

DOI: 10.7672/sgjs2025130018

# 墙面喷涂机器人施工技术应用研究\*

许卫军,罗继文,林建侠,牛信,周一鸿  
(浙江省三建建设集团有限公司,浙江 杭州 310036)

[摘要] 在墙面喷涂施工中,引入了一种新型建造模式,利用一种墙面喷涂机器人取代人工进行大面积喷涂施工。但现阶段墙面喷涂机器人的施工效率远低于其理论施工效率,即应用效率太低。通过对墙面喷涂机器人施工技术进行研究,从人机协同、涂料配合比等方面进行优化,从而大幅度提升墙面喷涂机器人的应用效率。

[关键词] 智能建造;墙面喷涂;机器人;施工效率

[中图分类号] TU69

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)13-0018-04

## Research on Application of Wall Spraying Robot Construction Technology

XU Weijun, LUO Jiwen, LIN Jianxia, NIU Xin, ZHOU Yihong

(Zhejiang Province Sanjian Construction Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 310036, China)

**Abstract:** In the wall spraying construction, a new construction mode is introduced, and a wall spraying robot is used to replace the manual spraying construction in a large area. However, at this stage, the construction efficiency of the wall spraying robot is far lower than its theoretical construction efficiency, that is, its application efficiency is too low. Through the research on the construction technology of wall spraying robot, its application efficiency of is greatly improved from the aspects of man-machine coordination and coating mix ratio.

**Keywords:** intelligent construction; wall spraying; robot; construction efficiency

### 0 引言

我国智能建造水平还处于摸索阶段,尚未形成一个完整的施工体系。如何以建造“好房子”为目标去发展智能建造,加快形成一套行之有效的经验模式,并推动建筑业向工业化、数字化、智能化、绿色化转型,实现更高质量、更有效率、更可持续、更为安全的发展目标,值得去研究与实践。

喷涂是现今应用最普遍的一种涂装方式,生产效率高。在建筑工业化与智能化转型的浪潮下,传统人工喷涂工艺的局限性日益凸显。工人手动喷涂易出现漏涂、厚度不均等问题,同时脚手架搭设与移动耗时耗力,且存在安全隐患。这些问题严重制约施工效率与工程质量的提升。因此墙面喷涂机器人技术应运而生,但现阶段的墙面喷涂机器人在施工中存在诸多问题,直接影响机器人的施工效率,导致其远远达不到预期值。

本研究在墙面喷涂机器人施工过程中通过人机协同、涂料配合比等方面进行优化,从而大幅提升墙面喷涂机器人的应用效率,为项目降本增效。

### 1 工程概况

温州技师学院扩建工程总承包项目位于温州市瓯江口新区一期 F-01-12b 地块。本项目为公共建筑,包括教学 1 号实训楼、2 号综合楼、3 号学生宿舍、4 号配电房及 5 号、6 号门卫用房。项目总用地面积 29 717m<sup>2</sup>,总建筑面积 32 557.56m<sup>2</sup>。其中地下建筑面积 3 077.47m<sup>2</sup>(实训楼、1 层地下室),地上建筑面积 29 480.09m<sup>2</sup>。本工程结构安全等级一级,1~3 号楼为重点设防,4~6 号楼为标准设防,抗震设防烈度为 6 度。

该项目属于框架结构,因此内隔墙多且开间大,适合机器人大面积施工;出于成本和进度考虑,该项目墙面涂料施工计划投入 2 台墙面智能喷涂机器人,墙面涂料采用防霉腻子及乳胶漆,墙面机器人作业面积约为 27 000m<sup>2</sup>。

\* 浙江省建设科研和推广项目(2024K254)

[作者简介] 许卫军,高级工程师,E-mail: 825159715@qq.com

[收稿日期] 2025-03-20

## 2 研究方向

本项目业主单位要求 30d 内必须完成墙面喷涂施工,因此工期较为紧张。喷涂量共计约 27 000m<sup>2</sup>,故墙面喷涂施工效率不得低于 900m<sup>2</sup>/d。本项目计划投入 2 台墙面喷涂机器人,每台机器人计划 1d 施工 8h,故单个墙面喷涂机器人的施工效率不得低于 56.25m<sup>2</sup>/h。项目上投入的墙面喷涂机器人施工效率的理论值为 70m<sup>2</sup>/h,因此想要按时完成目标,墙面喷涂机器人的应用效率不得小于其理论值的 81%。

