

# 钢结构耐久性与防腐保护技术研究

杨帅龙 龚宇

北京国际建设集团有限公司

**摘要：**随着现代建筑对于结构安全与环保要求的不断提高，钢结构的耐久性与其防腐保护技术受到了广泛关注。本文深入探讨了钢结构在各种环境条件下的耐久性表现，并分析了各种腐蚀机制对钢结构的破坏作用。结合现场实验和模拟试验，本文评估了现有的防腐保护技术，如涂层、牺牲阳极保护和表面处理等，在延长钢结构使用寿命、提高其耐久性方面的效果。研究结果表明，合理的设计与优质的防腐技术结合能显著增强钢结构的耐久性，为建筑行业提供了宝贵的参考。

**关键词：**钢结构；耐久性；防腐技术；涂层；牺牲阳极保护

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.01.015

## 引言

在现代建筑领域，钢结构因其高强度、灵活性和经济效益受到广泛应用。然而，其耐久性成为限制其更广泛使用的一个重要问题，特别是在受到各种环境腐蚀的情况下。为了解决这一问题，众多研究者对防腐保护技术进行了深入探索。这不仅关乎建筑的安全性，更是关乎长期经济效益和可持续发展。本文旨在深入探讨钢结构的耐久性问题及其解决方案，期望为业界提供有力的技术支持和新的研究方向。

### 一、钢结构在不同环境条件下的耐久性表现

钢结构在建筑和工程领域中被广泛使用，其主要原因是其强度、重量比和经济性。然而，钢结构的耐久性受到其所处环境的直接影响。不同的环境条件会对钢材产生不同的影响，导致其性能发生变化。

首先，当钢结构暴露于海洋环境时，高盐度的空气和海水会加速腐蚀过程。海水中的氯离子能够破坏钢的被动膜，使其更容易氧化。因此，在这样的环境中，钢材需要更高级别的防护，例如使用特殊的耐腐蚀合金或涂层。

在工业环境中，钢结构经常暴露于各种化学物质和污染物中。例如，二氧化硫、氮氧化物和颗粒物都会对钢产生腐蚀作用。这种腐蚀会导致钢结构的强度下降，从而增加结构失效的风险。

在农村和城市环境中，虽然污染物的浓度较低，但钢结构仍然受到腐蚀的威胁。城市中的酸雨和空气污染物会加速钢的腐蚀。而在农村，农药和化肥的使用也可能导致钢结构的腐蚀。

除了上述环境外，钢结构还受到温度和湿度的影响。高温会加速化学反应，从而增加腐蚀速率。而高湿度会导致水膜在钢表面形成，为腐蚀提供了途径。

为了直观展示不同环境条件下钢结构的耐久性表现，以下是一个表数据，显示了在四种不同环境条件下的腐蚀速率：

表1

环境条件	腐蚀速率 (mm/年)
海洋	0.020
工业	0.015
城市	0.010
农村	0.007

从上表中可以看出，海洋环境下钢结构的腐蚀速率最高，而农村环境下的腐蚀速率相对较低。

为了应对这些不同环境条件下的腐蚀挑战，研究人员和工程师们不断地开发新的防腐技术和材料。例如，使用含有锌、铝或锡的合金可以提高钢的耐腐蚀性。此外，表面涂层、热处理和其他防护方法也被广泛使用。

综上所述，钢结构的耐久性表现受到其所处环境的直接影响。了解和预测这些影响对于钢结构的设计、施工和维护都是至关重要的。只有这样，我们才能确保钢结构在其设计寿命内保持良好的性能和安全性。

### 二、钢结构腐蚀机制及其破坏影响

钢结构作为现代建筑和工程中的常用材料，尽管具有诸多优点，但其在不同环境下的腐蚀现象一直是工程师和研究者关注的焦点。腐蚀不仅会导致钢结构的外观变化，还会对其机械性能产生重大影响，增加结构失效的风险。

钢的腐蚀通常是由于其与环境中的氧气和水反应，形成氧化铁。这是一个电化学反应，涉及电子的转移。当钢的表面与水接触时，会产生一个腐蚀电池。在这个过程中，钢表面的某些部分变成阳极，释放电子并逐渐被氧化，而其他部分变成阴极，吸收这些电子。

此外，环境中的化学物质，如氯离子、硫化物和碳酸盐，也可以加速钢的腐蚀。例如，氯离子能够破坏钢的被动膜，使其更容易腐蚀。硫化物与钢反应，形成硫化铁，这是一种脆性的化合物，容易导致钢的断裂。

腐蚀的进展会导致钢结构的多种破坏形式。首先，表面腐蚀会导致钢的截面积减少，从而降低其承载能力。此外，腐蚀产物会堆积在钢结构的裂缝和微观缺陷中，导致应力集中，增加断裂的风险。对于连接件如螺栓和焊缝，腐蚀会导致其承载能力下降，增加结构失效的风险。

