

人 因 工 程 学 丛 书

陈善广 总编



工效学基本原理、 应用及技术

Ergonomics: Foundational Principles,
Applications, and Technologies

[美] Pamela McCauley Bush 著

陈善广 周前祥 柳忠起 肖毅 译



国防工业出版社

National Defense Industry Press

/人因工程学丛书/

工效学基本原理、应用 及技术

**Ergonomics: Foundational Principles, Applications, and
Technologies**

[美] Pamela McCauley Bush 著

陈善广 周前祥 柳忠起 肖毅 译

国防工业出版社

·北京·

著作权合同登记 图字:军-2015-058 号

图书在版编目 (CIP) 数据

工效学基本原理、应用及技术 / (美) 布什
(Bush, P. M.) 著; 陈善广等译. — 北京: 国防工业出版社, 2016. 5

(人因工程学丛书)

书名原文: Ergonomics: Foundational Principles,
Applications, and Technologies

ISBN 978-7-118-10849-1

I. ①工… II. ①布… ②陈… III. ①工效学—研究
IV. ①TB18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 064045 号

Ergonomics: Foundational Principles, Applications, and Technologies by Pamela McCauley Bush
ISBN: 978-1-4398-0445-2
Copyright© 2012 by CRC Press.

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC; All rights reserved; 本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下, CRC 出版公司出版, 并经其授权翻译出版。版权所有, 侵权必究。

National Defense Industry Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher. 本书中文简体翻译版经授权由国防工业出版社独家出版, 并限在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal. 本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

※

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)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司印刷

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 17¼ 字数 316 千字

2016 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—1500 册 定价 82.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

“人因工程学丛书”编审委员会

主任委员	陈善广			
副主任委员	姜国华	葛列众	王春慧	陶靖
委员	(以姓氏笔画为序)			
	丁力	马治家	方卫宁	田志强
	孙向红	李世其	李建辉	肖志军
	张力	张伟	明东	周鹏
	周前祥	郝建平	郭小朝	郭金虎
	黄端生	梁宏	蔡剡	薛澄岐
秘书	徐凤刚	周敏文		

丛书序

近年来,随着科技文明的进步和工业化信息化的飞速发展,一门新兴学科——人因工程学(Human Factors Engineering)越来越受到人们的关注。它综合运用计算机科学、人体测量学、生理学、心理学、生物力学等多学科的研究方法和手段,致力于研究人、机器及其工作环境之间相互关系和影响,使设计的机器和环境系统适合人的生理、心理等特点,最终实现提高系统性能且确保人的安全、健康和舒适的目标。20世纪40年代,军事装备系统改造的实际需求促成了人因工程学的兴起,装备研制人员从使用者的角度出发对老旧装备升级改造,大大提高了装备的效能,扭转了人适应机器的传统思想。经过半个多世纪的发展,人因工程学的方法、技术得到了全面提升,在波音飞机的全数字化设计、哈勃天文望远镜的修复、高速列车的设计等方面发挥了巨大作用,可以说科技的进步也促进了人因工程学的高速发展。自人因工程学诞生以来,一直得到许多工业化水平先进的发达国家的高度重视,在不同阶段和地区又称为工效学、人机工程学、人类工效学、人体工学、人因学等。在其自身的发展过程中,有机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,从而形成了一门研究和应用范围都极为广泛的综合性学科。

人因工程学在我国起步较晚,近20年来在国家载人航天工程、“863”计划、“973”计划、重大仪器设备专项的支持下,我国在人因工程学研究与应用上取得了一大批原创性理论和技术成果,为推动我国人因工程技术和认识水平奠定了基础。进入21世纪,人因工程思想日臻成熟,在国防和经济建设、社会生活中应用更加广泛,“以人为本”的设计理念更是被装备制造、产品研发领域所追逐。很多高校为此也设置了相关专业,以适应行业需求的形势发展。目前国家提出“中国制造2025”工业化发展新蓝图,不仅会极大推动信息化与制造业的融合,也必将推动智能信息、可穿戴式人机交互新技术的发展以及人与机器的结合,为人因工程的发展带来更大的机遇和挑战。

在此背景下,中国航天员科研训练中心人因工程国家级重点实验室充分发挥其在航天人因工程研究的引领作用,与国防工业出版社策划推出“人因工程学丛书”,恰逢其时,可喜可贺!

