

# Discussion on the Application of Water Storage Technology in Data Center

Ze Zhao Hao Wang Xinchun Yang Yuyang Hu Jie Cui

Agricultural Bank of China Data Center, Beijing, 100095, China

## Abstract

This paper briefly describes the demand of continuous cooling for high density data center and the key points of application of water storage system in data center. Firstly, the principle, classification and application characteristics of water storage system in data center are analyzed. Secondly, the implementation plan and control strategy of the most common water storage system in data center are analyzed in detail. Finally, the technical guidance for the efficient operation of water storage system is proposed from two dimensions of design and operation.

## Keywords

data center refrigeration; emergency cold source; water storage

## 浅谈水蓄冷技术在数据中心的应用

赵泽 王浩 杨新春 胡宇阳 崔杰

中国农业银行数据中心, 中国·北京 100095

## 摘要

论文简述了高密度数据中心对连续制冷的需求与水蓄冷系统在数据中心的应用要点。首先, 分析了水蓄冷系统原理、分类及其在数据中心的应用特点; 其次, 对数据中心最常用的水蓄冷系统的实施方案和控制策略作详细分析; 最后分别在设计和运行两个维度, 针对水蓄冷系统的高效运行提出技术指导。

## 关键词

数据中心制冷; 应急冷源; 水蓄冷

## 1 引言

为保障 IT 设备正常运行, 数据中心需配备精密空调为其提供  $7 \times 24\text{h}$  的制冷环境, 对数据中心而言, 即使短暂的供冷中断, 也会给 IT 设备带来宕机的风险。相关研究结果表明<sup>[1,2]</sup>, 当 IDC 机房的热密度在  $3 \sim 4.5\text{kW}/\text{m}^2$  时, 机柜的平均进风温度在  $5\text{min}$  内将升到  $15^\circ\text{C} \sim 28^\circ\text{C}$ 。市电故障停电时, 首先 UPS 通过蓄电池向 IT 设备供电, 同时启动柴油发电机, 柴油发电机稳定后即可向耗电设备供电。文献[3]统计了几种数据中心常见的离心式制冷机组从启动到达到额定制冷量所需时间, 并认为从柴油发电机启动到制冷机组平稳启动的时间间隔可达  $30\text{min}$ , 这段时间若无应急制冷, IDC 机房温度将急剧上升并导致宕机。可见, 对数据中心而言, 设置合理的应急冷源对保证 IDC 机房设备安全稳定运行至关重要。

【作者简介】赵泽(1996-), 男, 中国山东聊城人, 硕士, 工程师, 从事数据中心运维与建筑节能调适研究。

## 2 水蓄冷原理和分类

图 1 为单罐蓄冷系统, 充冷时, 冷冻水通过蓄冷罐底部的布水器进入, 回水通过位于蓄冷罐顶部的布水器离开, 放冷时其方向恰好相反。通常冷冻水进水与水箱中温度较高的水混合, 会形成一到两英尺厚的斜温层, 斜温层是冷冻水中垂直温度和密度梯度急剧变化的区域, 也叫作热边界层, 其起到阻止上下冷热水进一步混合的作用。在蓄冷罐充冷、放冷过程中, 斜温层会增厚。实际应用中, 为实现高效蓄冷, 应尽可能减小斜温层的体积; 为减少冷热水混合, 常采用自然分层蓄冷、多槽式蓄冷、迷宫式蓄冷和隔膜式蓄冷方法。其中自然分层蓄冷方法是保证水蓄冷系统高效运行最为经济、高效的方法, 也是当前数据中心应用最广泛的形式。

按蓄冷罐是否与大气直接连通, 水蓄冷系统分为开式和闭式两种。闭式系统的蓄冷罐为压力容器, 通常设置在建筑内部, 单体容积较小, 对罐体材质的要求较高, 其造价也相对高, 可将其通过串联或并联的方式接入空调系统中。对开式系统, 蓄冷罐体积较大, 通常设置在建筑外部, 需考虑园区规划并与建筑外观相协调, 其他国家某数据中心的开式

