



天津中德应用技术大学
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

本科生毕业设计

航空发动机滑油尺结构优化设计及分析

Structure Optimization and Design Analysis of Aero-engine
Fuel Gauges

姓 名 李朔

学 院 航空航天大学

专 业 飞行器制造工程

指导教师 福巍

职 称 讲师

完成时间 2022年6月3日



天津中德应用技术大学
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

本科生毕业设计

航空发动机滑油尺结构优化设计及分析
Structure Optimization and Design Analysis of Aero-engine
Fuel Gauges

姓 名 李朔

学 院 航空航天学院

专 业 飞行器制造工程

指导教师 福巍

职 称 讲师

完成时间 2022年6月3日

任务书填写要求

1. 毕业设计（论文）任务书由指导教师根据各课题的具体情况填写，经专业负责人审查签字后生效。此任务书应在毕业设计（论文）开始前一周内填好并发给学生；
2. 任务书内填写的内容，必须和学生毕业设计（论文）完成的情况相一致；
3. 任务书内有关“学院”、“专业”等名称的填写，应写中文全称，不能写数字代码。学生的“学号”要写全号（如：16014010101）；
4. 有关年月日等日期的填写，应当按照国标 GB/T 7408—94《数据元和交换格式、信息交换、日期和时间表示法》规定的要求，一律用阿拉伯数字书写。如“2004 年 3 月 21 日”或“2004-03-21”。
5. 本毕业设计（论文）课题成果的要求，内容要具体化和数量化。如“毕业设计（论文）一套；A0 号装配图纸 1 张；A2 号电气控制原理图纸 2 张；实物样机 1 台；产品 2 件”等。

毕业设计（论文）任务书

1. 毕业设计（论文）课题背景及意义

滑油系统是航空发动机的重要系统之一，主要给发动机齿轮、轴承等机械旋转件提供充足的滑油进行润滑和冷却。航空发动机运行过程中滑油系统负责减少各个部件之间因直接接触而造成的磨损。滑油系统故障不仅影响发动机的工作性能和使用寿命，还可能影响飞行的安全性和可靠性。因此，提高滑油系统的可靠性和安全性对于飞机的正常工作具有十分重要的意义。

航空发动机滑油系统按零件分为滑油箱、进油泵、回油泵、安全活门、调压阀、单向活门、单向压差活门、油气分离器、燃油-滑油散热器、油滤、离心通风机等关键零部件。滑油系统按子系统分为供油系统、回油系统、通风系统和指示（监视）系统。而指示（监视）系统又包含滑油压力、温度传感器；指示仪表、磁屑检测器等。滑油系统管理设计分为单回路循环系统和双回路循环系统两类。

国内现状：中国航空发动机滑油系统早期主要是仿制苏制发动机的。林基恕系统地总结了我国航空发动机滑油系统仿制的经验，较为详细地阐述了滑油系统的原理和计算方法、部件原理和设计技术、润滑油和状态监测等。近年来，随着中国航空发动机的发展，许多中国学者对滑油系统从系统的设计原理、系统热分析、系统组成部件、润滑油、系统检测等方面进行了比较深入的研究，滑油系统设计逐步从仿制走上自行发展的道路。

国外现状：发达国家十分重视润滑油优改良工作，例如，美国 IHPTET 计划把研制航空发动机润滑油纳入了计划中，在计划一阶时期研制出了三、四级别的润滑油，能够在高温条件下不结焦，在计划二阶时期为了使润滑油具备提供轻重量、用于飞行的条件，拟制研制能够承受 330 摄氏度的润滑油。使用拟制研发的润滑剂有助于降低耗油量，减轻重量。

通过对 WP6 发动机滑油尺进行拆卸，弄清楚滑油系统中滑油尺的基本结构以及工作原理，发现滑油尺的形状是一根正三棱柱，且侧边的每面长方形上都刻有方向与尺寸刻度。下面我觉得滑油箱内部空间使用率很低，导致内部零部件不能有很好的抗震效果和散热效果，而且安装拆卸比较复杂，增加后期维修、检测难度。因此我为提高滑油箱内部空间使用率，提高工作效率，加强结构刚度、强度以及维修拆装方便等性能，我决定对 WP6 滑油系统进行系统优化及分析。

2. 毕业设计（论文）课题任务的内容和要求

1.分析航空发动机滑油尺结构的不足：首先对原滑油尺进行一比一 3D 建模，分析系统中结构的不足之处。2.优化航空发动机滑油尺结构分析：滑油尺进行初步优化分析并进行 3D 建模，对比优化前后系统，对初步优化分析查漏补缺。发现优化后系统结构进行改进，进行二次优化。

3.优化后与模型对比分析：将最终优化系统与原系统进行总体的 3D 仿真对比分析，比如形状、强度等性能测试得出最优方案。

3. 毕业设计（论文）课题成果（包括毕业设计论文、图表、实物样品等）：

(1) 毕业设计 1 套

4. 推荐参考资料：

- [1]魏旭东.对航空发动机滑油系统的现状及未来发展分析[J].内燃机与配件,2019(12):63-64.DOI:10.19475/j.cnki.issn1674-957x.2019.12.025.
- [2]郝嘉玉,陈礼顺.滑油监控技术在航空发动机上的应用[J].内燃机与配件,2019(11):138-139.DOI:10.19475/j.cnki.issn1674-957x.2019.11.070.
- [3]吴明阳.飞机维修时航空发动机滑油系统污染防控措施分析[J].无线互联科技,2019,16(23):5-6.
- [4]张椋.航空发动机滑油系统常见故障分析[J].中国新技术新产品,2019(03):31-32.DOI:10.13612/j.cnki.cntp.2019.03.018.
- [5]任鑫欣,张栋善.通用航空发动机滑油系统及其压力标定[J].中国科技信息,2018(18):36-37.
- [6]王立.某型发动机滑油泄漏故障分析[J].科技创新与应用,2021,11(22).
- [7]梁键.某航空发动机滑油系统故障分析研究[D].西安电子科技大学,2006.
- [8]Lališ Andrej,Bolčeková Simona,Štumbauer Oldřich. Ontology-based reliability analysis of aircraft engine lubrication system[J]. Transportation Research Procedia,2020,51:
- [9]Yu Yu Zuo. Gas Turbine Engines Lubrication System Design[J]. Advanced Materials Research,2014,3051(900-900):
- [10]Engine Lubrication System Model for Sump Oil Temperature Prediction[J]. SAE Transactions,2001,110:

所在专业审查意见： 同意

负责人： 姚莹洁

2021 年 12 月 5 日

一、 开题报告内容(课题的目的意义、与本课题有关的国内外研究(应用)情况及发展趋势、课题主要研究内容、参考文献等)

(一) 国内外研究情况

二十世纪最重大的发明之一，是飞机的诞生。从 1900 年至 1902 年莱特兄弟进行 1000 多次滑翔试飞，终于在 1903 年制造出了第一架依靠自身动力进行载人飞行的飞机“飞行者”1 号，并且获得试飞成功。这是人类在飞机发展的历史上取得的巨大成功。自此，人类进入了航空时代。

自从飞机发明以后，飞机日益成为现代文明不可缺少的运载工具。它深刻的改变和影响人们的生活。由于发明了飞机，人类环球旅行的时间大大缩短了，错综复杂的空中航线把世界各国连接起来，为人们提供了既方便又迅速的客运。早在本世纪 20 年代，航空运输就开设了定期航班，运送旅客和邮件。飞机的发明也使航空运输业得到了空前发展。飞机在现代战争中不仅可以用于侦察、轰炸，而且在预警、反潜、扫雷等方面也极为出色。

而滑油系统是航空发动机中的重要系统之一，主要给发动机齿轮、轴承等机械旋转件提供充足的滑油进行润滑和冷却。航空发动机滑油系统按零件分为滑油箱、进油泵、回油泵、安全活门、调压阀、单向活门、单向压差活门、油气分离器、燃油-滑油散热器、油滤、离心通风机等关键零部件。滑油系统按子系统分为供油系统、回油系统、通风系统和指示(监视)系统。而指示(监视)系统又包含滑油压力、温度传感器；指示仪表、磁屑检测器等。滑油系统管理设计分为单回路循环系统和双回路循环系统两类。

国内现状：中国航空发动机滑油系统早期主要是仿制苏制发动机的。林基恕系统地总结了国内航空发动机滑油系统仿制的经验，较为详细地阐述了滑油系统的原理和计算方法、部件原理和设计技术、润滑油和状态监测等。近年来，随着中国航空发动机的发展，许多中国学者对滑油系统从系统的设计原理、系统热分析、系统组成部件、润滑油、系统检测等方面进行了比较深入的研究，滑油系统设计逐步从仿制走上自行发展的道路。

国外现状：发达国家十分重视润滑油改良工作，例如，美国 IHPTET 计划把研制航空发动机润滑油纳入了计划中，在计划一阶时期研制出了三、四级别的润滑油，能够在高温条件下不结焦，在计划二阶时期为了使润滑油具备提供轻量化、用于飞行的条件，拟制研制能够承受 330 摄氏度的润滑油。使用拟制研发的润滑剂有助于降低耗油量，减轻重量。

(二) 课题的目的和意义

航空发动机运行过程中滑油系统负责减少各个部件之间因直接接触而造成的磨损。由于发动机长期工作在高温高压且颠簸的环境下，导致发动机里的滑油系统处于不平稳状态，滑油箱会晃动把里面滑油漏出。滑油系统故障不仅影响发动机的工作性能和使用寿命，还可能影响飞行的安全性和可靠性。因此，提高滑油系统的可靠性和安全性对于飞机的正常工作具有十分重要的意义。

滑油尺是航空发动机滑油系统中的一个关键部件，它能够测量滑油箱内部滑油量的多少与流动方向。它能防止磁性堵塞拆下时滑油流出。本课题通过对 WP6 发动机滑油尺的拆卸，深入了解了滑油尺的基本结构以及工作原理。为了提高滑油箱内部空间使用率，提高工作效率，提高抗震效果和散热效果，加强结构刚度、强度以及维修拆装方便等性能，我将会对 WP6 滑油系统中的滑油尺进行系统优化及分析。

（三）主要内容

- （1）了解滑油尺的基本结构、工作原理、安装部位及功用。
- （2）分析 WP6 滑油系统中的滑油尺结构中存在的缺陷并提出改进方法。
- （3）按照滑油尺的实际尺寸进行 1: 1 建模并分析。
- （4）提出改进优化后的结构设计方案，即改变滑油尺的棱角度数及滑油尺的安装方法，优化后与模型进行对比分析。

参考文献

- [1]魏旭东.对航空发动机滑油系统的现状及未来发展分析[J].内燃机与配件,2019(12):63-64.DOI:10.19475/j.cnki.issn1674-957x.2019.12.025.
- [2]郝嘉玉,陈礼顺.滑油监控技术在航空发动机上的应用[J].内燃机与配件,2019(11):138-139.DOI:10.19475/j.cnki.issn1674-957x.2019.11.070.
- [3]吴明阳.飞机维修时航空发动机滑油系统污染防控措施分析[J].无线互联科技,2019,16(23):5-6.
- [4]张棕.航空发动机滑油系统常见故障分析[J].中国新技术新产品,2019(03):31-32.DOI:10.13612/j.cnki.cntp.2019.03.018.
- [5]任鑫欣,张栋善.通用航空发动机滑油系统及其压力标定[J].中国科技信息,2018(18):36-37.
- [6]王立.某型发动机滑油泄漏故障分析[J].科技创新与应用,2021,11(22):144-146.
- [7]梁键.某航空发动机滑油系统故障分析研究[D].西安电子科技大学,2006.
- [8]Lališ Andrej,Bolčeková Simona,Štumbauer Oldřich. Ontology-based reliability analysis of aircraft engine lubrication system[J]. Transportation Research Procedia,2020,51:
- [9]Yu Yu Zuo. Gas Turbine Engines Lubrication System Design[J]. Advanced Materials Research,2014,3051(900-900):
- [10]Engine Lubrication System Model for Sump Oil Temperature Prediction[J]. SAE Transactions,2001,110:

二、进度及预期结果		
起止日期	主要内容	预期结果
2021.12.03- 2022.01.04	确定命题进行前期文献查阅,学习相关知识查找相关参数。	掌握基本的相关知识参数,有大体的思路。
2022.01.04- 01.15	使用 solidworks 按照滑油尺的实际尺寸进行 1: 1 建模分析。	完成开题报告、任务书。
2022.01.15- 02.28	建模同时与老师沟通进行改进。	完成建模。
2022.03.01- 03.31	撰写论文,完成建模。	完成初期论文。
2022.03.31- 05.21	完成论文,完善结果。	论文和结果优化,完成中期答辩。
2022.05.21- 06.03	熟悉论文,完成答辩 PPT 的准备工作。	得到一份论文完成最终答辩。
完成课题的 现有条件	1.具备良好的绘图和计算能力,能够进行相对复杂的选型和计算,且对结构有较充分地理解; 2.具有较好的数学、物理、力学的知识基础,能够使用 solidworks 进行数学建模及数据优化; 3.自主学习能力强; 4.熟练运用 solidworks 绘图软件。	
指导教师 意见	同意开题 指导教师: <u>福巍</u> <u>2022年3月5日</u>	
开题答辩 小组意见	同意开题 组长: <u>刘宝如</u> <u>2022年3月5日</u>	

天津中德应用技术大学
本科生毕业论文（设计）的声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在指导教师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本学位论文的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或没有公开发表的作品内容。对本论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本学位论文原创性声明的法律责任由本人承担。

学位论文作者签名：李胡

2022年6月3日

本人声明：该学位论文是本人指导学生完成的研究成果，已经审阅过论文的全部内容，并能够保证题目、关键词、摘要部分中英文内容的一致性和准确性。

学位论文指导教师签名 福巍

2022年6月3日

摘 要

滑油系统是航空发动机的重要系统之一，主要作用是给发动机齿轮、轴承等机械旋转件提供充足的滑油进行润滑和冷却。航空发动机运行过程中滑油系统负责减少各个部件之间因直接接触而造成的磨损问题。滑油系统故障不仅能影响发动机的工作性能和使用寿命，还可能影响飞行的安全性和可靠性。因此，提高航空发动机中滑油系统的可靠性和安全性对于飞机的正常工作具有十分重要的意义。

在一次的实验当中，我发现该滑油系统的滑油尺存在缺陷，随后在与导师的交流以及查找资料后便提出滑油尺的优化结构。此后我对原结构进行测量然后通过原始数据进行三维建模，然后根据自己改善的结构进行三维建模。通过数次实验进行对比，然后查找资料进行实验结果分析，最后通过实用性以及各种条件下分析不足和展望未来。

本次的实验我多次使用一个三维建模软件，让我不仅只是课本上理论的了解，更让我对其功能的延展和使用。在拆卸发动机的过程中，我也对发动机和滑油系统有了更深的了解，这对后来实验的实用性得以更好理解。在最后优化结果中，我多次利用数据学和统计分析，让我更能直观的看到差距与不足。在本次实验结束后，我进一步了解其不足，这对我以后实际运用有了很大提升。

关键词：滑油尺；滑油系统；流线型；卡扣连接

ABSTRACT

The lubricating oil system is one of the important systems of the aero engine, and its main role is to provide sufficient lubrication and cooling for mechanical rotating parts such as engine gears and bearings. The oil system is responsible for reducing wear and tear caused by direct contact between individual components during the operation of the aero engine. Oil system failures can not only affect the working performance and service life of the engine, but also may affect the safety and reliability of flight. Therefore, improving the reliability and safety of the lubricating oil system in aero engines is of great significance to the normal operation of aircraft.

In one experiment, I found that the oil slide of the lubricator system was defective, and then after the communication of the instructor and the search for information, the optimal structure of the oil slide was proposed. After that, I measure the original structure and then model it in 3D from the raw data, and then I model it in 3D based on my own improved structure. Through several experiments to compare, then find data for experimental results analysis, and finally through practicality and various conditions to analyze the deficiencies and look forward to the future.

In this experiment, I have used a three-dimensional modeling software many times, so that I not only understand the theory in the textbook, but also let me extend and practice its functions. During the process of disassembling the engine, I also gained a deeper understanding of the engine and the lubrication system, which gave me a better understanding of the practicality of later experiments. In the final optimization results, I used data science and statistical analysis many times, so that I could more intuitively see the gaps and deficiencies. After the end of this experiment, I further understood its shortcomings, which greatly improved my practical application in the future.

Key words : Oil slides; Oil lubrication systems; Streamlined; Snap-on connection

目 录

第一章 绪论	1
1.1 论文选题背景	1
1.2 国内外研究现状分析	1
1.3 论文的研究内容	2
第二章 总体方案介绍	3
2.1 课题研究对象简介	3
2.2 发动机滑油系统的组成	3
2.3 设计考虑	3
2.4 研究过程简述	4
第三章 滑油尺结构分析及优化	5
3.1 Solidworks 三维软件介绍	5
3.2 滑油尺三维建模	5
3.3 滑油尺结构优化	8
第四章 原模型及优化模型仿真结果对比	14
4.1 Solidworks simulation 组件介绍	14
4.2 滑油尺热力学分析	14
4.3 滑油尺静应力分析	26
4.4 仿真计算结果分析	41
第五章 总结与展望	42
参考文献	43
致 谢	44

第一章 绪论

1.1 论文选题背景

众所周知，二十世纪最重大的发明之一是飞机的诞生。自 1900 年至 1902 年，莱特兄弟进行了 1000 多次滑翔试飞，终于在 1903 年制造出了第一架依靠自身动力进行载人飞行的飞机——“飞行者”1 号，并且获得了试飞成功。这是人类在飞机发展的历史上取得的巨大成功。自此，人类进入了航空的时代。

航空发动机作为飞机的心脏，可见其对飞机整体来说极其重要，而滑油系统中的滑油是航空发动机中流淌的血液，可见其对飞机整体性能来说不可或缺。航空发动机运行过程中，滑油系统负责减少各个部件之间因直接接触而造成的磨损问题。滑油系统故障不仅能影响发动机的工作性能和使用寿命，还会影响飞行的安全性和可靠性。因此，提高滑油系统的可靠性和安全性对于飞机的正常工作具有十分重要的意义。研究改进滑油系统的结构可以有效提高航空发动机维修的准确性与可靠性^[1]。

我本次主要研究 WP6 航空发动机^[2]，滑油系统是航空发动机中的重要系统之一，主要是给发动机齿轮、轴承等机械旋转件提供充足的滑油进行润滑和冷却。航空发动机滑油系统按零件分为滑油箱、进油泵、回油泵、安全活门、调压阀、单向活门、单向压差活门、油气分离器、燃油-滑油散热器、油滤、离心通风机等关键零部件，而其中我所研究的滑油尺也担当了不小的责任。

滑油尺的用途主要有以下几点：

1. 测量滑油量的多少；
2. 同时兼顾磁堵作用，吸附回油中的金属杂质，用于金属分析滑油系统的旋转密封件的磨损判断情况；
3. 新型滑油尺的连接密封处还有压力传感器和泄压孔用来调节滑油箱的整体内部压力。

