

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.12.022

# 基于层次分析法的继电保护消缺优化研究

王 鑫<sup>1</sup>, 徐习东<sup>1\*</sup>, 琚 军<sup>2</sup>, 方愉冬<sup>3</sup>

(1. 浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027; 2. 衢州电力局, 浙江 衢州 324002;  
3. 浙江电力调度通信中心, 浙江 杭州 310007)

**摘要:** 针对目前继电保护消缺工作中主观性较强的问题, 在传统工作的基础上引入了层次分析法, 建立了基于层次分析法的消缺优化模型。该模型针对消缺工作的特点, 以消缺最优化为目标, 消缺中需要考虑的各因素为准则, 待排查故障部位为方案, 总结了故障频度、运行环境、检测时间、影响范围等影响消缺排序的6大因素, 将故障频度、检测时间直接根据实际数据运算, 其他不易量化的因素则分为不同等级再转换为判断矩阵参与运算, 最后得到了各可能发生故障部位的综合权重排序即为消缺排查的最优排序。研究表明, 利用该优化结果进行排查可以避免继电保护消缺工作的主观片面性, 提高消缺效率。

**关键词:** 继电保护; 消缺; 层次分析法; 排序; 优化

中图分类号: TM77 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2013)12-1540-06

## Optimization on eliminating defects of relay protection based on analytic hierarchy process

WANG Xin<sup>1</sup>, XU Xi-dong<sup>1</sup>, JU Jun<sup>2</sup>, FANG Yu-dong<sup>3</sup>

(1. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;  
2. Quzhou Power Supply Bureau, Quzhou 324002, China;  
3. Zhejiang Electric Power Dispatching and Communication Center, Hangzhou 310007, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of subjectivity in current eliminating defects work of relay protection system, the analytic hierarchy process(AHP) was introduced and a hierarchy optimization model was established. In view of the characteristics of eliminating defects, the model was established by setting the optimization of eliminating defects as the goal, impacting factors as the criteria and fault locations as the alternatives, and six factors were summarized which could influence the order of eliminating defects, fault frequency, detecting time, affected area, etc.. In the factors, the fault frequency and detecting time were calculated with real running data, otherwise the rest factors difficult to quantize were divided into different levels and then converted to judgment matrices. The order of the faulty positions sorted by their final weights was the optimal result. The results indicate that it could avoid the subjective one-sidedness and improve efficiency if staffs detect the positions of this optimized order.

**Key words:** relay protection; eliminating defects; analytic hierarchy process(AHP); sort; optimization

## 0 引 言

继电保护系统是电力系统的重要组成部分, 对整个电力系统的安全有效运行起着至关重要的作用。

在继电保护运行过程中会出现一些缺陷, 有些甚至会影响到电力系统的可靠运行。快速可靠地消除缺陷, 是继电保护日常维护工作中的重要任务之一<sup>[1]</sup>。通常情况下一个缺陷对应多个可能的故障部位, 当前的消缺工作过程为: 专业人员首先根据缺陷现象

收稿日期: 2013-06-28

作者简介: 王 鑫(1989-), 男, 河南焦作人, 主要从事电力系统继电保护方面的研究. E-mail: saphete@zju.edu.cn

通信联系人: 徐习东, 男, 副教授, 硕士生导师. E-mail: xxd@zju.edu.cn

确定与之对应的故障部位集,再综合考虑各因素对故障部位进行排序,最后根据排序对其进行逐个排查。由此可知,经验判断在其中起到重要作用,它能够克服数据不充分和有些因素难以量化的影响,但同时也容易出现疏漏和失误,具有较强的主观片面性。因此,对消缺过程进行优化研究有相当的学术价值和现实意义。

