

层次分析法在终端通信接入网中的应用

随着电网智能化的发展，终端通信网将承载越来越多的智能化业务。因此，需要建设可靠、高速的网络来进行支撑。其中如何规划、建设和运维终端通信接入网将是网络建设的关键。由于终端通信接入网具有终端节点多、运维量大、对通信的可靠性要求高和支撑能力要求高等特点，需要建立多层次的指标评价体系。应用层次分析法确定指标权重后，结合灰色系统理论，判断各因素之间的接近程度，从而减小设备分析的计算量，使整体的比较机制可以较强地分析研究对象的各种复杂关系；同时，通过序列建模的方式，实现对终端接入设备的客观科学的运行质量评价。

孟玲莉 王伟 王梓萌 张倩宜 田丹/天津市电力公司

0 引言

电力通信网主要由电力骨干通信网和终端通信接入网两部分组成。随着智能电网的快速发展，电网智能化、配用电信息化逐渐成为发展的趋势。需要建立高效、安全、可靠的智能化和配电自动化等综合终端接入通信网络管理系统。文献[1]中提出了“智能配用电信息及通信支撑技术研究与发展”的课题。在任务五“智能配用电通信综合网络管理技术研究”中提出了智能配用电通信综合网络管理系统。目前，电动汽车充电站、生态智能小区、用电信息采集和配电自动化作为最重要的承载业务均需要通过终端接入设备连接到电力通信网中。通信是智能电网及配电终端接入的关键技术，通信设备的性能优劣则最终决定智能化电网建设及配网建设的优劣，甚至终端接入通信网的运行状态也直接由通信设备的运行质量反映。所

以，如何评价终端接入设备的优劣，对设备的总体运行情况进行评估，从而保证电力终端接入网的可靠运行有着重要的意义。

1 评价指标体系的确定

终端通信接入网存在着多种组网方式，不同形式的组网方式下存在着不同的通信设备。由于当前网络正趋于自动化、IP化方向发展，且终端接入网的通信设备往往以局站为单位来划分，故本文主要研究IP化设备的运行质量。针对文献[2]中提出的终端通信接入网的终端节点多，运维量大，对通信的可靠性要求高，支撑能力要求高等特点，提出了对通信设备运行质量评价的多指标多层次的体系结构。由于存在不同的厂家网管，不同厂家提供了不同的设备参数信息，调研EPON网络中的OLT设备以及工业以太网中的交换机，对其设备信息进行抽象，提取出设备运行质量评价的指标参数。

评价指标体系的建立是进行综合评价的基础，指标的适宜程度直接影响到评价的结果，本文遵循指标体系建立的客观性，可测性，全面性，结合终端通信接入网系统的特殊性，从三个方面建立了设备运行质量评估的指标体系。

1.1 指标体系的分析

1) 基本特性。基本特性是指设备正常运行时自身的一些性能参数，主要反映设备承载能力和处理数据的性能，是反映设备运行质量的重要指标。主要从



孟玲莉/工程师

关键词/Keywords

层次分析法 ·
终端通信接入网 ·
序列建模 ·

CPU利用率、内存利用率和平均速率三个方面进行评价。

2) 可靠性。终端接入网作为底层的支撑网络，对可靠性要求较高。是评价的一个重要方面。本文主要从五个方面对设备的可靠性进行评价：在线率（设备的在线率，它是系统运行中重要的指标，对终端通信设备的在线率进行统计，是了解设备运行状况的一个重要手段。用设备在线的时间除以总的时间即可得到一段时间内设备的在线率）、输出丢包率、输入丢包率、输入包错误率和输出包错误率。

3) 静态特性。设备的一些性能参数随着设备运行变换不大或者基本不变，但又是评价设备的重要参数。①设备的可使用寿命。设备出厂时规定的有设备正常工作的使用期限。超过使用期限后，设备的性能可能会出现明显的下降。本文取设备剩余的寿命年限作为考察对象。②端口的数量。设备端口的数量也是反映其性能最直观的衡量。③MAC地址。指设备中MAC地址表中最多可以存放的MAC地址数量，存储的MAC地址数量越多，那么数据转发的速率和效率也就越高。④扩展支持。主要体现设备对一些标准以及协议的支持程度，该指标通过对设备进行测试，由专业人员打分获取。

