

民用航空器维修基础系列教材

中国民用航空局飞行标准司推荐

涡轮发动机 飞机结构与系统 (上) (第2版)

Turbine Aeroplane Structures and Systems

(ME-TA)

张铁纯 主编



清华大学出版社



民用航空器维修基础系列教材

涡轮发动机 飞机结构与系统 (上) (第2版)

Turbine Aeroplane Structures and Systems

(ME-TA)

张铁纯 主编

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书为民用航空器维修系列教材(第2版)之一,主要内容为涡轮发动机飞机结构和机械系统,包括:飞机结构、液压系统、燃油系统、起落架系统、飞行操纵系统、空调系统和设备/设施与水系统。

本书可作为 CCAR-147 部维修培训机构的培训教材或参考教材,也适合于具有一定基础的航空机械专业维修人员自学。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

涡轮发动机飞机结构与系统:ME-TA.上/张铁纯主编.—2版.—北京:清华大学出版社,2017

(民用航空器维修基础系列教材)

ISBN 978-7-302-46155-5

I. ①涡… II. ①张… III. ①涡轮喷气发动机—民用飞机—飞机构件—教材 ②涡轮喷气发动机—民用飞机—飞机系统—教材 IV. ①V222

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 013758 号

责任编辑:赵 斌 赵从棉

封面设计:李星辰

责任校对:刘玉霞

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:24.5

字 数:592千字

版 次:2006年11月第1版

2017年3月第2版

印 次:2017年3月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:65.00元

产品编号:072698-01

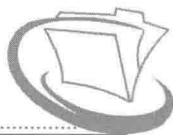
民用航空器维修基础系列教材

编写委员会

主任委员：任仁良

编委：	刘燕	陈康	付尧明	郝瑞
	蒋陵平	李幼兰	刘峰	刘建英
	刘珂	吕新明	任仁良	王会来
	张鹏	邹蓬	张铁纯	

序 言



PREFACE

2005年8月,中国民航规章CCAR-66R1《民用航空器维修人员执照管理规则》考试大纲正式发布执行,该大纲规定了民用航空器维修持照人员必须掌握的基本知识。随着中国民用航空业的飞速发展,业内迫切需要大批高素质的民用航空器维修人员。为适应民航的发展,提高机务维修人员的素质和航空器的维修水平,满足广大机务维修人员学习业务的需求,中国民航总局飞行标准司组织成立了“民用航空器维修基础系列教材”编写委员会,其任务是组织编写一套满足中国民航维修要求、实用性强、高质量的培训和自学教材。

为方便机务维修人员通过培训或自学参加维修执照基础部分考试,本套教材根据民航局颁发的AC-66R1-02维修执照基础部分考试大纲编写,同时满足AC-147-02维修基础培训大纲。本套教材共12本,内容覆盖了大纲的所有模块,具体每一本教材的适用专业和对应的考试大纲模块见本书封底。

本套教材力求通俗易懂,紧密联系民航实际,强调航空器维修的基础理论和维修基本技能的培训,注重教材的实用性。本套教材可作为民航机务维修人员或有志于进入民航维修业的人员的培训或自学用书,也可作为CCAR-147维修培训机构的基础培训教材或参考教材。

“民用航空器维修基础系列教材”第1版在CCAR-66执照基础部分考试和CCAR-147维修基础培训中得到了非常广泛的应用。通过10年多的使用,在第1版教材中发现了不少问题;同时10年来,大量高新技术应用到新一代飞机上(如B787、A380等),维修理念和技术也有了很大的发展,与之相对应的基础知识必须得到加强和补充。因此,维修基础培训教材急需进行修订。

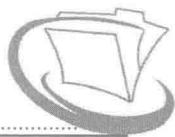
“民用航空器维修基础系列教材”的再版是在民航局飞行标准司的直接领导下进行修订编写的。这套教材的编写得到了民航安全能力基金的资助,同时得到了中国民航总局飞行标准司、中国民航大学、广州民航职业技术学院、中国民用航空飞行学院、民航管理干部学院、上海民航职业技术学院、北京飞机维修工程有限公司(Ameco)、广州飞机维修工程有限公司(Gameco)、中信海洋直升机公司、深圳航空有限责任公司等单位以及航空器维修领域专家的大力支持,在此一并表示感谢!

