

飞行技术专业系列教材



飞机系统

FEIJI XITONG

龙江 周斌 庞杰 编

飞行技术专业系列教材

飞 机 系 统

龙江 周斌 庞杰 编

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书共分 11 章, 主要介绍了现代民用飞机结构、液压系统、飞行操纵系统、起落架系统、飞机燃油系统、气源系统、座舱环境控制系统、氧气系统、防火系统、飞机除/防冰与风挡排雨系统的基础知识。该书可作为民航高等院校飞行技术专业方向的教材, 也可作为相关专业方向学生和航空器驾驶人员的学习参考资料。

图书在版编目 (C I P) 数据

飞机系统 / 龙江, 周斌, 庞杰编. —成都: 西南
交通大学出版社, 2017.4
飞行技术专业系列教材
ISBN 978-7-5643-5375-9

I. ①飞… II. ①龙… ②周… ③庞… III. ①飞机系
统—教材 IV. ①V221

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 065479 号

飞行技术专业系列教材

飞 机 系 统

龙江 周斌 庞杰 编

责 任 编 辑 孟苏成

封 面 设 计 刘海东

出 版 发 行 西南交通大学出版社
(四川省成都市二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼)

发行部电话 028-87600564 028-87600533

邮 政 编 码 610031

网 址 <http://www.xnjdcbs.com>

印 刷 四川森林印务有限责任公司

成 品 尺 寸 185 mm × 260 mm

印 张 17

字 数 383 千

版 次 2017 年 4 月第 1 版

印 次 2017 年 4 月第 1 次

书 号 ISBN 978-7-5643-5375-9

定 价 49.80 元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

总 序

民航是现代综合交通运输体系的有机组成部分，以其安全、快捷、通达、舒适等独特优势确立了独立的产业地位。同时，民航在国家参与经济全球化、推动老少边穷地区发展、维护国家统一和民族团结、保障国防和经济安全、加强与世界不同文明沟通、催生相关领域科技创新等方面都发挥着难以估量的作用。因此，民航业已成为国家经济社会发展的战略性先导性产业，其发达程度直接体现了国家的综合实力和现代化水平。

自改革开放以来，我国民航业快速发展，行业规模不断扩大，服务能力逐步提升，安全水平显著提高，为我国改革开放和社会主义现代化建设做出了突出贡献。可以说，我国已经成为名副其实的民航大国。站在新的历史起点上，在 2008 年的全国民航工作会议上，民航局提出了全面推进建设民航强国的战略构想，拉开了我国由民航大国迈向民航强国的序幕。

要实现民航大国向民航强国的转变，人才储备是最基本的先决条件。长期以来，我国民航业发展的基本矛盾是供给能力难以满足快速增长的市场需求。而其深层次的原因之一，便是人力资源的短缺，尤其是飞行、空管和机务等专业技术人员结构不合理，缺乏高级技术、管理和安全监管人才。有鉴于此，国务院在《关于促进民航业发展的若干意见》中明确指出，要强化科教和人才支撑，要实施重大人才工程，加大飞行、机务、空管等紧缺专业人才的培养力度。

正是在这样的大背景下，作为世界上最大的航空训练机构，作为中国民航培养飞行员和空中交通管制员的主力院校，中国民航飞行学院以中国民航可持续发展为己任，勇挑历史重担，结合自身的办学特色，整合优势资源，组织编写了这套“飞行技术专业系列教材”，以解当下民航专业人才培养的燃眉之急。在这套教材的规划、组织和编写过程中，教材建设团队全面贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020 年）》，以培养适应民航业岗位需要的、具有“工匠精神”的应用型高素质人才为目标，创新人才培养模式，突出民航院校办学特色，坚持“以飞为主，协调发展”的方针，深化“产教融合、校企合作”，强化学生实践能力培养。同时，教材建设团队积极推进课程内容改革，在优化专业课程内容的基础上，加强包括职业道德、民航文化在内的人文素养教育。

由中国民航飞行学院编写的这套教材，高度契合民航局颁布的飞行员执照理论考试大纲及知识点要求，对相应的内容体系进行了完善，从而满足了民航专业人才培养的新要求。可以说，本系列教材的出版恰逢其时，是一场不折不扣的“及时雨”。

