

# 500 kV HGIS 变电站雷电侵入波过电压研究

郑士普, 魏 星

(四川电力设计咨询有限责任公司, 四川成都 600020)

**摘 要:**雷电侵入波过电压是变电站发生事故的主要原因之一, 500 kV 的变电站是电力系统的枢纽, 一旦发生雷击事故, 必然造成大面积停电, 引起严重后果。选择合适的雷电流、输电线路、杆塔、避雷器等模型, 通过 ATP-EMTP 仿真软件对某 500 kV HGIS 变电站进行准确的仿真计算, 避雷器的保护距离应尽量减少, 条件允许情况下应在母线加装一组避雷器, 本文的防雷保护措施对今后 500 kV HGIS 变电站防雷和避雷器的配置有一定的参考价值。

**关键词:**500 kV 变电站; HGIS; 雷电侵入波; 过电压

**中图分类号:** TM114

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-582X(2014)S2-056-03

随着中国电力系统的发展, 500 kV 输变电工程不断增多, 500 kV 电网已成为中国主要的输电网络<sup>[1]</sup>。作为电力系统的枢纽站, 500 kV 变电站一旦发生雷害事故, 将造成严重的后果并直接影响系统的安全可靠运行, 因此必须要求其有可靠的防雷性能<sup>[2]</sup>。在电力系统中, 变电站和输电线路较易遭受雷击, 而雷电直击变电站或侵入波沿输电线路传入会引起站内电气设备出现过电压, 从而严重威胁到设备的绝缘。本文研究的重点是合理布置站内避雷器, 实现将雷电过电压值控制在设备绝缘水平允许范围内的要求, 这就需要对提出的设备布置方案及雷电过电压水平进行仿真分析及论证。

针对 500 kV HGIS 新型设备不断涌现, 以往建立的变电站雷电侵入波计算模型需要改进的问题, 采用 HGIS 新型设备的某 500 kV 变电站, 分析设备生产厂家提供的 HGIS 结构参数和试验参数, 建立其雷电过电压计算模型, 并结合以往采用常规设备变电站的设计经验, 优化变电站雷电过电压计算方法, 采用国际通用的 ATP-EMTP 电磁暂态仿真计算程序, 对 500 kV HGIS 变电站的雷电侵入波作了较为深入的计算分析和研究, 提出了该工程针对雷电过电压 500 kV 母线侧需加装避雷器的配置方案, 该研究可供变电站雷电过电压建模仿真计算参考。

## 1 计算模型和基本数据

研究工具为 ATP 程序。计算中根据具体的雷击条件, 将雷电流直接作用于雷击点, 将输电线路, 包括铁塔、避雷线在内, 连同变电所内部的线路、母

线、连接线和电气设备作为一个网络整体来考虑, 这样更加符合现场的实际情况。

### 1.1 电气主接线

四川某 500 kV HGIS 变电所接线采用 3/2 断路器接线方式, 本期建设 2 回出线: 出线 1 及出线 2; 安装 2 台主变, 即 #1 主变, #2 主变, 形成一个完整串和 2 个非完整串。

### 1.2 雷电参数的模拟

根据电力行业标准《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T620—1997), 变电所地区雷电流幅值概率曲线可以表示为

$$\log P = -\frac{I}{88},$$

式中  $P$  表示幅值超过  $I$ (kA) 的雷电流概率。

按惯用法进行反击计算时, 可根据变电所防雷可靠性要求, 选取某一累积概率下的幅值。本研究以 216 kA 作为反击侵入波过电压计算中的雷电流。由于近区雷击的概率本来就很小, 再取出现概率为 0.35% 的雷电流是有相当高的可靠性的。

对于绕击计算, 可根据电气几何模型求出最大的绕击电流  $I_{\max}$ 。按照电气几何模型, 当雷电流幅值大于  $I_{\max}$ , 雷或击于避雷线, 或击于地面而不会击中导线, 亦即不会发生绕击。因此绕击计算时雷电流幅值取  $I_{\max}$ 。本文中给出了各基杆塔  $I_{\max}$  的计算结果及相应  $I_{\max}$  下的绕击过电压。

雷电流的波形取 2.6/50  $\mu\text{s}$  的三角波。

反击时雷电通道的波阻抗取 300  $\Omega$ ; 绕击时取 800  $\Omega$ 。

### 1.3 进线段模拟

为了正确地计算波过程,模拟了各回出线进线段 6 基杆塔和导线。杆塔按自然尺寸用多段分布参数模拟,进线段的输电线用相导线和双避雷线构成的同杆双回分布参数线路模型<sup>[3]</sup>。

