

# 厂、站区域阴极保护技术研究

(低漏电区域阴极保护设计技术)

---

项目负责人：吴发东



课题负责人：吴发东

汇报人：吴发东

四川油建科宏公司

2013年5月6日

# 一、项目概述

---

## □ 技术背景

- 厂、站、罐区埋地金属管道和设备防腐蚀最有效的基本方法仍然是防腐层加阴极保护
- 国内近几年已建、在建和待建的大中型油气管道工程中，站场埋地管道和设备大多数都设计并实施了区域阴极保护
- 原来建设时未实施阴极保护工程的站场也在追加阴极保护
- 目前厂、站区域阴极保护技术尚不完善，是油气管道防腐专业的技术难题之一
- 其技术难点在于：
  - 1、各设备混凝土基础漏电没有好的解决办法；
  - 2、站内埋地管道、设备、自控设施接地众多，大量漏失阴保电流，并由此引发造价高，保护效果差、干扰和屏蔽严重等其它问题

---

图一、现有站场区域阴极保护系统原理图

# 一、项目概述

---

## □ 主要研究内容及技术路线

- 阴极保护电流漏泄分析
  - 设备混凝土基础电绝缘技术研究
  - 低漏泄接地技术研究
  - 低漏泄区域阴极保护系统研究
  - 配套器件和材料研究
  - 低漏泄区域阴极保护系统设计
  - 技术解决方案的合规性、适应性
  - 经济分析
-

## 二、站场阴极保护电流漏泄分析

---

### □ 漏电原因

- 1、防腐层； 2、设备仪器连接管道未绝缘； 3、管道、设备、仪器接地及接地系统； 4、设施基础； 5、电气工作接地及电缆外护套，
- 其中1、2、5为成熟技术，因此仅研究3和4

### □ 混凝土基础漏电途径分析

- 混凝土基础漏电主要分基础内部漏电和基础露空表面漏电

图二：基础漏电途径分析图

---

# 三、混凝土基础电绝缘技术研究

---

- 二次灌浆的地脚螺栓基础（如设备的鞍座、裙座等）电绝缘方案
  - 1、承重表面：环氧砂浆垫层+地脚螺栓环氧混凝土二次灌浆  
（注：环氧砂浆垫层也可以更换成复合材料铺贴）
  - 2、混凝土基础露空表面电绝缘：露空表面涂装憎水性涂层

## 图三：二次灌浆基础绝缘方案

- 预埋地脚螺栓的基础（如大型的压缩机、燃气轮机等）电绝缘方案
    - 1、承重表面：复合材料铺贴层+地脚螺栓绝缘组件（绝缘套、绝缘垫）
    - 2、混凝土基础露空表面电绝缘：露空表面涂装憎水性涂层
-

## 三、混凝土基础电绝缘技术研究

---

注：环氧砂浆和环氧混凝土的绝缘电阻值一般在 $10^7 \sim 10^8 \Omega\text{cm}$ 数量级，绝缘性介于绝缘体和半导体之间，在干燥情况下基本接近绝缘体，保证其厚度就可保证相当程度的绝缘。复合材料和绝缘组件均是绝缘体，绝缘电阻一般在 $10^{12} \sim 10^{14} \Omega\text{cm}$ 数量级。

图四：预埋地脚螺栓基础绝缘方案

# 四、低漏泄接地技术研究

---

## □ 低直流电隔离接地系统方案

### ➤ 基本技术方案

#### 图五：低直流电隔离接地系统方案

电流泄放途径：阴保管道→设备→接地线→汇流网→阴保接地隔离器（多个并联）→接地网

### ➤ 技术要点

- 1、在现有接地网的接地线中串入“汇流网+阴保接地隔离器”
- 2、接地线、引下线电绝缘：采用专门研制生产的绝缘扁钢
- 3、阴保接地隔离器数量选择

重点在于雷电电流和故障电流计算，取大值作为计算电流的最大值用于阴保接地隔离器数量计算

站场区域可能的最大雷电电流估算公式：

---

## 四、低漏泄接地技术研究

---

$$Q=1.28Sq/(\pi r^2)$$

式中：

Q ——可能的最大雷电电流 (A)

S ——站场雷电保护区域 (m<sup>2</sup>)

r ——滚雷半径 (m)

q ——单个避雷装置最大泄流量 (A)

故障电流计算由电气专业计算给出，一般可按厂、站电源部分故障短路计算。

4、隔离器数量确定

计算公式  $N \geq 0.785 \times Q_{\max} / q_n$

式中：

---



## 四、低漏泄接地技术研究

---

$N$  ——阴保隔离器计算值

$Q_{max}$  ——隔离器计算电流 (A)

$q_n$  ——阴保接地隔离器标称放电电流 (A)

