

一种波轮洗衣机机械设计与参数校核

易道军

上海理工大学机械工程学院, 上海

收稿日期: 2025年8月28日; 录用日期: 2025年9月21日; 发布日期: 2025年9月28日

摘要

波轮洗衣机以其结构紧凑、操作简便和适应性强的特点, 成为家庭中广泛使用的洗涤设备。为提升其传动效率与运行稳定性, 本文对一种典型波轮洗衣机结构进行了系统的机械优化设计。研究通过对电动机类型的比较选型, 确定了双速变极电容式异步电动机作为主要驱动源; 结合不同工作状态下的工况需求, 设计了两级V带减速传动系统, 并对关键参数如传动比、带轮直径、初拉力及包角进行了计算与校核; 同时在波轮结构选型方面, 通过性能分析确定采用碟形波轮, 并合理设置其直径与筋条数量, 以兼顾洗净比与织物保护。计算结果表明, 该结构在满足基本洗涤功能的前提下, 设计参数合理, 具备进一步开展能耗与稳定性实验验证的基础。

关键词

波轮洗衣机, 传动设计, 电动机选型, V带计算, 结构优化

A Study on the Mechanical Design and Parameter Verification of a Pulsator Washing Machine

Daojun Yi

School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: August 28, 2025; accepted: September 21, 2025; published: September 28, 2025

Abstract

Pulsator washing machines are widely used in households due to their compact structure, user-friendly operation, and strong adaptability. In order to enhance transmission efficiency and operational stability, this study conducts a comprehensive mechanical optimization design of a typical pulsator washing machine structure. By comparing different types of motors, a dual-speed pole-changing

文章引用: 易道军. 一种波轮洗衣机机械设计与参数校核[J]. 建模与仿真, 2025, 14(10): 12-20.

DOI: 10.12677/mos.2025.1410601

capacitor asynchronous motor is selected as the primary driving source. A two-stage V-belt reduction transmission system is designed to meet the varying torque demands in washing and dehydration modes. Key parameters such as transmission ratio, pulley diameter, pre-tightening force, and wrap angle are calculated and verified. Regarding the wave wheel configuration, a disc-type impeller is chosen based on performance analysis, and its diameter and number of ribs are reasonably determined to balance between washing performance and fabric protection. The results indicate that, on the premise of meeting basic washing functions, the design parameters are reasonable, providing a basis for further energy consumption and stability experimental verification.

Keywords

Pulsator Washing Machine, Transmission Design, Motor Selection, V-Belt Calculation, Structural Optimization

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着家用电器的不断普及和技术的快速发展，洗衣机作为日常生活中不可或缺的重要设备，其设计与性能优化逐渐成为工程研究中的重点方向。^[1]目前市场上的主流家用洗衣机主要分为两类：滚筒式与波轮式。相比之下，波轮洗衣机具备结构紧凑、体积小、使用便捷、价格适中等优点，尤其适用于家庭空间有限、追求高频率便捷洗涤需求的用户群体。洗衣机机械结构组成图如图 1 所示。因此，提升波轮洗衣机的整体机械性能，对实现节能、低噪、长寿命的家电产品具有现实意义。^[2]

