

健身发电洗衣机设计

黎楚婧*, 孟令启#

广州科技职业技术大学自动化工程学院, 广东 广州

收稿日期: 2025年2月21日; 录用日期: 2025年5月20日; 发布日期: 2025年6月3日

摘要

本文提出了一种创新的健身发电洗衣机设计方案, 致力于将健身运动与洗衣功能有机融合, 并秉持节能、环保与健康的核心设计理念。该方案通过将人体运动产生的机械能转化为电能, 并引入了飞轮技术, 在健身自行车传动系统不变的前提下, 进行了结构、储能等的改进。在设计过程中, 采用模块化设计思路, 将系统划分为动力转换模块、发电模块、洗衣模块以及控制系统。该方案具备节能环保、结构简洁以及操作便捷等显著优势。

关键词

健身发电, 节能环保, 洗衣机设计, 飞轮电池

Design and Research of Fitness Power Generation Washing Machine

Chujing Li*, Lingqi Meng#

School of Automation Engineering, Guangzhou Vocational University of Science, Guangzhou Guangdong

Received: Feb. 21st, 2025; accepted: May 20th, 2025; published: Jun. 3rd, 2025

Abstract

This paper proposes an innovative design scheme of fitness power generation washing machine, which is committed to the organic integration of fitness exercise and washing function, and adheres to the core design concept of energy saving, environmental protection and health. By converting the mechanical energy generated by human movement into electrical energy, and introducing the fly-wheel technology, the scheme improves the structure and energy storage of the fitness bicycle without changing the transmission system. In the design process, the system is divided into power con-

*第一作者。

#通讯作者。

version module, power generation module, laundry module and control system using modular design idea. The scheme has the advantages of energy saving, environmental protection, simple structure and convenient operation.

Keywords

Fitness Power Generation, Energy Conservation and Environmental Protection, Washing Machine Design, Flywheel Battery

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. 健身发电洗衣机的研究意义和背景

1.1. 课题研究意义

在当今信息化飞速发展的时代,技术的更新换代极为迅速。生活节奏的加快使人们对于织物洗涤的洗净力、智能化和绿色化的需求也越来越迫切[1]。

现有工业洗衣机的标准洗涤程序固定,不能修改和升级。随着新型布料的出现及某些企业的特殊要求,洗衣机中没有与之匹配的洗涤程序,严重限制了洗衣机的应用[2]。我们深知,要解决这些问题,需要提高洗衣机的能源利用效率。

当今共享经济发展迅速,特别是共享单车,大街小巷随处可见。可由于共享单车更新换代迅速,再加之许多公司倒闭,大量共享单车被废弃的问题十分严重。针对这一问题,本文设计出了基于共享单车改造而成的健身洗衣机。以皮带轮传动为基础,通过精巧的设计完成洗衣机正反双向滚动,使健身爱好者能够在健身的同时完成洗衣[3]。

1.2. 洗衣机的现状和前景

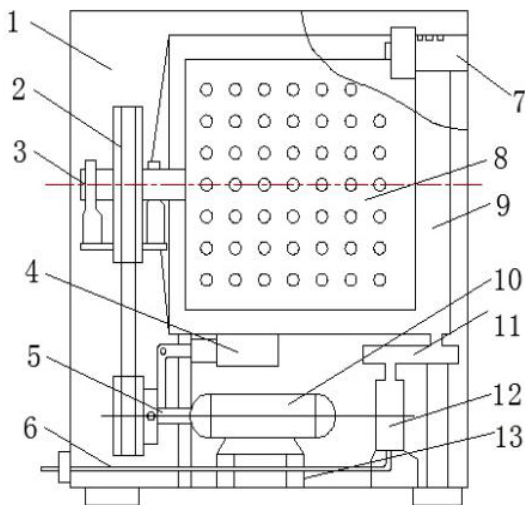
多年来,洗衣机主流品牌在“把衣物洗干净”这一命题下不遗余力,不断翻新技术手段,在提升洗净比的同时为洗衣机叠加多种健康功能,在追求科学、高效、安全、精细化的衣物健康洗护之路上加速奔跑。具备健康功能的洗衣机已经拥有较高的市场渗透率[4]。此外,各国政府对绿色能源技术的政策支持,也为该产品的推广提供了有利条件。2025年,洗衣机海外市场逐渐进入稳定增长期。GfK海外监测数据显示,受同比基数影响,2022年洗衣机海外市场(不包含北美及中国内地市场,下同)规模呈现同比微跌的态势。其中,零售量为6219万台,同比下降2.5%;零售额为260.8亿美元,同比下降2.9%。但是,洗衣机海外市场的整体规模较疫情前有明显的提升[5]。未来,健身发电洗衣机有望进一步智能化,通过物联网技术实现远程控制和自动调整工作模式。随着技术的成熟和成本的降低,该产品有望成为未来家电市场的一匹黑马。

