海底管道阴极保护设计及保护效果验证

张有慧[1] 陆长山[1] 刘福国[2]

(1. 海油工程股份有限公司设计公司海管部, 天津 300451; 2. 海油工程股份有限公司工程技术中心, 天津 300451)

摘 要: 本文简述了现阶段海底管道阴极保护设计的过程, 并结合JZ20-2MUQ平台至NW平台间海管阴极保护设计、电位检测/监测数据及相关科研分析, 来验证采用DNV-RP-F103进行的海管阴极保护设计的保护效果。

关键词: 阴极保护 实时监测 物模实验 数值计算

石油是目前世界上最重要的能源之一。随着海上油气田开发与生产的迅猛发展,海底输油管线的重要性也日益凸现出来。正是有了海底输油管线,海洋油田的整个油(气)集输、贮运系统便有机地联系起来。海洋是一个严酷的腐蚀环境,在油气田的开发生产中,以钢铁为主要结构的海上采油平台、油轮、海底管道和各种工艺设备随时都面临着腐蚀的危害,直接影响海洋钢结构和海底管道的使用寿命和安全。

一般情况下,金属腐蚀是不可避免的,阴极保护是防止或减缓钢结构腐蚀行之有效的方法,目前基本上所有的海上平台及海底管线均采用铝合金牺牲阳极阴极保护系统结合涂层的联合防腐蚀措施。

1 阴极保护设计

海底管道阴极保护设计的目的是要根据相关环境参数和工艺参数计算使用牺牲阳极的数量、阳极尺寸/重量、阳极间距。根据DNV-RP-F103(2003)进行设计,并且计算结果要经过阳极重量、末期保护电流、阳极间距等的校核,同时满足以上要求的情况下得到海底管道阴极保护的设计结果。

国内第一次采用DNV-RP-F103(2003)进行阴极保护设计的海底管道是JZ20-2MUQ平台至NW平台间的6寸,大约6公里的单层保温管。

根据DNV-RP-F103(2003)的阴极保护设计方案,其最大阳极间距为:

$$L=\frac{d\cdot(D-d)}{\delta r_{me}\cdot D\cdot f_{cf}^{'}\cdot i_{cm}}\left\{-\frac{2\cdot R_{af}\cdot I_{cf}(tot)}{L_{tot}}+\sqrt{\frac{4\cdot R_{af}^{2}\cdot I_{cf}^{2}(tot)}{L_{tot}^{2}}+\frac{2\cdot\delta r_{mc}\cdot i_{cm}\cdot f_{cf}^{'}\cdot D}{d(D-d)}}\times(E_{c}^{o}-E_{a}^{o})\right\}$$

=3890 m

该结果满足阳极重量、末期保护电流、阳极间距等的校核,两块阳极就足以保护该条海管(单个阳极重量为55.7Kg)。

2 海管电位检测/监测数据

为了对这条海管的阴极保护情况进行实时监测,先后三次到JZ20-2MUQ平台和NW平台进行调研和安装海管阴极保护电位采集器,以获取第一手的保护电位数据;并且对绝缘法兰两端电位及绝缘法兰的绝缘电阻值进行了测量。

2.1 海管NW端电位检测数据

NW平台端检测数据如表1:

2.2 海管MUQ端电位检测数据

MUQ平台端检测数据如表2:

比较以上三次检测结果可以看出,电位采集器采集的电位差跟手动测量的数据之差基本相符。

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

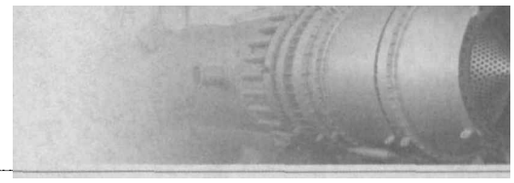


表 1　　NW 平台端检测数据

	位置	电位检测数据(V)			绝缘法兰电阻数据(Ω)			电位监测数据(mV)		
第一次	海管	-1.043	-1.043	-1.043	153.8	153.5	153.8			
	平台	-0.993	-0.993	-0.992						
第二次	海管	-1.044	-1.042	-1.042	147.0	149.0	148.0	-60.6	-60.6	-60.8
	平台	-0.983	-0.984	-0.983						
第三次	海管	-1.021	-1.021	-1.021	113.6	117.5	113.4	-39.0	-38.5	-38.8
	平台	-0.984	-0.984	-0.984						

