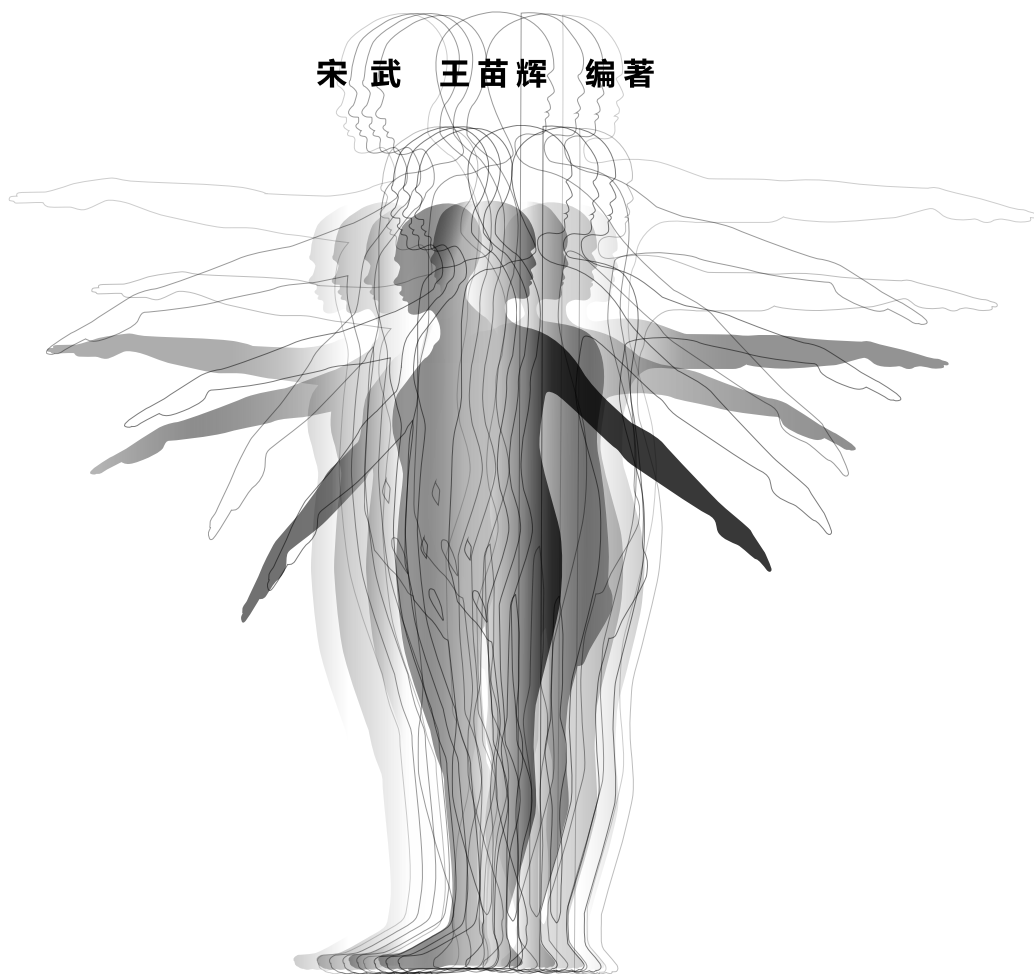


人因工程研究 理论与实践

宋武 王苗辉 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书详细介绍了人因工程科学研究的方法理论、研究实践，以及创新应用的相关内容。全书共分为11章，内容包括人因工程研究导论，人因工程学研究方法，观察法、问卷法、实验法的研究与应用，人体尺度研究，作业器具设计研究，作业环境与作业空间设计研究，以及人机交互界面设计研究，为读者提供了一个细致深入、具备高度可操作性的人因工程科学研究体系。

本书可作为高等院校工业设计、机械工程等相关专业的教材，也可供对人因工程学感兴趣的读者阅读学习。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。举报：010-62782989，beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn。

图书在版编目(CIP)数据

人因工程研究理论与实践 / 宋武，王苗辉编著.

北京：清华大学出版社，2025. 1. -- ISBN 978-7-302

-67732-1

I . TB18

中国国家版本馆CIP数据核字第2024VU6886号

责任编辑：李 磊

封面设计：杨 曦

版式设计：思创景点

责任校对：马遥遥

责任印制：刘 菲

出版发行：清华大学出版社

网 址：<https://www.tup.com.cn>，<https://www.wqxuetang.com>

地 址：北京清华大学学研大厦A座

邮 编：100084

社总机：010-83470000

邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者：北京同文印刷有限责任公司

经 销：全国新华书店

开 本：185mm×260mm

印 张：16.5

字 数：402千字

版 次：2025年1月第1版

印 次：2025年1月第1次印刷

定 价：79.00元

产品编号：105554-01

前言

伴随着人类社会的发展，人造工具也经历了不断的进化，如人类的狩猎工具，从原始的木质长矛，经由金属长矛、弓箭，发展至当代的猎枪，这一过程彰显了人造工具功能上的不断优化与提升。回顾这一发展历程，我们可以清晰地看到，将人的意识注入人造物之中，并带有明确目的性的创造活动，被称为“设计”，它构成了创造活动的核心。

回望人类造物历史的几个关键阶段，可以清晰地洞察人类造物追求的演变轨迹。在人类文明的初期，主要追求“从无到有”，即解决有无工具的问题；到了手工业时代，人类开始注重工具的功能；到了工业革命时期，功能的提升成为新的焦点；而在成熟工业时期，高效与易用性则备受推崇；随着人类社会步入后工业时期，造物活动逐渐转向满足人的精神需求，这标志着人类造物追求的最高境界。

以上阶段体现了设计从产品到服务体验、从“有形”到“无形”的变迁过程，在这一过程中，设计的多元系统性和“以人为本”的核心目标日益凸显其重要性。从人本主义角度出发，评价优秀设计的标准，不仅体现在功能实现、使用方便、安全可靠、效率提升等物质与人的工效关系层面，还深刻体现在外观好看、舒适宜人、价值认同、环境友好等心理及社会价值层面。也就是说，好的设计需贴合人的心理认知过程，便于决策和操作，这就要求人造物品具有可视性和易理解性。人因工程正是解决此类问题的一门学科，它旨在通过设计来满足人类需求、提高人类能力。在解决生理层面的问题时，人因工程学运用人体工学原理探究人在使用工具时的各种情况；在解决心理层面的问题时，它则借助脑神经科学的方法研究人的感知和认知机制。当前的人因工程学融合了这两个维度的研究方法，专注于探索人机复杂系统之间的相互作用关系。

2015年，世界设计组织提出了工业设计的新定义：“设计是一种跨学科的专业，是提供新的价值及竞争优势的手段，是应用于产品、系统、服务及体验的创造性活动，旨在创造一个更美好的世界。”

综上所述，未来的设计将更加聚焦于人的心理因素，这一趋势促使设计与决策管理等多个学科领域产生密切关联，进一步体现人因工程的学科交叉性与系统性特征。在此背景下，科学地构建人因工程研究的理论体系，并紧密融合设计实践，确保理论研究能够有效服务于设计实践，成为编撰本书的核心宗旨。

相较于其他同类教材，本书展现出鲜明的特色。首先，本书紧密贴合新工科、新文科背景下艺术设计专业的发展特点，精心构建了一个融合“科学研究+创新设计”的教材

体系，强调人因工程作为一门系统科学的研究范式，以及在科学研究基础上，针对具体设计问题开展的相关设计研究与实践。其次，书中剖析了大量高水平的科研文献、一线设计实践案例，全面展示了如何实现“科学研究+创新设计”这一范式，为设计专业的学生提供了一个从科学研究到创新实践的清晰路径。

本书不仅展现了研发型创新设计范式，还充分考虑到使用对象的多元性，在数据分析、文献整理过程中提供了大量的原始数据及细致的操作性内容，即使是从未接触数据分析理论的读者，也可以毫无困难地理解数据分析的精髓，并掌握数据分析的技巧。本书整体设计确保了使用者可以摆脱既有知识、经验缺失的限制，而专注于对科学研究方法、思路的领悟，既是一本数据分析操作指南，更是一本人因科学研究集锦。

本书在内容方面展现出独特性和创新性，不仅为学生提供了丰富的理论知识，更通过实践案例分析和实验操作环节，培养学生的研发型创新设计能力。我们有理由相信，在学科交叉融合日益加深的时代背景下，这种能力将为学生充分发挥自身优势、取得更大成就奠定坚实的基础。

为便于学生学习和教师开展教学工作，本书提供立体化教学资源，包括 42 个 SPSS 数据分析案例源数据，3 个 CiteSpace 文献计量分析案例源数据，以及教案、教学大纲、PPT 教学课件，读者可扫描右侧二维码获取。



配套资源

本书的主要内容包含华侨大学机电及自动化学院王苗辉老师在人因工程理论和课程实践教学中的大量成果，王苗辉老师完成了约 28 万字的编写工作。本书在成稿过程中得到了华侨大学机电及自动化学院博士研究生林芳富和硕士研究生林韵嘉的辅助，在此向两位同学表示感谢。此外，本书还获得了华侨大学教材建设项目的支持。

在本书的编写过程中，参考了许多中外专家学者的著作、教材和科研成果，部分案例选自公开发表的文献。在此，谨对各位作者和研究者表示诚挚的谢意！同时，向为本书出版提供大力支持的清华大学出版社致谢。

由于编者理论与实践水平有限，书中内容虽经多次修改，仍难免存在不足之处，欢迎广大读者批评指正。

编者
2024.1.1

第 1 篇 人因工程科学研究方法理论

第 1 章 人因工程研究导论	002
1.1 人因工程学的发展历程	003
1.1.1 溯源以人为本的造物历史	003
1.1.2 人因工程学发展的初级阶段	005
1.1.3 科学人因工程学的发展	008
1.2 人因工程研究范畴	010
1.2.1 人因工程研究的类型	010
1.2.2 人因工程研究的服务领域	011
1.3 人因工程研究的动向与趋势	012
1.3.1 研究新技术与途径	012
1.3.2 应用的挑战与策略	017
1.3.3 我国人因工程学发展的新动向	020
第 2 章 人因工程学研究方法	024
2.1 人因工程学研究方法概述	024
2.1.1 人因工程学研究的原则	024
2.1.2 人因工程学研究的特点	025
2.1.3 人因工程学研究的目标	025
2.2 人因工程学的科学研究方法	026
2.2.1 常用的人因工程学研究方法	026
2.2.2 人因工程学研究步骤	027
课后练习	030