2. 健身发电洗衣机的结构和参数选定

2.1. 健身发电洗衣机总体设计及工作原理

波轮式洗衣机在脱水过程中会因离心力而产生强烈的振动[6]。滚筒式洗衣机具有以下显著特点:水流作用较为温和,衣物不会发生缠绕现象,对洗涤物的磨损较小;洗涤范围广泛,适用于多种材质的衣

物,且洗涤容量较大;耗水量和所需洗涤剂用量较少,有助于节约资源;耐用性强:使用寿命较长,能够长期稳定运行;适合用于洗涤毛料织物、绒类材质、绸类织物以及毛类织物等较为精细的衣物材质基于上述分析,本设计选择滚筒洗衣机(如图 1)作为研究对象。其工作原理如下:衣物通过滚筒上方的弧形盖放入滚筒内,洗涤液从盛水桶经滚筒上的小孔流入,浸泡衣物。在洗涤过程中,电动机驱动滚筒进行正反转运动。滚筒内壁的部件带动浸湿的衣物向上运动,当衣物被提升到一定高度时,其自身重力超过圆周力的垂直向上的分量,衣物随即落下。这一过程不仅实现了衣物的摔打效果,还使衣物在底部与水流、洗涤液和筒壁发生摩擦,从而去除污渍,达到洗净衣物的目的。



注: 1. 外壳; 2. 传动皮带; 3. 轴承座; 4. 电磁线圈; 5. 离合器; 6. 排水管; 7. 控制器; 8. 滚筒; 9. 接水桶; 10. 电动机; 11. 过滤器; 12. 排水泵; 13. 减震器。

Figure 1. Schematic diagram of the drum washing machine structure
图 1. 滚筒洗衣机结构简图

2.2. 初步设计要求

设计的新型洗衣机在清洗时功耗低,甚至不用洗涤剂,既经济又环保,具有较强的实用性[7]。设计目标是开发一种能够将健身运动产生的能量转化为电能,并用于驱动洗衣过程的洗衣机。在现有共享洗衣机的基础上,提供卫生健康和便携的用户体验。在设计过程中,对共享洗衣机现有市场和用户需求进行了分析,从用户需求角度出发,提出具体的设计导向[8]。该设计能够实现以下目标:实现洗涤功能,并支持正反转操作;实现衣物的脱水功能,达到预期的良好效果;设计结构尽可能简洁,以节约成本。

3. 动力转换与发电模块设计

3.1. 动力转换结构设计

机械动力输入装置

本产品主要使用一种蹬踏式健身洗衣机的设计,重点在于如何通过蹬踏动作将人力转化为洗衣机的动力[9]。输入部分采用脚踏自行车,通过皮带或链条实现远距离的动力传递,将动力传输至洗衣机内部。随后,利用齿轮系统实现变速和换向操作,最终驱动洗衣桶在竖直方向上转动。

根据自行车所占空间,以及工作时稳定性,设计长 1500 mm,宽 600 mm、支柱高 220 mm 的工字型底座(见表 1)。为防止自行车晃动,在支撑架上面焊接了 4 个地脚固定螺栓,为 4×M16×50 为固定机械控

制箱在底座的钢管外侧焊接一个固定地板, 长宽尺寸为 580 mm × 110 mm, 用于固定地板支撑重量、增加抗压能力。为了人们能舒适地健身, 自行车的车座也需要进行改进, 只要能达到人体感到舒适、自然放松的效果即可。

