

文章编号:1000-582X(2003)05-0137-06

输电线路耐雷性能计算方法的研究现状分析*

陈国庆,张志劲,孙才新,司马文霞

(重庆大学 高电压与电工新技术教育部重点实验室,重庆 400044)

摘要:从实际运行来看,雷击仍然是危及输电线路安全可靠运行的主要原因。文中较为详细地介绍目前用于分析输电线路反击耐雷性能的规程法、行波法、蒙特卡洛法、故障树法、EMTP程序等各种计算方法的原理及特点和用于分析输电线路绕击耐雷性能的规程法、击距法、先导发展模型等各种计算方法的原理及特点,同时对于输电线路绝缘闪络的判据也作了简单介绍,并就今后的研究重点提出了自己的看法。

关键词:输电线路;计算方法;综述

中图分类号:TM863

文献标识码:A

从各国的实际运行^[1-3]来看,雷击仍然是输电线路安全可靠运行的主要危害,例如:瑞典1986年由于雷击而引起的事故占有所有事故的51%;日本50%以上的电力系统事故是由于雷击输电线路引起的;国际大电网会议公布的美国、前苏联等12个国家的电压为275~500 kV、总长为3.27万 km 输电线路连续3年运行资料中指出,雷害事故占总事故的60%。因此,早在20世纪60年代各国就利用模拟试验、现场实测、概率统计方法和计算机综合等手段对此展开了许多研究工作,取得了许多重要的研究成果,提出了许多确定输电线路耐雷性能的方法,为提高输电线路耐雷水平,保障线路的安全可靠运行提供了重要依据和参考。文中简要介绍输电线路耐雷性能计算方法研究现状,并就今后的发展提出自己的看法。

1 输电线路反击耐雷性能研究现状

目前用于分析输电线路反击耐雷性能的方法主要有以下几种。

1.1 规程法

规程法中的线路反击计算,工程上应用起来简单方便,而且它经过了实践的检验,能够满足目前我国一般输电线路的雷电反击系统设计的要求。但该标准在对

输电线路反击耐雷水平进行分析时,将杆塔视为一等值电感,杆塔上任意点的电位相同,既不能反映雷击塔顶时雷电流在杆塔上的传播过程,以及反射波对杆塔各节点电位的影响,也不能反映绝缘子串上电压随时间的变化过程,因此,规程法的计算是一种简化的计算方法,与实际的雷击过程有一定的差距。

1.2 行波法

行波法^[4],即将杆塔的各段视为线路段,并视为分布参数,把分布参数的线段化成集中参数模型,然后再用集中参数电路的节点分析方法,求出杆塔各节点电压,得出绝缘子串的电位差随时间的变化过程,并与其伏秒特性进行比较,判断绝缘子串是否闪络。计算过程反映了雷电波在杆塔上的传播过程,以及反射波对杆塔各节点电位的影响。因为这种方法是从线路的贝杰龙数学模型出发的,所以又称为贝杰龙法。利用行波法分析线路反击耐雷性能时,杆塔波阻抗的正确选取是非常重要的,选择不当将产生较大误差,但我国规程推荐的波阻抗值与国内外实测值有一定的距离,因此今后应加强杆塔波阻抗的研究^[5]。

1.3 蒙特卡洛法

Monte Carlo法又称统计模拟法或统计试验法^[6]。

* 收稿日期:2003-01-21

作者简介:陈国庆(1965-),男,湖北荆州人,三峡水力发电厂高级工程师,重庆大学博士研究生,从事电力系统过电压与绝缘配合、水电厂综合自动化和管理工作。

就是利用数学的方法产生各种不同分布的随机变量抽样序列,来模拟给定问题的概率统计模型,然后给出问题数值解的渐进统计估计值。其原理是由计算机产生代表雷电流幅值、波前长度等统计量,计算线路耐雷性,验算和确定线路绝缘水平,效验防雷措施的性能。1962年,我国利用概率论方法,提出了考虑雷电流幅值和陡度两个随机变量的线路雷击跳闸率计算方法。用这种分析法计算危险参数曲线和跳闸率,同取某一固定陡度计算耐雷水平和跳闸率相比,更能符合实际,在高杆塔线路和超高压线路更是如此。在防雷计算中的很多参数的变化是随机的,用 Monte Carlo 法的优点是可以产生随机数来模拟实际雷电流、雷击部位、线电压等。缺点是雷击中部位的判据难找,雷击中部位的闪络判据也不好找,目前尚无规定一个统一的判据。

