

# 基于灰色关联的季不均衡系数的分析方法与应用

徐 飞<sup>1</sup>, 周步祥<sup>1</sup>, 林 楠<sup>2</sup>

(1. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065; 2. 四川电力职业技术学院, 四川 成都 610072)

**摘 要:**季不均衡系数是年负荷特性的重要参数之一,掌握影响季不均衡系数的主要因素,就能够比较准确地把握一个地区的年负荷特性,对于制定电网的年度运行计划具有较大的帮助。提出了一种基于灰色关联的季不均衡系数的分析方法,结合历史年份的具体数据,定量地区分了季不均衡系数各影响因素的权重,并且指出了影响季不均衡系数的主要因素。并给出了相应的算法,通过实际应用表明,该算法具有较大的实用价值。

**关键词:**季不均衡系数; 负荷特性; 灰色关联度分析; 负荷预测; 算法

**Abstract:** The seasonal unbalance coefficient is one of the important parameters in annual load characteristics. It can make certain the annual load characteristics in a region more accurately by grasping the main factors affecting the seasonal unbalance coefficient, which is helpful for formulating the annual operating plan of power grid. An analysis method of the seasonal unbalance coefficient based on gray correlation is proposed. The weights of each influencing factor of seasonal unbalance coefficient can be quantitatively differentiated combined with the detailed data of historical years, and the results of this analysis shows the main factors affecting the seasonal unbalance coefficient. The corresponding algorithm is given and the practical application shows that the method has great practical value.

**Key words:** seasonal unbalance coefficient; load characteristic; gray relational degree analysis; load forecasting; algorithm

中图分类号: TM714 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2011)05-0084-05

## 0 引 言

在年负荷特性中,季不均衡系数(又称季不均衡率 $\rho$ )<sup>[1]</sup>与年负荷曲线的波动性和年最大负荷出现的时间有关,而影响年负荷曲线形状的主要因素是负荷的季节变化、用电设备的大修及负荷在年内的增长。

文献[2]~[7]分别对广州、汕头、固原、南京、上海等地的负荷特性进行了详细的分析和说明,指出了各个地方负荷特性的影响因素和负荷特性的发展趋势,符合当地的实际情况,但是没有定量地说明负荷特性的主要影响因素,并且分析过程不易推广到其他地区或城市。

这里引入了灰色关联度分析<sup>[10]</sup>理论用来定量分析各影响因素的权重,并在此基础上预测该地区未来季不均衡系数的发展趋势。通过实际应用,该算法能够很好地切合实际情况,并且计算过程比较容易推广。

## 1 季不均衡系数分析

### 1.1 影响因素

影响季不均衡系数的主要因素可以总结为3个方面。

#### (1) 经济结构

经济结构因素包括: GDP(亿元)、GDP增长率(%)、第一产业GDP比重(%)、第二产业GDP比重(%)和第三产业GDP比重(%)等。

如第二产业比重占主导地位,年负荷特性曲线波动较平缓,季不均衡系数较大,相应的最大负荷利用小时数也较大;如第三产业比重占主导地位,则相反,年负荷特性曲线波动较剧烈,季不均衡系数较小,相应的最大负荷利用小时数也较小。

#### (2) 用电结构

用电结构因素包括: 第一产业用电量比重(%)、第二产业用电量比重(%)、第三产业用电量比重(%)、居民生活用电量比重(%)等。

如第二产业用电量比重占主导地位,年负荷特性曲线波动较平缓,季不均衡系数较大,相应的最大负荷利用小时数也较大;如第三产业用电量和居民生活用电量的比重占主导地位,则相反,年负荷特性曲线波动较剧烈,季不均衡系数较小,相应的最大负荷利用小时数也较小。

