



国防科技图书出版基金

航空应急救援系统



封文春 编著

Aviation Emergency
Escape System



国防工业出版社
National Defense Industry Press



国防科技图书出版基金

航空应急救生系统

Aviation Emergency Escape System

封文春 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

航空应急救生系统 / 封文春编著. —北京:国防
工业出版社, 2014. 4

ISBN 978 - 7 - 118 - 09278 - 3

I. ①航... II. ①封... III. ①航空安全 - 救生 IV.
①V244

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 047592 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 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 25 字数 483 千字

2014 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 119.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需

要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金 第七届评审委员会组成人员

主任委员 潘银喜

副主任委员 吴有生 傅兴男 杨崇新

秘书长 杨崇新

副秘书长 邢海鹰 谢晓阳

委员 才鸿年 马伟明 王小谟 王群书

(按姓氏笔画排序)

甘茂治 甘晓华 卢秉恒 巩水利

刘泽金 孙秀冬 陆军 芮筱亭

李言荣 李德仁 李德毅 杨伟

肖志力 吴宏鑫 张文栋 张信威

陈良惠 房建成 赵万生 赵凤起

郭云飞 唐志共 陶西平 韩祖南

傅惠民 魏炳波

前 言

无论何种飞行器都不是绝对安全的,在诸多因素的综合作用下必然有出现事故的可能性,危及乘员的生命安全,因此,必须提供安全救生措施,使乘员快速撤离危险环境,以保证乘员的生命安全。例如,美国最先进的四代飞机 F-22 目前共发生 4 起严重事故,其中在 2002 至 2010 财年,发生严重飞行事故 2 起,严重飞行事故万时率为 0.21。当我们提及救生时,首先想到的是弹射救生,实际上,根据人员数量、机型等不同可将救生系统分为弹射救生系统、应急撤离救生系统和旋翼机救生系统。弹射救生是利用弹射座椅,在飞机出现应急情况时,将人员弹离飞机,是一个自动应急离机过程。在启动救生程序后,后续过程全部是自动完成的。弹射救生几乎是从飞机出现就一直应用的救生模式,一般用于军用飞机等人员数量较少的情况。应急撤离救生是通过空中跳伞逃生,或飞机成功迫降地面或水上后,通过应急出口,在救生设备的辅助下快速撤离飞机并等待救援,是一个手动应急离机过程。在整个撤离过程中,如舱门的打开、救生设备的穿戴等都需要自身动手完成,一般应用于运输类飞机或其他乘员较多的飞机,其各项规则都是从多次事故中吸取教训逐渐完善起来的。在国外的分类中一般并不将应急撤离归于救生系统,而是将用于应急撤离的救生设备划归为机载设备类。旋翼机救生由于旋翼的存在,不同于弹射救生,有其自身的独特方式,目前主要是指直升机。随着直升机的广泛使用,直升机乘员的救生问题也日益受到各国的重视。无论弹射救生还是应急撤离,搜索、生存和营救都是必不可少的,是航空救生不可分割的部分,一般是通过救生物品和设备等辅助实施、生存训练、营救组织等实现生存营救。

关于弹射救生方面的书籍国防工业出版社已于 1977 年、1982 年和 1988 年分别出版了《降落伞技术导论》、《航空个人防护救生装备》和《航空弹射救生装备》。其后北京航空航天大学张汉滨所著《飞行器安全救生》对包括航天在内的航空、航天应急救生系统作了较为全面的介绍,其他教材、专著或多或少都参考了该书。这些书籍出版于 20 世纪八九十年代。虽说弹射座椅的基本框架已经定型,在近几十年的发展中没有大的改变,但是旨在提高弹射座椅性能的研究却并没有停止,如智能化自适应、多参数多模态控制等都是近些年弹射救生研究的重点,而且利用 CFD 仿真计算也得到了较快的发展,这些内容都是先前专著中较少涉及的。

此外,这些专著对弹射救生的描述多是从理论出发,与工程设计结合不够紧密,没有指出设计中应注意的问题或应遵循的原则。关于运输类飞机或特种飞机应急撤离的论述则由于我国在商用飞机和运输类飞机等方面的发展滞后,国内很少有该方面的专著或只是在某些章节略略提及,对座舱安全性的研究和应急撤离仿真也很少涉及,而国外对此进行了大量的研究。旋翼机的救生也存在同样的问题。

