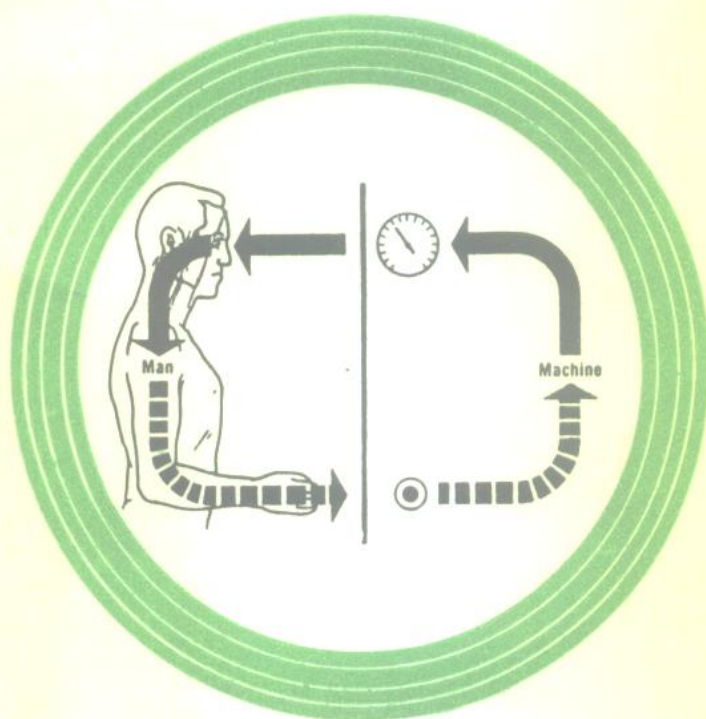


人机工程学 及其应用

马江彬 主编



机械工业出版社

人机工程学及其应用

马江彬 主编



机械工业出版社

(京)新登字 054 号

人机工程学是按照人的特性设计和改善人-机-环境系统的新兴边缘科学,也是研究提高工作效率的科学。

本书从人体科学、工程技术、企业管理和环境科学等方面,系统深入地介绍了现代人机工程学所涉及的主要基础理论、基本思想和先进的研究理论及科学方法。

本书共十四章,主要包括:人体测量及测量数据的应用;人体运动与操纵力;人的信息加工;显示与控制及其组合装置的设计;座椅、作业空间设计;作业环境及其改善;人-机系统设计;重体力作业;脑力作业;技能作业;作业分析和人的可靠性与安全等。是一本理论与实际相结合的基础著作。

本书可作为工科大专院校设计制造类和管理、安全类专业的教科书,也可供企业工程技术人员和管理人员参考使用。

人机工程学及其应用

马江彬 主编

责任编辑:王明贤 版式设计:冉晓华

封面设计:方 芬 责任校对:李秋荣

责任印制:路 琳

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ · 印张 17 · 字数 415 千字

1993 年 12 月北京第 1 版 · 1993 年 12 月北京第 1 次印刷

印数 0 001—3000 · 定价:18.00 元

ISBN 7-111-03874-6/TB·185

前 言

人机工程学(Ergonomics)是由人体科学、工程技术、劳动科学和企业管理科学相互交叉的一门综合性的新兴边缘学科。它是以人的生理、心理特征为依据,以提高人的工作、生活质量为目的,运用系统工程和信息加工心理学的观点和方法,研究生产领域内人与机械、人与环境以及机械与环境之间的相互作用,为设计操作简便省力、准确安全、高效舒适的人-机-环境系统提供理论根据和方法的科学,因而也被称为工效学。

人机工程学作为一门独立学科,虽然仅有40多年的历史,然而随着科学技术的进步、人类活动领域的扩大以及人们对生产、生活质量要求的提高,人机工程学的研究内容和应用范围都在迅速扩大。可以毫不夸张地说,凡是有人存在的环境,都需要解决人机工程学问题。目前,在一些发达国家,人机工程学已成为推动工业生产发展的新的技术动力,不仅被广泛应用于国防、工业、交通运输、农业、医学和教育等各个领域,而且也被应用于宇宙航行领域。

70年代末期,人机工程学才在我国兴起。尽管经过许多有关专业工作者的积极努力,取得了不少成就,但在许多生产领域,人们对人机工程学还缺乏应有的了解,所以在新产品的设计或产品改型设计中以及技术引进中,应当解决的人机工程学问题还远远没有得到妥善解决,从而使产品投入使用后,出现人、机、环境关系的不和谐状态,不仅造成生产效率的低下,甚至导致危及人身安全的事故。因此,开展人机工程学教育(包括对大量从事设计和管理工作的科技人员)无疑是至关重要的。鉴于这种考虑,我们在马江彬同志近几年为大学生和企业工程技术人员讲课所使用的讲义的基础上,重新编写而成此书。企望通过该书,能为在我国开展人机工程学教育及其应用尽微薄之力。目前我国正推广应用工业工程技术,该书能提供具有一定参考价值的内容。

本书在编写过程中力求反映以下特点:

1) 具有较为完整的基础理论。对生理学、心理学、人体解剖学、运动生物力学、人体测量学等作恰当的论述,为人机工程学提供较为完整的基础理论。

2) 强调人在人-机-环境系统中的主导地位,并以人的因素及其特征,包括人在内的系统(作业、机器、环境)为顺序展开论述。对近年来引起国内外人机工程学者所关注的人的可靠性与安全问题专列成一章。特别是对事故的预防,也运用人机工程学原理,从多个方面予以介绍和讨论。

3) 重点突出人机工程学原理和设计方法的分析,并在此基础上论述人机工程学的应用。在人的信息加工、显示与控制及其组合装置的设计、座椅设计、作业空间设计、作业环境及其改善以及人机系统的设计中,均作了系统的论述。尤其是对于重体力作业、脑力作业和技能作业、作业分析,均独立列章进行讨论,这在国内外同类图书中还较为少见。在论述以上内容的过程中,强调分析人-机-环境相互作用的一些基本方面以及人机工程学在生产中的应用,其目的是希望对读者有所启发和指导,使之沿着正确的方向去发掘和研究更多关于人-机-环境之间相互作用的各个侧面。

