

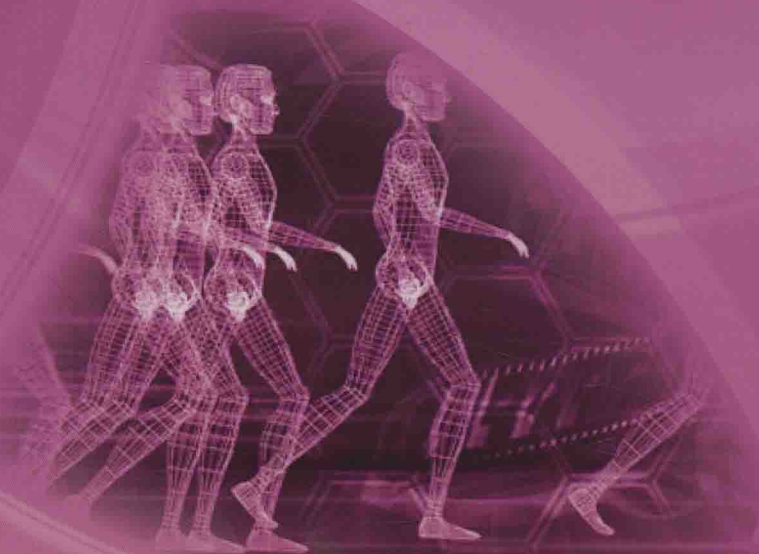


工业和信息化部“十二五”规划教材

# 人体工效学

Renti Gongxiaoxue

主 编 丁 立  
副主编 柳忠起 李 艳



北京航空航天大学出版社  
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



工业和信息化部“十二五”规划教材

# 人体工效学

主 编 丁 立

副主编 柳忠起 李 艳

北京航空航天大学出版社

## 内 容 简 介

随着社会的不断进步,工效已经逐步深入人们生活的各个方面。作为生物医学工程一个重要的研究方向,本书针对生物医学工程的医学和工程双重背景,将医学和工程有机结合,阐述了人体工效学所涉及的基本知识、基本原理和研究方法。全书共分8章,分别介绍人体工效学的发展概况、人体测量、人的特性、人-机关系、人-环关系、工作负荷、工效学评价方法和典型工效学问题等。书中配有典型工效学问题和思考题,侧重运用基本人体工效学知识去解决工程 and 实际生活中的工效问题。

本书可作为生物医学工程专业、航空航天工效学专业学生的教材,也可为生物医学工程设备、航空航天个体防护装备设计人员、管理人员和工程技术人员提供参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

人体工效学 / 丁立主编. -- 北京:北京航空航天大学出版社, 2016.5

ISBN 978-7-5124-2116-5

I. ①人… II. ①丁… III. ①工效学—高等学校—教材 IV. ①TB18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 095214 号

版权所有,侵权必究。

## 人 体 工 效 学

主 编 丁 立

副主编 柳忠起 李 艳

责任编辑 王 实

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

北京兴华昌盛印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本:787×1 092 1/16 印张:13 字数:333 千字

2016 年 5 月第 1 版 2016 年 5 月第 1 次印刷 印数:2 000 册

ISBN 978-7-5124-2116-5 定价:39.00 元

# 前 言

生物医学工程是近年来发展非常迅速的交叉学科,人体工效学是其中一个重要的研究方向,国外已有多所大学的生物医学工程专业将人体工效学列为必修或选修课程。而在我国生物医学工程专业领域,这门学科的发展相对滞后。为适应生物医学工程专业快速发展的需要,本教材针对生物医学工程专业学生医工结合的特点,侧重介绍了人的基本特性、人与机器交互时的人体能力、环境对人的影响、工效评价方法中人的生理参数测试等内容,力图使教材知识体系中人的能力和工效评价达到较好的平衡。

为了系统地在教材中向该专业的人员介绍人体工效学的基本理论、基本方法和应用设计等方面的知识,编者以人、人-机、人-环为主线来安排教材的内容和章节。全书共分8章。第1章为导论,介绍人体工效学的基本定义、发展史、研究内容和主要研究方法。第2章和第3章为人体测量及人的能力和特性,第2章侧重于介绍与工效学相关的主要的人体测量方法、测量工具、人体数据处理方法、人体基本参数,以及人体生理数据在各行业的工效学应用;第3章侧重于介绍与工效学相关的眼、耳、皮肤、前庭等感知觉器官接收外界信息的能力,大脑进行信息综合处理的能力和人体运动系统、语言、眼动等的执行能力。第4章为人与机器的关系,通过人与机器的各种能力比较,介绍人-机工效分配的基本原则、分配依据,探讨人如何适应机器、人-机界面设计等的基本原理和方法,并结合一些具体实例来说明人与机器的关系。第5章为人与环境的关系,介绍高低温、低压缺氧、失重、超重、光照和噪声等各种环境对人的机能、作业工效的影响及相关防护措施。第6章为工作负荷,介绍工作负荷的基本定义、体力和脑力负荷的界定,以及相关的生理机理、测量方法、评价方法和预测方法。第7章为工效学评价方法,系统地分析工效学评价方法的基本原则和评价步骤,结合实例介绍动作分析法、问卷调查法、连接分析、检查表法、环境指数法、海洛德分析评价法、德尔斐法和模糊综合评价法等现今常用的工效学评价方法的原理和应用范围。第8章为典型工效学问题,以航空和航天的典型工况为例,分别从仿真和试验的角度介绍4个典型的工效学研究实例,力图使读者能够系统了解工效学的评价方法。