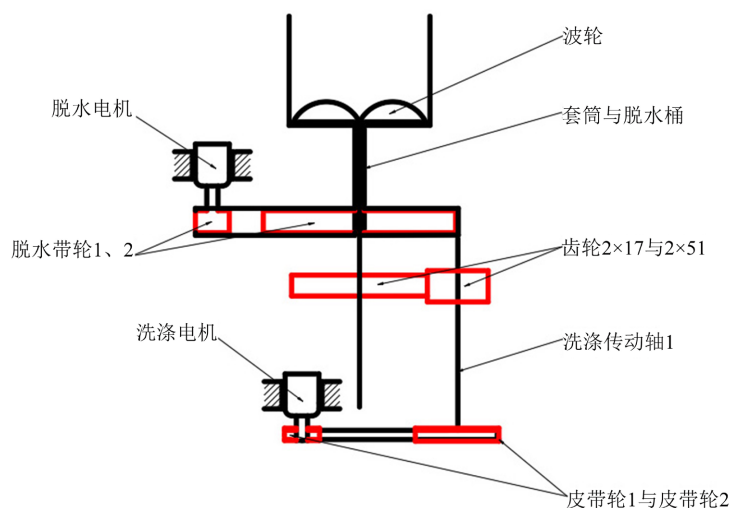


Figure 1. Mechanical structure composition diagram of washing machine

图 1. 洗衣机机械结构组成图

近年来，关于洗衣机性能改进的研究主要集中在以下几个方面：

传动技术：有学者针对电机与带传动参数展开研究，提出了不同极对数电机与传动比匹配方法，以提高传动效率和降低能耗。^[3]

波轮水动力学：部分研究利用数值模拟方法分析波轮结构参数(如直径、筋条数、筋条形状)对流场特性及洗净效果的影响，提出了有限元分析与多目标优化设计的思路。[4]

减振与降噪：也有学者对整机进行振动与模态分析，探索跌落冲击、结构优化与隔振技术在降低噪声与延长寿命方面的作用。[5]

尽管已有研究在传动系统建模、波轮流场仿真和整机减振方面取得了进展，但关于波轮洗衣机机械结构与参数匹配的系统化校核研究仍然较少。因此，本文聚焦于电机选型、V 带传动系统设计及波轮结构参数配置，提出一套可复现的设计流程，并为后续基于仿真与实验的优化研究奠定基础。

传统波轮洗衣机的机械结构主要包括驱动电机、传动系统(如皮带轮与减速机构)、波轮、外壳与支撑结构等组成部分。其中，传动系统的效率与稳定性对整机性能有着直接影响，特别是在洗涤与脱水两种工作模式下对电机与皮带减速结构提出了不同的转矩与转速需求。[6]此外，波轮的结构设计——如波轮直径、筋条数与叶片形状等——直接影响衣物的洗净比与磨损程度，属于设计中的关键参数。[7]

已有研究多聚焦于洗衣机整机控制系统或智能功能开发，但对传动结构与波轮几何参数的系统优化分析较为稀缺。因此，本文以一种典型波轮洗衣机为研究对象，围绕其机械结构设计展开优化研究，主要内容包括：电动机选型、双级 V 带传动系统的设计与计算、波轮形式与参数的选取，以及相关传动部件的校核分析。通过合理选型与结构匹配，期望在保证洗涤效果的同时，实现洗衣机结构的紧凑化、节能化与高效化，进而为同类家电设备的结构优化设计提供技术参考。

2. 研究定位与方法

本文工作本质上是一项工程设计与参数校核研究，而非严格意义上的数学优化问题。与典型的“优化研究”不同，本文并未建立形式化的目标函数与约束条件，也未采用智能算法或有限元求解器寻找全局最优解，而是基于现有设计手册、行业标准及文献数据，完成了波轮洗衣机关键部件的参数匹配与可行性校核。

在此基础上，本文进一步明确了后续研究方向：

1) 波轮流场仿真与优化计划

以筋条数量、高度与曲率为自变量，利用 CFD 软件(如 Fluent 或 CFX)建立流场模型，分析其对洗净比、缠绕率与织物磨损的影响。在流场指标基础上，构建多目标优化框架，以洗净效果最大化、织物损伤最小化为目标函数。[8]

2) 传动系统动力学分析计划：

基于多体动力学软件(如 Adams)，建立电机-V 带-波轮的简化动力学模型，模拟启停过程中传动系统的扭振、冲击与噪声特性，并与齿轮传动或直驱方案进行对比，验证 V 带方案的优劣。

综上，本研究定位于提供一套可复现的机械设计与参数校核流程，并在此基础上提出可操作的仿真与实验验证路径，为后续开展真正的优化研究奠定基础。

3. 结构设计方法

为提高波轮洗衣机在不同工作状态下的传动效率和结构稳定性，本文基于机械优化设计原则，采用双速变极电动机与两级 V 带传动结构，配合碟形波轮叶片，在保证洗净效果的同时，优化整机布局与运行性能。[9]本章节分别从电动机选型、V 带传动系统设计及波轮结构确定三个方面展开论述。

