

原油罐区接地系统

故障诊断技术在临海油气集输站库中的应用研究

Application of Fault Diagnosis Technology of Grounding

System in Oil Tank Area in Linhai Oil and Gas

Gathering and Transmission Station

刘佳林¹ 田英琦² 张 凤¹ 侯增鹏¹ 张 密¹

(1. 中石化胜利油田分公司技术检测中心, 山东 东营 257001)

(2. 青岛大学自动化学院, 山东 青岛 266071)

Liu Jialin¹ Tian Yingqi² Zhang Feng¹ Hou Zengpeng¹ Zhang Mi¹

(1. Technology Testing Center of Shengli Oilfield Company of Sinopec, Shandong Dongying 257001)

(2. School of Automation, Qingdao University, Shandong Qingdao 266071)

摘要: 为实现在不开挖状态下检测临海站库原油储罐接地系统故障状态, 创建了罐区接地系统故障检测方法和程序, 形成了高精度的接地网端口电阻测量及误差控制技术。研究成果在 5000m³ 原油储罐接地网试验场开展了工程应用, 应用结果表明接地网断点检出率 100% 以上, 并能有效识别重度腐蚀支路 (腐蚀量 $\geq 50\%$)。

关键词: 临海油气集输站库; 罐区接地网; 不开挖; 故障检测

Abstract: In order to detect the fault state of the grounding system of the crude oil storage tank in Linhai Station without excavation, the fault detection method and program of the grounding system in the tank area were established, and the high-precision resistance measurement and error control technology of the grounding grid port was formed. The research results have been applied in the ground grid test field of 5000m³ crude oil storage tank. The application results show that the detection rate of ground grid breakpoints is more than 100%, and it can effectively identify severely corroded branches (corrosion amount $\geq 50\%$).

Key words: Linhai oil and gas gathering and transportation station; tank area ground grid; no excavation; fault detection

1 概述

原油罐区作为油田的重要生产设施, 其防雷安全工作至关重要^[1]。接地网是原油储罐泄放雷电流的主要通道, 是保障罐区防雷安全的基本措施。一旦接地网发生较为严重锈蚀断裂, 接地电阻升高, 地电位分布不均, 将明显降低雷电流或雷电静电感应电荷泄放入地速度, 有可能在储罐各金属附件间产生火花放电或者高电位反击, 引燃引爆油气, 造成重大安全事故和难以挽回的损失^[2]。本文实现了不开挖状态下接地系统腐蚀程度的判断和断点位置的准确定位。

2 接地网拓扑结构重构研究

要完成储罐区接地网的腐蚀诊断, 须先掌握接地网

的几何拓扑结构, 即将接地网几何拓扑结构的重构步骤标准化和软件化。储罐接地网多为圆环形结构^[3], 本文对已知接地网结构进行了相应的金属探测, 接地网其对应拓扑结构转换图如图 1 所示。

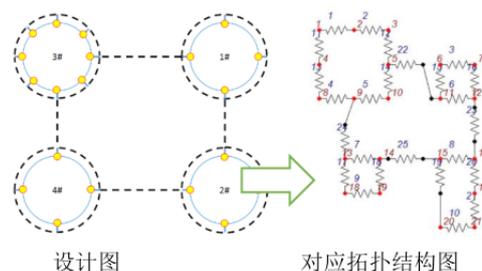


图 1 拓扑结构转换图

3 储罐地网故障诊断方程建立

将腐蚀前的接地网模型图视为一个具有 $b+1$ 条支路, $n+1$ 个节点的网络 N 。其中, 第 $b+1$ 条支路连接在接地网的 i, j 端。在该接地网上的第 i, j 端口加上一个电流源, 其电流值为 I_0 , 可以根据电路原理求出 R_{ij} ; 当接地网发生腐蚀后的模型图视为网络 N' , 仍在其 i, j 端加电流源, 电流值为 I_0 。求出 R'_{ij} ; 可知网络 N 和网络 N' 拓扑结构相同。这样就得到了端口电阻变化值和支路电阻变化值的关系, 但还不能直接由端口电阻变化值得到支路电阻变化值, 因为支路电阻的变量个数有 b 个, 所以需测量一系列的端口电阻从而得出一组方程:

$$\begin{cases} \Delta R_{y(1)} = \sum_{k=1}^b \Delta R_k I'_{k(1)} I_{k(1)} / I_0^2 \\ \Delta R_{y(2)} = \sum_{k=1}^b \Delta R_k I'_{k(2)} I_{k(2)} / I_0^2 \\ \dots \\ \Delta R_{y(m)} = \sum_{k=1}^b \Delta R_k I'_{k(m)} I_{k(m)} / I_0^2 \end{cases}$$

