



蒸发冷却技术在西部地区应用中 存在的问题及改进措施

汇报人

西安工程大学 黄翔

日期

2021年4月7日

地点

上海





应用现状

存在的不足

改进的措施及发展方向

结语





应用现状

应用现状

蒸发冷却技术作为一项节能、低碳、经济、健康的技术，在全国各地都有其适用的场所，尤其是在我国西部地区将会是一项节能利器。

中国西部地区示意图

西部地区12省区市
占全国面积的 71.4%
人口占全国人口的 28.6%



胡焕庸线



应用案例

民用建筑的应用

乌鲁木齐某医院



新疆喀什市某小学



陕西宝鸡某游泳馆



乌鲁木齐某体育管



乌鲁木齐某小区



乌鲁木齐某大厦

应用案例

工业厂房的应用

陕西省榆林市某化工集团



陕西西安某汽车生产工业车间



陕西省咸阳市某锻造车间



陕西杨凌某工业车间



陕西兴平市某食品厂



太原某纺织厂车间

应用案例

交通领域的应用

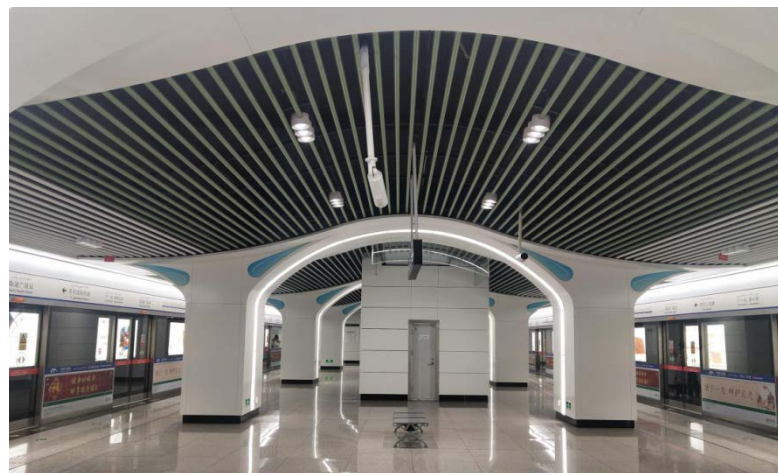
甘肃敦煌机场某航站楼



新疆克拉玛依某机场某航站楼



兰州市城市轨道交通某线



乌鲁木齐地铁某线

疆乌鲁木齐市某机房



内蒙古某数据中心



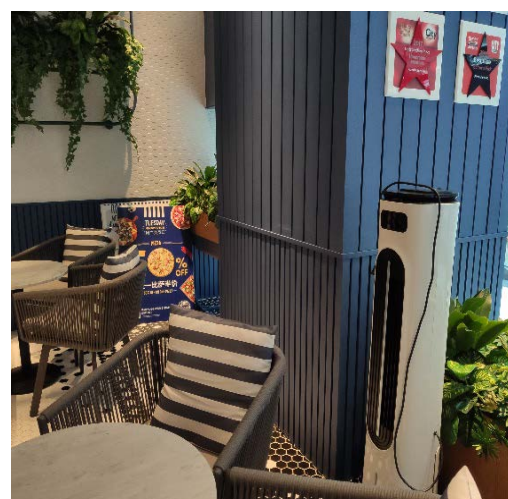
新疆某数据中心



西安某通信机房

应用案例

单元式蒸发冷却设备





目前存在的不足

气象条件

水质问题

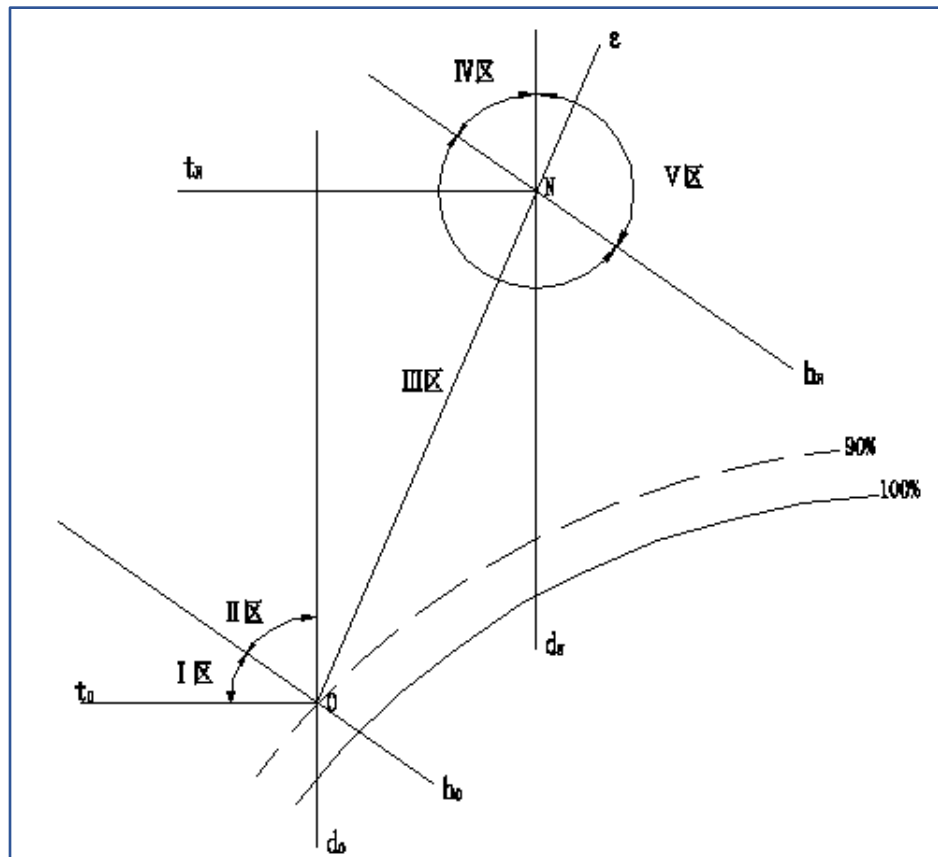
不足

冬季防冻

空气过滤

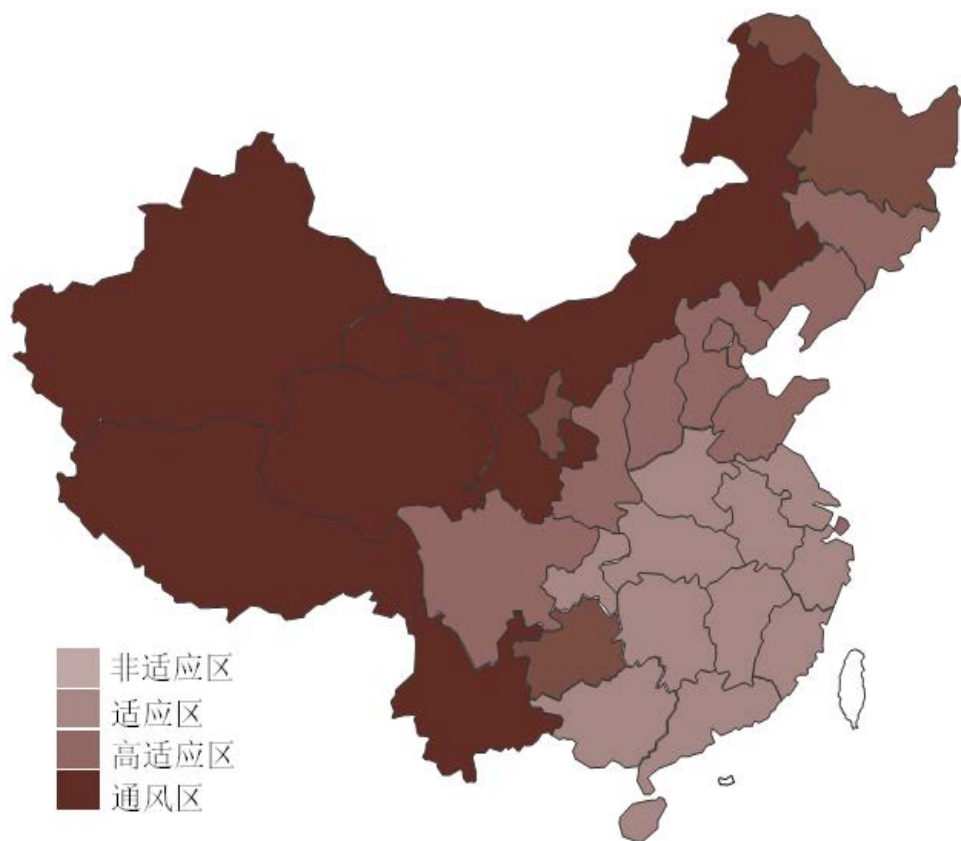


气候条件



气象分区	判定条件	运行模式
I	$h_w < h_o$ $d_w < d_o$	仅使用 直接蒸发冷却空调 就可满足室内舒适性要求，宜取100%新风
II	$h_w > h_o$ $d_w \leq d_o$	使用 间接蒸发冷却+直接蒸发冷却空调 即可满足室内舒适性要求的区域，宜取100%新风
