

喷气发动机



国防工业出版社

喷 气 发 动 机

〔英〕 罗耳斯·罗伊斯公司 编

刘树声、王大伟 译

刘树声 校

国防工业出版社

1975

The JET ENGINE

Rolls · Royce

Limited 1969

*

喷气发动机

〔英〕 罗耳斯·罗伊斯公司 编

刘树声、王大伟 译

刘树声 校

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

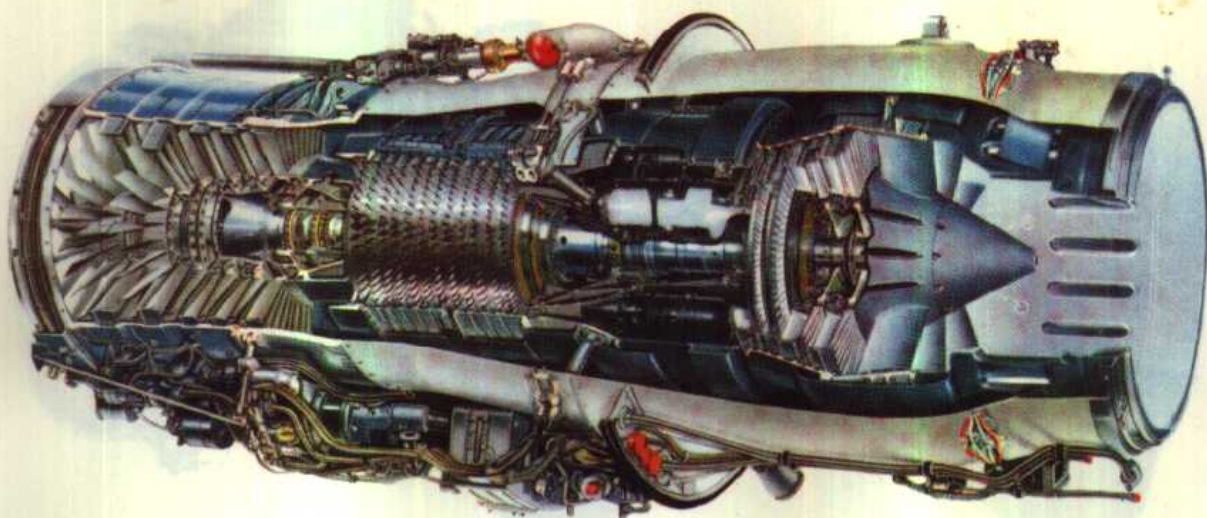
人民教育出版社印刷厂印刷

*

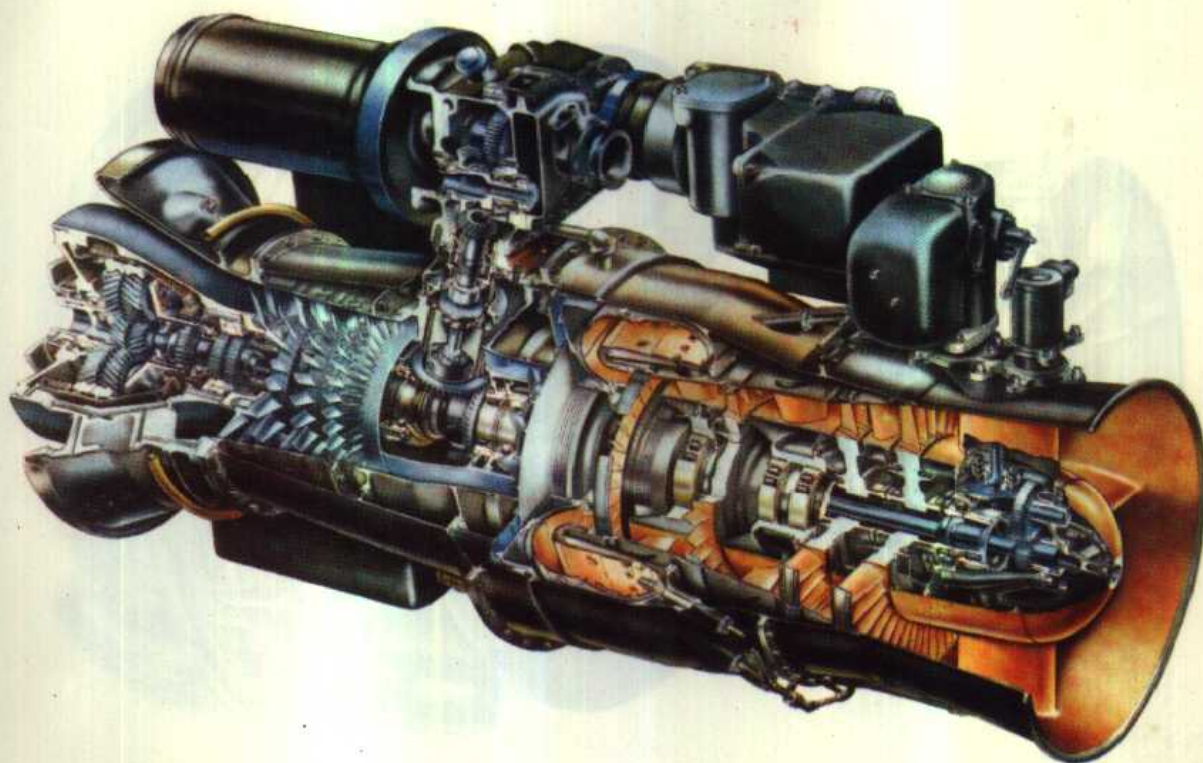
787×1092¹/₁₆ 印张 12¹/₈ 插图 2 286 千字

1975 年 10 月第一版 1975 年 10 月第一次印刷 印数: 0,001—3,200 册

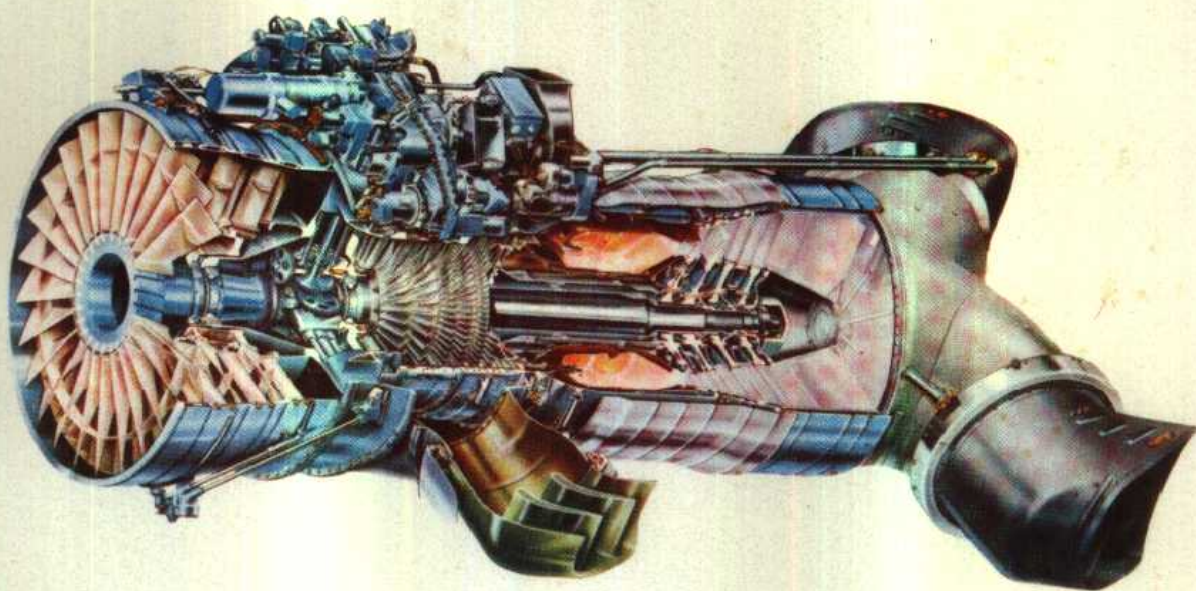
统一书号: 15034·1406 定价: 2.30 元



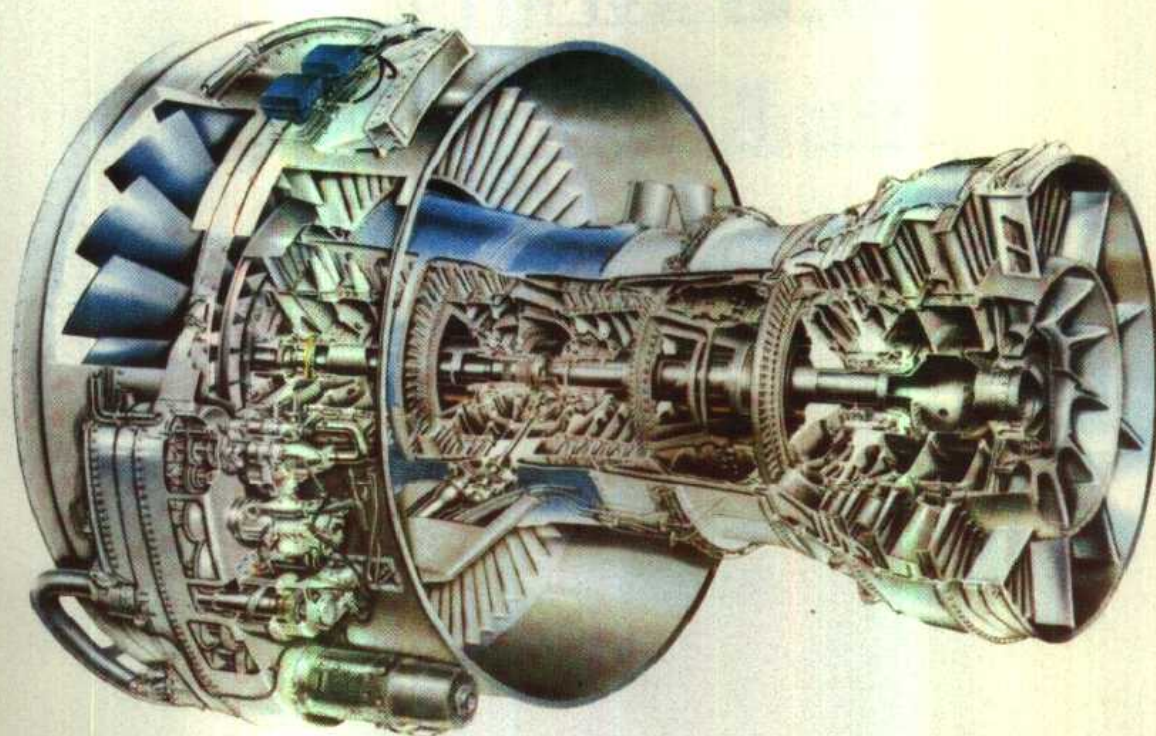
双转子涡轮风扇发动机



自由涡轮式双转子涡轮轴发动机



带可转喷口的双转子涡轮风扇发动机



三转子涡轮风扇发动机

目 录

译者序	3
第一章 基本力学概念	7
概述	7
喷气推进原理	8
喷气推进方法	9
第二章 工作循环和气流	13
概述	13
工作循环	13
压力、体积和温度的关系	14
速度和压力的变化	15
气流	17
第三章 压气机	18
概述	18
