

清华大学汽车工程系列教材

汽车人机工程学

Automotive Human-machine Engineering

袁泉 编著
Yuan Quan

清华大学出版社

Automotive
Human-machine Engineering

清华大学汽车工程系列教材

汽车人机工程学

Automotive Human-machine Engineering

袁泉 编著

Yuan Quan

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书全方位呈现了人机工程学的基本理论和设计方法及其在汽车设计领域的具体应用,从人的因素出发,涵盖人体的几何尺寸、人体的机能特性,进而介绍人机界面设计、作业空间与环境设计,最后聚焦汽车人机工程设计。内容以人机界面设计为重,针对人一机—环境系统,探讨改善影响人的安全、健康、舒适、效率等方面的因素。让读者了解有关人机工程学的思想与方法,并进一步提高有效运用人机工程的科学方法解决实际设计与分析中具体问题的能力。本书参考引用了人机工程相关的最新国家标准,并探讨汽车的智能化和电动化给人机工程设计带来的新变化。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

汽车人机工程学/袁泉编著. —北京:清华大学出版社,2018

(清华大学汽车工程系列教材)

ISBN 978-7-302-51752-8

I. ①汽… II. ①袁… III. ①汽车工程—人一机系统—高等学校—教材 IV. ①U461

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 271426 号

责任编辑:许 龙

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 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:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

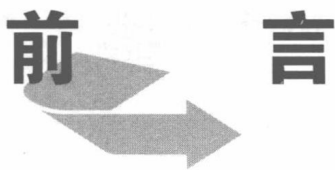
开 本:185mm×230mm 印 张:13.5 字 数:293千字

版 次:2018年10月第1版 印 次:2018年10月第1次印刷

定 价:36.00元

产品编号:074174-01

前 言



人机工程学是一门综合性很强的新兴学科。它是从人的生理和心理特点出发,研究人、机、环境三者之间的相互关系和相互作用的规律,以期优化整个人—机—环境系统的交叉学科。人机工程学理论思想的重要性在汽车及交通工程领域的设计、研究、开发工作中最能得到充分体现。汽车人机工程学是人机工程的理论与方法在汽车工程学科和领域中的具体应用。

“以人为本”已成为当前工程设计的基本思路。人机工程学的研究发展及其在车辆工程领域的实际应用,是“以人为本”的具体表现,对于改善车内乘员的安全性和舒适性、提升交通工具的宜人性和运行效率,都有着明显的促进作用。当前,随着车辆智能化和自动化的不断发展,人机结合、人机共驾、人工智能在汽车人机工程中的应用愈加重要,也为人机工程学增添了新的前沿课题方向和研发挑战。

广大工科专业的本科生、研究生、学者和研发人员,通过人机工程学的学习,可以掌握人机工程的基本理论思想和设计方法,从而在各种工程领域的设计、实际运用和研究开发过程中,注重考虑以人为中心、人—机—环境三者之间有机结合的系统工程思想的应用,在未来的科研、设计和技术开发工作中发挥作用。

清华大学的“人机工程学”课程是主要面向车辆工程专业车身设计方向本科学士生开设的一门专业基础课。经过多年的教学积累,编者总结汇编了这本适合于车辆工程专业本科生使用的《汽车人机工程学》教材,其中包含了人机工程学的基本原理、研究和设计方法,以及重点面向车辆工程、交通工程等领域的基础理论和应用案例,内容较全面,容量和难度适中。

在本书的编撰过程中,参阅了大量的文献资料,考虑了专业特点和实际需求,并结合了国内外最新相关标准和研究成果。全书共分为6章,分别为人机工程学概述;人体尺寸及其应用;人体的机能特性;人机界面设计;作业空间与环境设计;汽车人机工程设计。每章前有引言导入和知识点归纳,每章后附有适量的习题供课后选做。