1.2 评价指标体系的建立

通过对通信设备的基本特性、静态特性以及可靠性的分析，可以构建出设备运行质量综合评价的指标体系。评价指标体系的建立应遵循以下原则：①指标宜少不宜多，易简不易繁。②指标应该具有独立性。③指标应具有代表性，能够很好地反映研究对象某方面的特性。④评价指标含义要明确，数据要规范，口径要一直，资料收集要简单易行。其中可靠性的五项指标中，由于输出包错误率和输入包错误率，输入丢包率和输出丢包率每组都分为输入和输出两项，而输入和输出两个方面的指标测试方式和对评价结果的影响程度是一致的，因此可以将四项指标统一成两组指标，分别为丢包率、包错误率，它们可以通过计算输入和输出的平均值得到。故构建的指标体系如下图所示。

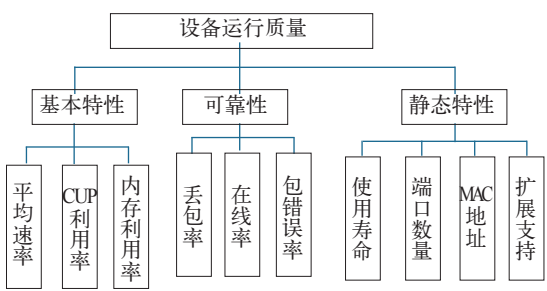


图 评价指标体系

2 综合评价方法的研究

构成了综合评估的评价指标体系后，给指标赋权是综合评价过程中的一个重要环节，通过对建立的指标体系中各个指标进行赋权，可以区分不同指标的相对重要程度。权重确定是否合理直接关系到评价的准确性和科学性。

AHP^[3]法能把复杂系统的决策思维进行层次化，把决策过程中定性和定量的因素有机地结合起来，判断矩阵的建立、排序计算和一致性检验，得到具有说服力的最后结果。通过两两比较的方式确定层次中诸因素的相对重要性，将人的主观性判断用数量的形式表达出来，使之条理化、科学化，从而避免由于人的主观性导致权重预测与实际情况相矛盾的现象发生，克服了决策者的个人偏好，提高了决策的有效性，在多目标规划领域具有广泛的应用价值。本文采用AHP算法实现对指标权重的计算。

本文的基本思路是：首先在层次分析法的基础上建立了评价指标体系和层次结构，计算并优化相应的因素权重值，然后确定参考序列。利用灰色关联分析理论^[6,7]采用灰色关联度为测度去评价各个待评价序列与参考序列之间的关联程度，并进行灰关联排序，由此确定设备的综合性能。具体计算步骤如下。

1) 确定参考序列 $x_0(k)$ 和待比较序列 $x_i(k)$ ，其中 $k=1,2,\cdots N$ 为待比较设备的序列号， $i=1,2,\cdots I$ 为各个设备中比较参数的序列号，即指标体系中各指标对应的序号。

2) 对序列值进行归一化操作。由于该评估指标体系中，各个因素的物理意义不同，计量单位

也不相同，从而导致数据的量纲和数量级可能不同，因此在进行多层次灰色关联分析之前，需要对数据进行无量纲化处理，处理方法有以下两种

$$x_i(j)=\begin{cases} \frac{x_i(j)-\min_i x_i(j)}{\max_i x_i(j)-\min_i x_i(j)} & \text{越大越优型} \\ \frac{\max_i x_i(j)-x_i(j)}{\max_i x_i(j)-\min_i x_i(j)} & \text{越小越优型} \end{cases} \quad (1)$$

