

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.S1.005

能源站供冷系统冷源优化配置分析研究

张先提, 曹园树

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: 对能源站供冷系统蒸汽溴化锂机组和电制冷机组的冷源优化配置进行分析研究。基于 DeST 软件建立某区域内若干典型建筑物的能耗模拟模型, 通过模拟计算得到能源站供冷系统总的全年逐时负荷。综合考虑初投资及年运行费用, 采用全寿命周期成本评价指标法, 分析研究能源站供冷系统中的蒸汽型双效溴化锂与电制冷冷水机组容量的优化分配, 通过计算得到典型工况下得到全寿命周期成本最低的溴化锂制最优供冷比例为 61.8%。在此基础上, 进而分别探讨电制冷主机 COP 及蒸汽价格变量因子对能源站供冷系统的制冷主机容量配比的影响规律, 得出溴化锂机组最优配比随电制冷主机 COP 值升高而下降, 随蒸汽价格升高而下降的基本规律。研究成果可为能源站供冷系冷源的配置选型提供参考。

关键词: 全寿命周期成本; 冷热源优化配比; 能源站; 蒸汽型双效溴化锂

中图分类号: TU83

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)S1-0018-04

Optimization Design of Chiller Capacity Allocation for Supply Cooling System in Energy Station

ZHANG Xianti, CAO Yuanshu

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: Optimization design of chiller capacity allocation between the steam double effect LiBr unit and electricity-powered chiller has been analyzed in supply cooling system in energy station. And several simulation models had been set up for several typical buildings based on DeST software, and the all-around year hourly cooling load had been calculated. Considering the initial investment and the annual operating cost, the life cycle cost (LCC) method had been adopted to analysis the optimization design of chiller capacity allocation between steam double effect LiBr unit and electricity-powered chiller for the energy station. And the calculated results shown that the optimized LiBr unit ratio is 61.8% in the typical condition. Then, the effects of COP of electricity-powered chiller and steam price on the chiller capacity allocation had been researched, the results shown that the optimized LiBr unit ratio is decrease along with the increase of the COP, and is also decrease along with the increase of the steam price. And this paper can provide the reference for optimization design of chiller capacity allocation for supply cooling system in the similar energy station.

Key words: life cycle cost; capacity allocation; energy station; steam double effect LiBr unit

当前, 区域能源站凭借其热电联供(冷、热、电三联供)具有节能、高效、清洁、灵活等特性的优越性, 得到越来越多业主和业界人士的讨论和关注。关于区域供冷系统的优化节能设计的研究主要

集中在输配管网的优化、系统的经济性分析、系统运行优化控制、制冷主机的优化选型等方面^[1-2]。输配管网方面, 研究者主要研究供冷半径、管网布局、管网流速和管径选择等方面^[3-5]。关于系统的经济性分析, 国内外研究也做了许多的研究, 主要是比较区域供冷与常规系统, 分析其能耗及初投资, 指出提高其经济性的途径^[6-9]。

本文对某区域能源站供冷系统的全寿命周期成本进行评价, 综合考虑初投资及年运行费, 分

收稿日期: 2016-10-31

作者简介: 张先提(1983), 男, 福建泰宁人, 高级工程师, 硕士, 主要从事电厂、民用建筑通风、空调、除尘等的设计工作(e-mail) zhangxianti@gedi.com.cn。

析了能源站供冷系统蒸汽型双效溴化锂机组与电制冷冷水机组容量的优化配比。并分别探讨了电制冷主机 COP 和蒸汽价格变量因子对能源站供冷系统的制冷主机容量配比的影响。希望通过本文的研究对区域能源站供冷系统冷源优化配置有一定指导意义。

1 能源站供冷系统优化配置模型

1.1 能源站方案介绍

能源站供冷系统冷源采用双效型溴化锂机组和电冷水机组搭配方案, 主要设备包括蒸汽型双效制冷机组、电制冷冷水机组、冷却塔、冷冻水泵、冷却水泵、配电装置及相关附件等, 其运行费用主要包括制冷主机、冷冻水泵、冷却水泵、冷却塔耗电的费用及其他能源(热水、蒸汽等)消耗。

1.2 逐时冷负荷计算

能源站供冷系统冷水机组配比方案研究是基于该地区全年室外气象参数负荷预测基础上进行方案分析研究, 能源站所在地区的室外全年 8 760 h 逐时温度值, 如图 1 所示。

