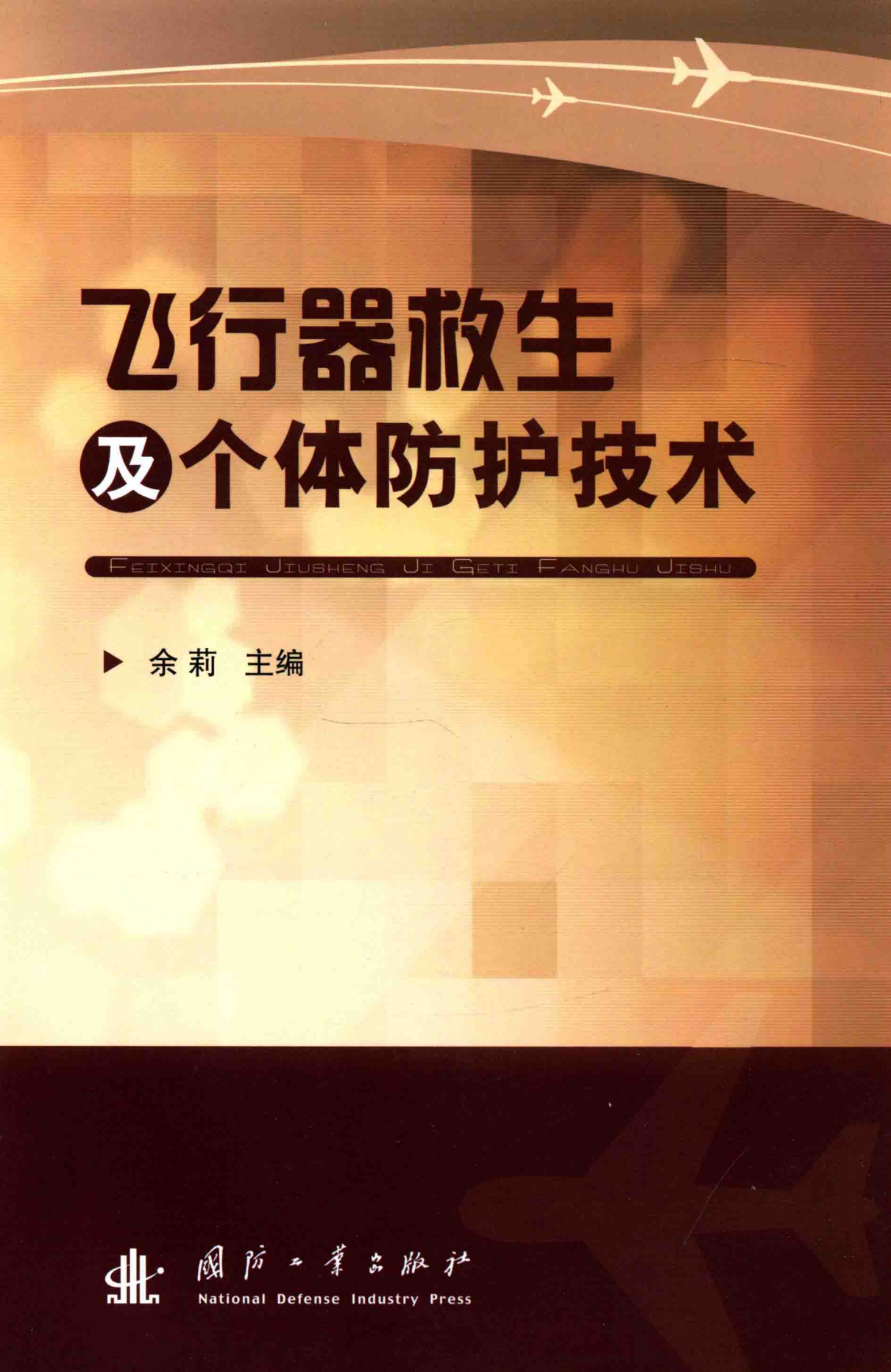




飞行器救生 及个体防护技术

FEIXINGQI JIUSHENG JI GETI FANGHU JISHU

► 余莉 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

内容简介

飞行器救生及个体防护技术

余莉 主编

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是在《飞行器救生及生命保障技术》(2009年第1版)的基础上修改增删写成的。本书以理论分析、性能计算、工程应用为重点,全面介绍了飞行器救生和个体防护的基础知识、基本理论和基本方法,力求体现近年来相关领域的一些新概念、新理论、新方法和新设备,以满足航空航天领域人才培养、科学研究和产品研制的需要。

全书共分13章。第1章介绍救生及生命保障的基础知识;第2~6章主要介绍弹射座椅系统的原理、构造、性能分析、设计原则及试验方法;第7~10章主要介绍降落伞系统的原理、构造、性能分析、设计原则及试验方法;第11、12章介绍航天飞行器等多种救生方案及救生试验技术;第13章对个体防护技术进行了重点阐述。为了便于对基本内容的深入理解和应用,每章都配有一定数量的思考题与习题。

