

用概率统计方法分析评价01(1A)型微机 线路保护的测距性能

福建电力试验研究所 林 韩 福建省安砂水电厂 林礼清

摘要 本文利用安砂水电厂WXH—1A型微机线路保护动态模拟试验所收集的测距样本,在计及模拟误差、电气环境及D整定误差等影响、置信度取95%的条件下,应用概率统计的分析方法对01(1A)型微机线路保护装置测距的整模或运算规则、测距值的总体分布,测距的误差范围(即精度)及比例进行了客观的分析评价,为现场人员对测距值的分析提供了科学依据。

关键词 微机线路保护 概率统计 测距误差

01(或1A)型微机线路保护装置已在我国较大量采用,但目前对01(或1A)型微机线路保护的故障测距精度还颇有争议。由于现场条件限制,难以收集到足够的测距样本,因此01(1A)型微机线路保护的故障测距精度究竟在什么范围内,尚未能对其作出科学的评价。

福建电网第一套微机线路保护采用许昌继电器厂生产的WXH—1A型保护,已于1990年10月在安砂水电厂投入运行(现已投跳)。装置出厂前,许昌继电器研究所线路室、动模室、安

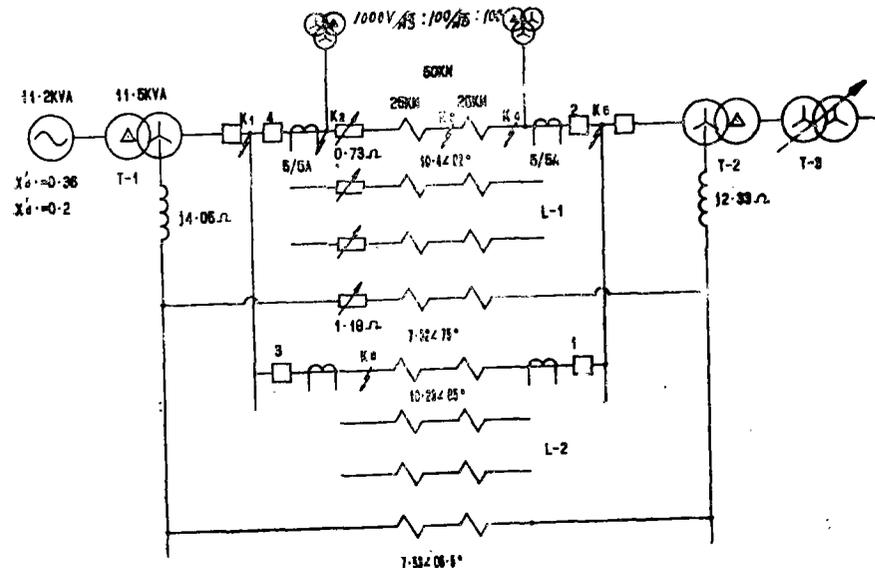


图1 动模试验接线图

砂水电厂、福建省电力试验研究所于1990年6月联合在许继所动模试验室对该装置进行了动模试验,以验证保护屏设计的正确性,考验WXH—1A型微机线路保护在安砂水电厂模型环境下的动作行为,验证其动作的正确性。动模试验共做了83项,动作正确率为100%,其结果是令人满意的。动模试验中共收集到48个测距样本,本文以该测距样本为依据,对01(1A)型微机线路保护的测距性能作一分析评价。

动模试验接线如图1所示,图中T—1、T—2为升压变及降压变,T—3为感应调压器,L—1模拟被保护线路,L—2模拟其余出线。

动模试验所收集到的故障测距数据若用常规的误差分析方法很难对装置的测距性能做出客观、正确的评价,其原因有:(1)动模试验线路是模拟线路,模型本身就很难准确模拟故障点到保护安装地点的空间距离,影响了测距值与模拟距离的一致性;(2)模拟线路的电气环境与实际线路有一定差异,而装置测距的数学模型应是按实际线路的电气环境建立的,两者的差异将引入一定的测距误差;(3)动模试验中D整定值应为23.474,但当时试验整定者近似取23.000,其整定误差已达2%左右,必然影响测距精度。因此不能用常规误差分析方法进行分析评价。采用概率统计的数学方法则能撇开具体的试验模型、环境及整定误差等诸因素,(从另一角度看,则相当于计及了这些因素的影响)仅对装置本身的测距数据或运算规则的性能进行分析评价,这一点可以在本文下述分析中非常清楚地感受到。

