

光伏电力经济效益实用分析方法研究

李健¹, 林声宏², 党三磊¹

(1. 广东电网有限责任公司电力科学研究院, 广州 510080; 2. 华南理工大学 电力学院, 广州 510640)

摘要: 光伏电力的发展将取决于其经济性是否合理, 研究了光伏发电成本分析模型及其影响因素, 并从光伏发电的降损效益、用户节省购电效益、发电效益三方面进行量化分析, 通过对 IEEE 36 节点配电系统进行仿真计算, 结果表明合理规划光伏电源的接入对电网侧和用户侧都能够产生显著的经济效益。

关键词: 光伏发电; 降损; 经济效益

中图分类号: TM615

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2015)02-0129-04

Research of Practical Analysis Method on Solar Photovoltaic Power Economic Benefit

LI Jian¹, LIN Shenghong², DANG Sanlei¹

(1. Electric Power Research Institute of Guangdong Power Grid Corporation, Guangzhou 510080, China;

2. College of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The solar photovoltaic power will depend on the development of its economy is reasonable, this paper mainly studied on the cost analysis model of the solar photovoltaic generation and the influencing factors, a quantitative analysis of the loss reduction, the benefits of the user saves the electricity and the generation benefit analysis. the results of the simulation calculation of IEEE 36 nodes distribution system show that the grid side and user side can produce remarkable economic benefits by reasonable planning of the solar photovoltaic generation.

Key words: solar photovoltaic generation; loss reduction; economic benefits

分布式发电 DG(Distributed Generation)具有规模小、建设周期短、占地少、运行维护灵活方便等特点。分布式发电在负荷附近接入,一方面减少了远距离输电,利用分布式发电进行削峰,可缓建或少建集中发电,提高现有发输电设施的利用率;另一方面,分布式发电的大量接入,会使配电系统发生根本性的变化,配电网的线损也产生变化,分布式发电的应用也将影响电网侧和用户侧的经济效益。目前,虽已有一些关于分布式发电经济效益的研究^[1-4],文献[2]和[3]基于最大限度减少系统线损的目标,研究了 DG 在系统中的最佳接入和运营方式,确定了其最优的出力比例、功率因数;文献[4]中对安装在居民或服务用户用电现场的 DG 机组带来的社会收益问题进行了研究。

由于分布式发电的发展将取决于其经济性是否合理。为更好地分析分布式发电对电网侧和用户侧的经济效益的影响,本文以光伏发电为例,通过对光伏发电装机成本、日照条件、财务成本、运营成本、投资回收期等因素对光伏发电成本电价的影响作了定量分析,并分别从降损效益、用户节省购电效益、发电效益的角度探讨了光伏发电对电网侧和用户侧的经济性可能产生的影响和价值,为电网规划、引导用户侧光伏发电的应用提供参考依据。

1 光伏发电成本电价分析

光伏发电的成本电价与装机成本、日照条件(年满负荷发电时间)、贷款状况(贷款利息和贷款在总投资的比例)、投资回收期(折旧年限)和运营维护费用相关。五大因素都有其独立的变化性,其相互的影响也十分明显,同样的装机成本在不同的地域;或同样的地域、同样的装机成本、但投资采用不同的贷款比例等都会带来截然不同的光伏发电成本价格。

收稿日期: 2015-03-01

作者简介: 李健(1986),男,湖北随州人,工程师,硕士,主要从事电力系统分析,电能营销计量管理等研究的工作(e-mail)ljdkyjlx@163.com。

1.1 发电成本构成

1.1.1 装机成本

装机成本就是一个光伏电站的总投入，它也是光伏电站公司的财务报表上的固定资产。它由光伏组件成本、电缆成本、追踪系统成本、功率优化系统成本、高低压配电系统成本、电站监控系统成本、施工与安装费用、土地购置费用等组成。