### (3) 社会影响因素

社会影响因素包括:人均国内生产总值(元)、城镇居民人均可支配收入(元)等。

随着城市的发展,人均国内生产总值和城镇居民人均可支配收入的增加,居民生活用电增加,年负荷特性曲线波动加剧,季不均衡系数减小。

### 1.2 加权关联度确定

灰色关联度分析<sup>[10]</sup>是基于行为因子序列曲线几何形状的相似程度来判断其联系是否紧密,曲线越接近,相应序列之间的关联度就越大。它是确定因子间影响程度或因子对主行为的贡献程度而进行的一种分析方法。灰色关联分析的目的是寻找各因素间的主要关系,能够确定哪些是不可忽视的相关行为因素,从中找出各相关影响因素对主行为的关联程度,从而掌握事物发展的主要矛盾。因此,它特别适合数据有限、没有原型、复杂而且具有不确定性问题的分析和评价。

灰色关联度分析弥补了采用数理统计方法作系统分析所导致的缺陷。它对系统样本量的多少和样本有无规律都同样适用,而且计算量小,十分方便,更不会出现量化结果与定性分析不符的情况。为此,在季不均衡系数影响因素中引入灰色关联度分析理论来对其进行综合定量分析。

#### 1.2.1 序列矩阵

季不均衡系数的影响因素序列(子序列)不止一个,可将季不均衡系数用 $\rho$ 表示,相关因素子序列用 $X_0, X_1, \dots, X_i$ 来表示,所构成的序列矩阵为

$$(\rho, X_0, X_1, \dots, X_i) = \begin{bmatrix} \rho(0) & x_0(0) & \dots & x_i(0) \\ \rho(1) & x_0(1) & \dots & x_i(1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho(t) & x_0(t) & \dots & x_i(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中 $\rho$ 列表示季不均衡系数各年的数值; $X_i$ 列表示影响因素序列各年的数值。

#### 1.2.2 初值像矩阵

不同序列,数值可能相差甚远,甚至量纲不具有可比性,因此首先要经过规范化处理。采用首归一化处理,以便于比较,计算公式如下。

$$x'_i(t) = \frac{x_i(t)}{x_i(0)} \quad i=0, 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$\rho'(t) = \frac{\rho(t)}{\rho(0)} \quad (3)$$

初值(无量纲化)矩阵为

$$(\rho', x'_0, x'_1, \dots, x'_i) = \begin{bmatrix} \rho'(0) & x'_0(0) & \dots & x'_i(0) \\ \rho'(1) & x'_0(1) & \dots & x'_i(1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho'(t) & x'_0(t) & \dots & x'_i(t) \end{bmatrix} \quad (4)$$

#### 1.2.3 差序列矩阵

若将系统因素集合中的各个因素视为空间的点,将每个因素对于不同时刻、不同指标、不同对象的观测数据视为点的坐标,就可以在特定的 $n$ 维空间中研究各因素之间或因素与系统特征之间的关系,得出差序列的计算公式如下。

$$\Delta_i(t) = |\rho'(t) - x'_i(t)| \quad (5)$$

差值矩阵为

$$\Delta_i = \begin{bmatrix} \Delta_1(0) & \Delta_2(0) & \dots & \Delta_i(0) \\ \Delta_1(1) & \Delta_2(1) & \dots & \Delta_i(1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta_1(t) & \Delta_2(t) & \dots & \Delta_i(t) \end{bmatrix} \quad (6)$$

求两级最大差与最小差为

$$M = \max_i \max_t \Delta_i(t) \quad m = \min_i \min_t \Delta_i(t) \quad (7)$$

#### 1.2.4 关联系数矩阵

关联系数主要是计算季不均衡系数与影响因素子序列之间在不同时间段的关联性,计算公式如下。

$$\lambda_i(t) = \frac{m + C \cdot M}{\Delta_i(0) + C \cdot M} \quad (8)$$

式中 $C \in (0, 1)$ 为分辨系数,通常取0.5。通过公式(8)计算出各年份的季不均衡系数与影响因素子序列的关联系数,形成关联系数矩阵为

$$\lambda_i = \begin{bmatrix} \lambda_1(0) & \lambda_2(0) & \dots & \lambda_i(0) \\ \lambda_1(1) & \lambda_2(1) & \dots & \lambda_i(1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \lambda_1(t) & \lambda_2(t) & \dots & \lambda_i(t) \end{bmatrix} \quad (9)$$

