

上篇

人为因素





人为因素是一门应用科学,以操作设备的人为研究中心。应用人为因素有利于优化人的行为表现并减少人为差错。人为因素体现了行为科学和社会科学、工程学和心理学的方法和原则。人和与人相关的各种因素及其相互影响是人为因素研究的主要内容。

20 世纪末的研究表明,与人为因素相关的飞行事故增加至 80%;与维修人员相关的飞行事故,也呈上升趋势;由于飞机系统的改进和发展,飞机机械原因造成的事故已大大减少,而与人为因素相关的事故在不断地增加。在飞机自身可靠性达到相当高的水平且不能在短期获得重大突破的情况下,航空界为了不断降低飞行事故率,在航空人为因素方面进行大量研究,为整个航空系统引入大量人为因素模型、工具和管理系统,使得航空事故率在最近十几年有了大幅下降(是商用喷气客机服役以来,航空事故率的第三次下降),实现了航空安全水平飞跃。

航空维修中的人为因素,是航空人为因素研究的分支,主要研究航空维修中人的工作表现的影响因素,优化航空维修人员的工作表现,减少人为差错,保证航空安全。重视航空维修中的人为因素,可降低维修工作中的人为差错、提高维修质量,是保证飞行安全的重要措施和技术手段,已得到世界各国航空界,从管理当局到航空公司,从维修企业到维修员工的普遍认可。不断进行航空维修中的人为因素研究,将是未来若干年内,世界民用航空(简称民航)界的永恒话题。

## 1.1 航空人为因素对航空安全的贡献

在航空范畴,安全是“一种状态,即通过持续的危险识别和安全风险管理过程,将人员伤害或财产损失的可能性降低并维持在一个可接受的程度或其以下”。

### 1.1.1 安全的演变

航空安全的发展历史可以分为三个时代,如图 1-1 所示。

(1) 技术因素时代——从 20 世纪初到 20 世纪 60 年代末。航空作为大规模交通运输的一种形式应运而生,其中被确定的安全缺陷,最初与技术因素和技术失效或失误相关。因此,在安全方面努力的焦点,集中在技术调查和技术改进上。到 20 世纪 50 年代,随着技术改进,事故率逐渐降低,安全工作逐步扩展到遵守规章与监督方面。

(2) 人的因素时代——从 20 世纪 70 年代初到 90 年代中期。在 20 世纪 70 年代初,由于主要技术的不断进步和安全规章的逐步完善,事故率大大降低。航空运输成为了一种更

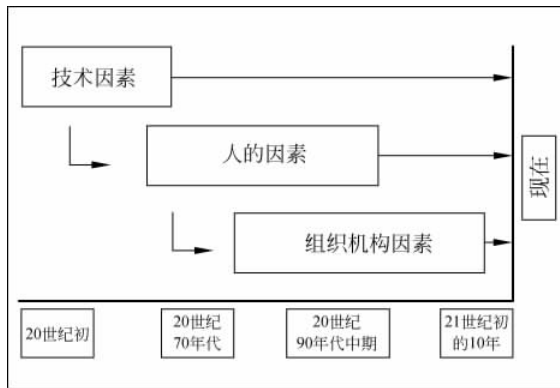


图 1-1 安全的演变

安全的交通运输方式,在安全方面努力的焦点,扩展到了包括人与机器互动界面在内的人的因素问题上。这促使安全信息的获取,超出了早期事故调查所产生的信息。尽管在减少差错方面投入了资源,但人的表现依旧是事故中的常见因素。当时,人的因素之科学的应用,趋向关注个人,并没有完全考虑运行和组织机构的背景。直到 20 世纪 90 年代初,才首次承认个人是在复杂环境中运作的,其中包括了有可能影响人的行为的多重潜在因素。

