

# 基于突变理论的配电网规划方案综合评估

季晓明<sup>1</sup>, 成乐祥<sup>2</sup>

(1.宿迁供电公司,江苏 宿迁 223800;2.南京供电公司,江苏 南京 210019)

**摘要:** 为了对配电网规划方案进行全面有效的评估,从技术性和经济性两方面构建了配电网规划方案三级评估指标体系。提出了基于突变理论的配电网规划方案综合评估方法,该方法利用系统状态量在临界点附近非连续变化的特征,采用突变决策归一化公式提取系统突变级数,避免了常规的评估方法对评价指标采用权重的方式,减少了决策的主观性,使决策更符合实际。以某地区配电网规划方案的实际数据为例,并且与其他常用的评估方法进行对比分析,验证了所提出方法的有效性和准确性。

**关键词:** 配电网规划;综合评估;突变理论;方案优选;突变级数

**中图分类号:** TM76

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-0665(2014)05-0051-04

目前,国内外在配电网综合评估方面已经开展了大量工作,涉及配电网的多个方面,如网络规划、供电能力、系统运行、风险评估等方面,同时也发展和应用了多种相对成熟的评估方法,如层次分析法、数据包络分析法、模糊综合评价法等。文献[1]提出了一种基于区间层次分析法的城市电网规划综合评判决策方法。文献[2]提出了基于模糊层次分析法的综合评判决策方法,完成了基于模糊层次分析法的城市电网规划综合评判决策。文献[3]提出了均值意义下的交叉效率数据包络法(SE-DEA)评价模型并应用在电网规划方案的综合评判决策中。这些方法在模型参数的确定上需要专家进行评判,存在较大的主观性,具有较大的不确定性,并且存在没有充分利用客观数据所提供信息的不足。

突变理论是一种对待评估指标数据进行排序分类的综合方法。该方法利用系统状态量在临界点附近非连续变化的特征,采用归一化公式求取系统各层指标的突变级数,通过自下而上的综合过程最终获取系统综合评估指标的突变级数。该方法计算简易,操作性与实用性较强,并且不使用权重<sup>[4-8]</sup>。文中从技术性和经济性两方面构建了配电网规划方案三级指标体系,提出了基于突变理论的配电网规划方案综合评估方法,建立了配电网规划方案的突变决策模型,为配电网规划方案的综合评估提供了一个新的思路。

## 1 突变理论评估方法

### 1.1 突变理论的基本原理

突变理论是由法国数学家雷内·托姆在20世纪70年代创立的<sup>[4]</sup>。突变理论的原理是根据势函数把临界点进行分类,研究各种临界点附近非连续状态的特性,把得到的信息与对不连续现象的理论分析和观

察相结合,从而归纳出若干初等变量模型,并以此为基础探索自然和社会中的突变现象。突变决策理论的基本模型有7种,其中常见的4种模型分别为尖点突变、燕尾突变、蝴蝶突变和棚屋突变,如图1所示<sup>[5]</sup>。

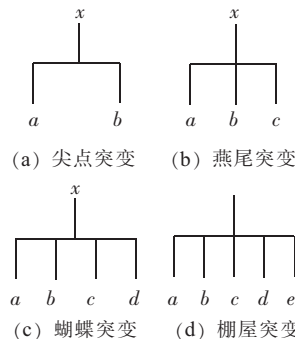


图1 4种典型的突变决策理论模型

上述4种突变的数学模型分别为:

$$f(x) = x^4 + ax^2 + bx \tag{1}$$

$$f(x) = x^5 + ax^3 + bx^2 + cx \tag{2}$$

$$f(x) = x^6 + ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx \tag{3}$$

$$f(x) = x^7 + ax^5 + bx^4 + cx^3 + dx^2 + ex \tag{4}$$

式中: $x$ 为突变系统中的状态变量; $f(x)$ 为状态变量 $x$ 的势函数; $a, b, c, d, e$ 为突变系统中的控制变量。

利用突变理论进行综合评价时,4种突变的归一化公式分别为:

$$x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b} \tag{5}$$

$$x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}, x_c = \sqrt[4]{c} \tag{6}$$

$$x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}, x_c = \sqrt[4]{c}, x_d = \sqrt[5]{d} \tag{7}$$

$$x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}, x_c = \sqrt[4]{c}, x_d = \sqrt[5]{d}, x_e = \sqrt[6]{e} \tag{8}$$

