



GENERAL AVIATION AIRCRAFT DESIGN

APPLIED METHODS AND PROCEDURES

通用航空飞机设计 ——应用方法和设计流程

[美] 斯诺里·古德蒙森 (Snorri Gudmundsson) 著

王晓璐 赵辉 韩非非 代君 刘浩天 译



航空工业出版社

通用航空飞机设计—— 应用方法和设计流程

[美] 斯诺里·古德蒙森 著
(Snorri Gudmundsson)

王晓璐 赵 辉 韩非非 译
代 君 刘浩天

航空工业出版社

北 京

内 容 提 要

本书详细论述了通用航空飞机（简称通航飞机）的设计特点，并从成本、气动、结构和重量等诸多方面详细介绍了通航飞机概念设计的具体方法。难能可贵的是，作者将多年的工程设计经验凝练为设计案例和流程，并对大量通航飞机的外形和性能数据进行了总结归纳，具有较高的应用价值。

本书可供从事飞机设计尤其是通航飞机设计的教师、研究生和本科生使用，也可供相关领域的设计研发人员参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

通用航空飞机设计:应用方法和设计流程/ (美)

斯诺里·古德蒙森 (Snorri Gudmundsson) 著; 王晓璐
等译. --北京:航空工业出版社, 2019.5

书名原文: General Aviation Aircraft Design:
Applied Methods and Procedures

ISBN 978 - 7 - 5165 - 1745 - 1

I. ①通… II. ①斯… ②王… III. ①飞机—设计
IV. ①V22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 044586 号

北京市版权局著作合同登记

图字: 01 - 2014 - 6581 号

通用航空飞机设计——应用方法和设计流程

Tongyong Hangkong Feiji Sheji——Yingyong Fangfa he Sheji Liucheng

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区北苑 2 号院 100012)

发行部电话: 010 - 59773006 010 - 85672462

三河市华骏印务包装有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2019 年 5 月第 1 版

2019 年 5 月第 1 次印刷

开本: 889 × 1194 1/16

印张: 56.75

字数: 1923 千字

印数: 1—1500

定价: 296.00 元

General Aviation Aircraft Design: Applied Methods and Procedures

Snorri Gudmundsson

ISBN: 978 - 0 - 12 - 809998 - 8

Copyright ©2014 Elsevier Inc. All rights reserved.

Authorized Chinese translation published by China Aviation Publishing & Media Co., Ltd.

《通用航空飞机设计——应用方法和设计流程》(王晓璐 赵辉 韩非非 代君 刘浩天 译)

ISBN: 978 - 7 - 5165 - 1745 - 1

Copyright ©Elsevier Inc. and China Aviation Publishing & Media Co., Ltd. All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from Elsevier (Singapore) Pte Ltd. Details on how to seek permission, further information about the Elsevier's permissions policies and arrangements with organizations such as the Copyright Clearance Center and the Copyright Licensing Agency, can be found at our website: www.elsevier.com/permissions.

This book and the individual contributions contained in it are protected under copyright by Elsevier Inc. and China Aviation Publishing & Media Co., Ltd. (other than as may be noted herein).

This edition of *General Aviation Aircraft Design: Applied Methods and Procedures* is published by China Aviation Publishing & Media Co., Ltd. under arrangement with Elsevier Inc.

This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong, Macau and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本版由 ELSEVIER INC. 授权中航出版传媒有限责任公司在中国大陆地区(不包括香港、澳门以及台湾地区)出版发行。

本版仅限在中国大陆地区(不包括香港、澳门以及台湾地区)出版及标价销售。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受民事及刑事法律之制裁。

本书封底贴有 Elsevier 防伪标签,无标签者不得销售。

注意

本书涉及领域的知识和实践标准在不断变化。新的研究和经验拓展我们的理解,因此须对研究方法、专业实践或医疗方法作出调整。从业者和研究人员必须始终依靠自身经验和知识来评估和使用本书中提到的所有信息、方法、化合物或本书中描述的实验。在使用这些信息或方法时,他们应注意自身和他人的安全,包括注意他们负有专业责任的当事人的安全。在法律允许的最大范围内,爱思唯尔、译文的原作者、原文编辑及原文内容提供者均不对因产品责任、疏忽或其他人身或财产伤害及/或损失承担责任,亦不对由于使用或操作文中提到的方法、产品、说明或思想而导致的人身或财产伤害及/或损失承担责任。

