

# 继电保护装置可靠性指标体系的分析

阿城继电器厂 晏国华

## 摘 要

继电保护装置是电力系统自动控制的一种专用的特殊装置,本文对它的可靠性特征量进行泛函分析,经过优选,提出继电保护装置的可靠性指标体系的建议方案,以供同行参考。

## 一 可靠性特征量

### 1. 继电保护装置的工作特点

在确定装置可靠性特征量时,应该了解,——投入运行的保护装置的工作状态,基本上分为三种:

a、准备状态——不等于“储存”中的静止状态,而是处于长期带电“备战”,实质是装置长期接受通电考验。这个期间,如果装置因本身故障而引起动作称为“系统无故障误动”。

b、工作状态——系统发生故障时,装置动作,持续几十或几千毫秒。这个期间,该动作时它动作,称为“正确动作”;若它不动作称“拒动”;不该动作时它乱动称为“非选择性误动”。

c、维修状态——这种状态的特点是一年中进行一、两次,每次几个小时或一、两天。

——装置本身的“故障(失效)时刻”往往是不可预知的。检测出或发现本身故障的所用时间与故障种类和监视手段有关,少则0.5秒,多则几小时或更长。

——两个工作状态之间的平均时间界于几个月和几年之间。

——按装置本身失效发生的因果不同可分为三类,由此得出改善装置可靠性的措施

surface”, 14th ICEC, 1988.

〔3〕 张交锁 方鸿发. 继电器电弧持续时间的微机测试系统. 低压电器, 1990(3)

〔4〕 赵莉华. 继电器触点动作微机模拟控制、参数测试系统及触点工作参数对电性能影响的研究. 西安交通大学硕士学位论文. 1990(4)

并对其评价。

- a、一次设备没发生故障或扰动时的误跳闸。
- b、一次设备发生故障或扰动时的非选择性误跳闸。
- c、一次设备发生故障时，装置没有发出跳闸指令，而拒动。

从上述继电保护装置的特殊性可看出，仅仅引用一般的可靠性概念确定它们的可靠性特征量是不适用的。

## 2. 保护装置可靠性特征量的拟定

根据一般的可靠性概念，考虑上述特殊性，保护装置的可靠性特征量拟定如下：

- a、无故障误动率 $\lambda_m$

$$\lambda_m = \frac{\text{无故障误动次数 } n_m}{\text{运行时间积累 } T_0} \quad (1)$$

- b、非选择性误动率 $\lambda_{ns}$

$$\lambda_{ns} = \frac{\text{非选择性误动次数 } n_{ns}}{T_0} \quad (2)$$

- c、拒动率 $\lambda_r$

$$\lambda_r = \frac{\text{拒动次数 } n_r}{T_0} \quad (3)$$

- d、误动率 $\lambda_{mn}$

$$\lambda_{mn} = \frac{n_m + n_{ns}}{T_0} \quad (4)$$

- e、运行失效率 $\lambda_0$

$$\lambda_0 = \lambda_{mn} + \lambda_r \quad (5)$$

或

$$\lambda_0 = \frac{n_m + n_{ns} + n_r}{T_0} \quad (5')$$

- f、综合失效率 $\lambda_\Sigma$

$$\lambda_\Sigma = \frac{n_m + n_{ns} + n_r + \text{定期维修时发现的失效数积累 } n_{maf}}{T_0 + \text{定期维修时间积累 } T_{maf} + \text{失效停修时间积累 } T_{mnsr}} \quad (6)$$

- g、区内故障正确动作率 $\xi_{ic}$

$$\xi_{ic} = \frac{\text{区内故障正确动作次数 } n_{ic}}{T_0} \quad (7)$$

- h、区外故障正确不动率 $\xi_{oc}$

$$\xi_{oc} = \frac{\text{区外故障正确不动次数 } n_{oc}}{T_0} \quad (8)$$

- i、运行正确率 $\xi_{cf}$

$$\xi_{cf} = \xi_{ic} + \xi_{oc} = \frac{n_{ic} + n_{oc}}{T_0} \quad (9)$$

j、平均无故障（有效）运行时间MTBF。

$$MTBF_0 = \frac{1}{\lambda_0} \quad (10)$$

R、综合平均无故障时间MTBF<sub>Σ</sub>

$$MTBF_{\Sigma} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} = \frac{T_0 + T_{maf} + T_{mnsr}}{n_m + n_{ns} + n_r + n_{mf}} \quad (11)$$