#### 1.3.1 杆塔模型

近年来,国外一些专家提出了许多模拟杆塔的理论(其中应用最多的是电磁场理论),还有一些专家尝试通过试验的方法来建立新的杆塔模型,并且建立了多种多波阻抗模型。这些多波阻抗模型充分考虑了波在杆塔上的传播过程,并根据杆塔距地面不同高度处的波阻抗值是不同的这一特点,将杆塔分割成几个部分来模拟,计算结果与集中电感和单一波阻抗相比将会更加符合实际。

500 kV 交流输电线路大多采用同塔双回输电方式,其典型杆塔如图 1 所示,该杆塔为 4 导体系统,并按几何结构分为 4 段,每一段都分为主体和支架部分,并假定每一部分分布均匀,根据各部分几何尺寸可计算出波阻抗。

笔者采用 ATP-EMTP 中易实现的简约多波阻抗模型。

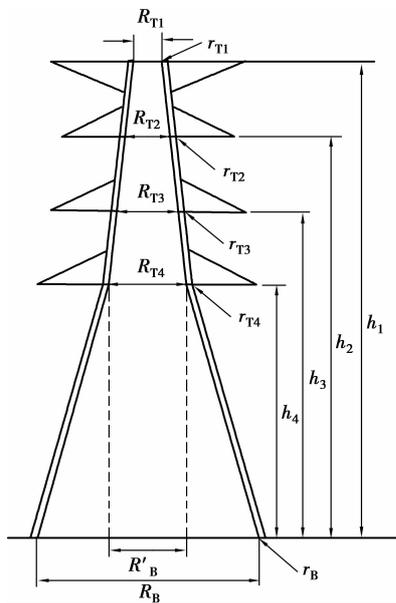


图 1 500 kV 交流线路杆塔结构

#### 1.3.2 绝缘子串模型

绝缘子串闪络判据采用伏秒特性判据。当绝缘子串上过电压较高时其伏秒特性曲线与绝缘子串上电压曲线相交,即为闪络时刻。此时判据部分给定一个输出并传给控制开关部分,控制开关部分将这一输出保持。杆塔绝缘子串上的闪络电压与作用其上的电压波形有关,可用伏秒特性来表示,计算中参考了 28 片 XP-160 绝缘子串的伏秒特性,按照长度

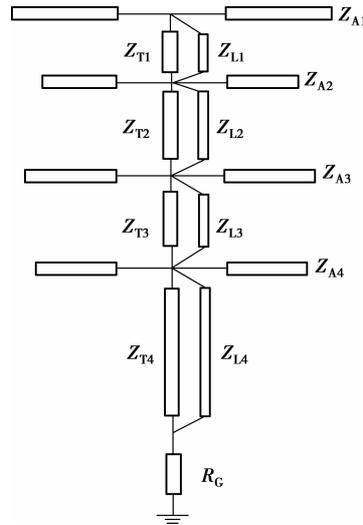


图 2 500 kV 交流线路杆塔模型

进行线性修正。

根据武汉高压研究所的试验结果,28 片 XP-160 绝缘子串的正极性放电的伏秒特性,可用下面的指数函数拟合。

$$V_e = 2\,270 + 1\,315 e^{-t/5} + 2\,500 e^{-t/0.9} + 1\,900 e^{-t/0.6} \text{ (kV)}。$$

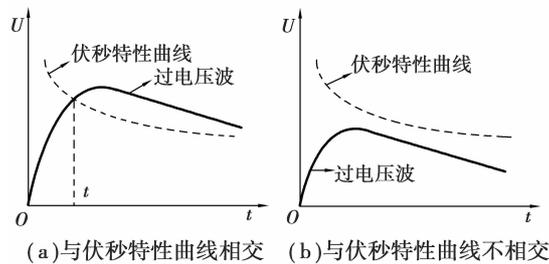


图 3 相交法判断绝缘子串闪络

### 1.4 变电站内设备计算参数

在计算中,变电所设备如变压器、电容式电压互感器(CVT)、断路器、电流互感器、隔离刀闸、支柱绝缘子等均采用该设备的入口电容,各设备的入口电容数值见表 1。

表 1 设备代号和其入口电容

设备名称	符号	电容值/pF
变压器	T	5 000
电压互感器	CVT	5 000
电流互感器	CT	1 000
SF6 断路器	CB	700
隔离刀闸	DS	150
HGIS 套管	PS	150
避雷器	LA	—