由于编写时间仓促和我们的水平有限,书中难免存在许多错误和不足,请各位专家和读者及时指出,以便再版时加以纠正。我们相信,经过不断的修订和完善,这套教材一定能成为飞机维修基础培训的经典教材,为提高机务人员的素质和飞机维修质量作出更大的贡献。读者如有任何意见和建议请发至:skyexam2015@163.com。

“民用航空器维修基础系列教材”编委会

2016年4月

前言



FOREWORD

《涡轮发动机飞机结构与系统》(ME-TA)分上下两册,上册为涡轮发动机飞机结构和机械系统,下册为飞机电气电子系统。本教材是按照中国民航规章 CCAR-66R2《民用航空器维修人员执照管理规则》航空机电专业(ME-TA)考试大纲 M11 编写的。本书的编写内容是飞机维修人员必须要掌握的基础知识,在编写过程中,力求做到通俗易懂,注重知识的实用性,贯彻了理论与实际密切结合的思想,基本上不涉及复杂的数学公式和推导,强调定性描述大纲中要求掌握的基本知识。本书可以作为 CCAR-147 部维修基础培训机构的培训教材或参考教材,也适用于具有一定基础的航空机电专业人员自学。

上册由张铁纯副教授主编和统稿,内容包括飞机结构、液压系统、燃油系统、起落架系统、飞行操纵系统、空调系统和设备/设施与水系统。其中,1.1 节由李幼兰编写,1.2 节由虞浩清、刘峰编写;第 2~5 章由张铁纯编写;第 6 章由胡静编写;7.1 节由邢忠庆编写,7.2 节由庞大海编写。孙斌、项伟、张宏伟、钱若力等也参与了编写工作。

第 2 版是在第 1 版的基础上进行修订的,修订的重点一是对原版各章的文字和内容进行了重新梳理,对一些不清楚的或不对的地方进行了修改和完善,更换或增加了部分配图,更加贴近民航飞机的实际情况,力求把飞机结构和飞机机械系统的基本原理讲解更直接、更透彻,方便机械专业机务人员学习。二是第 1 版教材使用 10 年多的过程中,随着新一代飞机 B787 和 A380 等多电飞机投入运行,机身复合材料应用比例增加,飞机液压、飞行操纵、起落架、空调等系统采用了很多新技术,急需增加相应的基础知识。

在飞机结构部分增加对飞机复合材料结构件描述;在飞机液压系统部分增加飞机液压系统引入的新技术(如电静液作动);在燃油系统部分增加燃油箱功能分类、干舱设置、燃油箱布局描述、增加燃油箱抑爆系统、增加配平传输系统、增加超声波式油量指示系统;在起落架系统部分修订起落架配置型式描述、增加双气室油气减震器、增加近零膨胀(NZG)子午线轮胎介绍、引入电刹车概念;在飞行操纵系统部分增加电传操纵系统手操纵机构对比、增加电传飞行控制法则概念并引入机型案例、增加 EHA、EMA 等新型舵面驱动方案;在空调系统部分增加波音 787 飞机的电动离心增压器引气技术方案、增加双涡轮式空气循环制冷技术案例、增加侧壁低位供气系统技术方案描述。

许峻、宋静波、蒋陵平、龙江、李安、许少伟、万晓云、郝瑞、杨晓龙等民航专家对全书进行了审校,提出了许多修改意见,在此谨表深深的感谢。

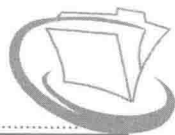
我国民航所使用的飞机大都是欧美制造,为了便于学生对照机型资料学习,书中的部分电路符号采用了欧美国家的符号,学习时应予注意。

