



面向 21 世纪课程教材

人因工程

孙林岩 主编

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

内容简介

本书从工程的角度介绍了人的生理、心理、行为方式、工作能力、作业限制等特点,讨论了通过对工具、机器、系统、任务和环境的合理设计来提高生产率、安全性、舒适性和有效性等问题。本书共分十一章,第一章为概述,第二章至第五章介绍人体的生理、心理(认知)的特点、度量以及它们在工程中的应用,第六章、第七章介绍工作方法研究与作业测定,第八章、第九章介绍作业环境与作业空间设计,第十章、第十一章讨论人机系统、显示器与控制器的设计。

本书为高等院校工业工程及相关专业教材也可作为工业工程培训及相关人员自学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

人因工程/孙林岩主编. —北京:中国科学技术出版社, 2001.6

面向 21 世纪课程新教材

ISBN 7-5046-3088-8

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 030348 号

书 名 人因工程

主 编 孙林岩

出 版 中国科学技术出版社

社 址 北京海淀区中关村南大街 16 号

邮 编 100081

印 刷 中国科学院印刷厂

印 数 1001—4000

开 本 787 毫米×960 毫米 1/16

版 次 2001 年 6 月第 1 版

印 张 17.125

印 次 2003 年 1 月第 2 次印刷

字 数 337 000

定 价 26.5 元

联系电话: (010)62179148

前 言

本书是根据 1999 年 10 月在西安召开的中国机械工程学会高等院校工业工程专业教材编审委员会筹备会议上讨论通过的教材编写计划而编写的。

人因工程是工业工程专业的主要专业课之一，通过对本课程的学习使学生从工程的角度掌握人的生理、心理的特点，发现并利用人的行为方式、工作能力、作业限制等特点，通过对于工具、机器、系统、任务和环境进行合理设计，以提高生产率、安全性、舒适性和有效性。本书共分十一章，第一章为概述，第二章至第五章介绍人体的生理、心理（认知）的特点、度量以及它们在工程中的应用，第六章、第七章介绍工作方法研究与作业测定，第八章、第九章介绍作业环境与作业空间设计，第十章和第十一章讨论人机系统、显示器与控制器的设计。

书中第一章、第二章、第八章由西安交通大学的孙林岩教授编写，第三章、第四章由西安交通大学的王丽萍与孙林岩教授合编，第五章、第十章由西安交通大学刘树林副教授编写（王丽萍参加了第五章部分内容的编写）；第六章、第七章分别由上海大学的宋国防和阚树林教授编写，第九章由西北工业大学的于明玖和陆长德教授编写，第十一章由天津大学的卢岚教授编写。全书由孙林岩教授统编，高杰、王磊、张燕同志参加了部分文字工作。全书由清华大学罗振壁教授审定。

本书为高等院校工业工程及相关专业教材，也可作为工业工程培训及相关人员自学参考用书。

在编写过程中编者努力反映人因工程的基本理论和新的研究成果，但由于工业工程在我国重新发展的历史不长，编者学识和掌握资料的广度有限，加之教材篇幅的限制，书中难免有错误之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2001 年 6 月

目 录

第一章 人因工程学概述	1
第一节 学科概述	1
第二节 人因工程学的重要性及应用	4
第三节 人因工程学的基本原理和研究方法	5
第四节 人因工程学与其他学科的关系	12
第二章 人体生理特性	16
第一节 神经系统与感知	16
第二节 人体的运动系统	26
第三节 能量代谢	31
第四节 心血管与呼吸系统	36
第五节 人体的忍耐力	43
第三章 人体测量	52
第一节 人体测量简介	52
第二节 静态测量	54
第三节 动态测量	59
第四节 典型标准	60
第五节 人体测量的应用	65
第四章 累积损伤疾病与操作工具设计	68
第一节 累积损伤疾病及其原因	68
第二节 与手有关的累积损伤疾病	70
第三节 累积损伤疾病的预防与合理的工具设计	75
第五章 认知及其绩效	78
第一节 认知心理学及人的信息加工模型	78
第二节 信号识辨与持续警觉	81
第三节 记忆学习和技能培训	88
第四节 思维	96
第五节 注意	99
第六节 人的信息输出	102
第七节 人的可靠性与人为差错	108
第六章 方法研究	112
第一节 工作研究简介	112
第二节 方法研究概述	113
第三节 过程分析	117
第四节 作业分析	124

