

巴哈赛车中央制动减速器的设计与优化

马 健, 王颖初, 宫皓斌, 宋 志, 王宏睿, 陈佩江

临沂大学机械与车辆工程学院, 山东 临沂

收稿日期: 2022年9月20日; 录用日期: 2022年10月21日; 发布日期: 2022年10月28日

摘 要

自主设计一款满足巴哈赛车要求, 追求轻量化的中央制动减速器, 以解决目前市场上巴哈赛车自制减速器存在结构单一、成本较高、传动效率较低等问题, 具有重要的意义。分析了巴哈赛车减速器的设计理念, 确定了中央制动减速器的设计目标和总体设计, 利用CATIA制图软件设计了中央制动减速的零部件, 对中央制动减速器的关键零部件进行拓扑优化, 达到轻量化的设计目标; 介绍了减速器的功用与动力传递路线, 分析了减速器的润滑与密封, 总结了中央制动减速器的设计过程。通过大量计算和实验结果, 证明了中央制动减速器在巴哈赛车应用中的可靠性。

关键词

巴哈赛车, 中央制动减速器, 轻量化, 拓扑优化

Design and Optimizing of Baja Car Central Brake Reducer

Jian Ma, Yingchu Wang, Haobin Gong, Zhi Song, Hongrui Wang, Peijiang Chen

School of Mechanical and Vehicle Engineering, Linyi University, Linyi Shandong

Received: Sep. 20th, 2022; accepted: Oct. 21st, 2022; published: Oct. 28th, 2022

Abstract

It is of great significance to design a central brake reducer to meet the requirements of Baja racing car and pursue lightweight, so as to solve the problems of single structure, high cost and low transmission efficiency of the self-made reducer of Baja racing car in the current market. This paper analyzes the design concept of Baja racing car reducer, determines the design goal and overall design of the central brake reducer, uses CATIA drawing software to design the central brake deceleration parts, topological optimization of the key parts of the central brake reducer, to achieve the lightweight design goal. The function and power transmission route of reducer are introduced,

and the lubrication and sealing of reducer are analyzed. The design process of the central brake reducer is summarized. The reliability of the central brake reducer in Baja racing is proved by a lot of calculation and experimental results.

Keywords

Baja Racing, Central Brake Reducer, Lightweight, Topological Optimization

Copyright © 2022 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

自二十世纪以来,随着社会经济和汽车技术的突飞猛进,国内汽车行业得到了前所未有的发展,尤其是全地形越野车辆技术领域的快速进步,使中国汽车工程学会巴哈大赛蓬勃发展。巴哈大赛也成为了高等院校,职业院校学生提升专业内涵、团队合作能力和自主创新能力的平台。然而,目前市场上巴哈赛车自制减速器存在结构单一、成本较高、传动效率较低等问题。巴哈赛车可靠性能不稳定,成本难以压缩,整车性能受约束等一系列问题导致成绩难以提升[1]。因此,为了解决上述存于巴哈赛车减速器的问题,故自主设计一款满足巴哈赛车要求,追求轻量化的中央制动减速器具有重要的意义。

2. 巴哈赛车减速器的设计理念

基于巴哈赛车的设计要求和中国汽车工程学会巴哈大赛的规则,设计理念以安全可靠为基础、大胆创新为目标、不断追求轻量化,力求自主设计出满足安全兼具高性能的全地形四驱越野赛车使用条件的中央制动减速器。巴哈赛车减速器的设计目标与基本参数如表1所示。

Table 1. Overall design objective of central brake reducer

表 1. 中央制动减速器的整体设计目标

减速器的设计目标	
传动类型	两级传动
最高车速	70 km/h
最大爬坡度	70%
减速器传动比	9.96
传动效率	64%

3. 巴哈赛车减速器的总体设计

在满足现有设计目标的前提下,为使赛车具有更高的加速度和加速响应,本次设计的减速器主要采用单速双级减速加空挡设计。巴哈赛车中央制动减速器主要由减速器壳体、传动齿轮,制动装置以及辅助元件四部分构成,中央制动减速器的整体结构设计如下图1所示。