鉴于工效学是一门应用性很强的学科,本书力求理论与实际并重;尽量介绍得简明扼要、条理清晰、深入浅出,并紧密结合工程实际。作者根据多年从事工效学教学的经验,在每章开始给出概要的探索问题,帮助读者了解该章节所要阐述的内容,掌握研究要点。在每章最后又都针对性地提出了思考题,这对学生的创新思维能力和工程素质的培养都能起到积极的作用。此外,为了帮助读者了解更



多相关的内容,作者还给出了推荐读物目录,供有兴趣的读者选读。

本教材由丁立任主编,柳忠起、李艳任副主编。第1章和第8章由丁立编写,第2章由叶青编写,第3章由李艳编写,第4章由李先学编写,第5章由田寅生编写,第6章和第7章由柳忠起编写,全书由丁立统稿。本书在编写过程中,参考了大量国内外文献资料和兄弟院校的有关教材,在此谨对原作者深表谢意。

由于编者水平有限,书中不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2016年4月于北京航空航天大学

# 目 录

第1章 导 论	1
1.1 人体工效学的定义	1
1.2 人体工效学的发展历史	2
1.3 研究内容	7
1.4 研究方法	9
本章小结	13
思考题	13
参考文献	15
第2章 人体测量	16
2.1 概 述	16
2.2 人体尺寸及结构参数	18
2.2.1 人体尺寸	18
2.2.2 结构参数	26
2.3 人体测量方法和仪器	28
2.3.1 人体测量方法	28
2.3.2 人体测量仪器	33
2.4 数据处理方法	39
2.5 人体测量数据的应用	42
本章小结	46
思考题	46
参考文献	47
第3章 人的能力和特性	48
3.1 概 述	48
3.2 人的能力	49
3.2.1 信息接收	49
3.2.2 信息处理	62
3.2.3 命令执行	65
3.3 人的特性	67
本章小结	69
思考题	69



参考文献 .....	70
<b>第4章 人与机器的关系 .....</b>	<b>72</b>
4.1 人-机系统概述 .....	72
4.2 人机功能分配 .....	76
4.2.1 人与机器的功能比较 .....	76
4.2.2 人机功能分配原则 .....	78
4.2.3 人机功能分配方法 .....	79
4.2.4 人机功能分配依据 .....	84
4.3 人-机系统设计 .....	85
4.3.1 飞行员头盔工效学设计 .....	85
4.3.2 舱外航天服手套工效学设计 .....	86
4.3.3 人-机系统设计仿真 .....	87
4.4 人-机界面设计 .....	89
4.4.1 概 述 .....	89
4.4.2 显示装置设计 .....	90
4.4.3 控制装置设计 .....	93
4.4.4 人-机界面评价方法 .....	95
4.4.5 人-机界面发展趋势 .....	95
本章小结 .....	96
思考题 .....	96
参考文献 .....	97
<b>第5章 人与环境的关系 .....</b>	<b>99</b>
5.1 温 度 .....	99
5.1.1 航空航天环境中温度对工效的影响 .....	100
5.1.2 人体的热调控机制 .....	102
5.1.3 典型人体温度实验介绍 .....	104
5.1.4 温度的监控方法 .....	106
5.2 低压缺氧 .....	107
5.2.1 压力对生理的意义 .....	107
5.2.2 航空航天环境中的低压和缺氧现象 .....	108
5.2.3 低压情况下的工效学问题 .....	108
5.2.4 低压的防护措施及其产生的工效问题 .....	109
5.3 重 力 .....	111
5.3.1 超重的生理影响 .....	111
5.3.2 失重的生理影响 .....	112
5.3.3 超重对工效的影响和解决措施 .....	113
5.3.4 失重对工效的影响和解决措施 .....	113



