



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

本科生毕业设计

航空发动机回油泵结构优化设计及分析
Structural Optimization Design and Analysis of Aero Engine Oil
Return Pump

姓 名 张黔徽

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06月04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

航空发动机回油泵结构优化设计及分析
Structural Optimization Design and Analysis of Aero Engine Oil
Return Pump

姓 名 张黔徽

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06月04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	航空发动机回油泵结构优化设计及分析						
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六航空发动机实物教具并结合学生兴趣能力，制定回油泵优化题目。涡喷六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区有十台退役涡喷-6 航空发动机供学生学习使用。由于涡喷六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，所以对其回油泵部分进行优化。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回油泵的资料，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、整个回油泵是否符合航空发动机外形轮廓等。对优化后的回油泵进行受力分析，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，涡喷六航空发动机，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： 同意</p> <p style="text-align: right;">负责人(签名)：  2021 年 12 月 2 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：航空发动机回油泵结构优化设计及
分析

学 院：航空航天大学

专 业：飞行器制造工程

学生姓名：张黔徽

学 号：18414020110

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

航空发动机为飞机提供动力,是飞机的“心脏”。发动机的性能好坏和可靠性高低都会对飞机性能和安全性能有着重要的影响。人类航空史的发展都与发动机技术息息相关。回油系统是航空发动机滑油系统的重要组成部分。回油系统从轴承腔开始,到滑油箱结束,其中包括回油泵等。如果飞机出现回油系统问题,应尽快判断出故障的原因及位置,确保飞机正常工作效率及安全性能。

航空发动机回油系统起着收集完成润滑和冷却作用的润滑油,回油系统主要包括回油滤、回油泵和收油池,而回油泵就是将润滑油抽回回油箱,并分离油中的空气,以便循环使用^[1]。

国外现状:为了提高工作可靠性及延长机械部件的寿命,现代的先进发动机(如CFM56、CF6-80C2、RB211-535E4、V2500和F100等)都采用改进了设计的滑油系统。在以往的发动机中,只在回油泵进口处安装粗滤网;在新一代滑油系统中,回油总管装有细油滤,其过滤度高于进油系统中细油滤的。由于润滑后的滑油以较清洁状态返回油箱,油箱便成为净化油箱。在这种情况下,回油总管油滤保证流向轴承与齿轮等处的滑油具有充分的清洁度,且均带旁路安全活门,增压油滤仅作为一种备用装置,装或不装旁路活门均可^[2]。

国内现状:目前国内主要沿用俄罗斯早期回油供油比4:1的规范,即对于某一个油池,其回油泵的设计流量应大于其总供油量的4倍。该规范虽然在一定程度上可以确保发动机的供回油协调,但其建立在早期自由通风的滑油系统基础上,随着航空发动机的发展,仅用此规范进行滑油系统设计是不精确的,其供回油比还必须考虑发动机通风和滑油泵的高空性等情况。但到目前为止,国内外还未见到相关报道,这方面的研究还有待进行^[3]。

通过对涡喷六发动机滑油系统部件进行拆卸,弄明白滑油系统中回油系统的基本结构以及工作原理,发现回油系统主要是由回油滤、回油泵和收油池组成。由于涡喷六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,所以我对其回油泵部分进行优化,使其在原有设计基础上进一步优化性能,提升维护便利性。

2. 毕业设计（论文）课题任务的内容和要求

工作内容：

1.分析回油系统结构的不足

首先对原回油系统进行 3D 建模，分析系统中结构的不足之处；

2.优化回油系统结构分析

对回油系统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] 郑维新,何彦良,李壮.某型航空发动机滑油系统故障分析[J].中国科技纵横,2013(6).
- [2] 陈光.航空发动机结构设计分析(第 2 版)[M].北京航空航天大学出版社,2006.
- [3] 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).
- [4] 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).
- [5] 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).
- [6] Schultz W E. Ball bearing heat analysis program [R]. NASA- CR- 150910.
- [7] TCM.IO-360 Series ENGINE MAINTENANCE AND OVERHAUL MANUAL [M].2014.
- [8] Kim J, Park S, Seok C. Simulation of shift force for a manual transmission [J] Automobile Engineering, 2013, 217(D):573-581.
- [9] 张银波,闫国华.航空发动机原理与构造[M].中国民航出版社,2019.
- [10] 刘长福.航空发机构造[M].国防工业出版社,1989.
- [11] 王炳辉,赵新伟,廉亚星.某型发动机滑油异常增多故障分析[J].航空维修与工程,2021(08).
- [12] 李国权.航空发动机滑油系统的防虹吸[J].航空发动机,2007,33(1).

所在专业审查意见：

同意

负责人： 

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：航空发动机回油泵结构优化设计
及分析

学 院： 航空航天学院

专 业： 飞行器制造工程

学生姓名： 张黔徽

学 号： 18414020110

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

涡喷六是在苏制 Pд-9B 喷气发动机基础上仿制并发展而形成的一个发动机系列型号。另外，涡喷六航空发动机是第一台成功应用中国独创的沙丘驻涡火焰稳定器的型号，由此彻底解决了原型机所固有的震荡燃烧现象。回油泵是航空发动机回油系统的重要部件，如果飞机出现回油泵问题，应尽快判断出回油泵故障的原因，确保飞机正常工作效率及安全性能。

国内现状：为了提高工作可靠性及延长机械部件的寿命，现代先进发动机（如 CFM56、CF6-80C2、RB211-535E4、V2500 和 F100 等）都采用改进了设计的滑油系统。在以往的发动机中，只在回油泵进口处安装粗滤网；在新一代滑油系统中，回油总管装有细油滤，其过滤度高于进油系统中细油滤的。由于润滑后的滑油以较清洁状态返回油箱，油箱便成为净化油箱。在这种情况下，回油总管油滤保证流向轴承与齿轮等处的滑油具有充分的清洁度，且均带旁路安全活门，增压油滤仅作为一种备用装置，装或不装旁路活门均可^[1]。

国外现状：目前国内主要沿用俄罗斯早期回油供油比 4:1 的规范，即对于某一个油池，其回油泵的设计流量应大于其总供油量的 4 倍。该规范虽然在一定程度上可以确保发动机的供回油协调，但其建立在早期自由通风的滑油系统基础上，随着航空发动机的发展，仅用此规范进行滑油系统设计是不精确的，其供回油比还必须考虑发动机通风和滑油泵的高空性等情况。但到目前为止，国内外还未见到相关报道，这方面的研究还有待进行^[2]。

（二）课题的目的和意义

本次论文研究的机型是涡喷六航空发动机。回油系统是航空发动机的重要组成部分。回油系统包括回油泵、回油滤、油气分离器以及收油池。航空发动机润滑系统中供至各齿轮、轴承及封严装置的滑油因经受运动零件的高速搅动后卷入了大量空气。而为了抽回这些滑油往往要求回油系统里的各个部件的功能更加良好、结构更加简单。如果改进回油系统的部件结构功能，可以提高航空发动机回油效率^[3]。

（三）主要内容

1. 分析回油泵结构的不足

首先对原回油泵进行 3D 建模，分析系统中结构的不足之处；

2. 优化回油泵结构分析

对回油泵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. 优化后与原模型对比分析

将最终优化系统与原结构进行总体的 3D 仿真对比分析，比如材料、强度、等性能测试得出最优方案。

为了简化并使回油泵总体结构更易于维修，提高清洁度和回油效率，以保证使用的可靠性

以及维修的简便化。通过使用 SolidWorks 三维制图软件将改进之后的回油泵结构进行建模，再对回油泵的总体结构分析。对它的外形构造进行一定的设计改进,将原回油泵头上的圆柱体插销改为圆锥体插销结构，因为滑油具有高粘度，圆锥体的设计减小了滑油的阻力，增加了流动性，更符合流体力学的要求，进一步提高回油效率。将原来的回油滤网改进为磁性的，因为在滑油系统里存在一些金属颗粒杂质，使用磁性的滤网可以有效地过滤掉杂质，减少了回油系统的事故率，进一步提高工作效率。在对结构设计改进后与原结构进行初步对比分析，得出优化模型，得出初步结论，最后再与最终优化后的结构进行 3D 仿真对比分析，对结构的材料、强度等性能进行改进，最后得出最优方案。

(四)参考文献:

- [1] 郑维新,何彦良,李壮.某型航空发动机滑油系统故障分析[J].中国科技纵横,2013(6).
- [2] 陈光.航空发动机结构设计分析(第2版)[M].北京航空航天大学出版社,2006.
- [3] 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).
- [4] 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).
- [5] 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).
- [6] Schultz W E. Ball bearing heat analysis program [R]. NASA- CR- 150910.
- [7] TCM.IO-360 Series ENGINE MAINTENANCE AND OVERHAUL MANUAL [M].2014.
- [8] Kim J, Park S, Seok C. Simulation of shift force for a manual transmission [J] Automobile Engineering, 2013, 217(D):573-581.
- [9] 张银波,闫国华.航空发动机原理与构造[M].中国民航出版社,2019.
- [10] 刘长福.航空发动机构造[M].国防工业出版社,1989.
- [11] 王炳辉,赵新伟,廉亚星.某型发动机滑油异常增多故障分析[J].航空维修与工程,2021(08).
- [12] 李国权.航空发动机滑油系统的防虹吸[J].航空发动机,2007,33(1).

二、进度及预期结果		
起止日期	主要内容	预期结果
2021.12.04-2021.12.31	确定题目，查阅相关文献资料。	方案科学、合理、完整、充分。
2022.01.01-2022.01.31	初步建模，分析不足，确定改进方案。	完成初步建模及改进方案。
2022.02.01-2022.02.28	改进建模，撰写开题报告。	改进建模，写出开题报告。
2022.03.01-2022.03.30	仿真对比分析并进行修改，撰写论文	对比分析后撰写出论文。
2022.04.01-2022.05.10	修改并完善论文。	论文定稿。
2022.05.11-2022.06.03	论文查重和答辩。	
完成课题的 现有条件	航空发动机实训场地 WP6 发动机及其配套的专用发动机拆装检测工具 SolidWorks 软件	
指导教师 意见	同意 指导教师： <u>福巍</u> <u>2022</u> 年 <u>3</u> 月 <u>5</u> 日	
开题答辩 小组意见	同意 组 长： <u>刘金利</u> <u>2022</u> 年 <u>3</u> 月 <u>5</u> 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：张黔徽

2022年6月4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13日

摘 要

对于航空发动机，回油泵是非常重要的部分。回油泵是将润滑了各部件后的滑油抽回至油箱内。航空发动机必须拥有良好的回油能力并且保证高的回油效率，回油泵的工作特性和能力将会直接影响到航空发动机滑油系统的润滑能力和清洁能力，甚至关系到整个航空发动机的安全。

本次回油泵结构优化使用的航空发动机是涡喷六航空发动机。通过发动机拆装实训，对回油系统进行拆装，发现回油系统主要由回油泵、回油滤网、油气分离器和收油池组成。与导师沟通后，发现回油泵还有一些不足的地方。使用 SolidWorks 三维制图软件对回油泵进行建模，改变原回油泵的圆柱体的销子结构，采用圆锥体式结构，以提高滑油的流动性。改变回油滤网的结构，采用磁性滤网，减少金属杂质。以及改变油气分离器的进口面积。

关键词：回油泵；磁性滤网；油气分离器；圆锥体式

ABSTRACT

For aero engine, the oil return system is a very important part. The oil return pump is to pump the lubricating oil after lubricating the components back into the oil tank. Aero engine must have good oil scavenging ability and ensure high oil return efficiency. The working characteristics and capabilities of oil return pump will directly affect the lubricating ability and cleaning ability of aero engine lubricating oil system, and even related to the safety of the whole aero engine.