式中 $Q_{max}$ 为最大雷电电流计算值和故障电流计算值中选出的大值

### 5、阴保接地隔离器功能

基本原理：利用二极管的导通电阻原理隔离低直流电

基本参数：直流隔离电压调整到-1.2V至-1.8V范围，额定雷电（4/10 $\mu$ s）冲击通流容量100kA，故障电流（ACrms工频/30周波）

辅助功能：增加了元件的测试点（确保可靠性）；增加了旁路直通开关，用于雷暴气候直通及第三方案直通及特殊用途。

---

# 四、低漏泄接地技术研究

---

## ➤ 电隔离接地网主要技术分析

在低直流电隔离接地系统方案中采用了包含阴保隔离器的电隔离接地网，因此根据相关接地规范和接地参数对接地网进行技术分析，其中包括三个方面。

### 1、最大泄流量

在上一章“阴保接地隔离器数量选择”中已经解决了最大泄流量问题。

### 2、接地电阻

接地网的接地电阻主要取决于土壤电阻率、接地网结构尺寸等多方面的因素，限于计算条件，一般站场接地网多采用经验方法设计，最后测试验证。采用“电隔离接地网”后，由于采用多个阴保隔离器接地，因此仅需验算并联隔离器和汇流网电阻小于常

---

## 四、低漏泄接地技术研究

---

规要求接地电阻值的30%，一般即可满足规范和使用要求。

### 3、接地网的安全参数

为保证新方案低直流隔离接地系统的安全运行，除上述两主要参数外，经研究分析“跨步电压”、“接触电压”和“地电位升”参数也满足安全运行和实际使用的要求。

### □ 锌包钢材料接地系统方案

#### □ 技术原理：

锌材料为负电极电位材料，采用锌包钢接地即类似于采用牺牲阳极接地，纯锌相对于阴保电流的泄漏方向施加了反电动势，阻止了阴保电流的泄漏，而对于没有施加外加电流的阴保系统，则提供了牺牲阳极保护。给出3种可能的子系统方案

---

## 四、低漏泄接地技术研究

---

- 整体共用接地网厚锌包钢方案——油气一般站场采用；
- 独立接地网厚锌包钢方案——油气大型站场采用；
- 阴保区域厚锌包钢方案，非阴保区域薄锌包钢接地网方案——油气大型站场采用；

### □ 综合接地系统方案

- 方案结构：低直流电隔离接地+锌包钢材料接地方案
  - 方案解决问题：接地网采用锌包扁钢有助于减少埋地管道和设备之间的相互屏蔽现象，并延长接地网寿命。包锌层减少为1mm
-

## 四、低漏泄接地技术研究

---

### □ 局部特厚锌包扁钢接地系统方案

- 方案结构：对有阴极保护对象接地的区域采用厚锌包钢接地系统，无阴极保护接地的区域采用普通热镀锌扁钢或者薄锌包钢接地系统，在两种系统之间采用阴保接地隔离器正反向连接

#### 图六：局部特厚锌包扁钢接地系统方案

- 采用牺牲阳极接地原理，取消了恒电位仪等强制电流阴保设施，系统简单，成本低廉。
  - 之所以局部采用厚锌包钢接地是为了进一步降低成本（5mm左右锌包扁钢价格在100元以上），在厚锌接地网和热镀锌网之间加装阴保接地隔离器目的是连接为整体的共用接地网，降低接地电阻。当采用独立接地网接地电阻符合设计要求时，也可以采用独立网形式。
-

# 四、低漏泄接地技术研究

---

## □ 各接地方案推荐及适用范围

### □ 从站场规模和投资考虑

- 小型油气站场：首推整体共用接地网厚锌包钢方案，采用低直流电隔离接地方案亦可
- 大、中型油气站场：低直流电隔离接地方案
- 大型油气站场：低直流电隔离接地方案或者综合接地方案

### □ 从工程性质考虑

- 新建站场：一般按投资考虑
  - 站场区域阴极保护系统改造工程：推荐：低直流电隔离接地方案
-

# 四、低漏泄接地技术研究

---

## □ 从干扰屏蔽状况考虑

- 交直流干扰屏蔽严重站场：  
一般站场整体共用接地网厚锌包钢方案；  
大型特大站场：推荐综合接地方案。
-

# 五、配套材料及器件研究

---

## □ 绝缘扁钢

- 研制规格：常用的-40×4和-50×5
  - 绝缘层材料：根据使用环境，依据《电力电缆设计规范》GB50217选择交联聚乙烯绝缘层
  - 结构和厚度：依据电缆标准GB/T12706.1-2008要求，确定结构与管道二层PE相同的结构，-40×4扁钢绝缘层厚度1.6mm，-50×5扁钢绝缘层厚度1.8mm
  - 主要生产工艺和设备：基本同管道二层PE防腐层，但为避免PE层被割破，需增加一道扁钢倒角工序
  - 主要技术参数：略
-