层次分析法是一种将定性定量相结合的系统化、层次化的决策分析方法,对复杂的决策问题有较强的实用性和有效性。文献[2]提出了一种综合评价方法来评价气象事件对电网的影响,从稳定性、安全性和经济性方面进行考虑,并使用层次分析法对各层面的影响进行综合评估。文献[3]针对配电网经济运行评价的特点,提出了一种基于区间层次分析法和模糊综合评价的配电网综合评价模型。此外层次分析法在黑启动恢复<sup>[4]</sup>、负荷预测<sup>[5]</sup>、电力市场电价制定<sup>[6]</sup>等领域的评价和优化问题中也取得了较好的效果。

本研究引入层次分析法后,建立继电保护系统的消缺优化过程,即对指定缺陷对应的故障部位集的综合评价过程,并对得到的权重进行排序,作为故障排查过程的最优顺序;在建立层次分析法模型时考虑到可能影响消缺的因素,如检测时间、故障频度等,各个因素之间的权重以及与对应的故障部位的数据都充分考虑了专家经验及实际运行效果,兼顾经验判断与客观数据两方面内容,从而使优化结果更加科学有效。

## 1 层次分析法

层次分析法(AHP)是由美国匹茨堡大学教授 Thomas L. Saaty<sup>[7-8]</sup>于20世纪70年代初提出的一种将定性分析与定量测度结合起来的多元目标决策分析方法。它将与决策有关的因素分解成目标层、准则层、方案层,利用较少的定量信息使决策的思维过程数学化,从而为多元目标、多准则或无结构特性的复杂决策问题提供了一种相对简便清晰的决策方法。

### 1.1 层次递阶结构的建立

AHP要求的层次结构一般由3层组成<sup>[9-11]</sup>:

目标层:指问题的预定目标;

准则层:指影响目标实现的准则;

方案层:指为使目标实现而采取的措施;

通过对复杂问题的解析,需要先明确决策的目标,作为目标层的元素,同时目标层有且只有一个元素。其次找出影响目标实现的准则,作为准则层的元

素。在复杂问题中,影响目标实现的准则可能有很多,这时就需要对这些可能的影响进行详细地分析,并根据相互关系再在准则层中细分成为不同地层次或组,其中上、下层之间是隶属关系,下层受上层支配,同组之间是平行关系,一般性质较相近。最后将达到目标所需要采取的措施或方案放在底层,作为方案层。

### 1.2 两两判断矩阵的构造

在建立了递阶层次结构后,上、下层次间的隶属关系就被确定了。假定上层元素  $C_k$  对下层元素  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  有支配关系,本研究使用两两比较的方法构造判断矩阵:  $C_k$  位于判断矩阵的第1个元素,  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  依次排列在其后的第1行和第1列,然后两个元素依次比较重要程度并按1~9赋值<sup>[12]</sup>,其标度值含义如表1所示。

表1 1~9标度法

重要性标度	含义
1	表示两者相比,具有同等重要性
3	表示两者相比,前者比后者稍重要
5	表示两者相比,前者比后者明显重要
7	表示两者相比,前者比后者强烈重要
9	表示两者相比,前者比后者极端重要

注:2,4,6,8为上述相邻判断的中值。

### 1.3 单一准则元素的相对权重及一致性检验的计算

在准则  $C_k$  下,  $n$  个元素  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  得到的判断矩阵  $A$ ,对其解特征根问题<sup>[13]</sup>:

$$Aw = \lambda_{\max} w \tag{1}$$

式中:  $\lambda_{\max}$  —判断矩阵  $A$  的最大特征根,  $w$  —  $\lambda_{\max}$  对应的特征向量。

然后对该判断矩阵做一致性检验,计算一致性比例:

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{2}$$

其中:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \tag{3}$$

称为一致性指标,  $RI$  与判断矩阵的阶数  $n$  相关,称为随机一致性指标,可查表得到。若  $CR < 0.1$ ,一般认为判断矩阵的一致性是可接受的;否则需重新构造判断矩阵。 $w$  归一化后所得向量即为元素  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  在准则  $C_k$  下排序的相对权重。

