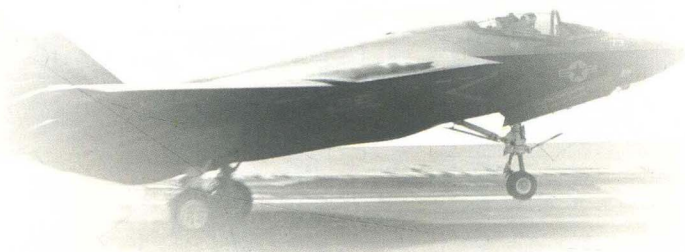




民用航空应用型人才培养特色教材



# 飞行原理

邢琳琳 主 编  
高培新 副主编



北京航空航天大学出版社  
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



民用航空应用型人才培训教材

# 飞行原理

邢琳琳 主 编  
高培新 副主编

北京航空航天大学出版社

## 内 容 简 介

本书对飞行原理及空气动力学知识进行了有效的梳理,同时整合了航空手册及私用驾驶员、商用驾驶员及仪表等级考试的核心知识点,旨在帮助民航飞行人员及其他相关人员了解更多的航空知识,加深对飞机构造、空气动力学、飞行特点及飞行技巧等知识的系统认知,实现安全有效的飞行。

本书内容共包含7个章节,主要内容包括飞机基础知识、大气结构及对飞行的影响、飞机的低速空气动力特性、飞行的平衡性及稳定性、不同飞行阶段及飞行姿态、起飞及降落特点、盘旋与失速的产生及改出方法、特殊条件下的飞行等。

本书结构严谨,层次清晰,实用性强,既整合了中国民用航空局私商仪考试的相关考核内容,又融入了作者多年的教学经验与研究成果,同时反映了当前飞行原理教学的前沿,可为航空类院校飞行技术专业及其他相关专业学员提供有效的学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

飞行原理 / 邢琳琳主编. — 北京 : 北京航空航天大学出版社, 2016. 7

ISBN 978 - 7 - 5124 - 2172 - 1

I. ①飞… II. ①邢… III. ①飞行原理—高等学校—教材 IV. ①V212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 134531 号

版权所有,侵权必究。

### 飞行原理

邢琳琳 主 编

高培新 副主编

责任编辑 蔡 喆 甄 真

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: [goodtextbook@126.com](mailto:goodtextbook@126.com) 邮购电话:(010)82316936

北京泽宇印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本:710×1 000 1/16 印张:11.75 字数:250 千字

2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷 印数:2 000 册

ISBN 978 - 7 - 5124 - 2172 - 1 定价:28.00 元

---

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

## 编委会

主 任:胡 波 张凤仪

编 委:(按姓氏笔画排序)

|        |        |     |     |     |     |
|--------|--------|-----|-----|-----|-----|
| 马文来    | 马倩倩    | 王海军 | 毛国强 | 术守喜 | 石向阳 |
| 邢琳琳    | 朱 林    | 任传永 | 刘俊华 | 孙翠玲 | 杜玉杰 |
| 李 华    | 李明娟    | 张凤仪 | 胡 波 | 柳 明 | 袁 伟 |
| 桂晓亮    | 索向兴    | 高 斌 | 高培新 | 郭庆叶 | 韩佳佳 |
| Roland | Gaetan |     |     |     |     |

## 项目支持:

- 国家级专业综合改革试点项目
- 山东省卓越工程师教育培养计划试点专业项目
- 山东省高等学校特色专业建设项目
- 滨州学院航空工程重点学科建设项目

# 序

近年来,我国民航事业迅速发展,这对专业人才培养质量提出了更高的要求。无论从政治素质、规章意识、责任意识,还是从专业知识、专业素质、技术能力等多个方面,均需要更高的培养标准。反观目前我国民航专业教材,普遍存在着知识相对陈旧,体系架构不甚合理,呈现形式较为单一,适应性和针对性不强,国际化和开放性偏低等问题,难以适应我国民航业快速发展的实际情况,从而影响了从业人员的培养质量,已成为阻碍我国民航业快速发展的不利因素。