其中, m 是测量的端口个数, I_k 可以由 R_k 得到。而 I'_k 由 R'_k 决定, 但 R'_k 未知, 方程组属于非线性方程, 无法直接求解。为解决问题, 引入迭代方法。首先, 令 $I'_k(0) = I_k$, 方程组变成线性方程组, 但 $m < b$ 方程组欠定, 需用优化方法求解, 本文中用的是非负最小二乘法。这样就求出 $\Delta R_k(0)$ 和 $R'_k(0)$, 接着用 $R'_k(0)$ 计算出 $I'_k(1)$; 然后用 $I'_k(1)$ 计算 $R'_k(1)$ 。重复上面的计算, 直到求出的电阻增量满足要求, 得到最后的计算结果。环状接地网电气连接故障诊断模型流程图如图 2 所示。

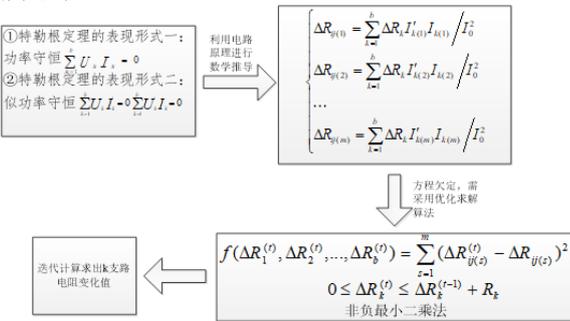


图 2 环状接地网电气连接故障诊断模型建立的流程图

4 接地系统故障诊断数值仿真分析

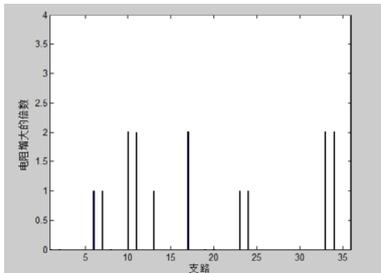


图 3 仿真试验结果图

atp-emptp 仿真研究中按照图 1 中的模拟试验接地网模型结构进行电阻模型的搭建, 其中令每段导体的长度和电阻率一致, 正常情况下的单段导体的电阻为 $5m\Omega$; 再分别按照图中所给虚线的粗细程度将其分别定义为: 正常、扩大 1.5 倍、扩大 2 倍、扩大 3 倍, 来模

拟不同程度的腐蚀情况测得两两可及节点之间的端口电阻, 带入 matlab 腐蚀诊断程序中, 得到图 3 所示的实验结果图。

实验分析: 由图可以看出, 6, 7, 10, 11, 13, 17, 23, 24, 33, 34, 36 支路存在腐蚀情况, 其中 10 支路代表了 18-23 支路段的腐蚀情况, 11 支路代表了 18-24 支路的腐蚀情况, 以此类推。由此发现, 所有的故障支路均被诊出, 且无误诊或漏诊, 理论上程序对故障的诊断正确率为 100%。

5 现场工程应用

本次实验完成 6 个 $5000m^3$ 储罐接地系统现场测试, 并基于测试结果完成检测数据的分析处理及诊断检测结果如表 1~表 3 所示。

表 1 检测装置端口电阻的测量相对误差值

支路	装置测量值 / Ω	直流电桥测量值 / Ω	相对误差
1#-2#	1.211	1.241	2.42%
2#-3#	1.708	1.746	2.18%
3#-4#	2.124	2.101	1.09%
4#-1#	2.017	2.055	1.85%
5#-6#	1.632	1.666	2.04%

表 2 检测装置数值读入时间

支路	读入时间	备注
1#-2#	3	合格
2#-3#	3	合格
3#-4#	2	合格
4#-1#	3	合格
5#-6#	3	合格

表 3 接地网诊断结果

支路	输出倍数	判定结果	符合性
1#-2#	1	地网无断点	符合
2#-3#	1	地网无断点	符合
3#-4#	1	地网无断点	符合
4#-1#	1	地网无断点	符合
5#-6#	1	地网无断点	符合

由现场工程应用发现: ①端口电阻的测量相对误差低于 3%; ②开始测量后, 测量数值在 3 秒之内自动输入到腐蚀诊断程序中; ③接地网断点检出率 100%; 并能够有效识别腐蚀量 $> 50\%$ 的地网支路。

参考文献:

- [1] 齐静静, 李家宁, 尹志清, 等. 油气集输站库雷电防护能力模糊评价模型研究 [J]. 电磁避雷器, 2019(6):49.
- [2] 曹纪绒, 朱明远. 油田联合站防雷技术研究 [J]. 气象水文海洋仪器, 2019(3):106.
- [3] 王承辉, 张芳智, 等. 油田原油储罐防雷接地检测应用与分析 [J]. 石油化工安全环保技术, 2017(33):47-48.

作者简介:

刘佳林 (1985-), 男, 山东莱阳人, 硕士毕业于中国石油大学 (华东) 油气田开发工程专业, 现为中国石油大学 (华东) 能源动力工程专业博士在读, 目前主要从事雷电防护装置检测、地震安全性评价、滩浅海构筑物安全检测评估及相关的科学研究工作。

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFC0802303) 资助。