

PPP融资模式的企业角度光伏发电成本效益分析

吴克良¹, 韩文花², 谢娟¹, 胡星宇¹, 杨浩¹, 魏爱东²

(1. 淮南电力规划设计院有限公司, 安徽 淮南 232007; 2. 上海电力学院, 上海 200090)

Cost-benefit analysis of photovoltaic power generation for enterprises in PPP financing mode

WU Keliang¹, HAN Wenhua², XIE Juan¹, HU Xingyu¹, YANG Hao¹, WEI Aidong²

(1. Huainan Electric Power Planning and Design Institute Co., Ltd., Huainan 232007, China;

2. Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

摘要:光伏发电作为中国未来重点关注的新型战略产业之一,已成为电力系统中的一个研究热点。然而,其融资途径发展程度并不满足其融资需求,单一的融资途径制约了光伏发电的发展。将政府和社会资本合作融资模式应用于光伏发电项目。建立了PPP融资模式不同补贴方式下的光伏发电成本、效益模型。提出企业融资效益的定义以更好地评估融资效果。在实际案例中,对比了不同补贴方式的收益现值,对2种PPP融资模式和单一融资模式进行可行性和效益评估,结果表明PPP融资模式可以很好的帮助光伏发电企业解决融资问题,提高企业经济效益。

关键词:光伏发电;PPP;成本模型;效益模型;融资模式

Abstract: As one of the new strategic industries that China is focusing on in the future, photovoltaic power generation has become a research hotspot in power system. However, the degree of development of its financing channels does not meet its financing needs, and a single financing approach restricts the development of photovoltaic power generation. A public-private-partnership (PPP) financing model is applied to a photovoltaic power generation project. The cost and benefit model of photovoltaic power generation based on different subsidy modes of PPP financing mode is established. A definition of financing benefits of enterprises is proposed in order to evaluate the financing effect. In actual case, the present values of the income of different subsidy methods are compared. The feasibility and benefits of the two PPP financing modes and the single financing mode are evaluated. The results prove that PPP financing mode can help enterprises solve financing problems and improve enterprise economic benefits.

Key words: photovoltaic; PPP; cost model; benefit model; financing mode

中图分类号:TM615;F283 文献标志码:A

0 引言

光伏发电初期与后续阶段融资难的问题使得单一融资模式和有限的融资途径成为制约光伏产业发展的重要因素^[1]。政府和社会资本合作(public-private-partnership, PPP)融资模式是指在某个项目中,以特许权益为基础,政府公共部门与企业合作,达到互利共赢^[2]。该模式能够有效减小企业的融资压力,并获得较好的利润,因此有必要将PPP融资模式引入光伏发电项目。

近几年,PPP融资模式在我国有了一些发展。已有文献探讨了PPP的定义和分类^[3],从政府和社会资本角度出发,提出政府应当加强契约精神,建立法律法规^[4]。将PPP模式应用至城镇基础设施建设^[5]、轨道交通领域^[6]、城市节能照明^[2]等领域,但将此模式引入到光伏发电项目的研究比较少。

本文将PPP融资模式引入光伏发电项目中,根

据不同补贴方式分析该模式的经济效益。

1 光伏发电的补贴方式

根据2013年8月的《发挥价格杠杆作用促进光伏产业健康发展的通知》,光伏发电有2种上网模式:“全额上网”和“自发自用、余量上网”,补贴时间是20年。2017年12月发布的《关于2018年光伏发电项目价格政策的通知》,针对2种上网模式,改变了补贴方式,规定了不同类型资源区普通光伏电站标杆上网电价及补贴标准。设定补贴方式1为“自发自用、余量上网”,即光伏发电所发电量全部享有政策补贴,用户自己用掉部分电量后,剩余电量电网按照当地脱硫燃煤标杆电价收购;补贴方式2为“全额上网”,即光伏发电发的电量全部上网,上网电价为光伏发电标杆上网电价^[7]。

2 基于PPP融资模式的光伏发电成本、效益模型的建立

PPP融资模式大致可分为6类:委托运营、管理

收稿日期:2019-07-25;修回日期:2019-08-20

基金项目:国家自然科学基金项目(61503237)

This work is supported by National Natural Science Foundation of China(No.61503237)

