



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

## 本科毕业设计

B737NG 飞机燃油系统典型故障分析与排故流程方案研究  
Typical Fault Analysis and Troubleshooting Scheme Research of  
B737NG Aircraft Fuel System

姓 名 王宇翔

学 院 航空航天学院

专 业 飞行器制造工程

指导教师 魏志民

职 称 讲师

完成时间 2022年6月3日



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

## 本科毕业设计

B737NG 飞机燃油系统典型故障分析与排故流程方案研究  
Typical Fault Analysis and Troubleshooting Scheme Research of  
B737NG Aircraft Fuel System

姓 名 王宇翔

学 院 航空航天学院

专 业 飞行器制造工程

指导教师 魏志民

职 称 讲师

完成时间 2022 年 6 月 3 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	魏志民
专 业	飞行器制造工程		技术职务	中级
题目名称	B737NG 飞机燃油系统典型故障分析与排故流程方案研究			
题目类型	自拟	题目来源	其他项目	
课题来源、背景及意义	<p>在 B737NG 系列燃油系统的维修中出现故障种类很多，出现的原因可能各不相同，检查维修工作可能会很繁琐。但是当需要对燃油系统检查时，航空公司为了提高公司的利润并不会给维修人员充足的时间，反而对时间有所限制，这往往会给维修人员带来一些压力。因此在这情况下往往会导致人文因素的产生。</p> <p>为了降低在人文因素方面的影响，提高飞机安全性，本课题应运而生。本课题首先通过典型故障进行研究，利用故障树分析产生问题的原因，对各个原因进行优先级排序，找出其中优先级最高的原因。然后利用 FIM 和 AMM 手册对故障进行排除形成一套较为高效完备的排故流程方案。这套排故流程方案不仅可以为维修人员提供维修指南、方便维修提高效率，而且可以降低航空公司维修成本，提高利润。为此，燃油系统典型故障分析与排故流程方案研究符合航空发展的要求，有着重要的意义。</p>			
任务及要求	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 查阅专业书籍、文献掌握飞机燃油系统的工作原理和部件组成；</li> <li>2. 学习飞机燃油系统故障排除的相关方法方法；</li> <li>3. 搜集并归纳 B737NG 飞机燃油系统典型故障类型；</li> <li>4. 利用 FIM 手册对 B737NG 飞机燃油系统典型故障进行分析；</li> <li>5. 利用故障树分析故障原因和明确排故流程方案并加以优化。</li> </ol>			
工作条件	电脑、FIM 手册、AMM 手册、VMT 软件			
知识与能力要求	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 掌握飞机燃油系统的结构和工作原理，分析故障原因。</li> <li>2. 学会使用飞机燃油系统故障排除手册。</li> <li>3. 拥有一定英语阅读能力。</li> </ol>			
系（教研室）审查意见：				
无				
负责人(签名)： <u>张健</u> 2021 年 11 月 28 日				



# 毕 业 设 计（论 文）任 务 书

## 1. 毕业设计（论文）课题背景及意义

飞机燃油系统不仅可以储存燃油，保证在规定的任何飞行状态下，均能向发动机持续不间断地供油，而且还可以完成冷却机上其它系统、平衡飞机、保持飞机重心于规定的范围内等附加功能。但是燃油系统作为飞机的重要组成部分，也是容易出现故障的地方，B737NG 系列飞机的燃油系统也是如此。如果飞机的燃油系统在地面检修时未能发现并有效的排除故障，会引发许多安全事故。因此，对于 B737NG 飞机燃油系统典型故障分析和对排故流程方案研究也是很有必要的。

本课题首先通过对典型故障进行研究，利用 FIM 和 AMM 手册对故障进行排除，分析出故障所有可能原因，利用故障树分析产生问题的基本事件，对基本事件进行优先级排序，找出其中优先级最高的事件。本课题成果可为航空公司维修人员进行燃油系统排故时提供有效参考，提高维修效率。

## 2. 毕业设计（论文）课题任务的内容和要求

### 任务一

掌握飞机燃油系统的工作原理和部件组成。

### 任务二

学习 FIM 和 AMM 手册使用方法并对燃油系统典型故障进行分析、查找故障原因。

### 任务三

搜集并归纳 B737NG 飞机燃油系统典型故障。

### 任务四

利用故障树分析故障原因和明确排故流程方案并加以优化。

### 任务五

完成对毕业论文的书写。

要求：掌握飞机燃油系统工作原理，学会使用 FIM 和 AMM 手册和故障树分析法，并最终提交毕业论文一份。

## 毕 业 设 计（论 文）任 务 书

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）：

毕业设计论文一篇

4. 推荐参考资料：

- [1] 徐腾.B737NG 燃油滤传感器改装评估分析[J].中国设备工程,2020(12):78-79.
- [2] 郭庆.波音 737NG 飞机燃油系统故障探讨[J].科技与创新,2016(15):151+153.
- [3] 王泽欣.波音 737NG 飞机燃油压力加油系统故障分析[J].航空维修与工程,2015(11):61-62.
- [4] 李志军.波音 737NG 飞机压力加油系统常见故障简析[J].航空维修与工程,2016(09):115-117.
- [5] 郑国鑫.波音 737NG 飞机自动油门电门组件故障分析[J].航空维修与工程,2015(09):60-62.
- [6] 高天柱.波音 737 飞机燃油系统漏油故障分析及处理[J].航空维修与工程,2009(05):58-60.
- [7] 张驰.浅析波音 737NG 飞机燃油系统故障[J].科技创新导报,2015,12(13):46.
- [8] 张爱学.波音 737NG 飞机燃油系统故障和可靠性数据分析[J].价值工程,2013,32(28):60-61.

所在专业审查意见：

同意

负责人： 张健

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： B737NG 飞机燃油系统典型故障分析  
与排故流程方案研究

学 院： 航空航天学院

专 业： 飞行器制造工程

学生姓名： 王宇翔

学 号： 20414040116

起止日期： 2021年12月3日-2022年6月3日

指导教师： 魏志民

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）课题的目的意义

飞机燃油系统不仅可以储存燃油，保证在规定的任何飞行状态下，均能向发动机持续不间断地供油，而且还可以完成冷却机上其它系统、平衡飞机、保持飞机重心于规定的范围内等附加功能。但是燃油系统作为飞机的重要组成部分，也是容易出现故障的地方，B737NG 系列飞机的燃油系统也是如此。如果飞机的燃油系统在地面检修时未能发现并有效的排除故障，会引发许多安全事故。并且对公司和维修人员而言，不仅可以为维修人员提供维修指南、方便维修提高效率，而且可以降低航空公司维修成本，提高利润。因此，对于 B737NG 飞机燃油系统典型故障分析和对排故流程方案研究也是很有必要的。

### （二）国内外研究及发展趋势

随着航空事业迅速发展，航空技术装备越来越复杂，维修费用也随之增高。在五十年代，美国空军军费的 1/3 用于维修，全部人员的 1/3 从事维修。可是在工作中发现，很多类型的故障，不管维修工作做的多么频繁，仍然不能防止或者减少，这种状况迫使人们去考虑如何提高维修效率，用较小的代价换取较大的成果。因此，在 1960 年到 1979 年间，美国联邦航空局(FAA)和航空运输协会(ATA) 双方共同组成工作组研究维修方式和可靠性间的关系，颁布和制定了维修可靠性方面的大纲。在大纲的基础上，提出了可供参考的维修理论大纲 MSG-1 和 MSG-2，他们的目的是以最低的费用保证装备达到最大的安全性和可靠性。这些维修理论更具指向性，提高了维修的效率。

近年来为了进一步降低维修的成本，航空维修在技术方面也是不断地发展。目前世界各国的飞机维修厂商一直在积极开发和推行故障预测系统。此系统可以从飞机上的各种信息源采集并分析数据，识别并预测故障，判断即将发生故障的部件对飞机运行带来何种影响，该系统可将信息传送到地面，飞机落地后，技术人员就可以准备好备件，更换那些有故障部件。目前，美国 ARINC 公司开发的飞机状态分析和管理系统正使用于军事领域，而波音推出的飞机状况管理系统在也在不久后就可交付用户使用。除了上述以外目前还有通过计算机进行虚拟维修等先进技术。因此可以看出未来航空维修方面的发展趋于数字化、智能化、便利化。

作为未来发展的大趋势国内外都在努力的发展。不过在未来不管这些先进技术如何发展都需要科学的理论研究和大量的数据分析作为支撑。对于国内虽然我们航空事业起步较晚，但是近年来，我国民航业高速发展，通过向国外学习，也已经发展出了所需要的大部分科学的理论，不过仍然存在不足需要去完善。因此本课题显得格外重要。而 B737NG 作为国内使用率较高的飞机之一，其燃油系统作为飞机的一部分在维修方面也需要格外的重视，因此作为研究对象。本课题首先通过对典型故障进行搜集、归纳、总结并加以研究，利用故障树分析产生问题的原因，对各个原因进行优先级排序，找出其中优先级最高

的原因。然后利用 FIM 和 AMM 手册对故障进行排除形成一套较为高效完备的排故流程方案。这套排故流程方案不仅具有较高的指向性，可以为维修人员提供维修方面的理论参考提高了维修效率。而且降低了航空公司的维修成本。除此之外也可以为未来比如故障预测系统提供科学、可靠的数据的来源，为其智能化的故障分析和维修人员提供排故流程方案提供理论依据。

### （三）课题主要研究内容

研究内容 1：查阅专业书籍、文献和相关资料，掌握 B737NG 飞机燃油系统的工作原理和部件组成。

研究内容 2：搜集并归纳 B737NG 飞机燃油系统典型故障类型并学习飞机燃油系统故障排除的相关方法。

研究内容 3：利用 FIM 手册对 B737NG 飞机燃油系统典型故障进行分析并用故障树分析故障原因，明确排故流程方案并加以分析。


### （四）参考文献：

- [1] 徐腾.B737NG 燃油滤传感器改装评估分析[J].中国设备工程,2020(12):78-79.
- [2] 郭庆.波音 737NG 飞机燃油系统故障探讨[J].科技与创新,2016(15):151+153.
- [3] 王泽欣.波音 737NG 飞机燃油压力加油系统故障分析[J].航空维修与工程,2015(11):61-62.
- [4] 李志军.波音 737NG 飞机压力加油系统常见故障简析[J].航空维修与工程,2016(09):115-117.
- [5] 郑国鑫.波音 737NG 飞机自动油门电门组件故障分析[J].航空维修与工程,2015(09):60-62.
- [6] 高天柱.波音 737 飞机燃油系统漏油故障分析及处理[J].航空维修与工程,2009(05):58-60.
- [7] 张驰.浅析波音 737NG 飞机燃油系统故障[J].科技创新导报,2015,12(13):46.
- [8] 张爱学.波音 737NG 飞机燃油系统故障和可靠性数据分析[J].价值工程,2013,32(28):60-61.
- [9] E M Kelly,L M Bartlett. Enhanced diagnosis of faults using the digraph approach applied to a dynamic aircraft fuel system[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability,2008,222(4):
- [10] Zhenwei Chen. Eliminating Faults in Fuel System of a Certain Type of Aircraft[P]. Proceedings of the International Conference on Logistics, Engineering, Management and Computer Science,2015.
- [11] Zaporowska Anna,Liu Haochen,Skaf Zakwan,Zhao Yifan. A clustering approach to detect faults with multi-component degradations in aircraft fuel systems[J]. IFAC-PapersOnLine,2020,53(3):

二、进度及预期结果		
起止日期	主要内容	预期结果
2021.12.3-2022.1.2	制定课题的研究方案。	完成研究方案的制定。
2022.1.3-2022.1.17	查阅专业书籍、文献掌握 B737NG 飞机燃油系统的工作原理和部件组成。	掌握 B737NG 飞机燃油系统的工作原理和部件组成。
2022.1.18-2022.2.12	搜集、归纳和总结 B737NG 飞机燃油系统典型故障并对其加以研究。	完成对典型故障的搜集并完成研究和总结。
2022.2.13-2022.3.12	学习 FIM 和 AMM 手册使用方法并对燃油系统典型故障进行分析、查找故障原因。	掌握 FIM 和 AMM 手册使用方法并完成典型故障的分析和原因查找。
2022.3.13-2022.3.27	利用故障树分析故障原因和明确排故流程方案并加以分析。	得出故障原因，并完成排故流程方案。
2022.3.28-2022.6.3	撰写论文以及论文查重和答辩。	完成论文，顺利通过毕业答辩。
完成课题的现有条件	B737NG 燃油系统相关资料、AMM 手册、FIM 手册、电脑、文献等。	
指导教师 意见	同意开题  指导教师： <u>魏志民</u> <u>2022</u> 年 <u>3</u> 月 <u>5</u> 日	
开题答辩 小组意见	同意开题  组 长： <u>姚冀涛</u> <u>2022</u> 年 <u>3</u> 月 <u>5</u> 日	


**天津中德应用技术大学**  
**本科生毕业设计（论文）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： 

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： 

2022年6月3日

## 摘 要

飞机燃油系统承担着为飞机存储燃油和保障动力系统能源供应的重要作用,在飞机例行检查或测试时如发现燃油系统出现故障,飞机须进行停场维修。飞机燃油系统的非计划性故障可能由多种原因导致,如何在故障出现后提高维修的效率和可靠性,将对航空公司的运营成本甚至飞机乘客的生命安全造成直接影响。针对以上问题,本课题选取我国保有量最大的 B737NG 飞机作为研究对象,通过对 B737NG 飞机燃油系统的典型故障进行分析与研究以提高签派可靠性。

课题首先通过与天津航空、江西航空和厦门航空等维修技术人员的线上线下沟通和翻阅相关文献资料进行了四个典型故障的确立,然后利用 FIM 和 AMM 手册对四个典型故障进行了分析,确定了导致顶端故障事件发生的各中间事件和基本事件间的逻辑关系,最后对所有可能导致典型故障发生的原因进行了故障树构建,同时定性分析了导致故障发生原因的发生等级级关系,并最终形成了排故流程的建议方案。通过对分析结果的应用可提高飞机燃油系统故障排查的效率,进而降低航空公司维修成本。

**关键词:** 燃油系统; FIM; 排故流程; 故障树

## **Abstract**

The aircraft fuel system plays an important role in storing fuel for the aircraft and ensuring the energy supply of the power system. If the fuel system fails during routine inspection or test, the aircraft must be stopped for maintenance. The unscheduled failure of aircraft fuel system may be caused by many reasons. How to improve the efficiency and reliability of maintenance after the failure will have a direct impact on the operating cost of airlines and even the life safety of aircraft passengers. In view of the above problems, this topic selects the B737NG aircraft with the largest stock in China as the research object, and analyzes and studies the typical faults of the fuel system of B737NG aircraft to improve the dispatch reliability.

Firstly, the subject establishes four typical faults through online and offline communication with maintenance technicians such as Tianjin airlines, Jiangxi airlines and Xiamen Airlines and browsing relevant literature. Then, the four typical faults are analyzed by using FIM and AMM manuals, and the logical relationship between intermediate events and basic events leading to top end fault events is determined, Finally, the fault tree is constructed for all possible causes of typical faults. At the same time, the occurrence level relationship of the causes of faults is qualitatively analyzed, and finally the recommended scheme of troubleshooting process is formed. The application of the analysis results can improve the efficiency of aircraft fuel system troubleshooting, and then reduce the maintenance cost of airlines.

