

卓越工程师教育培养计划配套教材

飞行技术系列

飞行人因工程

陈力华 李永平 王悦 陈鑫 编著



清华大学出版社

卓越工程师教育培养计划配套教材

飞行技术系列



飞行人因工程

陈力华 李永平 王悦 陈鑫 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书主要介绍了在飞行过程中最主要的因素——人的因素,即与飞行员有关的各种要素,包括飞行事故中人的因素剖析、飞行中飞行员的视觉和呼吸系统、飞行员酒精与药物滥用、飞机座舱环境与机组资源管理、飞行技能的养成、飞行空间定向、飞行应急管理以及飞行员心理选拔等方面的内容,使飞行员熟练地掌握在飞行过程中自身各因素与飞行安全的关系。

本书不仅适合飞行技术专业的学生使用,也可以供航空企事业单位相关人员作为培训教材使用。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

飞行人因工程/陈力华等编著.--北京:清华大学出版社,2012.7

(卓越工程师教育培养计划配套教材·飞行技术系列)

ISBN 978-7-302-29070-4

I. ①飞… II. ①陈… III. ①飞行一人因工程—教材 IV. ①V323 ②TB18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 128236 号

责任编辑:庄红权 赵从棉

封面设计:常雪影

责任校对:刘玉霞

责任印制:张雪娇

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京世知印务有限公司

装 订 者:三河市漂源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:15.75

字 数:376 千字

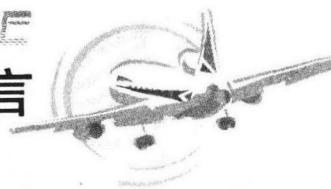
版 次:2012 年 7 月第 1 版

印 次:2012 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:32.00 元

产品编号:046437-01



我国“十二五”发展规划的重点建设目标之一,是根据国民经济发展对民航业的要求,不断扩充与优化配置航线和飞机等资源。在民航业持续快速发展的同时,必然会使飞行专业技术人才高度匮乏。在《中国民用航空发展第十一个五年规划》中,中国民用航空局对未来20年全行业人才需求进行了预计分析,其中,“十二五”期间需增加飞行员16500人。因此,飞行技术人才的培养是推动或阻碍民航发展的关键。

与其他本科专业相比,飞行技术专业的学生除了学习掌握飞行原理、飞机系统、航空动力装置、航空气象、空中领航、机载设备、仪表飞行程序设计、空中交通管制等飞行技术的专业知识外,还需具备一定的管理能力和较高的英语水平。并且,飞行技术专业人才的培养多采用学历教育与职业教育同步实施的模式,要求同时取得学历、学位证书和职业技能证书(飞行驾驶执照)后,才有资格担任民航运输机副驾驶员。

飞行技术人才培养具有专业性强、培养难度大和成本高的特点。伴随着大型民用运输机的生产与发展,必然要求提高飞行员的学历层次。国内设置飞行技术本科专业的高等院校仅有中国民航飞行学院、中国民航大学、北京航空航天大学、南京航空航天大学、上海工程技术大学等几所。而且,培养学士学位飞行技术人才的历史仅二十多年,尽管积累了一定的培养经验,但适用的专业教材相对较少。

在飞行技术专业的学科建设中,上海工程技术大学飞行学院和航空运输学院秉承服务国家和地区经济建设的宗旨,坚持教学和科研相结合、理论和实践相结合。2010年,上海工程技术大学飞行技术专业被列为教育部卓越工程师教育培养计划的试点专业,上海工程技术大学被列为教育部卓越工程师教育培养计划的示范单位。为满足飞行技术专业卓越工程师教育培养的需要,上海工程技术大学从事飞行技术专业教学和研究的骨干教师以及航空公司的业务骨干合作编写了“卓越计划”飞行技术系列教材。

“卓越计划”飞行技术系列教材共20本,分别为《运输机飞行仿真技术及应用》、《飞行人因工程》、《机组资源管理》、《飞行运营管理》、《民用航空法概论》、《空中交通管理基础》、《飞机系统》、《航空动力装置》、《飞机空气动力学》、《飞机飞行力学》、《飞行性能与计划》、《仪表飞行程序设计原理》、《航空机载电子设备》、《航空气象》、《空中领航》、《陆空通话》、《飞行专业英语(阅读)》、《飞行专业英语(听力)》、《飞行基础英语(一)》、《飞行基础英语(二)》等。