本书是一本实用性较强的专业书,可作为高等院校相关专业教学使用,也是本专业技术人员的重要参考书。

图书在版编目(CIP)数据

飞行器救生及个体防护技术/余莉主编. —北京:国防工业出版社,2015.5

ISBN 978-7-118-10070-9

I. ①飞... II. ①余... III. ①飞行器—救生②飞行
人员—个体防护 IV. ①V244

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第088554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)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本787×1092 1/16 印张20 $\frac{3}{4}$ 字数473千字

2015年5月第1版第1次印刷 印数1—3000册 定价38.00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

前 言

安全可靠的现代飞行器若发生故障,造成的危害非常巨大。如战斗机在飞行过程中,飞机被击中而不能正常飞行,甚至机体损坏,在这种情况下,为了保障飞行员的生命安全,飞行员必须立即离机、下降、着陆(或水面)、生存待援及最后返回基地。

飞行器救生技术就是在航空(航天)飞行器处于不可挽回的情况下,拯救飞行人员生命的一门比较新兴的学科。自20世纪40年代,德国开始研制弹射救生技术以来,弹射救生技术发展迅猛。过去,飞机在应急情况下,飞行员唯一的救生设备是救生伞。但是随着飞行速度的提高,飞行员根本无法出舱,即使出舱也会因为高速气流吹袭而致伤或致死。弹射救生技术,可利用动力将飞行员连同座椅一起从飞机弹射到安全距离之外,然后再开伞下降直至安全到达地面。

现代航空(航天)人员经历的飞行环境和人类的生存环境有很大的差异,为了保障人员的安全及生活需要,必须有完备生命保障系统的气密座舱,但是当座舱失去气密或飞行人员(或航天员)必须处在舱外环境时,舱内人员便会暴露在恶劣的舱外环境中,必须为飞行员提供防护高空低压、缺氧、热应激、碰撞、过载等性能的个人防护装备。

随着航空航天技术的发展,弹射救生技术也在不断完善和提高,新概念、新理论、新方法和新设备不断涌现。因此,有必要出版一本反映上述内容的教材,以满足航空航天领域人才培养、科学研究和产品研制的需要。

本书力求内容系统、完整和新颖,使读者能较好地将技术发展和工程应用相结合,深入理解飞行器救生及生命保障系统的专业知识,全书共分13章。第1章介绍救生及生命保障的基础知识;第2~6章主要介绍弹射座椅系统的原理、构造、性能分析、设计原则及试验方法;第7~10章主要介绍降落伞系统的原理、构造、性能分析、设计原则及试验方法;第11、12章介绍直升机、航天器等多种救生方案及救生试验技术;第13章对生命保障系统及个体防护技术进行了重点阐述。为了便于对基本内容的深入理解和应用,每章都配有一定数量的思考题与习题。

本书的出版获得了南京航空航天大学重点教材建设项目的资助,武艳老师对第13章进行了审阅和修改;研究生史献林、袁文明、姚向茹、吴琼、李元伟等对书稿的顺利完成做出了贡献,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不当之处,敬请读者批评指正。

作 者

2014年11月

目 录

第1章 概论	1
1.1 航空救生系统及其发展	1
1.1.1 概述	1
1.1.2 弹射救生过程	2
1.1.3 安全救生条件	2
1.1.4 救生系统发展及展望	4
1.2 航空救生基本概念	6
1.2.1 速度	6
1.2.2 飞行包线与救生包线	7
1.2.3 乘员百分数	8
1.3 救生系统工作的大气环境及其对人的影响	9
1.3.1 温度环境	9
1.3.2 压力环境	10
1.4 航空救生装置的基本问题	12
1.4.1 救生过程中的干扰问题	12
1.4.2 救生过程中的过载及其影响	13
1.4.3 救生过程中的稳定性及其影响	20
1.4.4 高速气流吹袭及其影响	22
1.4.5 低空与高空救生问题	23
1.4.6 着陆后的生存营救问题	27
思考题与习题	29
第2章 弹射座椅构造	30
2.1 弹射座椅的功用与设计要求	30
2.1.1 弹射座椅的功用及其分类	30
2.1.2 弹射座椅的设计要求	31
2.1.3 弹射座椅的研制程序	32
2.2 弹射座椅结构及座椅系统组成	33
2.2.1 弹射座椅的本体结构	33
2.2.2 弹射通道清除系统	34
2.2.3 弹射操纵点火系统	39
2.2.4 乘员约束保护系统	39
2.2.5 弹射动力装置	42

