**Mechanical Engineering and Technology** 机械工程与技术, 2019, 8(2), 147-157
Published Online April 2019 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/met
https://doi.org/10.12677/met.2019.82019

Hans汉斯

# Design and Optimization of Multi-Functional Shared Bicycle Mechanical Structure

**Cheng Yu, Jingshu Hu, Dianhao Wu, Xiangzheng Wang, Fucheng Zong, Yinsheng Song**

School of Energy and Power with Mechanical Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin Heilongjiang
Email: 364681300@QQ.com

Received: Apr. 4th, 2019; accepted: Apr. 19th, 2019; published: Apr. 26th, 2019

## Abstract

**Due to the rapid development of the social economy, shared bicycle has become an indispensable tool for people to travel. Aiming at the problems of traditional shared bicycle structure, large parking space and limited storage space, this paper designs a multi-functional shared bicycle structure with foldable and deformable capabilities. Firstly, in order to ensure the function of the basket and the overall balance of the vehicle body when the multifunctional bicycle is deformed, a combined bicycle basket structure is designed by folding the bicycle handle, the seat and the auxiliary device in the non-riding state. The bicycle frame under load is designed and checked for strength. Finally, ANSYS Workbench is used to simulate and optimize the bicycle structure, which makes the bicycle structure more concise and effective, greatly improves the performance and life, accelerates the use and promotion of folding shared bicycle, and meets the needs of larger society.**

## Keywords

**Shared Bicycle, Simulation Analysis, Optimized Design, ANSYS**

# 多功能共享单车机械结构设计与优化

**于　成，胡景姝，吴殿昊，王祥政，宗福成，宋寅生**

哈尔滨理工大学，机械动力工程学院，黑龙江　哈尔滨
Email: 364681300@QQ.com

收稿日期：2019年4月4日；录用日期：2019年4月19日；发布日期：2019年4月26日

## 摘　要

**由于社会经济的快速发展，共享单车已成为人们出行的必备工具。本文针对传统的共享单车结构单一，**

文章引用: 于成, 胡景姝, 吴殿昊, 王祥政, 宗福成, 宋寅生. 多功能共享单车机械结构设计与优化[J]. 机械工程与技术, 2019, 8(2): 147-157. DOI: 10.12677/met.2019.82019

**停放占用空间较大，且储物空间有限等问题，设计了一种具有可折叠、可变形能力的多功能共享单车结构。首先为保证多功能自行车在变形时仍保持车筐的功能和车身整体平衡，通过对非骑行状态下的自行车把手、车座及辅助装置折叠，设计了一种组合式的自行车车筐结构，并对承载状态下的自行车车架进行设计和强度校核。最后应用ANSYS Workbench对自行车结构进行仿真分析和优化设计，使自行车的结构更加简洁有效，使用性能和寿命大大提高，加快折叠式共享单车的使用和推广，满足更大的社会需求。**

## 关键词

**共享单车，仿真分析，优化设计，ANSYS**

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

## 1. 引言

随着“互联网+”概念的提出，2015 年共享单车首次出现在公众视野之中，2016 年披露融资的单车企业达 11 家[1]，瞬间摩拜、ofo、哈罗等小蓝车、小黄车等遍布了城市里的每个角落。共享单车作为移动互联网和租赁自行车融合的新型服务模式和共享经济新形态的代表，开启了新的城市文明时代，解决了公共交通“最后一公里”困扰[2]。

现有的共享单车结构单一，停放时占用空间较大，且储物空间有限，功能单一，已经逐渐不能满足现代社会的需求[3]。尤其在大学校园里，超市到地铁站、车站的最后一公里，共享单车的承载能力确实难以满足搬运的需求。陶松桥等对多功能折叠自行车设计研究与探讨[4]，蒋连琼[5]等对自行车进行了折叠改进，但是在存储空间上还不能满足现有的需求。多数的折叠自行车是在外观造型上进行样式的变化，或是采用多次折叠以减少占用空间，很少在其它使用功能上进行改革和创新[6] [7]。虽然有人提出将折叠自行车变身为提箱[8]，或是变身为购物车，但其变形操作较复杂，满足不了人们的轻便化需求。

