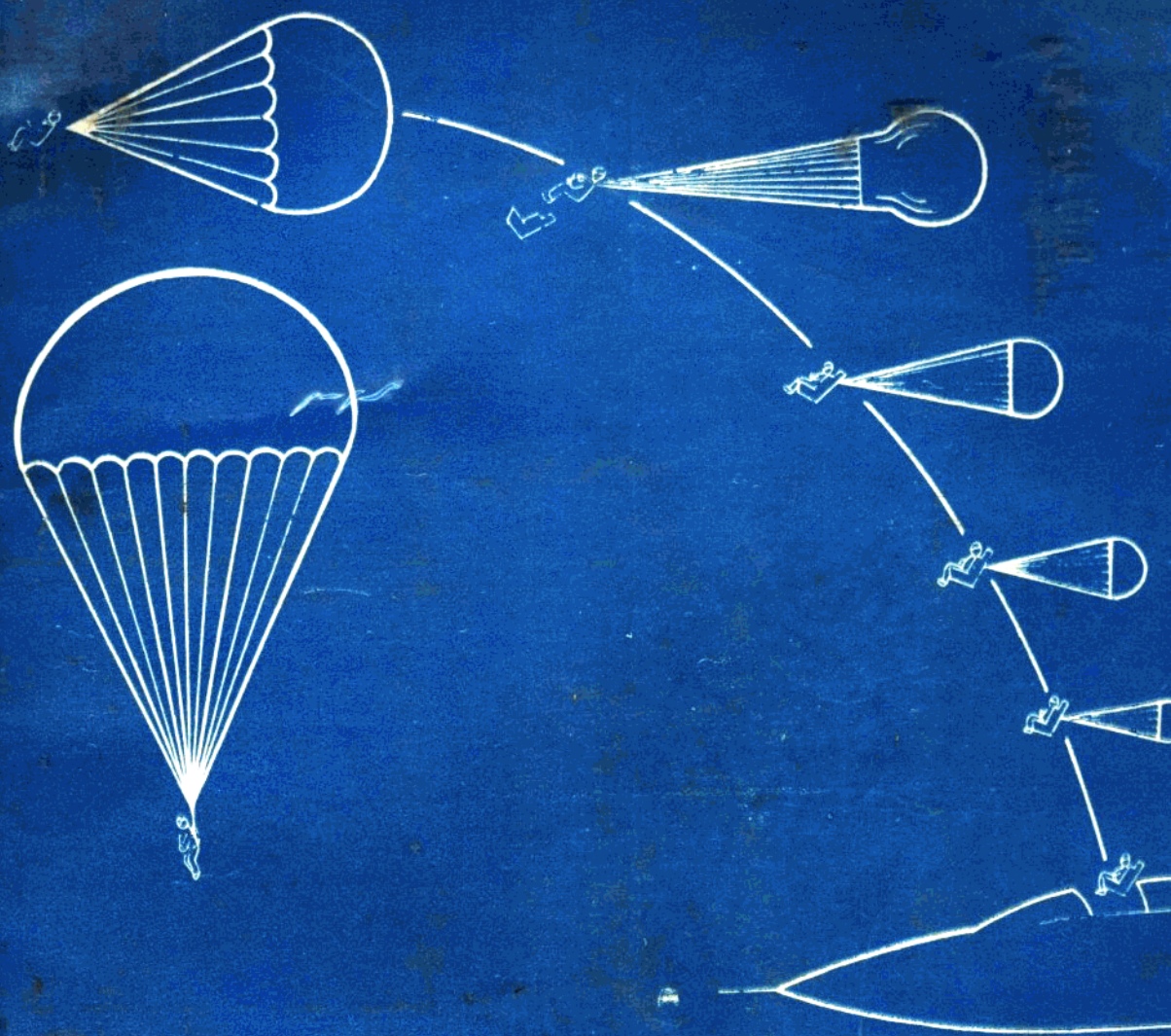




沈尔康 等编

航空弹射救生装备

航空工业出版社

前 言

航空弹射救生装备是空勤人员生命保障系统的一个重要组成部分。随着航空事业的迅速发展,空中事故的不断增加,尤其是战时飞行员的应急救生,故对航空弹射救生装备的要求越来越高。各国竞相采取措施,使弹射救生技术日趋完善,救生装备的品种日渐增多。目前航空弹射救生装备已成为航空技术不可缺少的独立专业之一。它与航空个人防护装备、降落伞一起保证了现代空勤人员正常的工作效能和应急时的安全救生。

新中国成立以后,我国的航空事业也得到了迅速发展。属于航空生命保障系统的各专业也从无到有,从小到大,从仿制走向自行设计和制造,取得了一定的成就。国防工业出版社已于1977年和1982年分别出版了《降落伞技术导论》和《航空个人防护救生装备》两部专著。本书是继这两本书之后并在进一步总结弹射救生装备专业实践经验的基础上编写出的我国第一部航空弹射救生装备的专著。这三本书组成了我国航空生命保障系统内容较为完整、较为丰富的一套专著。

本书除一般介绍国内外弹射救生装备的历史、现状和发展外,还着重阐述我国弹射救生装备的原理和构造、计算方法和试验技术。它将在弹射救生技术不断发展中起到承前启后、加速交流、有利培训等作用。本书不仅包括有关专业基础知识及较详尽的结构设计形式和计算方法,还有科研生产中的实践数据,所以是一部实用性较强的专著,可供有关厂、所、院校、部队从事本专业研究、设计、生产、使用等方面的科技人员参考,也可用做航空院校防护救生专业教学的参考教材。