2.2.6	稳定减速系统	45
2.2.7	座椅程序控制系统	48
2.2.8	信号传递系统	51
2.2.9	救生伞回收系统	53
2.2.10	救生包及伞氧系统	55
2.3	弹射座椅的自适应控制技术	56
	思考题与习题	58
第3章	弹射动力装置	59
3.1	弹射救生系统动力装置的应用与发展	59
3.1.1	弹射救生系统动力装置的发展与特点	59
3.1.2	弹射救生系统动力装置的分类	60
3.2	火药基本知识	60
3.2.1	火药的种类	60
3.2.2	火药的主要物理化学特征量	61
3.2.3	火药的弹道特征量	61
3.3	弹射动力装置的结构与性能	62
3.3.1	弹射筒装置结构与性能计算	63
3.3.2	火箭包装置结构与性能计算	67
3.4	弹射动力装置的试验技术	71
	思考题与习题	71
第4章	救生系统的坐标系及坐标转换	72
4.1	坐标系及坐标转换	72
4.1.1	转换矩阵推导	72
4.1.2	转换矩阵的基本性质	74
4.2	救生系统的坐标系	74
4.2.1	地面坐标系	74
4.2.2	相对坐标系	74
4.2.3	体轴坐标系	75
4.2.4	气流坐标系	75
4.2.5	航迹坐标系	75
4.3	坐标系的角度关系及转换矩阵	76
4.3.1	地面坐标系与体轴坐标系之间的关系	76
4.3.2	地面坐标系与航迹坐标系之间的关系	77
4.3.3	航迹坐标系与气流坐标系之间的关系	78
4.3.4	气流坐标系与体轴坐标系之间的关系	78
4.3.5	地面坐标系与气流坐标系之间的关系	79
	思考题与习题	79
第5章	弹射座椅性能计算	80
5.1	概述	80

5.1.1	弹射座椅性能研究手段	80
5.1.2	弹射座椅性能研究主要内容	80
5.2	人椅系统的气动特性	83
5.2.1	人椅系统的物理特征	83
5.2.2	人椅系统的气动特性	85
5.3	人椅系统对称平面内的性能计算	89
5.3.1	概述	89
5.3.2	纵向对称平面内坐标系	91
5.3.3	人椅系统出舱阶段	92
5.3.4	人椅系统离机(自由飞)阶段	99
5.4	机动飞行损失高度	104
5.4.1	基本假设	104
5.4.2	基本运动方程	105
5.5	各种参数的影响	109
5.5.1	平飞状态参数的影响	109
5.5.2	机动飞行状态参数的影响	112
5.6	人椅系统六自由度下的性能计算	114
5.6.1	计算目的和坐标系	114
5.6.2	基本假设	114
5.6.3	质心动力学方程	114
5.6.4	刚体转动动力学方程	115
5.6.5	人椅系统的运动方程	116
5.7	人椅系统运动稳定性	120
5.7.1	概述	120
5.7.2	弹射装置稳定性分析	121
	思考题与习题	126
第6章	弹射座椅的强度分析	127
6.1	作用在座椅上的载荷	127
6.1.1	概述	127
6.1.2	气动载荷	128
6.1.3	其它载荷	128
6.2	受载状态及强度计算	129
6.2.1	受载状态	129
6.2.2	弹射座椅的强度分析	129
6.3	座椅的强度试验	132
6.3.1	静力试验	133
6.3.2	振动试验	133
6.3.3	冲击试验	134
	思考题与习题	134

第7章 降落伞系统构造	135
7.1 概述	135
7.1.1 降落伞发展沿革	135
7.1.2 降落伞研究领域概述	136
7.2 降落伞的种类及作用	137
7.2.1 根据伞衣结构形状分类方法	138
7.2.2 根据伞的使用目的的分类方法	140
7.3 降落伞系统组成及结构	142
7.3.1 引导伞	143
7.3.2 伞衣套	143
7.3.3 连接绳	143
7.3.4 主伞(伞绳和伞衣)	143
7.3.5 开伞装置	144
7.3.6 脱离装置	145
7.3.7 背带系统	146
7.3.8 伞包	147
7.4 降落伞的工作过程及开伞程序	147
7.4.1 降落伞的工作过程及特点	147
7.4.2 降落伞常见的开伞程序	149
思考题与习题	151
第8章 降落伞系统性能分析	152
8.1 基础知识	152
8.1.1 透气量	152
8.1.2 附加质量	153
8.1.3 降落伞气动力	156
8.1.4 收口控制方法	160
8.2 自由坠落阶段性能分析	163
8.2.1 基本假设	163
8.2.2 控制方程	163
8.2.3 风对物伞系统运动轨迹的影响	164
8.3 降落伞拉直过程性能分析	165
8.3.1 两种拉直程序及质量变化	165
8.3.2 拉直阶段性能计算	166
8.3.3 拉直力计算的其它模型	167
8.3.4 最大拉直力估算	169
8.3.5 拉直力的影响因素	171
8.3.6 减小拉直力的措施	172
8.4 降落伞充气过程性能分析	173
8.4.1 降落伞的充气过程	173

