



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

本科生毕业设计

航空发动机滑油箱固定方式优化设计及分析
Optimization Design and Analysis of Aero Engine Sliding
Tank Fixing

姓 名 李艳莹

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4日

天津中德应用技术大学

本科生毕业设计（论文）选题申报表

学 院	航空航天学院		申 报 人	姓 名	福巍		
专 业	飞行器制造工程			技术职 务	正高	副高	中级
题目名称	航空发动机滑油箱固定方式优化设计及分析						
题目类型	其他	题目来源	其他项目				
课题来源、背景及意义	<p>首先根据学院现有涡喷 6 航空发动机实物教具并结合学生兴趣能力，制定滑油箱优化题目。涡喷 6 航空发动机是我国迄今为止生产数量最大的航空发动机，是中国首型超音速航空发动机。目前在我校 E4 航空航天学院三楼发动机实训中心有十台退役涡喷 6 航空发动机供学生学习使用。由于涡喷 6 在研发时期我国制造、装配工艺不成熟，许多零部件安装方式及位置不合理，在拆卸维修过程中极其不便捷，所以对其滑油箱固定部分进行优化。使其在原有设计基础上进一步优化性能，提升维护便利性。</p>						
任务及要求	<p>在各大文库网站搜索近年关于航空发动机滑油箱的资料，要求阅读 20 篇以上中文资料以及 10 篇以上英文资料。根据所查资料与自己的创意以及我国现阶段设计生产能力，用 SOLIDWORKS 软件绘制出各零部件模型，并进行模拟装配工作，要求结构合理可靠，并记录过程。反复检查系统中有无不合理之处，如各零部件配合间隙是否合理、各零部件尺寸是否符合航空标准、整个滑油尺是否符合航空发动机外形轮廓等。对优化后的滑油尺进行受力分析，对比结果是否可以达到理想状态。反复进行细节优化。详细记录优化过程及结果。</p>						
工作条件	<p>装有 SOLIDWORKS 软件的计算机、E4-3 发动机实训区，涡喷 6 航空发动机，量具，自习教室等。</p>						
知识与能力要求	<p>发动机原理与构造，钳工基础，装配工艺，自学 SOLIDWORKS 软件操作书籍，具有阅读英文论文的能力。</p>						
<p>系（教研室）审查意见：</p> <p style="text-align: center;">同意</p> <p style="text-align: right;">负责人(签名):  2021 年 12 月 1 日</p>							



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

毕业设计（论文）任务书

题 目：航空发动机滑油箱固定方式优化设计及分析

学 院：航空航天学院

专 业：飞行器制造工程

学生姓名：李艳莹

学 号：18414020324

起止日期：2021年12月3日~2022年6月3日

指导教师：福巍

任务书下达日期:2021年12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

航空发动机是飞机的心脏，为航空器的飞行提供动力，它的每一次技术更新都推动着飞机和整个航空工业蓬勃发展。作为当代最精密的机械产品之一，航空发动机因具有研发技术难度大、研发周期长、研发费用高的特点，所以航空发动机的研究水平体现着一个国家的科技水平和综合国力。航空发动机的发展必须相对独立领先于整个飞机，才能协调整个飞机的研发。从某些层面来讲，航空发动机的水平决定了飞机行业的整体发展水平。滑油系统是航空发动机工作必不可少的组成部分，它对发动机性能，乃至整机安全都有重要影响。滑油系统主要由供油系统、回油系统、通气系统组成。滑油系统出现问题时，面对每一个不正常现象都要从整体着眼，从细微处着手，仔细分析找出故障原因并彻底解决。

航空发动机的滑油系统分为干槽式和湿槽式，其中干槽式滑油系统有用来贮存滑油的单独油箱。而湿槽式滑油系统无单独滑油箱，其滑油贮存于发动机的齿轮箱中。目前大多数使用的航空发动机采用干槽式滑油系统。

国外现状:国外第 4 代发动机的机械系统中各附件外形较小，可以节省空间将滑油箱等附件安排在附件机匣侧面。另外，将滑油箱和散热器做成一个整体附件，以减少各附件间连接的外部管路，同时提高其维护性和可靠性。滑油箱等与附件机匣一体化设计，改变在发动机滑油箱和散热器之间使用的复杂连接管路，提高发动机推重比^[1]。研究紧凑型一体化滑油系统附件（滑油箱、散热器）技术，简化附件连接形式，优化设计结构是大势所趋，需进行深入研究。

国内现状:国内航空发动机滑油系统早期主要是仿制国外发动机。如涡喷 6 发动机是根据苏制 P Д -9 Б 喷气发动机仿制而成,WS9 由英国罗尔斯·罗伊斯公司的斯贝 MK202 发动机试制而来。从 80 年代中期开始，我国逐步开展滑油系统的自主研发工作。时至今日，随着中国航空发动机的发展，我国已建立了相对完整的研发制造生产体系，国内对滑油系统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。

通过对涡喷 6 航空发动机滑油系统的拆装，弄明白滑油箱与发动机的连接方式，发现发动机复杂的工作环境造成滑油箱容易松脱变形，固定件上橡胶带易老化，且固定方式较为复杂，不利于维修时的拆装。因此为使滑油箱与发动机的连接更稳定可靠，同时简化滑油箱固定方式，使其便于维修拆装，综合上文所述经讨论，最终决定对涡喷 6 航空发动机滑油箱固定方式结构优化设计及分析。

毕 业 设 计 (论 文) 任 务 书

2. 毕业设计（论文）课题任务的内容和要求

工作内容：

1.分析滑油箱固定方式结构的不足

首先对原滑油箱固定结构进行一比一 3D 建模，分析系统中结构的不足之处。

2.优化滑油箱固定方式结构分析

对滑油箱固定结构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对比分析，对比某些性能如受力疲劳、拆装便利性、成本等测试对比得出最优方案。

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

毕 业 设 计 (论 文) 任 务 书

4 . 推荐参考资料 :

- [1] 李国权.航空发动机滑油系统的现状及未来发展[J].航空发动机,2011,(06).
- [2] 张建军.航空飞行器发动机滑油系统磨损检测技术应用研究[J].科技风,2019,(31).
- [3] 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) .
- [4] 杨家旺,姜会庆,周琳.航空发动机滑油供油系统建模及应用[J].工业技术创新,2019.
- [5] 赵震.8D 方法在航空发动机滑油系统故障排除中的应用研究[D].导师: 祝世兴.中国民航大学,2019.
- [6] 李新,周丽,丁秀萍.航空发动机滑油系统的现状与发展[J].科技风,2016,(17).
- [7] 孙杨慧,杨坤,侯乃先,余云峰.航空发动机滑油系统动态故障分析[J].科技导报,2015,(05).
- [8] RB211-535E4 Line and Base Maintenance.
- [9] 刘友宏,于超.航空发动机滑油系统热分析[J].科学技术与工程,2009,(22).
- [10] 李林蔚,高红霞.航空滑油系统设计与性能分析研究现状与进展[J].机电工程技术,2008(08).
- [11] A&P Technology Powerplant Textbook [M].Jeppesen Sanderson,2003.
- [12] 刘长福,主编.航空发动机构造[M].国防工业出版社,1989.
- [13] V2500 Line and Base Maintenance.

所在专业审查意见:

同意

负责人: 姚莹涛

2021 年 12 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（论文）开题报告

题目：航空发动机滑油箱固定方式优化设计及分析

学院：航空航天学院

专业：飞行器制造工程

学生姓名：李艳莹

学号：18414020324

起止日期：2021年12月3日~2022年6月3日

指导教师：福巍

开题日期： 2022年3月5日

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) 课题的目的和意义

近年来随着经济和科技的发展,我国的航空领域得以迅速发展,这也加快了航空发动机的研发速度。被誉为“工业上的皇冠”的航空发动机是我国航空业发展的核心要素,是一个国家是否为工业大国的代表和象征,其研发水平是我国的航空实力和综合国力的体现。各航空业发展大国都对航空技术实施严格控制的政策,使得我国航空业的发展必须依靠自身努力,自主研发,突破发动机的核心技术,我国在发动机领域的研发任务仍任重道远。

滑油系统是航空发动机附件系统的重要组成部分,它为发动机轴承、齿轮等提供滑油,减少零部件的摩擦与磨损,并带走其所产生的热量。滑油系统对发动机寿命、应用效果等均有影响,加强对滑油系统的研究力度对于保障飞行安全具有重要意义。

作为我国首型超音速航空发动机,涡喷 6 航空发动机是迄今为止产量最大的国产航空发动机,其结构组成、连接方式等仍具有研究意义。涡喷 6 航空发动机滑油箱与发动机的连接采用的是传统的螺栓固定连接方式。这种连接方式在发动机复杂的工作环境中造成滑油箱固定件容易松脱变形,固定件上的橡胶带易老化。固定方式较为复杂,不利于维修时的拆装,提高了飞机滑油箱日常维护时的时间和成本。

本课题主要目的是优化滑油箱的固定连接方式,增强滑油箱固定连接的可靠度,降低固定方式的复杂程度,降低成本,减少维修时人力的浪费。

(二) 国内外研究(应用)情况

国外发动机研究起步较早,且在二战后依旧投入大量人力物力财力,已多次更新换代,国外第 4 代发动机的机械系统中各附件外形较小,可以节省空间将滑油箱等附件安排在附件机匣侧面。另外,将滑油箱和散热器做成一个整体附件,以减少各附件间连接的外部管路,同时提高其维护性和可靠性。滑油箱等与附件机匣一体化设计,改变在发动机滑油箱和散热器之间使用的复杂连接管路,降低维修难度,减少维修时间。研究紧凑型一体化滑油系统附件(滑油箱、散热器)技术,简化附件连接形式,优化设计结构是大势所趋,需进行深入研究。

国内航空发动机发展初期主要是仿制国外发动机,如涡喷 6 发动机是根据苏制 P д -9 Б 喷气发动机仿制而成,WS9 由英国罗尔斯·罗伊斯公司的斯贝 MK202 发动机试制而来。从 80 年代中期开始,我国逐步开展滑油系统的自主研发工作。但长期以来我国航空发动机的研究主要偏重涡轮、压气机、燃烧室三大部件,对滑油系统的重视度不够,导致

航空发动机滑油系统的设计不能满足高性能航空发动机的需求。近年来，随着中国航空发动机的发展，国内对滑油系统进行了比较深入的研究。滑油箱的固定方式也有了较大发展，固定方式的种类逐渐增多。

（三）主要研究内容

研究内容 1.分析滑油箱固定方式结构的不足；

研究内容 2.建立模型，设计优化方案；

研究内容 3.利用电脑模拟软件对优化方案仿真模拟，完善方案；

研究内容 4.优化后与原模型对比分析。

为简化滑油箱固定结构，降低其质量和拆装的复杂度，提高其使用的可靠度便于维修，利用 solidworks 对滑油箱外形和滑油箱固定连接结构进行建模分析，根据分析结果对滑油箱固定结构进行设计优化。将滑油箱紧固带件间的螺栓连接改为便于装卸的连接形式，橡胶带更改为耐久性更高的耐高温的材料。对优化方案仿真模拟实验，设计优化结构，完成后验证新结构的可靠性，分析实验数据，与原结构进行对比分析。

（四）参考文献

- [1] 李国权.航空发动机滑油系统的现状及未来发展[J].航空发动机,2011,(06).
- [2] 张建军.航空飞行器发动机滑油系统磨损检测技术应用研究[J].科技风,2019,(31).
- [3] 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) .
- [4] 杨家旺,姜会庆,周琳.航空发动机滑油供油系统建模及应用[J].工业技术创新,2019.
- [5] 赵震.8D 方法在航空发动机滑油系统故障排除中的应用研究[D].导师：祝世兴.中国民航大学,2019.
- [6] 李新,周丽,丁秀萍.航空发动机滑油系统的现状与发展[J].科技风,2016,(17).
- [7] 孙杨慧,杨坤,侯乃先,余云峰.航空发动机滑油系统动态故障分析[J].科技导报,2015,(05).
- [8] RB211-535E4 Line and Base Maintenance.
- [9] 刘友宏,于超.航空发动机滑油系统热分析[J].科学技术与工程,2009,(22).
- [10] 李林蔚,高红霞.航空滑油系统设计与性能分析研究现状与进展[J].机电工程技术,2008(08).
- [11] A&P Technology Powerplant Textbook [M].Jeppesen Sanderson,2003.
- [12] 刘长福,主编.航空发动机构造[M].国防工业出版社,1989.
- [13] V2500 Line and Base Maintenance.

