

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2018.01.019

# 智能吸尘自动黑板清洁机

冯一波,任晓丹,吴松泽,许浩,苏海龙,傅旻

(天津科技大学机械工程学院,天津 300222)

**摘要:**针对目前擦拭黑板普遍无法达到除尘环保的效果,为改善课堂环境,课题组研发了一款智能吸尘自动黑板清洁机。该清洁机应用PID调节器操控Grbl控制板,以实现平稳运动;对于擦拭过程中产生的粉尘,采用静电除尘的方式使粉尘吸附于集尘板上,克服了粉尘飞扬的弊端。该装置制作成本低廉、安装程序简单,在现有黑板的基础上进行简单升级改造即可,具有良好的应用前景。

**关键词:**黑板清洁机;PID调节器;Grbl控制板;静电除尘

中图分类号:TS951.7 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2018)01-0088-03

## Intelligent and Automatic Blackboard Cleaning Machine

FENG Yibo, REN Xiaodan, WU Songze, XU Hao, SU Hailong, FU Min

(School of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** Blackboards are hard to be cleaned and the dust is harmful for the environment. Therefore, the intelligent and automatic blackboard cleaner was researched for better classroom environment. PID Regulator and Grbl Control Panel were utilized to achieve the stable movement. Dust was removed by the electrostatic mechanism. By upgrading the common blackboards, the intelligent and automatic blackboards could be produced. With low cost and easy installation, it is believed that the blackboards will have the prosperous future.

**Keywords:** blackboard cleaning machine; PID regulator; Grbl circuit board; electrostatic dust removal

众所周知黑板和粉笔是传统教学必备物品。传统的擦黑板方式不仅费时费力而且长年累月的粉尘污染容易致使老师患上“职业病”<sup>[1]</sup>。近二十年来,科技工作者对改进传统的擦黑板方法提出了若干设想并做了大量研究,如提出了无尘粉笔<sup>[2]</sup>、无尘黑板<sup>[3]</sup>及电动黑板擦<sup>[4]</sup>等,其中的一些设计成果甚至已成为商品投入市场。然而,直到目前还没有一项设计或产品真正普及推广,主要问题在于实用性差、应用效果不佳及生产成本过高等。为使教师及学生免遭粉尘的困扰,从根本上解决教室粉尘污染的问题,营造一个良好的学习环境,同时响应国家创新、协调、绿色、开放及共享的发展理念,课题组研发出一款智能吸尘自动黑板清洁机,运用机械设计和模具加工等方法,使其机械机构简单、造型美观,其人性化的功能及良好的吸尘效果将会在市场上具有强大的竞争力,为智能吸尘擦拭黑板清洁机的使用及推广提供思路。

## 1 机械结构与工作原理

### 1.1 机械结构组成

智能吸尘自动黑板清洁机主要包括传动、除尘、集尘及控制4个主要模块。传动模块包括导轮、导轨、支撑板及上、下滚轮座;除尘模块包括黑板、滚筒、毛毡、滚筒轴及联轴器;集尘模块包括集尘板、防尘罩及粉尘刷;控制模块包括直流电动机、步进电动机、PID调节器、Grbl控制板(针对Arduino<sup>[5]</sup>/AVR328芯片的嵌入式G代码编译和运动控制器)。机械结构组成如图1所示。

### 1.2 机械结构工作原理

整体机构采用上下2个电机进行驱动。机构上方采用永磁直流电动机带动滚筒黑板擦进行定轴转动,滚筒黑板擦同黑板接触,二者摩擦产生静电,达到最佳擦拭效果。机构下方采用高精度步进电动机带动清洁机沿黑板方向进行往复运动。上下2个电机之间相对

收稿日期:2017-11-01;修回日期:2017-12-10

第一作者简介:冯一波(1997),男,天津市人,本科,主要研究方向为材料成型技术。E-mail:1023776467@qq.com

转动,使得滚筒黑板擦相对黑板的运动速度最大。

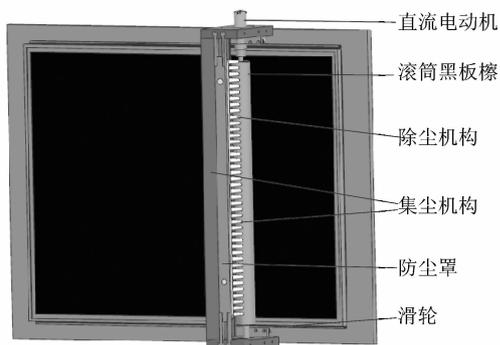


图1 机构组成

Figure 1 Composition of institutions

## 2 集尘机构原理

集尘机构由集尘板、防尘罩和粉尘刷组成。粉尘刷与滚筒黑板擦之间的距离为0.5 mm,当滚筒做定轴转动时,粉尘被刷落,漂浮在集尘罩内。集尘板固定在防尘罩两侧,给集尘板外加一个电场,此时,电晕区空气电离后,正离子向负极(电晕)移动,只有负离子才会进入到电晕外区,向正极(阳极板)移动。静电除尘<sup>[6]</sup>的工作原理如图2所示,机构示意图如图3所示。