1.4 故障树法

“故障树”^[7]囊括了“雷击送电线路跳闸”这个故障命题中的基本事件、自然事件、控制事件和必然事件等全部可能性因果关系。

故障树法分析解定性问题是显而易见的,且考虑因素较为全面,但一个显著的缺点就是不能进行定量计算,对待任何情况下的跳闸都只能作为定性问题来解决。

1.5 EMTP 程序

美国帮纳维尔电力局(BPA)^[8]编制的电磁暂态过程计算程序 EMTP (Electro-Magnetic Transient Program) 是当今世界上应用最广泛的研究电力系统暂态过程的程序。基于贝杰龙法的电磁暂态过程计算程序 EMTP 是把求解分布参数线路波过程的特性线法和求解集中参数电路暂态过程的梯形法两者结合起来,形成的一种数值计算方法。因此它首先需要把分布参数线路和集中参数储能元件(L、C)等值成为集中参数的电阻性网络,然后应用求解电阻网络的通用方法,计算实际电路的波过程。当然由于 EMTP 程序是利用 Fortran 语言汇编成的,语法要求很严格,并且须在 DOS 下运行,因此应用比较不方便。

2 绕击耐雷性能研究现状

目前用于分析输电线路绕击耐雷性能的方法和模型主要有以下几种。

2.1 规程法

规程法^[9]认为:雷电绕过避雷线直击导线的概率与避雷线对边导线的保护角、杆塔高度以及线路经过

的地形、地貌、地质条件有关,平原和山区线路的绕击率与保护角和杆塔高度的关系如下:

$$\text{平原线路 } \lg P_a = \alpha \sqrt{h}/86 - 3.9 \quad (1)$$

$$\text{山区线路 } \lg Pa = a \sqrt{h}/86 - 3.35 \quad (2)$$

式中, α 为避雷线对边导线的保护角($^\circ$); h 为杆塔高度(m); P_a 为线路雷电绕击率。

规程法中的线路绕击率计算公式,工程上应用起来简单方便,而且它经过了实践的检验,能够满足一般线路的防雷屏蔽设计要求,但是,其缺点也很明显,由于规程法中的线路绕击率计算公式,是根据多年的运行经验和小电流下的模型试验结果而提出的,所以带有综合的平均性质,常常不能反映具体线路的特点,无法解释屏蔽失效的现象。例如杆塔较高的超高压线路有可能来自侧面的雷击,为此往往要求把保护角减至很小甚至负角等。

2.2 经典电气几何模型

电气几何模型是指将雷电的放电特性与线路的结构尺寸联系起来而建立的一种几何分析计算模型^[10],经典电气几何模型(W'S EGM)的核心是“Whitehead-Brown”的绕击模型,其基本原理为:由雷云向地面发展的先导放电通道头部到达被击物体的临界击穿距离——击距以前,击中点是不确定的,先到达哪个物体的击距之内,即向该物体放电;击距仅同雷电流幅值有关,而与其它因素无关;先导对杆塔、避雷线、导线的击距相等。

W'S EGM 模型作为一种绕击计算方法,将雷电的放电特性同线路的结构尺寸联系起来,比传统的经验方法前进了一大步,目前在世界上许多国家得到推广和应用,显示了强大的生命力,但是该模型存在一些不足之处:它未考虑放电的分散性,没有考虑其它因素对击距的影响;它未考虑雷击大地、避雷线、导线时的差别,而假定先导对三者的击距相等;它是根据杆塔高度不高(60 m 以下)、保护角在 $10^\circ \sim 30^\circ$ 以及接地良好的线路的运行数据和模拟试验得出的模型,因此有限的适用范围。

