

# 第九届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会  
电话：0471-4969085

邮编：010021

网址：[www.tzmcm.cn](http://www.tzmcm.cn)  
Email: 2016@tzmcm.cn

## 第九届“认证杯”数学中国

### 数学建模网络挑战赛

#### 承 诺 书

我们仔细阅读了第九届“认证杯”数学中国数学建模网络挑战赛的竞赛规则。

我们完全明白，在竞赛开始后参赛队员不能以任何方式（包括电话、电子邮件、网上咨询等）与队外的任何人（包括指导教师）研究、讨论与赛题有关的问题。

我们知道，抄袭别人的成果是违反竞赛规则的，如果引用别人的成果或其他公开的资料（包括网上查到的资料），必须按照规定的参考文献的表述方式在正文引用处和参考文献中明确列出。

我们郑重承诺，严格遵守竞赛规则，以保证竞赛的公正、公平性。如有违反竞赛规则的行为，我们接受相应处理结果。

我们允许数学中国网站([www.madio.net](http://www.madio.net))公布论文，以供网友之间学习交流，数学中国网站以非商业目的的论文交流不需要提前取得我们的同意。

**我们的参赛队号为：**

**参赛队员（签名）：**

队员 1：

队员 2：

队员 3：

**参赛队教练员（签名）：**

**参赛队伍组别（例如本科组）：**本科组

# 第九届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会  
电话：0471-4969085

邮编：010021

网址：[www.tzmcm.cn](http://www.tzmcm.cn)  
Email: 2016@tzmcm.cn

---

## 第九届“认证杯”数学中国

### 数学建模网络挑战赛

#### 编号专用页

参赛队伍的参赛队号：（请各个参赛队提前填写好）：4919

竞赛统一编号（由竞赛组委会送至评委团前编号）：

---

竞赛评阅编号（由竞赛评委团评阅前进行编号）：

# 第九届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会  
电话：0471-4969085

邮编：010021

网址：[www.tzmcm.cn](http://www.tzmcm.cn)  
Email: 2016@tzmcm.cn

## 2016 年第九届“认证杯”数学中国 数学建模网络挑战赛第二阶段论文

题 目 基于不倒翁原理对洗衣机模型的优化

关 键 词 不倒翁原理 MATLAB Photoshop 受力

分析 微分方程 模糊综合评价

### 摘 要：

“洗衣机”问题是人们关注的一个生活热点问题。用户总是希望洗衣机能尽量提高净衣效能并且能够尽量减小洗涤过程对衣物的机械损伤，本文针对这个问题，首先通过建立函数模型得出了净衣效能与对衣物的机械损伤呈负相关关系，而后在这个负相关关系、不倒翁原理、波轮式及滚筒式工作方式的基础上，在一定程度上结合了波轮式及滚筒式洗衣机的优点，本文设计出了一款新型不倒翁式洗衣机，并给出了关键的几何及运转参数。

首先，本文给出了不倒翁式洗衣机的设计方案，并利用Photoshop<sup>[1]</sup>绘制出了简图。对于不倒翁式洗衣机，本文通过绘制的波轮外形、水流形状、洗衣机的转速周期图对给出的几个关键的几何及运转参数分别进行了分析，最终得出：改变波轮的形状、缩短反转周期、采用正反方向旋的旋转方式、增大转速可在一定程度上提高净衣效能且减小对衣物的机械损伤。其次，本文通过利用微分方程的思想针对洗衣机的净衣效能与对衣物的机械损伤这两个因素之间的关系建立了一个函数模型，得出了洗衣机的净衣效能与对衣物的机械损伤呈负相关关系，并利用MATLAB[2]绘制出了其图像以便观察。在此负相关关系的基础上，本文给出了不倒翁式洗衣机的工作原理并对其工作方式进行了说明。其中，主要理念为：在波轮式洗衣机工作方式的基础上，即能够达到净衣目的，从其他方面减小洗涤过程对衣物的机械损伤。主要过程有：让洗衣机外部同内部涡轮共同运动，通过他们的相对运动以缓冲洗涤过程中的摩擦进而减小对衣物的机械损伤。另外，在洗衣机从倾斜状态恢复至竖直静止状态时，让其停滞一段时间以加大衣物对洗涤剂与水的再次吸收进而在一定程度上增大净衣效能。而后，本文将设计的不倒翁式洗衣机同波轮式、滚筒式洗衣机进行了分组对比分析及综合对比分析，展现了本文模型的创新性、实用性、可行性。

最后，本文对模型进行了优化。本文总结出了模型优缺点，并针对此提出了通过改变外界因素使洗衣机能够尽量提高净衣效能和减小洗涤过程对衣物的机械损伤；对洗衣机的底座思考；利用模糊综合评价对不同洗衣机进行分析进而改进洗衣机；将模型应用于工业促进工业与经济发展。

参赛队号：4919

所选题目：A 题

参赛密码 \_\_\_\_\_  
(由组委会填写)

# 第九届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会  
电话：0471-4969085

邮编：010021

网址：[www.tzmcm.cn](http://www.tzmcm.cn)  
Email: 2016@tzmcm.cn

---

## Abstract

The problem of “Washing machine” is the life issues that people focus on. Users always hope that washing machines can try to increase Net cloth efficiency and try to reduce the Mechanical damage of clothing from washing process, aiming at the problem, we first got that there was a negative linear correlation between Net cloth efficiency and Mechanical damage of clothing by setting up function model, on the basis of this negative linear correlation, Principle of “daruma”, the work way of uisator washing machine and the drum washing machine, combining the advantages of the work way of uisator washing machine and the drum washing machine to a certain extent, we have designed A new “daruma” type washing machine and given the key geometric and operating parameters.

Firstly, we have given the designing scheme of a “daruma” type washing machine, drawn the diagram by using Photoshop. For a “daruma” type washing machine, we analyzed the key geometric and operating parameters which is from drawing Pulsator appearance, the shape of water, the Speed cycle diagram of washing machine, finally got: changing the shape of the pulsator, reducing the cycle of the inversion, using the rotation of the positive and negative direction spin, increasing the speed can increase Net cloth efficiency and reduce the Mechanical damage of clothing from washing process to a certain extent. Secondly, we have set up function model of Net cloth efficiency and Mechanical damage of clothing by using the ideas of differential equation, from which we got that there was a negative linear correlation between them, then we drew its image by using MATLAB to observe easily. On the basis of this negative linear correlation, we have given the working principle of a “daruma” type washing machine and explained its work way. Among them, the main idea was: On the basis of the work way of uisator washing machine, Which can achieve the purpose of cleaning clothes, reducing the Mechanical damage of clothing from washing process in other aspects. The main process were: Let the external washing machine move with internal turbine together to buffer the friction in the process of washing and reduce the Mechanical damage of clothing from washing process by these relative motion. In addition, when the washing machine restored from the tilt state to the vertical stationary state, let it stagnate for a period of time to increase clothes absorbing detergent and water again so that it can increase Net cloth efficiency to a certain extent. Then, we have compared a “daruma” type washing machine designed by us with uisator washing machine and the drum washing machine grouping and comprehensively, which has shown the model’s innovation, practicability, feasibility.

