

基于用户侧需求的电网发展经营 综合评价体系研究

韩一鸣, 徐鹏飞, 宫建锋, 申雅茹

(国网宁夏电力有限公司经济技术研究院, 宁夏回族自治区 银川市 750000)

Research on Comprehensive Evaluation System of Power Grid Development and Operation Based on User Demand

HAN Yiming, XU Pengfei, GONG Jianfeng, SHEN Yaru

(Economic and Technological Research Institute, State Grid Ningxia Electric Power Co., Ltd., Yinchuan 750000,
Ningxia Hui Autonomous Region, China)

摘要: 良好的电网建设可以更好地服务于国民经济发展。为了找出供电企业在电网发展建设及经营过程中的问题和不足,把握供电企业发展重点,基于用户需求,提出了一种基于指标相关性的指标权重确定(criteria importance through intercriteria correlation, CRITIC)-熵权法及根因分析法,用于供电企业电网发展经营综合评价及诊断分析研究。首先结合指标体系构建基本思路和总体原则,建立适合于电网发展经营的综合评价指标体系,并基于改进的CRITIC-熵权法计算出各个指标权重;然后基于宁夏回族自治区18家县级供电企业电网发展经营相关数据,进行电网发展经营综合评价;最后采用根因分析法进行诊断分析,找出导致企业综合评价结果低的根本原因,并提出相应的改进建议。

关键词: 配电网; 指标体系; 综合评价; 熵权法; 指标权重

ABSTRACT: Good power grid construction can better serve the development of national economy. In order to find out the problems and deficiencies of power supply enterprises in the process of power grid development, construction and operation, and grasp the development focus of power supply enterprises, based on the user demand, a criteria importance through intercriteria correlation (CRITIC) -entropy weight method and root cause analysis method were proposed for the comprehensive evaluation and diagnostic analysis research of power grid development and operation in power supply

enterprises. Firstly, combined with the basic ideas and general principles of index system construction, a comprehensive evaluation index system suitable for power grid development and operation was established, and the weight of each index was calculated based on the improved CRITIC-entropy weight method. Then, based on the relevant data of power grid development and operation of eighteen county-level power supply enterprises in Ningxia Hui Autonomous Region, the comprehensive evaluation of power grid development and operation was carried out. Finally, the root cause analysis method was used to diagnose and analyze the causes of low comprehensive evaluation results of enterprises, and the corresponding improvement suggestions were put forward.

KEY WORDS: distribution network; index system; comprehensive evaluation; entropy weight method; index weight

0 引言

县级供电公司担负着配电网可靠运行和良好管理的责任,不仅是精益化管理的主体,还是电网数据管理维护的源头。一直以来,受到管理体制限制,以及设备水平、经营理念、地区经济差异等因素的影响,县级供电公司在配电网发展经营方面,以规划为导向、以规划促管控的建设体系并没有得到全面深化^[1-2]。为了加强和深化基层单位的统计分析工作,挖掘统计数据的应用价值,使县级供电公司资源能得到集中、高效、统一的

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFB2104500)。

Project Supported by National Key Research and Development Program of China (2020YFB2104500).

管理，并能充分发挥发展建设职能，实现电网整体效益的最大化，需要构建县级供电企业配电网发展经营的综合评价体系，用于引导县级供电公司未来配电网的发展建设，提高配电网的发展质量。

目前，有关供电企业配电网发展综合评价方面的研究已取得了一定的成果^[3-13]。如：文献[3]提出基于层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)模型的评价指标权重设计策略，运用改进AHP模型对青海省各县级供电企业进行分析，但是没有考虑地区差异化的影响，缺乏客观性；文献[4]提出将AHP与聚类分析综合评价方法相结合，用于县公司之间评优；文献[5]通过主成分分析法以及相关性分析法给出适用于电网评价的指标体系，并考虑地区环境及经济的不同，采用聚类分类进行综合评价；文献[6]提出基于数据包络分析法(data envelopment analysis, DEA)对县级供电企业的生产效率进行评价，体现各县公司生产经营现状水平，反映管理和技术进步成效；文献[7]提出基于Delphi-AHP模型的电网生产经营及发展指标体系和评价方法，并进行了实证应用分析。然而，以上研究主要集中在县级电网发展与生产经营水平的评价，并未深入探究导致电网发展水平落后的根本原因。