二、进度及预期结果		
起止日期	主要内容	预期结果
2021.12.03-2021.12.10	前期准备, 查阅涡喷发动机滑油系统滑油箱等相关资料、文献	了解相关理论知识, 研究成果, 确定研究方向
2021.12.10-2021.12.17	收集整理文献资料、归纳总结, 撰写开题报告	完成开题报告
2021.12.17-2022.01.07	对原滑油箱固定结构建立三维几何模型, 并分析其结构	完成三维模型的建立
2022.01.07-2022.01.28	对模型进行分析, 设计优化方案	完成分析, 得出优化方案
2022.01.28-2022.03.31	根据分析, 优化结构, 完善模型并对结构模型进行有限元分析	完成模型优化和受力分析
2022.03.31-2022.04.30	撰写论文, 准备中期检查	完成论文撰写, 准备中期检查
2022.04.30-2022.05.31	完善细化论文, 优化完成模型, 确定论文终稿	完成论文
2022.05.31-2022.06.03	准备答辩 PPT, 准备最终答辩	完成 PPT
完成课题的现有条件	1.具有良好的制图建模能力, 详细了解涡喷 6 航空发动机的结构。 2.有涡喷 6 航空发动机实体教具。 3.对机械结构有较高的理解能力。 4.具有较高的动手实操能力。	
指导教师意见	指导教师: <u>福巍</u> 2022 年 3 月 5 日	
开题答辩小组意见	组 长: <u>刘金利</u> 2022 年 3 月 5 日	

天津中德应用技术大学
本科生毕业设计（论文）的声明

本人郑重声明：所提交的毕业设计（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，本毕业设计（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。对本设计（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。本毕业设计（论文）原创性声明的法律责任由本人承担。

毕业设计（论文）作者签名：李艳莹

2022年 6 月 3 日

本人声明：该毕业设计（论文）是本人指导学生完成的研究成果，已经审阅过设计（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。

毕业设计（论文）指导教师签名：福巍

2022年 6 月 3 日

摘 要

滑油系统具有润滑、冷却、清洁、防腐的功用。作为航空发动机的重要组成部分，滑油系统保证了航空发动机机械传动系统正常工作，而滑油箱是滑油系统中不可或缺的一部分。在航空发动机复杂的工作环境中，滑油箱的固定方式需要更加的稳定牢固，且需要保证滑油箱及滑油系统能正常工作。同时滑油箱是航空发动机日常检修维护的一个必检项目，这就要求了滑油箱的固定连接方式是便于拆装的。

此次滑油箱固定方式优化及设计的研究采用的是涡轮喷气式的涡喷 6 型发动机，简称涡喷 6。首先系统的学习此型号发动机的工作原理等理论知识，之后对实体机进行拆装，对涡喷 6 的构造尤其是滑油箱的固定连接方式有了更直观的了解。在对滑油箱及其固定连接件进行拆装时，发现滑油箱主要由紧固带通过传统的螺栓连接固定在发动机主体上。经过查阅相关文献和与指导教师讨论，对比当时的技术水平和如今的技术发展状况，发现涡喷 6 滑油箱的固定连接方式较为落后，可以进行优化。分析涡喷 6 滑油箱的固定连接结构，根据其需要改进优化的地方实际优化方案，并测量滑油箱及其固定连接件的尺寸，使用三维绘图软件对涡喷 6 的滑油箱及其固定结构进行三维建模，改变紧固带与紧固带间传统的螺栓连接方式，设计两种优化方案，一种改为门闩式夹具连接的方式，一种设计为异形箍环固定的结构。

经过此次毕业设计的研究，使得我更加深刻地理解了涡喷 6 航空发动机的结构和工作原理，提高了相关结构设计和实验设计的能力。运用对比的方法分析优化后的结构模型与原始的结构性能是否提升，同时利用仿真软件检验优化后的结构是否复合材料特性，优化方案是否可行。

关键词：固定方式；滑油箱；门闩式夹具；箍环

ABSTRACT

Lubricating oil system has the functions of lubrication, cooling, cleaning and anticorrosion. As an important part of the aero engine, the lubricating oil system ensures the normal operation of the mechanical transmission system of the aero engine, and the lubricating oil tank is an indispensable part of the lubricating oil system. In the complex working environment of aero-engine, the fixing method of fuel tank needs to be more stable and firm, and it is necessary to ensure that the fuel tank and oil system can work normally. At the same time, the slide tank is a necessary item in the daily maintenance of aero engine, which requires that the fixed connection of the slide tank is convenient for disassembly and assembly.

In this study, we used the turbojet type of turbojet 6 engine (turbojet 6 for short) to optimize and design the fuel tank fixing method, firstly, we studied the theoretical knowledge of the working principle of this engine type systematically, and then disassembled the real engine to have a more intuitive understanding of the structure of turbojet 6, especially the fuel tank fixing connection method. During the disassembly of the fuel tank and its fixed connections, it was found that the fuel tank was mainly fixed to the engine body by the traditional bolted connections with fastening straps. After reviewing the relevant literature and discussing with the instructor, comparing the technology at that time with the technology today, it was found that the fixing connection method of the turbojet 6 slip tank was backward and could be optimized. We analyzed the fixed connection structure of the turbojet 6 fuel tank, optimized the actual solution according to its need for improvement and optimization, and measured the dimensions of the fuel tank and its fixed connections, used 3D drawing software to model the turbojet 6 fuel tank and its fixed structure in 3D, changed the traditional bolt connection method between the fastening band and the fastening band, and designed two optimized solutions, one changed to a latch type fixture connection method, and one designed as The structure of shaped hoop fixing.

Through this graduation project research, I have a deeper understanding of the structure and working principle of the turbojet 6 aero-engine, and improved my ability of relevant structural design and experimental design. The comparison method is used to analyze whether the performance of the optimized structure model is improved compared with that of the original structure. At the same time, the simulation software is used to check whether the optimized structure is composite material and whether the optimization scheme is feasible.

Key words:Fixing method;Slipcase;Latch type clamps;Hoop

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 发动机滑油系统组成.....	3
2.3 设计考虑.....	4
2.4 研究过程简述.....	4
第三章 滑油箱固定件结构分析及优化.....	5
3.1 滑油箱固定件三维建模.....	5
3.1.1 滑油箱外形三维建模.....	5
3.1.2 发动机外形三维建模.....	6
3.1.3 滑油箱固定件三维建模.....	6
3.2 滑油箱固定结构优化.....	8
3.2.1 滑油箱固定结构优化方案 1.....	8
3.2.2 滑油箱固定结构优化方案 2.....	11
第四章 原模型及优化模型仿真结果对比.....	14
4.1 Solidworks 三维软件介绍.....	14
4.2 滑油箱固定结构热力学分析.....	14
4.2.1 油箱固定结构热力学分析过程.....	14
4.2.2 热力学仿真数据对比.....	18
4.3 滑油箱固定结构静应力分析.....	19
4.3.1 油箱固定结构静应力分析过程.....	19
4.3.2 静应力仿真数据对比.....	26
4.4 仿真计算结果分析.....	27
第五章 不足与展望.....	29
参考文献.....	30
致谢.....	31

第一章 绪论

1.1 论文选题背景

近年来随着经济和科技的发展,我国的航空领域得以迅速发展,这也加快了航空发动机的研发速度。被誉为“工业上的皇冠”的航空发动机是我国航空业发展的核心要素,是一个国家是否为工业大国的代表和象征,其研发水平是我国的航空实力和综合国力的体现。各航空业发展大国都对航空技术实施严格控制的政策,使得我国航空业的发展必须依靠自身努力,自主研发,突破发动机的核心技术,我国在发动机领域的研发任务仍任重道远。

滑油系统作为航空发动机附件系统的重要组成部分,它为发动机轴承、齿轮等提供滑油,减少零部件的摩擦与磨损,并带走其所产生的热量。滑油系统对发动机寿命、应用效果等均有影响,加强对滑油系统的研究力度对于保障飞行安全具有重要意义。

作为我国首型超音速航空发动机,涡喷 6 航空发动机是迄今为止产量最大的国产航空发动机,其结构组成、连接方式等仍具有研究意义。涡喷 6 航空发动机滑油箱与发动机的连接采用的是传统的螺栓固定连接方式。这种连接方式在发动机复杂的工作环境中造成滑油箱固定件容易松脱变形,固定件上的橡胶带易老化。固定方式较为复杂,不利于维修时的拆装,提高了飞机滑油箱日常维护时的时间和成本。

本课题主要目的是优化滑油箱的固定连接方式,增强滑油箱固定连接的可靠度,降低固定方式的复杂程度,降低成本,减少维修时人力和时间的浪费。

1.2 国内外研究现状分析

国外发动机研究起步较早,且在二战后依旧投入大量人力物力财力,已多次更新换代,国外第 4 代发动机的机械系统中各附件外形较小,可以节省空间将滑油箱等附件安排在附件机匣侧面,另外,将滑油箱和散热器做成一个整体附件,以减少各附件间连接的外部管路,同时提高其维护性和可靠性,滑油箱等与附件机匣一体化设计,改变在发动机滑油箱和散热器之间使用的复杂连接管路,降低

维修难度，减少维修时间。研究紧凑型一体化滑油系统附件（滑油箱、散热器）技术，简化附件连接形式，优化设计结构是大势所趋，需进行深入研究^[1]。

国内航空发动机发展初期主要是仿制国外发动机，如涡喷 6 发动机是根据苏制 P Д -9 Б 喷气发动机仿制而成，WS9 由英国罗尔斯·罗伊斯公司的斯贝 MK202 发动机试制而来。从 80 年代中期开始，我国逐步开展滑油系统的自主研发工作。但我国航空发动机的研究主要集中在涡轮、压气机、燃烧室三大部件，对滑油系统的重视度不够，导致航空发动机滑油系统的设计不能满足高性能航空发动机的需求。近年来，随着中国航空发动机研究的发展，国内对滑油系统的研究也逐渐深入。滑油箱的固定方式也有了较大发展，固定方式的种类逐渐增多。

1.3 论文的研究内容

为简化滑油箱固定结构，降低其质量和拆装的复杂度，提高其使用的可靠度便于维修，利用 Solidworks 对滑油箱外形和滑油箱固定连接结构进行建模分析，根据分析结果对滑油箱固定结构进行设计优化，将滑油箱紧固带件间的螺栓连接改为便于装卸的连接形式。对优化方案仿真模拟实验，设计优化结构，完成后验证新结构的可靠性，分析实验数据，与原结构进行对比分析。

研究内容 1.分析滑油箱固定方式结构的不足；

研究内容 2.建立模型，设计优化方案；

研究内容 3.利用电脑模拟软件对优化方案仿真模拟，完善方案；

研究内容 4.优化后与原模型对比分析。

第二章 总体方案介绍

2.1 课题研究对象简介

此次研究对象为学校实验室的涡喷 6 航空发动机滑油箱及其固定连接方式。涡喷 6 航空发动机是我国首型超音速航空发动机，在苏制 P д -9 Б 喷气发动机基础上仿制发展而来，也是成功应用沙丘驻涡火焰稳定器的发动机。

首先查阅航空发动机滑油箱固定连接方式的相关资料，对滑油箱的固定连接方式有了初步的了解。然后对滑油箱及滑油箱的固定连接件进行拆卸，在拆卸过程中明白了滑油箱固定连接件的构成，固定连接件间的连接方式及对滑油箱的固定连接方式。详细记录了固定连接件的尺寸，以便于绘制三维模型。

2.2 发动机滑油系统组成

滑油系统在航空发动机中的作用是必不可少且无可替代的。航空发动机工作时，各旋转部件的接触面会以极高的速度做相对运动，摩擦增加发动机的内耗，并对零部件表面造成损伤，滑油系统的主要功能之一就是减少零部件间的磨损吸收热量冷却零件。

