

# 小型平面钢闸门面板清洗机器人设计

段震华<sup>1, 2</sup> 刘伟康<sup>1</sup> 毛裕杰<sup>1</sup> 张嘉磊<sup>1</sup>

1. 浙江水利水电学院机械与汽车工程学院 浙江杭州 310018

2. 先进水利装备浙江省工程研究中心 浙江杭州 310018

**摘要:** 针对水工平面钢闸门面板清洗作业人工劳动强度大、效率低、存在安全隐患等问题,设计了一种小型平面钢闸门面板爬壁清洗机器人。具体设计过程包括整机方案设计、爬壁行走机构设计、清洗机构设计和控制系统设计等,并通过样机试验,测试了清洗机器人的主要性能。

**关键词:** 钢闸门面板; 清洗; 爬壁; 控制

## 1. 引言

水工钢闸门是一种控制水位的水工钢构件,是水电站、水库、水闸等水工建筑物的重要构造组成,约占整个水利工程造价的20%左右,在个别江海湖泊水利工程中甚至会占到一半以上。平面钢闸门是最常见的结构形式之一,作为一种金属构件,在使用过程中,受干湿环境交替、水质、水中浮游藻类生物等的影响,钢闸门表面会出现不同程度的泥土、青苔等污垢附着,不仅影响美观,而且对于面积较大的面板部分,更容易出现腐蚀等现象,长时间会使其结构强度及承载能力下降,还会使其运行维护的成本增加。目前闸门面板表面清污仍主要靠人工完成,通过扫帚、刮铲、刮板等简易工具完成,不仅工作劳动强度大、效率较低,还存在较大的安全隐患<sup>[1, 2]</sup>。因此,有必要研制一种能够对平面钢闸门面板表面进行清污清洗的自动化机械装备。

## 2. 整机方案设计

目前,清洗机器人主要应用在高楼外立面<sup>[3]</sup>、船舶船体<sup>[4, 5]</sup>清洗等行业,清洗机器人一般由爬壁行走机构、清洗机构和控制系统组成。闸门面板清洗机器人通过行走机构在面板上吸附、爬行完成移动并改变清洗作业位置,合理的爬行机构及良好的吸附能力是清洗机器人实现正常作业的前提<sup>[6, 7]</sup>,根据平面钢闸门结构特点,爬壁行走机构及吸附方式采用履带式底盘结合永磁式磁片的形式;根据附着在面板上不同的污垢类型,采用水泵冲洗和转刷机械清洗的方式;综合钢闸门复杂的作业环境,清洗机器人控制采用遥控方式,并使爬壁、水泵冲洗、机械清洗等作业单独控制。清洗机器人主要设计参数。

表1 主要设计参数

项目	参数
强钕磁铁	磁能积N30
履带材质	橡胶
外形尺寸	≤ 200 × 150 × 80mm
整机重量	≤ 3kg
净载重	≤ 1kg
控制方式	手柄遥控

## 3. 整机设计

### (1) 爬壁行走机构设计

根据设计要求,设计履带行走机构,如图1所示,主要由机架、驱动轮、从动轮、橡胶履带、驱动电机等组成。

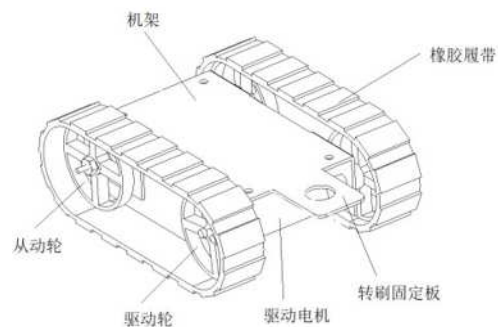


图1 履带行走机构简图

机架采用轻质铝板,主要连接和固定两侧履带驱动轮和从动轮,前端连接转刷固定板,固定板可固定机械清洗作业的转刷机构,机架后端承载控制板及电源等部件。清洗机器人满载作业时,为了保证整机不掉落,磁片吸附的数量 $N$ 表示如下:

$$Mg = NF_N f \quad (1)$$

式中: $M$ 为最大满载质量,4kg; $F_N$ 为N30强钕磁铁的吸附力,约10N; $f$ 为摩擦系数,取0.7。

求得所需吸附的磁片数量 $N$ 取6,即每侧履带同时

**基金项目:** 浙江省水利厅科技计划项目(RC2077)

有3块磁片与面板吸附。

履带驱动轮由电机驱动，向上爬行时，两侧电机的最小驱动力矩  $M_Q$  可近似满足如下条件：

$$\frac{2M_Q}{R} = (Mg + NF_N f)\mu \quad (2)$$

式中： $R$  为驱动轮半径，取30mm； $\mu$  为负载安全系数，取2。

求得电机所需的最小驱动力矩为  $2.4N \cdot m$ ，查表选择9V150转直流电机。

为了使机器人结构完整，在机架上方设计控制系统外壳，并用树脂材料由3D打印制作，如图2所示。外壳由底端和顶端两部分通过螺丝固定，在底端前部设计固定孔方便水泵清洗管固定。

