

文章编号: 1002-0446(2002)03-0239-05

高层建筑喷涂机器人系统研究*

员 超¹ 张 刚¹ 孙进生² 孟 如² 张启先¹

(1. 北京航空航天大学机器人研究所 100083; 2. 河北理工学院自动化系 063000)

摘 要: 本文论述了用于高层建筑外墙面装饰材料喷涂作业的喷涂机器人系统,着重论述了该机器人系统的组成和特点、机器人支援系统和机器人本体结构的设计,讨论了机器人控制系统的结构原理,并对机器人控制系统的实现和基于传感器的任务调度机制进行了深入的探讨.

关键词: 高层建筑喷涂机器人; 吸板负压吸附和空气推力吸附; 可编程控制(PLC)

中图分类号: TP24 文献标识码: B

RESEARCH ON THE SYSTEM OF PAINT-SPRAYING ROBOT FOR HIGH-RISE BUILDINGS

YUN Chao¹ ZHANG Gang¹ SUN Jing-sheng² MENG Ru² ZHANG Q i-xian¹

(1. Robotics Institute , Beijing University of Aeronautics and Astronautics Beijing 100083;

2. Department of Automatics , Hebei Institute of Technology 063000)

Abstract: This paper illum inates a new kind of robot, paint-spraying robot for high-rise buildings, which is used for the external decoration painting operation of high-rise buildings. It mainly discusses the structure and properties of the robot system as well as the robot's support system, frame structure and control system. It also goes into detail about the realization of the control system and the distribution of tasks based on sensors.

Keywords: paint-spraying robot for high buildings, adsorbing with negative pressure and gas thrust, program mable logic control(PLC)

1 引言(Introduction)

近年来,城市市容环境整顿工作越来越引起人们的重视,作为城市面貌的建筑物外表面清理和装饰工作已成为城市环境整顿的工作重点.

传统的高层建筑物清洗工作均是由工人高空作业,作业环境差、劳动强度高、工作效率低、清洗价格高.研制开发取代这种低效率、高风险的人工喷涂方式的高层建筑物喷涂机器人一方面可以大幅度地降低喷涂的价格,另一方面也可以提高喷涂工作效率,减轻喷涂工人的劳动量.

高层建筑喷涂机器人是一种应用于高层建筑外墙壁表面装饰材料喷涂作业的新型爬壁机器人,该机器人主要由机器人支援系统、机器人本体、机器人控制系统和喷涂作业系统四个部分组成.

2 机器人支援系统(Supporting system of paint-spraying robot)

2.1 机器人支援系统功能

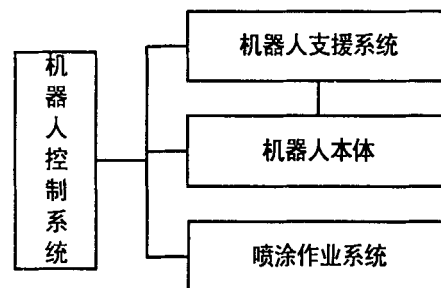


图 1 喷涂机器人系统构成

Fig. 1 System structure of paint-spraying robot

* 收稿日期: 2001- 10- 10

在喷涂作业中,机器人支援系统置于建筑物的顶部平台上,由移动小车、卷缆部件和悬挂装置组成,主要起运输提升机器人本体、缠绕钢丝绳和电缆的功能,并由上位机与机器人本体进行通讯,实现运动控制和喷涂作业管理。见图1。

2.2 机器人支援系统结构

为了适应建筑喷涂高空作业的需要,我们按照模块化、结构化的设计思想,使机器人支援系统的各个组成部分既功能独立,又相互联系构成一个统一的整体,便于装卸、方便运输,减轻了喷涂作业过程中工人拆卸和安装的工作量。

