

# 真空开关操作过电压统计分析研究

张 伟<sup>1</sup>, 胡 蓉<sup>2</sup>, 杜 颢<sup>3</sup>, 王 姝<sup>3</sup>, 李建明<sup>4</sup>

(1. 西华大学电气信息学院, 四川 成都 610039; 2. 四川电力设计咨询有限公司, 四川 成都 610016;  
3. 成都电业局, 四川 成都 610021; 4. 四川电力试验研究院, 四川 成都 610072)

**摘 要:**配电网中经常因操作或短路而产生过电压, 从而危害电气设备的绝缘安全。以 35 kV 配电母线上的过电压监测数据为例, 运用数理统计方法对三相对地操作过电压进行统计计算分析, 得出操作过电压幅值倍数的概率密度分布。为设备绝缘配合设计提供有效地依据, 具有一定工程意义。

**关键词:**操作过电压; 统计分析; 绝缘配合

**Abstract:** Overvoltage is often generated by the operation or short-circuit fault in distribution network, thereby endangering the insulation safety of electrical equipment. Taking the overvoltage data monitored in 35 kV distribution bus for example, the theoretical analyses and calculations for three-phase switching overvoltage to earth are carried out using mathematical statistics, and the probability density distribution of switching overvoltage amplitude multiple is obtained, which can provide an effective basis for insulation coordination design for the equipment with a certain engineering significance.

**Key words:** switching overvoltage; statistic analysis; insulation coordination

**中图分类号:** TM864 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2010)02-0028-03

操作过电压是由系统故障或开关操作等引起的过渡过程过电压。由于操作, 暂态过程使电力系统中的电容、电感等储能元件的工作状态发生了变化。电感元件存储的磁场能会在转化为电场能存储于电容元件中, 电容元件存储的电场能也会在某一瞬间转变为磁能存储于电感元件中, 这种情况下会产生数倍于电源电压的过渡过程过电压。为了保证电力系统的安全、可靠、经济运行, 迫切需要对暂态过电压进行监测与分析研究。随着过电压研究工作的深入, 绝缘配合方法的改进, 测试手段更先进, 所涉及到的过电压参数越来越多, 人们更加重视过电压统计规律分析研究。

以某变电站的 35 kV 配电母线上用 TR2000 在线监测装置监测的数据为例, 通过理论分析和统计计算, 得出操作过电压的分布情况, 进一步得出了操作过电压对地幅值倍数的概率分布, 具有一定的工程意义。

## 1 数理统计在过电压技术中的应用

数理统计在高电压技术领域应用很广, 使用统计方法来分析过电压是一个较新的课题。数理统计研究结合操作过电压的特点建立数学模型, 可根据数据样本, 计算相对地过电压, 持续时间等有关变量的样

本统计值, 并进行分布函数的假设检验。

### 1.1 收集和整理数据

统计数据来源于直接或间接的现场测试和进行实验模拟。而通过现场测试获得大量的数据是很宝贵的, 可用于客观事物进行深入分析。由于测试数据的波动性, 只有用科学的方法加以整理之后, 才能发现其中的规律性。

### 1.2 数据统计推断

采取抽样检验的方法, 通过样本测定值来了解样本分布, 并由此去推断总体规律。为了使这种统计推断的结论正确可靠, 应满足以下 3 个条件: 保证所抽样本对总体有充分的代表性; 采用科学的抽样方法进行抽样; 在所获样本资料的基础上, 运用正确的方法进行统计推断。

### 1.3 假设检验

假设检验在分析测试数据统计分析中有着广泛的应用, 可用来检验与判别测试数据中的异常值检验平均值、判断因素效应与系统误差、判断测试方法与测试结果的精度、检验测定值分布类型等。假设检验有两种范畴, 一种是参数假设检验, 另一种是非参数假设检验。总而言之, 参数假设必须假定总体分布, 对分布中的某种参数检验。

## 2 真空开关操作过电压统计分析

### 2.1 数据采集

本次研究的过电压数据是 2009 年 1 月在攀枝花某变电站所采集的一段时间的数据。该企业的进线电压等级为 35 kV。使用在线监测装置只对电力系统三相中的 A、C 两相进行了实时监测记录。出于保护相关的电气设备,过电压在线监测装置的记录倍率设置得比较小,则其记录的数据较多。过电压在线装置是以系统额定电压作为计算过电压倍数的标准。将记录的 1 月份中 1 周的所有过电压数据视为一个总体,从其中任意选择出 30 组数据作为样本进行分析。样本如表 1 所示。

