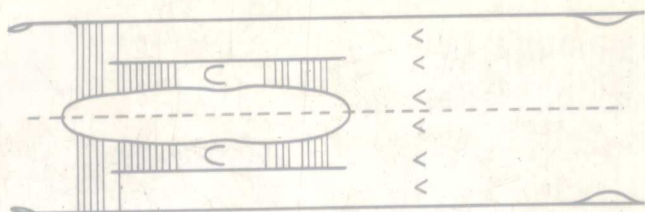


科学出版社



航空发动机 设计

(美) J. D. 马丁利
W. H. 海泽
D. H. 戴利 著

ISBN 7-03-002906-2

V · 7

定 价：18.00 元
科技新书目：266-090

航空发动机设计

J. D. 马丁利

[美] W. H. 海泽 著

D. H. 戴利

侯志兴等译

方昌德 陈大光 校

科学出版社

1992

(京) 新登字 092 号

内 容 简 介

本书是一本为工科院校高年级学生和研究生编写的航空涡轮发动机设计的教科书,它是按教授设计课程的特殊要求编排的。全书分为两篇及一个附录。第一篇为发动机循环设计,主要介绍设计过程、飞机/发动机系统的约束条件分析、任务分析、设计点和非设计点的循环分析以及安装性能;第二篇为发动机部件设计,主要涉及叶轮机、燃烧系统和进气道/尾喷管等部件。附录中给出发动机的设计公式及设计实例。

本书可供工科院校航空发动机专业高年级学生和研究生,以及从事航空发动机专业及相关专业的工程技术人员阅读。

Jack D. Mattingly, William H. Heiser and Daniel H. Daley

AIRCRAFT ENGINE DESIGN

American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 1987

航空发动机设计

[美] J. D. 马丁利 W. H. 海泽 D. H. 戴利 著

侯志兴 等 译

方昌德 陈大光 校

责任编辑 张建荣

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100707

北京市华星计算机公司激光照排

天津市静一胶印厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1992年2月第一版 开本: 850×1168 1/32

1992年2月第一次印刷 印张: 20

平 1-750 字数: 512 000

印数: 精 1-750 插页: 精 2

ISBN 7-03-002906-2/V·7 (平)

ISBN 7-03-002907-0/V·8 (精)

平 装 18.00 元

定价: 压膜精装 21.00 元

译 者 的 话

多年来,我国航空发动机界人士十分重视学习和借鉴外国在这一领域的先进技术与经验.过去同行们已翻译出版过不少外国的航空发动机设计教材和参考资料,50年代和60年代主要是翻译苏联的,以后逐渐重视翻译美英等西方国家的.现在那些书籍和资料虽然仍有参考价值,但从引进外国先进技术和经验的角度看,我们已迫切需要一本反映80年代先进航空发动机设计的参考书,以供我国有关科研、教学、生产、使用和管理部门的技术人员和大学高年级学生参考.这也就是我们翻译这本书的目的.

本书的翻译工作是由中国航空信息中心、中国航空发动机总公司和北京航空航天大学的一些发动机界同行们合作完成的.侯志兴任翻译组组长,马恒儒、潘宇任副组长.参与本书翻译工作的有:马恒儒(第一章),方昌德(第二章),侯志兴(第三章),王定勇(第四章),艾青(第五章),李跃(第六章),崔卫、唐智明(第七、八章),潘宇(第九章),魏钰、唐相碧(第十章)和朱炎(附录).

由于译者较多和要求的进度较紧,译文难免有错误和不妥之处,敬希读者批评指正.

译 者

1991年2月

序

至1984年夏季,本书作者清楚地知道编写一本新的航空涡轮发动机设计教科书既合乎需要又是可能的。已知的需求基于大致同等重要的三个因素。第一,喷气发动机行业是兴盛的并且正准备进入一个蓬勃发展的新时期,这需要培养和深造许多工程师。第二,工程和技术教育评估委员会(ABET)严格坚持其对“真实”的大学本科设计经验的教育评估要求,这意味着需要相应的教学手段。第三,目前尚无全面介绍推进器设计全过程的教科书。现有的教科书不是偏重于发动机循环和部件的基本原理,便是偏重于供培训专业人员用的高深的专题。

