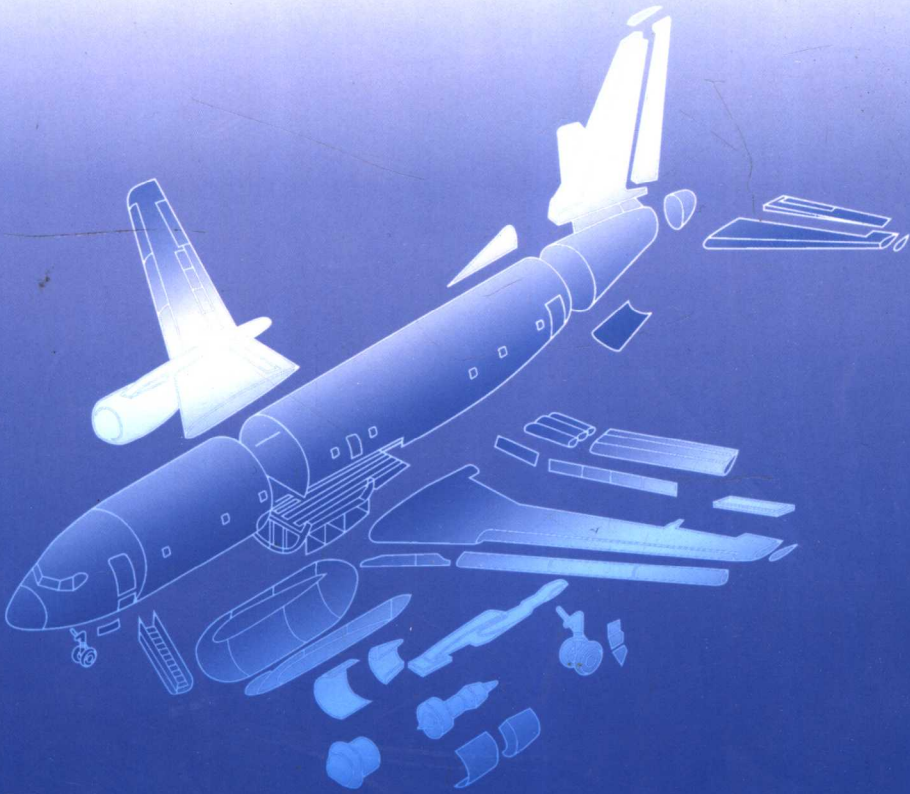


宋静波 编著

# 飞机构造基础



航空工业出版社

# 飞机构造基础

宋静波 编著

航空工业出版社

## 内 容 提 要

本书以我国各大航空公司引进的大中型民航客机为主,重点分析了飞机结构、飞机液压系统、起落架系统、飞行操纵系统和座舱环境控制系统,并介绍了飞机燃油、防冰排雨、防火、载重与平衡及飞机电子系统。从飞机的主要结构入手,分析了飞机结构可能发生的破坏形式及检查分析结构损伤的方法、常见故障及处理方法等。本书还引入了“民用航空器维修人员执照基础部分”培训大纲的部分内容。

本书可作为航空院校飞机地面维护(机电)专业,以及相关专业教材,也可作为“执照基础部分航空器机体”的培训、自学指导书。

### 图书在版编目(CIP)数据

飞机构造基础/宋静波编著. —北京:航空工业出版社,  
2004.2 (2007.1 重印)

ISBN 978 - 7 - 80183 - 336 - 5

I. 飞… II. 宋… III. 飞机—构造 IV. V22

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第012529号

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里14号 100029)

· 发行部电话:010-64919539 010-64978486

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

2004年2月第1版

2007年1月第1次印刷

开本:787×1092 1/16

印张:22.25

字数:365千字

印数:4001—6500

定价:35.00元

# 前 言

随着民用航空的飞速发展，飞机结构和系统越来越复杂，要求飞机结构应能满足强度、刚度和稳定性的要求，飞机的各系统能高效、稳定、安全地工作。保证飞机结构各部件的安全可靠及各系统的稳定工作是保证飞机安全飞行和乘员舒适的基本条件。近年来，发生了一些因飞机结构部件破坏和飞机系统故障影响飞行安全的事故。因此，地面机务维护人员加强对故障的预测和检查分析的能力就显得更加重要。

本书共有 10 章，重点分析了飞机结构、飞机液压系统、起落架系统、飞行操纵系统和座舱环境控制系统，并介绍了飞机燃油、防冰排雨、防火、载重与平衡及飞机电子系统。

本书所涉及到的飞机系统知识，以我国各大航空公司引进的大中型民航客机为主，同时包括小型飞机的部分内容。本书从飞机的主要结构入手，分析了飞机结构可能发生的破坏形式及检查分析结构损伤的方法，并分析了飞机各系统的组成和工作情况、飞机各系统的主要维护工作、常见故障及分析处理方法。它是掌握飞机专业知识及进行飞机故障诊断和分析的基础。

本书可作为航空院校飞机地面维护机电专业“飞机构造基础”的教材，也可作为飞机地面维护（机电）专业人员的参考书。本书引入了“民用航空器维修人员执照基础部分”培训大纲的部分内容，因此也可以作为“执照基础部分航空器机体”的培训、自学指导书。