第五节	动作分析	130
第七章	作业测定	136
第一节	作业测定概述	136
第二节	预定时间标准法	147
第三节	工时利用分析	164
第八章	作业环境及其对工作效率的影响	168
第一节	温度	168
第二节	照明	179
第三节	噪音	188
第四节	运动与震动	196
第九章	作业空间设计	203
第一节	作业空间设计概述	203
第二节	作业空间设计的视觉要求	204
第三节	作业空间设计	207
第四节	工作台设计	210
第五节	座椅设计	213
第六节	虚拟车间与虚拟工厂	216
第七节	作业空间的设计评价	218
第十章	人机系统设计与评价	221
第一节	人机系统概述	221
第二节	人机系统设计	223
第三节	人机系统综合评价目标体系	230
第四节	人机系统分析评价方法	234
第五节	人机系统差错分析	243
第十一章	显示器与控制器设计	249
第一节	视觉显示器设计的工效学要求	249
第二节	听觉显示器设计的工效学要求	255
第三节	控制器设计的工效学要求	258
第四节	显示与控制组合设计	262
参考文献		266

第一章 人因工程学概述

第一节 学科概述

在人类的进化过程中，从最原始的完全依靠自然生活到逐渐学会制作简单工具，再到发展了各种复杂工具和技术。现在，人类已经能够使用各种技术生产大量的产品和设备，其中包括祖先所不可能想像的产品。在这个过程中，科学技术作为第一生产力发挥着至关重要的作用。然而技术发展与人的因素是不可分割的，研究工具和技术中人的因素就是人因工程发展的起因。随着生产技术和人类对于自身认识的加深，人因工程学也越来越深入地与技术融合在一起，同时也越来越深入地融入人们的生活之中。人因工程学已广泛地应用到各种日常用品（家用摄像机、浴盆、电视机的遥控器等）之中。

一、人因工程学的定义

人因工程学在国际上有不同的名称。美国称之为“人因工程学”（Human Factors or Human Factor Engineering），欧洲和其他国家称之为“工效学”（Ergonomics）。有些学者称为“人类工程学”（Human Engineering）、“人机工程”，也有一些心理学家喜欢使用“工程心理学”（Engineering Psychology）的名称。国际人机工程学会将“人机工程学”定义为：研究人在某种工作环境中的解剖学、生理学和心理学等方面的因素，研究人和机器及环境的相互作用，研究在工作中、生活中和休息时怎样统一考虑工作效率、人的健康、安全和舒适等问题的学科。中国企业管理百科全书将“人机工程学”定义为：研究人和机器、环境的相互作用及其合理结合，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、健康和舒适的目的的学科。有些学者将“人机工程学”定义为：按照人的特性设计和改善人一机—环境系统的科学。

人因工程学的定义应该从人因工程学研究的核心、目标以及方法几方面给出。在研究重点上，人因工程学着重于研究人类以及在工作与日常生活中所用到的产品、设备、设施、程序与环境之间的相互关系。人因工程学试图改变人们所用的物品和所处的环境，从而更好地满足人的工作能力和限制，适应人的需要。在研究目标上，人因工程学有两个主要目标：第一是为了提高工作效率和质量，如简化操作、增加作业准确性、提高劳动生产率等；第二是为了满足人们的价值需要，如提高安全性、减少疲劳和压力、增加舒适感、获得用户认可、增加工作的满意度和改善生活质量等。在研究方法上，人因工程的基本方法就是对人的能力、限制、特点、行为和动机等相关信息进行系统研究，并将之用于产品、操作程序及使用环境的设计。它包括对人本身和人对事物、环境等反应的有关信息的科学研究。这些信息是进行设计的基础，并且可用来分析当设计有所变化时可能产生的影响。作为一门注重设

设计的科学，人因工程学还包括对设计的评价等方面。

综上所述，人因工程学可以简单地定义为：人因工程学是基于对人和机器、技术的深入研究，发现并利用人的行为方式、工作能力、作业限制等特点，通过对于工具、机器、系统、任务和环境进行合理设计，以提高生产率、安全性、舒适性和有效性的一门工程技术学科。

作为一门工程技术，人因工程学不同于其他一般工程技术学科的特点有：

(1) 产品是为顾客服务的，设计时应始终把用户放在首位。

(2) 必须意识到个体在能力和限制上的差异，并且充分考虑到这些差异对各种设计可能造成的影响。

(3) 强调设计过程中经验数据和评价的重要性。依靠科学方法和使用客观数据去检验假设，推出人类行为方式的基础数据。

(4) 用系统观点考虑问题，意识到事物、过程、环境和人都不是独立存在的。

另外，还需要指出：

①人因工程学不只是基于表格数据和一些指标来进行设计。实践中，人因工程师要制订和使用列表和指标，但这并不是全部工作的意义。如果使用不当，同样不能设计出好的产品。一些设计中非常重要的因素、具体的应用和思想方法是不可能通过列表或指标得到的。