本书共分六章，并分别由六人编写。按篇章次序是沈尔康、陈榆源、刘克顺、李锐、周光荣、许德仁，其中第三章请黄港溪作了校正和补充，全书由沈尔康编纂，由吴宝珍绘图。

书中有错误和不当之处，请读者批评指正，以便再版时予以修正。

陈与楫 季留法

1988年5月

目 录

第一章 飞机乘员应急救生系统概述

第一节 飞机救生装置发展沿革	(1)
一、救生伞	(1)
二、弹射座椅	(2)
三、火箭牵引救生装置	(5)
四、密闭救生装置	(6)
五、直升机救生装备	(9)
第二节 环境对人体的影响	(10)
一、弹射救生过程中的过载	(11)
二、气流吹袭	(14)
三、高空低温低气压环境	(16)
第三节 飞机救生装置的基本问题	(17)
一、低空救生	(18)
二、高速救生	(20)
三、高过载座舱	(22)
四、着陆后的生存	(22)

第二章 弹射座椅的构造

第一节 弹射座椅的功用与要求	(27)
一、弹射座椅的功用及其分类	(27)
二、弹射座椅的设计要求	(28)
三、弹射座椅的基本构造	(33)
四、弹射救生程序	(38)
第二节 弹射座椅系统	(43)
一、弹射通道清除系统	(43)
二、弹射点火系统	(45)
三、乘员约束系统	(45)
四、弹射动力装置	(49)
五、稳定减速系统	(51)
六、座椅程序控制装置	(52)
七、信号传递系统	(60)
八、救生伞系统	(61)
九、救生包	(62)
第三节 弹射座椅的研制程序	(63)
一、新产品研制原则	(63)

二、确定研制任务	(64)
三、设计方案的论证	(64)
四、初样的设计与试制	(65)
五、试样的设计与试制	(67)
六、设计定型	(68)
第四节 弹射座椅的发展趋向	(68)
一、高过载座舱的弹射座椅	(69)
二、美国空军的乘员救生技术计划	(71)

第三章 弹射座椅的火药动力装置

第一节 火药动力装置的应用与发展	(75)
一、火药动力装置的发展和特点	(75)
二、火药动力装置的分类	(78)
第二节 火药动力装置的结构与性能	(79)
一、弹射筒	(79)
二、火箭包	(83)
三、椅背火箭	(86)
四、火箭弹射器	(86)
五、射伞枪	(90)
六、风向展开火箭	(91)
七、起爆器	(92)
第三节 火药动力装置性能计算的基础知识	(94)
一、火药的分类	(94)
二、火药的能量特征量	(96)
三、火药的燃烧特性	(97)
四、弹射筒的内弹道方程	(98)
五、高低压冲程装置的内弹道方程	(101)
六、火箭的内弹道方程	(103)
七、起爆器的计算方程	(105)
第四节 导爆索的应用	(106)
一、概述	(106)
二、飞机座舱盖微型爆破索系统	(106)
三、塑料导爆管	(109)
第五节 火药动力装置的试验技术	(110)
一、试验目的与分类	(110)
二、弹道参数的测量	(111)
三、火药动力装置试验的技术安全	(115)

第四章 弹射座椅的性能计算

第一节 人椅系统的气动特性	(117)
一、人椅系统的物理特征	(117)
二、人椅系统的气动特性	(119)
三、人椅系统稳定性概念	(122)
第二节 在人椅系统纵向对称平面内的性能计算	(124)
一、计算的目的	(124)
二、选用坐标系	(124)
三、建立运动方程	(125)
四、各种参数的影响	(144)
第三节 飞机机动飞行情况下救生系统的性能计算	(147)
一、选择坐标系	(147)
二、基本假设	(148)
三、基本运动方程	(149)
四、各种参数的影响	(153)
第四节 人椅系统六自由度性能计算	(162)
一、计算目的和坐标系	(162)
二、基本假设	(162)
三、建立运动方程	(163)

第五章 弹射座椅的强度计算和强度试验

第一节 作用在弹射座椅上的载荷	(171)
一、概述	(171)
二、气动载荷	(172)
三、弹射载荷	(174)
四、稳定伞开伞动载	(174)
五、人体质量载荷	(175)
第二节 受载状态	(175)
一、装机状态	(176)
二、弹射出舱状态	(176)
三、自由飞状态	(177)
第三节 弹射座椅的强度计算	(177)
一、载荷分配	(178)
二、骨架强度计算	(179)
三、弹射筒弯曲时的强度计算	(185)
四、自由飞状态计算	(188)
第四节 座椅的强度试验	(190)
一、静力试验	(190)

二、振动试验.....	(193)
三、冲击试验.....	(197)

第六章 弹射救生装置的试验

第一节 试验分类.....	(200)
一、按功能分类.....	(200)
二、按研制过程分类.....	(200)
第二节 试验方法和设备.....	(202)
一、环境试验.....	(202)
二、地面静止弹射试验.....	(203)
三、地面有速度弹射试验.....	(204)
四、空中弹射试验.....	(207)
五、假人.....	(207)
六、试验大纲.....	(209)
第三节 数据处理和分析.....	(210)
一、测试参数.....	(210)
二、数据处理.....	(211)
三、试验结果分析.....	(214)
第四节 可靠性估计.....	(216)
一、弹射救生装置可靠度的理论依据.....	(216)
二、弹射救生装置的可靠性要求.....	(219)
三、可靠性的提高.....	(222)
参考文献.....	(223)

第一章 飞机乘员应急救生系统概述

第一节 飞机救生装置发展沿革

一、救生伞

救生伞是个人用的降落伞。它由柔性织物制成，平时可折叠于包中，通过背带与人相连，使用时展开成伞状物，以增大人下降时的阻力，降低速度，稳定姿态，达到安全着陆的目的。1797年10月22日法国人A·J·加纳兰从610米高度的气球上跳伞安全着陆，轰动了整个西欧。以后救生伞逐步在气球和飞艇上得到采用，作为乘员应急救生装置。

第一次世界大战期间，飞机已作为武器使用，从战斗损伤的飞机中拯救飞行员生命的问题提到了日程上来。德国首先采取措施，参照当时观察气球上乘员所用的降落伞，为战斗机飞行员配备了救生伞。该救生伞被称为海涅克型。伞衣放在伞包内，伞包高25厘米、直径40厘米，作为飞行员的座垫并与飞行员背带相连，开伞绳则连在飞机结构上。跳伞时，飞行员的下坠重量将伞衣拉出，展开充气，使飞行员平稳着陆。

