

基于关联关系的配电网投入产出效益评价体系设计

周鹏程, 吴南南, 王晟嫣, 曾鸣
(华北电力大学经济与管理学院, 北京 102206)

摘要: 为提升电网企业在配电网发展方面的资源优化配置能力,明确投资方向和管理重点,设计了基于关联关系的配电网投入产出效益评价体系。为此,以电网企业配电网投资管理体系和发展战略目标为纲,分电压等级梳理配电网关键投入资源及产出数据,利用关键成功因素分解法区分关键投入类指标、关键产出类指标,明确配电网投入产出效益指标设计思路;充分考虑配电网投入产出关联关系,包括单位投资供电质量提升贡献、单位投资供电能力提升贡献等7个一级指标,设计了基于关联关系的配电网投入产出效益评价体系,为电网企业明确投资方向和管理重点,提升国有资产增值保值能力提供理论基础。

关键词: 配电网效益;投入产出;评价指标体系;关联关系

中图分类号: F426.61 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2019)03-0006-07

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2019.03.003

Design of Input – Output Benefit Evaluation System for Distribution Network Based on Relevance Relation

Zhou Pengcheng, Wu Nannan, Wang Shengyan, Zeng Ming

(School of Economics and Management, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: In order to improve the resource allocation ability of grid enterprises in the development of distribution network, and to clarify the investment direction and management focus, an input – output benefit evaluation system for distribution network is designed based on relevance relation. For this purpose, taking the distribution network investment management system of power grid enterprises and the development strategy as the outline, the key input resources and output data of distribution network are sorted out by voltage levels, and the key input indicators and key output indicators are distinguished using key success factor decomposition method. Furthermore, the design ideas of distribution network input and output efficiency indicators are clarified. Considering fully the relationship between input and output of distribution network, including seven first – level indicators such as the contribution of unit investment to the improvement of power supply quality etc, an input – output benefit evaluation system for distribution network is designed based on relevance relation, which provides a theoretical basis for power grid enterprises to clarify the investment direction and management focus, and enhances the value – added and preservation ability of state – owned assets.

Key words: benefits of distribution network; input – output; evaluation index system; relevance relation

0 引言

随着中国新一轮电力体制改革的不断深化,电网企业更加注重配电网投资所带来的经济效益和社会效益。开展配电网投入产出效益评价体系建设工作,有利于实现新电改下国家对电网企业资源优化配置能力提升和国有资产保值增值要求:一方面,配

基金项目:国家自然科学基金(51507061, 71601078)

电网业务的有序放开将逐步引入市场竞争,加强配电网投入产出效益分析是市场化的必然结果,旨在有针对性地提升国有电网企业在配电网发展方面的资源优化配置能力和核心竞争力;另一方面,配电网作为电网企业重要资产,建设配电网投入产出效益评价体系有利于电网企业明确投资方向和管理重点,提升国有资产保值增值能力。

