

四川元坝天然气净化厂高土壤电阻率接地装置工程设计研究

随着天然气气田的不断勘探成功,大型化的天然气净化厂不断涌现。考虑到管道输送成本等因素,天然气净化厂通常为就地建厂,选址在高山、岩石等高土壤电阻率的山区居多。因此对大型天然气净化厂所在的高土壤电阻率接地装置的工程设计研究非常必要。通过设计计算及工程实践证明,加大接地面积、采用深井接地极、增设降阻剂及利用自然接地体等多种措施在实际工程中起到了明显降低接地电阻的效果。

王树国/中国石化工程建设有限公司

0 引言

接地工程设计是维护电气系统安全可靠运行、保障运行人员和电气设备安全的根本保证。接地电阻值是衡量接地系统的有效性、安全性以及鉴定工程接地系统是否符合规范要求的重要指标。当电力系统发生接地短路故障或其他大电流入地时,如果接地电阻值比较大,就会造成接地网电位异常升高,除给运行人员的安全带来威胁外,还可能因反击使电气设备绝缘遭到破坏,甚至使监测或控制设备发生误动或拒动而扩大事故。按照现行国家标准GB/T 50065—2011《交流电气装置的接地设计规范》^[1]及行业标准SH/T 3060—2013《石油化工企业供电系统设计规范》^[2]、SH 3097—2000《石油化工静电接地设计规范》^[3]以及DL/T 621—1997《交流电气装置的接地》^[4]等标准,其工作接地、保护接地以及防雷和防静电接地共用接地网,接地电阻不大于4 Ω 。大型天然气净化厂通常用电负荷均较大,220/35 kV、110/35

(10) kV等大型变电站不断出现,对于110 kV及以上电压等级的变电站,由于GIS电气设备的特殊要求,110 kV及以上电压等级的变电站的接地电阻不应大于0.5 Ω ,这对高土壤电阻率地区的变电站的接地设计提出更高要求。本文结合四川元坝天然气净化厂的工程实例,通过理论计算就如何降低电阻值,保证高土壤电阻率下接地设计符合规范进行了充分研究,取得了良好的效果,目前四川元坝天然气净化厂已平稳运行近2年。

1 在高土壤电阻率下降低接地电阻采取的措施

理论研究表明,在高土壤电阻率下降低接地电阻可采用增加接地网面积、增加接地网的敷设深度、局部换土、引外接地、增加垂直接地极、增加深井接地极、增设电解离子接地极及敷设接地降阻剂等多种措施。深井接地又可分为常规深井接地、爆破深井接地、深水井接地以及斜接地极等四种方式。以上措施各有优缺点,在实际工程设计中可以单独或者几个措施组合实施。为了降低工程费用,对于大型建构筑物,也可采用利用自然接地体(包含建构筑物内主筋及梁柱内主筋等),并进行等电位联结等。

2 高土壤电阻率接地装置工程设计研究

为研究高土壤电阻率地区变电站接地中存在的问题,本文结合四川元坝天



王树国/教授级高工

关键词/Keywords

高土壤电阻率·
深井接地极·
接地·

然气净化厂的工程实例,结合项目的气象地质条件对接地电阻值要求最高的110 kV变电站接地工程进行了工程研究。

2.1 项目的地质条件

四川元坝天然气净化厂地处四川省广元市苍溪县中土乡大坪村。大坪村境内出露的地层岩性为紫红色粉质粘土夹卵石,主要分布于嘉陵江、东河等河谷两岸。以粉质粘土、粘土及碎石土为主,结构较松散,碎石岩性成分以砂岩、泥岩为主,平均土壤电阻率按照510 $\Omega \cdot m$ 设计,属于高土壤电阻率区。根据四川元坝天然气净化厂的土壤结构及实测的土壤电阻率数值,该项目要求110 kV总变电站的接地电阻不大于0.5 Ω 。根据现场实际情况,并经过多个接地设计方案的研究及比选,最终确定四川元坝天然气净化厂采用了加强防腐接地扁钢及2.5 m长接地极及15 m深井接地极组合方案。为了防止腐蚀,本项目没有采用离子深井接地方案。为了验证实际接地效果及验算跨步电压是否满足,进行了变电站方案接地工程的详细计算。

