

飞机气动布局设计

方宝瑞 主编

航空工业出版社

航空工业出版社

PDG

飞机气动布局设计

方宝瑞' 主编

方宝瑞 李 天 余松涛
乔志德 赵国强 张仲寅 编著

航空工业出版社

1997

内 容 提 要

本书对飞机气动布局设计进行全面介绍,内容包括:(1)飞机部件和气动外形的设计,如机翼、尾翼、机身、翼型、增升装置、外挂布局等;(2)飞机布局形式的论述和比较,如有尾布局、无尾布局、鸭式布局、变后掠机翼、前掠机翼、三翼面布局等;(3)综合性的气动设计问题,如旋涡空气动力的应用、大迎角气动设计、进气道和喷管与机体的综合设计、隐身气动设计等;(4)专题讨论,如民用运输机的气动布局、计算流体力学在气动布局设计中的应用等。

本书的特点:内容全面,结合实际,材料新颖,是我国第一部全面论述和指导飞机气动布局设计的专著。本书对飞机设计人员,特别是从事飞机总体设计和气动设计的专业人员,以及航空院校的师生是一本重要参考书;对空军、海航、陆航、民航的有关人员也有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

飞机气动布局设计/方宝瑞主编. —北京:航空工业出版社,
1997. 6

ISBN 7-80046-937-9

I. 飞… II. 方… III. 飞机-气动构形-设计 IV. V 221

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 11092 号

责任编辑:邵 箭 丁文慧 技术编辑:邢福生 封面设计:霍振源

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

航空工业出版社印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

1997 年 6 月第 1 版

1997 年 6 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 84.75 字数: 2164 千字

印数: 1—1500

定价 150.00 元

序

气动布局设计是飞机设计中非常重要的一个环节，它包括气动外形的设计，飞机布局形式的选择，主要气动参数的确定，以及为满足飞机设计要求而需要采取的气动措施等。可以说，它是飞机空气动力的总体设计。

在我刚开始从事飞机气动布局设计工作时，就感到非常需要一本专门介绍和指导飞机气动布局设计的书籍。四十年过去了，航空技术有了飞跃的发展，飞机气动布局设计涉及的问题更为广泛和深入，但仍然没有这样的一本专著，虽然对它的需要更为迫切。

目前，内容涉及飞机气动布局设计的书籍有两类。一类是飞机设计方面的书籍，但气动布局设计只是其内容的一小部分，而且阐述简略和概念化，离具体的气动布局设计相距甚远。另一类是空气动力学方面的书籍，它又可以分为两种。一种是理论空气动力学，虽然有的也讨论飞机气动布局设计的某些问题，但主要从理论角度进行分析，不能直接应用于工程设计。另一种是“工程”空气动力学方面的书籍，研究的主要是气动力“分析”方法，即对一个气动布局已定的飞机，如何计算性能、分析稳定性和操纵性等。而不是研究如何去“设计”气动布局。

总之，现在还没有一本全面论述和结合实际的指导飞机气动布局设计的专著，本书就是为填补这种空白而编写的。为使本书有较强的实用性，在编写中力求使本书具有以下特色：

- 内容全面——对飞机气动布局设计的各方面问题有全面的论述和分析。
- 结合实际——主要从飞机方案设计和满足飞机设计要求的角度研究气动布局设计的问题，特别注意对有代表性飞机的设计进行分析。
- 材料新颖——本书包括气动布局研究和设计的主要成果和最新进展，以及航空技术的发展对气动布局提出的新课题，如旋涡空气动力的应用、矢量推力的应用、过失速机动，以及隐身气动设计等。
- 以风洞试验为基础——到目前为止，气动布局设计和研究仍然主要依靠风洞试验，特别是高机动性战斗机。本书插图近 2400 幅，基本为风洞试验曲线，可直接作为设计参考。

由于气动布局设计的内容广泛，需要解决和澄清的问题又很多，气动布局研究已不是少数人、一个单位、甚至一个国家所能完全包揽的。气动布局研究的成果散见于各种研究报告，一篇报告只研究一个很小的局部问题，这些报告浩如烟海，缺乏系统性。本书编著者在对这些研究成果（其中也包括本书编著者自己的研究成果）进行全面研究和分析的基础上，结合自己在气动布局设计和研究方面的经验，将气动布局设计的研究成果和经验系统化，找出规律，提出指导性意见，写成此书。因此，本书是飞机气动布局设计的一本带有总结性的著作。在一定的程度上，本书也是气动布局数据库，因为它概括了到本书编写时为止公开发表的主要研究成果。对于从事气动布局研究和设计的人员，本书不但提供全面和深入了解气动布局设计的一条捷径，而且起着类似设计手册的指导作用，可以减少研究和设计的盲目性，而能在一个更高的起点上前进。

