



认识航空

(第二版)

✈ 万志强 主编

飞机、直升机知识与鉴赏

Introduction to Aviation

Knowledge and Photographs of
Airplane and Helicopter



化学工业出版社

认识航空



(第二版)

✈ 万志强 主编

飞机、直升机知识与鉴赏

Introduction to Aviation

Knowledge and Photographs of
Airplane and Helicopter

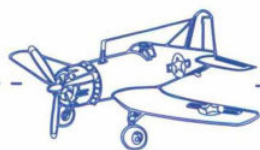


化学工业出版社

· 北京 ·

本书较为系统地介绍了形式多样的航空器，阐述了航空器的飞行原理、构造、动力装置、系统及综合性能，概述了一些世界名机、世界著名飞行表演队、航空运动和航空名人的简要情况。在第一版基础上，对当今最先进的战机及客机等内容做了简要介绍，并更新了大量图片，增加可读性。

本书是为广大航空爱好者编写的科普读物，适合高中生及以上的航空爱好者阅读；也可以作为中学科技教师与航模教师培养青少年航空 / 航模爱好者的航空基础知识教材。



图书在版编目 (CIP) 数据

认识航空：典藏版 / 万志强主编. -- 2 版. -- 北京：化学工业出版社，2018.12
ISBN 978-7-122-33148-9

I. ①认… II. ①万… III. ①航空 - 普及读物 IV. ①V2-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 230747 号

责任编辑：邢 涛

美术编辑：王晓宇

责任校对：王鹏飞

装帧设计：芊晨文化

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 装：北京瑞禾彩色印刷有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张 15 字数 300 千字 2019 年 6 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888

售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：68.00 元

版权所有 违者必究

认识航空



(第二版)