表 1 2009 年 1 月份过电压数据

序号	日期 / 时间 /		过电压	
	月 · 日	h:m in:s	幅值 /kV	过电压倍数
1	1.7	18:47:34	39.672	1.388
2	1.8	01:37:55	41.723	1.460
3	1.8	05:10:20	39.437	1.380
4	1.8	05:27:21	52.583	1.840
5	1.8	09:49:55	75.444	2.640
6	1.8	10:24:38	64.298	2.250
7	1.8	11:09:13	52.583	1.840
8	1.8	11:53:54	64.298	2.250
9	1.8	14:13:21	53.154	1.860
10	1.8	17:58:23	42.866	1.500
11	1.8	20:28:57	45.724	1.600
12	1.8	21:56:54	74.585	2.610
13	1.9	09:41:28	66.612	2.310
14	1.9	10:32:57	60.011	2.100
15	1.9	10:56:11	53.726	1.880
16	1.9	14:12:03	82.301	2.880
17	1.10	03:56:27	46.867	1.640
18	1.10	03:57:16	74.585	2.610
19	1.10	06:41:25	63.440	2.220
20	1.10	08:41:47	54.869	1.920
21	1.10	09:28:54	54.297	1.900
22	1.10	10:28:20	53.726	1.880
23	1.10	11:13:37	48.582	1.700
24	1.10	11:41:13	40.580	1.420
25	1.11	03:01:22	53.726	1.880
26	1.11	06:31:30	57.430	2.010
27	1.11	15:38:09	66.868	2.130
28	1.11	19:08:31	58.296	2.040
29	1.11	21:42:52	35.436	1.240
30	1.12	02:33:36	48.010	1.680

### 2.2 数据的频数与频率分布

为了便于分析,确定样本组距数为  $k=5$ ,取  $a=1.235$ ,  $b=2.885$ ,全距  $L=2.885-1.235=1.650$ 。实际数据的全距为  $R=2.880-1.240=1.640$ ,其等组距为  $\Delta t_i=1.650/5=0.330$ ,即第  $i$  个子区间的组距(宽度)为 0.330,组中值为  $t_i=t_{i-1}+t_i/2=1, 2, 3, 4, 5$ 。从而可以得出样本落入各个子区间的频数  $m_i$  和频率  $f_i=m_i/m$ ,其中  $m=\sum_{i=1}^k m_i$ ,  $1=\sum_{i=1}^k f_i=\sum_{i=1}^k m_i/m$ 。

过电压倍数频数统计样本频数及频率分布如表 2 所示。

表 2 频数和频率分布表

序号	子区间	组中值	频数	频率 /%
1	(1.235, 1.565]	1.400	6	20
2	(1.565, 1.895]	1.730	10	33.33
3	(1.895, 2.225]	2.060	7	23.33
4	(2.225, 2.555]	2.390	3	10
5	(2.555, 2.885]	2.720	4	13.34

由表 2 数据可以得到其频数直方图和频数折线图,如图 1 所示。

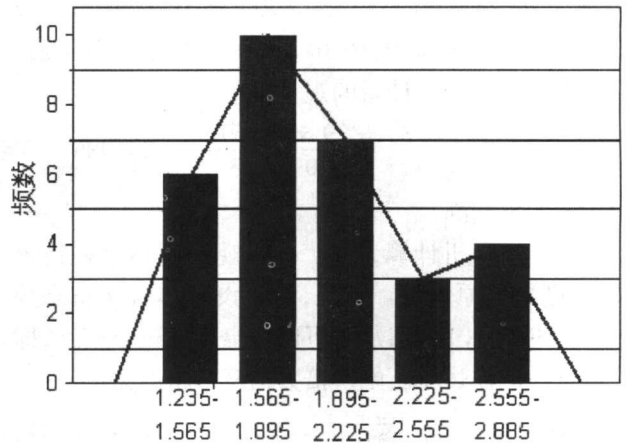


图 1 频数直方图及频数折线图

样本均值反映的是全部数据的集中趋势,本次研究的样本的样本均值为  $\bar{x}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n x_i=1.935$ 。方差能够准确反映数据的离散程度,则总体方差为:  $\sigma^2=\frac{\sum_{i=1}^N (x_i-\bar{x})^2}{N}=0.1643$ ; 样本方差为  $S^2=\frac{\sum_{i=1}^n (x_i-\bar{x})^2}{(n-1)}=0.1699$ 。

### 2.3 假设检验

由上面的频数直方图及频数折线图可直观地看出,操作过电压倍数频率统计分布近似服从正态分布。假设为过电压数据频数总体  $X\sim N(\mu, \sigma^2)$ ,其中参数  $\mu$  和  $\sigma^2$  均未知,  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  是来自总体  $X$  的简单随机样本。为了验证这一假设,采用使用  $\chi^2$  检

验法进行检验,其为关于方差  $\delta^2$  的假设检验。

① 原假设和备择假设

$H_0: \delta^2 = \delta_0^2, H_1: \delta^2 \neq \delta_0^2$ , 其中  $\delta_0^2 = 0.1643$ 。

② 选取检验统计量

当原假设为真时,检验统计量为

$$\frac{(n-1)S^2}{\delta_0^2} \sim \chi^2(n-1), \text{ 其中 } S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

为样本方差,  $S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{4.9275}{29} = 0.1699$ 。