本书根据中航工业第一飞机设计研究院救生研究室多年积累的经验和作者近年来所做的理论研究,并借鉴国内外实际型号实例,从专业理论和工程应用方面对航空救生系统进行全面总结陈述,力争做到原理清晰明了,工程实例简单清楚。该书既可以用作从事航空救生系统设计人员的参考书籍,也可用作高等院校的教学参考用书。

由于不同形式的救生系统虽然有或多或少的联系,但在本质上是有所区别的,因此本书在结构安排上分为5章,第1章为概述,主要介绍了航空应急救生系统的定义、分类,分别对弹射救生系统、应急撤离救生系统、直升机救生系统以及生存和营救作了简要概述。第2章为弹射救生系统,主要介绍弹射救生系统发展历史、发展趋势以及存在的形式,重点论述了不同形式的救生系统在设计中与飞机总体的接口关系,明确了在系统设计中应注意的基本细节和遵循的原则,使读者能够全面掌握和了解弹射救生系统的基本知识以及设计要点,还介绍了弹射救生系统的组成、弹射救生基本过程、弹射救生仿真计算以及弹射救生系统试验,使读者全面掌握弹射救生基本知识,了解弹射座椅的基本组成、工作原理,掌握弹射救生仿真计算基本方法。第3章为应急撤离救生系统,首先介绍应急撤离救生系统的发展历史,然后从应急撤离救生系统的基本设计要求出发,对应急撤离救生系统作全面阐述,重点论述了撤离时间要求、应急出口要求、应急照明要求、应急撤离辅助设施等。此外,按照地面迫降应急撤离、水上迫降应急撤离和空中跳伞应急撤离3种救生模式介绍应急撤离过程,使读者能够了解应急撤离救生系统;应急撤离救生仿真及演示验证一节主要介绍应急撤离救生系统的适航演示验证要求和仿真方法,重点介绍了3种应急撤离仿真方法;最后一节结合实际飞机型号,介绍具体的应急撤离救生系统。第4章为直升机救生系统,对直升机的救生方式进行简要的介绍,重点介绍了直升机的抗坠撞设计。第5章为生存与营救,重点介绍在救生后不同环境下的生存方法。虽然搜索营救是航空救生不可缺少的步骤,但其属于另外的研究范畴,本书仅作简单介绍,不再作详细的阐述。第4章和第5章主要是根据收集到的国内外资料进行分析归纳总结而编写的,其目的在于使本书能够成为一个系统完整的介绍航空应急救生系统的书籍。书中所引文献资料均已注明,对文献作

者在此表示感谢。

本书的成稿得到中航工业第一飞机设计研究院救生研究室全体同仁的大力帮助和支持。北京航空航天大学林贵平教授、中航工业救生系统首席专家苏炳君总师、中航工业第一飞机设计研究院朱永峰副总师、中航工业第一飞机设计研究院环控救生研究所党晓民所长对本书稿进行了认真的审阅,提出了宝贵的意见和修改建议,宋文娟、周卫国、窦田天对本书稿进行了仔细的校对。在此,对所有为本书编写提供宝贵意见的专家、同仁表示深深的感谢。

编写一部详尽且有助于工程设计的航空应急救援系统的书籍是作者多年的心愿。严谨认真、求实创新是作者一贯坚持的原则,但毕竟作者水平和精力有限,书中错误在所难免,欢迎读者批评指正。若有任何建议或疑问,敬请联系作者。同时,也恳请从事航空救生领域的同行批评指正。联系方式: chunfeng@ase.buaa.edu.cn。

目 录

第 1 章 航空应急救生系统概述	1
第 2 章 弹射救生系统	5
2.1 弹射救生系统的发展概况	5
2.1.1 弹射救生发展历史	5
2.1.2 第三代弹射座椅双模态控制模式	17
2.1.3 弹射座椅发展趋势	23
2.1.4 自动弹射	33
2.2 弹射救生系统环境适应性	34
2.2.1 救生过程环境适应性	35
2.2.2 座舱环境适应性	48
2.3 弹射救生系统的构成	52
2.3.1 清除弹射通道系统	52
2.3.2 弹射座椅	61
2.3.3 指令弹射系统	79
2.3.4 轨迹发散系统	82
2.4 弹射救生基本过程	84
2.4.1 坐标系和欧拉姿态角	85
2.4.2 人椅系统的物理特征	87
2.4.3 弹射基本过程	88
2.4.4 火药动力装置性能计算	118
2.5 弹射救生仿真	128
2.5.1 弹射救生仿真技术概述	128
2.5.2 多参数多模态控制仿真	135