由于编写时间仓促和我们的水平有限,教材中可能存在着许多错误和不足,请各位专家和读者指出,以便再版时加以纠正。

编 者

2016年11月

目 录



CONTENTS

第 1 章 飞机结构	1
1.1 飞机结构的基本概念	1
1.1.1 飞机外载荷及飞机结构承载能力	1
1.1.2 飞机结构适航性要求和结构分类	10
1.1.3 飞机结构受力分析的基本概念	13
1.1.4 飞机结构基本元件、结构件及受力特点	18
1.1.5 飞机复合材料结构件	24
1.1.6 飞机结构疲劳设计	27
1.1.7 飞机结构连接技术	33
1.1.8 飞机机体站位编号和飞机机体区域的划分	35
1.1.9 飞机机体校装和对称性检查	38
1.2 飞机结构	41
1.2.1 机翼结构	41
1.2.2 机身结构	56
1.2.3 飞机尾翼	70
1.2.4 飞机结构装配	72
第 2 章 液压系统	82
2.1 概述	82
2.1.1 液压传动原理	82
2.1.2 液压系统的组成	83
2.1.3 液压传动的优点和缺点	84
2.2 液压油	85
2.2.1 液压油指标要求	85
2.2.2 常见液压油	89
2.2.3 液压油使用注意事项	90
2.3 液压泵	91
2.3.1 液压泵的基本工作原理	91

2.3.2	液压泵性能参数	92
2.3.3	液压泵的类型	94
2.3.4	液压泵的压力控制	98
2.4	液压控制元件	99
2.4.1	概述	99
2.4.2	方向控制元件	99
2.4.3	压力控制元件	102
2.4.4	流量控制元件	106
2.5	液压执行元件	109
2.5.1	作动筒的工作原理	109
2.5.2	作动筒的类型	110
2.5.3	作动筒辅助装置	112
2.6	液压辅助元件	114
2.6.1	液压油箱	114
2.6.2	液压油滤	116
2.6.3	蓄压器	118
2.6.4	密封	121
2.6.5	散热器	123
2.7	飞机液压源系统	126
2.7.1	现代飞机液压源系统的组成	126
2.7.2	液压泵的特点	126
2.7.3	压力分配	130
2.7.4	指示系统	131
2.7.5	系统勤务	132
第3章	燃油系统	136
3.1	燃油系统概述	136
3.1.1	燃油系统的功用	136
3.1.2	燃油系统的特点和对燃油系统的要求	136
3.2	油箱及通气系统	137
3.2.1	油箱类型和布局	137
3.2.2	油箱通气系统	142
3.2.3	燃油箱抑爆系统	143
3.3	加油/抽油系统	146
3.3.1	概述	146
3.3.2	重力加油	149
3.3.3	压力加油	150
3.4	供油系统	153
3.4.1	抽吸供油	153

3.4.2	动力供油	153
3.4.3	动力供油主要附件	157
3.4.4	燃油传输及抽油	161
3.4.5	应急放油系统	162
3.5	燃油指示/警告系统	165
3.5.1	油量指示系统	165
3.5.2	低压警告	169
3.5.3	温度指示	169
3.6	燃油系统维护	170
3.6.1	油箱腐蚀处理与预防	170
3.6.2	油箱渗漏处理	174
3.6.3	管路系统维护	178
第4章	起落架系统	179
4.1	起落架概述	179
4.1.1	起落架配置型式	179
4.1.2	起落架结构型式	184
4.1.3	轮式滑行装置	186
4.2	减震系统	188
4.2.1	减震原理	188
4.2.2	减震器的发展	189
4.2.3	单气室油气式减震器	189
4.2.4	双气室油气式减震器	193
4.2.5	典型油气式减震支柱的构造	194
4.2.6	油气式减震器维护	196
4.3	收放系统	199
4.3.1	起落架收放概述	200
4.3.2	起落架锁机构	201
4.3.3	收放系统的工作原理	202
4.3.4	指示和警告系统	205
4.3.5	应急放下系统	209
4.3.6	地面防收安全措施	211
4.3.7	起落架收放系统维护	213
4.4	转弯系统	214
4.4.1	前轮稳定距	214
4.4.2	飞机转弯操纵	216
4.4.3	自动定中机构	223
4.5	机轮和刹车系统	224
4.5.1	轮毂	224

