

[接地装置]

杆塔不同接地装置接地性能分析

文/国网浙江省电力公司检修分公司 朱建雄 范志远 王 雨 冯启超 叶金翔

杆塔工频接地电阻大小对电力线路防雷水平具有重要影响，接地装置可有效降低杆塔接地电阻，提高电力线路防雷水平。为了比较不同接地装置的经济性，使用CDEGS软件建立圆钢和圆钢与接地模块组合而成的接地装置计算模型，并分别计算了在相同土壤电阻率和相同接地尺寸时两组接地装置的接地性能。结果表明，在相同土壤电阻率和对应尺寸时，圆钢与接地模块组合接地体接地效果优于圆钢接地体。在高土壤电阻率地区优先使用圆钢与接地模块组合的接地体。

近年来，许多发电厂、变电站和高压输电线路都曾出现过雷电绕击、反击和线路跳闸事故，特别是一些运行多年或经过高土壤电阻率地区的输电线路更是频频发生事故。其主要原因是由于接地电阻过大，接地网腐蚀问题严重而越来越受到电力系统的关注。因此，探讨发电厂、变电站和高压输电线路杆塔接地网的问题，提出相应的改造措施是十分必要的。

为了降低杆塔接地装置的接地电阻，人们采取了各种各样的措施，包括扩大地网面积、引外接地、增加地网的埋设面积、采用自然接地体、深井接地和局部换土等。在一些特殊地区如山区丘陵地带，土壤电阻率较高，施工难度较大，按照常规的设计往往很难达到降低接地电阻的要求。

近年来，为了解决高土壤电阻率地区接地电阻，在种类繁多的降阻剂产品上又衍生出了接地模块，接地模块对降低杆塔接地装置的工频电阻和冲击接地电阻具有良好的效果，该类产品在电力系统、通信和铁路等部门得到了广泛的应用。

为了研究圆钢接地模块接地装置的接地性能。使用CDEGS软件建立圆钢和圆钢与接地模块组合而成的接地装置计算模型，并分别计算了在相同土壤电阻率和相同接地尺寸时两组接地装置的接地性能

工频接地电阻计算方法

工频接地电阻是接地装置安装之后，能否满足设计要求的量化标准，圆钢接地模块及接地装置工频接地电阻计算方法如下。

1. 圆钢接地模块及接地装置模型

由于工频接地电阻的大小与接地装置的布置方式密切相关，因此需要在已建立的接地装置布置方式的基础上计算对应的工频接地电阻。工程中常用的接地装置排列形式，如表1所示。使用CDEGS软件建立的圆钢接地模块及布置形式如下图所示。

表1 200 kV圆钢工频接地装置布置形式

土壤电阻率 / ($\Omega \cdot \text{m}$)	接地装置平面示意图	最大允许工频接地电阻/ Ω
300 ~ 500		15
500 ~ 1 000		20
1 000 ~ 2 000		25
2 000 ~ 4 000		30

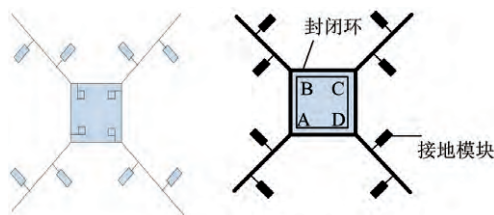


图 圆钢接地装置示意图及实体图

2. 圆钢接地装置水平接地体工频接地电阻

计算工频接地电阻的常用方法有两种，一种为利用系数法，另一种为电阻系数法。根据DL/T621—1997提出的水平放射接地体的经验公式，利用电阻系数法计算水平敷设的复合式人工接地

$$R_G = \frac{\rho}{2\pi L} (\ln \frac{L^2}{hd_1} + A_1) \quad (1)$$

装置的工频接地电阻，计算公式为

式中， R_G 为工频接地电阻，单位为 Ω ； ρ 为土壤电阻率，单位为 $\Omega \cdot m$ ； L 为水平接地体的长度，单位为m； h 为水平接地体的埋深，单位为m； d_1 为水平接地体的直径，单位为m； A_1 为形状系数。

3. 圆钢接地模块的工频接地电阻

带接地模块的接地装置其实用范围多为山区地段的狭小塔位，根据表1所示的常规的接地模块安装图，根据土壤电阻率，接地模块间隔安装在放射形接地体上，尽可能减小模块之间的屏蔽效率。

按照图1所示的接地装置布置，水平放射接地体与接地模块并联，因此可以先分别计算每个接地模块的工频接地电阻，再计算将其并联到水平接地体后整个接地装置的工频接地电阻。水平接地体的接地电阻按式(1)计算。

以单根A型模块GJ—MM100(柱型)为例，其工频接地电阻值计算公式为

$$R_g = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{dk} \quad (2)$$

式中， ρ 为土壤电阻率，单位为 $\Omega \cdot m$ ； l 模块长度，单位为m； d 为模块直径，单位为m； k 为降阻系数，这里取值4。

多根接地模块并联后接地电阻为 $R_c = \frac{R_g}{n}$ ，考虑到模块与地网并非绝对的并联关系，取利用系数0.9计算。则模块并联地网后接地装置的工频接地电阻计算公式为

$$R = 0.9 \times \frac{R_G R_c}{R_G + R_c} \quad (3)$$

算例分析

采取典型的水平接地体作为研究对象，在不同土壤电特性条件下分别计算圆钢水平接地体、圆钢接地模块及整体接地装置的工频接地电阻。由于土壤电阻率较高时使用圆钢接地模块，因此土壤电阻率分别按2 000 $\Omega \cdot m$ 、3 000 $\Omega \cdot m$ 、4 000 $\Omega \cdot m$ 计算，杆塔根开设定为12 m，式(1)中 A_1 取1.76，按照式(1)计算得到相同尺寸不同土壤电阻率下水平接地装置的工频接地电阻如表2所示。

表2 水平接地体工频接地电阻

土壤电阻率/($\Omega \cdot m$)	2 000	3 000	4 000
总长/m	168	208	288
埋深/m	0.4	0.4	0.4
圆钢直径/m	0.012	0.012	0.012
水平接地体接地电阻/ Ω	33	40.8	40.7

式(2)中 k 取4，按照式(2)计算得到相同尺寸不同土壤电阻率下接地模块的工频接地电阻如表3所示。

表3 接地模块的工频接地电阻

土壤电阻率/($\Omega \cdot m$)	2 000	3 000	4 000
长度/m	1.2	1.2	1.2
接地模块直径/m	0.2	0.2	0.2
接地模块个数	8	12	16
接地模块接地电阻/ Ω	59.4	59.4	59.4

根据表2和表3的接地电阻数据，按照式(3)计算不同土壤电阻率下的整个接地装置的工频接地电阻如表4所示。

表4 接地装置的工频接地电阻

土壤电阻率/($\Omega \cdot m$)	2 000	3 000	4 000
接地模块接地电阻/ Ω	19.1	21.7	21.6

由表4可知，整个工频接地装置的接地电阻均小于25 Ω ，满足接地要求。

结束语

将圆钢与接地模块组合成的接地装置与圆钢接地装置的接地效果进行了分析与比较，主要结论如下，在相同尺寸和土壤电阻率下，圆钢与接地模块组合而成的接地装置的工频接地性能优于圆钢接地装置。在高土壤电阻率时，可优先考虑使用圆钢与接地模块组合而成的接地装置。EA

(收稿日期：2016.06.11)

(编辑：刘群彦)