②人因工程学不是设计产品的模型。对工程师而言，成熟的工作程序并不能保证所有人都能成功的进行工作。人因工程师必须通过研究个体差异，从而在为用户设计产品时考虑到不同的特征。

③人因工程学不同于常识。从某种程度上说，应用常识也能够改进设计，而人因工程学远不止这些。警示标志上的文字要多大才能保证在一定的距离就可以看到；如何选择报警声，使它能够不受其他杂音的干扰。这些都是简单的常识做不到的，常识也测不出驾驶员对报警灯和汽笛的反应时间。

二、人因工程学的历史

1. 早期历史

人因工程学开始于 19 世纪晚期和 20 世纪初，从那时起，人因工程学的发展就不可避免地和技术的发展相互交织在一起。如在 20 世纪早期，Frank 和 Lillian Gilbreth 就已经在进行动作研究和商务管理方面的工作了。Gilbreth 夫妇后来被认为是人因工程学领域的先驱之一。他们致力于熟练动作和作业疲劳方面的研究、进行工作站设计以及为残疾人设计合适的工具。如他们对外科手术过程的研究成果直到今天还在使用。现在，在手术中外科大夫只需说出所需的器械，同时把手伸向护士，由护士从器械盘中拿起所需器械并递给大夫。而以前，外科大夫是自己从托盘中拿器械的。显然，这样很浪费时间。

尽管有 Gibreth 等人所作的巨大的努力和贡献，但是人们还是没有意识到使设

备及操作程序适应人的要求的必要性。第二次世界大战前，进行行为研究的科学家主要工作还是通过测验为工作选择合适的人员，对培训过程进行不断的优化来使人员满足工作的需要。这种理论在第二次世界大战期间出现了问题，因为即使是采用最好的人选和培训手段，有些复杂设备的操作还是超出了工作人员的能力。这时，人们开始重新考虑使设备满足人员需求的问题。

2. 1945~1960年：人因工程职业的出现

1945年第二次世界大战结束时，美国空军和海军共同建立了工程心理实验室。与此同时，第一家私人公司也开始进行有关方面的研究（Dunlap & Associates）。在国家医药研究委员会、科学与工业研究部的鼓励下，英国也在进行着同样的努力。战后诞生了人因工程学职业。1949年，在英国成立了工效学研究协会，Chapanis等人出版了《应用实验心理学：工程设计中的人因》。这是第一部关于人因工程学的著作。

1957年，美国建立了人因工程学协会，由工效学研究协会出版了《工效学》杂志，并由21个部门组成了美国心理学家协会。1959年，世界上美、英等国的人因工程学和工效学协会联合成立了世界工效学组织。

3. 1960~1980年：迅速增长时期

1960~1980年是人因工程学迅速发展和壮大的时期。到60年代，美国的人因工程学基本上集中在复杂的军事工业应用上。随着航天技术的发展和载人宇宙航行的出现，人因工程学迅速成为航天工业的一个重要部分。在此期间，人因工程学迅速成长，人因工程学已经开始在军事和航天工业以外的领域得以应用。许多公司都建立了人因工程学小组，包括医药公司、计算机公司、汽车公司和其他消费品公司。工厂也开始认识到人因工程学在工作地和产品设计方面的重要性和它所作出的贡献，并迅速得到了工业界的共识。

4. 1980~1990年：计算机、灾难和诉讼时期

计算机革命使得人因工程学成为公众瞩目的焦点。利用工效学设计计算机、设计用户友好界面的软件、办公室中的人因工程学等已成为热门话题。计算机技术向人因工程学提出了新的挑战。新的控制设备、屏幕显示的信息输出、新技术对人类的冲击都是人因工程学正在研究的领域。

20世纪80年代，也是一个充满不幸的、大规模的技术性灾难的10年。1979年，三里岛核电站的事故为之揭开了序幕。尽管没有造成人员的伤亡和反应机组本身财产上的损失，事故还是差点导致核泄漏的严重后果。1984年的12月4日，印度博帕尔的一家碳化物农药厂发生有毒化学物质泄漏，造成将近4000人死亡，200000人受伤。两年以后的1986年，前苏联切尔诺贝利核电站的爆炸和大火，导致300余人死亡，大量的人员遭到有害射线的辐射，上百万平方公里的土地被放射性物质所污染。三年以后，又一场大爆炸席卷了得克萨斯州的一家塑料工厂，其爆