本文通过分析县级供电企业电网发展及生产经营的影响因素，以宁夏回族自治区县级供电企业为例，结合其电网发展具体特征，建立适用于县级供电企业电网发展经营分析的指标体系，并采用改进的基于指标相关性的指标权重确定(criteria importance through intercriteria correlation, CRITIC)-熵权法确定指标体系中各指标权重值，对企业电网发展水平进行综合评价，找出企业发展中的不足，提出县级供电企业对配电网未来发展重点管理的建议，从而为更好地引导县级供电企业配电网的规划建设、提高配电网发展质量提供参考。

1 评价指标体系构建

1.1 构建原则及思路

在评价指标体系构建中需要遵循八大原则^[14]，

即全面性、层次性、独立性、功能性、可操作性、差异性、有效性以及继承性。结合县级供电企业配电网发展及生产经营自身的特点，在考虑指标的可量化性及相关数据的可获得性、可靠性、简明性的基础上，应使指标体系尽可能地涵盖基层供电企业配电网发展、生产经营的全过程及各方面。与此同时，指标之间的组合不仅应具有内在联系，还需要有一定的层次性，尽量避免信息重叠。通过分析县级企业配电网发展及生产经营的影响因素，建立合理的评价模型。

1.2 指标体系具体内容

电网服务于用户，用户侧的需求也是电网发展经营中的重要影响因素，因此本文中将95598服务满意度、业扩工单数与营业户数比以及报修工单数与营业户数比列入评价指标体系。

基于指标体系构建原则及思路，结合地区县级供电企业发展现状和用户侧需求情况，构建适用于地区县级供电企业配电网发展及生产经营评价工作的指标体系，共分为3个层次、9个维度、32个三级指标。电网发展、生产经营模块评价指标体系具体设置分别如图1、2所示。