#### 1.2.5 确定各个年份权重的具体步骤

设系统有待进行重要性比较的指标集 $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ , $f_i$ 为第 $i$ 个指标, $i=1, 2, \dots, n$ 。 $n$ 为指标总数。

为了解决AHP中判断矩阵的一致性,将AHP中构造判断矩阵变成构造模糊一致判断矩阵,即采用模糊层次分析法(FAHP)<sup>[12-15]</sup>,其可作如下表述。

##### (1) 建立优先关联矩阵

$$F = \sqrt{f_{ij}} = \begin{cases} 0.5 & s(i) = s(j) \\ 1.0 & s(i) > s(j) \\ 0.0 & s(i) < s(j) \end{cases} \quad (10)$$

其中  $s(i)$  和  $s(j)$  分别表示指标  $f_i$  和  $f_j$  的相对重要性程度。

(2) 将优先关系矩阵  $F$  改造成模糊一致矩阵  $A$ , 即先对  $F$  按行求和, 记为

$$a_i = \sum_{k=1}^n f_{ik} \quad i=1, 2, \dots, n \quad (11)$$

然后作变换得

$$a_i = \frac{a_i - a_j}{2n} + 0.5 \quad (12)$$

由此建立的判断矩阵可以保证模糊一致性。

(3) 权重值  $\omega_i$  的计算公式

$$\omega_i = \frac{1}{n} - \frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{n\alpha} \sum_{k=1}^n \alpha_{ik} \quad (13)$$

式中  $i=1, 2, \dots, n; \alpha$  满足  $\alpha \geq (n-1)/2$  的参数。当阶数  $n$  比较大时, 将参数  $\alpha$  取值为  $\alpha = (n-1)/2$ , 有助于提高对元素  $f_1, f_2, \dots, f_n$  的相对重要程度的分辨率。

### 1.2.6 加权关联度

为了计算主特征序列与影响因素子序列间的关联度, 必须将各个时间段的关联系数进行加权求和, 得出它们之间的关联度, 计算公式如下。

$$r_i = \sum_{t=0}^6 \omega(t) \lambda_i(t) \quad (14)$$

式中  $\omega(t)$  为各个年份的权重。

## 2 算法分析

通过以上的分析, 可以建立相应的算法, 该算法在历史数据的基础上, 经过数据处理得到各影响因素对季不均衡系数的加权关联度, 找出季不均衡系数的

主要影响因素。计算结果用于分析历史年负荷特性和指导未来年负荷特性的预测。

(1) 输入数据

该算法的输入数据为季不均衡系数和各影响因素的分年度数据。这些数据来源于一个地区的统计年鉴、政府工作报告和电网规划报告。

(2) 假设条件

计算各年份权重的计算中, 以“远小近大”的原则, 假设近期年份的重要性程度大于远期年份的; 公式(13)中参数  $\alpha$  取值为  $\alpha = (n-1)/2$ 。