针对以上共享单车和折叠自行车存在的问题及人们对共享单车的需求，对共享单车的结构进行优化设计，使得集购物车与自行车融为一体。通过车筐的组合结构、车把的折叠结构、车座的折叠结构和辅助车轮的伸缩结构实现自行车的多功能。同时又将共享单车的理念引入到折叠自行车中，符合当今时代的发展和社会的需求。

## 2. 多功能自行车机械结构设计

### 2.1. 多功能自行车的设计构想与思路

首先对自行车的结构、外形进行设计，根据所学的机械原理的知识，对自行车的传动结构进行设计，进而对自行车的各个部分进行草绘，完成对自行车的总体结构设计。完成自行车的总体设计之后，对自行车的传动零部件进行设计计算，得到传动件的尺寸，在此基础上，对自行车进行结构设计，并建立其三维模型。对自行车结构进行优化设计，将三维零件进行装配并进行运动仿真，通过有限元分析的方法对各个部位进行静力学分析，通过仿真结果验证设计的可行性，并通过实验结果进一步修改获得最优的设计方案。图 1 为技术路线图，图 2 为展开状态图；图 3 为折叠状态图。

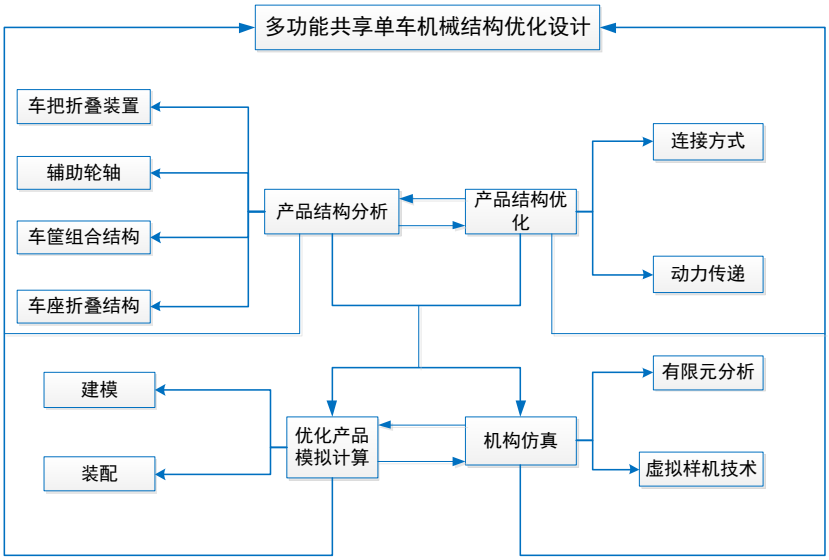



**Figure 1.** Technology roadmap
**图 1.** 技术路线图

**Figure 2.** Expanded state diagram
**图 2.** 展开状态图

**Figure 3.** Folded state diagram
**图 3.** 折叠状态图

## 2.2. 多功能自行车的结构和功能

### 2.2.1. 车把手折叠装置

多功能自行车在非骑行状态，可以将车把手进行折叠，降低车身高度，同时也可以将折叠后的车把手作为购物车的扶手，一物多用，如图 4 所示为车把手折叠机构。

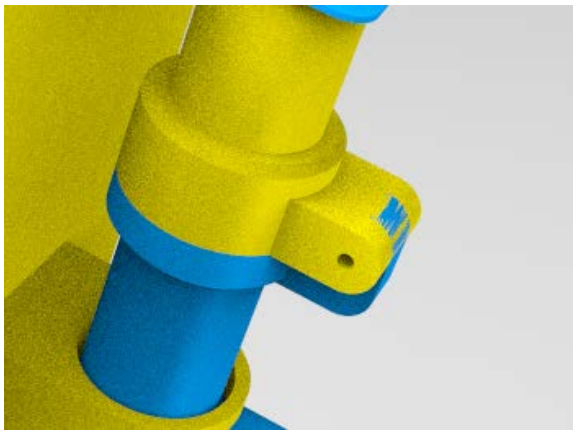


**Figure 4.** Handlebar folding mechanism
**图 4.** 车把手折叠机构

### 2.2.2. 辅助轮轴

由一对辅助轮，辅助轮支架，辅助轮伸缩杆，作为自行车形态不使用时，将一对辅助轮升高至辅助轮支架上，辅助轮支架可以沿 Z 轴收缩向上，由销子固定在下梁上，不影响使用者的骑行；作为手推车形态使用时，拔下销子，将辅助轮放下固定，使辅助轮和车子前后轮保持同步，重新插紧销子，即可完成对辅助轮的设定，图 5 所示为辅助轮打开时的装配图。