飞机、直升机知识与鉴赏

Introduction to Aviation

Knowledge and Photographs of
Airplane and Helicopter

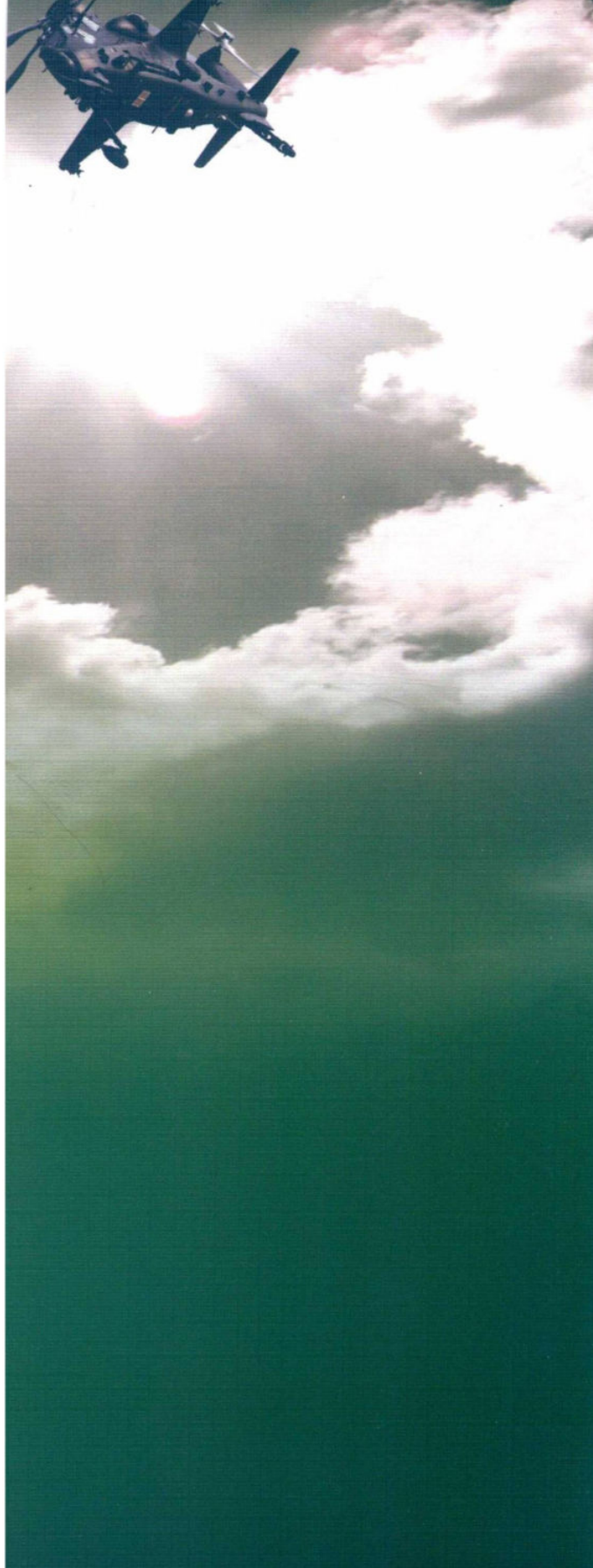


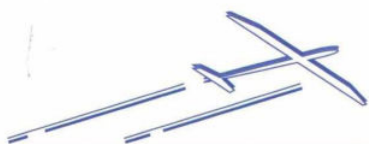
万志强

北京航空航天大学飞行器设计专业教授，博士生导师。北京市青年教学名师。美国航空航天学会AIAA Associate Fellow。

主要研究领域为飞行器气动弹性、飞行器总体设计、飞行器结构设计，主持或参加科研课题50余项。2012年获国防科学技术进步二等奖。2008年、2012年连续两次获得北京市教育教学成果二等奖。2010年获评北京市师德先进个人。近年来，发表重要期刊/会议论文50余篇。培养硕士研究生30余名，培养与合作培养博士生10余名。

主编《认识航空》《飞机为什么会飞》《问天神器——航天器、火箭与导弹的奥秘》，参加编写《飞行器气动弹性原理》。主讲本科生《航空航天概论》、研究生《飞行器气动设计理论与方法》等课程。





序



FOREWORD

梁启超《少年中国说》中有一段话：“今日之责任，不在他人，而全在我少年。少年智则国智，少年富则国富，少年强则国强，少年独立则国独立，少年自由则国自由，少年进步则国进步，少年胜于欧洲则国胜于欧洲，少年雄于地球则国雄于地球。”

2012 年给中国人带来了翘首期盼的民族复兴的“中国梦”，也带来了“航空强国梦”，古老的中国大地掀起了震撼世界的航空风暴。国产歼-15 舰载机 2012 年 11 月在航母上成功起降，国产第四代战斗机歼-20 于 2016 年 11 月在珠海航展惊艳首秀，2017 年服役。国产运-20 大型运输机 2013 年 1 月成功首飞，2016 年 6 月交付部队；国产 C919 大型客机 2017 年 5 月成功首飞；国产 AG600 水陆两栖飞机 2017 年 12 月陆地成功首飞，2018 年 10 月水上成功首飞。2012 年 4 月，在北美举行的堪称航模界“世界杯”的世界大学生航空设计大赛中，作为第一支来自中国的代表队——北京航空航天大学的航模队经过奋力拼搏，获得了高级组冠军，这样一群二十岁出头的年轻人一鸣惊人；随后北航航模队 2017 年、2018 年又在同一赛事获得冠军。

人类在经过陆地和海洋文明的发展阶段后，20 世纪初开创了空天文明时代。在信息社会和新经济时代，在新军事变革和新科技革命浪潮中，航空依然独领风骚、活力四射。纵观百年历史，航空过去、现在、将来也必然是世界强国博弈的重要舞台。

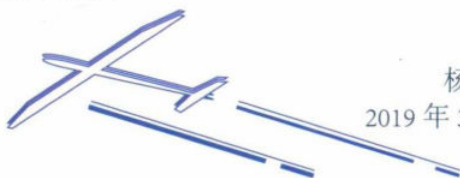
现代航空已经融入人类所接触到的很多方面，涉及军事、政治、经济、法律、科技、教育、社会生活、体育等诸多领域，航空体系庞大，从而对各个年龄段的人们都足以产生强烈的吸引力。纵观世界航空强国，航空高等教育和早期教育体系完善，国民对航空的认知程度很高，从小到大的航空迷，不仅在航空界，而是分布在政界、