1.2 国内外研究现状分析

国内现状：目前，国内以滑油分系统性能和滑油部件特性作为主要研究对象，但是对航空发动机滑油系统性能的研究很少。中国航空发动机滑油系统早期主要是仿制苏制发动机。林基恕系统地总结了国内航空发动机滑油系统仿制的经验，并且较为详细地阐述了滑油系统的原理和计算方法、部件原理、设计技术、润滑油和状态监测等^[3]。近年来随着我国航空发动机迅速的发展，许多中国学者对滑油系统从系统的设计原理、系统热分析、系统组成部件、润滑油、系统检测等方面进行了比较深入的研究，自此滑油系统设计逐步从仿制走上自行发展的道路。

国外现状：在 20 世纪 50 年代西方国家就已掌握了滑油系统设计技术，但出于保密的原因，公开发表且有参考价值的文献极少。发达国家十分重视润滑油改良工作，例如美国

IHPTEET 计划就把研制航空发动机润滑油纳入了计划当中，在计划一阶时期研制出了能够在高温条件下不结焦的三、四级别的润滑油，在计划二阶时期拟制研制能够承受 330 摄氏度的润滑油，目的是为了使润滑油具备提供轻重量、用于飞行的条件。使用拟制研发的润滑剂可以有助于降低耗油量、减轻重量^[4]。

20 世纪 70 年代以来，航空发动机飞行包线范围开始不断扩大，尤其是适于高空、高速飞行航空发动机的出现说明滑油系统的设计技术有了重大的进展^[5]。

1.3 论文的研究内容

我通过使用 solidworks 三维制图软件对实物模型进行仿真，通过对实物的精准测量以及大量的仿真对比试验从而才得出最后结论。

鉴于对 WP6 滑油系统结构的优化，我主要研究以下三个方面：

1. 分析原结构的不足以及有什么影响；
2. 如何对该结构进行优化以及优化后的优点；
3. 通过与优化后结构进行试验数据对比以及总结。

第二章 总体方案介绍

2.1 课题研究对象简介

介于学校现有的原物模型，通过手工测量以及数据查询使我有了一笔有关原物的参数。通过参数来进行三维建模，这就是本次研究对象 WP6 航空发动机滑油系统的滑油尺。

WP6 系列航空发动机是我国生产的第一台轴流式单转子带加力燃烧室的涡轮喷气式发动机。而滑油系统是该航空发动机的重要系统之一，主要目的是给发动机齿轮、轴承等机械旋转件提供充足的滑油来进行润滑和冷却。接下来我们按滑油系统的组成、优化介绍、方案的可靠性以及研究课程来介绍。

2.2 发动机滑油系统的组成

航空发动机滑油系统按零件分为滑油箱、进油泵、回油泵、安全活门、调压阀、单向活门、单向压差活门、油气分离器、燃油-滑油散热器、油滤、离心通风机等关键零部件。滑油系统按子系统分为供油系统、回油系统、通风系统和指示（监视）系统，而指示（监视）系统又包含滑油压力、温度传感器；指示仪表、磁屑检测器等。滑油系统管理设计分为单回路循环系统和双回路循环系统两类。

2.3 设计考虑

介于本次实验的合理性以及实用性，设计时需要考虑到以下几点：

1. 流动性：

滑油尺三棱柱结构摩擦系数较大，这对高速运行的发动机来说有较大的损耗。故可以把三棱柱的棱改成流线型，不仅可以减少损耗，也对高速运行的发动机提供有力保障。

2. 可靠性：

飞机在正常运行中，各部位的可靠性直接影响飞机能否正常飞行。因此滑油尺作为滑油系统中最关键部件之一，其可靠性尤为关键。不仅能保障滑油系统正常工作，还能更好为飞机飞行创造条件。

3. 耐久性：

任何部件都有使用时间，作为使用者来说，其寿命直接影响其工作进度和使用安全。当然滑油尺的耐久性越好，其寿命越长越有利于整个飞机的正常使用。

4. 维修性：

维修人员安装拆卸滑油尺比较复杂，为减小后期维修、检测难度，对滑油尺进行结构优化。

5. 封严性：

滑油尺在发动机高速运行时会出现漏油、渗油等情况，滑油量会消耗并且漏出的滑油遇到发动机内的高温部件容易诱发风险性灾害。因此改变滑油尺与滑油箱的连接方式可降低滑油的消耗量防止滑油泄露造成风险事故。

6. 适航性

滑油尺以及滑油系统性能和操作在预定运行环境和使用限制下的安全性和物理完整性。因此其重要性十分显著。

2.4 研究过程简述

前期通过查找资料以及测量实物参数，初步了解原滑油尺的运行状态以及优缺点。然后结合实际运行当中可能出现的不足进行分析改善。于是借用三维建模软件对优化后的模型进行热力和静应力仿真，通过与原结构的数据对比最终确认最优方案。在实验结束后查找资料以及数据对比最终分析优缺点和不足与展望。

第三章 滑油尺结构分析及优化

3.1 Solidworks 三维软件介绍

三维制图软件 solidworks 采用的是参数化尺寸驱动建模技术，即尺寸控制图形。当改变制图尺寸时，相应的模型、装配体以及工程图的形状和尺寸将随之变化，此特点非常有利于新产品在设计阶段的反复修改。与其它三维 CAD 软件相比，solidworks 以功能强大、技术创新、易学易用、价格适中而成为设计行业主流的三维 CAD 软件。

3.2 滑油尺三维建模

本章利用 solidworks 三维建模软件建模，下面介绍 WP6 的滑油系统的原滑油尺建模过程：

WP6 的滑油系统中的滑油尺实物图如图 3-2-1 所示。



图 3-2-1 滑油尺实物图

1. 打开 solidworks 三维建模软件，选择“新建”-“零件”命令，进入后选择“前视基准面”进行“草图绘制”，以原点为中心画一条中心线，根据实际测量尺寸沿中心线一侧画几个不同尺寸的矩形，并对当前平面草图进行标注，如图 3-2-2 所示。

2. 完成草图 1 后，点击“退出草图”。随后选择“特征”下的“旋转凸台/基体”命令，围绕草图中的中心线旋转一周最后形成一个由多个圆柱体组成的滑油尺中心部分，即旋转 1，如图 3-2-3 所示。

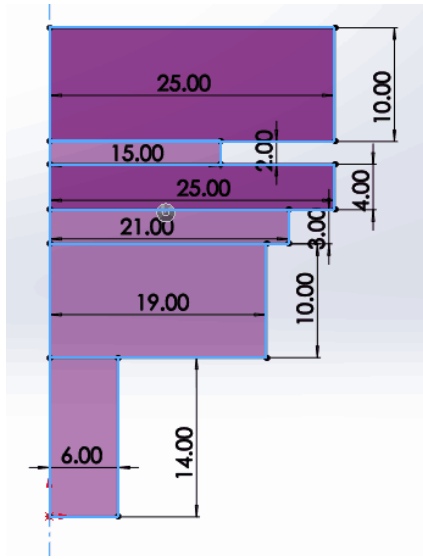


图 3-2-2 滑油尺中心部分-草图 1

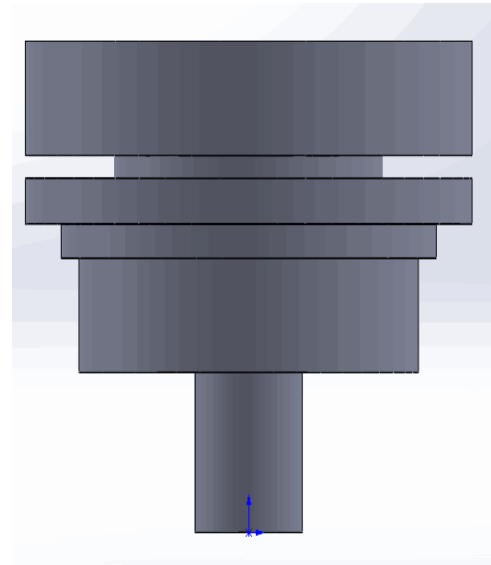


图 3-2-3 滑油尺中心部分-旋转 1

3. 选择半径为 6mm，高度为 14mm 的凸台底面进行草图 2 的绘制，进入草图，以原点为中心画一个边长为 6mm 的等边三角形，如图 3-2-4 所示。

4. 完成草图 2 后，点击“退出草图”。随后选择“特征”下的“拉伸凸台/基体”命令，根据实际测量尺寸将草图 2 的拉伸长度设为 80mm，最终得到拉伸 1，如图 3-2-5 所示。

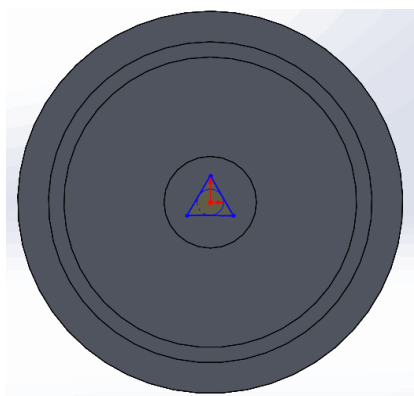


图 3-2-4 滑油尺底端部分-草图 2

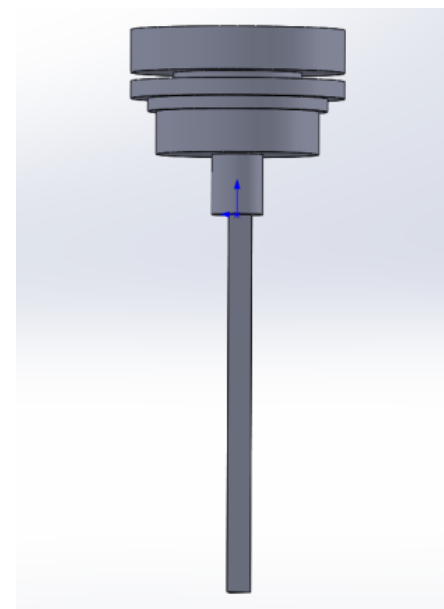


图 3-2-5 滑油尺底端部分-拉伸 1

5. 选择半径为 25mm，高度为 8mm 的凸台顶面进行草图 3 的绘制，进入草图，以原点为中心绘制三个矩形，并对当前平面草图进行标注，如图 3-2-6 所示。

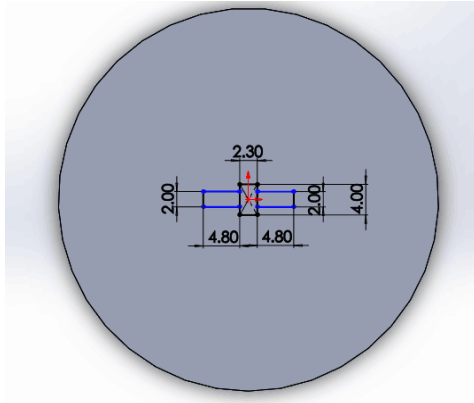


图 3-2-6 滑油尺顶端部分-草图 3

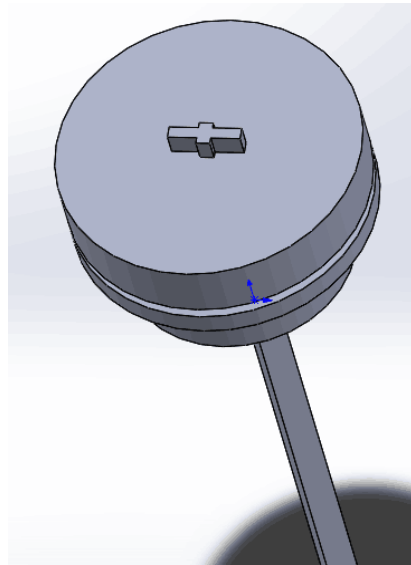


图 3-2-7 滑油尺顶端部分-拉伸 2

6. 完成草图 3 后，点击“退出草图”。然后选择“特征”下的“拉伸凸台/基体”命令，根据实际测量尺寸将草图 3 的拉伸长度设为 4mm，最终得到拉伸 2，如图 3-2-7 所示。

7. 选择以前视基准面为平面绘制滑油尺手柄部分的草图，沿着滑油尺顶端部分-拉伸 2 的顶面开始绘制草图 4，并标注相关尺寸，如图 3-2-8 褐色部分所示。

8. 完成完成草图 4 的绘制后，点击“退出草图”。然后选择“特征”下的“拉伸凸台/基体”命令，根据实际测量尺寸将草图 4 的拉伸长度设为 4mm，最后完成滑油尺手柄部分的建模，即拉伸 3，如图 3-2-9 所示。

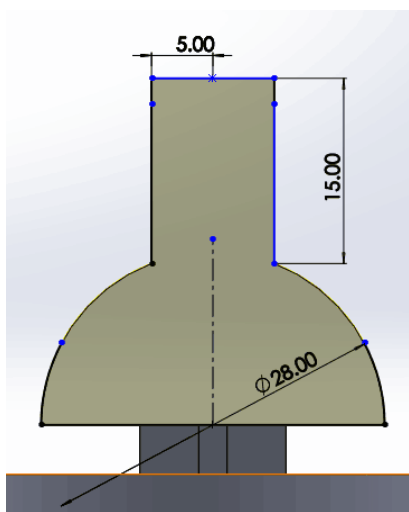


图 3-2-8 滑油尺手柄部分-草图 4

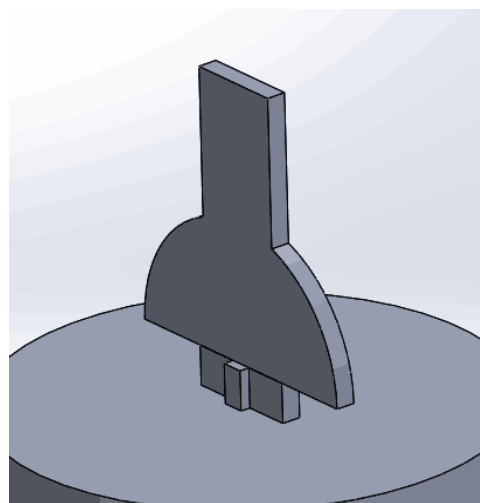


图 3-2-9 滑油尺手柄部分-拉伸 3

9. 点击“文件”菜单下的“保存”功能，保存文件至桌面并命名为“原滑油尺”。

最终完成了原滑油尺的建模过程，完整的滑油尺建模如图 3-2-10 所示。

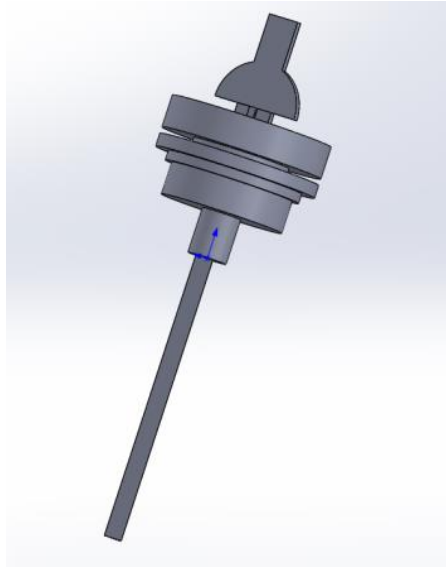


图 3-2-10 滑油尺整体建模

3.3 滑油尺结构优化

滑油尺下端的刻度尺有两个作用，第一个就是刻度尺上面有刻度，通过那个刻度能够知道整体滑油箱里滑油含量多少，然后根据刻度做一个油尺的标记，能够确定机务在检测的时候查看是否需要进行滑油的补充以及判断正常航程的损耗。第二个是检测滑油回路时可以通过刻度尺查看损耗的滑油量，来判断整个滑油回路里是否有漏油、渗油之处。

滑油尺下端的刻度尺做成三棱柱是因为早期使用的滑油粘度非常大，不同的机型滑油粘度不一样，但总体来说都比较大，因为滑油粘度很大，所以流动速度就很慢，而且滑油本身带有一定的粘黏性，因为液体有粘性。刻度尺做成三棱柱的话，表面会从尖部产生一定的分离，会尽量减少它在表面上的滑油的粘性，并且提高一定的流速。但是，这种设计是有缺陷的，当发动机在高速工作时，滑油在循环速度越来越快的情况下，流动过程中从三棱柱的棱边经过时会产生一定的分离层。

并且早期滑油箱在长期使用的情况下存在封严性不足的问题，在使用过程中如果飞行姿态改变或者发动机振动量较大的情况下，滑油会由于封严不足而发出泄露问题，从而容易发生安全事故。针对这些问题，经过查找资料和导师沟通，最后提出两种改进方案。

方案一 针对滑油分离性问题

改变滑油尺下端刻度尺的形状，把三棱柱变成圆弧形，也就是做成一个流线型，这样表面既减少了粘黏性，又增加了滑油的流速。把三角形改变一下形状，就能很好的控制它表面的分离点，也就是说会使它的附面层流动效果会更好，提高流速意味着同时它能够更快得更高效得去进行滑油的冷却润滑，当然也得考虑到这个分离点两侧的上边儿平缓部分，因为那个地方具有强磁，具有一定的金属吸附能力。

方案二 针对封严性问题

改变滑油尺与滑油箱的连接方式为卡扣连接,在大四上学期的实践课中,通过拆 WP6 发动机中滑油系统部分,发现滑油尺与滑油箱的连接方式存在一些不足之处,滑油尺的上端就像密封滑油箱的盖子,使其在高空飞行时不会因为气流的颠簸而分离开,从而发生滑油漏出的现象,更严重的也会因此发生机毁人亡的灾难性事件。为了避免此类重大事故的发生,决定对滑油尺与滑油箱的连接方式进行改进,改进的灵感源于高压锅,如图 3-3-1 所示,高压锅的卡扣设计能减缓飞机飞行时由于气流颠簸产生的影响。



图 3-3-1 高压锅的卡扣连接

这两种想法我会在下面以“方案一”和“方案二”体现出来,并且我会在原滑油尺建模的基础上分别绘制并叙述它们的建模过程。

方案一：滑油尺流线型设计的优化

通过图 3-3-2 可以明显看到,原滑油尺下端是一个三角形结构的刻度尺,而边棱角是 60° 的正三角形。

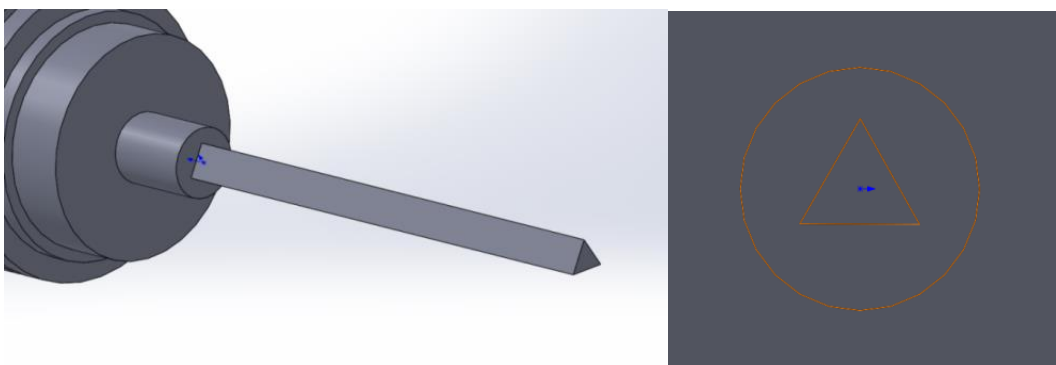


图 3-3-2 原滑油尺下端刻度尺形状

我们可以知道,滑油经过棱角很不容易流下去,而且滑油本身的粘黏性系数很高。如果采用流线型设计,不仅可以减少了它本身的粘黏性而且增加了滑油的流速。因此,我通

过 solidworks 三维建模软件里的“圆角”功能改变原滑油尺下端的刻度尺形状，使其变成“流线型”，具体步骤如下：

1. 双击打开桌面上的“原滑油尺”文件，进入后选择“文件”菜单下的“另存为”功能，另存为原滑油尺的建模文件并命名为“滑油尺改进方案一”。因为滑油尺改进方案一的前期建模过程与原滑油尺的建模过程是一样的，所以我在原滑油尺建模的基础上进行修改。

