

区域供冷与蓄冷技术发展动态

刘金平^{1,✉}, 滕林², 陈向阳³

(1. 华南理工大学 电力学院, 广州 510640; 2. 广州珠江新城能源有限公司, 广州 510627;
3. 广州泰阳能源科技有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的] 空调能耗渐趋增加, 是电网峰谷电量差的主要原因之一, 分析区域供冷及蓄冷技术的特点及在主动调节空调制冷系统的用电量分布, 减小用电高峰负荷的作用, 为区域供冷的规划、设计及运行提供参考。[方法] 采用蓄冷工程调研文献综述及实际案例分析相结合的方法。分析了水蓄冷、盘管外融冰蓄冷技术的特点, 区域供冷的资源秉性以及应遵循的原则。[结果] 研究表明: 区域供冷及蓄冷技术在中国发展大有可为, 水蓄冷系统灵活方便, 宜利用电价机制鼓励用户自己投资建设。盘管外融冰蓄冷系统的单位蓄冷规模初投资和生命周期总费用均随着蓄冷系统规模增加呈现下降趋势, 但变化趋势渐趋平缓。区域供冷项目应规划先行, 且视为本区域全部成员资源利益最大化的项目, 须全员参与, 才可获得最大利益, 并全员共享。[结论] 所提区域供冷与蓄冷技术可为实际应用提供指导。

关键词: 区域供冷; 冰蓄冷; 水蓄冷

中图分类号: TM73; TU831

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2020)03-0001-05

开放科学(资源服务)二维码:



Development Trend of District Cooling and Cool Storage Technology

LIU Jinping^{1,✉}, TENG Lin², CHEN Xiangyang³

(1. School of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;
2. Guangzhou Pearl River New City Energy Company, Guangzhou 510627, China;
3. Guangzhou Taiyang Energy Technology Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] The energy consumption of air conditioners is gradually increasing, which is one of the main reasons for the difference between the peak and valley power consumption of the power grid. Analyzing the characteristics of district cooling and cold storage technology and actively adjusting the distribution of electricity consumption of air conditioning and refrigeration systems to reduce the peak load of electricity consumption, provide references for planning, design, and operation of district cooling. [Method] Combining the literature review of cold storage engineering research and actual case analysis, we botained the characteristics of water storage and ice storage technology outside the coil, the nature of resources for district cooling and the principles to be followed. [Result] The results show that development of district cooling and cold storage technologies in China is promising. The water storage system is flexible and convenient, and it is advisable to use the electricity price mechanism to encourage users to invest themselves. As for the ice storage system outside the coil, the initial investment and total life cycle cost per unit of the cold storage system show a downward trend with the increase of the size of the cold storage system, but the change trend is gradually flattening. District cooling projects should be planned in advance. And it is regarded as a project that maximizes the benefit of resources of all members of the district. All members must participate to get the maximum benefit and share it with all members. [Conclusion] This work provides some guidance for further study on district cooling and cool storage technology.

Key words: district cooling; ice storage; water storage

收稿日期: 2020-06-23 修回日期: 2020-06-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目“基于制冷剂超润湿特性的竖直管内薄液膜降膜蒸发换热机理”(51776075)

1 广东地区空调用能的特点

广东地处夏热冬暖地区,夏季湿热时间长。作为中国的第一经济大省。产业结构先进、第三产业比例高,使用空调的产业也越来越多,人民生活水平较高,空调系统的用能量大。

广东省电网降温负荷逐年增加,且占年最大负荷的比重越来越大^[1]。随着广东省产业结构不断调整,第三产业和居民生活用电量所占比重有所增加,一方面会拉动最大负荷增长,另一方面会使日负荷的均衡性降低,从而使日负荷率降低^[2]。典型日负荷曲线主要由气候和用电习惯所决定,但随着第三产业的不断发展,城镇化率的不断提高,高峰时段负荷会快速增长,低谷时段负荷相对越来越小^[3]。

综合体建筑常见的使用功能是办公、商业、酒店。经对典型办公建筑空调冷负荷的分析,负荷基本与用电高峰期同步,而用电低谷期则基本上没有负荷。经对商业综合体空调冷负荷的分析,空调典型日峰值冷负荷约为低谷冷负荷的4倍。经对酒店综合体空调冷负荷的分析,空调典型日峰值冷负荷约为低谷冷负荷的3倍^[4]。