感谢历年参加清华大学人机工程学课程学习的同学们在上课过程中对讲义提出的建议,以及完成的作业作品成为后续教学的宝贵素材。感谢覃川洲、李垚君、张书语、程雪菲、

符升迁、王勇皓、张宇、冯超、赵俊玮等同学为本教材制作的图片和提供的资料。

感谢本书引用的参考文献作者们提供的丰富的素材来源。特别感谢人机工程专家——中国农业大学周一鸣教授,其关于车辆人机工程的著作和成果为本书的内容提供了经典的理论基础和重要参考。

因编者水平所限,本书内容中难免有错误、疏漏或不足之处,恳请各位专家和广大读者指正。

作 者

2018年5月于清华园

目录



第 1 章 人机工程学概述	1
引言 人机工程无处不在	1
1.1 人机工程学的研究内涵	2
1.1.1 人机工程学的定义	2
1.1.2 人机工程学的研究内容	4
1.2 人机工程学的发展历程	5
1.2.1 人机工程学发展简史	5
1.2.2 人机工程学在我国的发展	8
1.3 人机工程学的基本概念	9
1.3.1 人—机系统	9
1.3.2 人—机界面	9
1.3.3 人—机关系	10
1.3.4 人—机交互	10
1.4 人机工程学的研究方法	11
1.4.1 实际观察法	11
1.4.2 实际调查法	11
1.4.3 心理测验法	11
1.4.4 统计研究法	12
1.4.5 实际测量法	12
1.4.6 试验研究法	12
1.4.7 仿真研究法	13
1.4.8 系统分析法	17
1.5 人机工程学的应用	17
1.5.1 人机工程学的应用领域	17

1.5.2	机器设计中的人体因素	18
1.5.3	交通与汽车工程中的人机工程问题	18
第2章	人体尺寸及其应用	22
引言	人体所需要的空间	22
2.1	人体尺寸概述	23
2.1.1	人体尺寸测量简史	23
2.1.2	我国成年人的人体结构尺寸	24
2.1.3	我国成年人的人体功能尺寸	26
2.1.4	未成年人和老年人的人体尺寸	26
2.2	人体尺寸的特点	27
2.2.1	人体尺寸的空间特点	27
2.2.2	人体尺寸的时代特点	28
2.2.3	人体尺寸的统计特征	29
2.3	人体尺寸的应用	30
2.3.1	产品尺寸设计的分类	30
2.3.2	满足度	31
2.3.3	设计界限值的选择	32
2.3.4	人体尺寸测量数据的修正	33
2.3.5	产品功能尺寸的确定	34
2.3.6	人体尺寸在车身设计中的应用	35
2.4	人体尺寸数据的测量	35
2.4.1	人体测量的分类	35
2.4.2	人体测量的参照系	36
2.4.3	人体测量的项目和方法	36
2.4.4	人体尺寸的间接计算方法	37
2.4.5	人体尺寸的相关性	39
2.5	人体模型	39
2.5.1	人体模型的分类	39
2.5.2	二维人体模板	40
2.5.3	三维人体模型	42
2.5.4	人体模型的应用	43
第3章	人体的机能特性	47
引言	关注人的感知觉	47

3.1 人的感知觉特性	48
3.1.1 感觉和知觉	48
3.1.2 感觉的基本特性	50
3.1.3 知觉的基本特性	51
3.2 人的神经系统	54
3.2.1 神经系统的组成	54
3.2.2 脑的机能	54
3.2.3 反射活动的规律	55
3.3 人的信息传递	56
3.3.1 信息与信息量	56
3.3.2 人的信息处理系统模型	57
3.3.3 信息输入显示器	58
3.3.4 信息流模型	59
3.3.5 影响信息传递的主要因素	60
3.3.6 人的反应时间	62
3.4 人的视觉特性	66
3.4.1 视觉器官的功能和结构	66
3.4.2 视觉特性	70
3.5 人的听觉特性	77
3.5.1 听觉器官	77
3.5.2 听觉特性	78
3.5.3 听觉信息传递装置	80
3.6 人的皮肤感觉特性	81
3.6.1 触觉	81
3.6.2 温度觉	86
3.6.3 痛觉	86
3.7 人的其他感觉特性	86
3.7.1 人的本体感觉	86
3.7.2 人的味觉和嗅觉	87
3.8 人的生物力学特性	88
3.8.1 人体运动系统	88
3.8.2 骨骼肌的特性	93
3.8.3 人体的出力	93
3.8.4 人体动作的灵活性与准确性	97

