

# 基于改进QPA的智能电网规划建设项目 效益评价方法研究

焦丰顺<sup>1,✉</sup>, 张劲松<sup>1</sup>, 任畅翔<sup>2</sup>, 李志铿<sup>2</sup>

(1. 深圳供电局有限公司, 深圳市 518033; 2. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

**摘要:** [目的] 智能电网规划建设项目的综合效益是影响其技术方案制定和投资决策的关键因素, 为此, 针对现有方法的不足, 如方法适用范围窄、不区分效益相关方、无法区分当期可实现收益和远期潜在收益等问题, 提出了基于改进QPA的综合效益定量评估的新方法。[方法] 该方法通过分析智能配电网项目设备资产构成, 将各类智能电网资产的成本、功能、效益、相关方进行映射, 并将效益和成本按照相关方和兑现周期进行分类, 最终按照子系统和整体项目的内部运作机制和外部市场机制对智能配电网进行成本效益分析。[结果] 利用该方法, 可对种类更广泛的智能电网项目进行更加定量、客观的综合效益评估。[结论] 基于实际的工程算例表明, 所提的方法准确有效, 为项目投资运营模式及技术方案的决策提供方法支持。

**关键词:** 智能配电网; 综合效益; 经济评价

中图分类号: TM7; TM727

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2020)S1-0018-06

开放科学(资源服务)二维码:



## Research on Benefit Evaluation Method for Smart Distribution Grid Projects Based on Improved QPA

JIAO Fengshun<sup>1,✉</sup>, ZHANG Jinsong<sup>1</sup>, REN Changxiang<sup>2</sup>, LI Zhikeng<sup>2</sup>

(1. Shenzhen Power Supply Co., Ltd., Shenzhen 518033, China;

2. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** [Introduction] The comprehensive benefits of smart grid projects are the key factors influencing the formulation of technical solutions and investment decisions. Therefore, this paper proposes a new method for quantitative assessment of comprehensive benefits based on improved QPA, aiming at the shortcomings of existing methods, including the narrow scope of application, failed in differentiate between stakeholders, and distinguishing between current realizable returns and long-term potential earnings. [Methods] By analyzing the asset composition of a smart grid project, the cost, functions and corresponding benefits of various types of smart grid assets and relevant parties were mapped in the proposed method, and benefits and costs in accordance with relevant parties and cashing cycles were classified. Ultimately, a cost-benefit analysis of a smart grid project was conducted in accordance with the internal operational mechanisms of sub-systems and overall projects and external market mechanisms. [Results] This method can be used to quantify more comprehensive and effective multi-scale smart grid projects. [Conclusion] Based on practical engineering examples, it is shown that the proposed method is accurate and effective, and provides method support for the decision-making of project investment operation mode and technical solution.

**Key words:** smart distribution grid; comprehensive benefits; economic evaluation

目前, 我国配电网面临前所未有的发展机遇,

一方面是分布式能源发电技术、智能电网技术等新技术的不断发展和成熟, 另一方社会资本参与增量配电投资, 使配电网成为电力系统中直面社会竞争的环节。在此背景下, 各类以安全、可靠、清洁、高效等为目的各类分布式能源利用试点示范项目不

收稿日期: 2018-05-07 修回日期: 2018-07-30

基金项目: 国家级计划“中美绿色合作伙伴计划”; 中国能建广东院科技项目“广东省智能电网装备产业技术创新联盟建设示范”(ER04581W)

断增加。但目前国内的试点项目普遍存在“大而全”的情况,即包含了各类技术和设备的应用,技术方案也往往超过项目实施区域的实际需求,因而忽略了有效资产和技术经济性,严重影响了这些项目的可推广性。

为此,必须制定一套适用于分布式综合能源项目的综合效益评估体系和评价方法,从经济、社会效益、技术等方面进行综合效益进行评估,从而既可辅助投资者的决策,亦可对建设中及已建成项目做事后评价,为项目后续建设优化与经验推广提供有效支撑。