系列教材以理论和实践相结合作为编写的理念和原则,具有基础性、系统性、应用性等



特点。在借鉴国内外相关文献资料的基础上,坚持加强基础理论,对基本概念、基础知识和基本技能进行详细阐述,能满足飞行技术专业卓越工程师教育培养的教学目标和要求。同时,强调理论联系实际,体现“面向工业界、面向世界、面向未来”的工程教育理念,实践上海工程技术大学建设现代化特色大学的办学思想,凸显飞行技术的专业特色。

系列教材在编写过程中,参阅了大量的中外文参考书籍和文献资料,吸收和借鉴了现有部分教材的优势,参考了航空运输企业的相关材料,在此,对国内外有关作者和企业一并表示衷心的感谢。

受编者水平和时间所限,书中难免有错误和遗漏之处,敬请读者提出宝贵意见,不足之处还请同行不吝赐教。

上海工程技术大学 汪泓

2012年1月



随着科学技术的不断发展,飞行器的设计、制造水平也在不断取得长足的进步。飞机作为人类智慧结晶,从发明到现在也不过百余年,但现代民航飞机的型号从 B707 到 B787,从 A300 到 A380,其更新换代时间间隔越发短暂,而飞机本身在科技发展的促进下越发安全和可靠。然而,民航飞机作为交通工具,需要人去操纵、修理和管制,于是人成为影响飞机安全的最大因素。

历年所统计的飞行事故表明,由于人为的差错或失误引起飞行事故的比例在不断攀升,未来在飞行事故中所占比例可能达到 90% 以上,其原因有飞行员操纵不当、机务维修差错、陆空通话误解等。在所有由人所引起的飞行事故中,飞行员引起的飞行事故比例占到了 70% 以上,因此研究飞行中人的因素对于飞行安全极为重要。

飞行中与人有关的因素很多,如人本身的因素、人与环境的因素、人与硬件的因素、人与软件的因素、人与人之间的因素等,这些因素如果处理不当都有可能引起飞行事故。可见,研究飞行中人的因素是一个庞大的系统工程。所以本书命名为《飞行人因工程》,主要论述与飞行有关的飞行员生理特征、心理活动、技能养成、座舱环境、机组间配合以及飞行事故的统计等知识。

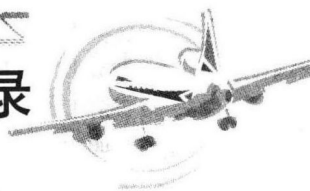
基于这一思路,本书在内容体系上的设计是:全书共 10 章,分别从飞行事故与人的因素、飞行中的视觉、呼吸系统、酒精与药物滥用、飞机座舱环境与机组资源管理、飞行空间定向与飞行错觉、飞行应激与应激管理、飞行技能的养成以及飞行员心理选拔等方面进行论述,力求凝练出一个科学、完整、有效的教材框架体系。

本书由上海工程技术大学陈力华负责统稿,由陈力华、李永平、王悦、陈鑫共同编写完成。在编写过程中,参考了国内其他民航院校的相关教材、部分航空企业的规章及行业标准,在此一并致谢!

本书不仅适合飞行技术专业学生使用,也可作为航空企业相关人员的培训教材。限于编者水平以及时间紧迫,书中难免存在错误和不足,真诚地希望广大读者批评指正。

编 者

2012.5



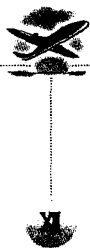
第 1 章 绪论	1
1.1 定义	1
1.2 研究目标与意义	2
1.3 研究性质与范围	3
1.4 发展历程	5
本章小结	7
复习与思考	8
阅读材料 解决飞行安全中人的因素的可行性建议	8
第 2 章 飞行事故与人的因素	10
2.1 飞行事故	10
2.1.1 飞行事故的定义	10
2.1.2 飞行事故的调查方法	11
2.1.3 飞行事故的影响	21
2.2 飞行安全	22
2.2.1 国际航空安全局势	23
2.2.2 国内航空安全局势	26
2.2.3 未来十年中国民航安全展望	28
2.3 飞行事故的原因与分类	30
2.4 飞行事故中人的差错	32
2.4.1 人的差错分析	32
2.4.2 人的差错预防	34
本章小结	38
复习与思考	38
阅读材料 围剿机组人员人为差错的六道“封锁线”	39
第 3 章 飞行中的视觉	46
3.1 眼睛的结构	46
3.1.1 眼睛的构成	46



