


全国普通高等院校规划教材

车辆人机 工程学

第2版

毛恩荣 张红 宋正河 编著
周一鸣 主审

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书共分七章,分别为人机工程学概论、人体参数、人的感知响应特性、显示装置、操纵装置、作业空间设计、人机系统,系统阐述了人机工程学的基本理论与方法,介绍其在车辆人机界面设计中的应用。全书突出强调人-机-环境系统中人的核心地位和主导作用;明确人-机关系的基本原则是“机宜人”与“人适机”的有机结合,以保证人机系统具有最优效能;注重研究人、机、环境之间相互关系的规律,以实现安全、健康、舒适、高效的综合优化目标。

本书适合作为高等院校车辆工程专业硕士研究生或本科生的车辆人机工程学或人机工程学课程的教学用书,总学时数为32~40;也可作为机械工程、农业机械化工程、交通运输工程、管理工程等各相关专业硕士研究生或本科生的人机工程学课程的教学参考书;也可供业务技术上与车辆工程学科有关的中、高级专业技术人员阅读参考。

为了便于读者的学习和使用,特别针对本书制作了多媒体教学课件光盘。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

车辆人机工程学 / 毛恩荣,张红,宋正河编著. —2版. —北京:北京理工大学出版社,2007.2

全国普通高等院校规划教材

ISBN 978-7-81045-559-6

I. 车… II. ①毛…②张…③宋… III. 汽车工程-人-机系统-高等学校-教材 IV. U461

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第147388号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室)68944990(批销中心)68911084(读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京凌奇印刷有限责任公司

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/14.25

字 数/331千字

版 次/2007年2月第2版 2007年2月第2次印刷

印 数/3001~7000册

定 价/48.00元

责任校对/陈玉梅

责任印制/母长新

图书出现印装质量问题,本社负责调换

序 言

人机工程学是从人的生理和心理特点出发,研究人、机、环境相互关系和相互作用的规律,以优化人-机-环境系统的边缘学科。车辆人机工程学则是人机工程学在地面机动车辆这一特定领域的应用分支,它以人(包括驾驶员和车内乘员)-车-环境系统为对象,以改善驾驶员的劳动条件和车内乘员的舒适性为核心,以人的安全、健康、舒适、高效为目标,力求使整个系统的总体性能达到最优。

随着科学技术的发展和生产力的提高,人们对工作、生活、休息质量的要求不断提高,促使人机工程学的研究和应用范围不断扩大,越来越受到各行各业的普遍重视。

车辆人机工程学的研究及其实际应用,对于改善驾驶员的劳动条件和车内乘员的舒适性、保护驾驶员和车内乘员的身心健康、确保驾驶员和车内乘员的生命安全、提高车辆的宜人性和运行效率,都有明显的促进作用。其研究成果应用于新产品的研究和开发,必将有利于推出适应市场需求的新车型,有利于增强新产品的市场竞争能力,特别是在国际市场上的竞争能力,从而产生很大的社会经济效益。

希望本书的出版有助于促进车辆人机工程学理论与方法的深入普及,有助于推动车辆人机工程学的研究及其在车辆设计和使用中的实际应用,有助于推动车辆工程领域的科技进步。

本书是以我们的老师周一鸣教授主编、1999年出版的专著《车辆人机工程学》为基础,根据车辆工程专业硕士研究生和本科生的教学要求及教学时数,修订、增补、改写的教学用书。这次重新编写工作,得到了周一鸣教授的首肯和支持。重新编写的《车辆人机工程学》,保持了原书中人机工程学基本理论与方法的体系框架,增加了不少新的内容,适时反映了人机工程学科近五年的最新进展。

全书共分七章,内容包含人机工程学概论、人体参数、人的感知响应特性、显示装置、操纵装置、作业空间设计及人机系统,系统阐述了人机工程学的基本理论与方法,介绍其在车辆人机界面设计中的应用。全书突出强调人-机-环境系统中人的核心地位和主导作用;明确人-机关系的基本原则是“机宜人”与“人适机”的有机结合,以保证人机系统具有最优效能;注重研究人、机、环境之间相互关系的规律,以实现安全、健康、舒适、高效的综合优化目标。

为便于读者的学习和使用,特意针对本书制作了多媒体课件,在您购书时,您将同时获得一张多媒体课件光盘。

本书适合作为高等院校车辆工程专业硕士研究生或本科生的车辆人机工程学或人机工程学课程的教学用书,总学时数为32~40,也可作为机械工程、农业机械工程、交通运输工程、管理工程等各专业硕士研究生或本科生的人机工程学课程的教学参考书,也可供业务技术上与车辆工程学科有关的生产企业、设计单位、科研院所、高等院校、使用单位、试

验鉴定单位、管理部门中从事汽车、拖拉机、工程机械及各种地面机动车辆的设计、制造、教学、研究、使用、试验、维修、管理工作的中、高级专业技术人员阅读参考。

本书编写的全过程得到了周一鸣教授的悉心指导，在此特向我们敬爱的老师表示衷心地感谢。毛恩荣教授指导的博士研究生祁丽霞、李娜、金晓萍同学帮助作者查阅、收集了部分文献资料；金晓萍同学和硕士研究生仇莹同学帮助作者绘制了大部分彩色插图，他们都对本书的创作做出了不同程度的贡献，作者在此表示由衷地感谢。同时，也向本书中所引用的参考文献的作者们表示深切的谢意。

本书的编写与出版，得到了北京市教委研究生教育项目（XK 100190554）的支持，得到了中国农业大学研究生院“2003~2005年度研究生重点课程建设项目”的立项批准和大力支持。在此，我们向中国农业大学研究生院的有关领导和工作人员表示由衷地感谢。

