

ICS 75.180.10  
E 92  
备案号: 7886—2001

**SY**

中华人民共和国海洋石油天然气行业标准

SY/T 10008—2000

idt NACE RP0176:1994

---

**海上固定式钢质石油  
生产平台的腐蚀控制**

**Corrosion control of steel fixed offshore platforms  
associated with petroleum production**

**2000-11-24 发布**

**2001-05-01 实施**

国家石油和化学工业局 发 布

## 目 次

前 言 .....	IV
政策性声明 .....	V
NACE 前言 .....	VI
第 1 章 概述 .....	1
第 2 章 定义 .....	2
第 3 章 腐蚀控制的结构设计 .....	4
第 4 章 阴极保护准则 .....	6
第 5 章 阴极保护系统的设计 .....	10
第 6 章 阴极保护系统的安装 .....	16
第 7 章 干扰电流的控制 .....	18
第 8 章 绝缘屏蔽层 .....	19
第 9 章 阴极保护系统的运行和维护 .....	20
第 10 章 飞溅区腐蚀控制措施 .....	21
第 11 章 飞溅区腐蚀控制的维护措施 .....	23
第 12 章 表面处理 .....	24
第 13 章 涂层 .....	26
第 14 章 涂层检验 .....	31
第 15 章 腐蚀控制记录 .....	33
附录 A (标准的附录) 海上石油生产典型设计参数 .....	35
附录 B (标准的附录) 用于海上平台阴极保护的各种工业用牺牲阳极的电容量与消耗率 .....	37
附录 C (标准的附录) 用于海上平台阴极保护的各种工业用外加电流阳极在海水中的消耗率 .....	38
附录 D (标准的附录) 牺牲阳极输出电流的典型计算方法 .....	39

## 前 言

为适应海上油气资源开发生产的发展，等同采用美国腐蚀工程师学会(NACE)的标准《海上固定式钢质石油生产平台的腐蚀控制》1994 年版(NACE RP 0176 Corrosion Control of Steel Fixed Offshore Platforms Associated with Petroleum Production, 1994)，对原有的 SY/T 10008—1996《海上钢质固定式石油生产平台的腐蚀控制》进行修订，作为新的中华人民共和国海洋石油天然气行业标准。新版标准集中反映了导管架阴极保护方面在近年来的发展与进步，在术语定义及文字描述上更准确、简练，在内容及格式方面都进行了较大的修改。小的删改贯穿于标准全文，重要的修改主要包括以下几个方面：

- 增加了有关深水导管架阴极保护系统设计的内容；
- 增加了 3 种飞溅区的保护方法；
- 增加了热喷铝防腐涂层；
- 对阴极保护系统设计准则做了重大修改。

本标准在海洋石油天然气开发工程设计、建造的使用中，如遇到涉及原标准所在国政府或其他主管当局的法律、法规和规定时，一律按中华人民共和国政府或政府主管部门颁布的相应法令、法规和规定执行。

原标准中关于风、浪、流、冰、温度、地震等环境条件数据或定量计算方法，凡符合我国实际的均可参照使用；否则应使用经过权威机构认可的、符合我国环境条件实际的数据或定量计算方法。

本标准的计量单位均以国家已颁布的法定计量单位为准，即在本标准中表述形式为：法定计量单位在前，将英制单位的相应值标在其后的括号内。

为不改变原标准中公式、曲线的形状特征、常数和参数，本标准在公式和图中仍沿用原标准的英制单位。

本标准从实施之日起，同时代替 SY/T 10008—1996。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D 都是标准的附录。

本标准由中国海洋石油总公司提出并归口。

本标准起草单位：中国海洋石油总公司海洋工程设计公司。

本标准主要起草人：常 炜、栗艳侠、张淑珍。

本标准主审人：郑国安。

本标准于 1996 年 8 月首次发布，本次为第 1 次修订。

## 政策性声明

海洋石油天然气行业标准出版物仅针对一般性质问题。涉及特定情况时，应查阅国家和地方的法律和法规。

海洋石油天然气行业标准出版物不承担对用户、制造商或供应商为他们雇员和其他现场作业者提供关于健康、安全及危害预防的预先通知和培训，也不承担他们在国家及地方法规下的任何责任。

任何海洋石油天然气行业标准出版物的内容不能被以含蓄的或其他方式解释为授予任何权利去制造、销售或使用涉及专利权的任何方法、设备或产品，也不为任何侵犯专利权的人承担责任。

通常，海洋石油天然气行业标准至少每五年进行一次复审、修订，或重新认定或撤销。有时，这个复审周期可延长一年，最多不超过两年。因此，出版物从出版之日起，其有效期不超过五年，除非被授权延长有效期。出版物的情况可从海洋石油天然气行业标准化技术委员会秘书处（电话 010-84522236，通信地址为北京 235 信箱中海石油研究中心开发设计院标准化室，邮编 101149）或海洋石油天然气行业标准化技术委员会（电话 010-84522673，通信地址为北京市朝阳区东三环北路甲 2 号京信大厦 25 层中国海洋石油总公司科技办公室，邮编 100027）查明。

发布海洋石油天然气行业标准是为了推广已经被验证的、良好的工程技术和操作作法，它无意排除应正确判断在何时何处应用这些技术和作法的必要性。

海洋石油天然气行业标准的制定和出版无意以任何方式限制任何人采用任何其他技术和作法。

本标准可供任何愿意采用的人使用。海洋石油天然气行业标准化技术委员会及其标准的授权发布单位已做了不懈的努力，以保证其中所含的数据的准确性和可靠性。但是，海洋石油天然气行业标准化技术委员会及其标准的授权发布单位对其所出版标准不作代理、担保或保证，并特此明确表示，对因使用这些标准而造成的损失或损坏，对于使用可能与任何国家与地方的法规有矛盾的标准，以及由于使用这些标准而侵犯任何专利权所引起的后果，海洋石油天然气行业标准化技术委员会及其标准的授权发布单位均不承担任何义务和责任。

## NACE 前 言

建造海上平台意味着巨大的投资。平台置于广阔的海洋中，其设计应能够承受飓风、极地风暴、潮流、地震以及大浮冰的冲击。而且，目前平台建造的海域水深越来越深，因此平台设计得越来越大，越来越复杂，投资也越来越高。为了经济地开发油气，给工作与生活提供安全保障，避免对环境的潜在危害，有必要对平台进行腐蚀控制。

本 NACE 标准为海上固定式钢质石油生产平台提供了腐蚀控制所需的材料、作法和程序，其目的是通过提供可靠的资料以便于更有效地保护平台。海上平台的腐蚀可分为三个主要区域：全浸区、飞溅区和大气区。全浸区还包括位于泥线下的部分。本标准不包括平台上所用的油井、配管和有关设备的内腐蚀控制方法，但包括了这些设施暴露于平台大气区的外腐蚀控制方法。

海底管道及立管的推荐作法见 NACE Standard RP0675 《海洋钢质管道的腐蚀控制》（最新版本），这方面的内容不包括在本标准中。

本标准的初版由北海腐蚀问题 T-1-2 工作小组在 1976 年发布，并于 1983 年进行了修改。NACE RP 0176 1994 年修改版由 T-1-5 工作小组准备，在石油生产腐蚀控制 T-1 小组委员会主办下由美国工程师协会发布。

海上固定式钢质石油  
生产平台的腐蚀控制

SY/T 10008—2000

代替 SY/T 10008—1996

Corrosion control of steel fixed offshore platforms    idt NACE RP 0176: 1994  
associated with petroleum production

---

第1章 概 述

1.1 本标准确定为海上固定式钢质石油生产平台及有关的油气处理设备外部的腐蚀控制所需的最低要求提供了指南。本标准中对平台的腐蚀控制分为三个区域：全浸区、飞溅区和大气区，各区分别论述。

1.2 由于环境条件的复杂性，本标准没有提供针对每个特殊情况的指南。在许多情况下，同一问题可能会有几种不同的解决方法，而其中包含了一些适当的、有价值的解决方法。

1.3 本标准不包括附属于平台或建于平台上的油井、配管和有关设备的内腐蚀控制指南。

1.4 本标准包括了飞溅区以上附属管道的外腐蚀控制。当管道与平台的拥有者不同时，平台的拥有者对管道的责任通常终止于某一指定点，或平台上的阀门处。

1.5 本标准中提出的目标可以通过不同的方法来达到，不过选择方式仅在在有资格的腐蚀控制专家认可并已达到本标准中指出的目标时方可采用。

1.6 本标准分为以下几部分：

第1章 概述

第2章 定义

第3章 腐蚀控制的结构设计

第4章 阴极保护准则

第5章 阴极保护系统的设计

第6章 阴极保护系统的安装

第7章 干扰电流的控制

第8章 绝缘屏蔽层

第9章 阴极保护系统的运行和维护

第10章 飞溅区腐蚀控制措施

第11章 飞溅区腐蚀控制的维护措施

第12章 表面处理

第13章 涂层

第14章 涂层检验

第15章 腐蚀控制记录

## 第2章 定 义

粗糙度(anchor pattern)——钢表面经高速喷砂处理后产生的不规则凹凸。

阳极(anode)——电化学电池中发生氧化反应的电极。在外电路中,电子从阳极流出。阳极上通常发生腐蚀且有金属离子进入溶液中。

大气区(atmospheric zone)——飞溅区以上暴露于阳光、风、水雾及雨中的平台部分。

钙质膜或沉积物(calcareous coating or deposit)——由于受到阴极保护的表面附近的pH值升高,而在被保护表面沉积出的含碳酸钙和其他盐的膜。

阴极(cathode)——电化学电池中主要发生还原反应的电极。在外电路中,电子流向阴极。

阴极剥离(cathodic disbondment)——阴极反应产物导致涂层与被涂覆表面之间丧失粘接力。

阴极保护(cathodic protection)——为了降低金属表面的腐蚀速度而采用的一种使该金属作为电化学电池阴极的技术。

粉化(chalk)——对涂层而言,通常是由于暴露在紫外线下,涂层粘接力丧失而导致颜料从漆膜中析出。控制粉化可以保证漆膜表面的净化,从而为重新施加涂层保持良好的表面。

腐蚀(corrosion)——指材料,通常是金属与其周围环境发生反应而损坏。

防腐蚀专家(corrosion specialist)——利用其所受教育和(或)经验有资格来评价和解决与材料腐蚀有关问题的人。本标准中规定的腐蚀专家是指有资格控制海洋环境腐蚀的人。

交联(crosslink)——使涂层分子结构中连接两链并改变涂层最终状态的化学反应结果。

电流(current)——正电荷流动方向上电荷载体的流动速率(金属导体中与电子的流向相反)。

电流密度(current density)——单位面积的电极表面上流入或流出的电流。

去极化(dipolarization)——去除电化学电池中阻碍电流流动的因素。

绝缘屏蔽层(dielectric shield)——指在阴极保护系统中置于阳极与邻近阴极之间的非导电材料,如涂层、绝缘片或管子,通常置在阴极上。这些非导电材料可改善电流分布。

加强板(doubler plate)——为提高额外强度,在阳极与平台连接处附加的一块钢板或增加钢材壁厚。

电绝缘(electrical isolation)——指与其他金属构件或环境电隔绝的状态。

电解质(electrolyte)——含有能在电场中迁移运动的离子的化学物质或混合物。

环氧(epoxy)——由双酚和环氧氯丙烷反应而形成的一类树脂。

无关结构(foreign structure)——与阴极保护系统无关的任何金属结构。

牺牲阳极(galvanic anode)——指一种金属,当它与另一种电位较正的金属在电解质中连接时,可以为其牺牲而提供保护。此类阳极是阴极保护的一种电流源。

漏点(holiday)——指防腐涂层的间断处,其未保护表面暴露于环境中。

外加电流(impressed current)——指由某个装置提供的电流,该装置将外部电流输送到电极系统(譬如阴极保护中的直流电流)。

干扰电流(杂散电流)[interference current (stray current)]——指不通过指定回路的电流。本标准中干扰电流是指电流自结构件流向电解质,(1)它可能不在指定回路上;(2)抑或在指定回路上但未与电流源完全连通。

无机富锌涂料(inorganic zinc-rich paint)——指在无机载体中含有锌粉颜料的涂料。分散良好的无机锌颜料与所选择的固化物质相结合,固化物质有水基和溶剂基两种,可与金属基体形成化学键合与机械结合。自固化富锌涂料在涂覆后无需再处理便可达到完全固化的状态。后固化富锌涂料在涂覆后需立即涂覆酸基涂料,完成漆膜的固化反应。

“J”型管(“J” tube)——设计和安装在平台上以支撑或引导一根或多根管道立管或电缆的弯管。

轧制鳞片(mill scale)——在金属热轧或热处理过程中形成的氧化皮。

泥线(mudline)——特定区域的海底面。

管道(pipeline)——在平台与平台之间或平台与岸上处理设施之间输送产出的油、水和气的管子。

平台(platform)——一种海上结构物,该结构物中可容纳油和(或)气井以及有关的生产设施、配管和(或)生活模块。

极化(polarization)——由于电流通过电极/电解质界面引起电位偏离开路电位的变化。

聚合反应(polymerization)——许多小的化学单位聚结成大大化学单位的过程,由此产生的集合体称为聚合物。

底漆(primer)——施加于未涂覆表面的第一层涂层材料。该涂层与被涂覆表面有特别好的结合力,并能随后涂覆提供适宜的表面。

参比电极(reference electrode)——一种在类似于测量条件下其开路电位恒定的电极,它被用来测量其他电极的相对电位。

树脂(resin)——一般类属于广义的塑料或聚合物材料,并且用作涂料粘结剂时具有稳定性。“树脂”这一术语通常用其他词修饰以表示其种类,例如醇酸树脂、乙烯基树脂、酯类树脂或环氧树脂。

