

飞行器

救生及生命保障技术

余莉 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

飞行器救生及生命保障技术

余莉 主编

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书汇总了 20 世纪 80 年代以来飞行器救生技术的最新成果,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生命保障的基础知识、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 13 章。第一章介绍了救生及生命保障的基础知识;第二章至第六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;第七章至第十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;第十一、十二章介绍了航天飞行器等多种救生方案及救生试验技术;第十三章对生命保障系统及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

飞行器救生及生命保障技术/余莉主编. —北京:国防工业出版社,2009.2
ISBN 978-7-118-05674-7

I. 飞... II. 余... III. ①航空安全—救生②飞行器—飞行安全 IV. V244

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 053558 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)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 18½ 字数 430 千字

2009 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 42.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

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,为了保障人员的生命安全及生活需要,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。所以必须为飞行器提供防护高空低压、缺氧、热应激、碰撞、过载等性能的生命保障及个人防护装备。

随着航空航天技术的发展,弹射救生技术也在不断地完善和提高,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 13 章。第一章介绍了救生及生命保障的基础知识;第二章至第六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;第七章至第十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;第十一、十二章介绍了航天飞行器等多种救生方案及救生试验技术;第十三章对生命保障系统及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。全书由南京航空航天大学余莉担任主编,张红英负责 8.5 节的编写,武艳对第十三章进行了审阅及修改。研究生史献林,袁文明也对书稿的顺利完成作出了贡献。

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。由于编者水平有限,书中若有不当甚至错误的地方,敬请读者批评指正。

作 者

目 录

第一章 概论	1
1.1 航空救生系统及其发展	1
1.2 救生系统工作的大气环境及其对人的影响	6
1.3 航空救生装置的基本问题	9
思考题与习题	27
第二章 弹射座椅构造	29
2.1 弹射座椅的功用与设计要求	29
2.2 弹射座椅结构及座椅系统组成	31
2.3 弹射座椅的研制程序	53
2.4 弹射座椅的自适应控制技术	54
思考题与习题	56
第三章 弹射动力装置	57
3.1 弹射救生系统动力装置的应用与发展	57
3.2 火药基本知识	58
3.3 弹射动力装置的结构与性能	60
3.4 弹射动力装置的试验技术	69
思考题与习题	69
第四章 救生系统的坐标系及坐标转换	70
4.1 坐标系及坐标转换	70
4.2 救生系统的坐标系	72
4.3 坐标系的角度关系及转换矩阵	73
思考题与习题	77
第五章 弹射座椅性能计算	78
5.1 人-椅系统的气动特性	78
5.2 人-椅系统对称平面内的性能计算	83
5.3 机动飞行情况下人-椅系统的性能计算	99
5.4 人-椅系统六自由度下的性能计算	106
5.5 人-椅系统运动稳定性	112

思考题与习题	118
第六章 弹射座椅的强度分析	119
6.1 作用在座椅上的载荷	119
6.2 受载状态及强度计算	121
6.3 座椅的强度试验	124
思考题与习题	126
第七章 降落伞系统构造	127
7.1 概述	127
7.2 降落伞的种类及作用	129
7.3 降落伞系统组成及结构	133
7.4 降落伞的工作过程及开伞程序	137
思考题与习题	141
第八章 降落伞系统性能分析	142
8.1 降落伞系统性能的基本概念	142
8.2 自由坠落阶段性能分析	150
8.3 降落伞拉直过程性能分析	151
8.4 降落伞充气过程性能分析	160
8.5 降落伞稳降阶段分析	172
思考题与习题	178
第九章 降落伞设计及强度分析	179
9.1 降落伞结构设计	179
9.2 降落伞的强度计算	181
9.3 降落伞的设计步骤	188
9.4 降落伞设计的主要问题及解决方法	190
思考题与习题	191
第十章 翼伞理论	192
10.1 翼伞概述	192
10.2 翼伞的典型结构	193
10.3 翼伞的气动力特性	195
10.4 翼伞的工作过程	199
10.5 翼伞的操纵及开伞控制方法	204
思考题与习题	206
第十一章 飞行器应急救生装置及野外救生	207
11.1 弹射座舱及分离座舱	207
11.2 直升机救生设备	209