5.3.5 个体防护装备的工效性问题 .....	114
5.4 光 照 .....	115
5.4.1 光强与颜色 .....	115
5.4.2 航天中对光的特殊要求 .....	115
5.4.3 航空中对光的特殊要求 .....	117
5.4.4 航天照明的设计 .....	117
5.4.5 航空照明标准 .....	118
5.5 噪 声 .....	118
5.5.1 噪声的定义 .....	118
5.5.2 噪声对人体的损害 .....	119
5.5.3 振动对人体的损害 .....	120
5.5.4 航空航天噪声防护浅谈 .....	120
本章小结 .....	121
思考题 .....	122
参考文献 .....	123
<b>第 6 章 工作负荷</b> .....	<b>125</b>
6.1 概 述 .....	125
6.1.1 定 义 .....	125
6.1.2 测量和评价方法及要求 .....	126
6.1.3 工作负荷测量在航空航天中的意义 .....	126
6.2 体力负荷 .....	127
6.2.1 定 义 .....	127
6.2.2 体力作业特点 .....	127
6.2.3 体力负荷的生理学特点 .....	128
6.2.4 体力负荷的测量方法 .....	129
6.2.5 体力作业时的能量消耗 .....	130
6.2.6 体力作业时的氧耗 .....	131
6.2.7 作业时人体的最佳体力负荷 .....	132
6.2.8 体力疲劳 .....	132
6.3 脑力负荷 .....	134
6.3.1 定 义 .....	134
6.3.2 脑力负荷的理论模型 .....	135
6.3.3 脑力负荷的测量和评价方法 .....	136
6.4 脑力负荷的预测 .....	144
6.4.1 时间压力模型 .....	145
6.4.2 波音公司方法 .....	145
6.4.3 Aldrich 方法 .....	146
本章小结 .....	148



思考题	149
参考文献	151
<b>第7章 工效学评价方法</b>	<b>153</b>
7.1 概 述	153
7.2 工效学评价原则及过程	154
7.2.1 工效学评价原则	154
7.2.2 评价的步骤	154
7.3 常用的工效学评价方法	156
7.3.1 动作分析法	156
7.3.2 问卷调查法	159
7.3.3 连接分析	162
7.3.4 检查表法	166
7.3.5 环境指数法	169
7.3.6 海洛德分析评价法	171
7.3.7 德尔斐法	172
7.3.8 模糊综合评价法	174
本章小结	177
思考题	178
参考文献	179
<b>第8章 典型工效学问题</b>	<b>181</b>
8.1 典型的航天工效学问题	181
8.1.1 舱外航天服手套工效学评价	181
8.1.2 舱外作业工效仿真评价	184
8.2 典型的航空工效学问题	190
8.2.1 飞行员个体防护装备加压工效研究	191
8.2.2 飞行员高空减压肺损伤仿真	194
本章小结	197
思考题	197
参考文献	198

# 第1章 导论

## 人体工效学探索的问题

- 什么是工效学、人体工效学?
- 为什么说工效学是门交叉学科?
- 人体工效学有哪几个发展阶段?
- 人体工效学的主要研究内容是什么?
- 人体工效学的研究方法有哪些?

## 1.1 人体工效学的定义

### 1. 命名

工效学(Ergonomics 或 Human Factors)是一门研究人、机器及周边环境之间相互作用,使整个系统能够适应人的生理和心理特点,保障人的安全和健康,使人能够高效又舒适地工作和生活的学科。自20世纪40年代以来,该学科逐步有机地融合了各相关学科的理论,不断完善自身的基本概念、理论体系、研究方法以及技术标准和规范,形成了一门研究和应用都非常广泛的综合性学科。

由于该学科研究和应用的范围极其广泛,涉及领域多,世界各国对该学科的命名不尽相同。欧洲国家多称为 Ergonomics(工效学),Ergonomics 是由希腊词根“ergon”(工作、劳动)和“nomos”(规律、规则)复合而成,其本义就是人的劳动规律。在美国,多称为 Human Factors(人因工程)。在日本,译为“人间工学”。由于词义具有中立性,能够表征学科本质,便于不同语言翻译上的统一等特点,因此目前较多国家采用“Ergonomics”或“Human Factors”作为该学科的命名。

工效学在我国起步较晚,受国外和学科领域的影响,名称亦尚未统一,如“工效学”、“人体工效学”、“人类工效学”、“人机工程学”、“人-机-环境系统工程”、“工程心理学”、“宜人学”等。这主要是研究侧重点略有区别,导致名称有所不同,但在该领域内,都默认是相似的研究内容。

### 2. 定义

由于工效学在世界各国的发展过程不同,应用的侧重点也有所不同,因此,各国学者对该学科所下的定义就不尽相同。

美国工效学家 C. C. Wood (Charles C Wood) 对此所下的定义为:“设备设计必须适合人的各方面因素,以便在操作上付出最小的代价而求得最高效率。”