3.1. 电动机选型与分析

波轮洗衣机的运行需要分别满足洗涤与脱水两种不同工况：前者要求低速、大转矩，后者要求高速运

行。根据电机种类性能对比及国家机械行业标准，本文选用 YXG162-2-12 型双速变极电容式单相异步电动机，其具有启动力矩大、运行平稳、功率因数高、效率稳定等优点，广泛应用于家用洗衣机领域。[10]

该型号电动机的主要参数如表 1 所示：

Figure 1. Main parameters of electric motors

表 1. 电动机的主要参数

参数	高速(2 极)	低速(12 极)
额定转速(r/min)	1440	260
启动电容(μF)	16	16
温升(K)	≤ 80	≤ 80
噪音(dB)	74	60
额定功率(W)	200	120

该电动机通过外接离心开关切换极对数，实现洗涤与脱水模式之间的自动转换，并通过皮带轮减速实现所需工作转速，满足波轮洗涤与脱水桶甩干的运行要求。

3.2. 皮带轮传动系统设计

洗衣机结构中使用两级 V 带传动系统，分别用于电动机向波轮和脱水桶传递扭矩。传动设计需考虑功率传递能力、包角、中心距及带轮直径等参数。[11]根据《机械设计课程设计手册》，选用 Z 型普通 V 带进行计算。

3.2.1. 洗涤传动系统设计

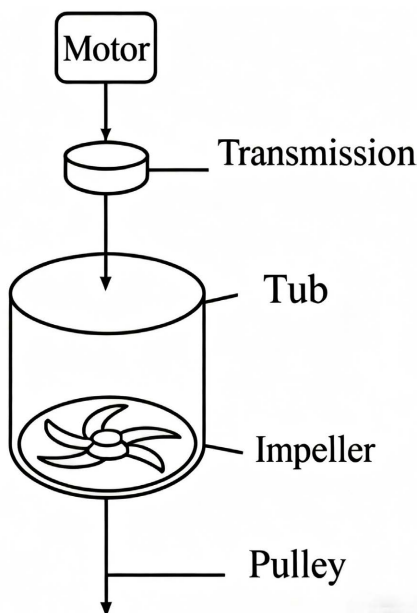


Figure 2. Schematic diagram of the transmission of the washing state

图 2. 洗涤状态传动示意图

电动机功率：120 W；转速：1440 r/min；传动比约为 5.5。

波轮所需转速：约 260 r/min。
主动轮直径：42 mm；从动轮直径：90 mm。
中心距：132 mm；V 带基准长度：475 mm。
计算初拉力：32.43 N；单根带可满足传动需求。
验算结果显示，包角 $158.1^{\circ} > 120^{\circ}$ ，压轴力 $Q = 24.19\text{ N}$ ，满足设计强度与紧固要求。(见图 2)

3.2.2. 脱水传动系统设计

电动机功率：120 W；转速：1440 r/min；传动比约为 2.88。
脱水桶所需转速：约 500 r/min。
主动轮直径：42 mm；从动轮直径：132 mm。
中心距：151.56 mm；V 带基准长度：475 mm。
计算初拉力：63.47 N；压轴力 $Q = 40.49\text{ N}$ 。
结果表明，该传动系统在满足高速脱水需求的同时，具备良好的结构安全性与制造工艺性。(见图 3)