1.1.2 运营管理成本

运营成本主要是电站维护和管理费用。由于光伏发电在营运过程中，不需要原材料，也没有运动磨损部件，因此，维护费用很低，也完全可以预见，根据目前光伏电站运行经验，运营费用通常为总投资的1~3%。

1.1.3 财务费用

财务费用主要是贷款利息，这是光伏电站运营中变数最大的一项。它取决于贷款占总投资的比例和贷款利率。

1.2 光伏电站收益

光伏电站的发电收益一般可表示为：

$$I_p = P * H_{fp} * T_{arif} + I_{sub} \quad (1)$$

式中， P 为光伏装机功率，kW； H_{fp} 为年满负荷发电小时数，它相当于1 kW容量在当地一年发出的电度数； T_{arif} 为上网电价。 I_{sub} 为电站的其它收入，如CDM指标销售收入和来自于政府的其它补贴。

1.3 成本电价计算

成本电价是指在预定的投资回报期内能够收回光伏电站总投资成本的最低电价。根据光伏电站总投资与装机容量通常成正比关系，可得光伏发电的成本电价的数学分析模型如下式所示：

$$T_{cost} = C_p (1/P_{er} + R_{op} + R_{loan} * R_{intr} - i_{sub}) / (H_{fp}) \quad (2)$$

式中， T_{cost} 为成本电价， C_p 为单位装机成本， P_{er} 为投资回收期， R_{op} 为运营费用， R_{loan} 、 R_{intr} 分别为贷款比例及利率， i_{sub} 为单位其他收入， H_{fp} 为年满负荷发电时间。

1.4 成本电价的影响因素

这里重点分析单位装机成本、日照时间以及贷款比例对成本电价的影响。

1.4.1 日照时间大小对成本电价的影响

按回收期20年，运营费用2%，贷款比例为70%，贷款利率7%测算，不同的单位装机成本和年满负荷发电时间所对应的成本电价见表1。可见

在相同的单位装机成本情况下，年满负荷发电时间对于成本电价的影响非常大。

表1 年满负荷发电时间对成本电价的影响
Table 1 Years at Full-Load Generation Time's Influence on the Cost Price

单位装机成本 (元/kW)	10 000	11 000	12 000	13 000	14 000	15 000	
1 500	0.79	0.87	0.95	1.03	1.11	1.19	
年满 负荷 发电 时间 /a	1 600	0.74	0.82	0.89	0.97	1.04	1.12
	1 700	0.70	0.77	0.84	0.91	0.98	1.05
	1 800	0.66	0.73	0.79	0.86	0.93	0.99
	1 900	0.63	0.69	0.75	0.81	0.88	0.94
	2 000	0.60	0.65	0.71	0.77	0.83	0.89

1.4.2 贷款比例对成本电价的影响

按回收期20年，年满负荷发电时间1 800小时，运营费用2%的计算条件计算，不同的装机成本和贷款比例所对应的成本电价如表2所示。从表2可知，在相同装机成本的条件下，光伏成本电价随贷款比例升高而升高。银行贷款比例对光伏电站的成本电价影响同样十分巨大。

2 光伏电力经济性分析

光伏电力接入带来直接经济效益主要体现在电网降损效益、发购电效益和用户节省购电效益，分别为电网和用户双方受益。

2.1 降损效益

一般来说，低压配电网负荷分布可采用图2所示。下面分析接入光伏电源时配电网损耗情况。

表2 贷款比例对成本电价的影响

Table 2 The Impact on the Cost Price of the Proportion of Loans

单位装机成本 (元/kW)	10 000	11 000	12 000	13 000	14 000	15 000	
0%	0.39	0.43	0.47	0.51	0.54	0.58	
10%	0.43	0.47	0.51	0.56	0.60	0.64	
20%	0.47	0.51	0.56	0.61	0.65	0.70	
30%	0.51	0.56	0.61	0.66	0.71	0.76	
贷款 比例 /%	40%	0.54	0.60	0.65	0.71	0.76	0.82
	50%	0.58	0.64	0.70	0.76	0.82	0.88
	60%	0.62	0.68	0.75	0.81	0.87	0.93
	70%	0.66	0.73	0.79	0.86	0.93	0.99
	80%	0.70	0.77	0.84	0.91	0.98	1.05
	90%	0.74	0.81	0.89	0.96	1.03	1.11