2.3 改进电气几何模型

Eriksson 针对经典电气几何模型的一些不足,提出了一个改进的电气几何模型^[11]。Eriksson 的模型主要考虑了结构物高度对输电线路雷电绕击的影响,并引入了吸引距离这一基本概念。

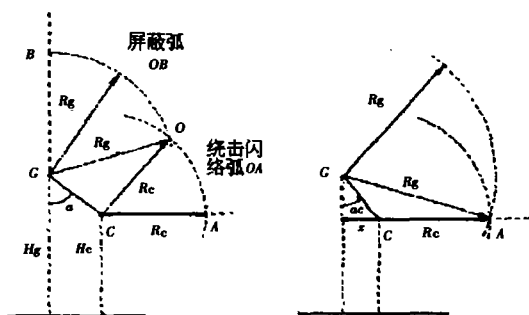
Eriksson 的改进模型认为:当下行雷电先导进入结构物的吸引半径之内,结构物上产生的上行先导将

对下行雷电先导进行拦截而发生雷击；吸引半径同雷电流幅值和结构物高度直接相关；下行雷电先导可从不同的角度靠近结构物，但是一旦超出结构物的吸引半径外，雷电先导将直接击向地面。改进模型中输电线路的两种屏蔽情况如图 1 所示。

吸引半径可表示为：

$$R = 0.67H^{0.6}I^{0.74} \quad (3)$$

式中， H 为结构物高度(m)； I 为雷电流幅值(kA)。



(a) 屏蔽失效 (b) 完全屏蔽

图 1 输电线路雷电绕击分析

图中， G 为避雷线； C 为导线； x 为避雷线和导线的水平间距； R_g 、 R_c 为避雷线和导线的吸引半径。线路雷电绕击失效并且发生闪络的次数为：

$$N_{df} = N_s \int_{I_c}^{I_m} OA / (OA + OB) f(I) dI \quad (4)$$

式中， N_{df} 为线路雷电绕击失效且闪络次数(次/a)； N_s 为线路的年雷击次数(次/a)； I_c 为能引起导线绕击闪络的最小雷电流(kA)； $f(I)$ 为雷电流幅值概率密度(1/kA)； I_m 为能引起绕击闪络的最大雷电流(kA)； OA 、 OB 为屏蔽弧和绕击闪络弧(如图 1(a)所示)。

当屏蔽角 α 小于某一临界值 α_c 时，导线受到避雷线的有效保护，雷电绕击导线不再发生闪络，此时的屏蔽角称为临界屏蔽角。求临界屏蔽角过程如下：令雷电流 $I = I_c$ (能使导线绕击闪络的最小雷电流)，图 1 (b) 绕击闪络弧 OA 收缩到零(亦即绕击闪络区消失)，故可得：

$$x = [R_g^2 - (H_g - H_c)^2]^{0.5} - R_c \quad (5)$$

临界屏蔽角：

$$\alpha_c = \tan^{-1}[x / (H_g - H_c)] \quad (6)$$

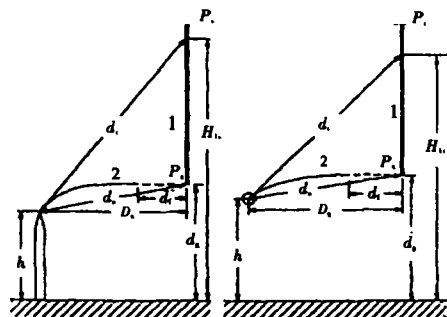
式中， H_g 、 H_c 为地线、导线的高度(m)。

Eriksson 的改进电气几何模型同经典电气几何模型的区别之处主要在于：考虑了结构物高度对其引雷效果的影响，使分析更接近实际。但该方法也存在一些不完善之处，如：如何准确说明吸引距离同击距这两个概念的区别；其分析计算结果同线路的实际运行结

