

某石化企业110 kV变电站接地网设计浅析

近年来石油化工企业承接的110 kV变电站逐渐增多。国家相关标准规范对110 kV变电站的接地电阻值要求较高。为了提高110 kV变电站的设计准确度,使变电站接地网的接地电阻值满足国家相关标准规范,对某石化企业110 kV变电站接地网进行理论计算,优化设计方案,提出并应用降低接地电阻值的措施。

张嘉嘉/中国石化工程建设有限公司



张嘉嘉/工程师

本文进行接地网设计的变电站位于中国的西北部地区,土壤电阻率参数为 $500 \Omega \cdot \text{m}$ 。根据《电力工程电气设计手册(一次部分)》工频接地电阻允许值在大接地短路电流系统一般电阻率地区 $R \leq 0.5 \Omega$ 。依据GB/T 50065—2011《交流电气装置的接地设计规范》,则

$$R \leq \frac{2000}{I_G} \quad (1)$$

式中, R 为采用季节变化的最大接地电阻, Ω ; I_G 为计算用经接地网入地的最大接地故障不对称电流有效值,A。由上式可看出本文中 I_G 应不小于4 000 A。

接地网导体的热稳定校验

本文中水平接地网采用50 mm×5 mm的纳米碳涂层接地扁钢,验证接地网导体的计算公式如下。

接地导体的最小截面积应符合下式的要求

$$S_g \geq \frac{I_G}{C} \sqrt{t_c} \quad (2)$$

式中, S_g 为接地导体的最小截面积, mm^2 ; I_G 为流过接地导体的最大接地故障不对称电流有效值,A; C 为接地导体材料的热稳定系数,根据材料的种类、性

能及最大允许温度和接地故障前接地导体的初始温度确定,其中接地导体的初始温度取40℃时,钢材的热稳定系数 C 为70; t_c 为接地故障的等效持续时间,单位为s, t_c 为主保护动作时间、断路器失灵保护动作时间,断路器开断时间,留取一定裕量,本文时间选取2 s。

经计算,本文中选取的水平接地极的规格满足接地网导体的热稳定校验。

接地电阻计算

均匀土壤中水平接地极为主边缘闭合的复合接地极的接地电阻,按下列公式计算

$$R_n = \alpha_1 R_e \quad (3)$$

$$\alpha_1 = (3 \ln \frac{L_0}{\sqrt{S}} - 0.2) \frac{\sqrt{S}}{L_0} \quad (4)$$

$$R_e = 0.213 \frac{\rho}{\sqrt{S}} (1+B) + \frac{\rho}{2\pi L} (\ln \frac{S}{9h_d} - 5B) \quad (5)$$

$$B = \frac{1}{1+4.6 \frac{h}{\sqrt{S}}} \quad (6)$$

式中, R_n 为任意形状边缘闭合接地网的地接电阻, Ω ; R_e 为等效(即等面积、等水平接地极总长度)方形接地网的接地电阻, Ω ; S 为接地网的总面积, m^2 ; d 为水平接地极的直径或等效直径,m; h 为水平接地极的埋设深度,m; L_0 为接地极的外缘边线总长度,m; L 为水平接地极的总长度,m。本文中接地网形状为矩形网络状排列呈均压网格分布,长度130 m,宽度40 m。

经计算, $B=0.951$; $\alpha_1=0.944$; $R_e=$

关键词/Keywords

接地·
石油化工·
跨步电压·
接触电压·

3.233 Ω , 得出 $R_n=3.05 \Omega$, 依据GB/T 50065—2011《交流电气装置的接地设计规范》^[2]中的工频利用系数可取0.9, 得出 $R_n=3.39 \Omega$ 。得出结论, 仅使用水平接地极不能满足该接地网设计要求。需继续增设垂直接地极, 如下图所示。