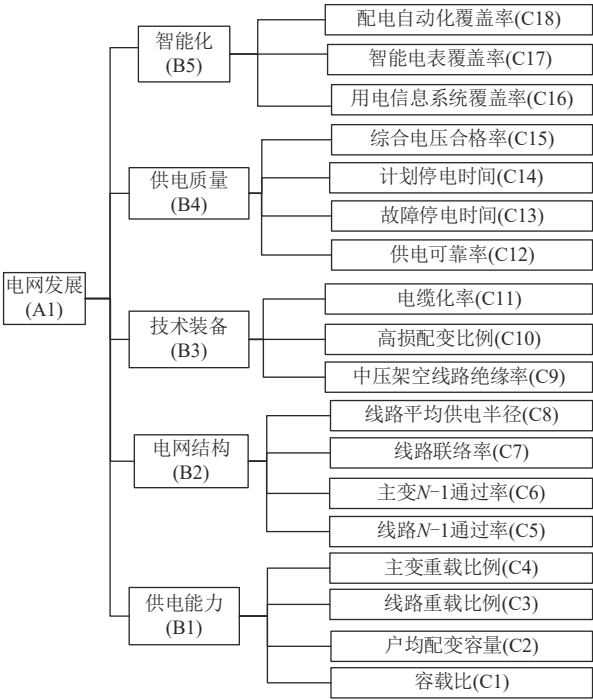


图1 电网发展模块评价指标体系
Fig. 1 Evaluation index system of power grid development module

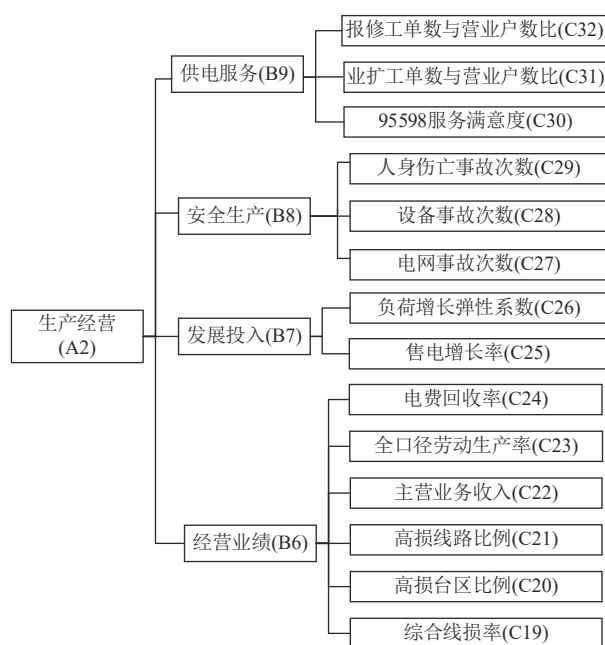


图2 生产经营模块评价指标体系

Fig. 2 Evaluation index system of production and operation module

依据《配电网规划设计技术导则》和配电网滚动规划数据表，并结合专家意见给出各指标情况说明，如表1所示。

2 指标体系权重计算

2.1 基于改进CRITIC法的权重计算

1995年Diakoulaki等提出了一种客观赋权法，即CRITIC法^[15]。这种方法的原理是通过指标之间的对比强度和冲突性来衡量指标的客观权重^[16]。通常用标准差表示对比强度，用相关系数表示冲突性。在后来的研究过程中，有研究者提出标准差是有量纲的，相关系数也可能会出现负值，但实质上冲突性只与相关系数的绝对大小有关，而与正负无关^[17]。因此，本文用标准差系数代替标准差，以消除量纲影响，对相关系数取绝对值，以消除正负号影响，从而对CRITIC方法进行改进。改进的CRITIC法计算权重过程如下：

$$c_j = \frac{\sigma_j}{\bar{x}_j} / \sum_{i=1}^n (1 - |r_{ij}|) \quad (1)$$

式中： σ_j 为第 j 个指标的标准差； $\bar{x}_j$ 为第 j 个指标的平均值； r_{ij} 为第 i 个指标与第 j 个指标之间的相

关系系数。

第 j 个指标的权重计算如下：

$$W_j = c_j / \sum_{j=1}^n c_j \quad (2)$$

2.2 基于熵权法的权重计算

熵权法是一种基于数据信息差异的客观赋权法^[18]。其基本原理^[19]为：如果某评价指标的熵值较小，则该项指标的变异率较高，从而说明该项指标对整体的评价结果会有较大影响，因此该项指标的权重值应较大。利用熵权法计算权重的具体过程^[20]如下。

1) 第 j 个指标下第 i 个系统的特征比重表示如下：

$$t_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (3)$$

式中 x_{ij} 为第 j 个指标下第 i 个系统的特征值。

2) 第 j 个指标的熵值表示为

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n t_{ij} \ln t_{ij} \quad (4)$$

式中 $k = 1/\ln n$ 。

3) 指标 x_j 的差异性系数表示为

$$g_j = 1 - e_j \quad (5)$$

4) 指标 x_j 的权重表示为

$$Q_j = g_j / \sum_{j=1}^n g_j \quad (6)$$

2.3 基于改进CRITIC-熵权法的综合权重计算

通过改进CRITIC法和熵权法分别计算出各指标的权重 W_j 和 Q_j ，另外，设各评价指标的综合权重为 T_j 。将评价指标体系矩阵 $R_{m \times n}$ 进行无量纲化处理，得到矩阵 $S = (S_{ij})_{m \times n}$ ，则某一评价对象的评价值可表示为

$$f_i = \sum_{j=1}^n T_j S_{ij}, i = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

由于基于改进CRITIC法和熵权法计算得到的权重之间的偏差理论上越小越好^[21-22]，因此可以利用最小二乘法的优化方法构建组合权重计算模型，表示为

$$\min F(T) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \{[(W_j - T_j) S_{ij}]^2 + [(Q_j - T_j) S_{ij}]^2\} \quad (8)$$