果是否吻合；吸引距离同结构物高度的关系是否准确等，都有待于实践的进一步检验。

2.4 输电线路雷电绕击的先导发展模型

Rizk 在实验研究的基础上，提出了输电线路雷电绕击的先导发展模型^[12]，该模型认为：雷击是由于下行雷电先导和产生于结构物上的上行先导的相遇而发生的，并引入吸引半径和侧面吸引距离两个参数，这两个参数都是雷电流幅值和结构物高度的函数。下行先导和上行先导的相遇过程可由图 2 表示：



(a) 垂直桩结构 (b) 水平导体结构

图 2 上下行先导临界相遇图解

图中，1 为负下行先导路径；2 为正上行先导轨迹； P_i 为刚产生上行先导时下行先导的位置； P_s 为相遇时负先导的位置； R_s 为结构物的吸引半径； D_s 为水平导体的侧面吸引距离； d_s 为击距(上下行先导相遇时下行先导同结构物的距离)； d_f 为上下行先导相遇时下行先导同地面的距离； d_f 为上下行先导相遇前最后发生跃变的临界距离； d_i 为刚产生上行先导时下行先导同结构物的距离； H_i 为刚产生上行先导时下行先导同地面的距离。

Rizk 认为输电线路雷电绕击失效绝大多数都发生在档距上而不是在杆塔处，因此输电线路的雷电绕击失效分析可以近似用水平导体结构进行分析，如图 3 所示。

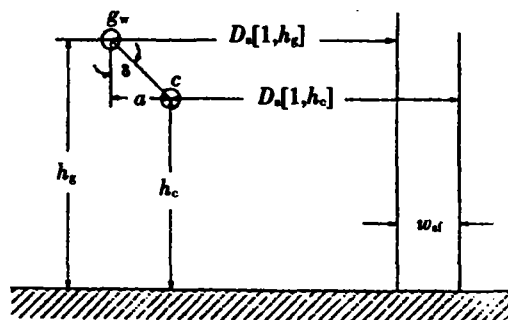


图 3 输电线路屏蔽失效率计算图解

图中， c 为导线； g_w 为地线； δ 为屏蔽角($^\circ$)； w_{df} 为屏蔽

失效宽度(m)。

线路屏蔽失效并且闪络的次数可表示为:

$$N_{sf} = 2N_g \times 10^{-3} \times \int_{I_c}^{I_m} [D_n(I, h_c) + \alpha - D_s(I, h_g)] f(I) dI \quad (7)$$

式中, N_{sf} 为线路屏蔽失效且闪络次数(次/km·a); D_s 为侧面吸引距离(m); N_g 为地面落雷密度(次/km²·a); $f(I)$ 为雷电流幅值概率密度(1/kA); I_c 为能引起导线绕击闪络的最小雷电流(kA); I_m 为能引起导线绕击闪络的最大雷电流(kA); a 为导线、地线的水平间距(m)。

当屏蔽角 δ 小于某一临界值 δ_c 时, 导线受到避雷线的有效保护, 雷电绕击导线不再发生闪络, 此时的屏蔽角称为临界屏蔽角。求临界屏蔽角的过程为: 令雷电流 $I = I_c$, 此时屏蔽失效宽度 $W_{sf} = 0$ (亦即绕击闪络区消失), 于是可得:

$$D_s(I_c, h_g) = D_s(I_c, h_c) + a \quad (8)$$

临界屏蔽角:

$$\delta_c = \tan^{-1}[\alpha / (h_g - h_c)] \quad (9)$$

Rizk 的先导发展模型比较细致地考虑了上下行先导的发展相遇过程, 并对该过程进行了初步定量描述, 这是输电线路雷电绕击研究方面一个很大的进步, 但它没有考虑当雷电下行先导已经下降到低于输电线路高度时发生的雷击线路现象, 因此, 它是否适用于高杆塔线路的雷电绕击性能估算必须得到输电线路运行结果的广泛支持后才能得到确证。

