



Management Science and
Engineering
Classics

21世纪管理科学与工程系列教材

Human Factors Engineering

人因工程

基础与实践

饶培伦 主编

 中国人民大学出版社

014008262

TB18-43
41



Management Science and
Engineering
Classics

21 世纪管理科学与工程系列教材



Human Factors Engineering

人因工程

基础与实践

饶培伦 主编

中国人民大学出版社
· 北京 ·



北航

C1695714

TB18-43
41

图书在版编目 (CIP) 数据

人因工程：基础与实践/饶培伦主编. —北京：中国人民大学出版社，2013. 9

21 世纪管理科学与工程系列教材

ISBN 978-7-300-18059-5

I. ①人… II. ①饶… III. ①人因工程-高等学校-教材 IV. ①TB18

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 216681 号

21 世纪管理科学与工程系列教材

人因工程：基础与实践

饶培伦 主编

Renyin Gongcheng: Jichu yu Shijian

出版发行 中国人民大学出版社

社 址 北京中关村大街 31 号

电 话 010-62511242 (总编室)

010-82501766 (邮购部)

010-62515195 (发行公司)

网 址 <http://www.crup.com.cn>

<http://www.ttrnet.com> (人大教研网)

经 销 新华书店

印 刷 北京昌联印刷有限公司

规 格 185 mm×260 mm 16 开本

印 张 14.25 插页 1

字 数 278 000

邮政编码 100080

010-62511398 (质管部)

010-62514148 (门市部)

010-62515275 (盗版举报)

版 次 2013 年 10 月第 1 版

印 次 2013 年 10 月第 1 次印刷

定 价 29.00 元

版权所有 侵权必究

印装差错 负责调换

序 言

国际人因工程学会于 2012 年 1 月发表了人因未来发展的白皮书 (A strategy for Human Factors/Ergonomics: Developing the discipline and profession), 其中特别指出, 人因与工效学在设计各类工作系统、产品/服务系统中, 极具产出重要贡献的潜力, 但在市场的准备和高质量应用的供给方面仍面临着一些挑战。人因与工效学是三个基本特征的独特组合: (1) 它具有系统方法; (2) 它是设计驱动; (3) 它着重于两个密切相关的成果: 绩效和福祉。为了促进未来系统设计的发展, 人因与工效学必须成功地向主要利害关系人证实它的价值。我们过去熟悉的价值主张——福祉已经能和系统参与者 (员工和产品/服务的用户) 建立合理的互动模式。然而, 对另一个价值主张——绩效, 与利害关系人有互动的系统专家 (参与系统设计的科技和社会科学专家)、系统决策者 (参与系统设计、购买、建置、使用的管理者与决策者), 人因与工效学尚待努力建立良好的互动模式。

国际人因工程学会 2012 年新任理事长王明扬教授选择到北京的清华大学休假研究, 显然承担了两个挑战: 市场的准备和高质量应用的供给。华人经济市场是全球的枢纽, 经济发展必然考虑绩效和福祉, 国内人因与工效学的市场正在起飞, 前置的准备工作需集众人之力量与智慧, 两岸三地人因与工效学大团结是当务之急, 本书已见证此发展趋势。高质量应用的供给当然要培育大量高素质的人因与工效学人才, 本书适合入门者和初学者, 先满足各类高校上课所需; 同时抛砖引玉, 期待未来陆续出版中级与进阶专业领域的人因与工效学教材, 实现高质量应用的人因与工效学人才供给。

饶培伦教授与赵金荣教授的付出建立了成功模式并树立了典范, 使两岸三地人因与工效学发展已能与国际接轨, 借由本书的编撰、教学、致用, 奠立稳固基石, 预见产出重要贡献的潜力。

邱文科

前言

自清华在工业工程系建立人因工程的专业方向已十年有余，这十多年来人因的发展与中国工业化的飞速成长息息相关，不但产业界的岗位需求日渐增加，学术界的人才培养也逐步提升。人因专业人才的舞台不只在传统制造业，从生产或服务的现场到掌握高新科技的研发实验室，都能看到人因专业人才大显身手。

