

# 海洋钢结构腐蚀原因及防腐蚀方法分析

崔国庆\*

海洋石油工程(青岛)有限公司 山东 青岛 266520

**摘要:** 目前各国从未停止对海洋钢结构的腐蚀机理及防护进行研究,同时还投入大量资源进行海洋钢结构防腐的研究和实践。对海洋钢结构腐蚀原因进行分析总结,对相关防腐方法进行对比,对控制海洋钢结构腐蚀,延长海洋钢结构的使用寿命,减少因腐蚀造成的平台经济损失具有重要意义。本文对海洋钢结构腐蚀原因及防腐蚀方法进行分析。

**关键词:** 海洋钢结构; 腐蚀区; 腐蚀原因; 防腐蚀方法

**DOI:** <https://doi.org/10.37155/2717-5189-0310-25>

## 1 海洋钢结构腐蚀环境及腐蚀原因

在海上特定的腐蚀性条件下,海洋钢结构腐蚀具有多样性和复杂性的特点。海洋钢结构腐蚀环境及原因分为以下五类。

**海洋大气区腐蚀:** 海洋大气腐蚀受许多因素的综合影响,发生腐蚀的原因是在钢结构表面形成电解液构成局部腐蚀电池并发生腐蚀。大气腐蚀可分为三类:干大气腐蚀、潮大气腐蚀、湿大气腐蚀。由于海洋大气环境特殊,潮大气腐蚀与湿大气腐蚀最为常见,海洋大气中的氯化物含量最多,其中夹杂着一些氮硫化物,且海洋大气湿度高,容易在金属表面形成一层薄薄的大气液膜,使暴露在大气中的金属形成了电化学腐蚀的条件,促使海洋平台发生腐蚀<sup>[1]</sup>。

**海洋飞溅区腐蚀:** 飞溅区的海水在海浪和潮差的作用下与空气充分接触,使其中的含氧量增加,同时接触部分受到阳光长时间的照射,使得浸湿部分的钢结构表面电解质浓度升高,更容易发生电化学腐蚀。此外飞溅区由于经常遭受富氧浪花的冲击,钢结构上面的保护层更容易发生脱落,造成腐蚀加剧。

**潮差区腐蚀:** 潮差区钢结构因为常年处于潮汐运动中,干湿交替明显,与富氧海浪的接触十分频繁,提供了腐蚀发生所需要的条件。另外在冬季北方海域会产生海洋流冰,海洋流冰也会与钢架涂层发生碰撞、刮擦,导致涂层大面积被破坏,使裸露的钢结构与海水直接接触,从而加剧腐蚀。

**海水浸没区腐蚀:** 处于海水中的钢结构受海水中含氧量、Cl<sup>-</sup>、温度等因素影响。其中表层浸没区的海水含氧量及温度相对最高,因此发生腐蚀的程度也最为严重。随着海水深度的加深,海水中的含氧量逐渐减少,温度逐渐降低,海水作为腐蚀电解质的腐蚀性也逐渐变弱。

**海底土壤区腐蚀:** 海底土壤长期浸泡于海水中,因此可以认为海底土壤是由固、液两相构成的特殊土壤。由于海底土壤上方全部是海水,导致海底土壤缝隙完全被海水填充,不与空气直接接触,所以海水中的含氧量决定了海底土壤中氧含量,而且海底土壤与海水间的物质交换速率很低,同时海水又不能提供充足的氧气,所以海底土壤中的氧含量十分有限。水中的细菌会在海洋生物死亡后,对它们的尸体进行分解,分解后产生的有机酸碳氢化合物和水中的泥沙等固体颗粒混合聚集,最终沉降到海底。海底土壤中较低的溶氧量加上这些有机化合物,这就为海底的厌氧菌,如硫酸盐还原菌,提供了很好的环境和物质条件,所以在海底土壤中厌氧菌很常见。有研究表明,海底土壤中厌氧菌的活动可以显著加快金属在海底土壤中的腐蚀速率<sup>[2]</sup>。

