



③  
8-10

# 关于大中型接地网设计的探讨

李延宗\* 赵 瑛

(华北石油勘察设计研究院)

TM 862

**摘要** 接地设计是电力工程设计的重要组成部分,特别是发电厂和变电站。本文通过分析垂直接地体和水平接地体在大中型接地网中的作用,提出在大中型接地网设计中,水平接地体的效果优于垂直接地体的观点,并给出了接地电阻(本文指工频接地电阻)的计算程序。

**关键词** 接地网 接地体 接地电阻

~~大中型~~ 电力系统, 变电站,

平接地体,下面就对垂直接地体和水平接地体在接地网中的作用加以分析。

## 1 引言

为了保证电力系统的正常运行以及人身和设备的安全,发电厂和变电站的电气设备均要求做可靠接地,对此《电力装置的接地设计规范》中对接地电阻、跨步电势和接触电势有严格的要求。为满足规范要求,一般在变电站的接地设计中采用做接地网的方法。对于 35 kV 及以上的户外变电站,接地网的面积近似等于其占地面积,一般都在 1 000 m<sup>2</sup> 以上,其边长均在 40 m 以上,远大于接地网中所采用的垂直接地体的长度(一般垂直接地体的长度在 2~3 m 之间),属大中型接地网。笔者将对这种接地网的常规做法加以分析,并提出自己的看法,供同行们参考。

## 2 变电站接地网的常规做法

笔者查阅了几套 110 kV 变电站工程设计的施工图纸,图中关于接地网的做法基本相同。其做法是:采用以水平接地体为主的环型接地网(长方孔形网),水平接地体采用 -40×4 mm(63×6 mm)的镀锌扁钢,垂直接地体采用 ∠5×2 500 mm 的镀锌角钢。接地网的面积在 7 000~11 000 m<sup>2</sup> 之间,镀锌扁钢的用量在 900~1 300 m 之间,镀锌角钢的数量在 25~80 根之间,水平接地体的埋深在 0.6~0.8 m 之间,近似简化后的接地网见图 1 所示。在习惯做法中均不同程度地采用了一定数量的垂直接地体和水

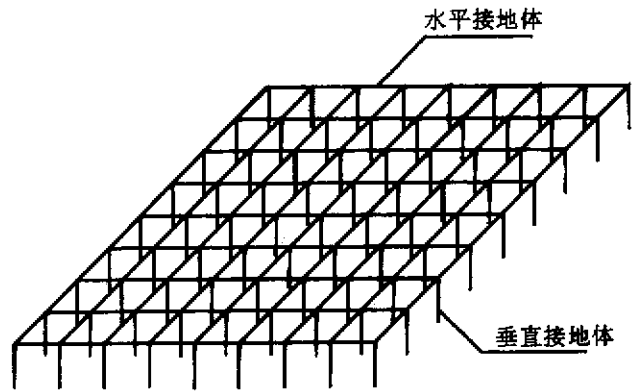


图 1 变电站接地网示意图

## 3 垂直接地体对降低接地网接地电阻的作用

根据高斯定理和电阻、电容的定义,当土壤电阻率各向同性时,接地体的接地电阻和接地体的电容之间有如下关系:

$$R = \frac{\rho \epsilon}{C} \quad (1)$$

式中 R——接地体的接地电阻,Ω;  
C——接地体的电容,F;  
ρ——土壤的电阻率,Ω·m;  
ε——土壤的介电系数,F/m。

从式(1)可以看出,接地电阻和接地体的电容成反比关系,电容越大电阻越小。发电厂或变电站的接地网可以近似看作一块孤立的平板,它的电容大小

\* 华北石油勘察设计研究院,062552,河北省、任丘市  
收稿日期:1999-11-11



主要是由它的面积决定的,附加在这个平板上的有限长度的垂直接地体,不足以改变决定电容大小的几何尺寸,因而电容增加不大,亦即接地电阻减小甚微。只有当垂直接地体的长度可以和平板的长、宽相比拟时,接地电阻才会有较大的减小,但这种情况对于大中型接地网来说是不可能的。

对于接地网中垂直接地体的作用,某单位进行了模拟试验,接地网形式如图1所示,由 $9 \times 9$ 根 $40 \times 4$  mm的扁钢和均匀分布的81根 $\angle 50 \times 5 \times 2500$  mm的角钢组成,试验结果见表1。

