

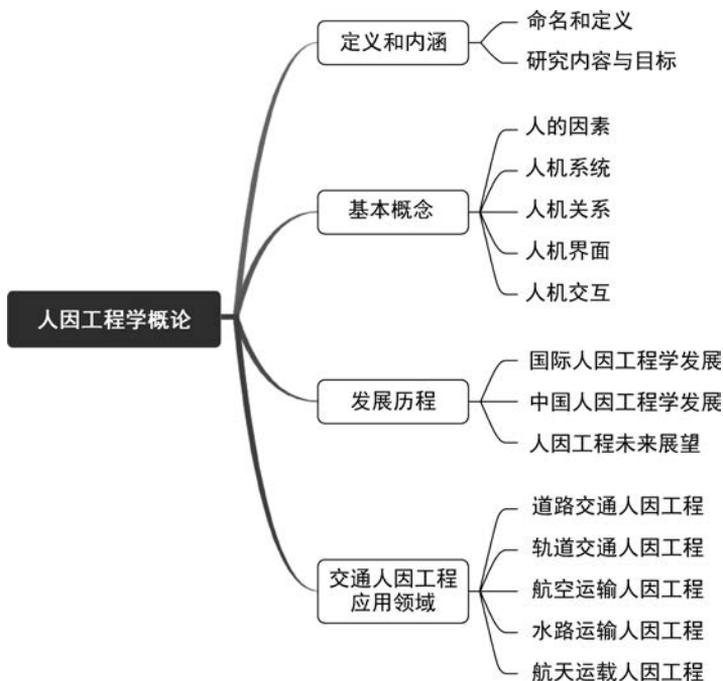
第1章

人因工程学概论

内容提要

人因工程学是新兴边缘学科,覆盖领域繁多,应用日益广泛。本章作为开篇,首先介绍人因工程学的基本定义、研究内容和重要概念,追溯人因工程的发展历程,然后展望其未来发展趋势,探讨交通人因工程的设计与应用方向,包括道路交通、轨道交通、航空运输、水路运输及航天工程领域,全方位呈现现代交通人因工程学日新月异的宏观图景。

知识结构



1.1 定义和内涵

1.1.1 命名和定义

人因工程学于 20 世纪 40 年代起源于欧洲,是一门跨越不同学科领域,应用多种学科的理论、方法发展起来的新兴交叉学科。人因工程学在国际上名称多样化,在国内使用较多的也有人机工程学、人类工效学、人-机-环境系统科学等,国际上代表性的名称如表 1-1 所示。

表 1-1 各国人因工程学名称

国家和地区	名 称
中国	人因工程学、人机工程学、人体工程学、人类工效学、工程心理学等
欧洲	工效学(ergonomics)、人类工程学(human engineering)
美国	人因学(human factors)、人因工程学(human factor engineering)
苏联	工程心理学(Эргономика)
日本	人间工学

最早出现的 ergonomics 的原意是“人的出力正常化”或“人的工作规律”。关于人因工程学的定义,虽然林林总总,但基本内涵大体相近。国内外较权威的定义如下:

国际人因工程学会(International Ergonomics Association, IEA):人因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;以及在工作中、家庭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》中给出的定义是“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,人因工程学是研究共存于同一系统中的人、机、环境的特性及相互关系的交叉学科,其研究和应用以提升系统中人的安全、健康、舒适和效率为目标。交通人因工程以交通人-机-环境系统为研究对象,是人因工程理论思想方法在交通工程中的具体应用,研究交通系统中的人机界面与人机交互,注重提高广大交通使用者出行的安全性、高效性、舒适性和便捷性。当前,智能化、网联化、电动化(新能源)和共享化的汽车新四化理念,将使交通人-机-环境系统的安全性、舒适性和便捷性达到全新的更高的水平。

1.1.2 研究内容与目标

人因工程学的研究对象是“人-机-环境系统”,简称“人机系统”。因此,人因工程学既要

研究人、机、环境各因素的属性,更要着重研究人-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。

人因工程设计的重点对象是人机界面,其设计内容涉及解剖学、生理学、心理学等人的因素,要达到的目标是生活、工作、出行各方面的舒适、安全、高效。

总体上,人因工程学的研究内容主要由两个学术研究方向构成。

(1) 研究和实验:确定工程设计所需要的有关人的特征和特性的具体数据。

(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。

人机系统的构成可分为人、机、环境三个子系统,这三个子系统各自独立又两两交叉,统一为“人-机-环境系统”,见图 1-1。由此也决定了人因工程学的基本研究内容,具体包括如下 7 个方面:

- (1) 人的因素研究;
- (2) 机的因素研究;
- (3) 环境因素研究;
- (4) 人-机关系研究;
- (5) 人-环境关系研究;
- (6) 机-环境关系研究;
- (7) 人-机-环境系统总体性能研究。

上述各方面的研究内容列举见表 1-2。

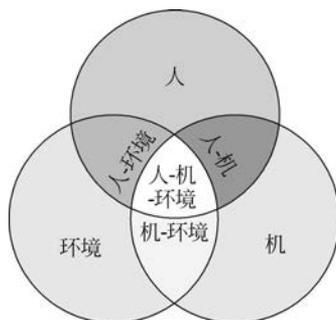


图 1-1 人-机-环境系统关系图

表 1-2 人因工程学的研究内容

研究方向	研究内容列举
人的因素	人体形态参数、人体模型、力学性能、人的劳动生理特征及心理过程、感知特征、可靠性
机的因素	信息传达显示方法、操纵控制技术、安全保障技术、仿真技术、有关人体舒适性的技术
环境的因素	作业空间、物理化学环境、生物环境、人工环境、人文环境、社会环境
人-机关系	人机系统功能分配、人机相互作用及人机界面研究、人机系统安全性、人机系统可靠性
人-环境关系	环境对人的影响、环境质量标准、环境控制、人体防护技术
机-环境关系	环境对机器性能的影响、机器对环境的影响、环境保护技术
人-机-环境系统	系统总体性能的分析、评价、仿真、优化、改进等

概括起来,人因工程学是基于人的因素(包括人的几何尺寸、生理和心理特性)研究人-机-环境系统的安全性、舒适性和高效性。人因工程学的研究目标,就是要使所设计的产品与人的各种因素之间相适应、相匹配、相补充,以获得工作、生活与出行的安全、舒适、高效。

人因工程学是建立在人类科学、工程科学和社会科学之上的一门综合性交叉学科,它与相关的其他学科之间的联系如图 1-2 所示。

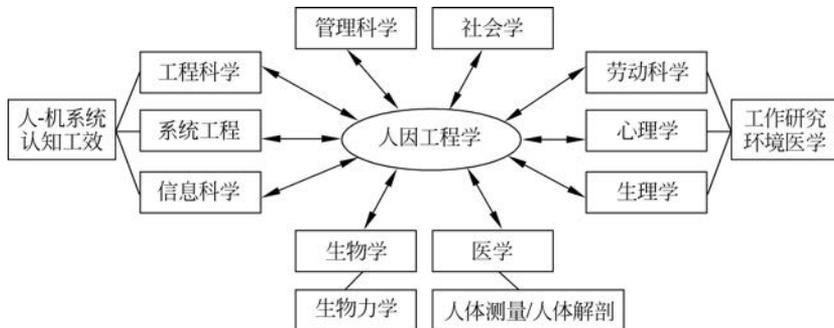


图 1-2 人因工程学与相关学科的关系

1.2 基本概念

1.2.1 人的因素

人的因素是人因工程研究的出发点和应用的落脚点。在机器设计特别是车辆与交通工具设计中,应当着重考虑的人体因素,一般可归纳为以下 5 个方面内容。

1. 人体能承受的作业负荷

指机器及环境对人体造成的体力和精神上的负担。如驾驶员在连续驾车几个小时之后,体力和精神上都会呈现疲劳状态,如不加以休息调整,则对其可靠性方面产生不利影响。

体力负荷(physical load)是指人体单位时间内承受的体力工作量大小。工作量越大,人体承受的体力负荷越大。人体的工作负荷是有一定限度的,超过这一限度,作业效率会明显下降,人的生理和心理状态也会产生十分明显的变化,严重时会使人体处于高度应激状态,导致事故发生。体力负荷可以从生理变化(心率、血氧、肺通气量、血压、肌电图等参量)、生化变化(乳酸和血糖含量)、主观感觉(自认劳累分级量表)三个方面进行测定。