炸力相当于 10t 的 TNT，有 23 人死亡，100 多人受伤，使美国商业保险公司蒙受了历史上最惨重的损失，赔款达到了 1.5 亿美元。根据美国学者的研究，这几起灾难事故发生的重要原因之一就是不恰当的人因设计。另外，牵涉到人因工程学有关领域的辩论以及关于产品可靠性和个人伤害方面的诉讼案件大大增多。法庭已经越来越重视人因工程学专家在解释人类行为和期望、界定设计的缺陷、评价警报和指令系统的有效性等方面所作的贡献。人因工程学协会约有 15% 的成员担任着有关司法鉴定的专家工作。

5. 1990 年以后

人因工程学越来越多地应用于计算机和信息技术（计算机界面、人机交互、互联网等）及空间技术的应用之中。建立永久性空间站的计划必然涉及到大量的人因工程学方面的研究。其他领域的发展也会增加对人因工程学的需求。例如，美国职业安全与健康管理部对一般企业明文规定了人因方面的标准。1988 年，美国国会通过了一项法令，要求联邦航空管理局进一步增强对人因工程学的研究，以提高飞行的安全性。此外，医药设施的设计和老年人使用的产品及设施的设计也是人因工程学的重要方面。我们希望将来人因工程学专家为改善生活和工作质量而作出的贡献能够被人们所承认，比如像满意度、幸福感、尊严等，早已远远超出了对生产率、安全性和其他一些无形范畴的讨论。

第二节 人因工程学的重要性及应用

随着近几十年来技术的飞速发展，人因工程学的地位越来越重要。人因工程学涉及到的领域包括宇航系统、城市规划、工厂运作、机械设备、交通工具、家具制造、服装、生活用品制造等等。人类的各种活动都不可避免地与人发生关系，而如何使各种活动更加适合于人的需要都会不可避免地应用到人因工程学。而且，人们逐渐认识到，在各种产品设计、系统设计等设计阶段的初期就必须用系统的方法考虑人因工程学。实际工作中经常有这样的情况，许多新设计的系统由于十分复杂，人们使用起来很不方便，且成本过高，因此在实际使用中不得不加以改动。而在此时重新进行改动的费用是很高的。所以，在项目的最初设计中必须尽可能地充分考虑到人的因素。人因工程学的应用如表 1-1 所示。

表 1-1 人因工程学研究领域举例

范 围	对象举例	例 子
产 品 和 工 具 设 计 及 改 进	机电设备	机床、计算机、农业机械
	交通工具	飞机、汽车、自行车
	建筑设施	城市规划、工业设施、工业与民用建筑
	宇航系统	火箭、人造卫星、宇宙飞船
	工作服装	劳保服、安全帽、劳保鞋

范围	对象举例	例子
作业的设计与改进	作业姿势、作业方法、作业量及工具选用和配置等	工厂生产作业、监视作业、车辆驾驶作业、物品搬运作业、办公室作业等
环境的设计与改进	声、光、热、色彩振动、尘埃、气味等环境	工厂、车间、控制中心、计算机房、办公室、驾驶室、生活用房等

第三节 人因工程学的基本原理和研究方法

人因工程学在很大程度上是一门实验科学，其主要任务是把与人的能力和行为有关的信息及研究结果应用于产品、设施、程序和周围环境的设计中去。这些知识主要来源于试验和观察。人因工程学不仅把采集的经验数据应用于产品的设计中，而且用于评价设计的优劣。这样，人因工程学在系统设计中具有双重任务：开始时是设计的基础，结束时是评估手段。本节将讨论与人因工程学有关的基本研究方法。

人因工程学以人及有关的设备和环境为研究对象。研究方法通常被分为以下三类：描述性研究、试验性研究和评价研究。现实中一个具体的研究往往涉及多个类别。虽然每一类都有不同的目标，使用不同的方法，但它们全都有同样的基本决策过程：选择研究地点、选择变量、选择采样主体、收集数据、分析数据。

1. 描述性研究

描述性研究用于描绘人的某些特性。如人体尺寸的测量、不同年龄人的听力损失、能够抬多重的箱子等等。

虽然描述性研究比较枯燥，但它们对于人因科学的意义非常重要。许多设计决策都是基于它得出的基本数据。另外，在方案给出之前，描述性研究还常用于确定问题的范围。比如说，对操作者进行调查，了解他们对设计效率和操作问题的一些看法等。

2. 试验性研究

试验性研究的目的是为了检测一些变量对人的行为的影响。通常根据实际问题、预测理论来决定需要调查的变量和检测的行为。例如评价手臂活动的时候肩部的负荷大小、人们的视野等。通常，试验性的研究更关心变量是否对行为有影响以及将如何影响的问题。描述性研究则更关心所描述对象的统计结果，如平均值、标准偏差和百分比等。