鉴于此,在充分考虑配电网投入产出关联关系下,设计了基于关联关系的配电网投入产出效益评

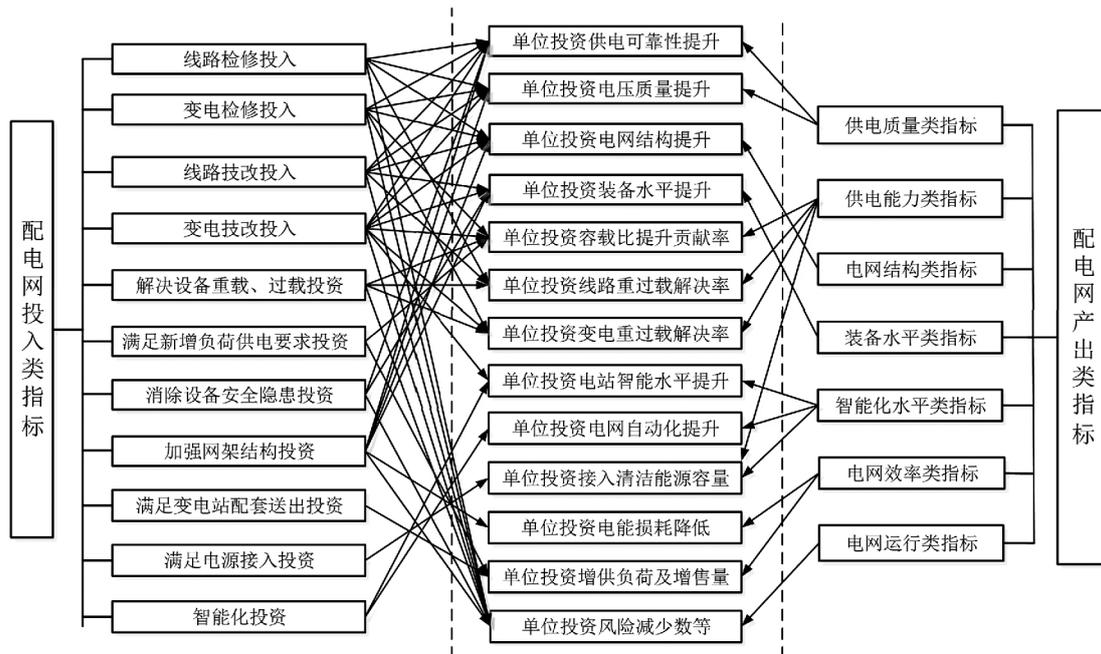


图1 配电网投入产出评价体系

价体系,实现电网企业有效掌握电力资源投入的分布情况,做到对投入资源的科学追踪并判断投入产出合理性,从而发现不合理的投入,提高资源利用效率,促进电网投资效益产出最大化。

1 设计思路

构建配电网效益指标体系应明确投入类、产出类指标的类型,并对两者进行关联分析,总结出投入产出的关键评价指标。一般而言,投入类指标主要涉及各类配电网项目投资,如线路技改和检修投入、变电技改和检修投入,满足新增负荷供电要求投资等;产出类指标主要包含相关产出的数量、质量、效率、价值(或效益),分别对应配电网的供电能力、供电质量、电网效率和综合效益等属性。此外,配电网的一些支撑性基础指标也应作为其投入产出来考虑,如电网结构、装备水平、智能化水平、电网运行服务水平等。

此外,在进行指标选取时,应以电网企业配电网投资管理体系统和发展战略目标为纲,分电压等级梳理企业关键投入资源及产出数据,利用关键成功因素分解法构建反映电网企业配电网管理的效益指标体系,从定性、定量的角度建立起两者之间的联系,并依此区分关键投入类指标、关键产出类指标,从而构建涵盖投入指标、产出指标的配电网投入产出评

价指标体系。配电网投入产出评价体系“橄榄形”关系图如图1所示。

2 评价指标说明

2.1 单位投资供电质量提升贡献

1) 单位投资供电可靠性提升

单位投资供电可靠性提升 X_{11} 包括用户年平均减少停电时间 X_{111} 和用户年平均减少停电次数 X_{112} 等指标。

$$X_{111} = \frac{T_1^{\text{outage}} - T_0^{\text{outage}}}{INT_1 + INT_2 + INT_3 + INT_4} \quad (1)$$

$$X_{112} = \frac{N_1^{\text{outage}} - N_0^{\text{outage}}}{INT_1 + INT_2 + INT_3 + INT_4} \quad (2)$$

式中: T_1^{outage} 和 T_0^{outage} 分别为当年和上一年用户年平均停电时间; N_1^{outage} 和 N_0^{outage} 分别为当年和上一年用户年平均停电次数; INT_1 为消除设备安全隐患投资; INT_2 为加强网架结构投资; INT_3 为配电网技改投入; INT_4 为配电网检修投入。

2) 单位投资电压质量提升

单位投资电压质量提升 X_{12} 包括解决供电端电压越限问题数 X_{121} 和减少受电端“低电压”用户数 X_{122} 等指标。

$$X_{121} = \frac{V^{\text{limit}}}{INT_1 + INT_2 + INT_3 + INT_4} \quad (3)$$

$$X_{122} = \frac{V^{\text{low}}}{\text{INT}_1 + \text{INT}_2 + \text{INT}_3 + \text{INT}_4} \quad (4)$$

式中: V^{limit} 为当年解决供电端电压越限问题数; V^{low} 为当年解决受电端“低电压”用户问题数。

单位投资供电质量提升贡献评价指标说明如表1所示。

表1 单位投资供电质量提升贡献指标

分指标	子指标	含 义	单 位
X_{11}	X_{111}	每百万元相关投资减少的用户年平均停电时间	h/百万元
	X_{112}	每百万元相关投资减少用户年平均停电的次数	次/百万元
X_{12}	X_{121}	每百万元相关投资解决的供电端电压越限问题数	个/百万元
	X_{122}	每百万元相关投资减少的受电端“低电压”用户数	户/百万元