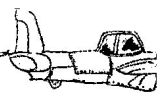
3.1.2 眼球壁的分层	47
3.1.3 眼内腔和内容物	48
3.1.4 眼球的卧室——眼附属器	50
3.2 眼睛的功能	53
3.2.1 视觉的形成	53
3.2.2 视力的发育过程	56
3.2.3 眨眼的作用	56
3.2.4 眼睛的保护神——眉睫的作用	57
3.2.5 眼睛的洗涤剂——眼泪水的功用	58
3.3 夜间视觉	59
3.4 视性错觉及预防措施	59
本章小结	62
复习与思考	62
阅读材料 错觉——飞行安全的大敌	62
第4章 呼吸系统	66
4.1 呼吸系统概述	66
4.1.1 总体结构和功能	66
4.1.2 呼吸的基本概念	68
4.1.3 呼吸的调控	70
4.1.4 呼吸系统的其他功能	70
4.2 高空缺氧	71
4.2.1 高空缺氧的分类与意义	71
4.2.2 急性高空缺氧	73
4.2.3 过度通气	90
4.2.4 爆发性高空缺氧	93
4.3 大气压效应	98
4.3.1 中耳气压性损伤	98
4.3.2 高空胃肠胀气	99
4.3.3 高空减压病	100
本章小结	101
复习与思考	101
阅读材料 飞行员急性高空缺氧致严重事故征候一例	101
第5章 酒精与药物滥用	103
5.1 毒品应用的简要历史	103
5.2 酒精和药物依赖	106
5.3 镇静药物	110
5.4 兴奋剂	112
本章小结	113



复习与思考	114
阅读材料 饮酒对飞行的影响	114
第 6 章 飞机座舱环境与机组资源管理	115
6.1 座舱环境的控制	115
6.1.1 座舱的人因设计	116
6.1.2 座舱氧气控制	118
6.1.3 座舱温度控制	119
6.1.4 座舱湿度控制	121
6.1.5 座舱压力控制	121
6.2 座舱机组资源管理	122
6.2.1 机组成员的交流	123
6.2.2 驾驶舱的领导艺术	126
本章小结	132
复习与思考	132
阅读材料	132
第 7 章 飞行空间定向与飞行错觉	136
7.1 飞行空间定向	136
7.1.1 飞行空间定向的定义和特点	136
7.1.2 飞行空间定向的感觉器官	138
7.1.3 飞行空间定向的分类	138
7.2 飞行错觉	140
7.2.1 飞行错觉的定义	140
7.2.2 飞行错觉的特点	140
7.2.3 飞行错觉的分类与表现形式	141
7.2.4 飞行错觉的诱因与预防措施	153
本章小结	156
复习与思考	157
阅读材料 韩军澄清称战机接连坠毁传言:飞行错觉导致	157
第 8 章 飞行应激与应激管理	158
8.1 应激概述	158
8.1.1 应激的定义	158
8.1.2 应激源及应激的种类	159
8.1.3 应激反应的阶段	162
8.1.4 应激对飞行员绩效的影响	163
8.2 飞行中的常见应激源及应激	166
8.2.1 环境或生理性应激源	166
8.2.2 心理性或情绪性应激源	168



8.3 飞行应激管理	170
本章小结	174
复习与思考	175
阅读材料 几起飞行员应激事件	175
第9章 飞行技能的养成	177
9.1 飞行技能	177
9.2 飞行人员的判断与决策	184
9.2.1 飞行员判断与决策的过程	185
9.2.2 影响飞行决策的因素	187
9.2.3 提高判断能力的途径	190
9.3 养成方法及其影响因素	194
本章小结	200
复习与思考	200
阅读材料 飞行员是怎样“炼”成的——九级台阶攀爬史	201
第10章 飞行员的心理选拔	206
10.1 飞行员心理选拔的发展和现状	207
10.1.1 国外飞行员心理选拔发展概况	207
10.1.2 国外飞行员心理选拔的发展趋势	208
10.1.3 我国民航飞行员心理选拔现状	209
10.2 飞行员心理选拔的方法	210
10.2.1 飞行职业对心理品质的要求	211
10.2.2 飞行员心理选拔的原则	214
10.2.3 飞行员心理选拔的流程	215
10.2.4 飞行员心理选拔检测的内容	216
10.2.5 飞行员心理选拔的方法	218
10.3 飞行员心理选拔的质量评价与标准	223
10.3.1 飞行员心理选拔质量的评价指标	223
10.3.2 飞行员心理选拔的评价标准及预测性	224
10.4 心理选拔的组织实施和心理学鉴定	228
10.4.1 民航飞行员心理选拔的特点	228
10.4.2 飞行员心理选拔的一般程序	229
本章小结	230
复习与思考	230
阅读材料	230
材料一：所上高校直接挂钩未来职业	230
材料二：现场直击中国最严格体检之一	232
参考文献	235