本书主要讨论高速飞机的气动布局设计，重点是跨音速和超音速战斗机的气动布局，因为它涉及面更广，问题最为复杂。本书的内容和各章的划分可以分为以下几种情况：

(1) 飞机部件和单项气动布局设计问题，如机翼，尾翼，机身，翼型，增升装置，外挂布局等。

(2) 综合性的气动布局设计问题，如旋涡空气动力的应用，大迎角气动设计，进气道和喷管与机体的综合设计，隐身气动设计，垂直和短距起落飞机气动布局设计等。

(3) 飞机布局形式的论述和比较，如有尾布局，无尾布局，鸭式布局，变后掠机翼，前掠机翼，三翼面布局等。

(4) 为了弥补有关亚音速运输机内容的不足，另设一章专门论述。计算流体动力学(CFD)在气动布局设计中起着日益重要的作用，本书最后一章专门对此讨论和展望。

(5) 飞机气动布局设计是一项综合性很强的工作，许多问题是相互关联和相互矛盾的。各章的内容很难截然划清，往往互有交叉。因此，应特别注意要从全书内容的总体理解各章的内容。另外，气动布局设计不是单独进行的，而是与飞机方案设计结合在一起，本书的第一章专门介绍气动布局设计的程序以及与飞机方案设计的关系。

本书的主要对象是从事飞机空气动力的研究和设计人员，特别是气动布局设计师。对于飞机设计的其他专业人员和航空高等学校的师生也是一本有价值的参考书。

本书各章的编写人员如下：方宝瑞编写第1、2、3、4、9、10、11、12、13、14、15、16、18章；余松涛编写第5章；李天编写第6、7章；乔志德编写第8章；赵国强编写第17章（得到江永泉和马文彪的协助）；张仲寅编写第19章（得到朱国林和华俊的协助）。全书由方宝瑞统稿和总审。邵箭负责主要编辑工作；丁文慧负责编辑、编务和资料搜集工作。

本书是我和几位志同道合同志的“自发”产物，没有外界的支持本书是不可能出版的。在此，谨向热心支持本书编写和出版的所有个人和单位致以诚挚的谢意，希望本书没有辜负他们的厚望。

由于本书内容十分广泛，难免出现不妥甚至错误之处，欢迎批评和指正。

方宝瑞

北京 1996 年 12 月

目 录

第 1 章 绪论	方宝瑞
1.1 飞机设计	(1)
1.1.1 飞机设计的内容和阶段	(1)
1.1.2 设计要求	(3)
1.1.3 概念设计	(6)
1.1.4 初步设计	(7)
1.1.4.1 方案设计	(7)
1.1.4.2 打样设计	(9)
1.1.5 详细设计	(11)
1.1.6 原型机制造	(12)
1.1.7 试飞和成批生产	(12)
1.1.8 使用和改进改型	(12)
1.2 飞机气动布局设计	(13)
1.2.1 气动布局设计的内容	(13)
1.2.1.1 气动布局形式	(13)
1.2.1.2 机翼设计	(13)
1.2.1.3 机身设计	(15)
1.2.1.4 稳定面设计	(15)
1.2.1.5 操纵面设计	(15)
1.2.1.6 进气道与机体的综合设计	(16)
1.2.1.7 喷管与后体的综合设计	(17)
1.2.1.8 外挂物布局	(17)
1.2.1.9 隐身气动外形设计	(17)
1.2.2 提高飞机性能的气动布局措施	(17)
1.2.2.1 减少摩擦阻力	(17)
1.2.2.2 减少波阻	(18)
1.2.2.3 减少诱导阻力	(18)
1.2.2.4 减少配平阻力	(18)
1.2.2.5 增加升力线效率	(18)
1.2.2.6 提高最大升力系数	(18)
1.2.2.7 提高升阻比	(18)
1.2.2.8 改善大迎角气动特性	(19)
1.2.2.9 改善起飞着陆性能	(19)
1.2.2.10 隐身性对气动外形要求	(19)

