

太阳轮刚度对行星机构浮动量影响规律的研究

王娟, 苏阔, 马安帮, 李同杰*

安徽科技学院机械工程学院, 安徽 凤阳

收稿日期: 2021年11月15日; 录用日期: 2022年2月8日; 发布日期: 2022年2月16日

摘要

以某2K-H型行星齿轮机构为研究对象, 建立行星齿轮机构的力学模型并推导其运动微分方程。参照该行星齿轮机构给定的基本参数, 研究了太阳轮支撑刚度对行星轮系中心件的浮动量的影响。通过数值仿真计算发现太阳轮支撑刚度对太阳轮浮动量有显著影响。太阳轮的浮动量会随着太阳轮支撑刚度的减小会明显增大。本文研究结论对2K-H型行星齿轮机构的动态优化设计具有一定的指导意义。

关键词

行星齿轮机构, 浮动量, 太阳轮支撑刚度

Study on the Influence Law of Sun Wheel Stiffness on Floating Quantity of Planetary Mechanism

Juan Wang, Kuo Su, Anbang Ma, Tongjie Li*

College of Mechanical Engineering, Anhui Science and Technology University, Fengyang Anhui

Received: Nov. 15th, 2021; accepted: Feb. 8th, 2022; published: Feb. 16th, 2022

Abstract

Taking a 2K-H type planetary gear mechanism as the research object, the mechanical model of the planetary gear mechanism is established and its motion differential equation is deduced. According to the basic parameters given by the planetary gear mechanism, the influence of the support stiffness of the sun gear on the floating quantity of the central part of the planetary gear system is studied. Through numerical simulation, it is found that the support stiffness of the solar wheel has a significant effect on the floating amount of the sun gear. The floating amount of the sun gear will obviously increase with the decrease of the support stiffness of the sun gear. The conclusion of this

*通讯作者。

paper has a certain guiding significance for the dynamic optimization design of 2K-H planetary gear mechanism.

Keywords

Planetary Gear Mechanism, Float, Support Stiffness of Sun Gear

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

在行星齿轮传动系统的均载与动力学设计中, 影响因素很多, 中心件的浮动量就是重要因素之一。如果能从中找出影响中心件浮动量的主要因素, 并通过分析得到其变化规律, 将会为整个传动系统的均载与动力学设计提供重要的理论基础和参考价值。国内外学者关于行星齿轮的动力学研究浩如烟海, 国内外专家黄康、焦映厚、秦大同、方宗德等人在此方面做出了杰出贡献[1] [2] [3] [4] [5], 但是专门针对太阳轮刚度对行星机构浮动量影响规律的研究却不多见。

本论文以某型号 2K-H 型行星齿轮机构为研究对象, 参照给定的基本参数, 通过改变太阳轮刚度参数值, 定性分析太阳轮刚度对行星轮系中心件的浮动量的影响规律。

2. 2K-H 型行星齿轮机构的力学模型及运动微分方程

本文研究的行星轮系传动简图以及力学模型分别如图 1 和图 2 所示。图 1 中 1 代表行星机构的输入端, 2 代表行星轮, 3 代表行星架, 4 代表输出端, 5 代表太阳轮, 6 代表内齿圈。图 2 中太阳轮、行星架、第 i 个行星轮的角位移分别以 θ_s 、 θ_c 、 θ_{pi} 表示; 太阳轮、第 i 个行星轮、内齿圈的基圆半径分别以 r_{bs} 、 r_{bpi} 、 r_{br} 表示; 行星架半径以 r_c 表示, 其值为太阳轮与行星轮的节圆半径之和, 标准安装下亦即太阳轮与行星轮的分度圆半径之和; 太阳轮与第 i 路行星轮组成的外啮合副的啮合刚度、啮合阻尼系数、半齿侧间隙、综合啮合误差分别以 k_{spi} 、 c_{spi} 、 b_{spi} 、 e_{spi} 表示; 内齿圈与第 i 路行星轮组成的内啮合副的啮合刚度、啮合阻尼系数、半齿侧间隙、综合啮合误差分别以 k_{rpi} 、 c_{rpi} 、 b_{rpi} 、 e_{rpi} 表示。图中太阳轮、行星轮以及内齿圈的齿数分别以 z_s 、 z_{pi} 、 z_r 表示。

