

数据中心蒸发冷却关键技术的研发及应用

澳蓝（福建）实业有限公司

何华明

2024年4月·北京

01

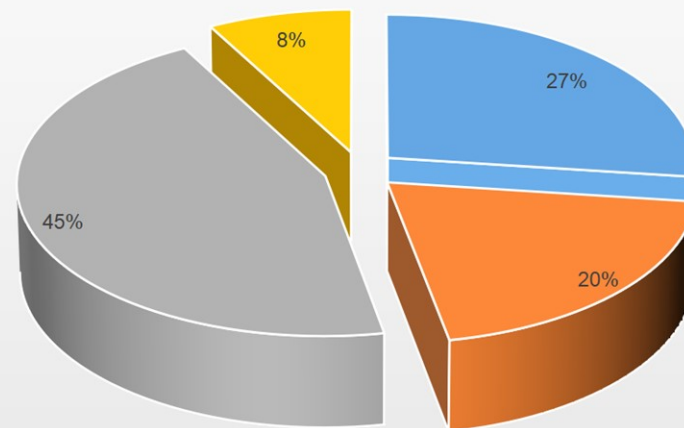
背景

AOLAN 澳蓝
EVAPORATIVE AIR COOLER

国家能源局数据显示，2020年我国数据中心耗电量创历史新高，**占全国总用电量的2.7%**，降低数据中心碳排放势在必行。

2021年7月，《新型数据中心发展三年**行动计划（2021-2023）**》中指出，到2023年底，全国数据中心机架规模年均增速保持在20%左右，**新建大型及以上数据中心PUE降低到1.3以下，严寒和寒冷地区力争降低到1.25以下。**

耗电结构



■ 基站 ■ 数据中心 ■ 通信机房 ■ 接入局所及室外机柜

02

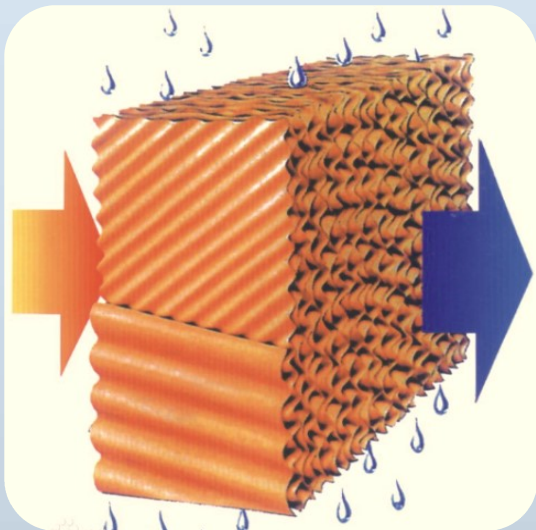
关键技术

AOLAN 澳蓝
EVAPORATIVE AIR COOLER

直接蒸发冷却机理及制造技术

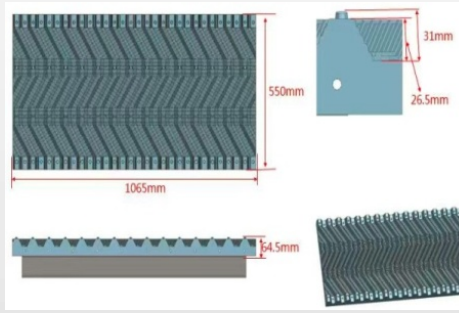
- 直接蒸发冷却是比较成熟的技术，通过干空气与水直接接触，进行热湿交换（水的蒸发），实现冷却降温的过程，以蒸发冷却湿帘填料为核心部件；

25°C热
空气，
相对湿
度20%



15°C冷
空气，
相对湿
度75%

澳蓝制造技术：行业领先



- 澳蓝拥有多条填料自动生产线，可生产高端阻燃型、普通阻燃型、普通型等填料产品系列。

2-1

直接蒸发冷却技术

关键技术：阻燃型有机高分子填料

高分子防火湿帘

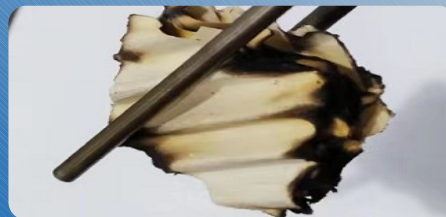


非永久防火

使用过后，阻燃功能失效

B1级高分子

澳蓝制造技术：国际领先



永久防火

B1级高分子

- **永久防火的有机高分子填料及加工技术**：防火等级B1级；不含玻纤；耐酸耐碱；长寿命；防霉抗菌；
- 产品已经通过**第三方认证**：蒸发效率和吸水率等性能认证、阻燃、防霉抗菌认证、环保认证（ROHS和REACH）；
- **填料效率和普通湿帘相当**，处于**国内外领先水平**，为多家国内外知名企业提供配套服务；