通过对周边几个采用同类机器人的项目进行调查发现,现阶段墙面喷涂机器人的应用效率仅约为其理论值的 70%,若按照现状利用墙面机器人进行喷涂施工,将无法按期完工,只能再增设 1 台机器人进行施工。由于额外增设机器人所需投入成本较大,经过项目团队讨论决定,计划开展相关研究,从墙面喷涂机器人施工过程出发,通过相关技术优化,从而提升墙面喷涂机器人的应用效率,保证按时完成。

## 3 施工技术优化

### 3.1 人机协同技术优化

#### 3.1.1 墙面机器人施工模式优化

墙面喷涂机器人喷涂施工主要分为两种模式,分别为半自动施工模式和全自动施工模式。本项目机器人采用的是半自动施工模式。其原理为通过操作工人手部的操作平台对墙面喷涂机器人进行控制。实际施工过程中,每次喷涂完 1 个作业面当需要向下一个作业面施工时,需要利用操作平台对机器人进行路径移动。且机器人需停在垂直墙面 1.5m 位置处方可进行喷涂施工。在施工中碰到狭窄空间及不规则施工空间时,机器人需要技术人员通过操作平台反复校准位置(见图 1),非常影响其工作效率。

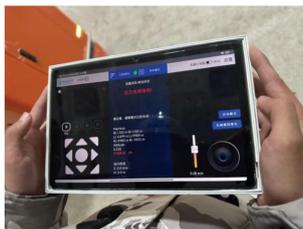


图 1 机器人遥控操作平台

Fig. 1 Robot remote control operation platform

自动规划路径系统施工原理为喷涂作业前,提前在墙面喷涂机器人的控制平台上上传项目图纸,图纸上传成功后启动机器人,可根据图纸上的内容

并结合现场环境进行自动规划路径喷涂施工,在大开间及方正规则墙体中较为适用。

本项目墙体布置均为大开间,且墙体较为规则,项目联系了厂商的技术工程师,将本项目的墙面喷涂机器人引入自动规划路径系统施工模式。同时按照手册要求进行图纸导入,并设置作业点。图纸导入完成后,即可开始进行自动规划路径施工,项目人员对其进行了现场测试,发现大幅度减少不必要的位置反复校准时间,施工效率提升显著(见图 2)。



图 2 全自动规划路径施工

Fig. 2 Fully automatic path planning construction

### 3.1.2 机器人操作工水平提升

同时为了提升机器人操作工的水平,项目部管理人员建立了墙面喷涂智能建造班组,并进行集中培训学习。培训完成后进行了相应的对比(见表 1),智能建造班组的施工效率明显高于普通机器人操作工的施工效率。

表 1 智能建造班组与普通班组对比

Table 1 Comparison between intelligent construction teams and ordinary teams

班组	实际施工效率/(m <sup>2</sup> ·h <sup>-1</sup> )	应用效率/%
普通机器人操作工	49.97	71.39
墙面喷涂智能建造班组	56.72	81.03

## 3.2 涂料配合比控制

### 3.2.1 施工现状

现阶段墙面喷涂机器人运动控制精度与涂料配合比调节粗放度严重不匹配。因涂料水灰比不当导致的管路堵塞大幅占用了机器人的工作时间。同时,高湿度地区在墙面机器人喷涂施工中,因水灰比没控制好,经常会出现流塑现象,返工率大大增加。墙面机器人涂料配合比的调整还是依靠人工拌料,调整好之后才进行装料,误差较大,且装料后若配合比不对,只能进行放料,浪费材料。