4) 内容较新。在叙述方面不仅以人机工程学新的思想、观点、方法为主,而且所引用的数据资料也有很多是 80 年代的。在工程设计、作业空间设计等方面还贯彻和应用了我国近几年来所发布的人类工效学有关标准。本书还提供了一些比较实用的设计方法和参数。

5) 适应面广。在编写内容方面,力求不仅适用于工科院校设计制造专业、工业工程、工业企业管理、工业管理工程、劳动经济、劳动安全管理专业的师生,而且适用于企业工程技术人员和管理人员。

本书第一章由马江彬编写;第二、三、五章由王克虹编写;第四、八、十一章由马晓光编写;第六、九、十章由马晓明编写;第七章由许玉蓁编写;第十二、十三、十四章由李媛君编写。由马江彬主编并统稿。

本书承西安交通大学李怀祖教授、田鹤亭副教授审阅,并提出许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中,参考和引用国内外资料较多,在此谨向有关作者和研究者表示诚挚的感谢。

本书在编写、出版过程中,曾得到中国石油天然气总公司装备局黄志潜、刘天民总工程师和赵光理高级工程师的大力支持和热情指导,得到机械工业出版社王明贤编辑的大力帮助,在此向他们深表谢意。

本书在编写过程中还得到中国机械工程学会工业造型设计分会人机工程专业委员会以及陕西省机械工程学会工业造型设计学会的支持和帮助,在此一并致谢。

尽管本书在编写过程中,编者作了极大的努力,力求准确无误,但由于编者水平所限,错误与不妥之处在所难免,敬祈读者予以指正。

编者

1993 年 2 月

目 录

第一章 人机工程学概论	1	第一节 方法研究	105
第一节 学科的命名与定义	1	第二节 程序分析	108
第二节 人机工程学的研究范围 及其在产品设计中的地位	2	第三节 操作分析	115
第三节 人机工程学的相关学科与 研究方法	4	第四节 动作分析	120
第四节 人机工程学发展简史	5	第五节 动作经济原则	122
第二章 神经系统与感知	8	第六节 时间研究	123
第一节 神经系统	8	第八章 人的可靠性与安全	130
第二节 感觉和知觉	13	第一节 人的可靠性分析	130
第三节 视觉	17	第二节 人为差错	132
第四节 听觉	22	第三节 安全事故分析及其预防	135
第五节 本体感觉	23	第九章 信息显示器设计	147
第六节 人的心理特征	24	第一节 仪表显示的一般概念	147
第三章 人体测量及测量数据的应用	27	第二节 模拟式显示器设计	150
第一节 人体测量	27	第三节 数字显示器设计	156
第二节 常用人体尺寸数据	31	第四节 荧光屏显示设计	158
第三节 人体测量数据的应用	34	第五节 信号灯和听觉报警器设计	160
第四节 人体主要参数的计算	40	第十章 控制器的设计	164
第五节 人体模板及其应用	44	第一节 控制器的类型及其适用范围	164
第四章 人体运动与操纵力	47	第二节 控制器设计中的人机工程因素	168
第一节 骨骼肌	47	第三节 控制器的设计	173
第二节 骨骼和关节	51	第十一章 作业空间设计	183
第三节 静态肌肉施力	56	第一节 作业空间设计要求	183
第四节 作业姿势	60	第二节 工作区域的设计	187
第五节 操纵力	62	第三节 座椅设计	199
第五章 重体力作业	67	第十二章 显示与控制组合设计	206
第一节 人体作业中的能量代谢	67	第一节 显示器与控制器的空间设计	206
第二节 体力劳动强度分级	73	第二节 显示器与控制器的配合	210
第三节 最大能量消耗界限	75	第三节 仪表面板与控制台的设计	214
第四节 体力作业时循环系统和呼吸的变化	77	第十三章 作业环境及其改善	220
第六章 脑力作业和技能作业	80	第一节 气温环境	220
第一节 人的信息加工	80	第二节 噪声环境	228
第二节 记忆	85	第三节 振动	238
第三节 注意	89	第四节 照明环境	242
第四节 人的信息输出	92	第十四章 人机系统的设计与评价	249
第五节 持续警觉和脑力作业生理变化特征	98	第一节 人机系统设计基础	249
第六节 技能的形成	100	第二节 人机系统的设计	254
第七章 作业分析	104	第三节 人机系统的分析评价	256
		第四节 人机系统的可靠性分析	262
		参考文献	264

第一章 人机工程学概论

第一节 学科的命名与定义

一、学科的命名

人机工程学是20世纪40年代后期跨越不同学科领域,应用多种学科的原理、方法和数据发展起来的一门新兴的边缘学科。由于它的学科内容的综合性、涉及范围的广泛性以及学科侧重点的不同,学科的命名具有多样化的特点。例如,在欧洲该学科多称为人类工程学或工效学(Ergonomics);在美国称为人类因素学(Human Factors)或人类因素工程学(Human Factors Engineering);在前苏联称为工程心理学;在日本称为人间工学。此外,还有一些国家称为人体工程学、人机工程学、人机控制学、机械设备利用学、宜人学等等^[1、2、3]。目前,在我国人机工程学、人体工程学、工程心理学、工效学等多种名称并用,但其中使用较多的是人机工程学,故本书沿用这一名称。

二、人机工程学的定义

人机工程学目前尚无统一的定义,以下仅列出国际人机工程学会(International Ergonomics Association,简称IEA)以及美国等国有关专家对本学科所下的定义^[1、3、4]:

著名的美国人机工程学专家W.E.伍德森(W.E.Woodson)认为:人机工程学研究的是人与机器相互关系的合理方案,亦即对人的知觉显示、操纵控制、人机系统的设计及其布置和作业系统的组合等进行有效的研究,其目的在于获得最高的效率和作业时感到安全和舒适。日本的人机工程学专家认为:人机工程学是根据人体解剖学、生理学和心理学等特性,了解并掌握人的作业能力和极限,让机具、工作、环境、起居条件等和人体相适应的科学。前苏联的人机工程专家认为:人机工程学是研究人在生产过程中的可能性、劳动活动方式、劳动的组织安排,从而提高人的工作效率,同时创造舒适和安全的劳动环境,保障劳动人民的健康,使人从生理上和心理上得到全面发展的一门学科。

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、生活中和休假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。

综上所述,可以认为:人机工程学是以人的生理、心理特性为依据,运用系统工程的观点,分析研究人与机械、人与环境以及机械与环境之间的相互作用,为设计操作简便省力、安全舒适、人-机-环境的配合达到最佳状态的工程系统,提供理论和方法的科学。因此,人机工程学可定义为:按照人的特性设计和改善人-机-环境系统的科学。

上述定义中的人是指操作者或使用者;机是泛指人操作或使用的物,可以是机器,也可

以是用具、工具或设施、设备等；环境是指人、机所处的周围环境，如作业场所和空间、物理化学环境和社会环境等；人-机-环境系统是指由共处于同一时间和空间的人与其所使用的机以及他们所处的周围环境所构成的系统，简称人-机系统。人-机系统可小至人与锄头，也可大至人与汽车，乃至人与宇宙飞船等。在人-机系统中，人、机、环境相互依存、相互作用、相互制约，完成某一特定的生产过程。

第二节 人机工程学的研究范围及其 在产品设计中的地位

一、人机工程学的研究对象和任务

尽管目前人机工程学的定义尚不统一，但就其研究对象和研究目的而言，并无实质上的差别。因此，从人机工程学的定义出发，可以认为，人机工程学的研究对象是，人-机-环境系统的整体状态和过程。在人-机系统中，不论机器达到了怎样的高度自动化水平，机器始终处于为人服务且为人所控制、监视、利用的地位，而人始终处于主导地位。因此，人机工程学的任务就在于，使机器的设计和环境条件的设计适应于人，以保证人的操作简便省力、迅速准确、安全舒适，充分发挥人、机效能，使整个系统获得最佳经济效益和社会效益。

二、人机工程学的研究范围

根据人机工程学的任务，其研究范围主要包括以下几个相互关联的方面：

（一）研究人的生理、心理特性和能力限度

人的生理、心理特性和能力限度，是人-机-环境系统设计的基础。人机工程学从工程设计角度出发，研究人的生理、心理特性及能力限度，如人体尺寸、人体力量和能耐受的压力、人体活动范围、人从事劳动时的生理功能、人的信息传递能力、人在劳动中的心理过程、人的行为、人的可靠性等，为凡是与人体相关的机电设备、工具、用具、用品、设施、作业等以及人-机-环境系统的设计，提供有关人的数据资料和要求，以便使其适应于人。

（二）研究人机功能的合理分配

人-机系统中的两大组成部分——人与机都有各自的能力和限度。人机工程学研究根据人、机各自的机能特征和限度，如何合理分配人、机功能，在人-机系统中，使其发挥各自的特长，并相互补充、取长补短、有机配合，以保证系统的功能最优。

（三）研究人机相互作用及人机界面的设计

在人-机系统中，人、机相互作用的过程就是利用信息显示器和控制器实现人、机间信息交换的过程。如图 1-1 所示，人通过感觉器官利用显示器获得关于机器运行状态的信息，经大脑的综合、分析、判断、决策后，再通过效应器官利用控制器将人的指令传递给机器，使机器按人所预定的状态运行。机器在输入人的操作信息之后，又通过一定的方式将其工作状态反馈于人，人根据反馈信息再对机器的状态做出进一步的控制或调整。人机工程学

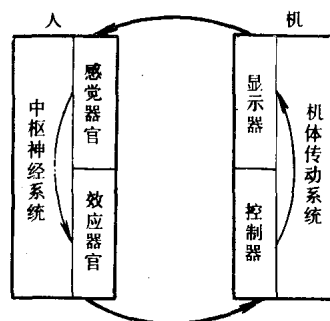


图 1-1 人、机相互作用

研究如何运用有关人的数据资料,设计显示器与控制器,使显示器与人的感觉器官的特性相匹配,使控制器与人的效应器官的特性相匹配,以保证人、机之间的信息交换迅速、准确。

(四) 研究环境及其改善

人机工程学研究环境因素,如温度、湿度、照明、噪声、振动、尘埃、有害气体对人的作业活动和健康的影响,并研究控制、改善不良环境的措施和手段,以便为人提供舒适、安全和保障健康的作业环境。

(五) 研究作业及其改善

人机工程学研究人从事重体力作业、技能作业和脑力作业时的生理、心理变化,并据此确定作业时的合理负荷及耗能量、合理的作业和休息制度、合理的操作方法,以减轻疲劳,保障健康,提高作业效率。

人机工程学还研究作业分析和动作经济原则,寻求最经济、最省力、最有效的标准工作方法和标准作业时间,以消除无效劳动,合理利用人力和设备,提高工作效率。

(六) 研究人的可靠性与安全

随着工程系统的日益复杂和精密,操作人员面对大量的显示器和控制器,容易出现人为差错而导致事故的发生。因此,研究人的可靠性对于提高系统的可靠性具有十分重要的意义。人机工程学研究影响人的可靠性的因素,寻求减少人为差错,防止事故发生的途径和方法。

三、人机工程学在产品设计中的地位

许多机器设备在投入使用后不能达到预期的效果,究其原因,不仅与产品的工艺、性能、材料、可靠性等有关,更为重要的是,与设计的机器不适应于人的特性有关,如机器的结构、信息显示方式与信息量、控制器的布置、操作者的认知能力、操作者的身高、操作时的施力大小以及动作的速度和准确度等。后一问题的产生,均可归属于在产品设计阶段未能进行人机工程设计所致。尤其对于现代日趋大型、复杂的机器和设备,在产品设计阶段,如若不充分注意操作者的生理、心理特性,忽视人的因素,即使设计的机器本身具有很好的物质功能,投入使用后也不可能得到充分发挥,甚至还可能导致事故的发生。由此可见,在产品设计中不进行人机工程设计,产品的使用功能将无法得到保证。表 1-1 列出了在产品设计的各阶段中需要进行的人机工程设计内容。