由于编者水平与能力有限，书中错误与不当之处，恳请读者批评指正。

编 者

2003 年 9 月



## 目 录

## 第 1 章 飞机结构

1.1 概述 .....	(2)
1.2 飞机载荷 .....	(2)
1.2.1 平飞中的受载情况 .....	(2)
1.2.2 飞机在垂直平面内作曲线飞行时的 受载情况 .....	(3)
1.2.3 飞机在水平平面内作曲线飞行时的 受载情况 .....	(3)
1.2.4 飞机过载 .....	(4)
1.2.5 飞机部件的过载 .....	(5)
1.2.6 飞机着陆时的过载 .....	(5)
1.3 载荷、变形和应力的概念 .....	(5)
1.3.1 载荷及其分类 .....	(5)
1.3.2 构件在载荷作用下的变形 .....	(6)
1.3.3 内力和应力的概念 .....	(6)
1.3.4 强度和刚度的概念 .....	(7)
1.3.5 飞机承受的 5 种主要应力 .....	(7)
1.4 机翼结构 .....	(7)
1.4.1 机翼的功用 .....	(7)
1.4.2 机翼的配置 .....	(8)
1.4.3 机翼上的外载荷 .....	(8)
1.4.4 平直机翼各截面的剪力、弯矩和 扭矩图 .....	(8)
1.4.5 机翼的主要受力构件 .....	(9)
1.4.6 机翼结构形式 .....	(11)
1.4.7 机翼构件构造 .....	(14)
1.4.8 平直机翼结构中力的传递 .....	(17)
1.4.9 小结 .....	(22)
1.5 机身结构 .....	(22)
1.5.1 机身外部载荷 .....	(23)
1.5.2 机身的结构形式 .....	(24)
1.5.3 半硬壳式机身结构的受力分析 .....	(27)
1.5.4 机身构件的构造 .....	(28)
1.6 尾翼和副翼 .....	(28)
1.6.1 尾翼 .....	(28)
1.6.2 副翼 .....	(29)

1.7 机体开口部位的构造和受力分析 .....	(29)
1.7.1 直接补偿开口 .....	(29)
1.7.2 间接补偿开口 .....	(29)
1.8 定位编码系统 .....	(32)
第 1 章思考题 .....	(33)

## 第 2 章 载重与平衡

2.1 重量与平衡的重要性 .....	(35)
2.1.1 重量与平衡的目的 .....	(35)
2.1.2 重量与平衡问题 .....	(36)
2.2 重复称重的必要性 .....	(36)
2.3 重量与平衡的理论 .....	(36)
2.4 重量与平衡术语 .....	(37)
2.4.1 基准面 .....	(37)
2.4.2 力臂 .....	(38)
2.4.3 重心 .....	(38)
2.4.4 最大重量 .....	(39)
2.4.5 最大着陆重量 .....	(39)
2.4.6 最大停机重量 .....	(39)
2.4.7 最大起飞重量 .....	(39)
2.4.8 空重 .....	(39)
2.4.9 空重重心 .....	(39)
2.4.10 空重重心范围 .....	(39)
2.4.11 实用重心范围 .....	(39)
2.4.12 平均空气动力弦 .....	(40)
2.4.13 飞机的水平顶置 .....	(41)
2.4.14 燃油装载 .....	(41)
2.4.15 最小燃油量 .....	(41)
2.4.16 无燃油重量 .....	(41)
2.4.17 毛重 .....	(41)
2.4.18 有用载重 .....	(41)
2.5 飞机称重的程序 .....	(41)
2.5.1 飞机称重前的准备 .....	(42)
2.5.2 称重设备的准备 .....	(42)
2.5.3 称重测量 .....	(43)
2.5.4 平衡计算 .....	(43)
2.6 重量与平衡的极端情况 .....	(44)



2.6.1 前极限的重量与平衡验算 .....	(45)	3.6.1 顺序活门 .....	(85)
2.6.2 后极限的重量与平衡验算 .....	(45)	3.6.2 液压延时器 .....	(86)
2.7 重心的移动 .....	(45)	3.6.3 优先活门 .....	(87)
2.7.1 永久压舱物 .....	(45)	3.6.4 液压保险 .....	(87)
2.7.2 临时压舱物 .....	(45)	3.6.5 单向活门 .....	(89)
2.7.3 用压舱物调节飞机重心 .....	(45)	3.6.6 选择活门 .....	(90)
第2章思考题 .....	(46)	3.6.7 安全活门 .....	(91)
<b>第3章 液压系统</b>		3.6.8 减压阀 .....	(93)
3.1 液压系统概述 .....	(48)	3.6.9 快卸活门 .....	(94)
3.1.1 液压传动原理 .....	(49)	3.7 液压辅助元件 .....	(94)
3.1.2 液压传动功率 .....	(50)	3.7.1 液压油滤 .....	(94)
3.1.3 液压系统的组成 .....	(50)	3.7.2 蓄压器 .....	(95)
3.1.4 简单液压系统的组成 .....	(51)	3.7.3 密封材料和密封装置 .....	(98)
3.2 液压油 .....	(52)	3.8 液压系统泄漏检查 .....	(99)
3.2.1 黏性和黏度 .....	(52)	3.8.1 外漏的检查 .....	(99)
3.2.2 压缩性 .....	(53)	3.8.2 内漏的检查 .....	(99)
3.2.3 润滑性 .....	(53)	第3章思考题 .....	(101)
3.2.4 机械稳定性 .....	(53)	<b>第4章 起落架系统</b>	
3.2.5 化学稳定性 .....	(54)	4.1 概述 .....	(103)
3.2.6 液压油的种类 .....	(54)	4.1.1 起落架配置形式 .....	(103)
3.2.7 液压油的使用和注意事项 .....	(55)	4.1.2 起落架的结构形式 .....	(105)
3.3 液压源 .....	(56)	4.1.3 起落架外部结构 .....	(106)
3.3.1 油箱及油箱增压系统 .....	(56)	4.2 起落架缓冲装置 .....	(108)
3.3.2 液压泵 .....	(58)	4.2.1 缓冲原理 .....	(108)
3.3.3 压力组件 .....	(64)	4.2.2 对起落架缓冲装置的要求 .....	(108)
3.3.4 回油组件 .....	(64)	4.2.3 油气式缓冲器 .....	(109)
3.3.5 液压管路 .....	(64)	4.3 起落架收放系统 .....	(111)
3.3.6 液压指示系统 .....	(64)	4.3.1 起落架的收放形式 .....	(111)
3.3.7 地面油箱灌注设备 .....	(66)	4.3.2 对起落架收放系统的要求 .....	(112)
3.4 液压动力元件 .....	(66)	4.3.3 起落架液压收放系统的主要组成 部件 .....	(112)
3.4.1 手摇泵 .....	(66)	4.3.4 起落架收放系统的工作过程 .....	(113)
3.4.2 柱塞泵 .....	(68)	4.3.5 起落架收放位置锁 .....	(116)
3.4.3 斜盘式柱塞泵的变量控制 .....	(70)	4.3.6 应急放起落架系统 .....	(117)
3.4.4 齿轮泵 .....	(70)	4.3.7 起落架安全收放措施 .....	(118)
3.4.5 叶片泵 .....	(71)	4.3.8 起落架位置信号 .....	(120)
3.4.6 摆线转子泵 .....	(71)	4.4 转弯系统 .....	(120)
3.4.7 液压泵的性能分析 .....	(72)	4.4.1 前轮转弯系统的控制机构 .....	(120)
3.4.8 变量泵和定量泵的卸荷 .....	(77)	4.4.2 典型的机械液式前轮转弯系统 .....	(122)
3.5 液压执行元件 .....	(80)	4.4.3 现代飞机前轮转弯系统的作用 .....	(125)
3.5.1 作动筒 .....	(80)	4.4.4 前轮定中 .....	(126)
3.5.2 三位置作动筒 .....	(81)		
3.5.3 带锁作动筒 .....	(82)		
3.6 液压控制元件 .....	(85)		



