



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

本科生毕业设计

航空发动机油气分离器安装方式优化及分析

Optimization and Analysis of the Installation Method of Aero-
Engine Oil and Gas Separator

姓 名 胡展鹏

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06月03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

航空发动机油气分离器安装方式优化及分析

Optimization and Analysis of the Installation Method of Aero-
Engine Oil and Gas Separator

姓 名 胡展鹏

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



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：航空发动机油气分离器安装方式优化
及分析

学 院： 航空航天学院

专 业： 飞行器制造工程

学生姓名： 胡展鹏

学 号： 18414020117

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

航空发动机是一种高度复杂和精密的热力机械,作为飞机的心脏,不仅是飞机飞行的动力,也是促进航空事业发展的重要推动力,人类航空史上的每一次重要变革都与航空发动机的技术进步密不可分。航空发动机滑油系统油气分离器主要功能是把工作过的滑油中的气体分离出来,降低滑油中的气体含量,保证滑油系统安全可靠地工作;另一方面,随着高度的增加,它可使滑油箱、发动机附件传动机匣、各滑油腔、外置附件机匣内的气压缓慢减小,高空飞行时可避免油泵进口油压过低,由此产生气塞,影响滑油系统的高空性能。平板式,油气混合物流过平底浅盘,再由浅盘呈油膜流入集油器,此时气泡破裂逸出。

航空发动机滑油系统的油气分离器,应用较多的是离心式、动压式、平板式三种。离心式油气分离器的分离效果最好,但是需要消耗一定的功率来驱动。而目前利用更为广泛的是安装在滑油箱内的动压式油气分离器,该类分离器结构简单,体积小,不需要外力驱动。

国外现状:航空发动机滑油系统的油气分离器,现在应用较多的是离心式、动压式、平板式三种。由于动压式油气分离器具有结构简单、空间紧凑、效率相对较高等优点,在小型航空发动机中得到了广泛应用^[4]。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^[5]。提高油气分离器等旋转部件的转速,能够减小这类部件的体积和重量,有利于滑油系统的减重^[6]。

国内现状:长期以来我国航空发动机相关领域的研究主要偏重压气机、燃烧室、涡轮这三大部件,忽视了对滑油系统的研究工作,导致发动机滑油系统的设计难以满足现代高性能航空发动机的需要,已成为限制高性能发动机研制与发展的瓶颈。近年来,随着中国航空发动机方面的发展,中国学者对滑油系统的研究也越来越深入,从元部件的设计、子系统设计、系统整合和在线监视等方面进行了深入研究,滑油系统的研制得到了长足的发展^[6]。现在国内已可以自行设计,并正在建立自己的设计规范和体系。油气分离器的研究方法为特性试验和 CFD 数值模拟,研究重点为分离机构的油气分离效率和流阻特性^[9]。

通过对 WP6 发动机滑油系统油气分离器进行拆卸,弄明白油气分离器的基本结构以及工作原理,发现油气分离器直接由发动机轴通过减速齿轮带动旋转,在离心力作用下,较重的滑油颗粒甩向周边再流入油箱,而留在转子中心的空气和滑油蒸汽则通向发动机的通风腔,也可由滑油射流自己形成回流而产生离心力。油气分离器的内部结构较复杂,且其故障通常从内部产生,外部检测难以发现。因此为提高分离效果,加强结构刚度、强度以及维修拆装方便等性能,我决定对油气分离器安装方式结构进行优化设计及分析。

2. 毕业设计（论文）课题任务的内容和要求

1. 分析油气分离器结构的不足：首先对原油气分离器进行一比一 3D 建模，分析系统中结构的不足之处。
2. 优化油气分离器结构：对油气分离器优化分析并进行 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，比如材料、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]李明,南丽霞,孙志礼.航空发动机油气分离器分离技术的研究及结构设计[J].机械设计与制造,2007(02):28-30.
- [2]吴剑,金波.航空发动机油气分离器不平衡故障的振动分析与状态监控[J].失效分析与预防,2015,10(02):96-101.
- [3]黎林林,谢光华.某型号涡喷发动机滑油系统设计[J].推进技术,2001(06):493-495.
- [4]段安鹏.动压式油气分离器流场分析及分离性能研究[D].哈尔滨工程大学,2015.
- [5]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,2011,37(06):49-52+62.
- [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):1-2.
- [7]朱卫兵,王冬兰,张小彬,段安鹏. 航空动压式油气分离器分离性能的实验研究. [J] 推进技术,2016,37(05):852-857.
- [8]贾春强,徐让书,马前容.某型航空发动机油气分离器内两相流动数值模拟[J].燃气涡轮试验与研究,2010,23(01):47-50+14.
- [9]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.
- [10]张小彬,朱卫兵,张碧婷,胡亮.动压式油气分离器特性的量纲分析 [J].哈尔滨工程大学学报,2017,38(11):1757-1761.
- [11]刘长福,主编.航空发动机构造[M].国防工业出版社,1989.
- [12]杨旭.航空发动机滑油系统换热器与分离器实验系统设计[D].哈尔滨工程大学,2014.

所在专业审查意见： 同意

负责人： 姚莹涛

2021 年 12 月 6 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：航空发动机油气分离器安装方式优化
及分析

学 院： 航空航天学院

专 业： 飞行器制造工程

学生姓名： 胡展鹏

学 号： 18414020117

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

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

在正常情况下,滑油中已经含有一定的空气,当滑油通过油泵、管路和高转速轴承时,大量的游离空气和燃气会被抽到回油中来,这会增加滑油的含气量,变成空气滑油乳化液,这将显著降低滑油的性能,增大滑油的消耗量及管路中的油流阻力和泵的抽油能力,因此,在靠近油箱的回油路出口处需设计安装油气分离器,把滑油中含有的空气分离出来^[1-3]。

现在的航空发动机常用的油气分离器有三种,结构上较为简单的是置于滑油箱内的平板式油气分离器,油气混合物流过平底浅盘,再由浅盘呈油膜流入集油器,此时气泡破裂逸出。离心式油气分离器直接由发动机轴通过减速齿轮带动旋转,并且它的分离效果最好,但需消耗一定的功率来驱动。利用较广泛的是动压式油气分离器,是一种用于油箱内的分离器,因为结构简单,在一些弹用航空发动机中常作为唯一主分离器使用^[4-6]。

国外现状:航空发动机滑油系统的油气分离器,现在应用较多的是离心式、动压式、平板式三种。由于动压式油气分离器具有结构简单、空间紧凑、效率相对较高等优点,在小型航空发动机中得到了广泛应用^[7]。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^[8]。提高油气分离器等旋转部件的转速,能够减小这类部件的体积和重量,有利于滑油系统的减重^[9]。

国内现状:长期以来我国航空发动机相关领域的研究主要偏重压气机、燃烧室、涡轮,忽视了滑油系统的研究工作,导致滑油系统的设计难以满足现代高性能航空发动机的需要。近年来,随着中国航空发动机的发展,国内对滑油系统的研究和元部件的设计、子系统设计、系统整合和在线监视等方面进行了深入研究,滑油系统的研制取得了很大进展^[9]。国内现可以自主设计,并开始建立自己的设计规范和体系。油气分离器的研究方法为特性试验和 CFD 数值模拟,主要研究分离机构的油气分离效率和流阻特性^[10]。

通过对 WP6 发动机滑油系统油气分离器进行拆卸,弄明白油气分离器的基本结构以及工作原理,发现油气分离器是由发动机轴通过减速齿轮带动旋转,在离心力的作用下,较重的颗粒会甩向周边再流入油箱,而留在转子中心的空气和滑油蒸汽会通过发动机的通风腔,也可由滑油射流自己形成回流而产生离心力^[11]。油气分离器的内部结构较复杂,且其故障通常从内部产生,外部检测难以发现^[12]。

(二) 课题的目的意义

航空发动机是极其复杂和精密的热力机械，作为飞机的心脏，它不仅是飞机飞行的动力，也是促进航空事业发展的重要动力。航空发动机系统中滑油在流过齿轮箱等部件时不可避免地混入空气，空气的混入通常会减小换热的效率，同时减弱滑油的冷却和润滑效果，因此现代航空发动机滑油系统通常会设计一个油气分离器用于分离滑油和空气，来保障发动机滑油系统安全稳定运行。

油气分离器是滑油系统的主要附件之一，它主要功能是把工作过的滑油中的气体分离出来，降低滑油中的气体含量，保证滑油系统安全可靠地工作；另一方面，随着高度的增加，它可以使滑油箱、发动机附件传动机匣、各滑油腔、外置附件机匣内的气压缓慢减小，高空飞行时可避免油泵进口油压过低，由此产生气塞，影响滑油系统的高空性能。本课题对 WP6 滑油系统中的油气分离器进行分析，在结构设计方面进行优化改进，提高油气分离效果，加强结构刚度、强度等性能以及维修拆装方便。

（三）课题主要研究内容

（1）分析油气分离器结构的不足；

首先对原油气分离器进行 3D 建模，以分析系统结构的缺陷。

（2）优化油气分离器结构分析；

对油气分离器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。然后对初次优化系统结构进行改进，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，比如材料、强度、等性能测试得出最优方案。

参考文献

[1]Ma,M,Fan,X.Constraint-based structural modeling and analysis of aeroengine blisk in a concurrent engineering environment[J].Journal of Aerospace Power,1998,13(4): 413~417.Oct.

[2]Ou,H,Lan,J.An FE simulation and optimization approach for the forging of aeroengine components[J].Journal of Materials Processing Technology,2004,9: 208~216.

[3]Timo Laakko,Martti Mantyla.Feature modeling by incremental featurere cognition[J].Computer- aided Design,1993,25(8).

[4]杨旭.航空发动机滑油系统换热器与分离器实验系统设计[D].哈尔滨工程大学,2014.

[5]李明,南丽霞,孙志礼.航空发动机油气分离器分离技术的研究及结构设计[J].机械设计与制造,2007(02):28-30.

- [6]朱卫兵,王冬兰,张小彬,段安鹏. 航空动压式油气分离器分离性能的实验研究. [J] 推进技术,2016,37(05):852-857.
- [7]段安鹏.动压式油气分离器流场分析及分离性能研究[D].哈尔滨工程大学,2015.
- [8]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,2011,37(06):49-52+62.
- [9]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):1-2.
- [10]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.
- [11]黎林林,谢光华.某型号涡喷发动机滑油系统设计[J].推进技术,2001(06):493-495.
- [12]吴剑,金波.航空发动机油气分离器不平衡故障的振动分析与状态监控[J].失效分析与预防,2015,10(02):96-101.