(3) 组织机构因素时代——从 20 世纪 90 年代中期到现在。在组织机构因素时代,人们开始从系统的视角审视安全,除了人的因素和技术因素之外,它还包含了组织机构的因素。因此,考虑到一个组织机构的文化和政策对于安全风险控制的影响,就采用了“组织机构性事故”的观念。另外,传统的数据收集与分析工作,以往局限于对事故和严重事故征候调查中所收集到的数据之应用,就要对安全有一种全新的、积极主动的做法来加以补充。这种新做法基于日常信息的收集和分析,使用主动和被动的办法,监控已知的安全风险并探测新出现的安全问题。这些改进形成了迈向安全管理的基本原理。

保证飞行安全是民用航空业的重中之重。为保证民用航空安全,各国政府和航空器设计、制造单位及航空运营人,采取了大量措施以建立健全航空安全体系,从而降低事故风险,减少飞行事故的数量。民用航空运输业经历了近一个世纪的全面发展,以其安全、高效、便捷的优势,成为主要交通运输工具之一。

安全和效率是航空界关注的目标,二者缺一不可。优化航空人员的工作表现,是实现安全和效率的可靠保证。在百年航空发展史中,随着航空设计和制造业的发展,飞机的可靠性得到了很大提高。人为因素的研究成果在民航中的应用取得了不可低估的效果。

## 1.1.2 20 世纪末的安全预言

### 1. 20 世纪航空安全水平回顾

在航空发展初期,由于受生产力发展水平的制约,科学技术相对落后,在飞机设计制造方面存在的缺陷较为突出。随着新技术、新材料、新工艺的不断引入,飞机本身的可靠性和安全水平不断提高,航空事故率呈逐年下降趋势。从 1958 年美国波音 B707 投入服役以来,民用航空进入喷气式时代,航空事故率呈现两个阶段:事故率明显下降阶段和相对稳定阶段(如图 1-2 所示)。



图 1-2 美国波音公司统计的年度航空事故率统计

### 1) 第一阶段(1958 年至 20 世纪 70 年代)

1959 年以后,全球范围内民用运输飞行事故率已显著下降。20 世纪 70 年代末和 80 年代初,全球航空事故率已下降到每百万次离港大约 3 起事故。

### 2) 第二阶段(20 世纪 80 年代至 90 年代)

在 20 世纪最后 20 年,航空维修事故率进入相对稳定期,形成一种平稳趋势:事故率的下降变得“非常”缓慢,甚至可以说“不明显”,事故率在每百万次离港 1.5~3 起事故之间波动。

## 2. 航空安全指标

### 1) 百万次离港事故率和百万小时事故率

每百万次离港事故率和每百万小时事故率均可作为衡量航空安全水平的指标。目前,在对航空事故进行统计分析时,西方国家普遍采用每百万次离港事故率作为衡量指标,我国民航则采用百万飞行小时作为衡量指标。为了便于比较和分析(尤其是进行“安全性分析计算”),可将每百万次离港与百万飞行小时进行相应换算。

图 1-3 给出了 1989 年至 2008 年世界范围内商用喷气式飞机飞行小时数和离港次数,其中 2008 年飞行小时为 46.3 百万,共 21.8 百万次离港,两者之比为 2.12 飞行小时/离港。因此,百万次离港和百万小时之间的换算,可粗略取 2.1 作为系数。

20 世纪后 20 年间,全球民航的航空事故率为每百万次离港 1.5~3 次事故,相当于每百万飞行小时 0.72~1.42 次,即 $(0.72\sim 1.42)\times 10^{-6}$ /飞行小时,是所有交通方式中事故率最低的。乘客乘坐民航班机发生事故死亡的概率小于日常生活中意外死亡(如走路摔死、喝水呛死等)的概率。目前,世界主要适航管理局均将整机事故率 $\lambda=1\times 10^{-6}$ /飞行小时作为民用航空器可接受的安全指标。