3.1. 中央制动减速器壳体

中央制动减速器壳体设计考虑到轴与轴承安装位置等因素,所以改变了传统减速器的壳体结构,将

减速器壳体的上下结构主动设计为左、右壳体两部分，具有安装轴承、支撑传力轴、保持齿轮间的定位以及保护减速器的作用。基于减速器壳体的使用条件和材料选型的问题，本次设计的减速器壳体主要采用加强筋的方式来巩固和支撑减速器的整体结构，满足减速器的工作强度负荷；减速器壳体的材料主要采用 7075 铝合金，此材料具有强度高、导热性好、轻量化等特点，利用 CNC 数控铣床加工制作而成[2]。

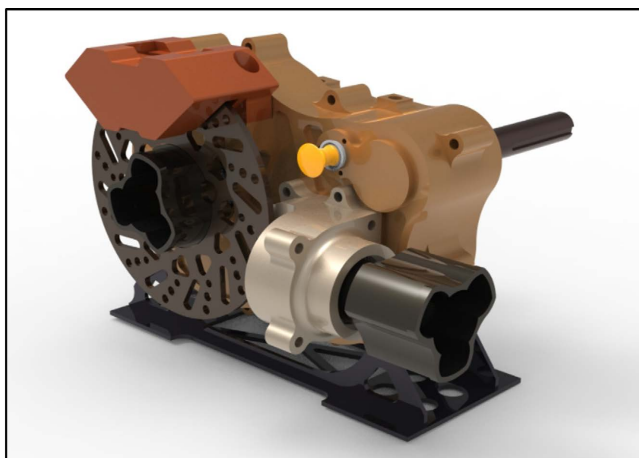


Figure 1. Overall structure design of central brake reducer
图 1. 中央制动减速器的整体结构设计

3.2. 中央制动减速器传动齿轮

传动齿轮是中央制动减速器的核心部分，主要分为主动传动齿轮和从动传动齿轮，通过花键连接分别镶嵌在支撑轴上。减速器的内部结构传动齿轮如图 2 所示。

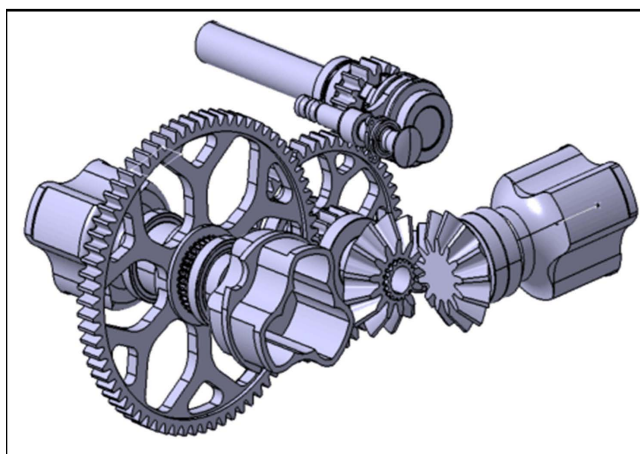


Figure 2. Internal structure of reducer design of transmission gear
图 2. 减速器的内部结构传动齿轮的设计

根据传动齿轮的齿面硬度要求，可将齿面分为硬齿面和软齿面两种，两者的齿轮材料均为中碳钢，但是热处理的方式不一样，本次设计的传动齿轮选用的是中碳钢 45#。由于小齿轮齿根强度较弱，且小齿轮的应力循环次数较多，为使大小齿轮的寿命接近，一般要使小齿轮齿面硬度比大齿轮高 25~50 HBS。所以在热处理时，小齿轮选用调质的热处理方式，大齿轮选用正火处理。

3.3. 减速器中央制动装置

本次设计的减速器为了提高整体赛车的安装维修便利性，在制动系统方面主动将后轮的轮边制动改进优化设计为中央制动的制动方式。制动盘与制动卡钳合理的布置方式以及制动盘巧妙的通风孔的设计，提高了整车的制动效果的同时，保证了巴哈赛车的安全性和可靠性。中央制动与减速器有机结合的设计理念，节约了轮边制动所占有的空间，是符合巴哈赛车追求轻量化的设计目标的体现。

3.4. 中央制动减速器的辅助元件

减速器的辅助元件主要由换挡装置、通气装置、密封圈和放油螺栓构成。换挡装置有换挡轴和拨叉构成。通过换挡轴和拨叉的轴向移动带动同步器结合和分离，从而实现减速器的空挡和前进挡的转化；通气装置通过通风螺栓进行通风，实现减速器壳体内部与外界相通，防止减速器内部气压过低把减速器壳压瘪；减速器设有放油螺栓含有磁性，主要用于稀释减速器内部由于齿轮啮合产生的铁屑，减少齿轮传动过程中的齿面磨损，最终延长了减速器的使用寿命。