目前,国内外主要从经济效益、节能效益、环境效益、社会效益等方面开展项目的综合效益。文献[1]对智能电网经济效益进行了识别,并进一步构建了其评价指标体系,但未涉及到分布式储能的投资及成本分析。文献[2-4]从投资、运行、维护成本和设备寿命等电网运营绩效,以及电力需求等两方面分析智能电网的投资建设对电网企业的影响,但未考虑环境节能减排等综合效益。文献[5]提出了智能电网项目效益的评价方法QPA。该方法对智能配电网各组成元素的功能和效益进行量化分析,构建了智能配电网的成本效益模型,以此评估经济效益和环境效益,但其以增量分析为主,对新建智能配电网效益分析适用性不强,且效益评价未区分相关方,无法给各方做决策。

为此,本文针对QPA方法的不足,着重从环境影响、社会影响和产业影响等方面,区分利益相关方及远近期效益,并将定量分析与定性分析相结合,实现经济效益,可靠性效益,环保效益等综合评价,从而对分布式能源项目的综合效益进行多维度的全面评价。

## 1 QPA方法简介

### 1.1 基本方法

QPA方法通过构建智能配电网评价体系进行效益分析,其构建逻辑如图1所示<sup>[5]</sup>。

如图1所示,QPA方法通过分析智能配电网设备资产构成,将各类智能电网资产的成本、功能和效益进行映射,并最终按照子系统和整体项目的内部运作机制和外部市场机制对智能配电网进行成本效益分析,最后采用经济评价方法对效益进行评价。其资产功能效益分类如图2所示。

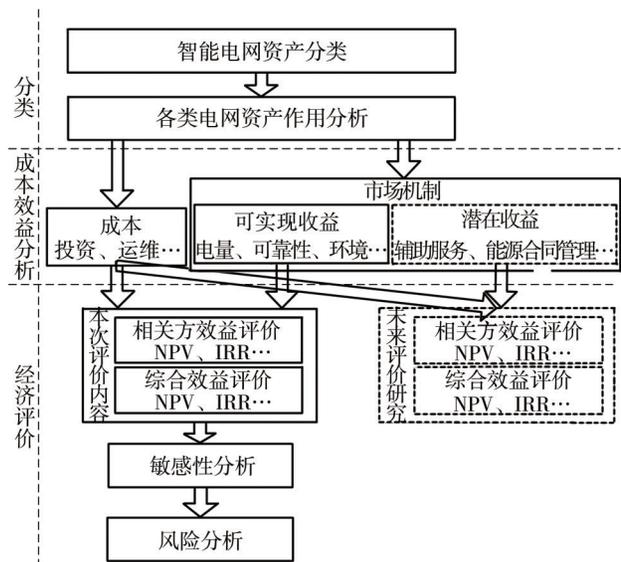


图1 智能电网效益评价体系构建逻辑

Fig. 1 Logic of benefit evaluation system for smart grid

### 1.2 QPA方法的不足

#### 1) 对新建项目适用性不强

QPA方法仅分析智能配电网设备增量效益,效益为含智能设备的配电网和传统电网的效益差值,导致QPA分析方法对于新建的智能配电网效益适用性不强。

2) 效益评价未区分相关方,无法给各方做决策。

QPA分析对象为项目综合效益,涵盖了用户,电网,政府等多方,但项目实际成本承担集中在用户侧投资和政府补贴,但效益测算未区分相关方,因此,利益相关方效益无法直观看出,无法为各方提供项目的投资决策依据。

3) 未区分当期可实现收益和远期潜在收益,对投资方决策造成影响。

可见,必须针对性地进行改进,提出改进的项目综合效益评价方法,从而满足实际工程需要。

## 2 基于改进QPA的项目综合效益评价

### 2.1 增量与整体分析结合

对项目的增量部分与整体部分进行综合分析。其中,增量部分可采用QPA方法,而整体分析则根据项目覆盖区域,考虑配电网发输配售的总投资及效益,特别是针对新建的分布式能源模块和售电模块,基于智能设备(系统)效益与项目整体效益,以确定项目智能投资匹配度,以达到项目最大

