

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2020.213

考虑公司经营情况和全网现状的高压 配电网工程精细化事前评估方法

张林¹, 王浩², 邓强³, 向菲⁴, 黄刚², 陆正媚², 颜伟²

(1. 国网重庆市电力公司, 重庆 400014; 2. 重庆大学输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400044;
3. 国网重庆市电力公司垫江供电分公司, 重庆 408300; 4. 国网重庆市电力公司电力科学研究院, 重庆 401123)

摘要: 现有高压配电网工程的事前评估方法没有考虑供电公司的投资能力和公司下属高压配电网技术经济整体水平, 容易给供电公司带来较大的投资风险和“重复投资”问题。此外, 现有评估方法通常基于单一负荷水平的电网状态对工程所改造的局部电网进行评估, 没有考虑电网时序状态的变化, 难以从全年角度反映电网的技术经济水平。为此, 文中首先对供电公司的经营情况和下辖高压配电网全网现状进行评估, 然后对工程涉及的局部电网改造前后的全年 8 760 h 的时序运行状态进行精细化模拟, 并建立了精细化评估指标进行评估。算例表明, 该方法评估结果能够体现公司经营情况和全网现状的影响, 能够从全年角度反映工程对局部电网的提升效果。

关键词: 经营情况; 全网现状; 时序模拟; 模糊评估

中图分类号: TM727.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-582X(2021)05-068-10

Precision pre-evaluation method for high-voltage distribution network project considering business status and overall situation of the whole network

ZHANG Lin¹, WANG Hao², DENG Qiang³, XIANG Fei⁴, HUANG Gang², LU Zhengmei², YAN Wei²

(1. State Grid Chongqing Electric Power Company, Chongqing 400014, P. R. China; 2. State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China; 3. State Grid Chongqing Electric Power Company Dianjiang Power Supply Branch, Chongqing 408300, P. R. China; 4. State Grid Chongqing Electric Power Research Institute, Chongqing 401123, P. R. China)

Abstract: Existing pre-evaluation methods for high-voltage distribution network project do not consider the power supply company's investment ability and the overall techno-economic status of the whole high-voltage distribution network, which may cause great investment risk and "repetitive investment". Moreover, these methods evaluate the local network influenced by the project based on a single rather than sequential load status, which cannot reflect the local network's condition from the perspective of the whole year. Therefore, the proposed method firstly evaluates the company's business status(CBS) and the overall situation of the whole network(OSWN). Then the whole year's sequential operation state of the local

收稿日期: 2019-04-24 网络出版日期: 2019-09-27

作者简介: 张林(1983—), 女, 高级经济师, 主要从事企业经营管理、大数据挖掘研究, (E-mail)16563626@qq.com。

通讯作者: 王浩, 男, 硕士研究生, 主要从事电网改造项目评估研究, (E-mail)wh1995email@foxmail.com。

network is simulated and evaluated. The simulation results show that the method can reflect the influence of CBS, the OSWN and the project's improvement effect from the perspective of the whole year.

Keywords: business status; overall situation of the whole network; sequential simulation; fuzzy evaluation

电网改造工程实施前,省网公司通常需要对不同地市供电单位的多个不同电网改造工程方案进行事前评估,以便确定技术经济效果最优的工程方案和合适的地市供电公司作为最终的投资主体^[1-2]。不同供电公司的经营状况不同,其投资能力及其所能够承受的投资风险也有所不同。原则上,供电公司自身的经营状况越好,其投资能力和抗风险能力越强,越应优先批准该公司的改造工程。此外,供电公司所管辖的高压配电网整体的技术经济水平也是影响投资决策的一个重要因素,如果公司管辖的高压配电网的整体技术经济水平现状不够理想,则进行改造的必要性就越高。虽然一个改造工程可能难以对全网的现状有根本性的改变,但这种考虑全网现状的评估方式能够从全局把握改造工程的方向,避免改造工程立项决策时忽略电网的薄弱环节,或对已经较好的电网“重复建设”。此外,对于工程涉及的局部电网而言,基于单一负荷水平(通常是最大负荷水平)难以实现对可靠性、经济性和电压质量的精确评估^[3]。

