长输管道牺牲阳极保护的设计

刘　海
北京燕化石油化工设计院　北京市　102500

【摘要】本文阐述了造成埋地管道腐蚀原因的主要三个方面:土壤腐蚀、细菌腐蚀、杂散电流腐蚀。分析表明,土壤对埋地管道的腐蚀主要为电化学腐蚀。为保护埋地管道不受电化学腐蚀影响,本文提出了相应解决方法,着重介绍了牺牲阳极阴极保护的方法,并以燕化公司供销部琉璃河至凤凰亭天然气管道(1 段)埋地管道的阴极保护设计、计算实例说明了长输管道牺牲阳极阴极保护的设计过程。

关键词: 长输管道腐蚀　牺牲阳极　阴极保护

1　埋地金属管道腐蚀原因

长输管道通常采用埋地敷设的方式,而埋地管道的防腐是非常重要的,这直接关系到管道的的使用寿命和安全运行。要解决埋地管道的防腐问题就要了解其腐蚀原因。造成埋地管道腐蚀的原因主要有以下三个方面:

1.1　土壤腐蚀

土壤腐蚀属于电化学腐蚀。埋地金属管道腐蚀反应过程如表 1 所示:

阳极反应　$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e$

阴极反应　$2H^+ + 2e \rightarrow H_2$　(酸性溶液中)

$O_2 + 4H^+ + 4e \rightarrow 2H_2O$　(酸性溶液中)

$O_2 + 2H_2O + 4e \rightarrow 4OH^-$　(中、碱性溶液中)

在土壤中,管道腐蚀的主要控制过程是氧的去极化,即氧与电子结合生成氢氧根离子。

土壤的空隙为空气和水所充满,而土壤中的水含有一定的盐,使土壤有一定的导电性,成为电解质,加上土壤和金属材质本身的电化学不均匀性,这就构成了腐蚀电池的条件。土壤中直接或间接地影响土壤腐蚀性的原因很多,具体来说有土壤酸碱度、氧化还原点位、土壤电阻率、土壤含水量、土壤含盐量和盐的种类、土壤质地、土壤松紧度、土壤有机质等几个因素。

其中对土壤腐蚀性影响较大的有四种因素:

①土壤电阻率　土壤电阻率在多数情况下可以反映土壤的腐蚀性,一般地区土壤腐蚀性的分极标准如表 1 所示。

表 1　土壤腐蚀性等级

腐蚀性等级	强	中	弱
土壤电阻率(Ωm)	< 20	20～50	> 50

②土壤中的氧　土壤中的氧与土壤的含水量和土壤的结构有密切的关系。干燥的土壤中含氧多;潮湿的土壤含氧少;疏松的土壤含氧多;密实的土壤含氧少。

③土壤的 pH 值　一般来讲酸性土壤的腐蚀性强。

④土壤中的微生物　土壤中的微生物对金属的腐蚀有很大影响,微生物的作用会加速电极反应。

1.2　细菌腐蚀

如上所述,细菌对金属的腐蚀是在一些缺氧的土壤中厌氧细菌参加了腐蚀过程,使土壤中的 H^+ 浓度增大的缘故。

1.3　杂散电流腐蚀

所谓杂散电流,是指在地下流动的设计之外的电流,如电气化铁路、电缆、用电设备接地等散布的电流。杂散电流造成的腐蚀比自然腐蚀要大得多,并且较为集中,易造成强电场的集中腐蚀,形成小孔腐蚀,造成金属管道的穿孔。

2　埋地管道防腐方法

从上述分析可知,土壤对金属管道的腐蚀主要是电化学腐蚀。对埋地金属管道的防腐首先是使用覆盖层防护,也就是采用覆盖层将管道的金属表面与土壤隔离开来。覆盖层就是通常讲的防腐涂料。其次是对管道进行电化学保护。

电化学保护可分为阴极保护和阳极保护。其中阴极保护适用于土壤、淡水、海水等介质中金属的腐蚀防护。而阳极保护适用于酸类、盐类等强腐蚀性环境下金属的腐蚀防护,其适用的金属仅为活化 –钝化金属,其投资也比较高。因此对埋地管道的电化学保护都是采用阴极保护的方法。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

现在,人们已经普通认识到了管道外防腐绝缘层与阴极保护的联合使用是最经济、最合理的防腐措施。这是因为防腐层在生产、运输与施工中无法保护不受到任何损坏。因此不可能完全将管道与腐蚀环境、介质完全隔离。而且用于防腐绝缘层的各种材料都有不同程度的吸水和透气性。因此埋地后,在土壤溶液的作用下会逐步吸水老化。要维持有效的防腐,就必须同时采取阴极保护及联合保护。阴极保护的使用已经产生了巨大的经济效益。通常采用阴极保护的管道寿命可以延长一倍,而阴极保护的投资只占管道总投资的 1 %～4 %,因此其经济效益与社会效益是显而易见的。