由于飞行技术专业涉及的知识点多，知识更新速度快，因此教材的编写是一项极其艰巨的任务。但令人欣喜的是，中国民航飞行学院的教师们凭借严谨的工作作风、深厚的学术造诣以及坚韧的精神品质，出色地完成了这一任务。尽管这套教材在模式创新方面尚存在瑕疵，但仍不失为当前民航人才培养领域的优秀教材，值得大力推广。我们相信，这套教材的出版必将为我国民航人才的培养做出贡献，为我国民航事业的发展做出贡献！

是为序。

中国民航飞行学院教材

编写委员会

2016年7月1日

前 言

根据民用航空器驾驶技术岗位的工作性质以及中国民用航空局飞行标准司颁布的私用驾驶员、商用驾驶员以及航线运输驾驶员执照理论考试大纲和知识点的要求,“飞机系统”是民用航空器飞行技术专业知识点体系中的重要组成部分。本书以 B737 和 A320 等典型民航运输机为主,兼顾中小型通用飞机,介绍现代民用飞机的结构特点与使用安全,以及飞机液压系统、飞行操纵系统、起落架系统、飞机燃油系统、气源系统、座舱环境控制系统、氧气系统、防火系统、飞机除/防冰与风挡排雨系统的基本组成、功能与工作原理,介绍各系统的工作控制与基本操作方法。

在本书编写过程中,编者依据飞行技术专业的培养目标以及“飞机系统”课程教学大纲,参考中国民航规章《航线运输驾驶员执照理论考试大纲(飞机)(DOC NO. FS-ATS-004AR3)》《航线运输驾驶员执照理论考试知识点(飞机)(DOC NO. FS-ATSR-004AR1)》《商用驾驶员执照理论考试大纲(DOC NO. FS-ATS-002AR1)》《商用驾驶员执照理论考试知识点(DOC NO. FS-ATSR-002AR1)》《私用驾驶员执照理论考试大纲(飞机)(DOC NO. FS-ATS-001AR1)》以及《私用驾驶员执照理论考试知识点(飞机)(DOC NO. FS-ATSR-001A)》,结合民用航空器驾驶技术岗位工作的知识需要确定编写内容,同时强调内容编排的逻辑性,以方便读者理解。考虑到飞行技术专业的特点,本书注重知识的应用性,尽量避免复杂的数学推导和理论分析,力求做到知识的多而不繁、宽而不深。

本书可作为民航高等院校飞行技术专业方向的教材,使学生了解现代航空技术在民用飞机系统中的发展与应用,为学生掌握现代飞机结构与系统专业知识,取得私用、商用以及航线运输驾驶员执照,从事民用航空器驾驶专业技术工作并成长为合格的民用航空器机长奠定良好的理论知识基础。本书也可为其他相关专业方向的学生和航空器驾驶人员提供参考。

本书共分 11 章,其中第 1~2 章由周斌编写,第 3~4 章由庞杰编写,第 5 章由周斌和庞杰合作编写,第 6~11 章由龙江编写,郝劲松、蒋维安、黄传勇等同志对全书进行了审校。

本书在编写过程中，参考了许多专家的著作，并得到中国民用航空飞行学院教务处、航空工程学院等部门的大力支持，飞行器制造工程教研室的全体教师对本书的编写也提出了宝贵意见，在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平所限，资料搜集不够全面，书中难免存在疏漏和不足之处，恳请各位专家、读者批评指正，以便再版时修订完善。

编 者
2017 年 2 月

目 录

1 绪 论	1
1.1 民航飞机发展概述	1
1.2 飞机分类	6
1.3 对客机的要求与飞行安全	8
1.4 现代民用运输机的基本组成	10
思考题	12
2 飞机结构	13
2.1 结构及其基本要求	13
2.2 飞机的外载荷	14
2.3 机体结构的变形	21
2.4 机 翼	25
2.5 机 身	33
2.6 飞机结构使用限制	40
2.7 飞机结构安全	45
思考题	49
3 飞机液压系统	51
3.1 飞机液压系统概述	51
3.2 航空液压油	55
3.3 液压系统的典型元件及功用	58
3.4 液压源系统的工作与指示	72
思考题	76
4 飞机飞行操纵系统	78
4.1 飞机飞行操纵系统概述	78
4.2 无助力机械式主操纵系统	83
4.3 液压助力式主操纵系统	93
4.4 飞行辅助操纵系统	104
4.5 飞行操纵警告系统	112
思考题	114