2.2 110 kV总变电站接地电阻计算

2.2.1 站内接地电阻计算

本次计算,如图1和图2所示,采用将整个接地网分为两个规则的矩形接地网,分开计算然后采用并联汇总的方式。

如图1所示,较大区域的矩形接地网接地电阻为

$$R_{\text{水平1}} = \alpha R_{\text{e1}} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \alpha &= (3 \ln \frac{l_0}{\sqrt{S}} - 0.2) \frac{\sqrt{S}}{l_0} \\ &= (3 \ln \frac{162.0}{\sqrt{1430}} - 0.2) \frac{\sqrt{1430}}{162.0} \\ &= 0.97 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} R_{\text{e1}} &= 0.213 \frac{\rho}{\sqrt{S}} (1+B) + \frac{\rho}{2\pi L} (\ln \frac{S}{9hd} - 5B) \\ &= 0.213 \frac{510}{\sqrt{1430}} (1+B) + \frac{510}{2 \times 3.14 \times 604} (\ln \frac{1430}{9 \times 1 \times 0.050} - 5B) \end{aligned} \quad (3)$$

其中

$$B = \frac{1}{1+4.6 \frac{h}{\sqrt{S}}} = \frac{1}{1+4.6 \frac{1}{\sqrt{1430}}} = 0.89 \quad (4)$$

式中, R_{e1} 为等效(即等面积、等水平接地体总长度)方形接地网的接地电阻, Ω ; S 为接地网的总面积, m^2 ; l_0 为接地网外边缘总长度, m ; ρ 为土壤电阻率, $\Omega \cdot m$; d 为水平接地体的直径或等效直径, m ; h 为水平接地体的埋设深度, m ; L 为水平接地体总长度, m 。

则 $R_{\text{e1}} = 5.915 \Omega \cdot m$, $R_{\text{水平1}} = \alpha R_{\text{e1}} = 0.97 \times 5.915 \Omega = 5.737 \Omega$ 。

相关参数: $\rho = 510 \Omega \cdot m$, $S = 55.0 m \times 26.0 m = 1430 m^2$, $l_0 = 55.0 m \times 2 + 26.0 m \times 2 = 162.0 m$, $d = 0.050 m$, $h = 1 m$ (冻土层以下), $L = 50.5 m \times 2 + 55.0 m \times 3 + 26.0 m \times 13 = 604 m$ 。

如图2所示,较小矩形接地网的接地电阻为

$$R_{\text{水平2}} = \alpha R_{\text{e2}} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \alpha &= (3 \ln \frac{l_0}{\sqrt{S}} - 0.2) \frac{\sqrt{S}}{l_0} \\ &= (3 \ln \frac{60}{\sqrt{200}} - 0.2) \frac{\sqrt{200}}{60} \\ &= 0.97 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} R_{\text{e2}} &= 0.213 \frac{\rho}{\sqrt{S}} (1+B) + \frac{\rho}{2\pi L} (\ln \frac{S}{9hd} - 5B) \\ &= 0.213 \frac{510}{\sqrt{200}} (1+B) + \frac{510}{2 \times 3.14 \times 80} (\ln \frac{200}{9 \times 1 \times 0.05} - 5B) \end{aligned} \quad (7)$$

其中

$$B = \frac{1}{1+4.6 \frac{h}{\sqrt{S}}} = \frac{1}{1+4.6 \frac{1}{\sqrt{200}}} = 0.76 \quad (8)$$

则 $R_{\text{e2}} = 15.85 \Omega$, $R_{\text{水平2}} = \alpha R_{\text{e2}} = 0.97 \times 15.85 \Omega = 15.374 \Omega$ 。

