



西安工程大学 · 蒸发冷却团队



第三十二届国际制冷、空调、供暖、通风及食品冷冻加工展览会 (2021)

蒸发冷却新技术及其应用专题研讨会

未来蒸发冷却空调技术发展趋势

西安工程大学

黄翔教授

2021年4月8日



目 录

01

蒸发冷却技术的主要特点

02

蒸发冷却理论与相关设备

03

蒸发冷却空调在数据中心的应用

04

发展趋势及展望

蒸发冷却技术的主要特点

节能

蒸发冷却技术利用环境空气未饱和这一特性，充分利用干空气能这一可再生能源，减少空调对传统能源的依赖。

健康

蒸发冷却空调产生清洁绿色的新风，既能达到降温需求的同时，有效改善人类生产生活的品质。

经济

蒸发冷却空调系统与传统机械制冷空调系统相比，**初投资可节省1/2，维护费用节省2/3，运行费用节省 3/4。**

低碳

蒸发冷却空调以水为冷却介质，无氟利昂等传统制冷剂，不产生温室效应气体，是**环境友好型**的新技术。



目 录

01

蒸发冷却技术的发展

02

蒸发冷却理论与设备

03

蒸发冷却空调在数据中心的应用

04

发展趋势及展望



太阳能



风能



水能



潮汐能

蒸发冷却技术是一项利用“**干空气能**”可再生能源，以水作为冷却介质，通过水分蒸发吸热进行冷却的制冷空调技术。

自然界中可再生能源

被动蒸发冷却技术

主动蒸发冷却技术

蒸发冷却技术

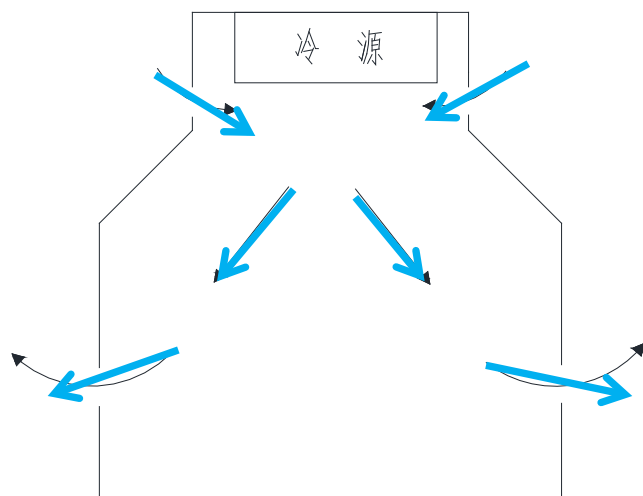


干空气能

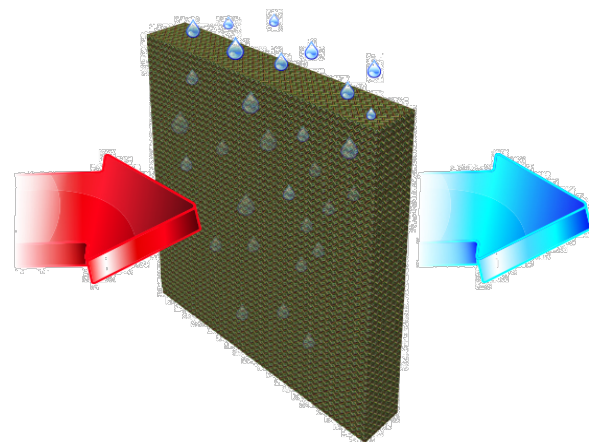
被动式蒸发冷却下向通风降温技术 (Passive Downdraught Evaporative Cooling , 简称PDEC技术) , 指利用水的直接蒸发冷却对空气进行降温 , 根据热力学原理 , 密度大的冷空气下沉 , 密度小的热空气上升 , 从而通过重力下沉方式对建筑空间通风降温的技术。

被动式下向蒸发降温技术 (Passive Downdraught Evaporative Cooling , PDEC)

被动式下向通风降温技术 (PDC技术)

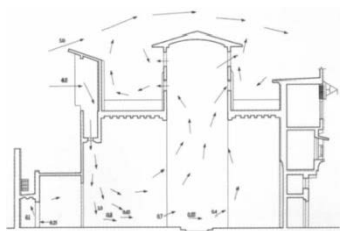


蒸发冷却技术



被动优先、主动优化、使用可再生能源”是实现超低能耗建筑的基本路线。

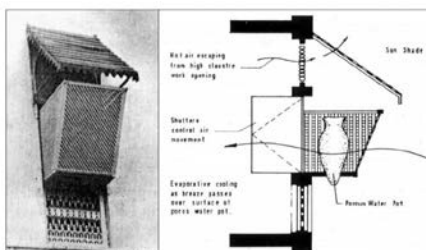
在帮助创造建筑物内舒适的热力学环境方面，传统建筑中就包含了许多被动特色。



早期埃及风塔的气流组织形式



伊朗捕风塔降温



陶土水罐结构图及实物图



新疆维吾尔族“阿以旺”

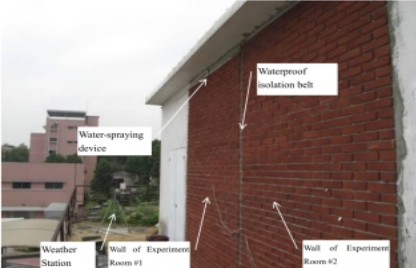
被动蒸发冷却技术在“一带一路”沿线地区、国家的应用



1992年世博会塞维利亚喷雾塔设置雾化喷嘴



卡塔尔2022世界杯体育场内气流组织图



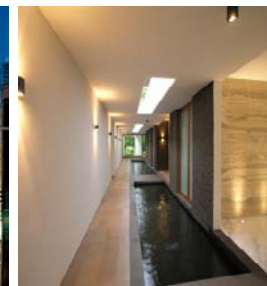
铺设红土烧制多孔面砖的外墙



被动式蒸发冷却技术在双层皮玻璃幕墙的应用实物图



墨尔本市政大楼



建筑中庭内部加设水池

被动蒸发冷却技术在“一带一路”沿线地区、国家的应用

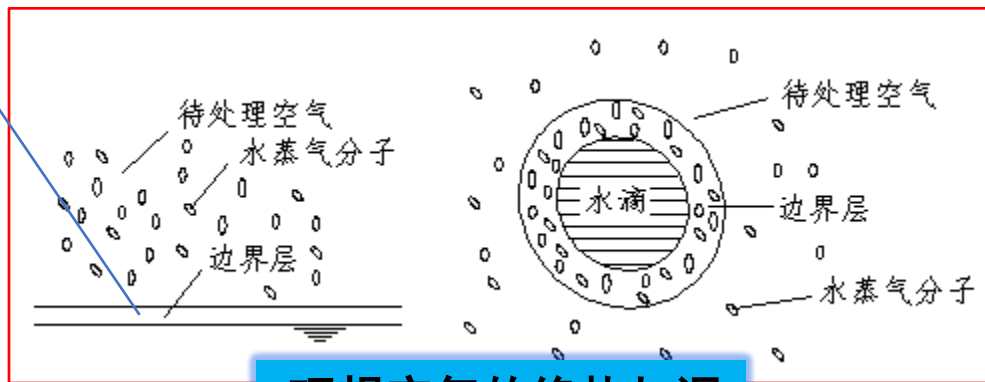
蒸发冷却的传热传质机理：直接蒸发冷却是通过空气与水的直接接触实现两者温度同时降低的技术，此过程涉及**热交换**及**质交换**。

传质机理

传热机理

水与空气有**充分的接触时间和接触面积**

边界层内水蒸气分子的浓度或**水蒸气分压力**仅取决于边界层的饱和空气温度。



理想空气的绝热加湿

显热交换 → 温差
+
潜热交换 → 水蒸气分压力差
||
全热交换 → 焓差

边界层内的水蒸气分压力

> 主体空气的水蒸气分压力，**加湿**
< 主体空气的水蒸气分压力，**减湿**

- 绝热饱和的制冷潜力与将要被冷却的空气湿度成反比
- 直接蒸发冷却的极限是**空气的湿球温度**

基础

1. 直接蒸发冷却器

冷雾式

冷风式

2. 间接蒸发冷却器

板翅式

卧管式

立管式

板管式

热管式

3. 露点间接蒸发冷却器

叉流式

逆流式

复合式

设备

4. 蒸发冷却空调机组

单级

直接

间接

多级

间接-直接

间接-间接-直接

5. 蒸发冷却冷水机组

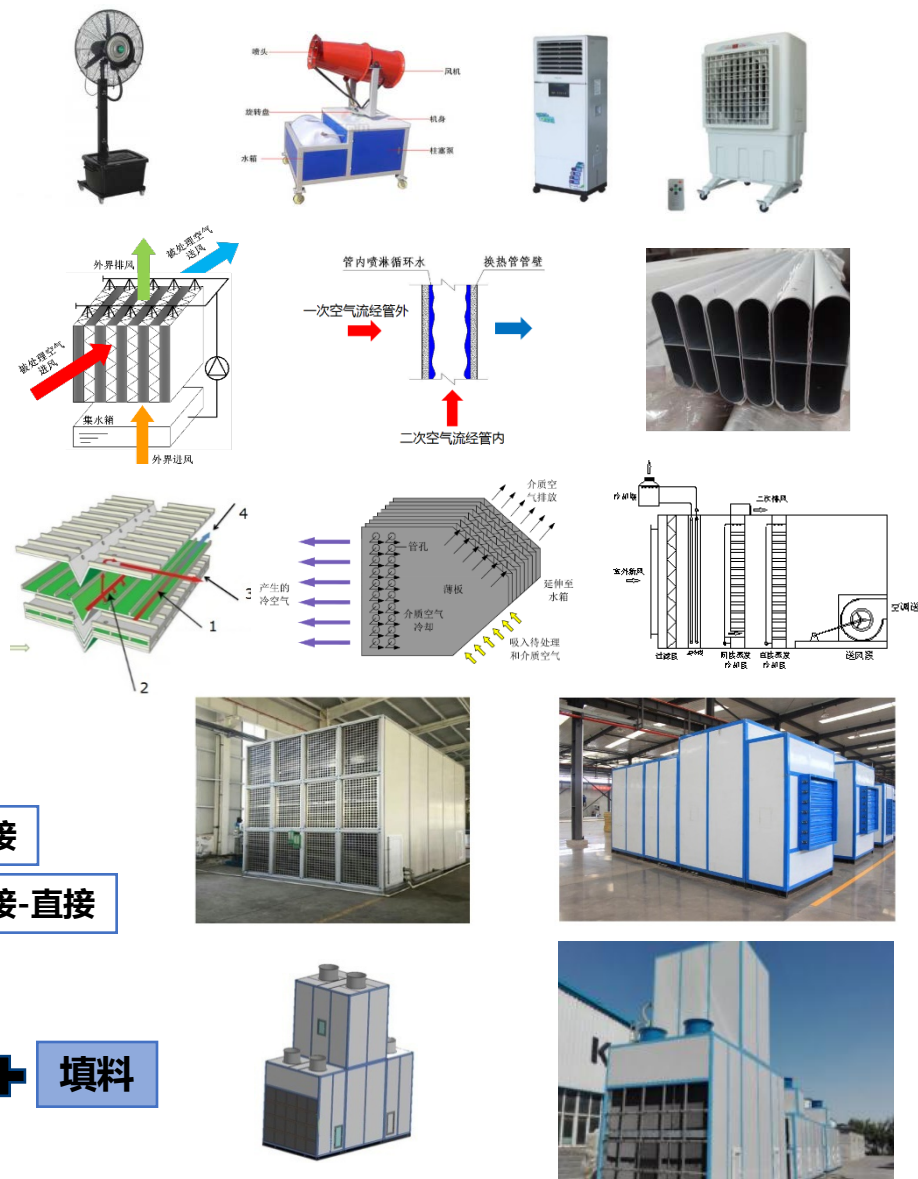
表冷器

卧管间接

立管间接

露点间接

填料

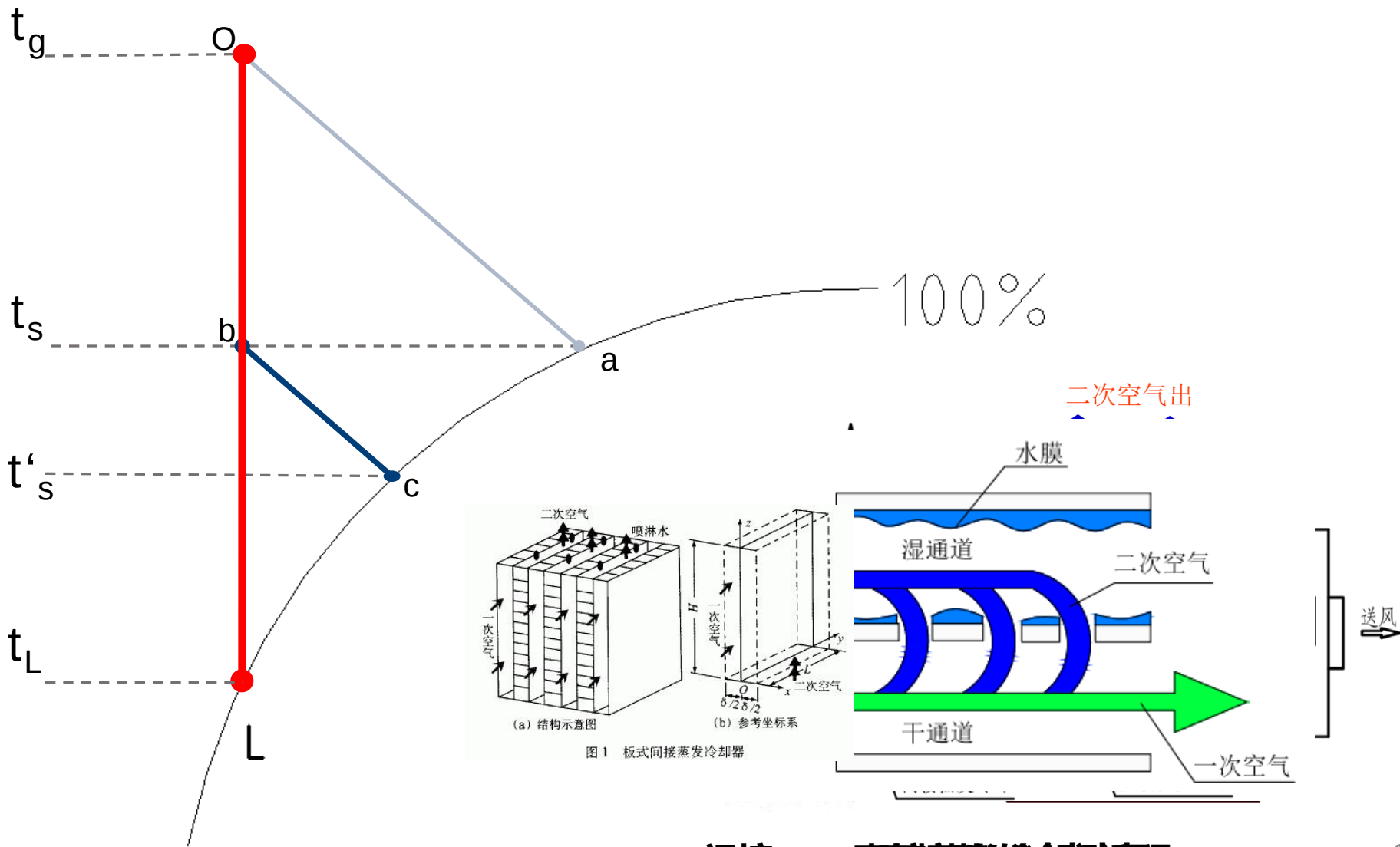


干球温度

湿球温度

亚湿球温度

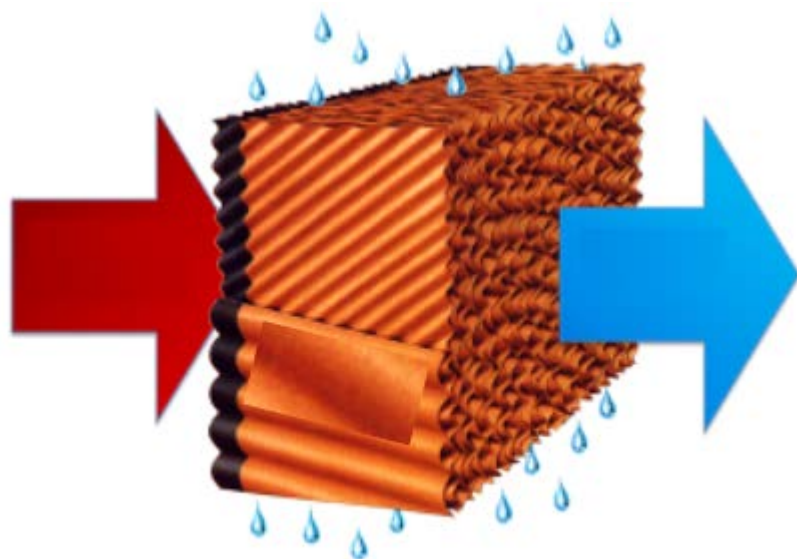
露点温度



间接蒸发冷却过程

蒸发冷却理论与设备

1 直接蒸发冷却



移动蒸发式冷风扇



窗式直接蒸发冷却器

温差是显热交换的推动力，水蒸气分压力差是潜热交换的推动力，而总热交换的推动力是焓差。一方面，空气的温度与水温不同，既然有温差存在，两者之间必然通过导热、对流或辐射等传热方式进行热量传递，这就是所谓的显热交换；另一方面，空气与水接触时所发生的质量传递必将伴随有空气中水蒸气的凝结或蒸发，从而放出或吸收汽化潜热。