航空发动机滑油系统主要由供油系统、回油系统和通气系统三部分组成，下面分别介绍着三部分功能。

供油系统：又称压力系统，包括从滑油箱到滑油喷嘴间的零部件，主要功用是贮存润滑油，发动机工作时过滤润滑油，将润滑油输送至各个需润滑冷却的地方。

回油系统：回油系统从轴承腔开始，到滑油箱结束，其中包括回油泵等。在润滑各个部位后将润滑油收集、过滤，最后输送回滑油箱。

通气系统：通气系统包括油气分离器和部分的通气管路。通过滑油分离器等将集油槽等零部件与外界大气接通，平衡滑油腔压力，减少滑油的消耗，使滑油系统可以正常工作。

航空发动机滑油系统的主要任务是通过供油系统将润滑油输送至发动机各个部位，减少零件间摩擦力从而减少摩擦损失，降低温度吸收热量冷却零件，带

走磨损的微小颗粒清洁零件表面，同时对零件表面有一定防腐作用。之后润滑油经过回油系统被收集过滤回到滑油箱，开始新一轮的供油。

2.3 设计考虑

本次论文的研究对象主要是涡喷 6 航空发动机滑油箱固定连接件，对滑油箱的固定连接方式进行优化，滑油箱作为飞机发动机的组成之一，其作用是不可替代的。在复杂多变的工作环境中，与发动机的固定连接方式必须是安全稳固的。在设计优化方案时需要考虑以下因素：

1.稳定性：滑油箱位于发动机的热端，工作环境更加复杂，所以滑油箱的固定连接方式是必须安全稳定牢固的。

2.耐久性：滑油箱工作时工作环境温度较高，其他时间处于自然环境温度下。固定连接件的材料需适应两种温度，并且在多次冷热交替的情况下材料性能不会发生较大改变，使材料寿命不会发生较大改变。

3.适应性：航空器的工作环境是复杂多变的，要适应高低温、高低气压、结冰、淋雨、湿热、震动、加速度等多种的环境条件。

4.适航性：航空器在设计时应保证飞机始终处于安全运行状态。

2.4 研究过程简述

此次研究对象为涡喷 6 航空发动机。首先学习发动机相关理论知识，对涡喷 6 航空发动机进行拆卸，找到滑油箱及其固定连接件。研究分析其原本的固定连接方式，并对固定连接件进行拆卸，测量零件尺寸。通过 SolidWorks 软件，绘制原基础三维模型。分析原始三维模型，查阅相关资料，初步设想固定连接方式的优化方案，与导师交流，分析方案是否合理。根据优化方案，绘制结构模型，同时分析优化结构是否符合要求，反复修改完善。对比分析优化前后的结构模型，得出结论。

第三章 滑油箱固定件结构分析及优化

3.1 滑油箱固定件三维建模

3.1.1 滑油箱外形三维建模

根据滑油箱实物如图 3-1 所示，利用 SolidWorks 软件进行建模，以下为涡喷 6 滑油箱外形的建模过程：



图 3-1 滑油箱实物

1. 打开 SolidWorks 软件，新建零件文件。以前视图为基准面新建草图 1，绘制五边形，如图 3-2 所示，并根据实际测量的尺寸标注图形，完成草图 1。使用拉伸命令，将草图沿草图垂直方向拉伸 10 毫米，得到凸台 1。

2. 以凸台 1 的一个五边形面为基准面新建草图 2，绘制五边形，并根据实际测量尺寸标注，完成草图 2 使用拉伸命令，将草图沿与草图 1 相同方向拉伸 350 毫米，得到凸台 2。

3. 以凸台 2 的五边形面为基准面，新建草图 3，绘制五边形，并根据实际测量尺寸标注，完成草图 3。使用拉伸命令，将草图沿与草图 1 相同方向拉伸 10 毫米，得到凸台 3。

4. 使用圆角命令，对零件进行倒圆角，圆角半径为实际测量尺寸。

5. 滑油箱外形绘制完成。模型图如图 3-3 所示。

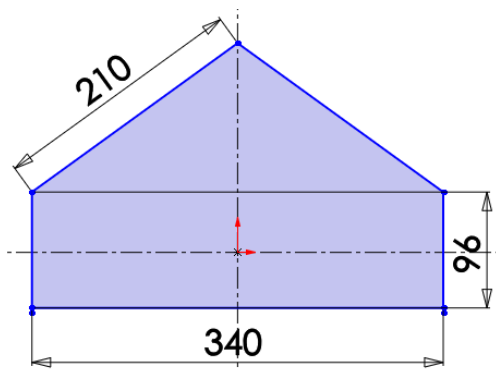


图 3-2 五边形

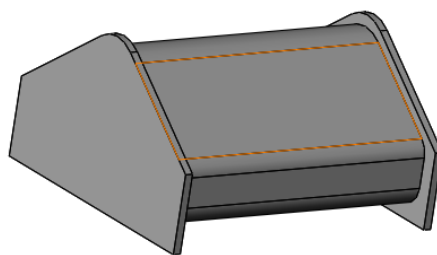


图 3-3 滑油箱模型

3.1.2 发动机外形三维建模

1.新建零件文件，以前视图为基准面新建草图，绘制两个直径为 630 毫米、640 毫米的同心圆，完成草图。将草图沿与垂直于草图的方向拉伸 800 毫米，得到圆筒，如图 3-4 所示。

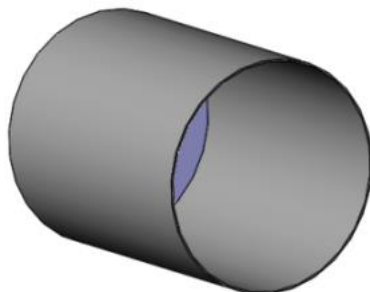


图 3-4 发动机外形

3.1.3 滑油箱固定件三维建模

1.首先绘制固定件底座。新建零件文件，建立草图，使用直线、圆弧命令绘制平面模型并按照实际测量尺寸标注，完成草图。

2.通过拉伸命令，将草图左右两侧各拉伸 12.5 毫米，得到凸台，使用拉伸切除命令去除多余部分。

3.以凸台上表面为基准面拉伸两个圆柱，尺寸按照实际测量尺寸,并在圆柱上表面各打一个 M10×10 的螺纹孔。将棱边倒圆角，得到固定件底座，如图 3-5 所示。

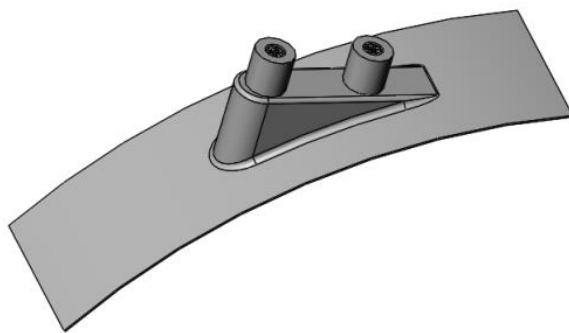


图 3-5 固定件底座

4.下面绘制固定件的支撑架。根据实际测量尺寸，以前视图为基准面新建草图，绘制支撑架外形，将草图拉伸，拉伸长度为 25 毫米，得到凸台。

5.使用抽壳命令对凸台抽壳，壁厚为 3 毫米。使用拉伸切除命令，绘制安装孔，同时去除多余部分。将零件进行倒圆角处理，得到固定件支撑架，如图 3-6 所示。

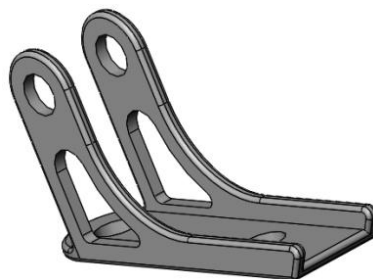


图 3-6 固定件支撑架

6.固定件底座和固定件支撑架由螺栓连接，根据固定件底座螺纹孔深度和固定件支撑架连接孔深度确定螺栓长度，对螺栓进行建模，如图 3-7 所示。

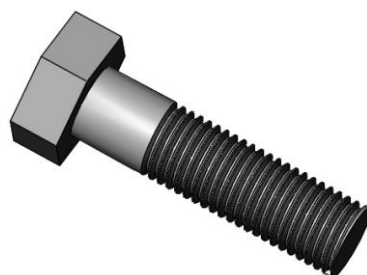


图 3-7 螺栓

7.接下来对固定件紧固带进行建模。根据实际测量尺寸及滑油箱和支撑件的尺寸，绘制草图,将草图拉伸。使用拉伸切除命令去除多余部分，得到紧固带，如图 3-8 所示。

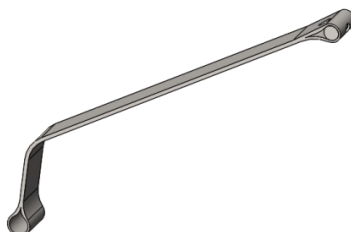


图 3-8 固定件紧固带

8.固定件紧固带外部包裹橡胶垫，根据紧固带外形尺寸和实际测量尺寸绘制橡胶垫草图，将草图拉伸 150 毫米，得到橡胶垫，如图 3-9 所示。



图 3-9 橡胶垫

9.固定件支撑架与固定件紧固带通过圆柱体连接，根据紧固件外形尺寸绘制圆柱体，如图 3-10 所示。

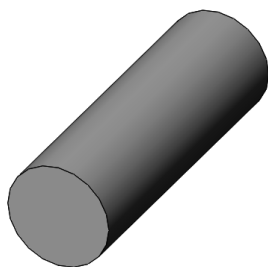


图 3-10 圆柱体

10.紧固带与紧固带间通过长螺栓连接，新建零件文件，对长螺栓进行建模，根据紧固带外形尺寸标注尺寸，得到长螺栓，如图 3-11 所示。



图 3-11 长螺栓

11.最后新建装配文件，将绘制的滑油箱、发动机、滑油箱固定件相互配合，如图 3-12 所示。

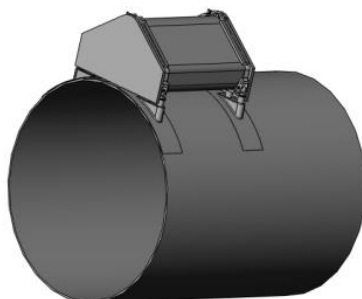


图 3-12 装配体示意图

3.2 滑油箱固定结构优化

3.2.1 滑油箱固定结构优化方案 1

在深入学习了解滑油箱固定方式和对发动机滑油箱及其固定件进行拆装过程中，发现固定滑油箱的紧固带连接采用的传统螺栓连接方式较为落后，在拆装时耗费时间较多，不利于发动机滑油箱的拆装维修。综合上述决定优化滑油箱的固定方式。根据在企业实习时接触到的工装快速夹具得到灵感，将门式夹具连接物体的原理应用到紧固带间的连接上。

1.首先绘制夹具。新建零件，选择前视基准面，使用直线工具、裁剪实体、圆角工具和智能尺寸绘制草图。退出草图，运用拉伸凸台命令，沿 Z 方向两侧各拉伸 6.5 毫米。

2.对凸台进行抽壳，壁厚为 2 毫米。

3.以壳体底面为基准面绘制草图,使用圆工具,绘制两个圆,半径为2毫米,圆心距为10毫米,圆心与壳体底面中心轴重合。退出草图,选择拉伸切除命令,沿Y方向完全贯穿,得到夹具的短端,如图3-12所示。

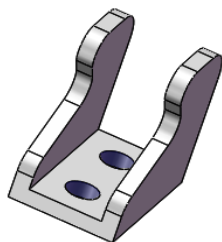


图 3-12 夹具短端

4.新建零件,选择右视基准面绘制草图,使用直线工具和智能尺寸,绘制一个L形几何面,退出草图,沿X方向拉伸26毫米。

5.以几何体后视图的面为基准面绘制草图,使用圆弧、圆、直线工具和智能尺寸绘制草图,选择拉伸切除命令,去除多余部分。

6.以L形几何体底面为基准面绘制草图,绘制两个半径为2毫米的圆,退出草图,使用拉伸切除命令,去除多余部分得到两个安装孔。使用圆角命令将四条边线倒圆角处理。

7.将几何体镜像,夹具长端底座绘制完成,如图3-13所示。

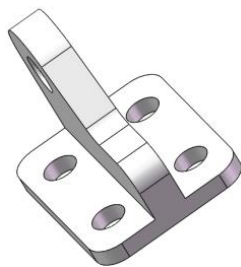


图 3-13 夹具长端底座

8.下面绘制夹具的手柄部分,新建零件文件,选择前视基准面绘制草图,绘制手柄外形标注尺寸,绘制完成后退出草图,拉伸草图,得到几何体。

9.使用拉伸切除命令去除多余部分。之后绘制把手的草图,拉伸得到模型,建模完成,如图3-14所示。

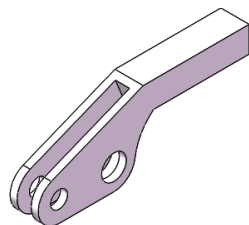


图 3-14 手柄

10.手柄与夹具长端底座之间由圆柱体通过圆孔连接,新建零件文件,选择右视基准面绘制草图,草图绘制完成后,通过旋转命令,得到圆柱体,如图 3-15 所示。

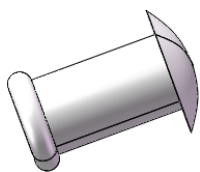


图 3-15 手柄与夹具长端底座连接件 圆柱体

11.夹具长端与短端通过 U 型螺栓连接,对 U 型螺栓进行建模。选择前视基准面新建草图,使用直线工具和智能尺寸绘制一个 U 型,长边为 70 毫米,短边为 19 毫米,草图绘制完成,退出草图。