8.4.2	降落伞的充气性能	173
8.4.3	充气过程性能计算	176
8.4.4	最大开伞动载的分析方法	181
8.4.5	开伞动载的影响因素	184
8.4.6	减小开伞动载的措施	186
8.5	降落伞稳降阶段分析	186
8.5.1	降落伞稳定阶段轨迹计算	186
8.5.2	降落伞稳定阶段高度、时间估算	187
8.6	降落伞稳定性分析	187
8.6.1	降落伞的稳定性	188
8.6.2	物伞系统稳降阶段一维稳定性分析	189
8.6.3	改善降落伞稳定性的方法	191
思考题与习题		192
第9章 降落伞设计及强度分析		193
9.1	降落伞结构设计	193
9.1.1	设计要求	193
9.1.2	伞绳设计	193
9.1.3	伞顶孔设计	194
9.1.4	伞衣结构设计	194
9.2	降落伞的强度计算	195
9.2.1	伞衣强度计算	196
9.2.2	伞衣孔口圈强度计算	199
9.2.3	伞绳强度计算	200
9.2.4	伞衣收口绳强度计算	201
9.3	降落伞的设计步骤	202
9.4	降落伞设计的主要问题及解决方法	205
思考题与习题		206
第10章 翼伞理论		207
10.1	翼伞概述	207
10.2	翼伞的典型结构	208
10.2.1	冲压式翼伞	208
10.2.2	龙骨式翼伞	209
10.3	翼伞的气动力特性	210
10.3.1	流场分析	210
10.3.2	升阻力曲线及升阻比	211
10.3.3	影响二维气动特性的因素	212
10.3.4	影响升阻比的各种因素	213
10.4	翼伞的工作过程	215
10.4.1	翼伞的牵引升空过程	215

10.4.2	翼伞的滑翔性能	217
10.4.3	翼伞的减速下降过程	220
10.5	翼伞的操纵及开伞控制方法	221
10.5.1	翼伞的操纵性	221
10.5.2	翼伞的开伞控制方法	222
10.6	翼伞结构设计	223
10.6.1	概述	223
10.6.2	翼型确定	224
10.6.3	三维翼气动性能	225
10.6.4	翼伞伞衣设计	226
10.6.5	伞绳特征长度及安装角计算	227
10.6.6	伞绳及操纵绳设计	228
	思考题与习题	228
第 11 章	飞行器应急救生装置及野外救生	229
11.1	弹射座舱及分离座舱	229
11.2	直升机救生设备	231
11.2.1	概述	231
11.2.2	直升机应急救生系统	233
11.2.3	直升机水面充气救生系统	239
11.3	旅客机应急救生设备	240
11.3.1	概述	240
11.3.2	旅客机应急救生系统	240
11.3.3	水上迫降救生设备	242
11.3.4	应急氧气设备及防火灭火设备	243
11.4	航天飞行器的救生设备及方案	245
11.4.1	概述	245
11.4.2	大气层内救生	246
11.4.3	飞行轨道上的救生方案	250
11.5	海上及沙漠救生	255
11.5.1	海上及沙漠环境对人体的影响	255
11.5.2	海上救生	256
11.5.3	沙漠救生	261
	思考题与习题	262
第 12 章	救生设备的试验与测试技术	263
12.1	概述	263
12.2	试验方法和设备	264
12.2.1	环境试验	264
12.2.2	风洞试验	264
12.2.3	地面发射试验	265

12.2.4	火箭滑车试验	267
12.2.5	空中试验	269
12.3	数据处理和分析	272
12.3.1	测试参数	272
12.3.2	数据处理	273
12.3.3	试验结果与分析	274
12.4	可靠性估计	275
12.4.1	可靠性要求	275
12.4.2	可靠性提高方案	275
	思考题与习题	276
第 13 章	飞行员个体防护技术	277
13.1	飞行防护服	277
13.1.1	概述	277
13.1.2	分压服(高空代偿服)	277
13.1.3	全压服	282
13.1.4	通风服	283
13.2	抗荷系统	285
13.2.1	概述	285
13.2.2	加压呼吸抗荷机理	286
13.2.3	抗荷服	287
13.3	保护头盔	290
13.3.1	飞行中的碰撞及头部损伤	290
13.3.2	保护头盔	291
13.4	供氧系统	293
13.4.1	概述	293
13.4.2	供氧系统及其主要参数	294
13.4.3	氧源	303
13.4.4	氧气调节器及其主要机构	305
13.4.5	氧气面罩	309
13.5	航天员防护系统	310
13.5.1	航天环境特点	310
13.5.2	航天服	313
	思考题与习题	317
	主要符号表	318
	下标含义	319