**Key words:** fuel system; FIM; Troubleshooting process; Fault tree

# 目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 选题背景及意义.....	1
1.2 国内外研究现状.....	1
1.2.1 国外研究现状.....	1
1.2.2 国内研究现状 .....	2
1.3 本文研究内容.....	3
第二章 飞机故障诊断技术.....	4
2.1 QAR 数据分析法.....	4
2.2 粒子群 RBF 网络.....	5
2.3 粗糙集理论.....	5
2.4 故障树分析法.....	6
2.5 本章小结.....	9
第三章 B737NG 燃油系统典型故障分析.....	10
3.1 燃油系统的概述.....	10
3.2 燃油系统典型故障分析.....	12
3.2.1 发动机供油系统故障 .....	12
3.2.2 中央油箱油量指示异常的故障.....	16
3.2.3 APU 供油系统故障.....	19
3.2.4 压力加油系统故障.....	24
3.3 本章小结.....	27
第四章 基于故障树的燃油系统典型故障排故流程方案.....	28
4.1 典型故障分析软件简介.....	28
4.2 燃油系统典型故障的故障树定性分析.....	30
4.2.1 发动机供油系统故障的故障树定性分析.....	30
4.2.2 中央油箱油量指示异常故障的故障树定性分析.....	32
4.2.3 APU 供油系统故障的故障树定性分析.....	33

4.2.4 压力加油系统故障的故障树定性分析.....	34
4.3 本章小结.....	35
结论.....	36
参考文献.....	37
致谢.....	38

## 第一章 绪论

### 1.1 选题背景及意义

飞机自制造开始就可能存在一些缺陷,但因为在容错的范围内,不会对航空安全产生影响,因此并没有对缺陷进行处理。然而在飞行时会受到磨损、弯曲、腐蚀、老化等影响,不但导致原有的缺陷扩大,而且可能产生新的缺陷。如果当这些缺陷达到一定范围而无法及时修理时,就可能发生无法估计的航空安全事故,因此及时的航空维修显得尤为重要。但是伴随着航空技术装备由早期的机械式到现在的机械、电子、自动控制等一体化,飞机系统呈复杂化趋势。因此导致维修难度加大,维修费用也随之增高,而飞机燃油系统也是如此。燃油系统作为飞机重要的一部分,其结构相对复杂。因此,经常维护检修所产生的较高成本也是必不可少的。

目前,飞机的维护还是主要靠维修人员在飞机降落后人工进行对故障进行排查。虽然大部分维修任务对于维修人员可以完成,但是随着维修任务的增多和排查故障的繁琐维修人员仅靠人工将会效率变慢,进而延误飞机的正常飞行导致成本也因此提高。所以近年来为了进一步降低维修的成本,提高维护效率,航空维修在技术方面也是不断地发展。比如目前世界各国的飞机维修厂商一直在积极开发和推行故障预测系统、美国 ARINC 公司开发的飞机状态分析和管理系统和通过计算机进行虚拟维修等先进技术。这些作为未来发展的大趋势,国内外都在努力的发展。不过在未来不管这些先进技术如何发展都需要科学的理论研究和大量的数据分析作为支撑。对于国内虽然我们航空事业起步较晚,但是近年来,我国民航业高速发展,通过向国外学习,也已经发展出了所需要的大部分科学的理论,不过仍然存在不足需要去完善。因此,本课题显得尤为重要。

B737NG 作为国内使用率较高的飞机之一,其燃油系统作为飞机的一部分在维修方面也需要格外的重视,因此作为研究对象。本课题首先通过与航空维修人员交流和查找相关资料,对故障进行搜集。然后从中确立四个典型故障,并对这四个典型故障加以研究。其次利用 FIM 和 AMM 手册建立排故流程,并确立导致事件发生的各故障间的逻辑关系。最后结合排故流程建立故障树并对其做定性分析,形成一套较为高效完备的排故流程方案。这套排故流程方案不仅具有较高的指向性,可以为维修人员提供维修方面的理论参考提高了维修效率。而且降低了航空公司的维修成本。除此之外也可以为未来比如故障预测系统提供科学、可靠的数据的来源,为其智能化的故障分析和维修人员提供排故流程方案提供理论依据。

### 1.2 飞机故障诊断方法国内外研究现状

#### 1.2.1 国外研究现状

随着航空事业的不断发展,涌现出来许多故障诊断技术。近些年,这些技术开始逐渐向人工智能方向不断发展,出现了许多比较成熟的技术。比如:由 E M Kelly 和 L M Bartlett

目前研究的关于民航客机的 reduction method 的排故方法<sup>[1]</sup>、Zhenwei Chen 的利用有限设备排除故障的方法<sup>[2]</sup>、由 Zaporowska Anna, Liu Haochen, Skaf Zakwan, Zhao Yifan 研究的一种检测飞机燃油系统多组分退化故障的聚类方法<sup>[3]</sup>。除此之外，还有目前已投入使用的以下三种方法。

#### 1. MADARSIII（故障分析检测与记录系统）

MADARSIII 监控器最为一个灵活的、模块化的系统，目前使用在美国的 C-5 运输机上，可以有效的辅助维修人员和飞行员隔离、排除故障。其通过从测试点采集外部环境、飞行控制、发动机状态等点位采集数据，并将其存放在飞行数据库中。然后通过通用处理接口对数据进行处理，并经飞行监控系统自动处理后传入数据库服务器。最终，维修人员可通过数据库服务器得出飞行数据文件对飞机的状态和故障进行判断<sup>[4]</sup>。

#### 2. TEAMS-RT（实时可测试和维修系统）

TEAMS-RT 是由 Qualtech 公司开发的在线故障诊断技术。其通过根据实际情况建立模型。然后通过建立的模型对系统的健康状态进行分析和监控，并结合来自多种单元的信息进行观测和比较，最终判断出监视点的状态。另外，此技术还具有间歇性故障的诊断和预测严重故障的功能<sup>[4]</sup>。

#### 3. HyDE（混杂诊断推理机）

HyDE 是由 NASA 开发的故障诊断推理机制，此技术通过混合系统中的系统传感器观测和预测模型之间的差异来诊断其中的故障。利用此技术的推理原理，使用者只需建立起相应的模型和提供被监视系统的数据，就可以得到故障诊断信息<sup>[4]</sup>。

### 1.2.2 国内研究现状

虽然国内航空事业起步相对于国外较晚，但是随着我国在民航领域的不断高速发展，目前已经开始赶超国外。比如为了进一步降低民航飞机维修的成本，而研究出的诸多故障诊断方法。例如如下两种方法：

#### 1. 飞机燃油智能诊断系统

由于飞机的燃油系统相关的传感器都在内部，无法直接有效的了解传感器的工作情况和精度，因此可能会影响对飞机的检修效率和质量。所以，研究飞机故障智能诊断技术变得很有必要。

智能诊断技术第一步是建立模型，其具体步骤首先通过从设备的大量数据中梳理出运行数据集和故障数据集作为故障诊断的样本，为故障诊断算法提供数据依据。同时，根据设备和信号的差异对数据进行整理，并通过信息融合提高诊断的准确性。然后利用多种模

式识别算法对设备进行故障检测、模式分类，为设备智能维护提供支持。第二步进行设备研制，其以诊断系统为核心，通过与采集系统、逻辑控制系统、显示系统进行双向交流，并且检测系统和供电系统为其提供单向交流数据。通过此结构的数据交流可以实现智能化的燃油系统的状态监控，来提高维修效率和质量<sup>[5]</sup>。

## 2. 余度舵机系统故障诊断技术

余度舵机系统故障诊断技术是通过连续监控参数变化来实现故障诊断和检测。其首先利用基于解析余度的方法来提高参数辨识的直接性和算法的简易型。然后通过 RBF 与最小二乘法结合来解决电液伺服舵机因存在大量非线性单元而无法得到精确模型问题。最后，由参数估计算法建立数学模型，并得到解析式来实现故障诊断。这种诊断技术不仅可以实现快速诊断，而且可以抑制虚假报警<sup>[6]</sup>。

## 1.3 本文研究内容

目前民航客机各系统开始呈现综合化、智能化等趋势，因此检查维修变得越来越复杂，所需时间也随之增加。为了解决这个问题，一批又一批航空事业的工作者不断地探索，研究出多种方法。比如专家诊断系统、神经网络、融合诊断系统、故障预测系统等较为高效的诊断方法。但是这些方法存在一定的不足和较不适用性，因此仍然需要对方法不断探索和改进。

燃油系统作为飞机的一部分，不仅可以持续不断的向发动机和 APU 提供能源、储存燃料和用来给部分系统降温，而且可以通过向其他位置输送燃料来保持飞机在飞行中的稳定性，在日常检查维修中燃油系统的是不能忽视的。因此本课题将 B737NG 的燃油系统作为研究对象。首先通过与航空公司的维修人员进行交流，确定出四个典型故障。其次通过交流和查阅资料比较得到故障排除方法及其对应软件。然后对这四个典型故障分别进行研究，并利用 FIM 和 AMM 手册对故障进行排除，得出可能的故障原因和形成一套较为完备的排故流程方案。最后利用故障树分析法和 FreeFta 软件，对四个典型故障分别建立相应的故障树。并且通过与航空公司维修人员交流对可能的故障原因进行优先级排序，得出其中优先级最高的原因。这套排故流程方案不仅可以减少查找故障原因的时间，具有较高的指向性，降低了航空公司的维修成本。而且可以作为培训维修人员的理论参考。除此之外也可以为未来比如故障预测系统提供科学、可靠的数据的来源，为其智能化的故障分析和维修人员提供排故流程方案提供理论依据。

## 第二章 飞机故障诊断技术

本章通过对目前几种先进故障诊断技术进行概述，并对各个技术的优缺点进行列举，最终确定将故障树分析法作为本章研究手段。

### 2.1 QAR 数据分析法

#### 1. QAR 的概述

随着民用航空技术的不断发展，飞机的机载设备和系统的集成化程度越来越高。与此同时，航空公司对飞机的故障类型的判断、定位和分析所需要的快速性和及时性要求越来越高。因此为了应对不断出现的问题，现代民用飞机基本均安装了快速存取记录器（QAR）。

快速访问记录器（quick access recorder, QAR）是一种机载飞行数据记录仪，设计目的是提供快速、便捷的读取飞行数据的途径。其用于帮助航空公司监控飞机的飞行状态和维修品质并记录其与地面参数的数据。航空公司不仅可以根据这些数据对飞行员开展有针对性的飞行训练，而且可以通过译码发现飞行中存在的安全隐患并提高维修效率。因此在当前日益严峻的安全形势下，QAR 已越来越受到相关专业部门的重视，其常被航空公司用于提高飞行安全和运行效率，通常属飞行品质监控计划的一部分。但是 QAR 通常不是国家民用航空管理局要求的商业航班必备设备，并且不是为事故调查所设计。尽管如此，部分 QAR 曾在事故中幸存，并且提供了 FDR 记录范围外的有价值信息<sup>[7]</sup>。

#### 2. 基于 QAR 数据的飞机辅助排故系统的应用

波音 737NG 飞机因为没有独立的中央维护计算机，所以大部分故障隔离程序是通过结合手册和飞机自检程序等，逐步确定故障原因。这种故障排除方法不但难以真实的反映出飞机在飞行时各系统的各个部件的工作状态，而且较大范围的排除故障的方法必定会在维修时间和维修成本上付出更多，难以做到精益化管理。然而，在对 B737NG 的日常维修时发现，通过结合 QAR 数据综合分析可以解决一部分系统故障，提高维修效率，降低维修成本。因此，目前大多数波音 737NG 飞机都已装备无线快速访问记录器（WQAR）系统。

基于 QAR 数据的诊断技术其原理是：首先通过对 B737NG 各数据构型及其参数进行译码进而建立数据库。其次利用 HBASE 对数据库数据进行分析，不仅可以利用大数据对故障进行预测，而且可以解决在特定故障下各种参数值的问题。最终将故障模型模板化和可视化提供给维修人员，进而提高了维修效率和降低了维修成本<sup>[7]</sup>。

#### 3. 基于 QAR 数据的飞机辅助排故系统的不足

- （1）无法实现优先级排序，及故障类型和位置分析不准确；
- （2）数据获取方式单一，数据可靠性无法保证；
- （3）虽然缩小了故障范围，可以监测重要系统的工作情况，但还是无法精确到具体

部件。

## 2.2 粒子群 RBF 网络

### 1. 粒子群优化算法概述

粒子群算法，也称粒子群优化算法（Partical Swarm Optimization），缩写为 PSO，是近年来发展起来的一种新的进化算法（Evolu2tionary Algorithm - EA）。其原理可以通过一个例子来明白，假设有这样一个场景：一群狼在随机搜索食物。在这个区域里只有一块食物。所有的狼都不知道食物的具体位置。但是他们知道当前的位置离食物还有多远。因此，为了得到这块食物，最优策略就是搜索离食物最近的狼的周围区域。

### 2. 粒子群 RBF 网络在飞机燃油系统故障诊断中的应用

维修手册和维修大纲作为故障出现前的预测措施，其是有设计人员制作出，虽然维修措施的基本方向可以确定，但与故障诊断这一事后措施相比，其与现实的误差较大。并且故障诊断可以通过获取历史数据来提高维修的可靠性，因此故障诊断变得尤为重要。

而作为本节的故障诊断技术，其原理是：粒子群 RBF 网络第一步通过从维修手册、维修大纲、可靠性报告中提取故障诊断规则。将三种信息综合考虑建立民航飞机故障诊断知识复合模型的规则获取流程。其中复合的方法是将三类知识来源进行分析，将知识进行推理，得到的规则进行统一处理，以此来建立飞机故障诊断的复合模型。第二步通过维修手册、维修大纲、可靠性报告为知识来源得到的故障征兆与故障类型之间的关系来建立飞机燃油系统故障特征向量和飞机燃油系统故障诊断特征向量表。第三步通过对飞机燃油系统故障征兆与故障原因之间的关系进行预处理得到征兆集数据，然后用使征兆集数据与神经网络结合，使神经网络获取诊断飞机燃油系统故障所需要的知识。对于粒子群优化的 RBF 神经网络而言，这些知识是由分布在网络内部的隐节点数据中心及连接权值隐性表达的。之后再输入以征兆向量进行测试，获得粒子群 RBF 网络的输出，然后对网络输出进行处理后获得诊断结果，获取故障发生的位置和性质。第四步通过 MATLAB 编程语言实现粒子群优化 RBF 神经网络故障诊断的算法，并利用之前的数据对 RBF 神经网络进行测试练习，实现故障诊断<sup>[9]</sup>。

### 3. 粒子群 RBF 网络诊断技术存在的不足

- (1) 此方法只能对单故障进行诊断，无法对复杂故障进行诊断；
- (2) 无法对过大的数据进行处理；
- (3) 运算出的故障类型与排故方法可能真实情况有偏差。