4.5.2	航空轮胎	226
4.5.3	机轮装配	233
4.5.4	机轮维护	235
4.5.5	刹车装置	239
4.5.6	液压刹车系统	249
第5章	飞行操纵系统	257
5.1	操纵系统概述	257
5.1.1	操纵系统的定义及分类	257
5.1.2	对操纵系统的要求	258
5.1.3	飞机飞行操纵系统的发展	259
5.2	中央操纵机构	260
5.2.1	手操纵机构	260
5.2.2	脚操纵机构	263
5.3	传动系统	264
5.3.1	机械传动机构	265
5.3.2	电传操纵系统	274
5.4	舵面驱动装置	279
5.4.1	液压驱动装置	279
5.4.2	电静液驱动	284
5.4.3	电力驱动	284
5.5	典型飞机操纵系统	286
5.5.1	主飞行操纵与辅助操纵系统的区别	286
5.5.2	主操纵系统	287
5.5.3	辅助操纵系统	292
5.6	飞行操纵警告系统	298
5.6.1	起飞警告系统	299
5.6.2	失速警告系统	300
5.7	飞行操纵系统的维护	301
5.7.1	防止系统摩擦力过大	302
5.7.2	防止系统间隙过大	302
5.7.3	保持钢索张力正常	303
5.7.4	操纵系统的调整	304
5.7.5	测量舵面位移的工具	305
第6章	空调系统	307
6.1	空调系统概述	307
6.1.1	大气物理特性及高空环境对人体生理的影响	307
6.1.2	空调系统的提出	312

6.2	空调气源系统	314
6.2.1	气源系统概述	314
6.2.2	气源系统调节与控制	317
6.3	温度控制系统	321
6.3.1	座舱温控原理	322
6.3.2	蒸发循环制冷	325
6.3.3	空气循环制冷	329
6.4	空气分配系统	342
6.4.1	分配系统组成	342
6.4.2	再循环设备	344
6.4.3	座舱局部加温	345
6.5	座舱压力控制系统	345
6.5.1	座舱增压原理及座舱压力制度	345
6.5.2	座舱压力控制系统	347
6.5.3	座舱增压系统维护	354
6.6	货舱加温及设备冷却	355
6.6.1	货舱加温	355
6.6.2	电子设备舱的冷却	356
第7章	设备/设施与水系统	358
7.1	机舱设备/设施	358
7.1.1	正常设备/设施	358
7.1.2	应急设备/设施	363
7.2	水/污水系统	368
7.2.1	饮用水系统	368
7.2.2	污水系统	370
附录	缩略语列表	373
	参考文献	375



1.1 飞机结构的基本概念

1.1.1 飞机外载荷及飞机结构承载能力

飞机在飞行或起飞、着陆、地面运动时,其他物体对飞机的作用力和力矩称为飞机外载荷。如飞机重力、气动载荷、发动机推力、地面作用力等。飞机外载荷是对飞机结构进行受力分析的重要依据,对使用中飞机所承受外载荷的种种限制,表征了飞机结构的承载能力。

1. 飞机外载荷

1) 飞机外载荷分类

飞机外载荷按其作用形式可分为集中载荷和分布载荷。

(1) 集中载荷: 载荷集中作用在结构上的某一部位。比如,通过接头作用在机翼结构上的发动机载荷、起落架载荷等。

(2) 分布载荷: 载荷分布作用在结构的某一区域内。比如,作用在机体表面的气动载荷等。

飞机外载荷按其作用性质可分为静载荷和动载荷。

(1) 静载荷: 载荷逐渐加到飞机结构上,或者载荷加到结构上以后,它的大小和方向不变或变化很小,这种载荷叫静载荷。比如,飞机停放时起落架承受的载荷。

(2) 动载荷: 载荷突然加到飞机结构上,或者载荷加到结构上以后,它的大小或方向有着明显变化,这种载荷叫动载荷。比如,飞机着陆时起落架受到的地面撞击力;飞机飞行中突风造成机翼受到变化的升力等。