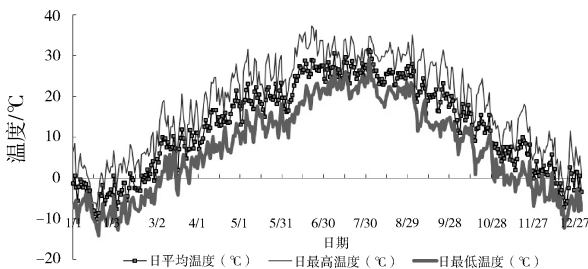


图 1 全年室外气象参数

Fig. 1 Annual outdoor weather parameter

以某区域能源站供冷项目为例, 该项目中的建筑包括住宅、办公楼、宾馆、商场、体育馆、医院、学校及轻工业建筑, 总建筑面积约 12 万 m², 采用 Dest 软件对该区域内若干典型建筑物分别建立模型, 计算每栋建筑物的全年 8 760 h 逐时负荷, 并逐时累加得到该区域能源站总的全年逐时负荷, 并加权平均值得到单位面积全年逐时冷负荷如图 2 所示。

1.3 经济评价基础数据表

根据对项目规划区所在地能源与资源状况、政策、价格、资费、设备采购市场的了解, 该地区基础数据可作为典型工况进行经济评价, 如表 1 所示。

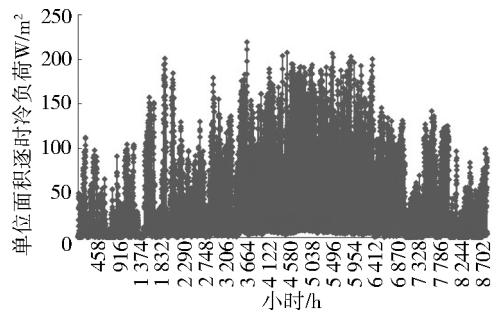


图 2 单位面积逐时冷负荷

Fig. 2 Hourly cooling load per unit area

表 1 经济评价用基础数据表^[1]

Tab. 1 Basic data sheets for economic evaluation

项 目	标准
电费/(元·kWh ⁻¹)	1.0
蒸汽价格/(元·t ⁻¹)	200
机房电力设施配套投资 (包括配电柜、控制柜等)/(元·kVA ⁻¹)	800
电制冷冷水机组设备单位冷量价格/(元·W ⁻¹)	0.6
蒸汽溴化锂冷水机组单位冷量价格/(元·W ⁻¹)	0.85
供冷小时数(4.15~11.15)/h	5 160
蒸汽溴化锂冷水机组 COP 值	1.3
电制冷冷水机组 COP 值	4.0
机房内冷却塔、冷却水泵、冷冻水泵等综合投资 (电制冷)/(元·W ⁻¹)	0.3
机房内冷却塔、冷却水泵、冷冻水泵等综合投资 (溴化锂)/(元·W ⁻¹)	0.45
平均负荷率/%	32
LCC 寿命周期/年	50
利率/%	8

1.4 LCC 全寿命周期成本分析

全寿命周期成本由初投资成本、运行与维护成本、废弃处理成本组成。本文经济技术分析研究, 重点关注项目初投资成本和总运行费用对全寿命周期的影响。全生命周期成本计算公式如下^[2]:

$$C_t = C + Y \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (1)$$

式中: C_t 为全寿命周期成本, 元; C 为项目初投资成本, 元; Y 为运行维护费用, 元; i 为利率; n 为寿命周期, 年。

2 LCC 全寿命周期成本计算结果分析

为了便于分析比较, 以单位面积初投资及运行费用来分析研究能源站全寿命周期成本。同时, 由

于实际工程中,电制冷主机 COP 和蒸汽价格这两个是随项目而变化的主要参数,本文分析了这两个变量因子对全寿命周期成本的影响。

2.1 供冷系统初投资及运行费用

基于 1.3 节的经济评价基础数据表,计算能源站供冷系统总初投资和系统在溴化锂机组不同配比情况下总运行费用。如图 3 所示,随着溴化锂机组在总供冷负荷中供冷比例减少,能源站单位面积总初投资额逐渐降低,电耗运行费用逐渐上升,蒸汽运行费用增加,总运行费用先下降后升高,溴化锂供冷比例在 60% 左右,系统总运行费用最低。