2. 点击“特征”下的“圆角”功能，然后选择要圆角化的项目为滑油尺下端三棱柱的三条边线，如图 3-3-3 中蓝色标记线所示。

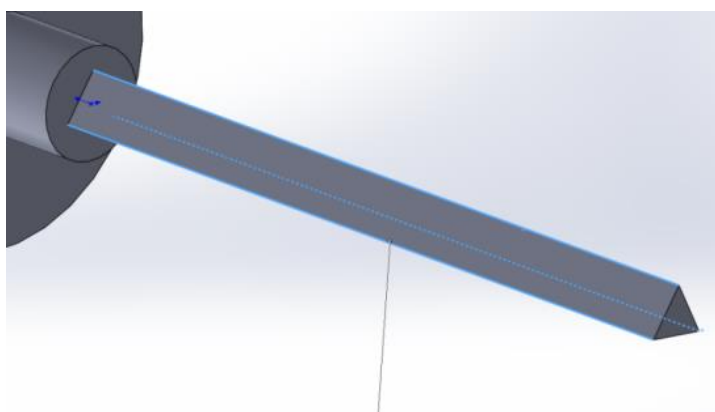


图 3-3-3 要圆角化的项目

3. 然后选择要圆角的参数半径分别为 0.2mm、0.5mm、0.8mm、1mm。因为目前无法知道选择哪个数值是对优化结果最好的，所以我把以上 4 个数据分别代入建模并进行下面第四章的分析，以便找到最佳的那个数值。分别选择这几个半径参数的建模如图 3-3-4 所示。

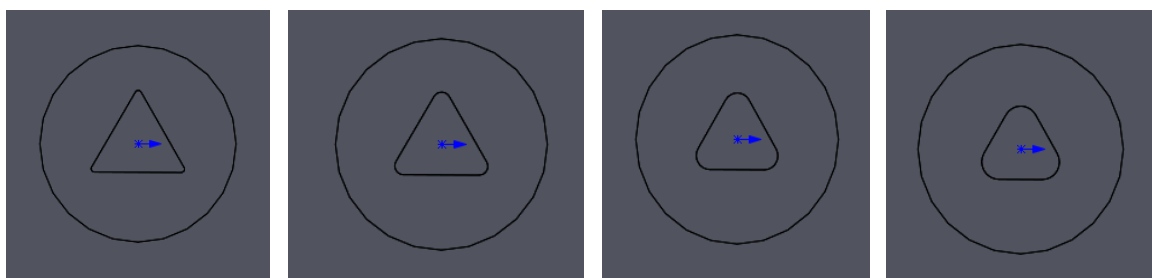


图 3-3-4 要圆角化的半径参数分别选择为 0.2mm、0.5mm、0.8mm、1mm 时的底部形状

4. 选择好要圆角化的三条边线和圆角半径参数后，然后再选择确定，最后再点击“文件”菜单下的“保存”键，就完成了滑油尺方案一的建模。

完整的滑油尺方案一的建模如下图 3-3-5 所示。

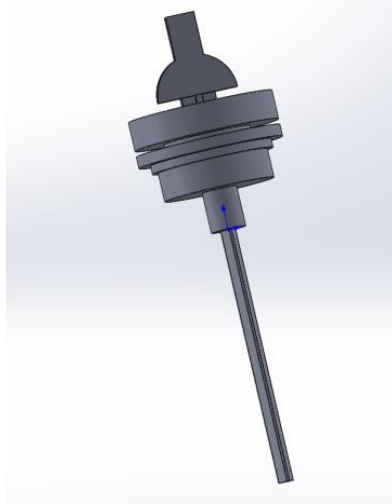


图 3-3-5 滑油尺流线型设计完整建模

方案二：滑油尺卡扣设计的优化

1. 首先打开桌面上的“原滑油尺”文件，进入后选择“文件”菜单下的“另存为”功能，另存为原滑油尺的建模文件并命名为“滑油尺改进方案二”。同滑油尺改进方案一一样，因为滑油尺改进方案二的绝大部分建模过程与原滑油尺的建模过程是一样的，所以我在原滑油尺建模的基础上进行修改建模。

2. 先对原滑油尺中心部分的草图 1 进行修改，点击“旋转 1”下的“草图 1”，然后右击“草图 1”，选择“编辑草图”功能进行草图的修改，然后选择中间 25mm 圆的半径修改为 20mm，高度也由 10mm 修改为 5mm。这样修改方便有空间添加卡扣并且有旋转的空间。为了美观，其余圆的半径和高度也做了一些微调，图 3-3-6 所示。

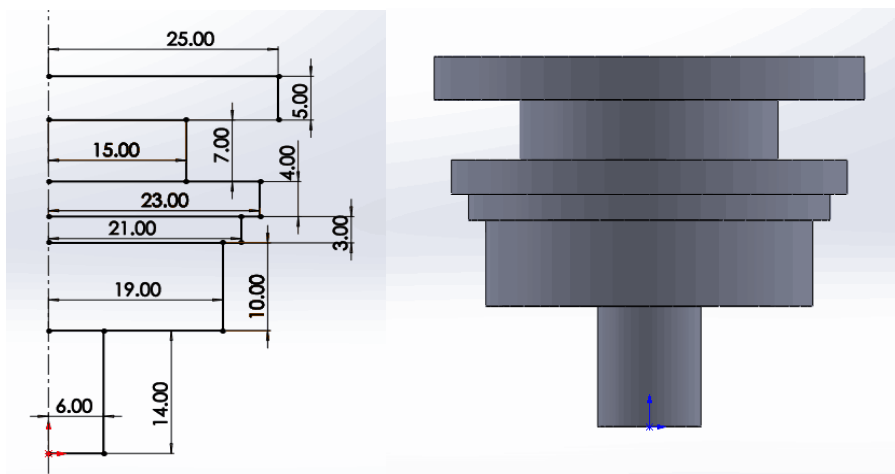


图 3-3-6 原滑油尺修改后的中端草图与建模

3. 修改完成后点击“退出草图”，然后修改后的草图对应的建模也相应得发生了尺寸的变化。原滑油尺下端的刻度尺形状不改变，在此基础上开始绘制卡扣的建模。

4. 为了方便卡扣的绘制，要在第一个圆台下面添加基准面，使用的命令在“特征”下的“参考几何体”，点击“参考几何体”下的小三角，第一个就是“基准面”命令。以图 3-3-7 中粉色面为第一参考，选择偏移的距离为 5mm，并勾选“反转等距”。然后点击确定，即完成了基准面的绘制，如图 3-3-8 所示。

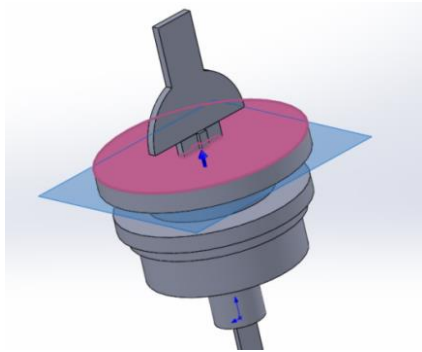


图 3-3-7 基准面的绘制

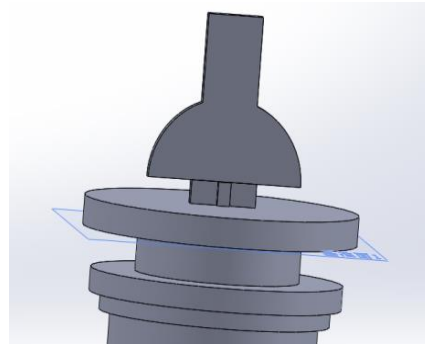


图 3-3-8 蓝色部分为基准面

5. 在基准面上绘制卡扣的草图，绘制尺寸如图 3-3-10 所示。

6. 完成后卡扣的草图绘制后，点击“退出草图”命令后选择“特征”下的“拉伸凸台/基体”命令对草图进行拉伸，选择反方向拉伸深度为 4mm。拉伸完成后的卡扣模型雏形如图 3-3-9 所示。

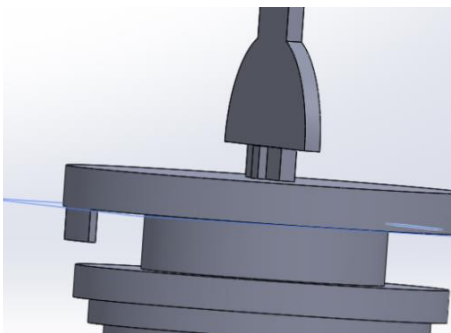


图 3-3-9 卡扣的建模雏形

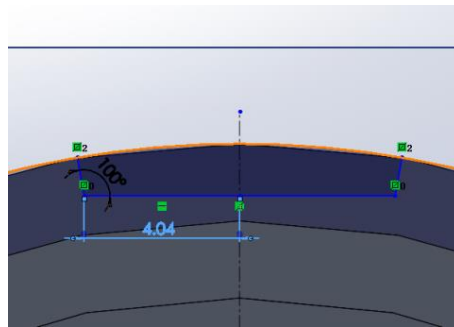


图 3-3-10 卡扣的草图

7. 在卡扣的建模雏形完成的基础上，要挖出一个凹槽便于卡进滑油箱的开口处，使滑油尺与滑油箱的连接处更加牢固。因此，我在卡扣建模雏形的内侧绘制了一个半径为 1mm 的凹槽草图，如图 3-3-11 所示。

8. 完成草图的绘制后选择“退出草图”，随后选择“特征”下的“拉伸切除”命令，选择切除方向与要切除的深度为 0.5mm，切除完成后的建模如图 3-3-12 所示。

9. 以整个滑油尺建模的中心，也就是坐标轴原点，画一条中心线用于接下来的“圆周阵列”命令。绘制中心线的命令在草图里，沿着坐标原点延伸出来，如图 3-3-13 所示。

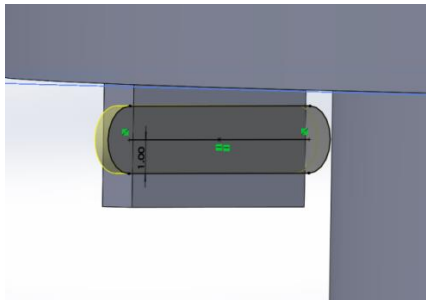


图 3-3-11 凹槽草图

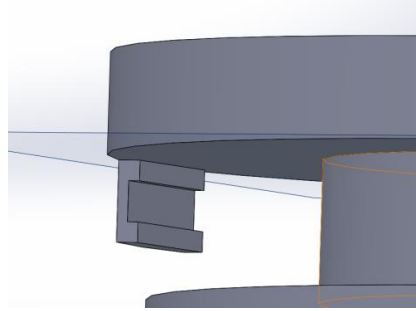


图 3-3-12 凹槽建模

10. 绘制完中心线后，退出草图，选择“特征”下的，点开“线性阵列”下的小三角，找到“圆周阵列”并打开，勾选“等间距”，选择总角度为 360 度，实例数为 6，然后点击确定，如图 3-3-14 所示。

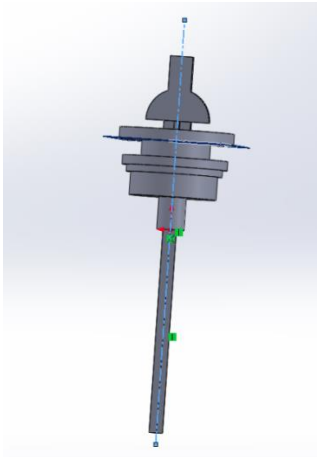


图 3-3-13 中心线

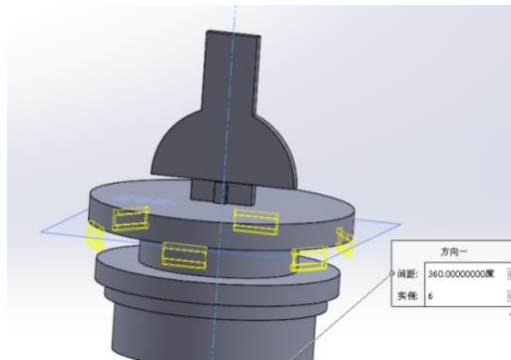


图 3-3-14 圆周阵列

11. 最后再点击“文件”菜单下的“保存”键即完成了滑油尺方案二的建模。完整的滑油尺方案二的建模如下图 3-3-15 所示。

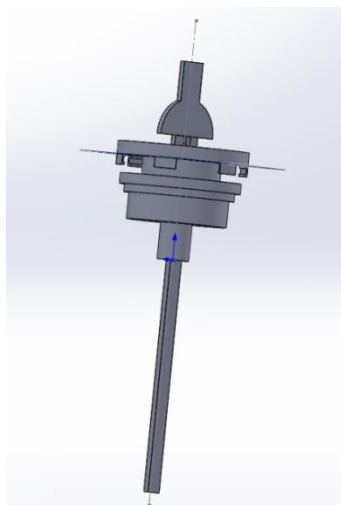


图 3-3-15 滑油尺卡扣型设计完整建模

第四章 原模型及优化模型仿真结果对比

4.1 Solidworks simulation 组件介绍

本章所要进行的内容应用了 solidworks 软件当中的 simulation 组件。在 simulation 组件中的两个模块—静应力分析与热力学分析是结构分析当中要使用的。静应力分析包括了定义结构材料、固定几何面、划分网格、定义力的数值以及作用面等。热力学分析包括定义结构材料、设置温度及对流参数、划分网格、定义力的数值以及作用面等。solidworks 与 solidworks simulation 组件是无缝集成的，使用起来也非常顺手，便于操作。因此我就可以运用 solidworks 这个三维软件完成我的毕业设计及论文中涉及到的零件建模和受力分析的部分内容^[6]。

本篇毕设选择使用 solidworks 软件进行仿真的原因，第一个是我在大三时专业课上所学，通过一整年课上循序渐进的学习与课下自学，勤加练习并认真独立完成老师布置的课下作业，使我对该软件的操作更加熟悉，使用起来更加方便；第二个是 solidworks 这个软件下的 simulation 组件中静应力分析和热力学分析这两个功能模块可以帮助我分析滑油尺优化前后的对比，并且它的仿真结果可以作为我研究改进滑油尺方案数据的支撑。

4.2 滑油尺热力学分析

滑油尺安装在滑油箱上，一方面作为一个盖子一样牢牢紧固住滑油箱的开口处，防止滑油漏出；另一方面，滑油尺下端的刻度尺能够测量滑油箱里滑油的含量。为了考虑滑油尺中热量对滑油流动的影响与粘度的变化规律，因此要对滑油尺部件进行热力学分析。

4.2.1 滑油尺热力学分析过程

通过查询资料，得知 WP6 航空发动机的滑油尺材料为 AISI 1035 钢（SS）。滑油尺所在的工作环境温度通常为(-40~+160)℃，根据 WP6 航空发动机震动图谱，因此选取-40℃、-20℃、0℃、+40℃、+60℃、+80℃、+120℃、和+160℃这八个实验数据点进行结构分析。

下面我会把原滑油尺模型依次与方案一的流线型模型（要圆角的参数半径依次选择为 0.2mm、0.5mm、0.8mm 和 1mm）和方案二的卡扣连接模型进行热力仿真分析比较。

原滑油尺与方案一流线型滑油尺的比较

当原滑油尺使用温度设置为-40℃时，对模型进行热力仿真，计算得出数据如下图 4-2-1 所示。

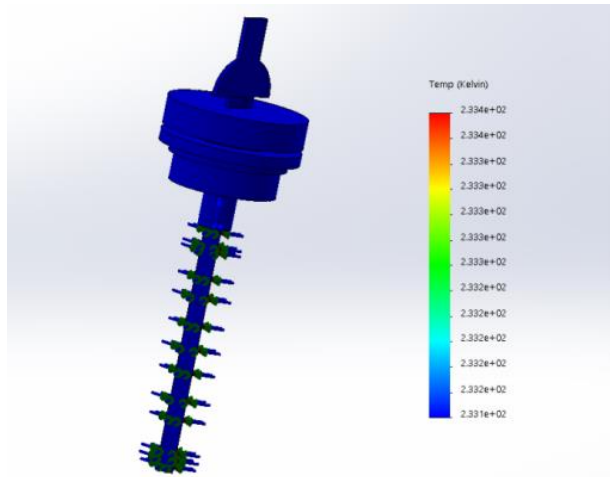


图 4-2-1 原滑油尺-40℃

当方案一流线型滑油尺（要圆角的参数半径依次选择为 0.2mm、0.5mm、0.8mm 和 1mm）使用温度设置为-40℃时，对模型进行热力仿真计算，得出数据如下图 4-2-2 所示。

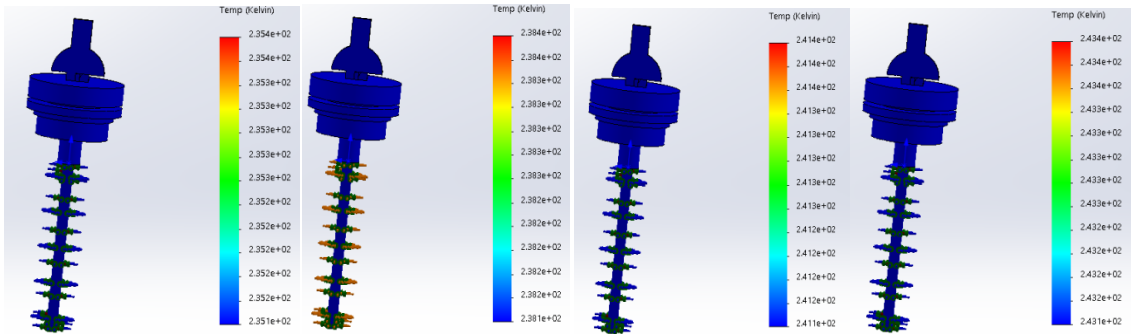


图 4-2-2 方案一流线型滑油尺-40℃

当原滑油尺使用温度设置为-20℃时，对模型进行热力仿真计算，得出数据如图 4-2-3 所示。

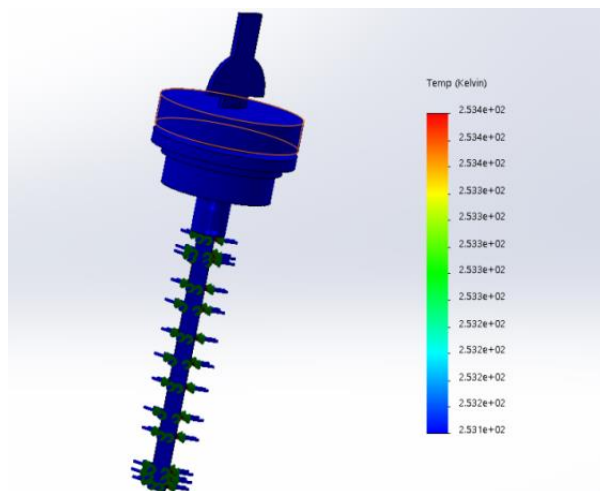


图 4-2-3 原滑油尺-20℃

当方案一流线型滑油尺（要圆角的参数半径依次选择为 0.2mm、0.5mm、0.8mm 和 1mm）使用温度设置为-20℃时，对模型进行热力仿真计算，得出数据如下图 4-2-4 所示。

