



VERTIVTM
维谛技术

维谛技术白皮书

数据中心自然冷却

摘要

随着数据中心行业的发展，客户对数据中心全生命周期成本越来越关注，对精密空调的节能需求与意识越来越强。同时各地PUE新政的推出，更是把数据中心节能推向了必然之地。那么作为能耗大户的精密空调而言，节能技术的发展显得尤为重要。行业的发展，客户的诉求，出现了全时自然冷解决方案。

目录

CONTENTS

数据中心自然冷却的定义	1
数据中心自然冷技术的原理	1
数据中心自然冷却技术要素	5
数据中心自然冷却技术介绍	
• 冷冻水自然冷	
• 氟泵智能双循环自然冷	
• 直接新风冷却自然冷	
• 间接蒸发冷却自然冷	
• 全变频风冷自然冷	
自然冷却技术发展方向	
• 全时自然冷定义	
• 全时自然冷三大技术	
全时自然冷实现价值	
结论	
附表：各自然冷方案比较	

数据中心自然冷却的定义

1、数据中心自然冷却的定义

数据中心行业自然冷 (Free-Cooling), 是指利用室外的低温冷源, 达到降低能耗, 实现数据中心冷却散热的技术方法。

什么是数据中心自然冷

2、什么是数据中心自然冷

首先, 自然冷的目的, 是以较小的能源消耗为代价, 实现数据中心内部的散热, 因此其目标就是降低数据中心能耗。

其次, 自然冷的表现形式, 利用室外自然低温冷源 (低温的空气、海水、湖水、外太空的真空低温等) 实现降低数据中心空调系统能耗。

再者, 自然冷的意义, 自然冷方式必须降低数据中心空调系统能耗, 才具有实际意义。

从目的、形式、意义三个角度出发, 能够真正实现利用外部自然低温冷源降低数据中心空调系统能耗的方法, 不管其采用何种方式、方法和形式, 都是数据中心自然冷技术。

数据中心自然冷却技术要素

3、数据中心自然冷却技术要素

- A、相同参数制冷量不变
- B、能耗降低
- C、温度波动不超出设计范围

数据中心自然冷却技术介绍

4、数据中心自然冷却技术介绍

自然冷具有巨大的经济价值。数据中心行业致力于这方向的探索, 多年来已经有了不同方案。较为成熟的自然冷利用方案有以下前四种, 第五种是今年来的新趋势。

4.1、冷冻水自然冷

冷冻水自然冷系统是冷冻水系统通过增加换热器，在室外温度较低时关停或部分关停压缩机，利用冷却塔制取低温冷水的系统，是传统的自然冷方案。

方案优点：

a. 系统集成度高，集中控制；b. 不受高差管长影响；c. 持续制冷配电成本较低；

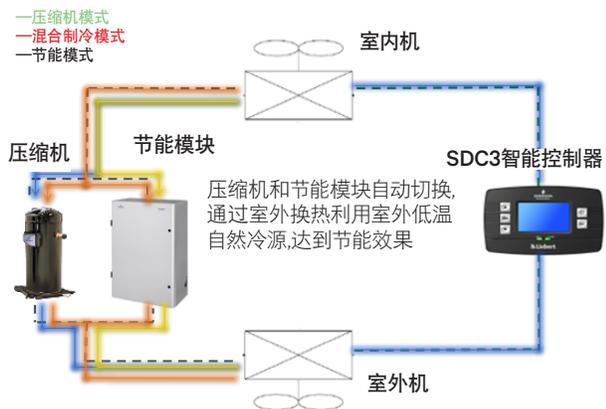
方案缺点：

a. 防冻问题，系统需要增加乙二醇或者电伴热；b. 受限于空气饱和湿度，湿度较大效果就比较差；c. 耗水量较大，缺水地区系统安全稳定性受影响；d. 需要专业维护团队，运维成本较高，运能能力影响节能性；e. 冷水主机房占地较大，蓄冷罐占地较大；f. 初投资大，分期建设、扩容较困难；

4.2、氟泵智能双循环自然冷

氟泵智能双循环自然冷系统，普通风冷系统通过增加氟泵，在低温时代替压缩机制冷的系统。

氟泵智能双循环原理图 图1



方案优点：

a. 系统具有三种运行模式，压缩机运行模式、纯氟泵自然冷模式、压泵混合模式。自然冷时间长；b. 单点故障率低；c. 分期建设容易；d. 初投资较低；e. 维护简单；

