

1-3-2019

Network Mode and Economy Analysis of Photovoltaic-Battery System in Microgrid

Weiqing Sun

1. School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;; ;

Liu Tong

1. School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;; ;

Liu Bo

2. Shanghai Electric Power Design Institute Co., Ltd., Shanghai 200025, China; ;

Youjia Wang

3. Envision Energy (Jiangsu) Co. Ltd., Jiangyin 214000, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Network Mode and Economy Analysis of Photovoltaic-Battery System in Microgrid

Abstract

Abstract: Due to its various power sources, flexible operation modes and ability of making full use of distributed energy resources, microgrid has received broad attention. *Focusing on the two different network modes of photovoltaic-battery system (PVBS), the power flow distribution of photovoltaic-battery hybrid system (PVBHS) and photovoltaic-battery integrated system (PVBIS) under different operation conditions are analyzed separately and the corresponding operational economy calculation model is proposed.* Using the life cycle cost (LCC) analysis method, the economy of PVBHS and PVBIS is compared. A 6-bus microgrid lab system and the IEEE 33-bus test system are taken as the study case. Results show that the economy of the two network modes are various under different system conditions. The results can give evidence for choosing the optimal network mode.

Keywords

photovoltaic-battery system, microgrid, network mode, economy

Recommended Citation

Sun Weiqing, Liu Tong, Liu Bo, Wang Youjia. Network Mode and Economy Analysis of Photovoltaic-Battery System in Microgrid[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(5): 1812-1818.

微电网中光-储系统不同组网方式经济性分析

孙伟卿¹, 刘通¹, 刘波², 王又佳³

(1. 上海理工大学光电信息与计算机工程学院, 上海 200093; 2. 上海电力设计院有限公司, 上海 200025;
3. 远景能源(江苏)有限公司, 江苏 江阴 214000)

摘要: 微电网因其发电形式多样、运行方式灵活、能够有效发挥分布式电源效能而受到广泛关注。针对微电网中光储系统的两种不同组网方式, 分别分析了光储联合系统和光储一体系统在不同工况下的潮流分布, 并提出相应的运行经济性计算模型。应用全寿命周期成本分析方法, 比较两种光储系统组网方式的经济性。以某微电网实验室6节点系统和IEEE-33节点测试系统为算例, 验证了不同系统条件下两种光储系统组网方式的经济性差异, 可以为最优组网方式的选择提供依据。

关键词: 光-储系统; 微电网; 组网方式; 经济性

中图分类号: TM72

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X(2018)05-1812-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201805024

Network Mode and Economy Analysis of Photovoltaic-Battery System in Microgrid

Sun Weiqing¹, Liu Tong¹, Liu Bo², Wang Youjia³

(1. School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;
2. Shanghai Electric Power Design Institute Co., Ltd., Shanghai 200025, China; 3. Envision Energy (Jiangsu) Co. Ltd., Jiangyin 214000, China)

Abstract: Due to its various power sources, flexible operation modes and ability of making full use of distributed energy resources, microgrid has received broad attention. Focusing on the two different network modes of photovoltaic-battery system (PVBS), the power flow distribution of photovoltaic-battery hybrid system (PVBHS) and photovoltaic-battery integrated system (PVBIS) under different operation conditions are analyzed separately and the corresponding operational economy calculation model is proposed. Using the life cycle cost (LCC) analysis method, the economy of PVBHS and PVBIS is compared. A 6-bus microgrid lab system and the IEEE 33-bus test system are taken as the study case. Results show that the economy of the two network modes are various under different system conditions. The results can give evidence for choosing the optimal network mode.

