

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)04-0011-07

# 低能耗大功率智能集成厨电控制系统的设计与实现

邵玲玲<sup>1</sup>, 尚伟燕<sup>2</sup>, 严苗忠<sup>1</sup>, 赵晓男<sup>2</sup>, 应利千<sup>1</sup>

(1. 宁波舜韵电子有限公司, 浙江 宁波 315042; 2. 宁波工程学院 机械与汽车工程学院, 浙江 宁波 315211)

**摘要:** 城镇化进程加快和居民生活水平提升, 智能厨电系统在节能、环保与智能化方面的需求将日益增强。针对传统厨电控制系统存在的能耗高、响应慢及智能化程度不足等问题, 提出一套以智能触控模块、变频驱动模块与智能感知与通信模块为核心架构的智能厨电控制系统。该系统融合多项前沿技术, 首先, 将电容式触控技术与红外挥手感应进行交互, 为精准、耐用的非接触控制奠定基础; 其次, 基于智能功率模块 (intelligent power module, IPM) 构建高效的交-直-交变频驱动电路, 通过空间矢量脉宽调制 (space vector pulse width modulation, SVPWM) 与模糊控制算法, 实现电机的软启动、无级调速与按需供能, 以降低系统运行能耗; 然后, 将多种环境传感器与语音识别模块进行集成, 并借助物联网技术, 以实现对环境状态的实时监测、多模态用户意图的协同判断与冲突消解, 及设备间的智能联动, 为主动安全防护闭环的建立提供保障。最后, 对各模块进行软硬件设计、加工, 建立系统样机并进行主要性能测试。实验结果表明, 该系统输出效率、响应时间、待机功耗及触控准确率等性能指标良好, 具备较好的实用性与推广价值。

**关键词:** 智能厨电; 变频技术; 触控技术; 节能控制; 性能测试; 物联网

中图分类号: TP273+.3

文献标志码: A

文章编号: 1003-7241(2026)04-0011-07

## Design and implementation of a low-energy consumption high-power integrated smart kitchen appliance control system

SHAO Lingling<sup>1</sup>, SHANG Weiyan<sup>2</sup>, YAN Miaozhong<sup>1</sup>, ZHAO Xiaonan<sup>2</sup>, YING Liqian<sup>1</sup>

(1. Ningbo Shunyun Electronics Co., Ltd., Ningbo 315042, Zhejiang, China;

2. School of Mechanical and Automotive Engineering, Ningbo University of Engineering, Ningbo 315211, Zhejiang, China)

**Abstract:** With the acceleration of urbanization and the continuous improvement of residents' living standards, the demand for smart kitchen appliance systems in terms of energy saving, environmental protection, and intelligence is increasingly enhanced. To address the issues of high energy consumption, slow response, and insufficient intelligence in traditional kitchen appliance control systems, a smart kitchen appliance control system with an intelligent touch-control module, a variable-frequency drive module, and an intelligent sensing and communication module as its core architecture is proposed. Multiple cutting-edge technologies are integrated into this system. Firstly, capacitive touch technology and infrared gesture sensing are integrated for interaction, laying the foundation for accurate and durable non-contact control. Secondly, an efficient AC-DC-AC variable-frequency drive circuit is constructed based on an intelligent power module (IPM). Through the application of space vector pulse width modulation (SVPWM) and fuzzy control algorithms, soft starting, stepless speed regulation, and on-demand power supply for the motor are realized, thereby reducing the operational energy consumption of the system. Subsequently, various environmental sensors and a voice recognition module are integrated. Leveraging IoT technology, real-time monitoring of environmental status, collaborative judgment and conflict resolution of multi-modal user intentions, and intelligent linkage between devices are achieved, thereby establishing a proactive safety protection loop. Finally, the hardware and software for each module are designed and processed, a system prototype is established, and main performance tests are conducted. Experimental results demonstrate that key performance indicators such as system output efficiency, response time, standby power consumption, and touch accuracy are significantly improved, indicating good practicality and value.