L、平均维修时间MTTR

$$MTTR = \frac{T_{maf} + T_{mnsr}}{n_{maf} + n_m + n_{ns} + n_r} \quad (12)$$

m、运行可用性A<sub>0</sub>

$$A_0 = \frac{MTBF_0}{MTBF_0 + MTTR} \quad (13)$$

n、综合可用性A<sub>Σ</sub>

$$A_{\Sigma} = \frac{MTBF_{\Sigma}}{MTBF_{\Sigma} + MTTR} \quad (14)$$

## 二 特征量的分析

### 1. 特征量的似映射关系

为便于概念清晰，层次分明，分析精简，有必要给出特征量的似映射关系图如图1所示。

注：f右下角（×）表示特征量拟定公式的序号数

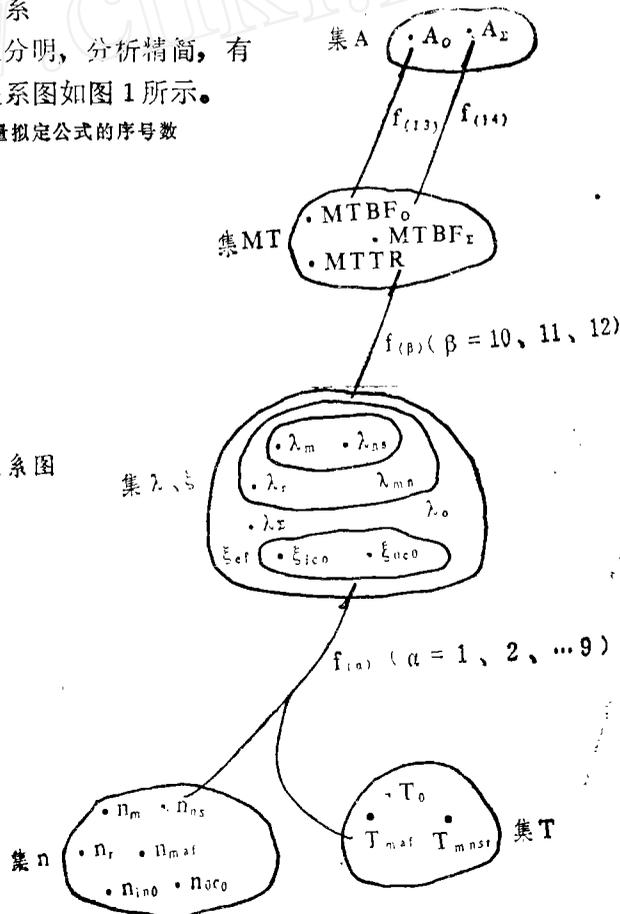


图1 似映射关系图

## 2. 失效率 $\lambda$ 的解析

### 2.1 误动、拒动量度的转化问题

无论是“无故障误动”、“非选择性误动”，还是“拒动”，它们都在时间直线 $E_t$ 上占有一个闭区间 $[\Delta t_{\lambda i}]$ ，它们在运行时间积累 $T_0$ 中，剔除停运维修时间不予考虑，在 $E_t$ 上可如图2所示。

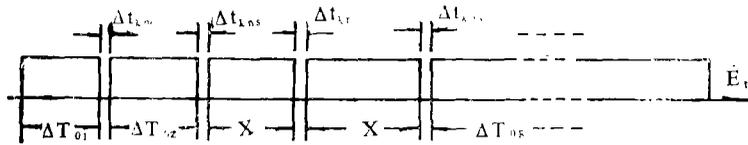


图2 误动、拒动量度区间图

由图2，可知：

$$T_0 = \sum_{k=1}^m \Delta T_{0i} \quad (15)$$

根据继电保护的动作时间实际值分析，“无故障误动”时间 $\Delta t_{\lambda m}$ 一般为40ms以内，“非选择性误动”时间 $\Delta t_{\lambda ns}$ 一般亦为40ms以内，“拒动”时间 $\Delta t_{\lambda r}$ ，可决定于它的后备保护的跳闸时间，一般为100ms，三者的闭区间取最大值并用 $\Delta t_{\lambda}$ 表示之，即：

$$\begin{aligned} \Delta t_{\lambda} &= \text{Max} [\Delta t_{\lambda m}, \Delta t_{\lambda ns}, \Delta t_{\lambda r}] \\ &= \text{Max} [40, 40, 100] \\ &= 100\text{ms} = 0.1\text{s} \end{aligned} \quad (16)$$