由于作者水平有限，书中内容难免有错误或不当之处，敬请各位专家和读者批评指正。

联系地址：北京市海淀区清华东路17号，中国农业大学东校区43信箱

邮政编码：100083

电子信箱：maoenrong@263.net 或 zhanghong-66@263.net 或 songzhenghe@cau.edu.cn

编著者

2006年10月9日

目 录

第 1 章 人机工程学概论.....1	方法 32
1.1 人机工程学的研究内容.....1	2.4 人体模型..... 32
1.1.1 人机工程学的定义.....1	2.4.1 二维人体模板..... 33
1.1.2 人机工程学的基本概念.....2	2.4.2 人机系统匹配评价用人体模型 35
1.1.3 人机工程学的研究对象.....4	2.4.3 汽车用 H 点三维人体模型 40
1.1.4 人机工程学的研究内容.....4	第 3 章 人的感知响应特性..... 43
1.2 人机工程学的发展简史.....6	3.1 人的感知响应过程..... 43
1.3 机器设计中的人体因素.....10	3.1.1 感觉和知觉..... 43
1.4 机动车辆设计和使用中的人机 工程问题.....11	3.1.2 感觉的基本特性..... 44
1.5 未来车辆人机工程学面临的新 课题.....12	3.1.3 知觉的基本特性..... 45
第 2 章 人体参数.....14	3.2 人的视觉特性..... 47
2.1 人体测量.....14	3.2.1 视觉器官的功能和基本结构 .. 47
2.1.1 人体测量的分类.....14	3.2.2 视觉特性..... 50
2.1.2 人体测量的参照系.....14	3.3 人的听觉特性..... 58
2.1.3 人体测量的项目和测量方法...15	3.3.1 听觉器官的功能与人耳的基本 结构..... 58
2.1.4 人体测量数据的统计特征.....16	3.3.2 人的听觉特性..... 59
2.2 人体尺寸.....17	3.4 人的皮肤感觉特性..... 61
2.2.1 我国成年人的人体结构尺寸...17	3.4.1 触觉..... 62
2.2.2 我国成年人的人体功能尺寸...22	3.4.2 温度觉..... 65
2.2.3 人体参数的计算方法.....25	3.4.3 痛觉..... 65
2.3 人体测量数据的应用.....28	3.5 人的信息传递理论..... 65
2.3.1 产品尺寸设计的分类.....28	3.5.1 信息与信息量..... 65
2.3.2 满足度.....29	3.5.2 信息输入的途径..... 66
2.3.3 设计界限值的选择.....29	3.5.3 信息输入显示器..... 67
2.3.4 人体尺寸测量数据的修正.....30	3.5.4 信息流模型..... 68
2.3.5 产品功能尺寸的确定.....31	3.5.5 影响信息传递的主要因素 69
2.3.6 人体身高尺寸在设计中的应用	3.5.6 人的反应时间..... 70
	3.6 人体运动的生物力学特性..... 71

3.6.1 人体运动系统.....	71	的确定方法.....	106
3.6.2 骨骼肌的力学特性.....	75	4.7.5 眼椭圆在汽车车身设计中的 应用.....	107
3.6.3 人体的出力.....	80	4.8 汽车后视镜设计.....	112
3.6.4 人体动作的灵活性与准确性.....	83	4.8.1 后方视野的评价方法.....	112
第4章 显示装置.....	85	4.8.2 对后视镜的基本性能要求.....	113
4.1 显示装置的类型.....	85	4.9 改善车辆视认性的途径.....	114
4.1.1 显示方式的类型.....	85	4.9.1 驾驶室(车身)人机界面的 合理设计.....	114
4.1.2 视觉显示装置的功能和类型.....	86	4.9.2 恶劣天气条件下保持良好视野 的技术措施.....	117
4.2 指针式仪表的设计.....	88	4.9.3 提高夜间视认性的技术措施	118
4.2.1 刻度盘设计.....	88	4.9.4 增强视认性的辅助信号灯.....	119
4.2.2 刻度和刻度线设计.....	89	第5章 操纵装置.....	121
4.2.3 文字符号设计.....	91	5.1 操纵装置的类型和选择.....	121
4.2.4 指针设计.....	94	5.1.1 操纵装置的类型.....	121
4.2.5 指针式仪表的颜色匹配.....	95	5.1.2 操纵器的选择.....	122
4.3 仪表板的总体设计.....	96	5.2 操纵装置设计的人机工程问题.....	126
4.3.1 仪表板的空间位置.....	96	5.2.1 操纵器设计的一般原则.....	126
4.3.2 仪表板上的仪表排列.....	97	5.2.2 操纵器的形状和式样.....	127
4.3.3 仪表板面的有效认读范围.....	97	5.2.3 操纵器的大小.....	127
4.4 仪表的照明设计.....	98	5.2.4 操纵器的布置.....	127
4.4.1 仪表照明与周围照明的关系.....	98	5.2.5 操纵力和操纵位移.....	129
4.4.2 仪表照明的方式.....	98	5.2.6 操纵器的编码.....	133
4.4.3 仪表照明的强度.....	99	5.2.7 操纵器与显示器的协调关系	134
4.4.4 仪表照明的颜色.....	99	5.2.8 操纵器的操作方向与受控对象 物的运动方向和控制效果的 协调关系.....	135
4.5 信号灯设计.....	100	5.3 手控操纵装置的设计.....	137
4.5.1 信号灯的视距和亮度.....	100	5.3.1 旋转式操纵装置的设计.....	137
4.5.2 信号灯的顏色、形状和闪烁 频率.....	101	5.3.2 移动式操纵装置的设计.....	140
4.5.3 信号灯与操纵器和其它显示 装置的协调性.....	101	5.3.3 按压式操纵装置的设计.....	142
4.5.4 信号灯的位置设计.....	101	5.4 脚控操纵装置的设计.....	143
4.5.5 信号灯的编码.....	101	5.4.1 脚控操纵装置的类型和操纵 特点.....	143
4.6 图形标志设计.....	102	5.4.2 脚控操纵装置的适宜用力.....	144
4.7 车辆驾驶员的眼椭圆.....	104		
4.7.1 车辆驾驶员眼椭圆的概念.....	104		
4.7.2 眼椭圆的测定方法.....	104		
4.7.3 眼椭圆的画法和眼椭圆样板 的制作.....	106		
4.7.4 眼椭圆样板在车身视图上位置			