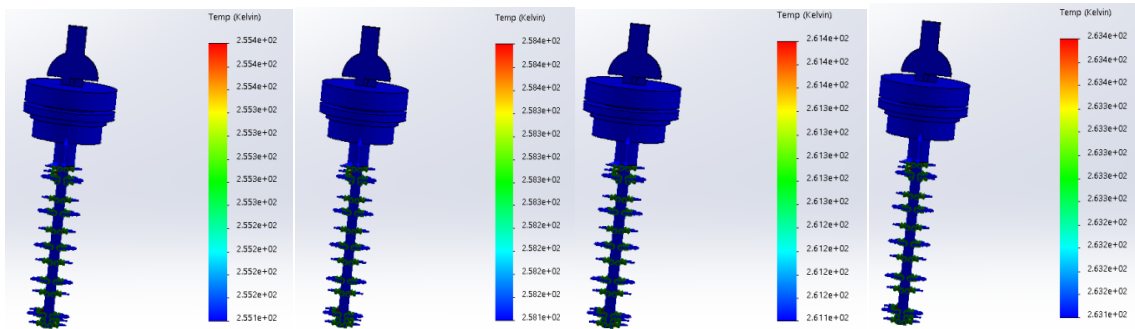


图 4-2-4 方案一流线型滑油尺-20℃

当原滑油尺使用温度设置为 0℃时，对模型进行热力仿真，计算得出数据如下图 4-2-5 所示。

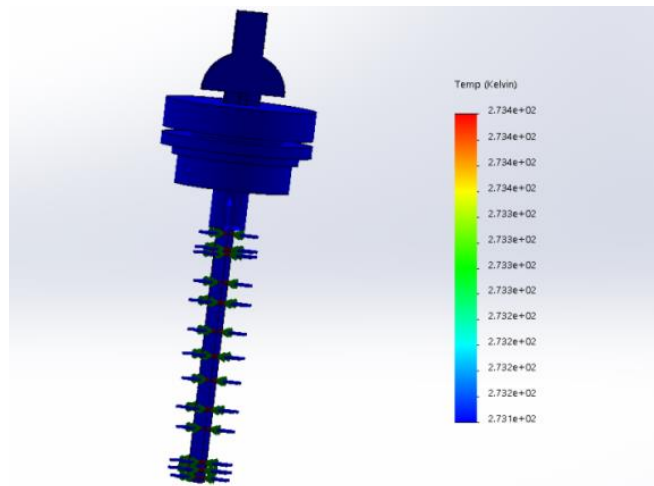


图 4-2-5 原滑油尺 0℃

当方案一流线型滑油尺（要圆角的参数半径依次选择为 0.2mm、0.5mm、0.8mm 和 1mm）使用温度设置为 0℃时，对模型进行热力仿真计算，得出数据如下图 4-2-6 所示。

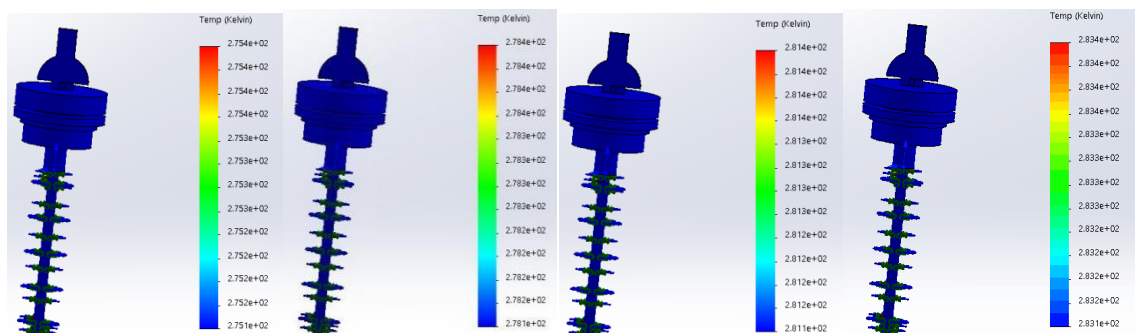


图 4-2-6 方案一流线型滑油尺 0℃

当原滑油尺使用温度设置为+40℃时，对模型进行热力仿真，计算得出数据如下图 4-2-7 所示。

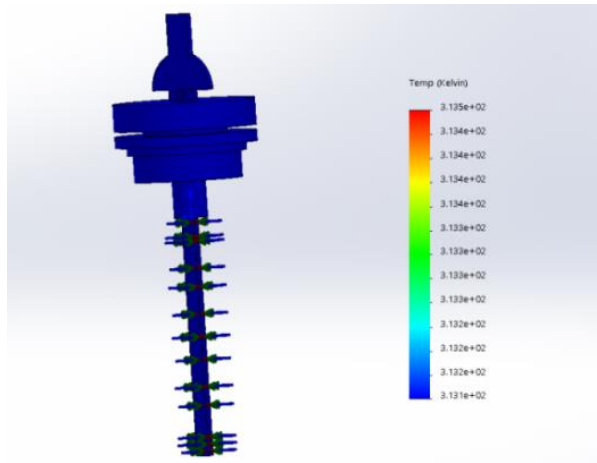


图 4-2-7 原滑油尺+40°C

当方案一流线型滑油尺（要圆角的参数半径依次选择为 0.2mm、0.5mm、0.8mm 和 1mm）使用温度设置为+40°C时，对模型进行热力仿真计算，得出数据如下图 4-2-8 所示。

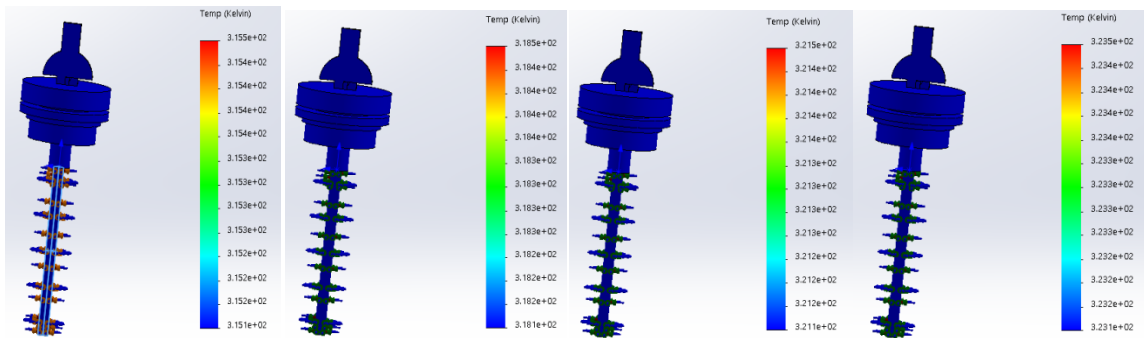


图 4-2-8 方案一流线型滑油尺+40°C

当原滑油尺使用温度设置为+60°C时，对模型进行热力仿真，计算得出数据如下图 4-2-9 所示。

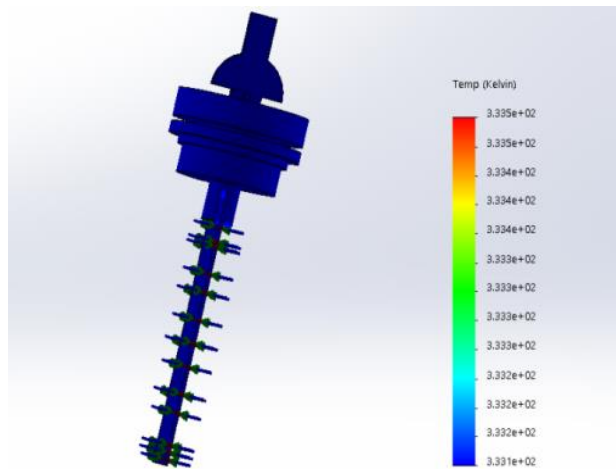


图 4-2-9 原滑油尺+60°C

当方案一流线型滑油尺（要圆角的参数半径依次选择为 0.2mm、0.5mm、0.8mm 和 1mm）使用温度设置为+60℃时，对模型进行热力仿真计算，得出数据如下图 4-2-10 所示。

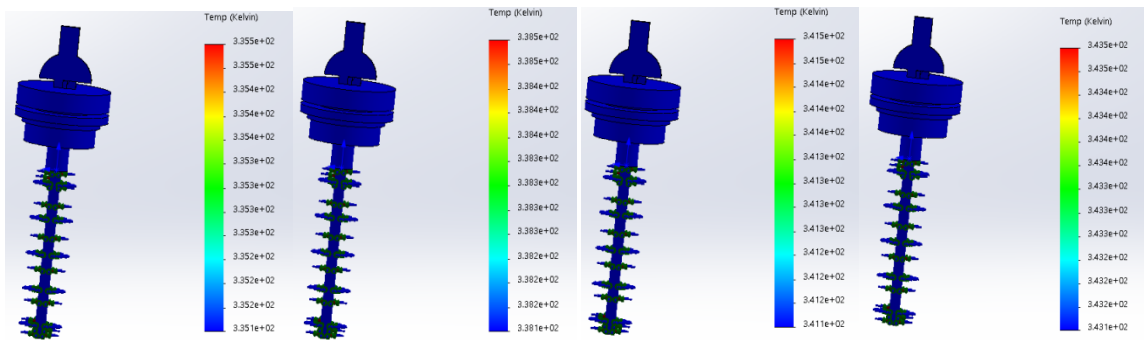


图 4-2-10 方案一流线型滑油尺+60℃

当原滑油尺使用温度设置为+80℃时，对模型进行热力仿真，计算得出数据如下图 4-2-11 所示。

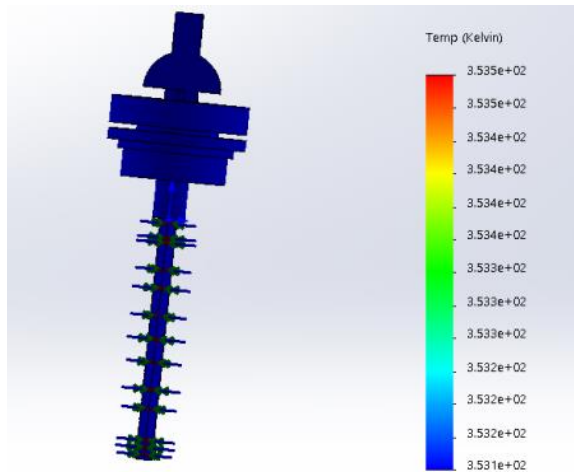


图 4-2-11 原滑油尺+80℃

当方案一流线型滑油尺（要圆角的参数半径依次选择为 0.2mm、0.5mm、0.8mm 和 1mm）使用温度设置为+80℃时，对模型进行热力仿真计算，得出数据如下图 4-2-12 所示。

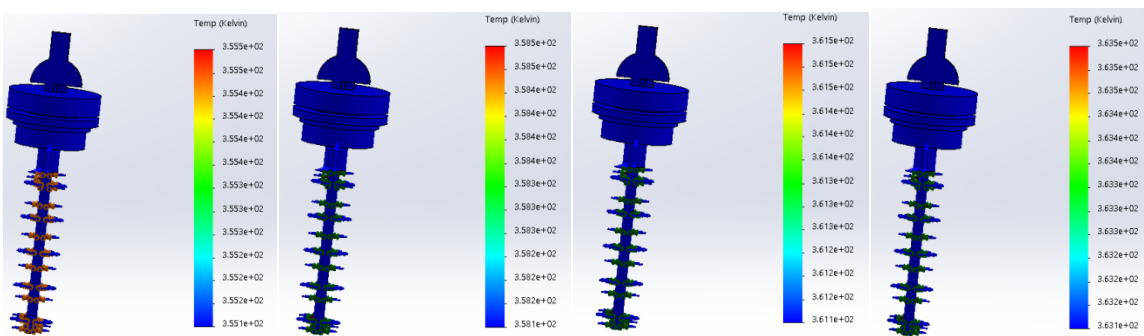


图 4-2-12 方案一流线型滑油尺+80℃

当原滑油尺使用温度设置为+120℃时，对模型进行热力仿真，计算得出数据如下图 4-2-13 所示。

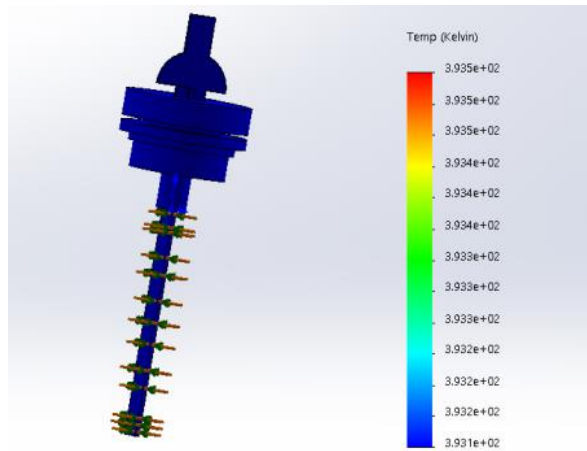


图 4-2-13 原滑油尺+120℃

当方案一流线型滑油尺 (要圆角的参数半径依次选择为 0.2mm、0.5mm、0.8mm 和 1mm) 使用温度设置为+120℃时，对模型进行热力仿真计算，得出数据如下图 4-2-14 所示。

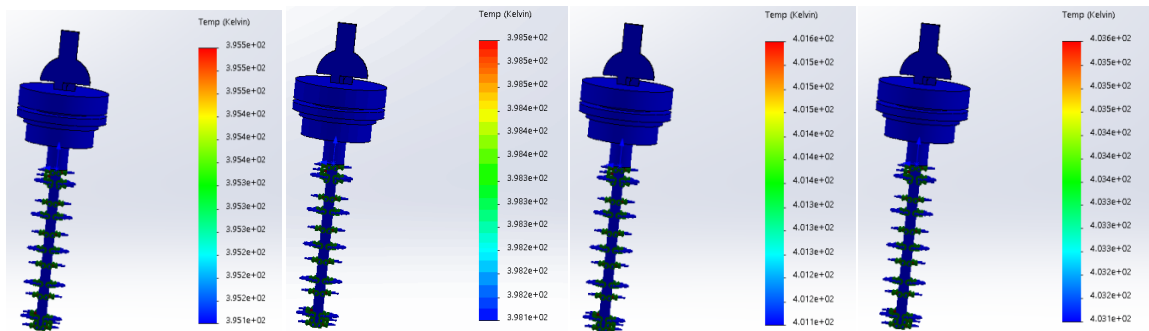


图 4-2-14 方案一流线型滑油尺+120℃

当原滑油尺使用温度设置为+160℃时，对模型进行热力仿真，计算得出数据如下图 4-2-15 所示。

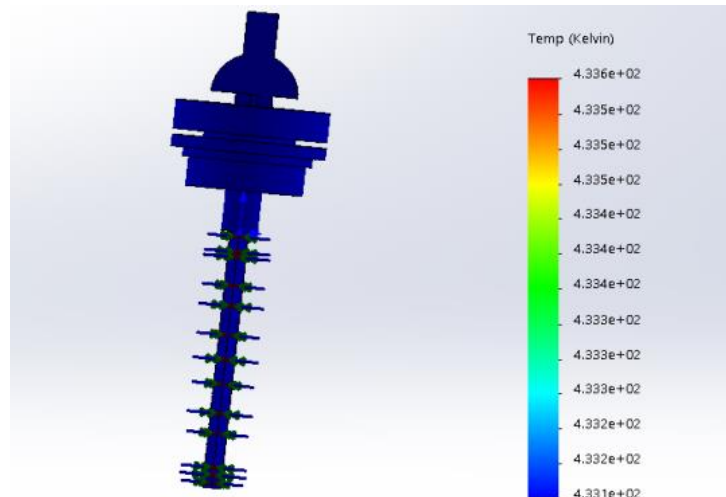


图 4-2-15 原滑油尺+160℃

当方案一流线型滑油尺 (要圆角的参数半径依次选择为 0.2mm、0.5mm、0.8mm 和 1mm) 使用温度设置为+160℃时, 对模型进行热力仿真计算, 得出数据如下图 4-2-16 所示。

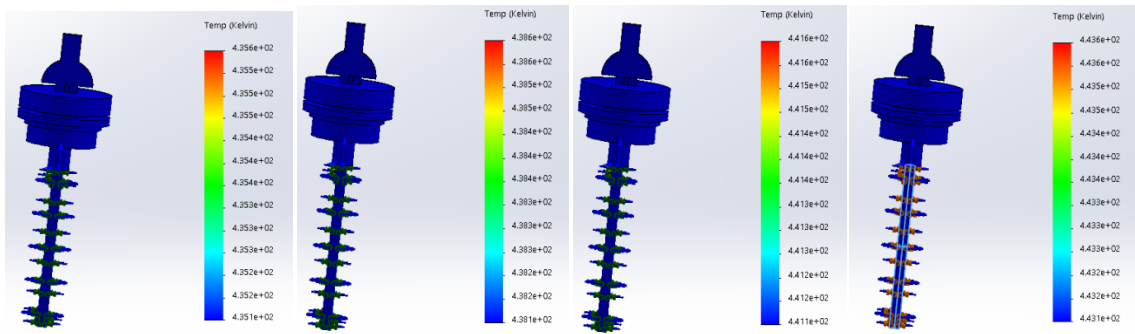


图 4-2-16 方案一流线型滑油尺+160℃

表 4-1 原模型与方案一模型热力学对比分析

模型 温度与模型	原模型 (mm)	方案一 优化模型 (mm)			
		0.2mm 圆角半径	0.5mm 圆角半径	0.8mm 圆角半径	1mm 圆角半径
-40℃	2.334e+02	2.354e+02	2.384e+02	2.414e+02	2.434e+02
-20℃	2.534e+02	2.554e+02	2.584e+02	2.614e+02	2.634e+02
0℃	2.734e+02	2.754e+02	2.784e+02	2.814e+02	2.834e+02
+40℃	3.135e+02	3.155e+02	3.185e+02	3.215e+02	3.235e+02
+60℃	3.335e+02	3.355e+02	3.385e+02	3.415e+02	3.435e+02
+80℃	3.535e+02	3.555e+02	3.585e+02	3.615e+02	3.635e+02
+120℃	3.935e+02	3.955e+02	3.985e+02	4.016e+02	4.036e+02
+160℃	4.336e+02	4.356e+02	4.386e+02	4.416e+02	4.436e+02

通过观察表 4-1 中数据可以得出初步结论:

1. 在使用温度逐渐增加时, 原滑油尺模型与方案一模型的热力学分析数据也在逐渐增加。温度每增加 20 度, 则热力学仿真数据平均增加 0.2e+02, 反之亦然。
2. 原滑油尺模型的热力学仿真数据的变化规律与温度有关。在同一温度下, 优化方案一的流线型滑油尺模型的热力学仿真数据的变化与圆角半径参数的选择有关。相同温度

下，所选择的圆角半径参数每增加 1mm，那么流线型滑油尺的热力学仿真数据增加 $0.01e+02$ ，反之亦然。

3. 在相同温度下，通过对比原滑油尺模型与方案二的卡扣连接热力学仿真数据，可以发现卡扣连接模型的数据比原模型数据减少了 $0.05e+02$ 。也就意味着在相同环境或者相同变量当中，改善之后的滑油尺受温度影响更小更有利于实际的使用^[7]。