Keywords: photovoltaic-battery system; microgrid; network mode; economy

引言

目前, 节能与环保越来越受到人们的关注。全球能源紧缺, 清洁能源发展迅速, 世界各国都将开

发和利用清洁、可再生能源技术作为可持续发展的重要内容^[1]。相对其它可再生能源发电方式, 风力发电与光伏发电技术成熟、成本较低, 因此在微网建设时, 广泛采用这两种发电方式^[2-3]。

现代工业、生活、商业用电对电能质量、用电可靠性的要求越来越高, 而风力发电与光伏发电相较于传统火力发电而言具有随机性和不确定性^[4-5]。储能装置系统具有平抑波动和削峰填谷的作用, 成为分布式电源并网中的关键技术, 使光伏发电与风



收稿日期: 2016-05-27 修回日期: 2016-09-08;
基金项目: 国家自然科学基金(51407117);
作者简介: 孙伟卿(1985-), 男, 上海, 博士, 副教授, 研究方向为电力系统优化; 刘通(1990-), 男, 江苏, 硕士, 研究方向为微电网运行优化; 刘波(1978-), 男, 安徽, 博士, 研究方向为分布式电源; 王又佳(1985-), 男, 上海, 硕士, 研究方向为分布式发电系统。

<http://www.china-simulation.com>

• 1812 •

力发电成为更加稳定、可靠的电源^[6]。

通过采用光伏发电、风力发电等不同的发电方式与采用化学、机械、电磁等不同的储能方式,对风、光伏发电系统与储能系统的容量进行合理配置,采用可靠的控制方式,建设风-光-储互补型电站,电网运行效率和供电可靠性将会有显著的提升^[7],在起到削峰填谷作用的同时,还能作为系统的旋转备用^[8]。在此同时,电站运行方可以经电网管理部门的同意,增加与电网换电的功能,“低充高放”获得利润^[9]。对于实现绿色生活,缓解能源危机,实现节能减排的目标和发展能源互联网提供了较为坚实基础^[10-11]。

目前电池储能系统和光伏发电系统在电网的应用,具有同一特征,即其主要形式是通过功率转换器完成直流到交流的变换,然后再并入电网侧低压交流母线。当电池储能系统和光伏发电系统配置在同一变配电站时,为管理和控制方便两套系统的功率转换器通常独立配置。但这样的设计会使其配置功率相对于发电功率有较大冗余,一方面可能造成电气设备利用率低,增加造价。另一方面,储能系统与光伏系统在不同的组网方式下功率损耗有所不同,需要进一步研究比较。

本文介绍了光-储系统两种典型的系统框架结构;并根据蓄电池的充放电状态,在这两种组网方式下分析了包括光-储系统在内的整个微网的潮流功率平衡方程,计算系统的网络损耗。并根据上海某微网实验室的系统设备投资、运行、维护等费用,计算这两种组网方式的经济性。

1 微电网中光-储系统的不同组网方式

1.1 系统架构

本文研究的光储互补系统如图 1 所示,图 1(a)为光储联合系统,包括光伏发电系统、储能系统、功率转换器等。其中,功率转换器包括一个逆变器器和一个双向变流器。通过能量转换系统(Power Conversion System, PCS)控制与稳定母线电压。图 1(b)为光储一体系统,包括光伏发电系统、储能系

