

文章编号: 1671-6612 (2020) 01-077-04

# 区域型冰蓄冷夏季空调系统运行策略优化分析

胡睿 卢军 李妤姝

(重庆大学三峡库区生态环境教育部重点实验室 重庆 400045)

**【摘要】** 研究了区域能源系统夏季供冷运行原理及模式,进行了夏季蓄冰优先、机组优先和非蓄冰三种运行模式下的模拟对比分析,得到在负荷率分别为100%、80%、50%和20%时的经济和能耗对比。能耗和运行费用来看,夏季机组优先运行与非蓄冰运行模式差别甚微,而蓄冰优先运行模式相比于非蓄冰运行,节约运行费占比11.77%,单位电耗费用降低24.05%。合理运用冰蓄冷技术,能够显著降低系统运行费用,为用户带来良好的经济效益。

**【关键词】** 冰蓄冷; 夏季空调; 控制策略

中图分类号 TM73 文献标识码 A

## Optimization Analysis of Operation Strategy of Regional Ice Storage Air Conditioning System

Hu Rui Lu Jun Li Yushu

(Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, Chongqing University, Chongqing, 400045)

**【Abstract】** The principle and mode of summer cooling operation of regional energy system were studied. The simulation comparison analysis of summer ice storage priority, unit priority and non-ice storage was carried out. The load rates were 100%, 80% and 50% respectively. Compared with the economy and energy consumption at 20%. The principle and mode of summer cooling operation of regional energy system were studied. The simulation comparison analysis of summer ice storage priority, unit priority and non-ice storage was carried out. The load rates were 100%, 80% and 50% respectively. Compared with the economy and energy consumption at 20%. In terms of energy consumption and operation cost, there is little difference between unit priority operation mode and non-ice storage operation mode in summer. Compared with non-ice storage operation mode, regional energy system under ice-storage priority operation mode saves 11.77% of the operation cost and reduces 24.05% of the unit power consumption cost. Reasonable use of ice storage technology can significantly reduce the operating cost of regional energy system and bring good economic benefits to users.

**【Keywords】** Ice storage; Summer air conditioning; Control strategy

作者简介: 胡睿 (1993.12-), 女, 在读硕士研究生, E-mail: raay005@qq.com

通讯作者: 卢军 (1966.10-), 男, 教授, 博士生导师, E-mail: 20131702056@cqu.edu.cn

收稿日期: 2019-05-06

## 0 引言

随着全球经济的快速发展,能源消耗危机已成为人们关注的焦点。近年来,越来越多的区域型集中供冷系统将冰蓄冷技术与空调系统相结合<sup>[1]</sup>。相比于独立于各建筑的分散式供冷系统,区域型供冷具有系统效率高、装机容量低、CO<sub>2</sub>排量少、节约

建筑空间等优点。而区域型供冷系统装机容量大、管道长、投资巨大,故对大型集中空调系统实现全面评估、优化运行至关重要,如此方能最大化冰蓄冷技术经济效益和社会效益。

冰蓄冷空调系统包含满负荷运行和部分负荷运行两种方式。国外关于冰蓄冷空调系统的研究起

步较早, ASHRAE 手册<sup>[2]</sup>第 41 章概述了建筑制冷系统的控制要求。而国内关于冰蓄冷空调系统控制策略的研究起步较晚, 控制策略简单, 导致节约的成本有限<sup>[3]</sup>。王修岩等<sup>[4]</sup>通过 Matlab 编程, 以机组总能耗和系统运行费用最小为目标函数, 得到优化控制策略, 并与制冷机组优先的控制策略相比较,

得出优化控制策略下运行可以降低系统能耗和运行费。李欣笑等<sup>[5]</sup>以北京某冰蓄冷系统为研究对象, 通过 DeST 进行全年负荷模拟和空调日负荷的预测, 比较了三种运行控制策略, 得出均衡融冰的控制策略更经济。丁庆等<sup>[6]</sup>利用 DeST 对深圳某办公楼进行负荷预测, 根据当地电价政策制定不同运行策略, 并得到良好的经济效益。