12.选择特征中的参考几何体,新建基准面 1,第一参考为 U 型草图的端点,约束为重合,第二参考为 U 型草图的长边,约束为垂直。

13.选择基准面 1 新建草图,使用圆工具,绘制一个半径 2 毫米,圆心与 U 型草图端点重合的圆,退出草图。选择扫描命令,创建几何体。

14.选择螺纹线命令,将几何体两端绘制螺纹,深度为 30 毫米。得到 U 型螺栓,如图 3-16 所示。



图 3-16 U 型螺栓

15.U 型螺栓与手柄通过圆柱体和螺母连接,绘制草图,使用旋转和拉伸切除命令得到圆柱体,如图 3-17 所示。螺母尺寸为 M4,厚度 3 毫米,如图 3-18 所示。

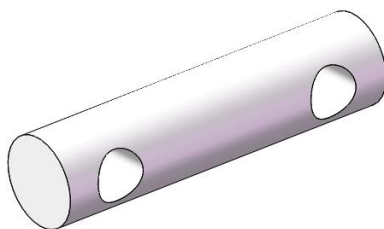


图 3-17 U 型螺栓与手柄连接件 圆柱体

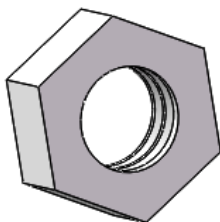


图 3-18 螺母

16.根据夹具两部分不同尺寸修改紧固带，使用直线工具和智能尺寸修改草图，重新建模，安装夹具短端紧固带如图 3-19 所示，安装夹具长端紧固带如图 3-20 所示。

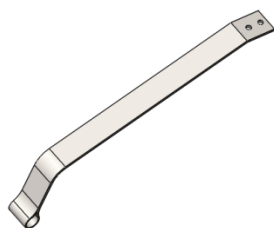


图 3-19 紧固带 优化

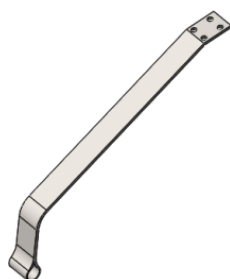


图 3-20 紧固带 优化

17.新建装配文件，将滑油箱、发动机和优化后的固定连接件进行装配，紧固带间连接件装配体如图 3-21 所示，整体模型装配如图 3-22 所示。

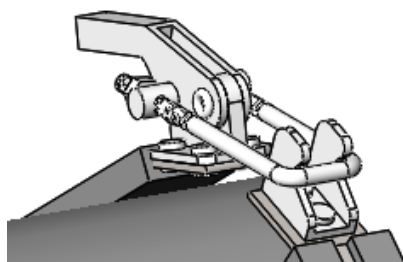


图 3-21

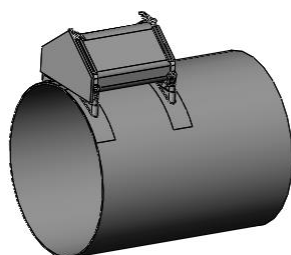


图 3-22 整体装配图

3. 2. 2 滑油箱固定结构优化方案 2

原滑油箱固定结构多处采用螺栓连接，使用钢带紧固滑油箱，过多的螺栓连接不便于拆装检修。综上决定通过简化滑油箱固定连接件来优化滑油箱固定方式，减少繁杂螺栓连接，同时将钢带改为异形箍环固定滑油箱，将底座和支撑架简化

一个零件，连接箍环和发动机。原滑油箱固定连接件的钢带与滑油箱间加有橡胶垫，防止钢带对滑油箱造成磨损。但随着科技发展，现如今耐磨涂层已广泛应用于发动机滑油箱外表面，所以在对固定结构优化时去掉了橡胶垫。

1. 绘制优化后的底座部分。新建零件草图绘制草图 1，根据发动机外形尺寸和发动机与滑油箱装配距离标注尺寸，退出草图使用拉伸命令，沿 Z 方向拉伸草图 1 图，拉伸长度为 25 毫米，得到优化底座的下半部分。

2. 之后绘制优化底座支撑滑油箱部分。新建草图 2，基准面选择底座下半部分的侧面，参考滑油箱外形和尺寸，绘制草图标注尺寸。退出草图，沿 Z 方向拉伸草图，拉伸长度 3 毫米。选择另一侧面为基准绘制草图，草图外形与尺寸与草图 2 相同，退出草图，使用拉伸命令拉伸草图。

3. 以优化后底座的上面为基准绘制新草图，使用绘制圆工具绘制一个直径为 10 毫米的圆，圆位置尺寸如图 3-23 所示，退出草图，绘制螺纹孔，得到优化底座，如图 3-24 所示。

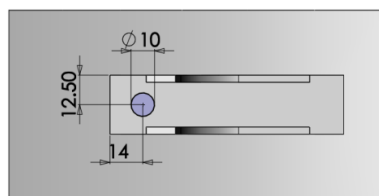


图 3-23 圆位置尺寸

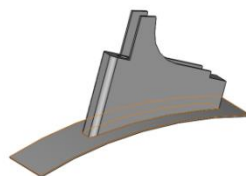


图 3-24 优化后底座

4. 下面绘制异形箍环。新建零件，以前视基准面新建草图，依据滑油箱外形及尺寸绘制草图标注尺寸，异形箍环厚度为 8 毫米，使用拉伸命令拉伸草图，沿 Z 方向拉伸 15 毫米。

5. 在异形箍环的两端各绘制一个直径为 10 毫米的圆，圆位置尺寸如图 3-25 所示，使用拉伸切除命令去去掉多余部分，得到异形箍环的模型，如图 3-26 所示。



图 3-25 圆位置图

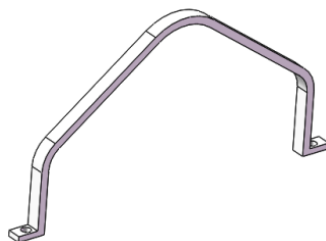


图 3-26 异形箍环

6.异形箍环与优化后底座通过螺栓连接，绘制螺栓模型，直径 10 毫米长度毫米，如图 3-27 所示。

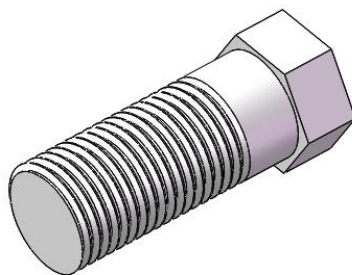


图 3-27 螺栓

7.为防止零件在高温情况下受热膨胀，异形箍环被锁死，所以在螺栓连接处增加一个弹簧垫片。从数据库中导入弹簧垫片，如图 3-28 所示。

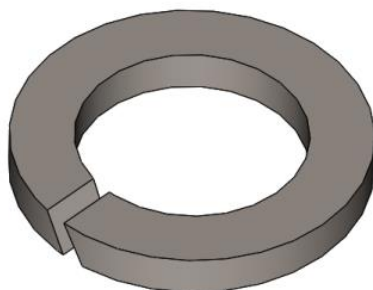


图 3-28 弹簧垫片

8.新建装配体文件，将滑油箱、优化后底座、异形箍环等依次导入装配，得到最终装配体，如图 3-29 所示。

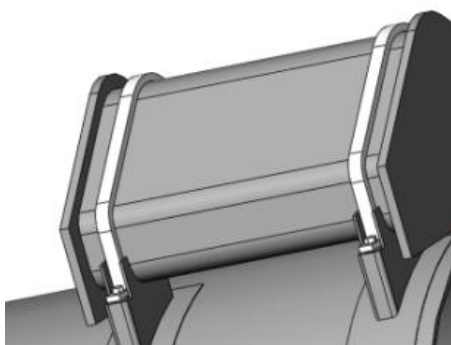


图 3-29 装配体 优化方案 2

第四章 原模型及优化模型仿真结果对比

4.1 Solidworks 三维软件介绍

本章通过 Solidworks 对结构模型进行力学仿真分析以及结果对比，它是一个基于特征、参数化和实体建模的设计工具，功能强大，易学易用。

此次仿真分析通过 Solidworks 软件中的有限元分析插件进行分析运算，它是一个虚拟的测试环境。本次仿真模拟主要使用的是静应力分析和热力学分析。静应力分析能够定义结构使用的材料，根据结构的使用位置固定结构表面，在结构受力面上定义力值，模拟分析结构在设定的条件下发生的变化。热力学分析可以选取结构材料、根据选取的温度点进行模拟分析，得到结果。该组件具有强大的快速解算器，结果较稳定准确，而且使用较为简便，结果比较直观，在跌落测试以及弯曲分析等机械领域的各类实验中被广泛使用，也常应用于机械类企业的产品实际设计生产中。

我之所以使用此软件进行模型绘制及受力分析，首先是在专业课上系统的学习了 SolidWorks 软件，也通过这款软件绘制了许多模型，并进行力学分析，能够较熟练地操作使用软件。其次，此次研究的结构分析主要通过此款软件的热力学分析和静应力分析来完成，通过仿真结果分析优化模型，并确定优化方案的可行性。

4.2 滑油箱固定结构热力学分析

由于滑油箱固定结构件安装在发动机的热端，结构件所在的工作环境温度不会保持在某一温度值上，高温以及温度频繁大幅度变化，可能会影响材料的性能，降低结构件的寿命，从而对滑油箱固定的稳固性造成影响，为确保固定结构在工作温度下仍能发挥其功能，材料不会产生较大变形，因此有必要对滑油箱固定结构件进行热力分析。

4.2.1 油箱固定结构热力学分析过程

首先需要知道结构采用的材料，查找相关资料可知，涡喷 6 滑油箱固定件的主要材料是可铸造铁，螺栓采用的是普通碳钢，同时优化方案 2 中异形箍环材料选用普通碳钢，滑油箱固定件的使用温度在 $-50\sim 300^{\circ}\text{C}$ ，选取 -50°C 、 0°C 、 $+50^{\circ}\text{C}$ 、 $+100^{\circ}\text{C}$ 、 $+150^{\circ}\text{C}$ 、 $+200^{\circ}\text{C}$ 、 $+300^{\circ}\text{C}$ 作为热力学仿真实验观测点。根据选取的温度值通过 Solidworks 软件的有限元分析对结构模型进行热力学仿真分析。

原滑油箱紧固结构和滑油箱固定方案 1 的结构都是由四组相同的部件组成，四组部件处在同一环境下，所以这两种结构以下的热力学分析对一组部件进行仿真分析。滑油箱固定件优化方案 2 中由两组相同的固定件紧固滑油箱，所以选一组固定件进行热力学分析。