1.2.2.11 减轻结构重量·····	(19)
1.2.3 气动布局设计与气动布局设计师·····	(19)
1.3 本书的特点·····	(22)
1.4 内容安排·····	(23)
参考文献·····	(24)
第2章 机翼的气动力设计 ·····	方宝瑞
2.0 符号表·····	(26)
2.1 引言·····	(29)
2.2 机翼后掠角影响·····	(29)
2.2.1 展弦比 2.0 的机翼·····	(29)
2.2.2 展弦比 3.0 的机翼·····	(31)
2.2.3 展弦比 4.0 的机翼·····	(35)
2.3 展弦比影响·····	(37)
2.3.1 平直机翼·····	(37)
2.3.2 后掠机翼·····	(38)
2.3.3 三角机翼·····	(39)
2.4 尖削比影响·····	(43)
2.4.1 平直机翼·····	(43)
2.4.2 后掠机翼·····	(44)
2.5 翼型选择的一些问题·····	(47)
2.5.1 尖头和圆头翼型·····	(47)
2.5.2 翼型的相对厚度和弯度·····	(50)
2.5.3 战斗机翼型选择的分析·····	(52)
2.5.4 超临界翼型·····	(55)
2.5.4.1 跨音速飞机技术计划·····	(55)
2.5.4.2 超临界机动战斗机方案·····	(58)
2.6 后掠机翼设计的一些问题·····	(60)
2.6.1 后掠机翼的激波和前缘分离涡·····	(61)
2.6.2 后掠机翼的“上仰”·····	(63)
2.6.2.1 翼刀·····	(64)
2.6.2.2 前缘缝翼·····	(66)
2.6.2.3 克鲁格襟翼·····	(68)
2.6.2.4 前缘下垂(前缘襟翼)·····	(68)
2.6.2.5 前缘锯齿·····	(69)
2.6.3 双后掠机翼·····	(70)
2.6.3.1 展弦比和内外翼后掠角的影响·····	(70)
2.6.3.2 外翼后掠角的影响·····	(72)
2.6.3.3 双后掠机翼与其他机翼形式的比较·····	(74)
2.6.4 曲线前缘机翼·····	(78)
2.7 三角机翼设计的一些问题·····	(80)

2.7.1	前缘锥形扭转·····	(81)
2.7.2	前缘分离旋涡·····	(84)
2.7.3	三角机翼超音速设计的某些问题·····	(87)
2.7.3.1	前缘吸力·····	(87)
2.7.3.2	翼型最大厚度位置·····	(87)
2.7.3.3	升力线斜率·····	(87)
2.7.3.4	诱导阻力·····	(88)
2.7.3.5	上下翼面的升力分配·····	(88)
2.8	超音速巡航和机动的机翼设计的一些问题·····	(90)
2.8.1	超音速运输机·····	(90)
2.8.2	超音速巡航战斗机·····	(91)
2.8.3	提高机翼超音速效率的措施·····	(93)
2.8.3.1	前缘吸力和机翼扭转设计·····	(93)
2.8.3.2	超临界横流·····	(95)
2.8.3.3	前缘涡襟翼·····	(96)
2.9	一些战斗机机翼设计的分析·····	(97)
2.9.1	F-104 战斗机·····	(97)
2.9.2	F-4 战斗机·····	(98)
2.9.3	F-15 战斗机·····	(101)
2.9.4	F-16 战斗机·····	(105)
2.9.5	YF-17/F-18 战斗机·····	(106)
2.9.6	米格 21 和苏 7 战斗机·····	(110)
2.10	计算流体动力学在机翼设计中的应用·····	(113)
2.10.1	高机动技术验证机(HIMAT)·····	(113)
2.10.1.1	设计要求·····	(113)
2.10.1.2	CFD 设计程序和方法·····	(114)
2.10.1.3	气动力设计·····	(116)
2.10.1.4	机翼的气动弹性剪裁设计·····	(118)
2.10.2	“狮”(LAVI)战斗机·····	(120)
2.10.2.1	机翼设计·····	(120)
2.10.2.2	前缘襟翼优化设计·····	(121)
2.10.2.3	鸭面优化设计·····	(121)
2.10.2.4	风洞试验验证·····	(122)
2.10.3	机翼弯扭设计升力系数研究·····	(124)
2.10.4	F-22 战斗机·····	(127)
2.10.4.1	面元法的应用·····	(128)
2.10.4.2	欧拉/N-S 方法的应用·····	(129)
2.11	结束语·····	(130)
	参考文献·····	(132)
第 3 章 旋涡空气动力的应用·····		方宝瑞