(a) (b)

**Figure 5.** Assembly drawing of auxiliary wheel contraction
**图 5.** 辅助轮收缩装配图

### 2.2.3. 车筐组合结构

图 6 所示为组合车筐结构，将前后两个车筐组合在一起，扩大车厢的容积，以便容纳更多的货物。

**Figure 6.** Structure of combined basket
**图 6.** 组合车筐结构

#### 2.2.4. 车座折叠结构

图 7 所示为车座折叠结构，自行车为购物车工作状态时，可将车座进行折叠放平，降低车身高度。

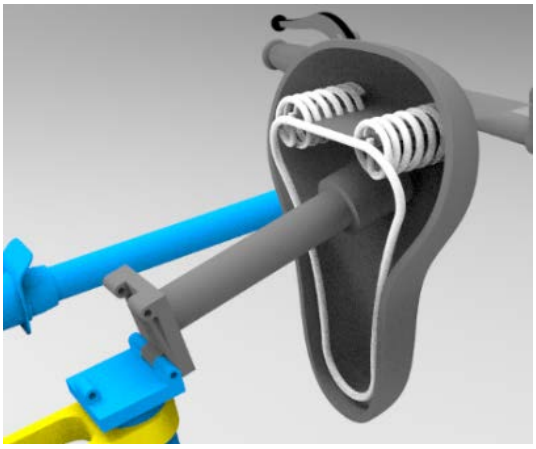


**Figure 7.** Saddle folding structure
**图 7.** 车座折叠结构

### 2.3. 多功能自行车强度校核

#### 自行车架强度校核

铝合金以加工工序相对简单、价格低廉的特点被广泛应用与自行车领域，所以车轮架材料选定为 6061 铝合金，采用单边螺栓固定,属于悬臂梁结构。假体重为 $G_1 = 65$ kg = 650 N 的成年人骑自行车，自行车重 $G_2 = 15$ kg = 150 N，后轮到车座距离 $X = 280$ mm，前轮到车座的距离 $Y = 720$ mm。后车轮轴所受的力设为 $F_1$，前车轮轴所受的力为 $F_2$，则自行车的受力如图 8 所示。

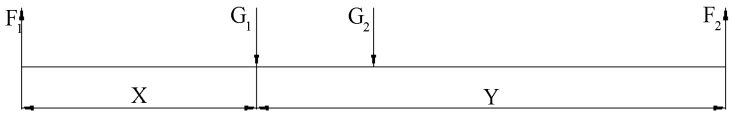



**Figure 8.** Force diagram of bicycle
**图 8.** 自行车受力图

$$F_1 = G_1 \cdot 720/1000 + G_2 \cdot 500/1000 = 543\ \text{N}$$

$$F_2 = G_1 \cdot 280/1000 + G_2 \cdot 500/1000 = 257\ \text{N}$$

则车轮架单边外伸臂受力校核如下：

$$F = F_1 \cos 45^\circ = 543 \times \cos 45^\circ \approx 285\ \text{N}$$

最大危险截面计算弯矩：

$$M = FL = 467 \times 0.225 = 64.25\ \text{N} \cdot \text{m}$$

抗弯截面系数：

$$W = \frac{\pi d^3}{32}$$

则计算弯曲应力

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{642.5}{17^3} \approx 130\ \text{MPa}$$

弯曲疲劳极限

$$\sigma_{-1} = 320\ \text{MPa}$$

因为$\sigma < \sigma_{-1}$，所以强度校核合格。

## 3. 有限元仿真分析

### 3.1. 载荷工况分析

多功能自行车在工作过程中，受力最大且最频繁的位置在后支撑车架的位置就其载荷的性质来看，其所受到的主要载荷有弯曲、扭转载荷等几种[9] [10]。其中弯曲载荷主要产生于车筐内物质的质量；扭转载荷产生于路面不平度对自行车的非对称支撑；因其受到的力较小，该设备工作速度较低，并不需要进行深度的动力学分析，故只需要车身主要结构车把进行随机振动分析。故只需要对其后支撑架进行随机振动分析即可。本项目中我们使用 ANSYS Workbench 对后进行分析，如图 9 所示。

