

基于需求侧响应的水蓄冷空调经济性分析

丁 荣,周 波

(国网河北省电力有限公司经济技术研究院,河北 石家庄 050021)

摘要:随着空调的普及和推广,针对夏季空调负荷的需求侧响应和管理日益引起人们的重视,水蓄冷空调技术作为一种高效清洁循环利用的供冷技术,具备优良的经济效益和社会效益。在总结水蓄冷空调系统经济性研究的基础上,对水蓄冷空调系统和单纯空调制冷系统的经济性进行量化建模,并选择河北某办公区域项目的水蓄冷空调系统进行了实证分析测算,结果表明,水蓄冷空调系统具备良好的经济效益和社会效益。

关键词:需求侧响应;冷负荷;水蓄冷;空调负荷

中图分类号:TU832;TM73 **文献标志码:**B **文章编号:**1001-9898(2023)02-0020-04

Economic Analysis of Water-storage Conditioner Based on Demand-side Response

DING Rong,ZHOU Bo

(State Grid Heibei Economic Research Institute,Shijiazhuang 050021,China)

Abstract: With the popularization of air conditioning,demand-side response and management for summer air conditioning loads are attracting increasing attention.Water-storage air conditioner,as a high efficiency and clean recycling utilization cooling technology,has excellent economic and social benefits.Based on the summary of the economic research of water-storage air conditioning systems,this study puts forward an economic model of water-storage air conditioner with cost analysis.An example of a water-storage air conditioner project in an office area in Hebei is selected to carry out empirical analysis,the result of calculation shows that water-storage air conditioner has excellent economic and social benefits.

Key words: demand-side response;cold load;water-storage;air conditioner load

0 引言

近年来,随着我国经济快速发展,人民生活水平迅速提高,空调的普及率和使用率稳步提升,对夏季电力系统的安全稳定运行带来较大压力。为缓解电网高峰时段供需平衡矛盾,电力需求侧管理技术的相关理论和实践得到了广泛研究,总体来看,对空调负荷的管理有 3 种方式:一是,借助建筑物本身的储冷能力,在用电高峰时段将不同区域的空调实行轮开轮停管理,削减电网尖峰负荷^[1-2];二是,推广使用蓄冷技术,将电网部分尖峰负荷转移至用电低谷时段,实现负荷的转移^[3-4];三是,推广新型空调制冷技术,通过能效的提升减少空调负荷^[5-7]。

水蓄冷空调技术作为一种成熟的蓄冷技术,比传统单纯空调制冷优势明显。在经济效益方面,水蓄冷空调利用低谷时段的低价电将水制冷,在高峰时段关闭空调主机,依靠冷水释冷,相比传统的单纯空调制冷具备明显节约电费支出的优势^[8]。在冷负荷高峰时段使用水释冷部分替代空调制冷,可以减少空调装机容量,降低设备初始投资。

在社会效益方面,水资源在蓄冷、释冷过程中不存在损耗,实现了水资源的循环利用,同时将电网尖峰负荷转移到了用电低谷时段,对节约电力建设投资、高效利用电力设施方面有很大帮助。

本文在梳理水蓄冷空调技术经济相关研究的基础上,针对水蓄冷空调系统和单纯空调制冷 2

收稿日期:2022-05-05

作者简介:丁 荣(1990—),女,工程师,主要从事技术经济及管理等工作。

• 20 •

种模式满足冷负荷需求的经济性进行了建模分析,提出了水蓄冷空调系统的经济性判据。在理论研究的基础上,选择河北某办公区域项目的水蓄冷空调系统进行了实证分析,通过测算分析,验证了水蓄冷空调系统的经济性优势。

1 水蓄冷技术

蓄冷技术是一项合理利用电力资源,通过低谷蓄冷、高峰释冷帮助电力系统实现削峰填谷以改善负荷曲线的技术手段。通常情况下,单纯采用空调制冷技术,由于空调运行时段和电力需求高峰时段重叠,导致夏季电网平衡压力巨大。而蓄冷系统可以实现低谷用电、避开日间高峰用电,在夜间利用低价电制冷,白天电力需求高峰时段停止空调运行改为由蓄冷装置供冷,能产生很好的经济效益和社会效益。