3.0	符号表	(137)
3.1	引言	(141)
3.2	机翼边条	(146)
3.2.1	边条外形和大小的影响	(146)
3.2.1.1	YF-17 和 YF-16 的经验	(146)
3.2.1.2	边条几何外形影响	(151)
3.2.2	边条外形设计	(154)
3.2.2.1	设计方法	(154)
3.2.2.2	边条外形对边条涡破裂位置的影响	(156)
3.2.2.3	边条外形对边条效率系数的影响	(162)
3.2.2.4	结束语	(168)
3.2.3	边条与机翼的干扰及边条与鸭面的比较	(169)
3.2.3.1	机翼平面形状对边条的影响	(169)
3.2.3.2	边条的干扰作用	(172)
3.2.3.3	机翼弯曲扭对边条的影响	(175)
3.2.3.4	边条与鸭面的比较	(176)
3.2.4	M 数影响	(178)
3.2.5	边条机翼的压力分布和流态	(181)
3.2.5.1	压力分布	(181)
3.2.5.2	流态	(183)
3.2.6	边条对横侧气动特性的影响	(186)
3.2.6.1	边条大小影响	(186)
3.2.6.2	机翼后掠角影响	(189)
3.2.6.3	其他	(191)
3.2.7	铰接边条	(193)
3.2.7.1	铰接边条的概念	(193)
3.2.7.2	边条对称下偏	(194)
3.2.7.3	边条非对称下偏	(195)
3.3	前缘涡襟翼	(197)
3.3.1	机翼前缘后掠角 $\Delta_0 \geq 70^\circ$	(197)
3.3.1.1	前缘涡襟翼的形状、偏度和其他参数的影响	(197)
3.3.1.2	分段式涡襟翼	(202)
3.3.1.3	双折式涡襟翼	(204)
3.3.2	机翼前缘后掠角 $\Delta_0 < 70^\circ$	(207)
3.3.2.1	前缘涡襟翼的形状、偏度和其他参数的影响 ($\Delta_0 = 60^\circ$)	(207)
3.3.2.2	涡襟翼在 F-106 战斗机上的验证	(212)
3.3.2.3	中等后掠机翼	(215)
3.3.3	双后掠机翼	(225)
3.3.4	涡襟翼的分离再附着线	(231)
3.3.5	涡襟翼与机翼边条的比较	(235)

3.4	升力面的吹气旋涡控制	(237)
3.4.1	机翼展向吹气	(237)
3.4.1.1	44°后掠机翼	(237)
3.4.1.2	机翼平面形状的影响	(239)
3.4.1.3	三角机翼和平面直机翼战斗机方案	(243)
3.4.2	后缘襟翼展向吹气	(247)
3.4.3	边条和鸭面展向吹气	(250)
3.4.3.1	边条展向吹气	(250)
3.4.3.2	鸭面展向吹气	(252)
3.4.4	机翼展向吹气与边条、前后缘襟翼的比较和综合应用	(253)
3.4.4.1	边条	(253)
3.4.4.2	前缘襟翼	(255)
3.4.4.3	后缘襟翼	(256)
3.5	机头旋涡控制	(257)
3.5.1	机头边条	(258)
3.5.1.1	机头边条的作用	(258)
3.5.1.2	机头边条长和宽度的影响	(261)
3.5.1.3	三角形机头边条	(263)
3.5.1.4	可控机头边条	(266)
3.5.2	机头吹气	(271)
3.5.3	螺旋线	(274)
	参考文献	(276)
第4章	鸭式布局	方宝瑞
4.0	符号表	(280)
4.1	引言	(282)
4.2	远距鸭面	(283)
4.2.1	纵向气动特性	(283)
4.2.1.1	机翼平面形状的影响	(283)
4.2.1.2	鸭面平面形状的影响	(285)
4.2.1.3	鸭面大小的影响	(286)
4.2.1.4	增加鸭式布局抬头力矩的措施	(287)
4.2.1.5	鸭面操纵与机翼后缘操纵的组合	(288)
4.2.2	横侧气动特性	(288)
4.2.2.1	垂尾位置和大小影响	(288)
4.2.2.2	机翼平面形状的影响	(291)
4.2.2.3	机翼上下位置的影响	(291)
4.2.2.4	鸭面平面形状的影响	(291)
4.2.2.5	机头边条影响	(291)
4.2.3	鸭式与其他布局形式的比较	(293)
4.2.3.1	鸭式布局与正常布局的比较	(293)