与之相比，中文的人因专著包括教材还有很大的成长空间，尤其是入门的基础教材，既要适合各种背景专业师生的教学，又要奠定继续深入进行科研的基础，着实不易。本书的目标就在于提供这样一本由浅入深又实用易读的基本教材，所以特别邀请台湾人因工程学会的先进前辈倾囊相授，基于多年的教学与实践经验，为人因的基础课程建设贡献力量。同时，本书在编撰时也力求让不同背景的读者能够自行阅读入门，从章节案例中看到人因在各个行业领域与生活角落发挥的作用。时间仓促，书中难免存在不妥之处，敬请各位读者和学者批评指正。

展望未来，人因对于解决中国在工业化和现代化进程中遇到的许多问题应该还能够发挥更大的作用。不管是蓝领的工作条件和保障，白领的压力管理和身心健康，还是食品安全和环境尤其是空气和水的保护，高龄化社会和弱势群体的福祉，乃至信息技术、新能源、医疗体系的变革改善，都是人因专业可以参与改变的，以使大家生活得更好、更幸福。希望本书的读者在字里行间能感受到人因专业对人的根本关怀，学习到人本科技的科学实践方法，让以人为本从概念成为现实。

全书共分 16 章。第 1 章由台湾中原大学吕志维编写，第 2 章由台湾明志科技大学陈一郎编写，第 6 章由台湾中原大学赵金荣编写，第 4 章由台湾中原大学萧育霖编写，第 7 章由台湾圣约翰大学刘伯祥编写，第 8 章由长庚大学邱文科编写，第 9 章由台湾中原大学冯文阳编写，第 3 章、第 5 章、第 10 章、第 11 章、第 12 章以及第 15 章由清华大学饶培伦和陈翠玲合作编写，第 13 章由台湾中原大学赵金荣编写，第 14 章由台湾“建国”科技大学夏太长编写，第 16 章由元智大学周金枚编写。

饶培伦

导 读

人因工程作为一门独立的学科，已经有近 50 年的历史。人因工程这门学科自产生之日起，便以提升人类与其生活和工作中涉及的产品、设备、程序以及环境的交互效用来提高人类的生活水平和工作效率为宗旨。因此，人类作为交互效用中不可缺少的一环而被自然而然地放到了不可替代的位置上。以用户为中心的理念即在于时时刻刻把用户放到最重要的位置，具体则为：产品策略阶段应该满足用户的需求，产品设计和开发阶段应该把对用户的研究和理解作为决策的依据，产品评估阶段也必须以用户的反馈为准绳。

那么，人因工程领域所关注的可能影响交互效用的用户特征都包含哪些内容呢？这些特征各自如何影响交互效用，会影响到交互效用的哪些方面呢？简而言之，用户所有的生理和心理特征，尤其是用户的生理和心理能力的局限性，都会影响到交互效用的发挥，影响到人一机之间的匹配。许多人会有一个误区，即认为人因工程所研究的人的生理和心理特征，与其他学科并非有所不同，如心理学、生理解剖学、医学等。实际上，是有差别的，差别就在于人因工程在这方面的研究更加微观和具体化，其通常结合具体的使用情境来研究人的特性。因此，本书在具体章节中描述人的生理特征和心理特征时，会介绍这些特征会影响到哪些方面，尤其是在设计时应该注意什么。人的生理特征部分将在本书中的第 6 章详细介绍。

人的生理特征主要包括人体尺寸和人的运动生理特征。许多书籍在人的生理特征部分还着重介绍了神经系统与感知、人体运动系统、能量代谢特征、心血管和呼吸系统以及人体活动力量与耐力等方面的特性。神经系统是人的主导系统，主要是保证人体的统一和与外界环境的相对平衡。心理学家认为，神经系统的活动是实现人的一切心理和意识活动的物质基础。人在日常生活和工作中，都会涉及身体的运动，如果工具设计没有考虑人体的运动系统特性，加上人没有采取适当的姿势，则会对人体造成伤害。了解能量代谢特征有益于划分劳动强度，适用于以体力劳动为主的作业。心血管和呼吸系统主要与重体力劳动有关。当进行不同的操作活动时，人体所需的活动力量和耐力也有所不同，对其进行测定可以减少工作伤害，提高工作效率。这些部分的大多数内容与心理学、解剖学或者医学以及国内其他人因工程方面的书籍介绍的没有差别，本书将适时筛选，一些内容不再一一介绍。在人因工程的研究领域内，人体尺寸主要包括身高、重心、腿长、臂长、手掌尺寸、头部尺寸等。人体尺寸主要与工作场所的设计有关。如安全帽的设计需要考虑人的头