5.4.3 脚控操纵装置的设计	144	7.3 机械系统人机界面的优化匹配 ...	165
第 6 章 作业空间设计	146	7.3.1 人机界面问题的提出	165
6.1 作业空间设计的原则	146	7.3.2 人机界面优化匹配的目标	165
6.1.1 作业空间设计的人机工程学		7.3.3 人机界面匹配合理程度的评价	
原则	146	指标	166
6.1.2 作业空间的人体尺度	147	7.3.4 机械系统人机界面匹配评价的	
6.2 作业空间范围	148	软件系统	188
6.2.1 近身作业范围	148	7.3.5 机械系统人机界面匹配优度的	
6.2.2 作业场所	149	试验评价方法	193
6.3 作业空间设计	150	7.4 人机系统设计	195
6.3.1 作业空间的布置	150	7.4.1 人机系统设计在机器设计中的	
6.3.2 作业空间的设计	151	地位和作用	195
6.4 工作台设计	153	7.4.2 人机系统设计的概念	196
6.5 工作座椅的静态舒适性设计原理		7.4.3 对人机系统设计的要求	197
.....	154	7.4.4 人机系统设计的内容	198
6.5.1 舒适坐姿的生理特征	155	7.4.5 人机系统设计的程序	199
6.5.2 工作座椅的设计	158	7.4.6 人机系统设计的方法	201
6.6 车辆驾驶室的作业空间	159	7.4.7 人机系统设计的评价	205
第 7 章 人机系统	162	附录 光盘内容	211
7.1 人机系统的功能和类型	162	附录 1 “车辆人机工程学” 教学课件	
7.1.1 人机系统的功能	162	211
7.1.2 人机系统的类型	163	附录 2 增补资料	211
7.2 人机系统的功能分配	163	参考文献	212

1.1 人机工程学的研究内容

1.1.1 人机工程学的定义

人机工程学是从 20 世纪 50 年代开始迅速发展起来的一门新兴的边缘学科。它在美国称为“Human Engineering”，在西欧称为“Ergonomics”，日语称为“人间工学”，俄语音译为“Эргономика”，其它国家也大都沿用以上两种名称之一。在我国，本学科处于初创阶段，名称尚不统一，有“人机工程学”，“人类工效学”、“人体工程学”和“工效学”等不同提法。为了利于学科的发展和交流，有必要统一学科名称，本书主张采用“人机工程学”。“Ergonomics”这个词是由两个希腊词的词根“Ergon”和“Nomos”复合组成的，“Ergon”的意思是“出力”、“工作”，“Nomos”的意思是“正常化、规律”。因此，“Ergonomics”的含意就是“人出力的正常化”或“人的工作规律”。这就是说，人机工程学是研究人在操作过程中合理地、适度地劳动和用力规律的一门学科。美国学者 C C Wood 给人机工程学的定义为：“设备的设计必须适合人各方面的因素，以便在操作上付出最少能耗而求得最高效率”^[1]。W B 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，即对人的知觉显示、操纵控制、人机系统设计和布置、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及人在作业时感到安全和舒适”^[1]。A Chapanis 认为：“人机工程学是在机器设计中考虑如何使人操作简便而又准确的一门学科”^[1]。E J McCormick 和 M S Sanders 在《Human Factors in Engineering and Design》^[2]一书中给出人机工程学的简要定义：“为人的使用而设计”和“工作和生活条件的最优化”。K H E Kroemer, H B Kroemer, K E Kroemer-Elbert 等人在《Ergonomics—How to Design for Ease and Efficiency》^[3]一书中给出人机工程学的简要定义：“为适当地设计人的生活和工作环境而研究人的特性”和“工作的宜人化”。我国的学者封根泉在《人体工程学》^[4]一书中提出：“为了研究解决机器系统设计与人体有关的种种问题，使整个人机系统的工作效能达到最优而建立起来的一门科学，就是人体工程学”；赖维铁在《人机工程学》^[5]一书中给出的定义为：“人机工程学是运用生理学、心理学和其它有关学科知识，使机器和人相互适应，创造舒适和安全的环境条件，从而提高工效的一门学科”。我国著名科学家钱学森在《系统科学、思维科学与人体科学》^[6]一文中指出：“人机工程是一门非常重要的应用人体的科学技术，它专门研究人和机器的配合，充分考虑人的功能能力，合理设计机器，求得人在使用机器时人和机器的效果都达到最佳状态”。曹琦等人在《人机工程》^[7]一书

中给出的定义为：“人机工程学是研究并优化人机系统的科学”。目前，国际人机工程学会（International Ergonomics Association，简称 IEA）对人机工程学所下的定义为：“人机工程学是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各种因素；研究人和机器及环境的相互作用；研究人在工作、家庭生活和休假时怎样统一考虑工作效率、健康、安全和舒适等问题的学科”^[8]。

综上所述，并考虑到环境与人机系统的相互作用，本书认为：人机工程学是从人的生理和心理特点出发，研究人、机、环境的相互关系和相互作用的规律，以优化人-机-环境系统的一门学科。

1.1.2 人机工程学的基本概念

人机工程学作为一门新兴的学科，在它自身的发展过程中，有机地吸收和融合了各相关学科的理论，不断地完善了本学科的基本概念、理论体系、研究方法、技术标准和规范。为了准确地理解人机工程学的基本理论，掌握其在车辆工程领域的应用，有必要对人机工程学的基本概念给出明确的说明。

1. 人机系统 (man-machine system)