**Keywords:** smart kitchen appliances; inverter technology; touch control technology; energy-saving control; performance testing; internet of things

厨房电器作为现代家庭的重要组成部分, 其智能化、节能化、集成化已成为行业发展的主要趋势。据统计,

2023年中国厨电市场规模达1640亿元, 但智能化和能效水平仍有较大提升空间<sup>[1-3]</sup>。尤其是在油烟机、集成灶等

收稿日期: 2025-01-22; 录用日期: 2025-02-31

基金项目: 2023年度余姚市第二批重大科技创新项目(2024JH03010008)

作者简介: 邵玲玲(1987—), 女, 中级经济师, 中级工程师, 研究方向: 电子元器件。

通信作者: 尚伟燕(1978—), 女, 博士, 教授, 硕士生导师, 研究方向: 机构创新设计、机器人运动学及动力学等。

引用本文: 邵玲玲, 尚伟燕, 严苗忠, 等. 低能耗大功率智能集成厨电控制系统的设计与实现[J]. 自动化技术与应用, 2026, 45(4): 11-16, 63.

(SHAO Lingling, SHANG Weiyan, YAN Miaozhong, et al. Design and implementation of a low-energy consumption high-power integrated smart kitchen appliance control system[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026, 45(4): 11-16, 63.)

大功率设备中,传统控制系统存在能耗高、响应慢、智能化程度不足等问题。因此,研发一种低能耗、大功率、智能集成的厨电控制系统具有重要的现实意义和应用前景。

近年来,随着物联网、人工智能及电力电子技术的快速发展,智能厨电系统在全球范围内受到广泛关注。国外研究方面,欧洲和日本的企业与科研机构在厨电节能与智能化领域起步较早<sup>[4-5]</sup>。例如,德国西门子、博世等企业推出的智能厨电产品,普遍采用变频技术和传感器融合策略,实现了较高的能效和用户体验<sup>[6-7]</sup>。日本企业在小型化与多功能集成方面具有优势,如松下、夏普等品牌的产品在触控与语音交互方面已有成熟应用。然而,这些系统多依赖专用硬件与封闭协议,成本较高,且在国内环境适应性方面存在局限<sup>[8-9]</sup>。美国在智能厨电领域构建了强大的软件生态系统和云服务能力,提升了烹饪的便捷性和娱乐性。然而,其在底层功率器件、电机驱动效率以及针对高油烟环境的多模态交互方面的创新还有待于进一步提高<sup>[10]</sup>。

国内研究方面,随着“智慧家庭”战略的推进,海尔、美的等企业陆续推出了具备联网控制、语音识别等功能的智能厨电产品<sup>[11-14]</sup>。其他企业及研究机构也围绕厨电系统的节能与智能化展开了广泛研究。文献[15]提出了一种基于模糊控制的油烟机自适应调速方法,有效提升了系统能效,但在多模态交互与冲突消解方面研究不足;文献[16]设计了基于Wi-Fi的远程监控系统,实现了设备状态的实时反馈,但系统响应速度与本地控制可靠性仍有待提高。此外,现有研究多侧重于单一技术路径,如仅优化变频驱动或仅增强交互方式,缺乏对“感知-决策-执行”全链条的系统性整合,导致系统在实际复杂厨房环境中的综合性能与用户体验难以全面提升<sup>[17-20]</sup>。

综上所述,现有厨电控制系统在以下方面存在系统集成度低、交互方式单一、能效与响应性能不足、安全防护不完善等方面的不足<sup>[21-24]</sup>。针对上述问题,研究拟从实际应用需求出发,结合变频控制、智能触控、多模态交互与物联网通信等先进技术<sup>[25-27]</sup>,构建了一套以智-能触控模块、变频驱动模块与智能感知与通信模块为核心架构的低能耗大功率智能集成厨电控制系统。该系统通过多源数据融合与智能决策,实现了电机的高效精准控制、用户意图的协同判断与冲突消解,以及环境状态的实时监测与主动安全防护,旨在全面提升厨电系统的能效。

## 1 系统总体设计

本文所设计的低能耗大功率智能厨电控制系统,其硬件总体结构以智能控制核心为中枢,协同三大功能模块构建而成。

智能感知与通信模块作为系统的信息输入层,集成了多类环境传感器(如油烟、燃气、温度传感器)、红外挥手感应单元及语音识别单元,负责全面采集厨房环境状态与用户的多模态交互意图,并通过Wi-Fi/蓝牙通信单元实

