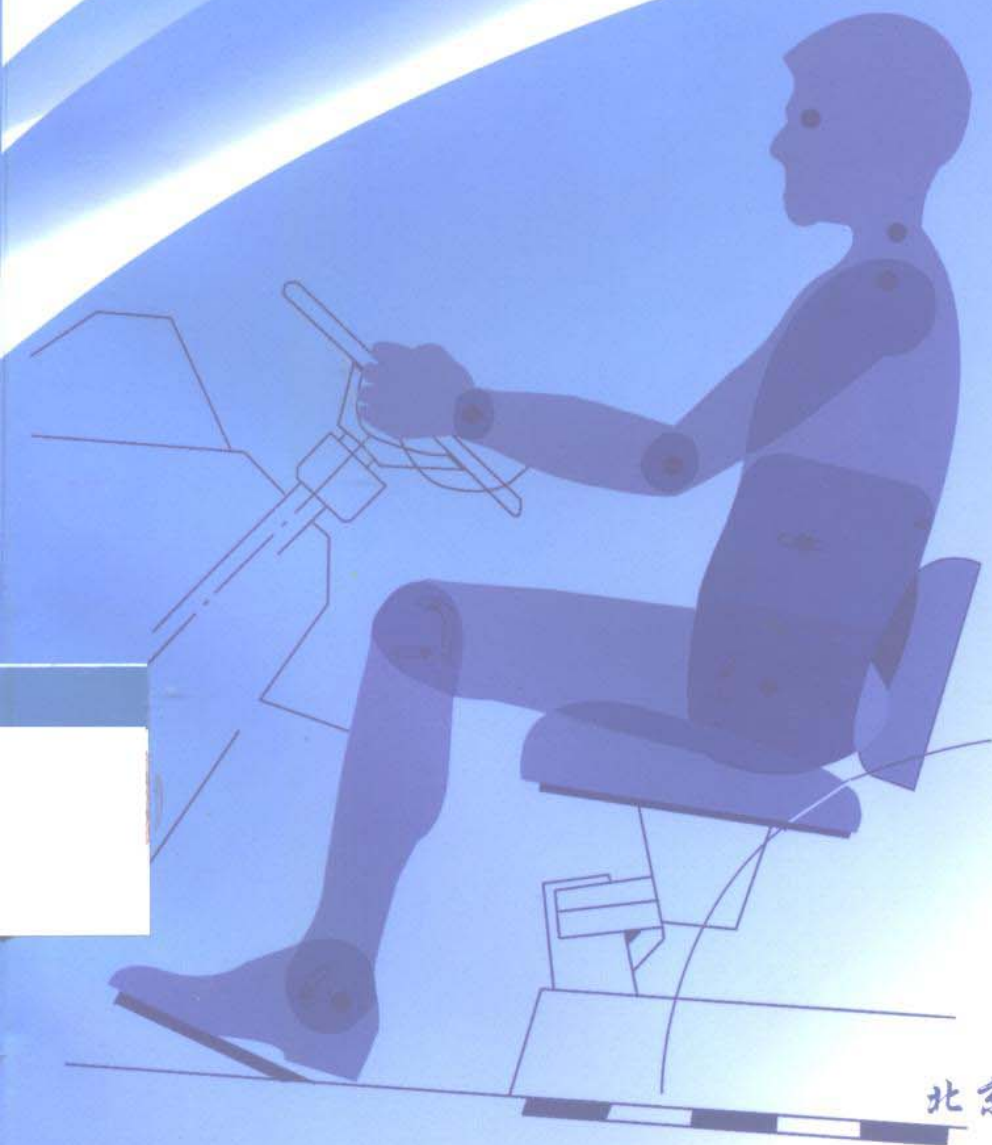


周一鸣 毛恩荣 编著

# 车辆 人机 工程学



北京理工大学出版社

U46  
16

00011480

# 车辆人机工程学

周一鸣 毛恩荣 编著  
阮宝湘 审校

北京理工大学出版社

## 内 容 简 介

本书共分十二章,第一章至第七章的内容为人机工程学概论、人体参数、人的感知响应特性、显示装置、操纵装置、作业空间设计及人机系统,主要系统阐述人机工程学的基本理论与方法;第八章至十二章的内容为车辆碰撞事故中车内乘员的人体保护技术、车辆行驶中车内乘员的乘坐舒适性、车辆驾驶员的驾驶适宜性、车辆噪声控制及车辆驾驶室和车厢内的小环境气候,着重研究车辆设计和使用中的重点人机工程专题。全书突出人-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和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、高效的优化目标。

