



载人航天器 人机界面设计

ZAI REN HANG TIAN QI REN JI JIE MI AN SHE JI



周前祥 蔡剡 李洁 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

总装部队军事训练“十一五”统编教材

载人航天器人机界面设计

周前祥 蔡 剡 李 洁 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

载人航天器人机界面设计 / 周前祥, 蔡判, 李洁编
著. —北京: 国防工业出版社, 2009. 12

总装部队军事训练“十一五”统编教材
ISBN 978 - 7 - 118 - 06413 - 1

I. ①载... II. ①周... ②蔡... ③李... III. ①载人航
天器 - 人 - 机系统 - 教材 IV. ①V476.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 206693 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)

国防工业出版社印刷厂印刷

总装备部军事训练统编教材 编审委员会

(2007)

主任委员	夏长法		
副主任委员	陆晋荣	史续生	聂 皞
委 员	褚庆俊	于俊民	李方洲
	周铁民	郝光宇	赵新国
	单志伟	石春和	孙宝升
	姜国华	肖力田	张 渊
秘 书	石根柱	郝 刚	

本书编审人员

主 编 周前祥

编著人员 第1章 周前祥 第2章 周前祥

第3章 蔡 刿 第4章 李 浩

第5章 周前祥 第6章 蔡 刿

第7章 蔡 刿 第8章 周前祥

统 稿 周前祥

主 审 黄端生

前 言

将工效学理论与方法应用于载人航天器人机界面设计,是提高整个载人航天器系统的安全可靠性和效率的核心要素之一,它包含了对人的因素、空间飞行环境和航天器本身的技术状态这三个方面的相互作用、相互影响。由于载人航天器的人机界面是航天员与飞行器进行信息与能量交换的接口,人机界面如果适配、易于理解、操作简单且具有引导功能,使之方便人的观察与操作,将能够有效地充分发挥出航天员的主观能动作用,并提高人一航天器系统的整体效率。

在进入21世纪的今天,“以人为中心”的设计思想已成为人们日常生活用品设计的主流。因而,随着载人航天器朝着长时间、多乘员和深空探测飞行方向的发展,对用于航天员工作和生活场所的载人航天器的适人性设计将会提出越来越高的要求。反过来,与适人性设计相应的工效学研究的内容、手段和方法也将发生变化。

载人航天器人机界面的工效学研究主要涉及用于飞行过程中观察系统工作状态的监视器、操控航天器飞行的控制器以及航天员生活与工作空间环境等方面的工效学设计要求与评价问题。我们认为,其理论基础是系统工程理论,基础数据包括航天员的工作能力、生理与心理特性数据、航天员作业时的工作负荷变化规律等方面内容。此外,在研究这些问题时,还须考虑航天特殊环境的影响。当然,它也受到工程技术状况的制约。总之,载人航天器人机界面工效学研究的目標就是确保航天器设计与飞行环境适于航天员的特性,优化飞行器人机界面的设计,提高整个飞行系统的安全可靠性。

在载人航天器研制过程中,对航天器的人机界面实施工效学评价也非常重要,国内外载人航天的实践均证明,工效学评价工作是确保载人航

天器人机界面适合航天员人体特性的一个重要环节。同时,也是确保航天器与人机界面相关产品研制质量的重要手段。通常,完成这一工效学评价工作应遵循规范的程序并具有科学的理论与方法。

基于上述设想和我国载人航天器人机界面设计工效学要求与评价工作的实践成果,本书将人机界面设计的相关工效学研究内容分8章组织。第1章绪论,主要介绍载人航天器人机界面发展的概况、研究内容与方法。第2章人机界面工效学设计的基础理论,全面而系统地阐述了人机界面设计的基础理论。第3章乘员的生理与心理特征,讨论了人的生理和心理特征,包括人的信息加工过程、视觉特性、听觉特性、心理特点、人体参数测量以及人的可靠性等。第4章载人航天的环境约束条件,论述了载人航天器人机界面设计的环境约束条件,如微重力、热环境、振动、冲击以及照明等。第5章舱内工作空间设计要求,论述了航天器舱内工作空间设计的一般原则、方法与要求。第6章显示器设计的工效要求,介绍了显示器设计的一般性要求和航天器主要显示装置的设计要素及要求。第7章控制器设计的工效要求,介绍了控制器设计的一般性原则方法和相应要求。第8章载人航天器人机界面的工效学评价,论述了载人航天器人机界面工效学评价的一般要求和常用评价方法。

