

「用电」

不同投资模式下电蓄冷空调经济效益评价方法

文/国网上海市电力公司经济技术研究院 秦旷宇 仇成 张铭泽 费斐

分析电蓄冷空调系统经济性的主要影响因素，基于全寿命周期分析方法对电蓄冷空调系统的经济性进行分析，从电网侧、用户侧和第三方投资商等不同视角得出电蓄冷空调系统的经济性分析数学模型。最终采用某办公楼算例分析不同蓄冷策略（冰蓄冷，水蓄冷）不同投资主体（电网侧、用户侧和第三方投资商）情况下的投资收益，给出电蓄冷空调系统的投资建议及结论。

随着我国工商业的快速发展及居民生活水平的显著提高，高功率、大范围的供冷用电已成为电网服务的主要对象之一。

电蓄冷技术是一种实现冷量生产、储存和应用的成套技术。在电负荷低谷期运行电制冷系统，在电负荷高峰时期释放冷量，满足或部分满足用电高峰的用冷需求。由于蓄冷冷量来自夜间低谷期用电，而在用电高峰期消耗电量极少，因此蓄冷技术能够实现用电负荷的“移峰填谷”，达到能源合理利用的目标。

由于电蓄冷系统的投资费用偏高，实际应用不广泛，对电蓄冷系统经济性方面的研究开展的还相对不足。

分析电蓄冷经济性的主要影响因素，着重基于全寿命周期对电蓄冷空调系统的经济性进行分析，从电网侧、用户侧和第三方投资商等不同视角进行分析，给出电蓄冷系统的投资建议及结论。

电蓄冷经济效益分析及评价方法

进行经济效益分析、评价的方法有多种，常用的有静态经济评价方法和动态经济评价方法。

随着工程项目的增加、资金使用量的增长，资金的使用因素已经成为方案比较中不可忽略的因素。考虑资金的时间价值符合资金实际的运行规律，使评价更加真实可靠。

对于不同的电蓄冷投资商，电蓄冷投入有着不同的经济收益。经济收益由不同的收益成分组成，投资商所获总的经济收益即为所有收益成分的总和。由于初期投资较大，成本回收周期较长，故需考虑其全寿命周期内的经济收益。可以考虑的指标包括净现值（NPV）、内部收益率（IRR）和投资回收期。以下采用净现值进行分析。

净现值指标是把工程方案计算期内不同时间点的现金流入和现金流出，在一定利率的条件下，折现到“0”时点的代数（国家规定，“现在”定义为建设期初，即时间轴的0时点）。其表达式及计算方法为

$$NPV = \sum_{t=1}^n (C_t - C_0) (1+i)^{-t} \quad (1)$$

式中， C_t 为该年新增现金流入； C_0 为该年新增现金流出； t 为现金流量发生在第 t 年； i 为折现率，财务评价时用基准折现率（一般为8%），国民经济评价时用社会折现率； n 为计算期或研究期。

经济效益分析

根据投资主体的不同,可将电蓄冷投资方式分为电网侧投资、用户侧投资和第三方投资3种。

1. 电网侧投资

电网侧投资模式,是指由电网公司全资投资电蓄冷系统,所获收益全部归电网公司所有的商业运营模式。该模式是电网公司从电网自身需要出发,为解决特定问题而进行的电蓄冷系统安装。由电网投资的电蓄冷项目一般容量较大、投资较多,且隐形经济效益大于显形经济效益。式(2)为基于费用现值的经济评估模型。

$$E_{\text{net}} = \sum_{t=1}^N (E_1 + E_2 + E_3 - C_1 - C_2 + C_3)_t (1+i)^{-t} \quad (2)$$

式中, N 为电蓄冷系统的使用寿命年限; i 为折现率; E_{net} 为全寿命周期内的电网侧投资模式下收益折现值总和。下标为 t 的变量表示第 t 年的投资成本和收益,其中 E_1 为缓解电网投资节约的费用; E_2 为降低网损节约的费用; E_3 为减少用户停电损失电量的费用; C_1 为电蓄冷系统的投资成本,具体包括站址建设成本、冷水机组、蓄冰槽、冷却塔、冷却水泵和热交换器等设备成本; C_2 为电蓄冷系统的年运行维护费用,主要由电蓄冷系统的规模确定; C_3 为电蓄冷系统的回收经济效益。

