

# 浅析海水泵的腐蚀现象及形成机理

余 骞

中海浙江宁波液化天然气有限公司 浙江 宁波 315800

**摘要：**本文专注于探讨海水泵在海洋极端环境下的腐蚀现象及其内在形成机理。文章深入剖析了海水泵遭受腐蚀的主要原因，包括海洋环境的特殊性、泵体材质的化学性质以及海水中的腐蚀性物质等。基于这些分析，本文进一步提出了针对性的预防措施，旨在延长海水泵的使用寿命并提升其运行可靠性。通过本研究，我们期望为海水泵的设计、制造与维护提供有力的理论支撑和实践指导，以促进液化天然气接收站技术的持续发展。

**关键词：**海水泵；腐蚀现象；形成机理；预防措施

引言：液化天然气接收站海水泵的作用是给中间介质气化器提供海水与液态天然气进行热交换，从而使液态天然气变成气态天气进入输送管道到达下游用户。海水泵作为液化天然气接收站的核心设备，其稳定运行直接关系到整个接收站的外输能力。然而，海洋环境的恶劣条件，尤其是海水的强腐蚀性，对海水泵构成了严峻挑战。长期暴露于高盐度、高湿度环境中，海水泵极易发生腐蚀，这不仅大幅缩短了其使用寿命，还增加了安全事故的风险。因此，深入探究海水泵的腐蚀现象及其形成机理，对于提升设备性能、保障液化天然气接收站安全生产具有至关重要的理论和现实意义。

## 1 海水泵腐蚀现象及形成机理研究意义

### 1.1 理解腐蚀行为，奠定理论基础

研究海水泵的腐蚀现象及形成机理，有助于我们更全面地理解海水泵在海洋环境中的腐蚀行为。腐蚀是一个复杂的过程，涉及电化学、化学和物理等多个方面。在海洋环境中，海水泵不仅要面对高盐度、高湿度的腐蚀环境，还要承受海浪、潮汐等物理因素的冲击。通过深入研究，我们可以揭示这些因素如何相互作用，共同影响海水泵的腐蚀过程，从而为后续研究奠定坚实的理论基础。

### 1.2 提供科学依据，指导防腐措施

研究海水泵的腐蚀现象及形成机理，可以为制定有效的防腐措施提供科学依据。防腐措施的选择应基于对腐蚀机理的深入了解。如果腐蚀主要由电化学过程引起，那么我们可以采用牺牲阳极或外加电流的阴极保护方法；如果腐蚀主要由化学过程引起，那么我们可以选择使用耐腐蚀性能更好的材料或涂覆防腐涂层<sup>[1]</sup>。通过科学研究，我们可以确定最适宜的防腐策略，从而提高海水泵的抗腐蚀能力。

### 1.3 延长使用寿命，降低维修成本

研究海水泵的腐蚀现象及形成机理，有助于提高海水泵的使用寿命和可靠性，从而降低维修成本。腐蚀是导致海水泵失效的主要原因之一。通过深入了解腐蚀机理，我们可以采取针对性的预防措施，如优化结构设计、提高材料质量、加强维护保养等，从而有效延长海水泵的使用寿命。同时减少因腐蚀导致的故障和维修次数，也可以显著降低维修成本，提高设备的经济效益。

## 2 海水泵腐蚀现象概述

海水泵作为液化天然气接收站中的关键设备，承担着抽取、输送海水的重任，其运行状态的稳定与否直接关系到整个系统的安全性和效率。然而海洋环境特有的高盐度、高湿度以及复杂的微生物生态，使得海水泵在长期使用过程中面临着严重的腐蚀问题。

