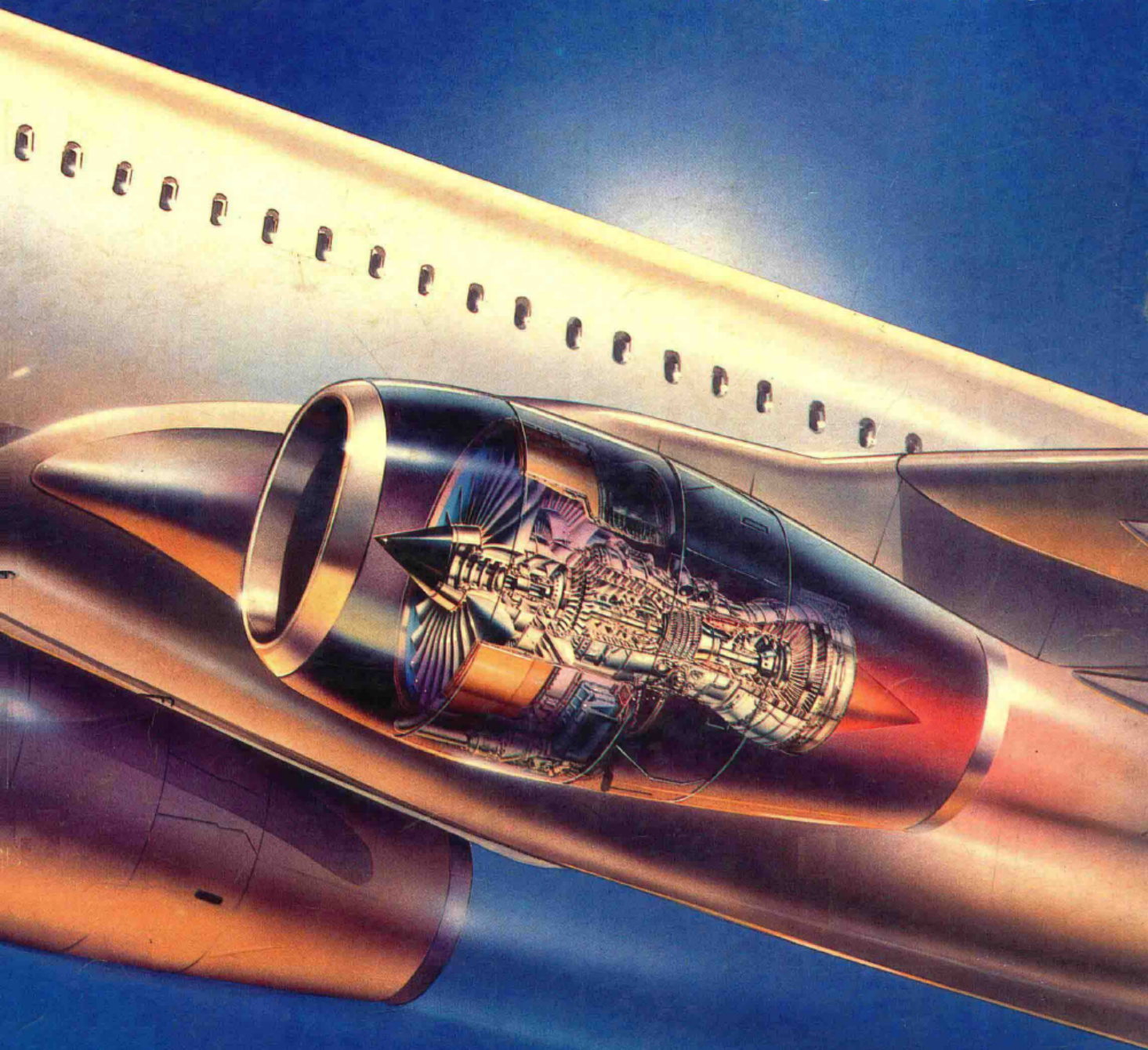




The JET ENGINE

喷气发动机



©罗尔斯·罗伊斯 1986 年

第 4 版

1992 年经修订重印

保留所有版权。未经版权所有人书面许可,不准以任何形式或任何手段,包括照像、录音或者储存在任何性质的可再现系统,来复制或传播本书的任何部分。如欲复制,申请应寄至:

罗尔斯-罗伊斯公司
技术出版物部
达比
英格兰

GH 图片公司复制彩图
英文版印刷英国 BDC 印刷服务公司
出版号 ISBN 0 902121 04 9
1996 年 3 月中国天津中文版印刷
津新出图字(96)第 006028 号

鸣谢

下列公司提供图片许可:

罗尔斯-罗伊斯/法国	奥林普斯	第 10 页
国营航空发动机设计制造公司(Snecma)	阿杜尔 Mk102	第 44 页
罗尔斯-罗伊斯透博梅卡公司	阿杜尔 Mk151	第 198 页
	RTM322-01 涡轮发动机	第 242 页
波音商业飞机公司		第 144 页
涡轮联合公司	RB199	第 168 页
IAE 国际航空发动机公司	V2500	第 250 页

罗尔斯·罗伊斯国际有限公司—中国

地址:北京建国门外大街 19 号 国际大厦 14—5
邮政编码:100004
电话:(010)5017414/15 5018012
传真:(010)5018014

地址:上海延安西路 65 号 国际贵都大饭店 617 室
邮政编码:200040
电话:(021)62481688 转 617
传真:(021)62490415

工本费: 165 元



《喷气发动机》一书最早于 1952 年用英文出版。当时第一版仅用于罗尔斯-罗伊斯公司的用户。1965 年经再版后,不仅在内容上有很大扩充,而且面向更多的读者。

至此以后,陆续又再版了几次,每一版都根据喷气发动机技术的最新发展情况进行补充与修改。《喷气发动机》一书已成为全世界各大高等院校本专业的正规教材。

此书是第一次用中文出版,它所体现的不仅是罗尔斯-罗伊斯公司对中国的承诺,同时也是罗尔斯-罗伊斯公司对中国航空工业 30 多年来不断支持的又一贡献。

《喷气发动机》一书不仅为技术人员提供了丰富的信息,而且对所有关心中国航空工业发展的各界人士来说,也是一本值得推荐的读物。

John Lee Page





千秋之业,教育为本。中国民用航空事业的腾飞,必须依赖科学技术的不断进步和教育事业的大力发展。全行业务必牢固树立科教兴业的战略思想,努力学习、刻苦钻研、忠于职守、积极进取为中国民航早日跨入世界民航强国之列而贡献力量。

值英国罗尔斯-罗伊斯《喷气发动机》中文版发行之际,谨致祝贺!