**Figure 9.** Structure of rear support frame
**图 9.** 后支撑架结构图

### 3.2. 随机振动工况分析

#### 3.2.1. 单位制确定及材料属性定义

由于后支撑车架是整个行走机构最重要的组成部件，同时也是主要的受力部件，所以应采用的材料

为 6061 铝合金，抗拉极限 325 MPa，屈服极限 350 MPa，弹性模量 240 GPa，剪切模量 79.4 GPa，泊松比 0.32。

### 3.2.2. 网格划分

如图 10 所示为车把网格划分后图片，对后支撑车架的主要受力部位进行较细的网格划分，以便于得到精确的求解结果。

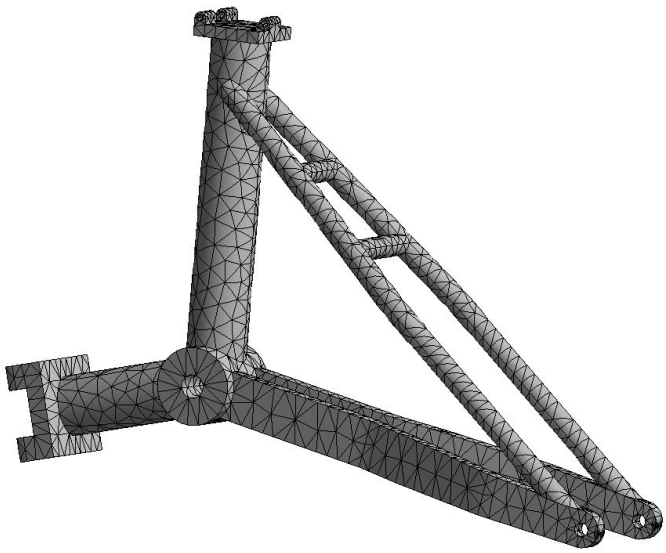


**Figure 10.** Grid division of rear supporting frame
**图 10.** 后支撑车架网格划分

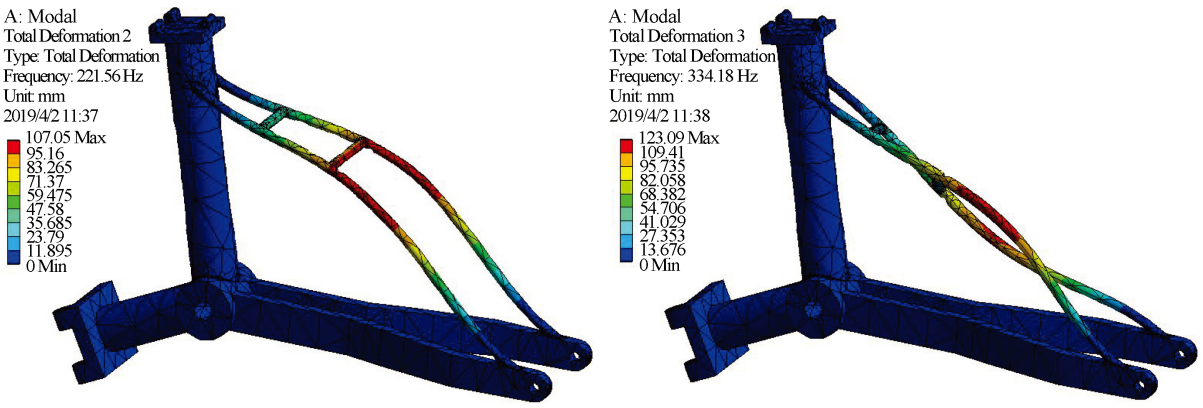
### 3.2.3. 载荷与边界条件设定

设备随机振动工况下，车后支撑车架的载荷是主要在人的重力作用下而产生的。本文根据主要载荷的分布状况将其布置在后支撑架中部，载荷大小约为 70 kg。

随机振动工况下，其边界条件为：约束车轮支撑轴与链轮支撑轴的三个平动自由度 UX、UY、UZ 和三个转动自由度 ROTX、ROTY、ROTZ。

### 3.2.4. 计算结果及其评价

如图 11 和为自行车后支撑架 6 阶固有频率和变形云图。




(a) (b)