方案缺点：

a. 受高差管长影响；b. 南方地区节能率较低；

4.3、直接新风冷却自然冷

直接新风冷却也就是全新风系统，直接利用新风给机房冷却的方式。

方案优点：

a. 能耗低，节能率高；b. 不加表冷器，初投资低；c. 满灌式送风，气流组织较优；

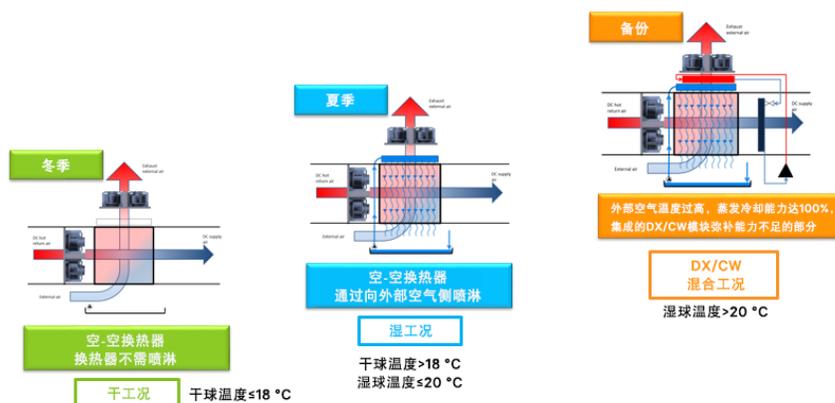
方案缺点：

a. 除硫、防沙等运维成本很高；b. 可靠性低；c. 受地域、气候影响大，大部分地区不能采用本方案；d. 需要前期建筑配合较大，后期改造扩容困难；e. 占地面积较大；

4.4、间接蒸发冷却自然冷

间接蒸发冷却自然冷系统是指通过非直接接触式换热器将直接蒸发冷却得到的湿空气(二次空气)的冷量传递给待处理空气(一次空气)实现空气等湿降温的一种解决方案。

间接蒸发冷却三种工况 图2



方案优点：

a. 具有干工况换热、喷淋蒸发换热、压缩机运行三种模式，自然冷时间较长，可靠性高；b. 节能性较好；c. 初投资较低；d. 单机容量较大；e. 运营成本较低；

方案缺点：

a. 南方地区，相对湿度较大的区域节能性很低；b. 需要前期建筑配合较大，后期改造扩容困难；c. 空间要求较大，占地面积较大；d. 受地域、气候影响大；

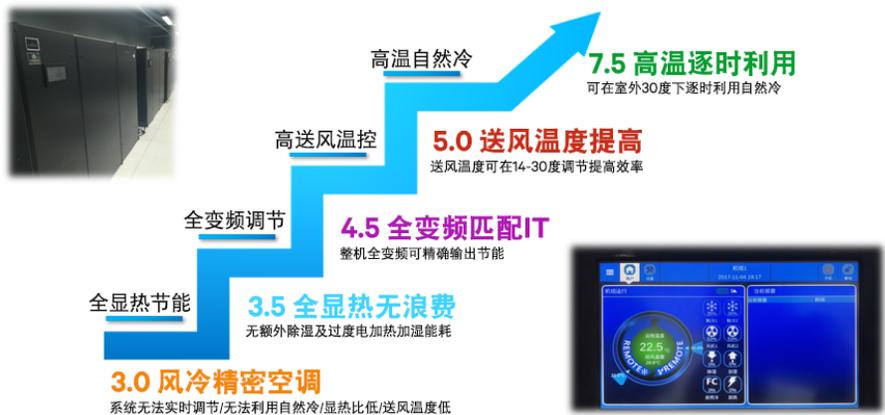
4.5、全变频风冷自然冷

全变频风冷自然冷系统就是除了压缩机变频之外，系统其它核心部件如室内风机、室外风机、电子膨胀阀等全部采用变频技术的方案。

方案优点：

a. 全变频，可以始终让压缩机工作在正常压力区间，从而在节能的同时，大大提高了系统可靠性；b. 全变频技术，解决了数据机房负载上架率的不均匀性问题，部分负载时能效很高，实现全年综合能效高；c. 全风冷系统，无复杂工程和大量工程材料，初投资低；d. 运营成本低、维护量小 e. 室内外占地面积小；f. 适合分期建设，分期投入项目；g. 工期短，交付快；h. 全变频自然冷技术，大幅增加节能效果，成就最佳TCO的目标；

