

# 船用钢材高效涂刷机械设计

邓佳麒<sup>1\*</sup>, 邓绍云<sup>2,3#</sup>, 邱清华<sup>3,4</sup>, 蓝宏民<sup>2</sup>

<sup>1</sup>西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西 杨凌

<sup>2</sup>北部湾大学建筑工程学院, 广西 钦州

<sup>3</sup>北部湾大学创新创业学院, 广西 钦州

<sup>4</sup>北部湾大学陶瓷与设计学院, 广西 钦州

收稿日期: 2025年2月6日; 录用日期: 2025年3月17日; 发布日期: 2025年3月25日

## 摘要

针对近年来中国造船事业的兴旺态势的现状, 指出钢材对中国造船业的重要性和依赖性, 剖析了钢材涂刷技术的现状与进展及作用。剖析了之前的几个钢材涂刷装置技术的缺陷和不足, 指出需要改进的重要性的必要性及迫切性。在此基础上, 为了提升船用钢材涂刷的工艺适宜性和高效性, 设计了一种船用钢材高效涂刷装置, 文中详细介绍了该装置的结构部件, 详述了该装置操作的工艺和过程, 最后指出了该装置技术方便操作, 效率较高的实用性和优越性, 对我国造船业的发展具有一定价值和意义。

## 关键词

船舶制造, 钢材, 涂刷装置

# Design of High-Efficiency Coating Machinery for Marine Steel

Jiaqi Deng<sup>1\*</sup>, Shaoyun Deng<sup>2,3#</sup>, Qinghua Qiu<sup>3,4</sup>, Hongmin Lan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi

<sup>2</sup>College of Civil Engineering and Architecture, Beibu Gulf University, Qinzhou Guangxi

<sup>3</sup>College of Innovation and Entrepreneurship, Beibu Gulf University, Qinzhou Guangxi

<sup>4</sup>College of Ceramics and Design, Beibu Gulf University, Qinzhou Guangxi

Received: Feb. 6<sup>th</sup>, 2025; accepted: Mar. 17<sup>th</sup>, 2025; published: Mar. 25<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

According to the status quo of China's shipbuilding industry in recent years, the importance and

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 邓佳麒, 邓绍云, 邱清华, 蓝宏民. 船用钢材高效涂刷机械设计[J]. 交通技术, 2025, 14(2): 249-256.

DOI: 10.12677/ojtt.2025.142026

dependence of steel to China's shipbuilding industry are pointed out, and the status and progress and function of steel coating technology are analyzed. In this paper, the defects and deficiencies of several previous steel brushing devices are analyzed, and the importance, necessity and urgency of improvement are pointed out. On this basis, in order to improve the technological suitability and efficiency of Marine steel coating, an efficient Marine steel coating device is designed. The paper introduces the structural components of the device in detail, describes the operation process and process of the device in detail, and finally points out the practicability and superiority of the device with convenient operation and high efficiency. It has a certain value and significance for the development of shipbuilding industry in our country.

## Keywords

Shipbuilding, Steel, Brushing Device

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

水运作为交通的一种主要形式，因其成本低，绿色环保及运量大，而被人们所推崇和青睐，是人类最早采用和重视的交通方式。船舶作为水上交通工具，船舶的性能直接影响水运效益和水运事业的发展。船舶具有两个基本性能：1) 能在水上漂浮；2) 能装载物体。能在水上漂浮依靠两个性质：一是材料的密度小于水，这就是木船和泡沫船及橡胶船舶等制造和应用的原理，二是依靠排水浮力大于船体重量而漂浮，钢板船舶就是依据这个原理而制造和应用的。而装载货物的多少取决于排水浮力大于船体本身重量的超出数额。这个数额越大船舶的装载量越大。而装载量越大，除这个超出额要求大外，此外船舶结构材料性能要求高。所以，大型船舶一般都是采用钢板制造，船舶越大需要的钢材性能越好。船舶钢板长期浸泡在海水中容易发生电化学腐蚀现象，为此，必须预防阻断这种电化学腐蚀以保护钢材，于是涂刷就成为这种保护方式之一被广泛加以应用。