第 1 章 概 论

1.1 航空救生系统及其发展

1.1.1 概述

研究航空救生规律及其应用的学科称为航空救生学。自从 1783 年人类第一次实现气球载人飞行后,便产生了航空应急救生问题。1903 年,美国莱特兄弟首次实现了动力飞行,在飞机失事时,如何挽救飞行员的生命便提上了议事日程。

1797 年,法国人贾克思·盖曼(Jacques Gamman)从 1000m 高的气球上用降落伞安全降至地面,这是人类第一次从航空器上跳伞;1917 年,法国首先将降落伞应用于军用飞机并进行救生。第一次世界大战期间,约有 800 名气球观测员从失事的气球上跳伞成功获救。第二次世界大战中,降落伞已成为军用飞机必备的救生工具。随着飞行速度的不断提高,只靠飞行员的体力爬出座舱跳伞逃生越来越困难。当飞机飞行速度达到 500km/h,飞行员必须借助外力才能应急离机救生。

现代飞机失事时,保证飞行员顺利离机并安全救生的重要工具是弹射救生装备,它包括离机设备减速下降设备和生存营救设备三大类型(图 1.1)。其中离机设备包括弹射离机设备和非弹射离机设备(救生滑梯、火箭牵引系统等),图 1.1 中的前两个过程一般称为弹射救生过程。



图 1.1 航空弹射救生三阶段

自从 20 世纪 40 年代德国开始研制弹射座椅并从高速飞机顺利救出飞行员以来,弹射救生技术的发展相当迅速。除了弹射座椅外,密闭座舱、分离救生舱、牵引火箭、热气球等救生系统也应运而生。密闭式救生系统虽然可以较好地解决高速气流吹袭的防护问题,但由于其成本和重量太大,目前还没有得到广泛应用和发展,主要仍为弹射座椅救生系统(包括弹射座椅和救生伞系统)。弹射座椅主要保证飞行员顺利弹离飞机;救生伞系

统则保证飞行员安全着陆(或水面)。

1.1.2 弹射救生过程

当飞机失事时,飞行员采用应急离机措施,启动弹射座椅。在弹射座椅动力作用下,人椅系统迅速离机直至安全着陆。这个过程一般可划分为六个阶段。

- (1) 弹射准备:飞行员决定弹离飞机,按要求做好弹射准备姿态。
- (2) 抛座舱盖:飞行员操纵抛盖系统,抛掉座舱盖。
- (3) 弹射离机:飞行员击发弹射弹,弹射机构把人椅系统弹离座舱。
- (4) 稳定减速:人椅系统在空中作稳定减速运动。
- (5) 人椅分离:飞行员与弹射座椅脱离,飞行员借助于主伞缓慢下降;
- (6) 安全着陆。

以上是安全救生的一般过程(图 1.2),这几个阶段是连续发生的。有的阶段非常短,例如抛盖和弹射,甚至可在 0.1s 的时间内迅速脱离弹射区;有的阶段则很长,例如乘主伞下降过程。另外,对于不同的弹射座椅,其救生过程略有区别。如为了节省救生时间,省去了抛座舱盖这一程序,而是在座椅上设计有穿盖器,直接穿盖弹射。在此不一一论述。