11.3	旅客机应急救生设备	217
11.4	航天飞行器的救生设备及方案	222
11.5	海上及沙漠救生	232
	思考题与习题	237
第十二章	救生设备的试验与测试技术	239
12.1	概述	239
12.2	试验方法和设备	240
12.3	数据处理和分析	247
12.4	可靠性估计	250
	思考题与习题	251
第十三章	飞行员个体防护技术	252
13.1	飞行防护服	252
13.2	抗荷系统	260
13.3	保护头盔	265
13.4	供氧系统	267
13.5	航天员防护系统	284
	思考题与习题	290

第一章 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 时,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、降落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 中的前两个过程我们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:人椅系统在空气中作稳定减速运动。
- (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。

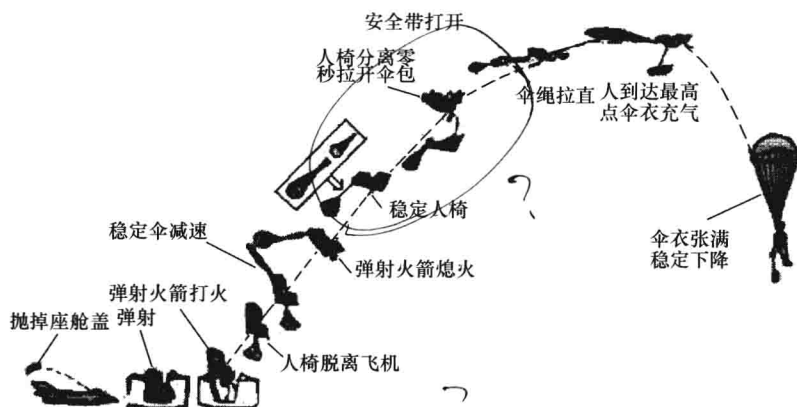


图 1.2 弹射救生一般过程

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,还和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

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,还要保证它便于操纵、满足它的基本用途,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,操纵要简便,在发生危险时,可以使飞行员迅速脱离危险区,而且弹射过载应满足人体生理指标。

(2) 弹射座椅要有一定的弹射动力,能使飞行员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。

而对于救生伞来讲,要保证其可靠工作,必须满足下列条件:

(1) 救生伞能在任何飞行条件下的许可速压范围内开伞。

(2) 人-椅离机后,自救生伞开伞前,人-椅系统必须稳定下降,有良好的姿态,以保证救生伞能顺利开伞。

(3) 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。

(4) 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与外界的干扰,也能防止飞行员与座椅之间的干扰。
- (5) 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。

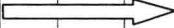
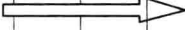
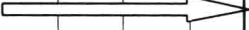
1.1.4 救生系统发展及展望

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、跨声速飞机上的敞开式弹射座椅系统;用于超声速飞机上的封闭式(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,飞机质量增加 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/年					
			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 (MK 14), 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,苏联的米格-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罗斯 K-36 系列、美国 ACES II 系列、英国 NACES(MK14)为代表。

第四代弹射座椅的提出实际始于 20 世纪 70 年代末期,它的主要特点是实现人-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。它们是介于第三代和第四代之间的弹射座椅,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(最大速度可达 1400km/h,最大马赫数达 3.0,最大高度为 21000m)。同时提高座椅的智能控制水平,可以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 60m~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,可改变喷管推力的方向和大小,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 1300km/h ~ 1400km/h 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、头部和胸腹部等部位的个人防护装备。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,它可以有效地降低成本,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袭,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,既能像真人一样感受加速度和各种气动载荷,又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的发展将趋向这两个不同的方向。

