



工业和信息化部“十二五”规划专著

# 制导兵器气动特性 工程计算方法

ENGINEERING PREDICTION METHODS OF  
AERODYNAMIC CHARACTERISTICS FOR  
GUIDED WEAPON

雷娟棉 吴甲生 编著

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



工业和信息化部“十二五”规划专著

# 制导兵器气动特性 工程计算方法

ENGINEERING PREDICTION METHODS OF  
AERODYNAMIC CHARACTERISTICS FOR  
GUIDED WEAPON

雷娟棉 吴甲生 编著

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书介绍了适用于制导兵器初步设计阶段空气动力特性计算的工程计算方法,较详细地说明了气动部件的绕流图画、表面压力分布,以加深对空气动力特性变化规律物理机理的理解。全书共分13章:第1章绪论;第2章制导兵器气动布局;第3章制导兵器气动特性工程计算的部件组合法;第4章旋成体弹身轴向力和法向力工程计算方法;第5章弹翼轴向力和法向力工程计算方法;第6章弹翼—弹身—尾翼组合体法向力和轴向力工程计算方法;第7章压心系数及力矩系数工程计算方法;第8章动导数工程计算方法;第9章舵面效率和铰链力矩工程计算方法;第10章特殊部件气动特性工程计算方法;第11章弹箭旋转空气动力效应;第12章高超声速飞行器气动特性工程计算方法;第13章制导兵器气动外形布局设计。

本书适用于航天、武器领域从事制导兵器气动外形设计计算的工程技术人员,对制导兵器总体设计、弹道和飞行方案设计、控制系统设计的工程技术人员以及高等院校与制导武器设计相关的飞行器总体、空气动力学、飞行力学、制导与控制等专业的教师、本科生和研究生也有参考价值。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

制导兵器气动特性工程计算方法 / 雷娟棉, 吴甲生编著. —北京: 北京理工大学出版社, 2015. 2

ISBN 978-7-5640-9056-2

I. ①制… II. ①雷… ②吴… III. ①制导武器—气动力计算—计算方法 IV. ①TJ011

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 065625 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)  
82562903 (教材售后服务热线)  
68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京地大天成印务有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 19.75

字 数 / 368 千字

版 次 / 2015 年 2 月第 1 版 2015 年 2 月第 1 次印刷

定 价 / 68.00 元

责任编辑 / 张慧峰

文案编辑 / 张慧峰

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

---

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

# 序

制导兵器空气动力特性计算包括工程计算方法和数值计算（CFD）方法，它们各有各的特点和应用领域。在制导兵器方案设计阶段，需要在广阔的飞行参数范围内进行多个外形布局方案的筛选及多个外形参数的调整，此情况下，采用简单、快速、物理概念清晰的工程计算方法是最合宜的。工程计算方法能很快地给出空气动力特性的大小、外形参数对空气动力特性的影响规律，能较容易地确定提高气动性能的主要参数，提出改进气动性能的措施，因此，现在仍然是制导兵器初步设计阶段的主要工具。

制导兵器与战术导弹、飞机的差别很大。制导兵器种类繁多，外形各异，飞行弹道多种多样，速域、空域、攻角变化范围很大。这些差别不仅使制导兵器与战术导弹、飞机的气动布局型式有很大不同，而且会出现一些特殊的空气动力学问题。

作为在空气动力学领域的工作者，我很期望能有一部专著，系统完整地论述制导兵器上述的气动特性，并给出相应的工程计算方法。因此，本书的出版必将受到相关工程技术设计和研究人员的欢迎。工业和信息化部将本书列入“十二五”规划专著出版，对空气动力学知识的普及和该学科的发展具有非常重要的意义。

本书作者长期从事弹箭/制导兵器气动布局与气动特性的教学和科研工作，参加过大量弹箭/制导兵器型号的预研和研制，完成了多种型号的气动设计、反设计及有关气动特性计算和风洞实验，具有深厚的理论基础和丰富的工程实践经验。该专著正是作者数十年来从事兵器空气动力学教学、研究和进行工程型号设计工作经验的总结，内容丰富，是一本实用性很强，理论联系实际，很有创新价值和特色的专著。

张卫信

2015. 1. 15.