中国民用航空总局副局长

沈元



值英国罗尔斯-罗伊斯《喷气发动机》中文版发行之
际,谨致衷心祝贺。

航空喷气发动机对航空器的飞行速度、航程、有效载重和机
动性等主要性能和功能起决定作用。作为典型的知识和技术高
度密集型产品,航空喷气发动机体现了当代先进的科学技术和
能力,带动了气动、热力、结构强度、材料、工艺、测量、控制等各
学科和基础工业的发展。振兴航空,动力必须先行。望全行业
继续发扬“奋发、求实、团结、创新”的精神,刻苦学习,博采众长,
提高质量和管理水平,为航空工业的腾飞并走向世界努力奋斗。

航空工业总公司副总经理 张洪源



随着中国民航和航空工业的迅速发展,安全、正常及服务水平不断提高。在民航和航空工业的发展中,科技教育占有优先的地位。

中国民航事业所取得的辉煌成就,是前辈科学工作者辛勤工作的结晶。而民航、航空的未来,还需依靠未来几代人的共同努力。

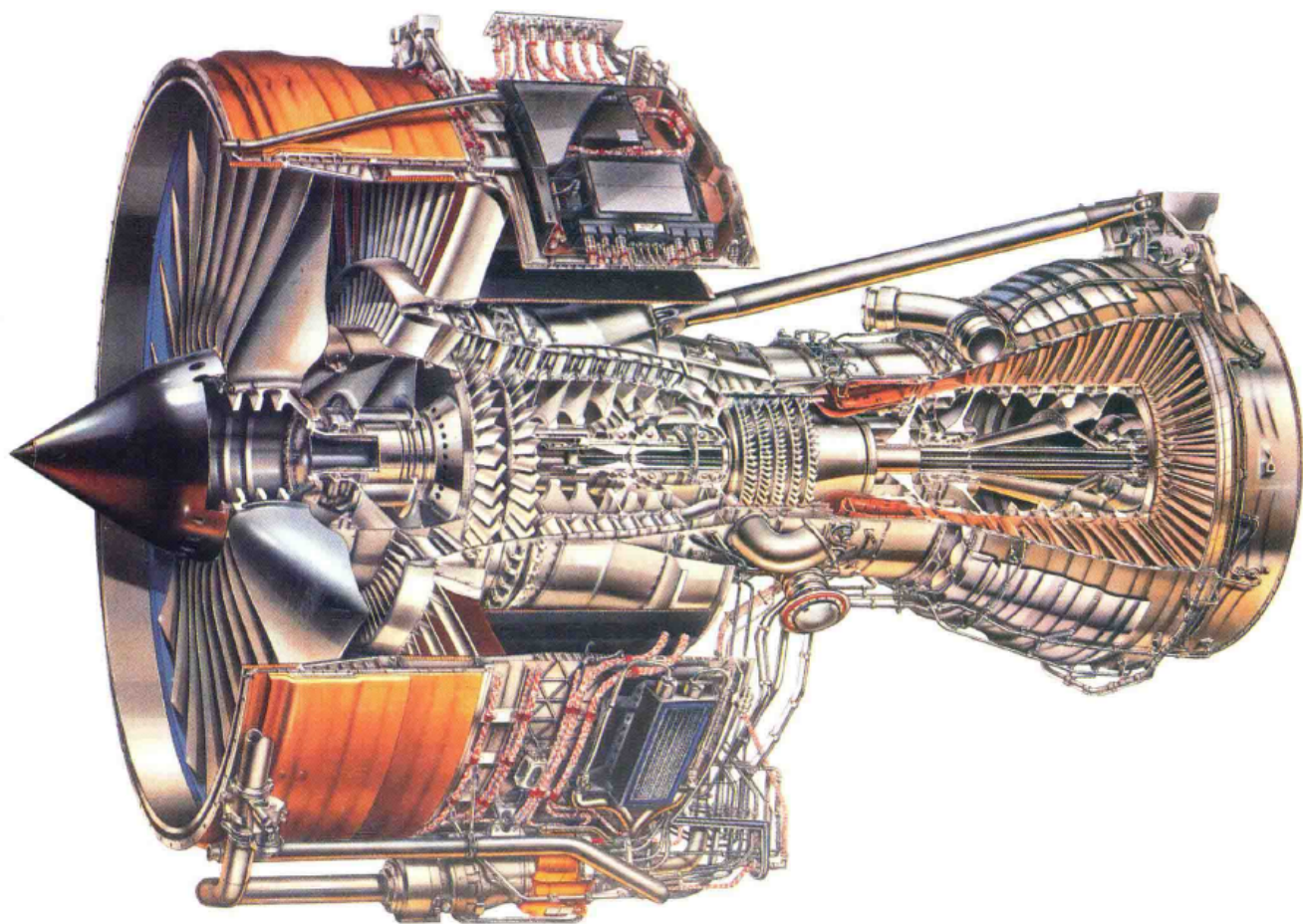
“科教兴国”是民航、航空工业的战略方针。罗尔斯·罗伊斯公司真诚地希望能为中国的航空事业尽微薄之力。为此,将《喷气发动机》一书译成中文出版。此书在世界航空领域中曾得到了高度评价,是一本难得的好书。

在此,感谢所有参予此书翻译、出版的中国朋友们!

高国栋
中国地区总裁

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Gao Guodong'.