为了获取尽可能多的子样，运行时间积累 $T_0$ 自然越长越好，一般至少一年，即：

$$\begin{aligned} T_0 &\geq 8760\text{hr} \times 3600\text{s/hr} \\ &= 31.536 \cdot 10^6\text{s} \end{aligned} \quad (17)$$

可见二者之比值

$$\frac{\Delta t_{\lambda}}{T_0} \leq \frac{0.1}{31.53 \times 610^6} = 3.171 \cdot 10^{-9} \quad (18)$$

变为非常非常微小。

对比 $T_0$ 而言， $\Delta t_{\lambda} \rightarrow dt_{\lambda}$ 。  $dt_{\lambda}$ 这么短，又不能忽略不计，有必要给以“标志它们的存在，又不计及其闭区间测度”的新的量度。这样只标志 $dt_{\lambda}$ 的有无，而与其幅值无关的量度，采用量度“次数 $n$ ”就具有所需的特征。可比拟为 $E_t$ 中子集 $N_{\lambda}$ 的特征函数 $X_{N_{\lambda}}(dt_{\lambda})$ ，即：

$$X_{N_{\lambda}}(dt_{\lambda}) = \begin{cases} 1 & dt_{\lambda} \in N_{\lambda} \text{ (失效发生时)} \\ 0 & dt_{\lambda} \notin N_{\lambda} \text{ (失效没有时)} \end{cases} \quad (20)$$

或符号“ $\Rightarrow$ ”表示“蕴涵”时，上述转化可表示为：

$$\Delta t_{\lambda} \rightarrow dt_{\lambda} \Rightarrow n \quad (21)$$

$$n \supset (n_m, n_{ns}, n_r) \quad (22)$$

顺便提一下,可能是巧合,在英语中,“次数”与“时间”都用同一个词汇“time”表征,亦可理解为二者是可双向蕴涵的,即:

$$n \begin{matrix} \Rightarrow \\ \Leftarrow \end{matrix} dt \text{ (或 } t \text{)}.$$

### 2.2 运行失效率 $\lambda_0$ 的分析

根据关系式(5'), $\lambda_0$ 为:

$$\lambda_0 = \frac{n_m + n_{rs} + n_r}{T_0} \quad (5')$$

现因 $n$ 的量度为“次”, $T_0$ 的量度以“hr”(小时)为宜,故 $\lambda_0$ 的量度为“次/hr”,即“失效数/hr”,或用“次失效/hr”表示之均可。为方便通用化,经常采用“ $10^{-6}$ 次失效/hr”做为失效率 $\lambda_0$ 的量度单位。关系式(5')以及关系式(1)~(5)都采用上述量度单位,说明它们的物理意义完全与国家标准GB3187—82、国家军用标准GJB299—87相符,这些特征量可暂定“拟用”。

### 2.3 综合失效率 $\lambda_\Sigma$ 的分析

根据关系式(6), $\lambda_\Sigma$ 为:

$$\lambda_\Sigma = \frac{n_m + n_{rs} + n_r + n_{mst}}{T_0 + T_{mst} + T_{rst}} \quad (6)$$