1 故障类型对装置故障测距影响的显著性分析

电力系统线路故障大体可分为:三种类型:(1)单相接地,(2)两相或三相接地,(3)相间短路。从故障本身固有特性上讲,故障类型的不同是不影响故障点到保护安装地点之间的空间距离的,因此故障类型也不应显著影响保护装置的故障点测距值。若故障类型的不同对测距有显著影响,则说明测距的数学模型(或运算规则)不理想,必须进行必要的修正(这当然不在本文讨论的范围之内),因此也就失去了继续对装置的故障测距性能进行评价的必要性。这就要求我们必须首先就故障类型对测距影响的显著性问题进行分析。

动模试验测距样本分类表如表1、表2。由测距样本直观观察,相间故障时测距值偏小,而接地故障时测距值相对较大。但故障类型的影响是否显著必须用数学方法进行定量分析确定。

表 1

K ₃ 点	22 km	23 km			24 km
接地 j _D		23.13 (A O)	23.38	23.5 (A O) 23.5 (A O) 23.5 (A O) 23.5 (A O)	24.17
相间对地 j _{xD}	22.63	23.0	23.13 (B C O)	23.36 (B C O)	24.0
相间 j _x	22.13	23.0 (A B)	23.38 23.38 (A B)	23.5	23.75 (A B)

表 2

K ₄ 点	45k m	46k m	47k m	48k m	49k m
接 地 J _D				47.75	49.25
				47.75	(A O)
				(A O)	(A O)
相相对地 J _{XD}		46.0	47.0		49.0
		46.0			
相间J _x	45.25		46.75	47.0	47.5

首先按假设检验方法作如下假论:

假设: 故障类型对装置故障测距无显著影响。

根据假设检验理论, 若 $F_{\alpha}(f_A, f_B)$ 小于测距样本的 F 比 (f_A, f_B 为自由度), 则在水平 α 下拒绝上述假设, 即认为影响显著, 测距模型不可接受; 反之接受上述假设。

按“弃真”概率为 $\alpha = 0.05$ 检验。

1.1 K₃点

首先作变换: $J' = (J - 23) \times 100$, 考虑加权因素, 则表 1 可化为表 3。

表 3

J' _D			37.67	38		117	192.67
J' _{XD}	-37	0	25.5			100	88.5
J' _X	-87		37.67	38	50		38.67
Σ							319.84
J' _D ²			1419.03	1444		13669	29552.03
J' _{XD} ²	1369	0	650.25			10000	12019.25
J' _X ²	7569		1419.03	1444	2500		12932.03
Σ							54503.31

则, 故障方式间测距变差平方和为:

$$S_A = \sum_{j=1}^3 \frac{S_j^2}{n_j} - \frac{(\sum_{j=1}^3 S_j)^2}{n}$$

$$= \frac{192.67^2}{3} + \frac{88.5^2}{4} + \frac{38.67^2}{4} - \frac{319.84^2}{11} = 14705.81 - 9299.78 = 5406.03$$

故障方式内测距误差平方和为:

$$S_B = \sum_{j=1}^3 SS_j - \sum_{j=1}^3 \frac{S_j^2}{n_j}$$

$$= 54503.31 - 14705.81 = 39797.5$$

式中, S_j 表示故障方式内测距误差之和, SS_j 表示故障方式间测距误差平方和。

S_A 的自由度为: $f_A = j - 1 = 3 - 1 = 2$

S_B 的自由度为: $f_B = n - j = 11 - 3 = 8$

式中, n 为变量数, j 为约束条件数 (或水平)

