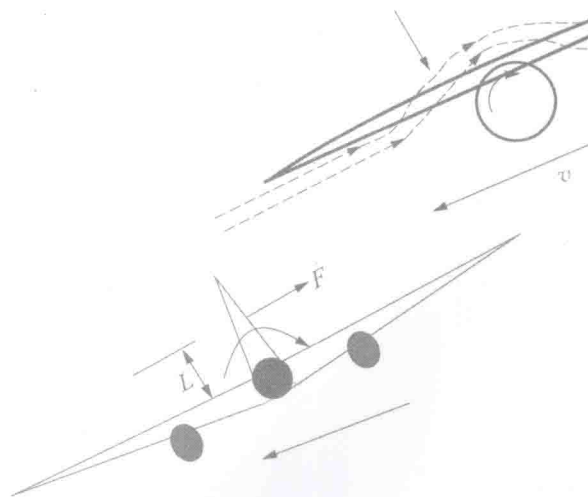




大气动 / 静飞行器 飞行原理

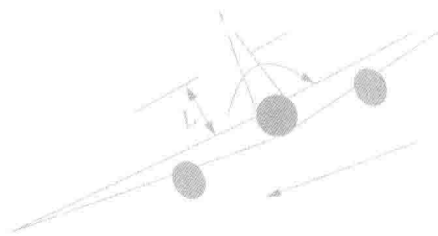
陈丽 段登平 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

大气动 / 静飞行器 飞行原理

陈丽 段登平 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容摘要

本书分别以飞机和飞艇为对象,进行大气动力和静力飞行器的飞行力学机理研究,将飞行动力学和飞行静力学混合讨论,从共性问题分析到个性问题解决,使读者对两类典型航空器的动力学特性有广泛的认识和深入的理解。

通过描述大气环境特性,给出飞行器的升力、浮力和阻力计算依据;研究飞行器的两种运动学描述方法和四种性能分析方法;建立飞行器的动力学模型,进行稳定性和操纵性分析;给出飞行控制系统基本设计步骤,完成无人飞行器复合控制系统设计,包括优化分配和故障重构。

本书可作为工科相关专业的本科生和研究生的教材,同样可供从事航空飞行器研究的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大气动/静飞行器飞行原理/陈丽,段登平编著.—上海:上海交通大学出版社,2015

ISBN 978-7-313-13647-3

I. ①大… II. ①陈…②段… III. ①飞行器—飞行原理 IV. ①V212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 192838 号

大气动/静飞行器飞行原理

编 著:陈 丽 段登平

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:韩建民

印 制:昆山市亭林印刷有限责任公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

字 数:273 千字

版 次:2015 年 10 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-13647-3/V

定 价:35.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:11.75

印 次:2015 年 10 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:0512-57751097

前言

本书研究航空飞行器在大气环境中,受外力作用下的运动规律,其研究内容包括飞行器的飞行性能和飞行品质。航空飞行器在大气中有两种飞行模式,一是依靠大气产生的升力克服重力的飞行(空气动力飞行),二是依靠大气产生的浮力克服重力的飞行(空气静力飞行)。本书分别以飞机和飞艇为研究对象,进行动力飞行和静力飞行的力学机理研究,给出飞行力学分析的共性方法和个性手段,进而阐述大气飞行器的基本飞行原理。

本书主要特色是将飞行动力学和飞行静力学放在一起讨论,从分析共性问题到解决个性问题,使读者对两类典型的航空器有广泛的认识和深入的理解。首先介绍大气环境特性,给出飞行器的升力、浮力和阻力计算依据;分别采用欧拉角和四元数方法描述飞行器的运动学方程;给出飞行性能分析的四种方法(受力分析法、积分法、重力势能法和数值仿真法);采用参数分析法研究飞行器的静稳定性和静操纵性;基于运动学关系和受力分析建立飞行器的动力学模型,给出非线性方程线性化的数值小扰动和参数化小扰动方法,进而获得飞行器的运动模态,完成飞行器的动稳定性和动操纵性分析;给出无人飞行器飞行控制系统设计步骤和方法,针对冗余配置的无人飞艇给出复合控制系统设计举例,重点进行优化控制分配和可重构控制系统的研究。