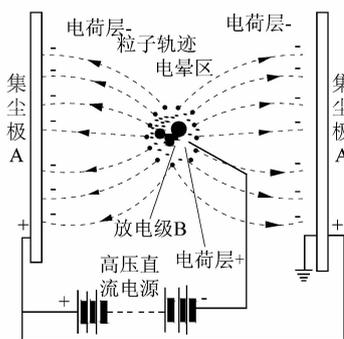


图2 静电除尘器的工作原理

Figure 2 Dust removal principle

当粉尘被刷落,由于电晕区的范围较小,只有少量尘粒在电晕区通过获得正电荷沉积到电晕极上,而大多数尘粒在电晕外区通过获得负电荷最后沉积在阳极板上,达到集尘效果,所以阳极板也称集尘板。为方便拆卸,将集尘板设计成曲折面槽状,以吸附更多粉尘,当粉尘收集到一定程度时,可取出集尘板清理粉尘。

## 3 控制机构原理

### 3.1 控制方式

2个电动机一同连接在1块Gbr1控制板上,通过控制板来控制机械装置的移动,使用PID调节器操作以Vanilla Arduino(Atmega 328P芯片版本)作为核心、

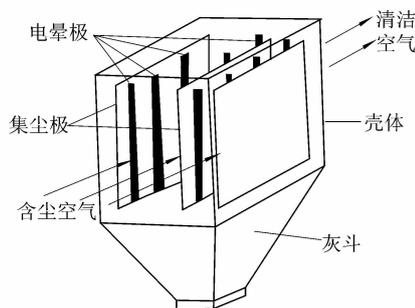


图3 静电除尘机构组成

Figure 3 Electrostatic dust removal mechanism

Allegro A4988芯片作为电机驱动的中央控制板,调节永磁直流电动机转速以及高精度步进电动机的运动速度和行程,并控制被调量与给定值的偏差,以达到理想的擦拭效果。

### 3.2 PID调节器工作原理

PID调节器<sup>[7]</sup>是一种线性调节器,通过对给定值 $r(t)$ 与实际输出值 $c(t)$ 的偏差进行比例(P)、积分(I)及微分(D)线性组合运算,得到控制量来控制对象。

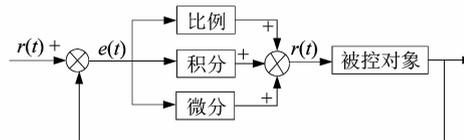


图4 PID算法图

Figure 4 PID algorithm

PID各校正环节<sup>[8]</sup>作用:

- 1) 比例环节成比例地反映控制系统的偏差信号 $e(t)$ ,偏差一旦产生,调节器立即作用以减少偏差;
- 2) 积分环节主要用于消除稳态误差,提高系统的无差度;
- 3) 微分环节能预测偏差信号的变化趋势。

为对机构进行及时调节和控制,对步进电机采用增量式PID算法<sup>[9]</sup>:

$$u = K_p * e + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e dt + K_p * T_d \frac{de}{dt}。$$

式中: $u$ 为输出控制量变量; $K_p$ 为比例系数; $T_i$ 为积分时间常数; $T_d$ 为微分时间常数。

经离散化处理后得:

$$u(k) = K_p * \left[ e(k) + \frac{T_s}{T_i} \sum_{i=0}^k e(i) + T_d * \frac{e(k) - e(k-1)}{T_s} \right]。$$

式中 $T_s$ 为采样周期。

$$\Delta u = u(k) - u(k - 1) = K_p \left[ e(k) - e(k - 1) + \frac{T_s}{T_i} * e(k) + \frac{T_d}{T_s} (e(k) - 2e(k - 1) + e(k - 2)) \right]$$

$$u(k - 1) = K_p * \left[ e(k - 1) + \frac{T_s}{T_i} \sum_{i=0}^{k-1} e(i) + T_d \frac{e(k - 1) - e(k - 2)}{T_s} \right]$$

$$\Delta u(k) = a * e(k) - b * e(k - 1) + c * e(k - 2)$$

式中： $a = K_p + K_i + K_d$ ； $b = K_p + 2K_d$ ； $c = K_d$ 。 $K_i$ 为积分调节系数， $K_d$ 为微分调节系数。