### 2) 年度航空事故总量和死亡人数

在统计航空事故率的同时,人们同样关注每年发生的航空事故数量和事故中死亡的人

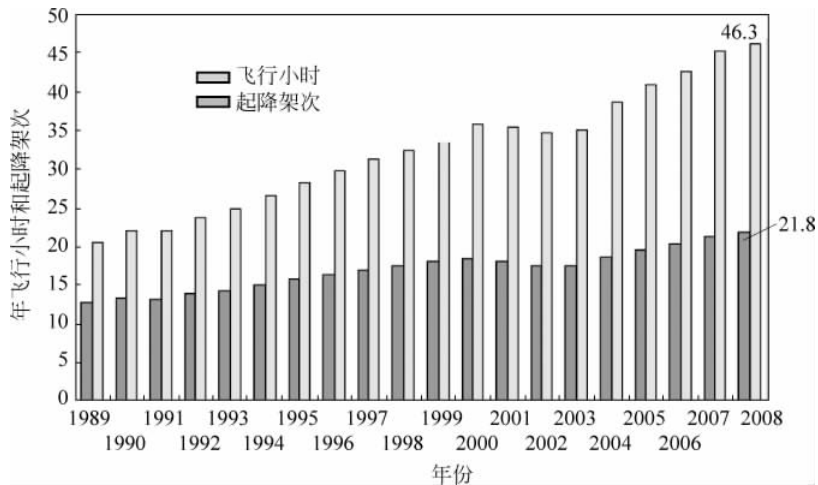


图 1-3 全球商用喷气式飞机离港和飞行小时统计

数。尤其是普通民众,更加关心飞机失事的次数。当民航空难发生后,会对普通民众造成很大的冲击和震撼。人们会在相当长的一段时间关注空难发生的过程和调查进展(马航MH370失联和MH17被击落事件发生后,在世界范围内造成很大影响和长时间关注)。由于普通民众对航空安全专业指标了解不多,他们更倾向于把航空事故数量和死亡人数作为衡量航空安全的指标。

### 3. 关于航空事故数量的惊人预言

#### 1) 服役飞机数量和航空运输周转量的预测

随着世界各国经济的发展和全球一体化的不断推进,全球范围内的航空运输需求将飞速发展。2000年,美国波音公司发布“2000—2018年期间世界喷气式飞机市场预测”。波音公司统计,1999年世界范围内服役飞机为14900架,并预计到2018年,世界服役飞机将达到25400架,同时,全球范围内的航空运输周转量将翻一倍以上。

#### 2) 飞机年度事故量的惊人预测

在波音公司预测飞机数量的基础上,飞行安全基金会对全球的航空事故进行了预测,当时得出了一项令人吃惊的结论:“如果未来10~15年内飞机航班数量增加1倍,那么飞机事故数量也会同样增加。在当时的安全水平内(即每百万次离港事故率为1.5~3),那么到2015年,年度重大飞行事故总量将达到45起(此为预测平均值,具体应在30~60次之间)”。飞机事故数量预测趋势如图1-4所示。

实际上,航空运输发展速度是高于当初预测的。波音公司2016年7月发布的统计数字,世界航空运输喷气式飞机2015年的起降达到27.0百万架次。根据当时的预测,2015年的重大飞行事故数量将达到非常惊人的40~81次(即便取平均值,也将达到惊人的60次)。也就是说,大众每天都将被空难信息包围(平均4~6天发生一起空难,估计还会出现一天发生数起空难的可能)。