III	$h_w > h_o$ $d_w \geq d_o$	室外状态点在ε线上方时，与气象IV区的情况类似；室外状态点位于ε线下方时室外空气的相对湿度比空调房间要求的大，因此不能单独使用蒸发冷却空调技术系统
IV	$h_w > h_N$ $d_w \leq d_N$	采用 一级或多级蒸发冷却空调 可以将空气冷却到ε线上，且送风温差 不小于5°C 时，则可以使用蒸发冷却空调
V	$h_w > h_N$ $d_w > d_N$	此时室外空气含湿量比室内设计空气状态的含湿量大，单独使用蒸发冷却空调技术不能达到制冷要求， 可以与机械制冷或除湿等技术联合运行

气候条件



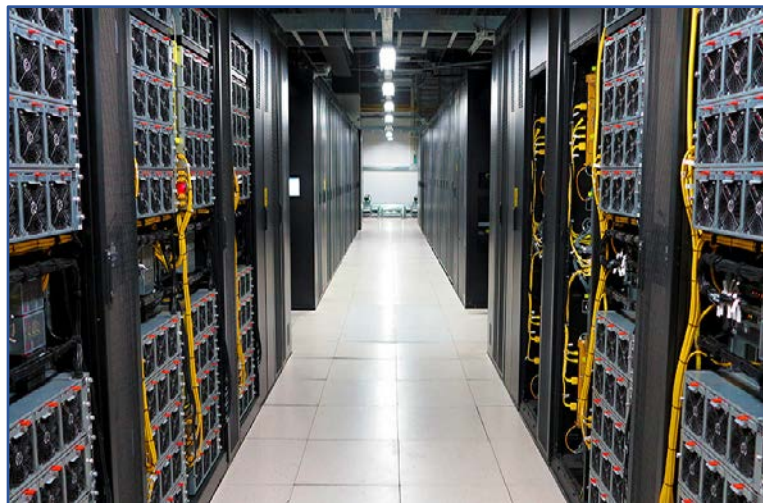
不能把蒸发冷却技术在西北干燥地区的应用模式盲目的复制到中等湿度以及高湿度地区。

不能单凭某些地区的室外气象条件就完全否定蒸发冷却技术在该类地区应用的可能性。



应用与建筑物的功能和特点密切相关

适合场所



数据中心、通信机房（基站）、高温生产车间



全年供冷



适合场所



数据中心、通信机房（基站）、高温生产车间



全年供冷



适合场所



纺织厂、印刷厂



降温加湿



气象条件

水质问题

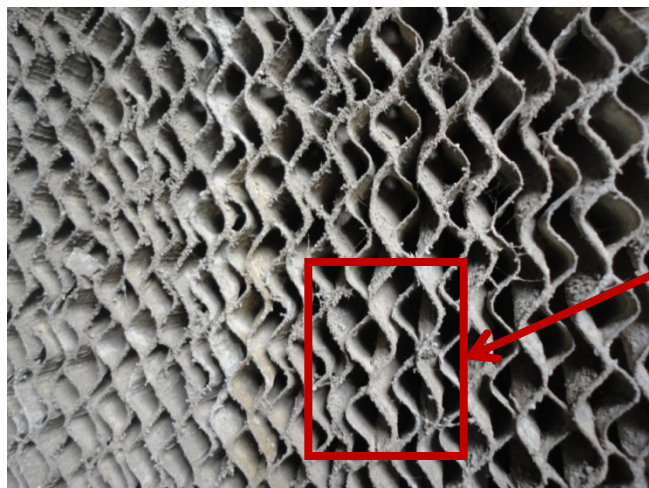
冬季防冻

空气过滤

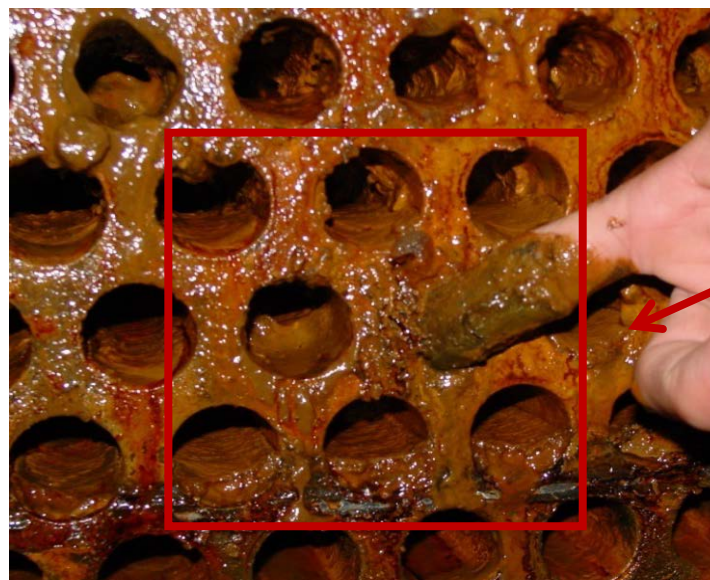


水质问题

目前，蒸发冷却的**水质问题**是影响蒸发冷却空调技术推广使用的主要限制因素之一。



结垢



污泥
(菌藻滋生)



腐蚀
(穿孔)

严重的影响蒸发冷却设备系统的正常工作，降低了系统的**冷却效率**，减少了设备的**使用寿命**。

水处理方法



传统水质处理方法：化学加药法

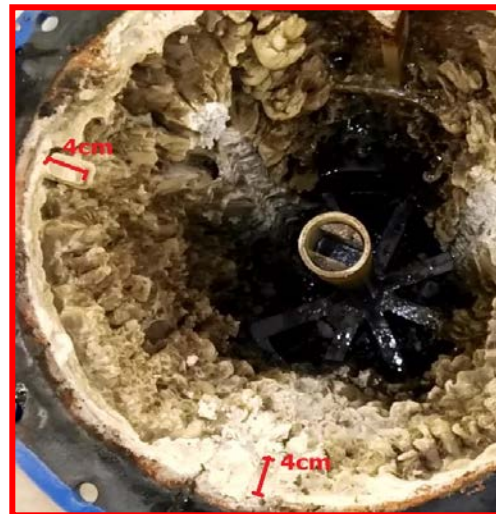
定期给循环水中加入杀菌剂和阻垢剂等化学药剂；
根据电导率的大小进行排放处理，做到定期排放补水。

水处理方法

ECT电化学处理法：通过电解循环水在阴极附近形成碱性环境将水垢**预先结垢**的方法降低水硬度，从而达到减少空调设备因结垢和腐蚀的危害，经过电化学处理的水质使得系统的运行维护管理更加方便，降低空调能耗，改善被处理空气品质。



