# 数据中心自然冷却技术的应用

王　泉
安徽电信规划设计有限责任公司　安徽　合肥　230031

**摘　要：**传统数据中心全年不间断制冷，其制冷系统的能耗占到整个数据中心能耗的50%，投入了巨大的能源和资金。本文对空调系统自然冷却技术在数据中心的应用作出了浅析。

**关键词：**绿色数据中心；自然冷却；节能减排；PUE

## 1 数据中心空调系统能耗特点

数据中心能耗中除去IT能耗外，空调能耗占到绝大部分比例，数据中心如果要降低能耗费用，节能减排，在无法升级IT设备时，空调系统是首先需要考虑的。空调系统自然冷却技术的应用是数据中心节能的核心，也是降低数据中心能耗的重要途径，是数据中心节能潜力最大的环节。

## 2 自然冷却的概念

自然冷却在时间上指的是一个区间，即春秋过渡季节和冬季，在这个时间段内，室外环境的温度低于数据中心空调的回风温度，此时就可以利用室外自然冷源与室内高温回风的温度差，在不开启或部分开启制冷压缩机的情况下，将数据中心空调的回风进行冷却，达到或部分达到数据中心所需的冷却温度。而在夏季室外环境温度较高时，使用自然冷源无法满足冷却要求是，则开启空调压缩机进行制冷。

### 2.1 自然冷却的分类

依据空调制冷系统的不同类别，自然冷却分为冷却水冷却和新风冷却。新风冷却又分直接冷却和间接冷却。

### 2.2 直接新风自然冷却系统

直接新风自然冷却系统，当室外环境空气满足数据中心的温度要求时，直接引进外部环境空气对数据中心进行冷却。依据国标《数据中心设计规范》GB50174-2017[1]，主机房内的冷通道或机柜进风区域的温度要求18℃-27℃，相对湿度不宜大于60%。例如机房送风温度取规范上限27℃，则室外空气温度在小于等于27℃时可完全利用自然冷却来为数据中心提供冷源。机房回风温度取38℃（送回风温度11℃温差）时，室外空气温度在27℃-38℃之间，可采用制冷压缩机与室外新风同时为机房冷却模式。

### 2.3 间接新风自然冷却系统

间接新风自然冷却系统就是不直接引入新风到机房，通过两种介质的换热，间接的利用室外自然冷源，中间增设了空-空换热器。换热器的加入实现了机房不直接引入外部空气，从而系统中可以省去或减少空气过滤装置的使用。

间接新风自然冷却系统相比直接冷却系统减少了大量过滤器的投入，但按照规范仍需提供直接新风维持机房室内正压。

### 2.4 冷却水自然冷却系统

冷却水自然冷却主要采用冷却塔或干冷器作为自然冷源，利用室外较低的湿球温度或干球温度来获得冷水的技术。

冷却水自然冷却方式如下：

（1）开式冷却塔直接自然冷却。冷却塔的冷水直接工给机房末端空调机组使用。此种方式会因为冷水塔水质问题导致管道系统结垢而影响空调系统使用寿命。

（2）开式冷却塔间接自然冷却。冷却塔的冷却水通过板式换热器与冷冻水进行换热使冷冻水温度降低，向机房末端空调供冷。

（3）闭式冷却塔自然冷却。闭式冷却塔是将水喷洒在塔内的管式换热器上，水蒸发吸热降低管内的冷却水温度。喷淋水与冷却水不混合。

（4）干冷器自然冷却。干冷器与闭式冷却塔类似，两者主要区别在于干冷器无水喷淋装置，没有水的消耗，至依靠室外空气将盘管中的高温介质热量带走，冷却用的是室外干球温度。

## 3 数据中心常用自然冷却空调设备及系统

### 3.1 蒸发冷却冷水机组

蒸发冷却冷水机组利用水的蒸发冷却降低冷水温度。工作流程：首先进入冷水机组的高温干燥空气通过间接蒸发冷却器等湿处理，使得空气的干球温度和湿球温度被同时降低，然后进入直接蒸发冷却器，在直接蒸发冷却填料表面空气和水进行热质交换，水中的一部分热量以水蒸发的形式进入空气，水的温度降低。降低后的冷水通过水泵直接进入机房末端CRAH盘管，为机房处

