



基于可拓学的电力 ICT 网多目标分层诊断模型

李莉¹, 罗田田², 张亚娜³, 吴润泽²

(1. 国网冀北电力有限公司经济技术研究院, 北京 100160;

2. 华北电力大学电气与电子工程学院, 北京 102206;

3. 国网冀北电力有限公司廊坊供电公司, 河北 廊坊 065000)

摘要: 电力 ICT 网是电力系统的重要组成部分, 其在电网安全、稳定、经济运行中起着至关重要的作用。综合考虑电力 ICT 网的典型特征, 建立了一套电力 ICT 网发展水平诊断指标体系, 并提出一种基于可拓学的电力 ICT 网多目标分层诊断模型。该模型不仅能分别诊断影响电力 ICT 网整体发展的子因素, 还能对电力 ICT 网整体发展水平进行诊断, 为电力 ICT 网今后发展建设方向提供一定的参考。

关键词: 电力 ICT 网; 发展水平; 诊断指标体系; 可拓学

中图分类号: TN915

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2017008

Multi-objective layered diagnosis model of electric power ICT network based on extenics

LI Li¹, LUO Tiantian², ZHANG Yana³, WU Runze²

1. Research Institute of Economic and Technical Research of the State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd., Beijing 100160, China

2. Academy of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China

3. Langfang Power Supply Company of State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd., Langfang 065000, China

Abstract: Electric power ICT network is an important part of power system, which plays a vital role in the security, stability and economic operation of power network. A diagnostic index system of electric power ICT network was established and a multi-objective layered diagnosis model of electric power ICT network system based on extension rating was proposed. This evaluation method could not only evaluate the impact factors of the electric power ICT network, but also diagnose and rate the whole electric power ICT network.

Key words: electric power ICT network, development level, diagnostic index system, extenics

1 引言

电力 ICT 网是电力系统的通信专网, 它主要包括传输网、交换网、数据网和管理网四大类网络。其承载的业务涉及语音、数据、远动、继电保护、电力监控、移动通信等领域, 逐渐形成了由跨区、区域、省、地市(含区县)共四级通

信网络。并且, 分布式电源接入电网给电力 ICT 网带来了许多不确定因素。作为电力系统的重要组成部分, 电力 ICT 网的可靠性直接影响到电网的安全运行。目前, 国内对电力 ICT 网的诊断研究很少, 但是存在许多从单类指标对电力 ICT 网进行的评估分析。

参考文献[1]从技术和运营两个层面上分析影响电网



发展水平的重要因素,深入研究并构建了地区电网发展水平诊断体系。参考文献 [2] 根据分布式电源(distributed electric resource, DER)并网监控通信需求提出一种模糊一致的层次分析评价方法,并选择多种通信方式进行适应性评价。层次分析法^[3]的作用是从备选方案中选择较优者,其只能对多个方案进行比较,而不能对单个方案进行评价。参考文献[4]构建了基于多级可拓评价法的变电站建设项目功能效果后评价模型,对项目功能效果进行评价,可以根据各个指标和权重的复合运算对目标进行评价,但是不能从整体角度反映所有指标的综合优劣程度。参考文献[5]构建了光伏发电项目评价指标体系,并采用基于灰色关联度的 TOPSIS 的模型对项目进行风险评价。其可以从整体角度反映所有指标与最优最劣解的距离,从而对多个方案进行比较,但是不能对整体结果进行诊断评价。

本文提出了一种基于可拓学的电力 ICT 网多目标分层诊断模型。该模型使用区间 AHP 法得到区间权重,并利用可拓区间运算将区间权重转化为单值权重,以此弱化权

重的主观性。并且,本文将可拓学优度评价方法运用于电力 ICT 网发展水平诊断评估,不仅能很好地从整体角度对电力 ICT 网发展水平进行诊断,还能对影响电力 ICT 网发展水平的各个关键因素进行评价。最后本文进行了实证分析,验证了本方法的可行性和合理性。