4.2.3.2	鸭式布局与无尾布局的比较	(293)
4.3	近距鸭面	(294)
4.3.1	小展弦比机翼	(295)
4.3.1.1	鸭面上下位置和机翼平面形状的影响	(295)
4.3.1.2	鸭面后掠角和上下反角的影响	(308)
4.3.1.3	鸭面边条的影响	(309)
4.3.1.4	鸭面和鸭面襟翼的操纵效率	(309)
4.3.1.5	横侧特性	(312)
4.3.1.6	鸭面和机翼的旋涡流态	(325)
4.3.2	中等展弦比机翼	(329)
4.3.2.1	机翼平面形状的影响	(329)
4.3.2.2	鸭面平面形状的影响	(331)
4.3.2.3	鸭面位置的影响	(334)
4.3.2.4	鸭面大小的影响	(337)
4.3.2.5	鸭面偏度的影响	(338)
4.3.3	抖振特性	(339)
4.3.3.1	小展弦比机翼鸭式布局	(339)
4.3.3.2	中等展弦比机翼鸭式布局	(339)
4.3.4	鸭式与其他布局形式的比较	(340)
4.3.4.1	中等展弦比机翼	(340)
4.3.4.2	小展弦比机翼	(342)
4.3.4.3	通用研究模型	(343)
4.3.4.4	变后掠先进战斗机方案	(350)
4.3.4.5	跨音速高机动性战斗机方案	(353)
4.3.4.6	结束语	(356)
参考文献		(358)
第5章 变后掠机翼		余松涛
5.0	符号表	(361)
5.1	引言	(363)
5.1.1	简要发展历史	(363)
5.1.2	变后掠机翼的基本气动力特性	(365)
5.2	变后掠机翼转轴位置的选择	(367)
5.3	变后掠机翼的翼套及扇翼	(371)
5.3.1	变后掠机翼的翼套	(371)
5.3.2	翼套扇翼	(374)
5.4	变后掠机翼的前缘襟翼、缝翼和后缘襟翼	(375)
5.4.1	前缘襟翼和前缘缝翼	(375)
5.4.2	后缘襟翼	(376)
5.5	变后掠飞机的横向操纵	(377)
5.5.1	扰流板	(377)

5.5.2	差动平尾与扰流板组合	(379)
5.6	变后掠规律	(381)
5.7	变后掠过程中飞机的动态响应	(384)
5.8	典型变后掠飞机 F-14 的分析	(387)
5.8.1	F-14 飞机概况	(387)
5.8.2	F-14 飞机的气动布局	(387)
5.9	可变斜机翼	(391)
参考文献		(393)
第 6 章 增升装置		李 天
6.0	符号表	(395)
6.1	引言	(397)
6.2	无限翼展机翼的增升装置	(398)
6.2.1	分段机翼的流动特性	(398)
6.2.2	带后缘襟翼的翼型空气动力特性	(400)
6.2.3	在 NACA 翼型上配置最佳的双缝襟翼的风洞试验结果	(403)
6.2.4	后缘襟翼几何参数对翼型气动特性的影响	(405)
6.3	有限翼展机翼的增升装置	(411)
6.3.1	机翼后掠角对增升装置效率的影响	(412)
6.3.2	机翼展弦比对增升效率的影响	(412)
6.3.3	机翼平面形状对增升装置效率的影响	(413)
6.4	后缘襟翼的设计	(414)
6.4.1	小展弦比机翼的后缘襟翼几何参数的影响	(416)
6.4.2	增升装置引起的机翼升力系数增量的估算方法	(418)
6.4.3	中等展弦比后掠机翼的各种后缘襟翼效率的比较	(423)
6.4.4	几种常用后缘襟翼设计参数的选取实例	(424)
6.4.5	常用的动力增升装置	(426)
6.4.5.1	弦向吹气襟翼	(426)
6.4.5.2	展向吹气襟翼	(427)
6.4.6	综述	(431)
6.5	前缘襟翼的设计	(432)
6.5.1	前缘机动襟翼	(432)
6.5.1.1	前缘机动襟翼的减阻效果	(432)
6.5.1.2	前缘机动襟翼参数变化的影响	(435)
6.5.1.3	机翼边条对前缘机动襟翼的影响	(438)
6.5.1.4	机翼平面形状对前缘机动襟翼的影响	(439)
6.5.1.5	前缘机动襟翼对其他方面的影响	(440)
6.5.2	前缘机动缝翼	(440)
6.5.2.1	前缘机动缝翼的参数选择	(443)
6.5.2.2	前缘缝翼设计实例	(444)
6.6	前缘和后缘机动襟翼的综合使用	(447)

