

高等职业教育航空装备类专业新形态教材

航空发动机修理技术

熊纯 黄宇生 主编



北京理工大学出版社

内 容 简 介

本书按照《国家职业教育改革实施方案》的新任务和新要求编写，面向航空发动机修理的岗位和职业发展方向，探索岗课赛证融合，对标“1+X”证书和航空发动机装配工职业技能标准要求，利用“1+X”证书第三方评价机构作用，明晰了本专业学生应具备的航空发动机维护、入场验收、拟订维修方案、分解、清洗、故检、修理、装配、试车和常见故障排除等职业技能，聚焦于提升学生的综合职业能力，培养适应行业企业需求的复合型、创新型高素质技术技能人才。本书共分3个项目，项目1讲解航空发动机修理基础，项目2讲解航空发动机大修，项目3讲解航空发动机排故基础。每个项目分若干任务，每个任务由学习目标、理论学习、知识拓展、课堂练习、课堂思政组成。

本书可作为高等职业院校、职工大学航空发动机维修技术、航空发动机装配调试技术、飞行器维修技术等航空装备类相关专业的教材；也可供从事发动机故障分析、诊断与排除技术工作及从事航空维修与综合保障的工程技术人员阅读；还可以作为高职院校相关专业师生和航空维修机构航空发动机维修人员的学习参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目（CIP）数据

航空发动机修理技术 / 熊纯，黄宇生主编. —北京：
北京理工大学出版社，2022.11（2022.12重印）

ISBN 978-7-5763-1717-6

I. ①航… II. ①熊… ②黄… III. ①航空发动机—
故障修复 IV. ①V263.6

中国版本图书馆CIP数据核字（2022）第172360号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / （010）68914775（总编室）

（010）82562903（教材售后服务热线）

（010）68944723（其他图书服务热线）

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 河北鑫彩博图印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 24

字 数 / 537千字

版 次 / 2022年11月第1版 2022年12月第2次印刷

定 价 / 59.00元

责任编辑 / 孟祥雪

文案编辑 / 孟祥雪

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题，请拨打售后服务热线，本社负责调换

前言

随着经济和技术的不断发展，全球民用航空发动机的维修需求在不断增加。中国的航空发动机更新换代速度加快，航空发动机维修产业正在稳步快速发展，迫切需要大批新时代高素质的航空发动机维修人员。

本书参考高职院校航空发动机维修技术专业优秀人才培养方案和教学标准，紧密联系行业实际，突出职业特色。结合现阶段人才实际需求，对接机械员、航空发动机修理、航空发动机故检、航空发动机试车、航空发动机装配等岗位，应用了长沙航空职业技术学院举办全国职业院校技能大赛高职组“飞机发动机拆装调试与维修赛项”和建设飞行器维修技术国家资源库的资源，融入《1+X 航空发动机修理职业技能等级》和《航空发动机装配工职业标准》的内容，按照维修机构典型的修理流程，以源于维修实际的航空发动机修理和典型故障排除实践技能为主线，由简单到复杂，由易到难，既体现了案例理论体系的完整性和系统性，又注重以实践技能为教学目的的内容设置，还包括操作规范、安全知识、职业素养等知识，从而提高学员的职业技能基础能力。本书通过案例分析巩固和提升学习者对理论知识的理解，突出了理论联系维修实践、实训巩固理论的特点；以故障的发生机理为引导，重点讲述典型的通用零部件修理实例，兼顾相关机型案例；反映了维修实际中的新知识、新技术、新工艺和新方法。本书力求通过典型故障的学习，提高学习者对理论知识的综合理解和应用能力，使学生深刻理解航空发动机维修基本理论、各种修理方法、工艺和技术，获得故障分析、诊断和排除的科学方法和基本理念，以更好地适应新时代、新装备和新技术的发展需要。另外，请各位读者注意：书中案例仅供学习参考，不作为具体机型的维修工艺指导。

学习者在学习本书后，能达到如下目的：了解航空发动机维修的目的和内容；熟悉航空发动机修理的典型工艺、方法和技术；了解航空发动机维修的新方法、新工艺、新技术和新设备；熟悉航空发动机排故的典型流程；理解航空发动机典型故障的排除思路、方法和理念；通过技能训练任务的练习，提高学生的职业素养、技能水平和综合素质，加深对维修相关理论的理解，具备进入航空发动机维修行业的基本条件。本书的出版有助于填补大专院校、技校及发动机修理厂航空发动机修理教材的空白。

本书主要由全国职业院校技能大赛高职组“飞机发动机拆装调试与维修赛项”指导团队、企业人员组成的结构化课程团队编写，应用了长沙航空职业技术学院举办全国职业院校技能大赛高职组“飞机发动机拆装调试与维修赛项”和飞行器维修技术专业国家资源库