对于一个地区来说。其居住人数在一天内是基本上不变的,但由于在白天太阳辐射强、气温高以及人员的活动强度大,均比夜间产生的冷负荷要大得多,所以在白天的降温冷负荷比晚上大得多。在白天人群集聚的办公建筑、商业建筑空调冷负荷的放大尤显突出。空调降温负荷是广东电网产生较大峰谷电量差的重要原因之一。

因此主动调节空调制冷系统的用电量分布,减小用电高峰负荷、增大谷期用电负荷,移峰填谷,运用对电网的用户侧、需求侧管理的技术措施,减小电网用电量的峰谷差。

城市的CBD区域集中了大量的办公建筑和商业综合体,这两类建筑物具有明显的峰谷用电特点,对这两类建筑,采用蓄冷空调系统可以有助于电力供应侧与空调用户侧能量匹配,有助于转移电力高峰、平衡电网负荷,也有助于在整个电力能源系统范围内获得节省投资、提高运行效率的效果^[5]。

国家发改委等六部委联合印发《电力需求侧管理办法》(修订版)^[6](2017年9月20日实施)进一

步明确电力需求侧管理就是综合采取合理、可行的技术和管理措施,在用电环节移峰填谷、有序用电。鼓励推进工业、建筑等领域电力需求侧管理。

2 区域供冷与蓄冷技术特性分析

与日本和韩国的蓄冷空调工程累计情况对比结果表明:虽然我国国土面积、人口数量和建筑体量远超日韩两国,但蓄冷项目数量却远远少于日韩两国。说明蓄冷技术在我国推广应用还有较大的发展空间^[7]。区域供冷项目涉及因素繁多,应规划先行^[8]。

建筑物的供冷量也是资源,但如不合理利用,则不能体现出资源的秉性。

区域供冷系统的效益。取决于其负荷率,负荷率越高,其效益越显著;区域内的建筑物或用户均使用区域供冷系统的冷量,则可取得最大的负荷率。全部用户可应用最高效率、最佳性价比的区域供冷系统的冷量并获得最大收益。因此区域供冷项目应视为本区域全部成员资源利益最大化的项目。必须全员参与,才可获得利益最大化,并全员共享。

在蓄能空调工程技术标准^[9]中指出:在设计蓄能空调系统前,应对建筑物的空调负荷特性和运行特点进行分析,当符合执行分时电价,且经技术经济分析合理时,宜采用蓄冷空调系统。

常用且成熟的蓄冷技术主要有冷水蓄冷和盘管外融冰的冰蓄冷系统。冰蓄冷系统蓄冷强度大、占用空间小,但冷水机组蒸发温度低,系统运行效率降低,对运行管理技术团队的专业化水平要求较高;水蓄冷系统占用空间大,但可利用非规整空间,冷水机组蒸发温度高,可在系统负荷低和环境温度低时适当提高蒸发温度,获得更高的系统效率。

周敏^[10]等调研抽取了国内26个项目样本。得出了单位蓄冷规模初投资和生命周期总费用均随着蓄冷系统规模增加呈现下降趋势,但变化趋势渐趋平缓。

3 广州珠江新城核心区集中供冷项目

广州珠江新城核心区集中供冷项目一期工程建设自2008年7月份动工,至2009年12月完工,设计装机容量为2.5万冷吨,其中双工况冷水机组7台,采用电机直接驱动的三级压缩离心式压缩机,