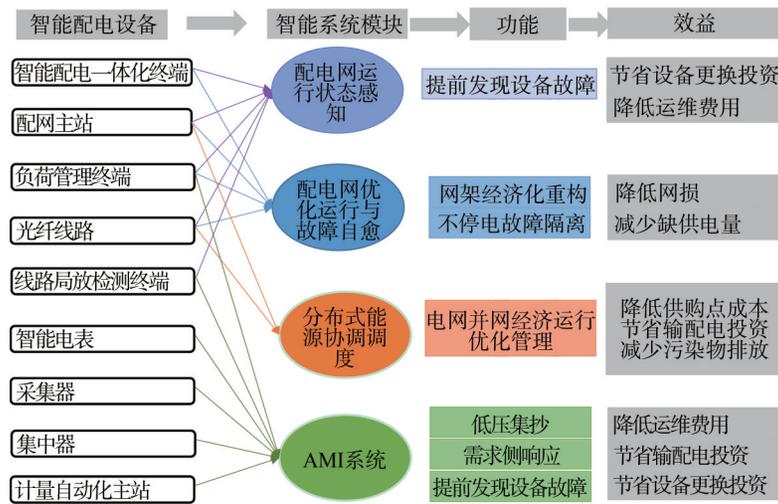


图2 智能配电网资产功能效益分类

Fig. 2 Smart distribution network asset function classification

经济效益。

以增量和整体效益进行对比分析，若增量效益大于整体效益，则说明输配领域经济效益较好，而发、售领域经济效益较差；若增量效益小于整体效益，则说明发、售领域效益较好，而输配领域效益较差，通过效益差别情况，合理调整发、输、配、售各个模块的投资规模。整体思路如图3所示。

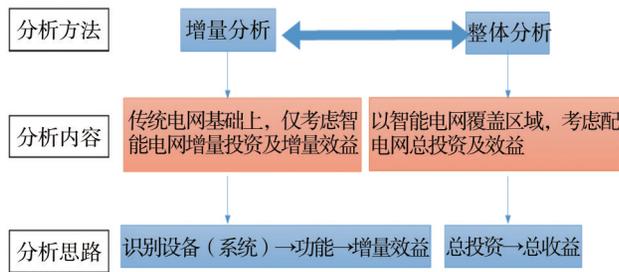


图3 增量与整体结合分析方法

Fig. 3 Incremental and integral analysis methods

### 2.2 不同相关方及不同类型效益的区分

分布式综合能源项目的相关方通常涉及对用户、投资方及社会的效益。其中，不同相关方的效益往往包括显性效益（如获得货币经济收益）和潜在收益（如节省投资）。因此，必须根据分析不同相关方的交叉补贴情况，分析各自的显性收益和潜在收益，从而得出各相关方的综合效益情况。

以光伏发电为例，其成本和效益分解如表1~表2所示。

### 2.3 项目群的综合效益评价

改进的QPA分析方法既可对单模块效益进行分析，也可对多个模块组成的智能电网系统进行分析。多模块智能电网综合效益评价并非简单相加的关系，其中投资可按单个项目投资进行累加，效益分析部分需根据不同模块组合的投资运营模式，调整经济效益评价的取数标准，其基本思路如图4所示。

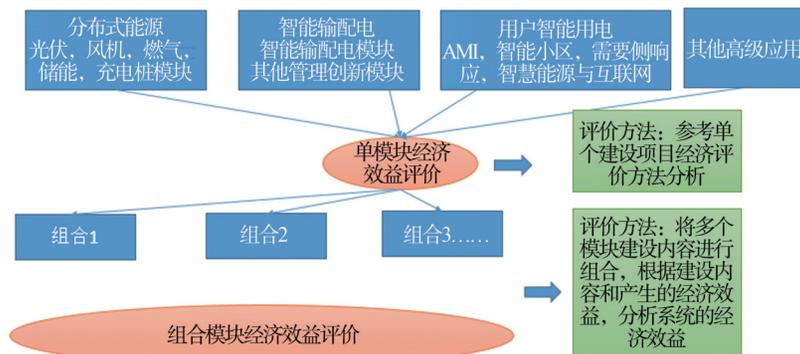


图4 项目群综合效益分析

Fig. 4 Comprehensive benefit analysis of the project group

表 1 光伏发电系统的效益分解

Tab. 1 Benefit decomposition of PV generation system

效益类型	效益主体	效益表现
并网电量效益	投资方	显性效益
减少购电成本效益	投资方	显性效益
光伏电站辅助服务收益	投资方	潜在效益
节省输配电投资效益	电网	潜在效益
清洁效益	社会	潜在效益