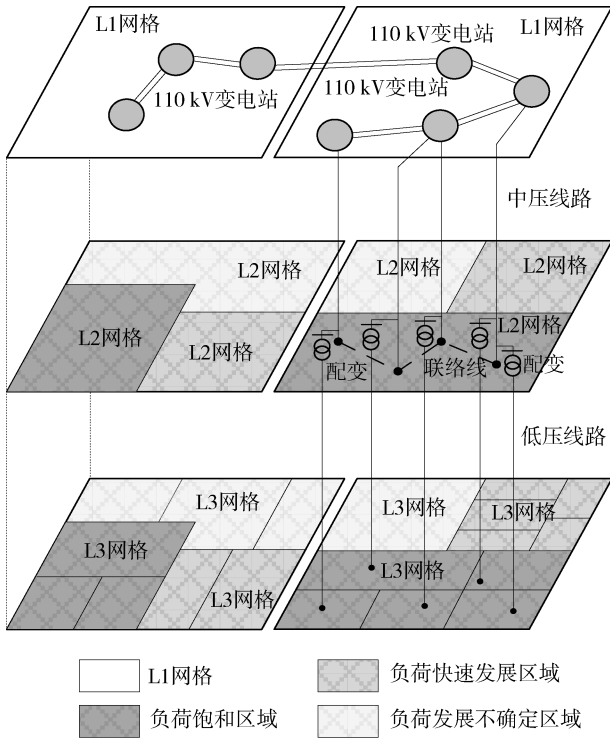


图1 光伏电力经济效益特性分类

Fig. 1 Character Classification of Photovoltaic Power Economic Benefit

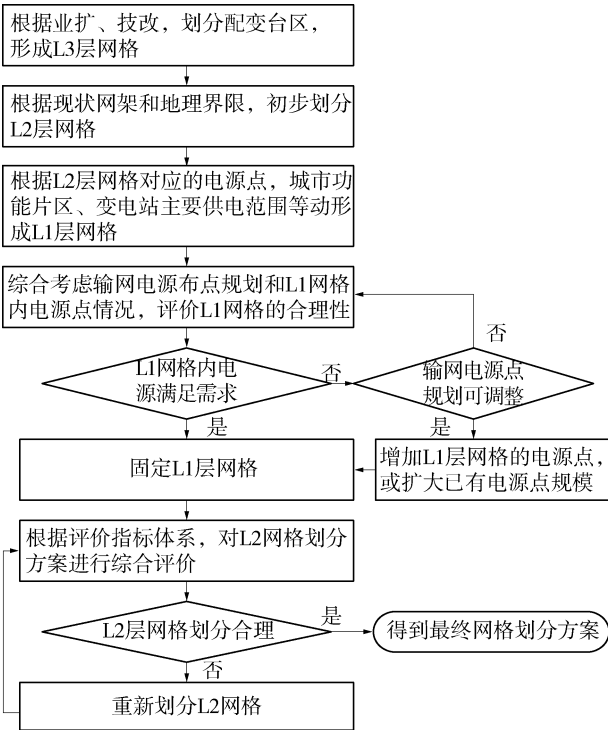


图2 低压电网负荷分布图

Fig. 2 Low-voltage Power Grid Load Distribution

假设线路的单位长度的阻抗为 $Z = r + jx$; 线路任一点 x 处的负荷电流为 $\rho(x)$; 馈线 X 处流向线路末端的总电流为 $I(x)$ 。

当未接入光伏电源时, 线路线损为:

$$P_{loss} = \int_0^L (I(x))^2 r dx = \int_0^L \left(\int_x^L \rho(y) dy \right)^2 r dx \quad (3)$$