2.2.1 移动小车

移动小车采用轮式驱动,主要实现喷涂机器人在墙面的横向移动,运输卷缆部件、悬挂装置、喷涂机器人主控制柜和喷涂涂料等功能。

2.2.2 卷缆部件

卷缆部件主要用于缠绕钢丝绳、机器人本体电源传输电缆、主从 PLC 通讯电缆和喷涂作业涂料管道。

由于卷缆部件要负责为喷涂机器人本体输送电源和喷涂涂料,并进行上位机与下位机之间的通讯,在其旋转过程中存在电液动静转换的问题。传统的电气转换方法是利用电刷,由于这种滑动接触装置在运转的过程中存在磨损、辐射、干扰、滑环污染等不可靠因素,因此并不能保证稳定可靠地实现电液动静转换。

考虑到电液动静转换装置存在的问题,我们采用加大卷缆部件中卷筒的径向尺寸,减小电缆和钢丝绳在卷筒上缠绕匝数的方法,通过在卷筒出线端预先反向缠绕一定的圈数来消除在卷缆工作过程中产生的钢丝绳和电缆的拧绕现象,从而取消了电液动静转换装置,并在具体的试验中取得了良好的实验效果。

2.2.3 悬挂装置

悬挂装置用于承担喷涂机器人本体和传输电缆的重量,主要由平行四边形机构、钢丝绳滑轮、电缆滑轮和滑轮支撑轴等构成。

悬挂装置安装于卷缆部件支架上,见图2。悬挂喷涂机器人本体的钢丝绳经钢丝绳滑轮后缠绕在卷扬部件的卷筒上,电缆滑轮主要用于承担电缆和喷涂管道的重量。为了适应建筑物顶部女儿墙的高度以及调节悬臂伸长,平行四边形机构的斜支撑杆能在 $7.5^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 之间进行调节,从而调节钢丝绳滑轮相对于机器人缆车的悬伸距离,增强了机器人对于各

种不同建筑物顶面的适应能力。

在滑轮支撑轴上安装的红外计数器用于确定机器人本体在壁面上 Y 方向的位置。

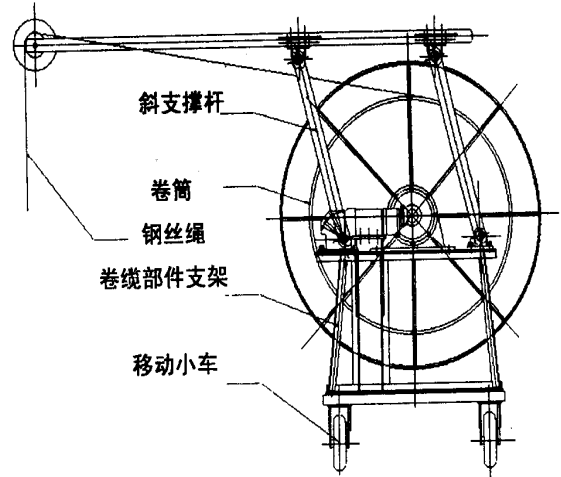


图2 喷涂卷缆、悬挂装置

Fig. 2 Paint-spraying cable and hanging mechanism

3 喷涂机器人本体设计(Design of the paint-spraying robot's frame)

喷涂机器人本体是机器人的核心部件,主要完成机器人在墙面的吸附功能、机器人沿墙面的行走功能,执行喷涂作业管理,并通过下位机与机器人支援系统上的上位机进行通讯。

3.1 喷涂机器人吸附方式及吸附力

3.1.1 喷涂机器人吸附方式

按附着方式的不同,壁面移动机器人可分为真空吸附爬壁机器人与磁吸附爬壁机器人等类型。磁吸附爬壁机器人用于铁磁性壁面的作业,由于墙面为非铁磁性壁面,故喷涂机器人采用真空吸附。

