

战术导弹空气动力学

(下)

预估方法

Tactical Missile Aerodynamics:
Prediction Methodology

[美] Michael R. Mendenhall 主编

宇航出版社

战术导弹空气动力学

(下)

预估方法

Tactical Missile Aerodynamics:
Prediction Methodology

[美] Michael R. Mendenhall 主编

洪金森 杨其德 毛国良 等译校
徐文灿 李 潜 黄昌海

宇航出版社

Michael J. Hensch, Michael R. Mendenhall; Tactical Missile Aerodynamics
Authorized translation from English language edition published by the
American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.

Copyright ©1992 by the American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.

All rights reserved.

图书在版编目(CIP)数据

战术导弹空气动力学(下)预估方法 / (美)门登霍尔(Michael R. Mendenhall)主编; 洪金森等译. - 北京: 宇航出版社, 1999. 12

书名原文 Tactical Missile Aerodynamics; Prediction Methodology

ISBN 7-80144-341-1

I. 战… II. ①门…②洪… III. 战术导弹-空气动力学 N. TJ761.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 72627 号

战术导弹空气动力学

(下)

[美]Michael R. Mendenhall 主编

洪金森 杨其德 毛国良 等译校

徐文灿 李 潜 黄昌有

责任编辑:邱光纯

宇航出版社出版

北京市和平里滨河路 1 号(100013)

发行部地址:北京阜成路 8 号(100830)

北京科技印刷厂印刷

1999 年 12 月第 1 版 1999 年 12 月第 1 次印刷

开本:850×1168 1/32 印张:24.125 字数:671 千字

印数:1~1000 册 定价(上下册):240.00 元

序 言

空气动力学是导弹总体布局、各部件外形设计的理论基础,也是导弹系统设计中选择构形作折衷研究和优化设计的依据。就书名《战术导弹空气动力学》而言,这是以实际的战术导弹设计为目标的一本空气动力学专著,是构成导弹技术发展的一个基本要素。

自 60 年代初《导弹空气动力学》(J. N. Nielsen 著)问世以来,空气动力学在实验、理论和计算方面有了不少重大进展,Nielsen 博士及其合作者,于 1986 年将该领域的理论知识与导弹工程实践结合,出版了《战术导弹空气动力学》(即航天航空进展丛书第 104 卷)。时隔不到六年,由于技术迅速发展,又补充了许多新的内容,遂于 1992 年在原来的基础上拓宽到 27 章分两卷集发行了现在的版本。书中各章是有关作者在该领域多年研究取得的优异成果和丰富经验的总结,作为知识的全面更新是十分宝贵的。

从本书的内容编排上就可以看到,在“基本论题”中,针对导弹特点,概括地论述了空气动力学与导弹设计中部分子系统的关系及一些专门研究课题。由此看来,空气动力学作为系统设计中子系统的一部分是不难理解的;同时也可看到,气动力的作用在导弹系统中又是基本的、广泛的、首要的。对于气动力本身来说,在“预估方法”中,根据导弹气动构形,系统地介绍了工程方法、解析方法和数值方法,具有较好的完整性。总之,在导弹设计中遇到的气动外形、布局及新的构形等问题基本上都涉及到了。

战术导弹设计五花八门,目前约有 800 余种型号。导弹空气动力学随着新的设计思想产生还会不断发展;同时伴随着其他学科的进步也要互相渗透。自动控制系统设计与非定常大攻角气动力的结合;计算空气动力学和飞行力学计算相关,都是高机动性导弹面临的问题。

题。如何将非对称涡脱落的动力学效应作为控制装置,导弹设计对静、动态气动力预估精度的需求、尺度效应和其他特有的气动力/热等都是有待进一步解决的课题。因此,正确地建立物理概念和设计观念是导弹空气动力设计者所必须的。该书内容侧重于大攻角非线性流动现象和非常规气动构形的描述,并指出了进一步研究方向。这比较全面地了解新型导弹的设计,掌握一些基本的分析和设计方法是有益的。