脑力负荷(mental workload)也称为心理负荷、精神负荷,是指单位时间内人承受的脑力活动工作量。具体包括人在工作时所占用的脑力资源的程度、信息处理速度、工作压力的大小及繁忙程度。脑力负荷的影响因素主要包括工作内容、人的能力和努力程度三类。脑力负荷的适当与否对人机系统的绩效、操作者的满意度及其安全和健康有很大影响。脑力负荷的测量方法按其特点和使用范围分为主观评价法、主任务测量法、辅助任务测量法和生理测量法。

2. 人体测量参数

人体测量参数包括人体的几何尺寸、功能尺寸及生理、心理性能等测量参数。例如,关于人体尺寸测量参数的应用,设计工作台高度时,应考虑人的平均坐姿肘高;设计驾驶员操纵装置时,应考虑驾驶员的手功能长度;生理性能包括上述作业负荷的表征测量参数。

3. 人体的生物力学特性

人体的生物力学特性指人的操纵力、操纵速率、位移、节拍等力学参数。例如,设计轿车变速杆的行程时,应考虑到人的手臂动作特点,包括操纵力、速率、频率等反映动作灵活性的参数,尽量做到只用手臂而不移动身体即可完成操作。

4. 人的感知响应特性

也是“人”与“机”和“环境”之间的信息交互过程。包括视觉、听觉、触觉等感知通道的相应特性。例如,不同颜色对人眼的刺激程度不同,给人的语义理解及反应时间也不同,汽车尾部信号灯运用了这一特点,将危险报警灯设置为红色,将转向灯设置为黄色,起到警示、引起后车驾驶员注意的作用。

5. 人的适宜作业姿势

人在操作过程中具有一定的作业姿势,能使人保持舒适、自然、方便。根据作业特点设计作业姿势,如坐姿、立姿、坐立姿结合等,通常要提供稳定的座椅。在这方面的设计工作中,往往需要运用人体模型,来校核相关尺寸和操作姿势的配合是否合理、是否处于最佳状态。

1.2.2 人机系统与人机关系

人机系统指“人”与其相关的“机”共处于同一时间及空间所构成的系统。“人”指的是在所研究的系统中参与系统过程的人,包括人的生理和心理参与。“机”则泛指一切与人处于同一系统中并与人交换着信息、物质和能量的,供人使用的设备、系统、装置等;“环境”指的是“人”“机”共处于其中的、对“人”和“机”有直接或间接影响的周围外部条件。图 1-3 所示为人机系统的组成及其与周围环境之间的相互关系。

以车辆人机系统为例,人为车内的驾乘人员,机为车辆本身,环境包括车内和车外的各种环境条件。最典型的交通人机系统就是道路交通人机系统,也即人-车-路系统。

人机系统中的人机关系包括两个方面:

(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。

(2) 人适机:对人的因素予以限制和训练,尽量发挥人的因素有一定可塑性这一特点,让人去适应机器的要求,以保证人机系统具有最优效能。

机宜人是有条件的,人适机也是有限度的。

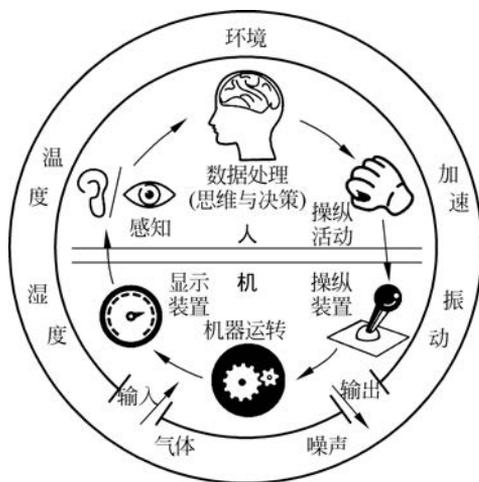


图 1-3 人机系统组成示意图

人机系统中的机宜人與人适机是相对的。任何一个人机系统都必然是既要尽量做到机宜人,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。

人的可能性是指基于人的几何尺寸、生理和心理性能,可能达到或实现的功能;人的各种感知特性有各自的阈值,如超出感知范围,则无法进行感知。人的可靠性是指人的行为存在出错的概率;随着熟练程度的提高,人的可靠性逐渐提升,但依然有出错的概率存在,而在不利的环境条件下人的可靠性下降。

