

航空发动机的发展历程

主 编 方昌德

副主编 马春燕

编 写 彭友梅 季鹤鸣

田宝林 胡晓煜

航空工业出版社

北京

序

飞机发明 100 多年了，这是不平凡的一个世纪。

1903 年 12 月 17 日，美国莱特兄弟制作的世界第一架有动力、可操纵、重于空气的载人飞行器试飞成功，标志着人类飞行的梦想变成了现实。从此，飞机为人类的进步与发展插上了翅膀，将人们的活动范围从陆地、海洋扩展到天空，并且越飞越高、越飞越快、越飞越远，创造了人类历史上一个又一个辉煌，并对社会生活的各个方面产生了和正在产生着极其巨大的影响。

飞机的发明是 20 世纪最重大的科技成果之一，也催发了新的科技文明。飞机是现代科学技术成就集成的物化形态之一，是人类科技创新能力与工业化生产形式相结合的产物。飞机在技术上是一个集众多领域之大成的综合体。军事和社会对飞行的需求使飞机走过了一个迅速而不间断的发展过程，每一步跨越都应用和体现了当代科学技术的最新成果。而航空领域的持续探索 and 不断创新也为诸多学科的发展提供了新的、不绝的动力，带动一批相关技术取得突破与创新。所以，航空既是科学技术的结晶，又是科学技术发展的一种动力。当前，航空工业已经成为知识密集、技术密集、高附加值、低消耗的产业。飞机虽然是实现人类飞天梦想的主要工具，但其基本功能却首先表现在军事上。

早在第一次世界大战，飞机发展尚处于稚嫩期时，就被人们匆忙推上了战场，而反过来，战争实践与军事需求又大大加速了飞机及其技术的发展。1914 年，飞机还只是勉强可用于空中观察和枪械对射的工具，4 年后，当战争结束时，它已经成为能用于空中侦察、临空轰炸和追逐格斗的有效武器系统，飞机的产量也因此急剧增加，并从此诞生了一个新的工业部门——航空工业。1939 年爆发的第二次世界大战，更充分展示了飞机的作战能力。这次世界大战可以说是从飞机突袭开始，又以飞机轰炸收尾；飞机已成为军队的主要装备，而战争的需求推动各国不断研制新的军用飞机，飞机的性能几乎达到了使用活塞式发动机所能达到的极限。

20 世纪 40 ~ 50 年代喷气技术的推广应用，80 ~ 90 年代电子信息技术的迅猛发展，给飞机发展带来了划时代的变化，不仅飞行速度、高度与航程获得极大提高，而且飞机的机动性、目标特性与信息对抗能力也有了质的跃升。朝鲜战争、越南战争、印巴战争、中东

战争,以及90年代以后发生的几次局部战争,给飞机提供了广阔的表演舞台。飞机从战争的协同力量变成了战争的主力,甚至成为决定性力量。在20世纪的后50年里,喷气式战斗机已经发展了4代,此外还出现了许多先进的攻击机、预警机、轰炸机、军用运输机、教练机、无人侦察机和武装直升机等军用飞行器,构成了一个完整的空军装备体系。

飞机作为民用运载工具同样得到了迅速发展和广泛应用。民用飞机每天都在造福人类。它在运输领域充分施展才能,加快了社会运转的速度,改变了人们的时空观,“缩短”了不同国家和地区间的距离。通用航空在国民经济和社会生活其他方面,也都大显身手。可以说,拥有飞机和直升机数量的多少,在一定程度上已经成为衡量一个国家经济发展水平的标志。

飞机带来了新的军事文明、新的交通文明、新的时空文明。人类与时间、人类与空间、时间与空间的关系已经并且还在因飞行而改变。航空的每一次进步,都是一次对自然、技术和人类生理与心理极限的挑战。但是,人类并不满足这些成就,探索未知的秘密,追求更大自由的脚步始终没有停歇,更大、更快、更好的飞机将会在新的一百年中不断飞上蓝天,为人类造福。

为了回顾航空领域的发展历程,梳理总结航空科技的发展经验,展望航空事业的未来前景,总装备部组织上百位专家、教授共同编写了《世纪航空丛书》。这套丛书共有8册,400余万字,由中国国防科技信息中心和中国航空工业发展研究中心联合承担编撰任务,并由航空工业出版社出版。参加书稿编写工作的众多科技人员中有两院院士,有航空科研院所的总设计师、总工程师和知名专家,有空军、海军和陆航长期从事装备研究的专家,有院校的教授,还有长期从事科技情报研究和系统工程分析的专家。他们在繁忙的工作之际,积极撰写文稿,反复修改、核实,认真、严谨的工作态度令人感动。这套丛书具有史料丰富、内容翔实、分析全面、图文并茂等特点,既有对过去100多年的总结和回顾,也有对新世纪的展望和分析,是一套技术含量较高、又深入浅出的航空科技出版物。希望本套丛书能为传播航空科技知识,吸引更多读者关心航空、支持航空,并为推进中国航空事业的进一步发展做出贡献。