表 2 光伏发电系统的成本分解

Tab. 2 Cost decomposition of PV generation system

成本类型	成本主体	成本表现
项目运维成本	投资方	显性成本
清洁能源补贴成本	社会	显性成本
分布式就近交易输配电损失	电网	潜在成本

### 3 算例分析

#### 3.1 概况

以深圳大鹏新区某分布式储能工程投资为例对改进 QPA 方法进行验证。该工程建设规模如表 3 所示。

表 3 分布式储能工程建设规模

Tab. 3 Cost decomposition of PV generation system

建设模块	规模	投资/万元	投资方
分布式储能	1 MWh	561.44	电网公司
分布式光伏	7 kW	10	电网公司
充电桩	7 kW, 5 台	37.81	电网公司

#### 3.2 子系统效益分析

采用改进 QPA 方法, 分别对分布式储能, 分布式光伏和充电桩效益进行分解。基于项目的运营模式, 储能、光伏和充电桩的投资方均为电网公司

##### 3.2.1 分布式储能

###### 1) 高充低放收益

利用储能微电网, 在谷时和平时充电、高峰放电。假设储能低充高放有以下三种场景:

a) 场景 A: 用电量大季节满充满放, 谷期满充, 峰期放电 100%, 平段满充, 峰期放电 100%。

b) 情景 B: 用电量中等季节谷期满充, 峰期放电 70%, 平段补电 40%。

c) 情景 C: 用电量小季节谷期满充, 峰期放电 50%, 平段补电 0%。

考虑到年度 4% 的容量衰减, 2018-2028 年合计收益 260 万元, 分年度情况如下表所示。

表 3 光伏发电项目日收益表分析

Tab. 3 Photovoltaic power generation project daily income analysis

统计项	峰期	谷	平	合计
发电量/kW	1 800	0	0	1 800
充电量/kW	0	1 000	1 000	2 000
场景 A 购电价/元	1.031 6	0.235 1	0.679 1	—
售电价/元	1.031 6	0.235 1	0.679 1	—
日收益/元	1 856.88	-235.1	-679.1	942.68
发电量/kW	1 260	0	0	1 260
充电量/kW	0	1 000	400	1 400
场景 B 购电价/元	1.031 6	0.235 1	0.679 1	—
售电价/元	1.031 6	0.235 1	0.679 1	—
日收益/元	1 299.82	-235.1	-271.64	793.076
发电量/kW	900	0	0	900
充电量/kW	0	1 000	0	1 000
场景 C 购电价/元	1.031 6	0.235 1	0.679 1	—
售电价/元	1.031 6	0.235 1	0.679 1	—
日收益/元	928.44	-235.1	0	693.34

表 4 2018-2028 年收益表分析

Tab. 4 Income statement analysis for 2018-2028

年度	2018	2019	2020	2021	2022	2023
收益/万元	0	30.04	28.84	27.64	26.44	25.24
年度	2 024	2 025	2 026	2 027	2 028	—
收益/万元	24.04	22.83	21.63	20.43	19.23	—

##### 2) 可靠性收益

由于储能建设, 供电区域可靠性增加, 停电时间减少, 可靠性供电收益一方面考虑多供电量带来的输配电效益, 另一方面考虑多供电量带来的储能收益, 可分别由下式得出:

$$B_G = \Delta Q \times (P_1 + \Delta P) \quad (1)$$

$$B_u = \Delta Q \times G_{DP} \quad (2)$$

式中:  $B_G$  为电网侧可靠性收益;  $B_u$  为用户侧可靠性收益;  $\Delta Q$  为增供电量;  $P_1$  为输配电价;  $\Delta P$  为低充高放电价差;  $G_{DP}$  为单位电量 GDP。