滨州学院飞行学院是经教育部、民航局批准的以本科教育为主体的二级学院,2006年,在全国地方普通高校中率先设置了飞行技术本科专业,目前设有飞行技术、飞行安全、民航机务工程、空中交通管理与签派、机场运行与管理5个专业方向。学院始终坚持“服务民航,就业民航”的办学方针,依托国家级专业综合改革试点项目、国家级大学生校外实践教育基地建设项目、山东省高等学校特色专业建设项目、卓越工程师培养计划以及高等学校人才培养模式创新实验区建设项目,依靠航空工程重点学科建设以及承担的国家级、省部级教科研项目等,全力打造具有民航特色的教学体系,大力培养民航发展所需要的高层次专业技术人才。

在多年教学实践、探索与总结的基础上,为适应我国民航对专业人才的需求,及时反映最新的研究与实践成果,更好地服务于民航专业人才培养,我们组织编写了“民用航空应用型人才培养特色教材”丛书。该丛书注重“专业建设融合行业标准,学历教育对接岗位技能”,突出民航业的标准性、规范性、国际性以及民航专业人才的高素质、严要求、强技能;注重对专业建设多年来的探索与实践,汲取专业教师的实际教学经验、成果和大量学生的反馈意见;注重密切关注民航技术的新发展、新变化,充分借鉴和吸收国内外的研究资料和成果;注重知识的基础性、系统性和全面性,内容充实,覆盖面广,力求充分反映当前民航业的实际,满足多层次读者的学习需求。

人才培养是民航事业的重要组成部分,也必将随着民航事业的发展而发展。与人才培养密切相关的教材编撰只有不断适应新技术、新要求,着眼当下,放眼未来,才能真正服务于民航专业的人才培养。该丛书的编写正是在民航专业人才培养教材建设方面的尝试和探索,力图推广专业教学经验和教学成果,促进民航专业的教学改革,提高民航专业人才的培养质量,以更好地服务于我国民航事业发展。

编委会

2015年8月

# 前 言

进入新世纪以来,航空业迅猛发展,其发展程度远远超越了人们的想象。同时随着科技发展,人们对航空理论及飞行原理的好奇心不断增强,飞行原理基础知识已经成为民航业的热门话题。除此之外,面对航空流量的不断增加,以及航空技术日新月异的进步,如何培养具有核心竞争力的飞行员已经成为航空高等院校教育改革的主旋律。基于此背景,积极探索适合当今社会发展需要及航空业需求的教材具有重要的现实意义,一方面可推动航空人才的培养进程,另一方面也可有效地推动教学改革步伐,进而满足行业需求。

本书第1章介绍了飞机的结构和大气组成,以期让读者对飞机及飞行环境有个全面的了解。第2章对飞机的低速空气动力特性进行了解读,讨论了空气低速流动时的运动规律。通过该部分的学习,读者可获得对飞行具有启发意义的理论指导。第3章对飞行的平衡性、稳定性及操纵性做了深入阐述,使读者了解飞机在本身重力作用下的运动规律,以及在飞行中操纵飞机的基本技巧等。第4章对飞机的平飞、上升、下降进行了深入、系统的分析与阐述,可使读者全面深入地了解飞机的各种性能,如速度性能、高度性能及基本操作性能。第5章对盘旋进行了详细的解读,读者可明确盘旋产生的原因及影响,并明确给出避免盘旋的基本策略,同时可了解紧急情况的处置策略。第6章重点讲解了起飞与着陆的相关知识,作为飞行事故的多发阶段,起飞与着陆对飞行安全的影响巨大。通过深入学习,读者可增强安全意识,加深对飞行安全的了解。第7章对特殊飞行进行了广泛介绍,其中包括失速、螺旋、颠簸、积冰及风切变等。通过此部分的学习,读者可加深对航空特情的了解及处置,提升操作技能。

本书编写注重科学性、系统性及实践性的统一,注重飞行原理与飞行程序、航图、情报资料及航空气象的内在联系,并依据其内在联系,力求由浅入深,有效避免了不必要的论证和推导,突出了飞行原理的程序、方法及实践的结合。同时,该书注重学生基本操作技能的培养,融合了大量的

新技术、新成就,在做到图文并茂的同时,力求实现理论教学与实践教学的统一。

本书由滨州学院飞行学院邢琳琳老师主编,在图书的撰写过程中得到了学校领导与老师的大力支持,一些学生也提出了一些建设性的意见与建议。同时也得到了家人的全力支持,在此一并表示感谢!另外,在编写过程中参考了大量国内外文献资料及其他航空院校的有关材料,在此对所有原作者深表感谢!