丛书编辑部

2007年7月20日

前言

1903年12月17日,美国莱特兄弟实现了人类历史上首次有动力飞机的飞行,这使得几千年来由少数人从事的飞行探索事业,在后来的一百多年中发展成为对世界政治、经济、军事和技术乃至人们的生活方式都有重要影响的航空业。航空发动机不仅从狭义上是航空器飞行的动力,从广义上也是航空事业发展的推动力。

航空发动机的历史大致可分为两个时期。第一个时期从首次动力飞行开始到第二次世界大战结束。在这个时期,活塞式发动机统治了40年左右。特别是在两次世界大战的推动下,发动机的性能提高得很快,功率从不到10kW增加到2500kW左右,功率重力比从 $0.11\text{kW}/\text{daN}$ ^①提高到 $1.5\text{kW}/\text{daN}$ 左右,耗油率从约 $0.50\text{kg}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 降低到 $0.23\text{kg}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 。以活塞式发动机为动力的螺旋桨飞机的飞行速度从 $16\text{km}/\text{h}$ 提高到近 $800\text{km}/\text{h}$,飞行高度达到 15000m 。第二次世界大战后,活塞式发动机逐步退出主要航空领域,但功率小于 370kW 的发动机仍广泛应用在轻型低速飞机和直升机上,如行政机、农林机、勘探机、体育运动机、私人飞机和各种无人机。

第二个时期从第二次世界大战结束至今。60多年来,航空燃气涡轮发动机取代了活塞式发动机,开创了喷气时代。直接产生推力的涡轮喷气发动机(简称涡喷发动机)和涡轮风扇发动机(简称涡扇发动机)的推力范围从几百十牛(daN)到超过 50000daN ,战斗机发动机的推力重力比从2左右提高到10,民用发动机的耗油率从 $1.0\text{kg}/(\text{daN}\cdot\text{h})$ 下降到 $0.4\text{kg}/(\text{daN}\cdot\text{h})$ 。它们推动着喷气式飞机跨过声障和热障,直逼3倍声速;使双发巨型宽体客机能够安全地越洋飞行;民航的重要经济指标——每人公里油耗下降了70%,其中 $3/4$ 得益于发动机效率的提升;推力矢量喷管技术使战斗机垂直/短距起落和具有超机动能力成为可能。

涡轮螺旋桨发动机(简称涡桨发动机)和涡轮轴发动机(简称涡轴发动机)是输出轴功率的,它们分别驱动螺旋桨和旋翼,成为亚声速运输机和直升机的动力装置。涡轮螺旋桨发动机最大曾发出超过 11000kW 的功率,装备了一些重要的运输机和轰炸机。但终因螺

^① daN 为推力单位, $1\text{daN}=10\text{N}$ 。

旋桨在吸收功率、尺寸和飞行速度方面的限制,在大型飞机上涡轮螺旋桨发动机逐步被涡轮风扇发动机所取代。涡轮轴发动机在直升机领域一直居主导地位。最大的涡轮轴发动机可发出 8500kW 的应急功率,装两台这种发动机的直升机可运载 20t 的货物。总之,航空发动机经历了一个世纪的发展,已经相当成熟,为各种航空器的发展做出了重要贡献。

由航空发动机改造的非航空用轻型燃气轮机在发电,热电联供,机械传动,油气管线泵站,舰船、坦克和车辆的动力方面已获得了广泛的应用。

为满足 21 世纪各种航空器发展的要求,航空发达国家从 20 世纪 80 年代末开始实施新的发动机技术发展计划,在燃气涡轮发动机方面其目标是 2005 ~ 2008 年掌握推重比翻一番、耗油率改善 30% 和成本降低 30% 的技术。今后新的技术发展计划将在继续提高性能的同时更强调降低成本,其目标是 2006 ~ 2015 年使以发动机能力(推重比/耗油率)与全寿命期成本之比来度量的经济可承受性从目前水平提高 10 倍。在高超声速推进方面,重点发展声速燃烧冲压发动机和脉冲爆震波发动机,为高超声速巡航导弹、有人驾驶飞机、跨大气层飞行器和低成本可重复使用的天地间往返运输系统提供动力。其他一些新概念发动机和新能源发动机也在探索之中。可以说,航空发动机技术正呈现出加速发展的态势,并将在某些领域取得突破性进展。

