

军事飞行事故研究

陆惠良 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

军事飞行事故研究/陆惠良编著. —北京:国防工业出版社, 2003. 8

ISBN 7-118-03188-7

I. 军... II. 陆... III. 飞行事故 - 研究
IV. V328. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 053848 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 8 $\frac{7}{8}$ 227 千字

2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月北京第 1 次印刷

印数 1000 册 定价 24.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

此书出版得到中国工程院
俞梦孙院士的指导和资助，
特此致谢！

序 言

今年,世界各地都在纪念莱特兄弟发明飞机 100 周年。飞机的发明可谓是人类文明史上一朵艳丽的奇葩。有了飞机,就有了航空业。民用航空为各国人民友好往来、科学文化交流带来极大的方便,也大大促进了各国经济的发展,民航业本身已经成了许多国家国民经济的重要支柱之一。

飞机发明以后很快被用于军事目的,军事飞行事故也就接踵而至。据本书作者研究,全世界因军事飞行事故死亡人数已超过 45 万,受伤人数就更多,军事飞行事故还带来了巨大的经济损失和恶劣的社会影响。造成军事飞行事故的原因很复杂,主要分为人、飞机和环境 3 个方面,而人的原因约占 80%。因此军事飞行事故的预防是一个系统工程。预防措施的有效性主要取决于飞行事故原因调查的准确性,只有准确查明每起飞行事故的具体原因,才能防止同类飞行事故的再次发生。近 30 年来,各国空军投入大量人力和巨额资金进行军事飞行事故研究,采取许多有效措施,军事飞行事故的发生率有了大幅度的下降。但由于武器装备的迅速更新,军事飞行事故的经济损失却在逐年增加,各种飞行事故仍在不断发生。因此,军事飞行事故仍有许多问题尚待深入研究,尤其是人为因素方面需有更多的投入。

20 世纪 70 年代,我有幸参与了我国第一代火箭弹射座椅的研制。弹射座椅是军用飞机在发生事故无法挽救时使用的。自德国人 1943 年研制成功至今已拯救了大约 1.5 万名飞行人员的生命。军事航空救生为保存航空兵部队战斗力、鼓舞士气和减少军事飞行事故损失作出了重大贡献。目前世界上只有 6 个国家有能

力研制和生产火箭弹射座椅,除了中国,还有英国、美国、俄罗斯、法国和瑞典。我国经过几十年的努力,已经奠定了坚实的技术基础,生产出了多种型号的火箭弹射座椅,有望在不久的将来赶上世界一流水平。本书以一章的篇幅比较详细地介绍军事航空救生的内容,体现了军事飞行事故救生的一大特色。

陆惠良研究员参加过军事飞行事故的现场调查,长期关注军事飞行事故的理论研究,手头累积了大量的有关资料。此书内容丰富,叙述深入浅出,语言活泼流畅,并列举约 200 个生动的例子,可读性较强。此书不仅对航空兵部队的指战员、军事航空业有关研究所和工厂的科技人员有重要的参考价值,也是对军事航空有兴趣的普通读者的很好读物。

中国工程院院士 俞梦孙

2003 年 4 月 16 日

前 言

军事飞行事故的资料往往被军方锁在保险柜里,视为军事秘密,普通老百姓难得一见。因此,一般人很难知道军事飞行事故的内幕。20世纪80年代以后,英、美等一些西方国家迫于社会舆论的强大压力,才逐渐向公众公布了部分军事飞行事故的数据,即便如此,军方也是很很不情愿的,但如果有人认为军事飞行事故与普通百姓毫不相干,那就大错特错了。

首先,军事飞行事故给国家造成巨大损失,而这些损失最终都要落在纳税人的头上。以美国为例,美国空军自1947年正式组建至2001年,发生A级飞行事故26 723起,B级飞行事故11 085起,共损失飞机13 626架,死亡15 856人,其中飞行人员6 899人。战争年代飞行事故的损失更为严重,第二次世界大战期间,美国陆军航空兵部队因飞行事故损失飞机达21 000架,而被敌方击落或炸毁的飞机为20 500架,因飞行事故损失的飞行人员和飞机均超过战斗中的损失,约占总数的55%。空战最激烈的1943年,空战中死亡飞行人员2 392人,损失飞机3 847架。而因飞行事故死亡的飞行人员达3 426人,飞机毁坏5 024架。在朝鲜战争中,美国空军因飞行事故损失飞机460架,180名飞行人员丧生。军事装备是国家的财产,也是纳税人的财产,因此纳税人对飞行事故拥有知情权和监督权。

其次,军事飞行事故如发生在人口稠密地区,会直接给老百姓造成灾难。1945年7月28日,一架美国陆军航空兵部队的B-25D轰炸机从马萨诸塞州飞往纽约,在曼哈顿上空撞上了帝国大厦。帝国大厦高380m,是当时世界上最高的摩天大楼。由于大厦上部被浓雾笼罩,能见度差,加上飞行员驾驶错误,飞机撞在79层上

(高 275m) ,当即爆炸起火 ,大厦被撞出一个大窟窿 ,飞机残片穿过大厦 ,散落在附近地区的房顶上 ,当场有 14 人死亡。其中有 B-25D 飞机机组人员 3 名 ,1 名正在大厦里开电梯的工人因电缆突然被切断 ,电梯从高处坠落而致命。另有 25 名地面人员受伤。幸好这一天正好是星期六 ,大厦的大部分办公室里都没有人 ,否则死亡人数会大大增加。此后 ,美国民航局将纽约上空最低飞行高度由原来的 300m 改为 750m。1988 年 8 月 28 日 ,意大利空军的“三色箭”飞行表演队在德国的拉姆斯图因空军基地上空进行特技飞行 ,当 10 架喷气式战斗机在做低空机动飞行时 ,一架在 60m 高度与另两架翻筋斗正相交的其中一架相撞 ,接着又撞上了另一架 ,然后在观众中坠毁爆炸。另两架战斗机分别坠毁在机场和附近的树林里 ,这场悲剧造成 3 名飞行员和 70 名观众死亡 ,500 多人受伤。1990 年 3 月 1 日 ,印度空军的一架米格-23 喷气战斗机在德里附近坠毁 ,飞机正好撞到停在地面的两辆油罐车上 ,飞机和油罐车立即猛烈爆炸起火 ,炸死炸伤地面 50 人。2002 年 7 月 27 日 ,乌克兰空军为庆祝第 14 军建军 60 周年在勒维夫市进行飞行表演。当时有 1 万多人在场观看。一架苏-27 战斗机在低空俯冲半翻滚时突然如脱缰的野马冲入人群 ,2 名飞行员弹射跳伞成功 ,飞机坠地后立即爆炸 ,顿时血肉横飞 ,惨不忍睹 ,这次事故造成 85 人死亡 ,151 人受伤。由此可见 ,军事飞行事故常常具有突发性和偶然性 ,一般人难以预料。一旦飞机坠毁在人口密集的地方 ,老百姓就要大祸临头。

其三 ,战斗机发生飞行事故后 ,弹射跳伞后的飞行员需要老百姓配合营救。此类例子不胜枚举。飞行事故现场的当地群众可以为飞行事故调查人员提供各种信息 ,如飞机在空中的姿态、是否冒火冒烟、有无爆炸声响 ,为飞行事故分析提供佐证 ,以及帮助军方保护好飞机事故现场 ,等待飞机事故调查人员到来等。

所以 ,我们说飞行事故不是与普通老百姓毫不相干 ,而且有时还相当密切呢。

军事飞行与民航飞行相比 ,其危险性更大。

①由于战斗机多数是单人驾驶,飞机一旦出事,常常机毁人亡。

②飞行员死亡,死无对证,飞机坠毁前的情形常常难以知晓,因此相当数量飞行事故的真正原因很难调查清楚。

③战斗机飞行高度高,速度快,飞行机动动作复杂,受到高空、高加速度、空间定向障碍等影响大,人为因素在飞行事故中的作用比民航更大。

④空战训练多在人烟稀少的地区上空进行,发生飞行事故后,幸存的飞行员和飞机残骸均难以寻找。

军事飞行事故与民航飞行事故另一个不同之处是,战斗机飞行员可以利用弹射救生系统逃生,而民航飞行员则无此装备。第二次世界大战期间,德国空军首先研制成功弹道式弹射座椅,并在战争中有60名飞行员使用了这种装备。此后近60年间,弹射座椅已发展到第四代,拯救了许多飞行员的生命,使飞行事故人员伤亡明显下降,被人们称为“生命之舟”。到目前为止,用弹射座椅逃生的飞行员已有15 000名左右。

本书主要介绍军事飞行事故的概况,包括造成飞行事故的各种原因、飞行事故调查的方法、航空救生、飞行事故的预防等等。书中讲述约200个典型的军事飞行事故例子。作者力求用比较通俗的语言来讲述,但毕竟由于才思不济,仍有不妥之处。作者希望此书能为飞行安全的研究发展提供参考与借鉴。

目 录

第一章 军事飞行事故概述	1
一、军事飞行事故概念与分类	3
二、飞行事故发生率	7
三、人员伤亡和财产损失	10
四、军事飞行事故特点	17
五、飞行事故基本理论	21
第二章 军事飞行事故原因	40
一、人的因素	41
二、机械故障	59
三、环境因素	64
第三章 军事飞行事故调查	81
一、调查飞行事故的目的	81
二、调查飞行事故的原则	83
三、事故现场调查	85
四、实验室研究	105
五、综合分析和结论	120
第四章 军事航空救生	124
一、K-36 弹射座椅	124
二、弹射跳伞简史	126
三、座椅结构与弹射过程	144
四、弹射损伤	150
五、其他离机方法	167
六、生存与营救	172

第五章 直升机飞行事故	201
一、直升机概述	201
二、直升机飞行事故特点	203
三、直升机坠水事故	211
第六章 军事飞行事故预防	223
一、飞行安全管理机构	224
二、飞行人员的选拔和心理生理训练	232
三、提高飞机的可靠性和安全性	253
四、飞行人员防护救生装备的改进	261

第一章 军事飞行事故概述

几乎所有重大科学技术的发明创造首先都被用在军事上,飞机的发明当然也不例外。1903年12月17日上午,美国人莱特兄弟在加利福尼亚州基蒂霍克小镇的海滩上,驾驶着自己设计制造的“飞行者一号”双翼飞机飞上蓝天,实现了人类几千年来遨游天空的梦想。那一天,他们在空中飞行最长的一次时间为59s,飞行距离40m。飞机的发明引起了全世界的关注,更引起各国军事部门的极大兴趣。1908年2月10日,美国陆军通信兵首先向莱特兄弟订购了世界上第一架军用飞机,并于1909年交付使用。此后,欧洲一些国家也相继购买了飞机作为军用。到第一次世界大战爆发前夕,几乎所有强国都有了一支小规模航空兵部队。

世界大战大大地刺激了军事航空工业的发展。1914年8月至1918年11月,第一次世界大战的各参战国共生产飞机20万架,其中法国67 982架,英国55 093架,德国47 637架,意大利约20 000架,美国约15 000架。飞机的性能也明显提高,到战争快结束时,飞行速度已超过200 km/h,升限达6 000 m,续航时间达3h。第一次大战初期,飞机只用于侦察和了解敌方地面部队部署情况,而敌对双方在空中相遇时,飞行员之间除了彼此在空中打个招呼之外,则无所作为。后来发展成在空中互掷石头,用手枪、步枪、机枪对射,最后发展为激烈的空战。第一次大战结束以后,各国空军大量裁员,军事航空业濒于破产。第二次大战爆发以后,军事航空业又得到迅猛发展。整个战争期间,作战双方共生产了60万架作战飞机,其中美国生产了20多万架,苏联和德国各10万架,英国和日本各7万架,意大利约1万架。飞机性能也大为提

高,飞行速度已达 850 km/h,升限达 12 000 m,最大航程达 1 800 多千米。战后军用飞机的数量再次急剧减少。但由于民用航空业的崛起,两大阵营冷战的存在以及连绵不断的局部战争,又使得作战飞机的性能得到更快地提高和改善。

目前,全世界拥有军用飞机约 35 000 架,其中美国拥有 1 万多架,英国和法国各拥有 2 000 架左右,德国、意大利、日本、瑞典和巴西五国各有 1 000 架左右,俄罗斯、中国和其他国家占 16 000 架。今天先进战斗机的飞行速度可达 3 000 km/h,升限 3 万 km,运输机不着陆飞行可达 3 万 km。作战飞机的种类更是五花八门,除了战斗机,还有攻击机、轰炸机、侦察机、运输机、加油机、预警机等等。机上武器装备可谓应有尽有,各种空—空导弹、空—地导弹、激光制导炸弹、贫铀弹等等,一些国家仍在投巨资研制更先进的作战飞机和武器系统。军事航空技术由于融合吸收了许多其他科学领域的先进技术,使它的发展更为突飞猛进。

飞机发明以后,飞行事故也接踵而至。1908 年 9 月 17 日,莱特兄弟在弗吉尼亚州的迈尔斯堡,为美国陆军通信兵订购的第一架飞机作验收飞行。这架飞机刚起飞 4s 后,突然机头向下,大角度俯冲,撞地坠毁。机上的一位陆军通信兵塞尔弗里奇中尉受致命伤,数小时后死去。后经法医鉴定,他因冲击力造成复合性粉碎性颅底骨折而身亡。奥维尔·莱特受重伤,住院治疗 7 周后康复。美陆军下令调查这世界上第一起飞行事故原因,调查了事故现场的飞机残骸并收集了目击者的证言。事故调查的结果是:飞机的螺旋桨碰到了方向舵上的钢索,使钢索逐渐从箍套中脱出,导致方向舵向侧方偏转,飞机随即失去控制。事故发生以后,莱特兄弟对飞机进行了重新设计,保证螺旋桨不再碰到钢索,这也可以说是军事飞行事故预防计划的开端。由于首起飞行事故死亡是由脑外伤引起的,因此有的飞行员在上机以前戴上了当时足球队员用的头盔。

1912 年 8 月 25 日,我国第一位飞机设计师和飞行家冯如驾驶自己制造的一架双翼飞机在广州燕塘作飞行表演。当飞机飞离地面约 37 m 时,因操纵过猛,飞机急剧上升,然后飞机失去平衡,

失速坠地,冯如的头、胸、臀部多处受伤。那天正好是星期天,冯如由于未能及时就医而死亡。冯如当时年仅 30 岁,这是我国第一起机毁人亡的飞行事故。

航空发展初期,由于飞机的结构与设备十分简陋,飞行事故极为频繁,严重飞行事故万时率高达 100 以上。也就是说,每飞行 100h 就会摔掉一架飞机。在第一次世界大战期间,因飞行事故损失的飞行员和飞机竟比空战中的损失还要高 3 倍。第二次世界大战期间,因飞行事故而损失的飞行员和飞机仍然要比空战中的损失多出 5% 左右。

英国皇家空军 1939 年至 1945 年间,因飞行事故损失的飞机 8 万架,另有 16 万架飞机因飞行事故而损坏,而同时期生产的飞机也只有 12.5 万架。损失更为惨重的是飞行事故造成大量飞行人员的伤亡。1940 年至 1945 年,仅英国本土因飞行事故而死亡的飞行人员达 2.5 万人。如果包括海外的空军部队在内,估计每年有 1 万名飞行人员因飞行事故而丧生。

一、军事飞行事故概念与分类

(一)概念

军事飞行事故是指军用飞机发动机启动滑行至飞机着陆后滑行到指定位置的整个飞行过程中发生人员伤亡、飞机损坏的事件。

给军事飞行事故下一个明确的定义,目的在于划定一个范围以便于研究和管理。那么下面两起事故是否为军事飞行事故呢?

1985 年 12 月 12 日,美国 101 空降师的 250 名军人在完成西奈沙漠维和任务后,搭乘迈阿密阿罗航空公司的包机 DC-8 返回美国过圣诞节。飞机从西德的科隆机场起飞,飞往 101 师的美国驻地怀俄明州的坎贝尔堡,当天上午 9 时还准备举行一个欢迎仪式。飞机在空中飞行 7h30min 后准备在纽芬兰岛的甘德机场加油时,飞机突然在离甘德机场不远处坠毁,机上 250 名官兵无一人幸存。

1967 年 7 月 29 日上午 11 时,美国海军的一艘 Forrstal(CVA-

59) 航空母舰正行驶在离越南大南以北 280 km 的海面上, 舰上的一架 Mc Donnell F-4B 战斗机上的飞行员因操纵失误, 误射了一发 zuni 火箭, 这枚火箭横扫飞行甲板, 击中了另一架正准备起飞的 A-4E 喷气式战斗机。飞机上一只装有 1 500L 的汽油箱立即破裂起火, 开始了一场浩劫。燃烧的汽油被每秒 16 m 的大风刮得四处蔓延, 顿时风助火势, 一片火海烟雾, 大火燃烧 1min 30s 后, 7 架 F-4B 战斗机中的第一架爆炸, 火势进一步向四周蔓延, 此时因一架飞机爆炸, 又一枚火箭落下来, 火焰烧着了 JP-5 喷气式战斗机, 大约有 15 万 L 的汽油箱。大火在甲板上燃烧了将近 1h 才被扑灭, 但蔓延到甲板以外部分的火焰一直燃烧到第二天早晨。这次事故造成 134 人死亡, 161 人受伤。令人惊异的是, 有 20 人跳海, 其中有 16 人被救起, 他们均安然无恙。总共有 21 架喷气式战斗机在大火中毁坏, 其中 3 架 RA-5Cs、7 架 F-4Bs、11 架 A-4E, 有 4 架飞机不得不弹离航空母舰。

第一起事故虽然死亡的是 250 名空降师的军人, 但他们使用的是一架民用包机, 并非是军用飞机, 因此这不应属于军事飞行事故, 而应属于民用航空事故, 因此这起事故由民航部门负责调查处理。

第二起事故虽然涉及到许多军事飞行员和军用飞机, 虽然停在航空母舰甲板上的一架飞机准备起飞, 但发动机并未启动, 也不能列入军事飞行事故范畴, 只能归入舰面事故。

根据我国规定, 执行战斗任务时所发生的事故称为“战斗损失”, 一般不归入飞行事故, 但国外对第一、二次世界大战中的飞行事故仍然单独统计并不列入战斗损失, 甚至被敌击落的也计算在飞行事故内, 如 1996 年世界军用飞机事故调查统计中, 304 起军事飞行事故中有 18 起是被敌击落的事故, 其中 11 起机毁人亡, 大部分发生在车臣、阿富汗和斯里兰卡。下面举两个 20 世纪 80 年代的例子。

1982 年 12 月 9 日, 尼加拉瓜空军的一架米-8 直升机坠毁, 84 人当场死亡, 这是直升机历史上最大的一次空难。直升机坠毁地

点是在距马纳瓜以北 175 km 的山区里。遇难者中有 75 名儿童,其余 9 名是他们的母亲。机上有 8 名幸存者,包括驾驶员和副驾驶员 2 名军事机组人员(尼加拉瓜政府称,这架直升机是被叛军击落的)。

1984 年 10 月 28 日,苏联空军的一架安-22 四引擎涡轮喷气式运输机,在距阿富汗喀布尔以北 10 km 处被阿富汗游击队的炮火击中,机上 240 名苏联人无一幸存,这是军事航空史上最大的一次空难。

(二)分类

军事飞行事故分类的目的有两种:一是采取统一的标准确定每起飞行事故的严重程度,这种分类标准的制订具有客观性,又容易操作;二是便于飞行事故的统计、分析、研究以及管理。

世界各国对军事飞行事故的分类虽然不完全一样,但也大同小异。主要根据人员伤亡、飞机损坏、经济损失以及修复时间来划分。一般分为 3 级或 4 级。

我国军事飞行事故分为等级事故和飞行事故征候两大类。等级事故又分为一、二、三等,其中一、二等总称为严重飞行事故。三个等级具体划分为:

一等飞行事故—机上有 1 人以上死亡或飞行事故中受伤后在 5 天内死亡;飞机报废或无法修复;飞机在飞行中失踪。

二等飞行事故—机上无人死亡;飞机严重损坏,修复费用超过飞机价格的 60%,或者修复费用虽未超过 60%,但飞机修复后未能达到规定性能;飞机迫降在无法运出的地区。

三等飞行事故—飞机损坏较重,但修复费用不超过飞机价格的 60%。

如果飞机损坏较轻,用少量工时就可以修复的,则不列入飞行事故。

飞行事故征候是指飞行过程中发生的各种危及飞行安全,但未造成人员伤亡、飞机损坏或只造成人员和飞机轻微损伤的事件,如暂时迷航、空中停车、飞行人员空中晕厥、空中失速、着陆前忘记

放下起落架、着陆后冲出跑道等。

美军将飞行事故分为 A、B、C 三类。

A 类飞行事故—飞机毁坏或失踪 ; 有人员死亡或造成永久性伤残 ; 飞机损失超过 100 万美元。

B 类飞行事故—有人员受伤 , 造成部分永久性伤残或有 5 人以上住院 ; 飞机损失 (25 ~ 100) 万美元。

C 类飞行事故—人员损失 1 个工作日以上 ; 飞机损失 (1 ~ 25) 万美元。

A 类飞行事故和 B 类飞行事故总称为严重飞行事故。

20 世纪 80 年代以前 , 美军飞机损失超过 50 万美元即划为 A 类飞机事故 ; 飞机损失 (10 ~ 50) 万美元为 B 类飞行事故 ; 飞机损失 (1 ~ 10) 万美元划为 C 类飞行事故。美军在 20 世纪 80 年代以后第三代战斗机广泛装备部队 , 飞机的价格大幅度提高 , 因而飞行事故分类中飞机损失这部分也作了调整。

德国空军将军事飞行事故分为飞行事故征候、一类飞行事故和二类飞行事故三类。

飞行事故征候 : 相当于美军飞行事故的 C 类 , 由飞行联队完成调查并提交飞行事故调查委员会备案。这类飞行事故需飞行事故调查委员会复核 , 其中有特别借鉴意义的事例每月向飞行人员、飞机维修人员及航空工业部门进行通报以引起警觉。

一类飞行事故—相当于美军的 B 类飞行事故 , 通常也由航空联队负责调查 , 只有在特殊情况下才由飞行事故调查委员会出面调查并将调查报告报送委员会。委员会中参加调查的军官对报告进行复核并形成最后报告。每月通报发布之前需请处长、委员会的正、副主席复查。

二类飞行事故—相当于美军的 A 类飞行事故 , 造成飞机毁坏 , 人员伤亡。如果造成地面民间人员伤亡及个人财产巨大损失的 , 则需进行刑事调查。

英国皇家空军将飞行事故分为 3、4、5 三类。

3 类飞行事故—飞机损坏 , 部队因缺乏资源而无法修复 , 但由

部队或工厂派出的工作组可以在现场修复。

4 类飞行事故—飞机损坏 ,修理时需要现场以外的设备或装备。

5 类飞行事故—损坏的飞机已失去修理的经济价值。

英军的飞行事故分类中未涉及人员伤亡和经济损失程度 ,这是一个很大的缺陷。另外规定的条件比较笼统 ,具体操作时可能造成困难。不如中、美、德的分类法比较具体而明确 ,可操作性强。

1971 年 ,英国皇家空军的 2 起飞行事故造成地面老百姓的众多伤亡 ,引起公众的愤怒 ,要求政府向纳税人公布军事飞行事故状况。直到 1977 年 ,英国政府才开始将大多数军事飞行事故的数据公布于众。

二、飞行事故发生率

衡量一个国家、一个军种、某个机种或某段时间内军事飞行事故发生的严重程度 ,通常用万时率或 10 万时率来表示 :所谓万时率就是平均飞行 1 万小时发生严重飞行事故的起数 ,10 万时率是平均飞行 10 万小时发生严重飞行事故的起数。如果飞行 10 万小时发生 1 起飞行事故 ,那么万时率为 0.1 ,而 10 万时率为 1。

万时率是军事飞行员素质、飞机可靠性、军事训练水平以及飞行安全管理工作好坏的综合体现 ,也是衡量一支航空兵部队战斗力强弱的重要标志。如果一个部队经常摔飞机 ,那么它的战斗力就很成问题。

由于飞行人员的选拔、监护和淘汰日益规范化 ,飞机各系统的可靠性不断提高 ,军事训练和安全管理工作不断加强 ,军事飞行事故的万时率也在不断下降。

以美军为例 ,1921 年陆军(美空军 1947 年才成为独立军种 ,在此之前为陆军属下的通信兵部队)开始统计飞行事故率。当年飞行 77 000h ,发生飞行事故 361 起 ,万时率为 46.7。如按这个万时率计算 ,今天美国空军每个月就要摔飞机 1 350 架 ,用不到 7 个月美空军的全部军用飞机就会摔个精光。1922 年美陆军万时率

最高达到 50.6 ,以后随着飞机的改进和飞行人员训练的加强 ,万时率逐渐下降。1934 年 ,美陆军飞机开始用于航空邮递 ,当年的万时率为 11.0 ,损失飞行员 54 名。第二次大战中美军飞行事故的损失十分惨重 ,军事训练中飞行人员和飞机的损失竟比战斗中的损失还要多 ,仅 1943 年 ,在美国本土就发生了 20 399 起严重飞行事故 ,损失飞机 20 440 架 ,平均每天损失飞机 56 架 ,共损失飞行员 5 600 名 ,平均每天有 15 名飞行员遇难。与战斗中的损失相比 ,飞行员多损失 1 100 名 ,飞机多损失 1 200 架。由于 1943 年军事飞行训练时间多达 3 200 万 h ,万时率仅为 6.4 ,1944 年美军制订了飞行安全计划 ,出版了《飞行安全》杂志。到 1947 年美国空军正式建立的那一年 ,严重飞行事故降至 1 555 起 ,损毁飞机 536 架 ,万时率为 4.4。20 世纪 50 年代 ,美空军采取多种措施积极预防飞行事故的发生。1950 年万时率降至 3.6 ,1955 年又降到 1.7 ,但仍有 800 人丧生。1956 年至 1960 年又采用了标准化的方法 ,使飞行安全的水平大为提高。1960 年的万时率下降至 0.58。到 20 世纪 70 年代 ,万时率继续下降 ,70 年代末稳定在 0.3 左右。1983 年 ,严重飞行事故万时率首次降至 0.2 以下 ,为 0.198 ,并在以后的 10 年间保持该水平以下。但美国空军飞行安全人员和飞行专家们认为这不是安全工作的终点 ,他们还要进行不懈的努力以降低万时率。美国空军的严重飞行事故统计见表 1-1 所列 ,严重飞行事故趋势见图 1-1 所列。

表 1-1 美国空军的严重飞行事故统计

年份	A 级飞行事故		B 级飞行事故		毁坏飞机		人员死亡	
	数量	10 万时率	数量	10 万时率	数量	10 万时率	飞行员	全部
1947	1 555	44.22	727	20.68	536	15.24	257	584
1948	1 783	40.18	842	18.97	620	13.97	285	619
1949	1 731	36.83	836	17.79	557	11.83	292	577
1950	1 744	36.48	713	14.91	655	13.91	296	781
1951	184	32.79	1 262	18.95	824	12.36	483	1 015
1952	2 274	28.52	1 348	16.91	789	9.90	421	1 214
1953	2 075	24.42	1 253	14.74	945	11.11	412	949

(续)

年份	A 级飞行事故		B 级飞行事故		毁坏飞机		人员死亡	
	数量	10 万时率	数量	10 万时率	数量	10 万时率	飞行员	全部
1954	1 873	20. 45	634	6. 92	828	9. 04	416	797
1955	1 664	17. 29	301	3. 13	815	8. 46	388	800
1956	1 466	14. 89	213	2. 16	739	7. 50	360	748
1957	1 193	13. 76	152	1. 75	657	7. 58	330	641
1958	894	10. 58	124	1. 47	53	6. 29	302	705
1959	672	8. 29	114	1. 41	472	5. 82	194	375
1960	426	5. 88	64	0. 88	285	3. 90	125	275
1961	432	6. 34	60	0. 88	321	4. 70	146	297
1962	380	5. 75	172	2. 60	302	4. 57	174	373
1963	288	4. 39	111	1. 69	246	3. 73	137	219
1964	295	4. 38	96	1. 43	261	3. 88	125	333
1965	304	4. 57	85	1. 28	262	3. 94	153	477
1966	345	4. 91	95	1. 35	262	3. 73	139	315
1967	332	4. 54	104	1. 42	263	3. 60	117	332
1968	311	3. 90	101	1. 27	258	3. 22	146	309
1969	299	4. 05	66	0. 89	251	3. 40	139	389
1970	201	3. 05	58	0. 88	167	2. 52	92	334
1971	141	2. 45	48	0. 83	112	1. 95	67	129
1972	163	3. 04	52	0. 97	137	2. 54	86	163
1973	102	2. 37	42	0. 98	85	1. 97	44	163
1974	108	2. 89	33	0. 88	89	2. 35	54	98
1975	93	2. 77	23	0. 68	79	2. 35	43	281
1976	87	2. 81	21	0. 68	68	2. 20	47	116
1977	90	2. 84	299	9. 45	78	2. 46	42	80
1978	98	3. 16	404	13. 02	91	2. 90	49	89
1979	94	2. 95	67	2. 10	83	2. 60	58	80
1980	81	2. 56	56	1. 80	74	2. 34	39	94
1981	80	2. 44	54	1. 67	74	2. 29	43	122
1982	78	2. 33	16	0. 48	78	2. 30	50	131
1983	59	1. 73	17	0. 50	58	1. 70	29	53
1984	62	1. 77	22	0. 64	57	1. 62	38	79
1985	53	1. 49	25	0. 72	51	1. 43	37	78
1986	62	1. 79	16	0. 46	62	1. 79	26	51
1987	40	1. 51	16	0. 60	39	1. 47	30	53
1988	55	1. 64	24	0. 72	48	1. 43	22	48

(续)

年份	A 级飞行事故		B 级飞行事故		毁坏飞机		人员死亡	
	数量	10 万时率	数量	10 万时率	数量	10 万时率	飞行员	全部
1989	56	1.59	4	0.12	50	1.41	23	75
1990	51	1.49	13	0.39	52	1.52	21	43
1991	41	1.11	16	0.43	38	1.03	1	18
1992	48	1.69	11	0.39	44	1.54	26	54
1993	34	1.35	15	0.59	35	1.39	14	42
1994	35	1.46	16	0.71	35	1.46	10	43
1995	32	1.44	19	0.86	29	1.31	15	53
1996	27	1.24	11	0.51	20	0.92	8	50
1997	29	1.37	15	0.71	24	1.13	11	31
1998	24	1.14	9	0.43	20	0.95	8	18
1999	33	1.55	26	1.22	25	1.17	5	9
2000	22	1.08	83	4.08	14	0.69	3	7
2001	24	1.16	80	3.87	21	1.02	6	9
总计	26 723	9.94	11 084	4.12	13 626	5.07	6 849	15 856

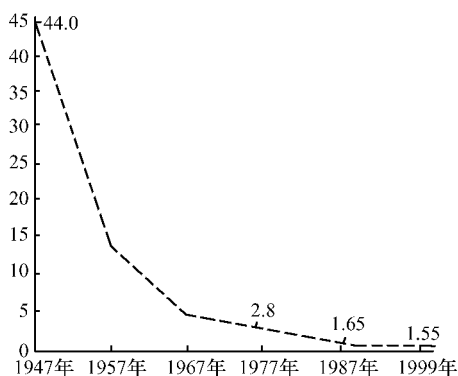


图 1-1 美国空军严重飞行事故趋势图

三、人员伤亡和财产损失

军事飞行事故损失包括直接损失和间接损失两部分：直接损失包括培训投资、装备损失、财产赔偿、死亡和伤废赔偿等；间接损失包括事故现场费用、寻找残骸和水下打捞残骸、实验室检查及事

故重建等等。间接损失往往比直接损失大得多。

(一)人员伤亡

在军用飞机中,除数量最多的战斗机以外,还有各种其他机种,特别是大型军用运输机,不管是平时还是战时往往起着调兵遣将的重要作用,这些飞机一旦失事,往往人员的伤亡惨重。这类飞机发生严重飞行事故后,伤亡人数不会比民航班机失事少。下面所举的4个例子,死亡人数都超过100人,它们分别发生在20世纪50年代、80年代和90年代。

1953年6月18日,美国空军的一架道格拉斯C-124A飞机在日本东京以西40 km处坠毁,机上129名美军士兵全部丧生。这架飞机是从日本的太切卡瓦空军基地准备飞往韩国的金波空军基地的。起飞后不久飞行员报告说1号发动机熄火,飞机要返回原机场。当时飞机高度350 m,地面塔台指挥员从无线电中听到飞行员喊叫的声音“加力!加力!”后,飞机很快在雷达屏幕上消失。当时当地的云高300 m,能见度1.5 km,东南风11 km/h,有雾和小雨。飞机失速,然后触地爆炸燃烧。

1986年11月2日,伊朗空军的一架四引擎运输机C-130在离巴基斯坦边境15 km处撞山坠毁,机上103名军人和7名机组人员共110人当场死亡。后经调查,主要原因是机上的高度表发生故障,当时正是暗夜又不能与塔台联络,飞机进场时不能保持最低高度(1980 m)而撞山。

1991年10月5日,印度尼西亚空军的一架四引擎C-130H运输机在雅加达东南部坠毁燃烧,机上135名军人、12名机组人员及地面1名士兵共148人死亡。这架飞机是从泊多纳可苏马·哈里姆机场飞往班冬机场的,起飞后不久一台发动机空中着火,立即返回机场时坠毁。

1992年9月26日,尼日尔空军一架四引擎的C-130H运输机满载着152名乘员从莫太拉·默汉米特机场飞往卡多那机场,飞机起飞后大约3min就发生了事故。开始时2台发动机熄火,接着第3台又熄火。飞机试图迫降在一条运河里,结果坠毁于运河附

近的泥地 ,机上 152 人全部遇难。当时天气晴朗 ,机上乘员大部分都是尼日尔人 ,还有少数加纳人、坦桑尼亚人、赞比亚人和乌干达人。事后查明 :油料污染是发动机熄火的原因。

另外 ,也有人将死亡人数超过 20 人的军事飞行事故称为军事空难。

在 1989 年—1998 年的 10 年间 ,全世界军事空难(死亡人数超过 20 人的飞行事故)共有 88 起 ,死亡 3 511 人 ,受伤 216 人 ,见表 1-2 所列。

表 1-2 世界军事空难死亡人数(1989 年—1998)

时 间	起 数	死亡人数	受伤人数
1989	11	363	23
1990	8	266	8
1991	11	547	4
1992	12	512	12
1993	6	248	0
1994	9	272	124
1995	7	324	6
1996	9	305	10
1997	7	359	12
1998	8	315	17
总计	88	3 511	216

对大多数的战斗机和攻击机来说 ,机上只有(1 ~ 2)名飞行员 ,但他们从进入航校学习到部队飞行值班直至参加战斗 ,每个人都需要付出高昂的培训费和 3 年左右的培训时间 ,如美全军培养一名能作战的战斗机飞行员需投入 900 万美元的训练费 ,见表 1-3 所示。因此每位飞行员都是国家和军队的重要财富 ,是航空兵部队的主要战斗力。尤其是在战争时期 ,飞行人员战斗和严重飞行事故中的伤亡 ,是对战斗力的严重削弱。飞机的补充尚可动员后方工人加班加点增加生产 ,而飞行员的培训在短时间内是难以完成的。

表 1-3 各国空军战斗机飞行员培训费用和培训时间

单 位	培训费用/万美元	培训时间	培训飞行时间/h
美国空军	900	2 年半	520
俄罗斯空军	500	4 年	550
英国空军	550	3 年 8 个月	555
德国空军	500	2 年 7 个月	580
法国空军	500	2 年 8 个月	540
以色列空军	450	3 年	500
日本空军	400	3 年半	545

自从 1908 年美国陆军通信兵塞尔弗里奇中尉在第一起军事飞行事故中丧生以后,一直到现在长达 94 年里,究竟有多少人在军事飞行事故中遇难?这个问题至今尚无人作较深入的研究,因此仍然是个谜团。据作者粗略估计,全世界在这 94 年里,军事飞行事故中的死亡人数大概有 45 万人。

我们可以把这 94 年分为三个时间段来估计:1908 年至第一次世界大战结束以前,第一次世界大战结束至第二次世界大战结束,第二次世界大战以后到现在。

我们先在第 3 个时间段里估算。美国空军 1947 年至 2001 年间的飞行事故死亡人数有明确的记录,总死亡人数为 15 856 人,加上美国海军和陆军的飞行事故死亡人数,总死亡人数估计在 (2.3~2.5) 万人。苏联及俄罗斯、英、法、德、意、日、中、加和其他国家的军事飞行事故死亡人数无公开发表的数字,估计这些国家死亡人数加在一起至少也有 3 万人。这样,第二次大战后的 57 年中,死于军事飞行事故的人数大约为 (5~5.5) 万人。

第 2 个时间段里,主要是第二次世界大战期间,死于军事飞行事故的人数估计有 30 万人。据英国皇家空军主管飞行事故调查的领导人说,第二次大战中,英军每年有 1 万名飞行人员因飞行事故而丧生,整个战争期间大约死亡 6 万人。美军仅在欧洲战场上就有 9 万名飞行人员死亡,另有 9 万飞行人员被俘,其中 4 万名逃回。这 9 万名死亡的飞行人员中,估计有 5 万名是因飞行事故而遇难的。加上美国本土、太平洋战区以及其他地区的飞行事故死

亡人数大约有 10 万人。这样 ,英美两国相加有 16 万人。其他国家 ,如苏联、中国、德国、日本、意大利、法国等国相加总数至少也应与英美两国总数相当 ,那么这期间军事飞行事故总死亡人数至少有 30 万人。

第一次世界大战结束以前的一段时间 ,由于飞机的可靠性差 ,事故发生率非常高 ,万时率甚至达 100 ,但由于军用飞机的数量相对较少 ,只有第二次大战时军用飞机总数的 1/3(第一次大战期间总数 20 万架 ,第二次大战期间总数为 60 万架) ,因此死亡总人数要比第二次大战时少得多。这一时期估计飞行事故死亡总人数大约有 10 万人。

这样 ,这 3 个时间段内的死亡人数相加 ,总死亡人数大约有 45 万人。作者相信 ,虽然这种估计十分粗糙 ,但 45 万人这个数字离实际不会相差很远。

要精确知道死亡总人数 ,困难很大。一则有些国家对军事飞行事故死亡人数并无完整的记录 ,尤其是军事航空发展的初期 ,已无资料可查。二则即使有记录 ,不少国家也不公布。但这是一个很有意思的研究课题 ,将来总有一天会有一个比较理想的、更有说服力的结果。

(二)财产损失

严重飞行事故中往往飞机被毁坏。由于军用飞机不断地采用高新技术和新材料 ,造价大幅度地上涨 ,虽然万时率在下降 ,但严重飞行事故的经济损失却不断增加。表 1-4 所列是美国军用飞机的单价。

表 1-4 美国军用飞机单价

机 种	价格/万美元	机 种	价格/万美元
B-2	21 000	F-14	3 800
F-22	12 000	KC-130	3 700
F-117	12 000	B-1	3 000
KC-135R	3 500	KC-135E	3 000
AC-130	4 640	F-16	2 700
F-15	4 300	KC-135	2 600
F/A ~ 18A/B	3 950	UH-60	1 000

军用飞机坠落地面时,往往造成地面人员的伤亡和地面设施的毁坏,有的引起森林大火,有的撞断高压线,使大片地区停电,工厂停工。

下面举几个实际例子。

1960年12月17日,美国空军的一架K-131D运输机从西德的慕尼黑起飞,飞往英国伦敦的英国皇家空军基地。机上有20人,其中7名是机组人员,其余13人是美国大学生,他们都是美国军事人员的孩子,准备回家过圣诞节。起飞后刚1min,飞机发生故障,往下掉到670 m,不能爬升。副驾驶用无线电拼命喊叫,并要求机场的急救人员作好应急准备。飞机的左翼碰上了保尔大街大教堂的尖顶,随即飞机坠毁在慕尼黑市繁华的商业区,飞机着地后爆炸、燃烧。机上20人无一生还,造成地面33人死亡,12人受伤。伤亡人员中约一半当时正坐在一辆公共汽车上,汽车发动机被飞机撞击后立即着火。当日能见度仅0.8 km,美国空军当局事后未公布事故原因。

1965年1月16日,美国空军的一架KC-13A喷气式加油机在堪萨斯州的威奇托市居民区坠毁爆炸。这架飞机是刚从该市东南10 km的空军基地起飞去执行空中加油任务的。事故造成机上7人和地面22人死亡,其中有1名是孕妇,另有17人受伤。因撞击和着火,地面有14幢房子被夷为平地,飞机坠毁现场仅离威奇托州立大学10个街区。飞机曾爬高到200 m,然后又下降。坠毁前,飞机应急舵门曾向外面丢出一些东西,这说明飞行中发生过应急情况。当日天气晴好,经调查,事故原因不明。

1981年9月22日,土耳其空军的一架F-5A战斗机在伊斯坦布尔以西150 km处坠毁。这架战斗机正好落在一座军营里,地面有40名官兵死亡,72人受伤。飞行员在飞机坠毁前弹射成功,只受了点伤。

1981年9月29日,伊朗空军的一架C-130H四引擎喷气涡轮运输机在德黑兰以南25 km处坠毁,机上80名乘员全部遇难,地面也有不少人伤亡。乘员中有4名是伊朗军队的高级领导人。

2000 年 11 月 20 日,日本航空自卫队的一架 T-33 教练机坠毁于日本北方地区的一条河面上。飞机坠毁过程中撞上了高压电线,造成大片地区停电,许多工厂被迫停工。飞行员因怕撞上老百姓的房子,延误了弹射时间,2 名飞行员终因来不及弹射而随飞机坠地死亡。

1998 年 2 月,美国海军的一架 E-6B 飞机在意大利北部的游览地撞上缆车,当场摔死 20 名旅游者。

有时,间接的飞行事故经济损失简直难以想像。

2001 年 4 月 1 日,我海军航空兵某部 2 架战斗机在南海管辖区上空进行例行巡逻,不料其中的一架被美国空军擅自闯入的电子侦察机撞毁,飞行员王伟弹射跳伞。为了寻找和营救这位飞行员,广东沿海地区从 4 月 1 日至 4 月 15 日出动各种舰船 1000 余艘次,飞机 115 架次,人员 10 万人次,在 8.5 万 km^2 海域以及 200km 长的海岸线上反复搜索,未能找到踪影。此举可谓世界航空救生史上之绝唱,出动舰船之多,动员人员之众、持续时间之长,消耗经费之巨前无先例。据估计,这次搜索营救行动所耗费的人力、物力、资金大大超过这次事故本身所造成的直接经济损失。

世界各国的军事部门有时可能会遇到这样的情况:军用飞机在海上训练时坠入海中,因海中打捞飞机残骸需要巨资,军方无力支撑只好放弃打捞的念头,因而飞行事故的原因往往也就难以查清了。

各国空军严重飞行事故发生的情况差别也是很大的。印度空军严重飞行事故的万时率 1983 年高达 3.2,发生一等事故 45 起,1989 年为 2.4。20 世纪 90 年代仍然居高不下,1993 年万时率为 2.5,1991 年至 1999 年因飞行事故损失飞机 190 架,仅 1999 年 1 月至 9 月,就发生严重飞行事故 20 起,20 架飞机被毁,其中大部分是苏联时期和俄罗斯制造的米格飞机,包括米格-29 战斗机。

俄罗斯近年来严重军事飞行事故也频频发生,1995 年至 2001

年,发生一等飞行事故 36 起,造成 276 人死亡。

尽管飞行事故的次数逐渐减少了,但每年因飞行事故造成的经济损失反而不断增加。由于飞机的更新和高新技术在飞机上的应用,每起飞行事故的经济损失也在不断增加。以美国空军为例:1956 年每起飞行事故的经济损失为 35 万美元,1966 年为 81 万美元,20 世纪 70 年代为 220 万美元,80 年代为 1000 万美元,1989 年全年损失 9 亿美元。据俄军透露,俄罗斯航空兵现在每起事故的处理费用,包括直接经济损失和间接经济损失在内,大约为 2000 万美元到 2 亿美元。

四、军事飞行事故特点

军事飞行事故与民用航空飞行事故相比较有许多共同点,如起飞和着陆阶段飞行事故多,而人为因素是飞行事故的主要原因等等。由于军用飞机的用途、性能和结构与民用飞机有很大差别,军事飞行与民航飞行的方式也不一样,因而造成二者各有特点。军用飞机品种繁多,但主要是战斗机,尤其是数量众多的歼击机和截击机,它们体积小,重量轻,飞得快(3 000 km/h),飞得高(30 000 km),机动性强(10 g 的加速度),有时还要进行超低空飞行(离地几十米)。军事飞行训练一般都要避开密集的居民区,多在海上和其他人烟稀少的地区上空进行。这些都与军事飞行事故的特点有密切关系。

有些大型的军事飞机,如运输机、轰炸机、空中加油机和预警机,它们有的本来就是民用飞机改装的,其飞行事故的特点有时可能更接近于民航飞机的飞行事故特点。

表 1-5 是 1996 年至 1999 年间,全世界 150 个国家和地区军用飞机严重飞行事故的统计数据。从表中可以看出,严重军事飞行事故中,事故原因不明的占 30% ~ 41%,也就是说,严重飞行事故的 1/3 未能查清原因。严重飞行事故中 45% ~ 48% 是机毁人亡事故,约占一半。军事飞行中,空中相撞的事故也不少,占 5.42% ~ 8.55%。

表 1-5 150 个国家和地区军用飞机严重飞行事故的统计数据
(1996 年—1999 年)

年份	起数	机毁人亡事故		原因不明事故		空中相撞		死亡人数
		数量	百分比(%)	数量	百分比(%)	数量	百分比(%)	
1996	304	137	45.04	120	39.4	26	8.55	-
1997	273	131	48	114	41.75	19	6.69	685
1998	295	138	46.77	122	41.36	16	5.42	607
1999	320	147	45.93	95	30	18	5.60	598

从表中可以明显地看出军事飞行事故的“三多”：事故原因不明的多，机毁人亡的事故多，空中相撞的多。此外，军用飞机都装备有弹射救生系统，这与民用飞机是不同的。下面就这 4 个方面的特点作一简要介绍。

(一)原因不明事故多

①由于大多数战斗机只有一名飞行员驾驶，发生事故前往往情况又非常危急，飞行员在空中忙于处理应急情况而无暇向地面指挥员报告。如果飞行员处理无效，飞机大速度俯冲，在极短时间内飞机就会撞地，因此事故调查人员很难知道事故发生前人和飞机在空中究竟发生了什么问题，因为记录的信息太少。如飞行员弹射跳伞成功，情况当然就不同了，但往往在不少情况下飞行员还来不及弹射，飞机就撞地了。

②由于机毁人亡事故大约占严重飞行事故的一半，事故调查也就失去了最重要的当事人和见证人，许多重要的信息无从得知。

③军事飞行事故常常发生在十分偏僻的地区和海上，事故发生后的飞机残骸有时都很难找到，有的沉入深海中，只好放弃打捞的念头。

1993 年，两架俄罗斯航空兵部队的苏-27 战斗机从工厂转场到部队，途中经过一片海域，转场的距离已接近极限航程，一架苏-27 飞回了部队，而另一架在途中无线电中断，坠入海中，因无法打捞，事故原因也就无法调查清楚。

④飞行事故调查力量薄弱，技术手段落后，例如 1999 年，巴基

斯坦空军就有 5 起严重飞行事故查不清原因 1 月 9 日 ,一架歼-7P 战斗机在巴基斯坦的卡拉尔 + 卡哈尔坠毁 ,机上飞行员死亡 ,事故原因不明。2 月 9 日 ,一架歼-7M 战斗机在巴基斯坦的伊斯兰堡坠毁 ,飞行员死亡 ,事故原因也查不清。3 月 11 日 ,一架强-5C 飞机在白沙瓦坠毁 ,飞行员死亡 ,事故原因不明。6 月 16 日 ,一架航宇 SA330J 美洲豹直升机在克什米尔坠毁 ,机上人员全部死亡 ,事故原因也未调查清楚。10 月 29 日 ,一架洛克希德 P-3C 海上巡逻机坠入阿拉伯海中 ,机上 21 人死亡 ,事故原因也无法调查。

(二)机毁人亡的事故多

由于战斗机飞行员大多只有 1 人操纵 ,飞机速度快 ,机动性强 ,一旦飞机失去控制或者飞行员操纵失误 ,情况瞬息万变 ,很少能有时间力挽狂澜 ,转危为安 ,有时竟来不及弹射 ,即使弹射了也为时过晚。

大型军用运输机有时在空中发生应急情况 ,也使飞行员无能为力。1997 年 12 月 ,俄罗斯一架飞往越南的安-124 大型运输机 ,机上载有 16 名机组人员 ,38 名乘客 ,2 架苏-27 战斗机 ,途中因发动机故障在伊尔库茨克坠毁。飞机正好落在人口稠密的居民区 ,造成 200 多名当地居民伤亡 ,机上人员全部遇难 ,2 架苏-27 战斗机也化为乌有。

(三)空中相撞的事故多

1999 年美国空军共发生严重飞行事故 30 起 ,其中空中相撞事故占 7 起 ,占总数的 23% ,7 架飞机坠毁 ,7 名飞行员遇难 ,直接经济损失达 2.04 亿美元。现在美空军战斗机上均已装有防撞系统 ,而空中相撞事故仍然频频发生。据查这 7 名飞行员飞行时间都在 2100h 以上 ,大部分都是经验十分丰富的飞行员。

大多数空中相撞发生在战斗机动和编队机动时 ,约占总数的 89%。其中 50% 空中相撞是战斗机撞在攻击的目标上 ,主要是没有按规定航线飞行而没有捕捉到目标 ,攻击的最后阶段视觉丧失 ;对外界观察不够 ,注意力只集中在一架飞机上而忽略了其他飞机。

大约有 34% 的空中相撞是因为编队飞行基本技术差所致。有的因为座舱内照明系统不好造成的,但真正的原因是注意力分配不当,精力不集中导致顾此失彼等。

空中相撞与飞行员的视觉和反应时间有关。

人的视野有 $160^{\circ} \sim 170^{\circ}$,但是可以用来识别物体、确定距离和接近速度等信息的中心视力仅占视野中心的 6° ,视野的其余部分称为周边视力,它可用来确定人对周围物体姿态和位置的关系。要想有意识地用周边视力看到某一物体,只有该物体的运动范围和相对位置变化较大或光的强度足以引起大脑的反应,大脑才会指挥眼睛去注意那个区域和分辨物体,因此人的视觉是有一定限度的。飞行员在空中飞行时,在他周边视力范围内出现飞机,飞机运动范围很小,不足以引起大脑的注意,于是常常发生空中相撞。在发现和分析物体时,人们所看到的影像质量和清晰度明显地起着重要的作用。大部分飞行员的视力都达到 20/20,但这仅是中心视力的分辨能力,与此明显不同的是周边视力的分辨能力很差,离中心视力越远分辨能力就越差,这种分辨能力的降低非常显著,如 F-5 这样的飞机,在相撞航线上仅以中心视力偏离 20° ,距离 900 m,飞行员就看不到了。

人的反应时间的长短取决于经验、形势的复杂性和有无预先警告。如果没有预先警告,人的反应时间则包括 4 个步骤:

①人的视力不能瞬间形成,视神经物质形成图像感觉需要 0.1s 到 0.2s。

②另一架飞机的图像一旦出现在大脑中,大脑还需要时间分析判断飞机距离、接近速度以及飞机的预定的飞行轨迹。

③如果飞行员已经确定了自己的飞机与另一架飞机有发生空中相撞的危险,大脑还需要时间来确定如何对付。

④当确定最佳行动以后,大脑还需要指挥肌肉运动,操纵飞机避免空中相撞,这样全部反应时间需要 25s。

当 2 架飞机相互接近速度为 185 km/h 时,飞机每秒前进了 51 m,表 1-6 所列数字比较了接近速度和反应时间。在一定的距

离和接近速度的条件下 ,才能发现另一架飞机 ,同时可以看到空中相撞是如何发生的。

表 1-6 飞机飞行速度与前进距离

飞机速度		飞机前进距离 /m (25s 反应时间内)
km/h	m/s	
556	153	305 763
927	255	509 1272
1853	509	1170 2545

可以利用表中数据避免空中相撞或尽可能减少空中相撞。空中相撞都是发生在相交的航线上 ,在那里活动的余地即使有也是相当小的 ,因此最重要的是要保证有足够的时间靠中心视力来判断航路上有无障碍物。由于受人的周边视力的限制 ,直到空中相撞要发生了 ,还不一定能发现空中相撞的危险。应当严格遵守飞行训练中的具体规定 ,因为这些规定都是从无数次空中相撞的经验教训中总结出来的。

(四)弹射跳伞

现代高性能战斗机都装备有弹射救生系统 ,而且弹射的成功率已达到 90%。这与民航飞机相比 ,是一个很大的优点。民航飞机特别是民航班机 ,即使可以装备弹射座椅也是不能装的 ,因为他们身后的客舱里坐着几百位乘客 ,飞行员弹射出去了 ,乘客怎么办 ? 所以民航飞机除了迫降和坠水 ,到现在为止尚无良策。曾有人设想在民用飞机的前后上方安装 2 个巨型降落伞 ,飞机一旦发生紧急情况打开这 2 个大降落伞将飞机平稳地降到地面 ,希望将来能够实现。

军用飞机的弹射跳伞已有 60 年的历史 ,已拯救了 1.5 万名飞行员 ,我们将在第四章中作比较详细的介绍。

五、飞行事故基本理论

军事飞行事故的研究已有近百年的历史了 ,在寻找飞行事故原因和进行飞行事故预防中 ,由于一代又一代专家们的辛勤工作 ,

已经积累了十分丰富的经验。同时也不断采用各种先进技术,吸取其他学科的有用知识,逐渐形成了自己的理论。由于这些理论来源于实践,又在实践中得到验证,已被证实对飞行事故的调查和预防有重要的指导作用。

有关飞行事故的理论很多,这些理论有一些共同点贯穿其中:

①如多原因说,据有人统计分析,单一原因造成飞行事故的也有,但是大概只占 20%。这就是说,80% 的飞行事故是 2 个以上的原因造成的,有的有 7 个、8 个甚至更多的原因引起发生的。

②如人机统一说。飞行员和飞机应视为统一整体,它们之间互相促进,互相制约。互相促进时可以防止飞行事故的发生,互相制约时则可导致飞行事故。

③如人的因素主导说。由于军用飞机的更新换代,飞机的可靠性和安全性得到大幅度的提升,人的因素逐渐成为飞行安全的瓶颈,人为失误已成为大部分军事飞行事故的原因。而飞行中人为失误的机制至今远未得到解决,尚需要深入研究。

下面对海因里希理论、事故链理论、墨菲定理、SHEL 模型以及人机环理论作一简要叙述。

(一)海因里希理论

海因里希(H. W. Heinrich)是美国的一位安全工程师,他根据自己对工厂里的大量工伤事故的调查研究,统计分析和吸取了前人的研究成果与同行们的意见,提出了一整套工业安全理论,也称之为海因里希理论。这一理论共包括 10 项内容,集中体现在他 1949 年出版的《工业事故预防》一书中。这一理论经过数十年的实践和检验被工业界公认和推荐,至今仍然行之有效。在飞行事故的调查和预防中同样也起着重要的指导作用。这个理论的 10 项内容如下。

①伤害事件总是由各种因素所构成的一个完整顺序引起的,其中最后一个因素便是事故,事故总是由于人的不安全行为和机械或物理的危险所造成。

②人的不安全行为是大多数事故的原因,不安全行为所致事

故约占全部事故的 90%。

③根据概率统计,发生 1 起死亡或重伤事故,就会发生类似的 29 起轻伤事故和 300 起无伤害事故。

④严重的伤害事件是偶然发生的,也是可以预防的。

⑤产生不安全行为的 4 个基本原因,为选择适当的纠错措施提供了指导。

⑥预防事故可采取 4 种基本办法,那就是技术手段、训练教育、调动人员以及加强纪律。

⑦预防事故的大部分办法类似于控制产品质量、生产成本和产量的办法。

⑧领导人及管理部门对预防事故的发生负有首要责任,因为只有他们才能为预防事故提供最好的条件。

⑨领导人和工长是预防事故的关键人物,他们对工人行为监督方法的优劣,和预防事故的成败起着关键性的作用。

⑩预防伤亡事故除了鼓励实行人道主义以外,还有两个强有力的经济因素在起作用:安全的单位生产效率高,而不安全的单位生产效率必然低。为雇员工伤所付的保险金、赔偿金和医疗费用只占付给雇员全部费用的 1/5。

从事军事飞行事故研究的人特别看重这 10 项内容的第③项,因为这完全符合军事飞行事故的实际,并对飞行事故的预防具有指导作用。美国空军在飞行事故统计分析中发现等级事故与飞行事故征候之比为 1: 27,十分接近海因里希提出的 1: 29。更为重要的是,这第③项内容告诉我们,要减少严重飞行事故,必须深入研究飞行事故征候,飞行事故征候减少了,严重飞行事故也必然会减少。而我们以往的不足正是只重视严重飞行事故,而忽视了飞行事故征候。严重飞行事故犹如露出海面的冰山,而海面下的冰山主体好像是飞行事故征候,解决这冰山主体才是防止严重飞行事故的关键。

海因里希后来在这 10 项内容的基础上又提出了一个叫多米诺(Domino)的新理论。Domino 英语里是骨牌的意思,因此多米诺

理论又称骨牌理论,见图 1-2 所示。它的主要内容是:把造成伤害的事故分成 5 个有顺序的因素,或称 5 个阶段。把 5 个因素形象地比作 5 张按顺序连续竖立的骨牌。当这个顺序中有一个因素发生问题,骨牌就向前倾倒,最后后面的骨牌全部倾倒而导致伤害,见图 1-3 所示。

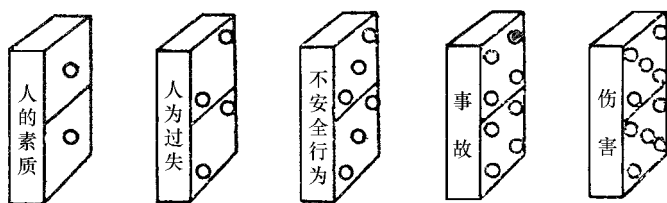


图 1-2 多米诺理论 5 因素

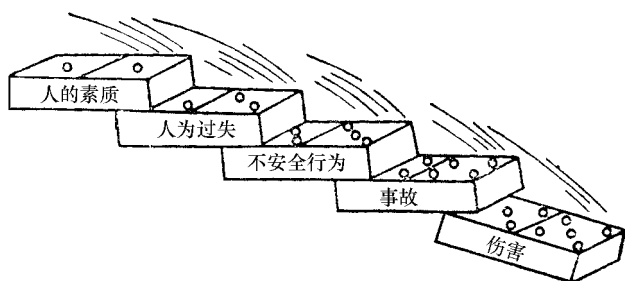


图 1-3 具备 5 因素而造成的伤害

海因里希多米诺理论 5 因素包括:

①人的素质:人的素质来源于先天的遗传和后天的教育。这两个方面都可能有的和不好的,不好的方面可造成人的素质上的缺点和过失。

②人为过失:也就是人的缺点,如轻率、急躁、鲁莽、易冲动、神经质以及缺乏安全知识等等,这可能成为人的不安全行为或物理危害的直接原因。

③不安全行为:有时是一种不安全状态即机械或物理的危险状态,如飞机发动机有故障就起飞,弹射座椅起飞前未拔保险锁等等都可能会导致机毁人亡事故。

④事故：飞机坠毁、飞行员弹射跳伞失败或受重伤等等。

⑤伤害：各种军事飞行事故造成机上人员的各种损伤，如脑震荡、骨折、扭伤、损伤甚至死亡。

从图 1-4 可以看出，如果去掉事故前面几个因素中的任何一个因素，事故发生的整个顺序就会中断，伤害事故也就不会发生。其中不安全行为或不安全状态则是关键的中心因素，如将这个中心因素抽掉，不仅前面的因素无效，后面的事故和伤害也不会发生。因此，预防事故最重要的措施应是消除人的不安全行为和环

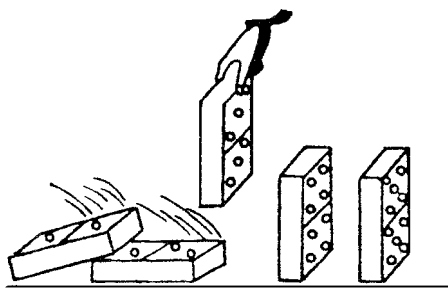


图 1-4 抽去中心因素使事故中断

现在来举个例子说明：

1994 年，俄罗斯海军航空兵的一架安-12 运输机承担一起空运任务，有 3 名未经正式批准的军人擅自登机，坐在射击员座舱里。由于射击员座舱密封不好，3 名军人在空中轮流着吸氧，其中有 1 名军人用打火机吸烟，使舱内起火。这名军人被严重烧伤，抢救无效而死亡。

这架飞机之所以会发生飞行事故，是因为机组人员和乘员的素质不高，违犯了飞行纪律，擅自让 3 名军人登机，这是人为过失。这名军人如果不用打火机点烟，不仅前面的因素无效，后面舱内着火事故以及造成严重烧伤死亡的伤害也不会发生，所以点火是不安全行为，也是中心因素。而事实是这 5 个因素都具备了，而且按顺序都发生了，终于酿成悲剧。

(二)事件链理论

20 世纪 70 年代,布尔德在海因里希多米诺理论的基础上发展了事件链理论。他把事件归为人、机械、管理三大类,每个事件为一个环。发生第一个事件,第 1 环就与第 2 环套上,如果发生第 2 个事件,第 2 环就与第 3 环套上,如此往下,到了最后一环就发生事故,见图 1-5 所示。

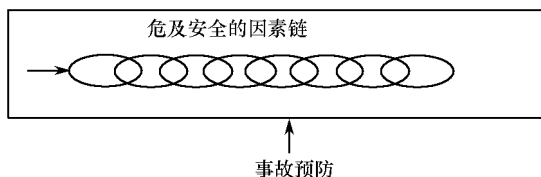


图 1-5 事件链理论

①人指的是人的失误。人失误的情况极为复杂,而它又是造成大部分飞行事故的原因,人的失误融合于机械和管理之中。机械和管理的问题比较容易解决,而人的失误的确定是非常困难的。由于人的生理心理状态、知识水平和训练程度的不同,他们的感觉、判断和行为也是不一样的。即使是同一个人,在不同时刻或不同的情况下,他的行为也未必完全相同,因此这个领域至今尚存在许多未知数,需要进一步深入研究。在飞行事故调查组里也应该有精通心理学的专家参加。

②机械是指有形的物质,如设备、机件、零件、材料等等。材料在加工成机件的时候需要加入能量,而机件破坏的时候则释放出能量。一件机件破坏时释放出来的能量可以导致另一个机件的破坏,这对飞行事故调查人员有指导意义。在分析飞机残骸时,应仔细地识别出各种机件之间破坏的顺序,以便追根寻源。

③管理包括制造、处理以及各种规定、条例等等。管理把人和机械结合在一起,因此它只是一个接口。管理的失误又包括规定的不合理和人员的不会或故意不执行。

对于一起具体的飞行事故来说,要确定事件链并不是一件轻而易举的事。要通过飞机的残骸和其他各种证据进行综合分析研

究,用逻辑推理的办法才能逐步确定这条事件链。在确定事件链时,要不断否定其他若干条实际上并不存在的事件链,也就是不断地使用排除法将其他的各种可能性排除掉,最后只剩下一条事件链。

用事件链的理论进行飞行事故调查研究时,首先要从许多事件中寻找出与事故原因有关的一些事件,然后将这些事件按发生的时间排出顺序,一环一环地分析,列出事件链。下面来举一个实际例子:

1995年12月12日,俄罗斯空军的“俄罗斯勇士”飞行表演队在参加完马来西亚“利马95”航空展后,满载60名军事代表团成员途径越南金兰湾机场返回俄罗斯。由一架伊尔-76和5架苏-27飞机组成的机群由领航机长格列比翁尼科夫少将在空中指挥。混合编队的机群前面是伊尔-76,左侧为2架苏-27,右侧为3架苏-27。当机群飞到离金兰湾机场大约120 km时,领航机长与机场取得联系。当时机场上空云底高仅600 m,能见度不好。机场值班员指示领航机长让伊尔-76在1500 m空中待命。但这位少将无视地面指挥,擅自决定整个机群按“大盒子”方案降低飞行高度。在此过程中,整个编队又违犯了进近降落的程序,提前10 km开始一转弯,拖延了53s才向地面飞行指挥员报告通过正切方向。领航机长的这些错误指挥使整个机群向着高700 m的小山飞去。此时伊尔-76的事故警告信号已亮,说明飞机处在离地面很近的危险距离。如果机长当时尚能当机立断,纠正错误,还来得及使整个机群脱离危险。但这位少将并未抓住最后的时机,而在以后的35s内没有作出任何反应。一直到飞机离地面仅32 m时才匆忙向上拉起,迅速爬升,脱离了编队。跟在后面的5架苏-27飞机的飞行员见此情景,手足无措。左侧的2架苏-27的飞行员反应迅速,立即拉起,降落在不远的藩朗机场,而编队中右侧的3架苏-27飞机一起撞在前方的小山头上,机毁人亡,造成了一起苏-27飞行史上的大悲剧。

空中指挥官格列比翁尼科夫少将刚愎自用不听地面指挥,自

行决定整个机群编队按“大盒子”方案降低飞行高度,这是事件链的第1条,如果他听从地面指挥,以后的事故可能都不会发生。第2条事件链是天气不好,云低600 m,而山头尚在云中,因此飞行员们根本就看不见前方的小山头,虽然小山只有700 m高,但飞行的高度却低于700 m,如果没有这样的天气,也不会发生这样的撞山事故。第3条事件链是机场飞行保障手段差,金兰湾机场原是美军在越南战争中使用的空军基地,越战后苏联空军占用,后被俄罗斯沿用至今。机场设备陈旧,无法向空中准确及时地传递地面天气信息,如果当时飞行员知道有低云及前方有小山,也不至于会发生撞山。5架苏-27有2架飞机的飞行员反应灵敏,脱离了险境,而右侧3架飞机的飞行员的反应没有左侧2架飞机的飞行员反应快,终于不幸遇难,这是第4条事件链,连接上了事件链的最后一环。

从理论上讲,只要切断事件链中的其中一环,此类事故就可以防止发生。但实际上并非如此,因为有很多各种各样的事件,其中有些事件又可能与其他事件联接,形成另外的事件链而发生另一次事故。所以,对寻找到的所有事故原因和有关因素不论主次、不论大小均需采取预防措施,以防同类事故的再次发生。

(三)墨菲定理

墨菲是美国陆军的一名上尉,他的全名叫爱德华·墨菲(Edward Murphy),此人爱好哲学,且在哲学上有较深的造诣。

1949年他首次提出这样一个定理:如果任何事物能够发生差错,这种差错总是会发生的(If anything can go wrong, it will.) ,再译得通俗点应该是:只要隐患未除去,事故迟早要发生。骤然一听,此话纯属大实话,似乎人人都能说出来,其实不然,这个朴实的话语里确实涵藏着十分深奥的哲理,它概括了不少自然界和社会的现象,在飞行事故的调查研究中也是适用的。

墨菲定理在航空领域内经50余年的实践,并且得到了很大的发展,逐渐形成了15个推论,对飞行安全作出了贡献。这15个推论主要应用于飞行和维修方面的:

①差错将会在最坏的时刻发生。差错的先决条件是可能会发生,但不是说在任何时候都会发生,它是需要具备其他条件的。这与飞行事故的多原因论正好吻合。

②事物初看时似乎总是很简单的。这条推论的真正意思是,事物实际上是很复杂的,表面上看来简单,随着不断深入调查研究,就会发现各种关系盘根错节,需要进一步追根寻源,寻找出事故的真正原因。因此飞行事故的调查不能停留在表面上,而是应该千方百计收集事故证据。

③如果有几件事都可能发生差错,在这几件事中造成损失最大的那件事是发生差错的事。不安全因素有很多,一定要抓住造成事故的不安全因素,并有针对性地进行预防。

④如果放任不管,事物将从坏发展到更坏。飞行事故的隐患不会自动除去的,只有采取积极的有效的实际措施才可能阻止其进一步发展,否则的话情况可能就越来越糟。

⑤如果补锅时敲打的时间太长,此锅必将破碎。这条推理的意思是,纠错不可过头,否则会走向愿望的反面,也就是人们常说的物极必反。要掌握好适度。

⑥任何事需要的时间往往要比预想的长。有的飞行事故的调查要拖很长时间,因为除了现场调查以外,还要进行一系列的实验室试验或事故重建,常常需要耗费很多时间和艰辛的劳动,最后才能使事故的真正原因水落石出。

⑦当事物看来正在按预想的方向发展时,就要仔细地朝相反方向观察。这条推论非常有意思,也非常有用,它与矛盾论的观点是一致的。先入为主是飞行事故调查的大忌。如果在现场事故调查时对事故原因已经有了一个初步的想法,而且也发现了一些证据,此时千万不要放过否定这个想法的各种证据,否则可能会导致错误的结论。

⑧当收油门停车时,接送机组人员的汽车往往正好从停机坪开走。这条推论的意思是常常会碰到不凑巧的事情,这并不奇怪,也是正常现象。在飞行事故调查中也要采取常规以外的方法来获

取证据。

⑨如果一条规定未被遵守,将会制订出另一条更为复杂的规定。

⑩最重要的转弯点是在地图边上。

⑪当叠好地图时,往往地面就要求改变频率。

⑫地图一旦打开,就不能叠得同原先一样。

⑬你正想唱歌时,话筒的电门就发生粘结了。飞行员在飞行中想哼几句,此时一定要把话筒电门关上。

⑭两个飞行安全军官不在一起飞行。这条推理的意思是,如果机上有两个以上的人飞行时,一定要有一个人说了算。如果两个人互不服气,争论不休,没有一个说了算的,必然要出问题。

⑮大自然总是避开隐蔽的缺陷。

墨菲定理在航空中可以用于防止错误的设计,指导飞行事故的调查和预防以及对飞行人员和维修人员进行教育。

①防止错误的设计。对于维修中容易发生差错的部件和飞行人员在操纵飞行时容易发生差错的部件都应采取防错设计,因为只要有任何隐患存在,总有一天会发生事故。苏联的图-154 M 飞机上的飞行控制系统有许多电缆插头是互为通用的,有一次就因为电缆插头插错,飞机起飞后发生飘摆,飞行员无法改变,飞机就在空中解体而坠毁,造成 160 人死亡。由于墨菲定理不仅涉及对机械的使用问题,也包括机械本身的问题,如部件本身因设计缺陷而在使用中发生故障。因此这个定理既能指导防错设计,也可提高飞机的设计水平和飞机的安全性。

②指导飞行事故的调查和预防。根据墨菲定理,对同型飞机的飞行事故和事故征候,如果未曾采取有效措施,那么同类事故还会发生。因此对飞行事故调查人员来说,必须掌握各型飞机过去所发生的事故和事故征候的信息,尤其是同型飞行的事故和事故征候的信息,这是十分重要的。飞行事故调查的结果必然会提出这次飞行事故的原因及有关因素,包括飞行设计和制造中的缺陷、飞行人员的生理、心理问题以及训练教育的不足,然后对这些

因素分别采取预防措施。如果对其中某个因素未采取预防措施或者并未落实,那么以后还会发生同样的差错。

③对飞行人员和维修人员进行教育。由于飞行事故往往由多种原因和多种因素所致,因此也涉及到与飞行有关的多种人员,尤其是飞行人员和飞机维修人员。如果他们能理解墨菲定理并付诸实施,那么预防事故的措施也就容易实行,发生事故的可能性也会减少。当然,用墨菲定理进行飞行安全教育可以采用多种形式,但最有效的办法是利用飞行事故的实际例子,既生动又有说服力,而且会在他们的脑子中留下深刻的印象。

(四)SHEL 模型

SHEL 模型是一个说明飞行中人的因素的理论。1992 年由爱德华(Edwards)首先提出,后来又有人对它进行了补充和修改,见图 1-6 所示。SHEL 是 4 个英文文字的缩写(Software, Hardware, Environment and Liveware)。

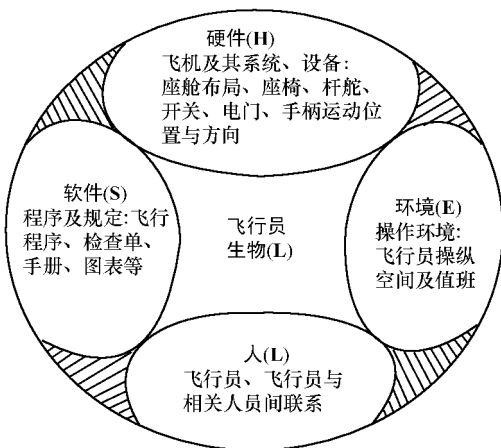


图 1-6 SHEL 模型图

S 代表软件:它包括飞行手册、检查单、飞行程序、计算机程序以及信息显示等;

H 代表硬件:包括座舱、仪表、开关、电门、杆舵、手柄等,它们

的布局、位置和运动方向常与人为错误密切相关；

E 代表环境：主要是指座舱内的气压、温度、湿度、振动、噪声、时区变模和轮流值班等；

L 代表人：主要指飞行员和机组人员、机组与交通管制人员之间的关系。

这个模型表示在航空中与飞行员构成界面的四个要素以及它们之间的关系。它的主要目的有两个：一是划定了人的因素的研究范围；二是分析飞行员人为错误的来源。

这个模型表明，飞行员是飞行活动的中心，他与硬件、软件、环境和其他人员间的不协调，可能会导致错误的行为，从而会造成严重的飞行事故。

由于硬件设计上的缺陷造成人为错误，在航空史上是屡见不鲜的。20 世纪 40 年代就有人发现，装有三指针高度表的飞机撞地事故的发生率很高，原因是这种高度表的误读值高达 3 000 m，飞行员必须将 3 指针的读数综合才能得出高度值，稍有粗心就会把读数看错。后来改成单指针计数器式的，情况就好多了，即便如此仍有读错高度表而导致事故的。

因此，在飞机硬件设计时必须改善防错设计。各种插头不能存在插错的可能性，每个插头和插座必须是专用的，不能互相通用。对于无意中容易误碰的开关、电门、手柄等必须精心设计，保证其安全可靠，以免招致人为的错误发生。这就是 SHELL 模型中重要的思想。

飞行员与驾驶舱内软件的关系虽不那么直观，但这一界面如果协调不好亦可引发飞行员的错误。软件中如信息遗漏、排序不当等等，便可能使飞行员操纵错误。

人与座舱环境的关系比较明确，气压、温度、噪声、振动都可能成为人为错误增加的原因。

多座军用飞机上人与人之间的关系也是一个重要的安全关系。机组人员间的协调与配合不好也可以引发人为的错误。在组配机组人员时应该有个合理的梯次结构，既不能将技术、职位、资

历相当的飞行员安排在一起,也不能将技术、资历、职位相差太大的飞行员分配在一起。前者可能会造成飞行员互不服气,各不相让,使机长的决断失去权威,最后各行其是造成危险。而后者则职位低的飞行员可能不敢提出自己真正的想法而只是盲目服从,难以相互监督,容易造成机长的独断专行。所以,较合理的搭配是机长在技术、资历和职位上应稍高于副驾驶,机长既能听取副驾驶的意见,又能当机立断,发挥指挥作用。机组与地面指挥人员间的语言交流有时也可能是导致飞行员出错的原因,有的甚至造成严重的飞行事故。此外,机组人员之间发生冲突往往耽误决策时间危及飞行安全,但如能妥善处理,吸取合理意见,有利于飞行安全。

在这个模型中,人的本身并非是十全十美的,特别是在认识过程方面。认识过程由感觉、知觉、判断、决策与行动5个环节构成,这5个环节缺一不可,同时又各有自己的特点,每个环节又存在着各自的局限性。

从感觉这个环节看,每种感受器都具有特异性,只能感受特定形式和特定能量的信息。眼睛感受光线和色彩,耳朵感受声音,鼻子感受气味。但这种感受不仅有个体差异,而且就是同一个人不同的条件下也不会完全相同。人体的感受器不可能感受外界的所有信息:眼睛只能感受可见光,可见光以外的光线就视而不见;人耳主要接收语言频率的声音,对于低频和超声波则充耳不闻;人的前庭可感受重力和加速度,但对匀速运动却无能为力。因此人的感受器的能力是有限的,这也是造成人为错误的一个重要因素。

知觉是比感觉更高一层。在这个环节上,感受器感受的信息经过神经系统传到大脑,大脑对这些信息作出解释,而这种解释有时与真实的情况并不相符,这就造成了错觉。人对知觉对象的解释常常取决于情境。而脱离情境的解释往往出错。知觉又与经验和习惯有关,经验多可以熟练操作,减轻工作负荷。但如果情况发生变化时,仍然死守老一套,事物就会走向它的反面。如飞行员改

换新机种,如果仍然按原先飞机的知觉习惯和动作去操作,可能会出现错误操纵,这称为飞行员行为倒转或技能负迁移。这种倒转往往发生在应急情况下和注意力不集中时,此外,知觉错误也与期望有关。对于信息量不足或者信息模棱两可基础上形成的知觉,飞行员会不自觉地将他认为缺少的信息填补上,或者自认为合理地解释模棱两可的信息。这叫做期望效应,这种期望效应往往成为严重飞行事故的罪魁祸首。

在认知过程中,知觉之后采取行动之前必然有个决策过程。决策是权衡各种因素,决定行动方案。各种可导致生理心理失调的诸因素如疲劳、药物、动机、情绪等等均可影响决策,导致错误的决定。虚无假设和错误推论是决策错误的重要诱因,这常发生于飞行员注意力转移或注意力高度集中时;处理新情境过于自信时;处于防御心理状态时以及动作记忆发生问题时。

注意具有单通道性质,可以选择信息和分配意识。人的注意容量是有限的,在同一时间内如果输入的信息量太大,人的思维即陷入混沌,注意力分配困难,很可能出现错、忘、漏的现象,因而导致飞行事故的发生。由于注意的单通道特性,在一些信息正在被加工的时候,另一些信息则只能被搁置一边,暂时进入很容易流失的记忆库中,等待注意通道的开放。只有当前的信息被加工完毕之后,短时记忆库里等待的信息才能被提取出来,沿着特定的通路迅速传送到加工单元里。但许多因素都可能影响短时记忆库中信息的储存和提取的效率,而这个信息储存和提取过程也正是人容易出错的一个根源。

决策之后,通过肌肉运动进行操作控制或者使当前的动作受到抑制,这也是人出错的另一个根源。飞行员在飞行中有时会出现决策与行动互相分离,也就是他想的与做的动作并不一致。与飞行员疲劳、控制器设计不合理或者新飞机型与原飞机型的控制器类似但移动方向不同时,操纵错误便可能发生。

(五)人机环理论

人机环理论实际上是系统论在航空中的应用。人机环理论有

狭义和广义两种。狭义的人机环理论只涉及飞行员、飞机和大气。而广义的人机环理论中,人包括飞行人员、机务维修人员、航空医生、地面指挥人员、飞行保障人员、气象预报人员、空中交通管制人员等等有可能影响到飞行安全的所有的人,他们都是飞行安全的主角。由于航空技术的迅速发展,飞机的可靠性和安全性不断提高,人为因素与机械因素所致飞行事故之比有了明显的变化。机械因素引起的飞行事故的比例逐渐下降,而人为因素所致飞行事故的比例逐渐升高,见图 1-7 所示。飞行事故的预防工作主要放在人员上。

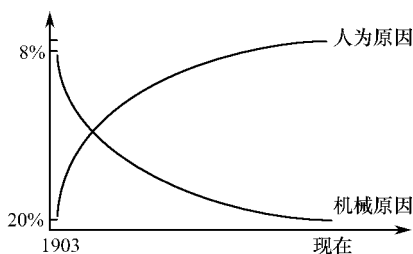


图 1-7 人为因素与机械因素所致飞行事故比例的变化

现在世界各国对人为因素的各个方面正在进行深入的探索,为什么飞行事故中,该做的没有做,而不该做的却做了?