表 1-1 产品设计五个阶段中需要进行的人机工程设计内容

设计阶段	人 机 工 程 设 计 内 容
规划阶段 (准备阶段)	1. 考虑产品与人及环境的全部联系,全面分析人在系统中的具体作用 2. 明确人与产品的关系,确定人与产品关系中各部分的特性及人机工程要求设计的内容 3. 根据人与产品的功能特性,确定人与产品功能的分配
方案设计	1. 从人与产品、人与环境方面进行分析,在提出的众多方案中按人机工程学原理进行分析比较 2. 比较人与产品的功能特性、设计限度、人的能力限度、操作条件的可靠性以及效率预测,选出最佳方案 3. 按最佳方案制作简易模型,进行模拟试验,将试验结果与人机工程学要求进行比较,并提出改进意见 4. 对最佳方案写出详细说明:方案获得的结果、操作条件、操作内容、效率、维修的难易程度、经济效益、提出的改进意见

设计阶段	人 机 工 程 设 计 内 容
技术设计	1. 从人的生理、心理特性考虑产品的构形 2. 从人体尺寸、人的能力限度考虑确定产品的零部件尺寸 3. 从人的信息传递能力考虑信息显示与信息处理 4. 根据技术设计确定的构形和零部件尺寸选定最佳方案, 再次制作模型, 进行试验 5. 从操作者的身高、人体活动范围、操作方便程度等方面进行评价, 并预测还可能出现的问题, 进一步确定人机关系可行程度, 提出改进意见
总体设计	对总体设计用人机工程学原理进行全面分析, 反复论证, 确保产品操作使用与维修方便、安全与舒适, 有利于创造良好的环境条件, 满足人的心理需要, 并使经济效益、工作效率均佳
施工设计	检查施工图是否满足人机工程学要求, 尤其是与人有关的零部件尺寸、显示与控制装置。对试制出的样机全面进行人机工程学总评价, 提出需要改进的意见, 最后正式投产

第三节 人机工程学的相关学科与研究方法

一、人机工程学的相关学科

人机工程学是在科学技术发展过程中由多门学科结合形成的, 是由许多不同学科不同专业工作者共同研究而发展起来的。因此, 它具有多学科性、交叉性和边缘性的特点。与人机工程学相关的学科较多, 其中心理学、生理学、人体解剖学、人体测量学、运动生物力学、劳动心理学、劳动生理学、劳动卫生学、劳动保护学是人机工程学的基础学科, 它们为人机工程学研究人-机-环境系统中人这一主体环节提供了科学依据, 为人机工程学设计提供了有关人的生理学、心理学方面的理论参数。环境科学如环境保护学、环境卫生学、环境监测学、环境医学、环境控制学、环境工程学等为人机工程学研究如何改善影响人的工作和健康的不良环境和如何创造安全、舒适、满意的工作环境提供了科学依据。工程技术如机械工程、系统工程、工业工程、企业管理工程、安全工程以及信息论、控制论、计算机科学等, 人机工程学与这些学科领域有密切关系, 涉及到这些学科领域的许多方面, 它们也为人机工程学的研究提供了先进的研究理论、方法和手段^[1、4]。

人机工程学综合上述相关学科的原理、成果、方法、数据, 将人、机、环境构成有机联系的完整系统, 以人为主体的, 研究该系统中人、机、环境三者之间相互协调、相互配合的规律, 求得人-机-环境整体系统的最优化, 从而形成了一门具有自己的理论体系和研究方法的独立的学科。

由于人机工程学将人体科学与工程技术科学两大类科学紧密结合, 因此, 不仅具有明显的提高生产效率的实践意义, 而且更具有理论研究上的开拓意义。它的研究和发展, 丰富和扩大了人体科学和工程技术科学的内涵和外延, 直接影响和推动该两大类科学的发展和进步。

二、人机工程学的研究方法

人机工程学的研究方法具有多样性, 既有沿袭相关学科的研究方法, 也有适合于人机工程学研究特殊方法。表 1-2 简要列出了目前常用的一些研究方法^[1、3、5、6]。

表 1-2 人机工程学常用的研究方法

名 称		内 容
实测法		实测法是借助工具、仪器设备进行测量的方法。例如人体尺寸的测量、人体生理参数的测量（代谢、呼吸、脉搏、血压、尿、汗、肌电、心电等）、作业环境参数的测量（温度、湿度、照明、噪声、振动和特殊环境中的失重等）
实验法		实验法是在人为设计的环境中测试实验对象的行为或反应的一种研究方法。如对各种仪表的认读速度、误读率，仪表显示的亮度、对比度、观察距离、观察者的疲劳程度等
测试法		测试法是根据特定的研究内容，对典型作业现场（非人为）中的作业人员进行调查，包括一些客观测试、书面问答以及在特定环境中的生理、心理变化，工时状况等各个方面的反应和表现，从中分析产生的原因、差异等
询问 观察法	询问法	调查人通过与被调查人的谈话，评价被调查人对某一特定环境的反应。其要点是：调查人对要询问的问题、先后顺序和具体提法要作好充分准备；与被调查人建立友好关系；被调查人要客观认真如实回答问题
	观察法	通过直接观察和间接观察，记录自然环境中被调查者的行为表现、活动规律，然后进行分析。该法的优点是，可客观的不受干扰的记录被调查者的行为。根据调查目的，可事先让被调查者知道调查内容，也可不让知道而秘密进行。借助于摄影或录像等手段更好
模拟法		模拟法是运用各种技术和装置的模拟，对某些操作系统进行逼真的试验，可得到所需要的更符合实际的数据的一种方法。例如训练模拟器、各种人体模型、机械模型等。在进行人机系统研究时常常采用这种方法，如设计控制台、驾驶室、宇航员飞行前的模拟训练等。是一种仅用低廉成本即可获取符合实际研究效果的方法
系统分析 评价法		此法体现了人机工程学将人-机-环境系统作为一个综合系统考虑的基本观点。IEA 认为，进行人-机-环境系统的分析评价应包括作业者的能力、心理、方法及作业环境等诸方面的因素，如作业环境的分析、作业空间的分析、作业方法的分析、作业组织的分析、作业负荷的分析、信息输入及输出的分析等