(3) 输出数据

该算法的输出数据为各影响因素对季不均衡系数的加权关联度, 定量地区分了各影响因素对季不均衡系数的影响程度。

综上所述, 具体流程框图如图1所示。

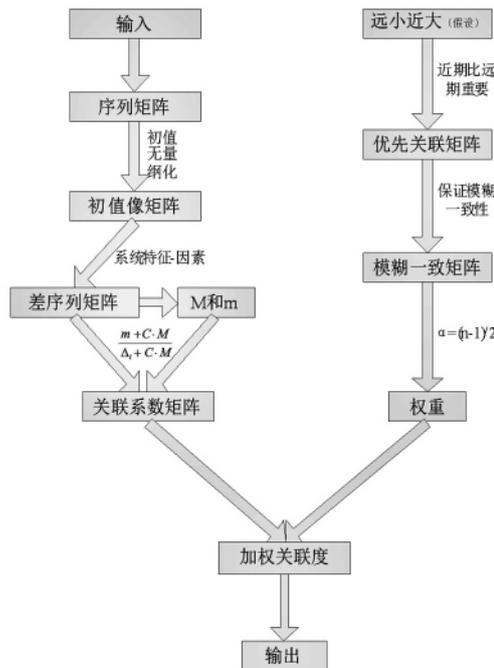


图1 流程框图

表1 基础数据列表

年份	$\rho$	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$
2003	0.880	238.18	13.6	11	33.5	55.5	2.56	28.93	53.44	15.13	14 454	8 350
2004	0.844	253.01	13.2	8.36	32.63	59.01	2.69	28.36	53.5	15.07	17 928	8 981
2005	0.759	301.35	12.1	7.7	27.6	64.7	2.69	29.01	53.3	14.18	17 418	9 740
2006	0.851	350.06	12.9	7.4	29.2	63.4	2.52	33.21	53.58	12.24	19 980	10 712
2007	0.846	396.4	12.6	7.4	28.1	64.5	2.66	33.17	51.98	12.22	21 343	12 289
2008	0.888	443.18	10.4	7	25.6	67.4	2.39	34.89	50.24	12.54	25 011	14 150
2009	0.881	489.55	10.8	7	24.5	68.5	2.42	30.91	52.63	14.05	26 366	15 237

注:  $\rho$  为季不均衡系数;  $X_0$  为 GDP (亿元);  $X_1$  为 GDP 增长率 (%);  $X_2$  为第一产业 GDP 比重 (%);  $X_3$  为第二产业 GDP 比重 (%);  $X_4$  为第三产业 GDP 比重 (%);  $X_5$  为第一产业用电量比重 (%);  $X_6$  为第二产业用电量比重 (%);  $X_7$  为第三产业用电量比重 (%);  $X_8$  为居民生活用电量比重 (%);  $X_9$  为人均国内生产总值 (元);  $X_{10}$  为城镇居民人均可支配收入 (元)。

### 3 实际应用

针对一实际系统,根据收集到的相关数据,利用以上算法,得到了各影响因素对季不平衡系数的加权关联度。

为验证算法的正确性,选取表1中的两组数据来进行对比分析。

①取2002~2009年数据,分析季不平衡系数的主要影响因素;

②取2003~2010年数据,分析季不平衡系数的主要影响因素。

根据算法的具体流程计算如下。

(1) 输入数据

表1中的统计数据来自一旅游城市政府工作报告和电网规划报告。

(2) 利用“远小近大”的原则和公式(10)~(13)来确定各时间段的权重,权重为

$$\omega(t) = (\omega_0 \ \omega_1 \ \omega_2 \ \omega_3 \ \omega_4 \ \omega_5 \ \omega_6) \\ = (0.405 \ 0.429 \ 0.452 \ 0.476 \ 0.500 \ 0.524 \ 0.548)$$

(3) 输出数据

根据公式(14),加权关联度矩阵为

$$r_i = \sum_{t=0}^6 \omega(t) \lambda_i(t) \\ = (1.859 \ 2.938 \ 2.328 \ 2.777 \ 2.521 \ 2.952 \ 2.758 \ 3.090 \ 2.831 \ 1.911 \ 2.034)$$

$$r_{(2002 \sim 2009)年} = \sum_{t=0}^7 \omega(t) \lambda_i(t) \\ = (1.870 \ 2.628 \ 2.487 \ 2.921 \ 2.780 \ 2.983 \ 2.768 \ 3.113 \ 2.913 \ 2.345 \ 2.176)$$

$$r_{(2003 \sim 2010)年} = \sum_{t=0}^7 \omega(t) \lambda_i(t) \\ = (1.924 \ 2.898 \ 2.454 \ 2.802 \ 2.631 \ 2.987 \ 2.845 \ 3.095 \ 2.945 \ 2.006 \ 2.117)$$