绪 论

关键词

人因工程学(human factors engineering)

人为因素(human factor)

飞行安全(flight safety)

航空安全(aviation safety)

飞行人因工程是人因工程学在飞行技术领域的应用与实践,它是多个学科交叉的产物,主要包括航空心理学、航空工效学、航空医学、航空生理学、人体测量学、生物力学、飞行事故调查学以及统计学等学科,学好本门课程需要宽广的知识面。本章重点介绍了飞行人因工程的定义、研究目标与意义、研究性质与范围及其发展历程。

1.1 定义

1. 人因工程学

人因工程学是一门新兴的、正在迅速发展的交叉学科,涉及多种学科,如生理学、心理学、解剖学、管理学、工程学、系统科学、劳动科学、安全科学及环境科学等,应用领域十分广阔。因此,在本学科的形成和发展过程中,各学科、各领域、各国家的学者从不同角度给该学科下定义、定名称,反映不同的研究重点和应用范围,至今仍未统一。

常见的名称有以下几种。

(1) 人类工效学,或简称为工效学,英文是 Ergonomics。这个名称在国际上用得最多,世界各国把它翻译或音译为本国文字,目前我国国家一级学会的正式名称也是“中国人类工效学学会”,相应出版的学术刊物命名为《人类工效学》。

(2) 人因工程学(human factors engineering)或人的因素学(human factors)。在美国和一些西方国家用得最多,常在核电工业、一般生活领域或生活用品设计中使用,我国用这个名称的也比较多。

(3) 人机工程学(ergonomics 或 man-machine engineering)或人机学。这是我国对 Ergonomics 的最早翻译名称,至今工程技术方面大多数人还喜欢用这个名称。

(4) 人-机器-环境系统工程学(man-machine-environment systems engineering)。我国航空航天领域首先采用人-机器-环境系统工程学这个名称,它涵盖的学科内容更为广泛。



人为因素(human factors)通常是指与人有关的任何因素。国际上对它的定义是爱德华兹(Edwards)教授指出的,即“人为因素是通过系统应用人为科学,在系统工程框架中优化人与其活动的关系”。Edwards 教授对“活动”进一步解释为:活动是指人与人之间的通信交流以及人与团队的行为。在系统工程中人为因素研究概念是指:相互影响的工程领域的从业人员必须做出决策时,人为因素专业研究人员应了解他们的目标、方法、困难和限制。人为科学是研究人的有机体、本性、人的能力和极限以及在单独工作与团队工作时的行为,这些人为因素都是机组资源管理关心的问题。

2. 人因工程学在飞行中的应用——飞行人因工程

国际民航组织对民航中的人为因素作了这样的定义:人为因素是关于人的学科;关于在工作和生活环境中的人;关于人与飞行设备、过程及环境的关系;关于人与其他人的关系。民航人为因素包括航空系统中人的所有特性,它利用安全科学框架,通过对人体科学的应用,以寻求人的最佳表现,实现安全和效率的目标。

飞行人因工程(飞行中人的因素)是一个特殊的人-机-环境系统。现代飞机价格昂贵,乘员众多,一旦发生事故,就会给航空界乃至全世界带来一次强力的冲击。虽然飞机上乘客众多,但是飞行安全最终要靠仅有的几位机组成员来保证,机组成员的不安全行为最容易导致飞行事故的发生。

从涉及的人员来看,在航空活动中,涉及方方面面的工作人员,这些人员包括飞行人员、空中交通管制员、航空器维修人员等,他们中的任何一环都可能对航空安全造成重要的影响。

1.2 研究目标与意义

人-机-环境系统初期,由于机械不完善、可靠性差、工作环境恶劣等因素,导致事故频繁发生。随着规章管理和设计技术的进步,机械可靠性提高,引起事故原因中的技术(机械)因素所占比例下降,人的因素所占比例不断增加。