全变频风冷自然冷系统高效图 3



方案缺点：

- a. 受高差管长影响；
 - b. 持续制冷成本稍大；
 - c. 管道竖井需分散
- 各方案比较见文后附表。

自然冷却技术发展方向

5、自然冷却技术发展方向

数据中心自然冷方案是当下数据中心行业发展，客户诉求的产物。自然冷技术随着时代的发展也不断改善与调整，但宗旨始终是尽量延长自然冷时间，来提高系统能效。全时自然冷（Natural cooling 24/7）是行业的呼声，也是技术发展的必然方向。

5.1、全时自然冷定义

全时自然冷就是每个时刻都在利用自然冷。全时自然冷技术是融合变频压缩机风控技术、送风控制技术、蒸发压力控制技术、热备群控分配负载技术、远程温度控制技术、氟泵变流控制技术、雾化蒸发喷淋技术等多项技术，且通过智能控制实时利用室外温度变化和室内负载变化来降低能耗的制冷技术。

5.2、全时自然冷三大技术

A. 高温自然冷

传统的自然冷方案中，不管是冷冻水自然冷、氟泵智能双循环自然冷、还是直接新风冷却自然冷，都存在一个切换温度点，而理论上，这个温度点越高，自然冷可利用的时间也就越长。以中国三大纬度典型城市，同时也是数据中心最热点三大城市北京、上海、广州气象参数为例。

全国主要城市气象参数 表1

温度分布系数	Ta	Tb	Tc	Td	Te
城市	≥30	≥20,<30	≥10,<20	≥0,<10	<0
北京	7.2%	28.10%	23.10%	21.0%	20.6%
	630.7 h	2461.6 h	2023.7 h	1839.6 h	1804.6 h
上海	8.4%	34.10%	28.80%	26.6%	2.1%
	735.8 h	2987.2 h	2522.9 h	2330.2 h	184.0 h
广州	12.7%	54.0%	28.3%	5.1%	0%
	1112.5 h	4730.4 h	2479.1 h	446.76 h	0

*数据引自《GB19413-2010计算机和数据处理机房用单元式空气调节机标准》

从上表中可以发现，自然冷切换工作温度点越高，自然冷时间越长。如果提高到30度为切换点，北上广所跨越的纬度区，接近90%的时间都可以利用自然冷源。因此，高温自然冷技术显得尤为重要。

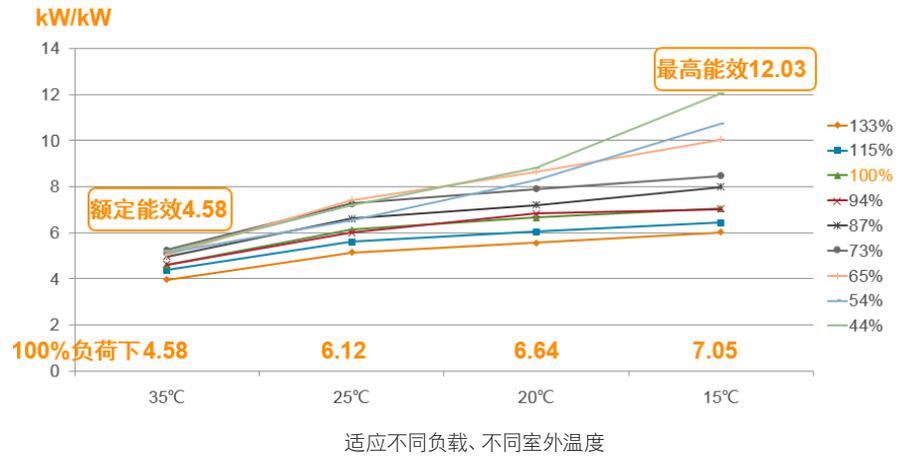
数据中心服务器耐受温度在提高，精密空调行业技术在发展，高温自然冷已经变成可能。风冷系统压缩机频率可在2-80Hz之间自由工作，压缩机转速也可以在0-7200rpm之间自由调节，电子膨胀阀开度从0-100%，室外机转速也可以在0-100%之间精确调节，从而使得制冷系统压力可以根据需要实时调整。机组可采用回风、送风、压差控制等多种控制逻辑，送风温度可在12-30℃之间调节，热通道温度可在22-45℃调节，因此，当室外温度低于室内温度时，即可开启自然冷，达到全时利用“自然冷”的效果。

B. 无死区精确调节

系统不受制于地理位置、温度、湿度、大气压力、风向等条件，也不受制于室外空气质量，风沙、一氧化碳、二氧化硫等对服务器芯片元器件会产生腐蚀

同时系统宜采用涡旋式压缩机，单个压缩机仅有45-60 kW，最小转速在33%下，因此单台机组的制冷量可在15-120 kW之间自由调节，多台机组联动工作时，冷量的组合范围更可扩大到15-N×120 kW的范围，之间无模式的切换，仅需调节压缩机转速即可。系统调节的颗粒度极小，调节曲线平滑，无死区，真正实现无死区精确调节。