5 飞机起落架系统	115
5.1 起落架系统概述	115
5.2 起落架减震系统	124
5.3 起落架收放系统	129
5.4 起落架刹车系统	142
5.5 起落架转弯系统	158
思考题	166
6 飞机燃油系统	168
6.1 飞机燃油系统概述	168
6.2 航空燃油	168
6.3 飞机燃油系统的组成	168
6.4 飞机燃油供给系统	179
6.5 飞机地面加油/抽油系统	182
6.6 飞机空中应急放油系统	185
思考题	186
7 飞机气源系统	187
7.1 气源系统概述	187
7.2 高压气源系统	187
7.3 中压气源系统	190
7.4 低压气源系统	194
思考题	195
8 飞机座舱环境控制系统	196
8.1 座舱环境控制系统概述	196
8.2 座舱空调系统	201
8.3 非气密座舱通风加温系统	215
8.4 座舱增压控制系统	217
思考题	225
9 飞机氧气系统	227
9.1 飞机氧气系统概述	227
9.2 机组氧气系统	228
9.3 旅客氧气系统	231
9.4 便携式供氧设备	232
9.5 氧气系统使用注意事项	233
思考题	234

10 飞机防火系统	235
10.1 防火系统概述	235
10.2 火警探测系统	236
10.3 飞机灭火系统	240
思考题	245
11 飞机除/防冰与风挡排雨系统	246
11.1 飞机除/防冰概述	246
11.2 飞机除/防冰系统	250
11.3 飞机地面除/防冰	255
11.4 飞机除/防冰注意事项	256
11.5 飞机风挡排雨系统	257
思考题	260
参考文献	261

1 绪 论

1.1 民航飞机发展概述

1903 年 12 月 17 日上午 10:35, 莱特兄弟完成了第一次载人动力飞行 (见图 1-1), 持续飞行了 12 s, 120 ft ($1 \text{ ft} \approx 0.305 \text{ m}$)。尽管此次飞行的距离非常短, 但它是世界公认的首次成功的动力飞行, 实现了人类飞翔的梦想, 标志着人类全新航空时代的来临。世界各国的航空爱好者和学者都开始争相研制飞机, 掀起了席卷全球的航空热潮。

由于处于探索发展阶段, 此时的飞机并不太安全, 飞机可控性也差, 操纵飞机飞行需要非凡的勇气和对飞行的热爱。莱特兄弟在完成首次飞行后, 仍积极改进, 在 10 多年间先后设计制造了多架飞机, 并亲自操纵飞行。1908 年 9 月 17 日, 奥维尔·莱特驾驶的飞机坠毁, 奥维尔和他的乘客 (托马斯·E·塞尔弗里奇中尉) 受伤。塞尔弗里奇后来死于脑震荡, 是第一个因乘飞机飞行而丧生的人。

在之后的几年内, 航空相关科学的研究蓬勃开展, 航空试验室、研究所先后在法、俄、德等国出现。

在这一段时期, 中国航空也蹒跚起步。在美国的冯如参考莱特兄弟飞机的构型, 经过 3 年多的努力, 终于在 1909 年 9 月制造并成功试飞了中国人的第一架飞机 (见图 1-2)。1911 年, 冯如带领其助手携带设备回国, 在广州燕塘建立了广东飞行器公司, 并于 1912 年 3 月制成中国生产的第一架飞机, 冯如成为中国近代航空事业的创始人。但由于中国近代社会、经济秩序混乱, 工业技术水平落后, 航空业一直停滞不前。

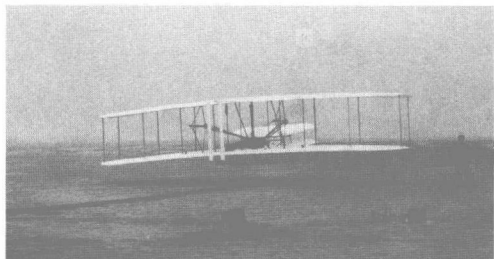


图 1-1 “飞行者号”飞机

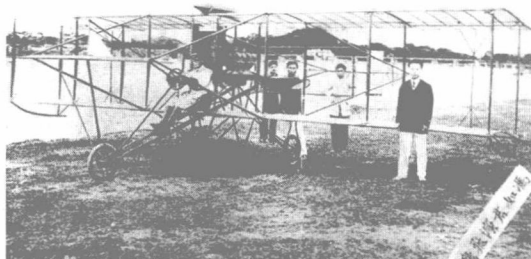


图 1-2 “冯如号”飞机

从 1903 年到第一次世界大战爆发的十余年间, 飞机从早期的发动机后置式双翼机逐渐转型成为发动机前置式双翼机, 安全性和操纵性都不断提高。此时, 单翼飞机的设计