4. 巴哈赛车减速器的拓扑优化

4.1. 减速器拓扑优化的流程

减速器作为全地形越野四驱野车整车设计过程的重要环节，中央制动减速器总体结构设计在满足整体结构强度和实际使用的前提下，通过对减速器的关键零部件进行 CAE 仿真分析、试制、定稿流程设计，改进优化减速器的关键零部件，以达到减速器轻量化的设计目的。

根据减速器的设计要求和设计目标，利用 CATIA 三维制图软件进行参数化零件建模以及减速器装配过程，完成中央制动减速器的设计，最后将减速器的设计模型导入 ANSYS 软件中进行有限元分析。具体实际操作流程如图 3 所示：

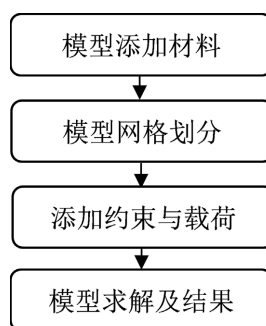


Figure 3. Flow chart of ANSYS finite element analysis

图 3. ANSYS 有限元分析流程图

4.2. 减速器箱体的有限元分析

① 导入模型添加 7075Al 材料如图 4 所示：

此材料根据查材料数据表选取其中——质量密度、弹性模量、泊松比、屈服强度将其载入 ANSYS。此数据来自《材料力学》，其材料数据见下文材料属性表。

② 对模型进行网格划分

在 Outline 中选择 Mesh，右击选择 Insert。通过选择适当的方法和参数设置，点击 Generate Mesh 生成网格，生成的网格如图 5 所示。

Properties of Outline Row 3: 7075-T6				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Density	2810	kg m ⁻³	
3	Isotropic Elasticity			
4	Derive from	Young's Modulus an...		
5	Young's Modulus	7.2E+10	Pa	
6	Poisson's Ratio	0.33		
7	Bulk Modulus	7.0588E+10	Pa	
8	Shear Modulus	2.7068E+10	Pa	