机器是为人服务的，任何机器、设备和器具，都需要人来操纵、监控或使用，即使是高度自动化的机器，在正常运行中不需要人来进行一般性的操作，机器的开动、监视以及出现异常或特殊情况时，还是需要人来处理。人与机器相互作用、相互配合和相互制约，才能共同完成预定的任务，实现预期的功能。将人与机器联系起来，视为一个整体或系统，就称为人机系统。人机系统处于一定的环境之中，并与周围环境发生相互作用。人机系统的组成及其与周围环境之间的相互关系如图 1-1 所示。

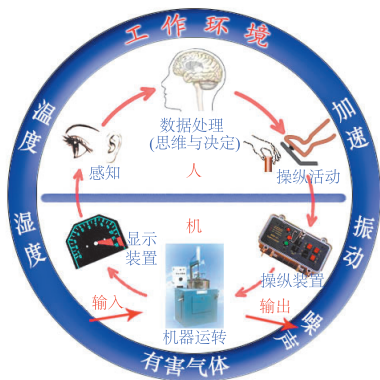


图 1-1 人机系统

广义而言，人机系统就是指“人”与他所对应的“物”共处于同一时间及空间时所构成的系统。人机系统中，“人”指的是在所研究的系统中参与系统过程的人；“机”则泛指一切与人处于同一系统中，并与人交换着信息、物质和能量，供人使用的物，“机”可以是机器，也可以是物品；“环境”指的是“人”、“机”共处的、对“人”和“机”有直接或间接影响的周围外部条件。在“人”、“机”间信息、物质及能量的交换中，一般都以人为主动，首先是人感受到机器及环境作用于人的感觉器官的信息，由体内传入神经到达大脑皮层，在大脑分析器中经过综合、分析、判断，最后作出决策，再由传出神经将决策的信息传

送到人的执行器官，执行器官的动作向机器发出人的指挥信息或伴随着操作向机器传递能量，机器接受输入的操作信息或操作能量后，将按照自己的规律作出相应的调整或输出，并将其工作或运行状况用一定的方式显示出来，再反作用于人，整个系统将在这样的循环过程中实现人所期望的功能。

2. 人机界面 (man-machine interface)

人机系统中，“人”与“机”之间能够相互施加影响、实现相互作用的区域，称为人机界面。人通过感觉器官（眼、耳、鼻、舌、身）接受外界的信息、物质和能量，又通过人的执

行器官（手、脚、身等）向外界传递人发出的信息、物质和能量。因此，机器及环境中参加这两个过程的一切领域均属于人机界面。

按人机界面的性质，可将人机界面大致分为以下三类：

第一类——控制系统人机界面 如汽车驾驶系统、飞机驾驶系统等。这类人机界面的特点是机器通过显示器（主要是视觉、听觉显示器）将机器的运转信息传递给人，人通过机器上的操纵装置对机器传达控制指令，使机器按人所规定的状态运行。

第二类——直接作用型人机界面 如座椅、家具、服装、手动工具等。这类人机界面的特点是“人”与“机”直接相互作用，要求“机”适合人体的形态、尺寸及操作能力，使人在使用过程中用力适当、感觉舒适、操作方便和安全可靠。

第三类——间接作用型人机界面 如照明、振动、噪声、小环境气候等。这类人机界面的特点是“机”的输出通过对环境的影响，间接作用于人的生理、心理过程，从而影响人的舒适、健康和生命安全。

上述分类只是为了说明人机界面的特点，各类之间并不是毫不相关的，在实际的人机系统中，往往兼有各类人机界面，且相互之间会交叉影响。例如在汽车驾驶室的人机系统中，显示、控制系统属于第一类人机界面，座椅、扶手等属于第二类人机界面，而室内的温度、振动和噪声等则属于第三类人机界面。座椅、振动、噪声会影响人对控制系统的操纵能力，而错误的控制装置设计又会使人的作业条件恶化，甚至影响行车安全。可见，人机界面之间有着非常复杂的关系。

3. 人机关系（man-machine relationship）

人机关系的基本原则可以归纳为以下两个方面：

（1）**机宜人** 使机器系统尽量满足使用者的体质、生理、心理、智力、审美以及社会价值观念等素质条件的要求，包括：信息显示既便于接受又易于作出判断；控制系统的尺寸、力度、位置、结构、形式均适合操作者的需要；工具、用品、器具的使用得心应手，能充分发挥使用效率；人所处的作业环境舒适安全，有利于身心健康，能充分发挥人的功能等。

（2）**人适机** 机器的结构有其自身的规律，操作环境或生活环境也会因各种因素而受到某种限制，如经济上的可行性，技术上的可能性，机器本身性能要求的条件（如起重机驾驶室对作业空间的限制），以及使用机器时的外界环境条件（如高温作业）等。为了适应环境，往往要求对人的因素予以限制和训练，尽量发挥人的可塑性特点，让人去适应机器的要求，以保证人机系统具有最优效能。

机宜人是条件的，人适机也是有限度的，在人机系统中，人机之间有着相互依存、相互影响、相互制约的关系。因此，尽管系统是以人的因素为主，但机宜人与人适机之间却有着辩证的关系，依据“机”的客观要求，人适机是学习和训练的问题，这里说的学习和训练，既包括专门的培训，也包括平时培养的习惯。反之，人们在长期生活和劳动中形成的操作习惯又会成为机宜人的条件，制约机器控制系统的设计。

人机系统中的机宜人与人适机是相对的，首先是机宜人的程度问题，即“机”能满足人的程度，人的因素中某些方面可以量化，可以提供基本阈值的均值，但也有许多因素难以准确量化，如情绪、审美心理、社会价值观等，而且这些因素又是随着时代的进步而变化的，何况人的许多因素还会因时、因地、因人、因年龄不同而变化，即使是同样的机器，系统的可靠性也会因人的因素而变化。其次是机宜人的条件问题，机器也在不断地发展，总的来说，