立管(riser)——自海底向上延伸至平台的管道部分。

银/氯化银电极(silver/silver chloride electrode)——指用海水作为电解质的参比电极,例如 Ag/AgCl/海水电极。

飞溅区(splash zone)——由于潮汐、风和波浪的影响所致,平台干湿交替的部分,但不包括大风暴浸湿的表面。

结构—电解质电位(structure-electrolyte potential)——埋设或全浸的金属结构与接触电解质的参比电极之间的电位差。

全浸区(submerged zone)——从飞溅区向下,包括泥线以下的平台部分。

稀释剂(thinner)——一种用于降低涂料粘度的易挥发性溶剂。

热塑材料(thermoplastic)——具有反复加热软化、冷却硬化性能的材料。

热固材料(thermosetting)——在加热、压力、催化和紫外线作用下,经过化学反应而成为比较难熔状态的材料。

粘结层(tie coat)——具有特定功能的中间涂层,通常指有机涂层。它作为底漆与面漆的过渡涂层,以克服底漆与面漆之间的不相容性或实用上的困难。

氨基甲酸酯(urethane)——一种化学固化涂料,其中所含乙烯溶液、乙烯基丙烯酸溶液或丙烯酸溶液,与异氰酸盐反应而形成一种坚韧、耐久、光滑的涂层。

阀门外延杆(valve reach rod)——指阀门伸长操作柄,它可使平台上部的操作人员开启或关闭靠近平台底部的压载阀。

丙烯酸乙烯树脂(vinyl acrylic)——用溶解的丙烯酸树脂改性的乙烯树脂。

乙烯基涂料(vinyl coatings)——指溶解在溶剂中的乙烯树脂。乙烯基溶液涂层可以风干或烘干。

电压(voltage)——用伏特或毫伏表示的电动势或电极电位差。

电压降(voltage drop)——按照欧姆定律所得载流电阻两端的电压。

清洗底漆(wash primer)——一种稀的缓蚀底漆,通常含有铬酸盐类颜料与聚乙烯丁酸酯粘合剂。

防腐蚀板(wear plate)——一种设置在平台飞溅区部位的牺牲性部件,以防止冰和(或)高速含泥沙水对平台可能造成的腐蚀和(或)磨蚀。



### 第3章 腐蚀控制的结构设计

#### 3.1 引言

**3.1.1** 本章推荐了简化海上平台大气区、飞溅区和全浸区钢结构的腐蚀控制设计作法。为使平台能承受动态荷载和静态荷载所需考虑的结构设计参数应属土木工程师和结构工程师的职责范畴,故未包含在本标准中。

#### 3.2 飞溅区

**3.2.1** 平台飞溅区是指由于受潮汐、风和波浪的影响,平台干湿交替的区域,但不包括只在大风暴雨时才被打湿的表面。在墨西哥湾,典型的飞溅区大约为2m (6 ft);在阿拉斯加的库克湾达到9m (30 ft);在北海,冬季的风暴可使飞溅区达到10m (33 ft)。

**3.2.2** 在平台结构设计中应减少钢在飞溅区的表面积,在飞溅区应避免采用“T”型、“K”型或“Y”型交叉的节点。

**3.2.3** 飞溅区控制腐蚀的方法见第10章。

**3.2.4** 采用焊接套管或厚壁护管来增加足够的壁厚[在墨西哥湾,一般壁厚增加13~19mm(0.5~0.75in)],以补偿平台在使用寿命期间飞溅区的腐蚀。钢质防磨蚀板可足以防止作业船舶或冰的损害。

**3.2.5** 在平台安装后需要拆除的穿越飞溅区的管道等部件,应与平台构件夹固好而不要焊接。

#### 3.3 大气区

**3.3.1** 大气区是指平台飞溅区以上的部分,该区域暴露于阳光、风、雾和雨中。

**3.3.2** 控制大气区腐蚀常用保护涂层系统(见第12章和第13章)。采取下述措施可减少需要涂覆的钢表面积,并易于施工。

**3.3.2.1** 用管形构件代替其他形状的构件。

**3.3.2.2** 金属构件组合在一起时采用密封焊接和绕焊。

**3.3.2.3** 避免跳焊。

**3.3.2.4** 避免紧配合面和搭接面。

**3.3.2.5** 设置系统环板,为搭置脚手架和涂层维修提供方便。

**3.3.3** 有色金属和非金属材料可减小大气腐蚀问题。例如,生活模块和救生艇可使用铝和复合材料,如玻璃强化聚酯(GRP)。其他类型的耐腐蚀材料可以做成扶手、电缆护管、梯子和较少行走处的甲板。在使用不同金属材料时,必须注意防止活泼金属的电偶腐蚀。复合材料如GRP在要求耐腐蚀和(或)减轻重量的地方可用来代替金属材料。使用这些材料应考虑安全因素。

**3.3.4** 钻井液对保护涂层和有色金属(如铝和锌)有破坏作用,因此,为减小钻井液对涂层的破坏和污染,应采用实心板、防溅墙及良好的排放系统。

#### 3.4 全浸区——外部

**3.4.1** 全浸区是指从飞溅区向下包括泥线以下的区域。全浸区的外部腐蚀控制可用阴极保护或阴极保护加涂层来实现。推荐采用如下设计,以简化实施有效的阴极保护。

**3.4.1.1** 尽可能使用圆管构件。槽钢或工字钢的死角很难保护,并且背对背的槽钢或角钢形成的缝隙不可能得到有效的保护,因此,不应采用这类结构形式。

**3.4.1.2** 当疲劳和腐蚀疲劳是结构设计中的重要因素时,对此情况下安装的平台,应消除焊接应力,以降低热影响区(HAZ)可能出现的腐蚀并减小裂纹出现的可能性。这一点在极化进程较慢的冷水环境中特别重要,见SY/T 4802<sup>1)</sup>。

1) SY/T 4802(最新版本)《海上固定式平台的规划、设计和建造的推荐作法》。

**3.4.1.3** 焊缝应当连续, 不应使用跳焊或点焊。如果使用搭接焊, 则两边均应焊接。应当避免使用螺栓和铆钉。

**3.4.1.4** 实际应用中, 压载控制阀外延杆应设计成当在平台就位以后, 可将其移除。如果留在那里, 它们可能会屏蔽邻近受阴极电流保护的金属构件。松动的外延杆会磨损平台。

**3.4.1.5** 钢管, 如灌浆管、钻屑管、排放管、供水套管和海底管道立管, 如果群集在平台桩腿周围, 会造成屏蔽和干扰阴极保护电流的流通。如果经济上可行, 应去掉平台操作不需要的钢管, 未能去除的钢管应放置在不会造成屏蔽的地方。钢管间的最小净间距应是较小钢管直径的 1.5 倍。也可使用钢管涂层来减少屏蔽。

**3.4.1.6** 平台投产以后, 有时需要补充或替换外加电流系统的阳极, 设计人员应考虑提供备用的“J”型护管, 便于增设阳极时牵引电缆; 和(或)提供其他类型的管架、导管和管卡, 便于阳极的补充或替换。

**3.4.1.7** 平台泥线以下部分包含钢桩, 从导管架腿中打入的桩通常和导管架采用焊接连接, 因此钢桩也受到阴极保护。典型的裙桩是打入水下钢管中并就地用水泥固定。裙桩可通过导向靴、对中器或其他可行的方法与导管架电连接。不过, 泥线以下的腐蚀速率低, 如果与阴极保护系统没有适当的电连接, 泥线处的腐蚀速率可能较高, 可能出现问题, 特别是对长寿命的导管架而言。

**3.4.1.8** 若需要把隔水导管与油井套管作为整体来考虑, 应将隔水导管与平台电连接。

**3.4.1.9** 应确保所有被保护钢结构与阳极的电连接(优先采用焊接), 并且在结构的整个寿命期间内保持连接。

### 3.5 全浸区——内部

**3.5.1** 对于构件或经密封后不与大气或海水接触的密封舱的内表面, 其腐蚀常被忽略。如有可能, 设计中应考虑密封舱。

**3.5.2** 在平台下水和倾斜操作期间, 某些金属构件会充水, 并且在平台寿命期间一直保持充水状态。为防止内部腐蚀, 应关闭充水阀以避免充水舱接触大气中的氧。如果舱中的海水循环不能避免, 应采取防止内腐蚀的措施, 可使用阴极保护或使用阴极保护加涂层。在充水的密封舱内, 细菌繁殖会产生一些腐蚀性物质, 如有机酸、二氧化碳、硫化氢( $H_2S$ )。硫酸盐还原菌除增加腐蚀外, 还产生毒性很大的  $H_2S$  气体。细菌腐蚀可使用内部阴极保护、提高 pH 值的化学药剂和(或)杀菌剂加以控制。在壁厚较厚的部位(如桩腿), 细菌引起的腐蚀可能并不显著, 但仍有产生  $H_2S$  的危险。

**3.5.3** 海底管道有时安装在牵引导向管段或“J”型管段里。为限制海水和大气中的氧与管道接触, 在管道定位后, 应将牵引导向管段环形空间的水上端用合适的非吸浸性填料加以密封。

## 第4章 阴极保护准则

### 4.1 引言

4.1.1 本章列出了阴极保护准则和相应的检测方法。单独遵从或综合遵从这些准则均可指明平台是否被保护。

### 4.2 概述

4.2.1 应用阴极保护的目的是控制与电解质溶液接触的金属表面的腐蚀。

4.2.2 第4.3节的准则是依据实验室或现场经验确定的,如果用其他方法证明腐蚀得到控制,则平台保护不必局限于本准则。

4.2.3 可选择特定的准则来达到4.2.1中所提出的目标,这种准则的选择,部分是根据以往在类似平台和环境条件下应用该准则的成功经验。

4.2.4 目前还没有一个令人满意的准则可以评价任何条件下应用阴极保护的效果。对一个单一平台可能需要综合使用几个准则。

### 4.3 准则

#### 4.3.1 电位测量

4.3.1.1 平台表面与接触海水的银-氯化银( $20\ \Omega \cdot \text{cm}$  海水)参比电极( $\text{Ag}/\text{AgCl}/[\text{SW}]$ )之间测出的负(阴极)电位差至少应为 $-0.80\text{V}$ 。通常平台表面的阴极电位是在施加保护电流时测得的,规定的 $-0.80\text{V}$ 包含了电流通过钢/水界面的电压降,但未包含在水中的电压降(见4.5.1和4.6.1)。

4.3.1.2 施加保护电流时,负(阴极)电位最小偏移量为 $300\text{mV}$ ,此值可替代4.3.1.1条中的准则。与海水接触的平台表面电位偏移量可由参比电极测出。此量包括电流通过钢/水界面的电压降,但不包含水中的电压降(见4.5.1.1和4.6.1)。

4.3.1.3 控制腐蚀的电位是温度和环境条件的函数。对于蔽开与大气接触的水,当处于有代表性的环境温度条件时,4.3.1.1和4.3.1.2中列出的准则已被证明是令人满意的。对于其他环境条件,控制腐蚀的电位可以使用Nernst方程来估算。

#### 4.3.2 外观检查

4.3.2.1 为保证平台的使用寿命,对整个平台的各种外观检查方法(潜水员观察或触摸、物理测量、拍照或电视扫描)所获结果均应表明腐蚀进展没有超出平台使用寿命所允许的限度。

#### 4.3.3 试片

4.3.3.1 为保证平台的使用寿命,腐蚀类型和腐蚀速率必须限制在允许的范围。

### 4.4 可供选择的参比电极

4.4.1 下面列出的其他类型的标准参比电极可取代 $\text{Ag}/\text{AgCl}/[\text{SW}]$ 参比电极,它们的电位等同于对 $\text{Ag}/\text{AgCl}/[\text{SW}]$ 参比电极的 $-0.80\text{V}$ 电位。

4.4.1.1 饱和铜—硫酸铜(CSE)参比电极:  $-0.85\text{V}$  电位(用于保护时可更负)。

注:该电极长期浸于水中不稳定。

4.4.1.2 高纯锌参比电极: 电位为 $+0.25\text{V}$ (用于保护时可稍低于 $+0.25\text{V}$ ),该型高纯锌成分限度为:

铝: 不大于 $0.005\%$ ;

镉: 不大于 $0.003\%$ ;

铁: 不大于 $0.0014\%$ ;

锌: 余量。

4.4.1.3 饱和甘汞电极( $\text{SCE}[\text{饱和 KCl}]$ ):  $-0.78\text{V}$ (用于保护时可更负)。

4.4.1.4 锌参比电极: 电位为 $+0.25\text{V}$ (用于保护时可稍低于 $+0.25\text{V}$ )。该型锌材成分限度为:

- 铝：0.10%~0.50%；
- 镉：0.025%~0.15%；
- 铁：不大于 0.005%；
- 铅：不大于 0.005%；
- 铜：不大于 0.005%；
- 硅：不大于 0.125%。

**4.4.1.5** Ag/AgCl(饱和 KCl)：-0.76V(用于保护时可更负)。

#### 4.5 测量和评价阴极保护的方法

**4.5.1** 评价阴极保护程度最常用的方法是使用适当的参比电极测出平台的电位。

**4.5.1.1** 在测量平台电位时，应将浸入水中的参比电极尽可能靠近被测量的平台，以减少测量电位中的电压降因素。在评价平台保护程度时，应重点考虑靠近平台但远离阳极块，以及最大的屏蔽区内参比电极测得的数据。

**4.5.1.2** 测量电位最常用的方法之一是在平台的某一设定位置上将参比电极自由悬挂在水中。将参比电极置于一系列规定的水深中测取数据，并在平台其他适当位置重复该过程。由于海流会导致参比电极的漂移，因此可能不确定参比电极的具体位置。这种方法对确定一般条件下的阴极保护系统是有效的，但当平台恰处于被保护的临界状态时，该方法可能会确定不出存在问题的区域。

**4.5.1.3** 参比电极可由潜水员或遥控运载器(RCV)携带。用这两种方法可准确地知道参比电极位置，并可满足各种精度的电位测量要求。在评价由外加电流保护的平台时，必须考虑潜水员的人身安全。为此，在测量期间可减少输出电流或者至少可以关断系统的一部分。如果关掉系统电源，在评价电位(值)大小时，应考虑保护程度的相应降低。

**4.5.1.4** 参比电极可通过导向绳下放，以便更好地控制其位置。定向导向绳可以永久性地安装在平台上，也可以临时安装，借助于重物将其锚固在平台底部。如果是临时安装，则导向绳(如果是金属材料)应与平台电绝缘。这种导向式参比电极与自由悬挂式参比电极相比，由于导向绳贴近平台构件，因此能够提供更加准确的测量电位。

**4.5.1.5** 在平台上可安装一定数量的永久性参比电极。虽然可准确知道这些参比电极的位置，但从这些参比电极上得到的信息只是限于其邻近平台表面的电位。尽管任何电位的测量仅限于局部，但它可以为不同时期的电位比较提供再现依据。应该用其他电极对永久性参比电极的精确度进行定期校核。将锌和银/氯化银组合成双电极，安装在一个永久装置上，有利于发现/减少故障的发生。

**4.5.2** 除了电位测量外，测量电流密度也可获得有价值的信息。使用特殊设计的参比电极系统，通过测定结构周围海水中的电位梯度可测量电流密度。尽管这些测量不能确定当前结构的保护程度，但可以用来确定电流分布及预测阳极的剩余寿命。

**4.5.3** 有时要使用外观检测来获取其他方法不能得到的详细信息。

**4.5.3.1** 可用潜水员进行外观检查，在浑浊或光线比较暗的地方可凭借触摸检查。

**4.5.3.2** 如果配备适当的仪器，外观检查还可进行物理测量，如裂纹长度和深度、壁厚或点蚀深度，以及阳极尺寸和状况。

**4.5.3.3** 利用水下摄影可获取平台状况的永久性记录。

**4.5.3.4** 在水下作业期间，如果必须做出决断，可使用水下电视为平台上提供监视。录像带对水下情况可提供永久性记录。

**4.5.4** 在平台上安装与平台构件相同材质的钢试片，以便后来取样确定腐蚀控制测量的有效性。该试片对怀疑阴极保护电流难以达到的区域可能特别有用。

#### 4.6 注意事项

**4.6.1** 在评价平台电位数据时，除了考虑钢/海水界面电压降(IR)，还应考虑其他电压降(IR)。

**4.6.1.1** 由于诸如河流淡水的流入或海水温度的波动而引起海水电阻率的变化将会影响测量的电位。

**4.6.1.2** 对于外加电流系统，在水的电阻率很高和(或)电流密度很大的情况下，电压降可能会很大。在关断整流器的瞬间电位测量会对消除水中电压降提供有用的信息。

**4.6.1.3** 对按传统方式设计的牺牲阳极保护系统，断电读数是做不到的，但是，如果参比电极靠近平台结构，则在一般海水中的电压降不大。

**4.6.2** 大风浪或强潮汐可产生高速水流，高速水流会对平台产生去极化。高水位也会增加未被保护的钢材面积，从而为达到保护电位需要增加电流。对完全极化的构件，以及有完好钙质沉积层或涂层的钢结构，去极化的影响不大。

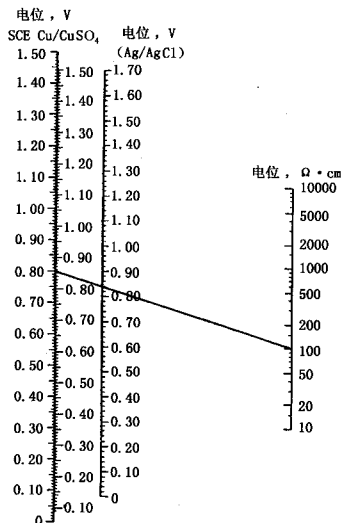
**4.6.3** 在外观检查期间，海生物的生长将掩盖钢材表面的真实状态，因此对于检查的表面必须清除这些海生物。