工效学创始人之一,美国应用心理学家、国际工效学会主席查帕尼斯(A. Chapanis)说:“工效学是在机械设计中,考虑如何使人获得操作简便而又准确的一门学科。”

工效学先驱 Wesley Woodson 认为:“这是正确地使用人的特性的工程学,为使人的作业、



人机系统能有效地工作,必须对人操纵装置的要素进行设计,因此其内容还包括作用于人的感官信息显示方式,人主导的复杂系统控制方式等。”

德国学者认为:“工效学包括经济科学在内(如研究市场问题、消费者与供应者关系问题、城市布局问题等),强调提高人的工作和生活质量,注意在工作中发展人格、改善工作环境,把自然科学、技术科学、社会科学结合起来,合理地组织生产、生活和环境,达到三者结合的最优化。”

日本专家认为:“人间工学是一门从我们日常生活中建立起来的应用技术,它被用于使工作空间适合工作者和生活环境宜居,也被用于设计安全和宜人的工具和机器。”

我国著名科学家钱学森认为:“人机工程是一门非常重要的应用人体科学技术,它专门研究人和机器的配合,考虑到人的功能能力,如何设计机器以求得人在使用机器时整个人和机器的效果达到最佳状态。”

我国在《中国企业管理百科全书》中,对人类工效学所下的定义为:“研究人和机器、环境的相互作用及其结合,使设计的机器和环境系统适合人的生理、心理等特点,达到在生产中提高效率、安全、健康和舒适的目的。”

国际工效学学会(International Ergonomics Association, IEA)为该学科下的定义是:“工效学(或人因工程)是研究人与系统其他要素之间如何交互作用的学科,是应用理论、原理、数据和方法设计使人和系统总的能力达到最优的行业。”

由于本书的内容主要是基于人体特点对工效学进行研究,主要的研究侧重点是人,因此综合以上定义,本书推荐人体工效学的定义为:“人体工效学就是研究人在工作或劳动的自然规律或法则中的解剖学、生理、心理以及人与机器和环境的关系,获取最大的劳动成果,同时保证人自身的安全、健康、舒适和满意的学科。”其研究对象是人与广义环境的相互作用关系;研究目的是如何达到安全、舒适、健康和工作效率的最优化。换言之就是:最大限度地减少人的精神负担和体力负荷;尽可能使操作方便、快捷、准确、可靠;尽可能使人工作时舒适、安全、不易疲劳。

## 1.2 人体工效学的发展历史

英国是世界上最早开展人体工效学研究的国家之一,但人体工效学的奠基性工作是由美国完成的,因此,人体工效学界一直流传着“起源于欧洲、形成于美国”的说法。作为一门独立的学科,人体工效学已有近百年的历史,其所包含的最基本原理早在人类创造和运用劳动工具的时期就已经存在。如在石器时代,原始人用石块打制成可供敲、砸、刮、割的各种工具,这些工具满足两个条件:一是人手拿得动、握得住;二是手握的部分适合人的手形。由此,就产生了最原始的人-机关系,工具的打制便是原始人体工效学思想的体现。纵观人体工效学的发展史,可以将其大致分为孕育期、形成期和完善期三个时期。

### 1. 孕育期——19世纪末至20世纪初:第二次世界大战前

追根溯源,人体工效学是近代工业革命发展的产物。在19世纪后半叶,迅猛发展的工业革命激发了企业主对高产量、高利润的追求,从而促进了对生产效率的研究。基于力学、电学和热力学等学科的迅速发展,从水力到蒸汽机、电动机、内燃机等动力装置的应用,全世界工业化国家掀起了动力技术发展和机器改良的热潮,大幅度地提高了机器的效能。与此同时,不断



加速运转的机器也使得人与机器之间的矛盾愈加尖锐,社会实践的需求孕育了人-机关系的研究。1857年波兰人沃伊切赫·雅恩特莱鲍夫斯基教授就首先提出了人体工效学的概念。

在这个阶段,人与机器关系方面的研究最具影响力的代表性人物是美国工程师、工业工程创始人F·W·泰勒。泰勒所进行的著名“铁锹作业实验”是人体工效学、管理学和工业工程最著名的实验。他把装5 kg、10 kg、17 kg、20 kg煤的四种铁锹交给工人使用,比较他们在8 h工作班次中的工作效率。结果表明绩效差距明显,用10 kg铁锹时每天铲料量是最多的。因此,泰勒发明了一个办法:铲轻料用大铁锹,铲重料用小铁锹,保证每锹都在10 kg之内。该研究结果使得泰勒工作的公司产量增加80%,成本降低30%,工人工资提高20%。而该实验是关于体能合理利用最早的科学实验。另外,他还进行了“搬运实验”,即通过仔细地研究工人搬运时的不同工作因素,评估它们对生产效率的影响。例如,工人有时弯腰搬运,有时又直腰搬运,后来他又观察了工人行走的速度、持握的位置和其他变量。在改进后的搬运试验中,工人每天的工作量可以提高到47 t,同时并不会感到太疲劳。