谁是第一个使用救生伞应急跳伞成功的飞机飞行员已难查准。但有事例证明，在1917年德国个别战斗机飞行员已使用了救生伞。那是在一次空战中，一名法国飞行员发现被击毁的德机在坠落过程中，飞行员跳出座舱，身后拖了一条长的白色带子，白色带子不久就膨胀成了一个伞状物。德国飞行员的救生事例引起了英、法、美等国的重视，此后，各国都着手为飞行员研制救生伞。

1918年，德国飞行联队普遍使用了救生伞。在美国，1919年4月，莱斯利·L·欧文用J·F·史密斯设计的能够手操纵开伞的救生伞作了首次真人试跳。离机后，在空中拉动开伞绳顺利开伞，安全着陆。1922年10月，美国空军试飞员哈罗德·哈里斯中尉在试飞失事时使用一具手操纵的救生伞，才从死亡中得救。从此以后，美国空军要求每一个飞行员学习使用救生伞，并且每次飞行都带上它。

降落伞救生是飞机乘员最简单的救生方法。它适用于低速飞机。二次世界大战期间，几乎所有作战飞机的飞行员都配备了救生伞。50年代初期，从发生事故的飞机上，爬出座舱跳伞救生仍是当时飞行员主要的应急救生手段。据美国空军统计，美国空军1950年发生了272起应急离机事故，其中爬出座舱跳伞者253人，占全部救生的93%，跳伞成功率为86%。

爬出座舱跳伞救生的方法通常只要求飞行员身上背一具救生伞，应急时，飞行员首先拉开座舱盖，解开安全带，靠自己的体力从座舱侧边爬出，向下跳去，而后用手拉动开伞拉环，将伞打开，安全降落。有时飞行员也可使飞机倒飞，从座舱里把自己“倒”出来，再打开救生伞。

随着飞机速度的提高，速压增长很快。超过500千米/小时当量空速时，飞行员爬出座舱跳伞已力所不及。并且在大速度情况下跳伞，会使飞行员同座舱后面的飞机某些构件（机

翼、尾翼)相撞,导致死亡事故。这就导致了新的救生装置——弹射座椅的出现。但是,降落伞作为救生工具是一种最基本的救生方法,它具有重量轻、体积小、展开面积大、减速效果好等优点。在此后出现的各种救生装置中,几乎每一种都采用降落伞作为最终的安全着陆手段。例如现代航天飞机用的救生系统也离不开降落伞。苏联在训练航天员时,要求他们在各种地形条件下,跳伞40次以上。航天员从东方号飞船上返回地面时,可以用降落伞将飞船连同航天员安全回收,也可以把航天员弹出飞船,靠救生伞着陆。美国的登月飞行器——阿波罗号也采用降落伞回收技术,回收航天员乘坐的指令舱。



图 1-1 自动调节充气伞

目前各国有不少科研人员在继续研究降落伞,包括救生伞在内。对救生伞的要求是开伞快、开伞动载小、稳定性好、重量轻和体积小。这些要求往往是互相制约的。现代救生为了实现开伞快和动载小两个主要目标,采用了单向拉伸织物、强制开伞和收口等办法,取得了较好的效果。如英国MK-12型座椅和美国S4S型座椅选用的自动调节充气伞,由于开伞动载小,允许开伞速度提高到620千米/小时,又由于开伞快,在离地60米的高度开伞能安全救生。

现代降落伞品种多,式样翻新也快。因降落伞不在本书编写范围之内,对其原理、分类、构造等内容不再赘述。读者如有兴趣,可参阅国防工业出版社1977年出版的《降落伞技术导论》一书。

二、弹射座椅

弹射座椅是利用弹射动力把飞行员连同座椅弹离飞机的一种救生装置。飞行员脱离飞机后,人椅分离,打开救生伞,稳降着陆。

弹射座椅首先在德国出现。当德国研制容克斯Ju88型俯冲轰炸机要做飞行振动试验时,为了避免试飞员遇到不测,于1938年提出了弹射座椅的可行性研究计划,作为应急离机救生之用。当时容克斯公司想用橡筋绳作为动力将座椅连同人一起弹离飞机,做了试验座椅,但试验之后,没有再继续做下去。1940年,德国亨克尔公司首先制成了一种弹射座椅。它以压缩空气为动力,将座椅弹离飞机。座椅上有头垫、背垫、脚蹬和扶手,弹射时,双脚收回放在脚蹬上,双手把住扶手。降落伞置于椅盆内,弹射筒置于座椅背面,弹射操纵杆紧靠右侧扶手,压缩空气瓶则装在座舱地板下面。

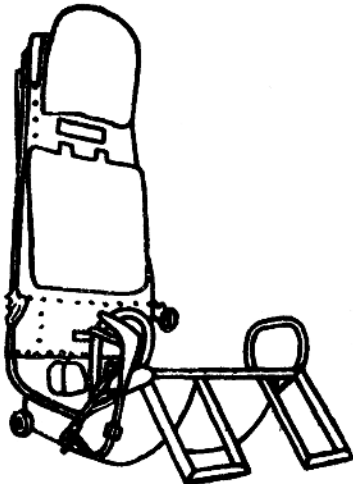


图 1-2 亨克尔公司以压缩空气为动力的弹射座椅

第二次世界大战期间，德国研制的新型战斗机就为试飞员配备了这种座椅。1943年1月13日试飞员斯切克试飞亨克尔公司的He-280 V型飞机时，飞机因结冰失去控制，当时正是用这种座椅成功地弹离飞机得救，成为第一个用弹射座椅应急离机得救的飞行员。研制成的弹射座椅装于批生产的亨克尔公司的He-219战斗机和道尼尔公司的Do-335重型战斗机上。据美国报导，使用这种座椅时，飞行员就象塞子从瓶口迸发出来一样弹离飞机。到二次世界大战结束，至少有60名德国飞行员用弹射座椅救了命。