#### 3) 惊人预言的破产

令人欣慰的是,20世纪末的预言并没有变成今日的航空安全噩梦。随着全球运输飞机数量增加和飞机起降班次的增多,致命空难大量发生的情况并没有发生。2015年,全球喷

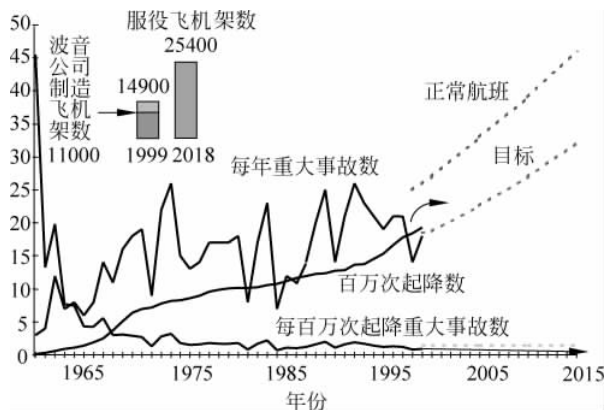


图 1-4 20 世纪末全球运输飞机飞行事故预测趋势图(2000 年)

气式商业机队共发生飞机坠毁事故(hull loss)15 起,其中导致机上人员死亡的重大安全事故 0 起。全年的航空事故死亡统计数字为:地面人员 16 人,机上人员 0 人。

#### 4) 航空事故率的第二次快速下降

美国波音公司统计的全球喷气式商业机队航空事故率(如图 1-5 所示)揭示了其中的秘密:美国和加拿大等北美地区的死亡事故率从 1989 年的百万次离港 1.5 次降低到 1998 年的百万次离港 0.5 次左右,后来逐渐稳定在百万次离港 0.3 次左右。全球范围内航空事故率从 1998 年以后开始下降,并在 2008 年前后稳定在百万次离港 0.8 次左右(详见图 1-5 右上角小图)。

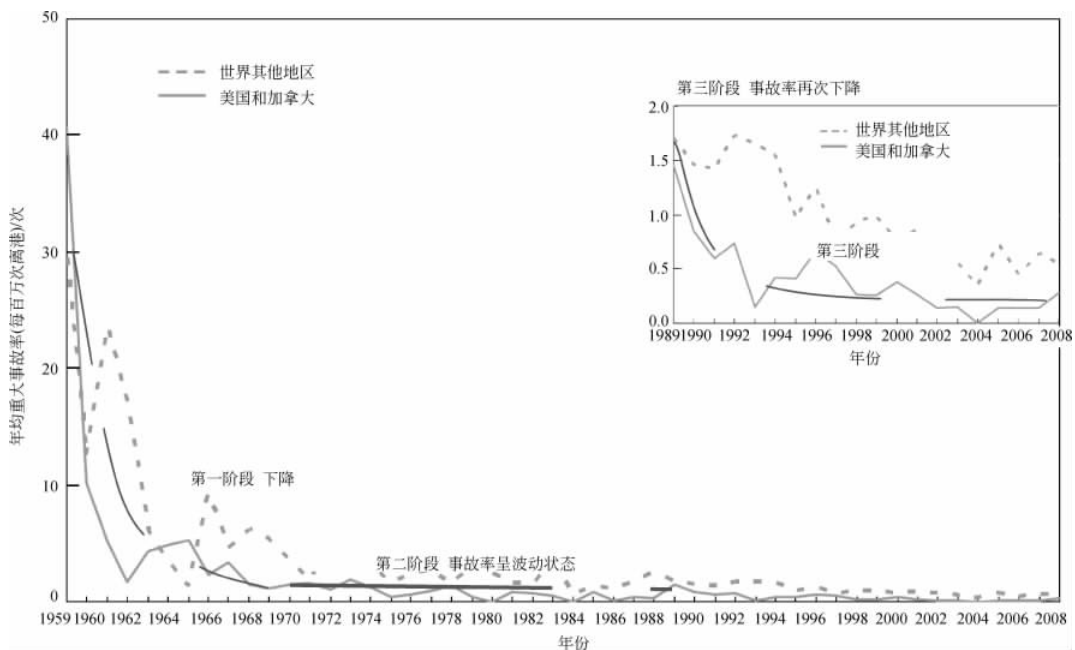


图 1-5 世界范围内喷气式商务飞机航空死亡事故率下降规律统计(2009 年发布)

