

# 金属材料腐蚀与防护机理研究述评

云建斌

内蒙古自治区产品质量检验研究院 内蒙古 呼和浩特 010000

**摘要:**金属材料在各种环境条件下都可能发生腐蚀,这不仅会影响金属材料的性能和寿命,还会对工程结构和设备的安全性造成威胁。基于此,本文从金属材料腐蚀的危害入手,分析了金属材料腐蚀的原因,并提出了一下有效的防护措施,以期为金属材料腐蚀与防护机理的研究提供参考。

**关键词:**金属材料; 腐蚀机理; 防护措施

## 引言

金属材料在各种工程和日常生活中得到了广泛应用,然而,由于自然环境、工业环境和人为因素等原因,金属材料的腐蚀问题普遍存在。金属腐蚀不仅会导致材料性能下降,缩短设备使用寿命,还会引发安全事故,造成严重的经济损失。因此,对金属材料的腐蚀与防护机理进行研究具有重要的现实意义。

### 1 金属材料腐蚀的危害

在日常生活和工业生产中,金属材料的应用非常广泛。从常见的金属制品如铁锅、铝制饮料罐,到复杂的机械部件如发动机和高速列车,金属材料在生活中无处不在。然而,这些金属材料在服役过程中常常会受到腐蚀的威胁,这不仅会缩短它们的使用寿命,还会对性能产生严重影响,甚至可能导致安全事故。其危害主要体现在以下几方面:第一,金属材料的腐蚀给经济带来的损失是巨大的。一方面,金属材料的腐蚀会导致设备的损坏和报废,从而增加了生产成本。随着设备使用寿命的缩短,企业需要不断更新设备,这无疑增加了企业的经济负担。另一方面,金属材料腐蚀还会导致安全事故的发生,给企业带来无法估量的经济损失。这些事故可能涉及到设备损坏、人员伤亡以及因此而产生的法律诉讼和赔偿等问题。第二,金属材料的腐蚀会降低设备的性能和安全性,从而可能导致安全事故的发生。特别是在航空器和核设施等关键领域,如果其中的关键部件发生严重腐蚀,可能会导致重大安全风险。例如,航空器的关键部件如发动机或起落架等如果发生腐蚀,可能会导致飞机故障,从而引发安全事故。在核设施中,关键部件的腐蚀可能引发核泄漏等严重事故,对周围环境和人类健康造成严重威胁。第三,金属材料的腐蚀产物往往含有重金属离子和其他有害物质,一旦进入环境中,会对环境造成严重污染。例如,桥梁和建筑等结构如果使用劣质钢材,经过长时间的风化和腐蚀后,产生的铁

离子会污染周围的土壤和水源。此外,一些金属材料在腐蚀过程中会释放有毒物质,如汞、铅等,对环境和人类健康造成威胁。这些有毒物质可能进入食物链,影响农作物的生长和渔业的发展,并对人类健康产生潜在影响。第四,随着金属资源的日益稀缺,金属材料的腐蚀浪费了大量的宝贵资源。如果能够提高金属的利用率和耐蚀性,将对我国的可持续发展具有重要意义。例如,金属材料的腐蚀导致大量金属资源的浪费,使得原本就紧张的金属资源更加匮乏。同时,为了满足不断增长的需求,人们不得不加大金属资源的开采力度,这无疑会对环境造成更大的破坏。

### 2 金属材料腐蚀原因

#### 2.1 化学腐蚀

金属材料腐蚀的原因之一是化学腐蚀,化学腐蚀是指金属表面与周围介质发生化学反应而引起的腐蚀。这种腐蚀通常发生在高温、高压或干燥的环境中,因为这些环境下的介质具有较高的化学活性。在化学腐蚀中,金属表面的不同区域会与介质发生化学反应,产生化学腐蚀产物。这些产物通常比金属基体疏松,容易吸附更多的杂质和水分,从而加速了金属的腐蚀。化学腐蚀通常发生在金属表面的缺陷处,如划痕、凹槽、缝隙等。而化学腐蚀的机制主要包括氧化还原反应和酸碱反应等<sup>[1]</sup>。例如,铁在高温下与氧气反应生成铁氧化物,这就是氧化还原反应的一个例子。此外,某些酸或碱也会与金属表面发生反应,导致金属的腐蚀。例如,在酸性环境中,铁会与酸发生反应生成氢气和铁离子,导致金属的腐蚀。

#### 2.2 电化学腐蚀

电化学腐蚀是金属材料腐蚀的另一个重要原因,电化学腐蚀是由于金属与电解质溶液之间产生的电化学反应而引起的腐蚀。这种腐蚀现象在各种环境中都有广泛的存在,如大气、海水、土壤等。电化学腐蚀的机制主要包括微电池效应和电化学反应,当金属表面存在缺