2.5.3	多乘员弹射仿真	148
2.5.4	微爆索破碎穿盖及聚能切割仿真	157
2.5.5	自适应推力矢量仿真	163
2.6	弹射救生系统试验	166
2.6.1	通用要求	167
2.6.2	系统试验	168
2.6.3	试验成败分类	173
2.6.4	试验测试数据及结果要求	174
第3章	应急撤离救生系统	176
3.1	概述	177
3.2	影响应急撤离的关键因素及撤离过程	184
3.2.1	影响应急撤离的关键因素	184
3.2.2	应急撤离过程	190
3.3	应急撤离系统设计基本要求	203
3.3.1	撤离时间要求	203
3.3.2	应急出口要求	205
3.3.3	标记、标示和告警要求	238
3.3.4	应急照明要求	241
3.3.5	撤离路线要求	245
3.3.6	应急氧气系统	246
3.3.7	乘员损伤标准	255
3.4	应急撤离辅助设施及救生设备	259
3.4.1	民用飞机应急撤离辅助设施	259
3.4.2	军用飞机辅助设施	273
3.5	应急撤离地面演示验证及仿真计算	279
3.5.1	应急撤离地面演示验证	280
3.5.2	应急撤离仿真	284
3.6	应急撤离系统实例介绍	311
3.6.1	B737-800飞机应急撤离系统	311
3.6.2	C-17“环球霸王”军用运输机应急撤离系统	313
3.6.3	E-2C“鹰眼”预警机应急撤离系统	316

第4章 直升机乘员救生系统·····	319
4.1 直升机发展历史概述·····	319
4.2 直升机乘员救生技术·····	321
4.2.1 抗坠毁座椅·····	322
4.2.2 火箭牵引技术·····	326
4.2.3 弹射救生·····	327
4.2.4 跳伞逃生·····	329
4.2.5 应急离机系统·····	330
4.2.6 水下逃生·····	331
4.3 直升机抗坠撞设计·····	335
4.3.1 坠撞生存基本原则·····	335
4.3.2 飞机坠撞防护范围·····	338
4.3.3 乘员危险坠撞下的耐受极限·····	340
4.3.4 约束系统·····	347
第5章 生存和营救·····	360
5.1 概述·····	360
5.2 生存·····	362
5.2.1 野外生存基本原则·····	363
5.2.2 海洋中的生存·····	366
5.2.3 沙漠生存·····	369
5.2.4 热带丛林生存·····	371
5.2.5 小结·····	372
5.3 搜索营救·····	373
参考文献·····	375

Contents

Chapter 1	Aviation Emergency Escape System Introduction	1
Chapter 2	Crew Escape System	5
2.1	Crew Escape System Development Survey	5
2.1.1	History of Crew Escape System	5
2.1.2	Dual Model Control of Third Generation Ejection Seat	17
2.1.3	Development Trend of Ejection Seat	23
2.1.4	Auto Ejection	33
2.2	Environment Accommodation of Crew Escape System	34
2.2.1	Environment Accommodation of Ejection Process	35
2.2.2	Cabin Environment Accommodation	48
2.3	Composed of Crew Escape System	52
2.3.1	Ejection Path Clear System	52
2.3.2	Ejection Seat	61
2.3.3	Ejection Command System	79
2.3.4	Ejection Track Separate System	82
2.4	Basic Process of Ejection	84
2.4.1	Coordinate and Euler Attitude Angle	85
2.4.2	Physical Characters of Man – Seat System	87
2.4.3	Basic Process of Ejection	88
2.4.4	Performance Calculate of Powder Drive Device	118
2.5	Simulation of Ejection	128
2.5.1	Ejection Simulation Technology Survey	128
2.5.2	Multi – Parameter and Multi – Mode Control Simulation	135
2.5.3	Simulation of Multi – Crew Ejection	148
2.5.4	Simulation of MDC Fracture Canopy and Explosive Cutting	157