本书可以作为高等院校飞行技术、空乘、空中交通管理、飞行签派等专业的教材,也可以作为航空企业单位等相关工作人员的培训教材使用。本书涉及科学技术的很多领域,鉴于编者的水平有限,加之时间紧迫,书中不当之处,恳请广大读者予以批评指正。

编 者

2016年1月



# 目 录

|                    |    |
|--------------------|----|
| 第 1 章 飞机和大气        | 1  |
| 1.1 飞 机            | 1  |
| 1.2 大气飞行环境         | 5  |
| 1.2.1 大气的组成        | 5  |
| 1.2.2 大气的特性        | 5  |
| 1.2.3 大气的分层        | 8  |
| 1.2.4 国际标准大气       | 9  |
| 思考题                | 12 |
| 第 2 章 飞机的低速空气动力基础  | 13 |
| 2.1 空气流动的基本规律      | 13 |
| 2.1.1 相对运动原理       | 13 |
| 2.1.2 流场、流线、流管     | 14 |
| 2.1.3 连续性定理        | 15 |
| 2.1.4 伯努利定理        | 16 |
| 2.1.5 空速管的测速原理     | 18 |
| 2.2 升 力            | 19 |
| 2.2.1 机翼形状         | 19 |
| 2.2.2 升力的产生        | 22 |
| 2.3 阻力产生的原理及影响     | 25 |
| 2.3.1 气流在机体表面的流动状态 | 25 |
| 2.3.2 阻力的产生        | 28 |
| 2.3.3 总阻力          | 33 |
| 2.4 飞机的低速空气动力性能    | 34 |
| 2.4.1 影响升力和阻力的因素   | 34 |
| 2.4.2 飞机的空气动力特性曲线  | 35 |
| 2.4.3 地面效应         | 40 |
| 2.5 增升装置           | 41 |
| 2.5.1 前缘缝翼         | 41 |
| 2.5.2 后缘襟翼         | 42 |
| 2.5.3 前缘襟翼         | 45 |

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 思考题 .....                      | 46 |
| <b>第3章 飞行的平衡、稳定性和操纵性</b> ..... | 47 |
| 3.1 飞机的重心与坐标轴 .....            | 47 |
| 3.1.1 飞机重心 .....               | 47 |
| 3.1.2 飞机的坐标轴 .....             | 48 |
| 3.1.3 力 矩 .....                | 49 |
| 3.2 飞机的平衡 .....                | 50 |
| 3.2.1 俯仰平衡 .....               | 50 |
| 3.2.2 飞机的方向平衡 .....            | 53 |
| 3.2.3 飞机的横侧平衡 .....            | 54 |
| 3.3 飞机的稳定性 .....               | 55 |
| 3.3.1 稳定性概念与条件 .....           | 55 |
| 3.3.2 俯仰稳定性(纵向稳定性) .....       | 57 |
| 3.3.3 方向稳定性 .....              | 59 |
| 3.3.4 横侧稳定性 .....              | 61 |
| 3.3.5 横侧稳定性与方向稳定性的关系 .....     | 64 |
| 3.3.6 影响飞机稳定性的因素 .....         | 65 |
| 3.4 飞机的操纵性 .....               | 66 |
| 3.4.1 飞机的俯仰操纵性 .....           | 67 |
| 3.4.2 飞机的方向操纵性(飞机无滚转) .....    | 70 |
| 3.4.3 飞机的横侧操纵性(飞机无侧滑) .....    | 70 |
| 3.4.4 横侧操纵性与方向操纵性的关系 .....     | 72 |
| 3.4.5 影响飞机操纵性的因素 .....         | 72 |
| 思考题 .....                      | 75 |
| <b>第4章 平飞 上升 下降</b> .....      | 76 |
| 4.1 真速与表速 .....                | 76 |
| 4.2 平 飞 .....                  | 77 |
| 4.2.1 飞机平飞时的作用力 .....          | 77 |
| 4.2.2 平飞所需速度 .....             | 77 |
| 4.2.3 平飞所需拉力和功率 .....          | 78 |
| 4.2.4 平飞性能 .....               | 81 |
| 4.2.5 不同因素对平飞性能的影响 .....       | 84 |
| 4.2.6 飞机平飞改变速度原理 .....         | 86 |
| 4.3 上 升 .....                  | 87 |