表 4

方差来源	平方和	自由度	均方	测距样本 F 比
故障测距	5406.03 (S_A)	2	2703.02	0.5434
变差及误差	39797.5 (S_B)	8	4974.69	
Σ	45203.53	10		

$$F_{0.05}(2, 8) = 4.46, \quad F_{\text{比}} = 0.5434$$

$F_{\text{比}} > F_{\text{比}}$, 则 K_3 点故障类型对装置故障测距无显著影响的假设成立。

2.2 K_4 点

作变换: $J' = (J - 47) \times 100$, 考虑加权因素, 则表 2 可化为表 5。

则, 故障方式间测距变差平方和为:

$$S_A = \sum_{j=1}^3 \frac{S_j^2}{n_j} - \frac{(\sum_{j=1}^3 S_j)^2}{n}$$

$$= \frac{508.33^2}{3} + \frac{0^2}{4} + \frac{(-150)^2}{4} - \frac{358.33^2}{11} = 91758.13 - 11672.76$$

$$= 80085.37$$

故障方式内测距误差平方和为:

$$S_B = \sum_{j=1}^3 SS_j - \sum_{j=1}^3 \frac{S_j^2}{n_j}$$

$$= 195484.89 - 91758.13 = 103726.76$$

S_A 的自由度为: $f_A = j - 1 = 3 - 1 = 2$

S_B 的自由度为: $f_B = n - j = 11 - 3 = 8$

表 5

J'_D			75	183.33	250	508.33
J'_{XD}	-100	-100	0		200	0
J'_X	-175		-25	0	50	-150
Σ						358.33
J'^2_D			5625	33609.89	62500	101734.89
J'^2_{XD}	10000	10000	0		40000	60000
J'^2_X	30625		625	0	2500	33750
Σ						195484.89

$$F_{0.05}(2, 8) = 4.46, \quad F_{\text{比}} = 3.0883$$

$F_{\text{比}} > F_{\text{比}}$, 则 K_4 点测故障类型对装置故障测距无显著影响的假设亦被接受。

根据上述检验可得以下结论: (1) 装置测距数学模型 (或运算规则) 原则上可以接受; (2) 作测距分布期望值估计时可以将各类故障的测距样本作为同一空间样本处理, 这样

表 6

方差来源	平方和	自由度	均方	测距样本F比
故障测距	80085.37 (S _A)	2	40042.69	3.0843
变差及误差	103726.76 (S _B)	8	12965.85	
Σ	183812.13	10		

分析起来即简便,又能提高可信度(维数增大)。

2 故障测距样本分布判断

为了正确评价装置的测距性能,在分析测距性能之前必须对故障测距样本进行分析,以判断测距样本空间属于哪类分布(分布规律),决定所要采用的分析方法进行正确的评价。

选用概率纸考查判断测距样本的分布。为了制图方便,将测距样本、相应的概率、概率和列于表7、表8。列表时考虑了加权因素。

表 7

K ₃ 点	1	2	3	4	5	6	7	8	9
测距值	22.13	22.63	23.0	23.13	23.38	23.5	23.75	24	24.17
频率	0.053	0.053	0.105	0.158	0.211	0.263	0.053	0.053	0.053
概率	0.09	0.09	0.12	0.075	0.2575	0.15	0.63	0.09	0.09
概率和	0.09	0.18	0.303	0.37875	0.63625	0.78775	0.81805	0.90896	1.0

表 8

K ₄ 点	1	2	3	4	5	6	7	8	9
测距值	45.25	46.0	46.75	47.0	47.5	47.75	49.0	49.25	49.5
频率	0.077	0.154	0.077	0.154	0.077	0.154	0.077	0.077	0.154
概率	0.09	0.18	0.09	0.18	0.09	0.12	0.09	0.03	0.12
概率和	0.09	0.2727	0.3636	0.5454	0.6363	0.7575	0.8484	0.8787	1.0

根据表7、表8数据在概率纸上作图,作图发现,故障点的故障测距样本在正态概率纸上近似处于一条直线上,(参见图2、图3),因此可以判断测距样本近似服从 $N(\mu, \sigma^2)$ 分布。换句话说,01(1A)型微机线路保护的测距分布规律服从正态分布。有关参数可以按 $N(\mu, \sigma^2)$ 分布估计。