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展的。

1.2 救生系统工作的大气环境及其对人的影响

包围着地球的空气层,叫做大气。弹射座椅和救生伞都是在大气中工作的,要研究弹射救生系统,必须了解救生过程中的大气环境及其对人体的影响。

1.2.1 温度环境

1. 地区、季节性的炎热和寒冷

现代航空活动范围已遍及整个地球的各个纬度和高层大气,活动的时间不分季节、白天和夜晚。因此,一次飞行中要遇到巨大的环境温差。比如从炎夏的北京飞到南极洲

(此时正好是冬天),其温差可达到 100℃ 以上。

2. 高空低温

大气好比是空气的海洋,其温度并不是一成不变的。根据不同的气象条件和气温变化特征,大气可分为对流层、平流层、中间层、高温层和外大气层(图 1.3)。

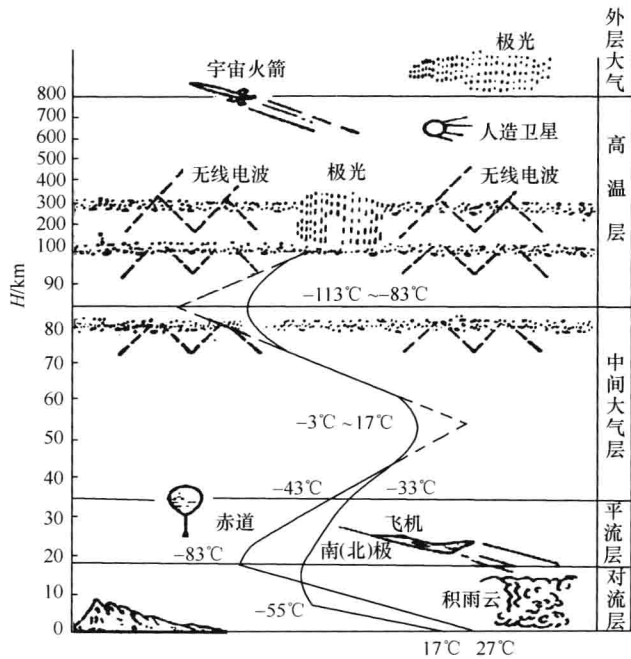


图 1.3 大气分层图

航空飞机主要工作在对流层和平流层。在对流层,高度每增加 100m,气温平均下降 0.65℃。在平流层,气温虽然略有升高,但仍低于 -30℃。因此,弹射离机到自由降落过程中,飞行人员将会受到严寒的侵袭。故高空低温是航空活动所遇到的主要“冷源”之一。

3. 气动力加热

在航空活动中,高速飞行产生的气动力加热现象是一个特殊的问题。其加热程度与速度的平方成正比。

4. 机舱的温室效应

由于座舱盖等都是由大面积的透明材料构成,因此会发生典型的“温室效应”。另外,现代高性能飞机装备的航空电子及电器设备数量大增,也是造成舱内温度升高的一个重要因素。

1.2.2 温度环境对人体的影响

1. 高温对人体的影响

(1) 循环、泌尿系统:高温会使人体大量出汗,势必引起肌体缺盐,细胞外钠离子降低,使水分迅速从肾脏排出,加重肾脏负担,甚至出现肾功能不全;细胞外体液减少,血液浓缩。在高温环境中继续工作,常会使动脉血压增加,加重心脏负担。

(2) 消化、神经系统:高温会导致食欲减退和消化不良。同时,神经系统表现为注意力不集中,肌肉收缩能力、动作的协调性和准确性均会降低。

(3) 对工作能力的影响:高温会使人体工作能力降低,对异常环境的耐受能力也降低,如缺氧耐力、过载耐力均会降低。

2. 低温对人体的影响

低温会使人体肢体冻伤,从而产生疼痛感;同时,在低温下,肌肉紧张,关节僵硬,手的精细灵巧度及双手协调能力都显著降低,严重影响飞行员在救生过程中的救生能力。

1.2.3 航空活动中如何考虑温度的影响

航空活动中应充分考虑温度对人体的不利影响,尽量使飞行员在温度舒适区工作。因此,在飞机设计时,要有飞机空调装置,使驾驶舱、工作舱等维持合适的温度范围。在弹离飞机后,要对飞行员进行防护,以免受到低温气体的伤害。