原滑油尺与方案二卡扣连接滑油尺的比较

通过查找资料发现一般(-40~+160)°C为滑油尺所在的工作环境温度，原滑油尺材料为 AISI 1035 钢 (SS)，根据 WP6 航空发动机震动图谱，同方案一流线型滑油尺一样选取-40°C、-20°C、0°C、+40°C、+60°C、+80°C、+120°C、和+160°C这八个实验数据点进行结构分析。

当原滑油尺使用温度设置为-40°C时，对模型进行热力仿真，计算得出数据如下图 4-2-17 所示。

当方案二卡扣连接滑油尺使用温度设置为-40°C时，对模型进行热力仿真计算，得出数据如下图 4-2-18 所示。

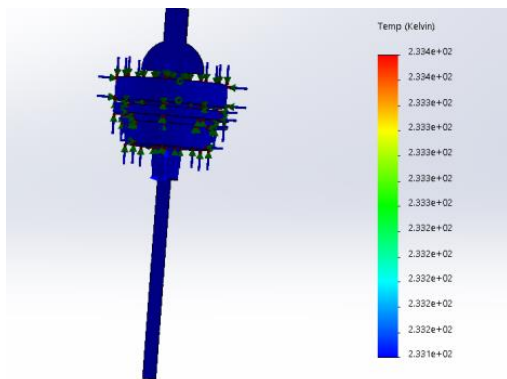


图 4-2-17 原滑油尺-40°C

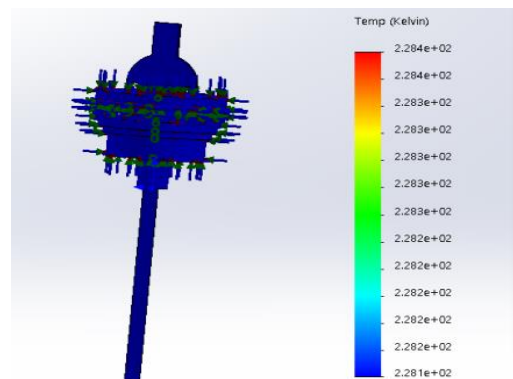


图 4-2-18 方案二卡扣连接滑油尺-40°C

当原滑油尺使用温度设置为-20°C时，对模型进行热力仿真，计算得出数据如下图 4-2-19 所示。

当方案二卡扣连接滑油尺使用温度设置为-20°C时，对模型进行热力仿真计算，得出数据如下图 4-2-20 所示。

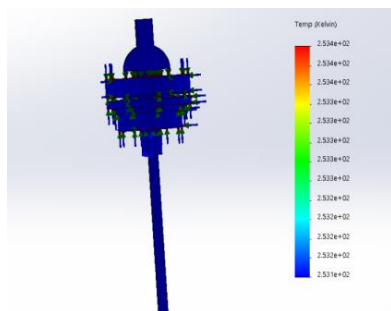


图 4-2-19 原滑油尺-20°C

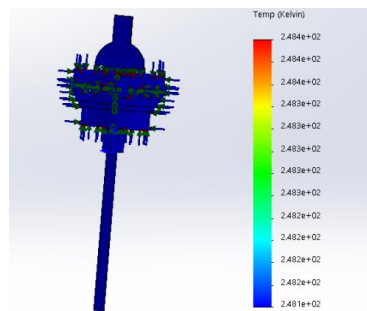


图 4-2-20 方案二卡扣连接滑油尺-20°C

当原滑油尺使用温度设置为 0°C 时，对模型进行热力仿真，计算得出数据如下图 4-2-21 所示。

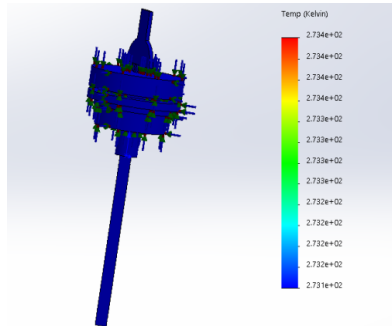


图 4-2-21 原滑油尺 0°C

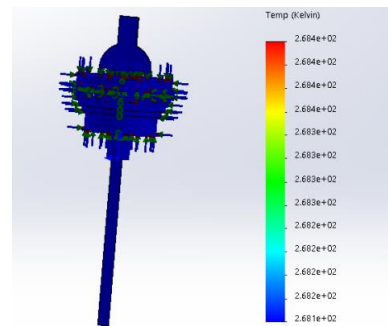


图 4-2-22 方案二卡扣连接滑油尺 0°C

当原滑油尺使用温度设置为 $+40^{\circ}\text{C}$ 时，对模型进行热力仿真，计算得出数据如下图 4-2-23 所示。

当方案二卡扣连接滑油尺使用温度设置为 $+40^{\circ}\text{C}$ 时，对模型进行热力仿真计算，得出数据如下图 4-2-24 所示。

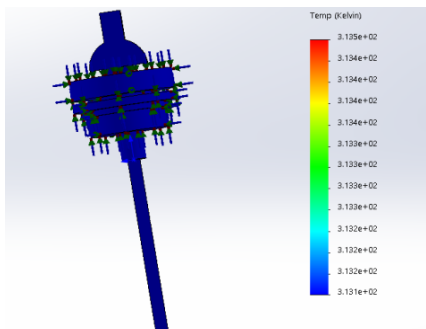


图 4-2-23 原滑油尺 $+40^{\circ}\text{C}$

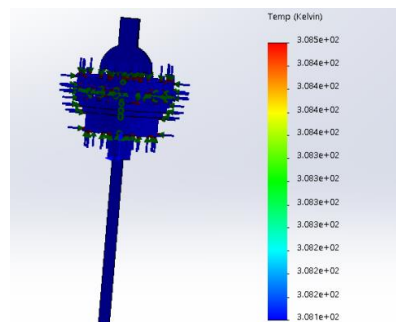


图 4-2-24 方案二卡扣连接滑油尺 $+40^{\circ}\text{C}$

当原滑油尺使用温度设置为 $+60^{\circ}\text{C}$ 时，对模型进行热力仿真，计算得出数据如下图 4-2-25 所示。

当方案二卡扣连接滑油尺使用温度设置为 $+60^{\circ}\text{C}$ 时，对模型进行热力仿真计算，得出数据如下图 4-2-26 所示。

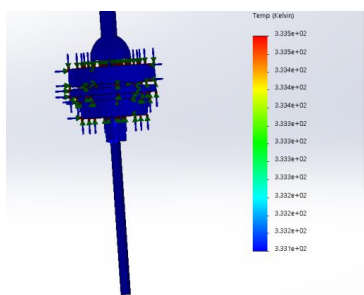


图 4-2-25 原滑油尺 $+60^{\circ}\text{C}$

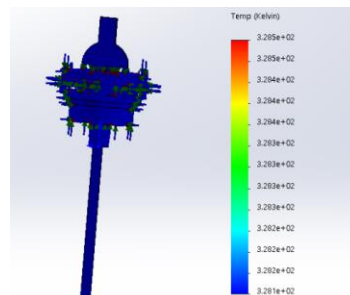


图 4-2-26 方案二卡扣连接滑油尺 $+60^{\circ}\text{C}$

当原滑油尺使用温度设置为+80℃时，对模型进行热力仿真，计算得出数据如下图 4-2-27 所示。

当方案二卡扣连接滑油尺使用温度设置为+80℃时，对模型进行热力仿真计算，得出数据如下图 4-2-28 所示。

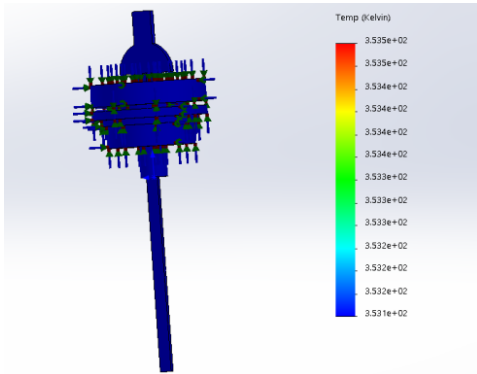


图 4-2-27 原滑油尺+80℃

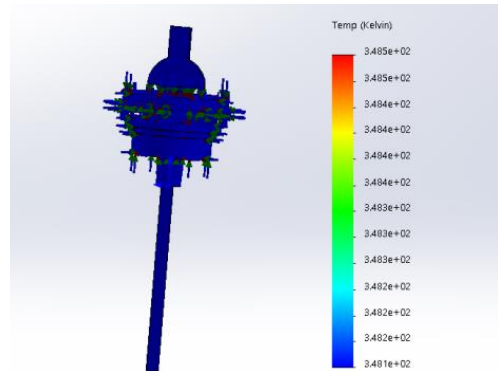


图 4-2-28 方案二卡扣连接滑油尺+80℃

当原滑油尺使用温度设置为+120℃时，对模型进行热力仿真，计算得出数据如下图 4-2-29 所示。

当方案二卡扣连接滑油尺使用温度设置为+120℃时，对模型进行热力仿真计算，得出数据如下图 4-2-30 所示。

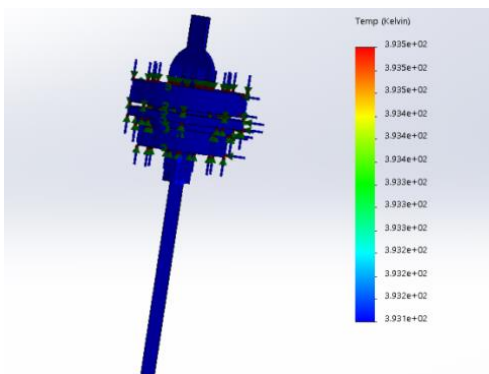


图 4-2-29 原滑油尺+120℃

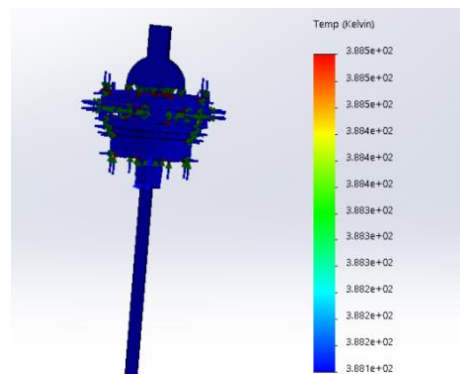


图 4-2-30 方案二卡扣连接滑油尺+120℃

当原滑油尺使用温度设置为+160℃时，对模型进行热力仿真，计算得出数据如下图 4-2-31 所示。

当方案二卡扣连接滑油尺使用温度设置为+160℃时，对模型进行热力仿真计算，得出数据如下图 4-2-32 所示。

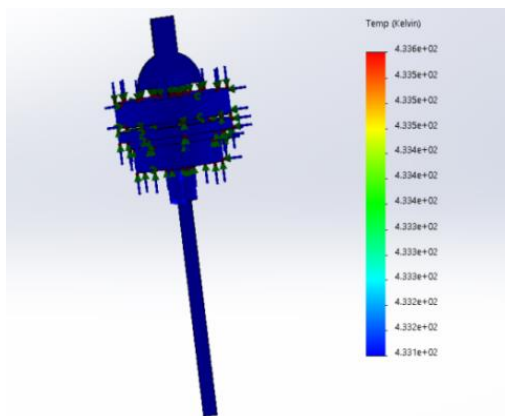


图 4-2-31 原滑油尺+160℃

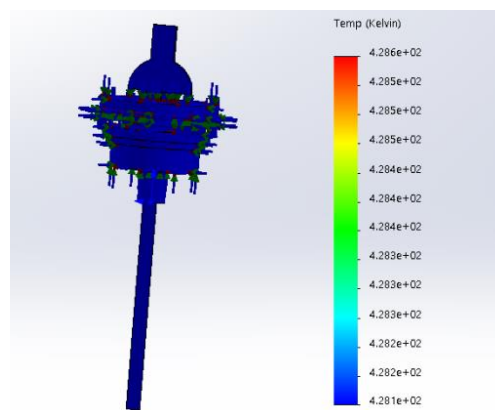


图 4-2-32 方案二卡扣连接滑油 160

表 4- 2 原模型与方案二模型热力学对比分析

温度与模型	原模型 (mm)	方案二 优化模型 (mm)
-40℃	2.334e+02	2.284e+02
-20℃	2.534e+02	2.484e+02
0℃	2.734e+02	2.684e+02
+40℃	3.135e+02	3.085e+02
+60℃	3.335e+02	3.285e+02
+80℃	3.535e+02	3.485e+02
+120℃	3.935e+02	3.885e+02
+160℃	4.336e+02	4.286e+02

通过观察表 4-2 中的数据可以得到以下结论：

1. 原模型和方案二模型热力学仿真数据都随着温度的逐渐增加而增加。
2. 方案二卡扣连接模型与原模型相比，在相同的温度变化下，方案二变化值更小。

通过以上热力学仿真分析我们可以知道，方案二相比原方案受热变化小，结构更加稳定，受热更能较好的正常运行^[8]。

4.2.2 热力学仿真数据对比

根据 4.2.1 节所选取的实验数据点，分别将原滑油尺及优化后的“方案一”和“方案二”滑油尺在-40℃、-20℃、0℃、+40℃、+60℃、+80℃、+120℃和+160℃的使用环境温度条件下，结合分析最终得到以下数据，实验数据见表 4-3 所示。

表 4-3 热力学对比分析

模型	原模型 (mm)	方案一 优化模型 (mm)				方案二 优化模型 (mm)
		0.2mm 圆角半径	0.5mm 圆角半径	0.8mm 圆角半径	1mm 圆角半径	
温度						
-40℃	2.334e+02	2.354e+02	2.384e+02	2.414e+02	2.434e+02	2.284e+02
-20℃	2.534e+02	2.554e+02	2.584e+02	2.614e+02	2.634e+02	2.484e+02
0℃	2.734e+02	2.754e+02	2.784e+02	2.814e+02	2.834e+02	2.684e+02
+40℃	3.135e+02	3.155e+02	3.185e+02	3.215e+02	3.235e+02	3.085e+02
+60℃	3.335e+02	3.355e+02	3.385e+02	3.415e+02	3.435e+02	3.285e+02
+80℃	3.535e+02	3.555e+02	3.585e+02	3.615e+02	3.635e+02	3.485e+02
+120℃	3.935e+02	3.955e+02	3.985e+02	4.016e+02	4.036e+02	3.885e+02
+160℃	4.336e+02	4.356e+02	4.386e+02	4.416e+02	4.436e+02	4.286e+02

通过表 4-3 热力学分析中的数据可以得出以下结论：

1. 原滑油尺模型的热力学仿真数据的变化规律与温度有关。随着物体的温度升高，物体的位移值变大，因此受热能够改变对物体的结构能对物体造成影响。

2. 在同一温度下，优化方案一的流线型滑油尺模型的热力学仿真数据的变化与圆角半径参数的选择有关。相同温度下，所选择的圆角半径参数每增加 1mm，那么流线型滑油尺的热力学仿真数据增加 0.01e+02，反之亦然^[9]。

3. 在相同温度下，通过对比原滑油尺模型与方案二的卡扣连接热力学仿真数据，可以发现卡扣连接模型的数据比原模型数据减少了 0.05e+02。

4. 综合上述我们分析以上对照实验数据可得，改善后的方案受温度影响相对于为改善的影响较小，因此在相同环境下，改善后的滑油尺有更好的效果，更利于滑油系统的运行。

4.3 滑油尺静应力分析

滑油尺是航空发动机中重要部件之一，分析滑油尺在运行时某一刻定状态下的静应力分析，可确保它能够在允许应力范围内正常运行。而且在航空发动机运行时滑油尺与滑油箱的连接处会受发动机的震动影响而导致连接断开，为了保证飞机飞行时的安全性，因此有必要对滑油尺进行静应力分析。

4.3.1 滑油尺静应力分析过程

通过查询资料后得知，原滑油尺的材料为 AISI 1035 钢 (SS)，查找材料手册后选择钛合金为优化模型后的材料，即钛 Ti-5Al-2.5Sn，因为钛合金的密封效果比碳素钢好，硬度和刚度也比碳素钢好，优化后的方案一和方案二模型使用钛合金材料进行静应力分析

有助于与使用碳素钢材料的原模型进行静应力分析形成鲜明对比。下面我会把原滑油尺模型依次与方案一的流线型模型（要圆角的参数半径依次选择为 0.2mm、0.5mm、0.8mm 和 1mm）和方案二的卡扣连接模型分别进行静应力分析比较^[10]。

原滑油尺与方案一流线型滑油尺的比较

方案一的流线型滑油尺的优化是针对滑油尺下端刻度尺形状的改变，即改变滑油流过滑油尺时存在的分离层问题，优化方案一的流线型滑油尺下端刻度尺的位置在滑油箱内部。方案一的流线型滑油尺在静态载荷下需承受 60-300N 的力以及 60-300N·m 的力矩，根据 WP6 航空发动机震动图谱选取 60N、120N、180N、240N、300N 这五个实验数据点的力和 60N·m、120N·m、180N·m、240N·m、300N·m 这五个实验数据点的力矩进行力学仿真分析。

当原滑油尺模型材料设置为 AISI 1035 钢（SS）、承受力设置为 60N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-1 所示。

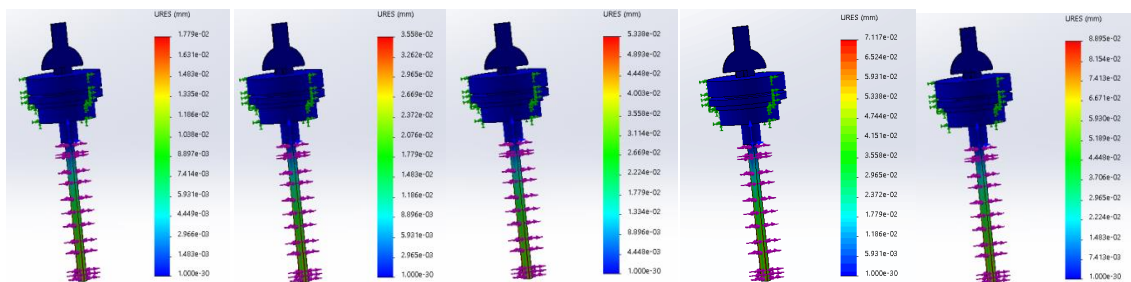


图 4-3-1 原滑油尺力为 60N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m 时

当方案一流线型滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 60N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m、要圆角的参数半径选择为 0.2mm 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-2 所示。

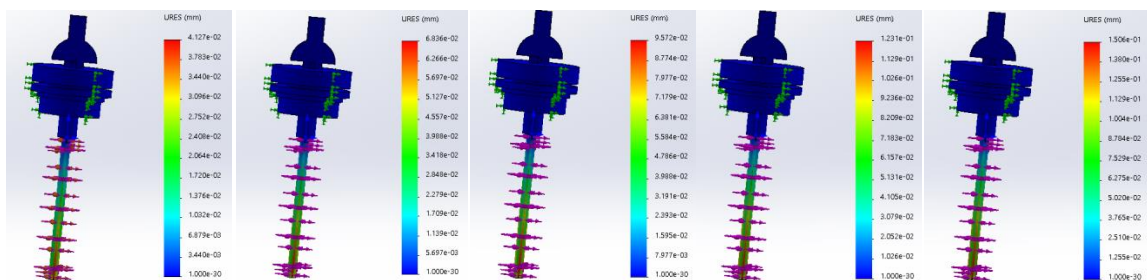


图 4-3-2 方案一流线型滑油尺力为 60N，力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m，要圆角的参数半径选择为 0.2mm 时