的资源。全书三个项目岗课赛证资源融合如下：

对应岗位	航空发动机修理工、航空发动机装配工
对应证书技能	“1+X 航空发动机修理职业技能等级”证书
对应赛项要求	全国职业院校技能大赛高职组“飞机发动机拆装调试与维修赛项”的 AII-24BT 型发动机高压燃油泵拆装和标准线路施工模块
资源	飞行器维修技术专业国家资源库、长沙航空职业技术学院数字化工卡

本书由熊纯、黄宇生任主编，陈律、王林林、邱清竣和周毅任副主编，郭俊、周竑、文成、张锐、金德玉和舒毅等参编，贺东京和都昌兵主审。在编写过程中，本书得到了长沙航空职业技术学院航空发动机维修教研室、飞机维修教研室和继续教育培训处各位老师的大力支持与帮助，得到了川西机器厂、海翔机械厂、锦江机械厂和航泰动力机器厂高级工程师和技术员的大力指导与支持，张海天、林藏龙、浦克旋为资料整理、编辑付出了辛勤的劳动。本书参考了原中国人民解放军第一航空学院、部分航空修理工厂和装备用户的装备技术说明书等资料，珠海摩天宇航空发动机维修有限公司的优秀毕业生们对初稿的审阅提出了宝贵建议，在此一并表示衷心感谢。

由于编写时间仓促和编者水平有限，有不足、不妥和错误之处在所难免，请各位专家、学者和读者给予批评指示，以便再版时予以纠正。希望本书在经过不断修订和完善后成为一本航空发动机维修技能培训的经典教材，为提高航空发动机维修人员的素质和产品维修质量做出更大的贡献。若有任何意见和建议请发至：hehuangaviation@qq.com 邮箱。

编 者

目 录 Contents

01

项目 1 航空发动机修理基础

- 任务 1 航空发动机维修技术概述1
- 任务 2 航空发动机的寿命和航空维修机构9
- 任务 3 发动机的常见故障及发生机理19
- 任务 4 航空发动机修理工艺37
- 任务 5 技术管理97

02

项目 2 航空发动机大修

- 任务 1 入厂验收及拟订维修方案105
- 任务 2 分解117
- 任务 3 清洗128
- 任务 4 故障检验141
- 任务 5 压气机修理155
- 任务 6 燃烧室修理174
- 任务 7 涡轮修理187
- 任务 8 加力燃烧室修理201
- 任务 9 排气装置修理209
- 任务 10 燃油系统附件215
- 任务 11 滑油附件修理238
- 任务 12 其他附件修理252
- 任务 13 航空发动机油封、包装和运输275

03

项目 3 航空发动机排故基础

- 任务 1 发动机的故障及分类284
- 任务 2 发动机的排故原则及流程290
- 任务 3 故障树分析法基础305
- 参考文献313

航空发动机修理基础

【项目简介】

本项目主要介绍航空发动机维修的基础内容，包括航空发动机维修技术概述，航空发动机的寿命和航空维修机构，航空发动机的常见故障及发生机理，航空发动机修理工艺，以及技术管理。目的是初步了解航空发动机维修技术的过去和现在，能分析常见故障及其发生机理，了解航空发动机的修理工艺，为进行后续航空发动机大修地学习打基础。

任务 1 航空发动机维修技术概述

【学习目标】



【知识目标】

- (1) 理解航空发动机的维修策略；
- (2) 熟悉航空发动机维修技术的现状；
- (3) 了解航空发动机维修技术的发展。



【能力目标】

- (1) 能讲述航空发动机的几种维修策略；
- (2) 能选择航空发动机的合适维修策略；
- (3) 能讲述航空发动机维修策略的发展历程；
- (4) 能讲述航空发动机维修技术的现状和发展。



【素质目标】

- (1) 树立学历史（航空发动机维修事业）、悟初心和树目标的学习态度；
- (2) 培养对航空发动机维修事业发展规律的客观理性认识；
- (3) 培养热爱、追求奉献航空发动机维修事业的种子；
- (4) 树立航修报国、航修服务的人生目标。

【理论学习】

航空发动机在“高温、高压、高转速和高负荷”条件下工作，要求具有高可靠性、长寿命、低油耗、低成本和易维护等特性。随着航空发动机向高增压比、高涡轮前温度、高推重比方向发展，压气机、涡轮的级数越来越少，涡轮入口处的燃气温度越来越高，发动机核心零部件的工作条件变得更加恶劣。此外，为了提高发动机的整机性能，不断地采用新材料、新工艺和新技术，加大了航空发动机维修时为维持或超过其零部件原有安全性、可靠性和耐久性等进行的维修保障技术难度，增加了维修费用。