1.2.3 人机界面与人机交互

1. 人机界面

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。从人-机-环境系统的角度来看,人机界面主要包括三类:

第一类:控制系统人机界面。

第二类:直接作用型人机界面。

第三类:间接作用型人机界面,通过环境来彼此施加作用。

上述三类界面往往存在关联。第一类人机界面通常包含第二类;第三类人机界面会间接影响人的操纵能力,也即影响前两类界面的使用性能状况。因此,一个典型的人机系统中通常包含上述三类人机界面,它们之间相互关联共同影响人机系统的性能。

传统交通工具的人机界面包括显示装置(仪表板和中控台等)和操纵装置(转向盘、换挡杆、脚踏板和各种控制按键装置等),其中,驾驶操控系统总体上为第一类人机界面,其中包含的转向盘、操纵杆、脚踏板等为直接作用型界面,而机器的振动、噪声等属于第三类界面,必须通过某种“环境”才能对人、机施加影响。当前,显示与操纵一体化的虚拟界面成为产品主流,如智能手机、新型笔记本电脑、新型车辆的中控触屏等。

根据人体参与系统过程的不同类型感知器官,还可以分为相应的人机界面,如视觉显示界面、听觉显示界面、触觉操纵界面等。

2. 人机交互

为完成确定任务的信息交换过程,人与机器系统之间以一定的方式进行交互作用,包括信息、物质和能量的交互。

以计算机人机界面为例,人机交互的发展过程历经了从手工作业阶段、机械式阶段、机器语言阶段(作业控制/交互命令语言),发展到现代的图形用户界面(GUI)阶段、网络用户界面阶段,以及未来的多通道、多媒体的智能人机交互阶段。

人机之间的信息交互方式分为传统方式(机器语言)、图形化系统(键鼠输入)、图形化系统(触屏输入)、自然语音识别(语音交互)和非接触交互(状态检测、智能感知)等。非接触式和自然语言的智能化交流是人机交互的发展趋势,而将来,基于脑电、表情、手势的感知和交互可将智能人机交互提高到一个新的水平。多模式、多通道和多媒介的人机交互是未来的

发展趋势。

3. 人机情感交互

人机交互的发展过程历经从人类适应计算机到计算机不断适应人类的阶段。近年来,人机情感交互已成为这个领域新的研究热点。人机情感交互就是要赋予计算机类似人一样的观察、理解和生成各种情感特征的能力,最终使计算机能够像人一样与人类进行自然、亲切、生动和富有情感的交互。仿生代理(lifelike agent)是实现人与计算机自然交互的媒介。

人机交互技术正向着智能化、虚拟化、人性化等方向飞速发展,以智能座舱为代表的新型人机交互模式正在颠覆着传统的人因工程设计,包括增强现实抬头显示、语音交互、实体媒介-显触一体等新的交互模式正在成为实际产品的新特征。

1.3 发展历程

在巨变中的时代,“人因工程”已经不再是一个生疏的名字、新兴的学科、冷门的方向,它已经为学术界、产业界和消费者所广泛接受、理解和重视,它的思想已融会贯通到工业、农业、商业、医学、教育、服务业等各行各业,它的理念已潜移默化蕴含在航空航天、汽车交通、电子电气、土木建筑、服装家具等大宗产品的方方面面。随着工业的发展、社会的进步,人因工程学作为一个特殊的交叉学科始终没有停下前进的脚步,而且它的作用越来越重要,价值越来越凸显,从地球到太空,从过去到未来,有人的地方就有人因工程,就有人机界面和人机交互,安全、健康、舒适、便捷是人因工程研发追求的永恒目标。让我们再简要追溯一下人因工程学的发展过程。

1.3.1 国际人因工程学发展

纵观人因工程学的发展,它与社会和工业的发展相伴相生,并受到各交叉学科进步的影响推动,大体经历了经验人因工程学、科学人因工程学和现代人因工程学几个不同阶段。

1. 经验人因工程学

“人机关系”的存在可以追溯到原始社会,通过考古发现的石器、壁画里可以看到人类祖先的生活场景,也能获知当时最原始的人机关系——人与器物之间的关系。人类为了生存,在解决各种现实问题中形成了一些朴素的常识和规范。比如原始人类狩猎用的棍棒、石块,它们的尺寸、重量总是与人的体能大致相适应,之后,人们逐渐开始制作生产工具,烹制食物,设计服装,构建屋舍和家具,如此才能克服恶劣的自然条件,适应复杂的环境,开始形成最初简单的人机之间的关系。