中国航空发动机工业的起步并不太晚,在中华民国时期就曾试图建立航空发动机工业,但最终只是修理和装配少量的活塞式发动机。中华人民共和国成立后,从 1951 年建立活塞式发动机修理厂开始的 50 多年来,已经建成了一个比较完整的科研、设计和生产体系,通过引进专利仿制、改进改型和自行研制,已经生产了近 60000 台发动机,研制出拥有自主知识产权的涡轮喷气发动机、涡轮风扇发动机和涡轮螺旋桨发动机,跨入了世界上少数几个能独立研制较先进航空发动机国家的行列。

本书的出版是为了让读者通过对航空发动机基本概念及其发展历史、现状和未来的了解,体会到人类探索动力飞行之艰辛、发动机技术之精深、当代发动机技术发展之迅速、未来发动机前景之广阔和发动机的发展对国防和国民经济之重要,从而唤起广大读者对航空发动机事业的关注和兴趣,积极投身于此项事业,为我国真正跻身先进航空发动机国家之林而努力。

本书第 1 章由彭友梅编写,第 2、第 9、第 10 章由方昌德编写,第 3、第 4、第 5 章由季鹤鸣编写,第 6、第 7 章由田宝林编写,第 8 章由胡晓煜编写。全书由陈光审稿。

编 者

2007 年 3 月

目 录

第 1 章 总论

1

1.1 航空发动机的诞生

1

1.1.1 扑翼飞行

1

1.1.2 气球和飞艇

2

1.1.3 飞机和发动机

3

1.1.4 第一次载人飞机动力飞行

5

1.1.5 中国人民的贡献

6

1.2 航空发动机的发展

6

1.2.1 活塞式发动机统治时期

6

1.2.2 喷气推进新时代

7

1.2.3 涡轮螺旋桨发动机和涡轮轴发动机

12

1.2.4 航机改型非航空用燃气轮机

13

1.2.5 航空发动机“家谱”

13

1.3 航空发动机的未来

14

1.3.1 推进技术的研究和发展

14

1.3.2 航空发动机展望

15

1.4 航空发动机研究和发展的特点

20

第 2 章 活塞式发动机

23

2.1 概述

23

2.1.1 工作原理

23

2.1.2	结构	24
2.1.3	分类和编号	25
2.1.4	冷却方式	25
2.1.5	性能参数	26
2.1.6	空气螺旋桨	26
2.2	液冷直列发动机的兴起	27
2.3	昙花一现的旋转汽缸活塞式发动机	29
2.4	发动机整流罩、涡轮增压器和变距螺旋桨的发明和应用	31
2.4.1	发动机整流罩	31
2.4.2	废气涡轮增压器	31
2.4.3	变距螺旋桨	33
2.5	气冷星形发动机的逐步崛起	34
2.5.1	1930 年以前的气冷星形发动机	34
2.5.2	活塞式发动机的全盛时期——大型气冷活塞式发动机	36
2.5.3	液冷发动机仍占一席之地	39
2.6	喷气时代的活塞式发动机	43
2.6.1	气冷的水平对缸发动机是主流	44
2.6.2	旋转活塞式发动机在无人驾驶飞机上初露头角	45
2.6.3	狄塞尔发动机将为未来通用航空飞机显身手	46
2.7	中国的航空活塞式发动机	46

第 3 章 涡轮喷气发动机 49

3.1	涡轮喷气发动机出现的背景	49
3.2	推力、推进原理和喷气发动机	50
3.2.1	推力	50
3.2.2	喷气推进原理	50
3.2.3	涡轮喷气发动机及其工作过程	51
3.3	堪称双杰的两位发明人	52
3.4	涡轮喷气动力飞行时代的到来	55
3.5	燃气涡轮喷气发动机的特点和演变	59
3.6	燃烧室设计发人深省	61

3.7	离心式和轴流式压气机的抉择	66
3.8	从单轴发动机发展到双轴甚至三轴发动机	68
3.9	加力——实现飞机超声速飞行的有效措施	71
3.10	涡喷发动机承上启下功不可没	74
3.11	“昆仑”号——中国人迈出了第一步	75

第4章 涡扇发动机 79

4.1	涡扇发动机崛起的背景、工作原理和演变	79
4.1.1	涡扇发动机崛起的背景	79
4.1.2	涡扇发动机工作原理	79
4.1.3	涡扇发动机的演变	80
4.2	高增压比带来的问题	82
4.3	大流量高涵道比引出的新技术	84
4.4	反推力装置	87
4.5	高的涡轮前温度集中了多项技术精华	89
4.6	带加力的中等涵道比涡扇发动机	91
4.7	推力矢量喷管	92
4.8	红外抑制技术与飞机隐身	93
4.9	全权数字电子控制系统	95
4.10	材料和工艺的贡献	97
4.11	新型军民用涡扇发动机的发展	98
4.12	桨扇发动机	104
4.13	中国的涡扇发动机	105