现与云端平台及移动终端的数据交互。智能触控模块则基于电容感应原理,通过高灵敏度触摸芯片检测用户操作,提供直观、耐久的本地人机交互接口。上述模块获取的所有信息均汇聚至智能控制核心,该核心基于多源数据融合技术与模糊逻辑控制算法,进行协同决策与冲突消解,并生成优化的控制指令。指令下达至变频驱动模块这一核心执行层。该模块采用交-直-交变频拓扑,以智能功率模块(IPM)为核心,将工频市电转化为频率与幅度精确可调的三相交流电,最终驱动风机电机实现无级调速与按需供能,从而在硬件层面构成了一个集环境感知、智能决策、精准执行与远程通信于一体的完整闭环控制系统。硬件总体结构如图1所示。

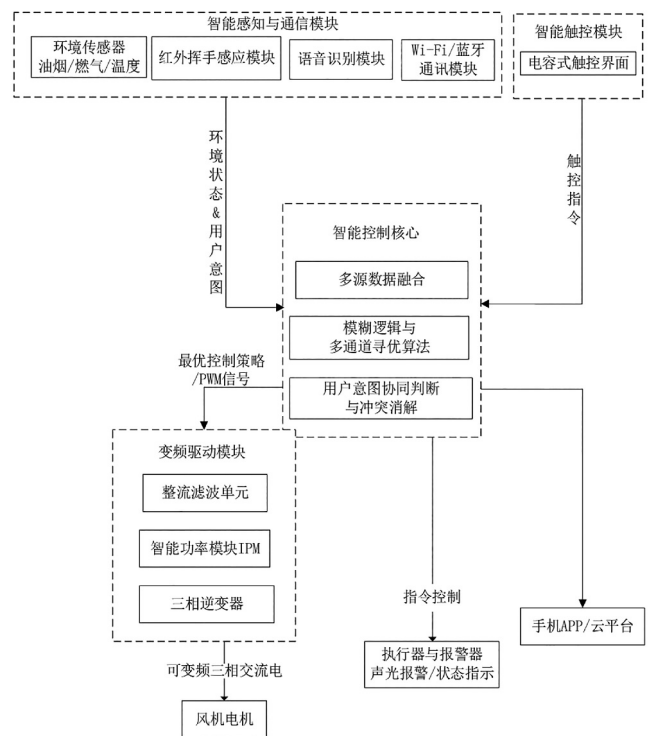


图1 硬件总体结构图

Fig. 1 Overall hardware block diagram

其中,智能控制核心主要包括智能触控系统、变频驱动系统和智能感知与通信系统。具体如图2所示。

系统输入模块支持用户交互和环境感知两种方式。用户可通过手势、触摸、语音等直接方式或手机APP等间接方式发出控制指令。同时,传感器网络实时监测厨房油烟浓度、燃气泄漏、温度等环境状态,所有输入信息汇聚至智能控制核心。主控模块基于模糊逻辑与多通道寻优算法,生成最优电机控制策略。变频驱动模块接收指令后精确驱动电机运行,确保功率部分安全可靠。输出模块包括执行器驱动与通信单元,分别完成电机调速、安全报警及数据上传等功能。

### 1.1 智能触控模块

本系统采用电容式触摸芯片,通过检测感应电容的微小变化识别用户操作,实现无物理按键的触控界面,兼具美观性与易清洁性。其基本工作流程为:手指触摸→电容

变化→信号检测→信号处理→逻辑判断→输出控制。

与传统机械按键相比,电容触控具有使用寿命长、防水防油、支持多功能集成等优势。

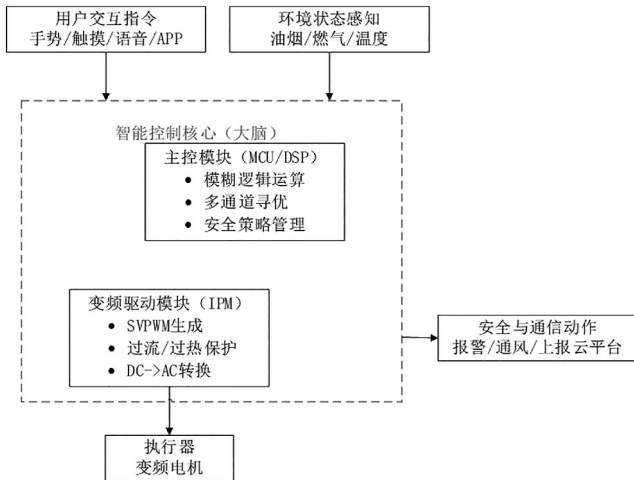


图2 智能控制核心具体组成

Fig. 2 Components of the intelligent control core

### 1.2 变频驱动模块

变频驱动模块作为智能抽油烟机电控系统的核心执行单元,承担着电能变换与电机速度精确控制的重要任

务。其主要功能是将来自市电的固定频率、高压直流电,经整流与滤波单元稳定供电后,通过三相逆变器输出可调幅值和频率的交流电,从而依据风道阻力与工作状态实现无级调速与节能运行。