采用拉格朗日法对式(8)进行求解，即可计算出各个评价指标相对应的权重值。

表1 各指标情况说明
Tab. 1 Description of each index

一级指标	二级指标	三级指标	合理取值	注释
A1	B1	C1	1.8~2.2	指某一供电区内变电设备总容量与供电区最大负荷(网供负荷)之比,反映容量备用情况
		C2/(kV·A/户)	1.5~3.0	指负责居民供电的配电容量与居民用户数之比,反映供电能力情况
		C3/%	≤5	指重载线路与全部线路之比,反映区域重载线路情况
		C4/%	≤5	指重载主变与全部线路之比,反映区域重载主变情况
	B2	C5/%	B类区, 100; C类区, ≥80; D类区, ≥60	指线路中满足N-1的比例,反映线路中的分段情况
		C6/%	B类区, 100; C类区, ≥90; D类区, ≥75	指主变满足N-1的比例情况
		C7/%	B类区, ≥90; C类区, ≥80; D类区, ≥60	反映地区线路联络情况
		C8/km	B类区, ≤3; C类区, ≤5; D类区, ≤15	指从变电站(配电变压器)二次侧出线到其供电的最远负荷点之间的线路长度
	B3	C9/%	B类区, 70~90; C类区, 40~60; D类区, 20~40	反映线路中电缆和架空绝缘线占线路总长度的比例
		C10/%	0	反映地区高损配变情况
		C11/%	—	反映配网系统内的电缆长度占总线路长度情况
	B4	C12/%	B类区, ≥99.965; C类区, ≥99.863; D类区, ≥99.726	是供电可靠性的定量表示,供电可靠性是持续供电能力的量度
		C13/h	—	这2个指标反映电网供电可靠性情况
		C14/h	—	
		C15/%	B类区, ≥99.95; C类区, ≥98.79; D类区, ≥97	指实际运行电压在允许电压偏差范围内累计运行时间与对应总运行统计时间的百分比
	B5	C16/%	B类区, 100; C类区, ≥80; D类区, ≥70	从这3个指标可以看出地区智能设备的占比情况,从而反映电网智能化水平
		C17/%	B类区, 100; C类区, ≥80; D类区, ≥70	
		C18/%	B类区, 100; C类区, ≥90; D类区, ≥80	
A2	B6	C19/%	≤6.63	这3个指标反映一个区域内总的线损,主要考量地区节能减排、损耗情况
		C20/%	≤2	
		C21/%	0	
		C22/亿元	—	这3个指标反映地区经营生产及收入情况
		C23/%	≥58.9	
		C24/%	≥99.95	
	B7	C25/%	≥10	反映地区电量增长情况
		C26	0~1	指负荷增长与GDP增长的比值
	B8	C27/次	0	电力安全生产的目标是维护电力系统安全稳定、保证
		C28/次	0	电力正常供应,杜绝人身死亡、主设备严重损坏等重大特大事故
		C29/次	0	
	B9	C30/%	100	反映客户对服务满意度情况
		C31/%	≥2	这2个指标反映客户用电服务需求情况
		C32/%	≥2	

3 案例应用

3.1 综合评价

本研究选取宁夏回族自治区18家县级供电企业作为应用案例进行分析。按照表2权重及得分计算方法,计算出18家县级供电企业电网发展和生产经营的评价结果及排名情况,如表3所示。

从表3可以看出,在18家县级供电企业中,灵武市供电公司评价结果高居榜首,永宁县供电

公司次之,惠农供电公司位列第3。这3个地区的指标值大多较为均衡且处于高位,表明当地现状电网的结构装备、业绩及资产质量总体上优良。

3.2 诊断分析及建议

为了找出县域供电公司间的差异来源,采用根因分析的方法,通过横向对比分析供电公司指标差异,查找综合评价结果较低供电公司的薄弱环节,从而为提升公司电网发展及生产经营水平

表2 各指标权重值

Tab. 2 Weight values of each index

一级指标	权重	二级指标	权重	三级指标	权重
A1	0.5	B1	0.251	C1	0.313
				C2	0.191
				C3	0.256
				C4	0.240
		B2	0.276	C5	0.264
				C6	0.264
				C7	0.238
				C8	0.234
		B3	0.118	C9	0.629
				C10	0.271
				C11	0.100
		B4	0.243	C12	0.357
				C13	0.325
				C14	0.175
				C15	0.143
		B5	0.112	C16	0.363
				C17	0.487
				C18	0.150
A2	0.5	B6	0.207	C19	0.434
				C20	0.057
				C21	0.094
				C22	0.145
				C23	0.137
				C24	0.132
		B7	0.152	C25	0.546
				C26	0.454
		B8	0.382	C27	0.275
				C28	0.089
				C29	0.636
		B9	0.259	C30	0.537
				C31	0.236
				C32	0.227

提供理论基础。通过对比各供电公司的综合评价结果可知，灵武市供电公司综合评价结果最高。通过计算电网发展维度和生产经营维度评价结果差异可知，导致其他供电公司与灵武市供电公司综合评价结果差异的主要维度有所不同，具体如表4所示。

表4中数据表示的是导致其他供电公司与灵武市供电公司差异来源的占比情况。以海兴供电公司为例，导致两者差异的主要来源是电网发展评价结果，占比为80.99%。因此需要对灵武市和海兴的电网发展维度指标进行深入分析，同时考虑18个县域的平均水平。本文主要从指标偏差 S_i 、

表3 评价结果及排名

Tab. 3 Evaluation results and rankings

县级供电企业	电网发展评价	生产经营评价	综合评价	排名
三营供电公司	84.64	83.57	84.10	17
彭阳县供电公司	85.30	91.23	88.26	11
西吉县供电公司	80.96	89.09	85.02	16
隆德县供电公司	85.50	88.51	87.00	14
泾源县供电公司	92.75	85.93	89.34	10
盐池县供电公司	86.99	94.00	90.49	9
红果子供电公司	96.26	90.26	93.26	6
平罗县供电公司	96.01	90.65	93.33	5
惠农供电公司	97.57	92.17	94.87	3
红寺堡供电公司	92.03	92.32	92.18	8
同心县供电公司	88.21	86.46	87.33	12
青铜峡市供电公司	90.44	95.56	93.00	7
永宁县供电公司	93.76	96.94	95.35	2
贺兰县供电公司	94.16	94.01	94.09	4
灵武市供电公司	95.52	96.27	95.89	1
中宁县供电公司	79.70	93.16	86.43	15
海兴供电公司	81.29	92.90	87.10	13
海原县供电公司	76.32	85.01	80.67	18
平均水平	88.75	91.00	89.87	—

