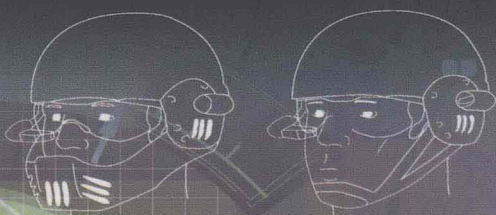


单兵装备人机工程 建模、仿真与评价 ——基础篇

陈晓 钮建伟 蒋毅 编著



科学出版社

单兵装备人机工程建模、 仿真与评价——基础篇

陈晓 钮建伟 蒋毅 编著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本套书是作者根据十多年从事单兵装备研究开发和人机工程基础科研的实践经验,本着力求全面反映单兵装备人机工程的最新发展和理论与工程实践相结合、装备与技术进步相促进的原则而编著的。全套书分为基础篇、应用篇两册,共7章。系统总结了国内外相关领域的高新技术和作者的最新研究成果,内容翔实,并且加入了单兵装备人机工程建模、仿真与评价的大量成功案例,可谓点面结合、深入浅出,实用性强。

读者通过本套书既可以学习单兵装备人机工程学的基本理论和基础知识,也能通过大量实例掌握单兵装备在概念设计、样机设计、样机试制和装备使用全过程中的工程实践方法,是一本单兵装备人机工程管理与应用技术的工具书,可作为相关学校院所的培训教材,也可作为广大军事装备科研人员、管理人员及军事领导干部的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

单兵装备人机工程建模、仿真与评价:基础篇、应用篇/陈晓,钮建伟,蒋毅编著. —北京:科学出版社,2013

ISBN 978-7-03-035944-5

I. 单… II. ①陈… ②钮… ③蒋… III. 单兵-武器装备-人-机系统-研究 IV. E237-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 259747 号

责任编辑:姚庆爽 / 责任校对:包志虹

责任印制:张 倩 / 封面设计:耕 者

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>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013 年 1 月第一次印刷 印张:18 1/2

字数:427 000

定价:168.00 元(全二册)

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

“保存自己、消灭敌人”是战场中的基本军事原则，但人在心理和生理上的自然局限性，使人相对于装备来说成为现代作战系统中一个十分脆弱的环节。

20世纪80年代中后期以来，各发达国家军队竞相研究“士兵系统”，这被称为轻武器装备发展的第四次浪潮。“士兵系统”是发达国家军队单兵装备发展的主流方向，它面向未来作战需求，以单兵作为平台，将单兵战时所需的所有装备尤其是信息化装备进行系统整合，进而成倍提升其毁伤、生存、机动、指控、维持等综合作战效能。

但目前各国士兵系统装备还存在大量的人机工程问题，主要是由于未能从系统工程的角度对复杂人机系统充分考虑其人性化、智能化需求进行原理设计，出现“重装备轻士兵”本末倒置的习惯思维方式，士兵处于被动接受的地位。

从深层次讲，未来士兵系统实际上是人机智能系统在信息战中的一个具体应用。马希文指出：“从应用上来看，谈论人脑与计算机的彼此代替未免空泛、消极，不如研究使两者取长补短的人机共生系统。”1991年钱学森谈到：“我们要研究的问题，不是智能机，而是人与机器相结合的智能系统。不能把人排除在外，是一个人机智能系统。”

因此必须吸纳并扩展人机智能系统的思想，使功能装备与个人能力紧密融合，提倡“人一服装—信息—机械”一体化的技术路线，却更为突出人在系统中的主导作用。简而言之，未来士兵系统的研究关键是要突出“人机结合的智能化‘单兵平台’”的作用与地位。“单兵平台”与坦克、飞机、舰船等大型武器平台类似，是信息战新概念的作战平台，并是影响战斗效果的最积极、最活跃的因素。

因此，作为一个典型的人机系统，士兵系统只有使士兵和单兵装备协调一致，一方面要提高士兵素质，另一方面就是要研究提高单兵装备的系统性并更好地适合人的需求，才能充分发挥系统的战斗力。进而形成一门新型的边缘应用型学科——单兵装备人机工程学，跨越了传统服装工效学的研究范畴，并且更强调与作战和系统相关的特征。它作为人机工程学的分支和延伸，已与单兵装备学紧密融合，更是单兵军需装备研究的重要支撑，是结合专业特性与人机工程学内容而构成的独立系统，具有前沿性、交叉性和实用性的特点。

单兵装备人机工程学的研究对象是未来战争中的典型“人一机一环”系统中的诸要素及诸要素之间的相互作用，建模、仿真与评价是其极具现代特点的研究方法。一些发达国家早已经将人机工程研究与单兵装备的研制、优化和标准化工作紧密地结合起来，如美国的Natick士兵系统研究、发展与工程化中心；而国内在该领域的研究起步比较晚，应用面不是很广，但已经进行了相当多的知识积累和成果积淀。本套书正是在这种背景下应运而生的。