从用户侧来看,蓄冷系统充分利用低价电,替代白天使用高价电制冷,可以大量节约电费支出;同时由于蓄冷系统的部署,可以部分替代供冷高峰时段的空调制冷,节省空调初始投资,经济效益显著。从电力系统来看,蓄冷系统的推广将转移大量空调尖峰负荷至夜晚低谷时段,对改善电力负荷曲线、节约电源及电网建设投资具有重大意义。蓄冷技术的种类较多,主要分类如图 1 所示。

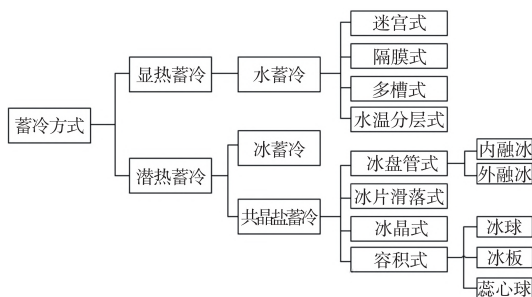


图 1 蓄冷技术分类

水蓄冷是利用冷冻存储储在储槽内的冷量进行蓄冷,即夜间利用 4~7℃ 的低温水供空调白天使用,因该温度的水可适用于大多数常规冷水机组直接制冷,故可在白天高峰用电时段关闭空调制冷系统,直接使用蓄冷装置释放冷量。在实际释冷过程中,供水、回水温度相差约 10℃。因水的比热远远小于冰的融化热,故水蓄冷系统蓄冷密度较低,需要建设体积较大的蓄水池。水蓄冷系统具备技术要求低、维修费用少的特点,且可以利用建筑物的

消防水池进行储冷,因此具备推广价值。

2 水蓄冷空调经济性分析

2.1 成本构成

水蓄冷空调系统的成本主要包括固定成本和变动成本。固定成本是空调系统开发和建设期间的资本投入所形成的成本,主要包括:固定资产投资、建设期借款利息和流动资金。变动成本是项目投产运营后在运营过程中产生的成本,主要是指空调系统的运行维护成本。水蓄冷空调系统的主要成本构成如图 2 所示。

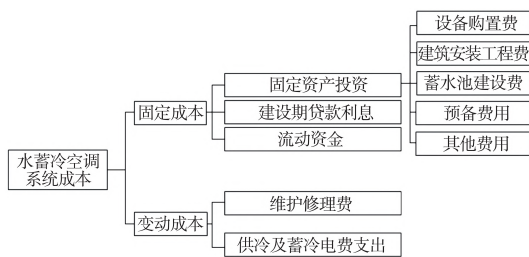


图 2 水蓄冷空调系统成本

2.2 经济性分析模型

为便于比较水蓄冷空调系统和传统空调制冷模式的经济性,均采用净年值法统一进行比较。

水蓄冷空调系统的净年值成本计算公式为

$$C_0 = I_0 \times C_{RF} + S_0 + (Q_c + Q_w) \times P_0 \quad (1)$$

$$C_{RF} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2)$$

式中: C_0 为水蓄冷空调系统的净年值成本; I_0 为项目初始总投资(固定成本); C_{RF} 为将建设期投资折算为等价年值的换算因子; S_0 为水蓄冷空调系统的年维护成本; Q_c 、 Q_w 分别为空调系统制冷、蓄冷的年耗电量; P_0 为电价; i 为贴现率; n 为寿命期, a。

中央空调系统的净年值成本计算公式为

$$C_1 = I_1 \times C_{RF} + S_1 + Q_{cl} \times P_0 \quad (3)$$

式中: C_1 为中央空调系统的净年值成本; I_1 为中央空调系统的初始总投资; S_1 为中央空调系统的年维护成本; Q_{cl} 为中央空调系统的制冷年耗电量。

定义水蓄冷空调系统与中央空调系统年费差为

$$\Delta C = C_1 - C_0 \quad (4)$$

根据上述定义,如果 $\Delta C > 0$, 表示水蓄冷空调系统经济性优于空调模式;如果 $\Delta C < 0$, 表示水蓄

冷空调系统经济性比传统模式差。

3 算例分析

3.1 A 办公区域水蓄冷项目概况

A 办公区域水蓄冷项目位于华北某地,该项目结合区域电力、冷热负荷现状及未来规划,在空调系统建设的同时,配套建设 215 m³ 的冷热双蓄水池,夏季利用水池蓄冷,在夜间低谷电时段,空调启动向水池蓄冷,在白天负荷需求高峰关闭空调,启动水池释冷。该项目是该地区第一个规划建成的示范项目,目前运行情况良好。