该机组空调工况时,蒸发器侧25%乙二醇水溶液出、进温度分别为3.5℃和8.5℃,冷凝器侧冷却水出、进温度分别为37℃和32℃,满负荷制冷量为2 200 RT,能效比COP为5.33;制冰工况时,蒸发器侧25%乙二醇水溶液出、进温度分别为-6.0℃和-2.6℃,冷凝器侧冷却水出、进温度分别为33.5℃和30℃时,满负荷制冷量为1 497.3 RT,能效比COP为4.48;基载主机1台,采用电机直接驱动的三级压缩离心式压缩机,该机组在蒸发器侧25%乙二醇水溶液出、进温度分别为5℃和11℃,冷凝器侧冷却水出、进温度分别为37℃和32℃时,满负荷制冷量为2 000 RT,能效比COP为5.56。一期外融冰蓄冰盘管容量约8.0万RTh,蓄冷期制冰结束时制冰厚度为26.4 mm,蓄冰槽占地面积约为7 000 m²,自2010年3月份开始正式供冷,并按照用户需求常年提供24小时不间断空调用冷服务。随着区内用冷需求的不断增加,该项目已于2015年启动二期工程,设计装机容量为1.5万冷吨,其中双工况冷水机组3台,该机组空调工况制冷量为2 200 RT,能效比COP为5.33;制冰工况时,满负荷制冷量为1 497.3 RT,能效比COP为4.48;制冷量为2 000 RT的基载主机1台,二期外融冰蓄冰盘管,容量约4.0万RTh,蓄冷期制冰结束时制冰厚度为26.4 mm,蓄冰槽占地面积为3 000 m²,已在2018年完工并投入运营,为核心区内的公用建筑和商业项目提供优质的用冷服务。主要供冷用户包括广州大剧院、海心沙亚运场馆、广州地铁APM线、广州图书馆等公共机构,以及花城汇地下商场、周大福金融中心(珠江新城东塔)、富力盈凯广场、富力盈通大厦、环球都会广场、凯华国际中心、雅居乐中心、侨鑫国际中心等商业项目,未来还会为番禺总部大楼、广州“三馆”项目等建筑提供用冷服务。

珠江新城核心区集中供冷项目已签约用户的建筑物用冷负荷总计6.0万RT,减少装机容量2.0万RT。对应减少冷水机组系统初投资1.1亿元(按5 500元/RT计算),减少用电容量2万kVA(按综合COP=3.5计算),减少变配电初投资1 800万元(按900元/kVA计算)。为用户节约了不小于8 000 m²的制冷机房面积,增加了建筑物的商业开发价值。由于能源站选址于临江的公共绿化带内,减少了因

冷却塔运行给城市CBD区域带来的热岛效应和噪声、水雾等污染源,显著改善了CBD区域的环境。

利用Niagara平台软件实现设备远程全自动控制和运行数据存储功能,基于10余年的历史运行数据分析实现精准的负荷预测,并根据负荷预测情况制定最优的运行策略,在能源站至用户负荷中心1.5~2 km的平均输送距离和有蓄冰的情况下实现系统年综合COP超过3.3。

经统计,2019年夏季最高可削减18 MW的峰值电力负荷,并转移37.72 GWh峰期电力负荷到低谷时段。全年供冷量210 GWh,全年平均COP为3.35。在珠江新城核心区实施集中供冷实现了预期的社会效益和经济效益,为广州的城市化发展打造了一个可资借鉴的在新城市中心区域实施能源体系变革的良好示范。该项目也因其综合示范效应,而在2018年9月被“中国能源报”评为“中国城市能源变革十大样板工程”。

4 水蓄冷技术及典型项目

办公建筑、商业综合体和酒店综合体类建筑,尖峰负荷突出,峰谷负荷特征明显,采用水蓄冷系统,夜间蓄冷、白天使用积蓄的冷量与冷水机组联合供冷形式,可以减少制冷机组的容量、制冷机房的面积及配电(变压器)的容量。蓄冷水槽采用蓄冷水罐型式或蓄冷水池在高位时,可以在蓄冷、放冷时使冷水机组与用户直联,减少板式换热器的换热温差以及因板换所导致的冷量品位的降低,通过运行策略优化甚至可以减少实际用电量;而对于水槽液面低于最高供冷点的系统,通常宜增加板换以防止冷水倒流,用电量会较无板换系统增多,但运行可靠性增强。蓄冷水槽内的蓄冷和取冷时连续流动的水流分布直接影响着冷水的储存效果和水槽的使用周期。必须利用水密度随温度降低而降低以及水导热系数小的特性,采用温度高的水从上部进、出水槽、温度低的水从下部进、出水槽;均匀、低速布水,减小斜温层厚度、降低冷热水混合带来的损失。多台冷水机组结合水蓄冷系统,可在满足用冷需求的同时,优化调节运行冷水机组的负荷,使其在最高效率负荷点运行,尤其在负荷率非常低的情况下,可避免出现机组低负荷运行、效率偏低的现象,避免离心式冷水机组出现喘振。冷水机组结

