吨二氧化碳排放。

本项目在预制模块化数据中采用了创新的电力模块系统，带来突出的节能效果，对耗能巨大的数据中心行业有良好的示范作用。

10 华为智能光伏 (FusionSolar)

一、适用范围

新建数据中心或在用数据中心改造。

二、技术内容

(一) 技术提供方

华为技术有限公司

(二) 技术原理

1.简介

华为将 30 多年积累的数字信息技术与光伏跨界融合，推出智能光伏解决方案。在发电侧，将 AI、云等新 ICT 技术与光伏进一步深度融合，打造“高效发电、智能营维、安全可靠、电网友好”的智能光伏电站。在用电侧，基于“主动安全，更优度电成本”的理念，华为面向行业，推出行业绿电解决方案，助力千行百业开启绿色低碳新时代；在家庭场景，推出家庭绿电解决方案，实现 24 小时享受清洁电力，开启零碳新生活。

2.原理

智能光伏：构建以新能源为主体的新型电力系统

电力电子技术和数字技术将是构建以新能源为主体的新型电力系统的核心。新型电力系统拥有高比例可再生能源、高比例电力电子设备、高度数字化、高度智能化四大特征。

(1) 大型地面电站

将光伏系统打造成智能光伏发电机，加速推动光伏成为新型电力系统的主力能源。

储能系统在新型电力系统的“发、输、配、用”各个环节无处不在，起到“蓄水池”和“调节器、稳定器”的作用，并且从原来的备用系统成为主用系统，保证电网的安全、稳定运行。电化学储能是目

前具备普适性的储能技术，但是电池不等于储能系统。储能系统是融合了电化学技术、电力电子技术、数字技术、散热技术、甚至 AI 技术构成的整体系统，用电力电子和数字技术的可控性来解决电池的不一致和不确定性，保障储能系统的效率和安全。

（2）行业绿电解决方案

光储融合架构，通过智能光伏优化器、智能组串式逆变器、智能组串式储能系统的组合，华为可以提供覆盖纯光、纯储、光储充以及可并可离的光储微网四大场景的解决方案，致力于服务千行百业，助力其清洁能源转型。零碳发电：组件搭配智能光伏优化器可适配屋顶复杂情况，充分利用屋顶面积，在工商业场景安装比例平均提升 $\geq 50\%$ 。组件级发电优化，有效应对各类组件失配，系统发电量最高可提升 30%。主动安全：工商业智能光伏解决方案多重安全防护，组件搭配智能光伏优化器可实现组件电压 0V 快速关断；逆变器集成智能电弧防护，可在 0.5s 内识别电弧，确认后关断逆变器，消除安全隐患；储能端到端四重安全保障设计，确保储能电站安全运行，可最大程度保障光伏系统屋上屋下的安全。智能运维：设备可靠，无易损件、逆变器年故障率 $<0.5\%$ ，免维护体验；智能组件健康诊断 IV4.0，实现在线、全量分布式电站体检，运维效率提升 50%以上。

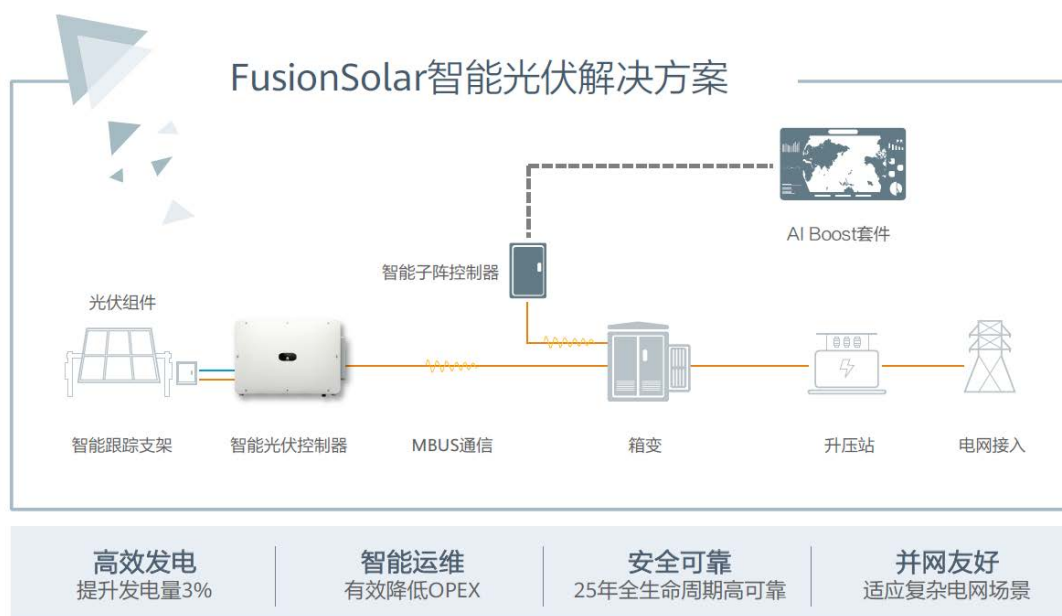
（3）家庭绿电解决方案

“1+3+X”架构，助力更优用电成本，构筑智能用电生态。智能发电，搭配华为智能光伏优化器可适配屋顶复杂情况，多装多发，最高提升发电量 30%。智能储电，内置能量优化器，提升储能系统可用电量 10%。智能用电，采用 AI 光储协同，通过大数据搜集在云端完成 AI 学习，准确预测发电、用电曲线，控制家庭发电及用电情况，提升绿电自用比率。系统安全，安全是光伏产业持续健康发展的基石。光伏产业要与住建、消防等相关组织尽快把安全标准建立起来，包括屋顶光伏、储能系统的安全标准。华为户用智能光伏解决方案多重安

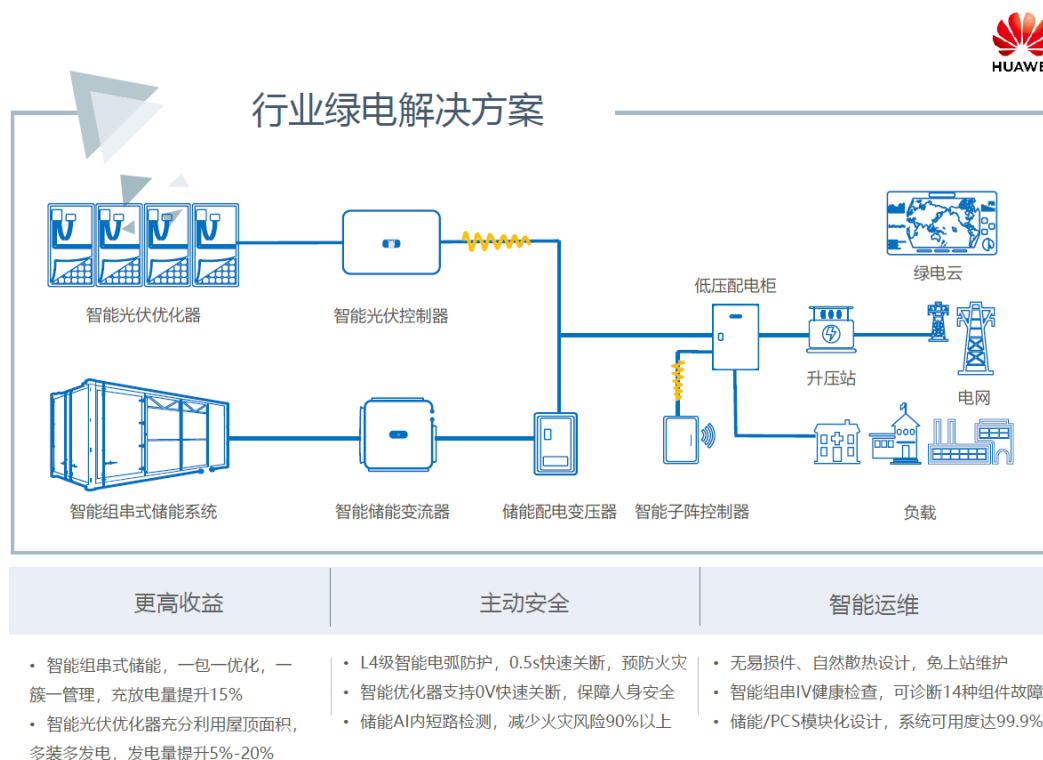
全防护，包括优化器 0V 快速关断，逆变器智能电弧防护，储能端口 0V 电压和内置消防包，最大程度保障屋上屋下的安全。

三、主要技术参数

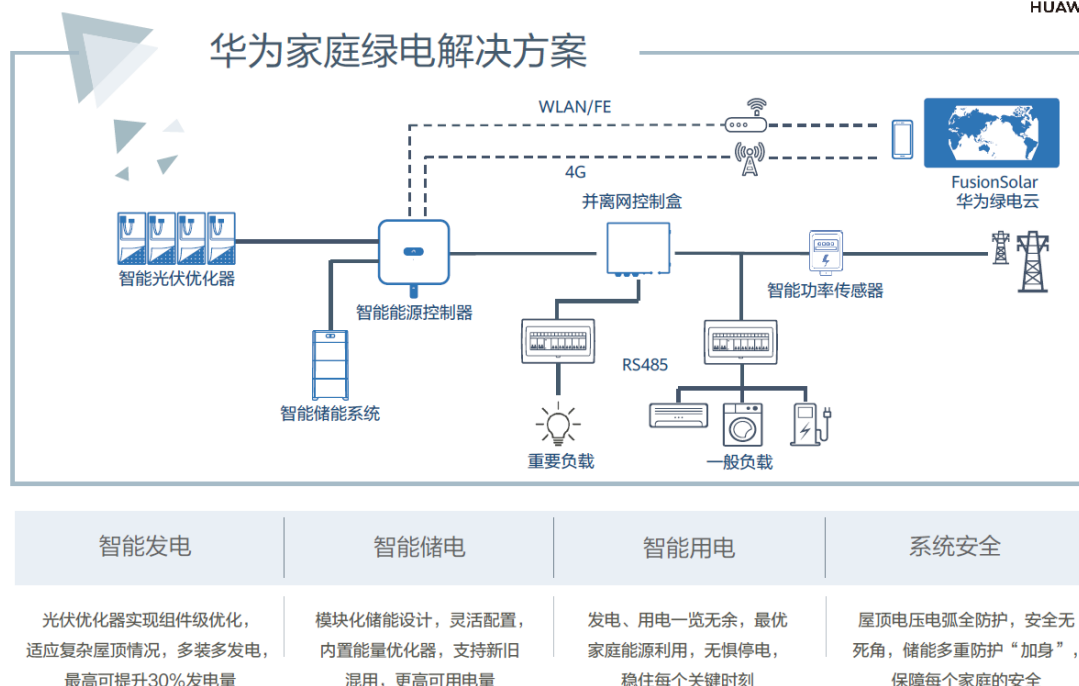
大型地面电站解决方案：



行业绿电解决方案：

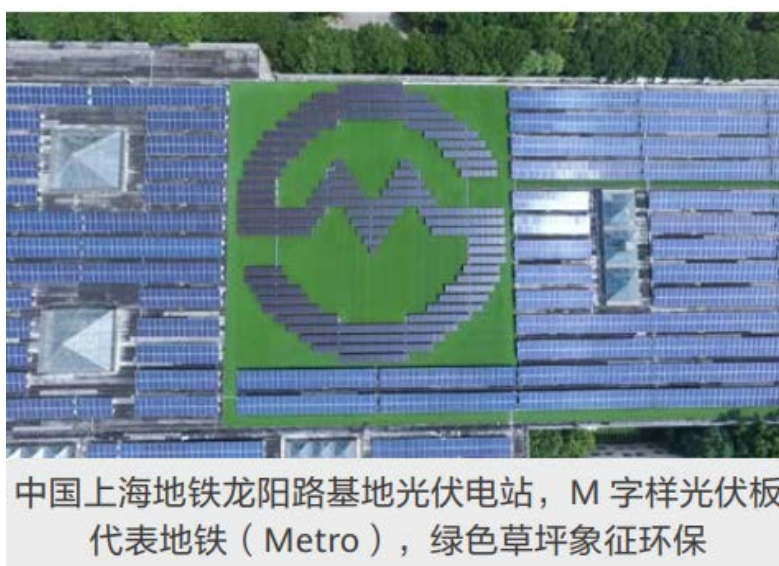


家庭绿电解决方案：



四、应用实例

1. “光伏 + 地铁” 为上海地铁提供绿色能源



位于上海浦东的地铁龙阳路基地为地铁 2 号线和 7 号线服务，每天都有列车进进出出。但鲜为人知的是，地铁车库还是一座隐藏的“发

电厂”，车库屋顶几乎铺满了太阳能板，源源不断地为地铁列车提供绿色清洁电能。该光伏电站总装机容量 3.66 兆瓦，全部采用华为智能光伏解决方案，年均发电量约 340 万度，可节约标准煤约 1,200 吨，相当于减少二氧化碳排放约 3,390 吨。车库屋顶光伏项目总面积达 5 万平方米，相当于五六个足球场大小，共安装了近 13,000 个 280 瓦组件，所产生的光伏电力并网接入基地内的综合变电所，供地铁就近使用，一年的发电量大约可供一辆 8 节编组的 2 号线列车行驶 20 万公里，相当于 1,560 多个来回。截至 2020 年底，上海地铁已有川杨河、治北、金桥、龙阳路、三林、富锦路、中春路、北翟路、陈太路、浦江镇等 10 个车辆基地完成了光伏发电系统并网，总装机容量合计约 24 兆瓦，年均发电量约 2,300 万度，后续还有大量地铁停车基地将要进行光伏项目建设。

2. “农光互补”开辟宁夏旱漠披绿新路径

中国宁夏黄河东岸滨河新区，曾是一片荒漠，生态环境恶劣，大风一刮，便是漫天黄沙。面对长期笼罩的“黄盖头”，宝丰集团响应国家生态文明建设号召，对 16 万亩荒漠化土地展开生态治理，种植苜蓿、枸杞，让荒漠披绿，焕发新的生机。自 2016 年起，华为助力宝丰集团在枸杞上方建设了大型光伏园区。



