

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2106162

# 基于规划式扫地的智能空气净化器设计研究\*

朱炳涛 李明帆 蒋丽珍

(浙江工商大学 信息与电子工程学院 杭州 310018)

**摘要:**针对现有空气净化器的净化范围有限、结构固定、需要匹配各种室内清洁设备(例如扫地机器人)以及空间和经济成本较高的问题,设计研发了一种一体式多功能空气净化器。在传统的扫地机器人通过单片机与空气净化部分实现串口通信的基础上,利用终端节点的各类传感器采集环境数据,协调器节点在对数据进行分析处理后,单片机对工作模式做出智能选择,增强了产品功能的延展性,创新的实现了对突发性污染源的定位追踪和净化;配合自主开发的APP交互端,完善了用户的体验;独特的出风口设计,有效解决了小型空气净化器的空气对流较弱的问题。

**关键词:**空气净化器;扫地机器人;智能家居;集成物联;方向判断和跟踪;污染定位;高效净化;运动规划

**中图分类号:** TP23    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 510.8060

## Research on design of intelligent Air purifier based on planning sweeping floor

Zhu Bingtao Li Mingfan Jiang Lizhen

(School of Information &amp; Electronic Engineering, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of limited purification range, fixed structure, the need to match various indoor cleaning equipment (such as sweeping robot) and high space and economic cost of the existing air purifier, an integrated multi-functional air purifier was designed and developed. In traditional sweeping robot by MCU and air purification part, on the basis of serial communication using various sensors to collect environmental data terminal node, the coordinator node after the analysis of the data processing, single chip microcomputer to working mode to make smart choices, enhance the ductility of the product function, the realization of the innovation the location tracking and purification of sudden pollution sources. Cooperate with the self-developed APP interactive end to improve the user experience. Unique air outlet design effectively solves the problem of weak air convection in small air purifier.

**Keywords:** air purifiers; sweeping robot; smart home; integrated link of things; orientation discriminate and tracking; pollution location; efficient purification; sports planning

## 0 引言

近年来,国内空气净化器产量逐年上升,市场保有率不断增加,未来的空气净化器势必要能满足消费者的大空间净化需求,能效也将成为更为重要的考虑因素之一。消费者不仅对净化、加湿、除菌、数据显示等复合性的性能要求越来越高,而且对于用户体验也越来越重视。我国目前现有的空气净化器多为固定式结构,移动不便导致净化范围有限,或是具有一定的移动功能但需人为操控,针对较大范围的空间进行空气净化,效率较低,影响正常的生活;而且功能单一,空气净化器内的滤芯安装较为固定,仅能实现简单的空气循环,多次循环后容易降低净化质量<sup>[1]</sup>。

文献[2]将空气净化器与智能小车一体式结合,其采用32位处理器作为核心MCU,通过空气传感器获取空气中污染源浓度,通过WIFI实现信息交互。实现了可移动式空气净化<sup>[2]</sup>。然而,其功能仍然单一、拘束于传统空气净化器行列,并且造价相比一般空气净化器高,效益提升小。同时其净化模式为:在污染浓度高的区域自动延长滞留时间,无法有效地解决空气污染问题,且对所处空间条件的变化无法做出及时的应对,总体实用性仍然较低。

基于以上问题和实际需求,本文设计了一款能够规划式扫地、实时检测显示空气质量、跟踪定位污染源并实行有效净化的一体式多功能空气净化器,本款智能空气净化器由自动扫地系统、空气检测及定位系统、空气净化系统组

收稿日期:2021-03-26

\* 基金项目:国家自然科学基金(61871347)、国家级大学生创新创业训练计划(202010353035)项目资助

成。与其他空气净化器不同之处在于,本款智能空气净化器通过两组风扇加滤网的方式实现了小型空气净化器对流增强及二次过滤,同时加速了负离子的扩散,具有更加的净化效果;采用多块单片机分割总体任务,再通过串口交互控制,实现了多机通信,采用全双工方式实现了“一发多收”;利用中断切换工作模式,实现精确定点净化,对不同污染采取不同净化模式。