第 2 篇 人因工程科学研究实践

第 3 章 人因工程研究方法：观察法	034
3.1 观察法的抽样	034
3.1.1 时间抽样	035
3.1.2 情景抽样	035
3.2 观察法的类型	036
3.2.1 参与式观察和非参与式观察	036
3.2.2 结构式观察和非结构式观察	037
3.2.3 直接观察和间接观察	040
3.2.4 公开观察和隐蔽观察	041
3.3 运用观察法的流程	041
3.3.1 观察前的准备	041
3.3.2 实施观察	042
3.3.3 观察后的总结	042
3.4 观察数据的分析	043
3.4.1 数据简化	043
3.4.2 观察者信度	044
3.5 批判性思考观察研究	045
3.5.1 观察者的影响	045
3.5.2 观察者偏差	046
课后练习	047
第 4 章 人因工程研究方法：问卷法	048
4.1 问卷设计的信度与效度	048
4.1.1 问卷设计的信度	049
4.1.2 问卷设计的效度	050
4.2 问卷的结构与设计流程	051
4.2.1 问卷的结构	051
4.2.2 问卷设计流程	055
4.3 问卷设计的原则	056
4.3.1 问卷措辞的原则	056
4.3.2 问卷问题设计的原则	057
4.3.3 问卷问题顺序的原则	059
4.4 常见的问卷问题设计	061
课后练习	062
第 5 章 问卷数据分析案例	063
5.1 量表类问卷数据分析	063
5.1.1 样本背景信息分析	064
5.1.2 问卷题项归类分析	064

5.1.3	量表的信效度分析	064
5.1.4	研究变量描述性分析	068
5.1.5	相关性分析	077
5.1.6	研究假设检验分析	082
5.1.7	差异性分析	084
5.2	非量表类问卷数据分析	093
5.2.1	分析思路	093
5.2.2	统计描述分析	094
5.2.3	差异性分析	096
5.2.4	影响关系分析	097
	课后练习	098
第 6 章	人因工程研究方法：实验法	100
6.1	实验法的基本概念	100
6.1.1	因素与水平	100
6.1.2	水平结合	101
6.1.3	主效应与交互作用	101
6.1.4	简单效应	102
6.1.5	处理效应	103
6.1.6	实验组与控制组	103
6.1.7	实验条件与控制条件	104
6.1.8	混淆因素与控制变量	104
6.2	变量类型及控制	104
6.2.1	变量的分类	105
6.2.2	自变量的操纵	106
6.2.3	因变量的观察	107
6.2.4	额外变量的控制	107
6.3	实验设计的类型及原则	111
6.3.1	单因素设计	111
6.3.2	多因素设计	115
6.3.3	被试间设计	116
6.3.4	被试内设计	117
6.3.5	混合设计	120
6.4	人因工程实验研究流程	122
6.4.1	提出问题	122
6.4.2	建立假设	126
6.4.3	实验设计	128
6.4.4	实验准备	131
6.4.5	准备实验材料	134
6.4.6	实验实施	136

6.4.7	记录原始数据	140
6.4.8	数据分析	141
6.4.9	总结研究结论	141
6.4.10	撰写研究报告	142
	课后练习	143
第 7 章	实验数据分析案例	145
7.1	单因素随机实验数据分析	145
7.2	单因素匹配组实验数据分析	145
7.3	单因素完全随机多组实验数据分析	146
7.4	双因素随机实验数据分析	146
7.5	单因素重复测量实验数据分析	152
7.6	双因素重复测量实验数据分析	152
7.7	双因素混合实验数据分析	153
7.8	相关性研究数据分析	153
	课后练习	154

第 3 篇 人因工程科学创新应用

第 8 章	人体尺度研究	158
8.1	前沿研究	158
8.1.1	航空航天领域	158
8.1.2	神经人因学领域	159
8.2	人体的测量与研究	160
8.2.1	人体测量的相关概念	160
8.2.2	人体测量的方法	161
8.2.3	人体尺度与产品设计尺寸的关系	169
8.3	人体尺度的设计研究案例	170
	课后练习	175
第 9 章	作业器具设计研究	176
9.1	前沿研究	176
9.1.1	手部外骨骼装置设计研究	176
9.1.2	触觉仿生设计研究	177
9.2	手握式工具设计	178
9.2.1	手握式工具设计原理	178
9.2.2	手握式工具设计标准	183
9.2.3	手持产品设计案例	185
9.3	工作座椅设计	185
9.3.1	工作座椅设计原理	185
9.3.2	工作座椅设计标准	188

9.3.3 座椅设计案例	191
课后练习	195
第 10 章 作业环境与作业空间设计研究	196
10.1 前沿研究	196
10.1.1 相关理论研究	196
10.1.2 前沿设计实践	201
10.2 作业环境与作业空间设计原理	203
10.2.1 作业空间	203
10.2.2 微气候环境	205
10.3 交通工具内部空间研究案例	208
10.3.1 地铁客室空间研究	208
10.3.2 电动车内部空间研究	208
课后练习	209
第 11 章 人机交互界面设计研究	211
11.1 前沿研究	211
11.1.1 相关理论研究	211
11.1.2 前沿设计实践	220
11.2 人机交互基本原理	222
11.2.1 用户体验	222
11.2.2 交互设计	223
11.2.3 信息架构	224
11.2.4 可用性	226
11.2.5 用户旅程	230
11.2.6 可访问性	231
11.3 眼动交互界面设计	232
11.3.1 眼动交互界面设计原理	232
11.3.2 眼动交互界面设计范例：文本输入系统	233
11.4 多通道交互界面设计	235
11.4.1 多通道交互界面设计原理	235
11.4.2 多通道交互界面研究范例：智能机械臂写字系统	237
11.5 人机交互界面研究案例	239
11.5.1 人机交互的目标：贴近人的认知习惯	240
11.5.2 人机交互的设计建议：渐进式交互	241
课后练习	243
参考文献	244

第1篇



人因工程科学研究方法理论

第1章

人因工程研究导论

人因工程学是一门综合性的交叉学科，专注于研究人、机、环境之间的相互关系。随着科技进步和工业化水平的不断提升，人因工程学日益受到人们的重视，其应用领域也越来越广泛。在不同领域的视角下，人因工程学的侧重点也各不相同，运用其理论和方法开展的研究内容也各有特色。在机械工程领域，它比较重视人与机器的和谐关系，因此被称为“人机工程学”；在管理科学领域，它比较注重人类的生产协作等效率问题，故被称为“人类工效学”；在工业设计领域，作为一门边缘性应用学科，它需要研究人对物或环境的感性和理性认知，因此综合地被称为“人因工程学”。

在国际上，人因工程学的命名存在一定差异。以美国为主的部分国家将该学科命名为 Human Factors，即人因工程学。美国人因工程学学会 (Human Factors and Ergonomics Society, HFES) 对人因工程学的定义为：人因工程学关注于将人类的能力、特征和限制的知识，应用于设计人类所使用的设备、所处的环境，以及所执行的工作任务中。而欧洲及其他大部分国家和地区采用 Ergonomics 这一术语，通常翻译为人类工效学。国际人类工效学学会 (International Ergonomics Association, IEA) 对人因工程学的定义为：这是一门专注于人类与系统中其他要素相互作用的学科，它运用理论、原则、数据和方法来进行设计，旨在优化人类福祉及系统的整体性能。

中国的人因工程学起步较晚，目前该学科的名称尚未统一。中国人类工效学学会 (Chinese Ergonomics Society, CES) 对该领域的定义是：人类工效学以人、机、环境所构成的系统作为研究对象，着眼于系统中的人。通过对人的生理、心理、感知、认知，以及组织等特性进行深入研究，该学科提出了针对产品、设施、人机界面、工作场所、微气候、人员工作组织等内容的设计与优化理论、方法、原则和步骤，旨在实现人、机、环境的最佳匹配，从而确保人们能够高效、安全、健康且舒适地工作与生活。

人因工程学的主要研究目标包括：提高工作或其他活动的效果与效率，并提升人类的福祉与价值；通过采用更合适的生产方式和技术手段，减少失误，确保安全，缓解疲劳和压力，增强舒适度与满足感，从而改善生活品质等。尽管存在多种定义，但它们之间并无矛盾之处，在实际的研究和应用过程中，尽管多个学科领域开展了相关研究，但是其研究对象、研究思路、研究理论及方法上并无本质差异。它们的共同点在于，都聚集于人类及其在生活与工作场所中与产品、装备、设施、程序和环境等的交互作用，其核心思想始终是以人为本。

1.1 人因工程学的发展历程

1.1.1 溯源以人为本的造物历史

如果把人类文明看作是一个有机整体,根据其核心要素,即生产力和劳动力结构的发展水平和周期性变化,从人类诞生到21世纪初,其文明进程可划分为4个阶段:原始文明、农耕文明、工业文明和知识文明。具体而言,农耕时代覆盖了从文明诞生到工业革命前的历史时期,大约为公元前3500年—公元1760年。在这一漫长时期,人类社会经历了从原始社会的狩猎采集到刀耕火种的转变,生产力伴随人类社会的发展不断提高,人们的需求也从基本的生存层面逐渐提升到更高层次。为了提高生产力,保障族群的生存和繁衍,也为了改善生活条件,乃至追求精神上的满足,人类不断探索新技术,思考人与环境之间的关系。

在中国的农耕时代,农业生产力的发展备受重视。早在新石器时代,最古老的农具——耒和耜就已经出现了。据《周易·系辞传》记载,神农氏砍削木头做成耜,弯曲木头做成耒,用于翻耕土地和除草,并将这一技术“以教天下”。“力”的象形文字就源于耒的形状,如图1.1所示。耒是一种有柄有尖的木棒,原本仅凭双手用力很难较深地扎入土中。于是,先民们对耒进行了改良,在木棒尖头的一端绑上一段横木,用脚踏踩以借用身体的重量使其深入土中,再用双手扳动木棒,达到翻动掘松土层的效果,如图1.2所示。这种改良后的耒,适合在土质较硬的土地上起土、翻土,从而提高耕种效率。