部尺寸，鞋子的设计需要考虑人的脚部尺寸等。不同国家、不同区域的人体尺寸有所不同，不同年龄群的用户的人体尺寸也有差异，因此，产品设计需要根据目前和潜在用户群的特征而进行有针对性的设计。

除了人—机器—环境中的人之外，环境部分本书将主要涉及颜色，有关照明、噪声、振动、空气湿度和温度等的内容，现有书籍已经有了比较详实的介绍，本书将不再赘述。本书在撰写过程中主要考虑到人一机之间的匹配，将笔墨着重放在了人和机器两方面。前面已经介绍了本书着重探讨的人的生理和心理特征方面，在机器方面，主要从实用性和适用性的角度介绍了人体测量与作业区域设计、人工物料搬运设计、手工具设计、用户界面设计、控制器设计、显示器设计以及人机交互设计。此外，还介绍了在操作过程中重复性骨骼肌肉伤害的防治、人为差错产生的原因和意外事故的预防。考虑到国内许多人因工程方面的图书并未详细涉及绩效评估部分，特加入不同情境下适合采用的绩效评估方法。最后一章以轻松的笔调介绍了目前人因工程的主要应用案例。

教师教学服务说明

中国人民大学出版社工商管理分社以出版经典、高品质的工商管理、财务会计、统计、市场营销、人力资源管理、运营管理、物流管理、旅游管理等领域的各层次教材为宗旨。

为了更好地为一线教师服务，近年来工商管理分社着力建设了一批数字化、立体化的网络教学资源。教师可以通过以下方式获得免费下载教学资源的权限：

在“人大经管图书在线”（www.rdjg.com.cn）注册，下载“教师服务登记表”，或直接填写下面的“教师服务登记表”，加盖院系公章，然后邮寄或传真给我们。我们收到表格后将在一个工作日内为您开通相关资源的下载权限。

如您需要帮助，请随时与我们联系：

中国人民大学出版社工商管理分社

联系电话：010-62515735，62515749，82501704

传 真：010-62515732，62514775

电子邮箱：rdcsjg@crup.com.cn

通讯地址：北京市海淀区中关村大街甲 59 号文化大厦 1501 室（100872）

教师服务登记表

姓 名	☐ 先生 ☐ 女士		职 称		
座机/手机			电子邮箱		
通讯地址			邮 编		
任教学校			所在院系		
所授课程	课程名称	现用教材名称	出版社	对象（本科生/研究生/MBA/其他）	学生人数
需要哪本教材的配套资源					
人大经管图书在线用户名					
院/系领导（签字）： 院/系办公室盖章					



目 录

第 1 章 人因工程与生物力学	1
导 言	1
一、生物力学是什么	1
二、基本力学	2
三、与工作或生活相关的生物力学	4
四、姿势和力平衡	6
五、下背痛的相关因素	6
六、人工搬运与生物力学	7
七、职业生物力学的相关实验方法	8
八、结 论	11
讨论题	11
案例讨论：与下背和脊椎相关的生物力学	11
注 释	13
第 2 章 工作生理学	14
导 言	14
一、工作生理学基础	14
二、肌肉活动与形式	18
三、生理工作能力	19
四、重体力作业	25
讨论题	26
案例讨论：基于心理物理学的感知负荷重量测量	26
注 释	29
第 3 章 视觉感官系统	30
导 言	30