合同、转让-运营-移交、改扩建-运营-移交、建设-运营-移交(build-operate-transfer, BOT)、建设-拥有-运营(build-own-operate, BOO)。其中 BOT 和 BOO 主要适合新建项目^[8]。由于光伏发电项目属于准盈利项目,政府需要引入社会资本进行建设运营,光伏发电项目可采用 BOT 和 BOO 模式。

2.1 成本模型

本文所提 PPP 融资模式的成本模型 C 为

$$C = C_{ig} + C_{ie} + C_r + C_o \quad (1)$$

光伏发电项目在建设时所需要的成本 C_i 为

$$C_i = C_w \cdot P_w \quad (2)$$

式中: C_w 为单位装机容量投资成本,元/kW; P_w 为光伏发电装机容量,kW。

政府初始投资成本 C_{ig} 为

$$C_{ig} = k_{gc} \cdot C_i \quad (3)$$

式中: k_{gc} 为政府初始投资成本比率。

企业初始投资成本 C_{ie} 为

$$C_{ie} = k_{ec} \cdot C_i \quad (4)$$

式中: k_{ec} 为企业初始投资成本比率。

贷款成本包括贷款本金和还款利息。贷款本金包含在光伏发电项目建设时的成本中。贷款成本 C_r 为

$$C_r = N \cdot C_{ra} \quad (5)$$

式中: N 为光伏发电运行总年数。

本文采用等额本息单利方式还款,当 PPP 融资模式选择 BOO 模式时,贷款成本由企业承担;若选择 BOT 模式,该成本在特许权期内由企业承担,特许权期后由政府承担。两种融资模式每年还款金额 C_{ra} 均为

$$C_{ra} = \frac{12k_1 \cdot C_i \cdot \alpha(1+\alpha)^m}{(1+\alpha)^m - 1} \quad (6)$$

式中: m 为还款总年数; α 为银行贷款年利率; k_1 为贷款比率; $k_1 \cdot C_i$ 为贷款本金。

总运营维修成本为

$$C_o = N \cdot C_{oa} \quad (7)$$

运营维修成本在 BOO 模式中,由企业承担;在 BOT 模式中在特许权期内由企业承担,特许权期后由政府承担。两种融资模式每年运营维修成本 C_{oa} 均为

$$C_{oa} = P_w \cdot D_o \quad (8)$$

式中: D_o 为光伏系统维护单价,元/kW。

为了便于评价政府和企业在本项目中的经济效益,将成本模型按不同融资模式,分别计算政府与企业的投资总成本。

政府投资总成本 C_g 在 BOO 模式下为 C_{ig} ,在 BOT 模式下为 $C_{ig} + (N-T) \cdot C_{ra} + (N-T) \cdot C_{oa}$ 。

企业投资总成本 C_e 在 BOO 模式下为 $C_{ie} + N \cdot C_{ra} + N \cdot C_{oa}$,在 BOT 模式下为 $C_{ie} + T \cdot C_{ra} + T \cdot C_{oa}$ 。

2.2 效益模型

本文研究企业的经济效益,效益模型中只考虑售电收益、节省的购电收益和政府补贴收益。光伏发电补贴方式有 2 种。补贴方式 1 的效益模型包括售电收益、节省的购电收益以及政府补贴收益;补贴方式 2 的效益模型只有售电收益。由于年份越久,

经济效益折现越低,本文在计算光伏发电收益基础上,利用折现率得到光伏发电项目的收益现值。

补贴方式 1 的年经济收益 B_{a1} 为

$$B_{a1} = D_c \cdot E_{sell} + D_{buy} \cdot E_{buy} + D_g \cdot E_a \quad (9)$$

式中: $D_c \cdot E_{sell}$ 为售电收益; D_c 为燃煤机组标杆上网电价,元/kWh; E_{sell} 为年上网电量,kWh; $D_{buy} \cdot E_{buy}$ 为节省的购电收益; D_{buy} 为零售电价,元/kWh; E_{buy} 为年自发自用电量,kWh; $D_g \cdot E_a$ 为政府补贴收益; D_g 为单位上网量的政府电价补贴,元/kWh; E_a 为年光伏发电发电量,kWh。