## 1 室内空气净化器发展现状

室内空气污染物一般有几类:挥发性有机化合物(VOC)、可吸入固体颗粒物、有害无机小分子等,来源主要包括室外空气污染、从建筑装修材料、涂料、胶粘剂等释放出来的甲醛、苯、甲苯、二甲苯等挥发性有机化合物(volatile organic compounds, VOCs)、人体及宠物活动等<sup>[3]</sup>。室内空气净化器的设置,就是要提高室内空气品质。从目前市场上国内外空气净化器品牌产品来看,从工作原理上大致可以分为3类:被动式、主动式、主被动混合式。被动式主要是指净化器将房间的空气吸入净化器内,国内主要采用过滤净化、静电吸附、活性炭吸附净化技术<sup>[4]</sup>,通过滤芯,把粉尘、细菌、臭气等污染物过滤掉。主动式则是指净化器可以产生主动释放到空气中去的物质,同时可以自主选择净化的时间地点及方式,耗材相较被动式净化器大大减少,但易产生臭氧、氮氧化物等二次污染。空气净化器虽然经过几十年的发展,形成了各种各样的不同品牌,但是从根本上来说,其净化原理具有一定的相似性。如今,一些家庭开始使用预装的新风系统来进行室内的全屋空气净化,但这种方式成本较高,难以在普通家庭中大范围普及。现有空气净化器多为固定式,大型净化器虽然具备可移动性,但需要用户自主判断室内需净化区域并频繁更换净化地点,同时能耗远高于小型空气净化器。与扫地机器人等其他智能家居类似,净化器的功能大多都较为单一,用户需同时购买多台设备以满足日常家居净化需求。

## 2 移动智能空气净化器

目前单纯采用主动式净化的空气净化器并不多,本文所设计的智能空气净化器将结合主动净化和被动净化,并能自动检测空气质量。当大面积的空气不达标时,它会利用负离子除尘技术结合滤网进行移动覆盖式净化;当检测到突发性污染源,如二手烟、油烟等,它可进行污染源定位、跟踪和定点清除。这款智能空气净化器配备了扫地模块,为净化器提供大范围可自主移动的能力同时,模块化设计也使其集成度大大提升,结合加湿净化空气的功能,兼具滤芯更换提醒功能,使消费者的使用更加方便,符合现代消费者的需求,代表了空气净化器智能化的发展方向<sup>[5-6]</sup>。

利用净化技术间的协同效应,研究更为有效的综合净化技术,是今后的另一个重要研究方向。具有协同效应的净化技术能相互促进和补充,可提高能源利用率和污染物

净化效率,但技术间的协同净化机理和过程较为复杂,仍待进一步探究。

### 2.1 主体结构

如图1所示为智能空气净化器的主体,由负离子发生器、空气质量检测装置、自动扫地系统和定位系统组成<sup>[7-8]</sup>。

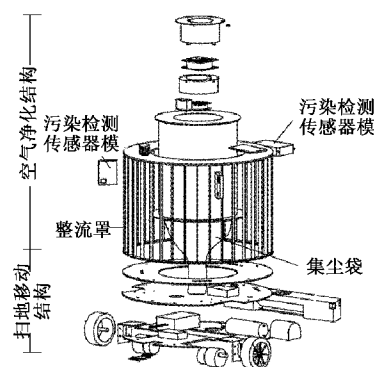


图1 移动智能空气净化器主体结构

本文将全屋智能规划式扫地机器人和智能空气净化器结合起来,在机器人按照既定规划路线进行基本除尘工作的同时,机器人会一直不停地对周围空气进行检测。机器人若检测到环境中某项空气质量指数超标,且此时的污染已经扩散成面,范围较大,它将利用负离子除尘技术结合滤网对该污染进行移动覆盖式净化,在此模式下,净化器将一边扫地一边进行净化工作,扫地机器人的路径规划程序将为其提供覆盖能力;若机器人检测到突发性污染源如二手烟、油烟等,它将会离开原定规划路线,转而对突发性污染源进行定位及跟踪,直到清除该污染源后,继续进行覆盖式净化常规工作。

### 2.2 自动扫地系统

该部分利用全局规划结合随机碰撞的方式为净化器提供运动方向规划。

硬件部分如图2、3所示,可使用两个超声波传感器<sup>[9]</sup>和两个碰撞传感器,以脱机预设路线模式进行全局规划式移动。和基于激光扫描的全局规划模式相比,激光扫描的精确度较高,但运算十分复杂<sup>[10-11]</sup>,采用随机碰撞的结合方式,可极大地减少净化器进入净化模式后的数据处理量,而精度方面依旧可以使用机器日常运行过程中的深度学习来进一步完善,提高了检测、识别污染源并向其移动的整体灵敏度,同时减少了传感器数量,在不影响扫地覆盖率的前提下,简化了全局规划的过程。