本文以重庆市某大型水源热泵+冰蓄冷空调系统为对象, 通过 DeST 软件平台计算出各典型单体建筑的负荷指标, 根据能源站监测数据用 Matlab 建立了机组、蓄冰设备、输配系统和评价指标的数学模型, 研究了夏季典型负荷率下非蓄冰、蓄冰优先、机组优先三种不同运行策略下对区域型冰蓄冷空调系统能源和经济效益的影响。

### 1 夏季系统运行原理

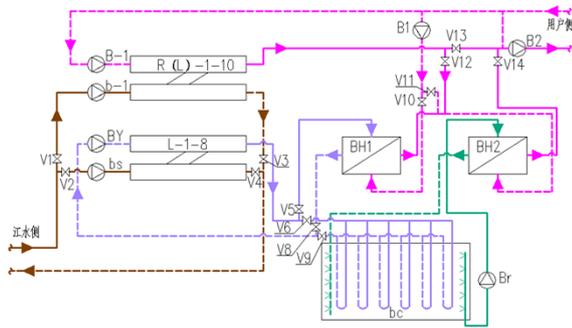


图 1 夏季供冷系统原理图

Fig.1 Schematic diagram of cooling system in summer

夏季供冷空调系统原理图如图所示, 站内有 10 台热泵机组 (R(L)-1—10) 和 8 台双工况机组 (L-1—8)。热泵机组与制冷板换 (BH1) 并联、与融冰板换 (BH2) 串联, 即管网二次回水分别经热泵机组和制冷板换降温后, 经融冰板换再次降温。用户侧 8:00—22:00 供、回水温度为 3°C/13°C, 23:00—7:00 供、回水温度为 4.5°C/13°C; 江水侧制冷时供、回水温度为 27°C/37°C, 制冰时供、回水温度为 27°C/33°C; 双工况机组二次侧为 25%乙二

醇水溶液, 机组制冷时供回、水温度为 3.5°C/12°C, 制冰时供、回水温度为 -6°C/-1.9°C。

夏季供冷空调系统有以下几种运行模式: ①夜间热泵机组单独供冷模式: 根据负荷自动进行主机加载/减载, 并连锁启/停相应的蒸发器侧循环水泵。阀门 V1、V3、V13 打开。②夜间双工况机组制冰模式: 系统按照设定的时间自动转换到制冰工况, 自动调整双工况机组蒸发器侧乙二醇循环泵转速、切换乙二醇溶液系统转换阀门。阀门 V2、V4、V6、V9 打开。③昼间热泵机组供冷模式: 阀门 V1、V3、V12、V14 打开。④昼间双工况机组供冷模式: 阀门 V2、V4、V5、V8、V10、V14 打开。⑤昼间冰槽单独供冷模式: 阀门 V11、V14 打开。

表 1 不同运行策略

Table 1 Different operation strategies		
运行情况	蓄冰优先	机组优先
蓄冰/融冰循环	一天内且主机较高效负荷率	
夜间用电低谷	满负荷双工况	双工况
	主机制冰	主机制冰
夜间用户侧供冷	热泵主机	
机组运行顺序	优先热泵主机, 其次双工况主机	
用电高尖峰时段	优先冰槽供冷,	运行方式不变
	机组补充	

注: 夏季非蓄冰模式下系统运行策略与机组优先运行模式类似, 仅需将 100%负荷率下夏季机组优先运行模式中的冰槽供冷负荷改由热泵机组承担。

蓄冰有限模式的用电平段主要开启机组制冷, 若满足高峰时段供冷外冰槽仍有余冰, 则优先用冰槽进行用电平段制冷。

### 2 区域负荷计算

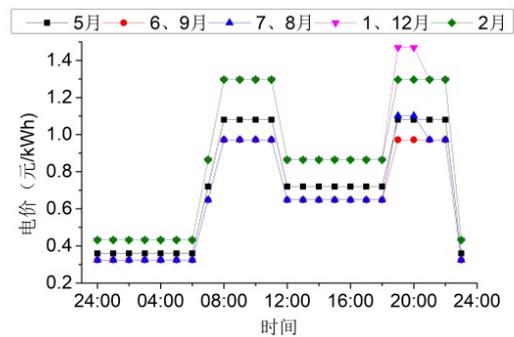


图 2 重庆市 10kV 非普非工业供暖/冷季分段电价

Fig.2 Heating/cooling season sectional price of

### Chongqing 10kV ordinary non-large industrial users

由图2可知,一昼夜分四个时段:23:00-7:00用电低谷时段;7:00-12:00、18:00-19:00和21:00-23:00用电高峰时段;19:00-21:00用电尖峰时段和12:00-18:00用电平段。

本项目夏季供冷时间为5月15日-9月30日,共139天。根据工程经验,取本项目夏季同时使用系数为0.7,再考虑5%的管网冷损失,得到平均单位建筑面积冷负荷为79.30W/m<sup>2</sup>。该区域90%的冷负荷集中在昼间,而夜间冷负荷较小,负荷峰值出现于15时。根据负荷模拟结果,计算得到典型负荷率分别为100%、80%、50%和20%下的逐时冷负荷值,如图3所示。

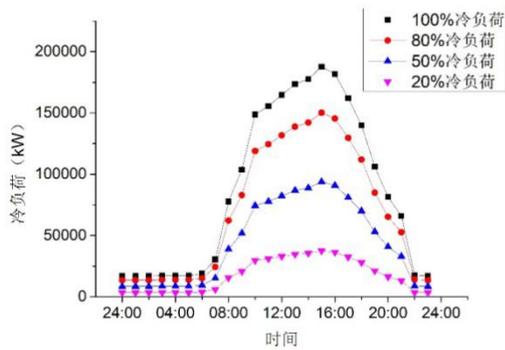


图3 典型负荷率下逐时冷负荷

Fig.3 Hourly cooling loads at typical load rates

最后采用部分负荷估算的方法,以100%、80%、50%和20%为典型负荷率,计算出基于峰谷电价下典型负荷率的全天运行费用,再结合统计的典型负荷天数,计算出本项目夏季供冷费用。

## 3 各运行模式的经济能耗分析

### 3.1 各运行模式电耗和运行费

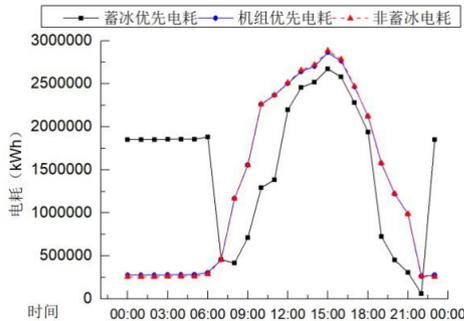


图4 不同运行模式下电耗对比

Fig.4 Comparison of power consumption under different

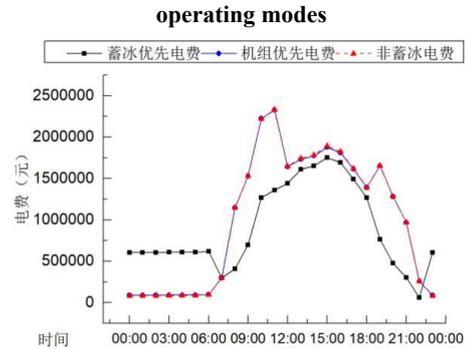


图5 不同运行模式下运行费对比

Fig.5 Comparison of operating costs under different operating modes

图4、图5显示运行费与电耗分布趋势基本相同,机组优先运行和非蓄冰运行模式电耗基本一致。主要是因为两种模式仅体现在100%负荷率下的区别,但100%负荷率天数占比不到3%,因此对电耗的影响甚微。

8:00-22:00,蓄冰优先运行电耗显著低于机组优先运行,这是由于昼间冰槽释冷只需运行水泵而节省了机组电耗;夜间蓄冰优先运行电耗明显高于机组优先运行,主要由于双工况主机利用夜间用电低谷期(23:00-6:00)进行制冰蓄冷,导致夜间主机耗电量明显增大。在上午(8:00-11:00)和晚上用电高峰时段(19:00-22:00)蓄冰优先运行逐时运行费显著低于机组优先运行模式,这是由于冰槽主要用于高峰时段供冷,且该时段电价相对较高。