参考文献	(450)
第7章 尾翼的布置和设计	李 天
7.0 符号表	(451)
7.1 引言	(453)
7.2 平尾设计	(453)
7.2.1 平尾的作用	(453)
7.2.2 平尾设计准则	(455)
7.2.3 平尾参数选择	(457)
7.2.3.1 平面形状的选取	(458)
7.2.3.2 平尾位置的选择	(462)
7.2.3.3 机翼参数对平尾作用的影响	(467)
7.2.3.4 机身和尾喷流的影响	(471)
7.2.4 全动平尾转轴的选取	(473)
7.3 垂尾设计	(475)
7.3.1 垂尾的作用	(475)
7.3.2 垂尾设计准则	(477)
7.3.3 垂尾的布置形式和参数选择	(477)
7.3.3.1 垂尾的布置形式	(477)
7.3.3.2 垂尾平面参数的选择	(479)
7.3.3.3 单、双垂尾的设计	(487)
7.3.3.4 尾喷流对垂尾效率的影响	(494)
7.3.4 腹鳍的设计	(495)
7.3.4.1 腹鳍的作用及选取	(495)
7.3.4.2 单、双腹鳍比较	(495)
7.3.4.3 平尾位置及偏度的影响	(497)
7.3.5 方向舵的设计	(498)
参考文献	(498)
第8章 翼型的选择与设计	乔志德
8.0 符号表	(499)
8.1 引言	(501)
8.2 翼型的几何、气动参数	(502)
8.2.1 翼型的几何参数	(502)
8.2.2 翼型的气动参数	(503)
8.3 翼型的种类与特征	(503)
8.3.1 早期的翼型	(503)
8.3.2 层流翼型	(504)
8.3.3 高升力翼型	(506)
8.3.4 超临界翼型	(508)
8.4 翼型的选择与对翼型气动特性的要求	(509)
8.4.1 翼型特性与飞机性能的关系	(510)

8.4.2	翼型性能的边界	(510)
8.4.3	翼型基本技术指标的确定	(511)
8.5	翼型气动特性与翼型的几何特性之间的关系	(515)
8.5.1	零升力迎角	(516)
8.5.2	升力线斜率	(516)
8.5.3	最大升力	(518)
8.5.4	阻力特性	(521)
8.5.5	力矩特性	(525)
8.6	翼型设计	(526)
8.6.1	翼型设计要求及举例	(526)
8.6.2	翼型的设计与修形	(528)
8.6.3	翼型-飞机的一体化设计	(528)
8.7	翼型的使用	(530)
8.8	翼型数据举例	(532)
	参考文献	(539)
第9章	进气道与机体的综合设计	方宝瑞
9.0	符号表	(541)
9.1	引言	(544)
9.1.1	进气道设计的发展	(544)
9.1.1.1	进气道设计的发展及其与机体的综合设计	(544)
9.1.1.2	进气道设计要求	(545)
9.1.2	进气道设计基础	(546)
9.1.2.1	进气形式	(546)
9.1.2.2	超音速进气道的压缩形式	(547)
9.1.2.3	外压缩进气道设计基础	(548)
9.1.3	进气道与发动机的相容性	(553)
9.1.3.1	相容性概念	(553)
9.1.3.2	影响相容性的因素	(553)
9.1.3.3	畸变	(554)
9.2	机体对进气道的影响	(556)
9.2.1	前机身外形对两侧进气口流场的影响	(556)
9.2.2	前机身外形对两侧进气道性能的影响	(561)
9.2.3	遮蔽式进气口的流场	(565)
9.2.4	其他	(570)
9.3	不同形式的进气道	(570)
9.3.1	二维和三维进气(单独进气道)	(570)
9.3.2	机身两侧二维和三维进气道的比较	(571)
9.3.3	翼下二维和三维进气道的比较	(576)
9.3.4	机身两侧和遮蔽式进气道的比较	(580)
9.3.4.1	$M_0=0.9$	(580)