本书适合与车辆工程学科有关的工厂企业、设计单位、高等院校、科研院所、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、高级专业科技人员阅读、参考。也可作为高等院校中车辆工程、机械工程、军用车辆、农业机械化、工程机械、交通工程等各相关专业的博士生、硕士生、本科生的人机工程课程的教学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

车辆人机工程学/周一鸣,毛恩荣编著. —北京:北京理工大学出版社,1999.12  
ISBN 7-81045-559-1

I. 车… II. ①周… ②毛… III. 人-汽车体系 IV. U46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 12814 号

责任印制:刘京凤 责任校对:郑兴玉

北京理工大学出版社发行  
(北京市海淀区白石桥路7号)  
邮政编码 100081 电话(010)68912824  
各地新华书店经售  
北京地质印刷厂印刷

\*

787 毫米×1092 毫米 16 开本 27.75 印张 643 千字  
1999 年 12 月第 1 版 1999 年 12 月第 1 次印刷  
印数:1—3000 册 定价:50.00 元

※图书印装有误,可随时与我社退换※

# 前 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,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。其研究成果最终落实到新产品的研究开发上,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效益和经济效益。

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。

本书适合与车辆工程学科有关的工厂企业、设计单位、高等院校、科研院所、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。也可作为高等院校中车辆工程、机械工程、军用车辆、农业机械化、工程机械、交通工程等各相关专业的博士生、硕士生、本科生的人机工程课程的教学参考书。

全书共分十二章,第一章至第七章主要系统阐述人机工程学的基本理论与方法,第八章至第十二章着重研究车辆设计和使用中的重点人机工程专题。第一章至第九章由周一鸣教授撰写,第十章至第十二章由毛恩荣教授撰写。朱勇华研究员、信世强副研究员为本书提供了许多有价值的研究资料和数据。周一鸣教授指导的历届研究生林建、李朝前、吴陵生、邹剑林、邵万鹏、林洁、谭德荣、李树友、吴元火、王永捷等同学参加过有关课题的研究工作,为本书的创作直接作出过不同程度的贡献。在读博士生宋正河、顾文艳同学为本书制作了全部插图,在读博士生宋正河、顾文艳、袁泉、张旭同学帮助作者查阅、收集了部分文献资料。作者在此向朱勇华研究员、信世强副研究员以及林建博士等同学表示由衷的感谢。同时,也向本书中所引用的全部参考文献的作者们表示深切的谢意。

北京理工大学阮宝湘教授十分细致地审阅了全书,提出了许多宝贵的建议,并且向作者提供了一些有价值的参考资料。作者在此向阮宝湘教授致以特别的谢意!

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车辆工程学院206信箱

**邮政编码:**100083

**电子信箱:**zym@public.bta.net.cn

**编 著 者**

1999年4月

## 出版说明

为贯彻汽车工业产业政策,推动和加强汽车工程图书的出版工作,中国汽车工程学会成立了“汽车工程图书出版专家委员会”。委员会由有关领导机关、企事业单位、大中专院校的专家和学者组成,其中心任务是策划、推荐、评审各类汽车图书选题。图书选题的范围包括:学术水平高、内容有创见、在工程技术理论方面有突破的应用科学专著和教材;学术思想新颖、内容具体、实用,对汽车工程技术有较大推动作用,密切结合汽车工业技术现代化,有高新技术内容的工程技术类图书;有重要发展前景,有重大使用价值,密切结合汽车工程技术现代化需要的新工艺、新材料图书;反映国外汽车工程先进技术的译著;使用维修、普及类汽车图书。

出版专家委员会是在深化改革中,实行专业学会、企业、学校、研究所等相互结合,专家学者直接参与并推动专业图书向高水平、高质量、有序发展的新尝试。它必将对活跃、繁荣专业著作的出版事业起到很好的推动作用。希望各位同仁、专家积极参与、关心、监督我们的工作。限于水平和经验,委员会推荐出版的图书难免存在不足之处,敬请广大同行和读者批评指正。