表4 地区差异对比

Tab. 4 Comparison of regional differences

县级供电企业	与灵武市供电公司差异来源的占比/%	
	电网发展	生产经营
三营供电公司	46.32	53.68
彭阳县供电公司	67.14	32.86
西吉县供电公司	67.14	32.86
隆德县供电公司	56.53	43.47
泾源县供电公司	21.26	78.74
盐池县供电公司	100.00	0
红果子供电公司	-14.27	114.27
平罗县供电公司	-9.72	109.72
惠农供电公司	0	100.00
红寺堡供电公司	100.00	0
同心县供电公司	100.00	0
青铜峡市供电公司	87.86	12.14
永宁县供电公司	100.00	0
贺兰县供电公司	37.67	62.33
灵武市供电公司	—	—
中宁县供电公司	83.68	16.32
海兴供电公司	80.99	19.01
海原县供电公司	63.22	36.78

偏差率 P_i 及偏差率占比 R_i 进行分析，分别表示如下：

$$S_i = y_{1i} - y_{2i} \tag{9}$$

$$P_i = S_i / y_{1i} \tag{10}$$

$$R_i = S_i w_i / \sum_{i=1}^n P_i w_i \tag{11}$$

式中： y_{1i} 和 y_{2i} 分别为2个公司第*i*个指标值； w_i 为第*i*个指标权重。

首先，计算2家供电公司电网发展维度18个指标的评价结果差异情况，具体如图3所示。

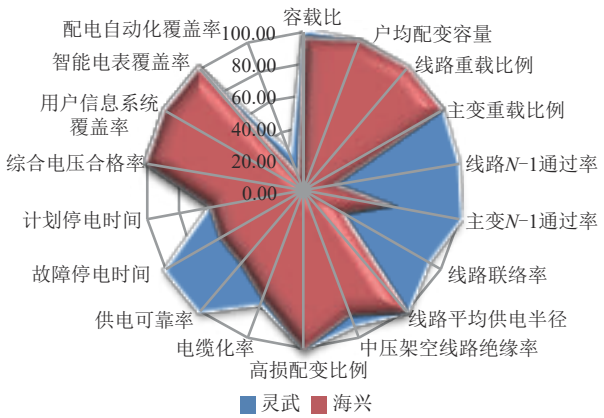


图3 电网发展维度指标评价结果对比图
Fig. 3 Comparison chart of power grid development dimension index scores

从图3可以看出，灵武市供电公司电网发展维度优于海兴供电公司的主要指标是：主变N-1通过率、线路N-1通过率、线路联络率、供电可靠率及故障停电时间。为了进一步查明导致评价结果偏差的主要原因，对2家公司各个指标偏差率进行了计算，具体如图4所示。

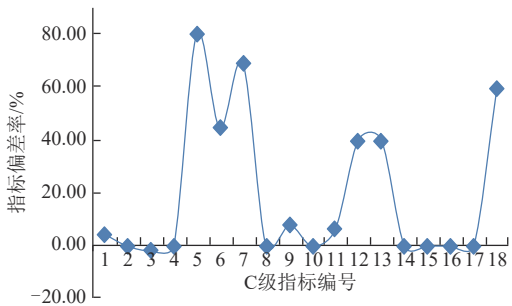


图4 2家公司电网发展维度指标偏差率
Fig. 4 Deviation rate of power grid development dimension index of two companies

从图4也可以看出，海兴供电公司与灵武市供电公司电网发展维度指标偏差率较大的主要有6个指标，对于线路N-1通过率(C5)指标，2家公司评价结果的偏差率达到了80%。2家公司各个指标偏差率的占比情况如图5所示。