第四节 人机工程学发展简史

自有人类以来，人类为了自身的生存就离不开工具。早在石器时代，人类就逐渐学会了选择石块，打制成可供敲、砸、刮、割的各种工具，从而产生了原始的人机关系。此后，在漫长的历史岁月里，人类为了扩大自己的工作能力和提高自己的生活水平，便不断地创造发明、研究制造各种机器、设备、工具、用具、用品等等。然而，在这个过程中，人类却忽略了对自己制造的生产工具与自身关系的研究，于是导致了低效率，甚至导致了对自身的伤害。直到 19 世纪末期，人们才开始采用科学的方法，系统研究人的能力与其所使用的工具之间的关系。从此便开始了人机工程学诞生前的一个萌芽阶段。这一阶段，大致是从 19 世纪末期到 20 世纪 20 年代。在这一阶段，在人与工具的关系的研究方面以及人的操作方法研究方面，最具有影响的当首推现代管理学的先驱美国的泰勒（F.W.Taylor）。泰勒处于美国南北战争结束不久的资本主义蓬勃发展时期。当时工厂规模越来越大，使用的机器越来越多，生产技术日趋复杂，市场竞争更为激烈，资本家迫切要求提高企业的管理水平，其中首当其冲的是提高生产效率。1898 年泰勒进入伯利恒钢铁公司。在此期间，他通过一系列实验，总结出一套管理原理。他曾对铲煤和铁矿石的工具——铁锹进行研究，找到了铁锹的最佳设计以及每次铲煤或铁矿石的最适重量。同时，他还进行了操作方法的研究，剔除多余的不合理的动作，制定最省力高效的操作方法并制定相应的工时定额，极大的提高了工作效率。1911 年，以动作研究闻名于世的吉尔布雷斯夫妇（F.B.Gilbreth and L.M.Gilbreth），

通过快速拍摄影片,详细记录工人的操作动作后进行分析研究,将砌砖动作从18个简化为5个,使砌砖速度由120块/h提高到350块/h。后人将泰勒与吉尔布雷斯的科研成果综合为“动作与时间研究”^[1,2]。动作与时间研究对于提高作业效率至今仍有其重要意义。

与泰勒同一时期,在心理学界,1903年德国心理学家斯腾(L.W.Stern)首次提出“心理技术学”这一名词,尝试将心理学引入工业生产。现代心理学鼻祖德国著名心理学家冯特的学生闵斯托博格(H.Munsterberg)则是最早将心理学应用于工业生产的心理学家,他受聘于哈佛大学期间,于1912年前后,出版了《心理学与工业效率》等书,将当时心理技术学的研究成果与泰勒的科学管理学从理论上有机地结合起来,运用心理学的原理和方法,通过选拔与培训,使工人适应于机器。本世纪20年代,心理技术学传入中国,1935年执教于清华大学的我国心理学家陈立出版了他的《工业心理学概观》,这是我国最早系统介绍工业心理学的专著。

在这一阶段,人机关系研究的特点是,以机械为中心进行设计,通过选拔和训练,使人适应于机器^[2]。可以认为,它已孕育着人机工程学的思想萌芽。

第二次世界大战开始及战后的十几年,可称为人机工程学的诞生和成长阶段。这一期间,由于战争的需要,军事工业得到了飞速的发展,武器装备变得空前庞大和复杂。此时,完全依靠选拔和培训人员,已无法使人适应不断发展的新武器的性能要求,事故率大为增多。据统计,美国在第二次世界大战中发生的飞机事故,90%是由人为因素而造成的。人们在屡屡失败中逐渐清醒,认识到只有当武器装备符合于使用者的生理、心理特性和能力限度时,才能发挥其高效能,避免事故的发生。于是,对人机关系的研究,从使人适应于机器转入了使机器适应于人的新阶段^[2]。也正是在此时,工程技术才真正与生理学、心理学等人体科学结合起来,从而为人机工程学的诞生奠定了基础。第二次世界大战结束后,人机关系的研究成果广泛应用于工业领域。1949年,在默雷尔(Murrell)的倡导下,英国成立了第一个人机工程学科研究组。翌年2月16日在英国海军部召开的会议上通过了人类工程学(Ergonomics)^①这一名称,正式宣告人机工程学作为一门独立学科的诞生^[7]。

在这一阶段,A.恰帕尼斯(A.Chapanis)等人于1949年出版了《应用实验心理学——工程设计中人的因素》一书,总结了第二次世界大战时期的研究成果,系统的论述了人机工程学的基本理论和方法,为人机工程学奠定了理论基础。1954年伍德森发表了《设备设计中的人类工程学导论》,该书具有承上启下的意义。1957年,E.J.麦克考米克(E.J.Mc Cormick)出版了他的可称为人机工程学权威著作的《人类工程学》一书,该书相继被美国、欧洲、日本等国广泛采用,作为大学教科书^[8]。

在这一阶段,德国、美国等先后成立了人机工程学会。德国的马克思-普朗克协会人类工程研究所、英国的劳勃路技术学院、美国的哈佛大学等都开展了不少人机工程学方面的研究工作。人机工程学原理也为许多工业设计师所采用。

大约从50年代末60年代初开始,可称为人机工程学的发展阶段。进入60年代以后,科学技术飞速发展,电子计算机应用的普及,工程系统的进一步复杂及其自动化程度的不断提高,宇航事业的空前繁荣,一系列新学科的迅速崛起,不仅为人机工程学注入了新的研究