“人因工程学丛书”既有国外学者译著,也有国内学者原著,内容涵盖了人因工程基础理论、研究方法、先进人机交互、人因可靠性、行为与绩效、数字人建模与仿真、装备可维修性等多个研究方向,反映了国内外相关领域的最新成果,也是对人因工程理论、方法、应用的全面总结与升华。

相信该丛书的发行,将对推广人因工程学科理念,丰富和完善我国人因工程学科体系,激发更多大专院校学生、学者从事人因工程领域研究的热情,提升我国装备研制的人因设计能力和装备制造水平,产生积极的作用。

中国工程院院士 沈荣骏

译者序

随着科技的发展和工业化水平的不断提升,人因工程学越来越受到国内外学者的关注和重视,并且作为工学应用基础课程正逐步进入大学课堂。目前,我国清华大学、北京航空航天大学、西北工业大学等许多高校的工科本科、研究生课程设计中,都陆续开设了“人因工程/工效学”相关课程。由于人因工程学在国内尚处于新兴阶段,相关教材多为译著和教师自己准备的讲稿,可选余地较小,普遍反映缺乏系统全面的基础型入门教材。

根据“人因工程学丛书”编委会的策划安排,同时考虑到本科课程教学的特点,我们选择了美国中佛罗里达大学工业工程与管理系 Pamela McCauley Bush 教授所著的 *Ergonomics: Foundational Principles, Applications, and Technologies* 一书,将其中的内容进行翻译。本书是 Bush 教授长期从事工效学教学及研究的成果总结,凝结了她在与学生授课、实验互动等方面的智慧和心血。概念表述条理清晰、内容布局层层递进、语言简朴易懂,还附有大量案例及思考练习题,是一本难得的工效学基础教材,很适合本科及研究生教学使用,也可作为国内学者在人因工程与工效学基础介绍方面的补充读物。

在翻译过程中,我们一是尊重原著,尽量做到符合原著的本义和语境;二是考虑到中、英文表达的不同,在对部分语句或段落进行充分理解后进行某些调整,并不拘泥于原文形式,尽可能使译文通顺流畅;三是对原著中的部分字句、错漏之处进行修正,并进行标注,同时对文中的整个段落进行统一表述。另外,考虑到整个丛书的编排风格要求,原著中致谢的部分略去了,还请作者及读者谅解。

由于工效学是一门交叉学科,内容多、涉及的知识领域广,再加上译者自身的知识和水平所限,虽然经过了多次审校,译文中仍可能存在欠妥甚至谬误之处,恳请读者予以斧正。

最后要感谢“人因工程学丛书”编审委员会为本书所做的付出,感谢国防工业出版社为本书提供的编辑、审校老师,他们为该书的出版做出了很多的努力。

前 言

编写本书的动机源于近 20 年来工效学和人因工程课程教学体会。在与学生的交流中,我感到亟须一本入门式的教材能从研究和应用两个方面集中阐释最基本的工效学原理。本书可作为本科生或研究生的专用教材,也可供工业部门中的专业人员初次学习工效学课程时参考。本书设计成工效学的入门教材,并辅以安排了实验室的动手性实验活动,以加深对课堂内容的理解。书中所附的案例研究用来说明相应工效学知识的应用方法。本书涵盖了传统工效学领域的基本原理和主要内容。通过本书的学习,将为学生在工业部门应用工效学知识或者在本领域继续深入学习打下基础。

