

# 航空金属材料腐蚀问题与防治对策

胡诗奇<sup>1</sup> 郭 赛<sup>2</sup>

1. 中国南方航空集团有限公司 辽宁 沈阳 110000

2. 沈阳市市政公用工程监理有限公司 辽宁 沈阳 110000

**摘要:** 本文首先分析了航空金属材料腐蚀的机理和影响因素,包括环境因素、材料因素以及设计制造因素。随后,详细阐述了当前航空金属材料腐蚀的主要类型及其特征。在此基础上,本文提出了一系列防治航空金属材料腐蚀的对策,包括材料选择、防护涂层的应用、电化学保护以及腐蚀监测与检测等方面。最后,本文总结了航空金属材料腐蚀防治的发展趋势和未来研究方向。

**关键词:** 航空金属材料; 腐蚀机理; 影响因素; 防治对策; 发展趋势

引言: 航空金属材料在飞机制造中发挥着至关重要的作用。然而,由于环境因素、材料自身特性以及设计制造等因素的影响,航空金属材料常常面临腐蚀问题。腐蚀不仅会降低材料的性能和寿命,还可能引发安全事故。因此,研究航空金属材料的腐蚀问题及其防治对策具有重要意义。

## 1 航空金属材料腐蚀的机理和影响因素

1.1 腐蚀机理。航空金属材料长期暴露在复杂多变的环境中,其腐蚀问题一直是影响航空器安全与使用寿命的关键因素。理解航空金属材料的腐蚀机理,对于预防和控制腐蚀具有重要的指导意义。(1) 化学腐蚀。化学腐蚀是指金属与周围介质发生化学反应,导致金属原子或离子从金属基体中脱离,进而形成腐蚀产物的过程。这种腐蚀通常发生在非电解质环境或干燥介质中,如金属与氧、硫、氯等非电解质反应。在航空领域,高温氧化是一种常见的化学腐蚀现象,特别是在高温工作环境中,如燃气涡轮发动机的燃烧室和涡轮叶片等部位。

(2) 电化学腐蚀。电化学腐蚀是航空金属材料更为常见的一种腐蚀形式,它发生在电解质溶液中,涉及到金属的阳极溶解和阴极还原两个过程。在电解质溶液中,金属表面会形成阳极和阴极两个区域,阳极区金属失去电子成为离子进入溶液,而阴极区则发生氧化剂的还原反应。例如,海洋环境中的盐雾腐蚀就是一种典型的电化学腐蚀,盐雾中的氯离子会穿透金属表面的防护层,引发电化学腐蚀反应<sup>[1]</sup>。

1.2 影响因素。航空金属材料的腐蚀不仅与腐蚀机理有关,还受到多种环境、材料和设计制造因素的影响。

(1) 环境因素。环境因素对航空金属材料的腐蚀影响最为显著。温度、湿度、氧气浓度、盐雾等都是重要的环境因素。例如,高温会加速金属材料的氧化过程,湿

度和盐雾则会增加电化学腐蚀的风险。在海洋环境中,高盐度和潮湿的气候会导致严重的腐蚀问题。此外,环境中的污染物,如二氧化硫、氮氧化物等也会对金属材料造成腐蚀。(2) 材料因素。金属材料的成分、组织结构、晶粒大小等都会直接影响其耐腐蚀性能。例如,合金元素可以改变金属的电极电位,从而影响电化学腐蚀的速率和类型。晶粒细化可以提高金属的强度和韧性,同时也有助于提高耐腐蚀性能。此外,金属材料的表面处理状态,如涂层、镀层等也会对腐蚀产生影响。(3) 设计制造因素。设计制造过程中的因素同样会对航空金属材料的腐蚀产生影响。零件的几何形状、表面粗糙度、应力状态等都会影响腐蚀的发生和发展。例如,尖锐的边缘和拐角处容易产生应力集中,从而增加腐蚀的风险。表面粗糙度过高会降低涂层或镀层的附着力,进而影响防腐效果。此外,制造过程中的残余应力也会加速腐蚀过程<sup>[2]</sup>。