2-1

直接蒸发冷却技术



阻燃防火填料竞品性能对比

项目	澳蓝普通湿帘	澳蓝防火湿帘	玻纤防火湿帘	非永久防火湿帘
湿帘规格	5090	5090	7060	50
材质	植物纤维	特种高分子聚合物	玻璃纤维	特种高分子聚合物
防火性能	-	永久防火B1(B)	永久防火A	非永久防火BI©
蒸发效率	81.8	82.1	61.6	51.1

澳蓝防火湿帘	蒸发效率	81.94	82.14	82.59	83.07	82.53
	过帘阻力 (Pa)	17.5	56.44	128.77	236.09	249.96
	风速(m/s)	1	2	3	4	5
非永久防火湿帘	蒸发效率	53.92	51.07	51.91	53.66	56.47
	过帘阻力 (Pa)	30.29	64.69	105.14	158.66	222.49
	风速(m/s)	1	2	3	4	5

关键技术：间接蒸发冷却换热器

金属板片式



金属材料不耐腐蚀。

不易形成吸水膜，需连续喷水；

干工况效率高。

湿工况效率一般。

非直片式结构，清洗困难。

金属管式



金属材料，不耐腐蚀；

干通道为非直通式结构，清洗困难，

湿工况换热效率低。

高分子板片式



高分子材料，耐腐蚀；

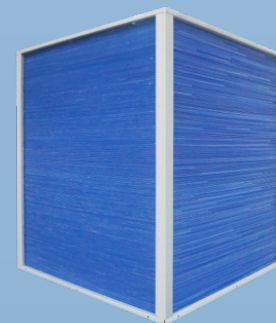
不易形成吸水膜，需连续喷水，

干湿工况换热效率低。

非直片式结构，清洗困难。

澳蓝技术：带吸水膜高分子板片式

带吸水膜的高分子芯体。



间歇喷淋，间隔时间高达12分钟以上（1分钟喷淋），停喷期间效率不变化。

换热效率高：1m³芯体的风量可达10000m³/h，蒸发效率超过70%；10mm片距的芯体的蒸发效率和7mm片距的金属芯体相当。

采用非对称流道，提高效率，减少排风机数量和功耗；

维护方便：干通道和湿通道都是直通式结构，便于清洗维护，延长使用寿命。

2-2

间接蒸发冷却技术

AOLAN 澳蓝
EVAPORATIVE AIR COOLER



竞品对比1 (干工况-高分子材料)

干工况要求						澳蓝高分子芯体 (2.0*1.0*0.21) 干工况实测 室内侧10mm, 室外侧8mm。室内侧通道为单一整体通道, 室外侧为两端式通道														
回风干球	回风湿球	新风干球	新风湿球	室内侧风量	室外侧风量	回风干球	回风湿球	新风干球	新风湿球	室内风量m3/h	室外风量m3/h	送风干球	送风湿球	新风出风干球	新风出风湿球	能力KW	室外侧, 平均风速m/s	室外侧, 进风面积	送风侧芯体阻	排风侧芯体阻
38	23.7	16	7.06	2812.5	5625	38.48	25.87	16.46	11.93	2838.6	5596	23.66	21	21.5	14.4	17.02				
38	23.7	16	7.06	2812.5	5625	37.44	25.89	16.1	12.06	2823.5	5596	23.56	21.3	21.5	14.6	16.13	5.1643	0.301		
38	23.7	B1干	B1湿	2812.5	5625	37.65	26.76	21.53	14.12	2821.3	5580.5	26.2	23.3	26.2	15.8	16.9	5.15	0.301	367	206
换算到2*2*2.8																384.3				

	要求			实测数据							
	回风工况干/湿球 °C	新风工况干/湿球 °C	送风温度 °C	静压 Pa	室内侧风量 m³/h	能力 kW	实验室总功率 kW	能效	实际回风工况 °C	实际新风工况 °C	实际送风温度 °C
干工况 (只开内&外风机) 高分子芯体10.5mm	38/23.7	16/10.5		-38.19	74936.9	266.8	52.041	5.126	37.94/23.75	16.00/10.47	28.02/20.65
	38/23.7	15/-				-115					

2-2

间接蒸发冷却技术

AOLAN 澳蓝
EVAPORATIVE AIR COOLER



竞品对比2 (湿工况-高分子材料)