在长期的农耕文明发展过程中,农业、手工业、营造业等领域产生了大量的技术经验,这些经验被详尽地记载于古籍之中。其中,《考工记》作为春秋战国时期的重要文献,记述了官营手工业各工种的规范和制造工艺,是中国目前所见年代最早的手工业技术文献。北朝北魏时期的农学家贾思勰所著的《齐民要术》,大约成书于公元533—544年,是一部综合性农学著作,也是世界农学史上早期的专著之一,更是中国现存最早的一部完整的农书。北宋时期,将作监丞李诫主持修撰的《营造法式》于崇宁二年(公元1103年)成书,这是一部集中式古典营造技艺于大成的营造学专著,书中蕴含的科技制造、典章制度等史料信息十分丰富。元代王祜所著的《王祜农书》完成于1313年,书中包含“农桑通诀”“百谷谱”和“农器图谱”三部分,提出农业需因地制宜的原则,同时强调不能拘泥于陈规,而应取长补短,从而提高农业生产水平。明朝万历年间,徐光启创作的《农政全书》几乎涵盖了明代农业生产和人民生活的各个方面,书中提出发展农业为国家富强之本的“农政”思想。明崇祯十年(公元1637年),宋应星所著的《天工开物》记载了明朝中叶以前中国古代的各项技术,是中国古代一部综合性的科学技术著作,也是世界上第一部关于农业和手工业生产的综合性著作。

农耕时代的科学技术著作是古人智慧的结晶,也向世人展示了不同时期的人民提升生产效率 and 增强使用舒适性所探索的各种理论和方法。这些思想源自人民在劳动中的朴素思



图 1.1 甲骨文“力”



图 1.2 山东武氏祠汉画像

考，是他们在长期实践中总结出的宝贵经验，并深刻地影响着人们的日常生活。这些经验依靠的是长期实践和传承学习，这也是农耕时代人类对于世界的认知和知识的来源。然而，这种长期积累的经验仅仅是作为特定行业内的“行业标准”，缺乏科学方法论的指导，人们

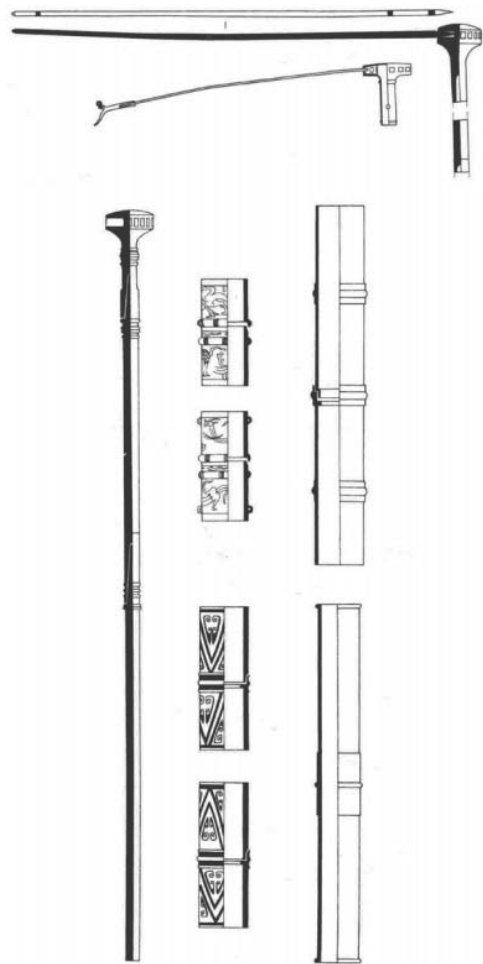


图 1.3 盖斗、盖弓与盖杠

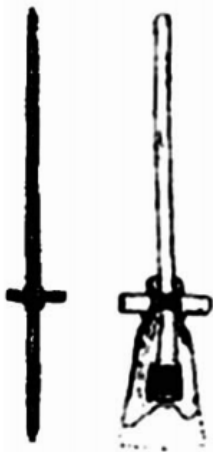


图 1.4 耒与耜

只能通过对事物现象的直观感受进行归纳整理，没有形成一个完整的系统。这个阶段的人机关系完全是靠人的本能，是一种朴素的思想，这一方面是因为工业时代之前的生产力水平较低，日常生活所需的产品工具多为手工作坊生产，主要以满足基本功能为主，另一方面人们的整体生活水平普遍较低，舒适性等并不是大众的主流需求。尽管如此，在长期的农耕文明发展中，先民们依然本能地遵循着朴素的人机适应原则，凭此经验来指导生产生活。

古人自然地遵循着朴素的人机适应关系，这一理念在诸多古籍中均有体现，如《考工记》中详尽地描述了制“车”过程，在分工方面十分明确，制作要求方面十分重视舒适度，因此在设计过程中融入了诸多人性化考量。在辘的设计上，前段适度弯曲以便于行驶；后段保持水平状态以增强耐用性；曲直保持合适的比例以确保车子安稳行驶。车辘的构造更是兼顾了坐在车内人员的舒适性和安全性。车的原始功能虽为代步，但在《考工记》中记载，车还配有车盖，能够满足遮阳防雨的需求，这样的设计更新无疑更加重视“人”的使用体验。在“轮人”篇的“轮人为盖”部分，详细记载了车盖的尺寸标准，规定了车盖的高度为十尺，这一尺寸既不会因过高导致车马无法通过城门，也不会因过矮而阻挡人的视线，充分考虑了人体的尺度，以及与环境的关系。此外，盖弓的倾斜度也有明确规定，当盖斗和弓末的高差为弓长的三分之一时，雨水倾泻速度达到最快，飞溅得更远，有效避免了雨水对乘车人的侵扰，如图 1.3 所示。精确的数字是在反复尝试中得来的，《考工记》对于人、机、环境之间辩证关系的探索，是对科学性和系统性的不懈追寻，彰显了以人为本的造物思想观。

早期设计农业工具是为了满足省力的要求，达成提高效率的目标，其中耕犁的前身耒、耜的制作就贯穿着这一原则（见图 1.4）。

先民们把原始耒的尖头改为略向前倾，把耒柄加以火烤变成弯曲状，这样可减少破土时人体的俯身角度，进而减少腰部肌肉的疲劳感，提高掘土效率。后来人们把磨得比较锋利的叶片状石板或较宽的片状兽骨绑在木棒的下端，以代替耒的尖头，这就是“耜”的由来。耜向犁的演变也经历了人机结合的过程，据专家考证，两人相对而立，一人手扶，足踏耒耜，一人用绳提拉，这样可以减轻一人用耜的负担，既省力又提高了工作效率。然而，为了解决合作间歇性问题，人们开始尝试改变合作方式，由面对面提拉改为二人朝同一方向行进，前面的人用绳索拉着耒耜前进，执耒耜的人跟在后面。为了减轻执耒耜者弯腰的劳累，先民们把耒耜木柄制成向后弯曲，这样后面的执耜者直立就可以控制耒耜耕地的深浅。同时，前面绳拉耒耜的人由于可以用肩膀发力，也大大减轻了手部的用力负荷，因此感觉也会更加轻松。

随着牲口的驯化，农业耕种转向畜力，以提高劳动效率(见图 1.5)，初期采用二牛抬杠耕作法，但协调难度大，增加操犁者的心理压力。唐末，长江下游的江苏、浙江、安徽地区普遍使用了一牛牵引的短曲辕犁，又称“江东犁”(见图 1.6)，结构上增加了犁槃，更适合单牛耕作。从人机结合的角度来看，曲辕犁的犁槃与犁铧尖距离短，翻转扭矩小，便于操控；犁梢手柄长，利于控制方向和犁土的宽度；手柄设计多样，顺应自然手握或便于提拉；重心位于犁箭附近，曲线平滑，与人的肩部曲线吻合，便于单人背负作业。



图 1.5 二牛抬杠耕作图 (汉代)

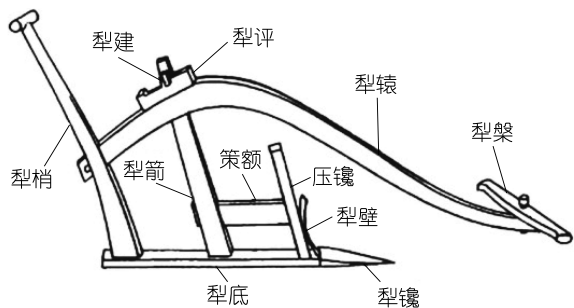


图 1.6 江东犁复原图

1.1.2 人因工程学发展的初级阶段

自人类社会迈入工业化时代以来，生产力实现了飞跃式的发展。伴随这一过程，人、机器、环境之间的矛盾逐渐凸显，人们也开始关注如何进一步提升工业生产的效率，以及应对劳动损伤等问题，这标志着人因工程思想的初步萌芽。从工业革命开始到人因工程学正式成型，这一时期被视为初期人因工程学 (Protoergonomics) 阶段。尽管当时人因工程学的现代含义尚未明确，但一些学者、实践者和哲学家的著作中，已清楚地记录了今天被称为人因工程学的要素。

1. 人类工程学或有关工作的经济性原则

1857年，波兰自然学家沃伊切赫·亚斯特热博夫斯基 (Wojciech Jastrzębowski, 1799—1882) (见图 1.7) 撰写了一篇开创性的论文《人类工程学或有

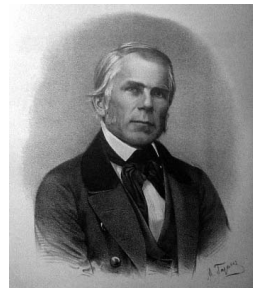


图 1.7 沃伊切赫·亚斯特热博夫斯基

关工作的经济性原则》，该论文被视为人因工程学领域的早期重要文献之一（见图 1.8）。

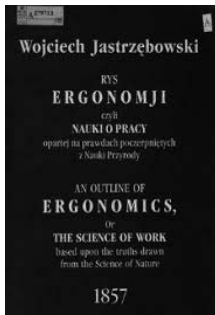


图 1.8 《人类工程学或有关工作的经济性原则》



图 1.9 弗雷德里克·温斯洛·泰勒



图 1.10 弗兰克·邦克·吉尔布雷斯



图 1.11 莉莲·莫勒·吉尔布雷斯

在该著作中，作者提出了关于提高工作效率和减轻工作者劳动负担的理念，并强调了工作系统与人的适应性之间的重要性。此外，他还对工作环境的改善及人机界面的设计提出了一些思考。

