

数据中心水蓄冷削峰填谷应用研究

Research on Application of Chilled-water Storage Cutting Peak and Filling Valley in Data Center

陆翔,王占军,侯艳亮,丁昊(中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司,河南 郑州 450007)

Lu Xiang, Wang Zhanjun, Hou Yanliang, Ding Hao (China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Zhengzhou Branch, Zhengzhou 450007, China)

摘要:

介绍了水蓄冷削峰填谷在数据中心应用的优势,针对数据中心水蓄冷削峰填谷提出了几点建议,并结合具体案例分析了数据中心应用水蓄冷削峰填谷的可行性和经济性,说明了可在峰谷电价差较高地区的数据中心大力推广水蓄冷削峰填谷技术。

关键词:

水蓄冷;数据中心;削峰填谷

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2023.01.017

文章编号:1007-3043(2023)01-0088-05

中图分类号:TU831.6

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

It introduces the advantages of chilled-water storage cutting peak and filling valley in data center, puts forward some suggestions on cutting peak and filling valley with chilled-water storage in data center, and analyzes the feasibility and economy of applying this technology in data center with a concrete case. It shows that the technology of cutting peak and filling valley with chilled-water storage can be vigorously popularized in data centers in areas with high peak-valley electricity price difference.

Keywords:

Chilled-water storage; Data center; Cutting peak and filling valley

引用格式:陆翔,王占军,侯艳亮,等. 数据中心水蓄冷削峰填谷应用研究[J]. 邮电设计技术,2023(1):88-92.

0 前言

由于目前电能无法有效地大规模储存,为了平衡供电侧与用电侧的能力差,各地发改委普遍制定了峰谷电价。用电侧采取削峰填谷措施,可平衡电网负荷,提高发电设备的使用效率,从宏观上实现节能减碳。近年来随着云计算、5G、虚拟货币等技术迅猛发展,国家新基建、东数西算等战略的落地实施,数据中心的用电规模急剧攀升,并朝着大型化、集中化的方向发展。结合国家峰谷电价政策,在大型数据中心项

目推广采用削峰填谷措施具有较好的社会效益和经济效益,而目前蓄冷技术是削峰填谷主要技术措施之一,且已在数据中心领域有应用案例。

1 蓄冷技术形式及原理

1.1 蓄冷技术形式

空调蓄冷技术主要有冰蓄冷及水蓄冷等2种。通过制冰方式,以相变潜热储存冷量,并在需要时融冰释放出冷量的空调系统为冰蓄冷系统;利用水的显热储存冷量的系统为水蓄冷系统。目前数据中心常用的为水蓄冷系统,其优势主要有以下几个方面。

a) 水蓄冷系统可与原空调系统“无缝”连接,无需

收稿日期:2022-12-21

再额外配置蓄冷冷源,可利用备用机组蓄冷,节省初投资。

b) 水蓄冷系统的冷水温度与原系统的空调冷水温度相近,可考虑直接使用,不需设额外的设备对冷水温度进行调整。

c) 水蓄冷系统控制简单,运行安全可靠,如出现紧急状况可及时投入使用,满足数据中心应急供冷的要求。

d) 数据中心设备负荷的加载是一个渐进的过程,在数据中心运行的初期,负荷率较低,制冷主机效率很低。可以利用水蓄冷系统夜间满负荷蓄冷(同时带末端负荷),白天放冷,避免主机喘振(负载率30%以下时)的同时降低运行能耗。

1.2 水蓄冷系统原理

1.2.1 水蓄冷系统组成

采用低温蓄冷(蓄冷温度低于制冷温度)时,水蓄冷系统主要由冷却塔、冷却水泵、冷水主机、冷冻水泵、蓄冷装置、板式换热器、蓄冷水泵和放冷水泵组成。采用常温蓄冷(蓄冷工况与制冷工况相同)时,水蓄冷系统主要由冷却塔、冷却水泵、冷水主机、冷冻水泵、蓄冷装置组成。