译者序

通用航空飞机是整个飞机大家庭中的重要成员之一。据美国联邦航空局的定义，通用航空飞机指除航空公司和军方运营的飞机之外的所有飞机。适航条例将它们分为：正常、实用、特殊、通勤四类，可见其涵盖的飞机范围之广。然而由于通航飞机一般为小型飞机，对其需求量也远小于商用飞机，制造商能获取的利润相对较小，故国际上主要飞机制造商都集中精力研发大型民航商用飞机。军方又主要关注战机的发展，遂使通航飞机处于被关注较少的地位。但研究表明，社会对它们的实际需求随国家经济实力的变化呈周期性的增长。

近年来我国航空产业界在军机方面集中精力研发出了歼 10、歼 20、歼 15、轰 6K、运 20 等先进战机系统，以加强我国国防力量应对未来战争陆、海、空、信、电一体，攻防一体和信息火力一体的态势。在民用航空方面也研发了具有自主知识产权的支线飞机 ARJ21，并成功地投入了商业运营，宽体单通道干线飞机 C919 正在进行适航认证的试飞，宽体双通道干线飞机 C929 也正在研制中，以应对国际民航事业的高速发展，打破国际大型民机制造商垄断市场的局面。

随着经济实力的迅速增长，我国空域的进一步扩大和相关政策的不断完善，可以预见，通用航空也必将在我国迎来一个发展的春天。通航飞机的类型和使用条件有其自身的特点和要求，并直接反映在飞机设计的过程中。我国现有的飞机设计类著作和教材多以军用飞机和大型民机为对象，无适用于通航飞机设计的教科书和著作，因而翻译出版 *General Aviation Aircraft Design: Applied Methods and Procedures* 一书，填补此领域教材的空白，是很及时很有意义的。

本书作者曾从事过飞行试验工程师、结构工程师、空气动力学与飞机设计师等工作，曾担任美国西锐 (Cirrus) 飞机公司的首席空气动力学家，主持和参与过多个通航飞机的研发工作，具有极为丰富的实践经验。该书论述了通航飞机的设计特点，全面、系统地讲解了通航飞机设计的方法和流程，将理论模型、设计、计算方法，以及实践经验有机地结合在一起。本书素材和案例均取自工程实践型号，强调经验与实用，同时又提供了必要的理论基础知识。内容翔实，易于学习，是了解和掌握通航飞机设计的一本很好的教科书和指导书。

本书第一译者王晓璐博士的博士论文及近年来研究工作的主要内容均涉及民航飞机的气动设计，发表了多篇论文，也是《现代飞机的空气动力设计》(国防工业出版社，2011)和《民机空气动力设计先进技术》(上海交通大学出版社，2013)两本专著的作者之一。我相信以他为第一译者的译者团队所译此书的出版定将有助于促进通航飞机的研发，对相关领域的教师、学生、技术人员均有较大帮助。

愿我国通航工业能和军、民机工业一样蓬勃发展!

北京航空航天大学教授 朱自强

2019. 4. 15

译者前言

通用航空是民用航空的重要组成部分，随着我国空域政策和相关产业政策的不断完善，通用航空正处于蓬勃发展时期。通航飞机是通用航空活动的基础载体，其任务类型和使用条件与军用飞机和民用大型飞机存在明显的区别，并直接反映到飞机设计过程中。目前我国出版的飞机设计类著作和教材，大多以军用飞机或民用大型飞机为对象，迫切需要引入针对通航飞机设计的出版物。

2014年，爱思唯尔（Elsevier）旗下巴特沃思-海涅曼（Butterworth-Heinemann）出版社出版了 *General Aviation Aircraft Design: Applied Methods and Procedures* 一书，该书作者为美国安柏瑞德航空大学（Embry-Riddle Aeronautical University）航空航天工程助理教授斯诺里·古德蒙森（Snorri Gudmundsson）。该书遵循经典飞机设计著作写作模式，论述了通航飞机的设计特点，并从成本、气动布局、结构布局、重量、动力装置选择、翼型、机翼等诸多方面详细介绍了通航飞机概念设计的具体方法。作者曾担任美国西锐（Cirrus）飞机公司的首席空气动力学家，曾主持或参与了若干飞机的研发工作，包括 SF50、西锐 SR20、西锐 SR22 等，工作内容涉及气动设计、风洞试验和飞行测试、性能分析等。因此，全书不仅给出了理论模型和计算方程，还结合作者工作和科研经验，较为详细地给出了典型飞机的算例，并给出了使用常用工具软件（如微软 Excel）进行分析的具体步骤和相关的设计流程。书中基于典型通航飞机，对若干重要性能数据（如升阻比、阻力系数等）进行了汇总和对比。众所周知，飞机设计领域使用了大量的经验方程，为便于作者理解和掌握，书中还给出了重要经验方程的推导过程。因此，本书不仅内容丰富，同时将理论和实践进行了较好的结合，反映了信息技术对飞机概念设计的有益影响。经与航空工业出版社商议后，我们决定将该书翻译为中文版本，以供从事通航飞机设计的科研人员和相关专业的学生参考和学习。