#### 3.2.2 配合比调节装置

项目团队研制出一种可实时调节配合比的调节装置,主要由喷涂机器人上的装料桶改装而成。装置两端设置扁铁加工成的提手,方便拆装。装置

整体分为第1存放区和第2存放区,通过中间设置隔板进行分区,如图3所示。

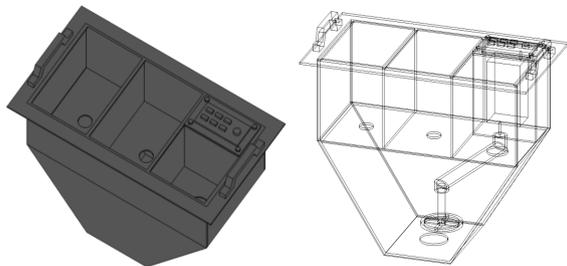


图3 涂料配合比实时调节装置

Fig. 3 Paint mixture ratio real-time adjustment device

第1存放区按空间等比例设置3个材料存放区,分别为涂料存放区、水存放区和外加剂存放区。其中外加剂存放区后侧另设置1个封闭小隔间,用来内置发电机,其上端表面安装1个控制平台。每个材料存放区中间都设置有1个圆形输料口,每个输料口的尺寸不一,其目的是当3个输料口同时打开放料时,其输送效率的比值为最佳配合比。输料口的作用为将材料输送至第2存放区。圆形输料口的打开及闭合通过控制平台进行操作。由于材料通过输料口传送至第2存放区的输送效率是固定的,因此可通过打开圆形输料口的时间长短来控制材料输送量。

第2存放区内设置搅拌棒,用于将第1存放区输送下来的材料进行充分搅拌,其下口设置有1个出料口,可将拌好的涂料直接供给墙面喷涂机器人。出料口的打开及闭合以及搅拌棒的搅拌功率通过装置最上端的控制平台进行操作,如图4所示。

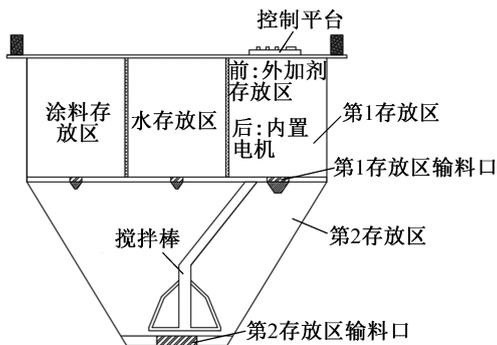


图4 调节装置分区

Fig. 4 Adjusting device partition

装置加工制作完成后,即可以应用于现场的墙面机器人喷涂工作。

首先将机器人上的装料桶替换成调节装置,然后进行装料,将各材料装入指定的存放区域。将材料根据所需配合比通过第1存放区输料口下放至第

2存放区,后经过第2存放区内置的搅拌棒进行充分搅拌,最后经过第2存放区输料口输送至墙面喷涂机器人。

随后进行机器人喷涂施工,若喷涂施工过程中发现涂料配合比不对,则通过该装置及时进行调整。如出现流塑现象,配合比中需要多掺入涂料,只需通过控制平台打开第1存放区中涂料存放区的输料口即可。涂料掺量根据输送效率换算成输料口需要打开多少时长即可。再经过第2存放区充分搅拌后通过第2存放区输料口供至喷涂机器人作业。

采用了调节装置后应用效率有了明显提升,如表2所示。

表2 装置替换后应用效率对比

Table 2 Comparison of application efficiency after device replacement

	实际施工效率/( $\text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$ )	应用效率/%
原装料桶	51.36	71.39
新调节装置	57.84	85.53

#### 4 应用效果分析

对影响喷涂机器人工作状态下的有效工作时间进行了优化前后的对比试验,影响其应用效率的主要问题是人机协同无效时间和喷涂机械臂堵塞,占比超过了70%,通过技术优化后,这两个问题发生比例有了明显下降,从而直接提高了墙面喷涂机器人的应用效率(见图5)。

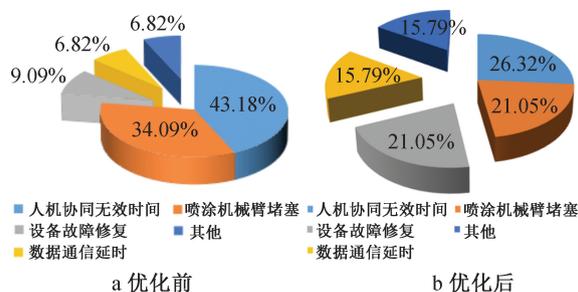


图5 应用效果分析

Fig. 5 Analysis of application effect

同时,项目部人员对本项目的墙面喷涂施工应用效率进行了相关统计分析,结果如表3所示。

表3 优化后应用效率对比

Table 3 Comparison of application efficiency after optimization

	施工面积/ $\text{m}^2$	实际施工效率/( $\text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$ )	应用效率/%
现状	1 000	49.97	71.39
技术优化后	1 000	62.04	88.63

