

# 发电机暂态过电压统计分析

杨琳<sup>2</sup>, 方晴<sup>1</sup>, 李群湛<sup>2</sup>, 李建明<sup>3</sup>

(1. 广元电业局, 四川 广元 628000; 2. 西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031;

3. 四川电力试验研究院, 四川 成都 610072)

**摘要:**电力系统中旋转电机随时都可能受到来自电网中的各种暂态电压的冲击, 进而危害发电机绝缘安全。以 13.8 kV 发电机过电压监测数据为例, 通过理论分析和大量的统计计算, 得出了一年中侵袭发电机各种过电压分布情况。针对操作过电压侵袭发电机的频繁性和危害的严重性, 对操作过电压进行了详细的统计分析, 得出三相对地操作过电压幅值倍数的概率分布。

**关键词:**暂态过电压; 统计分析; 正态分布

**Abstract:** Rotating electrical machine is often subjected to the invasion of different transient over-voltage in power system, and then it can damage the security of generator insulation. Taking the over-voltage data monitored in 13.8 kV generator for example, after a large work of theoretical analyses and calculations, the distribution of different over-voltage in a year is obtained. Furthermore, after the detailed statistic analyses of switching over-voltage, the probability distribution of amplitude of three-phase switching over-voltage is obtained.

**Key words:** transient over-voltage, statistic analysis, normal distribution.

中图分类号: TM307 文献标识码: B 文章编号: 1003-6954(2008)02-0037-03

现代电力系统已形成超高压、大电网、大机组的布局, 越来越多的大型水电机组并入 110 kV 及以上大电网中。随着电压等级的提高, 电力系统内部过电压等级也随之增大, 加之大多水电站处于山地多雷区域, 雷击线路引起雷电过电压入侵发电厂变电所事故也时有发生。为了保证机组安全、可靠、经济运行, 迫切需要对发电机组进行暂态过电压的监测与研究。随着过电压研究工作的深入和绝缘配合方法的改进, 测试手段更先进, 涉及过电压参数越来越多, 并着重于统计规律和相关分析研究<sup>[1]</sup>。

以 13.8 kV 发电机过电压监测数据为例, 通过理论分析和大量的统计计算, 给出了一年中侵袭发电机各种过电压分布情况, 针对操作过电压侵袭发电机的频繁性和危害的严重性, 对操作过电压进行了详细的统计分析, 得出操作过电压三相对地幅值倍数的概率分布。

## 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应用很广, 用统计方法来分析过电压是一个重要的课题。结合操作过电压的特点而建立数学模型, 在这一基础上根据一维数据样

本, 计算相对地过电压、持续时间等有关参数的样本统计值, 且进行分布函数的假设检验和两个随机变量线性相关性的假设检验。

### 1.1 频数分布曲线与频率分布曲线

在科学实验中, 通过试验获得大量的测试数据, 这是对客观事物进行深入研究的基础。由于测试数据的波动性, 这些原始数据参差不齐, 直观的看, 常常难于看出其中的规律性, 只有用科学的方法加以整理之后, 才能发现其中的规律性。因此, 数据整理是对测试数据进入深入研究的第一步。

### 1.2 样本测定值的分布

采取抽样检验的方法, 通过样本测定值了解样本分布, 并由此去推断总体。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 统计检验

统计检验在分析测试数据的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, 检验方的一致性, 判断测试方法与测试结果的精度, 检验测定值

分布类型等<sup>[2]</sup>。

## 2 一年中侵袭发电机过电压分布情况

某水电厂发电机定子电压 13.8 kV, 投入方式为经架空线路与 220 kV 升压变压器相联接接入电网。收集到电厂一年中过电压监测结果, 经整理得到 63 组有效数据。表 1 列出了各类过电压次数统计情况。

表 1 过电压发生次数统计

过电压类型	发生次数
雷电过电压	1
操作过电压	54
谐振过电压	6
故障引起的过电压	2

由表 1 可看出, 在监测结果中, 绝大部分是操作过电压, 达 54 起, 占到总过电压频数的 85.7%, 雷电过电压发生一起, 为直击雷事故, 故障过电压均为单相接地事故。就全年来看, 每个月发生的过电压次数也不尽相同, 其中 5~7 月过电压发生次数较多。图 1 列出了电厂一年中各月过电压发生的次数。

