

大口径原水管道阴极保护工程设计

徐晓明¹, 齐利华¹, 付朝晖¹, 祖士卿², 沈玉珏¹

(1. 珠海市规划设计研究院, 广东 珠海 519000; 2. 珠海市水务局, 广东 珠海 519000)

摘要: 珠海洪湾原水系统规模为 $80 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 采用 2-DN2 000 管道压力输送, 长度为 4.61 km。为保障原水系统长期稳定、安全运行, 对该段原水管道采用牺牲阳极阴极保护设计。依据工程建设条件、地质环境和现场测量土壤电阻率, 选用镁合金牺牲阳极阴极保护方案。通过工艺计算和设计, 完成牺牲阳极系统的布置和配件设置, 并给出系统验收和运行维护相关要求和建议, 可为相关工程设计提供技术借鉴。

关键词: 原水管道; 阴极保护; 牺牲阳极; 土壤电阻率

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)22-0045-04

Cathodic Protection Engineering Design of Large Diameter Raw Water Pipelines

XU Xiao-ming¹, QI Li-hua¹, FU Zhao-hui¹, ZU Shi-qing², SHEN Yu-jue¹

(1. Zhuhai Institute of Urban Planning & Design, Zhuhai 519000, China; 2. Zhuhai Water Authority, Zhuhai 519000, China)

Abstract: The scale of Zhuhai Hongwan raw water system was $80 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, and the pressure transportation was carried out by 2-DN2 000 pipelines with the length of 4.61 km. In order to ensure the long-term stability and safe operation of the raw water system, the sacrificial anode cathodic protection design was adopted for this raw water pipeline. The magnesium alloy sacrificial anode cathodic protection scheme was applied, according to other construction conditions at the engineering site, geological environment and field measurement of the soil resistivity. With reference to the results of calculation, the layout of the sacrificial anodes and accessories of the cathodic protection system were designed and implemented. Meanwhile, the relevant requirements and recommendations were put forward for the system acceptance, operation and maintenance, which could provide technical reference for similar projects design.

Key words: raw water pipeline; cathodic protection; sacrificial anode; soil resistivity

1 工程概况

洪湾港片区位于珠海市南湾城区的西南部, 紧邻洪湾商贸物流中心及保税区, 与横琴新区隔马骝洲水道相望, 是珠海近年来重点开发建设区域。

珠海洪湾原水系统规模为 $80 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 主要对珠海主城区和澳门输送原水, 现状以河道形式输送。随着洪湾片区的开发建设, 为保障珠海、澳门两地原水输送安全, 对原水系统进行改造, 改造后原水采用管道形式输送。

为保证管道使用寿命, 提高原水输送保障率, 原水管道采用覆盖层防腐设计和阴极保护设计。

2 阴极保护方法选择

阴极保护方案主要有牺牲阳极法、强制电流法。其方法选择主要考虑的因素为工程规模、覆盖层状况、环境条件、有无可利用的电源、经济性等^[1]。

① 工程规模。工程全长为 4.61 km, 管道规模为 2 根 DN2 000, 管材为卷板钢管, Q235B, 壁厚为 18 mm, 接口采用焊接。

② 管道覆盖层。管道采用覆盖层防腐,其外防腐采用环氧煤沥青涂料,加强级,厚度 $\geq 400 \mu\text{m}$;内防腐采用无毒饮水仓涂料,厚度 $\geq 200 \mu\text{m}$ 。

③ 环境条件。根据工程地质勘测报告,管道线位多位于填土层和淤泥层,地下水位较高,pH 值为 6.5,场地环境类型为 II 类。

④ 工程位于管廊带内(原水保护带),近期无可利用的电源。

通过对工程条件及外围环境分析,考虑工程经济性和后期运行管理方便,阴极保护方法选择牺牲阳极法。

3 阴极保护参数选取

① 土壤电阻率测量

土壤电阻率采用等距法测量^[2],采用仪器为 ZC8 接地电阻测试仪($0 \sim 100 \Omega$)。实测现场环境土壤电阻率为 $1.0 \sim 33.9 \Omega \cdot \text{m}$,管道沟槽(宽约 14.5 m)采用石屑和中粗砂回填,土壤电阻率按较有利情况考虑,取 $33.9 \Omega \cdot \text{m}$ 。