The aero engine used for structural optimization of the return pump is the turbojet 6 aero engine. Through the engine disassembly training class learning. When disassembling and assembling the return pump, found that it is mainly composed of the oil return pump, oil filter, oil and gas separator and the oil receiving pool. After communication with my tutor, I found that there are still some deficiencies in the return pump. And use SolidWorks 3d drawing software for modeling of the return pump, change the cylindrical pin structure of the original oil return pump, and adopt the conical structure, to improve the fluidity of the oil. Change the structure of the oil return filter and use a magnetic filter to reduce metal impurities. As well as changing the inlet area of the oil and gas separator.

Key words : Oil Return Pump ; Magnetic Filter ; Oil and Gas Separator; Conical Structure

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	发动机回油系统的组成	3
2.3	方案考虑	3
2.4	研究过程简述	4
第三章	回油泵结构分析及优化	5
3.1	SOLIDWORKS 三维制图软件介绍	5
3.2	回油泵三维建模	5
3.3	回油滤网三维建模	8
3.4	回油泵结构优化	8
3.5	回油滤网结构优化	9
第四章	原模型及优化模型仿真结果对比	10
4.1	SOLIDWORKS SIMULATION 介绍	10
4.2	回油泵热应力分析	10
4.3	ANSYS FLUENT 流体仿真软件介绍	14
4.4	回油泵流体分析	14
4.5	回油滤网热应力分析	19
4.6	回油滤网流体分析	23
第五章	不足和展望	27
	参考文献	28
	致谢	29

第一章 绪论

1.1 论文选题背景

航空发动机为飞机提供动力,是飞机的心脏。发动机的性能好坏会对飞行性能和安全性能有着重要的影响。人类航空史的发展都与发动机技术息息相关。回油泵是航空发动机回油系统里非常重要的一部分。回油系统从轴承腔开始,到滑油箱结束。航空发动机回油系统包括四个主要部件,分别是回油泵、回油滤网、油气分离器以及收油池,其中包括回油泵^[1]。

如果飞机回油泵出现问题,应立即判断出故障原因,确保飞机的正常工作效率及安全性能。如今随着科技的迅速发展,能够独立对飞机进行研发设计制造,进一步说能对航空发动机的独立研制,这越来越彰显国家的综合实力。航空发动机性能指标的好坏,也关系着我国航空产业的发展。我国航空发动机的研制是从上世纪六十年代,我国航空发动机经历了“维护使用-测绘仿制-型号研制-开展预研”的反过程。当前的航空发动机,虽然已经有了很大的进步,但仍有一些难题尚未解决,比如加工工艺、材料性能等。

本次论文研究的机型是涡喷六航空发动机^[2]。在整个滑油系统中,回油系统起着非常重要的作用,回油系统主要包括回油泵、回油滤网、油气分离器以及收油池。航空发动机润滑系统中供至各齿轮、轴承及封严装置的滑油因经受运动零件的高速搅动后卷入了大量空气^[3]。而为了抽回这些润滑油,往往要求回油系统里的各个部件的功能更加良好、结构更加简单。如果改进回油系统的部件结构功能,可以提高航空发动机回油效率。

1.2 国内外研究现状分析

目前国内主要沿用俄罗斯早期回油供油比 4:1 的规范,即对于某一个油池,其回油泵的设计流量应大于其总供油量的 4 倍。此规范虽在一定程度上可以确保发动机的供回油协调,但其建立在早期自由通风的滑油系统基础上,随着航空发动机的发展,仅用此规范进行滑油系统设计是不精确的,其供回油比还必须考虑发动机通风和滑油泵的高空性等情况。但到目前为止,国内外还未见到相关报道,这方面的研究还有待进行^[4]。

为了提高工作可靠性及延长机械部件的寿命,现代的先进发动机(如 CFM56、CF6-80C2、RB211-535E4、V2500 和 F100 等)都采用改进设计的滑油系统。在以往的发动机中,只在回油泵进口处安装粗滤网;在新一代滑油系统中,回油总管装有细油滤,其过滤度高于进油系统中细油滤的。由于润滑后的滑油以较清洁状态返回油箱,油箱便成为净化油箱。在这种情况下,回油总管油滤保证流向轴承与齿轮等处的滑油具有充分的清洁度,且均带旁路安全活门,增压油滤仅作为一种备用装置,装或不装旁路活门均可。发动机正常工作时,流向轴承等处的滑油中的污粒尺寸不大于 30 μm (由回油滤保证)^[5]。

1.3 论文的研究内容

本文主要对航空发动机回油泵和回油滤网进行结构优化,因在进行航空发动机拆装实训时发现,涡喷六航空发动机是我在学校可利用的现有资源,我对回油泵的结构很感兴趣,回油泵易挂油,影响了滑油的流动,所以我选用涡喷六航空发动机为我的研究对象。

利用 SolidWorks 对原模型进行建模,然后对它进行结构上的优化,并对优化模型进行三维建模,接着对模型进行热载荷分析和流体仿真分析,得出结果后并对对优化后的模型进行仿真分析,得出初步方案。需要查询航空发动机回油泵和回油滤网的材料,对比材料性能,选择性能参数更好的材料,再进一步对比仿真受力分析结果,得出最优方案。最后通过对比仿真分析得出的数据,得出结论,并对研究的不足之处进行解释说明。

关于对涡喷六回油泵和回油滤网的结构优化,本文主要研究以下几个方面:

研究内容 1: 分析回油泵和回油滤网结构的不足;

研究内容 2: 建立模型并设计优化方案;

研究内容 3: 对比分析原模型和优化模型并得出结论。

第二章 总体方案介绍

2.1 课题研究对象简介

涡喷六航空发动机作为本次课题的研究对象，学校开设了涡喷六的实训课程，为了对回油泵更深入的了解，在对回油泵进行结构优化之前，首先要查阅航空发动机回油泵的相关资料，然后对回油泵进行装配拆卸。并且在拆卸的过程中，了解整个回油系统部件组成与功能，详细记录回油泵各尺寸，方便进行三维建模。

涡喷六航空发动机的原样机是前苏联的米格-19 飞机的动力装置，并发展形成的，涡喷六航空发动机也是成功应用于沙丘驻涡火焰稳定器的型号，并解决了原型机所产生的振荡燃烧现象。

2.2 发动机回油系统的组成

航空发动机回油系统的功用是将润滑后存在大量空气的滑油流到各收油池内，然后由回油泵抽取，送至油气分离器，清除掉含有气体的滑油，又通过回油滤网，过滤掉杂质后最终返回滑油箱内。

航空发动机回油系统包括四个主要部件，分别是回油泵、回油滤网、油气分离器以及收油池。下面简单介绍各部分的功能。

回油泵：将润滑各部件后的剩余滑油从收油池内抽出，返还至滑油箱内。

回油滤网：主要是将滑油里的杂质颗粒过滤，起到减少污染的作用，从而提高回油效率。

油气分离器：润滑油在航空发动机的轴承和齿轮中进行润滑和冷却时不可避免地会混入气体，空气的混入通常会减小换热效率，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在滑油油箱前设计一个油气分离器用于分离滑油和空气^[6]。

收油池：收油池都是多个一起完成工作，主要是将润滑清洁了各部件的滑油收集，并经回油泵返还至滑油箱内。

2.3 方案考虑

本次论文的研究对象主要是涡喷六航空发动机的回油泵，对该部件进行结构优化，由于该结构在飞机在整个使用滑油的部分都起到至关重要的作用，所以在设计优化方案时，需考虑以下几点：

1. 散热性：航空发动机在回油过程中，因各零件的高速转动导致滑油温度非常高。因此要确保回油泵的散热性。

2. 流动性：因滑油在工作过程中是以油气两相混合状态流动，存在大量空气对系

统不利，因此要考虑滑油的流动性。

3. 耐久性：在飞机服役过程中，保证回油泵装置的耐久性。

4. 环境适应性：发动机要适应不同的飞行环境，比如温度、压强、干燥、潮湿、

霉菌、盐雾等多变环境下均适用。

5. 适航性：适航是指航空器在预期环境和使用限制下包括其部件及子系统的整体

性能和操作性能的系统安全性和物理完整性^[7]，比如在结构强度、防火、喘振、结冰、外物吸入等因素下。

2.4 研究过程简述

因在学校课程实训中，涡喷六航空发动机是我在学校可利用的现有资源，我对回油泵的结构很感兴趣，所以我选用涡喷六航空发动机为我的研究对象。首先对涡喷六进行拆卸工作，找到回油系统。对回油泵进行拆卸，并测量主要尺寸参数。发现回油系统主要分为四部分，回油泵、回油滤、油气分离器以及收油池。绘制出三维模型。查阅资料，对回油泵提出优化方案，与导师沟通，商量方案的可行性。并绘制出优化模型，进行仿真对比分析，最后得出结论。

第三章 回油泵结构分析及优化

3.1 SolidWorks 三维制图软件介绍

SolidWorks 是美国达索系统下的一家子公司，是世界上最早采用 Windows 发布的三维 CAD 软件系统。SolidWorks 软件系统功能强大、组件丰富,其独特的拖拽功能能让使用者可以在较短的时间内进行大型装配工程设计，主要由零件建模、曲面建模、钣金设计、帮助文件等组成。SolidWorks 提供了非常强大的实体建模功能。通过拉伸、切除、旋转、放样、阵列以及打孔等操作来实现产品的设计。通过对特征和草图的编辑，利用拖拽功能实时进行修改。三维草图功能通过放样、扫描和填充生成三维草图路径，实现曲面建模。SolidWorks 能够直接使用各种类型的法兰、薄片等表面特征，正交设计切除、角处理以及边线切割等钣金操作也变得非常容易了。在零件设计完成之后，可以进行装配体设计。能够动态检测装配体的运动，同时也能够对正在移动的零件进行干涉检测。

3.2 回油泵三维建模

本次利用 SolidWorks 进行三维建模，下面介绍回油泵的建模过：

1.打开 SolidWorks，并新建零件，首先绘制回流槽。上视基准面，打开草图，画圆，并根据实际测量尺寸对当前平面草图进行标注（直径为 40 mm），完成壳体草图。对平面图形进行 Z 方向拉伸 50mm，得到圆柱体。

2.然后圆柱体进行切除命令，在上视基准面画一圆（直径为 33 mm），切除深度为 8 mm，再画一个圆（直径为 28 mm），进行切除，切除深度为 2 mm，如图 3-1 所示。