|       |                 |     |
|-------|-----------------|-----|
| 4.3.1 | 飞机上升的作用力        | 87  |
| 4.3.2 | 上升性能            | 88  |
| 4.3.3 | 飞机上升的操纵原理       | 92  |
| 4.4   | 下降              | 94  |
| 4.4.1 | 下降时的作用力         | 95  |
| 4.4.2 | 下降性能            | 95  |
| 4.4.3 | 下降的操纵原理         | 98  |
|       | 思考题             | 100 |
| 第5章   | 盘旋              | 101 |
| 5.1   | 盘旋中的作用力         | 101 |
| 5.2   | 飞机的载荷因数         | 102 |
| 5.3   | 盘旋性能            | 103 |
| 5.3.1 | 盘旋所需速度          | 103 |
| 5.3.2 | 盘旋所需拉力和功率       | 104 |
| 5.3.3 | 盘旋半径、盘旋时间和盘旋角速度 | 104 |
| 5.3.4 | 盘旋限制            | 105 |
| 5.4   | 转弯中的侧滑与盘舵协调     | 106 |
| 5.5   | 盘旋的操纵原理         | 107 |
| 5.5.1 | 进入盘旋的操纵原理       | 107 |
| 5.5.2 | 稳定盘旋阶段的操纵原理     | 108 |
| 5.5.3 | 改出阶段的操纵原理       | 109 |
| 5.6   | 侧滑对盘旋的影响        | 109 |
|       | 思考题             | 110 |
| 第6章   | 起飞和着陆           | 111 |
| 6.1   | 滑行              | 111 |
| 6.2   | 起飞              | 113 |
| 6.2.1 | 飞机起飞的操纵原理       | 113 |
| 6.2.2 | 起飞性能            | 116 |
| 6.2.3 | 起飞性能图表          | 119 |
| 6.3   | 着陆              | 122 |
| 6.3.1 | 飞机着陆的操纵原理       | 122 |
| 6.3.2 | 着陆性能            | 125 |
| 6.3.3 | 着陆性能图表          | 127 |
| 6.3.4 | 着陆常见的偏差及其修正方法   | 129 |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 6.4 风对起飞、着陆的影响及修正方法 .....       | 133        |
| 6.4.1 侧风对滑跑的影响 .....            | 133        |
| 6.4.2 侧风对起飞的影响及修正 .....         | 134        |
| 6.4.3 空中侧风对飞机的影响及其修正 .....      | 135        |
| 6.4.4 侧风对飞机着陆的影响及修正 .....       | 137        |
| 6.4.5 顺逆风起飞与着陆的特点 .....         | 138        |
| 6.5 目测着陆 .....                  | 139        |
| 6.5.1 目测的基本原理 .....             | 139        |
| 6.5.2 风、气温及标高对目测的影响及其修正方法 ..... | 142        |
| 6.6 特殊情况下的起飞、着陆 .....           | 143        |
| 6.6.1 不放襟翼着陆 .....              | 144        |
| 6.6.2 高温高原机场上的起飞、着陆 .....       | 144        |
| 6.6.3 积水和冰雪跑道上的起飞与着陆 .....      | 145        |
| 6.6.4 短跑道上的起飞、着陆 .....          | 146        |
| 6.6.5 软道面上的起飞、着陆 .....          | 148        |
| 思考题 .....                       | 149        |
| <b>第7章 特殊飞行</b> .....           | <b>150</b> |
| 7.1 失速与螺旋 .....                 | 150        |
| 7.1.1 失速 .....                  | 150        |
| 7.1.2 螺旋 .....                  | 154        |
| 7.2 在扰动气流中的飞行 .....             | 155        |
| 7.2.1 颠簸的形成 .....               | 156        |
| 7.2.2 颠簸的强度 .....               | 157        |
| 7.2.3 颠簸对飞行性能的影响 .....          | 158        |
| 7.3 在积冰条件下的飞行 .....             | 160        |
| 7.3.1 积冰的机理 .....               | 160        |
| 7.3.2 飞机积冰的危害 .....             | 160        |
| 7.3.3 积冰后飞机飞行性能的变化 .....        | 161        |
| 7.3.4 积冰条件下飞行的操纵特点 .....        | 162        |
| 7.4 低空风切变 .....                 | 162        |
| 7.4.1 风切变定义 .....               | 163        |
| 7.4.2 低空风切变的表现形式 .....          | 163        |
| 7.4.3 风切变对飞机起飞着陆的影响 .....       | 164        |
| 7.4.4 低空风切变的处置方法 .....          | 165        |
| 7.5 尾流 .....                    | 165        |