式中， $\min_i x_i(j)$ 和 $\max_i x_i(j)$ 分别为 $i=1,2,\cdots I$ 时，指标序列在第 j 项的最小值和最大值。

3) 计算各个比较序列 x_i 与参考序列 x_0 之间的灰色关联系数 $\gamma(x_0(k),x_i(k))$ 。

$$\gamma(x_0(k),x_i(k))=\frac{m+\varepsilon M}{V_{0i}(k)+\varepsilon M} \quad (2)$$

式中， $i=1,2,\cdots I$ ， $k=1,2,\cdots N$ 。 $V_{0i}(k)=|x_0(k)-x_i(k)|$ 为各个序列值与参考序列的绝对差。 $m=\min_i \min_k V_{0i}(k)$ ，表示为所有待比较序列在第 i 个指标序列中的最小值。 $M=\max_i \max_k V_{0i}(k)$ ，表示为所有待比较序列在第 i 个指标序列中的最大值。 ε 为分辨系数， $\varepsilon \in (0,1)$ ，在最少信息原理下， ε 取值为0.5。

4) 利用层次分析法，采用文献[4-5]中的方法，计算一级指标，二级指标的指标权重。记为 $w(k)$ ， $k=1,2,\cdots I_1,I_2,I_3\cdots$ 。 $w(k)$ 表示序列中第 k 项的权重， $w(k)$ 的值越大表示序列中第 k 项越重要，对综合评价结果影响越大。

5) 计算各个比较序列与参考序列之间的灰色关联度。

$$\gamma(x_0,x_i)=\sum_{k=1}^N w(k)\gamma(x_0(k),x_i(k)) \quad (3)$$

6) 计算设备综合评价。一级指标的权重向量为 $w=(w_1,w_2,\cdots,w_n)$ ，各个指标关于一级指标的关联度向量为 $\gamma=(\gamma_1,\gamma_2,\cdots,\gamma_n)$ ，令 $\gamma^T=(\gamma_1,\gamma_2,\cdots,\gamma_n)^T$ 为关联度向量的转置向量。则设备综合评价值为

$$v=w\cdot\gamma^T \quad (4)$$

3 实验结果及分析

在确定了评价指标体系和确定了综合评估方法后，以终端通信接入网中运行的通信设备为例，根据指标体系进行数据采集，对设备的运行状况进行综合评价。本案例是采集江苏省南京市

某站内的OLT设备的信息。根据评价指标体系，对设备采集的信息如表1所示。

表1 评价指标的参考值与评价值

一级指标	二级指标	指标基准值 (x_0)	设备A的实 际值(x_A)	设备B的实 际值(x_B)
基本性能	CPU利用率	30%	20%	23%
	内存利用率	40%	30%	45%
	平均速率	100	84	79
	在线率	100%	98.8%	99%
可靠性	丢包率	1%	0.5%	1.7%
	包错误率	0.01%	0.1%	0.05%
	使用寿命	10	9	7
静态特性	端口数量	64	48	32
	MAC地址	1 024	1 024	1 024
	扩展支持	10	9	8

依据层次分析法和灰色关联分析对指标进行分析，以可靠性对应的二级指标为例。利用式（1）对设备采集到的信息进行归一化处理。 $x'_0=(1,0.58,1)$ ， $x'_A=(0,1,0)$ ， $x'_B=(0.17,0,0.56)$ 。

根据层次分析法来确定指标体系中各个因素的权重，所得到的权重如表2所示。

根据归一化数据以及式（2）和式（3）计算出比较序列与参考序列之间的灰色关联度

$$\gamma_2=(x_0,x_A)=0.847,\gamma_2=(x_0,x_B)=0.929。$$

同理，利用式（2）和式（3）可以计算出基本特性、静态特性与参考序列之间的关联度分别

表2 指标体系权重

一级指标	一级指标权重	二级指标	二级指标权重
基本特性	0.258	CPU利用率	0.687
		内存利用率	0.244
		平均速率	0.069
		在线率	0.708
可靠性	0.637	丢包率	0.298
		包错误率	0.187
		使用寿命	0.053
		端口数	0.252
静态特性	0.105	MAC地址	0.473
		扩展支持	0.222