中国宁夏宝丰光伏园区，村民在光伏园区采摘枸杞

光伏板的铺设可有效减少约 30%-40%的土地水分蒸发量，短短几载时光，当地荒漠的植被覆盖率已提升约 86%，区域气候显著改善。往日的荒漠从“死海”变成了下有穰穰“红宝石”、上有滔滔“蓝海洋”，远看一片生机勃勃的土地。截至 2020 年 12 月底，该光伏园区累计发电量超 43.1 亿度，相当于减少二氧化碳排放约 204.7 万吨，约等于新种植 8,901 万棵树。由生态改造衍生出来的枸杞光伏项目，还给当地的村民带来了改变。每年的光伏板清洗，枸杞地的除草、华为助力宝丰光伏园区累计发电超 43.1 亿度，相当于减少二氧化碳排放约 204.7 万吨中国宁夏宝丰光伏园区，村民在光伏园区采摘枸杞、抹芽、修剪、施肥、采摘，给当地人提供了 8 万多个就业机会，提高了村民收入，让他们过上了更美好的生活。自然环境保护从来不是单一性问题，它与生态治理、能源利用、经济发展等多方面息息相关。加大可再生能源的使用，在减少人类碳足迹外，也让人们看到“绿水青山就是金山银山”，发展经济和保护生态也能和谐统一。

3. 山东滨州沾化：“发电 + 养殖”实现多方共赢

山东省北部的滨州市沾化区，过去以盐田和传统养殖为主，土地与海洋利用效益低下。自从引入“渔光一体”项目，在这片土地上，湛蓝的光伏板整齐地伸向天空，池塘内满是鲜活的鱼虾，大片的渔光一体光伏发电系统每天源源不断地将绿色电力输送到千家万户。该项目采用华为智能光伏解决方案，总装机容量 300 兆瓦，年平均上网电量约 4 亿度，是目前国内单体规模最大的“渔光一体”项目，也是“上可发电，下可养殖”的典范。自 2020 年 6 月建成投入运营以来，项目围绕“水下产出绿色食品，水上产出绿色能源”的目标，逐步构建“互联网+智慧能源+现代化养殖”综合发展模式。一座集科研、科普、休闲渔业、旅游、垂钓、观光、餐饮等多种元素于一体的现代化生态示范园区初具雏形，实现生态效益、经济效益和社会效益等多方共赢。

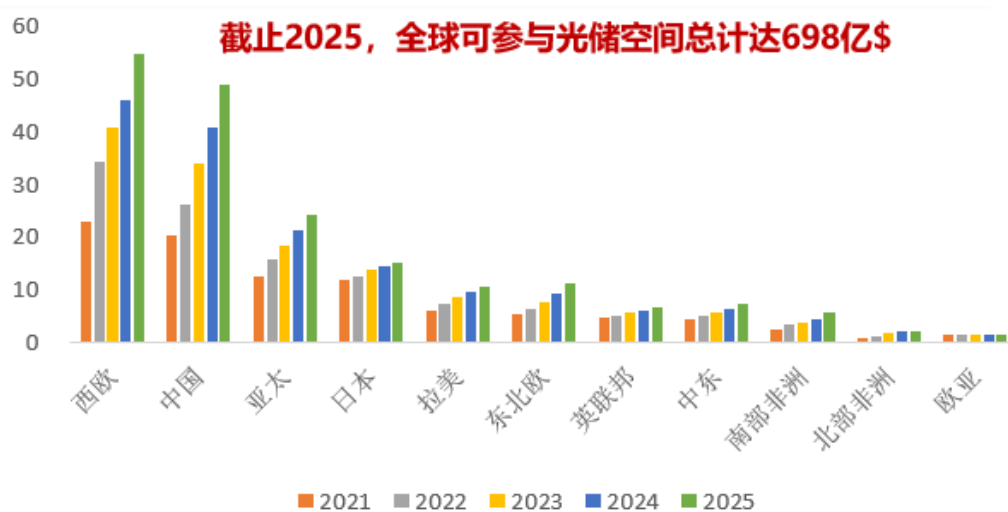
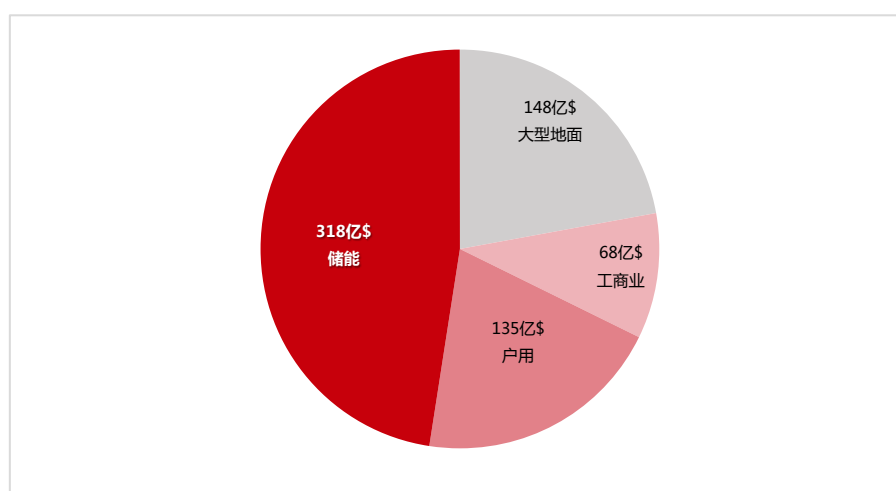
项目已累计发电约 2 亿度，相当于减少二氧化碳排放约 95,000 吨。



中国山东滨州沾化“渔光一体”项目

五、推广前景

未来 5 年全球光储空间达到 698 亿\$，市场迎来最好的发展机遇期。



11 数据中心单排精准高效制冷系统关键技术

一、适用范围

新建数据中心或在用数据中心改造。

二、技术内容

（一）技术提供方

广东易事特电源股份有限公司

（二）技术原理

整体系统采用模块化设计,将供配电系统、UPS 系统、制冷系统、应急通风模块、气流管理、布线、监控管理系统、消防等数据中心基础设施集中在一个或多个封闭式的机柜内,一套机柜即是一个完整的数据中心,具有高效节能、快速交付的特点,采用前后封闭冷热通道系统,可大大提高体型的系统的效能效果。

三、主要节能指标

PUE 小于 1.4; 节电 25%; 节约空间 50%

四、应用实例

某市级税务局预计搭建 80 套,目前已经部署约 30 套,同时组成集中监控管理平台,统一监控。

五、推广前景

数据中心的发展必然趋向大型集中化和小型边缘化发展,随着 5G,新基建的落地,必然催生边缘数据中心的遍地开花,目前国内各个行业小型机房中得到广泛的应用。

12 软件定义数据中心技术

一、适用范围

新建数据中心

二、技术内容

（一）技术提供方

北京优帆科技有限公司

（二）技术原理

采用计算虚拟化、分布式存储、网络功能虚拟化和智能运维等先进技术，使用 X86 服务器构建软件定义的计算、存储和网络资源池，赋予数据中心快速交付和弹性调度 IT 资源的能力，并能统一管理硬件和虚拟化资源，显著提高 IT 资源的使用率。

三、主要节能指标

与传统数据中心 IT 系统建设模式（高端服务器+集中式储存+高端网络设备）相比，IT 系统可节约投资约 30%。

四、应用实例

某银行数据中心采用软件定义的数据中心技术，建设具备弹性及快速扩展能力的基础设施交付与管理平台。该项目总投资额约 120 万，可实现服务器资源效率提升约 70%，机房物理空间资源节约约 67%。

五、推广前景

目前应用率不足 10%，未来 5 年市场占有率可达 50%。

13 TriIns Water 高效能冷却水循环处理系统

一、适用范围

新建数据中心或在用数据中心改造。

二、技术内容

（一）技术提供方

广东绿色算力科学研究院有限公司

（二）基本原理

循环冷却水系统需要控制腐蚀、结垢和微生物生长三大问题，保障系统稳定有效运行。高效能循环冷却水处理技术的基本原理是运用特定频率范围的交变脉冲电磁波，其能量有效地赋予水，激励水分子，增强水的内部能量，促使碳酸钙在水中形成无附着性的文石及在钢铁表面形成磁铁层，解决结垢和腐蚀问题；离子电流脉冲波具有显著的微生物灭杀功能，控制细菌和藻类生长。

产品名称：TriIns Water 高效能冷却水循环处理系统。

系统构成及产品：如下图 1 所示，系统由水处理模块、水质在线自动监测模块及远程代维模块三部分组成。

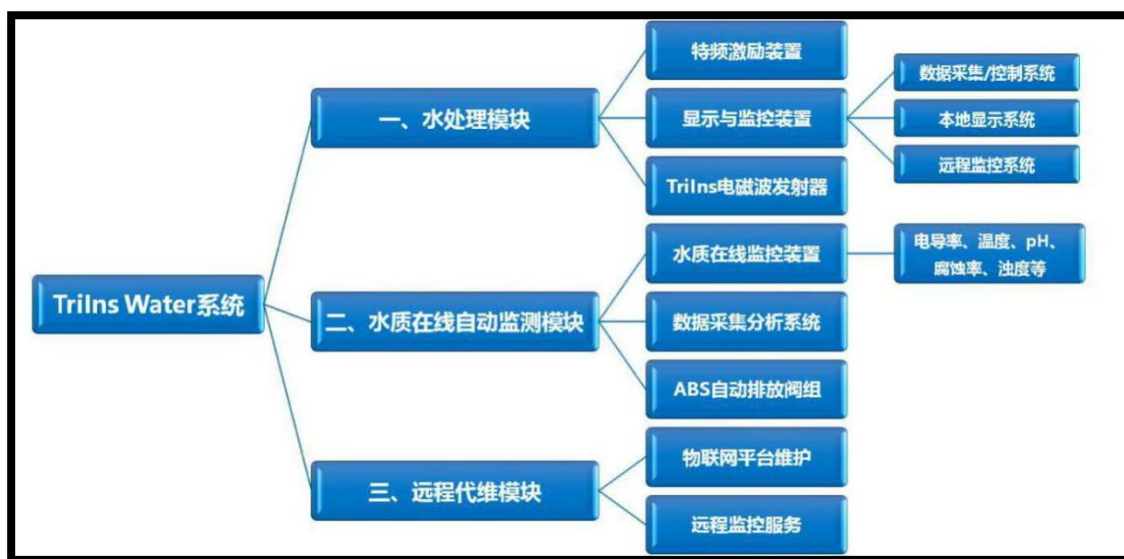


图 1 系统构成

如下图 2 所示，电磁波发射器在集水池安装，不破坏设备本体，改造项目可在不停机的工况下进行。专利设计的水质在线监测装置根据用户需求提供多参数水质在线监测（包括电导率、温度、pH、腐蚀率、浊度等），并通过数据采集系统及 PLC 连锁自动排放阀组，远程监控，控制水质指标。TriIns Water 系统全智能化运行，无须专人值守。通过物联网实现远程监控，在 PC 或者手机平台上均可实时监控系统的运行情况，确保持续、稳定、有效的处理效果。

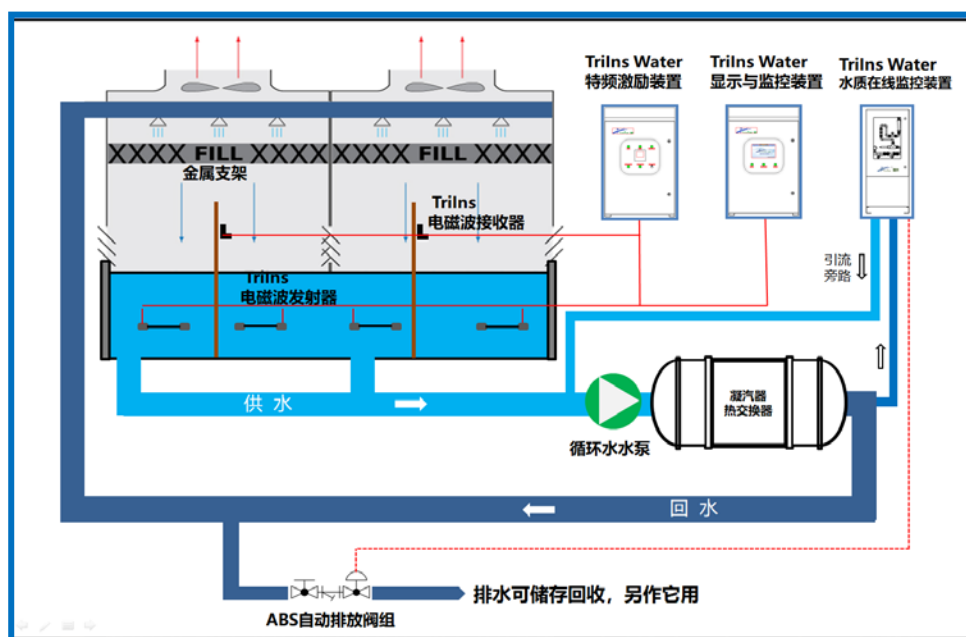


图 2 工艺图

（三）主要技术指标

- （1）循环冷却水达标处理，关键水质参数仅为国标限值的 10%；
- （2）不使用化学药剂，药剂费 100% 节省；
- （3）冷机压缩机功耗降低 3% 以上；
- （4）排污量减少 30% 以上并等量减少补水量；
- （5）智能化运行，水质自动化在线监控；
- （6）无化学药剂刺激性气味挥发，无污染环境的废水排放，无额外污染物引入及排放，无危废生成。

三、技术功能特性

(1) 功能强大，近零结垢、极佳腐蚀/微生物控制。不同于传统的化学药剂处理法，高效能循环冷却水处理技术是纯物理处理方法，技术功能远超传统化学药剂法。

(2) 绿色环保。化学药剂零添加，无污染环境的废水排放，不产生任何化学药剂代谢物，排污水可回用作保洁或绿化等用水。无化学药剂 MSDS 管理及生产过程不产生化学药剂代谢物等危废。