1.2.4 航空中的压力环境

在海平面上,标准大气条件下,压力为 101325Pa,密度为 1.225kg/m^3 。大气的压力和密度均是随高度而变化的,高度越高,压力和密度就越低,航空飞行员一般工作在低压环境中。在理想气体状态下,其压力、密度满足如下公式:

$$\begin{aligned} 0 < H \leq 11\text{km} \quad p_H &= p_0 \left(1 - \frac{H}{44300} \right)^{5.256} \\ \rho_H &= \rho_0 \left(1 - \frac{H}{44300} \right)^{4.256} \end{aligned} \quad (1-1)$$

$$\begin{aligned} 11\text{km} < H \leq 30\text{km} \quad p_H &= 22613e^{-\frac{H-11000}{6340}} \\ \rho_H &= 0.3636e^{-\frac{H-11000}{6340}} \end{aligned} \quad (1-2)$$

式中 H ——以海平面为零点的计算高度(m);

p_H, ρ_H ——相应高度上的压力和密度(单位分别为 Pa, kg/m^3)。

1.2.5 压力环境对人体的影响

大气压力降低主要对人体有两方面的影响:①大气中氧分压降低所引起的高空缺氧;②高空低气压对人体机理所发生的物理性影响。

1. 高空缺氧对人体的影响

空气压力降低,氧分压也随之降低,造成人体缺氧。一般有三种缺氧情况:

(1) 爆发性高空缺氧。一种瞬间发生的缺氧情况,发展迅速(仅为 0.1s ~ 1s),是一种程度极为严重的高空缺氧。

(2) 急性高空缺氧。持续时间为数分钟到几个小时的急性暴露缺氧。

(3) 慢性高空缺氧。长期或反复暴露于轻度或中度的低氧环境下所造成的缺氧。

缺氧时,其症状常表现为头痛、视力模糊、恶心呕吐、肌肉无力、运动不协调、情绪反应异常、智力功能障碍以及气短、心悸、发绀等。在缺氧时,应对飞行员供给氧气,以保证正

常工作。

2. 高空低气压对人体的影响

(1) 高空胃肠胀气。胃肠中的气体仍近似服从理想气体状态方程,当压力降低时,体积膨胀,引起胃肠胀气。其主要症状表现为腹胀和腹痛。腹胀、腹痛又能反射性地引起植物性神经机能障碍,从而使人面色苍白、出冷汗、动脉血压下降甚至晕厥,严重影响飞行安全。

(2) 高空减压病。当气压降低时,溶解在体液或脂肪中的气体便呈过饱和状态,过多的气体游离出来,刺激神经系统和循环系统。其主要症状表现为皮肤痒痛、蚁走感或异常的冷热感觉;四肢疼痛无力;同时,胸痛并呼吸困难,有窒息感。在神经系统方面主要表现为视觉机能障碍(如复视、视觉模糊等)和头痛。

(3) 体液沸腾。人体结构组成,水分约占体重的 70%,当气压降到一定程度时,人的体液沸腾。主要症状表现在组织气肿(如整个身躯变粗、变大);蒸气胸,引起胸内压过高,影响人体呼吸;血液被气泡所代替,影响血液循环,造成生命危险。

对于爆炸性减压,还会使人造成机械性损伤。如减压瞬间,飞行员可能刮出舱外或与外物碰撞,造成重伤。

另外,对于气压突然变化的场合,也会造成中耳及鼻窦的气压性损伤。主要是因为耳膜和鼻窦开口具有单向活门的作用。当外界气压增高时,气体不能进入腔内,使腔内形成较大负压。主要症状表现为:耳鸣、眩晕、恶心,甚至鼓膜破裂,造成永久性损伤;也可使鼻窦粘膜充血,产生疼痛。