Finally, we have optimized our model. We have summarized the advantages and disadvantages of our model, for which we put forward that to increase Net cloth efficiency and reduce the Mechanical damage of clothing from washing process as far as possible by changing external factors, think deeply about the base

# 第九届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会  
电话：0471-4969085

邮编：010021

网址：[www.tzmcm.cn](http://www.tzmcm.cn)  
Email: 2016@tzmcm.cn

---

of a "daruma" type washing machine ,to analyze the different washing machine by using Fuzzy comprehensive evaluation to improve the washing machine, put the model apply into industrial to promote the development of industry and economy.

Key Words: Rinciple of "daruma"    MATLAB    Photoshop    Stress analysis  
The differential equation    Fuzzy comprehensive evaluation

---

1. 问题重述.....	1
1.1 问题背景.....	1
1.2 需要解决的问题.....	1
2. 问题分析.....	1
3. 模型.....	2
3.1 基本假设.....	2
3.2 模型的建立与求解.....	2
3.2.1 参数分析.....	2
3.2.1.1 符号说明.....	2
3.2.1.2 几何及运转参数.....	3
3.3.2 工作方式分析.....	6
3.3.2.1 符号说明.....	6
3.3.2.2 工作过程.....	6
3.3.3 不倒翁式洗衣机与波轮式、滚筒式的对比.....	10
4. 模型优化.....	14
4.1 模型的优缺点.....	14
4.2 模型的推广及应用.....	14
5. 参考文献.....	15
6. 附录.....	15

## 1. 问题重述

### 1.1 问题背景

随着我国经济快速发展，人民生活水平的不断提高，家用电器已成为生活中必不可少的一部分。其中，洗衣机是普及率极高的家用电器。中国洗衣机业经过20多年的发展，已成为一个较成熟的产业，与其他家电产品相比较，这一产业处于一个相对平稳并具有优势的环境，它的使用率也在逐年增大。家用洗衣机从工作方式来看，有波轮式、滚筒式、搅拌式等若干种类。在此基础上，各厂商也推出了多种具体方案，设计了不同的几何及运转参数，诸如波轮的外形、内筒的内壁形状、旋转方式和转速等。不同设计方案的净衣效能和对衣物的损伤程度各不相同。在第一阶段问题中，我们通过建立物理模型为衡量洗衣机的净衣效能和对衣物的损伤程度建立了合理的指标，并通过研究这些指标，我们估算出波轮式洗衣机的净衣效能相对较好但对衣物的损伤程度大；滚筒式洗衣机对衣物的损伤程度相对较小但净衣效能差。波轮式洗衣机和滚筒式洗衣机各有优缺点，如果二者结合，会使洗衣机达到更好的预期效果，所以有必要对以下问题进行研究。

### 1.2 需要解决的问题

通过建立合理的数学模型，在第一阶段问题中的物理模型的基础上，优化典型的洗衣机并给出一份设计方案，使其能尽量提高净衣效能并且能够尽量减小洗涤过程对衣物的机械损伤。在方案中说明其工作方式，可以使用或改进常见的波轮式、滚筒式、搅拌式等，也可以设计一个全新的工作方式，同时，给出关键的几何及运转参数。

## 2. 问题分析

洗衣机的使用普及率极高，人们使用洗衣机是为了清洗衣物。但是凡事都有两面性，从空间与时间上考虑，在达到清洁效果的同时，衣物的损伤、水电的耗费、时间的浪费等副作用也随之而来。在第一阶段问题中，我们通过建立合理的物理数学模型估算出波轮式洗衣机的净衣效能相对较高，但其对衣物的损伤程度相对较大；而滚筒式洗衣机对衣物的损伤程度相对较小，但其净衣效能相对较低。可见，鱼和熊掌不能兼得，若一个洗衣机既净衣效能高，又对衣物的损伤程度低，这是一个理想化的洗衣机，并不是我们今天要建模的对象。由题，用户总是希望洗衣机能尽量提高洗衣效能，并且能够尽量减小洗涤过程中对衣物的机械损伤，在第一阶段的问题中我们定义对衣物的损伤程度为衣物破损、有色差、变形等达到的状况，依题意，本文在第二节阶段设计的工作方式中只需考虑尽量减小洗衣机对衣物的机械损伤，即摩擦导致的衣物破损，色差、变形等损伤情况可不考虑。因此，这就需要我们利用数学建模的思想来建立一个合理的模型从而满足用户的需求。

以电脑评判为例，用户想要购买一台电脑，他关心电脑的以下几个指标：“运算功能（数值、图形等）”、“存储容量（内、外存）”、“运行速度（CPU、主板等）”、“外设配置（网卡、调制解调器、多媒体部件等）”、“价格”等。同理，用户想要购买洗衣机便会关心净衣效能、对衣物的损伤程度等指标。而对衣物的机械损伤受众多因素影响，难以进行定量分析。故为简单起见，我们应在波轮式洗衣机工作方式的基础上，以净衣为前提，结合滚筒式洗衣机的工作方式，相应从其他方面减小对衣物的机械损伤。而洗涤过程对衣物的机械损伤的主导因素便是摩擦。那么怎样减小这些摩擦呢？如果不能从洗衣机本身内部减少摩擦，那是不是可以考虑从外部减少呢？如果将不倒翁的倾斜不倒性质应用在洗衣机上，与原有洗衣机静立不懂相比，让洗衣机在洗涤过程中一同

做与波轮同向的倾斜律动，以这种相对运动来缓冲洗衣机内部对衣物的机械摩擦，同时，这种洗衣机本身与其内部波轮共同运动的相对运动也会在一定程度上增大衣物与洗涤液和水的接触面积及其吸收程度，最终这种工作方式便是一款新型的家用洗衣机的工作方式，根据此工作方式，洗衣机能尽量提高洗衣效能，并且能够尽量减小洗涤过程中对衣物的机械损伤，且优化的结果便是波轮式与滚筒式洗衣机的优点在一定程度下的最优组合。

3. 模型

3.1 基本假设

- (1) 由题，为简单起见，只考虑漂洗过程，不考虑漂洗与脱水过程。
- (2) 依题意，综合第一阶段对衣物的损伤程度的定义，只考虑洗衣机对衣物的机械损伤，即摩擦导致的衣物破损，色差、变形等损伤情况忽略不计。
- (3) 在整个洗涤过程中，将衣物与水视为一个整体。
- (4) 假设洗衣过程中水量、衣物体积、洗涤液浓度不变。
- (5) 在整个洗涤过程中，水温恒定。
- (6) 洗衣机开盖处密封性良好且洗涤过程中水不溢出。
- (7) 洗衣机有底座且固定，在洗涤过程中洗衣机只原地倾斜摆动。

