

海洋管道阴极保护技术分析探讨

李雪¹, 魏艳平², 李海涛³, 郭东红¹

- (1. 中国石油天然气管道工程有限公司天津滨海分公司, 天津 300457;
2. 中国石油管道公司(管道销售公司), 河北 廊坊 065000;
3. 中国石油天然气管道局, 河北 廊坊 065000)

摘要:通过对目前海洋管道常用的阴极保护方式的论述,分析了影响海洋管道牺牲阳极阴极保护有效的因素,并对海洋管道阴极保护设计、应用及存在问题进行了探讨。

关键词:海洋管道;阴极保护;牺牲阳极

中图分类号:TE985

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2016)10-0205-03

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2016.10.051

Analysis and discussion of offshore pipeline cathodic protection

LI Xue¹, WEI Yan-ping², LI Hai-tao³, GUO Dong-hong¹

- (1. China Petroleum Pipeline Engineering Corporation Tianjin Binhai Branch, Tianjin 300457, China;
2. Petrochina Pipeline Company (Pipeline Marketing Company), Langfang 065000, China;
3. CNPC China Petroleum Pipeline Bureau, Langfang 065000, China)

Abstract: The common methods for cathodic protection of offshore pipelines are introduced. The influencing factors on the sacrificial anode cathodic protection are analyzed. The cathodic protection design, application and relevant problems are also discussed.

Key words: offshore pipeline; cathodic protection; sacrificial anode

随着我国海上油田的不断开发及海洋石油工业的快速发展,海洋管道建设的步伐也在不断加快。海洋油气输送管道已成为海上油气开发生产的主要组成部分,在海洋油气运输中起到了重要作用。

海洋管道工程投资成本大,服役时间长,但由于海洋环境复杂,腐蚀严重影响海洋管道的使用寿命。管道一旦失效,就需要花费大量的资金来修理和更换管道。因此,海洋管道腐蚀防护显得尤为重要。

1 海洋管道常用阴极保护方法

阴极保护的原理是在被保护的金属构件表面上通入足够的阴极电流,使该金属的电极电位变负,即发生阴极极化以阻止其溶解。依据阴极电流的来源,阴极保护分为牺牲阳极阴极保护和外加电流阴极保护2种。

牺牲阳极保护法是利用电位比被保护金属结构低的金属或合金作为阳极,构成一个腐蚀电池。在阴极得到保护的同时,阳极不断被消耗,故称为牺牲阳极法。

外加电流保护法是通过外部的直流电源直接向被保护金属或结构物通以阴极电流,使之阴极极化,达到阴极保护的目。

牺牲阳极保护法的优点在于不需要外部电源,安装施工简便,对邻近构筑物无干扰或很小,保护电流分布均匀,投产调试后不需要管理。

外加电流保护法不受环境电阻率限制,在实施大范围野外阴极保护时比较经济,但对邻近金属构筑物干扰大,需要外部电源,所需维护管理的工作量较大^[1]。

海洋管道不同于陆上管道,海洋管道的阴极保护具有管道沿线电位不可测试的特点,同时海洋环境要远比陆地环境严酷,因此,选择阴极保护系统时要充分考虑到可靠性、耐久性等特点。

根据工程经验,鉴于外加电流阴极保护系统存在过保护的风险,牺牲阳极阴极保护系统已成为海洋管道工程较成熟且可靠的阴极保护方式,铝合金牺牲阳极(图1)是海洋管道工程常用的阳极材料。



图1 用于海洋管道的镯式铝牺牲阳极

2 影响海洋管道牺牲阳极阴极保护有效性因素

影响海洋管道牺牲阳极阴极保护有效性的因素有防腐层状况(即涂层破损率)、管道安装方式(埋设与非埋设)、牺牲阳极电化学特性、阳极保护长度等。

2.1 防腐层破损率

海洋管线的阴极保护电流随着保护涂层的退化而增加,因而在管道整个寿命周期内牺牲阳极能提供足够的阴极保护电流量显得非常重要。涂层破损率是在役涂层状况的重要指标,其取决于涂层类型、使用年限、施工条件等,涂层破损率可由如下公式计算^[2]:

$$F_{cf} = f_i + (\Delta f \times t_{dl}) \quad (1)$$

式中, f_i 为管道初期的涂层破损率,即管道开始投运时的涂层破损率; f_{cf} 为管道末期的涂层破损率,即管道寿命末期的涂层破损率; Δf 为管道涂层破损率年增长系数; t_{dl} 为管道服役年限。