一、成像原理及视觉系统	30
二、与视觉系统相关的人因设计	32
讨论题	34
案例讨论：视觉设计与注意力	35
注 释	36
第4章 听觉感官系统与噪音振动	37
导 言	37
一、声音的形成	37
二、声音的特性	38
三、听觉感官系统	41
四、位置与动作感应	43
五、噪 音	43
六、振 动	46
讨论题	47
案例讨论：声学告警的工效学研究	47
注 释	49
第5章 信息加工模型与心智负荷	51
导 言	51
一、人的信息加工模型	51
二、信息输入——感知	53
三、中枢信息处理	56
四、信息输出（运动类型、速度和准确度）	58
五、认知负荷	59
六、人的可靠性与人为差错	59
讨论题	60
案例讨论：我国骑车人违规行为及安全对策	60
注 释	62
第6章 人体测量与作业区域设计	63
导 言	63
一、影响人体尺寸的因素	63
二、人体测量的方法	67
三、作业空间配置	71
四、计算机工作站设计参考	73
讨论题	76
案例讨论：北京地区老年人人体尺寸测量	77

注 释	78
第7章 人工物料搬运设计	79
导 言	79
一、评估人工物料搬运潜在危险性的主要途径	80
二、影响搬运能力的变量	81
三、人工物料搬运的限制	83
讨论题	86
案例讨论：一、机场行李搬运作业	86
二、推车搬运作业	89
注 释	92
第8章 手工具设计	95
导 言	95
一、常见的手工具	96
二、手部生理机能与手工具	96
三、手工具操作可能产生的伤害	97
四、手部与握把接触操作探讨	99
五、手工具设计准则与建议	100
讨论题	104
案例讨论：手工具人因设计案例——以螺丝刀为例	104
注 释	107
第9章 用户界面设计	108
导 言	108
一、谈谈心智模式	108
二、以用户为中心设计的生命周期模式	109
三、用户界面设计过程与内容	110
四、可用性目标	111
五、用户体验目标	112
六、界面设计的原则	114
讨论题	118
案例讨论：智能家居人机交互绩效的实验分析	118
注 释	120
第10章 控制器设计	121
导 言	121
一、类 别	121



二、设计原则	122
三、传统控制器的设计	125
四、人机交互中控制器的设计	127
五、最新的控制器设计	129
讨论题	132
案例讨论：电梯内的按钮设计	132
注 释	134
第 11 章 显示器设计	135
导 言	135
一、视觉显示器	135
二、听觉显示器	140
三、触觉显示器	142
讨论题	143
案例讨论：清华大学校园静态地图设计	143
注 释	146
第 12 章 人机系统设计	147
导 言	147
一、交互风格	147
二、交互设计原则	153
讨论题	157
案例讨论：触觉交互——一种新兴的交互技术	158
注 释	159
第 13 章 重复性骨骼肌肉伤害	161
导 言	161
一、文献回顾	162
二、重复性骨骼肌肉伤害防治	164
三、结 论	169
讨论题	169
案例讨论：美国重复性肌肉损伤预防方案	169
注 释	172
第 14 章 人为差错与意外事故预防	173
导 言	173
一、意外事故发生的本质	174
二、人为差错的分类架构与模型	177



三、从事故发生本质探讨因应之道	182
讨论题	184
案例讨论：车载信息系统与驾驶安全研究综述	184
注 释	186
 第 15 章 绩效评估	 189
导 言	189
一、评估标准	189
二、信息来源	190
三、工 具	191
四、绩效评估原则	197
讨论题	198
案例讨论：某铁路工务段车间绩效评估研究与实践	198
注 释	201
 第 16 章 人因工程的应用案例	 202
导 言	202
一、人因工程应用在居家室内扶手楼梯与厨房设计	202
二、人因工程应用于适合高龄者的空间照明环境	204
三、人因工程应用在手工具操作改善生产线作业组装	205
四、人因工程应用于无尘室内芯片分离站的作业舒适度改善	206
五、人因工程应用于自动贩卖机的界面设计	206
六、符合高龄者需求的人体工效学座椅	208
七、符合高龄者需求的移动电话的开发设计	209
八、人因工程应用于文具产品设计	210
九、符合高龄者生活的人因工程应用	211
十、应用人因工程改善无尘室内库存管理	211
注 释	212

第 1 章

Chapter 1

人因工程与生物力学

导 言

我们的肌肉骨骼系统担任支持身体和运动的主要角色，了解它们的功能和限制有助于了解我们自身的力学系统；没有骨骼的肌肉只能是软瘫在地上，一般而言，在工作或运动时使用哪些肌肉和骨骼都不需要特别考虑动作。骨骼在身体中扮演支撑的角色，正如建筑物的大梁或柱子，又如我们搭帐篷时的营柱，其他对象都连接到它上面，所有肌肉都必须附在骨骼上才能有效地运动。