# 五、配套材料及器件研究

---

## □ 锌包接地扁钢

- 研究必要性：虽然现有产品有圆钢厚锌包钢等，但市面上未见有厚锌包扁钢产品成品，所以应当研制。
  - 研制规格：常用的-40×4和-50×5
  - 锌材料选择：确定采用高纯锌，纯度达到99.99%，减少锌层的腐蚀消耗
  - 包锌层厚度：在《石油化工装置防雷设计规范》GB50650-2011规范，锌包钢的锌层厚度确定在3~5mm范围，但中石油主要管道工程中推荐2mm，同时根据腐蚀性计算，在土壤腐蚀性小时，采用1mm也有相当的寿命，本研究报告推荐2mm，但在采用综合接地系统方案时可以采用1mm厚度。
  - 主要生产工艺和设备：略
-

# 五、配套材料及器件研究

---

## □ 地脚螺栓绝缘组件

- 较简单，不再做详细说明

## □ 阴保接地隔离器

- 主要功能等详见前面，已经联系专业防雷接地厂家研制。该器件主要是从固态去耦合器改进而来，考虑区域阴保接地的具体使用状况做了参数和辅助功能的变化，因此具有技术的可靠性。
  - 详细技术参数见检验报告
-

# 六、站场低漏泄区域阴保保护设计

---

## □ 设计资料、规范

## □ 设计方案选择

- 绝缘方案选择
- 低漏泄接地系统方案选择
- 低漏泄区域阴极保护系统方案确定

## □ 设计计算

- 最大泄放电流计算
- 阴保接地隔离器数量
- 接地电阻校核计算

## □ 施工图设计要点

---

## 七、低漏泄区域阴保保护系统各种分析

---

### □ 合规性分析

本研究课题主要涉及的专业包括：阴极保护专业、电气专业、机械设备专业、土建基础等，因此是一个跨专业研究课题。

根据研究所涉及的专业，分类按涉及的规范和标准对研究内容进行检查，未发现与现有规范相抵触的内容。

### □ 适应性分析

- 从系统可靠性，防爆、防护性，环保性，施工及维护性等方面做了详细分析。经分析上述方面没有大的问题
  - 关于标准化：整个研究课题中只涉及在安装地脚螺栓的绝缘组件时需要将螺栓孔扩大的问题，与机械专业协商，是可行的。
-

# 八、经济分析

---

## □ 计算条件

- 仅对阴极保护的阳极材料、电气专业的接地扁钢等材料纳入计算，其余部分与以前工程完全相同。
- 人工及其它部分费用按照50-55%估算。
- 主要材料费经过向相关厂家咨询。

## □ 投资对比表

表9.1-1 孔雀河清管站工程造价表

表9.1-2 孔雀河清管站投资对比表

表9.2-1 库米什压气站工程造价表

表9.2-2 库米什压气站投资对比表

---

# 八、经济分析

---

## □ 经济分析结论

依据已经实施了的一个小型站场（孔雀河请管站）和一个大型站场（库米什压气站），分别按三个低漏泄区域阴极保护方案估算造价并进行分析对比得出以下结论：

➤ **结论一：**无论大小规模区域阴极保护站，且采用无论哪种低漏泄区域阴极保护站设计方案都节约工程造价，其减少幅度在60~70%左右，经济效益非常显著。工程造价减少的主要原因是柔性阳极材料改为普通硅铁分布式阳极所致。

➤ **结论二：**在小规模站中，采用方案二（整体共用接地网厚锌包钢方案）造价最低，其次是方案一（低直流电隔离接地方案），最高是方案三（综合接地方案）。但是由于站场较小总体工程造价相差较少，尤其是方案一和方案二仅相差不到三万，因此工程造价对低漏泄区域阴极保护站设计方案的影响可以不考虑。

---

## 八、经济分析

---

- **结论三：**在较大规模站中，采用方案一（低直流电隔离接地方案）造价最低（比方案二和三低18~25%左右），其次是方案三（综合接地方案），最高是方案二（整体共用接地网厚锌包钢方案），方案二高的原因是厚锌包钢材料费高。
  - **结论四：**对不含压气站的天然气普通站场，一般运行电流为3-5A左右，对含压气站的天然气站场，一般运行电流为15-30A左右（主要是大量的基础等地下建构筑物钢筋消耗大量阴保电流），预期采用低漏电区域阴极保护系统设计方案，阴保电流可以降低到原来的1/3到1/10，因此对较大型站场，尤其是带压气站或泵站站场，采用低漏电区域阴极保护系统设计是非常必要的。
-