飞行事故中,人的因素大体上可以分为生理、心理、病理和身体 4 个方面。

①生理:疲劳、睡眠不足、空腹等等虽然是一般的生理现象,但它们可以成为严重飞行事故的原因。因此发生事故时,不仅要调查事故发生时飞行员的动作,还要调查事故发生前他的日常生活状况。

②心理:在飞行训练时,应对飞行员的情绪、感知能力、意志等心理现象加以重视,使飞行员之间、飞行员与指挥员之间相互了解,密切配合。知觉方面有许多干扰因素,如座舱风挡框架对视觉的影响、阳光产生的幻觉,噪声的干扰等等。飞行单调

时，不能分散精力；紧张情况发生时，不能把注意力只集中在一点上。

③病理 航空医学对疾病的评价标准与普通医学不同，如感冒仍在服用抗组织胺药物的飞行员，一般不能参加飞行，必须到副作用完全消失后才能参加飞行。在调查飞行事故原因时，应查明飞行员是否有疾病，是否有影响知觉状态的情况发生，事故前是否出现异常身体状况等都是很有必要的。

④身体 指飞行员的身体尺寸、力量的大小和能达到的范围、振动以及人体与环境有关的问题。如紧急情况下，人距紧急操纵手柄很远，如果手指尖刚能碰到，要操纵手柄就不会有足够的力量，不能达到有效地操纵，飞机的设计便应加以改进。

人在紧急情况下，人对信息的接收、处理以及反应动作与正常时均有很大差别。如在接收信息方面，会偏重于某个知觉的信息，注意力过分集中在指示异常的仪表上而无视正常的信息。仪表处于正常状态时，飞行员根本就不注意。知觉信息的内容变化非常迅速，当飞行员发现时，它的颜色、大小和形状已经改变。在短时间内为了得到大量信息而频繁更换措施，使所得信息的质量降低。对知觉反应迟钝，对信息的判断能力就降低。

在处理信息时，综合信息和选择信息的能力下降，记忆能力下降。记忆信息不能迅速反应，对已判断的内容进行复查的能力也减弱。定量判断能力下降，往往变为定性判断。低估剩余时间，省略了思维过程。在大应力下完全失去判断能力，而在小应力下则记忆信息不加思索地反应出来。注意力只集中在某件事情上而不顾其他等等。

在反应动作方面，进行习惯性的操纵。操纵的方向性变差，错误地触动相邻的手柄或操纵杆。力的控制能力变差，用力过猛或使用不必要的力。肌肉过于紧张，难以柔和操纵，不能对两个以上需要协调的动作进行操纵。动作粗猛或者毫无目的地操纵甚至完全失去操纵能力。

因此，飞行事故中人的因素应分析错在哪个阶段上，是怎样判

断的？又是怎样操纵的？只有仔细地进行研究，才能真正地找出原因来，不能笼统地下一个“判断错误”或者“操纵错误”的结论，这样才有利于采取有效的预防措施。

飞行事故与飞行员的年龄和飞行时间也有一定关系，见图1-8和图1-9所示。

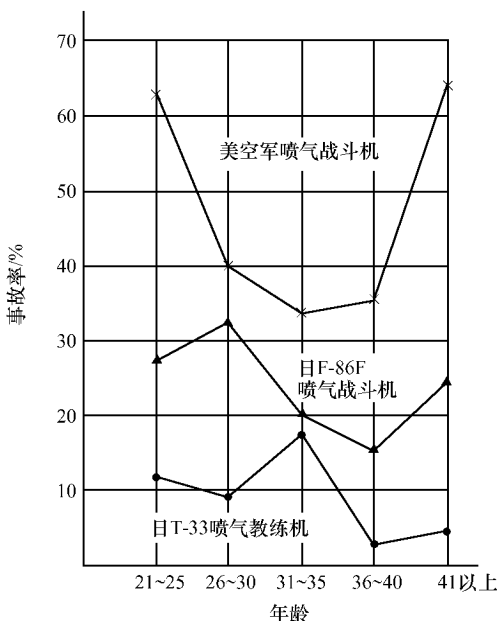


图 1-8 年龄与飞行事故率

从图中看出，年轻人的飞行事故率高，随着年龄的增长事故率明显下降，(30~34)岁时为最低，40岁以后又重新上升，呈船底形。

飞行时间 500h 以后，飞行事故率才开始下降，(500~700)h 则明显下降。

30 岁以上飞行员发生事故，多半是因习惯动作造成的过失，他们对飞行的情况非常了解，常常是聪明反被聪明误，这类事故称

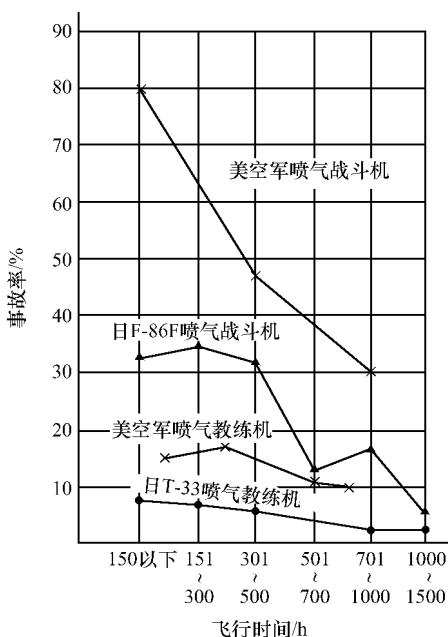


图 1-9 飞行时间与飞行事故率

为习惯动作造成的偶然事故。对 40 岁以上的飞行员来说,除了造成上述偶然事故的因素外,还增加了生理上各种功能衰退、反应迟钝、对新情况的适应能力下降等几个因素。

以上理论大多是从工业事故理论基础上演变过来的,也可以说是移植过来的,因为那些工业事故理论已有数百年的历史,军事飞行事故的研究与它们相比真是小巫见大巫了。由于军事飞行事故与工业事故存在着不少共同点,因此这些理论对飞行事故研究也是适用的。

但是应该看到,飞行事故毕竟有它自己的特点。工业事故的理论不可能百分之百都能应用到飞行事故中,而飞行事故中有些现象也不可能全用这些理论来解释。所以,飞行事故的理论应该在原来的理论基础上有所突破,继续向前发展,建立自己比较完整

的有自己特色的理论体系。令人遗憾的是,这方面的工作不能使人满意。理论很多,但没有一个统一的理论。希望能在不久的将来,能有一个水平较高、简明扼要、极具指导作用的飞行事故理论出现。

第二章 军事飞行事故原因

从哲学上讲,原因和结果是一个完整的整体。没有无原因的结果,也没有无结果的原因。原因与结果彼此依赖,缺一不可。对于特定的结果必然有特定的原因,但一种结果可能有多种原因,一个原因也可能引起多种结果。用这个观点来观察军事飞行事故,每起军事飞行事故都有具体的原因,而且有 4/5 的飞行事故是由两个以上的原因造成的。那些 2/5 查不清原因的飞行事故,并非真正没有原因,只不过受各种条件限制,目前尚无法揭示。随着科学技术的不断发展和飞行事故调查方法的改进,这部分飞行事故的数量会越来越少。

造成军事飞行事故的原因有多种多样,但按人-机-环理论来分,大致可以分为人的因素、机械故障和环境因素 3 大类;其中人的因素占大部分,机械故障次之,环境因素比例较小。具体分配可参见表 2-1 所示。虽然这个百分比对不同国家、军种、机种可能有差别,但基本上是大同小异,这可能与现今军事航空技术发展和飞行训练水平有密切关系。

表 2-1 世界军事飞行事故原因分类

类别	人的因素	机械故障	环境因素
百分比(%)	79.8	14.4	5.8

下面按人的因素、机械故障和环境因素 3 个部分来介绍目前军事飞行事故最常见的 20 多种原因。为叙述方便,分别对这些单一原因先作简要介绍,然后列举若干典型的实际例子。但后面所举实例并非都是单一原因造成的,只不过它们是其中一个原因,或者说是其中一个主要原因。实际上,有的飞行事故可能既有人因素,又有机械故障,还有环境因素,它们构成了一个事件链。

一、人的因素

人的因素(human factor)的概念至今仍然没有一个统一准确的定义。一般来说,人应该包括飞行人员、乘员、地面指挥人员(空中交通管制人员)、地勤人员、气象预报人员等等,但主要是指飞行人员,尤其是负责飞机操纵的飞行员。而人的因素则包括生理、心理、病理、药理、劫机、破坏、自杀等等。

从飞行员的角度看,危及飞行安全的主要有两个方面的原因:一是工作能力下降,甚至丧失工作能力;二是发生人为差错。这两者是互相关联的,工作能力下降可导致人为差错,而人为差错又可促使工作能力下降。

通常,飞行员具有正常工作能力时可以很好地完成正常的飞行任务,而且还具有一定的潜力,见图 2-1 所示。如果飞行任务难度超过了飞行员的工作能力,尤其是飞行中遇到机械故障和恶劣天气时,即使飞行员的工作能力并未下降,也可能导致飞行事故的发生,见图 2-2 所示。飞行任务难度并未增加,而飞行员工作能力明显下降时也可造成飞行事故,见图 2-3 所示。倘若既有飞行员的工作能力下降,又有飞行任务难度的增加,那就可能更危险了,

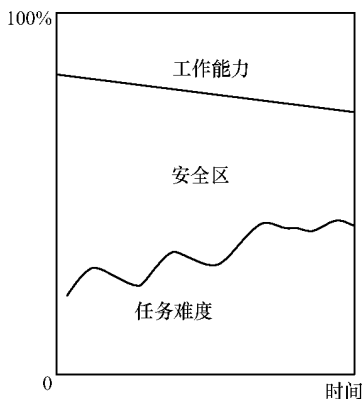


图 2-1 正常的工作能力和任务难度

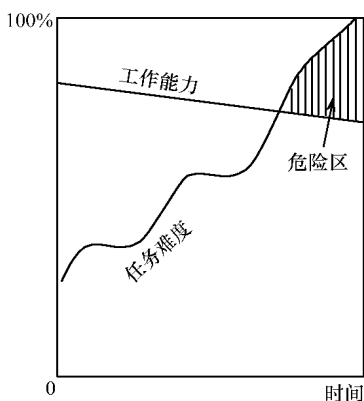


图 2-2 正常的工作能力和任务难度加大

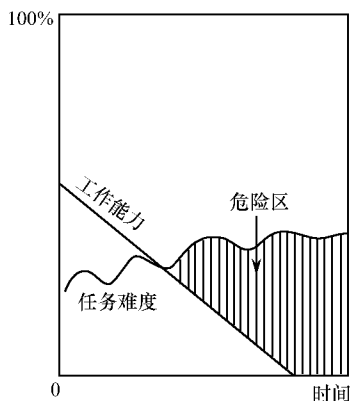


图 2-3 工作能力下降和正常任务难度

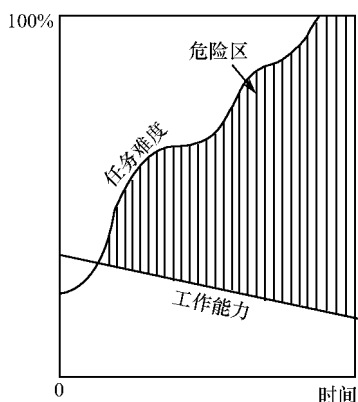


图 2-4 工作能力下降和任务难度加大

见图 2-4 所示。

人为差错主要是指飞行员的感知觉、判断决策和操纵的错误。

(一) 生理因素

1. 高空缺氧

由于地球引力的缘故,空气的密度随高度的增加而逐渐减小,大气的压力随着高度的增加而降低。高空的大气压力降低使空气中的氧分压也按比例下降,使氧气无法通过呼吸进入人体的血液里,因而会造成高空缺氧。

高空缺氧通常分为爆发性、急性和慢性 3 种:①爆发性高空缺氧是指发展迅速、程度极严重的一种高空缺氧,往往发生在 10 000 m 以上由呼吸纯氧突然改换为呼吸空气,或在 14 000 m 以上用普通供氧面罩呼吸纯氧时。通常在 1min 之内在没有任何先兆的情况下突然意识丧失。②急性高空缺氧是介于爆发性缺氧和慢性高空缺氧之间,发展较迅速、程度严重的一种高空缺氧。飞行中飞行人员如果氧气面罩密封性差,或者未按要求戴氧气面罩,或者座舱内氧气开关未完全打开,可出现头昏、头痛、视力模糊、恶心、动作协调及智力活动障碍等。严重时可发生抽搐,甚至意识丧

失。③慢性高空缺氧是较长时间或反复处于轻度或中等度缺氧环境中而出现的一种高空缺氧,主要症状为容易疲劳而且不容易恢复,头痛、嗜睡、夜间视力降低、反应迟钝、注意力和记忆力明显减退,见图 2-5 所示。

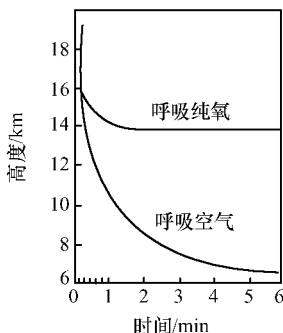


图 2-5 呼吸空气和纯氧时有效意识时间曲线

在不使用氧气而用普通空气呼吸时 3 000 m ~ 5 000 m 属轻度缺氧 5 000 m ~ 6 000 m 属中度缺氧 6 000 m 以上属重度缺氧。在飞行中如果突然中断氧气供应,只呼吸外界空气时,7 000 m 高度(4 ~ 5)min 人即丧失意识,10 000 m 时 1min、14 000 m 时仅(12 ~ 15)s 即丧失意识。在呼吸纯氧时,丧失意识时间 13 500 m 高度 6min,14 000 m 时 1min,16 000 m 时(12 ~ 15)s。

人的大脑皮层的细胞对缺氧非常敏感,缺氧使人的工作能力明显下降,严重缺氧时往往无任何先兆症状,反而有欣快感,然后突然意识丧失,不省人事。

✚1995 年,俄军的一架安-12 运输机发生一起多名乘员高空缺氧事故。在飞机起飞以前,地面机械师为调整飞机起飞时的重心,将 5 名乘客作为配重安置在后面的货舱里,而机长事先不知道有此事也未作任何检查。因而起飞以后这 5 名乘客未被转到密封客舱内去。飞机升至 8 100 m 时有人意外地发现了这 5 名乘客而且均已昏迷不醒,后来被抬到密封客舱内进行抢救才脱离危险。

如果这 5 名乘客在货舱里时间呆得再长一些 ,必将酿成惨剧。

2. 高空减压病

由于大气压力降低 ,人体在高空时 ,原来溶解在血液中的氮气游离出来形成气泡。这些小的氮气气泡在血管中形成气体栓塞或者压迫神经组织而引起的综合症状 ,称为高空减压病。由于气体栓塞的部位不同 ,人体发生的症状也不一样。最常见的症状有关节痛、肌肉痛、皮肤搔痒、咳嗽、胸痛等等。严重的有中枢神经系统症状 ,甚至休克。

高空减压病的发病与高度密切相关。大多数发生在 8 000 m 以上高空 ,而且要停留一定时间。一般下降到 8 000 m 高度以下时 ,各种症状可逐渐消失 ,也有 6 000 m 高度发病的 ,但症状一般较轻。有少数人在高度下降后 ,症状不但不减轻反而更加严重 ,或者症状消失以后经过 10 多分钟至 10 多小时又重新发病的 ,有的发生减压后休克 ,如抢救不及时 ,可导致死亡。

大型客机为了使乘客舒适 ,座舱内的压力保持近于地面大气压力。但战斗机飞行员的座舱气压与外界空气保持一定压差 ,座舱高度 8 000 m 左右。因此座舱一旦失去密封 ,座舱内的压力与外界空气的压力一样 ,就会产生高空减压病。造成座舱失密封的原因主要有 4 个 :①增压系统发生故障 ;②座舱密封失效 ,包括密封带脱开、破裂、磨损、漏气、移位 ,有机玻璃与金属框架粘合不紧等 ;③锁门机械故障 ;④座舱盖破坏 ,如鸟撞 ,因疏忽抛盖、战斗中受损等。

按减压速度的快慢 ,高空减压分为爆炸减压(又称迅速减压)、快速减压、缓慢减压和极缓慢漏气 4 种。减压对人体的作用不仅是造成高空减压病 ,还可造成高空急性缺氧 ,中耳、胃肠、副鼻窦、肺等空腔器官因腔内相对于外界的气压突然升高而造成的一过性气压损伤、气流吹袭及冻伤等。

1966 年至 1971 年 ,美军发生 7 起迅速减压事故 ,造成 3 人死亡。有 3 起事故由副驾驶驾机返回 ,有 1 名飞行员清醒后自己驾机返回。美空军 1970 年至 1980 年间发生过数百起座舱减压事

件 ,我军也有几十起。

3. G-LOC

G-LOC(G-induced loss of consciousness)是一个航空医学的缩略语 ,意思是加速度引起的意识丧失。其实早在 1919 年就有 G-LOC 的报导 ,只不过那时候飞机的机动性能差 ,G-LOC 的问题并不突出。但 20 世纪 80 年代以后 ,F-15、F-16、苏-27、苏-30、幻影 2000 等第三代高性能战斗机陆续投入使用 ,这些战斗机空中的机动性能好 ,加速度可达 9 G ,最大增长率 10 G/s ,作用时间 45 s 以上 ,可以使飞行员在毫无先兆的情况下突然丧失意识。西方国家的高性能战斗机 20 世纪 80 年代 G-LOC 的发生率高达 20% ~ 35% ,已有几十架飞机因 G-LOC 而坠毁。近 10 年来美空军采取种种措施后 ,G-LOC 的发生率已降至 15%。但 G-LOC 所致严重飞行事故仍然时有发生 ,仅 1994 年至 2000 年 ,美空军发生 G-LOC 生理事件 169 起 ,引起 A 级飞行事故 6 起 ,坠毁飞机 6 架 ,2 名飞行员死亡。

加速度引起的意识丧失是由于全身血液重新分配所致 ,在正加速度作用下上身的血液迅速向下身转移 ,心脏水平以上部位缺血 ,血压下降 ,而心脏水平以下部位则血流积聚 ,血压上升。当眼内的血压降至 45 毫米汞柱以下时出现灰视 ,降到 18 毫米汞柱时出现黑视。头部血压低于 15 毫米汞柱以下会出现面色苍白 ,出冷汗、恶心呕吐、全身无力甚至意识丧失。正常人对正加速度的耐受能力与 G_z 值大小、作用时间有关。一般耐受限度为 $5 G_z$,12 s ; $6 G_z$,4.2 s ; $8 G_z$,3 s ; $10 G_z$ ~ 2.24 s。但个体间有一定差别。见图 2-6 所示。

造成 G-LOC 的原因主要有 3 个方面 :①特技飞行时 G_z 值太大 ,超过了人体的耐限 ,这包括未穿抗荷服或抗荷服破损而不起作用 ;②飞行人员因身体原因加速度耐力下降 ;③操纵动作过猛。因动作过猛时 ,使加速度增长率(单位时间增长 G_z 值)升高。加速度增长率越高 , G_z 值越大 ,人体耐受加速度的耐力就越短。见表 2-2 所示。

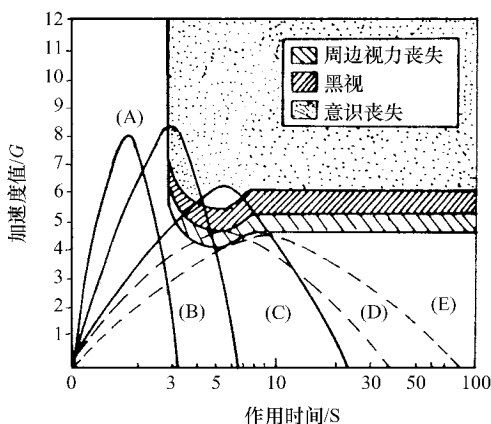


图 2-6 加速度耐力曲线

表 2-2 加速度增长率与出现 G-LOC 时间

正加速度增长率/ $G_z \cdot s^{-1}$	视觉障碍至意识丧失时间/s
3.0	2.3
4.0	1.8
5.0	1.5
6.0	1.2
7.0	1.0

美国空军航空航天医学院通过 500 多份载人离心机飞行员检查和训练录像资料分析发现 ,G-LOC 是一个过程 ,它可以分为 3 个阶段 ,即诱发期、绝对失能期和功能恢复期 ,见图 2-7 所示。

①诱发期 :又称功能缓冲期 ,从中枢神经系统缺血到发生意识丧失。在此阶段 ,虽然中枢神经系统已经缺血缺氧 ,但因神经细胞内尚有一定的氧气储备 ,所以并不出现功能障碍。这段时间非常短 ,仅有 7 s。

②绝对失能期 :从 G-LOC 发生至意识恢复。在此阶段内 ,被试者对强刺激均无反应 ,全身肌肉松弛 ,并有抽搐和做梦。这个阶段时间为 12 s。

③功能恢复期 :又称相对失能期 ,从意识恢复到驾驶能力恢

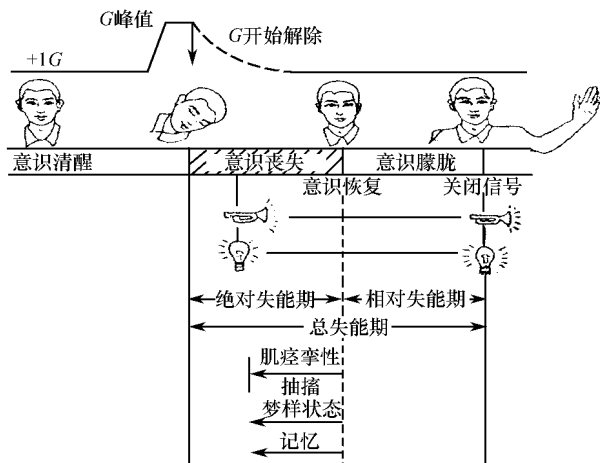


图 2-7 G-LOC 的 3 个发展阶段

复,此阶段内被试者意识模糊并有一系列的心理障碍,如精神紊乱、定向障碍、窘迫感、焦虑、欣快感,否认自己有意识丧失等。这一阶段平均为 15 s,但个别人可长达 24 h 才完全恢复正常。

绝对失能期和功能恢复期两者加在一起的时间为 27 s,在这 27 s 期间,飞行员完全失去对飞机的操纵能力。如果飞机飞行速度为 800 km/h,飞行高度为 6 000 m,27 s 飞机即可触地。

飞行中的推拉动作可以使飞行员的正加速度耐力下降 40%。所谓推拉动作:是在小于 $+1 G_z$ 的加速度后,迅速转入大于 $+1 G_z$ 的飞行动作。1996 年加拿大 2 架 CF-18 战斗机进行一对一空战攻击,开始迎面对敌攻击时,一名飞行员在 $(+0.1 \sim 0.5) G_z$ 状态下飞行了 8 s,然后做半滚侧转机动动作并以 $3 G/s$ 增长率形成最大过载 $+6.4 G_z$,紧接着飞机进入垂直下降而坠地。根据过去的飞行记录,这位飞行员对 $+6.4 G_z$ 是完全可以耐受的,但由于事先飞行了小于 $+1 G_z$ 的机动动作,降低了对 $+G_z$ 的耐力,因而确定是推拉动作造成了这起 G-LOC,并导致机毁人亡事故。

这起事故后,加拿大回顾了以往发生的 284 起战斗机飞行事故,发现其中有 4 起事故与推拉动作有关。对飞行中 G-LOC 调查

发现,有 17% 的 G-LOC 事故在正加速度作用前有零或负 G 作用。美国空军 1982 年至 1996 年间的 24 起 G-LOC 事故中,有 4 起可能与推拉动作有关。在 F-15 和 F-16 空战训练中,17% ~ 66% 有推拉动作,平均为 32%。推拉动作中,小于 $+G_z$ 的加速度平均范围为 $(0 \sim 0.5) G_z$,平均作用时间为 $(3.5 \sim 5) s$ 。军用直升机在飞行中也有推拉动作,高性能武装直升机可以产生 $(-1 \sim 4) G_z$ 的加速度,由于军用直升机飞行员不配备抗荷服,所以推拉动作的影响也较危险。

20 世纪 80 年代初期,美国空军曾报道过 3 起 F-16 战斗机和 1 起 T-37 教练机的 G-LOC 事故。F-16 机动性大,而 T-37 飞机的飞行员没有抗荷服,因而它们的 G-LOC 发生率高,摔飞机也多。

✦ 其中一架 F-16A 飞机的飞行员是一位有丰富飞行经验的教官,他在 $(5\,500 \sim 5\,800) m$ 高空进行第三次一对一空战时,飞机大迎角向后倒转,接着又增大负荷倒转,约 20s 后,飞机以大角度大速度俯冲坠地。飞行员当时没有说话,也没有弹射离机的意图。后经调查,飞行员在大过载转弯时就失去知觉,并且较长时间未恢复。这位飞行员近日有病,易疲劳,近 6 天内未进行过高 G_z 飞行训练,耐力有下降。另外,前 2 次空战训练中体力消耗较大,妨碍了第 3 次空战中及时有效地完成对抗动作。

✦ 另外 2 起 F-16 飞行学员发生 G-LOC 是飞机教官挽救了飞机,使情况转危为安。其中 1 次从录像带上可知,在第 3 次空战飞行时,飞行学员作防御性左转弯,加速度达到 $+7 G_z$,然后下降。飞行学员做第一次对抗动作时可以清楚地听到他的哼声,第二次对抗动作时则声音减弱一半。尽管加速度减至 $4.8 G_z$,飞机继续下降, G_z 减到 $1 G_z$,空速增至马赫数 1,机头向下 65° 倾斜下落。后舱压座的飞行教官以为飞行学员仍在驾驶。当飞行学员再次加速度增至 $9 G_z$ 时,询问飞行学员,开始说自己已经黑视了,后来又说是灰视。但录象资料回放时发现,这名飞行学员丧失意识 17 s,失去操纵能力大约 21 s,后来检查发现他的抗荷服没有连接上。经载人离心机高 G_z 训练,他又恢复飞 F-16 战斗机。另一名 F-16

飞行学员发生 G-LOC 是通过匿名的形式上报的,也与抗荷服未连接有关。大约在 6 400 m 高度进行一对一空战训练,开始作大迎角飞行,加速度达 $6.8 G_z$,后以大约 25° 角俯冲时发生黑视。在丧失意识 18 s 后苏醒,在 3 000 m 恢复平飞,一低头发现自己的抗荷服未连接上,但他清楚地记得自己在系安全带时抗荷服是连接上的。

✦1971 年至 1983 年 12 年间,美国空军 T-37 教练机 G-LOC 事故达 110 起。一位 T-37 飞机的飞行学员在进行云上特技飞行时,由于弄错了空速指示器,做机动动作时发生意识丧失。当他苏醒时,十分慌张,又发生空间定向障碍和管状视野,只能看到座舱盖和地面,感到飞机在倒飞、滚动、高速俯冲,自己对此无能为力。几乎与他弹射同时,飞机在空中解体,机翼与机身分离。据调查人员估计,这名飞行学员在空中意识丧失时间为 (15 ~ 20) s。

✦1986 年 7 月 2 日,英国航空航天局新研制的一架单座隼式 200 原型战斗机在英空军基地试飞,这种操纵灵活、推力巨大的战斗机在此之前已进行了 28 架次 27h 的试飞,试飞员吉姆霍金斯是一位经验丰富的老试飞员。当天的试飞开始是低空右急转弯,大过载 $8 G$,持续时间 (30 ~ 40) s。然后大坡度爬升,在爬升中进行 $1/4$ 右转弯,在 (900 ~ 1 500) m 形成倒飞,机头低下的同时慢慢向右转弯。飞机在倒飞时左右 $10^\circ \sim 15^\circ$ 摇晃,离地面 3 200 m 倒飞状态下冲向地面,机头朝下撞在地面上。撞地时筋斗已基本完成,俯冲角为 25° 左右。飞机坠地爆炸,试飞员吉姆霍金斯身亡, (900 ~ 1 500) m 高度从垂直筋斗到拉驾驶杆,时间非常充足。经调查,飞机发动机和其他各系统,包括弹射救生系统均无异常发现。据分析,隼式 200 原型战斗机试飞员吉姆霍金斯是在 $8 G$ 过载下持续 (30 ~ 40) s 急跃升后发生了 G-LOC,专家们一致肯定 G-LOC 是这起事故的主要原因。

4. 疲劳

疲劳是人体的一种生理现象。关于疲劳发生的机理有能源耗竭理论,疲劳物质积聚理论和内环境失调理论等,实际上并未弄清

楚。疲劳可以分成 精神疲劳和身体疲劳 ;中枢疲劳和末梢疲劳 ;急性疲劳和慢性疲劳 ;局部疲劳和全身疲劳等。

飞行疲劳时 ,飞行人员的反应时增加、思想麻木、短时记忆丧失、思想缺乏条理、眼的调节能力下降 ,缺乏主动性和积极性 ,不能正确判断和决策 ,容易激动 ,缺乏耐性 ,易发脾气 ,个别人甚至会出现短暂的抑郁症等 ,因而使飞行人员的飞行技能和工作效率下降 ,对飞行安全造成威胁。造成飞行疲劳的原因主要是睡眠不足 ,飞行强度过大 ,时差 ,还与脱水 ,饮用咖啡过多 ,振动和噪声 ,缺乏活动等因素有关。

美军飞行员中有 93% 的人有过飞行疲劳 ,有 85% 的飞行员有时感到“非常疲乏”。有 21% 运输机飞行员的操纵错误直接或间接与飞行疲劳有关。美国海军战斗机和直升机每天工作 10h 以上的飞行员发生飞行事故的可能性就明显增加。1971 年—1977 年间 ,美陆军飞行事故的 4.1% ,致命飞行事故的 8% ,受伤飞行事故的 6% ,物质损失的 4.8% (1 023 万美元)由飞行疲劳所致 ,所有战斗伤亡的 10% ~54% 因战斗疲劳所致。

1999 年 ,美国空军报道过 2 起与疲劳有关的军事飞行事故 :

一架 C-5 运输机的飞行员连续飞行了 20 多小时。当时天气时而晴好 ,时而多云。当飞机下降高度准备进场时 ,飞行人员发生了情景意识丧失 ,飞机失去控制。直到飞行高度 230 m 时才逐渐恢复 ,差点酿成严重飞行事故。

另一起是一架有 6 名机组人员的 B-52 轰炸机 ,在向目标机动飞行 15h 23min 后坠入大海之中。机组人员在发生事故之前的 19 天里 ,共飞行了 3 个架次 48.1h。这 3 个架次均在夜间起飞、白天着陆。而发生事故的这一架次却是白天起飞、夜间着陆。

这 2 起事故都因飞行疲劳所致。飞行人员的飞行技术都是很好的 ,急性疲劳使飞行人员处于危险状态 ,出现操纵错误。

5. 间断飞行时间长

间断飞行时间过长不仅可使飞行员的飞行技术生疏 ,而且也使飞行员的缺氧和加速度的耐力明显下降 ,从而导致严重飞行事

故。一般间断飞行时间超过 21 天,就可能会出现飞行中的严重身体不适应。间断飞行时间越长,身体不适应就越严重,因间断飞行时间长而引起飞行员空中意识丧失的约占 6%。

6. 低血糖

糖类是提供人体能量的主要营养成分。当血糖降低不能及时补充时,会使全身各器官的正常功能发生障碍,人的大脑对低血糖尤为敏感。一般正常人在 100 ml 血液中有 (80 ~ 120) mg 葡萄糖,当含量低于 60 mg 时则称为低血糖,会出现各种低血糖的症状:思维能力降低,注意力不集中,反应迟钝,记忆力减退,饥饿感、手颤、心慌、多汗、无力,焦虑甚至意识丧失。

低血糖时飞行员的缺氧和加速度耐力也明显下降,容易发生黑视,造成低血糖的主要原因是饥饿。一般早餐后 (5 ~ 6) h, 100 ml 血中的葡萄糖降至 (66 ~ 70) mg,有些人就可能出现低血糖症状。另外还有一种因胃肠功能或植物神经紊乱引起的反应性低血糖。美空军曾对 175 名胃肠功能或植物神经功能紊乱的飞行人员进行葡萄糖耐量试验,发现 25% (44 名) 的飞行人员有反应性低血糖。有反应性低血糖的飞行人员加速度耐力明显下降,在 3.2 G_z 时就可能发生意识丧失。

(二) 心理因素

1. 空间定向障碍

人类生活在地面上经过千万年的演化,形成了一套对周围空间、位置和运动状态的定向能力。这种定向能力是通过视觉、前庭和本体感觉等外周感觉系统以及大脑整合而完成的。

人在空中飞行对人体的定向功能来说完全是一个陌生的环境,也是一种挑战,因飞行时人体会受到各种方向不同、大小不等的加速度力的作用,这与地面的空间定向有很大的区别。

空间定向障碍是飞行人员在飞行员对飞机空间状态、位置以及运动状态发生错误的知觉。空间定向障碍一般可以分为 I 型和 II 型两种:

I 型空间定向障碍的特点是飞行人员意识不到自己发生了空

间定向障碍,仍然按自己错误的感觉去操纵飞机,结果是失去空间定向能力,也失去了操纵飞机的能力,最后导致机毁人亡。所以这是一种非常危险的空间定向障碍。

Ⅱ型空间定向障碍的特点是飞行人员可以意识到自己已经发生了空间定向障碍,可以有意识地按仪表去飞行,并采取正确有效的措施去消除它,保持空间定向能力,正确地操纵飞机。这类空间定向障碍造成严重飞行事故的不多,但Ⅰ型和Ⅱ型是可以互相转换的。

据美国空军 2001 年统计,最近 10 年间,在所有致命性飞行事故原因中,空间定向障碍占 38%。其所占百分比和死亡总人数均超过 G-LOC,可见空间定向障碍对飞行安全的危害。

由于空间定向障碍至今尚未寻找到十分有效的预防办法,因而在严重飞行事故原因中,它所占的百分比不仅没有下降,反而有所增高。特别是高性能战斗机如 F-15、苏-30、幻影-2000 等飞行时产生高加速度、高加速度增长率、高角加速度以及高认知负荷,引起的空间定向障碍更为严重。美国空军 F-16 机毁人亡事故中,空间定向障碍占 61%。高性能战斗机飞行人员发生空间定向障碍时往往伴有情景意识和 G-LOC,而且主要是Ⅰ型空间定向障碍,表现的主要形式为倒飞错觉、超重错觉和翻、转、滚错觉。

1947 年春天,当时国民党迪化机场(现乌鲁木齐市)有 2 架 AT-6 飞机飞往南疆喀什地区参加军事演习。这 2 架 AT-6 飞机在途中迷航,结果燃料耗尽,被迫在沙漠里降落。机场曾派出飞机多次寻找,没有下落。1958 年,一支测绘队在南疆塔克拉玛干大沙漠中(罗布泊南缘)发现了这 2 架飞机,飞机仍然完好,只有罗盘被人卸走。飞机上及附近未发现人,在离飞机 170 km 处发现一具干尸,估计是机上人员。

1991 年 3 月 21 日,美国海军的 2 架 P-3C 反潜飞机在加利福尼亚州南海岸进行反潜战演习时空中相撞,坠入太平洋中,2 架飞机上的 27 名海军官兵均死亡。这起灾难性事故确切地点是在圣地亚哥西南 100 km 的海上,飞行高度大约 1 000 m。搜索人员只

寻找到飘在海面上的几块飞机残骸,未打捞到遇难者遗体。这2架飞机的基地是在位于加利福尼亚圣乔斯附近的墨非特(Moffett)海军基地航空站。高度和间隔是在飞行前双方飞行人员经再三考虑确定的。2架飞机按目视飞行规则飞行,在现场的水平间隔是由空对空战术空中领航设施来提供的。在空中2架飞机之间用无线电联络。根据雷达显示,事故前,一架反潜机从原来的航线上下降高度,并保持在一定高度上,另一架飞机下降大约(100~300)m。空中相撞以前,前面一架飞机向北方向飞,而后一架向东方向飞。一架海军直升机的机组人员看到了这2架反潜机空中相撞时的场面,只见空中一团火球,十分耀眼。因为当时正是天色昏暗,天气情况不好,断断续续地下着雨,云低600m,能见度(10~15)km,在该地区有雷暴活动。天气被认为是引起这起事故一个可能的促成因素。虽然事故发生的确切经过已无法知晓,但事故发生之前,一方的机组人员显然误解了另一方的意图,在关键时刻失去情景意识,或者破坏了为遵循各自值班高度在无线电通信中作出的规定。值得注意的是:一架反潜机以往有过设备故障的记录,自动驾驶系统失灵,在紊流天气情况下延误过时间,造成机组人员中有人发生空晕病。这些因素再加上机组间通信系统受干扰引起的精神涣散以及夜间长时间值班所致疲劳,使机组人员失误而造成事故发生。一架反潜机误入互换高度的歧途(750m),尽管这是两架飞机的机组人员用无线电彼此协商好了的。

1984年11月8日,一架英国皇家空军的“狂风”战斗机在德国南部进行低空训练飞行。训练将结束时,“狂风”战斗机飞行员突然发现迎面飞来一架美国空军的A-10飞机。飞机迅速减速规避,领航员低头看投射的地图显示仪,左侧和地面地看不见地平线,感觉飞机急剧翻滚,认为飞机已失控快要坠地了,于是领航员立即弹射,飞行员接着自动弹射(领航员与飞行员的弹射座椅有联动机构)。领航员与飞行员均安全跳伞着陆,飞机坠毁于荒野。事后调查,事故数据记录器显示,领航员弹射时飞机是正常的。飞机作规避动作时由于领航员头处于向下看的位置,发生了失定向,

造成了飞机翻滚下降的感觉,结果认为飞机已失控快要撞地了。

2. “错、忘、漏”

错:是指飞行员在飞行中知觉错误、判断错误和行为错误。忘:是忘掉飞行中某个程序。漏:是指漏做飞行中的某项操作。飞行员的错、忘、漏是飞行员的人为差错,也可以发生在机务维修人员和地面指挥人员身上。错、忘、漏往往给飞行带来极大危害。

我空军某部一名飞行员平时错忘动作就比较多。飞行前身体健康,在事故当天上午的飞行中,着陆时放阻力伞按错电钮,将副油箱投到跑道上,为此还作了书面检讨。当日下午继续参加飞行,上飞机前又拿错了氧气面罩,忘了带手枪。在起飞滑跑时,又忘了放 15° 襟翼,后经僚机提醒才放下。起飞后,又忘了收 15° 襟翼,飞机进入不规则状态,终于导致机毁人亡。

1952年12月20日,美国战术空军司令部的一架四引擎Douglas C-124A运输机参加圣诞节联合演习时从华盛顿州将人员运往得克萨斯州、田纳西州、南加利福尼亚州和佛罗里达州的空军基地。机上还装载了一架直升机和飞机的部件。飞机刚从拉松(Larson)空军基地起飞1min就坠毁在华盛顿摩斯湖附近。飞机立即烧毁,机上115名军人中有87人遇难,10名机组人员有5名幸存。28名幸存者中,有22人受伤。这起事故发生在黎明前的暗夜,天空正下着小雨,能见度仅3km,风力24km/h。事故调查发现:本来用于地面大风时固定操纵面的方向舵和升降舵的舵面锁,在起飞前机组人员没有打开,其实只要将操纵手柄向前一推即可将节气门和辅翼锁打开。

1969年2月5日,一架美国空军的洛克希德HC-130H运输机在菲律宾巴坦(Batan)岛以北巴希(Bashi)海峡搜索日本沉船海员时坠入海中,17名机上人员仅有1人幸存,而且身受重伤。这架飞机是从菲律宾克拉克空军基地起飞参加搜索和营救行动的3架飞机之一。飞机在低空飞行时坠入海面并且着火,当时该地区的天气情况是云底高500m,能见度11km,风力65km/h,海面浪涛汹涌,浪高(6~10)m,但无严重湍流,风切变或下气流成为这起

坠机事故的证据。出事海域也没有下雨,但据其他飞机的机组人员报告说,海面水雾在低空飞行时使能见度降低。调查报告说,在该海域飞行的多数飞机使用普通的高度表,气压相对恒定。在海面低空飞行时,无意中与水面相撞,这可能是飞行员对高度的判断错误所致。

1997年6月21日,俄罗斯空军的“俄罗斯勇士”空中飞行表演队在斯洛伐克的布拉迪斯拉发国际航空展览会上进行飞行表演。一架苏-27战斗机在着陆前忘了放下起落架,多亏机腹上有个导弹发射架,飞机着陆后这个导弹发射架被全部磨光,而机身损伤不大。如果没有这个导弹发射架的话,结果可想而知。后来这架苏-27飞机经一天修复后按期返回了莫斯科。

1986年7月22日,我空军某部一新飞行员驾强5飞机进行训练飞行。飞机升空后收起落架,但忘了将起落架收放手柄收回到中立位上。飞行训练完成以后准备着陆,飞行员将手柄从收上位置放到中立位置,认为起落架已经放下,实际上起落架并没有放下,也没有检查起落架收放信号灯和指示杆,就在跑道上降落,结果飞机机腹摩擦跑道着火,飞机被烧毁,幸好飞行员未伤亡。

1972年,我空军一名飞行员进行试验飞行,试验的项目是投放水雷。由于试验前在地面挂水雷的降落伞的一条保险丝忘了系好,结果投放水雷时刚打开弹舱,挂水雷的降落伞突然在空中张开,飞机突然产生巨大的下俯力矩,从600m处坠入水中,造成机毁人亡。

(三)药理因素

现代高性能战斗机对飞行人员的健康提出十分严格的要求。飞行人员应该具备准确的反应能力,稳定的植物神经功能,健全的心血管和呼吸功能以及对飞行中各种应激因素有较强的耐受能力。飞行员患病住院治疗时,用药与其他人没有什么差别。但在队治疗时则必须十分谨慎。因为药物除了有治疗作用,同时也有各种副作用、毒性反应、过敏反应等等,如使用不当会降低飞行人员的工作能力。一般主张飞行前(12~24)h不能服用对飞行能力

有影响的任何药物,如镇静药、降压药、抗胆碱能药、抗组织胺药等。只有在十分必要时才使用药物,如马岛战争中英国有数百名飞行人员服用了羟基安定(一次剂量 20 mg),特殊条件下可使用咖啡因、安非他明等。

据调查,飞行人员中大约有 1/5 的人对各种常用药物有过敏史。对这部分飞行人员平时用药需十分慎重。特别在飞行前应严禁服用可引起过敏的药物,磺胺类药物除影响泌尿、造血系统和发生药物皮疹以外,它的毒性作用可引起中枢神经系统的各种反应,如头痛、头晕、全身无力、恶心、呕吐等,还可使血红蛋白变性出现紫绀等缺氧症状。

(四)病理因素

飞行人员是经过严格的体检选拔出来的群体,平时又经常进行常规体检并受到航医密切的医务监督,他们的营养和体育锻炼条件均优于一般人。因此,因身体疾病原因造成严重飞行事故的比例是很小的。据我国和美国的统计,仅占有所有飞行事故原因的 1% 左右。

飞行人员带病飞行有两种情况:一是患感冒、痢疾之类的小毛病,飞行员求飞心切,为赶飞行进度,认为有点小病不要紧而坚持飞行;二是有些潜在性的疾病如癫痫、冠心病、脑血管病等未能早期诊断。也有飞行员怕停飞淘汰而故意隐瞒的,或者体检医生工作马虎而漏诊的。

此外,在飞行中,飞行人员的头部如果没有良好的防护装备,意外地受到撞击时,也可能导致意识丧失。据试验,人的头部在碰撞时对冲击性加速度的耐受值为 35 G。人体头部的重量占体重的 6.9%,一个体重 70 kg 的人,头的重量为 5 kg。头部冲击 35 G,即作用力为 $35 \times 5 = 175(\text{kg})$,35 G 以上就可能发生脑震荡甚至颅骨骨折。由于人的个体差异较大,引起意识丧失的冲击性加速度值与作用时间有个较大的范围,有的 35 G,有的 100 G 才发生。见图 2-8,图 2-9 所示。

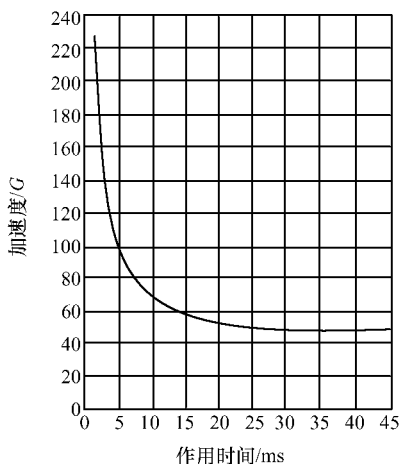


图 2-8 头部冲击性加速度耐限及时间

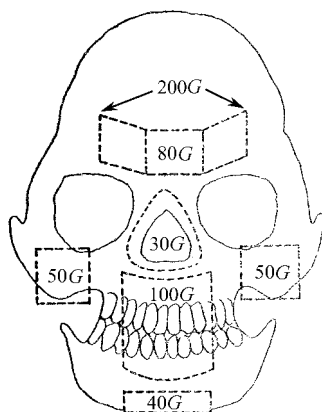


图 2-9 头部耐受 G 值

其实,造成严重飞行事故人的因素中,除了生理、心理、药理、病理因素之外,还有社会因素。这些社会因素包括劫机、破坏、自杀等等。

1984 年 2 月 16 日,一架埃塞俄比亚空军的安-12 运输机被人劫持。当飞机试图在第泊里·什尔特空军基地降落时,劫机分子

在空中引爆了手榴弹,飞机坠毁于阿的斯·阿巴巴东南约 40 km 处。机上有 38 人,其中 26 人死亡。

1988 年 8 月 17 日,巴基斯坦空军的一架四引擎 C-130B 运输机从巴哈瓦尔波(Bahawalpur)机场飞往伊斯拉马巴特(Islamabad),刚起飞后 10min 就坠毁于离印度边境约 100 km 处,机上 30 人遇难,其中默哈米特·齐亚乌尔哈克总统也在其中。这起事故很可能是人为破坏,使用了低密度炸药,或者使 4 名军事机组人员受干扰或失能。

飞行员用飞机自杀的报道很少。德、美、英曾有人作过调查研究,发表过几篇论文。1993 年德国人 Bernhard Maeulen 报道,在德国致命性的通用航空事故中,因飞行员自杀所致的占 2% ~ 3%,其他航空事故中也有不少涉及自我毁灭和自杀的。1994 年美国人 Unger T. J 根据美国国家安全运输部的事故记录(1979 年—1989 年)发现,有 9 名飞行员用飞机自杀,自杀者都是中年男性白种人,驾驶的都是小型固定翼飞机。尸检发现有 2 人飞机坠毁前已饮弹自尽(头部有枪伤):一名飞行员刚离婚,裤袋里有遗书,一名飞行学员失恋,未经允许驾机起飞,在他的汽车里留下一封绝命书。一名飞行员自杀前曾对他的朋友谈及他的抑郁症并准备自杀(据研究,有 15% 的抑郁症患者最终走上自杀的道路)。一名飞行员告诉他的妻子叫她看着他掉进湖中。还有 3 名飞行员临死前留有遗书,2 人的放在家里,1 人的放在汽车里。1998 年英国人 Cullen AS 写了一篇《航空自杀 1970 年—1996 年英国通用航空事故回顾》论文。在此期间英国 415 例通用航空事故中有 4 起可以完全确定是飞行员自杀,另有 7 起不能完全确定是飞行员自杀。一名 27 岁的飞行学员被公司解雇,不久又被捕入狱,后又取保释放,自杀飞行前一天妻子又闹着离婚,他对妻子说了再见,并让她转告他的一位朋友第二天看着泰晤士河的塔桥。他驾机从塔桥下穿过往北飞,油料耗尽后猛力向地面俯冲。留下的遗书中说他计划了 2 个星期准备了此一生。该论文详细叙述了这 11 起事故的经过,其中 5 名飞行员有精神病史,9 名家庭不和,5 名留下绝命

书 2 名血中酒精浓度高过 200 mg/100 ml 和 313 mg/100 ml ,有 4 名飞行员坠地前在空中做过特技动作以此与自己心爱的飞机告别。

但军事航空中尚无人报道有用飞机自杀的。1988 年美国 Patterson 报道 ,美空军 1950 年—1986 年间平均每年有 4 人自杀或企图自杀。2001 年 12 月又报道 1981 年—1996 年间有 14 名训练有素的飞行员(飞行 2 级)企图自杀 ,平均每年 1 人。以上资料均取自美国空军航空航天医学院航空医学会诊处的病历档案。

二、机械故障

现代战斗机是高新技术的结晶 ,是极其复杂的航空武器装备。飞机由 10 大系统组成 ,除机身外包括动力系统、控制操纵系统、电气系统、座舱显示和记录系统、通信导航系统、机载雷达系统、航空防护救生系统、电子对抗系统、火力控制系统、机载武器系统。每个系统都有发生机械故障的可能。

军事飞行事故中 ,机械原因事故大约占 20% ~ 30%。而造成机械故障的原因主要有 3 个 :一是飞机设计上的缺陷 ;二是工厂生产质量没有达到标准 ;三是维修上存在漏洞。

1. 发动机故障

机械原因事故中 ,大约 40% 是发动机故障。发动机故障中 76% 又是工厂制造时的质量问题。发动机是飞机的“心脏” ,一旦出现大的故障 ,就会空中停车或不能正常工作 ,飞机就会失去飞行动力而造成机毁人亡。

发动机是很复杂的 ,它由压缩器、燃气装置、发动机燃料系统附件、轴承、发动机状态操纵系统 5 大部分组成。这些组成部分都可能在空中飞行时发生故障或损坏 ,而每个组成部分又有各种故障 ,如压缩器故障可导致叶片折断、叶轮掉块、叶轮破裂 ,内部螺栓松脱 ,防喘装置失灵等等 ;燃气装置损坏又可导致涡轮装置故障(涡轮叶片折断、脱榫 ,涡轮盘破裂、涡轮轴折断等)、燃烧室和加力燃烧室故障 ;发动机燃料系统附件故障又会导致零件脱落或损

坏(分油活门顶杆轴承支座脱出,离心飞重转动轴折断、燃料泵转动轴折断等),柱塞、活门、活塞卡死(燃料泵柱塞卡死、活门卡死等),橡胶件损坏;轴承的损坏可分为磨损和断裂;发动机操纵系统故障又可导致加力放不开喷口,最大接不通,加力接不通等。

1945年10月30日,一架美国陆军航空兵的 Curtiss-wright C-46 A 运输机从湖南飞往上海,机上运载 55 名国民党士兵和几门迫击炮以及大量弹药。飞机刚起飞 2min 即坠毁燃烧,仅有 4 名士兵和 2 名美军机组人员幸存,但均受了伤。事故发生在夜里,云高 3 700 m,气候并不是导致事故的因素。起飞前,副驾驶(幸存者之一)已注意到右发动机和发电机有问题。调查结果认为:发动机失去动力和飞机超载是造成事故的主要原因。

1966年8月17日,一架美国海军陆战队的 F-8E 战斗机在越南大南机场刚起飞不久就坠毁于机场附近一个村庄里。当时这架战斗机上携带有炸弹,造成地面 33 人死亡,20 人受伤。事后调查,这架战斗机是因为发动机故障坠毁爆炸的,飞行员弹射跳伞成功。

1983年5月5日,泰国皇家空军的一架 Fairchild C-123 K 运输机在曼谷以北 115 km 处稻田里坠毁、爆炸,机上 30 名军人(包括 6 名机组人员)全部牺牲。据军方报道,发动机故障是这次事故的原因。

1983年6月6日,我国台湾军方的一架 Fairchild C-119 G 双引擎运输机在台湾海峡坠毁。机上包括机组人员在内共有 47 人(8 名机组人员均为军人,其余均为民间人士),仅有 9 人幸存被营救。飞机从起飞至坠水仅有 2min 时间。据报道说,事故原因是右舷发动机起火。

2. 操纵系统故障

飞机的操纵系统故障也是致命性的。造成军事飞行事故的飞行操纵系统故障主要有:拉杆或钢索断脱,外来物卡住拉杆、摇臂;液压助力器、电动助力器、力臂自动调节装置故障等。

液压动力器故障又分为偏心螺栓脱落,关节轴承、分油活门卡

住、液压助力器“扯动”等。电动助力器故障又分液压离合器闭合卡住驾驶杆、摩擦离合器打滑、失调转感器故障等。力臂失调可能由于电动机构卡住、电路故障、气路故障等。

1982年1月18日,美国空军“雷鸟”特技飞行表演队的4架T-38A飞机在内华达州印第安普林靶场上空进行特技飞行训练。第一、二个科目完成很顺利,第三个科目的前半部也正常。但当编队飞到圆弧 $210^{\circ} \sim 220^{\circ}$ 位置时,洛黑少校的长机突然出现异常,没有拉起机头,率领着3架僚机以682 km/h的速度呼啸着向地面冲去,随即响起一声声雷鸣般的巨响,在一片广阔的沙海上燃起了熊熊烈火,4架飞机机毁人亡。这起“雷鸟”特技飞行表演的事故使美国空军大为震惊,这4位飞行员都是美军空军的飞行尖子。长机飞行员洛黑少校是一名有3325h飞行经验的飞行高手,其他3名僚机飞行员也是从飞行部队精心挑选出来的,表演队的T-38A飞机在飞行安全上也是享有盛誉的。当日天气晴好。调查飞机残骸发现,长机的载荷机构与操纵连杆脱落,机构内的弹簧已不见,载荷机构所以被破坏到如此地步,说明曾受到过极大的拉力和剪力。在正常情况下,根本不会用到如此大的力来操纵。当洛黑少校在空中突然发现这部分装置失灵时,曾用极大的力来拉操纵杆,以致机械装置承受不住而解体。飞机坠毁现场,发现洛黑少校的遗体,他的双手仍紧紧地握着操纵杆。据调查分析,这很可能归因于座舱内有异物。当飞机快接近筋斗顶点过载为0.5 G时,座舱里的异物(螺铆之类)卡进了操纵平尾的机构里,导致载荷机构失灵。由于长机的水平尾翼操纵机构故障,飞行员使尽了全身力气猛拉操纵杆,也未能将飞机拉起来,最后率领全队冲向地面坠毁。

3. 飞机燃料系统故障

飞机的燃料系统有2种故障可导致严重飞行事故:一种是供油中断,引起发动机停车;另一种是燃料系统漏油,引起空中着火。

供油中断可能因油箱不输油、燃料开关自动关闭、零过载飞行时间过长等。燃料系统漏油可能因油箱盖未盖好、导管漏油、油箱破裂、油箱通大气系统漏油等。

1984年,我海军一名飞行教员检查一名飞行员复杂特技飞行技术。因飞机在起飞前未按规定加足燃油,飞行中因燃油耗尽而发动机停车。飞行员弹射跳伞成功,飞行教员在场外迫降,身负重伤,飞机损坏。

1989年,我空军一名飞行员进行训练飞行,也因飞机起飞前未加足燃油使2台发动机在空中停车,幸好飞行员沉着,迫降成功,但飞机被损坏。

4. 航空油料污染

航空油料的质量事关飞机安全。航空油料分航空煤油、航空液压油和航空润滑油。

✦航空煤油是发动机的燃料,它的润滑性差可以引起发动机主燃油泵柱塞磨损、卷边、掉丝,使发动机启动困难,慢车转速下降,甚至自动停车。航空煤油的热氧化稳定性差和清洁度差,可引起发动机燃油系统各类活门,如起动回油活门、分油活门、增压活门、安全活门、加力电磁活门等锈蚀、紧涩、卡住,导致发动机空中停车、松动、启动困难和副油箱不输油。航空煤油生炭性高,可引起发动机喷咀积炭严重,使喷咀性能差,火焰筒裂纹、变形,涡轮叶片和导向器叶片烧蚀、变形、裂纹,使燃烧效率降低,发动机振动、启动困难甚至打伤发动机。航空煤油中有些抗烧蚀添加剂可降低飞机抗静电起火。

✦航空液压油如果润滑性差可使柱塞球面剥落。清洁度差(混入沙子、纤维毛,各种金属粉末如铁、锌、铝、铜等)不仅使部件磨损,破坏密封,降低寿命,甚至使整个液压系统发生严重故障。

✦航空润滑油也可能被严重污染,可导致发动机轴承磨损,发动机振动,油耗增量大,离心活门轮轴等故障。

1984年法国空军一架幻影2000战斗机在飞行训练中因发动机推力明显下降,无法保持正常的飞行状态,飞行员被迫弹射跳伞,飞机坠毁。事后查明是因航空煤油污染所致。

1985年我空军某部一架安-26运输机准备转场飞行。在地面启动发动机滑行时,发动机突然自动停车。后经检查发现,在抽出

的航空煤油中渗入的水分竟占 30% ,约有 1t 水。幸亏飞机刚刚滑出尚未起飞 ,如果飞机升空 ,发动机全部停车 ,必将造成严重飞行事故。

1997 年 12 月 6 日 ,俄罗斯空军的一架安-124 运输机在伊尔库茨克刚起飞不久 ,4 台发动机有 3 台损坏 ,结果飞机坠毁 ,机上 23 人全部遇难 ,同时造成地面 44 人死亡。事后查明 :这次飞行事故的原因是因为冬天仍然使用夏天用的燃油。

5. 其他机械故障

1980 年 6 月 3 日 ,英国空军 111 中队的一架鬼怪式战斗机 XV 589 号进行训练飞行 ,在下滑着陆高度大约 100 m 时 ,机头雷达整流罩向右侧打开。由于不对称的阻力使飞机向右滚转和偏航 ,无法正常驾驶 ,飞行员和领航员均安全跳伞 ,飞机坠地后爆炸起火。检查飞机残骸发现 ,雷达罩的锁闭机构并未断裂 ,但锁销和插座都有严重磨损 ,检查其他鬼怪式战斗机也发现有类似现象 ,因此事故的原因很明确 :由于锁销和插座在长期使用中严重磨损 ,在加速度、气动载荷和震动作用下 ,雷达罩自动开锁。

1994 年 10 月 4 日 ,巴西空军的一架洛克希德 C-130 E 四引擎涡轮运输机从里奥地加尼罗飞往巴拉州的贝拉姆。当时正是黑夜 ,飞机飞至布拉西里亚西北 400 km 处坠毁 ,机上 21 名巴西军人无一生还。这架飞机失事的原因很可能是机上的军火品爆炸。因为机上装运了大量的武器弹药。

1991 年 5 月 29 日 ,英国空军的一架鹞式 GR. 7 垂直起降战斗机因空中断电 ,飞机无法驾驶 ,飞行员弹射跳伞成功 ,飞机坠毁。同年 7 月 16 日和 7 月 29 日 ,又有 2 架鹞式战斗机(分别为 GR. 5 和 GR. 7)在飞行中断电和着火 ,飞行员均应急着陆成功 ,后机身的着火在着陆后被迅速扑灭。原来后机身内从变压整流器和配电板引出的导线束短路 ,造成空中断电和着火。这种导线的绝缘层太薄 ,在发生摩擦时 ,很容易造成短路 ,发生拉弧和着火 ,后对 79 架鹞式战斗机该部位的导线都做了更换。

1969 年 1 月 14 日 ,美国海军核动力航空母舰“企业号”正行

驶在夏威夷檀香山西南 120 km 的太平洋上,有几架飞机在飞行甲板上正准备起飞。这时一架 MD-3A 直升机的启动装置正挨着一架 155804 号的 F-4J 战斗机,启动装置上喷出的气体冲击这架 F-4J 右机翼上的 Zuni 火箭发射架,架上有 4 枚火箭,立即引起爆炸,接着引起了飞行甲板上的一系列爆炸。结果造成 27 名军人死亡,350 人受伤。毁坏 8 架 F-4J 战斗机,6 架 A-7B 攻击机和一架 EKA-3B 飞机,直接经济损失超过 5 000 万美元。F-4J 和其他 4 架飞机的油箱损坏使火焰迅速蔓延到整个航空母舰的飞行甲板。40min 后火势才得以控制,2h 30min 后才完全扑灭。MD-3A 与发射架之间的距离仅为 60 cm,事后进行类似环境的模拟试验,不到 1min 时间,Zuni 火箭的战斗部就发生爆燃。事故调查的最后结论认为:事故的主要原因是 MD-3A 的启动装置设计上有问题。事故后 1 个月内对操作规程和安全注意事项重新进行规定,并准备对 MD-3A 启动装置进行更换和改型。

三、环境因素

环境因素主要是指天气变化,也包括鸟撞、火山爆发等其他因素。

天气与飞行安全密切相关,因为飞机是在地球大气 2030 km 以下范围内活动的,特别是飞机起飞着陆时,在离地面几百米的大气环境影响尤为突出。

可以说,天气影响飞行的全过程,气压、能见度、风、云、降水等都与飞行安全有关。飞行员着陆前必须准确了解场压(机场跑道上 3 m 高度的大气压力)。在 500 m 以下,标准大气压条件下,每上升 12 m 气压下降 0.1kPa(1 mmHg)。飞行员必须根据场压调整好高度表指针,使高度表指针指到零时,飞机轮子正好接地。如果场压多报 0.6kPa(5 mm Hg),高度表指针未指到零飞机就接地,可能机毁人亡。如果少报 0.6kPa,指针指零时飞机离地面还有 60 m,可能会冲出跑道撞在附近建筑物上。能见度差使飞机着陆时很难对准跑道,也很难掌握着陆时机,在飞行中容易与山头和高层

