

基于 GRA 与 PCA 的电网发展协调性评估研究

李金超¹, 牛东晓¹, 李金颖¹, 王智冬²

(1. 华北电力大学经济与管理学院, 北京 102206; 2. 国网北京经济技术研究院, 北京 100761)

摘要: 从社会、经济、资源和环境四个角度出发建立了电网发展协调性评估指标体系。选用灰色关联度分析方法作为协调度度量方法, 对指标值进行了定量计算。为了克服指标间的相关性选用主成分分析方法对协调性评估指标进行综合计算。最后运用某区域电网相关数据对所建评估模型进行验证, 计算结果表明建立的评估模型是可行的。

关键词: 电网发展; 协调性; 灰色关联分析; 主成分分析; 评估模型

Evaluation of the power grid development coordination based on the GRA and PCA method

LI Jin-chao¹, NIU Dong-xiao¹, LI Jin-ying¹, WANG Zhi-dong²

(1. Economics and Management School, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

2. State Power Economic Research Institute, Beijing 100761, China)

Abstract: In this paper, the power grid development coordination evaluation index system is set up from the aspects of society, economy, resource and environment. Then the grey relational analysis (GRA) is used to calculate index value quantitatively. In order to overcome the correlation among the indexes, the principal component analysis (PCA) is chosen to calculate the coordination evaluation index comprehensively. At last, the related data of a certain regional power grid are used to test the established evaluation model, and the results show that it is feasible.

Key words: power grid development; coordination; grey relational analysis; principal component analysis; evaluation model

中图分类号: F407.2; F062.4 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)18-0049-05

0 引言

电网是电力工业的重要环节, 其可持续发展是实现国民经济健康发展、社会稳定等的重要保障。按照可持续发展理论, 电网可持续发展的关键在于电网发展同经济、环境、社会相协调, 在保证电网外部环境协调可持续发展的同时, 实现自身可持续发展。因而协调性成为电网发展的目标之一。

电网发展协调性体现在电网发展同外部环境之间的和谐关系, 体现在电网构成要素间的有机配合中。这也使得电网发展成为一名复杂的系统工程, 因此可以运用系统理论来评估电网发展。而系统理论在评估复杂系统协调性时, 通常采用协调度^[1]来衡量。协调度指系统之间或系统构成要素之间在发展过程中彼此和谐一致的程度。

1 电网发展协调度定义

设电网系统 S 由若干子系统组成, 假设描述各

子系统的指标为 I_1, I_2, \dots, I_n , 记为 $I = (I_1, I_2, \dots, I_n)$ 。电网发展的协调度定义为:

$$Co_n(I) = \sum_{j=1}^n f_j(I_j) \cdot W_j \quad (1)$$

式中: $f_j(I_j)$ 是关于 I_j 的某种度量 (满意度), $0 \leq f_j(I_j) \leq 1, j=1, 2, \dots, n; W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$

为权向量, 满足 $\sum_{j=1}^n W_j = 1, 0 \leq W_j \leq 1$, 很容易地推断出电网整体协调性满足 $0 \leq Co_n \leq 1$, 同时 Co_n 越接近 1 说明电网协调性越好。

2 电网发展协调度评估指标体系

2.1 指标体系建立的原则

为使指标能充分体现电网发展协调性评估有效性和实用性要求, 其选取应遵循如下几点原则:

- (1) 科学、全面地反映出所评估的主要因素。
- (2) 概念明确、定义清楚, 可操作性好。

- (3) 避免指标间内容相互交叉和重复。
- (4) 系统性和层次性相结合。
- (5) 定性与定量相结合。

2.2 电网发展协调度评估指标体系的选取

通过分析整理电网发展相关研究文献和电力相关统计年鉴等，建立电网发展协调度评估指标体系如图 1。

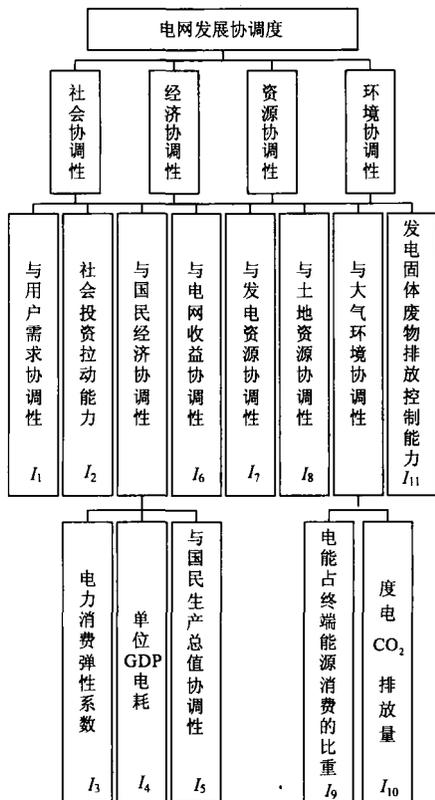


图 1 评价指标体系层次结构

Fig.1 Hierarchy of evaluation index system

2.3 指标度量方法与度量

2.3.1 灰色关联度^[2]

运用灰色关联度计算电网发展协调性评价部分指标的协调度作为指标值。

灰色关联分析的基本步骤如下：

1) 确定主因素序列和参考序列

$$X_0 = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)\},$$

$$X_i = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)\} \quad (i=1,2,\dots,m)$$

其中： X_0 表示参考序列； X_i 表示主因素序列。

2) 对序列进行无量纲化处理

$$X'_i = X_i / X_i(1) = \{x'_i(1), x'_i(2), \dots, x'_i(n)\} \quad (i=0,1,2,\dots,m)$$

其中， $X_i(1)$ 是主因素序列 X_i 的初始值。

3) 计算灰色关联系数

设 $\Delta_i(k) = |x'_0(k) - x'_i(k)|$ ，则差序列：

$$\Delta_i = (\Delta_i(1), \Delta_i(2), \dots, \Delta_i(n)) \quad (i=0,1,2,\dots,m)$$

两极最大差和最小差：

$$A = \max_i \max_k \Delta_i(k), a = \min_i \min_k \Delta_i(k)$$

关联系数：

$$\zeta_i(k) = \frac{a + \rho A}{\Delta_i(k) + \rho A} \quad (2)$$

$$(k=1,2,\dots,n; i=1,2,\dots,m)$$

其中， $\rho \in (0,1)$ 通常取值 0.5^[3]。

4) 关联度求解

$$\zeta_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \zeta_i(k) \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (3)$$

关联度介于 -1 与 +1 之间，即 $-1 \leq \zeta_i \leq +1$ 。其性质如下：

当 $\zeta_i > 0$ 时，表示两变量正相关， $\zeta_i < 0$ 时，两变量为负相关。

当 $|\zeta_i| = 1$ 时，表示两变量为完全线性相关，即为函数关系。

当 $\zeta_i = 0$ 时，表示两变量间无线性相关关系。

当 $0 < |\zeta_i| < 1$ 时，表示两变量存在一定程度的线性相关。且 $|\zeta_i|$ 越接近 1，两变量间线性关系越密切； $|\zeta_i|$ 越接近于 0，表示两变量的线性相关越弱。

2.3.2 基准值法

考虑到评估模型中涉及到的指标所反映的实际意义各不相同，为使不同单位的指标具有可比性，需要对原始数据进行相应的归一化处理。归一化处理有许多方法，在可持续发展研究中，通常是与一定的基准值相比较，这样可以看出指标度量值是否突破一定的基准值，以便做出相应的评估和反应。在评估电网发展协调度模型中，部分指标的度量采用基准值法进行处理。鉴于基准值的选取对模型指标度量值的大小乃至最后协调度的大小具有关键作用，同时，出于对指标可比性、科学性、可持续性、发展要求等的考虑，在选取指标基准值时通过以下途径来实现^[4]：(1) 国外发达国家一定时期的有关指标；(2) 有关指标的世界平均值；(3) 现阶段我国发展水平比较高和发展水平比较低的省份或地区的有关指标；(4) 预测的发展水平。

2.3.3 具体指标度量说明

1) 与用户需求协调性 (I_1)

电网同用户之间是相互影响的。电网是满足用户电能需求的物质平台，用户的需求特性对电网的

运行安全、效率具有重要影响。通过计算历年区域电网内各省配电网变电容量与同年份各省最大负荷的相关度定量度量。

2) 社会投资拉动能力^[5] (I_2)

电网发展需要大量的人力、物力、财力投入,反言之,电网的发展能够带动其他相关产业的发展。本文从对建材行业的拉动能力、对建筑行业的拉动能力、对劳动力市场的拉动能力、对交通运输市场的拉动能力、对电力设备行业的拉动能力五个方面对电网发展的社会投资拉动能力进行评估。