### 1.4 各层次的总权重的计算

计算总权重需要从上到下逐层进行,假设已经得到第  $k-1$  层元素相对于总目标的权重向量  $\alpha^{k-1} =$

$(a_1^{k-1}, a_2^{k-1}, \dots, a_m^{k-1})^T$ , 第  $k$  层在第  $k-1$  层第  $j$  个元素支配下的权重向量为  $b_j^k = (b_{ij}^k, b_{2j}^k, \dots, b_{mj}^k)^T$ , 其中不受支配的元素权重为零, 令  $B^k = (b_1^k, b_2^k, \dots, b_m^k)$ , 则第  $k$  层  $n$  个元素相对于总目标的权重向量为:

$$a^k = B^k a^{k-1} \tag{4}$$

更一般的, 有排序组合权重公式为:

$$a^k = B^k B^{k-1} \dots B^3 a^2 \tag{5}$$

式中:  $a^2$  — 第二层元素排序向量,  $3 \leq k \leq h$ ;  $h$  — 层次数。

用相似方法逐层进行一致性检验, 当  $CR_k < 0.10$  ( $CR_k$  为第  $k$  层的一致性比例) 时, 认为递阶层次在第  $k$  层具有令人满意的一致性,  $a^k$  则为各方案相对于总目标的权重排序。

## 2 基于层次分析法的消缺优化

根据之前介绍的层次分析法解决问题的基本步骤, 本研究为消缺优化问题建立了层次分析模型以进行综合评价。

### 2.1 优化模型的建立

首先, 要达到的最终目的是“通过将待排查部位排序实现消缺的最优化”, 所以在本研究分析的消缺优化问题中, 目标层为“最优化排序”。

其次, 现场消缺为在尽量保证一次系统可靠供电的前提下快速找出导致缺陷的故障部位的过程, 即同时考虑消缺过程对供电可靠性的影响以及消缺时间成本两方面的因素。所以在目标层下设立的两个影响目标实现的准则为“快速性”和“可靠性”。

根据现场工作人员的处理经验, 将影响消缺快速性的因素总结为如下3点:

(1) 故障频度。在同一类缺陷中不同故障部位发

生的概率不同, 系统收录并统计出同一缺陷不同部位的故障频度, 对于发生频度高的部位优先检查。

(2) 运行环境。现场排查所考虑的主要因素之一, 如变电站在恶劣天气发生直流接地故障, 工作人员可能会优先检查室外有无接地现象, 因为室外器件的运行环境最恶劣, 出现故障的可能性也最高。

(3) 检测时间。指检查判断该部位是否故障所需的时间, 其他条件相同的情况下, 优先对耗时少的对象进行排查, 以使总耗时的期望最小。

影响可靠性的因素总结为如下3点:

(1) 影响范围。指检查某缺陷部位时可能对供电可靠性造成的影响, 例如完全不影响系统工作、可能影响关键功能或需将一次系统和保护完全停运等。

(2) 后果严重度。被检查部位故障时所可能产生的后果, 轻者如影响人机交互使用, 重者可能导致保护的误动或拒动, 而可能带来严重后果的显然应该作为优先检查的对象。

(3) 检测难度。该难度体现在器械成本及是否需要拆解上。如需对器件进行拆解检查则其对可靠性的影响相应增加。

最后, 分析为了解决问题而提出的备选方案, 作为方案层放在结构层次的最下面, 在本研究所述模型中即为某缺陷对应的待检查部位。

据此建立消缺的层次优化模型如图1所示。

### 2.2 判断矩阵的建立

#### 2.2.1 目标层下准则层的判断矩阵

在实际操作中, 需要综合考虑快速性和可靠性两方面的影响, 快速性是要达到的目的, 供电可靠性是操作的重要要求, 在实际使用中可以根据要求选择相应的权重, 如在非严重缺陷时可选择快速性优先, 在本研究中采取可靠性相对于快速性稍重要的标度, 构造的判断矩阵如表2所示。