在致力于保证航空安全的过程中,航空公司一直要求机组成员和地面工作人员(如飞行设计和操作、空管、飞机维修人员)要防止或减少人为差错,避免不安全行为的产生。国际民航组织根据飞行事故中的不安全行为的统计分析结果,认为研究人为什么出现差错以及如何预防及减少人为差错是提高航空安全的关键措施,这就是民用航空领域通常所讲的人为因素研究的重点内容。

1994 年加拿大交通部在人为因素研讨会上,针对人的差错总结出 12 条有害的人为因素:

- (1) 缺乏沟通;
- (2) 骄傲自满;
- (3) 缺乏知识/技能;
- (4) 注意力分散;
- (5) 缺乏团队精神;
- (6) 疲劳;



- (7) 缺乏资源;
- (8) 压力;
- (9) 缺乏主见;
- (10) 紧张;
- (11) 缺乏安全意识;
- (12) 有害的习惯。

这些因素会降低人们有效、安全地完成工作的能力,使人们产生差错,出现不安全的行为,从而导致航空事故的发生。

从差错的性质来看,我们可以将人为因素分为基于技能的差错、基于法规的差错、基于知识的差错以及复合差错。基于技能的差错是指飞行员在执行一项非常熟悉的、不用有意识地去思考如何去的工作时的疏忽和失误。基于法规的差错是指当飞行员执行一系列熟悉的子程序时,由于对状况识别产生了差错,在采取反应行动时,应用了差错的法规或选择不正确的程序。基于知识的差错是指当飞行员面对一个新奇的、不熟悉的状况,又没有可供参考的程序时的疏失或者处置差错。复合差错即指复合式“知识、技能、法规”方面的差错。

显然飞行人因工程其核心的研究目标在于研究飞行活动中人的表现,尤其是引起人为差错的原因。

1.3 研究性质与范围

人-机-环境系统包括三个子系统,即人子系统、机子系统和环境子系统,见图 1.1。在这个巨大、复杂的系统中,人是主动者。系统的过程都是靠人去控制、观察和维护。尽管随着现代技术的不断发展与应用,使得人在人-机-环境系统中的作用有所变化,但无论如何变化,人始终处于主导地位,是系统控制的主体,机器的设计必须要符合人的要求,符合人的心理和生理特点。

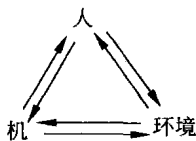


图 1.1 人-机-环境系统

安全事故是由于人或者机器的异常而发生的,直接原因就是人的差错引起的不安全行为和机的不安全状态,管理上的欠缺是它的间接原因。这三点是安全事故的主要原因,其中人的差错又占据了很高的比例。所以,安全管理的对象是人-机系统,重点是通过人为因素研究,预防和控制人为差错,避免不安全行为的发生,保障人-机系统处于可靠及安全状态。

根据 CCAR61 部规章《民用航空器驾驶员、飞行教员和地面教员合格审定规则》的规定:航线运输驾驶员必须掌握飞行人为因素的航空知识。

人为因素是一门涉及领域及知识都很广泛的方法体系,人们对它提出了许多有价值的概念,如 SHEL 模型、事故链、海恩法则、墨菲定律等。但是,最重要的是要把理论概念转换成实用方法,运用到实践中去检验。自 1978 年起,航空界通过不断深入研究人为因素,逐渐认识到人为因素在影响机组成员行为上的重要作用,于是便提出了机组资源管理(CRM)的概念,目的是通过利用安全科学中的理论,如利用对人的差错以及控制方法的研究、人的可靠性研究等,结合民航人为因素的研究进展,对机组成员进行训练,改善及提高他们的行为技能(如沟通、工作协调、判断决策、情景意识等),来预防或减少飞行安全中的人为差错,保



障飞行安全,把乘客安全地送达目的地。

1. 描述飞行中人的因素的概念模型——SHEL 模型

飞行员位于 SHEL 模型的中心,与飞行员构成界面的四个要素是: Software(软件)、Hardware(硬件)、Environment(环境)、Life(人),围绕在四周(图 1.2)。