# 前言

《制导兵器气动特性工程计算方法》以空气动力学基本理论（主要是细长体理论和线性理论）为基础，通过实验数据（主要是风洞实验数据）和经验对理论计算公式加以修正，提高计算结果精度，扩展使用范围。在制导兵器的初步设计阶段，该方法能快速、经济地给出不同飞行条件及外形参数条件下的气动特性数据，且精度能满足总体性能分析、飞行特性和控制特性仿真计算对气动数据的要求。

一直以来，制导兵器气动外形设计工作者都是参照常规外形战术导弹或飞机的空气动力特性预测方法，进行制导兵器空气动力特性计算和气动外形设计的。实际上，制导兵器与常规外形战术导弹、飞机差别很大，它种类繁多，外形五花八门；飞行弹道多种多样；在一次飞行中，其速度、空域、攻角变化范围很大。这些不仅使制导兵器与战术导弹和飞机的气动布局形式有很大不同，而且使其具有很多特殊的空气动力学问题。在制导兵器气动外形设计过程中，能否预测这些空气动力特性，给出比较可靠的气动特性数据，关系到制导兵器总体方案的选择及性能指标的实现，而到目前为止还没有一部完全适用于制导兵器空气动力预测和气动外形设计的书籍。

本书旨在将作者多年来在制导兵器空气动力特性预测方面的研究成果和实践经验进行总结、整理，并选用国内外公开发表的有关文献中适用于制导兵器气动特性预测的公式、曲线和数据表，给出一套既有理论根据又有实用价值的制导兵器空气动力特性预测方法，让更多从事制导兵器设计的科技人员和高校师生从中受益，更好地为国防现代化建设服务。

本书共分 13 章。第 1 章绪论；第 2 章介绍制导兵器气动布局；第 3 章介绍制导兵器气动特性工程计算的部件组合法；第 4 章介绍旋成体弹身轴向力和法向力工程计算方法；第 5 章介绍弹翼轴向力和法向力工程计算方法；第 6 章介绍弹翼—弹身—尾翼组合法向力和轴向力工程计算方法；第 7 章介绍压心系数及力矩系数工程计算方法；第 8 章介绍动导数工程计算方法；第 9 章介绍舵面效率和铰链力矩工程计算方法；第 10 章介绍特殊部件气动特性的工程计算方法；第 11 章介绍弹箭旋转空气动力效应；第 12 章介绍高超声速飞行器气动特性工程计算方法；第 13 章介绍制导兵器气动外形布局设计。

本书的特色体现在以下四个方面:

(1) 气动特性预测方法与理论分析相结合。

本书以介绍制导兵器气动特性预测方法为主,同时介绍气动特性预测方法的理论依据,较详细地说明了气动部件的绕流图画、表面压力分布,以加深对流场特性及气动特性变化的物理本质的理解。

(2) 扩展了气动特性预测的攻角范围。

不同于传统的飞行器气动特性工程计算是在风轴系中以计算升力系数、阻力系数和压心系数为主,本书中气动部件及组合体常规气动特性计算,是在体轴系中以计算法向力系数、轴向力系数、压心系数为主,升力系数、阻力系数通过坐标转换得到。另外,所给出的气动特性预测方法,突破了常规的工程计算仅可给出气动系数对攻角的导数,或仅可适用于小攻角范围气动系数计算的局限性,可在很大攻角范围内进行气动特性计算,可满足制导兵器大攻角机动飞行时的气动设计计算需求。

在轴向力系数计算时考虑攻角变化的影响,将其表示为零攻角轴向力系数 $C_{A0}$ 和与攻角有关的轴向力系数 $C_A(\alpha)$ 两部分,即 $C_A = C_{A0} + C_A(\alpha)$ 。将 $C_A(\alpha)$ 表示为 $C_A(\alpha) = A\alpha + B\alpha^2 + C\alpha^3 + D\alpha^4$ ,其中系数 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 由风洞实验数据库得到,轴向力系数的计算攻角范围为 $\alpha=0^\circ \sim \pm 90^\circ$ 。

将部件的法向力系数表达为线性和非线性两部分,即 $C_N = (C_N)_L + (C_N)_{NL}$ 。线性部分采用基于线化理论并以风洞实验数据修正的公式和曲线进行计算。非线性部分采用基于风洞实验数据库和随攻角呈四次方变化的公式进行计算,法向力系数计算攻角范围为 $\alpha=0^\circ \sim 180^\circ$ 。