1.2.2 水蓄冷系统运行模式

蓄冷系统运行模式为蓄冷模式和放冷模式。

蓄冷模式:制冷机制取低温冷水,通过蓄冷泵或冷冻泵,将冷水储存到蓄冷装置内。

低温蓄冷放冷模式:蓄冷装置中的低温冷水通过放冷水泵、板换与用户侧的高温冷冻回水进行热交换,完成放冷。

常温蓄冷放冷模式:蓄冷装置中的常温冷水通过冷冻泵到用户侧,完成放冷。

水蓄冷低温蓄冷原理图如图1所示。

水蓄冷常温蓄冷原理图如图2所示。

由数据中心集中式水冷空调系统的特点及水蓄冷系统原理可知:

a) 数据中心集中式水冷空调系统中,冷源设备一般按 $N+1$ 设置,水蓄冷系统的冷却塔、冷却水泵、冷水主机、冷冻水泵可与数据中心冷源的备用机组共用,采用低温蓄冷时,备用制冷机需采用双工况机组(蓄冷工况和制冷工况)。

b) 采用低温蓄冷时,水蓄冷技术较普通制冷过程多一次能量转换,必然产生更多能耗,经测算采用水蓄冷技术会使数据中心PUE增加约0.01。此外,如数

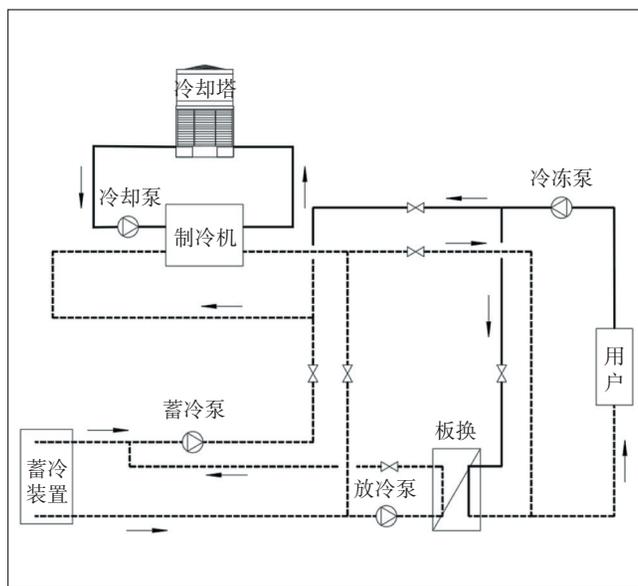


图1 水蓄冷低温蓄冷原理图

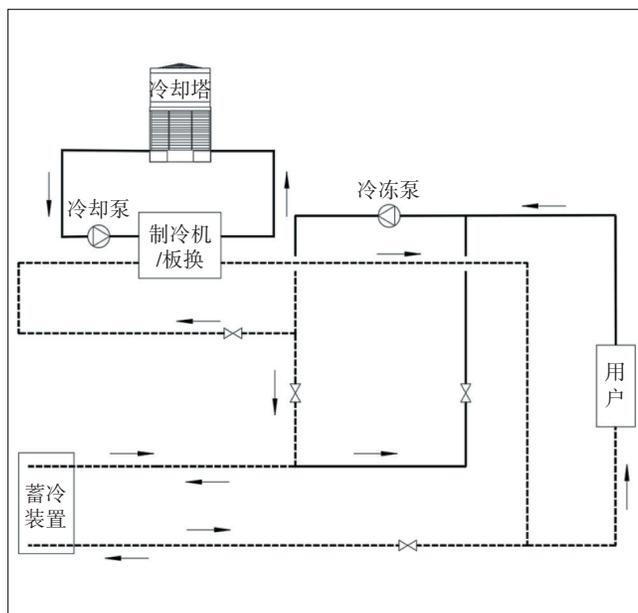


图2 水蓄冷常温蓄冷原理图

据中心冬季可采用板换自然冷模式,不开启制冷主机,夜间采用低温蓄冷相比白天制冷将增加制冷主机功率、蓄冷泵及放冷泵功率,蓄冷用电功率远大于白天制冷功率,经济性较差,则冬季自然冷时一般不考虑水蓄冷削峰填谷。

c) 采用常温蓄冷时,蓄冷过程仅增加冷冻泵能耗,但蓄冷温差一般较小,蓄冷装置容积较大。如冬季采用板换自然冷模式,可利用夜间谷电价进行常温蓄冷,白天放冷,经济性需根据项目具体情况进行测算。

