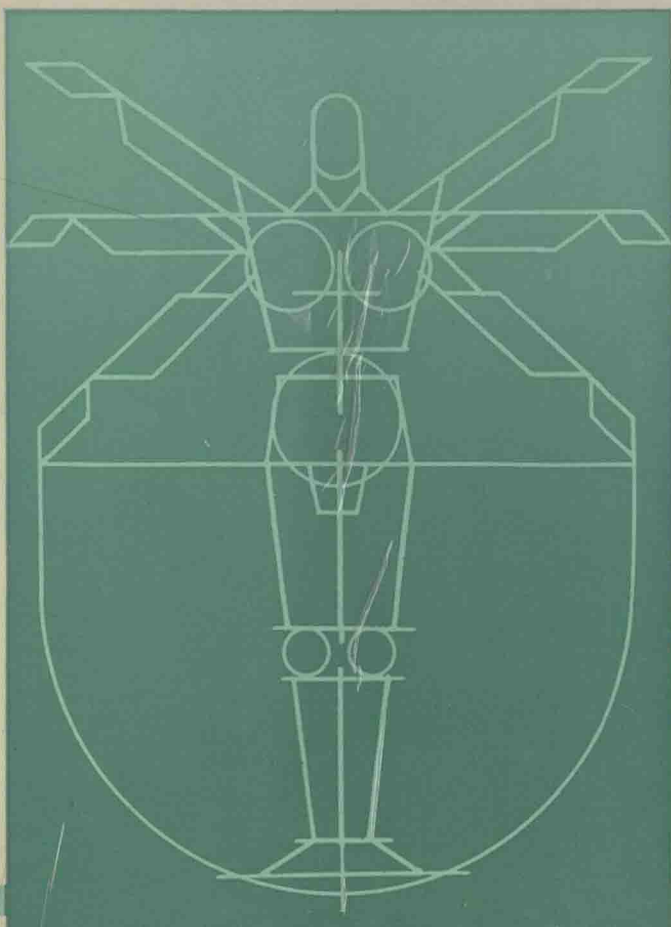


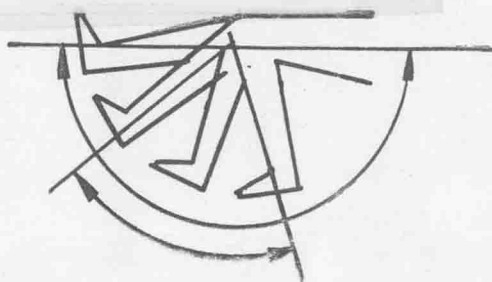
# 人类工效学

ERGONOMICS



# 人类工效学

朱祖祥 主编



浙江教育出版社

(浙)新登字第6号

责任编辑 郑汉阳

插图绘制 汪宝永

## 人 类 工 效 学

朱祖祥 主编

---

浙江教育出版社出版发行 浙江省新华书店经销

浙江印刷集团公司新华印刷二厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 26.5 插页 5 字数 665000 印数 1—3000

1994年11月第1版 1994年11月第1次印刷

---

ISBN 7-5338-1539-4/G·1540 定 价:15.80元

版权所有 翻印必究

## 前 言

40多年前,我国已有学者开始进行人类工效学的研究工作。但“人类工效学”这个术语于80年代初才在我国开始使用。1980年,国家标准局决定成立一个与国际标准化组织ISO/TC159相对应的标准化技术委员会。在成立大会上,经与会学者的讨论,决定将这个技术委员会称为“中国人类工效学标准化技术委员会”,并要求此后在对外联系和国家有关文献中均使用“人类工效学”这个术语。

人类工效学是一门多学科交叉学科。从事这个学科的专业工作者来自心理学、生理学、医学、人体测量学和工程技术科学等许多学科。在国外,这一学科由于其参加者的学科背景不同,往往被冠以不同的名称。例如在英、法、德等西欧国家它一般被称为Ergonomics,在美国则多种名称并用,如Human Engineering、Human Factors、Engineering Psychology等。五六十年代时,我国一些实验心理学工作者首先开始着手这方面的工作,并把它称为“工程心理学”。70年代以后,由于我国现代工业的发展和改革开放政策的贯彻施行,技术设计与人的身心特点匹配程度同人-技术系统的安全、效率和社会效益之间的重要关系日益受到重视,促进了这一学科在我国的发展,欧美各国有关这一学科的各种名称、术语也几乎都被引入国内。为了协调全国人类工效学的工作,并以统一的名称和组织参与国际工效学会(IEA)的工作,我国于1989年成立了中国人类工效学会。