该地区的分时电价情况见表 1 和图 3,该办公区域的冷负荷需求见表 2 和图 3。

表 1 分时电价

时段	时间	电价/[元·(kWh) ⁻¹]
低谷	23:00—08:00	0.2
平时	08:00—09:00、12:00—17:00、 22:00—23:00	0.5
高峰	09:00—11:00、17:00—22:00	0.8

表 2 办公区域冷负荷需求

时刻	冷负荷/kW	时刻	冷负荷/kW
01:00	0	13:00	1 500
02:00	0	14:00	1 500
03:00	0	15:00	1 500
04:00	0	16:00	1 300
05:00	0	17:00	1 000
06:00	0	18:00	800
07:00	100	19:00	400
08:00	200	20:00	200
09:00	500	21:00	100
10:00	600	22:00	0
11:00	1 000	23:00	0
12:00	1 200	24:00	0

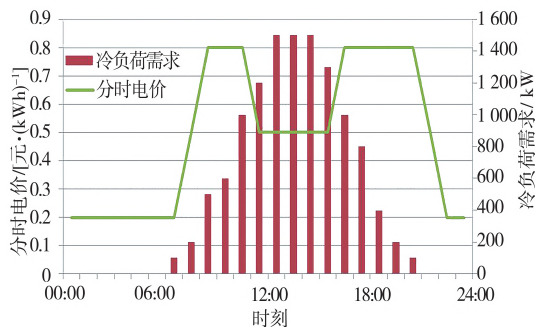


图 3 冷负荷需求及分时电价

3.2 项目经济性测算

该项目中水蓄冷空调系统建设空调功率为 830

kW,建造水池 215 m³,空调造价为3 500 元/kW,水池造价为 600 元/m³,则初始总投资为 303.4 万元,项目建设期 1 a,设计运营寿命 10 a,则初始投资的年值折算系数为 0.463,该水蓄冷空调系统的年维护成本为 3.03 万元(初始投资的 1%),根据项目特点,基准收益率取 8%。

如全部采用空调制冷,需要建设空调功率为 1 500 kW,则初始投资为 525 万元,设计运营寿命为 10 a,初始投资的年值折算系数为 0.463,残值率 5%。

该地区供冷需求为每年 5 月 15 日到 9 月 15 日,即空调系统每年运行 120 d。

该水蓄冷空调系统的运行策略为 23:00 至次日 08:00,空调利用低谷电通过 9 h 向水池蓄冷 7 450 kWh;在 08:00—11:00、17:00—22:00 的用电高峰时段,关闭空调完全通过蓄冷水池释冷满足冷负荷需求;在 12:00—17:00 的用电平段,优先通过空调制冷,空调制冷功率不足时由蓄冷水池释冷补充冷负荷需求。系统供冷策略见图 4。

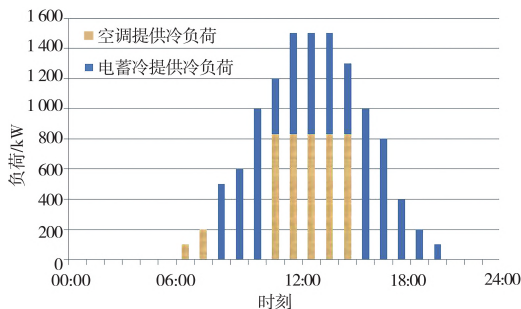


图 4 蓄冷空调系统供冷策略

则在此运行策略下,水蓄冷空调系统的日耗电情况如图 5 所示,通过计算,每日电费支出为 3 320 元,则系统年电费支出为 39.84 万元。

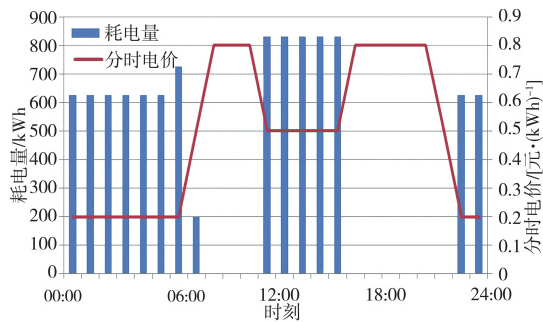


图 5 蓄冷空调系统日耗电量

采用水蓄冷空调制冷系统与传统中央空调制冷系统的成本对比如表 3 所示。

表 3 2 种供冷模式成本对比表 万元

项目	水蓄冷空调	传统空调
建设投资	303.4	525
建设投资净年值	140.474	243.075
年维护费用	3.03	5.25
日电费支出	0.332	0.73
年电费支出	39.84	87.6
年均制冷成本	183.344	335.925