湿工况要求						澳蓝高分子芯体 (2.0*1.0*0.21) 湿工况实测 耗水量0.022m3/h 室内侧10mm, 室外侧8mm。室内侧通道为单一整体通道, 室外侧为两端式通道														
回风干球	回风湿球	新风干球	新风湿球	室内侧风量	室外侧风量	回风干球	回风湿球	新风干球	新风湿球	室内风量m3/h	室外风量m3/h	送风干球	送风湿球	新风出风干球	新风出风湿球	能力kW	室外侧, 风速仪风速	室外侧, 进风面积	送风侧芯体阻力pa	排风侧芯体阻力pa
38	23.7	20.8	18.5	2812.5	5625	38.02	28.36	22.35	18.84	2797.4	5580.5	24.1	23	22.8	21.2	20.43			367	203
38	23.7	B1干	B1湿	2812.5	5625	38.13	26.14	26	21.17	2847.7	5580.5	23.74	22.8	25	22.8	20.43			361	199
换算到2*2*2.5																431.3				

	要求			实测数据							
	回风工况干/湿球 °C	新风工况干/湿球 °C	送风温度 °C	静压 Pa	室内侧风量 m³/h	能力 kW	实验室总功率 kW	能效	实际回风工况 °C	实际新风工况 °C	实际送风温度 °C
湿工况 (内&外风机+喷淋) 高分子芯体10.5mm	38/23.7	20.8/18.5		-104	75070.7	257.9	50.108	5.147	37.93/23.97	21.92/18.6 (73%)	27.74/21.00
	38/23.7	17.5/15.3		-88	74403.8	298.8	51.071	5.851	37.81/23.22	17.86/15.35	25.74/19.63

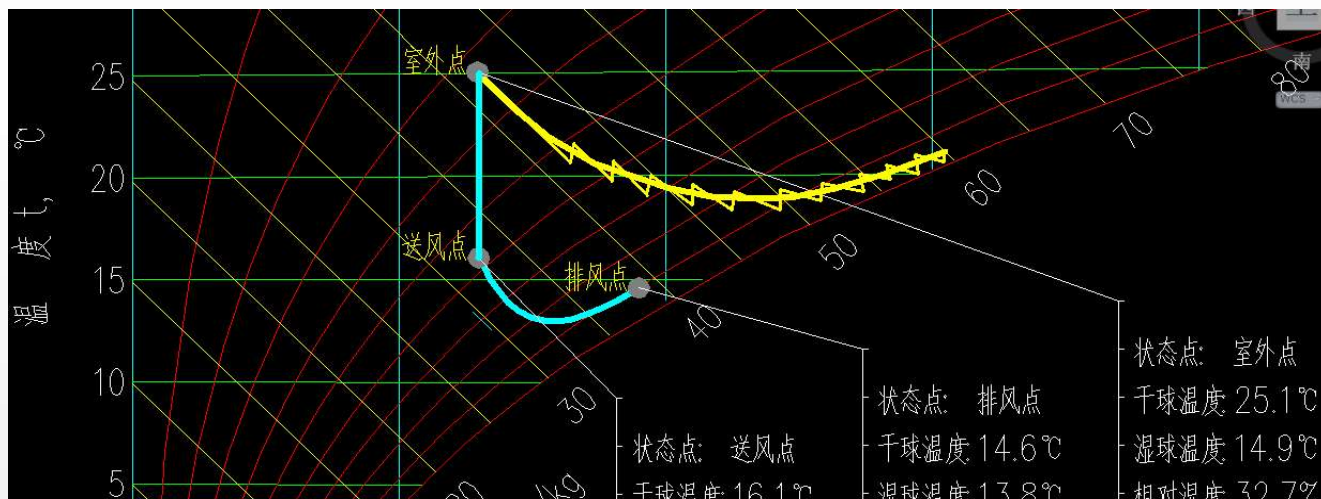
03

水侧降温技术及应用

AOLAN 澳蓝
EVAPORATIVE AIR COOLER

3-1

间蒸塔工作原理的技术分析



间接蒸发预冷的目的: 干燥的高温空气 → 潮湿的低温空气
干燥地区的空气 → 潮湿地区的空气

制冷能力 (效率) = 间接蒸发效率 + 塔体热湿交换效率。

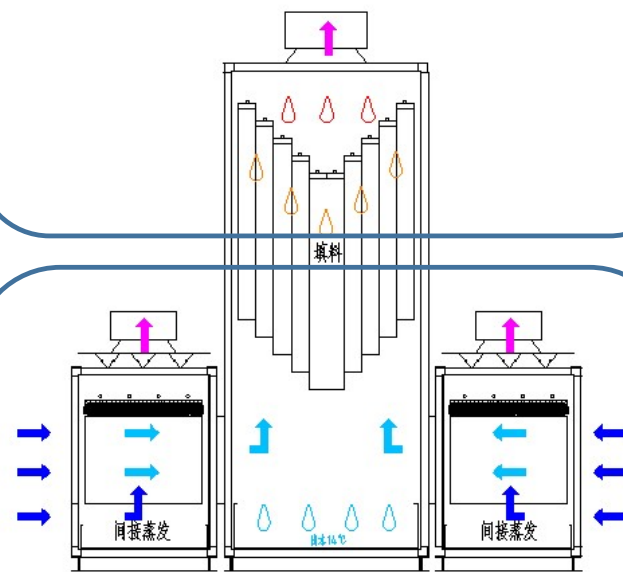
潮湿地区

≤

干燥地区

≥

在原理上与普通塔体相比, 多了空气预冷 (间接蒸发冷却技术预冷进塔空气)