刮垢前后反应室内壁



水处理方法

变频电脉冲技术：通过**交替变化频率的电脉冲**，改变水中钙镁离子的**结晶方式**，使新形成的碳酸钙、碳酸镁晶体由原来的不规则多晶体（多为刺球状，极易粘连，进而形成水垢）变为**棒状单晶体**，相互之间不易粘连、随水流冲走，使水垢不易沉积。



除掉原有水垢



永久保护
金属管道



水处理方法

臭氧法： 由于臭氧有较高的**氧化还原电位**，分解后产生的新生氧具有较强的氧化能力，因而可以降解水中多种杂质和杀灭菌类物质。而臭氧可使 CaCO_3 晶体在其成长过程中**发生位错**。随着晶体的缓慢增长，晶体晶格上就会出现台阶式的螺旋位错，台阶一层一层地堆积，从而起到阻垢作用。

西安工程科技学院硕士学位论文

臭氧处理蒸发冷却空调水的应用
技术研究

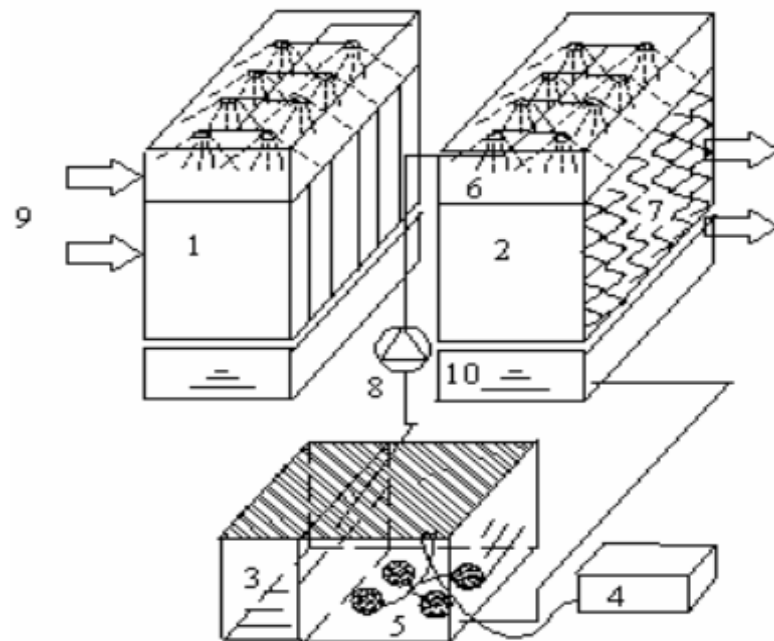
03 级研究生：杨秀贞

导 师：黄 翔 教授

副 导 师：程 刚 副教授

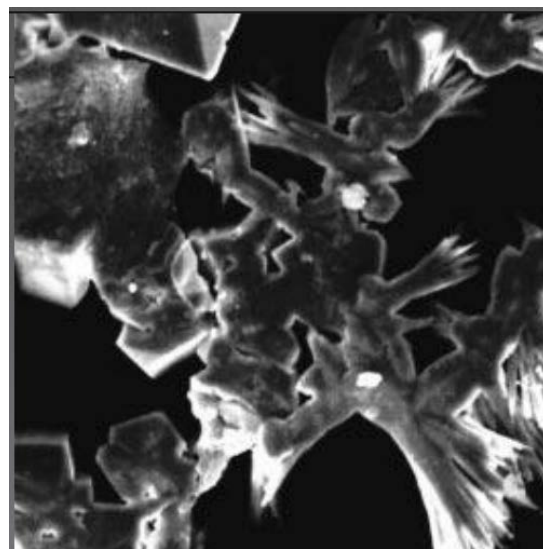
答 辩 日 期：2006. 03

优点：减少排污量；环保；**有效杀灭细菌及病毒**，包括军团菌，去除生物粘泥、藻类、霉菌等；降低腐蚀速率；可以减少甚至清除蒸发冷却器上的污垢，节能，提高压缩机能力；节约操作及管理费用。
但需要对臭氧量进行控制。

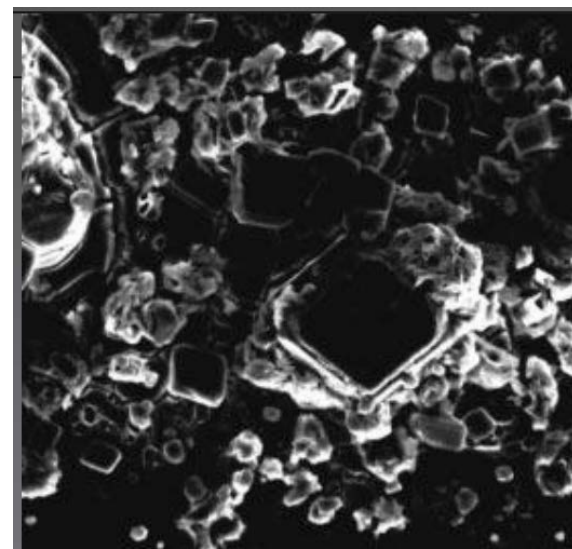


水处理方法

量子法：通过量子间的超精微振动波是水分子与预设的量子信息和能量产生**同频共振**，并最终达到同步，从而将预设的量子信息和能量传导进入水分子，水分子在吸收了这些信息和能量后，迅速使得水从量子级别上发生变化，使得分子活性、离子键结合力等都发生变化，**彻底改变水质**，是目前水处理技术的最高科技手段。



使用设备前1000倍CaCO₃显微照片



使用设备后1000倍CaCO₃显微照片

水处理设备应用广泛



气象条件

水质问题

冬季防冻

空气过滤

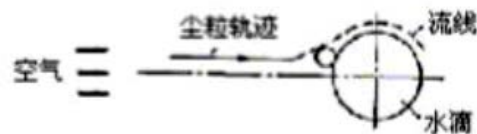


空气过滤问题

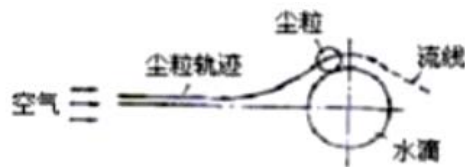
科技发展带来了生产力的提高，人们从物质贫乏走向富足。然而发展也带来了空气污染等问题，其中雾霾问题一直困扰着人们，使得人们对洁净新风的需求与日俱增。

洁净度的控制离不开过滤，过滤段是控制室内颗粒物污染的主要设备，直接影响到机组的运行效果和室内的空气品质。尤其是在沙尘天气、空气中含有柳絮等特殊场合，过滤设备的选择和运行维护尤为重要。新风的过滤对于蒸发冷却设备更是必不可少。随着蒸发冷却器的结构越紧凑，对空气的品质要求就会越来越高，因此，为了防止换热器堵塞，必须对空气进行过滤处理，这样才能避免换热芯体堵塞的风险，从而提高机组的运行效率。

直接蒸发冷却的填料过滤机理归结为：



惯性作用机理



接触阻流机理

惯性碰撞

扩散作用

重力沉降

室外新风过滤设备



摆吸式回风过滤器

摆吸式回风过滤器是在某碟形滤尘器的基础上，开发研制的**新型圆盘式回风过滤器**。变过去自吸式回风过滤器和吹吸式回风过滤器沿半径条缝型吸嘴吸尘为**摆动式局部点吸嘴**吸尘，提高了吸嘴的真空度，吸尘效果好，且大幅降低集尘风机功率配置。自动依次吸除网面上的纤尘，对粘附在网上带有浆料的纤维、尘灰具有较强的清除效果，广泛适用于纺织厂空调的回风过滤。