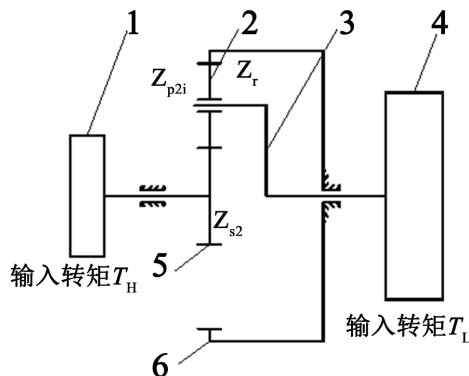


Figure 1. Transmission diagram of star gear transmission system

图 1. 星齿轮传动系统传动简图

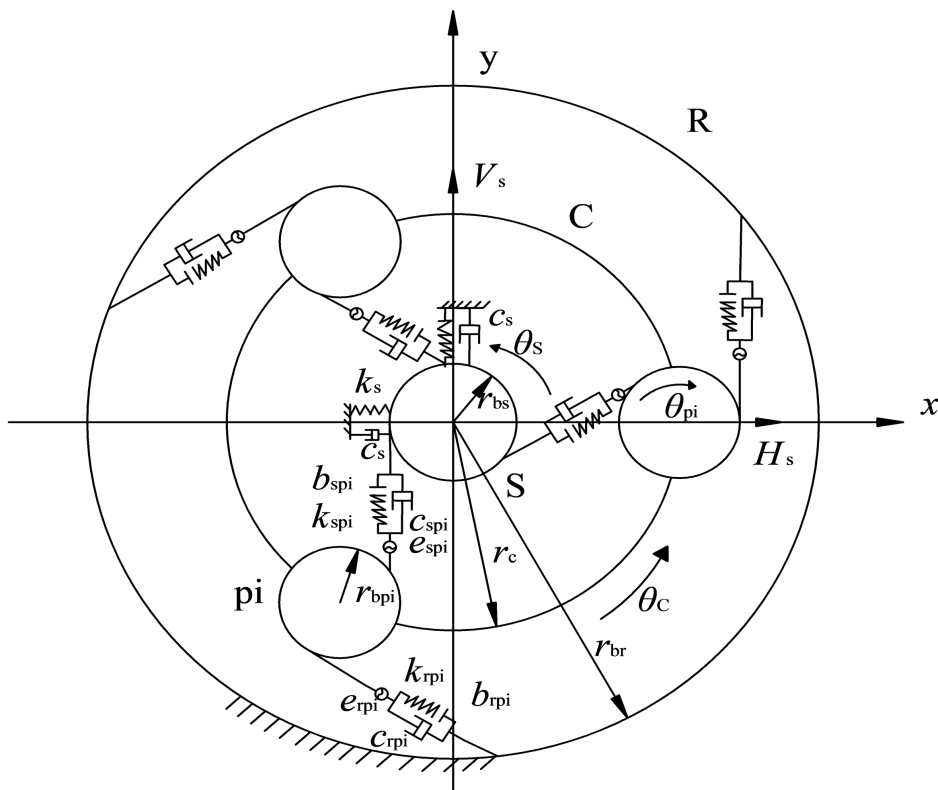


Figure 2. Dynamic model of planetary gear transmission system
图 2. 行星齿轮传动系统动力学模型

模型中的太阳轮可以浮动，并假设太阳轮支撑刚度为 k_s ，阻尼系数为 c_s ，太阳轮水平和数值位移分别以 H_s 和 V_s 表示。由拉格朗日方程，可以列出行星齿轮传动系统的的弯扭耦合动力学方程如 1 式所示：

$$\begin{cases} m_s \ddot{x}_s + \sum_{i=1}^N (F_{spi}^p + F_{spi}^d) = F_D \\ m_{s1} \ddot{H}_s - \sum_{i=1}^N (F_{spi}^p + F_{spi}^d) \sin \left[\alpha - \frac{2\pi}{N} (i-1) \right] + k_s x + c_s \dot{x} = 0 \\ m_{s1} \ddot{V}_s - \sum_{i=1}^N (F_{spi}^p + F_{spi}^d) \cos \left[\alpha - \frac{2\pi}{N} (i-1) \right] + k_s y + c_s \dot{y} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, N \\ m_{pi} \ddot{x}_{pi} - (F_{spi}^p + F_{spi}^d) + (F_{rpi}^p + F_{rpi}^d) = 0 \\ m_c \ddot{x}_c - \sum_{i=1}^N (F_{spi}^p + F_{spi}^d) - \sum_{i=1}^N (F_{rpi}^p + F_{rpi}^d) = -F_L \end{cases} \quad (1)$$