我相信本书将会成为这一领域的工程师和研究人员的有用参考书、工具书。对他们在战术导弹空气动力学实验、理论、计算和设计水平方面的提高是有重要作用的。

很多同志参加了本书的翻译工作。他们付出了辛勤的劳动使我们能早日看到译本的出版,特别要感谢洪金森同志,为全书统稿作出的不懈努力。在感谢他们之余,还希望读者能对本书积极提出意见,以便再版时修正。

庄逢甘

1998年10月

献 辞

在《战术导弹空气动力学》第一版得到普遍的认同之后,AIAA提议,由 Jack N. Nielsen 开始制订拓宽和修订原版计划。在健康迫使他不能继续作为两卷集新版本的主编时,各卷的合作者同意在 Nielsen 博士的指导和协助下完成编辑和出版任务。不幸,Jack 未能等到计划实现那天,于 1990 年 11 月 1 日便与世长辞了。

《战术导弹空气动力学》新版的两位合作者很幸运跟 Jack 一起工作多年,其间,Jack 奉献了很多先进的导弹空气动力学知识。他在该领域是一位当之无愧的先驱者,他的逝世标志着这个时期的终了,他将受到他的许多朋友和同事的怀念。

正是出于如此的尊敬和爱戴,我们谨以《战术导弹空气动力学》两卷集版本作为对 Jack N. Nielsen 的纪念。

Michael J. Hemsch

Michael R. Mendenhall

1991 年 5 月

第二版前言

自从 J. N. Nielsen 那本高水平的论述战术导弹空气动力学专著(《导弹空气动力学》1960 年出版,1988 年再版)问世以来,已有 30 多年了。《战术导弹空气动力学》第一版(1986 年出版),即航天航空进展丛书第 104 卷,奋力对过去那段漫长岁月里出现的实验、理论和计算方面的重大进展作了全面的修改。其目的就是编辑最新技术成果,有助于战术导弹部门的空气动力学者、设计师和研究人员的的工作。虽然第一版获得了我们意想不到的成功,但是,不久就发现实验和计算技术有许多新的发展,因受一卷集篇幅限制或因这些技术迅速进步的缘故而被遗漏了。这就推动了该《战术导弹空气动力学》以两卷集新版尽快发行。

第 141 卷,“基本论题”,包括第一版前八章中的三章修订本,并新添了导弹发展史、系统设计、雷达探测、非定常流动及外挂物携带与分离论题。第 142 卷,“预估方法”,包括第一版九章中的七章修订本,并新添了阻力预估,部件组拆方法、Euler 和 N-S 解算器几章。

为了使所包括的每一论题论述详尽,除邀请以前的作者拓宽和修改他们原来的章节外,还聘请了一些国际知名学者贡献出新篇章。如上一版要求那样,所有作者应特别注意非线性流动现象和非常规气动构形,并且使他们撰写的每一篇著作尽可能是基础性的、有档案可依的和起指导作用的。其目的就是使这次新版本在未来的若干年对导弹空气动力学者是一部有价值的知识资源。

我们对所有为《战术导弹空气动力学》两卷集做了奉献的作者——他们为此书付出了宝贵的时间、给予了真诚的合作并做了杰出的工作——表示衷心的感谢。他们对待工作孜孜不倦和一丝不苟的

精神是值得称赞的。我们也要感谢许多评论家,他们为确保本书尽善尽美花了很多精力。

Michael J. Hensch

Michael R. Mendenhall

1991. 5

第一版前言

自从上次出版的那本概括而深入的论述战术导弹空气动力学(《导弹空气动力学》J. N. Nielsen 著 1960 年)专著以来,已经过去 25 个年头了。在这段时期里,实验、理论和计算方面都有了不少重大进展,同时研究了一些新的气动构形。然而,这些成果分布在各种档案期刊、会议文集以及政府和工业部门报告的文献中。这样一来,对于整个领域进展的全面了解,仅限于那些定期地在正式学术会议和研讨会上交流信息和有时间跟踪文献进展的一小部分研究人员。而可以直接得益于最新进展的众多的空气动力学工作者和设计师们,由于各种原因,至少是没有时间跟踪文献的进展,无缘得到信息交换的机会。然而,在拓宽研究领域时,这部分人尤其需要新的工具,并要求能熟练地使用。