当在线路 k 处接入一个光伏电源, 其注入电流为 I_{DG} 。此时, 线路的总损耗为:

$$P_{loss} = \int_0^k (I(x))^2 r dx + \int_k^L (I(x))^2 r dx = \int_0^k \left(\int_x^L \rho(y) dy - I_{DG} \right)^2 r dx + \int_k^L \left(\int_x^L \rho(y) dy \right)^2 r dx \quad (4)$$

光伏发电对低压配电网的降损效益可用光伏电源接入前后低压配电网线损的变化来表示:

$$\Delta P_{loss} = \int_0^L \left(\int_x^L \rho(y) dy \right)^2 r dx - \left(\int_0^k \left(\int_x^L \rho(y) dy - I_{DG} \right)^2 r dx + \int_k^L \left(\int_x^L \rho(y) dy \right)^2 r dx \right) \quad (5)$$

2.2 发购电效益

通过采用光伏发电, 用户可以减少从电网的购电量, 光伏发电可带来的发电效益(光伏发电量小于用户负荷情况):

$$F_{xy} = \int_0^T \lambda P_L(t) dt - (\lambda_{DG} \int_0^T P_{DG}(t) dt + \lambda' \left(\int_0^T P_L(t) dt - \int_0^T P_{DG}(t) dt \right)) \quad (6)$$

式中: F_{xy} 为光伏发电带来的发电效益, 元; λ 为电价, 元/(kW·h); λ_{DG} 为光伏发电成本, 元/(kW·h); λ' 为光伏发电接入后的电价, 元/(kW·h); P_L 为用户电力负荷, kW; P_{DG} 为光伏电源出力, kW。

实际应用中一般采用下式计算:

$$F_{xy} = \lambda P_{Lmax} T_{max} - (\lambda_{DG} P_{DG} H_{fp} + \lambda' (P_{Lmax} T_{max} - P_{DG} H_{fp})) \quad (7)$$

式中: P_{Lmax} 为用户最大电力负荷; T_{max} 为用户最大负荷利用小时。

2.3 用户节省购电效益

随着光伏发电成本的逐步降低, 用户安装光伏发电可以减少从电网的购电量, 从而节省了可观的购电费用, 下式为光伏发电给用户带来的节省购电效益(光伏发电量小于用户负荷情况):

$$G_{xy} = \int_0^T \lambda P_{DG}(t) dt - \lambda_{DG} \int_0^T P_{DG}(t) dt \quad (8)$$

式中： G_{xy} 为光伏发电给用户带来的节省购电效益，元； λ 为电网电价，元/(kW·h)； λ_{DG} 为光伏发电成本，元/(kW·h)； P_{DG} 为光伏电源出力，kW。

考虑光伏发电间歇性特点，可采用年满负荷发电时间 H_{fp} 对节省购电效益进行计算。

$$B_{avoid} = \lambda P_{DG} H_{fp} - \lambda_{DG} P_{DG} H_{fp} \quad (9)$$

3 算例分析

本文采用 IEEE 36 节点配电网进行分析计算，IEEE 36 节点配电网接线图如图 3 所示。考虑光伏电源分散特点，假定在 IEEE 36 节点中的 5、10、14、16、18、22、23、28、29 和 31 节点处接入光伏电源，各光伏电源容量如表 3 所示。