理余热。

3.2 带自然冷却的风冷冷水机组

在传统的风冷冷水机组上并联自然冷却盘管，使得机组同时具备机械制冷和自然冷却的功能，并在冷凝器上集成蒸发冷却模块。冬季及过渡季自然冷却工况下，冷冻水通过或换热器与自然冷却盘管中的乙二醇溶液换热，降低冷冻水温度。

3.3 水冷冷冻水机组集成板式换热器系统

该系统由冷冻水主机、板式换热器、冷冻水泵、冷却水泵、冷却塔组成。冬季和过渡季节利用冷却塔和板式换热器实现冷冻水和冷却水的换热，实现自然冷却。夏季和过渡季节开启冷水主机制冷。数据中心水冷空调系统常采用高温冷冻水，例如冷冻水供回水温度取15/21℃工况下，室外温度在8.5℃及以下时，可完全采用自然冷模式；室外温度在8.5℃-13.5℃时可采用自然冷和机械冷并用的模式。

3.4 间接蒸发冷却风冷机组

同样是利用水的蒸发潜热进行制冷，间接蒸发冷却相对于直接蒸发冷却来讲的，它是室外新风与循环水在湿通道侧直接接触等焓降温后再间接的通过换热器带走机房热回风中的热量，从而达到对使用空气进行等湿降温的效果。间接蒸发冷却风冷机组送风温度24℃，机房回风36℃时，在室外湿球温度低于22.5℃工况下可完全采用自然冷却模式，在室外湿球温度22.5℃-34.5℃工况下课部分采用自然冷却模式。

## 4 数据中心自然冷却气象统计

根据《中国建筑热环境分析专用气象数据集》中实测气象数据为基础，获得全国典型城市干球温度、湿球温度逐时分布数据，如下表所示。

表1 典型城市室外干球温度分布小时数

| 城市名 | T≥35℃ | 35℃ > T≥30℃ | 30℃ > T≥25℃ | 25℃ > T≥20℃ | 20℃ > T≥15℃ | 15℃ > T≥10℃ | 10℃ > T≥5℃ | 5℃ > T≥0℃ | T < 0℃ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 太原 | 0 | 122 | 737 | 1359 | 1398 | 1075 | 1153 | 1120 | 1796 |
| 哈尔滨 | 0 | 71 | 484 | 1045 | 1299 | 868 | 730 | 747 | 3516 |
| 合肥 | 41 | 512 | 1415 | 1763 | 1224 | 918 | 1364 | 1204 | 319 |
| 海口 | 6 | 975 | 3449 | 2490 | 1516 | 274 | 0 | 0 | 0 |

表2 典型城市室外湿球温度分布小时数

| 城市名 | T≥35℃ | 35℃ > T≥30℃ | 30℃ > T≥25℃ | 25℃ > T≥20℃ | 20℃ > T≥15℃ | 15℃ > T≥10℃ | 10℃ > T≥5℃ | 5℃ > T≥0℃ | T < 0℃ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 太原 | 0 | 0 | 12 | 610 | 1594 | 1425 | 1129 | 1294 | 2696 |
| 哈尔滨 | 0 | 0 | 24 | 577 | 1261 | 1192 | 937 | 850 | 3919 |
| 合肥 | 0 | 11 | 987 | 1777 | 1564 | 1090 | 1205 | 1557 | 569 |
| 海口 | 0 | 0 | 2924 | 3078 | 2109 | 619 | 30 | 0 | 0 |

采用蒸发冷技术和开式冷却塔系统的自然冷却，应对照室外湿球温度。

基于表2可以看出若采用水冷空调系统，严寒地区城市哈尔滨，全年数据中心完全利用自然冷却时长可达到5700h以上；寒冷地区城市太原，全年完全利用自然冷却时长为5000h以上；夏热冬冷地区城市合肥，全年完全利用自然冷却时长为3300h以上；夏热冬暖地区城市海口，全年完全利用自然冷却时长约为30h，完全自然冷却的时间很短。

