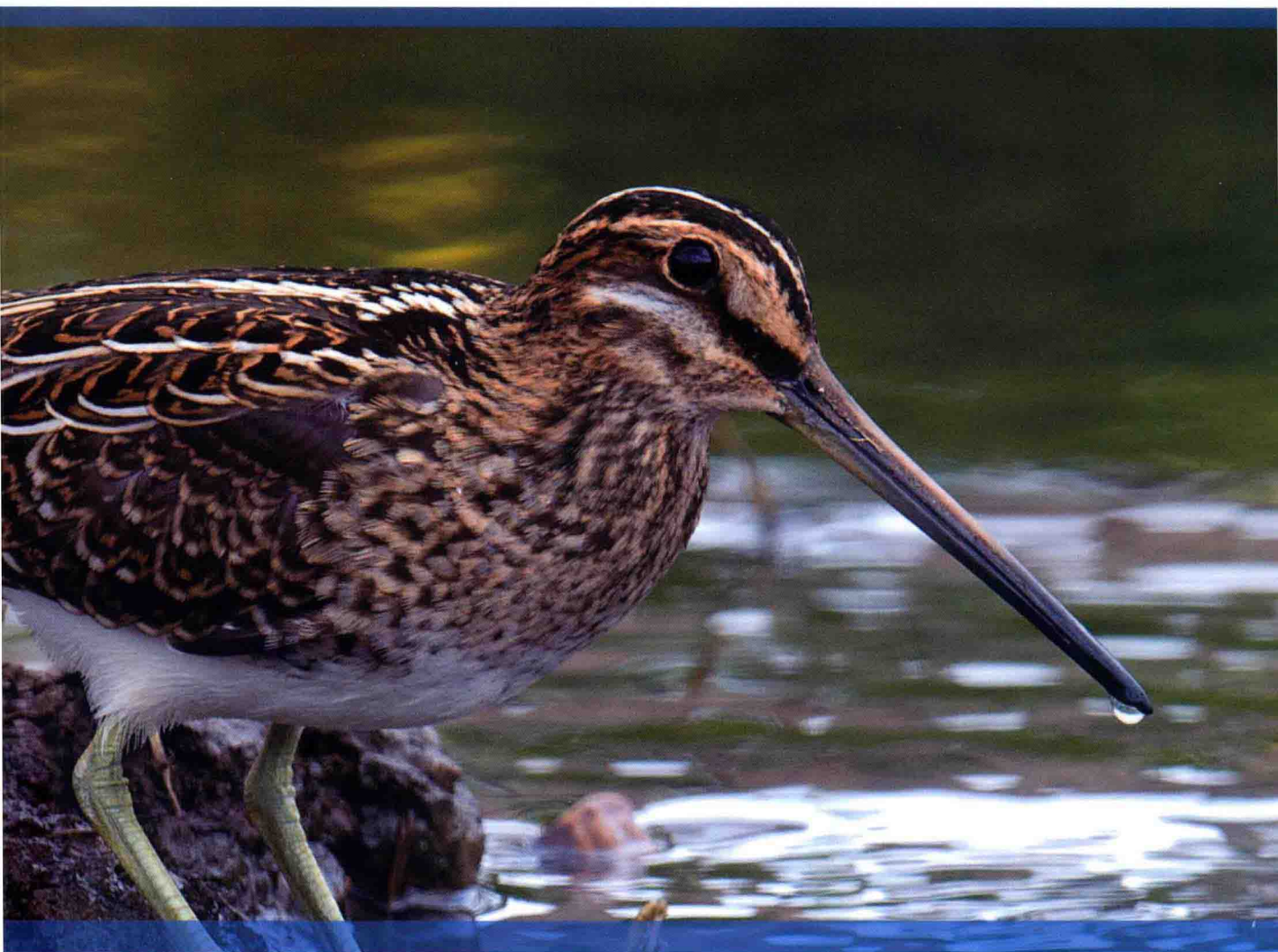


飞行原理



航线运输 飞行员理论培训教材

飞行原理

总 主 编：沈泽江 孙 慧

本 册 主 编：齐永强

本册副主编：陈红英

大连海事大学出版社
DALIAN MARITIME UNIVERSITY PRESS

© 沈泽江 孙 慧 2017

图书在版编目(CIP)数据

飞行原理 / 齐永强主编. — 大连 : 大连海事大学出版社, 2017.11

航线运输飞行员理论培训教材 / 沈泽江, 孙慧总主编

ISBN 978-7-5632-3500-1

I. ①飞… II. ①齐… III. ①飞行原理—教材 IV. ①V212

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第146036号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌海路1号 邮编:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连海大印刷有限公司印装

