

机械设计在家电产品中的应用及质量管控策略： 流体力学与机械运动的融合

何领民

广东 佛山 528300

DOI:10.61369/ETQM.2025100006

摘要：阐述家电产品机械设计中流体力学与机械运动融合的相关技术，包括边界层理论等在散热风扇等中的应用，介绍机械运动与传动系统建模，如齿轮传动链等，还涉及 CFD 仿真、多物理场联合仿真、质量管控等方面内容，最后展望前沿方向并提出智能化升级路线图。

关键词：家电产品；机械设计；流体力学与机械运动融合

Mechanical Design in Household Appliances: Application and Quality Control Strategies: Integration of Fluid Dynamics and Mechanical Motion

He Lingmin

Foshan, Guangdong 528300

Abstract : This paper elaborates on the integration of fluid dynamics and mechanical motion in the mechanical design of household appliances, covering technologies such as boundary layer theory applied in cooling fans. It introduces modeling of mechanical motion and transmission systems (e.g., gear transmission chains), along with CFD simulation, multiphysics co-simulation, and quality control strategies. Finally, it outlines future directions and proposes an intelligent upgrade roadmap.

Keywords : household appliances; mechanical design; integration of fluid dynamics and mechanical motion

引言

随着科技的发展，家电产品机械设计不断面临新的挑战与机遇。2021年发布的《中国制造2025》强调了制造业的智能化升级，这对家电产品机械设计提出了更高要求。流体力学中的边界层理论、湍流模型以及流体 – 结构相互作用原理等，在家电产品的散热、水流运动和风机性能等方面起着关键作用。同时，机械运动与传动系统建模、CFD 仿真、涡动力学理论等技术也广泛应用于家电产品设计。此外，多物理场联合仿真验证、质量管控、制造过程控制以及装配应力场预测等环节也至关重要。跨学科协同研发模式下的人机工程学与功能设计融合更是提升用户体验的关键。这些技术的综合应用及不断创新，是实现家电产品智能化升级，提升性能和质量的核心路径。

一、家电产品机械设计的理论基础

(一) 流体力学在机械系统中的作用机制

边界层理论是流体力学中的重要基础。在机械系统中，边界层的存在影响着流体与固体表面的相互作用，如在家电产品的散热风扇设计中，边界层的特性决定了空气流动的阻力和传热效率^[1]。湍流模型对于理解复杂流场至关重要。不同的湍流模型可用于描述流体的湍流特性，以优化家电产品中如洗衣机的螺旋搅拌装置的水流运动，提高洗涤效果。流体 – 结构相互作用原理揭示了流体对结构的作用力以及结构变形对流体流动的反作用。例如在离心式风机中，叶片的结构设计需考虑流体的作用力，同时叶片的变形也会影响流场特性，进而影响风机的性能。

(二) 机械运动与传动系统建模方法

在家电产品机械设计中，机械运动与传动系统建模至关重要。对于齿轮传动链，需研究其动态响应^[2]。通过建立精确的模型，分析在不同工况下齿轮的受力、转速变化以及可能产生的振动等情况，这有助于优化齿轮设计，提高传动效率和稳定性。凸轮机构的运动学分析也是关键部分。准确描述凸轮的轮廓曲线与从动件的运动规律之间的关系，考虑凸轮转速、从动件的位移、速度和加速度等参数，以确保凸轮机构能满足家电产品特定的运动要求。此外，振动传递特性对产品性能影响显著。了解振动在传动系统中的传递路径和衰减规律，通过合理设计隔振、减振措施，减少振动对产品的不良影响，提升家电产品的整体性能。

二、典型家电产品的应用案例分析

(一) 洗衣机搅拌系统的流体力学优化设计

通过CFD仿真可深入研究波轮结构参数对衣物运动轨迹的影响。CFD能够模拟复杂的流体流动情况，分析不同波轮结构下水流的速度、压力分布等。在此基础上，建立衣物载荷-水流场耦合的有限元模型。该模型考虑了衣物在水流中的受力情况以及对水流场的反作用，能够更准确地描述洗衣机搅拌系统的工作过程。通过对模型的分析，可以优化波轮结构参数，提高衣物的洗净率，减少衣物的磨损。同时，该模型还可以为洗衣机的节能设计提供参考，降低洗衣机的能耗。这种基于流体力学的优化设计方法，为洗衣机搅拌系统的设计提供了新的思路和方法，有助于提高洗衣机的性能和质量^[3]。