第 4 章 人机界面设计	100
引言 身边的人机界面	100
4.1 显示装置概述	101
4.1.1 显示方式的类型	101
4.1.2 视觉显示装置的功能和类型	102
4.2 仪表设计	103
4.2.1 刻度盘设计	104
4.2.2 刻度和刻度线设计	105
4.2.3 文字符号设计	106
4.2.4 指针设计	109
4.3 仪表盘设计	110
4.3.1 仪表盘的空间位置	111
4.3.2 仪表的分区布置	111
4.3.3 仪表的照明	112
4.3.4 电动汽车仪表盘	113
4.4 信号灯与图形标志设计	114
4.4.1 信号灯设计	114
4.4.2 图形标志设计	116
4.5 操纵装置概述	116
4.5.1 操纵装置的类型	117
4.5.2 操纵装置设计的人机工程问题	118
4.6 操纵装置设计	128
4.6.1 手控操纵装置的设计	128
4.6.2 脚控操纵装置的设计	133
第 5 章 作业空间与环境设计	136
引言 舒适的车内空间	136
5.1 基本设计原则	137
5.1.1 人机工程原则	137
5.1.2 人体尺度的应用	138
5.1.3 作业空间范围	139
5.2 作业空间布置设计	141
5.2.1 作业空间的布置	141
5.2.2 作业空间的设计	142
5.3 工作台设计	146

5.4	座椅设计	147
5.4.1	舒适坐姿的生理特征	148
5.4.2	工作座椅的设计	151
5.5	环境设计	154
5.5.1	光环境设计	154
5.5.2	热环境设计	157
5.5.3	声环境设计	159
5.5.4	振动环境设计	161
5.5.5	空气环境设计	164
5.6	作业空间设计评价	164
5.6.1	设计评价方法	165
5.6.2	评价步骤	165
5.6.3	作业空间的设计评价	165
第 6 章	汽车人机工程设计	168
引言	汽车人机工程设计内涵	168
6.1	汽车设计用人体模型	170
6.1.1	汽车用 H 点三维人体模型的结构	170
6.1.2	汽车用 H 点三维人体模型的用途	171
6.1.3	H 点二维人体模板	172
6.1.4	数字化人体模型	172
6.2	汽车驾驶员的手伸及界面	173
6.2.1	手伸及界面的含义	173
6.2.2	手伸及界面的特点	174
6.2.3	手伸及界面研究工具	175
6.3	汽车驾驶员的眼椭圆	175
6.3.1	汽车驾驶员眼椭圆的概念	175
6.3.2	汽车驾驶员眼椭圆的发展过程	176
6.3.3	A 类车、行程可调节座椅眼椭圆	177
6.3.4	A 类车、固定座椅眼椭圆	182
6.3.5	B 类车眼椭圆	183
6.3.6	眼椭圆的理论解释	184
6.3.7	眼椭圆的应用	186
6.4	汽车座椅静态舒适性设计	187
6.4.1	汽车座椅概述	187