单纯采用空调制冷的每日电费支出为 7 300 元,年电费支出为 87.6 万元。

蓄冷空调系统与空调系统年费差为

$(525 \text{ 万元} \times 0.463/\text{年} + 5.25 \text{ 万元}/\text{年} + 87.6 \text{ 万元}/\text{年}) - (303.4 \text{ 万元}/\text{年} \times 0.463/\text{年} + 3.03 \text{ 万元}/\text{年} + 39.84 \text{ 万元}/\text{年}) = 152.581 \text{ 万元}/\text{年} > 0$ 。

3.3 结果分析

从计算结果可以看出,在满足相同的供冷需求情况下,采用水蓄冷空调系统建设方案,比单纯采用空调制冷系统建设方案在各方面均具有很大优势。

1)从初始投资方面看,建设水蓄冷空调系统,可以将中央空调系统建设规模由 1 500 kW 降低到 830 kW,减少 44.67%。综合考虑蓄冷水池改造成本后,初始建设投资仍减少 42.21%。

2)从年运维成本方面看,水蓄冷空调系统结构简单、不易损坏,运维成本相比单纯采用空调制冷方案有所降低。

3)从电费支出方面看,水蓄冷空调系统可以在夜间电价低谷时段向水池蓄冷、在白天电价高峰时段通过水池释冷,减少电费支出 54.52%,同时实现了夏季用电高峰期电力负荷向低谷时段的转移,对缓解夏季电力供需矛盾、减少电源电网投资效益明显。

4)总体来看,在满足相同的供冷需求情况下,采用水蓄冷空调系统建设方案,比单纯采用空调制冷系统建设方案在各方面均具有优势,综合降低年均制冷成本 152.581 万元,降幅达 45.42%。

4 结论

本文对水蓄冷空调系统的经济效益进行了分析和测算,得出如下结论。

1)本文建立的基于年值成本对比分析法的水蓄冷空调系统和传统中央空调系统的技术经济分析判据,通过建设投资净年值、年运维成本、年电费支出的综合测算,可以科学量化评估 2 种技术方案的经济性,具备科学性和实用性。

2)在满足相同的供冷需求情况下,水蓄冷空调系统投资经济性远远优于单纯的中央空调供冷系统,通过转移高峰用电至低谷时段,降低了电费支出,减少中央空调系统的建设规模,综合降低年均制冷成本约 40%,经济效益显著。

3)建设水蓄冷空调系统是需求侧响应的一种可行手段,可实现夏季用电高峰期空调负荷向低谷时段的转移,对缓解夏季电网电力供需矛盾、减少电源电网投资效益明显,社会效益显著。

参考文献:

- [1] 许炫壕,王星华,周亚武.结合电力负荷差异性分类的需求侧响应模型研究[J].黑龙江电力,2018,40(4):292-297.
- [2] 文福拴,林鸿基,胡嘉骅.需求响应的商业机制与市场框架初探[J].电力需求侧管理,2019,21(1):4-9.
- [3] 何德卫,杨威,陈皓勇,等.电力市场环境下需求侧响应相关问题的探讨[J].智慧电力,2018,46(6):41-48.
- [4] 田峰,殷磊,吕斌,等.智能楼宇需求侧管理的负荷与成本优化[J].南京邮电大学学报(自然科学版),2018,38(6):1-8.
- [5] 徐瑶,陈晓萌,龚彧,等.基于工业园区多能协同的需求侧响应[J].节能,2018,43(7):1-5.
- [6] 贺春光,段晓波,张晶.电网空调负荷计算及预测[J].河北电力技术,2011,30(2):21-23.
- [7] 童亦斌,游小杰,王怡岚,等.空调负荷虚拟储能技术研究[J].北京交通大学学报,2017,41(5):126-131.
- [8] 于晓磊,张红,刘莉馨,等.水蓄冷系统在公共建筑节能改造中的应用[J].暖通空调,2021,51(10):98-103.

本文责任编辑:王洪娟