模块采用基于智能功率模块(以SDM06G60FB2为核心)的三相逆变拓扑。前级直流母线由整流滤波获得约+310V直流电,并通过大容量滤波电容抑制母线电压纹波。IPM内部集成高性能IGBT与驱动电路,配合外部PWM控制信号实现三相桥臂的高频开关。各桥臂输出通过旁路电容降低 $dv/dt$ 与尖峰干扰,最终经U、V、W三相端连接至风机电机。

控制端通过6路PWM输入实现桥臂的上下管驱动,并设有限流电阻与去耦电容以提升信号稳定性。保护功能包括温度过高检测、过流检测和故障输出,均由IPM内部逻辑与外部监测网络协同完成。其中,母线电流由低阻值分流电阻检测并反馈至主控芯片,实现实时保护与电机控制闭环。

该设计结构紧凑、集成度高,不仅提升了系统的控制精度与响应速度,还显著增强了抗干扰性能与运行的可靠性,为智能抽油烟机的长寿命与高效运行提供了稳定保障。具体电路如图3所示。

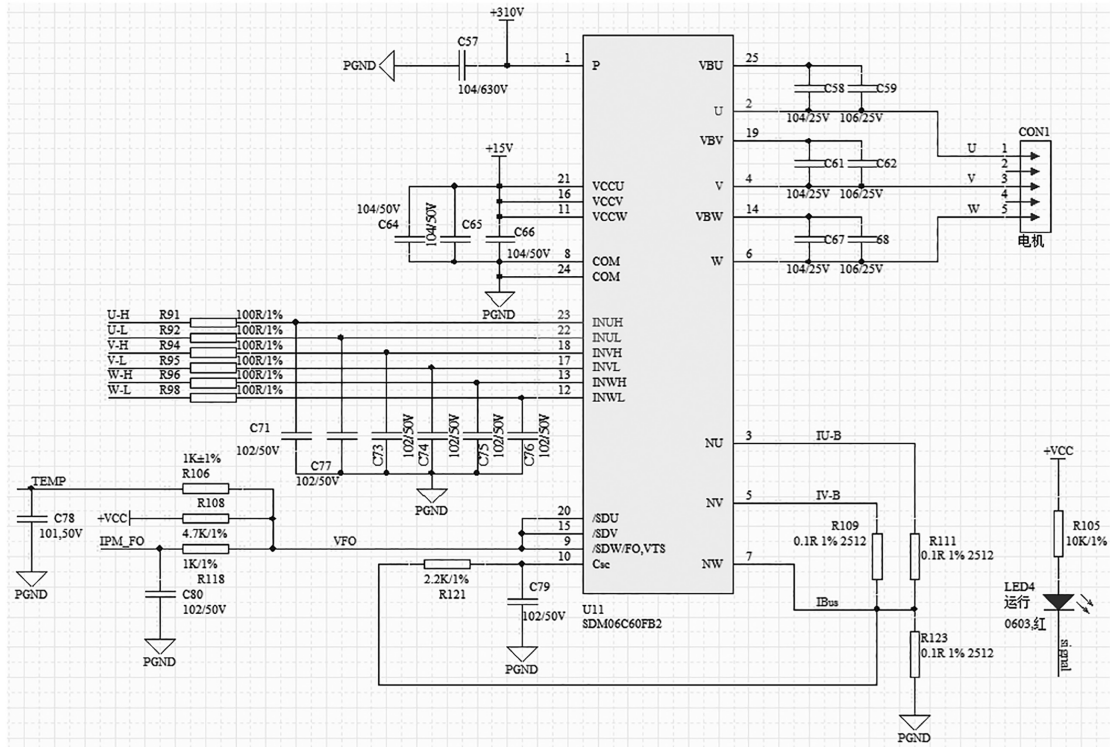


图3 变频驱动模块电路图

Fig. 3 Circuit diagram of the variable-frequency drive module

### 1.3 智能感知与通信模块

该模块集成红外挥手感应、语音识别及多种环境传感器,通过多源数据融合算法综合判断厨房环境状态,实现精准的自动排烟与安全防护。当检测到可燃气体超标时,系统将启动声光报警、强排风及APP通知等多级联动机制,形成主动安全防护闭环。

