

# 智能配电网项目综合效益分析评价方法研究

焦丰顺<sup>1</sup>, 张劲松<sup>1</sup>, 唐晟<sup>1</sup>, 李效臻<sup>2</sup>, 李志铿<sup>2</sup>

(1. 深圳供电局有限公司, 深圳 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:** 传统的综合评价方法通常从可靠性、经济性等宏观指标评价智能配电网项目的效益, 无法给出不同技术和设备构成各自对项目整体效益的影响程度。在对智能配电网各组成元素的功能和效益进行量化分析的基础上, 全面考虑了智能配电网的显性和隐性的投资收益, 构建了智能配电网的成本效益模型, 并以深圳湾智能配电网示范工程为例, 验证了文章所提模型的有效性和合理性, 突破了传统方法的应用局限, 为智能配电网技术路线的选择提供了定量依据。

**关键词:** 智能配电网; 综合效益; 经济评价

中图分类号: TM76

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)01-0134-04

## Research on Comprehensive Benefits Evaluation of Smart Distribution Grid

JIAO Fengshun<sup>1</sup>, ZHANG Jinsong<sup>1</sup>, TANG Sheng<sup>1</sup>, LI Xiaozhen<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:** Benefits of smart grid come from the result of intelligent systems integration operation, previous studies are more concerned about the economic evaluation of the Taking the starting point of smart grid devices, investor, not the smart grid system modules and functions benefit linkage analysis. this paper takes full account of the explicit and implicit investment returns. Based on quantitative assessment index, a cost-effectiveness model is constructed to achieve a comprehensive investment benefit evaluation of smart distribution grid. Taking the investment of the smart distribution grid of Shenzhen Bay as an example, the validity and rationality of the model are verified.

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

近年来, 微电网、主动配电网和能源互联网等智能电网技术得到了国家政策的大力支持, 其技术和设备日趋成熟, 国内外也广泛开展了相关的课题研究和试点建设<sup>[1-2]</sup>。然而, 具备一定的技术经济性是智能电网项目可持续发展和商业化推广的现实基础。因此, 有必要在建设需求分析的基础上, 对构成智能配电网的关键技术、设备和功能, 以及与之对应的经济效益、社会效益和环境效益进行深入分析, 从而为智能配电网项目技术路线和体系架构

的选择提供定量依据。

为此, 国内外围绕具有普适性的智能电网项目评估指标体系和效益评估方法开展了广泛研究。文献[1]和文献[2]都针对智能电网的技术先进性以及发展效果提出了综合评估指标体系初步框架, 用以评价智能电网发展先进水平, 但未涉及到智能电网经济效益的评价; 文献[1]从发电环节、电网环节、用电环节和其他经济效益四方面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, 但未涉及到投资及成本分析。文献[2]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。针对已有研究的不足, 本文首先在对智能配电网各组成元素的功能和效益进行量化分析的基础上, 全

收稿日期: 2016-09-19

基金项目: 中国能建广东院科技项目“支撑 10 kV 园区智能配电网自愈的网架优化规划方法研究”(EV00651W)

作者简介: 焦丰顺(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(email)497940490@qq.com。

面考虑了智能配电网的显性和隐性的投资收益, 构建了智能配电网的成本效益模型, 全面评估智能配电网的经济效益和环境效益, 将成本效益全面量化, 测算示范工程的投资收益率, 为电网企业推广智能配电网工程提供重要的决策参考。

### 1 评价体系及方法

构建智能配电网评价体系进行效益分析, 首先选择智能配电网设备资产的构成, 其次匹配智能电网资产可实现的功能或作用, 并根据系统模块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。评价体系的构建逻辑如图 1 所示。