本书由周一鸣、毛恩荣编写,阮宝湘主审,经专家委员会评审通过、推荐出版。

**汽车工程图书出版专家委员会**

# 目 录

## 第一章 人机工程学概论

- § 1-1 人机工程学的研究内容 ..... ( 1 )
- 1.1 人机工程学的定义 ..... ( 1 )
- 1.2 人机工程学的基本概念 ..... ( 2 )
- 1.3 人机工程学的研究对象 ..... ( 4 )
- 1.4 人机工程学的研究内容 ..... ( 4 )
- § 1-2 人机工程学的发展简史 ..... ( 7 )
- § 1-3 机器设计中的人体因素 ..... ( 10 )
- § 1-4 车辆设计和使用中的人机工程  
问题 ..... ( 11 )
- § 1-5 未来车辆人机工程学面临的新  
课题 ..... ( 12 )

## 第二章 人体参数

- § 2-1 人体测量 ..... ( 14 )
- 1.1 人体测量的分类 ..... ( 14 )
- 1.2 人体测量的参照系 ..... ( 14 )
- 1.3 人体测量的项目和测量方法 ..... ( 15 )
- 1.4 人体测量数据的统计特征 ..... ( 16 )
- § 2-2 人体尺寸 ..... ( 16 )
- 2.1 我国成年人的身体结构尺寸 ..... ( 16 )
- 2.2 我国成年人的身体功能尺寸 ..... ( 21 )
- 2.3 其它国家成年人的身体尺寸 ..... ( 23 )
- 2.4 人体参数的计算方法 ..... ( 24 )
- § 2-3 人体测量数据的应用 ..... ( 28 )
- 3.1 产品尺寸设计的分类 ..... ( 28 )
- 3.2 满足度 ..... ( 29 )
- 3.3 设计界限值的选择 ..... ( 30 )
- 3.4 人体尺寸测量数据的修正 ..... ( 30 )
- 3.5 产品功能尺寸的确定 ..... ( 31 )
- 3.6 人体身高尺寸在设计中的应用  
方法 ..... ( 32 )
- § 2-4 人体模型 ..... ( 32 )
- 4.1 二维人体模板 ..... ( 33 )
- 4.2 作业分析用人体模型 ..... ( 36 )
- 4.3 人机系统匹配评价用人体模型 ..... ( 39 )
- 4.4 汽车用 H 点三维人体模型 ..... ( 42 )
- 4.5 车辆碰撞仿真分析用人体模型 ..... ( 44 )
- 4.6 汽车碰撞试验用人体模型 ..... ( 46 )
- 4.7 图形图像技术在人体参数测量中  
的应用 ..... ( 47 )

## 第三章 人的感知响应特性

- § 3-1 人的感知响应过程 ..... ( 49 )
- 1.1 感觉和知觉 ..... ( 49 )
- 1.2 感觉的基本特性 ..... ( 50 )
- 1.3 知觉的基本特性 ..... ( 51 )
- § 3-2 人的视觉特性 ..... ( 53 )
- 2.1 视觉器官的功能和基本结构 ..... ( 53 )
- 2.2 视觉特性 ..... ( 56 )
- 2.3 色彩 ..... ( 64 )
- § 3-3 人的听觉特性 ..... ( 74 )
- 3.1 听觉器官的功能与人耳的基本  
结构 ..... ( 74 )
- 3.2 人的听觉特性 ..... ( 74 )
- § 3-4 人的皮肤感觉特性 ..... ( 77 )
- 4.1 触觉 ..... ( 78 )
- 4.2 温度觉 ..... ( 81 )
- 4.3 痛觉 ..... ( 81 )
- § 3-5 人的本体感觉特性 ..... ( 81 )
- 5.1 平衡觉 ..... ( 81 )
- 5.2 运动觉 ..... ( 83 )
- § 3-6 神经系统 ..... ( 83 )
- 6.1 神经系统的基本结构 ..... ( 83 )
- 6.2 脑的机能 ..... ( 83 )

6.3 反射活动的规律 .....	(84)	7.5 影响信息传递的主要因素 .....	(91)
6.4 中枢对感觉传入冲动的反馈控制 .....	(86)	7.6 人的反应时间 .....	(93)
6.5 神经系统对躯体运动的调节 .....	(86)	§ 3-8 人体运动的生物力学特性 .....	(94)
§ 3-7 人的信息传递理论 .....	(88)	8.1 人体运动系统 .....	(94)
7.1 信息与信息量 .....	(88)	8.2 骨骼肌的力学特性 .....	(98)
7.2 信息输入的途径 .....	(88)	8.3 人体的出力 .....	(103)
7.3 信息输入显示器 .....	(89)	8.4 人体动作的灵活性与准确性 .....	(106)
7.4 信息流模型 .....	(90)		