2 数据中心应用建议

2.1 蓄冷装置设计

关于蓄冷装置的选择,表1所示是数据中心中常用的3种蓄冷装置方案的对比。

通过对比可知,针对大型数据中心水蓄冷削峰填谷,目前采用闭式蓄冷罐时经济性较差,且蓄冷容积较小,一般优先考虑地上开式蓄冷罐或地下蓄冷水池方案。地上开式蓄冷罐方案的优势是经济性较好,且可采用常温蓄冷,但对室外场地条件要求较高,蓄冷容积受限;地下蓄冷水池方案施工工艺相对较复杂,但对室外地上空间和园区整体规划效果无影响,蓄冷容积一般较大,经济性相对较好,通用性更强。项目中具体应用时可根据自身特点进行选择。

2.2 蓄冷系统设计

蓄冷装置确定以后,数据中心蓄冷系统设计主要从以下几个方面考虑。

2.2.1 蓄冷工况

根据蓄冷装置方案,可选择常温蓄冷或低温蓄冷工况。采用低温蓄冷工况时,目前常用蓄冷温度为:4~14℃,蓄冷温差为6~10℃。蓄冷温度应根据制冷工况确定,越接近制冷温度,则蓄冷机组效率越高,越有利于降低运行费用;蓄冷温差越大,蓄冷容积越小,越有利于降低蓄冷成本,需根据机组选型确定。

2.2.2 蓄冷容积

蓄冷容积和蓄冷冷源型号、项目场地条件有关。综合各种因素,最优方案是按照单台备用机组谷价蓄冷时长来确定蓄冷容积,在场地条件允许的情况下,一般最长蓄冷时间为当地夜间谷价时长,不用额外增加蓄冷冷源投资,且节省占地面积,经济性较好。具体项目应根据场地条件具体分析。

2.2.3 放冷模式

放冷模式一般有按照单台机组白天连续放冷和白天峰段、尖峰段集中放冷2种。放冷模式和机房上架负荷率有关,前期负荷率较低时(一般低于20%)可在白天连续放冷,根据负荷率确定放冷的天数。随着负荷率的上升,推荐在白天峰段,特别是夏季尖峰段集中放冷,提高经济效益。具体放冷时间应根据当地峰谷电价政策详细设计,应扣除满足应急供冷所需的15 min。

2.2.4 蓄冷模式

蓄冷模式一般有只在低谷电价时蓄冷和低谷和平段电价时都蓄冷2种。蓄冷模式和蓄冷容积、放冷模式有关,前期负荷率较低时,可在夜间低谷蓄冷,白天连续放冷;负荷率上升后,应根据当地峰谷电价详细设计,可采用平段二次蓄冷、峰段放冷。第1次蓄冷后,后续可蓄冷时间应扣除系统应急供冷占用的15 min。