储能项目投产后, 年停电时间减少 22 h/户, 供电区域平均负荷为 120 kW, 因此多供电量为 1.32 MWh。

##### 3) 减少输变电投资效益

储能项目在低谷充电, 高峰放电, 可降低最高负荷 40 kW, 深圳地区平均单位容量成本为 4 500 元/kW, 电网一次性投资减少约为 36.00 万元。摊分到

10年约为3.6万元/年。

#### 4) 减少可靠性线路投资

由于用户位于线路末端,为提高用户供电可靠性,按常规完善配电网架的技术方案需投资1400万元。通过分布式储能系统在外部电网故障时为用户提供应急电源,相当于减少可靠性线路投资1400万元,考虑线路折旧年限为30年,项目周期内可靠性线路投减少46.67万元/年。

#### 5) 充放电损耗增加电网收益

可根据储能系统充电量、售电量计算充电点损耗增加电网收益,如下式所示:

$$B_1 = (Q_1 - Q_2) \times P_1 \quad (3)$$

式中:  $Q_1$  和  $Q_2$  分别为储能充电量和储能售电量。

本工程中,储能系统的年度充放电量分别为505 MWh和555 MWh,因此2018-2028年充放电损耗增加电网收益为0.893万元。

### 3.2.2 光伏发电系统

#### 1) 并网电量效益

项目通过光伏发电上网,按照全额上网模式,光伏上网电价0.75元/kWh(根据《国家能源局关于2018年光伏发电有关事项的通知(发改价格规[2017]2196号)》)、太阳辐射量指标3.91(kWh·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>)计算,装机容量7kWp,年均发电量为5.74 MWh,则光伏发电收益为0.4305万元/年。

#### 2) 清洁能源效益

光伏发电可减少二氧化碳、氮氧化物等污染物的排放,结合深圳地区碳排放交易价格以及广东省排污费的收取发文,最终确定为0.0417元/kWh。则光伏清洁效益为0.024万元/年。

#### 3) 减少输变电投资效益

光伏就近发电减少电网投资,光伏供电容量为7kW,发电高峰与用电高峰基本重合,因此假设降低最高负荷7kW,深圳地区平均单位容量成本为4500元/kW,电网一次性投资减少约为3.15万元。摊分到25年约为0.216万元/年。

### 3.2.3 电动汽车充电

#### 1) 充电服务费收益

充电桩盈利模式为从大电网购电,峰谷平时期按比例售电,收取充电服务费,承担充放电损耗,如下表所示。单日收益为13.5753元,年收益为0.4955万元/年。

#### 2) 增值服务收益

假设后续充电桩有广告收入,车位共享等增值服务收入,假设单桩年度增值服务为0.1万元/年,则充电桩增值服务收益为0.5万元/年。

#### 3) 补贴递延收益

深圳地区充电桩政府将给予一定的投资补贴,按照功率补贴,即按照所建设充电桩功率大小的不同给予不同的补贴额的方式。按照项目折旧年限以递延收益计入,则2018—2028年充电桩补贴递延收益0.21万元。

### 3.3 项目整体效益评价

项目全投资税后内部收益率为5.90%,净现值为-24.05万元,投资回收期为8.57年;资本金税后内部收益率为7.85%,净现值为6.67万元,投资回收期为9.99年,达到了7%以上的基准收益率,项目财务效益较好。

## 4 结论

目前我国智能配电网已进入全面发展阶段,经济与技术的协调发展成为电网公司推广示范项目重点关注的领域,尤其分布式综合能源项目,由于设备造价较高,对项目投资方的经济效益分析是此类项目得以实施和推广的关键。

由于此类项目往往涉及多个投资方以及用户、社会公众等不同相关方利益,因此,传统QPA方法不区分效益相关方、无法区分当期可实现收益和远期潜在收益等问题,严重阻碍其实用化。此外,燃气式冷热电三联供系统、相变储能系统逐步得到广泛应用,传统QPA方法也无法评估其综合效益。