离心式压气机	19
工作原理	19
结构	19
叶轮	20
扩压段	20
轴流式压气机	20
工作原理	22
结构	23
转子	24
转子叶片	24
静子叶片	24
工作状态	25
空气流量的调节	26
材料	27
平衡	27
第四章 燃烧室	28
概述	28
燃烧过程	28
供油	30
燃烧室类型	30
单管燃烧室	30
环管燃烧室	31
环形燃烧室	32
燃烧室性能	33
燃烧强度	33

燃烧效率	34
燃烧稳定性	34
积碳	34
材料	34
第五章 涡轮	35
概述	35
燃气流与涡轮之间的能量转换	38
结构	39
涡轮导向器叶片	39
涡轮盘	39
涡轮叶片	39
压气机与涡轮的匹配	41
材料	41
平衡	42
第六章 排气系统	43
概述	43
排气流	44
结构和材料	47
第七章 消音	48
概述	48
消音方法	50
结构和材料	52
第八章 反推力	53
概述	53
工作原理	53
结构和材料	58
第九章 补燃加力	59
概述	59
补燃加力原理	60
推力增量	61
调节系统	62
加力燃烧室筒体和推进喷管	64
耗油率	66
第十章 燃油系统	68
概述	68
手控和自动调节	68
燃油调节系统	69

压力调节系统 (涡轮螺旋桨发动机)	69
压力调节系统 (涡轮喷气发动机)	70
流量调节系统	74
加速与转速复合调节系统	77
压比调节系统	81
低压燃油系统	83
燃油泵	83
柱塞式燃油泵	83
齿轮式燃油泵	83
燃油喷嘴	85
燃油加温	87
更换燃油的影响	88
航空燃油	88
燃油的技术条件	88
汽塞和沸腾	89
避免燃油污染的措施	89
第十一章 喷水	90