每个人在一天中都不断地走动或做一些动作。你是否想过为何能握一杯水在空中不动？在这看似不动的姿势下身体的肌肉是如何协调完成的？各个不同肌肉群出了多少力？或者在打棒球挥棒时身体如何运动？乒乓球的杀球为何能如此快速？要回答上述问题，可以把我们的身体看成一个力学系统，它必须按照相关的物理定理来运作。很多情况下，我们的姿势都是不动的，这时就要考虑平衡的问题了，一旦失去身体的力学系统平衡就可能发生跌倒、滑倒的现象。生物力学就是研究上述问题的科学。

一、生物力学是什么

生物力学的英文为 biomechanics，bio 是生物或生命学的意思，如生物学的英文就为 biology，而 mechanics 在与力的作用有关的研究中被称作力学。国际上使用这个合成词大约是在 1970 年以后，代表研究的主题是在活体或生物上与运动或活动有关的范畴。目前网络上使用最为广泛的维基百科——自由的百科全书对其的定义则为：生物力学是采用力学的理论来研究生物体内物质运动的学科。研究主题可以概括地分为以下三方面：（1）生物结构与功能的关系；



(2) 生物体的调节与控制机制；(3) 生物的应力—生长关系。

生物力学最早由英国牛顿爵士所发现的牛顿力学三定律——古典力学发展而来。在分析身体活动行为的部分时，一般身体的关节在静力学上可以根据支点、施力点和作用力点三者位置之间的关系分成三种不同的杠杆。三者关系有三种：支点在中间，作用力点和施力点在两边（如颈部支撑头部重量）；施力点在中间，支点和作用力点在两侧（如前臂抬举物品）；作用力点在中间，支点和施力点在两侧（如行走时抬起脚跟）。由此可推知人体活动过程中所施的力。

所以，生物力学使用的工具为基本力学，用以解答有关生物体结构或功能，因此对力学和身体结构的了解是学习生物力学的要件；反之，生物力学的研究范畴也包括人体的结构和一些基本的力学。

二、基本力学

生物力学使用的力学不是所谓的现代量子力学，而是一般的古典力学。古典力学分为固体力学和流体力学，而固体力学又可分为不动的刚体力学和作用面会变动的变形体力学；刚体力学又分为静力学（即处理物体在平衡或静止时问题的力学）和动力学（即处理物体在运动中问题的力学），而变形体力学则为处理物体变形和内部应力等问题的力学，主要分为材料力学、弹性力学和塑性力学三支（见图 1—1）。

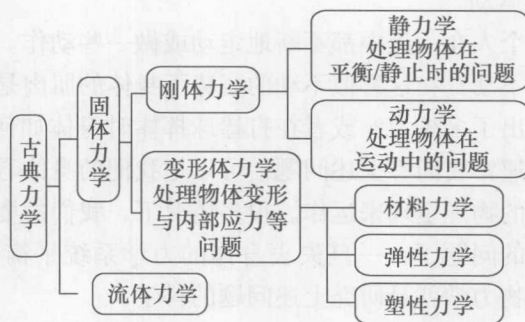


图 1—1 古典力学的分支图

一般，在人因工程上运用的生物力学是刚体力学，如利用静力学来分析平衡时身体某姿势的用力状态，或使用动力学来分析身体运动时的力量或角度。

古典力学中最重要的内容是英国牛顿爵士所发现的牛顿力学三定律，其要点分述如下：

第一运动定律：当物体不受外力或所受外力的合力为零时，若原为静止者，恒保持静止状态；若为运动者，将维持原有速度作匀速的直线运动。

第二运动定律：当物体所受的力总合不为零时，必定在其合力方向产生一个加速度，其加速度的大小与外力成正比，与物体质量成反比。即力量为质量

和加速度的乘积或力量为质量和速度的微分的乘积。

$$\sum \mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

$$\sum \mathbf{F} = \frac{d}{dt}(m\mathbf{v})$$

第三定律：当两个物体互相作用时，彼此施加于对方的力，大小相等、方向相反。

类似于牛顿第二运动定律，力矩与角加速度之间的关系可用下式描述：

$$\sum \mathbf{M} = I\alpha$$

式中， I 为质量惯性矩 (mass moment of inertia)。

向量：表现力的方法。有时无法对力进行直接计算，必须在平面上依坐标把力分解到 X 轴和 Y 轴两个方向以方便计算和分析，而力可以分解成为 X 轴上和 Y 轴上两个互相垂直的力。