---

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 7.5.1 尾流形成的原理 .....       | 165 |
| 7.5.2 尾流的诱导速度和向下移动 .....  | 166 |
| 7.5.3 地面效应和侧风对尾涡的影响 ..... | 167 |
| 7.5.4 尾流的衰退和消散 .....      | 168 |
| 7.5.5 前机尾流对后机的影响 .....    | 168 |
| 7.5.6 预防进入前机尾流的措施 .....   | 169 |
| 思考题.....                  | 169 |
| 参考文献.....                 | 171 |

# 第 1 章 飞机和大气

飞机是在大气层中飞行的,靠自身与空气相对运动产生的空气动力升空飞行,要认识飞机在大气中运动的规律,就有必要先学习一些有关飞机和大气的基本知识。本章简要介绍飞机的主要组成部分及其功用、大气特性等。

## 1.1 飞 机

自从世界上出现飞机以来,飞机的形状在不断改进,其数量和种类不断增多,用途也不尽相同,但到目前为止,除了极少数特殊形式的飞机之外,大多数飞机都有相同的主要组成部分,包括机身、机翼、尾翼、起落架和发动机,如图 1.1 所示。

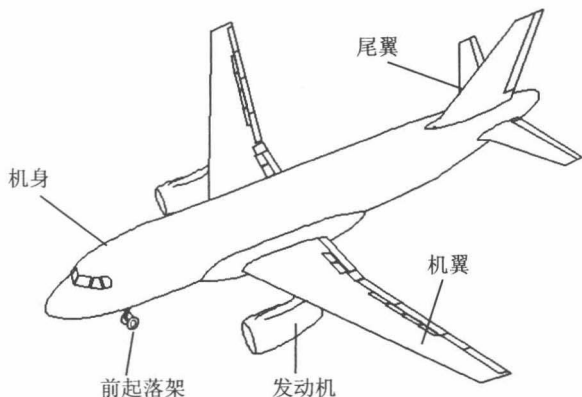


图 1.1 飞机的主要组成部分

### 1. 机 身

机身是飞机的主体部分,现代民航客机绝大部分的机身是筒状的。机身主要包含驾驶舱、客舱或货舱。机身的主要功用是装载机组人员、旅客、货物和其他各种设备,还可将飞机的其他部件如尾翼、机翼及发动机等连接成一个整体。驾驶舱装在机身最前方,里面装有各种仪表和操纵装置对飞机进行控制。驾驶舱后面是客舱或货舱,客舱中乘坐旅客,设置时要考虑的问题较多,如旅客的舒适和安全,因此除有座椅外,还有通风保暖设备和安全救生设备;货舱的设置要简单得多,主要考虑装货的通畅和方便。还有在气动方面,机身的迎风面积应减小到最小,表面应光滑,形状应流线化而没有凸角和缝隙,以便尽可能地减小阻力。在飞行和着陆过程中,机身不仅要