## 第四章 显示装置

§ 4-1 显示装置的类型 .....	(109)	7.1 荧光屏显示器的目标亮度 .....	(126)
1.1 显示方式的类型 .....	(109)	7.2 目标与背景的亮度比 .....	(126)
1.2 视觉显示装置的功能和类型 .....	(110)	7.3 分辨率 .....	(127)
§ 4-2 指针式仪表的设计 .....	(111)	7.4 刷新频率 .....	(128)
2.1 刻度盘设计 .....	(111)	7.5 颜色 .....	(128)
2.2 刻度和刻度线设计 .....	(113)	7.6 屏幕大小和位置 .....	(128)
2.3 文字符号设计 .....	(115)	7.7 目标位置指示物 .....	(128)
2.4 指针设计 .....	(117)	§ 4-8 车辆驾驶员的眼椭圆 .....	(129)
2.5 指针式仪表的颜色匹配 .....	(119)	8.1 车辆驾驶员眼椭圆的概念 .....	(129)
§ 4-3 仪表板的总体设计 .....	(120)	8.2 眼椭圆的测定方法 .....	(129)
3.1 仪表板的空间位置 .....	(120)	8.3 眼椭圆的画法和眼椭圆样板 .....	(131)
3.2 仪表板上的仪表排列 .....	(120)	8.4 眼椭圆样板在车身视图上的位置 的确定方法 .....	(131)
3.3 仪表板面的有效认读范围 .....	(121)	8.5 眼椭圆在汽车车身设计中的应用 .....	(132)
§ 4-4 仪表的照明设计 .....	(122)	§ 4-9 汽车后视镜设计 .....	(136)
4.1 仪表照明与周围照明的关系 .....	(122)	9.1 后方视野的评价方法 .....	(136)
4.2 仪表照明的方式 .....	(122)	9.2 对后视镜的基本性能要求 .....	(138)
4.3 仪表照明的强度 .....	(122)	9.3 汽车后视镜新功能的研究和开发 .....	(139)
4.4 仪表照明的颜色 .....	(122)	§ 4-10 改善车辆视认性的途径 .....	(142)
§ 4-5 信号灯设计 .....	(123)	10.1 驾驶室(车身)人机界面 的合理设计 .....	(142)
5.1 信号灯的视距和亮度 .....	(123)	10.2 恶劣天气条件下保持良好视野 的技术措施 .....	(146)
5.2 信号灯的颜色、形状和闪烁频率 .....	(123)	10.3 提高夜间视认性的技术措施 .....	(148)
5.3 信号灯与操纵器和其它显示装置 的协调性 .....	(123)	10.4 装设各种增强视认性 的辅助信号灯 .....	(151)
5.4 信号灯的位置设计 .....	(124)	10.5 高新技术的应用 .....	(152)
5.5 信号灯的编码 .....	(124)		
§ 4-6 图形标志设计 .....	(124)		
§ 4-7 荧光屏显示 .....	(126)		

## 第五章 操纵装置

§ 5-1 操纵器的类型和选择 .....	(154)	§ 5-2 操纵装置设计的人机工程问题 .....	(159)
1.1 操纵器的类型 .....	(154)	2.1 操纵器设计的一般原则 .....	(159)
1.2 操纵器的选择 .....	(155)	2.2 操纵器的形状和式样 .....	(160)
1.3 农用拖拉机的操纵装置 .....	(158)	2.3 操纵器的大小 .....	(160)

2.4 操纵器的布置 .....	(161)	3.1 旋转式操纵装置的设计 .....	(170)
2.5 操纵力和操纵位移 .....	(162)	3.2 移动式操纵装置的设计 .....	(172)
2.6 操纵器的编码 .....	(166)	3.3 按压式操纵装置的设计 .....	(174)
2.7 操纵器与显示器的协调关系 .....	(167)	§ 5-4 脚控操纵装置的设计 .....	(175)
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 .....	(169)	4.1 脚控操纵装置的型式和操纵特点 .....	(175)
§ 5-3 手控操纵装置的设计 .....	(170)	4.2 脚控操纵装置的适宜用力 .....	(177)
		4.3 脚控操纵装置的设计 .....	(177)

