

# 电网工程部送电电气专业技术培训专题

## 专题之七 防雷及接地

**2011 年 12 月**

批准：

审核：

校核：

编写：李奇峰

## 一 杆塔防雷

### 1.1 雷电参数

1) 雷暴日 (小时): 一年中有雷电的日(小时)数。一天或一小时内只要听到雷声 (不管听到几次), 就记为一个雷暴日或雷暴小时。

2) 地面落雷密度: 每一雷暴日、每平方公里地面落雷次数。一般情况下  $\gamma = 0.015$  (次/ $\text{km}^2 \cdot$  雷暴日)。

3) 雷电流的幅值: 雷电流是指雷击于良好的目标时泄入大地的电流, 我国雷电流幅值的概率曲线如图 1 所示

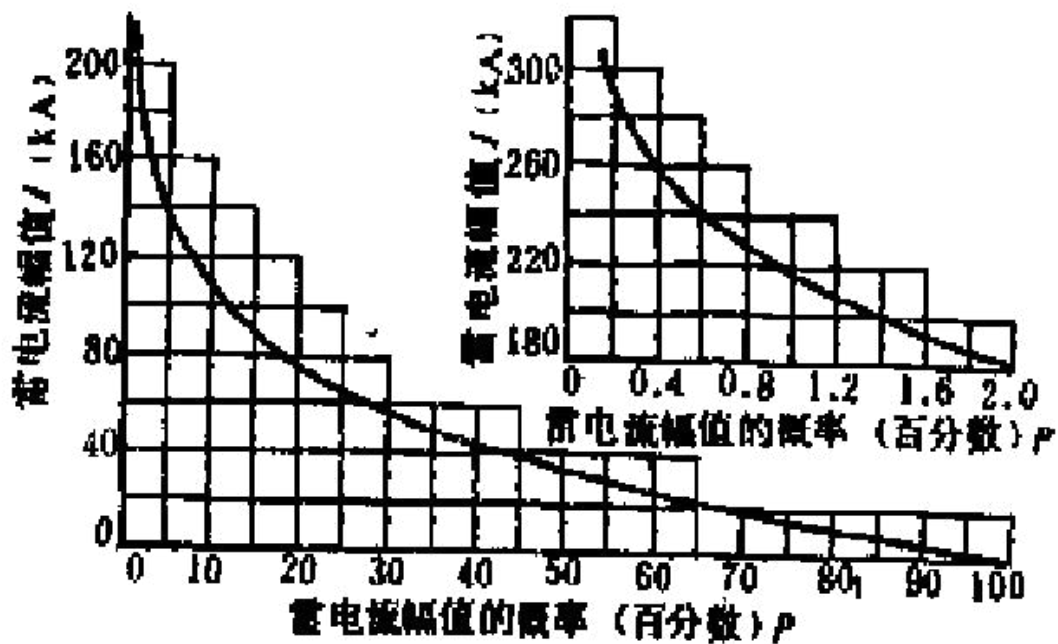


图 1 我国雷电流幅值的概率 (百分数) P

曲线方程为:  $\log P = -I_m / 108$

式中  $I_m$  --- 雷电流幅值, kA。

P --- 超过雷电流幅值  $I_m$  的概率。

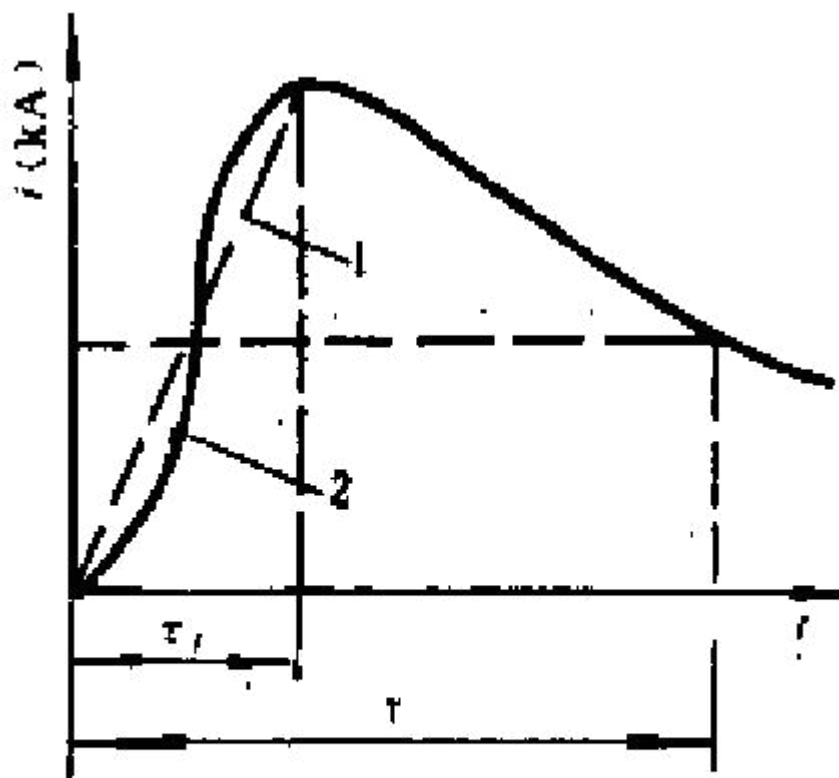
雷电流幅值与海拔高度及土壤电阻率的大小关系不大。

#### 4) 雷电流的波形、陡度和波头长度及其与雷电流幅值的关系

雷电流波长  $\tau$  大都在  $40 \mu s$  左右，波头长度  $\tau_1$  大都在  $1 \sim 4 \mu s$  左右，平均在  $2.6 \mu s$  左右。因此我国防雷保护设计中，雷电流的波头长度一般取  $2.6 \mu s$ 。

计算塔高在  $40m$  以下的铁塔，雷电流的波头近似看成是斜角波，其平均陡度为  $a = I/2.6$ 。

计算塔高在  $40m$  以上的铁塔，雷电流的波头近似看成是半余弦波，其最大陡度为  $a_{max} = \pi I / (2 \cdot 2.6)$ ，平均陡度为  $a_{cp} = I/2.6$ 。



**图 2-7-2 雷电流波形图**

1 -- 斜角波， 2 -- 半余弦波

1.2 雷电过电压

雷电过电压是雷击导线、杆塔和避雷线产生的感应电压。雷击导线产生的雷电电压是雷击避雷线和杆塔的 7~8 倍。

1.3 防雷保护设计

1.3.1 线路雷击次数