蓄冷罐外观如图 2 所示。开式蓄冷罐造价较低，可通过并联方式将其接入空调系统，工程中常将开式蓄冷罐兼作系统定压点，并要求其液位高度高于建筑物中水系统最高点。

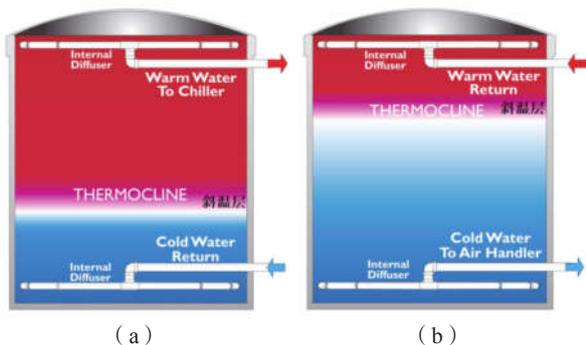


图 1 单冷罐水蓄冷系统示意图



图 2 某数据中心开式蓄冷罐外观图

### 3 水蓄冷的主要实施方案

根据蓄冷罐与空调水系统的连接方式，水蓄冷实施方案分为一次泵串联闭式罐、一次泵并联闭式/开式罐、二次泵串联闭式罐、二次泵并联闭式/开式罐等，其中一次泵串联闭式罐方案、二次泵并联开式罐方案应用最为广泛，其控制策略与实施方案如下所示。

#### 3.1 一次泵串联闭式罐方案

一次泵串联闭式罐方案示意图见图 3。

- 冷水机组正常供冷，阀门  $V_3$ 、 $V_6$  关闭， $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_4$ 、 $V_5$  开启，冷冻水泵  $P_1$  开启，主机向末端供冷。
- 断电后，冷水机组停止运行，UPS 为水泵  $P_1$  供电，阀门  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_6$  开启， $V_3$ 、 $V_4$ 、 $V_5$  关闭，蓄冷罐作应急冷源向末端供冷。
- 释冷完毕后蓄冷阶段，开启阀门  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_4$ 、 $V_5$ ，关闭  $V_6$ ，调节  $V_3$  开度，使冷水机组向末端供冷的同时蓄冷罐蓄冷。
- 在主机进出口设置温度、压力、流量传感器，监控进出水参数，同时在蓄冷罐内部设置温度传感器，监测蓄冷罐内部水温。

#### 3.2 二级泵并联开式罐

二级泵并联开式罐方案示意图见图 4。

- 冷机供冷与蓄冷罐蓄冷时，阀门  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_4$ 、 $V_5$  开启，水泵  $P_1$ 、 $P_b$  开启，蓄冷罐与系统并联运行，主机向末端供冷同时蓄冷罐蓄冷。
- 根据蓄冷罐水温调节  $V_3$ 、 $V_4$ ，阀门  $V_5$  开启，当蓄冷罐内温度高于设定值时向蓄冷罐补冷。