2 电力 ICT 网诊断指标模型

2.1 电力 ICT 网诊断需求

电力 ICT 网由骨干通信网和终端通信接入网组成,可以划分为四级,具体构造如图 1 所示。一级骨干网以公司总部为核心,连接各区域公司、覆盖国调直调变电站及电厂的通信网络;省级骨干网以省公司为核心,连接各地市公司,覆盖省调直调变电站及电厂的通信网络;城市骨干网以地市公司为中心,连接所属各县局,覆盖地调直调变电站和电厂的通信网络;终端通信接入网是电力系统骨干通信网络的延伸,包括 10 kV 通信接入网和 0.4 kV 通信接入网。

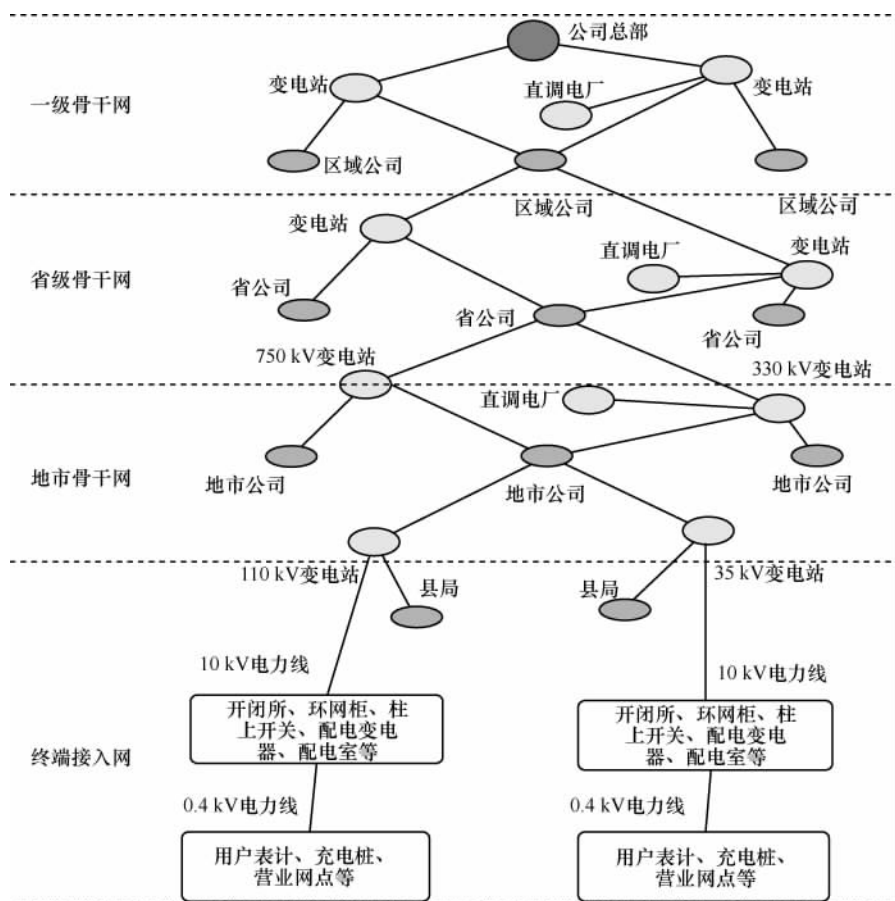


图 1 电力 ICT 网层级划分

作为电网的支撑网,电力 ICT 网承担着保证电力系统安全稳定运行的重要功能。在经历了“十一五”“十二五”较大力度的建设和改造后,我国的电力 ICT 网已具有一定规模,对电网的支撑能力也有明显提高。但是从整体上来看,电力 ICT 网的发展仍然面临着自身发展与电网发展不匹配、设备水平偏低、网络薄弱等问题。如此规模庞大的网络已不适合依靠经验值进行建设,因此有必要找出合理统一的电力 ICT 网发展水平诊断体系,可对任一级电力 ICT 网进行诊断分析,从而针对诊断结果明确今后的建设方向。

2.2 诊断指标模型

本文通过对电力 ICT 网的特性进行研究,依照综合性、科学性和灵活实用性的原则选取指标,建立了电力 ICT 网的诊断指标体系,包括电网综合发展水平、ICT 网经济水平、ICT 网技术水平三大类。