3 与测距性能评价有关的几个参数的估计

上述分析已得出测距样本近似服从 $N(\mu, \sigma^2)$ 分布的结论,从而可由下式求得故障测距样本分布期望值:

$$D_B = \sum d_i p_i = \mu$$

式中, d_j 为测距样本, P_j 为每个测距样本出现的概率 (考虑加权), 测距样本及其分布概率见表 7、表 8。

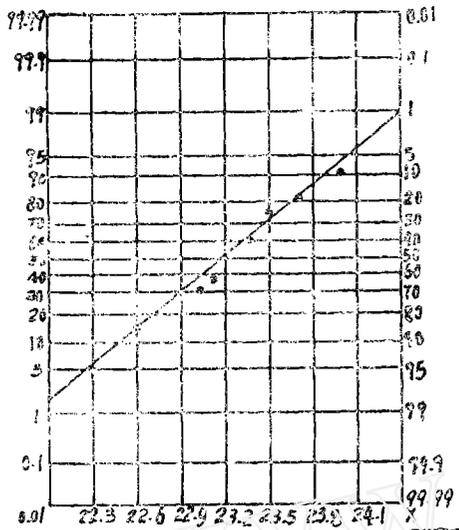


图 2 正态概率纸 (K_3 点)

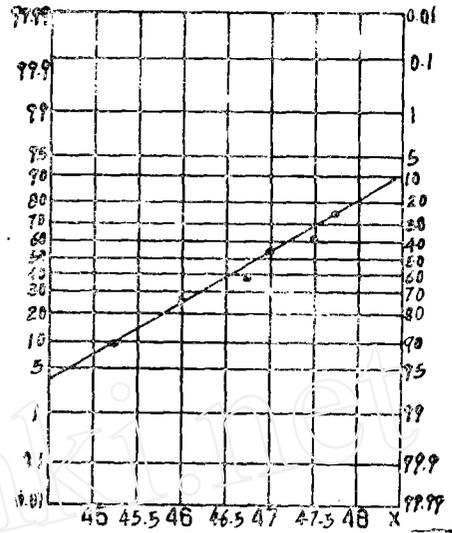


图 3 正态概率纸 (K_4 点)

由表 7 可求得 K_3 点故障测距分布期望值:

$$\begin{aligned}
 D_{EK_3} &= \sum_{j=1}^9 d_{K_3 \cdot j} \cdot P_{K_3 \cdot j} \\
 &= 22.13 \times 0.09 + 22.63 \times 0.09 + 23.0 \times 0.12 + 23.13 \times 0.075 \\
 &\quad + 23.58 \times 0.2575 + 23.5 \times 0.15 + 23.75 \times 0.03 + 24 \times 0.09 \\
 &\quad + 24.17 \times 0.09 = 23.29 \text{ (km)}
 \end{aligned}$$

根据无偏估计理论, 样本方差概率应取:

$$P'_{K_3 \cdot j} = \frac{n}{n-1} P_{K_3 \cdot j} = \frac{11}{10} P_{K_3 \cdot j}$$

则样本方差:

$$\begin{aligned}
 S_{K_3}^2 &= \sum_{j=1}^9 (d_{K_3 \cdot j} - D_{EK_3})^2 \cdot P'_{K_3 \cdot j} \\
 &= 1.3456 \times 0.1 + 0.4356 \times 0.1 + 0.0841 \times 0.13 + 0.0256 \times 0.083 \\
 &\quad + 0.0081 \times 0.283 + 0.0441 \times 0.16 + 0.2116 \times 0.03 + 0.5041 \times 0.1 \\
 &\quad + 0.7744 \times 0.1 = 0.336 \text{ (km}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

样本标准误差:

$$S_{K_3} = \sqrt{S_{K_3}^2} = 0.5797 \text{ (km)}$$

同理, 由表 8 可求得 K_4 点故障测距样本的几个参数:

K_4 点故障测距分布期望值:

$$D_{EK_4} = \sum_{j=1}^9 d_{K_4 \cdot j} \cdot P_{K_4 \cdot j}$$

$$\begin{aligned}
&= 45.25 \times 0.09 + 46.0 \times 0.18 + 46.75 \times 0.09 + 47.0 \times 0.18 \\
&\quad + 47.5 \times 0.09 + 47.75 \times 0.12 + 49.0 \times 0.09 + 49.25 \times 0.03 \\
&\quad + 49.5 \times 0.12 = 47.33 \text{ (km)}
\end{aligned}$$