补贴方式 2 的年经济效益为

$$B_{a2} = D \cdot E_a \quad (10)$$

式中: D 为上网电价,元/kWh; E_a 为年光伏发电发电量,kWh。

为了便于计算经济效益,用 B_t 表示第 t 年经济收益, B_t 的计算实际上为式(11)与(12)。因此,不论哪种补贴方式和融资模式,光伏发电项目的效益模型均为

$$B = \sum_{t=1}^N B_t \quad t=1, 2, \dots, N \quad (11)$$

式中: B 表示光伏发电项目收益,元; B_t 为第 t 年经济收益,元。

考虑基准折现率,不论哪种补贴方式和融资模式,光伏发电项目的收益现值 B_{NP} 均为

$$B_{NP} = \sum_{t=1}^N \frac{B_t}{(1+\chi)^t} \quad (12)$$

式中: χ 为基准折现率,一般为 8%。

光伏发电项目的收益包括政府和企业的收益,收益现值包括政府和企业收益现值。为评估项目的可行性,按不同融资模式分别计算双方的收益及收益现值。

在 BOO 模式中,政府按收取一定的利润分成,假设按政府期望收益率收取利润分成;而在 BOT 模式中,特许权期内盈利归企业,特许权期年满后,盈利归政府。因此,政府经济收益 B_g 和政府收益现值 B_{NPg} 分别为

$$B_g = \begin{cases} \sum_{t=1}^N k_{gb} \cdot B_t & \text{BOO模式} \\ \sum_{t=T+1}^N B_t & \text{BOT模式} \end{cases} \quad (13)$$

$$B_{NPg} = \begin{cases} \sum_{t=1}^N \frac{k_{gb} \cdot B_t}{(1+\chi)^t} & \text{BOO模式} \\ \sum_{t=1}^N \frac{(1-k_{gb}) \cdot B_t}{(1+\chi)^t} & \text{BOT模式} \end{cases} \quad (14)$$

式中: k_{gb} 为政府期望收益率。

企业经济收益 B_e 和企业收益现值 B_{NPe} 分别为

$$B_e = \begin{cases} \sum_{t=1}^N (1-k_{gb}) \cdot B_t & \text{BOO模式} \\ \sum_{t=1}^T B_t & \text{BOT模式} \end{cases} \quad (15)$$

$$B_{NPe} = \begin{cases} \sum_{t=1}^N \frac{(1-k_{gb}) \cdot B_t}{(1+\chi)^t} & \text{BOO模式} \\ \sum_{t=1}^T \frac{B_t}{(1+\chi)^t} & \text{BOT模式} \end{cases} \quad (16)$$

2.3 经济效益与可行性评估指标

本文除采用常见的项目评估指标净现值与企业年平均收益现值利率外,还提出了企业融资效益,对本项目的经济效益与可行性进行评估。

净现值是指按照基本折现率计算项目期内各年净现金流出流入量现值之和,计算公式为

V_{NPV} = \sum_{t=1}^N \frac{1}{(1+\chi)^t} (I_t - O_t) \tag{17}

式中: V_{NPV} 为投资项目净现值,元; I_t 为第 t 年现金流入量,元,在本项目中为第 t 年的收益; O_t 为第 t 年现金流出量,元,在本项目中为第 t 年的运营维修成本和贷款成本。

2种融资模式的政府和企业的净现值计算公式分别为

V_{NPVg} = \begin{cases} \sum_{t=1}^N \frac{k_{gb}}{(1+\chi)^t} (I_t - O_t) & \text{BOO模式} \\ \sum_{t=T+1}^N \frac{1}{(1+\chi)^t} (I_t - O_t) & \text{BOT模式} \end{cases} \tag{18}

V_{NPVe} = \begin{cases} \sum_{t=1}^N \frac{(1-k_{gb})}{(1+\chi)^t} (I_t - O_t) & \text{BOO模式} \\ \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+\chi)^t} (I_t - O_t) & \text{BOT模式} \end{cases} \tag{19}

式中: V_{NPVg} 为政府的净现值,元; V_{NPVe} 为企业的净现值,元; k_{gb} 为政府期望收益率。

BOO 模式中企业年平均收益现值利率为 I = \frac{V_{NPVe}}{N \cdot C_{ie}}, BOT 模式中的企业年平均收益现值利率为 I = \frac{V_{NPVe}}{T \cdot C_{ie}}。