## 第六章 作业空间设计

§ 6-1 作业空间设计的原则 .....	(180)	3.1 作业空间的布置 .....	(184)
1.1 作业空间设计的人机工程学原则 .....	(180)	3.2 作业空间的设计 .....	(185)
1.2 作业空间的人体尺度 .....	(181)	§ 6-4 工作台设计 .....	(188)
§ 6-2 作业空间范围 .....	(182)	§ 6-5 工作座椅的静态舒适性设计原理 .....	(188)
2.1 近身作业范围 .....	(182)	5.1 舒适坐姿的生理特征 .....	(189)
2.2 作业场所 .....	(183)	5.2 工作座椅的设计 .....	(192)
§ 6-3 作业空间设计 .....	(184)	§ 6-6 车辆驾驶室的作业空间 .....	(194)

## 第七章 人机系统

§ 7-1 人机系统的功能和类型 .....	(201)	4.2 人机系统设计的概念 .....	(232)
1.1 人机系统的功能 .....	(201)	4.3 对人机系统设计的要求 .....	(234)
1.2 人机系统的类型 .....	(201)	4.4 人机系统设计的内容 .....	(235)
§ 7-2 人机系统的功能分配 .....	(202)	4.5 人机系统设计的程序 .....	(235)
§ 7-3 机械系统人机界面的优化匹配 .....	(203)	4.6 人机系统设计的方法 .....	(238)
3.1 人机界面问题的提出 .....	(203)	4.7 人机系统设计的评价 .....	(242)
3.2 人机界面优化匹配的目标 .....	(204)	§ 7-5 人机系统的数学模型 .....	(248)
3.3 人机界面匹配合理程度 的评价指标 .....	(205)	5.1 人机系统数学模型的概念 .....	(248)
3.4 机械系统人机界面匹配评价 的软件系统 .....	(226)	5.2 人机系统模型的结构 .....	(248)
3.5 机械系统人机界面匹配优度 的试验评价方法 .....	(229)	5.3 人机系统模型的特性 .....	(249)
§ 7-4 人机系统设计 .....	(232)	5.4 人机系统的传递函数模型 .....	(249)
4.1 人机系统设计在机器设计中 的地位和作用 .....	(232)	5.5 人机系统的模糊控制模型 .....	(257)
		§ 7-6 人机系统中人的失误分析 .....	(260)
		6.1 人的失误的定义 .....	(260)
		6.2 人产生失误的原因 .....	(261)
		6.3 克服人的失误的方法 .....	(263)

## 第八章 车辆碰撞事故中车内乘员的人体保护技术

§ 8-1 概 述 .....	(265)	2.2 乘员的生存空间 .....	(271)
1.1 道路交通安全问题 .....	(265)	2.3 约束效率与约束负荷分配 .....	(271)
1.2 车辆的碰撞安全性 .....	(265)	2.4 乘员的减速距离 .....	(271)
1.3 车辆碰撞安全性的主要研究内容 .....	(268)	2.5 约束的展开时间 .....	(272)
§ 8-2 车辆的碰撞行程与乘员 的生存空间 .....	(269)	2.6 乘员的减速攻击率 .....	(272)
2.1 车辆的碰撞行程 .....	(270)	2.7 乘员的最大减速度 .....	(273)
		§ 8-3 车辆主动防撞与乘员人体保护	



的综合技术措施 .....	(273)	6.2 汽车碰撞中人体自我保护最佳姿	态的机理研究 .....	(303)
3.1 主动防撞装置 .....	(274)	6.3 汽车碰撞中人体自我保护最佳姿	态的实现 .....	(305)
3.2 吸能保险杠 .....	(275)	6.4 汽车碰撞中人体自我保护最佳姿	态的仿真分析 .....	(306)
3.3 专门的碰撞能量转化与吸收装置 .....	(276)	6.5 汽车碰撞中人体自我保护最佳姿	态的模型碰撞试验 .....	(306)
3.4 车辆承载吸能结构 .....	(277)	6.6 结论 .....	(307)	
3.5 乘员人体保护装置 .....	(277)	§ 8-7 用于汽车碰撞中人体保护的	内饰吸能材料的研究 .....	(308)
§ 8-4 车辆碰撞事故中车内乘员的		7.1 问题的提出 .....	(308)	
伤害机理与评价指标 .....	(277)	7.2 吸收人体碰撞能量	的理想材料特性 .....	(308)
4.1 头部的伤害机理和伤害标准 .....	(278)	7.3 人体的材料力学特性分析 .....	(309)	
4.2 颈部的伤害机理和伤害标准 .....	(279)	7.4 蜂窝纸板的材料力学	特性试验 .....	(310)
4.3 胸部的伤害机理和伤害标准 .....	(279)	7.5 问题与讨论 .....	(311)	
4.4 下肢的伤害机理和伤害标准 .....	(281)	§ 8-8 拖拉机的翻车防护装置 .....	(312)	
§ 8-5 车辆碰撞事故中车内乘员		8.1 轮式拖拉机翻车事故 .....	(312)	
的保护技术 .....	(282)	8.2 翻车防护装置 .....	(313)	
5.1 车辆乘员室外部的防撞吸能结构 .....	(282)			
5.2 车辆乘员室内部的防撞吸能结构 .....	(286)			
5.3 安全带约束系统 .....	(290)			
5.4 安全气囊约束系统 .....	(296)			
§ 8-6 汽车碰撞中乘员自我保护				
最佳姿态的研究 .....	(303)			
6.1 问题的提出 .....	(303)			