当方案一流线型滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 60N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m、要圆角的参数半径选择为 0.5mm 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-3 所示。

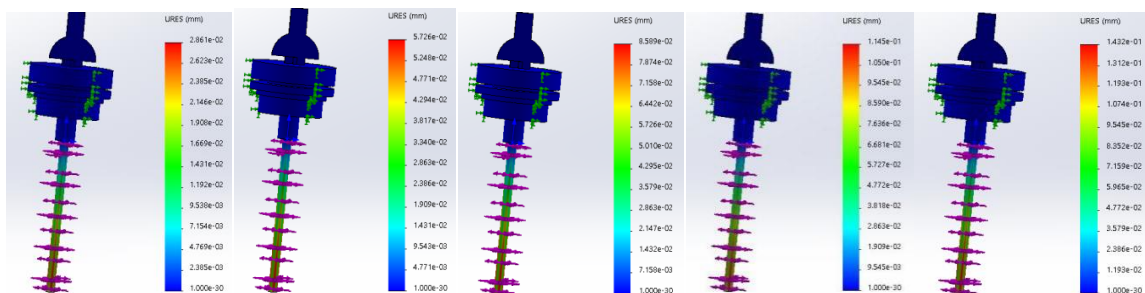


图 4-3-3 方案一流线型滑油尺力为 60N，力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m，要圆角的参数半径选择为 0.5mm 时

当方案一流线型滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 60N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m、要圆角的参数半径选择为 0.8mm 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-4 所示。

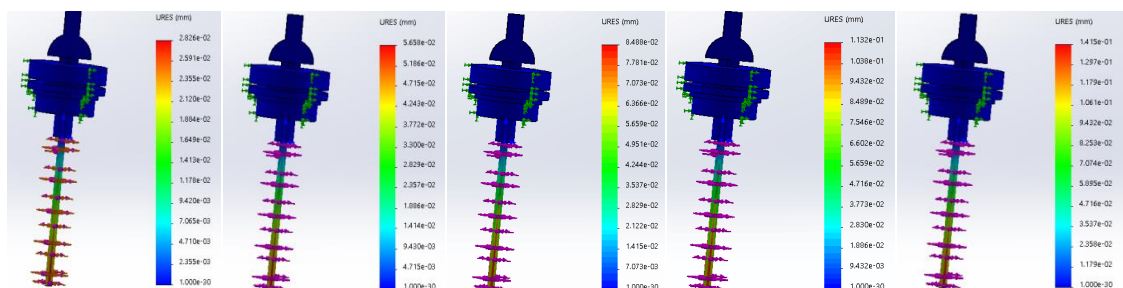


图 4-3-4 方案一流线型滑油尺力为 60N，力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m，要圆角的参数半径选择为 0.8mm 时

当方案一流线型滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 60N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m、要圆角的参数半径选择为 1mm 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-5 所示。

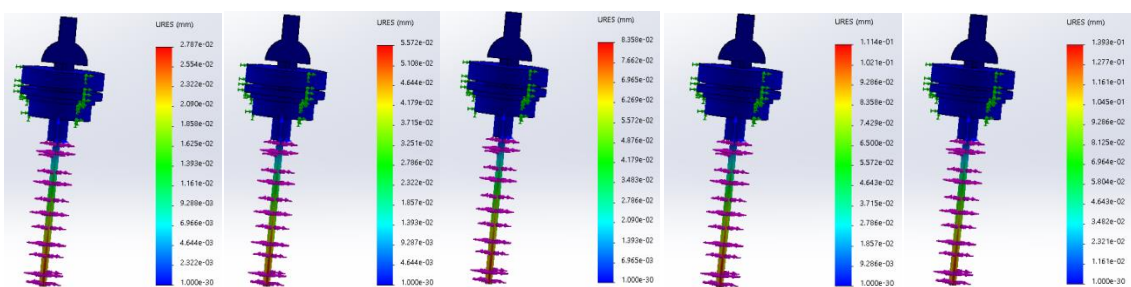


图 4-3-5 方案一流线型滑油尺力为 60N，力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m，要圆角的参数半径选择为 1mm 时

当原滑油尺模型材料设置为 AISI 1035 钢 (SS)、承受力设置为 120N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m 时，对模型进行力学仿真计算，计算得出的位移数据如下图 4-3-6 所示。

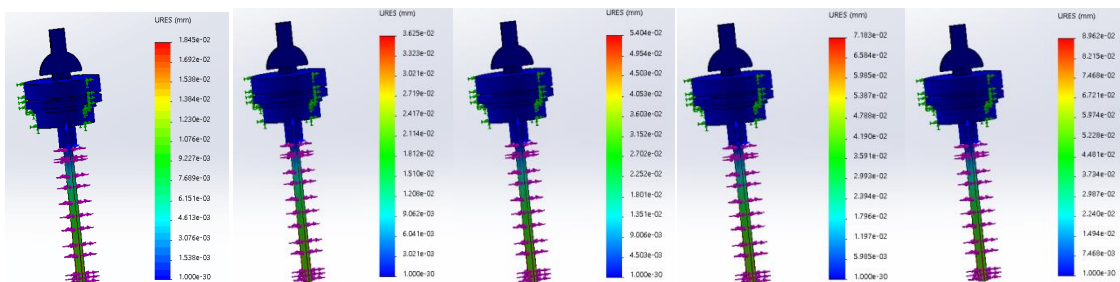


图 4-3-6 原滑油尺力为 120N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m 时

当方案一流线型滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 120N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m、要圆角的参数半径选择为 0.2mm 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-7 所示。

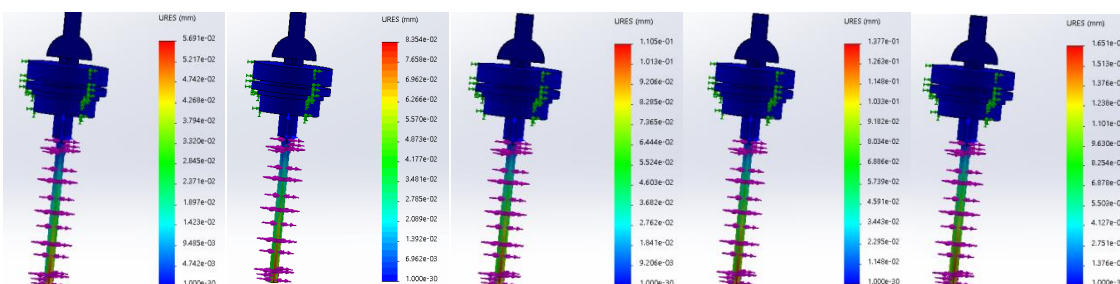


图 4-3-7 方案一流线型滑油尺力为 120N，力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m，要圆角的参数半径选择为 0.2mm 时

当方案一流线型滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 120N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m、要圆角的参数半径选择为 0.5mm 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-8 所示。

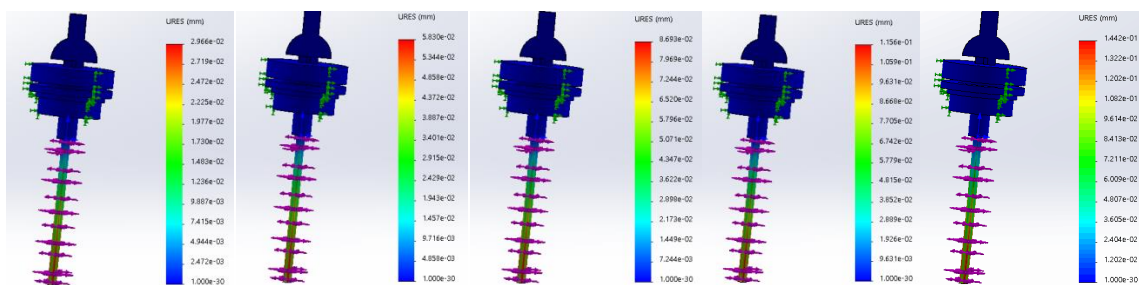


图 4-3-8 方案一流线型滑油尺力为 120N，力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m，要圆角的参数半径选择为 0.5mm 时

当方案一流线型滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 120N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m、要圆角的参数半径选择为 0.8mm 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-9 所示。

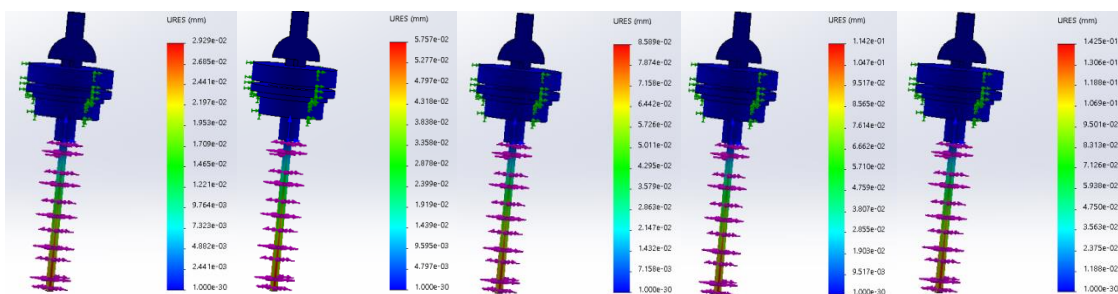


图 4-3-9 方案一流线型滑油尺力为 120N，力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m，要圆角的参数半径选择为 0.8mm 时

当方案一流线型滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 120N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m、要圆角的参数半径选择为 1mm 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-10 所示。

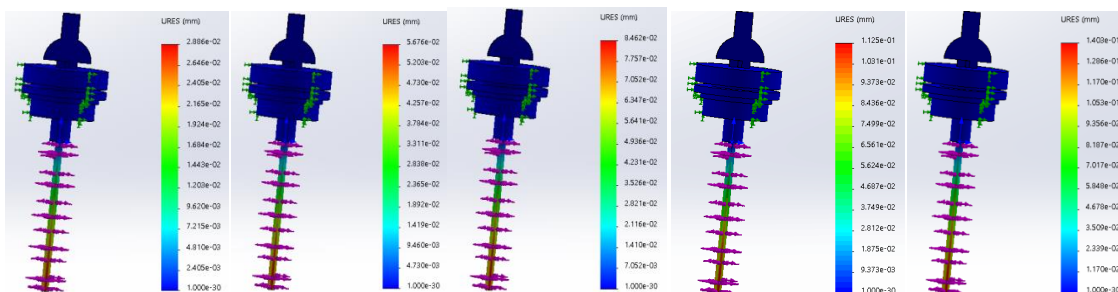


图 4-3-10 方案一流线型滑油尺力为 120N，力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m，要圆角的参数半径选择为 1mm 时

当原滑油尺模型模型材料设置为 AISI 1035 钢 (SS)、承受力设置为 180N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m 时，对模型进行力学仿真计算，计算得出的位移数据如下图 4-3-11 所示。

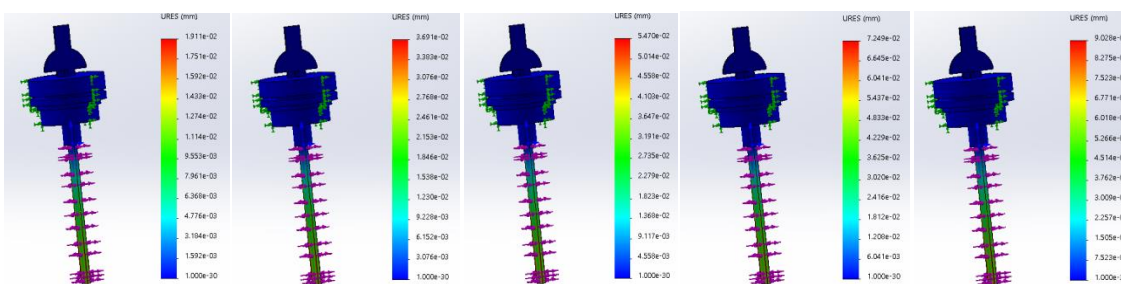


图 4-3-11 原滑油尺力为 180N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m 时

当方案一流线型滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 180N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m、要圆角的参数半径选择为 0.2mm 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-12 所示。

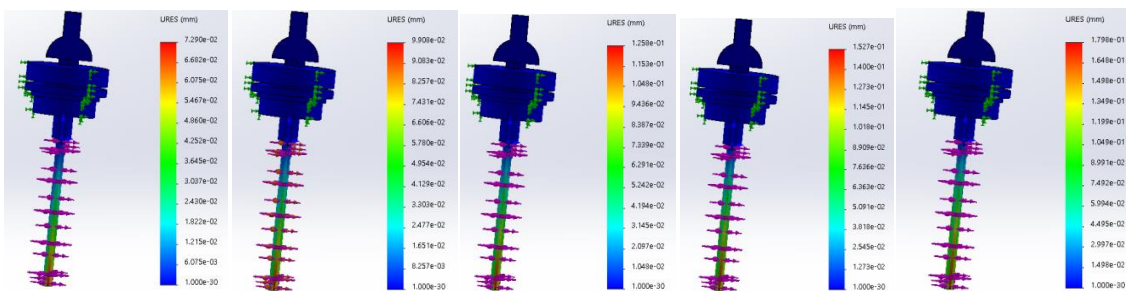


图 4-3-12 方案一流线型滑油尺力为 180N，力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m，要圆角的参数半径选择为 0.2mm 时

当方案一流线型滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 180N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m、要圆角的参数半径选择为 0.5mm 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-13 所示。

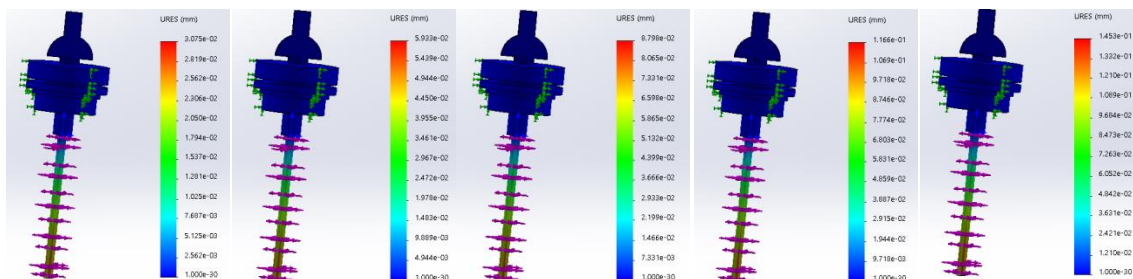


图 4-3-13 方案一流线型滑油尺力为 180N，力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m，要圆角的参数半径选择为 0.5mm 时

当方案一流线型滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 180N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m、要圆角的参数半径选择为 0.8mm 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-14 所示。

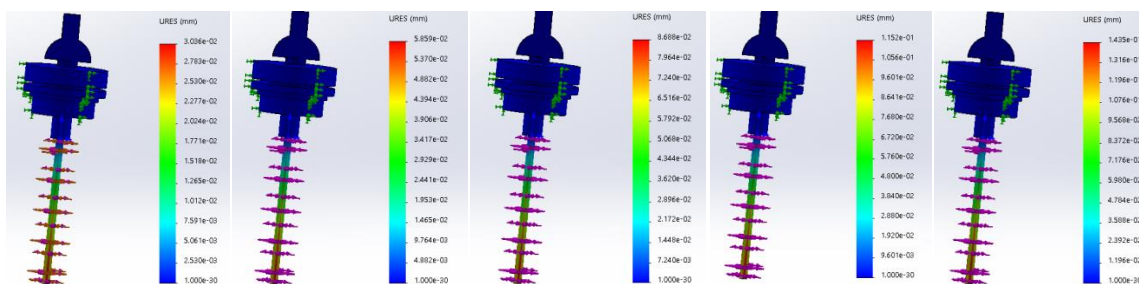


图 4-3-14 方案一流线型滑油尺力为 180N，力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m，要圆角的参数半径选择为 0.8mm 时

当方案一流线型滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 180N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m、要圆角的参数半径选择为 1mm 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-15 所示。

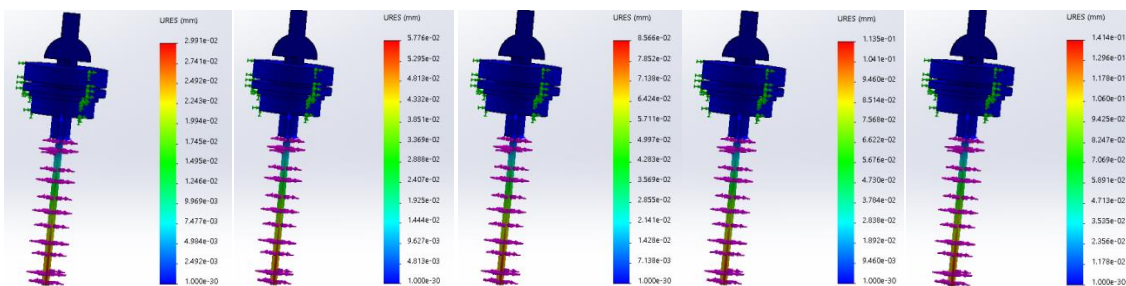


图 4-3-15 方案一流线型滑油尺力为 180N，力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m，要圆角的参数半径选择为 1mm 时

当原滑油尺模型材料设置为 AISI 1035 钢 (SS)、承受力设置为 240N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-16 所示。

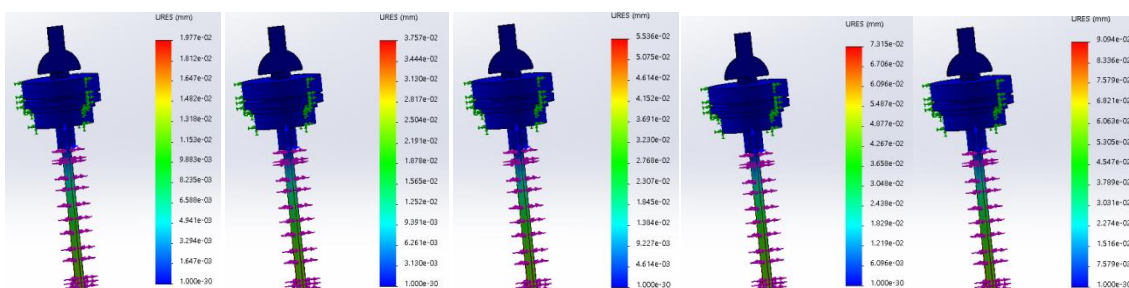


图 4-3-16 原滑油尺力为 240N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m 时

当方案一流线型滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 240N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m、要圆角的参数半径选择为 0.2mm 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-17 所示。