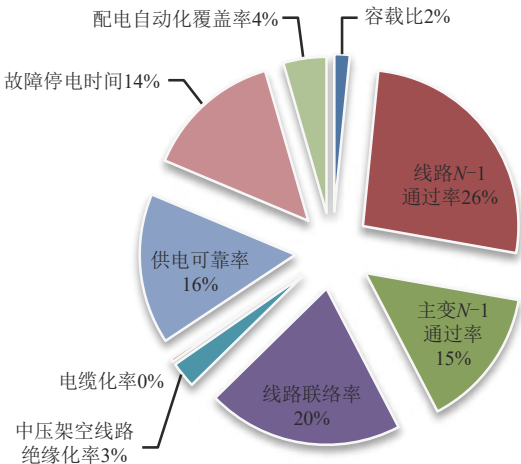


图5 2家公司电网发展维度指标偏差率占比
Fig. 5 Proportion of deviation rate of power grid development dimension index in two companies

从图5可以看出，导致海兴供电公司和灵武市供电公司电网发展维度指标偏差的主要原因是5个指标，包括供电可靠率(16%)、线路N-1通过率(26%)、线路联络率(20%)、主变N-1通过率(15%)、故障停电时间(14%)。

其次，计算电网发展维度下海兴供电公司与18个县域供电企业的平均水平对比情况，其各个指标评价结果对比如图6所示。

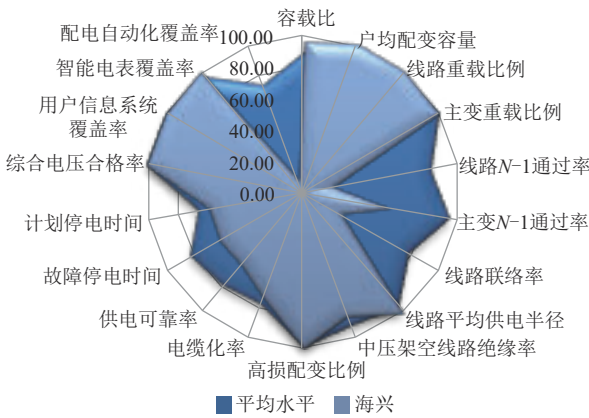


图6 海兴与平均水平指标评价结果对比
Fig. 6 Comparison of evaluation results between Haixing and average level

从图6可以看出，海兴供电公司仍有部分指标明显低于平均水平，以N-1通过率、线路联络率以及配电自动化覆盖率最为明显。为了进一步分析导致海兴供电企业与平均水平差异的主要因素占比情况，对其各个指标偏差率进行了计算，结果如图7所示。

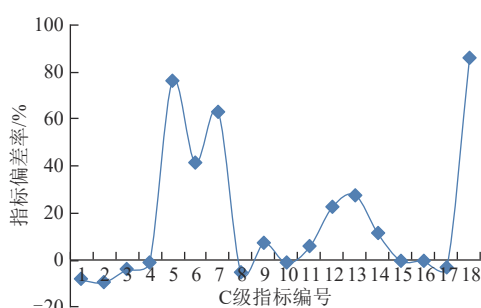


图7 海兴与平均水平电网发展维度指标偏差率

Fig. 7 Deviation rate of power grid development dimension index between Haixing and average level

从图7也可以看出,海兴供电公司与平均水平相比,在电网发展维度指标偏差率较大的主要有6个指标,其中在配电自动化覆盖率指标方面,两者评价结果的偏差率达到了85%左右。其各个指标偏差率的占比情况如图8所示。

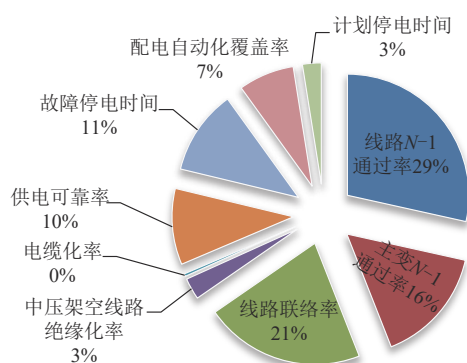


图8 海兴与平均水平电网发展维度指标偏差率占比

Fig. 8 Proportion of deviation rate of power grid development dimension index between Haixing and average level

从图8可以看出,导致海兴供电公司和平均水平电网发展维度指标偏差的主要原因是5个指标,包括供电可靠率(10%)、线路 $N-1$ 通过率(29%)、线路联络率(21%)、主变 $N-1$ 通过率(16%)、故障停电时间(11%)。因此,海兴供电公司应当从这5个方面加强管理、及时改善,从而为提高县级供电企业配电网发展经营水平奠定基础。