(二) 吸尘器涡轮机械的噪声抑制研究

在吸尘器涡轮机械的噪声抑制研究中，应用涡动力学理论具有重要意义。通过该理论改进叶片型线设计，能够优化涡轮机械内部的气流流动情况，减少因气流紊乱产生的噪声^[4]。同时，采用LES大涡模拟方法，可以精确分析气动噪声源的分布规律。这有助于针对性地采取措施来抑制噪声。例如，根据噪声源分布，可以对关键部位进行结构优化或采用吸声材料。通过这些方法的综合应用，能够有效降低吸尘器涡轮机械的噪声，提高产品的使用舒适性和市场竞争力。

三、质量管控的多维度实施策略

(一) 设计验证技术体系

1. 多物理场联合仿真验证流程

构建包含流固耦合、热力学及电磁场的集成仿真平台是多物理场联合仿真验证的关键。通过该平台，可模拟家电产品在实际工况下的多种物理场相互作用情况。在此基础上，需制定模型验证的量化标准体系^[5]。该体系应涵盖对各物理场参数准确性的评估指标，确保仿真模型能够真实反映实际产品的性能。同时，对于不同物理场之间的耦合关系，也应有相应的验证标准，以保证多物理场联合仿真的可靠性。通过严格遵循这些标准，可有效提高设计验证的准确性，为家电产品的质量管控提供有力支持。

2. 原型机实验验证方法学

质量管控的多维度实施策略在设计验证技术体系及原型机实验验证方法学中至关重要。对于开发非接触式PIV流场测试装置，需从多维度确保其质量。从装置设计角度，要依据流体力学原理精确设计结构，保证测试的准确性^[6]。在材料选择上，要考虑其对流体的适应性以及耐用性。对于建立振动模态与声学品质的关联评价指标，要通过大量实验数据进行分析验证。在原型机实验验证过程中，严格控制实验条件，确保实验结果的可靠性。同时，利用先进的数据分析方法对实验数据进行处理，以准确评

估产品质量，为后续的优化提供依据。

(二) 制造过程控制策略

1. 关键尺寸链统计过程控制

在机械设计质量管控中，制造过程控制至关重要。对于关键尺寸链统计过程控制，可应用6σ方法控制注塑模具形位公差，通过严格的数据分析和过程优化，确保尺寸的准确性和稳定性，减少偏差^[7]。同时，建立基于IoT的在线检测数据闭环系统，实时监测生产过程中的关键尺寸数据。利用IoT技术实现数据的快速采集和传输，一旦发现尺寸异常，能够及时反馈并调整生产参数，保证整个制造过程处于可控状态，从而提高产品质量，满足家电产品对机械设计的高精度要求。

2. 装配应力场预测技术

在装配应力场预测技术方面，开发接触应力有限元模型是关键。通过该模型，可以深入研究预紧力对传动系统寿命的影响规律。接触应力有限元模型能够模拟实际工况下的应力分布情况，为准确预测装配应力场提供理论基础。预紧力作为影响传动系统寿命的重要因素，其与传动系统各部件之间的相互作用关系复杂。借助模型分析，可以量化这种影响规律，从而为优化装配工艺、提高产品质量提供依据。这有助于在制造过程中更好地控制质量，避免因装配应力问题导致的产品故障，提高家电产品的可靠性和稳定性^[8]。

四、技术创新与质量提升路径

(一) 新型功能材料应用研究

1. 梯度复合材料的流体性能优化

金属基复合材料在高温流体环境下的性能优化至关重要。其表面疏水改性技术可有效降低流体对材料表面的粘附，提高材料在高温流体中的稳定性。通过改变材料表面的化学组成和微观结构，使其具有疏水特性，从而减少流体与表面的接触面积和摩擦力。同时，耐磨涂层技术能够增强材料的耐磨性，在高温流体的冲刷下保持良好的性能。这种耐磨涂层可以采用多种方法制备，如物理气相沉积、化学气相沉积等。这些技术的应用不仅可以提高金属基复合材料在高温流体环境下的性能，还为其在相关领域的广泛应用提供了可能，例如在航空航天、汽车发动机等高温流体环境中的应用^[9]。

2. 智能材料在减振降噪中的应用

形状记忆合金作为一种智能材料，在减振降噪领域具有独特优势。其阻尼器在压缩机振动控制方面展现出重要应用价值。形状记忆合金具有特殊的相变特性，能够根据温度或应力的变化而改变自身的形状和力学性能。在压缩机运行过程中，会产生振动，形状记忆合金阻尼器能够利用其自身特性，对振动产生的能量进行吸收和耗散。通过合理设计阻尼器的结构和参数，可以使在不同的振动频率下都能有效地发挥减振作用。同时，对其动