2.2.1 电网综合发展水平

考虑到电力 ICT 网的发展水平都是建立在电网发展水平的基础上,为了考虑不同区域电力 ICT 网发展的可比性,将电网综合发展水平指标作为一类一级指标。其中,又可分为电网建设规模和电网运行状态两类二级指标。电网发展速度主要考虑用电量、售电量、站点规模、线路长度、电源点装机容量和电源点数量,电网增长水平指标主要包括各类指标的增长率,从发展趋势的角度将电力 ICT 网和电网的发展进行对比。二级指标类别下的具体三级指标可以根据待诊断地区实际情况进行自由选取。

2.2.2 电力 ICT 网经济水平

电力 ICT 网的经济水平在一定程度上反映了电力 ICT 网的发展水平,所以将其作为一类一级指标。基于具体的经济性分析考虑该地区的电力 ICT 网投资规模和电力 ICT 网的运维成本,将其列为两类二级指标。包含具体三级指标,可以根据待诊断地区实际情况进行自由选取。

2.2.3 电力 ICT 网技术水平

电力 ICT 网技术水平主要是从技术角度对电力 ICT 网的状态进行分析,包括装备水平、网络水平、业务水平、运行水平 4 个二级指标。装备水平即电力 ICT 网各类设备的相关指标,如年限、数量、利用率等。网络水平即针对网络中节点的特性分析、拓扑分析和流量分析。业务水平主要针对业务的数量、可靠性和配置进行分析。运行水平主要针对设备老化年限的分析和工程对网络运行的影响分析。具体的三级指标可根据不同实际情况自

由选取。

通过对电力 ICT 网的特性进行研究,本文建立了一套电力 ICT 网诊断指标体系,具体指标见表 1。

表 1 电力 ICT 网发展水平诊断指标体系

一级指标	二级指标	三级指标
电网综合发展水平 指标 A	地区电网建设指标 A ₁	全社会用电量 A ₁₁ 年最高用电负荷 A ₁₂
	电网运行状态 A ₂	最高用电负荷年增长率 A ₂₁ 全社会年用电量增长率 A ₂₂
电力 ICT 网 经济性 指标 B	电力 ICT 网投资规模 B ₁	典型通信站平均造价 B ₁₁ 通信投资占电网投资比 B ₁₂
	电力 ICT 网运维成本 B ₂	运维检修费 B ₂₁ 上岗率 B ₂₂
电力 ICT 网 技术性 指标 C	装备水平 C ₁	48 芯以上光缆比例 C ₁₁ 光缆总长度 C ₁₂
		聚类系数 C ₂₁ 网络效率 C ₂₂
	网络水平 C ₂	光传输成环率 C ₂₃ 业务数量 C ₃₁
		业务增长率 C ₃₂ 自然故障率 C ₄₁
	业务水平 C ₃	工程引起中断率 C ₄₂

由于电力 ICT 网的发展水平与电网发展水平密不可分。当电网发展水平较高时,电力 ICT 网发展水平随之增高。因此在对电力 ICT 网发展水平进行诊断时,必须将电网发展水平作为基础。本文用式(1)对电力 ICT 网综合发展水平进行诊断计算。

$$j^* = \frac{\lambda_1 B + \lambda_2 C}{A} \tag{1}$$

其中, j^* 表示电力 ICT 网发展水平最终诊断结果; $\lambda_1 + \lambda_2 = 1$, 具体数值可由下文指标权重方法得到。

3 基于可拓学的电力 ICT 网多目标分层诊断模型

可拓评价是可拓学的重要应用之一,其主要通过贴近度函数对评价对象进行定性定量相结合的分析,进而确定待评价对象所属等级。传统可拓评价仅局限于单因素评价方面,当评价对象包含的指标类别和个数较多时,就需对单因素可拓评价理论进行拓展以方便多因素评价问题的求解。