全套书分为基础篇、应用篇两册，共7章，每章讨论一个主题。第1章为概论，从人机工程学的概念、应用出发结合士兵系统的发展方向主要介绍单兵装备人机工程学的

意义、现状和具有现代特征的方法；第2章主要介绍了三维人体测量方法，并针对头部、手部、躯干和脚部分别给出其三维模型与号型系统；第3章将单兵装备数字化设计分为四大类，并重点介绍了典型的军用头盔数字化设计的方法和流程；第4章主要结合自行开发的SEA系统和商用JACK软件的相关技术和应用成果，详细介绍了单兵装备人机工程数字化仿真与评价方法；第5章通过介绍模拟战场环境和气候、交互式作战和步行训练仿真系统，以及人机工程效能评估专家系统，给出了单兵装备人机工程半实物仿真与评价方法；第6章从人体测试评价、模型测试评价和综合评价三个方面详细介绍了单兵装备人机工程实物评价方法；第7章介绍了单兵负荷运动的生物力学最新研究成果，并针对各种外骨骼携行系统进行了实例设计。其中，第1章是本套书的纲领，第2、3章是本套书的技术基础，第4~6章是本套书的主体技术内容，第7章是本套书在新型单兵装备上的典型应用和发展。本套书第1、4、7章及附录主要由陈晓撰写，第3章主要由钮建伟撰写，第5章主要由蒋毅撰写，第2、6章由陈晓和钮建伟共同撰写。另外，侯方、王艳宇、吴沅蔓、赵明参与了书稿的整理工作。

在本套书编写过程中，参阅了国内外有关单兵装备学、军需技术、工程设计、人机工程学、服装工效学、航空航天医学、计算机仿真、各类标准等相关著作、文献和网页。引用的有关资料均在参考文献中列出，在此谨向有关文献的作者致以诚挚谢意。

本套书受到国家自然科学基金委员会青年基金（项目号：51005016）及北京科技大学青年人才科研基金（项目号：FRF-TP-12-058A）支持。

本套书围绕“单兵—单兵装备—战场环境”系统之间的界面关系，用现代化的科学技术手段去研究，内容深入浅出，使单兵装备人机工程学的理论和方法在单兵装备乃至士兵系统的设计使用过程中得以运用，对单兵军需、轻武器、通信、防化、工兵、卫生等领域的研究人员、管理人员、士兵、高校学生、市场营销者均有学习、参考价值。同时，由于单兵装备人机工程学的研究与专业培养尚属初级阶段，书中难免有不妥之处，意在抛砖引玉，期待同行的关注和参与。

作者

2012年10月

目 录

前言

第 1 章 单兵装备人机工程学概论	1
1.1 人机工程学概述	1
1.1.1 人机工程学的概念和应用	1
1.1.2 人机工程学常用方法	4
1.1.3 典型人机系统——单兵装备系统	7
1.1.4 单兵装备人机工程学的内容和意义	16
1.2 士兵系统发展及其人机工程研究.....	20
1.2.1 士兵系统的发展背景	20
1.2.2 士兵系统的人机界面分析.....	22
1.2.3 士兵系统人机工程研究状况	24
1.3 单兵装备人机工程建模、仿真与评价相关领域.....	32
1.3.1 单兵人体三维测量与建模.....	33
1.3.2 单兵装备数字化设计	33
1.3.3 单兵装备人机工程数字化仿真与评价	33
1.3.4 单兵装备人机工程半实物仿真与评价	34
1.3.5 单兵装备人机工程实物评价	34
1.3.6 单兵负荷运动生物力学建模与应用	35
1.4 本章小结.....	35
第 2 章 单兵人体三维测量与建模	36
2.1 概述.....	36
2.1.1 人体测量与标准化	36
2.1.2 人体建模的概念和分类	37
2.1.3 三维人体数据库、模型库的建立	38
2.2 三维人体测量及数据预处理.....	39
2.2.1 三维人体测量技术	40
2.2.2 三维人体扫描设备及其挑战	42
2.2.3 三维人体数据预处理	43
2.3 单兵人体建模与号型系统.....	54
2.3.1 概述	54
2.3.2 三维头面部建模与号型系统	57
2.3.3 三维手部建模与号型系统.....	97
2.3.4 躯干建模与号型系统	104

2.3.5	三维足部建模与号型系统	111
2.4	人体模型验证	117
2.4.1	Jack 软件中的人体模型验证	118
2.4.2	基于标准头面型的军盔盔形验证	122
2.4.3	携行具背架与人体背部的虚拟装配	124
2.4.4	裤子号型系统的虚拟试穿	125
2.5	本章小结	126
第 3 章	单兵装备数字化设计	127
3.1	概述	127
3.1.1	单兵装备数字化设计的发展背景	127
3.1.2	单兵装备数字化设计的作用与意义	128
3.2	数字化设计概念	129
3.2.1	数字化设计的发展历程	130
3.2.2	数字化设计的核心技术	130
3.2.3	常用数字化设计软件	132
3.3	产品数字化造型技术	134
3.3.1	几何模型的基本概念	135
3.3.2	传统几何实体造型方法	135
3.3.3	参数化与变量化几何实体造型方法	142
3.3.4	基于特征造型的几何实体造型方法	148
3.4	单兵装备数字化设计	149
3.4.1	简单造型类单兵装备数字化设计	150
3.4.2	复杂造型类单兵装备数字化设计	151
3.4.3	柔性造型类单兵装备数字化设计	165
3.4.4	集成系统类单兵装备数字化设计	174
3.5	单兵装备数字化设计案例：军用头盔数字化设计	177
3.5.1	头盔石膏造型参数的提取	179
3.5.2	头盔数字化模型的构建	179
3.5.3	基于小波分析的步兵盔曲面快速修改方法	180
3.5.4	参数化造型工具设计	194
3.5.5	头盔附件数字化造型	195
3.5.6	头盔数字化设计应用实例	196
3.6	本章小结	198
第 4 章	单兵装备人机工程数字化仿真与评价	199
4.1	概述	199
4.1.1	人机工程数字化仿真评价概述	199
4.1.2	人机工程仿真软件简介	205
4.1.3	单兵装备人机工程数字化仿真评价的作用与功能	209