**4.6.4** 通常试片很小，所以将试片数据外推至其他区域或整个平台的被保护构件时，需谨慎从事。

**4.6.5** Ag/AgCl[SW]的电位有可能在某种程度上受到电阻率的影响，例如浸泡电极的海水中氯化物含量。如果已知电阻率明显不同于一般海水中的电阻率( $20\ \Omega \cdot \text{cm}$ )，那么电极读数应该根据图 1 所示图表校正；例如，如果平台处于电阻率为  $100\ \Omega \cdot \text{cm}$  的微咸水中，最小保护电位对 Ag/AgCl 电极应为  $-0.83\text{V}$ ，对 SCE 为  $-0.85\text{V}$ 。

**4.6.6** 水深超过 300m(1000ft)及有时深度稍小些时，海水特性(溶解氧、温度、盐度、pH、海流和附着生物)会与表层和浅水域海水的特性有很大差别，这会影响阴极极化和钙质沉积层的形成。针对阴极保护效果和海水特性的季节性波动做现场具体调查，有助于设计有效的深水阴极保护系统。

**4.7** 阴极保护对平台的腐蚀疲劳特性的影响



注：应用该图表可根据饱和甘汞电极或 Cu/CuSO<sub>4</sub> 电极电位，对不同电阻率水中的 Ag/AgCl 电极电位读值进行校正。(图表来自文章《实验表明 Ag/AgCl 电极是海水中理想的参比电极》“Test Indicate the Ag/AgCl Electrode is Ideal Reference Cell in Sea Water”。

文章作者是华盛顿军舰研究实验室的 M.H. Peterson 和佛罗里达州 Key West 区 NRL 海洋腐蚀实验室的 R.E. Groover，发表在“Materials Protection and Performance”杂志 1972 年 5 月第 11 卷第 5 章第 19~22 页上。)

图 1

- 4.7.1** 处于典型电位值的阴极保护趋向于将钢恢复到空气中的疲劳值。
- 4.7.2** 过保护电位下的阴极保护可能会加速某些钢上的疲劳裂纹扩展速度。利用疲劳裂纹生长数据可以证实过保护电位是否有明显的作用。
- 4.7.3** 钙质层可以填塞疲劳裂纹，降低裂纹的生长速度。
- 4.7.4** 在高应力部位必须进行腐蚀控制，以防止产生可能促成疲劳裂纹的蚀点。

## 第5章 阴极保护系统的设计

### 5.1 引言

**5.1.1** 本章推荐了为海上平台阴极保护系统提供有效的腐蚀控制设计程序。

**5.1.2** 在设计海洋阴极保护系统过程中必须了解环境因素，同时还应考虑以下几个方面：

**5.1.2.1** 为确保阴极保护系统安装与使用上安全可靠，必须考虑材料、设备和安装作业的选择和说明。

**5.1.2.2** 材料规格和安装作业应符合下列单位出版的适用法规、标准和规程：

- 平台操作者；
- 中国国家质量技术监督局；
- 中国行业标准发布机构；
- 政府机构；
- 检验代表；
- 其他标准组织。

**5.1.2.3** 对阴极保护系统安装、安全、维修和操作的最佳经济性，进行选择与设计。

**5.1.2.4** 为确保阴极保护系统使用寿命期间的可靠性，对材料和安装作法进行选择 and 提出技术要求。

**5.1.2.5** 选择一个可以减少过大的保护电流密度，降低过高的地(海)电位梯度的系统，以防对涂层或附近埋设或水中设置的外部结构的损坏。

### 5.2 阴极保护系统设计的要点

**5.2.1** 遵循选用的阴极保护准则，确定出设施设计寿命期间保护平台所需的足够电流与良好的电流分布。

**5.2.2** 尽量减小所用阴极保护系统对相关管道和邻近金属结构的影响。

**5.2.3** 使阳极系统的设计寿命与被保护平台的设计寿命或计划相匹配，如有必要，要为阳极系统提供适当的更新方法和配件。

**5.2.4** 考虑到将来平台对电流要求的变化，以及阳极的老化、增加平台附件和环境的变化而影响阳极电流输出量，需提供满足这些变化的富裕量。

**5.2.5** 应将阴极保护系统的所有组件放置在受干扰或被破坏可能性最小的地方。

### 5.3 海上结构阴极保护系统设计所需(或)有用的资料

#### 5.3.1 平台建造说明书及实施：

- a) 施工图；
- b) 陆上施工场地、海上施工操作以及大概的施工日期；
- c) 立管(包括电缆)的数量、尺寸和位置；
- d) 涂层；
- e) 电力供应；
- f) 腐蚀控制测量点(测试站、电连接点位置等)；
- g) 安全要求；
- h) 系统安装和(或)替换中可能用到的平台设备的安装操作与有效性；
- i) 平台预期寿命(设计寿命)；
- j) 水平面；
- k) 在打桩作业完成后将导桩管移走，或在阴极保护设计中包括这部分；
- l) 绝缘法兰或绝缘支座的位置。

#### 5.3.2 海上现场条件：

a) 水深、含氧量、流速、水扰动性、水温、海水电阻率、潮汐的影响以及淤泥、砂和悬浮固体[参见附录 A (标准的附录)];

b) 将来监测和维修的可能性, 包括费用因素;

c) 邻近设施, 包括管道;

d) 现有的和拟用的阴极保护系统;

e) 与外部管道和结构的绝缘。

### 5.3.3 现场调查资料、腐蚀测试数据和操作经验:

a) 符合所使用的规范和标准的保护电流密度要求(见 5.6);

b) 水的电阻率(考虑水的特性可能会有分层);

c) 建造说明书的变更;

d) 电绝缘和(或)电连续性;

e) 干扰电流(见第 7 章);

f) 在相同的一般环境条件下, 以往和现有的阴极保护系统的运行记录;

g) 立管最大操作温度;

h) 其他维修和操作数据。

5.3.4 如果以往经验和测试数据可用来评估电流需求量和系统性能, 在阴极保护实际应用之前, 可不必进行全面的现场调查工作。

## 5.4 阴极保护系统类型

### 5.4.1 牺牲阳极系统。

5.4.1.1 牺牲阳极可以是镁、锌、铝等活泼金属的合金, 这些合金采用不同形状和大小以最佳的电流分布形式为特定的海上平台提供保护电流。阳极块与平台连接方法应根据阳极块的类型及应用范围来确定。但在阳极块整个使用寿命期间必须保持低的接触电阻。

5.4.1.2 海水中牺牲阳极的性能主要取决于合金的成分, 特别是锌和铝合金[参见附录 B (标准的附录)]。

5.4.1.3 镁阳极是非常活泼的, 同时可提供很大的电流输出。因此, 在阴极保护系统中使用的阳极个数少, 但由于镁阳极自身特性而不宜用于长寿命的设计中。

5.4.1.4 对于有涂层的结构, 牺牲阳极材料即使在很低的阳极电流密度下工作多年之后仍能够提供电流。

### 5.4.2 外加电流系统。

5.4.2.1 外加电流系统阳极材料包括铅—银合金、各种基体上的铂阳极、混合金属氧化物、铅—铂、石墨电极、硅—铁合金或废钢铁。这些阳极应当单个或成组地通过绝缘导管连接至整流器或发电机等直流电源的正极接线柱, 被保护的平台与直流电源的负极接线柱连接。

5.4.3 牺牲阳极和外加电流系统的联合使用。

5.4.3.1 联合阴极保护系统用于平台施工期间和(或)外加电流系统尚未运行期间为平台提供保护。

5.4.3.2 如果系统的牺牲阳极部分小于常规的长期保护系统, 则应仔细设计以确保充分的电流及其合理的分布。

## 5.5 影响选择阴极保护系统类型的因素

### 5.5.1 电力供给。

### 5.5.2 系统整体的可靠性。

5.5.2.1 牺牲阳极系统具有长期保护的可靠性。

5.5.2.2 外加电流系统具有长期保护的功能, 但对设计、安装以及维修缺陷的承受能力比牺牲阳极系统差, 只有在充分考虑机械强度、电连接、电缆保护(尤其在波浪区和飞溅区)、阳极类型的选择以及电源完整性的前提下, 这种系统才能有好的使用效果。同时必须配备足够的监测系统。



**5.5.2.3** 留出安装余量,采用适当的设计安全系数,以及在设计阶段详尽规定整个使用期间的维护措施,能够提高外加电流保护系统的可靠性。

**5.5.3** 保护电流总需求量。

**5.5.4** 给定所需电流后,牺牲阳极保护的可行性和阳极材料选择按以下事项来确定[见附录 A~附录 D(标准的附录)]:

- a) 电解质的电阻率;
- b) 阳极对平台的电位(当平台处于保护状态时);
- c) 在安装、下水和运行过程中机械破坏的可能性;
- d) 阳极材料预计的使用寿命;
- e) 平台重量和结构限制。

**5.5.5** 海底外加电流阳极的实用空间应取决于邻近其他构筑物 and 管道,并应考虑到将来的建造物和维修。

**5.5.6** 应充分考虑阴极保护系统在整个使用期内的经济性,包括投资、维修、检测、折旧、税收和腐蚀损耗,合理地评价不同方案的效果。

**5.5.6.1** 牺牲阳极保护系统初始投资较大,但几乎没有维修费用。

**5.5.6.2** 外加电流阳极系统一般初始投资费用较低,但在整个使用寿命期间内需用电力,并且维修费用较高。

**5.6** 决定阴极保护系统总电流的因素

**5.6.1** 整个全浸区面积。

**5.6.1.1** 浸入水中的面积。

**5.6.1.2** 泥线以下的面积。

**5.6.1.3** 采油平台上实际或预计安装的隔水导管数。

**5.6.1.4** 无绝缘和无保护的外部构筑物。

**5.6.2** 水下构件预计所要求的最小设计(或维持)保护电流密度。

**5.6.2.1** 开闢海区结构在典型水域中的阴极保护电流密度范围为  $55\sim 430\text{ mA/m}^2$  ( $5\sim 40\text{ mA/ft}^2$ ), 11 个典型的海上生产区域的数值参见附录 A(标准的附录)。

**5.6.2.2** 通常泥线以下区域的保护电流密度为  $10\sim 30\text{ mA/m}^2$  ( $1\sim 3\text{ mA/ft}^2$ )。

**5.6.2.3** 为补偿泥线以下油井套管对电流负荷的需要,总电流需求量设计中,应有一定的富裕量。其典型值为每口井  $1.5\sim 5\text{ A}$ 。对张力腿平台和海底采油基盘,从总深度到海底的油井套管进行涂装或浇注水泥,从而大大减少吸收电流的裸钢面积。在表面积减少的情况下,应合理降低每口井的电流裕量。

**5.6.3** 平台水下部分即使有涂层也应考虑相应的电流裕量。

**5.6.3.1** 在过去,常用的保护层(不是阳极屏蔽层)很少用在平台飞溅区以下的部分。但是,对安装在较深水域,需较高电流密度的复杂结构,以及屏蔽区例如大的隔水套管群,和/或延长其设计寿命的结构,由于所需电流和阳极重量增大的限制,可能决定施加涂层。

**5.6.3.2** 带有涂层的平台随着涂层的老化,电流的需求将增加。因此当涂层老化时要提供足够的阴极保护能力以维持平台保护。与涂层老化直观检查预示情况相比,所需电流的增加可能或多或少要快些。

**5.6.3.3** 由于阴极保护电流的作用而在平台构件上沉积的钙质膜将降低维持保护电位所需的电流密度,还将改善电流的分布(见 5.6.4)。当涂层出现缺陷时,由于该处初期电流密度会相当高,有机涂层也有助于在缺陷处形成致密的钙质沉积膜。但是,成膜钙盐的溶解度受温度的影响,较冷的水不易形成保护性钙质膜,或要求较高的初期电流密度以达到极化。

**5.6.4** 电流分布效率。

**5.6.4.1** 使用较大数量、单个输出能力较低的阳极块可提高电流分布效率。在结构表面涂敷涂层,也可

改善电流分布。

**5.6.4.2** 由数量较多,分布密,单个输出能力低(典型值为每块阳极输出 3~6A)的阳极块组成的牺牲阳极系统,可实现最高效率的电流分布。当平台构件与阳极块最小间距为 300mm (12in)时,设计时通常可假定 100%的电流分布效率。

**5.6.4.3** 外加电流阳极系统,使用较少数量的阳极产生的电流输出要比牺牲阳极系统大,降低了电流分布效率。这类阳极单个输出电流能力为 30~200A 以上,这种较高的电流输出通常会对最近的构件表面产生过保护。为了补偿保护电流分布效率不足,需使用效率系数(取值通常为 67%~80%)。因此,阴极保护电流应是计算总电流值的 1.25~1.5 倍。总电流取决于表面积与选择的设计电流密度。

**5.6.4.4** 无论是牺牲阳极系统还是外加电流保护系统,阳极均应按照平台构件所需的电流密度进行水平布置和(或)垂直布置。计算机模型可用于验证合理的电流分布。

## 5.7 决定阳极电流输出、使用寿命和效率的因素

**5.7.1** 在特定的环境下,当从阳极表面流出给定的电流密度时,各种不同的阳极材料有不同的消耗率。因此,对给定的电流输出,阳极寿命取决于阳极材料和阳极块重量。应利用已确定的阳极特性数据计算可能的消耗率[参见附录 B (标准的附录)和附录 C (标准的附录)]。

**5.7.2** 应将牺牲阳极和阳极系统设计成具有足够大的裸露面积,在阳极系统寿命期间能产生所需保护电流。附录 D (标准的附录)列出了典型阳极块输出能力的计算方法。根据阳极自身的特性数据,阳极系统必须包含有足够重量的阳极材料以满足要求保护年限期间保护电流的需求。