3.2 模型的建立与求解

在第一阶段问题中，我们得到，波轮式与滚筒式洗衣机的工作方式。但是，波轮式洗衣机的净衣效能相对较高，但其对衣物的损伤程度相对较大；而滚筒式洗衣机对衣物的损伤程度相对较小，但其净衣效能相对较低。两种洗衣机的工作方式各有优点，如果二者结合，会使洗衣机达到更好的预期效果。于是，本文为此设计了一款新型不倒翁式洗衣机。经查阅<sup>[1]</sup>，不倒翁的原理是：底部零件重量恒大于其空壳重量，以保证重心位置始终位于底部且重心越低越稳定。本文利用不倒翁倾斜却不倒的特性设计的方案中洗衣机的工作方式为：基于不倒翁原理<sup>[1]</sup>和波轮式洗衣机的工作方式，结合滚筒式洗衣机的工作方式，波轮在电动机的带动下正反旋转的同时，外部不倒翁洗衣机也随之倾斜并同方向律动既缓冲内部衣物间、衣物与桶壁间的摩擦进而在一定程度上减小对衣物的机械损伤，又在内部外部一起旋转律动的同时，通过相对运动加大衣物与洗涤液的接触，从而在一定程度上提高净衣效能，达到洗涤目的。其中，本文利用 Photoshop<sup>[2]</sup>绘制出的不倒翁式洗衣机简图如下：

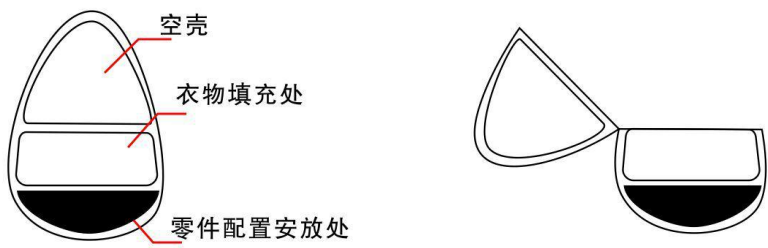


图 1：不倒翁式洗衣机简图

3.2.1 参数分析

3.2.1.1 符号说明

表 1 符号说明

符号	说明
----	----



$n$	波轮的转速
$v$	波轮的线速度
$r$	波轮的半径
$\eta$	衣物的磨损率
$\alpha$	指数
$V_{\max}$	波轮边缘处的最大线速度

3.2.1.2 几何及运转参数

首先，为了解决衣物在洗衣桶内缠绕的现象，排除洗涤液表面的泡沫，消除洗涤液中的线屑等杂物，提高衣物的净衣效能，本文给出洗衣机相关的几何参数及运转参数<sup>[3]</sup>，具体如下：

一、波轮的形状

本文将波轮设计成外表向下凹陷，上面总共有六个大叶片的形状，并在此基础上，增大了波轮的直径，降低了波轮的转数<sup>[4]</sup>。波轮外形及水流形状如下图所示：

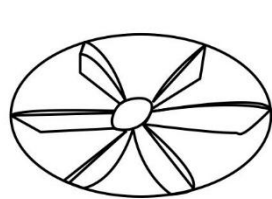


图 2：波轮的外形

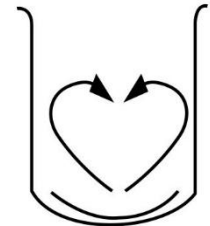


图 3：水流形状

增大波轮的直径，可以使其对洗涤物施加的机械力相对较柔和，从而降低衣物在洗涤过程中的缠绕程度，进而提高洗涤的均匀度。

二、反转周期

洗衣机的反转周期，是波轮从正转开始，停止一段时期，再到反转开始时的时间区间。通常洗衣机的反转周期一般为 20~30 秒，据查询资料<sup>[3]</sup>得：反转周期超过 3 秒，水很快会产生涡流，衣物吸入底部会抱团现象，这种现象会导致衣物洗净不均匀，洗净效能会因此降低，对衣物的机械损伤也会随之加大。因此缩短反转周期至 2 秒左右，会在一定程度上有效地降低衣物的缠绕程度，提高洗衣机的洗净效能，减小洗衣机对衣物的机械损伤。

三、波轮旋转方式

若电动机只朝一个方向转动的话，衣服与水的接触面积无明显变化，此时衣物洗涤的均匀度就会受到影响。所以，为增大衣服与洗涤液的接触面积，使污渍充分的溶于洗涤液中，本文让电动机不断的正转、反转，让衣服上的污垢与混有洗涤剂的水充分接触，进而提高洗净程度，得到更好的洗涤效果。然而在衣服与内筒撞击过程中，洗涤剂会被冲击出来。因此，在电动机正反转的转换过程中，电动机应该停转一段时间，让衣物重新吸附洗涤剂和水，这样在极大程度上可以提高其洗净度。综上所述，本文通过查找资料<sup>[3]</sup>，利用函数知识绘制出洗衣机洗涤过程中的转速周期图，如下图所示：

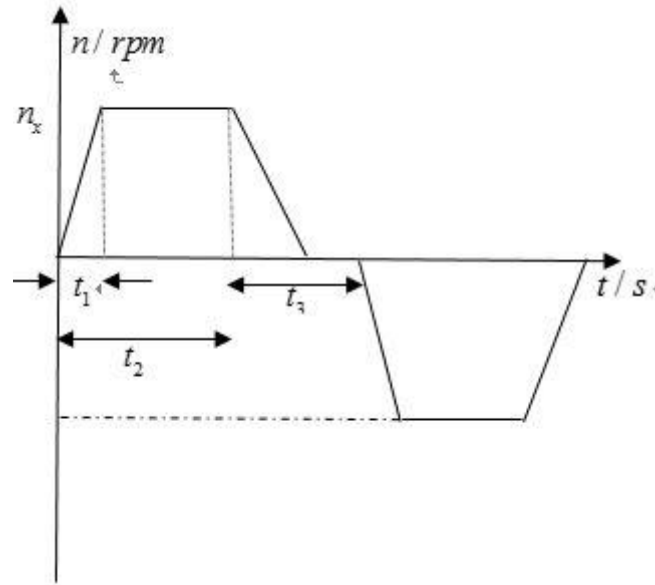


图 4：洗衣机的转速周期图

#### 四、波轮的转速

由第一阶段问题,我们得出一台洗衣机的洗净效能和磨损程度分别主要取决于洗净比和磨损率两个指标,而这两个指标与波轮及洗涤桶的结构参数有关,同时与波轮转速的关系也极为密切。根据物理知识<sup>[5]</sup>,本文得波轮的转速  $n$  与线速度  $v$  的关系为:

$$v = 2\pi nr$$

整理得:

$$n = \frac{v}{2\pi r} \quad (1)$$

由(1)式可知,  $r$  一定时,  $n$  与  $v$  呈正相关关系。

通过查找资料<sup>[6]</sup>得:尽管波轮的形状不同,但是波轮的最大线速度与磨损率仍有密切的关系,可以近似用一个幂函数来表达,表达式如下:

$$\eta = KV_{\max}^{\alpha} / 100 \quad (2)$$

其中,  $\eta$  为磨损率;  $K$  为系数,一般在  $0.0002 \sim 0.0006$  之间,当波轮较光滑时取小值,反之取大值;  $V_{\max}$  为波轮边缘处的最大线速度;指数  $\alpha$  的值约在  $3.5 \sim 5.5$  之间,当波轮较圆滑时取小值,反之取大值。

接下来,本文利用 MATLAB<sup>[7]</sup> 软件绘制出波轮最大线速度与其对衣物的机械损伤的关系图,如下:

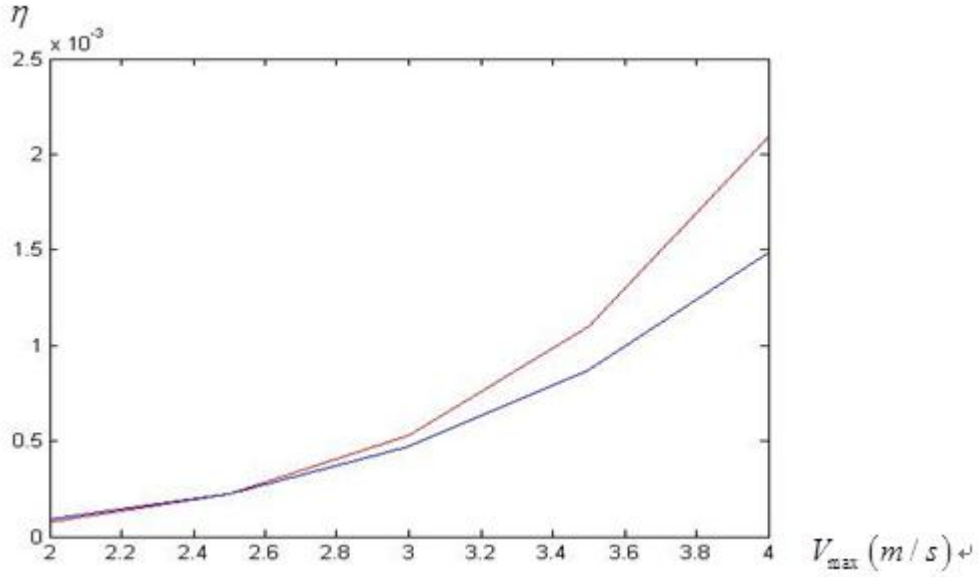


图 5：波轮最大线速度与其对衣物的机械损伤关系图

从图四可以看出，大约在  $V_{\max}=3.0\sim 3.6m/s$  附近有一个斜率明显变化点。越过此点，随着  $V_{\max}$  的增加，提高洗净比的加速度变慢。而且从图中可得出：波轮的最大线速度有一个临界值，在这个速度之下，磨损率较低。由图四，洗净比随  $V_{\max}$  的增加下降得较快；反之，若速度在临界值之上，则洗净比增加的幅度减小，而磨损率增加得却越来越快，同时衣物的洗均匀度降低，缠绕度明显增加。因此本文得出净衣效能与磨损程度呈负相关关系。

根据磨损率函数（2）式，本文计算得：

$$\frac{d\eta}{dV_{\max}} = \frac{K\alpha}{100} V_{\max}^{n-1}$$

然而因为  $\eta$  的值精确到小数点后 3，4 位上，故不能直接用  $\frac{d\eta}{dV_{\max}}=1$  来确定转速的临界值，因此本文对它进行了修正，过程如下：

令  $\frac{d\eta}{dV_{\max}} = 0.001$ ，得出计算临界速度的公式为：

$$V_{\text{临界}} = \sqrt[n]{\frac{1}{10K\alpha}} \quad (3)$$

由图四和（2）、（3）式，得出波轮的最大线速度的值应设计在  $V_{\max} = 3.01m/s$  左右。

本文经查询资料<sup>[6]</sup>与结合（1）式得，全自动洗衣机的波轮转速普遍为 200~800 转/分，然而此区间内的转速虽然可以使净衣效能变大，但同时也加剧了衣物间的缠绕并使对衣物的机械损伤变大，而且为了防止洗衣机箱体受到过大衣物推力而不正常运转，因此，

波轮转速应降低为 180 转/分。

3.3.2 工作方式分析

3.3.2.1 符号说明

表 2 符号说明	
符号	说明
$F_{f1}$	洗涤液与衣物间的摩擦力
$F_{f2}$	洗涤液与桶壁间的摩擦力
$F_N$	洗衣机静止时所受地面支持力
$G$	洗衣机所受重力
$F$	衣物撞击桶壁时给桶壁的推力
$O$	洗衣机重心
$C$	洗衣机与地面的接触点
$\alpha$	洗衣机倾斜角度
$m$	推力 $F$ 的径向矢量
$l$	顶点 $A$ 到重心 $O$ 的距离
$d$	重力 $G$ 的径向矢量
$\theta$	重力与直线 $AO$ 的夹角
$M_1$	推力 $F$ 产生的干扰力矩
$M_2$	重力 $G$ 产生的阻力力矩
$A$	洗衣机顶点 $A$

3.3.2.2 工作过程

本文设计的不倒翁式洗衣机的工作原理如下：

一、洗衣机底部波轮转动带动水流形成涡流，涡流带动衣物使其做离心运动。

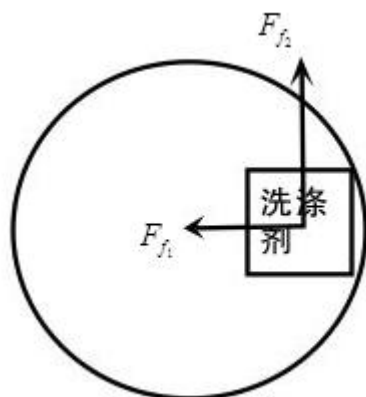


图 6: 洗涤剂受力分析图

如图 6，如果波轮顺时针旋转，此时洗涤剂与衣物、洗涤液与桶壁之间产生水平、垂直方向的两个摩擦力  $F_{f1}$  和  $F_{f2}$ ，由于洗涤液的不转动，这两个力方向、大小不断变化，从而产生旋流。

二、衣物做离心运动，外部衣物撞击桶壁。

#### ①洗衣机静止时

洗衣机静止时，只受到重力  $G$  以及地面的支持力  $F_N$  两个力作用，二者大小相同方向相反，因此二力平衡，洗衣机处于静止状态。本文绘制的洗衣机正视图如下：

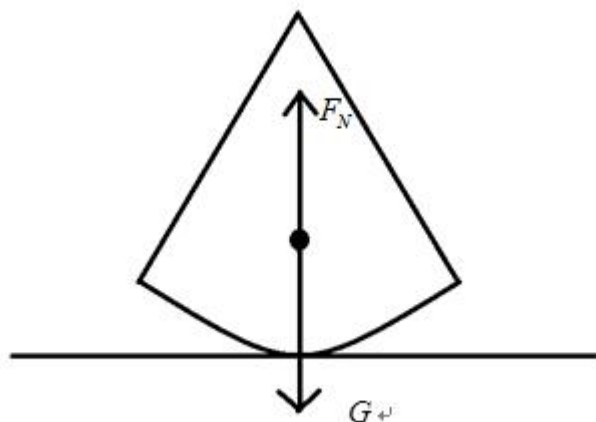


图 7: 洗衣机正视图

#### ②洗衣机桶壁受衣物撞击时

由于衣物在涡流的带动下做离心运动，外层衣物会撞击桶壁，从而产生和滚筒式洗衣机相同作用的类似棒打、敲击衣物的效果，而且这个推力  $F$  也将洗衣机倾斜。本文绘制的洗衣机俯视图如下：