当原始滑油箱固定结构工作温度为 -50°C 时，对原始模型进行热力学仿真，结果如图 4-1 所示。

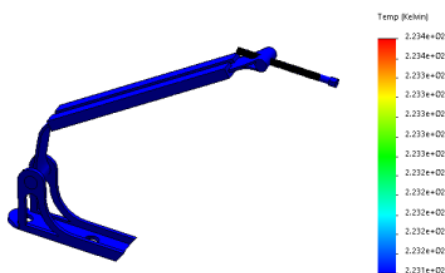


图 4-1 原始滑油箱固定件 -50°C

当滑油箱优化后的固定结构工作温度为 -50°C 时，对优化后的模型进行热力学仿真，优化方案 1 结果如图 4-2 所示，优化方案 2 结果如图 4-3 所示。

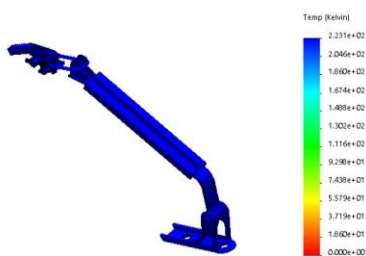


图 4-2 优化滑油箱固定结构 1 -50°C

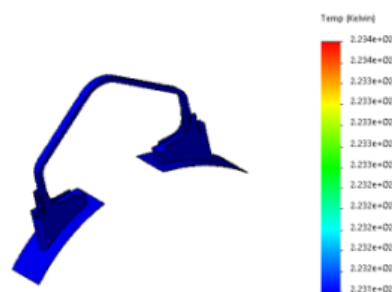


图 4-3 优化滑油箱固定结构 2 -50°C

当原始滑油箱固定结构工作温度为 0°C 时，对原始模型进行热力学仿真，结果如下图 4-4 所示。

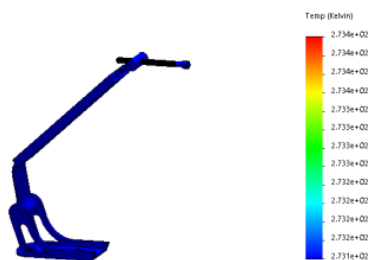


图 4-4 原滑油箱固定件 0°C

当滑油箱优化后的固定结构工作温度为 0°C 时，对优化后的模型进行热力学仿真，优化方案 1 结果如图 4-5 所示，优化方案 2 结果如图 4-6 所示。

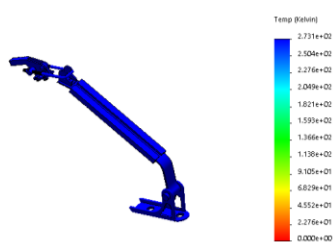


图 4-5 优化滑油箱固定结构 0°C

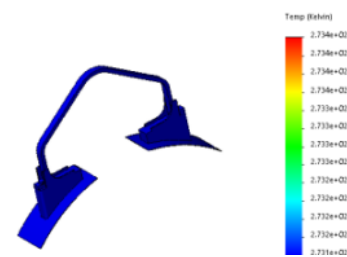


图 4-6 优化滑油箱固定结构 0°C

当原始滑油箱固定结构工作温度为+50℃时，对原始模型进行热力学仿真，结果如下图 4-7 所示。

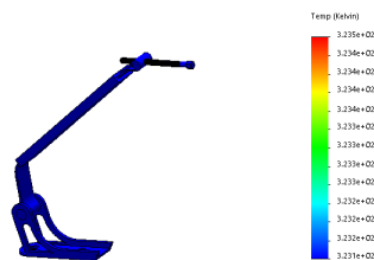


图 4-7 原滑油箱固定件 +50℃

当滑油箱优化后的固定结构工作温度为+50℃时，对优化后的模型进行热力学仿真，优化方案 1 结果如图 4-8 所示，优化方案 2 结果如图 4-9 所示。

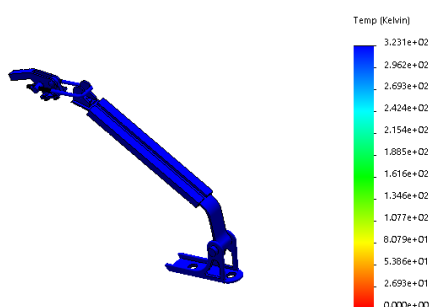


图 4-8 优化滑油箱固定结构 1 +50℃

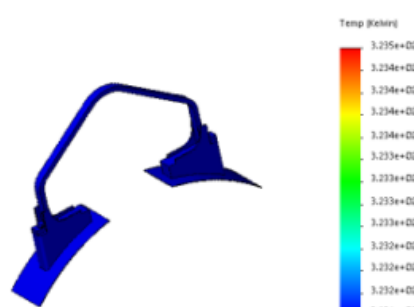


图 4-9 优化滑油箱固定结构 2 +50℃

当原始滑油箱固定结构工作温度为+100℃时，对原始模型进行热力学仿真，结果如图 4-10 所示。

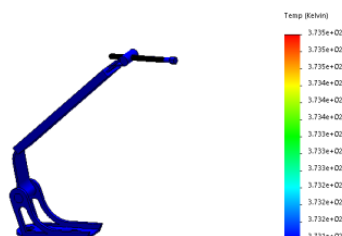


图 4-10 原滑油箱固定件 +100℃

当滑油箱优化后的固定结构工作温度为+100℃时，对优化后的模型进行热力学仿真，优化方案 1 结果如图 4-11 所示，优化方案 2 结果如图 4-12 所示。

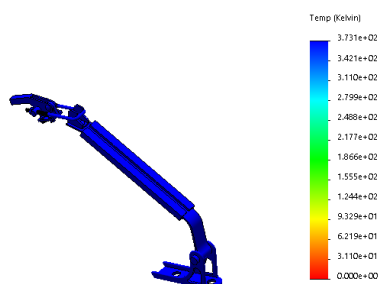


图 4-11 优化滑油箱固定结构 1 +100℃

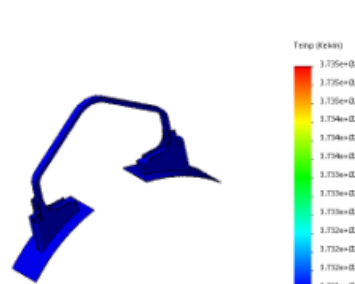


图 4-12 优化滑油箱固定结构 2 +100℃

当原始滑油箱固定结构工作环境温度为+150℃时，对原始模型进行热力学仿真，结果如下图 4-13 所示。

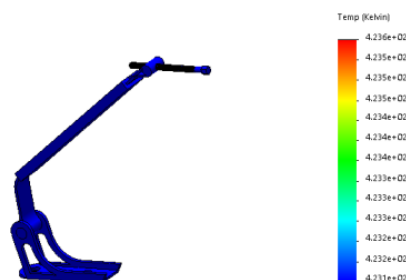


图 4-13 原滑油箱固定件 +150℃

当滑油箱优化后的固定结构工作环境温度为+150℃时，对优化后的模型进行热力学仿真，优化方案 1 结果如图 4-14 所示，优化方案 2 结果如图 4-15 所示。

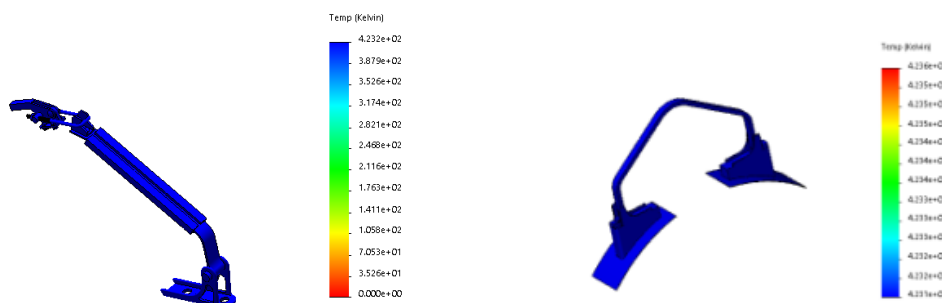


图 4-14 优化滑油箱固定结构 1 +150℃ 图 4-15 优化滑油箱固定结构 2 +150℃

当原始滑油箱固定结构工作环境温度为+200℃时，对原始模型进行热力学仿真，结果如下图 4-16 所示。



图 4-16 原滑油箱固定件 +200℃

当滑油箱优化后的固定结构工作环境温度为+200℃时，对优化后的模型进行热力学仿真，优化方案 1 结果如图 4-17 所示，优化方案 2 结果如图 4-18 所示。

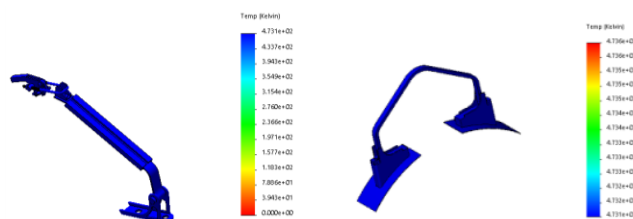


图 4-17 优化滑油箱固定结构 1 +200℃ 图 4-18 优化滑油箱固定结构 2 +200℃

当原始滑油箱固定结构工作温度为+300℃时，对原始模型进行热力学仿真，结果如下图 4-19 所示。

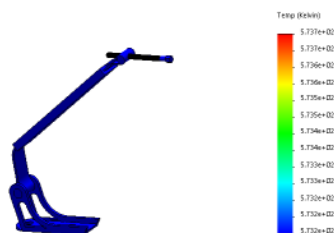


图 4-19 原滑油箱固定件 +300℃

当滑油箱优化后的固定结构工作温度为+300℃时，对优化后的模型进行热力学仿真，优化方案 1 结果如图 4-20 所示，优化方案 2 结果如图 4-21 所示。

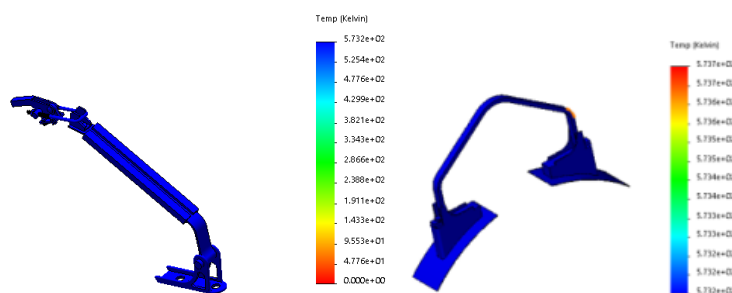


图 4-20 优化滑油箱固定结构 1+300℃ 图 4-21 优化滑油箱固定结构 2+300℃

4.2.2 热力学仿真数据对比

根据 4.2.1 节所做的实验，分别将原滑油箱固定结构以及优化后结构在-50℃、0℃、+50℃、+100℃、+150℃、+200℃、+300℃的工作环境温度条件下，使用 solidworks 软件中 simulation 组件进行热力学仿真分析的结果数据进行汇总对比。实验数据如表 4-1 所示。

表 4-1 热力学对比分析

温度 模型	-50℃	0℃	+50℃	+100℃	+150℃	+200℃	+300℃
原模型 (Kelvins)	2.234e+02	2.734e+02	3.235e+02	3.735e+02	4.236e+02	4.736e+02	5.727e+02
优化模型 1 (Kelvins)	2.231e+02	2.731e+02	3.231e+02	3.731e+02	4.232e+02	4.731e+02	5.724e+02
优化模型 2 (Kelvins)	2.233e+02	2.732e+02	3.233e+02	3.73e+02	4.234e+02	4.734e+02	5.725e+02

4.3 滑油箱固定结构静应力分析

滑油箱固定结构作为滑油系统的重要组成部分，它需要在应力范围内正常的发挥作用，保证滑油系统甚至整个发动机得以正常工作。滑油箱固定结构位于发动机的表面，在飞机发动机工作时，滑油箱固定结构受到力和力矩作用会使结构变形位移，为保证固定结构在静态载荷下可以发挥正常功能，因此需要对滑油箱固定结构进行静应力分析。

4.3.1 油箱固定结构静应力分析过程

滑油箱固定结构在静态载荷下承受 0-500N 的力，0-500N·m 的力矩，选取力 0N、100N、200N、300N、400N、500N，力矩 0N·m、100N·m、200N·m、300N·m、400N·m、500N·m。根据选取的力和力矩在 Solidworks 中对原始结构模型和优化的模型进行力学仿真分析。

根据滑油箱及其固定结构所处的工作环境，力加在固定结构的上边面，力矩加在固定件的圆弧面，原始模型、优化方案 1 模型、优化方案 2 模型受力位置依次如图 4-22 所示。

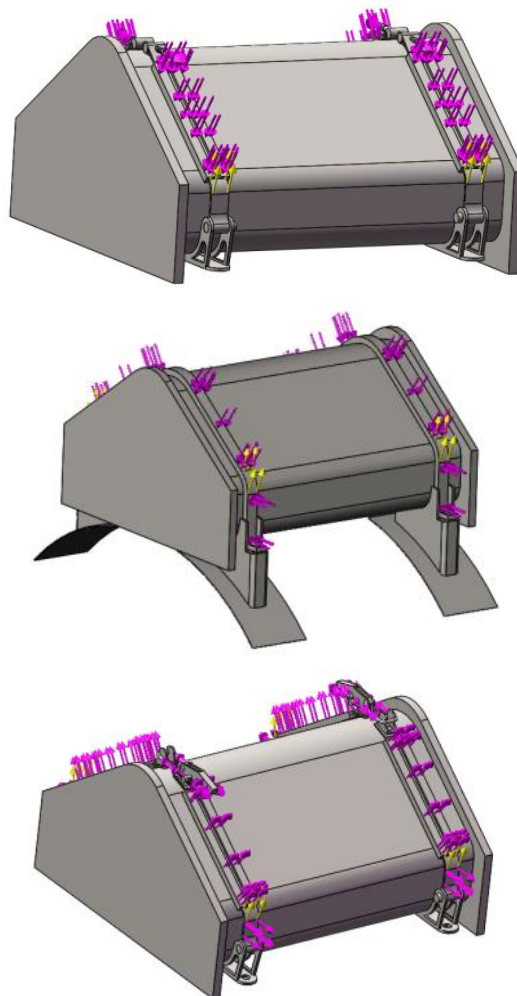


图 4-22 受力示意图

当滑油箱固定结构受力为 0N 力矩依次为 0N · m、200N · m、300N · m、400N · m、500N · m 时，对原始模型、优化方案 1 模型、优化方案 2 模型进行力学仿真，得到结果如下图 4-23 所示。