对飞行而言,软件包括飞程序、检查单程序、应急程序;硬件包括操纵器、显示器、控制显示组件;环境包括工作环境、生活环境;人包括机组成员、管制员、签派员。

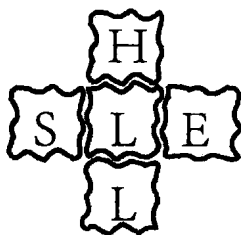


图 1.2 SHEL 模型

2. 飞行人因工程的具体研究范围

1) 人-硬件(L-H)界面

这是人的错误最常见的发源地。如果机载设备的设计和制造不符合人的生理和心理特点或者缺乏对意外情况的考虑,就容易诱发人的错误。

2) 人-软件(L-S)界面

驾驶舱软件包括飞行手册、检查单、飞程序、计算机程序和信息显示等非物理性信息。这一界面若匹配不良时,也可能诱发飞行员的错误。现代座舱的自动化程度越来越高,飞行员的任务已由原来的直接操纵飞机为主逐渐改变为以监控信息为主,它的一个非常重要的任务便是对软件的利用和管理。不合理的软件设计是诱发人的错误的重要来源。

3) 人-环境(L-E)界面

这是航空系统中最早被人们认识到的一个界面,也是诱发飞行员错误的常见来源。座舱噪声、温度、振动、湿度、高空低气压以及迅速的时区变换和轮班制作业等,都是与人-环境界面有关的问题。在一定条件下也会增加人犯错误的几率。

4) 人-人(L-L)界面

在民用航空活动中,人-人界面是最微妙,也是最重要的一个界面。主要指飞行员与机组成员之间、机组与 ATC 之间构成的界面。这一界面的缺陷可带来灾难性的后果。其主要原因在于,现代的民航飞行活动都是以机组的概念进行工作,以机组的形式发挥作用的。如果机组成员间出现裂痕或者机组与 ATC 之间出现误解,就会诱发人的错误。

5) 人-机系统

所谓系统是指,由相互依赖、相互制约、相互作用的各个要素所组成的、具有整体功能和综合行为的统一体。系统主要可分为“开环”和“闭环”两种类型。

在“开环”系统中,动作一旦被激发,就不能再加以控制,反应的最后结果完全取决于对系统的最初调整。例如,用弓箭向某个目标射击时,张弓、瞄准和放箭后,射箭者对于箭的行程和轨迹便不能再予以控制。惟一的反馈便是看看箭是否射中了目标。反之,在“闭环”系统中,对系统的整个反应过程都保持高度的控制。例如,飞行员-飞机系统便可视为一个闭环系统。在这个系统中,飞行员操纵控制器使飞机运动,然后观察飞行仪表来检验操纵的效果,看是否达到了预期的目的;如果没有,便进一步操纵控制器,使飞机的运动逐渐接近自己的要求。这就形成了飞行员→控制器→显示器→飞行员的闭合回路。

在闭环系统中,基本的原理是要进行“反馈”,反馈具有随时感知自身活动状况、不断比



较任务要求与系统实际工作状态之间的差异,并进行调整的能力。

在闭环系统中,准确而敏感的信息反馈是使系统高效、安全运转的前提。就飞行员-飞机系统来说,则主要取决于构成该系统的两个要素质量的好坏,即飞行员的基本素质和技能的高低、操纵器与显示器的优劣。

3. 关联学科

飞行人因工程是一门综合性的多学科领域,其知识范畴包含与人有关的各个学科,其目的是解决航空实践中的具体问题,包含的学科主要有航空心理学、航空工效学、航空医学、航空生理学、人体测量学、生物力学、飞行事故调查学以及统计学等(图 1.3)。