## 2 航空金属材料腐蚀的主要类型及其特征

2.1 均匀腐蚀。均匀腐蚀是一种较为常见的腐蚀类型,其特点是金属材料的整个表面都均匀地减薄。这种腐蚀过程相对缓慢且稳定,通常不会造成材料结构的突然失效。然而,长期的均匀腐蚀会导致材料厚度减小,进而影响其承载能力和使用寿命。均匀腐蚀的发生与多种因素有关,如金属材料的成分、组织结构、环境中的腐蚀介质等。例如,某些金属在潮湿的环境中容易发生均匀腐蚀,而某些合金则因为含有特定的元素而具有更好的抗均匀腐蚀能力。为了减缓均匀腐蚀的速度,可以采取多种措施。首先,可以通过涂覆防护层来隔离金属与腐蚀介质之间的接触。这些防护层可以是油漆、电镀层、化学转化膜等,它们能够有效地阻挡腐蚀介质的侵蚀,从而延长金属材料的使用寿命。其次,可以使用耐

腐蚀材料来替代易受腐蚀的材料。例如，在航空领域，钛合金和不锈钢等耐腐蚀材料得到了广泛应用。此外，改善工作环境也是预防均匀腐蚀的重要手段。例如，通过控制环境中的湿度、温度和化学介质浓度等参数，可以减少腐蚀的发生。

**2.2 点蚀。**点蚀是一种局部性的深度腐蚀现象，其特点是腐蚀集中在金属表面的个别小区域内，导致这些小区域迅速穿孔或深化。点蚀通常具有突发性、隐蔽性和破坏性强的特点，因此在航空金属材料中尤为危险。点蚀的发生往往与金属表面的微小缺陷、杂质或应力集中等因素有关。在某些腐蚀介质中，如含有氯离子的水溶液，点蚀的风险会显著增加。这是因为氯离子容易吸附在金属表面的缺陷处，从而加速该区域的腐蚀速度。为了预防点蚀，需要提高金属材料的纯度、减少表面缺陷、降低应力集中等。首先，在材料制备过程中，应严格控制原材料的质量和加工工艺，避免引入杂质和缺陷。其次，在材料使用过程中，应尽量避免应力集中现象的产生。例如，可以通过优化结构设计、提高材料的韧性等方式来降低应力集中的风险。此外，采用阴极保护、添加缓蚀剂等方法也可以有效减缓点蚀的速度。阴极保护是通过外加电源使金属成为阴极，从而抑制腐蚀的发生。而缓蚀剂则是一种能够减缓腐蚀速度的化学物质，它可以与腐蚀介质发生反应，从而降低腐蚀速度<sup>[3]</sup>。

**2.3 晶间腐蚀。**晶间腐蚀是一种沿着金属晶界发生的腐蚀现象，其特点是晶界处的结合力降低，导致材料在受力时容易发生断裂。晶间腐蚀对航空金属材料的结构完整性和安全性构成严重威胁。晶间腐蚀的发生与金属材料的组织结构、合金成分以及环境条件密切相关。在某些情况下，如高温或特定的腐蚀介质中，晶间腐蚀的风险会增加。为了预防晶间腐蚀，需要对金属材料的成分和组织结构进行合理设计，避免形成易于腐蚀的晶界结构。例如，在合金设计过程中，应充分考虑各元素的相互作用和对晶界结构的影响，避免形成易于腐蚀的相界或晶界。此外，通过热处理、合金化等方法也可以提高金属材料的抗晶间腐蚀能力。热处理可以改变金属材料的组织结构和相分布，从而优化其耐腐蚀性能。而合金化则是通过添加特定的元素来改变金属材料的性能，如添加铬、镍等元素可以提高不锈钢的抗晶间腐蚀能力。