式中: $x_a, x_b, x_c, x_d$ 和 $x_e$ 分别表示各式中对应 $a, b, c, d$ 和 $e$ 的 $x$ 值。

### 1.2 突变理论的评估原则

利用归一化公式对某一评估体系的各个指标数据计算  $x$  值时,要考虑下列原则:(1) 非互补决策原则。如果系统的各个指标(如  $a, b, c, d$ )之间不可相互替代,即不可相互弥补其不足,此时系统的状态变量  $x$  值取各指标计算值的最小值;(2) 互补决策原则。如果系统各指标之间可相互替代,即可相互弥补其不足,此时系统的状态变量  $x$  值取各指标计算值的算术平均值。

## 2 配电网规划方案评估的突变理论方法

采用突变理论进行配电网规划方案评估时,首先需建立配电网规划方案评估指标体系,然后把各层待评估的指标数据带入其相应的突变决策模型中做归一化计算,采用一定的指标计算原则,得到各层次的指标数据,最后归总得到综合评估指标结果。

### 2.1 规划方案评估指标体系

配电网规划涉及多方面的影响因素,在建立配电网规划方案的评估指标体系时,要考虑指标的科学性、完整性、相互独立、突出重点等原则<sup>[9]</sup>。文中从技术性和经济性两方面构建了配电网规划方案三级指标体系,所图 2 所示。其中,技术性指标涵盖了网架结构、抗灾能力、可靠供电、持续发展 4 个方面的二级指标;经济性指标涵盖了建设经济性、运行经济性、报废处置成本 3 个方面的二级指标。每个二级指标下面又涵盖了若干三级指标,以从不同的角度加以量化规划方案。评估指标中的抗灾能力主要指的是电网抵御因自然灾害、事故灾害等突发事件所导致的严重事故的能力,是确保电力安全稳定供应的重要前提。从配电网角度出发,对配电网抗灾能力的评价主要考虑重大灾害情况下配电网减供负荷占比和重大灾害情况下配电网停电用户占比。重大灾害情况下配电网减供负荷占比为评估区域内在发生重大灾害情况下配电网所减少的网供负荷占总的网供负荷的比例;重大灾害情况下配电网停电用户占比为评估区域内在发生重大灾害情况下配电网停电用户占总用户的比例。由于各个指标是相互

独立的,在计算评估值时,应采用非互补决策的原则。

### 2.2 决策变量的无量纲化处理

由于各指标可能具有不同的度量单位,各指标间缺少可比性,这就需要对原始数据进行无量纲化处理。根据评价指标的具体情况,可将指标分为效益型指标(指标值越大越好)和成本型指标(指标值越小越好)。指标无量纲化处理如下。

对于效益型指标:

$$y_{ij} = (x_{ij} - x_{\min,j}) / (x_{\max,j} - x_{\min,j}) \quad (9)$$

式中: $x_{ij}$  为第  $i$  个待评价样本中的第  $j$  个指标数据; $x_{\min,j}$  和  $x_{\max,j}$  分别为所有待评价样本中的第  $j$  个指标的最小值和最大值; $y_{ij}$  为  $x_{ij}$  无量纲化后的指标数据值。

对于成本型指标:

$$y_{ij} = (x_{\max,j} - x_{ij}) / (x_{\max,j} - x_{\min,j}) \quad (10)$$

### 2.3 突变决策方法的主要步骤

基于突变理论的配电网规划方案综合评估的主要步骤如下:

(1) 确定待评估的配电网各个规划方案。

(2) 建立配电网规划方案评估指标体系,其中,网架结构、可靠供电和持续发展的 4 个子指标构成蝴蝶突变模型;建设经济性和运行经济性的 3 个子指标构成燕尾突变模型;抗灾能力和报废处置成本的 2 个子指标构成了尖点突变模型;技术性指标的 4 个子指标构成了蝴蝶突变模型;经济性指标的 3 个子指标构成了燕尾突变模型,最后,这 2 个二级指标又构成了尖点突变模型。