2. 用户侧投资

用户侧投资模式,是指由用户全资投资电蓄冷系统,所获收益全部归用户所有的商业运营模式。该模式是用户从自身需要出发,为解决特定问题而进行的电蓄冷系统安装。式(3)为基于费用现值的经济评估模型。

$$E_{\text{user}} = \sum_{t=1}^N (E_4 + E_5 + E_6 + E_7 - C_1 - C_2 + C_3)_t (1+i)^{-t} \quad (3)$$

式中, E_{user} 为全寿命周期内的用户侧投资模式下收益折现值总和; E_4 为利用峰谷电价高发低储所得收益; E_5 为减少增容容量电价节约的费用; E_6 为减少用户停电损失电量的费用; E_7 为减少用户备用电源配置所需的费用。

3. 第三方投资

当独立投资者(以保证电力用户供电可靠性及降低分时电价下用户成本,降低供电企业设备投资和网络损失、平滑可再生能源处理和降低旋转备用等为盈利目的投资者)建设电蓄冷设备,其所储存的电能供用户使用,可避免以上两种建设模式的不足,也可满足用户的容量需求和电网长期发展的要求。因此,独立投资者建设

电蓄冷系统的收益来源于用户和供电企业,其可产生两方面的收益。

1) 提高接入了电蓄冷设备用户的供能可靠性。

2) 电蓄冷设备通过移峰填谷延缓电网增容扩建、改善电能质量,使电网企业受益。独立投资者建设电蓄冷设备,其所储存的能量供用户使用获得收益,并根据“谁受益,谁付费”的原则设计符合电蓄冷设备运行特点的经济补偿方法。式(4)为基于费用现值的经济评估模型。

$$E_{\text{third}} = \sum_{t=1}^N (E_{\text{net}} + E_{\text{user}} - C_1 - C_2 + C_3)_t (1+i)^{-t} \quad (4)$$

式中, E_{third} 为全寿命周期内的第三方投资收益折现值总和; E_{net} 为电网侧电蓄冷受益方所需支付费用; E_{user} 为用户侧电蓄冷受益方所需支付费用。

算例分析

1. 算例数据

某办公楼附带数据中心,夏季设计日尖峰负荷为19 252 kW,配电设施费为800元/kV·A。基本电费按上海最新的10 kV工商业两部制电价,即基本电费42元/kW·月,峰谷电价如表1所示。年运行天数为180天,夏季高峰典型日逐时负荷如图1所示。

表1 上海10 kV工商业峰谷电价(单位:元)

	峰	平	谷
时段	8:00~11:00 13:00~15:00 18:00~21:00	6:00~08:00 11:00~13:00 15:00~18:00 21:00~22:00	22:00~06:00
夏季	1.222	0.752	0.364
非夏季	1.257	0.787	0.299

机组配置方案:冰蓄冷系统配置4台2 304 kW(空调工况制冷量)/1 494 kW(制冰工况制冷量)双工况离心式冷水机组,2台2 637 kW常规离心式冷水机组,蓄冷容量14 140 RTH,蓄冷系统体量200 000 m³、工程造价2 900万元。机房设备用电功率4 200 kW,机房设备配电容量4 900 kV·A,功率因数0.85。

水蓄冷系统配置配置6台2 637 kW常规离心式冷水机组。蓄冷容量14 140 RTH,蓄冷系统体量280 000 m³、工程造价1 800万元。机房设备用电功率3 900 kW,机房设备配电容量4 300 kV·A,功率因数0.85。