2. 5. 5	Adaptive Control Thrust Vector Simulation	163
2. 6	Test of Crew Escape System	166
2. 6. 1	General Requirement	167
2. 6. 2	System Test	168
2. 6. 3	Catalog of Test Failure	173
2. 6. 4	Test Data and Result Requirement	174
Chapter 3	Emergency Evacuation System	176
3. 1	Introduction	177
3. 2	Key Factor of Effect Emergency Evacuation and Evacuation Process	184
3. 2. 1	Key Factor of Effect Emergency Evacuation	184
3. 2. 2	Evacuation Process	190
3. 3	Design Requirement of Emergency Evacuation System	203
3. 3. 1	Requirements of Evacuation Time	203
3. 3. 2	Requirement of Emergency Exit	205
3. 3. 3	Sign and Warning	238
3. 3. 4	Emergency Lighting	241
3. 3. 5	Evacuation Route	245
3. 3. 6	Emergency Oxygen System	246
3. 3. 7	Crew Injury Criterion	255
3. 4	Emergency Evacuation Assistant Equipment and Escape Device	259
3. 4. 1	Commerical Aircraft Emergency Evacuation Assistant Equipment	259
3. 4. 2	Military Aircraft Assistant Device	273
3. 5	Emergency Ground Test and Simulation	279
3. 5. 1	Emergency Evacuation Ground Test	280
3. 5. 2	Emergency Evacuation Simulation	284
3. 6	Example of Emergency Evacuation	311
3. 6. 1	Emergency Evacuation System of B737 – 800	311
3. 6. 2	Emergency Evacuation System of C – 17	313
3. 6. 3	Emergency Evacuation System of E – 2C	316

Chapter 4 Helicopter Crew Escape System	319
4.1 History of Helicopter Development	319
4.2 Technology of Helicopter Crew Escape	321
4.2.1 Anti – Crash Seat	322
4.2.2 Technology of Rocket Drawing	326
4.2.3 Ejection	327
4.2.4 Bailout	329
4.2.5 Evacuation System	330
4.2.6 Underwater Escape	331
4.3 Crashworthiness Design of Helicopter	335
4.3.1 Basic Principle of Crashworthiness	335
4.3.2 Protect Range of Crash	338
4.3.3 Duration Limit of Crewmember under Crash Condition	340
4.3.4 Resistant System	347
Chapter 5 Survival and Rescue	360
5.1 Introduction	360
5.2 Survival	362
5.2.1 Basic Principle of Survival in Field	363
5.2.2 Survival in the Sea	366
5.2.3 Survival in the Desert	369
5.2.4 Survival in Tropical Jungle	371
5.2.5 Summarize	372
5.3 Rescue and Search	373
Reference	375

第1章 航空应急救生系统概述

当航空器无法使用时,航空器上的乘员(机组人员和乘客)逃离飞机、降落地面(或水面),在恶劣环境中生存、被营救的全过程称为航空救生^[1]。航空应急救生系统或应急离机系统就是为完成整个航空救生过程所需要的设备、装备以及相关结构件和附件等组成的系统。在 GJB 4049—2000 中对飞机应急离机系统作了如下定义:飞机应急离机系统应由飞机结构、照明设备、应急离机通道以及保证乘员从失事飞机上进行应急离机的构件和设备所组成。在飞行、地面应急出舱和水上迫降期间,飞机应急离机系统应为乘员提供自动或手动应急离机措施。因此,航空应急救生系统可以分为自动应急离机系统和手动应急离机系统。对于中、高性能的飞机一般均需设置自动应急离机系统。选用自动应急离机系统的形式取决于应急情况时飞机的动态特性、应急离机可用时间、飞行任务危险程度、飞机结构布局、乘员环境、生存和营救的需要、乘员的数量、与飞机的接口以及飞机的飞行包线。选用自动应急离机系统的一般准则如下^[2]:

(1) 表速低于 500km/h 的飞机,可不使用弹射座椅,也可选用轻型弹射座椅、牵引火箭应急离机系统或其他动力离机系统。

(2) 表速范围在 500 ~ 1100km/h 的飞机应提供弹射座椅及与速度、高度相适应的个人装备配合使用。

(3) 表速超过 1100km/h 的飞机应提供与飞机任务相适应的应急离机系统。

自动应急离机系统一般是指弹射救生系统(aircrew escape system),而手动应急离机系统则指应急撤离救生系统(emergency evacuation system)。在民用客机的系统组成中并没有设置救生系统章节,在 S1000D“系统划分及标准编码”AVEE SNS(air vehicle, engines and equipment SNS)一章(Chapter 8. 2. 5)中将用于应急撤离的应急设备如救生筏、急救包、滑梯等归入第 25 章“设备/内饰(equipment/ furnishings)”,第 95 章“应急救生(crew escape and safety)”则专门指弹射救生。弹射救生系统一般用于人员较少、机动性能较高的军用飞机,包括歼击机、轰炸机等机型,乘员一般 1 ~ 4 名。当乘员人数大于 4 名时,很难全部采用弹射救生系统,如 B-1B 飞机,当机上有 6 名机组乘员时,指导飞行员和电子指导员是利用驾驶舱下部应急出口乘降落伞逃生,其他 4 名乘员则利用弹射座椅弹射救生,如图 1.1、图 1.2 所示^[3]。当然也有例外,如 B-52 飞机有 6 名机组乘员,全部采用弹射救生

技术,其中飞行员、副飞行员、EW 官和炮手采用向上弹射方式,领航员和雷达领航员采用向下弹射方式,如图 1.3 所示。

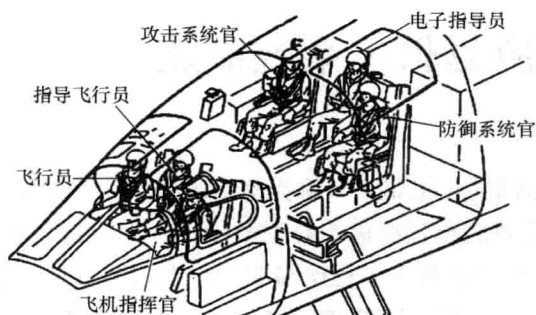


图 1.1 B-1B 机组人员位置

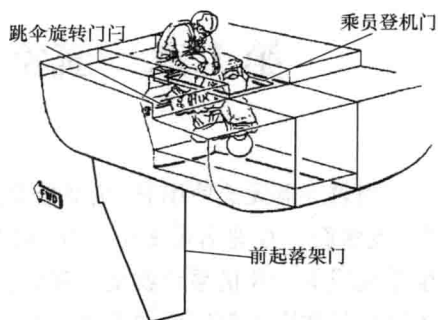


图 1.2 空中跳伞模式

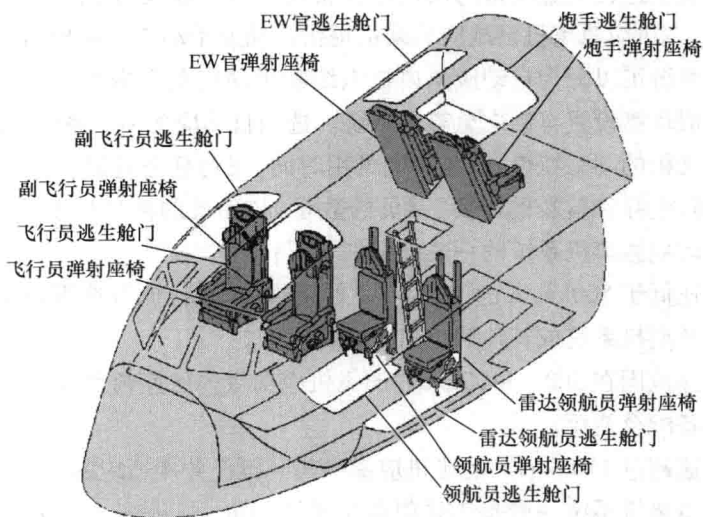


图 1.3 B-52 乘员逃生系统

应急撤离是指人员较多的情况,被营救人员在灯光、语音、标示等指引下,按顺序从应急出口快速撤离飞机的过程。在整个撤离过程中,撤离人员应具有清醒意识和自主行为。撤离过程和成功率受到撤离人员的性别、年龄、身体状况、心理素质等主观因素以及飞机舱内环境、迫降情况等客观因素的影响。根据迫降地点不同,应急撤离又可分为地面迫降应急撤离和水上迫降应急撤离,它们之间的差别在于撤离时所利用的应急出口、应急设备不同。图 1.4 所示为美国航空公司的 A320 迫降哈得孙河后的撤离过程,这是一次成功的水上迫降应急撤离,没有导致任何乘员伤亡。空中跳伞应急撤离是指飞机在遇到紧急情况,无法迫降需要弃机的情况下机组人员空中跳伞逃生过程。在运送人员时一般限制机组人员使用空中跳伞应