现有评估方法^[4-6]大都从供电能力、电压质量、可靠性、运行经济性等方面对局部电网进行全面系统的评价,但没有考虑公司经营情况和全网现状。此外,现有评估方法通常基于单一负荷水平下的运行状态计算评估指标,不能以年为单位全面反映电网的技术经济水平。电网状态的时序模拟方法作为一项已经较为成熟的技术,已经应用在电网规划^[7-8]、电网运行效率评估^[9-10]等与电网改造工程评估相近的诸多领域,若将该方法引入工程评估领域,能够显著提高改造工程评估的精细化水平。

针对高压配电网工程评估的现实需要和现有研究中存在的问题,基于层次分析法^[11-13]研究并建立了考虑公司经营情况和全网现状的综合评估指标体系,并且在对局部电网时序状态进行精细化模拟^[7-8]的基础上,通过建立局部电网的精细化的评估指标,对局部电网的技术经济水平进行精细化评估,能够帮助决策人员进行改造工程的立项决策。

1 高压配电网工程事前评估指标体系概述

层次分析法是一个将总目标逐渐化解的过程,能够有效指导运筹决策。笔者采用层次分析法建立高压配电网工程的综合评估指标体系,其层次结构如表1所示。基于层次分析法建立的指标体系分为3层,其中顶层为目标层,中间层为准则层,底层为指标层。目标层为需要评估的3个主要的目标,即工程所属供电公司的经营状况、全网现状和工程涉及的局部电网的技术经济水平。准则层则是对目标的进一步细化,即3种评估对象分别要考虑的因素。

公司的经营状况主要从公司的收益情况、负债情况及经营效率3个方面,反映公司的投资能力和抗风险能力。

全网现状和局部电网的技术经济水平均从供电能力、电压质量、可靠性和运行经济性这4个方面进行评估。指标层中底层指标的差异则反映了两者的范围不同,前者是评估公司下辖高压配电网的整体技术经济水平,而后者是评估改造工程涉及的局部电网的技术经济水平。

表1 高压配电网改造工程综合评估指标体系

Table 1 Comprehensive evaluation index system of high voltage distribution network reconstruction project

目标层	准则层	指标层
公司经营情况	收益情况	利润率 营业收入增长率
	风险情况	资产负债率
	经营效率	总资产周转率

续表 1

全网现状	供电能力	主变重过载比例
	电压质量	电压合格率
	可靠性	主变故障停运率 全网 N-1 通过率 主变老旧比例 开关无油化率
	运行经济性	地区高压配电网统计线损率
局部电网的技术经济水平	供电能力	主变最大负载率 线路最大负载率 主变负载率过高台次率 线路负载率过高条次率
	电压质量	年电压合格点次率 年低电压合格率小时数
	可靠性	最大负荷水平下主变 N-1 通过率 最大负荷水平下线路 N-1 通过率 主变年度 N-1 通过率 线路年度 N-1 通过率
	运行经济性	年度理论线损率 高线损率天数 投资回收期

2 供电公司经营状况和全网现状评估指标

2.1 公司经营状况评估指标

公司经营状况考虑公司在生产经营过程中的收益情况、负债情况和经营效率。

公司的收益情况体现了公司的盈利能力,公司盈利能力越强,进行工程投资的财力就越强。研究考虑的公司收益情况的指标包括利润率和营业收入增长率。其中,利润率直接反映了公司当年的盈利情况,年利润增长率为本年度相对上一年度利润的增长情况,反映了公司收益增长的能力。

公司的负债情况反映了公司经营的潜在风险,一般而言,负债率过高会导致公司偿还债务的压力较大,占用公司的大量资金导致对改造工程的投資能力减弱。笔者采用资产负债率衡量公司的负债情况,资产负债率为负债总额占公司资产总额的比率,反映了公司总资产中债务的规模。

公司经营效率是公司利用自身已有资本创造价值的效率,反映了公司能否充分利用自身资源创造更多价值。公司经营效率越高,说明公司管理水平越高,投入相同的改造工程资金能够获得的收益更多。文中采用总资产周转率来衡量公司的经营效率,总资产周转率为年度营业收入总额与资产总额的比例,总资产周转率越高,公司利用自身资产获得营业收入的能力越强。

