

## 钢结构建筑防腐涂装施工工艺及质量控制分析

黄晓锋

中国五冶集团有限公司，四川 成都 610000

**[摘要]**钢结构建筑在现代建筑里广泛被应用，这是由于它具有轻质高强、施工便捷等优势，不过容易被腐蚀这一特性对其发展有重要制约作用。文章深入分析研究钢结构建筑防腐涂装施工工艺和质量控制情况，先阐述钢结构建筑防腐涂装的意义和基本原理，接着详细探讨钢结构建筑防腐涂装的施工工艺流程，其中表面处理、涂料选择、涂装方法等关键环节都被涉及，然后分析影响防腐涂装质量的主要因素，例如环境条件、材料性能、施工技术等，最后提出一系列质量控制措施，涵盖施工前的准备工作、施工过程中的监控以及施工后的检查与维护等。本研究旨在给钢结构建筑防腐涂装施工质量的提升、钢结构建筑使用寿命的延长提供理论指导和实践参考以推动钢结构建筑行业可持续发展。

**[关键词]**钢结构建筑；防腐涂装；施工工艺；质量控制；涂料选择

DOI: 10.33142/aem.v7i9.18029 中图分类号: TU831 文献标识码: A

## Analysis of Construction Technology and Quality Control of Anti corrosion Coating for Steel Structure Buildings

HUANG Xiaofeng

China MCC5 Group Corp. Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

**Abstract:** Steel structure buildings are widely used in modern architecture due to their advantages of lightweight, high strength, and convenient construction. However, their susceptibility to corrosion has an important limiting effect on their development. The article deeply analyzes and studies the construction process and quality control of anti-corrosion coating for steel structure buildings. Firstly, it elaborates on the significance and basic principles of anti-corrosion coating for steel structure buildings. Then, it discusses in detail the construction process of anti-corrosion coating for steel structure buildings, including key links such as surface treatment, coating selection, and coating methods. Finally, it analyzes the main factors that affect the quality of anti-corrosion coating, such as environmental conditions, material properties, construction technology, etc. Finally, a series of quality control measures are proposed, covering preparation work before construction, monitoring during construction, and inspection and maintenance after construction. This study aims to provide theoretical guidance and practical reference for improving the quality of anti-corrosion coating construction and extending the service life of steel structure buildings, in order to promote the sustainable development of the steel structure construction industry.

**Keywords:** steel structure building; anti corrosion coating; construction technology; quality control; paint selection

### 引言

全球建筑业发展过程中，钢结构建筑展现出强劲增长态势，最新行业数据显示，2022 年全球钢结构市场规模达 1732 亿美元，到 2027 年预计能增长至 2305 亿美元，年复合增长率大概 5.9%，中国钢结构建筑行业也是蓬勃发展，2023 年市场规模突破 8000 亿元人民币，在商业建筑、工业厂房、体育场馆以及高层建筑等领域广泛应用，钢结构建筑很轻但强度却很高，能将建筑自重减轻 30% 以上，并且抗震性能佳、施工周期短，是现代建筑的重要

组成部分。

钢结构建筑的使用寿命和安全性能被钢材固有的易腐蚀特性严重制约着，研究显示全球钢结构建筑业每年因腐蚀遭受的经济损失超 3000 亿美元，在 GDP 里约占 3.4%，而且环境恶劣时，钢结构没加防护的话，其年腐蚀率能达到 0.1~0.2mm，这对结构安全影响很大，所以要保证钢结构建筑长期安全稳定，高效的防腐涂装技术相当关键，因为这技术不但能把钢结构使用寿命延长 15~20 年，还能让维护成本降低 40% 还多，所以本文想系统地探讨钢

结构建筑防腐涂装施工工艺和质量控制方法,为解决现今行业面临的技术难题提供办法,给钢结构建筑可持续发展提供理论依据和实践经验,通过深入分析表面处理技术、涂料选择策略、施工工艺优化以及质量控制系统来探寻提高防腐涂装施工质量和延长钢结构建筑使用寿命的好法子。

## 2 钢结构建筑防腐涂装的重要性与现状

### 2.1 钢结构建筑防腐的必要性

钢结构建筑防腐对建筑的安全性、耐久性和经济性来说是关键的一环,从材料科学的角度看,钢铁在自然环境下并不稳定,很容易跟氧气、水分产生氧化反应从而产生锈蚀产物,近期的研究数据显示,普通碳素结构钢要是没经过防腐处理的话,在工业大气环境下的腐蚀速率能达到0.12mm每年,在海洋大气环境下甚至可以达到0.2mm每年,像典型的H型钢构件,大概5~10年时间结构性能就可能下降30%还多,2021年有个涵盖15个国家的调查表明,钢结构建筑维修费用平均在建筑全生命周期总成本里占18%~24%,这是由于腐蚀引起的,不过有效的防腐措施能让这个比例降到8%以下且经济效益很明显,并且腐蚀还会使钢结构的承载能力、刚度和延性降低,让结构失效的风险变大从而威胁人员安全,所以钢结构建筑里防腐工作的意义非常重要且无法替代。