## 第九章 车辆行驶中车内乘员的乘坐舒适性

§ 9-1 概    述 .....	(320)	负荷 .....	(342)	
§ 9-2 路面不平度的随机输入特性 .....	(322)	§ 9-6 拖拉机驾驶员的隔振防护 .....	(344)	
2.1 公路路面不平度的随机输入特性 .....	(322)	6.1 隔振方式 .....	(344)	
2.2 农业地面不平度的随机输入特性 .....	(324)	6.2 对驾驶座椅隔振性能的要求 .....	(352)	
§ 9-3 人体对乘坐振动的反应 .....	(324)	6.3 常规无源隔振座椅悬架系统的	调节方式 .....	(353)
3.1 乘坐振动的机械效应		§ 9-7 拖拉机驾驶座椅结构设计的	人机工程学原理 .....	(356)
——人体的振动特性 .....	(325)	7.1 对驾驶座椅设计的人机工程学	要求 .....	(356)
3.2 乘坐振动的生理效应 .....	(328)	7.2 驾驶座椅结构设计的	人机工程学原理 .....	(356)
3.3 全身振动的病理效应 .....	(329)	§ 9-8 手扶拖拉机的手把振动 .....	(358)	
3.4 乘坐振动的心理效应 ——乘坐振动				
对驾驶员操作能力的影响 .....	(330)			
§ 9-4 人体承受全身振动的评价标准 .....	(332)			
§ 9-5 拖拉机驾驶员承受的乘坐振动				

## 第十章 车辆驾驶员的驾驶适宜性

§ 10-1 车辆驾驶员的驾驶适宜性 .....	(361)	安全性的关系 .....	(363)	
1.1 交通安全问题 .....	(361)	2.1 驾驶员的视觉特性与行车	安全性的关系 .....	(363)
1.2 驾驶适宜性的概念 .....	(361)	2.2 驾驶员的反应特性与行车	安全性的关系 .....	(366)
1.3 事故倾向性 .....	(362)			
§ 10-2 驾驶员的身心素质与行车				

2.3 驾驶员的速度估计能力与行车安全性的关系 .....	(368)	3.3 对驾驶员的素质要求 .....	(375)
2.4 驾驶员的注意品质与行车安全性的关系 .....	(369)	3.4 驾驶适宜性检查项目的筛选 .....	(375)
2.5 驾驶员的个性特征与行车安全性的关系 .....	(371)	3.5 驾驶适宜性检查和评价 .....	(376)
§ 10-3 驾驶适宜性检查 .....	(373)	§ 10-4 驾驶疲劳 .....	(383)
3.1 车辆驾驶过程的特点 .....	(373)	4.1 疲劳的一般概念 .....	(383)
3.2 驾驶工作的特点 .....	(374)	4.2 驾驶疲劳现象 .....	(385)
		4.3 驾驶疲劳的原因 .....	(386)
		4.4 驾驶疲劳的预防 .....	(387)