表1 3种蓄冷装置的对比

项目	开式蓄冷罐	闭式蓄冷罐	地下蓄冷水池
保温	保温一般采用聚氨酯,外保护采用彩钢板,工艺成熟,保温施工难度小	保温一般采用聚氨酯,外保护采用彩钢板或铝板,工艺成熟,保温施工难度小	蓄冷水池保温须先用防水材料做防水,然后用保温材料做保温,施工难度相对较大
布水	开式蓄冷罐可采用多次布水,效率较高(85%~90%);在相同斜温层厚度情况下,由于开式蓄冷罐横截面相对蓄冷水池横截面小,故布水效率一般高于蓄冷水池	闭式蓄冷罐可采用多次布水,效率较高(85%~90%);在相同斜温层厚度情况下,由于闭式蓄冷罐横截面相对蓄冷水池横截面小,故布水效率一般高于蓄冷水池	蓄冷水池可采用H型同程分水配水技术布水,提高布水效率;在相同斜温层厚度情况下,由于蓄冷水池横截面相对于蓄冷罐横截面大,故效率(80%~85%)一般低于蓄冷罐,液位越低效率越低
室内外空间	一般放置在室外地上,占用室外空间较大,蓄冷罐高度一般不低于建筑高度,对园区整体规划效果影响较大	放置在室外时常采用立式罐,占用室外空间较小,对园区整体规划效果影响较小。放置在室内时常采用卧式罐,布置较灵活,蓄冷罐较多时管线较复杂,对层高要求高	一般放置在地下,不影响室外地上空间和园区整体规划效果。由于水位较低,地下占地面积较大。可考虑与消防水池(需当地消防部门认可)、空调补水池(平时需以市政补水为主)合用
蓄冷温度	可采用常温蓄冷或低温蓄冷,采用低温蓄冷时需增加板换	一般采用常温蓄冷	一般采用低温蓄冷,需增加板换
蓄冷容积	单体蓄冷容积较大,一般在500 m ³ 以上,蓄冷总容积受室外地上场地条件所限	闭式蓄冷罐由于单体尺寸基本上需要满足整体运输,因此单体容积不会太大,一般在350 m ³ 以下	蓄冷容积较大,一般在500 m ³ 以上,蓄冷总容积受地下场地条件所限
投资	开式蓄冷罐由于单体容积较大,不承担系统压力,同时可用作定压装置,单方造价相比于闭式蓄冷罐和蓄冷水池要低。单立方造价为2 000~5 000元,容积越大,单立方造价越低	闭式蓄冷罐由于单体尺寸较小,同时承担系统压力,单方造价相比于开式蓄冷罐和蓄冷水池要高。单立方造价为6 000元左右	蓄冷水池由于结构的特殊性,土建成本占比较大,单立方造价为3 000~4 000元,地下层高越高单立方造价越高

2.2.5 冷损失

蓄冷系统冷损失包括蓄冷装置布水斜温层冷损失、蓄冷装置保温冷损失和蓄冷、放冷管道冷损失。根据厂家数据及设计经验,建议斜温层冷损失按5%~20%考虑,蓄冷装置保温冷损失按1%~5%考虑,管道冷损失按1%~5%考虑,应根据项目具体条件选取系数值。

2.2.6 室外环境因素

不同季节室外环境温度不同,白天和夜间环境温度也不同,对蓄冷机组和制冷机组的能效均有影响,冷源侧能耗建议按季度平均室外湿球温度进行计算。

2.2.7 静态回收期

综合以上因素,可测算出蓄冷系统初投资和后期节省的运行费用,计算出静态回收期。建议初投资中扣除满足国A机房15 min应急供冷所需投资,静态回收期6年以上的一般不推荐采用水蓄冷削峰填谷。

3 工程案例

以采用地下蓄冷水池方案的实际工程为例,进行水蓄冷削峰填谷系统设计和经济性分析。

3.1 工程概况

该工程位于广州市,规划机架数为3 990架(平均功率为6.42 kW),建设标准按照国标GB50174中A级数据中心,设计PUE<1.3,考虑蓄冷因素后,实际计算PUE为1.28。

3.2 蓄冷方案

该工程冷源采用5+1台1700RT的制冷机组,如采用蓄冷罐方案满足国A机房15 min不间断制冷要求,经计算,应建设4个有效容积约330 m³的蓄冷罐,采用室外立式闭式蓄冷罐,则总投资约为800万元。当地政府要求不能在地面设置高大设备,所以蓄冷罐方案不适宜。采用地下蓄冷水池方案,并结合当地峰谷电价进行削峰填谷。