据美国国家航空航天局（NASA）的统计资料，民用领域发动机故障在所有飞机机械故障中的比例占 1/3，发动机的日常维护占航空公司维修费用的 31%，飞机和发动机的翻修占航空公司维修费用的 27%，每年有近 10% 的航班由于非计划维修而被取消。军用领域，发动机的维修成为影响战备完好性和任务可靠性的首要因素，1963—1975 年，美国空军战斗机发生事故 3 824 起，由于发动机原因导致的有 1 664 起，占比 43.5%。美国国防部每年用于采购发动机的费用约 13 亿美元，维护现有发动机的费用却达 35 亿美元。航空发动机维修是一项系统工程，技术复杂，涉及众多学科理论，要求维修后的发动机无故障性、具备耐久性和带故障工作的安全性。一旦维修不当极易诱发各种故障，从而加剧系统的损坏，甚至威胁人机安全，因此对发动机维修工艺、技术等提出了更高的要求。

1.1 航空发动机的维修策略

航空装备技术的发展，促进了维修策略的改进，带来了维修思想的变化。航空发动机的维修策略主要有基于故障的维修、基于时间的维修（定时维修）、基于状态的维修和视情维修，也有学者把基于状态的维修称为视情维修。我国现役航空发动机的维修方式以定时维修为主，部分发动机则是定时维修和视情维修相结合。

1.1.1 基于故障的维修

基于故障的维修是指零件用到出现故障时才检查与维修，所有维修工作都是非计划的，也称为失效维修。这种维修策略主要基于当时的时代背景而产生，目前应用在对发动机安全性影响不大的零部件上。

1.1.2 定时维修

以材料静强度设计为依据，基于零部件的寿命及可靠性规律，根据整机持久试车和领先使用的方法来确定发动机的总使用寿命和翻修时限，按照固定的修理周期安排维修工

作，这种方法称为定时维修。定时维修以使用时间为基础，体现了以预防事故为中心的维修思想，以维修手册为依据，凭借个人经验做维修决策。但不能有效地预防与使用时间没有直接关系的故障。由于故障预测性不强，相对容易造成无效拆解、“维修不足”或“维修过剩”现象，影响了发动机的工作精度和有效寿命。

1.1.3 基于状态的维修和视情维修

基于状态的维修是指通过获取装备的工作状态，构建一套装备的维修策略，以预计装备在未来工作是否正常。状态维修的目的是将以信息技术为代表的各种高新技术应用到维修的全过程，从而提高维修工作的效率与效益，实现维修方式的全面变革。如美国 F-22 战斗机的机载维修系统具备了状态监控、预兆、故障诊断与隔离、故障恢复、故障评估与报告等功能，在飞行过程中精确定位故障，科学评估故障对当前飞行任务的影响，通过改变路径、降低功能等方式减少故障的影响。同时，该系统还能将评估结果传送给地面的自动化维修保障系统，并通过联合分布式信息系统传输给工业部门、装备管理机构和维修中心，由后者共同协商并做出维修决策，进而在故障发生之前排除故障，是实现航空装备精确维修的重要途径。

视情维修是以可靠性为中心的维修数据分析程序，根据定期或连续的状态监测结果所实施的预防维修策略，通过随时监测和掌握装备的技术状况，对其可能发生的功能性故障做必要的预防维修或避免故障后果。理论上可以避免因“过修”和“失修”问题而导致的严重后果，可以更准确地权衡安全和经济的矛盾，最大限度地降低维修风险，优化维修成本，提高装备的可用度。相对于定时预防性维修，视情维修针对性强，保障规模小，维修成本相对低，可以充分使用发动机，不会造成明显的浪费，可以预防偶然故障，因而使维修的有效性、经济性大为提高，目前已成为民用航空发动机的主要维修方式。

国外开发的预测性趋势监测与诊断程序，透过飞机的数据系统监控到辅助动力装置的关键性能参数，监测其使用情况及周期，跟踪其衰退与性能情况，分析发动机附件和控制元件的可靠性。一些民航维修基地在维修发动机之前，使用软件工具计算投资回报的预算，最大限度地降低发动机维修成本。通过将发动机状态监控数据和发动机的历史数据等现有方案综合在一起确定最佳工作范围。在视情维修策略下开发的航空发动机性能管理系统，一定计划期内可以达到机队缺发时间最少、缺发损失成本最低、备件保障率最高、备用发动机数量合理的目的。

总的来说，视情维修和新的监控技术用来确定发动机维修策略、最佳维修工作范围，提高可靠性，降低维修成本。但维修策略的选择，需要考虑型号发动机的特点、国家工业发展水平和企业的技术能力等。视情维修是航空装备维修策略发展的重要方向，视情维修技术既可以为修理厂维修型号发动机提供一定的技术支持、降低成本和提高维修效率，也可以根据故障的发生规律，形成相应的发动机维修策略，为发动机设计部门和用户的维护检查提供参考。