多级可拓评价是在单因素可拓评价的基础上引入指标权重的概念,通过单因素贴近度与其权重的复合运算得



到其上层因素的贴近,再通过上层因素的贴近度与其对应权重的复合运算得到其更上层因素的贴近度,最后根据最小贴近度原则确定待评价对象的多级可拓评价结果。

3.1 指标权重的确定

考虑到人为判断的模糊性,本文引进区间层次分析法得到可拓区间权重;考虑到诊断评级结果应具有单值性,为此利用可拓学的简单关联函数将区间权重转化为单值权重。确定权重步骤如下。

(1)根据表2所示的1~9标度法,对 m 个一级指标进行两两重要度比较。为了消除不确定的主观判断,比较结果用区间数表示。

表2 1~9标度规则

等级	语言描述程度	含义
1	同等	指标 a 和指标 b 同等重要
3	稍微	指标 a 比指标 b 稍微重要
5	明显	指标 a 比指标 b 明显重要
7	强烈	指标 a 比指标 b 强烈重要
9	极端	指标 a 比指标 b 极端重要

$$A = \begin{bmatrix} [1,1] & [a_{12}^-, a_{12}^+] & \cdots & [a_{1n}^-, a_{1n}^+] \\ [a_{21}^-, a_{21}^+] & [1,1] & \cdots & [a_{2n}^-, a_{2n}^+] \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ [a_{n1}^-, a_{n1}^+] & [a_{n2}^-, a_{n2}^+] & \cdots & [1,1] \end{bmatrix} \quad (2)$$

式(2)中, $[a_{ij}^-, a_{ij}^+]$ 表示第 i 个一级指标相对第 j 个一级指标的重要程度。根据区间数的运算法,有 $A=[A^-, A^+]$ 。其中, A^+, A^- 为上下限矩阵。

(2)根据区间数特征根法(interval number eigenvalue method, IEM),计算 A^+, A^- 对应的最大特征根 $\lambda_{\max}^+, \lambda_{\max}^-$ 以及具有正分量的归一化特征向量 w^+, w^- 。然后运用式(2)、式(3)计算判断矩阵 A 的正分量系数 z 和负分量系数 k 。

$$z = \sqrt{\sum_{j=1}^n (1 / \sum_{i=1}^n a_{ij}^-)} \quad (3)$$

$$k = \sqrt{\sum_{j=1}^n (1 / \sum_{i=1}^n a_{ij}^+)} \quad (4)$$

(3)根据参考文献[6]计算矩阵 A^+, A^- 对应的一致性检验指标值 CR^+, CR^- ,当 $1/2(CR^+ - CR^-)$ 的值小于0.1时,则通过一致性检验。于是得到区间权重向量 $W=[kw^-, zw^+]=(W_1, W_2, \cdots, W_m)$ 。

(4)利用可拓区间数简单关联函数,可以得到区间权重 $W_i \geq W_j$ 的可能程度。

$$V(W_i \geq W_j) = \frac{2(W_i^+ - W_j^-)}{(W_i^+ - W_i^-) + (W_j^+ - W_j^-)} \quad (5)$$

取 $P_j=1, P_i=V(W_i \geq W_j), i=1, 2, \cdots, m$ 。进行归一化处理,得到一级指标的单值权重 $p=(p_1, p_2, \cdots, p_n)$ 。

(5)重复以上步骤,可得到二级、三级指标的权重分别为 $q=(q_1, q_2, \cdots), w=(w_1, w_2, \cdots)$ 。

3.2 指标权重的确定

3.2.1 确定带评价物元

假设待评价对象包含 m 个指标,分别为 $C_1, C_2, \cdots, C_m$ 。其物元模型如式(6)所示。

$$M = (U, C_k, v_k) = \begin{bmatrix} U & C_1 & v_1 \\ & C_2 & v_2 \\ & \cdots & \cdots \\ & C_m & v_m \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中, M 代表物元模型,即电力ICT网发展水平模型; U 表示待评价对象所属的评价等级; $v_k(k=1, 2, \cdots, m)$ 代表各个指标的实际数值。

3.2.2 确定经典域

将待评价物元的评价结果划分为 n 个等级。其经典域模型可用式(7)表示,表示电力ICT网诊断所包含指标的取值范围。

$$M_j = (U_j, C_k, v_{jk}) = \begin{bmatrix} U_j & C_1 & \langle a_{j1}, b_{j1} \rangle \\ & C_2 & \langle a_{j2}, b_{j2} \rangle \\ & \cdots & \cdots \\ & C_m & \langle a_{jm}, b_{jm} \rangle \end{bmatrix} \quad (7)$$