蒸发冷却理论与设备

1 直接蒸发冷却

福建某通信机房节能改造前后耗电功率对比

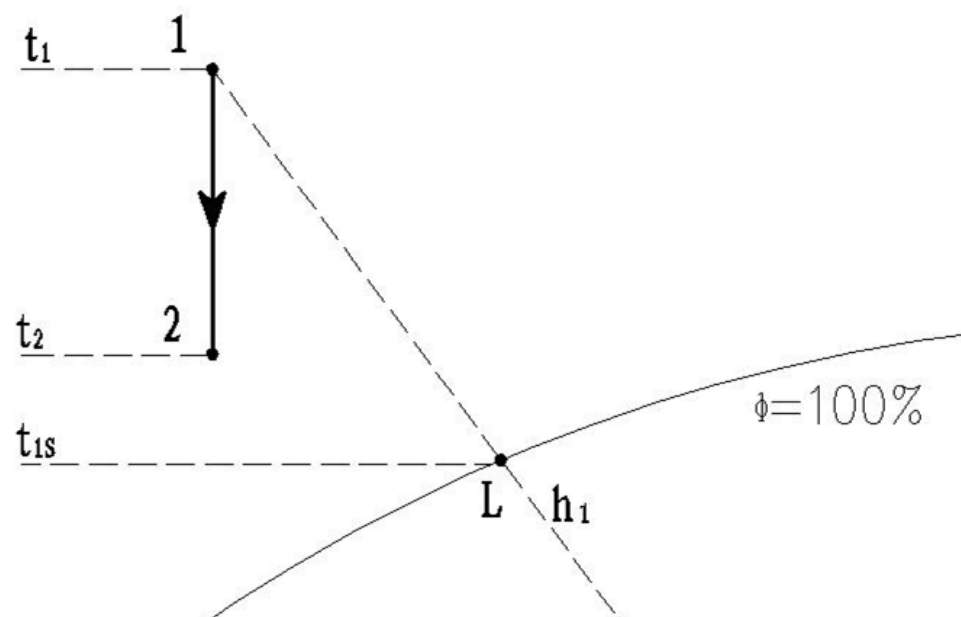
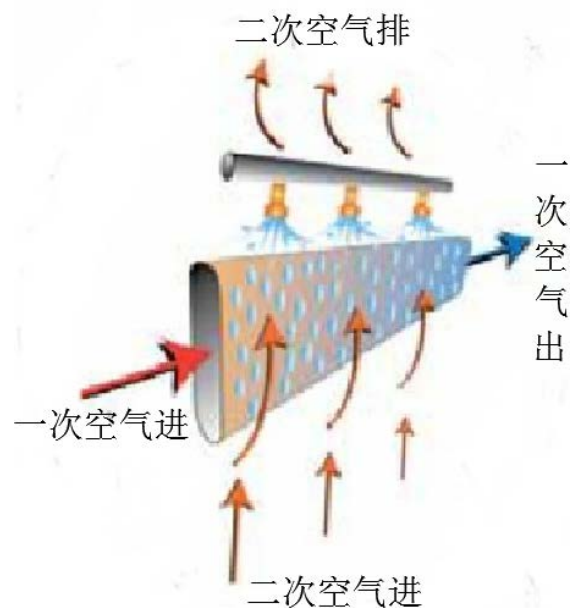
	规格型号	台数 (台)	耗电功率 (kw)	总功率 (kw)
机房专用空调	海洛斯 U55A	3	15.6	46.8
蒸发式冷气机	AZL18- ZS18TA	5	1.1	11
	排风机	5	1.1	



福建某通讯机房用直接蒸发冷却空调系统

直接蒸发冷却空调机组性能参数实测值（性能优良）
机房安装蒸发式冷气机后，机房的环境**温度最大值为 24.56℃**，
最低温度为 18.8℃，完全能满足温度要求。机房的**相对湿度的最大值为 69.2%**，
最低相对湿度为 34.5%，完全能满足湿度要求。

2 间接蒸发冷却



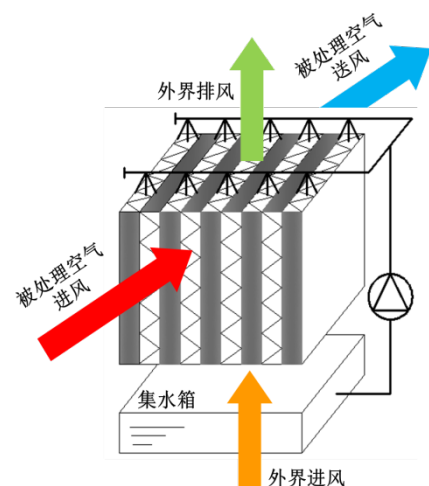
一次空气是需要被冷却的空气。它主要是来自室外的新风，也可以是来自室内的回风。一次空气通道中，空气与干燥的换热表面接触，由于无水蒸气进入气流，一次空气实现等湿冷却，其结果取决于换热表面的温度。

二次空气是工作空气。二次空气与水接触使其蒸发从而降低换热器表面温度以冷却一次空气。二次空气一般来自室外，用完后再排到室外。一般的间接蒸发冷却可以使一次空气温度趋近二次空气进口湿球温度，但不可能等于或低于该温度。

蒸发冷却理论与设备

2 间接蒸发冷却

为进一步提高蒸发冷却的降温效果、降低单级直接蒸发冷却对气象条件的依赖性、缓解直接蒸发冷却器带来的加湿影响，提出了**间接蒸发冷却器**。



间接蒸发冷却器

核心部件：空气-
空气间接换热器

单独降温设备

对空气进行等湿降温后送入空调区

空调机组的预冷段

预冷空气，提高空调机组的降温幅度

预冷经济器

减少机械制冷空调机组的装机冷量

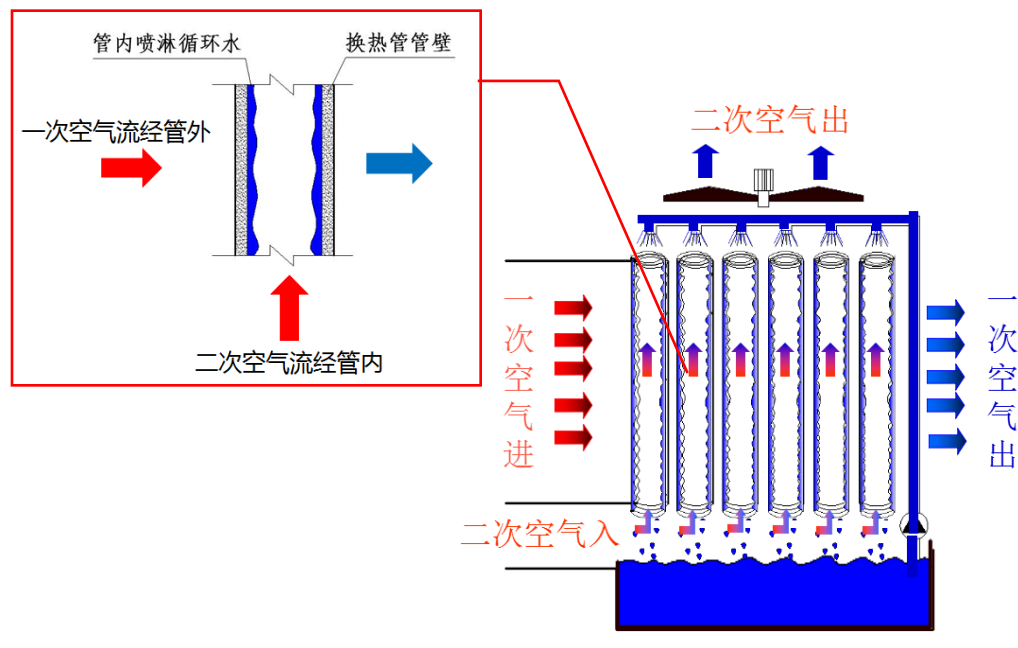


如今，间接蒸发冷却技术在数据中心的应用，已成为降低PUE值的“节能利器”！

蒸发冷却理论与设备

2 间接蒸发冷却

以立管式间接蒸发冷却器为例，其核心部件为立式布置的、具有一定强度和换热性能的换热管，以及循环水系统和一、二次风系统。一次空气流经换热管外侧，二次空气与循环水流经换热管内。



立管式间接蒸发冷却器优点：

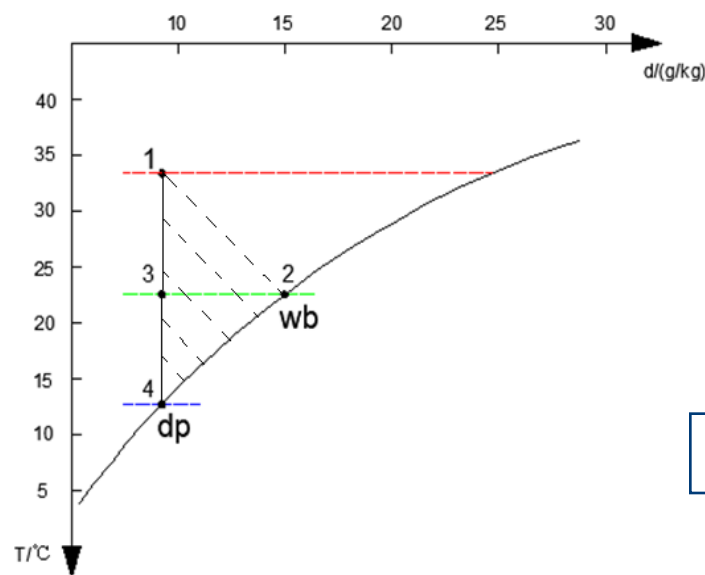
- 管外侧为一次空气流道，流道较宽易于清扫维护；
- 管内侧为二次空气及循环水流道，由于循环水自上而下的自冲刷作用，换热管内的堵塞问题大大缓解；
- 换热器采用立式结构可缩小设备在水平方向尺寸，减小机组占地面积。

◆ 为便于在立管内形成相对均匀稳定的贴附水膜，应对布水结构进行针对性设计，如布水端换热管设置导流檐、管内直接布水、喷淋与溢水相结合等形式。

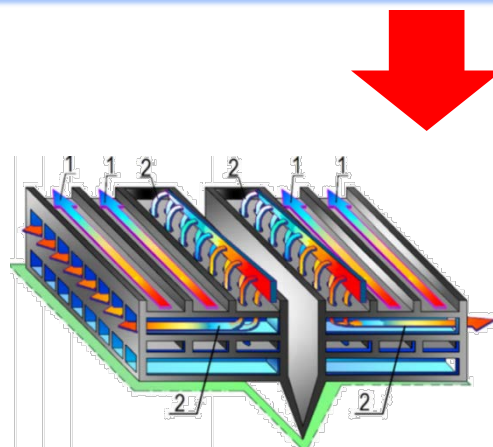
蒸发冷却理论与设备

2 间接蒸发冷却

传统间接蒸发冷却器在理想状态下可将空气降至其湿球温度，所以也限制了蒸发冷却技术在更广泛地区的应用。**露点间接蒸发冷却降温极限可逼近空气露点温度**，是国内外学术研究的主要方向之一。

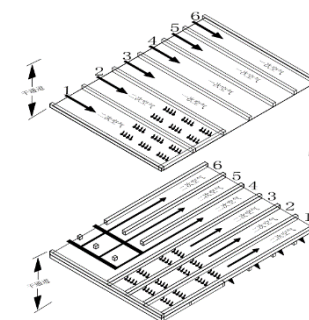
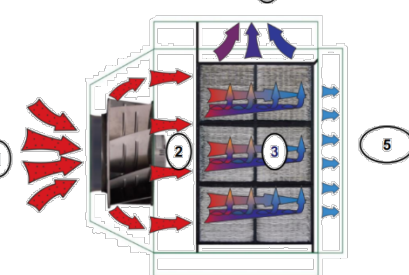