承受作用于其表面的局部空气动力,还要承受由机翼、尾翼、起落架等部件传来的集中载荷,所以机身结构必须具有足够的强度和刚度。机身外形如图 1.2 所示。



图 1.2 机身外形

## 2. 机 翼

机翼是飞机的重要部件之一,其主要功用是产生升力,在飞行中也起到一定的稳定性和操纵性作用。在机翼上装有一些操纵面,在其后缘有副翼和后缘襟翼;在其前缘有前缘襟翼、缝翼;在其上表面有扰流板。操纵副翼可使飞机绕着纵轴滚转,放下襟翼可使升力增大,降低起飞离地速度和着陆接地速度,从而缩短起飞和着陆滑跑距离,提高飞机的起降性能。移动缝翼同样可以提高升力,襟翼和缝翼的作用大致相同,统称为增升装置。扰流板是铰接在翼面上的可活动的板,它只能向上打开,飞机降落时可增加阻力,降低滑跑速度。同时机翼上还可安装发动机、起落架和油箱。机翼结构如图 1.3 所示。

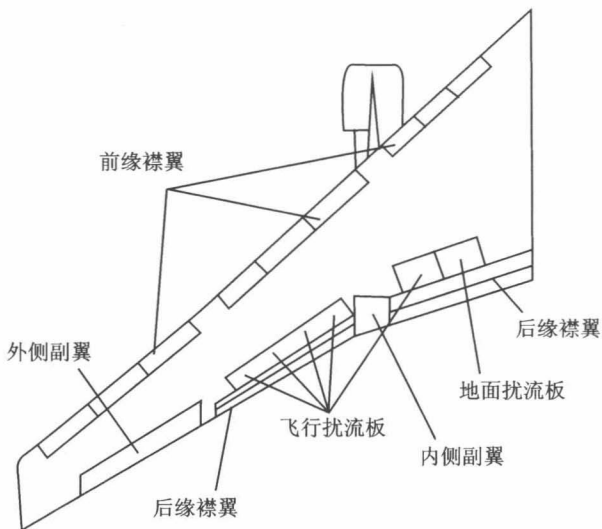


图 1.3 机翼结构

不同用途的飞机,其机翼形状、数量也各有不同。根据机翼在机身上安装的部位和形式,可分为上单翼、中单翼和下单翼 3 种形式。从机翼与机身的干扰阻力来看,

中单翼最小,上单翼次之,下单翼最大;从机身内部容积的利用来看,上单翼最优越。目前民航运输机大部分为下单翼飞机,如图 1.4 所示。按机翼的数量不同可分为单翼机、双翼机、多翼机等,但现代飞机一般都是单翼机。机翼的平面形状多种多样,常用的有矩形翼、后掠翼、梯形翼、三角翼等,小型低速飞机常采用矩形翼或梯形翼。



(a) 上单翼飞机



(b) 下单翼飞机

图 1.4 上单翼和下单翼飞机

### 3. 尾 翼

尾翼连接于机身的尾部,它的主要作用是操纵飞机的俯仰和偏转,是保持飞机稳定性的重要组成部分。尾翼包括水平尾翼和垂直尾翼。水平尾翼由固定的水平安定面和可动的升降舵组成,水平安定面的作用是保持飞机飞行纵向的稳定,升降舵主要用于控制飞机的俯仰运动。某些高速飞机为了提高俯仰操纵效率,采用的是全动平尾,即水平尾翼是整体活动面。垂直尾翼由固定的垂直安定面和可动的方向舵组成。垂直安定面的作用是保持飞机的侧向稳定,方向舵用于使飞机向左或向右偏转。垂直尾翼有单垂尾、双垂尾、多垂尾等多种形式,但现在的旅客机都采用单垂尾,即一个垂尾直立于机身中线上,这种形式结构简单,质量小。多数飞机在升降舵后缘铰接有一块可动翼片,称为配平调整片,用来减小飞行中飞行员进行俯仰操纵时的操纵力。尾翼结构如图 1.5 所示。