4.2 仿真环境与几何建模	211
4.2.1 仿真环境的搭建	211
4.2.2 士兵人体参数化建模	214
4.2.3 单兵装备的几何建模与加载	224
4.3 士兵姿势控制与运动仿真	228
4.3.1 关节活动范围控制	228
4.3.2 姿势加载、编辑与保存	229
4.3.3 动态仿真方法	231
4.3.4 动态仿真实例	233
4.4 单兵装备人机工程数字化评价	245
4.4.1 概述	245
4.4.2 可视性分析	247
4.4.3 可达性分析	252
4.4.4 姿势舒适性分析	268
4.4.5 质心分布计算	272
4.4.6 辅助分析计算	274
4.5 数据库搭建与管理	274
4.5.1 数据库结构	275
4.5.2 数据库典型设计	276
4.6 Jack 二次开发过程和实例	279
4.6.1 Jack 的结构	279
4.6.2 仿真平台方案设计	280
4.6.3 二次开发过程	280
4.6.4 调用开发的动作库进行仿真	281
4.7 本章小结	282
参考文献	284

第 1 章 单兵装备人机工程学概论

1.1 人机工程学概述

1.1.1 人机工程学的概念和应用

从 20 世纪 50 年代以来，特别是电子计算机的出现和载人航天活动取得的突破性进展，使得人们越来越不能适应复杂机器的要求。因此，各发达国家纷纷认识到研究人、机械、环境之间相互关系的迫切性和重要性，利用人体科学和工程学的最新成果，竞相开始了一系列卓有成效的研究。美国的人的因素 (Human Factors)、人因工程学 (Human Factor Engineering)，前苏联的工程心理学，欧洲的工效学 (Ergonomics)，日本的人机系统 (Man-Machine-System)、人间工学、人体工学等诸多学科，从不同侧面、不同角度深入研究人机工程，在本套书中统一称为人机工程学。

而实际上人机工程的理念早已广泛深入人们的工作生活之中，它根据人体科学和工程学，研究人、机械、环境相互间的合理关系，以保证人们安全、健康、舒适地工作并取得满意的工作效果。社会的发展、技术的进步、产品的更新、生活节奏的加快等一系列社会与物质的因素，使人们在享受物质生活的同时，更加注重产品在“方便”、“舒适”、“可靠”、“价值”、“安全”和“效率”等方面的评价，也就是在产品设计中常提到的人性化设计问题。所谓人性化产品，就是包含人机工程的产品，只要是“人”所使用的产品，都应在人机工程上加以考虑。仅从工业设计这一范畴来看，大至宇航系统、城市规划、建筑设施、自动化工厂、机械设备、交通工具，小至家具、服装、文具以及盆、杯、碗筷之类各种生产与生活所创造的“物”，在设计和制造时都必须把“人的因素”作为一个重要的条件来考虑。若将产品类别区分为专业用品和一般用品的话，专业用品在人机工程上则会有更多的考虑，它比较偏重于生理学的层面；而一般性产品则必须兼顾心理层面的问题，需要更多的符合美学及潮流的设计，也就是应以产品人性化的需求为主。

一个好的产品设计是可以涵盖形态和人机因素的，产品的外形一样也可以有机会左右人机工程的发挥。以 TEAGE 为微软所设计的易用鼠标球为例，该鼠标是特别为儿童体验电脑而设计的，在方案决定之前对儿童的抓握方式进行了研究，黄白两色相间的鼠标球使儿童们在学习电脑时，增加了趣味性和功能性。该产品已经超脱了产品造型上的束缚，除更好用之外，也同时被赋予了新的意义与想象空间。除了一般的大众消费品之外，专为特殊族群所设计的产品在人机工程学上也有更多的考虑。如残疾人用的瓷器餐具，此套餐具针对残疾人设计，又不让人直接看出它们是专为残疾人做的。因此，在充分考虑了人机工程学的基础上，还特别处理手把的凹凸，使残疾人拿在手里有一种心态上的平衡感，既能看到、摸到，但又不那么显眼。对医疗设备来说，病床、医疗椅等产

品，在设计上不只是考虑操作要符合人机工程学，在材料上也应力求人性化，增加产品的亲和力，以提高产品的“EQ”。

国际人类工效学学会（International Ergonomics Association, IEA）对人机工程的定义为：人机工程是研究系统中人与其他组成要素交互关系的一门学科，该学科运用其理论、原则、数据和方法进行设计，其目的是使整个系统的工效与人的健康最优化。它有五个指导性原则：安全、舒适、易用性、生产率/性能以及审美。安全：如药瓶的标签，标签上的字体要足够大以便视力有问题的病人可以清楚地看明白剂量，需研究药瓶标签印刷上的形式、颜色、大小以便优化视觉效果；舒适：如闹钟的显示，有些显示亮度较强，在黑暗的环境下容易刺激人眼，需根据对比度原则设计亮度差；易用性：如路牌的位置，在陌生的地方，很多情况下很难发现路牌，需根据视觉原理重新设计；生产率/效能：如高清电视的音量，和普通的电视相比，高清电视的声音要小得多，所以当从高清信号转换成普通信号时候，声音会突然显著变大，分贝级差导致强声伤害耳朵，需用平均分贝等级来解决这个问题；审美：如工作场所的标志，标志设计要和场所一致，既要符合审美，也要易于识别理解。