另一个著名的实验是吉尔布雷斯夫妇进行的“砌砖作业实验”。他们使用当时刚问世的连续拍摄摄影机把建筑工人的砌砖作业过程拍摄下来,对动作进行详细分解,精简掉所有非必要动作,将工人的砌砖动作从17个减少为4.5个,使砌砖速度由原来的120块/h提高到350块/h,效率提高近3倍。虽然他们是从管理学的角度对劳动的时间和动作进行研究的,但是他们的成果已经体现出“人的因素”方面的内容,其思想与人体工效学已非常接近。他们还完成了动作研究和工业心理学研究,例如他们对外科手术过程的研究成果,直到今天人们还在使用。他们被认为是人体工效学领域的先驱之一。这个时期机械设计对人-机关系的考虑主要是通过选择和培训使人适应于机器,满足工作的需要。

在这个发展过程中,心理学家的加入使人体工效学的研究更上一层楼。其中最突出的代表,是美国哈佛大学的心理学教授H·蒙特伯格。他创立了工业心理学,将心理学研究与泰勒制劳动管理制度结合起来,针对选择与培训人员、改善工作条件、减轻疲劳等问题做了大量的实验和理论研究,在1912年出版了代表作《心理学与工业效率》,对提高工人的适应能力与工作效率做出了积极的贡献。

1914年爆发了第一次世界大战,战争造成的供需矛盾进一步激发了对工效研究的社会需求,促使国家力量参与到人体工效学的研究中来。1915年英国成立了军火工人保健委员会,研究生产工人的疲劳问题。战后(1929年)该组织进行了更名,进一步研究作业姿势、负担极限、休息、光照、环境温湿度和背景音乐等问题。国家力量的介入,使人体工效学拥有了发展的物质条件。另外,由于第一次世界大战后劳动力的匮乏,许多妇女进入工厂,从事一些不适宜女性的工作。这不仅导致了效率低下,而且还产生了大量的卫生与安全问题,因而刺激了欧美诸国对这方面的研究。

从19世纪末到20世纪30年代,工效学的主要研究是充分利用人体机能,使之适应于机器,重点集中在选择和培训人员、改善劳动环境、减轻疲劳等方面。这期间的“人-机关系”研究被认为是人体工效学的开端。虽然从指导思想,它与现代工效学的理念几乎是南辕北辙的,但是其研究成果不仅奠定了工效学研究的基石,而且至今仍是人体工效学知识体系中的组成部分。最为重要的是在此基础上,工效学具有了现代科学的形态。

## 2. 形成期——第二次世界大战期间至20世纪60年代

在工效学的形成期,从“人迁就机器”转向“机器迁就人”的直接原因是第二次世界大战期



间发生的一系列意外事故,这些事故使得人们重新思考人与机器的关系,最终导致现代工效学的产生。

在第二次世界大战期间,出于对高性能、大威力的武器和装备的需求,美、英等参战国家研制出很多新式武器装备。由于只注重性能和威力的研究,忽略了“人的因素”,导致机器性能与人的能力之间出现很多矛盾,在使用过程中暴露出一系列问题,使得意外事故时有发生。其中以战斗机最为典型,如一战时期英国的 SE-5A 战斗机上只有 7 个仪表,到二战时期的“喷火”战斗机上仪表增加到了 19 个;一战时期美国“斯佩德”战斗机上的控制器不到 10 个,到二战时期 P-51 战斗机上增加到了 25 个。操控仪表的增加使得经过严格选拔、培训的“优秀飞行员”也照顾不过来,致使意外事故、意外伤亡频频发生。同时,由于座舱及仪表的显示位置设计不合理,进一步增加了飞行员读仪表或操作的错误。经过分析发现这些事故的原因主要是:①显示器和控制器的设计没有充分考虑人的生理和心理特性,致使仪器的设计和配置不当,不能适应人的要求;②操作人员缺乏训练,不能适应复杂机器系统的操作要求。通过对这些事故的分析,人们认识到“人的因素”在机器设计中是一个不可忽视的重要内容。要设计一个好的现代化设备,只具备工程技术知识是远远不够的,还必须了解设备使用者的生理和心理等方面知识。于是在第二次世界大战后不久,人体工效学作为一门新兴的边缘学科应运而生。