大连海事大学出版社发行

2017年11月第1版

2017年11月第1次印刷

幅面尺寸:210 mm × 285 mm

印张: 16.25

字数: 453 千

出 版 人:徐华东

策 划:徐华东 孟 冀 王尚楠

执行编辑:董洪英 张 华 王 琴

责任编辑:董玉洁 董洪英

责任校对:宋彩霞

封面设计:解瑶瑶

版式设计:孟 冀 解瑶瑶

ISBN 978-7-5632-3500-1

定价:115.00元

编委会

航线运输飞行员理论培训教材

编审委员会

- 主 任 沈泽江
- 副 主 任 万向东 胡振江 孙 慧
- 主任委员 蒋怀宇 关立欣 盛 彪
魏雄志 韩光祖 张 磊

《飞行原理》

翻 译 齐永强 陈红英
编 写 齐永强
审 校 孙 慧 韩光祖 张 磊 李 焱

中国民航飞行员协会与美国杰普逊公司北京代表处以及大连海事大学出版社合作,编译出版了中国航线运输飞行员理论培训教材,共15本。本系列教材包括飞行原理、航空气象、人的因素、运行程序等与航线飞行有关的各个方面,并配有大量清晰的多为彩色的插图和表格。这是一套针对航线飞行员编写的十分有益的理论学习教材。中国民航飞行员协会盛彪副理事长邀我作序,我欣然接受。

作为一名已经退休的老飞行员,看到中国民航的机队快速发展,一批又一批新飞行员健康、快速地成长,我发自内心地感到十分欣慰。

回顾自己的飞行经历以及近几年国际运输航空几次大的空难事故,我深感理论学习在航线飞行员成长过程中的必要性与重要性。这套教材的面世,可谓是恰逢其时。

我们这一代飞行员,在机型理论学习上的经历可谓“冰火两重天”。20世纪60年代开始学习飞行时,正值“文化大革命”,“火烧蓝皮书”风行一时,我甚至是一天理论都没有学就上飞机开始训练了。“文革”后期已经当了几年飞行教员的我,仅去广汉校部补了三个月的理论课。20世纪70年代末,改装“伊尔14”时我是在广汉校部学的理论,历时三个月。20世纪80年代初改装“三叉戟”时我去北京管理教导队学习理论,又是历时三个多月,经历了五次考试,几乎能够背下来飞机所有的油路、电路等。1985年去波音公司改装波音737,第一次接触幻灯片教学,很新鲜,理论学习的时间也不长,约三周时间,也不考试,就是做了一些选择题而已,当时感觉西方的改装机型理论学习比较实用。后来又有了“柏拉图”(应该是CBT教学的前身),1996年改装波音777时已全部是CBT教学。现在已发展到在网上CBT,自学70余个课时即可。现在回过头来看,两种不同的理论学习方法、考试方法虽然是各有千秋,但西方的理论学习是建立在学员之前有较深厚的基础知识功底,之后又

能认真阅读相关手册、资料之上的。而我们在这之前、之后两个阶段都有不小差距,我们的教育方式基础是学生听老师讲,学生记笔记,不太善于自学。不少飞行员在改装结束之后,尤其是当了机长,仅有的理论书、手册也都“刀枪入库,马放南山”了。选择题形式的考试,使学员的理论知识连不成系统,有点支离破碎。我们这方面的教材也很缺乏,尤其是针对大型喷气运输飞机的。飞行干部、飞行员都飞得十分繁忙,无暇参加理论知识的学习。各类手册不少,真正反复阅读并真正读懂的飞行员并不多。法航447航班的事态调查报告中有这样一段话:“仅凭失速警告和抖动想让飞行员意识到失速是很难的,这就要求飞行员之前有足够的失速经验,仅对情景、飞机知识(飞机的各种保护模式)以及飞行特性有最基本的认识是远远不够的。但航空公司飞行员当前培训情况的检查结果表明,飞行员并没有掌握保持这种技能。”波音的飞行机组训练手册中指出:“基础的空气动力知识是最重要的,以及对飞机各系统的综合认识下的飞机操纵特点,是处理飞机特殊情况的关键。”

1989年7月19日,阿尔·海恩机长处理DC-10飞机故障的成功案例,以及近年发生的OZ214、QZ8501、EK521事故,从正反两方面证明了理论知识学习的重要性。希望飞行员们认真查看上面的事故和事故调查报告。