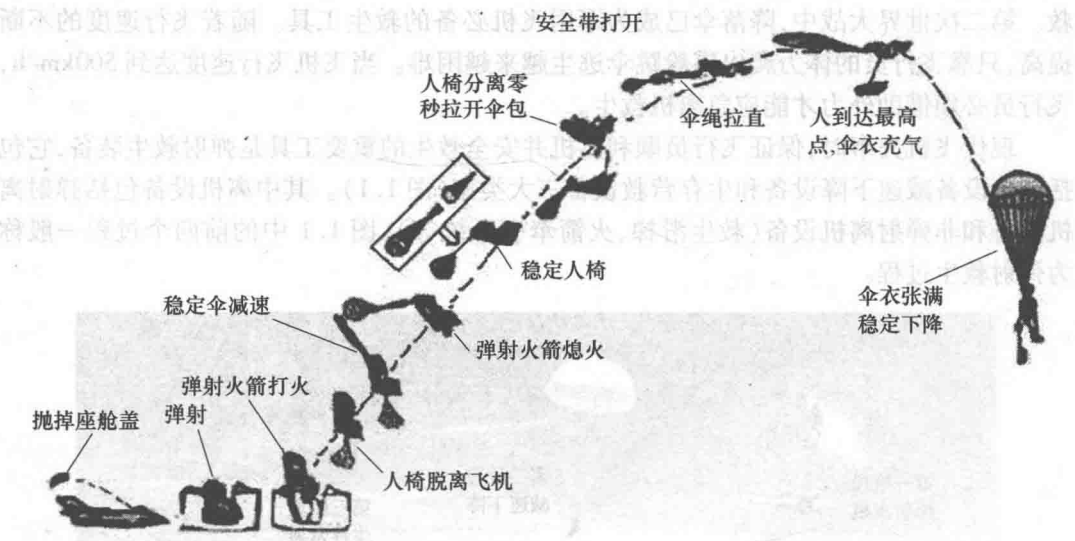


图 1.2 弹射救生一般过程

在弹射救生过程中,弹射座椅使人椅系统顺利越过飞机垂直尾翼并使飞行员达到一定的救生高度和姿态,保证救生伞系统顺利工作,以达到安全救生的目的。

1.1.3 安全救生条件

纵观弹射救生过程,保证飞行员安全救生,必须满足两个基本条件,即:保证飞行员顺利脱离飞机和保证救生设备及个人防护装备可靠地工作。

1. 保证飞行员顺利离机

是否能安全、顺利地脱离飞机不仅取决于飞行速度、飞行高度、飞机布局、弹射系统的

性能、当时的地理气象条件等各种客观因素,还与飞行员的身体素质和心理素质有关。因此,能否保证飞行员顺利脱离飞机,实际受很多因素的影响,但是从弹射救生的技术角度来讲,基本取决于下列因素是否能可靠地解决。

(1) 救生过程中的干扰问题。飞行员弹射离机时,会受到各种各样的干扰。例如,飞行员弹离飞机时,可能会碰到仪表板、座舱盖等飞机附属设备。能否顺利地避开这些障碍物,是飞行员能否顺利脱离飞机首先遇到的一个关键问题。

(2) 救生过程中的过载问题。飞行员高速弹离飞机时,会受到弹射过载、迎面气流的制动过载、开伞动载等过载作用。要安全地弹离飞机,必须保证所有过载均在人体许可的过载范围内。

(3) 救生过程中的稳定性问题。飞行员弹离飞机,会受到多种气动力及弹射力的作用。这些力一般不经过人椅系统的重心。这样,会产生旋转运动,若旋转加速度超过人体极限,飞行员便会死亡。因此,必须设计稳定性好的弹射座椅系统。

(4) 救生过程中的高速气流吹袭问题。飞行员高速弹离飞机时,高速气流的吹袭,会造成人体头颈和四肢的甩打,从而引起骨折甚至死亡。因此,不仅要提高救生系统的抗高速气流吹袭能力,也要对人体进行安全防护。

(5) 救生过程中的大气环境问题。飞机的工作大气环境差别很大,因此,飞行员在弹射离机时,也要遇到恶劣的大气环境。如由于缺氧、低压,飞行员可能死亡。因此,也要对飞行员进行安全防护。

从上述分析可以看出,飞行速度增加,将大大恶化救生条件,而座椅设计既复杂,又有一定的难度。在设计过程中,除保证应急离机外,还要保证便于操纵、满足其基本用途,再加上这类设备真实试验的困难,因此,解决这一问题的复杂性就显而易见了。

2. 保证救生设备可靠地工作

弹射救生设备主要包括弹射座椅和救生伞。对弹射座椅来讲,要保证其可靠工作,主要取决于下列条件:

(1) 弹射座椅的设计要绝对安全可靠,操纵简便,发生危险时可以使飞行员迅速脱离危险区,且弹射过载满足人体生理指标要求。

(2) 弹射座椅要有一定的弹射动力,能产生一定的弹射初速和弹射高度,迅速弹离飞机,越过垂直尾翼,离开危险区。

(3) 弹射座椅要具有一定的刚度,能承受一定的过载和旋转加速度。

(4) 弹射座椅要具有一定的稳定性,能保证飞行员的抗旋转加速度要求。

(5) 弹射座椅要有一定的气动阻力,能使人椅系统在空中迅速减速运动,具有良好的姿态,以保证救生伞能顺利开伞。

对于救生伞来讲,要保证其可靠工作,必须满足下列条件:

(1) 在较大的救生包线下均能可靠开伞。

(2) 足够的开伞高度,以保证救生伞开伞和减速到人体允许的着陆速度。

(3) 主伞要有一定的强度和较大的气动阻力,以保证伞工作可靠和人体的减速下降。

对于飞行速度不大于 300km/h 的飞机来说,用普通结构的救生伞也能保证离机后安全开伞。对于超声速飞机来讲,采用单伞系统常常无法保证上述开伞条件,常采用多伞系统进行减速下降,以保证飞行员的安全着陆速度。

综上所述,可以把飞机的弹射救生条件归结为下列几点:

- (1) 弹射救生系统在工作过程中产生的过载,应保证在人体的许可过载范围内。
- (2) 弹射救生系统要对飞行员的脸部、四肢等部位进行防护,以免受高速气流的吹袭。
- (3) 弹射救生系统要有一定的稳定性要求。
- (4) 弹射救生系统不仅能克服外界的干扰,也能防止飞行员与座椅之间的干扰。
- (5) 能有最低的救生高度,以保证救生伞开伞及减速到允许速压范围。

1.1.4 救生系统发展及展望

1. 救生系统发展历程

航空救生系统自问世以来,先后出现了用于低速飞机上的救生伞系统;用于亚声速飞机、跨声速飞机的敞开式弹射座椅系统;用于超声速飞机的封闭式(半封闭式)弹射座椅系统;用于高超声速飞机上的弹射座舱和分离座舱系统。统计数据表明:密闭式弹射座椅的救生成功率低于敞开式弹射座椅,而分离救生舱的救生成功率与敞开式弹射座椅大体相当。但由于这两种救生设备的重量都很大(例如 B-1 飞机采用分离救生舱与敞开式弹射座椅相比,飞机重量增加 2268kg),成本和维护费用很大,因而未得到广泛应用。弹射座椅救生系统是当前应用最为广泛、最为可靠的救生工具。

第二次世界大战后,弹射座椅在英国、美国、苏联等国迅速发展,成为高速军用飞机必不可少的救生设备。按照弹射座椅的救生特点及性能,可以将弹射座椅划分为:第一代弹道式弹射座椅、第二代火箭弹射座椅、第三代多态程序控制弹射座椅以及尚在试验阶段的第四代自适应控制弹射座椅(表 1.1)。

表 1.1 弹射座椅发展阶段

阶段	主要特征	典型座椅 所装飞机	研制与使用时间					
			1950	1960	1970	1980	1990	2000
1	弹射筒为动力, 解决高速飞行时救生	米格-15, F-86, 歼五, 歼六, 歼七等						
2	增加助推火箭, 解决低空救生问题	F-104, F-105, 歼六 I, 歼七 II, 歼八等						
3	具有双态程序控制系统, 解决低空不利姿态下救生	F-15, F-16, F-14, F-18, 米格-29, 苏27 (K-36)等						
4	具有可控推进系统, 具有自适应救生能力, 解决高速、超低空、不利姿态、高过载的救生	关键技术验证阶段						

第一代弹道式弹射座椅发展于 20 世纪 50 年代,采用弹射筒为弹射动力,即利用内弹道力学原理把人和座椅作为“炮弹”射出飞机座舱,使人椅系统获得一定的弹射初速,帮助人椅系统顺利越过飞机尾翼。第一代弹射座椅解决了飞机在较高速情况下的应急离机问题,主要代表为英国马丁·贝克公司生产的 MK1 型座椅、MK5 型座椅,苏联米格-15、米格-17 飞机上的弹射座椅等。

第二代火箭弹射座椅发展于 20 世纪 60 年代,在第一代座椅的基础上,使用火箭作为弹射座椅的二级动力,在第一级动力弹射机构作用下把人椅系统推出座舱后,再由火箭继续推动人椅系统向上运动,使其具有更高的轨迹,以解决 0-0 弹射救生的问题,并可以在更高的飞机飞行速度(1100km/h)下应急弹射离机。

第三代多态程序控制座椅发展于 20 世纪 70 年代,其主要特点是采用了速度高度感应装置,根据应急离机的飞行速度以及高度,采用不同的救生程序,从而缩短了救生伞低速开伞的时间,提高了不利姿态下的救生成功率。目前装机服役的第三代弹射座椅以俄 K-36 系列、美 ACES II 系列、英 NACES(MK-14)为代表。

第四代弹射座椅的发展实际始于 20 世纪 70 年代末期,其主要特点是实现了人椅系统离机后的姿态控制,其关键技术是可控推力技术和飞行控制技术。第四代弹射座椅实质上是一个自动飞行器,主要解决高速弹射救生和不利姿态下的救生问题。由于第四代弹射座椅的关键技术风险性很大,虽然经过了 20 多年的研究(如 MPES 计划、CREST 计划、第四代弹射救生技术的验证计划等),取得了很大进展,但至今尚未装机服役。

目前世界上较先进的服役弹射座椅主要有美国的 ACES II 改型弹射座椅、英国马丁·贝克公司的 MK16 型弹射座椅及俄罗斯的 K-36д-3.5 型座椅。这些座椅的救生性能均大大提高、可靠性增强,整体性能介于第三代和第四代之间,又称为 3.5 代弹射座椅。现阶段,各国作战飞机装配的弹射座椅基本上属于第三代弹射座椅及 3.5 代弹射座椅。