融资效益为投资回报额与融资成本额的比值。与政府融资效益的定义^[9]类似,在 PPP 融资项目中,投资成本由银行、企业和政府共同承担,企业投资回报额是指企业从项目建设和运营中得到的收益与政府的初始投资成本之和。企业的融资成本可近似为企业初始投资和政府的利润之和。因此,本文提出 PPP 模式企业融资效益 P

P = \frac{B_{NPe} + C_{ig}}{C_{ie} + B_{NPg}} \tag{20}

当 P > 1 时,说明 PPP 模式融资方案优于单一融资模式,反之则说明 PPP 融资模式不如单一融资模式。

3 实际案例分析

以一类资源区的某市光伏发电项目为例,本文从企业角度对 BOO 和 BOT 2 种 PPP 融资模式下的项目可行性与融资效益进行评估,参数设置如表 2。

该光伏发电项目的系统装机容量为 100 MW,初始投资费用为 8 亿元,贷款资金比例为 75%,采用单利等额本息还款,剩余 25% 即 2 亿元,由企业与企业共同出资。假设政府与企业投资比例各为 12.5%,年光伏发电量预测和项目资金结构预测分别如表 3、表 4 所示。

表 2 项目参数

Table 2 Project parameters

参数	数值	参数	数值
初始投资费用/亿元	8	贷款年限/年	20
系统装机容量/MW	100	基准折现率/%	8
光伏发电运行年数/年	20	年系统维护单价/(元·kW ⁻¹)	80
当地煤炭上网标杆电价/(元·kWh ⁻¹)	0.391	基本电价/(元·kWh ⁻¹)	0.6

表 3 年发电量预测

Table 3 Annual power generation forecast

万 kWh			
年份	发电量	年份	发电量
1	12 276	11	11 077
2	12 152	12	10 995
3	12 028	13	10 912
4	11 904	14	10 829
5	11 780	15	10 747
6	11 656	16	10 664
7	11 532	17	10 581
8	11 408	18	10 499
9	11 284	19	10 416
10	11 160	20	10 333

表 4 项目资金结构

Table 4 Project funding structure

投资数值	政府	私营机构	金融机构
投资比例/%	12.5	12.5	75.0
投资金额/亿元	1	1	6

3.1 不同补贴方式收益现值分析

当地煤炭标杆电价为 0.391 元/kWh,基本电价为 0.6 元/kWh。补贴方式 1 为“自发自用、余量上网”补贴方式,假设自用负荷量分别为发电量的 10%、30%、50%。补贴方式 2 为“全额上网”模式。本文不考虑地方政策补贴,通过式(16)得到 2 种补贴方式的年份收益现值如图 1。

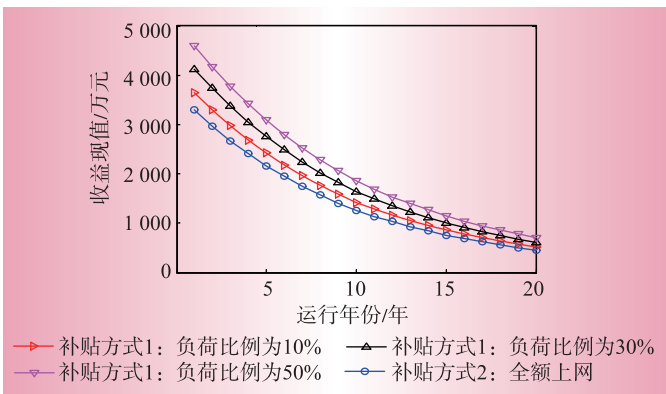


图 1 不同补贴方式的年份收益现值

Fig. 1 Present value of net income in different years of different subsidy methods

图 1 给出了光伏发电 2 种补贴方式年收益现值的预测结果,补贴方式 1 中,自用负荷量分别为发电量的 10%、30%、50%,补贴方式 2 中,发电量全部上网。由图 1 可以看出,运行年份越长,2 种补贴方式

的年份收益现值越低,这是由于发电量逐年降低,以及项目运行年份越久利润折现越低。在补贴方式1中,负荷率越大,年份收益现值越高,这是因为零售电价高于光伏发电上网电价。补贴方式1收益现值总体高于补贴方式2,因此本项目选择补贴方式1具有更高的效益。