### 2.1 腐蚀现象的主要表现

海水泵在海洋环境中的腐蚀现象多种多样。（1）锈蚀：锈蚀是金属表面与海水中的溶解氧、二氧化碳等发生化学反应，生成金属氧化物（锈）的过程。锈蚀不仅破坏了海水泵的表面光洁度，还可能导致金属结构的强度和韧性下降，进而影响其使用寿命。（2）剥落：剥落是指腐蚀产物在金属表面形成后，由于物理或化学作用而脱落的现象。剥落会进一步暴露金属基体，加速腐蚀过程，严重时可能导致海水泵部件的损坏或失效。（3）穿孔：穿孔是腐蚀深入金属内部，形成空洞并最终导致金属断裂的现象。穿孔不仅降低了海水泵的强度，还可能引发泄漏，对海洋环境造成污染，甚至威胁到整个系统的安全运行。

### 2.2 腐蚀现象的影响因素

海水泵的腐蚀现象受到多种因素的影响。（1）材质：海水泵的材质是影响其耐腐蚀性的关键因素。不同材质的金属在海水中的腐蚀速率差异显著<sup>[2]</sup>。例如不锈钢虽然具有较高的耐腐蚀性，但在含有高浓度氯离子的海水中，仍可能发生点蚀或应力腐蚀开裂。而一些新型

合金材料,如钛合金、镍基合金等,则表现出更好的耐海水腐蚀性能。(2)工作环境:海水泵的工作环境也是影响其腐蚀速率的重要因素。海洋环境中的温度、盐度、溶解氧含量以及微生物活动等都会加速或减缓腐蚀过程。例如,高温会加速金属与海水中的化学反应,从而加剧腐蚀;而盐度的增加则会提高海水的电导率,促进电化学腐蚀的发生。(3)运行时间:海水泵的运行时间也是影响其腐蚀程度的一个重要因素。随着运行时间的增加,海水泵表面的腐蚀产物逐渐积累,腐蚀速率可能逐渐减缓(称为“钝化”现象),但也可能因腐蚀产物的脱落而暴露新的金属表面,从而加速腐蚀过程。此外,长期运行还可能导致海水泵内部的磨损和疲劳,进一步加剧腐蚀问题。

### 3 海水泵腐蚀的形成机理

海水泵的腐蚀是一个复杂且多因素作用的过程。在海洋环境中各种腐蚀机理往往不是孤立存在的,而是相互作用、共同作用于海水泵的金属表面,导致腐蚀现象的发生。

#### 3.1 电化学腐蚀

电化学腐蚀是海水泵腐蚀中最主要的一种类型。它是指海水中的电解质(如氯化钠、氯化镁等)与金属表面形成原电池反应,导致金属被氧化而腐蚀(如图1)。这种腐蚀过程通常涉及阳极和阴极两个反应区。在阳极区,金属原子失去电子成为金属离子,进入溶液中,这一过程称为阳极溶解。而在阴极区,溶液中的氢离子或氧分子接受电子发生还原反应,生成氢气或氢氧根离子。这种原电池反应会持续进行,直到金属表面被完全腐蚀。电化学腐蚀的速率受多种因素影响,包括金属的电位、海水的电导率、温度、溶解氧含量以及微生物活动等。例如,高电位金属在海水中更容易成为阳极而被腐蚀;海水的电导率越高,腐蚀速率越快;温度的增加会加速腐蚀反应;溶解氧的存在会促进阴极反应,从而加速腐蚀过程。