露点间接蒸发冷却焓湿图

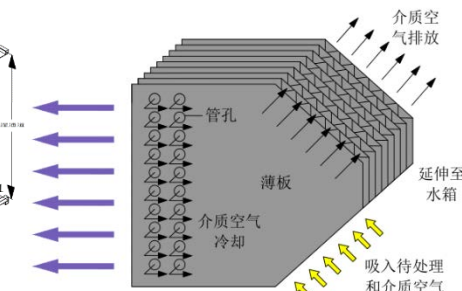


1为一次空气，2为二次空气

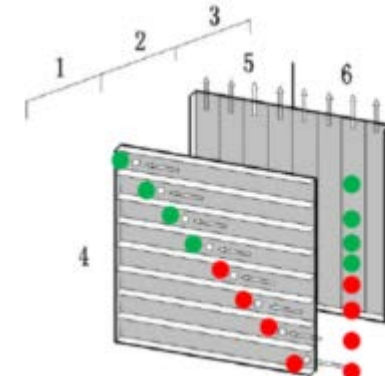
M循环（麦索特森科博士）



叉流式



逆流式

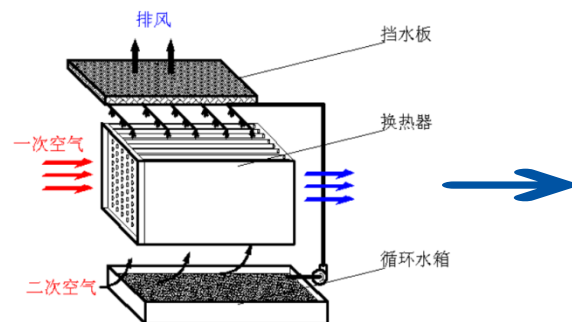


复合式

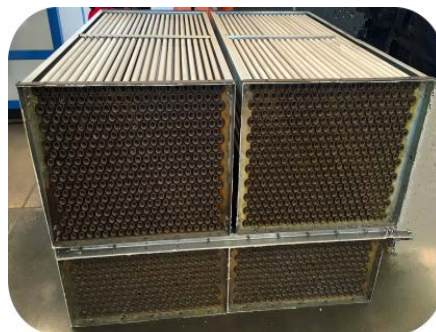
最早在科罗拉多州博尔德数据中心
用露点间接蒸发冷却空调

蒸发冷却理论与设备

2 间接蒸发冷却



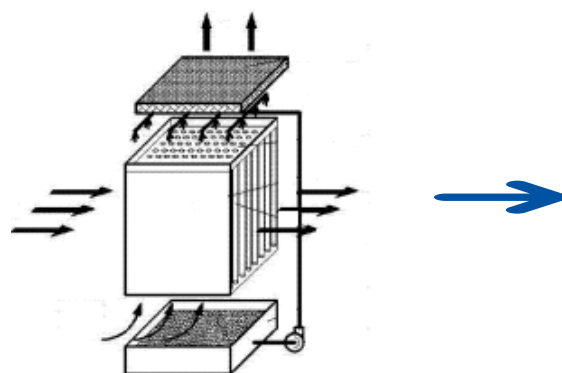
卧管间接蒸发冷却器示意图



卧管间接蒸发冷却器



卧管间接蒸发冷却空调机组



立管间接蒸发冷却器示意图

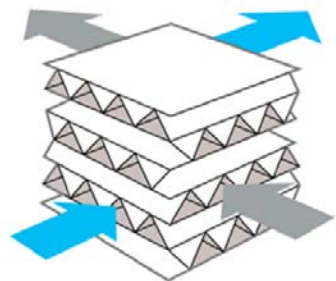


立管间接蒸发冷却器



立管间接蒸发冷却空调机组

2 间接蒸发冷却



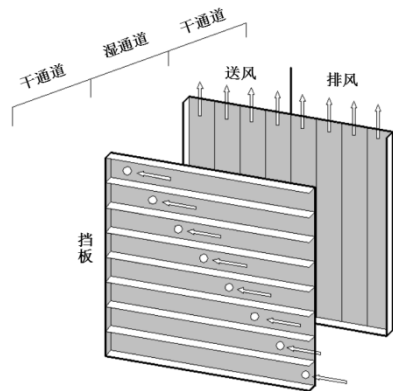
板翅式间接蒸发冷却器示意图



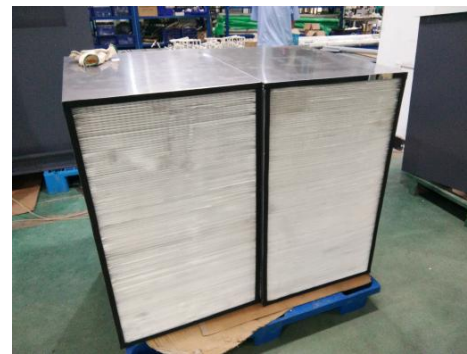
板翅式间接蒸发冷却器



板翅式间接蒸发冷却空调机组



露点间接蒸发冷却器示意图

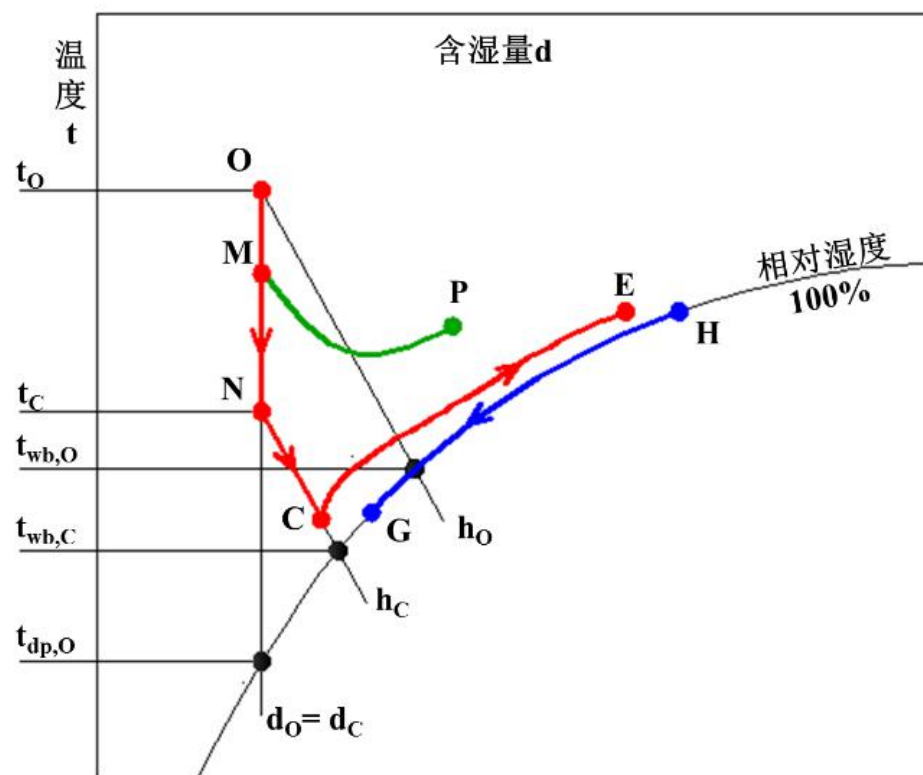
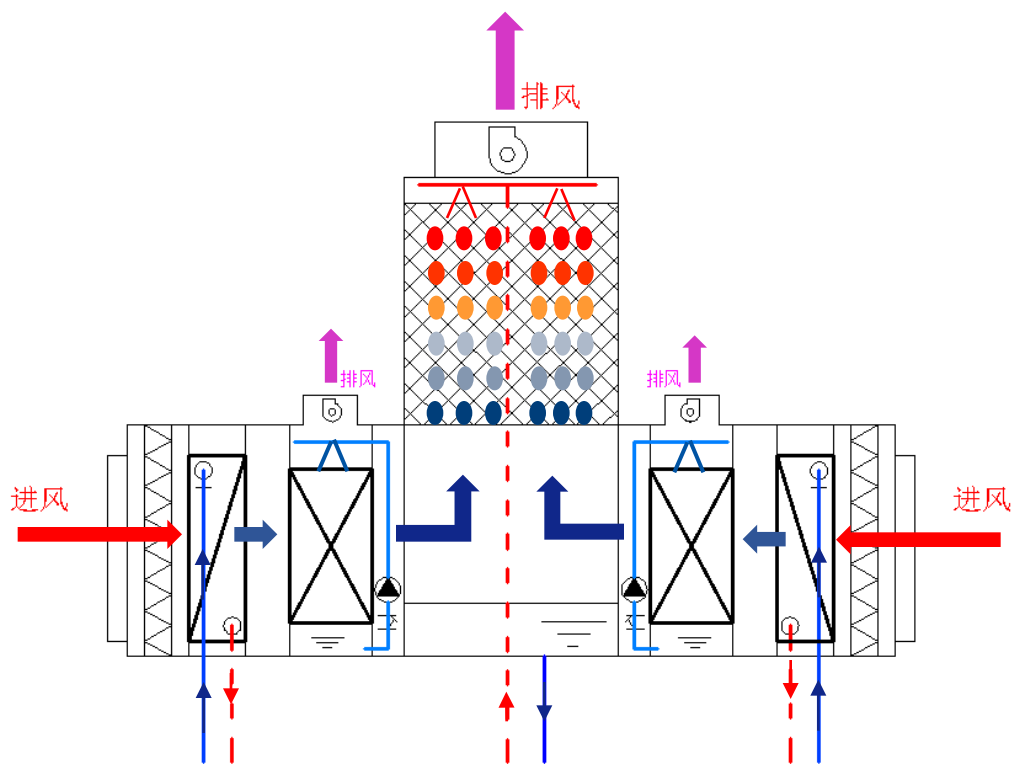


露点间接蒸发冷却器



露点间接蒸发冷却空调机组

3 蒸发冷却制取冷水

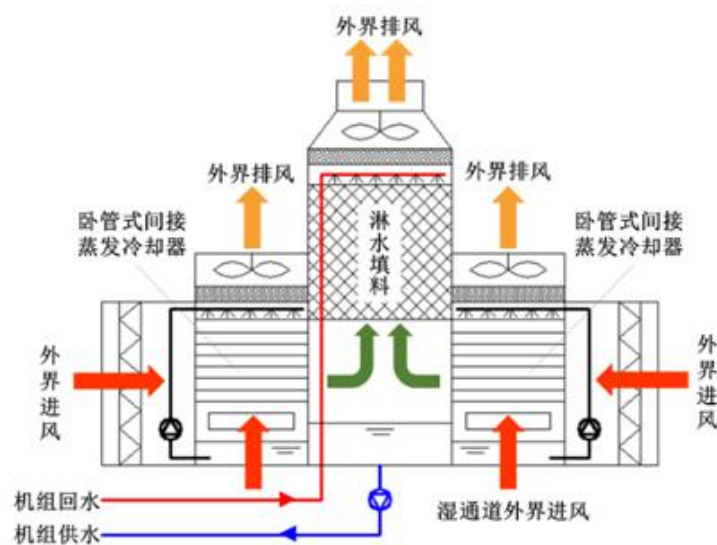


采用间接蒸发冷却器，将进入冷水机组的新风预冷，以降低淋水填料段进风湿球温度。淋水填料段再将末端回水冷却，以此制取出的冷水可以达到亚湿球温度。

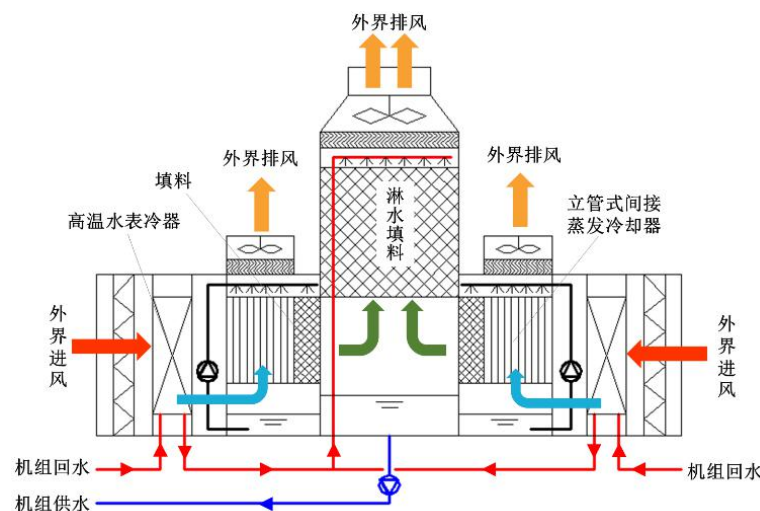
蒸发冷却理论与设备

3 蒸发冷却制取冷水

随着蒸发冷却空调技术的发展，以蒸发冷却技术制取冷水的设备：直接蒸发冷却冷水机组、间接蒸发冷却冷水机组、间接-直接蒸发冷却复合冷水机组、蒸发冷却与机械制冷相结合的冷水机组，使得蒸发冷却技术在水侧的应用得以应用推广。



卧管间接预冷式蒸发冷却冷水机组结构示意图

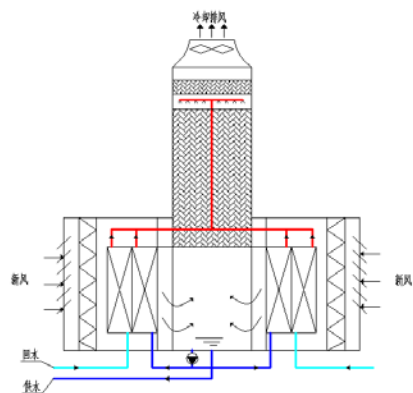


表冷器-立管间接-填料直接蒸发间接预冷式蒸发冷却冷水机组

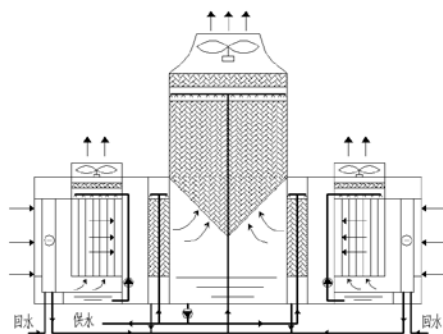


3 蒸发冷却制取冷水

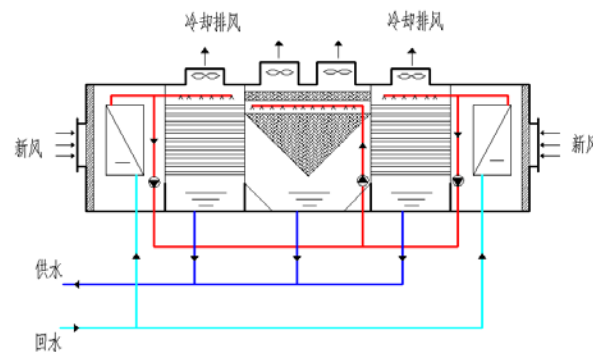
表冷器预冷式



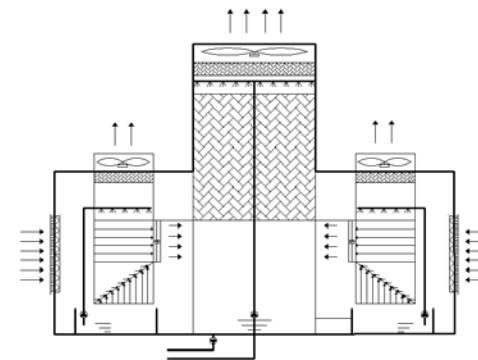
立管间接预冷式



卧管间接预冷式



露点间接预冷式



目 录

01

蒸发冷却技术的发展

02

蒸发冷却理论与设备

03

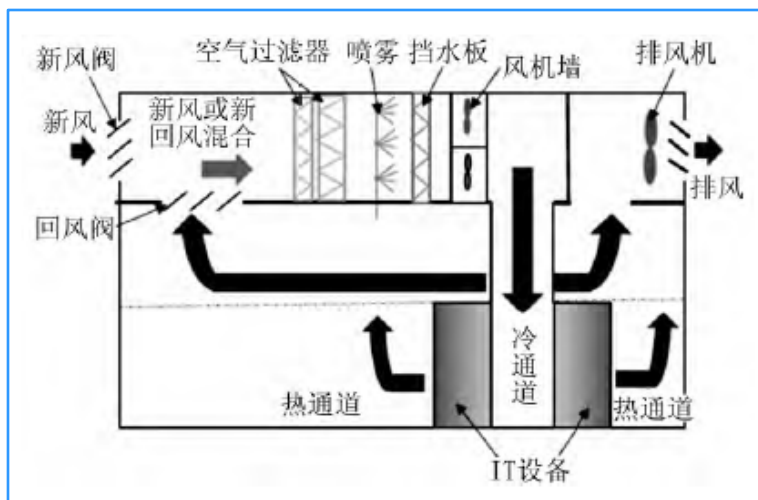
蒸发冷却空调在数据中心的应用

04

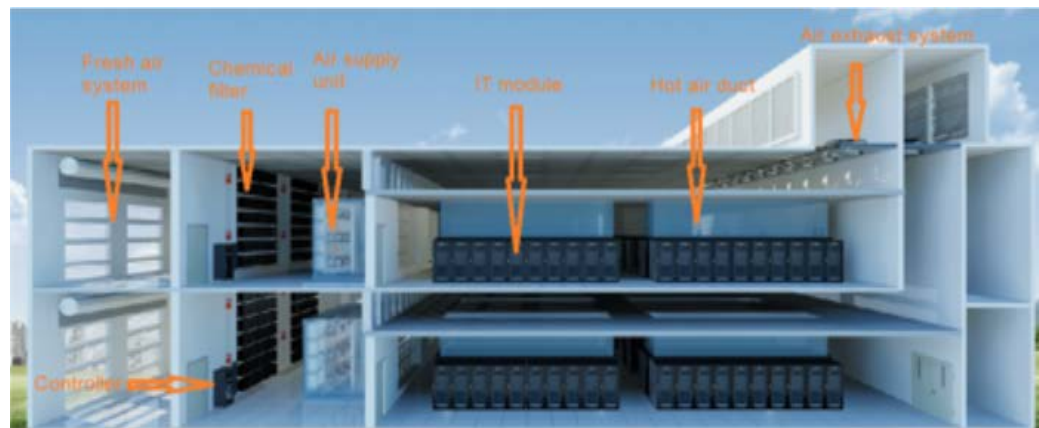
发展趋势及展望

风侧直接蒸发冷却空调系统形式

送入数据中心的室外空气先与水大面积直接接触，因水的蒸发吸收汽化潜热而使空气的温度下降，低温空气用于数据中心的冷却。



- ◆ 增设了空气过滤器，保证了循环水或蒸发板不被室外空气污染物污染；
- ◆ 利用水蒸发带走的汽化潜热，进一步降低了室外空气的温度，提高了节能效果；
- ◆ 空气被加湿，无法很好地控制机房内温湿度。



良好的气候+良好的空气质量

新风的处理

✓ 洁净度

- 初效
- 中效
- 化学



✓ 温湿度

- 加湿
- 降温



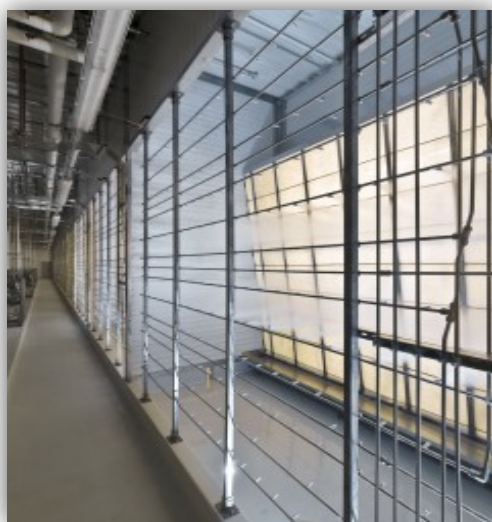
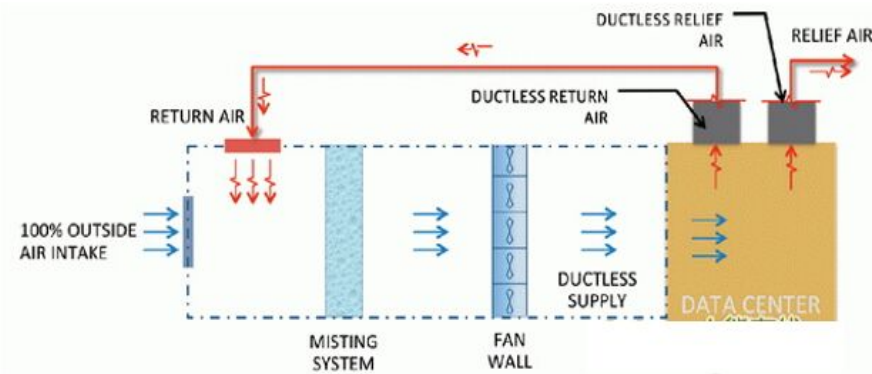
蒸发冷却空调在数据中心的应用

西安工程大学



风侧直接蒸发冷却技术应用案例——国外

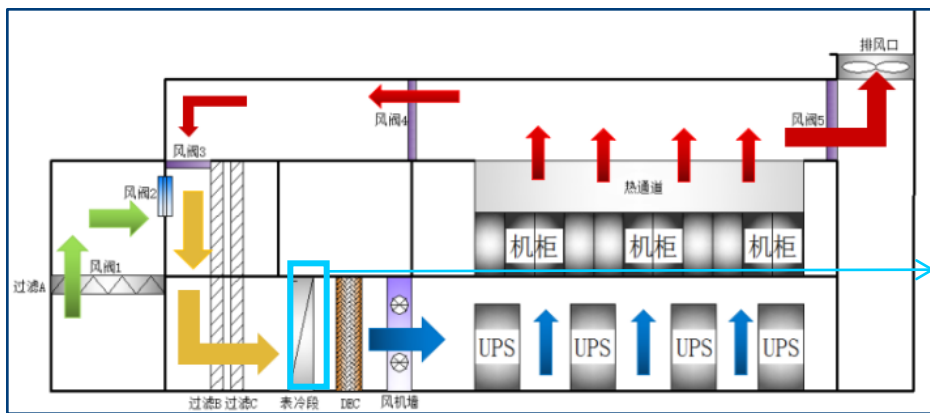
Facebook某数据中心



目前国际上采用**喷淋式直接蒸发冷却方式**最著名的是Facebook在美国普林维尔建造的大数据中心，该数据中心采用了全新风直接蒸发冷却方式，这是因为普林维尔地处高原沙漠，气候非常干燥，虽然全年最高室外干球温度为 40.56°C ，但是Facebook数据中心IT设备可适应 43.3°C 的高温，因此节能效果十分显著。