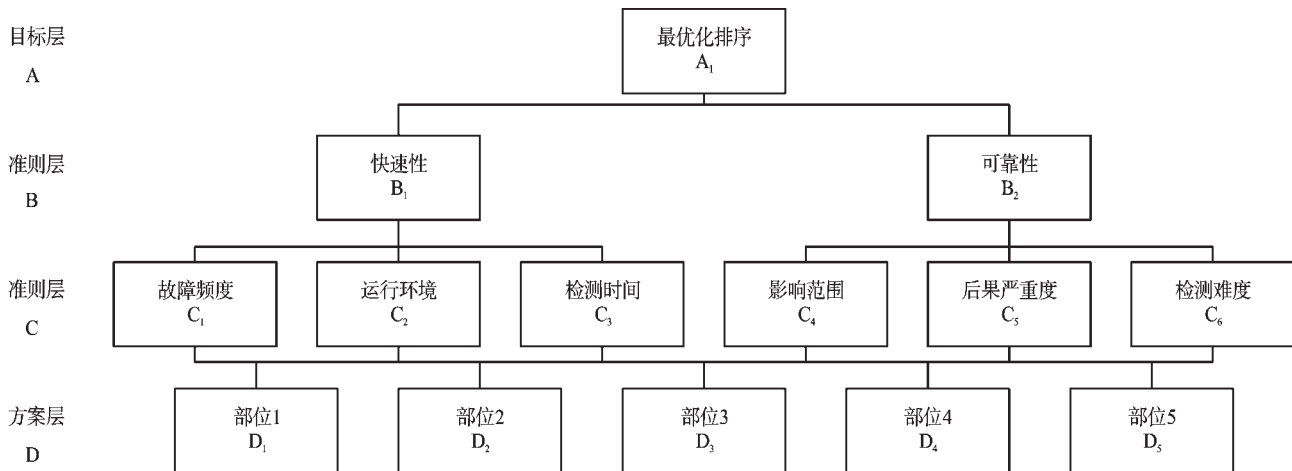


图1 消缺的层次优化模型

表2 准则层B的判断矩阵

最优化排序	快速性	可靠性
快速性	1	1/3
可靠性	3	1

该矩阵为二阶互反矩阵,必为一致性矩阵,满足一致性要求。

2.2.2 准则层B下准则层C的判断矩阵

(1) 首先,分析快速性准则。

在实际操作中,工作人员倾向于选择从最有可能出现故障的部位开始排查,与之对应的是准则层C的故障频度和运行环境两因素,然后再考虑检测时间因素。前者中,与缺陷相关的部位故障频度信息通过系统记录检索,应当作为主信息,显然发生频率高的部位应该被优先排查到,而在频率接近时,考虑运行环境因素则更为有效,最后考虑检测时间。综合分析构造B<sub>1</sub>控制下准则层C的判断矩阵如表3所示。

表3 快速性B<sub>1</sub>下准则层C的判断矩阵

快速性	故障频度	运行环境	检测时间
故障频度	1	3	7
运行环境	1/3	1	4
检测时间	1/7	1/4	1

计算得该矩阵的最大特征值:

$$\lambda_{\max} = 3.0324 \quad (6)$$

一致性指标:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0.0162 \quad (7)$$

查表得  $n = 3$  时,  $RI = 0.52$ , 故:

$$CR = \frac{CI}{RI} = 0.0314 < 0.10 \quad (8)$$

满足一致性要求。

(2) 其次,分析可靠性原则。

该原则控制下的因素有3条:影响范围、后果严重度和检测难度。其中,显然前两者对可靠性的影响大于后者,由于通常倾向于优先保证供电可靠性,即尽量在不停电的情况下工作,故影响范围稍重于后果严重度,而两者都远重要与检测难度,以上分析所得判断矩阵的具体数据如表4所示。