为分析 $\lambda_\Sigma$ ,首先应该把继电保护功能失效源在时间直线 $E_t$ 上所占的闭区间 $[\Delta T_i]$ 弄清楚,除“无故障误动”外,“非选择性误动”源与“拒动”源一旦产生或形成后,并不见得立即产生“误动”与“拒动”,往往是在 $T_0$ 上潜伏 $[\Delta T_i]$ 后,当被保护对象发生不可预料的故障时,它们才表现出来,形成保护功能失效;但也应当想到还会有另外一种情况,虽然“两种”源已经发生,由于在 $T_0$ 范围内,被保护对象并没有发生区内、外故障,一直到维修时才发现这些“源”。前者的 $[\Delta T_i]$ 闭区间都包括于 $T_0$ ;后者 $[\Delta T_i]$ 都从 $T_0$ 中延拓到 $T_{mst}$ 之中;为简便计,可综合表示为:

$$\bigcup_{i=1}^k [\Delta T_i]_i \subset (T_0 \cup T_{mst}) \quad (23)$$

还应当考虑到,  $1 \leq i, j \leq k$ , 当  $i \neq j$  时, 有的  $[\Delta T_i]_i \cap [\Delta T_j]_j = \phi$  (二者无重叠区), 有的  $\neq \phi$  (二者有重叠区), 甚至有多重区。

进一步分析,  $[\Delta T_i]$  可分为两类:

第 I 类:  $[\Delta T_i]_i \subset T_0$ , 都已被  $n_m + n_{rs} + n_r$  所取代, 故它们不会出现在  $T_{mst}$  中。

第 II 类:  $[\Delta T_i]_i \subset (T_0 \cup T_{mst})$  中, 即“源”形成在  $T_0$  中, 却发现在  $T_{mst}$  中, 其个数用  $n_{mst}$  表示。

鉴于上述“前因(源)后果”, 特别是为了全面了解继电保护装置(产品)的可靠性特征量, 采用综合失效率 $\lambda_\Sigma$ 及其关系式(6)是准可取的。

上述分析可用图3所示。

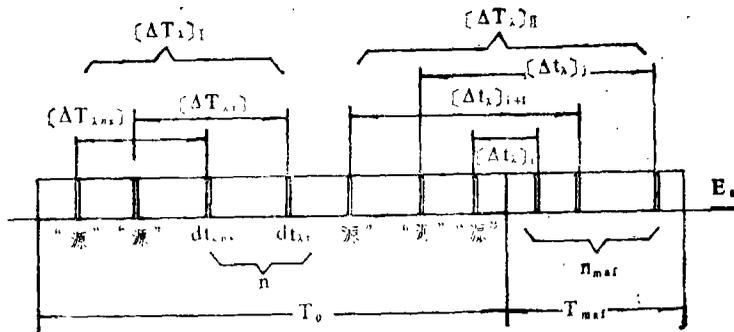


图3 综合失效率分析图

### 3. 运行正确率 $\xi_{c.o.}$ 的分析

#### 3.1 暂定 $\xi_{c.o.}$ 具有实际意义时, 它包括 $\xi_{i.c.o.}$ 与 $\xi_{o.c.o.}$ 的分析

继电保护的功能特点主要是:

——被保护对象区内发生故障时, 它可靠动作跳闸, 切除故障段, 不使故障扩大。

——被保护对象区外发生故障时, 它可靠不动作跳闸, 保证区内段继续供电、用电。

为全面衡量保护装置的运行正确率 $\xi$ 应该把区外故障正确不动率 $\xi_{o.c.o.}$  (或其次数 $n_{o.c.o.}$ ) 与区内故障正确动作率 $\xi_{i.c.o.}$  (或其次数 $n_{i.c.o.}$ ) 合并计算, 即:

$$\xi_{c.o.} = \xi_{i.c.o.} + \xi_{o.c.o.} \quad (9')$$

再从被保护对象运行中发生故障的统计数据为:

——线路故障率为0.51次/百公里·年

——母线故障率为0.06次/条·年

——变压器等故障率为0.035次/组·年

——发电机故障率为0.00024次/台·年

从上述数据可知, 对象发生区内或第 I 段故障的机遇甚低, 一年内只发生 1 次, 很少多于 1 次, 有的甚至几年也不发生 1 次, 绝大多数时间处于带电准备状态, 即给出 $\xi_{i.c.o.}$ 的机会非常小,  $\xi_{i.c.o.}$ 当然也是很低。如果只考虑它, 计及它, 对表征保护装置的可靠性特征量方面, 势将造成很大的片面性。