2.2 全网现状评估指标

全网现状是供电公司下辖高压配电网的整体技术经济水平现状。从供电能力、电压质量、可靠性、运行经济性这四个方面评估供电公司高压配电网的整体水平。这 4 个方面是当前省网公司对地区供电公司全网现状进行考核的主要方面,也是决策者确定改造工程时最为关注的几个方面。

3 局部电网精细化评估指标

改造工程所涉及的局部电网最能体现工程对电网技术经济水平的提升效果,一直都是对电网改造工程进行评估的重点。借鉴文献[8]的思路,对局部电网的时序状态进行精细化模拟,在此基础上重新设置并计算局部电网的评估指标,实现局部电网的精细化评估。文中方法可以评估传统方法难以评估的年度理论线损率、年低电压合格率小时数等体现“时间累积效应”的指标,帮助决策者获得更全面准确的决策参考信息。

3.1 供电能力

以主变(线路)的最大负载率以及主变(线路)负载率过高台(条)次率作为反映局部电网供电能力的具体指标。其中,主变和线路的最大负载率是反映极端情况下设备的供电能力,而主变(线路)负载率过高台(条)次率则综合反映了全年设备处于负载率过高的状态的数量和时间。

主变最大负载率 R_{LT} 是各个变电站主变在全年 8 760 h 内的最大负载率,其计算公式为

$$R_{LT} = \max \left\{ \frac{\sqrt{P_{Li,t}^2 + Q_{Li,t}^2}}{S_{N,i}} \right\}, \quad (1)$$

式中: $i=1,2,\dots,n$, 对应于网络中的 n 台变压器; $t=1,2,\dots,8\,760$, 表示一年中 8 760 个时刻下不同的负荷状态; $S_{N,i}$ 表示第 i 台主变的额定容量; $P_{Li,t}$ 和 $Q_{Li,t}$ 分别为第 i 台主变在 t 时刻的有功和无功负荷。

线路最大负载率 R_{LL} 是各条线路在全年 8 760 h 内的最大负载率,其计算公式为

$$R_{LL} = \max \left\{ \frac{I_{Li,t}}{I_{i,max}} \right\}, \quad (2)$$

式中: $i=1,2,\dots,n$, 对应于网络中的 n 条线路; $t=1,2,\dots,8\,760$, 表示一年中 8 760 个时刻下不同的负荷状态; $I_{i,max}$ 表示第 i 条线路的额定载流量; $I_{Li,t}$ 为第 i 台主变在 t 时刻的传输的电流。

主变负载率过高台次率 $R_{HL,Nt}$ 是一年中每台主变处于负载率过高状态下的小时数的总和占总主变数与全年总时刻数乘积的比例,其计算公式为

$$R_{HL,Nt} = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{8\,760N}, \quad (3)$$

式中: N 为局部电网中主变的台数; T_i 为第 i 台主变在 8 760 h 内处于负载率过高状态的小时数。

类似可得线路负载率过高条次率,限于篇幅,这里不再赘述。

3.2 电压质量

文中提出年电压合格点次率和年低电压合格率小时数两个指标来反映局部电网的电压质量。基于单一负荷水平只能评估一个断面的电压合格率,没有充分考虑全年电压状态的信息。这 2 个指标都是以电压合格率(VPR, voltage passed rate)为基础衍生出的指标,但相比事前评估中常用的单一断面的电压合格率而言,考虑了全年的电压状态,能够跟踪全年所有时刻的电压质量变化,从时间和空间两个角度得到更为准确的评估结果。

年电压合格点次率 $R_{VP,Nt}$ 是一年中每个节点处于电压不合格状态下的小时数的总和占总节点数与全年总时刻数的乘积的比例,其计算公式为

$$R_{VP,Nt} = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{8\,760N}, \quad (4)$$