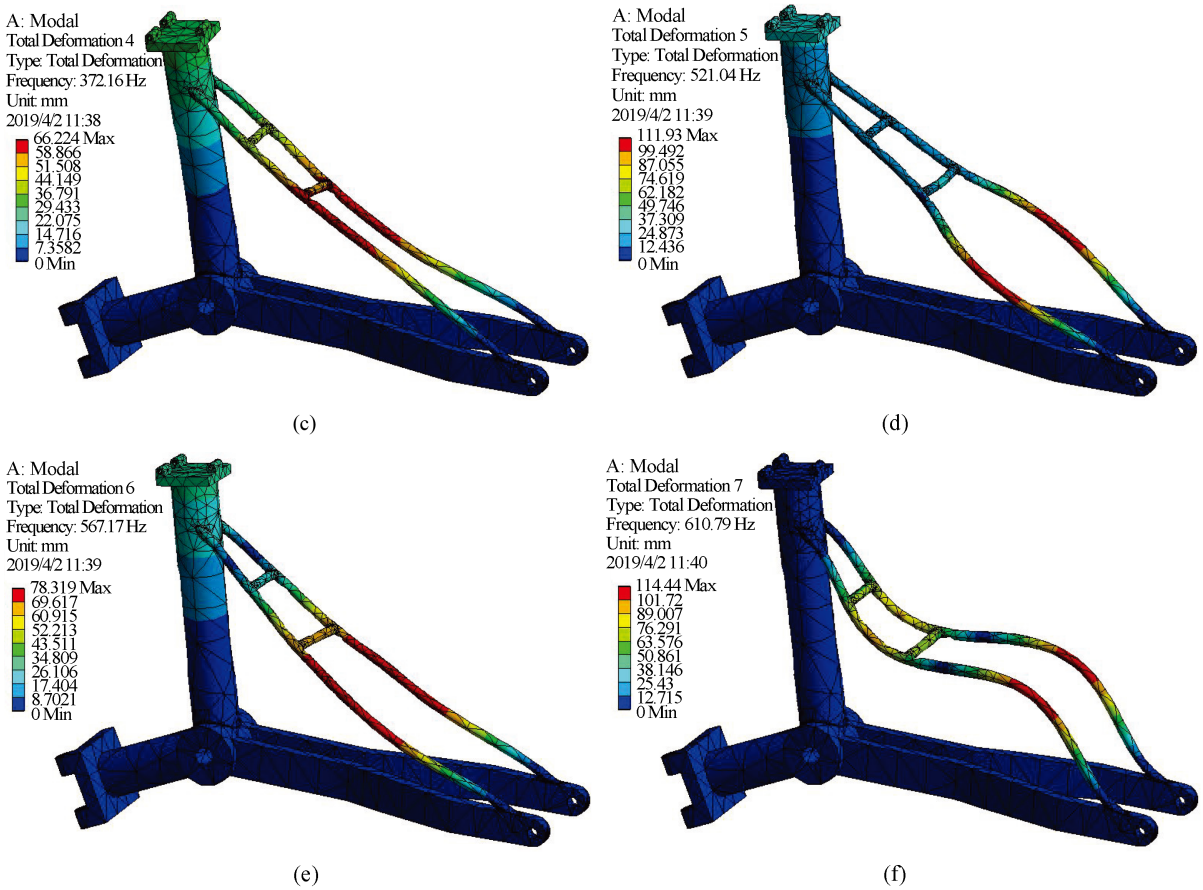



**Figure 11.** Deformation cloud diagram of rear supporting frame
**图 11.** 后支撑车架变形云图

如图 10(a)所示，随机振动工况下的高变形区，主要分布在后支撑架两侧的细梁上，最大变形量 93.934 mm 其余部分的变形量都相对较小，因此应该对后支撑两侧小梁进行结构优化设计，减小其变形量。