其中, M_j 代表第 j 等级的物元模型; U_j 表示第 j 个等级下待评价对象的评价效果; $\langle a_{jk}, b_{jk} \rangle (j=1, 2, \cdots, n; k=1, 2, \cdots, m)$ 表示第 j 等级下第 k 个指标 C_k 的取值范围。

3.2.3 确定每一等级的最优解集和最劣解集

将每一等级下正指标的最大值和负指标的最小值的集合作为代表该等级的最优解集 V^+ ,将每一个等级的正指标的最小值和负指标的最大值的集合作为该等级的最劣解集 V^- 。

$$V^+ = \begin{bmatrix} v_{11}^+ & \cdots & v_{1m}^+ \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ v_{n1}^+ & \cdots & v_{nm}^+ \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$V^- = \begin{bmatrix} v_{11}^- & \cdots & v_{1m}^- \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ v_{n1}^- & \cdots & v_{nm}^- \end{bmatrix} \quad (9)$$

其中, v_{ij}^+ 表示第 i 个等级下第 j 个指标的最优解, v_{ij}^- 表示第 i 个等级下第 j 个指标的最劣解。

3.2.4 计算贴近度

(1) 实际解与正负理想解的距离

$$D_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m w_i [(v_i - v_{ij}^+) / (v_{ij}^+ - v_{ij}^-)]^2} \quad (10)$$

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m w_i [(v_i - v_{ij}^-) / (v_{ij}^+ - v_{ij}^-)]^2} \quad (11)$$

其中, D_j^+ 表示实际指标值与第 j 级正理想解的加权归一化欧式距离, D_j^- 表示实际指标值与第 j 级负理想解的加权归一化欧式距离。

(2) 贴近度

本文将贴近度作为反映指标集与理想解接近程度的考量值, 定义如式(12)。贴近度越小, 表明电力 ICT 网待评价的指标集整体越贴近正理想解, 即电力 ICT 网的待评价指标整体越优秀。

$$\rho(v, D_j^+) = \frac{D_j^-}{D_j^+ + D_j^-} \quad (12)$$

其中, $\rho(v, D_j^+)$ 表示实际指标集 v 和第 j 级正理想解的贴近度。

令:

$$\rho_{j_0} = \min_{1 \leq j_0 \leq m} \rho(v, D_j^+) \quad (13)$$

取贴近度最小的等级 j_0 作为指标集 v 的最终评价等级。

3.2.5 多级可拓

利用上述方法可通过三级指标的实际值与权重得到各二级指标的关于等级 j 的贴近度, 再与各二级指标的权重加权求和, 可得到各一级指标关于等级 j 的贴近度, 取贴近度最小的等级作为一级指标的最终评价等级。

计算式为:

$$\rho_n = \sum_{m=1}^k \lambda_m \rho_{mn} \quad (14)$$

其中, ρ_n 表示二级指标关于等级 n 的贴近度, ρ_{mn} 表示三级指标 v_m 关于等级 n 的贴近度, λ_m 表示三级指标 v_m 的权重, k 表示该二级指标所包含的三级指标个数。

4 算例分析

本文以某典型地区电力 ICT 网为例, 验证本文建立算法的可行性和合理性。该地区地理形状狭长, 负荷增长较快, 运行状态良好。根据其系统内部原始统计数据, 得到该地区电力 ICT 网发展水平诊断指标的实际数据, 见表 3。