概述	90
压气机进口喷水	91
燃烧室喷水	91
第十二章 润滑	93
概述	93
润滑系统	93
减压活门系统	93
全流系统	96
全耗式系统	97
结构	99
润滑油	100
第十三章 空气冷却和封严	101
概述	101
内部冷却和封严	101
附件的冷却	104
外部冷却和通风	104
第十四章 起动和点火	106
概述	106
起动方法	106
电起动机	106
火药起动机	106
硝酸异丙酯起动系统	108
空气起动机	108
燃气涡轮起动机	110
液压起动系统	111
点火	111
再点火	115
第十五章 防冰	116

概述	116
热空气防冰系统	117
电热除冰系统	118
第十六章 防火	120
概述	120
防止自燃	120
火警探测	120
火区隔离	121
灭火	121
发动机过热的探测	122
第十七章 操纵系统和仪表	123
概述	123
推力	124
扭矩	125
发动机转速	125
涡轮燃气温度	127
滑油温度和压力	128
燃油温度和压力	129
燃油流量	130
振动	131
同步和同相	131
示警系统	131
飞机综合数据系统	132
第十八章 动力装置的安装	133
概述	133
动力装置的安装布局	133
进气道	133
发动机和尾喷筒的安装	136
附件	136
整流罩	137
第十九章 制造和翻修	138
概述	138
制造工艺	138
锻造	138
铸造	140
失蜡熔模铸造	142
离心铸造	142
板金	142
焊接	142
电化学加工	143
电火花加工	146
复合材料和夹层结构机匣	147
检验	148
平衡	148