大量有利因素的组合,使得本书的编写成为可能。其中最主要的是,由于各方面的支持,在美国空军学院航空系内长期以来设有一门非常生动而有成效的吸空气推进器课程。开始时,许多陆、空军军官学校的学生因非常热爱飞行而进入该学院,这意味着他们对喷气发动机如何工作怀有天生的好奇心和浓厚的兴趣。而且,这些学生意识到他们今后可能会被指派到一些有趣而重要的岗位上去,如实验室、采购办公室、维修和后勤保障部门、地面和飞行试验部门以及各司令部和五角大楼的技术部门,在那些地方工作必须具备这方面的知识。最后,具有丰富的航空发动机研制和运行经验的全体教职员、慷慨提供的计算机机时和程序、随时可进入的第一流实验设施和坚持把高质量的教学放在第一位的管理方针为课程的设置提供了非同寻常的支持。总之,难以想象出一个对希望分享他们对航空推进界兴奋之情的人来说更为宽松的环境了。

这些事实的结果是设立“推进器科”这相当于大学本科的一门吸空气推进器选修科。该科包括三门课程,它们使学生从掌握

基本原理逐渐过渡到完整地设计一台能完成特定任务的发动机。前两门课程每门相当学期制中的三个单元，包括发动机循环、内流、部件设计、部件匹配以及燃烧和结构考虑方面的基础知识。第三门课程相当于学期制中的六个单元，并且是“推进器科”的核心和总结课程。与非常强调概念和专门分析方法的前两门课程不同，该课程包含许多这样的内容，即通过设计一台航空发动机来再现设计经验。本教科书严格按照这门课程编写，并且打算尽可能再现其他方面的经验。本书的结构甚至也是按照教授设计的特殊要求编排的。相继各章包含了针对具体用途的发动机从头到尾的设计过程中下一个合乎逻辑的步骤。并且，每章都包含三个部分：引言部分介绍该章的目的和用于达到这些目的的概念，第二部分是定义和提出必要的分析手段，第三部分是将这些分析手段应用于所举的例子。这种途径的一个副产品是，本书自然地包含教师手册的内容，即一组例题和详细的解题方法。

作者关于设计过程的许多亲身感受在第一章中说明，并且，在以后的章节里也有所体现，但还有一些感受放在这里表述更为恰当。

我们看到许多能干的工作者以一种“不尽理想”的方式深入他们的专业，他们专心致志于自身的专业，而不顾其他问题。其结果是，当所做的很好的工作因不切题而被忽视并且没有被邀请去解决一些关键问题时，他们常常感到失意和沮丧。通过对其从事的工作所及的整个系统的了解，这种情况可以得到改变，因而，本教科书从系统要求出发以至考虑到航空发动机的全部参数，力图来解决这个问题。发动机行业中的任何人都应根据本书的内容找到自己的位置和今后的工作方向。

我们已经认识到两件事与我们的设计课程的成功多少密切相关。第一，当人们发现一台适当的发动机甚至可能不存在并且通过千方百计探索创新性解决办法真正地突破障碍（而非规则）的时候，那么在理性和感情上就得到了最大的报偿。这时，一群松松散散的困惑的学生便成为一支充满信心的队伍。这一教训对他们

未来的工程生涯有直接的指导意义。第二，整个班级总会至少犯一次不可想象的大错误，例如，部件界面的面积不相等，同一根轴上的机器转速不相等。但不必担心，这样的错误会使学生的头脑清醒，并且在相互指责一通之后，他们就会充分认识到经常的、准确的、明智的交流是十分必要的。

在整个设计过程中，学生对每一设计步骤的理解和相信自己掌握决策权要比按预定进度达到特定的里程碑更为重要。这一点最重要的是使他们的经验产生活力。

本教科书是为工科的高年级本科生和研究生编写的，学生们可以通过设计一台航空燃气涡轮发动机来体验并从而学习设计过程。学生在上以本教科书为基础的设计课之前，最好（虽非必要）已经完成一门推进器的入门课。本书中发动机循环分析的基础是 Gordon C. 奥茨在他的极其成功的 AIAA 教育系列丛书《燃气涡轮和火箭推进器气动热力学》（Aerothermodynamics of Gas Turbine and Rocket Propulsion）中提出的方法，因而本书直接得益于他的方法。

《航空发动机设计》这本书是在美国空军学院的一门占六个学期课时的高年级最终设计课的基础上写成的。与一门类似的飞机设计课相配合，发给每位学生一份系里拟定的招标书（RFP），于是，就开始设计。具体的设计任务包括下列各项：

- 由每位学生对所要求的飞机性能作约束条件分析，并由全班选择飞机机翼载荷和推重比。

- 由每个学生进行飞机任务分析，然后由全班选择所要求的飞机起飞重量和海平面静态的发动机最大推力。

- 由若干个学生组进行发动机循环设计；包括循环选择和发动机尺寸确定，并为飞机设计课提供全套发动机性能曲线。

- 进行每个主要发动机部件的初步设计，由一名或两名学生组成的设计组负责一个主要部件。此项设计的深度和广度取决于该班的人数，人数的多少对指派给每个部件的学生数和设计的发动机部件数都有影响。