## 第十一章 车辆噪声控制

§ 11-1 噪声的基本概念 .....	(388)	§ 11-4 车辆的噪声控制 .....	(400)
1.1 噪声及其危害 .....	(388)	4.1 噪声源的控制 .....	(400)
1.2 噪声的物理度量 .....	(389)	4.2 噪声传播途径的控制 .....	(401)
1.3 频带和噪声的频谱 .....	(390)	§ 11-5 排气消声器 .....	(402)
1.4 噪声的主观度量 .....	(391)	5.1 阻性消声器 .....	(402)
§ 11-2 噪声标准 .....	(394)	5.2 抗性消声器 .....	(402)
2.1 听力保护噪声标准 .....	(394)	5.3 阻抗复合消声器 .....	(404)
2.2 环境噪声标准 .....	(395)	5.4 微穿孔板消声器 .....	(404)
2.3 机动车噪声标准 .....	(396)	§ 11-6 车辆驾驶室的声学设计 .....	(405)
§ 11-3 车辆的噪声源和噪声传播 .....	(398)	6.1 车辆驾驶室内噪声的发生机理及传播途径 .....	(405)
3.1 车辆的噪声源 .....	(398)	6.2 车辆驾驶室的声学设计 .....	(405)
3.2 噪声传播途径 .....	(400)		

## 第十二章 车辆驾驶室和车厢内的小环境气候

§ 12-1 人体的热舒适性 .....	(410)	气候参数 .....	(417)
1.1 热环境对人体的影响 .....	(410)	2.3 驾驶室和车厢的通风、采暖、制冷、隔热和密封 .....	(417)
1.2 热环境的主观感觉和评价标准 .....	(413)	§ 12-3 驾驶室对有害物质的隔离作用 .....	(420)
§ 12-2 驾驶室和车厢内的小环境气候参数 .....	(416)	3.1 尘埃 .....	(420)
2.1 拖拉机驾驶室内的小环境气候参数 .....	(416)	3.2 发动机废气 .....	(420)
2.2 汽车驾驶室和车厢内的小环境气候参数 .....	(417)	3.3 其它有害物质 .....	(422)
参考文献 .....	(423)		

# 第一章 人机工程学概论

## § 1—1 人机工程学的研究内容

### 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“人間工学”，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、适度地劳动和用力的规律的一门学科。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的各方面的因素，以便在操作上付出最少能耗而求得最高效率”<sup>[1]</sup>。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”<sup>[1]</sup>。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”<sup>[1]</sup>。E J McCormick 和 M S Sanders 在《Human Factors in Engineering and Design》<sup>[2]</sup>一书中给出人机工程学的简要定义为：“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》<sup>[3]</sup>一书中给出人机工程学的简要定义为：“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”。我国的封根泉在《人体工程学》<sup>[4]</sup>一书中提出：“为了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》<sup>[5]</sup>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》<sup>[6]</sup>一文中指出：“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，求得人在使用机器时整个人和机器的效果达到最佳状态。”曹琦等人在《人机工程》<sup>[7]</sup>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；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”。<sup>[8]</sup>

综上所述，并考虑到环境条件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。

## 1.2 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,有机地吸收和融合各相关学科的理论,不断地完善本学科的基本概念、理论体系、研究方法、技术标准和规范。为了准确地展开人机工程学的基本理论及其在车辆工程领域的应用问题的论述,有必要首先对人机工程学的几个基本概念给出明确的说明。

### 1.2.1 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,尽管在正常运行中不需要人来进行一般性的操作,但是机器的开动、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参数之间的相互关系如图 1-1 所示。

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,一般都是以人为主动的一方,首先是人感受到机器及环境作用于人的感觉器官的信息,由体内传入神经传达到大脑皮层,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之后,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完成人所希望的功能。

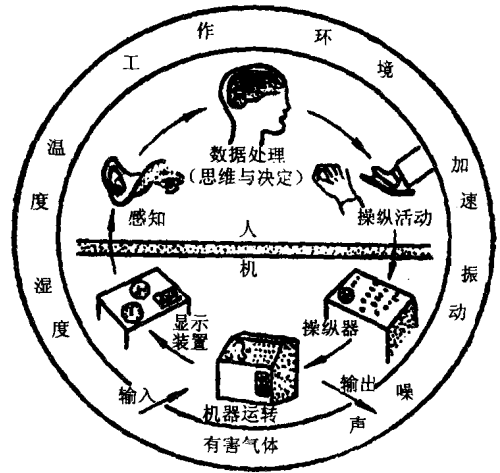


图 1-1 人机系统

### 1.2.2 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、口、身等)向外界传递人发出的信息、物质和能量。因此可以认为,机器及环境中凡是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三类:

(1) 第一类 控制系统人机界面 如汽车驾驶系统、飞机驾驶系统、调度系统等。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。

(2) 第二类 直接作用型人机界面 如座椅、家具、服装、手工具等。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。