本书可作为工科相关专业的本科生和研究生的教材,同样可供从事航空飞行器研究的工程技术人员参考。

浙江大学航空航天学院余松涛教授、上海交通大学航空航天学院胡士强教授和刘洪教授对书稿进行仔细评阅,并提出宝贵意见,在此深表谢意。本书在完稿过程中得到作者的研究生们的大力支持,他们是张茂华、孟蒙、惠光飞和刘芬,在此致以衷心的感谢。

本书的研究工作得到国家自然科学基金资助(编号 61175074 和 11272205)。

由于编者水平所限,书中存在的不足和错误之处,敬请读者批评指正。请通过电子邮件与作者联系:chen2006@sjtu.edu.cn。

符号和定义

V_g 地速

V_w 风速

V_a 空速

ρ 大气密度

$Q = \frac{1}{2} \rho V_a^2$ 动压

T 推力

G 重力

\bar{c} 机翼的平均弦长

b 机翼的展长

$A = \frac{b}{\bar{c}}$ 机翼展弦比

$S = \bar{c}b$ 机翼参考面积

G/S 翼载荷

a 声速

Ma 马赫数 $Ma = V_a/a$

C_D, C_L 阻力系数, 升力系数

$C_L = C_{L\alpha}(\alpha - \alpha_0)$, $C_{L\alpha}$ 升力系数斜率, α_0 零升迎角, α 迎角

$C_D = C_{D0} + kC_L^2$, C_{D0} 零升阻力系数项, kC_L^2 诱导阻力系数项

D, L 阻力, 升力

$D = QSC_D$

$L = QSC_L$

$K = \frac{L}{D}$ 升阻比

γ, χ, μ 航迹爬升角, 航迹方位角, 航迹滚转角

ϕ, θ, ψ 滚转角, 俯仰角, 偏航角

α, β 迎角, 侧滑角

X, Y, Z 轴向、侧向、法向力

C_X, C_Y, C_Z 轴向、侧向、法向气动力系数

$X_a = QSC_X, Y_a = QSC_Y, Z_a = QSC_Z$ 气动力的三轴分量

L, M, N 滚转、俯仰、偏航力矩

C_l, C_m, C_n 滚转、俯仰、偏航气动力矩系数

$L_n = QScC_l, M_n = QScC_m, N_n = QScC_n$ 气动力矩的三轴分量

a_e, a_r 升降舵、方向舵舵效

$C_{m_{\delta_e}}, C_{n_{\delta_r}}$ 升降舵、方向舵操纵效能

- i 尾翼安装角
 ϵ, σ 下洗角, 侧洗角
 α_{wb} 翼身组合体的迎角
 V_t, V_f 平尾体积比, 垂尾体积比
 $h_n, h_{n_{wb}}$ 全机焦点位置, 翼身组合体焦点位置
 B 浮力
 M_{net} 飞艇的结构质量
 T_{ref} 大气温度
 p_{ref} 大气压强
 V_T 飞艇的总体积
 S_{ref} 飞艇的参考面积
 l_{ref} 飞艇的参考长度
 Δp 飞艇的内外压差
 ΔT 飞艇的内外温差
 m_{He} 氦气囊内氦气质量
 ρ_{He} 氦气囊内氦气密度
 T_{He} 氦气囊温度
 V_{He} 氦气囊体积
 p_{He} 氦气囊压强
 $C_{p, He}$ 氦气的热容
 R_{He} 氦气的理想气体常量
 m_{air} 副气囊内空气质量
 ρ_{air} 副气囊内空气密度
 T_{air} 副气囊温度
 V_{air} 副气囊体积
 p_{air} 副气囊压强
 $C_{p, air}$ 空气的热容
 R_{air} 空气的理想气体常数

下角标涵义

- t 平尾
 f 垂尾
 cg 重心
 ac 气动中心
 w 机翼
 b 机身

主要单位换算

$$1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m}$$

$$1 \text{ slug} = 14.593 \text{ kg}$$

$$1 \text{ lb} = 4.448 \text{ N}$$

$$\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3 = 2.377 \times 10^{-3} \text{ slug/ft}^3$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2 = 32.174 \text{ ft/s}^2$$