③ 确定拒绝域

给定显著水平  $\alpha$  ( $\alpha=0.05$ ),使

$$P\left(\frac{(n-1)S^2}{\delta_0^2} \geq \chi_{\frac{\alpha}{2}}^2(n-1)\right) = \frac{\alpha}{2};$$

$$P\left(\frac{(n-1)S^2}{\delta_0^2} \leq \chi_{1-\frac{\alpha}{2}}^2(n-1)\right) = \frac{\alpha}{2}$$

从  $\chi^2$  分布表查出临界值为  $\chi_{\frac{\alpha}{2}}^2(n-1)$  与  $\chi_{1-\frac{\alpha}{2}}^2(n-1)$  的值,得到

$$\chi_{\frac{\alpha}{2}}^2(n-1) = \chi_{0.025}^2(29) = 45.722$$

$$\chi_{1-\frac{\alpha}{2}}^2(n-1) = \chi_{0.975}^2(29) = 16.047$$

于是拒绝域为  $(0, 16.047)$  或  $(45.722, +\infty)$ 。

④ 计算检验统计量的观察值

$$\frac{(n-1)S^2}{\delta_0^2} = \frac{29 \times 0.1699}{0.1643} = 29.985$$

⑤ 做出判断

由上述分析计算,得出  $\chi^2$  的观察值不落在拒绝域中,则接受原假设。于是,原假设总体服从正态分布  $N(1.935, 0.164)$ ,从而可以得出总体概率密度,即三相对地操作过电压幅值倍数的概率密度为

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\delta^2}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0.405} e^{-\frac{(x-1.935)^2}{2 \times 0.405^2}}$$

对于 220 kV 及以下系统,通常电气设备的绝缘结构设计允许承受 2~3 倍过电压,过电压倍数统计的样本中过电压幅值最大倍数为 2.880,其平均倍数为 1.935,虽在电气设备的承受范围内,但过多操作过电压的存在,时间一长也将会对电气设备的绝缘产生累积效应而逐渐削弱其绝缘水平。

变电站配电网中电气设备众多,对电气设备的操作时常发生,频繁的操作而产生的过电压时刻危害着变电站中的相关电气设备。

### 3 过电压统计对绝缘配合的作用

采用统计法作为绝缘配合的前提,是充分掌握各种过电压和各种绝缘电气强度的统计特性(概率密

度、分布函数等)。利用统计法进行绝缘配合时,安全裕度不再是一个带有随意性的量值,而是一个与绝缘故障率相联系的变数。在实际中采用统计法来进行绝缘配合,是相当复杂和困难的。简易的统计法是利用有关参数的概率统计特性,但沿用惯用法计算程序的一种混合型绝缘配合方法,这对于评估系统的运行可靠性是重要、常用的。

电力系统的运行可靠性主要由停电次数及停电时间来衡量。造成电力系统故障、停电的原因主要为电压升高及电压下降两大类,因此除了提高电气设备的绝缘水平外,还要尽可能限制电力系统出现过电压。

## 4 结 论

通过分析,该变电站在 2009 年 1 月份中的操作过电压倍数服从正态分布  $N(1.935, 0.164)$ 。过电压倍数处在  $(1.565, 1.895]$  区间的频数为 33.33%,处在  $(1.895, 2.225]$  区间的频数为 23.33%。由此可见,该变电站操作过电压倍数大部分处在  $(1.565, 2.225]$  区间内。按统计结果分布,建议该变电站操作过电压倍数不应超过 2.0 倍。否则会对电气设备绝缘产生累积效应而逐渐削弱其绝缘水平。

对变电站中操作过电压的限制可以选用性能良好的氧化锌避雷器(MOA)和 RC 保护装置。不同场合可以根据实际情况选用 MOA 或 RC 的不同保护接线方式。合理选择和使用氧化锌避雷器,将会对变电站电气设备起到很好的保护作用,从而会提高变电站的安全运行水平。

### 参考文献

- [1] 周泽存,沈其工,方瑜,等. 高电压技术 [M]. 北京:中国电力出版社, 2007.
- [2] 杨保初,刘晓波,戴玉松. 高电压技术 [M]. 重庆:重庆大学出版社, 2004.
- [3] 滕素珍,冯敬海. 数理统计学 [M]. 大连:大连理工大学出版社, 2005.
- [4] 陈维贤. 内部过电压基础 [M]. 北京:水利水电出版社, 1981.
- [5] 方瑜. 配电网过电压 [M]. 北京:水利电力出版社, 1994.
- [6] 许颖,徐士珩. 交流电力系统过电压防护及绝缘配合 [M]. 北京:中国电力出版社, 2006.
- [7] K. C. Lee, K. P. Poon. Statistical Switching Overvoltage Analysis of The First B-C Hydro Phase Shifting Transformer Using The Electromagnetic Transients Program [J]. IEEE, 1990.

(收稿日期: 2009-11-10)