相关参数: $\rho = 510 \Omega \cdot m$, $S = 20.0 m \times 10.0 m = 200 m^2$, $l_0 = 20.0 m \times 2 + 10.0 m \times 2 = 60 m$, $d = 0.05 m$, $h = 1 m$ (冻土层以下), $L = 20.0 m \times 3 + 10.0 m \times 2 = 80 m$ 。

两段并联后其接地电阻为

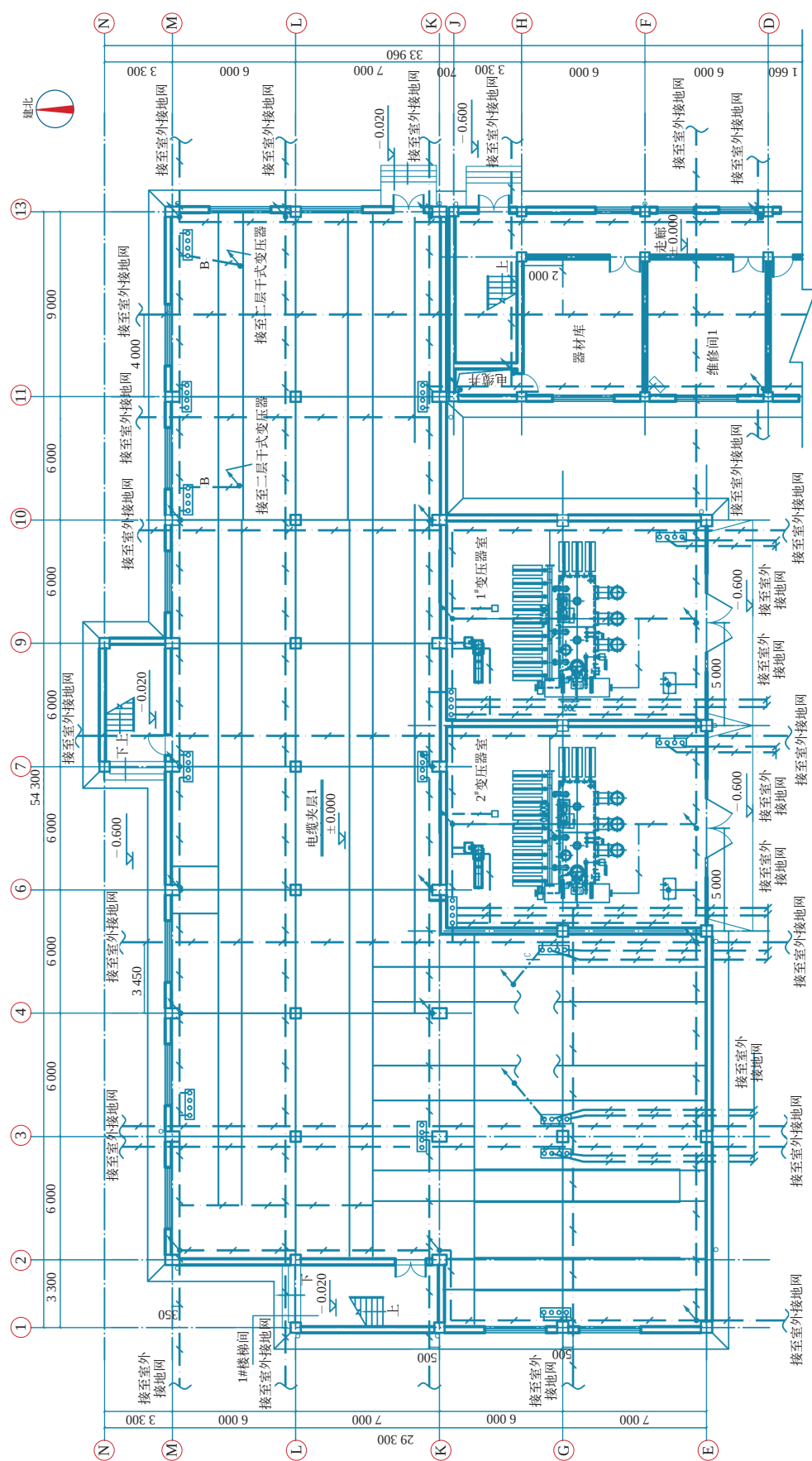


图1 110 kV变电站一层接地平面图1

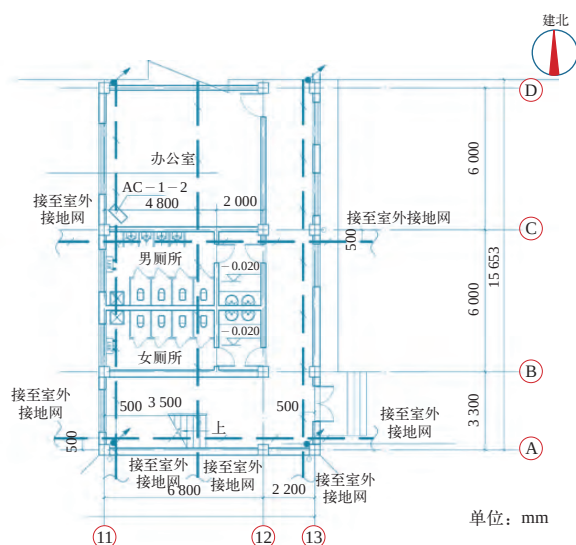


图2 110 kV总变电站一层接地平面图

$$\frac{1}{R_{\text{首层}}} = \left(\frac{1}{R_{\text{水平1}}} + \frac{1}{R_{\text{水平2}}} \right) = \frac{1}{5.737} + \frac{1}{15.374} \quad (9)$$

所以, $R_{\text{首层}} = 4.178 \, \Omega$, $R_{\text{首层有效}} = R_{\text{首层}}/0.9 = 4.642 \, \Omega$ 。

2.2.2 室外接地电阻

室外部分的接地使用不均匀网格配合接地极与深井接地极使用,如图3所示。根据DL/T 621—1997的相关要求进行计算。

1) 水平接地网的接地电阻

$$R_{\text{室外水平}} = \alpha R_{e3} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \alpha &= (3 \ln \frac{l_0}{\sqrt{S}} - 0.2) \frac{\sqrt{S}}{l_0} \\ &= (3 \ln \frac{370}{\sqrt{8400}} - 0.2) \frac{\sqrt{8400}}{370} \\ &= 0.987 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} R_{e3} &= 0.213 \frac{\rho}{\sqrt{S}} (1+B) + \frac{\rho}{2\pi L} (\ln \frac{S}{9hd} - 5B) \\ &= 0.213 \frac{510}{\sqrt{8400}} (1+B) + \frac{510}{2 \times 3.14 \times 1445} (\ln \frac{8400}{9 \times 1 \times 0.05} - 5B) \end{aligned} \quad (12)$$