式中: N 为局部电网总节点数; T_i 为第 i 个节点在 8 760 h 内电压不合格的小时数。年电压合格点次率反映了局部电网的所有节点在全年的不合格整体情况,即有多少个节点在多少小时内电压不合格。

年低电压合格率小时数 T_{LVPR} 是全年中单一断面电压合格率不满足规程要求的小时数,其计算公式为

$$T_{LVPR} = \sum_{t=1}^{8\,760} \text{if} \left(\frac{n_{vp,t}}{N} < \epsilon_{VPR} \right), \quad (5)$$

式中: $n_{vp,t}$ 为第 t 个时刻电压合格的节点数; N 为局部电网总节点数; ϵ_{VPR} 为规程所规定的电压合格率的

限。该指标在年电压合格点次率的基础上,重点关注了电压合格率较低的断面。年低电压合格率小时数越大,一年中就有越多的时刻存在低电压问题,电压质量越差。

3.3 供电可靠性

$N-1$ 通过率是衡量电力系统可靠性的重要指标,现有研究通常以最大负荷水平下的系统运行状态来进行 $N-1$ 校验。通常情况下,在系统整体负荷达到最大时 $N-1$ 通过,即表示在全年各种运行状态下也能保证校验通过。但当局部电网整体负荷未达到最大而某一部分的负荷较大时, $N-1$ 校验也有可能不通过,仅通过单一负荷水平可能会忽视这种情况下的系统可靠性。笔者在保留传统的最大负荷水平下的 $N-1$ 通过率指标的同时,以全年 8 760 h 的负荷条件为基础,分析所有负荷水平下系统 $N-1$ 通过的情况,定义了主变(线路)年度 $N-1$ 通过率 $R_{m1,Nt}$,对传统的 $N-1$ 通过率指标加以补充。其含义是局部电网中无法通过 $N-1$ 校验的主变(线路)的数量及对应的时刻数占总主变(线路)数和全年总时刻数乘积的比例,其计算公式为

$$R_{m1,Nt} = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{8\ 760N}, \quad (6)$$

式中: N 为局部电网主变(线路)总数; T_i 为第 i 个主变(线路)在 8 760 h 内 $N-1$ 校验通过的小时数。主变(线路)年度 $N-1$ 通过率反映了局部电网中的主变(线路)在全年 8 760 h 的不同负荷水平下通过 $N-1$ 校验的比例。

3.4 运行经济性

通过年度理论线损率、高线损率天数和改造工程投资回收期来反映局部电网的运行经济性。

在线损电量的计算中,由于状态模拟中只能得到局部电网各个小时的潮流状态,不能得到一段时间内的电量,因此,在计算年度理论线损率、高线损率天数以及投资回收期这 3 个涉及到电量计算的指标时,均以每个整点时刻的功率值近似代表该小时内的电量,如某一时刻负荷的功率为 1 kW,则该小时内负荷消耗的电量近似为 1 kWh。

例如,年度理论线损率是一年内线损电量占供电总量的百分比,其计算公式为

$$\Delta W_Y \% \approx \frac{\sum_{t=1}^{8\ 760} \Delta P_t}{\sum_{t=1}^{8\ 760} P_{s,t}}, \quad (7)$$

式中: ΔP_t 为第 t 个小时局部电网的总有功线损功率; $P_{s,t}$ 为第 t 个小时电源的总供电功率。

4 模糊综合评估模型

基于模糊综合评估法构建模糊综合评估模型,该模型包括不同指标的模糊隶属度函数的确定和权重的确定,再结合不同指标的具体值,方可得出改造工程综合评估的最终结果。

4.1 指标的模糊隶属度函数

采用单调型和梯形两种隶属度函数,并参考相关的技术规范^[14-16]为不同指标合理设置参数,对指标进行归一化评分。2 种隶属度函数及其参数如下。

4.1.1 单调型隶属度函数

单调型隶属度函数反映指标的优劣随着指标值的增大或减小而呈现单调变化的规律,单调递增型隶属度函数表达式为

$$y = \begin{cases} 0, & x < L, \\ \frac{1}{U-L}x, & L \leq x \leq U, \\ 1, & x > U, \end{cases} \quad (8)$$