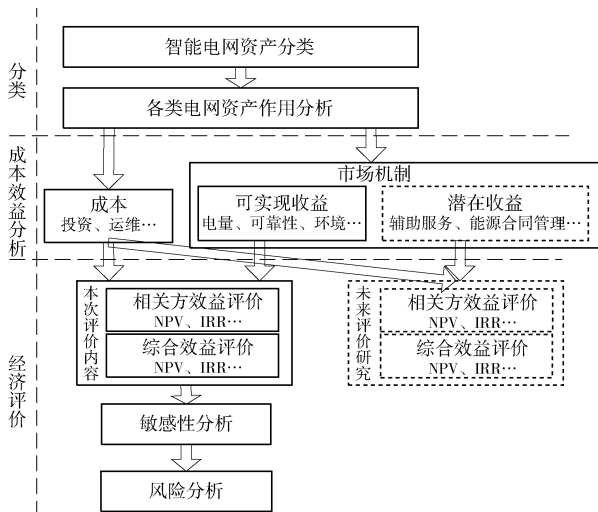


图 1 智能电网效益评价体系构建逻辑

Fig. 1 Logic of benefit evaluation system for smart grid

本文采用的评价方法遵循以下原则: (1) 全面性, 本文智能配电网的综合效益涵盖可实现的可靠性效益, 经济效益及环境效益; (2) 一致性, 效益评价内容应与评价对象一致, 增量收益对应增量资产, 确保评价的合理性; (3) 可测性, 评价指标能够被计算或度量, 数据易收集<sup>[3-4]</sup>。

### 2 智能配电网资产分类与功能效益分析

智能电网相较于传统电网, 延展了以下全部或部分的系统模块: (1) 面对网架结构用于优化电网运行方式的配电网优化运行与故障自愈系统; (2) 面对分布式能源用于优化电源经济运行的分布式能源协调调度系统; (3) 面对用户用于精确测量以及需求侧响应的 AMI 系统; (4) 面对设备用于提高设

备与系统运行可靠性的配电网运行状态感知系统。各系统模块对应的智能电网设备, 系统功能以及对应的综合效益如图 2 所示。其中, 智能配电一体化终端为包含了光纤纵差保护功能的配电自动化站所终端。

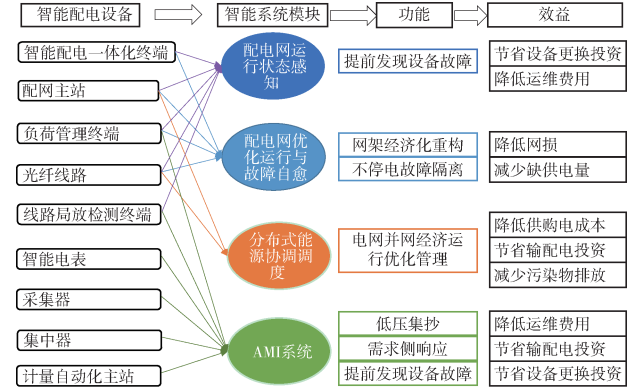


图 2 智能配电网资产功能效益分类

Fig. 2 Smart distribution network asset function classification

### 3 成本效益测算模型

#### 3.1 成本测算模型

本文采用增量效益评价方法, 对应的成本分析考虑智能配电网相对于传统配电网的增量投资部分, 主要包括投资和运维费用, 如下式所示。

$$C = TC + \sum_n C \times i_m(A/P, i_0, n) - TC \times i_s(P/F, i_0, n) \quad (1)$$

式中:  $C$  为智能配电网示范工程全生命周期内成本;  $TC$  为智能配电网总投资, 包括建安费, 设备和软件购置费及其他费用;  $i_m$  为运维费费率, 运维费包括材料费、修理费、工资福利费及其他费用;  $i_s$  为残值率;  $i_0$  表示基准收益率。

#### 3.2 效益测算模型

##### 3.2.1 节省设备更换投资

智能电网一方面在合理规划电网的基础上, 利用先进的信息化集成平台, 实现设备状态的在线监测, 并适时引入状态检修, 从而优化设备运行模式, 延长设备寿命。另一方面通过配电网运行状态感知系统, 可有效减少设备的故障发生率, 减少故障设备的更换投资。

$$RAC = \sum_j TAC_j/t_0 - TAC_j/t_1 + \sum_s \Delta P(s) \times p_s^{trans} \times Q_s^{asset} \quad (2)$$

式中： $RAC$ 为年度节省的设备更换投资； $TAC_j$ 为*j*类设备总投资； $t_0$ 为系统优化前设备使用年限； $t_1$ 为优化后设备使用年限； $\Delta P(s)$ 为第*s*类设备预计出现故障的概率降低值； $Q_s^{asset}$ 为发现隐患的第*s*类设备的数量； $p_s^{trans}$ 为第*s*类设备的更换成本。