1973 年美国运输部(DOT)公布了当年新辅设的管道数,其中 23 %的长输管道,30 %的小口径管道都是由于腐蚀破坏后而重新更换的。在这些腐蚀引起的破坏管道中,有 91 %是没有采用阴极保护的。

现在,各国都纷纷规定原有管道必须补加阴极保护,新辅设的管道必须安装阴极保护。我国也不例外,如中华人民共和国石油工业部部标准《钢质管道及储罐防腐蚀工程设计规范》SYJ7 —84 等对长输管道和其他埋地管道都有必须采用阴极保护的要求。下面介绍阴极保护的两种方法。

2.1 牺牲阳极法

该法是将被保护金属和一种可以提供保护电流的金属或合金(即牺牲阳极)相连,使被保护体极化以降低腐蚀速率的方法。常用的牺牲阳极为高纯镁及镁合金、高纯锌及锌合金、铝合金等。

2.2 强制电流保护法

该法是将被保护金属与外加电源负极相连,由外部电源提供保护电流,以降低腐蚀速率的方法。

阴极保护的上述两种方法,都是通过一个阴极保护电流源向受到腐蚀或存在腐蚀需要保护的金属体,提供足够的与原腐蚀电流方向相反的保护电流,使之恰好抵消金属体内原来存在的腐蚀电流。两种方法的差别只在于产生保护电流的方式和"源"不同。一种是利用电位更负的金属或合金,另一种则利用直流电源。

对于具体的保护对象,是采用牺牲阳极阴极保护还是采用强制电流阴极保护,应具体情况具体分析。对此我们作了如下对比(见表 2):

因此对于杂散电流干扰不大,土壤电阻率较高,保护电流较低的埋地管道采用牺牲阳极阴极保护的方法是既经济又合理的。而短距离埋地管道采用牺牲阳极阴极保护的方法更可以省掉强制电流阴极保护法的固定装置投资费用,是非常经济的。

表 2 牺牲阳极法和强制电流保护法对比

序号	牺牲阳极法	强制电流保护法
1	费用与管道长度成正比;均匀的电位分布可保护最经济的保护电位调配	对需要较小电流的场合,无法减少最低限度的装置费用;降低通电点的电位,方可达到远距离的防护
2	对外部管道干扰小	辅助阳极点附近会对外部管道产生干扰
3	不需要外部电源	必须有外部电源
4	可埋在管沟里或靠近管沟附近	辅助阳极要远离管道
5	在保护电流密度低时才经济	保护电流密度不限
6	杂散电流干扰大时不能使用	杂散电流干扰大时也可任意调节电流、电位
7	电流输出稳定	可按电器原理调节电流、电压
8	输出电流与土壤电阻率成反比	可通过电压调节保护电流
9	土壤电阻率高时需阳极数最多	可通过为数不多的点达到保护
10	土壤电阻率测试点多	土壤电阻率测试点少
11	调试工作量大,投产调试费时间	只需测量电流和为数不多的电位管理
12	阳极为消耗性阳极,需定期更换	阳极不需要更换
13	建成后维护管理作业很少	建成后需固定岗位管理维护

3 牺牲阳极阴极保护的设计

下面就燕化公司供销部琉璃河至凤凰亭天然气管道(1 段)埋地管道的阴极保护设计实例,说明长输管道牺牲阳极阴极保护的设计方法。

该段管道为 Φ530 的埋地管道,防腐层为熔结环氧树脂粉末涂料。埋地管道长度约 20km,该段区域内土壤电阻率值大多在 25～40Ω·m 间,管道周围分布的干扰源少,管道设计年限 20 年。

由于管道的外防腐层为熔结环氧树脂粉末涂料,防腐层电阻较高,所需保护电流密度小,管道长度不大,土壤电阻率在 25～40Ω·m,属于中等腐蚀性环境,管道周围分布的干扰源少,因此我们在设计时采用牺牲阳极法。

根据《钢质管道及储罐防腐蚀工程设计规范》SYJ7 —84 及《管道防腐蚀手册》中阳极种类的选择(见表 3),我们选择镁铝锌锰系镁阳极。

虽然熔结环氧树脂粉末涂料为高电阻涂料,但在施工中容易破损形成漏点,并且考虑到随着阳极的消耗使阳极的接地电阻越来越大,因此为保证保护效果和保护年限,最小保护电流密度取 $I_s = 0.5 mA/m^2$。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3　牺牲阳极的种类