陷或划痕时, 这些区域会形成微小的电位差, 进而形成微电池。微电池的两个电极分别是阳极和阴极, 阳极区域会发生氧化反应, 失去电子, 而阴极区域会发生还原反应, 得到电子。这种电化学反应会加速金属表面的腐蚀。而在大气中, 钢铁是最常见的受电化学腐蚀影响的金属之一。钢铁表面会形成一层微小的水膜, 这层水膜中通常含有溶解氧。在阳极区域, 铁会失去电子并发生氧化反应, 生成铁离子和氢气。在阴极区域, 氢离子会得到电子并发生还原反应, 生成氢气, 这种电化学反应会加速钢铁的腐蚀。

### 2.3 物理腐蚀

物理腐蚀的机制主要包括冲击、摩擦、弯曲、压缩等机械作用导致的金属表面损伤。这些机械作用会改变金属表面的形态和结构, 从而影响金属的耐腐蚀性能。例如, 在管道运输过程中, 管道内外的压力差变化以及管道的振动会导致管道焊缝处产生疲劳裂纹, 这种裂纹会逐渐扩展并导致管道的物理腐蚀<sup>[2]</sup>。此外, 高温高压环境下的金属材料也会因为热胀冷缩、应力集中等因素而产生物理腐蚀。此外, 物理腐蚀的影响因素主要包括环境因素和材料因素。其中, 环境因素包括温度、压力、湿度、介质类型等, 这些因素会影响金属表面的腐蚀速率和形态。而材料因素包括材料的成分、结构、硬度、韧性等, 这些因素会影响金属的耐腐蚀性能和机械性能。

### 2.4 生物腐蚀

生物腐蚀的机制主要包括微生物腐蚀和生物附着腐蚀等。微生物腐蚀是由于某些微生物在新陈代谢过程中产生酸、碱等物质, 从而改变环境pH值, 加速金属表面的腐蚀。例如, 某些细菌在代谢过程中会释放出酸性物质, 降低环境pH值, 从而加速金属的腐蚀。生物附着腐蚀是指某些生物在金属表面附着生长, 通过分泌有机酸、酶等物质以及机械作用破坏金属表面, 导致金属表面的损伤。这种腐蚀通常发生在海洋环境中, 因为海洋中的海藻、贝类等生物会在金属表面附着生长, 并分泌出有机酸等物质, 加速金属的腐蚀。

## 3 金属材料的腐蚀防护措施

### 3.1 有针对性的选择金属材料

不同的金属材料具有不同的耐蚀性和用途, 因此需要根据使用环境、腐蚀介质以及应力条件等因素进行综合考虑。首先, 在酸性环境中, 钢铁等金属材料容易发生腐蚀。这是因为酸性介质中的氢离子可以与金属表面的铁离子发生反应, 生成氢气和铁离子, 导致金属表面受到破坏。因此, 在酸性环境中, 我们需要选择具有较好耐蚀性的金属材料。而不锈钢是一种常见的耐酸性

金属材料, 它可以在大多数酸性介质中保持稳定的耐蚀性。不锈钢的耐蚀性主要得益于其表面形成了一层致密的氧化膜, 可以有效地阻止腐蚀介质与金属表面的接触。此外, 不锈钢还具有良好的加工性能和焊接性能, 因此在酸性环境中得到广泛应用。其次, 钛合金是一种具有较强抗腐蚀能力的金属材料, 可以在许多碱性介质中保持稳定的耐蚀性。钛合金的耐蚀性主要得益于其表面形成了一层致密的氧化膜, 可以有效地阻止腐蚀介质与金属表面的接触。此外, 钛合金还具有较高的强度和良好的加工性能, 因此在碱性环境中得到广泛应用。最后, 对于高强度金属材料, 我们还需要考虑其应力腐蚀敏感性。应力腐蚀是指金属材料在应力和腐蚀介质的共同作用下发生的裂纹现象。这种裂纹通常沿着晶界扩展, 导致材料强度和韧性下降<sup>[3]</sup>。因此, 在选择高强度金属材料时, 我们需要考虑其对应力腐蚀的敏感性。

### 3.2 进行电化学保护法

电化学保护法的原理是利用原电池的原理, 使金属表面形成一层保护膜, 从而防止金属的腐蚀。具体来说, 当电流通过金属表面时, 金属表面的电子会发生变化, 产生阳极极化和阴极极化。阳极极化会使金属表面的阳离子减少, 从而形成一层致密的保护膜, 阻止金属表面的腐蚀。阴极极化则会使金属表面的阴离子增加, 促进金属表面的钝化, 进一步增强金属的耐腐蚀性能。因此, 电化学保护法根据其作用方式可以分为阴极保护法和阳极保护法。其中, 阴极保护法是通过使金属表面成为阴极来防止其腐蚀的方法。根据保护电流的来源, 阴极保护法可以分为外加电流法和牺牲阳极法。外加电流法是通过外部电源将电流施加到金属表面上, 使金属表面成为阴极, 从而达到保护金属的目的。这种方法需要使用专门的设备和技术, 适用于大型结构或难以进行直接连接的场合。例如, 在石油化工领域中, 可以对输油管道、储油罐等进行外加电流阴极保护, 防止油品泄漏和腐蚀。牺牲阳极法是通过将一种比被保护金属更活泼的金属连接到被保护金属上, 从而提供足够的电流使被保护金属成为阴极, 达到保护目的。这种方法适用于小规模或短期的保护。例如, 在海洋环境中, 可以使用锌合金作为牺牲阳极, 以保护钢铁结构免受腐蚀。另外, 阳极保护法是通过使金属表面成为阳极来防止其腐蚀的方法。详细来说, 通过在金属表面施加阳极氧化处理或通过外加电流使金属表面发生阳极极化, 使金属表面形成一层致密的氧化膜, 从而阻止金属表面的腐蚀。这种方法适用于具有高度耐腐蚀要求的场合。例如, 在航空航天领域中, 可以对飞机表面进行阳极氧化处理,