### 3.2.2 降低运维费用

一方面，智能电网AMI的低压集抄系统可实现智能抄表，能有效降低人力，车辆，耗材等人工抄表的成本，另一方面，配电网状态感知系统可利用配电自动化站所终端提前发现运行隐患，减少检修人员费用，降低设备的故障发生率，减少故障设备的维修费。

$$RMR = \sum_y \Delta Q_y \times C_y + \sum_s [\Delta P(s) \times Q_s^{asset} \times p_s^{asset}] \quad (3)$$

式中： $RMR$ 为年度降低运维费用； $\Delta Q_y$ 为减少第*y*类抄表和检修消耗的资源数量； $C_y$ 为第*y*类资源的单位成本，消耗资源包括人力，车辆，耗材等； $\Delta P(s)$ 为第*s*类设备预计出现故障的概率降低值； $Q_s^{asset}$ 为发现隐患的第*s*类设备的数量； $p_s^{asset}$ 为第*s*类设备的维修成本。

### 3.2.3 降低网损效益

智能电网中配电网优化运行与故障自愈系统中利用配网主站进行网架的经济化重构，能有效降低网损。

$$RL = p_{buy} \times Q_{buy} \times \Delta Loss \quad (4)$$

式中： $RL$ 为降低网损效益； $p_{buy}$ 为平均购电价格； $Q_{buy}$ 为购电量； $\Delta Loss$ 为网损率降低值。

### 3.2.4 减少缺供电量损失

智能电网利用断路器和光纤纵差保护功能实现不停电的故障隔离，能有效减少停电时间及停电次数。减少缺供电量损失可分为减少社会停电损失和电网停电损失。

#### 1) 减少社会停电损失

社会停电损失即包括停电导致生产中断引发的损失，也包括停电后重新启动期间不能生产出来的部分正常产值，在计算停电损失时需设置一定的惩罚系数以更加真实的反映停电损失。

$$RS = \omega \times \frac{\Delta Q}{EPU} \quad (5)$$

式中： $RS$ 为年度减少社会停电损失； $\omega$ 为设定的倍数； $\Delta Q$ 为预计减少的年度缺供电量； $EPU$ 为单

位GDP电耗。

#### 2) 减少电网停电损失

减少电网停电损失可由下式计算。

$$RG = \Delta Q \times p_{trans} + \frac{\delta}{1-\delta} \times \Delta Q \times p_{loss} \quad (6)$$

式中： $RG$ 为年度减少电网停电损失； $\Delta Q$ 为预计减少的年度缺供电量； $p_{trans}$ 为输配电价； $\delta$ 为线损率； $p_{loss}$ 为线损电价。

### 3.2.5 降低购供电成本

由于智能电网中可再生能源可就近并网，由于可再生能源上网补贴，购电价相比常规火电存在差异，可能节省供购电成本。

$$RB = \sum_i p_i^{buy} \times Q_i^{buy} - \sum_j p_j^{buy} \times Q_j^{buy} \quad (7)$$

式中： $RB$ 为降低购供电成本； $p_i^{buy}$ 为智能电网建设前第*i*类电源购电价格； $Q_i^{buy}$ 为智能电网建设前第*i*类电源购电量； $p_j^{buy}$ 为智能电网建设后第*j*类电源购电价格； $Q_j^{buy}$ 为智能电网建设后第*j*类电源购电量。

### 3.2.6 节省输配电建设投资

智能电网节省设备更换投资包括以下两方面：一、通过可再生能源就近并网，延缓变电站的投资建设，二、利用AMI系统通过需求侧响应削峰填谷，平滑负荷曲线，有效延缓配网的建设投资。

$$RT = (\Delta Load_{re} + \Delta Load_{de} \times RCL) \times C_{trans} \quad (8)$$

式中： $RT$ 为年度节省输变电投资； $\Delta Load_{re}$ 为可再生能源就近并网装机带来负荷降低值； $\Delta Load_{de}$ 为需求侧响应带来的最大负荷降低值； $RCL$ 为供电区域容载比； $C_{trans}$ 为单位负荷成本。

### 3.2.7 环保效益

智能配电网中可再生能源就近并网发电，能减少煤炭使用和污染物排放<sup>[1]</sup>，可根据污染物的环境价值以及可再生能源的发电量估算项目环保效益。

$$E_{CO_2/SO_x/NO_x/TSP} = \frac{Q_{clean} \times V \times \eta_{CO_2}}{\eta_{SO_x} \times \eta_{NO_x} \times \eta_{TSP}} \quad (9)$$