自动卷绕式空气过滤器

自动卷绕式空气过滤器，亦称自动卷帘式空气过滤器，是一种新型空气过滤设备。自动卷绕式空气过滤器是传统过滤器领域的一个突破，它是把通过过滤器**前后压差**转换为**传感电信号**，并对**过滤材料**进行**自动更换**的空气除尘设备。



惯性过滤器

惯性过滤器:利用运动气流中尘粒与气体具有**不同的惯性力**，含尘气体急转弯时，尘粒的运动轨迹将分离出来使气体得以净化。主要用于空调与通风系统的**预过滤**，具有容尘量大，过滤效果好的特点，适合在风沙较大的地区、气流中含有粒径大的颗粒物的场合使用。

室外新风过滤设备



(a) 平板式高压静电过滤器 (b) 蜂巢式高压静电过滤器

高压静电过滤器



驻极体静电空气过滤器



袋式过滤器

静电除尘技术对**0.01 μm 以上**的的细微颗粒物、微生物、细菌、挥发性有机化合物（VOC）等空气中主要的污染物均具有较强的净化效率。能够适用于大气量的场所，空气阻力较小，适合对空气阻力要求较高的场所，同时，电场高压电离过程中可以释放出对人体健康有好处的负离子。目前静电净化技术及设备成熟可靠，常用的静电除尘装置主要有**蜂巢式**、**平板式**等，且普遍采用模块化设计，能够实现任意结构尺寸的拼装组合，场地适应性较强。

驻极体静电空气过滤器是一种**过滤效率高、空气阻力小、容尘量大、空气滤速高、价格便宜**的空气过滤器。驻极体静电合成纤维过滤材料的产品化很大程度上解决了空气过滤器效率与阻力的矛盾。近年来，高分子化学纤维生产技术的发展使得用**驻极体纤维**能生产出高效过滤器(HEPA)和超高效过滤器(ULPA)。

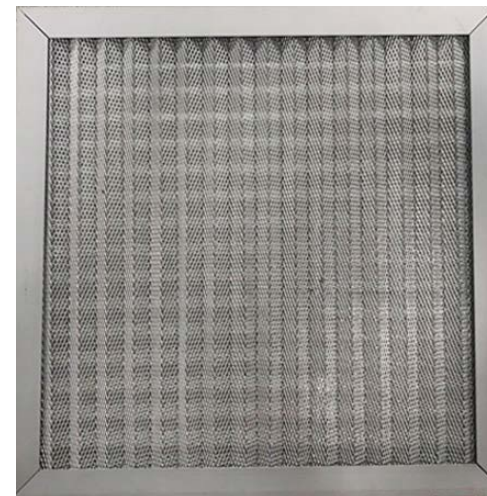
袋式过滤器是工业和舒适性通风行业HVAC系统中应用较为广泛的空气过滤器，常用于空调机组系统的前端，过滤等级从G3到F9，过滤器的滤料有化纤、玻璃纤维、活性炭材料等，框架有镀锌外框和铝合金外框。

室外新风过滤设备



活性炭过滤器

活性炭是利用木屑，橄榄石，椰子壳等果壳及煤炭，石油焦等为原料，经高温炭化，并通过物理或化学活化制备成的黑色粉末状或颗粒状碳质材料。因其**比表面积大、孔隙结构丰富、吸附作用强、价格较低**等特性，被广泛应用于一般空调通风场所中空气过滤。活性炭净化空气主要机理为**吸附作用**。



金属板式空气过滤器

金属板式空气过滤器其结构为**多层次交叉纵横的波纹型铝拉网**或者不锈钢网组成。因为是多层次过滤结构所以增加了过滤面积，而且其阻力低可反复清洗，经济性高；外框一般设计为铝框，滤料一般为铝网或者不锈钢网等金属波浪式网状结构。

室外新风过滤设备

	摆吸式回风过滤器	自动卷绕式过滤器	惯性过滤器	高压静电过滤器	驻极体静电过滤器	袋式过滤器	活性炭过滤器	铝网板式过滤器
原理	对粘附在过滤器上带有浆料的纤尘进行吸附	通过压差控制与行程控制及时更换滤料	沙尘经螺旋叶片时在离心力作用下分离	带点尘粒在阳极放电并沉积于阳极板上	通过荷电纤维(驻极体)的库仑力实现对灰尘的捕获	通过截留比过滤介质孔径更小的物质来过滤空气	利用范德华力吸附小于活性炭孔隙的杂质	铝网交叉排列，通过改变空气流向集尘
结构	圆盘滤网、摆动式	包括上、下料箱，压差传感器，电机等	包括进、出风筒及螺旋式叶片等	接高压直流电源的阴极线、接地的阳极板	带有荷电的纤维滤料	并联而成的袋形滤料与铝制框架	活性炭纤维与过滤棉复合而成滤料、金属框架	多层次交叉纵横的波纹型铝拉网或者不锈钢网
效果	较好	一般	较好	较好	较好	较好	较好	一般
特点	寿命长、回风过滤效果最佳	节约人力，“零维护”	容尘量大，过滤效果好	耐高温、高效率	过滤效率高、阻力小、抗菌	接触面积大、低阻力、容尘量大	比表面积大，可吸附有机分子	坚固耐用寿命长
适用场合	纺织厂空调	各种通风进气净化	风沙较大的地区	燃煤工厂、电站等	商场、医院、家庭等	普通厂房、商用建筑等	药厂、微电子、博物院等	环境恶劣、粉尘大的场所

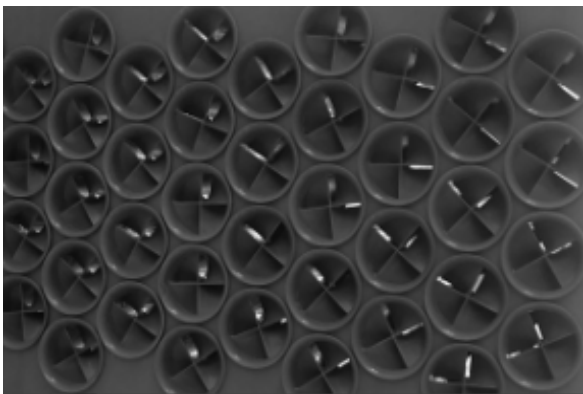
实际应用案例分析

背景：巴基斯坦属于热带气候，气温普遍较高，降水比较稀少，国内有大面积的沙漠分布，沙尘天气严重。

西安工程大学蒸发冷却团队与产学研单位联合在巴基斯坦某核电站，根据当地室外空气品质设有惯性粗效过滤器：

- ✓ 沙尘暴天气采用两级过滤，第一级使用惯性过滤器，第二级使用G2等级金属过滤器
- ✓ 惯性过滤器利用运动气流中尘粒与气体具有不同的惯性力，含尘气体急转弯时，尘粒的运动轨迹将分离出来使气体得以净化，在沙尘天气下使用具有很好的过滤效果。

如下图该惯性过滤器使用固定式螺旋叶片：依靠惯性原理对空气中的粉尘进行过滤，主要是大颗粒粉尘在气流中作惯性运动。气流遇障碍绕行，沙尘因惯性偏离气流方向并撞到障碍物上。尘粒越大，惯性力越强，撞击障碍物的可能性越大，因此，过滤效果就越好。



惯性过滤器固定式螺旋叶片实物图



G2等级金属过滤器实物图

该案例很好的说明了采用惯性过滤器能够很好的将室外含有大量风沙的空气进行过滤，再配合G2等级的金属过滤器进行第二级过滤，完全可以满足空调机组在沙尘天气下的正常使用。