希望这套书的面世,能为飞行员们提供自学的途径。飞行是飞行员一生的职业,保证航空安全不仅是为自己和家人负责,更是为机上那么多乘客负责。保证航空安全是我们的最高职责。

我翻译的萨利机长的《将飞机迫降在哈德逊河上》一书中的第19章,有这样一段话,我想把它作为序的结尾:

“在过去的42年中,我飞过成千上万个航班,但我在其中一次的表现却决定了人们如何对我整个飞行生涯做出评价。这一点告诉我:我们必须尽力每时、每次、每件事都要做对,还要努力做到最好,因为我们不知道生命中的哪一个瞬间会决定对我们一生的评价。机遇总是留给那些有准备的人。”

杨元元
2017年6月



航空气象

- 大气环境
- 风
- 热力学
- 云和雾
- 降水
- 气团与锋面
- 气压系统
- 气候学
- 危险天气下的飞行
- 气象信息



通用导航

- 导航基础
- 磁场
- 罗盘
- 航图
- 推测导航
- 空中导航
- 惯性导航系统 (INS)



无线电导航

- 无线电设备
- 区域导航系统
- 无线电传播基础理论
- 雷达的基本原理
- 自主导航系统和外部导航系统



飞机结构与系统

- 机身
- 窗户
- 机翼
- 安定面
- 起落架系统
- 飞行操纵系统
- 液压系统
- 气源系统
- 空调系统
- 增压系统
- 除冰/防冰系统
- 燃油系统



动力装置

- 活塞发动机
- 喷气发动机
- 螺旋桨
- 辅助动力装置 (APU)



航空电气

- 直流电
- 交流电
- 蓄电池
- 磁学
- 交流/直流发电机
- 半导体
- 电路



航空仪表

- 飞行仪表
- 自动飞行控制系统
- 警告与记录设备
- 动力装置和系统监控设备



飞行原理

- 定理与定义
- 机翼气流
- 飞机气流
- 升力
- 阻力
- 地面效应
- 失速
- 增升装置
- 大气边界层
- 高速飞行
- 稳定性
- 飞行控制
- 不利气象飞行条件
- 螺旋桨
- 运行限制
- 飞行力学



飞机性能

- 单发飞机——非JAR/FAR 25认证（B类性能）
- 多发飞机——非JAR/FAR 25认证（B类性能）
- JAR/FAR 25认证飞机（A类性能）



飞机重量与平衡

- 重量平衡基本原理
- 重量术语
- 配载包线
- 地板承重
- 舱单使用
- 重量平衡的影响
- 重量限制
- 重心定位
- 舱单识读



飞行计划

- 国际飞行计划
- ICAO ATC飞行计划
- IFR（航线）飞行计划
- 杰普逊航路手册
- 气象信息
- 等时点
- 返航点



航空法规

- 国际民航公约和组织
- 飞行人员执照
- 航空器登记和标志
- 航空器适航性
- 搜寻和救援
- 航空安全保卫
- 航空器事故调查
- 简化手续
- 空中规则
- 空中交通服务
- 仪表飞行程序
- 航空情报服务
- 监视服务
- 空中交通服务空域
- 现场及目视助航设施
- 高度表拨正程序



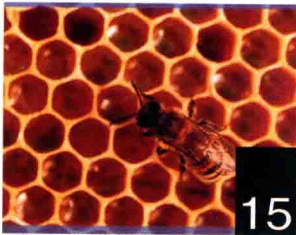
人的因素

- 人的因素
- 航空生理和健康维护
- 航空心理学
- 机组资源管理



运行程序

- 航空承运人和运行合格审定
- 机组管理
- 机场运行最低标准和低能见运行
- 跨洋和极地运行
- 飞机的要求和飞行运作
- 签派和飞行放行
- 危险天气和特殊运行的操作程序



通信

- 定义
- 一般操作程序
- 有关气象信息
- 通信失效
- 甚高频 (VHF) 通信
- 遇险与紧急程序
- 机场管制
- 进近管制
- 区域管制
- 通信频率分配