2.5 雷电绕击的先导发展模型

Dellera 和 Garbagnati 基于自然雷电放电过程和长空气间隙放电过程的相似性, 利用长间隙放电来模拟自然雷电放电, 提出了输电线路雷电绕击的先导发展模型^[13], 引入了侧面距离(简称 LD)和屏蔽失效宽度(简称 SFW)这两个基本参数, 它们是雷电流幅值和结构物高度的函数。所谓侧面距离是指下行自由雷电先导能够击中地面结构物的最大水平侧向距离; 屏蔽失效宽度是指雷电先导能够避开结构物的保护设备而击向结构物的空间范围的宽度。

由于沿输电线路各处雷电绕击情况不一样, Dellera 和 Garbagnati 将线路的每一档距等分为若干等份, 并将档距所连的两个杆塔单独考虑, 而且认为每一等分段内高度相同, 分别计算出每一段的雷电绕击情况, 最后将所有段的屏蔽情况综合分析, 就可得该档距的雷电绕击情况。

Dellera 和 Garbagnati 的输电线路雷电绕击分析模型, 引入了侧面距离和屏蔽失效宽度这两个基本参数, 并且分段对线路和杆塔处的雷电绕击情况分别分析计算, 使得该模型具有较大的适应性, 但是, 由于该模型建立在模拟试验和计算机辅助分析的基础上, 其计算较为繁杂, 限制了其在工程上的广泛应用。

2.6 输电线路绕击概率模型

王晓瑜教授等在输电线路绕击模拟试验研究的基础上, 考虑了雷电绕击分散性, 提出了输电线路的雷电绕击概率模型^[14]。模拟试验采用 ZM₁-39 型杆塔, 比例尺为 143:1 和 20:1。模拟试验的基本依据是: 采用棒-板间隙结构模拟雷击过程的最后阶段是恰当的, 可采用长棒上电极来模拟接近最后跃变的的下行先导; 当放电间隙尺寸较小时, 模拟试验会夸大棒形物和线形物的引雷能力, 而当间隙尺寸大于 1 m 时, 棒形物和线形物的引雷能力与运行观测所推算的击距系数比较接近。从试验结果可知, 定位于输电线路旁同一位置的下行雷先导, 将随机击中地线、导线和大地; 绕击概率与下行先导在空间的定位位置有关, 可分别用绕击概率空间分布曲线来表达。每一绕击概率空间分布曲线可以分为两段, 当上电极定位于曲线的上段时, 放电主要对地线或导线两者之一发生, 而当上电极定位于曲线的下段时, 放电主要对导线或大地两者之一发生。分别对这两段曲线进行回归分析, 可得:

$$K_1 = 0.93 + 0.16P + 0.001X \quad (10)$$

$$K_2 = 1.25 - 0.5P \quad (11)$$

式中, K_1 为曲线上段的定位点到地线和导线的几何击距之比; K_2 为曲线下段的定位点到导线和大地的几何击距之比; P 为导线的绕击概率; X 为定位点远离线路的侧面距离(m)

式(10)、式(11)可作为自然情况下, 输电线路绕击概率空间分布曲线上段或下段绕击概率与击距比值的的关系。

该模型可以计算任意结构参数的输电线路旁定位空间的绕击概率分布情况, 并成功地说明了经典电气几何法难以解释的现场事故原因; 但是, 该模型是建立在实验室模拟试验的基础上, 实际应用尚待进一步研究。