3. 评价研究

评价研究类似于试验性研究，但它的目的多是为了评价一个系统或产品，并希

望事先了解人们在使用系统或产品时的行为表现。

评价研究比试验性研究更为全面和复杂，它通过比较目标的差异来评价一个系统或产品的各个方面。人因工程学专家通过对设计优劣的系统评价，提出改进的建议。评价研究常用的方法是成本收益分析。

在无法进行预测时，评价研究要特别注意选择数据的收集方法和设备。

下面将分别对各种研究方法中的各种决策序列进行分析。

一、研究地点选择

研究地点的选择是首要问题，即是选择实地研究？还是选择实验室研究？对于不同的研究方法有不同的选择规则。

1. 描述性研究

描述性研究是为了收集一个特殊群体的有关数据，如煤矿工人、计算机操作者等。实践中常使用可移动的实验室来收集实际数据。

2. 试验性研究

试验性研究在选择地点时比较复杂。在实际环境中进行任务变化、环境约束、被测者的特征等方面的研究比较理想，因为这样获得的结论更容易推广到现实中去。然而也有不利的一面，如成本高，被测者有一定的危险，不能进行试验控制等。由于受到资源限制，不能重复很多次试验，因此，许多变量不能保持恒定。而且有时过程太分散，一些数据收集不到。

实验室中进行的研究，在实验控制方面具有极大的优势。许多变量都能受到控制，试验能随意重复，数据的收集也更加精确。但它可能过于理想化，失去了一定的普及性。一般认为：实验室研究的成果有时不太实用，在应用之前，必须经过现实世界的检验。

理论研究最好是在实验室中进行，这样便于把多个变量分离开，观察它们的不同影响。这种精确度在不受控的现实中是不可能实现的。需要说明的是：现实世界是应用研究结果的最终环境，往往有些变量在高度控制的实验室中非常有效，但在现实世界中因其他变量的影响，会完全失去作用。在有些案例中，实地研究也能进行很好的控制。

为了把实验室和实地研究的优势结合起来，研究人员常采用模拟现实的方法。模拟显示可以分为实体模拟和计算机模拟。实体模拟常由硬件和模拟的系统、程序或环境组成。如简单的布娃娃到异常复杂的太空模拟舱。

计算机模拟要在计算机上对一系列的事件和过程进行建模。通过改变参数来运行模型，推断结果。如劳动力的需求、设备停工时间等都可以通过计算机模拟工作过程得到。建立一个正确的计算机模型需要对被测系统有较深的理解，通常要求人们根据实际系统的操作进行一些简单的假设。

3. 评价研究

选择研究地点对于评价研究同样重要。要想检测一个系统或设备的性能，让被测物体在一个完全可以替代实际环境的情形下使用，这样才比较真实。例如，对于汽车上用的计算机地图显示器，就应该在汽车行驶当中测量，这样在不同的路况下，测量才能反映真实的情况。在实验室中显示器非常清晰，但在行驶的车上就很难看清楚。在实验室中很好操作的设备，在天气恶劣、交通繁忙的路上就比较困难。

二、选择变量

在研究中，选择被测变量是一个非常基础和重要的问题。

1. 描述性研究

这里被测变量分为两个基本类别：标准变量，分类变量。

(1) 标准变量。标准变量描述研究中的重要特征和行为。根据所收集数据的不同，这些变量可分为：实体特征，比如手臂的活动空间、体重等；行为表现方面的数据，如反应时间、视觉的敏锐性和记忆的范围等；主观数据，如偏好、观点和等级观念等；生理数据，如心跳速率、体温等。

(2) 分类变量。在一些描述性研究中，常选择有分类的样本研究。这些样本都是经过年龄、性别、教育程度等特征进行划分以后，比较有代表性的一些人。这样，数据就能以这些特征为依据进行分析，如性别、年龄等。

2. 试验性研究

在试验性研究中，研究人员在其他变量受控的情况下，改变一个或多个变量考察他们对被测行为的影响。被改变的变量称为独立变量（外部变量）。用独立变量的变化来影响被测行为称为非独立变量（内生变量）。独立变量都有可能影响非独立变量，因此，试验中要控制独立变量，以免独立变量的影响相互混淆。

(1) 独立变量。人因工程学研究，独立变量通常分为三类：①与任务相关的变量，包括设备变量和程序变量；②环境变量，如照明、噪声和振动等；③与被测者相关的变量，如性别、身高、年龄和经验等。多数研究中，独立变量的数目都较少。