表4 准则层B<sub>2</sub>下准则层C的判断矩阵

可靠性	影响范围	后果严重度	检测难度
影响范围	1	2	7
后果严重度	1/2	1	6
检测难度	1/7	1/6	1

$CR = 0.0314 < 0.10$  满足一致性要求。

2.2.3 准则层C下方案层的判断矩阵

方案层对应待排查的部位集,在该模型中,每个部位  $D_i$  构造一个列向量  $k_i$  与之对应:

$$k_i = (k_{i1}, k_{i2}, k_{i3}, k_{i4}, k_{i5}, k_{i6})^T \quad (9)$$

式中:  $k_{i1}$ —故障频度,为实际发生过的故障次数,根据实际录入系统的数据确定;  $k_{i3}$ —检测时间,由现场工作人员根据实际操作决定,  $\min$ 。

以上两项的数据都是客观录入,无需进行判断矩阵构造,可以经过下文处理后直接作为方案层对  $C_1, C_3$  的相对权重向量。

$k_{i2}, k_{i4}, k_{i5}, k_{i6}$  对应于准则层中的  $C_2, C_4, C_5, C_6$  因素,由于这4个指标都不易量化,本研究总结实际运行情况,并将之划分等级,然后再根据不同缺陷不同部位确定具体数据,等级划分如表5~8所示。

表5 运行环境等级

等级	具体表现
1	运行环境很好,基本不用考虑此因素
2	室内,运行环境较好
3	室内,但可能处于潮湿等不利环境中
4	室外,遇阴雨天气或偶尔运行于恶劣环境下
5	室外,长年运行于恶劣环境下

表6 影响范围等级

等级	具体表现
1	一次系统和保护系统完全停运
2	需将保护停运,但可以不影响一次供电
3	影响保护系统的部分关键功能
4	影响保护系统非关键功能
5	可以带电检查,完全不影响系统工作

表7 后果严重度等级

等级	具体表现
1	影响很轻微
2	可能对系统非关键功能造成影响
3	可能影响系统关键功能
4	可能导致保护系统不可用
5	可能导致一次系统供电事故

表8 检测难度等级

等级	具体表现
1	需专业或大型仪器配合并拆解
2	需较专业设备配合并拆解
3	需要将设备拆解检查
4	需要简单工具测量观察
5	不需要任何工具,仅肉眼观察即可

在上述等级确定后,由专家对不同部位的参数进行讨论,最终确定录入系统。系统得到不同部位的具体数据向量后,对这些数据进行两两比较,将其转化为判断矩阵中1~9标度法,其转换原则为:两者等级相同取值为1,相差一级取值3,相差两级取值5,以此类推。

在建立了消缺优化模型及判断矩阵后,根据方案层的具体数据可推出方案层相应的判断矩阵,再与上面数据结合即可求得方案层的总权重。

### 3 算 例

本研究选取现场较为常见的“馈线保护装置通讯中断”缺陷为例进行计算。

该缺陷中,待查的部位有:“外部通信通道”、“装置面板”、“装置电源”、“电源插件”,对应层次优化模型中方案层的D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>、D<sub>3</sub>、D<sub>4</sub>,各部位与公式(9)对应的数据向量依次为  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $x_4$ ,结合之前的分级量化方法写出对应的数据矩阵为:

$$X = (x_1, x_2, x_3, x_4) = \begin{pmatrix} 15 & 2 & 7 & 10 \\ 4 & 1 & 3 & 2 \\ 10 & 25 & 10 & 20 \\ 5 & 4 & 4 & 3 \\ 2 & 2 & 4 & 4 \\ 5 & 3 & 4 & 2 \end{pmatrix} \quad (10)$$

#### 3.1 判断矩阵的计算

按照第2节介绍的将不同部位的等级两两比较然后转换为1~9标度法的判断矩阵,可求得准则层中C<sub>2</sub>、C<sub>4</sub>、C<sub>5</sub>、C<sub>6</sub>分别控制下方方案层的判断矩阵,如表9~12所示。