除了上述三种主要的腐蚀类型外，航空金属材料还可能面临其他类型的腐蚀，如应力腐蚀、氢脆、腐蚀疲劳等。这些腐蚀类型同样具有不同的特点和发生机制，因此在进行航空金属材料的设计和选材时，需要综合考虑各种因素，采取适当的措施来预防和控制腐蚀的

发生。总之，了解航空金属材料的主要腐蚀类型及其特征对于确保航空器的安全和长寿命具有重要意义。在实际应用中，应根据具体情况选择合适的防腐蚀措施和方法，以提高航空金属材料的耐腐蚀性能和使用寿命。同时，随着科技的不断进步和新材料的研发，未来航空金属材料的防腐蚀技术也将得到不断更新和发展。

### 3 防治航空金属材料腐蚀的对策

航空金属材料腐蚀问题对于飞行安全、设备性能和维护成本具有重大影响。因此，采取有效的对策来防治航空金属材料的腐蚀是至关重要的。针对航空金属材料的腐蚀问题，我们可以从材料选择和防护涂层的应用两个方面进行深入的探讨。

**3.1 材料选择的重要性与策略。**在航空领域，材料的选择直接关系到飞行器的安全性、性能以及维护成本。特别是在极端的气候条件和复杂的飞行环境中，金属材料的耐腐蚀性能显得尤为重要。因此，材料选择是防治航空金属材料腐蚀的首要对策。为了确保航空金属材料在各种极端条件下的稳定性和耐久性，选材时不仅要考虑材料的强度、密度和硬度，更要关注其耐腐蚀性能。钛合金作为一种轻质、高强度的金属材料，因其出色的耐腐蚀性能而备受青睐。在盐雾、酸碱溶液等恶劣环境中，钛合金能够形成一层致密的氧化物保护膜，有效隔离腐蚀介质，从而延长材料的使用寿命。不锈钢同样以其独特的合金成分和微观结构，在航空领域得到了广泛应用。不锈钢中的铬元素能够形成一层致密的氧化铬膜，这层膜具有良好的耐腐蚀性能，可以抵御多种腐蚀介质的侵蚀。除了钛合金和不锈钢，随着科技的进步，航空领域还在不断探索和应用新型金属材料。这些材料通过优化合金成分、改进制造工艺等方式，进一步提高了耐腐蚀性能。例如，一些铝合金通过添加稀土元素或进行表面处理，显著增强了其抗腐蚀能力。在选择新型金属材料时，需要综合考虑其机械性能、加工性能、成本等多个因素。机械性能关乎材料的强度和韧性，加工性能影响材料的成形和制造效率，而成本则直接决定了材料的经济性。只有在综合考虑这些因素的基础上，才能确保选材的合理性，从而有效防治航空金属材料的腐蚀问题<sup>[4]</sup>。

**3.2 防护涂层的应用。**在金属表面涂覆防护涂层是一种有效的防治腐蚀的方法。防护涂层可以隔绝金属与腐蚀介质之间的接触，从而减缓腐蚀的发生和发展。常见的防护涂层包括油漆、电镀层、化学转化膜等。油漆是最常见的防护涂层之一。它具有良好的附着力和耐腐蚀性，可以形成一层保护膜来防止金属材料的腐蚀。然

而,油漆涂层也存在一些缺点,如易划伤、易老化等。因此,在选择油漆涂层时,我们需要考虑其耐磨性、耐候性等因素。电镀层是通过电化学方法在金属表面沉积一层金属或合金来形成防护层。电镀层具有优异的导电性、耐腐蚀性和装饰性。常见的电镀层有镀锌、镀铬等。这些电镀层可以有效地提高金属材料的耐腐蚀性能,并延长其使用寿命。化学转化膜是一种通过化学反应在金属表面形成一层薄薄的、致密的氧化物膜。这种膜层具有良好的耐腐蚀性和附着力,可以有效地保护金属材料免受腐蚀的侵害。常见的化学转化膜有阳极氧化膜、铬酸盐转化膜等。这些膜层不仅具有良好的耐腐蚀性能,还具有一定的装饰性,可以提高航空金属材料的外观质量。