《战术导弹空气动力学》致力于满足正在努力发展未来导弹系统的空气动力学者和设计师们在该领域知识的全面更新的需要。当然,我们希望这份资料对研究团体的空气动力学者也是有意义的。

为了覆盖的课题适宜,我们邀请了国际知名专家贡献他们专门研究领域的篇章。由于提高导弹性能的需要,要求作者特别注意非线性流动现象和非常规气动构形。因为我们希望本书具有永存的价值,因而要求作者撰写的每篇著作尽可能具有基础性、档案性和指导性。

《战术导弹空气动力学》分为两部分。第一部分是一些精辟的评论,把 Nielsen 1960 年教课书中没包含的而又最重要的思想介绍给读者。第二部分全面地回顾了预估方法,从半经验工程方法到偏微分方程有限差分解算器。由于篇幅限制,第二部分仅包括较成熟的广泛使用的方法。读者肯定会注意到我们除羽流计算外,没有把 N-S 解

算器包括进去。我们相信这类解算器直接用于完整的战术导弹气动构形设计,还有相当的时间(N-S 解算器用于弹丸设计的程序似是近期的事)。

第一章,自动驾驶仪设计的空气动力学依据,帮助研究和发展空气动力学者了解他们的工作应如何符合导弹系统总体设计要求。第二章是流动显示,有两个目的:首先向读者介绍大攻角飞行发生的最突出的流动现象;其次是评述在风洞和水洞试验时显示那些流动现象最有用的技术。

第三、四章分别充分地论述小展弦比弹翼空气动力学和进气道。为了发展最佳的高性能气动构形和吸气式导弹,了解这两个课题包含的流动现象是十分重要的。

第五、六章讨论非常规外形。第五章概括地介绍非常规外形。因为这类外形解析工作做得很少——当然,乘波器除外——作者着重让读者注意到有相当大的数据库可用。第六章对乘波器概念作全面的讨论,包括用以导出迄今还在研究的几种设计方法。空气动力学者要清醒地认识到:具备所需手段以充分利用非常规外形所允许的设计多样性前,必须完成大量的研究工作。

第七、八章为设计者广泛地论述特别重要的流动现象:非对称旋涡流动和后掠激波/边界层干扰。这两个问题都还没有完全解决;预估方法的可用性似乎将来才会完善。然而,这两章的作者充分地描述了所涉及的流动现象,并给出了现有实验数据的相关式。

第九章~第十一章从阻力预估、传热及稳定性和控制的半经验工程方法开始第二部分。第九章叙述概念性设计阶段大多数气动力计算程序中使用的组合法(导弹阻力现象更详细的描述,可参见Nielsen 著的教科书第九章)。第十章描述目前估算气动热所用的技术。第十一章阐述估算常规导弹稳定性和控制的所谓“部件组拆”工程方法(包括方法推广到非线性流动区域)。

第十二章和第十三章讨论基于线性化理论方法的非线性推广。第十二章着重对有攻角光滑弹体后掠涡迹的计算。第十三章提供前、后缘涡迹和非线性可压缩性对导弹力和力矩影响的计算方法。

第十四章和第十五章描述的 N-S 方程的无粘子式:全位势方程和 Euler 方程空间推进有限差分解算器。两章中还讨论了非线性涡迹的影响。

本书以两章计算粘流的方法结尾。第十六章深入地讨论计算三维边界层技术发展水平。同样,第十七章提出排气-羽流计算的科学发展动态。

我们衷心地感谢作者为《战术导弹空气动力学》贡献了宝贵的时间、杰出的工作和真诚的合作。对 NASA Langley 研究中心跨声速空气动力学部高雷诺数气动力分部在本卷准备阶段给予的支持表示感谢。对推荐我们承担 AIAA 这本书工作的 Allen E. Fuhs 致谢。

Michael J. Hemsch

Jack N. Nielsen

1986.3

译者的话

本书根据 R. A. Seebass 主编的“Progress in Astronautics and Aeronautics”丛书中的第 141 卷《Tactical Missile Aerodynamics: General Topics》(M. J. Hemsch 主编)和第 142 卷《Tactical Missile Aerodynamics: Prediction Methodology》(M. R. Mendenhall 主编)1992 年第二版翻译。