中文版本由郑州航空工业管理学院航空工程学院的 5 位青年教师翻译完成。各章节分工如下：第 1 章、第 9 章、第 15 章、第 16 章、第 20~第 23 章由王晓璐翻译，第 2~第 4 章、第 6~第 7 章、第 10~第 11 章由赵辉翻译，第 5 章、第 8 章和第 14 章由韩非非翻译，第 17~第 19 章、附录 A 和 B 由代君翻译，第 12~第 13 章由刘浩天翻译。全书内容由王晓璐统稿和校核。

感谢郑州航空工业管理学院和河南省通用航空工程技术研究中心给予的大力支持。感谢郑州航空工业管理学院李广慧教授、刘国华教授、王毅副教授、刘战合博士、苗楠博士和王菁硕士的热情帮助。感谢北京航空航天大学朱自强教授、武哲教授、杨超教授、阎超教授、刘虎研究员、吴宗成副研究员、潘翀副教授和中国航天空气动力技术研究院龚安龙研究员、刘周研究员、曹宁高级工程师、陈广强高级工程师、石磊工程师在本书翻译和相关科研工作中给予的帮助和支持。感谢郑州航空工业管理学院航空工程学院本科生李德坚（2012 级）、张栋（2015 级）、隆斯达（2016 级）、华杰（2012 级）和王朝阳（2012 级）在公式录入和格式编排中付出的辛勤工作。特别感谢责任编辑余培红的细致工作和热情帮助。

本书受到国家自然科学基金（No. 11702255）、中国国家留学基金（No. 201709905038）、航空科学基金（No. 2014ZA55001 和 No. 2016ZA55001）和郑州航空工业管理学院青年拔尖人才支持计划的资助，在此一并表示感谢。

致 谢

谨以此书献给我的父亲和母亲，我将永远铭记他们对我的养育之恩。同时感谢我的妻子琳达，她给予了我无条件的大力支持，而且极富耐心。

序 言

本书汇集了关于通航飞机的若干设计信息和流程，非常适用于通航飞机设计人员。书中给出了大量数学公式的推导过程和应用案例，条理清晰，论述详尽，易于理解。设计流程的论述较为广泛，覆盖范围从项目管理工具到较为复杂的气动、飞行性能和操稳特性的分析方法。

设计一架新飞机时，通常需回答这些问题：飞行速度有多快？航程有多远？飞机上有哪些设备，它们的作用是什么？从事飞机设计的新手一般会追问：“下一步该做什么？我应该从哪里入手呢？”

本书以步骤讲解的方式给出了飞机设计流程的案例，这些案例贯穿整个飞机设计过程（从列出需求清单到完成样机研制）。笔者在工程领域具有多年的研发经验，曾先后从事过飞行测试、结构设计、气动设计和总体设计工作，后在大学从事教学和研究工作。在教学过程中，从工程实践出发，提出了若干案例，并根据学生的反馈进行了完善。书中还对重要的数据进行了汇总，并整理成表格。根据笔者的个人经验，这些案例和数据是非常重要的，不仅可为飞机设计工作提供指导，还可作为工具书来查阅。此即为本书写作的出发点。

从事飞机设计时，不仅需要论证设计方案是否满足需求，还需要提出未能满足需求时的补救措施。此时，尽可能提高计算分析的速度是非常重要的。给出不同设计方案的差异，也是飞机设计人员应具备的基本能力。同时需注意到，飞机设计也具有多面性（远比求解方程要复杂得多），设计人员需对设计流程进行必要的管理。因此，不仅需要掌握相关的设计工具，还需要了解使用场景。对于设计团队的管理者尤为重要，他们需要始终关注设计流程，合理规划后续工作，并调配相关工具和资源。