喷涂机器人采用负压吸附和空气推力吸附的吸附方式,其吸附装置主要由螺旋桨、螺旋桨电机、空气涵道、真空吸板等部件构成,如图3所示。

喷涂机器人处于工作状态时,螺旋桨电机带动螺旋桨高速旋转,在真空吸板和墙面之间的气流通道内产生较强的负压吸力,同时螺旋桨也对喷涂机器人本体产生压向壁面的推力,从而使喷涂机器人本体贴压在墙面上。

3.1.2 吸附力

为使机器人实现正常的喷涂作业,机器人本体的吸附装置必须具备足够的吸附力,从而在机器人工作过程中保证其能够安全可靠地吸附在壁面上。

吸附力计算主要是建立机器人本体空气涵道气

流的动力学模型, 分析计算机器人本体在壁面上吸附所需的最小吸附力, 并由此计算空气涵道的断面尺寸、螺旋桨各截面的弦长、桨叶角和曲率半径, 确定螺旋桨电机的输入功率、电机转速和输出扭矩。

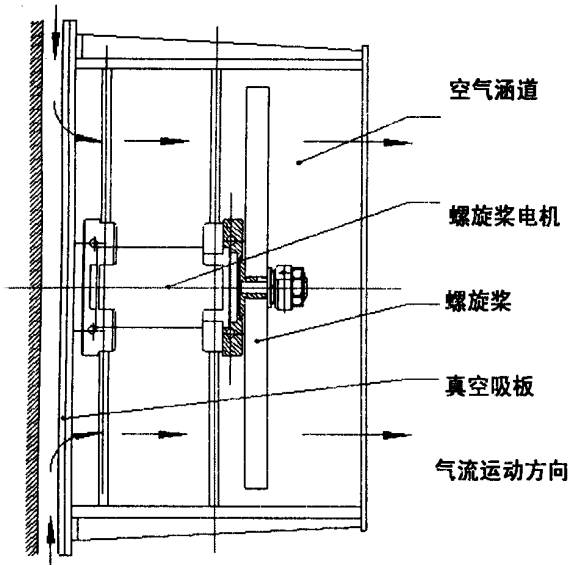


图 3 喷涂机器人吸附装置

Fig. 3 Adsorbing mechanism of paint-spraying robot

3.2 喷涂机器人在壁面上的运动方式

喷涂机器人本体采用轮式支撑, 由位于建筑物顶部平台缆车上的卷扬机构带动在壁面上垂直行走。通过安装于钢丝绳滑轮的计数器确定机器人在墙面的位置, 安装于机器人本体 +Y、-Y 两个方向的红外传感器用来检测在机器人垂直方向上的窗沿、障碍物和建筑物边沿, 见图 4。

3.3 喷涂机械手设计

喷涂机械手是喷涂机器人的具体执行部件, 按照喷涂作业的工艺要求, 喷涂机械手应具有以下基本功能:

(1) 往复运动功能, 尽可能扩大喷涂机器人一次喷涂作业面积, 提高机器人的工作效率;

(2) 避障功能, 喷涂机械手应具备一定的感知能力, 从而在喷涂作业的过程中避开窗户、空调等障碍物;

在喷涂过程中, 主要的要求是达到喷涂的均匀性, 这要求喷涂机械手必须以均速带动喷头定向移动。

3.3.1 喷涂机械手结构设计

喷涂机械手结构如图 4 中所示:

图中两串联的直线传动单元均采用同步齿形带驱动, 其中下滑轨固联于喷涂机器人本体, 上滑轨相

对于下滑轨作往复运动从而带动安装于其上的喷头按固定的速度往复运动, 喷头在运动过程中始终和墙面保持垂直。安装于上滑轨两端的红外传感器用于检测机械手运动行程中 +X、-X 方向上的窗户、空调等障碍物, 实现机械手的避障功能。