前言

由 J. D. 马丁利, W. H. 海泽和 D. H. 戴利编著的《航空发动机设计》谨献给华盛顿大学的 Gordon C. 奥茨以资纪念, 他在 AIAA 教学丛书中的著作为该丛书确立了最高的学术地位。奥茨教授的第一本教科书——《燃气涡轮和火箭推进器气动热力学》是吸空气推进器界最常用的教科书之一。他还编辑了一本题为《航空发动机部件气动热力学》(Aerothermodynamics of Aircraft Engine Components) 的教科书, 供航空推进工程师和设计师综合参考用。奥茨编辑的最后一本教科书, 题为《航空推进系统技术和设计》(Aircraft Propulsion Systems Technology and Design), 将在今年晚些时候作为 AIAA 教学丛书之一出版。

《航空发动机设计》是 Gordon C. 奥茨的《燃气涡轮和火箭推进器的气动热力学》的姊妹篇。它是该丛书中专门研究设计问题的第一本教科书。本书是按教授设计课程的专门需要而编排的; 因而它会对学习设计过程大有帮助, 学习设计过程是航空工程教学计划中极重要的教学要求。

AIAA 教学丛书主编

J. S. Przemieniecki

符 号 表

第 1—3 章中使用的符号

AB	加力燃烧室
AR	展弦比
a	声速;二次方程式的系数
BCA	最佳巡航高度
BCM	最佳巡航马赫数
b	二次方程式的系数
C	耗油率,方程(3.12)
C_D	阻力系数
C_{D^*}	最大 L/D 时的阻力系数,方程(3.26)
C_{L^*}	最大 L/D 时的升力系数,方程(3.27)
C_{DR}	附加阻力系数
C_{DRc}	阻力伞的阻力系数
C_{Do}	零升力时的阻力系数
C_L	升力系数
c	二次方程式的系数
c	系数 $\{= \sqrt{\theta} / [V(1-u)]\}$
c'	系数 $\{= V(1-u)\}$
D	阻力
d	微增量
e	平面形状效率因子
$\exp$	……的指数
f_s	燃油单位功,方程(3.8)
g	加速度
g_0	重力加速度
h	高度

h_{obs}	飞越障碍物的高度(见图 2. 6a、2. 6b 和 2. 7)
h_{TR}	过渡结束时的高度(见图 2. 6)
K'	升力-阻力极曲线方程(2. 9)的非粘阻力系数
K''	升力-阻力极曲线方程(2. 9)的粘性阻力系数
K_1	升力-阻力极曲线方程(2. 9)的系数
K_2	升力-阻力极曲线方程(2. 9)的系数
k_{obs}	飞越障碍物的速度比, 方程(2. 36)
k_{TD}	接地时的速度比, ($V_{TD} = k_{TD} V_{STALL}$)
k_{TO}	起飞时的速度比, 方程(2. 20)
L	升力
$\ln$	……的自然对数
M	马赫数
M^*	最佳巡航马赫数
N	盘旋圈数
n	过载(载荷因数)
P	压力
P_s	单位重量剩余功率, 方程(2. 2b)
q	动压($\frac{1}{2} \rho V^2$)
R	附加阻力; 气体常数
R_c	半径
S	面积
s	距离
T	安装推力
$TSFC$	安装耗油率, 方程(3. 10)
t	时间
u	总的阻力-推力比, 方程(3. 5)
V	速度
W	重量
W_g	空机重量(空重)
W_F	燃油重量
W_L	着陆重量
W_P	有效载荷重量

W_{PE} 消耗的有效载荷重量
 W_{PP} 永久性的有效载荷重量
 W_{TO} 起飞重量
 z_e 能量高度, 方程(2. 2a)

α 安装推力变化率, 方程(2. 3)

β 瞬时重量比, 方程(2. 4)

Γ 空机重量比($=W_s/W_{TO}$)

γ 比热比

Δ 在……方面的变化

δ 静压比(见附录 B)

ε 非常小的项

θ 静温比(见附录 B)

θ_{CL} 爬升角

Λ 机翼后掠角

μ 摩擦系数

ξ_L 着陆时的阻力系数, 方程(2. 32)

ξ_{TO} 起飞时的阻力系数, 方程(2. 24)

ρ 密度

σ 静密度比(见附录 B)

Ω 角速度

Σ ……的总和

$\prod_{i,j}$ 任务段重量比, 方程(3. 43)

下标

avg 平均

B 制动

BCA 最佳巡航高度

CAP 作战空中巡逻

CL 爬升

$CRIT$ 关键的(临界的)