2006—2015 年的统计数字显示,全球的航空安全水平已经与北美地区航空安全水平持平,航空死亡事故率为百万次离港 0.29 次,其中定期商业航班死亡事故率为百万次离港

0.23次(相当于 $0.11 \times 10^{-6}$ /飞行小时)。航空安全事故率的再次快速下降并保持在极低的水平,使世界航空运输摆脱了随时可能面临空难的境地,毫无争议地成为最安全的运输方式。

### 1.1.3 航空事故率下降原因

纵观世界民用航空安全事故变化规律,有两个事故率迅速下降的阶段:第一次是1958年至1970年,第二次是1998年至现在(北美地区从1989年开始第二次下降),造成这两次安全水平提高的技术基础是不同的。

#### 1. 第一次:航空器自身安全性不断提高

航空器自身安全性水平的提高是第一次航空安全事故率降低的基础。新技术、新标准在航空器设计中的采用,促进民用航空安全事故率在大幅下降。

##### 1) 三代民航商用喷气式飞机安全水平的差异

自1958年美国波音B707投入服役以来,共有三代民用喷气式飞机投入商用航空领域,这三代飞机分别是:第一代飞机,20世纪50年代末至70年代的飞机,如B707,DC-8;第二代飞机,20世纪60年代末开始交付的飞机,如波音B727,B737-100/200,B-747,DC-9,DC-10,空客A300-B4等;第三代飞机,20世纪80年代后投入使用的飞机,如MD-80、MD-11,MD-90、B737-300/400/500,B757,B767,B777,A310,A300-600,A319,A320,A330,A340等。

这三代飞机设计制造的年代不同,具有的安全性水平也不同。在投入服役后,也就表现出不同的运营安全水平。图1-6给出了20世纪商用喷气式飞机按“代”和“服役时间”统计出的航空安全事故率。

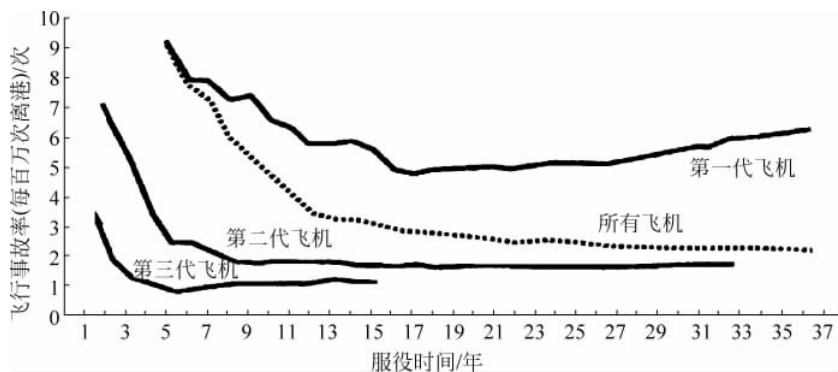


图 1-6 商用大型喷气式飞机按“代”和“服役时间”的飞行事故率统计

如图1-6所示,每代飞机投入运行的前几年,事故率相对较高,随着设计和制造缺陷的逐步完善,在随后的服役期内,事故率相对较低并保持相对稳定。总体来说,第一代飞机的安全性水平大大低于第二代和第三代飞机。交付使用10年后,第一代飞机的事故率比第二、第三代飞机事故率高出5倍多;在服役期超过一定时间后(图1-6中显示为17年),由于老龄化,第一代飞机事故率呈上升状态。随着第二代飞机和第三代飞机不断交付使用,第一代飞机在整个机队中所占比例逐渐减少,因此,全世界范围内,商用喷气式飞机的航空安全事故率是逐渐降低的(如图1-6虚线所示)。