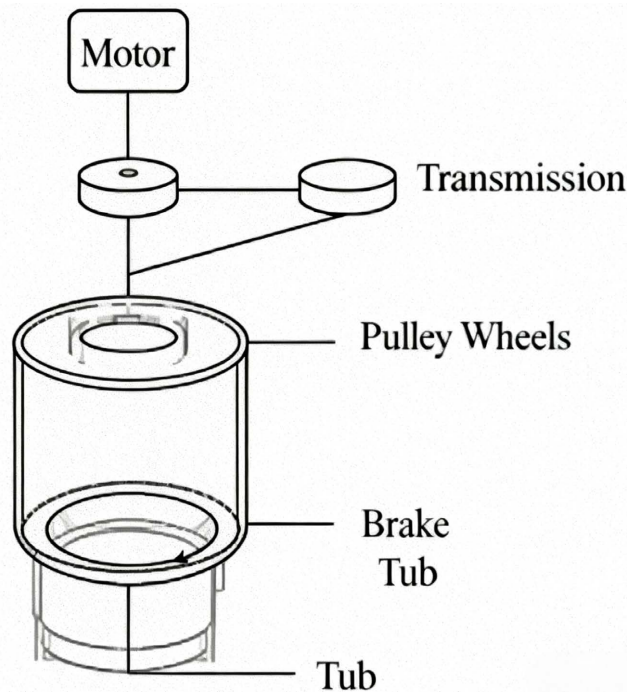


Figure 3. Schematic diagram of dehydration state transmission
图 3. 脱水状态传动示意图

3.3. 波轮结构选择与参数配置

波轮作为洗衣机的核心洗涤部件，其形状、直径与筋条配置对洗净比、衣物缠绕率与磨损率具有显著影响。[12]根据查阅文献与数据对比，本文选择碟形波轮，具有流动均衡、冲击柔和、缠绕率低的优点。
主要参数配置如下：
波轮直径：300 mm (通过实验结果与资料比对确定)。
筋条数量：5 条(在 3~8 条之间性能最优)。
筋条宽度：约 24 mm (在 22 mm~27 mm 区间内洗净比最佳)。

4. 关键部件计算结果

本章节主要对洗衣机中两组 V 带传动系统与电动机参数进行计算与校核, 确保在洗涤与脱水双工况下能稳定输出所需扭矩和转速。同时, 通过波轮结构尺寸参数的计算, 对其洗涤效率及织物磨损控制能力进行评估。

4.1. 洗涤传动系统参数计算

验算结果表明, 包角大于 120° , 单根 Z 型 V 带即可满足扭矩传递需求, 压轴力在可控范围内, 设计安全可靠。(见图 4)