飞机外载荷按飞机所处状态又可分为飞行载荷和地面载荷。

(1) 飞行载荷: 飞行时,作用在飞机上的外载荷。

(2) 地面载荷: 起飞、着陆、地面运动时,作用在飞机上的外载荷。

2) 飞行中飞机的外载荷及过载

(1) 飞行中飞机的外载荷

研究飞机承受载荷情况选取的机体坐标 $OX_iY_iZ_i$ 是与机体固连并与机体一起运动的坐标系。它的原点 O 位于全机重心处, OX_i 轴称为纵轴,在机身对称面内,平行机身轴线,指向机头; OY_i 轴称为立轴(竖轴),在机身对称面内,垂直 OX_i 轴,指向座舱上方; OZ_i 轴称为横轴,垂直 OX_iY_i 平面(机体对称面),指向右机翼,见图 1.1-1。

飞行中,作用在飞机上的外载荷有飞机重力、空气动力和发动机推力以及由此产生的力矩。飞机重力 W 作用在机体重心 O 上,铅垂向下;发动机推力沿飞行方向纵轴 OX_i ,向前;空气动力有气动升力 L 、气动阻力 D 和侧向力 Z 。升力 L 垂直飞行方向 OX_i 轴,沿立轴 OY_i 方向,向上;阻力 D 沿飞行方向 OX_i 轴,向后;侧向力 Z 沿横轴 OZ_i 方向,指向右。将作用在机体上的外载荷向机体坐标系原点 O 简化,得到作用在原点 O 处的共点力系,并得到绕三个坐标轴的力矩 M_X 、 M_Y 和 M_Z ,如图 1.1-1 所示。

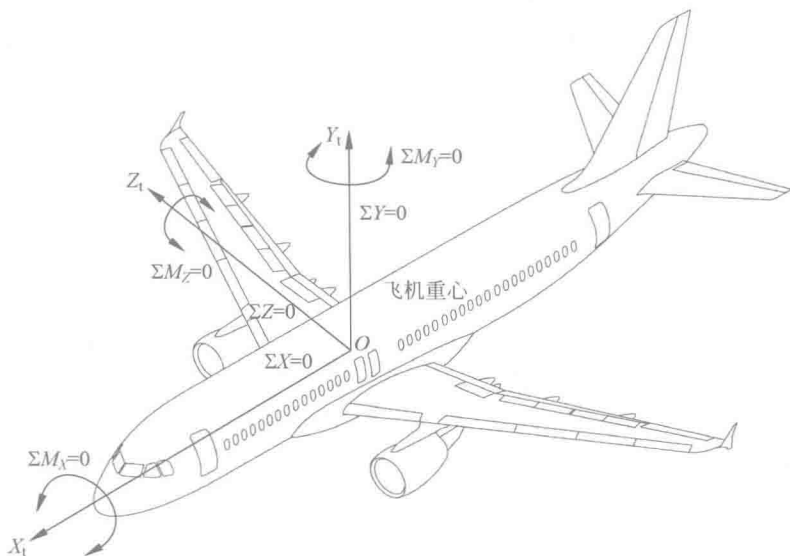


图 1.1-1 飞机机体坐标系和外载荷向机体坐标系原点简化

当外载荷形成平衡力系时,满足平衡方程组(1.1-1),飞机进行的是匀速直线运动,也就是定常飞行;当外载荷不能形成平衡力系时,飞机进行的是变速运动,也就是非定常飞行。

$$\begin{cases} \sum X = 0, & \sum M_X = 0 \\ \sum Y = 0, & \sum M_Y = 0 \\ \sum Z = 0, & \sum M_Z = 0 \end{cases} \quad (1.1-1)$$

(2) 过载(载荷系数)

① 过载的定义和物理意义

过载用于表征飞行中作用在机体上外载荷的大小和方向。作用在飞机上的外载荷可分为质量力和表面力两大类。质量力是由飞机质量引起的惯性力(如重力);表面力包括作用在机体表面的气动力、发动机推力。