通过确定3个变量  $a$ 、 $b$ 、 $c$  的值来确定控制器的输出控制量  $u(k)$ 。

$$u(k) = u(k - 1) + \Delta u(k)$$

考虑对象变化的缓急，该板擦运行速度为慢速运动， $T_s$  取值较大；从系统抗干扰性能来看，要求采样周期短，使动能迅速得到校正。

### 3.3 控制机构参数

通过实验测算，选定200 W调速电磁制动电机，当其达到转速20 r/s时，具有1.45 N/m的额定转矩。摩擦力矩  $M = wpd/2$ 。式中： $M$ 为摩擦力矩； $w$ 为摩擦因数； $p$ 为轴承负荷； $d$ 为轴承的公称直径。

选定圆柱轴承摩擦因数  $w$  取0.000 8 ~ 0.001 2，由于转动力  $F = M/t_s$ 。式中： $F$ 为转动力； $t_s$ 为转动时间。由此可计算出实验转速所能提供的转动力  $F$ 。

该装置所选择的擦黑板材料同黑板间的动摩擦因数  $\mu$  取0.03 ~ 0.05，摩擦力  $f = \mu F$ 。由此确定电动机能够提供该装置向前运动的力  $f$ 。

设定电动机连接物体的实体轴，使其正向旋转，步进电机反向旋转，提供反向动力，控制物体的运动稳定，构成稳定平衡公式：

$$F_h = f - f_b = ma$$

式中： $F_h$ 为滚筒黑板擦沿黑板方向的合力； $f_b$ 为步进电机所提供在装置质心位置沿黑板方向受力； $m$ 为滚动黑板擦整体质量。

步进电机供给受力过程受到PID调节器自动调控，达到实现精准步长的要求，其传递速度需考虑装置整体质心位置，即：

$$f_b = f_k \times \frac{h}{2}$$

式中： $h$ 为黑板高度； $f_k$ 为步进电机所提供沿黑板方向受力。

根据实际需求，测定装置步速为0.5 m/s，装置达

到稳定运动过程时长为1 s，速度  $V_t = V_0 + at$ 。式中： $V_t$ 为装置平稳运行时速度； $V_0$ 为装置初速度； $a$ 为装置启动加速度； $t$ 为装置加速时间。

加速度为0.5 m/s<sup>2</sup>，结合稳定平衡公式，可确定步进电机在PID调节器控制下需要对外界输出的转速。

## 4 讨论分析

通过比较分析，智能吸尘自动黑板清洁机的主要设计优势有以下几个方面：

- 1) 安装简便，利用现有黑板，对其进行简单升级改造即可；
- 2) 除尘方式为通过滚筒黑板擦定轴转动并与黑板接触，二者摩擦产生静电，擦拭效率高；
- 3) 集尘机构采用静电除尘的方式，除尘效率高；
- 4) 整体成本低，产品性价比高，在满足产品性能要求的前提下，选择价格最具有优势的材料，将成本控制较低水平线上。

## 5 结论

经对本款智能吸尘自动黑板清洁机的研究结论如下：

- 1) 该装置能实时控制，智能分段可调速，采用物理除尘和静电集尘的方式达到良好的擦拭效果，提高了集尘效率，满足了实用需求；
- 2) 设计理念顺应时代的发展，满足新时代对节能环保的要求，同时该装置具有安装简便、维护便捷以及除尘集尘效率高、成本低等特点，具有一定的市场推广价值和发展前景。

### 参考文献：

- [1] 任志刚,张亚增,程海明,等. 粉尘对教师健康危害的研究[J]. 中国学校卫生,2002,23(2):189.
- [2] 周林. 香味无尘粉笔制作技术[J]. 生意通,2005(8):94.
- [3] 夏凡,李铭,张融,等. 自动无尘黑板关键技术的研究[J]. 机械工程与自动化,2015(5):97-98.
- [4] 何晓飞,叶小飞,楼剑阳,等. 电动吸尘黑板擦的设计与研究[J]. 电子制作,2016(12):1.
- [5] 蔡睿妍. Arduino 的原理及应用[J]. 电子设计工程,2012,20(16):155-157.
- [6] 王显龙,何立波,贾明生,等. 静电除尘器的新应用及其发展方向[J]. 工业安全与环保,2003,29(11):3-6.
- [7] 符永法. 几种新型PID调节器参数的整定法[J]. 化工自动化仪表,1997(1):25-29.
- [8] 段文燕,吴黎辉,周迥,等. PID算法中积分环节的改进[J]. 微计算机信息,2007,23(16):63-64.
- [9] 秦文东,谭光兴,简文国,等. 改进增量式PID在电动车异步电机控制的应用[J]. 广西工学院学报,2013,24(1):50-54.