1.2 航空发动机修理技术的现状

维护和修理是贯穿发动机全寿命期的工作，修理技术的开发追求高质量、短周期及低成本。对于军用发动机修理，要求零件寿命至少与原件一样耐久，确保下一个大修寿命期内安全、可靠、稳定工作，修理成本和使用成本不是最关注的。维修策略、维修技术、维修工艺、维修设备以及维修工程管理等，对发动机维修后的性能有一定影响。

采用新的维修技术或手段完全恢复零件的使用功能，甚至改善零件的耐久性，已越来越受到航空发动机用户的欢迎，而不是以代换件为主的维修方式，以提高产品的维修性、可靠性、保障性，用更短的维修时间、更少的人力物力及费用获得发动机全寿命期的最大可用率。航空公司优先选用修理件，用维修代替更换，选用了先进的机器设备，树立了成本效益型的经营理念。

航空发动机是一种先进而复杂的综合装置，它集中了机械、电子、液压、化工、动力等许多领域的先进技术，修理时需要先进的工艺、技术和设备。航空发动机修理过程中常见的修理工艺有氩弧焊焊接修复涡轮叶片叶冠磨损，焊接修复导向器掉块、局部缺口，去除毛刺提高表面粗糙度优化零件表面性能，镀铬、镀铜修复零件尺寸，表面镀铜防止零件发生粘连，尼龙修补附件机匣密封面的磨损，使用双氧水对附件机匣损伤表面进行防护处理，去掉旧的蜂窝层焊接新蜂窝层，更换叶片涂层，叶片型面校正，整体车削压气机叶片外径获得理想尺寸。封严装置的性能恢复技术，如等离子喷涂封严涂层；钎焊焊接整流器叶片蒙皮，对腐蚀严重的整流器组件叶片，从报废的整流器组件中取出好的叶片钎焊焊接替换，恢复整流器组件性能。燃烧室的焊修、止裂、校正、补片，使用螺栓修补附件机匣的穿孔技术，喷砂去除零件表面油漆。

1.3 航空发动机修理技术的发展

1.3.1 航空发动机维修新工艺

日常检查和维护中，通过内窥镜无损探伤、计算机辅助技术扫描发动机内部缺陷。使用孔探仪观察发动机内部，探头穿过观察孔将发动机内部的情况传输到外部环境中，评估分析发动机的状态，简化维护和故检程序，图 1-1-1 所示为孔探仪。

使用等离子弧焊、真空钎焊修理封严装置，热影响区极小的钨极惰性气体焊堆焊刀刃封严件。激光堆焊修理压气机叶片，清理及去除高压涡轮叶片涂层



图 1-1-1 孔探仪

而保持原有壁厚，物理气相沉积处理涡轮叶片及高温部件热障涂层。脉冲等离子焊接技术焊接滤油网组件等薄壁零件，冷喷涂技术恢复铝合金零件尺寸，三坐标非接触式测量等。

1.3.2 虚拟维修技术

虚拟维修技术起源于 20 世纪 80 年代，综合计算机图像技术、传感器技术、人工智能等高新技术，具有强大的三维显示功能、丰富的人机交互手段。其主要发展方向有与纯虚拟环境的浅层交互，所有零部件均是仿真的；利用增强现实技术把发动机实物数据和发动机零部件的仿真模型结合的深层交互，如装配压气机叶片时，压气机的数据是实测数据，选择虚拟的叶片装于真实压气机上，检验装配合理性；利用 VR 技术，把发动机的修理环节或过程搭建建成逼真的学习情境，提供关于视觉、听觉和触觉等感官的模拟，提升学习沉浸感和效率。

利用虚拟维修技术开发的虚拟维修培训系统，具备分解、装配、干涉检查、仿真和故障诊断等功能模块，如故障诊断模块提供所有部件的故障查询、模型、演示、故障范例图片、文字说明和故障解决办法。图 1-1-2 所示为建立模型并进行虚拟装配。选择模块操作完成后与标准操作流程进行对比，可显示差异和错误。通过虚拟维修培训系统建立发动机虚拟样机，便于维护人员掌握发动机构造、拆装、故障类型和维修方法等知识，降低耗材消耗，提高培训效率。



图 1-1-2 建立模型并进行虚拟装配

【知识拓展】

航空发动机健康管理

发动机健康管理是指通过获取发动机相关数据信息，对发动机信息进行辨别、获取、处理和融合。主动监视发动机的健康状态，对发动机整机、各系统和部件进行综合监测分析，预测发动机性能变化趋势、故障发生时机及剩余使用寿命。采取措施缓解发动机性能衰退、部件故障或失效，评估发动机的健康状态并提出维修建议，以实现发动机的视情维修。发动机健康管理技术主要体现在故障诊断、故障预测、性能评估、状态健康及远程诊断与监控技术等方面。