## 2.3 粗糙集理论

### 1. 粗糙集理论概述

粗糙集理论作为一种数据分析处理理论，在 1982 年由波兰科学家 Z.Pawlak 创立。粗

粗糙集理论，是继概率论、模糊集、证据理论之后的又一个处理不确定性的数学工具<sup>[9]</sup>。其中的原理是通过对大量的数据进行分析，并通过自身的运算对数据中有用的知识进行学习，进而完成对数据信息挖掘的最大化。其第一可以用来处理不确定、不完整等各种不稳定的信息。第二可以处理较为复杂的数据。因此，也有着较为广泛的应用。

### 2. 基于粗糙集理论的民航飞机故障诊断

在飞机排故过程中，因为专家们有着长期的维修经验，所以往往能够快速、准确的找到故障的位置，这样的的维修效率相对于通过查看手册对故障一点一点的确和排除来比，大大缩短了维修所需的时间，降低了维修所需的成本。基于这个特点，出现了多种人工智能的专家系统，其通过搜集专家的经验来完成对维修的指导，达到提高排故效率的目的。对于维修人员来说这种排故方法，不需要长期的排故经验积累，就可有拥有专家的排故经验，以此来缓解专家紧缺和减少工作量，因而这种技术被广泛应用。

其原理是从民航飞机系统可靠性报告的数据中提取需要的故障信息，通过利用粗糙集理论对数据进行简化分析，进而获得飞机故障诊断的分析结果和排故方法。获取步骤是首先由可靠性报告数据建立决策表。其次通过一定的方法对数据进行预处理。再次对决策表中的属性和属性值进行约简。最后根据约简的结果导出新规则<sup>[9]</sup>。

### 3. 基于粗糙集理论的民航飞机故障诊断技术的不足

- (1) 排故精准性、效率不高；
- (2) 无法排除间歇性故障；
- (3) 数据获取能力有一定局限性。

## 2.4 故障树分析法

故障树分析法作为本课题的重要工具，相对与上述的三种方法，其拥有许多优点，因此可以更好的对民航飞机进行故障诊断。借助此方法可以完成 B737NG 飞机故障排除方案的制定和分析，因此通过下述三个方面进行论述。

### 1. 故障树分析法的概述

故障树分析(Fault Tree Analysis)以故障树为显示模型，通过系统安全分析方法中的图形演绎分析法，对系统进行可靠性分析。这种方法是一种树状图推理法，含有较强的逻辑关系。可对一种故障事件，做从上而下的分析。其优点表现在：第一是排故方法容易掌握，且逻辑关系清晰明了，因而容易找出薄弱环节，判断潜在故障。第二其对故障可以做定量和定性分析，并且可以分析由单一到多个构件所引起的系统故障情况。第三其应用广泛，可以为多种学科作分析。因此，此方法不仅可以用来维修人员建立排故方案，而且可以用于对人员的日常培训。所以，这种方法有着广泛的应用前景<sup>[10]</sup>。

其使用步骤：首先通过搜集和分析造成故障事件的各种因素。其次根据各因素和事件

之间的逻辑关系画出故障树。然后确定各因素的组合方式和发生概率。最终，通过结合概率对其做定性和定量分析，得出结论，采取相应的应对措施，来提高可靠性<sup>[11]</sup>。

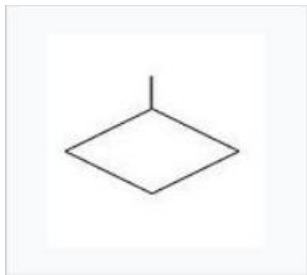
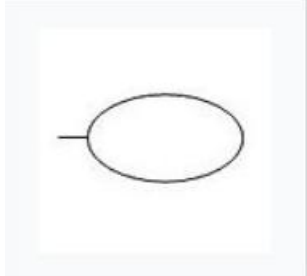
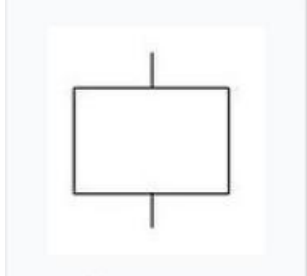
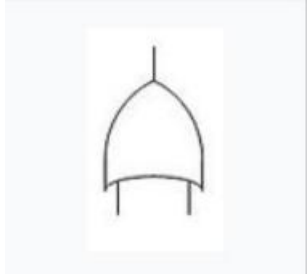
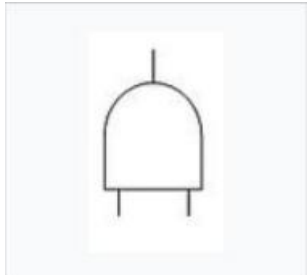

## 2. 故障树分析法定性分析

故障树分析法不仅可以对已知事件的故障进行分析，而且可以对未发生的事件进行猜想，假设其可能发生的故障对其进行分析。在分析前需注意除了查明已知的危险因素，还要洞察隐藏的危险因素。故障树的定性分析就是通过对事件的性质进行分析，用来查明每个系统的顶事件发生故障的可能性和诱发其产生故障的因素。定性分析重要的是需要确定系统的割集进而确定最小割集。其中确定最小割集的方法有：第一种，赛迈特里斯算法（上行法）。其原理是：通过对故障树的最下一级中间事件进行判断，如果中间事件间是以与门联系在一起的用“与结构函数式”，如果中间事件间是以或门联系在一起的用“或结构函数式”。第二种富赛尔算法（下行法）。其原理是：根据或门会增大割集容量的性质，故障树由上到下自顶事件开始，依次把上一级事件替换为下一级事件，遇到与门就将输入事件横向并列写出，遇到或门就将输入事件纵向串列写出。最终将所有逻辑门替换为底事件，从而得到全部割集<sup>[12]</sup>。

## 3. 故障树分析法常用的事件符号和逻辑符号

表 2-1 故障树常用符号

符号名称	符号图形	定义
基本事件		故障树中基本事件为圆形符号，是故障树中不需要进一步查明发生原因的事件。
开关事件		故障树中开关事件为房形符号。首先根据故障情况，开关事件可以分为正常事件和故障事件。当在正常工作时又可分为必然发生和必然不发生的事件。其次当满足房形内的条件时，其所在门的其他输入保留或删除。

未探明事件		故障树中未探明事件为菱形符号。即理应查明，却因暂时不必查明或无法查明原因的事件。
条件事件		故障树中条件事件是扁圆形符号，其是使逻辑门发生的具体条件事件。
中间事件		故障树中中间事件为矩形，其是位于顶事件和基本事件之间的事件。
或门		当输入的多个事件当中至少一个发生时，输出事件就会发生。
与门		故障树中与门为圆屋顶形状，仅当输入事件都发生时，输出事件才能发生。
互斥或门		若输入事件中恰好有一个发生，输出事件就会发生。

<p>优先及门</p>		<p>若输入依照条件式事件指定的顺序出现，输出事件就会发生。</p>
<p>禁止门</p>		<p>表示仅当条件发生时输入事件的发生方导致输出事件的发生。</p>
<p>转移符号</p>		<p>故障树中转移符号为三角形。转入和转出符号用于代替故障树层级较多或故障树中多处包含相同事件，使其成为简化树图。指明子树的位置可以用相同转移符号。指明相似子树的位置可以用相似转移符号。</p>

## 2.5 本章小结

本章对 QAR 数据、粒子群 RBF 网络、粗糙及理论和故障树分析法分别作了论述。通过比较得出,虽然前三种方法在故障诊断方面发挥着一定的作用,但是还存在着一些不足。而故障树分析法及其定性分析不仅包含了上述方法的较多优点,而且也弥补上述的部分不足,相比之下更加适用。因此,基于故障树分析法在民航中的应用变得很有必要。

### 第三章 B737NG 燃油系统典型故障分析

本章首先确定以燃油系统作为研究对象,然后通过与航空公司维修人员交流和查找相关文献、资料最终确定出如下四种典型故障。以下首先将对燃油系统进行简单介绍,然后通过原理简述、故障描述、故障排除和可能故障四个方面对四个典型故障分别建立排故障程方案。

#### 3.1 燃油系统的概述

##### 1. 燃油系统功用

飞机燃油系统是飞机的重要系统之一,其不仅可以用来储存燃油和经供油管路可靠地向发动机、APU 持续不断的提供燃油,而且可以用来对飞机上其它系统进行冷却和保持飞机平衡等附加功能。

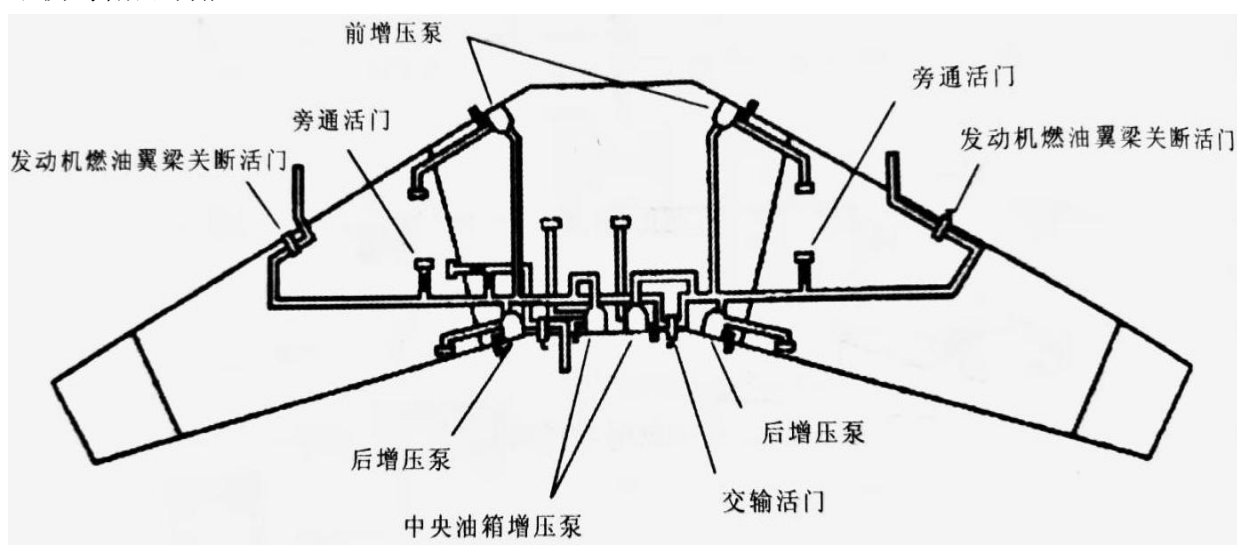


图 3-2 双发飞机燃油供给系统

##### 2. 燃油系统部件功能概述

(1) 油箱：用来存储飞机各部件在工作中所需的燃油。

(2) 燃油增压泵：增压泵的功能是通过提高油箱中抽出的燃油压力，用来给发动机和 APU 等输送能源。除此之外，还可以提高燃油系统的高空性<sup>[13]</sup>。

(3) 交输活门：交输活门的工作状态通常由燃油交输活门电门来控制。其除了当燃油系统需要交叉供油时才将连通开关转到开启状态之外，其他情况下始终处于关闭状态。在功能上，交输活门通常是连接两个燃油箱进行交叉供油，其目的是使任意一个油箱都可以向所有的发动机供油。活门的位置状态由活门指示灯指示：

- 交输活门关闭（OFF）位：活门打开灯熄灭；
- 交输活门打开（ON）位：活门打开灯暗亮；
- 交输活门位置与电门位置不一致：活门打开灯明亮<sup>[13]</sup>。

(4) 翼梁活门：翼梁活门通过发动机起动手柄和防火电门来控制向发动机供应燃油的传输和关断。蓝色燃油活门关闭灯指示活门位置：

- 翼梁活门关闭：活门关闭灯暗亮；
- 翼梁活门打开：活门关闭灯熄灭；
- 翼梁活门位置与发动机起动手柄电门位置不一致：活门关闭灯明亮<sup>[13]</sup>。

(5) 防火开关：防火开关通常位于每台发动机的供油总管上。当为关闭状态时，供油管路被切断，燃油无法输送至发动机，从而可以抑制火势扩大<sup>[13]</sup>。

(6) 单向活门：单向活门通常安装在油箱之间的管路内，其作用是防止各油箱之间发生串油，并保证各油箱的耗油顺序<sup>[13]</sup>。

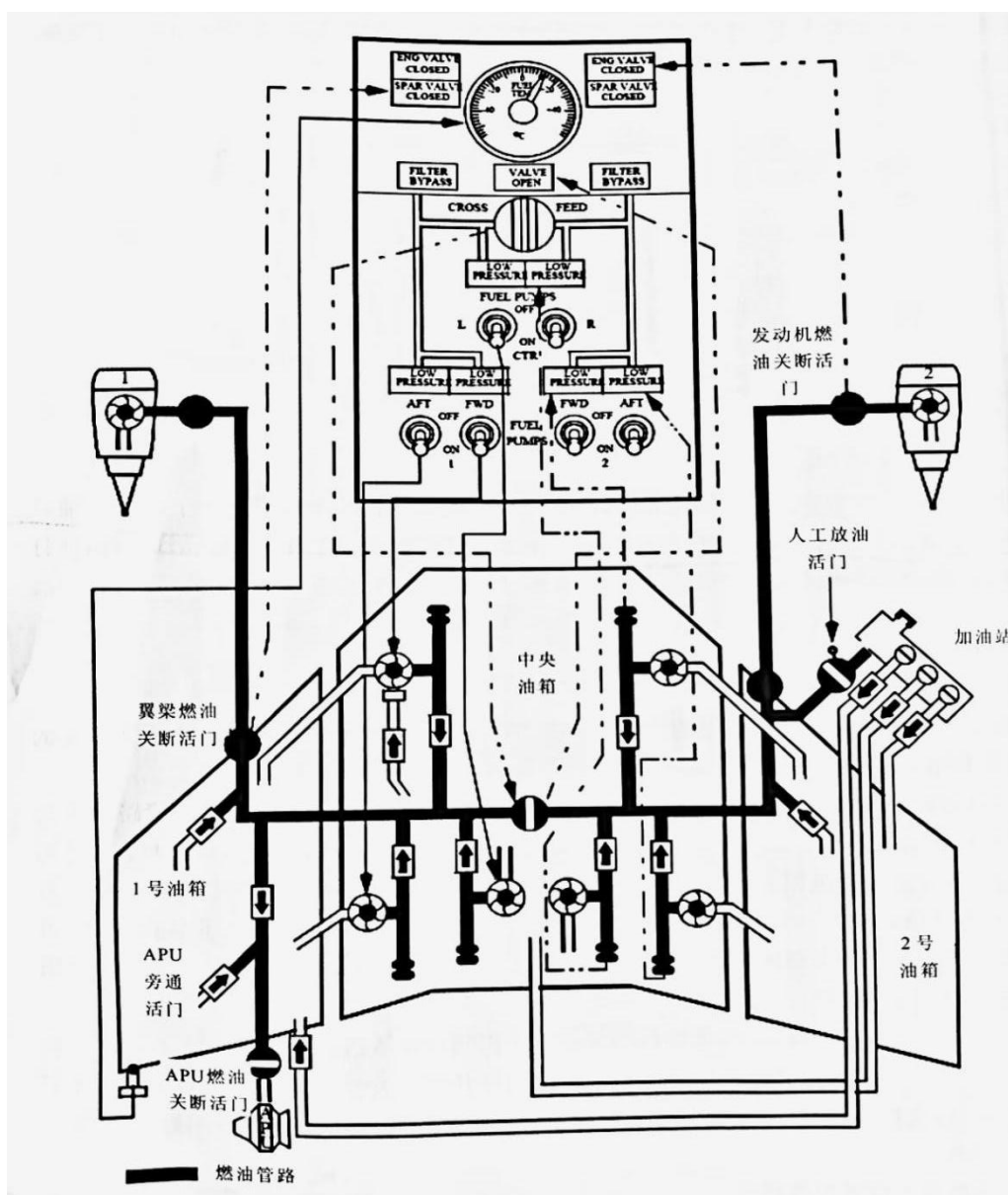


图 3-1 B737NG 燃油系统

## 3.2 燃油系统典型故障分析

### 3.2.1 发动机供油系统故障

导致飞机发动机供油系统故障发生的因素可分为以下这两种情况发生导致；油箱发生串油，发动机燃油关断活门关闭灯保持明亮。下面分别对这两方面进行论述。

#### 1. 油箱发生串油

对于飞机集油箱，其工作原理是通过引射泵将外面的油抽入，然后通过燃油泵供给发动机。但是，保证其可以正常工作的条件之一是必须保持高的液位。当油箱发生串油时，特别是串油渗透量较大时，液位变得较低，集油箱提供的燃油量不及发动机消耗量和串油渗透量之和。因此，会出现发动机燃油供应不上，导致发动机转速不稳定<sup>[4]</sup>。