罗尔斯－罗伊斯遄达 800 发动机



遄达发动机是由 RB211 发动机发展而来, 推力范围从 71,000 磅至 92,000 磅, 其增长潜力可超过 100,000 磅。遄达 800 的风扇为 110 英寸, 叶片为宽弦叶片, 其压缩机为高流量压缩机, 并配备全权限数字式发动机控制系统(FADEC)。

1988 年, 为满足空中客车 A330(遄达 700)和波音 777(遄达 800)推力需求, 开始了具体的工程设计工作。1990 年 8 月, 遄达发动机第一次试车。1994 年 1 月遄达 800 的推力创下 106,087 磅的世界记录。

1995 年 3 月该发动机装备空中客车 A330 进入服役。

绪 言

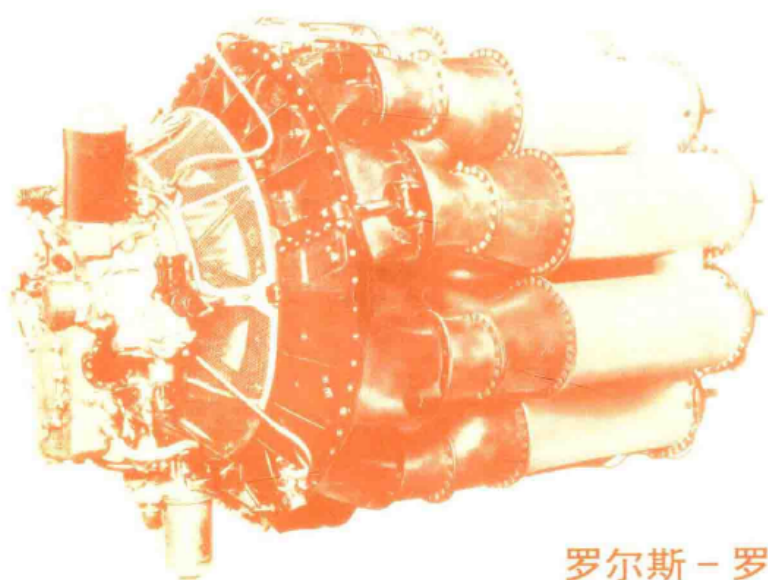
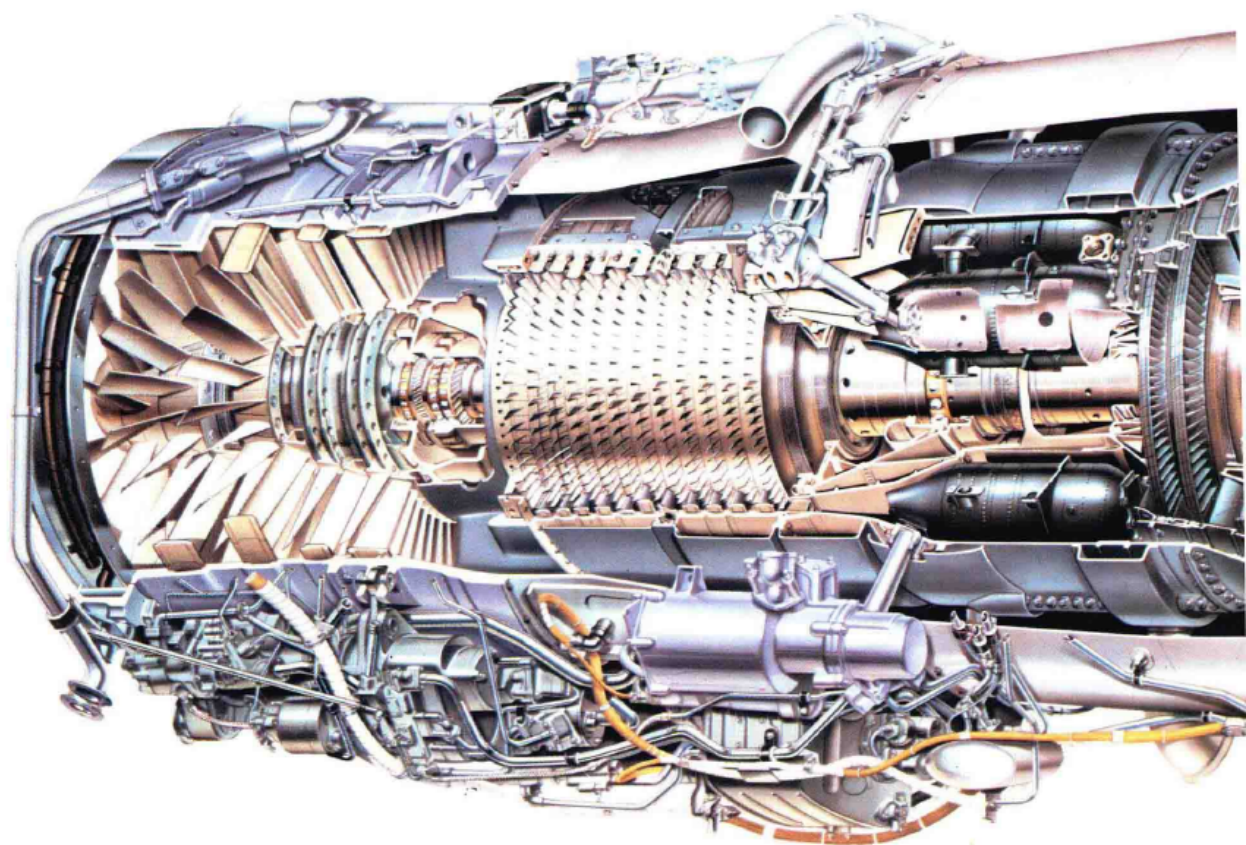
本书的撰写是为了给航空燃气涡轮发动机的工作及其基础原理提供一种既简单而又齐全的描述。