4 结论

以宁夏回族自治区18家县级供电企业为样本,通过构建县级供电企业配电网发展经营的评价指标体系,基于改进的CRITIC-熵权法设计指

标权重,得出18家县级供电企业在电网发展、生产经营以及综合方面的发展水平,并通过根因分析发现,企业整体发展水平低大多是电网发展落后造成的。以海兴供电公司为例进一步分析,找出导致其综合评价结果低的主要原因是线路联络率、线路 $N-1$ 通过率、主变 $N-1$ 通过率、供电可靠率低以及故障停电时间长。研究案例结果表明,该方法有效、合理的,有助于找到电网发展中存在的问题与不足,为把控县级供电企业配电网发展的重点方向起到重要作用,并为提高电网发展及生产经营效率奠定基础。

参考文献

- [1] 殷超. 县级供电企业工程项目精益化管理研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2017.
YIN C. Research on lean management of engineering projects in county-level power supply enterprises[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2017.
- [2] 莫晓明. 县级供电企业现金预算精益化分析及优化管理策略研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2016.
MO X M. Lean analysis and optimal management strategy research on cash budget of county-level power supply enterprises[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2016.
- [3] 李俊贤, 程文俊, 贺永龙. 基于AHP的基层供电企业电网发展和生产经营评价体系研究[J]. 青海电力, 2018, 37(1): 58-64.
LI J X, CHENG W J, HE Y L. Research on grid development and production management evaluation system of grassroots power supply enterprises based on AHP[J]. Power System Technology, 2018, 37(1): 58-64.
- [4] 安鹏, 王振坤, 郑志杰, 等. 县级供电企业电网发展及生产经营数据分析与综合评价方法研究[J]. 山东电力技术, 2018, 45(10): 12-17.
AN P, WANG Z K, ZHENG Z J, et al. Data analysis and comprehensive evaluation of power grid development and operation for county grid corporation [J]. Shandong Electric Power, 2018, 45(10): 12-17.
- [5] 郭泉辉, 钟士元, 崔文婷, 等. 县级供电企业电网发展和生产经营综合评价方法及应用[J]. 供用电, 2018, 35(5): 49-56.
GUO Q H, ZHONG S Y, CUI W T, et al. Comprehensive evaluation method and application of

- power grid development and operation of county electric power company[J]. Distribution & Utilization, 2018, 35(5): 49-56.
- [6] 赵文杰, 白宏坤, 李虎军, 等. 基于全要素生产效率的县级供电公司综合评价[J]. 集成电路应用, 2019, 36(1): 84-85.
- ZHAO W J, BAI H K, LI H J, et al. Comprehensive evaluation of county power supply company based on TFP[J]. Application of IC, 2019, 36(1): 84-85.
- [7] 邓美琴, 李博, 李欢, 等. 基于Delphi-AHP模型的电网发展及生产经营综合评价研究[J]. 现代工业经济和信息化, 2018, 8(11): 20-23.
- DENG M Q, LI B, LI H, et al. Research on comprehensive evaluation of power network development and production management based on Delphi-AHP model[J]. Modern Industrial Economy and Informationization, 2018, 8(11): 20-23.
- [8] 刘万勋, 于琳琳, 张丽华, 等. 基于AHP和多级模糊综合评判的电网发展水平评估[J]. 智慧电力, 2020, 48(5): 80-85.
- LIU W X, YU L L, ZHANG L H, et al. Evaluation of power grid development level based on AHP and multi-level fuzzy comprehensive evaluation[J]. Smart Power, 2020, 48(5): 80-85.
- [9] 郭铭群, 赖清平, 卢杰, 等. 基于SWOT-云物元理论的城市配电网发展形态评估方法[J]. 电力建设, 2020, 41(11): 71-77.
- GUO M Q, LAI Q P, LU J, et al. Evaluation based on cloud matter element theory for the development form of urban distribution network[J]. Electric Power Construction, 2020, 41(11): 71-77.
- [10] 覃丹, 陈奕达, 林强, 等. 基于“EGM-PCA”组合算法的县域配电网评估模型构建[J]. 电网与清洁能源, 2020, 36(12): 24-29.
- QIN D, CHEN Y D, LIN Q, et al. Construction of county distribution network evaluation model based on “EGM-PCA” combination algorithm[J]. Power System and Clean Energy, 2020, 36(12): 24-29.
- [11] 肖勇, 陆文升, 李云涛, 等. 城市配电网发展形态指标体系及其评估方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(1): 62-71.
- XIAO Y, LU W S, LI Y T, et al. Research on index system and its evaluation methods of urban distribution network development form[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(1): 62-71.
- [12] 胡源, 熊天军, 薛松, 等. 增量配售电公司评价方法研究[J]. 智慧电力, 2020, 48(6): 47-53.
- HU Y, XIONG T J, XUE S, et al. Comprehensive evaluation of incremental electricity distribution and retail company[J]. Smart Power, 2020, 48(6): 47-53.
- [13] 罗宁, 贺墨琳, 高华, 等. 基于改进的AHP-CRITIC组合赋权与可拓评估模型的配电网综合评价方法[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(16): 86-96.
- LUO N, HE M L, GAO H, et al. Comprehensive evaluation method for a distribution network based on improved AHP-CRITIC combination weighting and an extension evaluation model[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(16): 86-96.
- [14] 段穰达. 有源配网后评价指标体系及其综合评价方法[J]. 发电技术, 2021, 42(1): 86-93.
- DUAN R D. A post-evaluation index system of active distribution network project and its comprehensive evaluation method[J]. Power Generation Technology, 2021, 42(1): 86-93.
- [15] 汤旻安, 张凯越, 许希元. 基于启发式规则与AHP-CRITIC算法的配电网故障恢复策略[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(14): 1-9.
- TANG M A, ZHANG K Y, XU X Y. Service restoration strategy of a distribution network based on heuristic rules and the AHP-CRITIC algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(14): 1-9.
- [16] 吕志鹏, 吴鸣, 宋振浩, 等. 电能质量CRITIC-TOPSIS综合评价方法[J]. 电机与控制学报, 2020, 24(1): 137-144.
- LV Z P, WU M, SONG Z H, et al. Comprehensive evaluation of power quality on CRITIC-TOPSIS method [J]. Electric Machines and Control, 2020, 24(1): 137-144.
- [17] 赵书强, 汤善发. 基于改进层次分析法、CRITIC法与逼近理想解排序法的输电网规划方案综合评价[J]. 电力自动化设备, 2019, 39(3): 143-148.
- ZHAO S Q, TANG S F. Comprehensive evaluation of transmission network planning scheme based on improved analytic hierarchy process, CRITIC method and TOPSIS[J]. Electric Power Automation Equipment, 2019, 39(3): 143-148.
- [18] 张兴平, 张又中. 计及P2G和CCS的园区级电-热-气综合能源系统多目标优化[J]. 电力建设, 2020, 41(12): 90-99.
- ZHANG X P, ZHANG Y Z. Multi-objective optimization model for park-level electricity-heat-gas integrated energy system considering P2G and CCS [J]. Electric Power Construction, 2020, 41(12):