合水蓄冷系统优化调节运行的安全性和高效性优势更加明显。

1 m³蓄冷水槽容积,蓄冷水槽的使用效率为0.85,在蓄冷温差为8℃,制冷机组COP=5.0,高峰6 h平均释放冷量,可减少高峰负荷260 W,商业建筑按每年满负荷蓄冷运行270天计,全年可以减少427 kWh的高峰用电量。如深圳市民中心利用消防水池改造为蓄冷水槽约1 600 m³,水蓄冷系统改造后,可减少高峰负荷约761 kW。每年可以减少817 MWh的高峰用电量。中山完美日用品有限公司建设水蓄冷槽约4 000 m³,可减少高峰负荷约1.115 MW。每年可以减少1.605 GWh的高峰用电量。

需全年供冷的数据中心和工业企业每年满负荷蓄冷运行可达365天。1 m³蓄冷水槽容积,全年可以减少约580 kWh的高峰用电量。典型的数据中心和工业企业水蓄冷工程如表1所示。尽管有的项目单个水蓄冷工程的蓄冷量不大,转移高峰期用电量不显著,但水蓄冷系统灵活方便,可提高制冷系统的备用性和可靠性,运行时间长,相对投资回收期较短,在广东省有蓄冷电价政策前提下,一般三年左右即可回收投资成本,有场地的新建建筑或改建中央空调系统均适合。宜利用电价机制鼓励用户自己投资建设。建设的水蓄冷工程量多了,总和的蓄冷量就大了,转移高峰期用电量的作用也会显著提高。

表1 典型的数据中心和工业企业水蓄冷工程

Tab. 1 Typical data center and cold storage engineering of industrial enterprise

项目名称	蓄冷水池容积/m ³	可减少高峰负荷/MW	年可以减少高峰用电量/MWh
联新(开平)高性能纤维有限公司	2 600	1.045	1 670
湛江中湛纺织有限公司	3 000	1.363	990
中国电信南方基地	3 500	1.141	2 520
广州云谷二期数据中心	5 000	1.556	3 970
广州汇云数据中心	5 200	1.371	3 000
中国联通互联网应用创新基地一期工程	9 000	2.372	5 190
惠州亿纬锂能股份有限公司	24 000	6.326	13 850

2019年广州电网统调最高负荷约为18 GW,如果减少高峰负荷10%,即1.8 GW,广州市需蓄冷水槽容积683万m³。2019年广东省电网最高负荷约为118 GW,如果减少高峰负荷10%,即11.8 GW,广东省需蓄冷水槽容积4 477万m³。

5 结论

1) 区域供冷及蓄冷技术在在中国发展大有可为。

2) 水蓄冷系统灵活方便,宜利用电价机制鼓励用户自己投资建设。

3) 盘管外融冰蓄冷系统,单位蓄冷规模初投资和生命周期总费用均随着蓄冷系统规模增加呈现下降趋势,但变化趋势渐趋平缓。

4) 区域供冷项目应结合建筑类型、冷负荷密度,先行规划。且视为本区域全部成员资源利益最大化的项目。须全员参与,才可获得最大利益,并全员共享。

参考文献:

- [1] 童述林,文福拴. 节能减排环境下广东省年最大降温负荷的测算与分析[J]. 华北电力大学学报(自然科学版),2010,37(5):32-37.
TONG S L, WEN F S. Calculation and analysis of the annual maximum high-temperature related load in the energy saving and emission reduction environment in Guangdong Province [J]. Journal of North China Electric Power University (Natural Science Edition), 2010, 37(5): 32-37.
- [2] 郁嘉嘉,左郑敏,程鑫. 外部因素对广东省电网负荷特性的影响分析[J]. 水电能源科学,2018,36(5):210-213.
HUAN J J, ZOU Z M, CHENG X. Influence analysis of external factors on load characteristics of Guangdong power grid [J]. Water Resources and Power, 2018, 36(5): 210-213.
- [3] 郁嘉嘉,左郑敏,程鑫,等. 省级电网负荷特性分析方法研究[J]. 机电工程技术,2018,47(2):80-85.
HUAN J J, ZOU Z M, CHENG X, et al. A method of provincial power grids load characteristics analyzing [J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2018, 47(2): 80-85.
- [4] 贾珍,申肖肖. 综合体建筑冰蓄冷模式适用性分析[J]. 建筑技术开发,2019,46(6):102-103.
JIA Z, SHEN X X. Applicability analysis of ice storage mode for complex buildings [J]. Building Technology Development,