式中： $E_{CO_2/SO_x/NO_x/TSP}$ 分别为 $CO_2$ 、 $SO_x$ 、 $NO_x$ 和颗粒物(TSP)的环保效益； $Q_{clean}$ 为智能电网协调调度的风电、太阳能光伏等清洁能源并网电量； $V$ 为污染物的排放价值； $\eta_{CO_2}$ 、 $\eta_{SO_x}$ 、 $\eta_{NO_x}$ 、 $\eta_{TSP}$ 分别为传统煤电 $CO_2$ 、 $SO_x$ 、 $NO_x$ 和颗粒物(TSP)的排放率。

## 4 算例分析

以深圳湾智能配电网第二期示范工程投资为

例, 示范工程负荷 20 MW, 年供电量为 72 000 MWh, 2014—2015 年深圳湾二期智能电网示范工程建设的固定资产投资共 1 044 万元, 包含以下系统软件及平台: 标准化智能配电房及一体化终端一套、配电网设备全维度监测系统 1 套、智能巡检移动化应用平台 1 套、全资源协调优化调度系统 1 套、云平台的用户能效服务系统、多功能智能配网终端 2 套以及用户智能交互终端及智能配用电双向互动平台软件 1 套。

智能电网建成后, 预计线损率由 2.87% 下降到 2.21%, 达到南山区十三五末预测值, 停电时间由 48 min/户下降至 2.4 min/户, 达到前海地区先进水平; 增加低压集抄 600 户, 光伏年发电量 260.939 MWh, 其余投资测算参数如表 1 所示。

表 1 投资测算参数

Tab. 1 Investment calculation parameters

投资预算参数	数值
容载比	2
运维费用比例/%	2
单位容量输配电成本/元/kW	4 500
可再生能源每度电环境价值/元	0.028 3
最高负荷降低值/%	10
电网设备延长寿命	延长 20%
设备故障概率降低值	线路 1.744 次/(百公里·年); 开关柜 0.1%; 配变 0.09%;

表 2 为深圳湾智能电网年度效益值统计, 由表中数据可知, 智能配电网项目能显著节省配电网投资和设备更换投资, 网损的降低效益也较显著。

表 2 年度效益值统计表

Table 2 Annual benefit value statistics

智能电网效益	年度效益值/万元	效益主体
降低网损	28.75	电网公司
减少缺供电量损失	16.18	电网公司, 用户
降低购供电成本	7.39	电网公司
节省变电站建设投资	90.00	电网公司
降低运维费用	1.49	电网公司
节省设备更换的投资	33.38	电网公司
减少煤炭使用与污染物排放	0.74	社会

根据 7% 的电力行业基准参数, 综合考虑环保效益, 减少停电损失等社会效益, 示范工程的全投资内部收益率为 7.62%, 基本达到基准收益率水

平。剔除环保效益和社会效益, 以电网公司为评价主体, 项目的内部收益率仅为 5.59%。示范工程中智能电网投资均为电网公司承担, 电网公司部分经济效益转移至环保效益和社会效益。

表 3 项目综合效益和电网公司效益

Tab. 3 Comprehensive benefit of the project and utility

计算指标	综合效益	电网公司效益
内部收益率/%	7.62	5.59
净现值/元	323 369.07	-709 636.15
投资回收期/年	8.65	9.45

深圳湾二期智能电网项目投资主要为设备购置以及软件费用, 随着示范工程的推广, 设备价格存在进一步下降的预期, 后续推广工程投资将进一步压缩, 项目效益将进一步提升。由于智能电网可平滑负荷曲线, 减少停电时间, 因此负荷规模越大, 延缓电网投资以及停电损失的效益较显著。随着用电负荷的加大, 项目效益也将进一步提升。

## 5 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。本文以智能配电网设备构成, 功能分析以及效益识别为基础, 对智能电网综合效益进行分析, 通过深圳湾智能电网示范项目的效益实证可知智能电网综合效益显著, 但电网公司作为投资主体, 经济效益部分转移至环保效益及社会效益导致示范项目经济效益不明显。建议在智能配电网区域推行可靠性电价, 能源辅助服务, 多元投资以及政府补贴等方式, 创造更可观的收益。

### 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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [5] 陈安伟, 乐全明, 曹洪. 我国智能电网的低碳效益分析[J]. 统计与决策, 2012, 16(8): 71-74.

(责任编辑 高春萌)