概率取: $P'_{K_4 \cdot j} = \frac{n}{n-1} P_{K_4 \cdot j} = \frac{11}{10} P_{K_4 \cdot j}$

样本方差:

$$\begin{aligned}
S_{K_4}^2 &= \sum_{j=1}^9 (d_{K_4 \cdot j} - D_{EK_4})^2 \cdot P'_{K_4 \cdot j} \\
&= 4.3264 \times 0.1 + 1.7689 \times 0.19 + 0.3364 \times 0.1 + 0.1089 \times 0.19 \\
&\quad + 0.0289 \times 0.1 + 0.1764 \times 0.13 + 2.7889 \times 0.1 + 3.6864 \times 0.03 \\
&\quad + 4.7089 \times 0.13 = 1.898 \text{ (km}^2\text{)}
\end{aligned}$$

样本标准误差:

$$S_{K_4} = \sqrt{S_{K_4}^2} = 1.3776 \text{ (km)}$$

这里故障测距样本分布期望值实质上表示在考虑了各种影响因素后(包括D整定误差)的故障点到保护安装地点“实际”的模拟距离(公里数)的估计值。换句话说,试验时K点到保护安装地点的设定距离为25km,但实际距离估计值为23.29km;K₄点到保护安装地点的设定距离为50km,但实际距离估计值为47.33km。

重要的是,上述估计究竟有多大把握?具体分析如下:

取D_E的95%置信区间,则:

K₃点:

$$\begin{aligned}
t_{0.05/2}(n-1) \frac{S_{K_3}}{\sqrt{n}} &= t_{0.025}(10) \frac{S_{K_3}}{\sqrt{11}} \\
&= 2.2281 \times \frac{0.5797}{\sqrt{11}} = 0.389 \\
\pm \Delta\% &= \pm \frac{0.389}{23.29} \times 100\% = \pm 1.67\%
\end{aligned}$$

也就是说,有95%的把握认为试验时K₃点距保护安装地点的模拟距离为23.29 ± 1.67% km。换句话说,K₃点距保护安装地点的模拟距离为23.29 ± 1.67% km的置信度高达95%,实际上排除了距离为25km的可能性。

同理,对K₄点:

$$\begin{aligned}
t_{0.05/2}(n-1) \frac{S_{K_4}}{\sqrt{n}} &= t_{0.025}(10) \frac{S_{K_4}}{\sqrt{11}} \\
&= 2.2281 \times \frac{1.3776}{\sqrt{11}} = 0.926 \\
\pm \Delta\% &= \pm \frac{0.926}{47.33} \times 100\% = 1.96\%
\end{aligned}$$

也就是说,有95%的把握认为试验时K₄点距保护安装地点的模拟距离为47.33 ± 1.96% km(置信度高达95%),实际上也排除了距离50km的可能性。

根据上述分析可得如下结论：由于 $D_{BK3} = 23.29\text{km}$ 、 $D_{BK4} = 47.33\text{km}$ 均已考虑了动模模拟误差、电气环境影响、D整定误差影响等，因此分别按 K_3 、 K_4 点到保护安装地点的模拟距离 $D_{BK3} = 23.29\text{km}$ 、 $D_{BK4} = 47.33\text{km}$ 来测算测距误差才能对装置的测距性能作出客观、正确的评价。

4 对本装置测距性能的评价

由参数估计可得：

$$\frac{S_{K3}}{D_{BK3}} \times 100\% = 2.5\%$$

$$\frac{2 S_{K3}}{D_{BK3}} \times 100\% = 5\%$$

$$\frac{3 S_{K3}}{D_{BK3}} \times 100\% = 7.5\%$$

$$\frac{S_{K4}}{D_{BK4}} \times 100\% = 2.9\%$$

$$\frac{2 S_{K4}}{D_{BK4}} \times 100\% = 5.8\%$$

$$\frac{3 S_{K4}}{D_{BK4}} \times 100\% = 8.7\%$$

根据上述分析及参数估计，按照概率统计理论，对本装置的测距性能作如下评价：

4.1 本装置对保护范围中点故障的故障测距值：

- 有68.3%的测距误差绝对值不超过 $\pm 2.5\%$ ；
- 有27.1%的测距误差绝对值在 $\pm 2.5\% \sim \pm 5\%$ 之间；
- 有4.34%的测距误差绝对值在 $\pm 5\% \sim \pm 7.5\%$ 之间；
- 只有0.26%的测距误差绝对值将超过 $\pm 7.5\%$ 。