### 1.5 计算选用的运行方式

变电所本期正常运行方式为二线二变,计算选用的运行方式除正常运行方式外。本期工程偏严考虑,运行方式选为一线一变运行方式。

- 方式 1: 出线 1, #1 主变, 带 1 母运行方式。
- 方式 2: 出线 1, #2 主变, 带 2 母运行方式。
- 方式 3: 出线 2, #1 主变, 带 2 母运行方式。

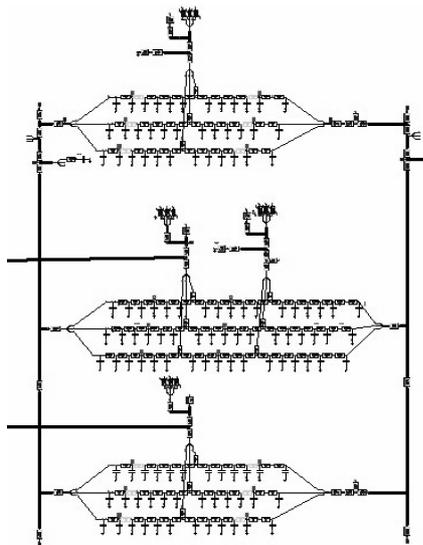


图 4 变电站仿真计算模型

### 1.6 绝缘水平选择和绝缘配合

对于设备绝缘裕度, IEC60071—2 标准“绝缘配合第 2 部分: 应用导则”和 GB/T 311.2 导则推荐: 对内绝缘的裕度系数取 1.15, 外绝缘的裕度系数取 1.05。

## 2 绕击侵入波过电压

根据电气几何模型, 进线段 #1~#6 杆塔的最大绕击电流  $I_{max}$  和地面倾斜角  $\theta$  有关。根据相关资料, 进线段较地势较平缓, 地面倾斜角  $10^\circ \sim 25^\circ$ 。

500 kV 出线采用电气几何模型计算出的最大绕击电流和计算选取的绕击电流。更大的雷电流只能击在地线上或者大地上, 而不能绕击在导线上。根据电气几何模型, 最大绕击电流为 21 kA。

表 2 变电站绕击侵入波电压

方式	电气设备上最大过电压/kV				
	T	CVT	HGIS	PS	M
母线安装 MOA	1 131	1 253	1 181	1 178	997
母线未安装 MOA	1 163	1 471	1 520	1 497	1 561

## 3 反击侵入波过电压

按惯用法对 3 种运行方式进行了反击侵入波过电压的计算。计算中雷电流幅值为 216 kA, 计算时母线安装避雷器, 雷击点选在线路的 #1~#6 杆塔塔顶。雷击 #1 塔, 因 #1 塔与门型塔的距离约 100 m 左右, 地线上的负反射波很快返回, 限制了受击塔顶的电位, 一般不易造成绝缘子串闪络, 设备上主要是感应过电压, 其幅值较低。

母线安装避雷器情况下, 一线一变运行方式的反击侵入波过电压计算结果列于表 3。

表 3 变电站反击侵入波电压

方式	电气设备上最大过电压/kV				
	T	CVT	HGIS	PS	M
1	900	1 190	1 027	1 034	1 259
2	865	1 189	1 042	1 024	1 245
3	876	1 192	1 023	1 002	1 253

## 4 结论

1) 母线不装避雷器时, 本期工程一线一变运行方式的进线段绕击过电压超过绝缘允许的范围。

2) 母线安装避雷器时, 本期工程一线一变运行方式的进线段绕击、反击过电压均在绝缘允许的范围。

3) 根据笔者对雷电侵入波过电压研究结果, 变电所出线愈多, 投运的断路器、电流互感器、CVT 等设备和线路及变压器避雷器愈多, 各线路和设备对地电容以及避雷器动作后对雷电流分流也愈大, 反击和绕击过电压愈低。因此本期工程多于一线一变运行方式下的侵入波过电压较低, 也可满足要求。

4) 本期推荐的避雷器布置为: 线路侧各安装一组 444 kV 避雷器, 主变侧各装一组 420 kV 避雷器, 母线安装一组 420 kV 避雷器。

### 参考文献:

[1] 何仰赞. 电力系统分析(3 版)[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2006.

[2] 宋继成. 220 kV~500 kV 变电所电气接线设计[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

[3] Marti J R. Accurate Modelling of Frequency-dependent Transmission Lines in Electromagnetic Transient Simulations [J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1982, PAS-101(1): 147-157.