单位：在力学系统中，国际常用的公制为 (m, N, s)，即米 (m)，牛顿 (N) 和秒 (s)；而力矩即为米牛顿 (Nm)。但在生物力学的人体上，因人体的长度很少大过 2 厘米，最常用的长度单位为厘米 (cm)，所以力矩即为厘米牛顿 (Ncm)。

如图 1—2 所示，设 i 和 j 为沿 X 和 Y 轴的单位向量，则 $F_x i$ 和 $F_y j$ 为 F 的直角坐标分量。

q ：力 F 与 X 轴的夹角。

$$\mathbf{F} = F_x i + F_y j$$

$$F_x = F \cos q; F_y = F \sin q$$

$$\tan q = \frac{F_y}{F_x}$$

$$|\mathbf{F}| = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

三维空间中，需要 X 、 Y 与 Z 三个相互垂直的直角坐标轴来描述，力 F 的分量为：

$$F_x = F \cos q_x; F_y = F \sin q_y; F_z = F \cos q_z$$

$$|\mathbf{F}| = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$$

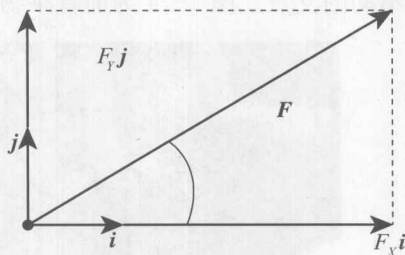


图 1—2 分力和向量



三、与工作或生活相关的生物力学

生活中和生物力学有关的例子有很多，如我们打棒球时，球受到棒的击打而飞到全垒打界即动力学的例子，可以用动力学来说明球为何能飞得如此远。而走钢丝的人大多拿一支大铁杆保持平衡。

一般身体的关节在静力学上可以根据支点、施力点和作用力点三者位置之间的关系分成三种不同的杠杆。

(一) 支点在中间，作用力点和施力点在两边

在我们身体上的例子，就是我们的头颈部。头部的重量造成作用力点在头部前面，支点大约在颈椎，而施力的为后颈的肌肉，施力点在后颈部位。即支点在中间，作用力点和施力点在两侧的杠杆。图 1—3 为颈椎施力照片。

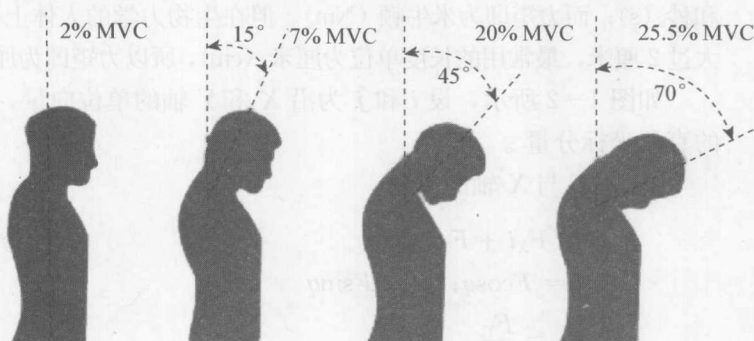


图 1—3 颈椎施力的照片

(二) 施力点在中间，支点和作用力点在两侧

在我们身体上的例子为我们的前臂或前肢。当我们利用前臂举物时，必须弯曲手肘，如举水杯或钓鱼时举鱼竿的动作，此时我们的肌肉（如肱二头肌的一头）附着在尺骨或腕骨上为施力点，手部举着水杯为作用力点，而肘部的关节为转动时不动的支点。图 1—4 为前臂举物照片。



图 1—4 前臂举物的照片