蒸发冷却空调在数据中心的应用

风侧直接蒸发冷却技术应用案例——国内宁夏中卫360数据中心



直接蒸发冷却

宁夏中卫360数据中心建筑外观

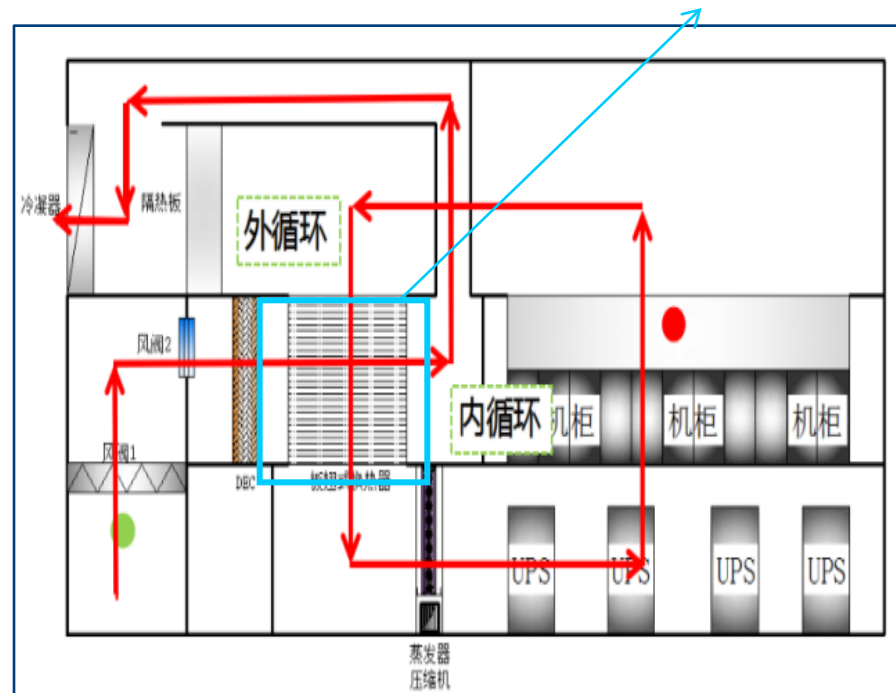
年均PUE=1.25



西安工程大学



间接蒸发冷却



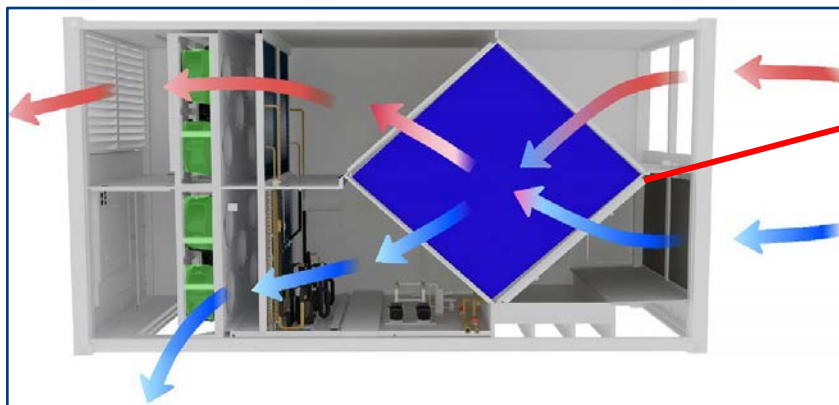
蒸发冷却空调在数据中心的应用

西安工程大学

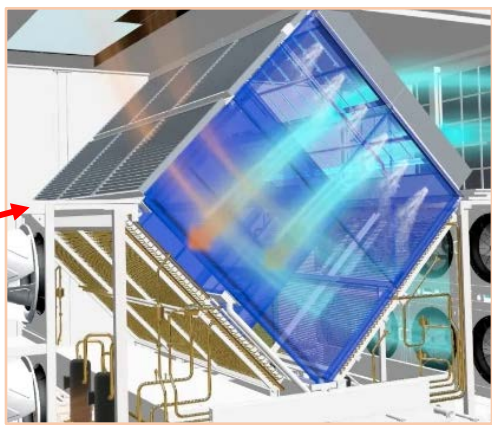


风侧间接蒸发冷却空调（AHU）系统形式

通过在室外空气侧喷水，水在室外空气侧的换热器壁上蒸发冷却，从而冷却数据机房循环风侧的温度。

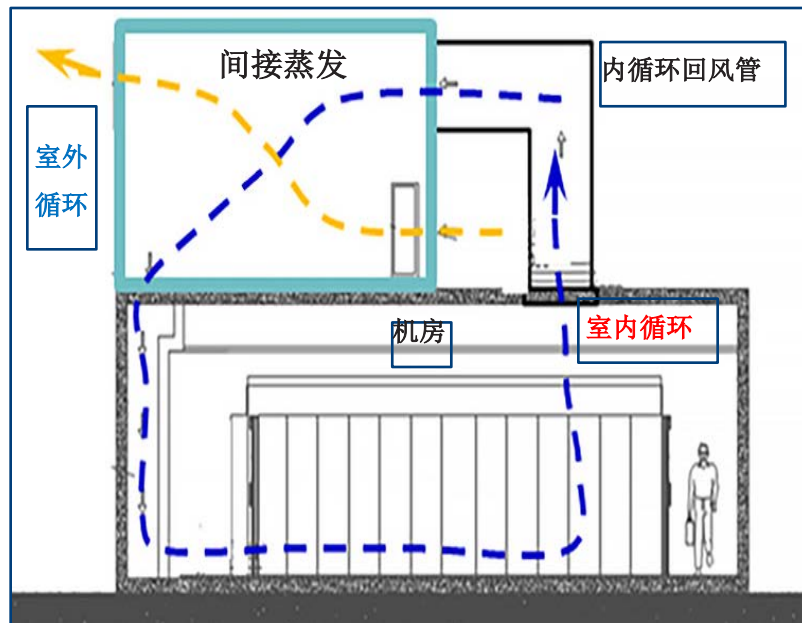


间接蒸发冷却系统干模式运行状态示意图



间接蒸发冷却换热芯体

- 产出空气（一次空气/室内）与工作空气（二次空气/室外）间接接触，仅进行显热交换，不进行质交换
- 间接蒸发冷却极限为**工作空气（二次空气/室外）的湿球温度**
- **一次空气（室内循环）：等湿冷却**
- **二次空气（室外循环）：增焓加湿**



间接蒸发冷却系统安装示意图

风侧间接蒸发冷却空调（AHU）系统特点

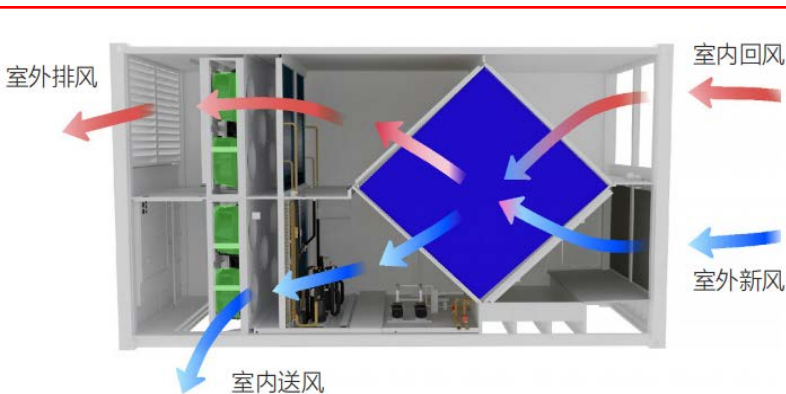
安装场景	单层应用		多层应用		
	大平层	楼顶	预制模块化数据中心	多层楼宇室内	多层楼宇室外
示意图					
特征	大平层：机房同侧送回风，室外可直接向上排风	楼顶：机房送回风不同侧，室外可直接向上排风	全集装箱堆叠、全预制	机组在每层楼外边沿室外侧排风共用排风井	机组安装在楼宇外钢架支撑室外侧排风共用排风井

- ✓ 组成：内、外循环（空气侧内外循环、水侧内外循环），保证机房洁净度要求；
- ✓ 耦合的换热器形式（板翅式、管式、板管式等）；
- ✓ 系统形式简单，可实现**模块化、预制化、产品化**，**安装形式多样**，使得安装快捷方便；
- ✓ 由于蒸发冷却受室外气象条件的制约很大，因此间接蒸发冷却与机械制冷联合是一种互补的节能措施。

间接蒸发冷却空调（AHU）系统的工作模式

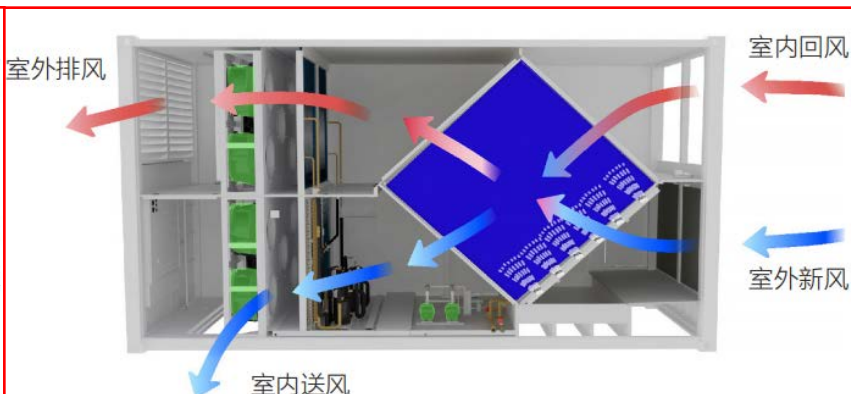
运行模式	风机状态	水泵状态	压缩机状态
干模式（风机）	开启	关闭	关闭
湿模式（风机 + 喷淋）	开启	开启	关闭
混合模式（风机 + 喷淋 + 压缩机制冷）	开启	开启	开启

干模式



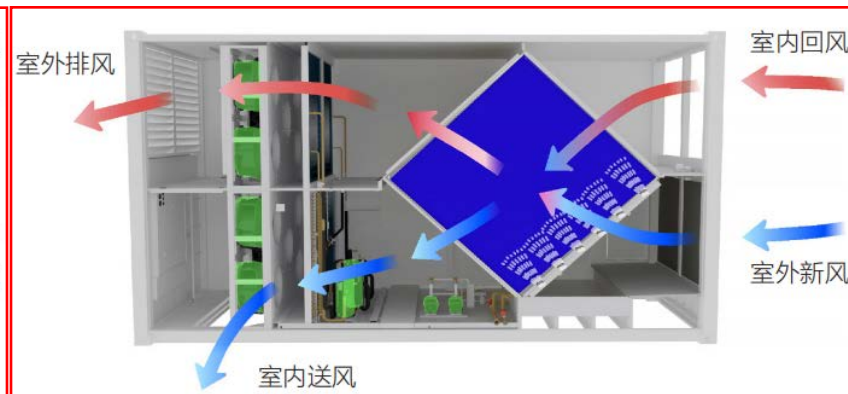
环境空气干球温度 $\leq 16^{\circ}\text{C}$

湿模式



环境空气干球温度 $> 16^{\circ}\text{C}$
环境空气湿球温度 $< 18^{\circ}\text{C}$

混合模式



环境空气湿球温度 $\geq 18^{\circ}\text{C}$

蒸发冷却空调在数据中心的应用

西安工程大学

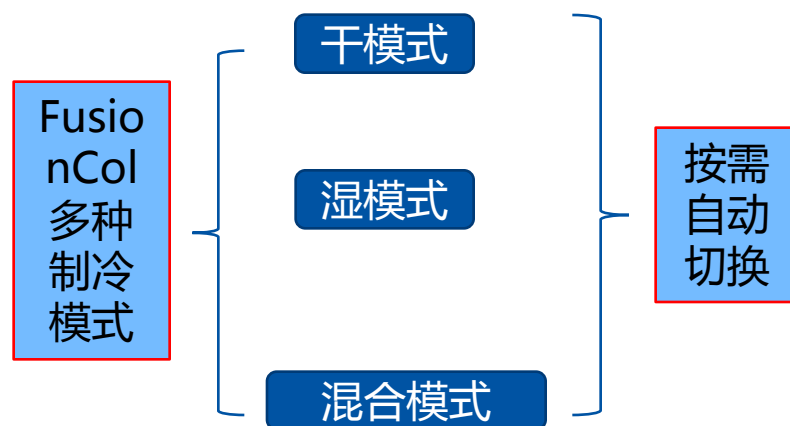


风侧间接蒸发冷却技术应用案例——华为数据中心（临沂大数据中心）**间接蒸发冷却空调（AHU）**



华为临沂大数据中心(Huawei big data center of Linyi)位于山东省临沂市沃尔沃路与合肥路交会处沂蒙云谷内，是辐射鲁南地区和苏北经济圈的云计算大数据中心。

华为临沂大数据中心项目总投资15亿元，占地95亩，总建筑面积13315平方米，设有标准化模块机房6所，可承载服务器机柜1000台、服务器1万余个，**该项目规模一期 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，数据中心年省电费 11.3%。**是华为全球首例采用间接蒸发冷却技术的数据中心。

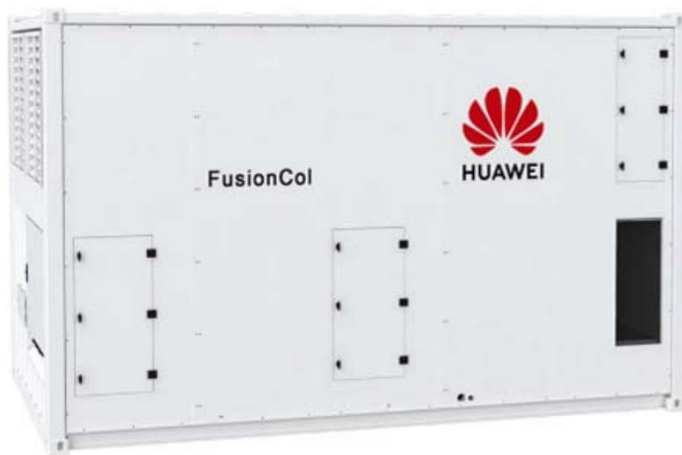


蒸发冷却空调在数据中心的应用

西安工程大学



风侧间接蒸发冷却技术应用案例——华为数据中心（乌兰察布北方云数据中心）



项目背景

项目规模	一期/二期均为8MW,1000+机柜/（三期共24MW）
功率密度	8KW/柜
项目应用	公有云 & 华为私有云

华为方案

由5层共300+个预制模块箱体堆叠，含96个IT设备箱

2~5层应用，每层14套220kw AHU，共计56套

客户价值

15天所有箱体就位，4个月完成全部安装，缩短TTM50%+

年均PUE低至1.15，数据中心年省电费12.2%

乌兰察布市与华为合作建设的乌兰察布云数据中心，致力打造成华北大区云计算产业支撑中心、全国乃至全球云服务业务承接中心、全国云服务业务备份中心。该项目一期 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℃。**每层采用 14 套华为FusionCol8000-E220 间接蒸发冷却产品**，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%+。

数据中心应用该技术产品后每年节省用电 491 万 kW·h，节约用能 2215 tce/a, 减排 4724 吨二氧化碳。

蒸发冷却空调在数据中心的应用

西安工程大学



风侧间接蒸发冷却技术应用案例——国外 阿尔西高层数据中心



Telehouse North Two是欧洲最先进的数据中心,是伦敦新的标志性建筑。

地点：东伦敦

类型：租赁机房

建筑层数：7层

机房面积：1200m²×6

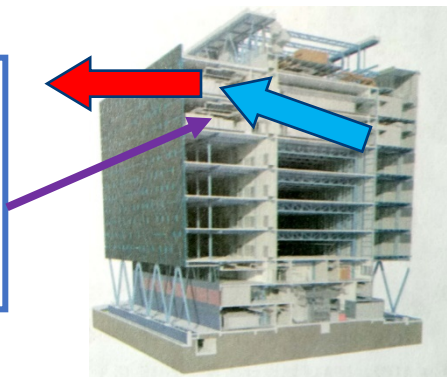
机房送风：**25+2/-7°C**

机房回风：**38°C**

EXCOOL空调数量：**18**

EXCOOL单机制冷量：**300KW**

进风和排风形成90°，避免“短路”



- ◆ 岔流进风
- ◆ 间接自然冷却设备安装在2-7层的建筑西面的构筑台上

国内 腾讯清远某数据中心



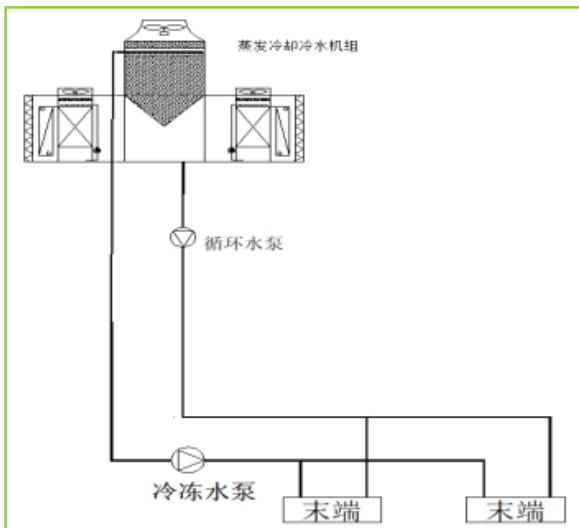
间接蒸发冷空调等T-block技术，实现像**乐高积木**一样快速建设的同时，进一步提升自动化高效运营。