表1 模拟试验结果数据表

接地网面积 (m <sup>2</sup> )	6 480	2 500	900
接地电阻下降值(%)	3.2	5.7	8

由此可见,对于大中型接地网来说,垂直接地体对降低接地电阻所起的作用很小,不过3%~8%,而且接地网的面积越大,所起到的作用越小。因此,从节约钢材、减少工程开挖土方量和节省工程投资角度来说,在大中型接地网设计中,除了在避雷针、线和避雷器附近,由于要加强冲击电流的扩散可设计集中的垂直接地体外,不宜采用垂直接地体。SDJ-8-76(试行)《电力设备接地设计技术规程》所规定的“敷设以水平接地体为主的人工接地网”,其意也正是如此。

#### 4 接地网中水平接地体的作用

##### 4.1 水平接地体接地电阻的计算与分析

由于水平接地体构成的大中型接地网,接地电阻可以根据内插值法直接拟合理论的计算。公式如下:

$$R = R_1 \left[ 1 - \frac{2\sqrt{AB}}{l_1} \right]^\beta + R_2 \left[ \frac{2\sqrt{AB}}{l_1} \right]^\beta \quad (2)$$

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi l_1} \left[ \ln \frac{l_1^2}{8hd} - 0.6 \right] \quad (3)$$

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi l_1} \left[ \ln \frac{l_1^2}{hd} + 1 \right] \left[ \frac{l_1}{L} \right]^\alpha + \frac{\rho \sqrt{\pi}}{l_1} \left[ 1 - \frac{16h}{\sqrt{\pi} l_1} \right] \left[ 1 - \left( \frac{l_1}{L} \right)^\alpha \right] \quad (4)$$

$$\alpha = \left[ \frac{2L}{l_1} \right]^{0.15} \quad (5)$$

$$\beta = \left[ \frac{L}{100 AB} \right]^{0.17} \quad (6)$$

$$l_1 = 2(A+B) \quad (7)$$

式中 A——接地网的一条边的长度,m;

B——接地网的另一条边长,m;

h——接地网中水平接地体的埋深,m;

L——接地网中水平接地体的总长度,m;

d——接地网中水平接地体的等效直径,m;

$l_1$ ——接地网的周长,m。

根据以上公式,笔者用FORTRAN语言编写了计算大中型接地网接地电阻的计算程序,下面由计算结果分析一下水平接地体对降低接地网接地电阻的作用。

假如一接地网面积为 $105 \times 95$  m<sup>2</sup>,采用 $40 \times 4$  mm扁钢作为水平接地体,埋深0.8 m,土壤电阻率为 $500 \Omega \cdot m$ ,计算当扁钢的用量为1 000 m和10 000 m时,接地网的接地电阻。输入数据,计算结果如下:

a. 扁钢用量为1 000 m时输出结果

接地网面积: $S = 105 \times 95 = 9 975$  m<sup>2</sup>

水平接地体等效直径: $d = 0.02$  m

水平接地体的埋深: $H = 0.8$  m

土壤电阻率: $\rho = 500 \Omega \cdot m$

接地网中水平接地体的总长度: $L = 1 000$  m

接地电阻: $R = 2.675 2 \Omega$

b. 扁钢用量为10 000 m时输出结果

接地网面积: $S = 105 \times 95 = 9 975$  m<sup>2</sup>

水平接地体等效直径: $d = 0.02$  m

水平接地体的埋深: $H = 0.8$  m

土壤电阻率: $\rho = 500 \Omega \cdot m$

接地网中水平接地体的总长度: $L = 10 000$  m

接地电阻: $R = 2.49 \Omega$

c.  $\epsilon\% = [(R_1 - R_2)/R_1] \times 100\%$

$= [(2.675 2 - 2.489 6)/2.675 2] \times 100\%$

$= 6.9\%$

从计算结果可以看出,多用了10倍的扁钢,接地电阻只不过下降了6.9%。这主要是因为接地网四周的水平接地体对接地网中间的水平接地体的屏蔽作用,导致电流大部分是沿四周的水平接地体流散所致。由此可见,在接地网中过多的采用水平接地体,对降低接地电阻所起的作用是很小的。