(3) 第三类 间接作用型人机界面 如照明、振动、噪声、小环境气候及生命保障条件等。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,甚至出现各类人机界面交叉影响的情况。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、手把、按钮属于第二类人机界面,而室内小环境气候及振动、噪声等则属于第三类人机界面。座椅、振动、噪声会影响人对显示-控制系统的操纵能力,而错误的控制器设计又会使人的作业条件恶化,甚至影响系统安全。可见人机界面之间有着非常复杂的关系。

### 1.2.3 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在空间和时间上受到某种限制,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。为了适应这种情况,就要求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,但机宜人與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,也包括平时的教养和习惯,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與人适机是相对的,首先是机宜人的程度问题,即“机”能满足人的因素的程度。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,系统的可靠性还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。但是,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,人由直接控制机器,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。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。

### 1.3 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,因为广义而言,影响人机系统的环境条件,如作业空间及场所、物理及化学环境等,也属于“机”的范围,只是为了研究的方便,才将环境单独分列出来称为人-机-环境系统。

因此,人机工程学既要研究人-机-环境系统的各个组成部分的属性,更要着重研究人-机-环境系统的总体属性,以及人、机、环境之间的相互关系的规律。

### 1.4 人机工程学的研究内容

#### 1.4.1 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,它还与人体解剖学、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制品,从家庭活动到巨大的工业系统,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。

在人-机-环境系统中,人、机、环境每个子系统的功能由每个子系统的结构所决定,三个交叉系统的功能由各自的结构所决定,而整个人-机-环境系统的功能则由人-机-环境系统的总体结构所决定。根据系统学第一定律知道,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:

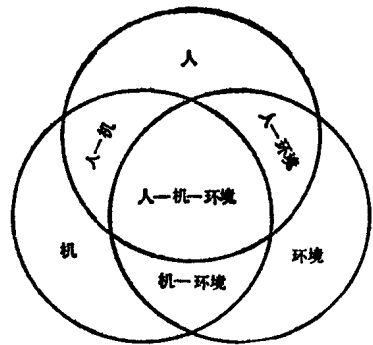


图 1-2 人-机-环境系统的构成示意图

- (1) 研究和实验 确定工程设计所必需知道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。

#### 1.4.2 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几个方面的内容:

(1) 人体尺寸及人体测量技术 包括静态尺寸及动态尺寸。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 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 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 主要是研究劳动中心理调节的特点、心理反射的机制、心理负荷及疲劳的心理机制等内容。研究劳动中的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、加工和人的信息输出能力及其机制,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内容之一。

(7) 人员选拔和训练 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,进行人的工作设计。

(9) 人体模型 研究人的数学模型、物理仿真模型、人体模板等。

#### 1.4.3 机的特性的研究

机的因素很多,难以列全,这里主要对机械、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如下:

(1) 信息传达技术 包括仪表显示、音响信息传达、触觉信息传达、图形符号、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、物理仿真技术等。

(5) 宜人化技术 主要指有关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、隔离和防护,座椅及用具的宜人化设计等。

#### 1.4.4 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,它包围在人的周围,给人以影响;另一种是时间形式,它在人的活动过程中发生、发展和变化着,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。例如,某个作业的操作空间受限,而全部作业又允许分布在较长的时间里完成,在这种情况下,就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如下:

- (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、照明、空气、温度、湿度、气压、粉尘、激光、辐射、重力、磁场等各种物理因素。
- (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。

#### 1.4.5 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、设计参数和方法,以及典型安全防护装置的设计方法等。

#### 1.4.6 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。

#### 1.4.7 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。

#### 1.4.8 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,所谓最优效果,主要是指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。简而言之,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、仿真技术、优化设计方法等。

综合以上所述,简而言之,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与数据。

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

自有人类社会开始,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大体相适应的。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<sup>[9]</sup>。

《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),其握柄的截面可以是圆形的,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的合理搭配关系的文字,内涵深刻而丰富。《考工记》说,要依人的脾性、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,也会影响到弓箭的命中率。据有关专家介绍,这些论述对于现代射箭运动员的心理素质训练和弓矢选择,仍有一定的参考价值。

两千多年前的掘土工具称为“耒”(音 lei),耒木下端的头部叫做“疵”(音 ci)。《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(耒木与疵成一定角度),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,尤其令我们称奇叫绝的,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,人创造和使用的器物 and 机器不断得到改进,由简单到复杂地逐步完善。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,是经验的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