弹翼—弹体、弹翼—尾翼干扰因子用基于气动部件拆分—组合的风洞实验数据库整理的经验公式计算,从而扩大了攻角的计算范围。

(3) 给出了制导兵器特殊部件及特殊空气动力问题的计算方法。

为了满足特殊需要,制导兵器常采用一些特殊的气动部件,如为了提高升力或弹药装填密度而采用非圆截面弹身;为便于在发射管中折叠而采用卷弧翼;为便于折叠,提高稳定性、操纵效率,减小铰链力矩而采用格栅翼;为提高法向过载或纵、横向稳定裕度而采用多片弹翼或多片尾翼。本书单独用一章简述这些特殊气动部件气动特性的近似计算方法。

“旋转”是制导兵器经常采用的飞行方式,旋转空气动力效应是旋转制导兵器的特殊气动问题。本书单独用一章阐述旋转空气动力效应机理、计算方法。由于可用的风洞实验数据有限,特别是几乎找不到旋转弹大攻角的风洞实验数据,所以该部分计算方法仅适用于小攻角。

(4) 所介绍的气动特性预测方法经过了实践检验。

本书中所介绍的预测方法,大部分都经过作者的计算实践,证明其在制导兵器气

动特性预测中的适用性；同时通过将预测结果与有关风洞实验结果比较，表明预测结果的精度能满足制导兵器初步设计阶段飞行特性、控制特性分析计算对气动特性的要求。

本书作者长期从事常规兵器和制导兵器气动外形设计和气动特性研究，完成了包括系列反坦克导弹、系列制导航弹、系列制导火箭、系列炮射导弹、制导迫弹、多用途导弹、巡飞弹等多种型号的制导兵器气动特性计算和气动外形设计工作；开展了旋转弹气动理论与实验、卷弧翼气动特性、自旋尾翼气动特性及其在鸭式布局制导兵器上的应用、旋转弹的锥形运动与抑制、高升阻比制导兵器气动外形设计与滑翔增程技术等多项制导兵器气动问题的专题研究；为本科生、研究生讲授过“制导兵器气动特性工程计算”“制导兵器气动外形设计”“飞行器气动设计”“空气动力学”“飞行器空气动力学”等课程。在教学和制导兵器型号研制过程中，收集了国内外大量相关文献资料，通过分析、计算实践，积累了大量的制导兵器气动特性工程计算经验。

本书获工业和信息化部“十二五”规划专著立项后，作者邀请中国空气动力研究与发展中心杨其德研究员和中国航空气动力技术研究院纪楚群研究员对书稿进行了审阅。他们不仅空气动力学基础理论深厚，而且有丰富的战术导弹型号气动外形设计和气动特性研究实践经验，编著过空气动力特性计算的有关书籍。杨其德研究员作为编写组的负责人，组织并参与了大型工具书《航空气动力手册》（国防工业出版社，1983年）的编写工作。纪楚群研究员主编了《有翼飞行器气动力计算手册》（国防工业出版社，1979年）和《导弹空气动力学》（中国宇航出版社，1996年）。两位专家在繁忙的工作中抽出宝贵时间对全书进行了仔细审读，提出了大量具体而中肯的修改意见和建议。两位专家的审阅对减少书稿错漏，提高书稿质量起到了重要作用，对他们的辛勤劳动和热心帮助在此给予诚挚的感谢。

由于作者的水平有限，本书中的疏漏和错误在所难免，恳请读者批评指正。

作 者

This book introduced engineering prediction methods for aerodynamic characteristics used in preliminary design stage of guided weapons, and presented the flow pattern and surface pressure distribution of aerodynamic components to make it easier for readers to understand the flow mechanism of aerodynamic Characteristics variation.