综上所述, 如果集 $\xi$ 各点有实际意义时, 关系式(7)、(8)、(9)是可取的。

#### 3.2 正确动作率 $\xi_{i.c.o.}$ 的意义问题

为便于书写, 本小节分析中, 将用 $\xi$ 代替 $\xi_{i.c.o.}$ ,  $\Delta t_{c.o.}$ 代表动作时间,  $\Delta t_{r,i}$ 代表返回时间, 它们与 $T_0$ 在直线 $E_i$ 上的分布情况如图4所示。

a、根据关系式(7),  $\xi$ 为:

$$\xi = \frac{n_{z.o.}}{T_0} \quad (7)$$

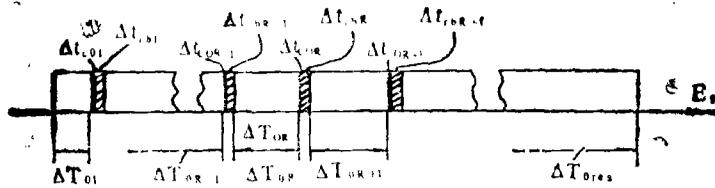


图4 ξ分析图

式中,  $n_{c0}$  是  $\Delta t_{c0k}$  的个数, 对  $T_0 = \sum_{k=1}^m \Delta T_{ok} + \Delta T_{ores}$  而言,  $\Delta t_{c0k} \rightarrow dt_{c0k}$ , 故只计个(次)数, 不计其实际时间, 其情况如2.1, 此处不再重述。

关系式(7)说明下列意义:

——在整个  $T_0$  时间内, 如果保护装置保持其完好状态,  $\xi$  的数值完全决定于被保护对象发生区内故障的次数, 即  $\xi \propto n_{c0}$ 。

——区内故障发生次数是随机的, 无法预料的, 即  $\xi$  值的获得也是随机的。

可见  $\xi$  仅是说明, 在某一时间内, 对象发生过的区内故障次数, 尚未找出别的实际意义。

b、用  $\Delta t_{c0}$  代表“次”时的分析

按照 GB3187—82 中 1.3.5 “时间”概念这一条定义, “时间”同“次数”是可以互换的。

在实际运行中, 以及模拟试验中, 保护装置正确动作时间的随机序列  $\{\Delta t_{rjk}\}$  ( $k=1, 2, \dots, m, m < \infty$ ) 与其随继的返回时间序列  $\{\Delta t_{rbk}\}$  ( $k=1, 2, \dots, m, m < \infty$ ) 之和永远包含在  $T_0$  中, 参见图4, 可用下式表示之。

$$\{\Delta t_{c0k}\} + \{\Delta t_{rbk}\} \subseteq T_0 = \{\Delta T_{ok}\} + \Delta T_{ores} \quad (24)$$

$$(k=1, 2, \dots, m; m < \infty)$$

又继电保护装置的动作时间  $\Delta t_{c0k}$  一般都是小于它的返回时间  $\Delta t_{rbk}$ , 即:

$$\Delta t_{c0k} \leq \Delta t_{rbk} \quad (25)$$

综合(24)与(25), 可列出下面关系式:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{k=1}^{m-1} \Delta t_{c0k} + \sum_{k=1}^m \Delta t_{rbk} &\leq T_0 \\ \sum_{k=1}^m \Delta t_{c0k} &\leq \frac{1}{2} \cdot T_0 = 0.5 T_0 \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

由于  $\sum_{k=1}^m \Delta t_{rbk} > 0$ , 有界, 令  $\sum_{k=1}^m \Delta t_{rbk} = M_{r,b}$  则式(26), 可用距离空间表示为:

$$\rho\left(\sum_{k=1}^m \Delta t_{c0k}, T_0\right) \geq M_{r,b} \quad (27)$$

从不等式(27)与(26)可得出:

$$\xi = \left( \sum_{k=1}^m \Delta t_{c, \theta k} / T_{\theta} \right) \leq 0.5 \quad (28)$$

换言之,  $\max \xi = 0.5$ 。对 $\xi$ 得出极限值0.5, 在可靠性理论上是站不住脚的; 从被保护对象发生故障的“次数”(  $k = m < \infty$  )达到这样的稠密程度, 在现场统计与模拟试验中, 也是不可能发生的, 也是办不到的。