图 垂直接地极安装位置示意图

当 $l \geq d$ 时, 均匀土壤中垂直接地极的接地电阻可按式计算

$$R_v = \frac{\rho}{2\pi l} (\ln \frac{8l}{d} - 1) \quad (7)$$

式中, R_v 为垂直接地极的地接电阻, Ω ; ρ 为土壤电阻率, $\Omega \cdot m$; l 为垂直接地极的长度, m ; d 为垂直接地极的直径或等效直径, m 。

垂直接地极暂按照使用DN25的镀锌钢管, 长度为2.5 m。经计算, $R_v=180.95 \Omega$ 。在本区域内, 采用宽度为5 m的矩形均压网格, 设置12组接地极, 共计36根。考虑工频利用系数0.9, 得出垂直接地极的总电阻为 $R_{v总}=5.58 \Omega$ 。此时包含水平与垂直接地极的总电阻为 $R_{总1}=2.11 \Omega$, 此时接地网络不能满足该接地网设计要求。

处理措施

由于接地电阻不能满足要求, 故需通过以下方式改善。

(1) 降阻剂法

降阻剂为粉状接地材料, 其主要原理是增大接地导体与土壤之间的接触面积, 减小导体与土壤之间的缝隙, 以达到降低接地网电阻的作用。在施工过程中, 使用凝胶液渗透到土壤中, 使金属电极与降阻剂层、降阻剂层与土壤间的有效接触面增加, 接触电阻减小, 有利于稳定泄流降阻。

经计算, 1 m长的接地体使用降阻剂用量约为43.20 kg。该项目水平和垂直接地体长度总计约为1 340 m, 总计需要使用降阻剂量为57.88 t。分别

在不同接地电阻值的情况下计算降阻剂能起到的效果如表1所示。

表1 降阻剂使用前效果比对

(单位: Ω)

使用降阻剂前接地电阻值	使用降阻剂后接地电阻值
2.09	1.73
1.60	1.23
1.33	1.07
0.94	0.80
0.82	0.71
0.65	0.58

可见, 降阻剂能起到的效果在低于1 Ω 以下时不明显, 所以不能起到决定性作用, 而只能起到微小地改变接地电阻值和改善土壤环境的作用。

(2) 采用深井接地极

深井接地极是指首先通过深井钻孔, 然后将涉及深度等长的垂直接地极置入孔中, 采用低电阻率材料填充空隙, 最后达到高效降低接地电阻目的的一种垂直接地体。深井接地极的长度一般较长, 约为15 m, 等效半径也较大, 故与土壤之间的接触面积比普通的垂直接地极大的多, 所以降阻的效果比较明显, 如表2所示。

表2 深井接地极使用前效果比对

使用深井接地极的根数	使用深井接地极前接地电阻值/ Ω	使用深井接地极后接地电阻值/ Ω
1	2.11	1.98
5	2.11	1.58
10	2.11	1.26
15	2.11	1.06
20	2.11	0.91
25	2.11	0.80

(3) 处理措施

本项目中选取10根深井接地极, 接地电阻降至1.26 Ω 。叠加使用降阻剂, 接地电阻降至1.11 Ω 。

跨步电压与接触电压

在该区域中, 如果发生接地故障时, 假定接地电流为4 000 A。接地装置的电位 $U_g=5\ 040\ V$ 。接地网地表面的最大接触电位差, 即网孔中心对接地网接地极的最大电位差, 可按式计算

$$U_{\text{tmax}} = K_{\text{tmax}} U_g \quad (8)$$

式中, U_{tmax} 为最大接触电位差, V; K_{tmax} 为最大接触电位差系数。

当接地极的埋设深度 $h = 0.6 \sim 0.8$ m 时, K_{tmax} 可按式计算

$$K_{\text{tmax}} = K_d K_L K_n K_s \quad (9)$$

式中, K_d 、 K_L 、 K_n 和 K_s 均为接地网的系数, 对 $30 \times 30 \text{ m}^2 \leq S \leq 500 \times 500 \text{ m}^2$ 的接地网, 可按式计算