① Ergonomics系希腊文ergo(工作)与nomos(法则或习惯)的复合词,含义是应把机械设备设计成十分符合人类的工作或动作的法则或习惯——默雷尔语。

理论、方法和手段，而且也为人机工程学提出了一系列新的研究课题，如核电站等重要系统的可靠性问题、计算机的人机界面设计问题、宇航系统的设计问题等等，从而拓宽了人机工程学的研究范围和应用范围，促进了人机工程学的发展和进步。

1960年国际人机工程学会（IEA）成立，曾先后召开了10届国际性会议，英国、美国、德国、日本、法国与北欧等国的人机工程学会均与其建立了联系。1975年成立国际人机工程学标准化技术委员会（ISO/CT-159），至1986年共制订8个标准草案或建议，发布《工作系统设计的人类工效学原则》标准，作为人机系统设计的基本指导方针。此外，许多国家设立了专门的人机工程学研究机构。英、德、美、苏等都相继制订了本国的人机工程学国家标准。目前，人机工程学已被广泛应用于国防、交通运输、工业、航天、航空、农业、建筑等各个领域。

60年代人机工程学的指导思想是，将人、机、环境作为一个完整系统，使系统中人、机、环境获得最佳配合，以保证系统整体最优。70年代以后，在指导思想上有人主张应特别强调人类的基本价值，特别强调在系统、工具、环境设计中考虑操作者的个体差异，让科学技术不仅在产品上能满足人类要求，而且使人类在操作机械的过程中也能获得满足^[2]。

有关资料表明，近期内人机工程学的研究方向可归纳为：工作负荷研究（在体力、脑力活动中和工作紧张时，人的心理和生理负荷的研究）；工作环境研究（一般工作环境中和特殊工作环境中人的生理、心理效应）；工作场地、工作空间、工具装备的人机工程学研究；信息显示特别是计算机终端显示中人的因素研究；计算机设计与使用的人机工程学研究；安全管理及人的可靠性研究；工作成效的测量和评定；机器人设计的智能模拟等^[3]。

我国的人机工程学研究起步较晚，但发展较快。1980年建立全国人类工效学标准化技术委员会，至1988年已制定有关国家标准22个^[9]。1989年成立中国人类工效学学会。中国科学院心理学研究所及部分高等院校分别建立了工效学或工程心理学研究机构。杭州大学为我国培养了首批工程心理学硕士和博士^[5]。许多大学开设了工效学或人机工程学课程。有关人机工程学方面的出版物也日益增多。目前，人机工程学已应用于许多部门，如铁路、汽车运输，工程机械，机床设计，航天航空等，并已取得了不少可喜成绩。

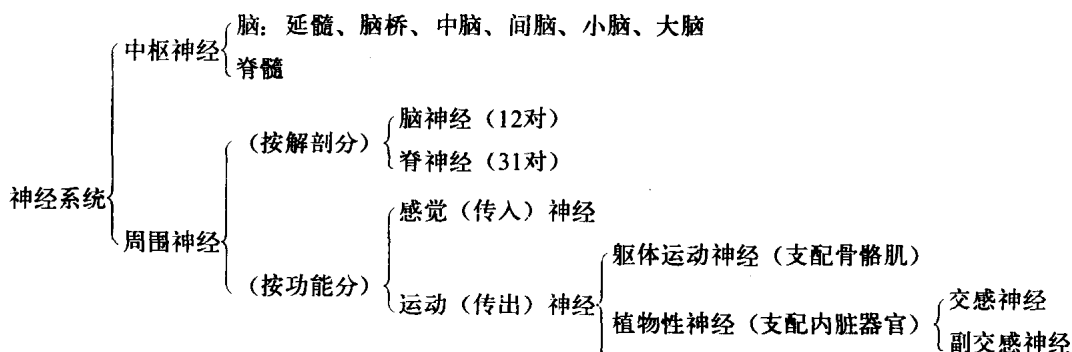
第二章 神经系统与感知

人作为人-机-环境系统中的主导因素，应当首先加以研究。从人机工程学角度出发，本章介绍人的神经系统、感知以及心理特性。有关人体方面的其他内容将在以后章节中加以讨论。研究人体的目的，在于说明如何建立人与机器、环境之间的最相适应关系，为人机工程设计提供人体生理学和心理学方面的依据。

第一节 神经系统

一、神经系统的组成及其功能

神经系统是由包括脑和脊髓的中枢神经以及遍布全身各处的周围神经所组成，现将其组成情况表列如下：



神经系统是机体的主导系统，全身各器官、系统均在神经系统的统一控制和调节下，互相影响、互相协调，保证机体的整体统一及其与外界环境的相对平衡。在此过程中，首先是借助于感受器接受体内外环境的各种信息，通过脑和脊髓各级中枢的整合，最后经周围神经控制和调节各个系统的活动，从而使机体得以反应多变的外环境，同时也调节着机体内环境的平衡。

从心理学角度看，人的一切心理和意识活动也是通过神经系统的活动实现的，因此，神经系统也是心理现象的物质基础。

二、神经组织

人的神经组织主要由神经元和神经胶质细胞组成。神经元也称神经细胞，它是神经系统的结构、功能和营养单位，具有感受体内外刺激、整合信息和传导信息的功能。神经胶质细胞分布在神经元周围，构成网状支架（不分树突或轴突），对神经元起支持、绝缘、营养、防御等作用。

（一）神经元

一个神经元由三部分组成，一是包含有细胞核仁的细胞体，它是神经元代谢和营养的中

心；二是由细胞体向外伸出的呈树枝状的短突部分，称为树突；三是由细胞体向外伸出的一条细长的单突，称为轴突，如图 2-1 所示。轴突的长短随神经元类型不同而异，短的轴突仅数十 μm ，长的可达 1m 以上。轴突外被髓鞘及施旺氏细胞包围组成神经纤维。神经纤维的末端有许多分枝，称为神经末梢。