本书的主要内容:第 1 章对工效学的内容、发展史和相关立法机构进行介绍;第 2 章介绍人体系统,本章作为解剖学、生物学和生理学课程中精选知识复习;第 3 章对人体感知能力进行综述,同时说明环境因素的测量方法;第 4 章介绍肌肉工作机制和肌肉系统神经分布;第 5 章介绍人体尺寸(人体测量技术)的研究成果;第 6 章介绍应用工效学基本原则进行工作空间和手动工具的设计方法;第 7 章介绍因工作导致骨肌系统疾病的知识,包括疾病的发展历程、产生原因和症状减轻需要采取的措施;第 8 章介绍工作生理学知识,同时探讨重负荷工作规划的工效学原则,及如何进行生理负荷和疲劳的评估;第 9 章综述认知工效学和信息处理过程,同时说明控制器和显示器设计的原则;第 10 章介绍产品的易用性以及工效学设计对顾客的影响。

作者简介

Pamela McCauley Bush 博士是中佛罗里达大学(University of Central Florida, UCF)工业工程与管理系教授。她领导一个灾难管理中的人因工程研究团队,其研究包括灾难管理中的人因工程、基于模糊数学的人工智能系统模型的评估与开发、人因工程建模、化学与生化武器装备研发中的人因工程以及人因问题对信息安全的影响等方面。她发表论文 60 多篇并编写了多部书籍。Bush 是《工效学理论》(*the Journal of Theoretical Issues in Ergonomics Sciences*, TIES) 杂志编委会委员,也是《工业工程百科全书》(*the Industrial Engineering Encyclopedia*) 的副主编,亦担任《IEEE 系统、人与控制学报》(*IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*)、《国际工业卫生学》(*the International Journal of Industrial Hygienist*)、《北美模糊信息处理会议论文集》(*the North America Fuzzy Information Processing Conference Proceedings*) 以及 Kluwer 出版社的审稿人。2006 年,她的研究团队成员获得“工业工程研究年度会议”中人因工程的最优论文称号。她的教学努力使她获得工程学院本科生最佳教师奖和教学创新项目奖。为了鼓励沿着她所从事工作继续下去的学生,Bush 博士付出了积极的努力,成为他们的良师益友。她与少数民族学生和工科女学生的密切合作,使得他们当中有 75% 以上的人能够获得更高一级的学位。她对这些学生的挚爱产生了显著的影响,超过 50% 的学生仍然选择她作为攻读博士学位的导师,这些学生是美籍非洲裔,并且 40% 是女生。另外,她曾担任美国黑人工程师协会及女性工程师协会的佛罗里达州大学分会的专职顾问。除为中佛罗里达大学服务以外,Bush 还担任了 Bush 公司——Antone 咨询公司(Technology Solutions & Innovations 公司)的父公司的首席技术官(Chief Technology Officer, CTO)。该公司由其丈夫——Michael A. Bush 领导,他担任首席执行官。Bush 公司提供工程支持、技术咨询和软件开发服务,合作过的客户包括美国国防部、美国国家航空航天局(NASA)、大学和公司。作为美国俄克拉荷马州的本地人,Bush 在这里获得了俄克拉荷马州大学工业工程方向学士、硕士以及哲学博士学位。早在 1993 年,Bush 就成为俄克拉荷马州工程领域的第一个被授予博士学位的美籍非洲裔女性。2005 年,她从 Tuck 商学院 Dartmouth 学院中高级少数民族商业执行计划(Advanced Minority Business Executive Program, AMBEP)毕业。

此外,Bush 在职业工效学家资格认证中很有名望。她在企业、技术和培训

机构中获得了领导的职位。她曾担任中佛罗里达州 Orange 县的咨询专家,也当选了美国仿真中心理事会成员。2004 年她被推选获得了为 Orange 县公立学校服务的机会。总之,她的积极活动让她在美国国内出版界(如 *Pink Magazine*, *Charisma Magazine*, *the Florida Engineering Society Magazine*, *Career Engineer*, *Ebony*, *Essence*, *Jet*, *Lear's Magazine*, *the Institute of Industrial Engineering Magazine* 和 *US Black Engineer* 等)获得了认可。她曾出席 the Big Idea Show 节目。同样, Bush 还是 Michael A. Bush 的贤内助。他们共同养育了三个女孩,即 Annette、Brandi 和 Brittany(其丈夫为 Jonathnm)。Bush 的父母是俄克拉荷马州俄克拉荷马市的 Maurice 和 LaFaance McCauley。