表 3 电力 ICT 网发展水平诊断指标经典域及权重

三级指标	权重	指标值	经典域			
			优秀($j=1$)	良好($j=2$)	中等($j=3$)	差($j=4$)
A_{11}	0.220 9	238.2	(250, 300)	(200, 250)	(150, 200)	(100, 150)
A_{12}	0.779 1	417.1	(400, 420)	(380, 400)	(360, 380)	(340, 360)
A_{21}	0.927 2	13.2%	(30%, 40%)	(20%, 30%)	(10%, 20%)	(0, 10%)
A_{22}	0.072 8	3.0%	(15%, 20%)	(10%, 15%)	(5%, 10%)	(0, 5%)
B_{11}	0.225 6	12.6	(20, 25)	(15, 20)	(10, 15)	(5, 10)
B_{12}	0.774 4	4.8%	(6%, 8%)	(4%, 6%)	(2%, 4%)	(0, 2%)
B_{21}	0.216 4	1846	(1 000, 1 500)	(1 500, 2 000)	(2 000, 2 500)	(2 500, 3 000)
B_{22}	0.783 6	91%	(75%, 100%)	(50%, 75%)	(25%, 50%)	(0, 25%)
C_{11}	0.833 3	6.1%	(15%, 20%)	(10%, 15%)	(5%, 10%)	(0, 5%)
C_{12}	0.166 7	4 512.5	(5 000, 6 000)	(4 000, 5 000)	(3 000, 4 000)	(2 000, 3 000)
C_{21}	0.333 5	0.175 3	(0.75, 1)	(0.5, 0.75)	(0.25, 0.5)	(0, 0.25)
C_{22}	0.321 4	0.217 2	(0.75, 1)	(0.5, 0.75)	(0.25, 0.5)	(0, 0.25)
C_{23}	0.345 1	0.619 8	(0.75, 1)	(0.5, 0.75)	(0.25, 0.5)	(0, 0.25)
C_{31}	0.255 2	1 375	(1 800, 2 000)	(1 600, 1 800)	(1 400, 1 600)	(1 200, 1 400)
C_{32}	0.774 8	27.6%	(30%, 40%)	(20%, 30%)	(10%, 20%)	(0, 10%)
C_{41}	0.779 1	1.5%	(0, 2%)	(2%, 4%)	(4%, 6%)	(6%, 8%)
C_{42}	0.220 9	5.7%	(0, 5%)	(5%, 10%)	(10%, 15%)	(15%, 20%)



表 4 各二级指标的贴适度及隶属等级

二级指标	等级	权重	贴适度			
			$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$
A_1	$j=2$	0.574 4	0.438 2	0.312 7	0.387 2	0.421 4
A_2	$j=4$	0.425 6	0.611 2	0.697 4	0.698 4	0.203 1
B_1	$j=3$	0.574 4	0.676 2	0.677 0	0.250 2	0.360 2
B_2	$j=2$	0.425 6	0.565 8	0.308 8	0.376 6	0.415 6
C_1	$j=4$	0.195 1	0.614 5	0.688 1	0.533 3	0.300 1
C_2	$j=4$	0.437 1	0.601 9	0.639 6	0.535 8	0.358 6
C_3	$j=2$	0.059 4	0.836 8	0.242 3	0.301 2	0.389 3
C_4	$j=2$	0.308 4	0.787 2	0.163 9	0.351 3	0.406 5

根据该地区的诊断需求,本文将电力 ICT 网发展水平诊断等级分为优、良、中、差 4 个等级,分别对应 $j=1,2,3,4$ 。

利用第 2.1 节中的指标权重确定方法以及专家打分,可得到三级指标的权重,见表 3,二级指标的权重见表 4,一级指标的权重见表 5。

表 5 各一级指标的贴适度及隶属等级

一级指标	等级	权重	贴适度			
			$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$
A	$j=4$	1	0.511 8	0.476 4	0.519 6	0.328 5
B	$j=3$	0.322 8	0.629 2	0.520 3	0.304 0	0.383 8
C	$j=4$	0.677 2	0.675 5	0.478 8	0.464 5	0.363 5

根据表 3 中三级指标的指标值与其经典域,由式(10)~式(12)可计算出各二级指标关于各等级的贴适度,见表 4。根据式(13)最小贴适度原则,则可得到各二级指标隶属等级。

根据表 4 各二级指标等级结果可知,该地区电力 ICT 网的运维成本、业务水平、运行水平的等级均为 $j=2$,诊断结果为“良好”,即表明该地区电力 ICT 网的运维成本、业务水平、运行水平尚可;而装备水平和网络水平的等级均为 $j=4$,诊断结果为“差”,表明该地区电力 ICT 网的装备急需更新维护,网络拓扑急需优化改建;电力 ICT 网投资规模等级 $j=3$,诊断结果为“中”,表明该地区电力信网的投资规模有待增大。