② 牺牲阳极的选用

依据实测的土壤电阻率,牺牲阳极选用镁合金牺牲阳极^[3],其填包料配方为石膏粉:膨润土:工业硫酸钠 = 75:20:5(质量分数);采用 D 型截面^[3],单支阳极质量为 21.8 kg,多组布置。

③ 保护电流密度

影响保护电流密度参数的因素较多,主要有被保护物的表面状况(有无覆盖层及类型、质量)、环境条件和被保护金属的种类。本原水管道为卷板钢管,外防腐层采用环氧煤沥青涂料,管道保护电流密度取 $100 \mu\text{A}/\text{m}^2$ 。

4 牺牲阳极系统工艺计算

4.1 设计参数选取

管道自然电位: -0.55 V (相对于硫酸铜参比电极);管道保护电流密度: $100 \mu\text{A}/\text{m}^2$;阳极有效电位差: 0.63 V ;实际消耗率: $7.5 \text{ kg}/(\text{A} \cdot \text{a})$;设计寿命: 25 年;备用系数: 2.5。

4.2 牺牲阳极的工艺计算

① 采用立式牺牲阳极接地,单支立式牺牲阳极接地电阻计算如下^[4]:

$$R_v = \frac{\rho}{2\pi L_g} \left(\ln \frac{2L_g}{D_g} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t_g + L_g}{4t_g - L_g} + \frac{\rho_g}{\rho} \ln \frac{D_g}{d_g} \right) \quad (1)$$

式中 R_v ——立式牺牲阳极接地电阻, Ω

ρ ——土壤电阻率, $\rho = 33.9 \Omega \cdot \text{m}$

L_g ——裸牺牲阳极长度, $L_g = 0.765 \text{ m}$

D_g ——预包装牺牲阳极直径, $D_g = 0.4 \text{ m}$

t_g ——牺牲阳极中心至地面的距离, $t_g = 1.5 \text{ m}$

ρ_g ——填包料电阻率, $\rho_g = 0.5 \Omega \cdot \text{m}$

d_g ——裸牺牲阳极等效直径

$$d_g = \frac{c}{\pi} = 0.16 \text{ m}, c \text{ 为周长。}$$

经计算,单支接地电阻 $R_v = 10.47 \Omega$ 。

② 组合阳极接地电阻计算如下:

$$R_{\text{总}} = K \cdot \frac{R_v}{n} \quad (2)$$

式中 $R_{\text{总}}$ ——阳极总接地电阻, Ω

n ——阳极数量, $n = 2$

K ——修正系数,查表^[4], $K = 1.15$

经计算,阳极总接地电阻 $R_{\text{总}} = 6.02 \Omega$ 。

③ 阳极输出电流计算:

$$I_g = \frac{\Delta E}{R} \quad (3)$$

式中 I_g ——阳极输出电流, mA

ΔE ——阳极有效电位差, $\Delta E = 0.63 \text{ V}$

R ——回路总电阻, $R \approx R_{\text{总}} = 6.02 \Omega$

经计算,阳极输出电流 $I_g = 104.6 \text{ mA}$ 。

④ 管道所需保护电流计算:

$$I_A = S \cdot J_s \quad (4)$$

式中 I_A ——管道所需保护电流, mA

S ——被保护管段表面积, $S = 57901.6 \text{ m}^2$

J_s ——电流密度, $J_s = 100 \mu\text{A}/\text{m}^2$

经计算,管道所需保护电流 $I_A = 5790.2 \text{ mA}$ 。

⑤ 所需阳极数量计算:

$$N = \frac{B \cdot I_A}{I_{g0}} \quad (5)$$

式中 N ——阳极数量, 支

B ——备用系数,取 2.5

$$I_{g0} \text{——单支牺牲阳极输出电流, } I_{g0} = \frac{\Delta E}{R_v} =$$

$$60.2 \text{ mA}$$

经计算,所需阳极数量 $N = 240$ 支。

⑥ 牺牲阳极工作寿命计算:

$$T = 0.85 \frac{W}{\omega \cdot I_{g0}} \quad (6)$$

式中 T ——阳极工作寿命, a

W ——阳极质量, $W = 21.8 \text{ kg/支}$

ω ——阳极消耗率,取 $\omega = 7.5 \text{ kg}/(\text{A} \cdot \text{a})$

经计算,阳极工作寿命 $T = 41.0 \text{ a} > 25 \text{ a}$,满足要求。

5 牺牲阳极设计

5.1 牺牲阳极布置

在工程设计阶段还要考虑牺牲阳极的自然消耗、阳极电流效率、土壤电阻率的变化以及随着管道运行时间延长,管道防腐层劣化导致管道所需保护电流随之增加等因素,最终确定合理的阳极数量。