可以看出,墙面喷涂机器人的应用效率大幅度提升,施工进度可以满足业主要求。

## 5 结语

本施工技术适用于采用墙面喷涂机器人的大面积墙面喷涂作业。项目通过引入自动规划路径施工系统以及建立墙面喷涂智能建造班组,对人机协同技术进行了优化。通过研制一种实时调节配合比的辅助装置,大幅降低了墙面喷涂机器人喷涂过程中的堵管以及流塑现象发生频率,提高了机器人的应用效率,为后续类似工程提供借鉴参考。

### 参考文献:

- [ 1 ] 杨明,曹晟. 基于机器人的室内自动喷涂施工技术研究——以凤桐花园一期项目为例[J]. 福建建筑, 2022(12): 127-130.  
YANG M, CAO S. Research on indoor automatic spraying construction technology based on robot: take Guangdong Fengtong Garden Phase I project as an example[J]. Fujian architecture & construction, 2022(12): 127-130.
- [ 2 ] 邢家浩. 大型产业园项目中的建筑机器人应用研究[J]. 建筑施工, 2025, 47(2): 251-253, 262.  
XING J H. Study on the application of construction robots in large industrial park projects[J]. Building construction, 2025, 47(2): 251-253, 262.
- [ 3 ] 方勇,史彩凤,董庆,等. 室内建筑喷涂机器人设计关键技术研究[J]. 中国建设信息化, 2025(2): 53-57.  
FANG Y, SHI C F, DONG Q, et al. Design and research of indoor building spraying robot[J]. Informatization of China construction, 2025(2): 53-57.
- [ 4 ] 孟庆禹,陈越,杨柳溪,等. 建筑工程施工机器人现状分析、应用实例及发展探究[J]. 产业科技创新, 2024, 6(5): 44-49.  
MENG Q Y, CHEN Y, YANG L X, et al. Analysis of the current situation, application examples and development of construction robots in building engineering [J]. Industrial technology innovation, 2024, 6(5): 44-49.
- [ 5 ] 齐国庆. 基于建筑机器人驱动的智能建造技术研究[J]. 智慧城市, 2024, 10(11): 117-119.  
QI G Q. Research on intelligent construction technology driven by building robots[J]. Intelligent city, 2024, 10(11): 117-119.
- [ 6 ] 翟浩博,任宝双,陈洪敏,等. 房建施工机器人的应用及展望[J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(23): 20-26.  
ZHAI H B, REN B S, CHEN H M, et al. Application and prospect of building construction robot[J]. Construction technology, 2023, 52(23): 20-26.
- [ 7 ] 段瀚,陈琳欣,郭红领. 人机合作背景下建筑机器人的施工策略研究[J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(14): 53-59.  
DUAN H, CHEN L X, GUO H L. Construction strategy research of construction robot within the context of human-robot cooperation [J]. Construction technology, 2023, 52(14): 53-59.
- [ 8 ] 李国建. 融合创新视角下的建筑产业数字化[J]. 城市建筑空间, 2023, 30(2): 24-26.  
LI G J. Digitalization of construction industry from perspective of integration and innovation[J]. Urban architecture space, 2023, 30(2): 24-26.
- [ 9 ] 曾峰,张立,罗维成. 实测实量机器人在大规模房建项目中的应用[J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(14): 31-34.  
ZENG F, ZHANG L, LUO W C. Application of real measured robot in large-scale housing construction project[J]. Construction technology, 2024, 53(14): 31-34.
- [ 10 ] 肖维思,庄然,唐务生. 抹灰机器人施工研究[J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(11): 22-26.  
XIAO W S, ZHUANG R, TANG W S. Construction research of plastering robots [J]. Construction technology, 2023, 52(11): 22-26.