式中， m_s 为太阳轮质量， m_{pi} 为第 i 个行星轮质量， m_c 为内齿圈质量， F_{spi}^p 和 F_{rpi}^p 分别表示系统第 i 路外、内啮合副上的动态啮合力， F_{spi}^d 和 F_{rpi}^d 分别表示系统第 i 路外、内啮合副上的啮合阻尼力， F_D 为行星机构输入载荷， F_L 表示机构输出载荷。

3. 太阳轮支撑刚度对系统动态特性的影响

当传递功率为 $P = 5.5 \text{ KW}$ ，太阳轮支撑刚度量纲为 $k_s = 1 \times 10^6 \text{ N/m}$ ，齿侧间隙量纲为 $b = 1 \times 10^{-5} \text{ m}$ ，齿轮误差量纲为 $e_a = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$ ，输入转速为 $n_s = 4000 \text{ r/min}$ 。

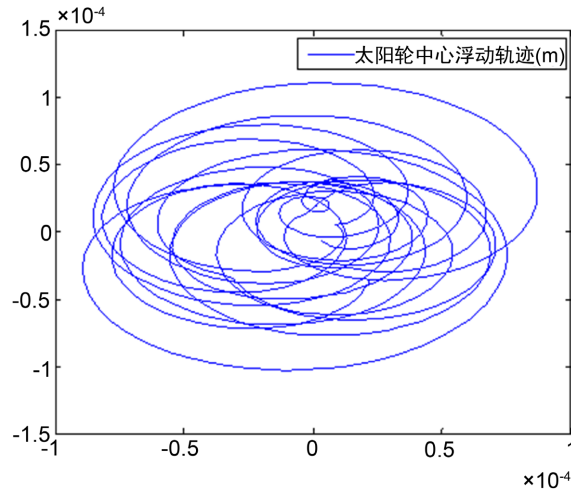


Figure 3. The floating track of the center of the sun wheel when $k_s = 1 \times 10^6$ N/m
图 3. $k_s = 1 \times 10^6$ N/m 时的太阳轮中心浮动轨迹

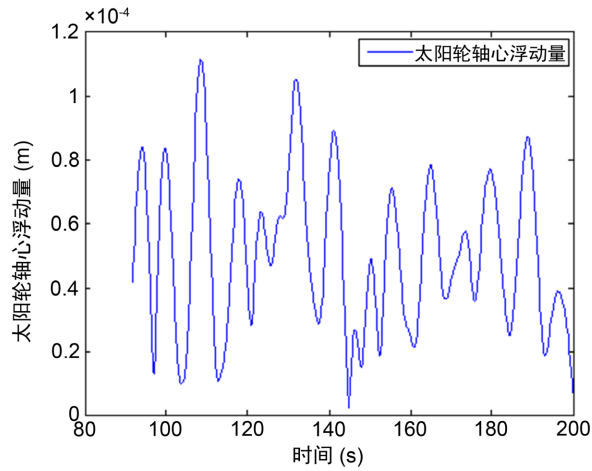


Figure 4. The floating amount of the sun gear axis when $k_s = 1 \times 10^6$ N/m
图 4. $k_s = 1 \times 10^6$ N/m 时的太阳轮轴心浮动量

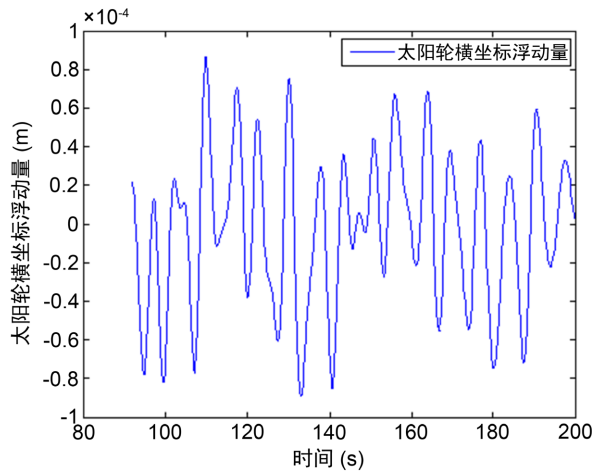


Figure 5. The floating amount of the sun wheel abscissa when $k_s = 1 \times 10^6$ N/m
图 5. $k_s = 1 \times 10^6$ N/m 时的太阳轮横坐标浮动量

