

多维度因素考虑下的蓄冷空调系统设计方法

程国珍

(华南理工大学建筑设计研究院有限公司, 广东 广州 510000)

摘要 我国各地电价政策的调整,使峰谷电价差越来越大,使用范围越来越广。对于工业用户以及大型公共建筑用户用电成本越来越高,尤其是空调系统,其能耗高达建筑全年总用电量的 50%。为了减少用电成本,蓄冷空调系统的应用越来越广泛,而针对不同的项目采用何种蓄冷技术类型、如何设置系统蓄冷率以及制冷主机选型成为蓄冷系统设计重点难点,本文给出了蓄冷空调系统多维度因素考虑下的设计方法,并结合实际项目案例给出具体优化设计过程,以期为相关人员提供有效参考。

关键词 峰谷电价; 运行成本; 蓄冷空调系统

中图分类号: TU83

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)10-0073-03

1 背景

我国多地对峰谷电价政策进行了调整,包括在原有高峰电价的基础上在冬夏两季增加尖峰电价,且尖峰电价在峰段电价基础上上浮比例原则上不低于 20%,以及扩大峰谷电价实施范围越来越广泛,从原有的大工业用户逐步扩大到一般工商业用户。随着峰谷电价政策的调整,用户用电成本越来越高,尤其是商业、办公等用电负荷主要集中在白天的建筑类型。空调系统在建筑总能耗中占有相当大的比例。根据最新的数据,空调系统的能耗占建筑总能耗的比例可以高达 50%^[1]。因此,在电价政策在不断朝着增加峰谷电价差

以及扩大用户范围的发展趋势下,蓄冷空调系统的经济性优势得到了充分的发挥,近几年蓄冷空调系统受到了政府以及市场的大力推广。有别于传统非蓄冷空调系统,蓄冷空调系统的设计方法较为复杂,具体方案应根据项目具体情况以及能源价格情况通过详细计算得出,才能保证方案设计的合理性与经济性。

2 多维度因素考虑下的蓄冷空调系统设计方法

蓄冷空调系统设计是一项通常需要经过建筑负荷模拟、典型情景日负荷分析、蓄冷技术初步确定、经济蓄冷率确定以及主要设备选型这几个环节的多维度因素考虑下的寻优过程。具体如图 1 所示。

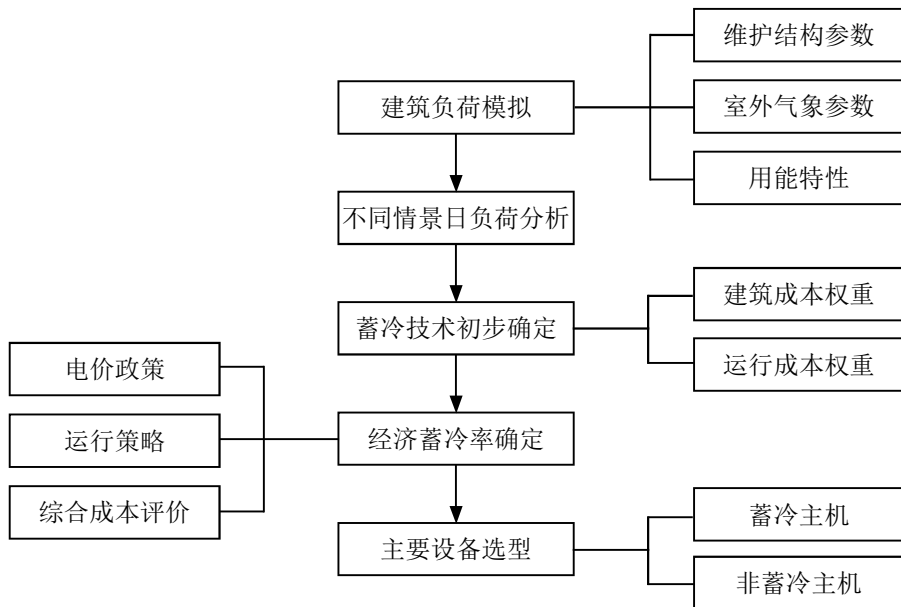


图 1 蓄冷空调系统一般设计流程图

2.1 建筑负荷模拟

通过计算机建模的方法,对项目建筑进行全年逐时负荷计算。在进行建筑空调负荷模拟时,通常会使用专门的软件工具,如 DeST、EnergyPlus、DOE-2 等。这些软件能够根据建筑的地理位置、气候数据、建筑材料、设计参数等信息,计算出建筑在不同时间段内的冷负荷需求。通过模拟,可以得到全年 8 760 小时的建筑冷负荷数据,从而为空调系统的设计和运行提供科学依据。

2.2 典型情景日负荷分析

根据建筑全年逐时负荷模拟,建立夏季典型情景日空调负荷曲线,通常选取 100% 负荷情景日,75% 负荷情景日(即情景日累计负荷与设计日累计负荷比值为 75%),50% 负荷情景日以及 25% 负荷情景日,并根据全年负荷曲线折算不同情景日在各自分布区间内的折算负荷日天数。