已经出现,但仍然比较少见。这期间,人们曾经尝试将飞机用于航空邮件服务,但持续时间较短。飞机性能的提升,使得飞机已经能够进行长时间、远距离的飞行。第一次世界大战爆发时,欧洲各大国已经普遍拥有上百架军用飞机。在战争的刺激下,各国积极发展飞机制造技术,极大地推动了军事用途飞机的设计。

第一次世界大战之前,飞机结构通常为木质结构和织物蒙皮,德国人容克斯(Hugo Junkers)于1915年设计制造了世界上第一架全金属飞机J1(见图1-3),它的机身钢管结构外部覆盖薄铁片,机翼安装在机身中间(中置式),翼根很厚,逐渐向翼尖收薄。该飞机质量大,受到很多人质疑,容克斯不断改进,最后在飞机结构中使用铝铜合金,并设计出波纹金属蒙皮,使用在其设计的J4飞机中。



图 1-3 J1 飞机

随着航空技术的发展,飞机的安全性、操纵性有了长足的进步。1915年投入使用的著名战机福克Dr-I采用三机翼方案(见图1-4),取消了机翼之间的拉力钢索,外形更为整洁,飞行性能优良。另外,由于战争需要,4个引擎重型轰炸机被研制出来,如图1-5所示,重型轰炸机的生产制造为第一次世界大战后设计民用运输机提供了较好的技术储备。到第一次世界大战结束时,现代飞机常见的很多成熟设计方案已经出现。例如,为了增加升力,机翼已经采用较厚的非对称双凸翼型;较厚的机翼,便于使用较高的翼梁,增加了机翼的强度和刚度,甚至出现了无拉力钢索机翼;金属材料也取代木材,逐渐成为飞机结构的主要材料。

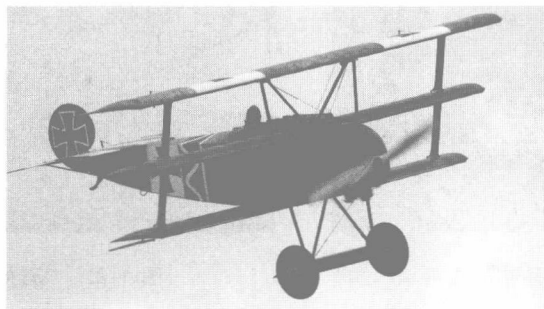


图 1-4 福克 Dr-I

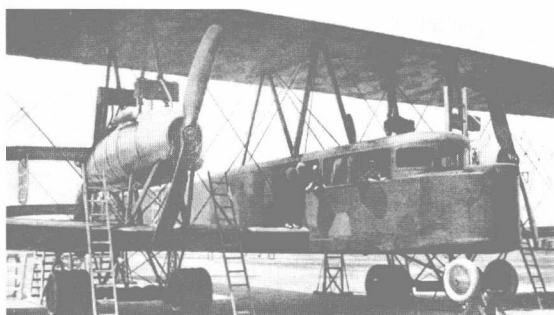


图 1-5 齐柏林斯塔根 R.VI

第一次世界大战期间及结束之后，军用航空技术转向了民用航空，航空运输时代开始了。最初，各国将军用飞机改为民用，通常载客量为几人到十几人，成立了很多航空公司。1919 年，法国采用法曼航空制造的军用轰炸机 F60 哥利亚（Farman F 60 Goliath，见图 1-6）重新布置机舱后飞行巴黎—伦敦航线，载客量 12~14 人；同年，英国建立了定期的伦敦—巴黎航空运输服务，英国飞机运输旅行公司采用德·哈维兰公司的 DH16 飞机（见图 1-7）执飞该航线。此外，德国、美国等也成立了多家航空公司，民用运输开始在世界范围内蓬勃兴起。