在实际工程中,在接地网中还是布置了一定数量的水平接地体,这些水平接地体主要起均压作用,通常称为均压带。使用均压带的目的是为了降低接地网的接触电势和跨步电势,使其达到规范的要求,保证运行、维护人员的人身安全。对于大、中型接地网,均压带的间距一般在10~20 m之间。

##### 4.2 矩形接地网接地电阻计算源程序

\* MAIN PROGRAM

REAL A,B,d,H, $\rho$ ,L, $l_1$ ,R

WRITE(\*,\*)'-----参数定义-----'

WRITE(\*,\*)



```

WRITE(*,*) ' A——矩形接地网一
              条边的长度,m.'
WRITE(*,*) ' B——矩形接地网另一
              条边的长度,m.'
WRITE(*,*) ' d——水平接地体的等
              效直径,m.'
WRITE(*,*) ' (对扁钢,d=b/2,b 为
              扁钢宽度)।'
WRITE(*,*) ' h——水平接地体的埋
              深,m.'
WRITE(*,*) ' ρ——土壤电阻率,
              Ω.m.'
WRITE(*,*) ' L——接地网水平接地
              体的总长度,m.'
WRITE(*,*) '
WRITE(*,*) ' 请输入矩形接地网一条边
              的长度 A,m。
READ(*,*)A
WRITE(*,*) ' 请输入矩形接地网另一条
              边的长度 B,m。
READ(*,*)B
WRITE(*,*) ' 请输入水平接地体的等效
              直径 d,m。
READ(*,*)d
WRITE(*,*) ' 请输入水平接地体的埋深
              h,m'。
READ(*,*)h
WRITE(*,*) ' 请输入土壤电阻率 ρ,
              Ω.m'。
READ(*,*)ρ
WRITE(*,*) ' 请输入接地网水平接地体
              的总长度 L,m'。
READ(*,*)L
WRITE(*,*)
WRITE(*,*)
PI=3.1415926
L1=2*(A+B)
a1=(2*L/L1)**0.15
b1=(L/(100*a*b)**0.17
R2=ρ*(LOG(L1**2/(H*d))+1)/(2*PI
*L1)
Roo=SQRT(PI)*ρ*(1-16*h/(SQRT(PI
*L1)))/L1
Rf=(R2-Roo)*(L1/L)**a1+Roo

```

```

Rz=ρ*(LOG(L1**2/(8*H*d))-0.6)/
(Pi*L1)
R=Rz-(Rz-Rf)*(2*SQRT(A*B)/L1)
**b1
S=A*B
WRITE(*,*)
WRITE(*,*)
WRITE(*,*)'****输出结果****'
WRITE(*,*)'-----'
WRITE(*,10) A,B,S
10 FORMAT(5X,'接地网面积 S=',F6.2,'×',
F6.2,'=',F10.2,1X,'m**2')
WRITE(*,20)d
20 FORMAT(5X,'水平接地体等效直径 d=',
F6.4,1X,'m')
WRITE(*,30)H
30 FORMAT(5X,'水平接地体的埋深 H=',
F7.4,1X,'m')
WRITE(*,40)ρ
40 FORMAT(5X,'土壤电阻率 ρ=',F7.2,
1X,'Ω.m')
WRITE(*,50)L
50 FORMAT(5X,'接地网中水平接地体的总长度
L=',F8.2,1X,'m')
WRITE(*,60)R
60 FORMAT(5X,'接地电阻 R=',F7.2,
1X,'Ω')
END

```

### 5 结束语

综上所述,在大中型接地网设计中除了在避雷针、线和避雷器附近,由于要加强冲击电流的扩散可设计集中的垂直接地体外,不宜采用垂直接地体,而应采用水平接地体。但是用增加水平接地体用量的方法来降低接地网的接地电阻是不可取的,因为大中型接地网接地电阻的大小主要取决于接地网的面积。

### 6 参考文献

- [1] 解广润. 电力系统接地技术. 北京:水利电力出版社,1996
- [2] 杨宪章. 电磁场原理. 北京:高等教育出版社,1987
- [3] 谭浩强 田淑清. FORTRAN 语言程序设计. 北京:高等教育出版社,1987
- [4] 曾永林. 接地技术. 北京:水利电力出版社,1979