Table 1. Seat size parameter table
表 1. 车座尺寸参数表

相对高度/cm	宽度/cm	倾角/cm	材料
相对底座约 20~24	约 25	与座面约 100°	较轻且贴肤的皮质

3.2. 发电模块设计

3.2.1. 飞轮电池的设计

本设计在自行车传动部分上引入了飞轮储能技术进行创新(如图 2), 在设计飞轮时, 需要兼顾其健身和洗衣功能, 确保飞轮既能提供足够的运动阻力, 又能高效地将动能转化为洗衣机所需要的机械能。通过蹬健身自行车作为动力输入部分, 再带动飞轮转动进行储存能量, 再通过发电机发电给洗衣机供电, 优化改进后的设计功能也远远高于原来的洗衣机功能。



Figure 2. Original bicycle flywheel diagram
图 2. 原自行车飞轮图

因洗衣机环境潮湿, 飞轮需进行防锈处理, 同时为了增加惯性, 提供稳定的运动阻力, 本设计使用纤维 T-700 作为飞轮转子的材料。查资料可得: 储能密度 $e = 2000 \text{ kJ/kg}$, 密度 $\rho = 1600 \text{ kg/m}^3$, $\sigma = 4.2 \text{ Gpa}$, 飞轮转子为有厚度的圆环, 其体积为:

$$V = (\pi r_1 - \pi r_2) \quad (1)$$

上式 r_1 为飞轮外圆半径; r_2 为飞轮内圆半径; h 为飞轮的厚度。

根据洗衣机容量和用户需求设计确定飞轮外圆半径 $r_1 = 500 \text{ m}$, 厚度 $h = 10 \text{ mm}$, 由于重力越大, 惯性越大, 阻力越大, 考虑用户体能, 确定飞轮转子质量 $m = 10 \text{ kg}$, 密度 $\rho = 1600 \text{ kg/m}^3$, 由此得到飞轮转子内圆半径:

$$r = \sqrt{r_1 - \frac{m}{\rho \times h \times \pi}} = \sqrt{0.6^2 - \frac{10}{1600 \times 0.01 \times 3.14}} = 400 \text{ mm} \quad (2)$$

在设计飞轮的同时, 应该对其进行应力分析, 确保满足强度要求。本设计的飞轮形状是有轮辐的圆盘状, 对此飞轮所承受的最大离心应力为:

$$\sigma_{\theta} = \sigma_{\gamma} = \frac{3+\nu}{8} \rho \omega^2 r^2 \quad (3)$$

其中, ρ 为材料密度, ν 为泊松系数。

考虑铸件的壁厚和相应的强度值, 所选飞轮材料为 HT250。查资料可得, 弹性模量 $E = 138 \text{ GPa}$, 强度极限, $\sigma_b = 250 \text{ MPa}$, 泊松比为 $\nu = 0.156$, 密度 $\rho = 7.28 \text{ g/cm}^3$, 飞轮转动角速度 $\omega = 900 \text{ rad/s}$, 飞轮外圆半径 $r = 600 \text{ mm}$, 可得:

$$\sigma_{\theta} = \sigma_{\gamma} = \frac{3+0.156}{8} \times 7.28 \times 900^2 \times 0.6^2 \approx 0.84 \text{ MPa} \quad (4)$$

根据计算可以得到, $\sigma_{\theta} \leq \sigma_{\gamma}$, 故可以达到强度要求。

轴的设计基于飞轮转子结构、电机的布局结构而定。轴承需选用高质量轴承, 减少摩擦, 确保结构稳定。本设计选取 LT3 型弹性套柱销联轴器(如图 3), 选用轴的质料采用 45 钢, 调质。



Figure 3. LT3 type elastic sleeve pin coupling
图 3. LT3 型弹性套柱销联轴器

3.2.2. 发电机的选择

发电机的选择发电模块的核心是发电机, 其作用是将机械能转化为电能。根据健身发电洗衣机的设计需求, 发电机选择交流发电机(如图 4)。



Figure 4. Permanent magnet generator
图 4. 永磁发电机

能量存储与管理在健身运动过程中产生的多余电能可以通过储能装置(如蓄电池)储存起来, 以备后续使用。此外, 发电模块还需要配备能量管理系统, 用于监测和控制电能的存储和使用, 确保系统的稳定运行。