### 2.3 空气检测及净化系统

在传感器部分,选用了—个PTQS1005多合一气体传感器模组和两个PMS7003颗粒物传感器。

PTQS1005是一款多合一气体传感器模组,它可以同时测量多种气体指标,提高机器运行效率。传感器模组内置激光颗粒物传感器、红外非分光二氧化碳传感器及最新的电化学和半导体原理相结合的甲醛/VOC传感器,分别

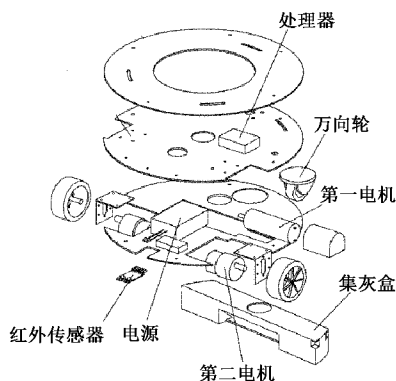


图 2 扫地结构图

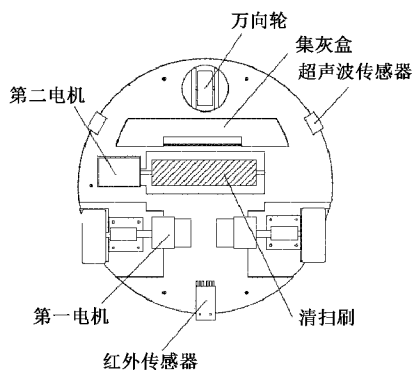


图 3 扫地结构图补充

用于颗粒物浓度、二氧化碳和甲醛/VOC 浓度的快速获取。传感器模组还内置温湿度传感器芯片,应用于本产品的加湿功能模块。传感器模组通过优化内部结构,使得空气在模组内部的路径与各传感器的取样接口更好地结合,既减小了模组的尺寸,又使各传感器的灵敏度得到保障。

PMS7003 是一款基于激光散射原理的数字式通用颗粒物浓度传感器,可连续采集并计算单位体积内空气中不同粒径的悬浮颗粒物个数,并以通用数字接口形式输出,使得信息可同时快速传递给硬件板块<sup>[12]</sup>。传感器可嵌入各种与空气中悬浮颗粒物浓度相关的仪器仪表或环境改善设备,这为其提供了及时准确的浓度数据,使其最小分辨粒径可达  $0.3 \mu\text{m}$ ,能有效检测细小颗粒物。

#### 1) 基本检测及定位方式

采用了 3 个传感器来实现污染源的定位。正前方的 PTQS1005 传感器主要用于移动,后方的两个 PMS7003 传感器主要用于方向判断。这里以二手烟为例,一般而言,当检测到前方的 PM<sub>2.5</sub> 值最大时,污染源在小车的正前方附近,此时它就会向前移动靠近污染源;当后方两边的某一个传感器检测到的 PM<sub>2.5</sub> 值最大时,污染源极大程度上会位于此方向,此时小车会先执行转向程序并停顿数秒,重新进行浓度判断,以便精准定位污染源从而定点清除。但上述为理想情况,实际情况中还有许多不确定因素:烟会扩散而非直线传播,易造成后方两个传感器各自均检测到一定值

的 PM<sub>2.5</sub> 而产生误差,导致方向的误判断;传感器所获取的数据“快升慢降”,当小车位置发生改变时,总会有一个传感器是远离污染源的,但残留的污染物消散是需要一定时间的,若是直接进行浓度判断则会偏高,这同样会导致误差,且传感器在浓度变化较慢时检测的频率也会有所减少。为保证数据的准确性,在传感器检测到数值剧增时,串口的数据传输周期将缩短至 200~800 ms,快速模式下数据采集频率大大增加,保证了数据的实时性和可靠性。同时在日常运行或者待机过程中对采集到的数据进行合理的分类,对重复数据和噪点进行二次处理,处理后的有效数据还可以提供给用户端,完善交互体验。