(2) 非独立变量同描述性研究中的标准变量大体类似。试验性的研究中大多数非独立变量是人员的成绩、个人效用或其他心理方面的变量。

3. 评价研究

为评价研究选择变量，要求研究人员把评价系统或设备的目标转化成具体的、可测量的标准变量。

三、选择被测者

选择被测者就是决定选择什么人、如何选择、选择多少等问题。

1. 描述性研究

恰当选择被测对象是描述性研究的基础。研究人员往往要花费很大精力制定抽

样计划，选择被测对象。

(1) 代表性的抽样。描述性研究的目的是从具有代表性的样本中收集数据。抽样的代表性是指样本应该包含总体的所有相应特征，而且两者构成也要相同。例如，30%的煤矿工人年龄不到21岁，40%在21~40岁之间，30%在40岁以上，那么，代表性的抽样就是以相同的比例包含每一年龄层的群体。

代表性的定义中，相关性是很重要的。但也有某些采样，尽管与被测群体的特性不完全符合，但对整个研究的影响不是很大，因此仍然比较有用。例如，在测量人们对空中交通控制的听觉警报器的反应时间时，可以只选一两个城市进行研究，并不需要在全国各地进行抽样。这样做的理由是地理位置不是影响反应时间的相关变量。但在抽样中却要十分关注样本中不同年龄、性别人合适的比例关系，因为这些变量都是相关的变量。不具有代表性的样本是有偏的样本。

(2) 随机抽样。为了获得具有代表性的样本总体，应该从群体中随机地选择样本个体。随机抽样就是群体中的每一个个体都有相等的机会被选入样本。在现实社会中，获得一个完全随机的抽样几乎是不可能的。通常研究人员都是选择一些比较容易获得的个体，并不一定按照严格的随机过程进行。

(3) 样本空间大小。描述性研究一个关键的课题就是确定被测对象的个数，即样本空间的大小。样本空间越大，结果的可信度越高。但是抽样需要花费大量的财力和时间，因此，研究人员往往只注意收集必要数量的数据。利用公式可决定要求的被测对象的数量（可参见统计学教材）。以下三个主要的参数影响着数量的大小：期望的准确度（置信度）；群体的变异性（标准差）；所选的统计量，如平均值、第5百分位等。

2. 试验性研究

为试验性研究选择被测对象就是要选择那些具有代表性的、一般化的个体。被测对象对目标群体的代表性并不需要达到与描述性研究同等的程度。试验性研究更关心被测对象是否和目标群体受独立变量影响的方式一样。例如，要依据研究数据来设计办公环境时，研究室内照明度对显示在计算机屏幕上的文件阅读的影响实验中，不必只选择那些对于计算机屏幕阅读有丰富经验的人，因为无论经验多少，在很强的照明下任何人都比在合适的照度下的阅读能力要差一些。

样本空间的大小，就是确定如何以最小的成本收集足够的的数据，保证评价独立变量的影响时的可信度。确定样本空间大小的方法可参见统计学教材。

通常实验性研究所使用的样本容量比描述性研究中使用样本容量要小。但使用太少的数据是很危险的，可能会得出错误的结论。

3. 评价研究

评价研究中选择个体与描述性研究和试验性研究考虑的因素一样。被测对象必须能够代表最终用户群体。被测者必须达到一定的数量，能够据此对用户群体的行

为做出科学的判断。

四、收集数据

描述性研究中数据的收集可以在实地或实验室中进行，如在煤矿工人工作时测量他们的能量损耗，用秒表测量工人操作的时间，等等。

通常采用调查和访问的方法收集数据。调查问卷可以在实地填写或者邮寄给被测者。存在的主要问题是回复率不太高，这样产生偏差的可能性就会增大。

试验性研究中数据的收集和描述性研究一样。试验性研究常在实验室中进行，往往比较复杂，所以常采用计算机辅助的方法。这种方法具有很大的潜力，能够在试验中加入更多的变量，而且在收集数据时具有更大的精确度和更高的采样率。

在评价研究中，收集数据经常比较困难。被评价的设备可能本身不具有检测能力，工程师们还要专门为了评价而改造机器。大多数情况下，原则上的方法还是通过研究人员观察或访问使用者来收集数据，了解他们所面对的问题和想法。