适应不同负载、不同室外温度 图4



不同机组数量热备群控节能理论效果 图2

C. 全自动调节

随着对成本降低和提高运营效率的要求，未来的数据中心，必然会越来越智能化、自动化。目前DCIM解决方案正成为数据中心炙手可热的关注点。智慧的管控方案，离不开智能的基础设施，只有基础设备全部实现远程可控，智能化系统才有用武之地。因此，空调系统的全自动化也是节能的必然方向。

系统需有高级的热备群控自动均分负载的功能。根据变频节能的原理，当N+1台机组共同工作制冷时，每台机组分配的冷量将从1/N变为1/(N+1)，功率变化公式：

$$P_2/P_1 = [Q / (N+1)]^3 / [Q/N]^3 = [N/(N+1)]^3$$

备注：P-功率(KW)；Q-风(m³/h)；p-风压(Pa)；η1-风机效率可取0.719至0.8；η2-机械传动效率对于三角带传动取0.95，对于联轴器传动取0.98，a-空气密度；V-风速；Q-风量；V-风速；S-出风面积，F-频率；M-极对数；风机转速n。

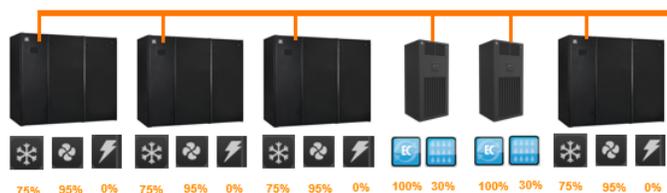
可得采用热备智能群控技术之后，采用不同N+1数量机组时可得到的节能比例如下表所示。

机组数量N	机组总数N+1	P ₂ /P ₁	节能比例
1	2	12.50%	87.50%
2	3	29.63%	70.37%
3	4	42.19%	57.81%
4	5	51.20%	48.80%
5	6	57.87%	42.13%
6	7	62.97%	37.03%

不同机组数量热备群控节能理论效果

备注：表格计算的数值仅为压缩机降转速获得的节能比例，室内\室外风机需要维持系统蒸发压力，保证系统正常工作，因此功率并不会随之完全匹配。因此整机节能比例应低于此计算总值。

热备群控负载分配效果图 图5



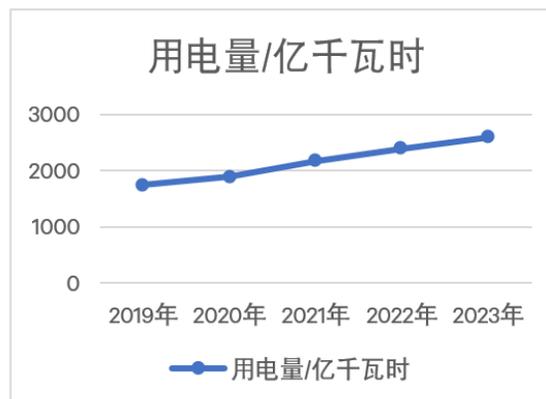
全时自然冷实现价值

6、全时自然冷实现价值

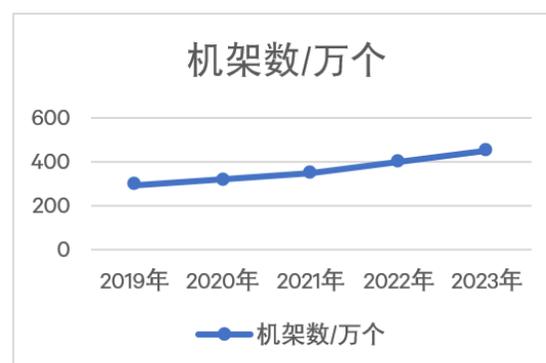
随着智慧化数据中心的发展，全时自然冷技术将会获得更大的应用，尤其在传统自然应用困难的南方区域，也可以实现低PUE。全变频风冷自然冷的基础上升级为全变频风冷全时自然冷已经在行业内掀起了热潮。