90-99.

- [19] LIU H, WANG H, LIN L, et al. Prediction of photovoltaic power based on entropy weight combination forecasting method[J]. IEEE 4th Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2). Wuhan: IEEE, 2020: 4081-4086.
- [20] 李晨, 殷自力, 王晓辉, 等. 基于层次分析法和熵权法的配电网调度评价[J]. 电力系统及其自动化学报, 2019, 31(7): 81-87.
- LI C, YIN Z L, WANG X H, et al. Assessment on distribution network dispatching based on analytic hierarchy process and entropy weight method[J]. Proceedings of the CSU-EPSCA, 2019, 31(7): 81-87.
- [21] 吴忠, 关娇, 何江. 最低工资标准测算实证研究: 基于CRITIC-熵权法客观赋权的动态组合测算[J]. 当代经济科学, 2019, 41(3): 103-117.
- WU Z, GUAN J, HE J. An empirical study on the calculation of minimum wage standard: dynamic combination calculation based on objective weight of CRITIC-entropy weight method[J]. Modern Economic Scienc, 2019, 41(3): 103-117.
- [22] 傅为忠, 储刘平. 长三角一体化视角下制造业高质量发展评价研究: 基于改进的CRITIC-熵权法组合权重的TOPSIS评价模型[J]. 工业技术经济, 2020, 39(9): 145-152.
- FU W Z, CHU L P. Research on the evaluation of high quality development of manufacturing industry from the perspective of integration of the Yangtze River delta: TOPSIS evaluation model based on improved CRITICAL-entropy weight method[J]. Journal of Industrial Technological Economics, 2020, 39(9): 145-152.

收稿日期: 2021-12-30。

作者简介:



韩一鸣

韩一鸣(1990), 男, 硕士, 工程师, 主要从事电网规划研究, 465985854@qq.com;



徐鹏飞

徐鹏飞(1992), 男, 硕士, 助理工程师, 主要从事配电网规划研究, 20114344@cqu.edu.cn;



宫建锋

宫建锋(1986), 男, 工程师, 主要从事电网规划研究, 136258202@qq.com;



申雅茹

申雅茹(1993), 女, 硕士, 助理工程师, 主要从事电力系统分析研究, shenyaru71@126.com。

(责任编辑 尚彩娟)