二、进度及预期结果

起止日期	主要内容	预期结果
2021.12.03- 2021.12.31	前期查阅航空发动机油气分离器的文献，学习相关知识。	掌握毕设相关基本知识，大体思路清晰。
2022.1.01- 2022.2.28	原模型与优化模型的建立。完成论文前三章。	完成模型的建立和论文前三章。
2022.3.01- 2022.3.05	开题报告的撰写及修改完善。	完成开题报告。
2022.3.06- 2022.4.10	将最终优化系统与原系统进行总体的 3D 仿真对比分析。	得出结论，完成最初的优化目的。
2022.4.11- 2022.4.30	论文撰写。	
2022.5.1- 2022.6.3	论文查重和答辩。	
完成课题的现有条件	1.E4-3 发动机实训区的 WP6 航空发动机； 2.具备良好的绘图和计算能力，且对油气分离器结构有较充分地理解； 3.有一定的钳工基础，懂得装配工艺； 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> 2022 年 3 月 5 日	
开题答辩小组意见	同意开题 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：胡展鹏

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

航空发动机滑油系统中的附件油气分离器，现在比较常用的有三种：离心式油气分离器，动压式油气分离器，平板式油气分离器。在航空发动机工作过程中，滑油经过油泵、管路和高转速轴承时，大量的空气和燃气会被抽到回油中，这会使滑油中的空气含量大大增加，从而变成空气滑油乳化液，这会让滑油的性能显著降低，滑油的消耗量增加以及管路中的油流阻力和泵的抽油能力也会增加，因此，需要在油箱的回油路出口位置设计安装油气分离器，来将滑油中的空气分离出来。

油气分离器的主要功能是分离滑油中的气体，从而使滑油的气体含量降低，让滑油系统更安全、可靠的工作。通过航空发动机拆装实训的学习，了解了航空发动机的各个系统，且在拆装滑油系统时，仔细研究了油气分离器。油气分离器主要由壳体、转子、支撑轴承等零件组成。在与导师交流讨论后，发现因当时的条件、技术所限制，使它某些部分有着优化的空间。在与导师交流之后，对油气分离器进行结构分析及样机测绘，并且使用三维制图软件，对航空发动机 WP6 的油气分离器进行三维建模，在结构设计方面进行优化改进，将其原有的齿轮传动改为谐波齿轮传动，材料也可改为现在应用比较成熟、性能更好的材料。

利用 SolidWorks 中的 Simulation 模块来辅助验证方案的可行性。通过对油气分离器原模型与优化模型的仿真分析可知，优化后的油气分离器散热能力更强，承载能力稍弱；使用新材料的油气分离器承载能力最好。

关键词：滑油系统；油气分离器；离心式；谐波齿轮传动

ABSTRACT

There are three types of accessory oil and gas separators in aero-engine lubricating oil systems: centrifugal oil-gas separators, dynamic pressure-type oil-gas separators, and flat-plate oil-gas separators. During the working process of the aero-engine, when the lubricating oil passes through the oil pump, the pipeline and the high-speed bearing, a large amount of air and gas will be pumped into the return oil, which will greatly increase the air content in the lubricating oil, thus becoming an air sliding Oil emulsion, which will significantly reduce the performance of lubricating oil, increase the consumption of lubricating oil, and increase the oil flow resistance in the pipeline and the pumping capacity of the pump. Therefore, it is necessary to design the outlet position of the oil return path of the oil tank Install an oil-air separator to separate the air from the oil.

The main function of the oil and gas separator is to separate the gas in the lubricating oil, so as to reduce the gas content of the lubricating oil and make the lubricating oil system work more safely and reliably. Through the study of aero-engine disassembly and assembly training, I learned about the various systems of the aero-engine, and when disassembling and assembling the lubricating oil system, I carefully studied the oil and gas separator. The oil and gas separator is mainly composed of shell, rotor, support bearing and other parts. After communicating and discussing with the instructor, it was found that due to the limitations of the conditions and technology at that time, some parts of it had room for optimization. After communicating with the instructor, the structural analysis and prototype mapping of the oil and gas separator were carried out, and the three-dimensional drawing software was used to model the oil and gas separator of the aero-engine WP6, and the structural design was optimized and improved. The transmission is changed to harmonic gear transmission, and the material can also be changed to a material that is more mature and has better performance.

Use the Simulation module in SolidWorks to assist in verifying the feasibility of the scheme. Through the simulation analysis of the original model and the optimized model of the oil and gas separator, it can be seen that the optimized oil and gas separator has stronger heat dissipation capacity and slightly weaker bearing capacity; the oil and gas separator using new materials has the best bearing capacity.

Key words: Lubricating oil system; Oil and gas separators; Centrifugal; Harmonic gear transmission

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	1
第二章	总体方案介绍	3
2.1	课题研究对象简介	3
2.2	设计要求	3
2.3	研究过程简述	3
第三章	油气分离器结构分析及优化	4
3.1	油气分离器三维建模	4
3.2	油气分离器结构优化	10
第四章	原模型及优化模型仿真结果对比	11
4.1	热力学分析	11
4.2	静应力分析	15
4.3	仿真计算结果分析	20
第五章	总结和展望	22
	参考文献	23
	致 谢	24

第一章 绪论

1.1 论文选题背景

在正常情况下, 滑油中已经含有一定的空气, 当滑油通过高转速轴承、管路和油泵时, 大量的燃气和游离空气会被抽到回油中来, 这会增加滑油的含气量, 变成空气滑油乳化液, 这将显著降低滑油的性能, 增大滑油的消耗量及泵的抽油能力和管路中的油流阻力, 因此, 靠近油箱的回油路出口处需设计安装油气分离器, 把滑油中含有的空气分离出来^[1-3]。

现代的航空发动机常见的油气分离器有三种, 离心式油气分离器: 它有最好的分离效果, 且它是直接由发动机轴带动减速齿轮旋转, 但驱动它需消耗一定的功率。平板式油气分离器: 结构上比较简单、置于滑油箱内, 油气混合物通过平底浅盘, 再经过浅盘呈油膜流入集油器, 这时气泡破裂逸出。动压式油气分离器: 是一种应用于油箱内的分离器, 利用比较广泛, 因为结构简单, 常作为一些弹用航空发动机中的唯一主分离器使用^[4-6]。

通过对 WP6 发动机滑油系统油气分离器进行拆卸, 深入了解油气分离器的结构设计以及工作方式, 发现油气分离器工作原理是由发动机轴借助减速齿轮带动旋转, 在离心力的作用下, 较重的颗粒会被甩向周边然后流入油箱, 而遗留在转子中心的滑油蒸汽和空气会通向发动机的通风腔逸出, 也可通过滑油射流自己而形成回流产生离心力^[7]。并且油气分离器的内部结构较复杂, 其故障通常从内部发生, 外部检测难以发现^[8]。

1.2 国内外研究现状分析

国外现状: 航空发动机滑油系统的油气分离器, 现在应用较多的是离心式、动压式、平板式三种。因为动压式油气分离器具有效率相对较高、结构简单、空间紧凑等优点, 在小型的航空发动机中应广泛用比较^[9]。国外第四代发动机的机械系统中, 各附件外形比较小, 可节省空间将滑油箱等附件安装在附件机匣侧面^[10]。提高油气分离器等旋转部件的转速, 可以减小这类型部件的体积和重量, 有利于减轻滑油系统的重量^[11]。

国内现状: 长期以来, 我国在航空发动机相关领域的研究主要偏重于涡轮、燃烧室、压气机, 忽略了滑油系统的研究工作, 以至于滑油系统的设计难以满足航空发动机现代高性能的需要。近些年, 随着中国航空发动机的发展, 国内对滑油系统的研究和子系统设计、元部件的设计、在线监视和系统整合等方面进行了深入的研究, 滑油系统的研制取得了很大进展^[11]。国内现可以自主设计, 并开始建立自己的设计规范和体系。现在油气分离器的研究方法为 CFD 数值模拟和特性试验, 主研究分离机构的流阻特性和油气分离效率^[12]。

1.3 论文的研究内容

本文主要通过 SolidWorks 三维模型软件对油气分离器的结构进行仿真分析, 先对油气分离器进行结构优化改进, 然后对优化改进后的结构进行仿真受力分析。找到优化后的

问题，针对问题再次进行结构优化。查找航空发动机油气分离器的通用材料，并对原材料和现代先进材料进行结构应用，进行仿真受力分析，对比结果，得出最优方案。

关于对 WP6 油气分离器结构的优化改进，本文主要用以下三个步骤进行研究：

(1) 分析原油气分离器结构的不足；

首先查阅资料，详细了解油气分离器；对油气分离器实体测量数据进行 3D 建模，以分析系统结构的缺陷。

(2) 优化改进油气分离器结构分析；

将油气分离器进行首次优化分析并进行 3D 建模，对比原油气分离器结构，对首次优化分析进行查漏补缺。然后根据对比结果，对首次优化改进的系统结构进行再次改进。

(3) 油气分离器优化模型与原模型对比分析；

将最终优化改进的油气分离器与原油气分离器进行总体的 3D 仿真对比分析，比如强度、温度、材料等性能测试得到最优方案。

第二章 总体方案介绍

2.1 课题研究对象简介

本次研究优化对象为学校现有的实训室里的 WP6 航空发动机油气分离器，为了对油气分离器有更深刻、详细的了解，在油气分离器结构分析和优化改进之前，首先查阅航空发动机油气分离器的相关信息，然后拆解油气分离器。在拆卸过程中，了解油气分离器各部分的组成、位置和用途，记录油气分离器各方向的尺寸，便于三维建模。以下是对 WP6 航空发动机的简单介绍。

WP6 是在苏制 PД-9Б 喷气发动机的基础上沈阳发动机厂仿制并发展而形成的航空发动机。WP6 在 1959 年 7 月确定型态，是中国第一批超音速航空发动机，它属于轴流式单转子带加力燃烧室的涡轮喷气发动机。在 WP6 的改进型上沈航将中国独立创造的沙丘驻涡火焰稳定器成功应用，这彻底解决了 PД-9Б 所有的振荡燃烧情况。

航空发动机的油气分离器是滑油系统的重要附件，主要由壳体、转子、支撑轴承等零件组成。它主要工作是把滑油中的气体利用离心力场分离出来，使滑油的含气量降低，保证滑油系统工作的安全性、可靠性；另一方面，高度的不断增加，它可以使滑油箱、发动机附件传动机匣、各滑油腔、外置附件机匣内的气压不断减小，处于高空飞行状态时可避免油泵进口油压过低，以免由此产生气塞，影响滑油系统的高空性能。

2.2 设计要求

本文的研究对象是 WP6 航空发动机的油气分离器，对该系统进行结构优化改进，在设计优化方案时，需要考虑以下几点：

1. 散热性：油气分离器工作时，进入的滑油温度较高，因此，为保证油气分离器的寿命及材料不会因高温发生变化，它要有着较好的散热性。
2. 寿命耐久性：飞机工作年限内，保证油气分离器寿命的稳定性。
3. 环境适应能力：飞机要适应不一样的飞行环境，例如高温，低温环境、延误、霉菌、湿热、加速度、冲击、低气压等不同环境下均适用。
4. 适航性：航空器服役期间，在设定的环境条件下，飞行的物理完整性和安全性的一种品质。在改变油气分离器的结构前提下，尽量不影响航空器的适航性。