表9 C<sub>2</sub>控制下方方案层的判断矩阵

C <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
D <sub>1</sub>	1	7	3	5
D <sub>2</sub>	1/7	1	1/5	1/3
D <sub>3</sub>	1/3	5	1	3
D <sub>4</sub>	1/5	3	1/3	1

CR=0.043 8<0.10,满足一致性要求。

表10 C<sub>4</sub>控制下方方案层的判断矩阵

C <sub>4</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
D <sub>1</sub>	1	3	3	5
D <sub>2</sub>	1/3	1	1	3
D <sub>3</sub>	1/3	1	1	3
D <sub>4</sub>	1/5	1/3	1/3	1

CR=0.016 3<0.10,满足一致性要求。

表11 C<sub>5</sub>控制下方方案层的判断矩阵

C <sub>5</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
D <sub>1</sub>	1	1	1/5	1/5
D <sub>2</sub>	1	1	1/5	1/5
D <sub>3</sub>	5	5	1	1
D <sub>4</sub>	5	5	1	1

CR=0<0.10,满足一致性要求。

表12 C<sub>6</sub>控制下方方案层的判断矩阵

C <sub>6</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
D <sub>1</sub>	1	5	3	7
D <sub>2</sub>	1/5	1	1/3	3
D <sub>3</sub>	1/3	3	1	5
D <sub>4</sub>	1/7	1/3	1/5	1

CR=0.0438<0.10,满足一致性要求。

#### 3.2 层次间相对权重的计算

通过表(2~4)的判断矩阵可求得准则层B及准则层C相对于上层元素的权重向量,如表13~14所示。

表13 准则层B对于上层的相对权重

准则层B	方案层A
快速性B <sub>1</sub>	0.25
可靠性B <sub>2</sub>	0.75

表14 准则层C对于上层的相对权重

方案层C	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>
故障频度C <sub>1</sub>	0.658 6	0
运行环境C <sub>2</sub>	0.262 8	0
检测时间C <sub>3</sub>	0.078 6	0
影响范围C <sub>4</sub>	0	0.582 1
后果严重度C <sub>5</sub>	0	0.348 4
检测难度C <sub>6</sub>	0	0.069 5

故障频度C<sub>1</sub>控制下的方案层各相应部位向量为:

$$\bar{C}_1 = (15, 2, 7, 10) \quad (11)$$

省去构造判断矩阵的步骤,将之归一化可直接得到方案层对应于C<sub>1</sub>的相对权重为:

$$C_1 = (0.441 2, 0.058 8, 0.205 9, 0.294 1) \quad (12)$$

在矩阵X中,C<sub>3</sub>的数据为检测时间,而在模型中,应该是时间越短越好,所以应该时间越短权重越大,故将向量中数据取倒数后再归一化,得到C<sub>3</sub>控制下方方案层的相对权重为:

$$C_3 = (0.344 8, 0.137 9, 0.344 8, 0.172 4) \quad (13)$$

方案层对C<sub>2</sub>、C<sub>4</sub>、C<sub>5</sub>、C<sub>6</sub>的相对权重可通过表9~12的判断矩阵求得,综合得方案层的相对于准则层C的权重向量如表15所示。

表15 准则层C下方案层的相对权重

D	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
D <sub>1</sub>	0.441 2	0.565 0	0.344 8	0.522 2	0.083 3	0.565 0
D <sub>2</sub>	0.058 8	0.055 3	0.137 9	0.199 8	0.083 3	0.117 5
D <sub>3</sub>	0.059 0	0.262 2	0.344 8	0.199 8	0.416 7	0.262 2
D <sub>4</sub>	0.294 1	0.117 5	0.172 4	0.078 1	0.416 7	0.055 3