五、分析数据

收集到数据后，研究人员必须对数据进行分析。

1. 描述性研究

这里常采用基本的统计方法进行。如计算频率分布、平均值、中位数、标准偏差、相关系数、百分位数等。

2. 试验性研究

试验性研究中的数据常用一些较为复杂的数理统计方法进行分析，比如方差分析、回归分析等。

六、因变量的分类

试验性研究中的因变量是评价研究中判断设计优劣的基础。在人因工程学领域大致分为以下三类：①描述系统功能的变量；②描述任务如何完成的变量；③描述人员的反应的变量。

1. 系统因变量

反映整个系统的基本性能，多用于评价研究，较少用于描述性研究和试验性研究。如设备的可靠性、耐磨损性、操作成本和维修性能以及一些具体的特性，如最大转速、重量等。

2. 任务变量

描述任务完成的情况。这样的变量有：①产出数量。如搬运的土方数等；②产出质量。如事故次数、设计好的路径的偏差等；③完成时间。如在电路中找出错误的时间，任务开始时的延迟时间。

3. 人员变量

人员变量用于描述执行任务时人的行为和反应。常用绩效测量、生理指标、主观反应来度量。

(1) 绩效测量。通常是指频率测量、强度测量、反应时间测量或耐力测量等。有时是这些基本类型的结合，如单位时间内错过的目标数目。

(2) 生理指标。常用来测量在体力劳动或脑力劳动时人体的紧张程度，或者是在受到如热源、噪声和振动等不良影响时，人体生理上的反应。生理指标按照人体生理系统可以分为：心血管、呼吸道、神经系统、感觉器官和血液中的化学物质等。

(3) 主观反应。通过被测者的主观判断来进行测量其感受。比如座椅的舒适性，计算机使用的方便性，对工具手柄长短的偏好等。主观反应还可以测量脑力和体力的负荷程度。因为人们在评价喜欢、不喜欢或他们的感觉时有各种不同的偏好，所以在测量主观反应时必须要注意。言辞、问题次序或指令形式上微小的变化，都可能改变被测者的反应。尽管有这样的缺点，主观反应的数据还是非常有价值的，而且有时还是惟一合理的方法。

4. 最终行为与中间行为的对比

在试验时既可测量最终行为也可测量中间行为。中间行为比最终行为更加具体和详细。最终行为往往比中间行为更有价值。在进行诊断和解释时，中间行为是比较有效的。比如，要检测一种药瓶上的警告标签的作用，标签要求患者在服药以前需要摇动药剂使其均匀，最终行为是检测人们是否摇动药剂并使其均匀，而中间行为是监测人们是否记得标签的内容，是否读了标签。中间测量数据对于解释人们为什么没有按照指示去做的问题是非常有用的，是没有看到它，还是没时间读，还是不能记起标签的内容？

七、因变量的要求

研究因变量一般都必须满足特定的要求，既有实际测量方面的要求，也有心理测量方面的要求。心理测量要求有可靠性、正确性、抗干扰性和敏感性。

1. 基本要求

要保证实验是可信的话，因变量必须满足：①客观存在；②数量较多；③无突变；④容易收集；⑤不需要特别的数据收集技术；⑥消耗尽可能少的财力和实验者的精力。

2. 可靠性

在测量中，可靠性是指对一个变量测量多次结果保持稳定的特性。从测量意义上讲，可靠性就是进行一系列的测量不出现错误的程度。测量结果不稳定是不可靠的测量。增加测量次数可以提高可靠性。

3. 正确性

在人因工程学研究中，要保证几方面的正确性。如方向正确性、内容正确性、体系正确性。对于选择人员的测验还需要保证行为判断正确性。

(1) 方向正确性。主要是指通过测量想得到什么，也就是目的是什么？方向

正确性可能会影响被测者参与的积极性。因此，研究人员应该尽可能的选择与用户相关的方面进行测量。如测量办公用计算机屏幕的可辨认性时，最好选用办公室中常用的文件进行实验。

(2) 容量正确性。是指被测变量是否覆盖足够的相关领域，如知识领域、工作行为领域等。例如，在测试空中交通控制者的行为表现时，通常要包括对控制者各个方面的测试，不是仅仅某个方面。

(3) 体系正确性。指测量范围能够包括关键因素，如对静止靶子射击的准确度只能作为实际格斗技术中很小一部分的度量。图 1-1

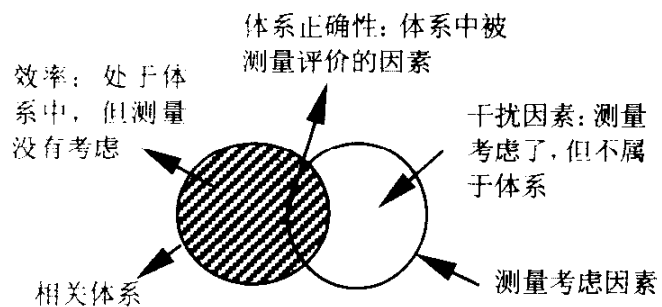


图 1-1 体系正确性和干扰因素的概念关系

说明测量体系（格斗技术）和测量（射击）之间的关系，中间的阴影表明结构正确性，阴影范围比较小，表明测量只涉及到目标的很小一部分，正确性比较低。体系正确性主要基于经验积累而形成的判断。