目录

绪论	001
0.1 飞行原理研究的内容 / 001	
0.1.1 飞行力学模型建立 / 002	
0.1.2 飞行控制系统设计 / 002	
0.1.3 未来发展趋势 / 002	
0.2 飞行力学若干基础问题探讨 / 003	
0.2.1 大气扰动建模和抑制问题 / 003	
0.2.2 非线性飞行动力学问题 / 003	
0.2.3 平流层飞艇动力学与控制 / 004	
0.2.4 异类控制效应复合控制技术 / 004	
0.3 本书编写特点与内容 / 005	
0.3.1 编写特点 / 005	
0.3.2 章节安排 / 005	
1 大气飞行基础	006
1.1 地球大气层 / 006	
1.1.1 大气层的分布 / 006	
1.1.2 标准大气表达式 / 007	
1.1.3 空气的物理性质 / 007	
1.1.4 风场的分布 / 009	
1.2 空气动力飞行器 / 011	
1.2.1 飞机的组成 / 011	
1.2.2 飞机的升力 / 012	
1.3 空气静力飞行器 / 014	
1.3.1 飞艇的组成 / 014	
1.3.2 飞艇的浮力 / 015	
1.4 飞行器的阻力 / 015	
1.4.1 压差阻力 / 016	
1.4.2 诱导阻力 / 017	
1.4.3 阻力计算 / 018	

2 飞行器的运动学	020
2.1 飞行器的速度 / 020	
2.2 飞行器的姿态 / 020	
2.3 直角坐标系变换 / 022	
2.3.1 位置变换 / 023	
2.3.2 角速度变换 / 025	
2.3.3 常用坐标系变换 / 026	
2.4 飞行器的运动学方程 / 027	
2.5 姿态的四元数表达 / 028	
3 飞行器的飞行性能	031
3.1 稳态飞行性能 / 031	
3.1.1 稳态平飞 / 031	
3.1.2 稳态滑行 / 033	
3.1.3 稳态爬升 / 034	
3.1.4 平飞包线 / 035	
3.2 续航性能 / 037	
3.2.1 航程和航时 / 037	
3.2.2 最佳巡航 / 039	
3.3 机动飞行性能 / 040	
3.3.1 过载 / 040	
3.3.2 平飞加速和减速 / 041	
3.3.3 跃升 / 042	
3.3.4 盘旋 / 043	
3.4 滑跑起飞和着陆性能 / 045	
3.4.1 起飞滑跑段距离和时间 / 046	
3.4.2 上升段水平距离和时间 / 047	
3.4.3 着陆段水平距离和时间 / 047	
3.4.4 着陆滑跑段距离和时间 / 048	
3.5 飞艇的垂直起降性能 / 049	
3.5.1 最小氦气质量和最大飞行高度 / 049	
3.5.2 热环境和热力学模型 / 050	
3.5.3 起降性能数值仿真 / 052	
4 飞行器的静稳定性和静操纵性	057
4.1 飞行器的平衡 / 057	
4.2 运动的稳定性 / 058	

4.2.1	运动稳定性定义 / 058	
4.2.2	飞行器的稳定性 / 059	
4.3	飞机的静稳定性 / 060	
4.3.1	飞机的重心、压心和焦点 / 060	
4.3.2	纵向静稳定性和升降舵操纵 / 062	
4.3.3	横侧向静稳定性和副翼操纵 / 071	
4.3.4	方向静稳定性和方向舵操纵 / 073	
4.4	飞艇的静稳定性 / 075	
4.4.1	飞艇的纵向静稳定性 / 075	
4.4.2	飞艇的横侧向静稳定性 / 076	
5	飞行器的动力学方程	078
5.1	飞行器的受力分析 / 078	
5.1.1	流体惯性力、惯性力矩及附加质量 / 079	
5.1.2	空气动力和空气动力矩 / 081	
5.1.3	推力和推力矩 / 081	
5.1.4	重力、浮力和力矩 / 082	
5.2	刚体动力学方程 / 083	
5.3	模型解耦和线性化 / 086	
5.3.1	稳态飞行和扰动运动 / 087	
5.3.2	参数小扰动线性化 / 088	
5.3.3	力和力矩线性化和模型解耦 / 089	
5.3.4	力和力矩的无量纲导数 / 094	
5.3.5	数值小扰动线性化 / 099	
6	飞行器的动稳定性和动操纵性	100
6.1	定常线性常微分系统通解 / 100	
6.1.1	齐次微分方程组求解 / 100	
6.1.2	非齐次微分方程组求解 / 103	
6.2	运动模态和模态参数 / 104	
6.3	拉普拉斯变换和传递函数 / 105	
6.4	线性系统的时域分析 / 107	
6.4.1	阶跃响应性能指标 / 107	
6.4.2	二阶系统的时域分析 / 108	
6.5	飞机的纵向动稳定性和操纵性 / 111	
6.5.1	纵向运动模态分析 / 111	
6.5.2	纵向运动模态近似 / 114	