军界等各行各业，便于从政策等主流方面大力支持航空合理、有序、快速、高效、领先发展。对比我国现状，国民对航空的认知程度还比较低，特别是青少年群体，由此深深感觉到要实现“航空强国梦”，任重而道远。

2016年5月习近平主席在全国科技创新大会讲话中指出：科技创新、科学普及是实现创新发展的两翼，要把科学普及放在与科技创新同等重要的位置。“少年强则国强”，体现在航空领域则应是“少年强则航空强”，青少年从小就了解、熟悉、掌握、热爱、痴迷航空，对于自身发展、关注航空、航空强国大有裨益。目前虽然也有一些高等学校的航空概论类教材、航空专业人员的读物及培训教材，但对于青少年和非航空专业的航空爱好者来说，这些资料的内容还是过于专业。《认识航空》一书于2013年首次出版，几年来对中国青少年和航空爱好者认识航空提供了很大的帮助。相信再次出版将对大众认识航空发挥更大的作用。

持续强大的航空体系是军事强国的标志，是经济强国的标志，是科技强国的标志。在民族复兴的春风里，我国航空迎来了更加辉煌灿烂的明天，但机遇与挑战并存。

梦想还未实现，少年倍加努力！



杨超
2019年3月



前言

PREFACE

1878 年圣诞节，美国一位伟大的父亲，给他两个儿子送了一个简单而奇妙的玩具——竹蜻蜓，并告诉他们这个竹蜻蜓能够飞向天空。在父亲的演示下，两个小兄弟开始相信，除了鸟和蝴蝶等动物之外，人造的东西也可以飞上天空。从此以后，在兄弟俩幼小的心灵里，就萌发了将来制造能够载人飞上蓝天的器械的梦想。这两兄弟就是众所周知的飞机发明者——莱特兄弟。

中国古代发明的玩具——竹蜻蜓给了莱特兄弟发明飞机的灵感，而他们 1903 年发明的飞机则带来了军事、运输方式等多方面的革命。飞机也成为 20 世纪最伟大的发明，让人类能够把活动空间拓展到天空，进入了航空航天时代。

飞机诞生 100 多年来，人类在航空和航天领域创造了许多伟大的成就，这些成就改变了世界的面貌，拓展了人类的视野，甚至影响和改变了人类的生活方式与时空观。随着航空航天的不断发展，公众尤其是青少年对于航空航天产生了浓厚的兴趣，不禁会问：什么是航空、航天？飞机、直升机为什么能够飞上蓝天？怎样对形式多样的能在空中飞行的器械进行分类？最大的飞机有多大？飞机和直升机能飞多高、多远和多快？为什么有的飞机能够飞得很快，而直升机和有些飞机却飞得较慢？

为了回答公众的上述疑问，也为了便于航空爱好者较为系统和全面地认识与了解航空，普及航空科学知识，作者在《航空模型》杂志连载文章——《万博士的航空讲堂》的基础上，通过凝练和拓展编写了本书。

笔者在参阅大量资料的基础上，图文并茂地提炼、概括和编撰了航空基础知识，力争做到深入浅出、通俗易懂，力求从多个角度

呈现给读者多方面的知识，以期把读者带进航空真实而精彩的世界当中，激发读者的爱国热情和求知欲望。

由于航空科学内容广泛、发展迅速，本书不可能面面俱到，作者仅是结合自身在航空领域教学和研究过程中的经验与体会，把一些最基本、最有必要了解的基础知识进行了归纳和总结，抛砖引玉，以便读者能够较为全面和系统地了解航空基础知识，并激发读者对于航空科学的持续热情。