## 2 海洋钢结构腐蚀类型

海洋钢结构的腐蚀分为化学腐蚀与电化学腐蚀,其中如图1所示,金属与周围介质(非电解质)直接作用发生化学反应引起的破坏称为化学腐蚀,也叫氧化反应。化学腐蚀又可分为气体腐蚀(指在干燥气体中的腐蚀,主要是指金属与周围氧化剂气体发生直接作用,形成氧化物的过程)和有机介质腐蚀(有机介质腐蚀是指金属在不导电的有机介质中发生的腐蚀)。化学腐蚀在海洋钢结构上发生的概率很小,相对于常见的电化学腐蚀而言基本可以忽略。

\*通讯作者:崔国庆,1984年9月,汉族,男,辽宁省本溪市,海洋石油工程(青岛)有限公司,检验工程师,中级工程师,本科,研究方向:海洋钢结构。

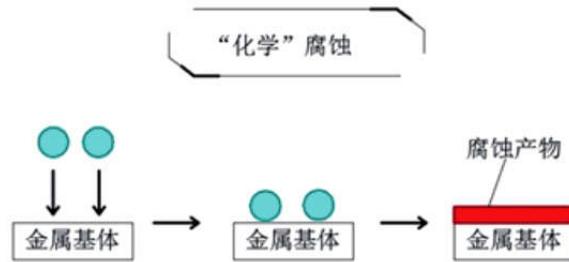


图1 化学腐蚀原理

海洋钢结构上发生的腐蚀几乎全部是电化学腐蚀。如图2所示，金属表面与离子导电的电解质发生电化学反应而产生的破坏称为电化学腐蚀，电化学腐蚀过程中伴有电流产生。电化学腐蚀分为全面腐蚀与局部腐蚀，其中全面腐蚀为腐蚀分布于金属的整个表面，使金属整体减薄，整体腐蚀相对容易检测，且不会引起灾难性的失效。局部腐蚀是指在金属表面上特定的位置发生的腐蚀，而其余大部分表面不腐蚀或者腐蚀速度、深度相比特定位置来说非常小，局部腐蚀一般发生在难以检测的区域。局部腐蚀的常见类型主要分为点蚀、晶间腐蚀、缝隙腐蚀、电偶腐蚀、疲劳腐蚀、磨损腐蚀、氢致开裂、选择性腐蚀、脱层腐蚀。在海洋钢结构上，当金属表面发生腐蚀时，不同位置的腐蚀程度有着很大的差异，就是局部腐蚀。在海洋钢结构发生局部腐蚀不加外界干预的情况下，局部腐蚀最终会演变为全面腐蚀，无论是局部腐蚀还是全面腐蚀都危害平台的运行，影响平台的正常生产<sup>[3]</sup>。