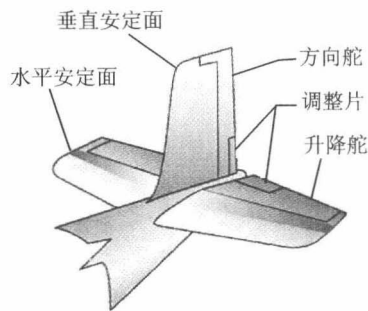


图 1.5 尾翼结构

### 4. 起落架

飞机起落架用于起飞、着陆滑跑,地面滑行和停放时支撑飞机。着陆时还通过起落架吸收撞击能量,改善着陆性能。现代飞机的起落架一般包括起落架舱、减震装置、收放装置等几个部分,如图 1.6 所示。早期飞机起落架比较简单,是固定的,不能收起,飞行阻力大。现代航线飞机为了减小阻力,都采用可收放式起落架,即起落架在起飞后可收起。在陆地上起飞着陆时通常使用带机轮的起落架;在雪地和冰面上起降的飞机,起落架的机轮用滑橇取代;在水面上起降的水上飞机,起落架则用浮筒



代替或直接采用水面滑行。

起落架的配置分为前三点式和后三点式。飞机重心位于两主轮起落架之后的称为后三点式起落架,这种起落架转弯不够灵活,刹车过猛时飞机有“拿大顶”的危险,现代飞机已很少采用。飞机重心位于两主轮起落架之前的称为前三点式起落架。这种起落架的运动稳定性好,着陆容易操纵,前轮一般装有转弯机构,通过驾驶员的操纵可实现灵活转弯,因此得到广泛应用。

## 5. 发动机

发动机是飞机的核心。它主要用来产生拉力或推力,用以克服飞机的惯性和空气阻力,使飞机前进;其次还可以为飞机上的用电设备提供电源,为空调设备等用气设备提供气源。现代飞机的发动机主要包括涡轮式发动机和活塞式发动机两种。低速、小型、短程飞机常用活塞式发动机,这种发动机将燃油的化学能转换为机械能,然后带动螺旋桨加速外界空气产生推力或拉力(如活塞式航空发动机和涡轮螺旋桨发动机);高速、大(中)型、远(中)程飞机常用喷气式发动机,这种发动机直接向后排燃气获得反作用推力(如喷气发动机)。飞机发动机的安装图如图 1.7 所示。

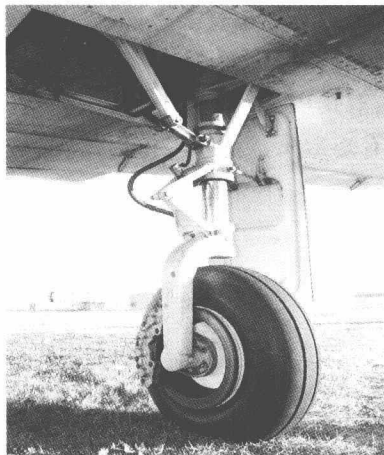


图 1.6 飞机起落架

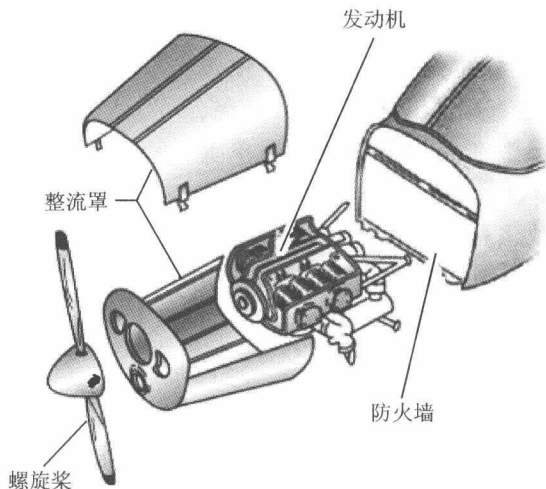


图 1.7 发动机安装图