2.3 研究过程简述

本次研究选用的对象为 WP6 航空发动机。首先查阅资料，对 WP6 航空发动机进行拆卸工作，分离出油气分离器。将油气分离器进行拆卸，并且测量尺寸。对其结构进行深入的研究。油气分离器主要由壳体、转子、支撑轴承等零件组成。运用三维制图软件，绘制三维模型。查阅资料对油气分离器提出设想，与导师沟通，商量方案可行性。绘制优化模型，并查阅资料，最后通过对比优化前后模型，得出结论。

第三章 油气分离器结构分析及优化

3.1 油气分离器三维建模

3.1.1 扫描油气分离器

利用 Handyscan700 三维激光扫描仪，扫描油气分离器，在装有 Geomagic Design X 和 Vxelment 软件的计算机上输出点云。下面是扫描油气分离器的过程介绍：

1.校准扫描仪，扫描仪必须指向蓝色圆圈所在位置，并且红线（扫描仪的高度和方向）应对齐到绿色矩形内。如图 3-1-1 和图 3-1-2 所示：



图 3-1-1 Handyscan700 三维激光扫描仪

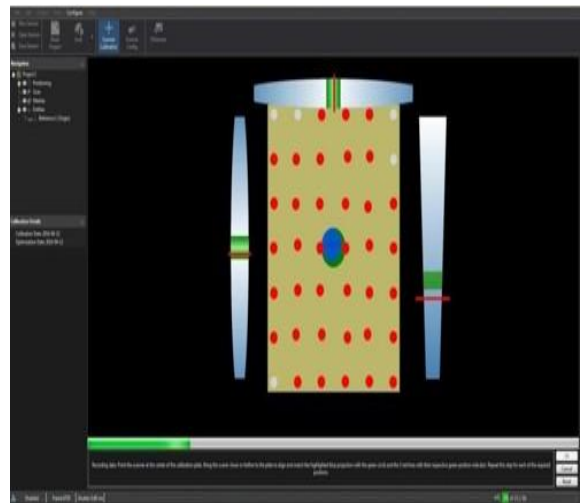


图 3-1-2 扫描仪校准

2.扫描仪参数配置，由待扫描表面的类型配置它的传感器快门时间。如图 3-1-2 所示：

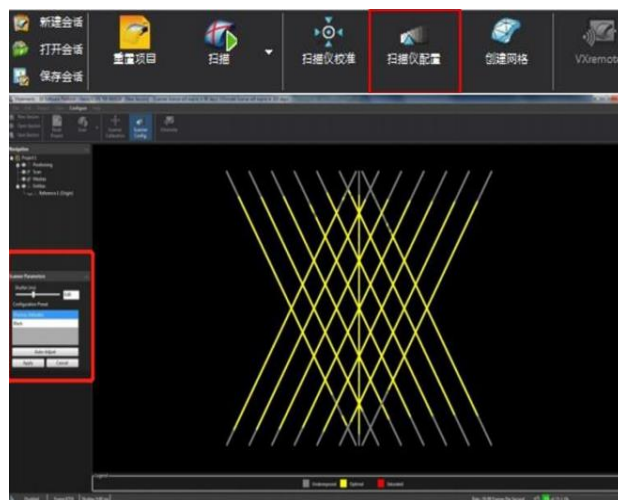


图 3-1-3 配置参数

3.在油气分离器表面粘贴标记点。

4.利用 Handyscan700 扫描油气分离器并输出为网格。

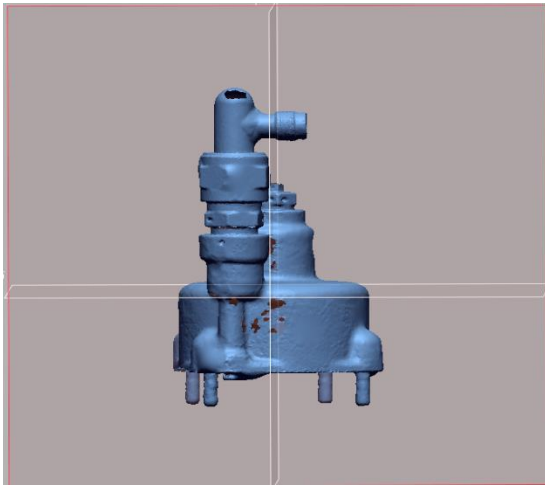


图 3-1-4 油气分离器模型 1-点云

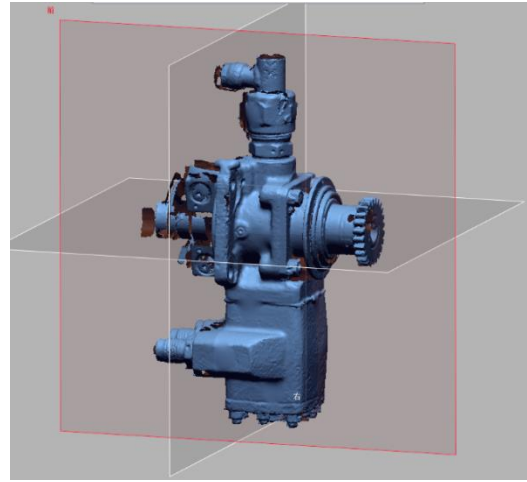


图 3-1-5 油气分离器模型 2-点云

5.将文件格式保存为 stl 格式。如图 3-1-4 和图 3-1-5 所示：

3.1.2 油气分离器壳体建模

使用 Geomagic Design X 三维逆向工程软件建模，下面是 WP6 滑油系统的油气分离器建模过程介绍：

1.打开 Geomagic Design X，将“模型 1-点云”导入软件。在多边形模块，先进行消减，再单击“面片的优化”命令，将整体的面片优化。

2.将模型进行自动分割，形成领域组。再利用对齐向导，将之对齐，偏移多个平面进行轮廓拾取。如图 3-1-6 所示：

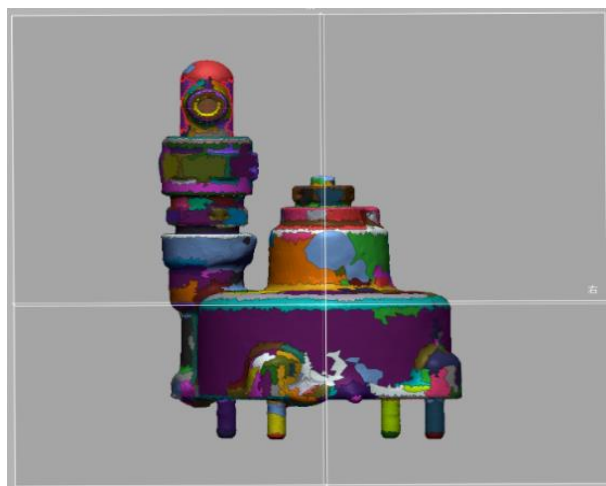


图 3-1-6 油气分离器模型 1

3.先绘制下半部分圆柱体。平面 2 为基准，创建面片草图，拟合外轮廓，拉伸曲面，X 轴正方向 7mm，反方向 28mm；创建新面片草图，拟合内轮廓，拉伸曲面，X 轴正方向 7mm，反方向 34.5mm。

4.建平面为辅助面剪切曲面。上基准面为草图，再拉伸 1 底部画直线，向 Y 轴正反方向各拉伸 57.5mm；反转拉伸 1 法线，以拉伸 2，拉伸 3 为准剪切多余曲面。

5.建立底部四个圆柱体。平面 3 为基准，创面片草图，以四个圆柱面为准，画圆，向上拉伸 22.5mm；对拉伸 4 进行面填补。反转拉伸 4 法线，以拉伸 2，拉伸 4 为准剪切多余曲面。如图 3-1-7 所示：

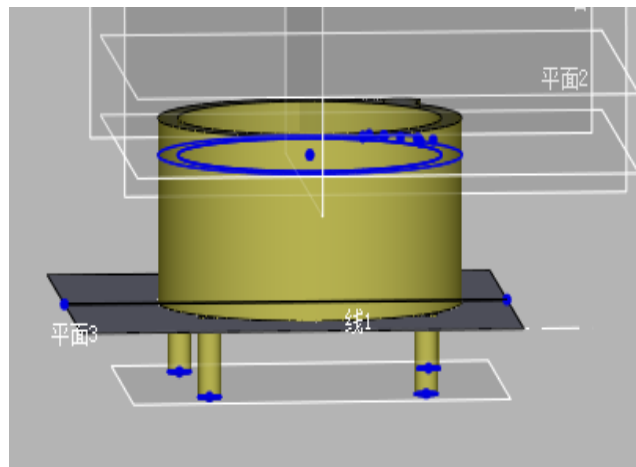


图 3-1-7 油气分离器壳体底部曲面

6.绘制上半部分螺母。在平面 4 创建面片草图，拟合轮廓，拉伸实体，向 X 轴反方向 5.35mm。同理得，平面 5 轮廓拉伸 X 轴正方向 4mm，反方向 5mm；平面 6 轮廓拉伸 X 轴正方向 4mm，反方向 4mm；平面 7 轮廓拉伸 X 轴正方向 3.5mm。

7.对领域组的回转进行面片拟合，拉伸 1 延长 10mm，剪去多余曲面。

8.建 3D 草图，在右基准面及右基准面正上方拟合轮廓，放样；向 X 轴反方向延长放样 10mm，剪去多于曲面；以剪切曲面 3、4 为准，剪去多余曲面。

9.缝合曲面。再次面片拟合，将放样 1 向 X 轴正方向延长 6.15mm，然后剪去多余曲面。如图 3-1-8 所示：

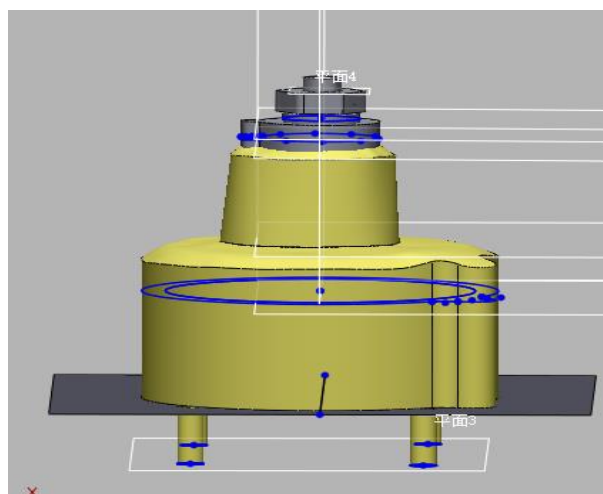


图 3-1-8 油气分离器曲面

10.在平面 8 创建面片草图，拟合轮廓，拉伸实体，向 X 轴方向 14mm，反方向 6.5mm。

11.转换实体。在前基准面建面片草图，顺外壳凸起部分画线，沿 Z 轴正反方向各拉伸 74mm。剪切曲面，缝合部分曲面。再依据点云对壳体进行倒圆角。如图 3-1-9 所示：