式中: y 为隶属度; x 为指标的计算值; U 、 L 为隶属度函数的参数。

单调递减型隶属度函数表达式为

$$y = \begin{cases} 1, & x < L, \\ \frac{1}{U-L}x, & L \leq x \leq U, \\ 0, & x > U. \end{cases} \quad (9)$$

4.1.2 梯形隶属度函数

部分指标是在某一个区间内达到最优,而不是在最大或最小这两种极端情况下达到最优。针对此类指标,采用梯形隶属度函数进行评分,其函数表达式为

$$y = \begin{cases} 0, & x < Z_1 \text{ 或 } x > Z_2, \\ \frac{1}{L-Z_1}x, & Z_1 \leq x < L, \\ 1, & L \leq x < U, \\ \frac{1}{U-Z_2}x, & U \leq x < Z_2, \end{cases} \quad (10)$$

式中: y 为隶属度; x 为指标的计算值; Z_1 、 L 、 U 、 Z_2 为隶属度函数的参数,且 $Z_1 < L < U < Z_2$ 。

值得注意的是,由于“全网现状越差,实施改造工程的优先级越高”,因此在确定全网现状指标的模糊隶属度函数时,也应该遵循“全网现状越差,指标得分越高”的原则,即“反向评分”原则。

此外,针对局部电网的技术经济水平的评估问题,决策者最终需要评估改造工程对具体指标的提升效果,而不仅仅是改造前或改造后某一年指标的评分。因此,采用文献[2]的方法,首先根据相关技术规范确定判断指标优劣的隶属度函数,然后根据指标的改善程度占相应指标在隶属度函数中可提升空间的百分比评估改造前后指标的提升效果。如某个采用单调递增型隶属度函数评估优劣的指标,其理想值为 U ,而其改造前指标为 x_1 ,改造后为 x_2 ,且 $x_1 < x_2 < U$,则指标最终的提升效果为

$$\Delta x \% = \frac{x_2 - x_1}{U - x_1} \times 100\%。 \quad (11)$$

4.2 指标体系的权重设置与调整方法

首先基于专家经验确定初始权重,并基于文献[17]的权重调整方法,根据全网现状的供电能力、电压质量、可靠性、运行经济性的评分高低来调整局部电网评估中这4个准则层指标的权重。这种方法能够突出薄弱环节,即增大现状较薄弱指标的权重,同时降低现状较好指标的权重,从需求方向上指导改造工程的实施方向。在实际工程中,根据对上述4个全网现状指标评分结果,选中2个较差的指标作为薄弱指标,另外2个为非薄弱指标,然后按照式(2)进行权重调整。

$$\begin{cases} w_i = w_{i0} + w_{i0} \left(1 - \sum_{k \in A} w_{k0}\right), i \in A, \\ w_j = w_{j0} - w_{j0} \left(1 - \sum_{k \in B} w_{k0}\right), j \in B, \end{cases} \quad (12)$$

式中: A 为薄弱指标集合; B 为非薄弱指标集合; w_i 、 w_j 为各个指标调整后的权重; w_{i0} 、 w_{j0} 为各个指标调整前的原始权重。

5 算例仿真

以重庆市某供电公司的一个高压配电网改造工程的事前评估为例,对文中方法进行算例仿真。该工程对辖区内 110 kV * 桥站#1 主变(7型高损耗变压器)更换为 9 型节能型变压器,且该 9 型变压器为利旧所得,仅需投入运输、安装和人力等成本,投资额仅 69 万元。改造工程所涉及的局部电网如图 1 所示。