第一代商用喷气式飞机投入使用的头15年内(即1959—1973年),航空事故率水平下

降幅度较大,之后进入相对平缓期,由此可以看出,安全的飞机是航空安全实现的根本前提和物质基础。

## 2) 新技术、新标准的采用是飞机安全性不断提高的基础

造成三代商用喷气式飞机安全水平存在较大差异的原因,是在这三代飞机设计阶段采用了不同的安全分析方法和设计手段。例如,系统安全性方法于20世纪40年代被提出,经过近10年的发展于50年代起应用于欧美第一代商用喷气式飞机的设计研制;失效模式与影响分析(FMEA)方法于60年代末应用于第二代商用喷气式飞机的设计研制;而第三代商用喷气式飞机则采用了更加系统的的天性设计方法。每一种新的理论和方法的实施,均会赋予新设计的飞机更高的安全性水平并在其服役后表现出优于上一代飞机的安全性表现(即更低的航空安全事故率)。

由于一项新的技术从设计时普遍采用到该产品投入使用并表现出其对提高航空安全的贡献存在较长的时间差(一般为10年左右),因此每项新技术、新标准采用后,必将导致其后10年内航空安全水平的降低。如图1-7所示,典型安全性分析方法和结构设计等适航技术方法引入飞机设计的时间点与世界范围内喷气式商务飞机航空事故率下降规律是相吻合的。因此,新技术、新标准的采用是航空事故率得以不断降低的技术推动力。

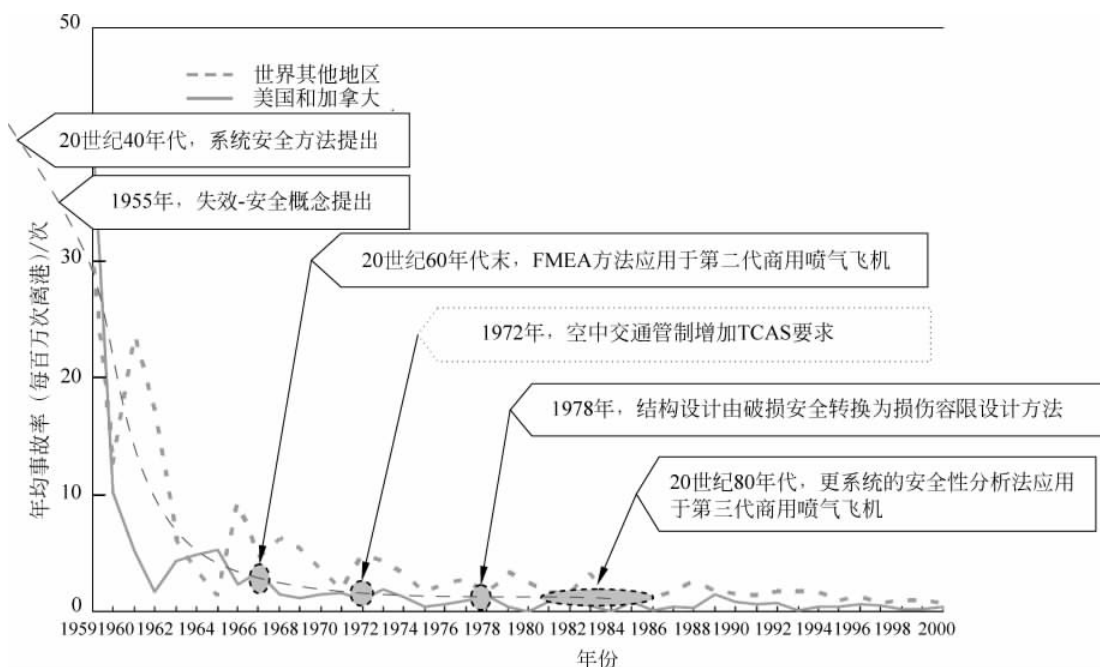


图 1-7 适航关键技术实施时间与航空事故率下降关系

## 2. 航空事故率进入平缓波动期的技术分析

进入20世纪70年代后,世界民用航空安全水平呈现相对稳定的局面,达到相对较低的飞行事故率,并已证明航空运输是最安全的运输方式。但随着世界经济的发展,航空运输周转量迅速上升,此时出现了困扰航空运输业发展的重大问题:虽然航空飞行事故率相对很低,但航空飞行事故数量却在逐年上升。由于航空事故发生后对公众造成巨大的精神冲击,公众开始怀疑民用航空运输的安全性。