潮湿地区的平均干湿球温差小于3度
干燥地区的平均干湿球温差大于7度
——间接蒸发效率

3-2

间蒸塔节能设计原则

某案例：冬季进出水温度20/14度，湿球温度14度，逼近度为0℃，循环水量140m³/h；夏季进出水温度37/32度，湿球温度28度，循环水量200m³/h；

项目	冬季	冬季运行时间	夏季运行时间
工况1(潮湿工况 (平均值))	16.6/14 (平均干球/湿球)	2160	6600
冬季：12月到2月，共计2160h；夏季：3月到11月，共计6600h；			
工况2(干燥工况)	22.1/13.9 (逐时干球/湿球)	2160	

结论：填料效率高配的能耗要低于间接效率高配的能耗；

项目	填料效率	冬季进塔湿球温度	逼近度	填料体积	夏季平均运行功率	夏季耗电	间接效率
工况1(潮湿值)	98%	13.8	0.2	126	4.3	28380	20%
	95%	13.6	0.4	108	4.8	31680	40%
	91%	13.4	0.6	95.3	5.3	34980	60%
工况2(干燥值)	90%	13.3	0.7	90.6	5.6	36960	20%
	81%	12.6	1.4	61.3	6.4	42240	40%
	74%	11.9	2.1	31.5	8.5	56100	60%

3-2

间蒸塔不同地区选用原则

某案例：冬季进出水温差6度，湿球温度14度，循环水量140m³/h；夏季进出水温差5度，湿球温度28度，循环水量200m³/h；

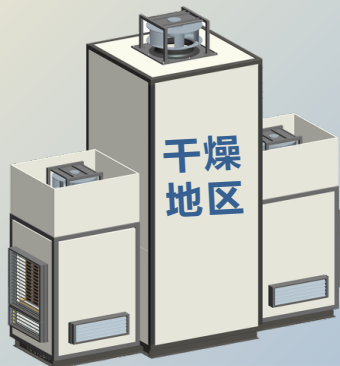
项目	冬季	冬季运行时间	夏季运行时间
工况1(潮湿 (平均值))	16.6/14 (平均干球/湿球)	2160	6600
冬季：12月到2月，共计2160h；夏季：3月到11月，共计6600h；			
工况2(干燥)	22.1/13.9 (逐时干球/湿球)	2160	

结论：潮湿地区逼近度为1~0度比较合适；干燥地区逼近度为0~(-1.5)度比较合适；

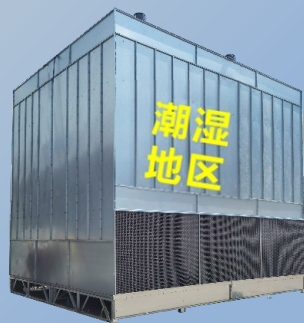
项目	环境湿球	间接效率	进塔湿球	湿球温降	直接效率	出水温度	可能逼近度	备注
工况1(潮湿)	14	40%	13.8	0.4	95%	14.1	+0.1	极限值：-0.5
	14	60%	13.6	0.6	95%	13.9	-0.1	
	14	80%	13.4	0.8	95%	13.7	-0.3	
工况2(干燥)	13.9	40%	13.3	1.3	95%	13.6	-0.3	极限值：-2
	13.9	60%	12.6	2.0	95%	12.9	-1.0	
	13.9	80%	11.9	2.7	95%	12.2	-1.7	

3-3

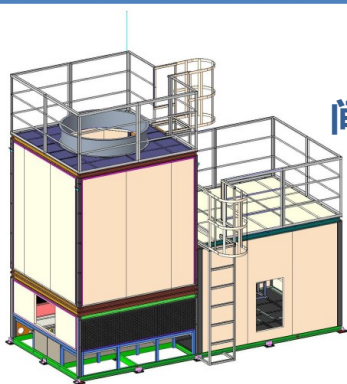
间接蒸发冷水塔



内冷式
间蒸冷
水塔



外冷式
间蒸冷
水塔



带机械制冷
间蒸冷水机组
(集成冷站)