过载的定义:作用在机体坐标系某方向表面力的合力与飞机重量之比称为飞机在该方向的过载(也称为载荷系数)。飞机的过载用字母 n 表示,按照图 1.1-1 给出的机体坐标系,过载分为沿纵轴过载 n_x 、沿立轴过载 n_y 和沿横轴过载 n_z ,由此可得

$$\begin{cases} n_x = (P - D)/W \\ n_y = L/W \\ n_z = Z/W \end{cases} \quad (1.1-2)$$

在飞行中变化比较大,对飞机结构强度影响最大的过载是 n_y 。在 X 方向除了飞机加速或制动减速瞬时过载较大外,其他情况 n_x 都比较小。在 Z 方向除了飞机侧滑受侧风影响外,其他情况很少产生侧向过载 n_z 。所以一般说“飞机过载”就是指 n_y 。

飞机过载是代数值,不但有大小而且有正负。过载 n_y 的大小表示升力是飞机重量的几倍;正负表示升力的方向。比如, $n_y=3$,表示飞机升力是飞机重量的 3 倍,正号表示升力指向 Y 轴的正方向; $n_y=-0.5$,表示飞机升力是飞机重量的 0.5 倍,负号表示升力指向 Y 轴的负方向。

飞机过载按其产生的原因可分为机动过载和突风过载。随着飞机机动飞行而产生的过载称为机动过载;由于突风作用,飞机气动力大小变化而产生的过载称为突风过载。

② 飞机水平匀速飞行时的过载

如图 1.1-2 所示,当飞机在某一高度上作水平匀速直线飞行时,作用在飞机上的外载荷有飞机重力 W 、气动升力 L_0 、气动阻力 D_0 和发动机推力 P_0 。将外载荷向机体坐标系 ($OX_1Y_1Z_1$) 原点(全机重心)简化,得到作用在重心处的共点力系和抬头力矩 M_A 、低头力矩 M_B 。因为作用在飞机上的载荷左右对称,所以侧向力 Z 、力矩 M_y 和 M_z 为零。

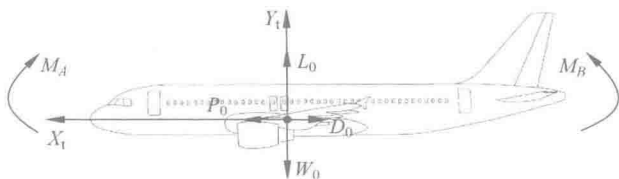


图 1.1-2 飞机水平匀速飞行时的外载荷

飞机进行的水平匀速直线飞行就是一种定常飞行状态,这些外载荷必须满足平衡方程(1.1-1)。因为侧向力 Z 、力矩 M_y 和 M_z 自然为零,所以

$$\begin{cases} \sum X = 0, & P_0 = D_0 \\ \sum Y = 0, & L_0 = W \\ \sum M_Z = 0, & M_A = M_B \end{cases} \quad (1.1-3)$$

在此飞行状态下,飞机的过载为: $n_x = P_0 - D_0 = 0$, $n_y = L_0/W = 1$, $n_z = Z/W = 0$ 。

如果外载荷不满足平衡方程组(1.1-3),飞机就会做变速运动,速度的大小或方向会发生变化,改变原来的飞行状态。比如: $P > D$,飞机会加速飞行; $L > W$,飞机会产生向上的曲线飞行; $M_A \neq M_B$,飞机会抬头或低头,产生绕机体横轴 Z_1 转动的角加速度等。

③ 机动过载

飞机作机动飞行时, n_y 会发生较大的变化。机动过载可分解为垂直方向机动过载和水平方向机动过载。垂直机动过载出现在以下情况:当驾驶员猛推杆使飞机以较大速度、较小的半径进入俯冲时, n_y 可能为较大的负值;当将飞机从俯冲状态拉起时, n_y 为较大的正值。