2.2 单位投资供电能力提升贡献

1) 单位投资 110 kV 电网供电能力提升

单位投资 110 kV 电网供电能力提升 X_{21} 包括提升 110 kV 变电容载比 X_{211} 、解决 110 kV 重过载线路数 X_{212} 和解决 110 kV 重过载主变压器数 X_{213} 等指标。

$$X_{211} = \frac{C_1^{\text{substation}} - C_0^{\text{substation}}}{\text{INT}_{10}^{110} + \text{INT}_2^{110} + \text{INT}_3^{110} + \text{INT}_4^{110}} \times 100\% \quad (5)$$

$$X_{212} = \frac{L^{\text{overload}}}{\text{INT}_{10}^{110} + \text{INT}_5^{110} + \text{INT}_6^{110}} \quad (6)$$

$$X_{213} = \frac{T^{\text{overload}}}{\text{INT}_{10}^{110} + \text{INT}_3^{110} + \text{INT}_4^{110}} \quad (7)$$

式中: $C_1^{\text{substation}}$ 和 $C_0^{\text{substation}}$ 分别为当年和上一年 110 kV 变电容载比; L^{overload} 为当年解决 110 kV 重过载线路问题数; T^{overload} 为当年解决 110 kV 重过载主变压器问题数; INT_{10}^{110} 为解决 110 kV 设备重过载投资; INT_2^{110} 为 110 kV 网架结构投资; INT_3^{110} 为 110 kV 变电技改投入; INT_4^{110} 为 110 kV 变电检修投入; INT_5^{110} 为 110 kV 线路技改投资; INT_6^{110} 为 110 kV 线路检修投资。

2) 单位投资 35 kV 电网供电能力提升

单位投资 35 kV 电网供电能力提升 X_{22} 包括提升 35 kV 变电容载比 X_{221} 、解决 35 kV 重过载线路数 X_{222} 和解决 35 kV 重过载主变压器数 X_{223} 等指标, 其计算方式同 110 kV 相似, 此处不再赘述。

3) 单位投资 10 kV 及以下电网供电能力提升

单位投资 10 kV 电网供电能力提升 X_{23} 包括解决 10 kV 重过载线路数 X_{231} 和解决 10 kV 重过载配电变压器数 X_{232} 等指标, 计算方式同 110 kV 和 35 kV 相似。

单位投资供电能力提升贡献评价指标说明如表2所示。

表2 单位投资供电能力提升贡献指标

分指标	子指标	含 义	单 位
X_{21}	X_{211}	每百万元相关投资提升的 110 kV 变电容载比	1/百万元
	X_{212}	每百万元相关投资解决的 110 kV 重过载线路条数	条/百万元
X_{22}	X_{213}	每百万元相关投资解决的 110 kV 重过载主变压器个数	个/百万元
	X_{221}	每百万元相关投资提升的 35 kV 变电容载比	1/百万元
	X_{222}	每百万元相关投资解决的 35 kV 重过载线路条数	条/百万元
X_{23}	X_{223}	每百万元相关投资解决的 35 kV 重过载主变压器个数	个/百万元
	X_{231}	每百万元相关投资解决的 10 kV 重过载线路条数	条/百万元
	X_{232}	每百万元相关投资解决的 10 kV 重过载配电变压器个数	个/百万元

2.3 单位投资电网结构提升贡献

1) 单位投资 110 kV 电网结构提升

单位投资 110 kV 电网结构提升 X_{31} 包括提升 110 kV 主变压器“N-1”通过率 X_{311} 和提升 110 kV 线路“N-1”通过率 X_{312} 等指标。

$$X_{311} = \frac{T_1^{\text{passing-rate}} - T_0^{\text{passing-rate}}}{\text{INT}_2^{110} + \text{INT}_5^{110} + \text{INT}_6^{110}} \times 100\% \quad (8)$$

$$X_{312} = \frac{L_1^{\text{passing-rate}} - L_0^{\text{passing-rate}}}{\text{INT}_2^{110} + \text{INT}_5^{110} + \text{INT}_6^{110}} \times 100\% \quad (9)$$