本书的目的即是设计人员提供清晰有效的飞机设计分析流程。目前已有大量优秀的飞机设计教科书，论述范围涵盖空气动力学、结构力学、飞行力学和总体设计。它们的对象是航空航天工程专业的学生，为便于论述，一般给出简化的数学公式，与实际设计存在偏离。在工程领域，这些简化公式不再适用。例如，本书对螺旋桨的论述较多，而很多其他教科书仅一笔带过，这是很不合适的。螺旋桨在飞机上的应用由来已久，当前和今后一段时间都将继续存在，对其进行详尽的介绍是很有必要的。

笔者在写作本书时，始终以实际飞机为背景。这些飞机中的绝大多数都进入了量产阶段，因此有公开的数据可供对比验证，便于读者了解和对比各种设计方法的精度。书中还给出了若干数值求解方法，可通过编程软件和微软 Excel 来实现。这些方法功能强大，且可在台式计算机和笔记本电脑上运行。书中的计算方法均经过工程领域的应用验证，便于学生理解飞机设计的真实面貌。本书逻辑清晰，易于查阅，也非常适合工程设计人员使用。总之，本书对于提高学习和工作效率都是大有裨益的。

斯诺里·古德蒙森
安柏瑞德航空大学 航空航天工程助理教授

致 谢

本书内容多，篇幅大，编写时间长。编写过程中，很多人士和公司提供了大量的信息和帮助，使笔者掌握了宝贵的细节数据，否则将无法完成本书的编写工作。在此，谨向各位帮助过笔者的人士和公司表示感谢。

首先感谢本书编辑乔·海顿（Joe Hayton）先生和项目经理切尔西·约翰斯顿（Chelsea Johnston）女士、宝琳·威尔金森（Pauline Wilkinson）女士，他们均来自爱思唯尔（Elsevier）出版集团。感谢他们在本书策划和出版过程中提供的宝贵帮助。还要感谢安柏瑞德航空大学（Embry - Riddle Aeronautical University）的霍华德·寇蒂斯（Howard Curtis）教授，他是我的同事，并向乔·海顿先生大力推荐，为本书的出版立项提供了支持。

还要感谢如下人士和公司：达索“猎鹰”喷气机（Dassault Falcon Jet）公司的唐·波恩特（Don Pointer）先生，他向我提供了达索公务喷气机的数据。感谢国际飞行（Flightglobal）杂志社，威廉姆斯国际（Williams International）公司、普赖斯·因达可欣（Price Induction）公司、希思（Hirth）发动机公司和电动飞行者（Electraflyer）公司为本书提供了相关素材。感谢雷蒙德·奥尔（Raymond Ore）先生提供了“喷火”战斗机、“蚊”式战斗机的剖面图。感谢埃德·科茨（Ed Coates）先生提供了相关飞机照片。感谢我的学生菲尔·拉德迈克尔（Phil Rademacher）先生，他为本书提供了大量照片，这些照片贯穿于全书。拉德迈克尔先生同时也是飞机辨识领域内的专家，在校际比赛中多次获奖。感谢尼克·坎德雷拉（Nick Candrella）先生，他也是我的学生，也为本书提供了若干照片。感谢之前的同事杰克·特恩奎斯特（Jake Turnquist）先生，他也为本书提供了若干照片。感谢尼尔米·普拉巴赫（Nirmit Prabahkar），马森·乔西（Manthan Joshi），托马斯·福特（Thomas Ford），布莱恩·史密斯（Brian Smith），李泰迪（Teddy Li），马修·克拉克（Matthew Clark）和安法比奥（Fabio An），他们为本书提供了若干数据。感谢拉克什·纳拉纳斯瓦米（Laksh Naraynaswami）博士，他为本书的第7章“动力装置的选择”进行了校对，并在涡轮和进气道设计方面提供了宝贵的指导意见。感谢哈策尔（Hartzell）螺旋桨公司的布莱恩·迈耶（Brian Meyer）先生，他为本书第14章“螺旋桨详解”进行了校对，并提供了补充材料和建议，提高了该章节的编写质量。同时感谢哈策尔螺旋桨公司许可本书使用该公司螺旋桨的相关信息。感谢西锐（Cirrus）公司的戴尔·克拉梅尔（Dale Klapmeier）先生，使笔者获得授权，可使用SR20和SR22飞机的细节信息。感谢西锐公司的总工程师保罗·约翰斯顿（Paul Johnston）先生，他对书稿初稿进行了校对，并提供了有益建议。感谢试飞员布鲁斯·巴雷特（Bruce Barrett）先生，他拥有丰富的飞行经验，并向笔者讲述了若干奇闻轶事。最后，感谢查尔斯·伊斯特莱克（Charles Eastlake）教授，他不仅提供了第2章中关于飞机研发成本的绝大多数材料，还对书稿进行了校对，提出了中肯的意见。