There are 13 chapters in this book. Chapter 1: Introduction. Chapter 2: Aerodynamic Configuration of Guided Weapons. Chapter 3: Component Buildup of Aerodynamics for Guided Weapons. Chapter 4: Engineering Calculation Methods of Normal Force and Axial Force for Body of Revolution. Chapter 5: Engineering Calculation Methods of Axial Force and Normal Force of Wing. Chapter 6: Engineering Calculation Method of Normal/Axial Force of Wing-Body-Tail Configurations. Chapter 7: Engineering Calculation Method of Pressure Center Coefficient and Moment Coefficients . Chapter 8: Engineering Calculation Method of Dynamic Derivatives. Chapter 9: Engineering Calculation Method of Control Efficiency and Hinge Moment of Aerodynamic Rudder. Chapter 10: Engineering Calculation Method of Aerodynamic Characteristics of Special Aerodynamic Components. Chapter 11: Spinning Aerodynamic Effect of Rockets and Missiles. Chapter 12: Engineering Calculation Method of Aerodynamic Characteristics for Hypersonic Flight vehicles. Chapter 13: Aerodynamic Configuration Design of Guided Weapons.

This book applies to technicians and engineers working in the field of guided weapons aerodynamic configuration design and aerodynamic characteristics calculation. It may be used as a reference book to engineers of general design, ballistic design and control system design of guided weapons. It also may be served as textbook or reference book of university teachers and students majoring in flight vehicle design, aerodynamics, flight mechanics, guidance and control.



# 目 录

## CONTENTS

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 制导兵器气动外形设计与气动特性预测的关系 .....	1
1.2 制导兵器气动特性预测精度对飞行特性的影响 .....	2
1.3 制导兵器气动外形设计步骤 .....	2
1.4 制导兵器对气动特性的一些要求 .....	4
1.5 制导兵器气动特性工程预估程序简介 .....	4
1.6 坐标系与空气动力系数 .....	5
1.6.1 坐标系 .....	5
1.6.2 空气动力和力矩 .....	6
1.6.3 空气动力系数 .....	7
<b>第 2 章 制导兵器气动布局</b> .....	8
2.1 概述 .....	8
2.2 制导兵器气动布局 .....	8
2.2.1 翼面沿弹身周向布置形式 .....	8
2.2.2 翼面沿弹身轴向配置形式与性能特点 .....	10
2.3 制导兵器典型气动布局 .....	16
2.3.1 反坦克导弹的典型气动布局 .....	16
2.3.2 制导航弹的典型气动布局 .....	18
2.3.3 末制导炮弹的典型气动布局 .....	20
2.4 制导兵器气动布局发展趋势及有关的气动问题 .....	25
<b>第 3 章 制导兵器气动特性工程计算的部件组合法</b> .....	27
3.1 空气动力特性的部件组合法 .....	27
3.2 线化理论 .....	28
3.2.1 流动控制方程的线性化 .....	28

3.2.2	边界条件	31
3.2.3	压力系数表达式	32
3.3	细长体理论、线化理论的一些结果	33
3.3.1	细长体理论结果	33
3.3.2	线化理论结果	35
3.4	压缩性修正	38
3.4.1	戈泰特法则 (Gothert Rule)	39
3.4.2	普朗特—葛劳涅法则 (Prandtl-Glauert Rule)	40
3.5	气动干扰	41
3.5.1	弹翼—弹身干扰	42
3.5.2	弹翼—尾翼干扰	46
<b>第4章</b>	<b>旋成体弹身轴向力和法向力工程计算方法</b>	<b>52</b>
4.1	旋成体弹身的几何特性和绕流图画	52
4.1.1	几何特性	52
4.1.2	绕流图画	53
4.2	旋成体弹身零攻角轴向力系数计算方法	54
4.2.1	摩擦阻力系数	55
4.2.2	头部压差轴向力系数	57
4.2.3	尾部压差轴向力系数	61
4.2.4	底部压差轴向力系数	62
4.2.5	环形凸台附加轴向力系数 $\Delta C_A$	63
4.3	攻角对轴向力系数的影响	64
4.4	算例	65
4.5	旋成体弹身法向力系数计算方法	66
4.5.1	线性法向力系数 $(C_{NB})_L$	66
4.5.2	非线性法向力系数 $(C_{NB})_{NL}$	73
4.6	算例	75
<b>第5章</b>	<b>弹翼轴向力和法向力工程计算方法</b>	<b>77</b>
5.1	翼型的几何特性及绕流图画	77
5.1.1	几何特性	77
5.1.2	绕流图画	78
5.2	弹翼的几何特性及绕流图画	83