4.2 本装置对保护范围末端故障的故障测距值：

- 有68.3%的测距误差绝对值不超过 $\pm 2.9\%$ 。
- 有27.1%的测距误差绝对值在 $\pm 2.9\% \sim \pm 5.8\%$ 之间；
- 有4.34%的测距误差绝对值在 $\pm 5.8\% \sim \pm 8.7\%$ 之间；
- 只有0.26%的测距误差绝对值将超出 $\pm 8.7\%$ 。

5 结论

5.1 故障类型对01(1A)型微机线路保护装置的测距未产生显著影响，因此该装置测距数模或运算规则可以接受。

5.2 本装置测距值的分布形式总体上服从正态分布。

5.3 根据：

$$\max \left\{ \frac{S_{K3}}{D_{BK3}} \times 100\% = 2.5\%, \quad \frac{S_{K4}}{D_{BK4}} \times 100\% = 2.9\% \right\} = 2.9\%$$

$$\max \left\{ \frac{2 S_{K3}}{D_{BK3}} \times 100\% = 5\%, \quad \frac{2 S_{K4}}{D_{BK4}} \times 100\% = 5.8\% \right\} = 5.8\%$$

大型变压器装设过励磁保护的探讨

安徽省电力试验研究所 李大钦

摘要 本文以华东电网500kV繁昌变电所主变压器过励磁保护为例,对目前广泛应用于我国电网中的瑞典ASEA公司的RATUB型过励磁保护的性能进行了分析,并对其保护存在的问题如继电器特性不能很好地与变压器过励磁能力相配合及保护存在的死区等均进行了论述

关键词 变压器保护 过励磁保护

1 引言

500kV繁昌变电所主变压器保护引进了全套瑞典ASEA公司的元件保护,该变压器保护中装设了一套RATUB型反时限过励磁保护。通过对繁昌RATUB型过励磁保护的分析和说明,RATUB型过励磁继电器基本上能够起到保护变压器过励磁的作用,但在某些点存在着继电器特性不能很好地与变压器过励磁曲线相配合,出现了当变压器过励磁还不足已危及变压器安全运行时,过早跳开变压器的现象,同时过励磁保护还存在着一定的死区,在华东电网的瓶窑变电所及洛河电厂也存在着类似于繁昌的情况,我们对繁昌变电所主变压器过励磁保护基本原理及整定计算结果进行了分析,以供参考。同时欢迎从事继电保护的同行参加讨论。

2 大型变压器过励磁的产生及装设过励磁保护的必要性

在现代大型变压器设计中,为了节省材料,降低造价,减少运输重量,铁芯设计的磁通密度较高,工作点接近饱和点,在过电压情况下,很容易产生过励磁。在国产500kV变压器

$$\max \left\{ \frac{3 S_{K3}}{D_{EK3}} \times 100\% = 7.5\%, \frac{3 S_{K4}}{D_{EK4}} \times 100\% = 8.7\% \right\} = 8.7\%$$

按一般规则判断,全线测距误差绝对值不超过 $\pm 2.9\%$ 所占的比例大于68.3%;全线测距误差绝对值在 $\pm 5.8\%$ 以内的,其所占的比例将达到95.4%以上,而全线测距误差绝对值在 $\pm 8.7\%$ 以内者,其所占的比例将高达99.74%以上。换句话说,01(1A)型微机线路保护全线测距误差基本上可以控制在8.7%以内,绝大多数测距值的误差可控制在5.8%以内,大多数可控制在2.9%以内。

5.4 上述结论事实上已计及了模拟误差、电气环境及D整定误差等影响,置信度为95%。

参考文献

- [1] WXH—1A微机线路保护装置说明书