土壤电阻率Ω·m	推荐使用的牺牲阳极
>100	不宜采用牺牲阳极
60～100	高电位的纯镁系或镁锰系镁阳极
15～60	镁铝锌锰系镁阳极
<15	镁铝锌锰系镁阳极或锌合金阳极
<10(含 Cl^-)	锌合金或铝锌铟系合金阳极

3.1　计算公式

对牺牲阳极的计算公式很多,理论计算较为复杂并且与实际情况有一定的差距。本次设计中我们利用美国 HARCO 防腐公司的经验公式来计算。

(1)镁阳极的输出电流

$$I_{Mg} = 150000 \times f \times Y / \rho \quad (1)$$

式中　I_{Mg} ——镁阳极的输出电流,mA;

f ——重量修正系数;

Y ——电位修正系数;

ρ ——土壤电阻率,Ω·cm。

(2)阳极的使用年限

$$T = 0.85 \times W / (I_{Mg} \times g) \quad (2)$$

式中　T ——镁阳极工作寿命,a;

W ——镁阳极重量,kg;

I_{Mg} ——镁阳极输出电流,A;

g ——镁阳极实际消耗率,kg/A·a。

(3)确定阳极的数量

$$N = 2 \times I / I_{Mg} \quad (3)$$

式中　N ——所需镁阳极支数,支;

I ——所需总保护电流,A;

I_{Mg} ——镁阳极输出电流,A。

3.2　计算

镁阳极的输出电流:

先取 $f = 1$, $Y = 1$,则

$$I_{Mg} = 150000 \times f \times Y / \rho$$
$$= 150000 \times 1 \times 1 / 2500$$
$$= 60\text{mA}$$
$$= 0.06\text{A}$$

阳极的重量:

$$\because T = 0.85 \times W / (I_{Mg} \times g)$$
$$\therefore W = I_{Mg} \times g \times T / 0.85$$
$$= 0.06 \times 7.8 \times 20 / 0.85$$
$$= 11.01\text{kg}$$

若使用年限取 25 年,则:

$$W = I_{Mg} \times g \times T / 0.85$$
$$= 0.06 \times 7.8 \times 25 / 0.85$$
$$= 13.765\text{kg}$$

参照《镁合金牺牲阳极应用技术标准》SYJ19—86 的选取参考表及镁阳极的规格表(见表 4),取阳极重量 $W = 14$kg。根据阳极重量可以查得镁阳极输出电流计算中 f 及 Y 的取值偏差很小,故阳极输出电流 I_{mg}取 60mA。

表 4　选取镁阳极规格参考表

土壤电阻率Ω·m	腐蚀性简单判断	可选用的阳极规格
>100	腐蚀性很弱	2kg 或 4kg
50～100	腐蚀性弱	4kg 或 8kg
20～50	腐蚀性中等	8kg 或 11kg
10～20	腐蚀性强	11kg 或 14kg
<10	腐蚀性极强	14kg 或 22kg

取每组阳极保护管段长度 200m,所以:

$$I = I_s \times S$$
$$= 0.5 \times 3.14 \times 0.53 \times 200$$
$$= 166.42\text{mA}$$
$$= 0.16642\text{A}$$

则每组阳极需镁阳极支数为:

$$N = 2 \times I / I_{Mg}$$
$$= 2 \times 0.16642 / 0.06$$
$$\approx 5.55 \text{ 支}$$

(取 6 支)

第 1 段天然气输送管线长为 3000m,所以可以算出所需镁阳极组数:

$$n = 3000 / 200 = 15 \text{ 组}$$

共需镁阳极支数为:$15 \times 6 = 90$ 支。

沿管道走向,天然气管道与一条埋地原油长输管道、4 条通讯电缆有交叉,为排除这些杂散电流干扰源对天然气管道的影响,必须采取相应的接地排流措施。由于这 5 处杂散电流较小,使用牺牲阳极做接地体的直接排流法就可以满足,并且比较经济和易于施工。在这 5 处我们各安装一组两只 15kg 重的锌阳极来排除杂散电流的影响。

阳极的接地电阻越小,保护效果越好。阳极的接地电阻计算公式如下:

$$R_A = R / n\eta \quad (4)$$

式中　R_A ——阳极装置接地电阻,Ω;

R ——单支阳极接地电阻,Ω;

n ——阳极的支数;

η ——阳极的屏蔽系数。

屏蔽系数与阳极的支数及阳极间的距离有关,即

(下转第 9 页)