油箱串油有多种形式，如从中央油箱到 1 号邮箱，从 2 号油箱到中央油箱等，但故障排除的方法雷同。因此，不需做过多赘述，只通过其中一种故障为例建立排故流程。

#### (1) 原理简述

正常情况下每个油箱的燃油由燃油关断活门，交枢活门等进行控制，在没有指令时各油箱内燃油不会转移至其他油箱。

#### (2) 故障描述

在没有指令的情况下，从 1 号油箱到中央油箱发生燃油转移。

#### (3) 故障排除

1) 执行以下步骤来检查左后增压泵输出管路中是否存在泄漏：

A. 将顶置面板 P5 上的左后泵开关设置为接通状态。

B. 让泵运转 15 分钟。

C. 监测中央油箱集油槽排放口处于打开状态时是否有燃油滴落。

a. 如果中央油箱集油槽排放口流出大量燃油，则关闭中央油箱集油槽排放口并监测中央油箱燃油量。

D. 观察 1 号油箱的燃油量，查看其是否减少。

E. 将顶置面板 P5 上的左后泵开关设置为关闭状态。

F. 如果燃油开始从中央油箱集油槽排放口滴落，或者如果在左后泵打开时滴落速率增加，则执行以下步骤：

警告：遵守燃油箱进入注意事项。如果不遵守燃油箱进入注意事项，可能会造成人身伤害。

a. 当准备进入燃油箱时，需执行以下步骤：边清扫边进入燃油箱，可在 AMM 任务 28-11-00-910-802 中查看。

b. 将发动机供油总管加压至 4 psig。为此可通过执行发动机供油总管-泄漏测试的任务来实现，其可在 AMM 任务 28-22-15-710-801 中查看。

注：当执行（AMM 任务 28-22-15-710-801）中的步骤时，仅加压至 4 psig。

c. 检查发动机供油管和左后侧增压泵下游连接处是否泄漏。

d. 如果你发现存在问题，则修复你发现的问题。

e. 在本任务结束时要进行维修确认。

G. 如果燃油没有从中央油箱集油槽排放口滴落，或在左后泵打开时滴落速率没有增加，则继续以下步骤。

2) 执行以下步骤检查增压泵是否有泄漏迹象：

警告：需遵守燃油箱进入注意事项。如果不遵守燃油箱进入注意事项，可能会造成人身伤害。

A. 当准备进入燃油箱时，需执行以下步骤：边清扫边进入燃油箱，可在 AMM 任务 28-11-00-910-802 中查看。

B. 检查中央油箱的增压泵单向释放活门。其需执行以下步骤：拆下释放单向阀，可在 AMM 任务 28-22-71-000-801 中查看。

C. 如果有泄漏迹象，则修复发现的泄漏问题。

a. 在本任务结束时，需要进行维修确认。

b. 如果维修确认时仍存在问题，则继续以下步骤。

D. 如果没有泄漏迹象，则继续以下步骤。

3) 执行以下步骤以查找燃油总管和供油总管中的泄漏迹象：

警告：需遵守燃油箱进入注意事项。如果不遵守燃油箱进入注意事项，可能会造成人身伤害。

A. 执行边清除边进入油箱的要求，可在 AMM 任务 28-11-00-910-802 中查看。

B. 将发动机供油总管和供油总管加压至 4 psig。其需执行以下步骤：发动机供油总管-泄漏测试，可在 AMM 任务 28-22-15-710-801 中查看。

注：执行 AMM 任务 28-22-15-710-801 中的步骤时，需打开排油阀，仅加压至 4 psig。

C. 检查燃油总管的全部管路和供油总管的连接处是否有泄漏迹象。

a. 通过听气体泄漏声音，来判断空气泄漏情况，必要时使用肥皂溶液。

D. 如果发现泄漏，应修复发现的问题。其需执行以下步骤：燃油管路、装配件和移动连接器，可在 AMM 任务 28-22-15-000-801 中查看。

a. 在本任务结束时，需进行维修确认。

(a) 如果维修确认时仍存在问题，则继续以下步骤。

E. 如果没有发现泄漏，则继续以下步骤。

4) 检查 5 号翼肋（中央油箱和 1 号油箱之间的油箱壁板）上的油箱密封胶处是否有泄漏迹象。

A. 如果发现泄漏迹象，应修理坏掉的密封剂。其可执行以下步骤：更换燃油箱

结构上泄漏处的密封胶，可在 AMM 任务 28-11-00-300-803 中查看。

B. 在本任务结束时，需进行维修确认。

(4) 通过上述排故流程方案发现可能导致故障发生的原因有如下四种：

- 1) 增压泵泄漏
- 2) 发动机供油管路泄漏
- 3) 燃油总管泄漏
- 4) 油箱壁板泄漏（5 号翼肋）

## 2. 发动机燃油关断活门关闭灯保持明亮

发动机燃油关断活门是发动机供油系统重要部件，其用来控制进入发动机的燃油，如果活门故障，则可能导致发动机缺少燃油供给，使发动机空中停车。而发动机燃油关断活门关闭灯指示活门工作状态，并且可分为 1 号和 2 号发动机两个指示灯。但是其故障排除流程雷同，所以不需做过多赘述，只挑选其中一种建立排故流程方案。

### (1) 原理简述

发动机燃油关断活门关闭灯指示活门的工作状态，正常情况下只有在活门转换期间保持明亮。

### (2) 故障描述

当 1 号发动机启动推杆设置为慢车状态或停车状态，或者推动 1 号发动机启动手柄时，1 号发动机燃油关断活门关闭开关保持明亮。阀门正常工作，当燃油关断活门改变位置时，燃油关断活门关闭灯保持明亮。当阀门关闭时，灯保持灰暗。当阀门打开时，灯熄灭。

### (3) 故障排除

1) 完成以下翼梁活门执行机构工作检查操作

A. 打开这个接近面板

编 号

名称/位置

521BB

发动机燃油关断活门接近面板-翼梁前侧缝翼站位 36.02

B. 将驾驶舱中的发动机起动推杆设置为慢车状态。

C. 确保翼梁活门执行机构上的手动超控手柄从关闭位置转变为打开位置。

D. 小心地用手将超控手柄移动到打开位置，并确保其完全打开。

E. 如果在将发动机 1 号起动推杆设置到慢车状态时，超控手柄没有完全移动到打开位置，则执行以下步骤：

a. 从阀体上拆下执行机构。请执行以下步骤来拆除阀体：拆下翼梁活门的阀体，可在 AMM 任务 28-22-11-000-803 中查看。

注意：不要从执行机构上断开接头 D788。

b. 在执行机构从安装板上断开时，执行以下步骤：

(a) 将 1 号发动机起动推杆设置为切断状态。

(b) 等待执行机构转到关闭位置。

(c) 转换完成时，将 1 号发动机起动推杆设置为慢车状态。

(d) 如果超控手柄完全移动到打开位置，则更换阀体。以下是更换步骤：首先拆除翼梁活门的阀体，可在 AMM 任务 28-22-11-000-803 中查看。然后安装翼梁活门的阀体，可在 AMM 任务 28-22-11-400-803 中查看。

(e) 如果超控手柄没有完全移动到打开位置，则更换阀门执行机构，V37。步骤如下：首先拆除翼梁活门的执行机构，可在 AMM 任务 28-22-11-000-804 中查看。然后安装翼梁活门的执行机构，可在 AMM 任务 28-22-11-400-804 中查看。

(f) 在本任务结束时，需进行维修确认。

F. 如果当你将驾驶舱中的发动机起动推杆设置为慢车状态时，超控手柄随之完全移动到打开位置，则继续以下步骤。

2) 完成以下翼梁活门执行机构检查操作：

A. 将机舱中的 1 号发动机起动推杆设置为切断。

B. 确保翼梁活门执行机构上的手动超控手柄从打开位置变为关闭位置。

C. 小心地用手将超控手柄移动到关闭位置，并确保其完全关闭。

D. 如果在将 1 号发动机起动推杆转换到切断位置时，超越手柄没有完全移动到关闭位置，则执行以下步骤：

a. 从阀体上拆下执行机构。拆卸步骤可在 AMM 任务 28-22-11-000-803 中查看。

注意：不要从执行机构上断开 D788 连接。

b. 将执行机构从安装板上断开，然后执行以下步骤：

(a) 将 1 号发动机起动推杆设置为慢车状态。

(b) 等待翼梁活门执行机构上的手动超控手柄移到打开位置。

(c) 转换完成时，将 1 号发动机起动推杆设置为切断状态。

(d) 如果超控手柄完全移动到关闭位置，则更换阀体。以下是其更换步骤：首先拆除翼梁活门的阀体，可在 AMM 任务 28-22-11-000-803 中查看。然后安装翼梁活门的阀体，可在 AMM 任务 28-22-11-400-803 中查看。

(e) 如果超控手柄没有完全移动到关闭位置，则更换阀门执行机构。更换步骤如下：首先拆除翼梁活门的执行机构，可在 AMM 任务 28-22-11-000-804 中查看。然后安装翼梁活门的执行机构，可在 AMM 任务 28-22-11-400-804 中查看。

(f) 在本任务结束时，需进行维修确认。

E. 如果当你将驾驶舱中的发动机起动推杆设置为切断时，超控手柄完全移动到关闭位置，则继续以下步骤。

3) 完成以下对翼梁活门执行机构开关的检查（WDM 28-21-11）：

A. 确保操纵台上的 1 号发动机起动推杆处于切断位置。

B. 从执行机构上断开接头 D788 的连接。

C. 对以下接头 D788 执行机构插座上这些空间接点之间的导通性做一个检查：



a. 如果上述两对的空间接点之间不导通，则执行以下步骤：

(a) 更换翼梁活门执行机构。更换步骤如下：首先拆除翼梁活门的执行机构，可在 AMM 任务 28-22-11-000-804 中查看。然后安装翼梁活门的执行机构，可在 AMM 任务 28-22-11-400-804 中查看。

(b) 在本任务结束时，需进行维修确认。

b. 如果上述两对空间接点之间存在导通，则继续以下步骤。

D. 重新连接接头 D788。

E. 将 1 号发动机起动推杆调整至慢车状态。

F. 从执行机构上断开接头 D788。

G. 检查以下接头 D788 执行机构插座上这些空间接点之间的导通性：



a. 如果上述一对空间接点之间不导通，则执行以下步骤：

(a) 更换翼梁活门执行机构。任务如下：首先拆除翼梁活门的执行机构，可在 AMM 任务 28-22-11-000-804 中查看。然后安装翼梁活门的执行机构，可在 AMM 任务 28-22-11-400-804 中查看。

(b) 在本任务结束时，需进行维修确认。

(4) 通过上述排故流程方案发现可能导致故障发生的原因有如下三种：

- 1) 1 号发动机燃油关断活门传动机构
- 2) 1 号发动机燃油关断活门主体
- 3) 1 号发动机启动开关

### 3.2.2 中央油箱油量指示异常的故障

中央油箱作为燃油系统的一部分，其功能可以为发动机、APU 提供燃油等。而中央油箱的油量显示器可以准确提供中央油箱的燃油量，供飞行员和维修人员参考。因此，也是非常重要的部件。然而当中央油箱油量指示异常时需要引起重视，其原因可能是出现异常的燃油布局信息，燃油量指示器显示的燃油量不正确或燃油量指示器的处理器故障。所以，下面将对这几个方面建立排故流程。

#### 1. 异常的燃油布局信息

##### (1) 原理简述

正常情况下供油系统供油，会先消耗中央油箱的燃油，再消耗 1 号和 2 号油箱中的燃油。除此之外，燃油系统还会控制每个油箱的燃油量使其可以保持平衡。

(2) 故障描述

在飞行期间，综合显示系统油量指示页面上突然出现异常燃油布局信息。

(3) 故障排除

1) 完成以下步骤以查找增压泵压力低的原因：

A. 查找更多与燃油供给系统（ATA 28-22）相关的故障报告（例如，低压灯、增压泵跳开关）。

B. 如果故障报告显示 ATA 28-22 未采取纠正措施，则要对这些故障进行故障隔离。

C. 如果没有故障报告 ATA 28-22，则执行以下步骤：

a. 执行此任务：燃油增压泵输出压力测试，可在 AMM 任务 28-22-00-720-803 中查看。

(a) 如果一个或多个增压泵出现问题，则更换相应的增压泵。以下是更换步骤：首先拆卸叶轮马达，可在 AMM 任务 28-22-41-000-801 中查看。然后安装叶轮马达，可在 AMM 任务 28-22-41-400-801 中查看。

b. 如果增压泵压力没有问题，则通过适用程序来查找与通过观察发现的相关燃油数据不需要的燃油传输：

(a) 执行此任务：不需要的燃油从未知来源传输到中央油箱-故障隔离，28-21 任务 812。

(b) 执行此任务：不需要的燃油从 1 号油箱转移到中央油箱-故障隔离，28-21 任务 803。

(c) 执行此任务：不需要的燃油从 2 号油箱转移到中央油箱-故障隔离，28-21 任务 813。

(d) 执行此任务：不需要的燃油从中央油箱转移到 1 号油箱-故障隔离，28-21 任务 814。

(e) 执行此任务：不需要的燃油从中央油箱转移到 2 号油箱-故障隔离，28-21 任务 815。

c. 如果未发现问题，执行以下任务：交输活门-功能测试，可在 AMM 任务 28-22-00-730-802 中查看。

(a) 修复你发现的任何问题。

d. 如果仍然存在问题，则执行以下步骤：

(a) 拆下交输活门执行机构。请执行以下步骤来拆除它：拆下发动机燃油交输活门的执行机构，可在 AMM 任务 28-22-21-000-804 中查看。注意：不要拆下低分度盘螺钉。如果卸下该螺钉，则需要重新校准分度盘（具体步骤可在 AMM 任务 28-22-21-820-801 中查看）。