但是，用压缩空气作为弹射动力缺点很多，首先是压缩空气的容器重量大，并且有漏气的危险性，不安全；其次是弹射能量小，座椅轨迹不够高，不足以越过高的垂尾。亨克尔公司又于1944年研制成以弹射弹为动力的弹射座椅，装于He-162战斗机上，1944年12月首次飞行。瑞典在发展战斗机的同时，从1941年起也致力于弹射座椅的研制工作。1942年在Saab-17攻击机上进行假人弹射，取得成功。1943年在Saab-21A型战斗机上装备了弹射座椅。

二次大战结束后，以弹射弹为动力的弹射座椅实物和资料为盟军缴获。接着发展弹射救生技术的是英、美、苏和瑞典等国，其中以英国马丁·贝克公司最为出色。1944年英国政府邀请马丁·贝克公司的总经理詹姆斯·马丁发展战斗机的救生装置。马丁接受任务后，全力以赴，直到1981年逝世，终生在这项专业上奋斗，做出了出色的贡献。

1946年7月，英国人伯纳德·林奇为马丁·贝克公司的试验座椅进行了一次真人弹射试验。试验是在流星号试验飞机上做的，高度2440米，飞机速度为515千米/小时当量空速。这是在英国从飞机上的第一次真人弹射，试验完全成功。1947年8月，林奇为马丁·贝克公司研制的MK-1型弹射座椅又进行了真人弹射试验。试验高度为3660米，当量速度为675千米/小时，能安全着陆。MK-1型座椅随后装于英国的流星、攻击者、堪培拉等型号的飞机上。该型座椅已具有下列特征：拉面帘打火，双弹初速为18.3米/秒的弹射筒，0.61米直径的单个稳定减速伞，手动人椅分离和手动拉出救生伞。由于这种座椅的弹道运动服从弹道学的规律，所以把使用这种动力装置的座椅称作弹道弹射座椅。

弹道弹射座椅的发展很迅速，到40年代末，不少军用飞机装备了这种座椅。这个时期的弹射座椅虽然是简单粗糙的，但基本上解决了在人的生理极限范围内将人从较高速飞机弹射离机的问题。然而，当时对于低高度救生还是无能为力。因此，从零高度能够弹射救生就成为当时的发展方向。马丁·贝克公司的MK-3型座椅实现了零高度救生目标。1955年9月，英国人约翰·法菲尔德在该公司的机场上，用流星号试验飞机滑跑到222千米/小时速度，做了MK-3型座椅的零高度真人弹射试验。在弹射后6秒钟，试跳员安全着陆。

50年代是弹道弹射座椅充分发展的时期，马丁·贝克公司研制的MK-4型座椅是这种座椅的典型代表。从1956年起它被装备到28个国家的35种飞机上。它的全部程序已经自动化，只要飞行员拉动弹射手柄，救生程序自动进行，一直到飞行员乘救生伞稳降。座椅的主要特征是：具有初速为22.4米/秒的套筒式弹射筒；采用三伞程序，即二级稳定伞，并用稳定伞拉出救生伞，救生伞装在马蹄型伞包内，安放在座椅靠背上；座椅上装有定时控制器和G值控制器，根据弹射时飞机的不同速度和高度控制拉出救生伞所需的延迟时间；还装有腿带式限动机构、面帘主打火及椅盆前缘D环备份打火装置等。该座椅的救生能力为零高度、167千米/小时，最大高度12200米；最大速度M数1.7。

由于轰炸机的高垂尾和多乘员同时救生存在着困难，1952年美国的赖特空军发展中心为轰炸机上的领航员研制了向下弹射座椅。1953年美国空军上校亨德森首次试跳成功。配备在

B-47、B-52等轰炸机上。美国F-104战斗机也曾一度配备向下弹射座椅。苏联图-16轰炸机上也研制配备了向下弹射座椅。但向下弹射救生在低空飞行时非常不利，增加了最低安全救生高度，并且当起飞发生故障时不能救生。因此这种座椅只在50年代空勤机组人数多的大型飞机上使用过。随着轰炸机的改进，空勤组人员的减少，以后就没有再出现采用向下弹射座椅的飞机了。

弹道弹射座椅使用证明，这种座椅的致命弱点是低空救生成功率低。美国空军1950~1959年的弹射救生教训是：致命的主要原因（80%）是由于低空弹射时猛烈撞击地面或水面造成的。英国马丁·贝克公司对弹射死亡原因进行调查的结果也表明，其中60%是弹射安全高度不够造成的。低空弹射不安全有多方面因素，如弹射动力、快速开伞以及弹射程序等问题。对当时的弹道弹射座椅来说，首要的是改善弹射动力，以提高弹射轨迹。根据人对过载的生理耐受极限，再进一步提高当时弹射筒的性能，潜力已经不大，应运而生的方案是火箭弹射座椅。

美国1956年开始研究火箭弹射器。1957年装到座椅上。1958年，一架F-102飞机，实现了第一次火箭弹射座椅的弹射救生，飞行员顺利脱险。英国从1958年起研制火箭包，到1961年取得了零高度、零速度安全救生的能力。1961年4月英国人W·T·海为马丁·贝克公司的火箭弹射座椅做了零高度、零速度真人试验，获得成功。

60年代初，火箭弹射座椅的研制和改进工作普遍展开。许多原来装有弹道座椅的飞机纷纷换装火箭座椅，甚至象F-84那样的老飞机也有的换上了火箭座椅。60年代初，美国把弹道座椅更换为火箭座椅的情况，与50年代初将爬出飞机座舱跳伞救生改为弹道弹射救生的情况一样。随着座椅的更换，火箭座椅弹射事例也逐年增加，到1964年，美国空军使用火箭座椅的应急救生已上升到41%。