对于整条管道而言,管道的涂层破损率由管道的 2 种部位组成,即钢管工厂预制的防腐层处和现场接头补口防腐层处。假设一根钢管长 12 m,采用 3 层 PE 防腐层,钢管防腐层管端预留 150 mm,现场接头补口采用 PE 热收缩带。根据计算,现场接头补口防腐层面积占到了整根管道防腐层面积的 2.5%,如果现场接头补口质量差,甚至全部失效,加上 3 层 PE 防腐层的破损率,整条管道的涂层破损率会远远大于 2.5%。由于海洋环境腐蚀恶劣,海

水中的氯离子会造成钢管点蚀甚至穿孔,管道的服役寿命受到严重威胁。

2.2 牺牲阳极电化学特性

牺牲阳极应能提供足够的阴极保护电流,并且具有较高的电化学效率及电化学当量,同时还应具有稳定的电位,在使用期间不发生钝化,牺牲阳极表面的腐蚀产物易脱落,且对环境无污染。

纯铝不能作为牺牲阳极,因为其表面形成稳定的氧化膜使其电化学电位正移到很高的电位,也就是钝化。在铝阳极中加入了镉、铟、汞或锡元素以保持阳极的活性,防止其发生钝化。同时铝阳极一般应用在含有氯离子的电解质中,氯离子能穿透腐蚀产物膜,使阳极保持活性。随着氯离子含量降低,阳极的电容量降低,阳极电位变得更正,同时,铝阳极电容量随着电流密度降低而降低,如图 2 所示^[3]。

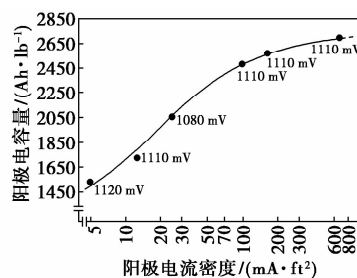


图 2 阳极电容量与阳极电流密度的关系

对于海水与海泥而言,海水的电阻率较海泥的电阻率低,在此环境中,铝阳极的发生电流密度大,因此海水中的铝阳极电容量也较大,如表 1^[2]所示。

(3) 中控室 FM200 气体灭火系统所需气量按照估算体积分数为 8.5% 考虑,气瓶的填充率按照 60% ~ 70% 考虑,以上述数值为依据选择 FM200 灭火剂气瓶容积及数量,以喷射体积分数满足安全使用需求来验证 FM200 灭火剂气瓶容积及数量的选型正确性。

参考文献

- [1] NFPA 10. Standard for portable Fire Extinguishers[S].
- [2] NFPA 12. Standard on carbon dioxide extinguishing system[S].
- [3] NFPA 2001. Standard on clean agent extinguishing system[S].
- [4] 刘杰,魏晨,黄玉森. FM-200(七氟丙烷)备压式灭火系统[J]. 消防技术与产品信息,2004,(7):76-80.
- [5] GB 50193-93. 二氧化碳灭火系统设计规范(2010 年版本)[S]. 北京:中国计划出版社,2010. ■

(上接第 204 页)

通过上述估算分析可得,当采用容积为 90 kg 的 FM200 灭火剂气瓶时,主用系统采用 7 个灭火剂气瓶(备用系统也采用 7 个灭火剂气瓶),喷射后 FM200 气体体积分数分别为 8.73%、9.32%、8.69%,满足设备间、大型控制室以及工程控制间的灭火浓度需求。

3 结论

(1) 中控室房间选择 FM200 气体灭火系统,且优选备压式系列;主用系统与备用系统采用的气瓶数量需一致。

(2) 气体灭火系统需设置专用气瓶间,且气瓶间应设置机械排风设施,正常排风量不小于 4 次/h,事故排风量不小于 8 次/h。

表1 铝合金牺牲阳极的电化学特性

阳极温度/℃	浸入海水中 电位(SSC)/ mV	浸入海水中 电容量/ (A·h·kg ⁻¹)	浸入海泥中 电位(SSC)/ mV	浸入海泥中 电容量/ (A·h·kg ⁻¹)
<30	-1050	2000	-1000	1500
60	-1050	1500	-1000	800
80	-1000	900	-1000	400