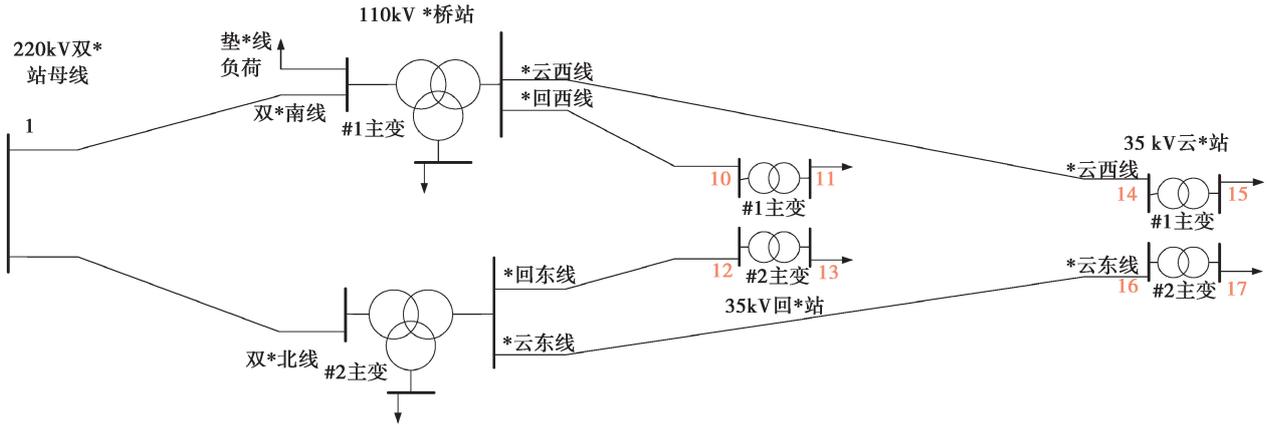


图 1 改造工程所影响的局部电网

Fig. 1 The local network influenced by the reconstruction project

5.1 算例 1: 局部电网精细化评估的必要性

基于时序状态模拟来评估局部电网的技术经济水平,本算例通过将文中方法与基于单一负荷水平的评估结果对比,分析在局部电网中进行精细化评估的必要性。表 2 给出了文中方法和基于最大负荷水平 2 种方法评估结果的差异。

表 2 文中方法与基于最大负荷状态下得到的评估结果对比

Table 2 Comparisons between the proposed method and the method based on the maximum load level

指标	基于时序状态的评估(文中方法)			基于最大负荷水平的评估			评分差异
	改造前	改造后	提升效果评分	改造前	改造后	提升效果评分	
主变最大负载率	0.577 6	0.577 6	0	0.5426	0.5426	0	0
线路最大负载率	0.567 4	0.567 4	0	0.5674	0.5674	0	0
主变负载率过高小时数	0	0	0	无法评估	无法评估	无法评估	无法比较
线路负载率过高小时数	0	0	0	无法评估	无法评估	无法评估	无法比较
电压合格率	99.96%(全年)	99.96%(全年)	0	100% (一个时刻)	100% (一个时刻)	0	0
年低电压合格率持续时间	11	8	0.272 7	无法评估	无法评估	无法评估	无法比较
主变年度 N-1 通过率	100%	100%	0	无法评估	无法评估	无法评估	无法比较
线路年度 N-1 通过率	100%	100%	0	无法评估	无法评估	无法评估	无法比较
理论线损率	3.40% (全年)	3.14% (全年)	0.108 3	5.35% (一个时刻)	5.14% (一个时刻)	0.0483	55.4%
高线损率持续天数	0	0	0	无法评估	无法评估	无法评估	无法比较

由表2可见,基于最大负荷状态的评估方法所能够评估的指标数量明显少于文中方法,基于单一负荷水平难以从全年运行状态变化的角度反映局部电网的技术经济水平。例如,2种方法得到的理论线损率的评估结果有较为明显的差异,评分差异达55.4%,说明基于单一负荷水平无法准确评估经济性指标。总体而言,基于时序状态模拟的评估结果优于基于单一负荷水平得到的评估结果。

5.2 算例2:考虑公司经营情况和全网现状的必要性

本算例通过对比考虑经营情况及全网现状和只考虑局部电网的技术经济水平这2种评估结果的差异,说明考虑公司经营情况和全网现状的必要性。

公司经营情况和全网现状指标的具体数值及根据隶属度函数得到的评分结果如表3所示,其中,全网现状指标结果是按照4.1节提到的“反向评分”原则得到的,局部电网的技术经济提升效果如表2左栏所示。