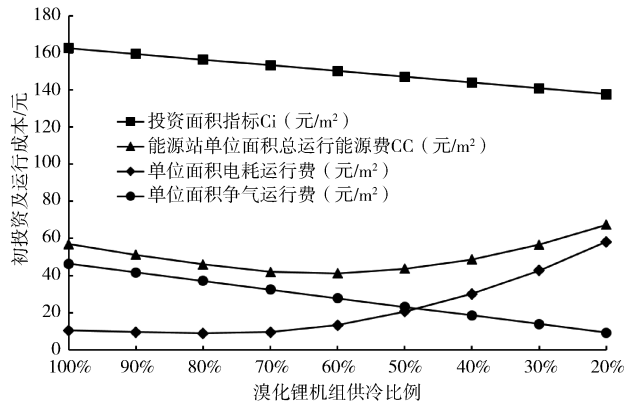


图3 单位面积初投资成本和运行成本

Fig. 3 The Initial investment cost and operation costs per unit area

2.2 全寿命周期成本

能源站供冷系统初投资成本包括蒸汽型双效制冷机组、电制冷冷水机组、冷却塔、冷冻水泵、冷却水泵、机房电力设施配套,其运行费用主要包括制冷主机、冷冻水泵、冷却水泵、冷却塔耗电的费用及蒸汽溴化锂消耗蒸汽量费用。如图 4 所示,随着溴化锂机组在总供冷负荷中供冷比例减少,能源站供冷系统全寿命周期成本先下降后升高,存在一个溴化锂机组最优供冷配比,通过数据拟合计算得到三次方幂函数如下:

$$y = 0.6116a^3 + 6.6462a^2 - 109.27a + 965.42 \quad (2)$$

$$x = -0.1a + 1.1 \quad (3)$$

式中: y 为全寿命周期成本; x 为溴化锂机组供冷比例; a 为中间变量。对 y 函数求取最小值,即得到全寿命周期成本最低的溴化锂制最优供冷比例为 61.8%。

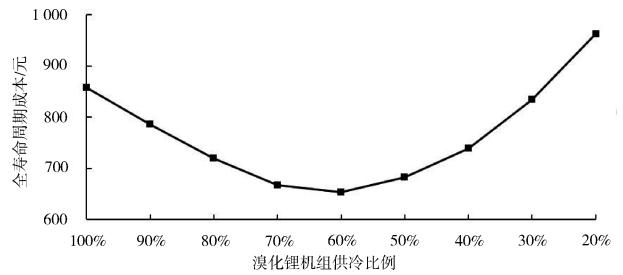


图4 单位面积全寿命周期成本

Fig. 4 Life-cycle cost per unit area

2.3 电制冷冷水机组 COP 对全寿命周期成本影响

能源站供冷系统运行费用中,系统用电量直接影响系统运行费用,进而影响全寿命周期成本。本文研究分析电制冷冷水机组 COP 对系统总运行费用的影响。在电价、蒸汽耗费等不变前提下,分析电制冷主机不同 COP 情况下,对全寿命周期成本的影响。如图 5 所示,对电制冷主机 COP 分别在 3.4, 4.0, 4.6, 5.2, 5.8, 6.4, 7.0, 7.6 等 8 种情形进行计算,随着电制冷主机 COP 提高,能源站全寿命周期成本下降,最优溴化锂机组配比逐渐下降。例如, COP 由 3.4 提升到 7.6 时,最优溴化锂容量配比从 68.8% 变为 48.8%。

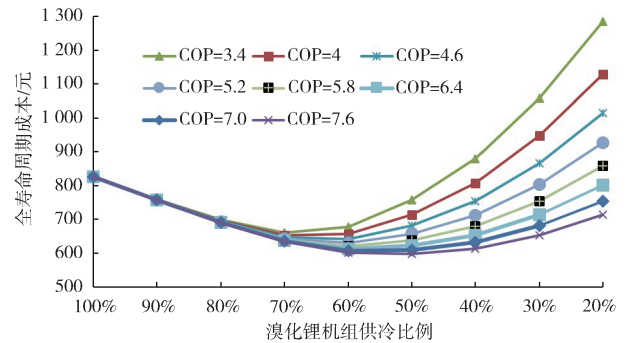


图5 COP 对单位面积全寿命周期成本的影响

Fig. 5 Effects of COP on Life-cycle cost per unit area

2.4 蒸汽价格对全寿命周期成本影响

在能源站供冷系统运行费用中,除了耗电费用以外,蒸汽价格也直接影响着系统运行的费用,进而影响全寿命周期的成本。在耗电费用、蒸汽量等参数不变前提下,分析不同蒸汽价格情况下,对全寿命周期成本的影响。如图 6 所示,对蒸汽价格分别在(160, 200, 240, 280, 320)元/t 等五种情形进行计算,随着蒸汽价格逐渐提高,能源站全寿命周期成本升高,最优溴化锂机组配比逐渐下降。例如,蒸汽价格由 160 元/t 提升到

320 元/t 时, 最优溴化锂容量配比从 65.5% 变为 50.2%; 且随着蒸汽价格提高后, 溴化锂运行费用会显著提升, 在最优配比情况下, 全寿命周期成本会由 566 元/m² 提高到 821 元/m², 提高幅度约 45%。因此, 蒸汽价格的提高将会降低了溴化锂在冷、热联供系统中节约运行费用的优势。