尽管在那个时代，人因工程学还没有形成独立的学科，但沃伊切赫使用 *ergonomia* 这一术语来概括地描述工作科学，其表述与当今人体工程学中的用法相一致。

2. 科学管理原理

在 19 世纪末 20 世纪初，一些学者开始探索采用更科学和系统的方法来改进生产工具、优化工作流程，旨在提升生产效率。

美国著名管理学家弗雷德里克·温斯洛·泰勒 (Frederick Winslow Taylor, 1856—1915) (见图 1.9)，被誉为科学管理运动的先驱之一，1903 年，其在论文《车间管理》中首次阐述了科学管理的观点，强调通过科学的方法来分析和改进工作流程，以提升工人的工作效率，并借助合理的劳动分工来优化生产过程。泰勒在其代表作《科学管理原理》中提出了科学管理理论，该理论涵盖了一系列原则，包括制定科学化工作标准、采用科学方法选择和培训工人、建立协作的工作关系等。此外，他详细解释了科学管理原则，包括对时间和动作的研究、任务分工、工资体系等多个方面，为科学管理理论的发展奠定了坚实基础。

3. 时间与运动研究

弗兰克·邦克·吉尔布雷斯 (Frank Bunker Gilbreth, 1868—1924) 与莉莲·莫勒·吉尔布雷斯 (Lillian Moller Gilbreth, 1878—1927) 夫妇 (见图 1.10 和图 1.11)，在对工业工程和科学管理的研究中，开创了一种名为“时间和运动研究” (Time and Motion Study) 的方法。他们通过系统地观察和分析工作中的动作，寻找提高工作效率的方法。二人首次应用摄影和影片的方式来捕捉和分析工人在工作中的动作，进而识别出不必要的动作。基于这些发现，采取相应措施来消除低效环节，以提高工作效率。

基于运动研究的结果，吉尔布雷斯夫妇提出了更为优化的工作布局 and 空间设计，旨在减少工人需

要移动的距离。他们通过降低工作台的高度来适应工人的身体姿势，从而减轻工人的体力劳动强度。

通过大量的研究，吉尔布雷斯夫妇提出了一套标准的时间和运动研究方法，其中“动素” (Therbligs) 是其核心概念，该术语是由 Gilbreth 的字母重新排列而来的，用于描述和分类工作运动中的基本元素。动素被设计为一种简化的标准单位，用于表示和分析工作过程中的各种动作和动作组合，如图 1.12 所示。它可以代表工作中的基本动作、手势或步骤，如抓取、放置、运动、观察等，以及它们的不同组合形式。动素的目标是识别和分离工作过程中的各个组成部分，以便进行更精细的分析和改进。通过使用共同的术语和标准化的单位，分析人员可以更容易地交流、比较和改进工作过程；通过将工作过程分解成不同的动素，分析人员可以更深入地了解每个动作的时间、步骤和效率，这有助于发现并减少不必要的动作，从而提高生产效率。

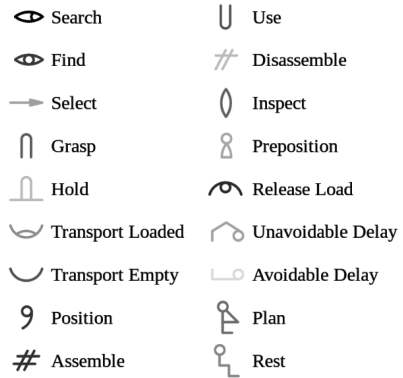


图 1.12 用于表示 18 个动素的标准符号

4. 霍桑实验

霍桑实验 (Hawthorne Experiments) 是 20 世纪初开展的一系列重要实验，旨在探究工作环境和管理工作对工人生产力和工作满意度的影响。这些实验发生在 1924—1932 年，于美国伊利诺伊州芝加哥西南郊的西属霍桑工厂 (Western Electric's Hawthorne Works) 进行。实验起源于对工人生产力和劳动条件的关注，研究者试图理解工人在特定环境下的反应，以及如何通过改变工作环境来提高生产力。

在实验的初期阶段，研究者通过改变工厂的照明条件来观察工人的反应。他们发现，当亮度增加时，工人的生产力也随之提高。然而，这一效果并不是因为照明条件的改善，而是因为工人意识到自己正在被研究，从而感觉受到了关注。

随后的实验关注了组织结构和条件的变化。研究者逐渐调整了工作休息时间、工作小时和工作组的结构，这些变化通常伴随着工人的积极响应，显示出他们对改变的欢迎与接纳。实验中最著名的一部分是由梅奥领导的小组实验，一些工人被组成一个小组，他们被赋予共同制定工作规则的权力，并拥有更多的自主权，这导致工人之间更好的合作和更高的满意度。

霍桑实验的结论主要集中在社会和心理因素对工作绩效的影响上。研究者发现，工人的态度、相互关系，以及管理与组织的关系对生产力有着重要的影响。这一发现激发了人们对人类关系学的研究兴趣，并强调了人际关系、工作满意度和社会因素的重要性。

霍桑实验还产生了一个重要的心理学概念，即“霍桑效应”，指的是当人们意识到自己正在被观察或研究时，他们可能会表现出更好的行为或更高的生产力。

5. 工业心理学

在两次世界大战期间，由于战争对生产和劳动力的需求急剧上升，人们开始高度重视战场上的武器设计和后方的生产供应。不合理的武器设计会危及士兵生命，影响战局发展；而高效的后方生产效率能为战场提供稳定的后勤保障。这些客观因素促使人们深入发掘人的潜力，并提出了诸多要求。



图 1.13 雨果·闵斯特伯格

雨果·闵斯特伯格(Hugo Münsterberg, 1863—1916)(见图 1.13)作为心理学家,在 20 世纪初的工业心理学方面做出了贡献。他在 1909 年出版的著作《心理学与工业效率》一书中提出了工业心理学的概念,强调心理学在工业和商业领域中的应用,特别是关注于人的能力、适应性和工作条件对生产力的影响。

战争期间,军事组织和工业界迫切需提高生产效率、优化军事训练,以及提高士兵的适应能力和心理健康水平,因此工业心理学得到了迅速发展。为了满足大规模的兵员需求,军队开始寻求更科学的方法来选拔和训练士兵。工业心理学的方法被广泛用于评估士兵的认知和技能,以便更好地将他们的能力与任务需求相匹配。工业心理学的原则也被应用于军事训练,以提高士兵在战场上的适应性和反应速度,研究人员开始探索如何更有效地培养技能、提高战斗力,并减少训练过程中的压力和疲劳。

在战争期间,军需物资的大规模生产变得至关重要。因此,工业心理学的方法也被用于改进工厂生产流程,提高工人的效率和工作满意度,这包括调查工人的工作条件、疲劳程度、注意力集中等因素,以寻求改善方法。为了更好地了解个体的心理特征和适应性,心理测验在一战期间得到了快速发展。工业心理学的方法还被应用于研究士兵在战场上的心理健康和应对压力的能力,研究人员开始关注战斗中的心理疲劳、士兵的情绪状态,以及应对战争创伤的有效方法。

第二次世界大战期间,越来越多先进的武器装备被生产出来,人因工程研究的不足逐渐显现,导致一系列设备安全问题。美国在第二次世界大战期间,由于人机问题付出了惨痛的代价,因此对人因工程的研究愈加重视。B-17 轰炸机是美国波音公司在 1930 年为美国陆军航空兵设计的四发动机重型轰炸机,在战争中 B-17 轰炸机出现了一系列的事故,工业设计领域的先驱阿尔方斯·查帕尼斯(Alphonse Chapanis, 1917—2002)(见图 1.14)发现,部分驾驶舱控制装置设计不当,尤其是机翼和起落架的控制装置,由于位置接近且形状相似,极易造成混淆,从而引发严重后果。查帕尼斯仅通过将起落架释放按钮改为圆形,将机翼控制按钮改为三角形,就有效解决了误操作问题,驾驶员仅通过触摸就可以轻松区分它们。此后,该机型的事故率大大下降。

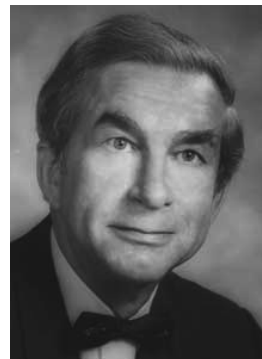


图 1.14 阿尔方斯·查帕尼斯

随着人因工程学的初期发展,人们的思想从开始的“人适应机器”转变为“机器适用于人”,学者们也大量研究如何协调人与机器之间的关系,通过大量的研究成果来提高生产效率、增加舒适性、降低事故的发生率等。人因工程的概念已逐渐清晰,科学家们开始考虑将这些大量与人机相关的研究归纳到一个科学系统之下,推动人因工程朝着一个独立的学科体系发展。

1.1.3 科学人因工程学的发展

“二战”后,随着技术的飞速发展,电子计算机、航空航天技术,以及原子能等领域的研究成果大量涌现。这些新技术不仅极大地推动了工业的发展,也对人机交互提出了更

高的需求。同时，新技术在生产安全和效率方面提出了新的标准，这些需求迅速成为制造业和工业领域关注的重点。

1. 美国人因工程学学会的成立与发展

1950年前后，心理学和行为科学的发展为人因工程学提供了更为科学系统的理论和方法。1955年，由阿诺德·斯莫尔(主席)(Arnold Small)、唐纳德·科诺弗(Donald Conover)、唐纳德·哈尼凡(Donald Hanifan)、斯坦利·利珀特(Stanley Lippert)、劳伦斯·莫尔豪斯(Laurence Morehouse)、约翰·波平(John Poppin)和韦斯利·伍德森(Wesley Woodson)组成的联合委员会，在美国南加州洛杉矶航空医学工程协会和圣地亚哥人类工程学协会的共同倡议下成立。这些委员分别代表心理学、生理学、工程学和医学领域，他们共同参与了制造业、大学和政府联合实验室中的人为因素研究工作。

该组织的正式任务宣言由创始委员会于1956年制定，在接下来的一年里，委员们在加利福尼亚州拉古纳海滩举行了几次全体会议，他们得到了保罗·菲茨(Paul Fitts)、杰西·奥兰斯基(Jesse Orlansky)和马克斯·隆德(Max Lund)的协助，委员会成员构建了计划成立的协会的组织框架，并于1957年9月25日在俄克拉何马州塔尔萨举行了制宪会议和第一次全国会议，如图1.15所示。这次会议聚集了对人因工程学感兴趣的专业人士，共同讨论了该领域的发展方向和应用前景。