建筑物相撞,起飞时也容易偏离跑道。一般运输机的能见度要在 1 000 m 以上,喷气式战斗机要求能见度在 4 000 m 以上。风对飞行安全影响更大,在着陆过程中发生的严重飞行事故有 20% 是侧风造成的,因为侧风可使起飞和着陆的飞机发生扭转和倾斜,特别是强侧风可使飞机偏离航线。不规则的升降气流可使飞机发生颠簸,甚至会损伤或折断机翼。下降气流按速度大小可分为下沉气流、下冲气流和下击暴流 3 种,如果遇上后 2 种气流(风切变),往往凶多吉少。低云和直层云离地几十米至 1 500 m,可使能见度变坏,飞机难以起飞和降落,下雨和下雪使跑道变滑,能见度差也不利于起飞和着陆。飞机飞过有过冷却水滴的云层时,飞机机身、发动机和天线容易结冰,如遇雷暴天气,飞机可能会遭雷击或使飞机失去控制而坠地。

1. 突发性低碎云

突发性低碎云是指高度低于 200 m,突然出现的碎云。它对飞行的危害有 2 个方面:一是妨碍飞行员的目视着陆;二是在云中容易发生错觉。突发性低碎云有许多种类,对飞行有较大影响的有以下 4 种。

✦晴天碎云。这种突如其来的碎云,云量大于七成,云高低于 400 m,会使飞晴天简单气象的战斗机飞行员突然面临危险。

✦海上回流低云。在沿海机场飞机起飞着陆时可能会遇到这种低碎云。当有从海上吹来暖湿空气时,易形成范围广、云底低的平流低云。高度一般在(50 ~ 500) m,常常笼罩山顶或高层建筑物,有时与平流雾同时出现,平流低云移动很快,能在几分钟内遮蔽机场。

✦局地扰动性低云。由于机场周围特殊的地形再加上一定的气象条件可形成局地扰动性低云。这种低碎云往往是突发性的出现,对飞行安全造成威胁。

✦降水云层下的低碎云。在降水性云层如积雨云、雨层云的下面常常有碎雨云,高度在(30 ~ 300) m 之间,而云量变化迅速,时生时消。

1939 年 8 月 15 日,德国空军的第 76 俯冲轰炸团进行云上航

行、云下突袭目标的战术训练。当天起飞时突袭目标地区的天气正适合于训练。云量 10 个,云顶高 2 000 m,云底高 900 m。这个团的 27 架 JU-87 俯冲轰炸机全部出动,以 9 架飞机为一队,共分 3 队,起飞上升后保持飞行高度 3 000 m 飞向目标区,至目标区后以密集队形穿云下降。在机群飞往目标地区时,该地区的天气发生急剧变化,云底高已降到 100 m 以下。但领队仍以为云底高还是 900 m,在带队保持密集队形穿云下降时,未能及时检查高度,当他在云中发现云下发暗时,知道离地面太近了。一面吼叫“拉起来!拉起来”,一面急忙拉杆退出下降。这位领队的飞机距离地面仅数米才将飞机由下降改为上升,而他的僚机第 2 队的 9 架飞机有许多因来不及退出下降相继撞地。还有几架飞机因飞行员退出下降时拉杆过猛,使飞机失速坠地。先后有 13 架飞机坠毁,26 名飞行人员死亡。

2. 恶劣能见度

能见度是指可见距离,一般用 km 或 m 来表示。用专业语言来解释的话,能见度是飞机接地点从飞行员眼睛的平均高度上观察起飞着陆方向时,能看清跑道或灯光及标志的最远距离。造成能见度恶劣的原因有 2 个:一是微小的固体粒子在空中飘浮,这类固体粒子有烟粒、尘埃和沙土等;二是水蒸气和水在其他形态在大气中出现,如雾、雨、雪、冰晶等,从天气现象讲则为浓烟、沙尘暴、大雪、大雨、雾等。其中雾对能见度的影响最为常见,尤其在沿海及内陆大水域附近地区。大雾严重影响飞机的起飞和着陆。北方冬季城镇附近的机场浓烟也是影响能见度的重要原因。

1945 年 10 月 16 日,一架美国陆军航空兵的 Curtiss-Wright C-46F 双引擎运输机从湖北汉口机场飞往北京。在北京附近遇恶劣天气,云低 100 m,能见度 1.5 km,飞机与商用无线电转发塔相撞,坠毁燃烧,机上的 55 名国民党士兵和 4 名美军机组人员共 59 人遇难。该地区当时没有无线电信标设施,这座商用广播站是作导航用的。机组人员知道这座转发塔大约在机场 25 km 处,但不知道这座塔有 300 m 高。

1964 年 10 月 19 日 ,苏联一架伊柳辛 11-18 涡轮运输机从莫斯科飞往南斯拉夫 ,在贝尔格莱德以西 15 km 处的 Surcin 机场试图着陆时坠毁。机上 33 人全部遇难 ,其中 11 名是机组人员 ,乘员中有 7 名是苏联的高级军官 ,其中有陆军参谋长谢尔盖·贝里乌佐夫元帅。按地面塔台指挥 ,飞机应从西边进场 ,但该机机长报告说“高度太低 ,不能按航线进入” ,随即飞机撞在 520 m 高的阿瓦拉小山上。飞机撞在离山峰仅 35 m 山顶上 ,飞机撞击后立即爆炸。当时天气恶劣 ,风雨交加 ,又有雾 ,风力 46 km/h。

1965 年 12 月 11 日 ,美国空军的一架 Fairchild C-123B 双引擎运输机从南越的扑来可(Pleiku)飞往杜霍(Tuy Hoa)机场。在离目的地大约 30 km 处飞机坠毁 ,机上 85 名南越士兵和 4 名美国空军的机组人员全部死亡。飞机显然是向东南方向飞行的 ,并且往下降。开始时 ,飞机撞在 1 200 m 高的山上的树上 ,以后又飞行了一段短距离 ,最后垂直下降 ,以平螺旋的形式撞地。飞机撞地后解体 ,燃烧。当时该地区天气不好 ,云高仅(15 ~ 300) m ,并有降雨和多变的风。由于天气不良 ,搜索营救工作十分困难 ,持续了约 2 周。因为坠毁地点地处条件十分恶劣的山区 ,飞机残骸无法回收 ,也不能在地面作检查。天气条件差 ,能见度低是其中一个原因。

1982 年 6 月 1 日 ,一架韩国空军的 Fairchild C-123 双引擎运输机在起飞后不久坠毁于汉城东南 15 km 处 ,机上乘员是韩国空军的伞兵 ,包括 4 名机组人员在内共 53 人全部死亡 ,死亡人数与 4 个月前的那次 C-123 运输机空难正好一样多。这起事故也是在恶劣天气下发生的 ,天气不好可能是引起这起事故的主要原因。

1998 年 5 月 5 日 ,秘鲁空军的一架波音 737 飞机运载一批石油工人飞往美国公司的营地。在离安道斯(Andoas)机场以北 5 km 处 ,飞机坠落在一片沼泽地里 ,然后起火烧毁。这起事故使机上的 87 人中有 74 人遇难 ,7 名机组人员中有 2 人幸存 ,他们和其他 11 名乘客均受伤。当时天气不好 ,正下着蒙蒙细雨 ,天色昏暗。

2003 年 5 月 26 日 ,一架乌克兰的雅克-42 飞机从吉尔吉斯斯坦首都比什凯克飞往西班牙。途中因遇大雾试图在土耳其黑海城

市特拉布宗附近降落时撞在一座小山上,飞机爆炸发出巨大声响,坠地后燃起熊熊大火,机上 74 人全部遇难,其中 12 名是机组人员,62 名是刚从阿富汗执行维和任务归来的西班牙军人。

3. 风切变

在不大的空间范围内,风向、风速沿水平或垂直方向发生较大甚至急剧变化。在对流层的各个高度上都能发生风切变。但低空的风切变对飞机的威胁最大,主要影响飞机的起飞和着陆的安全。严重的风切变可发生 180° 的风向改变,而风速的变化可达到 90 km/h 。风切变主要由雷暴、天气锋即冷暖空气的交界面、逆温层等热力因素以及复杂的地形、地貌和摩擦等因素引起,见图 2-10 所示。

风切变通常可以分为 3 种情况:水平风在水平方向上,风向和

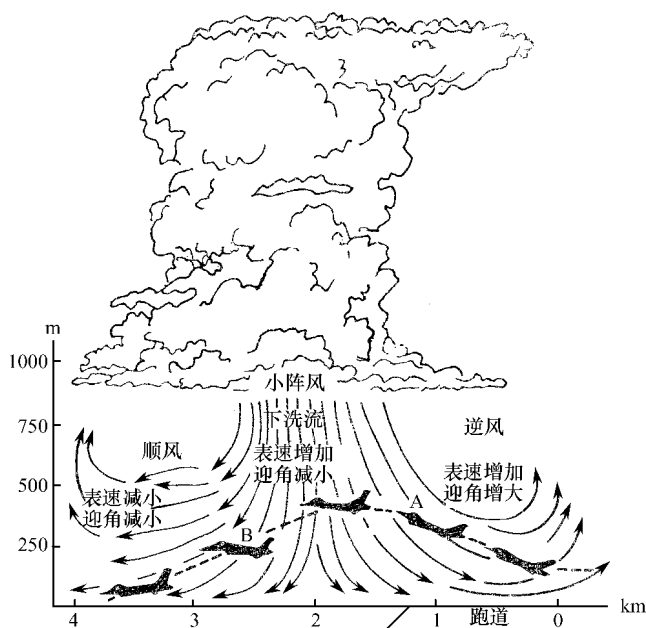


图 2-10 风切变

风速的剧烈变化;水平风在垂直方向上,风向和风速的剧烈变化;

垂直风在水平及垂直方向上的剧烈变化。

在风切变中有一种名叫“下击暴流”的风切变,它对飞行事故有严重的威胁。这是一种空间范围不大的急速下冲的气流,速度可小于 10 m/s 。它在临近地面时向四周散开。当飞机遇到下击暴流时,可感受到下击风、尾击风、迎面击风和侧击风,这要根据飞机与下击暴流中心位置的相互关系而定。下击风会将飞机压向地面,尾击风可减少飞机的有效空速,使飞机失去升力,如果飞行员处理不当,这两种风可导致飞行失事。

1969年4月25日,美国空军一架洛克希德 EC-121R 运输机在恶劣气象条件下,坠毁在泰国曼谷东北 250 km 可拉特(Koratt)空军基地西南 6.5 km 一片平坦的地面上,机上 18 名机组人员全部遇难,地面有一名小女孩受轻伤,这架飞机是执行战斗任务刚在 1 min 之前从可拉特空军基地起飞的。飞机刚爬升到 150 m 就坠落地面,然后爆炸、燃烧。当时该地区有雷暴,云底高 $1\,000\text{ m}$,能见度 3 km 。事故调查认为:这架飞机进入了严重的风切变,飞进了风速 37 km/h 的风中,然后又进入达到接近飓风速度的尾风中,导致飞机不可控制地下降,无法保持飞机状态而坠毁。

1982年2月5日,韩国空军的一架 Fairchild C-123 运输机参加一次军事演习,飞机快要着陆时撞在哈拉(Halla)山上。包括 6 名机组人员在内的所有 53 名机上人员(均为韩国现役军人)遇难。这起事故是在非常恶劣的天气中发生的,很可能遇上了严重的下洗流。

风切变这个怪物不仅对军用飞机肇事,对民用飞机也不留情。1982年7月9日,一架泛美世界航空公司的波音-727 客机在美国新奥尔良国际机场遇到风切变,造成严重事故,机上 145 人无一生还,地面有 8 人死亡。飞机在起飞后开始爬高时遇到阵风,飞机速度比规定小 74 km/h ,飞机升力减少,使飞机机头急剧下俯,飞行员迅速加油门,猛拉杆,试图抬机头,但没有效果,几秒钟后,飞机即坠毁。

4. 飞行结冰

飞机结冰是飞行中飞机表面水分凝结成冰的现象,一般分为凝华结冰、干结冰和水滴结冰 3 种情况。

✦凝华结冰是飞机从负温区进入正温区时,因飞机表面低于 0°C ,可使周围空气中的水蒸气直接凝结在整个飞机表面上的冰。

✦而干结冰则是飞机在云粒为冰晶或云粒为冰晶与液态水滴混合的云中飞行时,因气动加热或因加上接通力防水系统使飞机迎风表面温度达到 0°C 以上,使冰晶沉积并冻结在飞机表面上的冰。发动机进气道拐弯处和进气部件迎风部位容易形成干结冰。沉积的冰晶层不断脱落而冲入发动机内,严重时打坏压气机的叶片,或者使发动机灭火。

✦水滴结冰是指飞机飞过结冰云层时,过冷的水滴撞击并积聚、冻结在飞机迎风面的冰。

影响飞机结冰有 3 个主要因素:即液态水滴的密度、气温和水滴的大小。液态水滴的密度达到 0.5 g/m^3 以上,气温在 $0^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ 之间,水滴的直径大于 $15\text{ }\mu\text{m}$,飞机表面就会结冰。有时云中有比较大的液态水滴,直径为 $50\text{--}500\text{ }\mu\text{m}$,这样大的水滴通常称为过冷大水滴,这意味着可能会造成非常危险的结冰。在相同条件下,小机翼要比大机翼更为危险。

冰的类型可分为雾凇冰、雨凇冰和级冰(step ice):雾凇冰通常发生在气温 -15°C 以下,液态水滴密度较小时形成,水滴附着在飞机表面时立即成冰,冰的形状成流线型,很脆,透明,成乳质状;雨凇冰则透明而不规则,有 1 个或 2 个角,水滴碰撞在飞机表面上形成。级冰是一种冰脊,可积聚在机翼上。

只有层云和积云有过冷水滴可使飞机表面结冰。层云又包括层云、层积云、高层云和雨层云。飞机结冰的高度大多在 $(0 \sim 6.7)\text{ km}$ 之间,垂直方向的厚度不会大于 2 km ,而水平方向的距离可达几百公里。液态水滴含量较低时 $(0.1 \sim 0.9)\text{ g/m}^3$,其水平方向的距离则一般不超过 10 km 。

飞机结冰对飞行安全的影响取决于飞机的设计、形状,冰的形

状、粗糙度和结冰的数量。飞机各部件迎风表面均可发生水滴结冰;升力表面结冰可使翼型阻力增加 40% 以上,升力下降 30% 以上,临界迎角减少 6° 以上,从而影响飞机的操纵性和稳定性;发动机进气道前缘及进气部件结冰,可降低发动机的功率,甚至损坏发动机;螺旋桨结冰可使其效率降低,冰层脱落时可打坏发动机和击破座舱蒙皮;风挡玻璃结冰使飞行员无法观察舱外情况;测温、测压传感器结冰,使仪表显示错误;天线结冰会使电子设备无法正常工作,可能会中断与地面的通信联络。这些情况均可导致飞行事故的发生。

✚1995 年 1 月 29 日,美国第一架 X-31 高机动性验证机在飞行试验中因皮托管结冰,飞机大幅度地俯仰振荡和滚转,飞行员弹射跳伞成功,飞机坠毁。这起事故原因是科研人员为了获取飞机大迎角飞行的数据,飞行前故意将皮托管测压管的加热系统切断,但未告诉试飞员,致使皮托管测压管在高空飞行时结冰而造成事故。

✚2003 年 2 月 19 日,一架伊朗空军的伊柳辛军事运输机在离伊朗南部城市克尔曼 35km 处的山区坠毁。机上乘员均为伊朗革命卫队的官兵,包括 18 名机组人员在内的机上 302 人全部遇难。飞机失事的原因是遇到了暴风雪。

5. 雷暴

任何带闪电和雷声的局部风暴称为雷暴。它由积雨云产生的,往往伴有阵雨、暴雨,有时甚至还会有各种大小的冰雹。地球上每秒钟有 100 多次闪电,雷暴 44 000 个。雷暴的形成至消亡最短的 20 多分钟,长的达几小时。它由上升、成熟和消散三个阶段组成。飞机遭雷击,最危险的是油箱着火,而更多的是击穿飞机的表面和电子设备失灵或被烧毁。1978 年 12 月,美国空军的一架飞机进入雷暴云中,因遭到雷击,引起机翼油箱爆炸,造成机毁人亡。飞机各部件受雷击的概率是不同的。雷达天线为 27%,机翼为 22%,机尾为 21%,机舱为 15%,螺旋推进器为 7%,指南针为 2%,监视窗为 6%。

雷暴强大的电流场常使飞机的无线电通信中断,电子设备受

到干扰。

有一次,一架美国空军的空中加油机执行为 SR-71 侦察机空中加油的任务。据气象预报,在加油航线附近有 45 级雷暴。加油机在空中飞行 5h 后,进入了加油航线。不久,一堵雷暴墙横在航线上,云顶高 15 000 m,地面已出现雷雨大风。此时 SR-71 侦察机在雷暴的另一侧正等待加油机,加油机不幸钻进了云层里,飞机遇上了一阵暴雨,接着又遭遇冰雹的袭击,在强烈的湍流中,飞机上下颠簸,升降率达到 120 m/s,座舱玻璃上发生蓝色的电火花,飞机周围响起雷声并伴随着刺眼的闪电。飞机上的交流电源断电,改用了直流电。飞出雷暴区以后,又重新启动了两台发电机。飞机着陆后,经检查发现雷达天线罩上有一个直径 30 cm 的大洞,这是被雷暴击穿的,这是不幸中的大幸了。

1998 年 5 月 25 日,一架老挝空军的雅克 - 40 飞机运载着一个越南代表团从越南飞往西安可安(Xiang Khoang)。当时正下着倾盆大雨,雷声隆隆,飞机正准备着陆时撞在大约 1 800 m 高的丛林小山上,飞机在丛林中坠毁,机上的 26 人全部遇难。

6. 鸟撞

飞鸟撞击飞机的力与鸟的自身重量成正比,与撞击时飞机飞行时速度的平方成正比。一只 1 kg 重的飞鸟与飞行速度 180 km/h 的飞机相撞,冲击力为 1.3t。如飞行速度为 900 km/h,则冲击力达到 31.6t。7 kg 重的飞鸟与飞行速度 900 km/h 的飞机相撞,冲击力高达 100t,可见鸟撞的破坏力是相当大的,特别是飞机在高速飞行时发生鸟撞。

鸟撞飞机风挡玻璃和发动机会造成非常严重的后果。美空军 1983 年至 1987 年间共发生 2 417 次鸟撞风挡玻璃或座舱的事故,其中有 51 次鸟撞到座舱里面,造成 2 名飞行员死亡和巨大的物质损失。因此,美空军对座舱结构和玻璃的强度提出统一要求,进行了加固。当飞行速度为 950 km/h 时,应能承受 1.6 kg 重鸟的撞击。对发动机的要求是:如果一次进入进气道 16 只鸟(总重量不超过 13 kg)或一只 1.6 kg 重的鸟进入发动机进气道,发动机不会

停车,仍可正常运转。另外鸟撞在副油箱上可将副油箱撞裂漏油。

空中鸟撞时,飞行员往往能听到“砰、砰”的声音,声音的大小与鸟的大小和撞击的部位有关。此外,飞行员还能感到飞机抖动,发动机短时转速下降。进气道、发动机损坏可致发动机停车。鸟撞的飞机部位会留下鸟血、鸟毛或鸟肉。发动机一级压缩器叶片尖部的进气边缘有变曲、变形、卷边,但无撕裂、掉块。

鸟撞与季节和地区有关。在北方地区,春、夏、秋鸟撞发生的可能性较大,因为冬季鸟类活动较少,而南方地区一年四季均可发生鸟撞。在机场和江河、湖泊地区发生的比例也较大,鸟撞多发生在飞机起飞、爬高、进场、着陆、低空飞行或超低空飞行时。据国外1985年39个国家统计,240 m以下发生的鸟撞占84%。

据美国空军2002年4月18日统计,1985年至2002年4月18日美国空军共发生鸟撞49 005起,直接经济损失6.07亿美元,平均每年发生鸟撞2 723起,其中以2001年为最多,发生3 751起。按飞行阶段划分:低空巡航占56.10%,起飞滑跑占16.61%,巡航占2.37%,着陆进场占2.18%;按飞行高度计,500 m以下有23 085起,占66.25%,1 500 m以下有30 965起,占88.81%。鸟撞主要发生在低空,但高空也有鸟撞发生,数量很少,15 000 m以上有24起。从飞鸟撞击飞机的部位来看:撞击机翼和旋翼有9 987起,占19.18%,雷达天线罩和机头有8 752起,占16.81%;风挡玻璃和座舱有7 959起,占15.29%;机身、天线和蒙皮有5 362,占5.36%。以鸟类分:角百灵有1 158起,美洲哀鸽748起,家燕559起,红头美洲鹳438起。详细情况可参见表2-3至表2-8所示。

表 2-3 美国空军每年鸟撞次数及经济损失
(2002 年 4 月 18 日统计)

年份	经济损失(美元)	次数	每起鸟撞损失(美元)
1985	5 452 151.00	2 634	2 069.91
1986	18 079 969.00	2 757	6 557.84
1987	240 977 822.00	2 672	90 186.31

(续)

年份	经济损失(美元)	次数	每起鸟撞损失(美元)
1988	4 000 668.00	2 607	1 534.59
1989	24 862 405.00	3 014	8 248.97
1990	7 800 236.00	2 907	2 683.26
1991	17 994 106.00	2 671	6 736.84
1992	26 025 497.00	2 225	11 696.85
1993	14 471 902.00	2 418	5 985.07
1994	15 734 866.00	2 361	6 664.49
1995	84 803 447.19	2 648	32 025.47
1996	7 752 036.15	3 087	2 511.19
1997	9 070 037.59	2 698	2 361.76
1998	29 397 816.11	3 471	8 469.55
1999	33 611 107.11	3 258	10 316.48
2000	34 540 175.72	3 343	10 332.09
2001	31 758 500.41	3 751	8 466.68
2002	1 458 425.84	483	3019.52
共计	607 791 168.12	49 005	

表 2-4 美国空军鸟撞的高度(2002 年 4 月 18 日统计)

高度/m	次数	百分数(%)	累积百分数(%)	经济损失(美元)
0	10 170	29.19	29.19	113 555 297.40
100	4 329	12.42	41.61	19 265 102.99
200	1 881	5.40	47.01	4 403 171.70
300	1 952	5.60	52.61	14 711 536.37
400	842	2.42	55.03	2 010 074.92
500	3 911	11.22	66.25	21 080 684.01
600	705	2.02	68.28	220 688 322.60
700	670	1.92	70.20	48 442 456.92
800	836	2.40	72.60	3 155 039.68
900	218	0.63	73.22	283 112.80
1000	2 962	8.50	81.72	31 941 209.56
1500	2 489	7.14	88.87	14 733 733.29
2000	2 293	6.58	95.45	42 325 131.77
2500	695	1.99	97.44	3 556 083.69

(续)

高度 /m	次数	百分数(%)	累积百分数(%)	经济损失(美元)
3000	342	0.98	98.42	25 799 885.33
3500	162	0.46	98.89	686 396.20
4000	65	0.19	99.08	80 502.00
4500	31	0.09	99.16	5 572.00
5000	24	0.07	99.23	43 085.00
6000	31	0.09	99.32	1 728.00
7000	58	0.17	99.49	85 494.00
8000	35	0.10	99.59	42 594.00
9000	25	0.07	99.66	15 846.00
10 000	42	0.12	99.78	54 392.00
15 000	52	0.15	99.93	750 472.00
> 15 000	24	0.07	100.00	471 177.00

表 2-5 美国空军飞行各阶段的鸟撞
(2002 年 4 月 18 日统计)

飞行阶段	经济损失(美元)	百分比(%)	次数	百分比(%)
巡航	14 390 999.26	2.37	1 673	3.41
巡航上升	7 848 910.93	1.29	1 241	2.53
巡航下降	815 702.77	0.13	498	1.02
低空巡航	340 941 051.28	56.10	7 370	15.04
着陆进场	13 232 609.62	2.18	5 437	11.09
着陆拉平/滑跑	7 341 828.05	1.21	6 078	12.40
着陆航线	9 572 972.91	1.58	4 348	8.87
中断进场或连续起飞	11 983 877.65	1.97	2 669	5.45
滑进停机坪	7 505.60	0.00	80	0.16
远距离作战勤务	61 568 076.11	10.13	479	0.98
起飞爬高	25 435 869.96	4.18	3 213	6.56
起飞滑跑	100 936 803.61	16.61	2 322	4.74
滑行	0.00	0.00	26	0.05
不明	13 714 960.37	2.26	13 571	27.69
共计	607 791 168.12		49 005	

表 2-6 美国空军鸟撞部位(2002 年 4 月 18 日统计)

撞击部位	次数	百分比(%)	经济损失/美元
电子对抗设备吊舱或吊架	659	1.27	4 631 752.44
副油箱	555	1.07	2 324 669.69
机身、天线和蒙皮	5 362	10.30	33 227 186.28
发动机内(未详细说明)	1 129	2.17	247 311 671.58
1 号发动机内	2 845	5.46	126 914 694.84
2 号发动机内	1 980	3.80	102 846 865.44
3 号发动机内	948	1.82	10 879 002.46
4 号发动机内	796	1.53	9 612 973.18
5 号发动机内	55	0.11	522 134.00
6 号发动机内	41	0.08	526 655.66
7 号发动机内	64	0.12	376 848.70
8 号发动机内	47	0.09	358 181.00
起落架	2 959	5.68	3 075 172.52
灯	254	0.49	328 040.22
其他(有详细说明)	200	0.38	1 057 354.61
发动机外(未详细说明)	540	1.04	2 007 430.39
1 号发动机外	911	1.75	27 806 985.25
2 号发动机外	740	1.42	5 926 474.27
3 号发动机外	450	0.86	4 132 694.99
4 号发动机外	373	0.72	2 088 947.00
5 号发动机外	20	0.04	90 236.00
6 号发动机外	25	0.05	426 950.66
7 号发动机外	28	0.05	256 856.94
8 号发动机外	22	0.04	90 851.00
螺旋桨	374	0.72	832 105.41
雷达天线罩和机头	8 752	16.81	25 114 627.05
尾翼和安定面方向舵	785	1.51	2 839 350.82
不明	2 858	5.49	4 446 471.97
武器和导弹吊架	288	0.55	3 345 155.38
风挡和座舱	7 959	15.29	74 141 478.65
穿透风挡玻璃	64	0.12	29 909 492.08
机翼和旋翼	9 987	19.18	40 596 638.67

表 2-7 美国空军鸟撞中最常见的 50 种鸟类(包括蝙蝠)
(2002 年 4 月统计)

名 称	次数	经济损失 / 美元
角百灵	1 158	4 134 109.00
美洲哀鸽	748	1 459 879.04
家燕	559	1 129 652.82
红头美洲鹭	438	35 919 004.84
东美草地鹨	411	431 235.74
红尾狂	376	13 474 080.27
双领鸫	337	251 275.00
旅鸫	336	1 239 176.31
烟卤刺尾雨燕	282	144 371.00
美洲隼	273	554 977.31
原鸽	259	1 546 465.99
紫翅椋鸟	254	12 193 957.55
雀、鹀	247	69 930.00
雀形目鸟	217	251 862.17
美洲夜鹰	203	68 624.00
西美草地鹨	202	286 240.24
美洲崖燕	190	2 276 129.14
楼燕	189	108 214.73
绿头鸭	167	3 636 694.79
黑美洲鹭	166	9 291 671.66
蝙蝠(哺乳动物)	117	339 112.86
云雀	112	20 856.20
黄腰白喉林莺	108	6 548.00
银鸥	105	4 765 259.90
燕	97	10 836.68
鸟鸫	93	97 350.00
斯温氏夜鸫	85	30.284.54
红翅黑鹂	83	267 092.07
牛背鹭	80	347 178.10
紫崖燕	73	6 861.26
针尾鸟	73	913 881.72
海鸥	70	133 555.00
雪鹀	69	258 672.00
美洲乌鸦	69	401 353.44
双色树燕	69	3 508.00

(续)

名 称	次数	经济损失 / 美元
环嘴鸥	68	1 944 449. 09
黑额黑雁	68	82 328 514. 36
剪尾王霸鹟	59	5 063. 28
鹰、鹭、隼等	53	217 631. 23
歌带鹀	53	190 903. 58
小金鸻	51	7 476. 00
鹰	50	576 562. 50
黄昏雀鹀	46	636. 00
笑鸥	45	270 135. 00
未找到羽毛	42	0. 00
雪松太平鸟	41	50 361. 00
红蝙蝠	41	16. 00
美洲瓣蹼鹬	41	208 591. 05
条纹鹰	40	2 158 315. 00
灰猫嘲鸫	40	100. 00

表 2-8 美国空军鸟撞造成的 A 级飞行事故
(2002 年 4 月统计)

年份	坠毁飞机	死亡人数	年份	坠毁飞机	死亡人数
1973	2	0	1989	1	0
1974	2	1	1990	1	0
1975	2	0	1991	1	0
1979	1	0	1992	2	1
1980	1	0	1993	2	0
1981	1	1	1994	2	0
1982	2	1	1995	1	24
1984	1	0	1998	1	0
1985	1	0	1999	1	1
1986	2	1	2000	1	0
1987	2	5	2001	2	0
共计				32	35

1980 年 11 月 17 日早晨 7 时半 ,英国皇家空军的一架“猎迷”反潜机刚从克洛斯(Kinloss)空军基地起飞就碰上了一群鸟。1 号发动机发生故障 ,2、3 号发动机低压压缩机损坏 ,只剩下 4 号发动机尚能正常工作。大约 27s 以后 ,飞机迫降在离机场跑道仅 1200 m 的树林里 ,飞机立即被一片火海吞没 ,幸好 18 名机组人员及时撤离了飞机残骸 ,但飞行员和副驾驶不幸遇难。

1987 年 9 月 28 日 ,美国空军的一架 B-1 B 战略轰炸机在进行低空作战训练时与一只 7kg 重的白鹡鸰相撞 ,当时飞机的飞行高度是 183 m ,飞行速度为 1037 km/h。这只大鸟正撞在 3 号发动机吊舱上方偏左一点的机身上 ,击穿了整流包皮 ,打断了一些导线和导管。一根液压导管被打断后 ,液压油气着火 ,烧坏了 4 个液压系统中的 3 个。3、4 号发动机停车 ,飞机向左滚转并发生剧烈抖动。右坡度超过 30° 时 ,飞机已无法操纵。继续向右滚转 ,高度从 2500 m 急剧下降 ,机组人员只好决定跳伞 ,有 3 名飞行人员跳伞成功 ,另外 3 名飞行人员因来不及弹射与飞机一起坠地身亡。据估算 ,修复这架战略轰炸机费用高达 2.15 亿美元。

1987 年 ,一只重达 7kg 的秃鹰撞在一架美国空军 F-4E 战斗机的座舱盖上 ,秃鹰穿过座舱盖击中飞行员头部 ,飞行员当场毙命。秃鹰及座舱盖的碎片又击中了后座的武器军官 ,使其视力立即丧失 ,无法弹射 ,飞机撞地时身亡。

1995 年 9 月 22 日 ,美国空军在阿拉斯加州埃尔门多夫空军基地的一架 E-3B 预警机(用波音 707 改装)刚起飞就坠毁在离机场 3.5 km 的密林中。飞机在跑道头与 12 只大雁相撞 ,2 台发动机吸入大雁后立即停车 ,飞机马上左滚 ,因高度太低 ,无法改出而坠毁 ,机上 24 人全部遇难。

1992 年 8 月 5 日 ,我空军一名飞行员驾歼 6 飞机进行低空超低空特技飞行训练。完成训练飞行返回机场时 ,突然与几只飞鸟相撞。当时飞行高度 800 m ,飞行速度 630 km/h。飞鸟撞在右发动机进气道和右副油箱支撑杆上 ,右发动机立即停车 ,飞机发生剧烈震动并带着坡度向下俯冲 ,飞行员无法操纵飞机 ,弹射跳伞成

功,飞机坠地爆炸。

1993年2月24日,我空军一名飞行员在一海湾地区进行低空超低空特技飞行训练。在低空飞行时突然与一群飞鸟相撞,2台发动机立即停车,飞行员还没来得及弹射,飞机坠地爆炸,造成机毁人亡事故。

第三章 军事飞行事故调查

一、调查飞行事故的目的

调查军事飞行事故的目的是查明事故原因,提出改进措施,防止同类事故的再次发生。

同类事故是指相同原因造成的类似事故,并非是针对所有飞行事故而言。

1908年9月17日,美国陆军向莱特兄弟公司购买的世界上第一架军用飞机,在迈尔斯堡作最后一次验收飞行时发生严重飞行事故,造成一死一伤。调查结果发现,这架飞机的螺旋桨碰到了方向舵的钢索,使钢索逐渐从箍套中脱出,引起方向舵向侧方偏转,飞机失去操纵。莱特兄弟公司针对这起事故原因,对飞机结构重新设计,保证螺旋桨不再碰到钢索,防止了同类事故的再次发生。由于当时飞机的构造比较简单,所以第一次飞行事故调查比今天的调查要简单得多,但目的是一样的。

1952年至1954年3年中,英国首次投入使用的21架喷气式客机中有8架坠毁,占三分之一还多。机上许多乘客死亡,经济损失惨重。前6起事故经调查没有找到确切的原因,最后1954年发生的2起飞行事故终于促使有关人员下决心进行深入研究,因为这涉及到这种喷气式飞机能否被用作客机的命运。这两起事故调查中,病理学家发挥了重要的作用。

1954年6月10日清晨,一架G-AYP型彗星号航班飞机从罗马飞往伦敦,机上共有35人。起飞后大约25min,只听得空中一声巨响,飞机顿时散成碎片,坠落于意大利阿尔巴(Elba)附近的海中,机上人员无一幸存。大约4h内,在直径1/4h mile的海面上,

有 15 具遗体被打捞上来,发现这 15 具遗体时,仅有 1 具是面部向上的,其余 14 具面部均向下飘浮在海面。有 5 具裸体或几乎是裸体,4 具遗体身上尚有少量衣服,6 具衣服仍完整。15 人中有 11 人几乎可以肯定遇难时坐在主舱的后部,打捞时发现他们比前面的人身上留有的衣服更多些。遗体被送往阿尔巴(Elba),在 6 月 12 日和 14 日期间,除 1 具因特殊原因外,其余 14 具均由比萨城(Pisa)的 A. Fornari 教授作了全面的尸检。

同年 4 月 8 日夜里,另一架 G-Alyy 型彗星号航班飞机从罗马飞往开罗的航线上失踪,机上有 21 人。次日夜里,英国皇家“鹰”号舰在那不勒斯附近海域打捞起来 5 具飘浮的尸体。据估计,这些尸体已在水中泡了将近 22h,包括 4 月 9 日整个白天。10 天以后,在意大利帕奥拉(Paola)海滩人们发现了第 6 具尸体。这些遗体中,有 1 具衣着完整,1 具尚有部分衣着,其余 4 具都是裸体。所有人都是主舱后部的乘客,前面的座位无人。尚有大部衣服的尸体又是最后排座位上的乘客,4 具遗体 4 月 12 日和 13 日在英国由 Donald Teare 博士做了尸检,在帕奥拉(Paola)发现的遗体则由意大利当局做了检查。

通过 19 具遗体的病理学检查,根据颅骨骨折、胸背部损伤和肺内的损伤,病理学家认为,飞机在坠毁前曾发生过座舱爆炸减压,座舱前上方有结构性破坏,未系安全带的乘客被抛起并与舱壁撞击。当时飞机正向上爬升,高度已达到 9000m,座舱内外的压差达到 51.73kPa(388 mmHg),英国动员海军的舰船前往地中海打捞飞机残骸,最后终于找到了最初爆炸减压的结构件,发现机身前上方有一个 15m^2 的大破口,同时地面也做了大量的模拟试验,确定这 2 起飞行事故原因是机身在高空发生疲劳断裂,发生爆炸减压而空中解体。此后新的飞机设计规范要求飞机有疲劳寿命,这 2 起事故还促成一门新的学科即飞行事故病理学的诞生。

那么,飞行事故调查是否还有其他目的呢?譬如说,追查事故责任。经过近一个世纪飞行事故调查研究的实践证明,在飞行事

故调查中如果将追究责任作为目的,势必使事故调查复杂化,往往导致调查工作的失败。最后的结果是,既查不清原因,责任也难以分清。

因为要查明飞行事故原因主要是通过现场调查和验证分析获取人证和物证:人证主要是指事故当事人和见证人,而物证主要是指飞机残骸和现场痕迹。如果当事人和见证人一心考虑事故责任,他们说的证言很可能是不可靠的,甚至为开脱自己的责任,竭力掩盖或歪曲对自己不利的证据。验证和分析物证的人如果袒护有责任的人而不公正,调查得出的结果就可能是错误的。有些人可能会陷入霍桑效应,也就是说,在进行某种试验时,往往会朝着试验成功方向努力,因而忽略了某些缺点,而使结论导向错误,这是一种常见的心理效应。如果只查事故原因,大家目标一致可以齐心协力。假如把追究事故责任和查事故原因一起进行,往往会引起很大分歧,常常争吵不休,整个调查不可收拾。

因此,飞行事故调查的目的只有一个,把追究事故责任的目的放在一起是不可取的,所有调查过程中所遵循的原则,所采用的技术、方法、装备都要符合找出飞行事故原因这个目的,否则的话,应弃之不用。

二、调查飞行事故的原则

在寻找飞行事故原因的长期实践中,人们总结了许多调查的原则,如调查机构的独立性、调查方法的科学性、理论上的多原性以及调查结果的公开性等等。遵循这些普遍原则的目的就是为了准确、及时地找到事故原因。

①独立性:为了使事故调查客观、公正,必须有一个独立、有权威的常设机构来进行飞行事故调查。所谓独立,就是与飞机设计、生产、使用、维修单位无关。在这样一个独立的机构中,专业调查人员才有可能顶住各方面的压力,摆脱关系、利益、责任等非技术因素的束缚,发挥自己的创造才能。如日本的航空自卫队的飞行事故全部都由“飞行安全管理队”负责。该队由1名空军少将

任队长,全队编制 50 人,由熟悉飞行、飞机维修、航空管制、航空工程、航空医学、航空心理学的专家组成,下设总务部、飞行事故调查部、信息资料部和教育研究部。这样的独立事故调查机构可以避免外来因素的干扰。

②科学性:应该采用先进的装备、技术和方法进行事故调查,使调查的结果更客观,更准确。20 世纪 90 年代后期,开始采用 DNA 技术识别空难遗体。1997 年 8 月 6 日,韩国航空公司的一架班机在 Guan 发生空难,机上 254 人有 229 人死亡,仅有 25 人幸存,其中 22 名是乘客,3 名是机组人员。用以往识别方法,仍有 129 具遗体未能识别。韩国国家科学院和美国陆军的 DNA 鉴定实验室联合对这 129 具遗体进行鉴定,确定了 72 名遗体的身份,其中包括 3 名美国公民。这是首次成功地将 DNA 技术应用于飞行事故调查,取得了很大成功。但用这种高技术手段也只能识别遗体的 55.8%,仍需要不断地改进和发展。测定飞行员脑组织乳酸的含量,有助于判断是否有高空急性缺氧。测定飞行员血流中的酒精和药物浓度,有助于确定飞行员飞行前饮酒和服用药物。被人们称为“黑盒子”的飞行数据记录器(FDR)至今已发展至第三代,第一代 FDR 开始于 20 世纪 50 年代后期,当时只能记录高度、空速、航向、过载、时间 5 种飞行参数。用金属箔或金属丝用作载体,记录器完全用机械传动,因而精度较差。60 年代后期出现第二代 FDR,有模拟和数字 2 种,数字或飞行数据记录器以电子装置为载体,可以记录几十种飞行参数,记录信息的质量也大大提高。20 世纪 80 年代以后发展为第三代 FDR,这是一种固态式的 FDR,以半导体为存储器,它所存储的信息的数量和质量都比第二代有明显提高。由于它没有活动的零件,因而维护也极为方便,可适用于各种类型的飞机,与磁带或 FDR 可互换,可快速地记录和转换数据。飞行数据记录器上记录的大量数据经计算机处理可以绘制出失事飞机的航迹图,尤其是失事前飞机的飞行高度、速度、航向、姿势、发动机和操纵系统状态等数据对事故原因的分析提供十分客观的根据。

③多元性 :如果用飞行事故事件链理论来观察飞行事故原因 ,现在的飞行事故几乎都是由一连串复杂的事件引起的 ,也就是说由许多原因造成的 ,由单一原因引起的飞行事故几乎已经绝迹。以往的飞行事故调查常常在许多可能原因中寻找出“主要原因” ,预防性的措施却是针对主要原因而采取的 ,许多别的次要原因则往往很难采取针对措施。用多原因事件链理论则认为事件链上的每个环节都是引起飞行事故的原因 ,对这些事故原因均不应分主次 ,都应在采取预防措施之列 ,这样 ,对飞行事故原因的调查就更加全面和深入。

④公开性 :公开性是指飞行事故调查的结果应该公开。军用飞机是纳税人的财产 ,因此纳税人对军事飞机使用情况拥有知情权 ,军方有义务将飞行事故调查结果告知纳税人。另一方面 ,为了接受飞行事故的教训 ,预防事故的发生 ,应对所有有关飞行安全的人员进行安全教育 ,公布飞行事故调查结果是对他们最生动有效的安全教育。另外 ,飞行事故调查人员可以从具体的飞行事故案例中学习到许多知识 ,有利于不断提高飞行事故调查的水平。美国军方从 20 世纪 80 年代开始每年公布飞行事故简况和各机种的年度事故分析。英国空军在 20 世纪 90 年代初也公布了以往 25 年间全部军事飞行事故的调查结果。

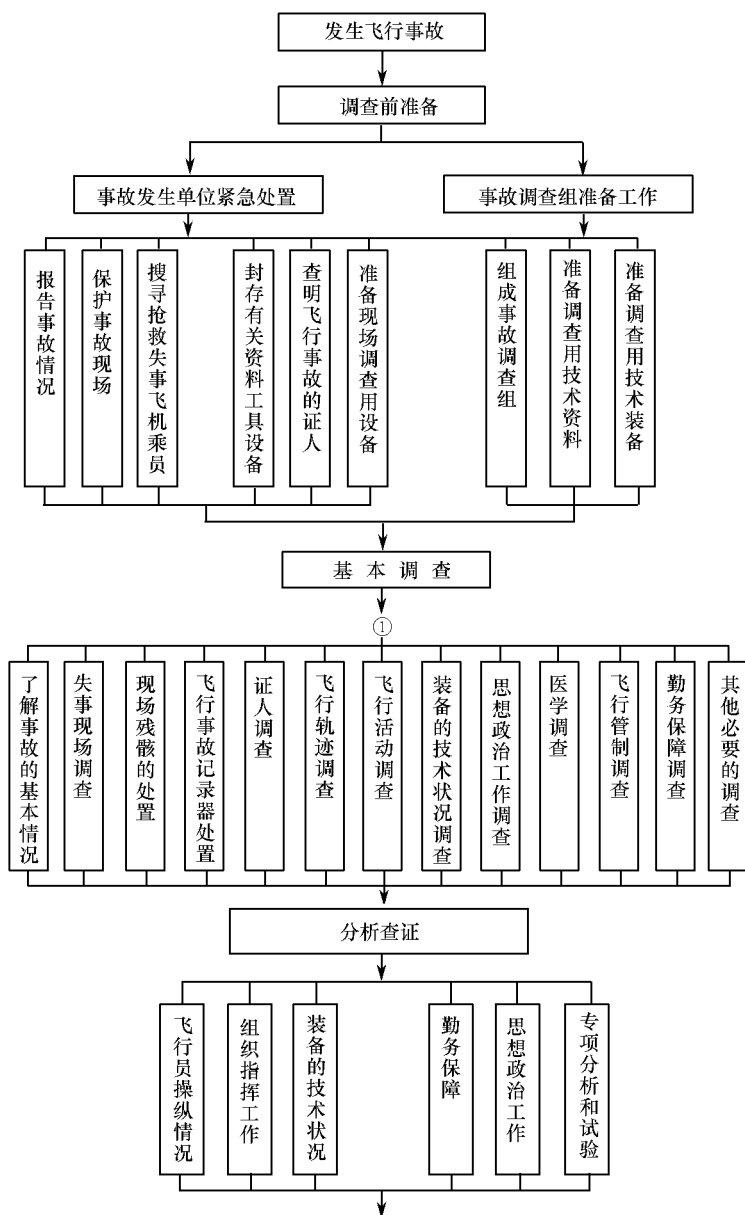
三、事故现场调查

飞行事故的调查是一个非常复杂的过程 ,其大致程序见图3-1 所示。

(一)调查前的准备

飞行事故发生后 ,应立即向有关上级机关报告 ,查封有关的资料和设备 ,作好一切调查前的准备。在事故现场应保护现场、抢救伤员、排除危险 ,等待调查人员到达后 ,立即展开正式的现场调查。

①事故情况报告 报告的内容应包括飞行事故发生的时间、地点、单位、飞行人员和指挥员的姓名与职务 ,飞行事故的简要经过 ,人员伤亡和飞机损毁情况 ,飞机的型号、事故发生地区的天气状况



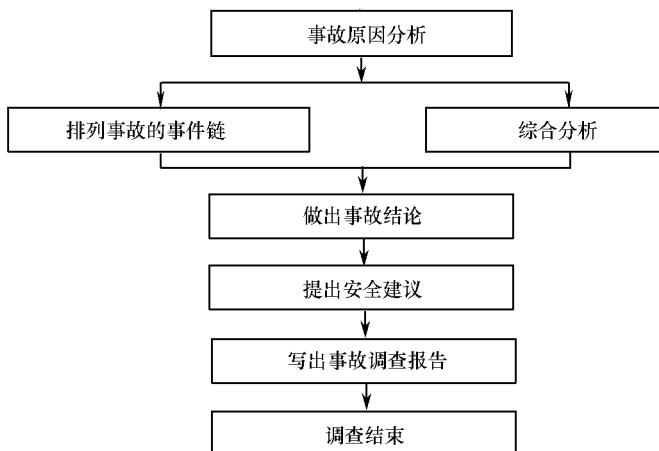


图 3-1 飞行事故调查程序

等等。

②封存有关资料和设备 :为防止丢失和其他意外 ,将真实的记录提交给事故调查人员检查和研究 ,应及时封存有关飞行员健康、飞机维修、飞行安排方面的所有记录 ,包括飞行前飞行人员的体检记录本、飞行人员健康登记本、门诊病历、航医工作日志、飞机维修履历本、地勤人员工作日记、值班记录、飞行计划表、飞行日志、指挥预案、雷达标图、通信、领航、气象、飞行管制方面的记录。

还应封存用于飞机启动的电源设备 ,添加各种油料和气体的车辆和设备 ,各种油料和气体的化验记录等。

③事故调查组的准备 通常事故调查组应由精通飞行、航空机务、飞行管制、航空医学、气象的专家组成。有时可邀请一些其他方面的专家或有关工厂及军代表参与调查。

✚调查组人员必须准备好有关飞行事故调查的法规、标准 ,失事飞机型号的技术资料及该型号飞机飞行员的驾驶手册 ,飞行训练大纲以及其他有关文件。

✚调查组人员应该配备以下物品 :GPS(卫星全球定位仪)、笔记本电脑、手机、步话机、照相机、摄像机、录音机、指南针、计算器、

量角器、领航计算尺、放射线测定仪、20m 卷尺、钢板尺、小型放大镜(6 倍 ~ 10 倍)、手电筒、秒表、彩色油笔以及其他办公用品。

✚ 航空病理学家用于采集遗体标本的试管、塑料袋(瓶)、注射器、冷冻容器、塑料布、折刀、小铲、剪刀、钳子、螺刀、锤子、福尔马林、液体石蜡等,用于遗体解剖的手术刀、探针、组织镊、止血钳、持针器、缝针、线、拉钩、剪刀、工作服、橡皮手套、酒精、药棉、纱布、尸体袋、细绳子、消毒剂等。

④抢救伤员:飞行事故发生以后,救护人员和调查人员应迅速赶赴现场,抢救受伤的飞行人员和其他人员,使他们尽快脱离危险地区。经过初步的急救处置后应尽快送往附近的医院作进一步的检查和治疗。

⑤保护现场:由于飞机坠毁地点千差万别,先期到达失事现场的人员除了抢救伤员以外,应尽力保护现场,使飞行人员遗体、飞机残骸和痕迹免受人为破坏和自然因素的影响。由于飞行人员遗体、飞机残骸和痕迹是飞行事故最后的客观结局,从它们可以推知飞行事故发生的过程,为飞行事故原因的追查提供更多客观依据,必须使它们保持原始状态。现场附近的围观人员可能因出于好奇而取走一些飞机残骸,这对事故原因调查极为不利,应严禁无关人员进入现场。飞行人员遗体、地面或障碍物上留下的痕迹如果难以保存到调查组人员来到时,应该用照相、摄像、绘图或文字描述等方法详细记录。采集遗体有关部位的标本,贮存在冷冻容器内,以便送往实验室检查。对不容易长时间保留的冰、灰、氧气、氮气等应及时进行采集、取样并尽可能保存好。对机上的各种油料应及时取样以备送实验室化验。滑油和液压油可用干净的塑料瓶和玻璃瓶采样,滑油尽可能从动力装置内取出,液压油应从系统的各部位取样,滑油和液压油每个部位的取样均不应少于 50 ml。燃油应从主油箱或动力装置内取出,样品应超过 1000 ml。所有取样容器上均应标明事故日期、取样日期、取样部位、单位、飞机号码、发动机号及取样人姓名。

⑥排除危险:军用飞机往往载有各种武器弹药,如炮弹、炸弹

等,在调查前应将未爆炸的各种弹药清除。如有高压容器,首先应测量和记录当时的压力,然后将其释压或移出安全地区处理。如现场有大量可燃液体溢出,应采取防火措施。如机上有大量复合材料 and 有毒有害液体,调查人员应有防毒措施。如机上载有放射性物质,应对现场进行放射性探测,标出现场的强辐射区并告知所有现场工作人员,采取相应的防护措施。

⑦编制飞行事故证人名册:飞行事故证人应包括失事飞机的乘员、维护失事飞机的地勤人员、紧急救护人员、目击者及知情人等。应记录这些证人的姓名、单位、职务、住址、电话、身份证明等。

(二)坠毁现场的记录

一般采用照相、摄像、绘图和文字描述4种方式。在人为干扰和自然现象作用下,飞机坠毁现场的原始形貌可能会受到破坏,如在人口稠密地区,可能有人会取走飞机残骸。在人迹罕至地区则因风沙、雨雪等的作用,残骸也可能出现假象。另外,在飞机残骸回收时,大块的残骸因为便于运输需要切割成小块并将原来相连的导线切断,应将此类详细情况如实记录。飞机坠毁现场的记录目的在于保存现场的原始形貌,提供给调查研究人员使用,也可以长期保留备用。

记录的主要内容应包括飞机坠毁现场的全景、接地点、主要部件和附件、各种痕迹等等。记录现场全景用摄像的方式更具有优势,可使现场的地形地貌历历在目。照相也可起到异曲同工的作用。如果场面较大,飞机残骸分布较广,一张照片难以概全,可以多张照片分段摄像,洗印后可剪辑拼凑成一张完整的全景图。通过全景图可以判断残骸分布成长条形、扁形或圆形,从而判断飞机坠地前的飞行状态(大角度俯冲、失速、螺旋、平飞等)。接地点的记录主要是反映地坑的形状和尺寸,地坑的形状可能成圆形或长条形,地坑的尺寸应包括长、宽、深,应从顺航向和侧向两种角度拍摄。如飞机撞上障碍物,应该从接地点逆航向拍摄障碍物的情况。主要部件和附件应包括仪表、开关、油门、舵面、助力器、起落架、各种动作筒、发动机叶片等等的状态,从这些部件残骸往往能分析出

飞机瞬间接地时的飞行姿态和发动机当时的状态。各种痕迹如擦伤、血迹、烟迹、油迹、印痕、爆伤痕迹、金属熔化痕迹、橡胶、油漆的划伤痕迹等往往能给飞行事故原因的分析提供蛛丝马迹,因此现场的记录十分重要。此外应详细记录机上乘员遗体的位置,尤其是飞行员遗体与驾驶杆的关系(如飞行员手握驾驶杆,说明飞机坠地前飞行员仍在操纵,意识是清醒的),弹射座椅如救生伞的状态(可判断是否使用了弹射装置)。飞机坠落入大海或大湖中,由于潜入水下照相和摄像需用特殊装备和大笔经费,一般都是打捞起残骸后在岸上进行拍摄。

由于军事飞行事故的发生具有突发性,很难预料何时何地发生,为尽快赶往现场,平时应将照相、录像设备准备好,一旦有事可立即携带全部所需器材随同首批人员进入现场。

有时军事飞行事故发生在铁路、公路、码头、机场或城镇附近,为不影响交通和居民的日常生活,往往在事故调查组尚未来到之前就要清理现场,在清理现场移动飞机残骸之前应尽快用摄像、录像和绘图方式记录现场的真实情况,以提供给调查人员研究分析。

记录现场应尽可能全面,也要有重点,因此应尽可能多拍,以防遗漏。对重要部件尤其是故障件应从多种角度进行拍摄,使其能充分展示故障所在,应用标尺、箭头、字条等说明部件的名称、编码,应注意的重点部位等。如移动以后的照片也应在照片上加以说明,从地下挖出来的飞机残片也应一一予以及时记录。

绘制残骸分布图的内容应包括失事现场的地形、地貌、坠毁地点、死者和伤员的所在位置,飞机主要部件位置,飞机坠毁坑,燃爆痕迹、航迹上的散落物,跳伞飞行人员与座舱盖以及座椅的接地点等等。如果飞机残骸分布面较小,可以绘制以主残骸为中心的极坐标图,绘出各残骸的距离和磁方位角。如飞机残骸分布面较大,可绘制直角坐标残骸分布图,沿主要残骸分布中心取一基线,沿此基线标出各残骸相对于某参考点的距离和垂直于基线的距离。如果残骸碎片数量很多,可用阿拉伯数字或英文字母标上碎片,再在图中作相应的文字说明。分布图上应有标题、坐标、绘制时间和单

位。

照片、摄像和残骸分布图比较形象生动,使人看了一目了然,而文字描述有时可能更加细致入微,可以作为一种补充手段记录现场的真实状况。

(三)遗体的检查

①根据飞机坠毁现场飞行员遗体的身体姿势和面部表情,推断飞行员在坠毁时的驾驶动作和当时的意图:四肢处于正常的驾驶位置,情绪正常,说明飞行员未发现飞行中有紧急情况。这往往发生在空中相撞、撞山等事故中;如果四肢处于正常驾驶位置,情绪紧张,这说明飞行中飞行员已意识到发生了紧急情况,飞行员试图改出,但没有成功,如果飞行员的双肢已经收回,被脚卡器卡住,握布帘把手或应急弹射把手,这说明飞行员已准备弹射跳伞,但为时已晚,未能在安全包线内弹射,延误了弹射时机;如果飞行员遗体的四肢有痉挛性收缩现象,飞行员在坠地前可能已意识丧失。

②记录飞行员遗体与飞机主要部件的位置和关系:肢体断离、抛散情况、受伤部位、程度及性质,衣物和其他随身携带物品如救生伞、救生物品、手枪等的损坏情况,残骸或地面上的血迹和呕吐物等等。

③收集遗体的组织标本,送往有关实验室进行病理学、毒理学和化学检查:如有条件,应将飞行员整具遗体送往航空病理研究机构尸检;如条件不允许,可采集主要脏器的组织标本。每种标本最少采集量是依据测量方法和灵敏度而确定的,一般情况下采集的标本量如下:肝脏 500 g,脑 500 g,肾脏 1 个或 2 个肾各半个,肺脏 300 g,肌肉 300 g,心脏全部,血液 20 ml,尿液 100 ml,脾、胃、肠、骨髓等采取量则根据实际需要而定。组织标本至少需 100 g 送病理学检查,其余的则用于毒理学和化学检查。

飞行事故发生后,遗体的组织标本应尽早采集,并按分类保存在干净的容器里。采集标本的部位应用肉眼观察有病变的地方,并尽可能切取不同部位,切忌用手触摸。用于病理学检查的组织标本常用 10% 福尔马林尽早固定,在容器内福尔马林液应使组织

标本全部浸没。神经组织标本则用中性的福尔马林液固定。供毒理、化学检查的血、尿标本应加 1% 氟化钠防腐,并冷藏和密封。其他的组织块应尽快冷冻保存。

冷藏和冰冻可用干冰(二氧化碳)或盐—冰混合剂 2 种方法:干冰冷冻法是将足够量的干冰放置在一个较大的容器里,再将装标本的容器放入这个大容器中即可;而盐—冰混合剂冰冻法则是将 0.3 L3% 的食盐溶液与 500 g 小冰块混合在一起,再放入用冰箱冷却过的保温瓶内,然后再将装有组织标本的容器放入保温瓶内,把保温瓶的瓶盖拧紧。在运输途中可适当加入食盐和冰块,使标本始终处于冰冻状态。

④推断飞行员是否有迫降或弹射跳伞的意图:迫降往往发生在低空发动机停车、空中停电、迷航等情况时,飞行员因情况紧急无法向地面报告而迫降于机场外。此时飞行员一直处于对飞机的操纵状态,因此从遗体上观察,飞行员的四肢应处于驾驶位置,表情紧张。除此之外,迫降前飞行员按惯例必定先选择一块比较平坦的地面,将副油箱、火箭、导弹、吊舱等外挂物抛掉,收小油门或关车,收起落架,放襟翼。飞机接地前可能会拉动应急抛盖手柄抛掉座舱盖。但迫降时如飞行员发现迫降地点有村庄、人群或障碍物时可能会另选迫降地点而落在不利地形上。迫降时一般飞行速度小,接地角小而仰角大,机尾先着地。以飞行员遗体的姿态再结合迫降时的特点,来判断飞行员是否有迫降意图一般并不困难。

准备弹射跳伞时飞行员遗体姿势的特点已如上述:歼 6、强 5 飞机弹射座椅布帘把手如已拉出,说明飞行员已做了弹射动作,因为飞机坠地时布帘不会有可能拉出。歼 7、歼 8 飞机是用弹射把手抛盖和弹射的,也可先用抛盖手柄抛舱盖,接着握弹射手柄弹射,检查传动机构的残骸即可找到证据。抛盖弹射的飞机,如果舱盖在离飞机接地点后面航迹上较远的地方找到,抛盖装置又处在工作状态,这说明飞行员已经做了抛盖动作。

(四)飞机残骸和痕迹的调查

飞行员的遗体和飞机残骸都隐藏着揭示飞行事故原因的证

据。飞机残骸分布特点和坠地坑的特点可以说明飞机坠地时的飞行状态,飞机是否是失速、螺旋坠地,飞机是否是空中着火、空中爆炸等等。

1. 坠地时的飞行状态

飞机坠地时的飞行状态是指飞机坠地时的飞行速度、姿态和航向,而姿态又包括俯仰角、迎角、侧滑角等。

可以根据飞机残骸分布的特点和坠地坑的特点来推断飞机坠地时的飞行速度和接地角度。因为飞机残骸大小、散布特点与飞机接地速度、角度以及地面的坚硬度有关。

①大速度、大角度坠地:由于飞机带着巨大的能量以 45° 以上的角度撞向地面,如果地面的泥土较松软,可以撞击一个深达 10 余米的坠地坑,大部分残骸集中在坠地坑内。比重大、重量重的一些部件如发动机、机关炮、电瓶、气瓶等都集中在坠地坑的底部。有少量较轻的碎片如蒙皮、框架等,可能散布在坑的前方。见图 3-2 所示。

接地角越大,坑和残骸也就越深,地面的残骸也就越少。如坠落在坚硬的岩石地面,接地角又接近 90° 角时,则坠地坑不会太深,残骸以坠地坑为中心成辐射状分布。见图 3-3 所示。

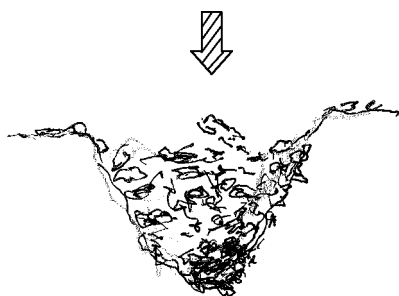


图 3-2 飞机大速度、大角度在松软地面坠地时飞机残骸分布特点



图 3-3 飞机大速度、大角度在岩石地面坠地时飞机残骸分布特点

②大速度、小角度坠地:小角度是指接地角 45° 以下。残骸都集中在坠地坑的前方,而且成扇形散布。比重大、重量重的部件在

扇形的最前面,离坠地坑可达(1~2) km,而接地点附近残骸较少。见图 3-4 所示。

③小速度、大角度坠地:残骸分布的面积较小,前机身残骸在坠地坑中,而尾部机身残骸则多半在坑外,而且比较完整。见图 3-5 所示。



图 3-4 飞机大速度、小角度坠地时飞机残骸分布特点



图 3-5 飞机小速度、大角度坠地时飞机残骸分布特点

④小速度、小角度坠地:从飞机接地点开始残骸沿航迹成带状分布。残骸离坠地坑仅几米至几十米远。见图 3-6 所示。



图 3-6 飞机小速度、小角度坠地时飞机残骸分布特点

在土质坚硬度和接地角相同的条件下,飞机接地的速度越大,飞机破碎的程度就越严重,特别是机身尾部和机翼部分更为明显。

除此之外,还有几种通过飞机残骸和地面痕迹来判断飞机坠地时飞行状态的办法:利用空速表、马赫数表、力臂调节装置和指示器、升降速度表的残骸判明飞机接地时的速度和下降率;利用地平仪、转弯仪的残骸来判明飞机接地时的俯仰角和坡度;根据飞机坠地前与树木、建筑物等碰撞高度变化和到接地点的距离可以判定飞机接地前的航迹角、接地角和坡度;根据飞机初次与地面碰撞

的痕迹来判定飞机的接地姿态。在拉地角较小时,飞机首先与地面碰撞处应该有擦痕,依据擦痕的方向、深度和长度判明航向、航迹角和接地角。翼尖先触地时,往往航行灯罩的碎片残留在擦痕的土层里。如果飞机的接地角较大,空速管、导弹架等可能有插入土中的痕迹。可根据这些痕迹大致推断飞机的接地角。见图 3-7 所示。

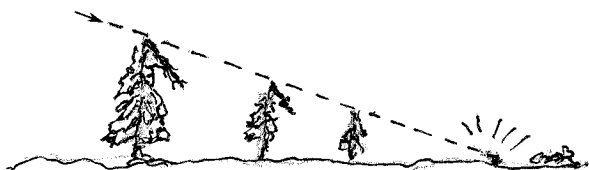


图 3-7 根据飞机坠地前与树木等碰撞的高度、离接地点的距离判定航向与接地角

2. 失速、螺旋坠地时的飞机状态

①失速和螺旋坠地的共同点:残骸分布的面积很小,坠地坑很浅;飞机破碎不严重,残骸的块较大,机翼、机尾可能折断但比较完整;安装在机翼上的发动机可能被甩离机翼,但一般损坏并不严重,而安装在机身内的发动机一般不会脱离机身;飞机接地时无前进速度或很小,但有旋转的痕迹。这些特点与飞机坠地的速度较小、接地角较大有关。

②失速和螺旋坠地的不同点:失速坠地时地面留有飞机有向前运动的痕迹,而螺旋坠地时则没有;残螺旋坠地时,飞机机头下部先接地,然后机身拍在地上,整个残骸像平放在地上一样。反螺旋坠地时正好相反,飞机腹部朝上平放。而失速时飞机机头、尾部或滚转中机翼均可先接地。机翼接地时在地面可划出沟痕,然后进一步滚转反扣。

3. 空中爆炸的飞机状态

爆炸有爆燃和爆轰两种:爆燃是快速燃烧,如黑火药、煤气等的爆炸,爆炸传播速度仅几十米至几百米每秒;而爆轰是一种快速的化学反应,在 $10\mu\text{s}$ 内完成化学反应,以几千米每秒的速度传播。

爆炸瞬间的气体温度可达 3000 , 压力达 $(10^{10} \sim 4 \times 10^{10}) \text{Pa}$, 因而可造成附近物体的严重破坏。这是烈性炸药爆炸的主要形式。

烈性炸药对物体破坏的特点因距离而不同 , 一般分为三个区域 :

✦ 第一区域的范围为以爆炸中心为圆心 , 以爆炸物半径 $(7 \sim 14)$ 倍为半径的圆形区域 , 爆炸物将薄壁金属构件炸成极小的碎片 , 并以高速抛射出去 , 有些小碎片有明显的爆炸特点。

✦ 第二区域在第一区域外面 , 是一个以爆炸物半径 $(14 \sim 20)$ 倍半径的环状区域 , 其破坏力既有爆炸物的直接作用 , 又有冲击波的作用。这个区域内的薄壁金属构件往往被炸成较大的碎片 , 并具有爆炸的表面特点、形状特点和断口特点。

✦ 第三区域是指第二区域以外的区域 , 范围没有明确界线 , 此区域内的物体通常没有明显的爆炸特点。但在带有金属外壳爆炸物爆炸后 , 其碎片能在别的物体上留下撞击坑甚至将其穿孔。烈性炸药爆炸的碎片其初速可以达到 $7\,000 \text{ m/s}$, 因而大的颗粒可以射入金属结构 , 小的颗粒可以穿入人体内 , 这些高速高温的颗粒和它们接触到的物体上都会留下只有爆炸才能形成的各种特点。这为我们事故调查提供有力的证据。

在事故现场我们需检查炸药的残留物和引爆装置的碎片 , 具有爆炸特点的金属碎片和非金属物。

(1) 检查炸药残留物和引爆装置的碎片

现代化学分析技术可以测出 10^{-9}g 数量级的炸药。因为炸药爆炸以后 , 总有很少一部分炸药来不及参加化学反应而遗留下来。它们大多分布在第三区域靠近第二区域的地方 , 第二区域内较少 , 第一区域内则更少。残存的炸药往往粘附在残骸的表面 , 由于它们易溶于水 , 易被雨水洗掉 , 所以应尽快提取。附有炸药残留物的小块残骸可用密封保存 , 大块的残骸可用浸有溶剂的棉球擦抹取样 , 也可用丙酮或甲苯洗刷残骸后将溶剂保存起来。采集所得的样本可用薄层层析法、气相色谱法、红外光谱法、质谱、X 光光谱、X 线衍射分析和扫描电镜分析等方法来测定炸药残留物。

雷管、定时器、电源、导线与引信等引爆装置在爆炸之后会留下残片。只要细心寻找,可以在现场发现。

(2)有爆炸特点的金属碎片

飞机残骸整机拼凑后,机身蒙皮上有辐射状的破坏,蒙皮从爆炸中心向外翻卷撕裂,可凭此来判断爆炸中心的位置。

爆炸金属小颗粒因具有高温、高速,撞击在第一、二区域的金属构件上可以形成大量火山口样的小坑。而不带金属外壳的爆炸物爆炸时,在第一、二区域金属构件上可出现表面点蚀小坑。这些点蚀小坑是由于固体炸药表面微孔在爆炸时造成的高速高温燃气流使金属熔化,燃气进入金属表面内,在压力降低以后气体又逸出而形成的。

在第二区域内,有些受高温作用的金属片表面在半熔化状态时又受强激波斜向冲击可形成水波样的表面波纹,这也是很重要的爆炸后金属表面的特点。

爆炸物的金属外壳或爆炸点附近的铝制件在高温下溶化后,随着快速气流喷洒在其他金属部件表面上,等冷却以后则在金属表面形成一层很薄的金属膜。这种现象称之为金属转移或金属喷涂,飞机坠毁时不可能造成这种现象。

位于第二区域内的飞机铝蒙皮,在受到爆炸压缩波作用后,使其背面产生张力波,表面造成拉伸断裂而形成表面剥离。

铝碎片在高温高速下冲击在别的物件,可将别的物体表面上的纹样烙印在铝碎片上(如布纹),这称之为表面印花,也是爆炸物爆炸后在金属碎片上所特有的。

这些金属碎片表面上的特点只有朝向爆炸物爆炸的那一面才有,碎片的另一面是没有的。另外,爆炸后形成的金属碎片在形状和断口上也有显著特点,在形状上造成卷边、卷曲和剥离。在断口上有锯齿形、反向倾斜和裂缝等。

爆炸物的金属薄外壳或在第一区域内的铝板爆炸后可以形成卷边碎片和剥离碎片,卷边碎片一般成环状,碎片边缘顺气流方向翻卷,弯曲均匀,但曲率半径小。剥离碎片往往很小,可在尸体,行

李等较软的物体中找到。卷边碎片和剥离碎片只有爆炸物爆炸时才能形成。卷曲碎片是金属碎片一头已断离而另一头仍连在金属构件上,受大过载而形成的卷曲,卷曲可能一圈或两圈以上,这取决于金属的厚度和韧度。这样的卷曲碎片在飞机坠地时也可能形成。

炸药在十分靠近金属板处爆炸时,可以在金属碎片上形成许多密集的裂缝,有些裂缝是裂透的,这是爆炸时金属碎片特有的。反向倾斜断口是由倾斜方向 $\pm 45^\circ$ 交变的斜面组成,断口斜面交变的频率随金属构件与爆炸地点的距离远近而变化,距离越远,频率越低。锯齿样断口发生于第一区域和第二区域交界处的金属碎片上,这是撕开力和剪切力同时作用下造成的,齿数可由几个至数十个。反向倾斜断口和锯齿形断口在飞机坠毁时也可产生,应结合其他各种特点加以区分。

(3)有爆炸特点的非金属物件

非金属物件在爆炸时也会形成一些爆炸特点。织物炸碎以后其纤维可随气流射入其他软物体内部。这些织物纤维因受高温作用可能有粘结、端部有熔球,与其他织物有不同的颜色等,在现场如能仔细寻找,不难发现。人的头发在爆炸力作用下会像标枪一样射入座椅垫、地毯等软物体内部。爆炸物外壳的非金属材料 and 爆炸点附近的非金属物可能在爆炸时形成塑料小颗粒或胶质小颗粒,并以高速射入附近的软物体内部。爆炸附近物体上留下深浅不一成放射状的烟熏痕迹,且不易擦掉。这种烟痕的颜色随炸药的种类不同而不同。TNT 如黑索金炸药的烟痕为炭黑色,硝铵炸药的烟痕却呈白色。靠近爆炸物的行李、手提箱、座垫等常被爆炸颗粒击中而留下许多小孔,小孔的壁上为黑色,因为壁上附有黑色非晶碳之故,这是烈性炸药爆炸后的产物。有的小孔尚未完全穿透,此时可在小孔的末端找到金属或非金属的爆炸小颗粒。如用许多条细铁丝穿过这些小孔,细铁丝的交汇处便是爆炸物的爆炸点。在乘员遗体上也可找到爆炸引起的弹片伤、烧伤和冲击伤。射入体内的金属颗粒可通过 X 线照片寻找,取出后可作进一步检查。爆炸