3 绝缘闪络的判据

3.1 规程法

在我国, 线路防雷计算中判断绝缘是否闪络^[8],

现行的行业标准和工程上一直是用比较绝缘子串两端出现的过电压与绝缘子串或空气间隙 50% 放电电压方法作为判据, 过电压超过绝缘的 50% 放电电压即判为闪络。应用该法与单回线路的运行经验比较符合。国外的运行经验表明该方法将导致同杆双回线路跳闸率明显偏高。

3.2 相交法

美国等西欧国家采用相交法判据^[12]。相交法判断绝缘闪络的方法是: 只要绝缘子串上的过电压波与伏秒特性曲线相交。即发生闪络, 不相交就不闪络, 这是一种人为的处理方法, 它可能会丢失波尾放电的次数, 因为波尾放电时, 两者是不相交的。考虑到下列因素:

1) 美国同杆双回高杆塔运行经验表明, 绝缘子串放电闪络为分级放电, 证明放电发生在波头上;

2) 绝缘子串上电压为短波非标准波形, 可用下式计算实际放电时间^[15]:

$$T_b = T_{cr}[1 - (F(p))] + 0.4F(p)T_r \quad (12)$$

$$F(p) = (p + 3p^{10})/4 \quad (13)$$

式中, T_{cr} 为电压波到达波峰的时间; U_{cr} 为后尾电压到达的时间; p 为后尾电压比率 U_r/U_{cr} ; U_r 为后尾电压震荡第一个波的平均值。对于同杆双回线路绝缘子串上非标准波形的计算表明 T_b 均较短, 基本上是波前放电。

3) 一些国家采用相交法所得的结果和运行经验基本相符合。因此美国等西欧国家仍是采用相交法。

3.3 先导法

最近清华大学提出利用先导法作为绝缘闪络判据^[16], 认为由于作用在线路绝缘上的雷电过电压远非标准波形, 而绝缘子串在标准波下的伏秒特性并不适用于非标准波下的绝缘强度, 因此提出了利用先导发展模型法作为绝缘闪络的判断依据, 即由对长空气间隙研究放电过程的研究得知, 间隙击穿时间 T_b 由流注起始时间 T_p 、流注发展时间 T_s 、游离波传播时间 T_l 、先导发展时间 T_L 、气体加热时间 T_g 组成。可近似为:

$$T_b \approx T_s + T_L \quad (14)$$

不同的研究者根据各自的实验数据, 得出 T_s 与先导发展速度 v_1 的不同经验公式^[12]:

$$1/T_s = AE/E_{50} - B \quad (15)$$

$$\text{或} \quad 1/T_s = \int_0^{T_s} V(t) dt \cdot V_{av} > A \quad (16)$$

$$v_1 = k_1 de^{k_2 V/d} (V/x - E_0) \quad (17)$$

$$\text{或} \quad v_1 = k[V(t)/(d - 2x_1) - E_0] \quad (18)$$

式中, E 为闪络前最大平均场强; E_{50} 为 50% 放电电压下的平均场强; $V(t)$ 为间隙上所加电压平均值; V_{av} 为时间内间隙所加电压平均值; A, B 为由间隙类型及电压极性决定的实验常数; v_1 为先导发展速度; d 为间隙长度; V 为瞬时电压; x 为剩余间隙长度; x_1 为流注长度; E_0, k, k_1, k_2 为与绝缘性质、电压极性等有关, 与实验结果拟合所得的经验系数。

当线路绝缘上电压出现的时间达到一定的流注发展时间 T_s 时, 先导开始发展, 其速度随施加的瞬时电压与剩余间隙长度而变。当流注占满整个间隙长度 d 时, 间隙闪络。该方法虽然理论上比较符合放电的物理过程, 能判断任意波形下绝缘间隙的闪络。但由于对长空气间隙放电的实验过程, 不同的研究者有不同的数据, 且与先导法有关的参数分散性较大, 这些都将直接影响其计算的正确性。