气象条件

水质问题

冬季防冻

空气过滤



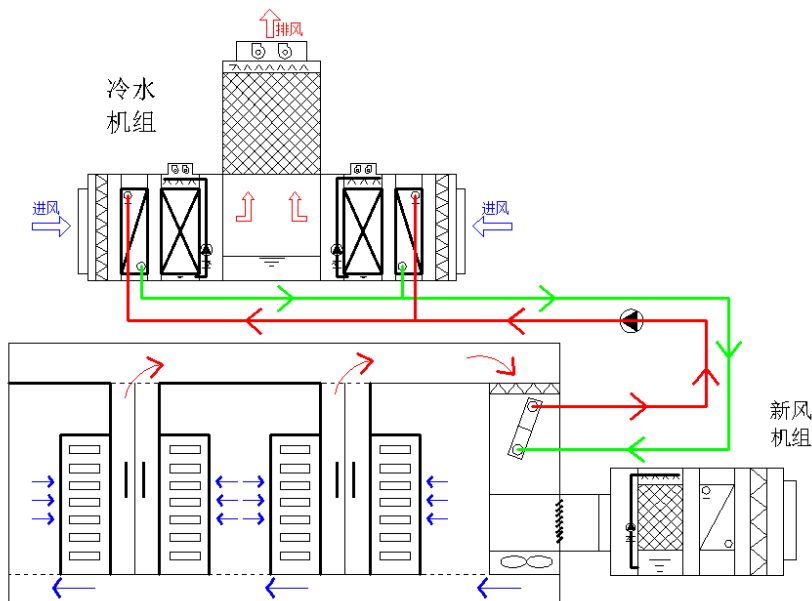
冬季防冻

数据中心需要全年冷却北方寒冷及严寒地区冬季平均气温低于0℃冷却塔结冰现象十分严重，除冰浪费大量的人力物力。



1.影响冷却塔的散热效果 2.损坏冷却塔的承重结构、填料等部件 3.影响冷却塔的使用寿命

冬季防冻



乙二醇防冻：

通过冷水机组第一表冷器与机房专用空调机组管路**循环乙二醇溶液带走机房室内负荷**。乙二醇溶液吸收室内负荷温度升高后通往冷水机组表冷器，表冷器通过室外空气与乙二醇溶液换热降低溶液温度后继续通往机房空调机组循环降温。

电加热法：

在环境温度临近零度的时候就要，可以在喷淋水的水槽当中添加电加热装置，通常会采用侵没式设计，并且会设计电子温控装置，可以检测喷淋水槽的水温。一般电子加热装置会讲喷淋水槽当中的水加热到零上3-4℃会自动停止加热。





改进的措施及发展方向

布水问题的优化

现阶段布水存在的问题：

- ◆ **喷淋布水**：耗水量大，无法形成均匀完整的水膜，存在大量干点；
- ◆ **喷雾布水**：对水质的要求高，水泵能耗高；
- ◆ **湿膜布水**：效率低，增加风阻，风机能耗增加。



喷淋布水



喷雾布水

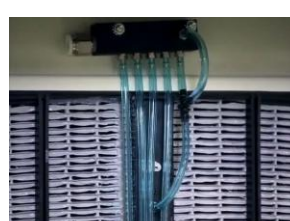


湿膜布水

布水问题的优化

1、布水形式

喷淋布水、喷雾布水、湿膜布水、滴淋布水、移动式布水、布水缝布水、旋转布水、软管布水、深入式布水、毛细式布水等。



2、喷嘴形式

螺旋形



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	

A. 螺旋形

实心锥形



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	

B. 实心锥形

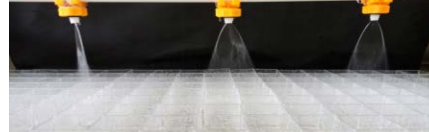
方形



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	

C. 方形

扇形



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	

D. 扇形

靶式撞击形



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	

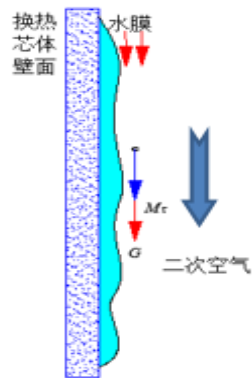
E. 靶式撞击形

用颜色代表单个集水网格中的水量（ml），颜色越深，水量越多，空白格表示水量为0。
可以看出，靶式撞击形喷嘴、螺旋形喷嘴布水较为均匀。

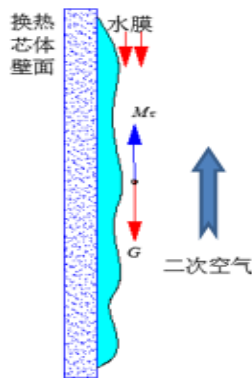
布水问题的优化

3、空气流向与布水方向（顺向和逆向）

目前间接蒸发冷却器普遍采用的是重力布水方式,即布水器设置在间接蒸发冷却器的上方,而根据**二次空气流向与水膜流向的不同**,布水方式可分为**气液顺流工况和逆流工况**。



气液顺向工况水膜微元受力示意图



气液逆向工况水膜微元受力示意图

气液顺向工况，即二次空气流动方向和水膜流动方向相同时：

- ◆ 二次空气的剪切力 $M\tau$ 与微元水膜的重力 G 相互叠加，在共同推动作用下，水膜做**降膜**运动，利于其均匀分布；但是当液膜流量很少时，二次空气的剪切力 $M\tau$ 很大，液膜就有可能发生破裂，在换热器表面上形成干点现象，这会导致传热系数急剧下降。

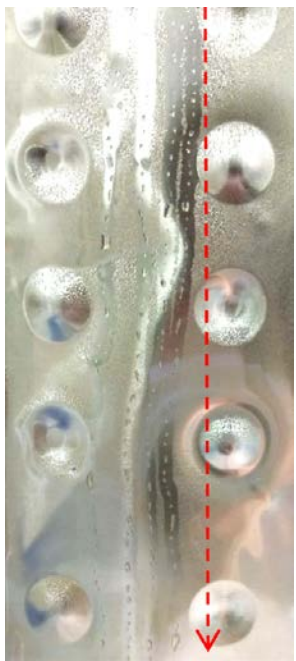
气液逆向工况，即二次空气流动方向和水膜流动方向相反时：

- ◆ 当剪切力 $M\tau$ 远小于重力 G 作用时，液膜的传热特性取决于重力 G 作用，微元水膜的流动推动力主要是由微元水膜重力抵抗二次空气剪切力作用的结果，水膜做**降膜**运动；
- ◆ 当剪切力 $M\tau$ 达到一定程度时，剪切力 $M\tau$ 和重力 G 同时起作用，有利于水膜的均匀分布，可以明显改善传热传质特性；
- ◆ 当剪切力 $M\tau$ 远大于重力 G 作用时，其传热特性取决于剪切力 $M\tau$ 的大小，水膜做**升膜**运动。

布水问题的优化

4、芯体材质（湿通道侧换热材料亲水性）

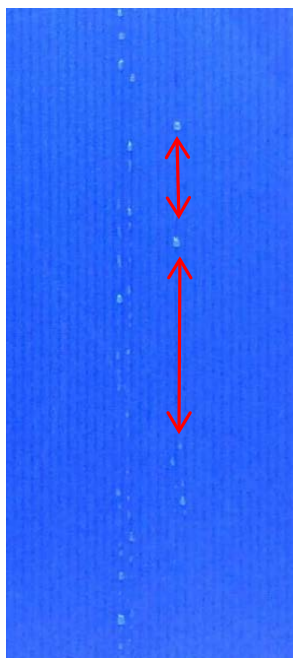
芯体材质种类：金属材料、高吸水性纤维材料、聚合物高分子材料、多孔陶瓷材料、膜材料等。