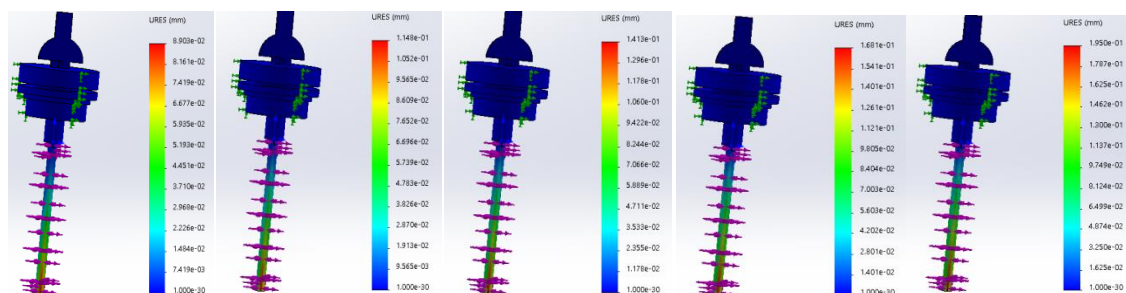


图 4-3-17 方案一流线型滑油尺力为 240N，力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m，要圆角的参数半径选择为 0.2mm 时

当方案一流线型滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 240N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m、要圆角的参数半径选择为 0.5mm 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-18 所示。

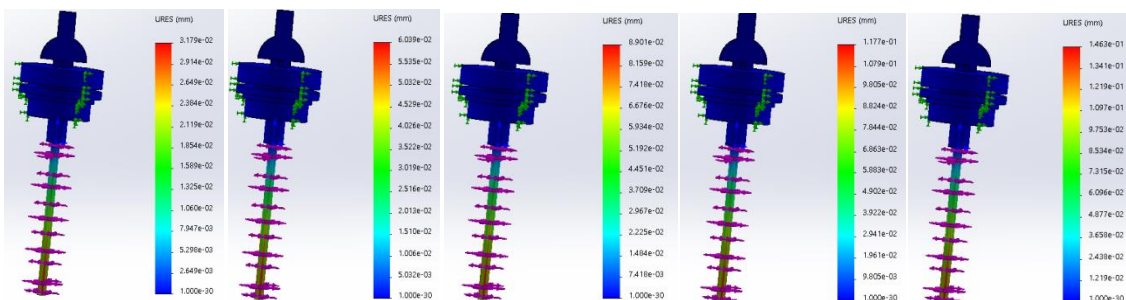


图 4-3-18 方案一流线型滑油尺力为 240N，力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m，要圆角的参数半径选择为 0.5mm 时

当方案一流线型滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 240N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m、要圆角的参数半径选择为 0.8mm 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-19 所示。

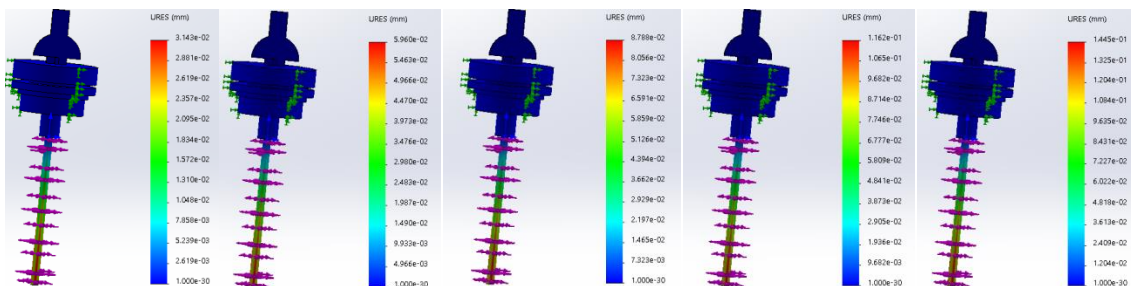


图 4-3-19 方案一流线型滑油尺力为 240N，力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m，要圆角的参数半径选择为 0.8mm 时

当方案一流线型滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 240N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m、要圆角的参数半径选择为 1mm 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-20 所示。

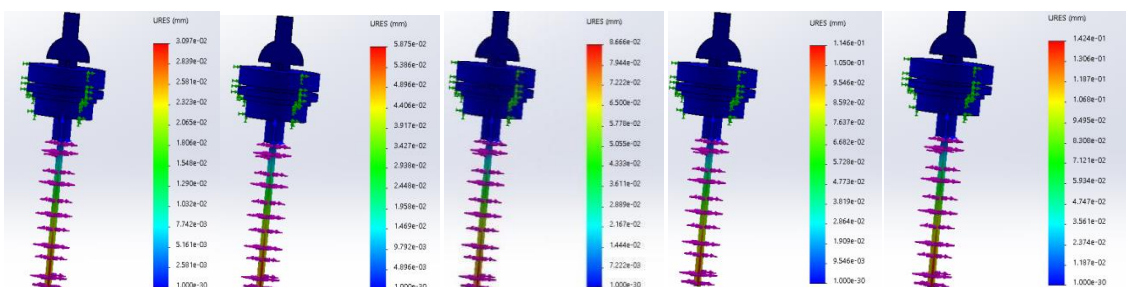


图 4-3-20 方案一流线型滑油尺力为 240N，力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m，要圆角的参数半径选择为 1mm 时

当原滑油尺模型材料设置为 AISI 1035 钢 (SS)、承受力设置为 300N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-21 所示。

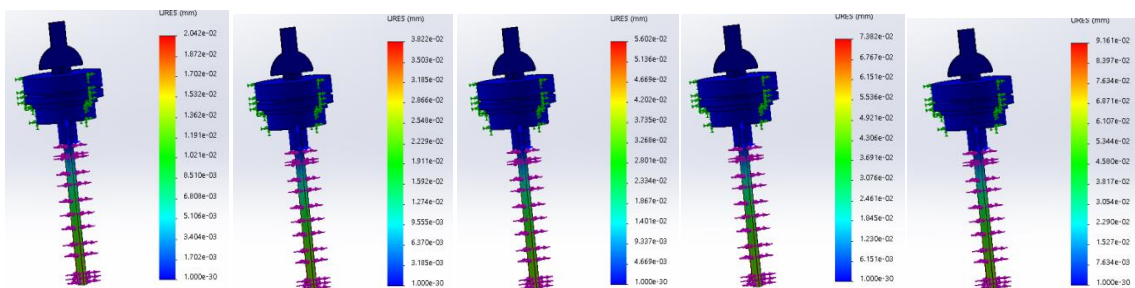


图 4-3-21 原滑油尺力为 300N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N · m 时

当方案一流线型滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 300N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N · m、要圆角的参数半径选择为 0.2mm 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-22 所示。

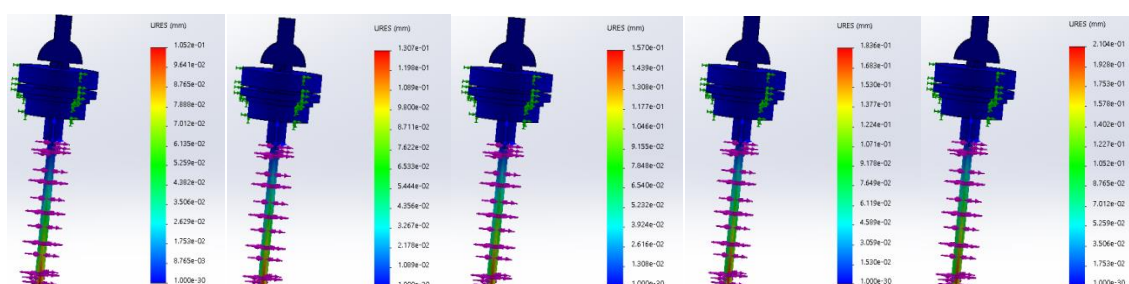


图 4-3-22 方案一流线型滑油尺力为 300N，力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N · m，要圆角的参数半径选择为 0.2mm 时

当方案一流线型滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 300N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N · m、要圆角的参数半径选择为 0.5mm 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-23 所示。

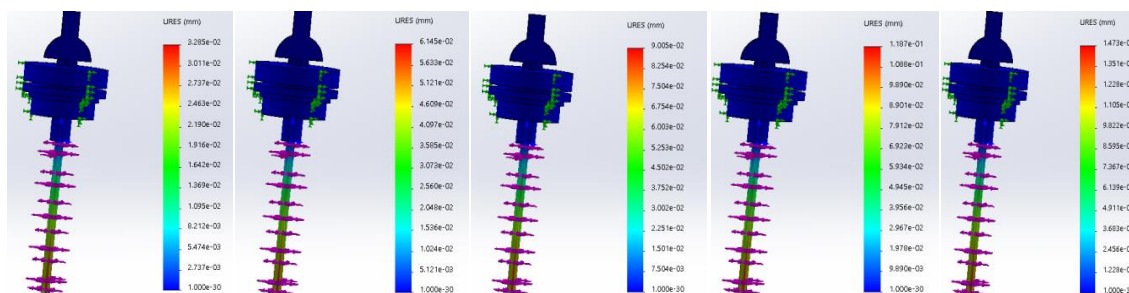


图 4-3-23 方案一流线型滑油尺力为 300N，力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N · m，要圆角的参数半径选择为 0.5mm 时

当方案一流线型滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 300N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N · m、要圆角的参数半径选择为 0.8mm 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-24 所示。

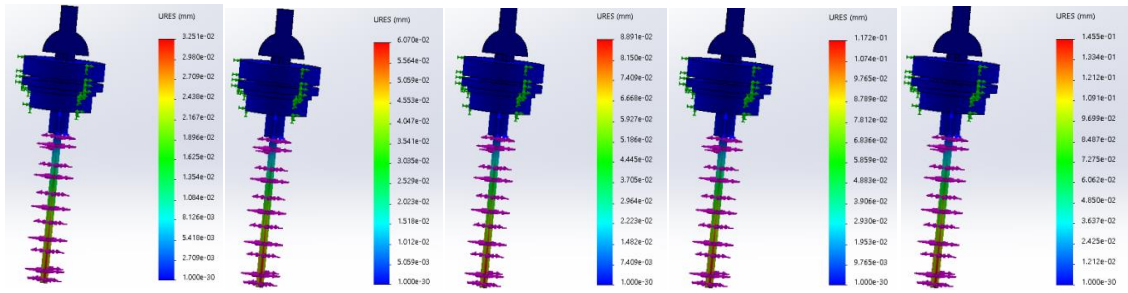


图 4-3-24 方案一流线型滑油尺力为 300N，力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m，要圆角的参数半径选择为 0.8mm 时

当方案一流线型滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 300N、力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m、要圆角的参数半径选择为 1mm 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-25 所示。

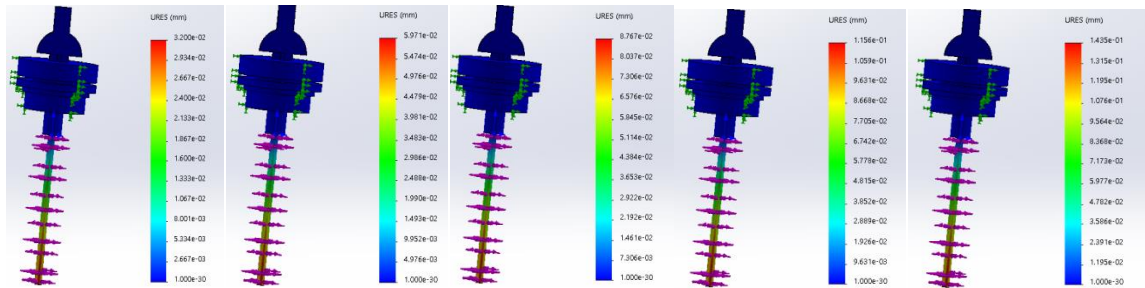


图 4-3-25 方案一流线型滑油尺力为 300N，力矩依次设置为 60、120、180、240 和 300N·m，要圆角的参数半径选择为 1mm

表 4-4 与方案一流线型滑油尺相对比的原滑油尺静应力分析数据

力矩与力	60N	120N	180N	240N	300N
60N m	1.779e-02	1.845e-02	1.911e-02	1.977e-02	2.042e-02
120N m	3.558e-02	3.625e-02	3.691e-02	3.757e-02	3.822e-02
180N m	5.338e-02	5.404e-02	5.470e-02	5.536e-02	5.602e-02
240N m	7.117e-02	7.183e-02	7.249e-02	7.315e-02	7.382e-02
300N m	8.895e-02	8.962e-02	9.028e-02	9.094e-02	9.161e-02

表 4-5 与原滑油尺相对比的方案一流线型滑油尺静应力分析数据

力、力矩/圆角半径	60N	120N	180N	240N	300N
0.2mm	4.127e-02	5.691e-02	7.290e-02	8.903e-02	1.052e-01
0.5mm	2.861e-02	2.966e-02	3.075e-02	3.179e-02	3.285e-02
0.8mm	2.826e-02	2.929e-02	3.036e-02	3.143e-02	3.251e-02
1mm	2.787e-02	2.886e-02	2.991e-02	3.097e-02	3.200e-02
60N · m					
0.2mm	6.836e-02	8.354e-02	9.908e-02	1.148e-01	1.307e-01
0.5mm	5.726e-02	5.830e-02	5.933e-02	6.039e-02	6.145e-02
0.8mm	5.658e-02	5.757e-02	5.859e-02	5.960e-02	6.070e-02
1mm	5.572e-02	5.676e-02	5.776e-02	5.875e-02	5.971e-02
120N · m					
0.2mm					
0.5mm					
0.8mm					
1mm					

续表 4-5 与原滑油尺相对比的方案一流线型滑油尺静应力分析数据

	0.2mm	9.572e-02	1.105e-01	1.258e-01	1.413e-01	1.570e-01
180N · m	0.5mm	8.589e-02	8.693e-02	8.798e-02	8.901e-02	9.005e-02
	0.8mm	8.488e-02	8.589e-02	8.688e-02	8.788e-02	8.891e-02
	1mm	8.358e-02	8.462e-02	8.566e-02	8.666e-02	8.767e-02
	0.2mm	1.231e-01	1.377e-01	1.527e-01	1.681e-01	1.836e-01
240N · m	0.5mm	1.145e-01	1.156e-01	1.166e-01	1.177e-01	1.187e-01
	0.8mm	1.132e-01	1.142e-01	1.152e-01	1.162e-01	1.172e-01
	1mm	1.114e-01	1.125e-01	1.135e-01	1.146e-01	1.156e-01
300N · m	0.2mm	1.506e-01	1.651e-01	1.798e-01	1.950e-01	2.104e-01
	0.5mm	1.432e-01	1.442e-01	1.453e-01	1.463e-01	1.473e-01
	0.8mm	1.415e-01	1.425e-01	1.435e-01	1.445e-01	1.455e-01
	1mm	1.393e-01	1.403e-01	1.414e-01	1.424e-01	1.435e-01

通过观察表 4-4 与表 4-5 中原模型与方案一模型的力学仿真数据,可以得到以下结论:

1. 在力一定的条件下, 力学仿真数据随着力矩的增大而增大。
2. 当力与力矩相同时, 圆角半径越大, 则力学仿真数据越小, 位移值变化相对较小。
3. 在力、力矩与圆角半径相同的条件下, 方案一的形变量要小于原模型。

通过表 4-4 与表 4-5 中的数据对比, 我们可以知道, 方案一模型与原模型相比, 在相同力矩大小和相同力的情况下, 受到的形变量要小。这表明在本次仿真相同条件下, 改善方案更优于原方案, 更能在实际中发挥更好的效果。

原滑油尺与方案二卡扣连接滑油尺的比较

方案二的卡扣连接滑油尺的优化是针对滑油箱的封严性问题, 卡扣连接滑油尺的卡扣位于滑油箱外部。查阅资料得知原滑油尺模型采用的材料是 AISI 1035 钢 (SS), 而改进后的滑油尺材料选择用钛 Ti-5Al-2.5Sn, 因为不仅钛合金的硬度和刚度比碳素钢好, 钛合金的密封效果也比碳素钢好。方案二的卡扣连接滑油尺在静态载荷下需承受 200-600N 的压力以及 40-200N · m 的力矩, 根据 WP6 航空发动机震动图谱选取 200N、300N、400N、

500N、600N 这五个实验数据点的力和 40N·m、80N·m、120N·m、160N·m、200N·m 这五个实验数据点的力矩进行力学仿真分析。

当原滑油尺模型材料设置为 AISI 1035 钢 (SS)、承受力设置为 200N、力矩依次设置为 40、80、120、160 和 200N·m 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-26 所示。

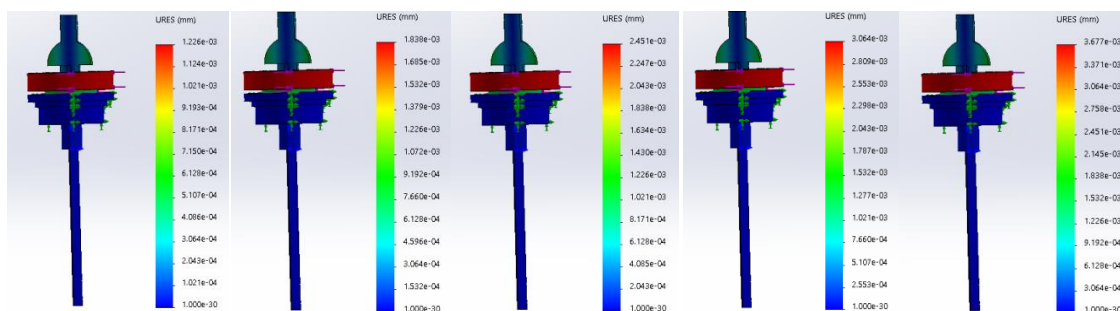


图 4-3-26 原滑油尺力为 200N、力矩依次设置为 40、80、120、160、200N·m 时

当方案二卡扣连接滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 200N、力矩依次设置为 40、80、120、160 和 200N·m 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-27 所示。

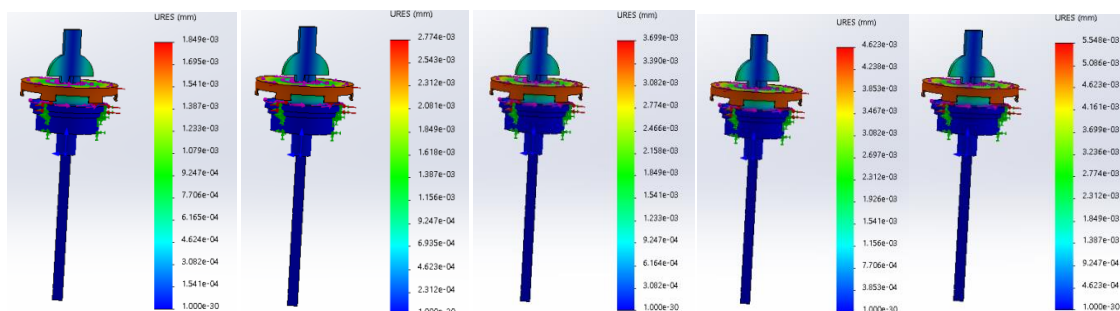


图 4-3-27 方案二卡扣连接滑油尺力为 200N，力矩依次设置为 40、80、120、160、200N·m 时

当原滑油尺模型材料设置为 AISI 1035 钢 (SS)、承受力设置为 300N、力矩依次设置为 40、80、120、160 和 200N·m 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-28 所示。