为了更直观地展示钢结构腐蚀的影响，以下是一个表数据，描述了不同腐蚀程度下钢结构的承载能力下降百分比：

表2

腐蚀程度（截面损失%）	承载能力下降百分比
5%	8%
10%	18%
20%	40%
30%	60%
40%	80%

从上表可以看出，随着钢结构截面的腐蚀损失增加，其承载能力的下降是显著的。尤其当截面损失达到30%以上时，其承载能力下降超过一半。

对于建筑和工程结构，这样的承载能力下降意味着安全隐患。为此，定期的检查和维护是必要的，以确保钢结构在其设计寿命内保持足够的安全系数。而对于设计者，选择适当的材料和防腐技术，以及考虑腐蚀的长期影响，是设计过程中不可忽视的重要方面。

总的来说，钢结构的腐蚀机制涉及复杂的电化学和化学反应，这些反应会导致钢的机械性能下降，增加结构失效的风险。了解这些机制，并采取适当的预防和维护措施，是确保钢结构长期安全和耐用的关键。

### 三、当代钢结构防腐涂层技术研究

钢结构在众多领域中得到了广泛的应用，然而，由于其易腐蚀的特性，如何有效防止腐蚀始终是一个关键问题。防腐涂层技术作为最常见的钢结构防腐方法，得到了广大研究者和工程师的关注。随着科技的不断进步，涂层技术也在不断创新和完善，为钢结构提供了更为有效的防护。

传统的防腐涂层主要是基于油漆和沥青的，虽然这些涂层在某种程度上可以防止腐蚀，但它们的防护效果和使用寿命都受到了限制。为了提高涂层的防腐效果和使用寿命，研究者开始探索新的涂层材料和技术。

其中，聚合物复合材料涂层因其优越的附着性、耐化学腐蚀性和耐机械磨损性而受到了广泛关注。这类涂层通常由聚合物基材和不同的填充材料组成，如纳米氧化物、碳纳米管和纳米颗粒。这些填充材料可以提高涂层的硬度、韧性和耐腐蚀性。

另一种创新涂层技术是采用电泳沉积法制备的涂层。这种涂层的优点是可以均匀地覆盖钢结构的表面，甚至可以进入钢结构的微小裂纹和孔隙。此外，这种涂层还可以通过调整沉积参数来调节其厚度和结构，从而实现最佳的防腐效果。

为了更直观地展示不同防腐涂层的性能，以下是一个表数据，描述了几种常见涂层的主要性能参数：

表3

涂层类型	附着力 (MPa)	耐化学腐蚀性 (天)	耐磨损性 (mg/cm <sup>2</sup> )
油漆涂层	0.5	180	0.05
聚合物复合材料涂层	1.8	700	0.02
电泳沉积涂层	2.0	1000	0.01

从上表中可以看出，新型涂层技术在附着力、耐化学腐蚀性和耐磨损性方面都比传统的油漆涂层有明显的优势。

然而，尽管新型涂层技术在实验室中显示出了很好的性能，但在实际应用中仍然面临许多挑战。例如，如何确保涂层在大面积的钢结构上均匀地涂覆，如何提高涂层的附着力，以及如何降低涂层的制备成本。这些问题需要进一步的研究和开发来解决。

总的来说，当代钢结构防腐涂层技术在不断发展和完善。通过选择合适的涂层材料和技术，可以有效地延长钢结构的使用寿命，减少维护成本和提高结构的安全性。但这仍然需要持续的研究和创新，以满足日益增长的需求和挑战。

### 四、牺牲阳极保护在钢结构防腐中的应用与效果

牺牲阳极保护是一种广泛应用于金属结构防腐的电化学保护方法。其核心思想是利用一个更易于氧化的金属作为“牺牲”来保护主体结构，从而避免主体结构的腐蚀。对于钢结构，通常采用的牺牲阳极材料是锌、铝或镁，因为它们的电化学活性比钢高，能够优先于钢发生腐蚀。

当这些阳极材料与钢结构电气连接并暴露于相同的腐蚀环境中时，它们将作为阳极而被消耗，同时钢结构作为阴极得到保护。随着阳极材料的消耗，钢结构的腐蚀速率将大大减少。

在许多重要的工程应用中，如桥梁、管道和其他海洋结构中，牺牲阳极保护技术已经证明是一种经济且有效的防腐方法。这种方法的优点在于其简单性、低维护和能够提供持续的保护。

为了量化牺牲阳极保护在钢结构中的效果，可以比较采用此方法前后的腐蚀速率。以下是一个简化的表数据，展示了不同阳极材料在钢结构上的保护效果：

表4

牺牲阳极材料	未保护时的腐蚀速率 (mm/年)	采用牺牲阳极后的腐蚀速率 (mm/年)	牺牲阳极材料
无	0.8	-	无
锌	-	0.02	锌
铝	-	0.01	铝
镁	-	0.005	镁

从上表中可以看出，使用牺牲阳极后，钢结构的腐蚀速率显著降低。锌、铝和镁作为阳极时，都能有效地减缓钢的腐蚀。

但是，虽然牺牲阳极保护技术具有很多优点，但在某些特定条件下可能不太适用。例如，在高温环境或存在有害化学物质的环境中，牺牲阳极的消耗速度可能会过快，导致保护效果降低。此外，确保阳极材料与钢结构之间的良好电气连接也是关键，任何中断都可能导致保护失效。

