

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12s,120ft(1ft \approx 0.305m)。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

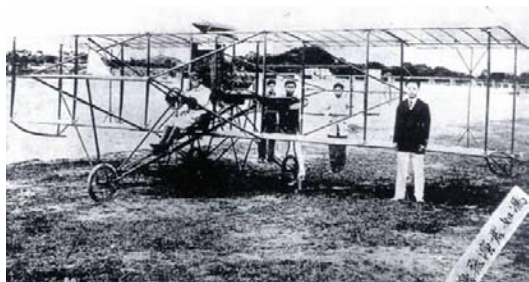


图 1-2 “冯如号”飞机

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

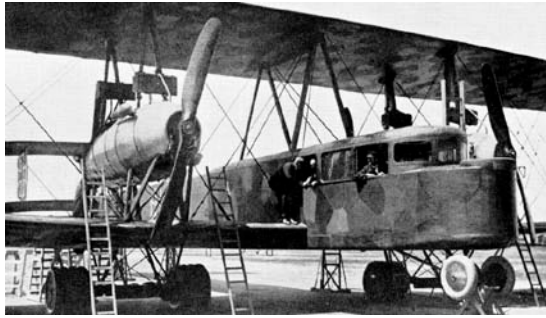


图 1-5 齐柏林斯塔根 R.VI

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。

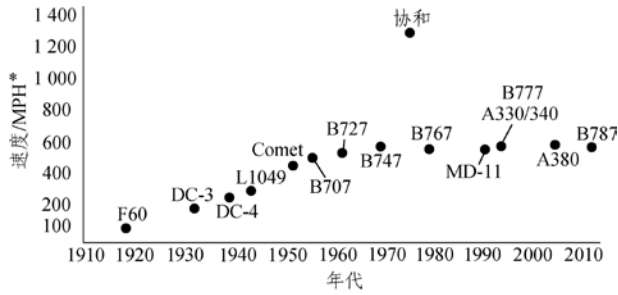


图 1-11 典型民用运输机巡航速度发展趋势



图 1-12 超音速民用运输机 Tu-144

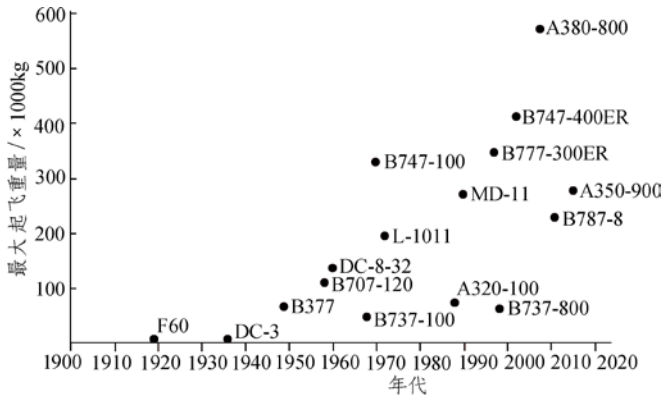


图 1-13 典型民用运输机最大起飞重量发展趋势

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

注：MPH——每小时英里（1 MPH≈1.609 km/h）。

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	有人驾驶飞机	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