在计算折算负荷日天数时,需在全年逐时负荷模拟的基础上,首先进行区间划分,例如,100% 负荷情景日包含的日设计负荷的区间为 [100%, 85%), 75% 负荷情景日包含的日设计负荷的区间为 [85%, 60%), 50% 负荷情景日包含的日设计负荷的区间为 [60%, 35%), 25% 负荷情景日包含的日设计负荷的区间为 [35%, 0%]; 其次,统计不同情景日区间内的总累计负荷值,该值与对应情景日负荷的比值即可计算出对应的折算负荷日天。

2.3 蓄冷技术初步确定

针对不同项目可以根据项目的实际条件先初步确定蓄冷技术方案的应用,目前市场上最常见与成熟的两种蓄冷形式为冰蓄冷技术与水蓄冷技术方案。两种技术方案最主要的差异在于,冰蓄冷技术方案蓄冷密度高、占地空间小、系统能效低;水蓄冷技术方案蓄冷密度低、占地空间大、运行能效高。因此两种技术方案主要矛盾集中在整个项目运行周期内土建成本与运行成本占比权重高低,通常可以单位蓄冷量的土建投资成本与节省的运行成本来计算的投资回收期来确定两种技术方案的选择。

2.4 经济蓄冷率确定

蓄冷系统在确定供冷建筑规模、负荷特性以及当地峰谷电价政策前提下,蓄冷率(设计日蓄冷量与设计日全天总负荷比值)将是影响系统投资造价与运行费用的最重要原因。一般情况下,由于蓄冷设备以及土建成本的额外增加,随着蓄冷率的增加,项目的总投资额逐渐增加,反之减小;同时,由于充分利用夜间低谷电价蓄冷,白天峰值电价释冷的模式实现系统运行的经济性,随着蓄冷率的增加,项目的运行电费

逐渐减小,反之增加。因此,只有合理地设置蓄冷率,才能实现系统的最优配置,实现项目利益的最大化^[2]。

评价蓄冷率的优劣建议采用全生命周期综合成本评价指标,全生命周期评级指标是一种实现工程项目全生命周期,包括建设期、运营期和拆除期等阶段总造价最小化的方法^[3-4]。

不同蓄冷率条件下的系统方案最主要差异集中在项目初投资与运行电费,为简化全生命周期综合成本计算模型,蓄冷空调系统的全生命周期综合成本按照项目总投资+20 年运行电费考虑。一般情况下,全生命周期成本最低所对应的蓄冷率即为经济蓄冷率^[5]。

此外,在进行不同蓄冷率下系统运行成本分析时,应遵循经济最优运行策略。夜间低谷时段,蓄冷主机将冷量储存在蓄冷装置中,非蓄冷主机承担用户夜间负荷需求;白天电价高峰时段,用户负荷优先由释冷承担,不足量由非蓄冷主机承担,再次由蓄冷主机承担。白天制冷工况下非蓄冷主机运行能效通常高于蓄冷主机,因此优先启用非蓄冷主机。

2.5 主要设备选型

蓄冷空调系统核心设备为制冷主机,从功能上分为蓄冷主机与非蓄冷主机。

1. 制冷主机总容量初步确定。根据经济蓄冷率以及设计日全天总负荷值,可计算出总蓄冷量;再结合电价政策谷段时长可计算出蓄冷主机设计容量。非蓄冷主机容量则需根据系统夜间负荷以及白天系统运行策略通过迭代计算而出,通常初始设定值按照夜间最大负荷值选择。

2. 制冷主机选型。确定蓄冷主机与非蓄冷主机总容量后根据机房条件确定各类型主机台数,从设备使用安全性与备用性角度出发,一般情况下,蓄冷主机台数需 ≥ 2 台,非蓄冷主机台数选择 ≥ 1 台。

此外,各主机定变频的选择应从设备的运行工况考虑。由于非蓄冷主机通常在部分负荷下变工况运行,从高效性出发非蓄冷主机一般采用变频主机;而蓄冷主机主要工况为满负荷工况运行,从经济性出发蓄冷主机一般采用定频主机或至多选择 1 台变频主机。具体情况需根据不同配置方案通过详细计算后确定^[6]。

3 应用案例

3.1 项目概况

海口市某区域供冷项目,供冷范围包含办公、商业、酒店、学校、体育馆、图书展览馆类建筑,统计总供冷面积约 63 万 m^2 ,供冷设计总负荷为 51 916.66 kW, 年用冷总量为 8 430.91 万 kWh,能源站采用全地下建设方案。本项目采用峰谷电价,谷段电价为 0.359 元 /

kWh, 平段电价为 0.763 元/kWh, 高峰电价为 1.235 元/kWh, 尖峰电价为 1.464 元/kWh。

3.2 蓄冷技术方案方案比选及确定

1. 蓄冷技术初步确定。由于本项目能源站采用选地下建设方案, 能源站按照地下深度 11 米考虑, 地下土建成本为 1 200 元/ m^3 。根据工程经验, 冰蓄冷与水蓄冷系统的蓄冷比容(单位蓄冷量所需空间容量)、造价指标、系统能效以及蓄冷折算天数设置如下: (1) 冰蓄冷水池蓄冷比容为 0.16 m^3/RTh , 水蓄冷水池蓄冷比容为 0.48 m^3/RTh ; (2) 冰蓄冷设备造价约 300 元/ RTh , 水蓄冷设备造价约 200 元/ RTh ; (3) 冰蓄冷系统运行能效为 3.0, 水蓄冷系统运行能效为 4.2; (4) 蓄冷折算天数按 240 天计算。