斯诺里·古德蒙森

免责声明

本人已尽力查找和联系本书中所涉及图片的版权人，但难免有纰漏。如本书在未得到授权的情况下使用了您的图片，请您及时与我联系。

目 录

第1章 飞机设计过程	(1)
1.1 简介	(1)
1.1.1 本章内容简介	(4)
1.1.2 飞机设计要点	(4)
1.2 飞机设计的一般流程	(9)
1.2.1 设计流程描述	(9)
1.2.2 重要的监管理念	(11)
1.3 飞机设计流程	(13)
1.3.1 通航飞机概念设计流程	(13)
1.3.2 概念设计流程的实现方法	(15)
1.4 项目工程基础	(16)
1.4.1 甘特图	(16)
1.4.2 飞机概念设计的鱼骨图	(17)
1.4.3 项目需求合规性管理	(17)
1.4.4 项目计划和任务管理	(18)
1.4.5 质量功能配置和质量屋	(19)
1.5 设计方案展示	(24)
变量表	(28)
参考文献	(28)
第2章 飞机费用分析	(29)
2.1 引言	(29)
2.1.1 本章内容简介	(29)
2.1.2 通航产业现状综述	(29)
2.2 估算项目研制费用	(31)
2.2.1 数量折扣系数	(31)
2.2.2 通航飞机研制费用——伊斯特莱克模型	(31)
2.2.3 公务机研制费用——伊斯特莱克模型	(39)
2.3 估算飞机运营费用	(40)
2.3.1 通航飞机运营费用	(40)
2.3.2 公务机运营费用	(43)
练习	(44)
变量表	(45)
参考文献	(46)
第3章 确定初始参数	(47)
3.1 引言	(47)
3.1.1 本章内容简介	(47)
3.1.2 基本概念	(47)

3.1.3 软件工具	(48)
3.2 约束分析	(48)
3.2.1 通用方法	(49)
3.2.2 将失速限制引入约束曲线图	(55)
3.3 权衡研究简介	(56)
3.3.1 按步骤求解失速速度—巡航速度毯式图	(56)
3.3.2 试验设计	(59)
3.3.3 价值函数	(60)
习题	(62)
变量表	(63)
第4章 飞机总体布局	(65)
4.1 引言	(65)
4.1.1 本章内容简介	(66)
4.1.2 设计需求、任务和适航条例	(66)
4.1.3 飞机设计趋势	(66)
4.1.4 飞机部件辨识	(66)
4.2 飞机总体布局基础	(68)
4.2.1 机翼在垂直方向的布置形式	(70)
4.2.2 机翼布局	(72)
4.2.3 机翼上反	(72)
4.2.4 机翼结构布局	(74)
4.2.5 座舱布局	(74)
4.2.6 螺旋桨布局	(75)
4.2.7 发动机安装位置	(75)
4.2.8 起落架布局	(76)
4.2.9 尾翼布局	(78)
4.2.10 布局选择矩阵	(78)
变量表	(79)
参考文献	(80)
第5章 飞机结构布局	(81)
5.1 简介	(81)
5.1.1 本章内容简介	(81)
5.1.2 关于飞机载荷的讨论	(81)
5.2 飞机制造与材料	(82)
5.2.1 若干制造方法	(83)
5.2.2 铝合金	(85)
5.2.3 合金钢	(88)
5.2.4 钛合金	(89)
5.2.5 复合材料	(90)
5.3 机体结构布局	(97)
5.3.1 结构设计中的重要概念	(97)
5.3.2 机翼结构基本布局	(101)
5.3.3 平尾和垂尾结构基本布局	(106)
5.3.4 机身结构基本布局	(108)