本书由万志强主编，在第一版的基础上进一步凝练和增补。本书编写中，多位同事为本书提出了宝贵的意见和建议，多名同学为本书绘制了插图。杨超教授曾任北京航空航天大学航空科学与工程学院的院长和北京航空航天博物馆的馆长，站在为国家培养更多航空后备人才的高度，对于本书的出版给予了大力支持，并亲自作序鼓励我们出版此书。张甸云老师为本书再版提供了精美图片。在此，对所有关心和帮助本书出版的仁人志士表示衷心感谢。

本书是为广大航空爱好者编写的科普读物，适合高中生及以上的航空爱好者阅读；也可以作为中学科技教师与航模教师培养青少年航空、航模爱好者的航空基础知识教材。

由于作者的水平所限，书中难免有不足或错误之处，敬请读者谅解和不吝指正。

万志强
2019年3月





第一章 航空器的发展与分类

1.1 人类的航空壮举 /02

1.1.1 飞行的探索 /03

1.1.2 伟大的飞行 /09

1.2 航空器的分类 /18

1.2.1 参照空气重量的航空器分类 /18

1.2.2 按用途差别的飞机分类 /22

1.2.3 按用途差别的直升机分类 /28

1.2.4 形形色色的垂直起降航空器 /33

1.3 航空器的发展趋势 /36

第二章 飞机的部件与布局

2.1 飞机的部件及功用 /38

2.1.1 飞机组成部件及其功用 /38

2.1.2 机翼和机身的外形及其特点 /39

2.1.3 舵面及其功用 /43

2.2 飞机的布局 /47

2.2.1 飞机的气动布局 /47

2.2.2 尾翼的布局 /53

2.2.3 动力装置的布置 /55

2.2.4 起降装置的布置 /60

第三章 飞机的飞行原理与飞行性能

3.1 大气的特性 /66

3.1.1 大气的分层 /66

3.1.2 大气的特性 /67

3.2 升力与翼型 /69

3.2.1 奇妙的升力 /69

3.2.2 翼型 /71

3.3 升力影响因素及失速 /73

3.3.1 影响升力的因素 /73

3.3.2 失速的含义 /74

3.4 阻力及其减阻方式 /75

3.4.1 阻力的分类 /75

3.4.2 阻力系数 /78

3.5 升阻比的含义及其提高措施 /79

3.6 飞行性能 /80

3.6.1 飞行速度 /80

3.6.2 航程 /85

3.6.3 升限 /85

3.6.4 起飞、着陆性能 /87

3.6.5 机动性能 /89

3.7 从气动外形看飞行性能 /91

3.7.1 飞得最快、最高、最远 /91

3.7.2 气动外形对飞行性能的影响 /93

3.8 飞机的操纵 /95

3.8.1 飞机的姿态角、迎角和侧滑角 /95

3.8.2 飞机的操纵系统 /96

3.8.3 飞机的操纵 /98

第四章 直升机的飞行

4.1 直升机的飞行原理与布局形式 /101

4.1.1 直升机旋翼的工作原理 /101

4.1.2 直升机的布局 /102

4.1.3 直升机的分类 /104

4.2 直升机的飞行性能与发展历程 /106

4.2.1 垂直与水平飞行性能 /106

4.2.2 直升机之最 /106

4.2.3 直升机的发展简况 /108

4.3 直升机的主要部件及其功能 /111

4.3.1 旋翼系统 /111

4.3.2 尾桨系统 /112

4.3.3 机体 /113

4.3.4 动力装置 /113

4.3.5 传动系统 /113

4.3.6 操纵系统 /114

4.3.7 起降装置 /115

4.3.8 机载设备与仪表 /115

4.4 直升机的操纵 /116

4.4.1 直升机运动的实现原理 /116

4.4.2 直升机运动的操纵模式 /118

4.5 直升机的机动飞行与起降 /121

4.5.1 典型的机动动作 /122

4.5.2 贴地飞行 /123

4.5.3 起飞着陆 /124

第五章 动力装置

5.1 航空航天发动机 /130

5.1.1 活塞式发动机 /130