(3) 安装改造简便。TriIns Water 系统采用外挂式安装，不会对设备本体造成任何伤害。系统运维高度智能化，设备管理工作量极少。

(4) 数字化在线技术。包含远程监控系统、水质在线监控，能够在线、实时、动态的掌握系统运行信息，及时提供故障告警和措施咨询。是行业内第一家数字化运维技术。

(5) 大幅提升管理水平，业主和政府管理工作量小。业主日常管理工作量小；没有污水、极佳的细菌控制大幅减少卫生、环保等政府监管部门工作量。

(6) 经济效益显著，节能节水节药剂费，综合费用是化学药剂法的 30%。

四、技术产品应用现状

TriIns Water 高效能冷却水循环处理系统为国内循环冷却水处理领域领先技术，拥有 20 多项专利。目前该技术已完成 40 多项头部客户应用案例，最长运行时间超 4 年，稳定可靠。

五、应用实例：某数据中心循环冷却水处理项目

1. 项目基本情况

某数据中心配备 3 台空调冷水机组，单台机组制冷容量为

2286kW（650RT），额定功耗 328.45kW。对应 3 台独立的方形横流式冷却塔，单塔流量 470m³/hr，合计总流量 1410 m³/hr。

循环冷却水系统存在结垢、腐蚀问题；浓缩倍数 COC 低，浪费水资源；加药量不足；总菌数偏高，产生微生物粘膜。

2. 实施内容

采用高效能循环冷却水处理技术，取代原有的化学药剂处理法，控制循环冷却水系统结垢、腐蚀和微生物生长三大问题。

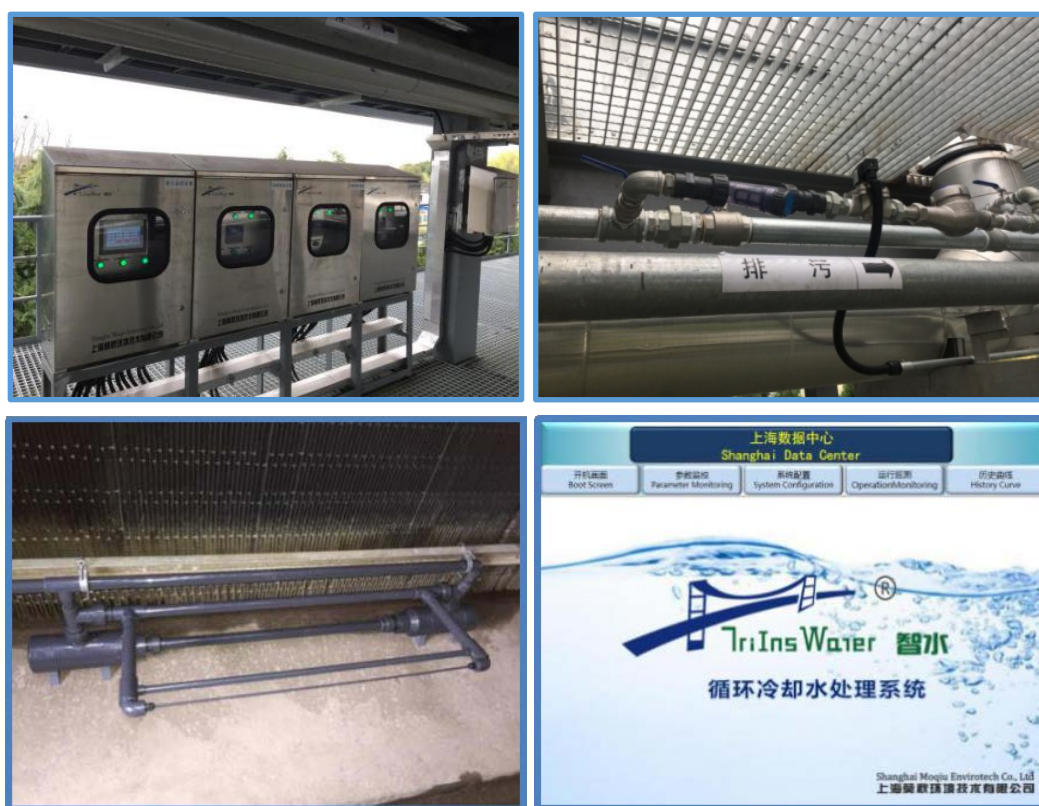


图 3 项目现场部分设备

3. 运行过程中达到的技术指标

- (1) 结垢控制：凝结器管壁无明显硬垢；
- (2) 腐蚀控制：循环冷却水中的总 Fe<1mg/L（GB/T50050-2017 限值≤2mg/L）；
- (3) 微生物控制：异养菌总数<1×10⁴cfu/mL（GB/T50050-2017

限值 $\leq 1 \times 10^5$ cfu/mL)；

4. 节能减排效果

(1) 节电量

据电表统计，每年每台设备节电 5.71 万度以上，年节约总电量约 17.13 万度。电费以 0.8 元/度计算，每年节约电费 13.71 万元。（电力折标系数按 310gce/k·Wh 计算）

(2) 节水量

据水表统计，每年每台设备可节水 0.693 吨，年节水总量 2.08 吨。水费以 5 元/吨计算，每年可节约水费为 10.4 万元。

(3) 药剂费节省

系统运行后，不再添加化学药剂，年节省药剂费用约 18 万元/年。

(4) 人工费节省

由于取消药剂的人工添加，系统监控工作量减少，以及冷却塔、换热器清洗所需周期延长，安装该技术后，节省人工费用约 1.2 万元/年。

(5) 该项目综合年经济效益合计为 43.31 万元。年环境效益为减少二氧化碳排放 128 吨（按 0.75kgCO₂/kWh 计算减排）。

14 数据中心用 DLC 浸没式液冷技术

一、适用范围

新建数据中心或在用数据中心改造。

二、技术内容

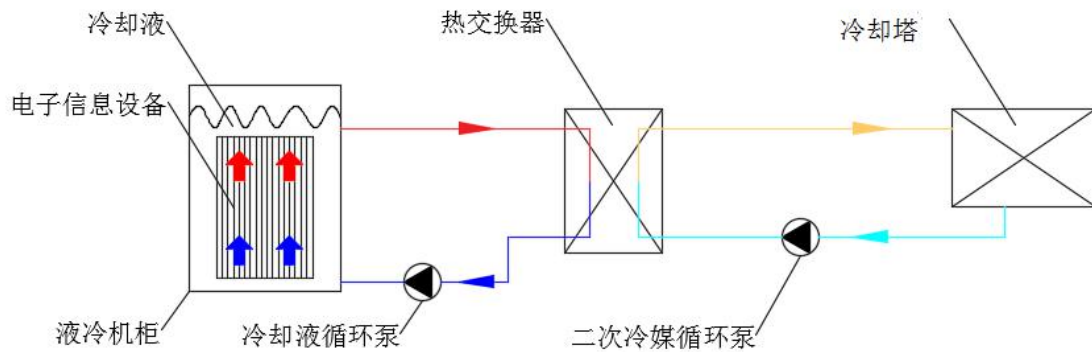
（一）技术提供方

深圳绿色云图科技有限公司

（二）基本原理

数据中心用 DLC 浸没式液冷系统主要由液冷机柜、液冷主机、冷却塔等组成。将服务器等电子设备放置于液冷机柜中，机柜内注满绝缘的冷却液，直到把所有服务器完全浸泡在冷却液里。冷却液吸收了服务器的热量后，通过冷却液循环泵，将高温冷却液经过管路送至热交换器内，经过冷热交换，高温冷却液变成低温冷却液，并重新回流至液冷机柜，继续与服务器等 IT 设备进行热交换；同时，进入热交换器的水（普通自来水或者加入部分乙二醇的防冻冷却水）经过与来自液冷机柜的高温冷却液进行热交换后温度升高，经过管路输送至室外冷却塔中，把热量散发至大气中，温度降低后，再经过水泵（二次冷媒循环泵）送至热交换器，继续吸收高温冷却液的热量。至此，通过冷却液和水的两个冷热循环系统，把服务器产生的热量带到室外大气中去。

（三）关键技术



液冷技术工作流程图

1. 本技术取代了传统数据 IT 设备以空气作为散热介质的冷却方式，直接以液体作为散热冷却介质，简化了散热过程，IT 设备的热量直接传递给冷却液，冷却液与水循环系统换热，水循环将热量散发到空气中或者回收利用。使用本技术的数据中心不再需要精密空调，数据中心的 PUE 值可达 1.1 以下，制冷因子 CLF（制冷设备耗电/IT 设备耗电）0.05~0.1。

相比 PUE 为 1.5、1.8 的数据中心，空调系统节能率分别为约 88.9%、93.3%，数据中心整体节能率分别为约 26.7%、38.9%（供电因子 PLF 统一按 0.05 计算， $PLF = \text{供电系统耗电} / \text{IT 设备耗电}$ ）；

2. 冷却液的高效换热特性，使得单机柜可容纳更高功率的 IT 设备，有效解决未来 IT 设备高功率、高发热量服务器散热问题，服务器运行更稳定。传统风冷却服务器方式，常规单机柜 IT 功率一般最大为 10kW，个别定制超算服务器单机柜可达到 20kW，但冷却成本大幅上升。采用浸没式液冷方式，单机柜 IT 功率可达轻松达到 20~50kW 以上。在人工智能、智慧城市、工业互联网、5G、高性能计算、边缘计算等领域，浸没式液冷技术可有效解决高功率密度的散热问题，且流体温场更稳定。

3. 液冷换热方式，服务器和交换机无需风扇，液冷机柜的运行噪音极低，实测噪声值在 42dB（A）内，对于机房管理和运维人员提供

了一个舒适的工作环境，远低于传统机房运行环境噪音。

4.全浸没式设计，IT 设备完全于隔绝空气之外，有效避免灰尘、腐蚀性空气对服务器的腐蚀，并可避免静电困扰，大大改善了 IT 设施的运行环境，可有效提高服务器的可靠性和运行寿命，降低日常维护费用和停机维护时业务中断造成的损失。

三、主要技术参数

1.采用了冷却塔作为冷源的浸没式液冷方案，系统年均低至 PUE1.1；相比 PUE 为 1.5、1.8 的传统数据中心，空调系统节能率分别为约 88.9%、93.3%，数据中心整体节能率分别为约 26.7%、38.9%（供电因子 PLF 统一按 0.05 计算）；

2.单机柜（13U~42U）功率密度 5kW~50kW，满足高性能计算服务器的散热需求；比传统数据中心单机柜 3~8kW 换热效率更高，流体温场更稳定，机柜无局部热点；

3.机柜运行噪声 42dB（A）内，远低于国标《数据中心设计规范》GB50174-2017“总控中心内，在长期固定工作位置测量的噪声值应小于 60dB（A）”的要求。

四、应用实例

案例单位：北京三轴空间科技有限公司

案例内容：

1.能耗使用情况

引进绿色云图浸没式液冷系统 80kW 产品共三组，IT 设备运行平均负载 33KW。PUE 累计值 1.1，运行一年累计需电能 317988KWh。IT 设备在液冷系统中运行不需要风扇，额外节能 15% 左右。

2.节能改造前用能情况

未引进绿色云图浸没式液冷系统前，含服务器风扇机房运行平均负载 38.8KW，机房空调选用风冷空调，机房 PUE 值为 2.2，运

行一年累计需电能 747753.6kWh。

3.改造后节能效果分析

采用绿色云图浸没式液冷系统改造传统风冷机房，服务器冷却方式由传统风冷变为浸没式液冷，散热介质由空气变为冷却液。承载服务器的设备由传统机架变为浸没式液冷机柜。完全采用冷却水自然冷却，不再需要制冷主机和末端空调风机。

未采用浸没式液冷系统前，含服务器风扇机房运行平均负载 38.8KW，在 PUE=2.2 的传统风冷机房，运行一年累计需电能 747753.6KW.h；采用浸没式液冷系统后，PUE 累计值 1.1，运行一年累计需电能运行一年累计需电能 317988KW.h，相比 PUE=2.2 的传统风冷机房，累计节省电能 429765.6KW.h（节省用电约 57.5%）。

现场实拍图：



15 风冷空调室外机湿膜冷却技术

一、适用范围

新建数据中心或在用数据中心改造。

二、技术内容

（一）技术提供方

四川斯普信信息技术有限公司

（二）基本原理

在风冷空调(或热管)的室外冷凝器进风口增加一个湿膜过滤装置,空气经过湿膜时,通过湿膜中的水蒸发冷却降低冷凝器的进风温度。

（三）技术使用条件

一般要求室外干球温度 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 且干湿球温差 $\geq 2^{\circ}\text{C}$ 以上。

三、主要节能指标

室外机冷凝器的冷凝温度每降低 1°C : 1.相应主机电流会降低 2%;
2.产冷量提高 1%; 3.综合计算可节能 3%。

四、应用前景

预计在未来5年内实现推广量5万台,可形成节碳量 167000tce/a ,
 CO_2 减排量 416500t/a 。

16 空调室外机雾化冷却节能技术

一、适用范围

新建数据中心或在用数据中心改造。

二、技术内容

（一）技术提供方

天来节能科技（上海）有限公司

（二）技术原理

雾化器将水雾挥洒并覆盖在空调冷凝器进风侧的平行面，通过水雾的蒸发冷却降低冷凝器进风侧空气的温度，并实现智能控制。

三、主要节能指标

与传统风冷式精密空调相比，可节电约 12%-25%。

四、应用实例

某数据中心：安装 268 套空调雾化节能冷却技术设备。节能率约 16.93%，年节电量约 93 万 kW·h。

五、推广前景

预计未来在老旧风冷数据中心改造中有较大的推广潜力。

17 数据中心峰值功耗动态管控技术

一、适用范围

新建数据中心或在用数据中心改造。

二、技术内容

（一）技术提供方

英特尔中国有限公司

（二）基本原理

将数据中心服务器以及机柜层面的功耗感知能力融合到云操作系统的资源调度系统，在机柜层面或者是数据中心层面实现了机柜部署功耗能力的池化管理以及按需智能分配。

三、主要节能指标

- 1.提升机柜服务器平均上架率约 20%，最高可至 30%；
- 2.数据中心实际建设功率平均利用率提高 20%；
- 3.实际建设功率的单位性能产出平均提升 10%。