## 2 关键技术实现

### 2.1 电容触控技术

电容式触摸技术通过检测电极与人体之间的电容变化实现触控识别。本系统采用的电容触摸芯片具备高灵敏度与抗干扰能力,其电气设计原理如图4所示。

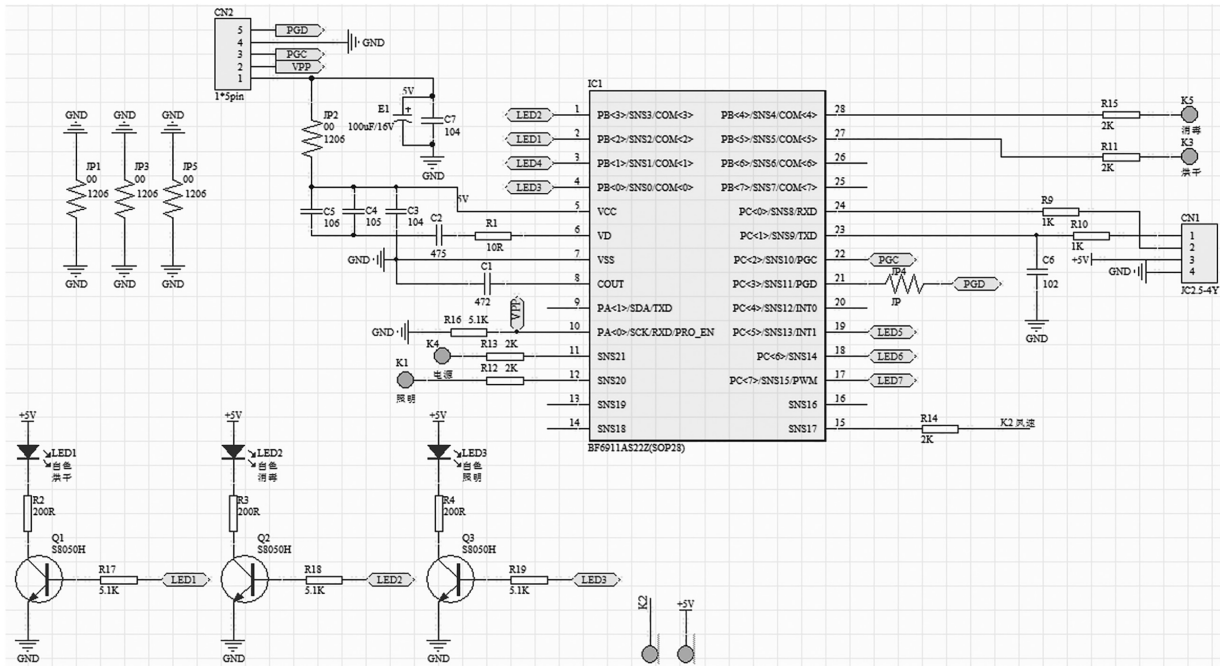


图 4 电容触控模块电气设计原理图

Fig. 4 Schematic diagram of the capacitive touch module

### 2.2 变频控制技术

大功率智能集成厨电变频控制系统,采用基于电压型逆变器的交-直-交变频结构作为核心拓扑。其工作流程始于市电输入,经由交流电源滤波单元与整流滤波单元进行预处理,消除电网谐波干扰并转化为平滑直流电,再由开关电源单元为系统各模块提供稳定直流工作电压。

系统采用电压型交-直-交变频结构,通过整流、滤波、逆变等环节实现电能的精确调控。控制部分借助光电隔离技术保障强弱电安全,结合模糊逻辑与寻优算法实时生成SVPWM控制信号,驱动IPM模块输出可变频三相交流电,实现电机软启动与VVVF控制,整体流程如图5所示。