5.1.2 空气喷气发动机 /131

5.1.3 火箭发动机 /139

5.1.4 组合发动机 /139

5.1.5 不同发动机的适用范围 /139

5.2 衡量动力装置的性能参数 /140

5.3 喷气式飞机进气道的布局形式 /142

5.3.1 正面进气布局 /142

5.3.2 非正面进气布局 /144

第六章 航空器的构造

6.1 飞机的外载荷 /149

6.2 飞机和直升机的构造 /150

6.2.1 机翼的构造 /151

6.2.2 机身的构造 /156

6.2.3 起落架的构造 /157

6.2.4 直升机桨叶的构造 /158

6.3 气球与飞艇的构造 /159

6.3.1 气球的构造 /160

6.3.2 飞艇的构造 /161

6.4 航空器的常用材料 /165

6.4.1 常用材料 /166

6.4.2 现代飞机的选材 /168

6.4.3 材料使用随年代的变化 /169

6.5 航空器结构的设计制造要求 /169

6.5.1 空气动力要求 /169

6.5.2 重量和强度、刚度要求 /170

- 6.5.3 使用维护要求 /171
- 6.5.4 工艺和经济性要求 /172

第七章 航空器的系统

7.1 测量、探测与显示系统 /175

- 7.1.1 测量系统 /175
- 7.1.2 探测系统 /175
- 7.1.3 显示系统 /176

7.2 导航系统 /179

- 7.2.1 无线电导航 /180
- 7.2.2 惯性导航 /180
- 7.2.3 卫星导航 /181
- 7.2.4 天文导航 /182
- 7.2.5 图像匹配导航 /182
- 7.2.6 组合导航 /183

7.3 控制系统 /183

- 7.3.1 飞机的操纵系统 /184
- 7.3.2 飞机的自动控制系统 /185

7.4 防护与救生系统 /187

- 7.4.1 防护系统 /187
- 7.4.2 救生系统 /189

第八章 航空器的综合性能

8.1 航空器的四性 /192

- 8.1.1 安全性 /192
- 8.1.2 经济性 /193
- 8.1.3 舒适性 /193
- 8.1.4 环保性 /195

8.2 飞行安全 /196

- 8.2.1 空难概率微乎其微 /196

- 8.2.2 造成空难的三大原因 /197

- 8.2.3 神奇的黑匣子 /198

- 8.2.4 英雄飞行员 /199

8.3 飞行与气象 /200

8.4 航空器的试验 /205

- 8.4.1 地面试验 /206
- 8.4.2 飞行试验 /209

第九章 世界著名飞机与直升机

9.1 世界名机 /213

- 9.1.1 军用飞机 /213
- 9.1.2 民用飞机 /222
- 9.1.3 直升机 /223

9.2 祖国上空的军机 /225

- 9.2.1 六十周年国庆阅兵的空中梯队 /225
- 9.2.2 我国的主要军用飞机和直升机 /226

第十章 飞行表演与航空运动

10.1 闻名遐迩的飞行表演队 /234

- 10.1.1 中国飞行表演队 /234
- 10.1.2 俄罗斯飞行表演队 /235
- 10.1.3 美国飞行表演队 /236
- 10.1.4 法国飞行表演队 /238
- 10.1.5 英国飞行表演队 /239
- 10.1.6 其他国家的飞行表演队 /239

10.2 蓬勃发展的航空运动 /240

- 10.2.1 各种航空运动 /240
- 10.2.2 航空运动的组织机构 /245





第一章

航空器的发展与分类

本章通过对航空器的发展和分类的介绍，和读者一起重温伟大的航空壮举、了解航空器的概况，为后面各章内容的介绍奠定基础。



1.1 人类的航空壮举

当我们仰望天空的时候,总会发现时不时有飞机掠过。或许不少人会问,这样一个庞然大物,其质量少则数百千克,多则几十吨、上百吨,怎么能够如此自如地在蓝天上飞翔呢?飞行究竟需要具备哪些条件呢?