3.3综合3.1与3.2的解析结果, 可以说明, 按关系式(7), 延伸一下, 以及关系式(8)、(9)所确定的“率”, 它们的意义缺少实用价值。

在同一种保护装置投运台数、投运时间都达到足够数量时, 采用下述计算方法倒有实用意义, 关键是(  $n_{i, c, \theta} + n_{\theta, c, \theta} + n_m + n_{m, s} + n_r$  )需大于100, 越大越接近母体真值。

$$\blacktriangleright R_{s, u} = \frac{n_{i, c, \theta} + n_{\theta, c, \theta}}{n_{i, c, \theta} + n_{\theta, c, \theta} + n_m + n_{m, s} + n_r} \quad (29)$$

$R_{s, u}$ 称为工作成功率。

#### 4. 集M T各点的分析

为分析简化起见, 可设保护装置的平均无故障时间M TBF的分布函数服从指数分布, 即:

$$M TBF = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (30)$$

根据式(30), 很易求出:

4.1运行平均无故障时间M TBF<sub>0</sub>为:

$$M TBF_0 = \frac{1}{\lambda_0} \quad (10)$$

4.2综合平均无故障时间M TBF<sub>Σ</sub>为:

$$M TBF_{\Sigma} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} \quad (11)$$

上述两点, 根据它们所含集n中各点的不同特征, 预料M TBF<sub>0</sub>对运行单位适用性较大; M TBF<sub>Σ</sub>对制造单位用处较大, 对改善提高产品可靠性, 能给以明确的导向。

4.3平均维修时间M TTR

式(12)符合GB3187—82的2.6.2条规定, 不拟再分析。

#### 5. 关于集A的两点

按照GB3187—82的2.4.7条规定的“失效未发现时间”的平均值M TTD往往远小于M TTR, 更小于M TBF, 故在计算可用性A时, 往往予以忽略不计。基于此, 表征A<sub>0</sub>的式(13)与表征A<sub>Σ</sub>的式(14)符合GB3187—82的2.7.4条的规定, 故是可取的, 不再多叙。

### 三 特征量的适用性分析

任一特征量对于两种不同实施方案P与Q的适用度, 可以采用模糊语言对比加权(归一化的)法, 予以评判。

对比加权分五种类别，规定如下：

P	1	0.7	0.5	0.3	0
	很适用	较适用	能适用	勉强用	不适用
Q	0	0.3	0.5	0.7	1
	不适用	勉强用	能适用	较适用	很适用

本文中，P——采用现场运行数理统计方案；

Q——采用模拟试验数据处理方案。

对本文中拟定的特征量，进行对比加权于下表文中。

表1

序号	特征量	P		Q	
		说明	权值	说明	权值
1	$\lambda_m$ 无故障误动率,式(1)	装置准备状态,长期带电。很适用。	1.0	不适用。 有否可行的加速试验?	0.0
2	$\lambda_{ns}$ 非选择性误动率,式(2)	能适用	0.5	能适用。	0.5
3	$\lambda_r$ 拒动率	同上。	0.5	同上	0.5
4	$\lambda_{mn}$ 误动率	综合序号1、2。	0.7	综合序号1、2。	0.3
5	$\lambda_o$ 运行失效率	较适用。	0.7	勉强用。	0.3
6	$\lambda_{\Sigma}$ 综合失效率	较适用。	0.7	维修难模拟,勉强用。	0.3
7	$\xi_{ico}$ 区内故障正确动作率式(7)	无实际意义	—	无实际意义。	—
8	$\xi_{oco}$ 区外故障正确不动作率式(8)	同上	—	同上	—
9	$\xi_{co}$ 运行正确率,式(9)	同上	—	同上	—
9'	$\Delta R_{su}$ 式(29) $\Sigma n > 100$	适用	0.5 <sup>-</sup>	更适用。	0.5 <sup>+</sup>
10	MTBF <sub>o</sub> 式(10)	适用	0.7	$n_m$ 难获取,勉强用	0.3
11	MTBF <sub>f</sub> 式(11)	同上外,维修必然形成	0.5 <sup>+</sup>	失效后,亦需维修,亦可用	0.5 <sup>-</sup>
12	MTTR式(12)	同上	0.5 <sup>+</sup>	同上	0.5 <sup>-</sup>
13	A <sub>o</sub> 式(13)	同序号9'	0.5 <sup>+</sup>	同序号9'	0.5 <sup>-</sup>
14	A <sub>s</sub> 式(14)	同序号11	0.5 <sup>+</sup>	同序号11	0.5 <sup>-</sup>
	权值合计		7.3		4.7
	权值归一化		$\frac{7.3}{7.3+4.7}$		$\frac{4.7}{7.3+4.7}$