$$K_d = 0.841 - 0.225 \lg d \quad (10)$$

$$K_L = 1.0 \quad (11)$$

$$K_L = 1.1 \sqrt[4]{L_2 / L_1} \quad (12)$$

$$K_n = 0.076 + \frac{0.076}{n} \quad (13)$$

$$K_s = 0.234 + 0.414 \lg \sqrt{S} \quad (14)$$

式中, n 为均压带计算根数; d 为均压带等效直径, m; L_1 、 L_2 为接地网的长度和宽度, m。式 (11) 为方孔接地网, 式 (12) 为长孔接地网。

接地网外的地表面最大跨步电位差可按式计算

$$U_{\text{Smax}} = K_{\text{Smax}} U_g \quad (15)$$

式中, U_{Smax} 为最大跨步电位差, V; K_{Smax} 为最大跨步电位差系数。

正方形接地网的最大跨步电位差系数 K_{Smax} 可按式计算

$$K_{\text{Smax}} = (1.5 - a_2) \ln \frac{h^2 + (h + \frac{T}{2})^2}{h^2 + (h - \frac{T}{2})^2} / \ln \frac{20.4S}{dh} \quad (16)$$

$$a_2 = 0.35 \left(\frac{n-2}{n} \right)^{1.14} \left(\frac{\sqrt{S}}{30} \right)^\beta \quad (17)$$

$$\beta = 0.1 \sqrt{n} \quad (18)$$

110 kV 及以上有效接地系统发生单相接地或同点两相接地时, 变电站接地网的接触电位差和跨步电压差不应超过由下列公式计算所得的数值

$$U_t = \frac{174 + 0.17 \rho_s C_s}{\sqrt{t_s}} \quad (19)$$

$$U_s = \frac{174 + 0.7 \rho_s C_s}{\sqrt{t_s}} \quad (20)$$

式中, U_t 为接触电位差允许值, V; U_s 为跨步电位

差允许值, V; ρ_s 为地表的电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$; C_s 为

表层衰减系数, $C_s = 1 - \frac{0.09 \times (1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2h_s + 0.09}$; t_s 为接地故障

电流持续时间, 与接地装置热稳定校验的接地故障等效持续时间 t_e 取相同值, s。

假设混凝土表面的电阻率值为 $2\,500 \Omega \cdot \text{m}$, 表层混凝土的厚度为 0.2 m。计算结果如表3所示。

表3 接触电压、跨步电压计算值与允许值比对1

(单位: V)

项目	接触电压 U_t	跨步电压 U_s
电压允许值	489.80	1 521.63
计算电压值	756.75	321.42

如表3所示, 接触电压计算值不满足条件。

此时, 提高表层的土壤电阻率值为 $5\,000 \Omega \cdot \text{m}$, 表层混凝土的厚度为 0.2 m。计算结果如表4所示。接触电压、跨步电压计算值均满足条件。

表4 接触电压、跨步电压计算值与允许值比对2

(单位: V)

项目	接触电压 U_t	跨步电压 U_s
电压允许值	806.51	2 825.72
计算电压值	756.75	321.42

结束语

本项目中的110 kV变电站占地面积较大, 单纯利用水平接地极降低接地电阻不能满足规范要求, 故需增设垂直接地极、深井接地极大幅降低接地电阻并配合使用降阻剂。在讲究经济合理性的情况下, 使用合理数目的垂直接地极、深井接地极。规范中, 降低接地电阻的目的是为了减小接触电压和跨步电压的计算值。在降低接地电阻有困难时, 可以通过提高接触电压和跨步电压的阈值使计算值满足要求, 同样可以起到保护人身安全的作用。本文中一直假设的一个定值 I_G 实际值有待探讨, 当其值小于文中 $4\,000$ A 时, 满足规范要求的接地电阻值实际可增大, 所以本文中计算情况实际为按最苛刻的情况下进行的计算。

(收稿日期: 2014-12-10) **EA**