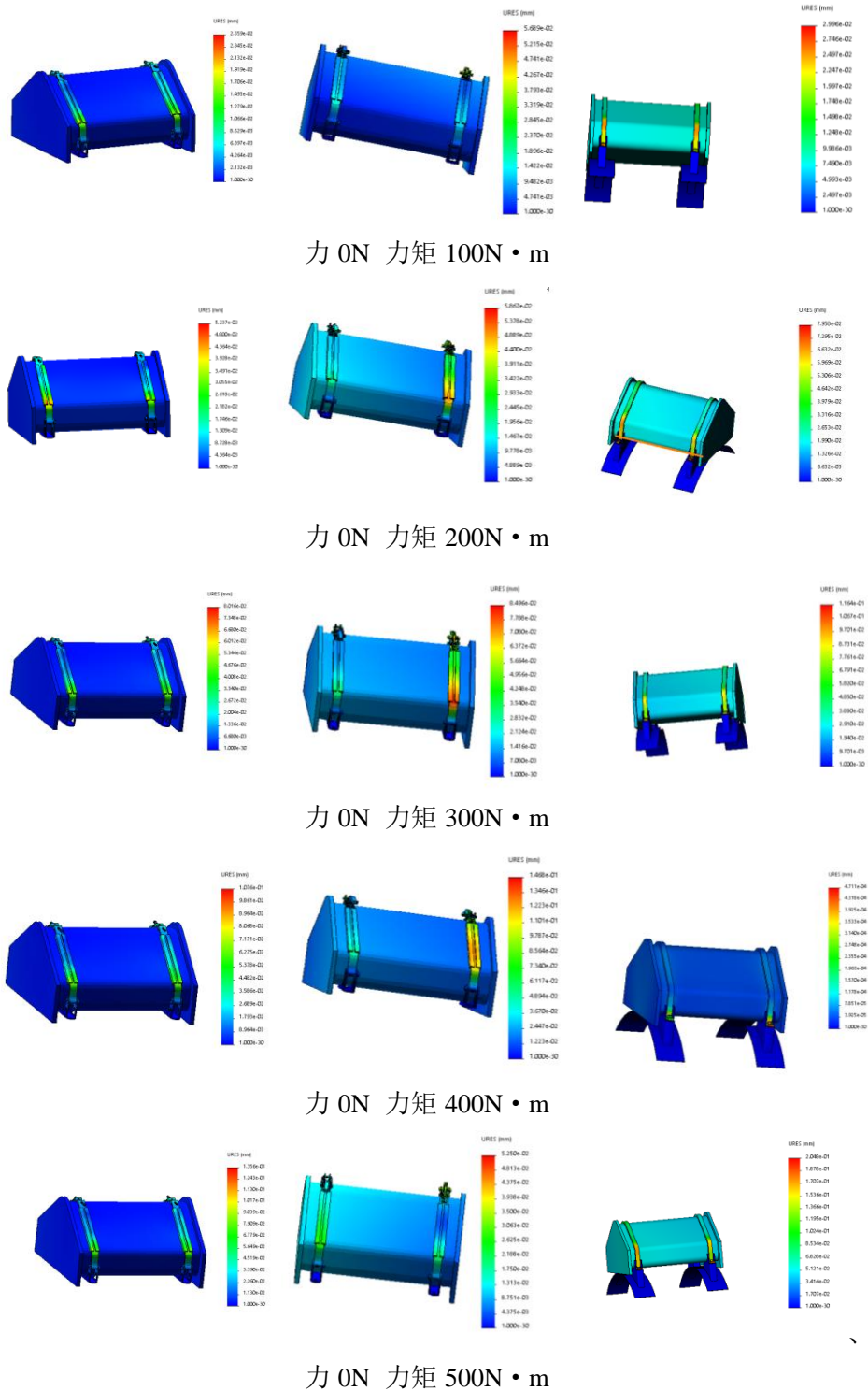


图 4-23 静力学仿真结果力 0N

当滑油箱固定结构受力为 100N 力矩依次为 $0\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $200\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $300\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $400\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $500\text{N}\cdot\text{m}$ 时，对原始模型、优化方案 1 模型、优化方案 2 模型进行力学仿真，得到结果如下图 4-24 所示。

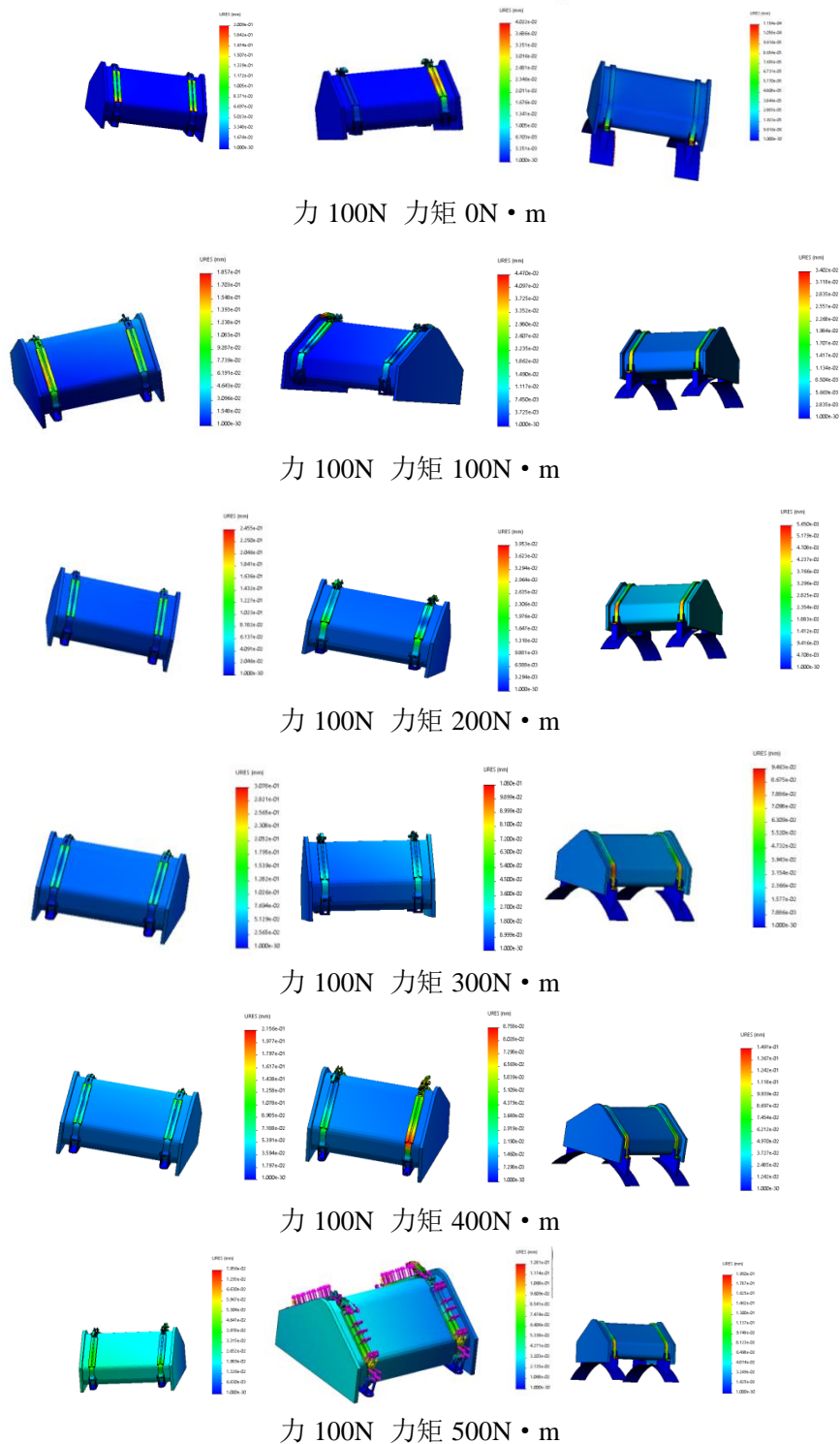


图 4-24 静力学仿真结果力 100N

当滑油箱固定结构受力为 200N 力矩依次为 $0\text{N} \cdot \text{m}$ 、 $200\text{N} \cdot \text{m}$ 、 $300\text{N} \cdot \text{m}$ 、 $400\text{N} \cdot \text{m}$ 、 $500\text{N} \cdot \text{m}$ 时，对原始模型、优化方案 1 模型、优化方案 2 模型进行力学仿真，得到结果如下图 4-25 所示。

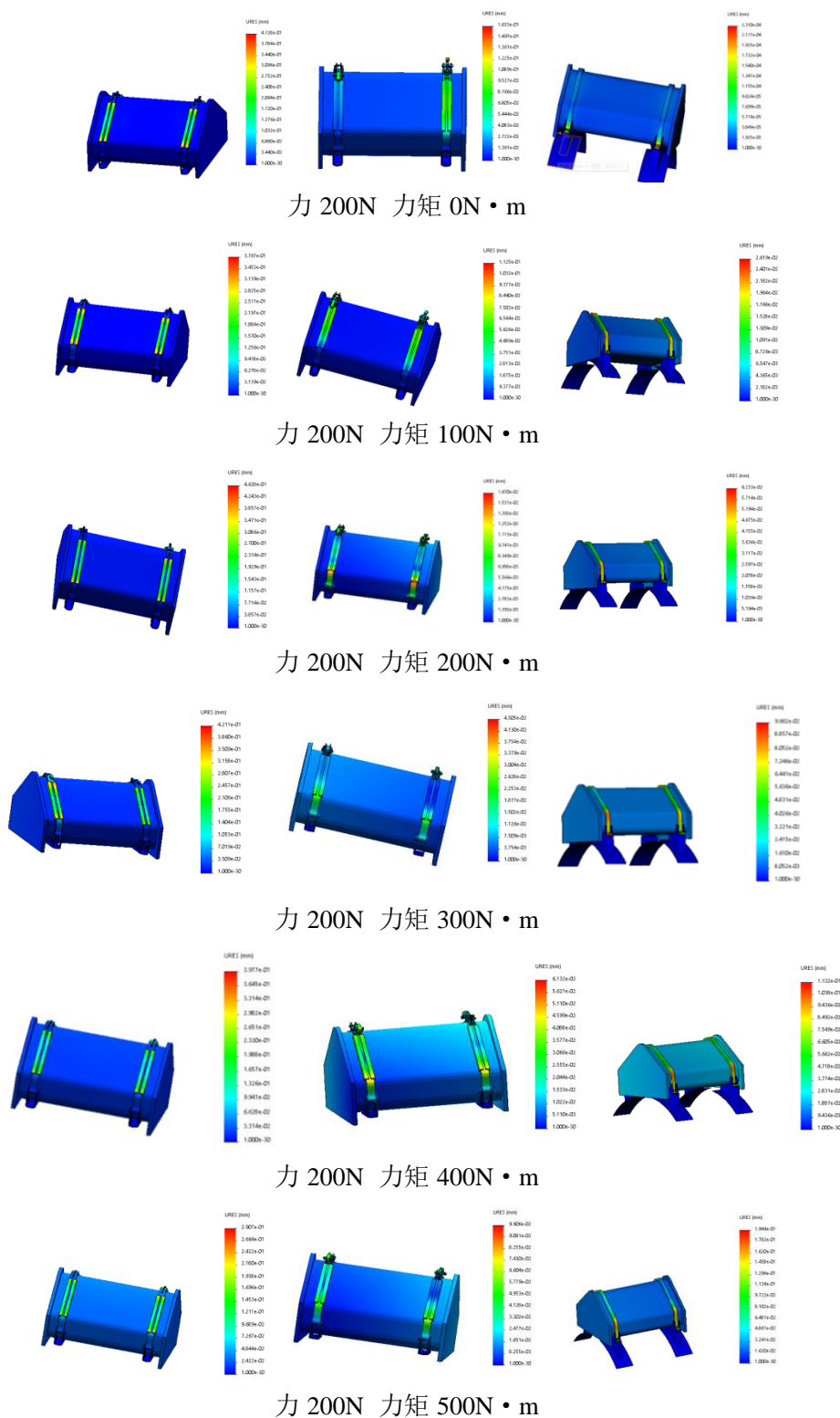


图 4-25 静力学仿真结果力 200N

当滑油箱固定结构受力为 300N 力矩依次为 $0\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $200\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $300\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $400\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $500\text{N}\cdot\text{m}$ 时，对原始模型、优化方案 1 模型、优化方案 2 模型进行力学仿真，得到结果如下图 4-26 所示。