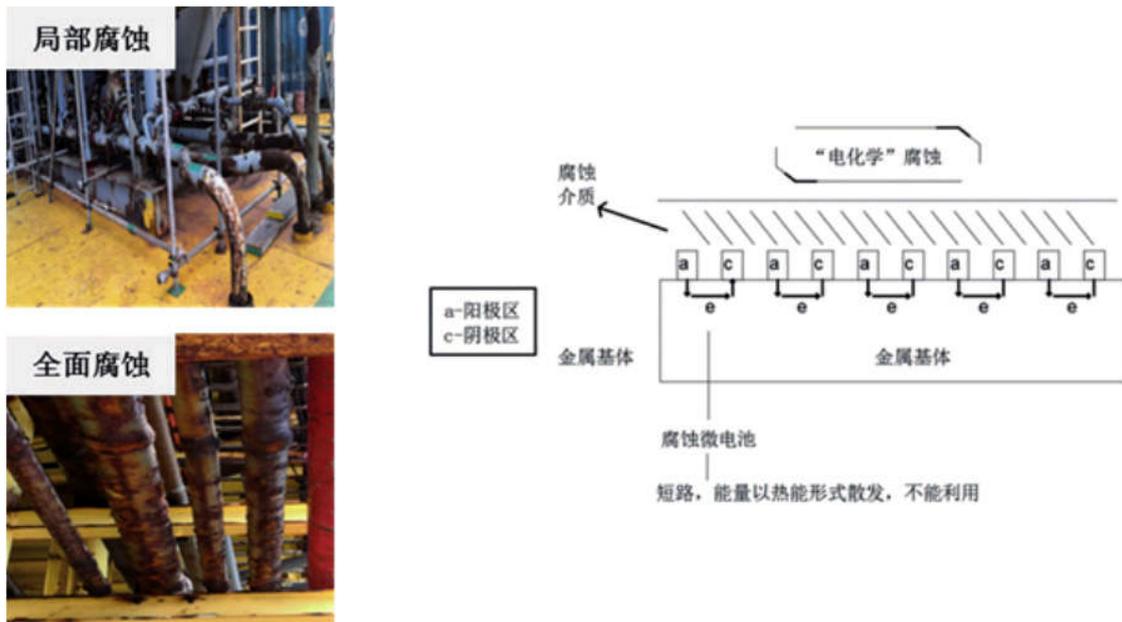


图2 电化学腐蚀原理

### 3 海洋钢结构防腐手段

目前海洋钢结构防腐手段主要分为内部与外部防腐，内部防腐是从钢结构自身材质方面入手，通过各种手段改变金属本身的性质如掺杂稀有元素、合金化、钝化金属等来增加金属本身的防腐性能，但成本较为昂贵。因此目前海洋钢结构还是以外部防腐为主。外部防腐是通过外部防护手段抑制金属发生腐蚀的方法，常见的外部防腐方法有涂装（涂层）、外加电流、牺牲阳极等，涂装为大气区至潮差区最常用的防腐方法，外加电流和牺牲阳极防腐则多应用在海水浸没区及以下的区域中。

#### 3.1 涂层防腐

涂层可以分为常规油漆涂层和喷涂金属涂层（热喷铝或镀锌）。如图3所示，涂层的作用为：屏蔽作用（通过涂装可以在金属表面形成一层保护层，有效地将金属基体与腐蚀环境隔绝开，达到防腐的目的）；缓蚀作用（涂层中含

有物理或化学防锈物质的情况下，通过物理或化学作用抑制腐蚀的进行），例如通过鳞片的重叠与搭接抵挡或延长介质渗透基体的速度或者通过化学防锈颜料与基体的钝化、磷化作用阻挡腐蚀；阴极保护作用（涂料或涂层中有比基体金属更活泼的金属颗粒，并且金属粉含量能使其充分与金属基体接触，当腐蚀发生时便能保护基体免受腐蚀）。涂层防腐的特点：施工比较简单，维护及重涂方便，可与其他防腐措施搭配使用等。涂层也有其缺点，常规油漆涂料的环境污染问题突出，高固体分涂料、水性涂料、无溶剂涂料将成为前沿研究课题，油漆涂料的费用也在逐步提升，同时由于现在平台服役环境不同，这就要求涂料能够满足在严苛环境下的防腐的性能要求。对于喷涂金属涂层由于其较高的价格，也限制了全面应用的可能<sup>[4]</sup>。