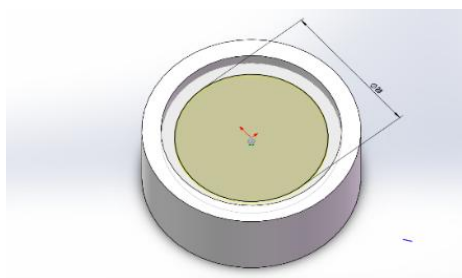


图 3-1 回流槽外壳

3.然后对回流槽槽体内进行凸台拉伸，作草图，利用三点圆弧确定圆心，以 15 mm 为半径，画出一个封闭的矩形，对其向 Z 方向拉伸 4 mm，并进行圆周阵列。

4.接着作一直径为 3 mm 的圆，进行以 Z 方向凸台拉伸 12 mm，并切除以 1 毫米直径的孔，绘制出连接轴，如图 3-2 所示。

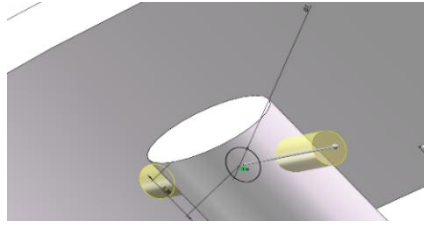


图 3-2 连接轴

5.将连接轴和回流槽进行同心配合，最后得到回流槽的模型。如图 3-3 所示。

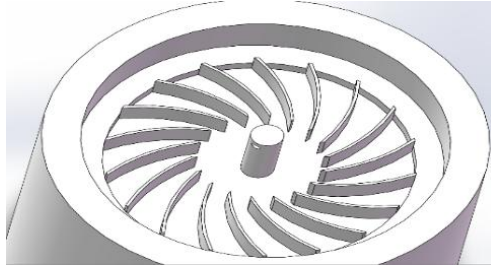


图 3-3 回流槽

6.新建零件，对回油泵进行建模，首先以上视基准面作一直径为 7 mm 的圆，以 Z 方向拉伸 4 mm，将上表面以圆直径为旋转轴进行旋转，如图 3-4 所示。

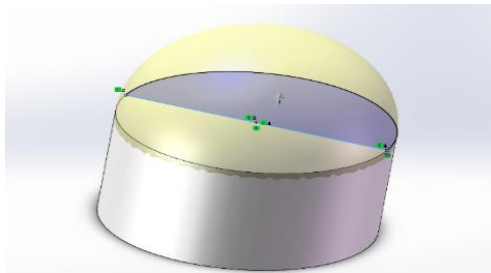


图 3-4 泵体

7.然后以右视基准面新建一个基准面 1，对扇叶进行草图绘制，以 10 mm 为扇叶半径，厚度为 1 mm，扇叶顶部与底部相距 2.5 mm。最后对其放样命令，并进行圆周阵列，将扇叶进行圆角处理，圆角半径为 1 mm，如图 3-5 所示。

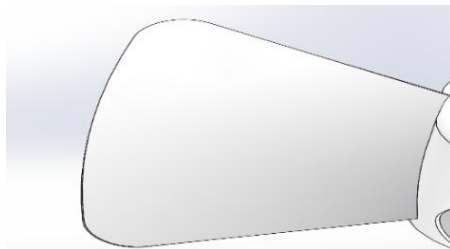


图 3-5 叶片

8.作一直径为 20 mm 的圆，约束回油泵体的形状，然后进行以 Z 方向的拉伸切除，选择项为完全贯穿。然后在回油泵壳体上作一直径为 1 mm 的圆，对其切除，切除深度为 8 mm，如图 3-6 所示。

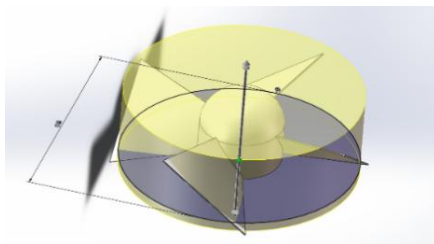


图 3-6 切除

9.对回油泵底部作一直径为 3 mm 的圆，进行切除命令，切除深度为 8 mm，得到回油泵的建模，如图 3-7 所示。

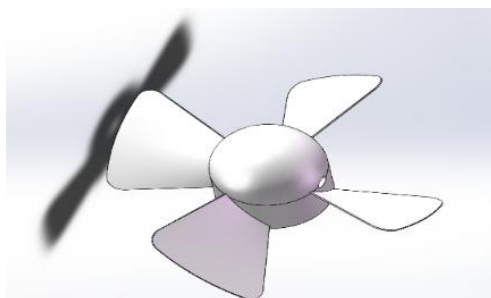


图 3-7 回油泵

10.作出圆柱体销子，新建零件，以上视基准面进行草图绘制，作一直径为 1 mm 的圆，拉伸 8 mm 得到此零件，如图 3-8 所示。

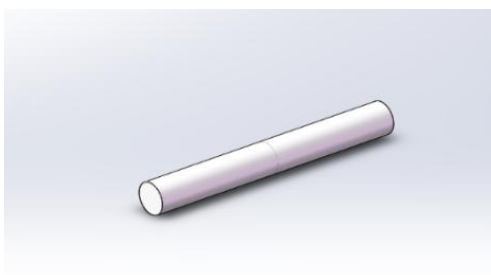


图 3-8 圆柱体销子

11.零件模型建完之后，开始进行装配，首先导入各个零件，首先将销子和回油泵配合，使用同心配合将其固定在一起，然后将回油泵和回流槽配合，使用同心关系把回油泵固定在回流槽体的连接轴上，得到最后完整的回油泵装配体结构，如图 3-9 所示。

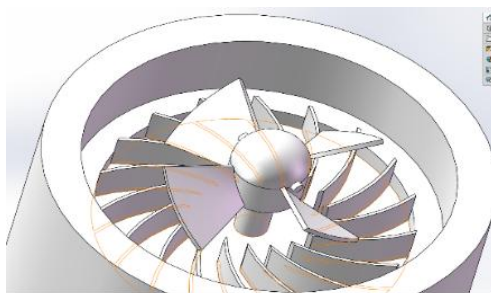


图 3-9 回油泵装配体

3.3 回油滤网三维建模

回油滤网的三维建模过程如下：

1.打开 SolidWorks 三位制图软件，创建新零件文件，选择上视基准面进行草图绘制，作一 40 mm 的圆，拉伸 1 mm，再在表面画直径为 28 mm 和 18 mm 的圆，然后对其表面进行填充阵列，选项为圆周，实例间距为 2 mm，边距为 1 mm，特征和面选项选择为生成源切。得到回油滤网建模模型，如图 3-10 所示。

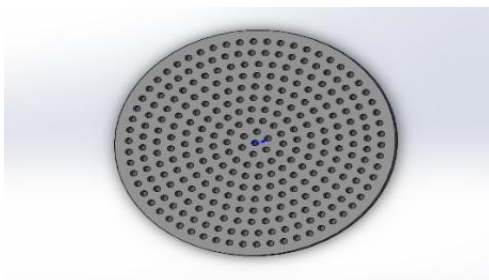


图 3-10 回油滤网

3.4 回油泵结构优化

回油泵，顾名思义，就是对滑油进行回油的装置。在大四涡喷六航空发动机拆装实训课程里，第一次接触到回油泵，经过对回油泵的拆装，我发现回油泵体存在一些油渍，所以在本次课题选择时，重点选择对回油泵进行进行结构优化。在大三的时候接触到空气动力学这门课程，了解到关于流体的知识。在与导师交流之后，我选择对回油泵体外壳上的圆柱体插销进行结构优化改进，将圆柱体外形改为圆锥体的外形。

回油泵优化模型建模过程如下：

1.绘制回油泵外壳，新建零件，选择前视基准面。以原点为中心作一个以 1 毫米为直径的圆，进行凸台拉伸，两侧对称，拉伸长度为 8 mm，进行倒角，选择距离为 0.4 mm，角度为 45°。得到圆锥体的销子，如图 3-11 所示。

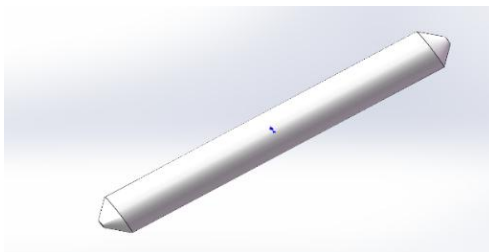


图 3-11 销子

2.最后将此圆锥体销子进行装配得到优化后的回油泵模型，如图 3-12 所示。

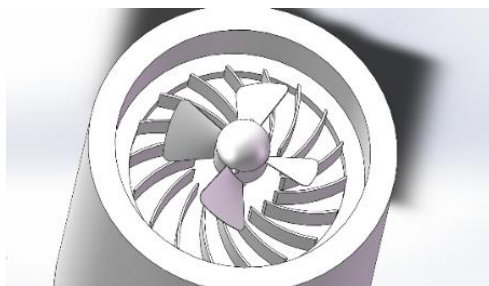


图 3-12 优化模型

3.5 回油滤网结构优化

回油滤网在整个回油系统中起着至关重要的作用，因为在发动机高速运动过程中，会产生一些金属杂质，使得滑油并不那么纯净，有可能一些非常细小的杂质会顺着滑油返还至收油池内，还是会影响滑油的质量，从而影响了回油效率。我的想法就是把回油滤网设计成磁性的回油滤网，这样就会吸附住这些金属杂质，回油滤网还有一个功能，因为各零件转动会卷入空气，所以滑油会产生气泡，回油滤网可以起到隔离气泡的作用，这样会使得后续油气分离器工作负担减小，使油气分离器性能得到提高，从而提高回油效率。

第四章 原模型及优化模型仿真结果对比

4.1 SolidWorks Simulation 介绍

本节将运用 SolidWorks 里的插件 Simulation。Simulation 用于分析设计，评估其性能并做出决策以提高产品质量。Simulation 是完全集成的，Simulation 插件包含两个分析模块，静应力分析和热力学分析。静应力分析用来分析结构在给定静力载荷作用下的响应，主要关注结构的位移、应力等参数。热力学主要包括对材料的定义、网格划分以及对力和作用面进行定义。SolidWorks Simulation 可以提供大多分析功能。比如，做应力分析、热分析、频率分析以及弯曲分析等工程中会经常遇到的一些问题。因此我可以利用它的分析结果作为我论文的数据支撑。

4.2 回油泵热应力分析

由于回油泵处于滑油流动的工作环境条件，回油系统的各部分零件的高速转动，随之使得滑油也处于高速循环流动的状态，会产生热量，温度的高低可能会使得回油泵的工作效率有所改变，因此有必要对回油泵进行热应力分析。

4.2.1 回油泵热应力分析过程

首先打开 Simulation 插件对结构进行材料定义，经询问老师和查询资料发现，涡喷六回油泵外使用材料为低合金钢，我将采用钛合金作为优化模型材料。以下分别是低合金钢与钛合金的材料性能，如表 4-1 所示。