其实,关于怎样才能像鸟儿一样在蓝天上翱翔,我们的先辈们探索了数千年,设想和尝试了许多种飞天方式,但基本都以失败告终。直到1903年12

月17日,美国的莱特兄弟驾驶着他们设计和制造的“飞行者”1号(图1-1),进行了时间不到1分钟、距离只有260米的人类历史上第一次持续而有控制的动力飞行之后,人类才真正从根本上解决了飞上蓝天的关键问题。此后,飞机越造越大、越飞越高、越飞越快、越飞越远,各方面的性能都有了翻天覆地的提高(图1-2~图1-5)。

实际上,无论是莱特兄弟设计的“飞行者”1号,还是现代的先进客机、战斗机、运输机……之所以能飞上蓝天,归纳起来是因为它们具备了飞行的三个最基本的要素:



图 1-1 美国莱特兄弟和他们设计、制造、飞行的“飞行者”1号



图 1-2 最大起飞重量约 600 吨的安-225运输机(乌克兰)背负着“暴风雪”号航天飞机(俄罗斯)



图 1-3 最大起飞重量约 560 吨、载客 500 ~ 800 人的 A-380 客机(右, 欧洲)与载客 200 人左右的 A-319 客机(左, 欧洲)



图 1-4 设计飞行速度达 8 倍声速、设计飞行高度达 80 千米的 X-34 试验机(美国)



图 1-5 不着陆、不加油连续飞行 76 小时环球一周的“环球飞行者”号(美国)

- ①具有能产生升力的机翼，用来平衡飞机的重力（图 1-6）；
- ②具有能提供拉力或推力的动力系统，用来平衡飞机的阻力（图 1-6）；
- ③具有能控制飞机姿态的操纵系统，让飞机有可操纵性，实现其按照预定的轨迹飞行（图 1-7）。

此外，为了保证飞机可持续飞行，还要保证飞机在飞行时具有一定的稳定性，使得飞机在受到扰动偏离原平衡位置时，依然有恢复到原平衡位置的趋势。关于这些要素的详细情况及飞机如何满足这些要素，将在后文展开叙述。

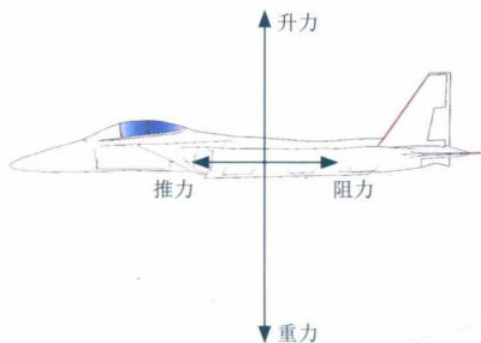


图 1-6 飞机在平飞时力的平衡关系

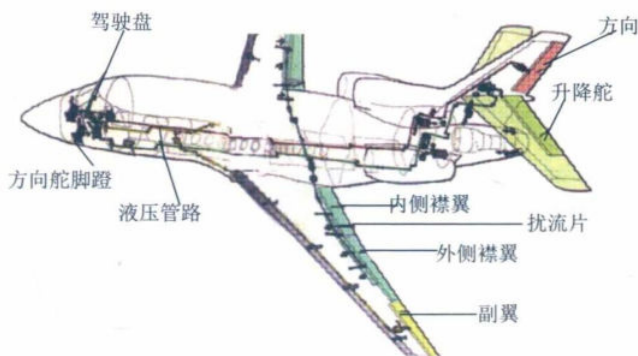


图 1-7 民航客机的操纵系统

1.1.1 飞行的探索

1.1.1.1 神话与传说

科学起源于臆想，人类在远古时代就萌生了飞行的梦想。那时，天上的飞鸟、林中的蝴蝶，甚至是飘浮的白云，都唤起人类对于飞行的憧憬。

中国神话传说里面的牛郎织女、嫦娥奔月、大闹天宫等，国外神话传说中的小天使、飞毯等，都蕴含着不同地域、不同民族的古代人类对于飞向天空的向往。

相传楚汉战争中，韩信制作了巨大的风筝，让张良坐在上面，放到项羽军队的上空，吹奏楚国乐曲，演绎了四面楚歌的故事。据说，公元 9 ~ 23 年，还有人用鸟的羽毛编成大翅膀，绑在身上，滑行百步。