水平机动过载出现在飞机水平盘旋情况,如图 1.1-3 所示。当飞机以滚转角 β 水平盘旋时,升力在水平方向的分力

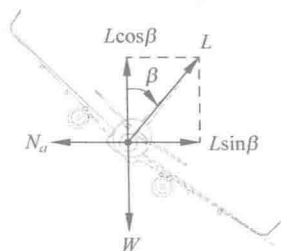


图 1.1-3 水平盘旋机动过载

为飞机转弯提供向心力, N_a 为惯性力; 而在垂直方向的分力与飞机重量平衡, $L \times \cos\beta = W$ 。所以 $n_y = L/W = 1/\cos\beta$ 。滚转角越大, 过载值越大, 当 $\beta = 30^\circ$ 时, $n_y = 1.15$; $\beta = 60^\circ$ 时, $n_y = 2$ 。

④ 突风过载

大气中, 空气对流造成的不稳定气流称为突风。从飞机前方或后方吹来, 与飞机飞行方向平行的突风叫水平突风; 从飞机上方或下方吹来, 与飞机飞行方向垂直的突风叫垂直突风。突风会改变气流相对飞机运动速度的大小和方向, 从而改变飞机升力的大小。由于突风作用, 飞机升力大小的变化用突风过载来表示。

对飞机结构受力影响比较大的是垂直突风。垂直突风主要是改变气流相对飞机运动速度的方向(图 1.1-4), 从而产生较大的突风过载 n_y 。飞行中, 遇到较强烈的垂直向上的突风, 会产生较大的正过载增量; 遇到较强烈的垂直向下的突风, 会产生较大的负过载增量。

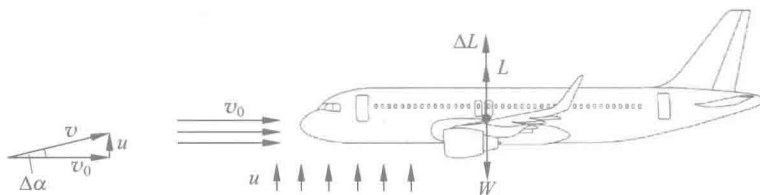


图 1.1-4 垂直突风造成的突风过载

⑤ 部件过载

前面在研究飞机过载时, 根据作用在飞机重心处升力 L 和飞机飞行重量 W 之比得出过载 n_y 值。这个过载被称为飞机重心过载, 也就是全机过载。知道了全机过载 n_y , 就可以知道全机升力的大小和方向。有时为了研究飞机结构的受力, 只知道全机过载是不够的, 还应该了解部件过载。部件过载等于全机过载和附加过载的代数和。

$$n_{y\text{部件}} = n_y \pm \Delta n_y \quad (1.1-4)$$

当飞机作平直飞行或水平上升、下降时, 飞机各部位的加速度与飞机重心处的加速度相同, 此时, 附加过载 $\Delta n_y = 0$, 部件过载等于全机过载。当飞机运动有绕重心转动的角加速度时, 飞机各部位运动的加速度与飞机重心处运动的加速度不同, 此时, 附加过载 $\Delta n_y \neq 0$, 部件过载也就和全机过载不相同。

图 1.1-5 所示为飞机以角加速度 ϵ_z 抬头转动时, 沿机体纵轴部件过载的分布图。抬头角加速度 ϵ_z 导致飞机重心以外各部件相对重心有附加的加速度 $\epsilon_z \times X_{\text{部件}}$, 产生附加过载 $\Delta n_y = \epsilon_z \times X_{\text{部件}} / g$, 这时部件的过载就等于

$$n_{y\text{部件}} = n_y + \Delta n_y = n_y + \epsilon_z \times X_{\text{部件}} / g \quad (1.1-5)$$

式中, ϵ_z ——飞机绕机体横轴转动的角加速度;

$X_{\text{部件}}$ ——部件沿机体纵轴部件到飞机重心的距离;

g ——重力加速度。

部件的附加过载和飞机转动角加速度及部件沿纵向到飞机重心的距离成正比。对同一架飞机来说, 飞机各部位的转动角加速度是相同的, 所以, 距离飞机重心越远, 附加过载就越大, 附加过载沿机体纵轴呈线性分布(见图 1.1-5(b))。当飞机抬头转动时, 重心前各部件的附加加速度向上, 产生的附加过载 Δn_y 为正值; 重心后各部件的附加加速度向下, 产生的