若采用间接蒸发冷空调系统，严寒地区城市哈尔滨，全年数据中心完全利用自然冷却时长可达到8700h以上；寒冷地区城市太原，全年完全利用自然冷却时长为8700h以上；夏热冬冷地区城市合肥，全年完全利用自然冷却时长为7700h以上；夏热冬暖地区城市海口，全年完全利用自然冷却时长约为5500h。

采用干冷器、闭式冷却塔的自然冷空调系统，应对照室外干球温度。

基于表1可以看出若采用自然冷却风冷冷水空调系统，严寒地区城市哈尔滨，全年数据中心利用自然冷却时长约为5000h；寒冷地区城市太原，全年数据中心利用自然冷却时长约为4000h；夏热冬冷地区城市合肥，全年数据中心利用自然冷却时长约为2900h；夏热冬暖地区城市海口，全年数据中心无法利用自然冷却。

## 5 工程实例

某一栋四层数据中心楼坐落于山东青岛，建筑面积约2万平米，IT机柜总功耗为13000KW，空调选用水冷冷冻水集成板式换热器系统，三层、四层机房配套风冷模块热管多联空调，作为双冷源空调的第二冷源。

水冷主机选用4台（3用1备用）额定制冷量为4900kW（1400RT）离心式水冷冷水机组，冷冻水进出水温度为15/21℃；为三层、四层主机房配置17台制冷量为300KW的模块多联重力热管机组。机房空调送回风温度为23/35℃。冷却塔选型的夏季逼近度取3.5℃。

**青岛全年室外逐时温度统计表**

| 湿球温度℃ | 湿球温度小时数h | 干球温度℃ | 干球温度小时数h |
|---|---|---|---|
| T > 27 | 634 | ts > 31 | 407 |
| 26 < T≤27 | 265 | 30 < ts≤31 | 141 |
| 25 < T≤26 | 263 | 29 < ts≤30 | 166 |
| 24 < T≤25 | 250 | 28 < ts≤29 | 175 |
| 23 < T≤24 | 271 | 27 < ts≤28 | 225 |
| 22 < T≤23 | 276 | 26 < ts≤27 | 299 |
| 21 < T≤22 | 249 | 25 < ts≤26 | 332 |
| 20 < T≤21 | 279 | 24 < ts≤25 | 317 |
| 19 < T≤20 | 236 | 23 < ts≤24 | 380 |
| 18 < T≤19 | 245 | 22 < ts≤23 | 325 |
| 17 < T≤18 | 192 | 21 < ts≤22 | 372 |
| 16 < T≤17 | 236 | 20 < ts≤21 | 198 |
| 15 < T≤16 | 251 | 19 < ts≤20 | 339 |
| 14 < T≤15 | 285 | 18 < ts≤19 | 262 |
| 13 < T≤14 | 304 | 17 < ts≤18 | 242 |
| 12 < T≤13 | 277 | 16 < ts≤17 | 238 |
| 11 < T≤12 | 273 | 15 < ts≤16 | 270 |
| 10 < T≤11 | 302 | 14 < ts≤15 | 257 |
| T≤10 | 3672 | ts≤14 | 3815 |
| | 8760 | | 8760 |

模块多联重力热管系统在室外干球温度≤31℃时实现部分自然冷却，全年部分自然冷却时长为4945h；室外干球温度≤14℃时实现完全自然冷却，全年完全自然冷却时长为3815h。

冷冻水系统在室外湿球温度≤15℃时，可实现部分自然冷却，全年部分自然冷却时长为1441h；室外湿球温度≤10℃时，可实现完全自然冷却，全年完全自然冷却时长为3672h。机械制冷全年时长为3647h。

## 6 结语

数据中心节能问题最重要的就是空调系统节能，空调系统是否节能最重要的就是如何充分利用自然冷却将节能发挥到极致。根据不同地区室外气象参数，选择合适的空调自然冷却方式是选择数据中心空调系统建设方案的重点。

## 参考文献

[1]中华人民共和国住房和城乡建设部、中华人民共和国合同法质量监督检验检疫总局.数据中心设计规范:GB 50174-2017。

[2]中国气象局气象信息中心气象资料室、清华大学建筑技术科学系《中国建筑热环境分析专用气象数据集》。

[3]中数智慧信息技术研究院《数据中心蒸发冷却冷水系统及高效空调末端集成技术白皮书》。