根据我国规程，每年每百公里线路的雷击次数为  $N = \gamma hT$ ， $\gamma$ ：地面落雷密度， $T$ ：年雷暴日数， $h$ ：避雷线平均悬挂高度。

若  $\gamma = 0.015$ ， $T = 40$ ，则  $N = 0.6 * h$ 。

1.3.2 击杆率

击杆率（ $g$ ）是指雷击线路杆塔的次数与线路雷击总次数之比值，规程规定的击杆率见下表。

避雷线根数	0	1	2
平原击杆率	1/2	1/4	1/6
山丘击杆率		1/3	1/4

1.3.3 绕击率计算

我国规程规定的绕击率计算公式

平原线路  $\lg P_0 = \theta * h^{0.5} / 86 - 3.9$

山丘线路  $\lg P_0 = \theta * h^{0.5} / 86 - 3.35$

$P_0$ : 线路绕击率

$\theta$ : 杆塔保护角

$h$ : 杆塔高度

### 1.3.4 感应过电压计算

(1) 雷击线路附近大地时，线路的感应过电压计算公式

$$U_{gd}=(1-K)*25*I*h_d/S$$

$I$ : 雷电流幅值，在设计中计入雷击点的自然电阻的作用，最大电流采用的最大值为 100kA

$h_d$ : 导线平均高度

$S$ : 雷击点距线路的距离

$K$ : 导线与避雷线间的耦合系数

$$K=k_1*k_0$$

$K_0$ : 导线和避雷线间的几何耦合系数

$K_1$ : 电晕校正系数

几种典型线路的几何  
耦合系数( $k_0$ )的计算值

额定电压 (kV)	线路型式	几何耦合系数( $k_0$ )
35	无避雷线, 消弧线圈 接地或不接地	$k_{0(1-2)} = 0.238$
110	单避雷线	$k_{0(1-2)} = 0.114$
	单避雷线、单耦合线	$k_{0(1,2-3)} = 0.275$
	单避雷线、消弧线圈 接地	$k_{0(1,2-3)} = 0.226$
	双避雷线、双耦合线	$k_{0(1,2,3,4-5)} = 0.438$
	双避雷线、消弧线圈 接地	$k_{0(1,2,3-4)} = 0.314$
220	单避雷线	$k_{0(1-2)} = 0.103$
	双避雷线	$k_{0(1,2-3)} = 0.237$
500	双避雷线	$k_{0(1,2-3)} = 0.20$
	双避雷线、双回路塔	$k_{0(1,2-3)} = 0.124$