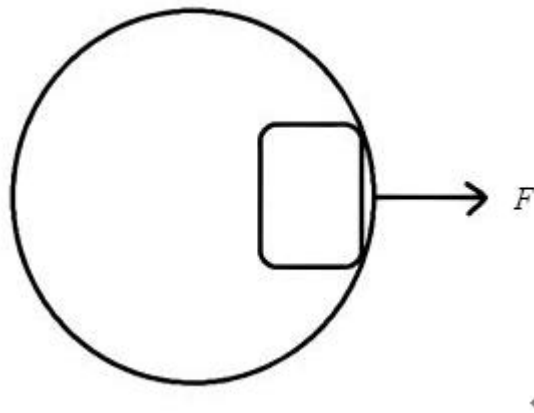


图 8：洗衣机俯视图

三、桶壁在衣物的推力作用下，洗衣机向某个方向倾斜，但倾斜一定角度后，复原回初始竖直状态。经查资料<sup>[8]</sup>分析得出如下洗衣机的倾斜受力分析图：

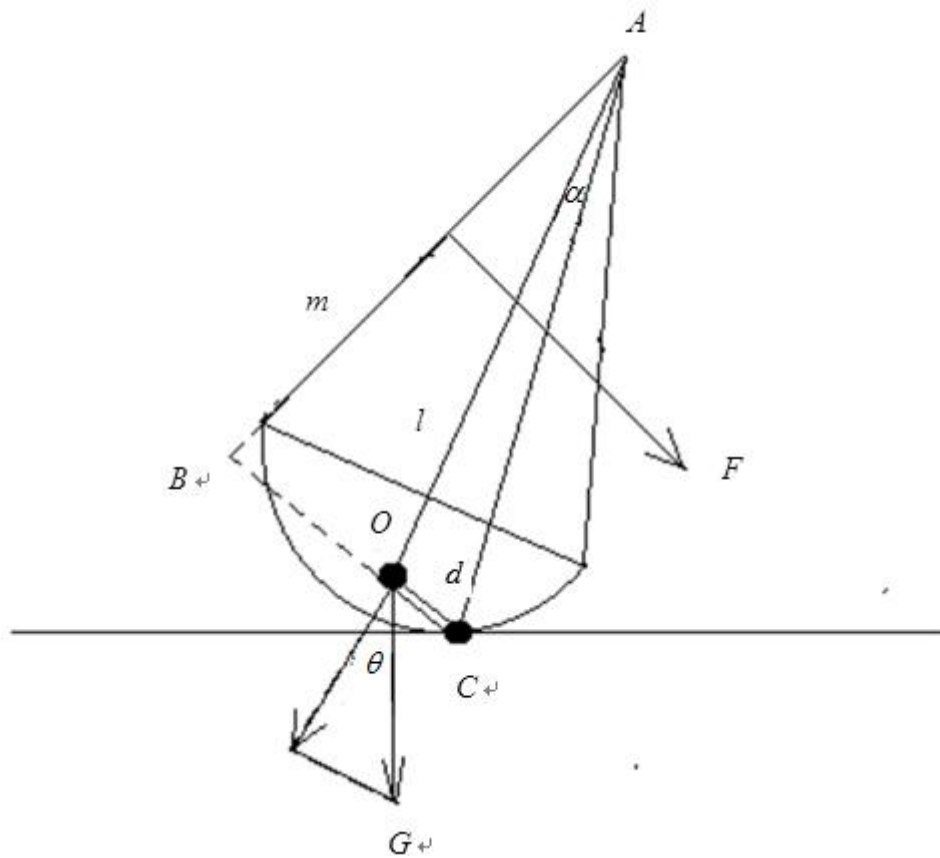


图 9：洗衣机倾斜受力分析图

其中，洗衣机受衣物推力  $F$  时，洗衣机重心为  $O$ ，接触点为  $C$ ，重力为  $G$ ，倾斜了  $\alpha$  角度， $F$  到  $C$  点距离为  $m$ ， $AO$ 、 $OC$  分别为  $l$  和  $d$ 。

接下来，本文将洗衣机倾斜的受力情况列出：当洗衣机受到衣物推力  $F$  时，推力  $F$  产生的干扰力矩，重力形成一个抵抗力矩，干扰力矩为： $M_1 = F \cdot m$ ，抵抗力矩为：

$M_2 = G \cdot \cos \theta \cdot d$ ，此时两个力矩方向相反，且随着洗衣机倾斜的角度  $\alpha$  不断增大，重力

作用线  $G$  的偏移量也不断增大，抵抗力矩  $M_2$  即  $G \cdot \cos \theta \cdot d$  的值也不断增大，当抵抗力矩  $M_2$  等于干扰力矩  $M_1$  时，洗衣机就随之进入了一个新的平衡状态——倾斜的平衡状态，此时外力的干扰作用也就宣告停止。

由此可知，洗衣机受到外力干扰后，原有的平衡破坏了，但新的平衡随之形成，洗衣机可以继续保持平衡，虽然平衡的方式不同，但平衡的本质不变。这就形成了动态平衡。

接下来，本文绘制出洗衣机倾斜摆动轮廓图如下：

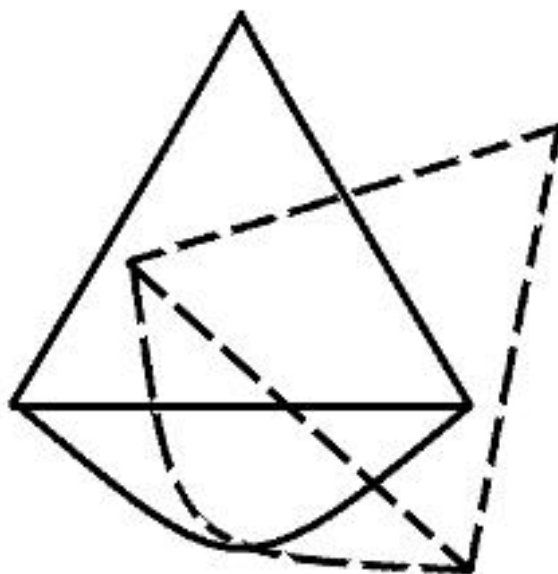


图 10：洗衣机倾斜摆动轮廓图

在这个过程中，洗衣机中水流产生的涡流与衣物一起进行翻滚，互相进行摩擦，起到了一定的去污作用，且由于洗衣机的倾斜摆动，衣物不会像波轮式洗衣机一样会打结成团，缓冲了衣物与桶壁间长时间的滚动摩擦，并通过洗衣机外部与内部的相对运动，类似滚筒式洗衣机将衣物与桶壁进行撞击，产生了棒打、敲击衣物的效果。这样就使得洗衣机在达到净衣目的的基础上，在一定程度上降低了对衣物的机械损伤。

四、波轮静止片刻，之后立刻进行与上次方向相反的转动。

波轮在洗衣机恢复初始竖直静止状态后，由于衣物已于桶壁进行了撞击，与衣物充分接触的洗涤剂已经被冲击出来，所以，在洗涤剂冲出后衣物便有了重新吸收洗涤剂和水的机会，进而提高净衣效能。因此，本文让洗衣机竖直静止后，在电动机正反转的转换中间，停转一段时间，给衣服重新吸收洗涤剂与水的机会，反而利于提高其洗净效能。之后进行的反方向运动可以更好的缓解衣物的缠绕现象，将缠绕的衣物在涡流的帮助下重新解开，从而达到减少对衣物的机械损伤及增加洗涤剂和衣物的接触面积的目的，使得洗衣机能够尽量提高净衣效能并且尽量减少洗涤过程中对衣物的机械损伤。