拉动能力度量公式如下:

拉动能力=电网引起的产出增值/总产值

电网发展对社会拉动能力综合值,通过综合计算各拉动行业总产出占全社会总产出的比重获得。

3) 与国民经济协调性

电网是国民经济的重要基础。电网发展要满足国民经济发展的需要,本文用电力消费弹性系数、与国民生产总值的协调性、单位 GDP 电耗三个指标来度量电网发展同国民经济的协调性。

a) 电力消费弹性系数 (I_3)

电能消费增长速度与国民经济增长速度的比值。又称电能消费弹性系数。

b) 与国民生产总值的协调性 (I_4)

通过计算电网输配电容量同国民生产总值之间的灰色关联度来度量,此指标度量电网发展规模与国民经济总量的协调性。

c) 单位 GDP 电耗 (I_5)

单位 GDP 电耗=全社会用电量/GDP

单位 GDP 电耗反映电能产值效率。电网发展不仅是停留在满足国民经济发展初级阶段,电网发展应该能够为促进电能利用效率的提高而贡献力量,推动国民经济结构向高附加值的行业倾斜。

因此引入单位 GDP 电耗作为与国民经济协调的评估指标之一。

4) 与电网收益协调性 (I_6)

电网不仅要满足国民经济发展的需要,而且要满足电网企业自身经济发展的需要。通过计算电网输配电容量同电网净利润之间的灰色关联度来度量。

5) 与发电资源协调性 (I_7)

通过计算历年各省电网变电容量同发电机组装机容量间的灰色关联度来定量当年电网发展同发电资源的协调性。

6) 与土地资源协调性^[6]

电网由大量的变电站与输电线路构成,需要占

用一定量的土地资源。本文运用单位输电容量占用土地面积 (I_8) 对电网发展与土地资源的协调性进行定量度量。

7) 与大气环境协调性

电网发展有利于提高电能消费在能源消费总量中所占比重,同时电能是优质、清洁、高效、方便无二次污染的二次能源,其比重的提高将有利于减少煤炭直接燃烧所造成的大气污染。因此,本文采用电能占终端能源消费比重 (I_9)、度电 CO₂ 排放量 (I_{10}) 定量计算电网发展与大气环境的协调性。

8) 发电固体废物排放控制能力 (I_{11})

电网发展有助于推动发电资源的优化配置,通过加大清洁能源在发电结构中的比重,达到减少固体废物排放的目的,实现同环境的协调发展,用清洁能源上网电量比重对此指标进行度量。

2.3.4 电网发展协调度综合评估方法

针对目前协调性评价方法中存在的指标之间相关性和指标权重选取问题,选用主成分分析法^[7]对电网发展协调性进行评价计算。该评价方法优点是:(1)可以消除由于指标间的相关性带来的偏差,提高评价结果的可信度;(2)可以消除人为确定指标权重引起的弊病,使评价结果更具客观性和准确性。

主成分分析法计算步骤如下:

1) 将某电网 n 年的 p 个指标的标准化数据构成指标数据矩阵 X 。

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1n} \\ \vdots & & & \vdots \\ X_{p1} & X_{p2} & \cdots & X_{pn} \end{bmatrix}$$

2) 计算 X 的相关矩阵 R 的特征向量,将所得特征值从大到小排列, $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \cdots \geq \lambda_n > 0$ 。特征向量为 A_i 。计算主成分的贡献率 K_i , 计算累积贡献率 $\sum_{i=1}^d \lambda_i / \sum_{i=1}^p \lambda_i$, 不小于 85%, 将原有指标按照相应系数组合成 d 个主成分作为评价用的指标。

3) 计算样本的综合评价值的计算式为:

$$Y = \sum_{i=1}^d F_i W_i \quad (4)$$

其中: $F = X \times B$ (B 为相应系数, 可通过 SPSS 和 Matlab 软件计算获得), $W_i = \lambda_i / \sum_{i=1}^p \lambda_i$ 。