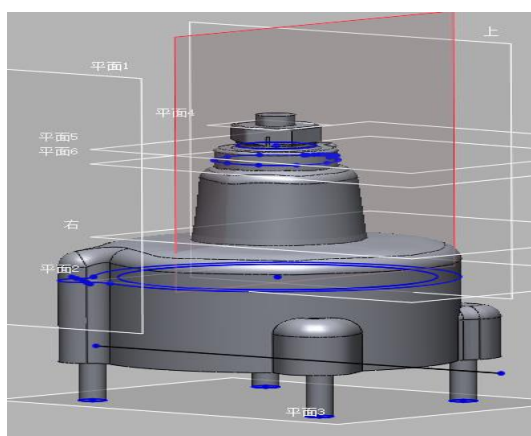


图 3-1-9 油气分离器部分实体

12. 绘制左上部分柱体及螺母。在平面 9 创建面片草图，依据点云数据画圆，拉伸实体，向 X 轴方向 23.65mm，反方向 10mm。同理得到拉伸 12—22，拉伸 25。依据点云对实体倒圆角。

13.在平面 20 建面片草图，顺轮廓画直线，沿 Z 轴拉伸正方向 77.5mm，反方向 57.5mm。同理得拉伸 27—28；曲面偏移，剪去多余曲面，倒圆角。

14.草图 29，顺点云画半径为 2 的圆，向 X 轴方向拉伸切割。同理，向外拉伸实体。单击布尔运算，合并。

15.输出 stp 文件，导入 SolidWorks，输入诊断，识别特征。

16.绘制螺纹。以壳体底部圆柱面为准画圆，再以基准面 2 为准画底为 0.6mm，高为 0.3mm，底部两个角为 60° 的梯形。扫描-切除得到螺纹。同方法，得其余三个螺纹及螺母的螺纹。如图 3-1-10 所示：

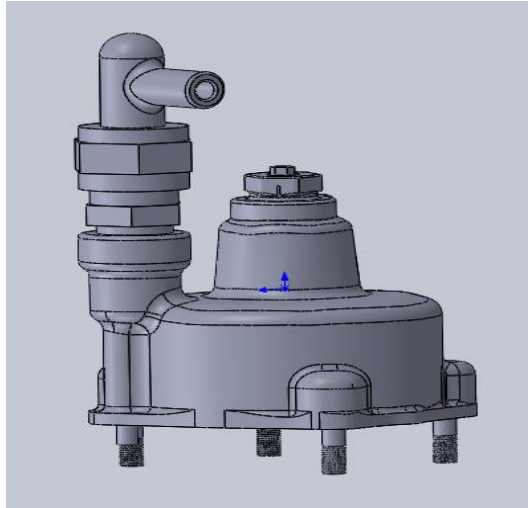


图 3-1-10 油气分离器壳体

3.1.3 油气分离器主体建模

1.导入模型，面片优化，对齐，偏移多平面进行轮廓拾取。如图 3-1-11 所示：



图 3-1-11 油气分离器模型 2

2.开始绘制齿轮及安装部分。在齿轮中心处画中心线，依点云拟合轮廓，回转；依线 1 建平面，使用面片草图，拟合轮廓，回转，延长回转 X 轴正方向最底面的曲面。同理得到回转 3--4。剪切多余曲面。

3.在右基准面建面片草图，拟合轮廓，向 X 轴拉伸 25mm，剪切曲面。同理得拉伸 5，剪切曲面；拉伸 7，剪切曲面，倒圆角，填补面；拉伸 10，实体拉伸。

4.以前基准面和点云数据为依据，画直线，向 Z 轴正反方向各拉伸 60mm，剪切曲面，倒圆角。同理得拉伸 4，拉伸 6，拉伸 8—9，剪切曲面。如图 3-1-12 所示：

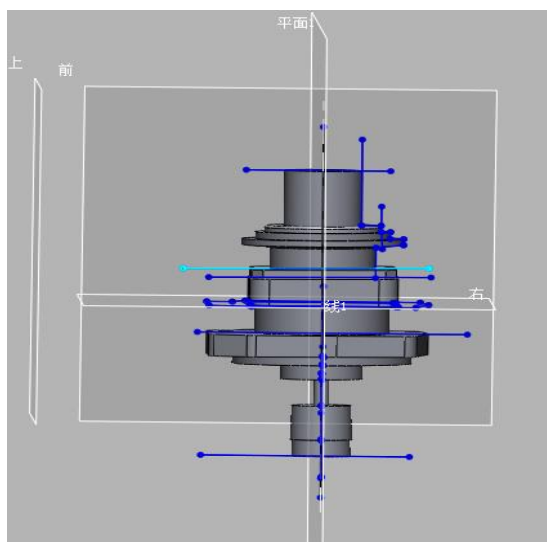


图 3-1-12 油气分离器部分主体

5.对已建模型以下，原点 Y 轴正方向部分进行面片拟合，剪切曲面。依“第 4 步”得拉伸 11，剪切曲面；依“第 3 步”得拉伸 12，删除面，并延长曲面与实体接触，剪切曲面。分割面片拟合 3，按 Y 轴正方向删除分割的上半部分面，延长曲面。

6.以回转 2 为基曲面偏移，延长曲面；对草图 17 拉伸，剪切曲面；延长曲面，剪切。

7.以上基准面为底，填补面；根据草图 18 分割面片拟合 2 和 4；依“第 3 步”得拉伸实体 14，运行布尔运算切割。

8.下列步骤大同小异，故简单陈述。依“第 4 步”得拉伸 15、17、36、39；依“第 3 步”得拉伸曲面 16-17；剪切曲面，删除面，布尔运算合并，倒圆角。依“第 3 步”得拉伸实体 18-33、35、37（删除重合实体，曲面偏移）、41、44；拉伸切割 34、38、40、42、43。倒圆角，布尔运算合并。如图 3-1-13 所示：

9.输出文件，导入 SolidWorks，识别特征，与壳体进行装配。

10.新建装配体文件，将油气分离器壳体，主体相连接。如图 3-1-14 所示：

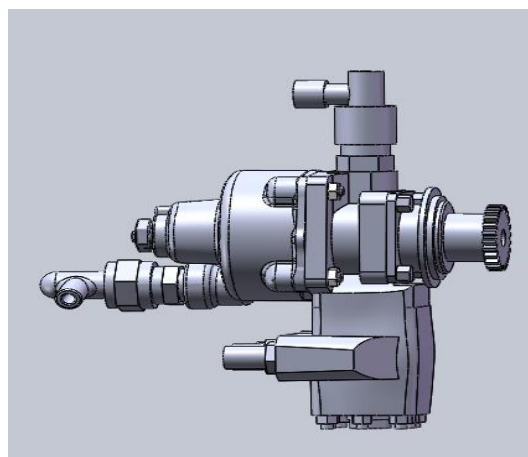
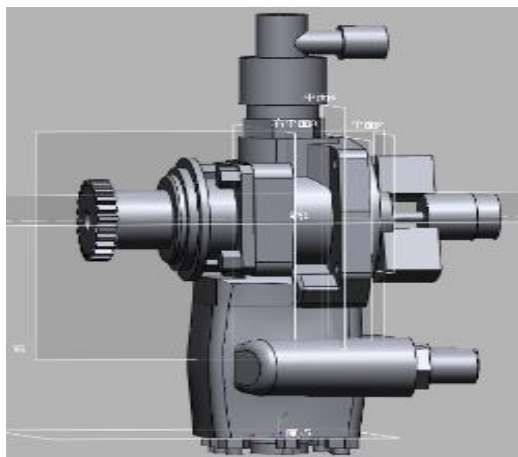


图 3-1-13 油气分离器主体

图 3-1-14 油气分离器

3.2 油气分离器结构优化

在航空发动机拆装实训课中，第一次接触到 WP6 的油气分离器实体，发现它的齿轮是渐开线直齿圆柱齿轮，这种齿轮的传动功率范围和速度较大，传动效率高，应用最广，但在一些情况下，它的传动平稳性会差，冲动、振动和噪声较大。在查阅资料后，发现谐波齿轮传动技术已广泛应用于各类的机械设备上。谐波齿轮主要由刚轮、柔轮和波发生器组成。如图 3-2-1 所示：

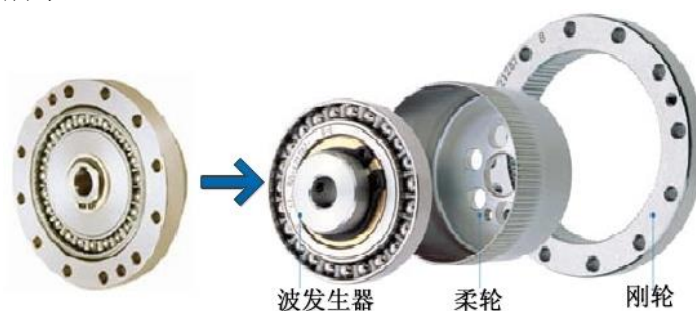


图 3-2-1 谐波齿轮组成

谐波齿轮传动，传动比大，范围宽；在相同条件下比一般减速器元件少一半，重量及体积可减少 20%~50%。且承载能力高，运转稳定，噪音低。与导师交流后，决定选用单级谐波齿轮。

下面是依据原结构的结构分析，进行谐波齿轮建模，并装配到油气分离器。

1.首先绘制波发生器，新建零件文件，以前基准面为底绘制草图，以椭圆命令和智能尺寸绘制半径 30mm、28mm 的外椭圆，9mm、7mm 的内椭圆，向 Z 轴正方向拉伸 15mm。在 origin 画半径 22mm 的圆，拉伸 15mm。

2.在 origin 画半径 10mm 的圆，向 Z 轴反方向切除拉伸 8mm。

3.在切除的底面为基准草图，画半径为 4mm 和 6mm 的圆，向 Z 轴反方向合并拉伸 20mm。并以半径为 4mm 的圆向 Z 轴反方向切换贯通。

4.建基准面 2 建草图，画半径 22mm 的圆及 30mm、28mm 的椭圆，向 Z 轴正反方向各拉伸 5mm，2.5mm。

5.缩放整体比例 0.4，倒圆角。得到波发生器，模型如图 3-2-2：

6.开始绘制柔轮，以前基准面建草图，画半径 14mm 的圆，向上拉伸 5mm。在基准面 2 画齿轮轮廓，放样，得到柔轮基础模型。

7.在基准面 2 原点，画半径 12mm、11mm 的椭圆，向 Z 轴的反方向拉伸切除 25mm。同步骤得到切除-拉伸 3-6。得到柔轮。如图 3-2-3 所示：