式中: $T_1^{\text{passing-rate}}$ 和 $T_0^{\text{passing-rate}}$ 分别为当年和上一年 110 kV 主变压器“N-1”通过率; $L_1^{\text{passing-rate}}$ 和 $L_0^{\text{passing-rate}}$ 分别为当年和上一年 110 kV 线路“N-1”通过率。

2) 单位投资 35 kV 电网结构提升

单位投资 35 kV 电网结构提升 X_{32} 包括提升 35 kV 主变压器“N-1”通过率 X_{321} 和提升 35 kV 线路“N-1”通过率 X_{322} 等指标。

3) 单位投资 10 kV 及以下电网结构提升

单位投资 10 kV 及以下电网结构提升 X_{33} 包括提升 10 kV 配电线路“N-1”通过率 X_{331} 和提升 10 kV 配电线路联络率 X_{332} 等指标。 X_{332} 如式(10)所示, X_{331}

计算方式同 110 kV 相似。

$$X_{332} = \frac{L_1^{\text{contact-rate}} - L_0^{\text{contact-rate}}}{\text{INT}_2^{10} + \text{INT}_5^{10} + \text{INT}_6^{10}} \times 100\% \quad (10)$$

式中: $L_1^{\text{contact-rate}}$ 和 $L_0^{\text{contact-rate}}$ 分别为当年和上一年 10 kV 配电线路联络率。

单位投资电网结构提升贡献评价指标说明如表 3 所示。

表 3 单位投资电网结构提升贡献指标

分指标	子指标	含 义	单 位
X_{31}	X_{311}	每百万元相关投资提升的 110 kV 主变压器“N-1”通过率	1/百万元
	X_{312}	每百万元相关投资提升的 110 kV 线路“N-1”通过率	1/百万元
X_{32}	X_{321}	每百万元相关投资提升的 35 kV 主变压器“N-1”通过率	1/百万元
	X_{322}	每百万元相关投资提升的 35 kV 线路“N-1”通过率	1/百万元
X_{33}	X_{331}	每百万元相关投资提升的 10 kV 配电线路“N-1”通过率	1/百万元
	X_{332}	每百万元相关投资提升的 10 kV 配电线路联络率	1/百万元

2.4 单位投资装备水平提升贡献

1) 单位投资 110 kV 装备水平提升

单位投资 110 kV 装备水平提升 X_{41} 包括提升 110 kV 线路截面标准化率 X_{411} 、提升 110 kV 主变压器容量标准化率 X_{412} 、提升 110 kV 有载调压变压器占比 X_{413} 、新增 110 kV 线路长度 X_{414} 和新增 110 kV 变电容量 X_{415} 等指标。

$$X_{411} = \frac{L_1^{\text{section}} - L_0^{\text{section}}}{\text{INT}_2^{110} + \text{INT}_5^{110}} \times 100\% \quad (11)$$

$$X_{412} = \frac{T_1^{\text{capacity}} - T_0^{\text{capacity}}}{\text{INT}_2^{110} + \text{INT}_5^{110}} \times 100\% \quad (12)$$

$$X_{413} = \frac{T_1^{\text{pressure}} - T_0^{\text{pressure}}}{\text{INT}_2^{110} + \text{INT}_5^{110}} \times 100\% \quad (13)$$

$$X_{414} = \frac{L^{\text{new-110}}}{L^{\text{investment-110}}} \times 100\% \quad (14)$$

$$X_{415} = \frac{T^{\text{new-110}}}{T^{\text{investment-110}}} \times 100\% \quad (15)$$

式中: L_1^{section} 和 L_0^{section} 分别为当年和上一年 110 kV 线路截面标准化率; T_1^{capacity} 和 T_0^{capacity} 分别为当年和上一年 110 kV 主变压器容量标准化率; T_1^{pressure} 和

T_0^{pressure} 分别为当年和上一年 110 kV 有载调压变压器占比; $L^{\text{new-110}}$ 和 $L^{\text{investment-110}}$ 分别为新增 110 kV 线路长度和 110 kV 线路投资; $T^{\text{new-110}}$ 和 $T^{\text{investment-110}}$ 分别为新增 110 kV 变电容量和 110 kV 变电投资。

2) 单位投资 35 kV 装备水平提升

单位投资 35 kV 装备水平提升 X_{42} 包括提升 35 kV 线路截面标准化率 X_{421} 、提升 35 kV 主变压器容量标准化率 X_{422} 、提升 35 kV 有载调压变压器占比 X_{423} 、新增 35 kV 线路长度 X_{424} 和新增 35 kV 变电容量 X_{425} 等指标, 计算方式同 110 kV 相似。