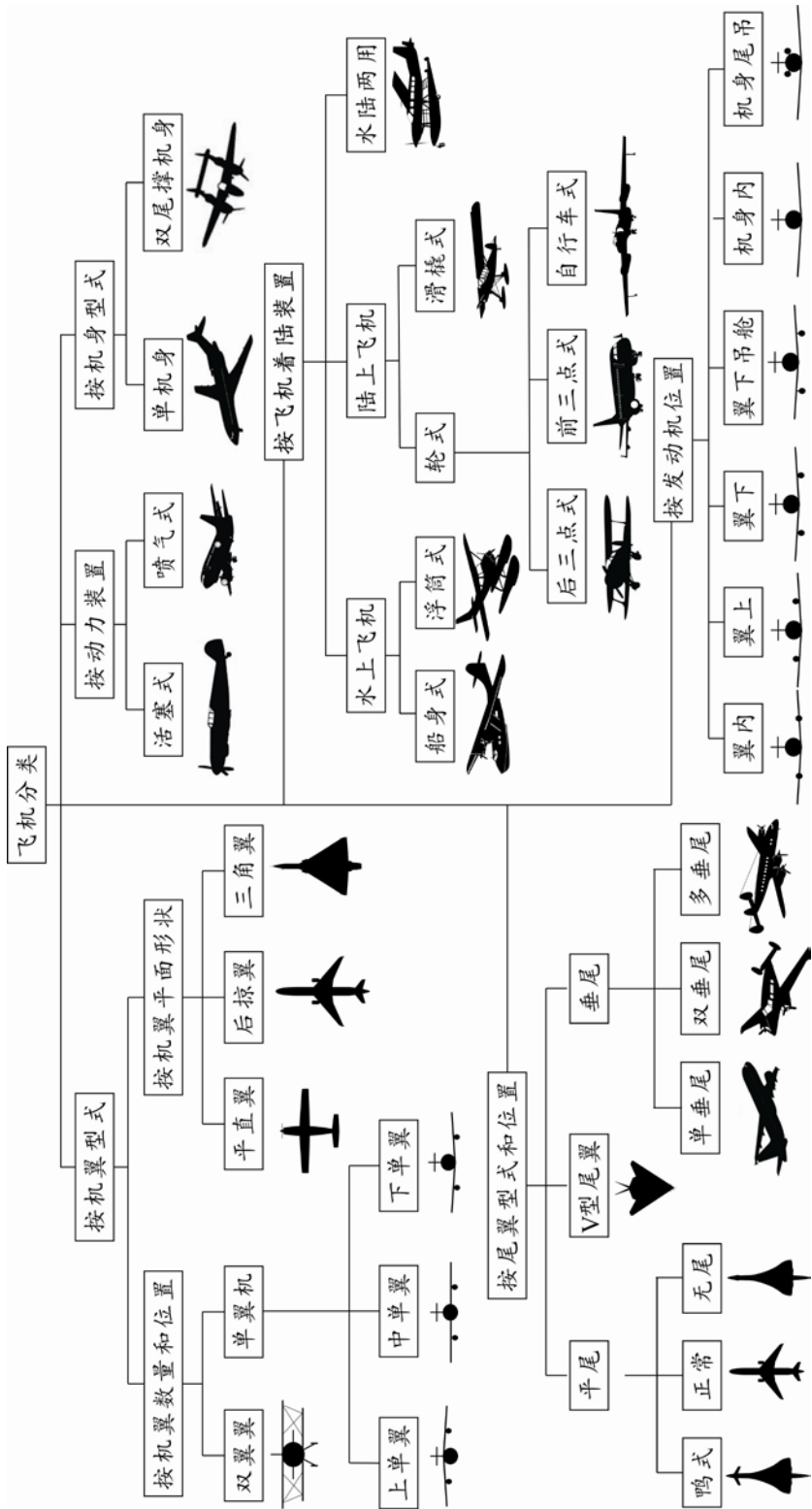


图 1-14 飞机按构造分类

1.3 对客机的要求与飞行安全

飞机的种类及用途虽然各异，但各类飞机应满足以下基本要求：良好的气动外形；足够的强度、刚度而质量最轻；制造工艺性与经济性好；使用维护方便。此外，对旅客运输机还要求安全、经济、舒适。

现代客机采用半宽与宽机身方案，座舱自动调温、调压，并配备了电子娱乐设备。此外，现代民航运输通过高效的运行缩短空中飞行时间，服务水平不断提升，使乘客的飞行体验越来越好。

经济性是世界各民用航空公司特别重视的指标。现代客机为提高经济性采取了一系列措施：进一步加大单机载客量；进一步降低油耗，采用油耗低、噪声小、排污少的大涵道比或超大涵道比的大推力涡扇发动机；采用翼剖面增厚的大展弦比超临界翼型提高升阻比与巡航马赫数等；采用新材料，进一步降低飞机结构重量，增加商载。

飞行安全对民用运输机尤为重要，是民用运输的生命线，航线营运的永恒主题。灾难性飞行事故常使航空公司或飞机制造商陷入窘迫的局面。飞行安全总是与飞行事故密切相关，事故率低则飞行安全性好，防止飞行事故发生则保证了飞行安全。飞行事故是飞机发生灾难、遇险和破损情况的总称。灾难为机毁人亡的一等事故；遇险则为机损人伤的二等事故；破损则为飞机局部严重损坏的三等事故。

飞机起飞、着陆是事故的多发阶段。根据波音公司 2015 年发布的统计报告，飞机发生的重大事故绝大部分发生在起飞、爬升、进近和着陆阶段，如图 1-15 所示。针对起飞、

着陆阶段多发事故的情况，现代客机加强了飞行前的检查，机组人员必须详细掌握空中交通管制中心提供的起飞信息，包括飞机起飞重量、场高、气温、风向及离地临界速度等，以降低起飞阶段的事故率。与此同时，飞机上安装进近警告及引导系统，机场安装辅助装置，向机组提供着陆信息，引导飞机安全降落，以降低着陆阶段的事故率。