额定制冷量	260kW
制冷量补充形式	DX补充
补充制冷量	230kW
数量	36套

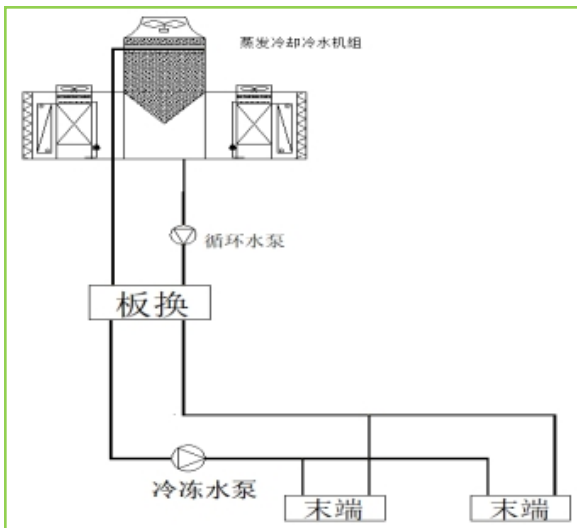
2017年，腾讯数据中心大规模布局环一线城市，河北怀来、江苏仪征、广东清远等地，开展**第四代数据中心技术T-block**的大规模规划、建设，作为腾讯新基建实践的重要技术成果，PUE1.2x，最低可低至1.1x。

水侧蒸发冷却空调系统形式

蒸发冷却冷水机组系统形式：蒸发冷却冷水机组供冷系统中的关键设备是**蒸发冷却冷水机组**，根据原理不同可分为三类：表冷式间接—直接蒸发冷却冷水机组、管式间接—直接蒸发冷却冷水机组、蒸发冷却—机械制冷联合运行冷水机组。目前蒸发冷却冷水机组间接供冷系统相对成熟。

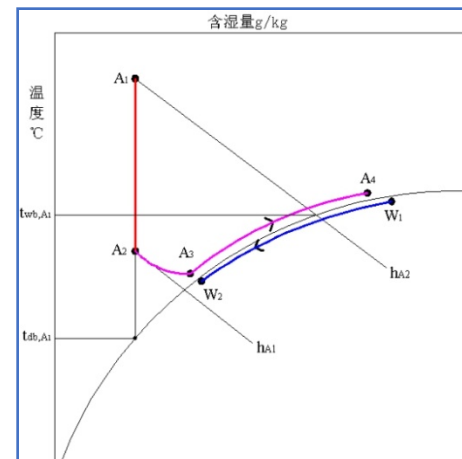
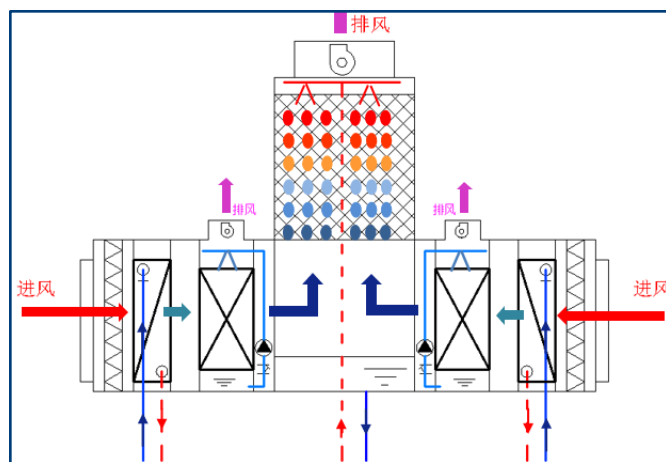


蒸发冷却冷水机组直接供冷系统



蒸发冷却冷水机组间接供冷系统

间接蒸发式冷却冷水机组利用空气的干湿球温度差，输出高温冷水，以得到较低的供冷温度（亚湿球温度）和较大的供冷量。



蒸发冷却段工作原理（两级预冷）

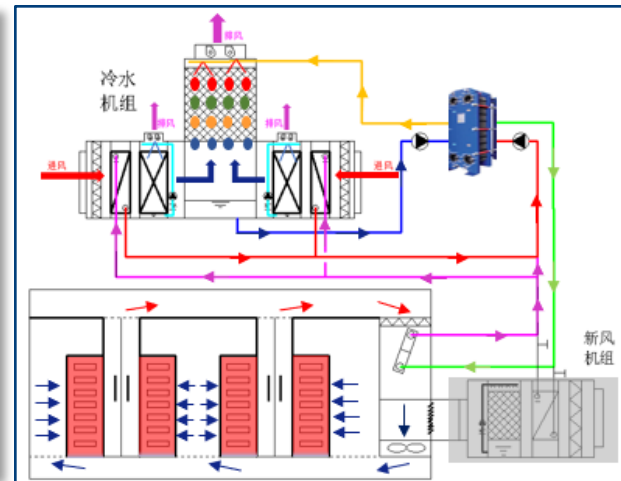
- ① 适用于大型数据中心，在干燥地区使用节能效果较佳；
- ② 夏季极端气温，空调制冷主机无宕机风险（水侧、风侧复合蒸发冷却工况）；
- ③ 冬季极端气温，空调系统无结冰风险（乙二醇自由冷却工况）；
- ④ 空调能效较高，全年自然冷却时间长，运行费用较低；
- ⑤ 系统相对集中，便于维护；
- ⑥ 不影响末端空调形式，可适应不同功耗的机架。

蒸发冷却空调在数据中心的应用

西安工程大学



水侧蒸发冷却技术应用案例——国内 乌鲁木齐开发区某联通数据中心



乌鲁木齐市开发区某核心机房
建设地点：乌鲁木齐市开发区
地上5层建筑，总建筑面积10738.2m²，建筑高度23.3m
单层建筑面积均为2147.64 m²、层高4.8m
最大可布置1500+架机柜
1层主要为高低压配电室、电力电池室及预留大机房
机房2至4层规划区域为品字形
主要为电力室、小机房及大机房
第1期项目
(2楼传输机房、2楼通信机房和4楼IDC机房)
总负荷2767kw

一次管路（介质：水；蓝色供水管、金色回水管）
二次管路（介质：45%浓度乙二醇水溶液；绿色供水管、红色回水管）

全年主导冷源
16台（N+4冗余）
232KW、40m³/h、19KW

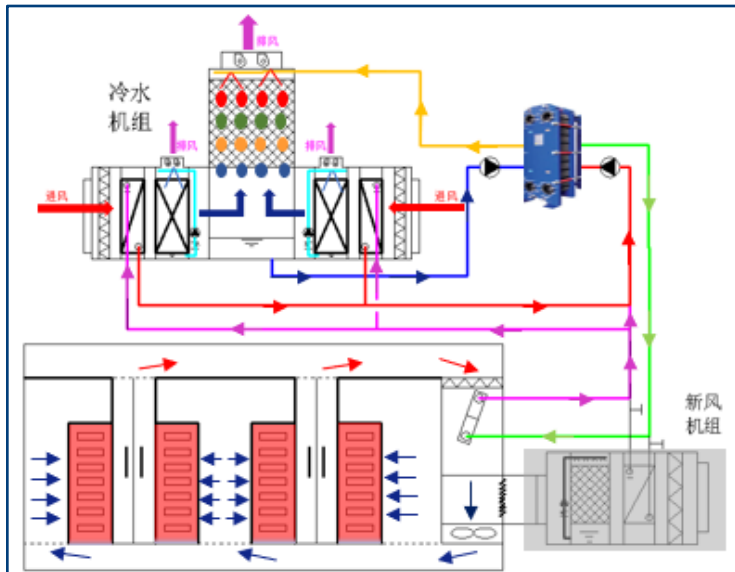
辅助和备份冷源
44台（N+4、N+2冗余）
80KW、16000m³/h

蒸发冷却空调在数据中心的应用



西安工程大学

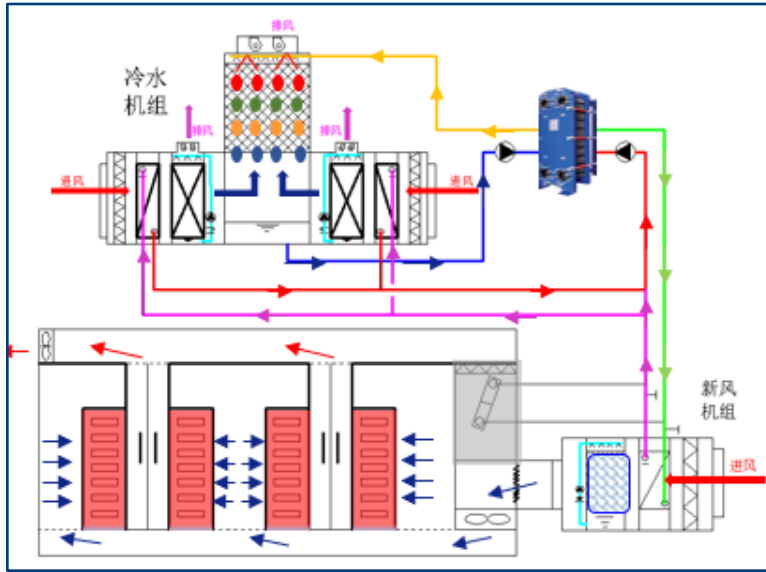
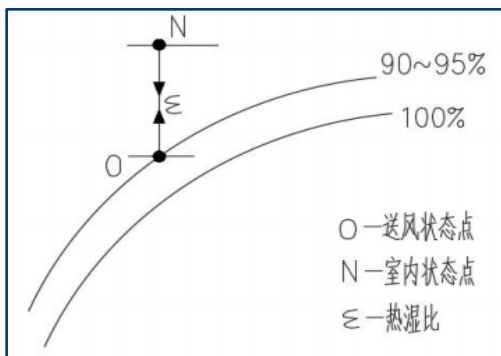
乌鲁木齐开发区某联通数据中心



一次管路（介质：水；蓝色供水管、黄色回水管）
二次管路（介质：45%浓度乙二醇水溶液；绿色供水管、红色回水管）

春、夏、秋季

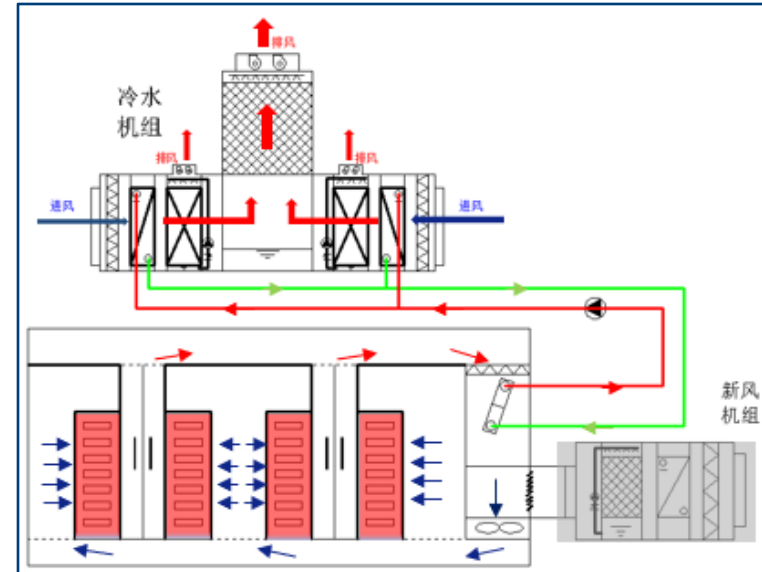
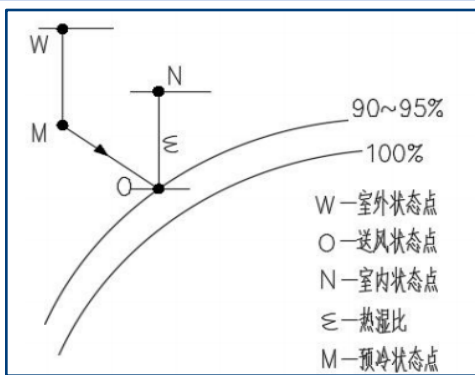
（环境空气湿球温度 $\leq 18^{\circ}\text{C}$ 、干球温度 $> 3^{\circ}\text{C}$ ）



一次管路（介质：水；蓝色供水管、黄色回水管）
二次管路（介质：45%浓度乙二醇水溶液；绿色供水管、红色回水管）

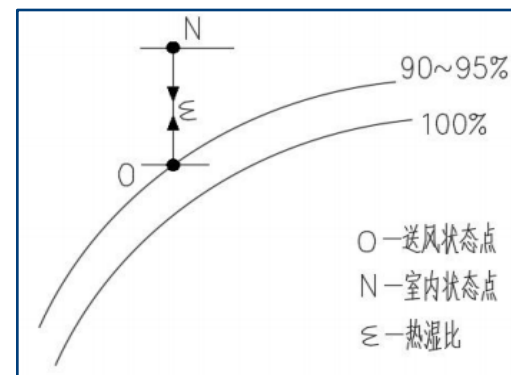
极端工况

（环境空气湿球温度 $> 18^{\circ}\text{C}$ 、干球温度 $> 3^{\circ}\text{C}$ ）



低温季节

（环境空气干球温度 $\leq 3^{\circ}\text{C}$ ）



蒸发冷却空调在数据中心的应用

西安工程大学



中国联通一带一路新疆某数据中心

中国联通一带一路新疆某数据中心空调系统采用空气—水蒸发冷却系统



项目终期规模：

- 1.总冷负荷约：15000kW;
- 2.290kW蒸发冷却冷水机组132台；
- 3.140kW内冷式蒸发冷却空调机组104台；
- 4.相较于传统冷冻水系统全年节省电费790.26万元。



项目一期

全年主导冷源
33台制冷量为 230kW 的
复合乙二醇自然冷却的管
式间接蒸发冷却冷水机组

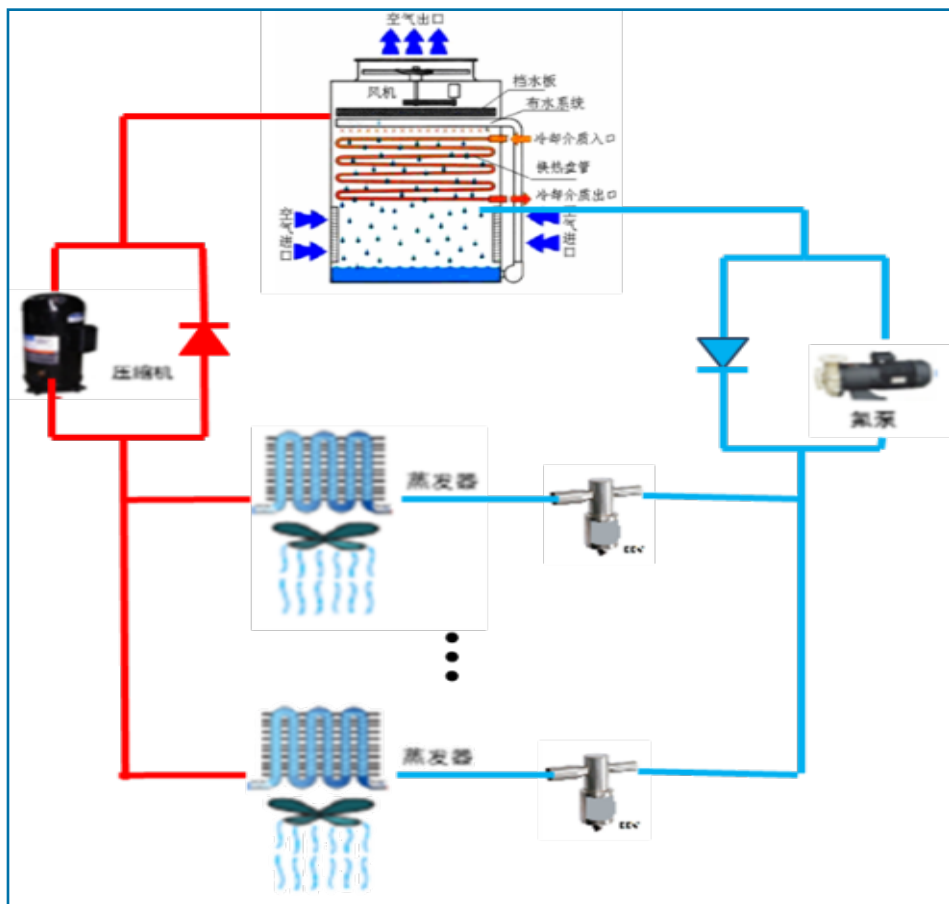
备份冷源
26 台140kW 制冷量的内
冷式蒸发冷却空调机组

26 台制冷量为 140kW 的机房
专用高温冷冻水空调机组为末
端的集中式蒸发冷却空调系统

全年可实现100%自然冷却
，进一步提高了系统的节能型
、安全性和可维护性，年均设
计制冷系数为0.10。

氟侧蒸发冷却空调系统形式

用蒸发冷却技术给冷水机组的冷凝器散热，制取的冷水通过空调区末端装置来承担空调区热负荷和湿负荷的空调系统。



氟侧蒸发冷却空调系统特点

- ① 蒸发冷却系统、压缩制冷系统联合运行；
- ② 冷凝器运行在相对较低的冷凝压力下，从而降低压缩机运行功率，提高压缩机制冷效率；
- ③ 自然冷源利用优先，压缩制冷进行冷量补充或冷量备份；
- ④ 自然冷源利用时间长，能效比高；
- ⑤ 模块化、定制化建设方案，实现不同空调末端超级多联；
- ⑥ 系统简单，维护方便；