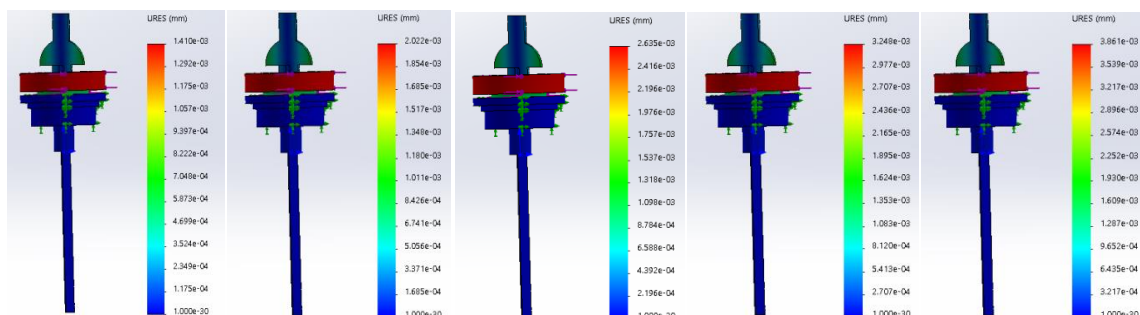


图 4-3-28 原滑油尺力为 300N、力矩依次设置为 40、80、120、160、200N·m 时

当方案二卡扣连接滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 300N、力矩依次设置为 40、80、120、160 和 200N·m 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-29 所示。

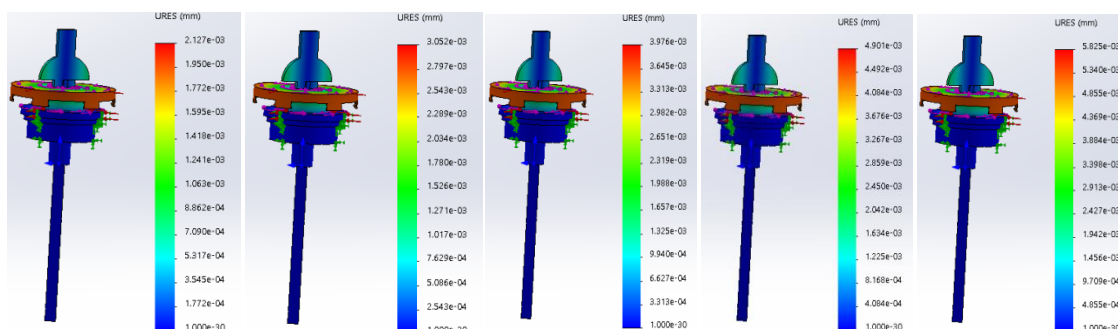


图 4-3-29 方案二卡扣连接滑油尺力为 300N，力矩依次设置为 40、80、120、160、200N·m 时

当原滑油尺模型材料设置为 AISI 1035 钢 (SS)、承受力设置为 400N、力矩依次设置为 40、80、120、160 和 200N·m 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-30 所示。

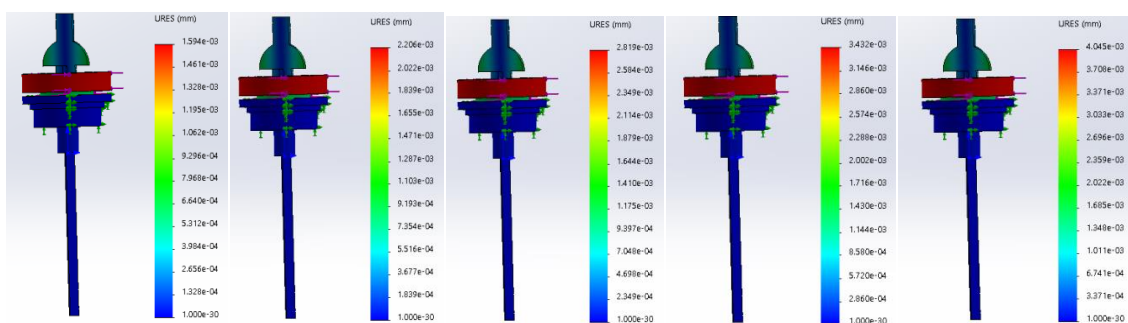


图 4-3-30 原滑油尺力为 400N、力矩依次设置为 40、80、120、160、200N·m 时

当方案二卡扣连接滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 400N、力矩依次设置为 40、80、120、160 和 200N·m 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-31 所示。

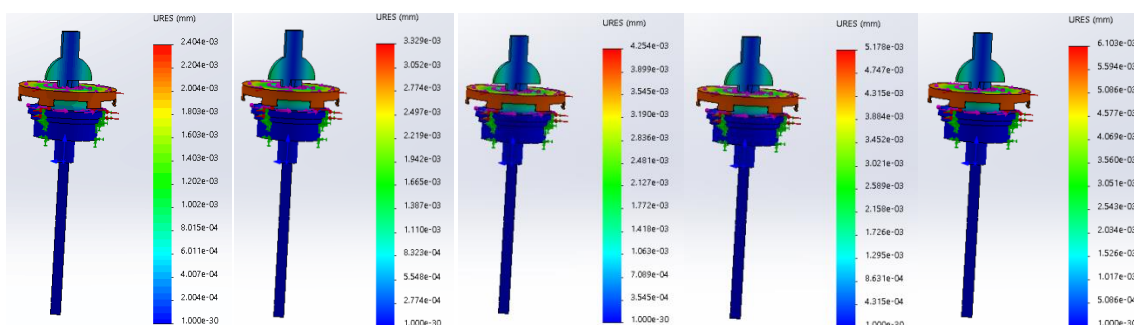


图 4-3-31 方案二卡扣连接滑油尺力为 400N，力矩依次设置为 40、80、120、160、200N·m 时

当原滑油尺模型材料设置为 AISI 1035 钢 (SS)、承受力设置为 500N、力矩依次设置为 40、80、120、160 和 200N·m 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-32 所示。

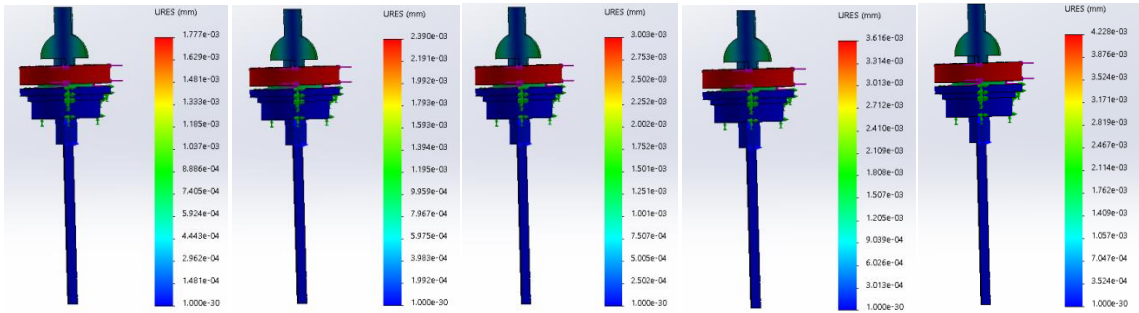


图 4-3-32 原滑油尺力为 500N、力矩依次设置为 40、80、120、160、200N·m 时

当方案二卡扣连接滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 500N、力矩依次设置为 40、80、120、160 和 200N·m 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-33 所示。

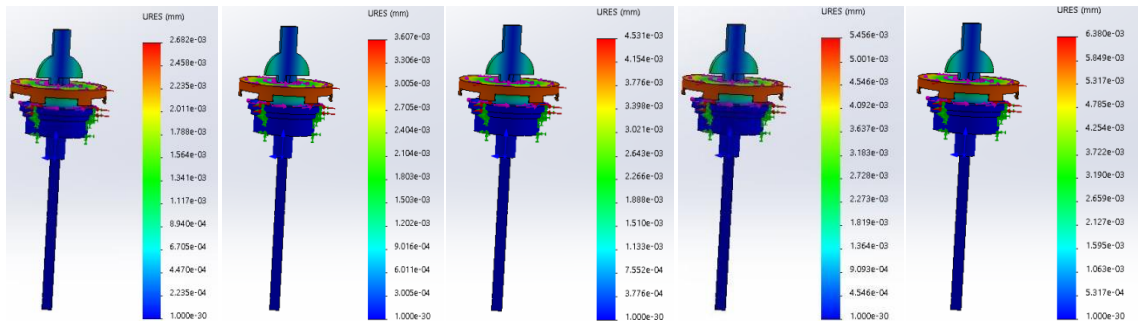


图 4-3-33 方案二卡扣连接滑油尺力为 500N，力矩依次设置为 40、80、120、160、200N·m 时

当原滑油尺模型材料设置为 AISI 1035 钢 (SS)、承受力设置为 600N、力矩依次设置为 40、80、120、160 和 200N·m 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-34 所示。

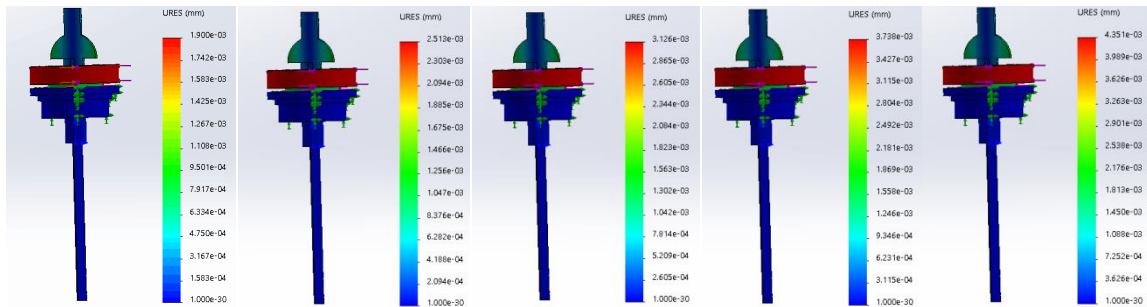


图 4-3-34 原滑油尺力为 600N、力矩依次设置为 40、80、120、160、200N·m 时

当方案二卡扣连接滑油尺模型材料设置为钛 Ti-5Al-2.5Sn、承受力设置为 600N、力矩依次设置为 40、80、120、160 和 200N·m 时，对模型进行力学仿真计算，得出的位移数据如下图 4-3-35 所示。

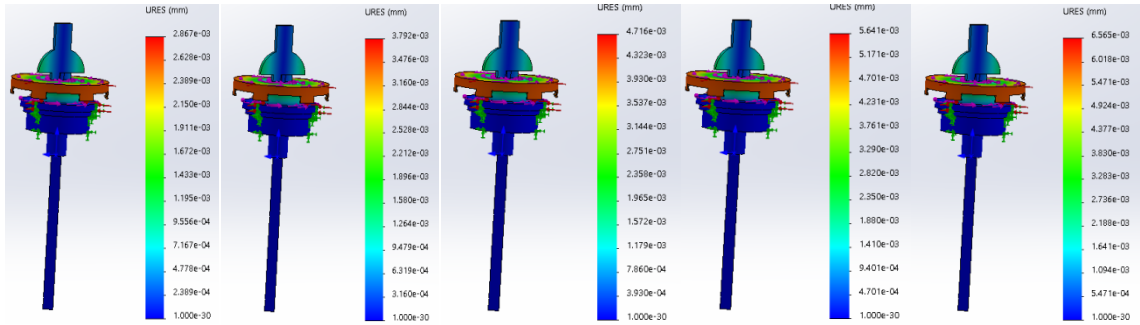


图 4-3-35 方案二卡扣连接滑油尺力为 600N，力矩依次设置为 40、80、120、160、200N·m 时

表 4-6 与方案二卡扣连接滑油尺相对比的原滑油尺静应力分析数据

力矩与力	200N	300N	400N	500N	600N
40N·m	1.226e-03	1.410e-03	1.594e-03	1.777e-03	1.900e-03
80N·m	1.838e-03	2.022e-03	2.206e-03	2.390e-03	2.513e-03
120N·m	2.451e-03	2.635e-03	2.819e-03	3.003e-03	3.126e-03
160N·m	3.064e-03	3.248e-03	3.432e-03	3.616e-03	3.738e-03
200N·m	3.677e-03	3.861e-03	4.045e-03	4.228e-03	4.351e-03

表 4-7 与原滑油尺相对比的方案二卡扣连接滑油尺静应力分析数据

力矩与力	200N	300N	400N	500N	600N
40N·m	1.849e-03	2.127e-03	2.404e-03	2.682e-03	2.867e-03
80N·m	2.774e-03	3.052e-03	3.329e-03	3.607e-03	3.792e-03
120N·m	3.699e-03	3.976e-03	4.254e-03	4.531e-03	4.716e-03
160N·m	4.623e-03	4.901e-03	5.178e-03	5.456e-03	5.641e-03
200N·m	5.548e-03	5.825e-03	6.103e-03	6.380e-03	6.565e-03

通过观察表 4-6 与表 4-7 中原模型与方案二模型的力学仿真数据,可以得到以下结论:

1. 在力一定的条件下, 力学仿真数据随着力矩的增大而增大。
2. 在力与力矩相同的条件下, 方案二的形变量要大于原模型。

4.3.2 静应力仿真分析对比

根据 4.3.1 节中表 4-4、表 4-5、表 4-6、表 4-7 里所做的实验数据, 分别将原滑油尺以及优化后的滑油尺在力与力矩不同的工作强度的条件下, 使用 solidworks 软件中 simulation 组件进行静应力仿真分析。

通过观察表 4-4、表 4-5、表 4-6、表 4-7 中数据可得出:

1. 原滑油尺模型的力学仿真数据在随着所施加力和力矩的逐渐增大而增大。
2. 方案一的流线型滑油尺中设置要圆角的参数半径为 0.2mm、0.5mm、0.8mm 和 1mm 时的力学仿真数据结果相差不多, 但是随着施加力的逐渐增大, 总体结构仿真数据也在逐渐增大。
3. 方案二的卡扣连接滑油尺的力学仿真数据在随着施加力的逐渐增大而增大。
4. 综合上述我们可以知道, 在改进之后与原结构作对比我们发现: 方案一和方案二与原结构都随力的增大而增大, 但是改善之后变化都比原结构较大。这就说明原来结构受力变化较大, 而改善之后的实物受力变化较小, 具备较好的条件。

4.4 仿真计算结果分析

通过 solidworks 三维制图软件模拟受力分析, 我们可以看到滑油尺原模型和两种改进优化模型都发生了轻微的变形。

在滑油尺全寿命使用期中, 滑油尺随着发动机整体震动只是轻微的变形可以接受, 只要不影响其所处的作用及工作效率。

滑油尺需按照使用说明定期维护, 防止出现小问题引发大事故的灾难现场。

通过数据分析, 得到上述以上结论, 但此结论不包括一些特殊情况。

第五章 总结与展望

根据前期实验的研究以及后期的数据整理，虽然最新改进的方案有一定的提升性，但是也暴露了很多的不足与缺点。由于疫情原因，原本很多都可以做实验的内容都少了很多，这对数据和实验的准确性有很大的影响。但在导师的指导以及该软件的使用下，通过数学分析以及对比，我还是能较好的完成本次改善。介于本次实验，我总结以下：

1. 原滑油尺确实有较多的缺点。
2. 原滑油尺在我以上两个方案优化后确实有所改善。
3. 就算完善之后的滑油尺仍然有较多的不足以及缺点。

针对这次不足我总结如下：

1. 材料问题。最初在选材中我采取了钛合金，但是实际了解中钛合金是一种特别昂贵的合金，不仅制作工艺复杂而且生产的厂家较少。不仅采购困难，而且在实际的加工当中也有很大的困难。当初我也了解过钛合金的加工过程，发现仅仅靠一般的车床难以对其加工，加上疫情和资金的困难，难以大量采购和生产。所以实验的材料只是理想材料，真实数据还得根据实际钛合金里面金属比列和生产方式来测试。

2. 时间问题。最初打算是在学校进行实验的，但是因为疫情一直到现在也未进入学校。很多困难都只是停留在思考和理论阶段。

3. 完善后的不足。单从理论和数据实验得出分析，改善后的滑油尺确实有了较大的改善。不仅减少了粘黏性，增加了滑油的流速，而且提升滑油尺和滑油箱连接处的紧固性。但是从实际出发，材料开始就出现了困难，新材料难大规模采用。虽然只是添加一个滑油尺的价格不贵，但是飞机其他金属都使用该合金的话成本多了一倍，所以难以形成大规模改善。还有就是结构的改变多少对其他系统和该系统有一定的影响，没有长期实际使用，难以得出结论是否真正实用。

从目前的实验我们明显可以感受到确实有较大的改善，不仅能对该物件本身有了较大的提升而且对该系统正常的运行有了不少的改善。总体来说本次实验是一次成功的实验，因此对下一步的发展也有较大的运用空间。如果后期能够采购到该合金并对其加工成设计款式，然后运用到实际的系统当中，并对其较长时间的实验都能够符合本次的实验结果，那么可以出本得出本次实验有很大的进步性。因此在以后条件允许后我会加快对实物的制作以及实物在实际当中的运用。

参考文献

- [1] 魏旭东.对航空发动机滑油系统的现状及未来发展分析[J].内燃机与配件,2019(12):63-64.DOI:10.19475/j.cnki.issn1674-957x.2019.12.025.
- [2] 郝嘉玉,陈礼顺.滑油监控技术在航空发动机上的应用[J].内燃机与配件,2019(11):138-139.DOI:10.19475/j.cnki.issn1674-957x.2019.11.070.
- [3] 吴明阳.飞机维修时航空发动机滑油系统污染防控措施分析[J].无线互联科技,2019,16(23):5-6.
- [4] 张惊.航空发动机滑油系统常见故障分析[J].中国新技术新产品,2019(03):31-32.DOI:10.13612/j.cnki.cntp.2019.03.018.
- [5] 任鑫欣,张栋善.通用航空发动机滑油系统及其压力标定[J].中国科技信息,2018(18):36-37.
- [6] 王立.某型发动机滑油泄漏故障分析[J].科技创新与应用,2021,11(22):144-146.
- [7] 梁键.某航空发动机滑油系统故障分析研究[D].西安电子科技大学,2006.
- [8] Lališ Andrej,Bolčeková Simona,Štumbauer Oldřich. Ontology-based reliability analysis of aircraft engine lubrication system[J]. Transportation Research Procedia,2020,51:
- [9] Yu Yu Zuo. Gas Turbine Engines Lubrication System Design[J]. Advanced Materials Research,2014,3051(900-900):
- [10] Engine Lubrication System Model for Sump Oil Temperature Prediction[J]. SAE Transactions,2001,110:

致 谢

在这个盛夏的尾季，即将在人生的另一阶段画满一个完整的句号。在这大学的四年里面，有过开心、有过满足、有过伤心、有过绝望，但更多的是在苦海中不断前进、不断学习。

有人把大四的论文比喻成最后的试卷，但我更感觉论文就是大学四年学习和实践的浓缩。就如同用自己学习的知识来构建一座雕塑，轮廓都知道，但是每一次敲击、每一次捶打都是不一样的磨炼。

有人说大学的结束就是学习的结束。但是通过对这次论文的学习，我发现还有很多知识需要学习、还有好多思维模式需要构建、还有很多需要改善。在此期间，我的指导老师给我讲了很多思维方式很是让我受益匪浅。让我明白在三维世界里面，你只能跳出长与宽的界限，换个高度才能看清整个世界。

感谢指导老师对我的谆谆教诲，指导老师不仅教会了我学习方面的知识，还教会了我很多即将步入社会后的事情，感谢大学四年里所有教过我的老师，感谢身边朋友同学的帮助，感谢我的爸爸妈妈给予我生命、让我长大成人，感谢爸爸妈妈的无私奉献！

最后，对各位专家、学者能够在百忙之中抽出宝贵的时间来评阅和审议本文表示诚挚的感谢！