具体讲，人机工程学面向“人—机—环”系统的设计和开发，并对人体结构特征和机能特征进行研究，提供人体各部分的尺寸、重量、体表面积、比重、重心以及人体各部分在活动时的相互关系和可及范围等人体结构特征参数；还提供人体各部分的出力范围、活动范围、动作速度、动作频率、重心变化以及动作时的习惯等人体机能特征参数，分析人的视觉、听觉、触觉以及肤觉等感觉器官的机能特性；分析人在各种劳动时的生理变化、能量消耗、疲劳机理以及人对各种劳动负荷的适应能力；探讨人在工作中影响心理状态的因素以及心理因素对工作效率的影响等。

该学科实际上是人体科学与环境科学不断向工程科学渗透和交叉的产物。它以人体科学各学科为“一肢”，以环境科学中的各学科为“另一肢”，而以技术科学中的各学科为“躯干”，形象地构成了该学科的体系，如图 1-1 所示。

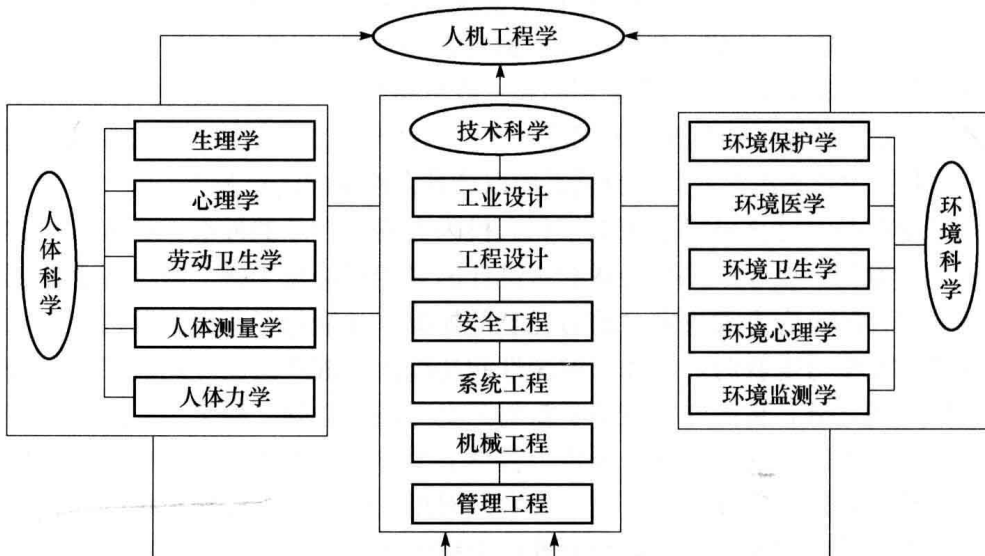


图 1-1 人机工程学体系

人机工程学的显著特点是,在认真研究人、机、环境三个要素本身特性的基础上,不单纯着眼于个别要素的优良与否,而是将使用“物”的人和所设计的“物”以及人与“物”所共处的环境作为一个系统来研究,即“人一机一环”系统。这个系统中,人、机械、环境三个要素之间相互作用、相互依存的关系决定着系统总体的性能。人机工程学的人机系统设计理论,就是科学地利用三个要素间的有机联系来寻求系统的最佳参数。人机工程学研究需运用系统的观点,使人、机械、环境的配合达到最佳状态。环境因素通常是去适应而无法去改变,所以一般条件下“人一机一环”系统主要是“人机系统”。人开始使用机器就构成了人机系统。

在人机系统中操纵人员被看做系统中的一个元件。操作人员通过感觉器官(视、听、触、嗅、味)接收来自机器的信息,了解其意义并予以解释,或先进行计算,再把结果与过去的经验和策略进行比较,然后作出决策。作出决策后,人通过控制器官(手、脚等)去操纵机器的操纵器(如开关、按钮、操纵杆、操纵盘、光笔或呼口令等)改变机器的运转情况。机器随即发出新的信息,如此重复不断。人机系统不是孤立存在的,而是存在于某种环境之中。环境特性影响人的效率和行为,环境因素包括温度、湿度、噪声、照明、加速、振动、污染和失重等。设计人机系统时,要把人和机器作为一个整体来考虑,合理地或最优地分配人和机器的功能,保证系统在环境变动下达到要求的目标。