发电机所需工作功率:

$$P_w = \frac{T_n}{9550} = \frac{171.6 \times 8600}{9550} = 155 \text{ w} \quad (5)$$

这里对蓄电池进行简单计算。假设放电 1 小时, 配合洗衣机的相关参数, 计算出负荷电流, 根据外界条件的相关数据, 由计算公式得:

$$Q \geq \frac{KIT}{\eta[1+a(t-25)]} = \frac{1.25 \times 13.68 \times 1}{0.45[1+0.008(5-25)]} = 45.3 \text{ AH} \quad (6)$$

上式 Q 为蓄电池的容量(AH); K 为安全系数, 取 1.25; I 为负荷电流(H); T 为放电小时数(H); η 为放电容量系数; t 为电池在最低温度下的值(这里按 5℃考虑); a 为电池温度系数(1/℃)。

4. 洗衣机模块设计

洗衣机结构和设计

洗衣机设计要求及指标

设计洗衣机滚筒是必需的一步。本设计在洗衣机机身外壳加入控制模块: 显示屏及控制面板。显示屏可显示运动数据(如转速、消耗卡路里)和洗衣状态(如剩余时间)。控制面板允许用户调节阻力、选择洗衣模式。链轮采用了多级链轮设计, 用户可通过变速装置选择不同档位, 调节运动阻力。

设计洗衣机滚筒也需考虑到滚筒的容积, 计算其容量。滚筒计算如下, 取洗衣机滚筒内径 $R = 200 \text{ mm}$, 按衣服充满滚筒容积的 2/3, 近似取滚筒长度 $L = 500 \text{ mm}$, 则洗衣机滚筒的体积为

$$V = \pi R^2 L = 3.14 \times 20^2 \times 50 = 62800 \text{ cm}^3 \quad (7)$$

力学性能测试结果表明, 塑料外桶破碎料的拉伸强度、弯曲强度和冲击强度均与市售聚丙烯-玻纤复合材料的强度接近[10]。通过上述分析, 本设计洗衣机滚筒采用不锈钢 0Cr18Ni16Mo5 的材料。

取箱体侧面的厚度为 8 mm, 取箱体下底面的厚度为 10 mm, 箱体上底面的厚度为 8 mm。

则箱体的质量为:

$$m = 7.8 V \approx 98 \text{ kg}$$

洗衣机滚筒的速度、角速度及加速度:

$$n = 1000 \text{ r/min}$$

$$\omega = \frac{m}{30} = \frac{3.14 \times 1000}{30} = 104.67 \text{ rad/s} \quad (8)$$

$$v = R_{\text{内}} \omega = 20 \times 104.7 = 2093.33 \text{ cm/s} \quad (9)$$

$$\alpha = \frac{\omega}{t} = \frac{104.7}{3} = 35 \text{ rad/s}^2 \quad (10)$$

5. 健身洗衣机设计实验

5.1. 实验设备及材料

1. 健身装置: 选用常见的健身自行车, 在其车轮转动轴处连接一台定制的小型发电机, 以此将健身产生的机械能转化为电能。发电机输出电压设为 36 伏特交流电, 电流为 1.5 安培, 该参数与后续适配的洗衣机电压范围相匹配。

2. 洗衣机：选择一台额定功率为 50 瓦、工作电压为 220 伏特的小型半自动洗衣机。其主要由洗衣桶、电机、传动装置等部件构成。
3. 电路连接设备：准备电线、插头、插座、稳压器以及逆变器(当发电机输出直流电，而洗衣机需交流电工作时使用)。稳压器用于稳定发电机输出电压，避免电压波动对洗衣机造成损害；逆变器则负责将直流电转换为交流电。
4. 测量仪器：配备电能表，用于测量健身过程中产生并储存的电能；在健身自行车车轮处安装转速表，用以测量车轮转动速度，间接反映健身者运动强度；同时准备定时器，用于记录洗衣机洗衣时间。
5. 衣物及洗涤用品：准备一定量常见材质的衣物，如棉质、化纤等，并配备适量洗涤剂。