表 4-1 材料性能参数

材料	弹性模量 E (N/m ²)	泊松比 V	热膨胀系数 α (/K)	屈服强度 σ_s (N/m ²)	密度 ρ (kg/m ³)
低合金钢	2.05e+11	0.32	1.23e-05	7.1e+8	7850
钛合金	1.048e+11	0.31	9e-06	8.274e+8	4429

因为回油泵的工作环境温度大约在 -50~+200°C 之间，所以我选取 -50°C、0°C、+50°C、+100°C 和 +200°C 作为温度点进行分析，分析如下。

当原回油泵结构温度设为 -50°C 时，对其进行热应力计算，数据结果如下图 4-1 和图 4-2 所示（应力和位移）。

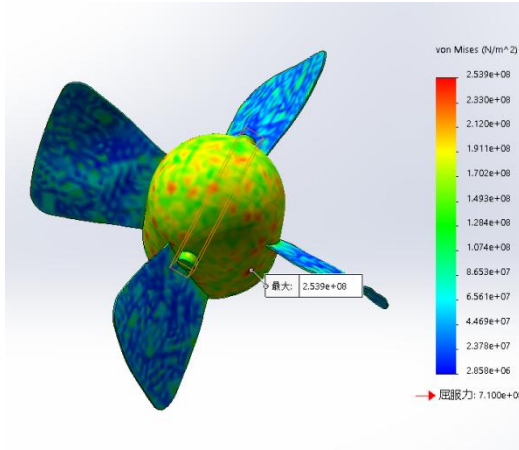


图 4-1 应力

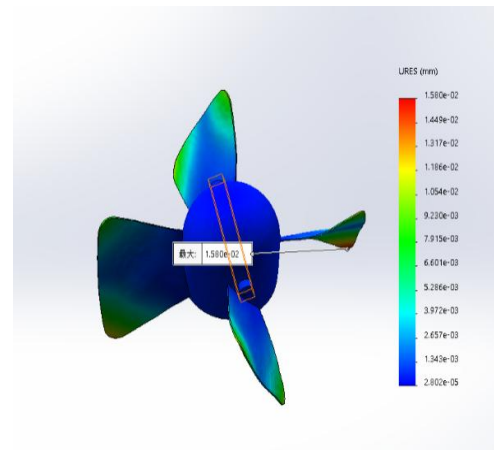


图 4-2 位移

当优化回油泵结构温度设为 -50°C 时，对其进行热应力计算，数据结果如下图 4-3 和图 4-4 所示（应力和位移）。

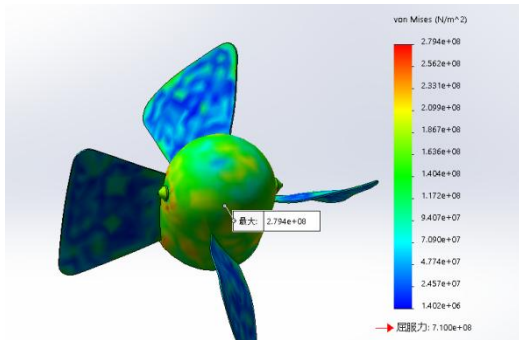


图 4-3 应力

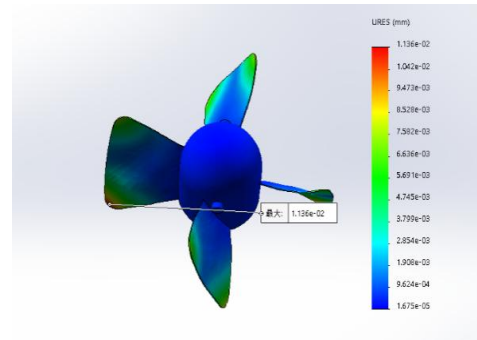


图 4-4 位移

当原回油泵结构温度设为 0°C 时，对其进行热应力计算，数据结果如下图 4-5 和图 4-6 所示（应力和位移）。

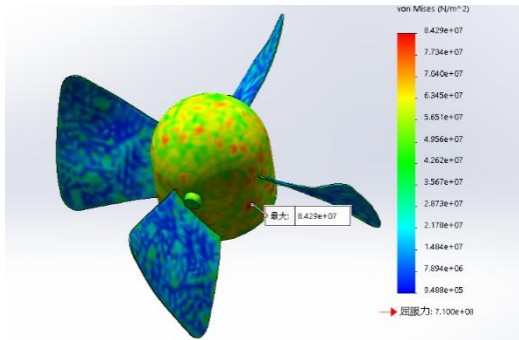


图 4-5 应力

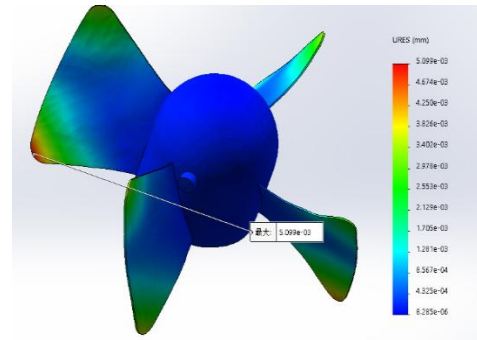


图 4-6 位移

当优化回油泵结构温度设为 0°C 时，对其进行热应力计算，数据结果如下图 4-7 和图 4-8 所示（应力和位移）。

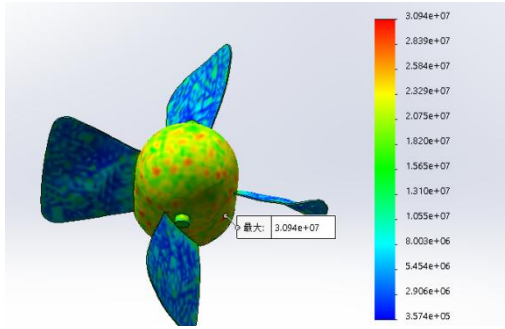


图 4-7 应力

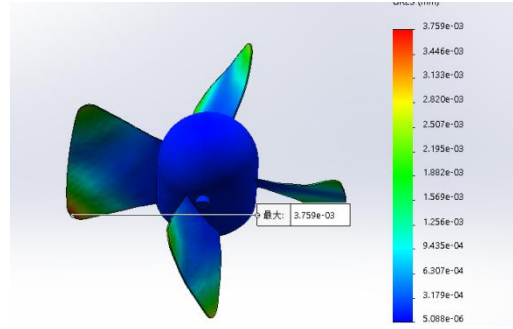


图 4-8 位移

当原回油泵结构温度设为+50℃时，对其进行热应力计算，数据结果如下图 4-9 和图 4-10 所示（应力和位移）。

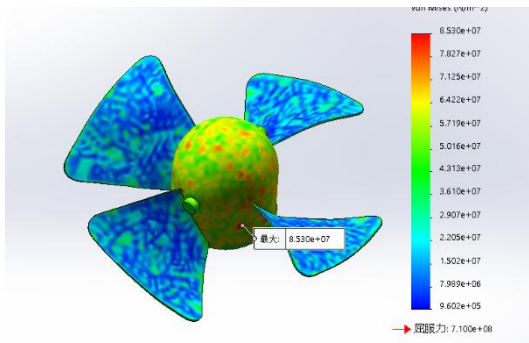


图 4-9 应力

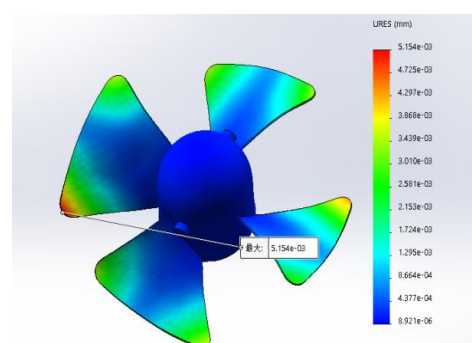


图 4-10 位移

当优化回油泵结构温度设为+50℃时，对其进行热应力计算，数据结果如下图 4-11 和图 4-12 所示（应力和位移）。

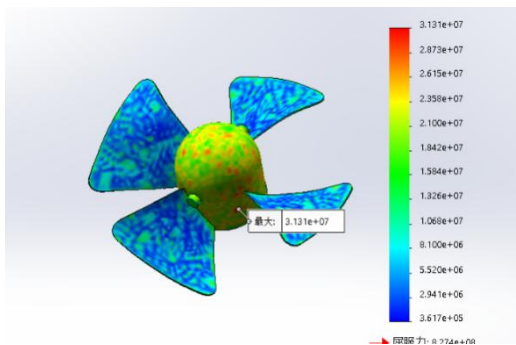


图 4-11 应力

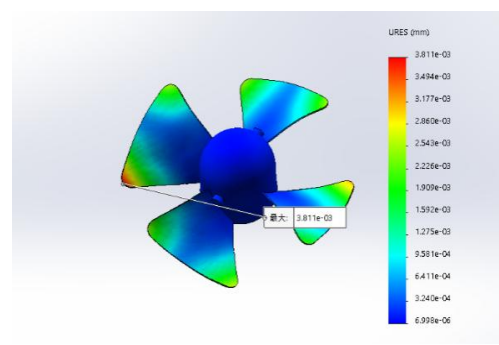


图 4-12 位移

当原回油泵结构温度设为+100℃时，对其进行热应力计算，数据结果如下图 4-13 和图 4-14 所示（应力和位移）。

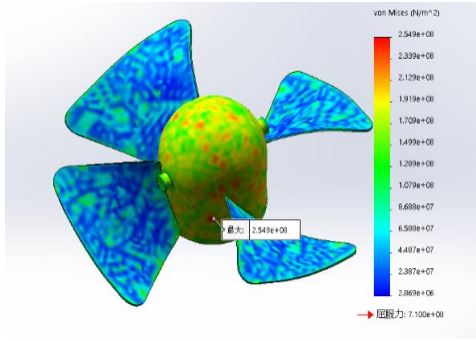


图 4-13 应力

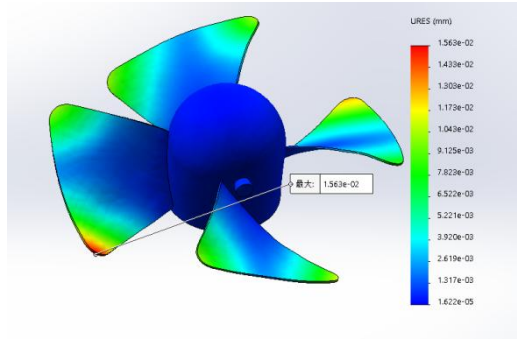


图 4-14 位移

当优化回油泵结构温度设为+100°C时，对其进行热应力计算，数据结果如下图 4-15 和图 4-16 所示（应力和位移）。

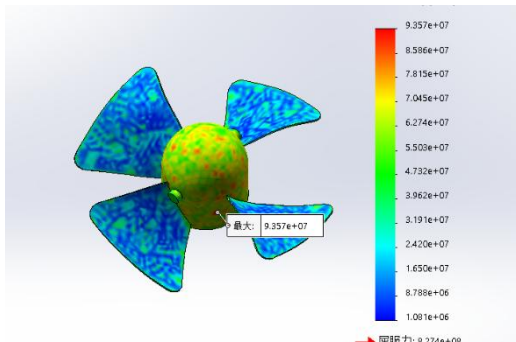


图 4-15 应力

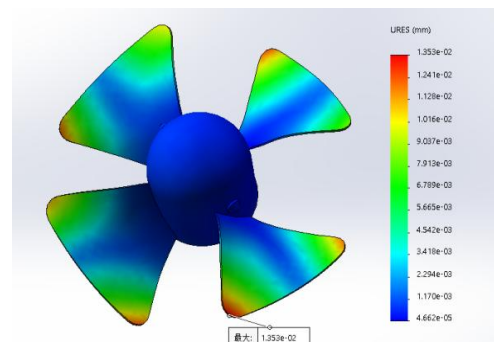


图 4-16 位移

当原回油泵结构温度设为+200°C时，对其进行热应力计算，数据结果如下图 4-17 和图 4-18 所示（应力和位移）。

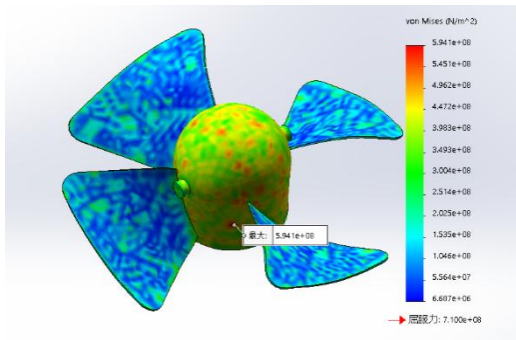


图 4-17 应力

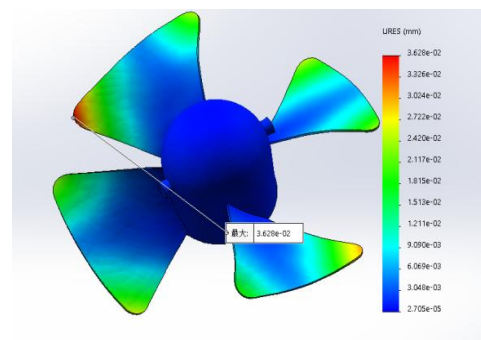


图 4-18 位移

当优化回油泵结构温度设为+200°C时，对其进行热应力计算，数据结果如下图 4-19 和图 4-20 所示（应力和位移）。

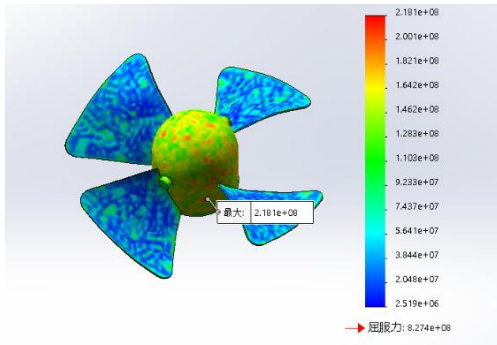


图 4-19 应力

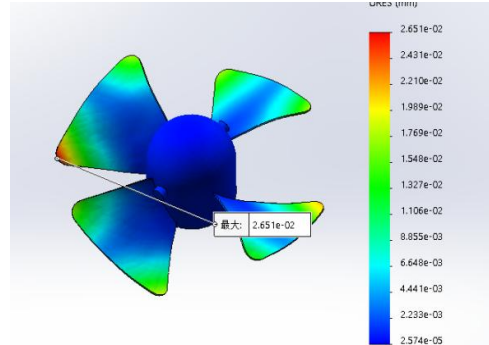


图 4-20 位移

4.2.2 回油泵热应力仿真对比

根据 4.2.1 节得出的实验数据，分别将原回油泵结构以及优化后的回油泵结构在 -50°C 、 0°C 、 $+50^{\circ}\text{C}$ 、 $+100^{\circ}\text{C}$ 和 $+200^{\circ}\text{C}$ 的温度条件下，实验数据见表 4-2。

表 4-2 热应力仿真分析

温度	-50°C	0°C	$+50^{\circ}\text{C}$	$+100^{\circ}\text{C}$	$+200^{\circ}\text{C}$
原模型 (mm)	1.580e-02	5.099e-03	5.154e-03	1.563e-02	3.628e-02
