

海洋平台的阴极保护

李妍 刘忠斌

(海洋石油工程股份有限公司设计分公司)

摘 要

本文介绍了海洋平台阴极保护的概论、原理及种类,着重叙述牺牲阳极保护系统在海洋平台上的应用,给出适用于各种不同海水及海泥环境中的牺牲阳极的成分,同时提出牺牲阳极优化设计的建议。

关键词: 阴极保护; 牺牲阳极; Al-Zn-In 合金阳极

(一) 前 言

建造海洋平台意味着巨大投资,平台置于广阔的海洋中,承受着海水的侵蚀。目前,海洋平台所处海域越来越深,海洋平台越来越大,结构越来越复杂,投资也越来越高。为经济地开发油气,给工作及生活提供安全保障,对平台进行腐蚀控制势在必行。阴极保护是防止钢结构被海水腐蚀的一种重要方法,可以有效地增长海洋平台的寿命。阴极保护对海洋平台的保护效果,已为许多实践所证明。考虑到水下防腐层的耐久性和维修涂层的难度,以及通过经济上的对比,现在建造的海上平台,全浸区的结构绝大多数都不采用防腐层保护,钢桩也不用防腐层,而仅依靠阴极保护来防止腐蚀破坏。阴极保护不但能抑制钢材的普遍腐蚀,而且如果电位控制得当,可以使钢材的疲劳值趋近于空气中。对于像节点这样的高应力部位和焊接热影响区,阴极保护能够防止可能促成疲劳裂纹的点蚀。阴极保护所产生的石灰质层可以添塞疲劳裂纹,降低裂纹的生长速度。

(二) 阴极保护原理及种类

关于阴极保护原理,存在着若干种不同的解释,如 HOAR, MEANS 和 BROWN 的使金属电位降低到最活泼的阳极点的开路电位理论;如 EVANS 的在极化表面上生成碱并形成有效保护膜理论;前苏联学者托马晓夫的三电极模型理论等等^[1]。简言之,当金属最初浸入海水这种电解质中时,由于金属表面成分不均一或其他方面差异而在金属表面上产生许多局部的阳极区和阴极区,形成了腐蚀电池,阳极不断溶解而使金属遭到腐蚀。施加阴极保护,即在腐蚀电池上接上辅助阳极,这样使原金属表面全部作为阴极,只要施加的电流足够大,原金属表面(不论阳极区还是阴极区)就不再溶解,因而得到保护,这就是阴极保护的原理。

阴极保护分为外加电流系统和牺牲阳极系统两类,海洋平台阴极保护,既可采用外加电流系统,也可采用牺牲阳极系统,甚至可以两类联合使用。两者各有其优缺点。牺牲阳极系统的优点:性能可靠;寿命长;阳极形状及尺寸可任意调整;后期维护量小;缺点:驱动电压有限(仅限于-0.9V~-1.5V);限于低电阻率的环境中;电流输出小。外加电流系统优点:输出电压及电流可调;寿命长;阳极形状及尺寸可随意调整;缺点:需要能源或燃料供应;导线的安装失误可能导致部分或整个系统的失灵;后期维护量大。^[2]

现在大多数海上石油平台都使用牺牲阳极系统,但这并不意味着外加电流系统已不适用于海洋平台的防护。究竟选用那种类型阴极保护,要综合考虑各种因素,论证后决定。本文着重论述牺牲阳极系统。

(三) 牺牲阳极的种类

按照材料来分，牺牲阳极可分为三大类：镁阳极、锌阳极和铝阳极。

镁阳极的特点是比重小，电位很负，对铁的驱动电压大，但电流效率低，溶解速度快，寿命短。镁阳极广泛用于土壤及淡水环境中金属设施的保护，因为镁的腐蚀产物无毒，因此也用于热水槽及饮水设备的内保护。镁阳极对铁的驱动电压大，所以镁阳极容易破坏其附近的涂层。另外镁阳极与钢铁碰撞会产生火花，并且其溶解时有氢气析出，因此油轮内严禁使用镁阳极。

锌阳极溶解性能好，电流效率高，保护效果可靠。因其容易制造，价格合理而得到了广泛应用。锌阳极尤其适用于油轮舱内，因为它与钢结构碰撞不产生火花。但使用锌阳极时，要注意环境介质温度，因为当温度超过 55℃ 时，阳极表面覆盖层的结构发生改变，从氢氧化锌改变为氧化锌，后者有电子导电性，因而锌阳极的电位将随温度升高而变得更正一些，甚至比铁的保护电位还要正。在这种情况下，发生极性的转变，即锌或锌合金成为电偶中的阴极，这时不仅不能起到保护钢铁的作用，反而会加快钢铁的腐蚀。^[1]