6.5.3	纵向运动传递函数 / 115	
6.6	飞机的横侧向动稳定性和操纵性 / 117	
6.6.1	横向运动模态分析 / 117	
6.6.2	横向运动模态近似 / 122	
6.6.3	横向运动传递函数 / 123	
6.7	飞艇的动稳定性和操纵性 / 125	
6.7.1	飞艇纵向模态分析 / 125	
6.7.2	飞艇横侧向模态分析 / 127	
6.7.3	飞艇纵向操纵响应 / 128	
6.7.4	飞艇横侧向操纵响应 / 129	
7	飞行控制系统设计	132
7.1	飞行控制系统组成 / 132	
7.2	基于根轨迹的控制器设计 / 133	
7.3	PID 控制器 / 134	
7.3.1	PD 控制器对响应性能的影响 / 134	
7.3.2	PI 控制器对稳态误差的影响 / 135	
7.4	俯仰控制器设计 / 135	
7.4.1	比例控制 / 136	
7.4.2	微分控制 / 137	
7.4.3	比例/微分控制 / 137	
7.4.4	闭环性能设计 / 139	
7.5	偏航控制器设计 / 139	
7.6	滚转控制器设计 / 141	
7.7	协调转弯运动控制 / 142	
8	多矢量推力飞艇复合控制系统设计	144
8.1	飞艇执行机构模型 / 144	
8.2	控制系统方案 / 146	
8.2.1	水平位置跟踪 / 146	
8.2.2	高度位置跟踪 / 147	
8.3	增量式 PID 控制器设计 / 148	
8.4	力矩分配模块设计 / 148	
8.5	可重构控制系统设计 / 149	
8.5.1	多舵面的重构分配算法设计 / 149	
8.5.2	多螺旋桨的重构分配算法设计 / 149	
8.6	自主重构控制系统仿真 / 151	

- 8.6.1 无故障下轨迹跟踪仿真 / 151
- 8.6.2 多个螺旋桨故障下仿真 / 153
- 8.6.3 舵面和螺旋桨共同故障下仿真 / 155

附录.....	158
附录一 概念习题	158
附录二 计算习题	159
附录三 课程设计	165
参考文献.....	172
索引.....	173

绪论

0.1 飞行原理研究的内容

飞行原理的研究内容包括两方面：一方面是飞行力学建模和分析，研究飞行器受力后的运动规律，以及表现的飞行品质；另一方面是飞行控制系统设计，根据给定的飞行任务需求，研究如何操纵飞行器达到所需的飞行品质。前者称为开环飞行原理，后者称为闭环飞行原理。

从狭义上来说，飞行原理研究飞行器的运动规律和动力学特性，是力学学科的分支，但从广义上来说，由于飞行器的运动特性与所受的空气动力、发动机推力，以及飞行器结构弹性变形和飞行控制等密切相关，直接决定了飞行器的总体特性、任务能力和使用需求，已成为飞行器设计的出发点和归宿，为此基于力学分析和闭环控制的飞行原理研究正逐步发展为一门飞行器设计领域的系统、综合性学科，同时为飞行器的使用提供基础理论指导。图 0-1 给出了本书研究内容在飞行器设计中的位置关系。