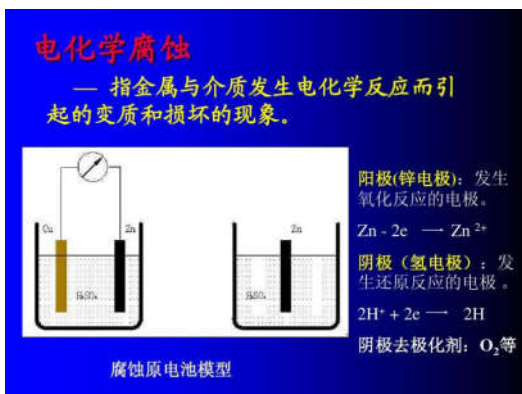


图1 电化学腐蚀示意图

#### 3.2 化学腐蚀

化学腐蚀是指海水中的化学物质与金属表面直接发生化学反应,生成腐蚀产物。这种腐蚀过程通常不涉及电流,而是由化学物质的浓度、温度以及金属的化学性质共同决定。在海水环境中,金属表面可能会与海水中的氯离子、硫酸根离子等发生反应,生成金属氯化物、金属硫酸盐等腐蚀产物<sup>[3]</sup>。这些腐蚀产物往往具有疏松的结构,容易从金属表面脱落,从而暴露新的金属表面,进一步加速腐蚀过程。化学腐蚀的速率受多种因素影响,包括金属的化学性质、海水的成分以及温度等。例如一些金属在海水中容易发生化学腐蚀,如铝、镁等;海水中氯离子的浓度越高,化学腐蚀速率越快;温度的增加会加速化学反应,从而加剧化学腐蚀。

#### 3.3 物理腐蚀

物理腐蚀是指海水中的固体颗粒、气泡等对金属表面的冲刷和磨损作用。这种腐蚀过程通常不涉及化学反应或电流,而是由物理因素导致的。在海洋环境中,海水泵的金属表面可能会受到海浪、潮汐、海洋生物等带来的固体颗粒的冲刷和磨损。这些固体颗粒可能会划伤金属表面,破坏其保护层,从而加速腐蚀过程。另外海水中的气泡在金属表面附着和脱落时,也可能对金属表面造成微小的冲刷和磨损。物理腐蚀的速率受多种因素影响,包括海水的流速、固体颗粒的大小和硬度、金属表面的硬度以及润滑条件等。例如海水的流速越快,固体颗粒对金属表面的冲刷作用越强;固体颗粒的硬度和大小越大,对金属表面的磨损作用越明显;金属表面的硬度越高,越能抵抗物理腐蚀。

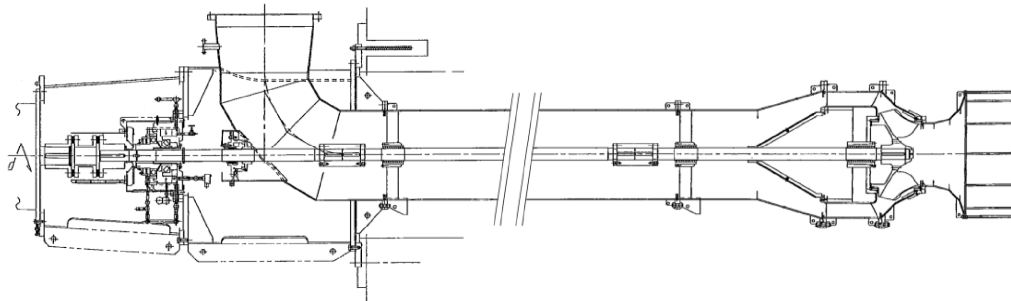
### 4 海水泵腐蚀的预防措施

#### 4.1 选用耐腐蚀性能好的材料

材料的选择是预防海水泵腐蚀的第一步。不锈钢、钛合金、超级双相不锈钢等高性能材料因其优异的耐腐蚀性能而被广泛应用于海水泵制造中。这些材料具有较高的电位和稳定的化学性质,能够在海水环境中保持较好的抗腐蚀能力。不锈钢材料以其良好的耐蚀性和机械性能成为海水泵制造的首选。然而不同种类的不锈钢在海水中的耐腐蚀性能也有所差异。因此,在选择不锈钢材料时,需要充分考虑其成分、组织结构以及使用环境的特殊性。钛合金则以其高强度、低密度和优异的耐蚀性在海水泵制造中占据重要地位。钛合金在海水中的耐腐蚀性能优于大多数不锈钢,且不易发生应力腐蚀开裂。但钛合金的成本较高,因此在实际应用中需要综合考虑其性价比。超级双相不锈钢是一种高性能不锈钢,具有极高的耐腐蚀性,其铬、钼及氮的含量较高,PREN值在

40~45之间。它广泛应用于高度腐蚀环境，如化学和石油化学工业，优于普通奥氏体不锈钢，是制造海水泵等设

备的理想材料（如图2）。



1—联轴器；2—轴承箱；3—填料函；4—出口弯管；5—底板；6—耐磨轴套；7—导轴承；8—轴连接器；  
9—轴；10—泵筒；11—导水锥；12—叶轮；13—入口滤网