五、衣物在涡流带动下，做运动方向相反的离心运动，撞击另一侧桶壁。

此步骤与第三步类似，唯一不同便在于离心运动的方向不同，这可缓解衣物的打结缠绕程度，让衣物的各个部分与洗涤剂和水充分结合，从而提高洗净效能。

六、桶壁在衣物的推力作用下，洗衣机向某个方向倾斜，但倾斜一定角度后，复原回初始竖直状态。

衣物在此时的运动与原来的运动也只是改变的运动方向，之后的运动情况和受

力则与上一阶段相同，随之衣物便在波轮的带动下，进入了循环之中，洗衣机来回晃动像一个“不倒翁”一样，衣物在其中来回翻滚，打结缠绕现象大为减少，洗涤剂能够更好地与衣物相结合、相摩擦从而达到去污效果，而且使滚筒式洗衣机的模仿捶打、棒击的效果更为显著，从而达到在起到净衣效果的前提下减少了对衣物的机械损伤的目的。

### 3.3.3 不倒翁式洗衣机与波轮式、滚筒式的对比

#### 一、不倒翁式洗衣机与波轮式洗衣机的对比

①本文分别做出不倒翁式洗衣机、波轮式洗衣机的工作流程图，如下：

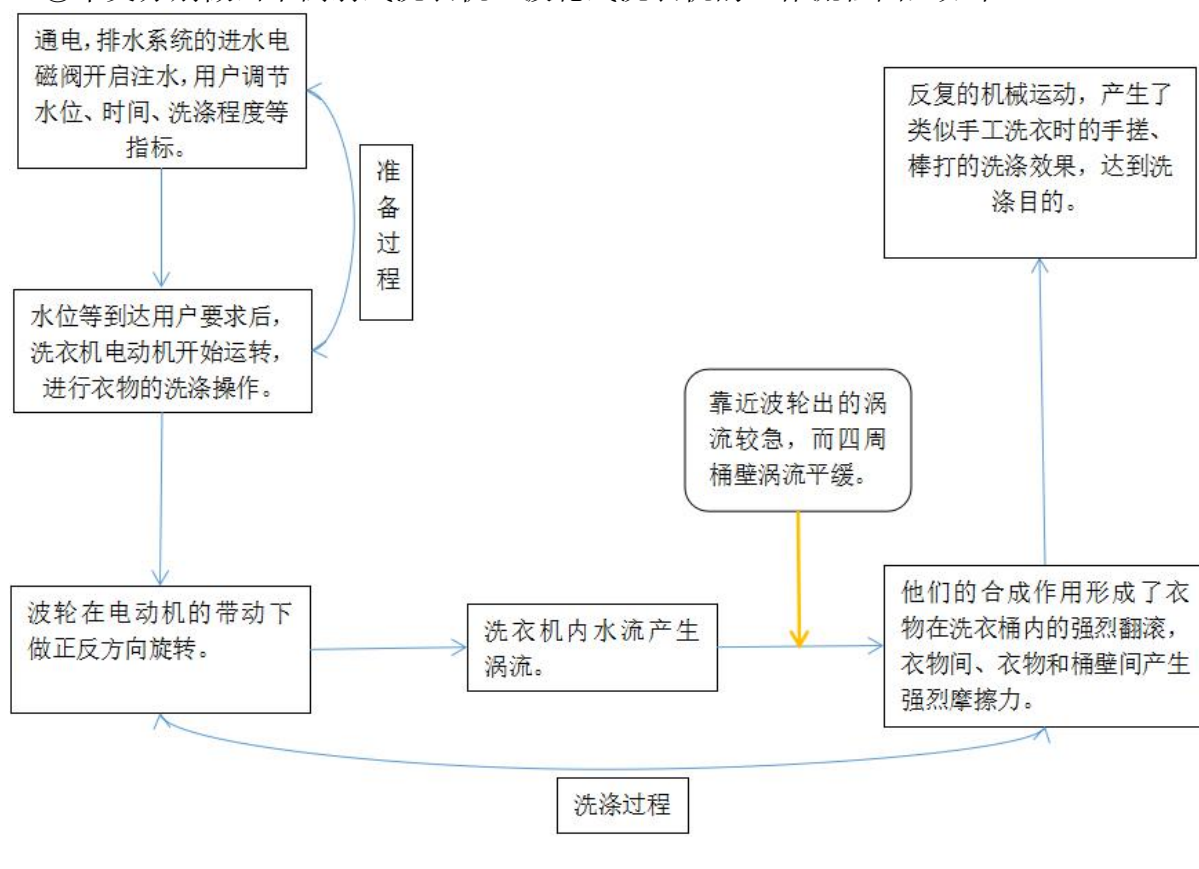


图 11：波轮式洗衣机工作流程图



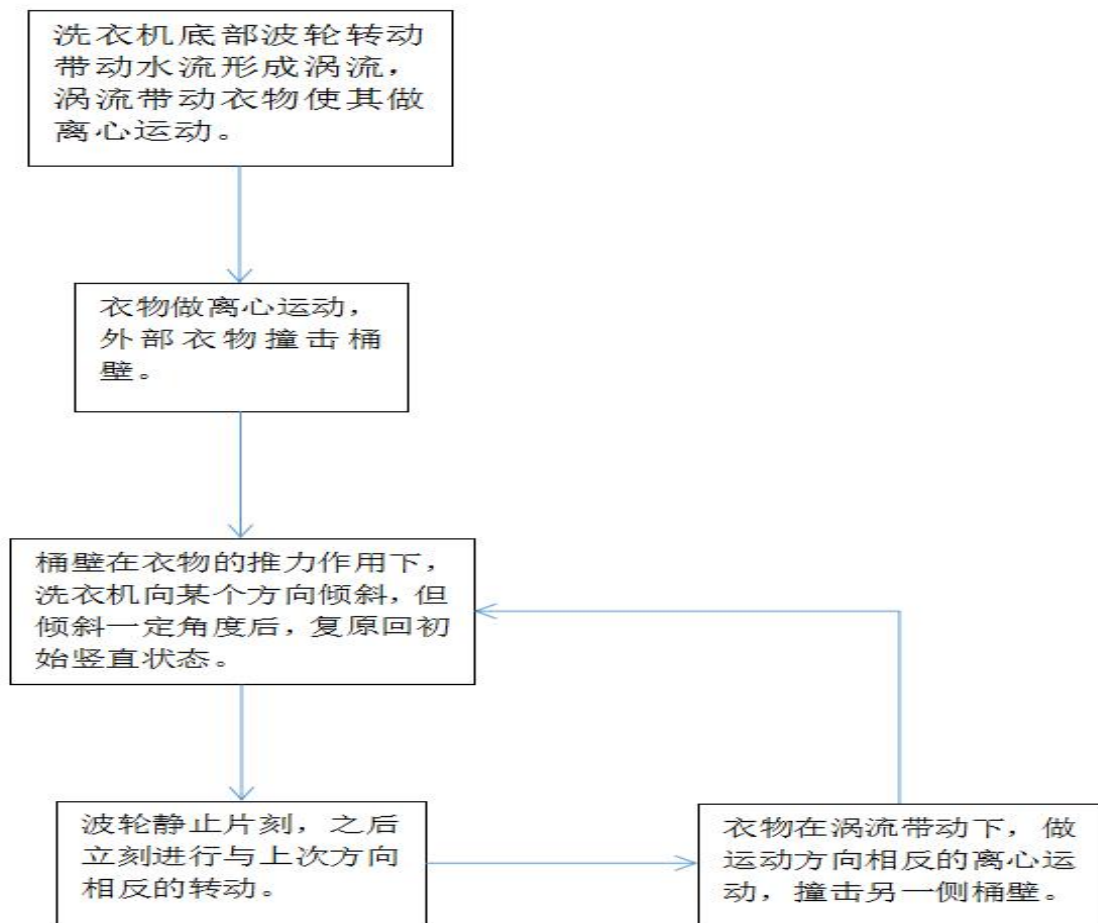


图 12：不倒翁式洗衣机工作流程图

本文通过对不倒翁式洗衣机与波轮式洗衣机的对比分析得：从洗衣机工作流程中看，洗衣机最初都是通过波轮带动流水从而产生涡流来带动衣物做离心运动从而使其进行翻滚。但涡流产生后洗衣机的工作方式新式洗衣机和波轮式洗衣机会有较大不同。

## ②流产生后的工作流程对比

不倒翁式洗衣机波轮式洗衣机的去污方法较为不同，波轮式洗衣机去污方法主要通过涡流带动衣物与桶壁进行长时间的转动摩擦，但是由于这种衣物的离心运动，造成了衣物的打结缠绕，因此衣物与洗涤剂不能充分混合且此过程对衣物的机械损伤较大。不倒翁式洗衣机通过洗衣机的倾斜从而使衣物的离心运动不能把衣物向涡流中心靠拢，缓冲了内部衣物间、衣物与桶壁间的摩擦进而在一定程度上减小对衣物的机械损伤，洗涤过程中通过衣物与桶壁的撞击模拟了衣物被敲打、棒击的过程，起到了净衣目的。