为了简明扼要地介绍基本事实,避免使用复杂的公式和专门的语言。因此,本书只有对理解发动机的功能和理论所必须的描述和公式才收入书内。

必须指出,本书的重点是涡轮喷气发动机,没有专门篇章介绍涡轮-螺桨发动机。这是因为这两种发动机的工作原理基本上是一样的。但是,对功能和应用上的不同之处均作了说明。

航空燃气涡轮发动机一直在不断地发展,以便给每一代新飞机提供改进了的性能。本书第4版已作了修订和扩充,收容了最新的航空燃气涡轮发动机技术。

罗尔斯 - 罗伊斯公司的 RB183 Mk555 发动机



1943 年 4 月 1 日, 罗尔斯 - 罗伊斯公司承担了研制“动力喷气”(Power Jets) W2B 的任务。在这一个月以前, 该发动机在格洛斯特公司 (Gloster) 的 E28/39 飞机上以 1200 磅的推力进行了首次飞行。后来, 它被称之为 B23“维兰德”(Welland)。4 月份, 它以 1600 磅设计额定推力通过了 100 小时试验。1943 年 6 月, 它装在格洛斯特公司的“流星”(Meteor) 飞机上以 1400 磅推力飞行。1944 年 8 月, 以“维兰德”为动力的“流星”飞机参加了反击 V-1 飞弹的行动。

罗尔斯 - 罗伊斯公司的 B23“维兰德”发动机

目 录

第一章	基本机理	
第二章	工作循环和气流	11
第三章	压气机	19
第四章	燃烧室	35
第五章	涡轮	45
第六章	排气系统	59
第七章	附件传动	65
第八章	润滑	73
第九章	内部空气系统	85
第十章	燃油系统	95
第十一章	起动与点火	121
第十二章	控制与仪表	133
第十三章	防冰	147
第十四章	防火	153
第十五章	推力反向	159
第十六章	加力燃烧	169
第十七章	喷水	181
第十八章	垂直/短距起落	187
第十九章	噪声抑制	199
第二十章	推力分布	207
第二十一章	性能	215
第二十二章	制造	229
第二十三章	动力装置安装	243
第二十四章	维护	251
第二十五章	翻修	263
附录一	换算系数	277

第一章 基本机理



目 录	页号
绪言	1
喷气推进原理	2
喷气推进方式	3

绪言

- 1. 燃气涡轮发动机作为飞机的动力装置发展神速，以致很难想象 50 年代以前还几乎无人听说过这种飞机推进方式。使用反作用喷气的可能性令飞机设计师们想往已久，但是，在最初存在有很多障碍，这是因为早期飞机的速度很低和活塞发动机不适合于产生“喷气式”所必需的大量高速气流。
- 2. 法国工程师雷恩·洛兰(Rene Lorin)1913 年获得一项喷气推进发动机(图 1-1)的专利。但是，这是一种冲压式喷气发动机(第 11 段)，当时还无法制造或使用，因为那时还未研制出合适的耐热材料。其次，喷气推进在当时飞机的低速度下效率会极差。然而，今天的现代化冲压喷气与洛兰的构想非常相似。
- 3. 1930 年弗兰克·惠特尔(Frank Whittle)取得了他的使用燃气轮机产生推进喷气的第一个专利。但是，11 年后他的发动机才完成其首次飞行。惠特尔

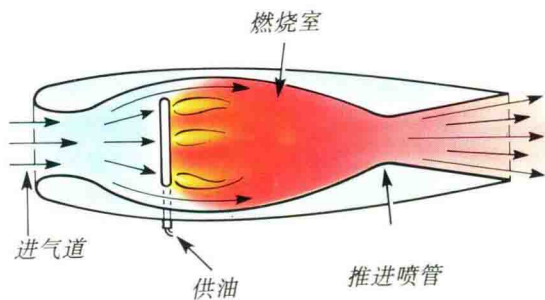


图 1-1 洛兰的喷气发动机

的这种发动机形成了现代燃气涡轮发动机的基础，并且从它发展出罗尔斯-罗伊斯公司的“维兰德”(Welland)、“德温特”(Derwent)、“尼恩”(Nene)和“达特”(Dart)发动机。“德温特”和“尼恩”涡轮喷气发动机获得了世界性军事应用；“达特”涡轮螺旋桨发动机作为维克斯(Vickers)公司“子爵”(Viscount)飞机的动力装置而闻名于世。虽然其它飞机可能装用了后来的被称为双轴、三轴、内外涵、涵道风扇、无涵道风扇和螺旋桨风扇的发动机，但是，这些都是惠特尔的早期发动机的必然发展。

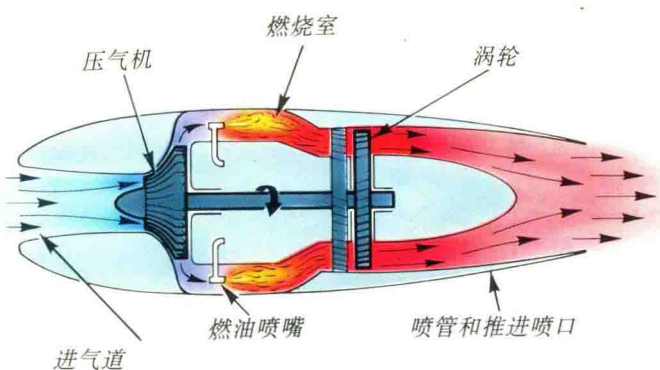


图 1-2 惠特利型的一种涡轮喷气发动机

4. 喷气发动机(图 1-2)虽然与活塞发动机-螺旋桨组合貌似大相径庭,但是却采用了同样的基本原理来实现推进。正如图 1-3 所示,二者纯粹是通过将大量气体向后推而推进它们的飞机。

5. 今天,虽然喷气推进与燃气涡轮发动机密切相关,但是,也有其它类型的喷气推进发动机,如冲压喷气、脉冲喷气、火箭、涡轮/冲压喷气和涡轮-火箭发动机等。

喷气推进原理

6. 喷气推进是伊萨克·牛顿(Isaac Newton)爵士的运动第三定律的实际应用。该定律表述为,“作用在一物体上的每一个力都有一方向相反大小相等的反作用力。”就飞机推进而言,“物体”是通过发动机时受到加速的大气中的空气。产生这一加速度所需的力有一大小相等方向相反的反作用力作用在产生这一加速度的装置上。喷气发动机用类似于发动机/