2.3 管道安装方式

管道的保护电流密度也取决于管道的敷设状况,即埋设与不埋设,以及管道输送的温度。

在埋设环境下,海泥的电阻率要比海水的电阻率高,结构物上腐蚀电池极化大,腐蚀电流小,相应的所需保护电流密度也较小。当管道输送温度较高时,从电化学角度来讲,温度升高有利于结构物上腐蚀电池的去极化,造成腐蚀电流增加,进而管道保护电流密度增大。

根据下列计算公式,虽然海泥的电阻率大,腐蚀性相对较弱,但由于此环境中牺牲阳极发生电容量小的原因,海泥环境中牺牲阳极的数量要大于海水中的数量。

$$M = (I_{cm} \times t_f \times 8760) / (u \times \varepsilon) \quad (2)$$

式中, M 为所需牺牲阳极质量,kg; I_c 为保护电流,A; t_f 为设计寿命,年; u 为阳极利用率;为阳极电容量,A·h/kg

表2为不同施工条件及输送温度下的所需保护电流密度参考值^[4]。

表2 推荐中期保护电流密度

输送温度/℃	≤50	50~80	80~120	>120
海水中/(A·m ⁻²)	0.05	0.06	0.07	0.1
海泥中/(A·m ⁻²)	0.02	0.025	0.03	0.04

2.4 阳极最大保护长度

阳极的管道保护长度是牺牲阳极阴极保护的重要环节,根据工程经验及ISO 15589—2参考标准,海洋管道的镯式牺牲阳极设计间距一般不大于300 m,当阳极间距超过300 m时,应采用衰减法进行阳极保护长度核算,衰减系数可由下式计算:

$$\alpha = \sqrt{R_s/R_L}$$

式中, α 为管道沿线阴极保护电位的衰减系数,m⁻¹; R_s 为管道线性电阻, Ω ; R_L 为管道涂层泄漏电阻, Ω 。

管道的保护电位衰减系数越大,单支阳极的保护长度越小,如图3所示。

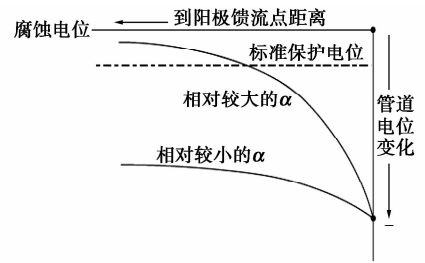


图3 管道沿线的保护电位衰减曲线

影响衰减系数的主要因素有管道线性电阻和涂层泄漏电阻,管道线性电阻与钢管的壁厚、材质、管径、钢电阻率等因素有关,管道涂层泄漏电阻与涂层的质量状况有关。

若防腐层面电阻率大,即防腐层泄漏电阻大,管道阴极保护电位衰减较小,牺牲阳极保护距离较长。

同时随着涂层服役年限的增加,涂层破损率增大,涂层的泄漏电阻减小,衰减增大,牺牲阳极保护长度可能缩短。

对于海洋管道而言,随着管道服役寿命增加,会在管道表面附着一层海生物壳。从电化学角度来讲,微生物的附着会增大腐蚀电池扩散层的厚度,增大浓差极化,减小腐蚀电流,同时也增大了管道涂层泄漏电阻,影响管道阴极保护电位衰减。

3 结语

阴极保护措施是保证海洋管道服役寿命的重要手段。镯式铝合金牺牲阳极安装简单,投资较少,在海洋管道阴极保护上得到了广泛的应用。海洋管道的涂层性能、牺牲阳极的电化学性能、管道的埋设安装方式及牺牲阳极布置间距为影响阴极保护效果的重要因素,在海洋管道实施中应予以着重考虑。

参考文献

- [1] 胡士信. 阴极保护工程手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1999: 60-61.
- [2] ISO 15589—2. Petroleum, petrochemical and natural gas industries—Cathodic protection of pipeline transportation systems—Part 2: Offshore pipelines[S]. 2012.
- [3] Schriber C F, Reece W Murray. Effect of hostile marine environments on the Al-Zn-In-Si sacrificial anode[J]. Material Performance, 1998, 27(12): 70-71.
- [4] DNV-RP-F103. Cathodic protection of submarine pipelines by galvanic anodes[S]. 2003. ■