## 2. 背景

### 2.1. 中国造船业兴旺现状

钢材是船舶主要原材料，占据了船体的建造成本 20% 至 30%，船舶工业的飞速发展对造船用钢材提出了迫切需求，根据相关文献[1]-[6]材料展示中国造船业在 2024 年继续保持全球领先地位，三大指标——造船完工量、新接订单量和手持订单量均占据全球市场的主导地位。具体数据如下：1) 造船完工量：2024 年我国造船完工量达 55.7%，意味着全球交付的船中有一半以上是中国制造；2) 新接订单量：2024 年我国接到了全球市场 74.1% 的新造船订单，意味着后续所造的船中有七成以上是中国制造；3) 手持订单量：2024 年我国手持订单量占到全球市场的 63.1%。此外，中国造船业在高端智能绿色化方面也在加速推进，新接绿色动力船舶订单占到国际市场份额连年增长，从 2021 年的 31.5% 逐年增长到了 2024 年的 78.5%。在全球 18 种主流船型中，中国有 14 种船型的新接订单位居世界首位，包括多用途船、汽车运输船、集装箱船等。

中国造船业在未来几年内将继续保持强劲的发展势头。多家船企在 2025 年新年伊始就实现了“开门红”，交付了多艘高附加值船舶，如 11.4 万吨成品油船“海洋侦探”号、82,600 吨散货船和 62,000 吨重

吊多用途船等。中国船舶工业订单总体看能够满足未来近 4 年的工作量，显示出中国船舶工业在未来稳定工作方面的强劲势头。近年来，中国政府修订完善了多项船舶技术法规，推动船舶行业数字化转型，促进智能船舶自主航行、远程驾控等技术创新和应用，支持智能航运发展。此外，中国船舶制造业需要进一步完善研发体系，特别是在船舶工业软件、船用发动机以及大型邮轮设计制造等领域实施重点攻关，突破核心零部件的国产化难题。

## 2.2. 钢材涂刷技术现状

钢材涂刷是指对钢材表面进行涂层处理，以防止腐蚀和延长使用寿命。钢材涂刷的主要目的是通过在钢材表面形成一层保护膜，防止钢材与环境中的氧气、水分等腐蚀性物质直接接触，从而保护钢材不被腐蚀。

钢材涂刷的具体步骤和工艺流程：1) 清洗：首先对钢材表面进行清洗，去除表面的油污和杂质，确保表面干净无杂质。2) 除锈处理：去除钢材表面的锈蚀和氧化层，常用的方法包括机械除锈、化学除锈等。3) 底漆涂装：在处理后的钢材表面涂装底漆，增强钢材与面漆的附着力，提高防腐效果。常用的底漆有环氧富锌底漆、无机富锌底漆等。4) 面漆涂装：在底漆之上涂装面漆，美化钢结构外观，提高涂层的耐久性。常用的面漆有丙烯酸聚氨酯面漆、氟碳面漆等。