常规空调系统配置配置8台2 637 kW常规离心

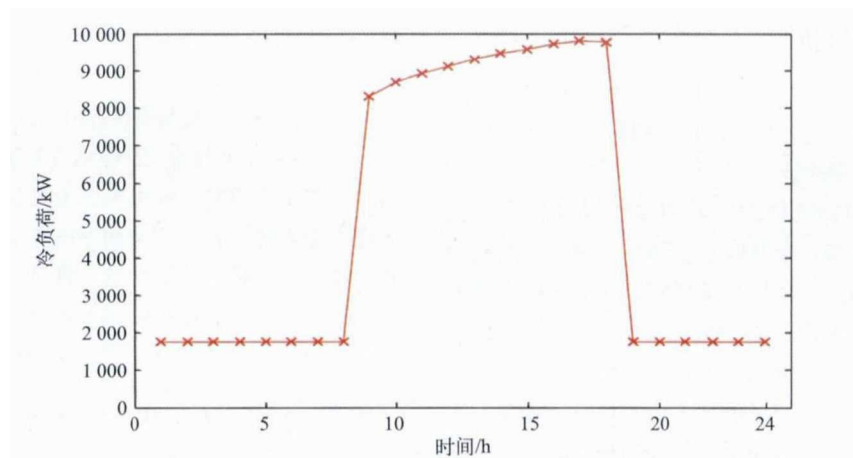


图1 夏季高峰典型日逐时负荷

式冷水机组。常规空调系统工程造价1 400万元。机房设备用电功率3 800 kW，机房设备配电容量4 200 kV·A，功率因数0.85。

冰蓄冷、水蓄冷与常规电制冷机房设备的经济分析对比表如表2所示。

同等蓄冷量的水蓄冷系统造价约为冰蓄冷的一半或更低。冰蓄冷需要的双工况制冷机组价格高，装机容量大，增加了配电装置的费用，且冰槽的价格高，使用有乙二醇的数量多，价格高，管路系统和控制系统均较复杂，因此总造价高。冰蓄冷一次投资最高，达到6 501万元，比水蓄冷系统高出72.6%，比常规空调系统高出77.4%。冰蓄冷系统一次投资中常规离心式冷水机组2台，比水蓄冷系统少4台，比常规空调系统少6台。机房设备实际运行时，由于夜间蓄冷，主机制冰，一些供冷设备等不开起；白天供冷，一些制冰设备不开起。机房设备用电功率按一半考虑，即为2 100 kW。冰蓄冷年机房运行电费最高，为708万元，比水蓄冷系统高7.8%，比常规空调系统高10.6%。

2. 冰蓄冷系统投资收益分析

(1) 电网侧投资收益分析

电网侧投资收益包括：缓解电网投资节约费用 E_1 ，通过电蓄冷接入，可减少新建变电站5 MW，按40万元/MW计算，减少新建线路JKLYJ-240-10 kV的架空线路共计15 km，按40万元/km，共计可节约一次投资约为800万元；每年降低网损节约费用 E_2 ，电蓄冷接入后，按照50 MW变电站系统网速率由5%降低到4.5%，可以每年降低网损节约费用约150万元；每年减少用户停电损失电量费用 E_3 ，每年约为100万元；电蓄冷系统的回收经济收益 C_3 ，按投资成本的10%计算。成本包括：电蓄冷系统的投资成本 C_1 ，电蓄冷系统的年运行维护费用 C_2 。寿命期内总的用户侧投资收益为-11 258万元。

(2) 用户侧投资收益分析

用户侧投资收益包括：利用峰谷电价高发低储所得收益 E_4 为268万元；减少增容容量电价节约费用 E_5 ，电蓄冷系统的蓄冷效率按90%计算，按基本电费42元/(kW·月)，则 E_5 为270万元；减少

表2 冰蓄冷、水蓄冷与常规空调设备的经济分析对比表

内容		冰蓄冷	水蓄冷	常规电制冷
机房设备用电功率/kW		4 200	3 900	3 800
机房设备配电容量/kV·A		4 900	4 300	4 200
一次投资/万元	制冷机组费用	3 209	1 424	1 899
	机房设备概算	2 900	2 000	1 400
	机房配电设施费	392	344	366
	合计	6 501	3 767	3 665
年运行费/万元	基本电费	212	197	192
	机房运行电费	708	657	640
	机房维护费用	55	40	35
	合计	975	894	867

用户停电损失电量费用 E_6 ，该费用每年约为100万元；减少用户备用电源配置所需费用 E_7 ，按蓄冰容量5 976 kW，每800元/kV·A的电源投资计算， E_7 为506万元；电蓄冷系统的回收经济收益 C_3 按投资成本的10%计算。成本包括：电蓄冷系统的投资成本 C_1 ，电蓄冷系统的年运行维护费用 C_2 。寿命期内总的用户侧投资收益为-5 370万元。

(3) 第三方投资收益分析

第三方投资收益包括：电网侧电蓄冷受益方所需支付费用 W_1 ，通过前述计算 W_1 为680万元/a；用户侧电蓄冷受益方所需支付费用 W_2 ，为697万元/a；电蓄冷系统的回收经济收益 C_3 。成本包括：电蓄冷系统的投资成本 C_1 ，电蓄冷系统的年运行维护费用 C_2 。寿命期内总的用户侧投资收益为-2 399万元。