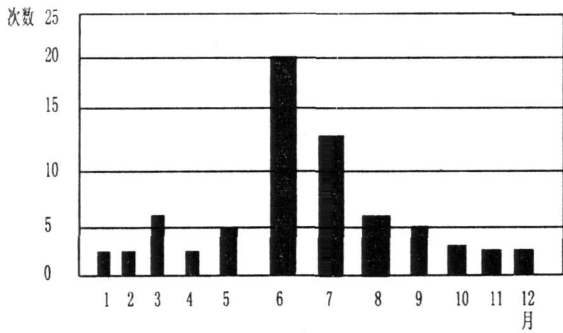


图 1 一年各月中过电压发生频度

在过电压发生次数及发生时间的数据统计中, 其随机较大。由于目前只收集到 2007 年整年的过电压数据, 故对过电压发生频度只作频率分析, 要更深入地分析得出其概率分布曲线, 必需有待于更多的数据样本。

## 3 发电机操作过电压统计分析

发电机母线端现场监测结果中绝大部分是操作

过电压, 介于操作过电压在电力系统中发生的频率及其对发电机绝缘危害的严重性, 这里重点研究操作过电压的统计分析。

监测得到的操作过电压数据共有 54 组, 为简化计算, 现在任取其中 10 组数据进行统计计算, 因三相过电压数据并不完全独立, 存在相关性, 故选取数据时应三相数据一起取舍<sup>[1]</sup>。

表 2 操作过电压三相相对地最大倍数

发生时间	A 相	B 相	C 相	持续时间
4 月 1 日	2.08	2.58	2.20	365 $\mu$ s
5 月 22 日	1.36	2.07	1.85	112 $\mu$ s
5 月 26 日	1.53	2.30	2.10	119 $\mu$ s
6 月 14 日	1.66	2.14	2.38	157 $\mu$ s
6 月 23 日	2.16	2.17	2.16	117 $\mu$ s
6 月 30 日	2.43	1.88	2.47	94 $\mu$ s
6 月 18 日	2.39	3.96	1.93	6.19 ms
7 月 5 日	3.4	3.42	2.21	1.63 ms
7 月 15 日	1.90	2.29	1.34	106 $\mu$ s
7 月 23 日	3.43	1.82	2.83	3.25 ms

通过前述数理统计方法将上述数据由小到大分为 5 组, 分别计算出其组距  $2.62/5=0.524$ , 算术平均值  $m^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 2.283$ , 频数、频率  $P_i$  和累计频率等。由上述数据可得其分组统计数据表及直方图。

表 3 操作过电压分组统计表

分组	组中 $x_i$	频数 $m_i$	频率 $P_i$ (%)	累计频率 (%)	频率/组距
1.340~1.864	1.524	5	16.7	16.7	0.319
1.864~2.388	2.097	15	50.0	66.7	0.954
2.388~2.912	2.515	6	20.0	86.7	0.381
2.912~3.436	3.427	3	10.0	96.7	0.190
3.436~3.960	3.960	1	3.30	100	0.063
$\Sigma$		30	100		