装配	150	升力风扇发动机	175
试车	150	远距升力风扇组件	175
发货前的准备工作	150	倾转式发动机或短舱	175
翻修和修理工艺	151	短距起落	175
翻修和修理车间	153	飞机的稳定性	176
分解	153	喷气嘴控制系统	176
洗涤	153	发动机差动节流	176
检验	155	推力差动减少	176
修理	156	自动控制系统	176
平衡	157	第二十二章 轴向力的分布	177
装配	158	概述	177
试车	159	轴向力的分布	177
封存	159	轴向力的计算方法	178
第二十章 维护	160	发动机推力的计算	179
概述	160	压气机机匣	180
定期维护	160	扩压器通道	180
非定期维护	161	燃烧室	181
设备	161	涡轮部件	181
易维护性	161	排气装置和尾喷筒	181
状态监控	162	推进喷管	182
座舱指示器	162	补燃加力	182
空中记录仪	162	第二十三章 性能	184
地面指示器	162	概述	184
维护安全措施	162	发动机在试车台上的推力	185
故障检测	163	推力和马力的比较	186
调整	163	发动机在飞行时的推力	186
地面试车	164	补燃加力对发动机推力的影响	186
第二十一章 垂直起落和短距起落	169	前飞速度的影响	187
概述	169	高度的影响	189
起飞和降落的技术定义	169	气候的影响	189
获得喷气升力的方法	169	推进效率	191
升力-推进发动机	169	耗油率和功率重量比	192
升力喷气发动机	173	国际标准大气表	194

喷 气 发 动 机

〔英〕 罗耳斯·罗伊斯公司 编

刘树声、王大伟 译

刘树声 校

国防工业出版社

1975

The JET ENGINE

Rolls · Royce

Limited 1969

*

喷气发动机

〔英〕 罗耳斯·罗伊斯公司 编

刘树声、王大伟 译

刘树声 校

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

人民教育出版社印刷厂印刷

*

787×1092¹/₁₆ 印张 12¹/₈ 插图 2 286 千字

1975 年 10 月第一版 1975 年 10 月第一次印刷 印数: 0,001—3,200 册

统一书号: 15034·1406 定价: 2.30 元

译者序

喷气发动机的发展，如果从法西斯德国于1939年将涡轮喷气发动机研制成功算起，到现在已有三十五年的历史了。在此以前是活塞发动机占统治地位的时期，大致也有三十年的历史。

二次大战后喷气飞机首先在军用领域得到了异常迅速的发展。近十几年来，在军用飞机的技术基础上，喷气客机也相应获得了十分迅速的发展；而发动机则是飞机的“心脏”。

发动机的发展一般受飞机发展需要的制约，但是发动机在技术上的某项重大突破，反过来也会推动飞机的发展。

第一次和第二次世界大战的飞机都是以活塞发动机作为动力的，二次大战促进活塞发动机的发展达到了极限。由于要求飞机飞得更快更高更远，于是引起了动力装置的飞跃，这个飞跃是从二次大战后开始的，仅仅经过了五年时间，作战飞机就实现了喷气化。到了六十年代初，涡轮风扇发动机的问世，大大加速了民用运输机喷气化的进程，并很快成为各种军用飞机的主要动力装置。随着新型号、新结构、新技术的不断涌现，毫无疑问，喷气发动机的性能、可靠性和易维护性将会达到更高的水平。

“喷气发动机”一书是英国国营罗耳斯·罗伊斯公司出版的一本侧重于介绍涡轮喷气和涡轮风扇发动机的通俗读物。内容系统全面，从原理概念、性能计算、各部件各系统工作原理和结构，直到制造工艺和翻修维护，

涉及设计、研制、生产、使用各方面问题。文字通俗易懂，尽量避免复杂的公式推导和较深的理论叙述。书中并有黑白及彩色插图、示意图、曲线图表共二百余幅，以利读者加深理解。原书系1969年增订第三版。

英国是西方发展喷气发动机最早的国家之一，而罗耳斯·罗伊斯公司则是英国唯一的航空发动机垄断企业，其规模在欧洲占首位，在整个西方居第三位。它在二次大战末期研制成功的离心式涡轮喷气发动机曾被美、苏、法等国加以引进。在较长一段时期，英国的发动机技术曾在世界上处于领先地位。但是近年来英国在政治上经济上每况愈下，在军用发动机发展方面已落后于美苏两霸，但在若干技术领域仍保持一定地位。因此，遵照毛主席关于“洋为中用”的教导，认真研究英国发动机技术，还是必要的。

本书是航空工业的广大工人、技术管理干部、工程技术人员和技术情报人员的一本有益读物，通过这本书可以系统了解到英国发动机发展现状、水平和某些技术问题。本书亦适合于高等院校作教学参考书。