四、应用前景

预计综合提高服务器上架率约 25%。

五、应用实例

某数据中心：实现机柜服务器功耗密度提升约 10%-20%(根据业务负载情况有响应浮动)，数据中心实际建设功率平均利用率提高约 20%，实际建设功率的单位性能产出平均提升约 10%。

第二部分 节能装备（产品）

1 数据中心高效节能喷淋液冷装备

一、适用范围

新建数据中心或在用数据中心改造。

二、技术内容

（一）装备提供方

广东合一新材料研究院有限公司

（二）技术原理

1) 系统组成

模块化数据中心产品包括三项主要组成部分：机柜、冷量分配单元（简称 CDU）和冷却塔单元。

机柜由 20 个机柜组成，每个机柜设计 IT 功率 10kW，合计 200kW。

CDU 为冷量分配单元，采用“1+1”的冗余配置。

冷却塔单元采用“1+1”的冗余配置。

2) 技术原理

由 CDU 冷却后的低温冷却液进入各机柜的服务器精准喷淋芯片 & 主板的发热单元，带走热量后的高温冷却液返回 CDU 重新冷却为低温冷却液再次进入各机柜服务器进行喷淋；冷却液全程无相变，如此单相循环。

冷却塔单元为 CDU 的板式换热器提供冷却水，对冷却液进行冷却。

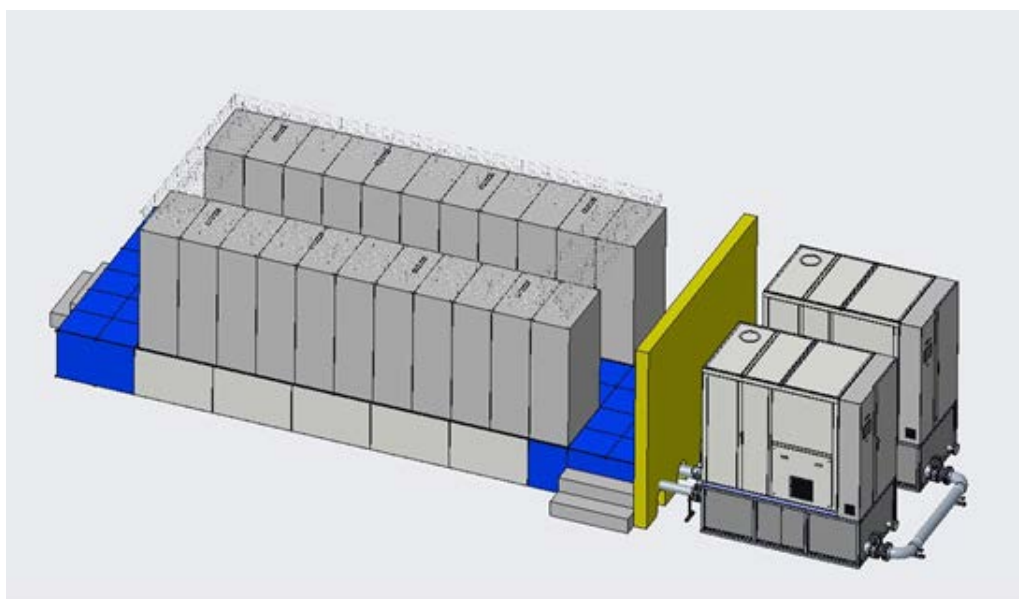


图 1：模块化数据中心产品效果图（不含冷却塔）

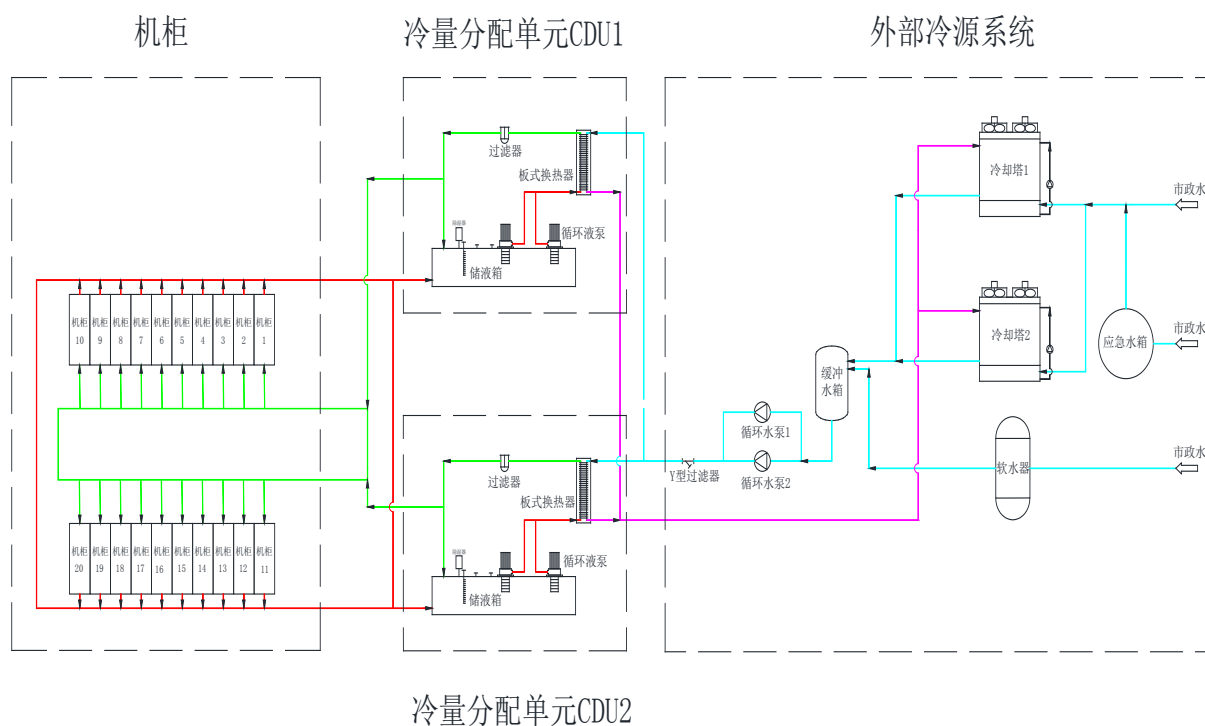


图 2：模块化数据中心系统原理图

（三）关键装备技术：

该产品的关键装置技术为服务器芯片部分采用喷淋液冷的技术，即采用特定的液体工质，直接喷淋于发热电子器件，液体与电子器件直接接触，利用液体比热容与密度的优势大幅提高散热效率、提高服务器功率密度，喷淋液冷系统处理掉液冷吸收的热量并提供液体单相循环的动力，另液体传热温差低可更大范围的利用自然冷却，显著降低数据中心能耗。

所用绝缘导热液体材料经瑞士权威机构 SGS 检测认定，绝缘性、导热性、安全性（无毒）、可靠性、消防安全均符合国际标准。

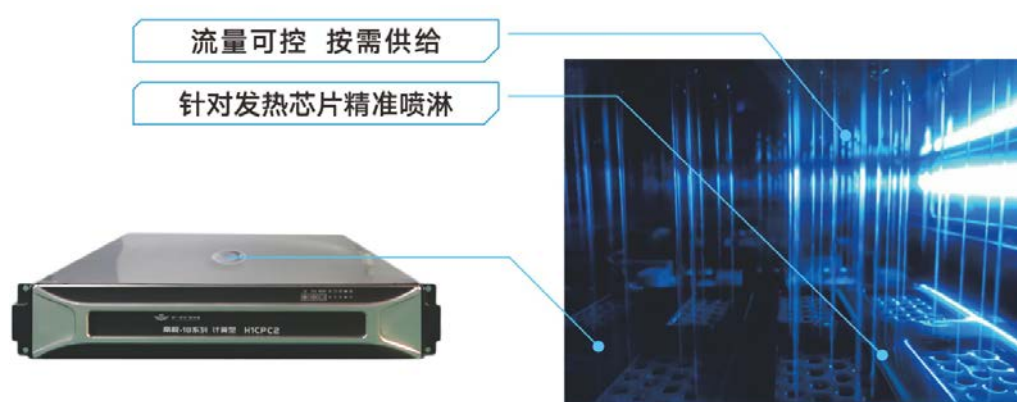


图 3：喷淋液冷服务器技术工作图

（四）产品组成：

1、喷淋液冷机柜



2、喷淋液冷服务器



3、冷量分配单元（CDU）



4、冷却塔



三、主要技术参数

（一）总体性能参数：

项目	数值指标	单位
额定换热量	200	kW
额定供冷却液量	100	m ³ /h
额定冷却液供液温度	43	°C
额定冷却液回液温度	48	°C
额定冷却水供水温度	35	°C
额定冷却水回水温度	40	°C
系统运行压力（冷却液循环）	≤3	bar
系统设计压力（冷却液循环）	16	bar
环境温度	-20~43	°C
系统过滤精度	25	μm

（二）目前液冷技术的性能比较：

表 1 冷板式、浸没式和喷淋式三种液冷方式的性能比较

项目	冷板式	浸没式	喷淋式	备注
散热性能	中等	优秀	优秀	喷淋液冷散热性能与浸没式相当，均优于冷板式。
可维护性	优秀	差	优秀	喷淋液冷基于传统机架式设计，各服务器均可独立下架维护。
工程可实施性	优秀	差	优秀	喷淋式服务器、机架、冷却系统均采用现有标准架构，工程可实

				施性高。
节能效果	中等	优秀	优秀	喷淋式液冷与浸没式配套冷却系统设计类似，节能效果类似。
空间利用率	高	中	高	浸没机柜更低，降低了空间利用率。
成本	高	高	中	冷板式加工工艺复杂，成本高昂。浸没式冷却液用量是喷淋式6倍以上，相比较喷淋液冷成本更低。

喷淋液冷技术优势：

1、节能

风冷数据中心温度要求为 $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，湿度为 40%~55%，需要消耗大量的能源降低环境温度、保持湿度。而液冷数据中心由于液体冷却液良好的吸热能力，冷却液吸收服务器热量前后温差很小，在大多数情况下可采用自然冷却方式，无需采用压缩机制冷，大幅度节约能源。

目前，新建数据中心平均 PUE 约为 1.6 左右，而喷淋式液冷数据中的全年 PUE 可低至 1.05。相对于风冷，液冷数据中心的总能耗节约 50%以上。

2、高功率密度

传统的风冷服务器通过提高风扇转速来提升散热能力，近来 5G、AI 等人工新一代信息技术行业爆发性发展，服务器对计算密度越来越高的要求已逐渐达到风冷散热的极限，高功率密度服务器散热由风冷向液冷化转变已是必然趋势。

本次系统单机柜的设计功率为 10kW，并且可以增容扩展至 20kW。每个机柜可容纳 2U 服务器 16 台。其功率密度相对于传统 5kW 风冷机柜成数倍提高，空间利用率提升数倍以上。用户可安装高功率密度服务器满足业务需求。

3、静音

风冷服务器通过不断提升风扇转速来满足越来越高的散热需求，现风扇转速已提升至 1.5 万转以上，由此带来的噪音问题异常突出，

给机房运维人员带来极大的困扰和健康隐患。

喷淋式液冷服务器完全无风扇设计，服务器运行状态下机柜（关闭）外侧测试噪音低于 10 分贝，令整个机房处于非常安静的状态。

4、高可靠性

喷淋式液冷系统的冷却液作为一种绝缘液体，长期覆盖在 IT 器件表面，避免了器件与空气的长期接触。IT 设备因静电、结露、氧化导致失效的可能性将大大降低。

同时，液冷环境下，IT 设备的各种器件相对于风冷有明显降低，CPU、GPU 等主要发热器件的温度将下降 10-20℃，研究表明，芯片温度每降低 10℃，可靠性将提升 12%。

5、工业级产品环境适应能力

喷淋式液冷服务器基本处于密封状态，对环境的温度、湿度、空气洁净度等要求更低，相对传统风冷服务器有更强的环境适应能力，可适用于较差机房环境部署。

6、寿命延长

喷淋液冷环境下服务器内半导体工作的结温低，且服务器在峰值和弱负荷工作时结温均衡，服务器稳定工作寿命可延长 0.5 倍。

四、装备（产品）应用前景

目前该技术及装备已成功应用于复旦大学大数据试验场、雄安喷淋液冷示范数据中心等多个项目，降低了数据中心前期建设成本，机房设备投入降低 30%，更重要的是后期运行电费支出降低 50%，机房空间减少 90%，产生了良好的社会效益。

五、应用实例

应用案例 1：

国家大数据训练场(复旦大学张江校区)，该项目采用单台 2U 服务器配置 8 张加速卡，使得单台服务器的电功率达到 2.8kW，广东合一新材料研究院有限公司采用全新的喷淋式液冷技术对其这样的 62

台服务器进行高效节能热管理，开发出这类服务器在上海地区实现数据中心整体 PUE 值降低至 1.1 的节能效果。

本项目运行时间：2018 年 6 月现场调试完毕，后续进入实际运行时间，到目前为止达到近 1 年的运行时间；

项目建设规模：占地面积 80m²，所装机的 IT 容量为 360kW；

项目投资规模：2200 万；

项目投资回收周期：2.1 年；

项目节能量：1962240 度/年；

项目节水量：8059.2 吨/年。

应用案例 2：

雄安喷淋液冷示范数据中心。广东合一新材料研究院有限公司采用全新的喷淋式液冷技术对其这样的 30 台服务器,70 台模拟载荷设备进行高效节能热管理，机房室外设备采用集装箱式整机模块，部署时间快，适用环境宽广。整体机房系统结合河北地区气候，实现数据中心整体 PUE 值降低至 1.07 的节能效果。