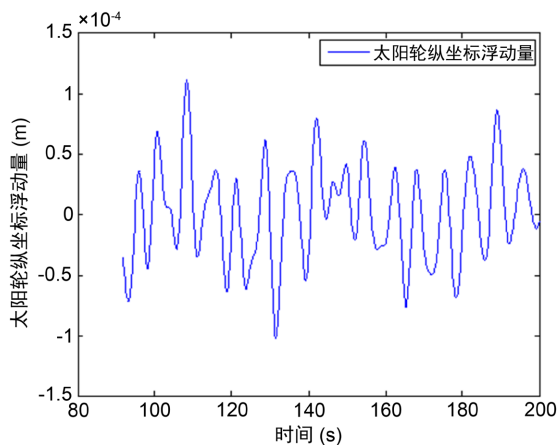


Figure 6. The floating amount of the sun wheel ordinate when $k_s = 1 \times 10^6$ N/m
图 6. $k_s = 1 \times 10^6$ N/m 时的太阳轮纵坐标浮动量

其他参数不变, 当太阳轮支撑刚度增至 $k_s = 1 \times 10^5$ N/m 时太阳轮浮动仿真如图 7~10 所示。

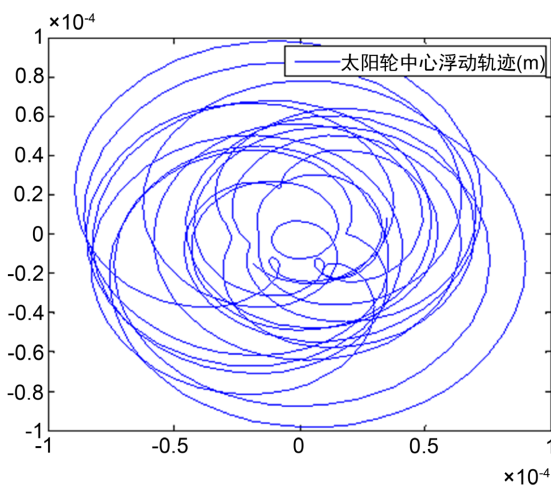


Figure 7. The floating track of the center of the sun when $k_s = 1 \times 10^5$ N/m
图 7. $k_s = 1 \times 10^5$ N/m 时的太阳轮中心浮动轨迹

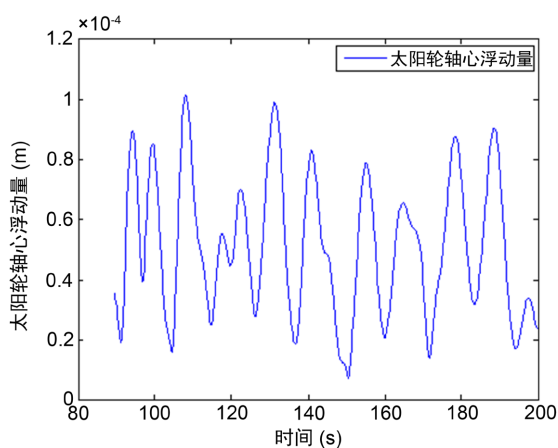


Figure 8. The floating amount of the sun gear axis when $k_s = 1 \times 10^5$ N/m
图 8. $k_s = 1 \times 10^5$ N/m 时的太阳轮轴心浮动量