**5.7.3** 正确地设计牺牲阳极系统必须考虑平台对阳极的电位、相应的阳极电流输出和连接阳极导线(如果使用的话)电阻。对于典型的铝—锌—汞或锌阳极,考虑平台最小保护电位为-0.80V(Ag/AgCl [SW]参比电极),在阳极与被极化的平台之间的净驱动电压仅能取 0.25V(1.05-0.80),虽然初始净驱动电压会高很多。

**5.7.4** 牺牲阳极寿命( $L$ )可由公式(1)确定:

$$L = \frac{W \cdot u}{E \cdot I} \dots\dots\dots (1)$$

式中:  $L$ ——阳极寿命, a;

$W$ ——阳极净质量, kg;

$u$ ——利用系数,取决于剩余阳极材料不能输出所需电流时所消耗的阳极材料质量;

$E$ ——阳极消耗率, kg/(A·a);

$I$ ——在寿命期间阳极平均电流输出值, A。

阳极的形状会影响阳极的利用系数,因此,适当选择阳极的长度、直径和钢芯直径可使阳极利用系数范围从 0.75 至接近 1。对于支腿阳极,利用系数通常是 0.90~0.95;手镯阳极的利用系数可取 0.75~0.90。

## 5.8 特殊的机械和电力问题

**5.8.1** 阴极保护系统的性能取决于系统的各种构件承受实际应力的能力,因此,对于系统的各种构件来说,实际安装应保证构件的持久性和可靠性。

**5.8.2** 牺牲阳极系统虽相对简单,但也必须考虑以下情况。

**5.8.2.1** 阳极应置于结构上以确保节点焊缝尽早极化。节点焊缝是平台结构强度的关键。节点焊缝的极化非常重要,它要防止象在热影响区(HZA)出现的咬边这类不能接收的焊接缺陷的扩大,以及在节点焊缝上出现的点蚀。这两种类型的腐蚀均能引起附加的应力集中,导致焊口产生疲劳裂纹。节点还是金属表面积大和形状复杂的区域,要求较大的电流密度来保护和克服屏蔽的影响。不能使用焊缝相对钢为阳极的焊接材料,作为预焊接质量鉴定(WPQT)的一部分,应对此进行试验。

**5.8.2.2** 阳极钢芯在形状上必须与阳极重量和承受的其他作用力相匹配,包括平台就位、打桩作业、狂风和飓风的影响。尤其是在阳极寿命后期,阳极对钢芯不再有附加强度时,重要的是要能抵抗波浪力的影响。

**5.8.2.3** 设计上应使阳极芯与阳极体在整个使用寿命期间保持电连接的完整性。大直径的钢芯可保证阳极在使用寿命后期满足电流输出的要求。

**5.8.2.4** 为了安装尺寸较大的牺牲阳极,平台构件需要加强。如果这样,则应将阳极通过加强板或其他经批准的方法安装在构件上。

**5.8.2.5** 由于某些铝阳极埋在淤泥中对其效率有不利影响,只有经过在典型的泥中对阳极进行测试后,或经验表明埋在泥线下的阳极材料没有钝化,才可将阳极安装在泥线处或泥线以下的平台构件上。如果将阳极安装在泥线以下,必须考虑到阳极发出电流和效率的降低。

**5.8.2.6** 在实际应用中,大尺寸牺牲阳极块的安装应尽量使连接处的应力最小。

**5.8.2.7** 对于海上使用的较大类型的阳极,由于阳极材料和钢芯膨胀系数不同,在阳极浇铸冷却时会产生裂纹。如果裂纹不会集中在一起导致阳极材料的脱落,这些裂纹害处不大。如果阳极的弯曲变形不影响阳极的安装,也是可以接受的。

**5.8.2.8** 当牺牲阳极紧贴钢表面安装时,阳极的背面或钢表面应涂敷涂层或安装绝缘屏蔽层,以免阳极背面材料过早消耗掉,以及因阳极腐蚀产物造成的压力有可能使阳极脱落。

**5.8.3** 外加电流系统由于阳极用量较少,每个阳极发出的保护电流量都很大,因此对机械损坏更加关注。丢失一块阳极都能严重地影响系统的性能。

**5.8.3.1** 阳极体与阳极导线之间的电连接必须具有防水性与良好的机械性能。

**5.8.3.2** 电缆和连接处的绝缘材料应能抗氯、烃类或其他有害的化学物质。

**5.8.3.3** 对于阳极及其连接导线,必须注意给予适当的机械保护。对于悬挂系统,单个阳极或阳极组可以配备绞车或其他回收工具,作为在强风暴时的保护措施,也可用于日常检查与维修。应考虑到期间平台失去保护。

**5.8.3.4** 对于固定型外加电流阳极容许采用以下安装方法(但不限于这些):

a) 阳极可以安装在垂直的钢保护套管或导管下端。套管连接到水上的平台构件上,并靠水下的多个构件支撑。阳极应通过套管(由它保护阳极导线)放下,并应允许其延伸到固定在每个套管底部的装置以下。这种方法使阳极能用阳极电缆取回或更换而无需潜水员协助。海生物生长或腐蚀锈层会造成阳极回收困难;

b) 安装在绝缘支架上的扁平阳极可直接在平台构件上或与辅助结构构件相连,例如安装在垂直管上,它可以在阳极更换时拆卸下来。适当的设计可使后一种连接系统在没有潜水员帮助的情况下回收阳极;

c) 利用与平台构件相连的偏置钢结构支撑件,将阳极安装在全浸区平台构件上,这种类型的阳极更换时需要潜水员的帮助;

d) 在某些特殊场合,阳极可安装在海底,例如在阿拉斯加的库克湾。为其稳定,阳极通常要安装在专门设计的混凝土橇上,这也减少了它们被泥浆或淤泥覆盖的可能性。据报道混凝土中的加强钢筋会受到干扰电流腐蚀。

**5.8.3.5** 外加电流阳极的安装应尽量远离任何平台构件[最小距离一般为 1.5m (5ft),但与电流大小成比例(8.5.2)]。如果 1.5m(5ft)的间距不能达到,通常应使用绝缘屏蔽层来减少因局部过保护所致保护电流浪费。阳极支架设计中应当避免这种浪费,并将阳极与平台之间短路的可能性减至最小。

注:用作阴极屏蔽层的涂料并不能长期表现其优越的性能。最好的方法是在阳极和阴极之间提供一个合适的空间,确保较好的阳极电流分布。

**5.8.3.6** 应当使用简单、耐用、容易维修的外加电流设备。除了天气因素外,由于某一海区的条件很少

变化,因此最好选用可手动调节的,具有交流和直流过保护功能的油冷式整流器。在某些特定条件下,既有“恒定电流”也有“自动电位控制”功能的整流器可能是合乎要求的,但应对这些设备的报价和维修加以比较。

**5.8.3.7** 从平台就位到永久性电源供电这段时间可能会拖延几个月到一年,甚至更长,期间应计划使用临时电源对外加电流系统尽早供电或使用短期的牺牲阳极系统。否则,平台构件和外加电流系统的水下装置会发生严重的腐蚀。

## **5.9 设计图纸和规格书**

**5.9.1** 应准备有关的设计图纸,标明阴极保护系统总布置和装置的重要部件的位置、腐蚀测试和监测站、接线盒、绝缘体的位置以及相邻的埋地或全浸区金属构件。

**5.9.2** 应该为每项外加电流阴极保护安装准备设计图纸,在设计图中应标示其部件的详细情况和在被保护平台上的位置。

**5.9.3** 牺牲阳极的位置应表示在图纸上,或者用表格的形式表示,并附上对阳极类型、质量、形状和位置的适当注释。

**5.9.4** 应该为所有的材料和安装方法准备规格书,用于阴极保护系统的安装、检验和操作。

**5.9.5** 在施工阶段和施工完成后应绘制适当的竣工图纸,这些图纸中应包括任何与原始设计不同的地方。

**5.9.6** 应该将完整的记录保留下来。阴极保护系统的详细情况是故障检修和将来设计(见第 15 章)所必须的。

## **5.10 相关设施的设计**

**5.10.1** 如果海上阴极保护系统设计中使用了绝缘法兰或接头,则绝缘装置应置于垂直管中以减少盐、金属残渣或其他导电物质堆积引起的内部短路,这种绝缘装置不应该安装在水面以下(见 6.7.1)。

**5.10.2** 在设计和放置绝缘装置时,应认识并考虑到绝缘设备电火花的潜在危险。

## 第6章 阴极保护系统的安装

### 6.1 引言

6.1.1 本章推荐的阴极保护系统安装作法以第5章设计思想为依据。

### 6.2 建造图纸和规格书

所有阴极保护系统的施工都应按照图纸和规格书进行。建造规格书应以本标准第3章、第4章和第5章的推荐作法为依据。

### 6.3 施工监督

6.3.1 所有阴极保护系统的施工都应在质量监督人员的监督下进行,确保安装工作严格按照相应图纸和规格书进行。如有例外,应经过腐蚀专家的监督认可。

6.3.2 应在完工图上标明所有与建造规格书不同的地方。

### 6.4 牺牲阳极

#### 6.4.1 检验和搬运

6.4.1.1 在 GB/T 4948~GB/T 4949(最新版本)《铝—锌—铝系合金牺牲阳极》及在 GB/T 4950~GB/T 4951(最新版本)《锌—铝—镉系合金牺牲阳极》中有专门的规定。

6.4.1.2 阳极应受到检验,确保其尺寸和重量符合设计规格书要求,并且确保在搬运过程中的任何损坏不会影响阳极的使用。

6.4.1.3 如果阳极采用焊接方式与平台连接,应检验钢芯是否符合规格书的要求。在阳极芯与平台构件焊接连接后,应检验焊接点是否符合平台焊接规格书。

6.4.1.4 当牺牲阳极吊绳作为导线时,应对吊绳的强度、电压降、与阳极好的电连接性加以检验。在吊绳与导线分开使用时,应该注意确保阳极导线及连接点不受拉力损坏。

6.4.1.5 如果规定阳极支撑构件或吊绳需施加涂层,应进行目视检查,损坏的地方应加以修补。

#### 6.4.2 阳极安装

6.4.2.1 阳极应按照建造规格书的要求安装。

6.4.2.2 当阳极直接焊在平台上时,应检查焊接是否遵从平台施工焊接规格书。

6.4.2.3 当安装支腿管芯阳极并且阳极质量超过 230kg (500lb)时应考虑采用加强板和(或)角撑板。

6.4.2.4 在进行阳极安装时,可将加强板和(或)角撑板安装在阳极支撑件上。如果将加强板和(或)角撑板与阳极预制在一起,这些加强板在运输和吊装过程中易受到严重损坏。

6.4.2.5 悬挂式牺牲阳极的安装应在平台海上就位后再进行。对安装好的阳极,应对吊绳进行测试,检查它与平台的导电性是否良好。

### 6.5 外加电流系统

#### 6.5.1 检验和搬运

6.5.1.1 应检查整流器或其他电源以确保内部机械连接安全可靠,在船运和搬运过程中没有被损坏。直流电源的铭牌和额定功率应符合建造规格书。

6.5.1.2 应按照规格书的要求检验外加电流的阳极,包括阳极材料、大小和导线的长度,确保阳极帽(如果设置)的可靠性。应对导线仔细检查,看其是否存在绝缘缺陷,对损坏的导线和(或)阳极帽必须加以彻底修理,或者舍弃该阳极。

6.5.1.3 在最后安装前,对所有的外加电流元件的搬运都应小心。

#### 6.5.2 安装规定

6.5.2.1 应将整流器或其他电源安装在操作通道之外,并远离温度极高的地方和容易被泥浆、灰尘、浪花等污染的地方。在安装两个或多个整流器的地方,应留有足够的空间保证空气循环冷却。

**6.5.2.2** 连接整流器的导线应遵从有关规则和操作规格书，应在向整流器提供交流电的线路中安装一个外部断路开关。整流器外壳应正确接地，并与负极连接以防疏忽将电极接反。

**6.5.2.3** 在热力发电机上，应安装一个逆流装置以防在发电机熄火时阳极和金属构件之间产生电偶效应。

**6.5.2.4** 外加电流阳极应按照建造规格书进行安装。应特别注意避免阳极和导线在安装过程中损坏。仔细监督这方面的工作对确保阴极保护系统长期运行是最为重要的。

**6.5.2.5** 阳极和平台的导线与整流器连接时，必须保证其机械性能和导电性能。在通电以前，应检查整流器的负极（-）是否与被保护的平台连接，整流器的正极（+）是否与阳极连接，系统是否存在短路情况。

**6.5.2.6** 整流器正极接线柱和阳极导线的连接应具有良好的机械性能和导电性能，这种连接必须是密封的以防湿气侵入，同时要与周围环境电绝缘。水下连接所要求的密封应能承受可能遭受的水压和周围环境的影响。

**6.5.2.7** 在安装需分开悬挂的阳极时，应当防止连接阳极的导线或连接点在张力作用下损坏。

**6.5.2.8** 为了保证系统的连续运转，应对操作人员在系统功能和要求方面进行培训。

## **6.6 腐蚀控制测试站、接线和接头**

### **6.6.1 安装规定**

**6.6.1.1** 接在与平台相连的管道上的测试线必须具有良好的机械性能和导电性能，并且应易于接近。

**6.6.1.2** 在管道与测试线连接时，应对管道和测试线的连接点进行清洁、干燥、去除杂物。连接点应涂上涂料，以防大气腐蚀。

**6.6.1.3** 与其他管道导电连接或穿越绝缘接头应按 6.6.1.1 的要求安装。所有连接点应该易于接近以便测试。电缆应该采用焊接法连接。必须注意保证结构所有部分之间的电连接或者分别配备阳极。

### **6.7 其他注意事项**

#### **6.7.1 绝缘装置**

**6.7.1.1** 在海底管道和平台连接处安装绝缘法兰见 5.10.1 的内容。如果安装在水面上的绝缘法兰不容易接近，那么延伸的测试线应遵循 6.6.1 安装，以满足检测和连接的要求。

## 第7章 干扰电流的控制

### 7.1 引言

**7.1.1** 本章叙述干扰电流(有时也称作杂散电流)可能产生的有害影响,并提出控制干扰电流的推荐作法。

**7.1.2** 除了某些类型的焊接操作,一般情况下干扰电流对海上平台产生腐蚀的可能性很小。

### 7.2 影响

**7.2.1** 干扰电流腐蚀发生在电流从被干扰的结构流出,进入电解质的地方干扰电流同时又回到干扰源。

**7.2.2** 破坏程度直接与下列因素有关:

- a) 干扰电流的电流量和电流密度;
- b) 受影响的构件的面积,从此处干扰电流流出并流入电解质;
- c) 干扰影响发生的周期。

### 7.3 短期干扰

**7.3.1** 对平台产生严重影响的最常见短期干扰电流产生于焊接期间,当焊机安装在驳船或船上,干扰电流会由于焊机的负极在船上接地,而焊机的正极接焊极而产生。一些操作者曾报导过由于焊接干扰电流对平台的水下构件产生的严重的穿孔损坏。应当采用下列措施来防止施工期间从停靠在一侧的驳船上进行焊接操作中产生的干扰电流:

- a) 所有的焊机应与驳船电绝缘;
- b) 每台焊机接地电缆应与平台结构连接。

而从腐蚀的观点看,唯一的也是更好的方法是将焊机放置在平台上。

**7.3.2** 当负极焊接线与平台连接后,显然电流要经过负极焊接线或与平台相连的电缆流回,但与此同时,如果没有采取 7.3.1 的预防措施,部分电流会由并联的水路从平台回到(驳船)船体。由水路流回的电流可通过降低负极电缆的电阻、增加负极电缆的数量和(或)直径,以及通过缩短它们的长度来减少。负极导线与平台的连接点应尽可能靠近船舶。

### 7.4 长期干扰

**7.4.1** 如果平台上的所有部件正确连接,通常不会存在对平台产生明显腐蚀的长期干扰电源。

**7.4.1.1** 由于平台水下部分的裸露面积远远大于管道暴露的面积,因此,管道保护电流对平台的干扰影响可以忽略。

**7.4.1.2** 干扰电流源与被保护平台的实际安装位置通常不存在严重干扰的趋势。

**7.4.2** 在某些情况,如果被保护平台与管道电绝缘,平台上的阴极保护系统对平台外部管道会产生干扰影响。这类干扰比较容易控制,可采取下列措施:可在管道和平台之间安装排流的装置;也可以在绝缘管道上安装阴极保护系统;或者改进现有管道的阴极保护系统。如果可能,这些预防措施应与其他公司或作业者合作实施。

## 第8章 绝缘屏蔽层

### 8.1 引言

8.1.1 本章为平台阴极保护系统绝缘屏蔽层的选择和使用提出了推荐作法,包括屏蔽层的结构和材料。

### 8.2 概述

8.2.1 绝缘屏蔽层和用作绝缘屏蔽层的涂层,其作用是防止在阳极附近产生过高的电流密度和电流损失,使保护电流分布更加均匀。

### 8.3 绝缘屏蔽层的应用

8.3.1 绝缘屏蔽层的应用取决于阴极保护系统的设计(见第5章)。因为外加电流系统通常采用较高的电位梯度,所以一般绝缘屏蔽层是与外加电流系统结合使用。屏蔽层也可以与高电位的牺牲阳极联合使用,如镁阳极。

8.3.2 屏蔽层,包括采用涂层作为屏蔽材料,有如下特殊用途:

- a) 覆盖与阳极相邻的阴极表面;
- b) 在外加电流阳极与钢电缆导管之间提供一个绝缘层;
- c) 为嵌入安装的牺牲阳极提供一个衬垫;
- d) 使平台构件较密处保护电流的需求降到最小;
- e) 限制阳极电流的输出,即减少流向紧靠阳极构件的阳极电流损失。

8.3.3 水下通用涂层可以作为屏蔽层的一种,用于减少电流需求或延长阴极保护系统的使用寿命。

### 8.4 屏蔽层类型

8.4.1 在平台阴极保护系统中已用过几种不同类型的绝缘屏蔽层。其中包括现场涂层、预制的塑料或合成橡胶板、塑料管套和已涂敷的外加电流阳极的托脚或支撑件。

### 8.5 设计考虑

8.5.1 在阳极和阴极上由电化学反应产生的腐蚀性产物和气体侵蚀绝缘屏蔽材料,屏蔽层下所产生的气体使屏蔽层剥落。所选择的材料应适合预期的寿命。

8.5.2 为了保证屏蔽层的功能,在设计绝缘屏蔽层(在阳极半径周围或阳极到阴极裸露表面的最近距离)时,必须综合考虑阳极输出电流、海水电阻率、结构的几何形状以及其他阳极的相对位置。

8.5.3 必须考虑来自环境影响因素的机械破坏,如波浪力、水流、漂浮的岩屑、浮冰和海生物。在设计上还应包含一定的裕量,以补偿平台就位前搬运期间可能造成的损坏。

8.5.4 在设计阴极保护系统中,应当考虑屏蔽材料的预计使用寿命和通常的老化问题(见5.8.3.4)。



## 第9章 阴极保护系统的运行和维护

### 9.1 引言

9.1.1 本章为阴极保护系统启动和维持连续、有效及可靠的运行提出推荐作法。

### 9.2 电位测量

9.2.1 为了确定已经建立的保护符合实用的准则,以及阴极保护的每一部分均正常运行,电位测量和检测是必需的。影响保护的因素是随时间变化的,阴极保护系统也必须做相应的调整以维持保护作用。定期的测量和检测是确定阴极保护系统工作性能发生变化所必需的。

9.2.2 在确定阴极保护合理性时,对电位测量点的位置、数量和类型的选择应小心谨慎(见第4章)。

9.2.3 操作经验表明,有可能需要进行比本标准所推荐的次数更多的测量和检查,比如在强风暴之后。

9.3 当每一个阴极保护系统启动后宜进行测量,以确定是否符合实用的准则和运行的有效性。这种测量必须包括对平台有足够详细的电位测量以确实证明阴极保护已奏效(见第4章)。

9.4 宜进行年检以确保阴极保护的连续性。这种电气测量宜包括平台以前检测位置的电位测量。

9.5 应对外加电流阴极保护装置进行检查和测试,以确保它们的正常运行和维护。

9.5.1 所有外加电流的电源检查间隔不能超过两个月。能够证明其性能正常的依据可以是电流输出和功率消耗正常、或被保护的平台构件对海水的电位合理。

9.5.2 作为防范性维护程序的一部分,所有外加电流保护设施必须进行年检,尽量减少其在使用中的失灵。检查可能包括短路检查、接地及电缆接头的可靠性、仪表的精确度、整流器的性能、全部回路电阻。

9.6 用于获取各电子数据的测定设备应使其处于良好的操作条件并对其精确性进行年检。参比电极应进行更多次的检查,因为杂质的污染、不良的电连接及电线绝缘层的破坏可能会影响平台电位测量精度。

9.7 可以借助潜水员或遥控潜水器结合其他水下检查来确保阴极保护系统是有效的。

9.8 当定期的测量和检查发现保护作用不足或不久会变得不足时,必须立即采用补救措施。这些措施包括:

9.8.1 修理、更换或调整阴极保护系统的元件。

9.8.2 在需要增加保护的地方增补阴极保护装置。

9.8.3 修理有缺陷的绝缘装置或连接接头。

## 第10章 飞溅区腐蚀控制措施

## 10.1 引言

10.1.1 本章列出了减小飞溅区钢质构件损坏的腐蚀控制措施。由于工作条件不同,有些作法可能不适用于世界上所有区域。

10.1.2 处于飞溅区和水下区的附属海底管道和立管的腐蚀,不属于本标准范围。

10.1.3 在飞溅区通常需要增加钢的壁厚(防磨蚀板)。

## 10.2 位置

10.2.1 除非能保证平台的定位深度,否则,为了提供安全余地,应考虑在超出正常飞溅区的区域增加保护。

## 10.3 防磨蚀钢板

10.3.1 防磨蚀板应能补偿平台寿命期间内预计的腐蚀和磨耗。防磨蚀板的厚度通常为13~19mm(0.50~0.75in)。

10.3.2 由于飞溅区的涂层或包覆层易被破坏,因此需要使用防磨蚀板。修补处在水面或水面附近构件的涂层极其困难,并且费用高。

10.3.3 防磨蚀板除了增加腐蚀裕量外,还增加了构件的刚度和强度,从而提高了抗冲击能力。

10.3.4 为增加腐蚀防护效果,防磨蚀板通常需要涂敷或包覆。

## 10.4 飞溅区钢腐蚀控制措施的选择

10.4.1 包覆镍—铜合金(相当于UNS N04400)或90/10铜—镍合金层(相当于UNS C70600)。

10.4.1.1 此种包覆层[相当于UNS N04400,壁厚1~5mm(用AWG表测量值为18~4);相当于UNS C70600,壁厚4~5mm]通过捆箍或焊接附在飞溅区的柱形构件上。由于环形空间要求密封,因此最好是焊接。

10.4.1.2 应保护这种金属包覆层免遭冲击损伤,覆合金钢板有助于防止损伤。

## 10.4.2 硫化氯丁橡胶。

10.4.2.1 硫化氯丁橡胶典型的使用厚度是6~13mm(0.25~0.5in)。

10.4.2.2 由于这种涂料不能在制造现场涂覆,所以在通常情况下,仅限于在管状构件的直线段使用。

10.4.2.3 在管状构件的两端应至少留有50mm(2in)未涂覆的管段,以防在焊接过程中对氯丁橡胶的损伤。

## 10.4.3 厚膜有机涂层。

10.4.3.1 此种涂层中常包含有石英玻璃鳞片或玻璃丝。

10.4.3.2 此种涂层用在喷砂处理的清洁表面,典型厚度为1~5mm(40~200mils)。

10.4.3.3 由于此种涂层可以在组装后在预制现场涂敷,对节点的保护可以与直管一样。

10.4.4 250~500 $\mu$ m(10~20mils)高性能平台涂层系统。

10.4.4.1 虽然高性能涂层系统普遍应用于大气区,而且效果相当不错,但它们不适合作为长寿命平台的主要控制措施。

## 10.4.5 热缩套。

10.4.5.1 当热缩套被加热升到一定温度时会收缩,且其内表面预涂一层密封胶。已经被用来保护飞溅区的直管段。假如此收缩套遭到轻微的损伤,密封胶粘剂的粘弹性与收缩套的持续径向收缩力相联合使密封胶流到损伤部位且有效地将损伤处密封好。要求表面除锈及较大粗糙度。

## 10.4.6 热喷涂铝。

10.4.6.1 热喷涂铝(火焰或电弧)已经用在飞溅区,喷涂厚度为200 $\mu$ m(8mils),且用硅氧烷密封剂封

闭。好的表面处理和清洁度是必需的。该涂层至少应涂两道。密封剂可封闭涂层的孔隙且提高保护寿命和性能。

**10.4.6.2** 涂层的附着力应超过 7000 kPa (1000 psi)。

**10.4.6.3** 热喷涂铝也已经用于全浸区和海洋大气中的设施。对全浸区，在阴极保护电位难以达到的部位如管夹内侧和几何屏蔽区，可选择热喷涂铝系统。

**10.4.7** 矿脂/蜡基胶带系统。

**10.4.7.1** 可以使用矿脂/蜡基涂层系统加上适当的外套作为机械保护层。

**10.4.7.2** 应该适当考虑涂层在使用期间可能遭受的机械应力，为了保证足够的机械保护，应选择具有保护性的外套系统。

## 第 11 章 飞溅区腐蚀控制的维护措施

**11.1** 本章列述了检验程序和必须的维护手段,以确保处在飞溅区的钢结构得到连续保护。

### **11.2 检测**

**11.2.1** 每年应对飞溅区区段进行外观检测,以确定腐蚀控制是否仍有效。如失效,应对下面构件的损伤程度进行评估并采取补救措施。

**11.2.2** 当防磨蚀板和保护涂层其中任一发生破损或机械损坏时,应定期进行壁厚测量,确定其损耗量不超过腐蚀裕量。

### **11.3 修补方法**

**11.3.1** 铜镍合金(相当于 UNS N04400)的包覆层

**11.3.1.1** 应修整 UNS N04400 包覆层有破损的地方,并通过一个铜镍合金板焊接或捆在破损处来修补。

**11.3.1.2** 在水面处可使用另一种修补程序,包括修整平铜镍合金后,使用喷砂方法清理损坏的地方,以及手工涂上一层较厚的含有空气固化促进剂的硫化橡胶或飞溅区屏障物。后者是一种聚酰胺环氧涂料,该涂料具有排水性并可在水中固化。如果暴露在波浪作用的地方,可能需要采用金属网或粗麻布固定直至完全固化。

### **11.3.2 硫化氯丁橡胶**

**11.3.2.1** 修补程序见 11.3.1.2 的内容。

### **11.3.3 厚膜有机涂料**

**11.3.3.1** 对破损处,经过喷砂处理后的表面可用喷涂或手工涂覆进行修补。也可采用 11.3.1.2 的方法进行处理。

### **11.3.4 热缩套**

**11.3.4.1** 钢表面应清理干净,除去尖锐的突出物。

### **11.3.5 具有水活性树脂的玻璃纤维缠绕带**

**11.3.5.1** 应将钢表面清理干净,除去海生物和所有的尖锐突出物。

**11.3.5.2** 此系统第一层使用密封缠绕带将钢表面与海水有效地隔绝。外层使用玻璃纤维缠绕带作为机械保护层。

### **11.3.6 马蹄脂橡胶缠绕带**

**11.3.6.1** 钢表面应清理干净,除去海生物和所有的尖锐突出物。

## 第12章 表面处理

### 12.1 引言

12.1.1 本章为海上固定式平台大气区钢构件涂装前推荐适用的表面处理程序。

### 12.2 概述

12.2.1 大气区钢结构表面处理目的是为设计的涂层系统的施工提供必需的清洁度和规定的粗糙度。

12.2.2 在钢板、梁及圆形构件安装前，自动喷砂清理机是经济合理的表面处理工具。

12.2.3 已组装完毕的结构物在涂面漆前，应检查底漆是否有损坏或不合要求的部位。涂面漆前损坏部位和所有焊接区域均需现场喷砂并涂敷相同的底漆。

12.2.4 所有外露的毛刺、鳞皮、焊剂和轧制氧化皮在表面处理前或处理期间应全部去除，以获得光滑的表面。焊接溅落物应从所有的焊接部位去除。

12.2.5 如果表面处理在室外进行，应该是在白天完成，且尽早进行以保证涂底漆前表面不会出现任何锈蚀。

12.2.6 进行表面处理或涂敷底漆时，钢结构表面温度必须不低于露点以上 3℃ (5°F)。有雾或潮湿的情况下，不能进行钢表面常规涂敷作业。

12.2.7 如果作业适当，湿式喷砂可有效地对表面进行处理，并减少粉尘问题。如果应用此种处理方式，涂料系统应与喷砂用水中加入的缓蚀剂相容。

12.2.8 采用溶剂和洗涤剂清洗油污必须按照 SY/T 0407—97《涂装前钢材表面预处理规范》的要求操作。

12.2.9 不宜采用手工方法，除非是在其他方法不能使用的小面积上。不应采用使钢表面磨光的方法，如用钢丝刷清理。

### 12.3 表面处理标准

12.3.1 表面处理的等级或程度由所选涂层的要求确定。SY/T 0407—97《涂装前钢材表面预处理规范》中提供了目视比较准则，用于确定喷砂清理的四种等级，概述如下：

12.3.1.1 Sa3(出白级金属表面喷砂清理)定义为表面灰白色(金属本色)，轻微打粗以形成适合涂层的粗糙度。表面已无油、脂、灰尘、轧制氧化皮、锈、腐蚀产物、氧化物、涂料和其他异物。

12.3.1.2 Sa2 $\frac{1}{2}$ (近白级金属表面喷砂清理)定义为除了少量黑斑、暗条或(由于氧化物残留留在金属表面造成的)轻微变色外，表面去除所有的油、脂、灰尘、氧化皮、锈、腐蚀产物、氧化物、涂料和其他异物。任何给定表面上至少 95% 达到 Sa3 级，其他区域仅可轻微变色。