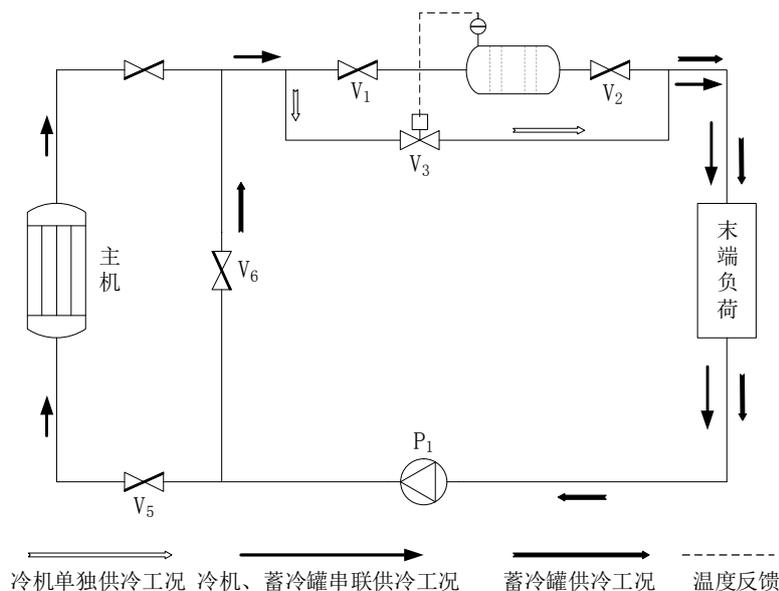


图 3 一次泵串联闭式罐方案示意图

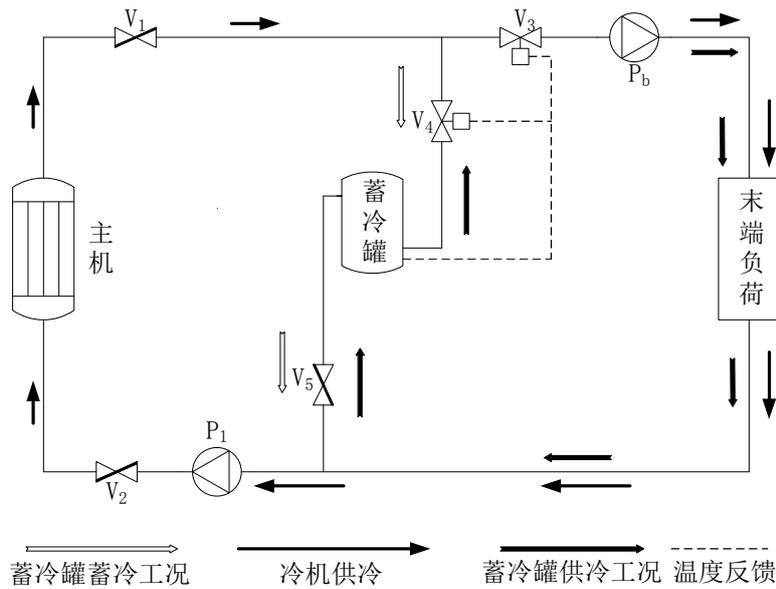


图 4 二级泵并联开式罐方案示意图

c. 断电后，冷机停止运行，阀门  $V_3$ 、 $V_4$ 、 $V_5$  开启， $V_1$ 、 $V_2$  关闭，UPS 为水泵  $P_b$  供电，水泵  $P_1$  关闭，蓄冷罐单独供冷。

d. 冷机进出口设置温度、压力、流量传感器，监控其进出水参数，同时在蓄冷罐内设置温度传感器，检测蓄冷罐内水温变化。

#### 4 水蓄冷设计及运行技术要点

第一，水蓄冷系统设计、运行中，应优化末端空调或水泵的运行逻辑，增加蓄冷供回水温差。文献 [4] 表明温差较大时，斜温层更加稳定，其波动更小，温度分层更为明显。由于蓄冷温差的增加导致水密度差异越发明显，因而蓄冷罐内的浮升力将加大，自然分层效应加强，有助于蓄冷效率的提升。

第二，多台蓄冷罐并联工作时，无论与空调系统呈并、串联连接，均应注意水力平衡问题，可通过同程式管道连接或加装平衡阀的方式，避免出现蓄冷罐充放冷不同步问题。

第三，斜温层厚度是反映蓄冷能力的重要参数，在设计阶段应通过数值模拟方式确定斜温层厚度，在运维初期应测试充放冷斜温层厚度。

第四，对于开式蓄冷系统，一般蓄冷罐高度应高于建筑物系统最高点，如项目受客观条件限制，无法保证蓄冷罐高度高于建筑物高度时，应在管路设置背压阀，以保证水系统维持正压 [5]。

第五，对开式蓄冷方式，蓄冷罐内的液面和大气会通过溢流口和检修孔的空隙等细小通道流通产生细微的接触。为减少这种细小流通造成的水污染，降低蓄能水罐空气溶解

率，减少对设备和管道氧腐蚀，蓄水罐蓄水表面可采用微正压氮封的技术措施来隔绝空气，以降低空气中氧气、二氧化碳等气体融入水中造成的腐蚀。

#### 5 结语

论文简述了数据中心的制冷需求，对水蓄冷原理、分类及常见的水蓄冷实施方案作了详细的描述，并总结了水蓄冷系统在设计、运维方面的工程经验和要点，结论如下：

①在市电—柴油发电机切换的时间内，若无应急冷源供冷，高功率密度机架的机柜温度将急剧升高，数秒钟内可导致宕机等事故。

②防止冷冻水与回流温水混合、减小斜温层的厚度，对水蓄冷系统的高效运行尤为关键。

③工程设计与运维中，可通过增加蓄冷供回水温差、设置同程式管道优化水力平衡等相关措施，提高水蓄冷系统的应用效率。

#### 参考文献

- [1] 钟景华,曹播,王前方,等.中国数据中心技术指南[M].北京:机械工业出版社,2014.
- [2] 安真.不间断制冷技术在数据中心工程中的应[J].洁净与空调技术,2014(4):49-51.
- [3] 殷平.数据中心研究(10):不间断供冷和蓄冷[J].暖通空调,2020,368(2):6-13.
- [4] 黄庆河,曹连华,蔡宇.水蓄冷技术在数据中心的应用研究[J].暖通空调,2016,46(10):1-4+17.
- [5] Kent W Peterson, P E. Chilled Water TES Hydraulics[J].ASHRAE Journal,2015(2):89.