另外, 在喷涂机械手上安装了两套 CCD 摄像系统, 这样可从支援小车的监视器监视喷涂作业情况和墙面喷涂的质量。

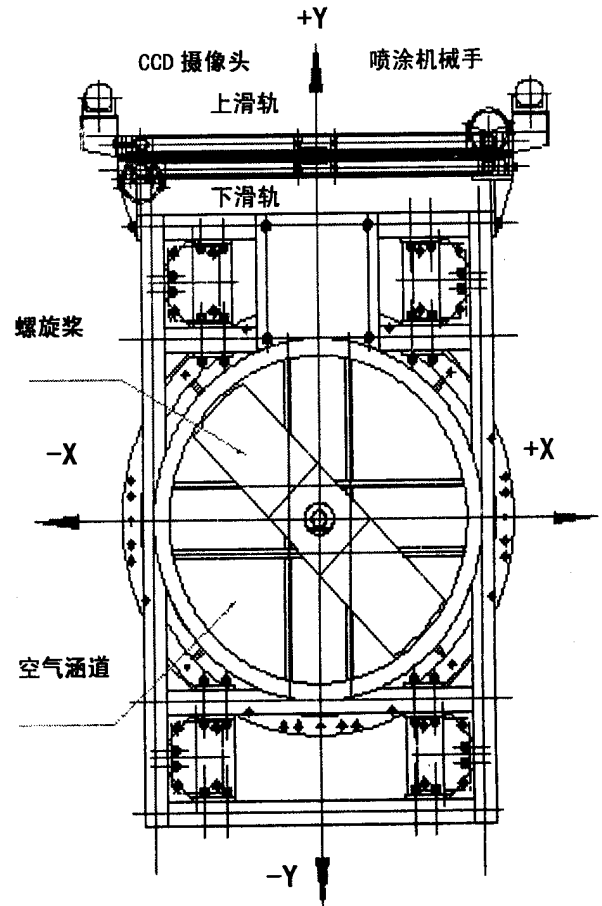


图 4 喷涂机器人本体结构及坐标定义

Fig. 4 Frame structure and coordinate definition for paint-spraying robot

3.3.2 喷涂机械手运动规划

喷涂机械手的运动为往复直线运动, 在往复运动的过程中实现喷涂作业。为了达到均匀喷涂作业, 要求喷涂机械手在往复运动的过程中喷头的电磁开关阀与上、下滑轨电机协调工作, 通过延时控制在上滑轨往复运动范围内的不同区间控制电磁开关阀的开启, 避免重复喷涂作业。