所致冲击伤可引起大面积的皮下出血、鼓膜穿孔、肺部严重损伤等。见图 3-8 ~ 图 3-11 所示。



图 3-8 爆炸后金属表面留下的火山口样小坑



图 3-9 爆炸后金属表面留下的点蚀小坑

4. 空中着火时的飞机状态

在现场调查时,首先需判明是空中着火还是坠毁后起火,如是空中着火,应找出着火的部位、火源和电源,然后进行综合分析,找



图 3-10 爆炸所致金属表面的水波纹

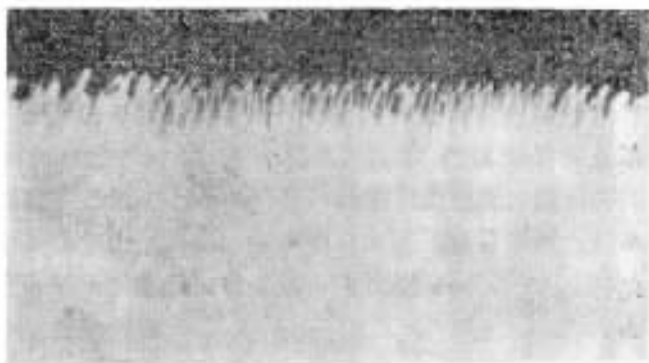


图 3-11 爆炸后金属断口的锯齿形

出这起飞行事故的直接原因。

(1) 空中着火的证据

✚ 空中着火时, 烧伤或熔化的金属件可能会沿着飞机航迹从空中掉下, 所以沿飞机坠地点后方航迹的地面上能找到烧熔、热变色或有烟迹的残骸, 或在坠地点附近找到熔铝泼溅现象, 则可以肯定是空中着火。

✚ 根据残骸上的燃烧痕迹也可以判定是否是空中着火。如在

残骸上找到一个大致成锥体形的烟迹或挂铝痕迹,即可基本断定是空中着火。因为在空中飞行时火焰受气流作用,总是顺气流方向由前向后,由内向外燃烧的。锥体的顶端常常是油箱、导管、附件的破裂漏油处,漏出的油流到发动机高温部件上自燃,火焰又燃烧到漏油的部位,故而形成锥体形。这种烟迹和挂铝痕迹均是顺气流方向,而且是连贯的,在蒙皮接缝处、铆钉、螺钉凸起处尤为明显。见图 3-12 所示。

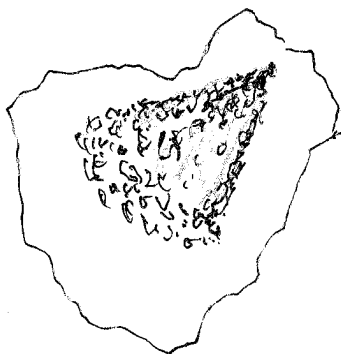


图 3-12 锥体形的烟迹或挂铝痕迹

✚ 高熔点的金属熔化是空中着火的特点。飞机坠毁时机上油料燃烧的温度一般不会超过 1090°C 。而空中着火时,因风助火势,火焰温度可高达 1600°C ,钢和铜的熔点超过 1090°C ,如用这些金属材料做的机上部件熔化可说明是空中着火。

✚ 以残骸烧伤和破坏顺序的不同来区别空中着火还是坠毁后起火。如烧过的残骸断口无火烧痕迹,蒙皮变形处清漆有龟裂状纹路等是先燃烧后破坏,如找到多处残骸是先燃烧后破坏的,则可肯定这是空中着火的证据。

(2) 寻找空中着火的部位

✚ 挂金属熔化物在蒙皮或发动机外壳上的分布不均匀,沿气流方向呈扇形。靠近着火部位金属熔化物较密集,接近着火点的地方甚至连成片。

✦残骸温度超过 370 ℃ 时 ,表面不能粘附烟迹 ,因此在燃烧严重部位的残骸找不到烟迹 ,在扇形面两侧烟迹较明显。

(3)寻找空中着火的火源

空中着火的部位确定以后应接着寻找火源 ,火源往往是在着火部位的附近。火源主要有 3 个部位。

✦发动机燃气装置被高速碎片击穿而造成破口 ,破口有向外的翻边。

✦燃气装置疲劳爆破或烧损。

✦电气线路短路跳火。

经残骸拼凑检查 ,如无发动机破口或者证实破口是坠地后造成的 ,则很可能是泄漏的油液流到高温部件自燃所致。

(4)寻找空中着火的油源

在寻找到空中着火的部位以后 ,就可以找到泄漏油液的油箱、油管 and 附件。航空煤油着火时 ,残骸上的烟痕颜色浅 ,分布均匀 ,厚度薄 ,而液压油和滑油燃烧形成的烟迹呈浓黑色 ,厚而不均匀。

5. 坠水飞行事故的状态

(1)坠水现场寻找困难

飞机坠落在大的湖泊中 ,特别是在深海中寻找坠水地点往往是相当困难的。虽然坠水后不久坠水海域可能有各种漂浮物如轮胎、副油箱、座椅垫等脱离飞机残骸浮出水面 ,也有油迹和气泡向水面冒出 ,但一般小飞机这种油迹和气泡半天以后就会消失 ,大飞机也只能维持几天时间。寻找坠水地点主要靠海上的目击者(附近作业的渔民)和用探测仪器寻找。

(2)现场打捞困难

即使找到了飞机坠落地点 ,打捞飞机残骸也不是一件容易的事。应动员海军和渔民的船只参与打捞。船只到达坠水地点后 ,可用声呐和扫雷仪探测海底飞机残骸位置 ,具体位置确定之后可派潜水员潜入海底查明残骸具体情况 ,然后将大的残骸栓上浮漂 ,给出大致的残骸分布图 ,再用吊车将残骸打捞到船上。海上打捞常常只能得到大块的飞机残骸 ,小块的残骸会随海流飘走 ,因此几

乎不可能得到完整的飞机残骸,而陆地上飞机坠毁地方的残骸是比较完整的。

(3) 判明困难

凭飞机残骸去判明坠水时的姿态、速度、接水角也很困难。但一般情况下,飞机坠水时飞行速度越大,飞机与水面拍击的力也越大,飞机破碎的程度也就越严重。在速度相同的情况下,俯仰角和侧滑角越大,飞机的损坏也越厉害。一般先接水的部位损坏最重,这个部位的飞机蒙皮破碎程度也严重。

(4) 部分保留

不会出现飞机坠毁起火烧毁残骸的事。飞机在陆地上坠毁起火往往火焰会把本来比较完好的仪表和低熔化点的金属材料烧毁,因而失去许多珍贵的信息,而飞机即使空中着火,坠水后火焰即熄灭,可以保留仪表和低熔化点的金属材料。

(五) 目击者的调查

从目击者的口中可以了解到飞机在坠地前发生的各种异常情况,如飞机在空中冒烟、着火、解体、爆炸声响、飞机在空中滚转、摆动、俯冲等等,常常会给目击者留下深刻的印象,调查人员可以从这些信息中缩小调查范围,对飞行事故原因的调查有很重要的意义,因而现场调查中对目击者的调查是不可缺少的。但在对目击者的调查时应注意以下几个方面。

①应尽快展开调查:如果时间长了再去找目击者,目击者可能就很难找到,或因临时路过而已经走散,或因工作变动而远走他乡。另外,离事故发生时间越近,目击者的记忆越准确,时间一长,印象就会模糊不清。再一个原因是与目击者在相互交谈之前,他们提供的信息可能更准确些,相互交谈之后可能会受到别人的影响。

②应采取个别交谈而不能用开座谈会的形式调查:因为两个以上目击者在会上会互相影响,可信度就会下降。

③避免用任何诱导的方式:首先应让目击者详细讲述他亲身看到听到的真实情况,在他讲述时一般不要打断他的讲话,然后对

遗漏或不完整的情况加以提醒让他进一步补充。提问时不能作暗示和因果关系的诱导。

④调查目击者的信息要完整,不可断章取义。对小孩反映的情况也要认真听取。对现场目击者的记录最好用录音机,这样不容易将内容遗漏,然后可将录音整理成文字材料。对目击者的主要调查内容应包括飞行事故发生的时间、地点、天气状况、飞机的飞行高度、航向姿态,看到的灯光、烟、雾、火、火球、闪光,听到的爆炸声、音爆、喘振和其他声音。飞机坠地(水)地点及状态,如飞行员弹射跳伞、降落伞在空中张开情况。

⑤目击者的信息如果与飞机残骸调查的结果不一致,应以残骸调查为准。因为一般人对突然发生的飞行事故往往很难作出完整的观察,难免会出现较大的误差,这是不足为怪的。因此对目击者提供的信息应作客观分析,一般懂得航空技术的人反映的情况比较准确,对一些较简单的现象如冒烟、着火、爆炸声音等反映可信度比较高。如果目击者有当时拍下的照片、录像带和影片,应千方百计收集。

对当事飞行人员的调查内容应包括飞行前准备,飞行时的详细情况,事故发生的整个经过,飞行人员判断处理及飞机反应情况,当时组织指挥情况等。

现场调查之后,尚有许多基本调查需要继续进行。

✚对当事飞行人员的调查:调查内容应包括日常人际关系、家庭和思想情绪以及平时的一般表现。最近一次大、小体检的结论,有无发现影响飞行安全的疾病,诊断治疗情况,失事前3天内的饮食、起居、锻炼、饮酒、服药情况,失事前一天的身体健康状况,是否符合放飞条件等等。

✚对装备的调查:飞机、发动机出厂、修理和使用情况,改装、机件更换,有寿命机件的使用情况,日常维护和起飞前准备情况,质量检验情况以及过去发生的故障和排除的情况等。对供氧、抗荷、弹射、座舱调压和空调系统了解其使用性能、时间以及有无故障等。

✚对后勤保障的调查 :该飞机所加燃油、滑油、液压油等油料最近一次的化验结果及加油数量。弹药和火工品的有效期和装机日期。航材的保管期和油封记录 ,氧气、冷气、氮气的制备日期及充气情况等。

✚对飞行组织指挥的调查 :调查内容应包括飞行前的准备情况 ,是否符合飞行大纲的规定 ,在应急情况下指挥是否得当。飞行人员遵守飞行纪律及服从指挥的情况。

✚飞行轨迹的调查 :该飞行事故的飞行轨迹是指异常飞行轨迹开始至飞机坠地这段的飞行轨迹。如果飞行员空中弹射跳伞或飞机空中解体 ,则飞行轨迹就在空中中止。要绘出事故的飞行轨迹 ,需要综合多方面的调查结果并进行深入的分析研究。它需要飞行数据记录器和舱音记录器的记录 ,空地通话录音、雷达标图、飞机残骸和地面痕迹的调查与分析 ,目击者的证言等 ,逐一进行对比分析 ,然后作出比较符合客观实际的这条飞行轨迹。顺便提一句 ,在整理空地通话录音时 ,为保存好原录音带必须进行录音复制 ,复制时为防止失真应避免使用降噪、混响等设备。空地通话录音时间应与飞行数据记录器和舱音记录器所用时间基准保持一致。应将全部录音整理成书面文字供调查组人员传阅 ,如有听不清楚的录音可送实验室分析处理。

✚另外 ,对气象、空中交通管制、雷达等方面的工作也要进行相应的调查了解。还应查阅历年来同类飞行事故和事故征候的资料 ,这对事故原因的分析往往有很大的帮助。

四、实验室研究

为了寻找军事飞行事故的真正原因 ,在飞行事故调查时必须遵循人机环理论和事件链理论 ,必须剖析飞行任务、飞机残骸和人。人的剖析则包括心理学分析和飞行人员和其他乘员遗体的死后解剖。飞机残骸的剖析已在现场调查部分作了重点叙述 ,下面对遗体尸检和飞行数据记录器的分析进行扼要的介绍。

(一)尸检

遗体尸检主要目的有 3 个 :①查明飞行人员生前原有的疾病以及这些疾病与这起飞行事故间的关系 ;②尽可能详尽地查清死者的全部创伤 ,尤其是致命的创伤 ,进一步分析受伤的机制 ;③将尸检中所有观察到的有助于说明事故原因和结果的现象加以分类 ,提供给调查组人员进行综合研究。

1. 原有疾病

在任何尸检中 ,寻找原有疾病是一项常规性的任务。在飞行事故尸检中 ,寻找原有疾病的工作更加受到人们的关切。飞行人员遗体尸检寻找原有疾病的目的不仅仅是了解死者生前的健康状况 ,更重要的是寻找死者生前是否患有引起空中突然失能或导致感知觉和运动能力下降的疾患。人体中只有 3 个系统的疾病能引起突然失能 :即中枢神经系统的疾病、呼吸系统的疾病以及心血管系统的疾病。胆绞痛、肾结石、腹泻和各种感染是重要的诱发因素 ,因此在尸检中往往需要细心找寻。

1985 年 ,美国病理研究所的 Gormley 统计分析了 861 名飞行事故遇难飞行人员的尸检材料 ,发现生前疾病发生率心脏占 15.6%、肝脏 5%、肺 2.5%、肾 2%、胸腺 2%、脾脏 1.25%、胃肠 1%、脊柱 1%。

✚精神系统疾病引起飞行事故的事例是很少的。美国曾有几起因帕金森氏病、美尼尔氏病、垂体肿瘤、第三脑室胶质囊引起的飞行事故。因癫痫导致的飞行事故至今尚未发现 ,但癫痫造成空中失能的事件是确实存在的。据美空军统计 ,30 名脑电图异常但无任何症状的飞行人员 ,有 33% 的人发生事故、事故症候或神经病学临床事件 ,13% 在事故中死亡。

✚呼吸系统疾病主要是指上呼吸道感染。上呼吸道感染可以导致耳部疾病、平衡机能紊乱 ,继而发生事故。英国著名航空病理学家 Mason 认为 ,这类疾病实际存在的数量要比发现的多得多。

✚心血管系统疾病引起飞行事故的问题更加受到人们的关注。冠状动脉疾病极为常见 ,在尸检中经常发现死者生前有冠状

动脉粥样硬化。据美国因飞行事故死亡的飞行人员尸检发现,患有冠状动脉硬化的人占 70%,其中重度和中度占 21%,可见这种疾病是非常常见的。尸检中同时发现,许多严重的冠状动脉病不一定会造成空中突然失能,直接造成飞行事故的更为少见。美陆军病理研究所(过去一直负责美军飞行事故病理学调查)回顾了 6500 名飞行事故遇难飞行人员的尸检结果,发现其中有 816 名(占 13%)有非创伤性的心脏疾病,因此尸检中发现冠状动脉损伤时并无价值。举个例子来说,一次飞行中飞行员用无线电报告说飞机发生故障不能继续飞行也不能逃生,这样的事故即使尸检发现有冠状动脉病变,也不能得出结论说,飞行员因在空中突然失能引起了这起事故。此外,即使发生了空中突然失能也未必一定会造成飞行事故。1975 年法国人报导了 1948 年—1972 年 24 年间有 11 名飞行人员在飞行中发生心肌梗塞,但都没有发生飞行事故。1979 年 Rayman 报导 2 名飞行员在飞行中发生心肌梗塞也未发生飞行事故。一起因飞行员异常行为引起的飞行事故以逻辑上讲应该包括心理、生理和疾病三个方面,而真正因疾病导致飞行事故的仅占总数的 1% 左右,而缺乏航空知识的病理学家往往容易夸大其词或者作出错误的解释。

总而言之,要将造成飞行事故的疾病与事故完全无关的疾病区分开来是十分重要的,但也十分困难。单凭原有疾病的存在,并不能说明它是造成飞行事故的原因。但在引起“飞行员错误”、“原因不明”的飞行事故中,这些原有疾病可能是起作用的因素。

2. 外伤

飞行事故所造成的所有外伤都必须作详细的记录。首先要尽力找出致命性的外伤以确定死亡的确切原因。非致命性的外伤也同样重要,必须一一记载,因为它们是评价飞机安全设计和飞行员各种防护装备性能的客观依据。记录应尽可能详细,以便进行进一步的受伤机制和分析。例如飞行员因受冲击力的作用发生尺骨骨折,如果只写尺骨骨折,那么冲击力如何使尺骨骨折的仍然是一个谜团。如果记录了特定部位的横向骨折,就可以找到座舱内邻

近手臂前面的特殊结构。这可以为飞机改进安全设计提供证据。因此,外伤的记录应尽可能详细、准确,并应附上照片和图,使阅读者一目了然。

飞行事故所致外伤往往为多发性,有时为冲击力和火焰所致的复合伤。头部的受伤率高,可达70%左右,而且大多伴有脑损伤。脊柱损伤也较多见,有的伴有脊髓损伤。下肢骨折也常见。软组织伤主要发生在被固定的躯干部位,如腰背部发生扭伤、挫伤等。

外伤类型的分析常可获得许多新的信息。例如发现飞行人员遗体双眼结膜下出血,但双眼无其他任何外伤,这很可能在飞行中飞行员受到负加速度作用的结果。不同伤类的组合往往反映飞行事故的某种类型。英国航空病理学家Mason 1962年统计分析后发现,不同飞行事故致死原因的百分比有很大差别。不同的飞行事故如飞机坠毁(共统计169人)、人机空中分离(58人)、离机救生失败(42人)有共同的外伤类型,也有不同的外伤类型。多处外伤是共有的,但飞机坠毁时尸体粉碎是最大的特点,占21%,而人机空中分离仅占3%,离机救生失败只占2%。颈椎伤在飞机坠毁时所占比例较小,仅有4%,而人机空中分离却占17%,离机救生失败占21%。按照这种思路设想,外伤类型的不同,或者说外伤类型组合的不同,可以区分和推断出飞行事故当时各种不同的情况。也可以从全身受伤和骨折的情况推断出人体或人体某部位当时受到冲击力的大致情况。见表3-1~表3-5所示。

表3-1 不同飞行事故致死原因的百分比(%)

原因	飞机坠毁	人机空中分离	离机救生失败
尸体粉碎	21	3	2
多处外伤	43	52	52
头部伤	16	10	2
颈椎伤	4	17	21
烧 伤	10	3	5
其 他	6	14	17
总 计	100	约 100	约 100

表 3-2 生前受伤和死后受伤的区分

生前受伤	死后受伤
红、肿	无
出血	无
脂肪栓塞	无
溺水	无
注 死后入水一般水不能进入肺内,如果肺内有水,气管、口及鼻部有大量泡沫,肺内有硅藻可证明是溺亡。	

表 3-3 爆震伤和迅速减压伤的区分

爆震伤	迅速减压
肺表面有肋骨印迹	无
肺组织严重受伤	无
口、鼻有泡沫	无
皮肤有爆震伤	无
化学灼伤	无
受伤程度离爆炸源距离有关	无

表 3-4 飞机座舱内撞击死亡与空中落水死亡的区别

机内撞击死亡	空中落水死亡
外伤出血	无
四肢多发性骨折	有
胸廓骨折	脊柱骨折、断裂
颅骨骨折	无
内脏受伤但无撕裂	内脏撕裂、破碎

表 3-5 美国海军和海军陆战队飞行事故的伤类分布

伤类	百分比(%)	伤类	百分比(%)
骨折/脱臼	22.8	切断/撕脱	3.6
挫伤	16.1	出血	2.4
撕裂伤	12.3	穿孔/破裂	2.1
擦伤	8.3	震伤	1.1
烧伤	7.9	压碎	1.1
扭伤/劳损	7.6	断头	1.1
多发性四肢伤	6.3	其他	7.3

全身束缚固定,全身对冲击力的耐受限度可达到 250 G/s,如果超过这个耐限值,就会受损伤。如果仅用腿带束缚固定, $-G_x$ 耐力就减小到 1/3,见表 3-6、表 3-7 所列。

表 3-6 人体对冲击力的耐受限度

姿势	耐限/G	作用时间/s
$-G_x$	45	0.1
	25	0.2
$+G_x$	83	0.04
$+G_z$	20	0.1
$-G_z$	15	0.1
$\pm G_y$	9	0.1

表 3-7 引起骨折和脑震荡的局部冲击力

身体部位	冲击力/G	作用时间/s
头(前额)	180	0.002
	57	0.02
鼻	30	-
上颌骨	50	-
牙	100	-
下颌骨	40	-
脑(脑震荡)	60	0.02
	100	0.005
	180	0.002

头颈部外伤：

头颈部外伤的鉴定是尸检中特别受人关注和十分重要的一个部分。一则头颈部在飞行事故中很容易受伤，二则头部外伤常常导致突然失能和致命。虽然头颈部在全身所占的面积不大，重量所占的比例也很小，但在全部外伤中它所占的比例却很高，据美海军统计占 24%，有的甚至高达 70% 以上。在飞行事故中，外伤不可能是随机分布的。座舱内的结构形态、束缚固定的方式、常见事故负加速度的类型和飞行人员防护装备的性能都影响着外伤的分布，包括飞行人员保护头盔在内的防护装备的设计也理应

对头颈部外伤病理机制进行详尽地观察。飞行事故经验是宝贵的财富，通过它可以对这些机理进行独一无二和极有价值的评估。

头颈部严重外伤在常规尸检中并没有引起足够的重视。举个例子来说，初步尸检可能已经表明，飞行人员的死亡原因是下胸部受到冲击力作用的缘故。这种冲击力造成肋骨骨折、内脏撕裂和广泛出血。但是，实际上仅仅受到这些外伤，飞行人员是可以存活下来的，而死亡的真正原因却是被人忽视的脑基部脊髓被切断或撕裂。在同时受到许多外伤的时候，确定致命性的外伤是至关重要的。为排除颈部创伤，颈后部的解剖必不可少。

头颈部外伤正确的鉴定可为飞行人员防护救生装备的设计提供十分珍贵的资料。飞行员的头盔如何能够做得更坚固、更轻便、固定更好？回答这些问题最好的办法是对飞行事故中头颈部外伤进行尸体解剖并作详细的记录。飞行人员夜视仪的使用，就是满足了这方面的需求。

在飞行事故中，有4种最为常见的可致头颈部外伤的机制：这就是头颈部惯性力、直接冲击力、间接冲击力和“绞刑圈套”作用力。即使其他外伤足以使死者致命，尸检者也必须对这4种致死原因逐一进行鉴定与分析。

(1) 头颈部惯性力

头颈部可以前后左右随意运动的，不管是由于冲击力的作用还是弹射力或气动压的作用，当人体以一定的速度运动时突然减速，头、颈、头盔、面罩会受到不同惯性力的作用，头颈部可能向前屈曲，或者向后突然过度伸展，可致颈部的骨骼或肌肉损伤，甚至累及中枢神经系统。因此必须对包括脑干、延髓、脊髓在内的中枢神经系统进行解剖。从颈部解剖暴露出脊柱和枕骨，解剖相应的组织并确定在颈部是否有撕裂、出血和其他创伤。

向后过度伸展，可发现脊柱两侧的肌肉有明显的出血。向前过度屈曲时，椎体前部可见明显骨折。解剖脑干可见有大块撕裂，并有毛细血管出血。

(2)直接冲击力

飞行事故中飞行人员的头盔受到外物直接冲撞可致直接冲击伤。此时外部巨大的能量传至头盔,然后使颅骨破裂,颅骨下的大脑损坏,因此这种死亡原因是显而易见的。典型的损伤包括硬膜外出血、硬膜下出血、蛛网膜下出血和大脑组织的撕脱、撕裂和出血。

(3)间接冲击力

人体头颅骨有点像半圆拱或半圆形桥,这种情况下头颅骨上所受的力并不是均匀分布的,而是从头的一部分传到另一部分。半圆拱的工程原理是作用在拱顶的力通过弯曲的结构形式传送到柱石或基础上,因为柱石和基础更能经受得住力的作用。在颅骨里也有这样一个半圆拱,这个半圆拱是由颅顶、双侧颞骨和颞骨的岩嵴组成。而弯曲的结构形式则坐落在脑干所在部位的颅底、蝶骨体的前部和枕骨的基底部构成的基础上。

戴头盔的头部伤遗体的尸检中有一个明显的特点,那就是骨折恰好发生于颞骨岩嵴的前面并延伸至脑干。往往是后部和中部分隔连接处的颅底几乎分成两瓣,类似的损伤还存在于所谓“绞链骨折”中。这些骨的部位较薄,受力后更易于遭受破坏,作用于头盔上部的力通过颅骨“穹窿”传递至脑的基底部。由于生命中心为呼吸和其他自动功能的中心位于脑干部位,作用于脑干上的能量可能立即使人毙命。像这样的绞链基底颅骨骨折以往早有病例记载,受害者下颞骨撞击在物体上,作用力通过下颌骨传送到颞下颌关节和颅底。

还有一种情况可能是存在的:在尸检中发现头部从外表上看毫无损伤而头盔却受到损坏。因为损伤是在头盔上而不是在头的外部,那么头盔作为设计来讲是很有效的,但这可能是一种误导。损坏头盔和通过颅骨半圆拱传递的能量转移可能会造成致命部位脑干的损伤,这在常规死后检查中很容易被忽略。

(4)绞刑圈套作用

头盔的下边缘、颈背带和下颌带构成一个圈,很像一个绞刑圈

套。当绳结在头的一侧时,这种“绞刑圈套”造成颅底骨折,通过基底蝶骨延伸到双侧颞骨处。当绳结在前面和颌下时,“绞刑圈套”在轴心上引起骨折脱位。最具特色的是后穹骨折时,齿状缝却完好无损。

美国海军有一位 A-4 战斗机的飞行员因飞机发生故障弹射跳伞,当时飞机的高度、姿态和速度均在弹射包线(安全范围)之内,弹射座椅和救生伞工作正常。但飞行员着陆后受严重损伤,并在事故后不久死亡,其死亡原因是颈部脊髓受到横向撕裂。致命损伤的能量是通过头盔传递至颈部,结果造成颈 2 和颈 3 脊柱的脱位,接着又造成脊髓的切断。

3. 其他外伤

飞行事故中所见的严重减速度肺损伤有点像爆炸伤。巨大的钝力作用于肺部,肺脏有广泛的出血,这可能是内部剪切力作用的缘故。虽然肺损伤在飞行事故遇难者所占的比例高达 50% 以上,但关于肺损伤类型的研究仍很肤浅,在处理肺部损伤时的一个重点必须与原有肺部疾病分清。飞行事故时血管系统可能被撕破,血液流入肺泡内,肺泡内的血清类似于水肿液,这些流体是飞行事故的结果还是原来疾病的病变,需要根据肺组织撕裂的部位,心肺的其他病理改变以及临床病史等进行综合考虑才能最后确定。

胸腹部伤也是常见的。应尽力确定束缚带和其他冲击性钝力伤、减速度伤、穿透和穿孔伤。这些损伤往往是座椅和束缚系统失效,外力作用于遇难者胸腹部所造成的。肝脾受冲力易受撕裂伤。

飞机坠毁遇难人员中常有主动脉撕裂,一般发生在近左锁骨下动脉的远端。在心脏受损伤的病例中,有 65% 的撕裂伤发生在升主动脉。外伤还可以造成冠状动脉因凝血而闭塞,这要与原有疾病鉴别。飞行员常见的受伤部位见图 3-13 所示。

每例烧伤均要作尸检和 X 光检查。生前着火的证据包括无致命伤、气道中的煤烟灰、肺组织充血,毒理学检查碳氧血红蛋白浓度增加。

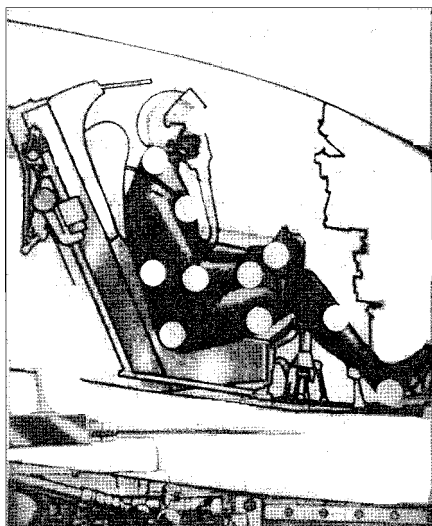


图 3-13 飞行员常见的受伤部位

(二)其他实验室检查

✚ **碳氧血红蛋白** :飞行事故时 ,燃烧引起的一氧化碳可致人于死命。一般正常人的碳氧血红蛋白在 1% 以下 ,如果超过 10% ,可能是飞机着火所致。但有些吸烟者有时也能达到 10% ,可作尿尼可丁浓度测定和吸烟史予以鉴别。碳氧血红蛋白在遗体内可保存 200 多天 ,除了测血中碳氧血红蛋白 ,也可以测肌肉里碳氧血红蛋白 ,以胸肌最为合适。

✚ **乳酸** :在飞行事故遗体中测定血乳酸是没有意义的 ,但测定组织中的乳酸则是有价值的。因为遇难者死亡后糖酵解过程仍在继续 ,结果血乳酸值急剧上升 ,死后 12 h ~ 24 h ,可达正常值的 70 倍(正常血乳酸为 8mg/dl ~ 13.5 mg/dl)。取脑灰质组织作乳酸测定 ,如果超过 200 mg/dl ,可以认为死者生前可能缺氧、窒息或溺亡。心肌缺血时 ,心肌内的乳酸含量下降。

✚ **血糖** :血糖低可使飞行人员降低工作能力 ,因此也是造成飞行事故的重要因素。但血糖测定很难反映死者生前是否有低血

糖,因为死后不久,末梢血管中的血糖继续酵解,血糖值也会下降,这与生前低血糖难以分清。死后一段时间后由于人体组织损伤,血糖又会急剧升高。死者眼玻璃体内的糖含量低于 25 mg/dl 时可作为死者生前低血糖的指标,因为玻璃体内的糖含量是非常稳定的,一般约为血中糖含量的 1/2。眼玻璃体迅速冷冻可抑制玻璃体液中葡萄糖的浓度下降。

✦血清学检查:怀疑是鸟撞留下的血迹时可用显微镜观察红细胞的形态,鸟类红细胞的特点是卵圆形,有细胞核,体积较小。而人类的红细胞呈圆形,无细胞核,体积也较大。

✦药物鉴定:可用气相气谱法测定药物的非挥发有机酸、碱基和中性基。但许多药物的鉴定需要用特殊的仪器设备。

✦DNA 鉴定 1997 年 8 月 6 日,韩国航空公司一架班机失事,229 具遗体用常规方法只能鉴别出 100 具,韩国科学院与美陆军 DNA 鉴定实验后,率先对飞行事故遗体进行 DNA 鉴定,在余下的 129 具尸体中又确定了其中 72 名遗体的确切身份(DNA 鉴定必须有亲属的基因作对照)。

(三)事故记录器的解读

事故记录器又称飞行记录器,俗称为“黑盒子”,这是因为飞机坠毁后,事故记录器往往被大火烧成黑色的缘故,还有一层意思是黑色是一种十分神秘的色彩。其实,事故记录器是橘红色的一个长方形的盒子,橘红色鲜艳醒目,容易被人们找到。

事故记录器包括飞行数据记录器(flight data record, FDR)和舱音记录器(cabin voice recorder, CVR)两部分:FDR 是记录飞机的各种飞行参数的;CVR 则记录飞行人员与地面和其他飞机、飞行人员之间以及座舱内的各种声音的。它们可以为飞行事故原因调查提供十分重要的信息。为了使飞机失事后保存这些信息,要求这些记录器的外壳非常坚固,需要用特殊的抗冲击的材料制成,能耐受 3400 G/6 mm 的冲击,可以耐受 2t 重的压力。在 1100 °C 的火焰中 30min 不会使记录器中的数据丢失。在海水中浸泡 30 天不会严重腐蚀,也能耐受油液、灭火剂的浸渍。另外,这些记录器上

还安装有超音波定位信标,沉入海底后可连续不断地自动发射超声波,持续时间可达30天,便于搜索人员定位寻找。

事故记录器自从20世纪50年代后期开始启用至今已有40多年历史,它们在飞行事故调查中发挥了非常重要的作用。首先用在民航飞机的飞行事故调查,后来逐渐推广到军用飞机上,现在已成为军用飞机上的必装设备。由于它的客观科学,在许多飞行事故调查中立下了汗马功劳。

✚1994年1月19日,俄罗斯空军的一架安-22运输机刚从特维尔机场起飞4min就发生坠毁事故。飞机坠毁前在转弯时发生横向倾斜,飞行员无法纠正,以 40° 倾斜角坠地。在飞行数据记录器解读的结果出来以前,事故调查人员曾怀疑事故原因是飞机装货过重使飞机起飞时重心偏离,也有专家认为是发动机故障或天气恶劣的缘故。后来飞行数据记录器解读结果显示,控制飞机倾斜角的操纵系统有问题,寻找到的飞机残骸也得到证实,这起飞行事故十分明确的原因是:由于飞机左副翼操纵线拉杆损坏,造成飞机横向操纵失控。

飞行数据记录器自20世纪50年代至今已发展到第三代,结构从简单到复杂,性能从低级到高级,应用从民航到军航,装备的数量从少到多到每机必装,经历了不平凡的40多年。下面将三代飞行数据记录器作一比较。

✚第一代 金属箔飞行数据记录器

时间 20世纪50年代后期

结构与原理 示波式记录器。金属箔由不锈钢薄片制成,外涂一层可抗高温的镍,长(45~60)m,宽(5.625~12.25)cm。金属箔移动速度为15cm/h。用钻石针在金属箔上刻划线条,可记录时间、空速、高度、加速度和航向5种飞行参数。

优点:可记录(200~400)h。

缺点:①一次性使用,成本高。

②只能记录5种飞行参数。

③误差较大,精度较低。

✦ 第二代 磁带飞行数据记录器

时间 20 世纪 60 年代末

结构与原理 :记录介质为磁带或钢丝。二进制数位方式记录。飞行数据采集装置在飞机电子舱内 ,接受各传感器传来的模拟信号并转换成数字信号 ,通过双线的数据总线传送到记录器上 ,存储在磁带上。

优点 :①可记录 200 多种飞行数据。

②保留时间 25h。

缺点 :①有时记录会中断 ,原因是飞机在加速度时造成磁头与磁带脱开。

②走带机构复杂 ,维护时费用高 ,耗时间。

③故障间隔时间为 6000h ,可靠性尚不够理想。

④记录数据难以取出。

✦ 第三代 固态飞行数据记录器

时间 20 世纪 80 年代

结构与原理 :用固态化的存储芯片制成 ,无活动部件。

优点 :①故障间隔时间长达 2 万 h ,可靠性大。

②数据保留时间 50h。

③记录的信息量大 ,可记录 128 个字组(一般为 64 个字组)。

舱音记录器(CVR)包括控制与拾音盒和记录盒两部分。

✦控制与拾音盒 :安装在座舱内 ,可以把座舱内的各种声音变成电子信息 ,通过电线传送到记录器内。

✦记录器 :安装在飞机的尾部 ,因为离油箱、发动机较远 ,在尾部又不易摔坏 ,因而较为安全。

收到的信息经过处理后记录在磁带上。录音磁带又分 4 个声道 :飞行员与地面空中交通管制人员之间的对话 ;机长、副驾驶、随机工程师之间的对话 ;驾驶舱内的声音(机组人员间的对话、座舱破裂时的漏气声、鸟撞声、雷击声、爆炸声、操纵电门开关声、发动机声、机件损坏或不正常的声音、外人闯入驾驶舱的说话声等等) ;机长和乘务员对乘客的广播声。

在飞行过程中,记录器在连续不断地记录,但磁带只保留最后30min的录音,前面的录音则不断地被清除。如此不断循环,周而复始。

飞行数据记录器和舱音记录器的。处理过程可以分为寻找与回收、运送、分解、译码、分析和结果6个步骤。

①寻找与回收:应尽快在事故现场寻找飞行数据记录器和舱音记录器。如飞机着火,先到达现场的机务人员应将飞行数据记录器和舱音记录器的电缆切断并将它们取出,应该注意的是:不要拆卸接在记录器上的电缆。如记录器落入水中,从海水中打捞起来的记录器应放置在装有海水的密封容器内,落入淡水的记录器可放置在装有清水的容器里。应及时记录记录器发现的具体位置、记录器的外观情况并初步判断记录器的受损情况。先放在原地保留,待调查人员到来检查以后再回收。如果记录器的外壳已经打开或者已损坏,应尽可以保护好壳体内部的金属丝、磁带或固态存储器,以避免这些关键部件的损伤。不可在现场任意将记录器的壳体打开,将磁带盒取出,应尽可能使记录器保持完整,迅速送往数据处理分析中心。如果记录器的传感器仍然完好,应将其取下,一并运走进行事故后的校准。

②运送:回收的记录器应派专人送往数据处理分析中心。必须随身携带,不能作为行李托运。如果乘坐飞机运送,应向机场有关当局说明,记录器不能在登机前经过电子保安检查,以防记录器中的信息丢失。

③分解:分解是为了知道记录器内部受损的具体情况,以便确定采用何种译码方法。尽可能修复外围电路,必要时可取出磁带或存储板。分解时应尽力避免记录介质的受损。

④译码:在开始译码前应了解记录器在现场和运送中的情况,记录记录器的型号、编号及外壳受损情况。打开壳体,取出磁带盒或固态存储器,记录已卷在卷轴上的磁带长度。为了保存好磁带上的原始信息,对于因受冲击、高温、污染而断裂、变形甚至变性的磁带应采用特殊手段将其修复。应以物理修复为主,进行清洗除

污、展平,对断裂的磁带进行拼接。从水中捞起来的记录器首先应进行干燥,倒去容器中一部分水,然后掺入70%的酒精,待酒精蒸发完以后,磁带逐渐干燥并将其展平。

译码分为译码设备译码和人工译码2种:译码设备译码又称机器译码,是用自动译码系统对已修复好的飞行数据记录器中的信息进行回放、读取。这种译码方法虽然效率高,准确度也高,但对严重受损的磁带不适用。对于经过修复又有重要信息的磁带,应进行反复译码,以便选出最佳数据;人工译码是人工对磁带上的原始数据进行判读、计算。有时人工译码也可以和机器译码结合使用。

译码后的数据应确定其可信度并进行校核和修正。可以将记录的飞行参数与已知标准参数进行逻辑对比,如发动机工作状态等与已知状态对比,如果参数一致,说明记录器的工作是正常的。用已知的数据修正数据的误差,如平直飞行时,垂直载荷因数应等于1,倾斜角等于0,角速度等于0,副翼在中立位置。如果有误差,应重新校准这些数据的传感器。

金属箔飞行数据记录器的解读只能采用人工的方法。用显微镜将箔片上的划痕放大(5~50)倍,测量划痕与基准线间的距离,再按给定的比例换算成速度、高度、过载、航向等。

⑤分析:剔除误码或叫剔除野值。在处理离散信息时,数据中常会出现一些变化异常的数据点,单位时间内信号变量超出常值,信号幅值超过规定值,信号变化规律不符合飞机工作情况等。这些数据点是虚假的信号,称为误码、野值或坏点,应该将它们除去。

为了将数据提供给有关分析人员使用,应对数据进行分组。如飞机动态特征参数组,包括速度、高度、过载、倾斜角、俯仰角、航向角等。飞机动力装置状态特征参数组,包括发动机转速、排气温度、振动、油门操纵手柄位置、进气道斜板位置等。飞机操纵位置特征参数组,包括操纵杆位移、脚踏位移、舵偏转角、副翼偏转角、水平安定面位置等。飞机其他各系统状态特征参数组,如液压系统压力、机上供电电压等等。

数据的输出可以分为屏幕、打印和绘图 3 种,可输出数据表格、时间曲线、统计图形、模拟飞机飞行状态、模拟飞机座舱仪表、飞行事故报告书等。一般以屏幕输出为主,选择性地进行打印或绘图。

分析数据和曲线是要必须对飞行数据记录器上的所有信息进行分析,以防遗漏和丢失。因为只有这样,才能做到客观和深入,如果发现参数变化与正常数值有很大差别,或者参数间的关系很不一致时,很可能这就是飞行事故发生的原因。

应绘制出飞行航迹、轨迹图。从飞行航迹、轨迹图上可以确定空中应急情况发生的起点,最终飞行状态的性质,飞行员所采取的操纵方面的措施等等,对飞行事故原因的分析很有帮助。

⑥结果:与飞行事故有关的飞行参数信息以数据表格或图形提供给飞行事故调查人员,作为分析事故原因的客观依据,并写进飞行事故报告中。

舱音记录器的处理分为复制、重放、读出录音 3 步。首先用高保真的磁带机复制录音带。为防止丢失信号,不能使用降噪、混响等设备。盒式磁带可用高质量的双卡录音机内录。重放录音带时首先应确定舱音记录时的准确时间。可以将发生事故时的空地通话录音带与舱音录音带同时重放,把舱音记录磁带的重放速度调整到两个录音带同时记录的全部声包线重合。由于空地通话录音带上有时间记录,舱音记录的时基也就可以确定。读出录音带时应用文字记录,如话语模糊不清难以分辨时,可用语图仪和专用技术进行分析处理。

五、综合分析和结论

人类经过近一个世纪的努力,在军事飞行事故调查研究中已取得了令人瞩目的成绩。主要表现在:

①累积了极丰富的信息,有的国家已建立了飞行事故数据库,随时可供检索和分析;

②解决了飞行事故中许多疑难问题,取得了不少经验;

③在飞行事故综合分析方面已经形成了一套行之有效的方法。

但是我们不得不十分遗憾地说,飞行事故原因的调查仍然是一个世纪性的大难题,还有一段很长的路要走。

其实,飞行事故的复杂程度差异极大。有的几天之内就可以找出事故原因,有的要花费几年心血才有结果,还有将近 2/5 的飞行事故由于寻找不到确实证据,只能成为悬案。

(一)飞行事故调查的分析方法

如何对经过现场调查,其他基本调查及实验室研究后所掌握的大量有关人、飞机和环境的信息进行分析处理,则存在着一个方法学上的问题。方法得当可能事半功倍,方法不当则可能劳而无功。

在飞行事故调查中常用的方法有排除法、归纳法和演绎法。演绎法又分失效树分析法、事件链分析法和变更分析法。对人的因素的分析多用排除法,而分析机械因素时一般用归纳法和演绎法。

①排除法实际上是一种系统分析,首先必须将整个系统的各个部分调查清楚。在飞行事故中,人、飞机和环境组成一个系统,环境因素主要是指天气和鸟撞。如果经过详细的调查,没有天气异常和鸟撞的证据,则这个系统中环境因素部分可以排除。如果经过坠毁现场飞机残骸的调查和残骸拼凑,并无机械故障的痕迹,则这个系统中飞机机械故障这部分也可以排除。人的因素最为复杂,它包括社会、心理、生理、病理、药理诸因素,这 5 个因素中每个都有许多子因素。通过社会调查、医学调查、尸检和实验室化验,社会因素、病理因素和药理因素,如无特殊发现,则也可以明确排除。生理因素主要包括高空缺氧、减压、加速度、疲劳和低血糖。经飞行任务分析和医学调查,如无异常,也可以排除。心理因素主要包括操纵错误(如错忘漏)和空间定向障碍。如果没有空间定向障碍的证据,那就只剩下操纵错误了。如果操纵错误的结论初步成立,还要放在整个飞行过程中去分析,使操纵错误动作具体化,看是否符合情理,是否有明显矛盾的地方。

②归纳法是一种从起始事件推论到最后事件的论证法。首先,要根据事故的实际情况假设一个特定的故障,然后分析这个故障对整个系统的影响,再判定它可能造成事故还是不可能造成事故。如果有可能造成事故,那么就要分析其造成事故的概率,从而得出结论。如果同时有多个可能的故障,则列出各个故障的概率,选择概率较高的几个故障进行分析,得出可能性最大的事故原因。

③演绎法是从结果中分析出特殊事件,从最后事件反推到起始事件的论证法。根据事故现场飞机残骸以及目击者反映的情况,推断可能发生了某种故障,然后对造成这种故障的可能原因进行分析、论证并提出事故原因。演绎法又分为失效树等3种分析法。所谓失效树分析法是以事故为顶事件,中间经过几级因果关系步骤,一直分析到事故原因的底事件。这种分析方法先要建立失效树,然后根据已知信息进行定性或定量分析,最后确定飞行事故的原因。另一种演绎法称事故链分析法,它起源于多米诺骨牌理论,其内容在第一章里作过简要介绍。在飞行事故调查中寻找出与事故有关的事件,然后按事件发生的时间顺序和因果关系排列成事件链,一直到事故发生为止,然后逐一分析事件链上的事件,寻找出事故原因的事件。变更分析法也属于演绎法的一种,它把发生事故时的情况与正常不发生事故时的情况进行比较,找出这两者之间的变化,根据这些变化来分析事故原因。这种分析方法在分析过程中有6个步骤:首先是考虑发生事故时的各种情况,然后再考虑不发生事故时的类似情况,第3步是将两者进行比较,第4步是列出发生事故时所有的不同点,第5步是分析这些不同点对飞行事故的影响,最后把有影响的不同点综合成为飞行事故的原因因素。

(二)事故结论

有些国家对作出飞行事故结论提出时间限制,如英国规定在3个月内要提出初步的事故结论报告,一年内完成正式的事故报告。多数国家要求在1个月内完成初步报告。

事故结论应包括调查结果和事故结论。调查结果是指各项基

本调查的结果,主要是围绕人、飞机和环境 3 个方面。各专业调查小组分别写出调查报告,报告的内容应包括专业调查小组的组成,分工负责情况,调查经过,各种检查,鉴定结果并对各种事实与事故关系进行分析。特别是要对事故链中每个事件进行鉴定性的叙述,并注明是原因事件还是前一事件正常发展的结果。事故结论是指事故调查组在总结、归纳各专业调查小组调查结果的基础上进行系统、合符逻辑、公正地简明表述并编写成事故调查报告。其报告内容应包括飞行事故发生经过(时间、地点、飞行人员和指挥人员以及整个飞行过程),经过调查已经查明的各项事实、事故原因分析、事故结论、预防同类飞行事故的预防建议。另外,事故调查组中有少数人坚持的不同意见也应扼要地写入报告供日后备查。在调查中尚未查明的问题以及未能深入调查的可疑点也应列入报告内容,最后应附上各专业调查小组的调查报告。

至此,整个飞行事故调查工作就告一段落。

第四章 军事航空救生

一、K-36 弹射座椅

1989 年夏天,一年一度的国际航空展在法国巴黎如期举行。特技飞行表演的那一天,风和日丽,万里无云。按计划轮到俄罗斯的一架米格-29 战斗机出场,飞机刚起飞不久,飞机发动机突然发生故障,飞机以 180 km/h 的速度,以 80° 角向地面俯冲。在这千钧一发之际,人们看到从侧着飞的飞机上横向喷出一团火球,接着一个红白相间的降落伞在离地面大约 3 m 处张满,飞行员安全地落在离坠毁着火的飞机不远的地方,在场观众看得目瞪口呆。那位弹射跳伞的飞行员阿纳托利·克沃尔丘除了右眼皮上有点擦伤和割伤,安然无恙。这次特技飞行表演虽然摔了飞机,但人们意外地发现俄罗斯的这种神奇的弹射座椅。这种火箭弹射座椅叫 K-36D 弹射座椅,安装在苏-27、苏-30 和米格-29 等战斗机上。从地面零高度到 25 000 m 高空,从零速度到 1 400 km/h 飞行时弹射均可使飞行员安全脱离飞机。这次航空表演使默默无闻的 K-36D 弹射座椅崭露头角。

相隔没几年,1993 年在英国费尔伏尔德国际航空展飞行表演时,2 架俄罗斯的米格-29 战斗机在空中相撞,2 名飞行员动作十分敏捷,弹射跳伞成功。1999 年 6 月,又是在法国巴黎的国际航空展上,一架俄罗斯的苏-30 战斗机做完特技表演准备着陆时因未放下起落架,结果飞机尾部触地,又重新拉起升空至 80 m,后座飞行员立即弹射,接着前座飞行员横向弹射,均获成功,飞机坠毁。

于是人们心目中留下这么一个印象:俄罗斯的战斗机容易出事故,而俄罗斯的弹射座椅性能卓越。有道是无心插柳柳成荫,没

想到在 3 次国际航展上 K-36D 弹射座椅在超低空和双机相撞时的弹射跳伞却成了事先未曾安排的最精彩的表演节目。通过在场的众多观众和各种媒体 ,俄罗斯在国际航展上为 K-36D 弹射座椅做了效果奇特的广告 ,同时也为观众普及航空救生知识提供了机会。

什么是航空救生?航空救生是指飞行器在飞行中发生紧急情况时 ,飞行人员离机、降落 ,在恶劣环境下生存和被营救的全过程。应急情况包括航空器严重故障 ,遇恶劣天气或飞行员重伤或重病无法操纵飞机等。依航空器种类不同 ,航空救生可分为飞机救生、直升机救生、气艇救生和气球救生等 ,按飞行高度不同分为高空救生、中空救生和低空救生 ,按地区不同分为海上救生、沙漠救生、热带丛林救生和高原救生等。航空救生实际上主要是指飞机救生 ,尤其是战斗机的救生。航空救生分为离机、降落、生存和营救 4 个阶段。

目前 ,世界各国战斗机飞行人员离机方式以敞开式火箭弹射座椅为主 ,其他还有弹道式弹射座椅、密闭式弹射座椅、分离救生舱、火箭牵引救生系统等。

航空救生装备为保存部队战斗力和鼓舞士气作出了重大贡献。仅以弹射跳伞的飞行员来说 ,从第一台弹射座椅诞生至今 60 年间 ,全世界大约已有 15 000 名飞行员得救。截止 2003 年 6 月 24 日 ,仅马丁·贝克飞机公司生产的弹射座椅已挽救了 7000 名飞行人员的生命。

在战时 ,弹射跳伞的成功 ,往往对自己的同伴是很好的精神鼓励。1999 年 3 月 27 日 ,一架美国空军的隐形战斗机 F-117 在距南联盟首都贝尔格莱德约 40km 的地方被南斯拉夫军队的炮火击落 ,飞行员弹射跳伞成功 ,身上只受了点轻微擦伤 ,他着陆之后及时地掩埋了降落伞 ,躲藏在一条水沟里并向营救部队发送了无线电求救信号。离他 50m 之外有个公路和铁路的交汇口 ,时而可听到从公路上传来的汽车声 ,人们的说话声和犬吠声。有一次一条狗离他的藏身处仅 10 多米远 ,他镇定自若并做好了被俘的一切准

备。大约 6h 以后 ,一架营救直升机在黑暗的夜幕中突然从天而降 ,匆匆将他拉进机舱 ,撤回到安全地带。此事很快就在北约飞行员中流传 ,一方面可以看出美军飞行员的火箭弹射系统性能良好 ,另一方面飞行人员航空救生训练有素 ,这使其他飞行人员对弹射跳伞增加了信心。

二、弹射跳伞简史

(一)救生伞的发展

我国古代已经有人懂得了降落伞的原理 ,但降落伞真正应用于航空救生却是热气球发明以后的事情。

据说我国明朝初年 ,刚坐上皇帝宝座的朱元璋十分害怕自己的部下会起来造反 ,夺走他的江山。有一天 ,他在一座高楼上设盛宴招待这些开国元勋们 ,想把他们一网打尽。军师刘伯温那天正好随身带了一把雨伞 ,急中生智 ,在危急关头撑开雨伞从高楼上跳下 ,竟然死里逃生捡了一条性命。当然这只是一个传说而已 ,但据史书记载 ,我国明朝确有一种叫“跳伞”的杂技。表演者手拿两把雨伞从高处跳下 ,他们在空中的优美而惊险的动作常常博得在场观众阵阵喝彩。这可以说就是人类使用降落伞的尝试了。明朝距今约 500 年 ,可惜这个精彩的杂技节目现已失传 ,见图 4-1 所示。



图 4-1 杂技跳伞

世界上第一次用降落伞跳伞的是法国人贾克斯·盖曼(Jacques Gamann)。1797年10月22日,他从1 000m高的气球上纵身跳下,降落伞顺利张开,安全着陆。

但谁是第一个从飞机上跳伞的人至今仍争论不休,一种说法是法国飞行员阿道夫·佩各特(Adolphe Pegoud)1913年首次用降落伞逃离一架无法操纵的战斗机而幸免于难,他是第一位被授予“王牌飞行员”的人,他曾6次击落敌机立下赫赫战功。另一种说法是英国人威廉·纽沃尔(William Newall)1914年在伦敦北部亨登上空从一架五座运输机上跳伞成功。那天他身着笔挺的西装,白衬衣,系着领带,人们给他取了个“教授”的外号。事后伦敦航空俱乐部特为他颁发了一枚银质奖章。还有一种说法是:1917年,德国一名飞行员首次在空中从一架被敌机击伤无法驾驶的战斗机上跳伞。当时击中这架战斗机的一名法国飞行员就目睹了这位飞行员跳伞的经过。他看到这位飞行员从飞机座舱里爬出来,往下跳。他身后上方立刻拉出一条长长的白色带子,不一会这条白色的带子变成了一个白色的降落伞。这3种说法各有其历史事实根据,究竟哪种对似乎很难定论。不过,目前多数人倾向第三种说法,认为比较可靠。

其实降落伞也是五花八门、种类繁多,按其用途可分为投物伞和人用伞。人用伞又分为伞兵伞、运动伞、救生伞。救生伞是专门为飞行员配备的,它由主伞、背带系统、引导伞、伞衣套和自动开伞器等组成,主伞由伞衣和伞绳组成。伞衣由柔性织物制成。伞绳连接伞衣和背带系统并均匀分布在伞衣周边上,承受人体的重量和伞衣传来的空气阻力。主伞折叠包装在伞包内,背带与人体连接,使用时展开成伞状,使飞行员安全着陆(水)。

第一次世界大战期间,气球上的军事观察员都配备了降落伞。但当时的英、美、法军事当局认为,飞行员在战斗中应与战机共存亡,拒绝给飞行员装备救生伞。可是德国空军在1917年已为部队飞行员配备了救生伞,到了1918年几乎装备到所有飞行员,挽救了不少飞行员的生命。第一次世界大战结束时,大约有800名军

事人员用救生伞得救。此后,英、美、法等国也改变了陈腐的观念,为飞行员研制装备了性能良好的救生伞。1919年4月,美国人欧文用史密斯新设计的救生伞进行跳伞成功。1922年,美军试飞员哈里斯中尉在飞机试飞时发生飞行事故,他用这种救生伞跳伞成功。此后美军为每名飞行员装备了救生伞,并要求每次飞行都必须带上。第二次世界大战期间,降落伞挽救了成千上万飞行员的生命。

由于当时战斗机的飞行速度不大,飞机在飞行中飞行员可以先把座舱盖打开,然后爬出座舱站在机身上,再纵身向下跳,在空中用手拉开降落伞安全着陆。有时候飞机倒飞时,还可以先打开座舱盖,将自己从座舱里倒出来,然后拉开降落伞降落。这种办法一直持续到20世纪50年代初在不少飞机上还在使用。据美国空军统计,仅1950年就有272起飞机空中应急事件(包括弹射跳伞和爬出座舱跳伞),其中爬出座舱跳伞的有253人,占全部救生的93%,成功率为86%。即使后来装有弹射座椅的战斗机,也有不用弹射座椅而从座舱里倒出来用救生伞跳伞的。我国空军20世纪60年代就有3起这样的例子,1961年11月9日,我驻湖南某部飞行员驾歼5飞机进行双机跟踪攻击训练,因攻击机飞行员操纵错误造成双机相撞。这名飞行员驾驶的歼5飞机立即被撞成三段,前机身与双翼在一起。飞行员突然被震昏,醒来后见飞机倒飞旋转下降,完全失控,安全带被撞开,头顶着座舱盖无法正常抛盖打火。后来他用地面机械抛盖法将舱盖抛掉,人立即倒出座舱,跳伞成功。当时高度400 m,速度(800~900) km/h,飞行员降落在一个小山坡上,没有受伤。

弹射座椅出现之前,救生伞是飞行员唯一的救生工具。弹射座椅发明以后,救生伞仍然是飞行员必备的救生工具,而且紧密地与弹射座椅结合在一起。但救生伞的结构与性能却发生了重大的改进,而且还随着弹射座椅的不断发展而改善。

20世纪50年代以前,救生伞的伞衣多由棉、麻制成,以方形伞为主。到了70年代、80年代,棉、麻材料逐渐被锦丝材料取代,

使降落伞体积小、重量轻、强度大,方形伞改为圆形伞。80年代以后,高强力的锦丝材料应用于降落伞的制造,使降落伞的体积更小、重量更轻、强度更大,而且透气性也明显减小,加工制作也更为容易,出现了开缝伞、锥形伞等新的伞形。救生伞在弹射座椅上的位置开始时放在椅盆里,平时当作飞行员的屁股座垫,这称为座式伞,以后又改为背式伞,最后又发展为装在座椅头靠伞箱里的救生伞。开伞的方法也改进了三次,开始时用开伞器强制开伞,以后发展成三伞制拉伞开伞,后来又用射伞枪开伞,现在发展到伞炮倒拉法强制开伞。

气动开伞实际上是用开伞器开伞。开伞器可以人工调节,固定在一定的高度上开伞(利用大气压力原理),到设定的高度后,锁针将救生伞包打开,救生伞也随之张开。射伞枪是一种利用高速射击的弹头将降落伞拉出使其强制开伞的火药动力装置,在弹射座椅上有稳定伞射伞枪和救生伞射伞枪两种。救生伞射伞枪的弹头拉出救生伞的伞衣,然后再拉出伞绳,称做顺拉开伞程序,这需要较大的拉直力,不利于开伞。目前最先进的一种开伞方式是伞炮开伞。将救生伞装成流线三角形作为伞炮的“炮弹”,放在椅背上方头靠后面,用一种特制的伞炮将整个伞包射离座椅,先拉开伞绳,然后再拉出伞衣,这个顺序正好与射伞枪的开伞顺序相反,故又称为倒拉开伞程序。它的好处是开伞时的拉直力较小,有利于开伞。像 ACES II、MK-16 系列的弹射座椅都采用了这种开伞方式。

救生伞虽然形形色色,但对它的基本要求是一样的:可靠性要高,最大开伞速度要大,低空低速开伞要快,稳定性要好,不会对人体造成伤害,穿脱方便,可快速脱离,体积小、重量轻、寿命长、成本低等等。

✚ 可靠性高是指救生伞不该打开的时候决不能任意打开,而需要打开的时候必须按程序顺利打开。伞衣的折叠、包装、开伞装置和开伞方法需做到万无一失。救生伞在开伞过程中不会受到别的组件的干扰和损伤。救生伞上的伞绳也不会与操纵带纠缠在一

起。

✦救生伞最大开伞速度是指弹射座椅弹离飞机以后,靠座椅上安装的程序控制系统保证救生伞开伞不会超过的最大速度。因为开伞时如速度太大,不仅救生伞会破裂,人体也吃不消。目前世界各国使用的救生伞最大开伞速度为 $(400 \sim 650) \text{ km/h}$,开伞高度为 $(4\,500 \sim 6\,000) \text{ m}$ 。

✦低空低速开伞要快。低空弹射时飞行员的生命系于千钧一发之际。美国海军1967年至1979年间弹射1376名飞行人员,死亡235人,占弹射总人数的17%。这235名死者中,60 m以下弹射的有141人,占了全部死亡人数的60%。我国空军飞行人员弹射死亡人数中,低空弹射者也占50%左右。许多飞行员在救生伞尚未张开之前就撞在地面上,受到致命性损伤,由此可见低空快速开伞的重要。按美国军用标准规定,从弹射开始至救生伞第一次充气张满不应超过3s。除了弹射动力工作时间0.5s,救生伞实际开伞时间只有2.5s。

✦救生伞在下降过程中稳定性要好。一般要求救生伞的摆幅在 20° 以下。

✦救生伞开伞时和着陆时的冲击力都必须控制在人体可以耐受的范围之内。一般冲击力不能超过18 G。垂直下降速度不能超过 7.6 m/s (标准大气压、悬挂重量136 kg时)。

✦救生伞的迅速解脱功能也至关重要。尤其在刮大风时,飞行员着陆或着水后如不能迅速解脱救生伞就会造成在地面拖曳致伤甚至造成水中淹溺死亡,这种情况并非罕见。

1989年8月27日,沙特阿拉伯空军的一架旋风战斗机在空中发生事故,机上的飞行员和武器操作员均用MK-10火箭弹射座椅顺利弹离飞机,降落在沙漠里。那天正好刮大风,飞行员着陆时向左侧摔倒,很难解脱降落伞的背带,可是背带与伞绳纠缠,大风将他在沙地上拖了80 m远,身体向一侧滚转。2人被营救后送医院检查,武器操作员仅受轻度擦伤和挫伤,飞行员因被大风拖曳造成左肘鹰咀粉碎性骨折,左腿腓骨骨折和硬脑膜下出血。经6天

治疗病情明显好转,16 天后基本恢复。这说明 MK-10 火箭弹射座椅性能是良好的,但也有着陆(水)后被大风拖曳不能及时将救生伞解脱的毛病,有造成溺亡或重伤的可能。

(二)弹射座椅的发展

弹射座椅是一种用弹射动力将飞行员和座椅一起弹离失事飞机的救生装置。它的发明是军事航空救生史上的大手笔,它解决了高速战斗机上飞行员无法逃生的问题,为军事航空技术的发展扫除了一大障碍,也为航空救生开创了一个崭新的时代,同时它也是军事航空工效学研究成果的典范。弹射座椅已有 60 年的发展历史,它的发展可以大致分为 4 个阶段。

第一阶段 1943 年至 1957 年。

这个阶段使用的弹射座椅统称为弹道式弹射座椅,有人叫做第一代弹射座椅。它利用滑膛火炮的原理把人和座椅作为“炮弹”从高速飞行的飞机上弹射出去。实际上早在 1912 年法国人在巴黎郊区在一架飞机上做过空中假人弹射试验,那时使用的动力是一枚小加农炮弹,试验做得相当成功。但此后沉寂了大约 30 年,这项技术再无人问津。直到第二次世界大战,德国人发现许多爬出座舱跳伞的飞行员被飞机的尾翼撞死或撞成重伤,于是德国军方下令研究一种可迅速脱离高速行驶的飞机又不至于使飞行员受伤的新式座椅。1938 年,德国容克斯公司设计了一种用橡皮筋作动力的弹射座椅,这种座椅做过几次试验,最后不了了之。见图 4-2 所示。1940 年,德国亨克尔公司研制了一种用压缩空气作动力的弹射座椅,装在新设计的战斗机上。1943 年 1 月 3 日,德国一位名叫斯切克的试飞员在试飞一架新飞机时,飞机发生故障无法继续操纵,他就用这种弹射座椅弹射成功。见图 4-3 所示。飞行员像瓶塞子从瓶口迸发出来似的弹离飞机,这是世界上第一位用弹射座椅逃生的人。此后这种座椅大批装在 He-219 和 Do-335 战斗机上。但是用压缩气体作弹射动力有 3 种缺陷:一是不安全,一旦漏气怎么办?二是弹射动力不够大,往往弹出的高度不够,仍有碰上垂直尾翼的可能。三是体积大,重量重,影响战斗机的总体

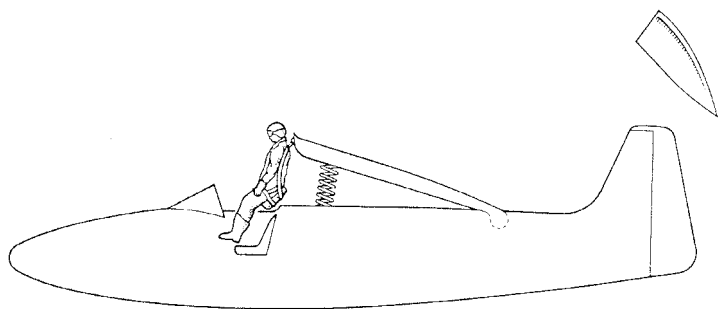


图 4-2 用弹簧的弹射座椅

性能。此后又改用别的动力。1944 年,德国亨克尔公司研制成功了用弹射弹作动力的弹射座椅并安装在新设计的 He-162 战斗机上。瑞典人几乎同时也开展了类似的研究,1941 年开始研制成功弹射座椅,1942 年假人弹射试验成功,1943 年装备于 Saab-21A 战斗机上。因此应该说瑞典和德国都是研制弹射座椅的先锋,见表 4-1 所示。二战结束时,德国的弹射座椅被盟国缴获,因此英、美、苏在此基础上很快发展了自己的弹射座椅。到 20 世纪 40 年代末,各大国的战斗机上几乎都装上了弹射座椅,特别是英国的马丁·贝克公司生产的弹射座椅从 1944 年至今已出厂 70 000 台,装备了世界上 92 个国家的空军。

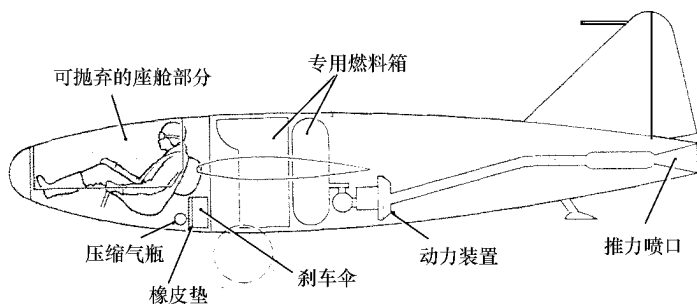


图 4-3 用压缩气体的弹射座椅

表 4-1 西方几个国家第一次弹射跳伞情况

国家	时间	弹射飞行员	弹射飞机
德国	1943. 1. 3	斯切克	He-129 战斗机
英国	1946. 6. 26	林克	流星战斗机
瑞典	1946. 7. 29	-	Saab-ITB 轰炸机
美国	1946. 8. 17	洛雷斯·拉姆	P-61 试验机
法国	1948. 2	-	-
加拿大	1950. 8	-	F-86

德国在第二次世界大战期间大约有 60 名飞行员弹射跳伞,但弹射成功率和受伤情况不明。美国空军在朝鲜战争中调查了 1928 名弹射跳伞飞行员的情况,其中 1330 名飞行员(69%)弹射顺利,有 598 名飞行员(31%)在弹射跳伞中遇到各种问题。这些问题包括:触及不到打火机构,抛座舱盖困难,遇绕流,座椅过早启动,弹射时碰座舱盖,因弹射姿势不正确身体和四肢受伤,不能拔除安全锁针等等。据从航空母舰上起飞的海军飞行员反映:在低空被迫弹射时,他们有的弹射座椅发生翻滚,有的遇到高加速度和高速气流吹袭,使他们不能很快与座椅在空中解脱。还有几位飞行员说:他们在解开座椅背带之前稀里糊涂地先把开伞钢丝索拉开了。有些人估计,弹射以后人椅分离时间长达(5~20)s,在高空弹射时遇到缺氧和寒冷。这次调查对后来美国空军弹射座椅的改进起了很重要的作用。

这一阶段的弹射救生的成功率可以达到 80% 左右,但低空弹射的成功率却很低,即低空弹射的死亡率很高。据美国空军 1949 年至 1955 年 12 月 31 日统计,美国空军共有 757 人弹射,其中无损伤 316 人,占 42%;受轻伤者 158 人,占 21%;受重伤者 110 人,占 14%;死亡 173 人,占 23%。弹射成功率为 77%,死亡率为 23%。在死亡的 173 人中,300 m 以下弹射死亡者有 47 人,占此高度弹射者的 76%;300 m~600 m 高度间弹射死亡者 16 人,占 20%;600m~900 m 高度间弹射死亡者有 7 人,占 17%。另据美国海军 1949 年 8 月 9 日至 1956 年 1 月 1 日期间弹射飞行员统计,共有 177 名飞行员弹射,其中 142 人幸存,成功率为 80%,28

人死亡(16%) 7 人失踪(4%) ,死亡率为 20%。其中 300 m 以下弹射者 14 人 ,仅 1 人幸存 ,成功率仅 7% ,而死亡率高达 93%。而 1 500 m 以上弹射者 106 人 ,有 102 人幸存 ,成功率达 96%。此外 ,飞机飞行速度 740 km/h 以下弹射者 136 人 ,幸存 123 人 ,成功率为 90% ,而飞行速度超过 925 km/h ,弹射者成功率仅为 55% (弹射 9 人 ,幸存 5 人)。

由此可以看出 ,弹道式弹射座椅基本上可以满足当时主要作战飞机 ,如美国的 F-86、F-100 ,苏联的米格-15 ,米格-17 和米格-19 的救生需要 ,但弹射的安全范围较小 ,特别是低空性能和高速性能较差。马丁·贝克公司的 MK-1 ~ MK-5 型弹射座椅是这个时期的代表。见图 4-4 所示。

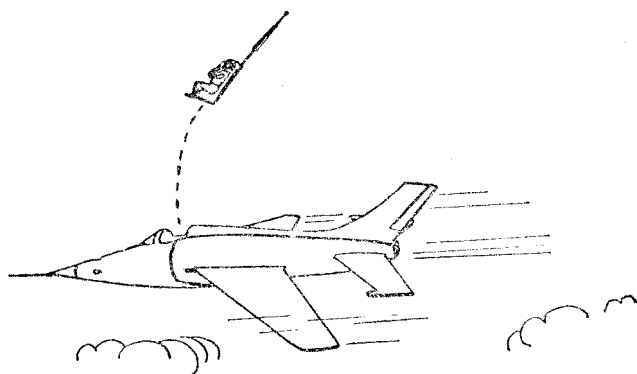


图 4-4 弹道式弹射座椅

第二阶段 1958 至 1977 年。

这一阶段使用的是火箭弹射座椅 ,有人称为第二代弹射座椅 ,其特点是增加了火箭动力。美军在朝鲜战争中发现 ,弹道式弹射座椅的低空性能差 ,300 m 以下弹射多数飞行员难以存活。原因是弹射炮弹的动力不够大 ,低空弹射时座椅向上弹射得不够高 ,结果救生伞尚未能张满时 ,飞行员就摔在地上。所以这个阶段的主要任务是解决零高度的问题 ,即飞机在跑道起飞或着陆时也可以安全救生。1956 年美国人开始研究火箭弹射装置 ,在原来弹道式

弹射座椅上面加一个火箭,炮弹燃爆后接着点燃火箭,使座椅升得更高,使救生伞有充分时间张满。1957 年这种火箭装置就被装到弹射座椅上,见图 4-5 所示。1958 年一架 F-102 战斗机在飞行中失事,飞行员用火箭弹射座椅弹射跳伞成功,开创了飞行员火箭弹射座椅救生的先河。英国马丁·贝克公司从 1958 年开始也进行了火箭弹射座椅的研制。1961 年 4 月他们的火箭弹射座椅在空中真人试跳也获成功。20 世纪 60 年代和 70 年代,许多战斗机都装上了火箭弹射座椅,如 F-105、F-106 这些新服役的战斗机,甚至连老掉牙的 F-84 战斗机都用火箭弹射座椅更换了原来的弹道式弹射座椅。据美国空军 1964 年统计,弹射救生的飞行员中当时已有 41% 使用的是火箭弹射座椅。这个时期火箭弹射座椅的代表有:美国空军 F-105、F-106 战斗机上的火箭弹射座椅;马丁·贝克公司的 MK-6、MK-7;米格-23 战斗机上的 KM-1 火箭弹射座椅;瑞典 Saab-35、Saab-37 战斗机上的火箭弹射座椅。