目 录

第1章 工效学基础	1
1.1 学习目标	1
1.2 主题内容	1
1.3 背景介绍	1
1.4 工效学的定义	2
1.4.1 人因工程和工效学协会	2
1.4.2 人因工程和工效学字典	3
1.4.3 美国国家航空航天管理局	3
1.4.4 意大利船舶研究集团	3
1.4.5 工效学和安全	3
1.4.6 工效学领域	4
1.4.7 工效学学科交叉性	5
1.4.8 工效学问题的分类	5
1.4.9 发展历史	7
1.4.10 联邦机构和工效学	9
1.4.11 工效学和人因工程的专业机构	9
1.4.12 影响工效学的立法和监管问题	10
1.4.13 以人为中心与人-系统整合设计	15
1.4.14 工效学项目的费用合理分析	16
1.4.15 工效学家的作用	18
1.5 小结	18
案例研究	19
练习	21
参考文献	22
第2章 人体系统	27
2.1 学习目标	27

2.2	主题内容	27
2.3	背景介绍	27
2.4	人体系统	28
2.4.1	循环系统	28
2.4.2	呼吸系统	31
2.4.3	骨骼系统	33
2.4.4	肌肉系统	40
2.4.5	神经系统	40
2.4.6	表皮系统	43
2.5	小结	44
	案例研究	45
	练习	46
	参考文献	46
第3章	人体感官以及环境因素的测量	47
3.1	学习目标	47
3.2	主题内容	47
3.3	背景介绍	47
3.4	感官功能	48
3.4.1	视觉	48
3.4.2	听觉	50
3.4.3	嗅觉	54
3.4.4	味觉	56
3.4.5	触觉	57
3.5	工效学的环境因素	57
3.5.1	照明中的视觉因素	57
3.5.2	噪声水平	61
3.5.3	热条件:温度和湿度	65
3.6	振动与人体	71
3.7	暴露于化学品、放射性和其他物质	73
3.8	小结	73
	案例研究	74
	练习	75
	参考文献	76

第4章 肌肉工作和运动的神经控制	78
4.1 学习目标	78
4.2 主题内容	78
4.3 背景介绍	78
4.4 肌肉做功	79
4.4.1 肌肉收缩系统	79
4.4.2 肌肉系统的神经支配	81
4.4.3 反射	83
4.4.4 肌肉活动的能量转换过程	83
4.4.5 肌肉做功的类型	84
4.4.6 肌肉收缩中肌肉纤维的类型	86
4.4.7 肌肉疲劳	87
4.4.8 肌肉的收缩类型	88
4.4.9 肌肉力的测试	88
4.5 小结	90
案例研究	91
练习	94
参考文献	94
第5章 人体测量技术	97
5.1 学习目标	97
5.2 主题内容	97
5.3 背景介绍	97
5.4 人体测量技术概述	98
5.4.1 人体测量设计原则	99
5.4.2 人体测量术语	102
5.4.3 人体参数测量	107
5.4.4 静态尺寸和动态尺寸	109
5.4.5 人体测量工具	113
5.4.6 基于人体尺寸的设计辅助工具与数据	115
5.4.7 人体参数的设计	116
5.4.8 人体参数和生物力学	118
5.5 小结	125

案例研究	125
练习	126
参考文献	127
第6章 工作场所与手持工具的设计	132
6.1 学习目标	132
6.2 主题内容	132
6.3 背景介绍	132
6.4 工作场所设计分析	133
6.4.1 布置理念	134
6.4.2 工作场所设计的一般过程	134
6.5 工作场所设计的一般原则	136
6.5.1 使运动中的身体感到舒适的设计	140
6.5.2 站立操作设计	140
6.5.3 坐姿工作设计	142
6.5.4 在有限空间内工作	144
6.5.5 设计手部操作	146
6.5.6 脚部操作设计	152
6.6 工作包络面	153
6.7 工作场所评估工具	154
6.7.1 快速上肢评估工具	156
6.7.2 风险因素和风险预测	156
6.8 工作区显示与控制信息设计的一般原则	157
6.9 小结	157
案例研究	157
练习	161
参考文献	161
第7章 工作导致的肌肉骨骼疾病	164
7.1 学习目标	164
7.2 主题内容	164
7.3 背景介绍	164
7.4 WMSD 对人体组织的影响	165
7.4.1 肌肉	165