喷涂机械手的动作流程如图 5 所示, 图中 M 为一次喷涂作业的喷涂次数, 可根据喷涂作业的需要事先由控制程序进行设定。

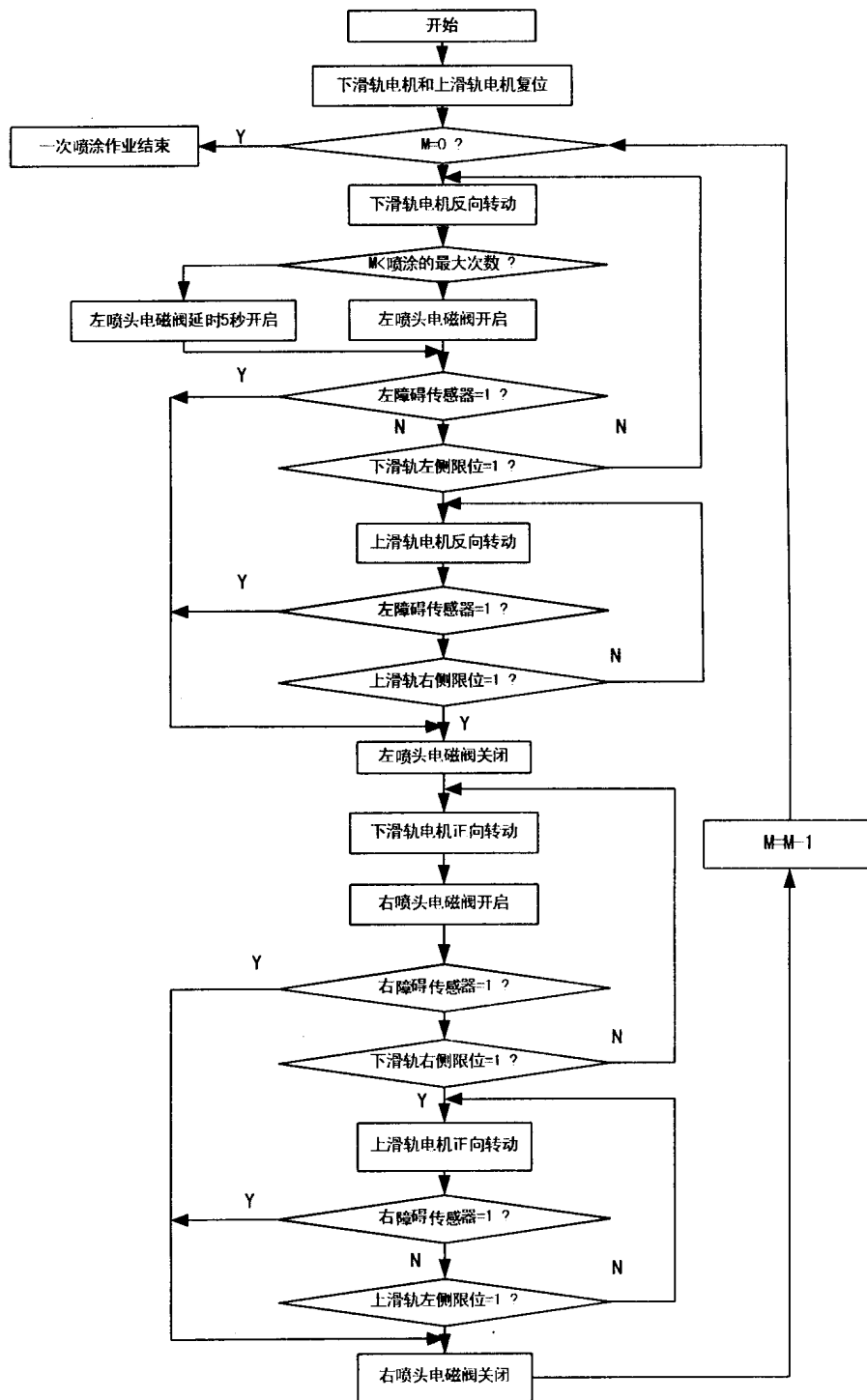


图 5 喷涂机械手动流程图

Fig. 5 Operating flow chart of paint-spraying manipulator

4 喷涂机器人控制系统(Control system of paint-spraying robot)

高层建筑喷涂是高空作业, 作业环境差, 温度和湿度变化大, 为此, 喷涂机器人采用可靠性高、适应

性好、抗干扰能力强的可编程序逻辑控制器(PLC)进行运动控制.

4.1 控制系统构成

系统采用主从两个 PLC, 系统构成如图 6 所示:

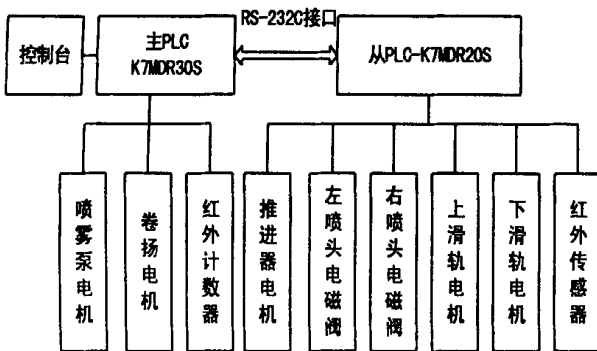


图 6 喷涂机器人控制系统结构

Fig. 6 Control system of paint-spraying robot

其中主 PLC 用于控制卷扬电机、喷雾泵电机和红外计数器; 从 PLC 用于控制推进器电机、左右喷头电磁阀、机器人本体 $\pm X$ 、 $\pm Y$ 方向的红外传感器、喷涂机械手下滑轨电机和上滑轨电机的运转, 保证喷涂机器人的正常工作要求。