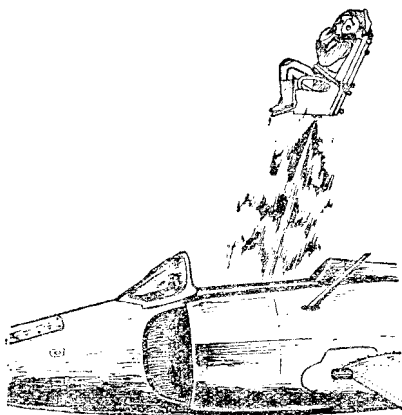


图 4-5 火箭弹射座椅

这个时期的弹射救生率大致在 85% 左右,如美国空军 1962 年 1 月 1 日至 1966 年 12 月 31 日共有 835 人弹射跳伞,幸存 700 人,重伤 163 人,致命伤 135 人。弹射成功率为 84%,弹射死亡率为 16%。其中 79 人是低空弹射死亡的,占死亡总人数的 58.5%。

美国海军 1969 年 1 月至 1976 年 4 月间 ,有 387 名飞行人员水上弹射 ,59 人死亡 ,弹射成功率为 85%。

在越南战争中 ,这种火箭弹射发挥了很好的作用 ,美空军 1967 年 ~1968 年战斗弹射 101 名飞行人员 ,成功率为 99%。战后美空军向遣返战俘作调查 ,遣返战俘中有 207 名飞行人员是弹射跳伞后被俘的。他们驾驶的飞机有 13 种 ,其中有 2 种飞机占总数的 75%。207 人中有 77 人受重伤 ,85 人受轻伤 ,42 人未受伤 ,另有 2 人情况不明。受伤多半是在离机时发生的 ,重伤率达 37% ,而非战斗弹射在 15% ~20% 之间。海军遣返弹射飞行人员的高重伤率则更高 ,达到 52% ,只有 20% 的弹射飞机处于平飞状态 ,有一半以上飞行员是在飞机横滚、螺旋、筋斗和振动等状态下弹射的 ,有 10% 的飞行人员是在飞机解体时弹射出来的。150 m 以下弹射的仅占 8% ,低空弹射的情况较少 ,没有延迟弹射的问题。令人惊异的是 ,许多飞行人员都是在高速飞行时弹出来的 ,飞机在 830 km/h 时弹射的占一半以上。飞行速度(830 ~920) km/h 之间弹射的有 18 人 ,其中 4 人受重伤。飞行速度(920 ~1 100) km/h 弹射者 44 人 ,有 20 人受重伤。1 100 km/h 以上弹射者有 9 人 ,有 6 人受重伤 ,其中有 4 人是气流吹袭所致。830 km/h 以上弹射者共 71 人 ,30 人受重伤 ,其中 12 人是直接受大的速压力作用造成的。而同期 325 次非战斗弹射中仅有 7 次是 830 km/h 以上弹射的 ,仅 1 人受伤。由此可以看出 ,火箭弹射座椅在高速飞行时弹射性能良好。

但越南战争中也发现了许多火箭弹射座椅的问题 ,207 名遣返飞行人员根据他们的弹射经历 ,罗列了 448 个弹射离机问题(325 起非战斗弹射中只提出 75 个问题) :其中有关加速度力的 66 个 ;有关气流吹袭的 68 个 ;有关颠簸的 44 个。这三者相加占了总数的 40% ,反映了作战中的事故对弹射有重要的影响。加速度力、气流吹袭和颠簸延迟了打火手柄的寻找和启动 ,妨碍了弹射姿势的准备 ,也往往造成四肢甩打重伤。有 46 起飞行员座舱或乘员工作舱发生烟和火 ,这在非战斗弹射时是很少见的。有 41 人说

寻找和启动弹射打火手柄发生困难,这在非战斗弹射也是常见的,这与打火装置缺乏标准化有关。有 38 起弹射发生摔打伤,受重伤者 12 起。由于严重危险情况引起慌乱、迷向、恐惧和神志恍惚而使脱离飞机困难者有 32 起;有 22 起因为受伤而使离机困难;有 21 名飞行人员受到装备的阻挡和碰击,15 人撞在座舱结构上;有 7 人发生人、椅和救生伞纠缠;有 5 人在人椅分离时发生问题。

属于“其他”类的有 43 起离机问题,由 13 种不同原因造成,包括人椅分离前后出现打滚和旋转,装备尺寸不合适,撞击飞机外部结构,救生包打开困难等等。有一位飞行员忘了拔掉弹射座椅的地面安全锁,有 11 起弹射座椅部件有故障,包括人椅分离器故障 1 起,座舱盖或舱口故障 4 起,前后座椅依次弹射程序故障 1 起和座椅不打火 1 起(这位飞行员后来用人力离机跳伞成功)。救生伞的使用也存在一些问题,救生伞打开后常遇到地面火力的射击,大约有 30% 的飞行人员降落在森林中。越南战争中遣返战俘中弹射跳伞飞行员的这些经验教训为改进火箭弹射座椅的结构与性能起了很重要的作用。

这个阶段后期生产的有些火箭弹射座椅性能已经达到较高的水平,而且至今仍在使用。

这个阶段还出现了穿盖弹射的新方法:它不是先将座舱盖抛掉,然后再弹射,而是直接借助弹射力用座椅头部顶破座舱盖弹射出舱。这至少有 3 个好处:

①缩短了离机的时间。穿盖弹射比抛盖弹射要缩短 0.4 s,这对低空弹射来讲实在是太可贵了,可以提高低空弹射的成功率。

②提高了弹射座椅的可靠性。由于采用穿盖弹射,就可以不必用抛盖联动机构、抛盖装置、座椅联锁机构,因而减少了 3 个串联环节,而这些环节往往也是发生故障的地方(美国海军 20 世纪 70 年代曾有 32 起因抛盖系统故障而弹射死亡的事例)。

③由于精简了部件,减少了地面维护的工作量和工作时间,因而飞机的出勤率也得到了提高。

海军航空母舰上的战斗机在作战或训练时有掉入海中的危

险,因此这些飞机上的弹射座椅应该有水中弹射的性能。水下弹射在 20 世纪 60 年代就有成功的例子。

1969 年 6 月 10 日仲夜刚过,一位名叫罗斯·帕森的美国海军飞行员驾驶一架 A-7 海盗 II 型轻型攻击机从星座号航空母舰飞行甲板上起飞,不料飞机失事落入太平洋中。出事地点离南加利福尼亚海岸仅 110km,飞机往下沉活像是口棺材。飞行员瞬间想到妻子和 9 岁的儿子等着他回家呢,他拉动了两膝之间椅盆上的打火拉柄,好像什么反应也没有,时间好像凝固了似的,他看着自己不断往下沉,要是弹射座椅再不工作,只能沉到海底喂鱼了。正在这时,突然他看到四周一片红色火光,火箭点火了。他弹出了座舱并与座椅分离,飘浮在寒冷、黑暗的太平洋海面上,不久一架直升机将他救走。以后每年的 6 月 10 日这天全家都会作为他的生日来庆祝。

第三阶段 1978 年至今。

这个时期使用的弹射座椅称为多态程序控制火箭弹射座椅,又称第三代弹射座椅,见图 4-6 所示。主要解决飞机在不利姿态状态下的弹射,如飞机横飞、倒飞时能使弹射座椅顺利弹离飞机,张满救生伞落地。其特点基本上都是 20 世纪 60 年代发展起来的,使用三级套筒式弹射筒加火箭包或火箭弹射器这二种动力,有多套控制技术。如美国麦道公司专为美空军设计的先进概念弹射系统(英文缩写为 ACES II),装备在 F-15、F-16、F-117、A-10、B-2 等飞机上。如俄罗斯的 K-36D,装在苏-17、苏-24、苏-27、米格-29 和米格-31 战斗机上。另外还有 MK-10、MK-14、MK-16、S3S 和 S4S 等火箭弹射座椅。这些弹射座椅的弹射成功率可以达到 90% 左右。

ACES II 火箭弹射座椅装有先进的微电子装置,电子传感器可以感知弹射时飞机的飞行速度和高度,电子微处理机根据电子传感器探测的飞行速度和高度可自动选择 3 个方案中最安全的一个进行弹射。电子装置可以十分精确地控制弹射程序与时间间隔,可以保证飞行速度在(0~1 120) km/h、飞行高度(0~21 000) m

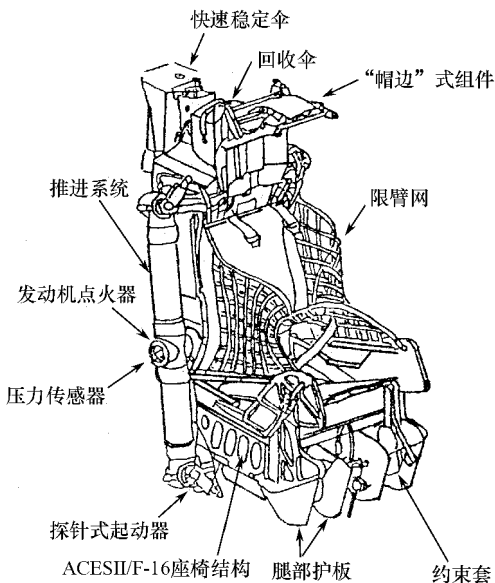


图 4-6 多态程序控制火箭弹射座椅

范围内的安全弹射。座椅有陀螺控制的微调火箭喷咀,自动保持座椅的稳定,用制动伞使座椅减速稳定,主伞采用射伞枪拉出。救生伞降落地面以后,飞行员只要按一下背带系统上的一个按钮,人和伞即可迅速分离。开伞程序可按低空低速、中空中速、高空高速 3 种方案自动选择。当飞行员按动两侧或一侧扶手时,弹射座椅立即打火,接着安全带自动收紧,座舱盖自动抛掉,弹射火箭接着点火,座椅上的程序控制装置开始工作。弹射座椅沿滑轨上升时,弹射座椅与飞机的所有联系均切断,应急供氧此时开始。当座椅接近滑轨的顶端时,座椅开始探测飞行的高度和速度,打开制动伞并选择以下 3 种方案之一:

①低空低速:打火后 0.2 s,主伞被射伞枪拉出,再过 1.15 s 以后,主伞的缩伞绳切断,制动伞也断开,再过 0.15 s,安全带解开,利用主伞打开的拉力使人椅分离;

②中空中速:制动伞打开以后 1.0 s,主伞被射伞枪拉出。

0.15 s 以后 ,制动伞断开 ,安全带解开 ,然后主伞张开 ,人椅分离 ;

③高空高速 :制动伞打开以后 ,其他程序暂时停止 ,直到高度、速度减到中空中速时 ,按第二方案程序继续进行。

ACES II 弹射座椅的救生伞装在座椅的头箱内 ,这样可以增加飞行员的舒适性和座舱内的活动性。1977 年这种弹射座椅被美国空军确定为标准化座椅 ,明显地减少了维修和训练费用 ,当年就装备了 286 架飞机。

1998 年 ,美空军曾对 ACES II 使用情况进行过一次调查研究。1978 年 ~ 1998 年 20 年里 ,全世界使用这种弹射座椅离机的飞行员人数达到 463 人 ,其中 421 人幸存 ,42 人死亡 ,总的弹射成功率达到 90% 以上。这种弹射座椅不仅装备了美军 ,也装备了外国空军的战斗机 ,尤以 F-16 居多。从 F-16 战斗机上弹射的飞行员就有 338 人 ,幸存 312 人 ,弹射成功率为 92%。美国空军用 ACES II 弹射座椅救生的飞行员有 314 人 ,288 人幸存 ,26 人死亡 ,弹射成功率为 90%。42 名飞行员用 ACES II 弹射座椅弹射失败的原因是弹射超出包线(规定的安全范围) ,因甩打伤造成溺亡以及弹射打火火箭发动机发生故障。当时决定改进这种座椅并扩大它的使用范围 ,将原规定飞行员体重限于(64 ~ 95) kg 扩展到(46 ~ 111) kg ,这样女战斗机飞行员也可以使用这样弹射座椅。

另据美国空军安全中心 2001 年的统计 ,1978 年 8 月 8 日至 2000 年 9 月 30 日期间 ,仅美空军弹射 362 人 ,死亡 29 人 ,成功率为 92% ,见表 4-2 所示。

表 4-2 美空军 ACES II 弹射座椅弹射成功率

飞机	生 存		死 亡	
	生存人数	成功率 / %	死亡人数	死亡率 / %
A-10	37	84	7	16
F-15	57	91	5	9
F-16	222	93	16	7
B-1B	15	94	1	6
F-117	2	100	0	0
总计	333	92	29	8

ACES II 弹射座椅在战场上的表现也很出色。在海湾战争的沙漠风暴战役中,驻扎在西班牙 Torrejon 空军基地的第 401 联队损失了 4 架 F-16 飞机,机上 4 名飞行员安全跳伞,其中 2 名是高空跳伞。这是第一次装有 ACES II 弹射座椅的 F-16 在战斗中的弹射。在和平时期,这种弹射座椅已被证实可以提高弹射成功率。从 1987 年 8 月 8 日至 1989 年 9 月 30 日,装备有 ACES II 弹射座椅的 A-10、F-15、F-16 和 B-1B 飞机上的弹射成功率为 89%。而美国空军 1949 年至 1989 年 9 月总的弹射成功率为 82.5%。其中,F-16 飞行员的弹射成功率为 91%,在整个沙漠风暴战役中,美空军执行战斗任务时共损失装有 ACES II 弹射座椅的战斗机 11 架,其中 2 架 F-15、4 架 F-16、5 架 A-10。13 名飞行员中有 9 名幸存,弹射成功率为 69.2%。从统计数字来看,似乎战时的弹射成功率比和平时期低。其实不然,实际上有 4 名飞行员在战斗中并未弹射。一架 F-15E 战斗机被地对空导弹或高射炮火击中,它可能在空中爆炸,也可能在猛烈的炮火中坠地。2 架 A-10 飞机的飞行员未弹射。这样按实际弹射的数字计算,战斗弹射的成功率应为 100%。

这一阶段中,另外一些多态控制火箭弹射座椅也有很好的表现。

如英国马丁·贝克公司生产的 MK-10 火箭弹射座椅截止 1997 年,共挽救了 507 名飞行人员,成功率高达 96%。有几例是在救生包线(即安全弹射范围)之外弹射的,也获得了成功。海湾战争中,MK-10 火箭弹射座椅挽救了 28 名飞行员的生命,成功率达 100%。至 1999 年,这种座椅已用于 61 个国家空军的 55 种机型上,总生产量达 12 000 台,至今仍在为旋风战斗机和鹰狮战斗机生产。

美国海军自己另搞一套,并没有采用美国空军的 ACES II 弹射座椅。他们使用的弹射座椅是马丁·贝克公司专为美海军设计的 NACES 座椅,全称为海军先进概念离机系统,它又叫 MK-14 弹射座椅,是美国海军的标准化弹射座椅,安装在 F-14、F/A-18、T-

45 等飞机上。1980 年至 1995 年间 ,有 60 名飞行员从 F/A-18 战斗机上弹射 ,其中 55 人幸存 ,5 人死亡 ,弹射成功率达到 91.7%。

俄罗斯 K-36 系列弹射座椅是俄罗斯星星联合体研制的 ,共有 3 种型号 ,即 K-36D ,K-36L ,K-36V。其中 K-36D 是专为高性能战斗机设计的 ,飞行员带保护头盔时可在 1 300 km/h 安全弹射。飞行员带密闭头盔时可在 1 400 km/h 安全弹射。其性能明显优于目前西方国家一些先进的弹射座椅。1993 年至 1995 年期间 ,美国科学家和工程技术人员为了了解 K-36D 弹射座椅的真实性能并与美国的弹射座椅进行比较 ,用美、俄两国的假人在弹射塔、风洞、高速火箭滑车和一架改装过的米格-25 战斗机上进行弹射试验。美国空军的 ADAM 假人是世界上用于冲击和弹射试验最先进的假人 ,其体内的计算机可记录和储存 64 个通道的数据长达 15s。这些数据包括座椅弹射时假人臂和腿的运动情况以及头、胸部和座椅加速度值。美、俄两国科学家的试验结果表明 ,K-36D 确实名不虚传。

我国 1969 年研制成功火箭弹射座椅。座椅基本上用的是苏联的 ,借鉴了英国马克·贝克公司当时的火箭动力系统 ,在原来弹道式弹射座椅上安装了火箭包、人椅分离器、稳定伞和射伞装置。1973 年开始批量生产装备部队。经 30 年的发展 ,我国已有 8 种火箭弹射座椅型号 ,有的已达到了第三代弹射座椅的水平 ,但与国外先进水平相比尚有较大距离。

当今世界有能力研制和生产弹射座椅的国家屈指可数 ,它们包括 :英国、美国、俄罗斯、中国、法国和瑞典 6 个国家。20 世纪 80 年代以前英国和美国技术领先 ,几乎垄断了整个弹射座椅的世界市场。许多西方国家空军先进战斗机上装备的都是英国和美国的弹射座椅。我国出口的歼 6、歼 7 战斗机到了购买国后就很快被改换成马丁·贝克公司的弹射座椅。20 世纪 90 年代以后情况有了改观 ,俄罗斯的弹射座椅在技术上独领风骚 ,但要打入西方国家的市场并不容易。由于俄罗斯的 K-36D 弹射座椅重量重 ,总重 91kg ,而 ACES II 弹射座椅仅 59kg ,如此庞大的身躯很难装在现有

的西方先进战斗机上,必须作一番全面地改造才行,另外西方国家的弹射座椅也在不断改进。

未来与展望:

未来弹射座椅的发展方向是要提高大速度、不利状态下的弹射成功率,这是第四代弹射座椅的目标。第四代弹射座椅又称自适应弹射座椅,其特点是采用自适应控制技术、推理控制技术、高速气流防护技术和高速稳定技术,使救生包线达到(0~1400) km/h,最大马赫数3.0,高度(0~21000) m,不同状态下弹射成功率明显提高。

第四代弹射座椅的研制方法有2种:①在原来第三代弹射座椅的基础上进行技术改进;②另起炉灶搞一种全新的弹射座椅。

其实早在20世纪60年代末,美国海军就着手一项“最高性能离机系统”计划,简称为MPES计划,要求在飞机横滚180°,即倒飞状态下和离地15 m时以及飞机横滚90°高度为零时能安全离机。这确实是一个大胆的设想,但这项研究工作经过10年探索工作和4年的研究,终因经费不足于1983年停止,见图4-7所示。1984年以后,美海军又在MPES计划研究基础上开展了乘员救生技术计划即简称为CREST计划,也因为耗资过大,技术风险太高而中止。从1993年开始,美国空军和海军联合进行一项预研计划来推进第四代弹射座椅的早日实现。

由于直升机复杂的升力、传动和操纵系统容易出故障,而且一旦出现故障又往往造成灾难性的事故,所以直升机的事故率约为固定翼飞机的3倍,但至今尚未在直升机上广泛使用应急离机系统,因为直升机顶上有旋翼,无论是跳伞、弹射还是牵引都很可能碰在旋翼上。现有的固定翼飞机上的弹射座椅直接装在直升机上肯定是不行的,因此必须另辟蹊径。

曾有人对直升机的救生提出过多种方案,见图4-8所示。

比较可行的办法是:先将顶上的旋翼炸掉,然后向侧方用牵引火箭将飞行人员拉出直升机。现在真正有直升机救生系统的只有俄罗斯的卡-50和卡-52直升机。

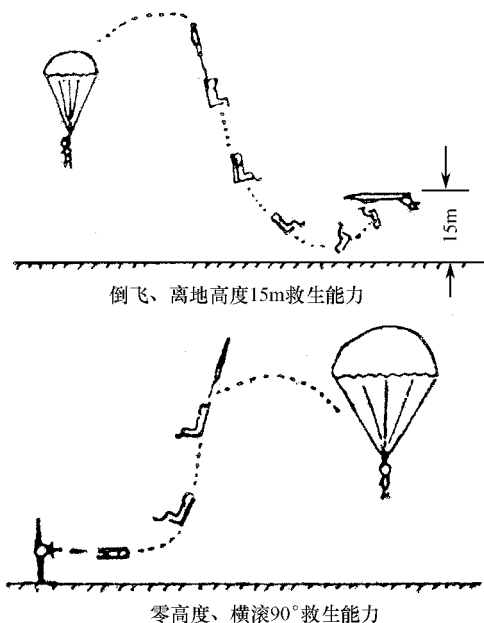


图 4-7 MPES 救生能力

俄罗斯的 K-37 座椅系统是专为卡-50 黑鲨直升机研制的,后来又用在卡-52 短鼻鳄攻击直升机上。这种座椅实际上是一种火箭牵引系统:首先用爆炸索点火,抛掉旋翼,然后抛掉舱盖,最后牵引火箭将飞行人员拉出座舱,2s 后,救生伞自动张开。美国 AH-1 眼镜蛇直升机上准备装类似的救生系统,已在一架 H-21 直升机上做过试验。

三、座椅结构与弹射过程

弹射座椅虽然不大,却集许多高新技术于一身。它涉及到生物力学、空气动力学、弹道学、自动控制、结构与强度、降落伞学等多种学科,既要满足各种新型战斗机的战术技术性能要求,还要符合人的生理耐限。

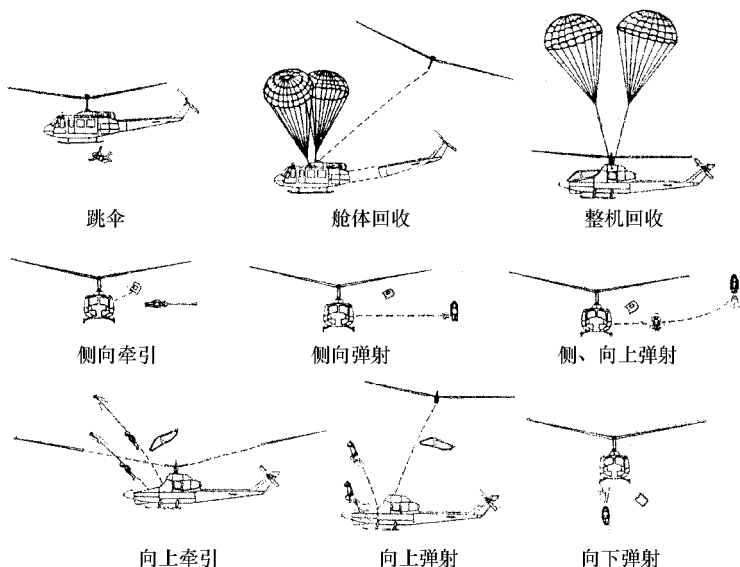


图 4-8 直升机飞行人员救生方案

(一) 座椅结构

弹射座椅的主体结构由 5 个部分组成：头靠、靠背、骨架、椅盆和座高调节机构。除此之外，座椅上还装有点火系统、弹射动力系统、稳定系统、程序控制系统等等，见图 4-9 所示。如有 2 个以上座椅弹射，还有多座弹射程序控制系统。以下仅就座椅主体结构的 5 个部分作一简要介绍。

✚ 头靠 头靠有 4 种功能。

①最基本的一种功能是，平时飞行或弹射时用于支撑飞行员的头部，所以它的形状、结构和材料均应使飞行员感到舒适。弹射时可使头部固定好，保持正中位置，防止向两侧移位。

②有些战斗机弹射座椅的头靠上装有弹射打火机构，称为面帘手柄，像我国歼 6 飞机上弹射座椅就装有这种面帘打火手柄。

③头靠内装稳定伞和救生伞，因而称为头靠伞箱。这种结构便于射伞枪或伞炮将救生伞迅速拉出、张满。

④穿盖弹射的座椅头靠上在伞箱两侧装有穿盖器，这种穿盖

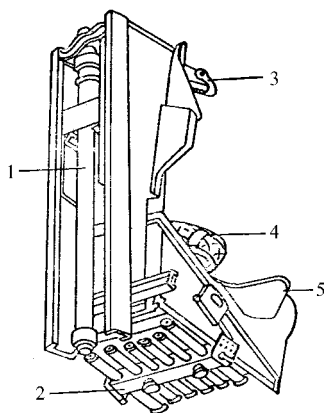


图 4-9 弹射座椅的前侧观

1—弹射筒 2—火箭包 3—面帘把手 4—安全带 5—弹射手柄。

器在飞行员身体推出座舱之前先将座舱盖击碎,使座椅顺利通过舱口。

✚ **靠背** 靠背有 2 个功能。

①为飞行员平时飞行时提供舒适的支撑,因此靠背的形状应呈 S 形符合人体脊柱的自然形态。

②弹射时飞行员背部紧贴靠背,使脊柱保持可承受最大冲击力的姿势,避免脊柱损伤。有的弹射救生系统采用背式的救生伞,伞包背在飞行员身上,正好位于飞行员背部和靠背之间。这种伞包在靠背上应该有固定点,但在弹射时又可以迅速解脱。靠背与飞行员之间应有足够的空间,防止飞行员过分前移而妨碍操纵。

✚ **骨架** 骨架主要起承力和连接的作用。

①**承力**:在结构和材料上有足够的强度保证它在弹射过程经受住各种方向上的最大作用力。它由两根纵向的构件和 3 根横梁组成。

②**连接**:在弹射座椅本身,上面连接头靠,下面连接椅盆。构件上安装固定各种操纵系统、弹射动力装置等。骨架上有接头与飞机机体相连接,因此可以传递飞行载荷、摔机载荷和弹射载荷。此

外,弹射座椅的骨架纵向构件可作为座椅弹射离机时的导向滑轨。

✚椅盆 有 2 种功能。

①飞行员平时坐在椅盆上进行各种操纵,起凳子的作用。

②椅盆内可以放置救生伞或救生物品包,起存放的作用。

早期弹射座椅的救生伞是放在椅盆内的,称座式救生伞,后来逐渐发展为背伞,现在又放置在头靠伞箱内。救生伞采用背式或头靠伞箱以后,椅盆内一般放置飞行员的救生物品包(或硬式的救生物品箱),内装各种通信联络工具(如信标机、无线电收发机、信号枪、烟火管、太阳反光镜、海水染色剂、闪光灯等)、防护物品(救生船等)、救生口粮、饮用水等等。为了既牢固又轻便,椅盆通常用高强度的铝合金板材铆接而成,也有用镁合金铸成的。

✚座椅调节机构。

由于飞行员坐高(臀部至头顶的距离)差别较大,据我空军飞行员人体测量,坐高的范围在 79 cm 至 100 cm 之间,但 88cm ~ 94cm 占 86%。为保证飞行员平时坐姿时有良好的视界,在射击时有理想的瞄准位置,有一个舒适的操纵坐姿,座椅应根据飞行员的实际坐高进行适当的调整。座椅的垂直调节距离为 9 cm,轰炸机上的座椅还可前后调节。调节之后不应影响原有的电源系统。

(二)弹射过程

弹射过程虽然复杂,但对飞行人员来说,只要做 2 件事就够了,其余的均由自动控制系统按规定程序自动完成。这 2 件事情:①是做好弹射前的正确姿势,以防脊柱向前弯曲在弹射力作用下受伤;②是启动弹射打火装置。根据弹射座椅种类的不同有 3 种打火形式:①是面帘手柄打火,见图 4-10 所示。②是两侧扶手打火,见图 4-11 所示。③是中央 D 型环手柄打火,见图 4-12 所示。有的弹射座椅兼备其中两种打火形式。

弹射过程由以下 10 个环节完成,见图 4-13 所示。

①抛掉座舱盖:在抛盖和点火系统之间有联动锁闭机构,目的是保证座舱盖抛掉以后才能击发点火。如果用穿盖弹射的方式,则不需要这套联动机构,而是在弹射座椅弹射上升时借助强大的

弹射力用座椅头靠上的穿盖器将座盖击碎。这个环节按航空救生界的行话说是“清除弹射通道”。有些弹射不成功,毛病就出在这个环节上。

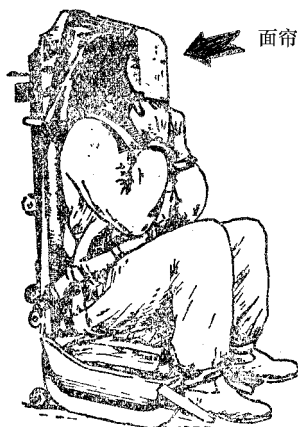


图 4-10 面帘打火



图 4-11 两侧扶手打火

②弹射弹打火 抛掉座舱盖以后,弹射弹立即点火,座舱沿导轨向上移动,四肢约束系统开始工作,将上下肢体紧紧固定住以免被气流吹散受伤。接着脱开机上的电源、通信线路和氧气系统,并接通应急供氧系统,启动座椅程序控制系统。

③火箭包点火 座椅离开弹射机构的瞬间,火箭包(或火箭弹射器的发动机)立即点火,使座椅继续往上推。

④射出稳定伞 弹射座椅脱离飞机以后,座椅程序控制系统使射伞枪开始工作,射出稳定伞。

⑤稳定减速 稳定伞张开使弹射座椅在空中的运动速度减小,并使座椅避免在空中翻滚。

⑥人椅分离 根据程序,飞行员约束系统开锁,人椅自动分离。某些特殊情况下,人椅分离不利索时飞行员也可用脚将其蹬开。但这种情况颇为罕见,如要这样做,飞行员当时的头脑应相当清醒。

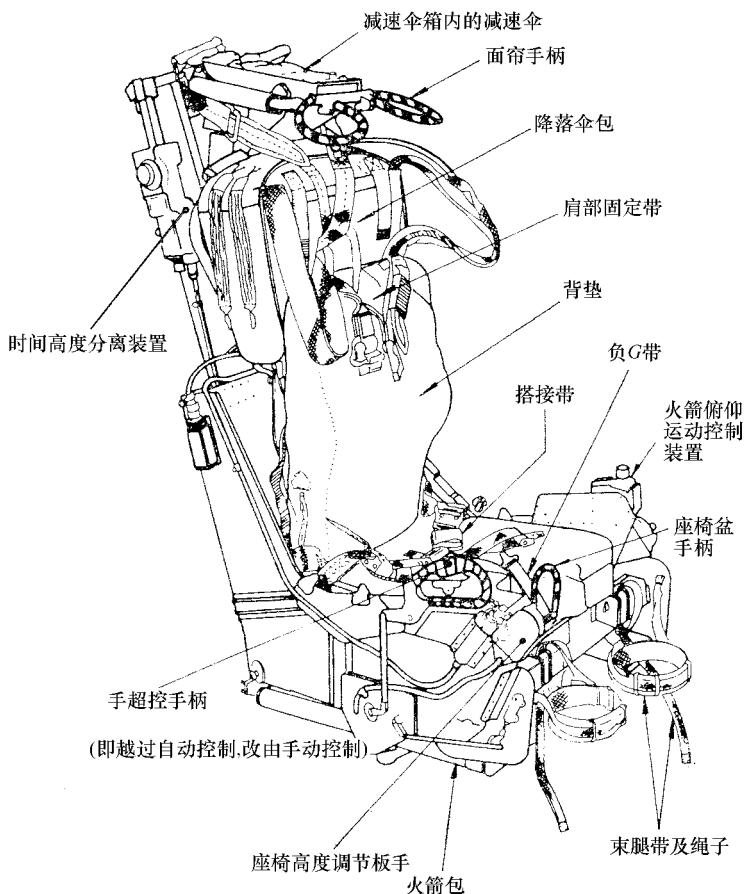


图 4-12 中央 D 环手柄打火

⑦打开救生伞 按程序规定 救生伞在一定的高度和速度下张开。一般打开高度在(3 000 ~ 4 000) m、速度在(500 ~ 600) km/h。

⑧救生伞完全张满 救生伞从拉出到完全张满,人体会受到开伞冲击力的作用,要求救生伞开伞时间越短越好,要求冲击力越小越好。

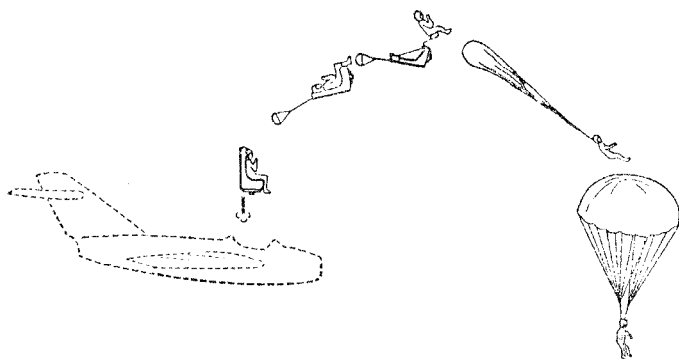


图 4-13 弹射过程

⑨降落 救生伞降落过程中可以通过操纵带选择着陆的地点。如果下面是海洋或江湖,应在着水前先打开救生船和救生物品包,以便落水后能迅速爬上救生船,及时使用救生物品。

⑩着陆 着陆时,飞行员应双腿并拢,双脚着地,尽可能减轻着地时对人的冲击力。如果地面或水面的风力较大,着陆后应迅速打开快卸锁抛掉救生伞,以免被伞在地(水)面上拖拉。

四、弹射损伤

飞行员弹射跳伞时往往都是在十分险恶的环境下离机的,诸如飞机着火、发动机停车、恶劣天气、鸟撞或者飞行员发生应急情况等等。

✚1992年9月8日,一位名叫格内尔格罗夫的美国上校飞行员驾驶一架F-16C战斗机在飞往伊拉克禁飞区巡逻途中,感到尿急得憋不住,于是他将驾驶杆推到自动驾驶部位,松开自己身上的安全带去取小便器皿(由塑胶制成,内有海绵块)。不料,这时安全带的扣子恰好卡在了座椅与控制飞机转弯的驾驶杆之间动弹不得。飞行员在百般无奈之下只好将座椅调高,谁知此时驾驶杆被推向后边,使飞机翻滚下降,从11 000 m降到1 000 m时,飞行员

只得弹射跳伞,虽安全着陆,但飞机触地坠毁爆炸。

✚1987年9月18日,一架美国空军的B-1B战略轰炸机从科罗拉多州飞往拉洪塔靶场。飞行途中飞机的第3、4号发动机突然发生猛烈振动并随即停车熄火,当时飞行高度180 m,飞行速度为1 037 km/h,飞机接着起火并下坠,机上的5名飞行人员无法挽救飞机,只得纷纷弹射跳伞,有3名飞行员弹射成功,有2名飞行员因飞机飞行高度太低失去时机弹射未成功。事后调查,原来是一只7 kg重的白鹈鹕正好撞在第3号发动机的吊舱上,击穿了整流包皮,又打断了高压液压导管致使飞机无法驾驶失去控制。

✚1988年3月11日清晨,英国皇家空军的4架“闪电”式战斗机正在空中进行编队训练。1h30min后2号机关加力,慢慢收油门时,发动机突然发出“□□”的巨响。飞行员又推油门想改变此种情况,然而“着火”的警告灯亮了,浓烟和火焰窜入驾驶舱内,但很快又没有了,他一面发出无线电遇险信号,一面使飞机向上爬升并关闭了1号发动机。他要求队长观察一下自己的飞机,大约在3 000 m高度飞机改平飞向他们起飞的本勃洛克机场。队长通过无线电告诉他,飞机漏油了已经着火。这名飞行员只好放弃飞机弹射跳伞。飞行员安全降落地面,仅15min后,一架营救直升机将他载回营地。

✚1987年年底,英国皇家空军“红箭”表演队刚上任不久的队长米勒正带领全队在斯卡姆卜通上空进行常规的编队训练。大约在5 000 m高度,队长米勒命令放减速板。1986年年底才调入表演队的飞行员斯比克·纽贝利编在第2纵队,他操纵减速板时竟毫无反应,死活放不下减速板,飞机随即撞在前面队长的飞机上,2名飞行员立即弹射跳伞,虽弹射成功但却受了重伤。这2架鹰式战斗机也随即坠毁,一架落在野地里,另一架摔在民房上,造成几间民房被毁,幸好当时民房里无人,故无地面人员死伤。米勒队长住院一年,1988年仍然担任队长,而那位斯比克·纽贝利则被医学淘汰。

✚1999年8月18日,台湾的一架F-16A战斗机在进行降落

复飞时因排气喷口故障发动机推力消失,飞机无法驾驶飞行员弹射跳伞成功。1992年台湾向美国订购这种飞机150架,1997年后陆续交货,至1999年已有60架。此前已发生过类似3起事故,5名飞行员死亡。

✦1989年2月11日,台湾一位名叫林贤顺的中校飞行员驾驶一架F-5E战斗机回归大陆。飞机飞至广东来顺县上空时油料耗尽,林贤顺当机立断立即弹射跳伞,安全着陆,飞机坠毁。

虽然说弹射座椅的设计已经考虑到高度的自动化和很高的可靠性,但它不可能保证百分之百的弹射成功。它毕竟有一个称之为救生包线的安全范围,超出这个范围就可能招致不测。风驰电掣般的飞机一旦失去控制常常会使飞行员错过最好的弹射时机,因此飞行员在弹射跳伞时遭受外伤几乎是难以避免的,只是要求不要发生致命伤和减少重伤。但实际上仍然有相当多的飞行员在弹射时,遭受致命伤和重伤。

(一)致命伤和重伤

致命伤是指弹射后48h内死亡。而重伤的标准按美国空军的规定,凡符合以下5条之一者可划为重伤:①住院5天或5天以上;②意识丧失5min以上;③发生骨折(除鼻骨和指骨);④任何内脏伤;⑤3度烧伤或2度烧伤面积超过体表5%。

以下是西方几个国家弹射跳伞时飞行人员受致命伤和重伤的简要情况。

✦美国空军1978年8月8日至2000年9月30日,使用ACES II弹射座椅的飞行人员有362人,其中333人幸存,29人受致命伤死亡,弹射成功率为92%,死亡率为8%。但幸存者中有15%的飞行员受重伤,18%的人受中度伤,67%的人受轻伤。

✦德国空军1981年至1997年间有86名飞行人员从56架飞机上弹射跳伞。其中1名飞行人员因在弹射前与另外一架飞机在空中相撞已身负重伤,弹射后立即死亡,故不计在内,实际弹射者为85人。有2人死亡,其中1名飞行员弹射跳伞至海上,在冰冷的海水中浸泡而致低温症死亡。另一名飞行员弹射时因受猛烈气

流吹袭造成严重的甩打伤,引起延脑出血而死亡。弹射成功率为 97.6%,但受重伤者达 30 人,重伤率达 35.3%。轻伤 41 人,占 48.2%。无伤 12 人,占 14%。受伤部位主要是在下肢和脊柱。而脊柱伤主要是弹射时所致脊柱骨折,其次是着陆冲击伤。

✦法国空军 1985 年至 1998 年间有 85 人弹射,其中 7 名飞行人员因受致命伤而死亡,弹射成功率为 94%,死亡率为 6%。受重伤者 26 人,占幸存者人数的 32.5%。轻伤 22 人,占 27.5%。无伤 32 人,占 40%。

✦西班牙空军 1979 年至 1995 年间有 48 名飞行人员弹射跳伞,7 人受致命伤死亡,弹射成功率为 85.4%,死亡率为 14.6%。受重伤的 25 名飞行员,重伤率为 60.9%。11 人受轻伤,占 26%。无伤 5 人,占 12%。在 48 名弹射跳伞的飞行人员中,因飞机技术故障弹射者 35 人,因人为错误而弹射者 13 人。

✦瑞典空军 1967 年至 1987 年间有 83 名飞行人员弹射跳伞,使用的弹射座椅均为瑞典本国所制的 Saab 弹射座椅,其中有 9 人因受致命伤而牺牲。弹射成功率为 89%,死亡率为 11%。受重伤 4 人,占幸存者人数的 5.4%。39 人受中度伤和轻伤,占 52.9%。受伤者占全部弹射者的一半以上。弹射跳伞幸存者中,有 23 人在一周内恢复飞行,有 3 名飞行员作淘汰处理,其余飞行员均在一年后恢复飞行。瑞典空军从 1946 年至 1987 年,已挽救了 291 名飞行人员的生命,其中有 16 名飞行员是用马丁·贝克弹射座椅弹射跳伞的。

✦芬兰空军在 1958 年至 1991 年 33 年间共有 17 名飞行人员弹射跳伞,3 人安然无恙,9 人受轻伤,5 人受重伤,1 人受致命伤死亡。弹射成功率为 94%,死亡率为 6%,重伤率为 31%。重伤者中,有 3 名发生胸椎压缩性骨折,1 人股骨骨折,1 名膝中间侧韧带撕裂。5 名重伤的飞行人员都是从苏制战斗机上弹射的。受致命伤的是 1 名 BA-鹰式战斗机的飞行员,由于低空弹射后碰在大树上致命。尸检发现:主动脉弓破裂、颅骨基底部骨折、脑挫伤和其他部位严重损伤。有 2 名飞行人员在飞机负加速度的状态下打火

弹射出来的,其中1名暂时失明和部分视力丧失达3个月之久。4名鹰式战斗机飞行员用串联弹射(就是后座飞行员先弹射,然后间隔一定时间前座飞行员自动弹射出座舱),他们只在着陆时受了点轻伤。

✚澳大利亚空军 1951 年至 1992 年间有 84 名飞行人员从 68 架飞机上弹射跳伞,77 人幸存,有 7 人受致命伤死亡。弹射成功率为 92%,死亡率为 8%。造成弹射的原因中:有 30% 是发动机故障,15% 是飞机着火,19% 因飞机进入螺旋。其他还有放起落架故障、飞机失控、空中相撞、鸟撞等原因。弹射损伤分为致命伤、重伤、轻伤和无伤 4 类。7 名致命性损伤中是因弹射时超过救生包线而死亡的。有 3 例低空飞行时飞机被鸟撞击,弹射未成功。1 例低空坠地,1 例飞机失去控制。另外 2 例因弹射座椅与障碍物相撞造成座椅结构破坏,弹射者不幸遇难。重伤者 29 人,主要是脊柱骨折,占总损伤的 35%,全部为粉碎性骨折,损伤的脊柱为(1~5)个,多发生在胸腰段(从胸 3 到腰 5)。这说明胸腰段的脊柱最易在弹射跳伞中受损伤。轻伤中受碰伤、擦伤的 36 人,肌肉扭伤者 14 人,撕裂伤 8 人,关节扭伤 4 人,牙齿损伤 4 人,眼外伤 1 人。有 7 人未受伤。

我们根据历年来收集的文献将我国空军和西方一些国家的空军、海军飞行员弹射成功率和重伤率的情况列表如下(见表 4-3 所列),总共有 11 个国家 16 个单位,供大家研究。

表 4-3 各国飞行人员弹射成功率和重伤率

单位	调查年限	弹射人数	成功率/%	重伤率/%
美国空军	1949 ~ 1977	4 400	82	22
美空军 ACES II	1978 ~ 2000	362	92	15
美空军战斗弹射	1967 ~ 1968	101	99	19
法国空军	1960 ~ 1974	256	82	—
法国空军	1985 ~ 1998	85	94	30
英国皇家空军	1968 ~ 1981	237	96.6	—

(续)

单位	调查年限	弹射人数	成功率/%	重伤率/%
意大利空军	1953 ~ 1972	100	89	16.8
意大利空军	1958 ~ 1978	110	87.6	25.5
美国海军	1969 ~ 1979	1 391	83	17.3
芬兰空军	1958 ~ 1991	17	94	31
瑞典空军	1967 ~ 1987	83	89	5
澳大利亚空军	1951 ~ 1992	84	92	35
西班牙空军	1979 ~ 1995	48	85.4	60.9
德国空军	1981 ~ 1997	85	97.6	35.3
加拿大空军	1972 ~ 1982	77	93	11
中国空军	1960 ~ 1972	104	82.7	18.6

表中所列的各国空军弹射跳伞成功率与重伤率中有不少特点可供借鉴。

①从总体来看,随着弹射座椅的不断改进,弹射跳伞的成功率也在不断提高。20世纪70年代以前弹射成功率大约在80%左右。以美国为例,美国空军1949年至1977年间,有4 400名飞行人员弹射跳伞,有3 608人幸存,792人死亡,弹射成功率为82%。20世纪80年代各国广泛采用第二代弹射座椅,弹射成功率有一定提高,大约在85%左右。20世纪90年代第三代弹射座椅普遍使用,弹射成功率提高到90%左右。如美国空军第三代弹射座椅ACES II 1978年至2000年间弹射成功率达92%。但各个国家的情况又不完全一样,德国空军在80年代和90年代弹射成功率达97.6%,英国皇家空军70年代(1968~1981)弹射成功率就达到96.6%。

②战斗弹射的成功率要比和平时期弹射成功率高。如美国空军在越南战争中弹射成功率高达99%。在海湾战争中,美国空军有9名飞行员使用ACES II弹射座椅弹射成功,成功率达100%。海湾战争中,英国马丁·贝克公司生产的MK10弹射座椅弹射成功率也达100%,28名飞行人员弹射全部得救。2002年2月13日

凌晨,美国空军的一架 MC-130P 空中加油机在阿富汗偏远山区为武装直升机进行低空加油时失事,飞机坠毁,机上的 8 名飞行人员均弹射跳伞成功,仅受了点轻伤。

③飞行员延迟弹射决心是弹射失败的主要原因。延迟弹射决心的意思是该弹射时犹豫不决,结果错过了弹射时机。在弹射救生的 3 个环节上,以往常常只注意其中的一个。这 3 个环节中头一个是飞行员必须要掌握最佳弹射时机;其次是弹射座椅系统必须性能良好;最后是弹射的飞行人员必须及时得到营救。过去我们耗费大量的资金和集中大批的人才研制先进的弹射座椅这没有错,但忽视第 1 个和第 3 个环节是不应该的,特别是第 1 个环节。

还是以美国空军为例。1977 年至 1989 年间,美国空军 A 级飞行事故中,有 782 名飞行员试图弹射,但其中约 459 人并未弹射出来。在这未弹射的 459 人中有 152 人幸存,307 人死亡。1971 年以后美空军弹射成功率一直徘徊在 82% 左右,1977 年至 1982 年 6 年间有 442 名飞行人员弹射,幸存 340 人,弹射成功率为 76.9%。其中 1979 年弹射 79 人,幸存 54 人,成功率仅为 68%。1980 年弹射 71 人,幸存 49 人,成功率仅为 69%。弹射座椅越来越先进,为何弹射成功率没有提高呢?这主要有两个方面的原因:一是近 20 年来,美国空军的战斗机的性能在不断改进,飞行速度、夜间飞行、低空飞行对弹射系统的要求已超过了现有弹射系统的设计性能;二是飞行员延迟弹射决心。美国空军认为,在弹射失败的诸多原因中,飞行员延迟弹射决心是其中最重要的一个。据美空军统计,1980 年 1 月 16 日至 1989 年 6 月 5 日,在 538 名飞行人员弹射中,有 439 人记录有弹射决心时间(战斗和无弹射座椅的事故除外),弹射成功率为 83.8%。368 名幸存飞行员平均弹射决心时间为 3min11s,而弹射未成功的飞行员则为 1min11s,二者相差 2min 之多。这就是说,弹射成功飞行员平均下决心时间要比弹射未成功飞行员有更充裕的时间。弹射座椅的性能再好,为保证弹射成功,飞行员必须在有限的时间内不失时机地下弹射决心。越南战争和海湾战争中弹射成功率高也与此有关。

那么,为什么飞行员会延误下弹射决心呢?这是因为飞行员丧失了对情况的警觉。为什么竟有 $1/5$ 训练有素的飞行员在危急关头会失去情况警觉呢?这必须以人在紧张时发生的体内变化来寻求答案。

在动物进化过程中,动物和人形成了不自主的警觉机制。当人感到威胁时,肾上腺素应急释放,脉搏加快,血压升高,血糖增加,鼓膜张肌将鼓膜拉紧以增加听力。肌肉紧张,处于可随时动作的状态,体力增加,痛觉阈增高。也就是说,机体作好了战斗或逃避的准备。在这种奇特的防卫机制中,还有一种很少有人谈起的时间知觉错误。它改变了人们对时间流逝的感觉,事件似乎以慢动作出现。这种生理过程至今尚未十分明确,可能是由于大脑转为高度的戒备状态后提高了效能,并且以更快的速度处理信息,这种时间知觉错误可能就是延误下弹射决心的主要原因。美国空军曾对弹射成功的飞行人员寄发了问卷表。在填表回答的人中有 86% 的人在发生事故时确切感受到这种时间知觉错误。感受到时间知觉错误的人中有 80% 的人说,时间的流逝似乎变慢。说时间明显变慢的人中有 50% 的人还能估计出时间变慢的比率,所感知的时间变化从 2:1 到 5:1,其中以 2:1 的最多,约占一半。由此可以推想,未能生存的 $1/5$ 的飞行人员也很可能感受到了时间知觉的错误,因而延误了弹射时机。过去对这个问题认识不足,现在必须认真对待并应进一步深入研究。

为了防止因时间知觉错误而延误弹射决心,首先要求飞行人员了解在飞机发生紧急情况面临下弹射决心时,很可能会发生时间知觉错误。这种现象十分危险,因为它使人们的紧迫感消失。其次,在地面事先就要下定弹射决心,对弹射离机系统应有足够地了解并对它们应有充分信心。因为简单地执行一个深思熟虑的决定总要比紧急情况时临时作决定容易得多,也要快得多。第三,坚信仪表,要像处理空间定向障碍那样处理时间知觉错误。一旦判明飞机无法挽回,不管什么理由应火速离机,切不可浪费为数不多的几秒钟的宝贵时间。

④弹射过程中受到致命性损伤的原因很多,但多是猛烈碰撞地面或水面所致。据美国空军对 294 名弹射死亡飞行人员的死因分析,共有 10 种原因:

✦猛烈碰撞地面或水面 236 人,占死亡总人数的 80%,其中人椅未分离摔在地上的 128 人,占 43%。伞未张开就摔在地上的 99 人,占 33%。救生伞脱落或在过高的高度上开伞 3 人,人座脱离情况不明的 6 人。

✦跳伞落在海上或江湖中溺亡 16 人。

✦弹射时或弹射后碰在飞机尾翼或机身上 6 人。

✦在冷水中浸泡造成低温症而死亡 3 人。

✦弹射时姿势不正确,左腿骨折 7 天后因肺栓塞死亡 1 人。

✦两架飞机空中相撞,飞行员受重伤后弹射,因出血过多死亡 1 人。

✦猛烈的开伞冲击死亡 1 人。

✦缺氧死亡 1 人。

✦失踪 13 人。

✦原因不明 9 人,其中 6 名可能因头部撞击座舱盖等造成头部重伤致死,1 名在空中相撞后可能被飞来的飞机残片击中死亡,还有 1 名可能在高空因高空急性缺氧死亡。

人椅未分离和伞未张满撞击地面就占 76%,说明低空飞行时弹射危险性极大,必须改进弹射座椅的低空性能和救生伞低空快速开伞性能。

⑤重伤率高。瑞典空军的重伤率最低,仅为 5%。最高的是西班牙空军,高达 60.9%。一般重伤率在 15%~20%,重伤率也是衡量一种弹射座椅性能好坏的一个重要指标。如果弹射重伤再加上营救不及时可能会发展成为致命伤,因此,改进弹射座椅性能不仅应提高弹射成功率,也要减少重伤率。

飞行员在弹射跳伞过程中虽然时间很短暂,但受到各种动力的作用却十分复杂。我们将弹射跳伞各阶段可能致伤的原因及受伤种类归纳见表 4-4 所示。

表 4-4 弹射过程中伤亡原因及受伤类型

时间	原 因	受伤类型
弹射	座椅加速度 人体与座椅或座舱内 物体碰撞 碰撞座舱盖 气流吹袭 冰雹和雨 头盔旋转 甩打(直线减速度) 加速度力和减速度力	脊柱压缩性骨折 四肢骨折 足部骨折 严重撕裂伤 颈部挫伤 脊柱压缩性骨折 瘀斑、视网膜和结膜出血 挫伤、出血 颈部挫伤 骨折 四肢关节脱臼/关节脱离 内脏伤 由于头部伤导致意识丧失 硬脑膜下血肿
降落伞 开伞	开伞冲击力 吊带抽打	颈椎骨折或挫伤 肌肉挫伤 颈椎关节脱臼 面部骨折 挫伤 撕裂伤
降落伞 降落	高空弹射 高速旋转 林区降落	冻伤 缺氧症 剧痛和出血 撕裂伤 骨折
着陆	冲击伞拖曳 降落点火区或附近 水中与伞缠绕	腿、踝骨折 脊柱骨折 严重拖曳伤 骨折 烧伤 水进入肺部和胃部

(二) 脊柱骨折

在弹射跳伞过程中,弹射、开伞和着陆时的冲击力可使飞行人员发生脊柱骨折。各国弹射跳伞飞行人员脊柱骨折的发生率在18%~37%之间,见表4-5所示。据美国学者研究,实际上有一部分弹射成功飞行员虽有脊柱骨折但因无任何症状(如腰痛等)又未作X光检查,统计中可能漏掉不少。如能全部作X光照片检查,弹射所致脊柱骨折可能达30%~70%。

表4-5 各国弹射跳伞飞行人员脊柱骨折发生率

国家(军种)	发生率/%
中国空军	19
美国空军	31
澳大利亚空军	37
瑞典空军	25
芬兰空军	19
加拿大武装部队	18
美国海军*	21
美国陆军*	34
英国皇家空军*	19
注:* 为马丁·贝克 J5 弹射座椅弹射。	

人体脊柱至少有4大功能:运动、承重、保护和传递重力。它可以灵活地伸展、侧弯和左右旋转,它支撑着人体60%的体重,它保护着脊髓和胸腹部的重要脏器并可上下传递重力。

人体脊柱像一根分节的弹簧,由34块椎骨组成,其中能活动的有24块:7块颈椎、12块胸椎和5块腰椎。人平时站立时,脊柱的形状并非是笔直的,从侧面看上下成一个“S”形,由于这“S”形的两个弯曲使脊柱具有很好的弹性,见图4-14所示。

当我们跑步、跳跃时,弯曲的脊柱可以减少头部的震动,也可以起到弹射时减缓冲击力的作用。据测定,这种“S”形弯曲的脊柱要比笔直地排列时强度要大16倍,这可能是人类长期直立行走

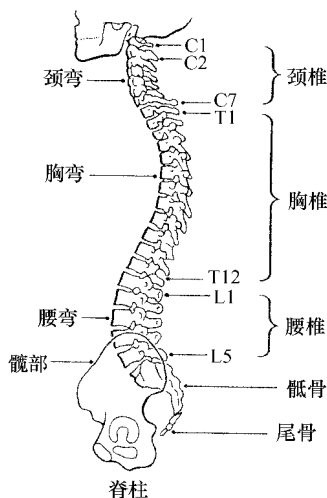


图 4-14 人体正常弯曲

中形成的。另外,人体脊柱每块椎体的结构也十分奇特,外形短而宽,内部为蜂窝状,既轻又结实,极适合于承受重量。两个脊柱椎体之间有一个叫做椎间盘的“垫”,椎间盘的中间是一团含水丰富的胶质,称做髓核。它像一个有弹性的垫片,通过髓核的变形可以吸收部分能量,传递和缓冲从椎体传来的压力。髓核的四周是一个纤维环,将髓核严密地围在中间,见图 4-15 所示。髓核随年龄的增长水分逐渐减少,弹性也随之减小。脊柱的周围附着许多弹性很好的韧带和强大的肌肉,保证脊柱 4 大功能的顺利完成。

从生物力学的角度讲,脊柱大致上可以分为前后 2 部分:前部由椎体、椎间盘和前、后纵韧带构成,主要是吸收能量,传递压力,减少负荷;后部则由椎弓、椎骨关节及其韧带构成,主要是稳定椎体及承受部分负荷。脊柱的前部大约传递 80% 的能量,后部传递大约 20% 的能量。人体平常站立或处于坐姿时,相邻的两个椎体面是互相平行的,脊柱方向的作用力均匀地分布在椎体上,可以承受相当大的力。但如果脊柱向前弯曲时,椎体之间不再平行,作用力则主要集中在脊柱的前部,这时很容易造成椎体的压缩性骨折。

如果向后伸展,则加在脊柱后部的作用力增加,但由于有椎骨关节面和韧带的支撑,承受冲击力的耐力要比正常姿势时还好,但过度向后伸展也可造成骨折,见图 4-16 所示。

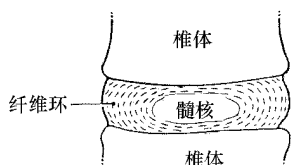


图 4-15 椎体与椎间盘

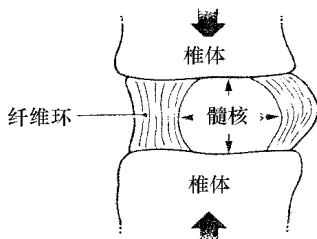


图 4-16 脊柱受冲击力时髓核的变化

20 世纪 30 年代末和 40 年代初,德国人在研制第一台弹射座椅时,研究人员首先提出来的一个问题是人体脊柱究竟能承受多大的冲击力?如果这个问题搞不清,研制出来的弹射座椅就无法保证飞行员弹射时的安全。德国航空医学研究所的所长罗夫对人体脊柱进行了一系列的生物力学试验,提出了人体脊柱对冲击性加速度的耐受限度。这就是:只要人体向上弹射加速度不超过 $(18 \sim 20) G$,增长率不大于 $250 g/s$,时间不长于 $0.2 s$,人体脊柱不会发生骨折。这一耐限的提出为弹射座椅的研制提供了至关重要的科学依据。这一耐限至今仍在广泛使用。

罗夫对人体脊柱从颈 4 至腰 5 每块椎体都做了压力负荷试验,得出了脊柱耐受冲击性加速度的估算值(人体体重为 $75 kg$),见表 4-6,图 4-17 所示。

$$n = \frac{P_{Br}}{\varepsilon \cdot G} \times 100 - 1$$

n ——脊椎能耐的过载;

P_{Br} ——引起骨折的负荷(kg);

ε ——脊椎负载体重的百分数;

G ——体重 $= 75(kg)$ 。

表 4-6 脊椎耐受过载估算值

脊柱名称	引起骨折的负荷/kg		负载的体重(%)	估算的过载值/G	
	最大	最小		最大	最小
颈椎 4	275		7	50	
胸椎 1	450		20	25	
6	600		25	23	
8	640	540	33	24.9	20.3
9	720	610	37	25	21.0
10	800	660	40	25.7	21.0
11	860	720	44	25.1	20.8
12	900	690	47	24.5	18.6
腰椎 1	900	720	50	23.0	18.2
2	990	800	53	23.9	19.1
3	1 100	900	56	25.2	20.4
4	1 200	900	58	24.3	19.7
5		1 000	60	25.7	21.2

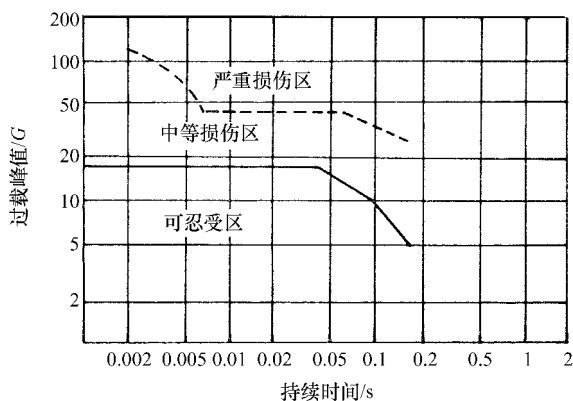


图 4-17 人体向上弹射时的耐受限度(Eibend, 1959)

我国空军有位飞行员在一次编队飞行时与长机相撞，飞机猛烈振动并向下俯冲。由于产生了负加速度，他的臀部离开了座椅，

头顶到座舱盖上。飞机又发生旋转,他的眼睛看不清东西,意识也模模糊糊。大约在高度 3 000 m 时,忽然听到长机向他呼喊“跳伞!跳伞!”他才知道飞机损坏严重。当时他精神十分紧张,身体还弓着腰,就抓住了打火拉环把它拉下,只听得“□”的一声响,觉得一阵凉,就失去知觉了。等他清醒过来时,伞已经自动张开了,然后安全着陆。他当时感到腰部有点疼痛,后来住院体检拍了 X 光照片,发现第 12 胸椎和第 1 腰椎有压缩性骨折,见图 4-18 所示。

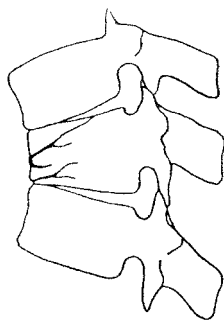


图 4-18 脊柱压缩性骨折

弹射引起的脊柱骨折有以下几个特点:

①主要是飞行员弹射时姿势不正确所致。一般弹射座椅冲击性加速度都限制在 18 G 以下,所以飞行员在弹射时,只要姿势正确,就不会引起脊柱骨折。这位飞行员所以会受伤是因为弹射姿势无法保持正确,而脊柱弯曲时只能耐受 9 G 的冲击性加速度。

②穿盖弹射比抛盖弹射更容易发生脊柱骨折。穿盖弹射可使弹射时间缩短(0.5 ~ 1.0)s,这对低空弹射的成功的机会大为增加。由于弹射弹的冲击力受到舱盖的阻挡,暂时储存在弹射筒内,在穿盖瞬间,储存的力与弹射力叠加,弹射过载可能超过设计标准而使脊柱骨折。其骨折发生率为抛盖弹射的 8.5 倍。

③大多为楔形压缩性骨折,而且多发生在椎体的前缘。粉碎性骨折也有,但很少,也可能有椎间盘突出,但极少,脊髓受伤的机

会就更少。

④多数骨折比较轻,有些骨折后飞行员 X 光照片后才被发现,经过一段时间的治疗以后,飞行员可归队飞行。

⑤弹射脊柱骨折多发生在胸腰段,由于这部分脊柱承受负荷大,正位于活动脊椎与不活动脊柱交界处。损伤部位与作用力方向、身体姿势、弹射座椅的冲击有关。胸 5 以下椎体骨折的机会较大,尤其以胸 12 和腰 1 的发生率为最高。

(三)甩打伤

飞机在高速飞行时飞行员弹射会受到迎面强大气流的吹袭。气流吹袭对人体有两个方面的作用:一是动压的直接作用,它可使面部变形、结膜出血、皮下出血以及软组织撕裂等;二是动压的间接作用。头及四肢面积比躯干小,因此减速快,可造成头和四肢不自主地甩打,向后碰撞座椅,造成四肢骨折、关节脱臼和脑外伤,脑外伤可立即引起意识丧失和死亡。甩打伤有以下几个特点:

①是否发生甩打伤和甩打伤的严重程度与弹射时飞机的速度关系密切。飞机速度 370 km/h 以下,不会发生甩打伤。900 km/h 时,可能有 50% 的人会受甩打伤。而到了 1 290 km/h 时则 100% 的人会受甩打伤。飞机的速度越快,甩打伤的伤势越重,见图 4-19 所示。

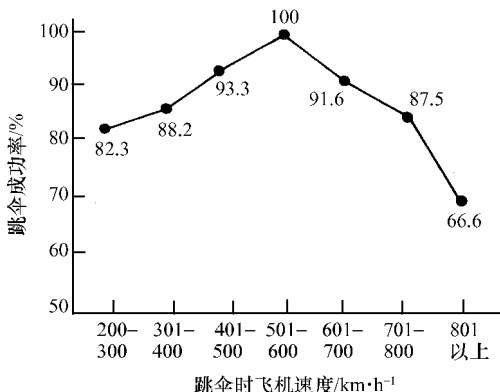


图 4-19 速度与甩打伤发生率的关系

②人体对气流吹袭动压的耐力为 0.31 kg/m^2 ,如果动压超过 0.58 kg/m^2 ,很可能会导致死亡。美国空军飞行员在越南战争中因高速气流吹袭所致甩打伤高达 33% (战斗时飞行速度一般都在 $1\,000 \text{ km/h}$ 左右 ,而非战斗弹射时飞行速度多在 500 km/h 以下 ,故甩打伤仅为 5%)。有一半的严重甩打伤 ,其受伤时动压大于 0.45 kg/m^2 。

③气流吹袭甩打伤发生的部位据美海军统计 ,手臂为 38% ,腿 32% ,颈、肩、腕及肋各为 2% 。

④弹射时 ,高速气流吹袭的高峰期为人椅弹离座舱到离开飞机这瞬间 ,时间为 $(0.07 \sim 0.14) \text{ s}$ 。

⑤高速气流可将飞行员的头盔、氧气面罩、服装等吹掉吹坏 ,可使飞行员缺氧、冻伤等。

美国空军有位名叫史密斯的试飞员 ,有一次他试飞的喷气式战斗机在空中失去控制 ,无法驾驶。飞机以 $1\,200 \text{ km/h}$ 的速度向下俯冲 ,他不得不弹射跳伞 ,当他弹出座舱时 ,迎面吹来的大风相当于十二级大风的 10 倍。史密斯好像猛然撞在一堵墙壁上 ,立即失去知觉。幸而座椅上的自动分离装置将他与座椅分开 ,自动开伞器将救生伞打开。当他降落在加利福尼亚海岸的时候仍然昏迷不醒 ,衣服全撕成了碎块 ,靴子、袜子、手表和戒指全刮跑了 ,头盔和氧气面罩也被吹得无影无踪。史密斯被救回基地时 ,脉搏极其微弱 ,眼球严重出血 ,变成两个又红又肿的硬块。嘴唇、耳朵受撕裂伤。面部由于严重出血而发暗紫色。下肢因受猛烈打击造成膝关节脱臼。因空气猛烈灌入胃里发生严重鼓胀 ,肝和肠也有严重损伤。医生们立即给他做了手术 ,经过抢救这位飞行员终于被救活了。

大速度飞行时的安全弹射一直是弹射座椅追求探讨的一个重要目标 ,现在广泛使用的第三代弹射座椅已达到 $1\,200 \text{ km/h}$ 时的安全弹射。有的弹射座椅如 K-36D 已达到 $1\,400 \text{ km/h}$ (飞行员需要带上密闭头盔)。

防止四肢被强大的气流吹开受伤 ,在座椅上安装有四肢固定

防护装置,如弹射瞬间能放下来的防护网、手臂防护挡板、头颈部固定装置、脚卡或可以收紧的腿套等等。见图 4-20 所示。K-36D 弹射座椅上有一种独特的装置叫导流板可以明显减少高速弹射时人椅的减速过载,也可以减少头盔的升力。

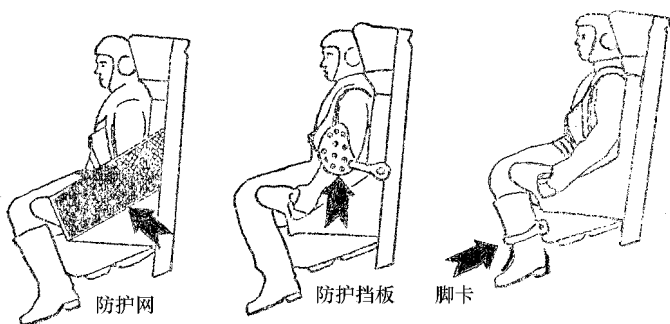


图 4-20 弹射座椅的防护网、防护挡板和脚卡

五、其他离机方法

是否有一种能使飞行员高速飞行弹射时不受气流吹袭的办法呢?专家们曾提出过各种各样的方案。最好是使飞行员弹射时密封起来,至少也要与高速气流之间有东西隔开。到目前为止,在飞机上已经用过的有扣盖弹射座椅、密闭弹射舱和分解座舱。

1. 扣盖弹射座椅

又称舱盖带离弹射座椅和 CK 系统弹射座椅,曾装备在苏联的米格-21 飞机上(我国称歼 7 飞机)。弹射的时候座椅盖可以自动地扣在弹射座椅上,飞行员位于座椅与座舱盖之间,这样可以避免高速迎面气流的吹袭。弹射座椅到一定高度后,机舱的座舱可自动抛掉,然后人椅分离,救生伞张开,伞降着陆,见图 4-21 所示。

我军歼 7 飞机的座舱和这种扣盖的弹射座椅是根据苏联飞行人员尺寸设计的。据我国飞行人员人体测量研究,我国飞行员身高低于苏联飞行员,而坐高(坐着的时候臀部至头顶的距离)却比他们高,主要是下肢的长度我们比他们短得多,这可能是黄种人与

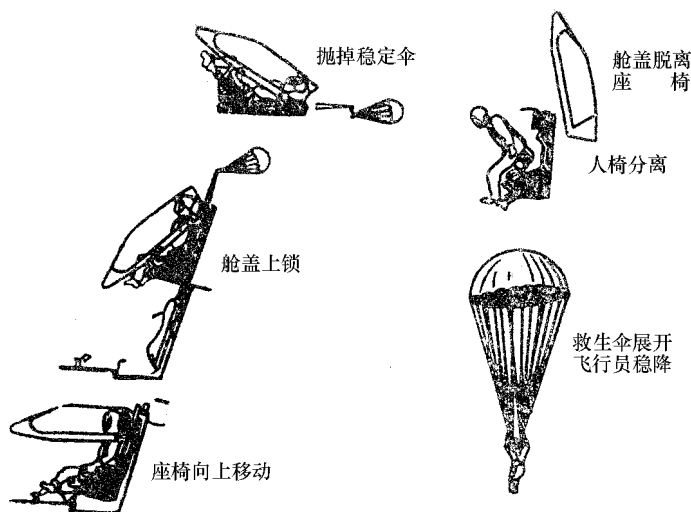


图 4-21 扣盖弹射座椅的弹射过程

白种人在人体尺寸上的一个很大差别,也是歼 7 扣盖弹射座椅使我国飞行员易于受伤的重要原因。我国曾有 2 名歼 7 飞行员扣盖弹射时受重伤。这两位飞行员坐高各为 95 cm 和 98 cm,平时飞行时带上头盔,头盔的顶部就碰在座舱盖了。因而在扣盖弹射瞬间,座舱盖猛烈扣击头盔时很容易造成颅脑损伤和颈椎的骨折和移位,致使弹射失败或重伤。

这种扣盖式的弹射座椅只在早期的苏联米格-21 战斗机上使用过,因它的低空性能不好,平飞时的安全救生高度仅为 110 m,后来被敞开式的弹射座椅所取代,但这种防护飞行员气流吹袭的设计思想仍然是值得称道的。

2. 密闭弹射舱

又称密闭弹射座椅和救生囊,美国 B-58 和 XB-70 轰炸机上采用了这种飞行员离机装置。它实际上是一种有折叠罩的封闭式的囊形座椅。平时飞行时,罩折叠在座椅上方。当座舱不能增压或破坏时,折叠罩自动从座椅上方拉下,将飞行员封闭在一个密封的囊形座椅内,为飞行员创造一个较好的气流吹袭和寒冷防护的环