变量表	(110)
参考文献	(111)
第6章 飞机重量分析	(112)
6.1 引言	(112)
6.1.1 本章内容简介	(113)
6.1.2 定义	(113)
6.1.3 飞机重量的基本方程	(114)
6.1.4 任务分析	(115)
6.2 初始重量估算方法	(115)
6.2.1 方法1: 使用经验关系式估算初始设计总重	(115)
6.2.2 方法2: 空重比的经验公式	(117)
6.3 详细重量分析方法	(118)
6.4 飞机重量统计估算法	(118)
6.4.1 方法3: 飞机部件重量统计方法	(118)
6.4.2 发动机重量统计估算方法	(121)
6.5 直接重量估算方法	(123)
6.5.1 机翼的直接重量估算	(123)
6.5.2 机翼重量随展弦比的变化	(131)
6.6 惯性参数	(137)
6.6.1 基本原理	(137)
6.6.2 参考位置	(137)
6.6.3 飞机总重	(139)
6.6.4 对某点 (X_0, Y_0, Z_0) 的力矩	(139)
6.6.5 质心和重心	(139)
6.6.6 通过称重确定飞机重心位置	(140)
6.6.7 转动惯量和惯性积	(141)
6.6.8 离散点载荷系统的转动惯量	(142)
6.6.9 离散点载荷系统的惯性积	(142)
6.6.10 惯性矩阵	(143)
6.6.11 重心包线	(143)
6.6.12 确定重心包线	(143)
6.6.13 飞行过程中重心的改变	(147)
6.6.14 重量规划	(147)
6.6.15 重量裕度	(148)
练习	(150)
变量表	(151)
参考文献	(153)
第7章 动力装置的选择	(154)
7.1 引言	(154)
7.1.1 本章内容简介	(154)
7.1.2 航空动力装置类型	(154)
7.1.3 能量、功和功率的基础知识	(155)
7.1.4 动力装置的热力学原理	(155)
7.1.5 推力的产生	(155)

7.1.6	基本概念	(156)
7.1.7	燃油基础知识	(158)
7.2	若干典型发动机的特性	(160)
7.2.1	活塞发动机	(160)
7.2.2	涡桨发动机	(166)
7.2.3	涡喷发动机	(169)
7.2.4	涡扇发动机	(170)
7.2.5	电动机	(172)
7.2.6	推力随高度和马赫数变化的函数关系及计算程序	(176)
7.3	航空发动机的安装	(178)
7.3.1	活塞发动机的安装	(180)
7.3.2	确定活塞发动机进气口和排气口尺寸	(183)
7.3.3	燃气涡轮发动机的安装	(191)
7.3.4	喷气发动机进气道尺寸	(192)
7.4	若干专题讨论	(195)
7.4.1	齿轮箱的使用	(195)
7.4.2	按步骤从活塞发动机性能图中获得发动机功率	(196)
7.4.3	使用 Petty 方程确定活塞发动机功率	(196)
	练习	(199)
	变量表	(199)
	参考文献	(201)
第8章	翼型详解	(203)
8.1	简介	(203)
8.1.1	本章内容简介	(203)
8.1.2	量纲分析——白金汉 (Buckingham) Π 定理	(203)
8.1.3	力和力矩的表达	(204)
8.1.4	典型翼型的气动特性	(205)
8.1.5	压力系数	(206)
8.1.6	弦向压力分布	(207)
8.1.7	压力中心和气动中心	(209)
8.1.8	升力的产生	(210)
8.1.9	边界层和流动分离	(211)
8.1.10	边界层厚度估算	(215)
8.1.11	翼型失速特性	(215)
8.1.12	翼型积冰分析	(216)
8.1.13	常用翼型的名称	(217)
8.1.14	翼型设计	(218)
8.2	翼型的几何外形	(220)
8.2.1	翼型术语	(220)
8.2.2	NACA 四位数字翼型	(221)
8.2.3	NACA 五位数字翼型	(223)
8.2.4	NACA 1 系列翼型	(227)
8.2.5	NACA 6 系列翼型	(227)
8.2.6	NACA 7 系列翼型	(228)