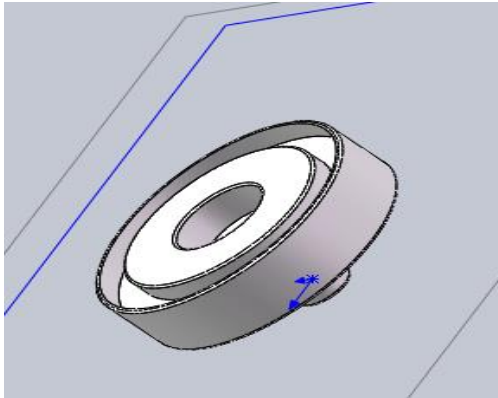


图 3-2-2 波发生器

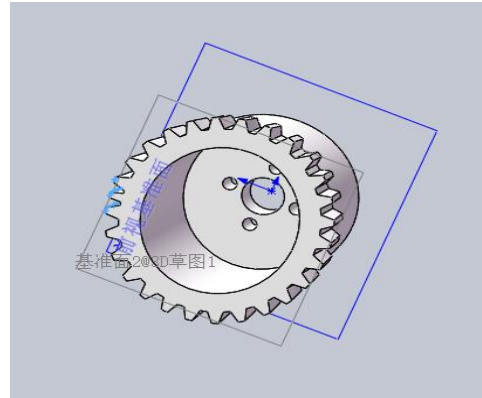


图 3-2-3 柔轮

8.谐波齿轮与油气分离器装配体如下图所示。

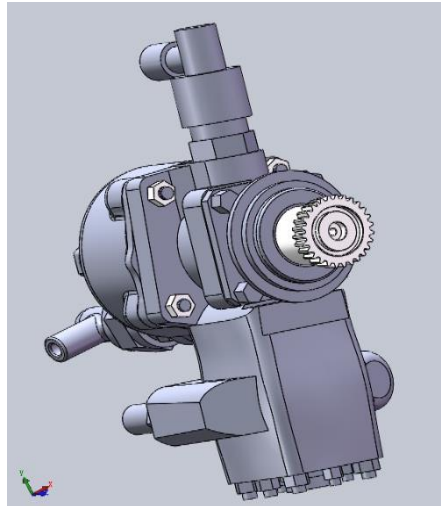


图 3-2-4 优化油气分离器

第四章 原模型及优化模型仿真结果对比

4.1 热力学分析

油气混合物通过油气分离器分离，气体输送到大气中，滑油通过回油管路循环利用，发动机工作时，一直循环此过程；因油气混合物具有一定的温度，这会使油气分离器的温度一直维持在一个范围内，这个温度不能太高，超过滑油沸点的话，会使滑油汽化。因此，要对油气分离器进行热力学分析。

4.1.1 热力学分析过程

开始对材料进行定义，经查阅资料可知，WP6 成型于 20 世纪 50 年代，在当时的技术背景下，我国航空发动机一般使用的材料是铸铁或纯度较差的钢。因此，选择 SolidWorks

材料库里的可锻铸铁来作为油气分离器原模型的材料。谐波齿轮所采用材料多为 30CrMnSi—多用于制造高速、高负荷的合金结构钢，优化模型材料选用合金钢。

目前各国所研制的新型滑油的沸点不会超过 350℃，超过会导致滑油汽化。目前各国使用的 I、II 型滑油最低使用温度为-54℃。因此，在 (-50~+350)℃ 中选取-40℃、-10℃、+20℃、+50℃、+80℃、+110℃、+150℃、+200℃、+250℃和+350℃来进行热力学分析。

油气分离器原模型与优化模型温度设置为-40℃时，进行热力学仿真计算，得到数据如图 4-1-1、4-1-2 所示。

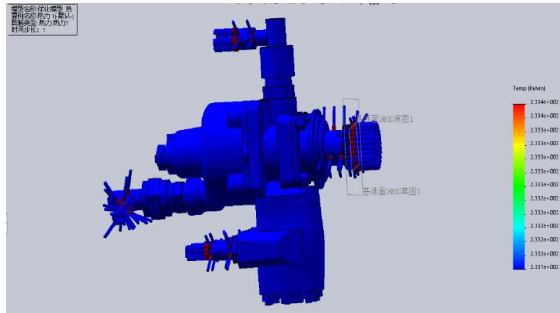


图 4-1-1 原油气分离器-40℃

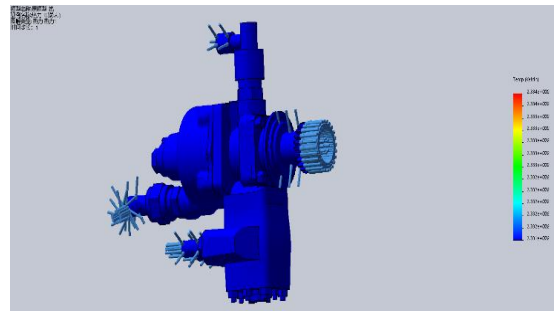


图 4-1-2 优化油气分离器-40℃

油气分离器原模型与优化模型温度设置为-10℃时，进行热力学仿真计算，得到数据如图 4-1-3、4-1-4 所示。

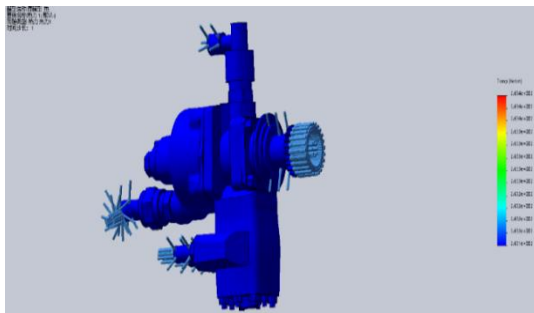


图 4-1-3 原油气分离器-10℃

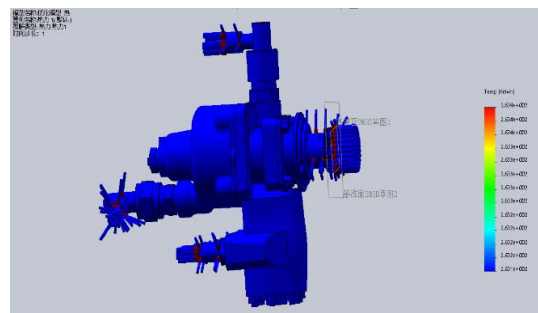
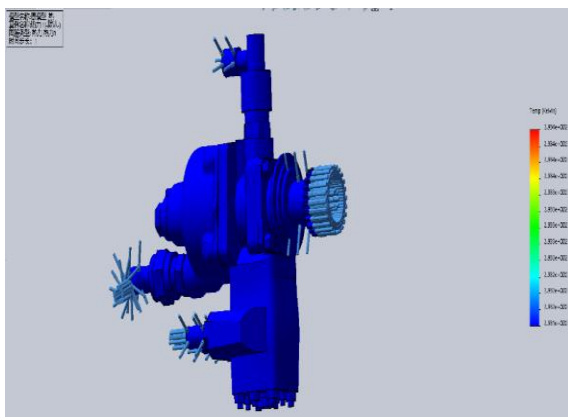