### 3.3. 优化设计方案

如图 12 和图 13 所示为自行车后支撑架改进前的结构和改进后的结构，对后支撑结构后部的两个小梁进行加粗。

**Figure 12.** Structure diagram before improvement
**图 12.** 改进前结构图

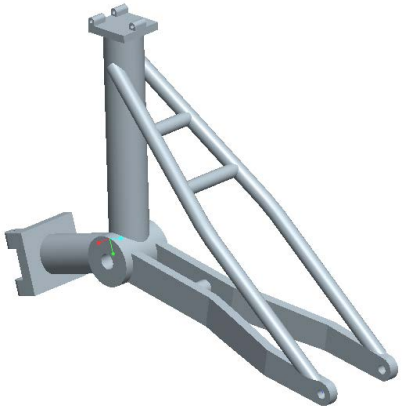


**Figure 13.** Improved structure
**图 13.** 改进后结构

## 3.4. 改进后随机振动工况分析

### 3.4.1. 单位制确定及材料属性定义

采用的材料的同上，为 6061 铝合金，抗拉极限 325 MPa，屈服极限 350 MPa，弹性模量 240 GPa，剪切模量 79.4 GPa，泊松比 0.32。

### 3.4.2. 网格的划分

**Figure 14.** Grid division of the improved supporting frame
**图 14.** 改进后支撑车架网格划分后

如图 14 所示为车把网格划分后图片，同上对后支撑车架的主要受力部位进行较细的网格划分，以便于得到精确的求解结果。

### 3.4.3. 载荷与边界条件设定

设备随机振动工况下，车后支撑车架的载荷是主要在人的重力作用下而产生的。本文根据主要载荷的分布状况将其布置在后支撑架中部，载荷大小约为 70 kg。

随机振动工况下，其边界条件为：约束车轮支撑轴与链轮支撑轴的三个平动自由度 UX、UY、UZ 和三个转动自由度 ROTX、ROTY、ROTZ。

### 3.4.4. 计算结果及其评价

如图 15 所示为自行车后支撑架 6 阶固有频率和变形云图。

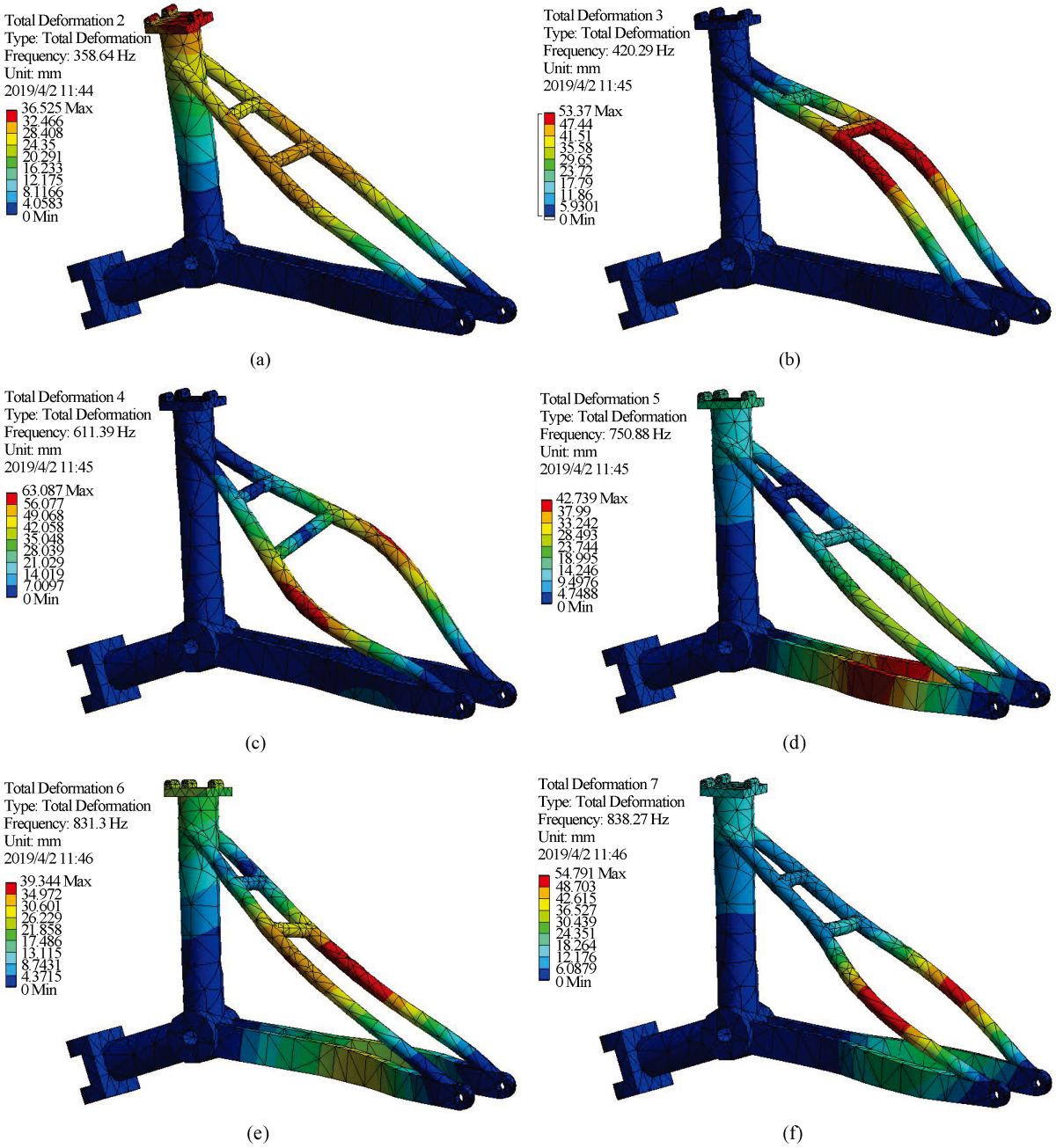



**Figure 15.** Deformation cloud diagram of the improved supporting frame
**图 15.** 改进后支撑车架变形云图

如图 15(a)所示，随机振动工况下主要分布在后支撑架两侧的细梁上高变形区，最大变形量 93.934 mm 减小 36.525 mm，由分析结果可知改进后的后支撑结构变形量明显减小，符合设计要求，达到了本次优化设计的目的。

## 4. 结语

本文针对共享单车存在的问题，设立了一种多功能可折叠的共享单车，并通过三维建模和有限元分析方法，根据其承载状态对结构进行分析和优化。其结构简单合理，能够方便快速的进行折叠和展开，