4 输电线路耐雷性能研究的展望

目前, 各种输电线路耐雷性能计算方法对于同一条线路的分析计算结果差别较大, 采用何种方法、何种闪络判据来计算线路耐雷水平的意见分歧较大, 根本原因是由于雷击放电的随机性和分散性, 同时人们对于雷击线路的物理过程还不够清晰, 目前的许多模型都是建立在一定的假设和模拟实验上, 与实际情况有一定的区别, 因此今后应该继续着眼于雷击输电线路过程机理的研究, 以提出合理的计算输电线路耐雷水平的方法。

参考文献:

- [1] IEEE WORKING GROUP ON ESTIMATING LIGHTNING PERFORMANCE OF TRANSMISSION LINES. A Simplified Method for Estimating lightning Performance of Transmission Lines[J]. IEEE Trans, 1985, PAS - 104(4): 919 - 932.
- [2] IEEE WORKING GROUP ON ESTIMATING LIGHTNING PERFORMANCE OF TRANSMISSION LINES. Estimating lightning Performance of Transmission Lines II - Updates to Analytical Models [J]. IEEE Trans, 1993, PWRD - 8(3): 1 254 - 1 267.
- [3] 维列夏金, 吴维韩. 俄罗斯超高压和特高压输电线路防雷运行经验分析[J]. 高电压技术, 1998, (2): 76 - 79.
- [4] 张纬钺. 电力系统过电压及绝缘配合[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988.
- [5] 谷定燮. 我国 500kV 输变电工程设计中过电压问题的研

- 究[A]. 过电压学术讨论会论文集[C]. 北京:中国电机工程学会过电压与绝缘配合专业委员会,2001.67-73.
- [6] 王秉钧. 数理统计在高电压技术中的应用[M]. 北京:水利电力出版社,1990.
- [7] 张重诚. 运用《故障树》法分析观察超高压山区线路的防雷性能[A]. 过电压学术讨论会论文集[C]. 北京:中国电机工程学会过电压与绝缘配合专业委员会,1997.54-57.
- [8] DOMMEL H W 著. 电力系统电磁暂态计算理论[M]. 李永庄,林集明译. 北京:水利电力出版社,1991.
- [9] 中华人民共和国电力行业标准 DL/T 620/1997, 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合[S].
- [10] ARMSTRONG H R, WHITEHEAD E R. Field and Analytical Studies of Transmission Line Shielding [J]. IEEE TRANS,1968,PAS-87(1):270-281.
- [11] ERIKSSON A J. An Improved Electrogeometric Model for Transmission Line Shielding Analysis [J]. IEEE TPWRD, 1987,2(3):859-970.
- [12] RIZK F A M. Modeling of Transmission Line Exposure to Direct Lightning Strokes [J]. IEEE TPWRD, 1990, 5(4):1983-1997.
- [13] DELLERA L, GARBAGNATI E. Lightning Strokes Simulation by Means of the Leader Progression Model [J]. IEEE TPWRD, 1990, (5):2009-2030.
- [14] 钱冠军, 王晓瑜. 输电线路雷击仿真模型[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(8):40-44.
- [15] GOLDE R H. 雷电[M]. 北京:水利电力出版社,1983.
- [16] 黄炜纲. 对线路防雷计算中绝缘闪络判据的研讨[J]. 中国电力, 1999, 32(11):59-63.

Analyze the Present Status in the Calculation Methods of Lightning Protection Performance for Transmission Line

CHEN Guo-qing, ZHANG Zhi-jin, SUN Cai-xin, SIMA Wen-xia

(The Key Laboratory of High Voltage Engineering and Electrical New Technology, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Lightning is the main reason that endangers transmission line working safety and reliability today. The theory and characteristic of methods that not only estimate the lightning performance for back strike such as standard method, traveling wave method, Monte Carlo technique, treeing fault method, EMTP and so on but also for the shielding failure such as standard method, EGM, leader progression model and so on are summarized. The criterion of flashover for insulators is referred simply, furthermore, it gives the opinion that the development of research for the future.

Key words: transmission line; calculation method; summarize

(责任编辑 李胜春)