(b) 安装燃油关断活门校准设备 SPL-1771。

- (c) 确保燃油关断活门校准设备 SPL-1771 上的花键与适配器轴上的花键接合。
- (d) 顺时针转动燃油关断活门校准设备 SPL-1771，直到阻力减小。
- (e) 逆时针转动燃油关断活门校准设备 SPL-1771，直到阻力开始增加。
- (f) 记录燃油关断活门校准设备 SPL-1771 的位置。
- (g) 逆时针转动燃油关断活门定位设备 SPL-1771，直到阻力减小。
- (h) 顺时针转动燃油关断活门校准设备 SPL-1771，直到阻力开始增加。
- (i) 记录燃油关断活门校准设备 SPL-1771 的位置。
- (j) 将燃油关断活门校准设备 SPL-1771 顺时针转动至之前记录的平均位置。

注：这将使中央阀门盘保持在附近的最大阻力点的密封范围内。

- (k) 在不旋转阀门盘的情况下，前后转动燃油关断活门校准设备 SPL-1771

a) 以度为单位测量驱动管路的游隙大小。

- (1) 如果驱动管路游隙范围大于 16 度，则应更换交输活门。

- (m) 拆下燃油关断活门校准设备 SPL-1771。

(n) 安装燃油关断活门执行机构。请执行以下步骤来安装它：安装发动机燃油交输活门的执行机构，可在 AMM 任务 28-22-21-400-804 中查看。

- 2) 执行以下步骤：油量指示系统自检程序，28-41 任务 801。

A. 如果油量指示系统自检测试没有显示任何问题，则继续以下步骤。

3) 执行以下步骤：如果综合显示系统自检测试没有显示任何问题，则系统没有问题。

- (4) 通过上述排故流程方案发现可能导致故障发生的原因有如下三种：

1) 不正常的燃油布局（例如，燃油堵在中央油箱、实际燃油不均衡、交输活门泄漏）

2) 油量指示系统（FQIS）

3) 公共显示器单元（CDS）

## 2. 燃油量指示器显示的燃油量不正确

- (1) 原理简述

油量指示器显示燃油箱内燃油量的大小

- (2) 故障描述

在驾驶舱或加油面板上的燃油量指示器没有显示油箱正确油量。这种情况可以通过燃油量测量棒或通过加油操作期间添加的燃油与驾驶舱中显示的燃油量不一致来发现。

- (3) 故障排除

- 1) 执行以下步骤检查燃油中是否有水：

A. 在相应燃油箱的集油槽处获取燃油样本。请执行以下步骤来获取样本：通过燃油系统集油槽获取，可在 AMM 任务 12-11-00-680-801 中查看。

B. 向燃料样品中加入一或两滴水溶性食用色素。注：如果燃料样品中有水污染，

则燃料样品中的水将通过食用色素进行显现。

C. 如果燃油样品中有水污染，则继续获取燃油样品，直到食用色素没有识别出水为止。请执行以下步骤来获取样品：通过燃油系统集油槽获取，可在 AMM 任务 12-11-00-680-801 中查看。

a. 执行此任务：油量指示系统自检程序，28-41 任务 801。

(a) 如果地面测试显示通过，则您已排除故障。

(b) 如果地面测试显示相应油箱的故障信息，则对显示的故障执行故障隔离程序。

(4) 通过上述排故流程方案发现可能导致故障发生的原因有如下六种：

- 1) 油量指示系统线路损坏
- 2) 从机翼翼梁到油量处理器组件的油箱外部线路
- 3) 油量指示系统的油箱单元或补偿器
- 4) 油量处理组件 (FQPU), M1827
- 5) 扭矩不足或没有连接油箱单元终端
- 6) 燃油箱水污染

### 3. 油量指示系统显示故障信息-处理器故障

#### (1) 原理简述

燃油量指示系统的原理是通过油箱组件向燃油箱内的燃油发射信号，并通过接收与油量大小成正比的反馈信号来初步测量油量。然后通过补偿器发收信号对其误差进行修正。最终由油量处理组件进行计算，得出结果。当出现这个信息时，可能代表油量处理组件 (FQPU) 的电路故障，将会导致燃油质量计算误差大于 $\pm 5\%$ 。

#### (2) 故障描述

油量指示系统显示器上显示处理器故障。

#### (3) 故障排除

1) 执行以下步骤来更换处理器并确认已排除故障：

A. 更换燃油量处理器组件 (FQPU), M1827。以下是更换步骤：首先拆下燃油量处理器组件，可在 AMM 任务 28-41-81-000-801 中查看。然后安装燃油量处理器组件，可在 AMM 任务 28-41-81-400-801 中查看。

B. 执行此任务：油量指示系统自检程序，28-41 任务 801。

C. 如果地面测试显示通过，则您已排除故障。

(4) 通过上述排故流程方案发现可能导致故障发生的原因如下：

- 1) 油量处理组件 (FQPU), M1827

### 3.2.3 APU 供油系统故障

APU 供油系统通过燃油泵将油箱中的燃油输送至 APU，当 APU 供油系统故障，提供

的燃油不充足时可能为以下两种故障情况之一导致：流到 APU 的燃油不充足或 APU 套管排放口上有燃油泄漏。因此，以下对这两种情况分别建立排故流程方案。

### 1. 流到 APU 的燃油不充足

#### (1) 原理简述

APU 作为飞机重要的一部分，其可以向飞机提供独立、可靠地电力和压缩空气，并且有些飞机的 APU 也可以向飞机提供附加推力。但 APU 工作时需要一定量的燃油，当流至 APU 的燃油不充足时，会导致 APU 停车，无法提供备用电力、空气等。

#### (2) 故障描述

APU 供油系统没有提供充足的燃油供给 APU，由 AMM 任务 49-31-00-700-802 中的故障现象或通过 APU 的其他问题表现出来。

#### (3) 故障排除

##### 1) 执行以下步骤来检查 APU 燃油阀：

A. 在面板 P5 上，将 APU 主开关设置为打开状态。

B. 确保在左主轮罩的后梁上的 APU 燃油阀上的超控手柄处于打开位置。

C. 小心地将超控手柄移到打开位置，并确保其完全打开。

D. 如果当你设置 APU 主开关为打开状态时超控手柄未完全移动到打开位置，则执行以下步骤：

a. 从安装板上拆下 APU 关断活门执行机构 V43（可在 AMM 任务 28-25-02-000-801 中查看），但不要从执行机构上拆下电气接头 D920。

b. 在传动机构与安装板断开的情况下，首先将 APU 主开关设置为关闭状态，然后再设置为打开状态。

c. 如果当 APU 主开关设置为打开状态时，超控手柄随之完全移动到打开位置，则更换阀体。更换步骤包括：APU 关断活门主体组件拆卸，可在 AMM 任务 28-25-02-000-802 中查看。APU 关断活门主体组件安装，可在 AMM 任务 28-25-02-400-802 中查看。

d. 如果当 APU 主开关设置为打开状态时，超控手柄没有完全移动到打开位置，则更换阀门执行机构。更换步骤包括：APU 关断活门执行机构组件拆卸，可在 AMM 任务 28-25-02-000-801 中查看。APU 关断活门执行机构组件安装，可在 AMM 任务 28-25-02-400-801 中查看。

e. 在本任务结束时，需进行维修确认。

E. 如果当您把 APU 主开关设置为打开状态时，超控手柄完全移动到打开位置，则继续以下步骤。

##### 2) 执行以下步骤来测试从中央油箱顶部到 APU 进口的 APU 燃油管路是否泄漏：

A. 执行以下步骤以打开 APU 关断活门：

a. 确保跳开关为关闭状态：

副驾驶电子系统仪表, P6-4

行	列	数字	名字
A	14	C00033	辅助动力单元控制器

b. 将电池开关设置为打开状态。

c. 将 APU 主开关设置为打开状态。

B. 将 1 号油箱的前部增压泵开关设置为打开状态。

注: 这将使从 1 号油箱到 APU 的 APU 燃油管路加压。

C. 确保面板 P5 上的 FWD 1 低压指示灯熄灭。

a. 如果 FWD 1 低压指示灯在 90 秒后未熄灭, 则执行此步骤: 当 1 号油箱前部泵低压指示灯亮起时, 进行故障隔离, 28-22 任务 804。

D. 观察 APU 排放杆 10 分钟, 以查看 APU 燃油管路中是否有燃油泄漏。

E. 观察 APU 隔层中的复杂的 APU 燃油管路 10 分钟, 以查看燃油泄漏情况。

F. 将 1 号油箱的前侧增压泵开关设置为关闭状态。

G. 将 APU 主开关设置为关闭状态。

H. 如果有燃油泄漏的迹象, 则执行以下步骤:

a. 更换发生泄漏的 APU 燃油管路部分 (可在 AMM 任务 28-25-04-400-802 中查看)。

b. 在本任务结束时, 需执行维修确认程序。

I. 如果没有燃油泄漏的迹象, 则继续以下步骤。

3) 执行以下步骤来检查从前增压泵到 APU 燃油管路的堵塞情况:

A. 用后部 1 号增压泵给 APU 燃油管路加压, 来再次执行 APU 燃油供应检查 (可在 AMM 任务 49-31-00-700-802 中查看)。

B. 如果 APU 燃油供应检查结果令人满意, 则执行以下步骤:

a. 对于中央油箱和 1 号油箱, 执行以下步骤: 边清除边进入燃油箱, 可在 AMM 任务 28-11-00-910-802 中查看。

b. 检查 1 号前部油箱增压泵的进口是否堵塞, 前部 1 号油箱增压泵的单向释放活门或从单向释放活门到 APU 燃油管路的燃油供油管路是否有堵塞。

c. 修复你发现的问题。

d. 在本任务结束时, 需执行维修确认程序。

C. 如果 APU 燃油供应检查不令人满意, 则继续以下步骤。注意不要在 APU 防火墙处重新连接 APU 燃油管路。

4) 在 APU 防火墙处断开 APU 燃油管路的情况下, 执行以下步骤来检查 APU 燃油管路是否堵塞:

A. 对于中央油箱和 1 号油箱, 执行以下步骤: 边清除边进入油箱, 可在 AMM 任务 28-11-00-910-802 中查看。

- B. 断开 APU 燃油管路和发动机供油总管之间的连接。
  - C. 允许从 APU 燃油管路排入 5 加仑（19 升）燃油进入耐燃油容器 STD-1054。
  - D. 从发动机供油总管断开的一端向 APU 燃油管路内施加空气压力。
  - E. 利用 APU 腔室中 APU 燃油管路开口端的气流，查找 APU 燃油管路堵塞的迹象。注意来自 APU 腔室中 APU 燃油管路的气流。
  - F. 停止向 APU 燃油管路施加空气压力。
  - G. 从中央油箱顶部的中央油箱适配器接头上断开 APU 燃油管路（可在 AMM 任务 28-25-04-400-802 中查看）。
  - H. 从中央油箱中断开的一端再次向 APU 燃油管路内施加空气压力。
    - a. 利用油箱顶部 APU 燃油管路开口端的气流，查看 APU 燃油管路是否堵塞。
    - b. 如果来自中央油箱适配器接头的空气流量明显大于来自 APU 防火墙处连接开关的空气流量，则执行以下步骤：
      - (a) 更换从中央油箱适配器接头到 APU 防火墙的 APU 燃油管路。
- 以下是更换步骤：首先进行 APU 燃油管路拆除（中央机翼段至 APU 防火墙），可在 AMM 任务 28-25-04-400-802 中查看。然后进行 APU 燃油管路安装（中央机翼段至 APU 防火墙），可在 AMM 任务 28-25-04-400-803 中查看。
- (b) 在本任务结束时，需执行维修确认程序。
  - c. 如果来自中央油箱适配器接头的气流与 APU 防火墙上记录的气流大致相同，则执行以下步骤：
    - (a) 更换中央油箱中从发动机供油总管连接处到中央油箱顶部的 APU 燃油管路部分。更换步骤包括：APU 燃油管路拆卸（1 号油箱和中央油箱），可在 AMM 任务 28-25-04-000-801 中查看。APU 燃油供油管路安装（1 号油箱和中央油箱），可在 AMM 任务 28-25-04-400-801 中查看。

(b) 在本任务结束时，需执行维修确认程序。

(4) 通过上述排故流程方案发现可能导致故障发生的原因有如下五种：

- 1) APU 的燃油管路堵塞
- 2) APU 的燃油活门没完全打开
- 3) 单向活门旁边的旁通入口没有完全打开
- 4) 单向活门卡在打开位置
- 5) APU 燃油管路泄漏

## 2. APU 套管排放口上有燃油泄漏迹象

### (1) 原理简述

由于输送至 APU 的燃油管路较长，且较为封闭，不易发现漏油。因此，在管路中设置 APU 套管排放口来观察管路中是否有燃油泄漏。

### (2) 故障描述

## APU 套管排放口有燃油滴落

## (3) 故障排除

1) 确保机头和主起落架的起落架下位锁销已安装，执行以下步骤：起落架下位锁销安装，可在 AMM 任务 32-00-01-480-801 中查看。

2) 对于 APU 整流罩排油杆处的燃油泄漏位置，其必须从 APU 防火墙隔仓接头和后货舱前壁之间的 APU 燃油供应管路泄漏。

3) 要接近 APU 燃油供应管路和连接配件时，请打开相应的接近面板。

4) 确保左侧主油箱（可在 AMM 任务 12-11-00-650-802 中查看）中的燃油超过 800 磅（400 千克）。

5) 确保顶置面板 P5 上的 APU 启动开关处于断开位置。

6) 在 APU 启动开关上贴上禁止操作标签。

7) 打开这些断路器，并安装安全标签：

副驾驶电子系统面板，P6-2

排	列	数字	名称
B	19	C01344	APU 防火开关电源

副驾驶电子系统面板，P6-4

排	列	数字	名称
A	14	C00033	辅助动力单元控制器

8) 将 APU 燃油关断活门上的手动超控手柄移到打开位置。

9) 将顶置面板 P5 上的燃油泵油箱 1-后开关设置为接通状态。

注意：该步骤需对 APU 燃油供应管路加压。

10) 确保左后增压泵的压力灯熄灭。

11) 检查供应管路和/或连接配件是否泄漏。

12) 在每个 APU 燃油供应管路连接处进行检查，直到发现泄漏。

13) 当发现泄漏时，执行以下步骤：

A. 将顶置面板 P5 上的燃油泵油箱 1-后开关设置为关闭状态。

B. 将 APU 燃油关断活门上的手动超控手柄移到关闭位置。

C. 更换供应管路和/或按如下方式修理连接：

a. 如有必要，更换 APU 燃油管（机翼中心部分至 APU 防火墙）。

更换步骤包括：APU 燃油管路拆除（中央机翼段至 APU 防火墙），可在 AMM 任务 28-25-04-400-802 中查看。APU 燃油管路安装（中央机翼段至 APU 防火墙），可在 AMM 任务 28-25-04-400-803 中查看。

14) 关闭所有检修面板。

15) 执行维修确认程序。

(4) 通过上述排故流程方案发现可能导致故障发生的原因如下：

1) APU 供油管路发生泄漏

### 3.2.4 压力加油系统故障

压力加油系统是飞机燃油系统重要的组成部分之一。其通过从机场中的燃料源抽取燃油输送至飞机的油箱。当压力加油系统出现故障时,可能导致燃油无法流入油箱或者燃油溢出油箱。其中压力加油系统故障导致燃油溢出的有三种情况,下面分别对其论述建立排故流程方案。