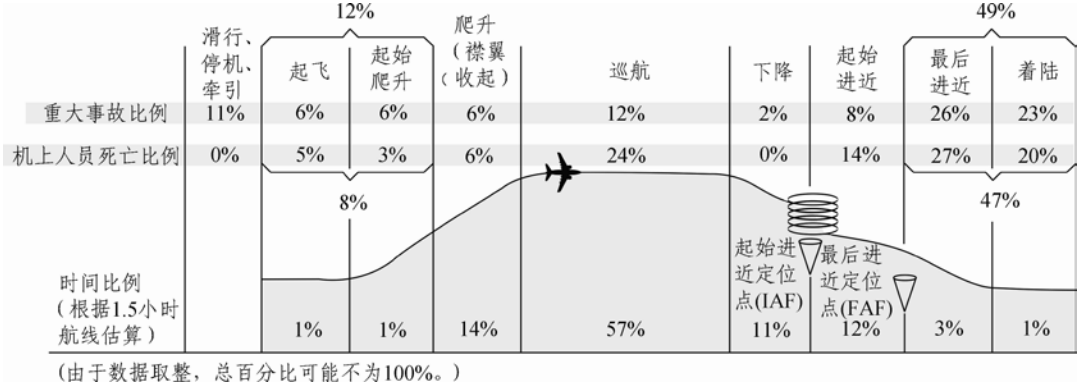


图 1-15 世界范围内商用喷气式飞机重大事故统计 (2006—2015)

飞行事故的影响因素很多，飞行安全是一个复杂的系统工程。发生飞行事故的主要原因可分为三类：人、飞机和环境。其中，飞机所处的自然环境通常是超出人的控制能力而不能消除的，只有回避、限制或采取有效措施，保证飞机在恶劣环境下的飞行安全。而人、飞机的因素，可以通过规范设计、制造过程，提高安全管理来避免造成飞行安全事故。

根据某网站对 1960 至 2015 年的已知原因的 1104 例航空事故进行的统计分析，发现目前引发航空事故的主要原因是人的因素和飞机，如图 1-16 所示。机组和飞机故障是超过七成飞行事故的主要原因，其中，机组对飞行安全的影响最大，约 60% 的飞行事故与机组有直接关系。

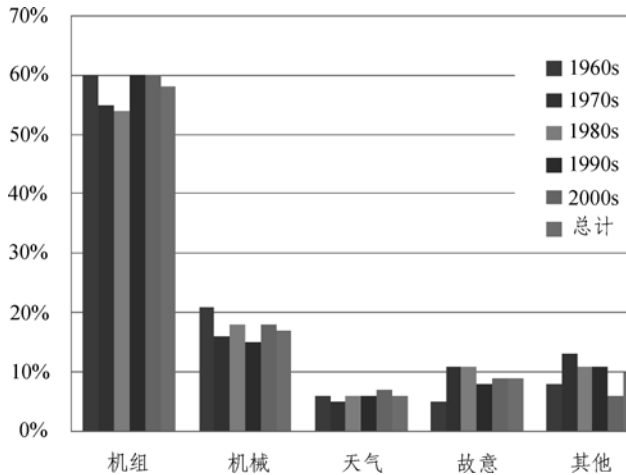


图 1-16 1960—2015 飞机事故的主要原因统计 (该统计为 1960 年 1 月 1 日 ~ 2015 年 12 月 31 日, 去除了原因未明、乘客数量小于 10 人、死亡人数小于 1 人的事故)

据统计, 大约有 18% 的飞行事故是由于飞机结构、设备等等不正常造成的。

航空运行相关人员 (包括机组、维护、空管等) 了解飞机各个系统的功能、基本组成及工作原理, 掌握飞机故障对飞行安全的直接影响, 有利于保障飞机运行安全。对于飞行员, 熟悉飞机系统组成及工作原理不但能促进其对飞机操作程序的深入理解, 还有助于飞行员在飞机非正常和紧急情况下采取应对措施, 提高飞行安全性。

国际民航组织根据各方面的研究成果, 全面分析航空安全信息, 结合世界各航空公司的经验教训, 提出了进一步改善航空安全记录的建议: 安全优先, 事故预防为有效策略; 完善安全法规和系统管理; 设计、适航与使用部门真诚合作; 关键是通过培训, 全面提高人-机-环境系统相关人的素质等。同时进一步指出, 要在飞行安全上取得大的改善, 必须更好地处理人的失误。飞机驾驶舱是所有谋求安全努力的焦点, 飞机设计采用新技术提高安全性, 法规、条例、程序、检查单与运营政策制定, 飞行员的选拔与训练, 导航设备与空管等, 所有这些方法与途径都通向最终共同之路——机组对驾驶舱可用资