机宜人的程度在不断提高。随着科学技术的发展,人机系统越来越庞大,自动化程度越来越高,控制系统越来越智能化,人与机器的关系由人直接与机器共同参与生产过程逐渐转变为人远离生产过程,由人直接控制机器,变为人只与监控系统对话,人机界面逐渐由体力型(感知型)转变为心理型(认知型),对操作者的文化素质、诊断与决策能力的要求越来越高。

实际上,任何一个人机系统要尽量做到机宜人,也要设法做到人适机。调整这种人机相互匹配关系最根本的制约条件就是人的可能性与人的可靠性。研究人的可能性是为了在人机功能分配中,使人的负荷控制在人的正常阈值范围之内。研究人的可靠性是为了在人机系统中,充分考虑到人产生失误的可能性,当人产生失误时,在确保人身安全的前提下,不致严重影响系统的功能。

1.1.3 人机工程学的研究对象

人机工程学的研究对象是人-机-环境系统,简称人机系统。人机工程学要研究人-机-环境系统各组成部分的属性,但重点研究的是人-机-环境系统的总体属性,以及人、机、环境之间相互关系的规律。

1.1.4 人机工程学的研究内容

1. 人机工程学的学科构成

人机工程学是一门综合性的边缘学科,其基础理论涉及到许多学科。除与有关的技术工程学科有着密切的关系外,还与人体解剖学、人体测量学、劳动卫生学、生理学、心理学(特别是工程心理学)、安全工程学、行为科学、环境科学、技术美学等有着密切的联系。人机工程学的应用范围十分广泛,从日常用品到工程建筑,从大型机具到高技术产品,从家庭活动到工业系统,各个方面都在运用人机工程学的原理和方法,解决人、机、环境之间的相互关系和系统的优化问题。

人机系统的构成,可以分为人、机、环境三个子系统。对这三个子系统的研究,各自独立为一门科学,即人的科学、技术工程科学及环境科学。这三个子系统中两两相互交叉,又构成三个交叉系统,即人-机系统,人-环境系统,机-环境系统,这三个交叉系统的交叉则构成人-机-环境系统,如图 1-2 所示。



图 1-2 人-机-环境系统的构成示意图

根据系统学的第一定律,系统的整体属性不等于部分属性之和,其具体状况取决于系统的组织结构及系统内部的协同作用程度,因此,对人机工程学而言,既需要对人、机、环境每个部分的属性进行深入的研究,又需要对人-机-环境系统的整体结构及其属性进行研究,以达到整体优化的目的。

总体上,人机工程学由以下两个学术研究方向构成:

(1) **研究和实验** 确定工程设计所必须知道的有关人的特性的具体数据。

(2) **应用和工程** 设计宜人化的用品、工具、机器、环境、作业程序、工作任务等。

2. 人的特性的研究

人是人机系统中最重要、最活跃的环节，同时也是最难控制的环节。对人的特性的研究，是人机工程学的基础。人的特性的研究可大体归纳为以下9个方面。

(1) **人体尺寸及人体测量技术** 人体尺寸包括静态尺寸和动态尺寸。研究人体尺寸及人体测量技术的基础学科是人体测量学。

(2) **人体的力学性能** 人体力学性能包括人在各种状况下，其质量特性、质心位置、肢体运动速度、人的体力和耐力等参数的变化规律。研究人体力学性能的基础学科是人体生物力学。

(3) **人的劳动生理功能** 人的劳动生理功能包括人的体力负荷、脑力负荷、人体反应与疲劳机制等。研究人的劳动生理功能的基础学科是劳动生理学。

(4) **劳动中人的心理过程** 主要研究劳动中人的心理调节的特点、心理反射的机制、心理负荷及疲劳的心理机制等内容。研究劳动中人的心理过程的基础学科是劳动心理学。

(5) **人的信息传递能力** 主要研究人对信息的接受、传递、存储、加工和输出的能力及其机制，为系统的信息编码、信息显示及控制装置的设计提供依据。研究人的信息传递能力的基础学科是工程心理学。

(6) **人的可靠性** 主要研究人在正常情况下产生失误的可能性，为系统的可靠性设计提供依据。对人的可靠性的研究是人机工程学特有的研究方向之一。

(7) **人员的选拔和训练** 研究人的基本素质的测试与评价、人员的选拔和训练等。

(8) **人的动作时间研究** 研究人的操纵动作，寻求改善作业的途径，进行人的操纵动作的合理设计。

(9) **人体模型** 研究人的数学模型、物理仿真模型、人体模板等。

3. 机的特性的研究

机的因素很多，在此主要对机械、电器系统进行归纳，在一定程度上也有普遍的代表性。这方面的基础学科主要有机械、电子、电器、仪表、材料、建筑等工程技术学科。

机的特性的研究内容可概括为以下5个方面。

(1) **信息传达技术** 包括仪表显示、声音信息传达、触觉信息传达、图形符号传达、编码方法等。

(2) **操纵控制技术** 包括操纵装置、控制装置、控制系统、键盘技术等。

(3) **安全保障技术** 包括冗余性系统、机器保险装置、防止人的操作失误及失职的设施、事故预警预防方法、救援方法、安全保护措施、机器的防错设计等。

(4) **动力学仿真技术** 包括受控对象的动力学建模、数学仿真技术、物理仿真技术等。

(5) **宜人化技术** 主要指改善人的舒适性及使用方便性的技术，如振动及噪声的控制和隔离，座椅及用具的宜人化设计等。

4. 环境特性的研究

环境是十分广泛的概念，包括生产环境、生活环境、室内环境、室外环境、自然环境、人造环境等。概括起来，可以将环境归纳为两种形式：一是空间形式，即占有一定的空间，包围在人的周围，给人以影响；另一种是时间形式，它在人的活动过程中发生、发展和变化，并给人以影响。这两种形式在某些情况下可随客观条件的变化而相互转化。有时可用延长作业时间的方法来弥补作业空间的不足；反之，也可用作业空间弥补作业时间的紧迫。