根据项目场地条件及考虑10℃蓄冷温差,按单台备用机组夜间蓄冷8 h计算,蓄冷水池有效容积为:512.3×8=4 098.4 m³,按4 100 m³计。

根据场地条件,水池设置在机房下方地下一层,液位约3 m,斜温层冷损失按15%考虑,保温冷损失按5%考虑,管道冷损失忽略不计,总冷损失为20%。

由于该工程采用间接蒸发冷塔+板换自然冷技术,每年可进行完全自然冷的时长约为94天,按3个月计,则冬季不考虑水蓄冷削峰填谷。

机柜上架负载率按第1年30%、第2年及以后60%考虑。

3.3 初投资测算

地下一层设有空调补水池、消防水池、蓄冷水池,蓄冷水池考虑和空调冷却水补水池共用10 h补水量并按照水量分摊,考虑基坑支护等费用,分摊后蓄冷水池的土建投资约为940万元。加上水蓄冷设备及配电投资约780万元,水蓄冷系统的总投资约为1 720万元。

若不设地下水蓄冷水池,机房楼需考虑不小于15 min的应急制冷需求,仍需设置蓄冷系统。此时,枢纽楼应急制冷所需要的投资约为800万元。则设置水蓄冷削峰填谷增加的投资约为920万元。

3.4 蓄、放冷时间设计

根据广州市分时电价政策及该工程机柜上架负载率,对蓄、放冷时间进详细设计。广州市分时电价如表2所示。

表2 广州市分时电价表

	尖峰(7—9月)	高峰	平段	低谷
时间段	11:00—12:00	10:00—12:00	08:00—10:00	00:00—08:00
	15:00—17:00	14:00—19:00	12:00—14:00	
			19:00—24:00	
小时数/h	3	7	9	8
电价/元	1.297 1	1.037 7	0.610 4	0.232

3.4.1 第1年蓄、放冷时间

蓄冷时间:机柜负载率为30%时,经测算,蓄冷机组可承担20%的IT负荷,小于机柜负载率,则第1年系统即可按照最大蓄冷量运行,单台蓄冷机组可在夜间满负荷蓄冷8 h,扣除20%冷损失后,在白天峰段时如按单体机组可放冷时长为8×0.8=6.4 h,按照系统满负荷单次可放冷6.4×0.2/0.3=4.26 h,扣除系统应急供冷15 min后每天可放冷时间为4 h,第2天及以后可蓄冷时间为4×0.3/0.2/0.8=7.5 h。

放冷时间:一次放冷时间为10:00—12:00,放冷2 h(夏季含尖峰1 h);二次蓄冷时间为12:00—14:00,蓄冷2 h;二次放冷时间为14:00—18:00,放冷3.3 h(夏季含尖峰2 h),总放冷时间为5.3 h。

3.4.2 第2年及以后蓄、放冷时间

当机柜负载率为60%时,每天放冷时间为6.4×0.2/0.6-0.25=1.88 h<3 h,每天蓄冷时间为7 h,夏季可在尖峰段集中放冷。

过渡季(4—6月、10—12月):一次放冷时间为10:00—12:00,放冷1.88 h;二次蓄冷时间为12:00—14:00,蓄冷2 h;二次放冷时间为14:00—15:00,放冷0.66 h,总放冷时间为2.54 h。

夏季(7—9月):一次放冷时间为11:00—12:00,放冷1 h;二次蓄冷时间为12:00—14:00,蓄冷2 h;二次放冷时间为15:00—17:00,放冷1.54 h,总放冷时间为2.54 h。

3.5 运行费用和回收期测算

根据测算,设计蓄、放冷时间内每年有蓄冷空调和无蓄冷空调的用电量如表3所示。

表3 用电量测算表

时间	有蓄冷空调		无蓄冷空调	
	过渡季用电量/kWh	夏季用电量/kWh	过渡季用电量/kWh	夏季用电量/kWh
第1年	2 055 168	1 055 799	1 877 688	965 178
第2年及以后	1 943 640	998 694	1 679 040	873 684