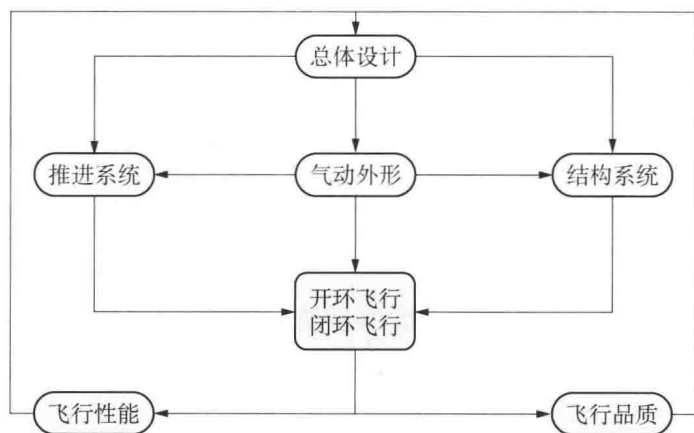


图 0-1 本书研究内容在飞行器设计中的位置

随着航空、航天、导弹、制导兵器、自动控制、计算机和信息技术等科学的发展，虽然大气飞行的基本力学原理未变，但就其研究内容、方法、手段、深度和广度而言，已经从传统的飞行力学，发展成为可控飞行力学和计算飞行力学。高速计算机的利用，大量而又普遍的数学模拟、专用程序或软件包的使用和向用户的开放，从根本上改变了飞行力学研究的状况。

0.1.1 飞行力学模型建立

由于飞行器种类繁多、特性各异,因此飞行力学的研究可分为若干分支:在稠密大气中飞行的大多数飞行器,其工作过程很大程度上是由空气动力决定的,研究其在一定飞行速度下的飞行性能、稳定性和操纵性,主要以空气动力学为基础;还有一类飞行器以产生浮力为基础,能够在密度较低的高空静止于大气中,它与动力飞行器的共同点是具有操纵舵面和气动外形,在一定的飞行速度下仍然是依靠空气动力飞行,它的飞行力学以空气静力和空气动力学为基础,本书融合讨论这两类飞行器的基本飞行力学行为。

在基本的力学分析基础上,飞行力学各个分支向更深更专的领域探索,形成若干专题,包括大气湍流对飞机飞行品质影响及改善措施,优化理论在飞行品质研究中的应用,不对称动力飞行动态特性,大迎角/大侧滑角气动非线性,弹性飞行器的非线性气动力和气动伺服弹性,巨型飞艇的流-固-热耦合动力学等。

0.1.2 飞行控制系统设计

从飞行原理考虑,可控飞行动力学问题归结为保证飞行器在各种飞行状态下是稳定的,并满足一定的静态和动态品质要求。

飞行控制系统的发展经历三个阶段:反馈控制、主动控制和综合控制。反馈控制由简单的阻尼器、增稳系统逐渐发展成自动驾驶仪系统,以改善飞机的动态品质,解决长途飞行驾驶员疲劳问题,其设计上是飞机机体和控制系统分别考虑;主动控制从飞机设计开始就结合控制系统考虑,出现了随控布局飞行器,采用主控技术可以研究放宽静稳定性、阵风减缓、机动载荷控制、乘座品质改善、颤振抑制和直接力控制等问题;综合控制阶段开始于20世纪80年代,随着飞行器功能的增多,采用分散型控制系统,如自动飞行控制系统、自动导航系统、自动推力控制系统等,为协调分系统使飞机总体的某些性能为最优,发展到综合控制阶段。

从控制理论和技术的角度,现代高性能飞行器对飞行控制系统的要求越来越高,基于线性方法的飞行控制律设计已趋成熟,非线性控制理论在飞行控制中得到新的进展,现代飞行控制系统已覆盖了综合化领域,正向智能化领域发展。

0.1.3 未来发展趋势

随着航空科学技术的发展,先进飞行器气动/结构/控制/运动呈现出高度非线性耦合的特性,要求飞行力学与空气动力学、结构力学、飞行控制等学科紧密结合开展研究。

在航空领域,大迎角过失速机动战斗机、大型运输机、平流层飞艇等先进新概念飞行器的设计和研制,对飞行力学学科的研究提出大量技术需求。近期飞行力学研究主要服务于新机的设计研制,即基于先进新概念飞行器的设计研制需求,开展飞行力学相关的理论、方法和技术问题研究。如在大迎角过失速机动飞机的非定常气动建模、过失速敏捷性评估、大迎角飞行品质等;弹性飞行器设计中的流固耦合动力学、气动伺服弹性优化设计等;平流层飞艇设计研究中的巨型柔性结构的流-固-热耦合动力学、气囊充放气建模,以及混合异类执行机构驱动的刚柔耦合体动力学模型等。