本书的编著工作是在总装备部、航天医学工程研究所的直接领导下进行的,得到了该所第四研究室的大力支持,并承蒙黄端生研究员担任主审,在此一并表示衷心感谢。我们在编著本书的过程中,也参考了本领域内公开出版的文献,对每一章中所列参考文献的相关作者也表示深深的谢意。

本书力求结合国内外载人航天发展的实际,对人机界面工效学设计的理论等方面进行深入探索与思考,使其具有科学性、系统性、实用性。但由于本学科是一门交叉学科,涉及的专业广,观念更新又快,书中难免有疏漏甚至错误之处,敬请读者批评指正。

目 录

第1章 绪论	1
1.1 基本概念	1
1.1.1 系统	1
1.1.2 系统工程	5
1.1.3 人机界面	8
1.1.4 载人航天机器人机界面	10
1.2 发展概况	12
1.2.1 载人航天发展历程	12
1.2.2 载人航天中人的作用与人机界面设计面临的问题	18
1.2.3 当前现状	23
1.3 研究内容与方法	28
1.3.1 研究内容	28
1.3.2 主要方法	31
1.4 人机界面工效学设计的发展方向	36
1.4.1 人机界面工效学设计的需求分析	36
1.4.2 发展趋势	38
参考文献	39
第2章 人机界面工效学设计的基础理论	41
2.1 人机界面分析	41
2.1.1 设计准则的确定	41
2.1.2 人机功能分配	44
2.1.3 德尔斐法	56

2.1.4	计划评审技术	59
2.1.5	层次分析法	67
2.1.6	主成分分析法	80
2.2	建模仿真	91
2.2.1	模型的分类	91
2.2.2	建模步骤与方法	93
2.2.3	人机界面仿真	95
2.3	工效试验设计	104
2.3.1	试验设计方法分类	104
2.3.2	正交设计的术语	105
2.3.3	正交表	106
2.3.4	正交试验的基本步骤	111
2.4	人机界面评价	112
2.4.1	人机界面评价的基本涵义	112
2.4.2	评价的原则及其过程	114
2.4.3	评价指标体系及其标准化方法	118
2.4.4	评价指标的权重确定	128
2.4.5	常规的工效学评价方法	137
2.4.6	现代工效学评价方法	142
	参考文献	150
第3章	乘员的生理及心理特征	152
3.1	人体感知与信息处理	152
3.1.1	人的信息接收与传递	153
3.1.2	人的信息中枢加工	155
3.1.3	思维与决策过程	158
3.1.4	人的信息输出	159
3.1.5	视觉特性	161
3.1.6	听觉特性	167
3.2	人的心理与行为特征	171
3.2.1	情绪	172

3.2.2	兴趣	173
3.2.3	意志	173
3.2.4	性格	174
3.2.5	注意	174
3.3	人的作业能力与疲劳	176
3.3.1	体力负荷	176
3.3.2	脑力负荷	184
3.3.3	疲劳	193
3.4	人体数据	200
3.4.1	人体测量的基本术语	200
3.4.2	人体数据的类型	202
3.4.3	常用的人体测量方法	205
3.5	人的失误	206
3.5.1	人的失误的特点	207
3.5.2	人的失误的种类	208
	参考文献	210
第4章	载人航天的环境约束条件	211
4.1	微重力	211
4.1.1	人体活动设计考虑因素	211
4.1.2	与微重力相关的生理效应	212
4.1.3	微重力对抗措施及设备	213
4.2	舱内热环境	215
4.2.1	热环境描述指标	216
4.2.2	舱内热环境的控制	222
4.2.3	人体对热环境的反应	223
4.2.4	人在热环境中的作业	226
4.2.5	人在冷环境中的作业设计	227
4.2.6	热环境的设计要求	228
4.3	振动	228
4.3.1	航天器的振动环境	228

4.3.2	航天器的振动传输	229
4.3.3	人体对振动的反应	229
4.3.4	振动(0.1Hz~1Hz)暴露界限	233
4.3.5	振动控制措施	234
4.4	冲击	236
4.4.1	人对冲击加速度的反应	236
4.4.2	冲击加速度的设计要求	236
4.5	噪声	237
4.5.1	载人航天的声学环境	239
4.5.2	噪声传播的控制	242
4.5.3	噪声引起的人体反应	242
4.5.4	噪声对操作能力的影响	244
4.5.5	噪声暴露的临界值	246
4.5.6	噪声防护准则	247
4.6	照明环境	248
4.6.1	影响照明环境的主要因素	248
4.6.2	照明水平	250

5.2.2	数据的类别	264
5.2.3	应用步骤	265
5.3	工作空间的布置原则	268
5.4	作业面设计	270
5.4.1	水平作业面	270
5.4.2	作业面高度	271
5.4.3	工作台布置	272
5.4.4	设计对策	275
5.5	人员通道及辅助设备和束缚装置	277
5.5.1	人员通道	277
5.5.2	辅助设备	278
5.5.3	束缚装置	278
5.6	工效学要求的案例	279
5.6.1	仪表板安装	279
5.6.2	束缚与助力装置	282
	参考文献	284
第6章	显示器设计的工效要求	285
6.1	视觉显示器	285
6.1.1	设计准则	286
6.1.2	视觉显示器工效学设计的一般要求	286
6.1.3	机械仪表	288
6.1.4	图例灯	292
6.1.5	平板式显示器	294
6.1.6	光学屏式显示器	299
6.2	听觉提示器	301
6.2.1	设计准则	302
6.2.2	声音输入/输出设备的设计要求	303
6.2.3	舒适与方便性的设计要求	304
6.3	报警/通报	304
6.3.1	报警/通报信号分类	304

6.3.2	灯光报警信号	306
6.3.3	多功能显示器报警/通报信息显示	307
6.3.4	声报警	307
6.3.5	语音报警/通报	308
6.3.6	报警/通报系统的综合设计	309
	参考文献	310
第7章	控制器设计的工效要求	312
7.1	设计原则	312
7.1.1	控制器编码	312
7.1.2	控制器的力学特性	315
7.1.3	控制器的布局方法	316
7.1.4	控制器的保护	318
7.2	手动控制器	320
7.2.1	旋转选择开关	320
7.2.2	旋钮	321
7.2.3	控制手柄	322
7.2.4	曲柄	324
7.2.5	手轮	324
7.2.6	手动阀	326
7.2.7	按钮	326
7.2.8	拨动开关	327
7.2.9	摇摆开关	328
7.2.10	滑动开关	329
7.2.11	操纵棒	330
7.2.12	键盘	330
7.3	语音控制器	331
7.3.1	语音输入设备	331
7.3.2	语音识别系统	331
7.4	显示与控制组合设计	332
7.4.1	显示器与控制器位置的对应设计	332

7.4.2	运动方向的对应关系	333
7.4.3	控制显示比	334
	参考文献	335
第8章	载人航天机器人界面的工效学评价	336
8.1	工效学评价的内涵与准则	336
8.1.1	一般产品评价的基本内涵	336
8.1.2	载人航天机器人界面工效学评价的内涵	339
8.1.3	工效学评价内容的确定准则	340
8.1.4	试验现场安排原则	343
8.2	工效评价模式	343
8.2.1	评价目的与原则	343
8.2.2	评价的基本环节	345
8.2.3	评价步骤及其任务	346
8.3	常用评价方法	350
8.3.1	定性评价方法	351
8.3.2	文档评价法	357
8.3.3	模拟评价法	359
8.3.4	工效参数测试法	365
8.3.5	人船联合测试评价法	365
8.4	评价结果处理	366
8.4.1	评价结果的给定方法	366
8.4.2	案例分析	367
	参考文献	371

第1章 绪论

1.1 基本概念

1.1.1 系统

1.1.1.1 系统的定义

我们知道,在自然界和人类社会中普遍存在着各种各样的系统,大至无穷,小至微粒。但目前国内外学者对系统的定义还没有统一的说法,下面列举几个有代表性的定义:

在《韦氏(Webster)大辞典》中,“系统”一词被解释为“有组织的或被组织的整体;结合着的整体所形成的各种概念和原理的综合;由有规则、相互作用、相互依赖的诸要素形成的集合等”。

奥地利生物学家、一般系统论的创始人贝塔朗菲把“系统”定义为“相互作用的诸要素的综合体”。

美国学者阿柯夫教授认为:“系统是由两个或两个以上相互联系的任何种类的要素所构成的集合。”

日本工业标准《运筹学术语》中对系统的定义是“许多组成要素保持有机的秩序向同一目标行动的体系”。

我国著名科学家、系统工程倡导者钱学森院士认为:“系统是由相互作用、相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机体,而且这个系统本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。”

上述对系统定义的说法尽管不同,但其涵义都是接近或一致的。一般来说,在我国比较接受的说法是:“系统是具有特定功能的、相互间具有有机联系的多个要素所构成的有机整体”。这一概念与 GJB 897A—2004《人一机—环境系统工程术语》中对“人一机—环境系统”中的定义

相一致。

总体来说,世界上的系统纷繁复杂、千差万别,其分类方法也有不同的标准。例如,按自然属性可将系统划分为自然系统与人造系统,载人航天器就是一个人造系统;按物质属性来分类,它可分为实体系统和概念系统;根据系统与所处环境的关系来区分,它可分为开放系统和封闭系统,很显然,载人航天器系统又可归为封闭系统一类。

1.1.1.2 系统的特征

(1) 整体性。系统是由相互依赖的若干部分组成,各部分之间存在着有机的联系,构成一个整体,以实现特定的功能,这表现为系统具有整体性,即构成系统的各个部分可以具有不同的功能,但最终是为了实现系统的整体功能而形成有机联系。因此,系统不是各部分的简单组合,而要有统一性和整体性,要充分注意各组成部分或各层次的协调和连接,提高系统的有序性和整体的运行效果。

系统的整体性还可以表述为:系统整体不等于各组成元素之和,即非加原则,见表 1-1。

表 1-1 系统整体性的描述

现象	描述	生活中事例的喻意说明
整体小于各组成元素之和	$1+1 < 2$	一个和尚挑水吃,两个和尚抬水吃,三个和尚没水吃
整体大于各组成元素之和	$1+1 > 2$	一个臭皮匠,没张好鞋样;两个臭皮匠,彼此好商量;三个臭皮匠,顶个诸葛亮

之所以出现上述两种情况,是由于系统的整体功能取决于一定结构的系统中各组成元素间的协调关系。在第一种情况,虽然每个元素的功能是良好的,但元素步调不一,协同不好,作为整体就不可能有良好的功能,这种系统不能称之为完善的系统。在第二种情况中,虽然每个元素的功能并不很完善,但它们协同一致、结构好,作为整体具有良好的功能。

(2) 层次性。生物学研究表明,有机生命系统是按照严格的等级组织起来的:细胞→组织→器官→生理系统→个体→群体→生态系统。总的来说,系统可以分解为若干子系统,子系统又可再分成更小的子系统直

至要素,而每一个系统又往往隶属于一个更大的系统。这就是说,一个大的系统包含许多层次,上下层次之间是包含与被包含的关系,或者也可以称为领导与被领导的关系。

例如,在我国载人航天这个大工程系统中,从技术上可以分为载人航天工程大系统→专业系统→专业分系统→专业子系统→项目等层次。对载人飞船而言,它是载人航天工程大系统中的一个专业系统,它本身又可划分飞船系统→分系统→子系统→项目这样的层次。

(3) 集合性。集合性表明系统是由(不少于两个)可以相互区别的要素组成,仍以我国载人航天工程为例,它可分为航天员系统、空间应用系统、载人飞船系统、运载火箭系统、发射场系统、测控通信系统和着陆场系统这七个专业系统。而载人飞船系统又由结构与机构分系统、环境控制与生命保障分系统等 13 个分系统组成,如图 1-1 所示。这些分系统是飞船上完成某些特定功能所需的结构、仪器、设备或部件及软件的组合。又如,在航天员系统的工效要求与评价分系统中,它又由飞船座舱结构布局设计工效学要求与评价子系统、飞船报警工效学要求与评价子系统、飞船显示与照明工效学要求与评价子系统、飞船人工控制工效学要求与评价子系统以及工效学实验设备子系统组成,这些子系统也是为了完成工效学分系统的任务而有机组成的一个集合。

(4) 目的性。目的性是系统具有特定功能的表示,它提供了系统设计、建造或改造的目标与依据,反映了系统功能与行为具有的方向性。系统的目标一般用更具体的目标来体现,并需要用—个指标体系来描述。还是以飞船人机界面设计为例,本质上这是一个由航天员、飞船和飞行环境组成的系统界面设计问题,其目标是使人机界面有利于航天员的观察与操作,提供整个系统的飞行效率和成功率,评价这一界面时,除了运用到航天员的主观感受指标外,还要用到人的反应能力、操作/观察正确率、设计成本、可靠性等。在指标体系中,各个指标间有时是相互统一的,有时又是相互制约的,为此应从整体目的出发,力求获得全局最优的方案,这就要求在指标之间做好协调工作,考虑工程实现的可行性以及人机界面的工效性能,寻求平衡或折中方案。

一般来说,系统整体及其组成要素的功能行为不仅取决于其目前现