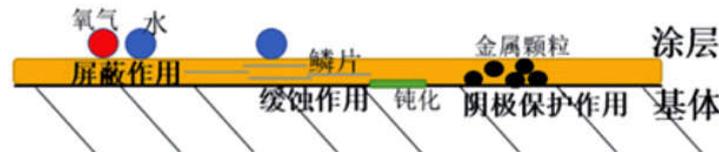


图3 涂层保护原理图

### 3.2 阴极保护防腐

外加电流（强制电流）与牺牲阳极都属于阴极保护，如图4所示，阴极保护属于电化学保护，以其施加微小电流实现保护的工作原理也称为电保护。阴极保护常用在平台的海水浸没区及以下，阴极保护可以使钢结构自身在发生腐蚀时不参与氧化还原反应，而是由替代它的阳极或者阴极电流来进行氧化反应，从而达到了防腐的目的<sup>[5]</sup>。牺牲阳极施工技术简单，基本不需要特殊专业维护管理，但有效保护年限受牺牲阳极寿命的限制，需要定期更换，海底情况复杂，更换阳极难度较高，费用昂贵；强制电流保护相对于牺牲阳极而言，在海水中恶劣腐蚀条件下能够长期运行，但在系统运行过程中，需要严格的专业维护管理，费用更加昂贵。此外，阴极保护虽然能有效地控制钢结构在海水中腐蚀的发生，但是却无法控制已产生的局部腐蚀的进一步发展。因此在平台长期的预制过程中，阴极保护系统还无法发挥全面的作用<sup>[6]</sup>。

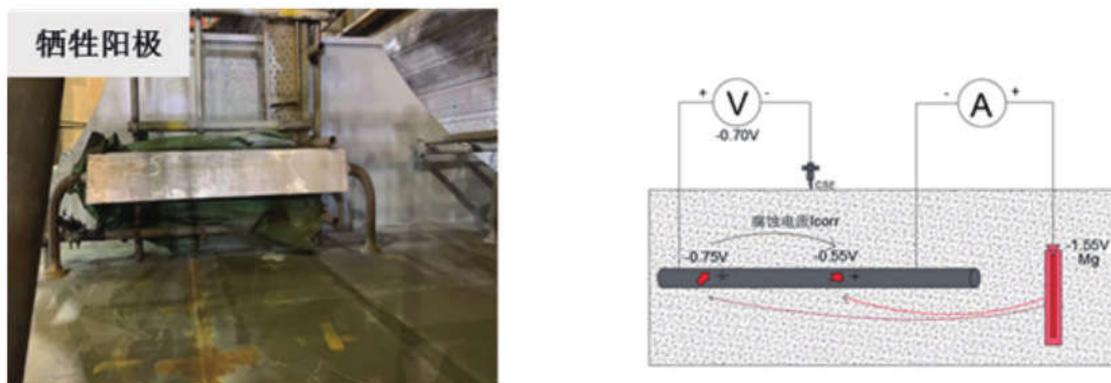


图4 阴极保护原理

### 4 结束语

二十一世纪是大力开发海洋的世纪，随着海洋油气资源的不断开发，越来越多的海洋钢结构出现在海洋中，海洋钢结构腐蚀问题造成的各种损失对海洋油气事业的发展形成了极大的阻碍。因此，海洋钢结构的腐蚀与防护受到了越来越多的关注，从设计开始充分考虑其所服役的海洋环境、研发耐腐蚀金属材料、研发环境友好和适用严苛环境的防腐涂料、发展热喷涂技术、搭配阴极保护等措施对减缓海洋钢结构的腐蚀，形成海洋钢结构长期有效防腐的意义十分重大。海洋工程领域需要通过不断研究探索海洋钢结构防腐技术来确保海洋钢结构的运行安全，为保障国家海洋油气资源的顺利开采贡献力量。

### 参考文献：

[1]戴志豪,王永政,缪军翔.海洋钻井平台防腐技术的研究[J].管理观察,2017,(32):38-39.

- [2]朱海彬,陈景峰,郭学平.海洋平台飞溅区的腐蚀与防护新技术[J].全面腐蚀控制,2013,(11):56-59.
- [3]李延伟,李言涛,王路遥,等.海底海泥区域管线钢腐蚀行为的研究现状及展望[J].材料保护,2012,(3):56-58.
- [4]丁可.海上平台设施设备腐蚀状况研究[J].中国修船,2012,25(6):50-52.
- [5]朱相荣等编著.金属材料的海洋腐蚀与防护[M].北京:国防工业出版社,1999.
- [6]侯保荣.海洋环境腐蚀规律及控制技术[J].科学与管理,2004,(5):7-8.