统、功率转换器等。其中,在光伏发电系统与储能系统之间增加了一个直流-直流变流器(DC/DC)。

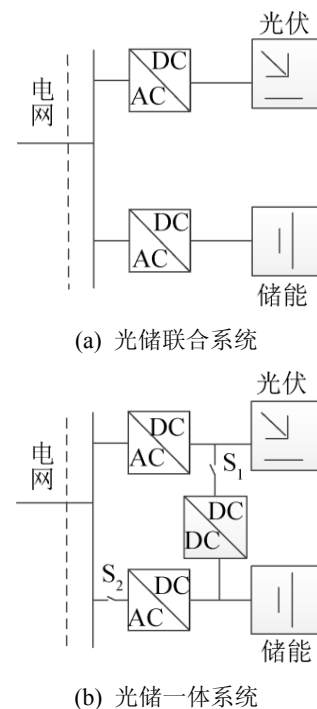


图 1 光-储系统两种组网方式

Fig. 1 Two network modes of photovoltaic-battery system

1.2 运行工况

光储一体化的根本目的在于减少了光伏向储能充电时的损耗^[12-13]。因为蓄电池兼有电源与负荷两种特性^[14],将按蓄电池的运行情况进行讨论。

其一,蓄电池充电模式:在白天光照充足时,光伏发电系统把光能转换成电能为负载进行供电,若有富余电能,通过 PCS 为蓄电池进行充电。

其二,蓄电池放电模式:在光伏系统发电量不足或者无光状态时,此时蓄电池充当电源为负载供电。

2 光储系统不同组网方式下的潮流

2.1 光储联合系统潮流分析

在蓄电池充电模式中,光伏组件向负载供电,同时也给蓄电池充电,潮流流向如图 2(a)所示。

在蓄电池放电模式中,光伏组件与蓄电池同时向负载供电,潮流流向如图 2(b)所示。

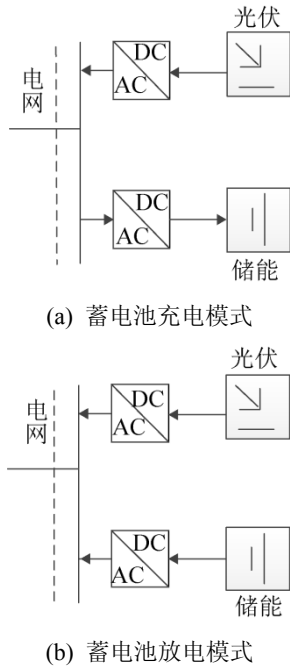


图2 光-储联合系统潮流流向示意图

Fig. 2 Power flow direction of photovoltaic-battery hybrid system

当蓄电池充电和放电时,功率平衡方程分别如式(1)和式(2)所示:

$$P_{PV} \cdot \eta_1 - P_{BC} / \eta_3 = P_L + P_{loss} \quad (1)$$

$$P_{PV} \cdot \eta_1 + P_{BR} \cdot \eta_2 = P_L + P_{loss} \quad (2)$$

式中: η_1 为光伏系统转换效率; η_2 、 η_3 分别为 PCS 整流器(DC/AC)、逆变器(AC/DC)转换效率; P_{PV} 为光伏发电功率; P_{BC} 为蓄电池充电功率; P_{BR} 为蓄电池放电功率; P_L 为电网用电功率; P_{loss} 为网络损耗功率。

2.2 光储一体系统潮流分析

当蓄电池充电时,功率平衡方程为:

$$(P_{PV} - P_{BC} / \eta_4) \cdot \eta_1 = P_L + P_{loss} \quad (3)$$

式中: η_4 为系统直流-直流变流电路(DC/DC)的转换效率。其余参数与公式(1)和(2)中相同。

当蓄电池放电时,因潮流流向与方案一相同,功率平衡方程同方程(2)。

其中,电池充放电判断条件为:

$$P_{PV} \cdot \eta_1 - P_L = \rho \quad (4)$$

式中: ρ 为电池充放电判断条件因子,若 $\rho < 0$, 则蓄电池放电;若 $\rho \geq 0$, 则蓄电池充电。

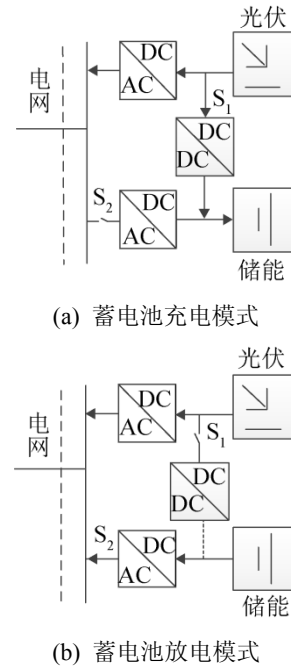


图3 光储一体系统潮流流向示意图

Fig. 3 Power flow direction of photovoltaic-battery integrated system

2.3 功率损耗分析

两种系统在各模式下的功率损耗为:

$$E_{BR1,loss} (E_{BR2,loss}) =$$

$$\sum_j^n \sum_{t=x_j}^{y_j} \left\{ \left[P_{PV_t} \cdot (1 - \eta_1) + P_{BR_t} \cdot (1 - \eta_2) + P_{loss_t} \right] \cdot t \right\} \quad (5)$$