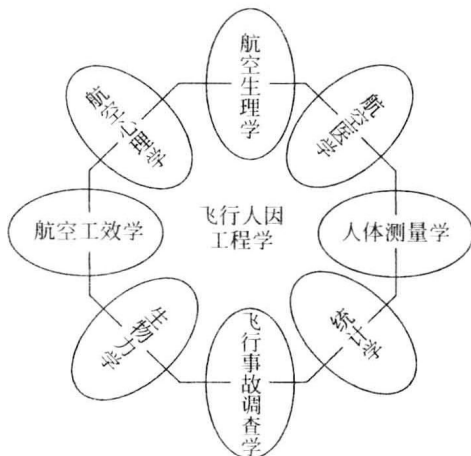


图 1.3 飞行人因工程学的关联学科

1.4 发展历程

飞行人因工程学的任务是以航空心理学、环境生理学、人体测量学和生物力学等学科为基础,研究如何实现飞行员-飞机-环境系统最优化,使飞行员能够安全、高效、舒适地工作。英国学者 Edwards(1972)提出的 SHEL 模型对航空工效学的研究范围做了全面概括。该模型的命名是由软件(software)、硬件(hardware)、环境(environment)、人(life)四个英文单词的第一个字母组成。SHEL 模型以人为中心形成的四个主要界面是:人-软件、人-硬件、人-环境和人-人。人-软件界面主要包括系统中的无形部分,如作业步骤、操作手册、显示符号、计算机程序、屏幕菜单等。人-硬件界面是人-机界面的近义词,在此界面上有许多要解决的工效学问题,例如显示器和控制器的设计要适合人的信息加工特点等。人-环境界面问题最早被人们认识,主要涉及缺氧、低气压和加速度等环境因素对人体的影响及防护措施。人-人界面主要解决机组成员协作、团队中人格交互作用、领导者与被领导者关系、教学关系等。我们认为,SHEL 模型所概括的是广义的航空工效学的范围,狭义的航空工效学主要研究人-硬件、人-软件两个界面有关的问题。现对近年来飞行人因工程学的研究进展做如下综述。

人与硬、软件界面问题的研究始终是国外航空工效学最活跃的领域。近 20 年里,在显



示与控制的人机界面上,采用了平视显示(head-up display, HUD)、下视显示(head down display, HDD)、头盔显示(helmet mounted display, HMD)、握杆操纵技术(hands on throttle and stick, HOTAS)、多功能控制技术、语音技术、自动驾驶等多种新技术。通过大量实验研究提出的各种工效学规范、标准和手册,已成为航空装备设计、制造的指南,在保障飞行安全和提高飞行劳动效率方面发挥着重要的作用。在视觉显示的界面上,对平显、下显的字符画面设计进行了深入研究,具体内容包括阴极射线管(cathode ray tube, CRT)显示的彩色与亮度,字符的形状与大小,不同任务类型、飞行阶段的画面布局与编码特性,多重复合信息的认知效果与负荷水平,菜单显示的层次、长度及用法等,并制定了有关标准。

在听觉显示的界面上,研究提出了非言语告警信号的声谱特性和分级标准,语音告警的用语、语调、语速、间隔等有关工效学要求。另外有关三维听觉显示的研究表明,在关于目标方位的二维视觉显示的基础上增添空间听觉线索,确能提高辨别视野内外目标方位的能力,缩短目标截获时间,提高情境意识,而且并不加重认知负荷。

由于自动化系统的发展,飞行员面临的信息加工要求越来越高,而判断决策的容许时间越来越短。虽然自动化会减轻飞行员体力负荷,但越过某一限度后,由于加重信息加工时的心理负荷反而会增加总体工作负荷,所以确定最佳自动化程度是必要的。另外,如何改进机载设备以提高人的信息采集和处理能力、减轻工作负荷等问题日渐迫切。采用新的信息显示和操纵控制技术,如电子综合显示器和多功能键盘等,使设备和传感器的信息数字化,然后由计算机综合处理再汇总传输,可减轻飞行人员工作负荷。自动化带来的人的因素问题,还有系统操作差错、虚警、隐蔽性差错、差错安全感、座舱秩序混乱等。这些都是飞机发展中出现的新的工效学问题。

关于工作负荷测量技术,仍采用主观评定、操作任务客观测量和生理指标测量,并主张进行多指标复合测量。有的学者针对主观评定中存在的问题,建议用脑电图来寻找工作负荷与任务难度的关系。也有人建议采用肌电图模型和神经网络模型定量计算工作负荷。

高性能战斗机飞行员个体防护装备适体性问题的解决方法是用系統工程的观点,逐步实现个体防护装备一体化(如美国的防化型“空中优势”抗荷系统同时具有抗荷、代偿、防化、防冷水浸泡的功能),同时还采用新材料和微电子技术,减少装备的体积和重量。美国海军和空军都重视发展扩大覆盖面积的抗荷技术,但抗荷服覆盖面积扩大后也带来了热负荷增加等问题。这些问题已引起航空工效学专家的重视。