2. 第四代救生系统特点

弹射座椅的四个发展阶段实质上反映了弹射救生系统的发展历程。美国早在 20 世纪 80 年代初就提出了第四代弹射座椅的设想,并开始了预研工作。第四代弹射座椅也可简称为自适应座椅。主要是利用自适应控制技术、推力控制技术、高速稳定技术和高速气流防护技术进一步扩大弹射救生包线。同时提高座椅的智能控制水平,提高不利条件下的救生成功率,减少不必要的伤亡。第四代弹射座椅有如下几个特点:

(1) 提高救生性能包线及低空不利姿态下的救生能力。现代弹射座椅,除 K-36 具有 1300km/h(保护头盔)和 1400km/h(密闭式头盔)的安全弹射救生能力以外,尚不具备 1200km/h 以上的救生能力,尤其是低空高速飞行和复杂姿态弹射救生的能力。而在实际弹射时,飞机的飞行姿态大多处于不利姿态。在这些不利姿态下,飞机的离地高度至少应有 60~180m 才能保证安全弹射。但是现代飞机利用地形跟踪雷达,离地高度只有十几米,速度可达到 1400km/h,这时可利用的救生时间只能以毫秒计算,如果不采取特殊的技术和措施,整个救生程序还没完成,人椅系统可能就已着地。据统计,80% 的事故是处于低空复杂姿态。

(2) 采用可控弹射动力技术。动力系统是弹救生系统好坏的重要标志。第四代弹射座椅不仅要保证弹射状态下的最佳轨迹,而且还要保证座椅的稳定性。必须采用自适应控制技术,其主要要求是:

- ① 可改变推力大小;
- ② 可改变推力时间;
- ③ 可改变燃烧时间;
- ④ 高频率的响应技术。

(3) 采用高速稳定技术。第四代弹射座椅要求采用非常灵敏的稳定方案,除继续采用以往的稳定方案外,还可采用多个自适应喷嘴,根据自适应控制系统的指令,可改变喷管推力的大小和方向,保持人椅系统的稳定性。并且可控制人椅系统的运动轨迹。

(4) 采用高速气流防护技术。要保证在更高的速度条件下安全救生,必须采用新的高速气流防护技术。同时相应开发出飞行员四肢、头部约束和胸腹部等部位的个人防护装备,因此高速气流防护技术已得到人们的普遍重视。高速气流防护技术是一个综合性的防护技术,不仅与座椅结构有关,而且与全体防护装备(如头盔、氧气面罩、服装等)也紧密相关,必须综合考虑,进行一体化研究。

(5) 向轻小型、低成本发展。提供重量轻、结构紧凑、成本低的弹射座椅是今后的发展方向。

(6) 向通用化、标准化、系列化发展。通用化、标准化、系列化是现代救生系统的主要设计目标之一,可以有效降低成本,提高可靠性和维修性。

(7) 个人防护装备向一体化方向发展,使个人防护装备不仅能够防止化学物质的侵蚀,并且在高过载、高空、高速也能提供可靠防护,在热负荷、冷水浸泡条件下,其防护性能也很好。

(8) 重视试验技术的发展。为了验证弹射救生系统的性能,除了原有的火箭滑轨试验技术外,必须强调新的试验技术的发展。如:①采用多轴火箭滑车,能模拟飞机俯冲、偏航、翻滚的弹射离机环境;②采用高性能的仿真假人,能像真人一样感受加速度和各种气动载荷,并具有信息传递和储存能力;③具有高速气流吹袭试验台,可以方便地考核救生系统的高速防护性能;④具有用于抗坠毁座椅试验的坠毁模拟系统试验等。

新型弹射座椅是在满足飞机发展的基础上出现的。目前弹射座椅的性能在两个方面落后于飞机性能要求:①没有完全满足飞机机动性能的要求,限制了飞机高性能的发挥;②没有满足飞机大速度的要求和低空不利姿态下的救生要求,即座椅的安全救生包线达不到飞机包线。因此,近期内新型弹射座椅将趋向这两个不同的方向发展。

航空救生技术既是一门新兴的科学技术,又是一门不断发展的人、机、环境系统工程。必须按系统工程的理论进行研究和发

1.2 航空救生基本概念

1.2.1 速度

1. 表速、真速、实际速度

大家都知道,目前一般都通过空速管来测定飞行速度,空速管的基本原理符合伯努利定理,即

$$P = P_0 + Q = \text{const}$$

式中: P 为总压; P_0 为静压; $Q = \frac{1}{2}\rho v^2$ 为动压。

空速管分别感受 P 和 P_0 的大小,测量的值为两者的差值,即动压。飞机的表速又称“仪表速度”,指空速表指针直接指示的读数,用 v_b 来表示。