源的管理能力，一切安全措施都由此决定其成功与失败。

1.4 现代民用运输机的基本组成

早期飞机构造简单，安全性差。随着航空工业的飞速发展，现代飞机已经越来越安全，同时由于飞机功能的强化，飞机的组成也越来越复杂。图 1-17 所示为现代飞机的基本组成，从功能上看，飞机主要包含如下系统：机体、通信导航、电源、仪表、飞行操纵、燃油、液压、空调、防冰、排雨、起落架、气源、氧气、设备设施和水系统等。每个系统实现特定的功能，对于现代民用运输机，它们都不可少，但对小型通用飞机，由于其飞行条件不同，其中部分系统不再需要或者被极度简化。

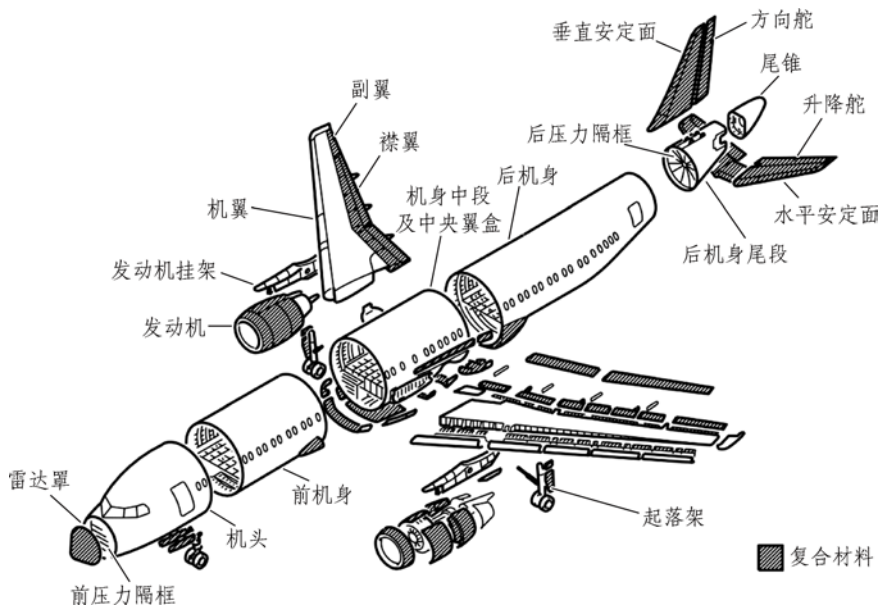


图 1-17 典型民用运输机的基本组成

机体包括机身、机翼与尾翼，属飞机承力结构。机身主要装载人员、货物与设备，

连接机翼、尾翼等部件为一整体；机翼主要产生升力，装载燃油，安装发动机、起落架等；尾翼与机翼操纵面一起保证飞机的安定性与操纵性。

飞行操纵系统包括主操纵系统与辅助操纵系统。主操纵系统主要操纵飞机副翼、升降舵、方向舵的偏转，改变飞机横侧、俯仰与方向姿态；辅助操纵系统包括配平主操纵系统，操纵襟翼、缝翼与减速板等，改善飞行性能，特别是飞机起飞、着陆性能。

起落架系统的主要功能是支持飞机停放，保证飞机地面灵活运动，减小飞机着陆撞击，保证滑跑刹车减速与起落架的收放等。

飞机动力装置包括发动机与燃油、滑油等子系统，操纵控制与显示仪表等，其功能主要是将燃料的热能转变为机械能，产生拉力或推力，确保飞机飞行的速度性能。

此外，飞机燃油系统为飞机提供储油、供油、加油、放油功能；液压系统为飞机运动部件提供驱动力；空调系统为飞机乘员提供安全舒适的环境；氧气系统可在飞机紧急情况下向机组和旅客供氧；防冰系统为机翼前缘、发动机前缘等部位提供防冰措施；灭火系统为发动机、APU 舱、货舱等区域提供火情监控、灭火等功能。

思考题

1. 第一架世界上公认的飞机何时试飞成功？
2. 现代商用喷气式客机的主要型号有哪些？
3. 世界上主要的喷气式客机制造商有哪些？
4. 简述飞机按用途与构造形式的分类。

5. 根据 ICAO 的标准，民用客机按进近速度怎样分类？
6. 简述对旅客机的要求。
7. 简述飞行事故的主要原因及阶段特点。
8. 简述民用运输机的基本组成及功用。