金属铝箔



高吸水性纤维



聚合物高分子

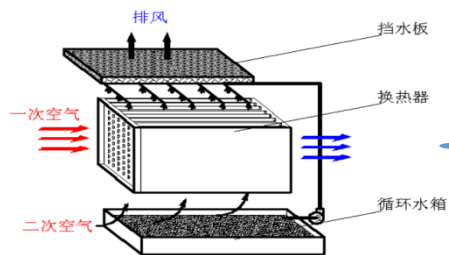
- 金属铝箔材料表面的水滴附着中等，位于喷头中心位置的水流量较周围多，有成股流下的迹象，间距适中，体积略小。
- 高吸水性纤维材料表面没有明显的水滴和水流，雾滴浸润较快，并向四周扩散，布水没有间断，浸润性较好，但时间较短布水在竖向方向上没有延伸。
- 聚合物高分子材料表面附着的水滴少，间距大，液滴体积大布水浸润性较差。

□材料亲水性和润湿性

聚合物纤维材料>金属铝箔材料>高分子材料

对于间接蒸发冷却器换热材料，湿通道侧要亲水，干通道侧要疏水。湿通道侧选择亲水性和润湿性好的材料，可以有效提高蒸发冷却器的布水均匀性，降低蒸发冷却空调的耗水量，同时可以有效缓解结水垢的问题。

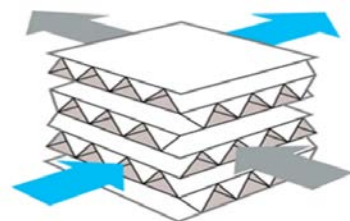
蒸发冷却换热芯体优化



卧管间接蒸发冷却器示意图



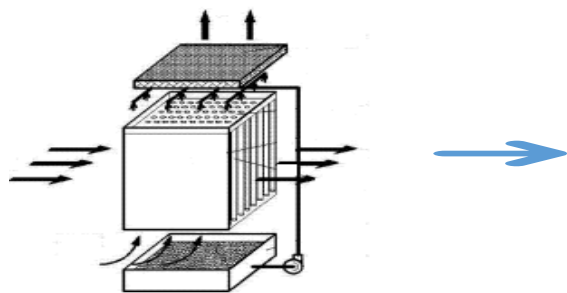
卧管间接蒸发冷却器



板翅式间接蒸发冷却器示意图



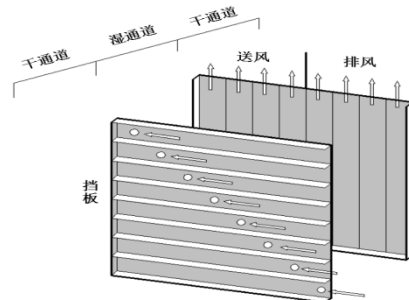
板翅式间接蒸发冷却器



立管间接蒸发冷却器示意图



立管间接蒸发冷却器



露点间接蒸发冷却器示意图



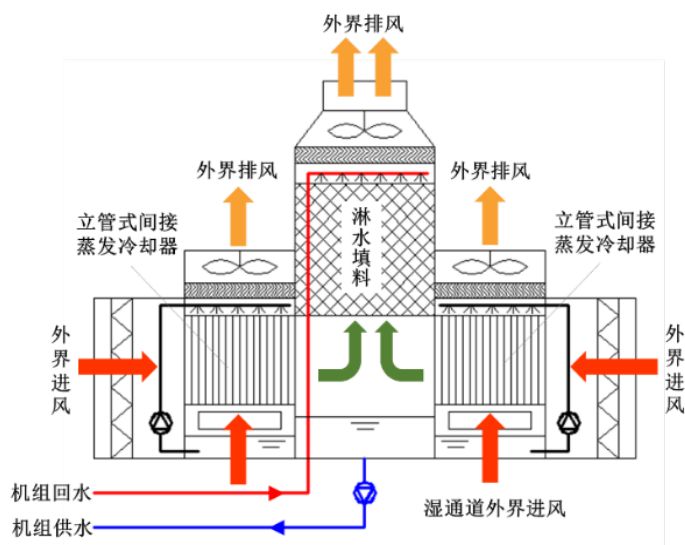
露点间接蒸发冷却器



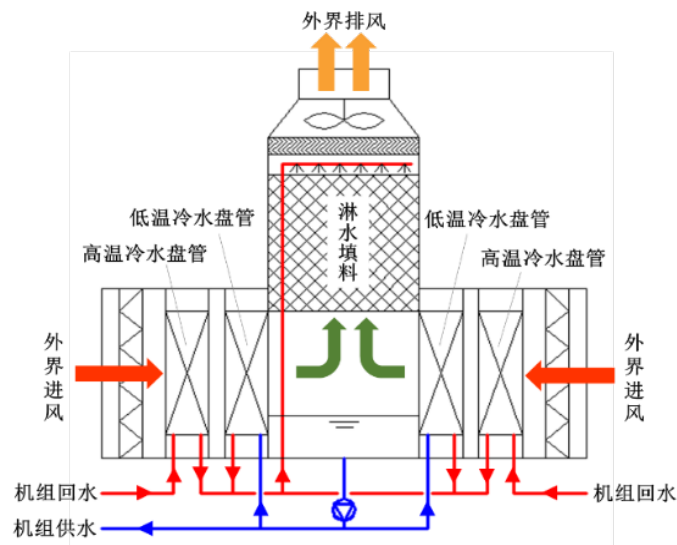
微通道换热器

蒸发冷却冷水机组发展型式

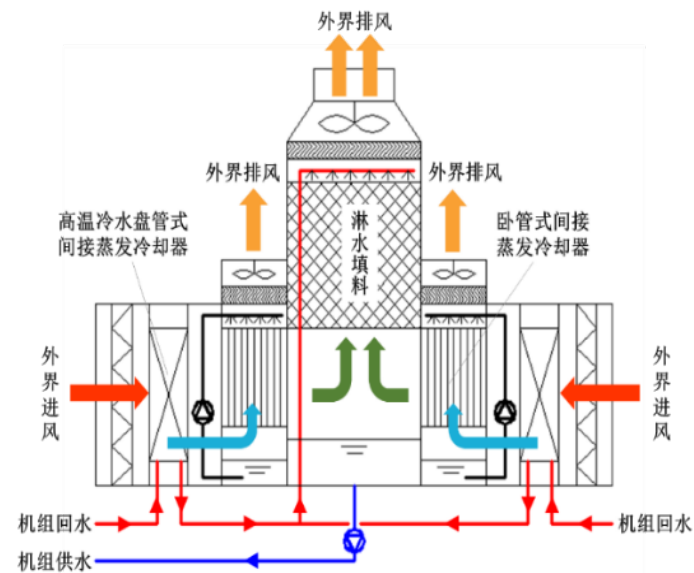
根据空气间接蒸发冷却换热器的不同，蒸发冷却冷水机组可以分为
内冷式、外冷式、混合式。