诸如此类，古代关于飞行的神话和传说还有很多，虽然很多飞行的尝试都以失败告终，但却大大激发了人类对于飞行的渴望与探索。

1.1.1.2 气球与飞艇的发明

经过长期的探索，人们终于依靠比空气轻的航空器为成功地升空飞行迈出了坚



实的第一步。中国的古代就发明了和现代热气球升空原理一样的孔明灯。1783年6月5日,法国的蒙哥尔费兄弟用麻布制成的热气球完成了成功的升空表演(图1-8)。他们在气球开口处烧草和羊毛使气球内的空气受热,热空气的密度小于气球外的冷空气,产生升力,从而达到使气球升空的目的。

蒙氏兄弟的热气球升空引起了当时许多科学家的重视。1766年发现氢气后,人们制造成氢气球,取得了更好的升空效果。1783年11月21日,两个法国人乘坐蒙哥尔费气球,在1000米高的空中,飞行了12千米,完成了人类首次乘坐航空器飞行的伟大壮举。

气球是一种没有操纵装置的航空器,只能随风飘动,使用很不方便。1852年,一位法国人在气球上安装了一台功率仅为3马力^①的蒸汽机,用来带动一个三叶螺旋桨,使其成为第一个可以操纵的气球,这就是最早的飞艇(图1-9)。

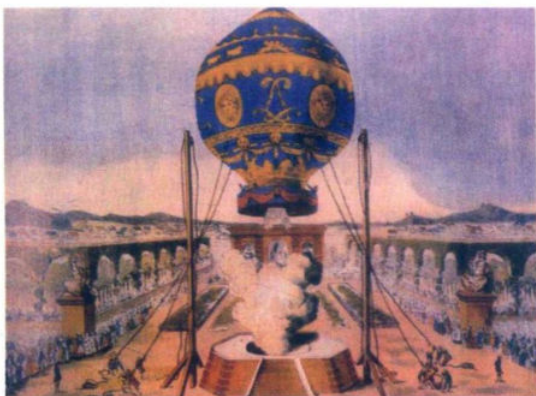


图1-8 最早的热气球

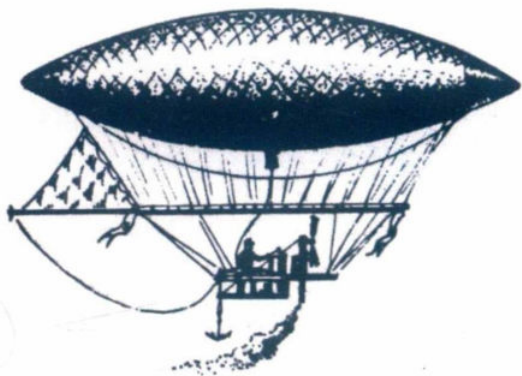


图1-9 世界上第一架飞艇

1899年,德国人齐伯林伯爵设计并制造了第一架硬式飞艇。这种飞艇的动力装置采用燃料为汽油的内燃机。动力装置带动螺旋桨推动飞艇前进,大大提高了飞艇的飞行速度。齐伯林飞艇(图1-10)很快成为具有实用价值的航空器,在民用运输以及轰炸、巡逻和侦察等军事用途方面发挥作用。