健康管理系统的重点是将各种算法和智能模型以及先进的传感器集成在一起，实现发动机状态监视、故障诊断及预测、趋势分析、寿命管理功能，使维修思想从以预防为主向

以可靠性为中心转变，维修策略从事后维修和定期维修向基于状态的视情维修及预测维修转换，该技术可以进一步降低维修成本，优化和缩短维修周期，提升发动机的可靠性和安全性。

健康管理系统通常由机载子系统和地面子系统组成。机载子系统为飞行员提供告警信息，地面子系统为地面维修人员提供维修建议，为维修保障提供规划。机载子系统通过对发动机数据的采集、处理、分析和记录，实现对发动机状态实时监测、故障诊断和寿命统计分析等功能。在地面子系统中，将机载和地面各种健康管理分析算法生成的信息进行融合，生成综合检查、维护和修理综合报告，评估发动机的健康状态，提出维修建议，并通过网络发送给维修厂、备件中心等单位，进行维修前准备。同时，健康管理地面子系统还根据发动机健康状况，对发动机进行维修排队，为飞机更换发动机、发动机维修提供支持，从而保证发动机安全可靠运行，提高维修效率，提高飞机出勤率。

国外发动机健康管理系统应用情况：军机方面，F119 发动机、F135 发动机和 EJ200 发动机均配备了健康管理系统；民机方面，早期的波音 777、波音 747-400、空客 A320、空客 A330 等配备了飞机健康管理系统，具有发动机健康管理功能；波音 787、空客 A380 装配的 GENx、Trent 900 等发动机均配备了独立的发动机健康管理系统。

国内军机、民机独立的发动机健康管理系统尚处于研制阶段，目前成熟应用的发动机 FADEC 系统具备状态监控、故障诊断和隔离等功能，通过收集发动机工作数据进行地面二次分析，可初步实现寿命管理、使用统计分析等功能，故障预测等工作尚处于研发过程中。

发动机健康管理技术的发展趋势主要体现在：一是智能化，从简单检查、监视向智能检测、诊断、预诊方向发展；二是综合化，从简单监视向机载-地面网络综合监视、保障方向发展；三是实时化，从事后检查向实时监视、诊断、预诊、视情维修和预测维修方向发展；四是通用化，从针对单一型号的系统架构向开放系统构架、通用软硬件模块方向发展。

【课堂练习】

一、简答题

1. 什么是定时维修？定时维修产生的时代背景是什么？它有什么特点？
2. 什么是视情维修？进行视情维修的基本条件是什么？
3. 我国军用航空发动机能使用视情维修策略进行修理吗？为什么？
4. 信息化、自动化、数字化和人工智能正在快速发展，航空发动机维修技术未来将如何发展？

二、拓展训练题

1. 通过查阅相关资料，从功能、应用及发展趋势等方面，谈谈对虚拟维修的理解。
2. 通过查阅相关资料，讲述什么是航空发动机的健康管理技术，介绍其在航空发动

机维修工作中的应用及未来发展趋势。

3. 通过查阅资料,详细了解国内和国外航空发动机维修事业的历史和现状,找出典型的时代人物,结合我国的经济社会发展情况及发展趋势,预测航空发动机维修事业的未来,并编写一份个人职业规划。

【素养提升】

阅读习近平总书记在2020年全国劳动模范和先进工作者表彰大会上的讲话内容,认真学习领会,谈谈感想。作为新时代航空发动机维修事业的接班人,结合航空发动机维修产业、行业的现状,根据个人情况,写出个人职业目标和职业规划,并在以后的学习、生活和工作中深入贯彻落实。

习近平总书记在2020年全国劳动模范和先进工作者表彰大会上的讲话节选

第一,大力弘扬劳模精神、劳动精神、工匠精神。“不惰者,众善之师也。”在长期实践中,我们培育形成了爱岗敬业、争创一流、艰苦奋斗、勇于创新、淡泊名利、甘于奉献的劳模精神,崇尚劳动、热爱劳动、辛勤劳动、诚实劳动的劳动精神,执着专注、精益求精、一丝不苟、追求卓越的工匠精神。劳模精神、劳动精神、工匠精神是以爱国主义为核心的民族精神和以改革创新为核心的时代精神的生动体现,是鼓舞全党全国各族人民风雨无阻、勇敢前进的强大精神动力。

社会主义是干出来的,新时代是奋斗出来的。这次受到表彰的全国劳动模范和先进工作者,是千千万万奋斗在各行各业劳动群众中的杰出代表。他们在平凡的岗位上创造了不平凡的业绩,以实际行动诠释了中国人民具有的伟大创造精神、伟大奋斗精神、伟大团结精神、伟大梦想精神。希望大家珍惜荣誉、保持本色,谦虚谨慎、戒骄戒躁,继续发挥示范带头作用。