境。如果在高空不需要马上弹射时,可以给密闭弹射舱增压,继续进行短暂的飞行。当弹射时,先抛掉飞机的座舱盖,然后用火箭将密闭弹射舱推出飞机座舱。自动打开稳定伞稳定减速,到 4 500 m 高度自动打开回收伞。如果降落在陆地上,座椅底部的减震气囊可以缓冲撞击地面的冲击力。如果在海上、江湖中降落,座椅上的飘浮气囊可立即充气,能保证密闭弹射舱在水上飘浮,着陆或着水后的飞行员可以打开舱门爬出来。这种由美国斯坦利航空公司研制的救生装备 1963 年曾在 B-58 轰炸机上进行过真人试跳,试跳高度为 6 100 m,试验结果非常成功。见图 4-22 所示。它的优点是适合于高空高速飞行时弹射,可以避免或削弱高速气流吹袭,高空急性缺氧,减压和低温的影响。另外它本身具有飘浮功能,适于海上着水。最大的缺点是:低空性能差,而往往许多应急情况发生在低空飞行时,这种救生装备的低空弹射成功率仅有 62%。到目前为止,除了 B-58 和 XB-70 两种轰炸机,其他飞机都没有再用这种密闭弹射舱。

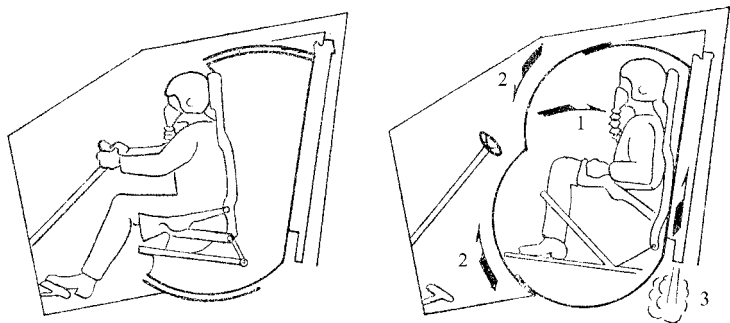


图 4-22 XB-70 轰炸机上的密闭弹射舱

3. 分离座舱

20 世纪 50 年代,美国曾为 F-8U 和 F-104 等战斗机设计过一种分离座舱。所谓分离座舱就是飞机发生应急情况时飞行员启动弹射手柄,用爆炸索和爆炸螺栓将座舱与机身分离,后用火箭发动机推离飞机。打开稳定伞减速稳定,到一定的高度和速度可自动

打开回收伞,在打开回收伞之前稳定伞就自动飞掉。F-8U 和 F-104 战斗机的分离座舱是座舱和机头连在一起弹射的,虽然做了许多试验,但最后未被采用。1961 年,美国在原来基础上又为 F-111 战斗机研制分离座舱,它的特点是机头不包括在内,而只包括驾驶舱在内的一部分前机身。1964 年试飞成功。1967 年 10 月一架 F-111 失事,2 名飞行员使用了这种分离座舱死里逃生。20 世纪 70 年代以后,美国又为 B-1 轰炸机设计了一种新的分离座舱,基本结构和性能与 F-111 的差不多。分离座舱由座舱、分离切断装置、火箭动力系统、稳定面和稳定伞、回收伞、着陆缓冲装置和水上飘浮装置组成,整个工作程序由程序控制系统自动完成,见图 4-23 所示。这种救生装置的优点:将飞机座舱、应急离机装置和防护装置三合而一,在高空弹射时使飞行员免遭高空缺氧、减压及低温的作用,在高速飞行弹射时可免遭高速气流的吹袭。但缺点也不少:①技术复杂,成本高,维护费用也高;②大大增加了飞机的重量,要比敞开式或弹射座椅增加 2 268kg(B-1 飞机后来又改用了 ACES II 弹射座椅);③弹射救生率不比第二代敞开式火箭弹射座椅高,大约在 80% 左右。1967 年至 1968 年, F-111 和 FB-111 飞机用分离座舱救生 86 人,幸存者 70 人,成功率为 81%,这比同时期美国空军飞行员弹射成功率差。1967 年至 1968 年美空军飞行员弹射 390 人,成功 336 人,成功率为 85%;④分离座舱在空中目标较大,座舱若被敌机击中飞行员就会受到很大安全威胁。

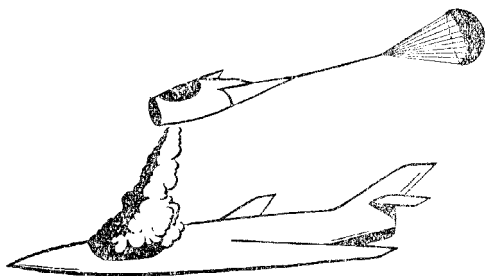


图 4-23 B-1 轰炸机分离座舱的救生过程

但有的专家认为,由于分离座舱具有良好的高空高速性能,今后仍有发展前途。主要问题是如何克服分离座舱现有的诸多缺点,扩展它的救生包线,提高它的成功率。

4. 牵引救生系统

利用一支旋转火箭将飞行员牵引出座舱,主要用于低速低空飞行的小型螺旋桨飞机以及直升机。

美国在 20 世纪 60 年代的越南战争中曾动用了一批像 A-1、T-28 之类的小型螺旋桨飞机进行对地观测和近距离支援。由于这类飞机的座舱小,一般的弹射座椅无法装进去,而在战斗中因飞得低、速度小又容易被地面炮火击中,因此救生成了一个突出的问题。美国斯坦利航空公司专门为此研制了一种牵引救生系统并于 1966 年在 AT-6 飞机上试验成功。开始时称扬基系统,后来在此基础上又发展成另一种可移动牵引救生系统,称为奥维系统。

✦ 扬基系统由牵引启动装置、火箭发射器、牵引火箭、牵引绳、切断器、背带系统以及降落伞等组成。

整个工作过程是 ① 飞行员按动启动装置(通常位于椅/盆的前面或两旁);② 自动抛掉座舱盖;③ 抛盖同时火箭发射器自动点火;④ 火箭射出,安全带自动打开,人与座椅脱开;⑤ 火箭点火,将飞行员从座舱里拉出来;⑥ 座椅沿导轨向上移动时椅盆向下折翻,人离开座椅后座椅仍然留在座舱内;⑦ 牵引绳切断器在火箭拉紧牵引绳时开始工作,延迟至规定时间,牵引绳和火箭与飞行员分离;⑧ 牵引绳拉紧时使开伞装置开始工作,由高度时间控制系统决定是否立即开伞还是延迟开伞;⑨ 开伞降落。

安装在座椅上方的牵引火箭是扬基系统的关键:它有 2 个特点 ① 它的动力足以将飞行员迅速拉出座舱脱离飞机。火箭重 9.5 kg,燃烧时间 0.57 s,冲量 454 kg/s;② 火箭工作时不会伤及飞行员,可确保飞行员的安全。为防止火箭的喷流落在飞行员的身上,牵引绳的长度有 8 m。火箭有 2 个喷口,喷口与垂直线有一个 30° 的外倾角,火箭喷出的燃气成伞形向四周喷射并且自动旋转,飞行员不会受到高温和噪声的作用。火箭末端连接一段 30 cm 长

包封两根牵引绳的套子用防火的硅橡胶制成,牵引绳的表面也涂有硅橡胶,以防牵引绳被火箭喷出的火焰或燃气烧断。在一般情况下,火箭工作时对人体的加速度值不超过 12 G。如需要在高速横滚时救生,则座椅上要安装一个小的弹射器,可将座椅弹射到座舱口,但座椅仍留在飞机内。这种弹射器的加速度也不超过 15 G。

扬基牵引救生系统已达到零高度零速度的救生能力,但最大允许飞行速度则不能超过 650 km/h。

✚ 奥维牵引救生系统又称可移动牵引救生系统,它是扬基系统的发展。该系统的火箭发射器和火箭放置在运输机或多座直升机的救生舱口。发生应急情况时,飞行人员先移动到救生舱口,然后用爆炸索将救生舱舱门炸开,飞行人员依次被火箭牵引出飞机或直升机。

据美国空军报道,这种牵引救生系统救生成功率可以达到 90% 以上。由于它体积小、重量轻、结构简单,在运输机、民航机和直升机上有很大的应用潜力,专家们普遍认为这是未来很有发展前途的救生方法。

5. 飞行弹射座椅

这是一种弹射以后有飞行能力的弹射座椅。这种座椅上装有推进发动机和升力装置,弹射后飞行员仍可操纵一段时间,可以选择一个较理想的地区,升力装置在空中脱掉后人椅分离,然后用救生伞着陆。美国曾对这种飞行弹射座椅做过许多试验,但没有投入实际应用,见图 4-24 所示。

六、生存与营救

生存是指被迫跳伞的飞行人员或飞机迫降、坠毁后幸存的机上人员在海上、沙漠、极地等恶劣环境中维持生命以待营救的过程。依生存者所处的自然地理环境可分海上生存和陆上生存两大类。陆上生存又可分为沙漠生存、极地生存、热带丛林生存、热带草原生存和高山生存。

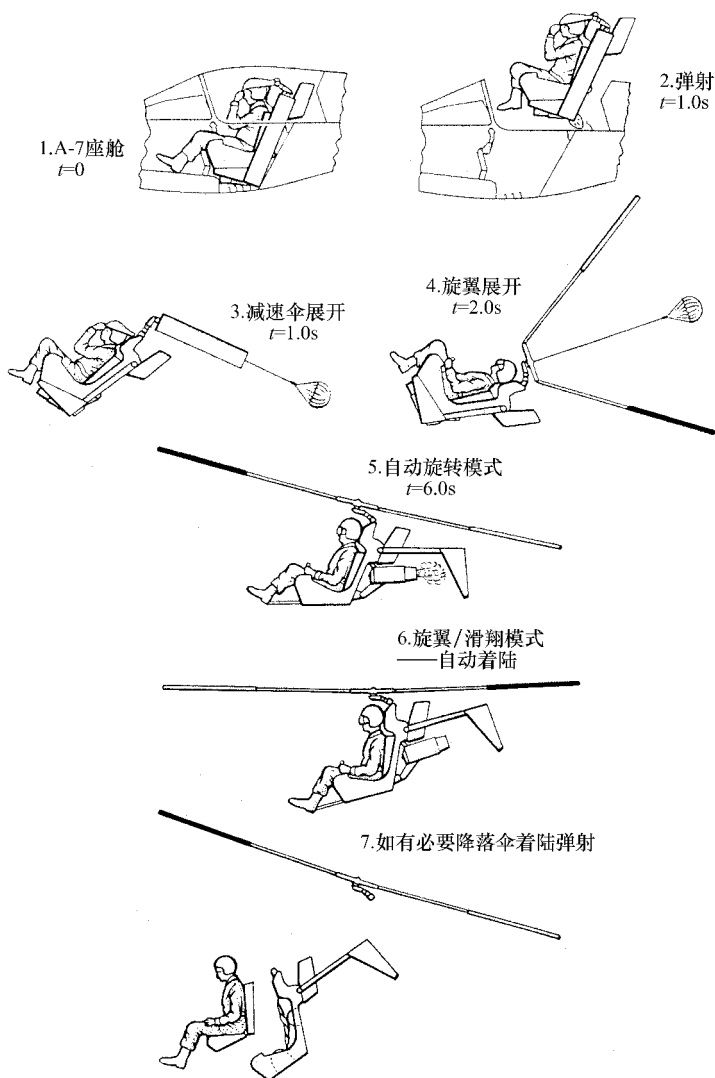


图 4-24 飞行弹射座椅

生存的成败和待救时间的长短与许多因素有关,主要取决于营救速度、个人生存能力及环境恶劣程度。及时营救是关键,如浸泡在冷水中几小时甚至几十分钟就会使人冻僵,在炎热的沙漠中仅能生存几日。据第二次世界大战的生存经验,受伤的生存者 24 h 后被救的可能性减少 80%,不受伤的生存者 3 天以后被救的可能性也会大大减少。个人生存能力包括生存者的精神状态、健康状况、个人生存装备以及接受生存训练的状况。环境恶劣程度随地区、季节而异,如在炎热沙漠与热带丛林中,生存的条件就明显不同。

飞行员的生存与营救活动开始于第二次世界大战。由于激烈的空战,飞机被炮火击中后飞行员跳伞,有的飞行员跳伞 20 多次甚至 30 次之多,因此跳伞飞行员的生存与营救问题急需解决。战争初期,德国空军于 1939 年首先成立了海-空营救部队,装备有营救船只和飞机,并配备了部分生存装备。英美各国也相继成立了类似的机构。到战争结束时,德国空军营救了 205 名遇险飞行员,英美各国营救了 2 000 多名飞行员。据美国空军极地、热带、沙漠情报中心调查:在第二次世界大战中,飞行人员降落在西南太平洋地区而幸存者约为 1 000 人,其中在海上漂浮时间最长的达 47 天,降落在极地的飞行人员 641 人,其中幸存获救者 480 人,其余 161 人在飞机坠毁时死亡或失踪,生存时间最长的为 48 天;降落在沙漠地区的有 382 起,最长生存时间为 29 天。美国在朝鲜战争中,空军营救了 340 名飞行员。在越南战争 7 年间,救回了 2 600 名飞行员。据美国空军对 1949 年~1977 年间 4 401 名弹射飞行员的统计,20 世纪 50 年代~60 年代 5h 内的营救率为 50%。20 世纪 70 年代 1h 内的营救率为 50%,4h 内的营救率为 97%。现在 1h 内的营救率已经达到 85%,2h 内的营救率达 92%。

生存者应尽可能在飞机或飞机残骸附近等待营救,一方面机上的通信设备、燃料等可作生存用,飞机的目标较大容易被空中的搜索飞机发现;而另一方面,据统计凡是离开飞机的生存者,生存机会大大减少。只有在确有把握认为自己能够到达附近的居民点

以前,营救人员不会来到时方可离开飞机。

(一)生存

1. 生存心理

当飞行人员跳伞或迫降至荒无人烟的地区以后,由于事故本身强烈地精神刺激,再加上降落地区的各种恶劣环境因素的影响,促使幸存飞行人员心理上发生明显的变化。这些心理变化会给飞行员的生存带来不利的后果,使飞行人员不能冷静地判明自己所处的环境及面临的各种危险,不能发挥聪明才智运用已经掌握的生存知识来处理各种问题,不能正确应用生存装备,发挥其应用的作用,也不能主动地配合营救活动。

因此,我们必须研究飞行人员在各种生存条件下的心理特点及其发展规律,并运用于平时生存训练中,以减少或消除这些心理变化所带来的不良影响。但至今这方面的实验研究开展得很不够,仅局限于对生存的调查研究。

国外有人对飞机遇险、船只翻沉、火灾和水灾时人们的行为进行研究,发现有 12% ~ 25% 的人尚能镇定自若,可以很快判明情况,作出明智地反应;有 12% ~ 25% 的人发生癔病样反应,表现为过度的兴奋或者过度的抑制;有 50% ~ 70% 的人则发生“心理性休克”,表现为神志恍惚,甚至营救人员前去搭救时也不理睬。

由于生存者的心理活动关系生存的成败,因此有必要深入研究这一课题并对飞行人员进行教育。生存时的飞行人员,其心理变化主要有以下几个特点。

①信心:根据大多数生存者的体验,坚定的信念是他们成功的关键。有了信心,才有坚强的意志力,相信自己有能力战胜恶劣环境生存下去,相信自己携带的生存装备,相信会有人来营救。坚定的信心和顽强的毅力才能使幸存者积极从事生存活动,准备营救信号配合营救,克服常人难以想象的困难,因而他们为人类创造出战胜大自然的种种奇迹。第二次世界大战期间,有一名飞行员在海上漂泊了 139 天才被人救起。我国也有一名飞行员因飞机发生故障跳伞落在太湖上,漂浮了 23 h 才返回部队。相反,如果失去

信心,感到心灰意冷,采取消极态度,就不可能发挥主观能动性,面对困难束手无策,生存的可能性就会大大减少,有的人甚至轻生。有一位迫降在冰湖上的飞行员,人与飞机均完好无损,当地地面部队在24 h后赶到现场时,发现飞行员已开枪自杀了。还有一位跳伞到东南亚丛林中的飞行员,降落伞被挂在树上,飞行员的一只脚被伞绳缠住无法解脱,头朝下挂在树上,当营救部队找到他时,发现他已用手枪自杀。

②恐惧:生存者恐惧感的产生主要是对生存环境缺乏了解。当飞行员突然处于孤立无援的境地时往往很难具体说清楚怕什么。由于害怕,往往处理不当造成严重后果,例如突然间飞行员落入刺骨的冰水中,因惊慌失措可造成淹溺。在沙漠的烈日下无目的地胡乱奔跑,会很快耗尽体力,大量消耗体内的水分会加速干渴,缩短生存时间。恐惧感一般在生存的头几天更为明显,随着生存时间的延长,可以逐渐减轻甚至消失,也可能转向麻木不仁,对当前的处境无所谓,这对生存也是不利的。

生存者的恐惧感也有其有利的一面,由于害怕,处处小心谨慎,避免鲁莽行为,减少某些可能出现的危险。但总的说害大于利。

③幻觉:在生存期间由于各种不利因素可使生存者产生幻觉。幻觉因人而异,千奇百怪,多半反映生存者当时的愿望。如突然置身于一一片幽静的树林中与亲人一起野餐,或者“看见”飞机从头顶上飞过,或者“看见”远处有海岛或海岸等等。幻觉对生存者的危害是忘却自己所处的真实环境,可能会采取错误的行动,严重的可造成丧生。幻觉应与海洋上和沙漠里的海市蜃楼区别,海市蜃楼往往出现在中午,改变观察角度时,影象可变形或消失。幻觉产生的详细机制至今尚不清楚。

④精神错乱:产生精神错乱的原因与幻觉一样,但精神错乱的后果显然比幻觉更为严重。精神错乱时生存者失去自制能力,行为异常,不可能正确处理生存中的各种问题,对生存和营救造成很大困难。但在实例中发生精神错乱的很少。由于生存失败,无法

知道遇难者是否发生精神错乱,因此在所有遇险飞行员中发生精神错乱的比例难以知晓。

⑤孤独感:由于歼、强击机飞行员只身落入人烟稀少地区,普遍产生孤独感,感到与世隔绝,这种感觉飞行员往往以前未曾体验过。

2. 各地区的生存

由于各地区的气候、地理环境不同,威胁生存的因素也不同。飞行人员除了携带通信联络等共同的装备外,还必须携带适合解决各地区特殊问题的装备并充分利用当地的自然资源。

(1)海上生存

飞行员海上生存需解决5个主要问题。①防止淹溺;②预防冷水浸泡产生的低温症;③防鲨鱼袭击;④饮水供应;⑤食物供应。

①防止淹溺:通常在海上飞行的飞行员带有救生背心和救生船。学会游泳对防淹也有重要作用。

✚救生背心:有充填式(泡沫塑料等)和充气式两类,充气式还有腋下气囊救生圈和救生背心之分。由于充气式救生背心轻便耐用,平时穿着时热负荷小、体积小、重量轻、浮力较大、稳定性较好,现在许多国家的飞行员都采用这种救生背心。其主要性能为:

(a)具有16 kg以上的浮力:要使较瘦的飞行员在淡水中能露出头顶,需要16 kg的浮力。肥胖者浮力较瘦者大,海水的浮力比淡水大,因而16 kg的浮力有较大的安全系数。

(b)有较大的稳定性:穿着救生背心后使生存者在水中保持直立姿势或后倾 45° ,有大的海浪时也可避免呼吸道进水,即使生存者昏迷也能使口、鼻露出水面。入水后5 s内使身体浮出水面,并保持良好姿势。

(c)穿着时不影响飞行操纵。

(d)不易燃烧,对油类有防渗透的性能。

(e)为桔红色,便于寻找。

(f)弹射跳伞时不会与座椅钩挂,不妨碍降落伞张开。

✚救生船:一旦爬上救生船,生存的机会就会大大增加。只穿

救生背心在波涛汹涌的海洋上难以坚持很长时间。生存者在救生船上可以较好地休息,避免冷水浸泡和鲨鱼袭击。如有足够的饮水和食物可以生存较长时间。第二次世界大战期间,有一名飞行员在海上漂浮了 47 天。

救生船因用途不同分为单座和多座两类:单座救生船多用于歼击机、强击机,而多座救生船用于运输机和轰炸机。

单人救生船的浮力除承受生存者的体重外应留有较大的余量。一般用二氧化碳气瓶充气,可在十几秒内将船充气。还备有手打气筒随时可以补充。较好的救生船气室应分成 2 个或 2 个以上,万一有一个刺破时仍可维持漂浮。船上应有篷或其他保暖遮盖物,既可躲避风雨也可保温。据实验,在气温 -10°C ,风速 12 m/s ,篷外气温为 $-6^{\circ}\text{C} \sim -9^{\circ}\text{C}$ 时,篷内气温为 $-2^{\circ}\text{C} \sim -5^{\circ}\text{C}$,使穿着抗浸服和保暖内衣戴手套的生存者保持皮肤温度 24°C 。

✦游泳:善于游泳的人即使没有救生背心和救生船也可以在海上漂浮较长时间。学会游泳以后可以消除紧张心理,通过四肢活动使头部露出水面,因而学会游泳是防止淹溺的重要措施。

②防冷水浸泡:海上弹射跳伞或飞机坠水,飞行员和乘客都有可能浸泡在冷水中,冷水浸泡对落水者会造成很大威胁。我海军一名飞行员 4 月初弹射跳伞落在青岛附近海面,在 6.7°C 的水中浸泡了半个多小时才爬上救生船,10 个小时后被营救舰艇救起,意识尚清楚,但四肢已麻木僵硬不能活动,经积极抢救后才脱险。第二次世界大战中,在欧洲北海海面被击落的德国飞行员,有 42% 的人在冷水浸泡后 $(25 \sim 30)\text{ min}$ 后死亡。1954 年 ~ 1964 年 10 年间,美国航线飞机飞行员的 720 名死难者中,有 71 人是因冷水浸泡而死。在冷水浸泡中生存已成为军事航空医学的一个突出问题。第二次世界大战以来,世界各国进行了大量的研究,取得了一些成果,但至今只能延长几个小时的生存时间,防护问题还没有得到根本的解决。

✦低温症是冷水浸泡的死亡原因:人体浸泡在冷水中,使人体中心体温降到 35°C 以下,体内各重要器官发生严重的功能失调,

甚至发生意识丧失、心室纤颤和死亡。

水的导热系数为 14 ,空气为 0.57 ,水的比热容和热传导率都比空气大得多。在相同的温度下 ,人体在水中散失的体热约为空气中的 25 倍。人体皮肤温度通常为 33 ~ 35 ,当水温低于 33 时 ,体热散失增加 ,皮肤温度在 2 min 内可降到仅高于水温 2 ~ 3 ,中心体温也会很快下降。水温 20 时 ,体温很难维持稳定。当体温降至 35 时 ,体温的调节能力丧失。体温降至 35 ~ 33 时 ,出现定向障碍、遗忘症和精神错乱。体温降至 33 ~ 30 ,人即处于半昏迷状态 ,30 以下可发生意识丧失 ,此时即便穿着救生背心 ,由于头部前倾侵入水中很容易造成继发性淹溺。体温降至 25 以下可出现自发性心室纤颤 ,一旦发生心室纤颤 ,一般很难自行恢复。德军曾将战俘浸泡在接近 0 的冷水中进行试验 ,当肛温降到 24.2 ~ 25.7 时人就死亡。从低温症病例和低温麻醉病人的资料证明 ,人体体温致死界限为 23 ~ 25 。但人体对寒冷耐受能力的差异是相当大的 ,有的人肛温降到 18 甚至 9 ,仍可用复温方法救活。

总之 ,冷水浸泡使中心体温急剧下降 ,心室发生纤颤是冷水浸泡死亡的主要原因。另外 ,由于精神错乱、意识丧失、肌肉痉挛引起剧烈疼痛甚至休克 ,也可造成继发性淹溺。有极少数人进入冷水后(1~2) min 即死亡 ,经尸检无任何异常发现。有人认为这是由于突然浸泡引起某种反射性的反应所致 ,也有人认为对寒冷的过敏可发生突然死亡。

✚冷水浸泡时的生存时间 :人在冷水中生存时间的长短主要取决于水温 ,另外还与生存者的身体状况 ,皮下脂肪厚度、服装、水中活动强度 ,是否穿救生背心 ,水中姿势等因素有关。

根据对海上遇险人员大量的调查及实验研究 ,人体浸泡在不同水温中的耐受限度如下 :在 20 以上的水中 ,生存时间主要取决于疲劳程度 ,一般可存活 80 h 以上 ;在 15 ~ 20 水中可生存 12 h 以上 ;水温 10 ~ 15 时 ,多数人可存活 6 h ;水温 2 ~ 10 ,大部分人生存时间不会超过 1 h 2 以下 ,一般人只能耐受

数分钟,见图 4-25 所示。

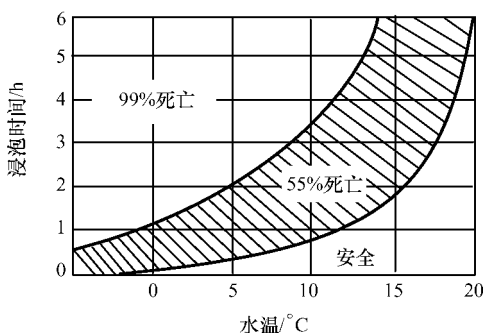


图 4-25 穿着普通衣服浸泡在不同水温中生存时间

全世界夏季海面最高水温为 28.9°C , 有 67% 的海水表层温度低于 25°C , 有 47% 的水温低于 20°C , 最低海水温度可达 -1.9°C 。我国北部海域冬季最低水温可达 -1°C 。11 月至 5 月, 水温在 20°C 以下。3 月份, 黄海、渤海水温在 10°C 以下。

由此可见, 对海上弹射跳伞的飞行员, 冷水浸泡是一个十分严重的问题, 不仅需要研制良好的防护装备, 延长生存时间, 对营救速度也提出了更高的要求。

在冷水中浸泡时, 个体肌肉发达程度与皮下组织厚度对低温症的发生及发展有密切关系。经人体皮肤与皮下脂肪组织散失的热量, 与它们的厚度成反比。脂肪组织是很好的隔热体, 锻炼有素者 1 cm 厚的新鲜脂肪组织隔热值为 $60.3 \text{ kJ}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ($14.4 \text{ Cal}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$)。皮肤血管受冷后收缩加上皮下脂肪使人体表面形成一个良好的隔热层, 即一个防止热散失的“外壳”, 以保证人体“核心”部分温度稳定, 或减慢降温速度, 维持人体基本的生理活动。所以, 肥胖者比消瘦者的隔热性能要好。同等身高、体重的条件下, 由于女性的脂肪含量比男性多, 浸泡在冷水中, 女性的体温下降较慢, 生存的时间也较长。黄种人比白种人生存时间长些, 而白种人又比黑种人生存时间长些。

在冷水中剧烈活动, 可大大加快低温症的发生。在平时, 占全

身体重 $1/2$ 的肌肉产热量约占全身产热量的 20% ,但在剧烈活动时肌肉的产热量可增加 10 倍 ,占全身产热量的 80%。由于肌肉靠近体表 ,大量的体热可经传导、对流而散失。在静止的水中休息 ,热对流率为 $829\text{kJ}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ($198\text{ cal}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$) ;在活动的水中休息 ,热对流率为 $1658\text{kJ}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ($396\text{ cal}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$) ;游泳时 ,热对流率则为 $2089\text{kJ}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ($499\text{ cal}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$)。因此水温低于 25°C 时 ,游泳是很不利的 ,不仅人体产热增多 ,而且容易散失体热 ,因为活动时人体周围已被加热过的水层不断地流失 ,使人体与水的温差更大 ,散失的体热更多。在水中游泳或猛烈挣扎会使体温下降速度加快约 35%。

服装对防止低温症起很重要的作用。当然 ,服装浸泡在水中隔热值会大大减小 ,但对防止体热散失仍有很大作用 ,即使不防水的服装也能使体温少下降 50% ~ 75%。在水中挣扎或游泳时 ,服装的保温性能也不会完全丧失。一个中等身材的人 ,在 5°C 水中裸体浸泡 (20 ~ 30) min ,就会导致死亡。如果穿着较厚的服装 ,在 5°C 水中存活时间可延长到 (40 ~ 60) min ,在 15°C 水中可延长至 (4 ~ 5) h ,在接近 0°C 的水中服装可使皮温比水温高 4°C ~ 5°C 。这样可以明显地推迟低温症的发生。

另外 ,救生背心在防止冷水浸泡低温症方面起一定的作用。由于穿着救生背心后增加服装的隔热值 ,可以避免因游泳或挣扎造成的过快散热。人体在冷水中的姿势与体热散失快慢也有一定关系。如能减少体表与冷水的接触面积 ,就可减少体热的散失。

✚ 冷水浸泡低温症的预防 :

(a)穿着抗浸服 :抗浸泡通常是用透气不透水的材料制成 ,平时操纵飞机时有一定的保暖值且穿着舒适 ,遇水时纤维立即膨胀使水不能透过达到人体与冷水隔绝的目的。

抗浸服的效果可延长冷水浸泡时人的存活时间若干小时 ,见图 4-26 所示。

(b)在水中保持安静 :一般只有在必须马上离开该海域 ,或者离海岸或营救船确实很近时才游泳 ,通常在有救生背心或其他漂

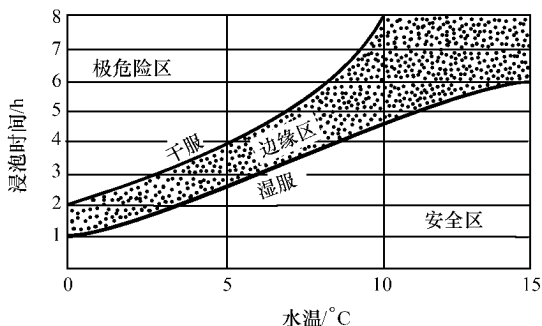


图 4-26 抗浸服对生存时间的影响

浮物时应安静地呆在水中以减少体热的散失。

(c)防止头部浸入水中:头部浸入水中,易呛水甚至淹溺。此外,由于头部的体温最高,头颈部有许多大血管而又无收缩神经分配,头颈部的血流量比别的部分大(头部血流量达 $750 \text{ ml} \cdot \text{min}$)。因而头部是一个很大的辐射散热区,热流是全身最大的。头部浸泡在冷水中时,散热量高达全身代谢产生热量的 75%,因此头部应尽可能露出水面。

③防鲨鱼袭击 鲨鱼虽然是危险的海洋动物,但袭击遇难飞行员的事例并不多。应尽力消除飞行员的恐惧心理,使他们了解鲨鱼的生活习性,掌握使用驱鲨剂的方法,如何避免受鲨鱼袭击以及受伤后的急救。

全世界现有 350 种鲨鱼,大部分分布于热带和亚热带海域(南北纬 20° 之间),多数栖息于水下 5 m 左右。真正袭击人的鲨鱼大约 8 种,这些鲨鱼体大,牙齿锋利,肌肉发达,游动敏捷,没有色觉,但对发亮的物体感觉灵敏,不喜欢黑色。鲨鱼的嗅觉十分敏感,尤其对血腥味敏感。在有鲨鱼的海域应注意:

✚ 入水时不要丢弃身上的衣服,因为鲨鱼皮极粗糙,相碰时易使人的皮肤擦伤。

✚ 不要将带血的东西和其他废物(如呕吐物等)带入海中,因为这些东西可招引鲨鱼。

✦ 在水中要除去身上一切发亮的东西 ,如手表等。

✦ 在水中应保持安静 ,必须活动时 ,要有节奏地在水中游动 ,避免猛烈击水以激惹鲨鱼。

✦ 将受伤者尽快救上救生船 ,在救生船上不可把手和脚垂于船外。

✦ 鲨鱼游近时如来不及离开水面应保持镇静 ,密切注视鲨鱼的动向。如遇鲨鱼进攻 ,可用刀刺、枪击也可用脚踢 ,万不得已时可拳击鲨鱼的鼻部 ,因其鼻部最脆弱 ,有时可击退鲨鱼的袭击。

✦ 鲨鱼袭击人往往有先兆 ,兜圈子 ,有时作弓背动作 ,遇到这种情况应立即爬上救生船或上岸。

鲨鱼咬伤的伤口面积大而且深 ,往往造成大出血 ,引起严重休克 ,死亡率较高。急救的关键是止血 ,被鲨鱼咬伤后应立即用绷带、止血带或其他临时做的止血带止血 ,动作越快越好。

④ 饮水供应 :如能爬上救生船 ,海上生存的时间一般来说取决于有无饮水和饮水的多少。

海水能否直接饮用的问题曾争论过很长时间。根据经验和大量的试验 ,海水不能直接饮用。因为血液中的盐分为 0.9% ,而海水的盐分为 3.5% ,约为血液的 4 倍。因而海水摄入体内即造成血液高渗 ,增加了血液循环量。为排出这些过多的盐分需从肾脏排出更多的水分 ,因而不仅不能给人体补充水反而会增加脱水 ,使海上生存时间缩短。

海上生存时饮水供应除了携带淡水以外还可用海水脱盐剂淡化海水 ,用太阳蒸馏器蒸馏海水以及接取雨水等。

海水淡化的原理是通过化学反应使海水中的氯化钠生成新的化合物沉淀 ,从而使海水淡化。传统的海水脱盐剂是用银泡弗石制成 ,因而成本较高 ,近来已研制成功一种新型脱盐剂 ,其重量、体积均比以前的脱盐剂小 ,而脱盐效果比过去提高 4 倍 ,成本也大大减低。

太阳蒸馏器利用阳光将海水蒸发 ,然后蒸气凝结在塑料袋的膜上汇集在下部的收集容器内。如天气好一个太阳蒸馏器每天可

获取约 1L 淡水。因太阳蒸馏器可折叠 ,携带方便 ,可携带多个。

有些海域雨量较多 ,可利用各种容器接取雨水 ,较理想的方法是用无毒塑料薄膜接取雨水 ,面积大 ,接取的雨水也较多。早晨可从救生船和其他物体表面汲取露水。为防止淡水发臭和调节味道可少量放入海水。

⑤食物供应 海洋里生活着众多的动植物 ,绝大部分鱼类及海龟是可以食用的 ,但要和有毒的鱼类区别。

有毒鱼类多数分布于沿海 ,在深海里几乎没有。有毒鱼的形状比较古怪 ,有的鱼鳞上有刺 ,有的干脆没有鳞片 ,或是刺成硬毛。河豚是最常见的有毒鱼 ,毒素主要含于卵巢、肝及肠内。

有些海草也可以食用 ,无毒性 ,海草分为褐草、红草、绿草等 ,除褐草味道较差外 ,其它海草味道较好 ,且含有较丰富的营养。

(2)沙漠生存

沙漠地区 ,雨水稀少 ,地面与浅层地下水奇缺 ,空气干燥 ,蒸发量大 ,夏季气温高 ,无蔽荫处 ,而脱水对弹射跳伞或迫降的飞行员是一个严重的威胁。

人体急性脱水时会出现一系列症状 :当脱水达体重的 5% 时 ,感强烈口渴 ,全身不适 ,不愿活动 ,食欲减退、恶心 ,皮肤潮红 ,烦躁不安 ,嗜睡、脉快 ,肛门温度上升等。当脱水达 6% ~ 10% 时 ,出现头痛头晕、四肢刺痛、皮肤紫绀、语言不清、不能行走。当脱水达 11% ~ 12% 时 ,可发生谵妄、痉挛、舌肿胀、耳聋、视物不清、排尿疼痛或无尿、皮肤皱缩、麻木、不能吞咽 ,最后可致昏迷不醒。

一般来说 ,气温 43 ℃ 时 ,脱水 5% ,就丧失大部分工作能力 ;脱水达 12% ,无人帮助就难以行动 ;脱水达 20% 是致命的界限。若脱水速度很快 ,脱水 15% 就可以致命。通常脱水 10% 以下并无死亡的危险 ,充分饮水以后 ,大部分症状可在 1 h 后消失。个别人脱水 25% 仍可得救 ,见图 4-27 所示。

人在沙漠中生存的时间与气温 ,体力活动强度 ,携带的水量 ,遮荫四个因素密切相关。第二次世界大战期间 ,美国生理学家 Adolph 在沙漠地区进行了大量的野外生理试验 ,根据试验结果提

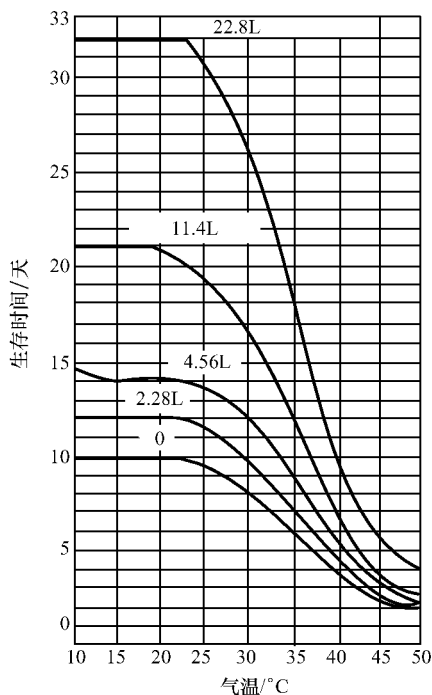


图 4-27 在沙漠阴凉处休息时,不同气温不同水量预计可生存时间出了沙漠中生存时间与四个因素的关系。

气温与生存时间关系最大,如气温超过 40 ,在阴凉处休息,预计可生存 2.5 天,如进行体力活动生存时间就缩短。如在烈日下行走,脱水更快,生存时间就更短,见图 4-28 所示。

①防止脱水或减轻脱水:在沙漠中防止脱水的措施有两种:一是尽量减少体内水分消耗;二是获取饮水。为减少体内水分丧失,需防护外界的热及减少自身产热,因而需要遮荫、穿着服装和减少体力活动。

✚遮荫:我国沙漠中,阴影处气温可比阳光下低 7 ~ 8 ,阴影处每小时出汗量比阳光下少(100 ~ 200) g。如能停留在迫降的飞机阴影下较为理想,飞机目标较大易被营救飞机发现。将降落

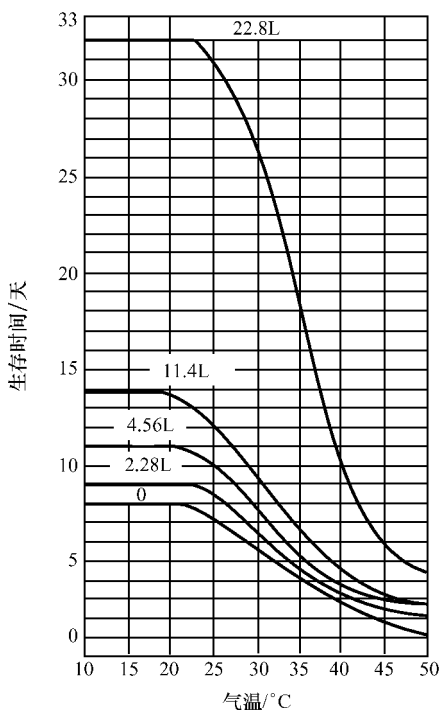


图 4-28 沙漠中夜间行走 白天休息时不同气温、水量时预计可生存时间

伞搭在沙坑上面,用双层伞布隔热效果更妙。这种简易帐篷可减少辐射热 $0.3\text{kJ/h} \sim 8.95\text{kJ/h}$ ($72\text{kcal/h} \sim 114\text{kcal/h}$),还可减少地面传来的热量 0.42kJ/h (100kcal/h)。有些地区可以找到自然阴影处,如岩石的突出部,干河床的河岸甚至洞穴等。

✚穿着衣服:穿着服装可防止热辐射,隔断外界热空气,明显减少出汗量,减轻脱水。据测量,穿合适的服装,从外界受热要比裸体者减少 55%,出汗量减少 20%。为防止太阳暴晒,服装最好选用白色或浅色的,白衣服可反射太阳辐射 50%。较理想的服装是既能使汗液从皮肤上蒸发降温,也能提供最大的隔热效果。服装应宽松轻便于通风,但不宜穿短袖衬衣和短裤。应戴帽以防太阳暴晒头部,也可用伞布临时制作头巾遮盖头部。

✦减少体力活动 体力活动可使代谢产热增多,因此需要更多的汗液来散热,需要更多的饮水。做重体力活动需水量约为一般人的2倍。沙漠生存者应尽力避免重体力活动,必要的工作也应放在夜间或阴天去做。行走应选择清晨或傍晚,中午应在阴凉处休息。只有在确有把握走到附近居民点或其他安全地方,或者断定不会有人来营救时才能远距离行走。

✦携带饮水 饮水的携带量在条件允许时应尽可能多带。饮水量超过4.5 L以上,生存时间才会明显延长。水的包装可用罐头、塑料筒、塑料袋等。从生存的第一天起应及时补充水分,避免脱水和降低工作效率。有人认为沙漠生存的第一天应禁止饮水,这样可使尿液中的水充分回收。实际上第一天体力活动较多,体力消耗较大,需要及时补充水分以保持工作能力。体内缺少的水迟早需补充,其需要量是一样的。饮水应少量多次饮用,每隔(2~3) h饮一次,每次(800~1 000) mL。据试验,受试者一次喝1 L水从尿液中失水 371 ± 82 mL,其余水分被机体用于体温调节。饮水时可先含在口内一段时间再咽下,这样可以湿润干燥的口腔粘膜,缓解口渴感。

有些沙漠地区可以找到地表水或地下水。有些水有的含盐碱不能直接饮用,如携带有太阳蒸馏器,可利用阳光蒸馏成淡水,也可用脱盐剂制取淡水。利用湿沙,每天可蒸馏(400~500) mL水。

②可食用动植物 沙漠地区由于气候干旱动物和植物的数量和种类都不多。在较干旱的沙漠里几乎没有动植物,但在有湿沙或咸碱水的沙漠地区则可以找到一些食用的动植物。特别是我国北疆地区,动植物较丰富,常见的动物有黄羊、野驴、野兔、刺猬、野鸡、水禽等。可食用的植物有肉丛蓉、锁阳、沙米、沙枣、独尾草、沙拐枣等。

(3)寒区生存

我国三北地区冬季气温可达 -38°C ~ -40°C ,甚至 -50°C 。极端最低气温为 -52°C 。严寒期(4~6)个月,寒冷期(6~8)个月,冬季平均每周出现一次寒潮。冬季积雪长达254.4天,最少也

在 150 天以上。积雪最厚为 30 cm ,年降雪日多达 142.1 天。因此寒区跳伞的飞行员主要是防寒问题 ,防止低温症的发生 ,其次是防雪盲以及解决食物问题。

①防止低温症 :气温低加上大风可使人体迅速散热 ,造成低温症。在大风中 ,每小时体热可散失 2 698.68 kJ (645 kcal) 。苏联学者在冻土地带进行野外试验 ,气温 $-15 \sim -40$,风速 20 m/s 时 ,被试者 40 h 步行后 ,体温从 37 降至 35.4 。另外 ,湿衣服的保暖性能只有干燥时的一半 ,穿着湿衣服在大风中 ,即使气温 10 时也有可能发生低温症。

寻找隐蔽所躲避风雪和穿防寒服装是防止低温症的主要措施。

✦隐蔽所 :可用厚雪构筑隐蔽所 ,因雪中含有大量空气故有很好的隔热性能。外界气温 $-17 \sim -27$ 时 ,用雪构筑的隐蔽所内气温可高出外界 $15 \sim 20$ 。

用降落伞搭成圆锥形帐篷或 A 字形帐篷也可御寒。如帐篷内生一堆火 ,气温可升高 10 多度 ,如用双层帐篷 ,气温可升高 20 多度。

飞行员可以利用充气的救生船底朝上作临时隐蔽所。

✦防寒服装及睡袋 :为维持正常体温 ,必须穿着服装来阻止体热过多的散失。气温 21 时服装的隔热值需要 1 clo ,12 时需要 2 clo ,3.6 时需要 3 clo。以后气温每下降 8.8 ,就需要增加 1 clo。

根据试验 ,我国飞行员冬季皮飞行服隔热值为 3.4 clo ,加上防寒睡袋大衣可增加 1.3 clo ,在 -35 气温无风条件下可坚持 6 h 不发生冻伤。据测定 ,黑龙江海拉尔一天内最低气温在 2 时至 8 时 ,8 时以后气温明显回升。如能在最低气温下坚持 6 h 不冻伤 ,其他时间发生冻伤的机会就较少。

此外 ,尚可携带化学产热袋、引燃火堆的化学引火物等 ,对防寒也起一定的辅助作用。飞行员平时加强耐寒锻炼也可以减少冻伤发生。

②雪盲 :雪盲是指太阳光直接照射 ,或雪地反射光作用于人的眼睛所造成的暂时性或永久性的眼部疾患。人患雪盲时 ,眼睛剧烈疼痛 ,怕光、流泪 ,影响生存和营救活动。

预防雪盲的方法是使用护目镜。在应急的情况下 ,可用纸片、布条等自制简易裂孔护目镜 ,可使进入眼内的紫外线减少 ,但影响视力 ,又不能完全防止雪盲 ,效果不甚理想。如能携带中性灰色涂镍眼镜或变色镜片就更为理想。

③食物 :飞行员遇险后 ,只要有饮水就可以生存较长时间。但食物对鼓舞士气 ,恢复疲劳和修复创伤 ,保持工作效率均有很大作用。

一个 70 kg 重的人 ,体内总的能量贮备约有 694125.6 kJ(165 900 kcal) ,其中有 15 kg 的脂肪 ,相当于 589 944 kJ(141 000 kcal) ;有 6 kg 肌蛋白 ,相当于 100 416 kJ(24 000 kcal) ;有 0.75 kg 肝糖元 ,相当于 1 255.2 kJ(300 kcal)。一般认为 :消耗总能量贮备的 40% ~ 45% ,人体尚能生存。人体安静时代谢产热每小时 209.2 kJ(50 kcal) ,主要用于维持体温 ,使呼吸、循环正常进行 ,并保持肌肉一定的紧张度。轻体力活动每小时 292.88 kJ(70 kcal) ,如果按每天消耗能量 7531.2 kJ(1 800 kcal) 计算 ,体内组织能量贮备足以应付完全饥饿(30 ~ 40)天。但人对饥饿的耐受力还要考虑到氮的损失。体内含氮总量约为 1 000 g ,每天损失氮大约 25 g ,但总氮量降到 50% 即 500 g 时人就难以存活。按这样计算 ,人在有水无食物的情况下只能生存 20 天左右。但经人体试验证明 ,有水无食物时 ,生存(30 ~ 35)天仍能保持较好的精力和体力。所以一般认为不吃食物的生存时间大约为 30 天左右。

对于遇险生存的飞行员来说 ,生存食物的来源主要有两个 :一是救生口粮 ,二是利用周围可食用的动植物。短时间生存主要靠救生口粮 ,长时间生存主要靠后者。

飞行员使用救生口粮时的环境可能相当恶劣 ,因而对它有一定的要求 :①不用加工就可以食用 ;②容易消化又耐饥 ;③食用后有利于保持体内水分 ;④在恶劣环境中较长时间内不变质 ;⑤有足

够的热量和合理的营养成分 ;⑥体积小、重量轻便于携带 ;⑦尽可能味美可口。

在遇险情况下 ,要求救生口粮满足像平时的营养供给是不现实的。但携带口粮可消除飞行员饥饿的恐惧心理 ,也能补充一部分人体热量消耗 ,这比完全饥饿有利。如果每天食用 $1\,673.6\text{ kJ} \sim 2\,092\text{ kJ}$ ($400\text{ kcal} \sim 500\text{ kcal}$) 救生口粮 ,体重减轻要比完全饥饿少得多 ,水盐代谢、氮的指标也比完全饥饿者变化小。

飞行员救生口粮分为地区性和通用性两类 ,地区性口粮分为寒区、沙漠、海上等。寒区需要高热量的食物 ,因此脂肪和蛋白质的含量较大些 ;沙漠、海上水的供应比食物更为重要 ,口粮应以糖类为主 ,有利于减轻脱水。

由于飞行事故发生的地区很难预料 ,有时一次飞行就跨越几个地区 ,加上经济上的考虑 ,一般主张采用各地区通用的口粮。通用口粮的总热量为 $8\,368\text{ kJ}$ ($2\,000\text{ kcal}$) 左右 ,糖占二分之一 ,脂肪占三分之一 ,其余为蛋白质 ,口粮中通常加入少量食盐。

如果没有饮水 ,就不要食用口粮 ,以防加重脱水。由于口粮缺乏食物渣滓 ,排便量减少 ,有些人可能几天无大便 ,这对人体无害。

救生口粮过去多采用罐头包装 ,内充氮气。其优点密封性好、耐压强度大、保存时间长、微生物不易侵入 ,食物不易变质。口粮用完后 ,包装盒尚可用作容器或做太阳反光镜用。缺点是成本较高 ,工艺较复杂 ,开启需用专用工具。近年来救生口粮采用了铝箔包装使口粮体积减小 ,重量减轻 ,而且成本降低 ,使用也较为方便。

除救生口粮外 ,当地可食用动植物是生存者重要的食物来源。各种兽类、鱼类、鸟类、爬虫类以及昆虫均可充饥。这些动物不仅可吃且有丰富的营养 ,如 100 g 纺织娘热量高达 941.4 kJ (225 kcal) ,含丰富的蛋白质和维生素 B1 和 B2。蜗牛 100 g 含热量 212.97 kJ (50.9 kcal) ,含蛋白质 12.2% ,脂肪 0.66% 。 100 g 炸白蚁热量达 $2\,347.22\text{ kJ}$ (561 kcal) ,相当于牛肉的 4 倍多。蝗虫的营养价值也相当高。

食用野生植物时需防中毒 ,尤其是对不熟悉的植物需鉴别有

无毒性。一般说来,鸟类或别的动物食用过的果实,有虫蛀的蘑菇是无毒的。对不认识的植物只凭气味、颜色、味道来区别能否食用是不可靠的。某些豆科类植物、蘑菇毒性较大,食用后会中毒死亡。因此在食用不熟悉的植物时,可先食用(3~5)g尝试一下,若食用后(1~2)h无恶心、呕吐、腹痛、头晕等症状,说明这种植物可以食用,可以增加食用量。有些果实或块根经煮熟后可将毒素分解,如木薯根,新鲜时毒性很大,但加热处理后不但无毒而且味美可口。

(4)热带丛林生存

我国热带丛林主要指台湾、广东、广西、云南南部和海南岛等北回归线以南地区。该地区地形复杂,丛林与山岳互为依存,草深林密,树木高大,飞行员跳伞落入林区时伞带与树枝缠绕、挂住,人体易划伤,林中行走艰难。热期长、气温高、日射强。夏季白天平均气温为28℃,极端气温可高达40℃。雨水多、湿度大,一年中四季界限不明,只有旱季与雨季之分。丛林中栖息毒蛇和各种有害昆虫。蚊虫多,一年四季均可传播疟疾等热带传染病。蜱和螨可传播恙虫病、钩端螺旋体病等。水蛭叮咬可吸走大量人血,并易使伤口感染。毒蛇的种类和数量也比其他地区多,林中有大型食肉动物如虎、豹等。

对跳伞飞行员来说,主要医学问题是预防中暑,防治毒蛇咬伤以及处置有害昆虫。

①预防中暑:在草丛、山谷停留时,气温高、湿度大、通风不良,人体受热多、体内热又难以散发,容易发生中暑。强体力活动也是中暑的重要因素。严重的中暑可危及生命,应特别引起注意。

预防中暑的方法是减少受热和体内产热。具体方法有以下几方面:

✦休息时用降落伞或树枝建造隐蔽所防止烈日暴晒。

✦野外行走时,可戴太阳帽,也可用树枝自编遮阳帽,防止头部受热对预防中暑十分重要。

✦穿宽松通风易吸汗的衣服,不要随便将衣服丢掉,衣服除了

防热还可以防划伤和昆虫叮咬。

- ✦ 不在草丛、山谷等高热高湿地方停留。
- ✦ 尽量轻装行走,不携带过多的装备。
- ✦ 安排好一天休息,中午在阴凉处休息;早晚凉爽时可行走或从事其他体力活动。
- ✦ 常用凉水擦身,用湿毛巾包在头上也可起到降温作用。

②毒蛇咬伤的防治:全世界蛇类有 2 200 种,毒蛇约占 1/10, 200 种左右。我国有蛇类 160 种,毒蛇 47 种。毒蛇与无毒蛇在外表上虽有种种区别,但对跳伞飞行员来说,应把所有的蛇当作毒蛇来看待,以防被毒蛇咬伤。

预防的方法:

✦ 在丛林中活动时应穿好衣服,尤其要穿好鞋、袜,并把裤腿扎紧。

✦ 栖息在树上、竹枝上的毒蛇,其颜色与树枝、竹子相似,很难分清,故在穿越树林竹丛时要戴帽子。若无现成的帽子,可用伞布或树叶等临时制作。

✦ 用树枝打草惊蛇,可将蛇赶走。

✦ 坐下来休息之前,先用树枝将周围的草打一下将蛇惊走。

✦ 青蛙多的地方蛇类活动也多。五步蛇、蝮蛇的体色像岩石、泥土的颜色,在草丛、溪边活动时要仔细观察。

✦ 遇眼镜蛇攻击时,就沉着镇静,可用树枝等与之搏斗。

被毒蛇咬伤后,要防止毒液吸收、扩散,排出毒液以及抑制蛇毒的作用,具体措施有:

✦ 在毒蛇咬伤后的 30 min 内可用止血带或布条等将伤口上方向心端结扎,扎的松紧以阻断淋巴管和静脉回流,不妨碍动脉供血为度。每隔 15 min 需松开(1~2) min,以防局部严重淤血。

✦ 结扎后用清洁水冲洗伤口,用小刀切开牙痕间的皮肤使之出血,除去残留的毒牙。如有条件用针在伤口周围扎些小孔,使血液和组织液流出。如口腔无溃疡可吮吸伤口将毒素吸出。

✦ 可服用各种蛇药,并在伤口敷用,可在附近采集七叶一枝

花、半边莲等草药服用及外敷。

③水蛭叮咬及防治 热带丛林中水蛭极多,水蛭从树上掉到人身上,通过钮扣孔甚至鞋子的眼也叮咬人体。水蛭叮咬后虽然不至于使人致命,由于吸取许多血液,使人体衰弱,因伤口流血不止也容易发生感染。水蛭分为山蛭、水蚂蝗和寄生水蛭3种。大的山蛭吸血可达自身重的6倍,约2 g。吸血时间(1.5~2) h,吸饱后自动脱落,流血时间可达100 min并伴有痒感。

防止水蛭叮咬的方法有:

- ✦在丛林中穿长裤,将袜筒套在裤腿外面。
- ✦休息时经常检查身上有无水蛭,发现有水蛭及时除去。
- ✦宿营地应选择比较干燥、草不多的地方或将附近的青草除去。
- ✦涂擦昆虫驱逐剂有一定效果。
- ✦不喝有寄生蛭的水,涉水时应扎紧裤腿。

发现身上有水蛭叮咬时,切勿用力硬拉使水蛭口器断留在皮肤下引起感染。可在附近拍打将其震落。可用浓盐水、烟汁、石灰水撒在水蛭身上,或用火烤使其脱落,也可用刀将其刮下。伤口流血不止可有炭灰末敷上或用嫩竹叶捣烂后敷上。

3. 生存装备

生存装备指飞行人员随身携带的各种救生物品,目的是使飞行人员及时获救,进行必要的自救和生存较长时间。

飞行员生存装备按地区分为海上生存装备、沙漠生存装备、寒区生存装备、热带丛林生存装备等。按性能分为急救装备、通信联系工具、防护装备(如抗浸服、防寒服、救生背心等)、生活用品等。

对生存装备的要求是重量轻、体积小,便于飞行员携带,性能好,可使飞行员在恶劣环境下维持生存(2~3)天,联络距离半径100 km左右。平时携带在座舱内不影响飞行员操纵,不增加飞行员额外负荷和不舒适。不影响座椅弹出座舱,不影响降落伞张开。

由于飞机座舱空间的狭小,对生存装备的重量、体积、数量有苛刻的限制,飞行员不可能随身携带许多救生物品。为此必须加

强搜索营救系统的建设,缩短飞行员在恶劣环境下停留的时间。其次应使飞行员懂得充分利用降落伞及其他手边的物品,利用自然条件临时制作救生物品来进行各项生存活动(急救、隐蔽、生火、获取饮水和食物等等)。

由于遇险飞行员中约有 $2/3$ 的人受伤,可见在救生包中携带急救包是十分必要的。对急救包的要求是能处理止痛、止血、防感染等应急情况,一般应有止血药、绷带或止血带、止痛药片、消炎药,有些急救包内还有净水片、昆虫驱避剂、防毒蛇咬伤药等。急救包内药品和工具的排列应紧凑又便于取用,最常用的药物应放置在易取的位置,药物要求保存时间较长,成本较低。

通信联络工具是生存装备中最重要的物品,因为如能迅速沟通联络,其他生存问题不复存在。因此生存装备中通信联络工具占有很大比重,它的性能也代表了整个生存装备的水平。通信联络往往先远后近,但在海洋、沙漠、丛林里,虽然远距离联络成功,但找到生存者的具体位置仍很困难,因而需要装备在近距离能使生存者被迅速发现的联络工具,称为近距离联络工具。

远距离通信联络工具有:雷达反射器、救生电台和信标机。

✦**雷达反射器**:又称角反射器,为金属丝织编而成,可以反射雷达波。这种反射器第二次世界大战后期开始使用,搜索距离较远,可以折叠,体积较小,张开时体积大,呈多角状,金属丝可耐海水腐蚀。

✦**救生电台**:最常用,可发收信标信号,还能与搜索飞机或舰船上的人对话。美国空军 20 世纪 80 年代使用的 AN/PRC112 救生电台联络距离可达 160 km,有 3 000 个频率,搜索定位距离不超过 3 m,天线可卷曲。当前,救生电台不断向着体积小、重量轻、联络距离远、保密性好、定位准确的方向发展。

信标机:能发射信标信号,但不能与搜索营救飞机对话。与救生电台一样均为超短波通信,联络距离随搜索飞机的高度而不同,搜索飞机飞行高度高,联络距离就远。信标机的体积重量均比救生电台小,携带较方便。

近距离联络工具,分白天和夜间两类:白天使用的有太阳反光镜、信号枪、发烟管、海水杂色剂等等;夜间使用的有信号枪、发火管、闪光标位器、冷光管等等。

✦太阳反光镜 利用镜面将阳光反射在搜索飞机上,联络距离20 km左右,不需要能源,体积小重量轻。缺点是阴天效果差,使用方法比较复杂,玻璃镜面易碎裂。

✦信号枪 联络距离30 km左右,枪管用硬铝制成,质轻、体积小,信号弹的颜色分红、蓝、黄、白,多用红色,较为鲜艳。射击高度110 m,空中停留5 s以上。

烟火管:一端发烟,一端发火,拉动发火器后可冒烟或冒火20 s以上,夜间焰火可在20多公里处发现,红色烟雾可在空中停留30 s以上,可在10多公里处看到。

✦海水染色剂 在水中溶解后呈翠绿色,在阳光下发荧光。因而远距离即可发现,天气好时联络距离10 km左右。染色剂粉末撒在雪地上或高山溪流中可将雪地或溪流染色,目标也较大。但在风浪大的海面,保持时间只有1 h,如风平浪静则可保持3 h以上。

✦闪光标位器 用高压脉冲闪光通过聚光向飞机或其他搜索营救人员发信号,闪光频率45次/min左右,夜间可在5 km处看见。

✦冷光管 是一种化学发光信号,联络距离(1~2) km,在黑夜中还可以作照明用。挂在救生船旁可以诱捕鱼类。

另外,还可利用降落伞对空联络,如将伞铺于林间草地,或挂在几棵树之间,或将伞挂在河面上使伞与河水形成鲜明的对照。没有降落伞时也可雪地上踩出联络符号或将一片青草割成联络符号,在海滩上用石头排列成特定的符号等等。

生存装备中的应急防护装备也是花样繁多,如防淹溺的救生背心、腋下气囊、救生圈、救生船等,防冷水浸泡的抗浸服、陆上防寒的防寒服或睡袋、驱鲨鱼剂等等。有的内容已在上面作了介绍。

生活用品包括携带的水、脱盐剂、救生口粮、防风火柴、指南针

等。

✦ 饮用水可用塑料袋、罐头或塑料瓶包装。塑料袋成本低 ,使用方便 ,但保存时间较短 ,受压强度差。罐头强度好 ,保存时间长 ,用完后可作容器 ,但成本较高。硬塑料瓶携带、使用比较方便 ,但强度也较差。

✦ 脱盐剂和救生口粮已在前面叙述。

✦ 防风火柴用于点燃火堆 ,在寒区可携带引火物助燃。烟火管拉火失效时也可用防风火柴点燃 ,还可照明用。防风火柴可防火、防风(抗 5、6 级大风) ,燃烧时间较长 ,不会摩擦自燃。

✦ 指南针用于指示方向 ,要求准确、体积小。

4. 生存训练

飞行员进行生存训练有 4 种目的 :

① 在较真实的恶劣环境下体验生活 :一旦碰到遇险后生存的环境 ,就有了较充分的心理准备 ,消除恐惧心理 ,增强生存的信心。

② 学会使用生存装备 :通过训练掌握每件生存装备的性能和使用方法 ,能灵活运用当时当地的自然条件 ,充分掌握生存装备的作用。

③ 学习各种环境下的生存知识 :通过训练 ,了解各地区的特殊自然条件 ,掌握利用自然条件来维持健康继续生存的手段 ,学会及时与营救飞机沟通联络的种种办法。

④ 识别可食用的动植物和有毒动植物 :生存训练分为理论训练和实际训练。理论训练进行课堂教育 ,配合电影和展览。实际训练 ,把飞行员放在模拟的较真实的环境中 ,亲身实践。

(二)营救

营救是军事航空救生的最后一个阶段 ,营救过程又分为搜索和救援两部分。营救的成败不仅取决于生存者的状态和环境的恶劣程度 ,更取决于营救组织的严密 ,营救人员良好素质以及营救装备的精良。

以美军为例 ,美军将整个世界划分为三大搜索营救区 ,各区分

别由各军兵种负责 ,并有专人指挥。

美国本土的搜索营救区由美空军负责 ,美国空军参谋长委托航空航天救援和回收局司令统管。

海上搜索营救区由美国海岸警备队负责 ,这个搜索营救区又分为大西洋海区和太平洋海区两大责任区 ,由美海岸警备队司令指定专人协调。

海外搜索营救区由海外联合司令部负责 ,由海外联合司令部的司令统一指挥协调。战争期间 ,弹射跳伞飞行员的搜索营救任务则由美军特种作战部队完成。如 1999 年科索沃战争中营救一名 F-117 弹射跳伞飞行员的就美军空军特种作战部队。1995 在波黑战争中他们曾成功地营救一名 F-16 的飞行员。

营救人员应由营救直升机飞行员、通信联络人员、绞车机械人员、营救员和医生 5 种人员组成。有时飞行员和通信联络人员合而为一。营救员从直升机上下来到地面或水面 ,协助幸存者登上营救工具 ,如各种吊篮、吊带等 ,见图 4-29 ~ 图 4-31 所示。

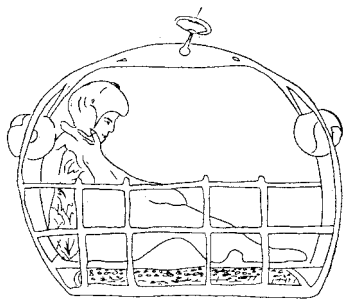


图 4-29 封闭式吊篮

营救的主要工具是营救直升机。1945 年美国空军的一架 R-5 直升机首次用救生绞车将地面上的一名伤员拉到直升机上。20 世纪 50 ~ 60 年代美军的第一代搜索营救直升机上装备了定位系统和救生绞车 ,曾在朝鲜战争和越南战争中挽救了不少弹射跳伞的飞行人员。营救直升机有 HH-1H、HH-3A、HH-3E、HH-3F、HH-

53B、HH-53C、HH-1V 等 ,一般只能在白天进行营救。70 年代美军营救直升机发展为第二代 ,机上装有前视红外装置、夜视镜、气象雷达等设备 ,可以在黑夜和恶劣天气进行搜索和营救 ,这类直升机有 HH-65H、HH-60J 等。80 年代以后营救直升机发展为第三代 ,直升机的动力和搜索能力又有大幅度提高 ,这类直升机有 MH-60G、HH-60H、MH-60K 等。

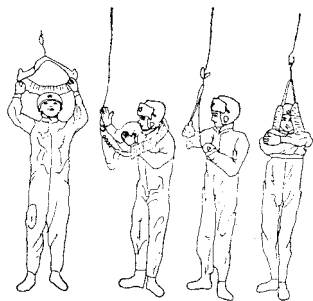


图 4-30 头套式吊带

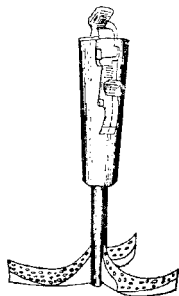


图 4-31 援助座

利用搜索营救卫星可以搜索弹射跳伞的飞行员。目前在近日轨道上有 6 颗搜索营救卫星在运行 ,这个系统有 16 个地面中继站 ,7 个任务控制中心 ,24h 全天候接收地球上任何地方的求救信号。搜索定位的精度随频率而不同 ,406 MHz 数字信号定位精度为 5.6 km ,121.5 MHz 和 243 MHz 的定位精度为 20 km。卫星上有天线、接收机、信息处理机和接发器。卫星的运行轨道近似圆形 ,经过地球的南、北极 ,高度(800 ~ 1 000) km ,每运行 12h 可覆盖地面一遍。卫星将接收到的求救信号转发给附近的地面站。如果地面站距离较远 ,可暂将信号储存起来 ,待离地面站较近时再发出。地面站收到卫星发来的信号 ,经处理可以确定求救信号的准确位置并通知附近的营救组织。

营救直升机在水面或地面搜索时 ,为了提高搜索效率 ,防止遗漏 ,应有严密的搜索航线 ,见图 4-32、图 4-33 所示。

幸存者在水面或地面应积极配合营救 ,使用信标机或救生电

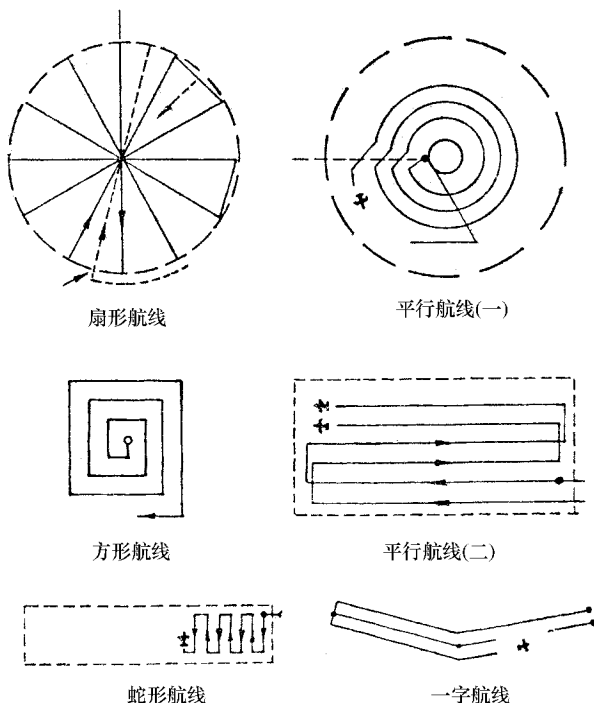


图 4-32 直升机搜索航线(一)

台可明显缩短搜索时间,提高搜索效率。美军在越南战争期间(1967.1—1970.6)弹射跳伞的249名飞行人员,用无线电搜索发现获救的有152名,占总数的61%,因此各国空军都十分重视飞行员救生电台的研制。目视信号(烟火管、信号枪、太阳反光镜、染色剂等)也可发挥很大作用。1965年~1969年间,在美国空军非战斗弹射跳伞的976名飞行员中,有703名是目视搜索发现的,因而飞行员应熟悉和熟练地使用这些联络设备,对自己及时获救是极为重要的。

在没有任何联络工具的情况下,飞行员可以利用当地的自然条件进行对空联络,如点火堆,在沙滩上用沙子形成“SOS”的字样

200

等等。

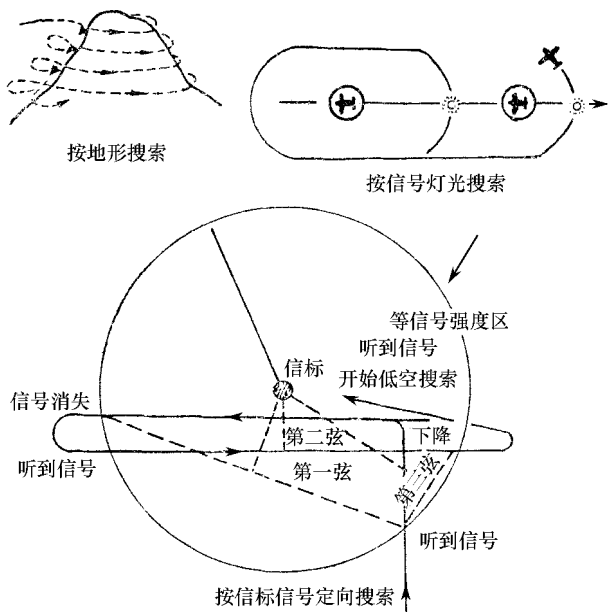


图 4-33 直升机搜索航线(二)

第五章 直升机飞行事故

一、直升机概述

16 世纪,意大利人达·芬奇曾经绘制过一幅直升机的草图,但是没有制作出直升机的实物。17 世纪末,我国苏州地区的一位木匠根据“竹蜻蜓”的原理,花费 1 年的时间制成一架“飞车”。这架“飞车”的顶部有一个像“竹蜻蜓”一样的螺旋桨,人坐在“飞车”上用脚踩踏板,通过传动装置使螺旋桨旋转,可以使“飞车”飞起来。1878 年,意大利人弗拉尼尼研制成功世界上第一架真正能起降的直升机,当时试飞的成绩为飞行高度 12 m,飞行时间 12 s。从航空发展史上讲,意大利人弗拉尼尼的这架发明的直升机,其意义并不亚于莱特兄弟 1903 年发明的固定翼飞机,也是人类飞行史上一个十分重要的事件。

1936 年,德国人福克研制了一架“FW-61”双翼横列式直升机,这架直升机可以垂直上升,半空悬停,可以作 360°定点转弯,向任何方向飞行和垂直降落,已经具备了现代直升机的基本功能。1937 年,德国女飞行员汉纳·赖奇用这架直升机在柏林的“德国大厅”进行飞行表演,直升机垂直起飞后在 5 m 高的空中悬停,然后作 360°旋转,最后缓缓降落在地面,博得在场观众一片喝彩声。几天后,她又驾驶这架直升机从柏林飞往伦敦,当时飞行速度为 68 km/h,飞行高度为 2 427 m,这是当时直升机创造的世界飞行纪录。可惜这种直升机只生产了一架,没有投入批量生产。