- 2019,46(6):102-103.
- [5] 中国建筑科学研究院. 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范:条文说明:GB 50736—2012 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012:172-173.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Design code for heating ventilation and air conditioning of civil building: GB 50736—2012 [S]. Beijing: China Construction Industry Press, 2012: 172-173.
- [6] 发改委等六部委. 《电力需求侧管理办法》(修订版): 发改运行规[2017]1690号 [EB/OL]. (2017-09-26) [2020-06-23]. https://www.sohu.com/a/195273054_99908709.
National Development and Reform Commission and Other Five Ministries and Commissions. "Demand side management measures" (Revised Edition): NDRC[2017]1690 [EB/OL]. (2017-09-26) [2020-06-23]. https://www.sohu.com/a/195273054_99908709.
- [7] 徐伟,孙宗宇,李骥,等. 中国蓄冷空调工程应用调查分析研究(2011-2015) [J]. 暖通空调,2016,46(7):75-80.
XU W, SUN Z Y, LI J, et al. China cool storage air conditioning engineering application status (2011-2015) [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2016, 46(7): 75-80.
- [8] 张毓敏. 从规划的角度分析区域供冷供热技术 [J]. 城市建筑,2019,16(26):75-77.
ZHANG Y M. Analysis on district cooling and heating technology from the perspective of planning [J]. Urbanism and Architecture, 2019, 16(26): 75-77.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 蓄能空调工程技术标准:JGJ 158—2018 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2018.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Technical standard for thermal storage air-conditioning system: JGJ 158—2018 [S]. Beijing: China Construction Industry Press, 2018.
- [10] 周敏,罗东磊,汪道先,等. 蓄冷空调系统经济性比较研究 [J]. 洁净与空调技术,2020(1):30-38.
ZHOU M, LUO D L, WANG D X, et al. The application of cool storage technology and some issues in design [J]. Contamination Control & Air-Conditioning Technology, 2020(1): 30-38.

作者简介:



刘金平

刘金平 (通信作者)
1962-, 男, 广东广州人, 华南理工大学教授, 西安交通大学低温工程硕士, 华南理工大学化学工程博士, 主要从事制冷剂相变换热研究及工程应用 (e-mail) mpjpliu@scut.edu.cn.



滕林

滕林

1968-, 男, 广东广州人, 广州珠江新城能源公司有限公司总经理, 西安交通大学制冷设备及低温技术专业学士, 主要从事区域集中供冷项目的投资、建设和运营管理 (e-mail) et313@139.com.



陈向阳

陈向阳

1971-, 男, 浙江江山人, 广州泰阳能源科技有限公司总经理, 广东省特支计划“科技创业领军人才”、广州市高层次人才, 高级工程师。泰阳公司创始人, 曾获得中国创新创业大赛三等奖, 大力推动水蓄冷行业 and 数据中心冷却节能与容灾的标准化发展, 获得十多项专利 (e-mail) xychensunny@126.com.

项目简介:

项目名称 国家自然科学基金资助项目“基于制冷剂超润湿特性的竖直管内薄液膜降膜蒸发换热机理”(51776075)

承担单位 华南理工大学

项目概述 基于制冷剂的超润湿特性, 采用竖直降膜相变换热技术来减小空调器室外机中的液相积存量从而减少制冷剂的使用量。研究制冷剂在竖管内的降膜蒸发换热过程, 获得其流动与传热的基本耦合规律。构建制冷剂在竖直表面降膜蒸发理论模型。确立竖管降膜蒸发换热理论, 为掌握低制冷剂充灌量的制冷换热技术提供理论基础。

主要创新点 (1) 目前常用的制冷剂 HCFC-22 和 HFC-134a 以及在替代制冷剂 HFC-32、HC-290 和 HC-600a 与换热表面铜、铝、不锈钢的接触角均不超过 5°, 为超润湿特性; (2) 设计了制冷剂降膜蒸发过程接触角可视化实验装置, 获得了液膜的横截面轮廓图像, 通过边缘检测和圆形拟合技术, 得到了制冷剂在被加热蒸发时接触角随壁面过热度的变化关系, 结果显示, 由于接触线处的蒸发过程加剧, 接触角随壁面过热度增大而增加; (3) 进行了制冷剂为 HC-290 采用竖管降膜冷凝器的房间空调器性能实验, 结果表明其制冷能力为 2 690 W, 较原 HCFC-22 标准机的提高了 1.5%; COP 为 3.55, 提高了 8.2%; 制冷剂 HC-290 充灌量为 290 g, 满足 GB/T 9237—2017 规定的安全性要求。

(责任编辑 李辉)