图 1.15 1957 年人因工程学学会会议

与会者决定正式成立一个名为“人因工程学学会”(Human Factors Society)的组织，宗旨是促进人因工程学的研究、应用和发展，并推动该领域在各个行业的应用。至此，人因工程学正式成为一个独立的学科，强调心理学和工程学的结合，推动人体工程学在学术和实际应用中的发展，促进了跨学科合作。学会在成立后逐渐发展壮大，吸引了更多的会员和关注。

1981年，学会将其名字更改为“美国人因工程学学会”(Human Factors and Ergonomics Society, HFES)，以更好地反映其关注的领域和专业，协会标志如图1.16所示。目前，HFES在美国、加拿大和欧洲拥有67个活跃分会，以及26个技术小组。

2. 国际人类工效学学会的成立与发展

在欧洲，1949年于英国成立的人类工效学研究协会(Ergonomics Research Society, ERS)所举办的各种活动，对国际人类工效学会(International Ergonomics Society, IES)的成立产生了深远的影响。此外，1953年成立的欧洲生产力署(European Productivity Agency, EPA)发起了一个名为“使任务适应工作者”(Fitting the Task to the Worker)的项目，该项目在后来的国际人类工效学学会的创建中发挥了关键作用。

1961年，国际人类工效学会第一次大会在瑞典的斯德哥尔摩召开，此次会议正式完成了协会的筹备阶段，并开始了常规学术活动。1967年，IES成为全球联合协会的一员。1977年，IES发展成为该学科的代表，并鉴于对人体工程专业应用与实践日益增长的关注，进一步发展为人人类工效学协会(Ergonomics Society, ES)。

2009年，ES更名为人类工效学和和人因研究所(Institute of Ergonomics and Human Fac-

tors, IEHF), 这一更名旨在反映这两个术语的流行用法, 并强调该学科涉及的广泛领域。到了 2011 年, IEHF 发展成为国际组织, 并正式更名为国际人类工效学学会 (International Ergonomics Association, IEA), 其标志如图 1.17 所示。IEA 是在瑞士日内瓦州托内克斯市商业登记处注册的非营利协会。它通过与其联合会、附属协会, 以及相关国际组织密切合作, 致力于阐述和推进人为因素 / 人类工效学 (HFE) 的科学研究与实践, 并扩大其应用范围, 增强对社会的贡献, 以提升人类生活质量为最终目标。



图 1.16 HFES 标志



图 1.17 IEA 标志

许多国家和地区根据本地的实际情况, 开始建立符合本土特色的人因工程机构。表 1.1 列出了部分国家的人类工效学学会。

表 1.1 部分国家的人类工效学学会

学会名称	成立时间	学会标识
德国工业心理学和人类工效学协会 (Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, GfA)	1954	
日本人间工学会 (The Human Factors and Ergonomics Society, Japan, HFESJ)	1961	
加拿大人类工效学协会 (The Association of Canadian Ergonomists, ACE)	1968	
澳大利亚人类工效学协会 (Human Factors and Ergonomics Society of Australia, HFESA)	1968	
法国人机工程学学会 (Société d' Ergonomie de Langue Française, SELF)	1974	
巴西人类工效学和人机系统协会 (Associação Brasileira de Ergonomia, ABERGO)	1982	
中国人类工效学学会 (Chinese Ergonomics Society, CES)	1989	

1.2 人因工程研究范畴

1.2.1 人因工程研究的类型

人因工程的研究核心, 聚焦于人及相关的机具和环境系统。依据研究目的, 人因工程研究大致可分为两大类: 一是以科学管理为导向, 旨在提高生产效率并确保工作任务安全

的研究；二是侧重于人体验，致力于提高满意度、幸福感和舒适性。这两类研究不是完全割裂的，而是相互关联。进一步细化，具体研究类型还可以分为功能适用性研究、安全和舒适性研究、效率性研究等。

IEA 将人因工程分为三大领域，如图 1.18 所示。其中，物理人体工程学 (physical ergonomics) 关注与身体活动相关的人体解剖学、人体测量学、生理学和生物力学特征 (相关主题包括工作姿势、物料搬运、重复性动作、与工作相关的肌肉骨骼疾病、工作场所布局、人身安全和健康等)；认知人体工程学 (cognitive ergonomics) 涉及心理过程，例如感知、记忆、推理和运动反应，因为它们影响人体与其他系统元素之间的交互 (相关主题包括脑力负荷、决策、技能表现、人机交互、人类可靠性、工作压力和培训等，因为这些可能与人机系统设计有关)；组织工效学 (organizational ergonomics) 关注社会技术系统的优化，包括组织结构、政策和流程 (相关主题包括沟通、资源管理、工作设计、工作时间设计、团队合作、参与式设计、社区人体工程学、合作工作、新工作范式、虚拟组织、远程办公和质量管理等)。

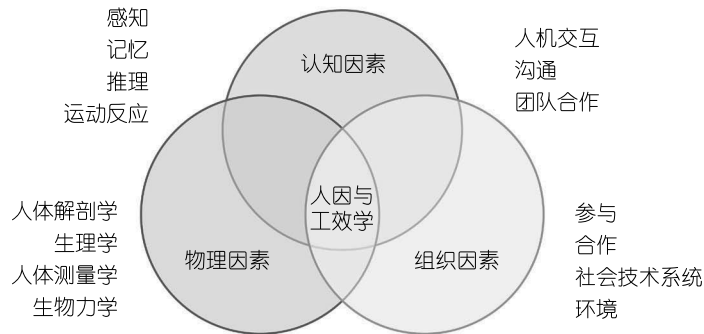


图 1.18 人因工程三大领域

在当前学科高度融合的背景下，人因工程内部的各领域并非彼此孤立，而是相互交织的。进行人因工程研究时，可能会同时涉及不同的研究类型。医学上，人被划分为八大系统：运动系统、神经系统、内分泌系统、循环系统、呼吸系统、消化系统、泌尿系统、生殖系统，这些系统间的协调配合使人体能够执行复杂的生命活动。因此，在开展人因工程研究时，必须全面考虑人与相关产品、环境、系统等因素之间的关系，并依据各人体系统提供的反馈信息来评价人机关系。

1.2.2 人因工程研究的服务领域

在人因工程的发展过程中，随着科技和生产力的不断进步，人们的生活水平日益提升，逐渐从关注基本生活需求转向更高层次的需求。经过三次工业革命，众多产业已日趋成熟完善，为人类带来极大的物质满足。与此同时，越来越多的细分领域被开拓，且这些领域的发展也越来越重视人因工程。相应地，人因工程研究所服务的领域也在不断拓展，研究与服务二者呈现相向而行、互相促进的态势。

在产业转型的过程中，许多传统的行业不仅重视技术的升级，还开始通过人因工程研究来提高产品的附加值，这体现在传统的服装产业、家具家居领域、环境规划领域等多个方面。与此同时，随着新技术的迅猛发展，大量新兴领域如雨后春笋般涌现，如航空航天、航海深潜、新型核电站、电子产品，以及广泛的数字信息领域等。这些新兴领域的发展本

身就带有鲜明的新技术特征，其系统设计因新颖性而变得更加庞大和复杂，部分领域还涉及安全和尖端科学技术，因而与之相关的人因工程研究需要格外谨慎。

以中国人类工效学学会为例，该学会下设 14 个专业委员会（二级分会），具体如表 1.2 所示。这些委员会在很大程度上反映了当前人因工程研究服务所涵盖的主要领域。

表 1.2 中国人类工效学学会专业委员会

专业委员会（二级分会）	挂靠单位
人机工程专业委员会	中国农业大学
认知功效专业委员会	浙江大学
生物力学专业委员会	空军航空医学研究所
管理工效学专业委员会	上海交通大学
安全与环境专业委员会	中钢集团武汉安全环保研究院
工效学标准化专业委员会	中国标准化研究院
交通工效学专业委员会	安徽三联事故预防研究所
职业工效学专业委员会	北京大学医学部
复杂系统人因与工效学专业委员会	清华大学工业工程系
设计工效学专业委员会	东南大学
智能交互与体验专业委员会	北京航空航天大学
智能穿戴与服装人因工程专业委员会	北京人因智能工程技术研究院
汽车人因与工效学专业委员会	中汽信息技术有限公司
医疗保健工效学专业委员会	河南省职业病防治研究院

1.3 人因工程研究的动向与趋势

1.3.1 研究新技术与途径

1. 多学科高度融合的系统科学

人因工程学不仅是一种设计方法，更是一种设计思想，其核心在于“以人为本”。人因工程学的起源主要根植于管理学和心理学，在其正式确立之初，大部分的研究都围绕在心理学和管理学领域。随着科技的日新月异，越来越多的先进技术被应用到人因工程学的研究中，这就要求人因工学必须系统性地构建多学科之间的融合体系。过去，伴随基础科学的不断深入发展，越来越多的新学科被确立，但学科间的壁垒也日益凸显。人因工程学正是致力于研究如何打破这些壁垒，具体表现为针对某个人因工程学的研究问题，采用多学科的研究方法，通过不同研究方法之间的相互印证，从而寻求问题的解决方法。

人因工程学的研究通过打破学科间的壁垒，将各种与人相关的研究进行串联，并以系统性的解决方法进行整理与输出，这需要研究者们不断思考和探索新的道路。以船引航操作认知过程监测及适任性研究为例，具体步骤如下：

第一，系统性地确定领航不安全行为，并进行分级（见图 1.19）。

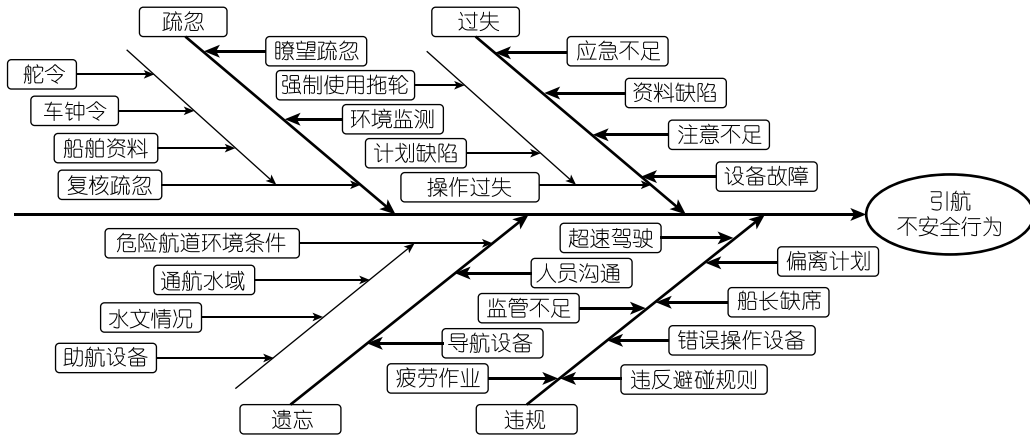


图 1.19 不安全行为分级

第二，通过走访、量表、专家访谈等形式，确定各引航不安全行为的关键问题，可以通过建立模型等形式，对不安全行为进行梳理（见图 1.20）。



图 1.20 引航操作模拟实验情景

第三，将模型代入引航操作过程中，分析引航理性及无意识不安全行为的认知作用机制，揭示引航任务过程中不安全行为的认知关联因素及其影响路径。

第四，基于眼动、脑电生理传感技术开展引航模拟实验，通过使用实验模拟场景、设备、眼动设备、脑电设备等多种方式开展实验（见图 1.21 和图 1.22）。

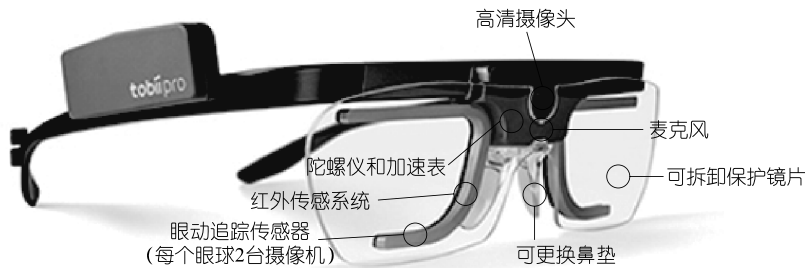


图 1.21 眼动设备

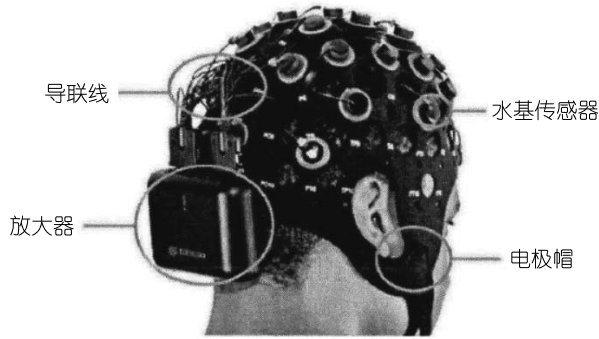


图 1.22 脑电设备

第五，通过融合眼动和脑电信号，智能化评价领航员的认知适任能力（见图 1.23）。

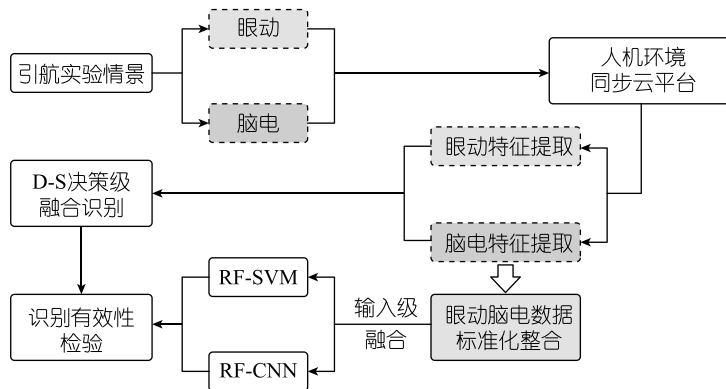


图 1.23 基于眼动及脑电数据的融合识别方法

2. 不断结合新技术与新方法

人因工程学的研究需要综合考虑人机环境各组成部分的相互关联性，以及工作系统设计变更可能对系统所有部分产生的潜在影响。人因工程是随着社会的发展而发展的，不同的时代、历史背景和社会环境下，其人因工程的定义会有所不同。这是因为人因工程的核心在于研究人与系统之间的关系，而这样的系统会随着科技的发展而不断改变。

随着技术的发展，即使是传统的研究方法也可以借助更先进的技术手段得到深化，而且随着时代的发展，很多原有数据也必须与时俱进地进行更新。以《中国成年人人体尺寸》(GB/T 10000-1988)为例，该标准中的人体测量数据源自1986年我国开展的第一次全国人体尺寸测量调查，该调查覆盖了华东、华北、西北、东南、华中、华南、西南等区域，涉及18~25、26~35、36~60(男)、36~55(女)多个年龄段，测量项目涵盖了身高、体重、上臂、前臂、大腿等47项人体尺寸。该标准于1988年12月10日发布，1989年7月1日开始实施，至今该数据已经使用了三十多年。而在此期间，我国人民生活水平有了质的飞跃，体型也发生了显著变化，因此该标准中的成年人人体数据已无法准确反映当前国民的身体状况，不再适合作为现代社会生产生活的基本依据。这一现象与产业界日益增长的数据需求形成了巨大的供需矛盾，对与之相关的产业发展，特别是产品人性化设计水平的提高造成了重大影响，产业界对其修订的呼声日益高涨。2023年8月6日，国家市场监管总局、国家标准化管理委员会发布了新的《中国成年人人体尺寸标准》(GB/T 10000-2023)，于2024年3月1日正式实施。该标准根据时代的发展，增加了更多的人

体尺寸、更科学的年龄分组、人体功能尺寸等内容，如图 1.24 所示。

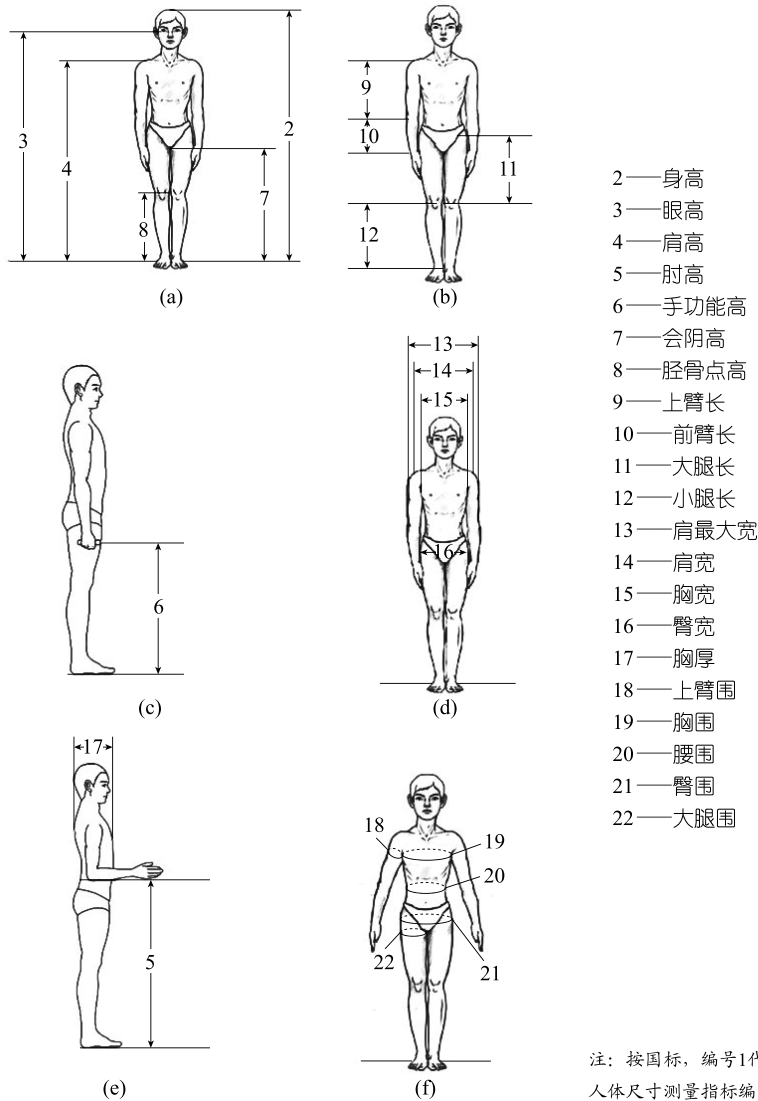


图 1.24 立姿测量项目示意图

新标准广泛适用于成年人消费用品、交通、服装、家居、建筑、劳动保护、军事等领域的生产，与服务产品、设备、设施的设计及技术改造更新，同时适用于各种与人体尺寸相关的操作、维修、安全防护等工作空间的设计及其工效学评价。

技术的发展为人们采集数据提供了更加便捷的方法，一些数据可以通过多种方式直接或间接地获取，如三维扫描技术、动作捕捉技术、三维建模有限元分析等。举例来说，利用三维数据采集技术，我们可以进行个性化服装定制。这一技术通过在服装定制流程中应用三维人体数据，解决人体测量中长期存在的复杂性问题，从而实现个性化定制产品的规模化生产，如图 1.25 所示。

通过影像法，可将电子计算机断层扫描(computed tomography, CT)、核磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)等技术扫描糖尿病足获得的数据进行处理。采用逆向工程方法建立足部三维实体模型，利用软件进行网格优化处理并进行有限元分析，如图 1.26 所示。

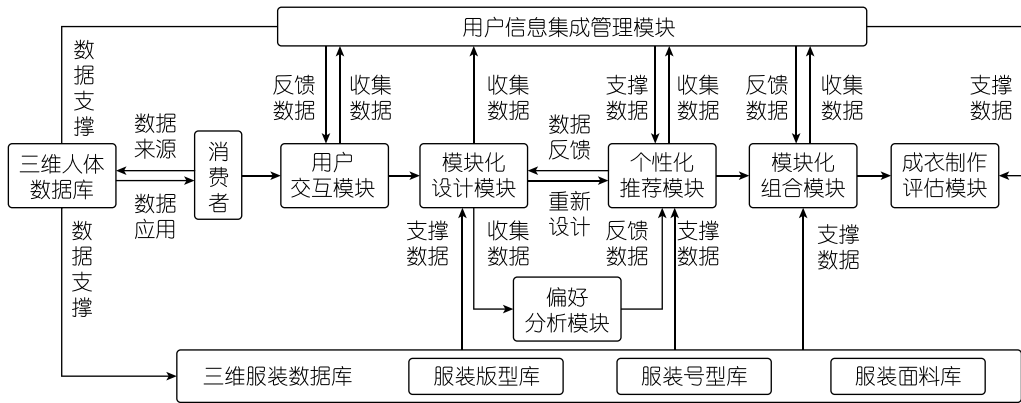


图 1.25 用户自主设计流程图

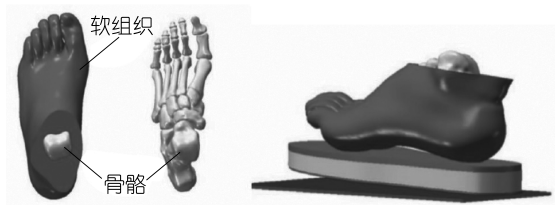


图 1.26 足部几何模型 (左)、足部和鞋具接触区域 (右)