### 2.2 防腐涂装在钢结构建筑中的应用现状

钢结构建筑防腐涂装是全球范围内应用广泛的最主要防腐技术且技术日渐成熟,2023年发布的行业报告显示钢结构防腐技术里涂装防护占比超80%比其他如电化学保护、金属喷涂等技术高得多,并且近五年防腐涂料技术进步显著重金属含量可降50%以上、VOC排放能减60%、防腐性能提高25%~40%,现代防腐涂装系统从传统醇酸、环氧体系发展成含有有机硅、富锌、氟碳、纳米复合等高性能材料的且使用寿命从之前的5~8年延长到15~20年,应用领域方面2019年环保型水性涂料市场份额28%到2023年增长到了42%表明行业朝着绿色可持续方向变,不过中国钢结构防腐涂装市场还存在区域发展不均衡、技术标准体系不完善的问题并且高端涂料大概35%得靠进口在超长寿命、极端环境适用性等方面和国际先进水平还有差距。

### 2.3 防腐涂装面临的主要挑战

在实际应用中,钢结构建筑防腐涂装面临诸多技术和环境方面的挑战,中国建筑金属结构协会最新数据表明,2019到2023年中国钢结构建筑每年因腐蚀产生的直接经济损失占GDP约3.5%,金额达数千亿人民币之多,其中环境因素恶劣复杂是首先面临的挑战,在沿海地区和工业

区尤甚,由于这些地方盐雾浓度高、湿度大且污染严重,使得钢结构腐蚀速度加快,并且我国北方地区冬季温差能达到50°C以上,致使涂层开裂失去效用,另外工业污染物像SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>等酸性气体对涂层的侵蚀越来越严重,2022年调查结果显示,工业区钢结构涂装寿命较设计值平均缩短了30%。

技术层面的挑战也得重视,高性能环保涂料的开发和应用就是其中之一,2020年《挥发性有机物排放标准》施行后传统高VOC含量涂料被淘汰了,虽然水性、高固体分、粉末这类环保涂料兴起但它们在耐久性和施工适应性上有欠缺,2023年行业报告显示环保型涂料在极端环境下防腐效果比传统溶剂型平均低15%~20%,而且施工工艺的标准化和自动化水平需要提高,统计显示大概65%的涂装失效是施工质量问题造成的,在复杂构件和难于到达的部位尤其如此,此外涂装系统设计与材料选择不够科学、新型复合材料和钢结构连接处防腐措施研究不足也让防腐涂装面临重大挑战<sup>[1]</sup>。

## 3 钢结构建筑防腐涂装施工工艺

### 3.1 表面处理技术

钢结构防腐涂装中,表面处理不仅作为首要环节,更是质量的基础,且涂层附着力和防腐效果直接受其处理质量的影响。2022年国际腐蚀工程师协会研究数据表明,超65%的涂层早期失效源于表面处理不当。当下,喷砂(占比大概45%)、抛丸(占比大概30%)以及手工/动力工具清理(占比大概25%)这三种方法在表面处理里应用最为广泛,其中喷砂处理能将表面清洁度达到Sa2.5~Sa3级,使表面粗糙度处于50~100μm之间,从而给涂料提供良好的机械咬合基础,并且2021年发布的比较研究显示,经喷砂处理后,涂层附着力比手工处理高3~5倍,防腐寿命也延长了约2.5倍。

表面处理工艺流程有四个主要步骤,即用碱性清洗剂或者有机溶剂去除油污、拿机械或者化学方法把氧化皮和锈蚀去掉、进行粗化处理以形成合适的表面粗糙度以及用吹扫或者真空吸尘的方式除尘,近年超高压水射流(压力大于2000bar)和干冰喷射这类环保型表面处理技术发展很快,不但让粉尘和噪声污染减少了,而且其适用范围也从新建建筑扩展到了既有建筑的维修工程,表面处理完毕后要在4h内(湿度超85%时需在2h内)涂装底漆,否则表面会再次氧化且这对防腐效果极为关键。