### 2.3 多模态交互技术

多模态交互技术能够整合多种感知通道与交互方式,实现人机之间高效、自然、情境适应的信息传递与控制。在低能耗、大功率智能集成厨电控制系统中,多模态交互技术通过触控、手势识别、语音控制等多种输入方式的协同与互补,显著提升了系统的可用性、智能性与用户体验。其中,感知层通过电容式触摸传感器、红外手势识别模块等硬件设备,分别捕获用户的触控意图、挥手动作等。电容式触控技术通过检测电极电容的微小变化识别触摸行为,具备高灵敏度与抗干扰能力;红外手势识别则基于红外光的反射特性,实现非接触式操作,适用于厨房环境中手部潮湿或沾污的使用场景。在此基础上,系统采用多模态信息融合策略,通过对不同通道输入的信号进行时间对齐、特征提取等,实现意图的协同判断与冲突消解。最后,执行层则将解析后的用户意图转化为具体的设备控制指令,如调节变频电机转速、启停吸烟功能、切换工作模式等,并通过通信模块(如Wi-Fi、蓝牙)支持远程APP控制

与状态反馈,实现厨房设备的智能化管理与能源优化。

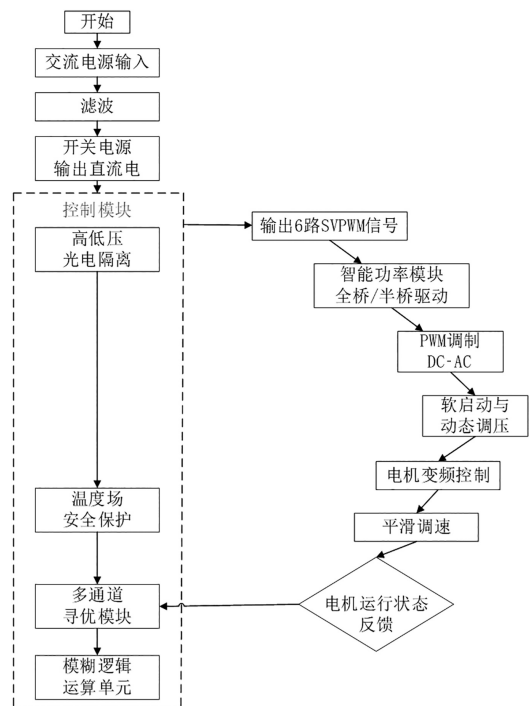


图 5 变频控制流程图

Fig. 5 Variable-frequency control flowchart

多模态交互技术在智能厨电系统中的应用,体现了人机交互从机械化、电子化向智能化、情感化发展的必然趋势。其通过多种感知与交互方式的有机整合,不仅提升了产品的易用性与用户体验,也为实现厨房设备的节能化、网络化与平台化控制提供了关键技术支撑。多模态交互技术流程如图6所示。