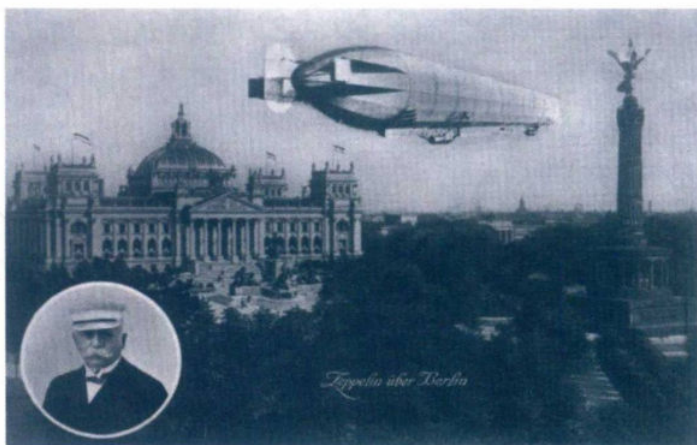


图1-10 德国人齐伯林与他设计的齐伯林飞艇

① 1 马力 $\approx 0.735\text{kW}$ 。下同

1.1.1.3 滑翔机的发明

气球和飞艇的成功,为人类创造飞机积累了丰富的经验。但气球和飞艇的飞行速度与飞行高度都比较低,且体积庞大,飞行性能与真正意义上的飞机还相差甚远。正如前面所说,要使飞机能够成功飞行,必须解决它的升力、动力和稳定操纵问题。

19世纪初,英国人凯利首先提出利用固定机翼产生升力和利用不同的装置控制和推进飞机的设计概念。为验证该概念的有效性,凯利于1849年制造了第一架滑翔机,并进行了试飞。

关于飞机的动力和稳定操纵问题,当时存在两种观点。有人主张先解决飞机的动力问题,因为那时蒸汽机的效率不高,难以实现飞机的动力飞行;另外一些人主张先解决飞机的稳定操纵问题,试图先通过滑翔机获得这方面的知识,然后在滑翔机上安装发动机。

1883年,效率较高的汽油内燃机问世,为飞机的动力飞行提供了条件。支持上述前一种观点的美国科学家兰利设计了以内燃机为动力的飞机,但试飞均告失败(图1-11),其原因是没有解决飞机的稳定操纵问题。支持另一种观点的德国人李林达尔与他的弟弟合作,于1891年制成一架滑翔机,成功地飞过了30米的距离,后来他们又制造了多架单翼和双翼滑翔机(图1-12),不幸的是,在5年后的一次飞行试验中,李林达尔失事牺牲。这两派人员的工作虽然都有失败,但都为人类的有动力飞行——飞机的飞行奠定了基础。

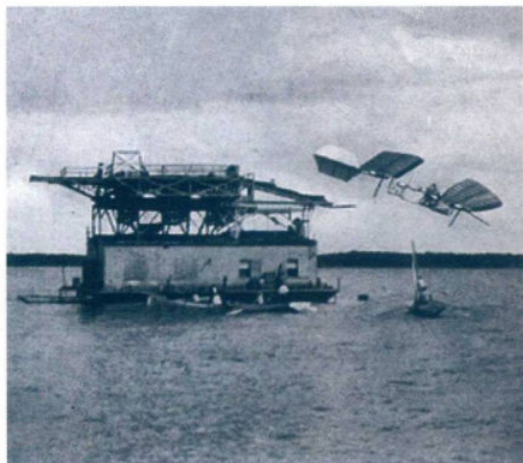


图 1-11 美国兰利设计的飞机试飞失败掉入水中

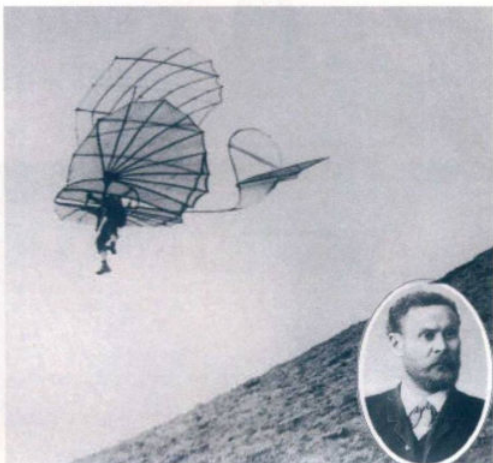


图 1-12 德国飞行家李林达尔和他的滑翔机

1.1.1.4 中国的五大航空发明

中国古代科学技术的成就对于世界航空航天技术的发展具有重要作用。中国古