1.2.6 航空中如何考虑压力环境对人体的影响

航空过程中,压力过大的变化和低压环境都是对人极为不利的。因此,应尽力避免或对人体加以防护。比如设计环控座舱,使人在舒适压力区工作,弹射时,穿上防护服、抗荷服、防护头盔等,使人体免受伤害,同时救生设备装备上救生用供氧系统。

1.3 航空救生装置的基本问题

1.3.1 航空救生基本概念

1. 表速、真速、实际速度

大家都知道,目前都是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:

$$P = P_0 + Q = \text{常数}$$

式中 P ——总压;

P_0 ——静压;

$Q = \frac{1}{2}\rho v^2$ ——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。

$$v_b = \sqrt{2Q/\rho_0} \quad (1-3)$$

飞机的真速指飞机相对于未扰动空气的速度,用 v_z 来表示。若按理想状态考虑,则可得:

$$v_z = \sqrt{2Q/\rho_H} \quad (1-4)$$

上面两式中, ρ_0 表示标准大气条件下,海平面上未扰动空气的密度。 ρ_H 则表示标准状态下,相应高度上理想气体的密度。

上述两个方程表示的均是飞机在理想状态气流中的表速和真速,但一般来说,飞机不可能是理想状态的气流中飞行。这时,我们设它所处气流的密度为 $\rho_{\text{实际}}$,是该瞬时飞机所处环境的实际空气密度,这样就得到飞机的实际速度:

$$v_{\text{实际}} = \sqrt{2Q/\rho_{\text{实际}}} \quad (1-5)$$

空速管所测的动压值应为 $Q = \frac{1}{2}\rho_{\text{实际}}v_{\text{实际}}^2$,若换算成表速,则 $v_b = \sqrt{2Q/\rho_0}$;若换算成真速,则 $v_z = \sqrt{2Q/\rho_H}$ 。计算真速时,所取密度值为空气标准状态的密度值。

飞机飞行往往不可能在标准状态下,而是在真实条件下。一般来说,当温度接近 15°C ,压力接近标准大气的压力值时,真速是比较能反映飞机的实际飞行速度的;而在冬天温度低、气压高的情况下,空气密度比较大,实际速度比真速小;在夏天温度高、气压低的情况下,空气密度比较小,实际速度比真速大。

2. 地速、空速、风速度

救生系统质心相对于大地的速度称为对地速度(绝对速度),简称地速,以符号 $\vec{v}$ 表示。救生系统质心相对于未受扰空气(即远方空气)的速度称为对空速度(相对速度),简称空速,以 $\vec{u}$ 表示。空气的移动速度称为风速(牵连速度),以 $\vec{w}$ 表示。它们之间的关系是:

$$\vec{v} = \vec{u} + \vec{w} \quad (1-6)$$

当大气为静止不动,即风速为 0 时,救生系统的地速与空速是一致的。它们统称为飞行速度。

3. 飞行包线与救生包线

飞机机动飞行时,飞行速度、高度和攻角等因素必须综合考虑,它们形成的对飞机飞行限制的图形描写即为飞机的飞行包线。

图 1.4 为 F/A-18E 的飞行包线,实线表示最大推力,虚线表示军用推力。包线位置随着马赫数、高度的变化而变化。

在研究救生装置的性能时,必须将飞机救生装置的速度、高度、距离和攻角等因素统一综合考虑,它们形成的对可救生范围限制的图形描写即为飞机救生装置的救生包线。

当前我国常用最低安全救生高度曲线来描述座椅的救生包线。当小于最低安全救生高度时,救生伞还来不及打开,不能可靠救生。图 1.5 为某型座椅弹射时飞机表速为 250km/h ,飞机下沉率为 0,不同飞机俯冲角下(A、B、C)的救生包线图。

4. 乘员百分位数

根据人体测量学的统计方法,把人体某一测量数据,如人体体重,由小到大分成一百个数段,用每一数段表示人体尺寸大小,则每一数段的数字称为乘员的百分位数。例如,