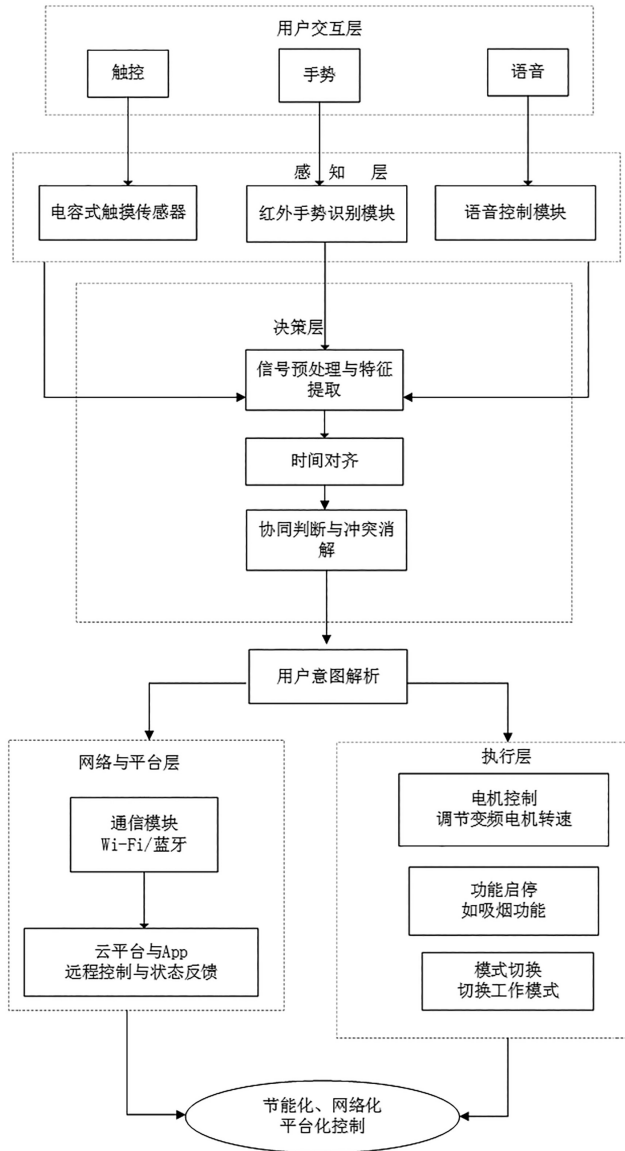


图6 多模态交互技术流程图

Fig. 6 Flowchart of multimodal interaction technology

### 3 实验与性能分析

为验证本文所设计的低能耗大功率智能集成厨电控制系统的综合性能,本文搭建了系统样机,并依据国家及行业标准,在实验室环境下进行了一系列严格的测试。测试内容涵盖核心性能、电气安全与电磁兼容(EMC)、环境适应性与可靠性以及智能交互功能4个方面,主要测试过程如图7~9所示。



图7 驱动板

Fig. 7 Drive board



图8 安全性能测试

Fig. 8 Security experimental test



图9 待机功率测试

Fig. 9 Standby power test

#### 3.1 核心性能测试

核心性能测试主要评估系统在驱动大功率负载(如风机)时的能效和动力表现。测试以驱动板带动风机系统在特定工况下运行,结果如表1所示。结果表明,该系统在不同工作模式下均能提供卓越的空气性能。特别是在爆炒模式下,风量超过 20 m<sup>3</sup>/min,风压超过 1 200 Pa,能够迅速吸排油烟;同时,最大全压效率超过 41%,显著高于国家标准(≥19%)及行业平均水平,验证了基于 IPM 和 SVPWM 算法的变频驱动模块在能量转换上的高效性。功率数据也表明系统能根据需求精确调配能源,实现了“大功率”与“低能耗”的统一。

系统在实验室环境下进行多项性能测试,结果如下表所示。

表1 性能测试结果

Tab. 1 Performance test results

指标项目	设计要求	实测结果
控制器输出效率	≥92%	93.5%
响应时间	≤3 s	2.1 s
待机功耗	≤2.0 W	1.8 W
触控准确率	>90%	95%
短路保护响应时间	<4 μs	3.2 μs

测试结果表明,智能厨电系统各项指标均优于设计目标,具备良好的稳定性和实用性。

#### 3.2 电气安全与电磁兼容测试

电气安全是系统可靠运行的基础。依据 GB 4706.1—2005 和 GB 4706.28—2008 标准,对系统进行了多项安全测试,关键项目与结果如表2所示,测试结果显示,所有设计均符合标准要求。

表2 电气安全关键测试项目与结果

Tab. 2 Key electrical safety test items and results

测试项目	测试条件与标准要求	实测结果	结论
耐压试验	1 800 V, 50 Hz, 1 min; 泄漏电流 < 5.0 mA	1.6 mA	合格
绝缘电阻	阻值 $\geq$ 100 M $\Omega$	1.5 G $\Omega$	合格
残余电压	断电后 1 s, 插脚间电压 $\leq$ 34 V	2.4 V	合格
爬电距离与电气间隙	零/火线爬电距离 $\geq$ 4.0 mm; 安规电容对地电气间隙 $\geq$ 2.5 mm	>4.0 mm; >2.5 mm	合格
短路与堵转保护	短路/堵转时迅速切断输出, 无器件损坏; 保护响应时间 < 4 $\mu$ s	响应时间 3.2 $\mu$ s, 无异常	合格

此外,系统在电磁兼容性方面表现优异,各项测试均符合 GB/T 17626 系列标准要求,其中,在电压跌落至 40%、70% 条件下,系统均能恢复正常运行,在 0.15~30 MHz 频段内,骚扰电压低于限值要求,符合 GB 4343.1—2018 标准。

### 3.3 智能交互功能及其他性能测试

经实验测试,样机系统支持多种交互方式,测试结果

表明其智能控制与用户体验优良。具体如表 3 所示。

此外,为验证系统在恶劣环境下的可靠性,进行了多项环境与耐久测试。样机系统经高低温运行与贮存、冷热冲击试验、中性盐雾试验、反复通断电测试等,系统控制逻辑与输出稳定、系统无故障、性能保持稳定且各项电气性能均正常。