## 二、不倒翁式洗衣机与波轮式洗衣机的对比

①本文分别做出不倒翁式洗衣机、滚筒式洗衣机的工作流程图，如下：

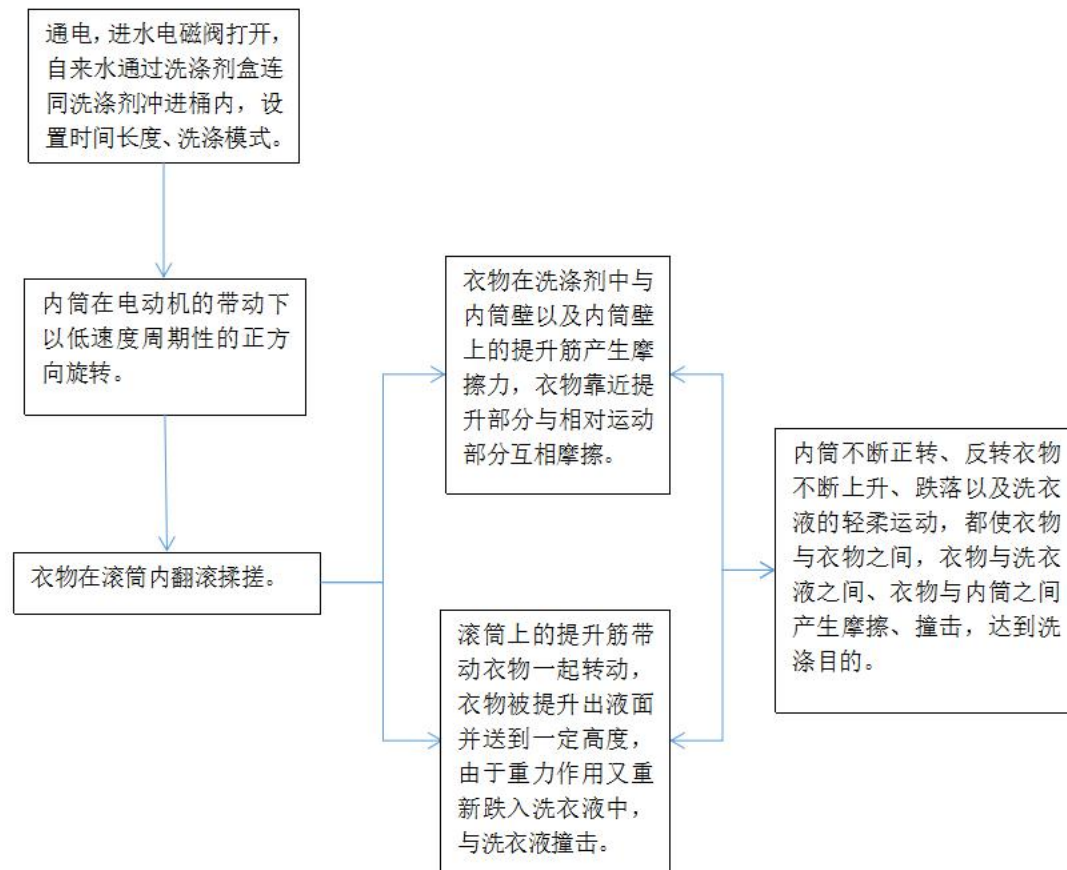


图 13: 滚筒式洗衣机工作流程图

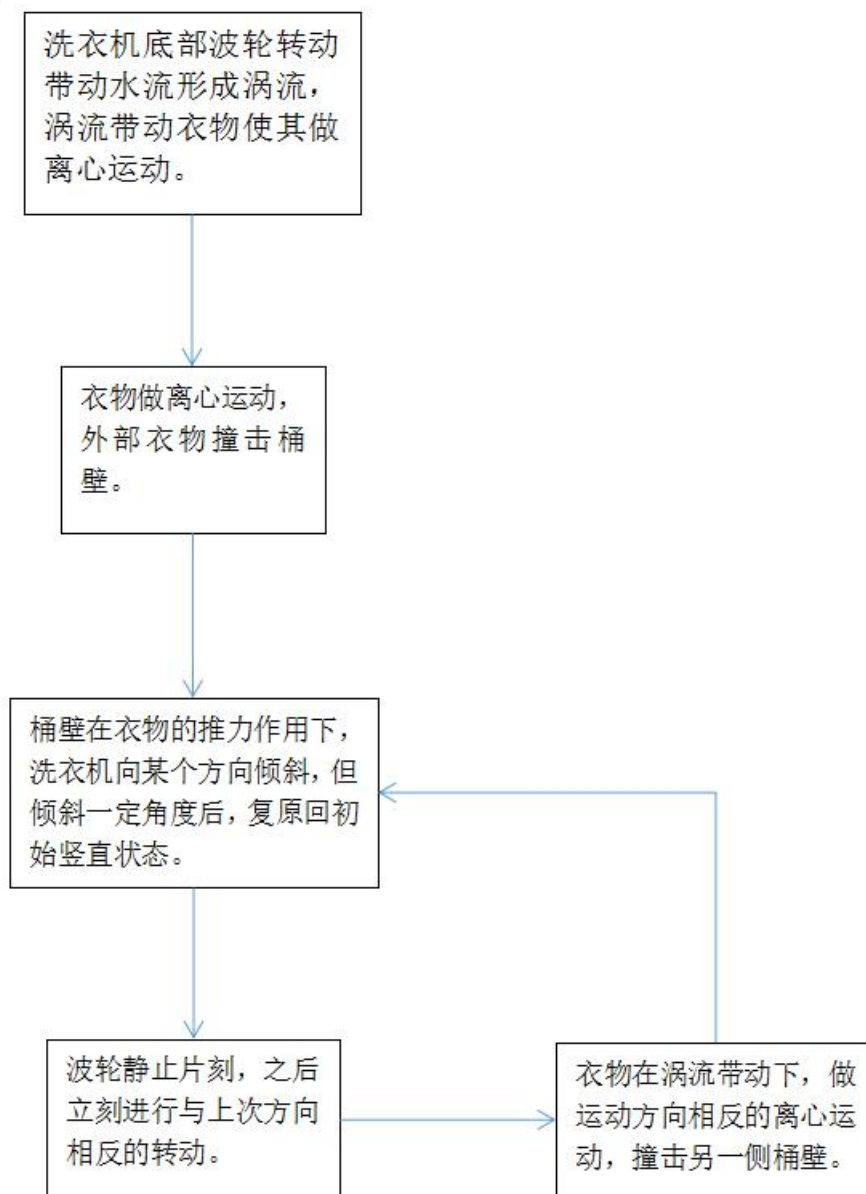


图 14：不倒翁式洗衣机工作流程图

从新式洗衣机和滚筒式洗衣机的工作流程来看，新式洗衣机沿用了波轮式洗衣机的波轮形成涡流的原理，而不是简单的运用提升筋来带动衣物上升。但之后衣物的撞击桶壁步骤则与滚筒式相似。

## ②涡流产生后的工作流程对比

不倒翁式洗衣机通过涡流带动衣物进行摩擦、撞击。但为了减少波轮式洗衣机巨大摩擦力对衣物造成的机械损伤，涡流产生之后，不倒翁式洗衣机也随之倾斜律动，在洗衣机内部外部一起旋转律动的同时，通过相对运动加大衣物与洗涤液的接触，在洗衣机内部，衣物撞击桶壁，这一过程则与滚筒式洗衣机衣物上升掉落撞击桶壁类似，均模拟了敲击、棒打的步骤，从而在一定程度上提高净衣效能，达到洗涤目的。

## 三、综合对比分析

通过上面的过程分析，本文经综合对比分析得出，“不倒翁式”洗衣机的特点便在于综合了波轮式洗衣机、滚筒式洗衣机的优点，而且在此基础上通过“不倒翁”的原理来对波轮式洗衣机、滚筒式洗衣机的缺点进行优化，“不倒翁式”洗衣机工作开始运用

波轮产生涡流来带动衣物进行翻滚、摩擦，以后由于衣物对桶壁的撞击使洗衣机倾斜，正是这一过程使衣物打结缠绕现象得到缓解，并且模拟到了敲击、棒打的步骤。保证了洗净效果而且减少了磨损程度。“不倒翁式”洗衣机过程中有一定时间的波轮静止过程，原因是由于衣物撞击桶壁时，洗涤剂会浸出衣物，当洗衣机静止时，若没有足够的时间去让衣物重新吸附洗涤剂和水，则会使洗涤效果大打折扣，若让衣物重新吸附再进行翻滚、摩擦，则会提高净衣效能。

## 4. 模型优化

### 4.1 模型的优缺点

- 优点：（1）利用不倒翁原理设计出一种新型洗衣机的工作方式；  
（2）模型采用对比分析，通俗易懂，说服力强；  
（3）思路具有较强的逻辑性，全文严谨，能够考虑多个因素；  
（4）具有较强的实用性，在很大程度上能够满足用户需求。

- 缺点：（1）应用后的模型占用空间较大，限制其实用性；  
（2）模型定性分析较多，限制其说服力；  
（3）应用后的模型占用空间较大，可能会在一定程度上带来不便。