图 1-6 法曼 F60 哥利亚

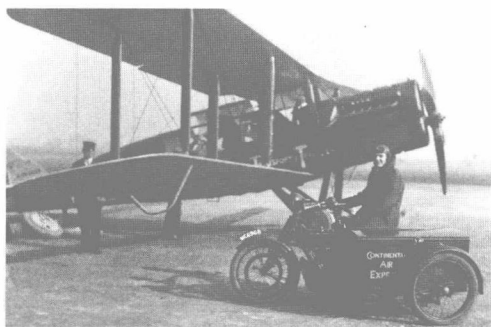


图 1-7 德·哈维兰 DH16

此后，各个航空制造商也逐渐将目光投向民用运输市场，世界航空进入了稳定持续的发展时期，在 20 世纪的 20、30 年代，美国就出现了几百家飞机制造商。此时，航空发动机功率越来越大；飞机的气动外形及布局方案日趋成熟，气动性能更好；单翼机、半硬壳式机身越来越广泛，结构安全性越来越好；同时，座舱仪表及领航设备、陀螺导

航技术等开始应用,自动驾驶仪也已出现。这些都显著改善了飞机性能,促进了民用航空的发展。

波音公司 1933 年首飞的波音 247 飞机(见图 1-8),被认为是第一种真正的当代航线客机,载客 10 名,巡航速度 265 km/h。该飞机采用了半硬壳式机身单翼机,同时创造性地采用了配平调整片、可收放起落架,机翼和尾翼前缘装备了除冰套等新技术。1936 年,美国道格拉斯公司生产出著名的 DC-3 客机(见图 1-9),该飞机巡航速度可达 333 km/h,航程 2 400 km。该飞机采用金属结构,安全可靠,维护方便,舒适性好,成为了第一种可以赚钱的航线飞机。到 1939 年,各种运输机及轻小型通用机的大量出现又为军用机的发展奠定了基础。

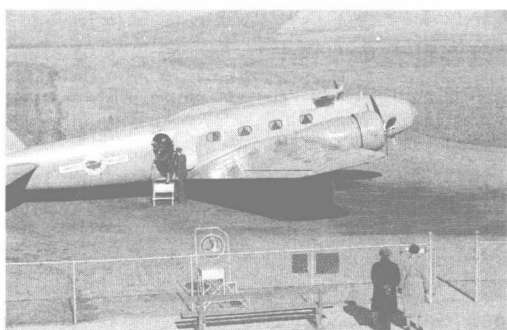


图 1-8 波音 247



图 1-9 道格拉斯公司 DC-3 飞机

第二次世界大战中,交战各方都积极发展军用航空技术,发动机、雷达等技术不断提升。各国飞机制造商都设计出了多种飞机,积累了大量的设计、制造经验,航空技术飞速进步。大战结束后,这些新技术都逐步应用于民用航空,促进了民用航空的迅猛发展。其中,最著名的技术进步是涡轮喷气式发动机的出现。

1952 年,英国德·哈维兰公司制造出四发喷气客机“彗星”号(见图 1-10),巡航速度 788 km/h,是世界上第一架涡轮喷气式航线运输机。但由于该飞机结构疲劳问题造成多次事故,最终被其他公司的优秀机型抢占了市场。

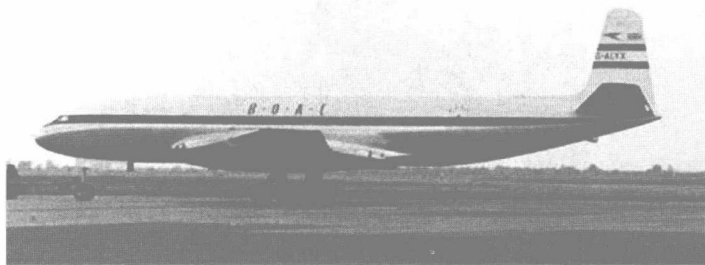


图 1-10 “彗星” I 型飞机

在其后的发展过程中,航线运输机载客量、航程、速度都得到了迅速提升。1955 年,苏联设计出图-114,1961 年 6 月投入航线使用,载客达 220 人,最大巡航速度 854 km/h。

20 世纪 50 年代末, 美国生产的波音 707、DC-8 相继进入世界民航市场。波音 707 设计着重考虑了材料的疲劳特性, 航程超过 5 000 km。现代航空通常将喷气式航线运输机分为四代, 第一代以彗星、DC-8、波音 707 为典型代表。