飞行器创新布局所导致的非线性动力学特征,呈现出多学科交叉的特点,为创新性控制理论的研究提供了广泛的机遇和挑战,表现如下:①航空飞行器正向高超声速、高隐身化、近空间、长航时等方向发展,使得飞行控制对象日趋复杂,呈现变体、多平台、跨空域的特点,控制作用趋于多元、异构、混合效应;②空天一体化趋势:航空飞行器进入亚轨道,航天飞行器可重回大气层并自主着陆,可重复发射和回收的运载器,对容错控制与控制可重构性能需求强烈;③基于多信息融合的资源分配、任务规划和指挥决策促进了飞行器控制、决策与管理一体化,以及计算、通信和控制一体化的趋势。

0.2 飞行力学若干基础问题探讨

0.2.1 大气扰动建模和抑制问题

大气扰动可导致稳定品质和操纵品质的恶化,结构疲劳和破损,严重时会造成飞行事故。从湍流理论来说,按谱方法处理飞机对大气湍流的响应,目前仍用 Karman 及 Dryden 频谱。然而由于近地飞行,飞机遭遇的大气湍流具有非平稳和各向异性性质,因此关于非高斯、非平稳、各向异性的湍流模型有很多研究;关于离散突风的模型化问题,除了通用的“ $1 - \cosine$ ”型外,学者提出“统计离散突风”模型,形式类似半个 $1 - \cosine$ 型离散突风,该模型对任一给定概率,可选出最“坏”的离散突风模型;近地飞行还存在严重的风切变问题,风切变数据用实测值或数学模型描述,由于三维风场的随机性,很难断定哪种模型最好,但采用“最坏的环境条件”考虑的概念,是目前较合理的办法;关于大气扰动中的气动力问题,根据问题性质而决定采用准定常或非定常方法,如果从改善大气扰动响应采用主控技术,且不想在控制系统设计上考虑鲁棒性,则最好采用非定常气动力;不平静大气的仿真着重在近地飞行问题上,利用大气边界层风洞实验,研究地形及建筑物的影响,或用蒙特卡洛技术产生伪随机数,通过成形滤波器提供具有某种频谱的湍流模型也是一种有效的手段。

解决不平静大气扰动问题,一方面有待实测数据的积累、对湍流机理、风切变生成机理进一步深入;另一方面也取决于对湍流及风切变的预报。从实用观点考虑,研究合理的能量管理操纵方式,削弱不平静大气对飞机运动的有害影响是可行的,如主动控制技术的阵风减缓系统已进入实用阶段。

0.2.2 非线性飞行动力学问题

非线性飞行动力学是指必须用非线性数学模型来描述的动力学问题。这类问题从航空发展初期就存在,且已对有些问题作了仔细研究,其成果至今仍在沿用。例如,飞机基本飞行性能计算就是一个非线性质点飞行动力学问题。只不过由于当时所处理的问题较为简单,可以用图解、数值积分方法,以及古典变分理论进行研究。然而,航空工业发展至今,飞行动力学已成为空气动力学、质点系动力学、控制系统理论、结构动力学和人机学等多学科综合的学科。不仅所研究的内容相当广泛,而且所涉及的非线性问题也是多种多样的:非线性流固耦合气动力及力矩,大迎角飞行的非线性动力学,飞控系统复合的非线性动力学,非线性颤振,以及离散

系统非线性动力学等。

非线性问题一般是指可用非线性的常微分方程、偏微分方程、积分方程或差分方程来表示的问题。由于非线性的形式是多种多样的,因此研究方法也有许多,但在理论研究中大致可分为两大类。第一类是解析的方法,一般对应于定量的研究。第二类为几何的(或拓扑的)方法,一般对应于定性的研究。对由非线性常微分方程所描述的非线性动力学系统,其解析法大致包括:摄动法、平均法、线性化法、间歇法、多尺度法等。近年来非线性动力学系统研究所得到的最大成就是对非线性问题中的混沌现象,以及在非线性动力学系统中对应的怪引子的研究。根据介绍,已经看到许多实际物理系统中都有混沌运动出现,在飞行力学中已经研究并比较肯定的一个具有混沌的例子是非线性颤振问题。

0.2.3 平流层飞艇动力学与控制

我国《国家中长期科学和技术发展纲要(2006—2020)》中将高分辨率对地观测平台列为16个重大专项之一,而平流层飞艇作为其主要平台载体,成为现代航空飞行器的研究热点。