由直方图可直观的看出, 操作过电压倍数频率统计分布近似服从正态分布。为了验证这一假设, 一般采用统计检验的方法。采用皮尔逊的  $\chi^2$  来检验。即

$$\chi^2 = \sum \frac{(m_i - nP_i')^2}{nP_i'} \quad (1)$$

$$m = \sum x_i P_i \quad (2)$$

$$(S)^2 = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - m)^2 \quad (3)$$

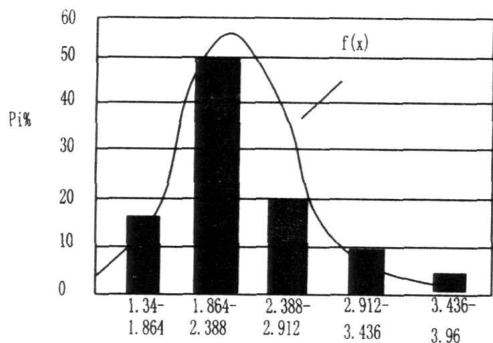


图2 操作过电压倍数频率统计分布直方图

由以上三式分别计算出过电压数据的数学期望  $m=2.28$ , 方差  $S=0.587$  及  $\chi^2$  的数据如表4所示。

表4  $\chi^2$  计算后数据表

分组	频数 $m_i$	$P_i'$	$nP_i'$	$\frac{(m_i - nP_i')^2}{nP_i'}$
1.340~1.864	5	0.18	5.4	0.03
1.864~2.388	15	0.33	9.9	2.63
2.388~2.912	6	0.29	8.7	0.84
2.912~3.960	4	0.14	4.2	0.01
Σ	30	0.94		3.51

取  $\alpha=0.05$ , 即显著性水平为 5%, 相应自由度  $f=4-2-1=1$ , 由  $\chi^2$  分布表中查出得出  $\chi_{0.05,1}^2=3.841$ ,  $\chi^2=3.51 < 3.84$ , 故可认为正态分布与假定实验结果并无矛盾<sup>[3]</sup>。这样一来, 三相对地操作过电压幅值的概率密度就可以写成:

$$f(x) = \frac{1}{0.587 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-2.28)^2}{2 \times 0.587^2}} \quad (4)$$

发电机击穿电压一般在  $5p.u$  以上, 过电压统计结果中操作过电压幅值最高达  $3.59p.u$ , 均值为  $2.28p.u$ , 虽未超过击穿电压, 但其作用相当频繁。随着作用次数的增多, 会对绝缘产生累积效应逐渐削弱其绝缘水平。

中国电机绝缘水平较低, 很多机组仍使用 A 级、B 级绝缘, 且运行时间较长, 多数已进入绝缘老化期, 耐压水平已降低很多, 加之当冲击电压入侵定子绕组时在绕组中引起的电压分布不均, 其首端绕组上承受的过电压将更高。因此, 在均值  $2.28p.u$ , 最大幅值  $3.59p.u$  操作过电压频繁冲击下, 绝缘极易受损, 甚至直接击穿。

## 4 结论

1) 暂态过电压侵袭发电机现象时有发生, 现场监测结果得到 63 组有效过电压数据, 电厂方面应加强发电机过电压保护。

2) 统计表明侵袭发电机绝大部分的是操作过电压, 占总频数的 85.7%, 一年中过电压集中发生在 5、6、7 月。

3) 操作过电压三相对地幅值最大达到  $3.59$  倍额定电压, 倍数关系服从正态分布  $N(2.28, 0.587^2)$ 。统计结果表明, 操作过电压幅值较高, 入侵发电机现象频繁, 对发电机绝缘危害相当严重。

## 参考文献

- [1] 黄燕艳, 陈梁金, 施围. 750 kV 输电系统操作过电压的统计计算[J]. 高电压技术, 2004, 30(8): 6-8.
- [2] 邓勃. 分析测试数据的统计处理方法[M]. 清华大学出版社, 1995(5): 7-100.
- [3] 陈维贤. 内部过电压基础[M]. 水利水电出版社, 1981(12): 18-26.
- [4] 刘念, 谢驰, 滕福生. 大型发电机操作过电压的安全预测分析新方法[M]. 中国电机工程学报, 2004, 24(2).
- [5] 杨琳, 刘庆林, 李群湛, 李建明. 发电厂过电压分析及其对绝缘老化的影响[J]. 四川电力技术, 2007, 30(3).
- [6] Xiufang Jia, Shutao Zhao, Baoshu Li, Wei Zhao. A NEW METHOD OF TRANSIENT OVERVOLTAGE MONITORING FOR SUBSTATION. IEEE 2002.
- [7] 电气装置安装工程电气设备交接试验标准[S]. GB50150-91.

(收稿日期: 2007-02-10)

# 西部大开发 电力要先行