螺旋桨组合的方式产生推力。二者均靠将大量气体向后推(图 1-3)来推进飞机,一种是以比较低速的大量空气滑流的形式,而另一种是以极高速的燃气喷气流形式。

7. 这一同样的反作用原理出现于所有运动形式之中,通常有许多应用方式。喷气反作用最早的著名例子是公元前 120 年作为一种玩具生产的赫罗的发动机(图 1-4)。这种玩具表明了从若干喷嘴中喷出的水蒸气的能量能够把大小相等方向相反的反作用力传给这些喷嘴本身,从而引起发动机旋转的道理。

8. 类似的旋转式花园喷灌器(图 1-5)是这一原理更为实用的一个例子。这种喷灌器借助于作用于喷水嘴的反作用力旋转。现代灭火设备的高压喷头是“喷流反作用”的一个例子。由于水喷流的反作用力,一个救火员经常握不住或控制不了水管。也许,这一原理的最简单的表演是狂欢节的气球,当它放出空气或气体时,它便沿着与喷气相反的方向急速飞走。

9. 喷气反作用绝对是一种内部现象。它不象人们经常想象的那样说成是由于喷气流作用在大气上的

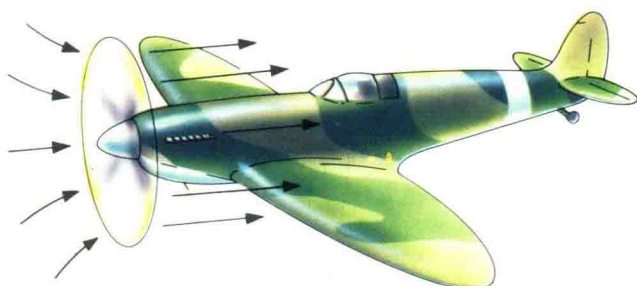


图 1-3 螺旋桨和喷气推进

压力所造成的。实际上,喷气推进发动机,无论火箭、冲压喷气、或者涡轮喷气,都是设计成加速空气

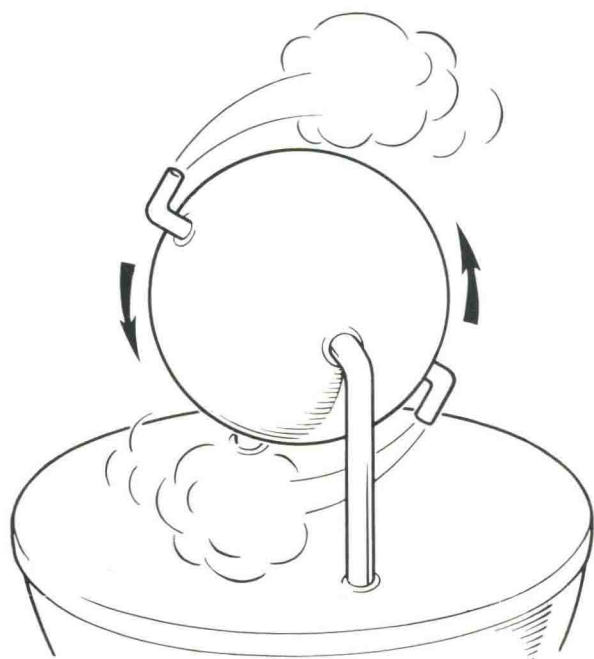


图 1-4 赫罗的发动机—可能是喷气反作用的最早形式

流或者燃气流并将其高速排出的一种装置。当然，如第 2 章中描述的那样，这样做有不同的方式。但是，在所有例子中，作用在发动机上的最终的反作用力即推力是与发动机排出的气流的质量或重量以及气流的速度变化成比例的。换言之，给大量空气附加一个小速度或者给少量空气一个大速度能提供

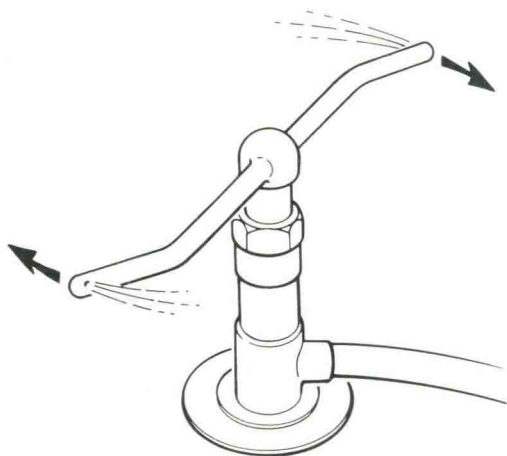


图 1-5 依靠喷水嘴的反作用力旋转的花园洒水器

同样的推力。实用中，人们喜欢前者，因为降低相对于大气的喷气速度能得到更高的推进效率。

喷气推进方式

10. 不同类型的喷气发动机，无论冲压喷气、脉冲喷气、燃气轮机、涡轮/冲压喷气或者涡轮-火箭，其差别仅在于“推力提供者”即发动机供应能量并将能量转换成飞行动力的方式。

11. 冲压喷气发动机(图 1-6)按其全称是一种气动热力涵道。它没有任何主要旋转零件，只包含一个扩张形进气涵道和一个收敛形或者收敛-扩散形出口。当由外部能源强迫其向前运动时，空气被迫进

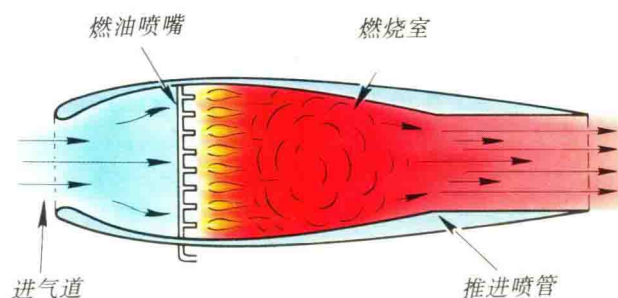


图 1-6 冲压式喷气发动机

入进气道。当它流过这一扩散形涵道时，其速度或动能降低，而压力能增加。尔后，靠燃油的燃烧来增加其总能量，膨胀的燃气通过出口涵道加速并排入大气。冲压喷气发动机常作为导弹和靶机的动力装置，但不适于作为飞机动力装置，因为它产生推力前，要求向它施加向前的运动。