3) 单位投资 10 kV 及以下装备水平提升

单位投资 10 kV 及以下装备水平提升 X_{43} 包括提升 10 kV 线路截面标准化率 X_{431} 、提升 10 kV 配电变压器容量标准化率 X_{432} 、提升 10 kV 架空线路绝缘化率 X_{433} 、提升节能型配电变压器占比 X_{434} 、新增 10 kV 线路长度 X_{435} 和新增 10 kV 变电容量 X_{436} 等指标。 X_{433} 如式 (16) 所示, 其他指标计算方式同 110 kV 相似。

$$X_{433} = \frac{L_1^{\text{insulation-10}} - L_0^{\text{insulation-10}}}{\text{INT}_2^{10} + \text{INT}_5^{10}} \times 100\% \quad (16)$$

式中, $L_1^{\text{insulation-10}}$ 和 $L_0^{\text{insulation-10}}$ 分别为当年和上一年 10 kV 架空线路绝缘化率。

单位投资装备水平提升贡献评价指标说明如表 4 所示。

2.5 单位投资电网智能化水平提升贡献

1) 单位投资变电站智能化水平提升

单位投资变电站智能化水平提升 X_{51} 包括提升 110 kV 智能变电站占比 X_{511} 和提升 35 kV 变电站光纤覆盖率 X_{512} 等指标。

$$X_{511} = \frac{S_1^{\text{intelligent-110}} - S_0^{\text{intelligent-110}}}{\text{INT}_3^{110} + \text{INT}_7^{110}} \times 100\% \quad (17)$$

$$X_{512} = \frac{F_1^{\text{coverage-35}} - F_0^{\text{coverage-35}}}{\text{INT}_3^{35} + \text{INT}_7^{35}} \times 100\% \quad (18)$$

式中: $S_1^{\text{intelligent-110}}$ 和 $S_0^{\text{intelligent-110}}$ 分别为当年和上一年 110 kV 智能变电站占比; $F_1^{\text{coverage-35}}$ 和 $F_0^{\text{coverage-35}}$ 分别为当年和上一年 35 kV 变电站光纤覆盖率; INT_7^{110} 为 110 kV 智能化投资。

2) 单位投资配电自动化水平提升

单位投资配电自动化水平提升 X_{52} 包括提升配电自动化覆盖率 X_{521} 、提升终端光纤覆盖率 X_{522} 和提升“三遥”终端占比 X_{523} 等指标。

表 4 单位投资装备水平提升贡献指标

分指标	子指标	含 义	单 位
X_{41}	X_{411}	每百万元相关投资提升的 110 kV 线路截面标准化率	1/百万元
	X_{412}	每百万元相关投资提升的 110 kV 主变压器容量标准化率	1/百万元
	X_{413}	每百万元相关投资提升的 110 kV 有载调压变压器占比	1/百万元
	X_{414}	每万元相关投资新增的 110 kV 线路长度	km/百万元
	X_{415}	每万元相关投资新增的 110 kV 变电容量	MW/百万元
X_{42}	X_{421}	每百万元相关投资提升的 35 kV 线路截面标准化率	1/百万元
	X_{422}	每百万元相关投资提升的 35 kV 主变压器容量标准化率	1/百万元
	X_{423}	每百万元相关投资提升的 35 kV 有载调压变压器占比	1/百万元
X_{43}	X_{424}	每万元相关投资新增的 35 kV 线路长度	km/百万元
	X_{425}	每万元相关投资新增的 35 kV 变电容量	MW/百万元
	X_{431}	每百万元相关投资提升的 10 kV 线路截面标准化率	1/百万元
X_{43}	X_{432}	每百万元相关投资提升的 10 kV 配变变压器容量标准化率	1/百万元
	X_{433}	每百万元相关投资提升的 10 kV 架空线路绝缘化率	1/百万元
	X_{434}	每百万元相关投资提升的节能型配电变压器占比	1/百万元
	X_{435}	每百万元相关投资新增的 10 kV 线路长度	km/百万元
	X_{436}	每百万元相关投资新增的 10 kV 变电容量	MW/百万元

$$X_{521} = \frac{A_1^{\text{coverage}} - A_0^{\text{coverage}}}{\text{INT}_3^{10} + \text{INT}_7^{10}} \times 100\% \quad (19)$$

$$X_{522} = \frac{F_1^{\text{coverage}} - F_0^{\text{coverage}}}{\text{INT}_7^{10}} \times 100\% \quad (20)$$

$$X_{523} = \frac{T_1^{\text{remote}} - T_0^{\text{remote}}}{\text{INT}_7^{10}} \times 100\% \quad (21)$$