第5章 涡桨与涡轴发动机 107

5.1	概述	107
5.2	定轴式涡轴发动机与自由涡轮式涡轴发动机	111
5.2.1	定轴式涡轴发动机	111
5.2.2	自由涡轮式涡轴发动机	111

5.3 减速器	112
5.3.1 技术要求	113
5.3.2 传动形式	113
5.3.3 结构形式	113
5.3.4 测扭装置和磁性检屑器	115
5.4 涡轴发动机的进气防护装置	115
5.4.1 对进气防护装置的要求	115
5.4.2 进气防护装置的类型	116
5.5 涡轴/涡桨发动机燃气发生器的特点	117
5.5.1 离心式和混合(组合)式压气机	117
5.5.2 回流环形燃烧室和折流环形燃烧室	118
5.5.3 涡轮	120
5.6 排气系统和红外抑制器	120
5.7 涡桨发动机的应用及其发展	121
5.8 涡轴发动机的发展与未来	122
5.9 中国的涡桨/涡轴发动机	124

第6章 其他类型发动机 127

6.1 垂直/短距起落动力装置	127
6.1.1 垂直/短距起落动力装置的类型	127
6.1.2 垂直/短距起落动力装置的发展及应用	128
6.1.3 垂直/短距起落动力装置的未来	131
6.2 冲压喷气发动机	133
6.2.1 冲压喷气发动机的工作原理和特点	134
6.2.2 冲压喷气发动机的分类和使用范围	134
6.2.3 冲压喷气发动机的诞生与发展	135
6.3 脉冲喷气发动机	135
6.4 火箭发动机	136
6.4.1 最先突破声障的飞机的动力——火箭发动机的研制历程	137
6.4.2 用于飞机起飞或加速的助推火箭发动机的发展及应用	139
6.5 组合发动机	139
6.5.1 涡轮冲压发动机	139

6.5.2 火箭冲压发动机	141
6.5.3 涡轮火箭冲压发动机	142
6.6 航空燃气涡轮发动机在无人机和巡航导弹上的应用	142
6.6.1 微型涡喷发动机的发展与应用	143
6.6.2 巡航导弹用小型航空燃气涡轮发动机的发展与应用	143

第7章 航空发动机在非航空领域的应用 147

7.1 航改燃机在舰船中的应用	148
7.1.1 舰船用燃机的特殊要求和航改燃机的适应性	148
7.1.2 舰船用航改燃机的发展和应用	149
7.1.3 舰船航改燃机的未来发展趋势	150
7.2 地面车辆动力	151
7.2.1 航改燃机在坦克领域的应用	151
7.2.2 其他车辆用航改燃机的发展	153
7.3 燃机发电	153
7.3.1 发电用燃机的发展	153
7.3.2 发电用航改燃机新技术发展动向	155
7.4 机械驱动	156
7.5 中国航改燃机的发展	157

第8章 探索中的航空发动机 161

8.1 多电发动机	161
8.1.1 概述	161
8.1.2 多电发动机的结构组成与性能优势	162
8.1.3 多电发动机技术的发展	164
8.1.4 多电发动机的关键技术与技术难点	165
8.2 超燃冲压发动机	166
8.2.1 概述	166
8.2.2 超燃冲压发动机的发展	167
8.2.3 超燃冲压发动机的关键技术与技术难点	168

8.3 脉冲爆震发动机	168
8.3.1 脉冲爆震发动机的技术概念和工作原理	168
8.3.2 脉冲爆震发动机的性能优势及应用前景	170
8.3.3 脉冲爆震发动机技术的发展概况	170
8.3.4 脉冲爆震发动机的技术难点	172
8.4 微型燃气涡轮发动机	172
8.4.1 MIT 微型涡喷发动机的基本结构和工作原理	173
8.4.2 MIT 微型燃气涡轮发动机的发展现状	173
8.4.3 微型燃气涡轮发动机的技术难点	173
8.5 探索中的新能源航空发动机	174
8.5.1 太阳能发动机	174
8.5.2 氢燃料/天然气发动机	175
8.5.3 燃料电池发动机	176
8.5.4 核能发动机	177
8.5.5 微波发动机	177

第9章 航空发动机试验和仿真	179
-----------------------	-----

9.1 航空发动机试验的分类和目的	180
9.2 航空发动机试验技术体系	181
9.3 试验技术和设备的发展	182
9.3.1 性能试验	182
9.3.2 适用性试验	185
9.3.3 耐久性试验	186
9.3.4 环境试验	188
9.3.5 飞行试验	188
9.4 推进系统数值仿真	189