优化模型 (mm)	1.394e-02	4.475e-03	4.515e-03	1.353e-02	3.200e-02

表 4-3 热应力仿真分析

温度	-50°C	0°C	$+100^{\circ}\text{C}$	$+200^{\circ}\text{C}$	是否符合设计要求
原模型 (mm)	1.580e-02	5.099e-03	1.563e-02	3.628e-02	是
优化模型 (mm)	1.394e-02	4.475e-03	1.353e-02	3.200e-02	是

针对表 4-2 的热应力分析数据，根据温度特性选取低温特性、零度特性、中温特性以及高温特性选取四个点的温度参数作为分析参考温度点，温度点分别为 -50°C 、 0°C 、 $+100^{\circ}\text{C}$ 及 $+200^{\circ}\text{C}$ 。通过查询原模型的材料特性，发现原模型热应力分析时的最大屈服强度 ($5.941\text{e}+08$) MPa 小于低合金钢的屈服强度 ($7.1\text{e}+08$) MPa，故满足设计要求。同样的，优化模型的热应力分析时达到的最大屈服强度 ($2.181\text{e}+08$) MPa 小于钛合金的屈服强度 ($8.274\text{e}+08$) MPa，符合设计要求，如表 4-3 所示。

4.3 ANSYS FLUENT 流体仿真软件介绍

FLUENT 是通用 CFD 软件包，FLUENT 软件在国内外都是比较流行的软件

之一。主要是用来模拟从不可压缩到高度压缩范围内的复杂流动，FLUENT 模块主要包括前处理软件、求解器、后处理器，主要计算流体流动和热传导模型，包含了基于压力的求解器和基于密度的显式、隐式求解器，FLUENT 运用了多种求解方法以及多重网格加速收敛技术，用于模拟超音速、传热、多相流、化学反应与燃烧、噪声、材料加工等复杂的流动问题。

4.4 回油泵流体分析

本小节将利用 ANSYS FLUENT 来进行我的流体仿真分析实验，因回油泵处于滑油流动的工作环境，需保证它的工作稳定性，因对回油泵结构的优化，所以有必要用 FLUENT 软件来进行流体仿真试验。

4.4.1 回油泵流体分析过程

FLUENT 主要包括几何体结构处理（前处理）、网格处理、边界条件设置、求解计算和后处理五大模块。

1.首先利用 SolidWorks 建立好的模型，转换文件格式，打开 workbench 仿真平台，在 workbench 仿真平台中添加 fluent 模块，导入模型。对模型进行前处理，因滑油是流体，给回油泵设置一个油路管道，模拟一个流体工作环境，然后再利用 DesignModeler 对模型编辑，在模型树中，将管道和结构分离开，如图 4-21 所示。

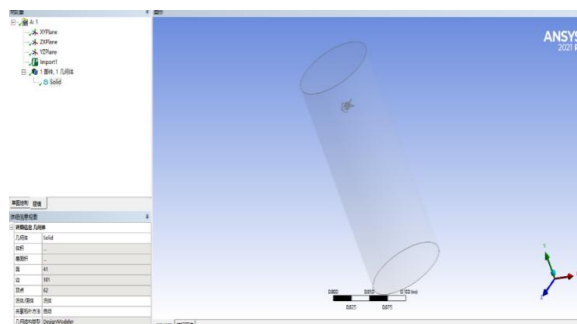


图 4-21 前处理

2.关闭 DesignModeler, 打开 Mesh 网格, 网格生成方式采用 sweep 扫掠方式, 选择 Manual source and target, 给结构定义起点和终点, 起点选择入口, 终点选择出口, 设置网格尺寸并生成网格。设置边界层, 右键 insert—inflation, boundary 选择边界, 绘制出边界层网格, 进行 sizing 细化, 对网格进行命名选择 Create Named selection, 对相应区域进行命名, 入口命名为 inlet, 出口命名为 outlet, 管内壁面命名为 wall, 回油泵命名为 blade, 如图 4-22 所示。

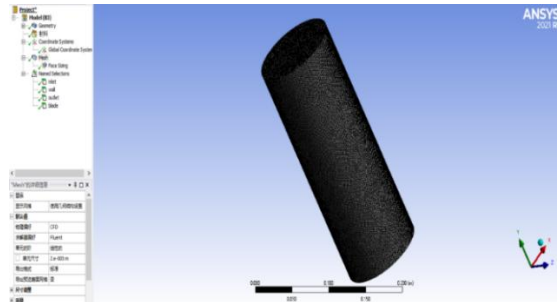


图 4-22 网格

3.关闭 Mesh, 回到 workbench, 更新网格, 双击 fluent setup, 对启动器进行设置, 将网格导入至 fluent, 进行求解。首先选择流体模型为 k-epsilon-realizable 模型, 并设置流体域为航空润滑油, 修改其密度和粘性系数, 设置为 4010 的航空润滑油的参数。设置边界条件, 边界条件中将 inlet 入口速度设置为 10m/s, outlet 出口压力设置为 0, solution 计算方法选择 simple 算法, 初始化方法选择为 Hybrid Initialization, 并点击 Initialize。初始化结束后, 将迭代步数设为 500 步, 并计算, 如图 4-23 所示。

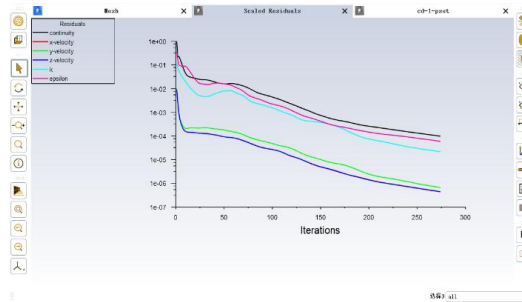


图 4-23 迭代次数

4.回到 workbench 进行后处理, 打开 CFD-post, 双击打开 results, 添加一个 panel, 建立速度云图和压力云图, 原模型的压力云图和速度云图, 如图 4-24 和图 4-25 所示。

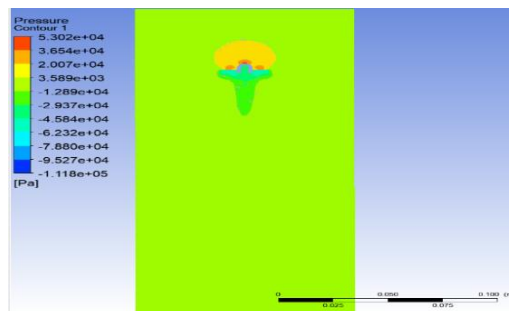


图 4-24 压力

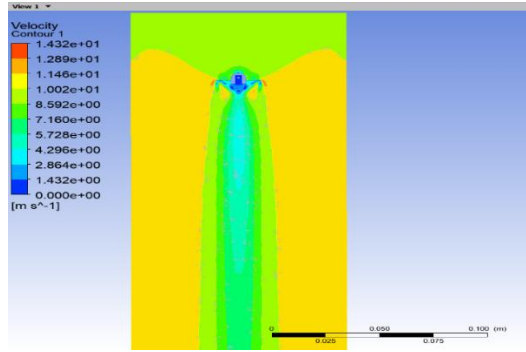


图 4-25 速度

5.关闭 CFD，回到 fluent，生成结果报告，点击计算力，得到原模型的力学报告，如图 4-26 所示。

"Force Report1"