12. 脉冲喷气发动机(图 1-7)采用间歇燃烧原理。与冲压喷气发动机不同，它能在静止状态工作。这种发动机是由类似冲压喷气发动机的一种空气动力涵道构成。但是，由于它的压力较高，其结构比较坚实。进气涵道有许多进气“活门”，在弹簧力作用下处于打开位置。通过打开的活门吸入的空气进入燃烧室，并靠燃烧喷入燃烧室中去的燃油得到加热。由此引起的膨胀使压力升高，迫使活门关闭，然后膨胀的燃气向后喷出。排气造成降压，使活门开启。这种过程周而复始。脉冲喷气发动机已设计成直升机

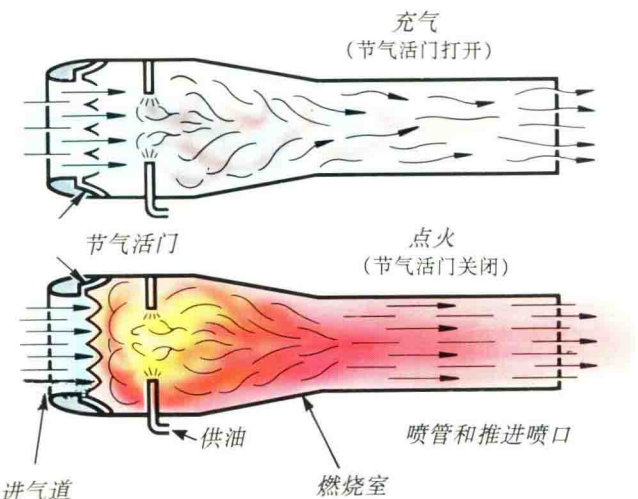


图 1-7 脉冲喷气发动机

旋翼的推进装置, 有的还通过精心设计涵道来控制共振循环的压力变化而省去了进气活门。脉冲喷气发动机不适于作为飞机动力装置, 因为它的油耗高, 又无法达到现代燃气涡轮发动机的性能。

13. 虽然火箭发动机(图 1-8)也是喷气发动机, 但它们有重大区别。即, 火箭发动机不用大气作为推进流体, 而用它携带的液态燃料或化学分解而形成的燃料与氧剂剂的燃烧来产生它自己的推进流体, 从而能在地球大气层外工作。因此, 它只适用于工作时间很短的情况。

14. 应用燃气轮机于喷气推进避免了火箭和冲压喷气发动机固有的弱点, 因为通过采用涡轮驱动的压气机提供了低速时产生推力的一种手段。涡轮喷气发动机按照第 2 章叙述的“工作循环”工作。它从大气中吸进空气, 经压缩和加热这一所有热力发动机中的过程之后, 得到能量和动量的空气以高达 2000 英尺/秒或者大约 1400 英里/小时的速度从推进喷管中排出。在空气通过发动机的过程中, 它释放一些能量和动量驱动给压气机提供动力的涡轮。

15. 燃气涡轮发动机的机械布局很简单, 因为它只包含两个主要旋转部分, 即压气机(第 3 章)和涡轮(第 5 章), 及一个或者若干个燃烧室(第 4 章)。各种燃气涡轮发动机的机械布局示于图 1-9。然而, 并非这种发动机的所有方面都具有这种简单性, 因为正象以后几章叙述的那样, 热力和气动力问题是

比较复杂的。这些问题是由燃烧室和涡轮的高工作温度、通过压气机和涡轮叶片而不断变化着的气流的影响, 以及排出燃气并形成推进喷气流的排气系统的设计工作造成的。

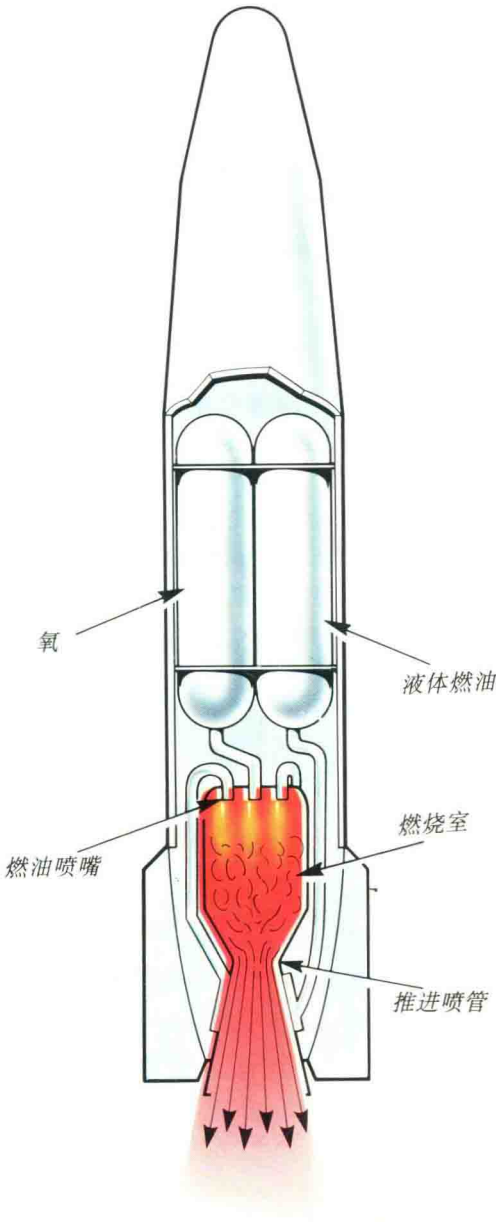
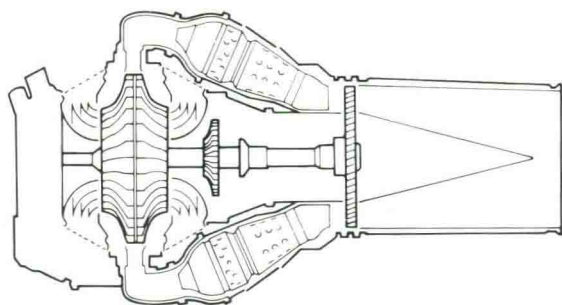
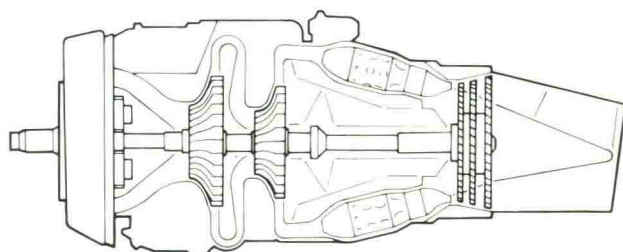