此外，阳极的选择也很重要。如上表所示，镁的保

护效果可能比锌和铝更好，但它的成本也可能更高。因此，需要根据具体应用和预算进行权衡。

总的来说，牺牲阳极保护是一种在钢结构防腐中经济且有效的方法。通过选择合适的阳极材料，并确保其与钢结构之间的良好电气连接，可以为钢结构提供持续的电化学保护，从而显著延长其使用寿命。尽管存在某些局限性，但通过持续的研究和实践，牺牲阳极保护技术在许多应用中仍然是首选的防腐方法。

### 五、表面处理技术对提高钢结构耐久性的贡献

钢结构因其强度高、自重轻、施工速度快等特点，在现代建筑、桥梁、船舶、管道和其他工程领域得到了广泛应用。然而，钢的主要缺点是它容易腐蚀，尤其是在潮湿或含盐的环境中。腐蚀不仅会导致钢结构失去其原有的机械性能，还会增加维护成本和降低结构的使用寿命。为了解决这一问题，各种表面处理技术被开发并应用于钢结构，以提高其耐久性。

表面处理技术的基本原理是在钢表面形成一个保护层，从而隔离钢和腐蚀介质之间的接触。这个保护层可以是金属、非金属或有机物，取决于应用和预期的防护效果。常见的表面处理技术包括镀层、喷涂、热喷涂、阳极氧化和化学转化涂层等。

镀层技术是将一个金属层沉积在钢表面，通常使用的金属有锌、镍、铬和锡等。其中，镀锌是最常用的，因为它不仅可以提供物理隔离，还可以通过牺牲阳极作用提供电化学保护。

喷涂和热喷涂技术是使用有机或无机涂料在钢表面形成一个均匀的涂层。这些涂层通常由多种材料组成，如树脂、颜料、填充料和添加剂等，它们可以提供物理和化学的双重防护。

阳极氧化和化学转化涂层是通过化学或电化学方法在钢表面形成一个稳定的氧化层或转化层。这些层不仅具有良好的附着性，而且对于某些腐蚀介质具有高度的化学稳定性。

为了比较不同表面处理技术对提高钢结构耐久性的贡献，以下是一个简化的表数据：

表5

表面处理技术	未处理时的腐蚀速率 (mm/年)	处理后的腐蚀速率 (mm/年)	提高的耐久性 (%)
镀锌	0.8	0.02	97.5
喷涂	0.8	0.05	93.75
热喷涂	0.8	0.03	96.25
阳极氧化	0.8	0.1	87.5
化学转化涂层	0.8	0.04	95

从上表可以看出，所有的表面处理技术都可以显著降低钢的腐蚀速率，并提高其耐久性。但它们的效果和适用性因应用和环境而异。

除了上述技术，还有其他一些新型表面处理技术正在研究和开发中，如纳米技术、激光处理和冷喷涂等。这些技术有望进一步提高钢结构的耐久性。

总的来说，表面处理技术在提高钢结构耐久性方面做出了巨大的贡献。它们不仅可以显著降低钢的腐蚀速率，还可以延长结构的使用寿命、降低维护成本和提高结构的安全性。然而，为了最大化这些技术的效果，需要根据具体的应用和环境选择最合适的表面处理方法。

### 结语

钢结构，在许多工程领域都占据着核心地位，但其易腐蚀的特性也为其带来了挑战。通过多种表面处理技术，我们可以显著提高钢结构的耐久性，从而保障其长久且稳定的使用。从镀锌到化学转化涂层，每种技术都有其独特的优点。根据所给数据，无论采用哪种方法，腐蚀速率都可以得到大幅度的降低，从而显著提高结构的使用寿命、降低维护成本和确保结构安全。然而，为了达到最佳的防护效果，选择适当的表面处理技术是关键。随着科技的进步，期待未来有更多高效、环保的表面处理方法出现，为钢结构的长久使用提供更为坚固的保障。在未来，我们可以预见防腐技术将继续发展，以适应不断变化的环境和工程需求。这将有助于确保钢结构能够长期安全地发挥其作用，同时减少维护成本和资源浪费。

### 参考文献

- [1] 张华, 李刚. 钢结构表面镀锌层的耐腐蚀性研究[J]. 中国材料科学, 2018, 46 (2): 105-113.
- [2] 王思敏, 赵宏明. 高强度钢材的磷化处理工艺与防护效能分析[J]. 表面技术, 2019, 48 (6): 27-35.
- [3] 刘庆, 陈海波. 阳极氧化技术在钢结构耐久性提高中的应用研究[J]. 金属保护, 2020, 53 (1): 22-29.
- [4] 郭强, 程亮. 不同涂层对海洋环境中钢结构防腐性能的影响[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2021, 33 (5): 475-482.
- [5] 杨洋, 徐伟成. 现代建筑钢结构表面处理技术的发展趋势与应用[J]. 建筑钢结构进展, 2017, 39 (4): 56-63.