第10章 航空发动机研究和发展的组织管理	191
-----------------------------	-----

10.1 研究和发展的分类管理	191
10.1.1 研究和发展的分类	191

10.1.2 研究和发展的工作体系	193
10.2 武器系统寿命期分阶段管理	197
10.2.1 武器系统寿命期分阶段	197
10.2.2 武器系统寿命期各阶段的任务	198
10.2.3 系统寿命期分阶段与研究和发展分类的关系	203
大事记	205
参考文献	213

第 1 章

总 论

在大气层内、外空间飞行的器械称为飞行器，包括航空器、航天器和跨大气层飞行器。在大气中飞行的装置叫航空器，分为轻于空气的航空器和重于空气的航空器两大类。气球和飞艇属于轻于空气的航空器，靠空气的静浮力升空、随风飘行或靠动力飞行，它们在历史上发挥过重要作用，而且现在仍在使⽤。但对航空事业更有意义、也更为复杂的是重于空气的航空器，如飞机，直升机和装有翼面的空空、地空、空面、巡航导弹等，它们靠与空气的相对运动产生的空气动力升空飞行。

为航空器提供推力（或拉力）、推动航空器前进的装置叫航空动力装置或航空推进系统。航空推进系统包括发动机、推进器（如螺旋桨和旋翼，喷气发动机既是发动机又是推进器）、进气道和排气喷管，核心部分是发动机。虽然蒸汽机、电动机及汽油内燃机较早也在飞艇上使用过，但对航空事业更有意义、也更为复杂的是重于空气的航空器使用的发动机，如航空活塞式发动机、航空燃气涡轮发动机和冲压喷气发动机，它们才是真正意义上的航空发动机。本书介绍航空发动机的诞生和发展就是针对这类发动机而言的。

发动机是将能量转变为机械功或推力的热力机械，包括主机和各种辅助系统

（如起动、燃油、润滑、自动控制等系统）。当前，航空发动机的能源主要是燃油（航空煤油和航空汽油）的化学能，此外，太阳能、核能、电能或其他化学能的应用尚在研究当中。工质是空气和燃气。

发动机是航空器的核心，有了适用的航空发动机，才实现了真正的有动力、可操纵的载人航空飞行。随着航空发动机的更新换代，推动了军民航空器一代一代地向前发展。同时，由于航空发动机是知识密集型、多学科、高科技产品，而且其改型研制的燃气轮机在舰船、坦克、机车、发电、泵站等方面被广泛应用，因此，航空发动机的发展有力地带动了科学技术、基础工业和国民经济的发展，成为一个国家科技、工业水平和综合国力的重要标志。

下面概要地介绍航空发动机诞生、发展的历程及其对未来的展望。

1.1 航空发动机的诞生

要讲航空发动机的诞生，不能不回顾人类探索飞行的历史。

1.1.1 扑翼飞行

像鸟儿那样在空中自由飞翔，是人类长期以来的向往。在中国和世界各国，自

古留下了大量关于腾空飞行的神话和传说，并为实现这一美好的愿望进行了长期的、前赴后继的探索和尝试。

最先是模仿鸟儿，全身粘上羽毛，绑上翅膀，靠双臂扑动进行“人力扑翼飞行”。从公元前 852 年英国国王布拉德开始，世界上许多人多次试验，非死即伤，均告失败。公元 1505 年，意大利学者达·芬奇经过 20 多年的研究写出《论鸟的飞行》。1868 年，他的同胞波莱里发表《运动的动物》，指出人靠自身的力量无法实现扑翼飞行。

与此同时，人们试图制造会飞的木鸟。传说公元前 770 ~ 公元前 481 年中国春秋时代的墨子和鲁班就研制了能飞的木鸟，古希腊等国的学者也制造过木鸟，但都没有留下具体的资料和实证。“扑翼机”也是对鸟儿的模仿，如图 1-1 所示。以现代科学推断，没有动力的木鸟或“扑翼机”是不可能持续飞翔的。

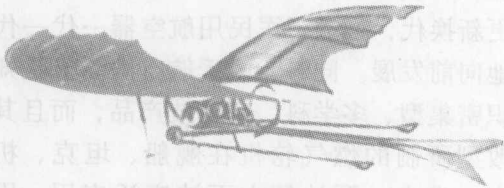


图 1-1 1490 年达·芬奇设计的“扑翼机”