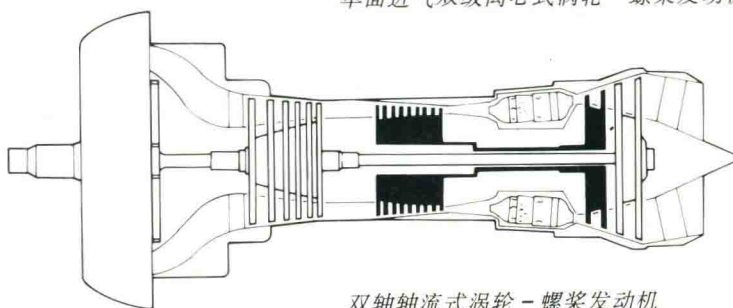
图 1-8 火箭发动机



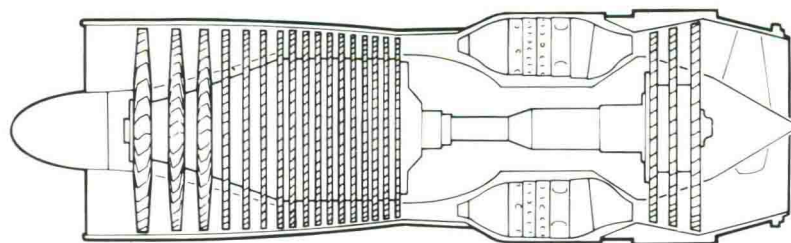
双面进气单级离心式涡轮喷气发动机



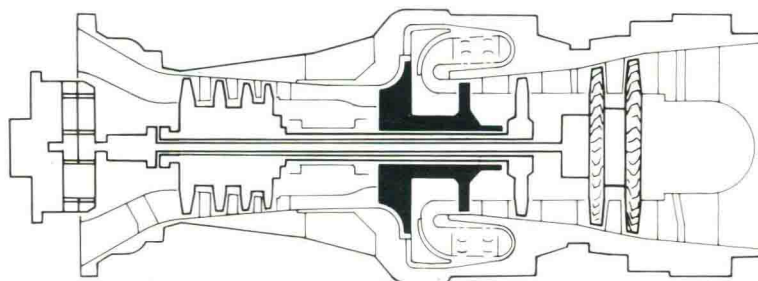
单面进气双级离心式涡轮-螺旋桨发动机



双轴轴流式涡轮-螺旋桨发动机



单轴轴流式涡轮-喷气发动机



双轴涡轮轴发动机(带自由动力涡轮的)