在理论计算基础上,镁合金阳极采用大分散、小集中的方式布置,即每隔约 110 m 布置 3 组牺牲阳极,每组采用 2 支预包装镁合金牺牲阳极,共布置 252 支。牺牲阳极通过沿线设置的测试桩和管道进行连接。

阳极采用立式安装,与管道外壁距离为 2.0 ~ 5.0 m,阳极间距为 3.0 m,详见图 1 和图 2。

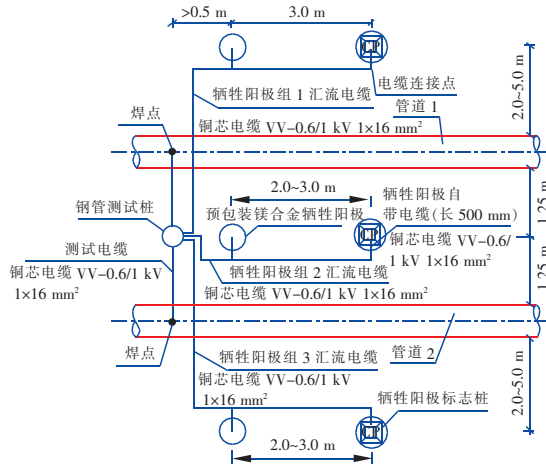


图 1 牺牲阳极布置平面

Fig. 1 Layout plan of sacrificial anode

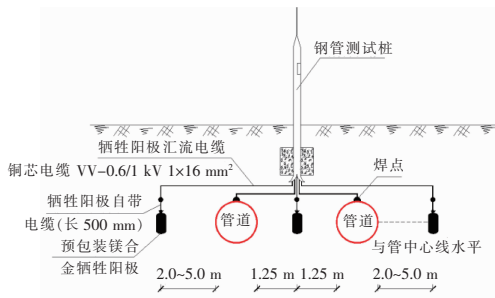


图 2 牺牲阳极立面

Fig. 2 Vertical view of sacrificial anode

5.2 牺牲阳极配件设计

① 管道的电连续性

原水管道采用钢制管道焊接,焊接的电阻很小,可以满足阴极保护电连续性的要求,因此一般段无需再做处理。

在管道阀门处采用钢制法兰连接,其连接处的接头电阻过大,使管道纵向电阻不能满足阴极保护的要求,因此采用电缆跨接,电缆采取 VV-0.6/1 kV 1 × 16 mm² 铜芯电缆,与管道铝热焊接。

② 电绝缘设置

为防止电流流失,减轻电偶腐蚀,避免不必要的干扰和控制电流流向,在工程起终端设置绝缘法兰。绝缘法兰采用成品,经检测合格后在现场进行安装。

③ 测试桩

为满足管道阴极保护检测的需要,每间隔约 500 m 布置 1 组测试桩。

测试桩采用涂塑钢管,规格 De100;测试桩铭牌采用 2 mm 厚的铝板制作。

6 阴极保护系统验收和运行维护

① 被保护管道的检查

为确保牺牲阳极系统的正常运行,在实施之前,对原水管道进行检查,包括检查原水管道起终点、阀门、管道支墩等处绝缘措施是否正确无误;检查管道表面防腐层是否完整、有无漏敷点;检查管道是否具有良好的连续导电性能。

② 施工质量验收

针对工程设计技术要点,对阴极保护施工质量进行验收,包括验收牺牲阳极、绝缘法兰等成品的材质和规格,是否与设计图纸一致;测试桩、通电点与管道连接是否符合规范要求;现场检测阴极保护电位,是否控制在规范要求的范围内;施工记录、过程检验资料是否齐全完备。

③ 运行管理和维护建议

阴极保护系统需要定期检测和管养维护,其目的是确认阴极保护系统工作长期有效,建议依据《埋地钢质管道阴极保护技术规范》^[4],对其进行日常检测和管理维护。

7 结论

在输水系统中,钢制管道多采用覆盖层防腐设计,但理想状态的覆盖层是无法实现的。覆盖层上的针孔或破损,会形成大阴极、小阳极的腐蚀电池,加快管道的点蚀速率。

根据相关的设计规范及手册,结合珠海地质条
(下转第 51 页)