铝阳极的特点是（1）理论发生电量，可达 2970A·h/kg，是锌的 3.6 倍，镁的 1.35 倍，因此铝阳极的价格是相对最便宜的。而且铝阳极更适合于制造长寿命阳极。（2）在海水及含氯离子的介质中，铝阳极性能良好，电位保持在 -0.95~-1.10V (SCE)，保护钢结构时有自动调节电流和电位的作用。（3）铝的来源充足，纯度高于 99.75% 即可作为制造牺牲阳极的原料。（4）密度小，阳极安装方便。

(四) 海洋平台用牺牲阳极

鉴于海洋平台所处的介质环境及其必需长寿命牺牲阳极的特点，铝阳极成为保护海洋平台钢结构的首选。目前国内应用最为广泛的铝阳极为 Al-Zn-In 系列，在铝中同时加入锌和铟，可使合金有良好的电化学性能，因为它们对铝的活化产生有利的影响。其中 Al-Zn-In-Cd 合金阳极因其在海水中极化率小，电位稳定，电流效率可达 85%，表面溶解均匀，腐蚀产物可自行脱落等优点而广泛地应用于海水中；在海底淤泥、热盐水及电阻率较高的淡盐水中，常使用 Al-Zn-In-Si 合金阳极，如它可用来保护海湾及河口的钢结构及换热器等。在不同温度的海泥中，使用 Al-Zn-In-Si 合金阳极的具体成分可参照下表。^[3]

阳极成分与适用环境温度关系表

	铟	锌	硅	铁	铜	铝
常温海泥	0.014-0.020	3.5-6.5	0.08-0.20	< 0.12	0.003-0.004	余量
冷海泥	0.018-0.023	5.0-6.5	0.08-0.11	<0.070	0.003-0.004	余量

注：常温海泥温度范围指 12-40℃；冷海泥温度范围指 10-12℃

随着海洋石油业的蓬勃发展，海洋平台逐步走向深水海域。深海与浅海的环境条件有所差异，因此在阴极保护设计上也应有所不同。调查结果显示，影响深水阴极保护设计的环境因素有海水的氧溶解度、温度、盐度、PH 值、海水流速等，其中温度与 PH 值的影响最为显著，原因是这两种因素影响到钙沉淀物的沉积。在深水中，钙产物膜不够稳定，因此阴极保护设计电位要高一些，以使结构充分极化。另一方面，在对深水结构进行阴极保护时，牺牲阳极材料的选择也是一个非常重要的因素，有学者建议仍使用 Al-Zn-In 系合金阳极，但将牺牲阳极中锌的含量由 3% 提高到 5%。^[4]

(五) 建 议

海洋平台刚下水时, 阴极保护处于初期极化阶段。该阶段需要牺牲阳极提供很大的电流, 尤其是在深海或冷海水环境中, 所需初期极化电流更大, 而进入平稳期后, 所需要的维持电流会大大降低。一般而言, 初期极化所需电流是维持电流的 3~5 倍。鉴于阴极保护的这种动态过程, 建议对牺牲阳极设计进行如下优化: 方法一, 考虑使用双金属复合型牺牲阳极^[4], 如镁铝复合阳极, 即牺牲阳极的主体部分由镁和铝两种金属组成, 如下图, 内部为铝, 在铝金属外部复合一层镁金属, 利用镁的高驱动电位来尽快完成初期极化; 方法二, 采用大小两种形式牺牲阳极^[5], 初期利用小阳极的大表面积来促进初期极化的尽快完成, 这样可以尽快形成致密的腐蚀产物保护膜, 从而适当降低保护电流密度, 减少牺牲阳极的用量, 利于施工并降低工程造价。



ANODE STRUCTURE

参 考 文 献

- [1] 火时中, 电化学保护, 化学工业出版社, 1988
- [2] Steve Nikolakakos, Cathodic protection system design for steel pilings of a wharf structure, ASTM STP 1370, 1999
- [3] Charles F. Schrieber, Relationship of chemical components and impurities of aluminum galvanic anodes upon the cathodic protection of marine structure, ASTM STP 1370, 1999
- [4] Cathodic protection requirements for deepwater system, ASTM STP 1370, 1999
- [5] 常炜, 海上平台阴极保护设计优化, 九八三新三化成果论文汇编, 1998

The Cathodic Protection of Offshore Platform

LI Yan LIU Zhong-bin
(Structure Department of COOEC)

Abstract

The general situation, principle and types of cathodic protection on offshore platform were introduced in this paper, the emphasis was on the application of galvanic anode system on the offshore platform. Different types anodes were given out for different seawater/seamud condition and an optimized design method of anode was specified.

作 者 简 介

李妍 女, 1973 年生, 工学硕士。原于天津大学任教师, 现在海洋石油工程股份有限公司设计分公司从事防腐工作。
刘忠斌 男, 1954 年生, 高级工程师。