Figure 4. Material property table
图 4. 材料属性表

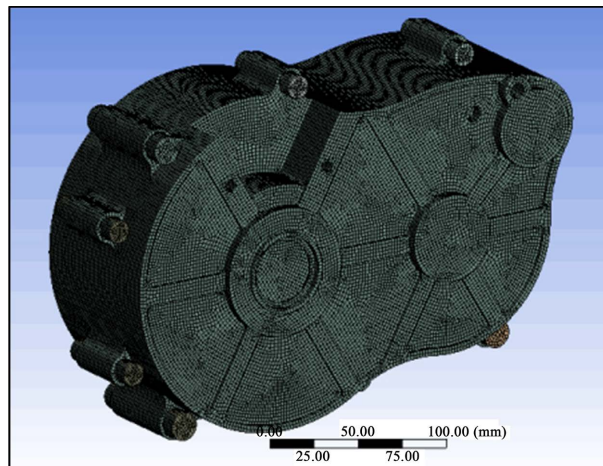


Figure 5. Model grid diagram
图 5. 模型网格图

③ 对减速箱添加约束以及添加载荷

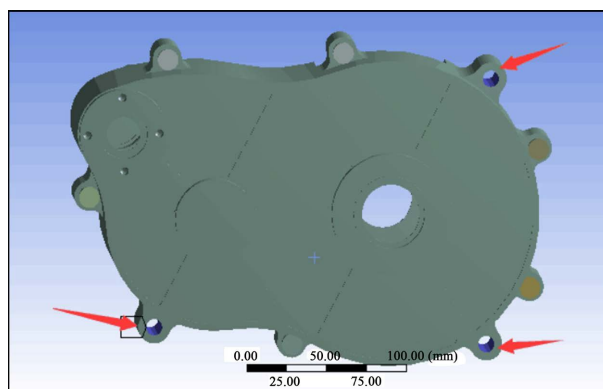


Figure 6. Bolt hole constraint diagram
图 6. 螺栓孔约束图

- 1) 减速箱是靠这三个螺栓孔固定在车架上，所以选择这三个螺栓孔为固定约束，如图 6 所示。
- 2) 施加螺栓预紧力，如图 7 所示。

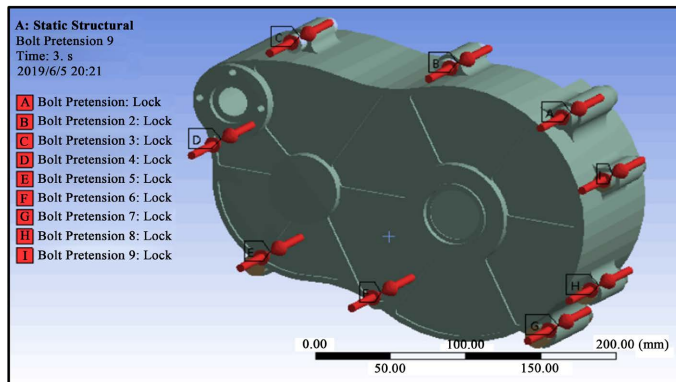


Figure 7. Bolt pre tightening diagram
图 7. 螺栓预紧力图

3) 施加轴承力, 如图 8 所示。

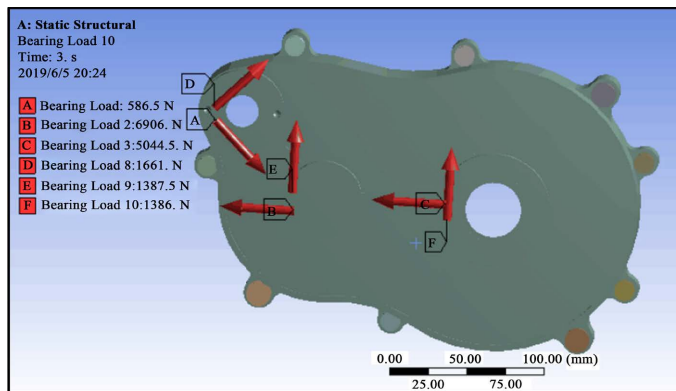


Figure 8. Bearing diagram
图 8. 轴承力图

④ 求解及结果

1) 等效应力, 如图 9 所示。

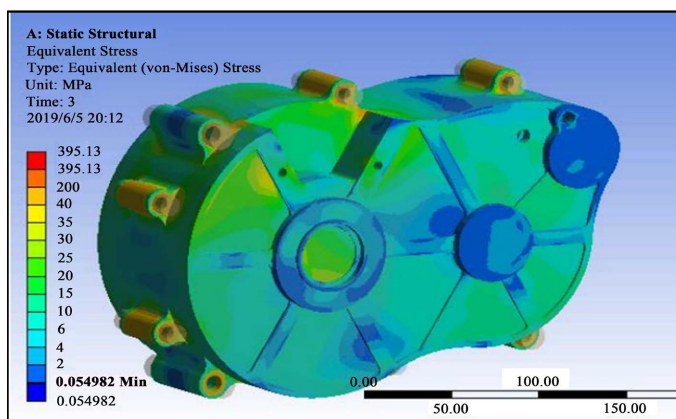


Figure 9. Equivalent stress diagram
图 9. 等效应力图

由云图可以看出减速箱最大应力点的应力约为 395.13 Mpa，而我们选择的材料 7075 AI 的屈服强度为 505 Mpa，所以减速箱的安全系数 $n = 505/395.13 = 1.28$ ，且 95% 以上的应力都小于 200 Mpa，满足强度要求。

2) 等效应变，如图 10 所示。

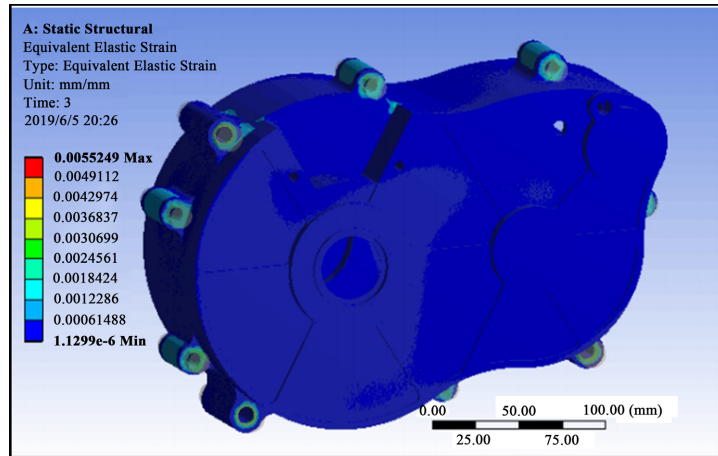


Figure 10. Equivalent strain diagram
图 10. 等效应变图

由胡克定律知 $\sigma = E\varepsilon$ ，即应力与应变成正比，而应变是反应物体的变形程度，由图数值可知减速箱的应变分别为 0.0055249 mm，可以看出此数值很小，远小于允许的变形量，对于零件影响很小。

