

# Application of Potential Attenuation Calculation in Cathodic Protection Design of Buried Steel Pipeline

Jinjie Cui<sup>1</sup>, Gaosheng Liu<sup>2\*</sup>, Zhangxi Song<sup>2</sup>

<sup>1</sup>China Petroleum Pipeline Engineering Co., Ltd. International, Langfang Hebei

<sup>2</sup>No.3 Branch Company of China Petroleum Pipeline Engineering Co., Ltd., Zhengzhou Henan

Email: \*249786323@qq.com

Received: Apr. 7<sup>th</sup>, 2020; accepted: May 8<sup>th</sup>, 2020; published: Jun. 15<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

The protection scope of the Cathodic Protection with the applied current method is one of the important contents of the Cathodic Protection design of underground steel pipelines. For certain underground steel pipelines, whether the scope of the Cathodic Protection with the applied current method can be effectively covered is crucial. This paper introduces the steps and contents of attenuation calculation; combined with the Cathodic Protection design example of pipeline engineering project in Ras Tanura area of Saudi Arabia, analyzes the role of attenuation calculation in the design of Cathodic Protection scope of underground pipeline; and verifies the protection scope from different perspective effectiveness.

## Keywords

Attenuation Calculation, Steel Pipeline, Cathodic Protection Design, Application

---

---

\*通信作者。

# 电位衰减计算在埋地钢制管道阴极保护设计中的应用

崔进杰<sup>1</sup>, 刘高生<sup>2\*</sup>, 宋章喜<sup>2</sup>

<sup>1</sup>中国石油管道局工程有限公司国际事业部, 河北 廊坊

<sup>2</sup>中国石油管道局工程有限公司第三工程分公司, 河南 郑州

Email: \*249786323@qq.com

收稿日期: 2020年4月7日; 录用日期: 2020年5月8日; 发布日期: 2020年6月15日

## 摘要

外加电流法阴极保护的保护区, 是埋地钢制管道阴极保护设计的重要内容之一。对于确定的埋地钢制管道, 外加电流法阴极保护的保护区能否有效覆盖, 至关重要。本文介绍了衰减计算的步骤和内容, 并结合沙特拉斯坦努拉线管道工程项目的阴极保护设计实例, 分析了衰减计算在埋地管道阴极保护区设计中的作用, 从不同的角度验证保护区的有效性。

## 关键词

衰减计算, 钢制管道, 阴极保护设计, 应用

Copyright © 2020 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

沙特拉斯坦努拉管道工程项目是沙特阿美为了最大限度地维持产能、增强管线运行灵活性、降低对沿线城镇环境破坏的风险, 而实施地在役管道改造项目。项目新建  $\phi 30$  英寸、 $\phi 40$  英寸、 $\phi 42$  英寸、 $\phi 46$  英寸到  $\phi 48$  英寸陆上管道 10 条, 管线位于 4 个正在运行的管廊带内。阴极保护设计需统一考虑新建管线和已有管线, 对已有的阴极保护系统的容量、状态进行评估和升级。阴极保护站采用整流器, 将利用阿美的供电系统, 在阀室附近设置。阴极保护设计比往常更为复杂, 保护区有效覆盖全部管线尤为重要。

外加电流法阴极保护是埋地钢制管道防止腐蚀的主要技术, 广泛应用于长输管道[1]。按照国内外通常的设计思路, 管线的保护区在选择横电位仪或整流器时已经考虑进去, 即: 根据管线规格、长度和保护电流密度等进行工艺计算, 结合效率等因素, 选择横电位仪或整流器。具体公式为:

$$I_r = \pi \times D \times L \times i \quad [2]$$

其中:

$I_r$ ——阴极保护电流需求;

$D$ ——管道直径;

$L$ ——管道保护长度;

$i$ ——设计规范要求的电流保护密度。

本文所论述的方法,是根据管线外加电流,随着管线长度的增加,由于保护损耗和电流衰减,而达到最低规范保护电位时的管线长度。

## 2. 电位衰减计算

衰减计算是对埋地钢制管道施加外加电流阴极保护后,在满足规范要求的保护参数下,根据衰减公式计算出最长保护距离,将其与整流器或恒电位仪的保护距离进行对比,从而判断保护长度是否满足要求。

### 2.1. 电位变化计算

电流流出点的最大电位改变公式如下:

$$C_1 = C_2 \cos(\alpha \times L_{\max}) \quad [3] \quad (1)$$

其中:

$C_1$ ——电流流出点的最大电位改变;

$C_2$ ——点  $X$  处的电位改变;

$\alpha$ ——为衰减常数;

$L_{\max}$ ——从阴极保护电流流出点到满足规范保护电位下管道的最长距离。

### 2.2. 最大保护长度

在满足设计规范情况下,管道最大保护长度计算公式如下:

$$L_{\max} = \arccos(C_1 \div C_2) \div \alpha \quad [3] \quad (2)$$

#### 2.2.1. 最大电位改变 $C_1$ 的计算

$$C_1 = P_1 - P_2 \quad [3] \quad (3)$$

其中:

$P_1$ ——电流流出点最大电位;

$P_2$ ——管道对土壤的自然电位。

#### 2.2.2. 管线任一点 $X$ 的电位改变 $C_2$ 的计算

$$C_2 = P_3 - P_2 \quad [3] \quad (4)$$

其中:

$P_3$ ——管道对土壤的最小电位;

$P_2$ ——管道对土壤的自然电位。

### 2.3. 衰减常数

$$\alpha = (R_s \div R_L)^{0.5} \quad [3] \quad (5)$$

其中:

$R_s$ ——钢管线性电阻率( $\Omega/\text{km}$ );

$R_L$ ——防腐层泄露电阻率( $\Omega/\text{km}$ )。

### 2.3.1. 钢管线性电阻率 $R_s$ 的计算

$$R_s = \rho_s \times L \div A \quad [3] \quad (6)$$

其中:

- $\rho_s$ ——钢的电阻率( $\Omega/m$ );
  - L——钢管长度(m);
  - A——钢管的横截面积。
- 钢管横截面积按照下式计算

$$A = \pi \times (D^2 - (D - 2t)^2) \div 4 \quad [3] \quad (7)$$

其中:

- D——管道直径;
- t——钢管壁厚。

### 2.3.2. 防腐层泄露电阻 $R_L$ 的计算

$$R_L = 1 \div (f \times \pi \times D \times L) \quad [3] \quad (8)$$

其中:

- f——防腐层电导率( $S/m^2$ );
- D——钢管直径;
- L——钢管长度(m)。

## 3. 应用实例

### 3.1. QA 管廊阴极保护

QA 管廊跨度为 61 km, 包括 QA-4 和 QA-10, 其中 QA-4 新建 2 条 42 寸管线共计 35.2 km, 已存在 42 寸管线 12 km, 已存在 40 寸管线 21 km; QA-10 新建 2 条 30 寸管线共计 11.7 km, 已存在 30 寸管线 53.7 km, 已存在 24 寸管线 1.3 km。管线位于靠近海边的沙漠地区(Subkha 地区), 水位较浅, 土壤电阻率小。

管道阴极保护采用外加电流法, 设计寿命 20 年, 阴极保护设计要求对管廊内的平行管线同时施加。按照沙特阿美企业规范(SAES-X-40), 阴极保护设计及运行标准如表 1:

**Table 1.** Cathodic protection criteria for berried pipeline

**表 1.** 埋地管道阴极保护标准

		埋地管道阴极保护标准								
结构类型	防腐类型	设计标准			运行标准					
		平均电流密度 (mA/m <sup>2</sup> )	最小电位 (-mV)	最大电位 (-V)	最小电位(-mV) (至少满足一项)			最大电位(-V) (至少满足一项)		
					开	立即关闭	电位衰减	开	立即关闭	
埋地管道	3PE 防腐层	0.1	1200	3	1100	850	100	3	1.15	

根据阴极保护工艺计算及材料选择, 最终确定采用 50 V/300 A 的整流器和混和金属氧化物阳极地床, 采用深井阳极, 对管廊内的并行管道同时进行保护, 每 20 km 设置一处阴保站(安装整流器)。