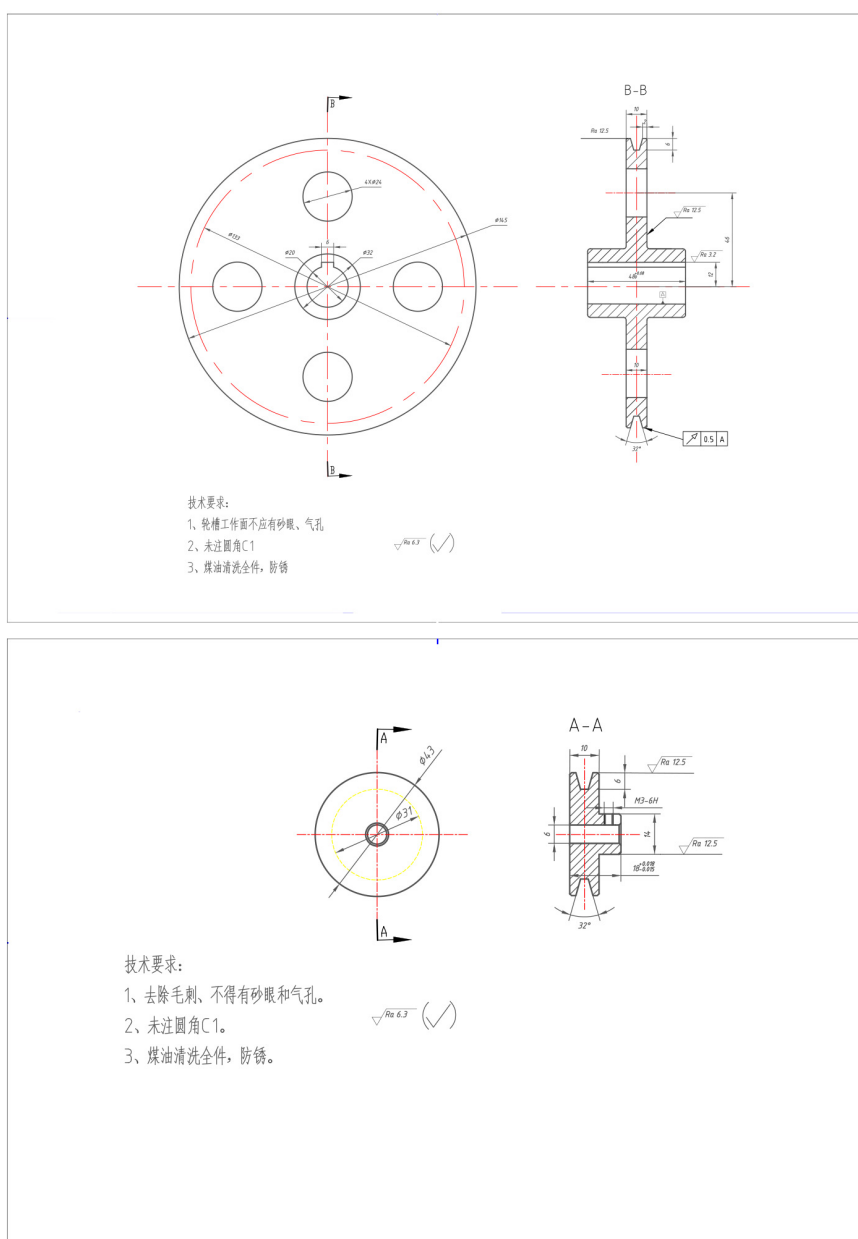


Figure 4. Schematic diagram of pulley design

图 4. 皮带轮设计示意图

在洗涤工况下，电动机以较低转速带动波轮转动，实现洗净衣物的功能。本设计目标为将电机的转速从 1440 r/min 降低至约 260 r/min，需采用一级 V 带传动系统实现减速。[13]

核心计算参数见表 2：

Figure 2. Core calculation parameters
表 2. 核心计算参数

电动机转速	1440 r/min
目标转速	260 r/min
传动比	5.54
主动轮直径	42 mm
从动轮直径	90 mm
中心距	132 mm
V 带基准长度	475 mm
包角	158.1°

4.2. 脱水传动系统设计

在脱水工况下，电动机高速驱动脱水桶旋转，需将 1440 r/min 减速至 500 r/min 左右，脱水效率取决于整套传动机构的稳定性与摩擦功耗控制能力，波轮轴设计图见图 5。