5.2.1	几何特性	83
5.2.2	绕流图画	85
5.3	弹翼零攻角轴向力系数计算方法	90
5.3.1	弹翼摩擦轴向力(阻力)系数	90
5.3.2	弹翼波阻系数	90
5.3.3	由弹翼钝前缘产生的轴向力系数增量	94
5.3.4	由弹翼钝后缘产生的轴向力系数增量	95
5.4	单独弹翼线性法向力系数计算方法	95
5.4.1	中小展弦比弹翼	96
5.4.2	大展弦比弹翼	96
5.4.3	极小展弦比弹翼	98
5.5	弹翼非线性法向力系数计算方法	99
5.5.1	弹翼法向力系数的组成	99
5.5.2	弹翼非线性法向力系数	99
5.6	弹翼升力系数和阻力系数计算方法	103
5.7	算例	103
<b>第 6 章</b>	<b>弹翼—弹身—尾翼组合法向力和轴向力工程计算方法</b>	<b>105</b>
6.1	弹翼—弹身—尾翼组合法向力系数表达式	105
6.2	由攻角引起的弹翼—弹身、弹身—弹翼干扰因子计算方法	106
6.3	由舵偏角引起的弹翼—弹身、弹身—弹翼干扰因子计算方法	120
6.4	非线性弹翼—尾翼干扰模型	126
6.4.1	$\theta=0^\circ$ (“— — +” 布局或 “+ — +” 布局)	126
6.4.2	$\theta=45^\circ$ (“× — ×” 布局)	130
6.5	弹翼—弹身—尾翼组合法向力系数计算方法	132
6.5.1	零攻角轴向力系数	132
6.5.2	攻角对轴向力系数的影响	133
6.6	弹翼—弹身—尾翼组合体的升力系数和阻力系数计算方法	135
<b>第 7 章</b>	<b>压心系数及力矩系数工程计算方法</b>	<b>136</b>
7.1	单独弹身的压心系数及俯仰力矩系数计算方法	137
7.1.1	线性法向力 $(C_{NB})_L$ 的作用点	138
7.1.2	非线性法向力 $(C_{NB})_{NL}$ 的作用点	140
7.1.3	单独弹身的俯仰力矩系数	141

7.2	单独弹翼压心系数计算方法	141
7.2.1	小攻角弹翼的压心系数	141
7.2.2	大攻角弹翼的压心系数	144
7.3	弹翼—弹身组合体压心系数计算方法	146
7.4	弹翼—弹身—尾翼组合体压心系数计算方法	147
7.5	静态力矩系数计算方法	148
7.5.1	俯仰力矩系数	148
7.5.2	偏航力矩系数	150
7.5.3	滚转力矩系数	150
<b>第8章</b>	<b>动导数工程计算方法</b>	<b>153</b>
8.1	俯仰动导数 $m_z^{\bar{\alpha}}$	153
8.1.1	弹翼—弹身组合体的俯仰动导数	154
8.1.2	弹翼—弹身—尾翼组合体的俯仰动导数	155
8.2	洗流时差导数 $m_z^{\bar{\alpha}}$ 、 $m_z^{\bar{\delta}}$	157
8.3	偏航动导数 $m_y^{\bar{\alpha}}$	160
8.4	滚转动导数 $m_x^{\bar{\alpha}}$	160
8.4.1	$(m_x^{\bar{\alpha}})_B$ 的计算	160
8.4.2	$(m_x^{\bar{\alpha}})_{W(B)}$ 的计算	161
8.4.3	$(m_x^{\bar{\alpha}})_{T(B)}$ 的计算	162
8.5	偏航（俯仰）螺旋导数 $m_y^{\bar{\alpha}}$ ( $m_z^{\bar{\alpha}}$ )	162
8.6	倾斜螺旋导数 $m_x^{\bar{\alpha}}$ 和 $m_x^{\bar{\delta}}$	164
<b>第9章</b>	<b>舵面效率和铰链力矩工程计算方法</b>	<b>168</b>
9.1	舵面效率计算方法	168
9.1.1	后缘升降舵（后缘方向舵）	170
9.1.2	全动升降舵（全动方向舵）	172
9.1.3	副翼	173
9.2	铰链力矩计算方法	173
9.2.1	全动舵	175
9.2.2	后缘舵	175
9.2.3	副翼	176