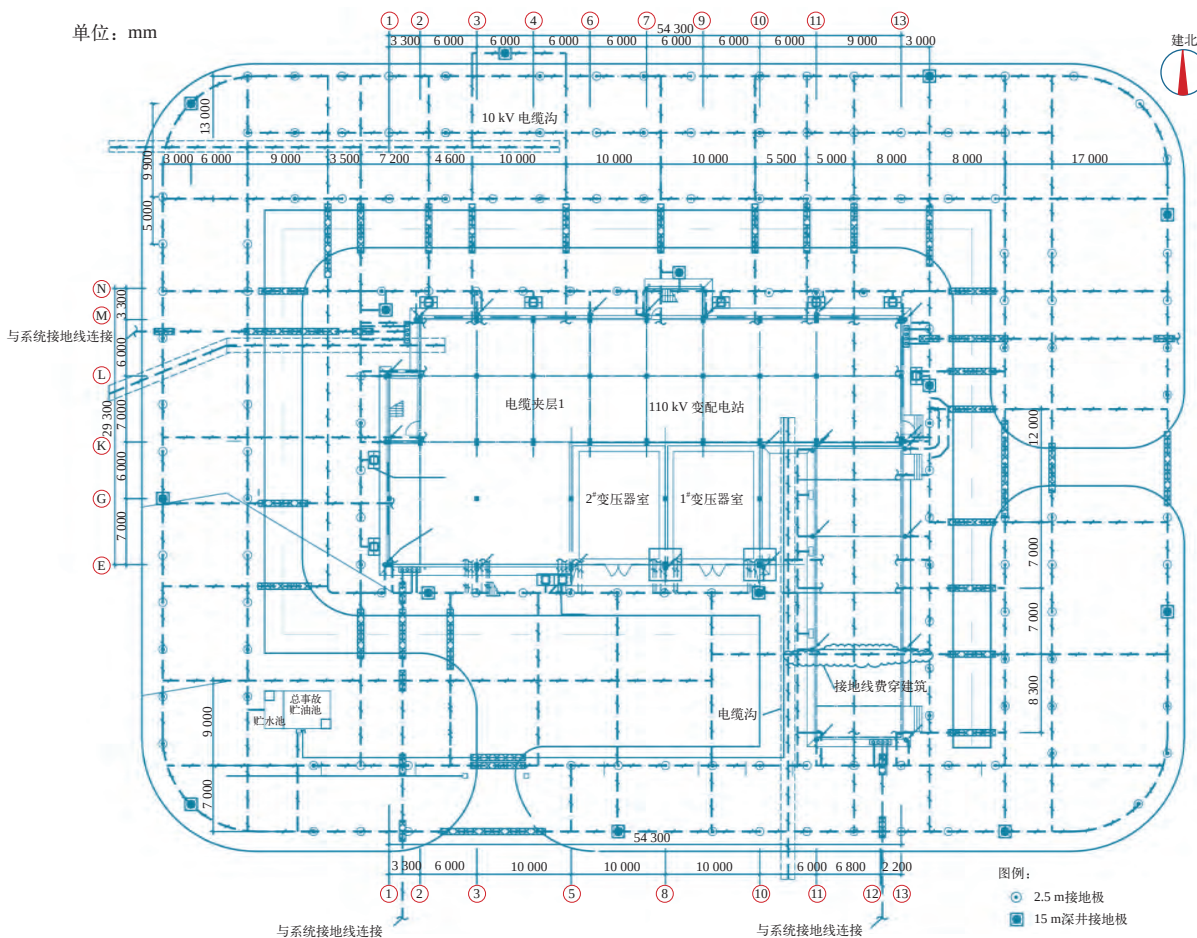


图3 110 kV总变电站室外接地配线平面图

$$B = \frac{1}{1 + 4.6 \frac{h}{\sqrt{S}}} = \frac{1}{1 + 4.6 \frac{1}{\sqrt{8400}}} = 0.95 \quad (13)$$

则 $R_{e3} = 2.467 \Omega \cdot m$, $R_{\text{室外水平}} = \alpha R_{e3} = 0.987 \times 2.467 \Omega = 2.435 \Omega$ 。

相关参数: $\rho = 510 \Omega \cdot m$, $S = 80 m \times 105 m = 8400 m^2$, $l_0 = 80 m \times 2 + 105 m \times 2 = 370 m$, $d = 0.05 m$, $h = 1 m$ (冻土层以下), $L = 105 m \times 6 + 80 m \times 7 + 20 m \times 4 + 35 m \times 2 + 15 m \times 7 = 1445 m$ 。

2) 2.5 m 接地极接地电阻计算

$$\begin{aligned} R_{2.5m} &= \frac{\rho}{2\pi l} (\ln \frac{8l}{d'} - 1) \\ &= [\frac{510}{2 \times 3.14 \times 2.5} (\ln \frac{8 \times 2.5}{0.042} - 1)] \Omega \\ &= 167.80 \Omega \end{aligned} \quad (14)$$