钢材涂刷技术由来已久，其发展和演变主要表现在两个方面：一是材料，二是工艺；经过漫长历史发展和演变，涂刷目前已是现代工业领域中的一项重要工艺，它能够有效提升钢材的耐腐蚀性、耐磨损性、装饰性以及某些特殊功能。通过对检索所得文献[7]-[26]阅读理解分析归纳总结出钢材涂刷技术发展现状的综述如下：1) **涂刷材料多样化**[7]-[9]：随着材料科学的发展，钢材涂刷材料种类日益丰富，包括传统的涂料如醇酸漆、环氧漆、聚氨酯漆，以及新兴的粉末涂料、氟碳涂料等。这些涂料各具特点，能够满足不同应用场景的需求。2) **涂装工艺不断优化**[10]-[12]：钢材涂刷工艺经历了从手工刷涂到自动化喷涂的转变。目前，静电喷涂、高压无气喷涂等先进涂装技术得到广泛应用，大大提高了涂层的质量均匀性和涂装效率。3) **环保型涂料的研发和应用得到提升**[13]-[15]：环保意识的提升使得低污染、低能耗的涂料和涂装工艺成为研发重点。水性涂料、高固体分涂料、粉末涂料等环保型涂料逐渐替代传统的有机溶剂型涂料，减少了 VOCs 排放，符合绿色发展趋势。4) **涂刷技术的智能化得到发展**[16]-[19]：随着智能制造技术的发展，钢材涂刷工艺也在向智能化、自动化方向发展。通过引入机器人自动化涂装系统、智能检测与控制系统，涂装过程更加精准高效。5) **涂层的功能化扩展**[20]-[22]：除了基本的防护和装饰作用外，涂层还具备了更多的功能，如导电涂层、导热涂层、自清洁涂层等。这些功能性涂层使钢材在特定应用领域有了更广泛的使用价值。6) **涂装行业越来越标准化**：为了确保涂装质量和环保要求，涂装行业正在逐步推进标准化工作。包括涂料的选用、涂装工艺的制定、涂层的性能检测等方面都有了一系列的标准和规范，从而越来越标准化和规范化。7) **行业竞争加剧与国际合作密切**：在全球化的背景下，涂装行业不仅存在激烈的国内竞争，还面临国际品牌的竞争。同时，国内外企业间的技术交流和合作也日益增多，促进了技术的进步和行业的整体发展。总之，钢材涂刷技术正朝着高质量、高效能、环保型、智能化和功能化的方向发展，为我国钢材的深加工和应用提供了强有力的技术支撑。

钢材涂刷的常见方法及其优缺点：1) 刷涂法：工具简单，施工费用并不少，但劳动强度大，手工刷涂，人工耗时多，如今这个时代人工费越来越贵，生产效率低。2) 滚涂法：施工用具简单，操作方便，适用于大面积的构件，但劳动强度大，大面积的构件体积大，重量大，非常耗费力气，生产效率较低。3) 浸涂法：施工方法简单，涂料损失少，将构件浸入涂料中，适用于构造复杂的构件，这些构造复杂的构件其他方法不太合适，容易漏涂，或涂刷不均匀，但有挂流现象。4) 空气喷涂法：施工效率高，但消耗溶剂量大，整个场所充满涂料雾气，耗损严重，污染现场。5) 无气喷涂法：喷涂效率高，对涂料的适应性强，但设备精良，造价较大，成本较高，对环境有一定污染。

钢材涂刷的应用场景和重要性：钢材涂刷广泛应用于现代建筑、桥梁及工业设施中，能够有效延长钢结构的使用寿命，提升其美观度和安全性。通过在钢材表面形成一层保护膜，可以防止钢材与环境中的腐蚀性物质直接接触，从而保护钢材不被腐蚀。

### 3. 动机与内容

#### 3.1. 动机

本设计是针对目前一些已有的技术[27] [28]的不足和缺陷，这些不足和缺陷表现在：设备比较笨重，转动需要的功率较大，需要启动的设备较为繁琐复杂，效率不高，转动不便灵活，涂刷难以做到均匀。例如，文献[27]公开了一种船舶与海洋工程用钢高效涂刷装置，其结构包括立柱和固定装置。立柱中部左端与操作平台外部贴合固定，并且立柱上端与顶板下端四角处贴合固定。顶板右端上侧与电机下端锁紧固定。电机上端与电源线下端插接。该涂刷装置通过操作平台上端设置了固定装置。由钢板放在卡板和卡座内部，接着手握把手转动。把手带动转动杆转动。转动杆带动两组夹块通过转动轴分别与卡板和卡座转动。进而夹紧钢材，从而实现了固定的功能。这种技术是有一定的局限性和落后性，其表现在该涂刷装置只能对钢材的顶部进行涂刷。若是要将钢材进行翻面或者旋转，需要将钢材进行拆卸，然后，再将钢材进行翻面或旋转，然后，还需要对钢材进行固定。这是非常麻烦的，操作比较繁琐，将增加工序，延长工时，增加成本，降低工作效率和经济效益。文献[28]公开了一种钢材预处理用涂刷装置，包括底座和机架，该底座的上端铺设设有滑轨，该底座的上端通过有旋转机构设置旋转台，该旋转台的上端中心位置设置有第一固定筒，该第一固定筒通过螺栓与旋转台螺栓固定连接，机架固定设置在底座的上端外侧，该机架上从左往右设置有第一通孔、第二通孔以及第三通孔，该机架的下方从左往右设置有涂刷机构、限位机构以及风干机构，该机架的中轴线与旋转台的中轴线位于同一直线上。但实用新型通过设置旋转机构、涂刷机构、限位机构以及风干机构，它的这几个机构分离，工作不连贯，从而工作效率不是很高，机构分离从而造价不低，成本难以降低。故，需要克服这两个已有技术(文献[27]和文献[28])的缺陷和不足，设计一种比它先进方便适用的船用钢材高效涂刷装置来解决该技术的问题。