4.4.5 主起落架转弯系统 .....	(128)	5.5.2 升降舵操纵系统 .....	(186)
4.5 刹车系统 .....	(128)	5.5.3 方向舵操纵系统 .....	(189)
4.5.1 刹车减速原理与最高刹车效率 .....	(129)	5.6 辅助操纵系统 .....	(192)
4.5.2 独立的刹车系统 .....	(129)	5.6.1 飞机增升装置 .....	(192)
4.5.3 增压刹车系统 .....	(129)	5.6.2 扰流板 .....	(202)
4.5.4 液动力刹车系统 .....	(130)	5.6.3 水平安定面 .....	(204)
4.5.5 液动力刹车系统的工作情况 .....	(139)	5.7 飞行操纵警告系统 .....	(205)
4.5.6 防滞刹车系统 .....	(144)	5.7.1 起飞警告 .....	(205)
4.5.7 刹车温度探测和冷却系统 .....	(149)	5.7.2 失速警告 .....	(206)
4.6 机轮 .....	(149)	5.8 飞行操纵系统的维护工作 .....	(208)
4.6.1 机轮的主要形式 .....	(150)	5.8.1 防止系统摩擦力过大 .....	(208)
4.6.2 轮胎 .....	(150)	5.8.2 防止系统间隙过大 .....	(208)
4.7 起落架系统主要维护工作 .....	(152)	5.8.3 保持钢索张力正常 .....	(209)
4.7.1 缓冲支柱的灌充 .....	(152)	5.8.4 操纵系统的调整 .....	(210)
4.7.2 动力刹车系统排气 .....	(156)	5.8.5 测量舵面位移的工具 .....	(211)
4.7.3 机轮的维护工作 .....	(157)	5.8.6 飞机主要结构的校装 .....	(212)
第4章思考题 .....	(160)	5.8.7 飞行操纵系统的校装 .....	(213)
		5.8.8 操纵面的重新平衡 .....	(214)
		第5章思考题 .....	(215)
<b>第5章 飞机飞行操纵系统</b>		<b>第6章 座舱环境控制系统</b>	
5.1 飞行操纵系统概述 .....	(162)	6.1 座舱环境控制系统概述 .....	(217)
5.1.1 飞机转动轴 .....	(162)	6.1.1 飞机座舱环境控制系统的基本任务 .....	(217)
5.1.2 飞机平衡 .....	(163)	6.1.2 大气物理特性及其对人体生理的影响 .....	(218)
5.1.3 飞行操纵系统的组成 .....	(164)	6.1.3 克服空中不利环境的技术措施 .....	(220)
5.1.4 操纵飞机绕三轴运动 .....	(165)	6.1.4 气密座舱的形式 .....	(221)
5.1.5 对飞行操纵系统的要求 .....	(165)	6.1.5 气密座舱的环境参数 .....	(221)
5.1.6 飞机操纵性 .....	(166)	6.2 气源系统 .....	(222)
5.2 飞机操纵机构 .....	(166)	6.2.1 现代大中型民航客机气源系统 .....	(222)
5.3 传动机构 .....	(169)	6.2.2 其他形式的压力源 .....	(225)
5.3.1 软式传动机构的主要构件 .....	(169)	6.3 座舱空气调节系统 .....	(226)
5.3.2 硬式传动机构 .....	(173)	6.3.1 流量控制 .....	(226)
5.3.3 主操纵系统的传动系数和传动比 .....	(176)	6.3.2 空气循环冷却系统 .....	(227)
5.3.4 非线性传动机构 .....	(177)	6.3.3 温度控制系统 .....	(237)
5.4 舵面补偿装置 .....	(177)	6.3.4 再循环系统 .....	(240)
5.4.1 轴式补偿 .....	(177)	6.3.5 座舱空气分配系统 .....	(241)
5.4.2 角式补偿 .....	(178)	6.3.6 货舱加温系统 .....	(242)
5.4.3 内封补偿 .....	(178)	6.3.7 设备冷却系统 .....	(245)
5.4.4 调整片 .....	(178)	6.3.8 通风系统 .....	(245)
5.5 主操纵系统 .....	(179)	6.3.9 空调系统的非正常工作 .....	(245)
5.5.1 副翼操纵系统 .....	(180)		