Forces - Direction Vector (0 -1 0)

Forces [N]			
Zone	Pressure	Viscous	Total
blade	10.499359	0.10723782	10.606597

Net	10.499359	0.10723782	10.606597

图 4-26 力

6.Copy 原模型的求解过程，导入优化模型，对优化模型进行前处理，设置网格及设置边界条件，根据原模型的分析过程，最后计算得出压力云图以及速度云图，如图 4-27 和图 4-28 所示。

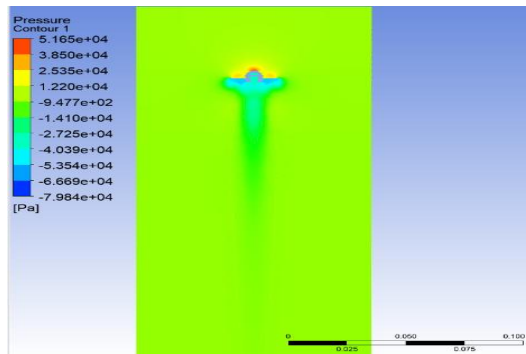


图 4-27 压力

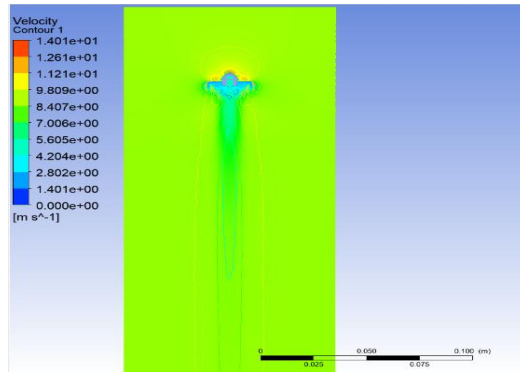


图 4-28 速度

7.回到 Fluent，点击生成结果报告，点击计算力，得到优化模型的力学报告，如图 4-29 所示。

"Force Report2"

Forces - Direction Vector (0 0 -1)

Forces [N]			
Zone	Pressure	Viscous	Total
blade	10.471902	0.1085206	10.580422

Net	10.471902	0.1085206	10.580422

图 4-29 力

4.4.2 回油泵流体仿真对比

根据 4.3.1 节所做的实验数据，分别将原回油泵结构和优化回油泵结构进行流体仿真，使用 ANSYS FLUENT 组件进行分析，实验数据见表 4-4。

表 4-4 流体仿真分析

受力	压力	粘性力	合力
原结构 (N)	10.499359	0.1072378	10.606597
优化结构 (N)	10.471902	0.1085206	10.580422

针对上述表 4-4 数据，得出如下分析：

通过原模型和优化模型的压力云图可以看出，原模型的受到的压力更为明显，因为圆柱体模型的迎风面积比圆锥体模型的迎风面积更大，所以圆柱

体模型受到的阻力就更大，对原模型和优化模型设置相同的边界条件，优化模型受到更小的阻力，这样减少了回油泵结构的受力，使得回油效果更好，提高回油效率。

4.5 回油滤网热应力分析

由于回油滤网处于滑油流动的工作环境条件，回油系统的各部分零件的高速转动，随之使得滑油也处于高速循环流动的状态，会产生热量，温度的高低可能会使得回油滤网的工作效率有所改变，因此有必要对回油滤网进行热应力分析。

4.5.1 回油滤网热应力分析过程

首先打开 Simulation 插件对结构进行材料定义，经查询资料发现，涡喷六回油滤网使用材料为低合金钢，而将优化回油滤的材料设置为磁性的铬合金材料。以下分别是低合金钢与铬基磁性材料性能。如表 4-5 所示。

表 4-5 材料性能参数

材料	弹性模量 E (N/m ²)	泊松比 V	热膨胀系数 α (/K)	屈服强度 σ_s (N/m ²)	密度 ρ (kg/m ³)
低合金钢	2.05e+11	0.32	1.23e-05	710000000	7850
铬合金	2.18e+11	0.28	1.04e-05	7.5e+8	7850