译文沿用原书中的英制单位，为便于读者阅读，在每项英制数据后面用括号注明公制单位的换算值，只有曲线图和个别无需换算的数据例外。

由于水平所限，错误之处在所难免，欢迎读者批评指正。

译者
一九七四年

目 录

译者序	3
第一章 基本力学概念	7
概述	7
喷气推进原理	8
喷气推进方法	9
第二章 工作循环和气流	13
概述	13
工作循环	13
压力、体积和温度的关系	14
速度和压力的变化	15
气流	17
第三章 压气机	18
概述	18
离心式压气机	19
工作原理	19
结构	19
叶轮	20
扩压段	20
轴流式压气机	20
工作原理	22
结构	23
转子	24
转子叶片	24
静子叶片	24
工作状态	25
空气流量的调节	26
材料	27
平衡	27
第四章 燃烧室	28
概述	28
燃烧过程	28
供油	30
燃烧室类型	30
单管燃烧室	30
环管燃烧室	31
环形燃烧室	32
燃烧室性能	33
燃烧强度	33

燃烧效率	34
燃烧稳定性	34
积碳	34
材料	34
第五章 涡轮	35
概述	35
燃气流与涡轮之间的能量转换	38
结构	39
涡轮导向器叶片	39
涡轮盘	39
涡轮叶片	39
压气机与涡轮的匹配	41
材料	41
平衡	42
第六章 排气系统	43
概述	43
排气流	44
结构和材料	47
第七章 消音	48
概述	48
消音方法	50
结构和材料	52
第八章 反推力	53
概述	53
工作原理	53
结构和材料	58
第九章 补燃加力	59
概述	59
补燃加力原理	60
推力增量	61
调节系统	62
加力燃烧室筒体和推进喷管	64
耗油率	66
第十章 燃油系统	68
概述	68
手控和自动调节	68
燃油调节系统	69

压力调节系统 (涡轮螺旋桨发动机)	69
压力调节系统 (涡轮喷气发动机)	70
流量调节系统	74
加速与转速复合调节系统	77
压比调节系统	81
低压燃油系统	83
燃油泵	83
柱塞式燃油泵	83
齿轮式燃油泵	83
燃油喷嘴	85
燃油加温	87
更换燃油的影响	88
航空燃油	88
燃油的技术条件	88
汽塞和沸腾	89
避免燃油污染的措施	89
第十一章 喷水	90
概述	90
压气机进口喷水	91
燃烧室喷水	91
第十二章 润滑	93
概述	93
润滑系统	93
减压活门系统	93
全流系统	96
全耗式系统	97
结构	99
润滑油	100
第十三章 空气冷却和封严	101
概述	101
内部冷却和封严	101
附件的冷却	104
外部冷却和通风	104
第十四章 起动和点火	106
概述	106
起动方法	106
电起动机	106
火药起动机	106
硝酸异丙酯起动系统	108
空气起动机	108
燃气涡轮起动机	110
液压起动系统	111
点火	111
再点火	115
第十五章 防冰	116

概述	116
热空气防冰系统	117
电热除冰系统	118
第十六章 防火	120
概述	120
防止自燃	120
火警探测	120
火区隔离	121
灭火	121
发动机过热的探测	122
第十七章 操纵系统和仪表	123
概述	123
推力	124
扭矩	125
发动机转速	125
涡轮燃气温度	127
滑油温度和压力	128
燃油温度和压力	129
燃油流量	130
振动	131
同步和同相	131
示警系统	131
飞机综合数据系统	132
第十八章 动力装置的安装	133
概述	133
动力装置的安装布局	133
进气道	133
发动机和尾喷筒的安装	136
附件	136
整流罩	137
第十九章 制造和翻修	138
概述	138
制造工艺	138
锻造	138
铸造	140
失蜡熔模铸造	142
离心铸造	142
板金	142
焊接	142
电化学加工	143
电火花加工	146
复合材料和夹层结构机匣	147
检验	148
平衡	148

装配	150	升力风扇发动机	175
试车	150	远距升力风扇组件	175
发货前的准备工作	150	倾转式发动机或短舱	175
翻修和修理工艺	151	短距起落	175
翻修和修理车间	153	飞机的稳定性	176
分解	153	喷气嘴控制系统	176
洗涤	153	发动机差动节流	176
检验	155	推力差动减少	176
修理	156	自动控制系统	176
平衡	157	第二十二章 轴向力的分布	177
装配	158	概述	177
试车	159	轴向力的分布	177
封存	159	轴向力的计算方法	178
第二十章 维护	160	发动机推力的计算	179
概述	160	压气机机匣	180
定期维护	160	扩压器通道	180
非定期维护	161	燃烧室	181
设备	161	涡轮部件	181
易维护性	161	排气装置和尾喷筒	181
状态监控	162	推进喷管	182
座舱指示器	162	补燃加力	182
空中记录仪	162	第二十三章 性能	184
地面指示器	162	概述	184
维护安全措施	162	发动机在试车台上的推力	185
故障检测	163	推力和马力的比较	186
调整	163	发动机在飞行时的推力	186
地面试车	164	补燃加力对发动机推力的影响	186
第二十一章 垂直起落和短距起落	169	前飞速度的影响	187
概述	169	高度的影响	189
起飞和降落的技术定义	169	气候的影响	189
获得喷气升力的方法	169	推进效率	191
升力-推进发动机	169	耗油率和功率重量比	192
升力喷气发动机	173	国际标准大气表	194