根据数据中心能耗与机架数预测，以普通风冷、冷冻水自然冷、全变频风冷全时自然冷综合分析：

数据中心能耗预测 图6



数据中心机架数预测 图7



三种系统综合分析表 表3

序号	项目	单位	全社会平均	普通风冷系统	离心机自然冷系统	全时自然冷系统
1	PUE值	kWh/kWh	1.8	2	1.45	1.25
2	总能耗	亿千瓦时	2667.9	2964.4	2149.2	1852.7
3	IT能耗	亿千瓦时	1482.2	1482.2	1482.2	1482.2
4	基础设施能耗	亿千瓦时	1185.7	1482.2	667.0	370.5
5	基础设施节能比例	%	-	-25.0%	43.8%	68.8%
6	基础设施节能	亿千瓦时	-	-296.4	518.8	815.2
7	总体节能比例	%	-	11.11%	19.44%	30.56%

新建及改造数据中心均采用全时自然冷技术全国每年可实现数据中心基础设施节能815.2亿千瓦时，比目前全国平均水平实现节能68.8%。实现数据中心行业整体30.56%节能，比传统离心机自然冷方案节能收益率高57%。

结论

7、结论

随着数据中心行业的发展，客户对数据中心全生命周期成本越来越关注、对精密空调的节能需求与意识越来越强，同时各地PUE新政的推出。冷冻水自然冷、全新风自然冷等传统的自然冷系统已经满足不了市场的诉求。全时自然冷 (Natural cooling 24/7) 已成为数据中心热管理解决方案的目标，也是行业发展的必然趋势。它将逐步替代传统的自然冷方案，成为行业的主流。

附表：各自然冷方案比较

序号	项目	方案				
		冷冻水自然冷	智能双循环自然冷	全新风自然冷	间接蒸发自然冷	全变频风冷自然冷
1	占地面积	第一	第四	第三	第二	第五
2	空调系统最大配电功率	最大	第二	最小	第三	第四
3	初投资	第二	第四	最小	最大	第三
4	PUE	平均高于1.35	高于1.30	1.1 (基本难实现)	可实现1.25	可实现小于1.25
5	OPEX	最高	第三	最低	第二	第四
6	运维人员值班费用	3班+各专业主管+项目经理 (12-24)	无需专业人士	1-2人	1-2人	无需专业人士
7	运行成本	最高	第三	第二	第四	最低
8	BA监控系统	需要投资大, 还不包括末端	无	需要, 投资大	需要, 投资大	无
9	优势说明	1、系统集成度高, 集中控制	1、系统具有三种运行模式, 压缩机运行模式、纯氟泵自然冷模式、压泵混合模式。自然冷时间长	1、能耗低, 节能率高	1、具有干工况换热、喷淋蒸发换热、压缩机运行三种模式, 自然冷时间较长, 可靠性高	1、全变频, 可以始终让压缩机工作在正常压力区间, 从而在节能的同时, 大大提高了系统可靠性
		2、不受高差管长影响	2、单点故障率低	2、不加表冷器, 初投资低	2、节能性较好	2、全变频技术, 解决了数据机房负载上架率的不均匀性问题, 部分负载时能效很高, 实现全年综合能效高;
		3、持续制冷配电成本较低	3、分期建设容易	3、满灌式送风, 气流组织较优	3、初投资较低	3、全风冷系统, 无复杂工程和大量工程材料, 初投资低
			4、初投资较低		4、单机容量较大	4、运营成本低、维护量小
			5、维护简单		5、运营成本较低	5、室内外占地面积小
						6、适合分期建设, 分期投入项目
						7、工期短, 交付快
						8、全变频自然冷技术, 大幅增加节能效果, 达到成就最佳TCO的目标
10	缺点说明	1、防冻问题, 系统需要增加乙二醇或者电伴热	1、受高差管长影响	1、除硫、防沙等运维成本很高	1、南方地区, 相对湿度较大的区域节能性很低	1、受高差管长影响
		2、受限于空气饱和湿度, 湿度较大效果就比较差	2、南方地区节能率较低	2、可靠性低	2、需要前期建筑配合较大, 后期改造扩容困难	2、持续制冷成本稍大
		3、耗水量较大, 缺水地区系统安全稳定受影响		3、受地域、气候影响大, 大部分地区不能采用本方案	3、空间要求较大, 占地面积较大	3、管道竖井需分散
		4、需要专业维护团队, 运维成本较高, 运维能力影响节能性		4、需要前期建筑配合较大, 后期改造扩容困难	4、受地域、气候影响大	
		5、冷水主机房占地较大, 蓄冷罐占地较大		5、占地面积较大		
		6、初投资大, 分期建设、扩容较困难				



维谛技术有限公司

Vertiv.com

售前电话：400-887-6526

售后电话：400-887-6510



关注官微
了解更多资讯