提高其耐腐蚀性能。

### 3.3 表面涂层防护

一方面,涂料是一种常见的表面涂层材料,它可以在金属表面形成一层保护膜,隔离金属与腐蚀介质的接触。涂料防护具有施工方便、成本低廉等优点,因此在金属防腐工程中得到广泛应用。常规涂料是一种以有机高分子树脂为基料,以颜料、填料和助剂等为主要成分的涂料。常规涂料具有较好的耐候性、耐水性和耐腐蚀性,因此在金属材料的腐蚀防护中得到广泛应用。例如,环氧树脂涂料、聚氨酯涂料和丙烯酸树脂涂料等都是常见的常规涂料。而特种涂料是一种具有特殊功能的涂料,例如防水、防火、防霉等<sup>[4]</sup>。在金属材料的腐蚀防护中,特种涂料可以增强常规涂料的防腐性能,提高金属材料的耐蚀性。例如,高温防腐涂料、海洋防腐涂料和导电涂料等都是常见的特种涂料。另一方面,镀层是指在金属表面覆盖一层或多层金属或非金属材料,以增强金属的耐蚀性和耐磨性等。镀层防护具有较好的耐蚀性和耐磨性,在金属防腐工程中得到广泛应用。金属镀层是指在金属表面覆盖一层与基体金属不同的金属材料。例如,在钢铁表面镀锌、镀铬等可以增强钢铁的耐蚀性和耐磨性。此外,还可以采用合金镀层来提高金属的耐蚀性和力学性能。例如,在钢铁表面镀镍磷合金可以增强钢铁的耐蚀性和耐磨性,并提高其表面硬度。非金属镀层则是指在金属表面覆盖一层非金属材料。例如,在钢铁表面覆盖一层塑料或橡胶等非金属材料可以增强钢铁的耐蚀性和耐磨性。此外,还可以采用无机非金属材料作为镀层,例如在钢铁表面覆盖一层陶瓷或玻璃等材料。

### 3.4 控制和改善腐蚀环境

金属材料的腐蚀防护措施之控制和改善腐蚀环境是一种有效的方法,可以通过减少或消除金属材料周围的腐蚀介质,降低金属的腐蚀速率,从而提高金属材料的使用寿命和安全性。首先,缓蚀剂是一种能够抑制金属腐蚀的物质,通过添加缓蚀剂可以降低金属材料在腐蚀介质中的腐蚀速度。缓蚀剂可以根据其作用机制分为阳极型缓蚀剂、阴极型缓蚀剂和混合型缓蚀剂。在选择缓蚀剂时,需要考虑其浓度、温度、压力、酸碱度、氧

化还原电位等因素,以确保其有效性<sup>[5]</sup>。此外,还需要考虑缓蚀剂与金属材料之间的相容性以及与其他化学物质之间的相互作用,以避免产生不良反应。其次,控制环境因素是控制和改善腐蚀环境的重要手段之一。环境因素包括温度、湿度、氧气浓度、酸碱度、氧化还原电位等。这些因素可以直接影响金属材料的腐蚀速度。例如,高温和高湿度可以加速金属的腐蚀速度;低氧浓度可以降低金属的腐蚀速度;酸碱度和氧化还原电位则可以改变金属表面的氧化还原反应,从而影响金属的腐蚀速度。最后,改善金属材料的表面质量可以降低腐蚀介质与金属表面的接触面积,从而减缓金属的腐蚀速度。表面处理技术包括喷砂、抛光、钝化、涂层等。喷砂和抛光可以去除金属表面的杂质和氧化层,提高金属表面的粗糙度;钝化可以在金属表面形成一层氧化膜,提高金属的抗腐蚀能力;涂层则可以隔离金属表面与腐蚀介质的接触。

### 结束语

综上所述,通过对金属材料腐蚀与防护机理的深入研究,我们可以更好地了解金属材料的耐腐蚀性能和防护措施。在实际应用中,应根据具体环境和工程要求选择合适的防护措施,以延长金属材料的使用寿命和保证工程的安全性。未来,随着新材料和新技术的不断发展,金属材料腐蚀与防护机理的研究将不断深入,为金属材料的应用提供更加可靠的保障。

### 参考文献

- [1]刘丹,杨纯田,周恩泽,等.海洋用金属材料的微生物腐蚀研究进展[J].表面技术,2019,48(07):166-174.
- [2]刘宏伟,陈翠颖,张雨轩,等.油气田微生物腐蚀与防护研究进展[J].装备环境工程,2020,17(11):11-9.
- [3]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.
- [4]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):2821.
- [5]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.