$$E_{BC1,loss} =$$

$$\sum_j^n \sum_{t=x_j}^{y_j} \left\{ \left[P_{PV_t} \cdot (1 - \eta_1) + P_{BC_t} \cdot \frac{1}{\eta_3} \cdot (1 - \eta_3) + P_{loss_t} \right] \cdot t \right\} \quad (6)$$

$$E_{BC2,loss} =$$

$$\sum_j^n \sum_{t=x_j}^{y_j} \left\{ \left[\left(P_{PV_t} - P_{BC_t} \cdot \frac{1}{\eta_4} \right) \cdot (2 - \eta_1 - \eta_4) + P_{loss_t} \right] \cdot t \right\} \quad (7)$$

式中: $E_{BR1,loss}$ 、 $E_{BC1,loss}$ 为光-储联合系统储能放、充电时网内能量损耗; $E_{BR2,loss}$ 、 $E_{BC2,loss}$ 为光储一体系统储能放、充电时网内能量损耗。

3 系统设备运行费用

1) 储能容量计算

由方程(1)计算可得储能放电时间区间 $[x_1, y_1], [x_2, y_2], \dots$; 由方程(2)计算可得储能放电时间区间 $[x'_1, y'_1], [x'_2, y'_2], \dots$ 。

$$W_{BR} = \text{MAX}(\sum_{t=x_1}^{y_1} P_{BR_t} \cdot t, \sum_{t=x_2}^{y_2} P_{BR_t} \cdot t, \dots) \quad (8)$$

$$W_{BC} = \text{MAX}(\sum_{t=x'_1}^{y'_1} P_{BC_t} \cdot t, \sum_{t=x'_2}^{y'_2} P_{BC_t} \cdot t, \dots) \quad (9)$$

式中: W_{BC} 为蓄电池在充电过程中吸收的能量; W_{BR} 为蓄电池在放电过程释放的能量, 蓄电池容量取 W_{BC} 、 W_{BR} 的较大值。

2) 全寿命周期内的总成本现值

系统全寿命周期(Life Cycle Cost, LCC)内的总成本现值包括成本现值和残值现值两部分^[15]。其中, 成本部分包括初始投资费用、设备更新费用、运行维护费用和燃料费用。数学表达式为:

$$f = C_1 + \sum_{k=1}^K \frac{C(k)}{(1+r)^k} - \frac{B_{\text{salvage}}}{(1+r)^K} \quad (10)$$

式中: K 为整个系统的工程寿命; r 为折现率; C_1 、 $C(k)$ 分别为初始投资费用和第 k 年的运维等费用; B_{salvage} 为设备残值, 残值产生于经济评估寿命的最后一年。

其中, $C(k)$ 的计算公式如下:

$$C(k) = C_M(k) + C_R(k) \quad (11)$$

式中: $C_M(k)$ 、 $C_R(k)$ 分别为第 k 年的维护费用和运行费用。

系统的初始投资费用为:

$$C_1 = C_{\text{Ipv}} + C_{\text{Ibattery}} + C_{\text{IPCS}} + C_{\text{I1}} + C_{\text{I2}} + C_{\text{I3}} + C_{\text{I4}} \quad (12)$$

式中: C_{Ipv} 、 C_{Ibattery} 、 C_{IPCS} 分别为光伏系统、储能系统、PCS 的投资费用; C_{I1} 、 C_{I2} 为光伏侧、储能测逆变器的投资费用; C_{I3} 、 C_{I4} 分别为储能 PCS、DC-DC 变流电路的投资费用。

系统第 k 年的维护费用为:

$$C_M(k) = C_{\text{Mpv}}(k) + C_{\text{Mbattery}}(k) + C_{\text{MPCS}}(k) + C_{\text{M1}}(k) + C_{\text{M2}}(k) + C_{\text{M3}}(k) + C_{\text{M4}}(k) \quad (13)$$