第一章 基本力学概念

概 述

1. 燃气涡轮发动机作为飞机的一种动力装置得到了如此迅速的发展, 实属难以估价, 而在三十年以前还只有极少数人听说过这种推进飞机的方法。很长时间以来, 飞机设计师对应用喷气反作用力的可能性进行过探讨, 但由于早期飞机的速度低, 而且活塞发动机又不可能产生“喷气”所必需的大量气流, 因而遇到了重重困难。

2. 1913 年法国工程师勒内·罗兰提出的一种喷气推进发动机取得了专利(图1-1), 但它是一种冲压式空气喷气发动机(第11段), 那时既不可能制造又无处使用。然而, 当代的冲压喷气式发动机却同罗兰的构思颇为相似。

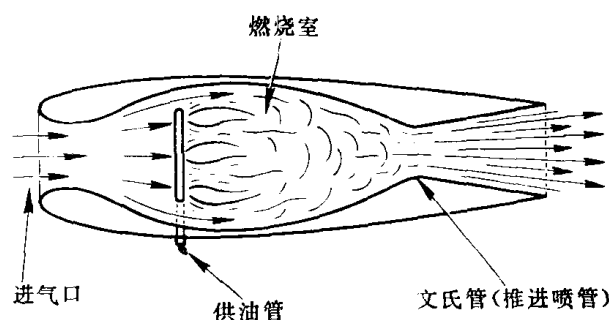


图1-1 罗兰的喷气发动机

为相似。

3. 1930 年英国弗兰克·惠特尔获得了第一个用燃气涡轮产生喷气推进的专利, 但一直到 11 年后他的发动机才完成了第一次飞行。惠特尔的发动机奠定了现代燃气涡轮发动机的基础, 罗耳斯·罗伊斯公司在此基础上发展了“威兰德”、“德温特”、“尼恩”和“达特”, 等型发动机。“德温特”和“尼恩”涡轮喷气发动机在世界上广泛地用于军用机上; “达特”涡轮螺旋桨发动机则以用到维克斯公司的子爵号飞机上而闻名。尽管许多飞机装有各种新式的双轴、三轴、双涵式和管道风扇式发动机, 但它们都是在惠特尔的早期发动机的基础上演变而来的。