6.4 典型飞机空调系统 .....	(246)	8.1.3 飞机燃油系统的组成 .....	(294)
6.4.1 波音 757-200 飞机空调系统 .....	(246)	8.2 航空燃油 .....	(294)
6.4.2 波音 777 飞机空调系统 .....	(248)	8.2.1 航空汽油 .....	(294)
6.5 蒸发循环冷却系统 .....	(253)	8.2.2 航空煤油 .....	(295)
6.6 座舱增压控制系统 .....	(254)	8.3 燃油系统附件 .....	(295)
6.6.1 座舱增压控制原理 .....	(254)	8.3.1 增压泵 .....	(295)
6.6.2 座舱增压系统概述 .....	(254)	8.3.2 引射泵 .....	(295)
6.6.3 座舱自动增压控制系统的工作 .....	(257)	8.3.3 燃油箱 .....	(296)
6.6.4 应急增压控制 .....	(260)	8.4 燃油箱通气系统 .....	(299)
6.6.5 气动气控式增压控制系统 .....	(261)	8.4.1 燃油箱通气系统的作用 .....	(299)
6.7 飞机氧气系统 .....	(263)	8.4.2 通气系统的组成和工作 .....	(299)
6.7.1 机组氧气系统 .....	(264)	8.5 加油和抽油系统 .....	(300)
6.7.2 乘客氧气系统 .....	(268)	8.5.1 加油系统 .....	(300)
6.7.3 手提氧气设备 .....	(270)	8.5.2 抽油及油箱内油液的传输 .....	(303)
6.8 增压座舱泄漏试验 .....	(271)	8.6 应急放油系统 .....	(305)
第 6 章思考题 .....	(272)	8.6.1 飞机燃油应急放油系统的基本要求 .....	(305)
<b>第 7 章 防冰排雨系统</b>		8.6.2 波音 747-400 飞机应急放油系统 .....	(305)
7.1 飞机结冰对飞行性能的影响 .....	(274)	8.7 供油系统 .....	(308)
7.1.1 机翼及尾翼结冰的影响 .....	(274)	8.7.1 飞机燃油系统的供油方式 .....	(308)
7.1.2 发动机进气部件结冰的影响 .....	(275)	8.7.2 飞机燃油系统的供油顺序 .....	(309)
7.1.3 螺旋桨结冰的影响 .....	(276)	8.7.3 波音 737 飞机燃油供油系统 (双发动机) .....	(310)
7.1.4 风挡玻璃、测温和测压探头结冰的 影响 .....	(276)	8.7.4 波音 747-400 飞机燃油供油系统 (四台发动机) .....	(311)
7.2 飞机防冰、除冰的方法 .....	(276)	8.8 油箱油量指示 .....	(314)
7.2.1 机械除冰系统 .....	(276)	8.9 燃油箱维护工作 .....	(316)
7.2.2 电脉冲除冰系统 .....	(278)	8.9.1 燃油渗漏分级 .....	(316)
7.2.3 液体防冰系统 .....	(278)	8.9.2 燃油渗漏的原因 .....	(317)
7.2.4 热空气防冰系统 .....	(278)	8.9.3 渗漏的检查 .....	(317)
7.2.5 电热防冰 .....	(279)	8.9.4 渗漏的排除 .....	(318)
7.3 飞机防冰排雨系统 .....	(279)	第 8 章思考题 .....	(319)
7.3.1 大翼防冰系统 .....	(280)	<b>第 9 章 飞机防火系统</b>	
7.3.2 发动机整流罩热防冰 .....	(282)	9.1 概述 .....	(321)
7.3.3 大气数据探头防冰 .....	(282)	9.1.1 燃烧的三个要素 .....	(321)
7.3.4 驾驶舱风挡的防冰和除雾 .....	(284)	9.1.2 火的种类及其灭火剂 .....	(322)
7.3.5 风挡排雨系统 .....	(286)	9.1.3 飞机防火系统 .....	(322)
7.3.6 飞机结冰探测 .....	(290)	9.2 火警探测器 .....	(323)
第 7 章思考题 .....	(291)	9.2.1 点式火警探测器 .....	(323)
<b>第 8 章 飞机燃油系统</b>		9.2.2 连续火警探测器 .....	(324)
8.1 飞机燃油系统概述 .....	(292)	9.2.3 烟雾探测系统 .....	(327)
8.1.1 燃油系统的功用 .....	(292)	9.3 典型飞机防火系统 .....	(327)
8.1.2 燃油系统特点 .....	(293)		