本工程的投资效益主要体现在降损收益,根据状态模拟的结果,该工程全年可减少网损电量329.9 MWh,按照国家能源局统计的改造前一年(2015年)重庆市的平均上网电价433.32元/MWh^[18]测算,投资回收期约为5 a。

表3 公司经营情况和全网现状指标评估结果
Table 3 The evaluation result of the CBS and the OSWN

	底层指标	指标值/%	评分
公司 经营 状况	利润率	4	0.4
	营业收入增长率	-2.83	0
	资产负债率	100	0
	总资产周转率	94	1
全网 现状	主变重过载比例	2.38	0.238
	高压配电网综合电压合格率	99.9	0
	主变故障停运率	0	0
	全网 N-1 通过率	100	0
	主变老旧比例	7.5	0.375
	开关无油化率	98	0.014
	高压配电网统计线损率	5	0.533 3

在表2和表3所计算的具体指标评分结果的基础上,根据权重的设置和调整结果,综合计算得到改造工程的综合评分结果如表4所示。

表4 综合评分结果
Table 4 The result of comprehensive evaluation

方法	综合评分
文中方法	0.163 4
只考虑局部	0.121 0
评分差异/%	35.05

由此可见,公司的经营情况与全网现状对改造工程的评估起着不容忽视的影响,评分差异达到35.05%。在本算例中,由于该供电公司的经营状态不佳,具体反映为高负债率、低利润率、营业收入不增反降等,这些因素说明该公司开展改造工程可能带来一定的风险,文中方法能够通过评分高低体现这种风险,从而能够帮

助决策人员合理决策。因此,有必要在评估中考虑公司经营状况和全网现状。

6 结 论

针对高压配电网改造工程的评估问题,文中方法通过考虑公司经营状况、全网现状和局部电网的技术经济水平,构建了较为全面的评估指标体系,同时基于电网时序状态的精细化模拟结果,建立局部电网的精细化评估指标,对局部电网的技术经济水平进行精细化评估。这种方法能够弥补基于单一负荷水平评估的局限性,实现对年度理论线损率、年度 $N-1$ 通过率等经济性和可靠性指标的准确全面的评估。算例结果表明,文中方法可以从综合评分结果的高低上反映出公司经营状况和全网现状的影响,同时能够基于全年 8 760 h 的电网状态模拟结果对局部电网进行精细化评估,效果优于传统方法。

当省网公司需要从不同供电公司的多个改造工程方案中进行选择决策时,文中方法可以全面评估每个工程的投资效益和风险,并给出综合评分。决策人员可以根据评分的高低对不同供电公司的改造工程进行优先级排序,以便选择效益最优、风险最低的改造工程进行立项。方法具有可操作性,有利于提升供电公司决策的科学化、标准化水平。

参考文献:

- [1] 马倩, 王博, 胡蔚, 等. 配电网建设与改造项目评价及决策优化研究[J]. 电网与清洁能源, 2015, 31(3): 11-17.
Ma Q, Wang B, Hu W, et al. Study on evaluation and decision optimization of distribution network construction and innovation reconstruction projects[J]. Power System and Clean Energy, 2015, 31(3): 11-17.(in Chinese)
- [2] 俞玉英, 郭铭, 郭寅昌, 等. 配电网建设改造工程评价方法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2012, 24(5): 123-126, 153.
Yu Y Y, Guo M, Guo Y C, et al. Evaluation of construction and upgrading projects in distribution system[J]. Proceedings of the Chinese Society of Universities for Electric Power System and its Automation, 2012, 24(5): 123-126, 153.(in Chinese)
- [3] 杨柳, 吴鸿亮, 门锬. 南方电网节能与经济运行评价方法[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(17): 31-38, 86.
Yang L, Wu H L, Men K. An energy saving and economy operation evaluation method for China southern power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(17): 31-38, 86.(in Chinese)
- [4] 羌丁建, 寿挺, 朱铁铭, 等. 高压配电网规划评价指标体系与综合评价模型[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(21): 52-57.
Qiang D J, Shou T, Zhu T M, et al. An evaluation index system and comprehensive evaluation model on high-voltage distribution network planning[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(21): 52-57.(in Chinese)
- [5] 顾洁, 王春义, 牟宏, 等. 秩和比法在高压配电网项目评价中的应用[J]. 电力科学与技术学报, 2015, 30(1): 80-86.
Gu J, Wang C Y, Mou H, et al. Application of rank-sum ratio in project evaluation of high voltage distribution network[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2015, 30(1): 80-86.(in Chinese)
- [6] 陶芬, 邵剑, 张步涵, 等. 基于灰色关联和模糊层次分析的城市高压配电网接线方式综合评估[J]. 水电能源科学, 2015, 33(06): 190-194.
Tao F, Shao J, Zhang B H, et al. Comprehensive evaluation of connection modes for urban high-voltage distribution network based on grey relation analysis and analytic hierarchy process[J]. Water Resources and Power, 2015, 33(06): 190-194. (in Chinese)
- [7] Arritt R F, Dugan R C. Value of sequential-time simulations in distribution planning[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2014, 50(6): 4216-4220.
- [8] Zhang N, Kang C Q, Kirschen D S, et al. Planning pumped storage capacity for wind power integration[J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2013, 4(2): 393-401.
- [9] 盛万兴, 陈海, 王军, 等. 基于负荷持续曲线的配电网运行效率评价[J]. 电网技术, 2016, 40(4): 1237-1242.
Sheng W X, Chen H, Wang J, et al. Operation efficiency evaluation of distribution network based on load duration curve[J]. Power System Technology, 2016, 40(4): 1237-1242.(in Chinese)
- [10] 黄俊辉, 谢珍建, 祁万春, 等. 基于时序运行模拟的电网运营效率评估方法[J]. 电力建设, 2015, 36(10): 123-128.
Huang J H, Xie Z J, Qi W C, et al. Operation efficiency assessment approach for power grid based on sequential operation simulation[J]. Electric Power Construction, 2015, 36(10): 123-128.(in Chinese)

- [11] Ge Z Q, Liu Y. Analytic hierarchy process based fuzzy decision fusion system for model prioritization and process monitoring application[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2019, 15(1): 357-365.
- [12] Wang D, Li Z R, Dey N, et al. Case-based reasoning for product style construction and fuzzy analytic hierarchy process evaluation modeling using consumers linguistic variables[J]. IEEE Access, 2017, 5: 4900-4912.
- [13] Tian G D, Zhang H H, Zhou M C, et al. AHP, gray correlation, and TOPSIS combined approach to green performance evaluation of design alternatives[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2018, 48(7): 1093-1105.
- [14] Q/GDW 11615-2017 配电网发展规划评价技术规范[S]. 北京: 国家电网有限公司, 2017.
Q/GDW 11615-2017 The technical specification of evaluation on the distribution network [S]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2017. (in Chinese)
- [15] 中华人民共和国国家电网公司. Q/GDW 156-2006 城市电力网规划设计导则 [S]. 北京: 国家电网有限公司, 2006.
State Grid Corporation of China. Q/GDW 156-2006 The code of planning and design of urban electric network [S]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2006. (in Chinese)
- [16] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. DL755-2001 电力系统安全稳定导则[S]. 北京: 电力行业电网运行与控制标准化技术委员会, 2001.
State Economic and Trade Commission of the PRC. DL755-2001 Guide on security and stability for power system[S]. Beijing: Power Industry Grid Operation and Control Standardization Technical Committee, 2001. (in Chinese)
- [17] 徐鹏, 杨胜春, 李峰, 等. 基于层次分析和变权重机制的电网安全指标计算及展示方法[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(8): 133-140.
Xu P, Yang S C, Li F, et al. Power grid security index calculation and display method based on AHP and variable weight mechanism[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(8): 133-140. (in Chinese)
- [18] 中华人民共和国国家能源局. 2015 年度全国电力价格情况监管通报[R]. 北京: 中华人民共和国国家能源局, 2015.
National Energy Administration of PRC. National electricity price supervision report in 2015[R]. Beijing: National Energy Administration of PRC, 2015. (in Chinese)

(编辑 詹燕平)