同理,根据表 4 结果及式(14)可计算出各一级指标关于各等级的贴适度,根据式(13)最小贴适度原则可得到各一级指标隶属等级,结果见表 5。

由表 5 结果可知,该地区电网综合发展水平指标和该

地区电力 ICT 网技术性指标的等级 $j=4$,诊断结果为“差”,表明该地区电网综合发展水平和电力 ICT 网技术水平较落后;该地区电力 ICT 网经济性指标的等级 $j=3$,诊断结果为“中”,表明该地区电力 ICT 网的投资力度及运维成本尚可。

由表 5 结果及式(1)可计算出该地区电力 ICT 网发展水平最终诊断结果 $j^*=0.919 3$,诊断结果为“优”。由此表明,该地区电力 ICT 网发展水平与当地电网发展水平相匹配,该地区电力 ICT 网能有效支撑电网,保证电网的安全稳定运行。

从以上诊断分析可知,若要进一步提高该地区电力 ICT 网的发展水平,应增大电力 ICT 网投资力度,首先从网络的装备水平、网络拓扑入手。

5 结束语

本文构建了较为合理的电力 ICT 网发展水平诊断指标,运用区间层次法以及可拓关联函数确定指标权重,并提出了一种基于可拓学的电力 ICT 网多目标分层诊断模型。该模型有效集合主观性和客观性,不仅可对电力 ICT 网整体发展水平进行诊断分析,还可对影响电力 ICT 网整体发展水平的各个因素的变化趋势进行诊断分析,并给出相应的诊断建议,对未来电力 ICT 网的发展建设具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 边二朝. 地区电网发展水平诊断体系及应用研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2014.

- BIAN E Z. Regional power grid development level diagnosis system and its application research [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2014.
- [2] 吴润泽, 王欣宇, 张晓平, 等. 一种分布式电源并网监控通信适应性评价方法[J]. 电力系统自动化, 2014(8): 72-77, 107.
WU R Z, WANG X Y, ZHANG X P, et al. An adaptive evaluation method of distributed power grid connected monitoring system [J]. Automation of Electric Power System, 2014(8): 72-77, 107.
- [3] 阿辽沙·叶, 祝恩国, 成倩, 等. 用电设备安全评估的改进区间层次分析法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2015(1): 32-36.
ALIAOSHA·Y, ZHU E G, CHENG Q, et al. Improved interval analytic hierarchy process for safety assessment of electrical equipment [J]. Journal of Electric Power System and its Automation, 2015(1): 32-36.
- [4] 李滨, 王亚龙. 基于多级可拓评价法的变电站建设项目功能效果后评价[J]. 电网技术, 2015(4): 1146-1152.
LI B, WANG Y L. Based on the multi-level extension evaluation method of substation construction project function effect after the evaluation [J]. Power Grid Technology, 2015(4): 1146-1152.
- [5] 李彦斌, 于心怡, 王致杰. 采用灰色关联度与 TOPSIS 法的光伏发电项目风险评价研究[J]. 电网技术, 2013(6): 1514-1519.
LI Y B, YU X Y, WANG Z J. Research on the risk assessment of photovoltaic power generation project using the grey correlation degree and TOPSIS method [J]. Power Grid Technology, 2013(6): 1514-1519.
- [6] SATTY T L. The analytic hierarchy process [M]. New York: McGraw-Hill, 1980.

[作者简介]



李莉(1979-),女,国网冀北电力有限公司经济技术研究院高级工程师,主要研究方向为通信规划评审。



罗田田(1993-),女,华北电力大学硕士生,主要研究方向为电力通信网诊断评估。



张亚娜(1984-),女,国网冀北电力有限公司廊坊供电公司信息通信分公司助理工程师,主要研究方向为通信运维管理。



吴润泽(1975-),女,华北电力大学副教授,主要研究方向为电力系统通信与信息技术。