6.4.2	驾驶员静态舒适性	189
6.4.3	静态舒适性的结构要素	189
6.4.4	座椅静态舒适性设计	190
6.4.5	相关法规标准	190
6.4.6	汽车座椅发展设想	191
6.5	汽车驾驶室作业空间设计	192
6.5.1	基本设计要点	192
6.5.2	常用设计工具与标准	193
6.6	汽车车身人机工程设计	195
6.6.1	SAE 相关标准	195
6.6.2	车身室内人机工程布置设计	195
6.6.3	车身室内居住性评价试验	198
6.7	自动驾驶汽车人机工程设计探讨	199
6.7.1	自动驾驶汽车概述	199
6.7.2	自动驾驶汽车的人机关系	200
6.7.3	自动驾驶汽车的人机工程设计	201

参考文献	204
------------	-----

第1章

人机工程学概述

引言 人机工程无处不在

人机工程的发展史,可以追溯到原始社会,我们的祖先学会了制造石器,并且积累了许多经验,以此在狩猎、捕鱼等活动中逐渐获得主动,适应了大自然,提高了生存本领。那时人和工具及周围环境之间的关系非常朴素,外部世界还有太多的未知等待人类去探索。很长一段时间,人机工程的发展非常缓慢,在我国古代历史长河中也曾涌现出指南车、针灸铜人等重要标志性发明,而到了近代,随着蒸汽机、电机的产生及电子技术的发展,从机械化到电子化、自动化,加速了人机工程发展的进程,从人主动适应机器到机器适应人,再到人机结合,人机之间的关系发生了质的飞跃,“人性化”成为各种产品设计所遵循的目标。

看一看身边的“人机工程”:小到枕头、开瓶器,大到汽车、客运飞机,人们的衣食住行总会遇到有关舒适、安全和方便的问题,比如两种最典型的场景:驾驶和体育运动。

例1: 未来某天,当你驱车行驶在高速公路上,系好安全带半躺在座椅上,听着优美的音乐,准备小憩一会儿的时候,你的同伴——辛勤为你服务的无人驾驶系统会帮你把座椅调整到最舒适的位置,让你放心地休息一下!你正在体验的舒适的车内环境还包括随时调整座椅、遮阳板、空调和收音机音量的过程,这正是一次很真实的人机工程体验。

例2: 现实某天,行车通过高速公路入口收费站的时候,技术娴熟的司机会让乘客感觉不到他的刹车,从容自如地打开车窗,同时将接过的票据放在前方人机界面最方便的位置,等待出口交费时可以迅速拿到。整个过程又是一个人机结合的过程,如果这个过程很协调,人造机、机宜人,驾驶员会完成一系列从容的动作。反之,如果一个毛手毛脚的新司机突然减速、摇车窗,遍寻不到那张票据,就会引起一阵慌乱,引来后面车辆急促的笛声。

例3: 各种健身和运动器械需要适应人的需要,就连游泳时人与水之间的作用也可视为一种人机系统。一个高水平的选手,他的姿势与水之间的结合达到了最协调、最适宜的程度,阻力最小、效率最高,就像鱼和水一样默契,构成了一个完美高效的人机系统。

例4: 你爱打保龄球吗?看一下哪个球的重量最适合你,球体上面的三个握孔是否适合

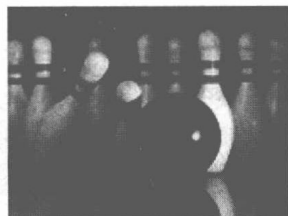
你的手指把握,而在设计保龄球的时候又是怎样考虑人体尺寸的呢?

其实,生活中的各种人机工程学问题比比皆是,希望能够引起大家的注意,尤其车辆及交通工程方面,更是与每个人的安全出行和舒适驾乘息息相关。应树立“以人为本”的设计理念和办法,发挥我们的想象和灵感,让人类生活得更舒适、更自如、更轻松!