本项目运行时间：2017 年 10 月现场调试完毕，进入运行时间，到目前为止达到 18 个月的运行时间；

项目建设规模：占地面积 150m²，可装机的 IT 容量为 100kW；

项目投资规模：300 万；

项目投资回收周期：2 年；

项目节能量：654080 度/年；

项目节水量：2690 吨/年。

2 间接蒸发冷却空调

一、适用范围

新建数据中心或在用数据中心改造。

二、技术内容

（一）装备提供方

华为技术有限公司

（二）产品介绍

FusionCol8000-E 系列是华为公司推出的间接蒸发冷却智能温控产品。该产品利用间接蒸发冷却技术，利用室外冷源，有效提升自由冷源冷却时间，降低数据中心制冷系统能耗。集装箱整体式结构，所有部件工厂预制安装，支持现场快速安装。内置 DX 压缩机补冷系统、双电路供电，故障自检，向导式调测，运维更简单。间接蒸发冷却解决方案利用室外自然冷源处理数据中心热量，不影响室内送风含湿量，对于数据中心的温湿度控制具有较好的适用性，大幅度降低数据中心制冷消耗及数据机房的 PUE（Power Usage Effectiveness）值。

1.绿色：

- 最大限度利用室外自然冷源；
- 采用高效换热的换热芯体；
- 送风侧、排风侧均采用高效 EC 风机；
- DX 补充制冷系统采用直流变频压缩机。

2.极简：

- 集装箱体设计，工厂预集成，缩短 50%交付时间；
- 灵活安装，可选室内、侧墙、楼顶安装；
- 简单扩容，支持分期扩容。

3.智能：

- 独有“iCooling”节能寻优，延长自然冷却时间，降 CLF

至 0.15，年省电费 15%；

- 水电平衡，智能推荐节水/节电模式；
- 冷电联调，实时匹配 IT 负载变化；
- 独有故障自诊断算法，支持 1 分钟快速定位故障。

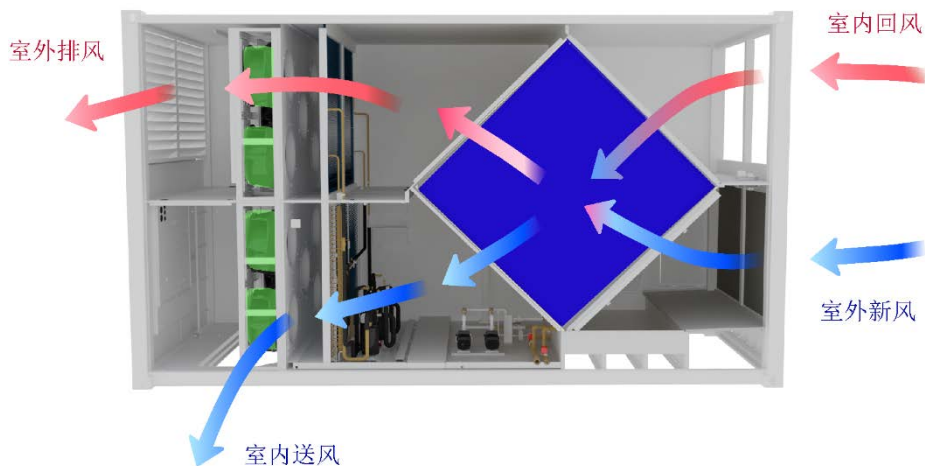
4.安全：

- 关键部件风机、喷淋水泵、压缩机均 N+1 配置，单部件故障不影响机组制冷输出；
- 具备双路供电自动切换功能，主路供电中断可自动切换到辅路供电，当主路供电恢复后可自动切换回主路供电。

（三）技术原理

1.间接蒸发冷却机组为整体式，在数据中心现场安装风管、水管及配电后即可投入使用，可缩短建设周期 50%；

2.机组有三种运行模式，干模式：仅风机运行，完全采用自然冷却；湿模式：风机和喷淋水泵运行，利用喷淋冷却后的空气换热；混合模式：风机、喷淋水泵、压缩机同时运行。



A、干模式

当室外环境低于一定温度时，机组采用干模式运行即可满足机房制冷需求，此时室内外侧风机运行。

B、湿模式

当室外环境高于湿模式启动温度时，机组采用湿模式运行，此时

水泵启动运行。

C、混合模式

当室外环境高于“湿模式+辅冷模式”启动温度时，机组采用湿模式混合制冷运行，此时压缩机和水泵均开启。

三种运行模式可以结合气象参数和机组自身的特性曲线，结合智能控制，进行寻优调节，达到节能的目的。

3.采用高分子换热芯，特有的片型设计和材料配方，性能可达到金属换热芯同一水平，同时换热芯体不怕腐蚀，将前端水质要求从RO水降为软化水，大大降低了水处理成本及废水率。

4.采用高效EC无级调速风机，采用分体式设计，将驱动外置，更大空间布置电机的硅钢片和线圈，同时开发高效风机型线，叶轮采用航空铝材质，将风机效率从业界60%提高到68%，显著降低风机功耗。

5.采用高效喷淋技术，机组采用上方顺风喷淋，可实现喷淋水全方位无死角与换热芯紧密接触，喷淋效率高达85%以上，最大化降低空气温度，比常规喷淋方案效率提升15%以上。

6.全变频技术，室内风机、室外风机、喷淋水泵、压缩机均采用变频技术，可根据实际需要自动调整到最佳频率，实现最大化节能。

7.“iCooling”AI节能技术，可根据IT负载、室内外环境温湿度控制机组运行至最佳效率点，同时根据机房温度分布情况，实时调整群组内各机组的输出，解决局部热点问题，保证温湿度满足机房SLA要求。

8.智能运维技术，部署智能传感器，独有故障自诊断算法，独有的智能巡检和冷媒泄漏检测等功能，支持1分钟快速定位故障，指导维护人员快速响应，排除无关故障根因，并能根据运行状态输出健康报告。

三、主要性能指标

制冷量：型号 1：L*W*H $\leq$ 4.2*2.438*4.15m，38℃回风，25℃送风，室外干球 35℃，湿球温度 27℃，制冷量 240kW；

型号 2：L*W*H $\leq$ 6.058*2.438*3.6m，38℃回风，25℃送风，室外干球 35℃，湿球温度 27℃，制冷量 400kW；

pPUE 制冷因子：年平均 pPUE $\leq$ 0.15。

四、效益分析

（一）经济效益：

以北京某 4000kW 数据中心为例，生命周期内，负载率为 100% 时，冷冻水系统解决方案 PPUE 为 0.317，间接蒸发冷却解决方案 0.145，节能收益计算如下：

冷冻水方案年耗电量=4000*0.317*365*24=11107680kWh

间接蒸发冷却方案年耗电量=4000*0.145**365*24=5080800kWh

间接蒸发冷却方案每年节省耗电量=6026880kWh

按照每 kWh 电费 0.6 元，则每年节省电费 3616128 元。

（二）环境效益

目前我国发电结构中火力发电依然为主流，数据显示每千瓦时电需要耗费 0.4kg 标准煤，同时排放出 1kg 的二氧化碳。因此应用上述模型，则该数据中心采用间接蒸发冷却产品每年可以减少二氧化碳排放量约 6027 吨，可见，间接蒸发冷却智能温控产品显示出巨大的节能减排潜力。

五、应用前景

目前据行业第三方咨询机构调查：2019 年，全球机房空调市场保持低速增长，中国机房空调市场规模达 57.4 亿元，预计未来五年机房空调市场规模年均复合增长率超过 7%。随着数据中心节能化和模块化的发展趋势，结合室外自然冷源的自然冷却技术将会成为技术发展方向，未来将会被广泛用。

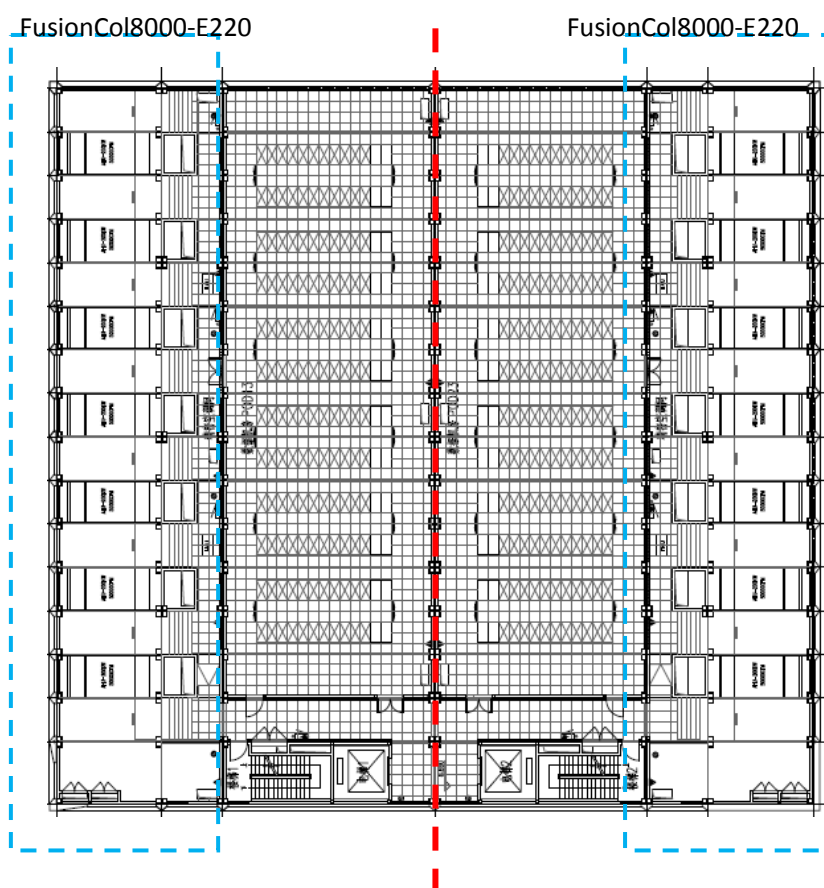
当前，数据中心已经成为企业生产系统重要的组成部分，是企业提升竞争力与运营效率的重要工具。随着个人信息消费需求、企业信息化程度的爆炸性提高及大数据、云计算、物联网的兴起，近年来数据中心的投资增速飞速增长，规模日益增大、功率密度不断提升，能耗将进一步提高。

目前数据中心已经是全球第五大耗能产业，年耗电高达 4000 亿 kWh 以上；随着资源的日趋紧张以及电费的节节攀升，数据中心的节能减排意义重大。经过理论分析证明，采用室外冷源作为自然冷却技术可以有效的降低空调能耗指标，也是今后数据中心空调系统一个趋势之一。近年来，运营商、互联网及金融等行业都不约而同的在自己的标准数据中心规范中引入了间接蒸发冷却制冷解决方案，因其绿色，智能，极简，安全等突出特性而在数据中心业内大受追捧，当下正引领着一场关于数据中心制冷方式的变革。针对高密、在线扩容等需求，间接蒸发冷却技术空调更适合普遍新建运营商和企业级数据中心的制冷系统解决方案。

六、应用实例

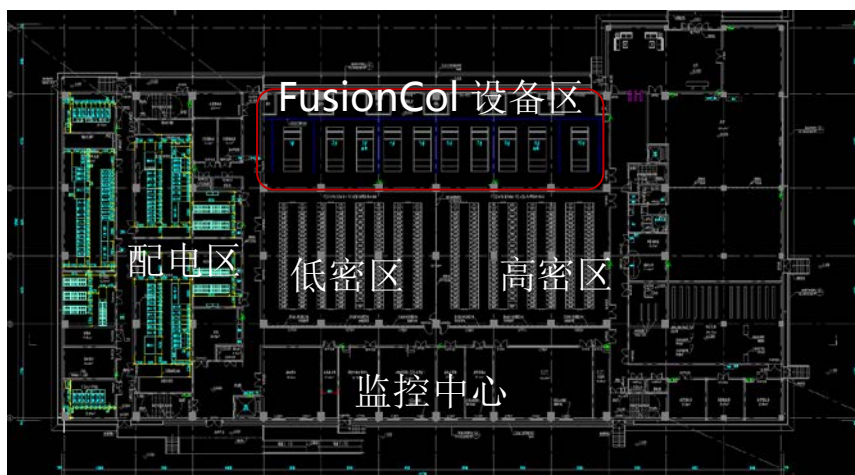
案例 1：以乌兰察布某数据中心为例，一期 8MW，共 1056 个机柜。由 5 层共 368 个预制模块箱体堆叠，其中 2~5 层应用间接蒸发冷却解决方案制冷，下送风至机房内，模块内采用密闭热通道方案，通过吊顶回风，温度设计在 37°C。每层采用 14 套 FusionCol8000-E220，共计 56 套，15 天所有设备就位，4 个月完成全部安装，缩短建设周期 TTM 50%+。2019 年 5 月业务上线，上线负载为 50%，年均 PUE 低至 1.15，数据中心年省电费 12.2%，每年可以减少二氧化碳排放量约 2800 吨。可见在实际使用中，间接蒸发冷却解决方案具有真正意义的节能减排效果。

间接蒸发冷却设备 FusionCol8000-E220 布置方案(单层)示意图：



案例 2: 山东某数据中心, 项目规模一期 300 个机柜, 其中低密区 4kW/柜, 高密区 8kW/柜, 共使用 10 套 FusionCol8000-E220, 3 个月完成所有部件安装, 缩短 50% TTM, 年均 PUE 降至 1.25, 数据中心年省电费 11.3%。

布局示意图:



3 蒸发冷却式冷水机组

一、适用范围

新建数据中心或在用数据中心改造。

二、技术内容

（一）装备提供方

广东申菱环境系统股份有限公司、新疆华奕新能源 科技有限公司、深圳易信科技股份有限公司、广州市华德工业有限公司

（二）技术原理

通过蒸发冷却和闭式冷却水塔相结合的方式，充分利用空气流动及 水的蒸发潜热冷却压缩机制冷剂，实现对自然冷源的充分利用。

（三）技术条件

该技术不适用与缺水场合、相对湿度较大地区。

三、主要节能指标

1.能效比（COP）： ≥ 15 ；

2.与传统的水冷式冷水 机组相比，可以节电 15% 以上，节水 50% 以上；

3.与风冷式冷水机组相比，节能 35%以上。

四、应用实例

某数据中心：应用蒸发冷却式冷水机组后，年可节能 104MW h，节水 40824m³；补水量为 0.8m³/h。

五、推广前景

预计未来 5 年其市场容量将达到 30 亿元。

4 变频离心式冷水机组

一、适用范围

新建数据中心

二、技术内容

（一）装备提供方

珠海格力电器股份有限公司、顿汉布什（中国）工业有限公司

（二）技术原理

针对数据中心空调系统需求，依据数据中心高温出水工况优化设计，结合数字变频技术，可实现较高的 COP 及 IPLV。

三、主要节能指标

与常规定频离心式冷水机组相比，可节电约 20%。

四、应用实例

某数据中心：总装机容量约 3 万 kW，全年综合效率提升 65%，节能 40%以上，年节电量约 900 万 kW·h。

五、推广前景

预计未来五年内国内市场总额将达到 900 台（套）。

5 集成自然冷却功能的风冷螺杆冷水机组

一、适用范围

新建数据中心/在用数据中心改造

二、技术内容

（一）装备提供方

顿汉布什（中国）工业有限公司

（二）技术原理

风冷螺杆冷水机组集成自然冷却功能，具有压缩机制冷、完全自然冷却制冷、压缩机制冷+自然冷却制冷三种运行方式。

三、主要节能指标

1.综合能效：大于 6.0；

2.与常规风冷螺杆冷水机组相比，可节能 36%以上。

四、应用实例

某数据中心：安装自然冷却风冷全封闭螺杆冷水机组 4 台（3 用 1 备），年节省电力约 200 万 kW·h。

五、推广前景

预计未来五年市场容量将达到 30 亿元。

6 节能节水型冷却塔

一、适用范围

新建数据中心或在用数据中心改造。

二、技术内容

（一）技术提供方

湖南元亨科技股份有限公司

（二）技术原理

在传统横流式冷却塔的基础上，应用低气水比技术路线，降低冷却塔 耗能比，同时减少漂水。

三、主要节能指标

- 1.热力性能： $\geq 100\%$ ；
- 2.耗电比： $\leq 0.030\text{kW/h} \cdot \text{m}^3$ ；
- 3.漂水率：0.000092%。

四、应用实例

某数据中心：冷却水流量 $3200\text{m}^3/\text{h}$ ，每年节省用电 26.1 万 kW h，节约用水约 1.1 万吨。

五、推广前景

预计未来 5 年市场规模将增长至 6 亿元/年。

7 氟泵多联循环自然冷却技术及机组

一、适用范围

新建数据中心或在用数据中心改造。

二、技术内容

（一）技术提供方

深圳市艾特网能技术有限公司、深圳市英维克科技股份有限公司、广东海悟科技有限公司、依米康科技集团股份有限公司、维谛技术有限公司

（二）技术原理

低温季节，压缩机停止运行，制冷剂通过制冷剂泵在室外和室内进行循环，将冷量带入室内。过渡季节压缩机与制冷剂泵一起使用，最大限度地利用自然冷源。在高温季节，开启压缩机制冷模式。

三、主要节能指标

全年能效比（AEER）：整机可大于 8.5。

四、应用实例

某数据中心：总制冷量 70kW，相对于传统风冷型机房空调满负荷运行下节电达 36.6%以上。

五、推广前景

预计未来 5 年应用规模将超过 2 万套/年。

8 智能锂电 SmartLi UPS

一、适用范围

新建数据中心或在用数据中心改造。

二、技术内容

（一）装备提供方

华为技术有限公司

（二）技术原理

1. 智能锂电 SmartLi 部分

（1）主动均流技术

电池并联存在“并联均流木桶效应”。如图所示，受电池参数（SOC, SOH, 内阻等）离散型和连接差异性（线缆长度等）因素影响，特别是在扩容场景中，涉及新旧电池混并联使用场景，新旧电池组之间差异会更大，从而导致并联电池组之间电流不均流度可以达到 20% 甚至更高，电流差异会导致并联系统有效容量下降，甚至触发放电电流大的电池组的限流保护。例如：多组并联电池组在放电时候，电流大的电池组会因电池放空而先达到 EOD 状态终止放电，脱离并联系统，负载全部由其它支路承担。其它剩余并联电池组里电流最大的也会同样提前终止，形成“多米诺骨牌效应”，最后退出的电池组因过流保护，无法正常放电，从而最终导致整个电池并联系统放电时间无法满足设计要求，电池系统容量无法充分利用。为保证系统的要求放电时间，必须通过电池容量超配解决上述均流导致的备电时间不足问题，从而造成成本和占地重浪费。

智能锂电 SmartLi 集成双向功率控制，对于同批次电池电流不均流度 $\leq 2\%$ ；对于新旧电池，从而保证并联组内各组不同 SOH 的电池串的电芯同步达到电池 EOD，使能量充分释放利用，实现新旧电池混用。

（2）智能均压技术

在实际使用场景，多组电池并联使用时，要求电池节数是完全一致的，否则就会引起串组与串组之间的环流，导致能量不能有效利用，严重时可能导致开关脱扣。在数据中心场景下使用时，如果发生单节电池故障，需要等待备件更换上才能继续使用，而在此之前该组电池只能退出系统，使得系统的备电时间和冗余度大打折扣。而且，如果负载率太高，其他电池组可能无法承受所有负载，导致整个系统过流跳闸。

智能锂电 SmartLi 当并联电池组系统中某个电池串出现电池模组异常时，可将电池模块移除，剩余电池模块重新组成串联系统。通过电池智能管理模组内的双向功率变换电路，实现不同电池节数的电池串之间的并联，支持锂电模块数量差异化混并。

2. 模块化 UPS 部分

（1）模块智能休眠技术

新型高频机 UPS，普遍实现了低载高效设计，即效率最高点在 50%，但实际大多数用户负载率还是低于 50%，为此采用智能休眠技术，通过休眠冗余的模块，在用户低负载率时，提高实际运行模块的负载率到 50% 左右，改善低负载率效率低的问题，使系统工作在效率较高点，提高 UPS 实际运行效率，降低用户用电量。例如，4 个并联模块的 UPS，负载率在 20% 时，通过休眠其中的三个模块，只有两个模块带载，此时带载模块负载率为 50%，处在效率最高点，通过这种方式提高用户效率。当用户负载率增大或异常时，休眠模块可以自动重新工作。

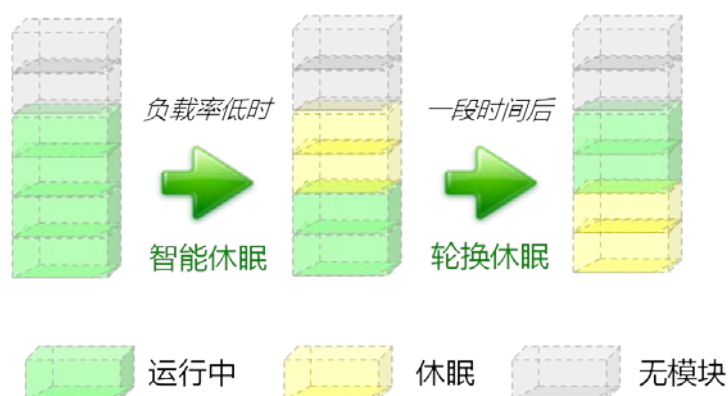


图1 模块休眠示意图

（2）ECO 模式

即在电网质量较好且满足一定条件的工况下，使系统工作在旁路模式，见下图，市电直接从旁路开关到负载，通常可以达到 99% 的高效。此方式在电网故障回切逆变工作时，需要切换时间，会影响客户设备的电能质量，

客户从可靠性角度考虑，一般不使用。所以，在 UPS 正逆变模式下提升低负载率下的系统效率更显重要性。

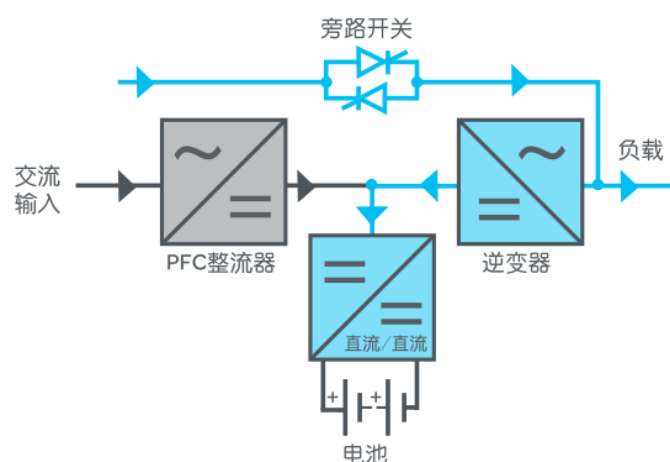


图2 ECO 模式示意图

（3）交错并联技术

交错并联技术可以在谐波电流频率一定的条件下降低总谐波电流纹波，因此可以减小器件开关损耗，减小电感体积，减少直流储能

电容及交流滤波电容个数，同时实现功率密度的提升。如下图，两路电路交错半个周期发波，形成的电流为 i_{L1} 和 i_{L2} ， i_{L1} 和 i_{L2} 形成总电流 i_{in} ， i_{in} 纹波可以得到显著降低。在交错并联基础上应用磁集成技术则进一步减小了磁芯损耗，减少了磁性元件的个数，进一步提升了效率及主功率密度。

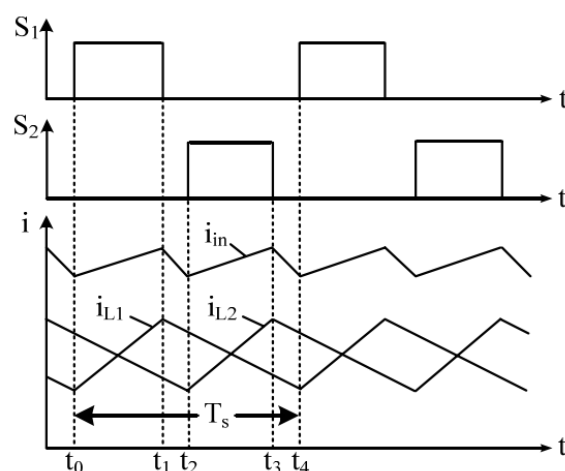


图3 交错并联波形

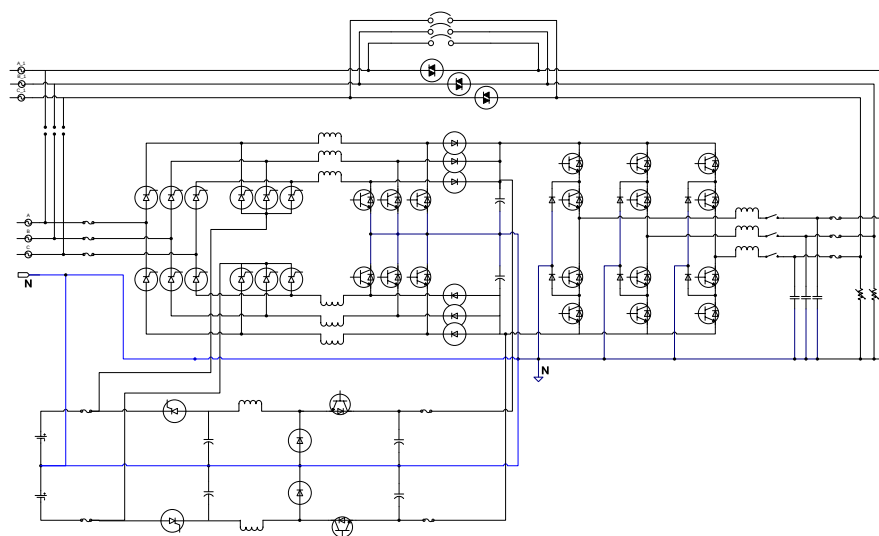


图4 功率模块拓扑图

高频化依赖于半导体器件生态链整体的进步，如高速 IGBT、大功率 MOSFET、碳化硅二极管等新器件的使用有助于系统开关频率的提升，减少电感等磁性器件的体积，提升主功率密度。

(4) 自老化技术

不间断系统的高效节能不仅体现在运行方式，转换效率上，也体现在生产及调测过程当中。产品制造过程当中必然有老化过程，对于超大功率的不间断电源系统，直接带非再生的负载老化会产生巨额的电费，极大的浪费社会资源，不符合绿色环保的要求；在客户安装验收时，直接带非再生的负载测试验收也会出现同样的问题。自老化技术，即利用系统的旁路将输出能量回送至输入端，从而系统内部满载电流运行，但只从电网吸收极小的能量补充，达到了老化的同时实现节能减排，直接产生巨大的经济效益。

三、装备（产品）技术参数

（一）模块化不间断电源系统的高功率密度以及维护便利性可从以下方面实现：

第一，模块功率密度提升。以上提到的交错并联技术以及高频器件的应用导致开关频率提升，均能实现纹波电流高频化，只需要较少的电感、电容实现滤波，提升模块功率密度，提高系统功率密度。此时直流母线电容减少后，系统从市电供电状态转电池供电的时间要求更短，另外，负载突变时也要求母线能够更快的补充能量，所以需要优化母线动态调节速度，我司在这些软件算法上都做到突破业界极限能力。第二，模块化易维护及超多模块并联技术。模块化 UPS 由于其易维护、方便扩容等特点逐渐成为行业的趋势，随着数据中心等领域的迅速发展，供电系统的容量也逐渐增大，超多模块并联是未来的一个趋势。其技术难点在于多模块并联均流，拟采通过有功和无功功率均流算法实现多模块的均流；同时，由于并机调节速度的限制，当系统发生扰动时，通过虚拟阻抗算法抑制环流，保证模块均流；此外在有功和无功均流的基础上加入直流环流控制，从而保证直流母线的稳定，提升系统稳定性。