20 世纪 50 年代中期,法国与阿尔及利亚战争中,法国军队首先将直升机用于战场救护和空中运输,开创了直升机军用化的道路。20 世纪 70 年代,美军在越南战场上大量使用直升机并首次

用“陶”式导弹装备在直升机上,用于打地面的坦克,直升机才真正发展成为武装直升机,成为空中战斗武器。1983年9月14日,伊拉克和伊朗战争中,伊拉克空军的一架米-24D直升机与伊朗的一架美制AH-1J“海上眼镜蛇”直升机空战,一举击落了AH-1J,开创了直升机空战的世界纪录。

直升机的发展有赖于材料、电子和动力科学的发展。20世纪50年代中期以前,直升机的动力均为活塞式发动机,旋翼为金属和木质材料的混合结构。50年代中期以后,直升机逐渐改用喷气涡轮增压发动机。50年代中期至60年代中期旋翼改为金属结构,60年代中期至70年代中期又改为玻璃纤维结构。70年代以后发展为新型复合材料结构,使直升机的结构更轻巧,性能得到不断提高。

直升机有两种分类法:一是按旋翼的数量分,分为单旋翼、双旋翼和多旋翼3种,双旋翼又可以分为纵列式、横列式和共轴式;第2种分法是按起飞重量分类,1000 kg以下为小型直升机,(1000~2000) kg为轻型直升机,(2000~3000) kg为中型直升机,(3000~4000) kg为重型直升机,5000 kg以上为超重型直升机。

目前直升机的速度、高度、载重量和武器系统均有很大发展,飞行速度可以达到500 km/h。美军的AH-64阿帕奇武装直升机可作80min的贴地飞行,机上装有16枚“海尔法”反坦克导弹,37枚70 mm火箭弹,有与飞行员头盔相连接的激光瞄准器,只要飞行员头盔上的综合显示器对准目标,导弹即可发射并跟踪目标。俄罗斯的米-24D最大起飞重量为10t,飞行速度310 km/h,装有2台涡轮增压发动机,有1门23 mm口径航炮,8枚反坦克导弹,4个火箭发射器或6个空对地导弹。可在恶劣的天气和复杂的地形的情况下作超低空飞行。

由于直升机可以垂直起降,空中悬停,因而不需要大面积的机场和坚固的跑道。由于它的灵活机动,不受地形限制,可在高山、峡谷、森林地带随意降落起飞。它在战争中的用途除了侦察、运输、救护伤病员之外,更重要的用途是用于打地面坦克和反潜作

战。舰载反潜直升机可以用精密的仪器设备在空中探测潜艇在水下发出的声音、放出的热量、废气、地磁感应等,测出潜艇的行踪,然后发射导弹或投入深水炸弹将其击沉。

二、直升机飞行事故特点

由于直升机与固定翼飞机在结构性能上有很大的差异,飞行原理和飞行任务也不同,因此在直升机飞行事故中也有一些与固定翼飞机不一样的特点。

例如,由于直升机上方便有旋翼,至今大部分直升机仍未装上弹射救生系统,虽已提出种种设想和方案,仍处于研究阶段,离实用还有较大距离。这方面的内容我们已在第四章军事航空救生中已有所涉及,这里不再重复。

飞行事故统计分析表明,直升机的飞行事故发生率要比固定翼飞机高得多,这可能与当前直升机的可靠性比固定翼飞机差有关。直升机事故发生率有逐渐增加的趋势,而固定翼飞机的飞行事故率则在逐年下降。不同类型的直升机事故率也有明显不同,“地面共振”、涡环状态、尾部减速器失效等事故是直升机事故中所特有的。造成直升机事故的原因也与固定翼飞机飞行事故一样,也分人、飞机和环境3大原因,而操纵错误在人为因素中又占大部分。

①直升机的可靠性要比固定翼飞机差:固定翼飞机的发展已有近百年的历史,而军用直升机的发展只有50年的时间。虽然直升机可以有多发动机,但升力系统只有1个。旋翼、操纵系统如传动系统特别容易疲劳,如果维修不及时或维修时未能消除隐患,或者齿轮箱的质量控制不严,就可能造成灾难性事故。

②直升机飞行事故率要比固定翼飞机高:1984年英国民用航空局统计,现代喷气式运输机的飞行事故万时率为0.4,而直升机高达2.0。近10年来直升机飞行事故率有些国家不仅没有降低,反而逐年增加,直升机灾难事故率也有逐年增加的趋势。1991年美国直升机事故161起,1999年增至191起,增加了22.3%。见

表 5-1、表 5-2 所示。

表 5-1 1996 年—1999

年世界涡轮直升机
灾难飞行事故起数

年份	起数
1996	218
1997	171
1998	239
1999	191

表 5-2 1995 年—1999 年美国
直升机灾难事故率

年份	起数	10 万小时事故率
1995	25	1.27
1996	32	1.51
1997	28	1.34
1998	34	1.59
1999	31	1.43

③不同种类的直升机灾难事故率差别大 :1999 年世界各国 3 类直升机的 10 万飞行小时灾难事故率差别也是很大的 ,双发直升机灾难事故率为最低 ,活塞动力直升机灾难事故率为最高 ,单发直升机灾难事故率介于以上二者之间 ,见表 5-3 所示。

表 5-3 1999 年 3 类直升机灾难事故率

种 类	10 万飞行小时事故率
双发直升机	2.87
单发直升机	7.29
活塞动力直升机	25.28

直升机飞行事故频繁发生可能有种种原因促成 ,有的国家、有的军种在某段时间里特别令人吃惊。2002 年 1、2 月份 ,俄罗斯军队仅仅在 10 天之内有 4 架军用直升机坠毁 ,死伤数十人。

2002 年 2 月 7 日 ,俄罗斯空军的一架米-8 直升机在格罗兹尼市附近在寻找 2 月 3 日失踪的一架米-24 直升机。当时天气晴好 ,机长有 20 年的飞行经验 ,领航员也有 2000 多个飞行小时的经历 ,驾驶舱里还有 1 名随机工程师和 2 名救援人员 ,乘客舱里有 5 名荷枪实弹的特种部队士兵。这架米-8 直升机在空中飞行了大约 20min ,突然好像被一种无形的巨大力量拉向左方 ,并开始绕纵轴

旋转,剧烈地旋转使领航员的口水掉出来飞溅在座舱玻璃上,身体被紧紧压在右舷窗上不能动弹。这时机长猛拉驾驶杆想制止直升机的剧烈旋转,但没有成功,直升机已失去操纵。剧烈地旋转持续了数秒钟,然后直升机向地面坠落。这一切都发生在50 m高度,3名机组人员没有跳伞,因为跳伞的最低安全高度规定为60 m,这时候即使跳出来也无济于事。直升机很快坠落在格罗兹尼郊外的一片树林里,直升机触地时领航员被摔出直升机,颅骨和脊柱骨发生骨折。随机工程师听到直升机上弹药猛烈爆炸,他奋力逃离直升机,当时他并不知道自己的双腿已经骨折,在离直升机较远时才倒地在上。机长的伤势更重,立即被人送往罗斯托夫的军队医院救治。

在2月7日以前的10天里,俄军连续发生3起直升机严重飞行事故。1月27日,一架米-8直升机在谢尔科夫斯基附近坠毁,机上14人无一生还。14人中包括1名俄罗斯内务部副部长和1名俄内务部队的副总司令。1月28日,在维捷诺附近一架米-8直升机遭车臣武装分子袭击,直升机上有3人受伤,直升机报废。2月3日,一架米-24直升机失踪,由于这架直升机失踪前机组人员没有来得及用无线电(或无线电发生故障)报告地面,专业的搜索与营救部门、俄陆军航空兵和边防军连续出动多架直升机搜寻了4天没有找到。上述2月7日那架米-8直升机又在搜寻中失事,造成7人死亡,3人受重伤。

④直升机特有的飞行事故有如下几种:

✚“地面共振” 所谓“地面共振”是指直升机在地面运转时,整架直升机在起落架上振幅不断增大的振动。左右机轮交替接地,频率可达(2~3)次/秒,旋翼锥体混乱,尾梁摆动幅度逐渐增大,这往往发生于直升机垂直起落、滑行、滑跑起落、车台试车时。发生“地面共振”与桨叶的减摆力矩、起落架缓冲支柱的油、气及轮胎的气压等因素有关。“地面共振”往往造成旋翼桨毂上下限动快被打伤。尾梁与直升机机身连接处变形、断裂或完全折断,起落架变形或折断,甚至直升机倾倒,旋翼损坏,造成机毁人

亡。1975年,我国一家直升机生产厂家进行直-5飞机试车,由于试车人员之间未能协调好,左右主起落架缓冲支柱充填不一而发生“地面共振”,造成1人死亡,直升机报废。

第二代以后的直升机由于采用了液压式或粘弹结构的桨叶减摆器,双腔式的主起落架缓冲支柱,基本上可避免发生“地面共振”。

✚ **涡环状态** 由于直升机垂直下降时下降率太大,可进入涡环状态,可引起起落架损坏,尾梁与机身连接处变形、断裂甚至完全折断,见图5-1所示。

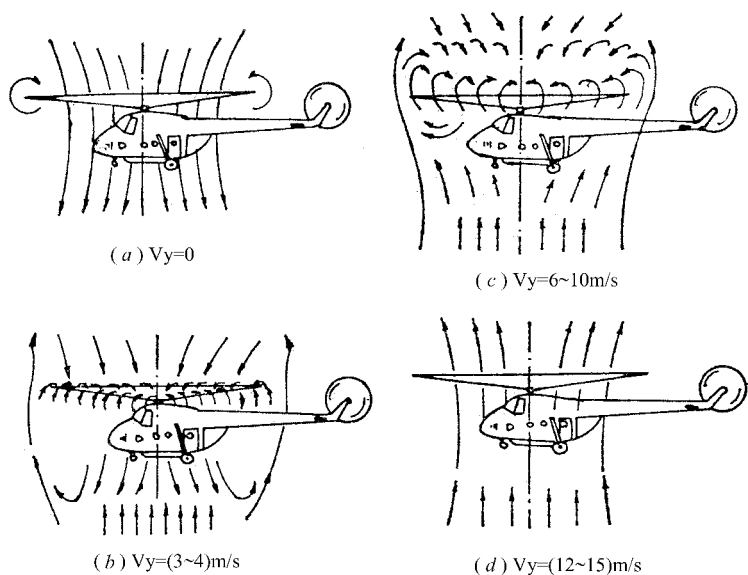


图5-1 涡环状态

⑤直升机飞行事故实例:总的说来,造成直升机飞行事故的原因分为人、机、环3个部分,其中人的原因又占大部分。下面我们分3个部分列举几个比较典型的军用直升机的飞行事故。

人的因素造成的直升机飞行事故:

✚ 1984年3月24日,美国海军陆战队的一架CH-53D直升机

在韩国汉城东南 320 km 处坠毁 ,机上 29 名官兵无一人生还。死者大部分是美军官兵 ,包括 4 名机组人员 ,11 名韩国官兵。这架直升机是 8 架从波汉到砍弄空军基地之间承担夜间袭击任务的直升机中的一架。这 8 架直升机分为 3 个组 ,它是第 2 组的第 3 号 ,在拂晓前昏暗的夜色中按目视飞行规则起飞。直升机坠毁于离起飞点西北 50 km 400 m 高的树木茂密的山坡上 ,并立即燃烧。事故调查结果 :直升机无机械故障和维修方面的问题 ,主要是由于飞行员操纵错误所致。

造成飞行员操纵错误的原因可能有 3 种 :

- ①跟着领队直升机左转弯时因没有看见山而撞在山上。
- ②想跟上自己组的其他直升机而加速 ,为避免超过他们又开始向左转变。
- ③看不到领队直升机想找到它 ,向右作 360° 转向 ,飞行员起飞前未戴夜视镜 ,天气恶化 ,能见度差 ,以及最后发生空间定向障碍也是造成这起事故的因素。

✚1988 年 3 月 8 日 ,2 架 UH-60A 双涡轮发动机直升机在美国田纳西州克拉克斯威尔附近福特坎培尔军营上空相撞 ,2 架直升机上的 17 名军人全部丧生。当时空中有 3 架直升机 ,机上刚从地面搭乘了大约 36 名军人 ,领队直升机上有 10 名乘客和 3 名机组人员 ,另一架有 4 名机组人员。3 架直升机起飞爬升时 ,有 2 架飞机上的飞行员观察到 ,有一架直升机上有航行灯 ,它成功地采取了规避动作。领队直升机的尾梁后部被碰掉 ,而撞在领队直升机的那架则 4 个螺旋桨叶片中有 2 个被撞掉。空中相撞的高度大约 50 m ,当时天气条件是 ,云高 2500 m ,能见度 11 km。军事当局认为 这起事故的原因是飞行员操纵错误 ,也就是明显的判断错误。认为是直升机的门柱和结构件阻挡了飞行员的视线。另外 ,机组人员都戴着夜视镜视野受限也妨碍了彼此观察 ,也是造成这起飞行事故的因素。

✚1989 年 5 月 20 日 ,一架美国海军陆战队的 CH-53D 双涡轮发动机直升机在执行空运部队任务中在韩国波汉东南约 25 km ,

汉城东南 400 km 处的山区坠毁并燃烧 ,机上 34 名美国军人有 19 人死亡 ,其中有 2 名飞行员。另外 2 名机组人员和 13 名军人虽然幸存 ,但均身负重伤。当时 2 架直升机编队飞行 ,这架是 2 号 ,向西北方向飞行 ,在离地 105 m 高度开始右转 ,准备在预定地区着陆 ,机上载有重型武器。在 180°转弯时 ,直升机的倾斜角增大 ,下降率也加快 ,与地面撞击瞬间 ,机头几乎正向南方。直升机撞地前恰好副驾驶将操纵交给机长 ,这时天空有一颗不明高度的照明弹。尾桨和后悬臂撞地 ,直升机撞到排水沟渠里。当时的空速为 80 km/h ,天气晴好 ,坠毁前亦无机械故障的证据。这起事故的原因显然是在转弯和进场时由于判断错误 ,机组人员之间协调不好又缺乏“情景意识”所致 ,两名飞行员没有按照飞行领队的意图飞行。在飞行事故调查报告中进一步指出 :在这种环境下 ,“积极性很高又相对缺乏经验”的飞行员会对在载重量飞行时飞机的性能特性产生骄傲自满的感觉。直升机大载重量飞行是很少的 ,跑道上空转弯进入着陆的低空机动动作是飞行员完成任务返回时常规性的飞行。在波汉出版的操作规程中要求 :离地面高于 300 m ,顺风边高于 150 m ,(这起事故的全部遇难者都没有戴头部防护装备 ,有的没有使用座椅固定带) ,明确规定了必须使用头盔和座椅固定带 ,这是明显违犯条令条例的。不带头盔时对头部碰撞可致意识丧失 ,坠毁后直升机着火 ,乘员无法逃离火海 ,必然酿成悲剧。这起飞行事故调查报告中建议 ,要坚持使用头盔。此外 ,该飞行中队直升机高倾斜飞行正式宣布暂停使用。

✚1969 年 5 月 6 日 ,美国陆军的一架 CH-47A 涡轮发动机直升机在越南山冈(Saigon)东北 120 km 处坠地后烧毁。机上乘员大部分都是南越士兵 ,共有 39 人死亡 ,包括美国陆军 5 人机组人员中 1 人。有 42 人受伤 2 人安然无恙未受伤。当直升机从桑比(Song Be)机场升空大约航向 96°时 ,发生旋翼失速。当直升机临近断崖边时 ,指挥员决定中止起飞 ,但此时直升机的后起落架被一条铜电缆缠住 ,直升机被拉翻 ,然后顺地面滑行 ,最后坠落入悬崖。虽然事故原因并没有最后确定 ,但调查人员说 ,由于坠毁后燃烧大

火,只凭现场检查残骸来确定发生这起事故的原因是不可靠的,波动的转速表不可能是事故因素,战斗损伤和维修亦可排除在外。

机械原因造成直升机飞行事故:

✦1971年8月18日,美国陆军的一架CH-47A涡轮发动机直升机从联邦德国的罗特维格斯伯格附近的多朗巴拉克斯飞往格拉芬伏附近的训练地区,在快到达目的地约30 km距诺北格东北40 km处坠毁、燃烧,机上37名美国军人无一人生还。当时直升机以185 km/h左右的速度在目视巡航,向东北方向飞行,尾部主螺旋桨叶片在根部分离,当时高度为820 m,实际离地面300 m。直升机头朝下,机身以45°翻转坠落在起伏不平的地面上。螺旋桨故障是由于叶片根部疲劳折断,此折断开始于底边并向弦向延伸约3 cm。

✦1972年5月10日,一架美国陆军的CH-47A涡轮发动机直升机从越南皮恩豪飞往逢陶的途中在沙冈东北30 km处的丛林中坠毁、爆炸。机上34名美国军人包括2名机组人员全部死亡。当时直升机的飞行速度大约145 km/h,高度600 m,旋翼桨叶被尾部螺旋桨头部打着,随即尾部悬臂从机身上撕脱,落在直升机主残骸大约100 m远的地方。这起事故原因是桨叶翼梁金属疲劳引起的故障。

✦1992年11月5日,一架俄罗斯空军的米-6涡轮发动机直升机从罗斯托夫那多努返回基地途中在克拉斯诺道附近坠毁。机上搭乘的24名乘员是军事人员和他们的家属,有5名机组人员,29人中仅有1人幸存,而且身负重伤。机上运载的行李超重可能是造成这起事故的重要因素。

环境因素造成的直升机飞行事故:

✦1996年3月9日,秘鲁陆军航空兵的一架米-17直升机,从康度坎昆飞往巴关,在巴关北面直升机坠毁于山峭上并发生爆炸。机上23人全部遇难,23人中有一半是军人,包括4名军事机组人员,事故原因是遇上了坏天气,直升机在巴关附近碰上了浓雾,能见度极差,故撞在山峭上。

✚1969年2月5日,美国空军的一架 HC-130H 直升机在搜寻 17 名日本沉船遇难人员时在菲律宾的巴坦 (Batan) 岛以北的巴西海峡坠海 (21'39"N/22'08"E), 机上 14 名机组人员仅有 1 人生还,而且身受重伤。当时从菲律宾的克拉克美国空军基地起飞担任搜索营救任务的有 3 架飞机,这架直升机是其中的一架。当这架直升机坠落海面并着火的时候,一架四涡轮螺旋桨发动机飞机正在低空水平飞行。当时该地区云高 500 m,能见度 11 km,风速 5564 km,估计海浪 610 m 高,风向 30°。没有严重的气流或风切变及下洗流,当时海面也没有下雨,但据其他飞机的飞行员报告说,当时海水水雾较大,使低空的能见度降低。事故调查的报告中说,当时该海区飞行的大部分飞机使用的普通高度表,气压相当恒定。事故结论认为,直升机在海面低空飞行时“意外触水”。

✚1988年12月11日,苏联空军的一架伊留辛伊尔-76 四引擎喷气式运输机飞往亚美尼亚地震救灾,在漆黑的夜晚正在进场着陆时与一架苏联空军的米-8 直升机相撞。这架运输机随即坠毁、燃烧,机上的 9 名机组人员和 77 名军人遇难,只有货舱里坐在一辆卡车中的一位乘客幸存,但受重伤。直升机上的 5 名乘员全部幸存。这起相撞事故与能见度差有关。

✚1989年7月23日,阿富汗空军的 2 架米-8 直升机在卡布尔东南 100 km 处空中相撞,每架直升机上各有 15 人,30 名乘员全部死亡。

✚1982年5月19日,一架英国皇家海军的海上直升机坠落在海上,31 名机上人员中 21 人死亡。当时英军正与阿根廷军队在福克兰群岛作战,这架涡轮发动机直升机正把一批英军特种精锐部队从赫尔墨斯号战舰运往无畏号战舰。坠海地区地在福克兰群岛东边,当时正是一个伸手不见五指的夜晚,9 名幸存人员中包括 2 名飞行员。直升机开始时失去动力,然后扎进海中翻转沉没。搜索营救人员未能寻找到死者的遗体,直升机的残骸也无法打捞。事故的原因可能是鸟撞或者主要系统故障。

三、直升机坠水事故

由于海军拥有大量的舰载直升机,以海岸为基地的直升机也经常执行反潜、海上救护等紧急任务,因而直升机的海上坠水事故是个严重的问题。由于直升机的结构、性能和飞行的特点,也造成了直升机坠水时的一些特点。

(一)预警时间短

直升机坠水前的预警时间短,从事故发生至撞击水面时间通常不超过 1min。据加拿大 Brooks(1984)报导,加拿大武装部队 37 架飞机和直升机坠水,有 29 架(79%)预警时间少于 15s,实际上几乎没有预警时间,少于预警时间 1min 的占 34 架(92%),这可能与直升机飞行高度比较低又无滑翔能力有关系。根据国际民用航空局的规定:飞机和直升机发生坠水严重飞行事故后,机上人员应急撤离飞机或直升机的时间为 10min(地面应急撤离时间为 90s)。如果直升机坠水前预警时间太短,机上乘员在坠水前毫无准备,这对撤离直升机和撤离后的海上生存均极为不利。

(二)易翻转、沉没

直升机坠水后容易翻转、沉没,几乎所有直升机坠水时都是头朝下的,而且很容易翻转,一般都在 15 s ~ 2 min 之内就沉没。根据理论上的计算,在浪高 1.75 m 的海面,有 50% 的直升机在 1min 之内翻转沉没。这时候直升机上乘员要撤离十分困难,最多也只能有 11.9% 人能在 10min 之内逃离直升机。最坏的情况下,只能有 0.3% 的乘员能逃离直升机。如果浪高 1.75 m 以上,那么逃离直升机的可能性就更加渺茫了。

(三)生存率不高

军航和民航直升机坠水事故总的生存率大约为 75%。其中军用直升机白天坠水事故的生存率约为 80%,夜间生存率为 65%。

✦美国海军曾进行过多次直升机海上坠水事故的调查研究。1963 年 7 月至 1975 年 2 月间,美海军有 234 架直升机坠水,机上乘员共有 1093 名,其中幸存者 897 名,生存率达 82%。死亡 196

人,其中有130人列入失踪者名单,也就是说事故后未找到死者的遗体,29人受致命伤或受伤后溺亡,37人未受伤溺亡。幸存者在直升机坠水后所遇到的主要问题包括大量海水涌入、惊慌、失定向、与杂物缠绕、不熟悉出口等。1978—1983年间美海军有72架直升机坠水,机上乘员330名,未发表生存率。1984—1986年间美海军有39架直升机坠水,有乘员219名,幸存153名,66人死亡,生存率为70%。66人中有18名溺亡,5名失踪(可能已溺亡)、21名死于致命性的冲击力。

✦英国海军1972年—1983年间有121架直升机发生事故,其中53架坠水,191人幸存,34人死亡,死亡率为20%(生存率即为80%)。

✦澳大利亚国防军有4架直升机坠水,其中海军3架,空军1架。直升机上26人,其中23人幸存,3人死亡,生存率为88%。

✦加拿大武装部队1952年—1987年间,有97架飞机发生坠水事故,其中16架是直升机,直升机上乘员有60名,其中14人死亡,生存率为77%。

✦挪威空军1977年—1987年间,有3架直升飞机发生坠海事故,7人幸存,4人死亡,生存率为63%。

✦丹麦空军有2架直升机发生坠水,3人幸存,5人死亡,生存率37%。

✦荷兰海军有5架直升机发生坠水事故,有8人幸存,4人死亡,生存率为66%。

(四)主要伤亡原因

直升机坠水事故主要伤亡原因是冲击力和溺亡。据美国海军安全中心统计,在直升机坠水死亡人员中,大约有1/3的死者是因为受到巨大的冲击力而致命,还有1/3不到的人则是溺亡。

1. 冲击伤

致命性的冲击伤大致可以分成两大类:

一类是直升机上乘员在坠水时突然受到加速度的惯性力的作用。比较典型的例子是,直升机大速度冲击水面时造成机上乘员

主动脉撕裂。在这种情况下,作用力是通过大腿、臀部和背部与座椅相撞,受伤的原因是由于人体受加速度剪切力的作用所致,而不是碰撞的缘故。

另一类是碰撞伤。它发生于身体的活动部位如头颈部、上下肢与直升机上的物体撞击,例如头部的撞击造成颅骨骨折,大脑损伤。在碰撞伤撞接点的远端部位也可以引起加速度伤。

区别以上两类创伤的目的是为了采取不同的预防方法。加速度损伤的预防方法是将传到机上乘员身上的冲击能量减少到最低限度,如采用可衰减能量的着水装置和座椅。而碰撞伤的预防方法是千方百计阻止人体活动部位与物体之间的撞击,如良好的束缚限动装置可防止头、躯干和四肢碰伤。在直升机飞行事故中,碰撞伤大约为加速度伤的5倍。

2. 淹溺

直升机在水中翻转沉没以后,水从座舱的舱口、破裂的机身向直升机内迅速涌入。机组人员和乘客必须克服巨大的浮力从充满水的舱内经登机门、货舱门、机窗或风挡处逃离飞机。如果直升机撞击很厉害,他们还可以从破裂的直升机的裂缝中逃出来。即使机组人员和乘客没有受伤,此时想要离开直升机也是相当困难的。

造成淹溺的主要原因是惊慌、憋气能力差和严重的定向障碍:

①惊慌:直升机坠水后,机组人员和乘客往往有大难头,灭顶之灾的感觉,进而惊慌失措,失去理智。尤其是没有受过水下逃生训练的人更是大惊失色,有的意识模糊不清,因而耽误了迅速离开直升机的时机。

②憋气能力差:人水下如果没有呼吸器的话是坚持不了几分钟的。受过良好训练的人可在水下憋气几十秒钟,而大脑一般缺氧5min就可使人丧命。

③严重的定向障碍:由于直升机坠水之后在水中摆动,人体在水中转动并且失去重力参照,再加上水中看东西一片黑暗,很难辨别东西南北,因而发生定向障碍是不可避免的。此时就很难找到逃离直升机的出口,因此直接影响到逃离直升机的机会。

另外,冷水浸泡对坠水直升机机上人员来说也是一个十分严重的问题。冷水浸泡使人体体温急剧下降,心室发生纤维颤动是冷水浸泡死亡的主要原因。此外,精神错乱,意识丧失,或者肌肉痉挛引起剧烈的疼痛甚至引起休克,也可继发性地造成淹溺。

(五)减少伤亡的措施

1. 改进有关设备

①研制抗坠毁座椅 这种座椅在直升机冲击水面时可以吸收能量,减少直升机上人员因加速度所致损伤。

②采用四点或五点式束缚带要比仅用腰带使人体活动的范围明显要小得多。由于人体可活动部位有了良好的固定,就可以避免与舱内附近的物体直接碰撞,因而可减少头部和四肢的碰撞伤。见图 5-2、图 5-3 所示。

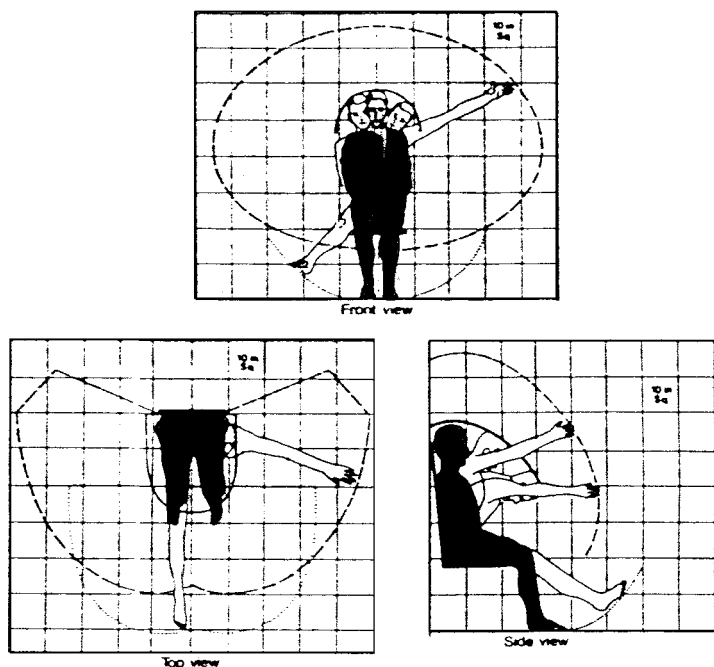


图 5-2 采用五点式束缚带人体活动范围

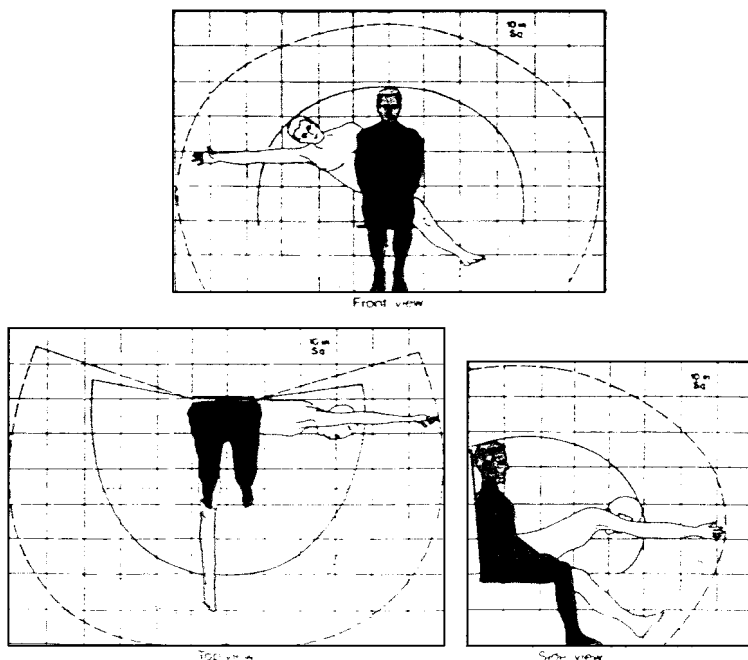


图 5-3 采用腰带束缚人体的活动范围

- ③增加逃生的舱口,如在直升机的地板上多设置舱口。
- ④加长原有直升机的地板舱口。
- ⑤缩短座椅至舱口的距离。
- ⑥简化舱口(或窗口)的打开程序。
- ⑦窗口应设置向外推的机构。
- ⑧水下触摸系统让幸存者可凭借触摸标志到达逃生舱口。
- ⑨改进水下灯光,因人在水中看东西与陆上不同,这主要表现在以下 3 个方面:

✚ 水中的能见度差,这与各海域的海水混浊程度各异而不同,见图 5-4 所示。

图中 V 为光在水中的透射比度; d 为可观察到的距离(m); a 为水的混浊度; $a = 0.1$ 表示十分清澈的水; $a = 3.0$ 一般为港口的

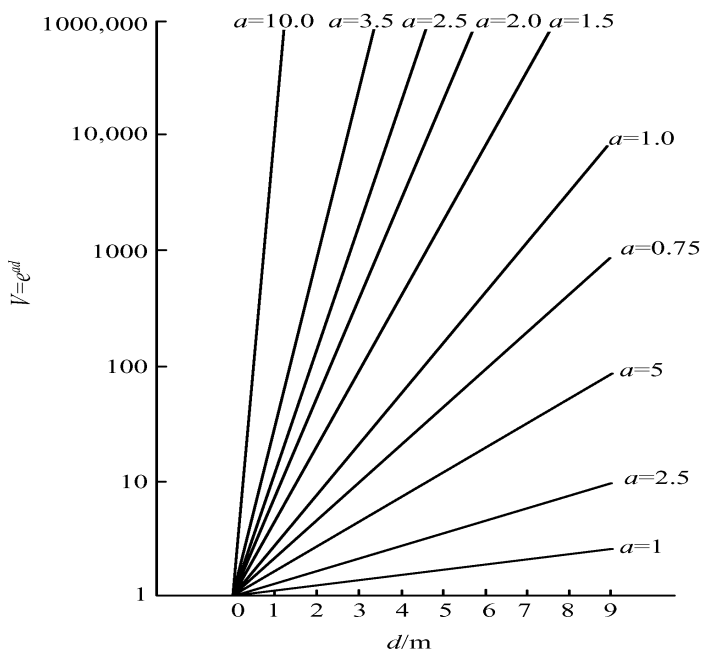


图 5-4 水下不带面罩的人在不同的光透射比度和不同水混浊度时的可见距离

混浊的水。

✚ 在水下 ,人的立体视觉并不受影响 ,也就是对距离的判断仍然是正确的。

✚ 由于光在水中折射的缘故 ,人对水下物体的判断往往偏小。

水下逃生时有无灯光以及灯光的好坏均可影响逃生。据水下试验结果 ,无灯光时逃离直升机的时间明显要比有灯光时长。图 5-5 是 24 名被试者试验的结果 ,上面的黑线是无灯光时从坠水直升机逃生的平均时间 ,下面的虚线表示有灯光时从坠水直升机上逃生的平均时间。纵座标表示逃生时间(s) ,横座标表示连续的 3 天试验。

灯光应装在舱门的 3 个边框上 ,灯宽应以 25.4mm 为宜 ,光的强度以 6 烛光为好。见图 5-6 所示。

灯光的颜色曾有人为此做过大量试验 ,试验的结果是 :

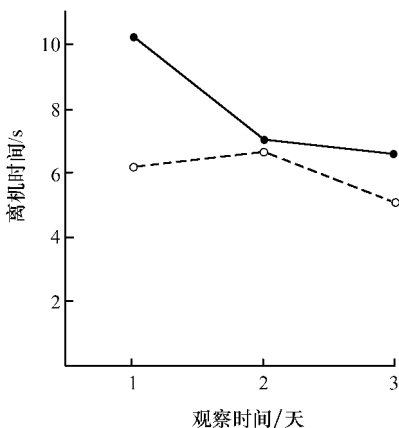


图 5-5 有、无灯光时
从坠水直升机上逃生的平均时间

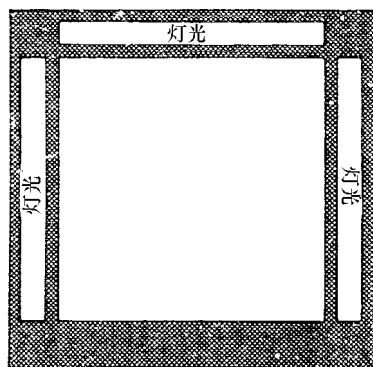


图 5-6 装在 3 个舱门边框上的灯光

- ✚ 用同一种颜色,有荧光的比无荧光的好。
- ✚ 在清澈的水中,荧光绿色和荧光白色为最好。
- ✚ 在混浊的水中,以荧光桔红色为最好。
- ✚ 在水中,无荧光的颜色以白色、黄色、标红色和红色为好。
- ✚ 在中等混浊度的海水中,以荧光绿色、荧光桔红色为最好,无荧光的白色、黄色和桔红色为最好。

✦在任何水中,无荧光的颜色以白色为最好。

✦最差的水下灯光颜色为灰色和黑色。

⑩加强坠水生存训练。

良好的抗坠毁姿势可以从以下 5 个方面增加遇险者的生存率：

✦减少头部、手臂和下肢对座舱内物体碰撞的机会。见图 5-7、图 5-8 所示。

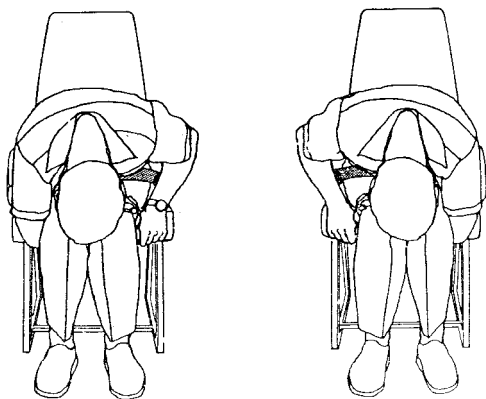


图 5-7 直升机坠水前使用腰带的乘员较理想的抗坠毁姿势

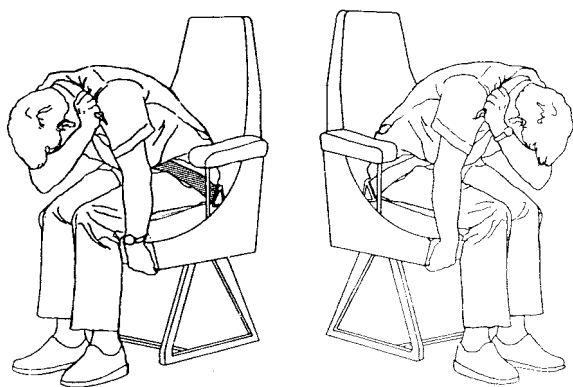


图 5-8 直升机坠水前使用腰带的乘员勉强可用的抗坠毁姿势

✦减少被飞行碎片击中的机会。

✦在坠水时,特别是在有烟、火或突然坠水或正在沉没的直升机中,使幸存者固定在座椅上,减少空间定向障碍的发生。

✦最大限度地缩小人体冲入水中的人体尺寸(面积),减少受伤的机会。

✦为幸存者提供良好的物体参照物,由此可以迅速地找到离机出口。

直升机坠水与固定翼飞机坠水有两点不同:一是直升机坠水时几乎是垂直向下坠落,因而垂直的冲击力大于向前分力;二是直升机在水中的翻转易造成定向障碍。因此,理想的直升机座椅应该是面向后的,其次是面向前的,侧向的座椅是最不可取的。

抗坠毁姿势因人员的不同而不同,飞行员用4点或5点束缚带,而乘客只用腰带。飞行员因是否处于操纵状态,是否有头靠抗坠毁姿势也不相同。

✦处于操纵状态座椅有头靠的飞行员应继续操纵直升机入水直到发动机熄火。入水前应将头部紧紧靠紧头靠,并做耸肩、缩脖子的动作,见图5-9所示。

✦不处于操纵状态座椅有头靠的飞行员应双脚收回,稳固地蹬在直升机的地板上。双膝部压紧,使腿成三角形,脚跟相距(10~15)cm,舒适地放在座舱地板上。然后耸肩缩头,枕部紧靠头靠。手臂交叉,抓往对侧的衣领。有可能的话,抓住肩带。这样可以防止下颌及面部受伤,见图5-10所示。

✦处于操纵状态无头靠的飞行员由于头部无支撑,头颈部可能因加速度和直接碰撞而受伤。此时应头部缩脖子,在碰撞前几秒钟若能将手抽回来,可按无头靠不操纵的方法操作。最后如可能的话将双脚收回放在地板上,使成三角形,见图5-11所示。

✦不处于操纵状态又无头靠的飞行员脚和身体的姿势与有头靠的一样。面部应埋在交叉的双肘之间。如可能,手抓住对侧飞行服的领子,尽可能抓住肩带,这样就可以保护面部免受损伤,见图5-12所示。



图 5-9 处于操纵状态有头靠时飞行员的抗坠毁姿势



图 5-10 不处于操纵状态有头靠时飞行员的抗坠毁姿势



图 5-11 操纵状态无头靠时飞行员的抗坠毁姿势

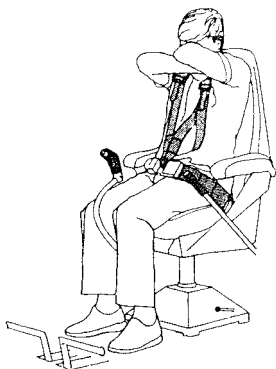


图 5-12 不处于操纵状态无头靠的飞行员的抗坠毁姿势

用腰带的机组人员和乘员：

✚唯一的方法是一只手死死地抓住座椅的某个部分。这个座椅的某个部分称之为人体的参照点，只有这个参照点才能使幸存者在事故后想起通往逃生舱口的路线。

固定翼飞机上用的 5 种抗坠毁姿势在直升机上都是不适用的。下面我们对这 5 种抗坠毁姿势逐一进行分析。

①第 1 种姿势是头和交叉的腕放在前排的座椅背上，头埋在

双腕之间,臀部紧压座背,膝和脚拼拢,双脚稳稳地踩在直升机的地板上。这种姿势如果用于直升机坠水时,就会有4个明显的缺点:①人体与周围物体碰撞的面积太大;②由于冲击力,身体和四肢容易遭受连枷伤,接着会发生严重的定向障碍;③垂直冲击前,前排的座椅可能会向前折叠,幸存者的头部易撞击在座椅上或者撞在自己的膝盖上;④冲击后无定向参照点,因而不利用确定逃离直升机的方向和路线。见图5-13所示。

②第2种姿势是双手在胸前交叉,手抓住对侧膝部外侧,臀部紧靠椅背,背弯曲向前,头部前弯埋于两肘之间。两膝并拢,双脚紧踩地板。这种姿势要比第一种好,但仍有3个缺点:①座椅在坠水时可能会断裂;②双腿不能成三角形;③身体无定向参照点。见图5-14所示。



图5-13 第1种抗坠毁姿势

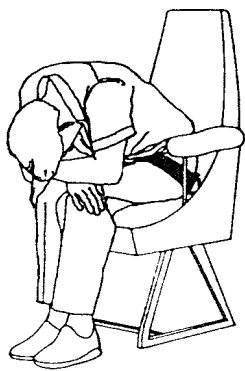


图5-14 第2种抗坠毁姿势

③第3种姿势是双手交叉,但不是抓住对侧膝部外侧,而是抓住大腿外侧,膝部靠紧。由于手处于较自然的姿势,腿也处于较自然的三角形姿态,因而这种姿势比前2种姿势有改进。但由于身体并没有固定在座椅上而且无身体参照点,乘员易受连枷伤和发生定向障碍。见图5-15所示。

④第4种姿势是前臂在腕部交叉,肘部放在膝盖上,臀部紧压在座椅背上,背部弯曲,面部用双手保护,双膝并拢,足部稳稳地站

在直升机地板上。这种姿势由于活动范围大,容易使头部受伤。坠水时,身体非常不稳,无定向参照点。因而对直升机坠水的乘员来说,这是一种很糟糕的姿势,不应该采用。见图 5-16 所示。

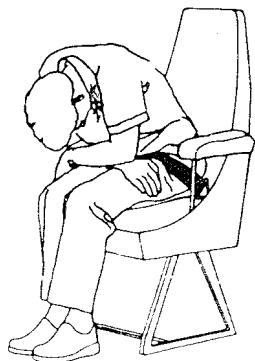


图 5-15 第 3 种抗坠毁姿势

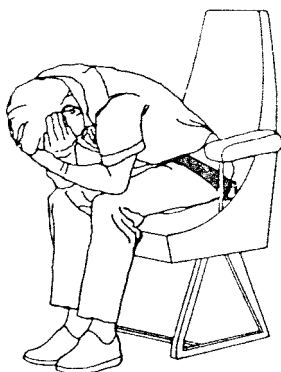


图 5-16 第 4 种抗坠毁姿势

⑤第 5 种姿势是正坐,双手交叉按于下腹部,背部紧靠椅背,双眼正视前方。这种姿势在直升机坠水时不可取。这种姿势头、上下肢容易活动受伤,面部没有任何保护,也易于发生定向障碍。见图 5-17 所示。

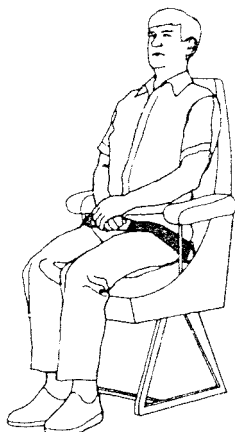


图 5-17 第 5 种抗坠毁姿势

第六章 军事飞行事故预防

飞行事故的预防应遵循科学的理论,因为飞行事故的科学理论是从血的教训中总结出来的,经过上百年的实践经验而被证明是正确的。尤其是人机环理论和事件链理论,不仅在飞行事故调查中被人们广泛应用,在飞行事故预防中也是必须遵循的。这些理论告诉我们,飞行事故预防工作必须是全面系统的,只抓飞机是不行的,只抓人也不行,但人的因素是重点,特别是飞行人员的素质至关重要,所有与飞行有关的人都应该有飞行安全意识,要有一个强有力的飞行安全机构来灌输这种飞行安全意识,全面负责飞行部队的安全工作。要加强训练,提高各类人员的素质,包括心理素质、业务技术水平,对付各种航空恶劣环境的能力等等。同时也不能忽视武器装备(包括飞机、弹射救生装备、飞行员生命保障系统等)安全性能的改进。也要重视气象条件、鸟撞等环境因素的研究。根据事件链理论,飞行事故的原因并无主次之分,只有前后顺序之分,只要切断其中一个环节即可中断事故的发生。但事故链可能有许多条,这条事故链中断了,而另一条事故链可能又启动了。因此,飞行事故的预防应该是个系统工程,它几乎涉及到航空兵部队所有的工作范围。飞行人员的选拔、保健、疗养、疾病矫治和淘汰,飞机的安全设计、维修和保养、气象、油料、雷达、空中交通管制等在飞行过程中的安全保障等等都与飞行安全有关,都可能成为飞行事故事件链中的其中一个环节,也可以使飞行事故事件链缺少这其中的一环而中止发展。飞行事故预防工作也可归结为软件和硬件两类,软件主要指建立飞行安全管理机构,制订飞行安全规章制度,对飞行人员、飞行指挥人员、维修人员等进行培训和

教育等,而硬件则是对飞机及飞行人员防护装备进行改进,提高其安全性。如此软硬兼施,就可以大大减少飞行事故事件链中的各个事件环节,使事件链难以形成,最终达到预防飞行事故的目的。

一、飞行安全管理机构

(一)世界各国空军飞行安全管理机构

1. 美国空军

1947年,美国空军从陆军中分离出来成为一个独立的军种,它的前身是陆军通信兵部队。美国空军独立后就组建了飞行安全局,该局主要负责美国空军的飞行安全记录和重大飞行事故的调查。1949年,空军飞行安全局更名为飞行安全研究局。安全工作的重点从处理飞行事故转变为飞行事故预防。这个局改进了飞行事故调查和分析的方法,充分利用飞行事故调查资料,寻找飞行事故的规律与共性,找出事故原因中的各种因素,不断提出有针对性的预防措施。由于飞行安全研究局的不懈努力,美国空军的飞行事故发生率从1947年的万时率4.4降为1950年的3.6,1957年又降至1.7。

从20世纪70年代开始,美国空军不断完善飞行安全管理机构,上下形成了一个比较完整的飞行安全工作体系。在空军参谋部下面设立空军检查与安全中心(1991年后又改名为空军检查中心和空军安全中心),该中心由空军监察长领导,负责空军的安全检查和其他安全工作,其中包括飞行安全。中心下面设有4个处和3个室。包括检查处、航空航天安全处、医学检查处、核武器安全处,调查与上诉助理办公室、管理与保障办公室以及数据处理自动化室。中心编制人数为499人,其中文职人员140人,他们都是66个专业的资深专家。在该中心下面,一级司令部和独立作战单位均设有安全处,飞行联队设安全办公室,编制中有安全主任、飞行安全军官、安全监督员、武器安全军官和系统安全军官。联队和中队的飞行安全军官都是安全训练合格,飞行经验丰富的飞行人员,他们一般的任期为3年。美国空军20世纪70年代以后飞行

事故率逐年明显下降与这套安全管理机构有效地运行是分不开的。

2. 日本航空自卫队

日本防卫厅下面设有预防飞行事故对策委员会,它对海、陆、空自卫队的飞行安全机构起着指导和监督的作用,负责全军的飞行安全检查。海、陆、空自卫队各有自己的飞行安全机构。航空自卫队的飞行安全机构称飞行安全管理队,它直属航空自卫队领导,对航空自卫队参谋长负责,由一名空军少将任队长(足以看出航空自卫队对飞行安全工作的重视)。管理队有各类专业人员 50 人,包括飞行、机务、空中交通管制、航空工程、航空医学以及航空心理学方面的专家。管理队下设 4 个部:总务部、飞行事故调查部、信息资料部和教育研究部。

飞行安全管理队的主要任务有两项:一是进行飞行事故调查;二是对部队进行飞行安全教育。由于管理队独立承担飞行事故调查工作,不受外来各种因素干扰,有利于查明飞行事故的真正原因。管理队负责出版《飞行与安全》月刊,向部队宣传飞行安全知识,介绍飞行安全的经验和教训。每年举办 3 期飞行安全军官培训班,为安全机关和部队输送飞行安全军官。

航空自卫队下面的航空团在司令部内专设安全科,由 1 名中校或上校任科长,下面有几名飞行安全军官,他们都是受过专门飞行安全培训的飞行员,负责航空团的飞行安全工作。

3. 英国皇家空军

1919 年,英国政府成立了飞行事故调查科。由于当时民用航空业处于初创阶段,该科的主要任务是处理军用飞行事故,因此这个飞行事故调查科实际上是一个准军事性的组织。第二次世界大战爆发后,军事飞行事故急剧增加,这个调查科所处理的事故占总数的 2% 还不到。1942 年,英国皇家空军开始负责全空军的飞行事故调查,并成立了自己的飞行安全组织,1944 年开始了有组织的飞行安全预防工作。英皇家空军安全组织由一名空军准将,2 名上校、20 名中校以及 1 名皇家空军妇女队的军官组成。1946

年,英国海军在索伦特海峡附近的利村成立了飞行事故调查处。1950年军队大批裁军时,皇家空军飞行安全处只负责飞行安全预防工作,具体的飞行事故调查由发生事故部队的司令部组织调查委员会进行。第二次世界大战后,民航业迅速发展,事故调查科转入民航部,该科的主要任务才转为民航的飞行事故调查与预防。1957年,陆军航空队的飞行安全军官编入皇家空军飞行安全处。1980年,陆军在米德尔瓦鲁普组建了陆军飞行安全中心。此后,英陆军的飞行事故由该中心组织调查委员会进行调查。

1977年以后,英国军事飞行事故情况开始向媒体公布,国防部每年向议会公布年度飞行事故统计数据。军事飞行事故向民众公开对飞行事故预防大有好处。此后的20多年,除了英阿马岛之战之外,英国军事飞行事故呈稳定下降趋势。

英国皇家空军飞行安全处共有15名军官,他们的专业包括飞行、工程技术、航管、航医等。熟悉36种型号的飞机,定期地对飞行事故和飞行事故征候进行分析研究,对部队的飞行安全工作进行指导并在空军的《空军线索》上出版飞行安全专辑。该处除收集英军的飞行安全资料外,还与民航系统,欧洲的许多国家的空军和美国驻欧空军交换飞行安全信息。

英国海军于1946年建立自己的飞行事故调查组,该组由1名少校领导,有4名军官和4名专家组成(其中有1名医生)。有3人24h值班,随时可奔赴英国各地或欧洲其他地方执行飞行事故调查任务。一般事故发生后的2周内要提出事故调查报告。海军还有一项特殊的任务是负责打捞海中飞机残骸,海军备有专用的舰船进行救援,打捞和收集飞机残骸的工作往往十分艰巨,有时要花费半年时间才能完成。对一起重大的飞行事故最长需用1年时间才能提交最后报告。英国皇家海军1962年成立飞行安全中心,全面负责飞行事故的调查和对部队的安全教育。

4. 法国空军

法国空军于1956年建立飞行安全处,该处隶属于空军参谋部。飞行安全处设喷气机科、螺旋桨和直升机科、医学科、防火安

全科以及统计科 5 个科。空军参谋部以下各大部均配有 1 名飞行安全军官负责部队的飞行安全工作。负责飞行安全工作的总共有 135 人,其中将军 1 名,其他各级军官各 104 人,士官 30 人。

5. 德国军队

德国武装部队在戈埃尔瓦空军基地设有飞行安全处,该处由 1 名准将和 1 名上校任正、副处长。下设事故预防科、固定翼飞机事故与事故征候调查科、直升机飞行事故和事故征候调查科、后勤保障科和统计与行政管理科。科长均由中校担任。这个处的努力目标是“军用飞机无事故飞行”。事故预防科的飞行安全检查工作队每两年完成所有战斗机联队的安全检查,每 3 年完成其他部队及空、陆、海军航空分遣队检查。事故预防科负责审查有关飞行安全的条令、条例,审查、修订有关飞行安全的各种出版物。计划、准备和协调飞行安全军官的训练。制订年度飞行安全计划,出版发行飞行安全双月刊和各种教育材料,录制各种飞行安全专题教育录象片和年度飞行安全报告等分发至部队供各类人员学习。飞行安全处认为,最大限度的飞行安全和保证部队最高的战斗力都很重要又相互矛盾。在和平时期应把飞行安全放在首位。只有在可接受的风险条件下开展有效的模拟实战训练,因此在安排飞行任务时必须将风险因素降至最低限度。

6. 以色列空军

以色列空军设有飞行安全局,由 1 名空军上校担任局长。飞行安全局下面设有空军安全中心,中心下面又设飞行事故调查委员会和中央数据库等机构,各空军部队编制有专职的飞行安全军官。以色列空军安全中心坚持以预防为主。中心建立了飞行事故和飞行事故征候报告制度,充分收集飞行安全数据,通过深入地分析研究,对危及飞行安全的发展倾向提出警告,并制订相应的飞行事故预防计划,确定安全工作的重点。

事故调查委员会的成员均受过专门的训练,并在事故调查中积累有丰富的实际经验。不仅对飞行事故进行调查,还要对飞行事故征候进行认真调查。安全中心每两个月给飞行中队发行一次

飞行安全录像带,将两个月来空军发生的飞行事故和飞行事故征候的情况非常形象、直观地提供给飞行人员学习。中心每半个月出版发行一期《飞行员》快讯,每季出版发行《安全季刊》。

7. 加拿大空军

加拿大空军有一个自上而下的飞行安全管理体系。在飞行中队、大队、联队及上级司令部均有相应的飞行安全机构和专职的飞行安全军官,并与各级司令部间保持有效地联络,以适时地制订预防措施。加拿大空军认为:飞行安全系统的核心是报告系统,所有与飞行安全有关的人员都要积极识别隐患,及时地向空军安全机构报告。

8. 巴基斯坦空军

巴基斯坦空军在空军参谋长直接领导下,有1名飞行安全助理参谋长具体负责全空军的飞行安全工作,下设飞行安全处、质量保障处、事故调查委员会、飞行安全学院和故障分析室。飞行安全处下面又设飞行、维修、训练、教育、航空医学等副处级的单位。质量保障处下面又设机械、军械、电子等副处级单位。各空军基地配备有专职的飞行安全军官,飞行中队有兼职的飞行安全军官。

9. 朝鲜民主主义人民共和国空军

在空军参谋长的直接领导下,在空军司令部下面设立空军飞行安全检查部。该部由1名大校任部长,有副部长2名,高级检查员12名,他们都是有丰富飞行经验、副团级以上的老飞行员。飞行安全检查部的职能是制订飞行安全条令、条例、调查三等以上的飞行事故,编写飞行安全资料,对部队进行飞行安全教育,检查和督促飞行部队落实有关条令、条例。该部全权负责全空军的飞行安全工作,有权中止训练或停止飞行,处分飞行事故的肇事者,对飞行部队的领导有权提出免职建议。师一级的飞行部队编制有飞行安全检查科,该科有科长、副科长以及安全检查员组成,人数为(5~6)人,他们都是副团级以上的老飞行员。

10. 印度空军

20世纪70年代,印度空军开始组建飞行安全处,在地区航空

兵司令部和飞行联队设飞行安全科,飞行中队配备飞行安全军官。

俄罗斯、澳大利亚、巴西、意大利等国的空军也都有自己的飞行安全机构。

(二)飞行安全管理机构的主要职能

飞行安全管理机构主要有4大职能,包括制订和实施飞行安全系列法规,对飞行安全进行监督检查,对飞行事故进行调查以及对部队进行预防飞行事故的宣传教育。

1. 制订和实施飞行安全系列法规

以美国空军为例,由空军和空军参谋部颁发的飞行安全法规有10余个之多,如《美国空军事故预防条例》、《美国空军战斗飞行事故调查与报告条例》、《飞行事故预防和调查手册》、《美国空军事故调查与事故报告条例》、《预防鸟撞事故条例》、《F-16飞行事故的电报报告条例》、《军用与民航飞行事故调查与事故报告条例》等等。这些条例规定渗透着几十年飞行事故血的教训,明确规定了哪些事不能做,哪些事必须做,哪些事在某种条件下才能做。规定了预防飞行事故的原则和指导思想,各级飞行安全组织的组成和职责,飞行事故预防计划的制定,飞行事故调查的程序与方法,飞行安全纪律以及安全教育与训练等等。空军参谋部下面的各专业司令部又根据这些条例规定进行具体化,使更具有操作性和更容易落实和检查。

飞行安全法规在飞行事故预防中起着非常重要的作用。20世纪50年代后期,美国空军的飞行活动实现标准化,使飞行事故的万时率从1955年的1.7降至1960年的0.58,同时也使飞行训练的质量有明显提高。

2. 飞行安全的监督检查

监督检查实际上是调查了解飞行部队执行法规的情况,有无不利于飞行安全的各种因素的存在。发现具体问题,采取针对性的措施加以及时纠正,目的是为了预防飞行事故的发生。但调查了解的方法可以多种多样,可以通过定期上报制度,组织人员定期

或不定期地深入部队作专题调查,飞行安全军官与飞行人员或其他有关人员进行轻松地交谈以获取有关信息等等。

据有人统计,每次飞行事故发生前平均已发生过 12 次同样的飞行事故征候,如能将这些飞行事故征候资料收集到手并针对性地采取预防措施,飞行事故的发生次数还会减少。

大约 25 年前,美国实行了一种叫做保密的事故征候报告系统,又有人称为“第四维”信息系统。所谓保密是指不泄露报告人的真实姓名和单位,但内容是真实可信的。报导人将自己经历过的飞行事故征候报告给“中间人”。在美国,这个“中间人”是美国国家航空航天局,在英国是英国皇家空军航空医学研究所(已有 18 年当“中间人”的历史)。法国、加拿大等国家也相继仿效,都建立类似的报告系统。这样可以收集许多过去难以收集到的信息,可针对性的采取预防,据说效果非常好。开始时只在飞行人员中实施,以后发展到航管人员和地勤维修人员。因真姓实名难以启齿主要是怕因此砸了自己的饭碗或者怕别人说自己笨,采取这种“保密”措施既消除了他们的顾虑,更有利于飞行事故的预防,可谓一举两得。

3. 飞行事故调查

飞行安全管理机构应是一个具有独立性、设备完善、工作效率很高的组织。一旦部队发生严重的飞行事故,可以马上出动,在尽可能短的时间内赶赴现场。在现场调查和其他基本调查中充分应用人机环理论和事件链理论,应用当代最先进的科学技术寻找飞行事故的确切原因。但世界各国军队飞行安全机构参与飞行事故调查的方式不尽相同,有的全部包干,如日本航空自卫队,有的则仅派出代表参加发生飞行事故部队司令部门临时组织的飞行事故调查小组,还有的仅对飞行事故调查进行指导、收集和分析飞行事故调查报告。总的目的是寻找事故原因,提出建议,改进事故预防措施。

飞行事故调查的结果应该公布于众,一则是广大公众有个交待,二则对广大飞行人员和其他人员是个生动的实例教育。美

国空军安全中心现在专门设立一个网站,网上公布美国空军 1947 年至今每年的飞行事故次数、万时率、坠毁飞机架数以及死亡人数,当年和当月的飞行事故情况以及 G-LOC 引起飞行事故的统计。

4. 飞行事故安全教育

这方面世界各国空军有各种做法,主要有以下几种:

①将部队近年来发生的飞行事故和事故征候编写成文字材料或录制录像带分发到部队,用实际的例子进行安全教育。有的编写成小册子或丛书送到飞行人员、维修人员等手上。

②出版安全杂志,各国空军几乎都有自己出版发行的安全杂志,有的出版多种。如英空军有《飞行安全》双周刊、《飞行提示》月刊和《飞行安全通报》。

③举办各种类型的飞行安全培训班。

例如美国空军作战司令部举办的飞行安全计划管理培训班,每年办 8 期,每期毕业学员 10 名。培训内容有空交通管制危险情况报告、避免空中相撞、减少鸟撞、飞行事故的调查与报告等等。英国皇家空军每年大约举办 30 期飞行安全培训班,包括飞行安全监督员培训班、飞行管制人员培训班以及由飞行联队长、中队长、空军上尉、机组飞行军官、机务军官、空中交通管制和航空军医等人员参加的飞行安全培训班。

其实飞行安全教育的方式有多种多样。例如苏联航空兵部队上飞行安全课的形式结合实际,生动活泼,收到较好的效果。飞行安全课的基本任务是深入分析特殊情况以及发展为事故的因果关系,并指出避免飞行事故征候的方法。在分析的基础上,研究各种危险因素,如违反规定、粗心大意等等威胁飞行安全的因素,提出防止危险现象出现的措施和建议。飞行安全课的教学质量与教学计划、备课情况和教学方法等因素有关。有经验的教员非常重视制定周密的计划,正确的选题以及确定授课时间,教学的内容通常选择一些飞行中与意外情况有关的问题,往往与部队当前飞行训练课目紧密结合起来,如复杂特技、编队飞行、机动空战、低空飞

行、对地攻击等。开始训练以前常常需要上飞行安全课,上课的教员通常由部队的指挥人员和负责飞行训练的副职承担,由他们给飞行人员和指挥人员上课。负责机务工作的副职给工程机务人员上课。参谋长和领航主任给指挥所人员和航行调度人员上课。这样的安排目的在于易于解决教学中的具体问题和提高教学质量。教员的准备应根据学员的具体水平和需要,围绕讲课的主题,选择直观的教具、教材、教科书以及各种图表、幻灯片。根据部队过去发生的飞行事故和飞行事故征候进行理论上的准备。在讲课时,教员应让学员分析产生复杂情况的条件和原因,提出正确的处理方案,确定预防产生类似情况的措施。特别是对部队刚发生的飞行事故征候进行现身说法给飞行人员的印象更为深刻,如有一名飞行员驾歼击机飞行时遭到雷击,使一台发动机停车,飞机部分失去控制,飞行员遇此危急情况,临危不惧,沉着操纵,在地面指挥员的正确引导下,顺利返航,避免了一次严重的飞行事故。课堂上对此事实进行详细分析,展开热烈讨论,提出统一的意见。

二、飞行人员的选拔和心理生理训练

像一件艺术品一样,首先要精心选料,然后需要精雕细刻。一名优秀的飞行员也需要精心的选拔和刻苦的训练,才能真正成为飞行中的行家里手。

(一)飞行员的选拔

第一次世界大战以前,许多飞行员都是从陆军部队中随意挑选的,没有任何体格标准。第一次世界大战爆发的第二年,英国军队对死亡飞行员进行了一次详细调查。发现每100名死亡飞行员中,真正死于敌人之手的只有2名,有8名死于飞机故障,其余的90名则死于飞行员本身的问题,其中包括身体有缺陷、鲁莽和粗心大意等等。进一步分析发现,有60%的飞行事故死亡是由于飞行员身体上的缺陷。这一调查结果引起了英国军方的重视,立即组建了一个航空医学机构,对飞行员进行了医学筛选,很快得到惊人的效果。采取这一措施的第二年,因身体缺陷造成的飞行事故

死亡人数由 60% 降到 20% , 第三年又降到 12% 。

但对飞行员体检标准的制订也走过一段弯路。1914 年 , 美国陆军通信兵军医局也开始对飞行员进行体检 , 当时因为体格标准制订得太严格 , 以致于没有一个报考人能通过体检 , 结果经过几个月的招飞体检 , 航空队一个人也没有招到。传说当时设计了几种很特殊的检查方法 , 其中有一种称做“ 针试验 ” : 用布蒙住候选人的双眼 , 令其大拇指和食指捏住一根针的两端 , 然后在他的身后出其不意地开枪 , 如果这位候选人受突然枪声的惊吓而扎破手指出血 , 这说明他过于激动 , 不能入选。见图 6-1 所示。另一种试验叫做“ 木槌敲击试验 ” , 趁候选人不备 , 用木槌敲击其头部 , 如果敲击后 15 s 内候选人意识仍然清醒 , 说明他完全可以承受脑震荡 , 是一个合格的候选人。法国人设计了一种称为“ 神经冲击试验 ” : 试验者在候选人的耳边射击左轮手枪 , 同时测定他的心率、呼吸以及血管运动反应。

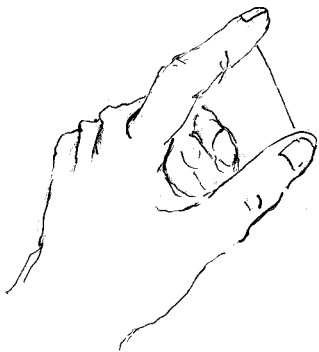


图 6-1 早期飞行员选拔采用的“ 针试验 ”

经过一段时间摸索 , 飞行员体检标准逐渐趋于合理和切实可行。第一次世界大战期间 , 美国在全国较大城市中设立了 67 个体检中心 , 大约有 10 万名候选人接受体检 , 其中大约有 30% 的候选人因医学原因不合格。这些医学原因中 , 3 种以上试验不合格者占 29% , 2 种试验不合格者占 24% , 因视觉缺陷不合格者占 20% , 因平衡机能不良不合格者占 7% 。其他全身性功能低下者占 7% ,

血管系统原因占 5% ,耳缺陷占 4% ,鼻、喉部缺陷占 3% ,尿样分析有问题占 19%。

但在第一次世界大战中,也有一些身体不合格却成功地成为飞行英雄的奇闻轶事,这可能是他们丰富的飞行经验弥补了他们的身体缺陷,另一方面与当时战斗机的性能较低也有关系。如英国的王牌飞行员爱德华·曼诺克有严重的屈光不正,并且有一只眼基本上是瞎的。法国的王牌飞行员盖尼默患有肺结核病。德国王牌飞行员奥斯瓦尔赫·波尔克有严重的哮喘病,而且常常周期性地发作。美国王牌飞行员福兰克·罗克心情易变,厌恶社交,本来是通不过心理检查的。加拿大飞行员李切虽然他的一条腿是木头做的,平时在地面行走都不太方便,但他是一位十分成功的战斗机飞行员。有一次飞机坠毁,他幸存下来了,他不得不自己花钱将折断的木制假腿修理好。因此,在第一次世界大战中就有了体检特许的例子。不过,确实由于选拔了身体更为合格的飞行员,飞行事故率明显下降了。

随着军事航空技术、飞行训练、空战战术以及医疗技术的发展,飞行员的体检选拔方法也在不断进步,使飞行员的心理和生理能适应复杂多变的飞行环境,安全地完成训练和作战任务。衡量一种体检选拔方法的优劣主要看它的有效性和经济性:所谓有效性是指飞行员具有现代高性能战斗机的操纵能力和飞行安全的基本素质,如排除可能造成飞行事故的各种身体缺陷,在应急情况下临危不惧,沉着应付的心理品质等等,所谓经济性主要是指减少淘汰率。培养一名飞行员需要付出十分高昂的代价,淘汰率太高在经济上是难以承受的。第一次世界大战以前,即在制订选飞计划的初期,飞行员的淘汰率相当高。当时飞行学校的淘汰率常常超过 60%,但随着选飞方法的改进,淘汰率逐渐明显地下降。20 世纪 80 年代以后,飞行人员训练淘汰率为 10% ~ 20%。由于现代高性能战斗机训练的成本极高,即使这样的淘汰率也是无法接受的,于是西方许多国家近年来进一步优化选飞方法。

以德国空军为例,1998 年以后的选飞方法比以往作了较大改

进。在 1998 年前,德国空军飞行员选拔大致可以分为 3 个阶段。

✦ 第一阶段:在候补军官测试中心和士官中心进行一般性的考试,主要目的是对候选人的基本军事素质作出评价,然后进行预先分类。

✦ 第二阶段:经过一系列的能力考核后,入选的候选人进行初步的体检,然后进入军事训练,在空军军官学校完成全部入伍训练大纲的训练内容。

✦ 第三阶段:候选人在单发螺旋桨教练机上进行筛选飞行。

这种选飞方法主要存在两个缺点:一是整个选飞过程时间拖得太长,候选人需要服役(1~1.5)年才能全部完成选飞过程。另一个缺点是淘汰率仍然太高,经常是在 30%~40% 之间,浪费了大量的时间和经费,而且这些被淘汰下来的人去干别的职业还需进行培训,仍然占着武装部队的编制和军事预算。

1998 年德国空军颁布了新的军事飞行人员选拔实施方案,这个选拔方案具有以下几个特点:①可以使候选人在参加德国空军之前就知道自己是否具有飞行人员的天赋;②原来第三阶段的筛选飞行改用飞行模拟器,这是参加德国空军以前必须进行测试的;③飞行阶段的训练向与各自以后分配工作相适应的飞行前训练过渡。以后分配的工作包括喷气式战斗机飞行员、直升机飞行员、运输机飞行员和武器系统操作员 4 种;④飞行训练后不久即进行基础飞行训练;⑤从候选人中选拔飞行学员的数量比以往减少 31 人;⑥新的选飞方法每年可为国家节约经费 170 万欧元。

选拔过程仍然分为 3 个阶段:

①第一阶段的目的是为了评定候选人的军事素质和理论水平是否符合标准,测试地点仍在候补军官测试中心和士官招募中心。

✦ 用计算机辅助测试候选人的智商、认知能力、综合能力、记忆能力以及数字计算能力。

✦ 候选人还必须写一篇作文,并进行演讲,参加小组讨论和体能测试。

✦ 最后还要经过 2 名军官和 1 名心理学家的面试。

根据这个阶段的测试结果 ,将合格的候选人又分为 3 个组 ,为下一个阶段的选拔预选出候选人。

②第二和第三阶段的选拔工作则由德国空军航空医学研究所负责。第二阶段进行心理和身体检查。测试候选人的认知能力和飞行能力、人格特点以及身体健康状况。心理测试用计算机辅助测验、个人简历问卷以及仪表协调分析器上逼真的模拟测试。计算机辅助测试和仪表协调分析器测试用 1 天时间。主要进行 4 种试验 :

✚第 1 种试验是测试候选人的心理协调性 ,这是操纵飞机所必需的基本能力 ,同时也测试缓解紧张情绪的能力、成就感、自尊心等心理品质。

✚第 2 种试验测试候选人的信息处理能力、注意力分配能力以及时间区分能力。

✚第 3 种试验测试候选人的空间目测能力和对自己在空间运动的预测能力。

✚第 4 种试验测试候选人的注意力集中能力、信息处理能力、情景意识能力以及记忆能力等。

完成这些测试之后 ,候选人还要进行一次面试 ,然后再完成 2 项任务以证明他的团队精神和组织领导才能 :