20 世纪 60 年代, 喷气式运输机进入第二代发展时期, 其机型代表为波音 727、三叉戟、L1011、图-154 等机型。其典型特点是逐渐采用经济性能更好的涡扇发动机, 普遍配备 3 个发动机。英国生产的三叉戟中程客机载客 60~100 人, 巡航速度达 925 km/h, 60 年代末, 喷气式客机时代已经来临。

第三代飞机采用了完善的飞行管理系统, 飞行自动化程度越来越高, 安全性越来越好。典型飞机为波音 737、波音 747、空客 A310、MD11、MD80、MD90 等。

第四代飞机经济性能更好, 普遍采用电传飞行操纵系统, 主动控制技术使飞行保护功能日益强大, 飞机安全性进一步提高。典型飞机为空客 A320、A330、波音 777、波音 787 等机型。

无论是作为战争的武器, 还是作为空中运输的工具, 不断提高飞行速度和飞机载重量都是飞机发展的重要方向。通过不断改善飞机气动性能, 增大升阻比, 优化飞机结构, 提高动力装置性能, 采用新型材料, 民用运输机的飞行速度呈指数上升。但基于经济性的考虑, 大部分现代民用运输机仍然将速度控制在高亚音速范围内 (见图 1-11)。Tu-144 (见图 1-12) 飞行速度高达 2 494 km/h, 它和“协和”飞机是曾经投入航线正式运行的两种超音速航线运输飞机。另外, 现代民用运输机的装载能力也不断提高, 图 1-13 为典型民用运输机最大起飞重量的发展趋势。空客公司设计生产的 A380-800 飞机最大起飞重量可达 575 t, 是世界上最大的航线运输机。

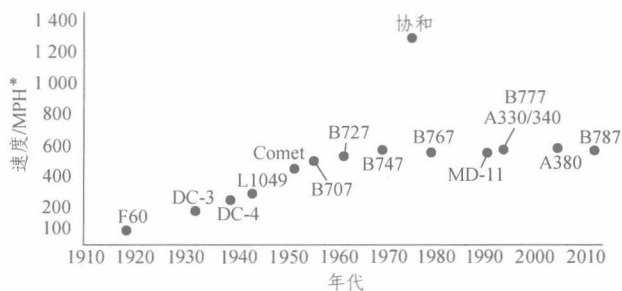


图 1-11 典型民用运输机巡航速度发展趋势

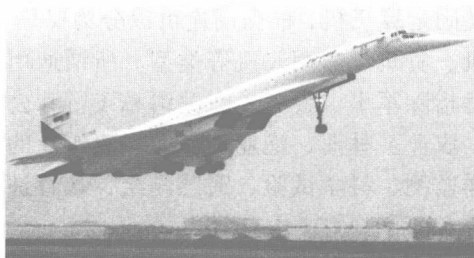


图 1-12 超音速民用运输机 Tu-144

注: MPH——每小时英里 (1 MPH $\approx$ 1.609 km/h)。

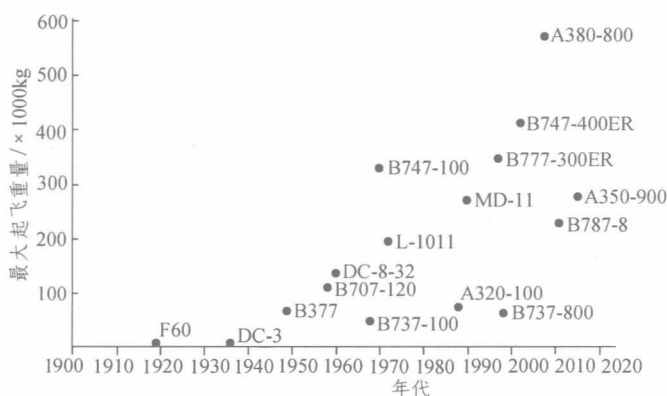


图 1-13 典型民用运输机最大起飞重量发展趋势

世界民用航空的蓬勃发展，为飞机制造商提供了广阔的发展空间。研制更安全、经济和舒适的飞机是飞机制造商间永不停止的竞赛项目。战后众多的飞机制造商通过竞争、重组、合并，组建形成了更为庞大的飞机制造公司。目前，民用运输机市场主要由波音公司和空中客车公司占有，此外庞巴迪、巴西航空工业公司在支线运输市场占有较大份额。中国商飞公司于 2008 年 5 月在上海成立，致力于我国的大型运输机设计和制造，目前成功投入市场的机型为 ARJ21，而定位为 150 座级的中型运输机 C919 正在研制阶段。