3.2 特许权期和政府期望收益率对PPP融资的影响

由于本项目属于大型光伏发电项目,在分析PPP融资效益中,假设补贴方式1负荷量占发电量10%时。特许权期和政府期望收益率的确定,不仅要满足政府收回投资成本,实现投资回报,还要最大化企业投资收益。BOO模式下,净现值与融资效益随政府期望收益率的变化如图2所示,BOT模式下,净现值与融资效益随特许权期变化如图3所示。

在图2(a)和图3(a)中,实线代表企业净现值,虚线代表政府净现值,在图2(b)和图3(b)中,实线代表企业融资效益。

在图2中政府期望收益率越高,企业净现值和企业融资效益越低,政府净现值越高,政府期望收益率为50%时,企业净现值和政府净现值大致相等。由图2(a)可知,政府期望收益率在30%~70%之间时,政府净现值和企业净现值都为正,由图2(b)可知,政府期望收益率小于50%时,融资效益大于1,所以政府期望收益率的范围为30%~50%。在实际中,BOO模式在项目存续期都由企业方运行,企业投资方与政府相比,在管理、营销、市场等方面更有优势,因此政府期望收益率范围应该更大。

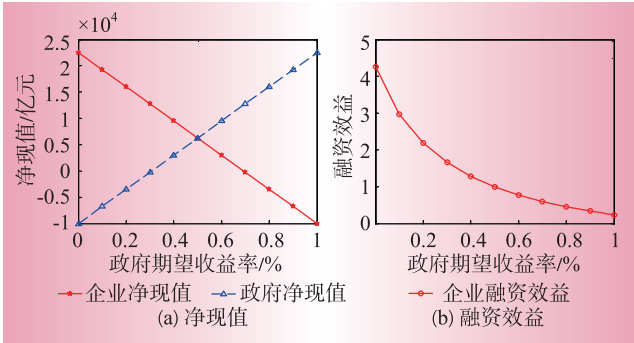


图2 BOO模式净现值与融资效益随政府期望收益率的变化
Fig. 2 BOO mode net present value and financing benefit coefficient with government expected return rate changes

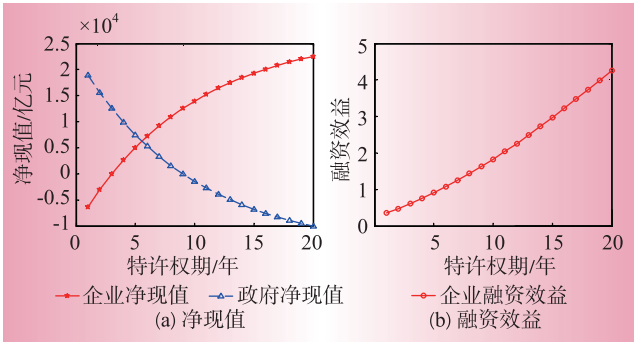


图3 BOT模式企业净现值与融资效益随特许权期变化
Fig. 3 BOT mode enterprise net present value and financing benefit coefficient change with the privileged option period

在图3中,特许权期越长,企业净现值和企业融资效益越高,政府净现值越低,特许权期为6年时,企业净现值和政府净现值大致相等。由图3(a)可知,政府净现值当特许权期在3—9年之间时,企业净现值和政府净现值都为正,由图3(b)可知,当特许权期大于等于5年时,融资效益大于1,所以特许权期的取值范围是5—9年。在实际中,BOT模式需要转移,政府需要付出更多的学习成本等,因此特许权期范围应该更小。

3.3 PPP融资模式效益分析

本项目如果采用BOO融资模式,假设政府收取利润率为40%。如果采用BOT融资模式,由于光伏发电收益主要集中在前15年,假设特许权期为7年。为验证本项目采用PPP融资模式的可行性,本文将PPP融资模式与单一融资模式相比较,项目若采用单一融资模式,初始投资费用为8亿元,贷款资金比例为75%,剩余25%即2亿元由企业单独承担,不同融资模式的经济效益如表5所示。

表5 不同融资模式经济效益				
Table 5 Economic benefits of different financing modes				
融资模式	政府净现值/万元	企业净现值/万元	企业年平均收益现值利率/%	融资效益
BOO 融资模式	3 013.6	9 520.4	4.76	1.50
BOT 融资模式	3 348.9	9 185.2	13.12	1.44
单一融资模式		12 534.0	3.10	