#### 2) 空气净化系统

净化器出风口设置了两个小型风扇,并在两个小风扇的中间增加了一块活性炭二次过滤网,如图 4 所示,利用风扇扇叶旋转时的抽力,除尘后的空气将再次通过滤网,残留污染物被二次过滤,同时避免了负离子二次沉积。通过预留的 10 cm 左右管道式出风口,干净健康的空气将会被吹到两米左右的高度,解决了小体积净化器空气对流能力弱的问题,且不存在固定式净化器所存在的摆放位置问题。

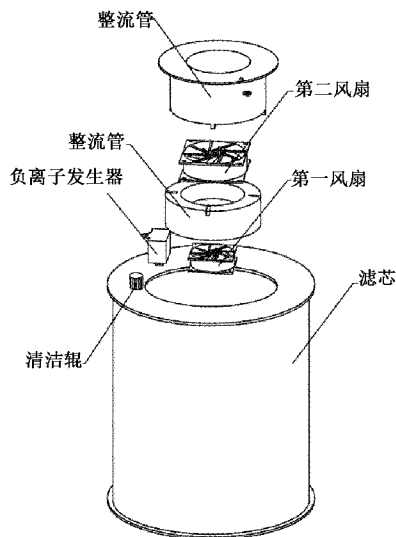


图 4 净化部分结构图

核心净化方式将选择负离子净化结合滤网的方式。

如图 5 所示,负离子发生器原理是通过脉冲振荡电路,负离子发生器利用脉冲、振荡电器将低电压升至直流负高压,将直流负高压连接到金属或碳元素制作的释放尖端,利用尖端直流高压产生高电晕,高速地放出大量的电子  $e^-$ ,而电子无法长久存在于空气中(存在的电子寿命只有纳秒级),立刻会被空气中的氧分子  $O_2$  捕捉,形成氧离子  $O_2^-$ 。氧离子和空气中的水蒸气结合形成负氧离子。它的工作原理与自然现象“打雷闪电”时产生负离子的现象相一致。

产生出的负离子会主动出击,捕捉 PM<sub>2.5</sub> 甚至更小的微粒。实验证明,飘尘直径越小,越易被负离子捕捉。它与空气中的细菌、灰尘、烟雾等带正电的微粒相结合,与它们

发生物理上的中和反应后沉积,使污浊空气转化为新鲜空气,达到了净化空气的效果。同时,负离子在空气中做布朗运动,而布朗运动本身就是消除微小粉尘物的有效方法。负离子结合飘尘后促进了飘尘的布朗运动,从而能够更加有效地消除飘尘<sup>[13]</sup>。

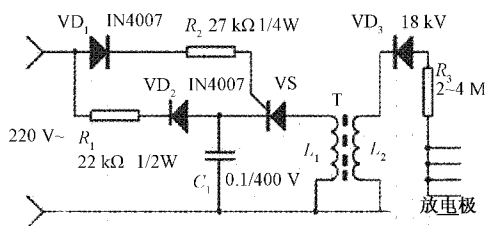


图5 负离子发生电路

本款净化器采用无叶风扇圆筒滤芯,该滤芯集高效HEPA、活性炭为一体,采用高吸附椰壳活性炭颗粒夹碳滤布。它的孔径发达,耐用性强,能快速吸附空气中的甲醛、异味、TVOC,净化PM2.5颗粒物、花粉、尘螨等,且再生性能好,可多次循环使用;静电驻极进口HEPA滤纸能够拦截PM0.3颗粒物,净化效率达99%,净化精度达0.3μm。测试实验表面在15m<sup>2</sup>测试仓内燃尽一支香烟后,使用该滤芯,则能在30min内使空气从“重度污染500μg/m<sup>3</sup>”降到“优质空气0~35μg/m<sup>3</sup>”,充分说明了该滤芯具有极高的应用价值。