系统的运行费用是根据24 h峰谷平电价×对应时间段耗电量得到的,则根据分时电价,每年可节省运行电费如表4所示。

表4 节省电费测算表

时间	过渡季可节省电费/万元	夏季可节省电费/万元	全年可节省费用/万元
第1年	121.17	75.56	196.7
第2年及以后	103.56	75.45	179

则该工程水蓄冷系统削峰填谷的静态回收期为: $1+(920-196.7)/179=5$ 年。

4 结束语

数据中心应用水蓄冷削峰填谷技术可获得良好的经济效益,特别是在前期机房负荷率较低时不仅可以节电,还可以节能,降低机房前期的PUE,同时还可带来良好的社会效益,有利于宏观上的节能减排。

在系统应用时,应综合考虑影响初期投资及运行成本的各种因素,根据项目具体条件选择合适的水蓄冷方案,并结合当地峰谷电价政策进行全面、详细的设计和计算,以便在项目前期客观地评价蓄冷方案的合理性及经济性。

综上所述,水蓄冷削峰填谷技术可在峰谷电价差较高地区的数据中心项目中推广和应用,但项目具体应用时,应根据其自身特点在项目前期对蓄冷方案进行全面充分的论证,确保方案的可实施性及经济性。

参考文献:

- [1] 中关村储能产业技术联盟. 2022上半年全国各地最大峰谷价差汇总分析[EB/OL]. [2022-06-15]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1735694436679331641&wfr=spider&for=pc>.
- [2] 中国工程建设标准化协会. 数据中心制冷与空调设计标准: T/CECS 487-2017[S]. 北京: 中国计划出版社, 2017.
- [3] 张新昌, 郭世鹏, 王亚泽, 等. 数据中心水蓄冷削峰填谷的经济性分析[J]. 节能与环保, 2022(5): 26-28.
- [4] 方贵银. 蓄冷空调工程实用新技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2000.
- [5] 冯立京. 蓄冷技术在数据中心空调系统中的应用探讨[J]. 制冷空调与电力机械, 2011, 32(3): 65-67, 64.
- [6] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 2版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [7] 罗苗苗, 姚文炳, 蔡宇. 水蓄冷空调系统在数据中心应用的节能效益分析[J]. 节能与环保, 2022(2): 83-84.
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范: GB 50736-2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [9] 张毅. 水蓄冷空调系统在数据中心工程中的应用[J]. 邮电设计技术, 2014(1): 15-17.
- [10] 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.
- [11] 段铁伊. 水蓄冷技术在数据中心的应用实例分析[J]. 制冷与空调, 2015, 15(9): 81-86.
- [12] 娄小军, 王学军. 数据中心水冷冷冻水系统能效分析[J]. 建筑节能, 2018, 46(1): 19-22.
- [13] 景森, 贾峻, 杨威. 数据中心大温差水蓄冷技术节电应用[J]. 智能建筑电气技术, 2022, 16(1): 101-104.
- [14] 张先提, 王琳. 广州某数据中心水蓄冷系统优化配置分析研究[J]. 暖通空调, 2021, 51(2): 86-90.
- [15] 吴冬青, 陈向阳. 上海某大型数据中心水蓄冷系统设计方案研究[J]. 暖通空调, 2017, 47(12): 58-64.
- [16] 孙长青, 焦义华. 数据中心蓄冷系统的选择及蓄冷时间的确定[J]. 节能, 2017, 36(12): 60-62.

作者简介:

陆翔, 工程师, 硕士, 主要从事数据中心暖通空调设计工作; 王占军, 高级工程师, 硕士, 主要从事机房及数据中心设计咨询及造价咨询工作; 侯艳亮, 工程师, 学士, 主要从事数据中心暖通空调设计工作; 丁昊, 高级工程师, 学士, 主要从事数据中心暖通空调设计及产品研发工作。