因为回油滤网的工作环境温度大约在-50~+200℃之间，所以我选取-50℃、0℃、+50℃、+100℃和+200℃作为温度点进行分析，分析如下。

当原回油滤网结构温度设为-50℃时，对其进行热应力计算，数据结果如下图 4-30 图 4-31 所示（应力和位移）。

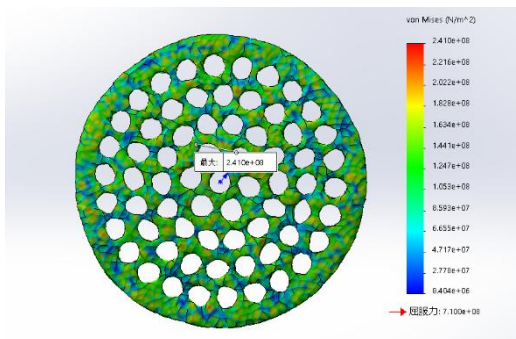


图 4-30 应力

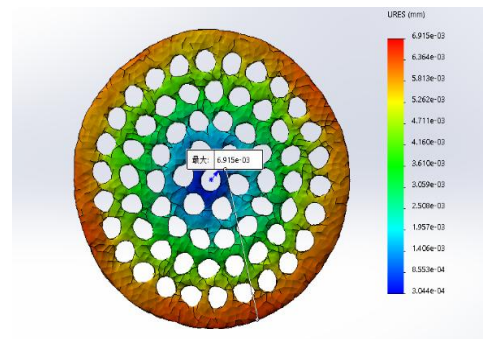


图 4-31 位移

当优化回油滤网结构温度设为-50℃时，对其进行热应力计算，数据结果如下图 4-32 和图 4-33 所示（应力和位移）。

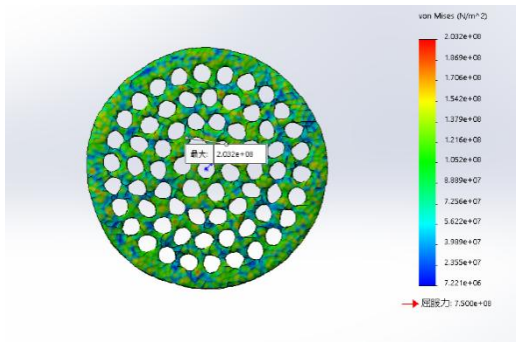


图 4-32 应力

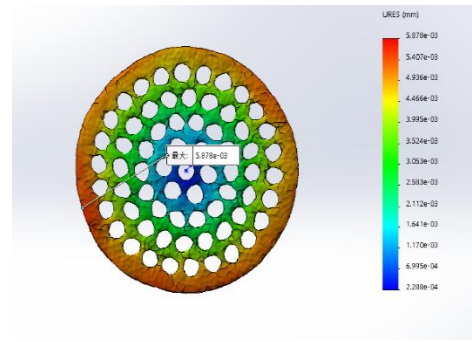


图 4-33 位移

当原回油滤网结构温度设为 0°C 时，对其进行热应力计算，数据结果如下图 4-34 和图 4-35 所示（应力和位移）。

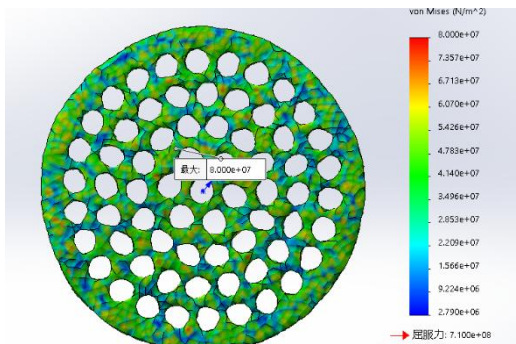


图 4-34 应力

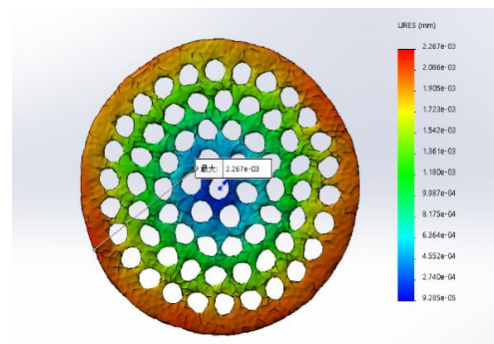


图 4-35 位移

当优化回油滤网结构温度设为 0°C 时，对其进行热应力计算，数据结果如下图 4-36 和图 4-37 所示（应力和位移）。

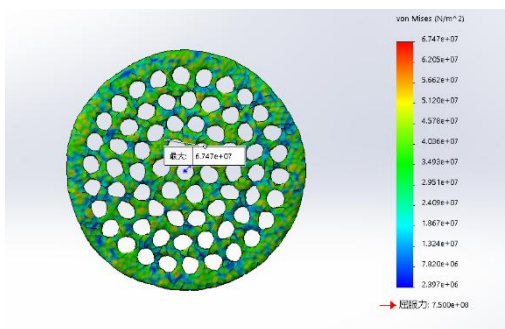


图 4-36 应力

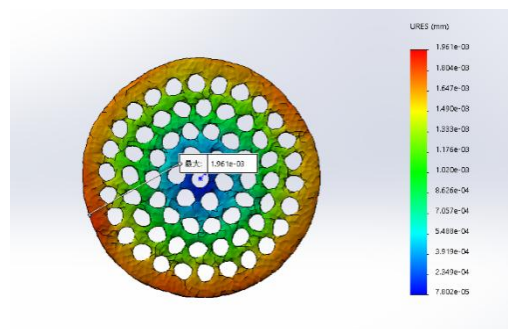


图 4-37 位移

当原回油滤网结构温度设为 $+50^{\circ}\text{C}$ 时，对其进行热应力计算，数据结果如下图 4-38 和图 4-39 所示（应力和位移）。

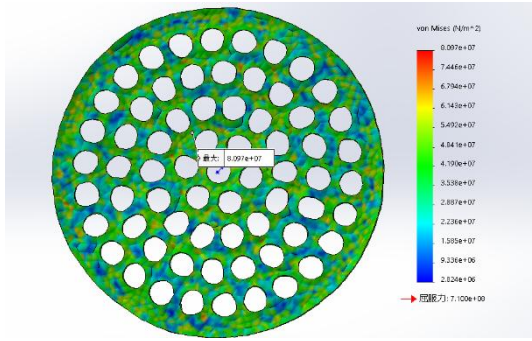


图 4-38 应力

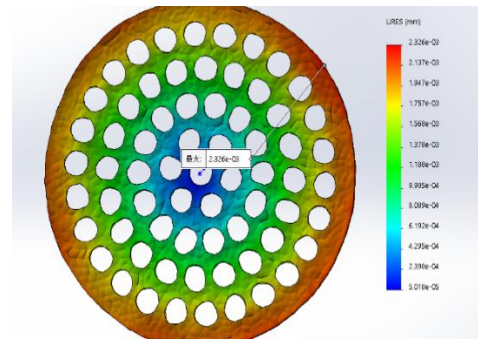


图 4-39 位移

当优化回油滤网结构温度设为+50°C时，对其进行热应力计算，数据结果如下图 4-40 和图 4-41 所示（应力和位移）。

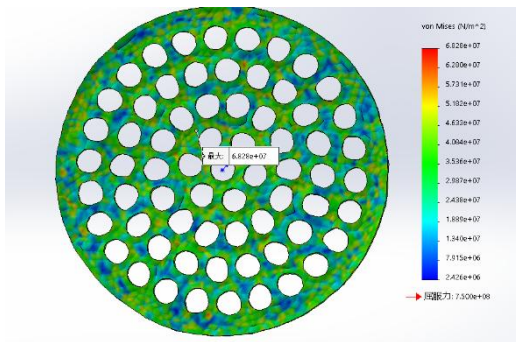


图 4-40 应力

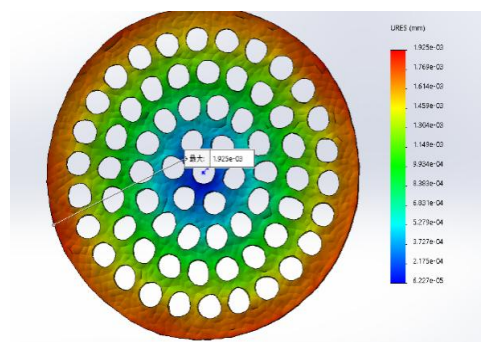


图 4-41 位移

当原回油滤网结构温度设为+100°C时，对其进行热应力计算，数据结果如下图 4-42 和图 4-43 所示（应力和位移）。

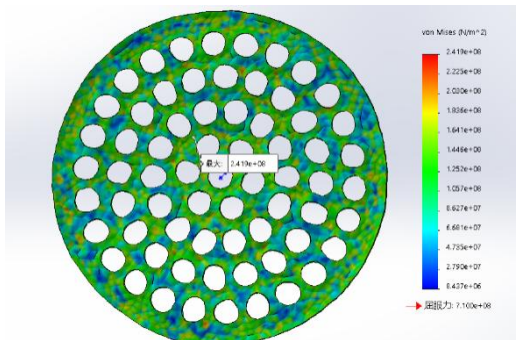


图 4-42 应力

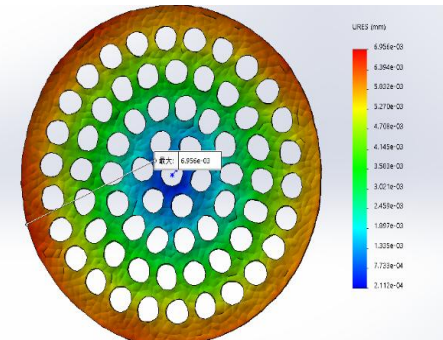


图 4-43 位移

当优化回油滤网结构温度设为+100°C时，对其进行热应力计算，数据结果如下图 4-44 和图 4-45 所示（应力和位移）。

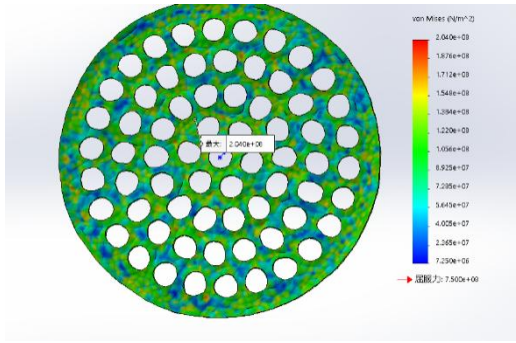


图 4-44 应力

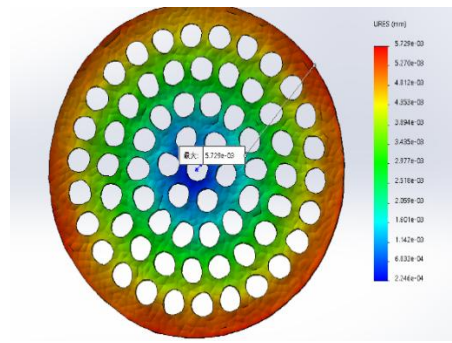


图 4-45 位移

当原回油滤网结构使用温度设置为+200°C时，对其进行热应力计算，数据结果如下图 4-46 和图 4-47 示（应力和位移）。

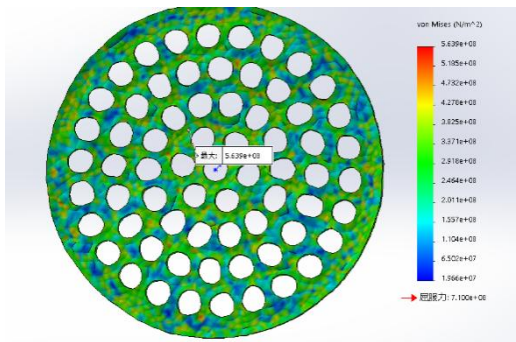


图 4-46 应力

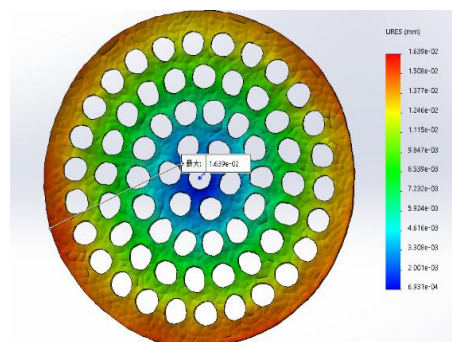


图 4-47 位移

当优化回油滤网结构温度设为+200°C时，对其进行热应力计算，数据结果如下图 4-48 和图 4-49 所示（应力和位移）。

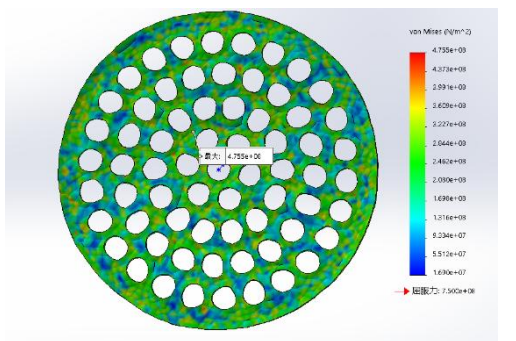


图 4-48 应力

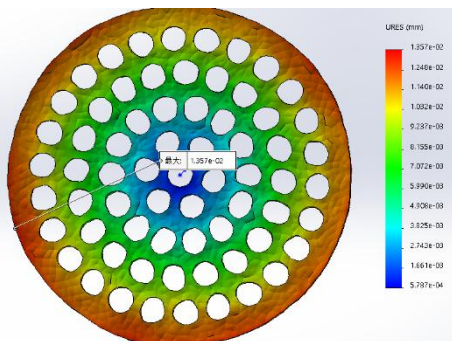


图 4-49 位移

4.5.2 回油滤网热应力仿真对比

根据 4.5.1 节得出的实验数据，分别将原回油滤网以及优化后的回油滤网在 -50°C 、 0°C 、 $+50^{\circ}\text{C}$ 、 $+100^{\circ}\text{C}$ 、和 $+200^{\circ}\text{C}$ 的温度条件下，实验数据见表 4-6。

表 4-6 热应力仿真分析

温度	-50°C	0°C	$+50^{\circ}\text{C}$	$+100^{\circ}\text{C}$	$+200^{\circ}\text{C}$
原模型 (mm)	6.915e-03	2.267e-03	2.326e-03	6.956e-03	1.639e-02
优化模型 (mm)	5.878e-03	1.961e-03	1.925e-03	5.729e-02	1.357e-02

表 4-7 热应力仿真分析

温度	-50°C	0°C	$+100^{\circ}\text{C}$	$+200^{\circ}\text{C}$	是否符合设计要求
原模型 (mm)	6.915e-03	2.267e-03	6.956e-03	1.639e-02	是
优化模型 (mm)	5.878e-03	1.961e-03	5.729e-02	1.357e-02	是

针对表 4-6 的热应力分析数据，根据温度特性选取低温特性、零度特性、中温特性以及高温特性选取四个点的温度参数作为分析参考温度点，温度点分别为 -50°C 、 0°C 、 $+100^{\circ}\text{C}$ 及 $+200^{\circ}\text{C}$ 。通过查询原模型的材料特性，发现原模型热应力分析时的最大屈服强度 ($5.639\text{e}+08$) MPa 小于低合金钢的屈服强度 ($7.1\text{e}+08$) MPa，故满足设计要求。同样的，优化模型的热应力分析时达到的最大屈服强度 ($4.755\text{e}+08$) MPa 小于钛合金的屈服强度 ($7.500\text{e}+08$) MPa，符合设计要求，如表 4-7 所示。

4.6 回油滤网流体分析

本小节将利用 ANSYS FLUENT 来进行我的流体仿真分析实验，因回油滤网处于一个滑油流动的工作环境，需保证它的工作稳定性，所以有必要用 FLUENT 软件来进行流体仿真试验。

4.6.1 回油滤网流体分析过程

同样的，FLUENT 主要包括几何体结构处理（前处理）、网格处理、边界条件设置、求解计算五大模块。

1. 首先利用 SolidWorks 建立好的模型，转换文件格式，打开 workbench 仿真操作平台，在 workbench 仿真操作平台中拖入 fluid flow fluent 模块，导入模型。对模型进行前处理，因滑油是流体，给回油滤网设置一个油路管道，模拟一个流体工作环境，然后再利用 SpaceClaim 对模型进行编辑，在模型树中，将模型给透明化，再将管道和结构给组合，然后用道具给切开，将管道部分与回油滤网部分隔离开，如图 4-50 所示。

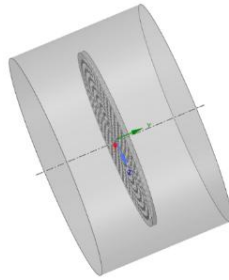


图 4-50 前处理

2.关闭 SpaceClaim, 打开 Mesh 网格, 网格生成方式采用 sweep 扫掠方式, 选择 Manual source and target, 给结构定义起点和终点, 起点选择入口, 终点选择出口, 设置网格尺寸并生成网格。进行 Sizing 细化处理并更新, 对网格进行命名选择 Create Named slection, 对相应区域进行命名, 入口命名为 inlet, 出口命名为 outlet, 管壁面命名为 symm, 回油滤网命名为 blade, 如图 4-51 所示。