$c/4$ 1/4 弦长

D	阻力
dry	不加力
FR	自由滑跑
f	最终
G	地面滑跑
i	起始
L	着陆;升力
max	最大
mid	中间
min	最小
obs	障碍物
R	起飞前抬前轮
SL	海平面
$STALL$	相应于失速
TD	接地
TO	起飞
TR	过渡
wet	加力
$A \rightarrow J$	任务分航段
$a \rightarrow c$	积分区间
$1 \rightarrow 14$	任务航段

第 4—10 章和附录中使用的符号

A	面积;活化能量
A^*	相应于 $M=1$ 的面积
AR	展弦比
a	声速;轴向干扰因子
a'	旋转干扰因子
a_e	出口处的声速
a_0	截面 0 处的声速
BCA	最佳巡航高度
BCM	最佳巡航马赫数

b	由方程(9. 20)给出的函数
C	常数
C_A	喷管角度系数, 方程(10. 24)
C_D	阻力系数
C_D	喷管流量系数, 方程(10. 22)
C_{fs}	喷管总推力系数, 方程(10. 21)
C_L	升力系数
C_P	功率系数
C_P	压力恢复系数, 方程(9. 14)
C_P	等压比热
C_{pAB}	离开加力燃烧室的等压比热
C_{pc}	主燃烧室上游的等压比热
C_{pt}	主燃烧室下游的等压比热
C_{To}	功率分出轴的功率系数, 方程(4. 19b)
C_V	喷管速度系数, 方程(10. 23)
c	弦长
D	直径; 阻力; 扩压器因子, 方程(8. 1)
D_{add}	附加阻力, 方程(6. 5)
d	微增量
E	弹性模量
e_c	风扇的多变效率
e_{cH}	压气机的多变效率
e_t	涡轮的多变效率
e_{tH}	高压涡轮的多变效率
e_{tL}	低压涡轮的多变效率
$\exp$	……的指数
F	非安装推力
f	主燃烧室的油气比, 方程(4. 4e)
f_{AB}	加力燃烧室的油气比, 方程(4. 4g)
f_o	发动机总的油气比, 方程(4. 4h)
g_c	牛顿常数
g_o	重力加速度
H	高度

HP	马力
H_R	轮缘高度
h	高度; 静焓
h_{PR}	燃料热值
h_t	总焓
h_0	截面 0 处的静焓
I	冲量函数(附录 C)
IMS	积分平均斜率, 方程(6.9)
J	前进比, 方程(1.21)
K	进气畸变指数
k	玻耳兹曼常量
L	长度
l	长度
$\ln$	……的自然对数
M	马赫数
MFP	质量流量系数, 方程(4.21)
M_x	截面 x 处的马赫数(激波上游)
M_y	截面 y 处的马赫数(激波下游)
M_0	截面 0 处的马赫数
m	质量流量
m_{e_i}	截面 i 处的换算质量流量, 方程(5.27)
N	转速(转/分)
N_{e_i}	截面 i 处的换算发动机转速, 方程(5.28)
N_B	叶片数
n	数目; 指数
P	压力; 功率
P_{ext}	外压
P_{To}	功率分出轴的功率
P_f	径向温度分布系数, 方程(9.22)
P_t	总(或滞止)压(力)
PF	环面温度分布系数, 方程(9.21)
Q	扭矩
q	动压

R	气体常数
$^{\circ}R$	反力度
$^{\circ}R_c$	压气机的反力度, 方程(8.9)
$^{\circ}R_t$	涡轮的反力度, 方程(8.32)
r	半径
r_m	平均半径
S	非安装耗油率, 方程(4.29)
SR	容热强度, 方程(9.23)
s	间隔
T	温度
T_t	总(或滞止)温(度)
u	轴向速度
V	速度
v	切向速度
W	重量; 厚度; 宽度
W_c	输入压气机的功率
W_D	盘的输缘厚度
W_{DS}	盘的轴厚度
W_{TO}	起飞重量
W_t	涡轮轴输出的功率
x	轴向位置
α	发动机涵道比, 方程(4.4a), 角度; 热膨胀系数
α'	混合器涵道比, 方程(4.4f)
$\alpha' N$	α' 的新值, 方程(5.14a)或(5.16)
β	放(引)气比, 方程(4.4b); 角度
β_b	叶片角度
Γ	方程(5.2b)定义的函数; 方程(8.8)定义的函数
γ	比热比; 角度
γ_{AB}	离开加力燃烧室的比热比
γ_c	主燃烧室上游的比热比
γ_M	离开混合器的比热比
γ_t	主燃烧室下游的比热比