式中: $C_{\text{Mpv}}(k)$ 、 $C_{\text{Mbattery}}(k)$ 、 $C_{\text{MPCS}}(k)$ 分别为第 k 年光伏系统、储能系统、PCS 的维护费用; $C_{\text{M1}}(k)$ 、 $C_{\text{M2}}(k)$ 为第 k 年光伏侧、储能测逆变器的维护费用; $C_{\text{M3}}(k)$ 、 $C_{\text{M4}}(k)$ 分别为第 k 年储能 PCS、DC-DC 变流电路的维护费用。

系统第 k 年的运行费用为:

$$C_R(k) = C_{\text{Rpv}}(k) + C_{\text{Rbattery}}(k) + C_{\text{RPCS}}(k) + C_{\text{R1}}(k) + C_{\text{R2}}(k) + C_{\text{R3}}(k) + C_{\text{R4}}(k) \quad (14)$$

式中: $C_{\text{Rpv}}(k)$ 、 $C_{\text{Rbattery}}(k)$ 、 $C_{\text{RPCS}}(k)$ 分别为第 k 年光伏系统、储能系统、PCS 的维护费用; $C_{\text{R1}}(k)$ 、 $C_{\text{R2}}(k)$ 为第 k 年光伏侧、储能测逆变器的维护费用; $C_{\text{R3}}(k)$ 、 $C_{\text{R4}}(k)$ 分别为第 k 年储能 PCS、DC-DC 变流电路的维护费用。

光-储联合系统、光储一体系统的设备费用差值为 $\Delta f = f_1 - f_2$, 若 $\Delta f > 0$ 则光储一体系统的设备费用少于光-储联合系统, 反之光-储联合系统的设备费用少于光储一体系统的设备费用。

光-储联合系统、光储一体系统的设备年运行费用差值为:

$$\overline{\Delta f} = \begin{cases} C_{\text{I1}} - C_{\text{I2}} & k=1 \\ \sum_{k=1}^K \frac{C_1(k)}{(1+r)^k} - \sum_{k=1}^K \frac{C_2(k)}{(1+r)^k} & k=1 \sim (K-1) \\ (B_{\text{I1salvage}} - B_{\text{I2salvage}}) / (1+r)^K & k=K \end{cases} \quad (15)$$

式中: K 为系统规划使用年限, k 为系统使用年限。 C_{I1} 、 C_{I2} 、 $C_1(k)$ 、 $C_2(k)$ 分别为光-储联合系统与光储一体系统的初始投资费用和第 k 年的运维费用。

4 算例仿真分析

仿真以光伏与储能系统分别接入某微网实验室 6 节点系统和 IEEE-33 节点测试系统, 系统数据见文献[16], 比较光-储联合系统与光储一体系统两种并网方式的功率损耗。

基于此, 以某微网实验室某天实测负荷和文献[16]中的系统负荷为基准, 微网系统某天 24 个时段内的负荷倍数如表 1 所示, 光伏输出倍数如表 2 所示。

取 $P_{\text{Loss}_i} = P_{L_i} \cdot 10\%$; $\eta_1 = \eta_2 = \eta_3 = \eta_4 = 95\%$; 基准负荷 \bar{P} 取负荷倍数为 1 时的负荷, 其中 $\bar{P}_{6\text{-Bus}} = 30 \text{ kw}$, $\bar{P}_{30\text{-Bus}} = 3 \text{ 175 kw}$; 每千瓦时的电费为 0.5 元, 因电费会随着经济的发展上涨, 在本文中默认为电费上涨幅度与折现费用相等; 折现率 r 取 5%; 根据式(11)可得光-储联合系统与光储一体系统的

网内能量损耗的差值 $\Delta E_{h,loss}$ ，经计算，6-bus 系统 24 小时的能量损耗效益差值为 10.56 元，33-bus 为 1 329.6 元。

表 1 微网 24 小时负荷倍数
Tab. 1 24-hour load multiple of the microgrid

t	负荷倍数	t	负荷倍数	t	负荷倍数	t	负荷倍数
1	0.4	7	0.8	13	1	19	1.35
2	0.35	8	1	14	1.25	20	1.4
3	0.35	9	1.35	15	1.3	21	1.35
4	0.4	10	1.4	16	1.35	22	1.3
5	0.55	11	1.3	17	1.35	23	0.75
6	0.7	12	1.1	18	1.3	24	0.5