4.2 控制系统的实现

控制系统的实现主要指控制系统的软件设计。

工艺流程的特点和要求是开发 PLC 控制系统的主要依据。按照喷涂作业的工艺和控制要求, 确定喷涂机器人在工作过程中必须完成的动作(包括动作时序、动作条件、保护和互锁等)和应具备的操作方式(手动、自动、间断、连续等)。

喷涂机器人控制系统主从 PLC 的输入信号主要来源于机器人上安装的机械限位开关和红外传感器, 根据各种输入信号的状态进行机器人任务的调度和喷涂作业管理。

4.3 机器人通讯

机器人通讯是指机器人在喷涂作业时主从 PLC 之间的通讯, 这是通过 LG MASTER-K PLC 内置通讯模块实现的, 并通过 LG MASTER-K 系列编程和调试工具 KGL-WIN 设定相应的通讯参数(包括站号、波特率、数据位、通讯通道等)。

喷涂机器人的主从 PLC 之间采用 RS-232C 串行通讯标准, 为了克服 RS-232C 传输距离短的缺点, 主从 PLC 之间采用光纤长线驱动器进行信号的发送与接收。

5 喷涂作业系统(Paint spraying system)

喷涂作业系统是用于喷涂作业的装置, 主要由喷雾泵、喷雾泵电机、涂料输送管路、电磁阀、喷枪组成。

在喷涂过程中, 喷枪的喷嘴轴线始终垂直于壁面, 喷嘴与壁面的距离可事先由人工调整固定。由电磁开关控制喷枪的开闭, 调节喷雾泵的压力和流量以控制涂料的流量和喷涂的厚度。

6 结论(Conclusion)

喷涂机器人是把机器人机械结构设计、机器人控制技术、高层建筑喷涂技术有机地结合起来的一种新型的爬壁机器人, 可应用于高层建筑外墙壁表面装饰材料喷涂作业。喷涂机器人的推广应用可以提高高层建筑喷涂作业的喷涂质量、工作效率和安全性, 降低喷涂工人的劳动量, 这对于拓展机器人技术和自动化技术在建筑业的应用领域, 提高我国的建筑业自动化水平具有重要的意义。

参考文献 (References)

- 1 龚振邦. 机器人机械设计. 北京: 电子工业出版社, 1995
- 2 吴广玉, 姜复兴. 机器人工程导论. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1988
- 3 汪勇, 李大寨, 宗光华. 高层建筑自动擦窗机控制系统的研制. 机器人, 2001, 23(4): 311- 315
- 4 付京逊. 机器人学. 北京: 中国科学技术出版社, 1989
- 5 邓星钟. 机电传动控制. 湖北: 华中科技大学出版社, 2001, 3
- 6 LG 可编程逻辑控制器 KGL for Windows 用户手册, 2001
- 7 LG 可编程逻辑控制器 MASTER-K80S 使用说明书, 2001
- 8 LG 可编程控制器 MASTER-K 指令手册, 2001

作者简介:

员 超 (1952-), 男, 1994 年毕业于天津大学机械系, 获工学博士学位, 现为北京航空航天大学机器人研究所教授. 研究领域: 柔体系统动力学, 机器人技术和机器人控制的研究. 作为课题负责人和主要研究者承担和完成国家自然科学基金和国家 863 计划项目 10 项, 发表论文 30 余篇。

张 刚 (1973-), 男, 北京航空航天大学机器人研究所研究生。

张启先 (1925-), 北京航空航天大学教授, 中国工程院院士。