复合型间接
蒸发冷水塔



露点间接
蒸发冷水塔

不同的逼近度 (-2 °C ~ 1 °C) 可选；主要性能指标都有第三方检测报告，有抗风和抗震计算分析报告；

04

风侧降温技术及应用

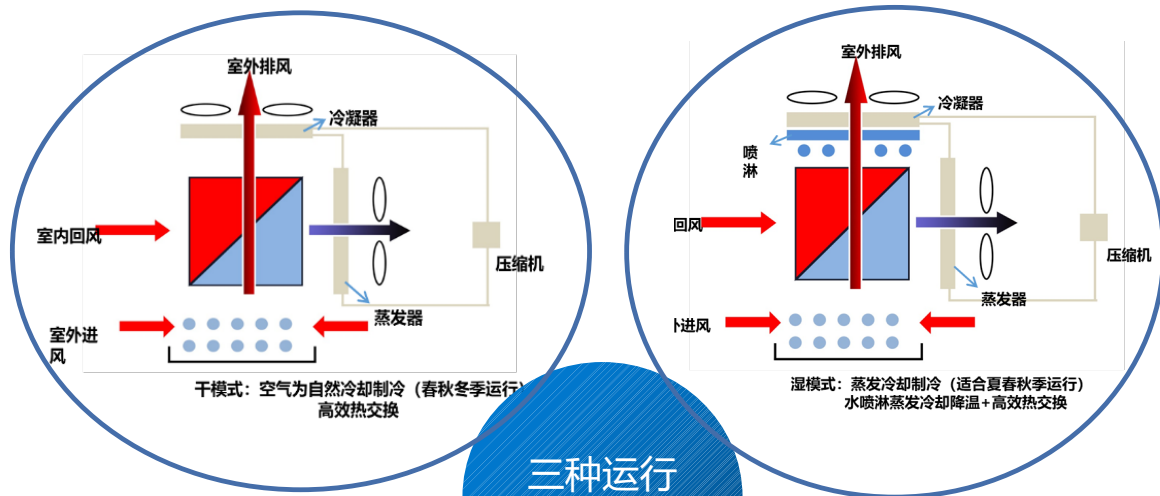
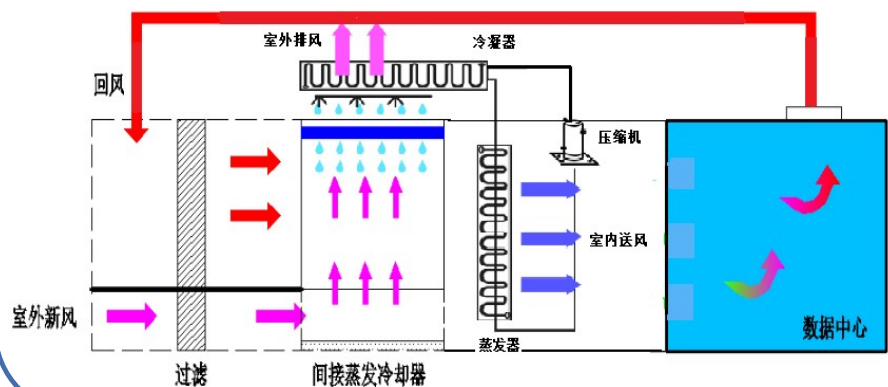
间接
蒸发

AOLAN 澳蓝
EVAPORATIVE AIR COOLER

4-1

间接蒸发空调机组

工作原理



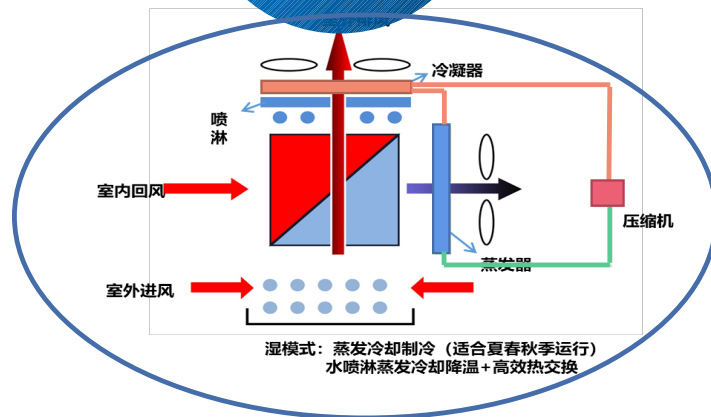
优缺点分析

1) 优点:

- 可充分利用室外自然冷源：三种节能运行模式（干模式、湿模式和混合模式）；冷热通道封闭时，可全年利用自然冷源；
- 节能、节水效果显著：耗电较少，年PUE值低；耗水较少，冬季不耗水
- 可实现工厂预制，现场组装，达到快速交付的目的；
- 系统简单，运维方便；
- 室内环境不受室外空气质量的影响；