图2 超级双相不锈钢海水泵结构示意图

#### 4.2 涂覆防腐涂层、加装牺牲阳极

在海水泵表面涂覆防腐涂层是另一种有效的防腐措施。防腐涂层能够隔绝海水与金属表面的直接接触，从而减缓腐蚀过程。在选择防腐涂层时，需要考虑其耐腐蚀性、附着力、耐磨性和耐候性等性能。常用的防腐涂层包括环氧树脂、聚氨酯、玻璃鳞片涂料等，防腐图层效果最好的是衬钛，效果好但造价相对较高。这些涂层具有优异的耐海水腐蚀性能，能够在恶劣的海洋环境中保持长期的防腐效果。涂覆防腐涂层时，需要确保涂层与金属表面的良好结合，避免出现涂层脱落或开裂等现象。同时还需要定期对涂层进行检查和维护，及时修补损坏部位，以保持其长期的防腐效果。加装牺牲阳极是通过在泵体上焊接或插入一种带有电负荷的金属块，与海水产生电化学反应，从而避免金属泵体的电化学腐蚀，达到防腐作用。这种方法能够延长海水泵的使用寿命，但需注意定期更换阳极，一般每12-24个月更换一次。并且还应注意结合其他防腐措施，如冲洗、加装三通、加装止回阀等，共同提高海水泵的使用寿命。

#### 4.3 定期检查和维修

定期检查和维修是预防海水泵腐蚀的重要手段。通过定期检查，可以及时发现并处理腐蚀问题，避免腐蚀现象的进一步恶化。在检查过程中，需要重点关注海水泵的易腐蚀部位，如叶轮、轴套、密封环等。这些部位由于长期与海水接触，容易受到腐蚀的侵袭。因此需要定期对这些部位进行检查和清洗，去除表面的腐蚀产物和污垢。同时在海水泵各部件接合部涂上密封胶，涂胶处要均匀、连续无断点，不留气泡，以防止海水从微小的缝隙进入形成点腐蚀和缝隙造成腐蚀。还需要对海水泵的运行状态进行监测，及时发现并处理异常情况。例

如，当海水泵出现振动、噪音或泄漏等问题时，需要立即停机检查，避免问题进一步恶化导致设备损坏或安全事故的发生。

#### 4.4 添加缓蚀剂

在海水中添加缓蚀剂是另一种有效的防腐措施。缓蚀剂能够抑制金属与海水之间的化学反应，从而减缓腐蚀速度。在选择缓蚀剂时，需要考虑其种类、浓度和使用条件等因素。常用的缓蚀剂包括无机盐类、有机化合物和复合缓蚀剂等。这些缓蚀剂具有不同的作用机理和适用范围，需要根据实际情况进行选择和使用。添加缓蚀剂时，需要严格控制其浓度和使用量，避免对海水环境造成污染或影响设备的正常运行。并且还需要定期对缓蚀剂的效果进行评估和调整，确保其长期的防腐效果。

#### 结束语

综上所述，海水泵的腐蚀现象是一个复杂而重要的问题。通过对海水泵腐蚀现象及形成机理的深入研究，我们可以更好地理解其腐蚀行为，并采取相应的预防措施来提高其使用寿命和可靠性。未来，我们还需要继续探索新的防腐技术和方法，以更好地应对海水泵的腐蚀问题。

#### 参考文献

- [1]任勇, 成光.海洋环境金属材料腐蚀与防护仿真研究进展[J].装备环境工程, 2019, 16(12): 93-98.
- [2]李红.水工金属结构的腐蚀与防护研究[J].建筑工程技术与设计, 2019, (36): 28-30.
- [3]蒋成, 杨菁, 刘露露.化学学科核心素养导向下的“生命课堂”教学案例研究---以金属的电化学腐蚀与防护为例[J].考试周刊, 2020, (16): 126-127.