8.2.7	NACA 8 系列翼型	(229)
8.2.8	NACA 翼型总结——优缺点和性能对比	(229)
8.2.9	典型 NACA 翼型的气动特性	(230)
8.2.10	著名翼型	(232)
8.3	翼型上的力和力矩	(237)
8.3.1	弯度的影响	(237)
8.3.2	二维升力系数	(238)
8.3.3	最大升力系数 $C_{l_{\max}}$	(238)
8.3.4	雷诺数的影响	(238)
8.3.5	可压缩性的影响	(239)
8.3.6	可压缩性效应模型	(241)
8.3.7	临界马赫数 Ma_{crit}	(241)
8.3.8	流动提前分离的影响	(243)
8.3.9	引入翼缝或前缘缝翼的影响	(244)
8.3.10	襟翼偏转的影响	(244)
8.3.11	巡航襟翼的影响	(244)
8.3.12	扰流板展开的影响	(245)
8.3.13	前缘粗糙度和表面光滑度的影响	(247)
8.3.14	使用标准翼型数据的翼型阻力模型	(248)
8.3.15	翼型选择指南	(248)
	练习	(253)
	变量表	(253)
	参考文献	(254)
第9章	机翼详解	(257)
9.1	简介	(257)
9.1.1	本章内容简介	(257)
9.1.2	参考面积的定义	(257)
9.1.3	机翼参数的确定过程	(258)
9.2	梯形机翼的平面形状	(258)
9.2.1	定义	(259)
9.2.2	确定平均几何弦长的经验方法	(262)
9.2.3	用 S 、 λ 和 AR 描述机翼基本尺寸	(262)
9.2.4	翼型横截面积的近似计算	(263)
9.3	机翼几何布局	(264)
9.3.1	机翼展弦比 AR	(264)
9.3.2	机翼梢根比 TR 或 λ	(270)
9.3.3	前缘和 $1/4$ 弦线后掠角 Λ_{LE} 和 $\Lambda_{c/4}$	(271)
9.3.4	上反角和下反角 Γ	(272)
9.3.5	机翼扭转——负扭转和正扭转	(275)
9.3.6	机翼的安装角 i_w	(278)
9.3.7	典型飞机的机翼布局特性参数	(281)
9.4	机翼平面形状的选择	(281)
9.4.1	升力的最优分布	(281)
9.4.2	展向升力分布的计算方法	(283)

9.4.3	等弦长机翼	(284)
9.4.4	椭圆机翼	(284)
9.4.5	梯形机翼	(285)
9.4.6	后掠机翼	(287)
9.4.7	带转折的机翼	(289)
9.4.8	三角翼	(291)
9.4.9	其他独特的机翼布局	(291)
9.5	三维机翼的升力和力矩特性	(292)
9.5.1	三维升力曲线特性	(293)
9.5.2	升力系数	(294)
9.5.3	三维升力面理论中升力线斜率的确定	(295)
9.5.4	全机升力线斜率	(297)
9.5.5	按步骤将二维升力线转换为三维升力线	(297)
9.5.6	升力线效率定律	(299)
9.5.7	弹性机翼	(299)
9.5.8	地面效应	(300)
9.5.9	$C_{L_{max}}$ 和机翼载荷对失速速度的影响	(302)
9.5.10	按步骤快速估算 $C_{L_{max}}$	(302)
9.5.11	按步骤估算 $C_{L_{max}}$ ——美国空军 DATCOM 方法 1	(304)
9.5.12	按步骤估算 $C_{L_{max}}$ ——使用美国空军 DATCOM 方法 2	(305)
9.5.13	典型飞机的 $C_{L_{max}}$	(309)
9.5.14	奥斯瓦尔德翼展效率因子的估算	(311)
9.6	机翼失速特性	(315)
9.6.1	飞机流动分离及其演化	(315)
9.6.2	典型飞机平面形状的失速过程	(317)
9.6.3	常见失速模式的演化	(317)
9.6.4	失速过程的控制	(319)
9.6.5	后掠翼展向流动的起因	(322)
9.6.6	后掠翼抬头力矩诱发边界层失速	(323)
9.6.7	制造误差对失速特性的影响	(324)
9.7	机翼的数值分析	(325)
9.7.1	普朗特升力线理论	(326)
9.7.2	普朗特升力线方法——特例：椭圆机翼	(329)
9.7.3	普朗特升力线方法——特例：任意外形机翼	(331)
9.7.4	普朗特升力线方法中机身影响的考量	(335)
9.7.5	普朗特升力线方法的计算程序	(337)
	练习	(340)
	变量表	(340)
	参考文献	(342)
第 10 章	增升装置详解	(345)
10.1	引言	(345)
10.1.1	本章内容简介	(345)
10.2	前缘增升装置	(346)
10.2.1	铰链前缘(前缘下垂)	(346)