### 3) 模块交互进程

如图6表示主要芯片,模块连接和交互方式。

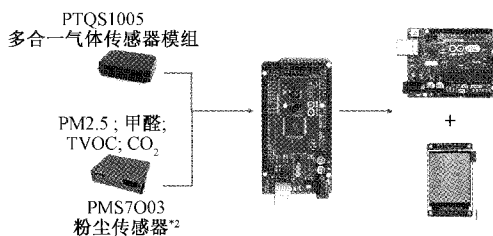


图6 主要模块交互方式

2个PMS7003粉尘传感器模组和1个PTQSI005集成传感器模组均与Mega2560板连接,Mega2560板经Uno板与显示屏连接,Mega2560负责传感器数据的收发,Uno控制机器人的运动。Arduino开发板通常使用通用异步(串行)收/发器(universal asynchronous receiver transmitter, UART)接口<sup>[14]</sup>,且本身不具备线程能力,收发数据时,Arduino的发送串口同一时间只能使用一组,但因为两个传感器是同型号的,则可以采取“一发多收”,两个PMS7003共同使用Serial2发送口RX,分别单独使用Serial1、Serial2接收口TX,剩下的Serial3的发送串口刚好可用于将所需数据发送给Uno,有效减少串口数量进一步实现了资源的充分利用。

图7表示空气净化器交互进程,用户可以使用手机APP连接智能空气净化器,实时了解机器运行及家里的空

气质量情况。净化器开始运行后,将首先执行扫地模式,Uno开发板占用主要运算资源,采用中断方式实现不同功能之间的切换,由于Arduino的开发芯片不具备线程能力,只能采用在多个程序之间快速切换来实现类似于线程的效果,当进入空气净化模式,扫地机器人部分低功率模式运行,减少计算量,主要以检测环境质量,分析数据为主,Mega2560将获得主要控制权,同时粉尘传感器在此时采样周期短,低速率的扫地方式也可以减少扬尘造成的影响。其他模块如加湿模块采用独立控制的方式,可以通过智能手机单独控制开关,不占用扫地机器人与空气净化器之间的信道。

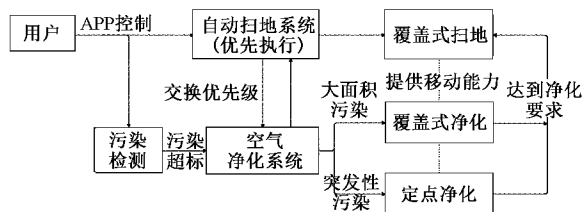


图7 移动空气净化器交互流程

## 3 结果与分析

### 3.1 实际工作能力

实物及净化方式如图8所示。经测试本款净化器可实现基本地面清洁功能,扫地覆盖率较高,对污染源的识别和定位距离在外界有弱气流的情况下可达半径5~6m,无风情况下3m,可满足居家检测需求,同时反应时间仅需500~800ms,可做到对二手烟等突发性污染的即时定位净化,扫地部分功能及时做出调整。净化器出风口经测试,含有效负离子且经过净化的空气可吹至两米左右空间,具有足够对流能力,保证净化效果。

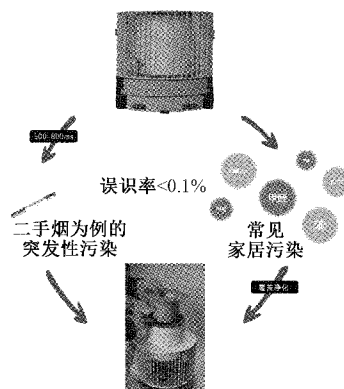


图8 实物及净化方式

### 3.2 净化效率(全屋净化)分析

本款净化器的净化效果可利用PM2.5的浓度变化为主要测试对象进行分析,即在封闭的测试箱中人为制造含有较高浓度PM2.5的空气,以模拟室内燃尽一支烟的等同效果。通过对比智能空气净化器工作前后PM2.5浓度的

变化,来检测该智能空气净化器的的工作效果。而室内的突发性 PM2.5 超标主要来源于二手烟,因此本文主要以二手烟为例。通过本文的测验,结果如表 1 所示。

表 1 净化器净化能力稳定性及工作效果

封闭环境下 PM2.5 浓度检测值/( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )			
环境空气	869	752	532
智能空气净化器工作(出风口数据)	6	8	10

通过测试可以看出当环境污染物 PM2.5 浓度较高或者在较高浓度变化时,经净化以后的空气都能保持较高的洁净度。使用智能空气净化器后 PM2.5 浓度下降至标准所需时间如图 9 所示。