#### 3.2. 内容

为解决目前已有技术的弊端和缺陷，解决上述难题，设计出一种能够对钢材稳固夹紧固定，并可将固定的钢材进行翻面操作作业，方便对钢材的各面进行均匀涂刷的船用钢材高效涂刷装置如下图 1 所示为其总体示意图，图 2 为左端详图，图 1 中标注为 A，图 3 为中部上端支柱详图，图 1 中标注为 B：

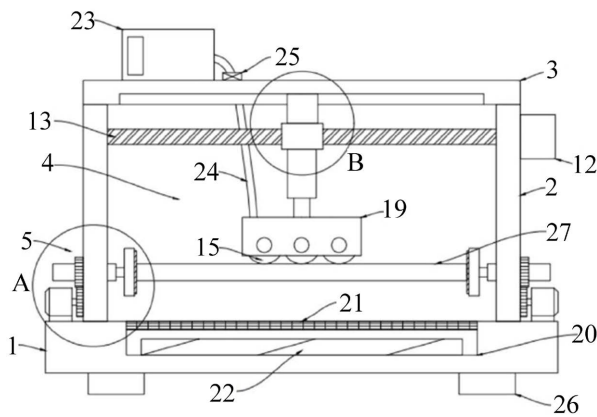


Figure 1. Schematic diagram of the overall structure of the device  
图 1. 该装置整体结构示意图