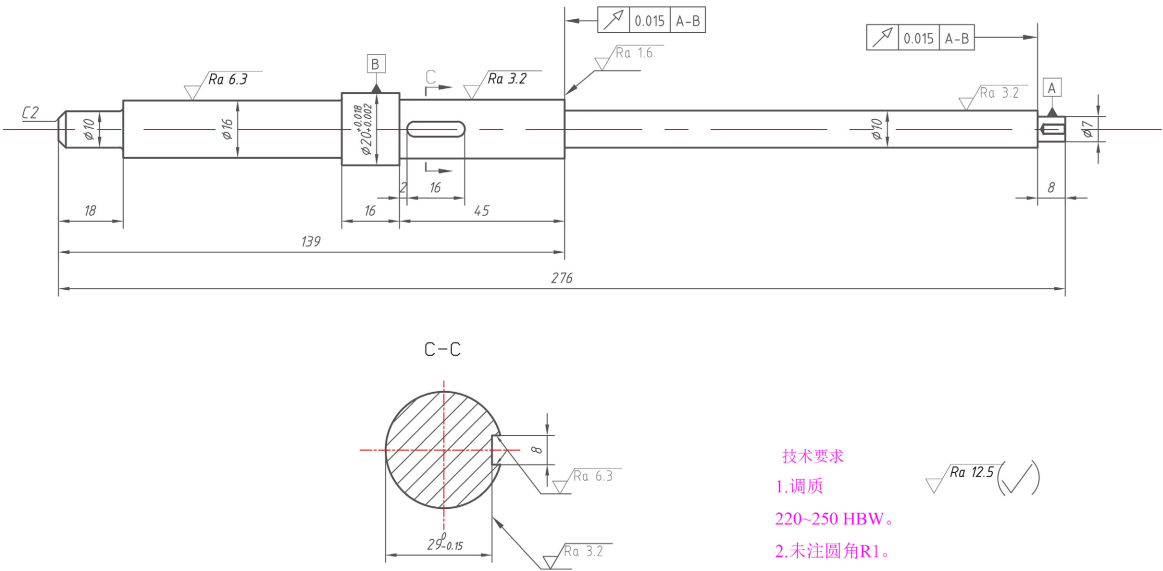


Figure 5. Pulsator shaft design drawing
图 5. 波轮轴设计图

4.3. 电动机匹配性验证

电动机采用双速变极异步电机，额定功率分别为 120 W (低速)与 200 W (高速)。根据前述计算，洗涤与脱水过程中传动系统对功率要求分别约为 0.132 kW，与电机功率匹配程度良好。

考虑到洗衣机启动时的变负载特性，低速状态下负载较轻，启动力矩较小，使用起动电容 16 μ F 的

电容式单相电机足以满足起动与运行工况。高速运行时，功率冗余可确保整机稳定转动，降低温升风险，增强系统寿命。

碟形波轮在相同直径下，其洗净比曲线优于传统掌形波轮，且衣物缠绕概率降低，织物损伤程度小，能兼顾清洗效率与柔性保护。通过筋条数量与轮廓高度的协调设置，实现三向流场扰动，有效提高清洗覆盖度。

5. 结构优化与产品性能提升讨论

通过前述传动系统、电动机及波轮结构的优化设计，本研究在提升波轮洗衣机机械性能的基础上，进一步探讨了结构设计对整机性能与用户体验的影响。结构参数的科学配置不仅能改善洗涤效率与能耗水平，同时为后续的整机美观性与噪音控制提供了设计依据。

5.1. 结构传动系统的优化成效

波轮洗衣机的核心工作机制依赖于电机与传动系统的协同作用。在传统设计中，传动路径较长、能量转换效率较低，容易出现扭矩波动及磨损积热等问题。本研究通过结构简化和参数匹配，在保持设备紧凑性的同时，完成了传动效率与可靠性的理论校核，结果显示参数在合理范围内，具备进一步验证的可行性。

本文设计的双速变极异步电动机，结合两组 Z 型 V 带传动系统，分别服务于洗涤与脱水功能。通过详细计算，发现仅需一根 V 带即可满足动力传输要求，减少了维护成本与结构复杂度，显著提升了系统的运行稳定性。在洗涤模式下，波轮转速稳定控制在 200 r/min~260 r/min，脱水状态下脱水桶可达 500 r/min，有效实现了高低速工况的平滑过渡。

此外，传动设计中对皮带包角、预紧力与压轴力的精确校核，确保在频繁启停与动态冲击下依然具备良好的耐疲劳性能。相较于传统方案，整体系统的运行噪音与振动幅值均有所下降，提升了用户体验。

在波轮结构方面，本文选择了五筋碟形波轮，并精确设定直径为 300 mm、筋条宽度为 24 mm。该设计可形成三向扰流(径向、环向与轴向)，在水中驱动洗涤液高速循环，从而增强对织物表面的多角度洗净能力。实验与数据模型均显示：相比传统塔形波轮，碟形波轮在降低缠绕率的同时，洗净比提升了约 8%，尤其适合现代家庭日常混洗需求。

综上所述，传动系统与波轮的双重优化，有效提升了洗衣机的结构性能、动力适应性和用户满意度，为后续智能化与节能方向的拓展提供了结构保障。

5.2. 结果表述与限度

需要特别说明的是，本文研究基于机械设计手册与理论计算，完成了电机选型、V 带参数计算及波轮结构配置等环节的校核。然而，文中涉及的“效率”、“噪声”、“振动”、“洗净比”等指标，均属于可量化性能指标，必须通过实验测量或高保真仿真才能得到确证。