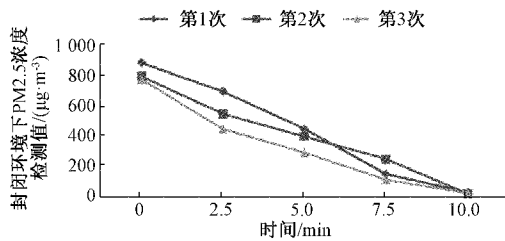


图 9 使用智能空气净化器后 PM2.5 浓度下降至标准要求所需时间

通过记录使用智能空气净化器后 PM2.5 浓度下降至标准要求所需时间可看出,本款智能空气净化器可在 10 min 内将  $20\text{ m}^3$  内高达  $800\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  的 PM2.5 基本除净,可以达到国标,二手烟净化效率远超市面上已有的同类产品,具有显著优势<sup>[15]</sup>。

#### 4 结 论

我国目前处于发展中国家阶段,大中型发展中城市数量趋增,空气污染也随之增多,这使得空气净化器的市场需求量逐年上升。不同地区的环境和气候的变化也不尽相同,而本文所设计的移动智能空气净化器可以根据不同的地区环境自动调节各项测试量的预设值,以适应不同地区的环境变化,故而具有广泛的应用领域。

该产品以家庭内部空气净化为主,主要适用于城市家庭,也适用于更大空间的公共场合,如酒店、医院、学校、工厂、棋牌室、游戏厅等。

综上所述,基于规划式扫地的智能空气净化器与现有净化器产品相比,因其特有的创新性在国内市场中将更受欢迎,具有良好的发展前景。

#### 参考文献

[1] 倪沈阳,白莉,李双,等. 浅谈我国空气净化器的发展趋

势[J]. 长春工程学院学报(自然科学版),2016,17(4): 44-47.

- [2] 苏锋,李嘉桑,陈龙华,等. 智能式可移动空气净化器[J]. 电子制作,2019(11):21-24.
- [3] 孟军,季小荣,周玮,等. 家用空气净化器 HEPA 滤网中呼吸道病原物种类分析[J]. 工业微生物,2020,50(5):40-44.
- [4] 任彬彬. 室内空气净化技术与产品研究[J]. 绿色环保建材,2018(4):15-17.
- [5] 申逸骋,胡迪,张伟,等. 空气净化器未来发展概述[J]. 洁净与空调技术,2019(3):70-77.
- [6] 王薇薇,姜迪,芮雯奕. 空气净化器全球专利分析[J]. 科技创新与生产力,2021(2):62-65.
- [7] 史耀军,孙明明. 基于感性工学的智能空气净化器设计研究[J]. 设计,2020,33(23):14-16.
- [8] 任平康,常静,穆国华. 空气净化器的结构设计与创新[J]. 轻工科技,2020,36(10):76-78.
- [9] 穆卫谊,张广鹏,黄玉美,等. 移动机器人的超声波传感器发散角标定及应用[J]. 仪器仪表学报,2017,38(3): 560-567.
- [10] 段建民,陈强龙. 基于改进人工势场-遗传算法的路径规划算法研究[J]. 国外电子测量技术,2019,38(3): 19-24.
- [11] 刘今越,唐旭,贾晓辉,等. 基于面元的机器人三维激光雷达室内实时定位和建图方法[J]. 仪器仪表学报,2020,41(7):99-106.
- [12] 谭光韬,张文文,王磊. 气体传感器阵列混合气体检测算法研究[J]. 电子测量与仪器学报,2020,34(7): 95-102.
- [13] 黄蓉,胡海,伍培,等. 利用空气负离子净化新风实验研究[J]. 工业安全与环保,2019,45(6):65-67.
- [14] 陈茁,靳云. 基于单片机的空气消毒净化器自动控制系统设计[J]. 自动化与仪器仪表,2020(6):83-86.
- [15] 李曾婷.《空气净化器》国家标准有望于 2021 年 3 月报批[J]. 电器,2020(11):50-51.

#### 作者简介

朱炳涛,本科,主要研究方向为智能信息处理。

E-mail:354397426@qq.com

李明帆,本科,主要研究方向为通信工程。

E-mail:lmf\_mmx@foxmail.com

蒋丽珍,硕士,教授,主要研究方向为量子信息处理、智能信息处理。

E-mail:jianglz@zjgsu.edu.cn