目 录

第一章
定理与定义

引言 1

SI 单位 1

衍生单位 1

速度 3

牛顿运动定律 3

第二章
飞行环境

引言 4

大气边界层 4

大气环境 5

气体状态方程 5

压力对密度的影响 5

温度对压力的影响 5

高度对密度的影响 5

湿度对密度的影响 6

国际标准大气 6

第三章
飞机组成部件及专用术语

机翼位置术语 7

机翼平面型术语 8

机翼剖面型参数 11

机翼剖面型形状 11

第四章
升力

引言 12

气流 12

连续性方程 13

伯努利定律 14

迎角 16

绕翼型的二维流动 17

压力中心 21

焦点 23

升力公式 23

翼型的三维流动 24

第五章

阻力

引言 28

压差阻力 29

附面层 31

摩擦阻力 33

干扰阻力 34

诱导阻力 35

阻力公式 40

阻力曲线 40

升阻比 42

第六章

飞行控制

引言 45

升降舵 46

全动平尾 46

方向舵 46

副翼 47

反向偏航效应 48

主控制面的综合 50

气动补偿 51

调整片 54

质量补偿 56

飞行操纵辅助控制 56

飞行操纵辅助控制系统 57

调整片控制系统 63

动力飞行控制的配平 66

第七章
增升装置

基本增升装置 77
后缘襟翼 78
运输类飞机的增升装置 86

第八章
失速

引言 94
气流分离 94
临界迎角 96
失速速度和升力之间的关系 97
低速时失速的识别 99
轻型飞机上的失速警告 100
正常失速的改出 101
翼型对失速的影响 101
机翼平面形状对失速的影响 101
后掠翼在失速时上仰的原因 104
减缓翼尖失速的装置 105
运输类飞机的失速感知 107
深度失速 108
加速失速或“g”失速 110
螺旋 110

第九章
作用在飞机上的力

稳定平飞的作用力 114
尾翼的作用 117
稳定直线爬升 118
稳定直线下降(俯冲) 120
稳定直线下滑 121
稳定的协调转弯 125

第十章
稳定性

引言 136

可控性 136

静稳定性 137

稳定度 137

动稳定性 138

纵向静稳定性 138

操纵稳定性 148

纵向动稳定性 150

方向静稳定性 151

横向静稳定性 154

横向稳定性和方向稳定性的关系 158

速度稳定性 161

第十一章
地面效应

引言 165

地面效应的特点 165

地面效应对着陆的影响 167

地面效应对起飞的影响 167

地面效应对后缘襟翼的影响 168

第十二章
螺旋桨

引言 169

螺旋桨术语 169

影响桨叶迎角的因素 171

影响桨叶推力分布的因素 173

作用在桨叶剖面上的力 174

螺旋桨变距 180

定距螺旋桨的缺点 181

变距螺旋桨和常速螺旋桨 182

功率吸收 182

螺旋桨的可靠性 183

螺旋桨对起飞的影响 183

螺旋桨结冰 187

第十三章

不对称飞行

引言 188

单发性能 188

偏航力矩 190

不对称桨叶作用 193

坡度的影响 195

重量的影响 196

滚转力矩 197

不对称飞行过程中的最小空速 197

转弯飞行 198

故障发动机的识别 199

第十四章

高速飞行

引言 200

音速 200

移动物体的压力波 201

可压缩性 203

马赫数 203

飞行速度分类 204

亚音速与超音速气流模态的比较 204

激波的形成 205

激波失速 208

高度对激波失速的影响 209

抖振边界图 210

减小或延迟跨音速阻力增加的方法 212

跨音速气动阻力面积律 213

超临界机翼 214

跨音速飞行的控制问题 214

超音速飞行 218

第十五章

不利气象条件下的飞行

引言 220

冰与霜 220

风切变 228

下击暴流 231

暴雨对飞机性能的影响 233

第十六章

运行限制

引言 234

结构强度 234

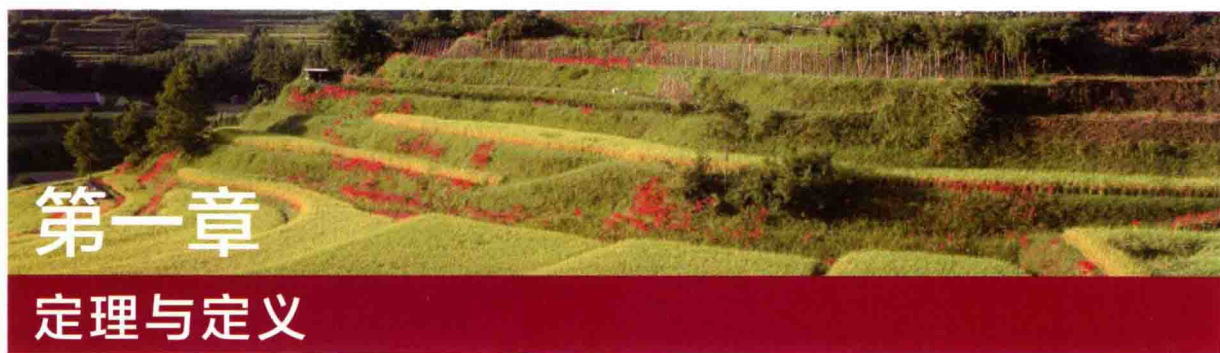
飞机运行包线 235

阵风载荷 237

气动弹性变形(副翼反效) 240

紧急下降 241

后记 243



第一章

定理与定义

引言

对机械学科及其相关的单位有所基本了解在研究空气动力学之前是至关重要的。在航空学中,世界通用的量度单位制为国际单位制(SI),但在实际的使用当中,也会用到一些非标准的度量单位。比如高度的指示用英尺来表示,速度的指示用海里每小时(节)来表示。