基本要求:

- (1) 熟悉人机工程学的定义和基本概念;
- (2) 掌握人机工程学的研究方法;
- (3) 了解人机工程学的发展历程和应用领域。

知识点: 人机工程学的定义、研究内容、发展历程; 人机工程学的基本概念; 人机工程学的研究方法; 人机工程学的应用领域。



1.1 人机工程学的研究内涵

人机工程学 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、方法和技术发展起来的新兴交叉学科。

1.1.1 人机工程学的定义

目前关于人机工程学的名称林林总总,定义五花八门,如表 1-1、表 1-2 所示。

表 1-1 人机工程学名称

国家及地区	名 称
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(engineering psychology)
日本	人间工学
中国	人机工程学、人体工程学、工效学、人类工效学、人因工程学、工程心理学等
其他	人机控制学、机械设备利用学、宜人学

ergonomics 的原意是“人的出力正常化”或“人的工作规律”。关于人机工程学的定义,世界各国的专家也有各自的看法,但其基本内涵大体相近(表 1-2)。

表 1-2 人机工程学的定义列举

定义者	著作	定义内容
W. E. Woodson		人机工程学研究的是人与机及其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
E. J. McCormick 和 M. S. Sanders	<i>Human Factors in Engineering and Design</i>	“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-Ibert 等	<i>Ergonomics—How to Design for Ease and Efficiency</i>	“为适当地设计人的生活和工作环境而研究人的特性”以及“工作的宜人化”
日本人机工程专家		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,让机器、工作、环境、起居条件等和人体相适应的科学
国际人机工程学会 (International Ergonomics Association, IEA)		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
封根泉	《人体工程学》	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
赖维铁	《人机工程学》	运用生理学、心理学和其他有关学科知识,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
曹琦	《人机工程》	研究并优化人机系统的科学
周一鸣	《车辆人机工程学》	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,以优化人一机—环境系统的一门学科
	《中国企业管理百科全书》	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
	《辞海》	运用人体测量学、生理学、心理学和生物力学以及工程学等学科的研究方法和手段,综合地进行人体结构、功能、心理以及力学等问题研究的学科

我国著名科学家钱学森曾经这样阐述：“人机工程是一门非常重要的应用人体科学技术，它专门研究人和机器的配合，考虑到人的功能能力，如何设计机器，使得人在使用机器时整个人和机器的效果达到最佳状态。”这一论断比较全面地揭示了人机工程学最初的宗旨。钱学森在 20 世纪 90 年代即提出了“人机一体化”的概念，并预言 21 世纪的机械工程将是“人机一体化”的时代，事实证明这种发展趋势有一定的必然性。

1.1.2 人机工程学的研究内容

人机工程学的研究对象是“人一机—环境系统”，简称“人机系统”。因此，人机工程学既要研究人、机、环境各因素的属性，更要着重研究人一机—环境系统的总体属性，以及人、机、环境之间的相互关系的规律。

人机工程设计的对象是人机界面，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、工作的舒适、安全、高效。

总体上，人机工程学由两个学术研究方向构成：

- (1) 通过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。

人机系统的构成包括人、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。由此也决定了人机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。

人机工程学的研究内容列举见表 1-3。

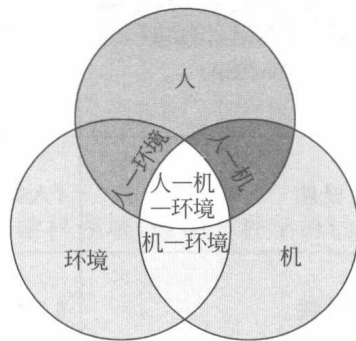


图 1-1 人—机—环境系统关系图

表 1-3 人机工程学的研究内容

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

续表

研究方向	研究内容列举
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,人机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—环境系统的使用方便性、安全性和舒适性的学科。