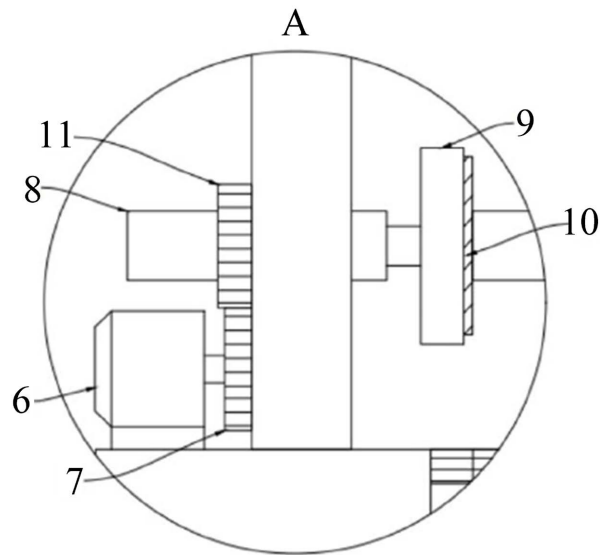


Figure 2. A detail drawing

图 2. A 细部详图

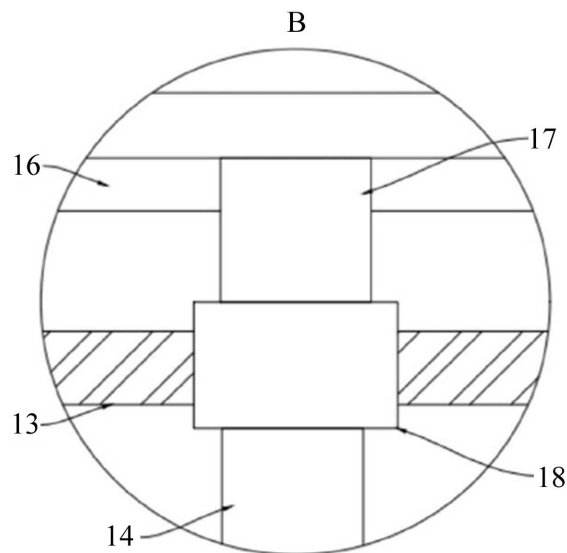


Figure 3. B detail drawing

图 3. B 细部详图

图 1 为本设计出的船用钢材高效涂刷装置的整体结构示意图，图 2 为图 1 中 A 处局部放大详图，图 3 为图 1 中 B 处局部放大详图。三个图中的标记说明：1 为底座、2 为侧板、3 为支撑板、4 为移动式均匀涂刷组件、5 为可翻转式夹紧固定组件、6 为旋转电机、7 为齿轮 1#、8 为电动推杆、9 为夹板、10 为防滑垫、11 为齿轮 2#、12 为驱动电机、13 为螺纹杆、14 为电动伸缩杆、15 为刷辊、16 为滑槽、17 为滑块、18 为螺纹套环、19 为支架、20 为凹槽、21 为均流网、22 为风机、23 为涂料箱、24 为输送管、25 为电磁阀、26 为垫块、27 为钢材。

为解决上文所述已有技术的不足与缺陷即不能牢靠稳固夹紧钢材和不能对被涂刷钢材进行翻面，本装置技术提供了一种能够对钢材稳固夹紧固定，并可将固定的钢材进行翻面和翻转，方便对钢材的各方面进行均匀涂刷的船用钢材高效涂刷装置。



如图 1 所示, 这个装置包括底座(1), 这个底座(1)的两侧端上设置有侧板(2), 该侧板(2)上设置有支撑板(3), 支撑板(3)下设置有移动式均匀涂刷组件(4), 侧板(2)上设置可以翻转式夹紧固定组件(5)。这个翻转式夹紧固定组件(5)包括有旋转电机(6)、齿轮 1# (7)、电动推杆(8)、夹板(9)、防滑垫(10)和齿轮 2# (11)。该旋转电机(6)设置于底座(1)上, 该齿轮 1# (7)设置于旋转电机(6)的输出端, 该电动推杆(8)可转动贯穿侧板设置, 夹板(9)设置于电动推杆(8)的输出端, 防滑垫(10)设置于夹板(9)侧壁上。齿轮 2# (11)固定套设置于电动推杆(8)上。齿轮 2# (11)与齿轮 1# (7)啮合设置。该设置中的移动式均匀涂刷组件(4)包括驱动电机(12)、螺纹杆(13)、电动伸缩杆(14)和刷辊(15), 支撑板(3)底壁下嵌设有滑槽(16)。该滑槽(16)内滑动设有滑块(17), 驱动电机(12)设于侧板(2)侧壁上。该驱动电机(12)的输出端贯穿侧板(2)设置, 螺纹杆(13)的一端连接于该驱动电机(12)的输出端。螺纹杆(13)的另一端可转动设于侧板(2)的侧壁上, 该螺纹杆(13)上螺纹套设有螺纹套环(18), 螺纹套环(18)顶壁与滑块(17)固定连接。电动伸缩杆(8)设于螺纹套环(18)下, 电动伸缩杆(14)下设置有支架(19), 而刷辊(15)设置三组且均可转动设置于支架(19)内。底座(1)的顶壁嵌设有凹槽(20), 而凹槽(20)顶端开口设置有均流网(21), 凹槽(20)内安装有风机(22)。支撑板(3)上设置有涂料箱(23), 涂料箱(23)与刷辊(15)通过输送管(24)连接设置。输送管(24)上设置有电磁阀(25), 这个输送管(24)采用软管, 方便运作变形。底座(1)下均匀设置有垫块(26), 驱动电机(12)为伺服电机。