✚第 1 项任务是为训练的部队设计一张计划时间表 ,各项勤务活动与重要的私人约会和整个计划协调一致。

✚第 2 项任务是制订一张去远处某地完成几项任务的时间表。

在完成以上任务的过程中 ,由 2 位心理学家和 1 位参谋军官对候选人进行考核和评估 ,并将结果记录在标准问卷中。

面试的部分内容是统一规定的 :其中包括个人的成长情况 (父母、家庭、学校、工作) ;军队中的职业 (如果候选人原先就是军人的话) ;思想、价值、动机 ;飞行动机等。

评估中心考核和面试以后 ,选飞委员会的成员交换观察和评估意见 ,然后对候选人的人格特点作出评估性的总结。候选人如

果能顺利通过这些初步的心理选拔,再进行体格检查。如果体检合格即可进入第三阶段的选拔。

✚ 第三阶段的选拔是测试候选人在前面两个阶段已经表现出来的各种才能是否能够真正适应与真实训练条件十分接近的试验。具体的选拔方法是在德国空军航空医学研究所第四研究室的飞行心理选拔模拟器上测试3天,“飞行5次”。这台模拟器是德国施托尔贝格辅助计算机工程电子股份有限公司制造的:它是一种低逼真度的模拟器,由1个控制中心和4个座舱组成。每个座舱里都安装有驾驶杆、油门、起落架手柄、旋翼手柄、刹车等操纵装置,以及推力表、速度表、人工地平仪、高度表、升降速度表、载荷表、襟翼和起落架信号灯等仪表和指示器。还有一个视景系统,有3个屏幕组成的视景系统可以提供不大的侧视景。由于经费不足,模拟器未安装运动系统。

在模拟器上正式选拔试验前,先向候选人讲授空气动力学和领航基础知识以及模拟器的结构性能。模拟器“飞行”的5种课目包括:①滑向跑道,起飞,大、中、小坡度;②3次起落航线,每次飞机都要完全停止为止;③武器系统操作员带有具体任务的低空领航;④起落航线,改出异常状态,编队飞行,截击和攻击敌机;⑤穿越模拟隧道。第5个课目是测试候选人的感觉运动技能,要求候选人反应要非常迅速,动作要十分协调,以弥补飞行中产生的偏差。每个课目的内容顺序与实际训练的顺序相似,即先示范,后练习,最后实施。候选人进入座舱之前,由经验丰富的教官下达简令,解释飞行中的重要步骤。进入座舱以后,首先观看由计算机控制的标准课目示范。然后在教官指导下练习前面学习的课目,对发现的差错均需一一纠正。最后候选人在没有任何帮助的情况下,独立完成飞行课目。飞行后,飞行教官对其飞行表现进行讲评。选飞委员会根据候选人以上3个选拔阶段的考核成绩作出最后决定,并提出具体的工作分配建议(喷气式战斗机飞行员、武器系统操作员、运输机飞行员、直升机飞行员)。根据飞行联队的需要和候选人的素质,接受其正式加入武装部队。

由于候选人必须在入伍以前完成所有的选拔项目,因而用飞机进行筛选显然是不可能的,因此选拔中预先训练对未来的飞行学员极为重要。预先训练的目的是为了确定其在以后的基础飞行训练和高级飞行训练中能否会成功。

美国空军飞行员选拔系统有以下几个特点:①历史悠久,从第一次世界大战初期就初步形成了一套选拔方法,以后又得到不断地改进,至今已是一个比较完整的体系;②选拔的渠道比较多,主要有7个:空军军官学校、部队、军官训练学校、后备军官训练队、空军国际防护队、空军后备队和国际飞行员组织;③专业高校飞行员训练的淘汰率为7.8%,美国空军认为淘汰率8%~10%是可以接受的;④飞行员体检合格需达到以下要求:符合身体健康标准、人体测量标准、受教育程度(文化水平)、能力测试和飞行选拔中的成功表现;⑤美国空军飞行员选拔中使用最为广泛的飞行能力测试有两种,一是空军军官合格测试,二是基本能力测试。从中可以看出美空军对飞行员心理选拔的重视。

空军军官合格测试实际上是一种16项纸笔系列测试,综合测试候选者的认知能力、语言能力、计算能力、空间定向能力、航空知识和感知觉速度。这套测试从1957年一直沿用至今,每7年修订一次。它由语言能力、计算能力、学习能力、飞行能力和航行技术水平5个部分构成。空军军官合格测试中飞行测试则有8项内容,主要测试航空医学和机械知识,从飞行仪表判定飞行高度的能力、飞行概念知识、判读仪表刻度及指示的能力以及空间定向能力。基本能力测试只用于飞行员选拔的5项计算机测试,主要测试候选人的认知能力、心理运动能力和处理特殊应急事件的能力。1993年基本能力测试正式用于飞行员的选拔,基本能力测试的分数加上空军军官合格测试和飞行经验测试成绩成为飞行员选拔飞行能力测试的总成绩。

(二)飞行人员的心理生理训练

飞行人员心理生理训练是指用地面模拟设备或方法使飞行人员了解、体验飞行中的不良环境因素,如缺氧、减压、加速度、空间

定向障碍等等,并掌握对抗这些不良环境因素的训练方法。

飞行人员心理生理训练的目的:

①通过训练减少飞行员的精神紧张,正确地使用个人防护救生装备,提高人体对飞行不良环境因素的耐受能力,从而可以迅速、明智地处理空中的各种应急情况,减少飞行事故,保证飞行安全。

②增强飞行信心,提高飞行适应能力,培养对飞行起重要作用的心理素质,提高战斗力,顺利完成飞行训练和空战任务。

③通过心理生理训练,提高飞行人员的精力和体力,从而提高其工作能力。

飞行人员的心理生理训练应密切结合军事飞行训练,应针对飞行实际,在方法上应切实可行,形成系列,并且在训练时应承认飞行人员的差别,因人而异,因人施教。

心理生理训练的方法多种多样,主要是利用地面的各种模拟设备,如飞行模拟器、载人离心机、空间定向障碍模拟器、低压舱、弹射练习器、直升机水下逃生模拟器等等。也可以用心理自我调节法、意念运动训练、生存训练等。

1. 飞行模拟器训练

驾驶高性能战斗机的飞行员要出色地完成复杂的飞行训练和战斗任务,确保飞行安全,必须具有良好的心理品质。一名优秀的战斗机飞行员必须具备空间定向能力,对速度或频率变化的感知和反应能力,运动辨别能力,鉴别反应能力,肢体运动协调能力,精确的操纵能力,持久和稳定的注意力,形象思维能力、适应能力,对无关刺激的抗御能力,对时间、速度、事物发展方向的估计能力等等。这些心理品质一方面要通过严格的飞行人员心理选拔,另一方面还要通过飞行实践和有意识的心理训练来不断地加以完善和发展。利用先进的飞行模拟器来训练飞行人员的飞行技能和良好的心理品质是一个很好的方法。

例如,美国空军的 F-16 C/D 飞行模拟器可以模拟 30 余种空中应急情况,最近生产投入部队使用的 F-15 模拟器可十分逼真地

显示出数十种空中应急情况动态视景图像,还能使飞行人员准确地判断弹射跳伞的时机。通过飞行模拟器训练,可逐渐减轻飞行员操纵飞机的紧张情绪,增强飞行信心又不致于狂妄自大过于相信。战斗机飞行事故中失去操纵是个主要原因,注意力分散又是其中重要的因素,譬如由于过分注意应急情况而忘记了操纵飞机,这种事是经常发生的。通过模拟器训练,可使注意力得到合理的分配,既不过于集中,又不过于分散。通过飞行模拟器训练,也可以加强机组协调和团队精神。1963年至1992年29年间,美国P-3“猎户座”反潜巡逻机有34架失事,死亡247人。其中有8架是因为机械故障,24架是因为机组人员协调有问题,另有2架原因不明。通过理论学习和飞行模拟器训练,使机组人员责任心提高了,分工更明确了,相互合作和协调大为改观,因而使飞行也更为安全。

飞行模拟器的训练可以使飞行员克服侥幸心理,正确地判断和熟练地操纵飞机,遇到应急避免慌忙,从容应对,随机应变。

2. 载人离心机训练

载人离心机是模拟飞行中持续性加速度的大型地面设备,它已有70多年的发展史。1931年,法国人费莱姆在法国航空技术研究所内首先建造了一台臂长8 m的载人离心机,开创了加速度生理研究的先河。此后的70年间,美、德、日、意、苏、法、英、中、韩国、新加坡、土耳其等国也陆续建造了数十台大型载人离心机。由于现代载人离心机可以准确地控制 $+G_z$ 值、 $+G_z$ 增长率和作用时间,以及产生模拟空战动作的 $+G_z$ 模式,因此不仅可以进行加速度生理研究和飞行员抗荷装备的生理学鉴定,而且还可以用于提高高加速度耐力的训练甚至完成部分空战动作训练。载人离心机已经成为当今世界各主要军事大国必备的航空模拟设备,见图6-2所示。

利用载人离心机进行持续性高加速度的生理训练始于20世纪70年代初,美国空军航空航天医学院用14名被试者穿着常规的抗荷服做M-1动作进行训练。训练结果,有13人平均耐力达

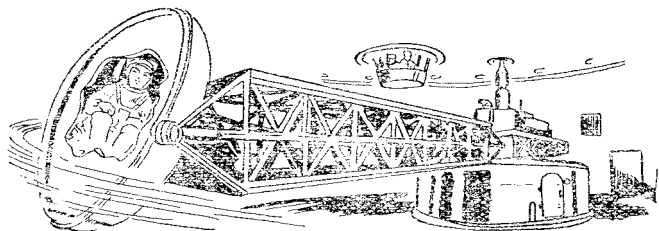


图 6-2 载人离心机

到 $+8.8 G_z$,比基础耐力提高 $5.1 G$,有 9 人达到 $+9 G_z$ 。1988 年 ,美国新墨西哥州的霍洛曼空军基地被确定为美空军加速度训练基地。基地装备了专门用于训练的载人离心机。1988 年至 2001 年 3 月 7 日 ,该空军基地共训练了 2 万名飞行员。这些飞行员除了美国的飞行员之外 ,还有来自加拿大、日本、韩国、澳大利亚、以色列、瑞士等国的飞行员。据美国空军称 ,在此期间美国空军 G-LOC(加速度引起的意识丧失)的发生率下降了 15% 以上 ,载人离心机持续性高加速度训练取得了惊人的效果。我国 1992 年以后开始对高性能战斗机飞行员进行离心机训练 ,至今已训练了 200 多名 ,效果良好。

载人离心机训练的目的在于正确使用和体验抗荷收紧动作 (M-1 动作等)和抗荷装备 ,提高对持续性高加速度的耐力 ,从而提高空战能力 ,避免因 G-LOC 造成的飞行事故。

载人离心机训练的内容和方法各国虽有不同 ,但大致上差不多。以美国空军为例 ,训练时间为 7 天 :①首先进行理论教育 ,讲述高加速度对人体的影响及其防护方法 ,特别强调如何做好抗荷收紧动作。②测试飞行员在松弛状态时和收紧时的加速度耐力。③在一定的加速度下练习抗荷收紧动作并进行跟踪打靶。④高加速度训练并体验抗荷收紧动作的作用。⑤调查了解训练前后的情况。

训练中加速度有 5 种模式 :

①慢增长加速度模式 增长率为 $0.1 G/s$,抗荷服不充气 ,测定

受训飞行员在松弛状态时以及做抗荷收紧动作时的加速度耐力。

②快速增长加速度模式 增长率为 6 G/s ,在 $+6\text{ G}_z$ 持续 30 s ,受训练的飞行员练习跟踪打靶并做抗荷收紧动作。

③耐力标准与训练目标模式 增长率为 6 G/s ,达到 $+8\text{ G}_z$ 持续 15 s 为训练耐力合格标准。如第一次未能达到合格标准 ,可以再次训练抗荷收紧动作以达到目标。如以 $+9\text{ G}_z$ 持续 15 s 为训练目标 ,若抗荷收紧动作做得不正确 ,容易发生 G-LOC 。

④“检查 6”模式 增长率 6 G/s ,在 $+9\text{ G}_z$ 持续 10 s ,受训飞行员边做抗荷收紧动作 ,一边头部慢慢向左转动 ,观看左肩后面 6 点钟处的数字。因为这种姿势是最易发生 G-LOC 的 ,通过训练使受训者得到体验、提高耐力。

⑤空战动作模式 受训飞行员如能顺利完成以上 4 种加速度模式的训练 ,就有资格参加空战动作模式的训练。这种模式的训练更接近跟踪、打靶等实战操纵动作。

美国空军航空航天医学院 1985 年至 1986 年 ,有 741 名飞行员进行了离心机高加速度训练 ,有 99.7% 的飞行员达到了 $+8\text{ G}_z$ 15 s 的耐力标准 ,有 94.1% 的飞行员完成 $+9\text{ G}_z$ 15 s 的训练目标。其训练效果已相当理想。

载人离心机训练除了可提高持续高加速度耐力 ,减少 G-LOC 以外 ,由于它可以模拟空战动作 ,因而像 F-16 这样的战斗机有 40% 的空战课目可以在载人离心机上训练。这样既可减少实际空战训练中因高加速度导致 G-LOC 的危险又可以大量节约训练费用。据美空军计算 ,一架 F-16 战斗机在空中进行空战训练 ,每小时需要 9 000 美元的训练费。如果改在载人离心机上训练 ,每小时训练费 200 美元就足够了 ,每名 F-16 战斗机飞行员基本空战训练需 30h ,其中 40% 即 12h 可以在离心机上训练 ,每名飞行员可以节约训练经费 105 600 美元。另外 ,含有高加速度的空战训练项目往往对飞机的结构有破坏作用 ,影响飞机的寿命 ,影响飞行安全。飞行员可以在离心机上反复练习这些空战训练动作 ,一直可以练习到动作十分熟练时为止 ,这对战斗机的延寿和安全都有好

处。有一些高加速度、机动性很大的技术动作可以先在离心机上进行探索,等有了比较成熟的方案和在离心机上练习得相当熟练时再转到空中进行实际演练,训练时间和经费都可以得到节约。

我国1992年以后对200余名高性能战斗机飞行员进行了离心机高加速度训练,通过训练,平均提高 $+3 G_z$ 耐力,所有受训飞行员均通过 $+7 G_z 10 s$ 。用抗荷服、抗荷正压呼吸和L-1动作综合抗荷措施的飞行员都通过 $+8 G_z 10 s$ 合格标准,有的达到 $+9 G_z 10 s$ 的训练目标。

此外,载人离心机训练中往往配合各种抗荷收紧动作提高 $+G_z$ 的耐力。这些抗荷收紧动作虽然有各种名称,如M-1动作、L-1动作、霍克动作、Q-G动作等等,但它们的基本作用原理是差不多的:①缩头、耸肩以及身体略向前倾,可以使心脏与眼水平的垂直距离缩短,这样可使心脏射出的血液能较容易地到达眼部和脑部。②全身的肌肉紧张用力,可以防止血流向下肢转移,又可以促进静脉血液回流。③用力呼气提高胸内压力,使心脏水平的动脉血压升高。在飞行中不能作胸内压持续升高的动作,因为这样会影响血液向心脏回流,可能会发生意识丧失。为防止这种情况发生,可在全身肌肉紧张时先深吸一口气,再经半闭的声门用力呼气,发出“嗨”的声音,等呼吸快结束时再快速吸一口气,如此重复进行,大约 $(3 \sim 5)s$ 一次。抗荷收紧动作可以提高加速度耐力 $(1 \sim 2)G$,但由于体力消耗大,分散注意力,又影响操纵,长时间的使用容易引起疲劳。俄罗斯飞行员只作下肢肌肉收紧动作,据说抗荷效果也不错,而且疲劳也不易发生。抗荷收紧动作只能起辅助作用,抗荷收紧动作再加上抗荷服,可以对抗 $+9 G_z 45 s$ 的正加速度。另外,加压呼吸也有抗荷效果,并能减轻疲劳。如用余压值为 $3.3kPa \sim 5.3kPa (25 mmHg \sim 40 mmHg)$ 的加压呼吸,加速度耐力可以提高 $(0.8 \sim 1.2)G$ 。

飞行训练是提高加速度耐力最好的方法,但成本较高,风险亦大,一般应与军事训练结合进行。训练的原则是加速度由小到大循序渐进,应有适当休息时间使生理功能得以恢复,抗荷耐力的保

持有一定的时间,必须反复训练。俄罗斯战斗机飞行员的具体做法是: $+7 G_z$, 15 s 的加速度训练每个月不少于 4 次。训练有素的飞行员 $+9 G_z$, 15 ~ 20 s 的训练不能超过 2 次,每架次间的时间应在 1 h 以上,飞行日之间的间隔应在 2 天以上。在做高加速度训练之前,应做几个 $4 G_z \sim 5 G_z$ 的动作,可以调动身体的生理储备。在训练中飞行员应自我监督自己的生理状态,如有灰视和黑视,应降低加速度值。训练时飞行员头部应紧靠在头靠上,颈和肩部也要固定。转头观察地面时必须动作柔和,这都有利于大脑的血液供给。

顺便说一句,在提高 $+G_z$ 耐力的训练中,除了载人离心机的训练、抗荷收紧动作训练和实际飞行训练之外,还有其他的一些训练方法。例如举重训练,主要可以增强下肢肌肉的力量,有利于减少下肢血液存留,促进血液回流。下肢负压舱训练和倾斜床训练等都有助于加速度耐力的提高。

3. 低压舱训练

低压舱是一种模拟高空低气压环境的大型模拟设备。低压舱训练的目的有 3 个:①使飞行员对高空环境因素对人体的影响进行亲身体验;②学会在高空低气压环境下使用供氧装备以及主动开放咽鼓管平衡中耳内外压力的方法;③对飞行人员高空缺氧耐力、咽鼓管通气功能和高空减压病易感性等进行检查。

训练分为理论学习和实际训练两部分。理论学习的内容和时间可因人而异,一般学习内容应包括大气基本知识、呼吸与循环生理知识、高空缺氧和低气压对人体的生理影响、增压座舱的原理,供氧装备的原理与使用方法、加压供氧装备的原理、使用方法及生理影响等。理论学习时间以 2 天为宜(10h ~ 15h)。

实际训练应包括体验与训练和耐力检查两部分。

(1) 体验与训练

✚ 体验高空缺氧的症状特点及了解高空用氧的重要性,学会供氧装备的使用方法。低压舱上升的高度一般以 7500 m 为宜,因为高度太低,训练者高空缺氧的症状不明显,如果高度太高,可能

会有风险。7500 m 时可在短时间内看出缺氧耐力的个体差异,在这个高度上突然中断供氧,测定有效意识时间是具有实际意义的。

✚ 体验低气压及气压变化的各种影响,例如高空胃肠胀气,中耳腔内压力变化等,了解吸氧排氮预防高空减压病的效果。许多国家将迅速减压低压舱上升体验作为心理生理训练的重要内容之一。表 6-1 是日、美、苏联、英国在飞行员低压舱体验迅速减压体验时所用的高度、压差及减压时间。

表 6-1 四国飞行员在低压舱体验时的高度、压差及减压时间

	初高度/m	终高度/m	压差/MPa	减压时间/s
日本	2400	6700	0.03	1
	12000	20000	0.03	1
美国	2400	6700	0.03	0.85 ~ 5
	3000	10600	0.05	2 ~ 15
苏联	5000	12000	0.03	>1
	6200	13000	0.03	>1
英国	8000	13000	0.02	2

但这种体验是有一定危险性的,美国空军在做这种训练时至少发生 8 例气胸并造成肺萎陷,因此 20 世纪 80 年代以后就停止了此类训练。日本将高度降至 2 400 m 和 6700 m,相对降低了发生减压病的危险性。

在低压舱训练下降过程中,应安排练习做咽鼓管通气动作并体会要领及效果。

体验迅速减压时可结合加压供氧装备使用方法的训练,快速下降高度可模拟高空弹射跳伞自由降落时的压力急剧变化等。

(2)耐力检查

耐力检查包括高空缺氧耐力、高空减压病易感性、咽鼓管通气功能等。在航空早期,这些检查是低压舱上升的主要内容,但现在由于高空防护问题已基本得到解决,低压舱上升被体验和训练所

代替。

目前俄罗斯军队低压舱训练的方法与苏联时代基本相同。飞行学员在飞行训练前进行一次低压舱训练,飞行部队的飞行员和领航员每2年上升1次低压舱,一般在定期大体检时进行。上升的高度为(5 000 ~ 6 000) m,要求在训练中掌握供氧装备和防护装具的使用方法,并模拟12 km以上高空飞机座舱突然失去密封时操纵飞机。迅速减压的训练分为3个阶段:第1阶段是实验室训练,使飞行人员掌握使用加压供氧装备时呼吸和说话的要领,同时检查高空供氧装备是否符合要求以及飞行人员加压呼吸的耐受力。第2阶段是低压舱训练,使飞行人员了解加压供氧装备在12 km以上高空工作情况和高空生命保障设备的特性。第3个阶段是飞行训练器上的训练,主要要使飞行人员了解穿着加压供氧装备时操纵飞机的特点。经过这3个阶段的训练,使飞行员了解自己的生理储备和自己应对迅速减压应急情况的能力,熟悉高空飞机座舱突然减压时的操作程序。

我国在低压舱训练方面也与国外大同小异。迅速减压训练时,先在低压舱内上升至8 000 m,然后迅速上升至11 000 m,此时氧调器立即自动转到加压呼吸状态,训练者进行加压呼吸后下降至地面。

由于低压舱迅速减压试验既危险,成本又高,因而有人设想研制一种新型飞行员减压和缺氧快速训练模拟器,在(15 ~ 30) s内,向模拟器内释放大量的氮气,模拟迅速减压时出现的温度下降、噪声、薄雾、气流及低氧分压。这样既可以使受训者体验到缺氧和迅速减压,学会使用应急氧气面罩,而且没有风险,成本又低,可推广到基层飞行部队去使用。但这种设想至今尚未实现。

4. 空间定向训练

空间定向障碍是每位飞行员都可能发生的心理和生理现象,并非是疾病。但由于空间定向障碍严重影响飞行安全和飞行劳动效率,所以必须加以预防和克服。训练可分为地面模拟器和空中实际飞行两类。

仪表飞行技术不熟练是产生空间定向障碍的重要原因,因此加强仪表飞行训练是预防空间定向障碍的根本措施。在复杂气象飞行训练前应组织飞行人员体验空间定向障碍:一是可以利用地面飞行训练器进行体验,二是在实际带飞时体验。美国环境技术(ETC)公司生产的空间定向障碍模拟器(Gyrolab)是一种广泛用来体验和训练克服空间定向障碍的训练模拟器。中国、土耳其和其他不少国家都引进了这种模拟器。据土耳其空军报导,飞行员通过训练,因空间定向障碍引起的飞行事故发生率明显下降。实际带飞中可使学员体验上仰错觉和下滑错觉。结合体验应向飞行人员讲解空间定向障碍产生的原理和克服办法,尽量要求做到集中注意力按仪表飞行。

在飞行中预防空间定向障碍的方法主要有以下几种,在空间定向训练时应结合采用:

①在复杂气象飞行和夜间飞行之前,应看清楚太阳和月亮的方位,向气象预报部门了解当日空中云的厚度以及云中能见度,这有助于避免因光线照射和云形引起的空间定向障碍。进入座舱以后应调整好降落伞的肩带和安全带,使两边的松紧适度,不要一边紧一边松。将座椅铺平整,以免身体歪斜诱发错觉。

②飞机在入云飞行之前应转入仪表飞行,防止因入云后突然转换引起空间定向困难。进入云以后要合理分配注意力,每5s要观察一次地面仪,不断用高度表、升降速度表来对照地平仪的俯仰指示,用罗盘对照地平仪的倾斜指示,这样可以使仪表信息在空间定向中占主导地位。

③做加速、减速、螺旋、筋斗、大坡度转弯等急剧改变飞机状态的动作之前,先要看清仪表,注意头部和身体不要作大幅度动作。

④在云中编队飞行时应密切注视长机,按长机的状态操纵飞机,但仍要不断扫视地平仪。

⑤夜间飞行观察窗外目标,不要凝视一点,注视任何目标和光点时间不要太长。起飞时如天地线看不清楚,就不要以天地线为指示标志,着陆时不要过早地看跑道灯和探照灯照明的跑道,因为

在暗夜昏暗的背景中看明亮的跑道 ,可能会引起很大的距离判断误差。

⑥海上飞行时主要应根据仪表来判断飞机状态 ,而不能仅靠天地线作标志保持飞机状态。在深海飞行时不应俯视海面 ,因为向前方俯视会觉得飞机向下俯冲 ,而侧方俯视会感觉飞机在带有坡度飞行。

飞行中一旦发生了空间定向障碍 ,可以采用以下办法加以纠正 :

①马上转入仪表飞行 ,并立即反复用高度表、升降速度表、罗盘与地平仪核对 ,同时发声读出仪表指示 ,使仪表信息占支配地位。

②柔和地按仪表指示操纵飞机 ,切忌凭感觉作迅猛的修正动作。

③按仪表指示保持飞机平飞以后 ,可稍稍活动一下身体 ,松弛一下紧张的肌肉。还可以用咬嘴唇、拧大腿 ,与地面通话等以增强大脑的兴奋性。但仍需注意仪表 ,尤其是地平仪。

④在云中发生空间定向障碍时 ,可以根据飞机在云中所处的位置 ,向上或向下穿出云层。

⑤夜间发生空间定向障碍时 ,可适当调节座舱灯的亮度。

⑥发生空间定向障碍时 ,应向长机或地面指挥人员报告自己的情况 ,以便及时得到他们的帮助。

5. 直升机水下逃生训练

英国是最早利用直升机模拟驾驶舱训练飞行人员水下逃生的国家。他们的有些训练方法已为许多国家所推广应用。例如 ,他们认为直升机沉没后 ,要防止大量海水涌入是徒劳无益的 ,正确的做法还不如让飞行员仍然坐在座椅上保持不动 ,待海水完全灌满座舱 ,各种气泡和运动都停止了 ,飞行员再解开安全带 ,带上氧气瓶 ,从逃生舱口游出去。美国海军也让所有的直升机飞行员接受这种水下逃生训练 ,美国海军在佛罗里达、加利福尼亚和佛吉尼亚都设有海军训练中心 ,从事此项训练。

水下逃生训练器外表上看像一只巨大的啤酒瓶 ,它模拟直升机的机身 ,有舱门和舱口。平时悬挂在游泳池的上面 ,训练时可以放下来沉入池中。

据美国海军安全中心统计分析,美国海军 1978 年直升机坠水时,本来应该生还的人员中,有 32% 的人未能离机,其主要原因是惊慌失措,失去定向能力和直升机入水后很快翻转。通过直升机水下逃生训练器的训练,受训者有了亲身体验,克服了惊慌和空间定向障碍,未能离机的死亡人数 1984 年降到 8% ,1985 年降至零。现在美国空军和陆军的直升机飞行人员也都在海军的训练中心接受水下逃生训练。训练的时间仅需半天,每 4 年训练一次。

训练分两步进行:

第一步是理论学习。由教员讲解落水后的生存技术,采用先进的视听设备讲述直升机坠水的特点,威胁落水直升机机上人员生命的 3 个因素,即海水大量涌入,所处的空间受限和直升机水中的翻转时的空间定向障碍。

第二步是实际训练。以上这 3 个因素在 4 次落水训练中均能得到亲身体验。每次落水训练时,受训者的座位与出口间的距离都要比前一次远。最后 2 次训练时,受训者要戴黑眼镜,模拟夜间直升机坠水的情况。在正式进入水下逃生训练器训练之前,还应进行一些基础性的训练,如游泳,受训者不穿游泳衣,而是携带飞行员平时使用的各种个人装备,如头盔、飞行服、靴子、个人漂浮装备等,受训者要从 5 m 高的跳板上跳入游泳池。其他基础训练,如嘴向漂浮装备吹气(二氧化碳气瓶中的气体已用完时),然后进行绞车吊升模拟训练,吊升时用高速喷水器喷射水下逃生训练器使其产生旋翼下洗效应。

在 0 的海水中,人的屏气时间仅为 12 s。由于水下应急逃生时会面临许多复杂情况,因而需携带水下呼吸器以延长水下停留时间。呼吸器由 1 个小型气瓶和 1 个两级连续供气式调节器组成。在水温 13℃ ,水深 6 m 处可供飞行人员呼吸 4 min ,这样可以争取时间大大增加水下逃生机会。水下逃生训练中应熟悉水下呼吸器的基本性能,掌握其使用方法。

直升机沉入海中时,由于海水涌入,直升机常常翻转,飞行人员慌张,因而很难寻找到出口的方向和位置,往往延误了逃离的时

间,因此在直升机撤离的通道及舱口装上特制的水下照明指示灯是十分必要的。这种水下逃生用的照明指示灯有氚灯、化学发光灯和电池灯3种。舱门周围和通向舱口的通道上的照明指示灯用薄的发光板制成,可以做成任何形状。电池灯的电源采用干电池,可防水并随意调节亮度。直升机入水后,水控开关浸入水中,电源即接通,灯即发亮,离水后即熄灭。水下逃生训练时应掌握这种灯的使用方法。

6. 弹射救生训练

弹射救生训练包括弹射训练、跳伞训练、生存训练和营救训练4个部分。

(1) 弹射训练

弹射训练器是一种模拟弹射过程的模拟装置,其结构见图6-3所示。通过弹射训练,可使飞行人员体验到弹射时冲击性加速度

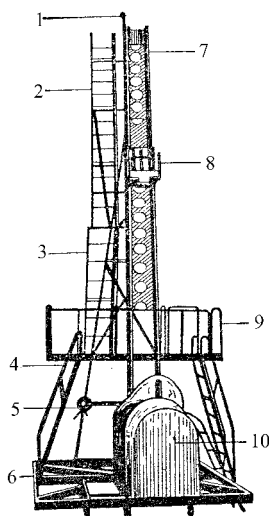


图 6-3 弹射训练器

1—绞盘滑轮;2—上扶梯;3—中扶梯;4—下扶梯;5—绞盘;

6—底盘;7—弹射轨及支架;8—弹射座椅;9—平台;10—座舱。

对人体的影响,掌握弹射时应采取的正确姿势和弹射操作程序,消除顾虑,增加对应急弹射离机的信心。

弹射训练前应向参加者讲解弹射训练的目的和注意事项,有脊柱压缩性骨折、椎间盘脱出、临时患病和疾病恢复期者不宜参加此项训练。

训练时分2轮进行:第1轮用8 G的弹射弹弹射,第2轮用12 G的弹射弹弹射。训练内容主要是2项:①是保持正确姿势,②是熟练正确的操作程序。正确的姿势是要使脊柱保持在正常的弯曲状态,使其能承受最大的冲击力,并固定好身体以避免弹射时身体东倒西歪。受训者应端坐在弹射座椅上,背部及臀部紧靠在椅背上,两脚紧踩在弹射座椅踏板,两腿不能外展,头部紧靠座椅的头靠,闭口闭眼,全身肌肉紧张,屏住呼吸。如用面帘把手击发弹射弹,双肘要紧贴躯干,不能外展,如用弹射把手击发弹射弹,两臂要用力支撑扶手,紧贴躯干。操作程序为先收油门,然后收腿,拉面帘把手或握弹射把手。弹射训练时应周密计划,防止意外情况发生。

(2)跳伞训练

飞行人员应定期进行一般跳伞训练,有时应进行特殊条件下的跳伞训练,如海上、高空、夜间跳伞训练。

跳伞训练前应对参加训练的人员进行检查:有脊柱、下肢病变的,心血管功能不良,静脉曲张以及其他因健康原因暂时飞行不合格者均不应参加训练。第一次参加跳伞训练前,受训者往往精神很紧张,心跳、呼吸加快,血压升高,情绪兴奋,注意力不集中,言语过多,焦虑不安,面色苍白,大量出汗等。也有表现为抑制状态的,表情淡漠,沉默,动作迟缓。可让其先观摩别人的跳伞可减少这些情绪反应。对于精神过于紧张者可取消其训练。开伞时正确的姿势应是两腿用力并拢,双手合抱于胸前,头部紧缩,全身肌肉紧张用力。为防止开伞时受伤应调整好降落伞背带系统的松紧,姿势不正确和背带过松或一侧短另一侧长是开伞时易受伤的原因。着陆时正确的姿势应是身体端正,两腿并拢,两膝稍屈曲,脚掌与地面平行,两手紧握操纵带,全身紧张用力,面向运动方向并注视着陆点,以下蹲姿势着陆,见图6-4所示。着陆后应迅速解脱背带以

防被伞拖曳引起损伤。着陆时比开伞时更容易受伤,受伤原因主要是着陆姿势不正确,如双腿未并拢,用手或臂部接地,有的突然摔倒在地,另外服装装备不合适(如靴子),风力过大以及着陆场地高低不平等也可造成脊柱、上肢和头部受伤。高空跳伞时易缺氧,开伞冲击力大,应携带跳伞氧气。海上跳伞应掌握脱伞时机和水中脱伞的方法。夜间跳伞因能见度低,跳伞者不易判断高度,不易看清着陆点上的障碍物也难以辨别风向。所以先要熟练白天的跳伞技术,然后再训练夜间跳伞。

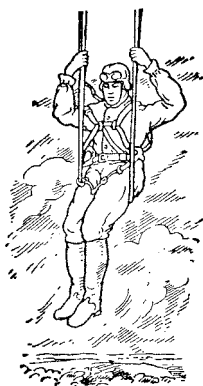


图 6-4 跳伞着陆时的正确姿势

(3)生存训练

生存训练的目的有 3 个:①是进行生存体验,克服生存中出现的各种心理障碍,树立生存信心。②是熟练掌握随身携带的各种生存物品性能特点和使用方法。③是根据各地区的特点,因地制宜地解决生存中存在的问题,如饮水、食品、信号联络等。

生存训练的基本内容包括急救、联络、隐蔽、生火、找水、狩猎、捕鱼、采集、定向和徒步行走。但各地区又有自己特殊的内容,如海上生存需训练漂浮,防止冷水浸泡,防鲨鱼袭击,而沙漠生存则主要是防止脱水和寻找水源,热带丛林生存应防毒蛇咬伤等等。生存训练时应尽可能放在真实的环境里进行,但又要注意安全,以免发生意外。

(4) 营救训练

营救海上的生存者一般用直升机。训练者用吊篮、吊带等设备,直升机用电动或液压吊车将其吊入机舱内。直升机在海面悬停时,直升机旋叶在水面往往掀起一个圆形的风浪,训练者有时很难到达直升机下方,常常需要反复训练,而一旦到达直升机的下面,海面则是风平浪静的。因此,训练时直升机应将海上受训人员“罩”在自己的“肚子”下面。

在飞行人员海上营救史上,曾有因看到营救直升机到来而欣喜若狂,过于激动而导致营救失败的例子,遂使弹射、跳伞及生存中作出得艰苦努力付之东流。因而营救训练中仍应强调心理素质的训练,应该保持沉着、镇定,避免过于兴奋。

由于现代通信联络手段的迅猛发展,营救过程中有些飞行人员可以采用全球卫星定位系统(GPS)等先进方法。这些装备在营救训练中也应该进行实际操作,掌握要领,以免实际营救中手忙脚乱,不能发挥其应有的性能。

而那些传统使用的联络用品,如太阳反光镜、海水染色剂、烟火箭、信号枪弹等更需要了解其性能和使用特点,有些用品如太阳反光镜的使用方法还有一定难度,只有通过反复训练才能正确熟练地使用,充分发挥其作用。

三、提高飞机的可靠性和安全性

由于战斗机大多数只有1名飞行员驾驶飞机,因此要求战斗机有更高的可靠性和安全性。

飞机的可靠性和安全性取决于航空理论和基础工业的发展水平以及安全管理。其中航空理论主要来源于飞行事故的调查研究,是用高昂的代价换取的,包括飞行人员的生命和鲜血。基础工业主要指航空材料、电子工业、精加工技术等等。安全管理是按严格的标准行事。

设计、生产、使用和维修是保证飞机可靠性和安全性的4个主要环节:飞机设计时必须遵循已有的可靠性和安全性规范,生产出

厂时要严格按标准验收质量,部队使用时如发现飞机质量问题应立即进行改进,消除事故隐患,必要时应停飞所有同机型飞机进行专项检查,维修时则应避免维修损伤,达到维修的标准。这4个环节如果都做好了,因机械故障引起的严重飞行事故就可以大大降低。

以下我们讲述一下提高飞机可靠性和安全性的5项具体实例,其中4项已经实现,取得了很好的效果,最后1项尚在研究中。

(一)克服飞行中的飞机颤振

当军用战斗机向亚声速进军时,各国空军都遭遇到飞机颤振的困扰。当时,因飞机颤振造成的飞行事故层出不穷。

以英国战斗机为例,从20世纪30年代至50年代曾有数十架战斗机因飞机颤振而在空中解体。经20年的深入研究,终于找到了克服颤振的办法。20世纪30年代,英国有9架蛾式战斗机在空中解体,事故调查发现,这9架蛾式战斗机都是在飞大速度时失事的,事故原因是高亚声速时机翼发生颤振。当时飞机设计只有强度要求而无刚度要求。后来制订了飞机设计的刚度规范,加强了机翼的刚度,飞机的颤振问题就解决了。到了20世纪40年代,英军台风战斗机在3年之间发生了20次空中解体。事故调查发现,事故都是在高速俯冲时发生的,尾翼和后机身先遭破坏,然后再解体。事故的原因是升降舵振动引起的水平尾翼颤振,以后又在设计规范中加上了防止操纵面颤振的内容。20世纪50年代初期,英国的P120战斗机原型机试飞时又发生了颤振事故,事故的原因是因为三角形机翼上的升降副翼的调整片振动引起了升降副翼和机翼的颤振,于是飞机设计规范上又增加了防止调整片颤振的内容。经过调整片的重新设计,飞机的颤振问题也解决了。在军事航空发展史上,像这样的例子不胜枚举。

(二)飞机疲劳寿命

第二次世界大战期间,英国空军大约有20架惠灵顿轰炸机因机翼疲劳断裂而坠毁。这些飞机大部分只飞了300h左右,而有些连200h都不到。

澳大利亚空军有 2 架 F-111C 飞机在空中发生着火事故,开始时认为与疲劳无关。但经深入调查研究,发现起始原因就是疲劳断裂。第一架 F-111C 空中着火时,飞行员曾报告发动机滑油温度高,警告灯亮。几分钟后机身内已经无油的燃油箱爆燃,平尾操纵系统遭破坏。飞机无法操纵,飞行员和领航员弹射跳伞。调查发现:从发动机压气机第 16 级引气的一段不锈钢导管的破口上有疲劳特征,疲劳源在焊缝上的一个制造缺漏处。这根导管破裂,1500kPa 600 的热空气窜入发动机舱,发动机滑油温度高的警告灯就发亮。发动机舱与燃油箱之间虽有一层隔热屏,但在这隔热屏引气管漏气处有一破口,高压热空气直接冲击油箱壁。油箱被加热,油箱内的残余燃油蒸发而形成可燃混合气,达到一定温度时即爆燃。后在实验室进行模拟试验,隔热屏在高压热空气冲击下只需要 1min 即发生疲劳断裂。第 2 架 F-111C 空中着火事故中飞行员报告火警信号灯亮并要求紧急着陆。在着陆前应急放油时机内发生爆燃,飞行员和领航员均弹射跳伞成功。调查发现:发动机引气管有疲劳破坏。高压热空气从导管破口进入机身内,使火警信号灯亮。随后又损坏了应急放油导管和导线束,应急放油时燃油进入机身内,被损伤的电气导线火花点燃,于是飞机在空中着火。过去认为只有飞机主要的结构发生疲劳破坏时才会发生灾难性事故,但这两起事故说明,像发动机引气管疲劳破坏同样也能造成严重飞行事故。因此,疲劳断裂问题引起了设计部门的高度重视。

20 世纪 50 年代末,军用飞机的设计开始采用安全寿命的概念。美国空军的 B-47 轰炸机连续发生了 3 起机翼疲劳断裂事故,于 1959 年采用了安全寿命。安全寿命是用飞机疲劳试验来确定的。疲劳试验做到飞机结构破坏的模拟飞行时间除以分散系数即为安全寿命。分散系统一般为 4,如一种战斗机设计的使用寿命为 4000h,那么它就必须通过 1.6 万 h 的疲劳试验。如果取分散系统为 4,则这种战斗机在飞行过程中出现疲劳裂纹扩展的概率为 0.1%,即当所有飞机用完安全寿命时,其中 99.9% 的飞机在结

构上可能没有疲劳裂纹。安全寿命的概念要比以往只按静强度和刚度要求设计飞机向前迈进了一步。但这种安全寿命概念由于分散系统不能取得太大,在安全寿命内仍有结构疲劳断裂的可能性,尤其是难以避免因制造缺陷、维修损伤和环境恶化所致疲劳损伤。例如 1969 年美国空军有一架 F-111 战斗机可变翼因制造缺陷造成疲劳断裂而坠毁。一架 F-5 战斗机因机翼根部下壁板疲劳断裂而坠毁。一架 KC-130 运输机也发现类似于 F-5 战斗机机翼下壁板疲劳裂纹。1974 年美国空军又将安全寿命改成损伤容限要求:损伤容限要求允许结构有一定的初始缺陷,使用中允许出现疲劳裂纹,但不允许影响飞机的安全。缺陷从初始尺寸扩展到临界尺寸的飞行时间除以 2,即为首次检查时间,检查中如发现裂纹则应进行修理。检查的方法和周期是根据剩余强度要求、裂纹扩展速度、故障后果、适检性来确定的,飞行中使用各种手段监控每架飞机的寿命消耗和机械状况。

确定飞机疲劳寿命 3 种办法的演化,使飞机的使用更加科学合理,更加经济节约,更加安全可靠。同时我们必须承认,静强度和刚度规范和安全寿命理论在它们各自的历史时期也为飞机安全使用作出过重要贡献。

为提高飞机的安全系数,美国空军对有些容易出事故的机种提前退役,如 F-16A/B 等型战斗机退役时间从原来的 8000 个飞行小时减为 4000 个小时,F-111 战斗机则在 1999 年之前全部退出现役。2010 年前还将有数百架其他战斗机退役。

(三)飞机撞地警报系统

战斗机和攻击机在超低空训练时最易发生飞机撞地事故。1976 年至 1993 年,美国空军战斗机和攻击机发生 150 起撞地飞行事故,占同期战斗机和攻击机全部严重飞行事故的近 1/5。飞行人员死亡 170 人,经济损失 11 亿美元。

为减少战斗机撞地事故,美国空军以 1985 年 7 月开始就试验飞机撞地警报系统。当时使用的是已有的高度探测系统,只适用于平坦地形上空的飞行。目前这个系统使用了数字式地形数据

库,数据库内包括了所有已知的地面障碍物,如山丘、高楼、塔台等等。地形均数字化,装在一张光盘上。这个数据库装有大约 10 万 km^2 的地形,而一张光盘可以容纳 10 个这样的数据库,光盘又装入机上的计算机里。工作方式与地形跟踪雷达差不多。飞机飞行时,对数据库的地形数字进行扫描,扫描区随着飞机的高度、速度、坡度进行相应的变化。

飞机起飞前飞行员可调定最低离地安全高度,飞行中防撞系统不断将飞机的轨迹如高度、速度、姿态等与调定的最低离地安全高度进行对比,计算出飞机改平再拉 $5 G_z$ 离地面所需的高度。当计算机计算出来的这个高度接近于调定的最低离地安全高度时,便向飞行员发出视觉和声音报警。当飞机进入这个高度时,系统便自动操纵飞机做改出机动,飞机立即改平并拉 $5 G_z$ 离开地面。在脱离危险高度以后,系统再次向飞行员发出声音提示:“请接替操纵飞机!”因此装上该系统的战斗机,即使飞行员因高加速度发生意识丧失,飞机失去控制,该系统也能自动将飞机拉起来,避免发生撞地事故。

飞行员可以控制该防撞系统的操纵,也可以临时断开该系统。可以选择该系统的报警信号方式或只让系统发报警信号而不操纵飞机自动爬高,或完全断开该系统。在做拉起动作前,系统发出的声音信号是“拉起来!拉起来!”当系统自动操纵飞机已拉起来时,声音信号则是“向上飞!向上飞!”。目视信号是飞机拉起来前 5 s 在平显仪上出现大的十字线符号。该系统的使用方法十分简便,起飞前飞行员选择好并打开人工或自动拉起工作状态电门。飞行员在起飞前,也可以在飞行中选定最低离地安全飞行高度。飞机停在地面时,系统自动进入备用状态。起飞后,高度高于最低离地安全飞行高度时系统才开始启动工作。在飞行中,起落架放下,加油口打开,或雷达高度表和领航系统不能给出准确信息时,该系统便自动转入备用状态。现在美国空军的 A-10 飞机上已装备了这种飞机撞地警报系统,估计其他机种也将陆续装机使用。

据说俄罗斯也在加紧研制类似的飞机撞地警报系统,他们称

之为主动(飞行)安全系统。该系统可在飞行员丧失工作能力时,飞机上的计算机可以独自作出判断和决定。当飞行员失去意识和其他情况下飞机失去控制时,就在坠地前的数秒钟,这种主动(飞行)安全系统可以向飞行员发出声音或视觉警告,并自动将飞行员弹射出去。俄罗斯军方目前主要是缺乏资金,使研制工作遇到阻力。

另外,战斗机机上失速状态告警装置之类的设备也很起作用。美军 F-111 战斗机曾发生失速造成的严重飞行事故 18 起。1981 年安装了失速状态告警装置后基本上消除了此类严重事故。

(四)战斗机后倾座椅

战斗机高加速度引起的飞行员意识丧失是造成飞行事故的重要原因,特别是 20 世纪 70 年代以后第三代战斗机如 F-15、F-16 的问世,由于这些战斗机机动性强,高 G_z 引起的意识丧失更为突出。美国空军高 G_z 引起意识丧失的发生率高达 25%。

其实德国航空医学专家早在 1935 年就在离心机上对用来对抗高 G_z 的后倾座椅进行了实验研究。1936 年德国人研制成功了一种“躺翻座椅”,首先被安装在 Heinkel He 50 轰炸机上,并于 1938 年进行试飞,受试者可以耐受 $+7 G_z$, 15 s。这种躺翻座椅在飞行中达到 $+3 G_z$ 以上时,随着 G_z 值的增加,椅背就自动向后倾斜,椅背向后下方倾斜至水平位置,座椅同时向前移动。当加速度作用消失时,由两根弹簧再将座椅拉回到原先的直立位置,并自动将其锁定。1940 年英国皇家空军也对一种后倾 45° 的座椅进行了实验研究,受试者的耐力达到 $+6G_z \sim +6.2 G_z$ 。20 世纪 40 年代末,美国海军航空医学研究所也研制出一种后倾座椅,当加速度达到 $3.9 G_z$ 以上时,椅背向后旋转,将平常坐位的飞行员放至近于仰卧位,当加速度降到 $2.7 G_z$ 时,椅背又回复到原先的位置。受试者在仰卧位时可耐受 $12 G_z$, 5 s。由于第一代和第二代战斗机飞行时机动性相对较小,加速度对人体的影响并不突出,因此在 20 世纪 50 年代和 60 年代,后倾座椅的研究处于停顿状态。

20 世纪 70 年代以后第三代战机的出现,又使后倾座椅成为

研究热点。美国人对后倾座椅的抗荷效果作了详细地研究。大量的研究证明,当椅背角为 45° 时,飞行员可以增加 1 G 的耐力。当椅背角为 60° 时,可增加耐力(2 ~ 3)G。见表 6-2 所示。

表 6-2 后倾座椅倾角与人体 + G_z 耐力

座椅后倾角	13°	30°	45°	60°	75°
耐力(G)	5.6	5.9	6.3	7.4	8.22

表中耐力(G)是指受试者周边视觉消失时的 G 值。由于受试者的躯干后倾,这样可以缩短心和眼的垂直距离(13° 时为 29 cm ; 30° 时为 28 cm ; 45° 时为 25.1 cm ; 65° 时为 18.6 cm ; 75° 时为 14.5 cm) ,降低了心和眼之间血液柱的流体静压差,改善了大脑的血液供应,因而可耐受更高的 G 值。见图 6-5 所示。

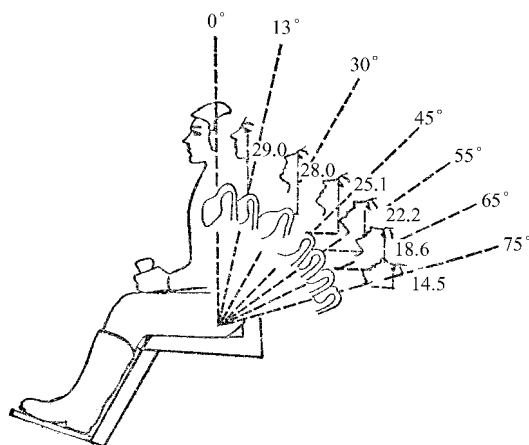


图 6-5 心和眼距离的变化

从生理的角度上考虑,当然座椅后倾角的角度越大,提高 + G 的耐力就更高。但从工程角度上看,后倾角过大,座舱的空间需要扩大,现在飞机的座舱难以容纳,由于视野受到限制,仪表显示系统均需重新设计,另外对弹射救生也带来工程上的难度。因此, 65° 角以上的后倾座椅以目前的工程技术水平来看是不切实际的,可能以后有望实现。现在国外有些第三代战斗机已采用了 30° 左

右后倾角的固定椅背座椅,因为现代高性能战斗机在产生 $+G_z$ 时都有一个 $10^\circ \sim 15^\circ$ 的攻角。见表 6-3 所示。座椅的 30° 后倾角再加上 $10^\circ \sim 15^\circ$ 攻角,实际的后倾角度可以达到 45° ,这样既可以提高 $1 + G_z$ 的耐力,又可增加飞行员的舒适性,减轻疲劳,在工程上改动也不是太大,座舱空间和弹射均不会受到明显影响,易于被设计人员和生产单位接受。

表 6-3 各种现代战斗机的后倾角

国 家	机 种	座椅后倾角/($^\circ$)
美国	F-16	30°
	F-22	30°
英、德、意	EF-2000	25°
瑞典	JAS39	28°
俄罗斯	苏-35	30°
法国	“阵风”	29°

我们现在可以说,由于战斗机采用了后倾座椅,提高了飞行员对抗高加速度的能力,因而飞机的安全性也得到了提升。

(五)飞机自救系统

这是一种机上计算机自动控制系统。当飞机的控制面遭到破坏处于失控状态时,计算机可将此情况与正常飞行状态作连续的比较,并及时反馈到自动驾驶仪。自动驾驶仪立即调整尚存的飞机控制面和发动机推力,使飞机保持平衡。飞行员此时只要稍留意一下平视显示器上的暗示,就可以安全降落到附近的机场。美国空军器材司令部下属的莱特研究与发展中心正在加紧此项研究工作,因为飞机在飞行时受敌人火力攻击,鸟撞或其他飞行物碰撞,可造成飞机襟翼、方向舵、升降舵和其他控制面部分毁坏,可导致飞机失控坠毁。如果有了这种飞机自救系统,就可以转危为安。

此外,飞机座舱的安全设计也是十分重要的。座舱的安全、舒适为飞行员提供良好的工作环境,座舱内不应有尖锐的突出物,以免飞机突然加速度或制动时使飞行员碰撞受伤。飞行仪表或显示

器的安装应符合人机工效学的要求,应分类布置,警告灯也应在醒目的位置。容易发生操纵错误的开关和电门最好有容错技术。座舱空间应尽可能宽敞,光线应柔和而明亮,使飞行员进入座舱后有舒适感,这样有利于工作效率和安全操纵。

四、飞行人员防护救生装备的改进

飞行人员防护救生装备包括:保护头盔、抗荷装备、供氧装备、弹射座椅、救生伞、救生物品、抗浸服等等。可以说这些装备都是在军事飞行事故调查研究中产生和发展起来的,它们为飞行人员的飞行安全发挥了重要作用,所以国外有人称它们为“飞行人员生命保障系统”。随着军事航空技术的发展,新的高性能战斗机对这些装备提出了新的要求,促进了这些装备的改进和发展。

我们在第四章里已经对弹射座椅、救生伞和飞行人员救生物品作了简要介绍。下面我们将保护头盔、抗荷装备和供氧装备作一叙述。

(一)保护头盔

据美国陆军直升机飞行事故调查,头部外伤的死亡率为23%。美国空军飞行事故调查表明,头部外伤占全部事故外伤的86%,致命性头部外伤的发生率为19%。我国空军被迫跳伞伤的飞行人员中,头部伤占30.5%。由此可见,飞行人员头部防护的重要性。

头部受伤主要发生于以下几种情况:

- ①鸟撞时,飞鸟或撞碎的座舱玻璃碎片碰撞头部,或座舱盖意外情况下丢失,头部受迎面气流吹袭,使面部和眼睛受伤。
 - ②弹射离机时受气流吹袭伤或头部被无线电插头或其他零件或碎片击伤,开伞时被伞绳抽打,着陆时头部摔伤。
 - ③飞机在做有负加速度的飞行动作或空中气流剧烈颠簸时,飞行员头部可能猛烈撞在座舱盖上而致伤。
 - ④飞机迫降时因飞机突然制动,头部碰在瞄准具上。
- 保护头盔的主要功能是防止头部受伤,它由外壳、衬垫、滤光

镜、耳垫、固定带等组成。

①外壳：外壳的主要功能是分散碰撞能，阻止锐物穿透。以前的飞行员保护头盔多用玻璃钢制成，现在许多国家仍在使用的缺点是头盔的重量较重。美国海军的 HGU-35/P 头盔的外壳采用卡夫拉织物制成，不仅刚度和硬度超过玻璃钢头盔外壳，而且使头盔的重量也明显下降，见图 6-6 所示。

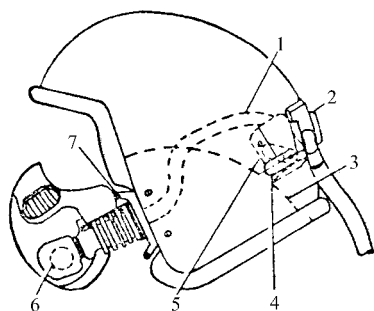


图 6-6 美国海军的 HGU-35/P 头盔

1—氧气管路；2—氧气与通信系统的断接件；3—耳罩（基准）；4—选择手柄；
5—氧气调节器；6—呼吸活门；7—氧气—通信系统与面罩的断接件。

②衬垫：位于外壳下面的衬垫使碰撞能进一步分散、吸收能量，降低加速度峰值和增长率。有的头盔采用调节网架。美国海军的 HGU-35/P 头盔外壳下的衬垫改用发泡成形，按每个飞行员的头形制作，因而戴在头上比较舒适，固定也好。

③滤光镜：一是平时保护眼睛避免强光照射；二是飞行员弹射离机时保护面部防止迎面气流吹袭致伤。美国海军的 HGU-35/P 头盔滤光镜用高强度的聚碳酸酯制成，不仅可防鸟撞（可经受住高速飞行时飞鸟撞击的冲击力而不破碎），而且滤光镜可以更换 5 种颜色的镜片，包括无色透明、浅色、深色、变光学密度以及高分辨率黄色，飞行人员根据需要可随时选用。头盔滤光镜一般应在 850 km/h 气流吹袭下不会破损，滤光镜的透光率一般为 12% ~ 19%。在万米高空阳光直接照射和云层反射过来的强光，大部分均可被滤光镜吸收，因而可以避免强光使飞行员目眩而造成的视

力模糊。

头盔上还可以装上特种滤光镜,如防核武器闪光盲的滤光镜,防激光照射的激光防护镜。防闪光盲滤光镜是一种自动防护装置,受核闪光照射时可自动将滤光镜放下,透光率迅速降低以阻挡闪光射入眼内,闪光以后又可自动将滤光镜收起。20世纪70年代,一种叫锆钛酸铅镧透明陶瓷晶片问世,用它制成的防闪光盲滤光镜性能良好。它的基本原料为锆酸铅和钛酸铅,加入少量镧元素在高温高压下制成陶瓷晶片,晶片嵌入交错的细电极丝,利用电场电压的变化使透光度改变。激光防护滤光镜可以分为反射型、吸收型、反射吸收型以及全息型几种类型。

④耳垫:主要是起隔音作用。军用飞机的座舱噪声可达115 dB,长期如无防护会损害飞行员的听力和身心健康。头盔外壳与耳垫可使噪声衰减20 dB,1000 Hz以上频率可衰减30 dB以上。头盔送话器的聚氨酯泡沫耳垫在1000 Hz~7000 Hz可减噪声40 dB。近年来开始应用的主动减噪设备则有更好的效果。

⑤固定装置:头盔的固定依靠颞带和项带。有了这两条固定带,即使在850 km/h气流吹袭时头盔仍可紧紧固定在飞行人员头部。

⑥固定氧气面罩的挂钩:HGU-35/P头盔的供氧面罩很轻便,一边锁装在头盔上,而另一边在使用时扣合并锁定。氧气软管从头盔后部引入,氧气经耳部后上方的小型氧气调节器和头盔内氧气管路及外软管进入面罩。

保护头盔在军事航空中的确发挥了重要的头部防护作用。据美军一项调查,219例碰撞事故中,由于飞行人员使用了保护头盔,仅有1人死亡,2人受轻伤。

(二)抗荷装备

抗荷装备由抗荷服和抗荷调压器构成。对抗高加速度需要采取综合性的措施,其中包括抗荷装备,抗荷收紧动作,离心机锻炼和加压呼吸等。采取这些综合措施后可以应付 $+9G_z$ 45 s的加速度作用。抗荷服因结构不同,可以分为囊式和侧管两种:囊式抗荷

服可提高耐力(1~2) G,侧管式抗荷服可提高(1.5~3.0) G。

囊式抗荷服由5个囊组成,1个腹囊,2个大腿囊和2个小腿囊。这5个囊是互相沟通的,外面有尼龙布覆盖,再加上调带和拉链,形成一条抗荷裤。而侧管式抗荷服则由腹囊和位于抗荷裤两侧的拉力管构成的。两侧的拉力管相当于囊式抗荷服的大、小腿囊。抗荷效果与服装类型、穿着情况、调压器性能和人体耐力差异有关。

抗荷装备所以能起对抗高加速度的作用,主要是通过以下3个途径达到的:

①压迫腹部及下肢,限制静脉血管扩张,阻止血流向下半身转移,促进静脉血流回流。

②由于腹囊压迫腹部,可以阻止心脏向下移位、变形,从而改善心脏的功能,缩短心脏与眼睛的垂直距离,改善大脑的血液循环。

③对下肢压迫可以减轻下肢肌肉的紧张,这样可以减少能量消耗,减轻疲劳,提高工作效率。

自从第二次世界大战时出现飞行人员的抗荷装备以后,随着战斗机机动性能的不不断提高,(现在已达到 $+9G_z$,增长率 $3G/s \sim 6G/s$,而且不断反复作用),抗荷装备也在不断发展。如调压器采用预充压,加快充压速率,使用加压呼吸,增加抗荷服的覆盖面积等等。

以前的抗荷服覆盖面积约20%,新型的抗荷服在大腿和小腿部气囊覆盖的面积可增加40%~45%,专门为欧洲战斗机设计的全覆盖抗荷服气囊覆盖面积达到身体下部的93%。抗荷服的覆盖面积增大,可以明显地促进下肢静脉血流的回流,改善左心室前负荷,心博量增加,同时可以对抗正加呼吸引起的心血管机能障碍和迅速减压障碍。欧洲战斗机全覆盖抗荷服只要配合适当的抗荷收紧动作,飞行员就能经受住 $+9G_z$ 的加速度,它要比MK-4抗荷服提高3.1 G,比基础耐力提高4.7 G。

从20世纪70年代中期以后,美国在抗荷调节器上使用了预

充气大流量技术。在没有加速度作用时,抗荷调压器向抗荷服内预充 1.4 kPa 的压力。在加速度作用时,又向抗荷服内进行大流量充气,使抗荷服迅速压迫身体表面,限制血流向下移位。单纯的大流量抗荷调压器要比过去标准的调压器向抗荷服内充气的速度快 33%。因此,身体下部的血液回流更多,抗荷的效果也就更好。

俄罗斯飞行员的抗荷装备虽然没有西方国家现有的新装备性能好,但也有自己的特色。如苏-27 战斗机上使用的高效囊式抗荷装备与通风服、抗浸服结合在一起,达到一种装备多种用途的目的。

现在有些国家进行供氧-抗荷一体化的研究,如瑞典的 JAS-39 战斗机装备有双通道双向工作模式的供氧-抗荷系统。

(三)供氧装备

航空早期,飞行人员最先遇到的问题是高空缺氧。1875 年 4 月 15 日 3 名法国人进行气球高空飞行。虽然他们携带了 3 袋氧气(总量 440 L),准备最后遇到危险时才使用,结果在气球升空时 2 人因缺氧而死亡,有 1 人侥幸存活。这一事件对航空界是一个严重的警告。

缺氧的飞行员可能过度兴奋,或者滞呆、嗜睡,甚至即使已经意识到处于危险状态,也无法采取有效措施来保护自己。供氧能使飞行员工作效率大增,具有更高的战斗力。由于供氧,飞行员具有正确的判断力,能迅速下决心采取行动,在对方尚未下决心前先开火,容易击落对方飞机保存自己。而且返回地面后仍能精力充沛,很快又能投入新的飞行。不用氧的飞行员飞行后疲惫不堪,回到地面后仍然没精打彩,他们更容易出事故。

航空供氧装备与战斗机性能的发展是齐头并进的。最早飞行员使用的是含在嘴里的氧气管子,用鼻子呼吸的人无法使用,连续供氧,氧气浪费大,在嘴里很难固定。后来改成氧气面罩,供氧与飞行员的皮飞行帽结合在一起。以后随着飞机的发展,供氧装备也不断改进。对供氧装备总的要求是简便、安全和全自动化。

供氧装备由 4 个部分组成:

①氧源 :气态、液态或固态的贮氧容器。

②管道 :将氧气从氧源引导到氧气调节器。

③氧气调节器 :根据吸氧者的需要 ,控制氧气的压力和氧气的百分比。

④面罩 :口鼻面罩、全罩式面罩和密闭头盔。

气态氧必须符合军用标准的要求。在 101.3kPa(760 mmHg)和 20℃ 气温时 ,氧气纯度应为 99.5%。水蒸气的含量不得大于 0.005 mg/L。因为水汽在高空温度降低时会使供氧装备结冰因而影响氧气的流动。大部分战斗机、轰炸机和教练机把高压氧用作辅助呼吸系统。1 L 液氧可提供(840 ~ 860) L 的气氧 ,因而用液氧占用的空间小 ,约为气氧的 1/8 ,重量也比气氧轻 ,约为气氧的 1/3.5。固态化学制氧仅用于军、民用飞机应急情况时。机载制氧系统如分子筛制氧经多年研制已进入实用阶段 ,涡轮发动机为各分子筛床提供压缩空气。每个分子筛里含有一种称为沸石的化合物 ,这种化合物为结晶状的铝硅酸盐。压缩空气通过分子筛床时 ,空气中的氧气被分离出来并暂时被贮存在集气室里。然后氧气又从集气室输送至氧气调节器 ,再送到氧气面罩。分子筛制氧的氧气浓度可达到 95% ,另 5% 是氩气。

氧气调节器随供氧系统不同而不同。供氧系统分为 :连续供氧系统、断续供混合氧系统和断续加压供混合氧系统 3 种。

✚连续供氧系统的调节器可以连续供给 100% 的氧气。调节器又分为手控、自动、自动加手控 3 种。一般均采用自动连续供氧调节器。随着高度的增加 ,氧流膜盒的作用也逐渐增加。只有当面罩连接插头插入管路的一个出口时 ,才能提供氧气。

✚断续供混合氧气调节器也有 3 种使用方式 :①手柄放在 100% 氧气位置上 ,不管高度高低均供给 100% 氧气。②手柄放在正常氧气位置 ,稀释器将周围空气与氧气混合 ,并且随着高度的增加 ,氧气的百分比也随之增加 ,一直到 1 万 m 高空 ,调节器提供 100% 的氧气。最大工作高度为 1 万 m ,最大应急工作高度为 1.2 万 m。③应急活门 ,启动应急活门时不论高度如何均提供 100%

氧气,但此时氧气消耗很大,很快就会用完。飞行员感到缺氧,夜间需提高视敏度,座舱里有发动机废气或污染气体以及需要吸氧排氮时,就将手柄放在 100% 供氧位置上。

✚ 断续加压供混合氧系统用的调节器在加压供氧启用之前与断续供混合氧系统调节器的功能是相同的,它也分手控和自动等类型。自动增压断续供氧调节器可以在人工给定的高度上自动提供一个正压的膜盒,取代人工手控调节。它由压力表、气流指示器、氧气开关和应急开关组成。

供氧装备的一大特点是有呼吸面罩。面罩的形状设计很重要,如果面罩与使用者的面部贴合不好,氧气就会通过缝隙漏掉,供氧效果就会明显降低,甚至会造成缺氧。连续供氧面罩多用于民航客机。氧气从贮气袋进入面罩,从贮气袋每吸一次气,氧气就被吸出。这类面罩大多数可将 100% 的氧气与周围的空气混合。断续供混合氧面罩只有在呼气时单向排气活门才打开。吸气时形成的负压使活门紧贴活门座。增压和断续供氧面罩则有保持正压的能力。面部密封装置可使面罩形成增压密封。面罩的底部有专门的吸气和呼气活门,活门可使氧气在吸气时进入面罩,并在呼气压力超过调节器压力之前保持加压状态。加压呼吸氧气面罩有吸气和呼气兼用的活门、送话器和固定带系统。当面罩内的压力超过供给面罩的压力 0.13kPa (1 mm Hg) 时,呼气活门打开便可以呼气。

军用飞机增压座舱采用低压差制,最大的座舱压力高度可以达到 $(7 \sim 8)\text{ km}$ 。如高空一旦发生减压,飞行人员将会暴露在更高的高度上。所以即使座舱完好时,飞行人员也应进行一般供氧。在 12 km 以上迅速减压时,应立即转为加压供氧。故应配备断续式供氧性能的加压供氧系统。

参 考 文 献

- 1 谢燕生等. 飞行事故检查方法. 空军第一研究所, 1989
- 2 李荣怀等. 外国空军飞行安全概览. 空军司令部军训部, 1995
- 3 王玉山, 左名中. 飞行安全管理. 北京: 长征出版社, 1997
- 4 张立藩, 陈信主编. 中国医学大百科全书. 航空航天医学卷. 上海: 上海科学技术出版社, 1985
- 5 GJB 2692-96 飞行事故调查程序和技术要求. 1996
- 6 沈尔康等编. 航空弹射救生装备. 北京: 航空工业出版社, 1988
- 7 陆惠良. 遇险生存. 北京: 人民军医出版社, 1984
- 8 飞行事故和失效分析(季刊). 空军飞行事故和失效分析中心
- 9 外国空军训练(双月刊). 空军司令部军训部
- 10 沈增圻, 陆惠良. 防止飞行人员空中意识丧失. 空军司令部军训部, 1981
- 11 航空救生技术(年刊). 航空救生技术编委会
- 12 Andrew Brookes. Crashing ! Military Aircraft Disasters , Accidents and Incidents. London. Lan Allan Ltd , 1991
- 13 Peter John Stevens. Fatal Civil Aircraft Accidents : Their Medical and Pathological Investigation. Baltimore MD co , 1970
- 14 Armed Forces Institute of pathology. An Autopsy Guide for Aircraft Accident Fatalities. Washington , DC , USA , 1957
- 15 Armed Forces Institute of Pathology. Aerospace Pathology for Flight Surgeon. Washington , DC , USA , 1986
- 16 Van Patten RE. A History of Developments in Aircrew Life support Equipment Wright-Patterson AFB , OH , 1996
- 17 Beaty D. The Human Factor in Aircraft Accidents. New York NY , USA Stein and Day , 1969
- 18 David Baker. Flight and Flying : A Chronology Facts on File. Inc New York , 1994
- 19 Mason. Aviation Accident Pathology. A Study of Fatalities. London Butterworths , 1962
- 20 Aircraft Accident Investigation for Air Surgeons. (English and France) 1961
- 21 Willian J R (editor). Medical Investigation of Aviation Accident. College of American

- Pathologists , Chicago , Illinois. USA. 1968
- 22 Armstrong J A , Fryer DI , Stewart WK and Whittingham HE. Interpretation of Injuries in the Comet Aircraft Disasters. Lancet , 1955 6 :P1135 ~ 1143
 - 23 David Oliver. British Military Aircraft Accidents. London Lan Allan Ltd. 1990
 - 24 USAF Flying Safety Magazine. Department of the Air Force , USA
 - 25 Richard O. Reinhart. Basic Flight Physiology. 1996
 - 26 David Gero. Military Aviation Disasters : Significant losses since 1908. Patrick Stephens Ltd , California USA , 1999
 - 27 David Gero. Aviation Disasters : The world s Major Civil Airliner Crashes since 1950. Patrick Stephens Ltd. California USA , 2000
 - 28 Brayan Philpott. Eject ! Eject ! Lan Allan Ltd. London , 1989
 - 29 Dehart R L. Fundamentals of Aerospace Medicine. Philadelphia : Lea and Febiger , 2000
 - 30 Newman D G. Ejection Experience of the Royal Australian Air Force : 1951-92. Aviat Space Environ Med , 1995 65(1) 45 ~ 49
 - 31 Rowe K W , Brooks CJ. Head and Neck Injuries in Canadian Forces Ejections. Aviat Space Environ Med , 1984 55(2) 313 ~ 5
 - 32 Новиков В С. Физиология Летного Труда. Наука. 1997
 - 33 Проблемы Безопасности Полетов. Москва. Российская Академия Наук
 - 34 [http ://www. ejectionsite. com](http://www.ejectionsite.com)
 - 35 [http ://safety. kirt/and. af. mil](http://safety.kirt.af.mil)
 - 36 [http ://www. afsc. saia. af. mil](http://www.afsc.saia.af.mil)
 - 37 [http ://www. vnh. org/FSManual/fsm91. html](http://www.vnh.org/FSManual/fsm91.html)
 - 38 [http ://www. vnh. org/AirMishapGuide/TOC. html](http://www.vnh.org/AirMishapGuide/TOC.html)

内 容 简 介

本书对军事飞行事故的危害、发生原因、调查方法和预防措施进行了系统的阐述和研究。军事飞行事故造成大量人员伤亡、巨大财产损失和恶劣的社会影响,至今死亡人数已超过 45 万。军事飞行事故有人、飞机和环境三大原因,人的原因约占 80%。调查方法有现场调查、实验室研究和定期统计分析等。预防措施也从人、飞机和环境三方面着手。本书第四章和第五章分别介绍了军事航空救生和直升机飞行事故。作者研究了当前军事飞行事故的各种理论,并列举了约 200 个典型实例。本书适合航空兵部队指战员和军事航空业的工程技术人员阅读,也可供民航从业人员参考,对军事航空有兴趣的读者也可增加不少知识。