(3) 收集各规划方案中与评估指标体系中对应的数据,依据评估指标体系,对各个指标数据进行分类,利用式(9)和式(10)对各个指标的原始数据进行无量纲化处理。

(4) 根据式(5—8),对于配电网规划方案评估体系下的二级指标以及抗灾能力和报废处置成本下的三级指标,可采用下式计算其评估值。

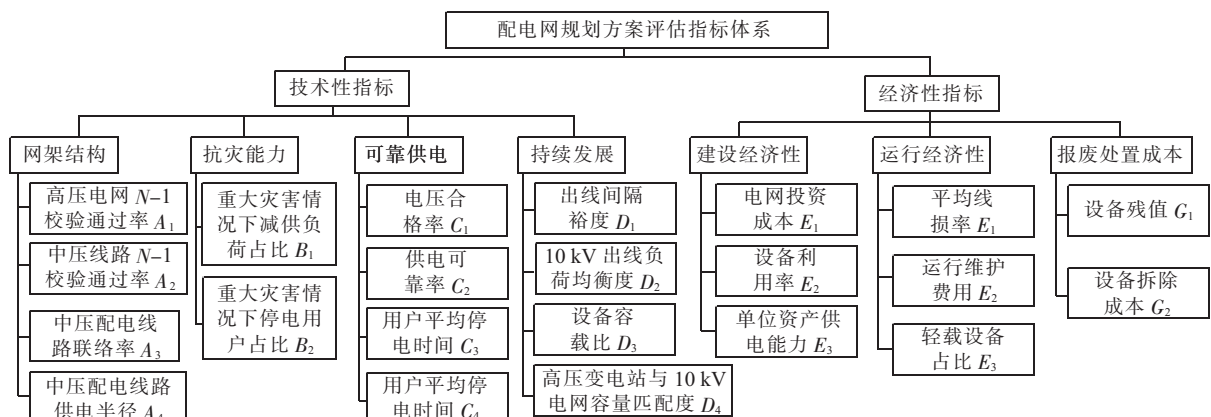


图 2 配电网规划方案评估指标体系

$$F_2 = \frac{1}{2N_1} \sum_{i=1}^{N_1} (\sqrt[3]{x_{A_{i1}}} + \sqrt{x_{A_{i2}}}) \quad (11)$$

式中: $N_1=2!=2$ ,为 $x_{A_{i1}}, x_{A_{i2}}$ 的全排列种数, $A$ 为其全排列集; $A_{ij} \in \{1,2\}$ ( $j=1,2$ )为第 $i$ 组排列的第 $j$ 个元素。

类似的,对于建设经济性和运行经济性下的三级指标,可采用下式计算其评估值:

$$F_3 = \frac{1}{3N_2} \sum_{i=1}^{N_2} (\sqrt[4]{x_{B_{i1}}} + \sqrt[3]{x_{B_{i2}}} + \sqrt{x_{B_{i3}}}) \quad (12)$$

式中: $N_2=3!=6$ ,为 $x_{B_{i1}}, x_{B_{i2}}, x_{B_{i3}}$ 的全排列种数, $B$ 为其全排列集; $B_{ij} \in \{1,2,3\}$ ( $j=1,2,3$ )为第 $i$ 组排列的第 $j$ 个元素。

对于其余指标可采用下式计算其评估值。

$$F_4 = \frac{1}{4N_3} \sum_{i=1}^{N_3} (\sqrt[5]{x_{C_{i1}}} + \sqrt[4]{x_{C_{i2}}} + \sqrt[3]{x_{C_{i3}}} + \sqrt{x_{C_{i4}}}) \quad (13)$$

式中: $N_3=4!=24$ ,为 $x_{C_{i1}}, x_{C_{i2}}, x_{C_{i3}}, x_{C_{i4}}$ 的全排列种数, $C$ 为其全排列集; $C_{ij} \in \{1,2,3,4\}$ ( $j=1,2,3,4$ )为第 $i$ 组排列的第 $i$ 个元素。