2) 缺点:

- 设备尺寸较大，所需建筑空间较大，若置于室内，占用机房面积，减低上架率，布置层高要求高；若置于屋顶，仅能供顶层机房使用；
- 应用于多层数据中心时，须充分考虑送排风相互干扰问题，同时对建筑的外立面影响较大；



4-1

间接蒸发冷却空调机组

AOLAN 澳蓝
EVAPORATIVE AIR COOLER间接蒸发模式：38℃回风，25℃送风，**湿工况蒸发效率65%**，补冷切换温度为： $T_{WB} \leq 18^{\circ}\text{C}$ 。

	北京	石家庄	太原	呼*特	哈尔滨	上海	福州	广州	昆明	武汉	成都	郑州	西安	兰州	西宁	银川	乌*齐
自然冷年运行小时数 (h)	6745	6473	7588	8333	7733	5293	4392	3347	8121	5286	5667	6267	6484	8504	8738	7943	8717
混合冷年运行小时数 (h)	2015	2287	1172	427	1027	3467	4368	5413	639	3474	3093	2493	2276	256	22	817	43

结论：潮湿地区混合运行模式超过3000h，最高可达到5400h；

间接蒸发模式：38℃回风，25℃送风，**湿工况蒸发效率72%**，补冷切换温度为： $T_{WB} \leq 20^{\circ}\text{C}$ 。

	北京	石家庄	太原	呼*特	哈尔滨	上海	福州	广州	昆明	武汉	成都	郑州	西安	兰州	西宁	银川	乌*齐
自然冷年运行小时数 (h)	7464	7478	8386	8710	8368	6461	5692	4459	8760	6121	6899	7108	7632	8758	8760	8674	8754
混合冷年运行小时数 (h)	1296	1282	374	50	392	2299	3068	4301	-	2639	1861	1652	1128	2	-	86	6

结论：潮湿地区混合运行模式超过2300h，最高可达到4300h；

露点间接蒸发模式：38℃回风，25℃送风，**湿工况蒸发效率100%**，补冷切换温度为： $T_{WB} \leq 25^{\circ}\text{C}$ 。

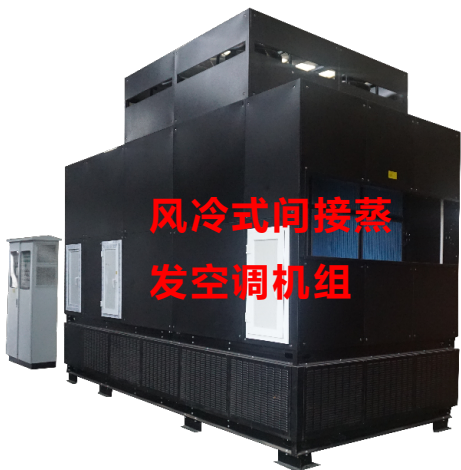
	北京	石家庄	太原	呼*特	哈尔滨	上海	福州	广州	昆明	武汉	成都	郑州	西安	兰州	西宁	银川	乌*齐
自然冷年运行小时数 (h)	8492	8545	8749	8760	8741	7886	7622	7034	8760	7670	8525	8332	8655	8760	8760	8760	8760
混合冷年运行小时数 (h)	268	215	11	-	19	874	1138	1726	-	1090	235	428	105	-	-	-	-

4-1

间接蒸发冷却空调机组

AOLAN 澳蓝
EVAPORATIVE AIR COOLER

干燥地区

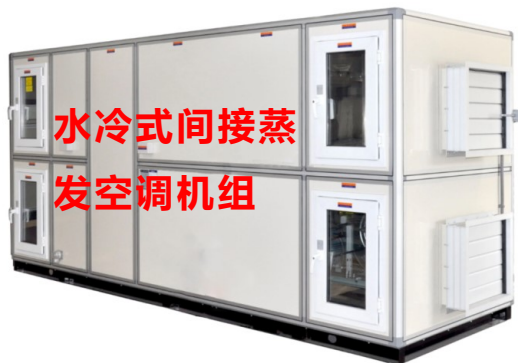


- 高分子材料芯体，机械补冷采用**风冷+热回收**；
- 无蜗壳EC离心风机墙，全变频涡旋压缩机；PLC智能群控。
- 全自然冷源利用时间长 ($T_{WB} > 20^{\circ}\text{C}$ 补冷)



- 高分子材料芯体，机械补冷采用**蒸发冷凝冷却+热回收**的机型；
- 无蜗壳EC离心风机墙，全变频涡旋压缩机；PLC智能群控。
- 全自然冷源利用时间长 ($T_{WB} > 20^{\circ}\text{C}$ ，补冷)