经计算水蓄冷系统较冰蓄冷系统单位 RTh 造价增加 284 元, 年运行费用节省 28.94 元, 投资回收期约 9.8 年。投资回收期较长, 从经济性考虑本项目蓄冷技术

方案采用冰蓄冷技术方案。

2. 经济蓄冰率计算。根据全年逐时负荷数据, 结合不同典型情景日数据, 以及当地电价政策, 按照经济最优运行策略以及设备能效及造价指标, 可计算出不同蓄冷效率条件下的项目投资及 20 年运行费用的综合成本。具体如图 2 所示。

由图 2 可知蓄冷率为 24% 时, 系统的全生命周期综合成本最低, 即本项目的经济蓄冷率为 24%。

3. 主要设备选型。本项目设计日总负荷为 583 073.96 kWh (165 787 RTh), 经济蓄冷率为 24%, 计算日总蓄冷量为 39 789 RTh , 蓄冷小时数按照 8 小时计算, 蓄冷主机(双工况制冷主机)蓄冰工况制冷容量为 4 974 RT, 满足逐时负荷需求条件下的空调工况制冷容量为 7 105 RT; 满足逐时负荷需求条件下的非蓄冷主机(基载主机)最小设计容量为 1 488 RT。

结合项目场地情况以及经济性, 双工况制冷主机

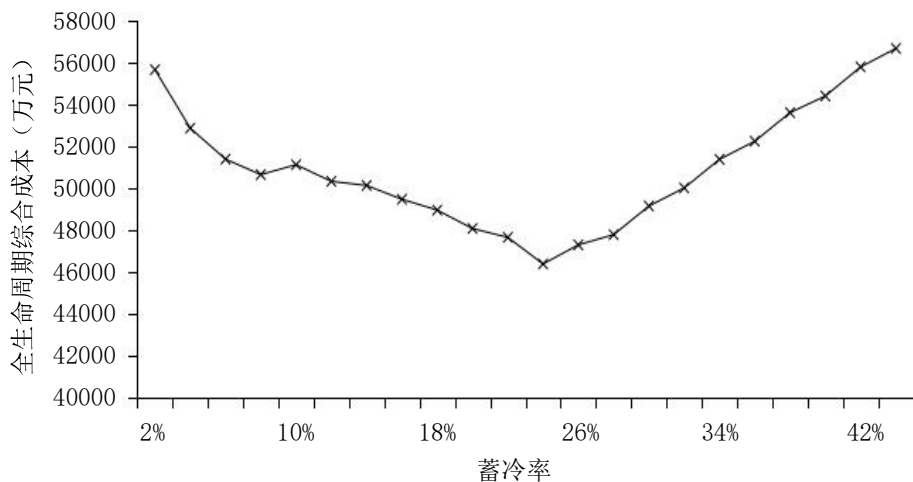


图 2 全生命周期综合成本对比图

选用 3 台定频 2 400 RT 离心式冷水机组; 基载机组选用 2 台变频 750 RT 离心式冷水机组。

4 结论

1. 随着峰谷电价政策适用范围的扩大以及峰谷电价差越来越大, 建筑空调系统用电成本越来越高, 蓄冷空调系统的低成本优势越来越明显, 近几年受到了大量的应用和推广。

2. 蓄冷空调系统设计方法有别于传统非蓄冷空调系统, 需要统筹考虑当地电价政策, 建筑负荷特性, 从全生命周期综合造价的角度来评判最佳系统配置。

3. 本文提出一套蓄冷空调系统的多维度优化设计流程, 通常包含筑负荷模拟、典型情景日负荷分析、蓄冷技术初步确定、经济蓄冷率确定以及主要设备选型。

参考文献:

- [1] 龙惟定. 碳中和城市建筑能源系统(1): 能源篇 [J]. 暖通空调, 2022, 52(03): 2-17.
- [2] 同 [1].
- [3] 张会波, 刘增威, 庞红涛. 某商业建筑冰蓄冷空调系统的经济性分析 [J]. 城市建筑, 2023, 20(24): 193-195.
- [4] 吴泽江, 王瑶. 某办公项目冰蓄冷系统设计分析 [J]. 制冷与空调(四川), 2023, 37(05): 732-736.
- [5] 吴泽江, 庞峰, 蒋能飞, 等. 冰蓄冷系统应用评估与策略 [J]. 制冷, 2023, 42(02): 24-29.
- [6] 牛满坡, 王鲁鹏, 张亦凝, 等. 某办公建筑冰蓄冷空调系统双工况冷水机组选型分析 [J]. 制冷与空调, 2023, 23(08): 48-53, 92.