蒸发冷凝式散热空调系统



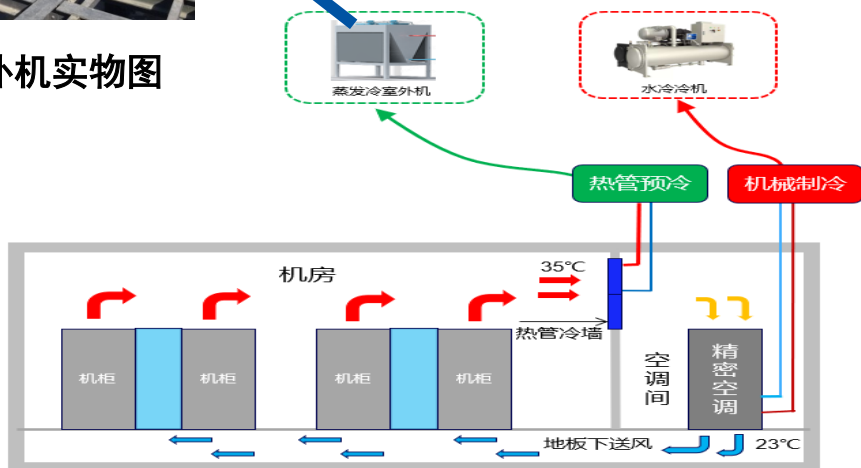
填料型蒸发式冷凝器

蒸发冷却技术的发展

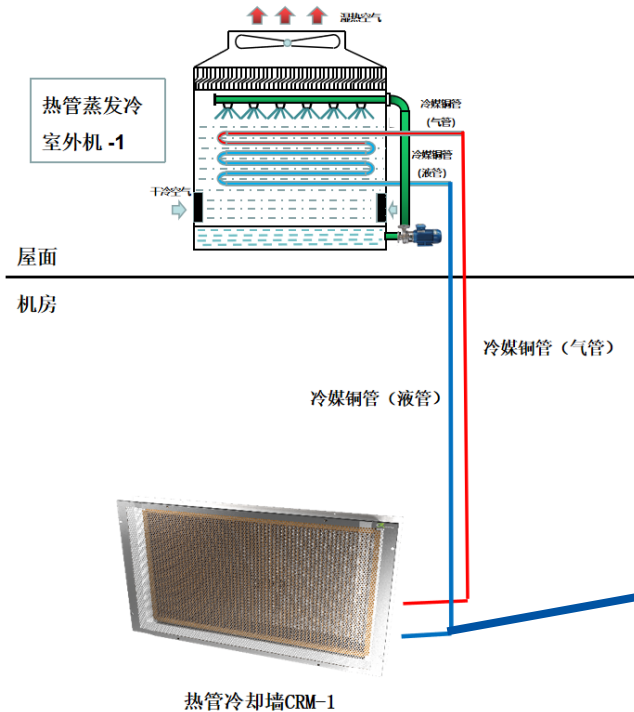
西安工程大学



蒸发冷室外机实物图



蒸发式热管二级预冷系统末端风系统示意图



蒸发式热管二级预冷系统图



热管冷墙实物图

◆ 完全自然冷模式：湿球温度 $\leq 18^{\circ}\text{C}$ （可调）

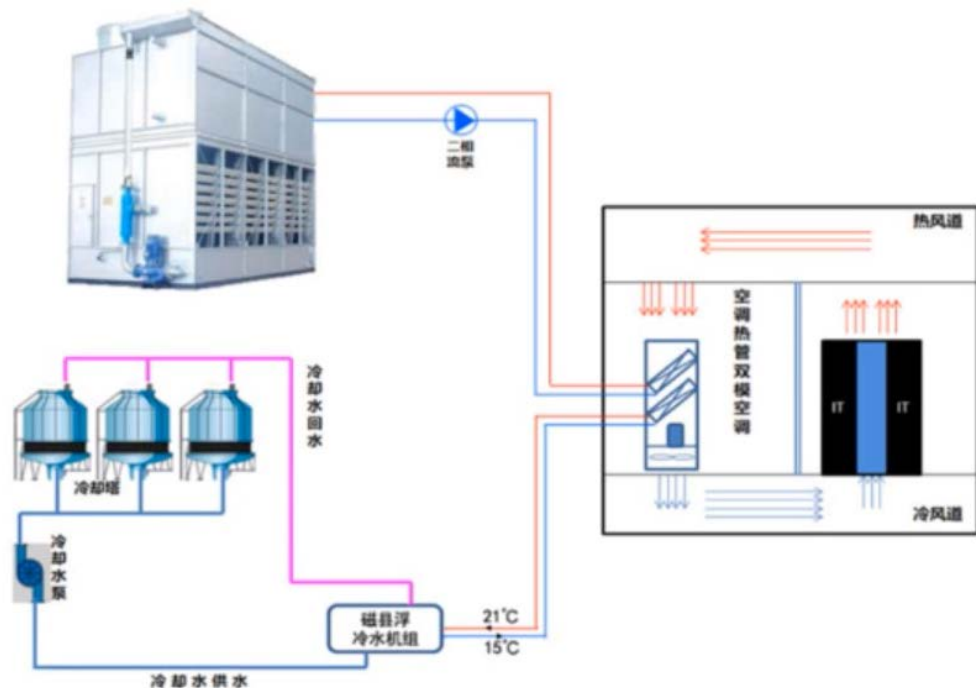
机房内的冷负荷完全由热管冷墙（蒸发器）所提供，精密空调仅相应开启风机，冷冻水阀可相应关闭；

◆ 部分自然冷模式： 18°C （可调） $<$ 湿球温度 $\leq 31^{\circ}\text{C}$ （可调）

热管节能系统与原机械制冷系统联合运行。机柜回风经过冷墙后，先被预冷，再经过水冷精密空调继续降温，达到相应的送风温湿度要求；

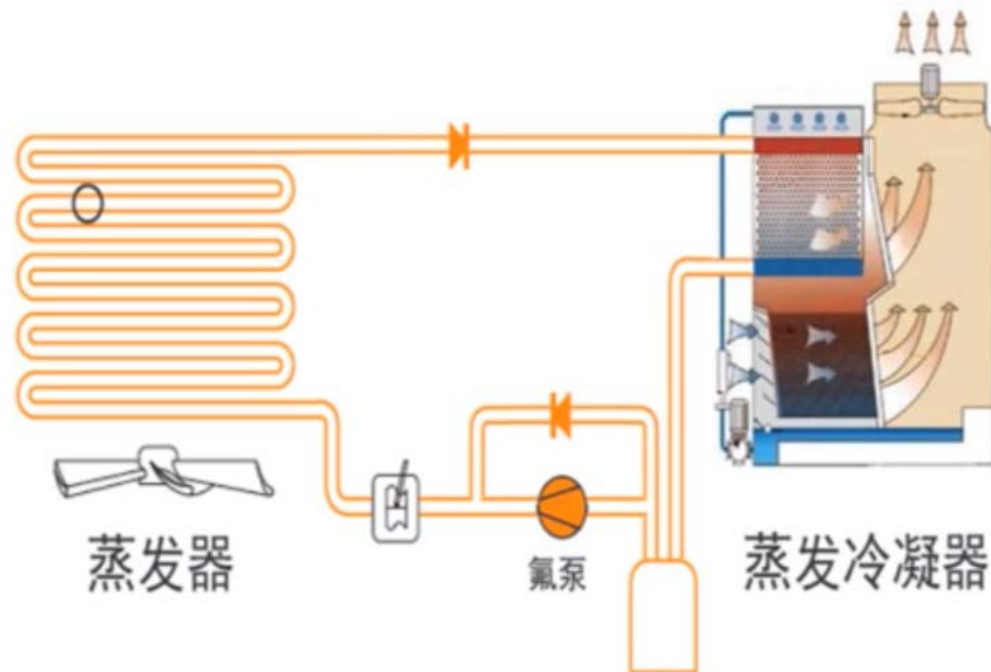
◆ 完全机械冷模式： 31°C （可调） $<$ 湿球温度

热管节能系统停止工作，机房内冷负荷完全由原机械制冷提供。



间接蒸发冷智能双循环热管空调系统

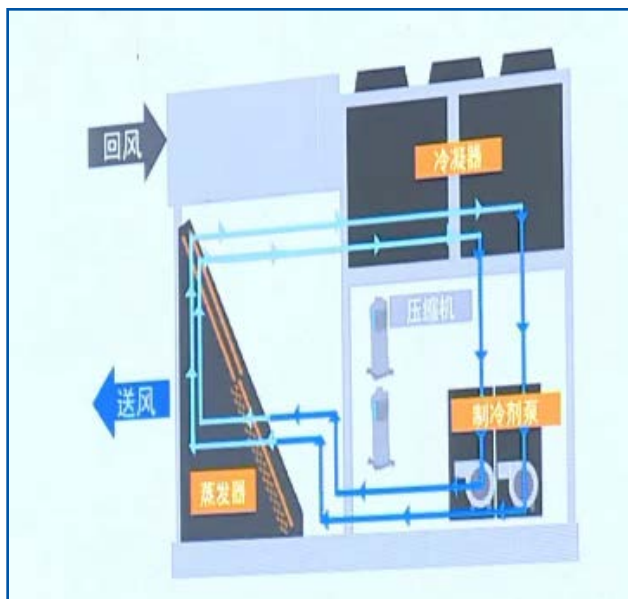
- ☆ 高效冷冻水系统热备运行，轻松实现应急预冷；
- ☆ 间接蒸发自然冷动力系统，湿球温度低于14度时可实现完全自然冷却；
- ☆ 双盘管机密空调末端；双冷源无缝切换。



冷冻水+间接蒸发冷动力热管智能双系统

- ☆ 应用范围广、可靠性高、根据环境温度自动切换；
- ☆ 大幅增加自然冷却系统全年运行时间；
- ☆ 室外湿球温度低于25°C进入预冷模式；
- ☆ 室外湿球温度低于14°C满足100%自然冷却。

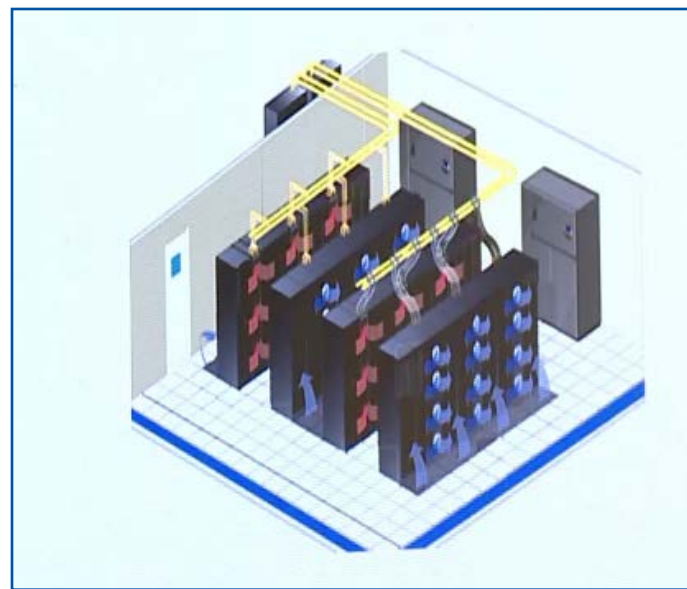
超低PUE方案—智能氟泵热管制冷系统（蒸发冷凝技术）



氟泵热管模型

- 动力热管模式
- 混合制冷模式
- 高效压缩模式

氟泵热管场景



- 超高系统能效
- 灵活的颗粒度
- 建筑匹配性好
- 运维经验成熟

性能提升：高能效设备基础上，**蒸发式冷凝**、**AI智慧群控**、**全变频**

深圳pPUE 0.131

架构优化：更大更高效压缩机，**散热能力更强室外机**、采用多联机

工程简单、运维方便

气流组织：地板送风、吊顶送风、风墙送风、机房、列间、一体机

无制冷站、机柜+15%

超低PUE方案—智能氟泵热管制冷系统运行模式分析



蒸发冷凝+全时变频机械制冷

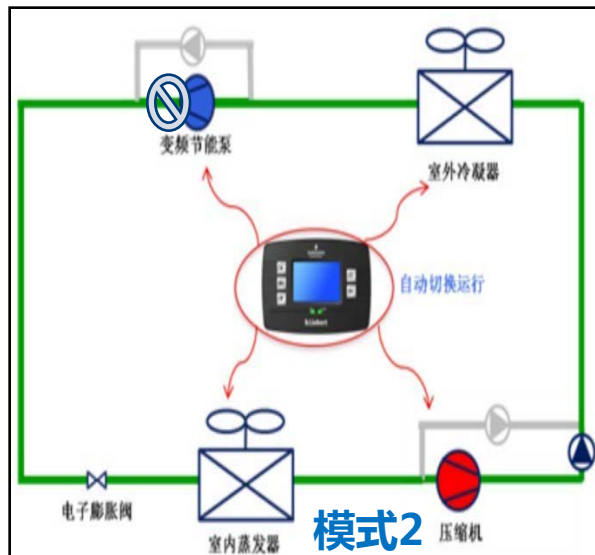
温湿度：进风温度>20℃

干湿球温差 $>5^{\circ}\text{C}$

运行时间：4708h

运行占比：53.74%

能效区间：6.24-7.25



全时变频机械制冷

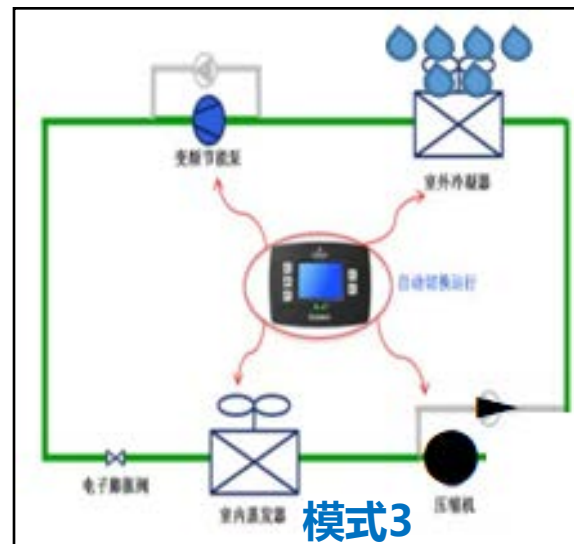
温湿度：进风温度>20℃

干湿球温差 $< 5^{\circ}\text{C}$

运行时间：1786h

运行占比：20.39%

能效区间：7.35-7.68



蒸发冷凝+氟泵动力热管

温湿度：进风温度10~20℃

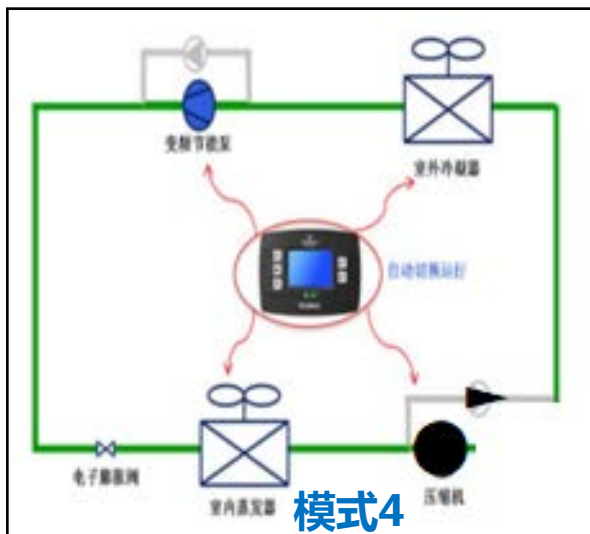
干湿球温差 $>5^{\circ}\text{C}$

运行时间：232h

运行占比：2.65%

能效区间：8.1-9.53

超低PUE方案—智能氟泵热管制冷系统运行模式分析



氟泵动力热管

温湿度：进风温度10~20℃

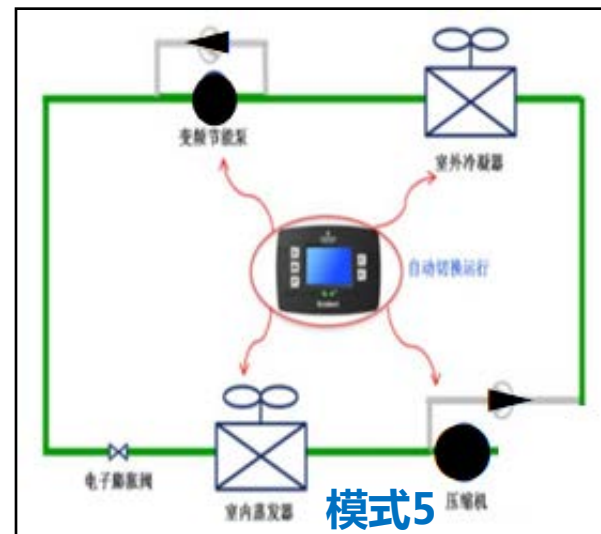
干湿球温差 < 5℃

运行时间：2011h

运行占比：22.96%

能效区间：10.93-13.98

全年机组蒸发冷凝工
作时长：56.37%
深圳pPUE 0.131



低速氟泵动力热管

温湿度：进风温度 < 10℃

运行时间：23h

运行占比：0.26%

能效区间：36.95-37.69

蒸发冷却空调在数据中心的应用

西安工程大学



氟侧蒸发冷却技术应用案例——国内 新疆某软件园数据中心



- ◆建设单位：新疆软件园发展有限公司；
- ◆建设地点：乌鲁木齐经济技术开发区十二师合 作区；
- ◆总建筑面积：8453m²，层高5.4m，建筑高度28.20m；
- ◆空调负荷：3797kw；
- ◆建设等级：国家A级、平均单机柜功耗4kW；
- ◆节能要求：机房全年平均PUE值不超过1.4；
- ◆总机架数：864个；
- ◆建筑条件：旧厂房改造；
- ◆工程建设期：10个月。
- ◆工程投资：15000万元