1.1.2 气球和飞艇

既然比空气重的东西难以飞行，人们的注意力开始转向轻于空气的飞行器，这就是热气球和氢气球。

中国五代时期莘七娘制成的可以升空的“天灯”（后称“孔明灯”）可以说是世界上最早的一种“热气球”。这是用竹和纸做成的方形灯笼，底盘用桦脂油点燃后，随着灯笼内的空气变热、变轻，灯笼就靠浮力升到空中，用做联络信号，如图 1-2 所示。18 世纪，中国的“孔明灯”传到了西方，掀起了一股“气球”热潮。1783 年

11 月 15 日，法国青年科学家罗泽尔和法兰德斯乘坐蒙哥尔费兄弟制作的热气球（如图 1-3 所示）第一次升空，实现了人类几千年来“上天”的梦想。后来，英国、德国、日本、美国等国纷纷制造气球，组建气球部队。作为人类使用的第一种载人飞行器，气球越做越大、越飞越高、越飞越远，在军事战争和社会生活各方面发挥了很好的作用。

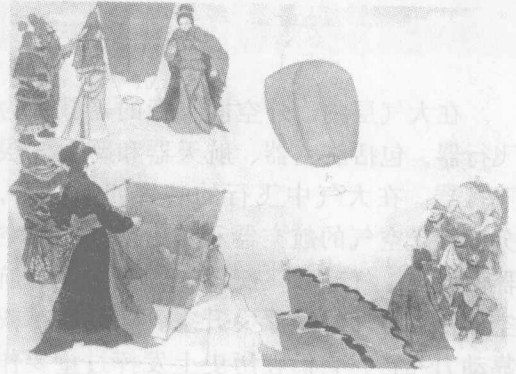


图 1-2 中国五代时期莘七娘制作的“天灯”（后称“孔明灯”），这是世界上最早的一种“热气球”

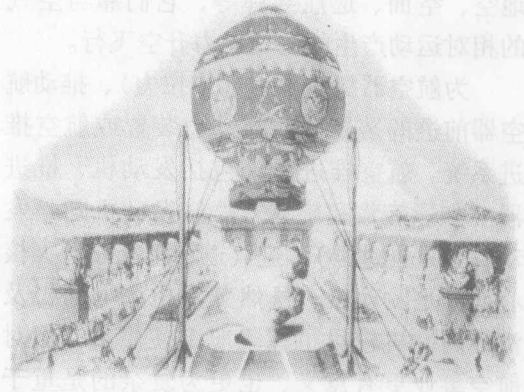


图 1-3 法国蒙哥尔费兄弟制作的世界第一个载人热气球

无动力气球的最大缺点是只能随风飘行，为此，1784 年，法国的罗伯特兄弟制造了一个用人力作动力的鱼形气球。升空后，由吊篮里的人划动“布桨”向前移动。但用人力提供的动力根本无法控制气球的飞行。

1769年,英国工人瓦特发明了蒸汽机。蒸汽机在工业领域的广泛应用爆发了第一次技术革命。那时,人们也尝试把蒸汽机用在气球上。为了便于控制飞行,把气球改成雪茄烟或鲸鱼的形状,称之为飞艇。因此可以说,飞艇是具有推进装置、可以控制飞行的流线形“气球”,仍属于充气式轻于空气的航空器。由艇体、尾面、吊舱和推进装置组成,根据艇体的结构分为软式、硬式和半硬式三种。

1852年9月24日,由法国蒸汽机工程师吉法尔制造的,以蒸汽机为动力的人类第一种可控制的形似雪茄烟的飞艇诞生了,如图1-4所示。这个飞艇从巴黎升空,利用吊篮里的蒸汽机带动一套三叶螺旋桨,以每小时10km的速度飞行了28km。

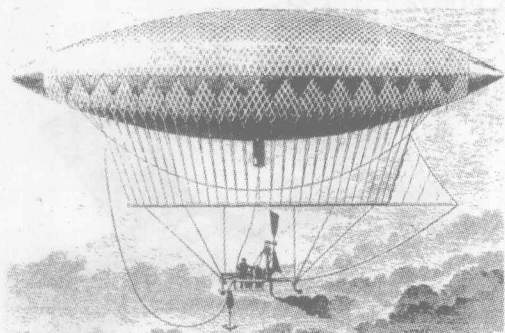


图1-4 法国工程师吉法尔制造的装有蒸汽机的飞艇

但无数事实证明,蒸汽机过于笨重以及其他种种局限使之不适于作为航空动力。后来,第二次技术革命提供了电动机和内燃机两种动力装置,大大推动了飞艇的发展。1860年,法国工程师勒努瓦提出了内燃机原理,后经德国工程师奥托和戴姆勒的进一步改进,为动力载人飞行提供了可用的轻型发动机。