环境特性的研究内容可归纳为以下 5 点：

- (1) **作业空间** 如场地、厂房、机器布局、作业线布置、道路及交通、紧急脱险方法等。
- (2) **物理环境** 包括噪声、振动、照明、温度、湿度、气压、辐射等各种物理因素。
- (3) **化学环境** 包括有毒物质、化学性有害气体及水质污染等。
- (4) **生物环境** 包括细菌污染及病原微生物污染等。
- (5) **美学环境** 如造型、色彩、背景音乐等。

5. 人-机关系的研究

(1) **人机系统功能分配** 研究系统中人的功能与机的功能之间的联系和制约条件，研究人、机之间的功能分配方法。

(2) **人机界面优化匹配** 研究人与机之间的信息传递过程、人对机的操纵控制过程和方法、人机界面的评价和优化匹配、人机界面的优化设计方法等。

(3) **人机系统特性协调** 研究机器的工作特性对操作者的身体、心理、文化素质以及专业技术的要求，研究人的职业适宜性、事故倾向性等。

(4) **人机系统可靠性** 研究人机系统的可靠性设计和评价方法。

(5) **人机系统安全性** 研究人机系统的安全性标准、评价方法、设计参数，以及典型安全防护装置的设计方法等。

6. 人-环境关系的研究

主要研究环境因素对人的影响、环境质量标准、环境控制及生命保障系统的设计方法、人体防护技术等问题。

7. 机-环境关系的研究

主要研究环境因素对机器性能的影响、机器对环境的影响、环境保护技术等问题。

8. 人-机-环境系统总体性能的研究

研究人-机-环境系统的基本目的是为了获得系统的最优效果，即整个系统具有高的工效、高的安全性，对人有高的舒适度及很好的生命保障功能。最优效果可概括为“安全、健康、舒适、高效”八个字。

人-机-环境系统总体性能的研究内容包括：系统总体性能的分析、评价；数学模型的建立；仿真技术的应用；优化设计方法等。

综上所述，人机工程学的主要研究内容可以概括为：

① 机器系统中直接由人操作或使用的部件，应设计成便于操作者有效地使用，以保证人机系统的工作效能达到最优。

② 从保证人的安全、健康、舒适和高工作效率出发，提出环境控制和安全保护装置的设计要求。

③ 人机系统总体设计的最优化。

1.2 人机工程学的发展简史

自人类社会开始，就有了最原始的人机关系——人与器物的关系。原始人狩猎用的棍棒、石块或投枪，其尺寸、重量总是与人的体能相适应。大约两千四百多年以前的战国初期，我

国就出现了第一部科技汇编名著《考工记》。它的历史与科学价值名闻中外，联合国教科文组织已决定将《考工记》译成六种联合国的工作语言（中、英、法、俄、西班牙，阿拉伯文）以广为流传与研究。在这部古代科技名著中，对一些器物制作应考虑的人性化问题已有相当深入、十分精彩的论述^[9]。

《考工记》指出，各种兵器握柄的形状，应随其用途的不同而不同，用来刺杀的兵器（如枪、矛），其握柄的截面最好是圆形的，这样在刺杀中，就不会因握柄在某一方向扁薄而挠曲；但是用来劈杀、钩杀的兵器（如大刀、戟），由于使用时具有一定的方向性，所以握柄的截面就应做成椭圆形，这样，将士在使用中才不易转动，且不必用眼看，便能感知刀刃钩头的方向。

关于弓箭的制作和使用，《考工记》中有一段阐述射手与弓箭合理搭配关系的文字，内涵深刻而丰富。《考工记》指出，要依据人的脾性、气质而配以不同性能的弓箭。性情温和、行动迟缓的人，要配置强劲急疾的弓和较为柔韧的箭。而刚毅果敢、火气大、行动快的人，则要配置较为柔韧的弓和强硬的箭。假若反过来，慢人用软弓，易延误时间，必定难以射中目标（特别是运动着的目标）；急人用硬弓，则因过于急促，也会影响弓箭的命中率。

两千多年前的掘土工具称为“耒”（音 lěi），耒木下端的头部叫做“耒”（音 cǐ）。《考工记》认为，挺直的耒，下插入土的力量集中，适合用于坚硬的土地；头部弯曲的耒（耒木与耒成一定角度），插入土地时略觉不太顺手，但插入以后稍压后柄就能把土翻起来，有翻土方便的优点，适合用于翻掘松软的土地；介于上述两者之间，头部略带一点弯曲的耒，则适合用于一般土地。

上面的介绍表明，《考工记》论述器物的设计制作，既考虑到了器物的形态尺寸应与人的解剖生理状况互相协调，又顾及到了器物的使用条件和环境，尤其令人称奇叫绝的是，两千多年前就能精辟地分析器物与使用者性情气质的合理搭配关系。

随着人类社会的发展，人创造使用的器物 and 机器不断得到改进，由简单到复杂逐步完善。这种实际存在的人机关系及其发展，可称为经验的人机工程学。我国古代的指南车，是最早的自动控制系统，其设计原理与现代人机工程学的反馈原理相吻合，是经验人机工程学的典型应用实例。

经验的人机工程学一直延续到第一次产业革命时期。第一次产业革命时期（1750—1890年）以蒸汽机的广泛使用为主要标志，以机器为主体的工厂取代了以手工劳动为主体的手工工场。生产技术发生了根本变革，从手工劳动时代进入机械化生产时代，从畜力时代进入蒸汽机时代。这一时期中，以法国 **Jacquard** 在纺织机械上使用穿孔卡片进行程序控制和英国 **Watt** 设计蒸汽机的调速器为代表，开始实现自动调节和控制。与此相适应，人机工程学开始由经验逐步上升为科学。1884年德国学者 **A Mosso** 进行了著名的肌肉疲劳试验，他通过测量流经人体的微电流的变化对人体劳动疲劳进行了研究，该项研究可以说是科学人机工程学的开端。