原书是由众多高级专家组成的一个作者群体共同创作的结晶,着重总结了过去 30 多年导弹空气动力学领域所取得的最新科研成果和经验;提供了许多技术发展的新趋向、新思想、新概念,是一部广泛涉及有关新颖技术和理论与工程实践完善结合的权威专著。其内容系统而章节独立;题材广泛而针对性强。既便于了解该领域的全貌、扩大知识,又能结合实际、独立使用。作者特别注意到非线性流动现象和非常规气动构形的发展。

本书从 1986 年发行的第一版到 1992 年修订的第二版相隔仅五六年。为了让读者了解原书撰写和修订过程,我们也译出了第一版(即丛书第 104 卷)的前言。

众所周知,导弹技术的重大进展是在第二次世界大战期间开始的。目前,随着导弹向小型、机动、隐形、快速反应和命中率高的方向发展,给空气动力学带来了许多新的课题。高技术现代化战争需要导弹,先进导弹需要空气动力学。这个认识,从本书中充分地得到体现。

全书分上、下两册出版。在翻译和出版过程中,王政礼、陈正才、李安吾、樊玉辰、朱广生、苗瑞生和黄育群等同志给予了巨大的支持和鼓励,使本书得以顺利进行,在此我们深表谢意。各章的译者为:第 1 章陈光辉、张润贵,第 2 章黄昌有、徐文灿,第 3 章方松柏,第 4 章

韩茹宗,第 5、6 章洪金森,第 7 章黄昌有、张龙,第 8 章黄志澄,第 9 章黄华轩,第 10 章洪金森,第 11 章李潜,第 12 章施岳定,第 13 章杨其德,第 14 章刘仙铭、黄华轩,第 15 章杨其德,第 16 章毛国良、洪金森,第 17 章黄昌有,第 18 章杨其德,第 19、20 章黄昌有,第 21 章倪亚琴,第 22 章黄昌有,第 23 章纪楚群,第 24 章张伯利,第 25 章邓宁丰,第 26 章朱国林,第 27 章柳恩铭、黄昌有。最后由洪金森统稿。北京空气动力研究所对本书出版给予了许多支持和帮助,在校对过程中,还有不少同志参加讨论,付出了辛勤劳动。在此我们一并致谢。

书中有些名词和术语未能完全统一,如 body、airframe、lowprofile 和 robust 等,只是根据其所在章节,按习惯用法和意思予以命名,表达不一定准确。再者,原书采用的单位不一致,为统一起见,通篇换算成国际单位制。正如原书陈述的那样,书中数据和资料仅供参考。

本书是由多人共同翻译的,由于知识及时间所限,错误和不足之处在所难免,敬请不吝指正。

译者

1999 年 4 月

目 录

第 15 章 战术导弹的阻力	(1)
符号	(1)
15.1 引言	(2)
15.2 弹身阻力	(6)
15.2.1 摩擦阻力	(7)
15.2.2 亚声速前弹身压差阻力	(8)
15.2.3 跨声速前弹身压差阻力	(9)
15.2.4 超声速前弹身压差阻力	(13)
15.2.5 底部阻力	(15)
15.3 翼片阻力	(18)
15.3.1 摩擦阻力	(19)
15.3.2 亚声速压差阻力	(19)
15.3.3 跨声速压差阻力	(20)
15.3.4 超声速压差阻力	(21)
15.3.5 钝前缘和钝后缘阻力	(23)
15.3.6 有攻角时的阻力	(24)
15.4 进气道阻力	(27)
15.4.1 数据库	(28)
15.4.2 其它程序	(30)
第 16 章 轴对称弹体阻力预估方法	(35)
符号	(35)
16.1 引言	(36)
16.2 轴对称弹体波阻	(36)
16.2.1 跨/超声速面积律	(39)
16.2.2 二阶超声速流动理论	(44)
16.2.3 全位势计算跨声速前体阻力	(47)