无论是携带还是使用都比较方便舒适，尤其适合“互联网+”状态下满足广大人民的生活需求，也符合绿色出行的主题，由于目前同类产品市场上并不多，所以本款设计的前景广阔，同时又将共享折叠单车的理念引入到人们的视野。

## 参考文献

[1] 魏静, 唐闯. “互联网+”模式下共享单车盈利模式探析[J]. 中国集体经济, 2019(9): 77-79.

[2] 宋扬扬, 王胜本. “共享经济商业新范式——共享单车”的困境与治理[J]. 华北理工大学学报(社会科学版), 2019, 19(1): 24-28.

[3] 陈晓航, 徐敏. 多功能购物自行车创新设计[J]. 科技创新与生产力, 2016(12): 96-97 + 100.

[4] 陶松桥, 何伟. 多功能折叠自行车设计研究与探讨[J]. 轻工科技, 2012, 28(7): 68 + 117.

[5] 蒋连琼, 沈志源. 折叠自行车的结构设计及三维建模[J]. 现代制造技术与装备, 2017(9): 99-100 + 102.

[6] 李翔. 大型公共设施产生的自行车交通影响分析[J]. 交通与运输, 2004(6): 13.

[7] 程宪春. 折叠自行车设计研究[J]. 包装工程, 2007, 28(8): 161-163.

[8] 陈恳. 多功能提箱式折叠电动自行车[J]. 中国自行车, 2008(3): 31-34.

[9] 罗红萍, 卢海燕. 新型多功能折叠自行车的设计计算研究[J]. 广西科技大学学报, 2014(2): 74-77.

[10] 陈晓航, 徐敏. 多功能购物自行车创新设计[J]. 科技创新与生产力, 2016(12): 96-97 + 100.

Hans汉斯

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD
   下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2167-6631，即可查询
2. 打开知网首页 http://cnki.net/
   左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：http://www.hanspub.org/Submission.aspx
期刊邮箱：met@hanspub.org