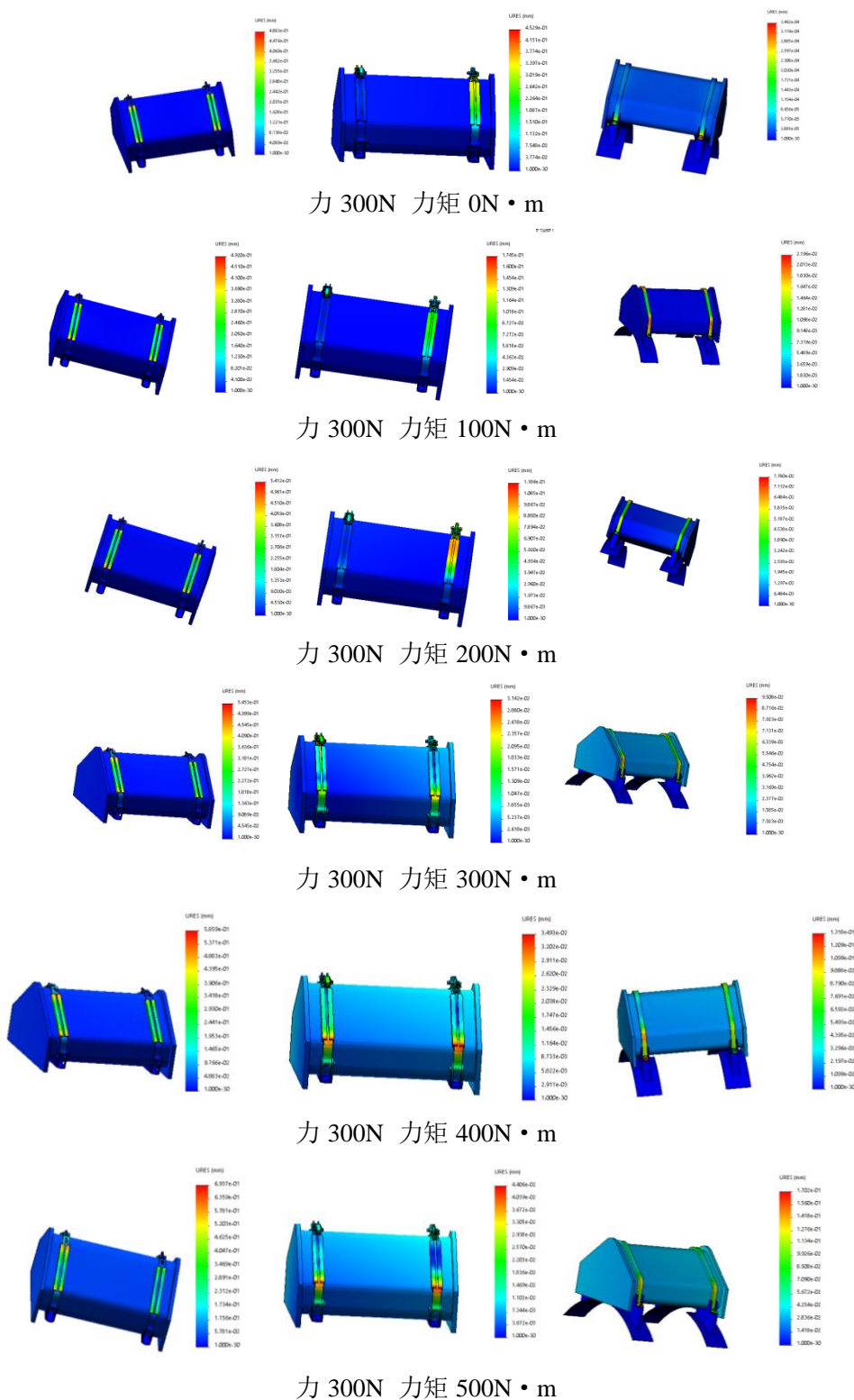


图 4-26 静力学仿真结果力 300N

当滑油箱固定结构受力为 400N 力矩依次为 $0\text{N} \cdot \text{m}$ 、 $200\text{N} \cdot \text{m}$ 、 $300\text{N} \cdot \text{m}$ 、 $400\text{N} \cdot \text{m}$ 、 $500\text{N} \cdot \text{m}$ 时，对原始模型、优化方案 1 模型、优化方案 2 模型进行力学仿真，得到结果如下图 4-27 所示。

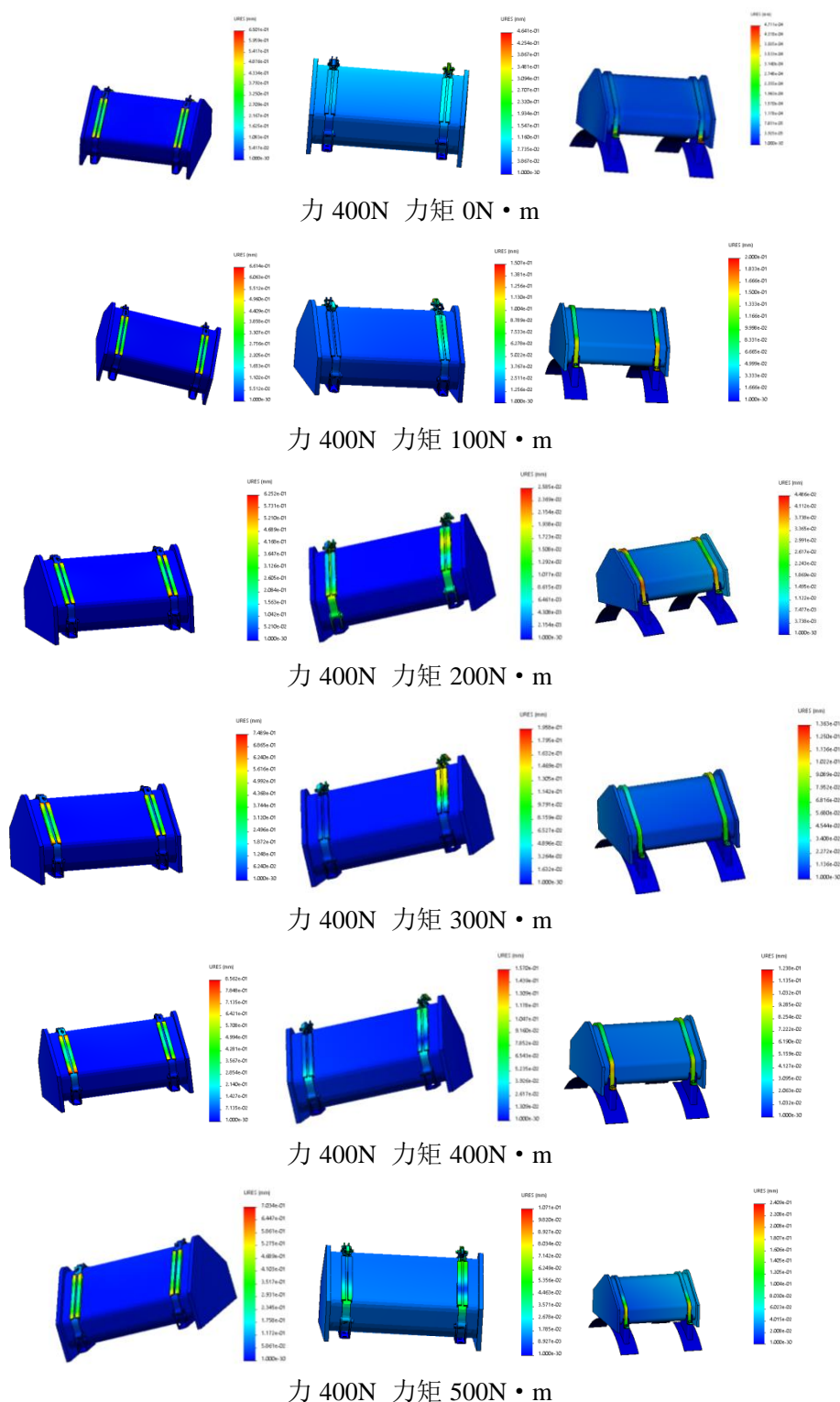


图 4-27 静力学仿真结果力 400N

当滑油箱固定结构受力为 500N 力矩依次为 $0\text{N} \cdot \text{m}$ 、 $200\text{N} \cdot \text{m}$ 、 $300\text{N} \cdot \text{m}$ 、 $400\text{N} \cdot \text{m}$ 、 $500\text{N} \cdot \text{m}$ 时，对原始模型、优化方案 1 模型、优化方案 2 模型进行力学仿真，得到结果如下图 4-28 所示。

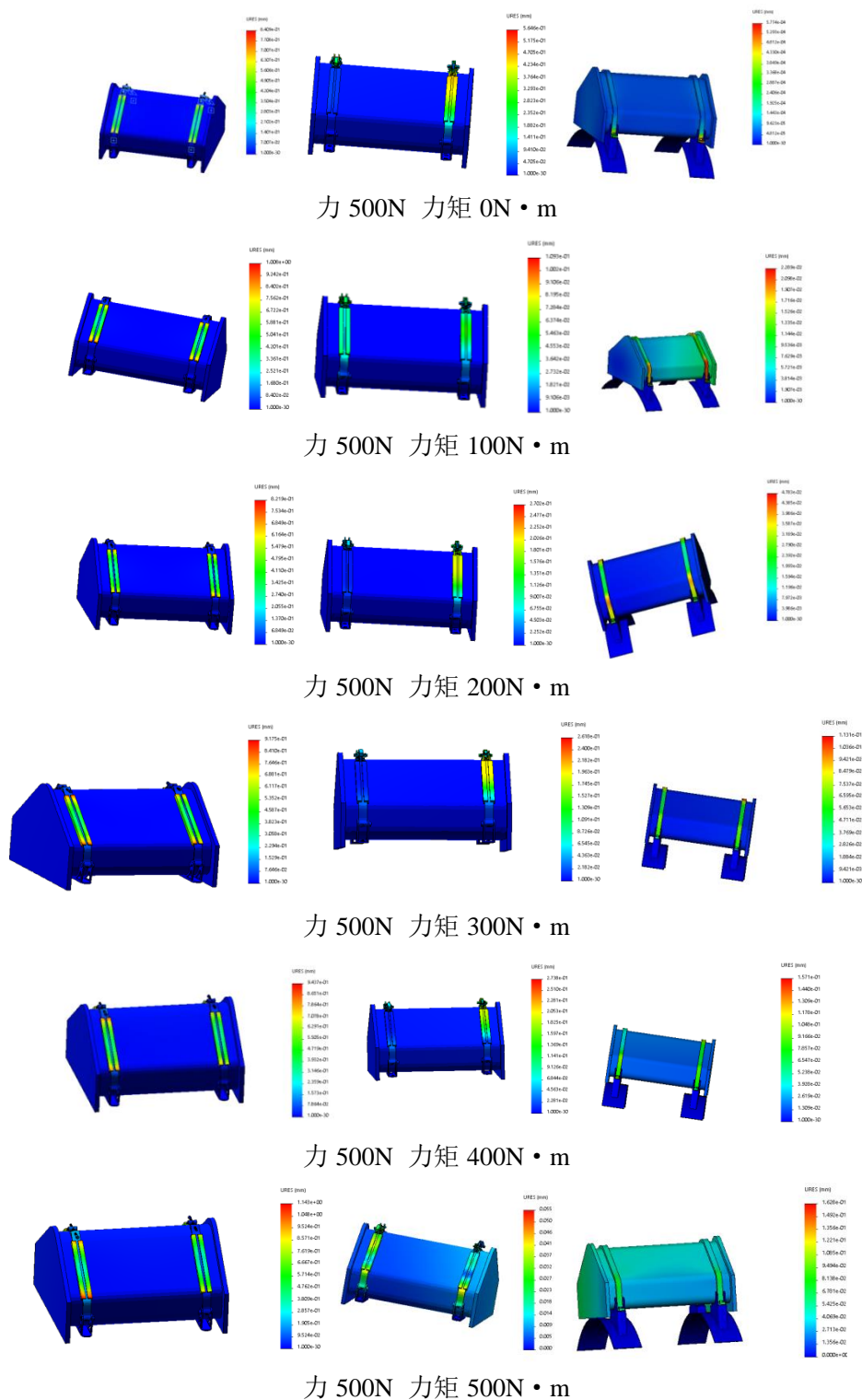


图 4-28 静力学仿真结果力 500N

4.3.2 静应力仿真数据对比

将上节通过 Solidworks 软件中的有限元分析进行的静应力仿真分析所得到的实验数据，进行整理分析。原始模型实验数据见表 4-2，优化方案 1 模型实验数据见表 4-3，优化方案 2 模型实验数据见表 4-4。