平流层飞艇属于大气静力飞行器的一种,具有大尺寸、大惯量、柔性体的特点。由于飞艇近似椭球的外形和充气薄膜结构形式,会产生整体变形和局部变形,变形引起周围流场的变化使得飞艇所受的空气动力也存在非线性;同时飞艇内部充满浮升气体,升降过程中受外界环境风场和热的影响,浮升气体的热力学模型通过改变内部气体的物理特性,影响飞艇所受的浮力和压力,进而影响浮空器流-固耦合动力学模型,因此平流层飞艇的研究给飞行力学提出“巨型柔性体的流-固-热耦合动力学研究”的新方向。

平流层飞艇具有复杂的操纵机构配置:压力/浮力系统、气动舵面、矢量推力、前/后副气囊和质量滑块等,各类执行机构自身驱动特性不同,且其操纵效率与浮空器本体和外界环境存在很强的耦合,同时各执行机构对飞行器的位置和姿态的控制存在冗余,因此各个执行机构的复合操纵和综合控制系统设计问题成为提高其飞行品质的研究关键点。

0.2.4 异类控制效应复合控制技术

异类控制效应包括主动气流控制、射流矢量喷管、灵巧材料变形控制、连续气动控制面、反作用控制等,这些创新控制作用与常规气动控制面结合使用可有效提升飞行器控制性能。异类多执行机构复合控制技术虽然已经在欧美防空反导系统、航天飞机得到了全面的应用和验证,但还没有形成一套完善的系统设计方法和稳定性分析方法。主要研究方向包括:①异类控制效应机理研究:包括侧向喷流气动干扰流场建模、脉冲发动机引起的运动模态变化和随机干扰分析等;②异类执行机构协调控制研究:考虑多操纵面和推力矢量、多操纵面之间、推力矢量喷口偏转量以及姿态的变化等耦合作用的协调控制分配;③异类执行机构协调实时智能切换:航空飞行器进入亚轨道,航天飞行器再入大气层功能要求航空飞行器和航天飞行器控制效应器混合使用以达到不同飞行阶段和过渡飞行阶段的有效控制;④异类多执行机构复合控制的深层次综合设计:包括异类多执行机构之间的解耦控制,重构控制及其实时实现方法。

0.3 本书编写特点与内容

本书目的是让读者能够建立飞行器动力学模型,基于模型进行飞行器飞行性能和飞行品质分析,并掌握基于飞行品质进行控制系统设计的方法。

0.3.1 编写特点

本书的特色是将大气动力飞行器和静力飞行器的飞行原理融合在一起讲述,以飞机为例研究了大气通用飞行器的建模、气动力分析、稳定性分析、运动模态求解、飞行品质计算和基本控制器设计等共性问题,然后以飞艇为例研究了净浮力计算、热力学建模、垂直升降、矢量推力建模和复合控制等大气静力飞行器的个性问题。在共性问题中凸显个性解决方案,使读者较全面地了解大气飞行器的受力情况,熟悉不同类飞行器的运动特点,特别是对于研究新型动、静混合飞行器具有很好的参考价值。

0.3.2 章节安排

本书编写过程中,始终围绕飞行原理的开环分析和闭环设计这一核心思路,以力学建模、运动分析和控制系统设计为主线展开,使本书在阐述飞行原理的研究内容和方法上具有相对完整和系统全面的特点。

本书除绪论外共 8 章。

绪论介绍飞行力学研究的基本任务,包括飞行力学建模和自主控制系统设计;

第 1 章介绍大气环境特点和模型,进行飞行器的升力、浮力和阻力计算;

第 2 章建立飞行器的运动学关系,包括坐标系变换、欧拉角和四元数;

第 3 章研究飞行器的飞行性能,包括稳态飞行性能、机动飞行性能、续航性能、滑跑起飞和着陆性能和飞艇垂直起降性能;

第 4 章研究飞行器的静稳定性和静操纵性,分别给出了飞机和飞艇的静稳定性分析结果;

第 5 章采用受力分析法建立飞行器的动力学方程,给出模型解耦依据和非线性方程线性化方法;

第 6 章研究飞行器的动稳定性和动操纵性,给出飞机和飞艇的动稳定性和动操纵性分析结果;

第 7 章给出基本飞行控制系统设计步骤和 PID 控制器设计方法;

第 8 章给出了混合异类执行机构的复合控制系统设计方法和理论。