4. 喷气发动机(图1-2)的结构虽然同

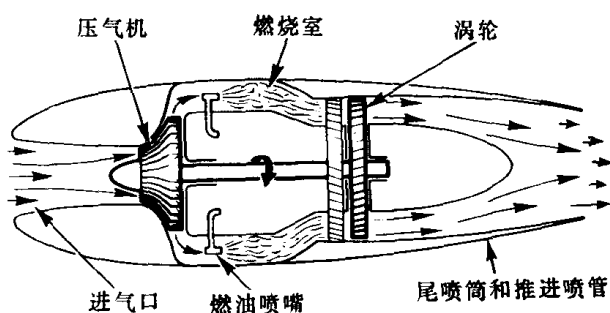


图1-2 惠特尔的涡轮喷气发动机

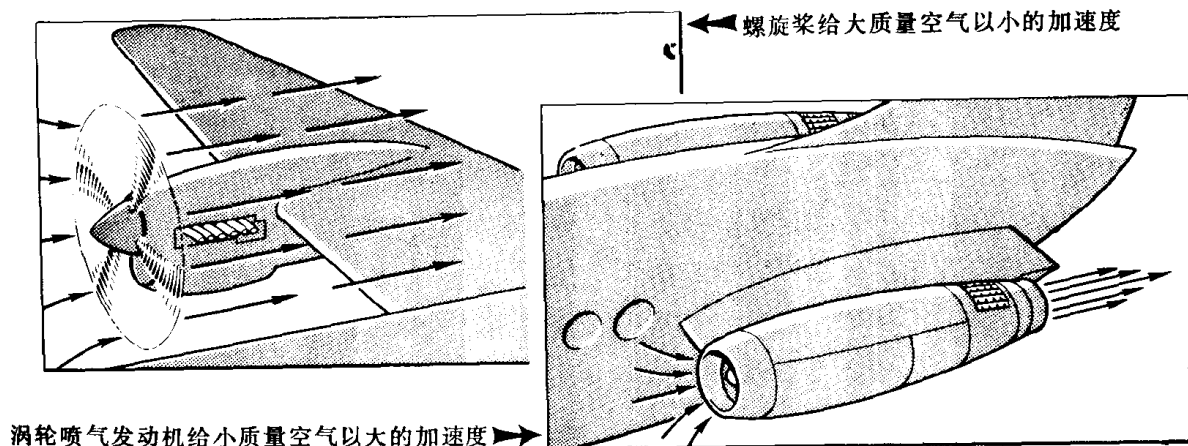


图1-3 螺旋桨推进和喷气推进

活塞式发动机加螺旋桨的结构看起来大不相同，但都根据同一基本原理产生推进力。从图 1-3 可以看出，它们都是依靠把大量空气向后推的方法来推动飞机向前运动的。

5. 今天，一提到喷气推进，人们自然会联想到燃气涡轮发动机，实际上还有其它型式的喷气推进发动机，如冲压喷气式，脉动喷气式，火箭式，涡轮冲压式和涡轮火箭式发动机。

喷气推进原理

6. 喷气推进是牛顿的运动第三定律的具体运用。第三定律说：“作用在一个物体上的任何力，都有一个大小相等方向相反的反作用力”。对于飞机推进来说，“物体”就是大气，大气通过发动机时获得加速。加速大气的力在相反方向也产生一个使飞行器加速的大小相等的力。喷气发动机与螺旋桨式发动机产生推力的方式相似，但螺旋桨给大质量的空气以小的加速度，而喷气发动机则给小质量的空气以大的加速度（图1-3）。

7. 存在于一切运动形式中的反作用力原理，已广泛应用到各个方面。迄今所知，最早应用喷气反作用力原理的是公元前 120 年赫罗做的一个玩具发动机（图1-4）。这个玩具表明从一组喷嘴里喷出的气流的动量是怎样给喷嘴本身一个大小相等的反作用力而使发动机旋转起来。

8. 利用喷水反作用力驱动的旋转式园艺喷水器就是应用这个原理的一个适例（图 1-5）。同样，由现代灭火用的高压喷枪也可以观察到“喷射反作用力”现象，由于存在水喷射反作用力，往往使一名消防队员拿不稳和控制不住喷枪。应用反作用力最简单的例子是狂欢节施放的气球，当空气或其它气体从气球泄出时，气球会迅速地向相反方向飞驰。

9. 确切地说，喷气反作用力是一种内

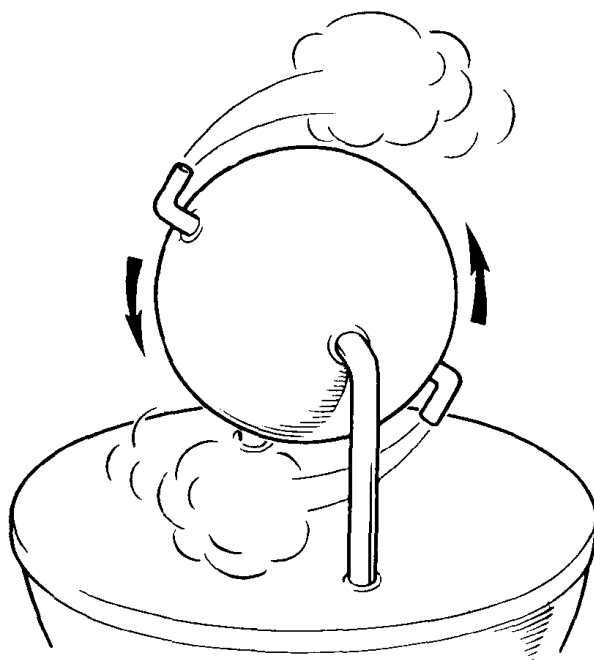


图1-4 赫罗的发动机——可能是最先应用喷气反作用力原理的玩具发动机

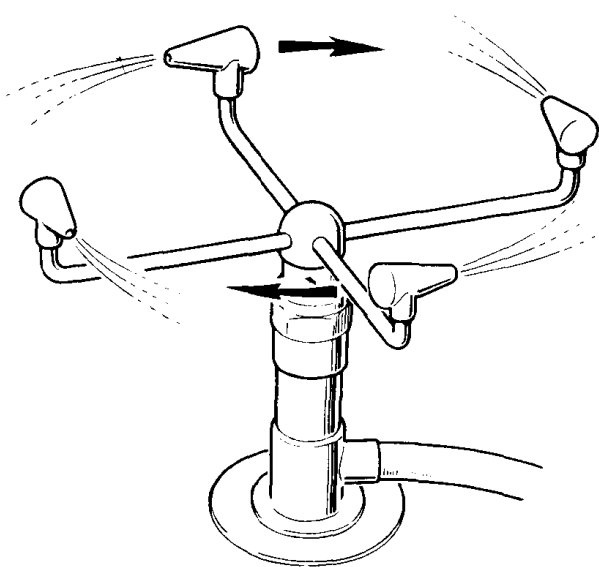


图1-5 应用喷水反作用力的旋转式园艺喷水器

部现象，往往假定它不是喷气压力作用于大气的结果。实际上，喷气推进发动机，不管是火箭式的、冲压喷气式的或涡轮喷气式的，都设计成能够加速大量气流并使之以极高的速度排出。第二章将介绍为此目的所采用的各种方法，但在所有情况下加于发动机上的反作用力(推力)的合力都与发动机排出的空气质量以及加给气流的速度成正比。