#### 1. 通气油箱溢油

##### (1) 原理简述

通气油箱用来平衡油箱内外压差,防止油箱结构因压差过大而发生破坏。因此正常情况下通气油箱不会有燃油溢出。

##### (2) 故障描述

在加油操作期间,燃油从通气孔溢出。

##### (3) 故障排除

1) 如果燃油关断活门的活门位置灯没有熄灭,则执行以下步骤:

A. 更换相应油箱的燃油浮子开关, S574 (1 号油箱)、S576 (中央油箱) 或 S578 (2 号油箱)。

以下是更换步骤:

首先进行浮子开关拆卸,可在 AMM 任务 28-21-71-020-801 中查看。然后进行浮子开关安装,可在 AMM 任务 28-21-71-400-802 中查看。

B. 检查加油浮动开关的安装支架是否弯曲或处于不正确的水平位置。

a. 如有必要,修理安装支架。

C. 在本任务结束时,需进行维修确认。

2) 检查中央油箱中的 NGS 浮子活门。

注意:这可能代表中央油箱中的 NGS 浮子活门无法打开。

A. 如果浮子活门未能打开,则更换浮子活门。

以下是更换步骤:

首先拆卸浮子活门,可在 AMM 任务 47-21-02-000-801 中查看。然后安装浮子活门,可在 AMM 任务 47-21-02-420-801 中查看。

B. 在本任务结束时进行维修确认。

3) 如果相应的阀门位置灯熄灭,则执行以下步骤:

A. 推动阀门位置灯以确保其正常。

注:指示灯为“按下测试”。

B. 如果按下阀门位置灯时不亮,则更换阀门位置灯。

C. 如果阀位置指示灯正常,则更换相应的燃油关断活门。

以下是更换步骤：

首先拆下燃油关断活门，可在 AMM 任务 28-21-51-000-801 中查看。然后安装燃油关断活门，可在 AMM 任务 28-21-51-400-801 中查看。

D. 在本任务结束时，需进行维修确认。

(4) 通过上述排故流程方案发现可能导致故障发生的原因有如下四种：

- 1) 中央油箱浮子活门已经失效无法打开
- 2) 飞机不在水平面上
- 3) 燃油关断活门
- 4) 燃油浮子开关

2. 当活门设置为关闭状态时，燃油关断活门的活门状态灯不会熄灭

(1) 原理简述

燃油关断活门指示灯显示关断活门的状态。当燃油关断活门为关闭状态时，指示灯应该熄灭。

(2) 故障描述

当你把活门的开关设置为关闭状态时，燃油关断活门的活门状态灯不会熄灭。

(3) 故障排除

1) 执行以下步骤来检查燃油关断活门的电器电源：

A. 对于 1 号油箱，执行以下步骤：

- a. 从显示故障的燃油关断活门上断开电气接头 D890。
- b. 将 1 号油箱的燃油关断活门开关设置到打开位置。
- c. 检查接头 D890 的空间接点 3 和空间接点 2（接地）是否有 28 伏直流电压。
- d. 将 1 号油箱的燃油关断活门开关设置为关闭状态。
- e. 检查 D890 的空间接点 3 和空间接点 2 之间是否存在 0 伏直流电压。
- f. 如果开关设置为关闭时，空间接点 3 和空间接点 2 之间的电压为 0 伏直流电

压，则执行以下步骤：

(a) 更换燃油关断活门 V44。

以下是更换步骤：

首先拆下燃油关断活门，可在 AMM 任务 28-21-51-000-801 中查看。然后安装燃油关断活门，可在 AMM 任务 28-21-51-400-801 中查看。

(b) 在本任务结束时，需进行维修确认。

g. 如果 D890 的空间接点 3 和空间接点 2 之间没有 0 伏直流电压，则继续以下步骤。

(a) 将接头 D890 重新连接到燃油关断活门上。

B. 对于 2 号油箱，执行以下步骤：

- a. 从显示故障的燃油关断活门上断开电气接头 D894。

- b. 将 2 号油箱的燃油关断活门开关设置为打开状态。
- c. 检查接头 D894 的空间接点 3 和空间接点 2（接地）是否有 28 伏直流电压。
- d. 将 2 号油箱的燃油关断活门开关转换到关闭位置。
- e. 检查 D894 的空间接点 3 和空间接点 2 之间是否存在 0 伏直流电压。
- f. 如果开关设置为关闭时，空间接点 3 和空间接点 2 之间的电压为 0 伏直流电压，则执行以下步骤：

- (a) 更换燃油关断活门 V45。

以下是更换步骤：

首先拆下燃油关断活门，可在 AMM 任务 28-21-51-000-801 中查看。然后安装燃油关断活门，可在 AMM 任务 28-21-51-400-801 中查看。

- (b) 在本任务结束时，需进行维修确认。

- g. 如果 D894 的空间接点 3 和空间接点 2 之间没有 0 伏直流电压，则继续以下步骤。

- (a) 将接头 D894 重新连接到燃油关断活门上。

C. 对于中央油箱，执行以下步骤：

- a. 从显示故障的燃油关断活门上断开电气接头 D892。
- b. 将中央油箱的燃油关断活门开关转换到打开位置。
- c. 检查接头 D892 的空间接点 3 和空间接点 2（接地）是否有 28 伏直流电压。
- d. 将中央油箱的燃油关断活门开关转换到关闭位置。
- e. 检查 D892 的空间接点 3 和空间接点 2 之间是否存在 0 伏直流电压。
- f. 如果开关设置为关闭时，空间接点 3 和空间接点 2 之间的电压为 0 伏直流电压，则执行以下步骤：

- (a) 更换燃油关断活门 V46。

以下是更换步骤：

首先拆下燃油关断活门，可在 AMM 任务 28-21-51-000-801 中查看。然后安装燃油关断活门，可在 AMM 任务 28-21-51-400-801 中查看。

- (b) 在本任务结束时，需执行维修确认程序。

- g. 如果 D892 的空间接点 3 和空间接点 2 之间没有 0 伏直流电压，则继续以下步骤。

- (a) 将接头 D892 重新连接到燃油关断活门上。

2) 更换适用于燃油关断活门 S157（1 号油箱）、S158（2 号油箱）或 S159（中央油箱）的开关。

- A. 在本任务结束时，需进行维修确认。

(4) 通过上述排故流程方案发现可能导致故障发生的原因有如下两种：

1) 燃油关断活门

2) 燃油关断活门的开关

3. 当燃油关断活门开关在关闭位置时，无法停止向油箱加油

当无法停止加油时，燃油可能会通过通气管路从通气口溢出，导致燃油泄漏。

(1) 原理简述

燃油关断活门控制燃油从外部燃油源进入飞机油箱。当燃油关断活门处于关闭位置时，正常情况下燃油应无法从燃油源流动到油箱。

(2) 故障描述

当执行了压力加油操作，且相应的燃油关断活门设置为关闭状态时，燃油依然流入一个至多个油箱。也就是说，指示器上相应的油箱的油量继续增加或者燃油源上的流量表显示燃油流量。

(3) 故障排除

1) 更换相应的燃油关断活门 V44 (1 号油箱)、V45 (2 号油箱) 或 V46 (中央油箱)。

以下是更换任务：

首先拆下燃油关断活门，可在 AMM 任务 28-21-51-000-801 中查看。然后安装燃油关断活门，可在 AMM 任务 28-21-51-400-801 中查看。

A. 在本任务结束时，需进行维修确认。

(4) 通过上述排故流程方案发现可能导致故障发生的原因有如下三种：

- 1) 燃油关断活门
- 2) 燃油关断活门开关
- 3) 燃油浮子电门

### 3.3 本章小结

本章首先通过与航空公司维修人员交流和查找相关文献、资料，确定出四个典型故障。然后通过 FIM 手册、AMM 手册建立排故流程方案（包含原理简述、故障描述、故障排除流程、可能导致故障发生的原因），来提供出现故障时的维修依据。除此之外，本文最后论述了目前最难排除的间歇性故障，并根据现有的先进排故技术提出诊断理论设想。

## 第四章 基于故障树的燃油系统典型故障排故流程方案

本章首先确定适合的故障树软件，然后根据典型故障建立故障树并作定性分析，最终形成一套完备的排故流程方案。维修人员可以根据这套方案的优先级从高到低，快速查找故障并排除。