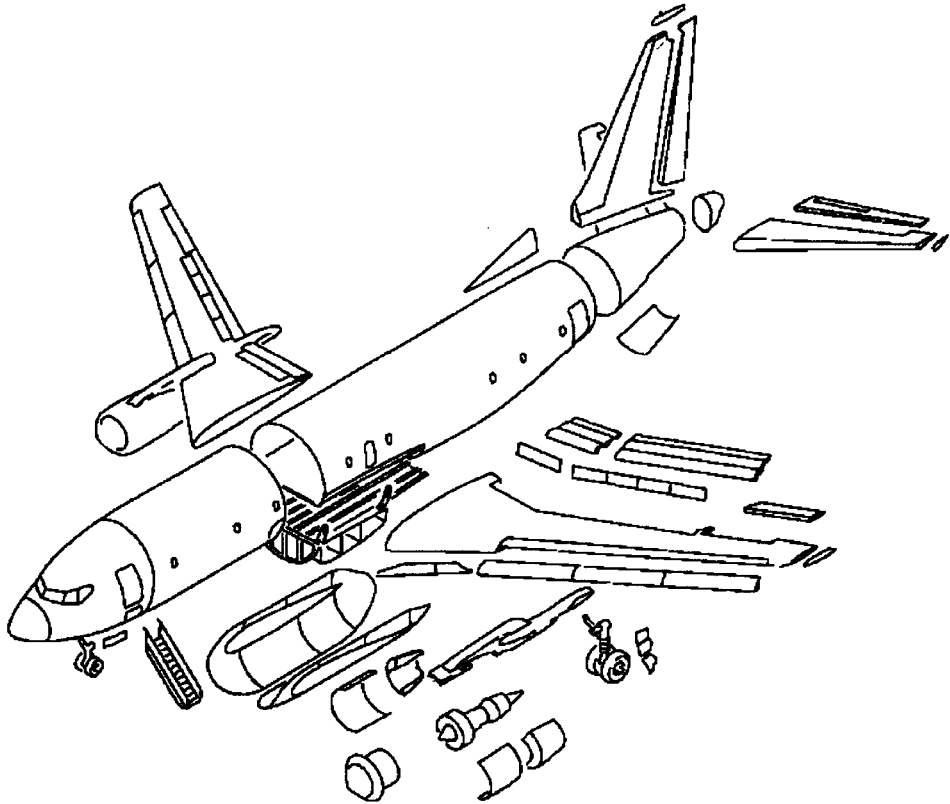




9.3.1 发动机火警(过热)探测 .....	(328)	9.4.5 手提灭火设备 .....	(338)
9.3.2 APU火警探测 .....	(329)	第9章思考题 .....	(340)
9.3.3 货舱烟雾探测 .....	(330)	<b>第10章 飞机电子系统</b>	
9.3.4 起落架舱火警探测 .....	(331)	10.1 通信和导航系统概述 .....	(341)
9.3.5 引气管道泄漏和过热探测 .....	(332)	10.2 无线电通信系统 .....	(342)
9.3.6 卫生间烟雾探测 .....	(332)	10.3 无线电导航系统 .....	(342)
9.4 飞机灭火系统 .....	(333)	10.4 防撞系统 .....	(343)
9.4.1 发动机灭火 .....	(333)	10.5 驾驶舱仪表板 .....	(343)
9.4.2 APU灭火 .....	(334)	第10章思考题 .....	(344)
9.4.3 货舱灭火 .....	(337)	<b>参考文献</b> .....	<b>(345)</b>
9.4.4 卫生间灭火 .....	(337)		



# 第1章 飞机结构



1.1 概述

1.5 机身结构

1.2 飞机载荷

1.6 尾翼和副翼

1.3 载荷、变形和应力的概念

1.7 机体开口部位的构造和受力分析

1.4 机翼结构

1.8 定位编码系统



## 1.1 概述

固定翼飞机的机体由机身、机翼、安定面、飞行操纵面和起落架五个主要部件组成。

直升机的机体由机身、旋翼及其相关的减速器、尾桨（单旋翼直升机才有）和起落架组成。

机体各部件由多种材料组成，并通过铆钉、螺栓、螺钉、焊接或胶接而连接起来。飞机各部件由不同构件构成。飞机各构件用来传递载荷或承受应力。单个构件可承受组合应力。

对某些结构，强度是主要的要求；而另一些结构，其要求则完全不同。例如，整流罩只承受飞机飞行过程中的局部空气动力，而不作为主要结构受力件。

## 1.2 飞机载荷

飞行中，作用于飞机上的载荷主要有飞机重力、升力、阻力和发动机推力（或拉力）。飞行状态改变或受到不稳定气流的影响时，飞机的升力会发生很大变化。飞机着陆接地时，飞机除了承受上述载荷外，还要承受地面撞击力，其中以地面撞击力最大。飞机承受的各种载荷中，以升力和地面撞击力对飞机结构的影响最大。

### 1.2.1 平飞中的受载情况

飞机在等速直线平飞时，它所受的力有：飞机重力  $G$ 、升力  $Y$ 、阻力  $X$  和发动机推力  $P$ 。为了简便起见，假定这四个力都通过飞机的重心，而且推力与阻力的方向相反，则作用在飞机上的力的平衡条件为：升力等于飞机的重力，推力等于飞机的阻力。即

$$Y = G$$

$$P = X$$

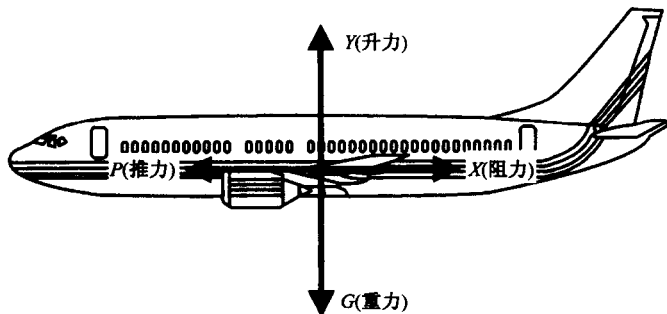


图 1-1 平飞时飞机的受载

飞机作不稳定的平飞时，推力与阻力是不相等的。推力大于阻力，飞机就要加速；反之，则减速。由于在飞机加速或减速的同时，驾驶员减小或增大了飞机的迎角，使升力系数减小或增大，因而升力仍然与飞机重力相等。平飞中，飞机的升力虽然总是与飞机的重力相等，但是，飞行速度不同时，飞机上的局部气动载荷（局部空气动力）是不相同的。飞机以小速度平飞时，迎角较大，机翼上表面受到吸力，下表面受到压力，这时的局部气动载荷并不很大；而当飞机以大速度平飞时，迎角较小，对双凸型翼型机翼来说，除了前缘要受到很



大压力外，上下表面都要受到很大的吸力。翼型越接近对称形，机翼上下表面的局部气动载荷就越大。所以，如果机翼蒙皮刚度不足，在高速飞行时，就会被显著地吸起或压下，产生明显的鼓胀或下陷现象，影响飞机的空气动力性能。

### 1.2.2 飞机在垂直平面内作曲线飞行时的受载情况

飞机在垂直平面内作曲线飞行的受载情况如图1-2所示。这时，作用于飞机的外力仍是飞机的重力、升力、阻力和发动机的推力。但是，这些外力是不平衡的。

曲线飞行虽是一种受力不平衡的运动状态，但研究飞机在曲线飞行中的受载情况时，为了方便起见，可以假设飞机上还作用着与向心力大小相等、方向相反的惯性离心力。这样，就可以把受力不平衡的曲线飞行作为受力平衡的运动状态来研究。