人因工程中的动作捕捉系统在影视、动漫、游戏、医疗健康、体育等方面有着广泛的应用，如图 1.27 所示。通过应用动作捕捉系统设计的可穿戴式下肢关节运动姿态捕捉装备，可以帮助患者恢复健康。该装备的结构设计为左右对称，单边结构从腰部到脚跟处，分为 4 节，关节联结之处设置运动参数传感器，以便实时传递患者的运动功能参数。



图 1.27 穿戴式腿部数据采集器

此外，技术的发展还深入心理领域，如脑力负荷、决策、技能表现、可靠性、工作压力和培训等多个方面，这些领域与人因工程学紧密相连。例如，功能性核磁共振成像 (functional magnetic resonance imaging, fMRI)、脑电图 (electroencephalogram, EEG)、事件相关电位 (event-related potential, ERP)、功能性近红外光谱技术 (functional near infrared spectroscopy, fNIRS)、脑磁图 (magnetoencephalogram, MEG)、经颅磁刺激 (transcranial magnetic stimulation, TMS) 等技术，均在心理研究中发挥着重要作用。不同的技术各有利弊，其特点也不一样，下面按照数据时间分辨率和数据空间分辨率两个方面进行分类，如表 1.3 所示。

表 1.3 不同技术的优劣势

技术	数据时间分辨率	数据空间分辨率
功能性核磁共振成像	高	高
脑电图 / 事件相关定位	高	低
功能性近红外光谱技术	低	高
脑磁图	高	高

1.3.2 应用的挑战与策略

1. 应用领域的拓展

人因工程学持续关注微观人体工程学 (包括程序、环境, 以及执行任务所需设备和工具的设计) 和宏观人体工程学 (包括工作组织、工作类型、使用的技术, 以及工作角色、沟通和反馈)。这些学科不能被孤立地看待, 因为产品和系统设计的整体视角需要综合考虑人、技术和环境之间的关联性, 以及系统设计变更可能对系统所有部分产生的潜在影响。

随着社会的不断发展与科技的持续进步, 人因工程学的应用领域一直在扩展。其基本原则根植于社会技术价值观之中, 坚持以人为本的核心理念, 将技术视为辅助人类的工具, 致力于提高生活质量, 尊重个体差异, 并对利益相关方负有责任。人因工程学不仅涵盖了人身安全、工作效率、舒适性等方面, 还深入到生活和工作中大健康、人机智能交互、人工智能等多个领域。

中国大健康产业的发展已全面加速。从十九大报告提出“实施健康中国战略”, 到二十大报告进一步强调“推进健康中国建设”, 并明确到 2035 年要建成“健康中国”的宏伟目标, 这一进程显著推动了大健康产业链的快速发展, 伴随而来的是对供应链体系模式创新和管理迭代的更高要求。在这一复杂系统中, 人因工程因其独特的跨学科特性, 扮演着至关重要的角色。它涉及与健康相关的人体生理、心理等数据的采集, 以及在系统开发过程中对数据的分析与应用, 同时强调系统性思考, 致力于探索与人相关的解决方案。因此, 众多研究者基于人因工程的系统思想和方法, 通过多学科的融合, 结合时代技术发展, 充分考虑当代背景下的实际问题, 展开了大量的关于大健康的探讨与研究。

例如, 针对脑卒中患者, 通过功能性近红外光谱技术, 采用脑机接口技术, 实现人机交互, 解读人的大脑意图 (见图 1.28), 然后将这些意图转



图 1.28 在线验证系统

化为控制外部助行设备的具体指令，实现对外部设备的控制。这个过程使得外部设备的控制更加智能化，进而促进了康复训练的效果。这种创新方法不仅有利于患者运动功能的恢复，而且可以减轻医护人员的工作负担。

2. 研究成果对创新设计的促进

在人们一般的认知中，人因工程学作为一种应用研究学科，在一个系统开发后的评估量化中有着举足轻重的作用。其实，人因工程研究还包括了大量的基础研究的转化，在这个转化过程中需要不断地进行调整，才能实现研究成果对创新设计的促进。



图 1.29 保罗·莫里斯·菲茨

保罗·莫里斯·菲茨 (Paul Morris Fitts, 1912—1965) (见图 1.29) 是美国人因工程学学会早期最杰出的成员之一，其代表著作《设备设计师的人因工程指南》在军事和航天领域被广泛使用。以他命名的菲茨法则至今都影响着人机交互设计，该定律的主要观点是，选择目标的难度与目标的距离和目标的宽度之间存在着对数关系，即目标越远或越小，选择该目标所需的时间就越长。这一定律强调了目标的尺寸和距离对用户操作的影响，为界面设计和交互元素的布局提供了指导原则。它描述了手部动作的速度和准确性之间的关系，是一种人体运动的预测模型，主要用于人机交互和人因工程学。在 1954 年的原始论文中，菲茨提出了量化目标选择任务难度的指标。这个度量是基于信息类比的，其中到目标中心的距离 (D) 被视为信号，而目标的容差或宽度 (W) 则被视为噪声。该指标被称为 Fitts 的难度指数 (index of difficulty, ID, 单位以 bit 表示)：

$$ID = \log_2 \left(\frac{2D}{W} \right)$$

此后该定律不断完善。在实际应用中，设计者可以利用菲茨定律的原理来优化用户界面，使常用的操作目标更大或更容易到达，以提高用户的操作效率和准确性。例如，在计算机界面中，按钮的大小、布局和距离都是菲茨定律考虑的重要因素。macOS 的 Dock 是一个常用的应用程序启动器，它包含了应用图标，如图 1.30 所示。为了遵循菲茨定律，苹果确保 Dock 中的应用图标足够大，使用户可以轻松地点击它们以启动相应的应用程序。



图 1.30 macOS 的 Dock 栏

人因工程在应用研究和基础研究领域均展现出显著优势。在应用研究层面，众多系统已采纳了人因工程思想和成果；而在基础研究层面，人因工程的思想则助力众多基础的研究成果转化为切实可行的产品和系统，从而更好地服务于人类。

3. 多模态与即时反馈评估策略

随着人们对自身了解的日益深入，“一题多解”的方法为研究提供了多维度的视角，使人们能够从更多角度分析问题。如今，这种不同类型数据的模态形式已经在各行各业取得了显著发展，通过多种数据之间的配合和互相佐证，研究结果会更加可靠。

在人因工程研究中，多模态研究方法逐渐兴起。这种模态的形式是测量手段增加及系

统性整合的产物。一方面，它受到人为因素的影响，人体在不同的情况下表现出同一个状态，其代表的内容可能不同，而不同的状态可能反映出人体出现了某些情况。比如，可以同时通过心电图 (electrocardiogram, ECG)、肌电图 (electromyography, EMG)、眼电图 (electrooculogram, EOG)、脉搏波 (blood pulse wave, BPW) 信号、动作行为特征 (如单位时间内眼睑闭合率、眨眼频率、眨眼速率、视线方向、瞳孔直径等) 来检测人体的疲劳状况。另一方面，随着测量手段越来越多样化，整合这些数据的方法也在不断增多，且这些技术日益成熟，涵盖了机器学习、人工智能等多个领域。

例如，当盾构机司机在驾驶过程中出现疲劳感时，其感知信息、判断决策及操作能力下降，影响盾构掘进施工效率，同时司机的生理指标也会发生变化。通过脑电信号、心电信号、肌电信号、皮电信号等技术，可以同时检测驾驶员的疲劳状态，并分析造成驾驶疲劳的主要原因和机制，如图 1.31 所示。

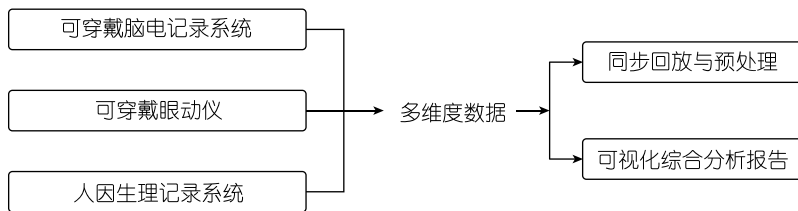


图 1.31 盾构机司机驾驶疲劳检测实验设备

多模态识别技术的案例很多，例如为了提升情感识别的准确性，通过向被试者展示情绪视频，激发他们的情感反应，并据此采集他们的脑电 (EEG) 和眼动数据。随后，从这些数据中提取每个通道信号之间的联系，并基于这些联系提出了一种多模态特征融合的情感识别方法，如图 1.32 所示。