1、系统简介：

- ①系统组成：主要由冷水主机、冷冻水泵、冷冻水型恒温恒湿空调、阀门及水管等。
- ②系统原理：在“自然冷却风冷冷水机组”基础上增加了“喷淋水系统”，利用水的蒸发降低主机能耗。
- ③系统特点：单台制冷量约：500~1800kW。适用于北方干燥地区中、小型数据中心。
- ④自然冷却：冬季完全自然冷却的时间4292h（179天），占全年的49%。

2、系统配置：

风冷蒸发冷水机组制冷量1000kW（4主1备）。

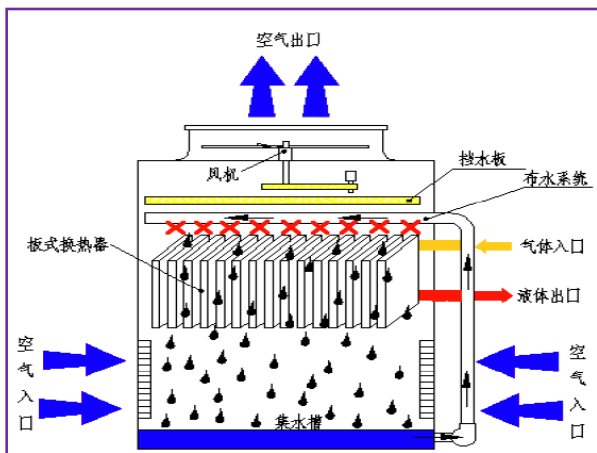
3、特点：

- ①系统耗水量一般，日耗水量为60吨左右。
- ②夏季极端气温，空调制冷主机无宕机风险（湿工况）。
- ③空调能效较高，运行费用较低。

4、该技术针对乌市的全年运行工况：

序号	模式	室外环境	工作模式	全年运行时间（占比）
1	冬季运行模式（自然冷却）	干球温度≤-15℃	无需开启压缩机，不耗水	500h（6%）
2	夏季运行模式（机械制冷）	-15℃ < 干球温度 < 5℃	无需开启压缩机，需耗水	3792h（43%）
2	夏季运行模式（机械制冷）	干球温度 > 5℃	开启全部压缩机，需耗水	4468h（51%）

主机工作原理图





氟侧蒸发冷却技术应用案例——国内 新疆某软件园数据中心

空调方案的对比

一、常规冷源方案：常规冷源空调形式如下：

- 方案一：水冷冷冻水空调系统（冷却塔布置于屋面，冷水机组布置于首层）；
- 方案二：风冷冷媒型空调系统（空调室外机布置在各层平台或屋面）；
- 方案三：风冷冷冻水空调系统（风冷冷水机组布置于屋面）；

二、新型冷源方案：考虑到业主有较强的节能需求以及后期维护便利性，增加如下新型制冷形式方案比较：

- 方案四：蒸发冷冷冻水空调系统（蒸发冷冷水机组布置于屋面）。

序号	场景	方案一	方案二	方案三	方案四
		水冷冷冻水空调系统	风冷冷媒型空调机组	风冷冷冻水空调系统	蒸发冷冷冻水空调系统
1	系统设备描述	水冷冷冻水机组、冷却水泵、冷冻水泵、冷却塔、冷冻水型恒温恒湿空调、阀门及管道系统等	风冷室外机、室内机、冷媒铜管等	风冷冷冻水机组、冷冻水泵、冷冻水型恒温恒湿空调、阀门及管道系统等	蒸发冷冻水机组、冷冻水泵、冷冻水型恒温恒湿空调、阀门及管道系统等
2	年均PUE	1.35~1.5	1.4~1.6	1.4~1.6	1.25~1.40
3	年耗电量	4600万kW	4750万kW	4800万kW	4000万kW
4	年耗水量	约40000吨	约400吨	约600吨	约18000吨
5	年运行费用	较低 2010万元	一般 2138万元	较高 2161万元	最低 1810万元
6	空调初投资	较低 1420万元	较高 2100万元	较高 2110万元	较高 2120万元
7	极端天气下状况	夏季能满足当地制冷要求，冬季冷却塔有结冰风险	夏季极端气温，空调制冷能力衰减明显，甚至宕机	夏季极端气温，空调制冷能力衰减明显，甚至宕机	适应性较强，夏季湿工况，冬季基本干工况
8	管理维护	不便利	不便利	较便利	便利
9	应用场景	适用于南方大、中型数据中心	适用于小型数据中心	适用于北方中小型、缺水地区数据中心	适用于中小型、节能需求强的数据中心

结论：经过综合对比分析，对于中小型数据中心，从节能性、可维护性、创新性等考虑，方案四最佳，故本次方案选用蒸发冷冷冻水空调系统，投资回收期约为3.5年。

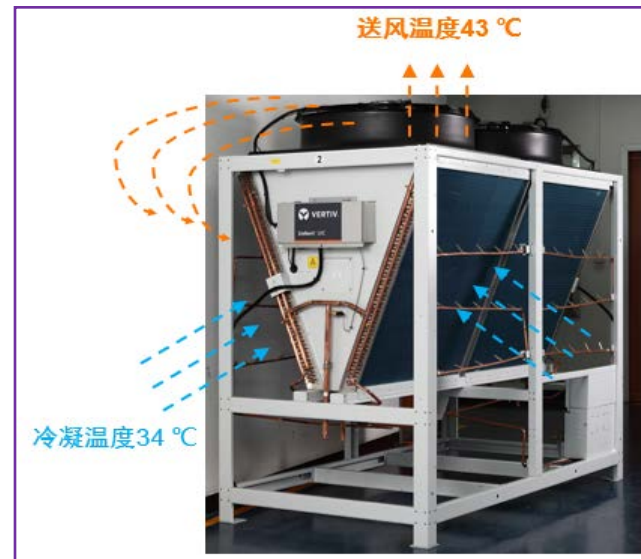
蒸发冷却空调在数据中心的应用

氟侧蒸发冷却技术应用案例——国内 中国联通天津空港数据中心



中国联通天津空港数据中心园区共有3栋建筑物，1#和3#分别为数据中心，2#为办公楼。1#楼地上5层，一共109个微模块，机柜数量约2750个，分别为8kW/Rack和4kW/Rack，用户为某互联网企业。**3#数据中心的制冷方案采用了全变频风冷氟泵直膨的方案**，并且冷凝器采用集中机组，一共10台集中机组布置在屋面，每台集中机组供冷能力为720 kW，分为10+2台独立的小机组，整体供冷能力达到7200 kW，即主用6000 kW+备用1200 kW，可根据IT负荷以及气候情况灵活调整。空调设备的不间断供冷采用UPS作为备用电源。**机组换热器周边设置了水喷雾的喷头，可以在夏季炎热季节进行喷雾降温，提高效率。**集中冷凝器相对传统分散冷凝器，其设备占地面积大大节约，从屋面布置能看出，10台设备摆放仅仅占据屋面一半面积，而且设备间距很大，避免了热岛效应。

西安工程大学



喷淋使冷凝温度降低6度，可有效避免送回风风温度降低了短路造成的热岛效应，同时提高机组能效

IT负载率	IT功率 kW	基础设施系统功耗 kW	PUE
25%	1012	276	1.272
50%	2001	511	1.255
75%	3023	808	1.267
100%	4013	1039	1.258

备注：假负载测试当天2019年8月13日，室外温度22℃，湿度80%-90%

(水侧) 液冷技术与蒸发冷却冷水机组结合的冷却系统形式

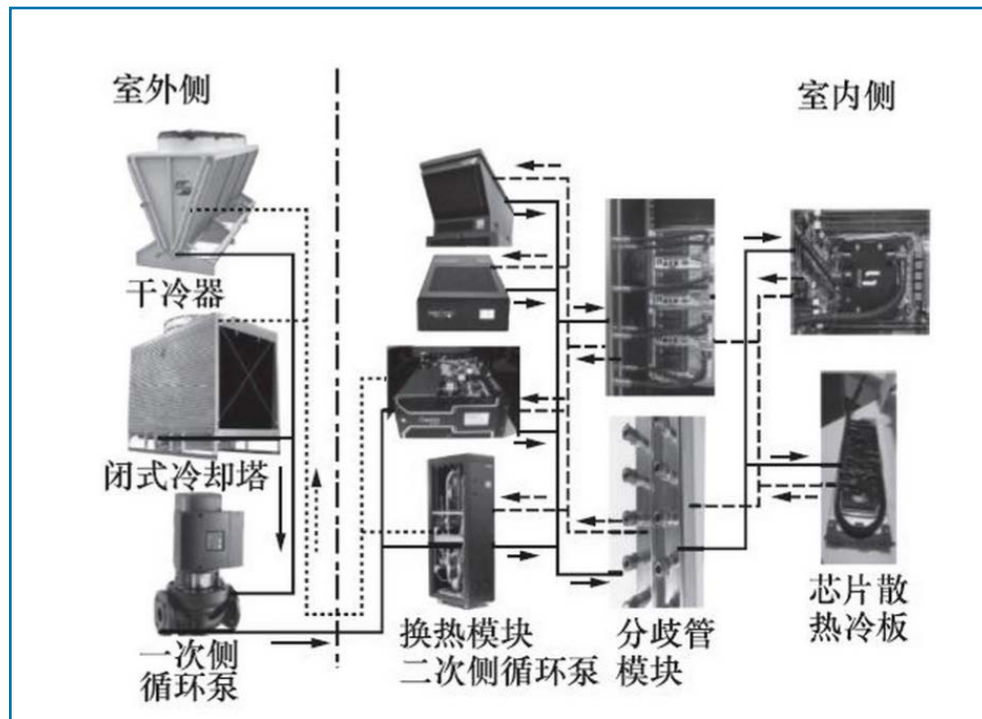
系统可分为两部分:室内侧循环和室外侧循环

□ 使用中高温水作为冷媒, **实现全年自然冷却, 空调系统能耗降低 80%**

□ 风冷部分 **风扇风机功耗可降低 70%**

□ 液冷部分年均 $PUE < 1.1$, 加上风冷部分, 平均 PUE 可优化至 1.2

□ 与传统风冷相比, **年平均节省电费 40-50%**



□ 针对主要发热源CPU和内存, **部件级精确制冷**

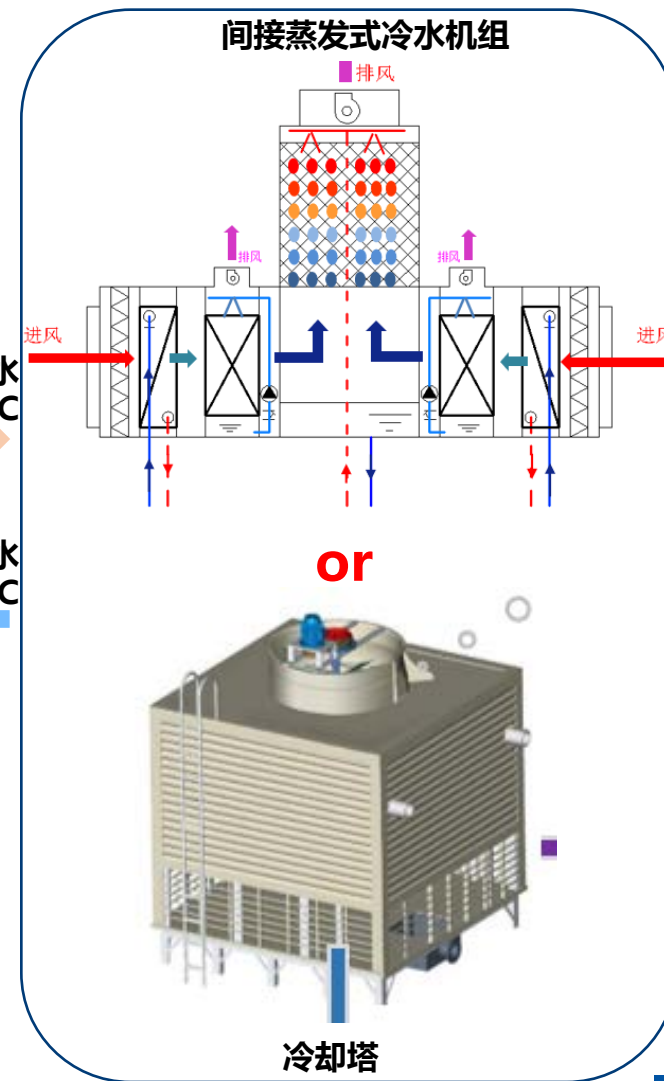
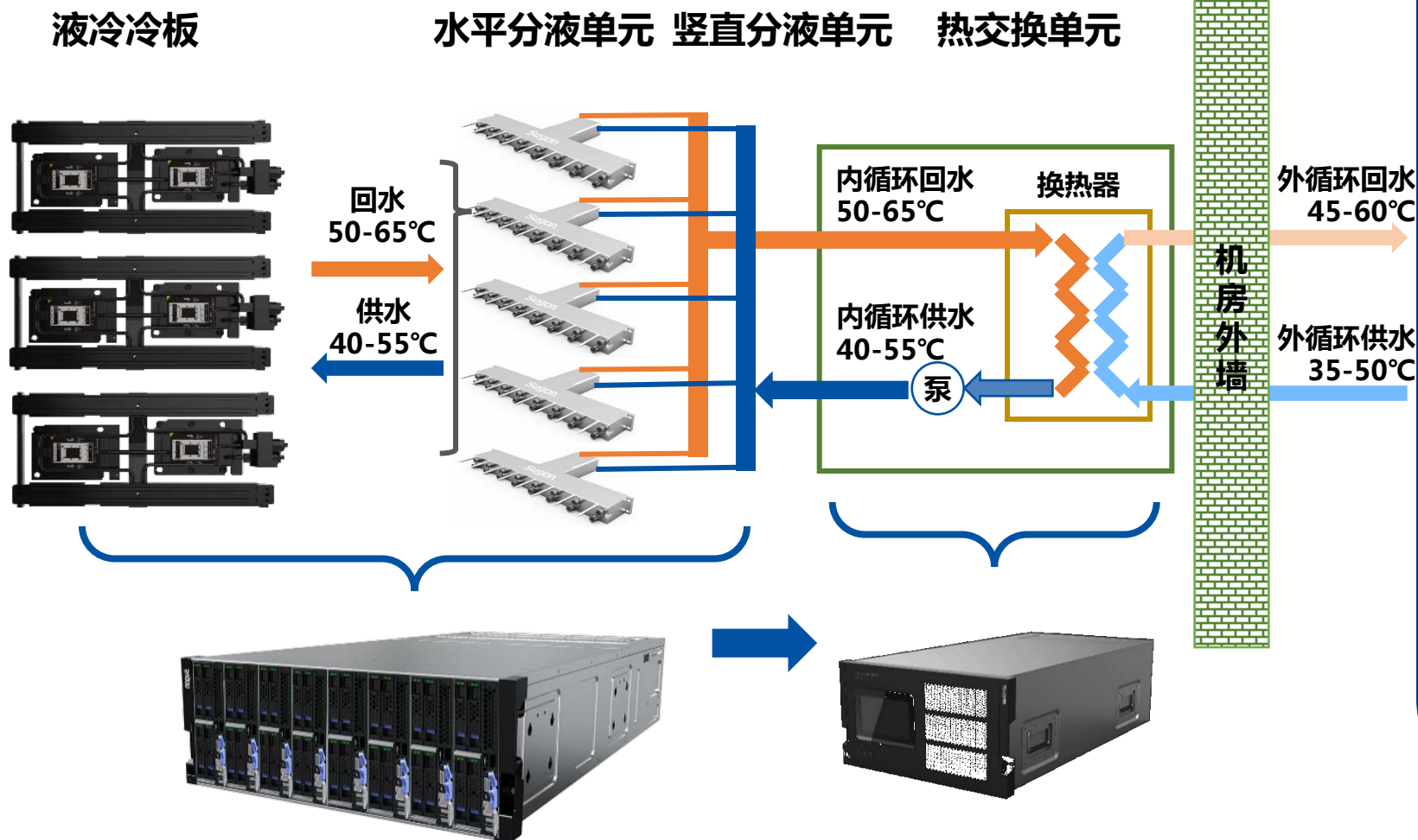
□ 采用液体冷媒, 90%+热量通过液冷带走