表 3 指标值标准化

Tab.3 The indexes standardization

指标	2003	2004	2005	2006	2007
I_1	0.56	0.57	0.55	0.53	0.53
I_2	0.01	0.01	0.013	0.019	0.021
I_3	0.64	0.66	0.77	0.79	0.85
I_4	0.94	0.96	0.95	0.96	0.96
I_5	0.34	0.32	0.31	0.30	0.30
I_6	0.22	-0.09	-0.20	-0.25	-0.35
I_7	0.62	0.63	0.69	0.66	0.68
I_8	0.6	0.69	0.72	0.78	0.84
I_9	0.44	0.44	0.43	0.47	0.49
I_{10}	0.70	0.70	0.70	0.69	0.72
I_{11}	0.77	0.84	0.91	0.84	0.83

3 实例分析

选择我国某区域电网作为协调性评估对象, 运用本文建立的评估模型对该区域电网 2003 年至 2007 年的发展协调性进行测算。

3.1 原始指标值

通过地区统计年鉴、电力统计年鉴等, 并按照各指标定义的度量方法计算得到电网发展协调性评估指标值, 结果如表 1 所示。

表 1 某区域电网原始指标值

Tab.1 Indexes' value of the regional power grid

指标	2003	2004	2005	2006	2007
$I_1/\%$	55.78	56.87	55.49	52.89	53.48
I_2	0.010	0.010	0.013	0.019	0.021
I_3	1.56	1.52	1.3	1.26	1.18
I_4	0.94	0.96	0.95	0.96	0.96
$I_5/(\text{kWh}/\text{万元})$	1 244.3	1 303.1	1 347.8	1 382.5	1 418.3
I_6	0.22	-0.09	-0.20	-0.25	-0.35
I_7	0.62	0.63	0.69	0.66	0.68
$I_8/(\text{m}^2/\text{kW})$	50	43.6	41.9	38.7	35.8
$I_9/\%$	17.67	17.54	17.1	18.84	19.60
$I_{10}/(\text{kg}/\text{kWh})$	0.84	0.85	0.84	0.85	0.82
$I_{11}/\%$	13.7	14.9	16.3	14.97	14.89

3.2 基准值

按照基准值选取的四种途径获取指标基准值并指出了指标属性, 具体如表 2 所示。

表 2 指标基准值

Tab.2 Reference value of the indexes

指标	属性	基准值	备注
$I_1/\%$	正	100	负荷率最优为 100
I_2	正	0.1	未来预测值
I_3	逆	1	发达国家为 1~1.2
I_4	正	1	最佳协调度为 1
$I_5/(\text{kWh}/\text{万元})$	逆	421	美国 2003 年~2007 年均值
I_6	正	1	最佳协调度为 1
I_7	正	1	最佳协调度为 1
$I_8/(\text{m}^2/\text{kW})$	逆	30	2020 年预测值
$I_9/\%$	正	40.1	美国 2003 年~2007 年均值
$I_{10}/(\text{kg}/\text{kWh})$	逆	0.59	美国 2003 年~2007 年均值
$I_{11}/\%$	正	17.9	2020 年预测值

3.3 标准化指标值

正指标标准化: 原始指标值/基准值; 逆指标标准化: 基准值 / 原始指标值。按照指标属性运用基准值对各指标进行标准化处理。处理结果如表 3 所示。

3.4 综合评价计算

表 4 X 的相关矩阵 R 的特征向量

Tab.4 The feature vector of X 's correlation matrix R

特征值 (λ_i)	特征值	累积贡献率/%
λ_1	7.543	68.58
λ_2	1.758	85.43

表 5 相应系数矩阵 B

Tab.5 The corresponding coefficient matrix B

指标	主成分 1	主成分 2
I_1	-0.314 22	-0.184 78
I_2	0.340 075	0.223 245
I_3	0.354 639	0
I_4	0.263 613	-0.060 34
I_5	-0.351	0.150 087
I_6	-0.349 91	0.163 663
I_7	0.294 198	-0.311 49
I_8	0.360 829	0.038 465
I_9	0.281 818	0.469 117
I_{10}	0.146 371	0.319 03
I_{11}	0.164 212	-0.665 21

表 6 计算结果

Tab.6 Calculation results

年份	协调度	增长速度/%
2003	0.637	
2004	0.754	18.367
2005	0.838	11.141
2006	0.889	6.086
2007	0.968	8.886

运用 PCA 方法计算得到该区域电网发展协调度, 表 4 和表 5 分别是 X 的相关矩阵 R 的特征向量

和相应系数矩阵 B , 表 6 是按照公式 (4) 计算得到最终评价结果。

4 结论

依据协调度定义, 当 $Co=1$ 时, 认为处于系统发展的最高状态, 即实现电网发展同社会、经济、资源与环境协调发展的理想状态; 当 $Co=0$ 时, 认为处于系统发展的最差状态。按照这一准则依据表 4 所示 2003~2007 年测算结果得到如下结论。