神经元的树突接受由其他神经元传来的信息，经细胞体整合后再由轴突将信息传递给另一神经元或肌细胞和腺细胞，从而在整个机体内形成传递信息的神经元链。刺激沿神经纤维的传递速度和轴突髓鞘的厚度有关，也与轴突直径有关。髓鞘厚时，速度可达 120m/s ，髓鞘很薄，则可低至 0.6m/s 。传递速度还与神经元之间的间隙数目有关，因为突触间隙对刺激传递有微弱的阻碍作用。

(二) 突触

神经系统的机能活动依赖于许多神经元之间的密切联系，而神经元之间的联系是彼此接触，突触即为神经元之间发生接触并进行信息传递的特殊联接装置。神经元之间通过突触形成密如蛛网般的联系，构成一个庞大的复杂的神经网络系统，从而使神经冲动有效地在神经系统内传导。

突触由突触前膜、突触间隙和突触后膜三部分组成，如图 2-2 所示。轴突末梢的每个分支末端都有一个膨大成球状的突触小体。突触小体内含有大量的直径约为 $50\mu\text{m}$ 的突触小泡，贮存着高浓度的化学递质（神经递质）。突触小体的细胞膜称为突触前膜，与突触前膜对应的另一神经元的细胞膜称为突触后膜，两膜之间的空隙则称为突触间隙，宽约 $15\sim 30\text{nm}$ 。由于突触前、后神经元之间有突触间隙相隔，并无原生质联系，因此信息的传递是通过化学递质转变为电位变化而完成的。当神经冲动传至突触前膜时，突触小泡即向前膜移动并附贴于前膜形成破裂口，此时，大量的化学递质被释放到突触间隙并扩散至突触后膜，产生突触后电位。通过突触后电位的作用，使神经冲动由突触前膜单向地传向突触后膜，引起突触后神经元兴奋或抑制。正是由于突触传递的单向性，才保证了信息有效地传向中枢和大脑。

三、中枢神经系统

(一) 脊髓

脊髓是中枢神经系统的最低级部位，位于脊柱的脊椎管内，其上端进入颅腔扩展成为大脑的一部分——延髓。脊髓的功能有二，一是传导功能，来自躯干、四肢和大部分内脏的各种刺激通过脊髓传导至脑，而脑的活动又通过脊髓传导至躯体和内脏，脊髓是脊神经与脑之间的神经传导通路；二是反射功能，脊髓可以完成一些简单的躯体反射和内脏反射，如腱反

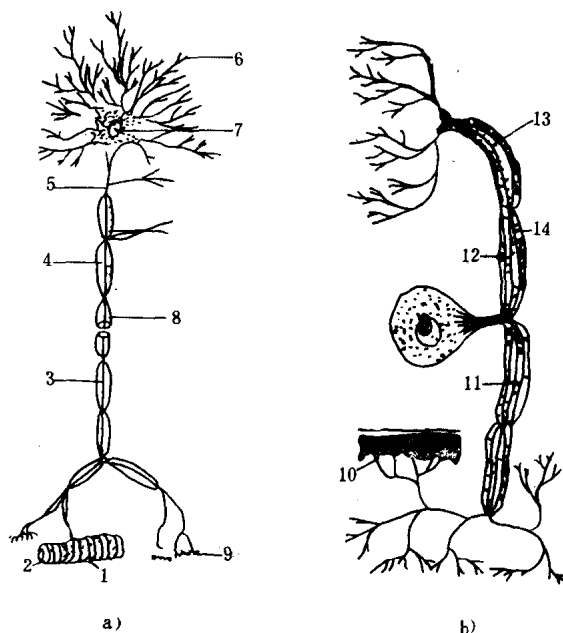


图 2-1 神经元模式

a) 运动神经元 b) 感觉神经元

1—运动终板 2—骨骼肌纤维 3、12—施旺氏细胞

4、11—髓鞘 5、13—轴突 6—树突 7—核仁

8、14—神经膜 9、10—神经末梢

射、屈肌反射和行走反射等。

(二) 脑

脑是中枢神经的高级部位，位于颅腔内，由大脑半球、间脑、中脑、脑桥、延髓和小脑六部分组成。通常把中脑、脑桥和延髓合称为脑干，有时也将间脑列入脑干。脑干参与传导上、下行神经冲动，是大脑半球与脊髓之间的联络通路。

1. 延髓 它为脊髓的延续，但其功能却比脊髓复杂。它不仅是食物反射（如唾液分泌、咀嚼、吞咽等）和某些防御反射（喷嚏、咳嗽、呕吐等）的中枢，而且是呼吸和循环系统的反射性自动调节中枢，故有“生命中枢”之称。

大部分由脊髓上行的和由脑下行的神经纤维在延髓交叉，以致形成左、右大脑半球分别控制对侧躯体的状况。

2. 脑桥 位于延髓上方、小脑腹侧，是联系小脑两半球上、下行神经纤维的桥梁。脑桥参与或完成头面部肌肉（如眼外直肌、咀嚼肌、表情肌）的运动以及某些感觉（面部肤觉、味觉、平衡觉和听觉）的形成。

3. 中脑 位于脑桥上方，是视、听运动的反射中枢。中脑的反射机能对于机体的定向反射具有重要意义。

位于延髓、脑桥和中脑中央部位的一个广泛区域称为脑干网状结构，由各种来源的神经纤维交织而成的网络及散布其中的神经细胞、核团构成。该结构存在两个相互对立的调节系统——激活系统和抑制系统。激活系统不断接受来自体内外的各种刺激并经丘脑广泛地传至大脑皮质，引起大脑皮质处于醒觉状态。抑制系统则引起大脑皮质活动水平的降低。两系统的协调活动，使大脑皮质维持正常功能。脑干网状结构也调节内脏活动和躯体运动。

4. 间脑 位于脑干上方，由丘脑和下丘脑组成。丘脑是大脑皮质下的低级感觉中枢。除嗅觉外，身体各部分的感觉冲动均传至丘脑，经丘脑更换神经元后传向大脑各高级感觉中枢，引起特定的感觉，故丘脑为各种感觉的中继站。下丘脑是调节内脏活动和内分泌活动的较高级中枢，同时也参与某些情绪反应活动及昼夜周期性变化活动等。