第二次产业革命时期（1870—1945年），以内燃机和电机的广泛使用为主要标志，生产技术从机械化时代进入电气化时代。1898年美国学者 **Frederick W Taylor** 进行了著名的铁锹铲煤作业的试验研究，从人机工程学的角度找出了铁锹的最优设计及铲运松散颗粒材料时每一铲最适宜的重量。**Frank B Gilbreth** 夫妇首创采用当时先进的高速摄影（电影拍摄）方法，对工人砌砖作业的动作过程加以详尽分解，逐步逐个地进行分析研究。研究的结果，是将砌一

块砖的动作数由原先的十几个精简规范为五个,使每小时的砌砖数从平均 120 块增加到约 350 块。他们的突出贡献,是在理论上提出了“动素(动作的基本元素)”的概念,动素是组成各种动作的最小单元,他们归纳出 18 个动素:寻找、选择、抓取、移动、定位、装配、使用、拆卸、检验等,用来记录和描述各种作业过程。他们将这种新概念、新方法用于各种生产作业,详尽研究操作人员的作业动作过程,进行剔除、精简、归并和规范化,取得了显著效果,使很多劳动作业提高了效率。20 世纪初, F W Taylor 关于操作方法的研究成果在美国和西欧一些国家得到推行,并成为大大提高劳动生产率的“泰罗制”, F W Taylor 的研究为科学人机工程学的建立奠定了基础。第一次世界大战中,各参战国都聘请心理学家解决战时兵种分工、特种人员选拔和训练、军工生产中的作业疲劳等问题。这期间的突出代表是美国哈佛大学心理学教授 Munsterberg,其代表作《心理学与经济生活》和《心理工艺学原理》是人机工程学的最早著作。这一时期的研究者多是一些心理学家,当时的学科名称是“应用实验心理学”,其特点是选择和训练人,使人适应机器。战后,心理学的应用推广到非军事领域,从人的因素出发,用心理学的理论和方法研究解决机器设计中的许多问题,学科名称改成了“工程心理学”。第二次世界大战期间,新式武器和装备的性能大大提高,但由于没有充分考虑人的生理和心理特点,机器的设计不能适应人的特性和要求,结果往往因操作者难以掌握而不能发挥武器或装备的效能,甚至屡屡发生差错和事故。这就迫使人们深刻认识到,人的因素实在是机器设计中不可忽视的重要方面。于是,工程技术设计思想开始发生了一个根本性的转变:由“使人适应机器”转变为“使机器适应人”。生理学家、心理学家、医生、工程技术专家共同研究解决武器和装备的优化设计,促进了人机工程学作为一门独立的新兴学科的形成和发展。

以电子技术的广泛应用为主要标志的第三次产业革命开始(1945—)以来,随着工业技术的发展,工程技术设计中与人的因素有关的问题越来越多,人机协调问题显得越来越重要,从而促使人机工程学的研究和应用得到更广泛而迅速的发展。

人机工程学强调产品的“宜人性”,强调适合人的解剖、生理、心理条件,归根结底,可以回归为两个极朴素的要求:第一,看到它,马上知道它是做什么用的;第二,比较容易弄清楚该怎么用。这两项要求都是关于产品的“认知”问题,现在已形成了专门的研究方向,叫做“产品语义学”^[9]。其实从古代到近代机械科技的年代,产品的功能特征一般是很直观的,并不存在多少突出的认知问题。但是进入电子科技时代以来,情况发生了比较大的变化,如今充满市场的各种电子产品,几乎全是大大小小的“方盒子”,如随身听、微波炉、洗衣机等。科教、工业、医疗器械中,类似情况更是比比皆是。产品的形象,失去了和它的功能之间的联系,这显然不符合人们期望赋予物质产品多一些精神价值(艺术、文化)的要求。产品的使用方法也存在同样的情况:大量的电子产品,其操作差不多全是按按钮,一些产品上一排排的按钮常使人不知所措,有些产品的按钮如果按错,还会引起事故。人机工程学家认为,应及时唤起设计界、工业界对产品认知问题的警觉。“产品语义学”的研究目前正方兴未艾,将是人机工程学今后发展的重要方向之一。

随着科学技术的发展,人类活动的范围已经扩大到人类所居住的整个星球,环境与发展问题成为人类面临的重大问题。1992 年,联合国环境与发展大会通过了著名的《关于环境与发展里约热内卢宣言》,以保护生态环境为前提,提出了经济与科技活动所必须遵循的“可持续发展原则”。其后不久,我国制定了国家的“可持续发展战略”,把环境保护提升到了现

代化建设的国策之高度。

可持续发展原则使人机工程学的学术思想又产生了极大的扩展和深化^[9]：在空间方面，将所考虑的环境延伸到了整个自然界的大环境；在时间方面，不仅要考虑人造器物给当今人类带来的效益，而且要充分顾及对未来子孙后代的影响。

可持续发展原则对人类的设计和生产活动提出了一系列新的准则^[9]：应该减少资源和能源的消耗，推行“绿色包装”，不但从源头上减少垃圾，还要开拓废弃物资的再生利用等。只要设计得当，让事物又好又省又美是完全做得到的。

自动化的生产机械和自动化生产线的发展，使得反映现代物质文明的工业产品以低廉的价格进入寻常百姓的家庭，提高了人们的生活质量。自动化技术对人类进步的贡献是毫无疑问的。但是人们早在 20 世纪六七十年代就已经发现，自动化也可能带来某些负面影响^[9]，尽管它只是事物的次要方面。负面影响之一是，自动化机械或自动化生产线的设计者虽然必须是学识水平很高的专家，但对它的操作使用者（工人）而言，知识和技能的要求却比以前降低了，这就可能使社会上这两个群体在科技知识方面产生“两极分化”，由于后者是社会上的多数，因此，自动化技术的发展是否有利于广大公众科技素质的提高，便引起了人们的忧虑；负面影响之二是，当时已有部分工人不愿意在“轻松、省力”的自动化机械或自动生产线上工作，因为这种工作单调、枯燥、乏味，好像“自己已沦落为机器的附属物”，心理上感到人格尊严受到了损伤。