□ 液体的比热容大、导热系数高, 传热效率是空气的 1000-3000倍

蒸发冷却空调在数据中心的应用

(水侧) 液冷技术与蒸发冷却冷水机组结合的冷却系统形式

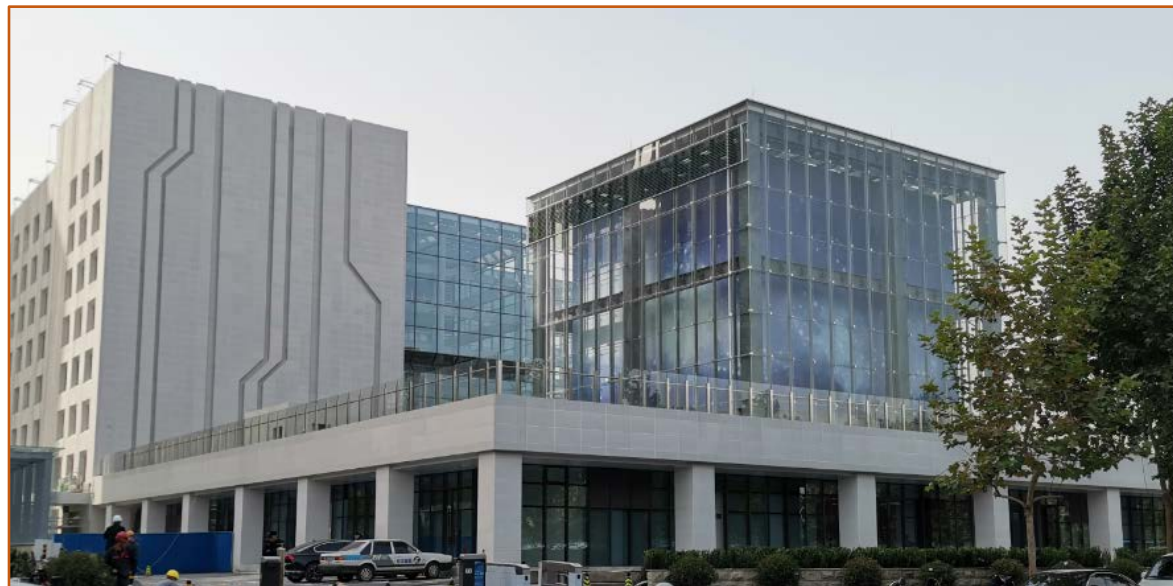
西安工程大学



液冷技术与冷却塔结合的应用案例



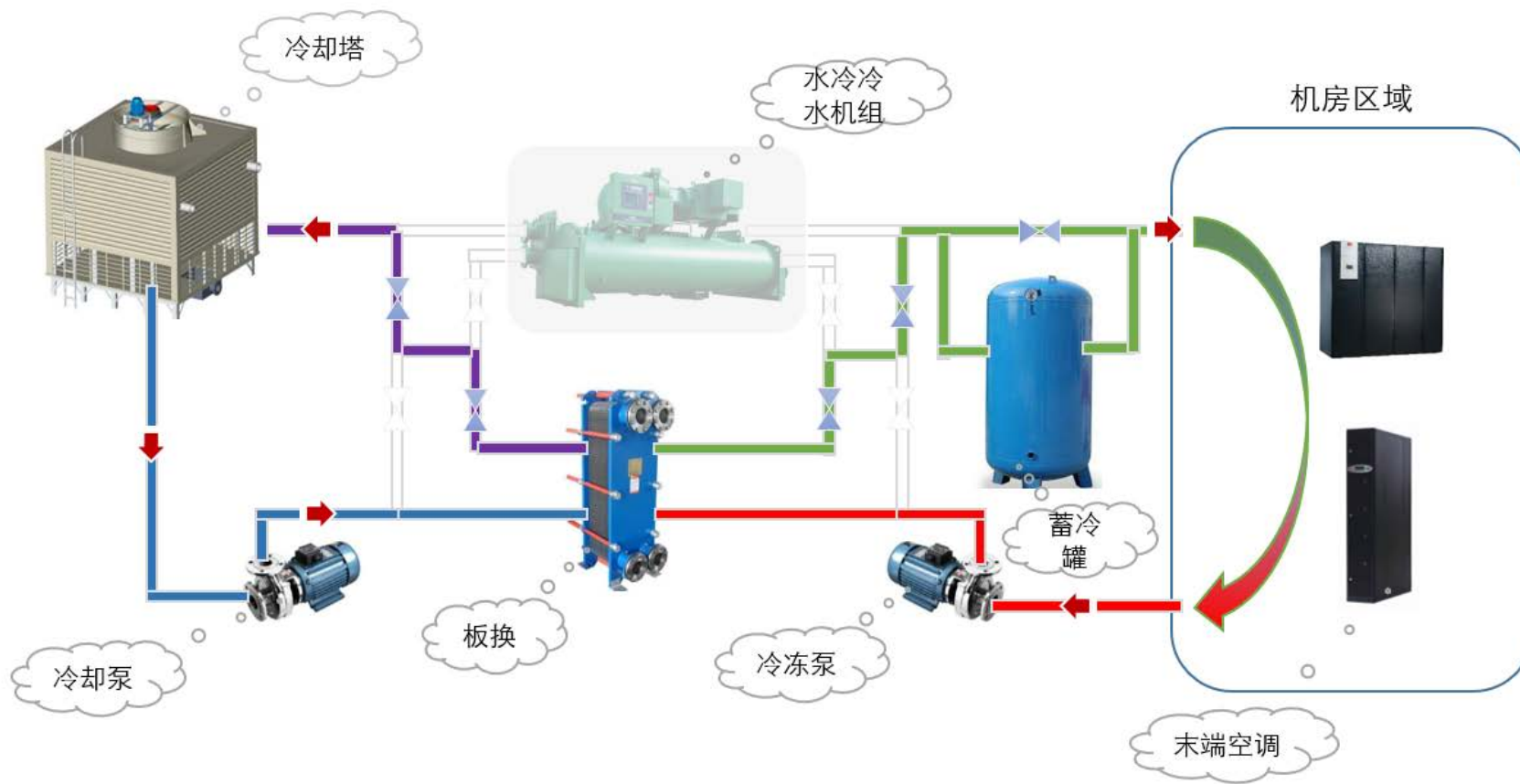
项目地点：河南省郑州大学
竣工时间：2020年10月
冷源：水冷冷机+液冷冷却塔
PUE指标：1.15



国家超级计算郑州中心是全国第7家批复建设的国家超级计算中心，采用浸没式液冷服务器，单机柜最大功率可达168kW，通过冷却塔将液冷的热量散发出去，从而实现节能的目的。

液冷技术与冷却塔结合的应用案例

主要节能措施——开式冷却塔供冷（自然冷却）



液冷服务器80%的负荷由冷却水进行冷却，冷却水由开式冷却塔提供。冷却塔供冷全年可利用时间近5个月，节能率达35%以上，全年平均PUE可达1.3以下。

目 录

01

蒸发冷却技术的发展

02

蒸发冷却理论与相关设备

03

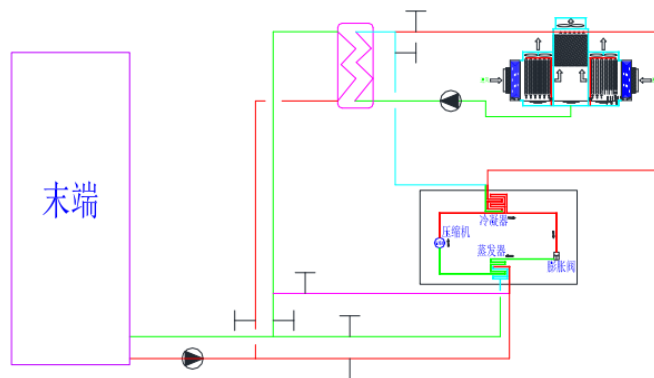
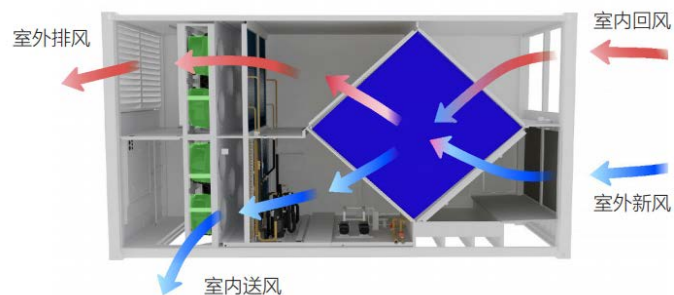
蒸发冷却空调在数据中心的应用

04

发展趋势及展望

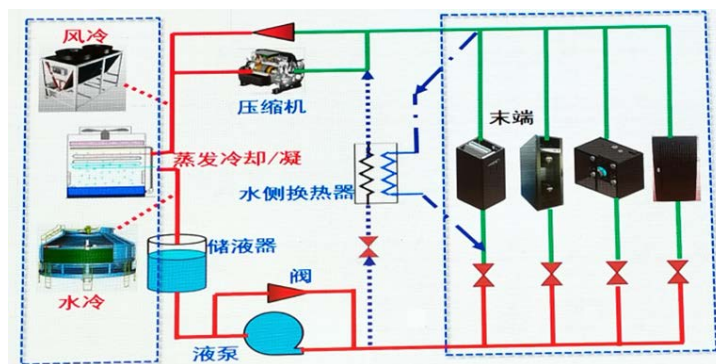
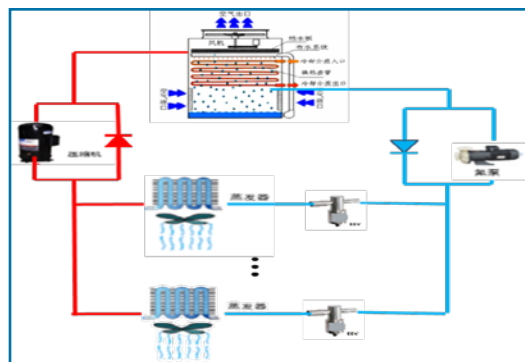
发展趋势

技术集成化



蒸发冷却技术

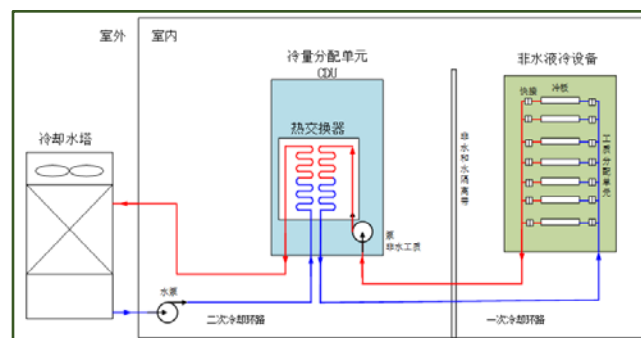
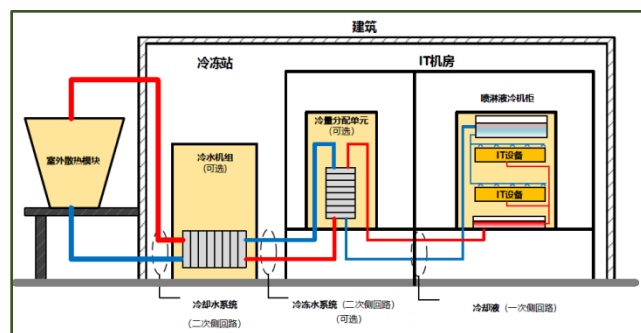
机械制冷技术



热管技术

氟泵技术

蒸发冷凝技术



液冷技术

蒸发冷却技术

数据中心 制冷 空调系统

发展趋势

西安工程大学



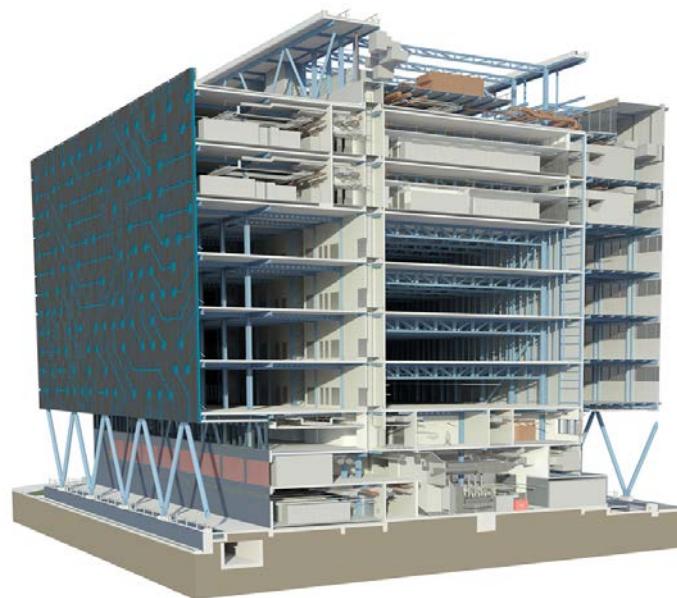
设备一体化



硅立方浸没相变液冷+蒸发冷凝模块计算机



间接蒸发冷却空调机组 (AHU)



间接蒸发冷却冷水机组

发展趋势

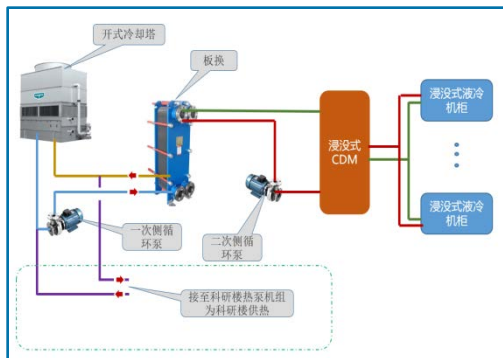
西安工程大学



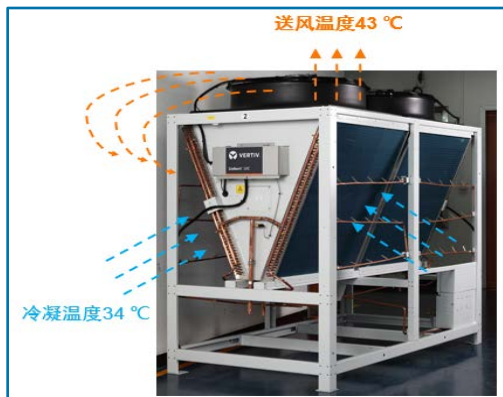
形式多样化



搭积木式间接蒸发冷AHU



高密度数据中心液冷+蒸发冷却散热



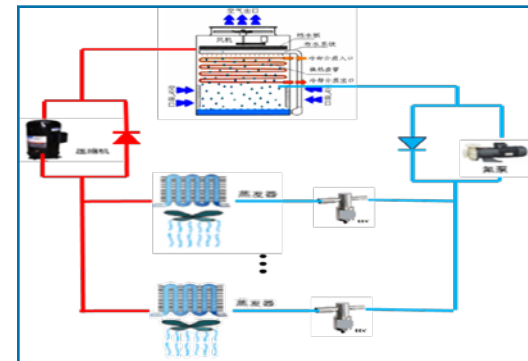
集中蒸发冷凝风冷散热系统

气象条件

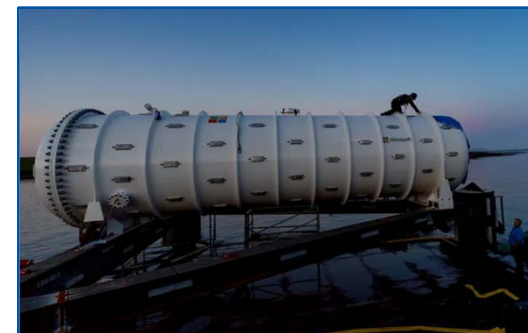
能源供给及政策

建筑风格及条件

智能高效热管+蒸发冷凝散热



海水（湖水）潜冷自然冷却数据中心



山洞融合自然冷却数据中心





1

注重优化蒸发冷却空调设备的结构尺寸，采用模块化高度集成的设计理念，在保证制冷量的同时减小机组的体积，实现**蒸发冷却空调技术的预制化、产品化**，同时将蒸发冷却技术与其他制冷技术、可再生能源技术更好结合进而更好的地迎合数据中心高速发展、快速建设的需求。

2

加强数据中心相关蒸发冷却空调技术标准的制定，既要提出对不同形式的蒸发冷却空调产品高质量要求，又要在系统设计和运行维护方面进行引导，**实现蒸发冷却空调系统高效的运行。**

3

应当因地制宜的在“一带一路”沿线国家做出适用性分析，将蒸发冷却空调产品与系统方案推向世界，助力构建绿色数据中心，**加快“新基建”数据中心的建设步伐，为实现“碳中和”目标助力。**

结语

西安工程大学



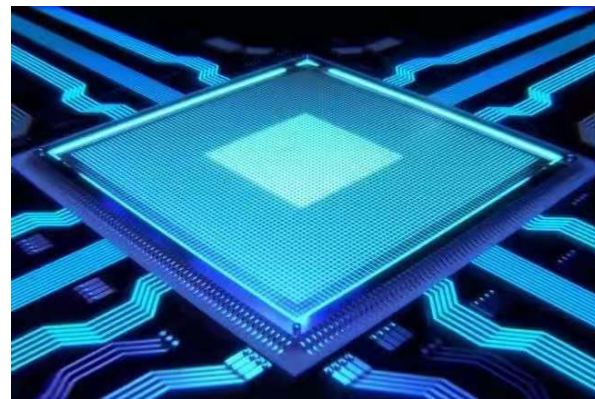
“今后全球通讯行业乃至整个电子信息产业发展的瓶颈不是大规模集成技术，而是散热技术，它不仅影响到电子信息技术，而且将影响整个世界的经济”。

——美国英特尔（Intel）公司总裁帕特 ● 盖尔辛格（Gelsinger）



尽管蒸发冷却技术不适合于全球所有国家，但遗憾的是，在那些本来可以适用蒸发冷却的地方却没有被推广使用。对那些可使用蒸发冷却的潜在用户、国家和全球环境而言，这是很不幸的。

——James Bond



在节能和碳减排已经成为影响人类未来的关键之一的今天，蒸发冷却空调应该成为全球40%的地区空调的主导方式，是这些地区空调的未来。

——中国工程院院士 江亿



西安工程大学 · 蒸发冷却团队



谢谢！