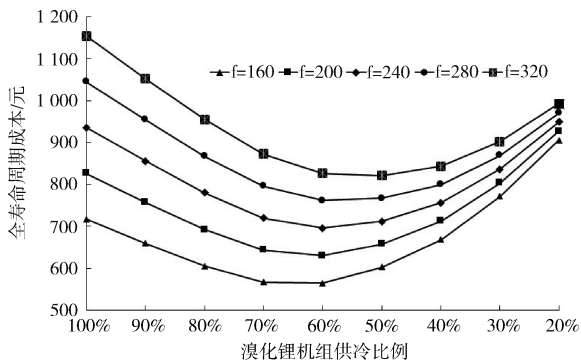


图 6 蒸汽价格对全寿命周期成本影响

Fig. 6 Effects of steam price on Life-cycle cost per unit area

3 结论

本文基于 DeST 软件建立某区域内的若干典型建筑物的能耗模拟模型, 通过模拟得到能源站供冷系统总的全年逐时负荷。综合考虑初投资及年运行费用, 采用全寿命周期成本评价指标法分析研究能源站供冷系统中的蒸汽型双效溴化锂与电制冷冷水机组容量的分配, 并分析了电制冷主机 COP 和蒸汽价格这两个变量因子对供冷系统的制冷主机容量配比的影响。通过计算, 得到主要结论如下:

1) 随着溴化锂机组容量在供冷系统总供冷负荷比例减少, 能源站供冷系统全寿命周期成本先下降后升高, 存在一个溴化锂容量最优供冷配比, 本例中最优配比为 61.8%。

2) 随着电制冷主机 COP 提高, 能源站供冷系统全寿命周期成本逐渐下降, 溴化锂机组最优配比逐渐下降。因此, 在设计能源站供冷系统冷水机组最优配比时, 当选用高效 COP 的电制冷冷水机组时, 应考虑降低溴化锂容量配比。

3) 蒸汽价格显著影响溴化锂机组的运行费用, 随着蒸汽价格逐渐提高, 能源站供冷水系统全寿命周期成本提高, 且溴化锂机组最优配比逐渐下降。蒸汽价格的提高, 提高了系统全寿命周期成本, 降

低溴化锂在冷、热联供系统中节约运行费用的优势。

参考文献:

- [1] 孙文龙, 张先提. 分布式能源站冷负荷预测及制冷系统选型的探讨 [J]. 上海节能, 2012(7): 34-37.
SUN W L, ZHANG X T. The discuss of the cooling load forecast and the refrigeration system selection for distributed energy station [J]. Shanghai Energy Conservation, 2012(7): 34-37.
- [2] 黄挺, 曹园树. 基于全年逐时负荷的分布式能源站制冷主机容量分配优化设计 [J]. 暖通空调, 2015, 45(9): 30-33.
HUANG T, CAO Y S. Optimization design of chiller capacity allocation for distributed energy station based on all-year hourly cooling load [J]. HV & AC, 2015, 45(9): 30-33.
- [3] CHAN A L S, HANBY V I, CHOW T T. Optimization of distribution piping network in district cooling system using genetic algorithm with local search [J]. Energy Conversion and Management, 2007, 48(10): 2622-2629.
- [4] LI X, DUANMU L, SHU H. Optimal design of district heating and cooling pipe network of seawater-source heat pump [J]. Energy and Buildings, 2010, 42(1): 100-104.
- [5] 刘金平, 陈志勤. 区域供冷系统枝状冷水输送管网的优化设计 [J]. 暖通空调, 2006, 36(7): 18-22.
LIU J P, CHEN Z Q. Optimal design for tree shaped chilled water pipe network in district cooling systems [J]. HV & AC, 2006, 36(7): 18-22.
- [6] 朱颖心, 王刚, 江亿. 区域供冷系统能耗分析 [J]. 暖通空调, 2008, 38(1): 36-40.
ZHU Y X, WANG G, JIANG Y. Energy consumption of district cooling systems [J]. HV & AC, 2008, 38(1): 36-40.
- [7] 黄建恩, 冯伟. 区域供冷系统经济性分析 [J]. 流体机械, 2007, 35(1): 82-86.
HUANG J E, FENG W. Analysis on economic efficiency of district cooling system [J]. Fluid Machinery, 2007, 35(1): 82-86.
- [8] 康英姿, 华贲. 提高区域供冷系统能效与经济性的途径 [J]. 煤气与热力, 2010, 30(2): 3-6.
KANG Y Z, HUA B. Paths for improving energy efficiency and economy of district cooling system [J]. Gas & Heat, 2010, 30(2): 3-6.
- [9] 杜敬三, 付林, 江亿. 区域供冷系统最佳供冷面积探讨 [J]. 暖通空调, 2004, 33(6): 111-113.
DU J S, FU L, JIANG Y. Discussion of the optimal cooling area of district cooling systems [J]. HV & AC, 2004, 33(6): 111-113.