人机系统中人的特性、能力和限制已经有大量测试数据可查。从系统分析角度研究人机系统,在原有设备基本不变的情况下,由于考虑了人的动态特性而进行系统分析,再适当改动设备,就能显著提高工效。如手动控制系统,即操纵人员直接参与的用手连续控制的系统,在飞机、火炮、雷达、汽车、舰船和航天飞机等方面已广泛应用,在工业生产中也得到广泛应用。人机接口系统,即人和计算机之间相互作用的系统,已是电子计算机发展的必不可少的重要组成部分。人机接口系统中人承担越来越多的功能,操纵人员执行许多操作,进行人机对话,处理大量信息,作出各种决策。指挥控制通信系统(简称C3系统)是一种多操纵人员、多台机器(或工程系统)的复杂人机系统。即使是一个非常简单的设备,在人员操纵上也会产生常规工程实践无法解决的问题。

人机工程学的应用领域目前已包括电话、电传、计算机控制台、数据处理系统、高速公路信号、汽车、航空、航天、航海、现代化医院、环境保护、教育等,甚至还可用于大规模社会系统。人机工程学在军事领域中尤其受到重视,美军在陆、海、空三军都分别建立了从事工效学研究的机构。在1971年,美国直接从事工效学方面工作的研究人员有1/5是就职于军事部门的,人机工程对军事装备研究的重要性可见一斑。

第二次世界大战期间,发现对制造出来的各种高效能的新式机器和机器系统(生产、运输、通信、武器和航空飞行器等)进行操纵和控制时,整体系统的工作效率在很多情况下是由其中人的活动来决定的。如雷达运行时,要求操纵人员接收和分辨出显示器上显示的各种信息,根据这些信息在很短时间内作出决策和进行操作。若雷达设备的全部潜力没有发挥出来,至少部分原因是操纵人员不能掌握这个电子设备的复杂操作。经验和教训提醒人们,有时飞机弄错方向坠毁,炸弹误中友船,就是因为设计时没有考

虑人的各种长处和短处。电子计算机发展的初期,计算机运算速度很快,输入数据、编制程序和打印结果很慢,机器经常处于空闲状态,也是因为没有考虑和研究人机接口系统和人机功能分配等因素引起的。人的能力和机器的潜力很好地配合,能提高管理和控制效率。随着机械化、自动化和电子化的高度发展,人的因素在生产中的影响越来越大,人机协调问题也就越来越显得重要,军事人机工程学就是在这样的背景下创立和发展起来的。

1983年美国在发展先进武装攻击直升机LHX时,用“人一机一环”系统工程中的乘员工作负荷分析方法论证了单座和双座两个方案;在进行阿波罗登月计划时,对载人飞船这一典型的“人一机一环”系统创建了数学模型,并进行了广泛的数值试验研究;前苏联在发展太空站计划时也开展了类似的工作。据称,美国军事发展的重大项目立项论证报告,必须有相关的人机环境系统工程的内容才能批准。海湾战争后,美国把人机工程列为优先发展的十大高新技术之一。

在新的世纪里,人们以新的方式来感知世界,人们越来越多地在追求一种新的生存环境和生存空间。毫无疑问,未来的人性化设计具有更加全面立体的内涵,它将超越人们过去所局限的人与物关系的认识,向时间、空间、生理感官和心理方向发展,更加关注专业化产品和特殊使用人群,同时,通过现代高科技技术如CAD/CAM、虚拟现实、互联网络等多种数字化的形式而扩延。例如,本套书所描述的单兵装备人机工程即属于军事人机工程学的新兴特殊领域,离不开数字化设计、数字化仿真和半实物仿真等高科技评价手段。中国未来的产品设计必须以创意与革新为首要条件,唯有真正好用且务实的商品才能在市场上脱颖而出,让消费者感到贴心且实惠的产品方是企业制胜的绝佳利器。符合人机工程、人性化的设计是最实在,同时也是最前沿的潮流与趋势,是一种人文精神的体现,是人与产品完美和谐的结合。

1.1.2 人机工程学常用方法

人机工程学研究的一般方法,通常是在明确人机系统设计总体要求的前提下,着重分析和研究人、机械、环境三个要素对系统总体性能的影响,如系统中人和机的职能如何分工、如何配合,环境如何适应人,机对环境又有何影响等问题,经过不断修正和完善三要素的结构方式,最终确保系统最优组合方案的实现。

建立人机系统,必须考虑以下五方面:人员选择、训练(包括训练设备)、设备设计、操作程序和环境。建立复杂的人机系统,除了这五方面外,还要考虑人机系统的系统性能、人和机器的特性等,采用系统科学或信息科学的方法来设计和分析,然后进行系统试验,检查系统性能和操纵人员操纵的难易程度。一般说来,人机系统要反复试验和使用才能逐渐完善。人机系统中,操纵人员是人机系统中的主体,设计和运用人机系统时应当充分发挥人在人机系统中的能动和主导作用。设计人员要和操纵人员密切配合,使人机系统达到要求的性能和指标,同时保证操纵人员操纵简便、安全舒适和提高系统工效。

在整个研究过程中,人机工程师和工业设计师都必须全程参与,相互的工作密不可

分,即便是同一个设计人员,在各个阶段为主为辅的角色会有不同。例如,产品概念由工业设计师主导,测试则由人机工程师主导,每个步骤以剧本的形式来串联沟通。每件产品都有各自的在人机工程学上的特色,特别是消费性产品。以汽车内部设计来说,就有三个表达人机工程需求的方式。一是操控界面,如方向盘的设计。二是座椅及内装设计,如一些大客车座椅,或者老板椅的靠背上部,都有一道鼓起来的凸包。对于大多数的中国人来说,这个凸包常常是顶在后脑勺,使得身体后靠在椅背时,不得不稍稍低头。从设计上来说,这道凸包本来是用来垫靠颈部凹处,使人的头颈更舒服的。问题的出现是由于这些座椅的设计和生直接生产从国外引进,而生产者又没有重新考虑中西方人在身材方面的不同,即人机工程师的测试环节未能及时到位,尺寸上完全照搬,结果西方人垫颈的凸包就顶住了人们的后脑勺。三是情报沟通系统,如导航系统设计及安全警报功能。