潮湿地区



- **非对称**高分子材料芯体，体积小；机械补冷采用**水冷+热回收**冷却方式；
- 超高能效 ($\text{COP} \geq 13$)
- **有机房专用** $\leq 100\text{kW}$ 的AHU；



- 高效**露点间接蒸发**芯体，湿球效率高达100%；
- 全自然冷源利用时间长 ($T_{WB} > 25^{\circ}\text{C}$ ，补冷)

04

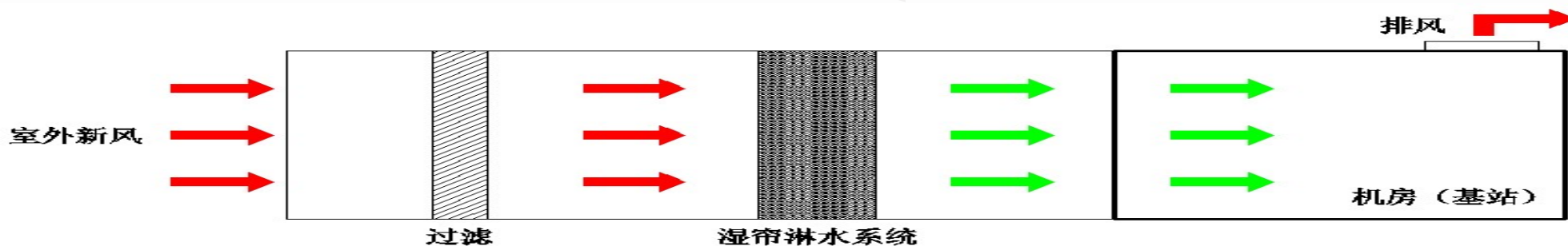
风侧降温技术及应用

直接
蒸发

AOLAN 澳蓝
EVAPORATIVE AIR COOLER

4-2

直接蒸发式空调机组



直蒸发模式：冷热通道封闭 (38°C排风, 25°C送风)，湿工况蒸发效率80%，自然冷湿球温度为： $T_{WB} \leq 23.1^\circ\text{C}$ 。

	北京	石家庄	太原	呼*特	哈尔滨	上海	福州	广州	昆明	武汉	成都	郑州	西安	兰州	西宁	银川	乌*齐
自然冷年运行小时数 (h)	8092	8149	8679	8760	8645	7256	6477	5590	8760	6848	7870	7751	8239	8760	8760	8752	8760
混合冷年运行小时数 (h)	668	611	81	0	115	1504	2283	3170	0	1912	890	1009	521	0	0	8	0

结论：仅采用自然冷就可以满足要求的：5-6个地区；

直接蒸发模式：冷热通道不封闭 (28°C排风, 16°C送风)，湿工况蒸发效率80%，自然冷湿球温度为： $T_{WB} \leq 14.5^\circ\text{C}$ 。

	北京	石家庄	太原	呼*特	哈尔滨	上海	福州	广州	昆明	武汉	成都	郑州	西安	兰州	西宁	银川	乌*齐
自然冷年运行小时数 (h)	5794	5456	6403	7117	6779	4404	2956	2430	5450	4117	4209	4992	5133	7076	8359	6769	7675
混合冷年运行小时数 (h)	2966	3304	2357	1643	1981	4356	5804	6330	3310	4643	4551	3768	3627	1684	401	1991	1085

结论：基本需要联动机械制冷系统；

4-2

无机械补冷的新风直供系统

AOLAN 澳蓝
EVAPORATIVE AIR COOLER

主要功能段

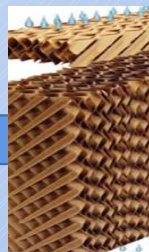
新风



过滤段



消声段



直接蒸发段



风机段

送风

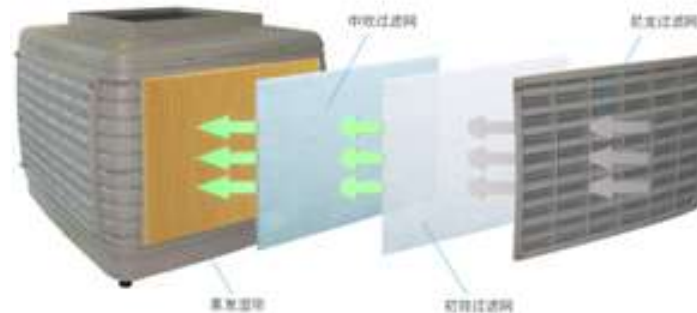
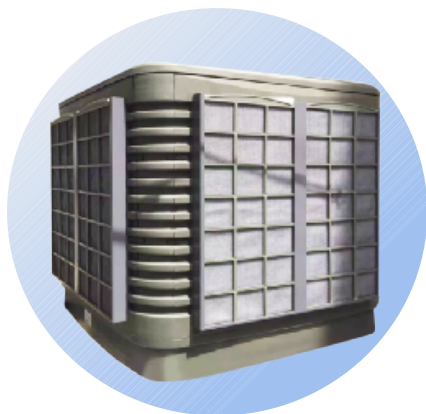
- 主要应用于常年湿球温度保持低于23 °C的地区地区。
- **永久阻燃**高分子防火湿帘，效率高，寿命长；
EC无蜗壳风机，**免维护**；PLC智能控制；
- **COP高达16**；