在弹射座椅的基础上，70年代曾出现过飞行弹射座椅。1969年，美国根据在越南的战争经验，提出了“乘员逃生和营救能力计划”，要求弹射座椅弹出座舱后，可以操纵飞行约80~90千米的距离，以选择合适的着陆区域，避免落入敌方境内。计划公布后，应征方案大量涌现。方案虽然是各式各样的，但从总体看，都是在弹射座椅上加装升力部件和飞行用的动力部件。例如加装的升力部件有帆翼、伞翼、

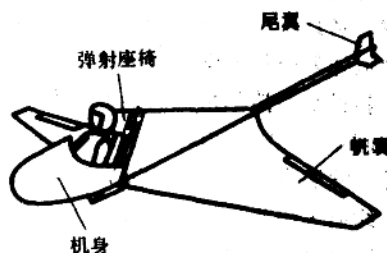


图 1-3 帆翼飞行座椅

刚性机翼和旋翼等各种式样。这些加装的升力部件、动力部件和操纵部件都做成折叠式的，装入座舱时折叠在座椅背后。所有这些飞行座椅的共同缺点是重量与体积增加太多，并且构造复杂，可靠性降低。因此，虽然有的进行了成功的试飞，但都没有投入使用。图1-3是美国仙童公司设计的帆翼飞行座椅。

从火箭弹射座椅的发展历史看，它基本上能够配合现代飞机的发展要求。因此，这类座椅在发展20余年后的今天，仍在飞机上大量使用，并且还没有其他更合适的救生装置来取代它。英国从马丁·贝克公司的MK-6火箭座椅发展到现在的MK-12火箭座椅，美国从洛克希德飞机公司的C-2火箭座椅发展到麦·道飞机公司的ACES-II型火箭座椅。苏联在米格23型飞机上开始装KM-1型火箭座椅。瑞典飞机公司为其Saab-35、37战斗机研制了火箭座椅。

中国也研制了HTY-3、-4型火箭弹射座椅。各国研制的火箭座椅已有20余种。性能较好的美国ACES-Ⅱ型座椅在飞机倒飞状态下弹射时，最低安全救生高度已降低到46米。

火箭弹射座椅的性能和可靠性有很大提高，但按美国空军历年的非战时应急弹射救生统计数据（见表1-1），年平均救生成功率一直在80%上下浮动，反映不出弹射座椅的技术发展。究其原因：一是随着火箭弹射座椅的改进，飞机性能也在不断提高，要求座椅的安全救生范围不断扩大。对任何一种救生装置来说，都有相应的救生能力包线。这种包线是指救生装置能完成救生任务的范围（飞行速度、高度、下沉速度、飞行姿态等）。而座椅的救生能力包线始终赶不上飞机性能包线的发展。二是事故分析表明，有些事故是因为飞行员对弹射有不安全感，没有抓住弹射时机，或是因为过分依靠某些新座椅的低空救生性能，往往作无益的延迟弹射，这种主观的错误判断使弹射条件超出了弹射座椅的安全救生范围，造成弹射失败。不论是哪种主观原因，客观上弹射座椅还没有具备在所有飞行状态下的安全救生能力。这也是今后火箭弹射座椅还有发展余地之处。目前美国正在把自动导向技术应用到弹射座椅上，它是用遥感天空和地面自然辐射的差别，使座椅沿着最短的轨迹自动导向天顶方向，以进一步改进低空救生性能。为了避免飞行员主观判断错误，造成在弹射座椅的安全救生包线外弹射，美、英等国正在研究使用仪表指示的办法给飞行员提供准确的弹射时机指令。这种仪表通过机载大气数据计算机、雷达高度表、陀螺平台等设备，把空速、高度、飞机姿态、下沉速度等参数值输入到救生能力计算机，经计算后，以剩余的必须弹射时间的形式显示在仪表上，给飞行员提供合适的弹射时机。

表 1-1 美国空军历年的非战时应急弹射救生统计表

年 分	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
总弹射数	19	67	83	178	171	241	284	304	256	294	165	240	201	160	162	142	170
成功数*	16	50	62	135	135	183	239	257	198	260	142	203	170	178	131	152	150
成功率%	84	75	75	78	79	76	84	85	77	88	86	85	85	80	81	86	88
	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	
	207	183	172	111	90	123	84	73	79	64	70	79	79	71	72	71	
	178	158	136	94	77	91	69	59	72	50	54	63	54	49	57	63	
	86	84	79	84	86	74	82	81	91	78	77	80	68	69	79	89	平均
																	81.9%

*成功数中包括包弹射后受伤但未死亡的人数

三、火箭牵引救生装置

60年代中期，美国在越南的战争中，启用A-1、T-28等低速螺旋桨轻型飞机，执行对地面观测和近距支援任务。这类飞机没有配备弹射座椅，并且也因座舱空间太小无法换装标准弹射座椅，需要寻求另外的途径解决这类飞机的飞行员救生问题。

1966年，美国斯坦利航空公司研制了火箭牵引救生装置，称为“扬基系统”。它的主要组成部分有牵引启动装置、火箭发射器、牵引火箭、牵引绳、切断器、背带系统和降落伞等。飞行员应急离机时，拉动位于椅盆前面或座椅两侧扶手上的启动装置，抛掉座舱盖，并

启动位于头靠后方的火箭发射器。在火箭点火的同时，安全带解脱机构工作，人从座椅上解脱。当牵引绳全部拉出后，牵引火箭点火，火箭推力将飞行员牵引出舱。座椅沿导轨移动时，椅盆向下折翻，人离开座舱，座椅仍留在飞机上。为防止牵引火箭喷流对人体的伤害，火箭上的两个喷口对牵引绳外倾 30° 角。火箭燃烧时，自动旋转，使喷流成伞形向四周喷射。当火箭拉紧牵引绳后，牵引绳切断器进入待发状态，一旦延迟时间结束，牵引绳和火箭便与飞行员分离；同时，牵引绳拉紧也使开伞装置进入工作状态。此时，高度时间机构决定立即开伞或延迟开伞。图1-4是火箭牵引救生装置的飞行试验示意图。