经过表1所列的对比加权分析,得出如下意见:

1. 原先暂定(见一之2)的特征量集合中,应去掉 $\xi_{ico}$ 、 $\xi_{oco}$ 与 $\xi_{co}$ 增加 $R_{sus}$ 式(29)。
2. 减增后特征量集合,采用现场运行数理统计方案P,较易实施;如果采用模拟试验数据处理方案Q,尚可实施。
3. 为了少用产品,短期测定、验证,只有采用方案Q予以实施。欲获得尽可能近于特征量的真值,必须设法解决下述模拟加速试验问题,主要课题是:
  - 3.1 保护装置处于长期带电式的准备状态,获取无故障误动次数 $n_m$ 问题。
  - 3.2 保护装置定期维修时间间隔的模拟问题。但装置失效后,其维修时间可积累估算。

#### 四 可靠性指标体系方案的建议

1. 拟定可靠性指标体系方案的原则

- 1.1 覆盖继电保护行为的特征。
- 1.2 有利于充分暴露制造单位在设计上、工艺上、制造上、试验上、包装上、软件上存在的使产品可靠性降低的薄弱环节,以便采取针对性的措施,改进提高。
- 1.3 便于制造单位,自行测定与验证。

2. 可靠性指标体系方案的建议

根据第二章对各特征量的分析意见,按照拟定方案的1.1~1.3原则,本文建议采用下述方案:

方案集	装置运行统计P型	装置模拟试验Q型	静态元件试验S型	机电元件试验M型
n 集	$n_m, n_{nsr}, n_r, n_{maf}, n_{ico}, n_{oco}$	$n_{ns}, n_r, n_{ico}, n_{oco}$	$n_m, n_{ns}, n_{ico}, n_{oco}$	$n_{ns}, n_r, n_{ico}, n_{oco}$
$\lambda$ 集	$\lambda_{\Sigma P} = f(n_m, n_{ns}, n_r, n_{maf}, T_o, T_{mnsr}, T_{maf})$	$\lambda_{\Sigma Q} = f(n_{ns}, n_r, T_o, T_{mnsr})$	$\lambda_{\Sigma S} = f(n_m, n_{ns}, n_r, T_o, T_{mnsr})$	$\lambda_{OM} = f(n_{ns}, n_r, T_o)$
MT 集	$MTBF_{\Sigma P} = \lambda_{\Sigma P}^{-1}$ $MTTR_P = f(T_{maf}, T_{mnsr}, n_{maf}, n_{ns}, n_r)$	$MTBF_{\Sigma Q} = \lambda_{\Sigma Q}^{-1}$ $MTTR_Q = f(T_{mnsr}, n_{ns}, n_r)$	$MTBF_{\Sigma S} = \lambda_{\Sigma S}^{-1}$ $MTTR_S = (T_{mnsr}, n_m, n_{ns}, n_r)$	$MTTF_{OM}$
A 集	$A_{\Sigma P} = f(MTBF_{\Sigma P}, MTTR_P)$	$A_{\Sigma Q} = f(MTBF_{\Sigma Q}, MTTR_Q)$	$A_{\Sigma S} = f(MTBF_{\Sigma S}, MTTR_S)$	
R 集	$R_{susP} = f(n_{ico}, n_{oco}, n_m, n_{ns}, n_r)$	$R_{susQ} = f(n_{ico}, n_{oco}, n_{ns}, n_r)$	$R_{susS} = f(n_{ico}, n_{oco}, n_m, n_{ns}, n_r)$	$R_{susM} = f(n_{ico}, n_{oco}, n_{ns}, n_r)$

都按可修复系统考虑

按不可修复系统考虑

#### 3. 方案归纳

继电保护装置可靠性指标体系可归纳如下四个方案:

