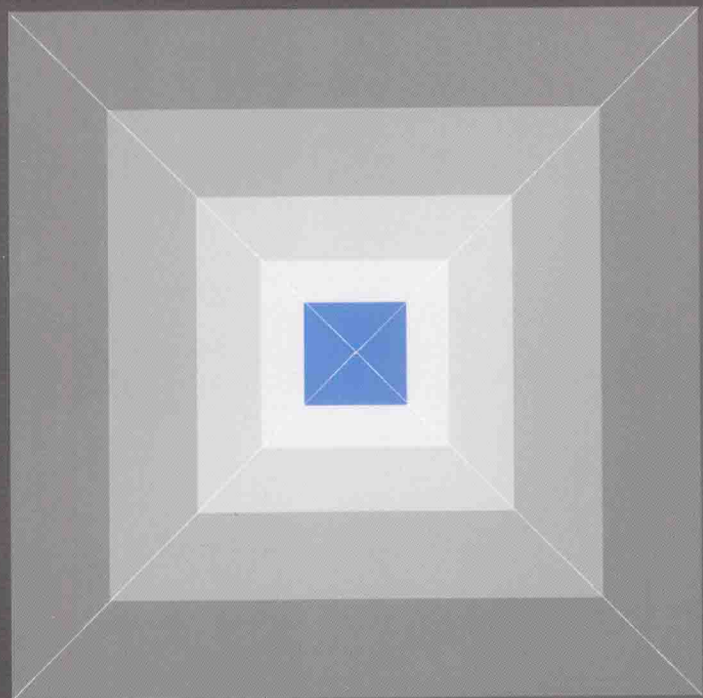




飞行员脑力负荷 测量与应用

完颜笑如 庄达民 著



科学出版社

飞行员脑力负荷测量与应用

完颜笑如 庄达民 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地介绍了国内外飞行员脑力负荷测量与应用方面的基础理论和技术方法。主要包括脑力负荷测评基础理论、脑力负荷预测模型、主观测评法及应用、行为绩效测评法及应用、生理测评法及应用、脑力负荷综合测量与建模。其中,本书第1、2章在综合分析多种人的认知因素和界面设计因素的基础上,归纳阐述了国内外学者以及作者在飞行员脑力负荷事前预测方面的研究工作;第3、4、5、6章详细阐述了目前具有代表性的飞行员脑力负荷测评技术与测评方法,同时结合作者以及国内外其他学者的研究工作,选取和深入探讨了多个航空领域典型应用案例,具有较好的面向实际工程应用的价值。

本书可供飞机设计、人机工程等领域的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

飞行员脑力负荷测量与应用 / 完颜笑如, 庄达民著. —北京:
科学出版社, 2014. 10

ISBN 978-7-03-042019-0

I. ①飞… II. ①完… ②庄… III. ①飞行人员-脑力劳动-工作负荷
(心理学)-测量方法 IV. ①F560.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 224249 号

责任编辑:孙伯元 / 责任校对:胡小洁

责任印制:肖 兴 / 封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 10 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2014 年 10 月第一次印刷 印张:14 1/2

字数:290 000

定价:80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

航空工业的发展与一个国家的综合国力和国际竞争力密切相关。目前,随着大量新型技术在航空领域中的应用,飞机驾驶舱人机系统的复杂度和智能化水平不断提高,飞行员在系统中所承受的脑力负荷从质和量的方面均发生了显著变化,随之所引发的脑力负荷问题也越发不可忽视。世界范围内公布的多起航空事故调查报告显示,人为失误依然是致命性飞行事故的重要成因,而这其中,无效的脑力状态(如负荷超载、情境意识缺乏、疲劳等)导致飞行员操作不当占据了重要比例。如何有效地评定飞行员的脑力负荷已成为航空工效学面临的重要课题。国内外科研实践表明,开展飞行员脑力负荷影响机理、综合测评方法及相关的工效学应用研究对于优化人机显控界面设计、减少人为失误、提高飞行安全具有重要的理论意义、良好的工程应用前景。因此,对该领域的研究从 20 世纪 70 年代至今都受到国内外航空工效学和航空医学界的高度关注。

与事后测量方法相比,脑力负荷的事前预测更有助于在人机系统的设计初期发现问题,可被有效地应用于人机交互系统的分析、设计和评价过程中。一个典型的情况是,研究人员常需要从飞行员脑力负荷要求的角度出发对新引入设计与现有设计进行对比,以确保飞行员脑力负荷的适中或进一步的改善。因此,在人机系统设计完善前,根据设计方案对系统可能给作业人员带来的脑力负荷进行预测就显得十分必要。由于飞行任务及飞行环境的复杂性和危险性,以及人自身所存在的非线性、随机性、离散性和时变性等特征,对飞行员脑力负荷进行系统科学地建模或仿真面临较大困难,往往需要综合运用认知心理学、生理学、人机工程学、计算机仿真学等多学科知识。目前,已有多种有价值的认知模型被提出,用于描述飞行员的脑力负荷,如从较早期的时间线分析模型到较近期的四维多资源模型。脑力负荷建模方面的研究工作正逐步走向量化、输入输出量标准化、面向多任务环境、考虑负荷的时间动态响应、不同认知任务间的干扰以及作业人员能力上的个体差异等。但从工程应用角度来看,现阶段对飞行员脑力负荷的事前预测还不够成熟,故本书重点放在飞行员脑力负荷的测量和评价方面。

飞行员脑力负荷测量和评价主要包括主观评价法、工作绩效评价法和生理评价法,而工作绩效评价法又分为主任务评价法和辅任务评价法。目前,国内外研究

人员采用上述方法在飞行员脑力负荷测评方面做了大量工作,其中,主观评价法和工作绩效评价法因其稳定性好、可靠性较高而被广泛使用,而生理测评法也因其客观性以及可在线实时测量等优点而成为研究热点。考虑到脑力负荷的多维特性以及不同的测评技术分别适用于不同的任务情境和负荷水平范围,联合主观评价、作业绩效评价和生理评价等多种方法或采用多种测评指标以替代基于单一方法或指标评定脑力负荷已成为脑力负荷评价的发展趋势。

本书论述了目前国内外航空工效学领域在飞行员脑力负荷测评方面的基础理论,分析讨论了一系列典型的飞行员脑力负荷预测模型,并结合多个应用案例详细说明了飞行员脑力负荷三种基本测评手段(主观评价法、行为绩效评价法、生理评价法)的相关技术方法。本书内容覆盖了较多的该领域前沿进展与新近研究成果,可为飞行员脑力负荷测评、飞机人机显示界面设计、飞行员培训等提供系统的理论与方法。

本书的完成得益于国家自然科学基金“脑力负荷对飞行员信息自动化加工影响及其工效学应用研究”以及国家 973 课题“基于认知特性的人机界面仿真模型与仿真方法研究”的支撑和支持。此外,还要感谢王睿、曾庆新、张磊、张惠姝、周颖伟、魏藹阳、卫宗敏、吴旭、刘双、肖旭博士,以及吴明峰、麻美龄硕士在本研究中的相关工作。

完颜笑如 庄达民

2014 年 8 月

目 录

前言

第 1 章 脑力负荷测评基础理论	1
1.1 脑力负荷测评的航空工效学意义	1
1.2 脑力负荷的基本概念	4
1.3 信息负荷与脑力负荷状态	5
1.3.1 信息负荷	5
1.3.2 负荷超载与超低负荷	12
1.4 脑力负荷预测与评价研究现状	14
1.4.1 脑力负荷预测模型研究	14
1.4.2 脑力负荷测评方法研究	15
1.4.3 脑力负荷测评方法的评价标准	16
1.4.4 脑力负荷测评方法/指标对比	19
1.5 脑力负荷、注意、情境意识关系研究	20
参考文献	24
第 2 章 脑力负荷预测模型	28
2.1 倒 U 型模型	28
2.2 Siegel- Wolf 时间压力模型	31
2.3 Boeing 时间系列分析法	32
2.4 McCracken-Aldrich 脑力负荷预测方法	33
2.5 时间线分析和预测负荷方法	35
2.6 多资源理论模型	38
2.7 时间压力模型	40
2.8 其他脑力负荷预测模型	41
2.9 飞行员脑力负荷预测模型框架	43
参考文献	46
第 3 章 主观测评法及应用	48
3.1 NASA 任务负荷指数	49

3.2	主观负荷评价技术(SWAT 量表)	52
3.3	库柏-哈柏量表	56
3.4	其他主观评价量表	58
3.5	主观测评法应用	59
3.5.1	NASA-TLX 评价量表在直升机飞行员脑力负荷评价中的应用	59
3.5.2	库柏-哈柏方法在飞行员脑力负荷评价中的应用	62
	参考文献	65
第4章	行为绩效测评法及应用	66
4.1	行为绩效测评法	66
4.1.1	主任务测评法	66
4.1.2	辅任务测评法	69
4.2	行为绩效测评法应用	72
4.2.1	飞行员视觉信息流强度模拟及适人性分析	72
4.2.2	基于异常姿态恢复任务的飞行显示仪表评价	80
4.2.3	平视显示器信息编码适人性评价	93
	参考文献	99
第5章	生理测评法及应用	102
5.1	基于脑电的生理测评法	103
5.1.1	事件相关电位测量技术	103
5.1.2	事件相关电位与脑力负荷测评	112
5.1.3	前注意、非随意注意、选择性注意与脑力负荷关系	113
5.2	基于心电的生理测评法	118
5.2.1	心电测量技术	118
5.2.2	心电活动与脑力负荷测评	122
5.3	基于眼动的生理测评法	125
5.3.1	眼动测量技术	125
5.3.2	眼动与脑力负荷测评	130
5.4	生理测评法应用	133
5.4.1	听觉 MMN 与脑力负荷测量	133
5.4.2	听觉 MMN、P3a 与脑力负荷测量	140
5.4.3	基于选择性注意加工的脑力负荷测量与评价方法研究	147
5.4.4	主观评价与专家评定任务负荷/任务绩效相关性	152

5.4.5 基于时间压力的显示界面人机工效评价研究	161
5.4.6 模拟长航时作业条件下的飞行员疲劳监测与注意力分配	168
参考文献	175
第6章 脑力负荷综合测量与建模	184
6.1 多方法/多指标联合测评技术研究现状	184
6.2 基于 emWave-2、眼动测量和 NASA-TLX 的综合测评	187
6.3 复杂人机系统作业人员脑力负荷评价	194
6.4 基于脑电、心电和眼动指标的飞行员脑力负荷评价方法研究	200
6.5 飞机座舱显示界面脑力负荷判别预测模型	208
参考文献	217

第1章 脑力负荷测评基础理论

当前,随着大量新型技术在航空领域中的应用,飞机驾驶舱人机系统的复杂度和自动化水平不断提高,飞行员在系统中所承受的脑力负荷从量和质的方面均发生了显著变化,随之所引发的脑力负荷问题也越发重要,如何有效地评定飞行员的脑力负荷已成为航空工效学面临的重要课题。飞行员的脑力负荷主要由飞行信息负荷所引发,而超低负荷与负荷超载都属于不适宜的脑力负荷状态。目前,脑力负荷的研究内容主要可分为事前预测模型研究和事后测评方法研究两部分,后者又可进一步细分为主观测评法、工作绩效测评法和生理测评法。飞行员的脑力负荷、注意、情境意识均为国内外航空工效学界的研究热点,且这三者之间存在着复杂的密切关联,因此开展飞行员脑力负荷研究也有助于推动注意和情境意识的研究进展。

1.1 脑力负荷测评的航空工效学意义

在现代飞机人机系统中,飞行员的作用发生了根本性的转变,从系统的操作者和控制者变成了监控者和决策者。尤其近年来,随着飞行智能化、信息化程度的提高,先进复杂的机载设备不断增多,飞行员所需处理的信息量也在不断增加,而判断决策的容许时间则常较短,飞行员所承受的脑力负荷随之上升,虽然自动化技术极大减轻了飞行员的体力负荷,但越过某一限度后,加重的信息加工任务所引发的脑力负荷反而会使整体工作负荷加剧。客观地说,飞机驾驶舱已成为信息高度密集的特殊作业环境,多数时候大量信息会同时出现,并以其固有的方式存续或消失。根据粗略统计,Boeing747飞机仅起飞阶段的前后10s之内,就需要收集30多个信息^[1]。以F/A-18航载战斗攻击机为例,其座舱前端的风挡下有3个多功能显示器,每个显示器周围有20个开关。显示器有675个专用缩略语,40种显示格式,177个符号,每个符号有4种尺寸;有73种警告和提示,59个指示器,6种警告声;另有一个荧光屏用于水平位置显示,有投影地图做背景,200种数据画面^[2],如图1.1所示。

可以说,脑力负荷是影响认知任务分配的最重要因素。当遇到紧急情况时,由

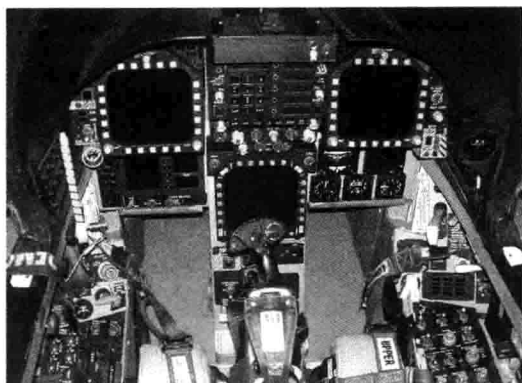


图 1.1 F/A-18 驾驶舱

信息负荷过高而导致的脑力负荷超载情况时有发生,严重影响到飞行员的作业绩效、生理心理舒适度和飞行安全,进而影响到整体人机系统的效率和可靠性。例如,某航空事故原因调查报告显示,60%~80%的飞行事故与人为因素有关,其中由于脑力负荷不当造成人误操作而导致的事故占有很大比例^[3]。据统计,1980年~1994年中国民航15年间81起飞行等级事故中就有15起是由脑力负荷过重引起的^[4]。

基于上述原因,在对人机系统进行工效评价的过程中,飞行员的脑力负荷水平已成为主要评价指标之一。通过对飞行员脑力负荷的影响机理及其评价方法进行深入研究,可应用于设计和评价人机系统以确保在正常状态下飞行员脑力负荷适中,当任务繁忙时,通过人机功能的再次分配降低系统作用于飞行员的脑力负荷。国内外科研实践证明,开展飞行员脑力负荷影响机理、综合测评方法及相关的工效学应用研究对于保障飞行安全、减少人为失误、优化显控界面设计均具有重要的理论意义和工程应用前景。对该领域的研究从20世纪70年代至今受到国内外航空工程学界和航空医学界的高度关注,并在人机界面优化设计和飞行员培训等方面取得了不可忽视的进展。

1. 人机显控界面优化设计

目前,基于不同的设计理念,飞机驾驶舱所采用的显控界面设计方案多种多样。相关研究表明,不同的飞机驾驶舱人机显控界面设计(包括信息视觉\听觉编码、信息显示格式、信息流强度等)会产生不同的信息负荷,从而引发飞行员脑力负荷上的差异,因此如何依据“使飞行员的脑力负荷保持在适宜水平”的设计原则对

多种人机显控界面设计方案进行优选是飞机驾驶舱工程生产过程中需要解决的实际问题。通过开展脑力负荷预测模型及综合测评方法研究,可对飞行模拟器或工程样机中的人机显控界面设计方案下作业人员的脑力负荷状态等级进行测评并提供方案优选建议。以飞行模拟器为例,可考虑的实现方案如下:使用虚拟仪表仿真技术对不同人机显控界面设计方案进行构建;编写相关数据接口,将待测评的人机显控界面设计方案导入飞行模拟器,生成并显示不同人机显控界面设计方案所对应的显控界面;设定航线和飞行任务,采用作业人员开展飞行模拟实验,并采集关键性测评指标的实测数据;通过对实测数据的综合分析,获得当前作业人员的脑力负荷水平等级;对多个人机显控界面设计方案进行基于脑力负荷测评的对比,并为方案优选提供建议。例如,飞机座舱交通信息显示设计是提供飞行员交通意识的工具。Alexander 等在模拟自由飞行条件下,分别采用 30 名飞行员从机动选择、飞行安全以及脑力负荷三个层面对三维显示方式与二维显示方式进行了对比,见图 1.2^[5]。

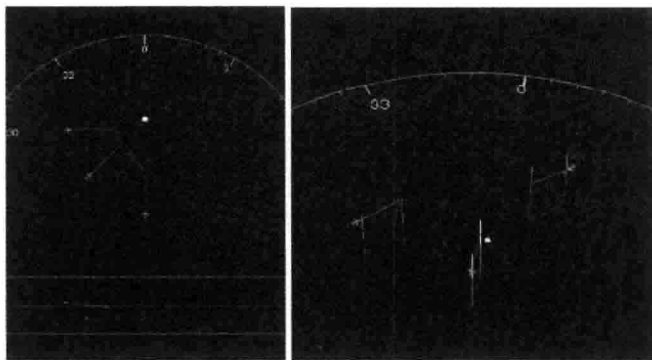


图 1.2 空中交通信息的二维显示与三维显示设计

2. 人机功能分配优化设计

为使人机顺利协调地工作,需要在对二者的特性进行权衡分析的基础上,将系统的功能按照一定的标准或规则科学合理地分派给人和机器,力求使人和机器充分发挥各自的优势,扬长避短,协调互补,从而在保证人与自动化系统稳定的同时,尽可能地发挥出人机系统的最大效能,这一过程就被称为人机功能分配。飞行员与飞机驾驶舱共同构建了“人在环”复杂智能系统,其中,人机融合方式(包括飞行员与飞行自动化系统各自应承担何种任务、任务之间如何进行切换等)的优劣直接

关系到作业人员的心智与驾驶舱的量智是否能够得到合理地互补与增强,而这就涉及飞机驾驶舱人机功能分配设计这一工程问题,人机功能分配不当而导致的飞行事故并不在少数^[6]。在对某项系统任务进行人机功能分配时,既需要考虑人、机的各自特性,也应考虑该项任务对作业人员可能造成的脑力负荷的影响。通过开展脑力负荷预测模型及综合测评方法研究,可对当前任务环境下作业人员的脑力负荷所处的级别状态进行测评,而测评结果则可以作为人机功能分配自动化等级设计的判据之一。例如,如果测评结果显示作业人员的脑力负荷处于非激活状态,则说明作业人员当前的觉醒水平低,持续注意力较差,对目标信号的觉察和处理可能发生延迟或错误;如果测评结果显示作业人员的脑力负荷处于超载状态,则说明作业人员当前负荷过高、工作效率低下、可能出现错、漏操作或产生心理应激。因此,应通过重新设计作业人员参与系统的程度,适当增加或减少人工环节,以使飞行员的脑力负荷保持在适宜水平。同理,基于脑力负荷的综合测评结果也可实现对多种人机功能分配方案的对比选优。

3. 飞行员的选拔与培训

飞行员脑力负荷多维度测评方法及预测模型的研究成果还可以直接应用于飞行员选拔、培训等环节。例如,对于同样难度或复杂度的作业任务,心理素质或作业能力较差的作业人员可能表现出更高的负荷压力甚至出现心理应激,导致心律增加等生理反应,根据飞行员脑力负荷综合测评结果,可遴选出个体差异较大的样本点,为飞行员的选拔或培训效果提供参考依据。例如,Bin 等在进行脑力负荷建模研究时特别提出了有效负荷与无效负荷两个概念,并认为有效负荷是由任务产生的负荷,是不能消除的负荷,而无效负荷是由个体差异产生的负荷,是可以通过个体培训等手段消除的负荷^[7]。

1.2 脑力负荷的基本概念

脑力负荷(mental workload, MW)在部分文献中也被称为心理负荷、精神负荷或认知负荷,它是一个与体力负荷相对应的概念,目前国内外工效学界尚未对其进行严格、统一的定义。一般认为,脑力负荷与任务需求密切相关,任务的复杂性、精度要求和时间要求都会对脑力负荷的测量结果产生影响。此外,脑力负荷还与作业人员的个体差异有关,个人的工作能力、动机、策略、即时的情绪、作业状态等都可能对脑力负荷产生显著的影响。

早在20世纪70年代初期,西方国家就认识到评估脑力负荷的重要意义,并投入了大量的人力、物力、财力开展了脑力负荷相关的研究,发表了一系列的论文和书籍,举行了多次专题讨论会。1976年,北大西洋公约组织国家的一些学者主持召开了“监视行为和控制”专题学术会议,讨论技术进步所带来的人在系统中作用的改变。在这次会议上,有学者提出了在新的人机系统中测量人的脑力负荷的重要性。1977年,北大西洋公约组织的一些著名学者又召开了“脑力负荷的理论和测量”专题学术会议。在这次会议上,人们系统地讨论了脑力负荷的定义、理论和测量方法。这次会议引起了人们对脑力负荷测量的重视,极大地推动了对脑力负荷的研究。1977年的“脑力负荷的理论和测量”专题学术研讨会上,提出脑力负荷是一个多维的概念,涉及工作要求、时间压力、操作者的能力和努力程度、行为表现和其他许多因素^[8]。

对于脑力负荷的概念,研究者们从不同的角度出发提出了不同的定义。例如,Rouse等提出脑力负荷不仅与任务有关,也与个体有关,个体能力、工作动机、工作策略、工作情绪以及作业人员的状态等都可影响其脑力负荷的大小^[9]。O'Donnell等认为脑力负荷是用于执行特定任务时所使用到的信息处理资源与总资源之间的差异^[10]。Young等提出脑力负荷是为满足客观和主观的业绩标准而付出的注意力资源的大小,它与任务需求、社会支持和个体的经历有关^[11]。Hart等将脑力负荷描述为脑力处理能力/资源与任务需求总量之间的一种感知关系^[12]。廖建桥等将脑力负荷定义为测量人的信息处理系统的一个指标,是人的信息处理系统在进行信息加工处理时其资源被占用的程度,与人的闲置未用的信息处理能力成反比^[13]。

1.3 信息负荷与脑力负荷状态

1.3.1 信息负荷

飞行员在执行任务时,处于信息高度密集的空间环境中,这就要求与之交互的大量显示/控制器能够在飞行员的认知容许界限内,最大限度地将传感器的信息传送给飞行员,使其能够在恰当的时机获得或选择正确的信息,使决策过程最佳化。

为完成飞行任务所涉及的飞行信息量很大,且70%以上的信息靠视觉获取,因此,可以认为,视觉信息流强度是一个用于衡量飞行员信息负荷的范畴,其需要考量的因素很多,包含信息的数量、信息的复杂度、处理信息的容许时间、信息频率

以及与飞行需求相关的信息优先级(或称信息重要度)等,此外,视觉信息流强度还包括信息从视觉编码方面所体现出的强度差异(如显示信息的颜色、呈现位置、呈现方式等)。

例如,美军标 MIL-STD-1787C 中规定一种显示形式的异常姿态操作反应时在 1s 内,且正确反应率在 95% 以上才可以接受^[14]。尽管这条军标制定的初衷是为了规范平视显示器中飞行信息显示设计所应满足的认知性要求,但其从另一个侧面也反映了对飞行员进行信息加工时的时间压力方面的要求。

再例如,相关研究表明飞机座舱显示界面视觉编码设计的优劣直接影响飞行员的脑力负荷,并最终影响到飞行绩效和飞行安全^[15]。不难理解,合理地使用颜色、数字、字母、文字、图形等视觉刺激对信息进行编码可以大大提高飞行员对信息辨识的效率,减少人为失误。中国、美国和欧洲分别发布的 CCAR(China civil aviation regulations)-25^[16]、FAR(federal aviation regulations)-25^[17]和 CS(certification specification)-25^[18]对民机驾驶舱人机工效的要求是基本一致的,但与 FAR/CS-25 提出的相关要求相比 CCAR-25 更全面一些。就字符大小和颜色匹配来说,CCAR-25 仅在 1322 条款中规定了警告灯、戒备灯和提示灯的颜色编码,对字符大小尚未提出任何要求。但是,FAR/CS-25 尤其是 1302 条款对驾驶舱显示器的视觉编码提出了较为全面的最低要求,并在其衍生的 AC(advisory specification)中对字符大小和颜色编码做出了更加详细的规定。表 1.1 为根据国外适航条例,推荐飞机人机显示界面设计所使用的颜色,并指出不适合的颜色匹配方案包括:饱和的红色与蓝色、饱和的红色与绿色、饱和的蓝色与绿色、饱和的黄色与绿色、紫底黄色、绿底黄色、白底黄色、绿底褐色、黑底褐色、白底绿色、黑底蓝色、黑底红色等^[19]。

表 1.1 推荐飞机人机显示界面设计使用颜色

特征	颜色
警告	红
飞行包络面/系统极限及超出极限	红或黄/琥珀色,酌情而定
警报,异常信号	黄/琥珀色
刻度和相关数字	白
地球	褐/棕
天空	蓝/蓝绿
运行模式/普通条件	绿

信息的优先级由信息价值决定,Wickens 等曾在 *Applied Attention Theory* 一书中

提出,信息价值这一概念可以从两个不同的角度进行描述:一种指以比特(bit)为单位进行度量的信息量的多少,其与该信息发生异常的概率相关,从本节关于信息的度量部分内容中可以进一步理解这一点;另一种指信息的效用或重要程度,与漏读该信息所带来的损失相关^[20]。例如,在起飞阶段,转速信息最重要,空速信息其次,而喷温信息相对不够重要;而在上升阶段,地平信息最重要,其次是空速信息和高度信息,而转速信息和喷温信息则相对不够重要。表 1.2 为国内学者通过对飞行员信息需求进行调研而形成的基于飞行任务类型的飞行显示信息重要度等级经验值^[21]。

表 1.2 基于飞行任务类型的飞行显示信息重要度等级经验值

飞行任务	重要度等级									
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
起飞	转速	空速	喷温	—	—	—	—	—	—	—
上升	地平	空速	高度	升降	罗盘	转速	喷温	—	—	—
出航	罗盘	空速	高度	时钟	地平	耗量	转速	—	—	—
引导接敌	高度	空速	罗盘	地平	—	—	—	—	—	—
攻击	空速	高度	转速	—	—	—	—	—	—	—
退出	高度	空速	罗盘	地平	耗量	—	—	—	—	—
返航	罗盘	空速	耗量	高度	地平	时钟	转速	—	—	—
着陆	空速	高度	转速	力臂	—	—	—	—	—	—
航行	罗盘	高度	空速	地平	时钟	耗量	转速	喷温	—	—
低空飞行	高度	空速	地平	无高	升降	耗量	转速	罗盘	—	—
高空飞行	空速	高度	M 数	O ₂ 数	地平	座高	转速	力臂	罗盘	喷温
编队	空速	高度	转速	耗量	罗盘	—	—	—	—	—
下滑	高度	空速	升降	地平	转速	罗盘	—	—	—	—
螺旋	高度	空速	针球	—	—	—	—	—	—	—
盘旋	地平	高度	空速	升降	罗盘	转速	—	—	—	—
俯冲	高度	空速	地平	—	—	—	—	—	—	—
筋斗	空速	高度	地平	过载	转速	—	—	—	—	—
横滚	空速	地平	高度	—	—	—	—	—	—	—
应急返场	空速	转速	高度	罗盘	—	—	—	—	—	—
返场(昼)	地平	罗盘	高度	空速	升降	转速	—	—	—	—

视觉信息流强度对于飞行员脑力负荷以及情绪因素等都将产生直接的影响,脑力负荷与情绪因素又将反馈影响飞行员对信息的处理。

1. 信息的度量

信息论产生于 20 世纪 40 年代末,它的主要创立者是美国数学家 Shannon。最初的信息论仅局限于通讯领域,是一门应用概率论和数理统计方法研究信息处理和信息传递的科学。它的基本内容是研究信源、信宿、信道以及编码问题。后来信息论作为控制论的基础,研究通讯和控制系统中普遍存在着的信息传递的共同规律,同时也是研究如何提高信息传输系统的有效性和可靠性的通讯理论^[22]。

Shannon 等将信息(或情报)定义为不确定性的降低。衡量信息多少的物理量称为信息量,单位为 bit。一般把两个等概率事件选中其一时所含有的信息量定义为 1bit。信息获取的过程被看做是对事件做二选一的选择过程。被选择的事件越多,其所包含的信息量越大。信息量的大小与信息所描述事件的出现概率有关。当所有信息出现概率相等时,传送的信息量最大;反之,概率不相同或受顺序约束时,传送的信息量最少。