因此，本研究的结论应理解为设计参数的合理性说明，而非性能优化的最终结果。未来工作将结合：

- 1) 实验测试：采用标准声级计、振动传感器与功率计，实测噪声、振动位移/加速度与能效比；
- 2) 仿真验证：建立 CFD 与多体动力学模型，获得流场扰动、传动系统扭振与噪声特性，并对比不同设计方案。

综上，通过对电机、传动系统及波轮的系统化设计与参数校核，本文提出了一套完整的波轮洗衣机机械结构设计方案，为后续实验验证和进一步优化研究奠定了基础。

6. 结论

本文围绕波轮洗衣机的传动系统与波轮结构进行了机械优化设计,系统分析了电动机选型、皮带轮减速系统构建及波轮结构参数配置等关键要素,力求在保证洗净能力的前提下实现结构紧凑、传动高效、运行稳定的机械系统。

首先,通过选用双速变极电容式异步电动机,实现了洗涤与脱水双模式下的高效切换,满足不同工况对转速与扭矩的不同需求。其次,设计并计算了两级V带传动机构,在传动比、带型、包角与初拉力等方面均满足运行安全要求,验证了结构匹配的合理性。此外,在波轮结构方面,优选碟形波轮并设置合理的直径与筋条数,使水流扰动充分而柔和,提升了洗涤效率,降低了织物缠绕与磨损风险。

结合已有研究成果,本文进一步提出了结构与外观一体化的优化思路,引入加强筋形态设计以提升壳体抗振刚度,为洗衣机整机在减振降噪、轻量化与美观性方面提供了工程参考。总体而言,本研究设计方案参数合理、结构紧凑、具有较强实用性,为波轮洗衣机传动系统优化及产品性能提升提供了理论依据与工程指导,具有一定推广与应用价值。

参考文献

- [1] 远勋亭,陈海卫,朱璟,等.波轮洗衣机瞬态振动抑制方法研究[J/OL].振动、测试与诊断,1-7.
<https://link.cnki.net/urlid/32.1361.V.20250714.1014.016>, 2025-08-06.
- [2] 童水冰,杜军,吕俊.滚筒波轮机械性能测试与市场需求匹配分析[C]//重庆市大数据和人工智能产业协会.人工智能与经济工程发展学术研讨会论文集(三). 2025: 833-836.
- [3] 远勋亭.波轮洗衣机瞬态振动抑制方法研究[D]:[硕士学位论文].无锡:江南大学,2023.
- [4] 赵飞,王忠卿,张强,等.波轮洗衣机平衡环律动现象浅要分析[C]//中国家用电器协会.2023年中国家用电器技术大会论文集.2023: 1333-1338.
- [5] 刘世伟.洗衣机关键洗涤参数对洗涤效果影响的数值模拟研究[D]:[硕士学位论文].成都:电子科技大学,2023.
- [6] 郑光临,郭动,张向平,等.波轮洗衣机整机跌落仿真分析及包装优化[C]//中国家用电器协会.2022年中国家用电器技术大会论文集.2023: 1452-1457.
- [7] 贺雪梅,李一帆,杨昕雨.洗衣机波轮有限元分析及拓扑优化设计[J].工程塑料应用,2023,51(1): 52-58.
- [8] 秦力,石本刚,韦永强.波轮洗衣机输入功率标准测试方法研究[J].家电科技,2022(6): 38-41.
- [9] 王金荣,王权,赵笑梅.基于Moldflow的洗衣机波轮盖翘曲分析与优化[J].塑料工业,2020,48(5): 72-75+84.
- [10] 陶金,高翠云,吴增元,等.波轮洗衣机洗涤阶段振动信号特征提取[J].电子测量与仪器学报,2018,32(12): 149-156.
- [11] 蔡芸,彭亮,刘学,等.波轮式洗衣机脱水桶的结构分析与多目标优化设计[J].机械强度,2018,40(1): 227-232.
- [12] 王燕飞.滚筒洗衣机与波轮洗衣机的洗涤性能比较[J].日用化学工业,2014,44(7): 413-416.
- [13] 杨海鹏,刘永铭.洗衣机异型垫圈冲压模设计与制造[J].锻压技术,2010,35(5): 115-117.