### 3.3 总权重的计算

由公式(5)及表13~15说得的各层相对于上层的相对权重,可计算得到D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>、D<sub>3</sub>、D<sub>4</sub>对目标的总权重为:

$$W=(0.395\ 7,0.131\ 1,0.243\ 5,0.205\ 4)^T \quad (14)$$

方案层总的一致性指标:

$$CR_w=0.043\ 7 < 0.10 \quad (15)$$

由此得到消缺优化的最终结果,即按照“外部通信通道”(D<sub>1</sub>)、“装置电源”(D<sub>3</sub>)、“电源插件”(D<sub>4</sub>)、“装置面板”(D<sub>2</sub>)的顺序依次进行排查。

回到数据本身,D<sub>2</sub>在多项数据都处于不利地位,所以最终结果里权重也较小,D<sub>1</sub>、D<sub>3</sub>、D<sub>4</sub>在占比较大的可靠性方面数据相近,但D<sub>1</sub>在比重其次的故障频率上大幅领先其他方案,致使其权重最大,D<sub>3</sub>、D<sub>4</sub>大体数据相仿,所以权重也较相近。由此看出,最终计算结果比较符合专家判断和实际数据的要求。

## 4 结束语

继电保护消缺工作是电力系统中的重要内容之一,本研究引入层次分析法,建立优化模型,在缺陷发生后对各部位的排查顺序进行了综合评估。

研究分析结果表明,首先由专家或现场专业人员根据实际情况来构造不同的判断矩阵,通过该优化过程得到的数据兼顾了实际消缺工作中需考虑的多项因素及其重要性大小,结果直观可靠,弥补了传统工作中仅仅依靠人为经验而主观性较强的缺陷,具有较强的实用性,可为继电保护消缺工作提供参考。

### 参考文献(References):

- [1] 曾锦松,郑南章. 变电站继电保护消缺方法的探讨[J]. 电力系统保护与控制,2008,36(24):104-106.
- [2] 张恒旭,刘玉田. 极端冰雪灾害对电力系统运行影响的综合评估[J]. 中国电机工程学报,2011,31(10):52-58.
- [3] 马丽叶,卢志刚,胡华伟. 基于区间数的城市配电网经济运行模糊综合评价[J]. 电工技术学报,2012,27(8):163-171.
- [4] 钟慧荣,顾雪平,朱玲欣. 黑启动恢复中网架重构阶段的负荷恢复优化[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(17):26-32.
- [5] 吴丹,程浩忠,奚珣,等. 基于模糊层次分析法的年最大电力负荷预测[J]. 电力系统及其自动化学报,2007,19(1):55-58.
- [6] 杨海霞,谢开贵,曹侃,等. 计及指标权重的电力市场可靠性电价模型[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(16):67-73.
- [7] SAATY T L. The Analytic Hierarchy Process [M]. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [8] SAATY T L. Priority setting in complex problems[J]. **Engineering Management, IEEE Transactions on**, 1983, 30(3):140-155.
- [9] 许树柏. 实用决策方法—层次分析法原理[M]. 天津:天津大学出版社,1988.
- [10] 胡永宏,贺思辉. 综合评价方法[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [11] 刘英,李雅,程儒松,等. 基于模糊层次分析法的集控水电站群倒班运行质量综合评价研究[J]. 机械,2012,39(6):27-31.
- [12] 王大亮. 改进层次分析法在中长期负荷预测中的应用[D]. 吉林:东北电力大学电气工程学院,2008.
- [13] 朱建军. 层次分析法的若干问题研究及应用[D]. 沈阳:东北大学信息科学与工程学院,2005.

[编辑:洪炜娜]

#### 本文引用格式:

王鑫,徐习东,琚军,等. 基于层次分析法的继电保护消缺优化研究[J]. 机电工程,2013,30(12):1540-1545.

WANG Xin, XU Xi-dong, JU Jun, et al. Optimization on eliminating defects of relay protection based on analytic hierarchy process[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2013, 30(12):1540-1545.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>