内冷式



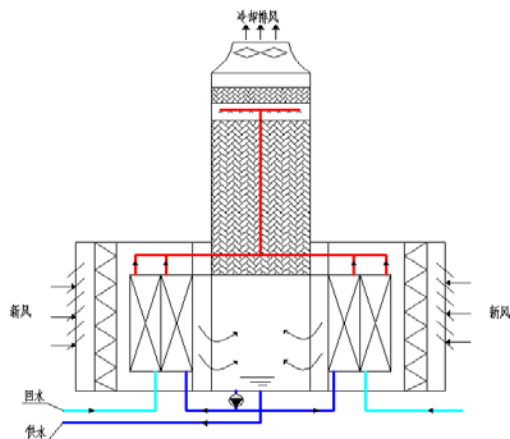
外冷式



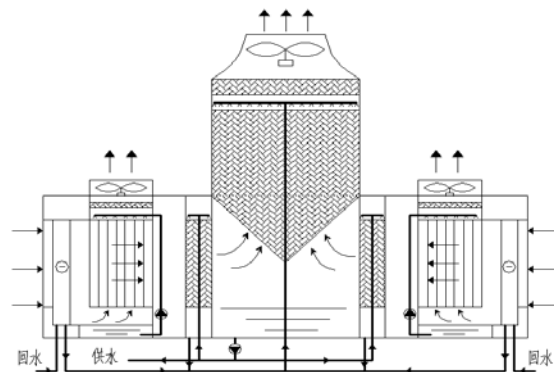
混合式

蒸发冷却冷水机组发展型式

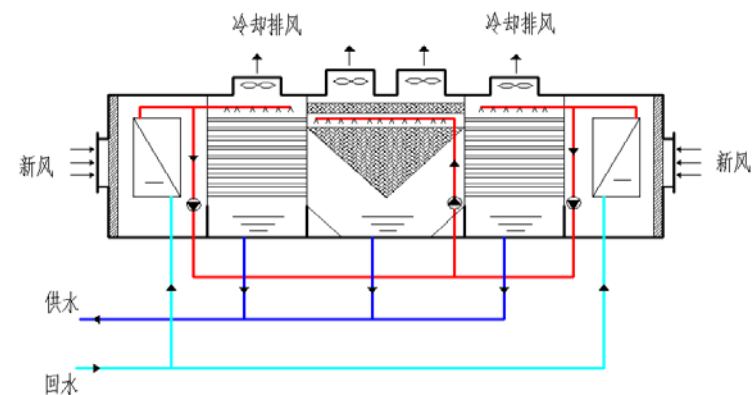
表冷器预冷式



立管间接预冷式

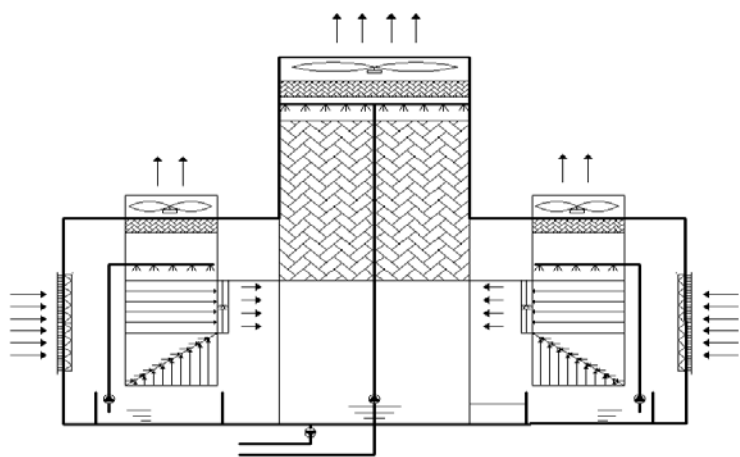


卧管间接预冷式

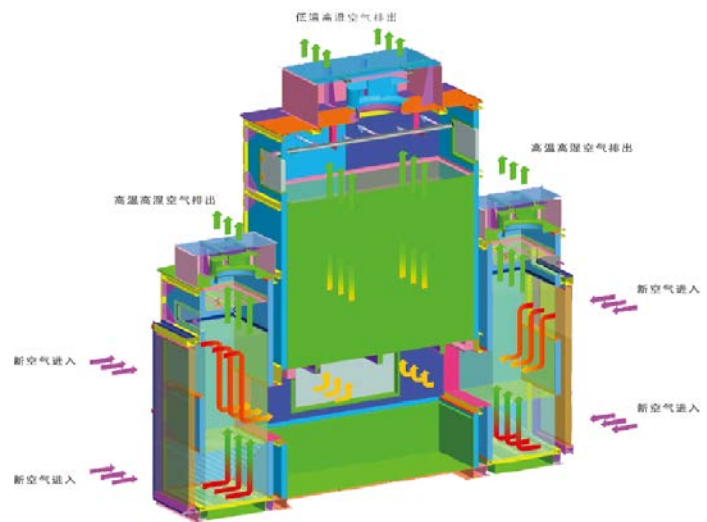


蒸发冷却冷水机组发展型式

露点间接预冷式蒸发冷却冷水机组



露点间接蒸发冷却冷水机组
原理图



露点间接蒸发冷却冷水机组
模型图

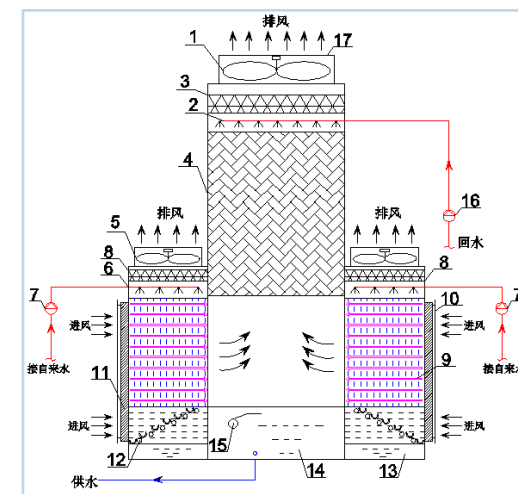
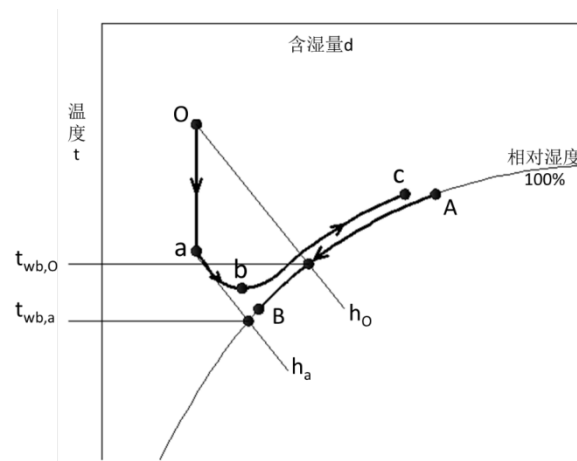
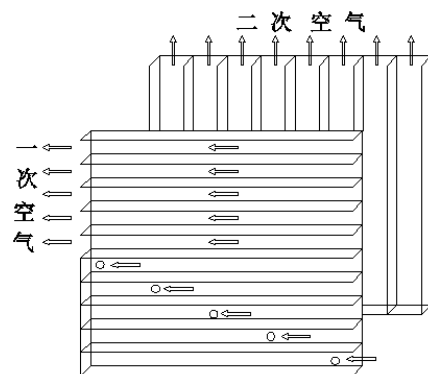
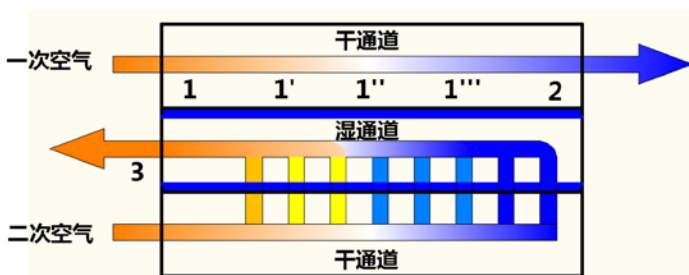