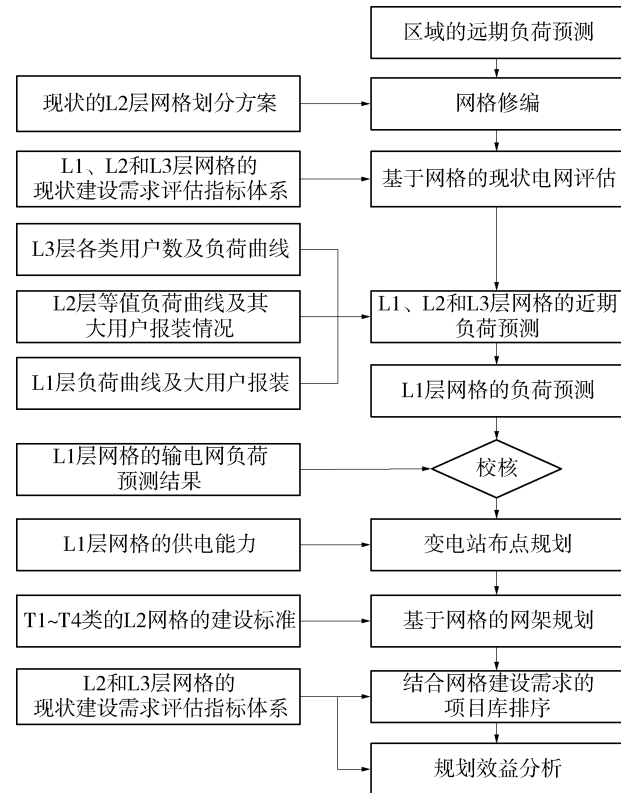


图3 IEEE 36 节点配电网

Fig. 3 IEEE 36 Bus Distribution Network

采用牛拉法分别对 IEEE 36 节点接入光伏电源前后进行潮流计算，光伏发电接入后损耗降低 126.13 kW，按年满负荷发电时间 1 800 小时计算，降损电量可达 227 036 kW·h，每年降损效益为 13.85 万元；按全部自有资金的成本电价 0.47 元/(kW·h)，用户年节省购电效益 45.11 万元；假设光伏发电接入前后电网电价均按平均电价 1.0 元/(kW·h)，则年发电效益为 170.77 万元。光伏电

力经济效益计算结果如表 4 所示。

表3 光伏电源容量

节点	有功/kW	无功/kVar	节点	有功/kW	无功/kVar
5	200.00	65.74	22	80.00	26.29
10	160.00	52.59	23	150.00	49.30
14	100.00	32.87	28	180.00	59.16
16	100.00	32.87	29	120.00	39.44
18	500.00	164.34	31	200.00	65.74

表4 光伏电力经济效益计算结果

效益类别	降损效益	发电效益	用户效益
年度值/(万元)	13.85	170.77	45.11

由此可见，光伏发电的合理接入不但能够在电网侧有效降低系统中线损和节省发电费用，而且还能降低用户购电成本，对电网侧和用户侧均可带来可观的经济效益。

4 结论

本文在分析光伏发电的成本电价及其影响因素的基础上，分别建立了光伏电力的降损效益、用户节省购电效益和发电效益量化评估模型，仿真计算表明，建立的效益量化评估模型能有效地分析光伏发电带来的各种效益，为相关部门制定合理的光伏发电激励机制，促进光伏电力健康发展，以达到电网侧和用户侧双赢的局面。

参考文献:

- [1] 梁才浩, 段献忠. 分布式发电及其对电力系统的影响 [J]. 电力系统自动化, 2001, 25(12): 53-56.
LIANG Caihao, DUAN Xianzhong. Distributed Generation and Its Impaction on Power System [J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(12): 53-56.
- [2] BELL K, QUINONEZ V G, BURT G. Automation to Maximize Distributed Generation Contribution and Reduce Network Losses [C]. SmartGrids for Distribution, IET-CIRED Seminar 2008: 1-4.
- [3] LE A D, KASHEM T, NEGNEVITSKY M A, et al. Optimal Distributed Generation Parameters for Reducing Losses with Economic Consideration [C]. 2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting, PES, 2007.
- [4] FRANCESCO G. Small Distributed Generation Versus Centralized Supply: A Social Cost-Benefit Analysis in the Residential and Service Sectors [J]. Energy Policy, 2006, 34(7): 804-832.

(责任编辑 林希平)