### 4.1 典型故障分析软件简介

故障树相关软件有 AUTOFTA、亿图图示和 FreeFta 等，这三种软件优缺点如下：

#### 1. FreeFta

优点：1) 不仅可以建立故障树，而且可以进行最小割集、最小径集、重要程度、事件概率等计算。

2) 还可以对故障树所建内容自动排列；

3) 具有比较丰富的故障树图示样式和文字等功能设置；

4) 包含事故危害、发生条件、易发生地和三种预案等的功能设置。

缺点：故障树的每个事件只能输入 10 个汉子和字符。因此，在故障树上只能通过简写的方式来表达，在文中论述时再详细描述。

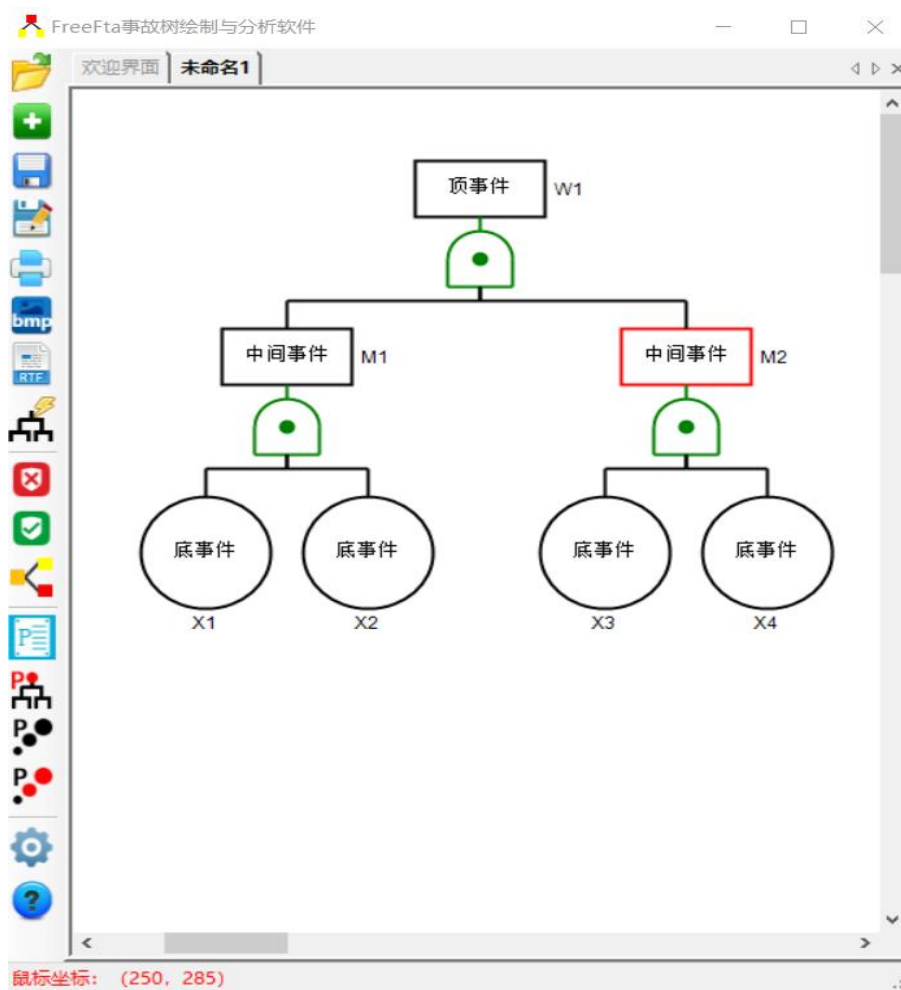


图 4-1 FreeFta 软件顶事件建立页面

## 2. AUTOFTA

优点：1) 除了可以建立故障树之外，还可以进行最小割集计算、事件发生概率计算、底事件或条件事件重要度分析等。

2) 可以对多个故障树分析对比

缺点：1) 故障树的图示样式和文字等功能设置较少。

2) 事件较多时直方图结果事件名称显示不全

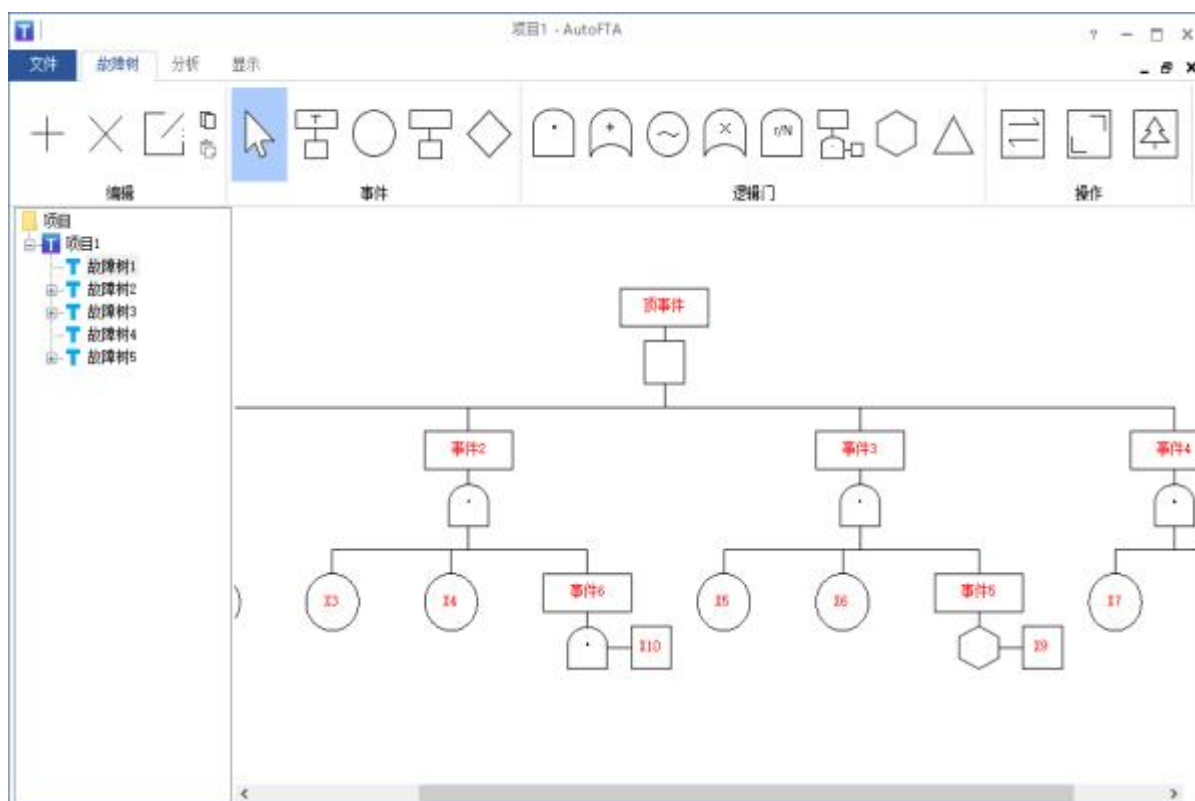


图 4-3 AUTOFTA

## 3. 亿图图示

优点：1) 逻辑符号丰富，且对符号的格式和位置的操作简单、方便、快捷；

2) 可以更改图形颜色、边框、图层、大小等；

3) 故障树的图形、文字等可以有多种设置样式。

缺点：只能建立故障树，无法进行定性分析、定量分析等。

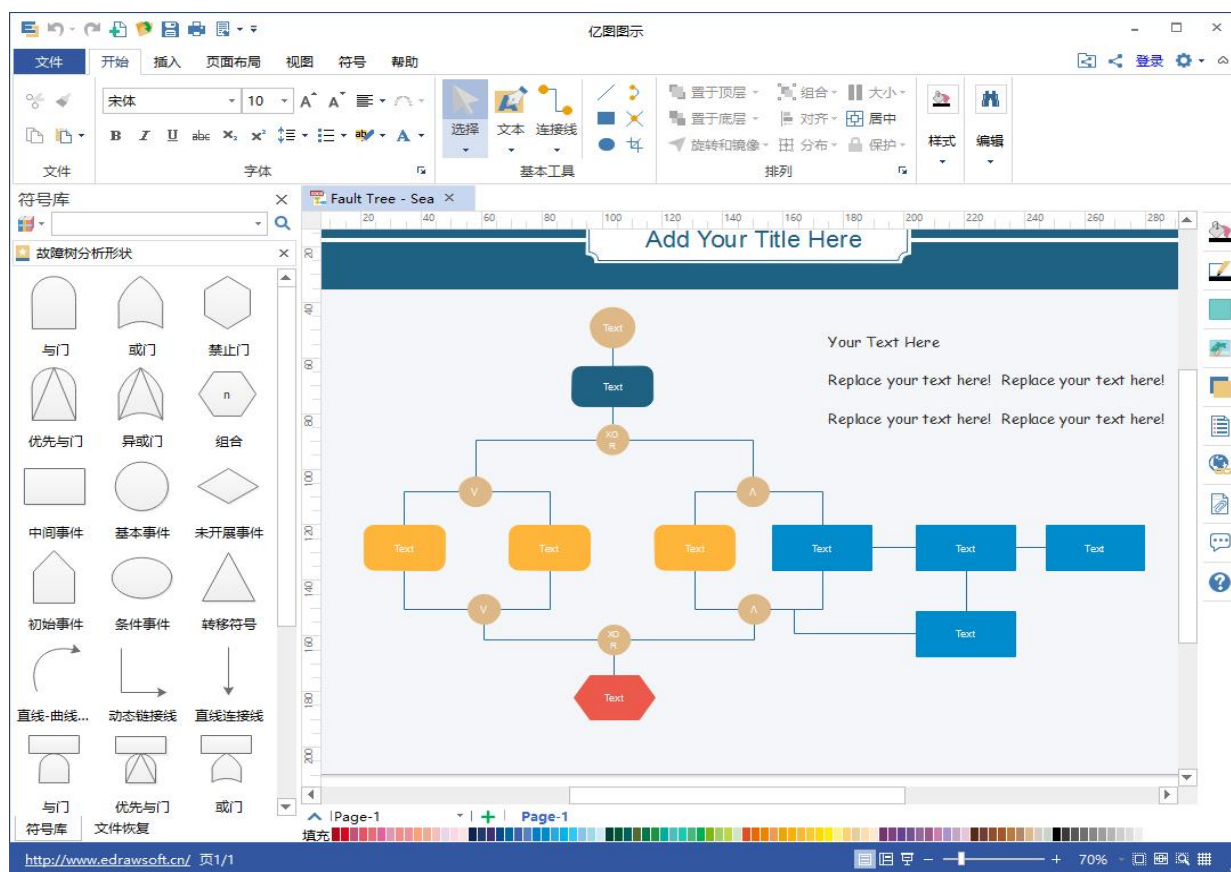


图 4-2 亿图图示

通过上述比较，FreeFta 与其他两款软件相比，虽然在故障树样式设计和文字输入上有所不足，但是掩盖不了在故障树的建立和定性分型分析等需要使用的功能上的较多优点。所以，很适合作为本文故障树的建立及其定性分析的有效手段。其建立故障树的步骤是首先由新建页面建立顶事件，编辑事件编号和事件名称，并选好顶事件的逻辑门。其次通过新建页面添加中间事件和基本事件，进而完成故障树的建立。

## 4.2 燃油系统典型故障的故障树定性分析

### 4.2.1 发动机供油系统故障的故障树定性分析

该节介绍了发动机供油系统故障的故障树（如图 4-2 所示），首先确定顶事件为发动机供油系统故障，由第三章论述的排故方案结合顶事件可以得到，导致发动机供油系统故障的原因可能是 M1、M2，其与顶事件为或的关系，当其中一个发生时顶事件就会发生。M3、M4 是导致 M1 发生的中间事件，其为或的关系。M3 包含基本事件 X1、X2、X3，M4 包含基本事件 X4、X5、X6。而 M5 和 M6 是导致 M2 发生的中间事件，其为或的关系。M5 包含基本事件 X7、X8、X9、X10，M6 包含基本事件 X11、X12、X13、X14、X15。当中间事件所包含的基础事件的其中之一发生时，中间事件就会发生。

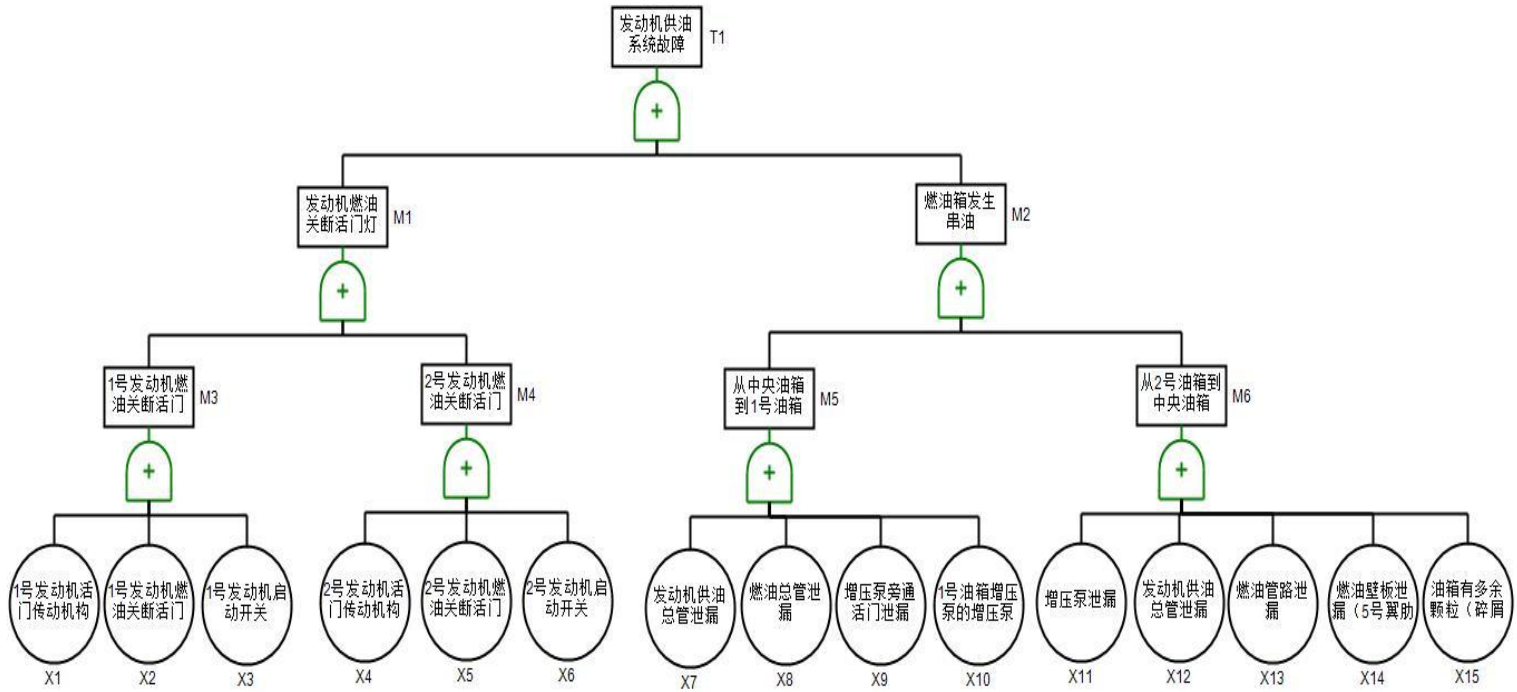


图 4-2 发动机供油系统故障的故障树

由上图的故障树得到相应的基本事件与第三章所论述的排故流程相结合,得到下方表格(表 4-1),并可得到 X2、X5 为发生频率相对较高, X1、X4、X6、X9、X11、X14、X15 发生频率相对中等, X3、X7、X8、X10、X12、X13 发生频率相对较低。

表 4-1 发动机供油系统故障的故障树定性分析

事件编号	最小割集	故障发生等级	故障发生导致的事件
X1	1 号发动机燃油关断活门传动机构	II	发动机供油系统故障
X2	1 号发动机燃油关断活门	I	
X3	1 号发动机启动开关	III	
X4	2 号发动机燃油关断活门传动机构	II	
X5	2 号发动机燃油关断活门	I	
X6	2 号发动机启动开关	II	
X7	发动机供油总管泄漏	III	
X8	燃油总管泄漏	III	
X9	增压泵旁通活门泄漏	II	
X10	1 号油箱增压泵的增压单向释放活门泄漏	III	
X11	增压泵泄漏	II	
X12	发动机供油总管泄漏	III	
X13	燃油管路泄漏	III	

X14	油箱壁板泄漏（5号翼肋）	II	
X15	在油箱内有多余的颗粒（碎屑）	II	

注：I 为发生频率相对较高，II 为发生频率相对中等，III 为发生频率相对较低

#### 4.2.2 中央油箱油量指示异常故障的故障树定性分析

该节介绍了中央油箱油量指示异常的故障树（如图 4-3 所示），首先确定顶事件为中央油箱油量指示异常，由第三章论述的排故方案结合顶事件可以得到，导致发动机燃油系统故障的原因可能是 M1、M2，其与顶事件为或的关系，当其中一个发生时顶事件就会发生。M3、M4 是导致 M2 发生的中间事件，其为或的关系。M1 包含基础事件 X1、X2、X3，M3 包含基础事件 X4、X5、X6，M4 包含基础事件 X7。当中间事件所包含的基础事件的其中之一发生时，中间事件就会发生。

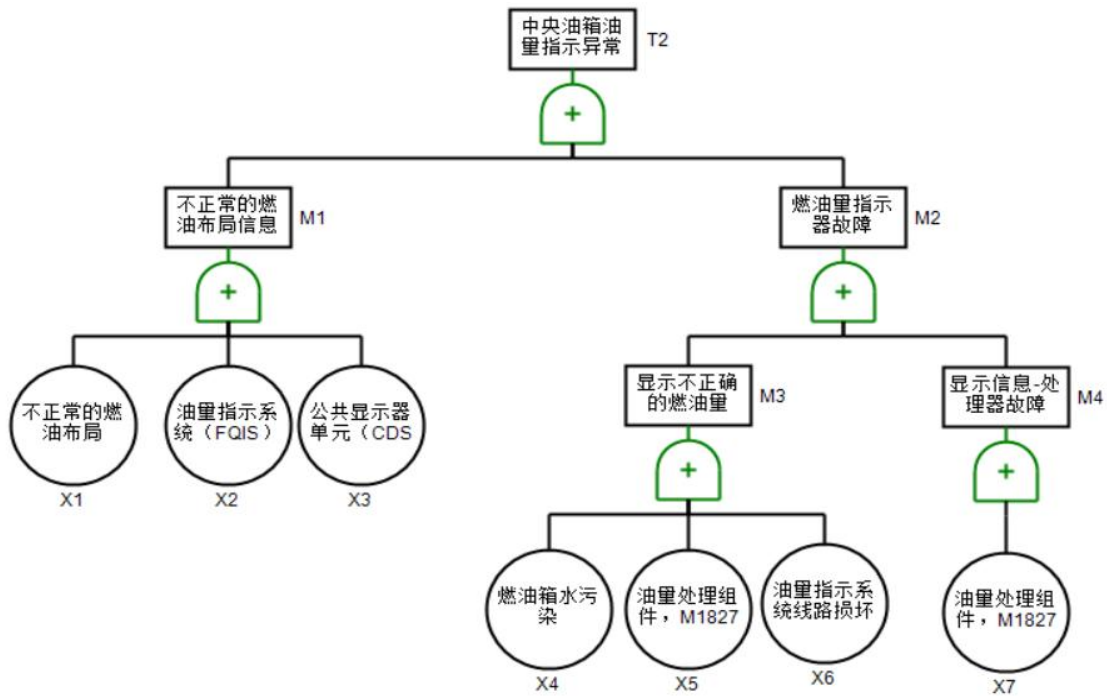


图 4-3 中央油箱油量指示异常故障树

由上图的故障树得到相应的基本事件与第三章所论述的排故流程相结合，得到下方表格（表 4-2），并可得到 X4 为发生频率相对较高，X1、X2 发生频率相对中等，X3、X5、X6、X7 发生频率相对较低。

表 4-2 中央油箱油量指示异常故障树定性分析

事件编号	最小割集	故障发生等级	故障发生导致的事件
X1	不正常的燃油量布局 （如燃油堵在中央油箱，实际燃油不均衡，交输活门泄漏）	II	中央油箱油量指示异常

X2	油量指示系统 (FQIS)	II
X3	公共显示单元 (CDS)	III
X4	燃油箱水污染	I
X5	油量处理组件 (FQPU), M1827	III
X6	油量指示系统线路损坏	III
X7	油量处理器 (FQPU), M1827	III

注：I 为发生频率相对较高，II 为发生频率相对中等，III 为发生频率相对较低

### 4.2.3 APU 供油系统故障的故障树定性分析

该节介绍了 APU 供油系统没有向 APU 提供充足的燃油的故障树（如图 4-4 所示），首先确定顶事件为 APU 供油系统故障，由第三章论述的排故方案结合顶事件可以得到，导致 APU 供油系统故障的原因可能是 M1、M2、X1，其与顶事件为或的关系，当其中一个发生时顶事件就会发生。M2 包含基础事件 X10、X11、X12、X13、X14。M4、M5 是导致 M1 发生的中间事件，其为或的关系。M4 包含基本事件 X2、X3、X4、X5，M5 包含基本事件 X6、X7、X8、X9。当中间事件所包含的基础事件的其中之一发生时，中间事件就会发生。