由于学科来源的多样性和应用的广泛性,人机工程学中采用的各种研究方法种类很多,有些是从人体测量学、工程心理学等学科中沿用下来的,有些是从其他有关学科借鉴过来的,更多的是从应用的目标出发创造出来的。图1-2是汽车装配的人机系统仿真设计,这是人机工程学为工业设计开拓了新的思路,并提供了独特的研究方法和有关理论依据。下面总结了一般产品设计领域的几类方法,各类方法之间可以交叉和融合。

实验测量法的交互性和控制好,过程直观,但依赖于设备,数据散乱、不易分析,具有模糊性;分析处理法的解析性、再现性和预测性好,但较为理想化,具有不完全性,往往只能模拟系统一个或少数几个方面的性能;运行调查法真实易行,当被试者不知正在进行着试验的情况下主观性最小,适用于做检验,缺少再现性,偶然性大,应采取大样本进行。每种方法都离不开对数据的处理方法,尤其是实验测量法和运行调查法,因为当设计人员测量或调查的是一个群体时,其结果就会有一定的离散度,必须运用数学方法进行统计分析,才能转化成具有应用价值的数据库,或获得定性评价,对设计产生具有指导意义。实验测量法和运行调查法均属于人机工程学的常规方法,可统称为工效计量学(Ergonomics),它专门地、集中地研究人机工程中运用定量分析方法的问题。分析处理法是人机工程学的新兴方法,充分利用计算机、虚拟现实、互联网络、仿真模型等高新技术手段进行模拟和预测,适合应用于较为复杂的人机系统。

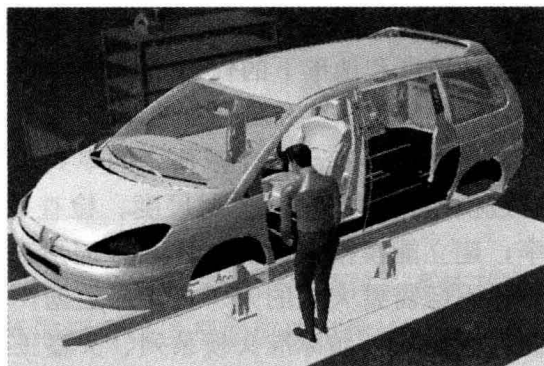


图1-2 汽车装配人机系统仿真设计

1.1.2.1 实验测量法

测量方法是人机工程学中研究人形体特征的主要方法,它包括尺度测量、动态测量、力量测量、体积测量、肌肉疲劳测量和其他生理效应的测量等几个方面。实验测量

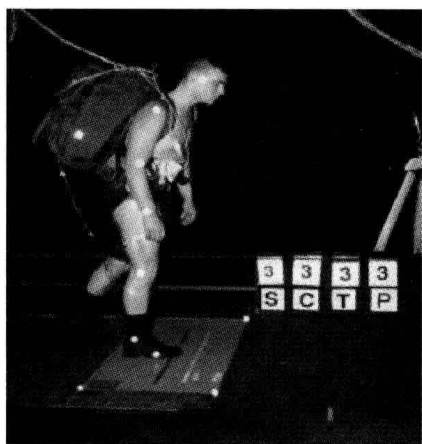


图 1-3 携行背具士兵的生理和动力学指标测量

法可采用真实活人体、人尸体和动物来进行,采用活人最为常见。例如,在模拟作战情况下对士兵的各种力学、姿态、生理、生化和心理等指标变化进行监控,并对大量信息进行人工或者智能专家分析,最终实现单兵装备和战技术动作的优化设计。借鉴国内外在军事科研、人体运动、航天医学及工效学等领域的经验,单兵装备人机工程实验测试方法在运动学、生物力学和生物医学方面占有相当大的比重,因为这方面的测试设备和手段相对较成熟,并且具备通用性,适于实验室内采用。图 1-3 即为美国 Natick 士兵研究、发展与工程化中心对携行背具的士兵的生理指标和动力学指标进行实时测量的情形。

1.1.2.2 分析处理法

1) 建立模型方法

这是现代产品设计必不可少的工作方法,包括数学模型、几何模型和物理模型,它也是计算机辅助设计和仿真技术开展的基础。基于大量的人、机、环数据建立数学模型,可为科学制定和使用装备标准提供依据,例如,建立单兵的各种体重、负荷在不同速度、坡度和地形下的代谢量计算模型,可作为研究单兵负荷量标准的高效工具,再如,构建防弹头盔和防弹衣的减伤分析模型,估算特定弹道杀伤单元对人体的杀伤概率,进而获得基于战斗减伤率的单兵防护装备防护能力的评估;建立产品几何模型,通过模型构思方案、规划尺度、检查效果、发现问题,有效地提高设计效率和成功率;建立能模拟人、机、环某方面形态和功能的物理模型是建立模型方法的最高境界,不但需要大量的人、机、环数据,掌握普遍规律,还需合理利用工程技术开发功能再现实物,如标准头模系列、头盔工效与力学性能测试系统、暖体假人、模拟环境气候仓等。