5.2. 实验步骤

1. 设备连接与调试：将改装后的健身自行车与发电机稳固连接，确保车轮转动能够有效带动发电机运转。使用电线将发电机输出端与稳压器输入端相连，稳压器输出端连接到逆变器(若需)输入端，逆变器输出端连接洗衣机插头。仔细检查各连接部位是否牢固，电路是否通畅。开启发电机和稳压器，空载运行一段时间，观察电压输出是否稳定在洗衣机工作电压[X]伏特左右。同时，调试转速表和定时器，确保能准确测量和记录数据。
2. 健身发电并储存电能：实验者坐在健身自行车上，以适中速度开始踩踏。实验者可根据自身身体状况调整踩踏速度，保持相对稳定的运动强度。转速表实时监测车轮转速，记录不同时间段的转速数据。与此同时，电能表开始记录发电机产生并储存到储能设备(如电池组)中的电能。持续健身发电 30 分钟，期间密切观察发电机、稳压器、逆变器等设备运行情况，确保无异常发热、噪音等问题。
3. 洗衣机洗衣操作：将准备好的衣物放入洗衣机洗衣桶，按照衣物量加入适量洗涤剂。设置洗衣机为正常洗衣模式，选择合适洗衣程序(如标准洗)。开启定时器，记录洗衣开始时间。将储存健身发电电能的电池组连接到洗衣机电源，启动洗衣机。观察洗衣机电机启动情况，以及洗衣过程中滚筒转动是否正常。洗衣过程中，注意观察洗衣机运行状态，包括有无异常震动、噪音等。
4. 数据记录与分析：在整个洗衣过程中，每隔 5 分钟记录一次电能表剩余电量，以了解洗衣机运行中的耗电量(见表 2)。同时，记录洗衣机完成整个洗衣程序所需时间。洗衣结束后，通过观察衣物上污渍残留情况、对比洗净前后衣物清洁度等方式，检查衣物洗净程度。根据记录的转速数据，计算实验者在健身发电过程中的平均转速，分析运动强度与发电效率的关系。结合电能表数据，计算健身发电驱动洗衣机完成一次洗衣所需的平均发电量，评估这种健身发电洗衣方式在实际应用中的可行性和能效水平。

Table 2. Experimental data for fitness washing machine design

表 2. 健身洗衣机设计实验数据

	第一个 5 分钟测值	第一个 5 分钟测值	第一个 5 分钟测值	第一个 5 分钟测值
电能表剩余电量	90%	82%	75%	63%
衣物清洁度	50%	75%	88%	98%

5.3. 实验分析

- 从设计结构看：
- (1) 传动形式：该洗衣机利用变速链轮实现增减速，相较于其他健身洗衣机，其结构更为简单。通过简单的齿轮传动带动滚筒转动，成功实现了洗涤与甩干一体化。这种设计在保证功能实现的同时，简化了机械结构，降低了故障发生的概率，也便于日常的维护与修理。例如，在一些传统健身洗衣机中，为

实现洗涤和脱水功能, 采用了较为复杂的离合装置, 不仅结构复杂, 还容易出现故障, 而该洗衣机的变速链轮和简单齿轮传动设计则有效避免了这些问题。

(2) 控制系统: 该洗衣机实现了智能化控制进排水阀门, 能精确设计洗衣时间, 还可实时监控人的运动参数。借助先进的传感器和智能控制芯片, 系统可根据衣物重量、材质等因素, 自动调整进水量和洗衣时间, 实现精准洗涤。同时, 通过与运动监测设备连接, 如智能手环等, 实时获取用户的运动数据, 包括运动时长、消耗热量、运动强度等, 为用户提供全面的健身和洗衣数据反馈。例如, 当用户选择强力洗涤模式时, 系统会根据监测到的衣物量和脏污程度, 自动延长洗涤时间和加大进水量, 以确保洗涤效果; 在用户运动过程中, 系统能实时将运动数据同步显示在洗衣机的操作面板上, 让用户随时了解自己的运动状态。