对各个规划方案按照上述流程分别计算各自综合评估指标的突变级数,选取综合评估指标突变级数值最大的方案为最优方案。具体流程如图3所示。

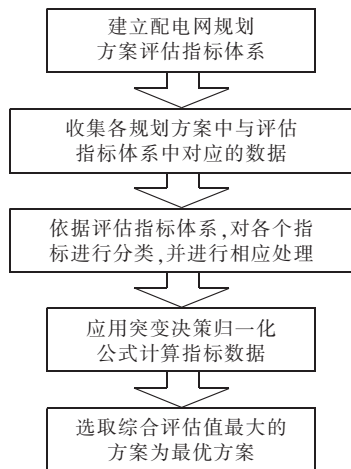


图3 配电网规划方案评估流程

### 3 案例分析

以南京市某开发区(面积约 $45 \text{ km}^2$ )配电网规划方案为例进行评估分析。该开发区以化工生产企业为主,目前建有 $220 \text{ kV}$ 变电站2座, $110 \text{ kV}$ 变电站4座, $35 \text{ kV}$ 变电站2座,中压配电网以架空线为主,干线沿主干道采用同杆双回结构。预计未来5年该区新增供电负荷 $300 \text{ MW}$ ,根据负荷预测结果及该地区电网现状,应用文中提出的评估方法对该区的3种未来5年的配电网规划方案进行评估。3种规划方案的评估指标数据如表1所示。

表1 配电网规划方案评估指标数据

一级指标	二级指标	三级指标	方案1	方案2	方案3
技术性指标	网架结构	$A_1$	0	1	0
		$A_2$	0.763 3	1	0
		$A_3$	0.842 8	1	0
		$A_4$	0	1	0.560 1
经济性指标	抗灾能力	$B_1$	1	0.520 2	0
		$B_2$	0.668 5	1	0
		$C_1$	0.807 7	1	0
			可靠供电	$C_2$	0.548 2
$C_3$	0.699 1	1		0	
$C_4$	0.850 5	1	0		
建设经济性	持续发展	$D_1$	0	1	0.501 7
		$D_2$	0	1	0.780 9
		$D_3$	0.230 9	1	0
		$D_4$	1	0	0.653 3
运行经济性	建设经济性	$E_1$	0.552 8	0	1
		$E_2$	0.462 4	0	1
		$E_3$	0.753 3	0	1
	运行经济性	$F_1$	0	1	0.635 0
		$F_2$	0.349 5	1	0
		$F_3$	0.538 2	0	1
报废处置成本	$G_1$	0.779 4	1	0	
	$G_2$	0	0.865 5	1	

从表1中可以看出,各单项指标间的排序存在矛盾,无法直接从单项评估指标中得出综合评估结果。按照突变决策方法的流程,得到方案1,2,3的综合评估指标的突变级数分别为 $0.924 3, 0.930 6, 0.901 5$ ,由此可知,方案2规划结果最优。参考文献[2],采用模糊层次分析法对方案1,2,3进行评估的结果分别为 $0.483 1, 0.524 5, 0.366 7$ ,方案的优劣排序与文中一致。表2为分别采用层次分析法、网络分析法和交叉效率数据包络法和文中方法的排序结果,其中3种评估方法得出方案2为最优规划方案的结论,可见文中提出的评估方法是切实可行的。

表2 不同评估方法的评价结果

评估方法	方案1	方案2	方案3
层次分析法排序	2	1	3
网络分析法排序	2	1	3
交叉效率数据包络法排序	1	2	3
文中突变决策模型排序	2	1	3

### 4 结束语

为了客观全面的评估配电网规划方案的优劣,从技术性和经济性两方面构建了配电网规划方案三级评估指标体系,并将突变理论应用于配电网规划方案评

估中,取得了良好的效果。该方法利用系统状态量在临界点附近非连续变化的特征,采用突变决策归一化公式提取系统突变级数,避免了常规的评估方法对评价指标采用权重的方式,减少了决策的主观性,使决策更符合实际。该方法具有严格的理论基础,计算简易,操作性与实用性较强,并且不使用权重,能消除评估过程中人为因素的影响,为配电网规划方案的综合评估提供了一个新的思路。