随着人类社会的发展,人类创造和使用的器物不断得到改进,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,可称为经验的人因工程学。经验的人因工程学自产生起一直延续到第一次产业革命时期,基本上以手工劳动为主,是个极其漫长的发展过程。这

个阶段的交通出行场景,基本上是以人力和畜力作为交通工具,是个慢速出行的时代。

2. 科学人因工程学

在西方世界,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。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瓦特(Watt)设计蒸汽机的调速器为代表,开始实现了自动调节和控制。与此相适应,人因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,该项研究可以说是科学人因工程学的开端。

从交通工具的发展来看,火车和汽车是早期阶段最重要的两大发明。世界上第一辆火车是1814年由英国工程师史蒂芬森造出的蒸汽机车——“旅行者号”。同年9月“旅行者号”机车拖着三十多节小车厢正式试车,车厢载有450名乘客和90t货物,“旅行者号”火车以24km/h的速度跑完了40km的路程。1825年9月27日,史蒂芬森亲自驾驶他同别人合作设计制造的“旅行者号”蒸汽机车在新铺设的铁路上试车并获得成功。蒸汽机在交通运输业中的应用,使人类迈入了“火车时代”,迅速地扩大了人类的活动范围。而在60多年之后,1886年德国的卡尔·本茨制造出世界上第一辆以汽油为动力的三轮汽车,从此为人类的交通出行开辟了一个新的时代。

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年美国学者泰罗(Taylor)进行了著名的铁锹铲煤作业的试验研究。Gilbreth 夫妇首创采用当时先进的电影拍摄方法,研究工人的砌砖作业动作过程。20世纪初,泰罗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,称为可以极大地提高劳动生产率的“泰罗制”,为科学人因工程学的建立奠定了基础。

第一次世界大战期间,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。突出的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》是人因工程学的最早著作。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。第一次世界大战后,心理学的应用推广到非军事领域,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、医生和工程技术专家共同研究解决武器和装备的优化设计实践,促进了人因工程学作为一门独立的新兴学科的形成和发展。

第三次产业革命(20世纪四五十年代)开始以来,以电子技术的广泛应用为主要标志。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,人机协调问题越来越

越显得重要,从而促使人因工程学的研究和应用得到更广泛而迅速的发展。第二次世界大战后,A.查帕尼斯等于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,系统地论述了人因工程学的基本理论和方法,为人因工程学作为一个独立的学科奠定了理论基础。1957年E.J.麦克考米克发表的《人类工程学》是第一部关于人体工程学的权威著作,标志着这一学科已进入成熟阶段。

1949年12月,K.F.H. Murrell第一次提出了“ergonomics”这个词作为人因工程学的学科名称。1950年成立了英国人因工程学研究协会,该协会于1957年发行了会刊*Ergonomics*,该刊物现在已成为国际人因工程学会的会刊。美国在1957年成立了人因工程学学会,发行了会刊*Human Factors*,美国的刊物数量发展很快,后来成为世界上出版人因工程学书刊最多的国家。

国际人因工程学协会(IEA)于1960年正式成立,1961年在瑞典斯德哥尔摩举行了第一届国际人因工程学学术会议,此后每3年举行1次,至2021年为止,已举行了21次国际人因工程学学术会议。其中,2009年第17届会议在中国北京举行。该协会的宗旨是:推动国际间人因工程学的科学研究,加强国际合作,鼓励、促进人机工程学在工业及其他领域中的应用。自20世纪60年代开始,苏联、日本、德国、法国、荷兰、瑞典、瑞士、丹麦、芬兰等国也相继成立了人因工程学学会或专门研究机构,从事人因工程学的研究、应用和人才培养工作。