展望未来，计算机技术正把自动化向智能化的方向继续推进。对于人类的未来生活，不断出现这样的描述：“从清晨起床到夜晚入睡，智能化的电子产品为人安排好了一切：定时唤醒人们起来，自动地定时做好早餐，自动地定时订购所需物品，……”——生活中的一切都由计算机给人安排好了，不用再费心费力。“智能化的个人交通工具，让人在户外足不涉地”，“恒温控制的居室，让人终年生活在四季如春的环境中”等等。初听到这些描述，也许觉得很诱人，但是如果未来的人类真的如此生活，到底是喜是忧，却值得深思。过于优裕的生活，将有害于人们智力和体力的发展。随着科技和生产力的发展，如果今后多数社会成员的生活，真的都像上面描述的那样完全不费脑子，也不费力气，则人类繁衍的子孙们，会一代比一代更聪明健壮，还是相反？

人机工程学研究的目的使人“安全、健康、舒适、高效”，在未来，这也许仍然没有错。但是必须从更高的视角来把握其含义：产品、设施、环境的创造，既要让人们生活得美好，更要有利于人类自身德、智、体的全面发展。一定要让科技进步促进人类自身的健康发展！

1949 年 12 月，K F H Murrell 第一次提出了“Ergonomics”这个词作为人机工程学的学科名称。1950 年成立了英国人机工程学研究协会，1957 年发行了会刊《Ergonomics》，现在该刊物已成为国际人机工程学学会的会刊。美国在 1957 年成立了人机工程学学会，发行了会刊《Human Factors》，以后还出版了不少书刊，成为世界上出版人机工程学书刊最多的国家。1960 年正式成立了国际人机工程学学会，1961 年在瑞典的斯德哥尔摩举行了第一届国际人机工程学学术会议，此后每三年举行一次，至 2003 年止，已举行了 15 次国际人机工程学学术会议。自 20 世纪 60 年代开始，俄罗斯（前苏联）、日本、德国、法国、荷兰、瑞典、瑞士、丹麦、芬兰等国也都相继成立了人机工程学学会或专门研究机构，从事人机工程学的研究、应用和人才培养工作。

随着人机工程学应用的日益广泛，人机工程学的标准化问题变得越来越重要，国际标准

化组织于 1975 年设立了人机工程标准化技术委员会 (TC-159), 负责制订人机工程学方面的标准。各国根据自己的具体情况也制订了许多人机工程学的标准和规范。

人机工程学在我国起步较晚, 目前尚处于初始发展阶段。20 世纪 60 年代, 国防科委的有关研究所曾结合飞机设计作过一些实验研究工作。作为一门学科, 20 世纪 80 年代初才开始确立起来, 各大学及研究所开始建立研究室。1980 年封根泉编著的我国第一本专著《人体工程学》出版。1981 年由中国科学院心理学研究所和中国标准化综合研究所共同建立了“中国人类工效学标准化技术委员会”, 并与国际人机工程标准化技术委员会建立了联系。1985 年成立了全国工业造型设计学会, 下设人机工程专业委员会。1989 年正式成立了全国性的学术组织——中国人类工效学学会 (Chinese Ergonomics Society, 简称 CES)。各行业对人机工程学的应用研究越来越重视, 越来越多的研究机构 and 高等院校开展了人机工程学方面的研究, 各项有关人机工程学的技术标准也在陆续制订, 许多高等院校已经专门培养人机工程学研究方向的博士、硕士研究生, 相关教材、专著、学术论文的出版和发表日益增多。可以预期, 人机工程学的研究和应用, 在我国必将得到广泛而迅速的发展。

1.3 机器设计中的人体因素

在机器设计特别是机动车辆设计中, 着重考虑的人体因素大致可归纳为以下 5 个方面:

(1) **人体对作业负荷的耐受性** 机器运转及其环境条件对操作者造成的体力和精神上的负担, 称为作业负荷。人体对作业负荷的耐受性是机器设计中必须考虑的基本因素。机器的操作及机器运转所造成的环境条件, 都必须合理控制, 使之适应人的生理和心理特性, 至少要为人体所能忍受, 力争处于人体舒适界限以内。

(2) **人体尺寸** 人体尺寸的静态和动态测量数据, 是合理设计操作者的作业空间、操作姿势、操纵机构及操作座椅的基础。只有充分考虑人体尺寸的设计, 才能使操作者工作时处于舒适的状态和适宜的环境之中, 达到能量消耗最少、疲劳程度最低和工作效率最高的目标。

(3) **人体的生物力学特性** 设计适合于操作者使用的操纵机构, 确定合理的操纵力、操纵速率、操纵位移、操纵节拍和操纵准确度等, 都必须以人体的生物力学特性为依据, 方能实现人机关系的优化匹配。

(4) **人的感知响应特性** 人的感知响应过程实质上就是信息向人体的输入、传递和人对信息的分析、处理并作出响应的过程, 是人-机-环境系统的中心环节。它关系到人与机器的安全、人的健康和舒适、操纵质量及作业效率等一系列问题, 是机器设计所必须考虑的最重要的因素。

(5) **人的适宜劳动姿势** 操作者在工作中保持舒适、自然和方便操作的劳动姿势, 将有利于身体健康、有助于减轻疲劳、提高工作质量和劳动生产率。因此, 机器设计时必须首先确定操作者的工作姿势和体位, 然后按照使人体保持最适宜的劳动姿势的要求, 合理设计机器系统及其有关部件。