按照上述设计, 如何从不同的角度, 判定阴极保护能否覆盖全部管道, 采用电位衰减计算, 是较为有效的方法。

### 3.2. 保护范围计算

#### 3.2.1. 电位的计算

按照沙特阿美公司阴极保护规范, 运行的最大电位不能高于 $-1.15\text{ V}$ , 通过测量管道对土壤的自然电位为 $0.6\text{ V}$ 。

电流流出点的最大电位改变 $C_1$ 为:

$$C_1 = P_1 - P_2 = 1.15 - 0.6 = 0.55\text{ V} \quad (9)$$

通过测量, 管道对土壤的最小电位 $P_3$ 为 $0.85\text{ V}$ , 则管线任一点 $X$ 的电位改变 $C_2$ 为:

$$C_2 = P_3 - P_2 = 0.85 - 0.6 = 0.25\text{ V} \quad (10)$$

#### 3.2.2. 衰减常数的计算

管道规格为42英寸, 壁厚为 $11.1125\text{ mm}$  管道横截面积计算

$$A = \pi \times (1.0162 - (1.016 - 2 \times 0.011125))^2 \div 4 = 0.035\text{ m}^2 \quad (11)$$

钢的电阻率为 $0.18 \times 10^{-6}\ \Omega/\text{m}$ , 钢管长度取 $1\text{ km}$ , 则钢管线性电阻率 $R_s$ 为

$$R_s = 0.18 \times 10^{-6} \times 1000 \div 0.0351 = 0.0051\ \Omega/\text{km} \quad (12)$$

钢管直径 $1.016\text{ m}$ , 长度取 $1\text{ km}$ , 防腐层电导率 $30\text{ S/m}$ , 防腐层泄露电阻 $R_L$ 为

$$R_L = 1 \div (\pi \times 30 \times 1000 \times 1.016) = 10.44\ \Omega/\text{km} \quad (13)$$

由已求得的 $R_s$ 和 $R_L$ , 计算衰减常数为:

$$\alpha = (0.0051 \div 10.44)^{0.5} = 0.0221 \quad (14)$$

#### 3.2.3. 最长保护距离

根据已求得的 $C_1$ 、 $C_2$ 和 $\alpha$ , 最长保护距离(衰减长度) $L_{\max}$ 为

$$L_{\max} = \arccos(0.55 \div 0.25) \div 0.0221 = 64.49\text{ km} \quad (15)$$

直径为42英寸的钢管长度为 $47.2\text{ km}$ , 阴保站设计的跨度为 $20\text{ km}$ , 而计算的保护范围 $64.49\text{ km}$ 远远大于 $20\text{ km}$ , 按照阴保设计, 阴极保护的完全满足要求。

按照同样的方法, 计算其它几种并行管道, 结果均能满足保护要求。所以, 阴极保护设计选定的保护方案、整流器、阳极地床等满足要求, 能够实现对全部管道的有效保护。

### 3.3. 影响应用效果的因素

影响计算效果的因素为管线路由内的土壤环境、规范要求的保护电位、土壤自然电位和土壤最小电位、防腐层电导率、钢管规格等, 其中规范保护电位在设计选定规范时, 就已经确定; 钢管规格在管线水力计算确定后, 即可确定; 防腐层电导率根据选择的防腐材料类型, 能够确定。因此, 影响的主要因素是土壤环境、土壤电位测量方式、土壤自然电位和土壤最小电位。

该算法主要适用于土壤电阻率相对较小的环境, 案例所在的沙特沿海 Subkha 和沙漠地区, 地下 $1.5\text{ m}$ 的电阻率最小处为 $0.01\ \Omega$ , 最大处为 $1.23\ \Omega$ 。土壤自然电位和最小电位是计算使用的重要数据, 其测定采用4支 $Cu/CuSO_4$ 参比电极温纳测量方法, 测量多组数据, 求平均值, 以获得高准确度的数据, 从而达

到好的计算效果。

#### 4. 结束语

在埋地钢制管道外加电流阴极保护设计中，通过电位衰减计算，对判断能否全部覆盖整条管线具有较多优点。一是，采用与阴极保护工艺计算不同的角度，验证保护范围，增加了设计的严谨性；二是，计算步骤清晰、简单快速，使用方便；三是，计算所需的数据容易获得。

#### 参考文献

- [1] 陈世一, 吴先策, 江国业. 管道强制电流阴极保护电流和电位计算的数值方法[J]. 石油化工高等学校学报, 2008, 21(3): 75-78.
- [2] 吴荫顺, 曹备. 阴极保护和阳极保护[M]. 北京: 中国石化出版社, 2007: 184-190.
- [3] RAP, OAH (2018) Detailed Design Package for Impressed Current Cathodic Protection System in Re-Routing of Qatif Ras-Tanura Pipelines. Saudi Aramco 2616-ENG, 87-89.