表 2 光伏 24 小时发电功率倍数
Tab. 2 24-hour generation power multiple of the photovoltaic

t	输出倍数	t	输出倍数	t	输出倍数	t	输出倍数
1	0	7	1.1	13	2.8	19	0
2	0	8	1.6	14	2.6	20	0
3	0	9	2.2	15	2.2	21	0
4	0	10	2.6	16	1.6	22	0
5	0	11	2.7	17	1	23	0
6	0.4	12	2.8	18	0.4	24	0

当系统规划使用年限分别为 10 年，11 年，...，19 年时，两种方案在统一规划年里设备的 LCC 折现值如表 3 所示，系统经济性比较如表 4 与图 4 所示。

表 3 系统设备在不同规划年 LCC 折现差值
Tab. 3 LCC discount difference of system equipment in different planning years

系统规划年数	6-bus	33-bus
	$\Delta f/\text{万元}$	$\Delta f/\text{万元}$
10	-14.47	-596.11
11	-14.54	-610.58
12	-14.61	-624.37
13	-14.68	-637.49
14	-14.74	-649.99
15	-14.80	-661.90
16	-14.86	-673.23
17	-14.91	-684.03
18	-14.96	-694.32
19	-15.01	-704.11

由表 4 可得，当系统规划使用年限分别为 10 年，11 年，...，19 年时，6 节点系统光-储联合系

统的经济性始终优于光储一体系统，虽然随着规划使用年限的增加光储一体系统与光-储联合系统的 LCC 折现值的差值在减少，但减少的趋势较小，即只有当规划使用年限很长时，光储一体系统与光-储联合系统经济性才会逐渐持平，但过长的年限会失去实际工程意义。

在图 4 中，柱形图表示光储联合系统与光储一体系统费用差值，负值代表光-储联合系统费用较低。

表 4 系统在不同规划年的经济性比较
Tab. 4 Economic comparison of systems in different planning years

系统规划年数	6-bus	33-bus
	$\Delta f/\text{万元}$	$\Delta f/\text{万元}$
10	-10.61	-110.81
11	-10.30	-76.75
12	-9.98	-42.00
13	-9.67	-6.60
14	-9.34	29.43
15	-9.02	66.06
16	-8.69	103.25
17	-8.36	140.98
18	-8.03	179.23
19	-7.69	217.97

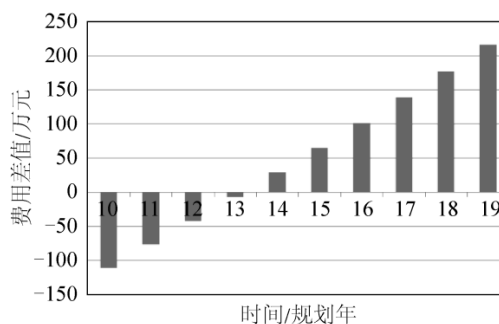


图 4 33-bus 系统在不同规划年的费用差值
Fig. 4 33-bus system cost difference in different planning years

由表 4 可以看出，在实验室 6 节点的微型微网中，因配电系统负荷过少，光储联合系统的经济性始终优于光储一体系统在 33 节点测试系统的大型微网中，当系统优化规划使用年限过短时，因系统设备年折旧率过高，光储一体系统所节省下的电费收益低于折旧费用，则光储联合系统的经济性优于光储一体系统；当系统规划年数超过 14 年，因光

储联合系统设备年折旧率低于光储一体系统所节省下的电费收益, 光储一体系统的经济性优于光储联合系统。

在33节点测试系统中, 当系统规划年限为20年时, 光储联合系统与光储一体系统的年运行费用差见图5, 柱形图表示光储联合系统与光储一体系统费用差值, 负值代表光-储联合系统费用较低。