2) 人机工程计算机辅助设计

把人机工程中的数据管理、表现和装备制造采用高效的计算机辅助设计。例如,把人机工程设计的各种标准、规范等数据和信息软件化,建立数据库和其数据管理系统,以便快速查找,如创建男军人三维头面型数据分析管理系统;在采集人体三维尺寸信息的基础上,通过 CIMS 技术完成系统的快速化数字成型等,也即计算机模型建立。

3) 计算机仿真和虚拟现实技术

计算机仿真通过计算机图形显示研究人的可达性、可视性、静动态姿势等问题,为设计者提供辅助手段和参考。其最高境界是虚拟现实技术,它是可用于创建和体验似真环境的计算机系统或半实物仿真系统,通过多媒体传感交互设备使人进入一种人工媒体空间场景,进而具有逼真的、亲临现场的感觉,直接参与其中的事物变化和相互作用。如交互式作战对抗系统、智能虚拟步行训练系统。

1.1.2.3 运行调查法

1) 主观评价方法

主观评价方法即对人的主观体验信息的搜索和分析。某些感受可能难以量化,应通过概率学和模糊数学等方法进行分析。例如,已成功应用的个体防护装备适体性的主观评价方法、军机驾驶舱人机工效的主观评价方法。

2) 资料库调查建立

人机工程学中许多感觉和心理指标很难用测量的办法获得。有些即使有可能,但从设计师工作范围来看也无此必要,因此,设计师常以调查的方法获得这方面的信息。如每年持续对1000人的生活形态进行宏观研究,收集分析人格特征、消费心理、使用性格、扩散角色、媒体接触、日常用品使用、设计偏好、活动时间分配、家庭空间运用以及人口计测等,并建立起相应的资料库。调查的结果尽管较难量化,但却能给人以直观的感受,有时反而更有效。

3) 运行效果记录

完成任务的错误率可作为评估系统可操控性的一个指标。例如,士兵对个体防护装备的不正确使用比率,体现了单兵装备系统的操作性能。事故率体现了系统的可靠性。例如,在战场上头盔或者防弹衣的实际贯穿比率是其防弹能力的真实体现。身体表面的可达性等级试验记录是对士兵实际操控能力的测评,也属于该类。

1.1.3 典型人机系统——单兵装备系统

1.1.3.1 单兵装备人机系统概述

系统是指相互作用、相互依赖的各个部分所组成的一种特定功能的整体,系统观自20世纪40年代以来得以逐步形成和完善。系统性问题可以说是如何使整体达到某种功能最强、性能最稳定等,简言之就是 $1+1>2$ 。一个系统的优化指标一般有多个,几个指标同时达到最优的情况一般不存在,局部最优不等于实现了全局最优。要达到整体的优化,必须进行统一规划,在诸多可能的方案中找出一个相对最佳的方案。系统性在军事领域中尤为重要,往往需要牺牲局部利益来求取全局的最优,古今战史中不乏实例。系统性的思维充分地体现在决策之中。

以信息技术为先导的高新技术的迅猛发展引发了全球范围内的军事革命,导致了军事战略思想、战术体系结构、作战形式以及军事装备的根本性变革。战场数字化技术不仅增强了士兵之间的信息传输、协同作战能力,也极大地加大了士兵与装备间、各种单兵装备之间的相互作用和依赖。而所有的人员和装备品又同时受到环境因素(包括自然环境和战场环境)的制约和影响,因此全军和单兵的系统性在军事科研尤其是后勤科研中已越来越受到关注,如图1-4所示。对于全军大系统,为提高其系统特性,军事运筹学是目前有效的研究手段,已相对成熟。

在新的战争模式中,单兵作为基本战斗单元其作战能力仍将是决定战争成败的重要

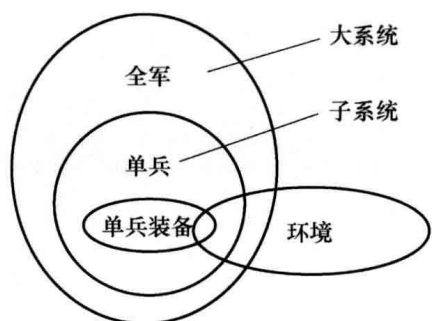


图 1-4 全军系统和单兵系统

因素。20 世纪 80 年代后期以来，以美国为首的发达国家纷纷开展了“士兵系统”研究，它作为传统单兵装备系统发展的主要方向，是一个非常典型的人机系统，即将人的因素纳入其中，而军需范畴内的单兵防护携行装备的一体化和模块化设计以及人因的体现是其研究的重要内容，逐步形成了在全军大系统下的单兵子系统。为构建我军的单兵装备系统乃至“士兵系统”，应系统地进行单兵装备人机工程学的研究，我军长期以来缺少完善的、针对性强的

研究体系和成果。

即便是作为研究主体的单兵防护携行装备还仍然处于快速发展之中，例如，单兵外骨骼携行支持系统的出现就带来了许多全新的人机工程课题。单兵防护携行装备在传统意义上讲主要指被服装具，现今逐渐被赋予了更宽泛的内涵和外延，它是单兵装备与人体的交互界面和承载平台，也是各种单兵装备之间的联系纽带，因此最能体现人因效果。按照不同需要，它在单兵装备中品种和数量也最多，评价和优化显得异常重要。