图 4-1-4 优化油气分离器-10℃

油气分离器原模型与优化模型温度设置为+20℃时，进行热力学仿真计算，得到数据



如图 4-1-5、4-1-6 所示。

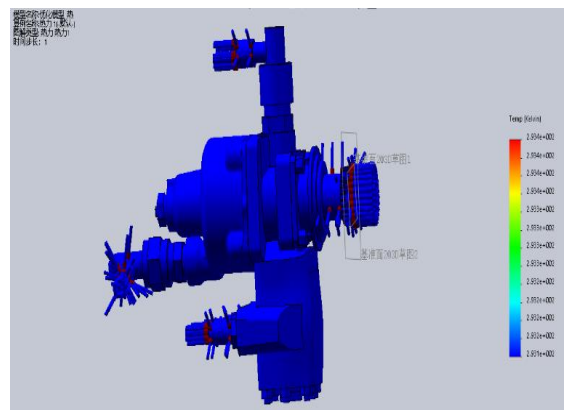


图 4-1-5 原油气分离器+20℃

图 4-1-6 优化油气分离器+20℃

油气分离器原模型与优化模型温度设置为+50℃时，进行热力学仿真计算，得到数据如图 4-1-7、4-1-8 所示。

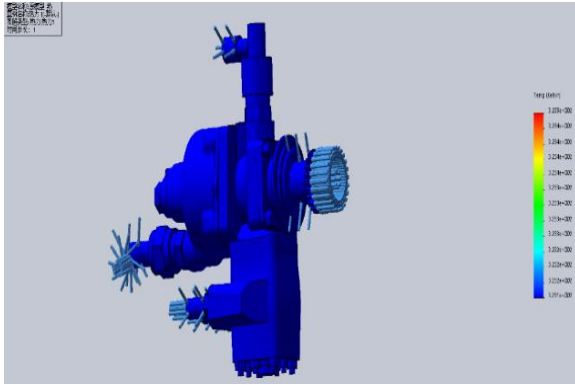


图 4-1-7 原油气分离器+50℃

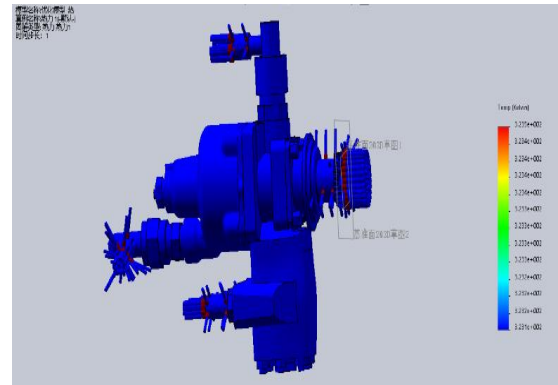


图 4-1-8 优化油气分离器+50℃

油气分离器原模型与优化模型温度设置为+80℃时，进行热力学仿真计算，得到数据如图 4-1-9、4-1-10 所示。

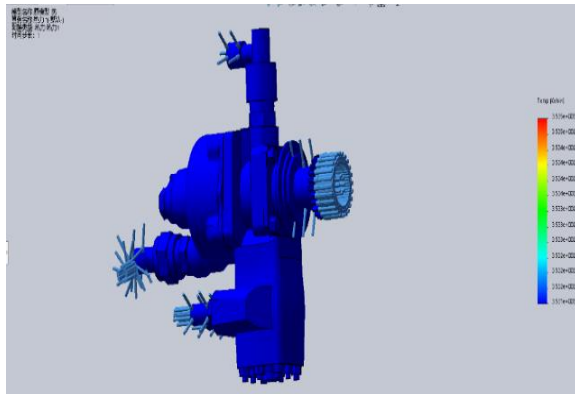


图 4-1-9 原油气分离器+80℃

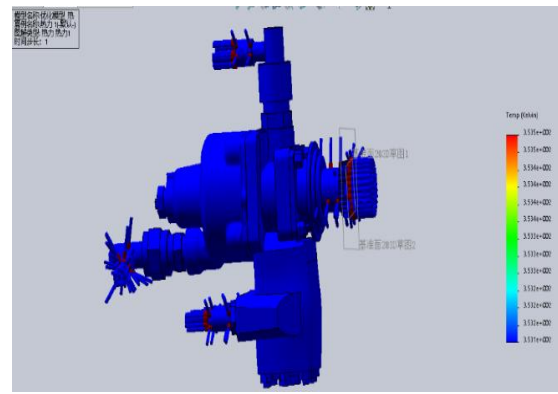


图 4-1-10 优化油气分离器+80℃

油气分离器原模型与优化模型温度设置为+110℃时，进行热力学仿真计算，得到数据如图 4-1-11、4-1-12 所示。

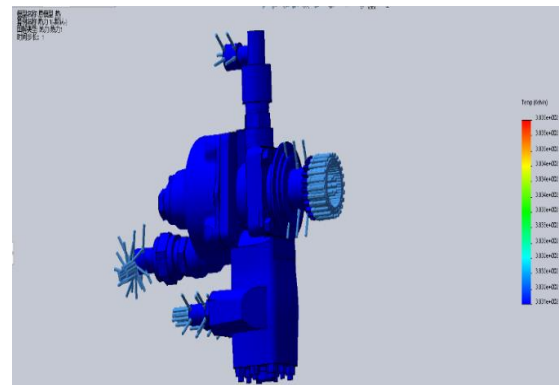


图 4-1-11 原油气分离器+110℃

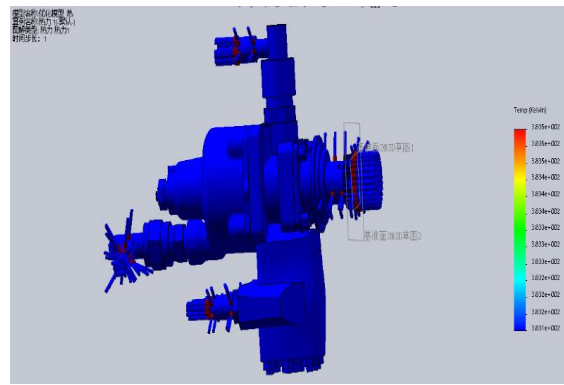
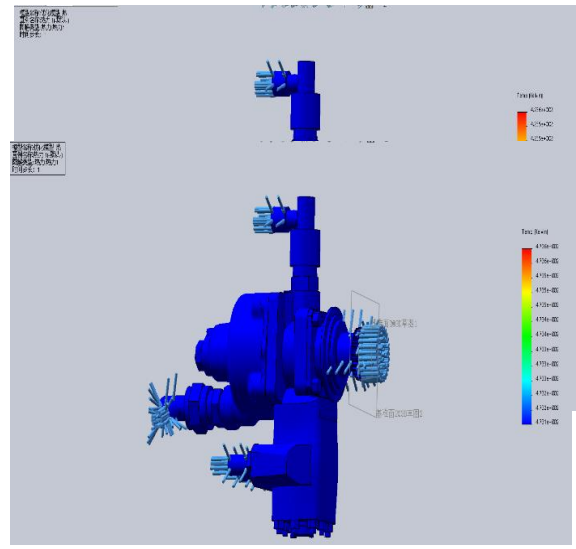
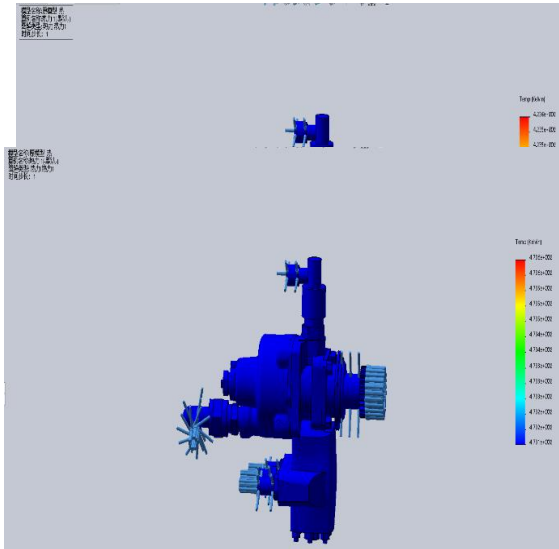


图 4-1-12 优化油气分离器+110℃

油气分离器原模型与优化模型温度设置为+150℃时，进行热力学仿真计算，得到数据如图 4-1-13、4-1-14 所示。

图 4-1-13 原油气分离器+150℃

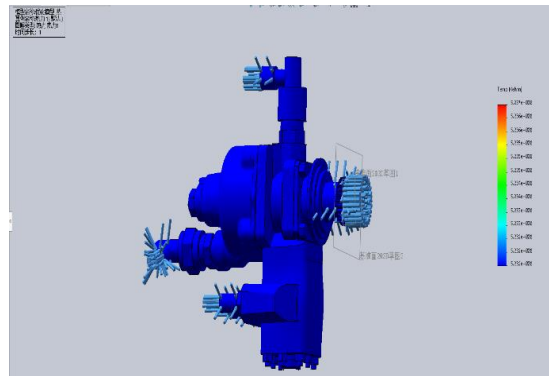
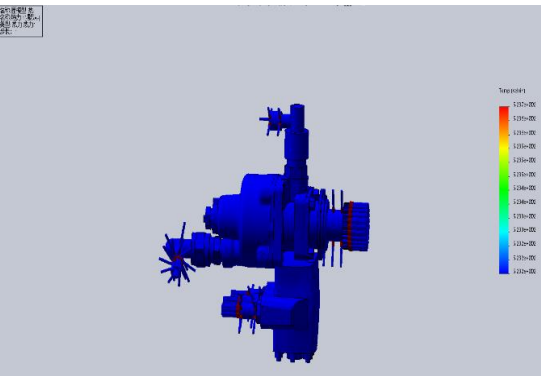
图 4-1-14 优化油气分离器+150℃



油气分离器原模型与优化模型温度设置为+200℃时，进行热力学仿真计算，得到数据如图 4-1-15、4-1-16 所示。

图 4-1-15 原油气分离器+200℃

图 4-1-16 优化油气分离器+200℃



如图 4-1-17、4-1-18 所示。

图 4-1-17 原油气分离器+250℃

图 4-1-18 优化油气分离器+250℃

油气分离器原模型与优化模型温度设置为+350℃时，进行热力学仿真计算，得到数据如图 4-1-19、4-1-20 所示。

图 4-1-19 原油气分离器+350℃

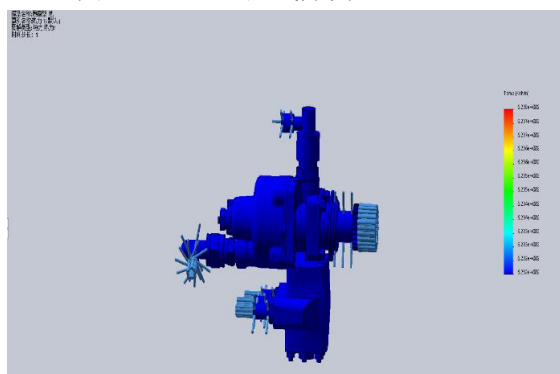
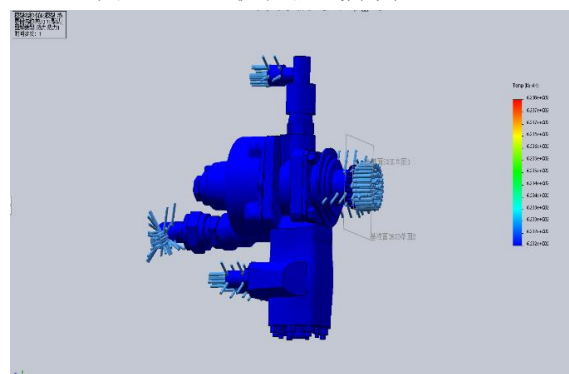


图 4-1-20 优化油气分离器+350℃



4.1.2 热力学仿真数据对比

由 4.1.1 节所做得的实验数据，分别将油气分离器原模型和优化模型在-40℃、-10℃、+20℃、+50℃、+80℃、+110℃、+150℃、+200℃、+250℃和+350℃的温度条件下，利用 SolidWorks 软件中 simulation 模块进行热力学分析。实验数据如表 4-1 所示。

表 4-1 热力学分析对比

模型与温度	-40℃	-10℃	+20℃	+50℃	+80℃
原模型(K)	2.334e+002	2.634e+002	2.934e+002	3.235e+002	3.535e+002
优化模型(K)	2.231e+002	2.523e+002	2.831e+002	3.124e+002	3.461e+002

表 4-1 热力学分析对比（续）

+110℃	+150℃	+200℃	+250℃	+350℃
3.835e+002	4.236e+002	4.736e+002	5.237e+002	6.238e+002
3.741e+002	4.112e+002	4.623e+002	5.141e+002	6.127e+002

由上表数据可知，随着施加在油气分离器模型上的温度不断增加，它所承受的温度也在呈规律上升，优化模型也是如此。因此，可以得到初步结论，优化后的油气分离器散热性要优于原油气分离器，可以承受更高的温度。

4.2 静应力分析

油气分离器是航空发动机滑油系统的附件之一，需保证它在所允许的应力范围内正常运行。油气分离器运行时会受到振动、应力噪声等因素的影响。它一旦受损，产生的金属粉末会使滑油变质，润滑性能下降，会使发动机部分旋转部件受损较大，对飞行安全有很大影响。因此，要对油气分离器进行静应力分析。

4.2.1 静应力分析过程

油气分离器所承受载荷一般较大，因此选取扭矩 $100\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $300\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $500\text{N}\cdot\text{m}$ 及力为 100N 、 200N 、 300N 、 500N 来进行静应力分析。

油气分离器因当时技术受限，选用的材料性能一般，因此在静应力分析时选用新型材料—镍基高温合金对原结构进行再次分析。在高温环境条件下，镍基高温合金的使用范围要远远大于铁基和钴基高温合金，同时，它在我国高温合金中的产量最大，使用量最高^[13]。

对油气分离器原模型进行静应力仿真计算，扭矩设置为 $100\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $300\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $500\text{N}\cdot\text{m}$ 及力为 100N 、 200N 、 300N 、 500N ，部分图像数据如图 4-2-1、4-2-2、4-2-3 所示。