表 2　　MUQ 平台端检测数据

	位置	电位检测数据(V)			绝缘法兰电阻数据(Ω)			电位监测数据(mV)		
第一次	海管	-0.984	-0.984	-0.984	10.5	10.5	10.6			
	平台	-0.980	-0.980	-0.980						
第二次	海管	-0.984	-0.984	-0.984	13.5	13.6	13.8	-3.8	-3.8	-3.9
	平台	-0.980	-0.980	-0.980						
第三次	海管	-0.953	-0.955	-0.956	12.8	13.1	13.5	-4.3	-4.7	-4.6
	平台	-0.948	-0.947	-0.946						

NW 端绝缘法兰的绝缘性良好，情况正常；电位数据与设计数据基本一致，电位比较稳定，海管能很好的受到牺牲阳极的保护。

MUQ 平台电位与海管电位之差只有 4mV，电位基本相同，台及立管的电位缓慢正移，虽然海管还能受到牺牲阳极的保护，但绝缘法兰的绝缘性较差，海管上的阴极将会很快被平台消耗掉。

3 JZ20-2MUQ 至 NW 海管阴极保护的物模实验

海油工程公司与中国海洋大学合作，根据在 MUQ 平台和 NW 平台上的实地检测数据，在 4000 × 500 × 500mmPVC 水槽中设计了 6000m 海管的物理模型实验，设计参数为：

试样钢丝（Q235B）Φ =2.4mm，L=5000mm；两只 Φ_{in}=4mm, Φ_{ou}=8mm, L=10mm 的铝阳极分别置于钢丝两端垂直段下方，并通过电阻控制其工作电位分别为 -1045mV 和 -965mV；海水电导率 3.26mS/cm。

实测结果如图 1 所示：

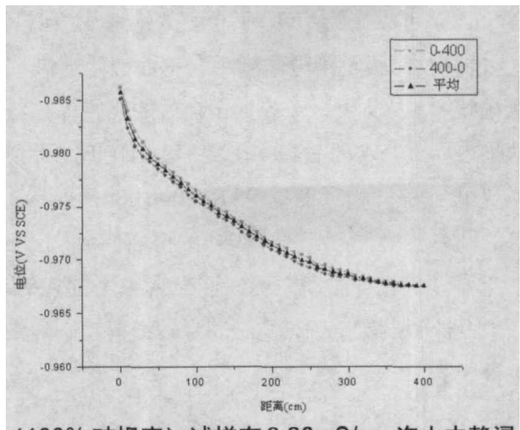


图 1　裸钢（100% 破损率）试样在 3.26mS/cm 海水中静浸 10 天后的电位分布图

由此得出，当海管破损率≤ 1%（相当于 500 ohm · m^2）时海管处于良好的阴极保护状态。

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

4 JZ20-2MUQ至NW海管阴极保护数值计算

以现场实测MUQ平台和NW平台从其立管不同深度的电位值作为边界条件进行数值计算，所取计算参数为：

海管长L=6000km，外径d=0.168m，壁厚δ=0.011m，海水电阻率ρ=0.38 Ω·m，海水深h1=25m，泥深h2=10m，计算宽度600m（相当于计算圆柱体等效直径150m），海管一端电位-0.965V(vs. CSE)，另一端-1.045V(vs. CSE)，立管管段长20m。金属电阻率$\rho_t=2.0\times10^{-7}$ Ω·m。