为

$\gamma_1 = (x_0, x_A) = 0.94, \gamma_1 = (x_0, x_B) = 0.78$
 $\gamma_3 = (x_0, x_A) = 0.654, \gamma_3 = (x_0, x_B) = 0.648$

由以上的关联度可以获得设备A的关联度向量为 $\gamma_A = (0.94, 0.847, 0.654)$ 。设备B的关联度向量为 $\gamma_B = (0.78, 0.929, 0.648)$ 。经过以上分析设备A的静态特性和基本性能优于设备B，设备B的可靠性优于设备A。根据一级指标的权重向量 $\omega = (0.258, 0.637, 0.105)$ 。由式（4）可以计算得到设备A和设备B的综合评价价值分别为0.85和0.86。由此可知设备B的总体性优于设备A的总体性能。

4 结束语

本文通过对设备信息的分析，建立了多指标多层次的综合评价体系，将层次分析法和灰色关联理论应用到综合评估中，评价结果易于定量表示，更加的客观、科学。不仅可以从整体上对设备进行综合评价，而且可以根据需要从某个侧面对其进行特殊性的评价，体现了评价方法的通用性和特殊性需求。

参考文献

[1] 国家高技术研究发展计划（863计划）“智能配用电信息及通信支撑技术与研究开发”课题任务书. 国网

信息通信有限公司.

[2] 孟凡博. 电力终端通信接入网建设[J]. 电力系统通信, 2012(6).

[3] Xu Shubai. Analytic hierarchy process principle[M]. Tianjin: Tianjin University Press, 1988.

[4] 常建娥. 层次分析法确定相关权重的研究. 武汉理工大学学报: 信息管理工程版, 2007(1).

[5] Li Zhigang. The comprehensive evaluation model of the algorithm for the association rules based on AHP[C]. Computational Intelligence and Industrial Applications , Nov. 28-29, 2009, Wuhan, China, 2009, 1: 401-404.

[6] Deng J L. Control problems of grey systems . Systems and Control Letters , 1982, 1(5): 288-294.

[7] Deng J L. Course on grey system theory[M]. Wuhan, China: HUST Press, 1990.

作者简介

孟玲莉（1983-），女，工程师，主要从事信息通信技术方面的工作。

（收稿日期：2015-12-10） **EA**
（编辑：鞠佳）

（上接第614页）

力，2012, 45(5): 86-90.

[12] 蒋金，孙中伟. 浅述智能电网的信息安全[J]. 信息安全与通信保密，2013, (7): 75-76.

[13] 余贻鑫，栾文鹏. 智能电网述评[J]. 中国电机工程学报，2009, 29(34): 1-8.

[14] 徐煜耀，徐鑫，侯兴哲，等. 构建新一代智能配用电通信网建议[J]. 电力系统自动化，2013, 37(10): 1-5,18.

[15] 汤忆则，马平，高钧利，等. 基于智能电网的一体化信息通信网络发展研究[J]. 数字通信，2014, 41(4): 80-83.

[16] 李杰，李鹏伟，李玉坤，等. 云计算在智能电网中的应用研究[J]. 数学的实践与认识，2012, 42(13): 123-129.

[17] 彭小圣，邓迪元，程时杰，等. 面向智能电网应用的电力大数据关键技术[J]. 中国电机工程学报，2012, 35(3): 503-511.

[18] 孙柏林. “大数据”技术及其在电力行业中的应用[J]. 电气时代，2013(8): 18-23.

[19] 张东霞，苗新，刘丽平，等. 智能电网大数据技术发展研究[J]. 中国电机工程学报，2015, 35(1): 2-12.

作者简介

王梓蒨（1985-），女，工程师，主要从事信息通信系统调控与运维方面的工作。

（收稿日期：2015-12-10） **EA**
（编辑：鞠佳）