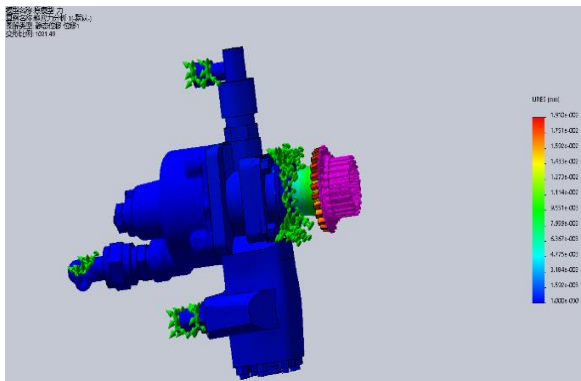


图 4-2-1 原油气分离器 $100\text{N}\cdot\text{m}$ 、 100N

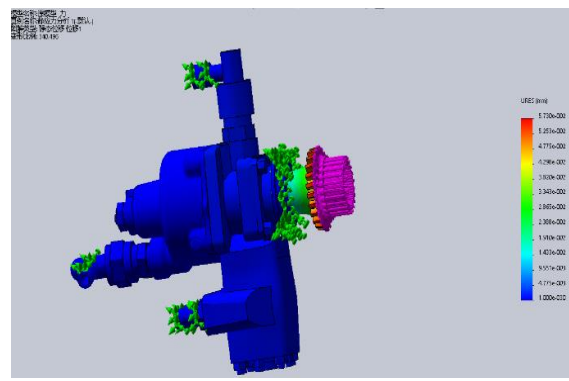


图 4-2-2 原油气分离器 $300\text{N}\cdot\text{m}$ 、 300N

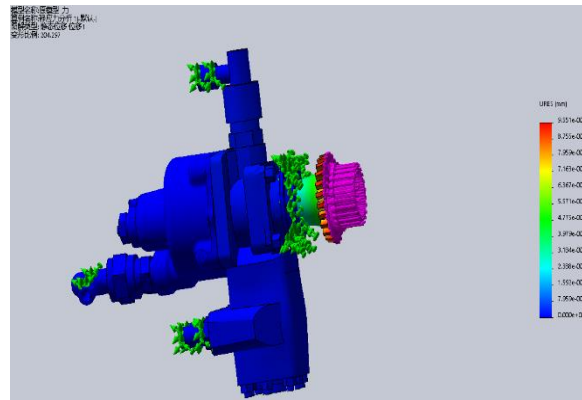


图 4-2-3 原油气分离器 $500\text{N}\cdot\text{m}$ 、 500N

对油气分离器原模型(新材料)进行静应力仿真计算, 扭矩设置为 $100\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $300\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $500\text{N}\cdot\text{m}$ 及力为 100N 、 200N 、 300N 、 500N , 部分图像数据如图 4-2-4、4-2-5、4-2-6 所示。

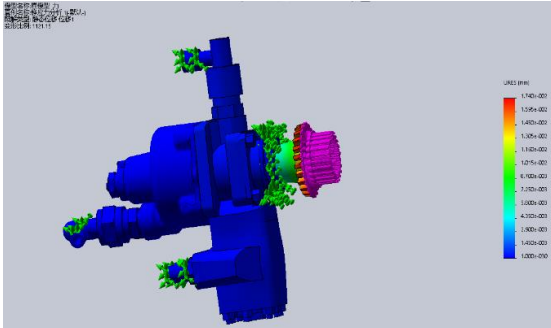


图 4-2-4 原模型(新材料) $100\text{N}\cdot\text{m}$ 、 100N

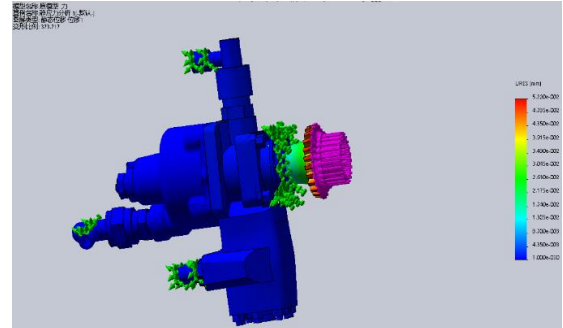


图 4-2-5 原模型(新材料) $300\text{N}\cdot\text{m}$ 、 300N

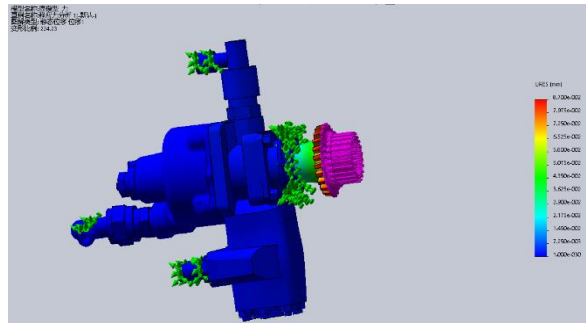


图 4-2-6 原模型(新材料) $500\text{N}\cdot\text{m}$ 、 500N

对油气分离器优化模型进行静应力仿真计算, 扭矩设置为 $100\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $300\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $500\text{N}\cdot\text{m}$ 及力为 100N 、 200N 、 300N 、 500N , 部分图像数据如图 4-2-7、4-2-8、4-2-9 所示。

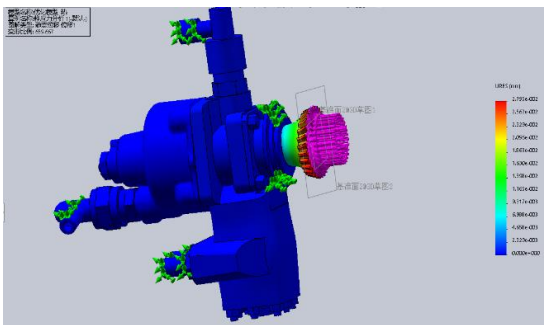


图 4-2-7 优化模型 $100\text{N}\cdot\text{m}$ 、 100N

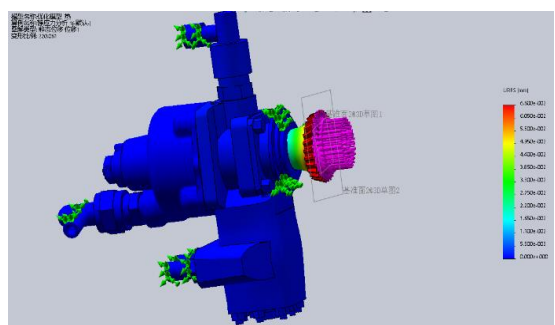


图 4-2-8 优化模型 $300\text{N}\cdot\text{m}$ 、 300N

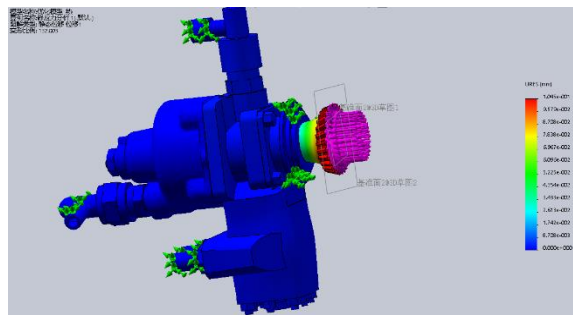


图 4-2-9 优化模型 $500\text{N}\cdot\text{m}$ 、 500N

在油气分离器承受的扭矩和力分别为 $500\text{N} \cdot \text{m}$ 和 500N 时，所产生的应力远大于屈服强度，产生的位移无法恢复，将会使零件永久失效，无法恢复。因此在力不变的条件下选用扭矩 $320\text{N} \cdot \text{m}$ 、 $340\text{N} \cdot \text{m}$ 、 $360\text{N} \cdot \text{m}$ ，继续进行静应力分析，测出三个模型可承受的最大载荷。

对油气分离器原模型、原模型(新材料)和优化模型进行静应力仿真计算，力为 500N ，扭矩为 $320\text{N} \cdot \text{m}$ 、 $340\text{N} \cdot \text{m}$ 、 $360\text{N} \cdot \text{m}$ ，三个模型最接近屈服强度的图像如图 4-2-10、4-2-11、4-2-12 所示。

图 4-2-10 原模型 $340\text{N} \cdot \text{m}$ 、 500N

图 4-2-11 原模型(新材料) $360\text{N} \cdot \text{m}$ 、 500N

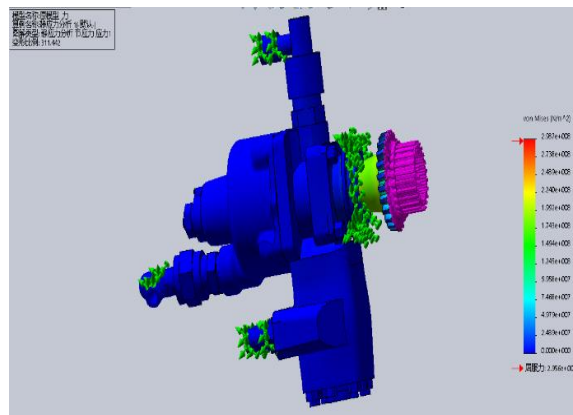
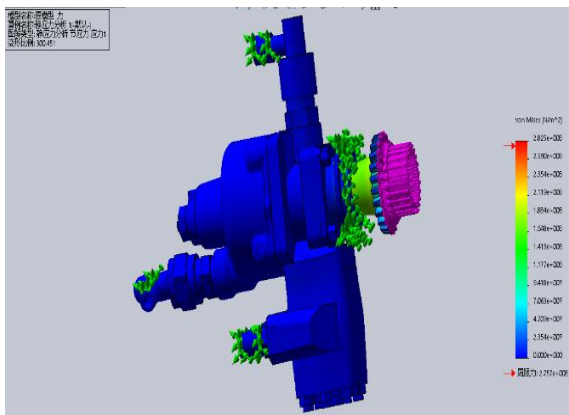
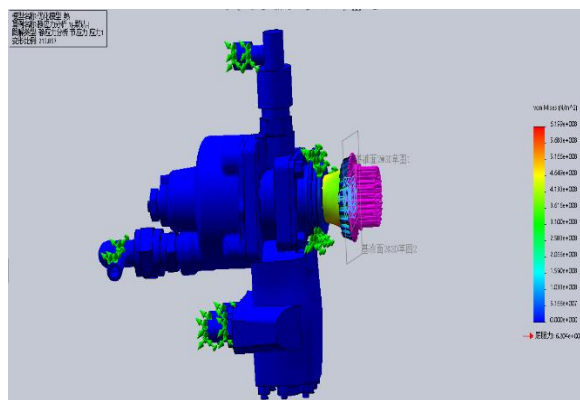


图 4-2-12 优化模型 $320\text{N} \cdot \text{m}$ 、 500N



4.2.2 静应力仿真分析对比

由 4.2.1 节所得到的实验数据，分别将油气分离器原模型、原模型（新材料）和优化模型在扭矩 $100\text{N} \cdot \text{m}$ 、 $300\text{N} \cdot \text{m}$ 、 $500\text{N} \cdot \text{m}$ 及力为 100N 、 200N 、 300N 、 500N ，利用 SolidWorks 软件中 simulation 模块进行静应力分析；因扭矩和力分别为 $500\text{N} \cdot \text{m}$ 和 500N 时，应力超过屈服强度，零件失效，因此增加力为 500N ，扭矩分别为 $320\text{N} \cdot \text{m}$ 、 $340\text{N} \cdot \text{m}$ 、 $360\text{N} \cdot \text{m}$ 再次进行静应力分析。实验数据如表 4-2 所示。