从整体性能来看, 该洗衣机实现了洗衣与健身一体化, 具有节能环保、操作简单、实用性强、结构合理的特点, 同时实现了控制系统智能化, 克服了传统健身洗衣机的诸多不足。在节能环保方面, 由于利用人力驱动洗衣机运转, 减少了对外部电能的依赖, 降低了能源消耗, 符合当下绿色环保的理念。操作简单体现在用户只需按照操作面板上的提示进行简单操作, 即可完成洗衣和健身过程, 无需复杂的学习过程。实用性强表现为它既满足了用户日常洗衣的需求, 又为用户提供了一种便捷的健身方式, 特别适合那些时间紧张, 无法专门抽出时间去健身房锻炼的人群。其合理的结构设计保证了洗衣机在运行过程中的稳定性和可靠性, 延长了使用寿命。而智能化的控制系统更是让用户享受到了便捷、高效、个性化的洗衣和健身体验, 解决了传统健身洗衣机不能自动进水、排水以及无法将甩干与洗涤功能集成的问题, 为用户带来了全新的洗衣和健身一体化解决方案。

6. 结语

本文设计了滚筒洗衣机外壳冲压自动化生产线, 并且得到了实际应用。叙述了产品冲压工艺、设备选型以及控制系统。分析了冲压生产线合理规划布局的重要性, 积累了自动化集成关键技术[11]。对健身洗衣机进行了全面概述, 详细介绍了其结构、工作原理以及优缺点。进一步地, 文章对健身洗衣机的几个关键组成部分进行了深入分析与设计。基于体验理论对智能洗衣机软件用户界面设计过程中的功能需求设计、交互逻辑设计、视觉感知设计以及信息架构设计等进行研究, 旨在为体验理论下智能洗衣机软件用户界面设计研究水平的不断提高提供一定思考[12]。

新冠肺炎疫情的出现无疑为洗衣机行业的发展蒙上了阴影, 经历此次疫情大考, 整个洗衣机行业展现出难得的后劲[13]。因此, 高效且环保的健身洗衣机的研发不仅具有重要的理论价值, 还具备显著的实际应用价值。随着人们生活水平的提升, 健身洗衣机作为一种新型生活工具, 凭借其独特的优势, 将更好地满足未来生活的需求, 并在未来的生活中发挥重要作用。

参考文献

- [1] 刘炳驿, 吴波, 王鑫超, 朱长杰, 唐世杰, 邹宇. 多功能超强洗净力洗衣机设计研究[J]. 中国高科技, 2020, 24(22): 28-30.
- [2] 王海涛, 雷云, 陈建浩, 黄浩锦, 何钰诗, 许杨燊. 工业洗衣机标准洗涤程序的模块化设计方法[J]. 大众标准化, 2024, 24(20): 4-6.
- [3] 姚仕骐. 基于废弃共享单车的健身洗衣机实用化设计及改造[J]. 电子制作, 2019(3): 116-118.
- [4] 赵明. 戳中消费痛点, 看洗衣机如何出色履行健康使命[J]. 电器, 2023, 12(3): 16-18.
- [5] 孙薇. 洗衣机海外市场结构重塑[J]. 电器, 2023, 12(3): 29-31.
- [6] 陆思宇, 胡振东. 洗衣机液体平衡环仿真模拟[J]. 力学季刊, 2020, 41(6): 110-115.
- [7] 黄晓林, 陈润东. 基于超声波的便携式洗衣机设计与实现[J]. 机电工程技术, 2020, 49(8): 193-195.

-
- [8] 李昭蓉, 侯舒棋, 杨芊语. 以卫生为导向的共享洗衣机设计[J]. 设计, 2020, 33(3): 26-27.
 - [9] 卢卫萍, 戴成军. 新型节能健身洗衣机的设计与研究[J]. 大科技, 2020(27): 162-163.
 - [10] 陆宇升, 杨志鸣, 郑倩南, 郝文涛, 汤文明. 滚筒洗衣机塑料外筒成分分析与性能检验[J]. 塑料助剂, 2024, 5(1): 29-35.
 - [11] 项余建, 仲太生, 詹俊勇. 滚筒洗衣机外壳冲压自动化生产线的设计应用[J]. 锻压装备与制造技术, 2020, 6(2): 25-27.
 - [12] 经顺林, 陈红, 蓝雯静. 基于体验理论的智能洗衣机软件用户界面设计[J]. 中国高新科技, 2021, 24(1): 125-126.
 - [13] 张媛珍. 健康、智能、创新, 洗衣机市场进阶正当时[J]. 电器, 2021, 12(3): 17-19.