图 1-9-1 几种燃气涡轮发动机的机械布局

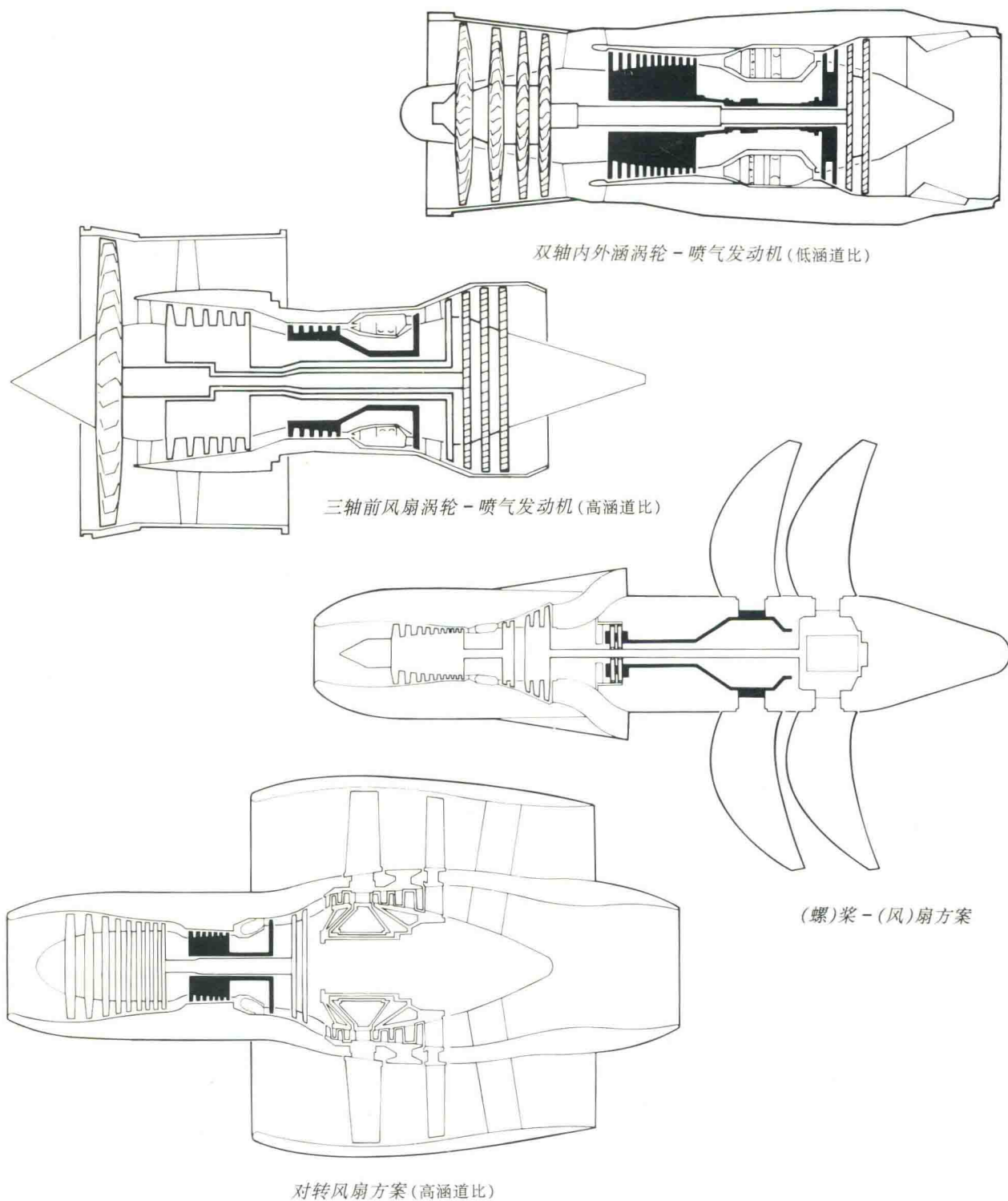


图 1-9-2 几种燃气涡轮发动机的机械布局

16. 飞机速度低于大约 450 英里/小时, 纯喷气发动机的效率低于螺旋桨型发动机的效率, 因为它的推进效率在很大程度上取决于它的飞行速度; 因而, 纯涡轮喷气发动机最适合高的飞行速度。然而, 由于螺旋桨的高叶尖速度造成的气流扰动, 在 350 英里/小时以上时螺旋桨效率迅速降低。这些特性使得中等速度飞行的飞机不用纯涡轮喷气推进装置而采用螺旋桨和燃气涡轮发动机的组合。

17. 螺旋桨/涡轮组合的优越性在一定程度上被内外涵发动机、涵道风扇发动机和桨扇发动机的引入所抵消。这些发动机比纯喷气发动机流量大而喷气速度低, 因而, 其推进效率(第 21 章)与涡轮螺旋桨的相当, 超过了纯喷气发动机的推进效率(图 1-10)。

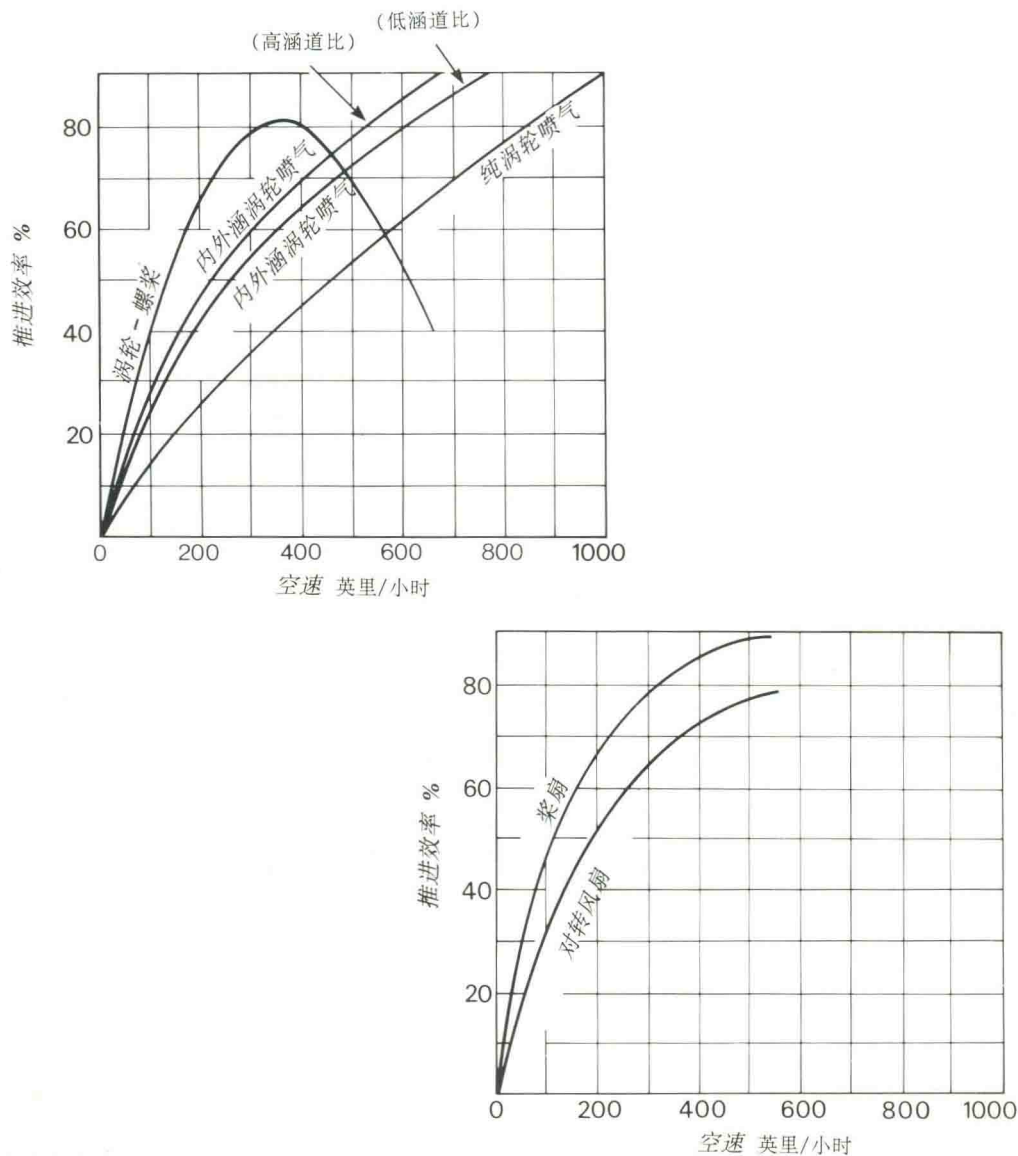


图 1-10 推进效率的比较