露点间接蒸发冷却冷水机组
实物图

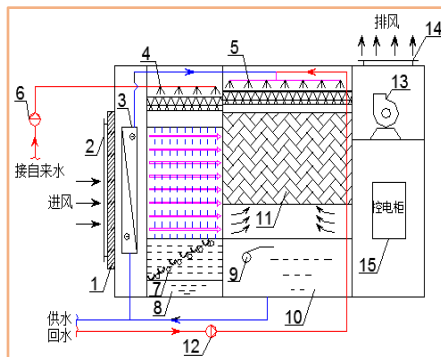
研发露点间接蒸发冷却冷水机组



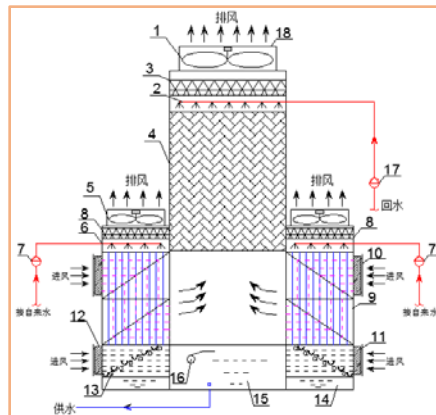
不同结构形式的蒸发冷却冷水机组（16~18℃高温冷水）
THIC系统的高温冷源



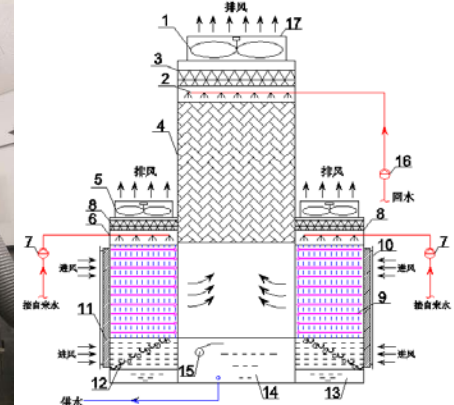
露点间接蒸发冷却冷水机组的结构优化



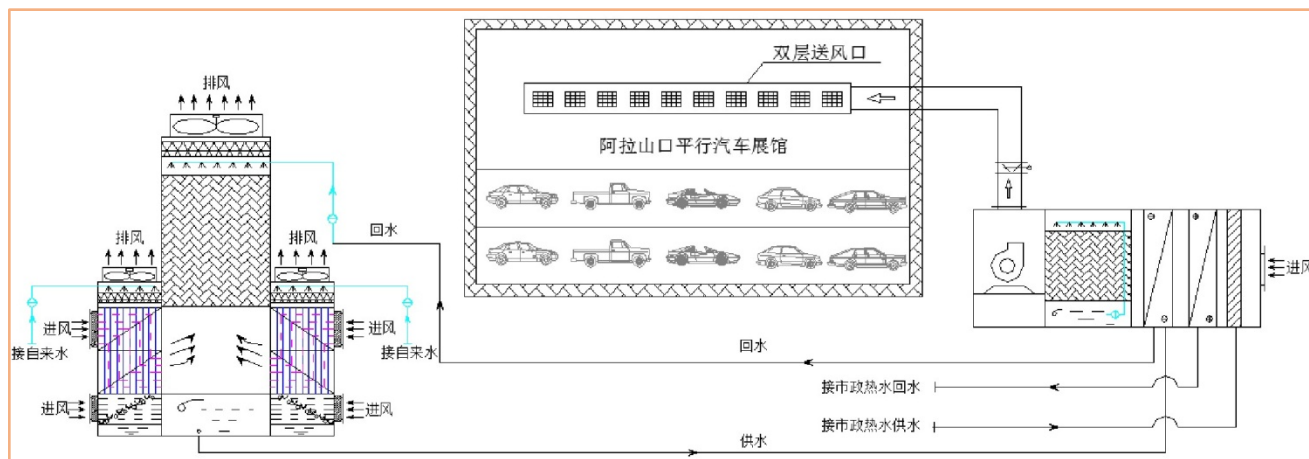
蒸发冷却冷水机组
(表冷+露点(叉流)+填料塔)



蒸发冷却冷水机组
(露点(叉流+逆流)+填料塔)



蒸发冷却冷水机组
(露点(叉流)+填料塔)



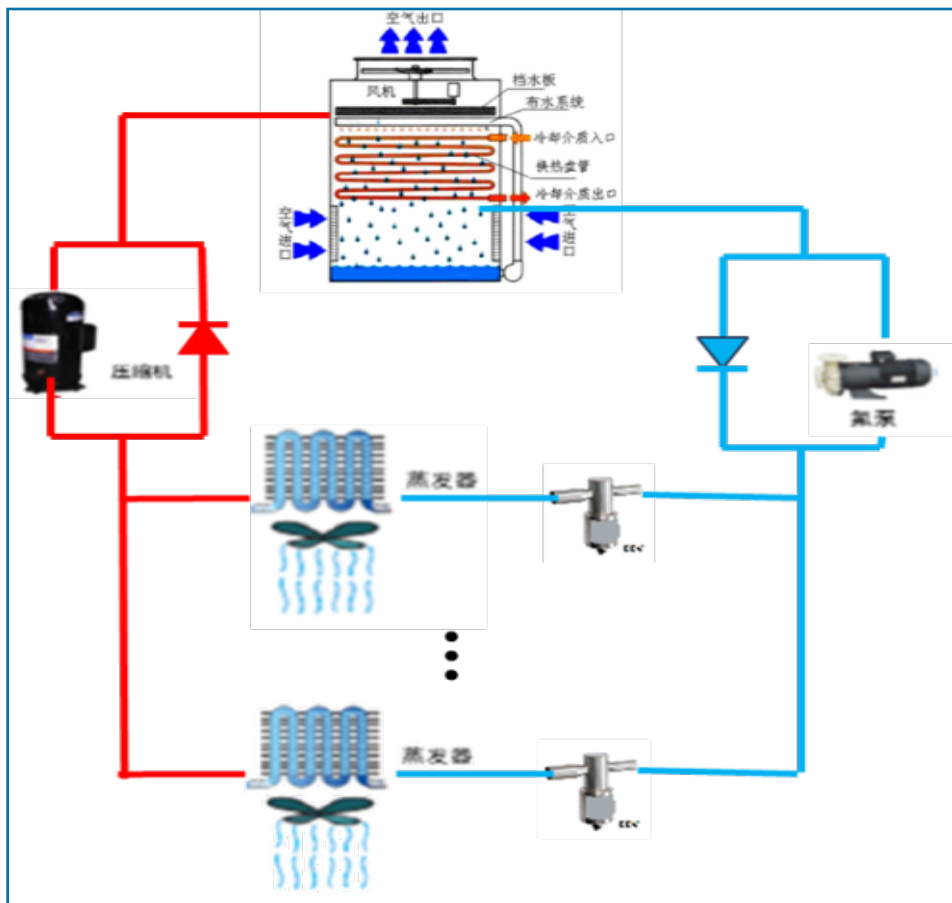
露点间接蒸发冷却空气-水空调系统



阿拉山口平行进口汽车展馆

氟侧蒸发冷却空调系统形式

在数据中心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

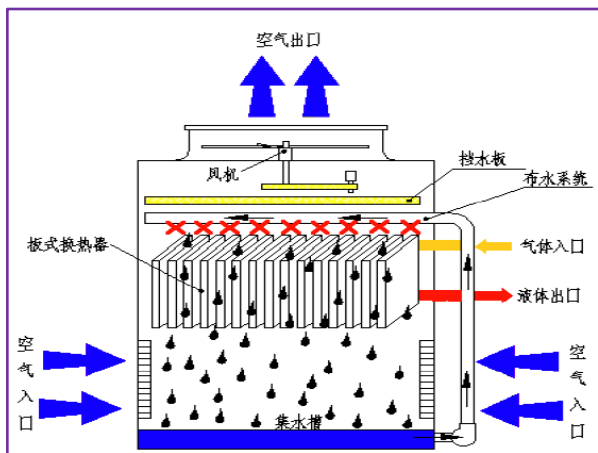


填料型蒸发式冷凝器

应用案例——新疆某软件园数据中心



主机工作原理图



- ◆建设单位：新疆软件园发展有限公司；
- ◆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；

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 $\leq$ -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%)



结语

1.客观对待技术发展中的优势和不足，明确现阶段存在的技术难点，不断优化和改进蒸发冷却布水方式、换热器结构等提高蒸发冷却效果。

2.今后将蒸发冷却技术与机械制冷及新型冷却方式有机地结合起来，这样有利于取长补短，扩大蒸发冷却技术的应用领域和运行时间，使其在适合的地区和领域充分发挥节能减排优势。

真正实现 “把传统技术用好，把新技术用对”



西安工程大学
XI'AN POLYTECHNIC UNIVERSITY



谢谢聆听!

E-mail :huangx@xpu.edu.cn



蒸发冷却空调