综上所述，高效节能模块化不间断电源系统的关键技术主要有模块化设计、模块并联控制技术、全模块热插拔设计、高功率密度功率

模块设计(单板上下对扣)、系统高效率设计、三电平逆变拓扑驱动技术、逆变器限流技术、输出逆变电压正负半周切换技术、母线电压动态控制技术、 风扇智能调速技术、电容寿命预警技术、电感绕组立式绕制等技术点。为了实现上述技术点的突破，我司产品开发投入了1000多人月资源，科研经费超过6000万，实现整机系统效率高达97%，效率指标世界第一，实现了国家节能减排号召；

（二）功率模块效果如下：

1. 突破三电平拓扑技术、交错并联技术在中大功率场景的应用难点

2. 低载高效设计，针对用户负载普遍在20%~60%范围，通过合理设计，把UPS效率最高点在40%~60%范围，并实现20%负载95%以上的效率，最大限度降低实际用户的用电量；

3. 模块休眠技术，在用户低负载率时，可以通过该技术休眠一部分模块，提高实际运行模块的负载率到50%左右，通过改变运行系统负载率，改善小负载率效率低的问题，提高UPS实际运行效率，降低用户用电量；

4. 通过风扇智能调速设计，并结合合理散热布局，实现风扇转速与负载、环境温度实时匹配，最大限度降低系统损耗，提升系统效率，同时通过降低风扇转速降低了系统噪音；

5. 机架内模块集中控制、机架间分散控制的分层控制并联架构（专利公开号：CN102570884B），机架内通信线故障检测技术（专利公开号：CN102608456B），已实现160个功率模块的可靠并联运行，多模块并联技术世界领先；

6. 通过功率模块内PCB单板上下对扣的布局设计、自然风道设计实现了空间合理利用，做到功率模块的高密度；

7. UPS各功能单元完全模块化设计，热插拔操作，实现了功率模块、旁路模块、主控模块、监控模块、干节点模块、监控模块的热插

拔功能；

8. 逆变器三电平拓扑应用，解决了输出电压在正负半周切换时的驱动逻辑问题（专利公开号：CN102412749B）、逆变输出限流逻辑问题（专利公开号：CN102624237B）、逆变器开关管耐压的均压问题，降低了功率模块损耗及功率电感体积，有效地支撑了高效率大功率密度的功率模块设计；

9. 通过应用驱动占空比前馈、母线电压快环与慢环、负载前馈等软件控制算法的设计，实现了降低母线电容值情况下的母线电压的稳定。

10. 通过电感绕组立绕在电感磁芯上的设计，增强了散热能力，实现了电感整体温度降低 30~40℃，有效地支撑了大功率密度的功率模块设计；

11. 通过全面测量与精确计算电容内阻、电容容量以及电容使用时间，实时显示电容寿命，实现电容寿命预警。

四、节能指标

数据中心能源消耗主要由 IT 设备系统、制冷系统、UPS 供电系统、照明构成。由输入变压器和 ATS 开关所组成的 UPS 输入供电系统，以及由 UPS 及其相应的输入和输出配电柜所组成的 UPS 供电系统，它们的功耗约占数据中心机房所需总功耗的 10%左右。其中 7%左右的功耗来源于 UPS 供电系统,3%左右来源于 UPS 输入供电系统。1 台 400kVA 的 UPS 效率每提高 1%，在其 10 年的寿命周期内节省的电费 16 万元，这些白白损耗的电能将产生热耗散发出来，还要消耗制冷系统的功率。目前本项目 UPS 比业界传统低效 UPS 效率点高 10%，比业界高效 UPS 高 1~2%。

五、应用前景

目前模块化高效 UPS 在电信、交通、电力、金融、工业制造等领域均有广泛应用，根据第三方权威资讯机构赛迪顾问发布的

2019-2020 中国市场 UPS 年度报告，华为模块化 UPS 以 39.6% 的市场份额位列第一，持续领先中国 UPS 市场。在数据中心建设方式上，模块化理念已经逐渐被接受，随着数据中心规模越来越大，信息消费政策引导各种新兴应用不断出现，各类需求的层出不穷，高能耗和高运营成本成为数据中心面临的重要问题，高效、智能、按需部署及快速扩容的模块化 UPS 成为新的市场增长点。华为高效模块化 UPS 在互联网、运营商行业的大规模应用，并开始金融、政府、医疗教育等行业快速推广，预计未来 5 年市场占有率可达约 50%。

同时，锂电池天然具有能量密度高、占地小、长循环寿命等铅酸不具备的优势，锂电池在全球的应用急剧增加，数据中心的锂电应用在国外一些大型的 ISP 客户也在开始规模使用。可以预测未来 5 年时间，锂电池市场份额将接近或超过铅酸电池，锂电池未来占据市场主导已经是各领域的共识。

六、应用实例

以世纪互联苏州国科数据中心为例，采用 28 套模块化 UPS5000+40 套智能锂电 SmartLi，端到端的供电占地面积节省了 50% 以上，出柜率提升了 10%，可以部署更多的 IT 机柜，实现更多的营业收入。模块化 UPS 效率高，而且具有智能休眠功能，做到低载高效，每年可节省电费上百万元，通过智能监控，将传统的被动运维变为主动的预防性维护，提升运维效率，解放运维压力。华为智能锂电 UPS 还可以实现新旧混用，这有利于业务按需部署，平滑扩容。

9 直流变频行级空调

一、适用范围

新建数据中心或在用数据中心改造。

二、技术内容

（一）装备提供方

华为技术有限公司

（二）技术原理

1. 精细化 CFD 流场优化：“V”型换热器设计，6 风机均匀分布，压缩机、储液罐、加湿桶、电控部件等器件最优化布置，整机风阻最低降至 300Pa，较业界厂商普遍低 25%左右，风机节能 20%左右。

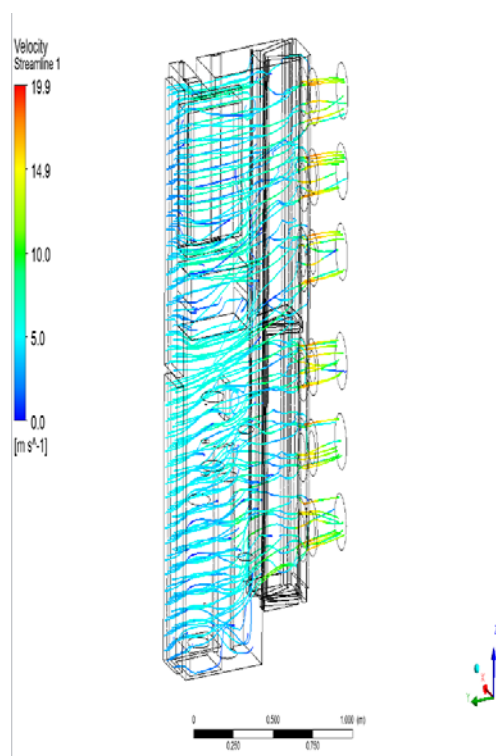


图 1 CFD 仿真示意图

2. 小管径换热器（7.0 VS 9.52）设计，换热效率高 10%，国内领先；

3. 针对管翅式换热器，换热系数与管径成反比（可参考传热文献），管径由 9.52 变小为 7，换热系数增大；9.52 为精密空调最为常

用的换热器管径，若改为 7，则需要更换整个换热器生产磨具，而且需多开辟生产线及存储空间等，投入较大，目前精密空调行业应用小管径的厂家较少，华为率先采用直径为 7 的铜管，国内领先。

4. 自研压缩机、风机、膨胀阀驱动技术，实现压缩机、风机最佳性能匹配，节能 9%，国际领先；

5. 当前一般空调逻辑中，室外机风机转速由室外高压控制，室内风机与室内压缩机配合满足回风或者送风要求，室内外机之间无通讯，室内与室外独立控制。理论上这三个参数有无数种组合来使温度稳定，传统方案只是选择了其中的一种组合，但由于没有进行算法优化，很难巧合成最佳能效比组合。华为空调采用室内外机通讯设计，以整机能效比为目标函数，按照一定规律调节以上三个参数，使室内负载温度稳定的同时，整机能效比最高，实现室内、外风机与室内压缩机最佳性能匹配，国际领先。

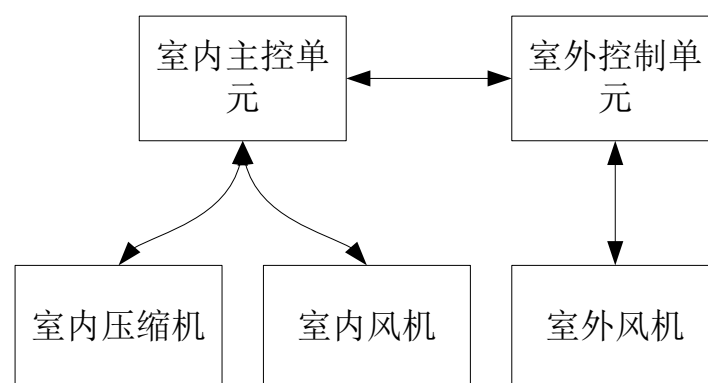


图2 空调室内、外机通讯，室内、外风机与压缩机匹配示意图

基于以上多种节能技术的应用，华为行级空调对比行业普遍厂商行级空调可节能 20%以上。

华为独有低载除湿技术：最低 10%负载时，部分蒸发器充当冷凝器，减小冷量输出且实现节能补热，实现除湿工况连续运行且无需电加热补热；行业内其他主流厂商水平为最低 20%冷量输出，需开启电加热补热且面临频繁启停问题，除湿效果不理想的同时伴随大量无效制冷和补热，经济性及可靠性均远低于华为空调。

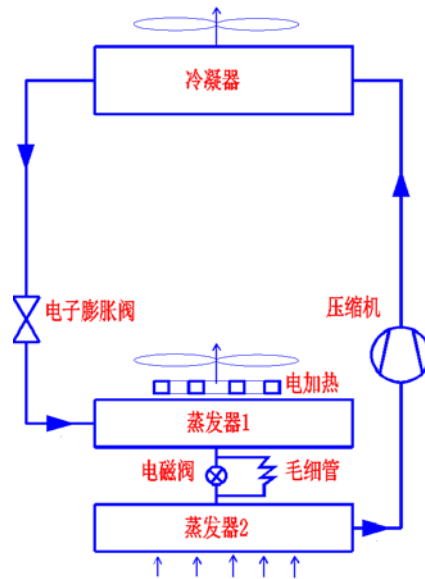


图 4.4 低载除湿原理图

工作原理详细说明如下：

当正常制冷时，与普通机型制冷相同，由电子膨胀阀进行节流，蒸发器中间的电磁阀完全打开，不起节流作用，蒸发器 1 与蒸发器 2 串联运行，两个蒸发器都起到制冷降温作用。

当需要恒温除湿时，电子膨胀阀完全打开不进行节流，蒸发器中间电磁阀关闭，改由蒸发器中间的毛细管进行节流。对于制冷剂，从冷凝器里流出的高温高压液态制冷剂经过电子膨胀阀(全开)之后，依然是高温高压液体，流进蒸发器 1 之后高于环境温度，进行放热，降低了温度；然后液态制冷剂流过蒸发器中间的节流机构后，变成了低压低温的制冷剂液体，流进蒸发器 2，温度低于环境温度，进行吸热，温度升高，变为气体后流回压缩机进行循环。此时蒸发器 1 起到冷凝器的作用，蒸发器 2 起到蒸发器的作用。

室内空气先经过蒸发器 2（用作蒸发器）降温，再经过蒸发器 1（用作冷凝器）升温，室内空气经过蒸发器 1 和蒸发器 2 整体温度基本上保持不变。从而可以持续进行除湿，不断降低室内湿度，就实现了恒温除湿的功能。

三、主要技术参数

基于华为直流变频行级空调的优越节能表现，越来越多的客户开始应用此技术来实现数据中心的节能减排。在室内回风 37.8℃/20%、室外 35℃回风下，显热比 100%，100%负载 EER 可达 3.3 以上；50%负载 EER 可达 4.8 以上，相比行业平均水平可节能 55%。2016 年 6 月，华为在某运营商数据中心进行现场 PUE 实测，使用华为微模块和直流变频行级空调可以将数据中心 PUE 降低到 1.45 以下，节能水平行业领先。

四、主要节能减排指标

（一）碳排放量对比：华为行级变频空调 VS 行业普遍行级变频空调

以煤为燃料且带洗涤器的发电机来看，每度电需排放 960g CO₂，以 25kW 半柜变频空调为例，总负载为 200kW 的机房，按一年 24h*365d 计算：

1. 负载为 100%时，EER 分别为 3.3 VS 2.8，一年节电 94805 度，相当于少排放 91013kg CO₂；
2. 负载为 50%时，EER 分别为 4.8 VS 3.9，一年节电 42115 度，相当于少排放 40430kg CO₂；
3. 负载为 25%时，EER 分别为 4.4 VS 3.65，一年节电 20455 度，相当于少排放 19636kg CO₂。

（二）碳排放量对比：华为行级变频空调 VS 某 100kW 房级定频空调

以总负载为 200kW 的机房，按一年 24h*365d 计算：

1. 负载为 100%时，EER 分别为 3.3 VS 3.1，一年节电 34252 度，相当于少排放 32882kg CO₂；
2. 负载为 50%时，EER 分别为 4.8 VS 3.1，一年节电 100080 度，相当于少排放 96077kg CO₂；

3. 负载为 25%时，EER 分别为 4.4 VS 3.1，一年节电 41744 度，相当于少排放 40075kg CO₂。

（三）节约水资源

房级空调显热比较低，无谓除湿量大，华为行级变频空调 VS 某房级空调 100kW 空调显热比为 100% VS 93.5%，以负载 200kW 机房一年 24h*365d 来算，行级变频空调少排水 194.3 吨。