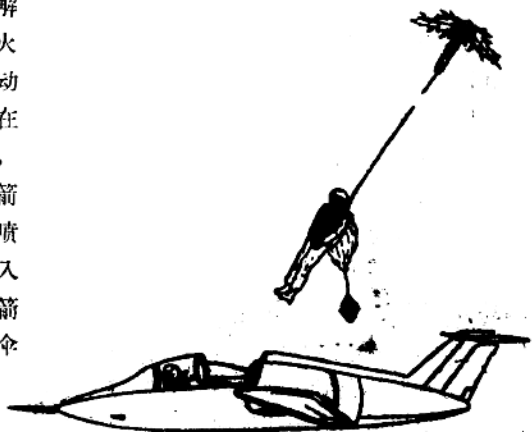


图1-4 火箭牵引救生装置飞行试验图

这种装置在越南战场上经受了考验。到战争结束时，约有500架A-1和T-28型飞机装备了火箭牵引救生装置。

根据美国统计资料，1967年至1982年期间，使用火箭牵引装置应急救生的共有83人，其中77人获救，救生成功率达92.8%。

火箭牵引座椅与弹射座椅的主要区别在于，飞行员从飞机座舱出来是靠火箭牵引，不是靠弹射机构，并且座椅留在座舱内。因此，座椅构造简单，重量轻；牵引系统结构紧凑，占空间小；飞行员承受的牵引过载小；并且火箭设计成旋转的，有良好稳定性，不存在人椅干扰或伞椅干扰问题。目前，它的救生能力为零高度、零速度、最大当量空速约为650千米/小时左右，还不适于高速军用飞机使用。

火箭牵引救生系统由于结构简单和适应性强，将为各种轻型飞机（包括轻型教练机）提供合适的应急救生装备。它还可低速运输机和直升机提供一种切实可行的空中应急救生新方法。70年代末，美国已把牵引救生装置首次用于一种供研究用的直升机上。在运输机的试飞过程中，对失速特性和全颤振包线余量等危险的试飞科目，也使用了牵引救生装置以保证试飞员的安全。运输机的座椅上方或侧方一般都没有安置应急舱口的空余位置。因此，为使飞行员在远离座位的应急舱口逃生，美国又研制了一种移动式的牵引救生装置，称之为“奥维”系统。当乘员应急离机时，首先引爆应急舱口上的爆炸索，将舱口切开。然后移动座椅到应急舱口处或离开座椅走到应急舱口处，该处放有牵引救生装置的发射器和牵引火箭，乘员将该装置连到背带系统上，启动引爆手柄，牵引装置工作，离机救生。多乘员的救生可在同一舱口处依次进行。法国A-300B型运输机的原型机和美国“李尔 风扇”2100型轻型运输机的原型机均为试飞员配备了这种移动式牵引救生装置。

四、密闭救生装置

自喷气发动机用到飞机上后，出现了数倍音速的飞机。在超音速飞行中，用敞开式弹射座椅，如没有良好的防护措施，会使飞行员伤亡。早在1946年，有远见的专家们就在考虑用密闭式救生装置解决这个矛盾。但实际的研制工作在50年代初期才开始，1950年美国古德伊

尔公司为美国海军研制出第一个救生舱，但没有得到采用。苏联苏霍伊设计局在1949年开始超音速战斗机苏-17研制时，在分离座舱的设计中，曾考虑利用炸药使包括座舱的机头部分与机体分离，分离的机头减速后，再利用弹射座椅救生。但由于种种原因，该方案也未能实现。

后来，经过技术的发展，实际在飞机上使用过的密闭式救生装置有下列三种不同式样：

1. 舱盖带离弹射座椅。这种装置由弹射座椅加座舱盖构成，见图1-5。弹射时，舱盖在飞机上的连接锁扣被打开，并随着座椅的上升，扣在座椅上，飞行员则处于舱盖与座椅之

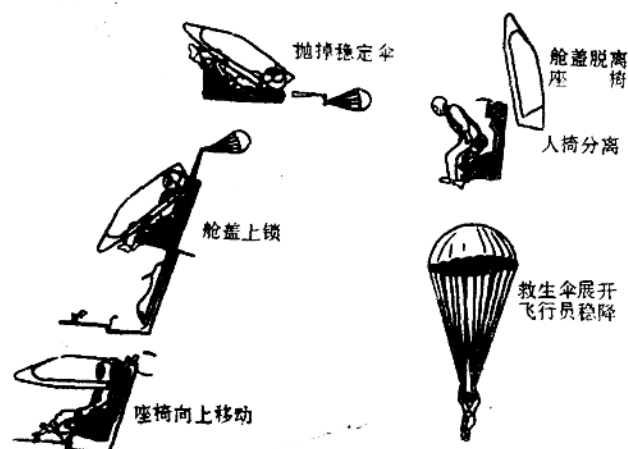
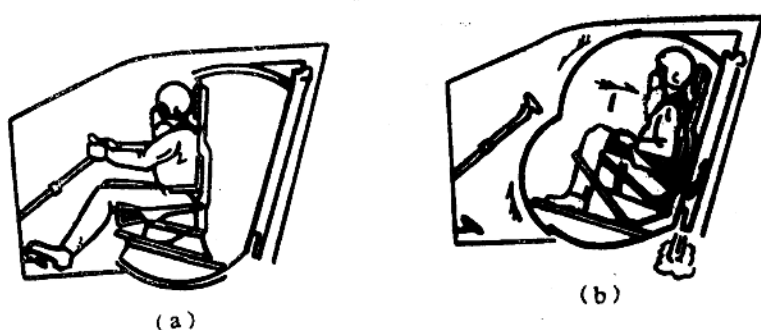


图 1-5 舱盖带离弹射程序

间，可以免受迎面气流吹袭。座椅稳定减速后，舱盖按程序自动抛掉。接着，人椅分离，救生伞展开，飞行员乘伞安全着陆。这种舱盖带离弹射装置用在苏联早期的米格-21飞机上。由于低空救生性能差，飞机平时的安全救生高度需要110米，因此，后来的米格-21改型飞机改用敞开式火箭弹射座椅。