由此所得计算结果如图2所示：

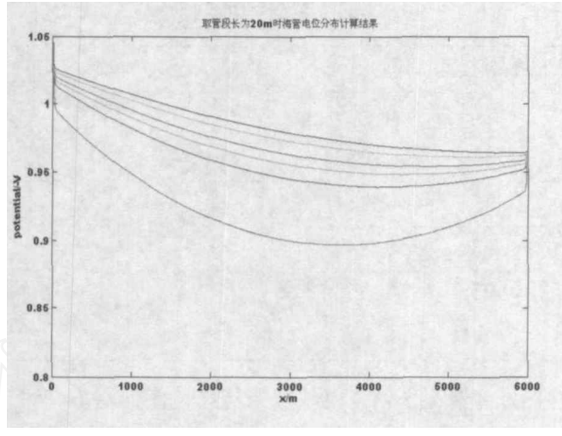


图2 海管表观电阻率（由下至上）分别为100、200、400、500、600、800ohm·m²时海管的电位分布图

由此可见，数值计算结果与物模实验结果基本一致，当海管破损率≤2%（相当于250 ohm·m²）时，海管基本得到有效的阴极保护。

5 分析讨论

（1）根据三次现场测量结果得知，NW平台上的绝缘法兰情况良好，绝缘电阻大于100 Ω，立管电位比平台电位负40mV左右，情况基本正常。MUQ平台上的绝缘法兰情况不良，绝缘电阻仅为12 Ω左右，导致立管电位比平台电位仅仅负几个毫伏，因此建议对MUQ平台上的绝缘法兰进行检测整改。

（2）根据三次现场测量结果得知，NW平台及其立管的电位在-1000mV左右，处于理想阴极保护状态。但MUQ平台及其立管平均电位约-945mV。可以认为MUQ平台上的绝缘法兰因其绝缘不良（或者平台与立管之间存在其他金属接触）使得立管上的牺牲阳极电流分配到平台上而消耗过快，并造成立管电位缓慢正移。

（3）物模实验结果表明，当海管破损率≤1%时，海管处于良好的阴极保护状态。有限元法数值计算结果与物模实验结果基本一致，计算结果表明，当海管破损率≤2%时海管仍能得到有效的阴极保护。

（4）采用DNV-RP-F103（2003）为设计标准相对于DNV-RP-B401的优点有：减少阳极投入，加快铺管速度和减少混凝土配重层断裂、脱落的几率，增加海管正常工作的可靠性。

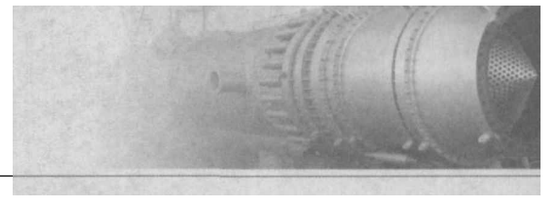
（5）因海管和导管架的阴极保护都是独立设计，所以要保证绝缘法兰的绝缘效果。

（6）破损率是影响到海管阴极保护设计的最敏感因素之一，将破损率控制到最小值是减小阴极保护系统的投入和确保海底管线安全运行的关键因素。

6 结论

中国海洋大学按照锦州20-2油气田MUQ平台到NW平台所使用的海底输油管线--单层保温管结构形式、

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



设置状况和实用环境进行了阴极保护模拟实验、海底管线阴极保护时电流/点位（场）分布理论计算和单层保温管阴极保护三维有限元/边界元数值计算，计算结果如表3：

表3　　计算结果

计算方法	计算结果（m）
模拟试验	2948
三维有限元	2500
三维边界元	3000
DNV-RP-F103 公式 17	3890

以上数据结合对该海管电位进行电位检测和实时监测的数据可知，JZ20-2 油气田 MUQ 平台到 NW 平台间的海管根据 DNV-RP-F103（2003）进行海管阴极保护设计是合理有效的。

参考文献

[1] 王庆璋,杜敏,海洋腐蚀与防护技术[M],青岛海洋大学出版社,青岛,2001.6
[2] DNV-RP-F103：Cathodic Protection of Submarine Pipelines by Galvanic Anodes，2003
[3] 翁永基,阴极保护设计中的模型研究及其应用,腐蚀科学与防护技术[J],1999(11),2:99～111.

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