3.3 电化学保护。电化学保护是一种积极主动的防腐技术,通过调整金属的电位状态来抑制腐蚀的发生。电化学保护主要包括阳极保护和阴极保护两种方法。阳极保护是利用外加电源使金属表面形成一层致密的氧化膜,从而阻止金属与腐蚀介质之间的接触。这种方法适用于一些特定的金属材料 and 腐蚀环境。通过阳极保护,可以有效地减缓金属的腐蚀速率,提高其使用寿命。阴极保护则是通过外加电源使金属成为阴极,从而抑制腐蚀的发生。阴极保护主要有两种方法:外加电流法和牺牲阳极法。外加电流法是通过外部电源将金属连接成阴极,从而防止腐蚀。牺牲阳极法则是利用一种比被保护金属更活泼的金属作为阳极,使其发生腐蚀从而保护被保护金属。这种方法在航空领域得到了广泛应用,例如,在飞机结构中,一些关键部件会采用牺牲阳极法来防止腐蚀。电化学保护具有效果显著、适用范围广、操作简便等优点。然而,它也需要一定的设备和维护成本,因此在实际应用中需要综合考虑经济效益和技术可行性。

3.4 腐蚀监测与检测。定期对航空金属材料进行腐蚀监测与检测是防治腐蚀的重要手段。通过及时的监测和检测,可以及时发现和处理腐蚀问题,避免腐蚀对航空

安全造成潜在威胁。腐蚀监测主要采用电化学方法、化学方法和物理方法。电化学方法通过测量金属的电位、电流等参数来评估金属的腐蚀状态。化学方法则是通过分析腐蚀产物的成分和形貌来推断金属的腐蚀速率和类型。物理方法则利用声、光、热等物理手段来检测金属的腐蚀情况。腐蚀检测则是对金属材料的表面和内部进行详细的检查和分析。常用的腐蚀检测方法有宏观检查、微观检查、无损检测等。宏观检查通过观察金属表面的颜色、光泽、腐蚀产物的形貌等来初步判断金属的腐蚀情况。微观检查则利用扫描电子显微镜、透射电子显微镜等设备对金属材料的微观结构进行观察和分析,以揭示腐蚀的机理和过程。无损检测则通过超声波、射线、磁粉等手段对金属材料进行内部检测,发现潜在的腐蚀缺陷。腐蚀监测与检测不仅可以帮助我们了解金属的腐蚀状态,还可以为腐蚀防治提供重要的数据支持。通过对监测和检测数据的分析,我们可以评估腐蚀防护措施的效果,及时调整防护策略,从而实现更加有效的腐蚀防治。

结论:本文分析了航空金属材料腐蚀的机理和影响因素,阐述了主要腐蚀类型及其特征,并提出了相应的防治对策。然而,随着航空技术的不断发展,航空金属材料面临的腐蚀问题也日益复杂。因此,未来的研究应关注新型防护涂层、电化学保护技术以及智能腐蚀监测系统等方面的研究与应用,以提高航空金属材料的耐腐蚀性能和使用寿命。

#### 参考文献

- [1] 张晓刚,王福会.航空金属材料腐蚀与防护[J].中国腐蚀与防护学报,2019,39(1):1-12.
- [2] 李艳,刘志超,王海斗,等.航空铝合金腐蚀与防护技术研究进展[J].中国表面工程,2020,33(2):1-13.
- [3] 陈群志,黄楠.飞机结构腐蚀损伤与防治[J].航空维修与工程,2018,(6):28-31.
- [4] 王伟.航空金属材料应力腐蚀研究进展[J].中国腐蚀与防护学报,2021,41(3):201-212.