表5给出了不同融资模式的经济效益,2种PPP融资模式的政府净现值和企业净现值分别为3 013.6万元、3 348.9万元和9 520.4万元、9 185.2万元,政府净现值和企业净现值均大于0,说明本项目具有一定的可行性。2种PPP融资模式的融资效益分别为1.5和1.44,融资效益均大于1,说明采用PPP融资模式优于单一融资模式,与式(24)提出的企业融资效益的定义相吻合。BOT融资模式的企业年平均收益现值利率为13.12%,远高于BOO融资模式和单一融资模式。也就是说,在企业净现值和融资效益基本相同时,BOT模式的年平均收益现值利率是BOO模式的3倍。因此,从企业角度,可选择BOT模式。

4 结束语

本文提出了基于PPP融资的光伏发电运营模式,建立了PPP融资模式的光伏发电项目成本、效益模型;从企业角度对光伏发电项目融资效益进行分析更符合市场的规律,提出了PPP融资模式的企业融资效益的定义;案例分析表明,项目中选择“自发自用、余量上网”的补贴方式及BOT模式时,融资效益更高。本文仅考虑经济收益,以后将考虑社会收益、社会边际成本、运营效率及项目风险等方面。

参考文献:

- [1] 程覃思,朱子阳,陆江源,等. 分布式光伏发电新型融资模式的收益率与风险分析[J]. 中国能源, 2017, 39(1):36-40.
CHEN Qinsi, ZHU Ziyang, LU Jiangyuan, et al. Return rate on new financing methods of distributed photovoltaic and risk analysis[J]. Energy of China, 2017, 39(1):36-40.
- [2] 丘毅辉. 城市节能照明项目 PPP 模式的实践探索[J]. 电力需求侧管理, 2016, 18(5):29-31.
QIU Yihui. The practice exploration of PPP mode in urban energy saving lighting projects [J]. Power Demand Side Management, 2016, 18(5):29-31.
- [3] 王灏. PPP 的定义和分类研究[J]. 都市轨道交通, 2004(5):23-27.
WANG Hao. A study on the definition and classification of PPP[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2004(5):23-27.
- [4] 查勇,梁云凤. 在公用事业领域推行 PPP 模式研究[J]. 中央财经大学学报, 2015(5):19-25.
ZHA Yong, LIANG Yunfeng. Study on the implementation of PPP model in the public utility field[J]. Journal of Central University of Finance & Economics, 2015(5):19-25.
- [5] 万冬君,王要武,姚兵. 基础设施 PPP 融资模式及其在小城镇的应用研究[J]. 土木工程学报, 2006(6):115-119.
WAN Dongjun, WANG Yaowu, YAO Bing. A study on infrastructure financing PPP model and its applications to small towns [J]. China Civil Engineering Journal, 2006(6):115-119.
- [6] 谢滋. 我国城市轨道交通 PPP 融资模式应用研究[D].

北京:北京交通大学, 2010.

XIE Zi. Research on application of PPP Financing mode of urban rail transit in China[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2010.

- [7] 邱腾飞,曹潇,郭雅娟,等. 考虑不同补贴方式的分布式光伏运维模式决策[J]. 电力需求侧管理, 2017, 19(3):5-9.
QIU Tengfei, CAO Xiao, GUO Yajuan, et al. Decision on operation and maintenance modes for distributed PV power generation considering different subsidies [J]. Power Demand Side Management, 2017, 19(3):5-9.
- [8] 李林,程瓦. 安徽省江巷水库 PPP 融资运营模式研究[J]. 水利规划与设计, 2017(7):144-147.
LI Lin, CHENG Wa. Research on PPP financing operation mode of Jiangxiangreservoir in Anhui Province[J]. Water Resources Planning and Design, 2017(7):144-147.
- [9] 汤薇,吴海龙. 基于政府角度的 PPP 项目融资效益研究——以 BOT 与 BOO 模式为例[J]. 科研管理, 2014, 35(1):157-162.
TANG Wei, WU Hailong. Research on PPP project financing efficiency from government perspective——Taking BOT and BOO modes as examples [J]. Science Research Management, 2014, 35(1):157-162.