飞机在垂直平面内作曲线飞行时，升力可能大大超过飞机重量。飞机在曲线飞行中所受的载荷可能比平飞时大得多。可以推导出如下公式（其中  $r$  为飞机机动飞行的曲率半径， $v$  为飞行速度）

$$Y - G\cos\theta = m \frac{v^2}{r}$$

由于飞机在每一位置的  $\theta$  角不同，而且飞行速度和曲率半径也不可能一样，所以，飞机在垂直平面内作曲线飞行时，飞机的升力也是随时变化的。

### 1.2.3 飞机在水平平面内作曲线飞行时的受载情况

水平转弯时，飞机具有一定的倾斜角（坡度） $\beta$ ，升力与垂线之间也构成  $\beta$  角。这时，水平分力  $Y\sin\beta$  就是飞机转弯时的向心力，它与惯性离心力  $N$  平衡；升力的垂直分力  $Y\cos\beta$  与飞机重力  $G$  平衡，即

$$Y = \frac{G}{\cos\beta}$$

水平转弯时， $\cos\beta$  总是小于1，故升力总是大于飞机的重量；倾斜角越大， $\cos\beta$  越小，因而升力越大。

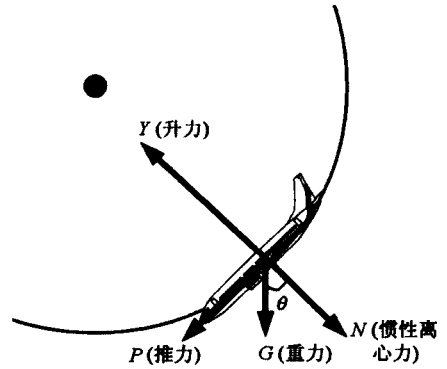


图1-2 飞机在垂直平面内的曲线飞行

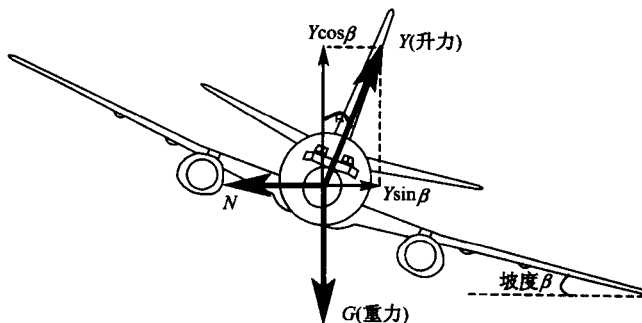


图1-3 飞机在水平转弯时的受载



### 1.2.4 飞机过载

在曲线飞行中，作用于飞机上的升力经常不等于飞机的重量。为了衡量飞机在某一飞行状态下受外载荷的严重程度，引出过载（或称载荷因数）这一概念。作用于飞机某方向的除重量之外的外载荷与飞机重量的比值，称为该方向的飞机重心过载，用  $n$  表示。飞机在  $y$  轴方向的过载，等于飞机升力（ $Y$ ）与飞机重量的比值，即

$$n_y = \frac{Y}{G}$$

飞机在  $x$  轴方向的过载等于发动机推力  $P$  与飞机阻力  $X$  之差与飞机重量的比值，即

$$n_x = \frac{P - X}{G}$$

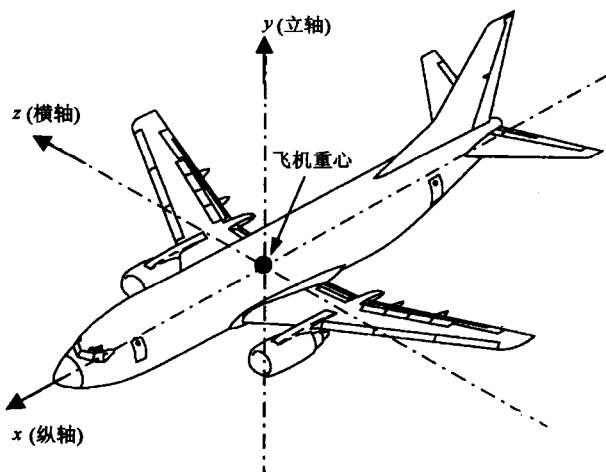


图 1-4 飞机的坐标轴

飞机在  $z$  轴方向的过载等于飞机侧向力（ $Z$ ）与飞机重量的比值，即

$$n_z = \frac{Z}{G}$$

飞机在飞行中， $y$  轴方向的过载  $n_y$  往往较大，它是飞机结构设计中的主要指标之一，飞机的结构强度主要取决于  $Y$  方向的过载  $n_y$ 。而其他两个方向的过载（ $n_x$ ， $n_z$ ）较小，它们对飞机结构强度的影响也较小。

在不同的飞行状态下，飞机重心过载的大小往往不一样。过载可能大于 1、小于 1、等于 1、等于零甚至是负值，这决定于曲线飞行时升力的大小和方向。飞机平飞时，升力等于飞机的重量， $n_y$  等于 1；曲线飞行时，升力经常不等于 1。驾驶员柔和推杆使飞机由平飞进入下滑的过程中，升力比飞机重量稍小一些， $n_y$  就小于 1；当飞机平飞时遇到强大的垂直向下的突风或在垂直平面内作机动飞行时，驾驶员推杆过猛，升力就会变成负值， $n_y$  也就变为负值；当飞机以无升力迎角垂直俯冲时，载荷因数就等于零。

$n_y$  的正、负号与升力的正、负号一致，而升力的正、负号取决于升力与飞机  $y$  轴（立轴）的关系。如果升力的方向与  $y$  轴相同，则取正号；反之，则取负号。



### 1.2.5 飞机部件的过载

在研究飞机各部件的载荷时，只知道飞机的过载是不够的，还必须知道部件的过载。部件过载是该部件在某一飞行状态中的质量力与其本身重量的比值。当飞机没有对重心的角加速度时，部件的过载等于飞机的过载；当飞机有对重心的角加速度时，飞机重心以外各部件的过载等于飞机的过载加上或减去一个附加过载。

### 1.2.6 飞机着陆时的过载

飞机着陆接地时的速度可分解为水平分速和垂直分速。由于水平分速是在着陆滑跑过程中逐渐消失的，因此飞机沿水平方向的受力不大；垂直分速是在飞机与地面相对撞击后很短的时间内消失的，故飞机沿垂直方向的撞击力较大。飞机着陆接地时承受的载荷，主要就是作用于起落架的垂直撞击力。飞机接地时垂直方向的过载，为作用于起落架上的垂直撞击力与飞机重量的比值。