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

以第一、二种为例,三个铰链膨胀节分别为 A、B、C,左端膨胀量为 Δ_1,右端膨胀量为 Δ_2,可按下式求得三个铰链膨胀节的角位移:

$$Q_A = Q_B = \sin^{-1}\left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2L}\right)$$

$$Q_C = Q_A + Q_B$$

它们的角位移与刚度和中间摩擦支架无关,因此该管线为膨胀节补偿量确定管系。

4.2　纵横向尺寸均很大的膨胀节补偿量不确定管系及其膨胀节结构特性。

该类不确定管系如图 5 所示。

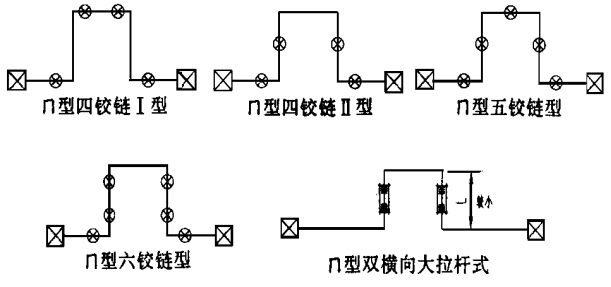


图 5　Π型管段膨胀节补偿不确定的管系

以上多于三铰的四、五、六铰链式均有应用,双横向大拉杆型也叫葫芦串型,其应用亦很多。无须证明,每个膨胀节的补偿量均与刚度、中间支架摩擦力大小有关,具有不确定性,因此都属于膨胀节补偿量不确定管系。化解方法如前所述,即大拉杆的补偿量限位按 EJMA 标准推荐,采用拉杆中间法兰与拉杆两档块间隙限位式,使管系变为膨胀节的最大位移(线位移或角位移)不超过其额定值的补偿量确定管系。

5　结束语

综上所述,一个管段设置多个或多种膨胀节后,看它是否是膨胀节补偿量确定管系,只要给某一膨胀节刚度一个最小值(一般是 - 50 %),计算其补偿变形是否发生明显改变,或在任两膨胀节间加一摩擦支架,计算其补偿变形是否发生明显改变,于是可以判断其管系在补偿元件上发生的补偿位移是否为确定值。对不确管系一定要在膨胀节上加上限制最大变形的结构,使管系转变为额定补偿量可确定的管系。尽管管系经过上述处理,但仍不如膨胀节补偿量确定管系好,因为设计的补偿量确定管系,膨胀节实际工作变形总是小于额定补偿量。而不确定管系转化后,总会有某一个膨胀节肯定会工作在额定补偿量外。所以这种设计应对膨胀节补偿量给出足够的裕度,以防止发生早期破坏。

以上分析供同行参考,希望对各种不确定管系的发展起到一些作用。

(收稿日期:1999 年 1 月 10 日)

(上接第 3 页)

与阳极的支数成反比,与阳极间的距离成正比。由公式(4)可以看出,阳极的屏蔽系数越大,阳极装置的接地电阻就越小。

由于每组多只镁(锌)阳极为并联,所以阳极间必然存在屏蔽作用。虽然美国 HARCO 防腐公司的经验公式中已考虑了屏蔽系数,但为将阳极之间的屏蔽作用减少到最小(屏蔽系数尽量大),应尽量使阳极间的距离更大。为使阳极的保护效果更好,设计中作如下处理:

镁阳极采用卧式径向埋设。镁阳极据管道外壁 3～5m,最小不得小于 0.3m;阳极之间距离 2～3m;考虑北京地区的最大冻土层为 0.8m,所以阳极埋深应保证阳极顶部距地面不小于 1m。

锌阳极采用卧式径向埋设。锌阳极据管道外壁 1m 左右,最大不大于 3m,最小不得小于 0.3m;阳极之间距离 2～3m;考虑北京地区的最大冻土层为 0.8m,所以阳极埋深应保证阳极顶部距地面不小于 1m。

阳极埋设好后用电缆与管道采用铝热剂焊接,接点用环氧树脂、玻璃丝布进行防腐绝缘处理;电缆和阳极钢芯采用铜焊或锡焊连接以保证阳极与管道良好的连接导电性。

每块牺牲阳极单装在棉布袋内,每袋填包料 50kg,以保证阳极的接地电阻较小。

镁合金牺牲阳极填包料的配比为:膨润土 50 %,硫酸镁 20 %,硫酸钠 15 %,石膏粉 15 %。

锌合金牺牲阳极填包料的配比为:膨润土 50 %,硫酸钠 10 %,石膏粉 40 %。

用这样的埋设方式可以使阳极做到分散,并安装在冻土层以下,接地电阻较小,可以达到更好的保护效果。

(收稿日期:1999 年 1 月 20 日)

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net