<b>第 10 章 特殊部件气动特性的工程计算方法</b> .....	177
10.1 非圆截面弹身的气动特性计算方法.....	177
10.1.1 概述.....	177
10.1.2 旋成体大攻角绕流法向力系数和俯仰力矩系数计算方法.....	177
10.1.3 沿纵轴截面积不变的非圆截面弹身气动特性计算方法.....	180
10.1.4 各种横截面形状 $\left(\frac{C_n}{C_{no}}\right)_{\text{SBT}}$ 、 $\left(\frac{C_n}{C_{no}}\right)_{\text{Nt}}$ 的计算公式.....	181
10.2 卷弧翼的气动特性计算方法.....	188
10.2.1 概述.....	188
10.2.2 气动布局与几何特性.....	188
10.2.3 卷弧翼纵向气动特性计算方法.....	193
10.2.4 卷弧翼滚转气动特性计算方法.....	193
10.3 格栅翼的气动特性计算方法.....	195
10.3.1 概述.....	195
10.3.2 亚声速 ( $Ma < Ma_{\text{cr1}}$ ) 格栅翼法向力、轴向力系数计算方法.....	198
10.4 多片翼气动特性计算方法.....	203
10.4.1 概述.....	203
10.4.2 翼片数与气动外形布局的配置关系.....	205
10.4.3 多片翼外形气动特性计算方法.....	206
10.4.4 算例.....	209
<b>第 11 章 弹箭旋转空气动力效应</b> .....	213
11.1 概述.....	213
11.2 弹箭旋转空气动力效应机理.....	214
11.2.1 旋转弹身.....	215
11.2.2 旋转弹翼—弹身—尾翼组合体.....	217
11.3 弹身旋转诱导空气动力特性工程计算方法.....	219
11.3.1 马丁 (Martin) 方法.....	219
11.3.2 凯利—撒克 (Kelly—Thacker) 方法.....	220
11.3.3 沃恩—赖斯 (Vaughn—Reis) 方法.....	220
11.3.4 算例.....	221
11.4 翼面旋转诱导空气动力特性工程计算方法.....	223
11.4.1 法向力与轴向力对马格努斯力矩的贡献.....	223
11.4.2 前缘吸力的贡献.....	225

11.4.3	侧缘吸力的贡献 .....	227
11.5	尾翼旋转诱导空气动力特性工程计算方法 .....	228
11.5.1	法向力与轴向力对马格努斯力矩的贡献 .....	228
11.5.2	前缘吸力的贡献 .....	229
11.5.3	侧缘吸力的贡献 .....	230
11.6	弹翼—弹身—尾翼组合体旋转诱导空气动力特性工程计算方法 .....	231
<b>第 12 章</b>	<b>高超声速飞行器气动特性工程计算方法 .....</b>	<b>232</b>
12.1	引言 .....	232
12.2	高超声速无黏流的激波关系式 .....	232
12.3	牛顿流理论 .....	234
12.4	牛顿压力系数公式的李斯修正式 .....	237
12.5	高超声速飞行器气动特性工程计算 .....	241
12.5.1	气动外形及计算条件 .....	241
12.5.2	头部空气动力系数的计算 .....	242
12.5.3	圆柱后体空气动力系数的计算 .....	249
12.5.4	裙尾空气动力系数的计算 .....	253
12.5.5	弹翼和尾翼空气动力系数的计算 .....	254
12.5.6	组合体纵向气动特性计算 .....	257
12.5.7	纵向静稳定性 .....	263
12.5.8	舵面效率 .....	265
12.5.9	舵面铰链力矩 .....	267
<b>第 13 章</b>	<b>制导兵器气动外形布局设计 .....</b>	<b>268</b>
13.1	概述 .....	268
13.2	气动外形布局选择 .....	269
13.3	稳定性—操纵性协调匹配设计 .....	270
13.4	弹身外形设计 .....	271
13.4.1	弹身外形选择 .....	271
13.4.2	弹身几何参数的确定 .....	272
13.5	弹翼外形设计 .....	275
13.5.1	弹翼的主要几何参数 .....	275
13.5.2	主要几何参数对气动特性的影响 .....	275
13.6	操纵面外形设计 .....	278