如果飞机没有绕重心的角加速度，则部件的过载就等于飞机重心的过载；否则，还要加上由角加速度引起的附加过载。例如，前三点式起落架飞机以两个主轮接地时，作用于起落架的载荷对飞机重心的力矩，要使飞机产生机头下俯的角加速度。这时，飞机重心后面的部件，其过载等于飞机重心过载加上一个附加过载；而飞机重心前面的部件，则应减去一个附加过载。

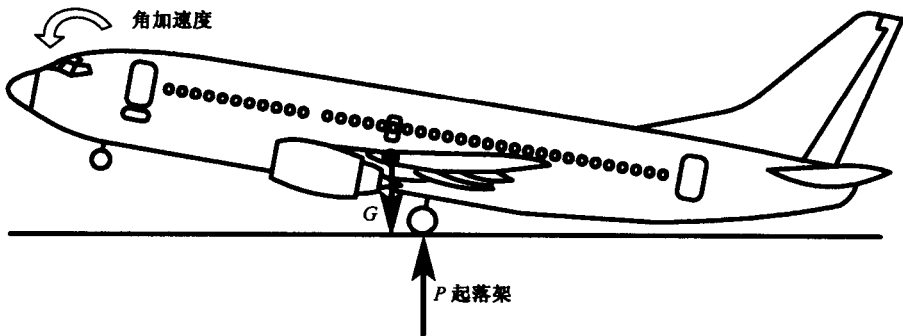


图 1-5 飞机着陆接地时部件的载荷

## 1.3 载荷、变形和应力的概念

### 1.3.1 载荷及其分类

任何结构和结构中的各个构件，在工作过程中都会受到其他物体对它的作用力，这种作用力通常叫做载荷（或外部载荷）。例如，飞行中机翼上的空气动力、起落架等部件的重力都是作用于机翼上的载荷。各种构件在载荷的作用下，它的支点都会对它产生反作用力。构件承受的各种载荷和支点的反作用力，统称为作用于该构件的外力。

按作用方式，载荷主要分为集中载荷和分布载荷。集中载荷是指集中作用于一点上的载荷。分布载荷是指作用在一个面积或长度上的载荷。如果分布载荷的作用面积相对较小，可



以把它近似看作是集中载荷, 这样在实际中可使问题简化。例如吊装在机翼上的发动机对机翼的载荷可认为是集中载荷。

根据载荷作用于构件的性质的不同, 载荷可分为静载荷和动载荷。如果载荷是逐渐加到构件上去的, 或者载荷加到构件上后, 它的大小和方向不变或变化很小, 此载荷叫静载荷。如飞机停放时起落架所承受的载荷, 就是一种静载荷; 又如, 千斤顶顶飞机时, 所承受的载荷是逐渐增大的, 它也属于静载荷。

如果载荷是突然加到构件上去的, 或者载荷加到构件上后, 它的大小和方向(或其一)有显著变化, 这样的载荷称为动载荷。如飞机着陆时起落架所受到的地面撞击力; 飞机着陆滑跑因为跑道不平, 使各部分承受的力都属于动载荷。

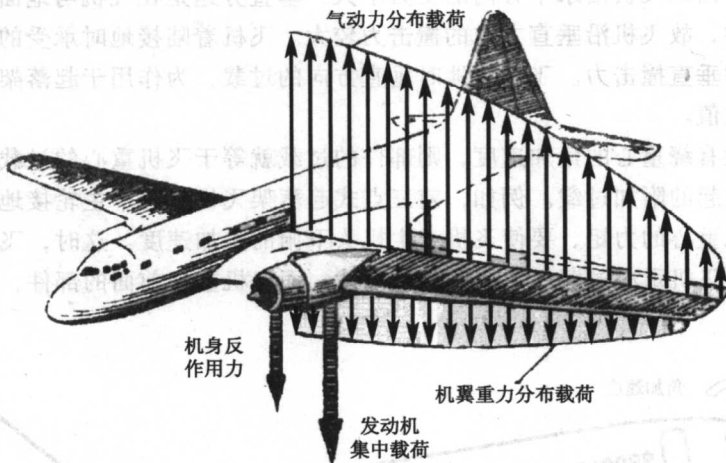


图 1-6 作用于机翼上的外载荷

### 1.3.2 构件在载荷作用下的变形

构件在载荷作用下, 其尺寸和形状都会有不同程度的改变, 这种尺寸和形状的改变叫做变形。

构件在载荷作用下所产生的变形, 当载荷去掉后即能消失的变形叫弹性变形; 不能消失的变形叫永久变形(或残余变形)。

构件承受载荷的情况不同, 它所产生的变形形式也不一样, 但其基本变形为拉伸、压缩、剪切、扭转和弯曲五种。实际上, 飞机结构受力时, 各构件的变形, 往往是比较复杂的, 常常是几种变形的组合, 称为复合变形。

### 1.3.3 内力和应力的概念

当构件受到外力作用而变形时, 材料分子之间的距离发生变化, 这时分子之间会产生一种反抗变形、力图使分子间的距离恢复原状的力, 这种力叫内力。构件受力变形时所产生的内力, 可利用截面法求得。

要判断构件受力的严重程度, 仅知道内力的大小是不够的。构件在外力作用下, 单位横截面面积上的内力叫做应力。如果内力是均匀分布的, 则构件任意截面上的应力等于截面上的总内力除以横截面积。应力可分成垂直于所取截面和平行于所取截面的两个分量。垂直于



横截面的应力称为正应力，平行于横截面的应力称为剪应力。

### 1.3.4 强度和刚度的概念

构件在传力过程中，横截面上的应力要随着载荷的增大而增大。对于一定材料制成的构件来说，当截面上的应力增大到一定程度后，构件就会损坏（产生显著的永久变形或断裂）。构件在外力作用下，抵抗破坏（或断裂）的能力叫做构件的强度。构件的强度越大，表示它开始损坏时所受的载荷越大。为了使构件在规定的载荷作用下工作可靠，应保证它具有足够的强度。

构件即使强度足够，但在载荷作用下还可能由于变形量过大而影响工作。因此，构件还应具有足够的抵抗变形的能力。构件在外力作用下抵抗变形的能力称为构件的刚度。构件的刚度越大，在一定的载荷作用下产生的变形越小。