人机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。

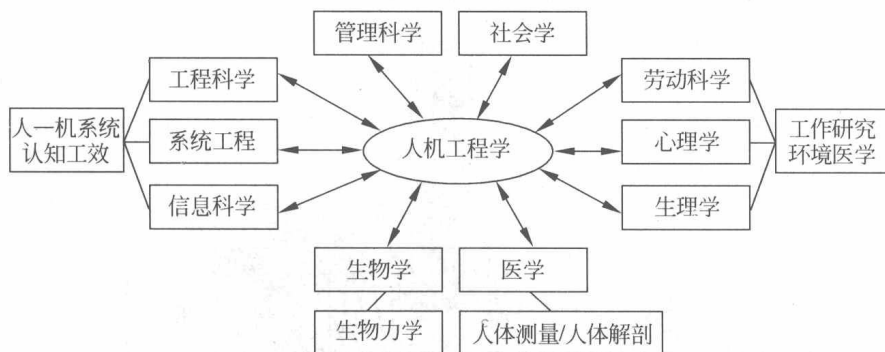


图 1-2 人机工程学与相关学科的关系

1.2 人机工程学的发展历程

1.2.1 人机工程学发展简史

人机工程学的发展伴随着人类社会的发展,从远古的缓慢发展到现代的飞速发展,越来越依赖于工业的进步。

1. 原始人机关系——人与器物

自从有了人类社会,就有了最原始的人机关系——人与器物之间的关系。比如原始人类狩猎用的棍棒、石块,其尺寸、重量总是与人的体能大致相适应,类似的各种现实问题自然也形成了一些朴素的常识和规范。

2. 古代人机关系——经验的人机工程学

随着人类社会的发展,人创造和使用的器物 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。

大约 2400 多年前的战国初期,我国出现了第一部科技汇编名著《考工记》,其历史与科

学价值名闻中外。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深入、精彩的论述,比如兵器握柄的形状、弓箭的制作和使用以及掘土工具“耒”(图 1-3)等。战国时期的《黄帝内经》中,对人体尺寸的测量方法、测量部位、测量工具等有着详细的说明。指南车的发明,是经验人机工程学的典范,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。明代《天工开物》中记录的作业场景插图非常丰富,其中反映出对手工劳动时的一些刻意设计,如纺织、印染中的工具设备与人体尺寸相适应(图 1-4),使得人的工作姿势自然舒展、方便操作,这是朴素的人机工程思想。

经验的人机工程学自产生起一直延续到第一次产业革命时期。



耒 西周

图 1-3 西周的耒

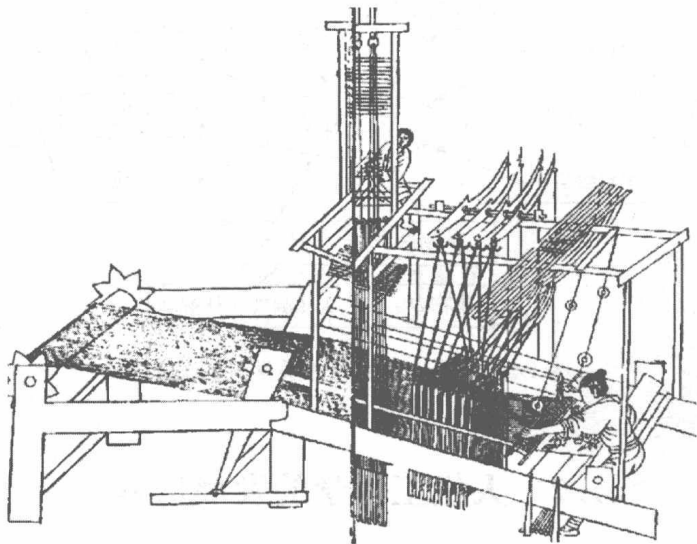


图 1-4 古代的纺织机械

3. 近代人机关系——科学人机工程学

1) 第一次产业革命时期(1750—1890 年)

第一次产业革命以蒸汽机的广泛使用为主要标志,以机器为主体的机械化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,该项研究可以说是科学人机工程学的开端。

2) 第二次产业革命时期(1870—1945 年)

第二次产业革命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