12.3.1.3 Sa2(工业级金属表面喷砂清理)定义为除了由于残留的锈蚀或氧化皮造成的少量黑斑、暗条或变色外，表面已去除所有锈、氧化皮和旧涂料，并已完全去除所有的油、脂、灰尘、锈层和其他异物。至少三分之二的表面上没有肉眼可见的异物。而且其余部分仅可有轻微变色，少量锈蚀或上面提过的异物。如果表面有点蚀，在蚀坑底部可见微量异物。

12.3.1.4 Sa1(清扫级表面喷砂清理)定义为表面已去除油、脂、灰尘、松动的锈皮、氧化皮和涂料，但对于附着牢固的氧化皮、锈、涂料和涂层，如果其表面已达到喷砂处理的粗糙度，可允许留在金属表面。因此，大量的基底金属斑纹均匀地分布于整个金属表面。

12.3.1.5 各种表面处理标准的对应关系见表 1。

### 12.4 离心叶轮式清理

该方法适用于制造场，可由自动叶轮式清理机对新焊件进行金属磨料处理。对于尺寸相同的焊件，其费用要比现场清理费用低。大的、形状不规则的部件必须用空气喷砂清理。

12.4.1 对于离心式喷砂清理应参照 SY/T 0407—97《涂装前钢材表面预处理规范》。

#### 12.4.2 需特别注意的问题

**12.4.2.1 磨料**——为了产生期望的粗糙度，使用混有 S-330 钢丸的 G-25 目或 G-40 目的钢砂，可根据需要添加新的磨料并检查过滤器以清除掉细小的磨料。

表 1 表面处理标准

标准	出白级	近白级	工业级	清扫级
SYJ4007—86	Sa3	Sa2 $\frac{1}{2}$	Sa2	Sa1
SSPC <sup>1)</sup>	SP5	SP10	SP6	SP7
ISO 8501—1 <sup>2)</sup>	Sa3	Sa2 $\frac{1}{2}$	—	Sa1
1) 钢结构涂装委员会。				
2) 国际标准 ISO 8501—1《涂料和相关产品施工前钢基处理——表面处理的目视评价——第一部分》(瑞典：国际标准化组织)				

**12.4.2.2 金属磨料的污染**——应根据 SY/T 0407—97《涂装前钢材表面预处理规范》用溶剂除去所有的油、脂或焦油类污染物。

**12.4.2.3 粗糙度试片**应定期以典型速度在清理机上进行处理，以确定粗糙度是否适宜。

#### 12.5 空气喷砂清理

该方法用于装配现场清理或海上平台维修作业时不宜自动清理机处理的部件。所用磨料见 12.5.2 所述。

**12.5.1 空气供应**——对空气供应的最初检查应包括如下几个方面：

**12.5.1.1 空气供应能力**应足够以保证在喷嘴处空气压力至少为 690 kPa (100psi)。

**12.5.1.2 压缩机**应装配有适当的安全操作装置。

**12.5.1.3 在空气管路**上必须使用油/水分离器，分离器应装配有得到便于维护的过滤器。每批次至少做一次测试。

**12.5.2 磨料**——为在表面处理中获得规定的粗糙度，喷砂清理应采用清洁的、各种等级的磨料(见 SY/T 0407—97《涂装前钢材表面预处理规范》)。

#### 12.6 用于表面处理的安全设备

**12.6.1 用于表面处理的安全设备**应包括但不限于如下内容：

- 权威机构认可的空气喷射防护罩，固定牢靠并且视线好；
- 经活性炭过滤并可调节压力的呼吸用压缩气源；
- 操作者控制的事故自动刹车遥控阀；
- 操作者防护服、手套等；
- 操作者安全带；
- 合适的脚手架；
- 合适的照明。

**12.6.2 为有效地完成表面处理和**安全操作设备，操作者必须经过严格的训练。

## 第13章 涂 层

### 13.1 引言

13.1.1 本章概述了关于平台涂层的一般原则,并列出了海上操作者常用涂层的一般成分。

### 13.2 概述

13.2.1 常规的涂料、表面处理工艺和涂敷方法不能用于海上恶劣的腐蚀环境。由于海上维修费用很高,所以应规定只能使用高性能保护涂料。高性能保护涂料的正确使用和性能要求表面经严格清理(见第12章),熟练的涂敷和检验技术(见第14章)。上述要求只能通过实施详细和完整的建造规格书来实现。

13.2.2 高性能涂料的正确使用要求操作人员遵守和坚持所有适用的安全规则和条例。

### 13.3 涂层系列

13.3.1 海洋涂层系列一般包括底漆、中间涂层和表面涂层。很多常用涂料均是有效的,但很多业主和涂料顾问认为,只有少数几种适应于海上应用。

13.3.2 大多数涂层系统以高防蚀性的底漆为基础,底漆设计成具有优越的润湿和附着性能,防止锈层基蚀并使表面钝化。常用的底漆包括:

13.3.2.1 洗涤底漆——此为转化底漆。是以聚乙烯醇缩丁醛树脂为溶剂,加入铬酸锌或铬酸锑为颜料而成的一种溶液。在使用前需加入含有酒精和磷酸溶液的第二组分。涂覆后涂层厚度很薄,干膜厚度不超过13 $\mu$ m (1/2 mils)。该底漆有磷化作用,在与钢基底接触后,会在其表面产生一层钝化膜。为获得其最有效的保护性能和避免铁锈穿透,在洗涤底漆涂敷后,必须迅速加上上层涂层。

13.3.2.2 富锌底漆——此为含高比例锌粉作填料的有机或无机涂层,当涂层中有破裂或不连续时,锌粒以其牺牲阳极作用保护基材。由于锌可与酸或强碱发生反应,当富锌底漆用于平台时会暴露于碱性的钻井泥浆和酸性的完井液中,因此在富锌底漆涂敷后,应在其上面再施加一层抗化学物质侵蚀的涂层。在施工前期富锌底漆是非常好的底漆,因为该底漆具有抗擦伤和撞击性,并且即使建造周期很长,它也可对钢基底提供良好保护。但是,必须注意的是在施加上层涂层前锌底漆表面保证是清洁的,为了去除污染物,可采用淡水冲洗或动力清理。

13.3.2.3 有机防锈底漆——此材料为溶剂型、化学固化或热塑型涂料,由溶剂挥发成膜。化学固化涂料一般需要增加第二组分来固化。该底漆特点是含有防锈颜料,颜料必须符合规章标准和条件限制的要求,且对环境是安全的。当这些颜料与湿气接触时,会产生一个碱性离子的环境,从而减缓基底金属的腐蚀。通常,由于该底漆含有活性颜料,而且只能作为保护性涂层系列的一部分,因此要有效地保护基底金属,底漆涂层上面必须加上涂层。底漆必须遵循所有有关毒性、安全和环境标准的现有法规。

13.3.3 上层涂层——用于海上平台的底漆上面均应施加中间涂层和(或)表面涂层。中间涂层和表面涂层的功能是为底漆提供一个保护层,减缓和限制水气、氧和化学活性离子的渗入。上层涂层还增加保护层的抗冲击性和抗溶性,以及表面的美观。上层涂料的一般特性包括如下:

13.3.3.1 化学固化涂层——这类涂层通常为环氧树脂、环氧酚醛树脂、聚酯或某些聚氨酯材料,它的固化是靠添加第二类通常称为“催化剂”或转化剂的材料来实现。该涂层材料具有很好的抗化学物质侵蚀性,每层厚度常超过100 $\mu$ m (4 mils)。由于这种材料暴露于环境中会不断地固化,因此随着时间的推移,它们会变得越来越硬、越来越脆、越来越具抗溶性,因此,如果在这类涂层上再加涂层,为获得好的机械附着性,这类涂层的表面需经过吹刮清理。除聚氨酯材料外,这类涂层暴露于紫外线会逐渐粉化。这类涂层材料在固化期间对温度和湿度很敏感,因此要保证有效地交联,需充分控制温度和湿度,以获得抗化学物质侵蚀的涂层。

13.3.3.2 溶剂沉淀型或热塑型涂料——这类涂料包含乙烯丙烯酸树脂、丙烯酸树脂。这类涂层材料不同于环氧树脂、聚酯和其他化学固化涂料,在该材料自液相变为固相的过程中不伴随任何化学过程,它的

固化是靠溶剂的挥发来完成的。这种干燥形式意味着涂料在相对湿度高至 90% 以及温度低至 0℃ (32°F) 时仍能进行涂敷。该涂层一般能极好地抑制环境条件的影响。在这类可溶性涂层上面再施加涂层很简单, 新旧涂层之间通过溶剂即可粘接。这类涂层的主要缺点是耐温性差 [在 60~70℃ (140~170°F) 之间]、抗溶性低, 以及固体含量低。由于低固体含量, 因此要获得要求的涂层厚度需增加涂层层数。近代技术表明, 厚膜和高固体含量可减少以前要求的涂层层数。然而, 耐化学性可能被削弱了。此外, 受有关易挥发有机物质(VOC)管理条例的限制, 有些地方可能禁止使用这种涂料。

### 13.3.4 热喷涂铝

**13.3.4.1 热喷涂铝(火焰或电弧)**每层可达 200μm (8mils), 采用硅氧烷树脂密封剂封闭, 已作为特殊用途用于大气区, 例如火炬臂上。好的表面处理和清洁度是必要的。最常用的原料是 99% 的或纯度更高的铝或 Al—5Mg, 在施工时喷两道或更多道。封闭层可以延长寿命和改善外观。

**13.3.4.2 涂层附着力**应超过 7000kPa (1000psi)。(见 10.4.6.2 节)。

### 13.4 涂料选择原则

**13.4.1** 为涂料选择而设计的加速试验包括:

a) 按相当于 GB/T 1771 (最新版本)《色漆和清漆 耐中性盐雾性能的测定》进行的盐雾试验 (4000h)。

b) 按相当于 GB/T 1865 (最新版本)《色漆和清漆 人工气候老化和人工辐射暴露(滤过的氙弧辐射)》进行老化试验(2000h)。

c) 按 GB/T 1740 (最新版本)《漆膜耐湿热测定法》进行潮湿箱试验(4000h)。

有些人在一个老化试验的转动装置上联合进行上述三种试验, 如 1000h 的盐雾试验, 1000 h 的老化试验后, 再进行 1000h 的盐雾试验, 最后又进行了 1000h 的老化试验。

**13.4.2** 下面列出可在实验室测定其他涂料特性的试验方法, 这些有助于涂层材料的选择:

GB/T 1732 (最新版本)《漆膜耐冲击性测定法》

GB/T 6739 (最新版本)《涂膜硬度铅笔测定法》

GB/T 6742 (最新版本)《漆膜弯曲试验》(圆柱轴)

GB/T 9286 (最新版本)《色漆和清漆 漆膜的划格试验》

GB/T 14826 (最新版本)《色漆涂层粉化程度的测定方法及评定》

等同的非国家标准的试验标准同样可以采用。

**13.4.3 涂层系统的最终选择**依赖于许多对环境、施工和性能的考虑, 包括如下:

**13.4.3.1** 建造期间已涂底漆的钢材贮存时间及能否承受在吊装和装配期间的磨损, 将损失降至最小。

**13.4.3.2** 能用常规和现有设备涂敷和维修的涂层系统。

**13.4.3.3** 处于北纬地区的钢结构, 低温和寒冷天气的限制。

**13.4.3.4** 对于海上平台的甲板部位, 由于暴露于大气中, 而且受钻井作业的磨损以及会溅上钻井泥浆、地层液体、柴油、润滑油和完井物质, 常采用那些抗冲击性好、抗溶性佳和抗腐蚀性化学物质侵蚀的化学固化涂层。

**13.4.3.5** 海洋涂层暴露于强紫外线辐射, 抗粉化性应好而且不易褪色。

**13.4.3.6** 通常优先使用容易修补和维修的涂层系统。

**13.4.3.7** 无机富锌涂层不易与其他无机富锌底漆(10Z)相容, 当其破损或使用中露出时, 通常用有机富锌涂料或化学固化防蚀底漆修补。

### 13.5 材料的储存、运输和混合

**13.5.1** 所有用于海上结构的涂层材料, 无论是用于第一次涂敷的基底表面, 还是用于维修, 均应来自原始的、未开封的厂家涂料罐, 罐上应贴有明显的标签, 注明罐内的涂料种类。涂层材料的储存应避免恶劣气候环境, 储存温度最好在 10~32℃ (59~90°F) 之间。



**13.5.1.1** 稀料、稀释剂或清洗剂的选用应根据涂料厂商的推荐。如果单独采购这些材料，则其成分应经涂料厂商认可。

**13.5.1.2** 使用的底漆、中间涂层和表面涂层材料应由单一厂商提供，以保持由单一厂家承担责任。

**13.5.1.3** 所有的涂料在使用前应经彻底搅拌，如发现有颜料沉淀，应用电动搅拌，使其重新弥散，形成一种均匀的混合液。对于双组分材料，已加催化剂的混合料也要用电动搅拌器搅拌。像富锌底漆类的重颜料涂层材料，在使用过程中应始终进行搅拌，以防沉淀。

**13.5.1.4** 用 250~600 $\mu\text{m}$  (30~60 目)的筛网过滤混合好的涂料，以除去所有的杂质或不弥散的颜料颗粒。

**13.5.1.5** 当混合涂料中含有催化剂或转化剂时，如果转化剂超过厂家推荐的含量，则会对涂料的涂敷、固化和使用性能产生负效应。

**13.5.1.6** 在任何时间均应保持溶剂密封，以防止潮湿空气的侵入，因为潮湿空气会冷凝出水分。

### 13.6 涂覆设备

**13.6.1** 大多数涂层材料均用喷涂法涂覆。常规的喷涂压力罐应装配有双重调节器和空气驱动搅拌器。所有的喷涂设备均应按涂料厂商的推荐装置液体喷嘴、指针和喷气嘴。到压力罐的空气供应线上应装一个有效的油水分离器。对于无空气喷涂，应选用压缩比至少为 30:1 的液压泵。应选用符合涂料厂商推荐的雾化嘴，它应根据需涂覆的平台的构件提供雾化度和最佳的扇面宽度。

**13.6.2** 混合涂层材料应使用清洁的桶和过滤器。

**13.6.3** 在喷嘴压力为 690kPa (100psig)下空气源的供应能力，最小为 0.85m<sup>3</sup>/min (30cfm)是可用的。

### 13.7 通用的典型涂层系统

**13.7.1** 表 2 中简要列出了海上平台和有关设备大气区常用的涂层系统。这里并没有推荐这些涂层系统的意思，也不是说前一种比后一种涂层系统更好，涂层系统的选择应基于像 13.4 中的选择原则和(或)现场经验和维护程序。

**13.7.2** 维修底漆应与原有的涂层系统相匹配。

**13.7.3** 涂层再涂或修整工作的频率和范围取决于多种因素，应考虑如下方面：

- a) 平台上腐蚀损坏的范围和位置；
- b) 影响平台构件的应力和荷载；
- c) 生产配管和容器溢出和泄漏的威胁；
- d) 再涂工作的费用，包括安装费；
- e) 因涂覆涂层造成的停工经济损失；
- f) 人员安全；
- g) 外观因素。