与此同时,人们发现即使不断有保证航空器安全性设计的理论和方法投入到新航空器的研制中,但航空事故率并没有出现第一阶段中快速下降的局面。

### 1) 航空事故原因初步分析

人们通过对事故原因的初步分析,认识到以下规律:航空事故由机械原因(飞机本身相关)和人的原因(飞行、空管、维修等)两大原因造成。在航空发展初期,由于受生产力发展水平的制约,科学技术相对落后,在飞机设计制造方面存在的缺陷较为突出,成为影响航空安全的主要因素,占全部事故的80%以上,由人的原因造成的事故占全部事故的20%。后来,人们提高对飞机自身的安全性问题的关注,将新技术、新标准和新材料不断引入,航空器安全水平逐渐提高,由飞机本身问题导致事故比例迅速下降。与此同时,由于人的原因导致飞行事故的比例在相对上升,最终两者的比例关系出现倒转,如图1-8所示。

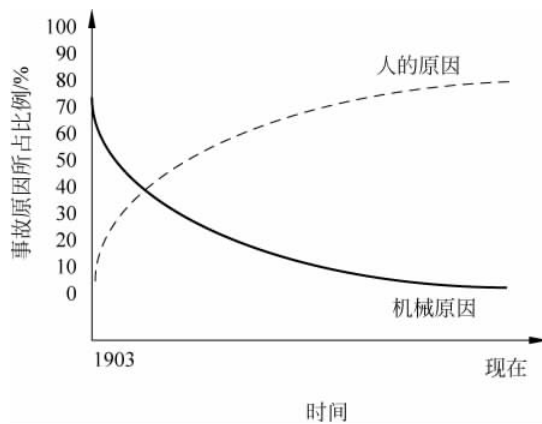


图 1-8 事故原因比例分析

### 2) 航空安全事故分类研究

后来,事故调查部门对导致航空事故发生的原因进行详细分析时,得出的结论是:由航空器本身造成的事故原因仅占全部事故原因的10%左右,另外90%由其他各种原因造成。因此,仅靠提高航空器自身的安全性水平,对于降低航空事故率是不能起到“立竿见影”作用的。

世界各国民航组织、航空器制造商和航空器营运人对航空事故发生的原因均十分关注。事故调查部门收集了几十年内全球40余种机型发生的7622起事故,并对导致事故的原因进行了分析研究。分析表明,导致事故的直接原因可以分为13大类,它们分别是:

- (1) 飞机(airplane),包括机身失效、设计错误、发动机、操纵舵面、仪表、增压舱、系统、起落架等因素;
- (2) 空中交通管制和导航(ATC and navigation),包括语言/通信、仪表气象条件下目视飞行、错误或没有理解指令等问题;
- (3) 货物(cargo occurrences),包括货物装配、起火、过载等因素造成的事故;
- (4) 碰撞(collisions),包括在地面和飞行中与其他飞机的碰撞、鸟撞及与其他目标的碰撞;
- (5) 外部因素(external factors),包括外来物损坏、尾流等因素;
- (6) 飞行机组(flightcrew),包括酒精/药物作用、精神状态、不遵循程序、疲劳等因素;
- (7) 火灾(fire),包括机库、地面及飞行中发生的火灾;
- (8) 起飞/着陆(landing/take off),包括重着陆、擦尾、错误起飞构型、中断起飞、跑道错