雷击塔顶时的电晕校正系数( $k_1$ )

额定电压 (kV)	20~35	60~110	154~330	500
双 避 雷 线	1.1	1.2	1.25	1.28~1.3
单 避 雷 线	1.15	1.25	1.3	
双避雷线有耦合线	1.1	1.15	1.2	1.25
单避雷线有耦合线	1.1	1.2	1.25	

(2) 雷击杆塔时，线路的感应过电压计算公式

$$U_{gb}=(1-K) a h_d$$

$h_d$ : 导线平均高度

$a$ : 感应过电压系数，其值等于  $kA/\mu s$  计的雷电流陡度值，  
规程建议取  $a =I/2.6$ .

$K$ : 导线与避雷线间的耦合系数

### 1.3.5 雷击杆塔时的过电压及耐雷水平计算

#### (1) 塔顶电位和绝缘承受电压的计算

$$U_j=I*(\beta *R_{ch}+\beta *L_{gt}/2.6+h_d/2.6)*(1-k)$$

$U_j$ : 线路绝缘上承受的最大电压

$I$ : 雷电流幅值

$\beta$ : 杆塔分流系数

一般长度的档距的线路杆塔分流系数 $\beta$

线路额定电压 (kV)	避雷线根数	$\beta$ 值
110	单避雷线	0.99
	双避雷线	0.86
220	单避雷线	0.92
	双避雷线	0.88
330	双避雷线	0.88



$R_{ch}$ : 杆塔波阻抗

$L_{gt}$ : 杆塔电感

杆塔波阻和电感的平均值

杆 塔 型 式	杆塔波阻抗 ( $\Omega$ )	杆塔电感 ( $\mu H/m$ )
无拉线钢筋混凝土单杆	250	0.84
有拉线钢筋混凝土单杆	125	0.42
无拉线钢筋混凝土双杆	125	0.42
铁 塔	150	0.50
门 型 铁 塔	125	0.42

$h_d$ : 导线平均悬挂高度

## (2) 雷击塔顶时耐雷水平的计算

若另  $U_j$  等于塔头绝缘的 50%放电电压, 责可一求出雷击杆塔塔顶时的耐雷水平

$$I_1 = U_{50\%} / ((1-k) * (\beta * R_{ch} + \beta * L_{gt} / 2.6 + h_d / 2.6))$$

### 1.3.6 雷击档距中央避雷线或雷击导线时的过电压及耐雷水平计算

$$I_2 = 4 * U_{50\%} / z$$

$z$ : 导线波阻抗, 一般认为其约等于  $400 \Omega$ 。

### 1.3.7 线路雷击跳闸率的计算

$$n=0.6h_b*\eta \left( g*P_1+ P_0 *P_2+ \left( 1-g \right) *P_3 \right)$$

n: 雷击跳闸率

h<sub>b</sub>: 避雷线平均悬挂高度

η : 建弧率

$$\eta = \left( 4.5*E^{0.75}-14 \right) *10^{-2}$$

E:绝缘子串的平均运行电压梯度有效值

$$E=U_e/\left( 2*l_j \right)$$

U<sub>e</sub>:额定电压，kV

l<sub>j</sub>: 绝缘子串的闪络距离，m

g: 线路击杆率

P<sub>1</sub>: 超过雷击杆塔时耐雷水平 I<sub>1</sub> 的雷电流概率

P<sub>2</sub>: 超过雷击导线时耐雷水平 I<sub>2</sub> 的雷电流概率

P<sub>3</sub>: 雷击档距中央的避雷线时，雷电流超过耐雷水平的概率，这种情况很少取 0。

P<sub>0</sub>: 绕击率

以上计算的是 40 个雷电日计算的。

二 接地设计

杆塔的接地装置主要是为了导泄雷电流入地，以保持线路有一定的耐雷水平。

2.1 有关规定

规程规定的杆塔接地电阻

土壤电阻率 (Ω·m)	100 及以下	100 以上 至 500	500 以上 至 1000	1000 以上 至 2000	2000 以上
----------------	---------	-----------------	------------------	-------------------	---------