也就是说,同样的推力可以由给大质量空气以小的加速,或给小质量的空气以大的加速来获得。

喷气推进方法

10. 喷气发动机有各种型式,如冲压式、脉动式、火箭式、燃气涡轮式、涡轮冲压式和涡轮火箭式,它们之间的差别仅在于发动机提供能量及把能量转换成飞行动力的方法上有所不同。

11. 冲压式发动机(图 1-6)是直流式的冲压空气喷气发动机,或叫做气动热力管道,它没有主旋转部件,只是一个一端为扩散形进气口另一端为收敛形出气口或收敛-扩散出气口的管道。当外力使它获得前进运动时,空气进入进气口并失去了速度或动能,在通过扩压段时压力能增加。燃油燃烧后增大了总能量,膨胀的燃气通过出口段加速喷到大气中。冲压喷气发动机通常是作为导弹和靶机的动力装置,而不适用于飞机,因为在产生推力前需要先给它一个向前运动的力。

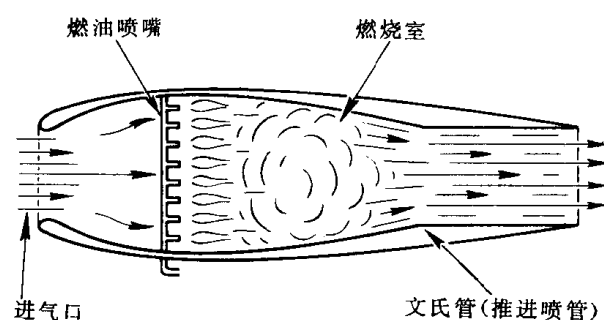


图1-6 冲压式喷气发动机

12. 脉动式发动机(图 1-7)采用间歇燃烧原理,它与冲压式喷气发动机的区别在于能够在静止条件下工作。这种发动机的结构与冲压式发动机相似,也是一个气动力管道,但因工作时承受的压力较高,故结构更加坚固。进气口内有一排进气门,由弹簧拉成开放状态。空气经过打开的气门进入燃烧室,借燃油燃烧使空气加热,燃气的膨胀促

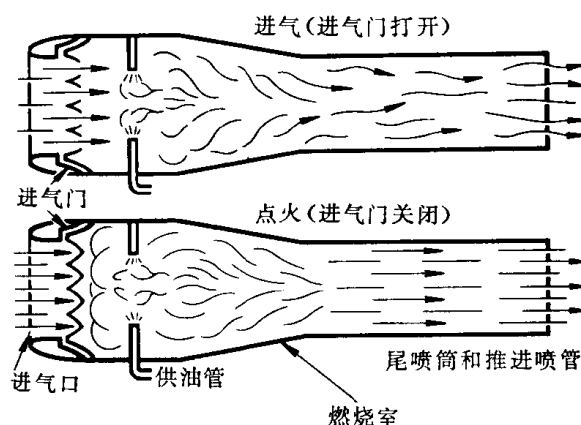


图1-7 脉动式喷气发动机

使压力升高,推动活门关闭,燃气遂向后喷射。燃气排出后压力降低,气门再度打开,循环又重新开始。曾为直升飞机设计过脉动式喷气发动机,用作旋翼的推进装置,其上无进气门,而是通过仔细设计流道来控制谐振循环的压力变化。脉动式喷气发动机的油耗量大,性能也比不上现代的燃气涡轮发动机,故不宜作飞机的动力装置。

13. 火箭发动机(图 1-8)也属喷气发动机,主要区别是它不用大气作为工质,而是自身携带氧化剂和液体燃料或化学分解的燃料,因此,火箭发动机能在地球大气层以外工作,但仅适于短时工作。

14. 燃气涡轮发动机没有上述火箭发动机和冲压发动机的固有弱点,由于采用涡轮带动压气机,因而低速时也能产生推力。涡轮发动机的工作循环过程将在第二章介绍。同一切型式的热机一样,涡轮喷气发动机从大气中吸入空气,并进行压缩和加热。空气经过压缩和加热后,加给空气的能量和动量迫使空气以 2000 呎/秒(600米/秒)或 1400哩/小时(2250公里/小时)的速度从推进喷管排出。空气在流过发动机时还消耗一部分能量和动量去驱动涡轮,涡轮则带动压气机。

15. 燃气涡轮发动机的机械结构比较简单,它只有两个主要旋转部件,即压气机(第三章)和涡轮(第五章),还有一个或几