2. 密闭弹射座椅。该座椅的外形与标准的弹射座椅差别不大，安装在飞机的驾驶舱内，见图1-6。正常飞行时，密闭门是敞开的，飞行员可以正常操纵飞机或执行其他任务。应急时，密闭门首先关闭，把飞行员密闭起来，然后再抛掉飞机舱盖，靠火箭推力把座椅推出飞机。密闭座椅进入大气以后，首先稳定减速，接着打开降落伞，飞行员则一直坐在座椅上，安全降落后飞行员才打开密闭门离开座椅。如果在陆上降落，座椅底部的减震气囊起缓冲作用；如果海上降落，该座椅还备有飘浮气囊，保证座椅能在海上飘浮。这种密闭式座椅只容纳一名飞行员，多座轰炸机要象配备一般座椅那样，给每个乘员各配备一个。这种密闭座椅由美国斯坦利航空公司研制，并用于B-58和XB-70轰炸机上。1963年美国空军的爱德华·默里曾用B-58飞机在6100米上空对这种装置进行过真人试验，获得成功。这种装置虽然由于能保护飞行员免受高速气流及高空的低压、缺氧和低温的影响而适合于高空高速救生，但和舱盖带离弹射方法一样，存在着低空救生性能差的缺点。据各国飞机弹射救生事故的统计表明，大量的应急弹射救生是在低空进行的，即使在60年代以来飞机速度和升限有很大提高的情况下，仍保持着这种趋势。密闭座椅总的救生性能不及敞开式弹射座椅，救生成功率的统计数为62%，因而在后来的新飞机设计中未被选用。



(a) 飞行中正常的座椅状态

(b) 弹射前密闭门关闭后的座椅状态

图 1-6 B-70 飞机的密闭弹射座椅

3. 分离座舱。最初出现的分离座舱是美国为F-8U和F-104等飞机设计的，其分离部分是带有机头部分的座舱段。只进行了一系列试验工作，未被采用。1961年又开始了F-111分离座舱的发展工作，也做了大量的地面、水上和空投试验。这种分离座舱不带机头部分，而只包括驾驶舱在内的一部分前机身。1964年首次飞行试验。在1967年10月的一架F-111试验机发生紧急事故中，第一次使用了这种分离座舱，两名飞行员得救。

70年代初，美国又为B-1轰炸机设计了一种与它类似的分离座舱。该舱有舱身、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，见图1-7。其工作程序由程序控制系统自动完成，见图1-8。当乘员启动弹射操纵手柄后，通过燃爆

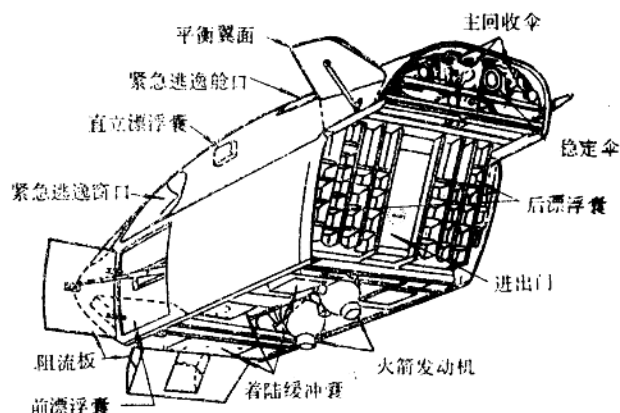


图 1-7 美国B-1轰炸机的分离座舱

系统将操作指令传输到子系统各部件，按预定程序工作。首先将乘员固定紧，接着引爆爆炸索和爆炸螺栓，将舱体与机身结构的连接板和连接接头炸断，并用以火药为动力的剪切器将飞机操纵系统和管路等切断。火箭发动机点火，将舱推离飞机。通过陀螺平台，调整火箭推力方向来稳定舱的俯仰和滚动。气动平衡面和稳定减速伞也相继打开，共同保持舱的姿态稳定并加快减速。待舱的高度和速度降到回收伞的开伞限制值以下，稳定伞被释放，并射出回

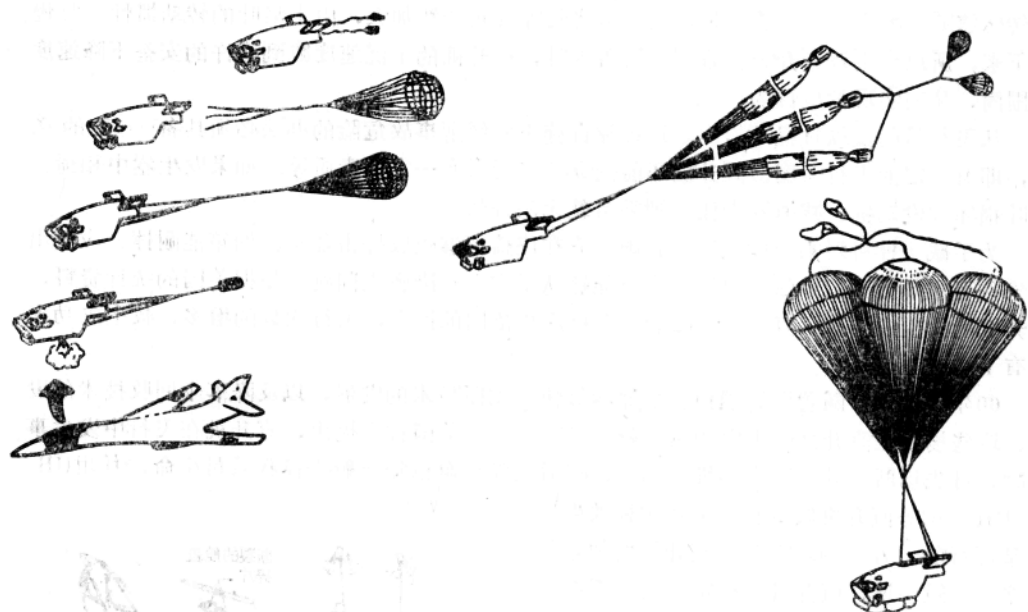


图 1-8 美国B-1轰炸机分离座舱的救生程序

收伞。在稳定伞即将释放前，两侧的阻流板打开，其作用是在稳定伞释放后和主回收伞张开前的一段过渡时间内，用来稳定座舱。舱体靠回收伞平稳着陆。着陆速度约为9米/秒。舱体底部有5个着陆缓冲囊，着陆前自动充气，着陆时，囊的泄气门被着陆冲击力冲开，以吸收冲击能量。舱的前后部有水上漂浮气囊，两侧有平衡姿态的漂浮气囊。因此舱体落水后能漂浮在水面上并且不会倒置，以便打开舱门安全脱险。