1884年8月9日,法国人雷纳德用直流电动机作动力,首次实现了“法兰西号”飞艇的可控制的圆周飞行。1899年,侨居法国的巴西人桑托斯·杜蒙首次把汽车的

汽油内燃机用到了飞艇上。1900年,德国齐柏林伯爵制成了装有两台功率为11.8kW的活塞式发动机的LZ-1型硬式飞艇,如图1-5所示。

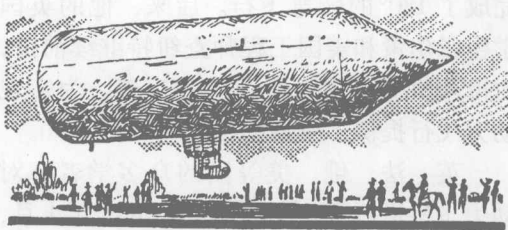


图1-5 德国齐柏林制成的装有汽油内燃机的硬式飞艇

虽然装有发动机的飞艇实现了人们在空中遨游的梦想,但它们都是笨拙的庞大物,远不能像鸟儿那样自由翻飞。航空研究的先驱者们继续寻找更理想的航空器,对重于空气的飞机进行了前赴后继的探索。

1.1.3 飞机和发动机

飞机的研究被不自觉地分成三种不同的方向和道路。第一,解决有关飞行的理论问题;第二,从动力飞机开始,先解决飞机离开地面的问题,再解决稳定和操纵问题;第三,从无动力滑翔机开始,先解决飞机的稳定性和操纵问题,然后再给飞机加装动力系统。

被称为“航空之父”的英国学者乔治·凯利(1773~1857)是航空理论的奠基人。1810年,他的题为《论空中航行》的研究论文奠定了固定翼飞机和旋翼机的基础,他建立的重于空气飞行器的基本飞行原理和飞机结构布局,被看成是现代航空学诞生的标志。

法国学者阿方索·佩诺(1850~1880)也是一位在航空史上占有重要地位的伟大人物,他创造性地提出了首先进行理论研究,然后进行模型试验,最后过渡到全尺寸飞机研制的方法。

在滑翔机研究方面，成功地使载人滑翔机飞上天的是德国工程师奥托·李林塔尔。1891~1896年，他总共进行了2500多次滑翔飞行，其中最远飞行距离达到300m，还完成了180°的转弯飞行。后来，他的英国学生佩尔策和美国工程师查纽特继续前进，对滑翔机做了进一步改进和完善，为实现动力飞行提供了重要的技术支持。

英、法、俄、美等国的众多学者都对动力飞机进行了长期的探索。1843年4月，英国工程师汉森设计了一架机身长26m、翼展45m的大型单翼飞机，采用一台20kW的蒸汽机，取名“空中蒸汽汽车”，如图1-6所示。这是人类历史上第一个重于空气的航空器的发明专利，也是人类最早采用螺旋桨推进的固定翼飞机方案。后来，在工程师斯特林费罗的帮助下，他们制作了一个“空中蒸汽汽车”的7:1缩比模型试验机，并于1845年6月17日进行了试验。但是由于飞机的升力太小，无法支持本身的重量，根本不能飞离地面。

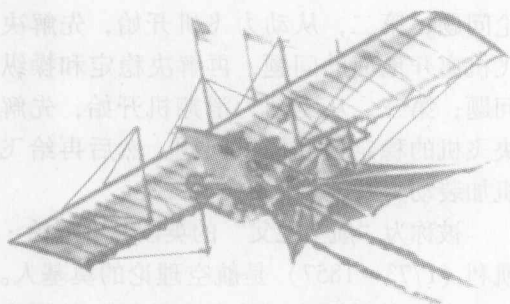


图1-6 英国工程师汉森设计的大型单翼飞机“空中蒸汽汽车”，这是人类历史上第一个重于空气的航空器的发明专利

另一位伟大的开拓者是美国自学成才的兰利博士（1834~1906），他直接通过对动力飞机模型的研究探索飞行的奥秘。1896年11月28日，兰利设计制造的6号蒸汽机动力飞机模型飞到了150m高度，留

空时间近3h。这是历史上第一次重于空气的动力飞行器实现了稳定持续的飞行。

1891~1903年，兰利和助手曼利为美国军方研制了一架载人飞机“空中旅行者”，如图1-7所示。发动机是曼利亲自研制的一种新型5缸星形水冷汽油机，功率可达39kW，而重量^①只有86kg，它不仅在当时是最先进的发动机，而且其独特的造型结构在很长时间内为后来的航空活塞汽油机所采用。虽然“空中旅行者”两次飞行试验因发射方式等原因均失败，但兰利的航空设计理论和试验成果给后人留下了珍贵的科学遗产。就在他的飞机第二次掉到河里的一周以后，兰利欣慰地亲眼看到，他的美国同胞莱特兄弟（如图1-8所示）终于把一架动力飞机成功地送上了天空。