劳动是一切幸福的源泉。新形势下,我国工人阶级和广大劳动群众要继续学先进赶先进,自觉践行社会主义核心价值观,用劳动模范和先进工作者的崇高精神和高尚品格鞭策自己,焕发劳动热情,厚植工匠文化,恪守职业道德,将辛勤劳动、诚实劳动、创造性劳动作为自觉行为。各级党委和政府要尊重劳模、关爱劳模,贯彻好尊重劳动、尊重知识、尊重人才、尊重创造方针,完善劳模政策,提升劳模地位,落实劳模待遇,推动更多劳动模范和先进工作者竞相涌现。全社会要崇尚劳动、见贤思齐,加大对劳动模范和先进工作者的宣传力度,讲好劳模故事、讲好劳动故事、讲好工匠故事,弘扬劳动最光荣、劳动最崇高、劳动最伟大、劳动最美丽的社会风尚。要开展以劳动创造幸福为主题的宣传教育,把劳动教育纳入人才培养全过程,贯通大中小学各学段和家庭、学校、社会各方面,教育引导青少年树立以辛勤劳动为荣、以好逸恶劳为耻的劳动观,培养一代又一代热爱劳动、勤于劳动、善于劳动的高素质劳动者。

第二,充分发挥工人阶级和广大劳动群众主力军作用。人民是历史的创造者。工人

阶级是我国的领导阶级，是先进生产力和生产关系的代表，是坚持和发展中国特色社会主义的主力军。全面建设社会主义现代化国家，符合全国各族人民根本利益和共同愿望，我国工人阶级和广大劳动群众要坚定不移听党话、矢志不渝跟党走，当好主人翁，建功新时代。

我国工人阶级和广大劳动群众是国家的主人，要加强政治理论学习，加强党史、新中国史、改革开放史、社会主义发展史学习，自觉做中国特色社会主义的坚定信仰者、忠实实践者。要发扬优良传统，承担历史使命，把党和国家确定的奋斗目标作为自己的人生目标，以民族复兴为己任，自觉把人生理想、家庭幸福融入国家富强、民族复兴的伟业之中，做新时代的追梦人。要立足党和国家各项事业发展全局，立足党中央对改革发展稳定各项工作的决策部署，围绕国家重大战略、重大工程、重大项目、重点产业，广泛深入持久开展劳动和技能竞赛，积极参加群众性创新活动，汇聚起众志成城的磅礴力量。要增强历史使命感和责任感，深刻认识国家好、民族好大家才会好，正确处理个人和集体、当前和长远、局部和整体的利益关系，自觉维护大局、服务大局，最大限度增加和谐因素、最大限度减少不和谐因素。要深刻认识团结就是力量、团结才能前进的道理，发扬团结协作、互助友爱的精神，加强工人阶级的团结，加强工人阶级同其他劳动群众的团结，坚定战胜各种困难的信心和决心，始终做党执政的坚实依靠力量。

第三，努力建设高素质劳动大军。劳动者素质对一个国家、一个民族发展至关重要。当今世界，综合国力的竞争归根到底是人才的竞争、劳动者素质的竞争。我国工人阶级和广大劳动群众要树立终身学习的理念，养成善于学习、勤于思考的习惯，实现学以养德、学以增智、学以致用。要适应新一轮科技革命和产业变革的需要，密切关注行业、产业前沿知识和技术进展，勤学苦练、深入钻研，不断提高技术技能水平。要完善现代职业教育制度，创新各层次各类型职业教育模式，为劳动者成长创造良好条件。技术工人是支撑中国制造、中国创造的重要基础。要完善和落实技术工人培养、使用、评价、考核机制，提高技能人才待遇水平，畅通技能人才职业发展通道，完善技能人才激励政策，激励更多劳动者特别是青年人走技能成才、技能报国之路，培养更多高技能人才和大国工匠。要增强创新意识、培养创新思维，展示锐意创新的勇气、敢为人先的锐气、蓬勃向上的朝气。要推进产业工人队伍建设改革，落实产业工人思想引领、建功立业、素质提升、地位提高、队伍壮大等改革措施，造就一支有理想守信念、懂技术会创新、敢担当讲奉献的宏大产业工人队伍。

第四，切实实现好、维护好、发展好劳动者合法权益。让人民群众过上更加幸福的好日子是我们党始终不渝的奋斗目标，实现共同富裕是中国共产党领导和我国社会主义制度的本质要求。

任务2 航空发动机的寿命和航空维修机构

【学习目标】



【知识目标】

- (1) 了解中国的航空维修机构；
- (2) 熟悉航空维修机构的任务；
- (3) 熟悉航空发动机修理生产线；
- (4) 熟悉航空发动机的寿命表示方法；
- (5) 掌握航空发动机大修次数的计算方法。