表 4-2 原始模型静应力位移量 (mm)

力矩/N·m 与力/N	0	100	200	300	400	500
0	0	2.009e-01	4.128e-01	4.883e-01	6.501e-01	8.409e-01
100	2.559e-02	1.857e-01	3.767e-01	4.920e-01	6.614e-01	1.008e+00
200	5.237e-02	2.455e-01	4.628e-01	5.412e-01	6.252e-01	8.219e-01
300	8.016e-01	3.078e-01	4.211e-01	5.453e-01	7.489e-01	9.175e-01
400	1.076e-01	2.156e-01	3.977e-01	5.859e-01	8.562e-01	9.437e-01
500	1.356e-01	1.835e-01	2.907e-01	6.937e-01	7.034e-01	1.143e+00

表 4-3 优化方案 1 模型静应力位移量 (mm)

力矩/N·m 与力/N	0	100	200	300	400	500
0	0	4.022e-02	1.633e-01	4.529e-01	4.641e-01	5.646e-01
100	5.689e-02	4.470e-02	1.125e-01	1.745e-01	1.507e-01	1.093e-01
200	5.867e-02	3.953e-02	1.670e-02	1.184e-01	2.585e-02	2.702e-01
300	8.496e-02	1.080e-01	4.505e-02	3.142e-02	1.958e-01	2.618e-01
400	1.468e-01	8.758e-02	6.132e-02	3.493e-02	1.570e-01	2.735e-01
500	5.250e-01	1.281e-01	9.906e-02	4.406e-02	1.071e-01	5.500e-02

表 4-4 优化方案 2 模型静应力位移量 (mm)

力矩/N·m 与力/N	0	100	200	300	400	500
0	0	1.154e-04	2.310e-04	3.462e-02	4.711e-04	5.774e-04
100	2.996e-02	3.402e-02	2.619e-02	2.916e-02	2.568e-02	3.061e-02
200	7.958e-02	5.650e-02	6.233e-02	7.780e-02	4.486e-02	4.783e-02
300	1.164e-01	9.463e-02	9.662e-02	9.508e-02	1.363e-01	1.131e-01
400	1.173e-01	1.491e-01	1.132e-01	1.318e-01	1.238e-01	1.571e-01
500	2.048e-01	1.950e-01	1.944e-01	1.702e-01	2.409e-01	1.628e-01

4.4 仿真计算结果分析

在进行热力学仿真和静应力仿真时,选用的材料为可锻铸铁、普通碳钢和橡胶。查询资料可知,选用材料的特性,如下表 4-5 所示。

表 4-5 材料特性表

材料与材料特性	弹性模量/GPa	蠕变温度/Kelvins
可锻铸铁	1.52e+02	9.73e+02
普通碳钢	1.96e+02	7.23e+02
橡胶		5.73e+02

因橡胶是高弹性聚合物材料,具有可逆形变的特性,所以在进行数据分析时不考虑橡胶的弹性模量。

对热力学仿真和静应力仿真的实验数据进行整理分析,对比结构模型在不同温度下的热力是否在材料的蠕变温度内,结构模型在不同受力条件下的位移是否在材料的弹性模量范围内,如表 4-6、4-7 所示。

表 4-6 热力学数据分析

模型与条件	-50℃	+100℃	+300℃	是否在材料蠕变温度内
原始模型 (Kelvins)	2.234e+02	3.735e+02	5.727e+02	是
优化方案 1 模型 (Kelvins)	2.231e+02	3.731e+02	5.724e+02	是
优化方案 2 模型 (Kelvins)	2.233e+02	3.733e+02	5.725e+02	是

表 4-7 静应力数据分析

条件与模型	0N、100N m	200N、300N m	500N、500N m	是否在材料弹性模量内
原始模型 (mm)	2.559e-02	4.211e-01	1.143e+00	是
优化方案 1 模型 (mm)	5.689e-02	4.505e-02	5.500e-02	是
优化方案 2 模型 (mm)	2.996e-02	9.662e-02	1.628e-01	是

分析上述表 4-6 和表 4-7 的数据，得到以下结论：

1.在工作环境温度下，两种优化模型的最高温度都未达到所选用材料的蠕变温度，所以两种优化的结构能够满足发动机在工作温度内正常的进行工作。

2.通过对原始模型和优化模型的热力学仿真分析，可以发现模型的温度都随着工作环境温度的变化而变化，且模型温度与工作环境温度相差不大，符合材料温度随环境温度变化而变化的特性。

3.相同的工作环境温度下两种优化结构的温度均小于原始模型，优化方案 1 模型温度变化较小，结构受工作环境温度的影响最小。

4.分析 Solidworks 软件模拟静应力受力分析的结果，可以发现原始模型与优化模型均有轻微位移变形。在发动机工作时，滑油箱固定结构随着发动机整机震动发生轻微位移是允许的。机械结构如若被完全约束，随着工作环境温度上升，金属材料受热膨胀，结构被完全锁死，影响材料性能，会造成过度的疲劳损伤，从而降低结构的寿命，所以固定结构受到力和力矩的作用产生轻微位移是合理的。

5.对比数据可以发现，两种优化方案的位移量整体小于原始模型的位移量，所以两种优化方案模型的紧固性都优于原始模型。

6.分析数据可以发现，随着模型优化受到的力和力矩逐渐增加，方案 2 模型位移量也逐渐增大，但优化方案 1 模型位移量变化较小，且方案 1 模型的位移量整体比方案 2 模型的位移量小，所以从静应力的角度分析，发动机工作时优化方案 1 模型门闩式的固定结构的变形位移对滑油箱的影响更小。

7.分析三个模型的静应力仿真数据，随着力和力矩的增加结构的位移量呈现无规律的变化，这是因为力和力矩同时施加在固定结构上，因模型结构复杂，力与力矩间也会相互作用，使得结构的受力较为复杂，最终位移量呈无规律变化。

8.从实际使用方面看，优化方案 1 的结构在滑油箱装卸时更方便操作，便于日常的检验维修。

9.发动机在工作过程中会给固定结构造成疲劳损伤、磨损等，需要定期的进行维护。

以上结论通过仿真实验数据总结分析得出，不包括本实验条件外的特殊情况条件。

第五章 不足与展望

经过对优化模型的模拟仿真分析,符合预期结果优化方案是可以接受的,对滑油箱固定结构优化和仿真分析积累了一些经验。但在研究过程中,由于所掌握的知识水平、资源有限,本文的研究还有一些不足之处,针对这些不足之处总结以下几点。

1.在进行优化方案中材料的选择时不够全面细致。在选择优化方案中材料时,根据航空发动机常用的金属材料的已知性能进行对比分析,选择了一种整体性能最符合需求的材料,并未对合适的材料进行逐一的热力学仿真和静应力仿真对比分析,依据对比结果选择最适合的材料。同时由于了解的材料种类有限,此次研究只是从常用材料中选取,相信随着新型材料的研究发展,会有性能更加优越的材料来替换。

2.对热力学仿真和静应力仿真的仿真参数有更准确的选择。在进行热力学仿真和静应力仿真时,初始数据是根据所选取材料性能参数和涡喷六航空发动机震动图谱选取的预估值,部分参数选用默认值,这可能对最终的仿真计算结果产生影响。在之后的工作中,一方面尽可能的搜集更加详细全面的资料,一方面进行相关实验,以得到更准确的模拟参数,减少误差使仿真结果更接近与真实环境下的工作情况。

3.在设计第一种优化方案时,灵感来源于门闩式快速夹具,钢带间连接件的整体结构与门闩式快速夹具类似,组成的零件较多。在发动机复杂的工作环境中,可能因飞机发动机震动加速零件间的磨损,减少零件寿命。之后在提高自身机械结构设计能力后,我将继续优化此方案,通过减少连接件的零件、增加减震垫等多种方式优化结构,进行相关实验,得出结论。

4.因为所学和条件有限,所以一些现实的特殊情况无法考虑验证,比如材料的加工精度,低压环境下材料的性能对整体结构造成的影响等。

5.因疫情影响和资源有限,无法将理论的模型在现实中制造出来,通过实物进行实际的实验验证,在试验台上得到更符合实际工作环境下的数据,为研究提供强有力的实际数据支持。

虽然此次论文研究对象涡喷 6 航空发动机已逐渐退役,但是通过此次研究,充分运用汇总所学过的知识,应用到论文中,同时为类似的结构改进优化提供借鉴。

参考文献

- [1] 李国权.航空发动机滑油系统的现状及未来发展[J].航空发动机,2011,(06).
- [2] 张建军.航空飞行器发动机滑油系统磨损检测技术应用研究[J].科技风,2019,(31).
- [3] 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).
- [4] 杨家旺,姜会庆,周琳.航空发动机滑油供油系统建模及应用[J].工业技术创新,2019.
- [5] 赵震.8D 方法在航空发动机滑油系统故障排除中的应用研究[D].导师: 祝世兴.中国民航大学,2019.
- [6] 李新,周丽,丁秀萍.航空发动机滑油系统的现状与发展[J].科技风,2016,(17).
- [7] 孙杨慧,杨坤,侯乃先,余云峰.航空发动机滑油系统动态故障分析[J].科技导报,2015,(05).
- [8] RB211-535E4 Line and Base Maintenance.
- [9] 刘友宏,于超.航空发动机滑油系统热分析[J].科学技术与工程,2009,(22).
- [10] 李林蔚,高红霞.航空滑油系统设计与性能分析研究现状与进展[J].机电工程技术,2008(08).
- [11] A&P Technology Powerplant Textbook [M].Jeppesen Sanderson,2003.
- [12] 刘长福,主编.航空发动机构造[M].国防工业出版社,1989.
- [13] V2500 Line and Base Maintenance.

致 谢

相逢一见太匆匆，校内繁花几度红。行文至此，落笔为终。大学四年，即将落幕。始于金秋，终于盛夏。总觉来日方长，时光却如白驹过隙，一去不返。纵有万般不舍，终要再见。目之所及，皆是回忆，心之所向，皆是过往，回首往昔，百感交集。

饮水思其源，学成念吾师。首先衷心感谢我的论文指导老师，在我学业上的指导和帮助，尤其是论文写作过程中的悉心指导和修改批注，传道解惑，指引迷津。一朝沐杏雨，一生念师恩，仅以拳拳之心向老师致以最诚挚的谢意，和最崇高的敬意。另外感谢大学期间遇到的每一位老师，我的成长和进步，离不开各位老师的帮助，祝愿老师们在今后的工作中一切顺利，身体健康。

焉得援草，言树之背。感谢父母对我二十年的教育和培养，姐姐如朋友般的陪伴为我解惑，他们也是我成长路上最坚实的后盾。感谢在我求学成长之路默默奉献与付出，求学二十载所吃所用皆为父母挥洒汗水所得。养育之不易，难以言说。故幸而可从我辈仰望星空，以慰家人多年教养之恩。

同窗数载，知己难寻。何其有幸，在最美好的时光遇见了最美好的伙伴，我们一路欢笑，共同成长。三年同寝四年相伴，我们见证了彼此最美好的年华，陪伴我一路成长。同窗共事三载，有幸遇见了最好的伙伴，更是最好的朋友。时光的河入海流，终于我们分头走，愿我们在分别的日子里保持热爱，奔赴山海，高处相见。

写尽千山，落笔是你。感谢普通努力的自己，努力过，追过梦。在未来的岁月里，我将继续追梦，实现梦想。以梦为马，不负韶华。

关于我与中德的故事到这就要结束了。聚散终有时，未来亦可期，书不成字，纸短情长。我们后会有期！