作者简介:

吴克良(1974),男,安徽肥东人,硕士,高级工程师,主要从事电力规划方面的工作;

韩文花(1976),女,山东日照人,博士,副教授,主要从事智能信息处理在电力系统中的应用等研究工作。

(责任编辑 苗曦云)

(上接第 79 页)

表 6 各类型锅炉系统的生命周期成本

Table 6 Life cycle cost of each type of boiler system

项目	燃气 锅炉	燃油 锅炉	电热 锅炉	熔盐蓄 热锅炉	燃煤 锅炉	水蓄 热锅炉
LCC/万元	6 725.2	10 187.0	12 887.4	6 335.1	3 588.6	6 362.8
EUAC/万元	785.7	1 190.1	1 505.6	740.1	419.3	743.4
C_i	0.145 9	0.2210	0.279 6	0.137 5	0.077 9	0.138 1

3 结束语

(1) 电锅炉是江苏省内学校和医院使用最多的锅炉类型,但储热式电锅炉占比极小,未能充分利用盈余电力提高电力系统的经济性。

(2) 学校及医院中电锅炉替代潜力巨大,储热式电锅炉将成为新的电力需求侧管理资源。

(3) 全生命周期成本对比分析:电热锅炉的生命周期成本最高,熔盐蓄热锅炉 LCC 相较于电热锅炉降低了约 50%,其 LCC、EUAC 和 C_i 均为所有调研方案中最小值,具有巨大的经济效益。■

参考文献:

- [1] 方豪,夏建军,林波荣,等. 北方城市清洁供暖现状和技术路线研究[J]. 区域供热, 2018(1):11-18.
FANG Hao, XIA Jianjun, LIN Borong, et al. Research on the clean heating status and technical route in northern cities[J]. District Heating, 2018(1):11-18.
- [2] 李建林,谢志佳,李德鑫,等. 蓄热式电锅炉提升风电消纳能力关键技术研究[J]. 电器与能效管理技术, 2018(1):1-7.
LI Jianlin, XIE Zhijia, LI Dexin, et al. Research on key technologies of electric boiler with thermal energy storage

in facilitating wind power accommodation capability [J]. Electrical and Energy Efficiency Management Technology, 2018(1):1-7.

- [3] 侯德席,张健,王曼莉. 蓄热式电供暖技术经济性分析[J]. 煤气与热力, 2010, 30(10):21-23.
HOU Dexi, ZHANG Jian, WANG Manli. Technical and economic analysis on regenerative electric heating technology[J]. Gas and Heat, 2010, 30(10):21-23.
- [4] 陈拥军,池泉,涂斌. 全生命周期成本分析在水泵系统中的应用[J]. 水泵技术, 2017(1):18-22, 26.
CHEN Yongjun, CHI Quan, TU Bin. Application of full life cycle cost analysis in pump system [J]. Pump Technology, 2017(1):18-22, 26.
- [5] 董士波. 全生命周期工程造价管理研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2003.
DONG Shibo. Research on cost management of life cycle engineering [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2003.
- [6] 刘卫东,潘广旭,王晓梅,等. 基于生命周期成本理论的电锅炉供暖方案优选方法研究[J]. 科技创新与应用, 2017(5):30-32.
LIU Weidong, PAN Guangxu, WANG Xiaomei, et al. Research on optimal method of electric boiler heating scheme based on life cycle cost theory[J]. Technology and Innovation Applications, 2017(5):30-32.
- [7] 刘卫东,潘广旭,王晓梅,等. 基于价值工程理论的电锅炉供暖方案优选方法研究[J]. 家用电器, 2017(7):15-20.
LIU Weidong, PAN Guangxu, WANG Xiaomei, et al. Optimizing method research of electric boiler heating scheme based on value Engineering Theory [J]. Electrical Appliances, 2017(7):15-20.
- [8] 刘效洲,余战英,惠世恩,等. 蓄热式电锅炉采暖系统的设计及经济效益分析[J]. 工业锅炉, 2001(2):5-6.
LIU Xiaozhou, YU Zhanying, HUI Shien, et al. Design and economic benefit analysis of regenerative electric boiler heating system[J]. Industrial Boiler, 2001(2):5-6.

(责任编辑 陈 可)