4. 防止干扰因素的影响

因变量不能受那些与体系无关的变量的影响。如在射箭过程中，风、光照和箭的质量都是干扰因素的来源，他们能够影响射箭的准确率但又与被测内容无关。

5. 敏感性

被测者应该能够区别因变量变化，如使用不舒适、一般、舒适的标准检测不同的椅子，得到的结果都是舒适。但通过在舒适的椅子之间比较，就可以得出哪些比其他的更舒适。这样用三级标准评价，所有的椅子都一样，都是舒适。如果使用七级标准来描述，就能加以区别。但级别太多，在一个极端敏感的范围里，有时会降低可靠性。

八、人的可靠性

人的可靠性总是同人的错误联系在一起的。研究人的可靠性有两方面要求：一是指对人的错误做出定量分析；二是对人员出错原因做出解释。作为一种测量方法，人的可靠性是指人员成功完成任务概率的大小。

研究人员从 20 世纪 50 年代开始注意人的可靠性问题，当时是用测量硬件可靠性的方法来确定人的可靠性的。1962 年建立了第一个人员可靠性数据库的原型，从此，人们在利用人员可靠性数据库的方法解决可靠性问题中付出了很大的努力，但它们的用途非常有限，主要是因为数据缺乏，且多局限于手工操作的任务，如控制仪器、修理部件。然而，目前还不能用可靠性数据库解决在决策制定、解决问题中人的错误等问题。

除了数据库以外，一个比较完善的方法就是人员出错率预测技术（THERP）。它主要用来进行核电站的人员可靠性鉴定。在分析一个复杂问题时，它把问题细化，分成较小的任务和步骤。然后用图表说明这些任务和步骤与成功或失败行为的关系。从经验数据和专家判断得出的成功完成任务的概率被分配给各个步骤，然后根据逻辑规则合成进行复杂操作人员的可靠性大小的判断。

此外，还可利用随机仿真模型来测量人员的可靠性。利用计算机反复模拟任务的执行情况，从组成元素的成功或失败的概率分布上进行采样，然后计算成功完成整个任务的次数。计算机模拟最大的优势就是可以从任务的不同侧面，对其效果做出可靠性评价。

需要说明人的行为变化多端，是动态的，仅仅评价某种静态的可靠性是不对的，需要进行动态的评价。具体的方法有：观察法、实测法、实验法、模拟和模型试验法、计算机数值仿真法、调查研究法以及各种分析法、例如瞬间操作分析法、知觉与运动信息分析法、动作负荷分析法、频率分析法、危象分析法和相关分析法等等。随着人因工程学的不断发展，它同时在不断地吸收其他各种学科的方法，特别是系统工程方法论及计算机仿真技术等，例如层次评价法、模糊评价法、解释结构模型和系统动力学等等。

第四节 人因工程学与其他学科的关系

一、人因工程学与其他学科的关系

从人因工程学的发展历史可知，它与系统工程、劳动科学、心理学等有着密切的关系。从工程角度看，人因工程学必然要在系统工程思想的指导下，利用各种工程技术手段实现人、机系统的最佳配置。同时，还要利用心理学、劳动科学、经济学、管理学等知识，追求提供最适宜的劳动条件、获取最高的劳动效率和创造最舒适的工作环境等目标。图 1-2 简要地显示了人因工程学与相关学科的关系。

二、人机系统

人因工程学中一个最基本的概念就是系统。不同的专家对它有不同的理解，我们只给出一个最简单的定义：系统是一个为了实现某种目的的实体，它由人、机器和其他一些相互作用的事物组成，实现一些个体不能独立实现的目标。

1. 人机系统

人机系统是指一个或多个人员、实体设备所构成，向系统输入给定的数据，就会产生期望的输出。这里，机器可以是一种物体、设备、事物或任何人们在使用东西。人机系统可以简单到只是人和一把锤子的系统，也可以是一个家用电器和操作者，复杂的系统有飞行器、自动化的炼油设备等；更复杂的系统如服务系统则有医院、游乐园、高速公路、机场等等。系统中人是最活跃的因素，它和其他物体