本文所提出的改进QPA方法,通过分析智能配电网项目设备资产构成,将各类智能电网资产的成本、功能、效益、相关方进行映射,并将效益和成本按照相关方和兑现周期进行分类,不仅能够涵盖更多样化的智能电网项目元素,且能够将项目综合效益细化为不同相关方、不同兑现周期的综合效益。基于实际算例的计算分析表明,本文所提出的改进QPA方法准确有效,全面克服了传统方法的应用局限,为项目投资运营模式及技术方案的决策提供方法支持。

#### 参考文献:

[1] 李兴源,魏巍,王渝红,等. 坚强智能电网发展技术的研究

- [J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(17): 1-7.
- LI X Y, WEI W, WANG Y H, et al. Study on the development and technology of strong smart grid [J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(17): 1-7.
- [2] 王智冬, 李晖, 李隽, 等. 智能电网的评估指标体系 [J]. 电网技术, 2009, 33(17): 14-18.
- WANG Z D, LI H, LI J, et al. Assessment index system for smart grids [J]. Power System Technology, 2009, 33(17): 14-18.
- [3] 曾鸣, 李凌云, 马明娟, 等. 基于区间数的智能电网经济效益评价研究 [J]. 华东电力, 2013, 41(2): 249-253.
- ZENG M, LI L Y, MA M J, et al. Economic benefits evaluation of smart grid based on interval numbers [J]. East China Electric Power, 2013, 41(2): 249-253.
- [4] 刘跃新, 熊浩清, 罗汉武. 智能电网成本效益分析及测算模型研究 [J]. 华东电力, 2010, 38(6): 821-823.
- LIU Y X, XIONG H Q, LUO H W. Cost-benefit analysis and evaluation model of smart grid [J]. East China Electric Power, 2010, 38(6): 821-823.
- [5] 焦丰顺, 张劲松, 唐晟, 等. 智能配电网项目综合效益分析评价方法研究 [J]. 南方能源建设, 2017, 4(1): 71-74.

## 作者简介:



焦丰顺

焦丰顺 (通信作者)

1984-, 男, 吉林双辽人, 工程师, 博士, 主要从事电网规划和能源互联网研究工作 (e-mail) 497940490@qq.com。

## 张劲松

1973-, 男, 广东梅州人, 教授级高级工程师, 硕士, 主要从事电网规划研究工作 (e-mail) gd4414zjs@163.com。

## 任畅翔

1989-, 女, 湖南益阳人, 硕士, 主要从事电网经济咨询工作 (email) renchangxiang@gedi.com.cn。

## 李志铿

1981-, 男, 广东顺德人, 高级工程师, 博士, 主要从事配电网规划、设计和运行分析研究工作 (e-mail) li-zhikeng@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)

## 中美绿色合作伙伴计划项目

中美绿色合作伙伴计划源自2008年第五次中美战略经济对话期间,两国政府签署的《绿色合作伙伴计划框架》,是中美之间开展具体务实合作的一个平台。其通过促成两国有关地方政府、企业和研究机构之间自愿结对,共同努力探索绿色发展的创新模式。联合秘书处由中国国家发改委和美国国务院共同牵头。结对活动每年组织一次,选拔3~6对合作伙伴入围,合作周期为3~4年。截至2017年底,中美有关城市、机构和企业之间已建立45对绿色合作伙伴结对,在清洁能源发电、电动汽车、环境治理、湿地保护、资源综合利用、节能增效、低碳发展等诸多领域开展了交流合作并取得良好成效,得到中美两国领导人和有关部门的肯定,被誉为“两国合作的典范”。

中国深圳供电局有限公司与美国自然资源保护协会关于市场机制下价格驱动的绿色电力供需友好互动关键技术及示范应用绿色合作伙伴结对,成功入选2017年绿色伙伴名单。

市场机制下价格驱动的绿色电力供需友好互动关键技术及示范应用项目,研究内容包括:系统性构建需求侧响应资源定价的市场机制与交易体系,实现机制设计的激励相容,研究需求侧响应资源的供需友好互动,分布式可再生能源端对端交易、虚拟货币交易与出清结算计算等关键技术;开发相应的技术支持平台。合作时限为2017-2020年。

(焦丰顺)