图1-7 兰利和曼利合作研制的载人飞机“空中旅行者”，发动机是曼利亲自研制的一种新型5缸星形水冷汽油机



图1-8 美国的莱特兄弟

① 本书内重量均指质量。

1.1.4 第一次载人飞机动力飞行

1903年12月17日,这是一个载入史册的伟大日子。在美国北卡罗来纳州的基蒂·霍克的一块空地上,莱特兄弟对他们制造的“飞行者”1号飞机进行试飞。

如图1-9所示,“飞行者”1号是一架具有木制骨架、麻布蒙皮的双翼机。机长6.3m,翼展12.3m。它采用一个前机翼(升降舵)和一个主机翼的布局,两副机翼都是双翼结构。一台4缸水冷式汽油活塞式发动机被固定在主机翼下翼面的上面,功率8.95kW,重量81kg。机翼后面左右各安装一副双叶螺旋桨,桨叶直径2.6m,通过链条与发动机相连。机尾是一个双翼结构的方向舵,用来操纵飞机的方向,而飞机的上下运动由前翼来操纵。驾驶员俯伏在主机翼的下机翼中间的木托架上拉动手柄和

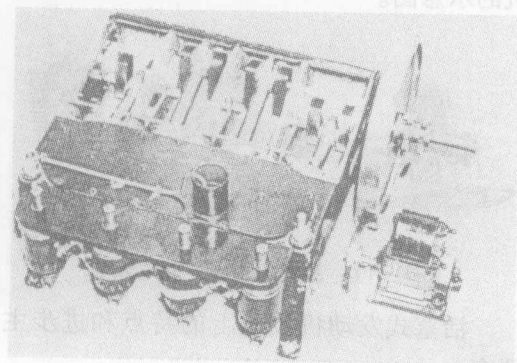
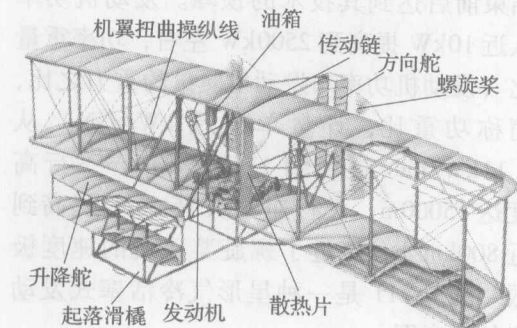


图1-9 莱特兄弟研制的载人飞机“飞行者”1号,动力是一台4缸水冷式汽油活塞式发动机

绳索操纵飞机。飞机没有起落架和机轮,只有滑橇。飞机装在滑轨上,通过小车拉动和辅助弹射起飞。连同驾驶员在内,飞机的总重量大约360kg。

在飞机研制过程中,最大的问题是发动机和螺旋桨。按照他们的设计,飞机总重约284kg,发动机功率至少要达到6kW,而发动机本身重量不能超过89kg。莱特兄弟向几家发动机制造厂求助均遭婉言拒绝,无奈他们决定自己设计制造。在技师查理·泰勒的协助下,根据原来带动自行车车间机器设备的内燃机,改进设计了一台4缸水冷式汽油活塞式发动机。最初只能工作几分钟,发出功率6.75kW。汽缸润滑后,性能大大提高,能够长时间发出近9kW、峰值达12kW的功率。特别难能可贵的是,发动机重量只有81kg,大大超过了预期的指标。在螺旋桨动力转换装置方面,他们通过对船用螺旋桨的考察,自己动手试验研究,为提高效率、增大推力,采用两副大直径双叶螺旋桨,并使之具有较大的桨距。

这一天共进行了四次飞行,第一次留空时间12s,飞行距离36m;第四次成绩最好,留空时间59s,飞行距离260m。这是人类历史上第一次有动力、载人、持续、稳定和可操纵的重于空气飞行器的成功飞行,标志着人类征服天空的梦想开始变为现实,具有划时代的伟大历史意义。这一天被公认为现代航空世纪的起始日。

回顾这一段历史可以看出,飞机和发动机的研究和发展是两方面互相支持、密切结合的。一方面是飞机机体,包括结构、气动和控制系统的研究、设计和制造;一方面是发动机的不断改进和完善,从蒸汽机到电动机,又到内燃机,从汽车内燃机到航空活塞式发动机和螺旋桨。由于汽油内燃机功率大、重量轻、效率高,才能成功地把重于空气的飞机推向天空。正是在