美国国防部将人工智能技术列为提高未来作战能力的关键技术之一。面对瞬息万变的战场态势和浩如烟海的信息数据,靠人力在短时间内做出最佳选择几乎是不可能的。借助机载人工智能系统,帮助飞行员思考理解语音指令,进行信息管理和飞行控制,已成必然趋势。实现人-机匹配最佳化的另一重要途径,是加强对飞行人员的选拔和训练。从20世纪70年代起,英、美、荷等国相继开展工效学普及教育,提高飞行人员对人-机-环境系统的认识。并通过模拟训练,提高其对硬件、软件的适应能力。

虚拟现实(virtual reality, VR)技术被公认为21世纪可能促使社会发生重大变革的高新技术之一。它是一种创建和体验虚拟世界的计算机系统。其最根本的特点是具有浸入性(immersion)。在虚拟现实系统中,用户可以浸入到虚拟环境中,身临其境地观察、探索和参与环境中事物的变化和相互作用。VR技术在飞行训练、医学研究、防护装备设计等领域已



有广泛的应用。

人-人界面是近年来国外比较关注的方面。传统观念认为飞行作业质量主要受飞行员个体行为影响,而目前关心焦点较多地转向团队工作情况。民航系统更为关心人-人界面,认为机组整体效能才是决定飞行操纵质量的关键因素。目前的热门话题是机组资源管理(crew resource management, CRM)。为了解决不断出现的新的航空工效学问题,美国、英国、加拿大、新西兰、德国等建立了航空安全报告管理系统。

十年动乱后尤其近十几年里,我国航空工效学研究有了较快发展。1995年,在中国航空学会人体工程、航空医学、救生分会的关心和支持下正式成立了人机工效专业委员会,挂靠在空军航空医学研究所开展工作,这是我国第一个航空工效学学术组织。该专业委员会1995年和1997年在北京和苏州先后召开了两届学术交流会,对推动该领域研究起到了积极作用。此外,在中国人类工效学会认知工效学专业委员会、中国心理学会工业心理学会和中国系统工程学会人-机-环境系统工程专业委员会组织的学术交流活动中,均有航空工效学界的最新研究成果交流报告。国内研究工作可概括为以下几个方面。

在人体参数测量方面,20世纪70年代初,杨企文等完成了1654名飞行员96项参数的测量,提出了中国飞行员体型、侧面样板、救生装备规格、座舱与座椅的基本尺寸。并在地面练习器上用模拟方法测量了飞行员操纵杆、舵的力量。刘宝善等人在1992年对126名22~40岁飞行员的手指运动功能做了测评,并依据测评结果制订了国家军用标准。

我国的民用航空中人的因素的研究与美英等国相比,起步较晚。虽然自20世纪80年代中期以来,孟宪惠等人便开始研究民航飞行员的心理选拔及航空医学心理学等问题,但对我国民航飞行员进行人的因素的系统教育则是20世纪90年代以后的事。1991年,作为培养我国民航飞行人员摇篮的中国民航飞行学院,率先在空勤学员中开设了“航空心理学”和“航空生理学”课程,在“人的因素”教育方面迈出了第一步。1994年,为了与国际民航飞行员的培训体制接轨,提高我国民航飞行员的培训质量,中国民航总局CCAR141部中将“飞行中人的因素”作为CPL学员和ATPL学员的执照考试课程。为此,中国民航飞行学院又做出了将原“航空心理学”和“航空生理学”改设为“飞行中人的因素”课程,并增设“驾驶舱资源管理”课程的决定,本书则正是在这一背景下编写的。另外值得一提的是,自1994年以来,在中国民航协会飞行安全与技术专业委员会的组织领导下,我国已相继举办了多次与飞行中人的因素密切相关的研讨会,尤其是1995年的研讨会以“进近、着陆和驾驶舱资源管理研讨会”命名,充分体现了中国民航对飞行中人的因素的重视。除此之外,我国民航与波音、空客及其他国外航空公司联合举办的飞行安全会议也逐年增多,国内的一些飞行人员和科学研究者纷纷撰文和翻译介绍国外的研究成果,这些因素都刺激和促进了飞行中人的因素的研究和教育在我国民航界的广泛开展。可以预见,经过广大飞行人员、研究人员的通力合作和努力,具有中国民航特色的“飞行中人的因素”的研究和教育体系一定会逐步完善,并在不久的将来赶上民用航空发达国家的水平。

本章小结

飞行人因工程,也称为飞行中的人为因素或飞行中人的因素,显然本门课程重点在于飞行中人的各种因素的研究。由此需要学生掌握关于人的多方面的知识,如人的生理特征、心