二战结束后,人体工效学的研究方向转到扩大人的思维力量方面,使设计能够支持、解放、扩展人的脑力劳动。其应用也逐渐由军事领域向非军事领域转移,许多科研成果被用来解决工业与工程设计中的问题,如汽车、建筑、设备以及生活用品等,逐步在工业与工程设计领域中形成了以人为中心的设计理念。如亨利·德雷夫斯就明确强调:适应于人的机器才是最有效率的机器。1955 年他出版了《为人的设计》一书,书中收集了大量的人体工程学资料,1961 年又出版了《人体度量》一书,为设计界奠定了人类工效学这门学科的基础。

从此,人体工效学的研究重心由“人迁就机器”转变为“机器迁就人”。从二战时期到 50 年代末这三十年内,人体工效学的研究中心和社会建制便初步形成。一方面确立了以“人的因素”为核心的研究方向,形成了以解剖学、生理学、心理学、生物力学、测量学等多学科共同研究的学科框架;另一方面建立了专门的研究组织和团体。

英国海军部摩瑞尔(K. F. H. MURRELL)在一次会议上拟组成一个学会,学会成员包含人体解剖学家、生理学家、工程师、心理学家、劳动研究人员、建筑师、照明工程师等。与会者感到迫切需要为学会取一个名字,最后决定采用一个复合词“Ergonomics”(工效学)来称呼该新兴学科。之后,英、美各国相继成立了工效学学会,并发表会刊,为学科的正式建立奠定了基础。

### 3. 完善期——20 世纪 60 年代之后

从 20 世纪 60 年代国际工效学学会成立开始,工效学的研究进入了完善阶段。一方面逐步健全了学科的社会建制;另一方面伴随着科技进步,学科研究不断地向纵深发展,涉及人们生活的各个方面。

当前人类工效学的研究和应用领域可以概略地分为三大类:尖端技术领域中的人体工效学;计算机系统的人体工效学;传统的人体工效学。

尖端技术领域中的人体工效学主要包括:①**军事工业中的人体工效学**。这在美国军事领域,特别是航空中的应用最为先进,仅在美国空军所属的阿姆斯特朗实验室就有数百个人体工效学研究专家和工作人员,他们研究的主要内容是飞机驾驶舱的设计,飞行员的模拟训练方法



及其评价(见图 1.1),飞行员的脑力负荷,飞行员获得信息的途径,飞行员在紧急条件下的反应与操作等。②**控制室的设计与操作**。研究内容包括:系统中操作人员的脑力负荷,操作人员接收信息和作出决策的能力,各种显示和控制装置的设置,警报系统和在紧急状态下的操作程序,人的可靠性,人的错误等。③**太空航行中的人体工效学**。研究的主要内容包括:太空站的设计,人在失重情况下的工作效率问题,宇航员的运动数学模型,人在太空中的居住标准,人在长期失重情况下的生活和生理反应,地面与太空站之间的联系和控制等。

计算机系统的人体工效学的研究内容包括:屏幕显示、键盘输入、操作系统和应用软件的设计和评价、计算机的工位设计,以及谈话式输入/输出效果的研究。

传统的人体工效学的研究内容包括:人体测量和人体力量测量、工作环境,劳动保护与安全、产品检验、消费品的设计,以及事故调查。



图 1.1 飞行模拟器

#### (1) 国际性的学术组织

在 Burger、Smith 等多位学者专家的不懈努力下,1958 年成立了“国际工效学学会”筹备委员会,又经过多次磋商,于 1959 年 4 月 6 日在英国牛津正式宣告“国际工效学学会(IEA)”成立,并于 1961 年在瑞士斯德哥尔摩第一届 IEA 大会上通过。此后,每三年召开一次国际性大会,交流研究成果,展望发展动向,预测发展趋势,有效地推动了学科的发展和普及。目前已有 49 个国家和地区的行业团体加入了 IEA 组织。现在每年都有相关工效学国际会议举办,较为著名的有国际工效学协会会议、国际人一机交互会议、应用人因和工效会议等。国际人一机工程学标准化技术委员会代号为 ISO/TC-159,成立于 1957 年。

#### (2) 专业队伍

人体工效学是一门多学科综合研究的科学,最早的研究团队是二战期间由军队召集各领域的专家学者组合而成。战后,大量相关行业的专业人员在不同的企业和公司从事专业的研究,如今从事与工效学相关的人员已经遍布航空、航天、汽车、建筑、电信、网络、电器等众多行



业。特别是近年来苹果公司推出的一系列具有典型工效学特点的 iPad、iPhone、电脑等产品,使得很多行业都明显感觉到工效学的重要性,显著地增加了与人体工效学相关的人员和资金的投入。