随着人因工程学在工业中的应用日益广泛,人因工程学的标准化问题变得越来越重要,国际标准化组织(International Standardization Organization,ISO)于1975年设立了人因工程技术委员会(TC-159),负责制定人因工程学方面的标准。关于国际标准,ISO 9241最早于1992年出版,并于后续多次修订。该标准涵盖了人机交互的各个方面,包括人因工程、人机界面设计、符号和图形的设计以及人机交互评估等方面。ISO 14915于2002年出版。该标准规定了多媒体用户界面的设计原则和评估方法,以及多媒体信息的组织和表示等方面。各国根据自己的具体情况也制定了许多人因工程学的标准和规范。

1982年,由美国计算机学会(Association for Computing Machinery,ACM)人机交互专家协会(Special Interest Group on Computer-Human Interaction,SIGCHI)主办的人机交互大会(Conference on Human Factors in Computing Systems,CHI Conference)在美国马里兰州首次举办,该会议是人机交互领域最重要的会议之一。

国际人类工效学与人因工程学联合会(International Federation of Ergonomics and Human Factors,IFEHF)成立于2015年,是由9个国际人类工效学和人因工程学组织共同发起成立的联合会。IFEHF的成员包括来自全球不同国家和地区的人类工效学和人因工程学组织。IFEHF的目标是促进人类工效学和人因工程学领域的科学发展和应用,促进各个国家和地区的人类工效学和人因工程学组织之间的协作和交流。IFEHF致力于推广人类工效学和人因工程学的最佳实践,提高公众对人类工效学和人因工程学的认识和重视,并为各国和各地区的组织提供支持和服务。

3. 现代人因工程学

20 世纪 80 年代开始进入“现代人因工程学”的发展阶段,其突出特点是人-机-环境系统的最优化。在这一阶段,可持续发展原则的提出和发展使人因工程学的学术思想又产生了极大的扩展和深化。人因工程学的研究目的是使人“安全、健康、舒适、高效”,在未来,这仍然是努力追求的方向。但是必须从更高的视角把握其含义:产品、设施、环境的创造,既要让人们现今生活得美好,更要有利于人类自身的全面健康发展,同时考虑智能、绿色和安全等方面更高的发展水平。

1.3.2 中国人因工程学发展

虽然《考工记》《天工开物》等著名古籍中包含着朴素的“人因工程”思想,但人因工程学作为一门科学和新兴学科在中国起步较晚。20 世纪 60 年代,国防科工委的有关研究所曾结合飞机设计开展了一些实验研究工作。但作为一门学科,直到 20 世纪 80 年代初才开始确立,各大学及研究所开始陆续建立相关的实验室和研究室。

1980 年封根泉编著的我国第一本人因工程方面的专著《人体工程学》出版。

1981 年,在著名科学家钱学森的指导下,人-机-环境系统工程学科在中国诞生。同年,第一届国际人机工程学会议在北京举行,这是中国首次承办国际人机工程学会议。同年,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,统一规划、研究和审议全国有关人类工效学的基础标准的制定。“人类工效学”一词也在此技术委员会成立大会期间首次使用。会议每年召开,制定相关标准,进行学术交流,并与国际人机工程标准化技术委员会建立了联系,极大地促进了我国人类工效学的研究。

1984 年,国防科工委成立了军人-机-环境系统工程标准化技术委员会。该委员会与中国人类工效学标准化技术委员会的成立,对该学科在中国的发展起着巨大的推动作用。

1988 年,中国人类工效学学会(Chinese Ergonomics Society, CES)由同济大学、中国科学院心理研究所等 50 多个单位共同发起成立,这是中国人机工程学领域的第一个学会。该学会主要关注人类工效学的研究和应用,组织举办了多次国内外学术会议。

1990 年,国务院学位委员会批准了在北京航空航天大学建立我国第一个人机与环境工程博士学位授权点。

1992 年,中国人类工效学学会(CES)被国际人类工效学学会(IEA)接纳为正式成员。中国人类工效学学会和安徽三联事故预防研究所主办了国内唯一的人因工程学学术期刊——《人类工效学》。中国人类工效学学会和各专业委员会定期举办学术会议。

1993 年,中国第一届人机工程学术会议在上海召开,标志着中国人机工程学领域的学术交流进入了一个新的阶段。

1994 年,实施国家标准《人类工效学 工作岗位尺寸设计原则及其数值》(GB/T 14776—1993)。

1999 年 1 月 11 日,中国科学院人机交互技术与智能信息处理实验室成立,该实验室致