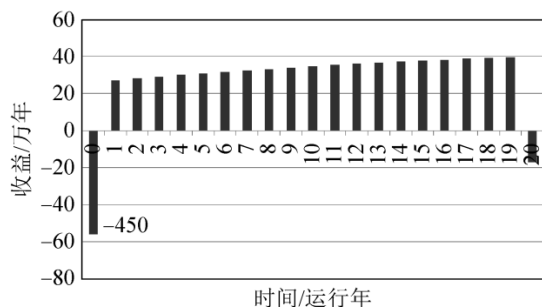


图5 33-bus系统年运行费用差值(规划使用20年)
Fig. 5 33-bus system annual operating cost difference (planned use of 20 years)

5 结论

改变微网中光储系统不同的组网方式, 其经济性会有较大不同。在微型微网中, 系统负荷较小, 采用较为复杂的控制装置所节省下的电费收益无法弥补采购、维护设备的费用; 在中、大型微网中, 系统网损较大, 此时, 采用较为复杂的控制装置所节省下的电费收益可以弥补, 甚至超过采购、维护设备的费用。此外, 规划使用年限的不同, 经济性也会有不同。一般而言, 当系统初始投资在全寿命周期费用中所占比例较高时, 规划使用年限愈久, 为降低网损而采用较为复杂的控制装置系统经济性越优。

参考文献:

[1] 中央党校课题组, 曹新. 中国新能源发展战略问题研究[J]. 经济研究参考, 2011(52): 2-19, 30.
Central Party School Research Group, Cao Xin. Research on China's New Energy Development Strategy[J]. Review of Economic Research, 2011(52): 2-19, 30.

[2] Jacobsson S, Johnson A. The diffusion of renewable energy technology an analytical framework and key

issues for research[J]. Energy Policy (S0301-4215), 2007, 28(9): 625-640.

- [3] 严陆光, 夏训诚, 周凤起, 等. 我国大规模可再生能源基地与技术的发展研究[J]. 电工电能新技术, 2007, 26(1): 24-33.
Yan Luguang, Xia Xuncheng, Zhou Fengqi, et al. A development study for Chinese large scale renewable energy source base and technology(cont.)[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering & Energy, 2007, 26(1): 24-33.
- [4] 刘吉臻. 大规模新能源电力安全高效利用基础问题[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(16):1-8.
Liu Jizhen. Basic issues of the utilization of large-scale renewable power with high security and efficiency[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(16): 1-8.
- [5] 王守相, 韩亮. DG出力不确定性对配电网影响力分析的复仿射数学方法[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(31): 5507-5515.
Wang S S, Han L. Complex Affine Arithmetic Based Method for the Analyses of DG's Uncertainty Influence on Distribution Network[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(31): 5507-5515.
- [6] 杨新法, 苏剑, 吕志鹏, 等. 微电网技术综述[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(1): 57-70.
Yang Xinfu, Su Jian, Lü Zhipeng, et al. Overview on Micro-grid Technology[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(1): 57-70.
- [7] 刘方, 杨秀, 时珊珊, 等. 考虑不确定因素下含充换储一体化电站的微网能量优化[J]. 电网技术, 2015, 39(3): 669-676.
Liu F, Yang X, Shi S S, et al. Economic operation of microgrid containing charging-swapping-storage integrated station under uncertain factors of wind farm and photovoltaic generation[J]. Power System Technology, 2015, 39(3): 669-676.
- [8] 徐丙垠, 李天友, 薛永端. 智能配电网与配电自动化[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17): 38-41.
Xu Bingyin, Li Tianyou, Xue Yongduan. Smart distribution grid and distribution automation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 38-41.
- [9] 孙伟卿, 刘通, 陈顺风, 等. 考虑电动汽车换电站负荷特性的电网管理效益分析[J]. 电网与清洁能源, 2016, 32(2): 127-132.
Sun W Q, Liu T, Chen S F, et al. Analysis on Load Characteristic and Management Benefits of Electric Vehicle Battery Swapping Station[J]. Power System & Clean Energy, 2016, 32(2): 127-132.

(下转第1825页)