式中： A_1^{coverage} 和 A_0^{coverage} 分别为当年和上一年配电自动化覆盖率； F_1^{coverage} 和 F_0^{coverage} 分别为当年和上一年终端光纤覆盖率； T_1^{remote} 和 T_0^{remote} 分别为当年和上一年“三遥”终端占比。

3) 单位投资用户互动化水平提升

单位投资用户互动化水平提升 X_{53} 包括提升

配变信息采集率 X_{531} 和提升智能电表覆盖率 X_{532} 等指标。

$$X_{531} = \frac{I_1^{\text{acquisition}} - I_0^{\text{acquisition}}}{\text{INT}_7^{10}} \times 100\% \quad (22)$$

$$X_{532} = \frac{M_1^{\text{coverage}} - M_0^{\text{coverage}}}{\text{INT}_7^{10}} \times 100\% \quad (23)$$

式中： $I_1^{\text{acquisition}}$ 和 $I_0^{\text{acquisition}}$ 分别为当年和上一年配变信息采集率； M_1^{coverage} 和 M_0^{coverage} 分别为当年和上一年智能电表覆盖率。

4) 单位投资环境友好水平提升

单位投资环境友好水平提升 X_{54} 包括接入分布式电源容量 X_{541} 和接入电动汽车充换电站容量 X_{542} 等指标。

$$X_{541} = \frac{D^{\text{capacity}}}{D^{\text{investment}}} \quad (24)$$

$$X_{542} = \frac{V^{\text{capacity}}}{V^{\text{investment}}} \quad (25)$$

式中： D^{capacity} 和 $D^{\text{investment}}$ 分别为当年新接入分布式电源容量和 10 kV 及以下分布式电源接入投资； V^{capacity} 和 $V^{\text{investment}}$ 分别为当年新接入电动汽车充换电站容量和 10 kV 及以下新增负荷供电要求投资。

单位投资电网智能化水平提升贡献评价指标说明如表 5 所示。

表 5 单位投资电网智能化水平提升贡献指标

分指标	子指标	含 义	单 位
X_{51}	X_{511}	每百万元相关投资提升的 110 kV 智能变电站占比	1/百万元
	X_{512}	每百万元相关投资提升的 35 kV 变电站光纤覆盖率	1/百万元
X_{52}	X_{521}	每百万元相关投资提升的配电自动化覆盖率	1/百万元
	X_{522}	每百万元相关投资提升的终端光纤覆盖率	1/百万元
X_{53}	X_{523}	每百万元相关投资提升的“三遥”终端占比	1/百万元
	X_{531}	每百万元相关投资提升的配变信息采集率	1/百万元
X_{54}	X_{532}	每百万元相关投资提升的智能电表覆盖率	1/百万元
	X_{541}	每百万元相关投资接入的分布式电源容量	MW/百万元
	X_{542}	每百万元相关投资接入的电动汽车充换电站容量	MW/百万元

2.6 单位投资电网效率提升贡献

1) 单位投资 110 kV 电网设备利用率提升

单位投资 110 kV 电网设备利用率提升 X_{61} 包括提升 110 kV 线路负载率平均值 X_{611} 和提升 110 kV 主变压器负载率平均值 X_{612} 等指标。

$$X_{611} = \frac{L_1^{\text{load-rate}} - L_0^{\text{load-rate}}}{\text{INT}_8^{110}} \times 100\% \quad (26)$$

$$X_{612} = \frac{T_1^{\text{load-rate}} - T_0^{\text{load-rate}}}{\text{INT}_8^{110}} \times 100\% \quad (27)$$

式中： $L_1^{\text{load-rate}}$ 和 $L_0^{\text{load-rate}}$ 分别为当年和上一年 110 kV 线路负载率平均值； $T_1^{\text{load-rate}}$ 和 $T_0^{\text{load-rate}}$ 分别为当年和上一年 110 kV 主变压器负载率平均值； INT_8^{110} 为 110 kV 线路投资。