(4) 结果分析

根据两组数据计算结果,第三产业用电量比重对季不平衡系数影响均最大,各影响因素与季不平衡系数的加权关联度如图2所示。

计算表明:第三产业用电量比重对季不平衡系数影响最大,这与该旅游城市的性质相一致。根据实际调研,该城市第三产业用电量比重连年在50%左右,且在今后发展中保持在较高水平,使得年负荷特性曲线波动加剧,对季不平衡系数影响最大。

第三产业的不断增长,导致第三产业用电量比重进一步加大,在各影响因素中仍占主导地位。在未

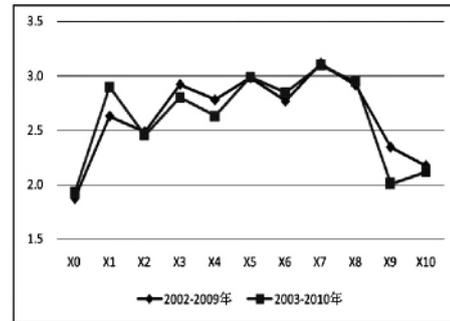


图2 结果分析图

来几年,该地区年负荷特性曲线波动将不断加剧,季不平衡系数逐步减小。

该算法得出了季不平衡系数的主要影响因素,与该城市的实际情况相吻合,为负荷特性的历史分析和未来预测提供了依据。

### 4 结论

(1) 对季不平衡系数影响因素的关系进行了研究,运用灰色关联度分析理论来区分各影响因素的权重,找出一个地区季不平衡系数的主导影响因素,并且该分析过程较易推广到其他地区。

(2) 对季不平衡系数的研究可以运用在地区电网规划中,对现状年负荷特性进行分析,并对年负荷特性的预测提供指导意义。不同负荷的特性制定相应的分时电价措施,可最大限度地达到削峰填谷的作用,提高电网经济运行效益。

(3) 灰色关联度分析法还可以用于其他参数的分析,如平均日负荷率 $\gamma$ 、平均月负荷率 $\sigma$ 等。通过参数的分析,可以掌握一个地区日负荷曲线和年负荷曲线的主要影响因素,从而指导负荷特性的预测。

#### 参考文献:

- [1] 赵希正,周小谦,姜绍俊.中国电力负荷特性分析与预测[M].北京:中国电力出版社,2002.
- [2] 陈健,刘明波,樊亚亮,等.广州电网负荷特性分析[J].电力系统及其自动化学报,2009,21(6):78-83.
- [3] 叶刚健,蒋金良.汕头电网负荷特性分析与预测[J].电力系统及其自动化学报,2004,16(6):55-59.
- [4] 赵永良,易武,谢开贵.固原电网负荷特性分析[J].电网技术,2007,31(2):230-232.
- [5] 姜勇.南京市居民夏季用电负荷特性分析[J].继电器(Relay),2003,31(4):24-26.
- [6] 徐方龙,谢国栋,黄苏融,等.上海市区供电局电力负荷特性分析[J].上海大学学报(自然科学版),2000,6

(3): 222 - 226.

[7] 杨宗麟. 华东电网负荷特性分析预测 [J]. 华东电力 2008, 36(5): 50 - 52.

[8] 张吉军. 模糊一致判断矩阵3种排序方法的比较研究 [J]. 系统工程与电子技术 2003, 25(11): 1370 - 1372.

[9] 葛少云, 闫大威, 董智. 基于模糊综合评判的城市电网电缆化改造 [J]. 现代电力 2005, 22(3): 37 - 40.

[10] 霍成军. 电力系统负荷特性分析研究 [D]. 天津: 天津大学电气与自动化工程学院 2007.

[11] 仲伟宽. 数据挖掘技术在负荷特性分析中的应用 [D]. 南京: 东南大学电气工程学院 2006.

[12] 杜海文, 孟岭坡, 马洪斌. 防空导弹制导雷达综合抗干扰能力评估 [J]. 火力与指挥控制 (Fire Control & Command Control), 2004, 29(5): 54 - 56.

[13] 张江, 应俊, 王琼, 等. 基于FAHP的电力变压器系统的脆性分析 [J]. 控制理论与应用 2004, 23(7): 9 - 12.