## 4. 操作原理与优点

### 4.1. 操作原理

本技术装置在具体使用时, 将钢材(27)放置在两侧夹板(9)侧壁的防滑垫(10)之间, 将装置外接电源, 电动推杆(8)控制夹板(9)向钢材(27)伸长, 从而两侧的夹板(9)将钢材(27)夹紧固定, 电动伸缩杆(14)控制支架(19)下的刷辊(15)下降接触到钢材(27)的表面上, 驱动电机(12)驱动螺纹杆(13)转动, 螺纹套环(18)将螺纹杆(13)的回旋运动转换为直线往复运动, 螺旋套环(18)通过滑块(17)在滑槽(16)内滑动, 从而螺纹套环(18)带动电动伸缩杆(14)下的刷辊(15)在水平方向上对钢材(27)滚动涂刷, 在对钢材(27)的顶面均匀涂刷完毕后, 旋转电机(6)驱动齿轮 1# (7)转动, 齿轮 1# (7)驱动齿轮 2# (11)转动, 齿轮 2# (11)带动电动推杆(8)转动, 从而带动夹板(9)夹紧固定的钢材(27)旋转翻面, 风机(22)吹风通过均流网(21)均匀对钢材(27)涂刷面进行风干, 从而整个工艺过程得以顺利完成。

### 4.2. 优点

本装置技术优点: 通过可以翻转式夹紧固定组件的设置, 将钢材放置在两侧夹板侧壁的防滑垫之间, 电动推杆控制夹板向钢材伸长, 从而两侧的夹板将钢材夹紧固定。对于钢材的顶面均匀涂刷完毕后。旋转电机驱动齿轮 1#转动, 齿轮 1#驱动齿轮 2#转动, 齿轮 2#带动电动推杆转动。从而带动夹板夹紧固定的钢材旋转翻面。实现了对钢材稳固夹紧固定, 并可对固定的钢材进行翻面, 方便对钢材的各面进行均匀涂刷的目的。通过移动式均匀涂刷组件的设置, 电动伸缩杆控制支架下的刷辊下降接触到钢材的表面上, 驱动电机驱动螺纹杆转动, 螺纹套环将螺纹杆的回旋运动转换为直线往复运动, 螺纹套环通过滑块在滑槽内滑动, 从而螺纹套环带动电动伸缩杆下的刷辊在水平方向上对钢材滚动涂刷, 通过风机的设置来实现风机吹风通过均流网均匀对钢材进行风干。

### 4.3. 创新点

本装置技术创新点在于: 1) 原理简单明了, 电动机械传动实现被涂刷钢材的传递翻转等等, 工作原理简单明了, 并不复杂, 以简单的原理实现了功效的最大化; 2) 对被涂刷钢材夹紧牢固可靠, 做到了智能数控化能达到的同样牢靠度, 简单的工序达到复杂工序的功效; 3) 涂刷均匀, 效率较高, 涂料浪费极

少; 4) 原理明了, 工序清晰简单, 材料浪费极少, 从而节约了成本, 达到了低成本高效率的设计目的。

本装置技术的设计将较为适宜应用于造船业中的钢材涂刷工作中, 该装置技术能较好地提高钢材涂刷的工作效率, 降低成本, 推进中国造船业的发展, 提升其社会及经济效益。

## 基金项目

广西高校大学生创新创业训练计划项目“软体吸附动物对海工钢结构的腐蚀研究”(项目编号: S202311607088); 北部湾大学高层次人才引进科研启动项目“水泥等胶凝材料性能改良及其应用研究”(项目编号: 18KYQD31); 北部湾大学自主课题“波流潮生物多因素耦合作用对海工结构疲劳研究”(项目编号: YLXKKY202215); “贝、螺和蚝等生物对海工钢筋混凝土结构侵蚀破坏及其安全防护技术的研究”(项目编号: 03030005)。