2) 单位投资 35 kV 电网设备利用率提升

单位投资 35 kV 电网设备利用率提升 X_{62} 包括提升 35 kV 线路负载率平均值 X_{621} 和提升 35 kV 主变压器负载率平均值 X_{622} 等指标，计算公式同 110 kV 相似。

3) 单位投资 10 kV 电网设备利用率提升

单位投资 10 kV 电网设备利用率提升 X_{63} 包括提升 10 kV 线路负载率平均值 X_{631} 和提升 10 kV 配电变压器负载率平均值 X_{632} 等指标，计算公式同 110 kV、35 kV 相似。

4) 单位投资电能损耗降低

单位投资电能损耗降低 X_{64} 包括降低 110 kV 及以下综合线损率 X_{641} 和降低 10 kV 及以下综合线损率 X_{642} 等指标。

$$X_{641} = \frac{L_0^{\text{line-loss-110}} - L_1^{\text{line-loss-110}}}{\text{INT}_2^{110} + \text{INT}_2^{35}} \times 100\% \quad (28)$$

$$X_{642} = \frac{L_0^{\text{line-loss-10}} - L_1^{\text{line-loss-10}}}{\text{INT}_2^{10}} \times 100\% \quad (29)$$

式中： $L_0^{\text{line-loss}}$ 和 $L_1^{\text{line-loss}}$ 分别为上一年和当年相关电压等级综合线损率。

5) 单位投资电网效益提升

单位投资电网效益提升 X_{65} 包括新增供电负荷 X_{651} 和新增售电量 X_{652} 等指标。

$$X_{651} = \frac{P_1^{\text{load}} - P_0^{\text{load}}}{\text{INT}_9^{110} + \text{INT}_9^{35} + \text{INT}_9^{10}} \quad (30)$$

$$X_{652} = \frac{E_1^{\text{sale}} - E_0^{\text{sale}}}{\text{INT}_9^{110} + \text{INT}_9^{35} + \text{INT}_9^{10}} \quad (31)$$

式中： P_1^{load} 和 P_0^{load} 分别为当年和上一年供电负荷；

E_1^{sale} 和 E_0^{sale} 分别为当年和上一年售电量； INT_9 为满足相关电压等级的新增负荷供电要求投资。

单位投资电网效率提升贡献评价指标说明如表 6 所示。

表 6 单位投资电网效率提升贡献指标

分指标	子指标	含 义	单 位
X_{61}	X_{611}	每百万元相关投资提升的 110 kV 线路负载率平均值	1/百万元
	X_{612}	每百万元相关投资提升的 110 kV 主变压器负载率平均值	1/百万元
X_{62}	X_{621}	每百万元相关投资提升的 35 kV 线路负载率平均值	1/百万元
	X_{622}	每百万元相关投资提升的 35 kV 主变压器负载率平均值	1/百万元
X_{63}	X_{631}	每百万元相关投资提升的 10 kV 线路负载率平均值	1/百万元
	X_{632}	每百万元相关投资提升的 10 kV 配电变压器负载率平均值	1/百万元
X_{64}	X_{641}	每百万元相关投资降低的 110 kV 及以下综合线损率	1/百万元
	X_{642}	每百万元相关投资降低的 10 kV 及以下综合线损率	1/百万元
X_{65}	X_{651}	每百万元相关投资增供负荷的多少	MW/百万元
	X_{652}	每百万元相关投资增售电量的多少	(MW·h)/百万元

2.7 单位投资电网运行水平提升贡献

1) 单位投资电网调度水平提升

单位投资电网调度水平提升 X_{71} 包括解决关键一次设备风险数 X_{711} 和解决关键二次设备风险数 X_{712} 等指标。

$$X_{711} = \frac{E_1^{\text{risk-rate}}}{\text{INT}_1 + \text{INT}_{10} + \text{INT}_2 + \text{INT}_4} \quad (32)$$

$$X_{712} = \frac{E_2^{\text{risk-rate}}}{\text{INT}_1 + \text{INT}_{10} + \text{INT}_2 + \text{INT}_4} \quad (33)$$

式中： $E_1^{\text{risk-rate}}$ 和 $E_2^{\text{risk-rate}}$ 分别为解决关键一次和二次设备风险数。

2) 单位投资电网运检水平提升

单位投资电网运检水平提升 X_{72} 包括提升生产运行工作标准化率 X_{721} 和提升应检设备检修率 X_{722} 等指标。

$$X_{721} = \frac{R_1^{\text{standard}} - R_0^{\text{standard}}}{\text{INT}_3 + \text{INT}_4} \quad (34)$$

$$X_{722} = \frac{E_1^{\text{inspection-rate}} - E_0^{\text{inspection-rate}}}{\text{INT}_3 + \text{INT}_4} \quad (35)$$