### (3) 学术刊物

《工效学》(*Ergonomics*)是一本具有 50 多年历史、权威性很强的专业学术刊物,1957 年创刊,本是英国工效学(ES)学会的会刊,1961 年被指定为国际工效学学会正式的官方刊物。1958 年美国学会创立了会刊《人的因素》(*Human Factors*),1965 年日本学会创立了学报《人间工学》等。除了这些学会组织的会刊外,工效学类的专业刊物还有:《应用工效学》(*Applied Ergonomics*)、《国际工业工效学杂志》(*International Journal of Industrial Ergonomics*)、《事故分析与预防》(*Accident Analysis & Prevention*)、《国际人-机交互杂志》(*International Journal of Human-Computer Interaction*)、《职业工效学》(*Occupational Ergonomics*)、《安全科学》(*Safety Science*)等。

### (4) 高等教育

目前全球已有超过 40 个国家和地区将工效学纳入高等教育体系之中,数百所高等学府、科研机构设有专门的教学课程,并授予相应的学位或学衔,包括理工科学士(Bse)、理工科硕士(MSe)、哲学博士(PhD)等。如英国的伯明翰大学、利兹大学、诺丁汉大学,美国的加州大学、纽约大学、莱特州立大学,德国亚琛大学,日本职业与环境健康大学等。我国的北京航空航天大学、清华大学、浙江大学、南京航空航天大学、同济大学等也设有相应的专业或类似的方向,并为硕士和博士学位授予点。

### (5) 合作的国际组织

目前国际工效学学会还与其他重要国际组织有很好的合作关系,这包括 World Health Organization (WHO), International Labour Organization (ILO), International Organization for Standardization (ISO), International Commission on Occupational Health (ICOH), International Occupational Hygienist Association (IOHA), International Council of Societies of Industrial Design 等。

## 4. 未来发展

2010 年 11 月,国际工效学学会成立了未来工效学委员会。该委员会于 2012 年在巴西召开的第十八届国际工效学大会上作了报告,并在 2012 年 4 月的《工效学》期刊上发表了 *A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession* 一文。该文参考了来自世界各地的专家学者的观点,对人因工程/工效学(Human Factors/Ergonomics, HFE)学科和专业的未来做出了展望。此外,他们还针对未来的 HFE 提出以下主要发展策略:

① 为加强与 HFE 利益相关者对高质量 HFE 的需求,采用以下方法提升他们高质量 HFE 的意识:

- (a) 使用 HFE 利益相关者理解的语言进行高水平 HFE 的交流;
- (b) 与 HFE 利益相关者及其所代表的组织建立合作伙伴关系;
- (c) 指导 HFE 利益相关者增强高水平 HFE 的意识和加强他们对系统设计的贡献。

② 通过以下方法来加强高水平 HFE 的应用:

- (a) 提升 HFE 专家接受高水平 HFE 教育的水平;





- (b) 确保 HFE 应用和 HFE 专家的高质量标准;
- (c) 提升 HFE 在大学和其他组织的学术实力。

### 1.3 研究内容

图 1.2 所示为工效学所涉及人-机-环境系统的示意图。从图中可以看出,工效学的主要研究内容是系统中 3 个方向的单独问题以及它们之间的关系。所谓工效学、人因工程学和人体工效学等之间的不同,主要是研究的侧重点不同,下面将对人体工效学的研究内容做一个详细的介绍。

#### 1. 人的特性

人的工作能力和相应的人体特性研究是人体工效学最重要的研究领域,也是发挥人体工效学作用的最重要内容。它包含人的基本素质测试与评价,人体测量技术,人的体力负荷、脑力负荷和心理负荷研究,人的可靠性研究,人的数学建模(控制模型和决策模型),人员的选拔和训练,人体尺寸、结构特点研究,人体获取、传递、提取和决策等信息的研究等。

在人-机系统的实际设计方面,为设计和制造最适合人体的机械装置,必须积累关于人的心理、生理特征与能力界限等方面内容的基础数据。如以身高、坐高、臂长、腰围等为主要指标的各种人体形体测量值;单手、两腕、双足、全身等动作的空间活动范围;身体各部位的动作速度、加速度、正确度等运动能力;此外,还有关于疲劳成因、在特殊环境下的应激反应特征等。以日常使用的剪刀为例(见图 1.3),通过对传统手工操作器械设计与按照人的特性改进后的比较可以看出,传统器械的操作者腕部方位不协调,手的握力减损,别扭的手部方位会使腕部疼痛,甚至导致腕管综合症、腱鞘炎等。而改进后的设计表明,腕部处于平直状态可极大地减轻不适。