10.2.2	可变弯度前缘	(350)
10.2.3	固定缝翼	(351)
10.2.4	克鲁格襟翼	(352)
10.2.5	前缘缝翼	(355)
10.2.6	前缘增升装置数据小结	(359)
10.3	后缘增升装置	(360)
10.3.1	简单襟翼	(360)
10.3.2	开裂式襟翼	(369)
10.3.3	容克斯襟翼 (外部襟翼)	(370)
10.3.4	单缝襟翼	(371)
10.3.5	双缝襟翼	(373)
10.3.6	富勒襟翼	(376)
10.3.7	格尼襟翼	(377)
10.3.8	后缘增升装置数据小结	(379)
10.4	增升装置偏转对机翼的影响	(381)
10.4.1	襟翼偏转时机翼上的升力分布	(381)
10.4.2	机翼分段法	(383)
10.5	翼梢设计	(386)
10.5.1	圆形翼梢	(387)
10.5.2	球形翼梢	(387)
10.5.3	方形翼梢	(388)
10.5.4	增压翼梢	(388)
10.5.5	赫尔纳翼梢	(390)
10.5.6	斜削式翼梢	(390)
10.5.7	端板翼梢	(392)
10.5.8	翼梢小翼	(393)
10.5.9	多平面机翼 (翼梢)	(396)
10.5.10	基于位势流理论的结果比较	(398)
	变量表	(399)
	参考文献	(400)
第11章	尾翼详解	(403)
11.1	引言	(403)
11.1.1	本章内容简介	(404)
11.1.2	确定尾翼尺寸的过程	(404)
11.2	飞机静态稳定性和控制基本概念	(405)
11.2.1	静态纵向稳定性的基本概念	(405)
11.2.2	简单机翼—水平尾翼系统俯仰力矩的计算	(408)
11.2.3	水平尾翼的下洗角	(409)
11.2.4	$C_{m\alpha}$ 的经验数据	(410)
11.2.5	任意布局时的纵向配平	(412)
11.2.6	握杆中性点和松杆中性点	(413)
11.2.7	静态方向稳定性和横向稳定性的基本概念	(416)
11.2.8	静态方向稳定性要求	(417)
11.2.9	静态横向稳定性要求	(417)

11.2.10	$C_{n\beta}$ 和 $C_{l\beta}$ 的经验数据	(418)
11.2.11	背鳍	(420)
11.2.12	腹鳍	(421)
11.2.13	尾翼设计和尾旋恢复	(422)
11.3	若干尾翼布局及其优缺点	(423)
11.3.1	常规尾翼	(423)
11.3.2	十字形尾翼	(426)
11.3.3	T形尾翼	(426)
11.3.4	V形尾翼或蝶形尾翼	(429)
11.3.5	倒V形尾翼	(433)
11.3.6	Y形尾翼	(433)
11.3.7	倒Y形尾翼	(433)
11.3.8	H形尾翼	(434)
11.3.9	三翼面布局	(434)
11.3.10	A形尾翼	(435)
11.3.11	双尾撑布局或U形尾翼布局	(435)
11.3.12	鸭式布局	(435)
11.3.13	常规布局水平尾翼位置设计指南	(436)
11.4	尾翼的几何外形	(438)
11.4.1	尾翼参考面积的定义	(439)
11.4.2	水平尾翼和垂直尾翼的尾容量	(439)
11.4.3	水平尾翼设计指南——基于握杆中性点	(440)
11.4.4	V_{HT} 和 V_{VT} 的初始推荐值	(441)
11.5	尾翼初始尺寸确定方法	(444)
11.5.1	方法1: 已知水平尾翼尾容量时, 确定尾翼最优尺寸	(444)
11.5.2	方法2: 已知垂直尾翼尾容量时, 确定尾翼最优尺寸	(448)
11.5.3	方法3: 已知水平尾翼和垂直尾翼尾容量时, 确定尾翼最优尺寸	(450)
	习题	(455)
	变量表	(455)
	参考文献	(457)
第12章	机身详解	(459)
12.1	引言	(459)
12.1.1	本章内容简介	(459)
12.1.2	机身的功能	(459)
12.2	机身的基本外形	(460)
12.2.1	截锥形机身	(460)
12.2.2	圆柱形机身	(461)
12.2.3	蝌蚪形机身	(461)
12.3	机身参数选择	(463)
12.3.1	机身外形的初始设计	(463)
12.3.2	机身外形的完善	(465)
12.3.3	机身的内部尺寸	(467)
12.3.4	驾驶舱布局	(468)
12.4	机身几何属性的估算	(472)