表3 智能交互功能测试结果

Tab. 3 Smart interactive function test results

测试项目	测试结果
触控操作	电容触控准确率达 95%, 响应灵敏, 无漏检或误触发
多模态交互	挥手感应、语音识别与 APP 远程控制均能准确响应, 冲突消解机制有效。
显示与提示	LED 显示清晰, 蜂鸣器提示音符合设定, 用户体验一致
自动排烟与安全联动	当传感器检测到油烟或燃气异常时, 系统自动启动强排风、声光报警并推送 APP 通知, 形成主动安全闭环。

## 4 结论

本文设计并实现了一种低能耗、大功率、智能集成的厨电控制系统,通过融合变频技术、智能触控、挥手感应、语音控制等多项技术,实现了厨电设备的高效、智能与节能运行。系统实现了“低能耗、大功率、高智能、强可靠”的设计目标,主要体现在以下 4 点:

1) 核心性能较好,能效比显著提升。控制器输出效率达到 93.5%,待机功耗低至 1.8 W,有效实现了低能耗运行。同时,系统响应迅速、触控准确率高,并在爆炒等大功率工况下,风量、风压及最大全压效率均表现优异,超过国家标准 19% 以上,兼顾了“大吸力”与“高能效”。

2) 安全可靠性能达标,运行稳定。系统顺利通过全部电气安全与电磁兼容测试。耐压泄漏电流仅 1.6 mA,绝缘电阻高达 1.5 G $\Omega$ ,残余电压低至 2.4 V,短路保护响应迅速(3.2  $\mu$ s),且系统在静电放电( $\pm 8$  kV/ $\pm 15$  kV)、浪涌冲击( $\pm 2$  kV)及电压暂降(0~70%)等严酷电磁环境下均能稳定运行,环境适应性与抗干扰能力好。

3) 智能交互体验优良,安全联动主动高效。系统实现了精准的多模态交互,触控、挥手感应、语音及 APP 控制响应准确,冲突消解有效。且系统能够在检测到油烟或燃气异常时,自动启动强排风、声光报警并推送 APP 通知,形成了可靠的主动安全防护闭环,显著提升了产品的智能化水平和用户安全感。

4) 环境适应性强,耐久性表现突出。系统在高低温环境下、冷热冲击、盐雾腐蚀及 20 000 次反复通断电等

加速老化与耐久性等性能测试上,功能始终稳定,可实现复杂厨房环境下长期运行的可靠性。

## 参考文献

- [1] 全国家用电器工业信息中心. 2023 年厨卫电器市场报告[R]. 北京:全国家用电器工业信息中心,2023.
- [2] 中国家用电器研究院. 2025 厨卫电器可靠性技术创新白皮书[R]. 上海:中国家用电器研究院,2025.
- [3] 徐雨辰. 厨卫电器产品技术发展趋势[J]. 经济与管理科学,2023(8):1-4.
- [4] 杨征. 2025 厨卫电器市场:政策红利与技术革新双轮驱动下的破局之战[J]. 经济与管理科学,2025(7):12-14.
- [5] 吴根,李岳洪,何冠成,等. 高效节能厨卫电器产品减碳评价方法研究[J]. 经济与管理科学,2024(5):101-110.
- [6] 揭辉霞,高睿,管伟琴,等. 基于碳效比的电冰箱低碳产品评价方法[J]. 日用电器,2023,(6):39-43.
- [7] 徐秉声. 产品节能减碳量方法解读及标准发布[J]. 中国标准化,2023(10):25.
- [8] 马德军. 智能家电技术发展趋势研究[J]. 家电科技,2021(4):26-31.
- [9] 朱宣班. 厨房设备智能化操控系统的设计与实现[J]. 电子制作,2025,33(6):28-31.
- [10] ZHAO P, SURYANARAYANAN S, SIMÕES M G. Review of smart home energy management systems[J]. Energy and Buildings, 2020(223): 504-508.
- [11] 王永贵,李季. 智能家居背景下家电企业技术创新战略研究——以海尔集团为例[J]. 管理评论,2020,32(5):134-146.
- [12] 刘颖,陈立彬. 我国家电企业智能产品战略比较研究——以海尔和美的为例[J]. 科技管理研究,2019,39(15):147-154.
- [13] 张军,李志强,王伟. 基于物联网的智能厨房系统设计[J]. 自动化与仪表,2021,36(3):56-60.

(下转第 63 页)