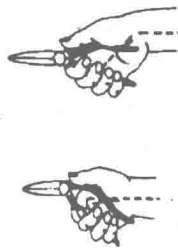
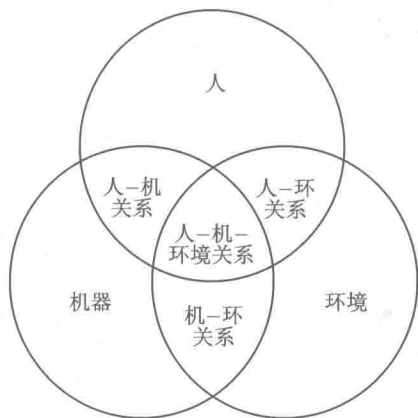


图 1.2 人-机-环境系统工程研究范畴示意图

图 1.3 传统剪刀与按照人的特性改进后的剪刀

#### 2. 人-机系统

机器是人与动物最大差别的代表,通过机器,人改造世界的的能力得到了极大的提高。作为一个人-机系统,机器的设计和制作重点就是要按照工作目的和任务,根据人、机能力把作业内容进行合理分配。其主要的研究内容包含人-机特性、人-机功能分配、人如何适应已有机器、机器设计如何达到人体工效学要求、显控装置工效学设计、机器维修技术、人-机界面设计等。





以汽车的人-机系统为例,为使驾驶员驾驶省力、安全和舒适,在设计汽车时应根据人体测量数据和生理、心理负荷反应来考虑驾驶员的座位、各显示器和操纵机构的设置;适当降低汽车重心,使行驶较为稳定,乘坐舒适。在设计时还需考虑驾驶员在操作中可能失误或遭受外来车辆的撞击时,应有预防措施,如采用过速自动报警装置,增设安全带、缓冲保险杠、不易破碎的挡风玻璃等。而作为驾驶员首先要了解车外环境(车流、人流、交通信号和标志、道路条件等情况)和汽车本身运行状态(速度、发动机温度、压力、油量等仪表显示的情况),以确定行车方针和进行适当的操纵。

在人-机系统中,人-机界面的信息交流是一个十分复杂的过程,人与机器之间的信息交流和控制活动都发生在人-机界面上。机器的各种显示都“作用”于人,实现人-机信息传递;人通过视觉和听觉等感官接收来自机器的信息,经过脑的加工、决策,然后做出反应,实现人-机的信息传递。人-机界面的设计直接关系到人-机关系的合理性,因此人-机交互界面的研究愈来愈受到重视,国际上有多组织 and 协会从事相关研究,如英国 Loughbocough 大学的 HUSAT 研究中心和美国 Xerox 公司的 Palo Alto 研究中心。

### 3. 人-环系统

环境对人的影响很大,将直接影响整个人-机系统的运行效率,必须搞清楚不同环境下人体的特性,才能保证人-机功能分配的合理性。通常的环境因素包括:重力(超重/微重力)、温湿度、高空低压、光、噪声、振动、辐射、空气粉尘和有害气体等。人-环系统主要研究的是在各种环境下人的生理、心理反应,环境对人工作和生活的影响;研究以人为中心的环境质量评价准则;研究控制、改善和预防不良环境的措施,使之适应人的要求。除了物理作业环境因素外,还有社会环境因素对人工作效率的影响。

对于航空航天来讲,特殊的环境(超重、失重、高低温、高空低压等)对人的作业能力影响非常突出,本书将对此进行重点介绍。如航天员在失重环境下的生理变化,如何对抗失重环境对人体作业能力的降低;飞行过载影响了飞行员的哪些生理学能力,飞行员需如何对抗等。

### 4. 人-机-环境系统

人-机-环境系统研究的目的是使整体人-机系统的工作效能最佳。因此,在进行人-机系统设计时,应克服片面强调机器性能的设计思想,使所设计的机器在特定环境下适应人的特性。同时,也应考虑个体差异因素,建立适当的人员选拔原则。人具有很强的可塑性,通过学习和培训可以提高人的技能和素质,有助于人-机-环境系统的优化,因此还应制定合理的人员培训计划与方法。此外,研究人-机功能的合理分配,使系统中人与机器都能发挥出各自的能力,相互取长补短、有机结合,保证人-机系统在环境中的整体性能最优。

### 5. 工效学评价

工效学评价就是检验人使用的产品是否符合人的特性及要求,是否符合人的生理、心理。一个人-机系统的工效学设计好坏从开始就要进行工效学评价,要对制作进程的每个阶段、每个组成部分和局部进行评价,最后要对系统进行整体评价。系统运行后还要对系统的运行过程进行评价。只有对系统进行评价并根据评价后的结果才能判断是否能将其投入到生活或生产中。因此,工效学评价的主要研究内容是综合不同学科的优势,根据人-机系统的特点和工效学评价要求,建立适合所研究系统的评价方法,并进行工效学评价。

由于人-机系统是复杂多样的,因此对系统的工效学评价方法要根据实际工程进行选择和