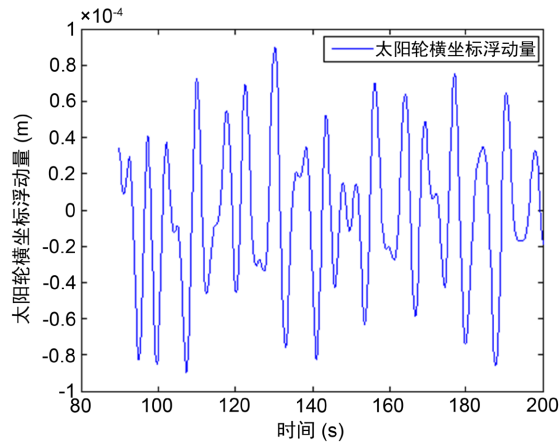


Figure 9. The floating amount of the sun wheel abscissa when $k_s = 1 \times 10^5$ N/m
图 9. $k_s = 1 \times 10^5$ N/m 时的太阳轮横坐标浮动量

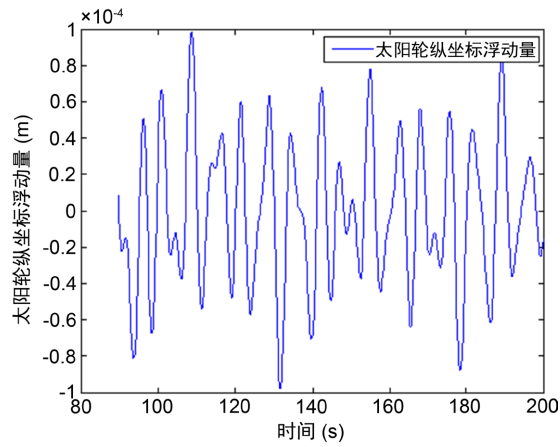


Figure 10. The floating amount of the sun wheel's ordinate when $k_s = 1 \times 10^5$ N/m
图 10. $k_s = 1 \times 10^5$ N/m 时的太阳轮纵坐标浮动量

其他参数不变，当太阳轮支撑刚度增至 $k_s = 1 \times 10^7$ N/m 时太阳轮浮动仿真如图 11~14 所示。

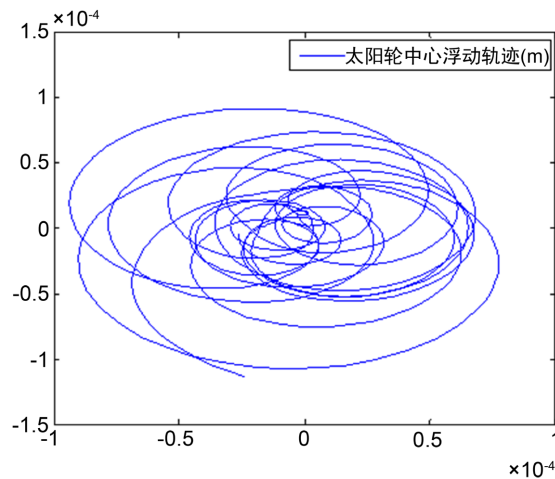


Figure 11. The floating track of the center of the sun wheel when $k_s = 1 \times 10^7$ N/m
图 11. $k_s = 1 \times 10^7$ N/m 时的太阳轮中心浮动轨迹

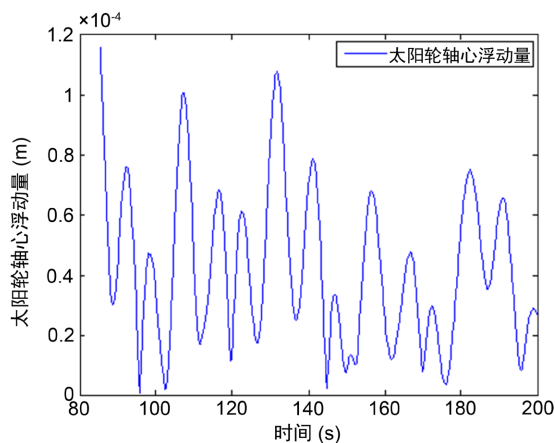


Figure 12. The floating amount of the sun gear axis when $k_s = 1 \times 10^7$ N/m
图 12. $k_s = 1 \times 10^7$ N/m 时的太阳轮轴心浮动量