## 参考文献

- [1] 吴秀霞. 2024 年: 中国船配业抓住机遇实现跃升[N]. 中国船舶报, 2025-02-14(005).
- [2] 杨时. 中国造船业三大指标连续 15 年世界第一[N]. 中国能源报, 2025-01-20(009).
- [3] 孙木子. 中国造船势头强劲活力足[N]. 中国水运报, 2024-10-16(006).
- [4] 郭永姊. 面向中国造船业的国际干散货航运市场研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连海事大学, 2019.
- [5] 青木. 德媒: 中国造船业占据全球主导地位[N]. 环球时报, 2025-01-06(005).
- [6] 李贝贝. 中国造船业三大指标稳步增长[N]. 华夏时报, 2024-10-21(013).
- [7] 江乌. 专用于金属钢材防腐的特种涂料问世[J]. 钢铁, 1988(4): 72.
- [8] 宋鹏宇. 石墨烯基钢材防腐涂层研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2019.
- [9] 乔浩. 低熔点玻璃和双层结构设计对无机超薄型钢结构防火涂料性能影响研究[D]: [硕士学位论文]. 石河子: 石河子大学, 2018.
- [10] 朱付勇, 刘桦荃. 汽车钣金件电泳涂装优化路径探析[J]. 专用汽车, 2024(12): 128-130.
- [11] 陈宣学. 船舶涂装过程质量控制与数字化管理[J]. 船舶物资与市场, 2024, 32(2): 108-110.
- [12] García-Jiménez, R., García-Díaz, J.C. and Pulido-Rojano, A.D. (2023) Bicriteria Food Packaging Process Optimization in Double-Layered Upright and Diagonal Multihead Weighers. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 428, Article ID: 115168. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2023.115168>
- [13] 周春宇, 李华明, 张仲晦, 等. 环保型涂料的研究及发展前景分析[J]. 现代涂料与涂装, 2019, 22(8): 24-25, 58.
- [14] 张晓忠. 铸铁用环保型醇基涂料 KYJ-80 的研发[Z]. 银川: 宁夏共享化工有限公司, 2012-11-22.
- [15] 徐信棠. 环保型无溶剂超长效防腐涂料研发与产业化[Z]. 常州: 冶建新材料股份有限公司, 2011-11-02.
- [16] 孙太荣. 工程机械环保型防腐涂料的研发与产业化[Z]. 中山: 中山大桥化工有限公司, 2010-03-27.
- [17] 加快推动中国涂料行业高端化、智能化、绿色化发展[J]. 中国涂料, 2023, 38(11): 3.
- [18] 孙坤, 李海燕, 张建英, 等. 智能防腐涂料的研究进展[J]. 中国涂料, 2023, 38(12): 17-24.
- [19] 王亚鑫, 曹亚成, 狄志刚, 等. 人工智能技术在防腐涂料研发中的应用研究[J/OL]. 涂料工业: 1-7. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1154.TQ.20250219.1331.006.html>, 2025-02-26.
- [20] 蓝海峰, 姜伯晨, 类延华. 功能化超疏水涂层的制备及其防/除冰特性研究[C]//海洋腐蚀与防护全国重点实验室, 国家材料腐蚀与防护科学数据中心, 海洋关键材料重点实验室, 海洋防腐产业技术创新战略联盟, 中国腐蚀与防护学会. 第十届海洋材料与腐蚀防护大会暨第四届钢筋混凝土耐久性设施服役安全大会论文集. 2024: 1.
- [21] 束俊杰, 吴宗煜, 夏锡锋, 等.  $\alpha$ -ZrP 纳米材料的功能化增强环氧锌涂层的防腐性能[C]//海洋腐蚀与防护全国重点实验室, 国家材料腐蚀与防护科学数据中心, 海洋关键材料重点实验室, 海洋防腐产业技术创新战略联盟, 中国腐蚀与防护学会. 第十届海洋材料与腐蚀防护大会暨第四届钢筋混凝土耐久性设施服役安全大会论文集. 南京: 南京理工大学化学与化工学院, 2024: 1.
- [22] 孔悦, 范旭, 张广毅, 等. 功能性智能织物涂层的研究进展[J]. 涂料工业, 2024, 54(9): 51-55.
- [23] 施家耀. 港口机械设备涂装质量控制与标准化管理[J]. 中国机械, 2023(24): 88-91.

- [24] 李清, 王东方, 董亮, 等. 船舶舾装件涂装标准化[J]. 船舶标准化工程师, 2022, 55(3): 49-53.
- [25] 高佳, 牛建民. 船舶涂装: 从标准化走向数字化[J]. 现代涂料与涂装, 2022, 25(10): 54-57.
- [26] 第 15 届国际(广州)表面处理电镀涂装展览会[J]. 材料保护, 2021, 54(11): 172.
- [27] 马超. 一种钢材表面处理用涂刷装置[P]. 中国专利, CN202121946873.3. 2022-03-01.
- [28] 姜雷, 姜福前. 一种钢材预处理用涂刷装置[P]. 中国专利, CN202023171823.0. 2021-11-30.