态响应特性的研究有助于深入了解其减振机制，进一步优化其在压缩机振动控制中的应用，提高家电产品的稳定性和可靠性，为提升产品质量提供技术支持^[10]。

(二) 数据驱动的优化设计方法

1. 大数据辅助的参数敏感性分析

在大数据辅助的参数敏感性分析中，应用 Sobol 指数评估设计变量对 NVH 性能的影响权重是关键步骤。Sobol 指数能够量化各设计变量对目标性能的贡献程度，通过大量的数据计算分析，确定哪些变量对 NVH 性能影响更为关键。在此基础上，构建自适应优化算法。该算法能够根据参数敏感性分析的结果，自动调整优化策略。它可以动态地适应不同设计变量的变化情况，以更高效地寻找最优设计方案。通过这种数据驱动的方法，能够在机械设计中更好地考虑各种因素对产品性能的影响，从而实现产品质量的提升，尤其在家电产品的设计中，有助于融合流体力学与机械运动，提升整体性能。

2. 数字孪生技术在产品迭代中的应用

数字孪生技术在家电产品设计中具有重要应用。通过创建产品的虚拟模型，能够整合流体力学与机械运动相关数据。利用传感器获取实际运行中的大量数据，反馈到虚拟模型中，实现物理实体与虚拟模型的实时交互。这种融合使得在虚拟环境中可模拟各种工况，精准分析流体力学特性对机械运动的影响，提前发现潜在的设计缺陷和故障模式。基于数据分析结果，对产品设计进行优化，从而提高产品质量和性能，加速产品迭代过程，更好地满足市场需求。

(三) 跨学科协同研发模式

1. 机电液一体化集成设计方法

在机电液一体化集成设计方法中，跨学科协同研发至关重要。对于伺服电机—液压执行机构的匹配设计，需综合考虑机械结构、电学控制以及液压传动的特性。从机械角度，要确保结构的合理性与稳定性，以适应不同工况。电学方面，精确控制电机

的转速、扭矩等参数，实现与液压执行机构的良好匹配。在液压传动上，优化液压油的流量、压力等参数。同时，开发能耗最优的控制算法是关键。通过建立精确的数学模型，分析系统的能量损耗环节，结合智能控制策略，如模糊控制、神经网络控制等，动态调整电机和液压执行机构的工作状态，提高能源利用效率，提升整体性能和质量。

2. 人机工程学与功能设计的融合

在机械设计应用于家电产品的过程中，跨学科协同研发模式下的人机工程学与功能设计融合至关重要。构建用户操作行为模式数据库是基础，通过收集大量用户操作数据，分析其行为习惯和偏好。在此基础上，建立人机界面与机械结构的映射关系模型。该模型要综合考虑用户在操作界面上的指令输入与机械结构的实际响应，确保用户操作的便捷性和舒适性。例如，在设计家电的按键布局时，依据用户操作频率和习惯，合理安排按键位置，并通过映射关系模型，使按键操作能精准地驱动机械结构完成相应功能，实现人机工程学与功能设计的无缝对接，提升产品的用户体验和质量。

五、总结

机械设计在家电产品中的应用涉及流体力学与机械运动的融合。通过系统梳理相关技术路径，明确了融合的关键环节与方法。同时，总结数字化质量控制体系构建要点，为保障产品质量提供了方向。在此基础上，展望前沿方向，如 AI 自动化仿真平台和环境自适应流体元件等，这些将为家电产品带来新的发展机遇。基于此提出的智能化升级技术路线图，涵盖了从设计理念到实际应用的各个环节，有望推动家电产品在性能、质量和智能化水平上的全面提升，满足市场不断变化的需求，增强产品竞争力，为行业发展注入新动力。

参考文献

- [1] 卓培荣. 仿生设计在小家电产品中的应用研究 [D]. 四川师范大学, 2021.
- [2] 邹芳芳. H 公司家电产品的电商直播营销策略研究 [D]. 广州大学, 2023.
- [3] 邱伟特. 新电商环境下 A 公司家电产品营销策略研究 [D]. 广东工业大学, 2022.
- [4] 王雁君. H 公司家电产品窜货治理研究 [D]. 山东大学, 2023.
- [5] 王艳喆. 面向方面的家电产品评论情感倾向性分析与评价体系研究及应用 [D]. 青岛科技大学, 2021.
- [6] 王英. 数学方法在机械设计中的应用策略 [J]. 造纸装备及材料, 2021(009):050.
- [7] 管江明. 简析工业设计及机械设计的融合应用 [J]. 河北农机, 2021, 000(3):P.52–53
- [8] 车帅, 俞小成, 朱培鑫, 等. 生命周期评价在家电产品中的应用研究 [J]. 日用电器, 2023(5):79–84.
- [9] 宁扬. 财务精细化管理在家电产品中的应用研究 [J]. 投资与创业, 2022(14):88–90.
- [10] 曾德局, 单小伟. CAD 在机械设计中的应用及机械制造技术的应用 [J]. 数字农业与智能农机, 2021, (1):127–128