### 3.2 各运行模式能耗和节能参数

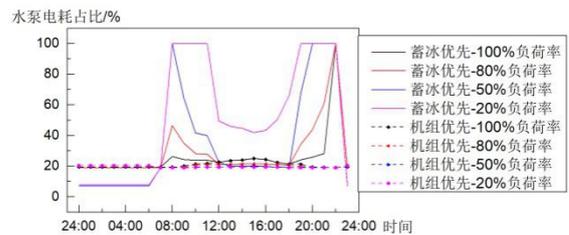


图6 夏季输配系统能耗占比

Fig.6 Proportion of energy consumption of distribution system in summer

夏季蓄冰优先运行模式下,24h运行周期内水泵能耗占比变化较大。上午和晚上用电高峰时段水泵能耗占比最高,有时能达100%,即不开启机组。夏季机组优先运行模式下,24h运行周期内水泵电耗占比变化平稳。各负荷率下水泵电耗占比均处于20%左右。夜间用电低谷时段,机组优先运行水泵

电耗占比高于蓄冰优先运行模式; 上午和晚上用电高峰时段, 蓄冰优先运行水泵电耗占比远远高于机组优先运行模式; 下午用电平段, 蓄冰优先运行水泵电耗占比略高于机组优先运行模式, 主要与机组 COP 的变化有关。

表 2 主要节能参数对比表

Table 2 Comparison of main energy saving parameters

指标	非蓄冰	蓄冰优先	机组优先
移峰电量率/%	—	53.05	0.02
谷电利用率/%	—	39.81	7.00
单位面积耗电量/ (kWh/m <sup>2</sup> )	13.14	15.26	13.16
单位面积运行费/(元/m <sup>2</sup> )	9.94	8.77	9.93
单位电耗费用/(元/kWh)	0.76	0.57	0.75

对比机组优先模式, 蓄冰优先运行模式下系统供冷季移峰电量率为 53.05% , 谷电利用率为 39.81%。蓄冰优先运行模式能够起到很好的移峰填谷作用, 为电网降低供电压力。

就能耗和运行费用来看, 夏季机组优先运行与非蓄冰运行模式差别甚微, 而蓄冰优先运行模式电耗增量占比 16.17% , 且相比于非蓄冰运行, 节约运行费占比 11.77% , 单位电耗费用降低 0.18 元/kWh, 即 24.05%。合理运用冰蓄冷技术, 能够显著降低系统运行费用, 为用户带来良好的经济效益, 但同时会增加系统能耗, 无节能效益。

#### 4 结论

本文介绍了夏季区域能源系统供冷运行的原理, 并结合负荷计算对三种不同运行策略进行模拟分析, 发现相比于非蓄冰运行, 组优先运行模式经济效益、能源效益和移峰填谷能力甚微, 而蓄冰优先运行模式: (1) 电耗增量为 519 万 kWh, 即 16.17%, 无节能效益; (2) 运行费节省 285.82 万元, 即 11.77%, 单位电耗费用节省 0.18 元/kWh, 即 24.05% , 经济效益显著; (3) 移峰电量率为 53.05% , 具有良好的移峰填谷能力。

#### 参考文献:

- [1] 侯震林. 区域集中供冷和中央空调系统的研究比较[J]. 企业技术开发,2011,30(21):24-26.
- [2] ASHRAE. Handbook-2007 HVAC Applications [Z]. USA, 2007.
- [3] G P Henze, M Krarti, M J Brandemuehl. Guidelines for improved performance of ice storage systems[J]. Energy and Buildings, 2003,35(2):111-127.
- [4] 王修岩,高冲,李宗帅.冰蓄冷空调系统的多目标优化控制策略研究[J]. 计算机测量与控制,2015,(12):4057-4059.
- [5] 李欣笑,杨东哲,石鹤,等.基于全年负荷模拟和空调日负荷预测控制策略的冰蓄冷系统可行性研究[J]. 暖通空调,2015,(10):91-96.
- [6] 丁庆,段绍辉,王执中,等.冰蓄冷空调在高峰谷负荷差地区应用的经济性[J]. 电力系统及其自动化学报,2014,(1):72-75.