式中, ρ 为土壤电阻率, $\Omega \cdot m$; l 为垂直接地体的长度, m ; d' 为垂直接地体的等效直径, m 。相关参数: $\rho = 510 \Omega \cdot m$, $l = 2.5 m$, $d' = 0.042 m$

使用 142 套 2.5 m 的接地极之后的电阻 $R_{2.5m142套} = R_{2.5m}/142 = 1.1817 \Omega$ 。

3) 深井接地极的接地电阻计算

使用 14 套长度为 15 m 的深井接地极的接地电阻为

$$\begin{aligned} R_{15m} &= \frac{\rho}{2\pi l} (\ln \frac{8l}{d'} - 1) \frac{1}{\eta_1} \\ &= \frac{510}{2 \times 3.14 \times 15.0} (\ln \frac{8 \times 15.0}{0.2} - 1) \frac{1}{\eta_1} \end{aligned} \quad (15)$$

式中, η_1 为经验系数, $\eta_1 = 2.25$ 。

代入式 (15), 则单套深井接地极的接地电阻 $R_{15m} = 12.986 \Omega$ 。14 套深井接地极的接地电阻 $R_{15m14套} = R_{15m}/14 = 0.9275 \Omega$ 。

4) 室外部分的接地网接地电阻

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{\text{室外}}} &= (\frac{1}{R_{\text{室外水平}}} + \frac{1}{R_{2.5m142套}} + \frac{1}{R_{15m14套}}) \\ &= \frac{1}{2.435 \Omega} + \frac{1}{1.1817 \Omega} + \frac{1}{0.9275 \Omega} \end{aligned} \quad (16)$$

则 $R_{\text{室外}} = 0.428 \Omega$ 。

2.2.3 110 kV 变电站总的接地电阻

将室外接地网络与室内接地网络并联,

并联后形成的 110 kV 变电站总的接地网接地电阻为

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{\text{接地}}} &= (\frac{1}{R_{\text{室外}}} + \frac{1}{R_{\text{首层有效}}}) \eta \\ &= (\frac{1}{0.428 \Omega} + \frac{1}{4.642 \Omega}) \times 0.9 \end{aligned} \quad (17)$$

则 $R_{\text{接地}} = 0.435 \Omega$ 。相关参数: $\eta = 0.9$ 。

以上为理论计算的 110 kV 变电站总的接地网接地电阻为 0.435 Ω , 满足规范小于 0.50 Ω 的要求。但上述计算趋于保守, 有些计算公式已经作了适当简化, 由于土壤电阻率只有表层的数据, 并不能代表 2 m 以下的数据和 5 m 以下的数据, 且混凝土工程的钢筋计地下管道都会对接地电阻起到间接降低作用, 故此实际测试值会优于理论计算值。经四川元坝天然气净化厂现场对 110 kV 变电站总的接地电阻的实际测试值为 0.25 Ω 。需要特别指出的是, 在接地电阻满足设计规范的同时, 尚应校验接地装置的电位、跨步电压和接触电压是否满足要求。四川元坝天然气净化厂项目经过计算, 上述电压值均满足设计规范要求, 受论文篇幅有限, 本文不再赘述。

3 结束语

对于如何降低高土壤电阻率下的电气接地电阻, 本文研究了多种方法。理论实践均证明, 根据不同的土壤条件下, 加大接地面积、采用深井接地极、增设降阻剂及利用自然接地体等多种措施并用在实际工程中起到了明显的降阻效果。

参考文献

- [1] GB/T 50065—2011 交流电气装置的接地设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2011.
- [2] SH/T 3060—2013 石油化工企业供电系统设计规范 [S]. 北京: 中国石化出版社, 2013.
- [3] SH 3097—2000 石油化工静电接地设计规范 [S]. 北京, 中国石化出版社, 2000.
- [4] DL/T 621—1997 交流电气装置的接地 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2011.

(收稿日期: 2015-07-02) EA