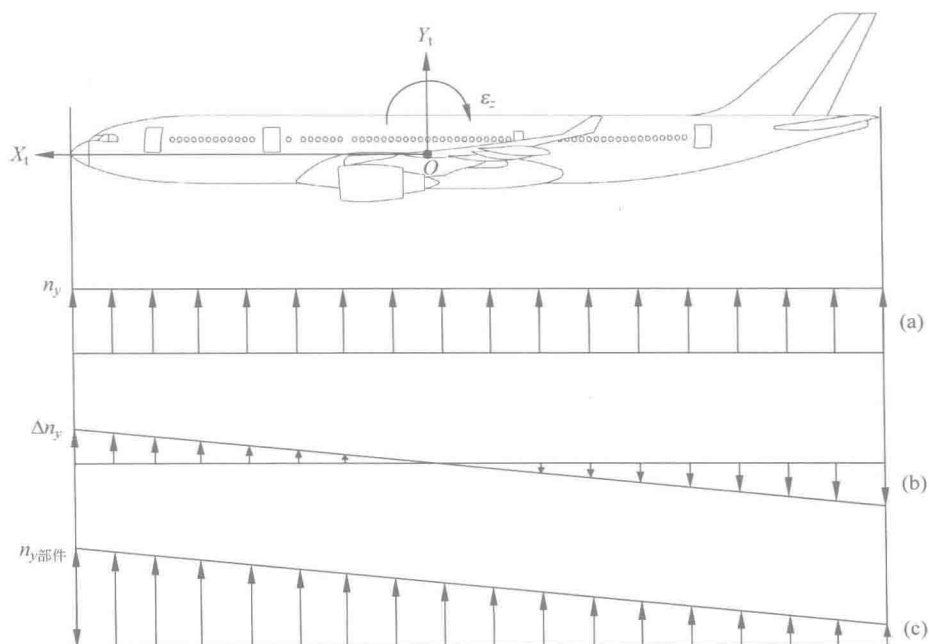


图 1.1-5 部件过载沿飞机纵轴的变化规律

(a) 全机过载; (b) 附加过载; (c) 部件过载

附加过载 Δn_y 为负值,最后,全机过载与部件附加过载代数相加得到部件过载,如图 1.1-5(c) 所示。

当飞机以角加速度 ϵ_x 绕机体纵轴向右转动时,得出飞机部件过载分布如图 1.1-6 所示。

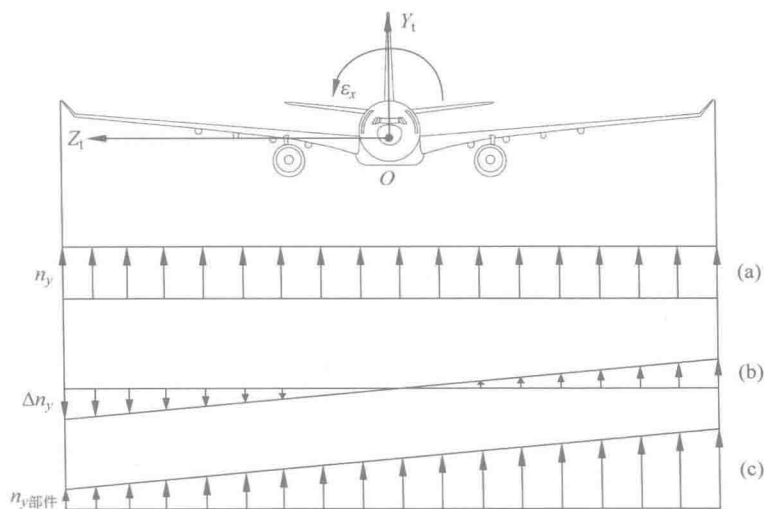


图 1.1-6 部件过载沿飞机横轴的变化规律

(a) 全机过载; (b) 附加过载; (c) 部件过载