### 4.2 模型的推广及应用

（1）文中针对的对象是洗衣机本身，要求本文对其进行改进从而满足用户总是希望洗衣机能尽量提高净衣效能，并且能够尽量减小洗涤过程对衣物的机械损伤的需求。其实，对于提高洗衣机的净衣效能，还能通过用提高水的温度，用加酶洗衣液等脱离洗衣机本身的其他方式。

（2）基于本文所建立的模型和家用洗衣机的实用性、创新性等属性，可以对不倒翁式洗衣机、波轮式洗衣机、滚筒式洗衣机这三种家用洗衣机进行模糊综合评价，在评价中进行定量分析，得出最受用户欢迎的一款洗衣机，进而对其他两种洗衣机进行相应的优化改进。

（3）本模型中的不倒翁式洗衣机的工作方式很是创新，如果有条件、有想法的话，可以在此工作方式的基础上，结合搅拌式等工业用洗衣机的工作方式，达到工业的预期效果，将其应用于工业，对工业效率的提高、国家经济的发展有重大意义。

（4）不倒翁式洗衣机的洗涤过程中会受到转速和洗涤时间的影响，从而会使不倒翁式洗衣机无法固定在同一个位置上，因此给不倒翁式洗衣机设计了如下图的底座。底座高于洗衣机的半径，因此可以起到固定作用。

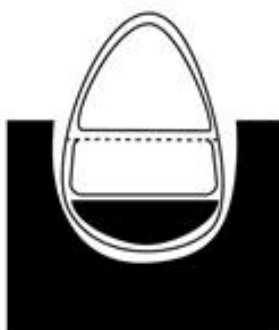


图 15：不倒翁式洗衣机底座设计

## 5. 参考文献

- [1] 曹春梅, 张晓宏, 不倒翁的力学分析
- [2] Photoshop 实用教程 (视频)
- [3] 龙仲文, 家用科技, 05 期, 1984 年
- [4] 李锐; 赵京君, 家用电动洗衣机改进的要点和方向, 家用电器科技, 1984 年 10 月 27 日
- [5] 艾萨克·牛顿, 自然哲学的数学原理, 北京: 商务印书馆, 2006 年
- [6] 彭作新, 磨损率经验公式及临界速度初探, 家用电器科技, 1985 年 03 月 02 日
- [7] 刘浩, 韩静, MATLAB R2012a 完全自学一本通, 北京, 电子工业出版社, 2013
- [8] 不倒翁原理的分析, <http://www.docin.com/p-1208664334.html?qq-pf-to=pcqq.group>

## 6. 附录

图 4 MATLAB 程序编码:

```
>> x=2:0.5:4;  
>> y1=0.00027/100*x.^4.8;  
>> y2=0.00058/100*x.^4;  
>> plot(x,y1,'r',x,y2,'b')
```