表 4-2 静应力分析对比

模型与扭矩	100N · m 100N	100N · m 200N	100N · m 300N	100N · m 500N	300N · m 100N
原模型 (mm)	1.910e-002	1.911e-002	1.912e-002	1.914e-002	5.729e-002
原模型新材料(mm)	1.740e-002	1.741e-002	1.742e-002	1.744e-002	5.218e-002
优化模型 (mm)	2.795e-002	2.796e-002	2.797e-002	2.799e-002	6.589e-002

表 4-2 静应力分析对比 (续)

300N · m 200N	300N · m 300N	300N · m 500N	320N · m 500N	340N · m 500N	360N · m 500N	500N · m 500N
5.729e-002	5.730e-002	5.732e-002	6.305e-002	6.496e-002	6.878e-002	9.551e-002
5.219e-002	5.220e-002	5.222e-002	5.743e-002	5.917e-002	6.265e-002	8.700e-002
6.590e-002	6.591e-002	6.593e-002	7.452e-002	7.512e-002	7.572e-002	1.045e-001

由上表数据可知,随着施加在油气分离器模型上的载荷不断增加,它所产生的变形也在呈规律增大,原模型(新材料)和优化模型皆是如此,且扭矩增大产生的变形要比力增大产生的变形要大得多。原模型(新材料)因采用现代先进材料—镍基高温合金,所以他所产生的变形比原模型要小、可以比原模型承受更大的载荷。优化模型所采用的谐波齿轮中的波发生器是按规律产生周期性弹性变形的部件,柔轮是薄壁杯型金属部件,因此它产生的变形要比原模型大,但在载荷消失后,它的变形也会消失。

4.3 仿真计算结果分析

表 4-3 材料特性对比

材料	弹性模量(N/m ²)	抗剪模量(N/m ²)	张力强度(N/m ²)	屈服强度(N/m ²)
可锻铸铁(原模型)	1.9e+011	8.6e+010	4.1e+008	2.8e+008
镍基高温合金 (原模型新材料)	2.1e+011	7.9e+010	6.0e+008	3.0e+008
合金钢(优化模型)	2.1e+011	7.9e+010	7.2e+008	6.2e+008

表 4-3 材料特性对比 (续)

泊松比	热膨胀系数(/K)	热导率(W/(m · K))	比热(J/(kg · K))	最高工作温度(°C)
0.27	1.2e-005	47	510	950
0.28	1.1e-005	14	440	600
0.28	1.3e-005	50	460	550

表 4-4 热力学分析数据

模型与温度	-40℃	+50℃	+110℃	+350℃	是否超过最高工作温度
原模型	2.334e+002	3.235e+002	3.835e+002	6.238e+002	否
优化模型	2.331e+002	3.124e+002	3.741e+002	6.127e+002	否

表 4-5 静应力分析数据

模型与条件	100N·m	300N·m	320N·m	是否小于屈服强度
	100N	300N	500N	
原模型(N/m ²)	8.314e+007	2.494e+008	2.659e+008	是
原模型(新材料)(N/m ²)	8.302e+007	2.491e+008	2.655e+008	是
优化模型(N/m ²)	2.011e+008	6.034e+008	6.199e+008	是

由 4.1、4.2 和表 4-3、表 4-4 和表 4-5，可得出如下分析：

在 SolidWorks 热力学分析后，可以发现随着施加温度的上升，油气分离器所承受的温度也在上升，但因油气分离器处于大气环境下，有空气流动，且材料的导热性能较好，它承受的温度虽然在上升，但却始终低于施加温度。优化模型因材料的导热性能更好，部分结构更加轻薄，它所承受的温度始终低于原模型，散热性相对而言优于原模型。

通过静力学分析，可以看到模型都发生了变形但比较轻微，在可承受范围之内。在使用期内，轻微变形是可以接受的。在相同载荷下，油气分离器原模型使用新材料的模型所产生的变形最小，承载能力要比原模型及优化模型强。原模型使用原材料产生的变形次之。优化模型所产生的变形最大，承载能力相对较弱，但因它结构部件会产生弹性变形、材料具有很好的张力强度和屈服强度，在载荷消失后，变形也会随之消失，优化模型的还原性最好。在力相同的条件下，优化模型所能承受的扭矩最小，在 320 N·m 左右；原模型稍强，在 340 N·m 左右；使用镍基高温合金的原模型的承受扭矩能力最强，在 360 N·m 左右。

机械部件的寿命和环境适应性大多取决于它的材料和结构。油气分离器使用的原材料因当时技术所限，它的性能要远远落后于现代的新材料。因此，在结构不变的情况下，使用新材料—镍基高温合金可以大大提高油气分离器的寿命和环境适应性。优化模型部分结构改变，且使用了合金钢，它的性能有显著提高，寿命和环境适应性会优于原模型。

WP6 在启动时不可避免的会产生振动和温度，这会使它的各部件产生轻微的位移，这属于产品合理范畴。并且适当的位移可以产生阻尼，达到减震的效果，也可以避免过度的疲劳损伤和寿命受损。优化模型的外部结构变化不大，对适航性几乎无影响。

由数据分析，得到以上结论，但不包含部分特殊情况。

第五章 总结和展望

航空发动机油气分离器是滑油系统的重要附件之一，对滑油系统正常、稳定运行有着重要作用。本文以 WP6 航空发动机油气分离器为研究对象，WP6 的油气分离器是典型的离心式油气分离器，它是由发动机轴通过带动转子旋转，利用离心力来分离滑油中的空气，且需消耗一定的功率。

本文已研究内容如下：

1. 查阅相关资料，了解航空发动机油气分离器的国内外研究情况、分类、结构特点、运行方式和作用。并通过拆卸校内的 WP6 航空发动机来深入了解油气分离器的结构特点及运行方式。

2. 利用 Handyscan700 三维激光扫描仪扫描油气分离器，输出模型。用 Geomagic Design X 三维逆向工程软件建立油气分离器模型。再使用 SolidWorks 建立优化模型。

3. 使用 SolidWorks 软件中 simulation 模块对油气分离器原模型和优化模型进行热力学分析和静应力分析，并将原模型使用镍基高温合金进行静应力分析。

4. 通过力学分析结果得出结论：施加相同温度的条件下，优化模型比原模型的温度低，优化模型的散热性更好，可以承受更高的温度；在相同载荷下，原模型使用镍基高温合金产生的变形最小；优化模型的变形最大，但因结构、材料的特性，在载荷消失后，会恢复原形。且因材料、结构的改变，油气分离器的寿命耐久性和环境适应性也有所增强。

本文通过对油气分离器建模、优化及力学分析，得到以上结论。但由于时间的缘故，还有一些问题需进一步研究。

1. 对油气分离器进行 CFD 数值模拟。油气分离器通过 CFD 数值模拟来研究油气分离效率。使用相关软件对油气分离器原模型和优化模型进行分析，得出油气分离效率，两者对比，看优化模型的油气分离效率有无提升，根据结果继续优化油气分离器。

2. 油气分离器与周围结构空间比较紧凑，空间利用率较高，但不利于拆卸维修。可将油气分离器与滑油系统连接部分改为螺栓连接，由滑油系统连接部分设计为螺杆一体化，油气分离器打孔，使用螺栓相连接。

3. 提高油气分离器的转速。通过超高速的转动，可以减轻油气分离器的重量和体积，并且会产生更大的离心力，可以提高油气分离效率。相对而言，材料也需要更好的性能来适应超高转速。

参考文献

- [1] Ma,M,Fan,X.Constraint-based structural modeling and analysis of aeroengine blisk in a concurrent engineering environment[J].Journal of Aerospace Power,1998,13(4):413~417.Oct.
- [2] Ou,H,Lan,J.An FE simulation and optimization approach for the forging of aeroengine components[J].Journal of Materials Processing Technology,2004,9:208~216.
- [3] Timo Laakko,Martti Mantyla.Feature modeling by incremental feature cognition[J].Computer-aided Design,1993,25(8).
- [4] 杨旭.航空发动机滑油系统换热器与分离器实验系统设计[D].哈尔滨工程大学,2014.
- [5] 李明,南丽霞,孙志礼.航空发动机油气分离器分离技术的研究及结构设计[J].机械设计与制造,2007(02):28-30.
- [6] 朱卫兵,王冬兰,张小彬,段安鹏.航空动压式油气分离器分离性能的实验研究[J].推进技术,2016,37(05):852-857.
- [7] 黎林林,谢光华.某型号涡喷发动机滑油系统设计 [J].推进技术,2001(06):493-495.
- [8] 吴剑,金波.航空发动机油气分离器不平衡故障的振动分析与状态监控[J].失效分析与预防,2015,10(02):96-101.
- [9] 段安鹏.动压式油气分离器流场分析及分离性能研究[D].哈尔滨工程大学,2015.
- [10] 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,2011,37(06):49-52+62.
- [11] 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):1-2.
- [12] 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.
- [13] 徐强,张幸红,韩杰才,赫晓东.先进高温材料的研究现状和展望[J].固体火箭技术,2002(03):51-55.

致 谢

2018 年伊始，2022 年为终，大学生涯就要结束了。还记得 2018 年初次踏入校园的喜悦、懵懂以及独自一人外地求学的迷茫。2019 年底，新冠疫情爆发，让本该定样的大学生活变得有些不一样了，意外增加了好多。自疫情以来，时间的流速感觉快了好多，如今已是 2022 年我们该毕业的时候了。

在疫情以来，最应该感谢的就是我们的政府、医务工作人员和防疫人员，是政府一直出的政策，让我们面对新冠肺炎不必害怕、紧张，不管发生什么都会有很好的处理结果，且也是政府的政策让我们可以免费接种疫苗，提高对新冠肺炎的抵抗力；防疫人员两年来不懈的努力和奋斗，让我们的生活无限接近于疫情前的生活，不至于和国外一样与病毒共存。

感谢我的家人，在这 22 年以来一直支持我，包容我，让我在生活方面无所忧、无所虑；在我迷茫、无措的时候给我前进的动力。也是你们的支持让我可以站在你们的肩膀上，看到更大的繁华昌盛。

感谢我的论文指导老师，在论文开始的选题到最后的定稿，每一部分老师都给了我极大的帮助，衷心感谢。其次感谢我这四年所遇到的每一位老师，在专业学习和生活上给我的帮助。

感谢我的朋友。从小到大，遇到的人数不胜数，但成为朋友的只有那么一些人，他们在各个方面给予了我很大帮助，为我的生活增添了很多趣味，让我平常没有那么孤闷，在异乡感受到了温暖。

岁月长河里，仿佛存在着一座座杨柳依依的渡口，每一段光阴逆旅中，有人离船而去，有人登船作伴，然后在下一座渡口又有新的聚散离别。诸君，我们在未来的渡口再见。

愿诸位无病无灾，幸福安康。