[14] 沈又幸, 范艳霞, 谢传胜. 基于FAHP法的风电项目后评估研究 [J]. 电力需求侧管理, 2008, 10(6): 16 - 18.

[15] 高会生, 冉静学, 孙逸群. 基于改进的FAHP电力通信网风险评估 [J]. 系统工程理论与实践 2008, (3): 133 - 138.

作者简介:

徐飞(1987)男, 硕士研究生, 主要从事调度自动化及计算机信息处理方面的研究工作;

周步祥(1965)男, 博士, 教授, 主要从事电力系统自动化、计算机应用等方面的研究和教学工作;

林楠(1973)女, 硕士, 讲师, 从事电力系统自动化、计算机应用的研究和教学工作.

(收稿日期: 2011-07-18)

(上接第63页)

[4] Overbye T. J. Effects of Load Modeling on Analysis of Power System Voltage Stability [J]. International Electrical Power Energy System, 1994, 16(5): 329 - 338.

[5] Carson W. Taylor. Power System Voltage Stability [M]. 北京: 中国电力出版社 2001.

[6] M. H. Haque. On-line Monitoring of Maximum Permissible Loading of a Power System Within the Voltage Stability Limits [J]. IEE Proceedings: Generation, Transmission and Distribution 2003, 150(1): 107 - 112.

[7] 孙倩薇, 杨兴华. 负荷特性对静态电压稳定性的影响 [J]. 黑龙江电力 2005, 27(6): 413 - 416.

[8] 侯明. 不同负荷模型对电压稳定性分析的影响研究 [D]. 天津: 天津理工大学 2007.

[9] 鞠平, 马大强. 电力系统负荷建模(第二版) [M]. 北京: 中国电力出版社 2008.

[10] 李超, 马幼捷, 周雪松, 等. 负荷动态特性及模型对分析电压稳定性影响的综述 [J]. 自动化与仪表 2005 (7): 17 - 20.

[11] 段献忠, 江馥英, 何仰赞, 等. 负荷建模研究现状综述 [J]. 电力系统自动化, 1994, 18(5): 60 - 68.

[12] 周文, 贺仁睦, 章健, 等. 电力负荷建模问题研究综述 [J]. 现代电力, 1999, 16(2): 83 - 89.

[13] Ohtsuki H., Yokoyama A., Sekine Y.. Reverse Action of On-load Tap Changer in Association with Voltage Collapse [J]. IEEE Trans. on Power System, 1991, 6(1): 300 - 306.

作者简介:

李林(1984)男, 硕士, 主要从事电力系统稳定运行与控制的研究.

(收稿日期: 2011-06-01)

(上接第70页)

地断开故障主变压器保留非故障主变压器, 最大限度地保留负荷。

### 3 结论

通过运行人员调整综合回路法所述的相关硬压板和装置的软压板, 利用备自投装置的广义进线自投逻辑和广义桥备投逻辑, 实现对所有运行方式备自投控制策略。该方法对运行方式没有限制, 并可以节省一台备自投装置及其相关回路的投资。实验证明, 这是一种有效、简单、经济、实用的方法, 对备自投的分析研究及电网安全、稳定、可靠、经济的运行具有重要的现实意义。

### 参考文献

[1] 崔凤亮, 周家春. 远方备用电源自动投入装置 [J]. 电力自动化设备 2002, 22(9): 61 - 62.

[2] 国电南瑞科技股份有限公司, NSR600RF系列保护测控装置技术说明书 [Z]. 南京 2008.

[3] 汤大海. 基于双电源扩大内桥的备自投解耦控制策略 [J]. 电力系统自动化 2009, 33(23): 103 - 106.

[4] 郁家麟. 扩大内桥接线的备用电源自动投入的探讨 [J]. 电力建设 2007, 28(1): 34 - 38.

作者简介:

张建军(1983)男, 硕士, 助理工程师, 从事继电保护工作;

姚越兰(1977)女, 大学本科, 助理工程师, 从事变电运行管理工作.

(收稿日期: 2011-06-16)