【能力目标】

- (1) 能讲述主要的航空维修机构；
- (2) 能讲述航空维修机构的主要任务；
- (3) 能讲述航空发动机修理生产线的主要工艺内容；
- (4) 能计算航空发动机的寿命参数；
- (5) 能计算航空发动机的大修次数。



【素质目标】

- (1) 培养服务航空发动机维修事业的信心和决心；
- (2) 培养服务、奉献航空发动机维修事业的使命感和责任感；
- (3) 培养航修报国、服务航空发动机维修事业的情怀；
- (4) 增强服务航空发动机维修事业的自我调节能力；
- (5) 增强服务航空发动机维修事业的适应能力。

【理论学习】

2.1 航空发动机的寿命

航空发动机的寿命是指发动机能在飞机上正常运转的持续时间，即其主要结构件在工作中的磨损、蠕变变形过大、应力断裂或高、低循环疲劳裂纹造成机件失效之前，整机能够安全可靠地工作的时间或工作循环次数。

2.1.1 航空发动机的寿命表示方法

我国在 20 世纪 50 年代仿制苏联的老机型寿命以工作小时数确定；20 世纪 70 年代以后，苏联逐渐以主要零部件寿命使用的工作小时和循环次数来表示发动机寿命，或根据使用条件同时规定使用日历年限和循环次数，两者只要一个达到规定值，该零部件和整机就算达到寿命。

西方国家则普遍采用单元体或大部件的寿命管理机制，只规定关键件及单元体或大部件的寿命，没有发动机总寿命的概念，实际使用寿命与飞机相当，可达几千小时。对于单元体或大部件寿命管理，要求同一单元体或大部件内各关键件的使用寿命尽量一致，若不同则取其中最小者作为单元体或大部件的翻修寿命。基于维修过程中大部件的相互串装及经济性的考虑，规定了单元体或大部件的最小剩余寿命。最小剩余寿命是指使用一定时间的零部件剩余寿命必须大于某一最小值，否则维修经济性不好。如斯贝发动机，规定大部件的最小剩余寿命不得低于 400 h，这个最小剩余寿命的确定综合了维修、制造成本及使用安全等因素。

民航发动机寿命主要按照循环数来计算，飞机完成一次从起飞到着陆的过程，称为发动机的一次工作循环。发动机每工作一个循环，就经历了启动—高速运转—关闭这个过程，许多部件受力经历了从零到最大再到零的过程。民航发动机和欧美军用发动机有总寿命的零部件主要是旋转件，而非旋转零部件基本无规定的总寿命。CFM56 系列发动机一般使用 7~10 年（15 000~20 000 个循环）进行第一次大修，大修时更换到寿零件，其他零件视情修理。

2.1.2 航空发动机寿命的分类

航空发动机的寿命可分为发动机总寿命、修理间隔寿命、发动机工作寿命、剩余寿命、发动机日历寿命。

1. 发动机总寿命

发动机总寿命是指发动机从出厂服役到报废时的总工作时数或工作循环次数，主要由总工作时间、循环寿命（低循环疲劳次数）和大状态工作时间来规定。对于在总工作寿命期内允许大修的发动机，因其绝大多数的零部件均可以得到更换，故整机总工作寿命可以得到持续发展。采用总寿命指标，主要是基于经济性、管理和技术更新的需要，目前我国现役发动机总工作寿命一般用小时给定，采用总工作寿命、翻修寿命和发动机日历寿命三个指标对整机寿命实施控制。民航发动机一般不是直接报废，而是替换下来大修、封存。若没有修复价值、经济上完全不合算时，交由专业的发动机分解公司进行分解再利用，出售有用的零部件。

2. 修理间隔寿命

修理间隔寿命是指发动机从出厂到第一次翻修，或两次翻修间的工作时数或工作循环次数，也称为发动机的一个寿命期或一次翻修间隔寿命。确定翻修间隔期限主要参考工作寿命最短的零部件，也考虑了发动机在使用中的可靠性。

3. 发动机工作寿命

发动机工作寿命是指发动机从生产出厂服役到查证时的全部安全工作时数之和，也称发动机的已工作寿命。

4. 剩余寿命

剩余寿命是指用发动机设计时给定的总寿命，减去发动机的工作寿命所得的寿命。

5. 发动机日历寿命

发动机日历寿命是指发动机制造出来后的累积日历时间，在寿命控制中，它通常与工作小时指标并用，以先到者为准进行翻修。由于通常在设计时已考虑了主体材料的腐蚀防护和控制问题，到了日历寿命期，仅需对发动机易腐蚀件进行维护或更换，因此日历寿命通常较少制约发动机总工作寿命的发挥。

相对于发动机的间隔寿命，总寿命都是由发动机的设计部门给定参考值。随着修理厂技术水平的提升，采取一定的技术措施，通过零部件的深度修理及试验验证，也可以把发动机或发动机的零部件进行延寿使用。