### 3.2 涂料选择与配比

防腐涂装系统的有效性关键在于科学选择防腐涂料并确保正确的配比。最新市场分析表明,环氧类涂料由于

附着力、化学稳定性佳且成本效益高，仍占防腐涂料市场份额约 38%，聚氨酯面漆因耐候性和装饰性能不错，在顶层涂装中的应用比例达到 42%，而氟碳、有机硅这种新兴涂料使用寿命超长（20 年以上），所以在高端项目的应用自 2019 年的 8% 到 2023 年增长到了 15%。选涂料得考虑环境腐蚀性（依据 ISO12944 标准分成 C1~C5 五个级别）、预期使用寿命、施工条件等因素，就像在 C4~C5 这种高腐蚀环境中，富锌底漆（锌含量不能低于 80%）加环氧中间漆再加聚氨酯面漆的三涂层体系效果最好<sup>[2]</sup>。

在涂料配比上得按照产品技术说明书严格操作，因为像环氧、聚氨酯这类双组分涂料主剂和固化剂的配比是关键参数，一旦有超 5% 的偏差就明显影响固化反应和涂层性能，2023 年实验研究表明环氧涂料配比偏差达 10% 时附着力会降大概 25% 且耐腐蚀性能也会减少约 35%，并且稀释剂添加量也要严格把控，通常不能超过 5%~10%，要是加得过多的话涂层厚度不够且防腐性能也会跟着下降，还有近些年无溶剂或者低 VOC 涂料由于环保方面的优势应用增长很快，不过它们施工参数控制更严格、施工窗口期更短且对施工人员技术要求更高，这是当下行业面临的一个技术挑战。

### 3.3 涂装施工方法

涂装施工效率和涂层质量直接受涂装施工方法选择的影响，在现代钢结构防腐工程里，无气喷涂（约占 55%）、空气喷涂（约占 20%）、辊涂（约占 15%）、刷涂（约占 10%）是比较常见的涂装施工方法，其中无气喷涂效率高、涂层均匀且能用于高粘度涂料施工（效率是刷涂的 5~7 倍），所以大面积钢结构防腐时它被首先选用，2022 年工程统计数据显示，典型无气喷涂设备日施工面积达 800 到 1200m<sup>2</sup>，和其他方法比起来要高出不少，并且最新款的双组分无气喷涂设备可自动混合涂料成分，这大大减少了材料浪费和人为失误，从而提高了涂装质量。

涂装施工时得严格把控关键参数，环境温度以 10~35°C 为宜且相对湿度要低于 85%，还要确保钢材表面温度比露点至少高 3°C，2021 年有项针对 335 个防腐工程的调查表明大概 27% 的涂层早期失效是由于没遵守环境参数要求，另外涂层厚度的控制也相当重要，单道湿膜厚度偏差一般不能超过  $\pm 10\%$ ，像焊缝、边角、螺栓这类复杂构件部位，必须用上条带涂装技术来强化防护且这些地方的涂层厚度要比平面部位增加 20%~30%，这几年大型钢结构制造中喷涂机器人的应用越来越多，数据显示这能将涂层均匀性提高大约 35% 并让材料浪费减少约 25%，这是行业未来的发展方向。

### 3.4 多层涂装系统的应用

现代钢结构防腐都配备多层涂装系统，各涂层各有职责且协同起来形成防护体系，这种涂装系统典型时有底漆、中间漆和面漆组成。底漆直接跟钢材表面接触，主要是提供附着力和阴极保护功能，富锌底漆（含锌量 80%~95%）依据电化学保护原理能明显提高防腐性能，在 C4~C5 级高腐蚀环境中用得很多，2023 年的实验数据显示，富锌底漆能让涂层系统在盐雾环境下的耐腐蚀时间延长 2.5~3 倍。中间漆负责给系统建立屏障保护和厚度，一般用高固体分环氧树脂，填料含量能达到 30%~40%，从而形成致密阻挡层<sup>[3]</sup>。面漆提供耐候性、装饰性和特殊功能性，例如聚氨酯面漆耐紫外线性能很好，氟碳涂料使用寿命超长。

多层涂装系统施工时要着重保证层间附着力并控制好整体厚度，每层涂料施工之前需确认前一层已达重涂间隔要求的时间段（通常是处于指触干燥到完全固化之间），若超出最大重涂间隔（一般为 7~14d，不同涂料类型有所差异）就需打磨处理以确保层间附着力，另外涂层总厚度也要严格把控，拿三道涂层体系来说，在 C5 环境下总干膜厚度往往得达到 280~320μm，近几年随着高固体分和低 VOC 涂料系统发展起来，所以在某些应用场景下双层乃至单层涂装系统成为可能，像带有自固化聚合物技术的新型环氧涂料就能实现 120~150μm 单层厚涂，既能保证防护性能又简化了施工流程且降低了人工成本，这是防腐涂装技术创新发展的方向。