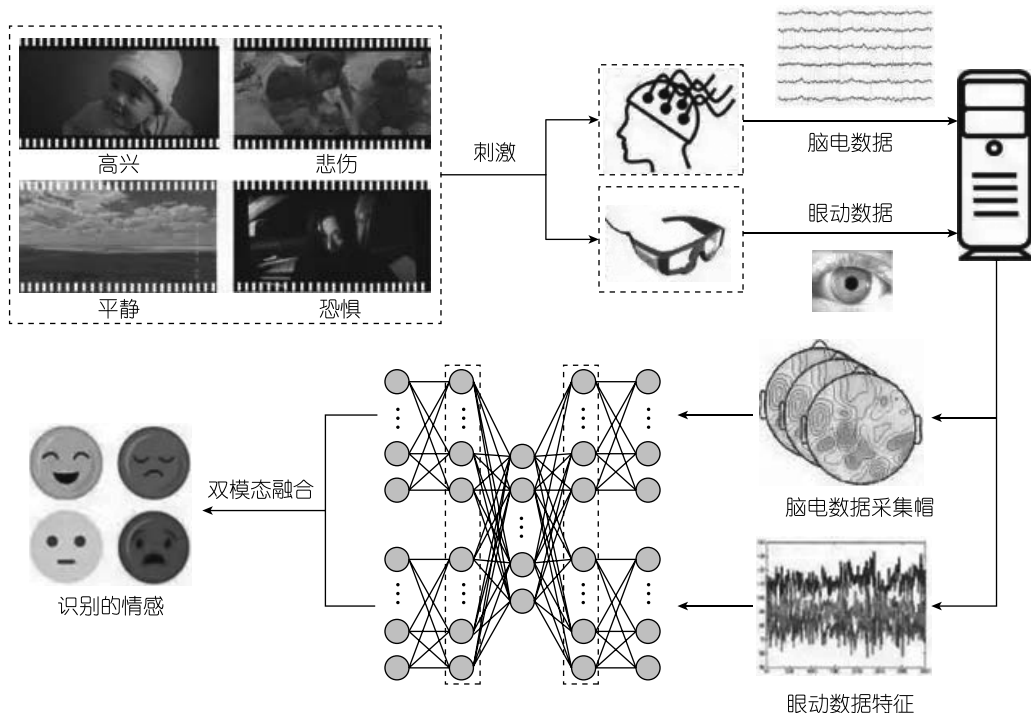


图 1.32 双模态融合情感识别模型

在这个方法中，EEG 和眼动数据被转化为图结构数据，以便通过多路图卷积技术分别对各种模态的信号进行特征提取。接着，利用模态注意力图卷积层来有效融合不同模态通道间的连接信息。为了验证该方法的有效性，我们对采集到的被试者的四类情感数据进行了实验测试。结果显示，与仅使用 EEG 或仅使用眼动数据的单模态识别结果相比，图卷积融合方法能够显著提高情感识别的准确率。更进一步地，当在图卷积融合方法中引入模态注意力机制后，识别率再次得到提升。

1.3.3 我国人因工程学发展的新动向

1. 新科学问题的不断拓展

世界处于不断的发展之中，人们的需求与科技的发展都呈现出动态的特征，因此我们要结合时代的发展来审视一个学科的发展。人因工程研究始终随着社会的变迁而演变，但是其以人为本的核心是不变的，变的是技术手段、应用领域等。

传统的人因工程学包括与身体活动有关的人体解剖学、人体测量学、生理学和生物力学特征等内容，其研究范畴包括工作姿势、物料处理、重复动作、与工作有关的肌肉骨骼疾病、工作地点布局、安全及健康等多个方面。在新时代的制造系统中，人因工程学取得了显著进展，主要体现在部分工作和动作的自动化、人的不可或缺、人的安全保障，以及可穿戴设备等新技术的应用等方面。新时代背景下的智能制造系统是一种高度复杂的人机协同系统，协同问题和安全问题是该系统面临的主要挑战，而有效的人机协同是保证智能系统安全和效率的关键因素。

目前，我国人因工程学科的发展势头强劲，根据对国际 16 个人因工程领域期刊 2010—2020 年所刊载的论文检索分析，中国学者共发表论文 2291 篇，占全部文章数量 (15 088 篇) 的 15.18%，这表明中国学者正在成为国际人因工程研究领域的中坚力量。中国人类工效学学会从成立至今，其会员数量已逐步增至 2200 多人，成为国际第二大人因学会。随着人因理念在用户体验领域的渗透，国内组建了用户体验联盟、用户体验专家组、国际体验设计协会，以及工程心理学分会等与人因学相关的学术组织。此外，自 2016 年起至 2023 年止，由学界发起、政府支持的中国人因工程高峰论坛已成功举办 7 届，围绕人因设计与测评、人因工程与工业 4.0、人因工程与人工智能等主题，以及推动行业应用等专题进行了深入的研讨与交流。

在国际上，我国的人因工程研究处于整体跟随的状态，但在部分应用领域，如载人航天，已经崭露头角。我们的基础研究大多是基于国外理论和模型进行本地化改进或应用，在理论层次、研究技术手段，以及结合具体应用领域进行验证等方面，与国际水平相比存在不小的差距。此外，重大领域方向和重要行业管理部门尚未深刻认识到人因工程的价值和意义，导致在基础研究、实验室建设和标准规范制定上的投入不足，同时在重大工程应用上的推动力度也显得不够。

2021 年，工业和信息化部、国家发展改革委、教育部、科技部、财政部、人力资源社会保障部、国家市场监督管理总局、国务院国资委八部门印发《“十四五”智能制造发展规划》，指出要攻克智能感知、人机协作、供应链协同等共性技术，研发人工智能、5G、大数据、边缘计算等在工业领域的适用性技术。关于智能制造装备创新发展行动，指出研发可穿戴人机交互设备等基础零部件和装置的重要性；而在智能制造标准的制定方面，则

强调要加大标准试验验证的力度，以推动人机协作等基础共性和关键标准的制修订工作，以满足技术演进和产业发展的需求，加快开展行业应用标准的研制进程。

在网络化、智能化的进程中，人因工程继续发挥着举足轻重的作用，不仅在航空航天、计算技术、智能系统等领域，而且在与百姓日常生活密切相关的各种产品设计开发中，其重要性也日益凸显。当前，人工智能、大数据、云计算、物联网、无人驾驶车、无人机、虚拟现实等技术正引领新一轮的技术革命，因此智能制造系统人因工程的研究和应用要能够进一步消除不确定性，使系统的运行可预测、可控制。通过建立完善定量和客观的测试技术与评价指标，将人的经验和知识快速高效地转移到信息系统，并集成到智能制造系统中，从而提高系统处理复杂问题的能力。同时，使用新技术与方法来提高人机环之间的沟通互动与控制能力，综合考虑人机环之间的关系，创新应用各种新兴技术来构建新一代智能制造系统。这不仅旨在构建和谐的人机关系，实现人与机器和谐共处，还致力于利用新技术提升员工的工作舒适度和幸福感。

2. 虚拟现实和人工智能技术的发展

当前，众多研究正积极运用各种技术来采集用户数据，并借助多模态、人工智能等先进的数据处理方式，开展人因工程研究。随着数字化时代的到来，大量涌现的虚拟技术为解决人因工程研究中的环境营造难题提供了新的途径。通过探讨新型人机环关系，我们更加注重设计的信息呈现方式、行为反馈的宜人性表达，实现人机环的良性互动。这一努力旨在有效缓解由人的操作和认知带来的不可避免的压力问题，确保用户能够准确感知系统的态势，从而保障系统的顺畅运行。

虚拟现实 (virtual reality, VR)、增强现实 (augmented reality, AR)、混合现实 (mixed reality, MR) 等技术的进步，能够为研究营造所需的环境，并实时对环境进行光照、颜色、布局、纹理等方面的调整。在虚拟的环境中，我们可以搭建房间、驾驶室、车厢，乃至地铁站、工厂流水线、空间站、航站楼等复杂环境。随着技术的不断发展，体验也越来越真实，不仅涵盖视觉、听觉，还扩展到嗅觉、触觉等，通过系统性的构建有效增加沉浸感。在这种环境中展开人因工程研究，能够更好地控制实验条件，替代部分真实环境的搭建，降低成本，缩短周期，提高效率，特别是一些复杂空间的虚拟搭建会比实际场景的搭建更加便利。此外，如果在增强现实技术的基础上增加实际的交互感知，构建人一信息一物理三元虚拟融合系统，可完善人因工程研究规范与测评技术，形成量化标准，将定性问题转化为可参考的定量指标，形成主客观结合、定性定量综合集成的人因评价标准。该系统可以解决人作为人因工程的主要研究对象，在面对不同作业需求、新型系统和复杂问题时，产生的心理变化、认知思考和决策执行能力等方面的多样性及差异性，并提供有效的解决方案。

沉浸式虚拟现实显示系统 (cave automatic virtual environment, CAVE)，可以通过高分辨率的立体成像技术、计算机图像处理技术、声场还原技术，以及其他模拟技术，产生完全沉浸的虚拟环境，如图 1.33 所示。例如，在沉浸式虚拟现实显示系统中，对乘客通过舷窗观察机身外部时的视野效果进行舒适性评估，获取观察者对不同舷窗模型的主观舒适性评价并开展对比分析，以获得最佳舒适度的客舱舷窗设计特征；选取合理的人体尺寸、座椅尺寸，确定合适的视野范围，并设计舷窗尺寸和位置，使乘客在垂直平面和水平面均有较舒适的外部视角，如图 1.34 所示。



图 1.33 沉浸式虚拟现实显示系统



图 1.34 观察者测试舷窗舒适性

当前的智能时代展现出“技术提升+应用开发+以人为中心”的特征。针对新科技时代，围绕人工智能与人之间的关系的新型人因工程学基础理论框架尚未建成，这是亟待解决的问题。智能人因工程学作为人因工程学领域的研究前沿，近年来随着以人工智能、机器人、生物信息，以及数据科学等为代表的新科技革命的兴起，正在迅速发展成io多学科高度融合交叉的科学。这种新型的高度融合的人机关系需要在同一空间下让机器逐渐具备人类的感知、学习、思考、自适应及决策能力，通过与人类大脑逻辑思维及应变能力的结合，使“机器”能够充分发挥其快速、准确、耐疲劳等机械性能优势。人与机两者之间优势互补，以自然、安全的方式进行交互，共同协作完成设定的目标方案。人工智能呈现出深度学习、跨界融合、人机协同、群智开放等一系列特征。因此，建立新一代人工智能基础理论体系，实现人机协同增强智能，成为人工智能发展的重点之一。

伴随人工智能、大数据等新兴技术的发展，新一代人机交互技术更加强调人机共融的理念。然而，在智能时代背景下，人机共融技术研究正处于初级阶段，在未知动态环境感知能力提升、人机协作安全性提升、结构与机构技术的提升，以及人机交互技术智能化发展等方面仍面临挑战，未来在技术研发、理论研究与公众意识等方面仍有很长的路要走。因此，需要不同领域共同配合来实现前沿领域的交叉融合，突破目前人机共融相关技术瓶

颈，探究其未来技术发展的创新要素，加快新型人机环系统在各领域的融合应用。

随着人工智能的迅猛发展，智能传感监测、智能虚拟现实模拟、计算机数值仿真、行为智能观察分析、数据信息处理与算法等领域迅速发展。在新时代背景下，人因工程学的研究理论框架和研究路径需要随着时代的发展而改变，需要考虑新型人机环关系的构建、相关心理学理论的应用、人机交互设计标准开发、现有人因学科方法的改进，以及人工智能研发的参与。人工智能的发展策略应该聚焦于实现人类与机器智能的优势互补，将人的作用有机融入新型人机环系统中，从而催生出更强大、更具可持续性的人机混合增强智能。