1.2 飞机分类

在地球大气层内外空间飞行的器械统称为飞行器。飞行器分为航空器、航天器及火箭与导弹三大类。在大气层内飞行的飞行器称为航空器；主要在大气层外空间运行的飞行器称为航天器；火箭与导弹是以火箭发动机提供动力并在大气层内外空间飞行器的飞行器。

如表 1-1 所示，轻于空气的飞行器又称为空气静力飞行器，该类飞行器升力由空气的浮力产生；重于空气的飞行器又称为空气动力飞行器，升力由飞行器相对空气运动产生；按气动升力的产生方式，飞行器又分为定翼飞行器与动翼飞行器。定翼飞行器的升力由固定机翼产生，有动力装置的称为飞机，无动力装置的则称为滑翔机。

对于常见的有人驾驶固定翼飞机，根据用途可以分为民用飞机、军用飞机和研究机。民用飞机可以分为旅客机、货机、通用飞机等类型。所谓通用飞机是指从事通用航空活动的飞机，而通用航空是指除军事、警务、海关缉私飞行和公共航空运输飞行以外的航空活动，包括从事工业、农业、林业、渔业、矿业、建筑业的作业飞行和医疗卫生、抢险救灾、气象探测、海洋监测、科学试验、遥感测绘、教育训练、文化体育、旅游观光等方面的飞行活动。

飞机按构造形式分类如图 1-14 所示，按不同的机翼、机身、尾翼、动力装置、起落架装置等又分为若干种形式。民用运输机多采用后掠下单翼、单机身、单垂尾（高或低平尾）、前三点轮式起落架，涡桨式或涡扇式发动机吊装于机翼下或机身尾部。

表 1-1 航空器分类

轻于空气 的飞行器	气球		自由气球		冷气球（氢气球、氦气球）、热气球	
			系留气球			
	飞艇		软式、硬式、半硬式			
重于空气 的飞行器	有翼 飞行器	定翼 飞行器	飞机	军用 机	歼击机、强击机、轰炸机、侦察机、 运输机、教练机、预警机	
					反潜机	陆上反潜机、水上反潜机
				民用 机	旅客机、货机、农业机、林业机、 教练机、运动机、多用途轻型飞机	
					研究机	
				无人驾 驶飞机	靶机、无人侦察机、遥控格斗机	
			滑翔机	无动力滑翔机、动力滑翔机		
		动翼 飞行器	旋翼 飞行器	旋翼机		
				直升机	单桨直升机	
					双桨直升机	纵列式、并列式、共轴式
					多桨直升机	
			扑翼机、可转动机翼飞机			
	无翼 飞行器	气垫飞行器、飞行平台、火箭、弹道式导弹				

根据空中交通管制要求，在最大允许着陆重量下，根据仪表进近程序规定的进近速度将航空器分为 A、B、C、D、E 五类，该速度是着陆形态下失速速度的 1.3 倍，其分类依据及常见机型如表 1-2 所示。

表 1-2 ICAO 按飞机进近速度分类的标准及常见机型

类别	进近速度	常见机型
A	< 169 km/h(91 kt)	Cessna 172, Cessna 208, DA-20, Li-2, IL-14, DCH-6, TB20, TB200
B	169 km/h(91 kt) ~ 224 km/h(121 kt) (不含 224 km/h)	AN-24, Y-7, AN-30, BAe-146, Dash-8-400 Cessna CJ1, 夏延 3A, Metro-23
C	224 km/h(121 kt) ~ 261 km/h(141 kt) (不含 261 km/h)	AN-12, B707, B737-700, B757, B767, B747SP, A300, A310, A320, MD-82, MD-80, CL-600, A380-800
D	261 km/h(141 kt) ~ 307 km/h(166 kt) (不含 307 km/h)	B737-900, B747-8, B747-400, Tu-154M, IL62, A340-600
E	307 km/h(166 kt) ~ 398 km/h(210 kt)	Tu-144, 协和