SI 单位

基本的国际单位包括:

- **质量** 物质的量,其单位为千克(kg)。
- **长度** 两点间的距离,其单位为米(m)。
- **时间** 事情持续的时间,其单位为秒(s)。

从这些基本单位,我们可以得到一些衍生单位。

衍生单位

下列量及其单位在空气动力学中的应用十分广泛:

面积 物体表面的测量量度,单位为平方米(m^2)。

体积 物体所占空间大小的量度,单位为立方米(m^3)。

速度 特定方向运动的量度,单位为米每秒(m/s)。

加速度 物体速度改变的量度,单位米每二次方秒(m/s^2)。

动量 物体速度与质量的乘积,单位为千克·米每秒($\text{kg}\cdot\text{m/s}$)。

力 外界施加到物体上能改变其静止或运动状态的某种影响,其大小与物体动量的变化率成正比。

$$\text{力} = \text{质量} \times \text{加速度}$$

力的单位为牛顿(N),能使1 kg的物体产生1 m/s^2 的加速度的力即为1 N。

重力 给定物体受地球引力而产生的力,单位为牛顿(N)。

$$\text{重力} = \text{质量} \times \text{重力加速度}$$

质量不随物体所在位置不同而发生改变,但是重量的大小与物体距离地球中心的距离相关,这是因为重力加速度会随地理位置以及高度变化而不同。一般来说我们取重力加速度为9.81 m/s^2 。

功 物体在力的作用下并在力的方向上移动距离所需要的能量。

$$\text{功} = \text{力} \times \text{距离}$$

功的单位为焦耳(J)。1 J的功等于在 1 N的力的作用下物体在运动方向运动 1 m所消耗的能量。
功的单位也可写为牛顿·米(N·m),1 焦耳=1 牛顿·米。

功率 单位时间所做的功即为功率,等于功除以时间,其单位为瓦特(W),1 瓦特=1 焦耳/秒或 1 牛顿·米/秒。

能量 即为物体做功的能力。机械上来讲,能量以两种基本的形式存在:

势能——与位置相关。

动能——与运动相关。

能量的单位为焦耳,1 焦耳=1 牛顿·米。

压力 单位面积所受的力,其单位为牛顿每平方米(N/m²),称为帕斯卡(Pa)。在航空学中,压力的单位也常用巴(bar)来表示。1 bar=10⁵ Pa,或 1 mb=1 hPa。在空气动力学中我们常遇到三种形式的压力:

静压(P_s) 当空气保持静止,静压向物体各个方向施加大小相等的力。比如容器中静止的空气向容器四周壁面施加静压力(如图 1-1 所示)。

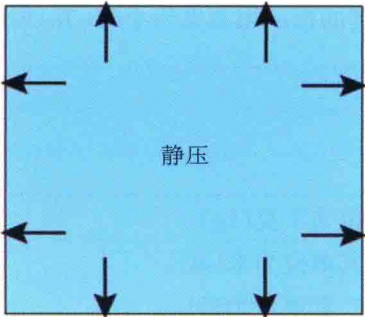


图 1-1

动压(P_o) 使运动气流静止下来作用在物体上的力(例如,壁面与气流之间的相对运动就会产生动压)(如图 1-2 所示)。

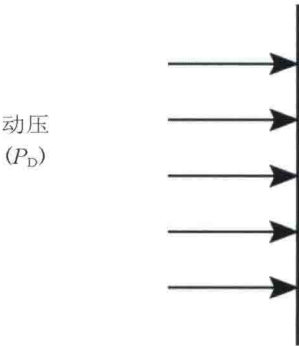


图 1-2

动压可表示为: $P_o=1/2\rho v^2$
 ρ 为空气密度,空气密度随高度的增加而减小, v 为物体与气流的相对速度。
总压(P_T) 动压与静压之和。由于此参数在计算升力、阻力以及指示空速(这些参数后文进行详细解释)中常用,在空气动力学中是非常重要的。