从静态角度看, 2003~2005 年该区域电网发展协调度为 0.637~0.838, 协调性较高; 2006~2007 年协调性分别达到了 0.889, 0.968, 说明该电网发展与社会、经济、资源及环境之间达到了很高的协调, 说明该区域电网发展各相应环节正在向世界先进水平接近。

从动态角度看, 2003~2007 年间, 该区域电网发展协调性评价各个指标虽然有波动, 但是整个系统的评价值趋于增大, 该区域电网发展与社会、经济、资源和环境向着协调方向发展。

参考文献

- [1] 李宝国. 管理系统工程[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1995.
LI Bao-guo. Management engineering[M]. Beijing: China Renmin University Press, 1995.
- [2] 张雪平, 殷国富. 基于层次灰色关联的产品绿色度评价研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25 (17): 76-80.
ZHANG Xue-ping, YIN Guo-fu. Research on evaluation method of product green degree based on layered grey relation[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25 (17): 76-80.
- [3] 彭英. 电信运营企业资本性支出的灰色关联分析[J]. 统计与决策, 2006 (8): 74-75.
PENG Ying. Telecom enterprise capital expenditures

relational grade analysis[J]. Statistics and Decision, 2006 (8): 74-75.

- [4] 张福伟, 刘丽娟. 电力与国民经济协调持续发展评估[J]. 华北电力大学学报: 社会科学版, 2006 (3): 49-52, 61.
ZHANG Fu-wei, LIU Li-juan. Evaluation on sustainable development of electric power in accordance with national economy[J]. Journal of North China Electric Power University: Social Sciences, 2006 (3): 49-52, 61.
- [5] 张福伟, 耿兴初. 电力与社会协调持续发展评估[J]. 中国电力, 2001, 34 (4): 1-4.
ZHANG Fu-wei, GENG Xing-chu. Evaluation on sustainable development of electric power assort with society[J]. Electric Power, 2001, 34 (4): 1-4.
- [6] 李敬如. 关于协调电网建设与土地资源利用的对策建议[J]. 电力技术经济, 2009, 21 (1): 5-9.
LI Jing-ru. Countermeasures and suggestions on balancing between power grid construction and land use[J]. Electric Power Technologic Economics, 2009, 21 (1): 5-9.
- [7] 刘佳, 韦钢, 吴伟力. 应用 PCA-C²R 模型综合评判电网规划方案[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36 (20): 20-24.
LIU Jia, WEI Gang, WU Wei-li. Comprehensive evaluation of power system planning based on PCA-C²R model[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36 (20): 20-24.

收稿日期: 2009-09-29; 修回日期: 2009-10-23

作者简介:

李金超 (1978-), 男, 博士, 讲师, 研究方向为电力经济管理、预测与决策; E-mail: gsyjch@163.com

牛东晓 (1962-), 男, 博士, 教授, 研究方向为电力负荷预测技术、电力市场理论、综合评价理论方法。

(上接第 48 页 continued from page 48)

- [10] Anderson P M, Agarwal S K. An improved model for protective system reliability[J]. IEEE Trans Rel, 1992, 41(3): 422-426.
- [11] Lars Andersson, Klaus-Peter Brand, Christoph Brunner, et al. Reliability investigations for SA communication architectures based on IEC 61850[C]. //Power Tech IEEE. Russia: 2005.
- [12] Rausand M, Hoyland A. System reliability theory: models, statistical methods, and applications[M]. John Wiley Sons, 2004.
- [13] Peichao Zhang, Levi Portillo, Mladen Kezunovic. Reliability and component importance analysis of all-digital protection systems[C]. //IEEE PES T&D

Meeting. Dallas (USA): 2005.

收稿日期: 2009-09-28

作者简介:

侯伟宏 (1986-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为数字化变电站系统的可靠性分析;

张沛超 (1970-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为继电保护, 电网调度自动化以及人工智能; E-mail: pczhang@sjtu.edu.cn

胡炎 (1975-), 男, 博士, 主要研究方向为电网调度以及电力信息系统及其安全性分析;

苏永春 (1973-), 男, 博士, 从事智能电网及智能变电站相关课题的研究。