式中： R_1^{standard} 和 R_0^{standard} 分别为当年和上一年生产运行工作标准化率； $E_1^{\text{inspection-rate}}$ 和 $E_0^{\text{inspection-rate}}$ 分别当年和上一年应检设备检修率。

3) 单位投资客户服务水平提升

单位投资客户服务水平提升 X_{73} 包括提升故障报修到达现场及时率 X_{731} 。

$$X_{731} = \frac{R_1^{\text{malfunction}} - R_0^{\text{malfunction}}}{\text{INT}_3 + \text{INT}_4} \quad (36)$$

式中， $R_1^{\text{malfunction}}$ 和 $R_0^{\text{malfunction}}$ 分别为当年和上一年单位投资提升故障报修到达现场及时率。

单位投资电网运行水平提升贡献评价指标说明如表 7 所示。

表 7 单位投资电网运行水平提升贡献指标

分指标	子指标	含 义	单 位
X_{71}	X_{711}	每百万元相关投资解决的关键一次设备风险次数	次/百万元
	X_{712}	每百万元相关投资减少的关键二次设备风险次数	次/百万元
X_{72}	X_{721}	每百万元相关投资提升的生产运行工作标准化率	1/百万元
	X_{722}	每百万元相关投资提升的应检设备检修率	1/百万元
X_{73}	X_{731}	每百万元相关投资提升的故障报修到达现场及时率	1/百万元

3 结 语

为实现电网企业资源优化配置能力提升和国有资产保值增值,明确企业未来的配电网投资方向和管理重点,设计了基于关联关系的配电网投入产出效益评价体系。基于投入产出基础理论,按照不同电压等级及不同评价效用,梳理配电网相关投入指标和产出指标,并对两者之间的关系进行对应,构建了配电网投入产出效益综合评价指标体系。

配电网投入产出效益综合评价指标体系综合考虑配电网投入类指标与产出类指标之间的对应关系,不仅体现出配电网整体的投入产出效益,而且能

够就某一局部电网、某一电压等级的投入产出效益进行评估,兼具整体性和针对性,以便更加有效地指导电网企业电力资源的优化配置,发现经营管理中的薄弱环节,进行配电网投入产出相关的模拟预测高级分析,促进电网投资效益产出最大化。

参考文献

- [1] 周鹏程,吴南南,曾鸣.考虑投入产出关联关系的配网效益评价研究[J].山东电力技术,2017,44(12):1-5.
- [2] 王喆,归三荣,李扬,等.电改新形势下配电网规划不确定因素分析[J].电力系统及其自动化学报,2017,29(4):110-114.
- [3] 沈红宇,陈晋,归三荣,等.新一轮电力改革对电网企业配电网规划的影响与对策[J].电力建设,2016,37(3):47-51.
- [4] 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):134-137.
- [5] 韩柳,李金超,胡殿刚,等.基于超效率 DEA 模型的配电网智能化发展综合效率评价[J].电力系统保护与控制,2016,44(22):102-107.
- [6] Konstantelos I, Giannelos S, Strbac G. Strategic Valuation of Smart Grid Technology Options in Distribution Networks[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2017, 32(2):1293-1303.
- [7] 曾鸣,钟琼雄,李源非.基于系统动力学的电网可靠性指标影响因素分析[J].电力建设,2015,36(12):123-130.
- [8] Han X, Zhang H, Yu X, et al. Economic Evaluation of Grid-connected Micro-grid System with Photovoltaic and Energy Storage under Different Investment and Financing Models[J]. Applied Energy, 2016, 184: 103-118.
- [9] 王宗耀,苏浩益.配网自动化系统可靠性成本效益分析[J].电力系统保护与控制,2014,42(6):98-103.

作者简介:

周鹏程(1991),硕士研究生,主要研究能源互联网;

吴南南(1994),硕士研究生,主要研究电力工业经济管理;

王晟嫣(1995),硕士研究生,主要研究技术经济及管理;

曾鸣(1957),教授,博士生导师,主要研究综合能源系统。

(收稿日期:2019-02-13)