根据信息论,若某信息 x_i 出现的概率为 $P(x_i)$,则这一信息所含的信息量为

$$I(x_i) = \log_2 \frac{1}{P(x_i)} = -\log_2 P(x_i) \quad (1.1)$$

在物理学中,熵用于描述客观事物的无序性,Shannon 将这一概念引入信息论以便于在大量信息频繁出现的情况下采用平均信息量简化计算,这一处理方法类似于物理学中熵的概念,因此平均信息量也被称为信息熵。若信号源中含有 n 个相互独立的不同信息,某个信息 x_i 出现的频率为 $P(x_i)$,则所有信息的平均信息量为

$$H = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) \quad (1.2)$$

随着现代科学发展的综合化、整体化趋势,信息概念及其方法远远超出通信领域,已经推广和应用于其他学科,如认知学、生物学、医学、仿生学、语言学、管理科学等,从而使局限于通讯领域的信息理论发展成一种广义信息论。该学科以广义的信息,即人类感官或借助于工具所能感知的一切有意义的事物为研究对象,以扩展人类的信息功能为目标,主要研究机器、生物尤其是人类对于信息的获取、存储、变换、传递、处理、利用和控制的一般规律。人类的信息功能是由人的感官、神经系统和大脑信息器官所承担的^[22~24]。

2. 信息认知微观模型

信息认知过程微观模型研究着重于分析从感觉上升到知觉的认知过程中所涉及的感觉和记忆工作过程。在飞行员视觉信息流强度模型中,信息认知过程涉及感觉、知觉、认知三者之间的相互关系与作用。其中,感觉在视觉信息流强度模型中是对视觉刺激的一种本能反应;知觉是对感觉信息进行解释的高级认知过程,解释过程则依赖人的短期和长期记忆;而认知除了感觉和知觉外,还包括判断、决策和反应。上述过程虽有前后之分,但都依赖短期记忆和长期记忆对信息进行反复加工和认定^[25]。

随环境条件的不同,信息流可能是下列各项功能的不同组合:注意、感觉、感知、编码和译码、学习、记忆、回忆、推理、判断、决策或决定、发出指令信息、执行或人体运动响应。为了阐明信息处理过程的本质和机理,各国学者曾提出过多种信息流模型,其中,大部分模型由代表不同处理阶段的黑盒组成。

比较典型的信息流模型包括 Card 等提出的人处理器模型(model human processor),其通过对人的知觉处理器系统、认知处理器系统以及运动处理器系统进行量化,预测了人对信息知觉、认知的容量和处理时间^[25~27]。Card 等将人的单纯反应时间定义为由人的知觉系统、认知系统和运动系统所构成,则从知觉信息到作出反应的时间如下:

$$T = \tau_p + \tau_c + \tau_m \quad (1.3)$$

式中, τ_p 为知觉系统的处理时间(50 ~ 200ms); τ_c 为认知系统的处理时间(25 ~ 170ms); τ_m 为运动系统的处理时间(70 ~ 360ms)。

图 1.3 为 Wickens 等提出的信息加工模型,该模型认为人的信息加工过程表现为感觉加工、知觉、记忆与认知、反应选择和反应执行等一系列阶段,每一阶段的功能在于把信息转变成某种其他操作,注意能够促进增强认知的感度和增大处理速度。信息加工过程中的多个阶段,从信息的输入、编码、储存到提取等都依赖于心理或者认知资源,这种资源是一种注意的资源库或称为心理努力的总和,其被视为是有限的,并且能够根据需要进行分配到各种加工过程中。信息加工模型强调了注意的选择和分配功能,其中,从左至右的箭头方向表述了有限的注意资源在选择感觉通道以及进行进一步信息加工中的作用,而虚线箭头则表示注意的作用是支持这些过程执行的所有方面,以及在这些任务之间对注意资源进行分配的过程^[28]。

尽管各种信息流模型之间存在一定差异,且认知心理学领域及工效学领域对