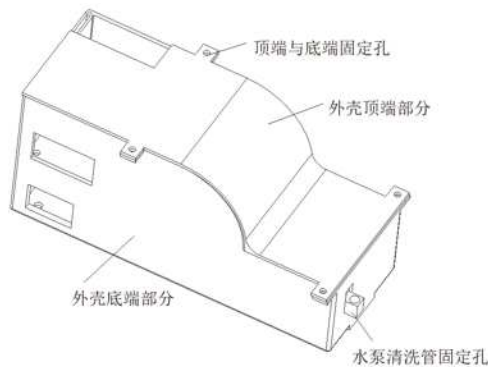


图2 控制系统外壳

### (2) 清洗机构设计

清洗机器人采用水泵冲洗和转刷机械清洗相结合的方式，水泵冲洗主要采用真空水泵抽水和冲水，冲水端连接橡胶管道，橡胶管道由水泵清洗管固定孔固定，可冲洗机器人前端的面板。考虑机器人空间大小，冲水泵采用微型直流隔膜真空泵，水量  $\geq 550ml/min$ 。转刷机械清洗主要采用电机驱动转刷旋转，完成对面板附着物的清洗，经过测试，转刷选用猪毛盘刷，转盘直径40mm，驱动电机采用5V微型电机。清洗机构如图3所示。

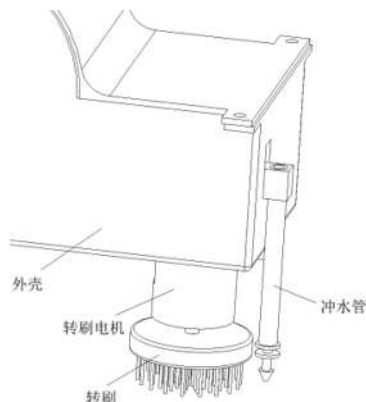


图3 清洗机构

### (3) 控制系统设计

控制系统主要由Arduino主板、驱动板、编码器、电源、控制手柄等组成。主要技术参数如下：

表2 主要设计参数

项目	参数
Arduino 主板	R3
电机驱动板	L298
控制手柄	PS2 无线 15 米
电源	9V

根据清洗机器人作业内容及控制手柄控制方式，确定了控制方案：按下控制手柄start按钮，清洗机器人各个部件允许控制；向前摇动左方摇杆，左右电机同时正转，实现机器人整体前进控制；向后摇动左方摇杆，左右电机同时反转，实现机器人整体后退控制；向右摇动右方摇杆，右端电机反转同时左端正转，实现机器人向右转向控制；向左摇动右方摇杆，右端电机正转同时左端反转，实现机器人向左转向控制；按下功能1按键，转刷电机工作，按下功能2按键，真空水泵工作，两种清洗方式可同时进行。

### 4. 性能测试

根据设计参数研制了小型平面钢闸门面板清洗机器人样机，其中永磁吸附磁片通过螺钉固定在履带上。同时，开展了初步的性能测试，如图4所示。



图4 样机性能测试

通过测试，所设计的清洗机器人能够在竖直面板上完成前进、后退、转向等爬壁动作，同时水泵冲洗及转刷机械清洗可独立或同时作业；对于尘土、泥土等附着物，通过水泵冲洗可有较好的清洗效果，对于青苔类附着物，需要结合两种清洗方式，才能较好的完成清洗作业。同时，机器人在爬行及转向过程中的稳定性还存在不足，需要进一步作结构优化。

### 5. 结束语

通过设计一种履带永磁式爬壁清洗机器人，来解决目前小型闸门面板清洗人工劳动大、效率低等问题，采

用履带行走机构增加了与面板壁面的接触面积,有利于提高竖直平面内的爬行能力,采用水泵冲洗和转刷机械清洗结合的方式,能够针对不同的污垢类型作业并提高清洗效果。通过样机制作及性能测试,验证了清洗机器人设计的合理性,但在机械结构及清洗效果上还有待进一步优化和改进。

#### 参考文献:

[1]张利姗,高小芳,张义松.水闸水利设施的管理养护要点探析[J].河南水利与南水北调,2017(01):78-79.

[2]张鹏飞,郭瑞军.水幕除尘系统在钢闸门喷砂除

锈中的应用[J].山东水利,2015(09):39+42.

[3]刘星.高层玻璃幕墙清洗机器人[D].山东,山东科技大学,2017.

[4]孙玲,弓永军,王祖温,等.船用壁面作业机器人综述[J].液压与气动,2014(10):21-25.

[5]陈彦臻,胡以怀.船体清洗机器人的开发现状与展望[J].船舶工程,2017,39(10):62-68.

[6]李占鹏.船舶除锈清洗爬壁机器人永磁式履带研究应用[J].广东造船,2020(2):47-49.

[7]屈长龙.基于船舶除锈爬壁机器人的高压水射流仿真研究及实验验证[D].广州,华南理工大学,2016.