4-2

蒸发式冷气机+精密空调联动系统

AOLAN 澳蓝
EVAPORATIVE AIR COOLER

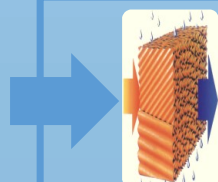


- **超低能耗，COP高达42，部分地区全年节能率高达80%；快速布置；**二十多年的市场检验，配套安装工艺成熟；投资回报率高；
- **稳定可靠长寿命：千挑细选的材料**如耐低温轴承、保险丝、阻燃扎线带和高强度耐腐蚀螺丝；**精益求精的工艺**如使用带内衬套的套筒扳手、扭矩扳手等工艺；
- 产品在防尘处理上有3-4层过滤；
- **数据机房：**与原有精密空调系统联动使用，经过近15年的运行磨合，运行稳定可靠。

4-3

精密空调设备空气预冷和加湿

室内空气加湿

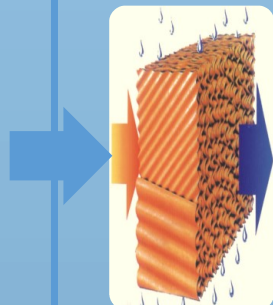


机房精密空调室内机

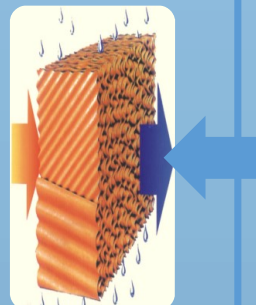


替代电极式加湿器

空气预冷



机房风冷型精密空调外机
蒸发冷凝机组
热管机组



冷却空气每降低1℃，机组耗电大约减少2%，机组产冷量增加约1%；

05

典型应用及 节能分析

AOLAN 澳蓝
EVAPORATIVE AIR COOLER



间接冷水塔：新疆第一个案例、逐渐向全国推广；**真正投入运行案例逐渐增多**；
常规冷水塔：数据中心的水冷冷水机组系统标配；投入运行案例比较多；

5-1

水侧典型案例介绍



广东某项目1，本项目目前是国内单体最大项目，共设计使用**40台205模块**内冷式间接蒸发冷水机组，在冬季利用自然冷制取14度冷水，通过板换间接为冷水末端系统提供冷水，充分利用干空气能，实现节能降耗，项目已通过第三方检测；根据理论推算PUE可以低于1.3；

5-2

风侧 (AHU) 典型案例介绍

AOLAN 澳蓝
EVAPORATIVE AIR COOLER



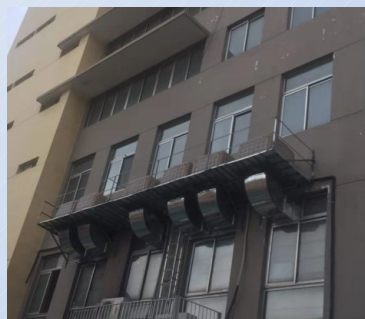
无机械补冷，仅采用直接蒸发空调机组降温的系统，投入运行案例也比较少；

项目1：位于内蒙地区，共采用6台蒸发冷却空调机组，机械补冷量约为30%，与机械制冷系统比较，全年省电量达65%，目前运行良好。

5-3

风侧(蒸发式冷气机) 典型案例介绍

AOLAN 澳蓝
EVAPORATIVE AIR COOLER



直接蒸发式冷气机: 基站和数据机房用的案例非常普及; 东北和西北地区全年节能率都在80%以上;

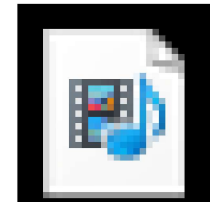
5-4

典型案例介绍



通过仿真及案例验证，不同方案对典型城市的PUE贡献不同，使用直接蒸发技术+DX或间接蒸发技术+DX系统后PUE均能够降至1.3以下。

工作顺利!
事业蒸蒸日上!
谢谢!



澳蓝宣传片(压)