### 13.8 平台上生产设备和配管的涂层

**13.8.1** 对大多数工作温度为常温的设备，表 2 所列出的涂层系统基本上均可使用。

**13.8.2** 加热器、压缩机或其他设备的某些表面的温度可能会很高。如果这些表面需涂层，可以采用特定的高温涂层。也可考虑其他涂覆工艺，如喷镀、瓷釉或使用陶瓷涂层。

**13.8.3** 对形状复杂的设备必须注意不要涂得过厚，如管汇和采油树(见 13.9.5)。

### 13.9 海洋涂层涂覆过程中的特殊问题

**13.9.1** 需全盘计划海上涂层施工。海上涂层施工在后勤、可接近性、计划、住房和贮存方面比陆上要求的条件苛刻，而且费用也高得多。

**13.9.2** 业主、供应商和承包商代表应对需涂覆的平台进行考察，考虑下列结构内容：

- a) 精确的表面积；
- b) 钢的条件；

- c) 需遮挡的生产设备;
- d) 需安装脚手架的形式和数量及安全设备;
- e) 甲板空间和住房;
- f) 对工人、设备、材料及储藏量而言, 运输的可能性;
- g) 平台上需移动的设备;
- h) 特殊涂层系统的适合程度取决于结构的暴露和搬运情况。

表 2 用于大气的典型涂层系统<sup>1)</sup>

涂层系统	厚 度	
	$\mu\text{m}$	mils
洗涤底漆	13	0.5
乙烯基涂层, 中间和表面涂层(3~4 层)	200~250	8~10
洗涤底漆	13	0.5
氯化橡胶, 中间和表面涂层(3~4 层)	200~250	8~10
无机锌自固化底漆	75	3
环氧中间涂层	125	5
乙烯基丙烯或聚氨酯涂层	50	2
无机锌自固化底漆	75	3
环氧中间涂层和表面涂层 (2 层)	250	10
无机锌自固化底漆	75	3
乙烯基厚膜中间涂层	100~150	4~6
乙烯基表面涂层 (2 层)	50	2
无机锌后固化底漆	75	3
环氧中间涂层	125	5
乙烯基丙烯或聚氨酯涂层	50	2
无机锌后固化底漆	75	3
环氧结合层	50	2
环氧中间涂层	100~150	4~6
乙烯基丙烯或聚氨酯涂层	50	2
无机锌后固化底漆	75	3
共聚物结合层	50	2
乙烯基表面厚膜涂层	150~250	6~10
无机锌自固化底漆	75	3
环氧结合层	50	2
厚膜聚氨酯涂层	150~200	6~8

1) 表中所列的涂层层数和厚度可随操作者和制造厂商的不同而改变

**13.9.3** 在计划和协调平台作业时, 涂覆工作应给予特殊考虑。涂覆工作必须通知业主, 以防止盐水和油或泥浆中的化学物质的溢出对已清理过的金属表面或已涂底漆的表面的损坏。修井、钻井或建筑可能会严重地影响或延误涂覆工作。

**13.9.4** 业主和检验员必须熟悉表面处理的要求和会出现的问题, 熟悉涂层材料的使用。

**13.9.5** 对形状复杂的构件或配管拥挤的区域,薄涂层难以获得,因此,必须避免选用某些像无机锌底漆类的涂层材料,除非在涂覆时特别仔细,因为这类涂层对漆膜过厚很敏感,如果涂层厚度超过 100 $\mu\text{m}$  (4mils),会发生龟裂和剥离。

#### **13.10 镀锌**

**13.10.1** 对于复杂钢构件,用通常的方法施加涂层费用会很高,而且也困难,而热浸镀锌会是一种有效的方法。像护栅、扶栏、梯子、仪表盒、设备橇座及其他类似形状的构件可用镀层保护。

**13.10.2** 像其他含锌涂层一样,镀锌层在酸性和碱性环境中也会受到损坏,不应接触水泥、钻井泥浆或井中酸性介质。

**13.10.3** 在飞溅区和全浸区,镀锌层作为阳极受到腐蚀,会很快穿透或失效。在这些区域应使用其他类型的材料或在镀锌层的上面再覆盖一层涂层。

**13.10.4** 镀锌金属可以用合适的底漆或面漆来覆盖,以改善其抗化学物质和盐水的侵蚀性。

**13.10.5** 所有镀锌工作应遵循 GB/T 13912(最新版本)《金属镀覆层 钢铁制品热镀锌层 技术要求》和 GB/T 13825(最新版本)《金属覆盖层 黑色金属材料热镀锌层的质量测定 称量法》。

## 第14章 涂层检验

### 14.1 引言

14.1.1 本章提供了检验程序以证实符合涂层规格书的要求。

14.1.2 随着工程的不同,选择的材料和设备也不同。检验员应熟悉相关标准和规范。

14.1.3 为获得可接受的结果,采用检验员建议的检验工具是必要的。不过,根据大量经验作出的判断是最好的检验工具。

14.1.4 施工前应召开协商会,明确业主、检验员、承包商和涂料供应商之间的责任和关系。

### 14.2 工作方针

14.2.1 检验员应全面了解工作环节中的特殊部分,事先提醒承包商注意,减少后期的麻烦。还应做到对项目说明书的接受和理解的认可。

14.2.2 检验员应熟悉施工中使用的涂层材料。

14.2.2.1 规格书应根据双方商定的标准写明表面清理要求和粗糙度。

14.2.2.2 在施工现场应检验所有的涂层材料是否满足规格书的要求。施工前,应提供给检验员关于产品技术和安全性资料,这些资料应由涂料厂商准备。检验员应报告与规格书不符之处。

14.2.3 检验员在施工现场应对所有的设备作初始检验,确保满足工作要求,并提供文件。

14.2.3.1 应格外注意喷砂清理设备,检验员应验证和监督有关喷砂清理设备的规格书的实施,以确保压缩机型号与喷嘴数量匹配,软管、垫片和喷嘴尺寸合适,使用条件良好。应检查喷砂清理用空气的质量,检查其清洁性和干燥性(见12.5)。应出具证明文件。

14.2.3.2 检验员应常规性地检查涂覆设备是否处于良好的工作状态以及是否满足涂料厂商施工说明书。应出具证明文件。

14.2.3.3 应检查索具和安装脚手架所用的设备是否安全 and 是否适合涂层施工且符合业主和现行规章的要求。

14.2.3.4 在所有涂覆前检验员均应检验所有已清理的表面,以保证满足规格书的要求。

### 14.3 涂装

14.3.1 如果钢结构件表面温度与露点的温差不大于3℃(5°F),检验员应决定停止涂料涂覆作业。

14.3.2 检验员应检查涂覆设备,以保证适应于规定涂料的涂覆压力。

14.3.3 检验员应检查每一个操作者是否用合适的技术,并报告不安全的作法。

14.3.4 检验员应保证遵循材料使用程序规格书。

14.3.4.1 应检查每一层涂层的干膜厚度,保证漆膜厚度满足规格书的要求。

14.3.4.2 应检查固化或干燥时间是否遵循规格书。

14.3.5 应检查最终涂层表面,在绝缘层上有无漏点。

14.3.6 下一道涂层施工前,检验员应确认所有的涂层表面,不符合规格书要求的应返工。

14.3.7 检验员应保证所有需涂覆的表面上没有油、脂、盐沉积和水膜。

### 14.4 检验设备

14.4.1 要有喷嘴口径测量规,以测量用于喷砂的喷嘴磨损程度。

14.4.2 要有喷嘴压力测量表,以测量喷嘴的使用压力。

14.4.3 可用表面外观对比器确定表面外观或粗糙度。也可根据SY/T 0407—97《涂装前钢材表面预处理规范》中的要求测量粗糙度。

14.4.4 推荐采用一套外观检查标准,以对比表面处理结果(见12.3)。

14.4.5 宜采用湿度计或悬吊式干湿球湿度计来测量湿度和温度。

14.4.6 宜采用湿膜厚度计。

14.4.7 宜采用无损磁性干膜厚度计测量干膜厚度。

14.4.8 可用湿海绵式检漏仪来检测不导电涂层中的漏涂点。高压测漏仪可用于检测厚膜涂层(DFT>1 mm [40mils])。

14.4.9 经常使用小刀或拔拉试验仪检查涂层间粘结性和硬度，并确定多层涂层系统中的每一道涂层是否已涂覆。这是一种破坏性试验，可作为最终检测方法。

14.4.10 可采用可变宽度的十字刀片。

14.4.11 也可使用其他检验设备，包括反射镜、溶剂、采样瓶、胶布、温度计和表面粗糙度测量器。

#### 14.5 工作评定和记录

14.5.1 检验员应每天记录所有的工作内容。

14.5.1.1 记录内容应包括工作人员和使用的设备数量以及工作时间和气候条件。

14.5.1.2 记录每天所使用的全部材料，包括磨料、涂料、溶剂以及其他材料。

14.5.1.3 检验员应对涂层规格书的遵循程序作恰当的记录。

14.5.1.4 应保存好涂层修补的类型和位置的记录。

#### 14.5.2 检验员应记录作业进度

14.5.2.1 检验员应以平方米记录每天每个工作人员的作业进度。

14.5.2.2 检验员应记录每天全体工作人员的全部作业进度和总面积(m<sup>2</sup>)。

14.5.3 用于 14.5.1 至 14.5.2.2 中的数据对工作进行评定，确定工作人员的效率和单位面积的费用。

14.5.4 保存完整的工作记录，它将作为评定使用该涂层系统每年每平方米所需费用的基础。

## 第 15 章 腐蚀控制记录

### 15.1 引言

15.1.1 本章描述一个腐蚀控制记录系统,该系统是为阴极保护和涂层系统的设计、建造、运行、维护和有效性提供书面记录资料。

15.1.2 本章中详细列举了各种可能的记录内容,每一个操作者应根据自己平台的腐蚀控制需要决定记录内容。

15.1.3 关于阳极的位置、电缆、整流器的资料可按常规作法,记录在被保护平台的图纸上。大多数的电位测量值和维护检查结果可以表格的形式记录保存,并且周期性地不断记录入最新数据。

15.1.4 完工图应反映实际建造情况与设计规格书之间的任何差别,尤其是安装深度的误差,因为这可能改变飞溅区的覆盖区间。

### 15.2 阴极保护系统

15.2.1 牺牲阳极系统——应作如下记录:

15.2.1.1 所选用的设计准则:设计寿命、计算的阳极输出能力和消耗率以及电流密度需求。

15.2.1.2 阳极的数量、尺寸、成分(如果知道的话),还要记录制造厂商、价格和供应厂商。

15.2.1.3 每个阳极的位置、与平台的连接方式和安装日期。如果阳极在平台建造期间安装,应记录平台的实际就位日期。

15.2.1.4 阳极数量和位置,无论建造期间或就位以后进行过的检查,对检查出现的所有差别均要说明。

15.2.2 外加电流系统——应做如下记录:

15.2.2.1 所用的设计准则(见 15.2.1.1)。

15.2.2.2 阳极的数量、尺寸、成分、价格(如果知道)以及制造厂和供应商。

15.2.2.3 每个阳极的位置,连接方式和安装日期。

15.2.2.4 直流电源的特性。

15.2.2.5 所使用的绝缘屏蔽层的成分和位置。

15.2.2.6 如 9.3 和 9.5 所述,每一整流器的输出电流和电压,并注意整流器的任何调节。

### 15.2.3 联合系统

15.2.3.1 联合系统是指牺牲阳极系统和外加电流系统共同使用的一种保护系统。

15.2.3.2 联合系统的记录内容应包括每一个保护系统的完整资料。

### 15.2.4 平台电位测量

15.2.4.1 每次测量平台电位时,均应记录所使用的参比电极的种类和测量技术(用潜水员的、固定的、用导向装置的、常设的或自由悬挂的)。

15.2.4.2 记录初期平台电位,并按 9.4 规定定期测量记录平台电位。

15.2.5 操作和检测——应做如下记录:

15.2.5.1 阳极系统水下检测结果,注意所有的差异,如丢失阳极。

15.2.5.2 每次水下检查发现的腐蚀破坏的位置、大小和类型,以及平台基体上或其周围出现的废弃金属的位置和对它们简要描述。

15.2.5.3 所有更换的阳极块的数量、尺寸、成分、位置、与平台的连接方式、价格、供应厂商和安装日期。

15.2.5.4 整流器的每一次维修。

15.2.5.5 外加电流系统任何时候的停用时间。

15.2.5.6 平台所有的扩建部分以及新增的外输管道和平台之间的管道。

### **15.3 涂层和包覆层系统**

**15.3.1** 本节涉及的是用于大气区和全浸区的涂层，以及用于飞溅区的特殊涂层和金属的或非金属的包覆层。

**15.3.2** 当指定在飞溅区使用防腐蚀板时，应记录设计计算中假定的腐蚀速率。

**15.3.3** 初始安装——应做如下记录：

**15.3.3.1** 使用的表面处理、底漆、中间涂层和表面涂层，包括表面处理质量、每一道涂层的干膜厚度和涂层层数。

**15.3.3.2** 涂料制造厂商、施工者、施工日期。

**15.3.3.3** 检验程序，以及所有检验点的膜厚和漏涂点检验结果。

**15.3.3.4** 表面处理、涂层材料和涂层施工的费用。

#### **15.3.4 检测**

**15.3.4.1** 定期检测涂层和包覆层。

**15.3.4.2** 应记录每一次检测所发现的损坏位置、类型和数量。

**15.3.5** 维修——应做如下记录：

**15.3.5.1** 每一次修整和再涂的日期，以及维修的原因，例如装配后、钻井后、常规维护等。

**15.3.5.2** 所有的再涂面积、表面处理和使用的涂层系统，以及检验程序。

**15.3.5.3** 涂层承包商的名字、选用的人力、材料和使用的设备，以及整个工作的全部费用。

## 附录 A

(标准的附录)

## 海上石油生产典型设计参数

## 选定石油产区的平台

在开阔海域能达到平台全浸区阴极保护完全极化所需的最小设计电流密度的主要控制因素是平台全浸区表面的各种腐蚀性物质(去极化的)的活性,主要是氧。水的温度越低,水的电阻率和水中氧的溶解度越大。在海水中的自然横向流动过程中,海水的紊流也将大大增加氧到达构件表面的传递速度。库克湾的水域条件代表了一种极端的环境状况,除了急速流动的水中悬浮冰渣造成的冲刷(机械去极化)外,上面提到的大多数负面因素均存在。

钙质沉积物的形成降低了氧到达钢表面的能力从而影响到对电流的需求。由于金属表面极化, pH 值向碱性偏移,使钙质沉积物从海水中析出。由于水温的降低和较低的电流密度有损于钙质沉积物的性能,因此,若阴极保护前期电流密度相对较高,则可降低长期维持保护所需电流。

实验室试验和现场试验表明,钢在浸没时,电位快速极化至 $-0.9\sim-1.0\text{V}$  ( $\text{Ag}/\text{AgCl}$  [SW])比极化较慢所产生的钙质沉积物更具有保护性。为获得这样的结果需要较大电流密度,但电流需求量随着保护性钙质沉积物的形成而快速(成 10 倍)降低。结构刚下水时,牺牲阳极和未极化的钢结构之间的电位差可达 $0.45\text{V}$ ,牺牲阳极系统能在阴极上产生很大的电流密度。阴极极化后,阴阳极电位差降低到 $0.25\text{V}$ 或更小,电流密度也同时降低。