五、应用前景

目前据行业第三方咨询机构调查：全球行级空调和房间级空调，在 2017 年的市场占比大概是 4:6 的关系，预计未来 3~5 年内行级空调市场占有率会进一步增长，大概会达到 6:4 的比率，超过房间级空调的市场占有率。

当前，数据中心已经成为企业生产系统重要的组成部分，是企业提升竞争力与运营效率的重要工具。随着个人信息消费需求、企业信息化程度的爆炸性提高及大数据、云计算、物联网的兴起，近年来数据中心的投资增速飞速增长，规模日益增大、功率密度不断提升，能耗将进一步提高。

目前数据中心已经是全球第五大耗能产业，年耗电高达 4000 亿 kWh 以上；随着资源的日趋紧张以及电费的节节攀升，数据中心的节能减排意义重大。经过理论分析证明，近端制冷可以有效的降低冷量在长距离输送过程的损失，同时可降低风机的扬程和提高送回风温度，在标况下达到 100%显热比，这些都可以有效的降低空调能耗指标，也是今后数据中心空调系统一个趋势之一。近年来，众多运营商、互联网及金融等行业都不约而同的在自己的标准数据中心规范中引入了行级空调的架构，因其高效，简单，可靠等突出特性而在数据中心业内大受追捧，当下正引领着一场关于数据中心制冷方式的变革。针对高密、在线扩容等需求，行级空调更适合普遍新建运营商和企业级数据中心的制冷系统解决方案。

六、应用实例

2016 年，基于业务发展需要，中国联通无锡有限公司与华为合作启动“中国联通无锡蠡园微模块数据中心”项目。该项目使用华为智能微模块数据中心，采用模块化设计，集成机柜、制冷、供配电、管理等子系统，布局上采用室内双排，密闭冷通道的部署方式，实现客户空间的最大化利用。整体方案采用高效率/高可靠性一体化 UPS、风冷行级精密空调与智能管理系统，实现了应对数据中心高可靠性、低 PUE 值、简单运维的诉求。

该项目于 2016 年 6 月 23 日进行了 PUE 值实际运行测试，PUE2 实测值达到 1.45。具体测试情况如下：

项目	PUE0 / (kW/kW)	PUE1 / (kWh/kWh)	PUE2 / (kWh/kWh)	PUE3 / (kWh/kWh)
IT 设备耗能测量点	UPS 输出端	UPS 输出端	PDU 输出端	IT 设备输入端
IT 设备耗能的定义 (PUE 的分母项)	IT 设备年最大用电量	IT 设备年耗能	IT 设备年耗能	IT 设备年耗能
数据中心总耗能定义 (PUE 的分子项)	数据中心年最大用电量	数据中心年耗能	数据中心年耗能	数据中心年耗能

机房平面布局图如下：



10 美的“冰潜”系列阵列式机房空调

一、适用范围

新建数据中心或在用数据中心改造。

二、技术内容

（一）装备提供方

美的集团有限公司

（二）技术原理

美的高效阵列式机房空调由冷冻水末端+高效离心机组+Freecooling+M-BMS 智慧控制系统组成的超高效数据中心解决方案组成，最终能够实现机房 $PUE \leq 1.25$ 。

空调具有隔离且封闭的冷热通道，可以对高密度机柜的部署提供更好的制冷支持，为防止冷热风短路混合效应对制冷效率的影响，“冰潜”系列阵列式机房空调创新性的提出了后回风顶送风的气流组织方案，将末端空调一对一置于机柜下方，在竖直方向形成闭式循环，高效节能降耗的同时，大幅度地解放了机房空间。在设计上，循环水与机柜完全隔离，使机房永无“水患之忧”，确保了服务器安全。

技术原理示意图如下：

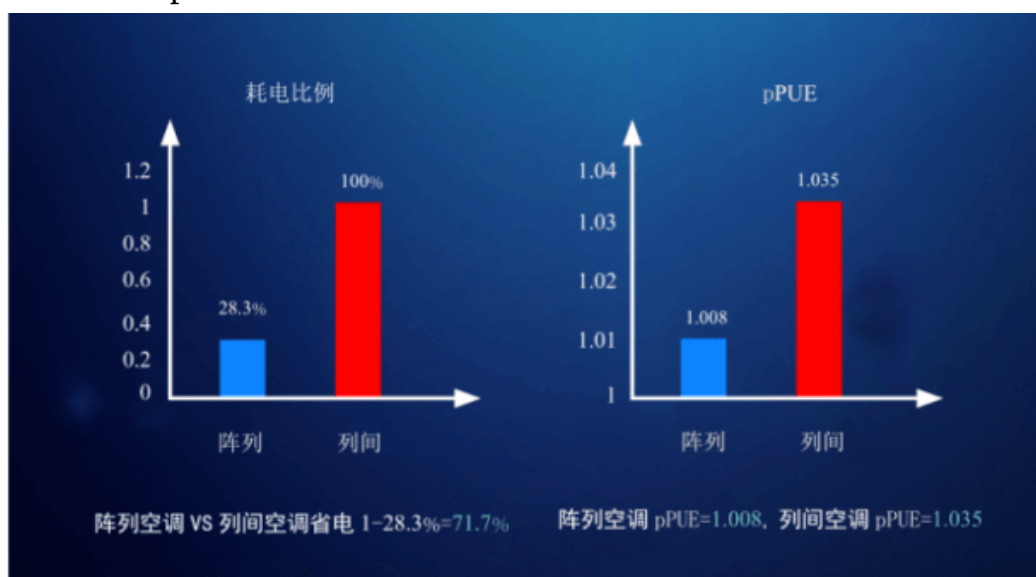


（三）技术特点

（1）高效节能

采用新型上送后回风结构阵列式空调，比传统列间空调节电 71.7%

以上，机房 pPUE 低至 1.008。



(2) 节省空间

阵列式空调置于静电地板下方，地板起到防护隔离作用，既减免了水患的担忧，又能大幅节省机房空间。相对列间空调机房，机房出柜率提高 18.2%，经济效益提高 18.2%以上。

空调类型	列间空调	阵列空调
机房机柜总数	18	18+4
空调+CDU 占柜数	4	0
机房出柜率	81.8%	100%

(3) 安装便捷

阵列式空调产品为模块化、安装水管、接头工程安装等均转由工厂预制，使安装效率提高 90%以上。



(4) 可靠运行

当机组运行出现故障时，传统的解决方案需要增加相同数量机组备份，保障机房降温。而阵列式空调机组正常运行时是 50% 输出，50% 机组故障时其他机组 100% 输出，可实现 N+N 备份，无需额外增加空调。



(5) 智能控制

“冰潜”阵列式空调采用一台显示器控制 64 台 (max) 空调，集中监控更方便、成本更低。M-BMS 智慧楼宇系统能够自动寻优冷水主机、空调末端、水泵、冷却塔风机的最佳工作点，提升运行效率。



三、应用前景

区别于传统数据中心机房产品，“冰潜”系列阵列式数据中心机房空调产品，具有 高效节能、模块化、预制化等突出优点，开启了绿色数据中心新时代。除“冰潜”系列空调外，美的中央空调还提供自主研发的变频直驱降膜离心机作为冷水主机，为数据中心机房提供高效、稳定、可靠的制冷支撑。机组搭配以美的 M-BMS 智能楼宇管理系统，深度优化能耗结构，灵活的智能负载均担冗余备份体系。据测算，“冰潜”系列阵列式机房空调可以为机房节省 71.7%的电能消耗，大幅降低制冷系统的能耗值，将电能更加有效地应用在 IT 设备端，真正实现机房的最低 PUE 值。

11 精密空调调速节能控制柜

一、适用范围

在用数据中心改造。

二、技术内容

（一）技术提供方

深圳市共济科技股份有限公司

（二）技术原理

在精密空调压缩机、室内风机供电前端增加节能控制柜，节能控制柜采集室内的温度信号，根据蒸气压缩式制冷理论循环热力计算结果输出相应控制信号控制压缩机、室内风机工作频率，进而达到降低能耗的目的。

（三）技术条件

适用于直膨式定频空调；不适用于冷冻水型空调及变频空调。

三、主要节能指标

精密空调应用后：1.整体(包括压缩机和风机)年节能率可达 30%；
2.空调实际制冷效率可提升到 3.36 以上。

四、应用实例

某数据中心：额定制冷量 1MW，共安装 10 台空调节能控制柜。
改造后日均节能量 1331.2kW·h，节能率 21.6%。

五、推广前景

预计未来 5 年市场占有率可达 25%，实现年节电量 2.2 亿 kW·h/年。

12 SGB18-RL-NX1 敞开式立体卷铁心干式变压器

一、适用范围

在用数据中心改造。

二、技术内容

（一）技术提供方

海鸿电气有限公司

（二）技术原理

敞开式立体卷铁心干式变压器的铁心是由三个完全相同的矩形单框拼合而成，拼合后的铁心的三个心柱呈等边三角形立体排列。这种结构的优点为：AC 相铁轭部分缩短，实现三相磁路完全对称等长，确保三相供电平衡。采用了 NOMEX®纸与德国艾伦塔斯浸漆组成的混合绝缘系统，NOMEX®纸不会助燃，能阻燃、不会爆炸、750℃以下不会释放出有害气体，有利于环保，产品在制造、运输、储存、运行时都不会对环境造成污染。采用了正反段绕制设计，取消了 S 弯换位，同时取消了梳形撑条，采用垫块将线饼与线饼隔开，与传统正段绕制的线圈相比，可节省铜线用量约 3~5%，同时可以节省变压器的铁心用材。如图所示。

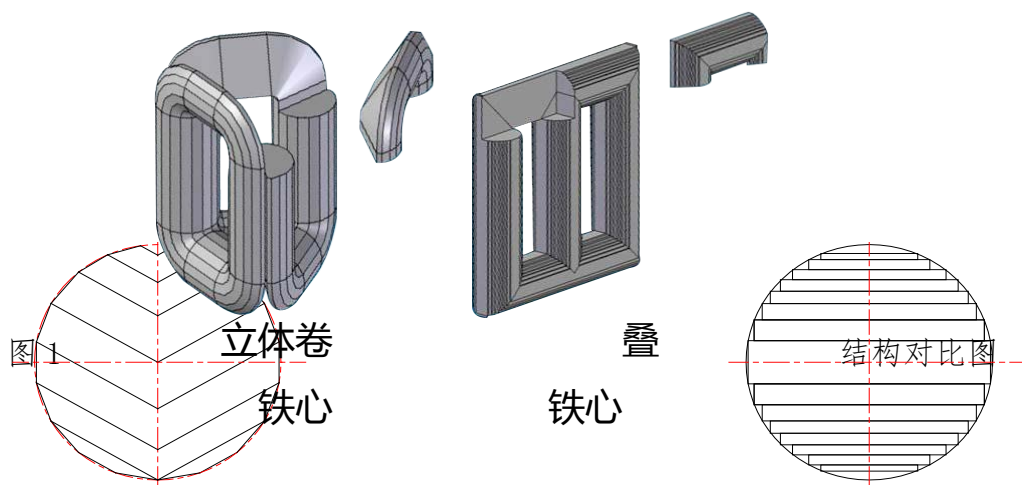


图 1：铁心心柱横截面对比图

三、主要技术指标

容量：2500kVA

空载损耗：1.955kW

空载电流：0.09%

短路阻抗：在 $t=75^{\circ}\text{C}$ （运行温度）， $Z=6\%$

在 $t=145^{\circ}\text{C}$ ， $Z=6.52\%$

负值损耗：在 $t=75^{\circ}\text{C}$ （运行温度），13.542kW

在 $t=145^{\circ}\text{C}$ ，16.227kW

放电量：A 相 $<4\text{pC}$ 、B 相 $<4\text{pC}$ 、C 相 $<4\text{pC}$

四、技术功能特性与创新点

1、混合绝缘技术：采用了美国杜邦公司 NOMEX®绝缘纸与德国艾伦塔斯浸漆组成的混合绝缘技术，最高绝缘等级 C 级，最高允许温度为 220°C ；绝缘纸具有阻燃、易降解、 750°C 以下不会释放出有害气体的优点；

2、敞开绕包式绝缘技术：线圈直接绕制并整体在真空灌内浸漆，无龟裂，局放 $\leq 5\text{pC}$ 。敞开非包封线圈出现故障时可及时修复，变压器运行寿命终止时线圈铜材容易回收；

3、高性能卷绕式铁心技术：卷绕式铁心材料利用率 100%，铁心截面接近圆形，填充系数可达 0.95~0.96。与传统平面铁心结构敞开式干式变压器相比，节省铜材 8~10%左右，节省硅钢片 20~25%，整机成本下降 10%~15%。减少 5-6 道生产工序，节省生产时间 10 小时以上。

五、应用案例

1. 基本情况简介

中山某 IDC 机房项目，占地面积 1.3 万平方米，机房按照国际 T4 标准建设，机架规模超 4000 个，电力系统总供电 20000kVA，项目于 2015 年 4 月开始建设，首期 2000 机架已基本建成，拟于 2017 年一季度投入使用。

2. 实施内容

某 IDC 机房项目配电系统采用 2 台敞开式立体卷铁心干式变压器，工作主要包括以下内容：

- (1) 进行配电房基础建设
- (2) 安装变压器
- (3) 与高低压配电柜连接调试
- (4) 合闸送电

采用本产品，年运行可节约用电量 34000kW·h~42000kW·h（依据负荷情况）

3. 实施周期

2016 年 4 月开始施工—2016 年 6 月安装调试完毕

4. 节能减排效果

- (1) 年节电量

据统计，项目年节约总电量约 38400kW·h。电费以 0.73 元/kW·h 计算，每年可节约电费 28032 元。

- (2) 该项目综合年经济效益合计为 28032 万元。年环境效益为

减少二氧化碳排放 17.33 吨（按 $0.4512\text{kgCO}_2/\text{kW} \cdot \text{h}$ 计算减排）。

（3）客户采购项目产品与同类产品相比投资金额需增加 RMB30000~40000 元，投资回收期为 $30000 \sim 40000 / 14016 = 2.1 \sim 2.8$ 年。