1.1.3.2 单兵装备及其防护携行现状

1) 携行现状与问题研究

运用模拟演练、切身体验、问卷访谈、观察记录、照片和视频分析等行为研究手段，全面调研分析我军单兵携行现状，准确分析形成问题的原因，全面掌握携行需求，从而可为单兵携行装备的研制和人机工程研究提供实践依据。

通过由机关和陆、海、空三军科研人员组成的联合调研组赴摩步团、特种大队、海军陆战队、空降师等部队进行实地调研，涵盖步兵、炮兵、装甲、防空、侦察、通信、工兵、指挥等专业，涉及 600 多种战斗岗位，体验、分析了 1700 多人次的携行状态，准确获取 177 种 245 套（件）单兵携行的装备物资的形态、尺寸、重量、携行方式与使用要求等数据，以及不同作战任务和战场环境对单兵的携行要求，归纳得到我军单兵作战的各种典型携行状态，全面掌握了单兵“带什么、带多少、怎么带、怎么用”的携行现状和需求。

我军单兵携行现状具有如下特点：一是单兵装备种类繁多。我军单兵作战携行的装备物资包括武器弹药、通信、军需、防化、工兵和卫生等六大类，共 177 种 245 套（件）（见表 1-1），作战时单兵需要配套携行上述六大类装备中的不同品种，才能形成完整的战斗力。二是携行状态多样化。按照单兵携行的装备物资种类、数量、方式、位置等特征划分，我军步兵、特种大队、海军陆战队和空降兵等兵种作战人员的携行状态多达 147 种。其中，现行单兵携行具仅满足了其中的 4 种携行状态，适用面窄，在其余的 143 种携行状态中，有 41 种携行状态可以使用现行单兵携行具，但部分作战装备没有设计适当的携行位置；有 52 种携行状态只有生活携行具，没有战斗携行具，作战携行方式极不合理；有 50 种携行状态使用武器装备专用装具，只考虑了武器装备的携行，没有合理分配其他配套装备的携行位置。

表 1-1 单兵携行装备统计

装备分类		品种数量	组成件数
武器弹药	单兵武器	14	17
	班组武器	17	52
	弹药	23	23
通信装备	通信、指挥装备	18	32
	观瞄器材	38	50
军需物资		26	26
防化装备		9	9
工兵装备		27	27
卫生装备		5	9
总计		177	245

从行为研究的角度看,我军单兵现行携行模式具有如下特征:在群体携行行为上,缺乏系统规划,没有顶层的整体设计,处于无序状态;在个体携行行为上,单兵装备的携行设计没有得到足够的重视,除现行单兵携行具适用的4种携行状态外,绝大部分携行状态都没有进行携行装备的系统集成。存在的主要问题:一是携行方式不科学。携行方式以斜挎为主,带子数量偏多,互相交叉缠绕,约84%的单兵身上有4~7条带子,最多的达11条。二是携行位置不合理。负荷主要集中在肩部,造成局部过度疲劳。三是携行装备不稳固。摇晃碰撞,互相干涉。这些问题严重影响了单兵携行能力和战斗力的发挥。

有关携行系统的发展情况参见第7章。我军以前装备的单兵携行装备有91式和5.8枪族两种单兵携行具,它主要是针对步枪手、狙击枪手和轻机枪正副射手的携行需求而进行系统设计的,在以前的情况下,上述两种携行具可以满足摩步团30%战斗人员的携行需求。但随着防毒服、防毒斗篷、防毒手套、防毒靴套、班长电台、115电台、激光测距机等装备的配发,以及现代战争条件下对单兵携行装备提出的防火阻燃、排水、防水、防弹等新的功能要求,现行单兵携行具已不能满足当前条件下的作战携行需求。

单兵携行问题形成的原因主要表现在三个方面:体制上,作战携行的装备隶属于作战部门、后勤部门和装备部门分头管理,研究发展缺乏系统规划;技术上,品种过多、功能单一、形状各异、匹配性差;管理上,配发与使用条块分割,缺乏沟通和协调。

从携行行为角度分析,单兵装备的携行是有规律可循的。一是单兵的携行状态可分为战斗携行状态和行军携行状态两种,在这两种状态中,大部分人员的携行状态是不同的,战斗状态时需解脱生活携行具。部分使用武器装备专用装具的人员战斗状态和行军状态相同,其原因在于这时单兵背部背负专用背具,无论行军还是战斗时都无法携行生活携行具。二是单兵配备的装备物资各不相同,但每人都配备有防毒面具、防毒服、防毒斗篷、防毒手套、防毒靴套、水壶、口粮、急救包(放在作训服上)等品种,同时再根据战斗岗位需求,携行不同的武器弹药、通信、军需、防化、工兵和卫生等作战装备。

在战术层次上,可对不同战斗样式中步兵战斗行动及单兵战术需求进行系统分析,归纳出未来我军步兵在登陆战斗、城市进攻战斗、反恐作战和高寒高原边境作战样式的不同作战阶段中的主要行动、各种行动距离与速度、主要携行装备需求等问题,从而获得单