经过前3架B-1轰炸机原型机的研制表明，采用分离座舱与采用敞开式弹射座椅相比，飞机重量增加2268千克，成本和维护费用也提高很多，所以后来在B-1轰炸机上放弃分离座舱而选用了ACES-II型敞开式火箭弹射座椅作为乘员的救生装置。

虽然分离座舱有重量大、成本和维护费用高的缺点，并且目前其低空救生性能比火箭弹射座椅还差一些，但它具有良好的高空和高速救生性能，并且集座舱、应急离机装置和防护装置三种功能于一体，这正是火箭弹射座椅无法实现的，所以分离座舱还是有发展前途的。据美国的统计资料，1967~1968年间，F-111和FB-111飞机的分离座舱应急救生共86人，成功70人，救生成功率为81%。与美国空军火箭弹射座椅的平均救生成功率基本相同，并且在这些成功的救生事例中，有两起是当量空速超过了1100千米/小时，如使用敞开式火箭弹射座椅，飞行员就不一定能得救。

五、直升机救生装置

尽管为飞机乘员发展救生装置已有多年的历史，并取得了较好的成功率，但直升机的应急救生装置发展却非常缓慢。直升机乘员救生的困难在于机顶上有转动着的旋翼，乘员不能向上弹射，如果向下弹射，人机干扰概率也很大。因此，当直升机空中发生紧急事故时，主要靠自旋下滑来缓解事故危险。这时，飞行员操纵控制杆来减小桨叶角，使直升机快速下降，桨叶

自转速随随之增大。快要落地时，飞行员将桨叶攻角猛然加大，由于桨叶的转动惯性一时慢不下来，所以产生较大升力。直到最后落地时，直升机的下沉速度减到允许的安全下降速度范围内，从而实现救生目的。

从飞行员的操纵过程可看出，这种靠自旋下滑缓解事故危险的办法必须具备一定的条件，即有一定的飞行高度、直升机还能操纵、飞行员有一定的素质等。如果发生空中相撞、桨叶损坏或发动机、减速器卡住，则乘员就无法自救。

为了减少摔机对乘员的危害，各国一直在座椅能够吸收撞击能量、油箱能耐摔、应急出口安全可靠等方面想办法。但这些没有能够从根本上解决救生问题。根据美国的统计资料，直升机的救生成功率一直不高，随着直升机应用范围的扩大，飞行次数的增多，救生成功率还有下降趋势。

60年代中期，随着爆炸螺栓、爆炸索等快速切断技术的发展，以及降落伞回收技术的发展，这些技术在直升机救生中的应用就有了可能性。美国首先提出，直升机在飞行中发生事故时，可先切断桨叶和多余的机身部分，随后用降落伞稳降座舱来拯救乘员生命，并用UH-1、UH-25C等直升机做试验来证明这种救生方案是可行的。方案的缺点是使直升机增加重量过多。一般来说，直升机的推重比余量不多，增加重量后对性能的影响相应地要比飞机大，所以要付出减少有效载荷或降低升限、减少航程的代价。因此，虽然救生方案试验是有成效的，但在共后的直升机上却迟迟没有被采用。为了减轻救生装置的重量，采用火箭牵引座椅来代替整机回收是一个有效措施。70年代末，美国已将这种应急救生方案首次用于旋翼系统研究机（RSRA）上。图1-9是该研究机的救生方案。

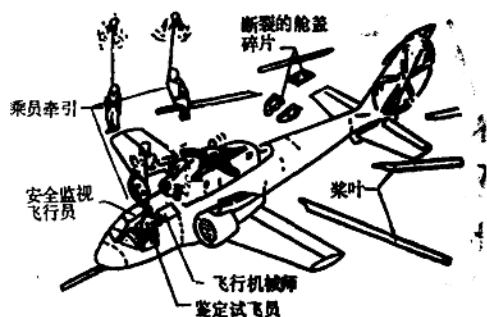


图 1-9 美国旋翼研究机救生方案

目前，用牵引救生解决直升机乘员救生问题，除美国外也受到其他一些国家的重视。如联邦德国航空航天研究试验院宣布，该院试验研究了火箭牵引救生系统，并具备了为一种具体的直升机设计救生系统的技术基础。预计直升机的救生技术将跨出实质性的一步。

第二节 环境对人体的影响

火箭弹射座椅通常装有以弹射弹为动力的弹射筒。应急救生时，首先击发弹射弹，在短时间内使座椅向上加速，脱离飞机座舱。这时乘员在座椅上经受着很大的“头-骨盆”方向的垂直过载。座椅离开飞机以后，乘员就受到迎面气流的吹袭，特别是在高速弹射救生时，迎面气流速压很大，乘员受到很大的减速过载。这时火箭启动，继续将座椅向上推，座椅连同乘员是一个自由体，在空中作6自由度运动，所以乘员受到不同方向上的气动载荷、过载、座椅旋转所产生的载荷以及随后的开伞等载荷。如果是在高空离机，则座椅连同乘员要经受高空低气压低温的考验，并在较长时间内迅速下降，待降落到一定高度后，打开救生伞，人椅分离，乘员乘救生伞缓慢降落，最后着陆。