9.3.4.2	$M_0=1.6$	(581)
9.3.4.3	$M_0=2.2$	(585)
9.3.5	背部进气道	(590)
9.3.5.1	引言	(590)
9.3.5.2	背部进气道的进口流场和性能	(591)
9.3.5.3	其他布参数的影响	(595)
9.3.5.4	背部进气道与常规进气道的比较	(598)
9.3.6	其他	(601)
9.3.6.1	机翼边条参数对进气道性能的影响	(601)
9.3.6.2	斜板垂直和水平的比较	(604)
9.3.6.3	与机体高度综合化的进气道	(607)
9.3.6.4	亚音速扩压管长度的影响	(609)
9.4	过失速机动的进气道措施	(611)
9.4.1	转动唇口和辅助进气门	(611)
9.4.2	唇口襟翼、缝翼和唇口吹气	(614)
9.5	进气道与机体综合设计的经验	(618)
9.5.1	F-15 战斗机	(618)
9.5.1.1	进气道方案的选择	(618)
9.5.1.2	进气道的设计和发展	(619)
9.5.2	YF-16 战斗机	(626)
9.5.2.1	进气道方案的选择	(626)
9.5.2.2	进气道的设计和发展	(628)
9.5.3	“狂风”战斗机及进气道的“旋流”	(631)
9.5.3.1	“狂风”战斗机及进气道的设计	(631)
9.5.3.2	进气管道内的“旋流”	(632)
参考文献		(635)
第 10 章 喷管与后体的综合设计		方宝瑞
10.0	符号表	(638)
10.1	引言	(642)
10.1.1	超音速巡航	(647)
10.1.2	高机动性、敏捷性和过失速机动	(649)
10.1.3	短距起落性能	(651)
10.1.4	隐身性	(652)
10.2	轴对称(三维)喷管与后体的综合设计	(654)
10.2.1	喷管类型	(654)
10.2.2	单喷管	(658)
10.2.2.1	尾部收缩角	(659)
10.2.2.2	尾部长细比	(660)
10.2.2.3	底部面积	(664)
10.2.2.4	喷管与后体结合处外形	(666)

10.2.3	双喷管	(667)
10.2.3.1	双喷管间距	(667)
10.2.3.2	中间整流和尾撑	(673)
10.2.4	一些飞机的设计经验	(687)
10.2.4.1	F-14A 战斗机	(687)
10.2.4.2	F-15 战斗机	(693)
10.2.4.3	双发战斗机方案	(698)
10.3	非轴对称(二维)喷管与后体的综合设计	(701)
10.3.1	二维和三维多功能喷管的对比	(701)
10.3.1.1	喷管类型	(701)
10.3.1.2	喷管的重量和性能	(702)
10.3.1.3	发动机性能	(704)
10.3.2	二维喷管的诱导升力	(706)
10.3.3	其他	(707)
10.3.3.1	二维和三维喷管-后体阻力比较	(707)
10.3.3.2	二维喷管收缩角	(708)
10.3.3.3	二维喷管航向矢量推力控制	(710)
10.3.4	二维喷管的应用研究	(713)
10.3.4.1	F-15 S/MTD 验证机	(713)
10.3.4.2	先进喷管研究项目	(718)
10.3.4.3	超音速巡航战斗机方案(SCF)	(735)
10.3.5	结束语	(748)
10.4	尾翼与喷管-后体的干扰	(749)
10.4.1	单发飞机	(750)
10.4.1.1	尾翼位置	(750)
10.4.1.2	尾翼展长	(756)
10.4.1.3	后体修形	(756)
10.4.2	双发飞机	(758)
10.4.2.1	尾翼位置	(759)
10.4.2.2	双垂尾参数	(766)
10.4.3	单发和双发飞机的对比	(768)
	参考文献	(772)
第 11 章	大迎角气动设计的特点	方宝瑞
11.0	符号表	(775)
11.1	引言	(779)
11.2	大迎角空气动力学的特点	(784)
11.2.1	气流分离	(784)
11.2.1.1	二维流动	(784)
11.2.1.2	三维流动	(786)
11.2.2	大迎角飞行品质的恶化	(791)