工频接地电阻 ( $\Omega$ )	10	15	20	25	30 <sup>(1)</sup>
注：(1) 如土壤电阻率超过 $2000 \Omega \cdot m$ ，接地电阻很难降到 $30 \Omega$ 时，可采用 6~8 根总长不超过 500m 的放射形接地体或连续伸长接地体，其接地电阻不受限制。					

## 2.2 土壤电阻率

土壤电阻率计算公式

$$\rho = \rho_0 * \psi$$

$\rho$ ：干燥季节的土壤电阻率， $\Omega * m$

$\rho_0$ ：雷雨季节无水时所测得的土壤电阻率， $\Omega * m$

$\psi$ ：考虑土壤干燥所取的季节系数

**防雷接地装置的季节系数 $\psi$**

埋 深 (m)	$\psi$ 值	
	水平接地体	2~3m 的垂直接地体
0.5	1.1~1.8	1.2~1.4
0.8~1.0	1.25~1.45	1.15~1.3
2.5~3.0 (深埋接地体)	1.0~1.1	1.0~1.1

## 2.3 简单人工接地装置的工频接地电阻计算

(1) 接地引下线的工频接地电阻计算

$$R_1 = \rho / (2 \pi l) * \ln 4l / d$$

$\rho$  : 计算的土壤电阻率, 欧姆

$l$ : 引下线埋深, cm

$d$ : 埋地体直径, cm

(2) 浅埋的水平接地体

$$R_3 = \rho / (2 \pi l) * \ln l^2 / td$$

$t$ : 接地体埋深, cm

(3) 深埋的接地环

$$R_4 = \rho / (2 \pi^2 D) * (\ln 8 * D / d + \pi D / (4t))$$

$D$ : 环的直径, cm

## 2.4 复合式人工接地装置工频接地电阻计算

(1)  $n$  根水平射线的复合接地装置

$$R_5 = R_3 / n * 1 / \eta$$

$n$ : 接地体数量

$\eta$  : 工频利用系数

(2) 引下线和接地环复合利用

$$R_6 = (R_4 * R_1 / n / (R_4 + R_1 / n)) * 1 / \eta$$

(4) 引下线, 深埋环和水平射线复合

一个环带射线

$$R_7 = R_5 * R_6 / (R_5 + R_6) * 1 / \eta$$

四个环复合

$R_8 = R_7 / 4 \times 1 / \eta$

(5)  $\eta$  工频利用系数

接地体的冲击利用系数 $\eta_{cA}$			
接 地 体 型 式	接 地 导 体 的 根 数	冲 击 利 用 系 数	备 注
$n$ 根水平射线 (每根长10~80m)	2	0.83~1.0	较小值用于较短的射线
	3	0.75~0.90	
	4~6	0.65~0.80	
以水平接地体连接的垂直接地体	2	0.80~0.85	$\frac{D}{l} = 2 \sim 3$ ; 较小值用于 $\frac{D}{l} = 2$ 时; 式中 $D$ 为垂直接地体间距离; $l$ 为垂直接地体长度
	3	0.70~0.80	
	4	0.70~0.75	
	6	0.65~0.70	
沿装配式基础周围敷设的深埋式接地体	一个基础的各接地导体之间	0.7	
	铁塔的各基础间	0.4	
	门型、拉线门型塔的各基础间	0.8	

接 地 体 型 式	接 地 导 体 的 根 数	冲 击 利 用 系 数	备 注
自 然 接 地 体	拉线棒与拉线盘间	0.6	
	铁塔的各基础间	0.4~0.5	
	门型、各种拉线杆塔的各基础间	0.7	
深埋式接地体与装配式基础间	各型杆塔	0.75~0.80	
深埋式接地体与射线间	各型杆塔	0.80~0.85	

注 工频利用系数 $\eta$ , 一般取为 $\eta \approx \eta_{cA}$  (0.9<1, 但拉线棒与拉线盘间, 以及铁塔的各基础间, 包括深埋式接地或自然接地  $\eta \approx \eta_{cA}$  /0.7。