2.2 航空维修机构概述

航空发动机维修机构需要通过原始设备制造商的授权，才能获得维修资质认证。国内航空维修机构主要有军工修理厂、航空发动机集团公司修理厂、中外合资的维修企业和民营维修企业。主要的军工航空发动机修理厂有国营川西机器厂、锦江机器厂、海翔机械厂、航泰动力机器厂、国营四达机械制造公司，其特点主要是修理深度深、修理范围广，大部分修理技术自主可控。

军工修理厂实行厂长负责制，厂长在上级党委、工厂管理部门、工厂党委的领导下，履行规定的责任和职权，全面负责工厂的生产行政工作，对工厂发展生产、完成国家生产任务、保证生产安全和不断提高生产经营管理水平负责。

工厂各级行政主管人员，按级负责履行职责，贯彻党和国家的方针、政策，遵守法律、法令，服从指挥，执行条令、条例和规章制度，完成任务。做好所属人员的管理教育工作，关心爱护职工，熟悉员工政治思想状况、技术业务水平和工作能力，发现和培养选拔干部，努力学习政治、技术、业务和科学管理知识，不断提高理论政策水平、技术业务和领导能力，深度调查研究，不断总结经验，改进工作作风和工作方法，使自己成为精通本行业技术业务和企业经营管理的专家。

国内的民航发动机维修机构，主要有珠海摩天宇航空发动机维修有限公司、厦门太古发动机服务有限公司、四川斯奈克玛航空发动机维修公司和上海普惠飞机发动机维修有限公司等，具备 CFM56、PW4000、RB211 和 V2500 等型号发动机的修理能力，但仍然有 2/3 以上的发动机整机翻修、绝大部分热端部件修理需送国外完成。

2.3 航空维修机构的任务

航空发动机工作一段时间后，由于磨损、腐蚀、振动、疲劳等原因，固有可靠性逐渐下降，性能指标发生偏离，零件可能出现损伤、老化、断裂、漏油、漏气等现象，需要航空维修机构组织专业技术人员进行维护和修理。维修手册的规定时间或航空发动机工作运行前后，对发动机进行检查、清洁、准备保证飞行安全的定期工作称为维护。当出现维护不能排除的故障或到规定的期限时，必须返回修理生产线、机库或者维修基地进行分解、故检、排故和试验等内容，合格后再出厂工作一个规定期限，称为修理，维护和修理统称为维修。维护主要由地勤人员在机场进行，修理主要在修理厂、维修基地进行。

修理厂和维修基地主要进行发动机的大修、检修、针对性排故、加改装和维护，确保发动机全寿命周期内安全、可靠和经济地工作。对发动机进行有效维护，可以减少检修前的故障发生率。检修时通过各种措施预先检查和排除潜在故障，可把故障扼杀在萌芽状态，避免一些不必要的故障，甚至降低故障发生的深度、广度，缩短修理周期，节约维修成本，使发动机始终处于比较好的状态。修理厂的任务如下。

2.3.1 大修

大修是指当发动机工作到一个修理周期后，把发动机分解到不能分解为止，经过洗涤、故检、修理、装配和试车，合格后油封包装出厂的整个过程，也称为翻修，即排除发动机出现的所有故障，恢复发动机的固有可靠性。发动机大修合格后，不是“大修如新”，而是把大修合格后的发动机状态称为“拟新”状态。大修具有下面几个特征。

1. 拆开性

由于航空发动机的大修，最终要将发动机的固有可靠性恢复到可以接受的水平，即“拟新”状态，因此需要对发动机做全面彻底的检查、测试，对有故障的部位进行修理，更换无法修理、不值得修理或规定要更换的零件、部件，甚至附件。往往由于结构的开敞性不好，可达性差或者无有效的测试、大修手段而无法实现原位或整体的检查、修理，或不能满足大修的全部要求，必须把发动机分解，因此分解是大修的显著特征。

2. 工厂性

大修是恢复和提高发动机固有可靠性的维修作业，技术复杂、涉及知识面广，需要一定的修理设备、检测和大修工艺，并要有具备一定技术水平或持有相关从业证书的修理人员，因此必须送往具有主管部门颁发的维修执照的修理机构进行大修，确保大修质量，达到大修的根本目的。

3. 修理性

大修具有最高的故障修理深度和广度，是维修机构修理能力的体现。大修首先要恢复和提高发动机固有可靠性；其次在成本尽可能低的条件下进行，大修应当以修为主，以换件为辅。当换件比修理更经济或修理工艺规定必须换件时才予以换件，否则变成了以换件为主的修理思路，这样既不利于企业提升技术能力，也不利于降低生产成本，因此需要维修机构开发维修技术，提升企业的修理能力。