13.6.1 全动尾舵/后缘舵	278
13.6.2 鸭舵	278
13.7 减阻措施	279
13.7.1 低亚声速下弹体头部的钝化	279
13.7.2 弹翼前缘钝化	280
13.7.3 头部整形	280
13.7.4 弹身表面的纵向空穴	280
13.7.5 弹身尾部的周向凹环槽	283
13.7.6 尾部吸气	284
参考文献	285

<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	1
1.1 Relationship Between Aerodynamic Configuration Design and Aerodynamic Characteristics Prediction of Guided Weapons .....	1
1.2 Effects of Aerodynamic Characteristics Prediction Accuracy for Guided Weapons on Flight Characteristics .....	2
1.3 Procedures of Guided Weapons' Aerodynamic Configuration Design .....	2
1.4 Aerodynamic Characteristics Requirements of Guided Weapons .....	4
1.5 Aeroprediction Code Introduction of Guided Weapons .....	4
1.6 Coordinate System and Aerodynamic Coefficients .....	5
1.6.1 Coordinate System .....	5
1.6.2 Aerodynamic Force and Moment .....	6
1.6.3 Aerodynamic Coefficients .....	7
 <b>Chapter 2 Aerodynamic Configuration of Guided Weapons</b> .....	 8
2.1 Introduction .....	8
2.2 Aerodynamic Configuration of Guided Weapons .....	8
2.2.1 Wing Layout along Circumference of Body .....	8
2.2.2 Wing Layout along Axis of Body and the Characteristics .....	10
2.3 Typical Aerodynamic Configurations of Guided Weapons .....	16
2.3.1 Typical Aerodynamic Configurations of Anti-Tank Missiles .....	16
2.3.2 Typical Aerodynamic Configurations of Guided Aerial Bombs .....	18
2.3.3 Typical Aerodynamic Configurations of Terminal Guided Projectiles .....	20
2.4 Development Trends of Aerodynamic Configuration of Guided Weapons and Relevant Aerodynamic Techniques .....	25



<b>Chapter 3 Component Buildup of Aerodynamics for Guided Weapons</b> .....	27
3.1 Component Buildup of Aerodynamics .....	27
3.2 Linearized Flow Theory .....	28
3.2.1 Linearization of Flow Governing Equations .....	28
3.2.2 Boundary Conditions .....	31
3.2.3 Expression of Pressure Coefficient .....	32
3.3 Results of Slender Body Theory and Linearized Flow Theory .....	33
3.3.1 Results of Slender Body Theory .....	33
3.3.2 Results of Linearized Flow Theory .....	35
3.4 Compressibility Correction .....	38
3.4.1 Gothert Rule .....	39
3.4.2 Prandtl-Glauert Rule .....	40
3.5 Interference Effects .....	41
3.5.1 Wing-Body Interference .....	42
3.5.2 Wing-Tail Interference .....	46
<b>Chapter 4 Engineering Calculation Methods of Normal Force and Axial Force for Body of Revolution</b> .....	52
4.1 Geometric Characteristics and Flow Pattern around Body of Revolution .....	52
4.1.1 Geometric Characteristics .....	52
4.1.2 Flow Pattern .....	53
4.2 Engineering Calculation Method of Axial Force Coefficient for Body of Revolution at Zero Angle of Attack .....	54
4.2.1 Friction Drag Coefficient .....	55
4.2.2 Nose Pressure Axial Force Coefficient .....	57
4.2.3 Afterbody Pressure Axial Force Coefficient .....	61
4.2.4 Base Pressure Axial Force Coefficient .....	62
4.2.5 Additional Axial Force Coefficient of Circular Lug Boss $\Delta C_A$ .....	63
4.3 Effects of Angle of Attack on Axial Force Coefficient .....	64
4.4 Examples .....	65
4.5 Engineering Calculation Methods of Normal Force Coefficient for Body of Revolution .....	66
4.5.1 Linear Normal Force Coefficient $(C_{NB})_L$ .....	66
4.5.2 Nonlinear Normal Force Coefficient $(C_{NB})_{NL}$ .....	73