7.4.2	神经	166
7.4.3	动脉和血管	166
7.5	与工作有关的肌肉骨骼类疾病类型	167
7.5.1	背部损伤	167
7.5.2	腕管综合征	167
7.5.3	肌腱炎	168
7.5.4	腱鞘炎	168
7.5.5	交叉型综合征及 DeQuervain 症	168
7.5.6	扳机指	168
7.5.7	缺血	169
7.5.8	振动综合征	169
7.5.9	胸廓出口综合征	169
7.5.10	腱鞘囊肿	170
7.6	WMSD 的发展阶段和预防方法	171
7.7	任务相关的风险因素	173
7.8	个人风险因素	174
7.8.1	年龄	174
7.8.2	性别	175
7.8.3	体力活动	175
7.8.4	力量	175
7.8.5	人体测量学	175
7.8.6	吸烟	176
7.9	工作相关的肌肉骨骼疾病的筛查和诊断方法	176
7.9.1	Phalen 测验	178
7.9.2	Durkan 或腕部压迫测验	179
7.9.3	振动测验	179
7.9.4	神经电位测量设备	180
7.9.5	Tinel 迹象	180
7.10	对工业的影响	180
7.11	工作区域分析和设计程序	183
7.12	WMSD 的工效学程序	183
7.12.1	领导力管理	184
7.12.2	雇员参与	184
7.12.3	工作危险分析与报告	184

7.12.4	训练	185
7.12.5	WMSD 管理与程序评估	185
7.13	小结	185
	案例研究	187
	练习	189
	参考文献	190
第 8 章	重体力作业及提举与体力负荷评估	193
8.1	学习目标	193
8.2	主题内容	193
8.3	背景介绍	193
8.4	重体力工作	194
8.4.1	重体力作业下的能量消耗	194
8.4.2	重体力工作下的能量效率	195
8.4.3	高温对重体力作业的影响	197
8.4.4	地面、斜坡以及楼梯	197
8.4.5	体力负荷的评估	197
8.4.6	最大氧耗	199
8.5	手工物料搬运	200
8.5.1	物料搬运	200
8.5.2	手工物料搬运特点的分类	200
8.5.3	物料搬运任务的风险	204
8.5.4	人工物料搬运任务的工作负荷评估	204
8.6	能量消耗的评估	207
8.7	在 MMH 任务中体力的评估	208
8.8	NIOSH 搬运物料指南	209
8.8.1	搬运任务的其他参考	211
8.8.2	提举的一般工效学原则	213
8.9	疲劳	214
8.9.1	肌肉疲劳	214
8.9.2	脑力疲劳	214
8.9.3	和轮班工作相关的疲劳	215
8.9.4	全身疲劳	218
8.9.5	疲劳的测量	218

8.10 小结	219
案例研究	220
练习	221
参考文献	221
第9章 信息工效学、控制和显示	223
9.1 学习目的	223
9.2 主题内容	223
9.3 背景介绍	223
9.4 信息处理	223
9.4.1 知觉	224
9.4.2 人作为信息处理器	226
9.4.3 通道容量理论	227
9.4.4 记忆	227
9.4.5 注意	229
9.4.6 刺激反应	230
9.5 心理负荷的测量	231
9.5.1 主要任务和次要任务的测量方法	231
9.5.2 生理测量	232
9.5.3 心理物理学评估	232
9.5.4 主观工作负荷评估	232
9.6 控制和显示	234
9.6.1 控制	235
9.6.2 控制元件布局和指导原则	235
9.6.3 控制类型	236
9.6.4 控制元件的编码	238
9.6.5 紧急控制	239
9.6.6 显示	239
9.6.7 显示的类型	240
9.7 小结	241
案例研究	242
练习	242
参考文献	243