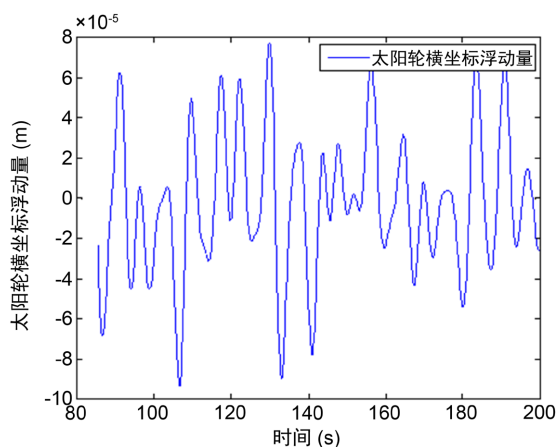


Figure 13. The floating amount of the sun wheel abscissa when $k_s = 1 \times 10^7$ N/m
图 13. $k_s = 1 \times 10^7$ N/m 时的太阳轮横坐标浮动量

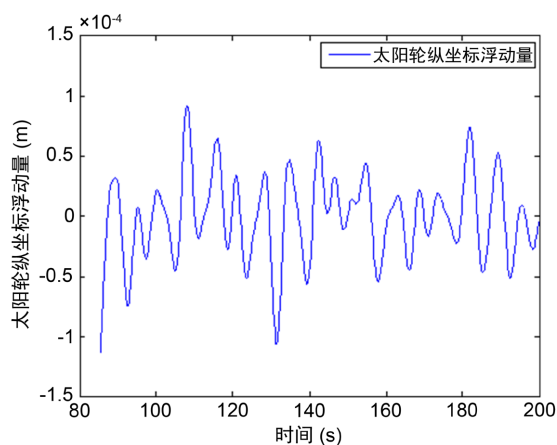


Figure 14. The floating amount of the sun wheel's ordinate when $k_s = 1 \times 10^7$ N/m
图 14. $k_s = 1 \times 10^7$ N/m 时的太阳轮纵坐标浮动量

对比图 3~14 可以得到太阳轮支撑刚度太阳轮浮动量的影响规律: 太阳轮支撑刚度对太阳轮浮动量的影响非常巨大, 当支撑刚度 $k_s = 1 \times 10^5$ N/m 时, 太阳轮中心的浮动范围在原点中心 1.2×10^{-4} m 内; 当支撑

刚度 $k_s = 1 \times 10^6$ N/m 时, 太阳轮中心的浮动范围在中心 1×10^{-4} m 内; 当支撑刚度 $k_s = 1 \times 10^7$ N/m 时, 太阳轮中心的浮动范围在中心 0.6×10^{-4} m 内。总之, 随着太阳轮支撑刚度的减小, 太阳轮浮动量会显著增大, 有利于各路外啮合副的均载性能。

4. 结论

1) 本文建立了某型号 2K-H 行星齿轮传动系统的弯扭耦合动力学模型, 并推导了其运动微分方程, 为浮动特性的仿真分析奠定了基础。

2) 太阳轮支撑刚度对太阳轮浮动量的影响非常巨大。在考查范围内, 随着太阳轮支撑刚度的减小, 太阳轮浮动量会显著增大, 有利于各路外啮合副的动载性能。

基金项目

安徽省教育厅自然科学重点项目(KJ2020A0073); 安徽省自然科学基金项目(2108085ME167); 安徽省重点研究与开发计划项目(201904a05020005); 安徽省科技重大专项(201903a02050014)。

参考文献

- [1] Huang, K., Yi, Y., *et al.* (2020) Nonlinear Dynamics Analysis of High Contact Ratio Gears System with Multiple Clearances. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, **42**, 69-76. <https://doi.org/10.1007/s40430-020-2190-0>
- [2] 莫文超, 焦映厚, 陈照波, 等. 人字齿行星传动系统非线性动力学特性分析[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2019, 40(10): 1760-1766.
- [3] 魏静, 史磊, 张爱强, 秦大同. 飞行环境非惯性系下行星齿轮传动系统耦合动力学建模及其动态特性[J]. 机械工程学报, 2019, 55(23): 162-172.
- [4] Wang, X. (2019) Nonlinear Dynamics of Planetary Gear Wear in Multistage Gear Transmission System. *Journal of Vibration Engineering*, **21**, 1738-1750. <https://doi.org/10.21595/jve.2019.20471>
- [5] 蒋进科, 方宗德, 刘红梅. 考虑多体承载啮合斜齿行星齿轮动载特性分析[J]. 工程科学与技术, 2020, 52(1): 161-167.