3) 总变形

根据 ANSYS 软件最后的求解结果可以得出减速器的总变形如图 11 所示。减速箱总变形量为 0.084848 mm。总变形是指整体装置在受到一定载荷作用下产生的位移量，通过变形量可以直接反应一个整体结构刚度[3]。中央制动减速器在满足结构刚度和强度以及在使用条件下，根据对设计的减速器关键零部件进行拓扑优化的同时，通过 ANSYS 分析计算结果可以得出减速箱微小的总变形量。

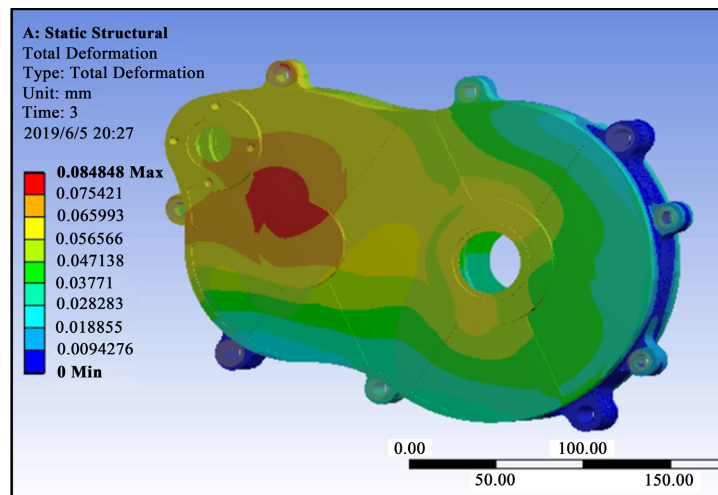


Figure 11. Total deformation of ANSYS reducer
图 11. ANSYS 减速器的总变形

由此可见, 变形量对本次设计的中央制动减速器的正常运行的影响很小, 最终验证了中央制动减速器的整体设计方案具有可行性与合理性。

5. 中央制动减速器的功用与动力传递路线

巴哈赛车中央制动减速器的功用: 第一是将发动机输出的动力经减速器降低转速增大扭矩之后, 通过半轴传递给驱动车轮。第二是减速器的内部结构设有换挡装置, 能够实现空挡和前进挡的转换。第三是减速器设计有中央制动装置, 通过制动卡钳与制动盘紧密配合, 能够实现巴哈赛车的减速以及达到制动抱死的制动效果。

考虑到巴哈赛车实际的工作情况和恶劣的道路环境, 本次设计的中央制动加速器的动力传递路线如下所述: 发动机输出的动力经过第一轴(1)通过同步器(4)由第一轴传动齿轮(5)传递给第二轴大齿轮(6)实现减速器第一级减速; 由于第二轴大齿轮(6)与第二轴小齿轮(7)是镶嵌在同轴上的, 所以第二轴大、小齿轮(6、7)的转速相同; 第二轴小齿轮(7)将动力传递给第三轴齿轮(8), 从而实现了减速器的第二级减速; 由于第三轴齿轮(8)、第三轴和球笼(3)都是通过花键连接, 通过球笼与半轴将动力传递给驱动车轮。

减速器的分动设计在第二轴(2)进行动力输出, 通过第二轴锥齿轮(9)与球笼锥齿轮(10)进行相交轴啮合传动, 将动力传递给万向传动装置再传到前桥, 最终实现了巴哈赛车四轮驱动系统, 提高了巴哈赛车的通过性和动力性能。减速器内部零件序号标记如图 12 所示:

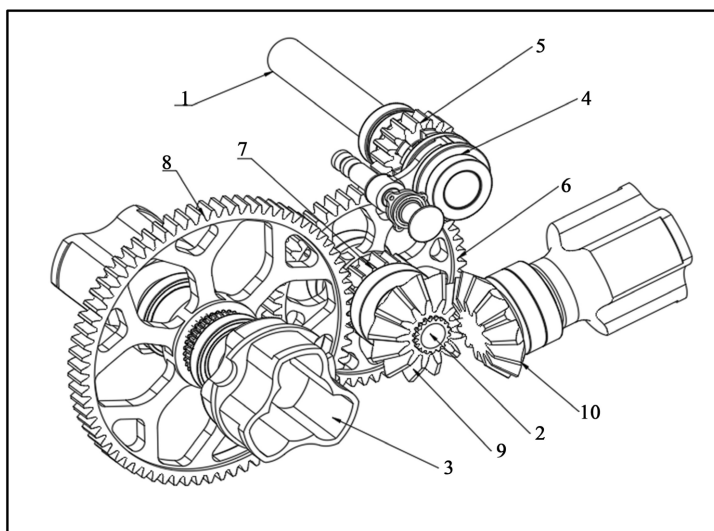


Figure 12. Drawing of serial number marking of internal parts of reducer
图 12. 减速器内部零件序号标记图

6. 中央制动减速器的润滑与密封

传动齿轮不同于普通的轮子, 它是呈齿形的, 如果没有润滑油的合理润滑, 传动齿轮在啮合过程中会发生严重的摩擦、产生大量的热量, 减少齿轮的使用寿命, 导致出现严重的问题。只有选择正确的润滑方式才能保证齿轮的正常工作, 从而延长减速器的使用寿命。

基于中央制动减速器的实际工作环境, 本次设计的中央制动减速器齿轮的润滑方式采用浸油润滑, 考虑到减速器在工作时啮合部位压力大, 冲击载荷大, 通过查阅《现代机械设计实用手册》后选用 75W-90 号齿轮油。齿轮浸入齿轮油中的深度约为大齿轮半径的三分之一, 粗略估计齿轮油的加注量为 760 ml, 既可以起到中央制动减速器的润滑、降温等作用。轴承是通过齿轮飞溅润滑油的方式进行润滑[4]。减速

器第一轴以及第三轴需要密封是以防止外界灰尘和水分浸入轴承，防止润滑油漏出选择 TC 型旋转轴用骨架油封便能起到良好的密封效果；在装配减速器的左右壳体时，两壳体中间则采用夹石棉垫的方法来防止润滑油的漏出[5]。必要时可以用密封胶与密封垫圈的方式进行有效的密封。

本次设计的中央制动减速器的润滑与密封方式，为传动齿轮提供一个良好的工作环境，有利于延长传动齿轮的使用寿命，减少齿轮啮合过程中的摩擦，为减速器后期的使用与维护做出了重要保障。

7. 总结

巴哈赛车中央制动减速器的设计主要应用于全地形越野车辆技术领域，可行性的减速器的设计方案有利于提高巴哈赛车的传动性和通过性。在减速器设计目标和参数基本确定的情况下对减速器进行研究分析，确定了减速器的总体结构的设计。利用 CATIA 软件进行参数化建模，完成设计出减速器的模型，再将模型导入 ANSYS 软件中进行有限元分析。通过分析计算验证了中央制动减速器的合理性，实际巴哈赛车越野性能证明了中央制动减速器的可靠性，从而最终达到了轻量化的设计目标。巴哈赛车中央制动减速器的设计以及详细说明的动力传递路线为今后参赛车辆的设计提供建设性的方案，进一步为国内汽车技术领域的发展贡献一份团队的力量。

基金项目

2022 年临沂大学大学生创新创业训练计划项目(序号：358)。

参考文献

- [1] 付豪, 刘周纯, 雷鸿谦. 基于巴哈赛车双速式减速器的研究及设计[J]. 科技与创新, 2020(11): 146-147.
- [2] 王玉, 刘学渊, 黎钢. 巴哈赛车主减速器的设计与分析[J]. 林业机械与木工设备, 2018, 46(3): 39-43.
- [3] 郑英龙, 汪博文. 基于 Hypermesh 的巴哈赛车减速器壳体拓扑优化设计[J]. 设计, 2020, 33(10): 96-99.
- [4] 韩利芬, 肖波, 冯建军, 马秋成, 罗益宁. 齿轮减速器的拆装及运动仿真设计[J]. 机械工程师, 2003(5): 12-14.
- [5] 刘生林. 计算机辅助设计推杆减速器与新型摆杆减速器的研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安交通大学, 1996.