5. 小脑 位于颅后窝内，在延髓和脑桥的背侧、大脑的后下方。小脑的主要机能，是维持身体的平衡、调节与校正肌肉的紧张度和协调肌肉的运动。新小脑损伤将造成肌肉动作时抖动而把握不住动作的方向，无法完成精巧的动作。

6. 大脑半球 位于中枢神经系统的最高部位，被一条纵裂分为左、右两个半球，两半球之间通过联合神经纤维——胼胝体连合与沟通。大脑表面有许多深浅不一的皱褶，皱褶凹陷部位称为沟或裂，隆起部位称为回。三条主要的沟裂将大脑分为额叶、顶叶、颞叶、枕叶等四叶。半球表面被覆 2~5mm 厚的灰质细胞层，称为大脑皮质。皮质的深部为髓质，亦称白质，有联系左、右大脑半球、同侧半球各区域以及皮质与低级中枢的机能。靠近大

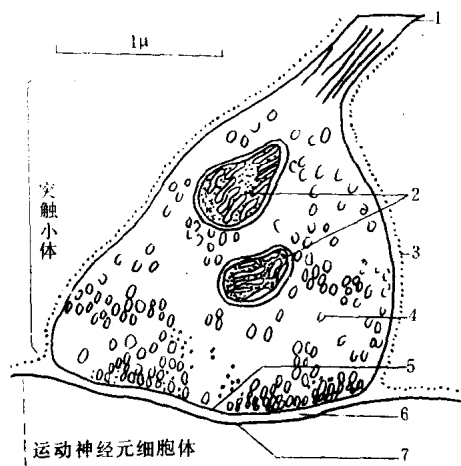


图 2-2 突触结构模式

1—轴突分枝 2—线粒体 3—神经胶质膜 4—突触小泡
5—突触前膜 6—突触间隙 7—突触后膜

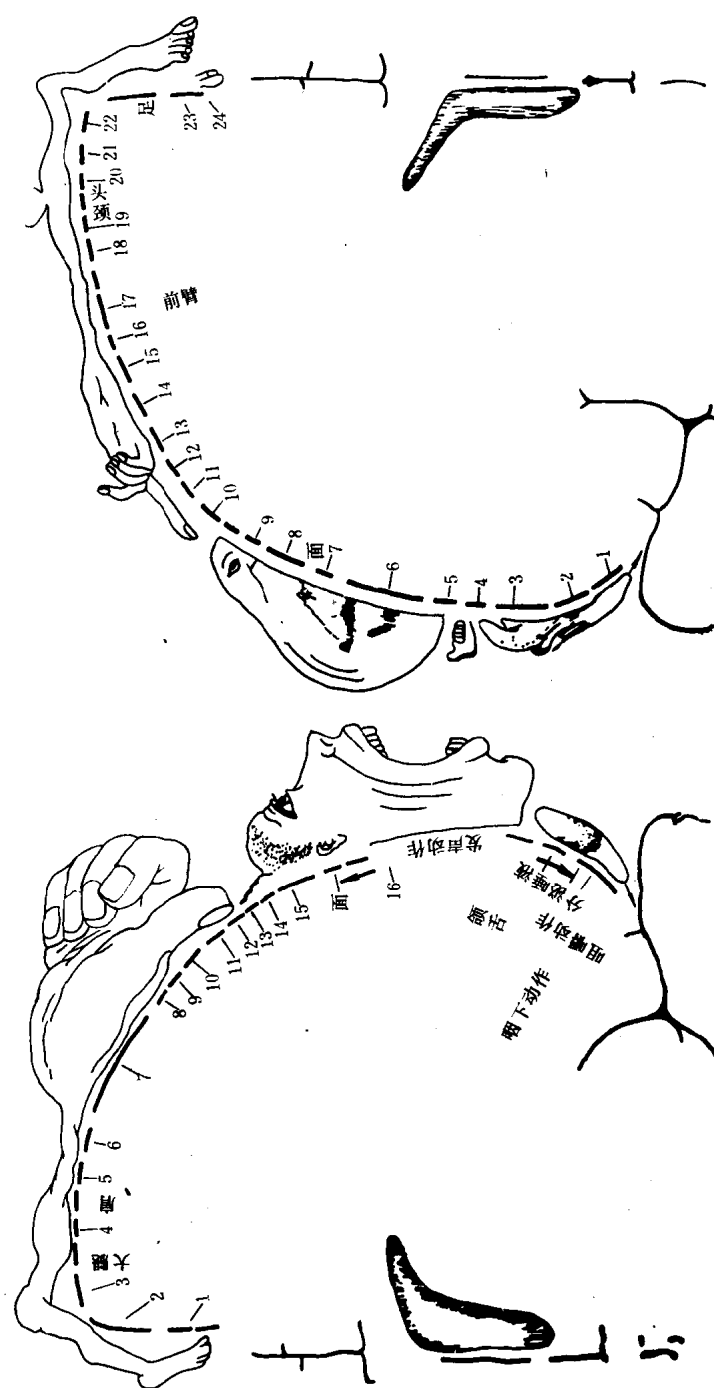


图 2-3 大脑皮质运动区和感觉区的定位图

a) 运动区

- 1—趾 2—膝 3—腰 4—躯干 5—肘 6—腕
7—手 8—小指 9—环指 10—中指 11—示指
12—拇指 13—颈 14—颌 15—眼睑和眼球
16—上下唇

b) 感觉区

- 1—腹内器官 2—咽 3—舌 4—齿颌颌 5—下唇 6—上下
唇 7—上唇 8—鼻 9—眼 10—拇指 11—示指 12—中指
13—环指 14—小指 15—手 16—腕 17—肘 18—上臂
19—肩 20—躯干 21—大腿 22—小腿 23—趾
24—生殖器