## 4 钢结构建筑防腐涂装质量控制

### 4.1 施工前的质量控制措施

整体防腐效果的关键在于钢结构建筑防腐涂装施工前的质量控制，中国建筑金属结构协会最新统计数据显示，2019—2023 年国内钢结构建筑每年平均增长率为 14.7%，若施工前质量控制措施完善则防腐涂装寿命能平均延长 30% 以上，所以施工前需先建立完善的质量管理体系并制定详细施工方案与质量控制计划以明确各环节技术参数和质量标准，其次要严格检验涂料如成分分析、附着力测试、耐候性能评估等以保证涂料合乎设计要求和相关标准规范，并且还要评估控制施工环境，像温度、湿度、风速这些环境因素都要监测，从而让施工环境符合涂装工艺要求。

施工人员在上岗施工作业之前得接受专业的培训以提升自身的技术水平与质量意识，且设备和工具的检查以及校准工作也不能被落下以便保证其性能稳定可靠，同时材料进场时要严格验收并建立起完善的追溯机制以记录好所有原材料的来源、批次、性能参数等信息，此外施工

前还要做小面积试涂来评估涂装效果并及时调整施工参数从而给大面积施工提供可靠的依据,有了这些措施就能有效降低施工质量风险并给后续施工打下坚实的基础。

#### 4.2 施工过程中的质量监督

在钢结构防腐涂装施工中,质量监督是保证防腐效果的关键环节,中国建筑科学研究院2022年发布的《钢结构建筑涂装质量调查报告》表明有全程质量监督的项目,防腐涂装质量合格率能提高23.5%且工程返修率可降低18.7%,所以要构建起多层次监控体系,把自检、互检、专检和第三方检测结合起来,重点监控表面处理质量、涂层厚度、涂装均匀性、层间附着力这些关键指标,现场监督人员要用表面粗糙度仪、涂层测厚仪、附着力测试仪等专业仪器设备实时监测并详细记录,以让每道工序都合乎技术要求。

施工过程中得格外重视环境参数的监控,因为温度、湿度、风速等因素对涂装质量影响很大,行业数据表明2021年之后超65%的钢结构防腐涂装质量问题源于环境没控制好,所以要建立环境参数实时监测系统,环境条件不符合要求时就得赶紧调整施工安排或者采取相应防护措施,而且涂装时涂料配比、固化时间、层间间隔等各项参数必须严格按工艺要求来并建立起完善的检查记录,只有通过科学有效的施工过程监督才能及时发现和纠正施工偏差,从而保证防腐涂装质量稳稳当当、靠得住<sup>[4]</sup>。

### 5 结论

保障钢结构建筑的安全并延长其使用寿命的关键技术环节在于钢结构建筑的防腐涂装施工工艺以及质量控制,本研究系统分析了防腐涂装施工工艺流程且深入探讨了质量控制措施,得出如下结论:钢结构防腐涂装的质量控制需覆盖施工前后和施工中的全过程并构建闭环管理体系,施工之前要着重做好材料选择、环境评估以及人员

培训这些准备工作,施工期间得建立多层次的质量监督机制以对关键技术参数进行实时监控,施工之后要全面检验评估质量并制定科学的维护计划,钢结构防腐涂装技术在我国虽然形成了比较完善的体系,但在新材料应用、施工智能化、绿色环保等方面还有提升的空间。

2023年中国钢结构协会进行了行业调查,结果显示在钢结构建筑防腐涂装施工质量问题里,表面处理不达标占37.2%、涂层厚度不均占25.6%、环境控制不当占21.8%,所以质量控制的重点还是放在基础施工工艺的规范执行方面,并且以后钢结构防腐涂装领域要加强对新型环保涂料的研发应用、推动施工过程朝着数字化和智能化监控发展、构建更科学的质量评估体系,依靠技术创新与管理优化提升钢结构建筑防腐涂装整体质量水平和使用寿命,促使钢结构建筑行业向着更安全、环保、经济的方向发展,从而为建筑业可持续发展贡献力量<sup>[5]</sup>。

#### 【参考文献】

- [1]王宏宾.钢结构桥梁工程防腐涂装工艺及质量控制措施[J].大众标准化,2023(24):31-33.
- [2]才宝山.大型钢结构桥梁工程腐蚀防护的涂装工艺及质量控制[J].工程建设与设计,2021(12):136-138.
- [3]郭震,张志喜.装配式钢结构工程防腐涂装施工技术质量控制研究[J].工程质量,2023(9):76-79.
- [4]李科.钢结构拱桥涂装施工工艺及质量控制[J].居舍,2018(34):68-69.
- [5]刘杨.钢结构建筑防腐施工技术及质量控制策略[J].全面腐蚀控制,2022(5):130-131.

作者简介: 黄晓峰 (1989.3—), 毕业院校: 江南大学太湖学院, 所学专业: 土木工程, 当前就职单位: 中国五冶集团有限公司, 职务: 项目施工经理, 职称级别: 中级工程师。