构件在外力作用下保持其原有平衡形式的能力称为构件的稳定性。细长杆和薄壁结构受压后易突然失去原有的平衡形式，此种现象叫做失去稳定性，简称失稳。飞机蒙皮在受压后会产生皱折的现象，就是由于蒙皮受压失稳造成的。

要保证构件正常工作，构件必须具有足够的强度、刚度和稳定性。构件的强度、刚度、稳定性与其材料的性质、截面尺寸和形状有关。另外构件的强度和刚度还与使用、维护的条件有关。例如，构件装配不当，受到划伤或腐蚀等，强度和刚度就会减弱。因此，维护和使用过程中，应根据构件的性质和受力特点等，注意保持其强度和刚度。

### 1.3.5 飞机承受的5种主要应力

所有飞机都承受5种主要应力：

- (1) 拉伸应力；
- (2) 压缩应力；
- (3) 扭转应力（扭矩）；
- (4) 剪切应力；
- (5) 弯曲应力（弯矩）。

拉伸应力是抵抗试图拉断物体的应力。压缩应力是抵抗压力的应力。扭矩是产生扭转变形的应力。剪切应力是抵抗试图引起材料某一层与相邻一层产生相对错动之力的应力。弯曲应力是压缩应力和拉伸应力的组合。当杆件受到弯曲作用时，弯曲的内侧面缩短（压缩），而弯曲的外侧面拉长（拉伸）。

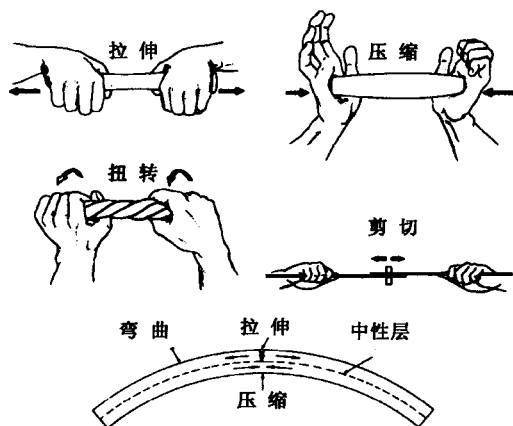


图1-7 作用于飞机上的5种基本应力

## 1.4 机翼结构

### 1.4.1 机翼的功用

机翼是飞机的一个重要部件，其主要功用是产生升力。当它具有上反角时，可为飞机提供一定的横侧稳定性。在机翼上安装有一些操纵面，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。另外，很多飞机的发动机和主起落架安装于机翼结构上。机翼的内部空间常用来收藏主起落架和贮存燃油。





### 1.4.2 机翼的配置

目前,除了个别低速飞机仍是双翼机外,绝大多数飞机都是单翼机。

单翼机在机身上的配置,可分为上单翼、中单翼和下单翼三种形式。

从机翼与机身的干扰阻力来看,以中单翼为最小,上单翼次之,下单翼最大。从机身内部容积的利用来看,以上单翼最为优越。因为上单翼飞机机翼通过机身的部分骨架,位于机身上部,不影响机身内部容积的利用;中单翼的翼梁要横穿机身中部,对机身内部容积的利用有一定影响;下单翼飞机机身内的可用容积较大,但固定在机身下部的翼梁,会限制安装在机翼下部部件的尺寸。吊装在下单翼飞机下部的发动机维护比较方便。从起落架的配置来看,如果将起落架装在机翼上,上单翼飞机的起落架较长,这样不仅重量大,而且不易收放。在这方面,下单翼飞机比较有利。此外,上单翼飞机由于机翼位置较高,检修、拆装机翼上的发动机或其他附件,以及向机翼内的油箱添加燃油都不方便,这会给维护工作带来困难。

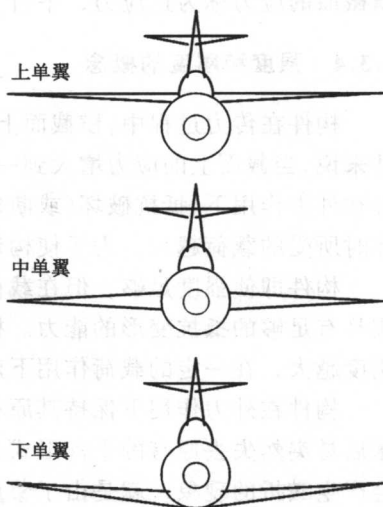


图 1-8 机翼的配置形式

### 1.4.3 机翼上的外载荷

飞行中,作用于机翼的外部载荷有空气动力、机翼结构质量力和部件的质量力。机翼在外部载荷作用下,像一根固定在机身上的悬臂梁一样,要产生弯曲和扭转变形,因此,在这些外载荷作用下,机翼各截面要承受剪力、弯矩和扭矩。由于机翼结构沿水平方向尺寸较大,因而水平剪力和水平弯矩对飞机结构受力影响较小,在受力分析时只分析垂直剪力、扭矩和垂直弯矩,如图 1-9 所示。

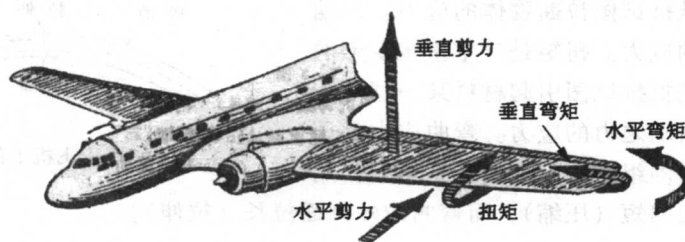


图 1-9 机翼上所受的剪力、弯矩和扭矩

机翼结构质量力是机翼结构重量和它在飞行中产生的惯性力的总称,即机翼结构重量和变速运动惯性力。

升力是当机翼以一定速度相对空气运动时,空气作用在机翼表面上的空气动力在垂直于来流方向上的分量,如图 1-10 所示。

#### 1.4.4 平直机翼各截面的剪力、弯矩和扭矩图

机翼主要受两种类型的外载荷:一种是以空气动力载荷为主,包括机翼结构质量力的分