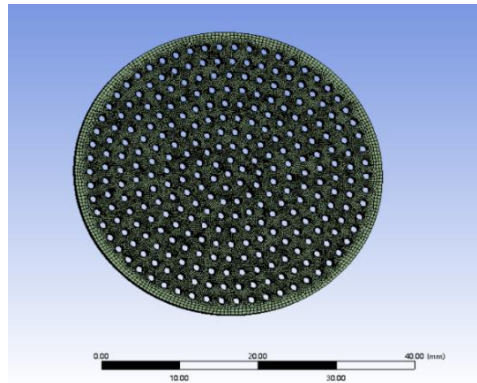


图 4-51 网格

3.关闭网格, 回到 workbench, 更新网格, 双击 fluent 设置, 对启动器进行设置, 将网格导入至 fluent, 进行求解。首先选择流体模型为 k-epsilon-realizable 模型, 并设置流体域为航空润滑油, 修改其密度和粘性系数。因为回油滤网是一个多孔介质的结构, 所以将单元区域条件设置为多孔介质区域。设置边界条件, 边界条件中将 inlet 入口速度设置为 10m/s, 并选择 intensity and hydraulic diameter (强度和水力直径), outlet 出口压力设置为 0, 结果计算方法选择 simple 算法, 初始化方法选择为标准初始化, 并点击初始化。初始化结束后, 将迭代步数设置为 100 步, 并计算, 如图 4-52 所示。

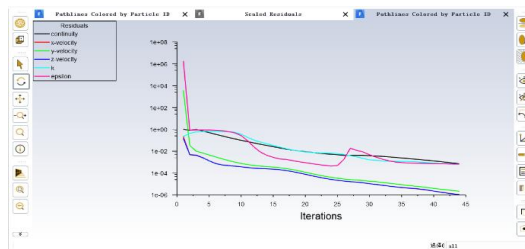


图 4-52 迭代次数

4.接着打开 fluent 进行后处理，显示速度云图，如图 4-53 和图 4-54 所示，接着打开它的压力云图，如图 4-55 和图 4-56 所示。

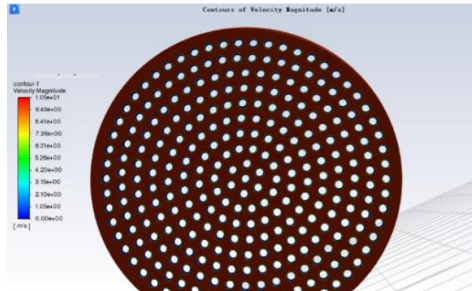


图 4-53 速度

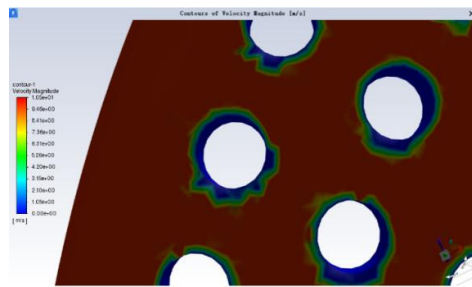


图 4-54 速度

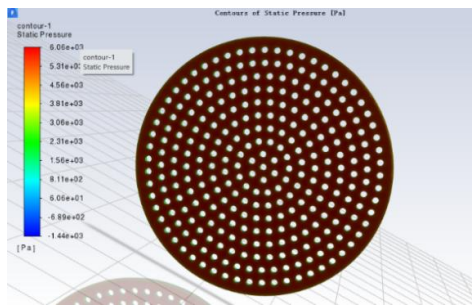


图 4-55 压力

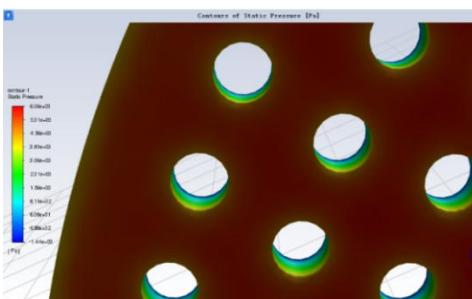


图 4-56 压力

5.先将回油滤网孔径给缩小，得出优化后的磁性滤网，再对比前后两个结构的不同，是否会影响，还是和上边一样的计算步骤，得出以下速度云图与压力云图，如图 4-57 和图 4-58 所示。

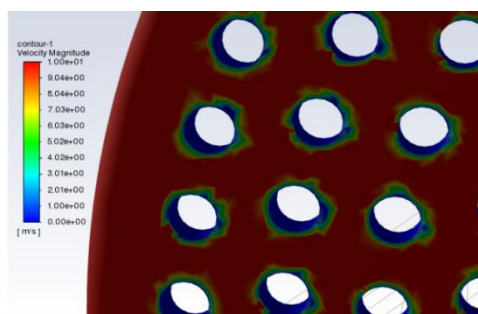


图 4-57 速度

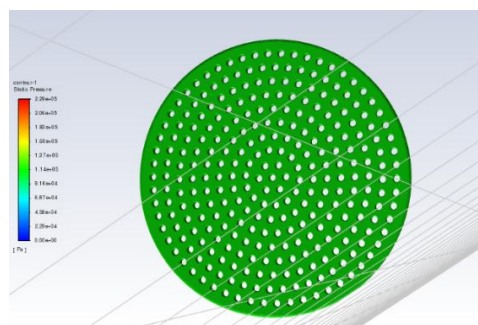


图 4-58 压力

4.6.2 回油滤网流体仿真对比

根据此次回油滤网流体仿真分析实验,可以看出,当流体运动到多孔介质时,流体速度明显下降,因为多孔介质会产生阻力。再对可以得出改变孔径后,所受的速度和压力都有所变化,原回油滤网结构所受速度为(1.05e+01) m/s,优化后滤网结构所受的速度为(1.00e+01) m/s,速度并没有变化多少,如表 4-8 所示,优化结构使用的是磁性材料,缩小后的孔径相比起原孔径,更容易过滤掉金属颗粒,更方便于回油滤网的使用及维护。

第五章 不足和展望

本文主要是对于发动机回油泵和回油滤网结构进行了研究,根据前边得出来的结论,虽然此次论文基本完成,但仍然有一些不足之处。无法将理想的东西给实际做出来,也不能通过实体进行实验验证,无法得出具体的实验数据。

总结出以下几点:

1.首先在实际工作中,发动机回油泵可能会出现回油泵齿轮与泵壳体刮磨损伤,严重影响了滑油系统的工作稳定性,这是结构上的一个不足之处,更换泵壳体,适当加大齿轮与壳体的间隙,这样可以有效控制故障的发生^[8]。在回油泵工作环境下,润滑油具有高粘性,泵头会挂油导致泵的转动效率,影响了回油泵的回油效率,如果对泵头销子进行防粘涂层处理,具有良好的疏油性,从而保证回油泵的工作稳定性。还有应考虑到圆锥体结构的销子在高速旋转下是否容易脱落。

2.其次在对回油滤网进行改进时,应考虑一个问题,虽然磁性滤网可以将滑油附带的那些金属杂质颗粒给吸住,过滤掉这些影响滑油纯度的因素,但是在发动机实际工作状态下,这些杂质可能会堵塞回油滤网,导致其无法正常工作。所以我觉得应该要设置一个传感器,来检测这些铁粒子或碎块堆积的情况,可以通过观察传感器来进行定期检查并清理,还得使用高倍放大镜仔细检查。因此来确保回油滤网能够正常工作;还有一个可以防止油箱脏污的方法,如果把进油口堵头也设计为磁性堵头^[9],可以将发动机磨损后的铁屑吸住。

3.还需考虑滑油的选择,要考虑到滑油的润滑能力和粘度对润滑效果的影响。因为粘度会随着温度的变化而变化,在低温时,滑油是否能正常流动,而高温时则需要粘稠一些;还有就是在润滑油暴露在高温环境下,会逐渐积碳,导致结焦现象,为改善结焦状况和积碳,应选择热稳定更强的航空润滑油^[10],达到提高发动机的维护效率和提升安全的目的。如今超高温润滑油对于推重比也是一个重要的因素。

4.然后,油气分离器也是影响回油效率的一个重要装置,用于分离滑油和空气,先大多采用离心式,油滴因离心力及自身的惯性作用,将与壁面发生碰撞,进而被壁面吸附发生分离^[11]。可以考虑增大分离器直径和分离锥角,适当增大分离器进口面积从而提高分离效率^[12]。

5.最后,对于回油管道来说,经各部件的高速运转,滑油回油温度会非常高,经查询资料发现,影响回油温度的因素很多,比如供油温度、滑油散热器、循环量等等,但受限于发动机安装空间与散热器的设计难度,增加滑油循环量,经试验验证^[13],可以有效降低回油温度。虽然滑油循环量上去了,但对于油滤来说,工作负担就变大了,因此需要提高油滤的工作性能。

参考文献

- [1] 张银波,闫国华.航空发动机原理与构造[M].中国民航出版社,2019.
- [2] Andoga Rudolf et al. The Use of Ethanol as an Alternative Fuel for Small Turbojet Engines[J]. Sustainability, 2021,13(5):2541-2541.
- [3] 杨九高,韩来柱.航空滑油回油泵工作时容积效率的试验研究[J].燃气涡轮试验与研究, 1999(02):11-13.
- [4] 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.
- [5] 陈光.航空发动机结构设计分析(第2版)[M].北京航空航天大学出版社,2006.
- [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] 任志强.军用航空发动机适航性管理的思考[J].航空标准化与质量,2014(03):41-43+56.
- [8] MengAiPing et al. Typical Failure Analysis and Control Measures of the Front Pivot Scavenging Pump of an Aircraft Engine[J]. Value Engineering, 2015,34(12):190-192.
- [9] LiLinLin et al. Oil system design of a certain turbo-jet engine[J]. Journal of Propulsion Technology, 2001(06):493-495.
- [10] 陈捷.航空发动机润滑油发展浅析[J].航空动力,2021(06):48-50.
- [11] 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.
- [12] 田强,刘振侠,胡剑平.发动机动压式油气分离器结构优化与分离性能的研究[C]//中国航天第三专业信息网第四十届技术交流会暨第四届空天动力联合会议论文集——S04 航空燃气涡轮推进技术.[出版者不详],2019:32-41.
- [13] 陆瑶,何鹏刚.某小型涡喷发动机滑油系统的改进研究[C]//探索 创新 交流——第六届中国航空学会青年科技论坛文集(下册),2014:266-271.

致 谢

行文至此，落笔为终，我的大学生涯即将结束，我于 2018 年秋季步入校园，四年前的一幕，仿佛就在昨天。刹那间，就已经到了毕业的时候，时间过得太快，还来不及慢慢品尝它就转瞬即逝。

首先，我要感谢我的论文指导老师，从论文选题一直到完成论文，每个阶段老师都会细心解答我的疑惑，给了我许多的意见和建议。同时，我也要感谢大学所有教导过我的老师们表示感谢，感谢老师们四年来的教诲，饮其流时思其源，成吾学时念吾师，谨此来表达我的谢意。

其次，也要谢谢我的室友们，四年的陪伴，你们已经变成了我青春里非常重要的人，四年寒窗，收获的不仅仅是知识，还有与室友们的感情，感谢你们对我的包容和关心，感谢曾经帮助过我的同学们，祝愿大家前程似锦。借此机会，我想要感谢我的父母，是你们多年以来在我求学路上默默的支持着我，你们是最坚强的后盾，感谢父母的无私付出，祝愿我的家人身体健康，万事如意。

最后，衷心的感谢各位专家，抽出宝贵的时间对本文进行评阅和审议！