#### 参考文献:

- [1] 肖峻,王成山,周敏.基于区间层次分析法的城市电网规划综合评判决策[J].中国电机工程学报,2004,24(4):50-57.
- [2] 陈天宇,肖峻,王成山.基于模糊层次分析法的城市电网规划综合评判[J].电力系统及其自动化学报,2003,15(4):83-88.
- [3] 高庆敏,张乾业.基于SE-DEA的交叉效率模型的城市电网规划综合评判决策[J].电力系统保护与控制,2011,39(8):60-64.
- [4] AMOLD V I. Catastrophe Theory [M]. Berlin:Springer Verlag, 1986:42-45.
- [5] 申金山,吕康娟,张晓阳.基于突变理论的城市空间拓展决策方法与应用[J].河南科学,2005,23(6):61-64.
- [6] DOUA W, GHOSE S. A Dynamic Nonlinear Model of Online Retail Competition Using Cusp Catastrophe Theory [J]. Journal of Business Research, 2006, 59(7):838-848.
- [7] RAFTOYIANNIS I G. Dynamic Buckling of a Simple Geometrically Imperfect Frame Using Catastrophe Theory [J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2006, 48(10):1021-1030.
- [8] 官凤强,李夕兵,高科.地下工程围岩稳定性分类的突变级数法研究[J].中南大学学报(自然科学版),2008,39(5):1081-1086.
- [9] 肖峻,崔艳妍,王建民,等.配电网规划的综合评价指标体系与方法[J].电力系统自动化,2008,32(15):36-40.

#### 作者简介:

季晓明(1974),男,江苏南京人,工程师,从事电网运行与管理工作;  
成乐祥(1984),男,江苏南京人,工程师,从事配电网规划、智能配电网研究工作。

## Synthetical Assessment on Distribution Network Planning Scheme Based on Catastrophe Theory

Ji Xiaoming<sup>1</sup>, CHENG Lexiang<sup>2</sup>

(1.Suqian Power Supply Company, Suqian 223800,China;2.Nanjing Power Supply Company, Nanjing 210019, China)

**Abstract:** To evaluate distributed network planning scheme effectively, a 3-class evaluation system including technical and economic aspects is established. A catastrophe theory based synthetical assessment on distributed network planning scheme is proposed. The proposed method adopts normalized formula to extract catastrophe progression under the assumption that the state variables near the critical point do not vary continuously. Therefore, it differs from ordinary methods in terms of using indices weights, so that subjective factors are avoided and decision obtained are more objective. Finally, the effectiveness and accuracy of the proposed method is verified by comparing with other methods on an actual distributed network.

**Key words:** distribution network planning; synthetical assessment; catastrophe theory; optimal selection; catastrophe progression

(上接第50页)

#### 作者简介:

常宝立(1981),男,河北唐山人,工程师,从事电力系统分析与控制工作;  
徐光虎(1974),男,安徽合肥人,高级工程师,从事电力系统安全稳定分析与控制工作;  
易杨(1983),女,四川成都人,硕士,工程师,从事电网分析和运

行控制工作;

李敏(1982),女,湖南娄底人,硕士,工程师,从事电力系统分析与控制工作;  
夏彦辉(1982),男,河南开封人,硕士,工程师,从事电力系统分析与控制工作;  
何俊峰(1978),男,湖南郴州人,硕士,工程师,从事电力系统分析与控制工作。

## Realization of Batch Calculation of Transient Stability Control Based On PSD-BPA

CHANG Baoli<sup>1</sup>, XU Guanghu<sup>2</sup>, YI Yang<sup>3</sup>, LI Min<sup>1</sup>, XIA Yanhui<sup>1</sup>, HE Junfeng<sup>1</sup>

(1. Nari-relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China; 2. CSG Power Dispatching Control Centre, Guangzhou 510623, China; 3. Guangdong Power Dispatching Center, Guangzhou 510600, China)

**Abstract:** The calculations related to transient stability analysis and transient stability control are time-consuming and low-efficiency. To deal with these problems, in this paper, the batch calculation of transient stability control for multi-case and multi-fault is realized. This method is based on the SWNT program in PSD-BPA software, the project-case data management, the custom defined data cards and fault file and the automatic identification of system stability. The method significantly improves calculation efficiency.

**Key words:** PSD-BPA; Transient Stability Control; Batch Calculation