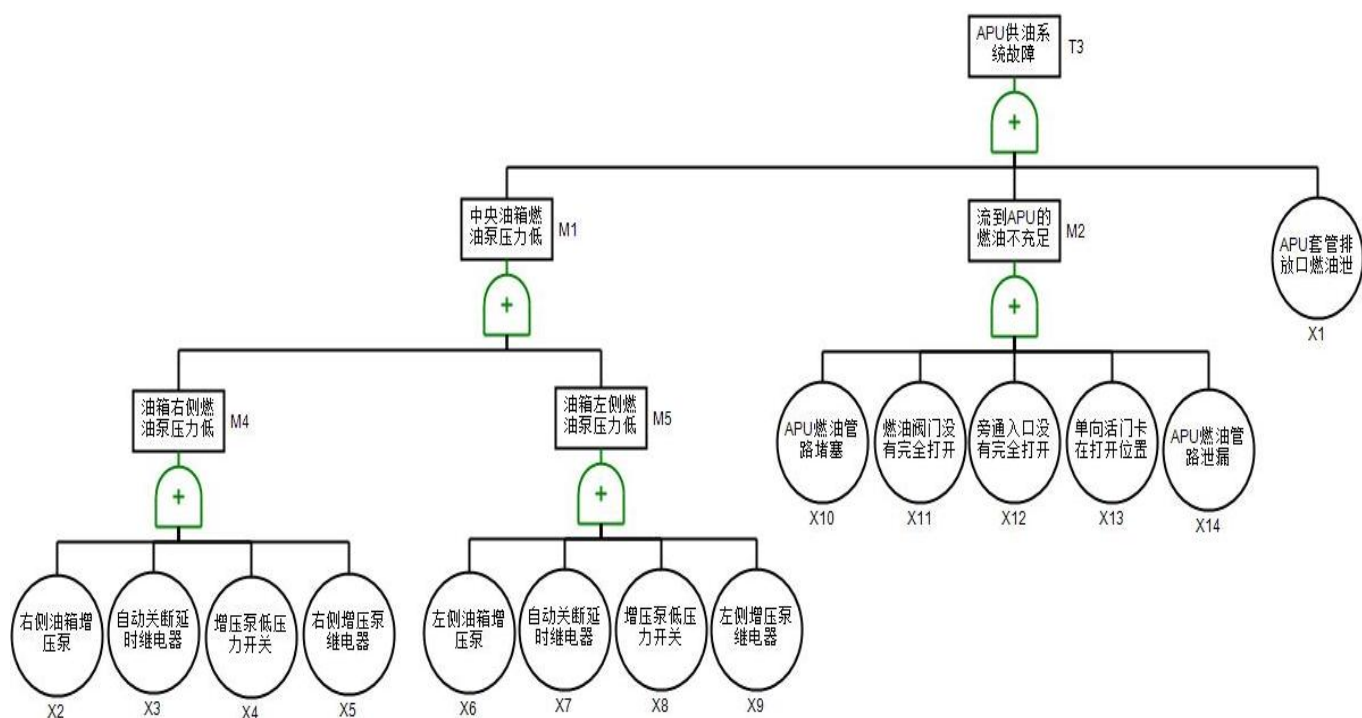


图 4-4 APU 供油系统故障的故障树

由上图的故障树得到相应的基本事件与第三章所论述的排故流程相结合，得到下方表格（表 4-3），并可得到 X4、X8、X12 为发生频率相对较高，X1、X10、X11、X13、发生频率相对中等，X2、X3、X5、X6、X7、X9、X14 发生频率相对较低。

表 4-3 APU 供油系统故障的故障树定性分析

事件编号	最小割集	故障发生等级	故障发生导致的事件
X1	APU 套管排放口上有燃油泄漏迹象	II	APU 供油系统故障
X2	右侧中央油箱增压泵（超空泵）	III	
X3	右侧自动关断延时继电器	III	
X4	右侧中央油箱增压泵低压压力开关	I	
X5	中央油箱右侧增压泵继电器	III	
X6	左侧中央油箱增压泵（超空泵）	III	
X7	左侧自动关断延时继电器	III	
X8	左侧中央油箱增压泵低压压力开关	I	
X9	中央油箱左侧增压泵继电器	III	
X10	APU 燃油管路堵塞	II	
X11	APU 的燃油阀门没有完全打开	II	
X12	单向活门附近的旁通活门入口没有完全打开	I	
X13	单向活门卡在打开位置	II	
X14	APU 燃油管路泄漏	III	

注：I 为发生频率相对较高，II 为发生频率相对中等，III 为发生频率相对较低

#### 4.2.4 压力加油系统故障的故障树定性分析

该节介绍了压力加油系统故障的故障树（如图 4-5 所示），首先确定顶事件为压力加油系统故障，由第三章论述的排故方案结合顶事件可以得到，导致压力加油系统故障的原因可能是 M1, M2, 其与顶事件为或的关系，当其中一个发生时顶事件就会发生。M2 包含基础事件 X8、X9。M3、M4 是导致 M1 发生的中间事件，其为或的关系。M3 包含基本事件 X1、X2、X3、X4，M4 包含基本事件 X5、X6、X7。当中间事件所包含的基础事件的其中之一发生时，中间事件就会发生。

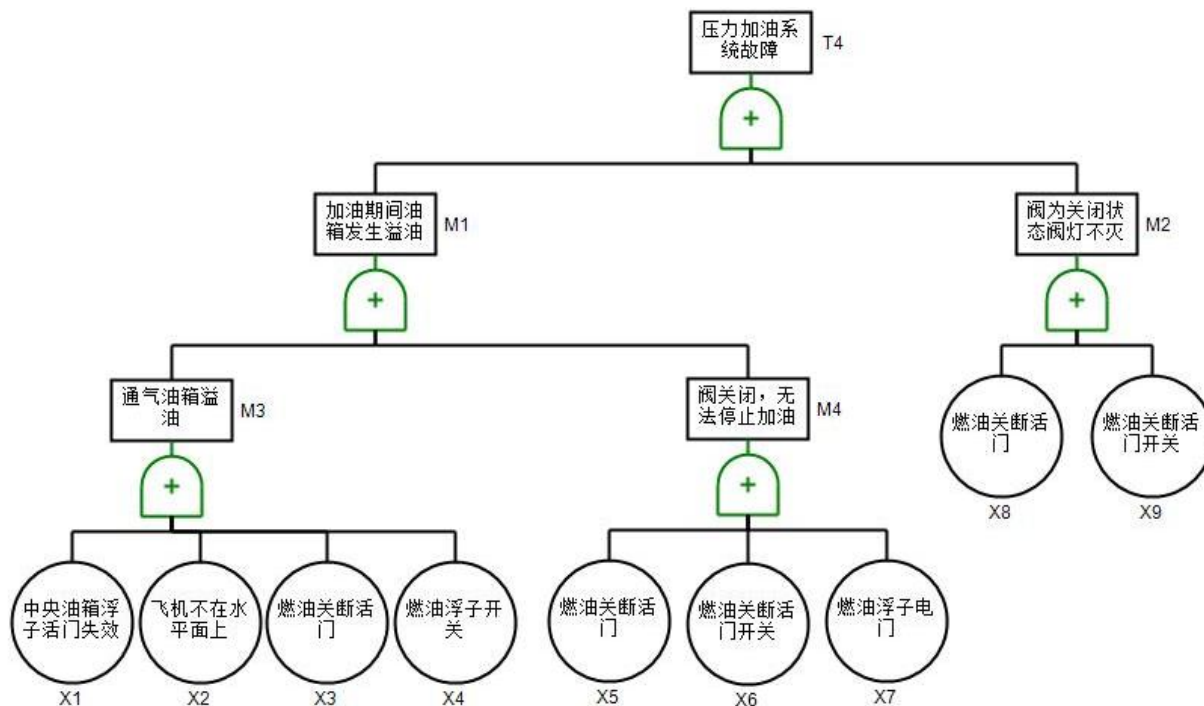


图 4-5 压力加油系统故障的故障树

由上图的故障树得到相应的基本事件与第三章所论述的排故流程相结合,得到下方表格(表 4-4),并可得到 X2、X6、X9 为发生频率相对较高, X3、X5、X8 发生频率相对中等, X4、X7 发生频率相对较低。

表 4-4 压力加油系统故障的故障树定性分析

事件编号	最小割集	故障发生等级	故障发生导致的事件
X1	中央油箱浮子活门失效 无法打开	III	压力加油系统故障
X2	飞机不在水平面上	I	
X3	燃油关断活门	II	
X4	燃油浮子活门	III	
X5	燃油关断活门	II	
X6	燃油关断活门开关	I	
X7	燃油浮子电门	III	
X8	燃油关断活门	II	
X9	燃油关断活门开关	I	

注: I 为发生频率相对较高, II 为发生频率相对中等, III 为发生频率相对较低。

### 4.3 本章小结

本章首先通过使用 FreeFta 对四种故障事件建立起故障树。然后通过与航空公司维修人员进行交流并收集数据,用来对各个典型故障做定性分析,得到最小割集和故障发生的等级。最后根据定性分析得到的数据结合第三章飞机排故流程方案形成一套由高到低的优先级排故流程方案。维修人员根据排故流程方案的故障优先级进行查找,提高维修效率。

## 结论

### 总结

随着航空技术的不断发展，产生了许多矛盾和问题，而飞机维修就是这些问题的其中之一。飞机维修是保证航空公司不断发展，民航事业不断进步的重要一环。所以，为了解决这一环节中较为重要的问题，本文做了上述详细的论述。

本文首先通过搜索资料和文献，并跟民航维修人员进行交流，确立了故障树分析法。然后对民航维修人员在 B737NG 燃油系统日常维修中可能遇到的故障进行讨论，并从中选取了四种不同的典型故障。其次将这四种典型故障结合 FIM 手册和 AMM 手册建立了排故流程方案。最后，通过 FreeFta 对四种典型故障建立了故障树并做了定性分析，进而得到了最小割集和故障的发生等级。本文所论述的方法与目前的飞机故障诊断技术相比，不仅可以处理故障更复杂，而且故障类型、故障位置和排故方案会更准确。

但是，本文也存在一些不足和遗憾之处。第一因为数据、资料有限，无法对故障进行定量分析。第二由于软件的原因在故障树的建立时对于事件名称较长的只能简写。第三对于间歇性故障，因为时间和能力有限无法做进一步的研究。因此，希望在以后的学习生活中可以继续做的更好。

### 展望

虽然目前研究出多种先进诊断技术，但是这些诊断技术在处理间歇性故障方面却存在排除时间长、排除不彻底和无法通过 FIM 手册排除等不足。因此，为了解决这些问题，国内外部分学者进行了深入研究并取得一定突破。比如国外的 TEAMS-RT、国内吴志江的飞机电缆间歇性故障检测方法研究<sup>[15]</sup>和王超的关于航空器故障排除的探讨<sup>[16]</sup>。

对于本论文，在间歇性故障排除上因为在时间和能力上的限制，无法利用故障树分析法深入研究间歇性故障的排除。因此，根据所学习和查找的资料做出以下论述对故障树分析法的不足进行补充，并希望在日后可以做得更好：因为间歇性故障为时而发生，时而不发生。并且当发生时存在无法精确判断故障位置和没有办法可以进行有效排除的问题。因此在出现间歇性故障时可以采用结合张晶的某型飞机燃油系统容错控制策略研究<sup>[17]</sup>的容错方法，用其他部件代替故障件的功能。当间歇性故障变为永久性故障时，可以再通过 FIM 中初始评估与故障树方法结合的方式对故障进行排除。这样不仅可以解决因为间歇性故障无法精确判断，只能大范围换件的问题。而且，可以提高航空安全性。

我相信随着未来的不断探索和改进，会有更加完善和先进的诊断技术，不仅可以使航空维修所需的时间和成本最小化，而且可以彻底排除间歇性故障，使航空安全有更加可靠的保障。

## 参考文献

- [1] E M Kelly,L M Bartlett. Enhanced diagnosis of faults using the digraph approach applied to a dynamic aircraft fuel system[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability,2008,222(4):
- [2] Zhenwei Chen. Eliminating Faults in Fuel System of a Certain Type of Aircraft[P]. Proceedings of the International Conference on Logistics, Engineering, Management and Computer Science,2015.
- [3] Zaporowska Anna,Liu Haochen,Skaf Zakwan,Zhao Yifan. A clustering approach to detect faults with multi-component degradations in aircraft fuel systems[J]. IFAC-PapersOnLine,2020,53(3):
- [4] 马磊. 国外先进的飞行器故障诊断工具[J]. 质量与可靠性, 2009(05):50-54.
- [5] 赵鲁宁, 邴洋海, 王伟龙. 飞机燃油智能诊断系统的开发与研究[J]. 飞机设计, 2018, 38(04): 34-36+51.
- [7] 刘小雄, 章卫国, 武燕, 黄宜军. 先进飞机余度舵机系统故障诊断技术研究[J]. 机械与电子, 2006(02):68-70.
- [7] 赵廷健, 淦江. 基于 QAR 数据的波音 737NG 飞机辅助排故系统[J]. 航空维修与程, 2016(03):62-64.
- [8] 俞利明. 粒子群 RBF 网络在飞机燃油系统故障诊断中的应用研究[D]. 中国民航大学, 2011.
- [9] 崔文利. 民航飞机故障诊断方法研究[D]. 中国民航大学, 2008.
- [10] 李金城. 故障树分析及其应用[J]. 电气时代, 1992(11):18-19.
- [11] 陈金水, 蔡惠民, 孙永芳, 张利. 铸造缺陷的故障树分析法[J]. 天津大学学报, 1998(04): 143-149.
- [12] 魏选平, 卞树檀. 故障树分析法及其应用[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2004(03):43-45.
- [13] 范开英. 飞行模拟器燃油系统建模与仿真[D]. 哈尔滨工业大学, 2007.
- [14] 姜亮, 邓丁奇, 高广拓. 浅析飞机燃油箱串油现象对飞机航线运营的影响[J]. 科技视界, 2020(19): 87-88. [15]
- [15] 吴志江. 飞机电缆间歇性故障检测方法研究[J]. 电子测量技术, 2020, 43(17):35-39.
- [16] 王超, 孙智斌. 关于航空器故障排除的探讨[J]. 中国民航学院学报, 2002(S1):11-14.
- [17] 张晶, 魏东, 赵智姝. 某型飞机燃油系统容错控制策略研究[J]. 价值工程, 2011, 30(02):55.

## 致 谢

时光如梭,眨眼间本科两年的学习即将结束,在这两年中我不仅学到了许多专业知识,而且还得到了许多帮助,加深了与同学和老师们的感情。其中我最感谢的是魏志民老师。在刚上专科时,因为经历高考的打击,为了可以通过在大学期间努力来弥补遗憾,所以给自己建立了目标来提升自己。并且非常幸运,在刚上第一节课时,魏老师就主动问我们谁有想法跟随老师做项目,因此我才能毛遂自荐得到了提升自己的一个机会。在跟随魏老师的时间里,不仅参加了比赛拿到了大学生涯中第一笔竞赛奖金,使我的能力得到了很大的提升。而且,在我专升本和考研期间,老师一直默默的帮助我、鼓励我,使我完成了自己的目标。除此之外,在毕业设计上也让老师操碎了心。因此,我对魏老师的感激无以言表,我会在以后的学业中继续努力学习通过行动来报答魏老师。

其次,我还要感谢所有其他老师们。没有您们的辛勤付出和谆谆教诲,我也不可能学到这么多知识来丰富自己,完成自己的目标。另外,我还要感谢我的同学们和家长在我最需要的时候给我帮助,尤其是在我考研最焦虑有放弃意愿的时候,能够给我鼓励,使我坚持到最后。

最后,祝老师们、同学们和家长在以后的日子里身体健康、事事顺心、事业有成。