3. 水蓄冷系统投资收益分析

(1) 电网侧投资收益分析

电网侧投资收益包括：缓解电网投资节约费用， E_1 为800万元，每年降低网损节约费用， E_2 为150万元，每年减少用户停电损失电量费用 E_3 为100万元，电蓄冷系统的回收经济收益 C_3 为377万元。成本包括：电蓄冷系统的投资成本 C_1 为3767万元，电蓄冷系统的年运行维护费用 C_2 为8 940万元。寿命期内总的用户侧投资收益为-9 123万元。

(2) 用户侧投资收益分析

用户侧投资收益包括：利用峰谷电价高发低储所得收益 E_4 为603万元，减少增容容量电价节约费用 E_5 为270万元，减少用户停电损失电量费用 E_6 为100万元，减少用户备用电源配置所需费用 E_7 为506万元，电蓄冷系统的回收经济收益 C_3 为377万元。成本包括：电蓄冷系统的投资成本 C_1 为3 767万元，电蓄冷系统的年运行维护费用 C_2 为40万元。寿命期内总的用户侧投资收益为-2 236万元。

(3) 第三方投资收益分析

第三方投资收益包括：电网侧收益 W_1 为680万元/年；用户侧的收益 W_2 为697万元/a；电蓄冷系统的回收经济收益 C_3 为377万元。成本包括：电蓄冷系统的投资成本 C_1 为3 767万元，电蓄冷系统的年运行维护费用 C_2 为40万元。寿命期内总的用户侧投资收益为735万元。

3. 投资收益对比分析

从图2可以看出冰蓄冷投资，各投资主体收益均为负。水蓄冷投资中电网侧、用户侧收益为

负，第三方收益为正。

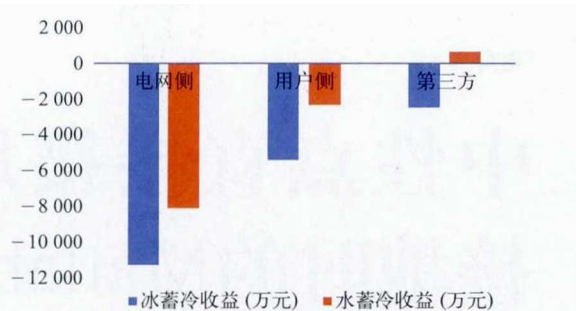


图2 不同投资主体收益对比

1) 由于停电率只计及配电网故障造成的停电，而没有包括系统错峰用电等因素造成的停电损失，一次错峰用电造成的停电损失比一年中因为故障停电造成的损失要大很多，所以使得降低停电损失费用方面的收益比实际值偏小，偏小多少视该地区各年的用电紧张程度而定，系统错峰用电次数对电蓄冷装置的经济性影响非常大。

2) 在目前的技术和造价水平偏高的情况下，因为只考虑了用户作为投资者方面的收益，而没有计及其带来的社会效益，用户投资建设电蓄冷装置的经济性有点偏低。

3) 第三方投资的收益率要高于用户和电网单独投资的收益率。关键是第三方投资能够协调电网、用户受益方之间的利益关系，统筹考虑电蓄冷系统的容量。因此使得投资收益最大化。同时还取决于国家对电力交易和电蓄冷政策的支持。

结束语

建立了电蓄冷空调系统全寿命周期经济效益分析模型，对电网侧、用户侧和第三方投资商投资电蓄冷系统进行了全视角分析，有如下结论。

电网侧投资电蓄冷系统经济收益较差，仅在可减缓大量电网建设投资特别大的情况下进行电蓄冷系统投资，才会有较好的经济收益。用户侧投资经济收益较大程度的取决于峰谷电价差和用户对备用电源的依赖程度，在峰谷电价差较大时可获得较高的经济收益。最后，通过对第三方投资的分析可以看出，第三方投资商可协调电网侧和用户侧的利益，从多方同时收益，进而具有最好的经济效益。最后，在电蓄冷系统投资决策时，应同时考虑电蓄冷接入带来的经济效益和社会效益，使投资收益综合最优。EA

(收稿日期：2017.09.05)

(编辑：刘群彦)