表 A1 为 11 个主要海上石油生产区内阴极保护系统设计提供了一般性指导。对于特定的设计,在最终确定设计参数之前,表中数据可作为研究工作的起点。



表 A1 阴极保护设计准则

生产区域	海水电阻率 <sup>2)</sup> $\Omega \cdot \text{cm}$	水温 $^{\circ}\text{C}$	环境因素 <sup>1)</sup>		典型设计电流密度 <sup>3)</sup> $\text{mA}/\text{m}^2$ ( $\text{mA}/\text{ft}^2$ )		
			紊流 (波浪作用)	横向水流	初期 <sup>5)</sup>	平均 <sup>6)</sup>	末期 <sup>7)</sup>
墨西哥湾	20	22	中度	中度	110(10)	55(5)	75(7)
美国西海岸	24	15	中度	中度	150(14)	90(8)	100(9)
库克湾	50	2	低度	高度	430(40)	380(35)	380(35)
北海北部 <sup>4)</sup>	26~33	0~12	高度	中度	180(17)	90(8)	120(11)
北海南部 <sup>4)</sup>	26~33	0~12	高度	中度	150(17)	90(8)	100(9)
阿拉伯湾	15	30	中度	低度	130(12)	65(6)	90(8)
澳大利亚	23~30	12~18	高度	中度	130(12)	90(8)	90(8)
巴西	20	15~20	中度	高度	180(17)	65(6)	90(8)
西非	20~30	5~21			130(12)	65(6)	90(8)
印尼	19	24	中度	中度	110(10)	55(5)	75(7)

1) 典型值和等级是根据平均状况, 并远离江河入海口。

2) 海水电阻率是氯度和温度的函数, 在 H.H.Uhlrig (纽约, NY: John Wiley and Sons, Inc., 1948) 所著的《腐蚀手册》中给出了氯度分别为 1.9% 和 2.0% 的海水电阻率。

温度 $^{\circ}\text{C}$		0	5	10	15	20	25
		电阻率 $\Omega \cdot \text{cm}$					
氯度 $\times 0.1\%$	19	35.1	30.4	26.7	23.7	21.3	19.2
	20	33.5	29.0	25.5	22.7	20.3	18.3

3) 在普通海水中, 一旦在设计电流密度下使平台极化完成并在构件表面产生一层钙质膜, 即使实际电流密度比设计电流密度小, 也能使平台维持保护电位。注意: 风暴会造成平台去极化。

4) 北海的条件, 从北到南, 从冬季到夏季以及风暴期间, 会有很大变化。

5) 初期电流密度是根据欧姆定律和电阻公式计算的。(如含有阳极原始尺寸的 Dwight's 或 Crennell's/Mccoy's)。在附录 D (标准的附录) 给出了一个计算实例, 阴极保护电位假定为  $-0.8\text{V}(\text{Ag}/\text{AgCl}[\text{SW}])$ 。

6) 平均电流密度用来计算在整个设计寿命期间维持电流所需的阳极总重量。计算实例见附录 D (标准的附录)。

7) 末期电流密度的计算除了使用消耗后的阳极尺寸外, 与初期电流密度计算方法相似, 计算实例见附录 D (标准的附录)。

## 附录 B

(标准的附录)

## 用于海上平台阴极保护的

## 各种工业用牺牲阳极的电容量与消耗率

给定牺牲阳极材料的电容量通常以安培·小时/千克( $A \cdot h/kg$ )表示。将每年的小时数(8760)除以电容量便得出用千克/安培·年 $[kg/(A \cdot a)]$ 表示的消耗率。对于设计工程师来讲,阳极消耗率更为实用。

用于海洋阴极保护系统的各种牺牲阳极材料,其电容量均应在通常实际使用电流密度,即大约  $2.2 \sim 7.5 A/m^2$  ( $200 \sim 700 mA/ft^2$ )下,通过实验室和现场试验预先确定。表 B1 中列出了某些常用牺牲阳极材料当电流密度在  $2.2 \sim 7.5 A/m^2$  ( $200 \sim 700 mA/ft^2$ )之间时的电容量。不同材料电容量的差别是由于厂商制造阳极材料的成分不同和(或)经过不同热处理所致。表 B1 中还列出了按上面所述计算出对应的阳极消耗率。

冷却时某些微量合金元素和/或杂质的偏析都会改变阳极材料性能。由于铸造后冷却缓慢,因此大阳极块的内部电位差异现象比较明显。

任何成分的阳极材料必须能为所设计的电流输出提供足够的驱动电压。使用一个合适的参比电极,可以通过测量阳极的闭路电位来检查阳极驱动电压。

表 B1 海水中牺牲阳极材料的电容量和消耗率

牺牲阳极材料	电容量 <sup>1)</sup> $A \cdot h/kg$ ( $A \cdot h/lb$ )	消耗率 $kg/(A \cdot a)$ [ $lb/(A \cdot a)$ ]	阳极在海水 <sup>2)</sup> 中 闭路电位 -V (Ag/AgCl[SW])
铝—锌—汞	2760~2840 (1250~1290)	3.2~3.1 (7.0~6.8)	1.0~1.05
铝—锌—铟	2290~2600 (1040~1180)	3.8~3.4 (8.4~7.4)	1.05~1.10
铝—锌—锡	930~2600 (420~1180)	9.5~3.4 (20.8~7.4)	1.0~1.05
锌合金	770~820 (350~370)	11.2~10.7 (24.8~23.7)	1.0~1.05
镁合金	1100 (500)	8.0 (17.5)	1.4~1.6
1) 上面的数据范围取自华盛顿 DC 海洋研究室在美国佛罗里达州的 key west 区域所作的现场试验(ANVSEAT 技术手册,第 9920 章,美国海军。),以及制造厂商的长时间现场试验。			
2) 由于温度和盐度不同,测得电位可能会有所改变			

## 附录 C

(标准的附录)

## 用于海上平台阴极保护的各种工业用

## 外加电流阳极在海水中的消耗率

针对不同的特定应用条件,设计者会对阳极电流密度有不同的需求,外加电流阳极不同于牺牲阳极,它可以提供较宽范围的电流密度。由于阳极电流负载对消耗率有影响,因此对于所列各种阳极材料的消耗率必须包含相应的近似电流密度才有意义。

表 C1 列出了用于海上平台阴极保护系统的各种外加电流阳极材料的消耗率。如果用钛作为铂类阳极的基体材料,则阳极/电解质间的电压应限制在大约 8V 以内。对于以铌作为基体材料的阳极,实验室试验证明电压在高达 100V 时其效果仍然令人满意,不过现场经验表明,电压低于 50V 将更加可靠实用。

表 C1 外加电流阳极材料的消耗率

外加电流 阳极材料	用于盐水中的典型阳极电流密度 $A/m^2$ ( $A/ft^2$ )	正常消耗率 $g/(A \cdot a)$ [ $lb/(A \cdot a)$ ]
Pb-6%Sb-1%Ag	160~220 (15~20)	14~90 (0.03~0.2 <sup>1)</sup> )
Pb-6%Sb-2%Ag	160~220 (15~20)	14~27 (0.03~0.06 <sup>2)</sup> )
Pt(以 Ti、Nb 或 Ta 为基体 或混合金属氧化物)	540~3200 (50~300)	$3.6 \times 10^{-3} \sim 7.3 \times 10^{-3}$ ( $8 \times 10^{-6} \sim 16 \times 10^{-6}$ <sup>2)</sup> )
石墨	10~40 (1~4)	230~450 (0.5~1.0)
Fe-14.5%Si-4.5%Cr	10~40 (1~4)	230~450 (0.5~1.0)
1) 经验表明,在水深超过 30m(100ft)时,Pb-Ag 阳极的消耗率很高。		
2) 当电流密度非常高和/或在低密度水中时该数值会增大		

## 附录 D

(标准的附录)

## 牺牲阳极输出电流的典型计算方法

根据 Dwight 修正公式<sup>1)</sup>, 圆柱形阳极与所处电解质间的电阻等于电解质电阻率乘以某些阳极形状因数, 见公式(D1):

$$R = \rho \frac{K}{L} \left( \ln \frac{4L}{r} - 1 \right) \quad \text{..... (D1)}$$

式中:  $R$  —— 阳极与电解质间的电阻,  $\Omega$ ;

$\rho$  —— 电解质电阻率,  $\Omega \cdot \text{cm}$ (见表 A1);

$K$  —— 如果  $L$  或  $r$  单位用厘米时  $K$  为  $0.500 \pi$  或  $0.159$ , 如果单位用英寸时为  $0.0627$ ;

$L$  —— 阳极长度;

$r$  —— 阳极截面半径(如果截面不是圆形,  $r = C/2\pi$ , 其中  $C$  为阳极截面周长)。譬如对于  $25\text{cm} \times 25\text{cm}$  ( $10\text{in} \times 10\text{in}$ ) 阳极截面,  $C=100\text{cm}$ ( $40\text{in}$ ) 则  $r=15.9\text{cm}$ ( $6.37\text{in}$ )。

应用欧姆定律来确定阳极输出电流:

$$I = E / R \quad \text{..... (D2)}$$

以用于墨西哥湾的阳极计算为例, 保护所需阳极数量必须满足三种不同的计算要求。要有足够的阳极满足平台初期极化(初期电流密度见表 A1); 在平台设计寿命期间能够产生适当的电流; 以及在设计寿命后期产生维持保护所需足够的电流。作为实例, 给出下面数据:

平台表面积 =  $9300 \text{ m}^2$  ( $100000 \text{ ft}^2$ )

设计寿命 =  $20\text{a}$

$\rho = 20 \Omega \cdot \text{cm}$  (取自表 A1)

根据这些数据, 我们可选择具有下列性能的阳极:

材料: Al-Zn-Hg 合金;

$E = 0.25\text{V}$ , 保护电位为  $-0.80\text{V}(\text{Ag}/\text{AgCl}[\text{SW}])$  时, 铝或锌阳极与被保护平台之间的驱动电压;

$L = 244\text{cm}$  ( $96\text{in}$ ), 阳极长度;

$r = 13.7\text{cm}$  ( $5.4\text{in}$ ), 截面为  $22\text{cm} \times 22\text{cm}$  ( $8.5\text{in} \times 8.5\text{in}$ ), 阳极芯为  $10\text{cm}$  ( $4\text{in}$ ) 的阳极初期半径;

$W_t = 330 \text{ kg}$  ( $725 \text{ lb}$ ), 每块阳极质量;

$C_c = 2750 \text{ A} \cdot \text{h/kg}$  ( $1250 \text{ A} \cdot \text{h/lb}$ ), 铝—锌—汞合金阳极电容量;

由此, 每块阳极初期发出电流为:

$$I = \frac{0.25}{20 \times \frac{0.159}{244} \left[ \ln \left( \frac{4 \times 244}{13.7} \right) - 1 \right]} = \frac{0.25}{0.0424} = 5.86 \text{ (A)} \quad \text{..... (D3)}$$

暴露面积为  $9300 \text{ m}^2$  ( $100000 \text{ ft}^2$ ) 的被保护平台所需阳极数量为:

1) H. B. Dwight. 《接地电阻的计算》. 电工技术 55, 12(1936): pp. 1319~1328.

$$N = \frac{\text{前期电流密度}(10\text{mA}/\text{ft}^2) \times \text{表面积}(9300\text{m}^2)}{\text{每块阳极发出电流}(5.86) \times 1000\text{mA}/\text{A}} \\ = 175 \text{ 块} \quad \dots\dots\dots (\text{D4})$$

为了满足平台对第二种电流密度的要求, 确定在 20a 设计寿命内被保护平台所需阳极数量:

$$N = \frac{\text{平均电流密度}(55\text{mA}/\text{m}^2) \times \text{表面积}(9300\text{m}^2) \times \text{寿命}(20\text{a}) \times 8760(\text{h/a})}{(2750\text{A} \cdot \text{h/kg} \times 330\text{kg}/\text{阳极} \times 1000\text{mA}/\text{A})} \\ = 99 (\text{块}) \quad \dots\dots\dots (\text{D5})$$

最后, 计算满足后期电流所需阳极数量, 除了使用消耗后的阳极尺寸外, 采用与初期电流需求类似的方法:

$$r_{\text{消耗后}} = r_{\text{初期}} - (r_{\text{初期}} - r_{\text{铁芯}}) \times 0.9 \\ = 13.7 - [(13.7 - 5.7) \times 0.9] = 6.5 (\text{cm}) \quad \dots\dots\dots (\text{D6})$$

其中: 0.9 是细长阳极的利用率:

$$L_{\text{消耗}} = 244\text{cm}(96\text{in}) (\text{长度不变}) \quad \dots\dots\dots (\text{D7})$$

则保护暴露面积为 9300m<sup>2</sup> 的平台后期所需阳极数量为:

$$N = \frac{\text{后期电流密度}(75\text{mA}/\text{m}^2) \times \text{表面积}(9300\text{m}^2)}{\text{每块阳极发出电流}(4.78) \times 1000\text{mA}/\text{A}} \\ = 146 (\text{块}) \quad \dots\dots\dots (\text{D8})$$

初期电流计算结果需要 175 块阳极, 按平均电流密度计算需要 99 块阳极, 按后期电流计算结果需要 146 块阳极。对于该实例, 比较合适的块数为 175 块。但是, 这个值与平均电流所要求的 99 块的差别很大。若按另一种形状的阳极计算, 三种计算所需数量之间相差较小, 则常安装这种比较经济的阳极。

当  $4L/r \geq 16$  时, Dwight 公式是有效的; 当  $4L/r < 16$  时或阳极截面形状不能作为圆形考虑时, 阳极输出电流的计算最好采用其他公式, 如 Crennell(McCoy)公式[见公式(D9)]或 Dwight 的其他修正公式。理论上, 对于深水全浸圆柱形阳极, 下面的公式可能会更加准确:

$$R = \rho \frac{K}{L} (\ln \frac{2L}{r} - 1) \quad \dots\dots\dots (\text{D9})$$

但在实际阴极保护系统中, 第一个公式应用比较广泛。

注意:

a) 在实际设计中, 为了保证在阳极寿命期间构件得到充分保护, 选择的阳极长度值  $L$  和阳极截面半径值  $r$  应能表征出阳极即将耗尽时的状况。对细长阳极, 长度的变化可以忽略, 或认为长度的减少不大于原始长度的 10%;

b) 以  $-0.8\text{V}(\text{Ag}/\text{AgCl}[\text{SW}])$  为平台最小保护电位, 如果实际的平台保护电位负于此值, 则  $E$  值会小于 0.25V, 这样会减少阳极输出电流, 从而增大阳极寿命;

c) 阳极净重必须按照选用阳极材料的实际消耗率设计, 能在系统寿命期间内足以提供计算的电流量[见附录 B (标准的附录) 和表 B1];

d) Crennell(McCoy)公式为:

$$R = \frac{0.135\rho}{A} \quad \dots\dots\dots (\text{D10})$$

式中:  $R$  —— 电阻,  $\Omega$ ;

$\rho$  —— 海水电阻率,  $\Omega \cdot \text{cm}$ ;

$A$  —— 阳极暴露的面积,  $\text{cm}^2$ 。

---