在我国,人类工效学是一门新兴学科,尚处在初创时期,人

们对这一学科的了解也还不甚深刻。要使这个学科有更快的发展，人类工效学工作者除了要努力从事研究工作外，还须向全社会广作宣传。目前，我国出版的有关人类工效学的著作甚少，许多读者感到觅书困难，希望多出版一些能够较系统地反映国内外人类工效学研究成果的书籍。本书正是为了满足广大读者的这一要求而编写的。

人类工效学的研究范围十分广阔，几乎人类活动的所有领域都有人类工效学问题。目前世界上每年都有大量的有关人类工效学研究的文献资料问世，限于篇幅，本书只能对其中一些有代表性的内容作有选择的概述。本书共分6编27章。每编围绕一个领域，每章讨论一个主题。第一编导论，主要讨论人类工效学的研究对象、学科性质和基本研究方法；第二编介绍人类工效学的科学基础知识，其中包括工作生理学、工程人体测量和人类信息加工的基本过程等；第三编讨论人机系统及人机界面的人类工效学问题，其中包括人机系统的设计与评价、视觉与听觉信息显示器和人机言语通讯设计的工效学要求、控制器设计的工效学原则、人-计算机界面软硬件的设计要求等；第四编主要讨论有关人的作业活动的特点和作业设计的基本原则，其中包括手控与追踪、监控与自动化、体力工作负荷和心理工作负荷等；第五编讨论工作空间，包括工作空间设计、工位器物布设和工作座位设计的人类工效学问题；第六编讨论工作照明、噪声、振动、气候条件以及某些特殊工作环境设计的人类工效学问题。

本书由朱祖祥教授主编。参加本书编写的同志有朱祖祥（第一、三、四、二十、二十一、二十二章），奚振华（第五、九章），曹立人（第六、七章），张智君（第八、十八、十九章），沈模卫（第十、十一章），张彤（第十二、十三、十六、十七章），王坚（第十四、十五章），葛列众（第二十三、二十五章），钱秀莹（第二十四、二十六、二十七章），汤智华（第二

章)。全书最后由朱祖祥教授统稿。

在本书编写过程中，我们参阅了国内外出版的一些与人类工效学有关的著作和研究文献，并引用了其中有关的资料。谨向这些文献的作者致以诚挚的谢意。

本书体系比较完整。作者在编写中力求做到理论联系实际、内容难度适中，使专业研究人员、工程技术人员、高校学生和实际工作者都能从本书中有所得益。由于作者水平所限，书中难免有不妥之处，敬请读者指正。

**编著者**

1993年12月

# 目 录

## 前 言

## 第一编 人类工效学导论

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第一章 引言                  | 3  |
| 第一节 什么是人类工效学            | 3  |
| 第二节 人类工效学的研究对象          | 5  |
| 第三节 人在人-机-环系统中的地位和作用    | 7  |
| 第四节 人-机-环界面关系           | 10 |
| 第五节 人类工效学与其他学科的关系       | 14 |
| 第六节 人类工效学的历史回顾与展望       | 17 |
| 第二章 人类工效学的研究方法          | 25 |
| 第一节 研究的方法论基础            | 25 |
| 第二节 观察与调查               | 28 |
| 第三节 实验方法                | 30 |
| 第四节 心理测量与测验             | 36 |
| 第五节 研究方法评价              | 41 |
| 第六节 计算机技术的发展对人类工效学研究的影响 | 45 |

## 第二编 人类工效学的科学基础

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 第三章 工作生理学(一): 感官系统与神经系统   | 51 |
| 第一节 感觉系统                  | 51 |
| 第二节 神经系统                  | 63 |
| 第三节 反射与反馈                 | 75 |
| 第四章 工作生理学(二): 肌肉骨骼系统与供能系统 | 81 |

|     |               |     |
|-----|---------------|-----|
| 第一节 | 肌肉组织          | 81  |
| 第二节 | 骨骼系统          | 86  |
| 第三节 | 人体活动能源        | 91  |
| 第四节 | 活动能耗及测量       | 95  |
| 第五节 | 肺与心血管的输氧功能    | 101 |
| 第六节 | 需氧与吸氧         | 110 |
| 第五章 | 工程人体测量        | 116 |
| 第一节 | 工程人体测量的方法与内容  | 116 |
| 第二节 | 人体尺寸在工程设计中的应用 | 124 |
| 第六章 | 人的信息接收与信道容量   | 153 |
| 第一节 | 人的信息接收        | 153 |
| 第二节 | 熵及信息量         | 162 |
| 第三节 | 信道容量计算        | 174 |
| 第四节 | 传信能力及其影响因素    | 182 |
| 第七章 | 人的信息的中枢加工     | 195 |
| 第一节 | 人的信息加工模型与操作原则 | 196 |
| 第二节 | 感知系统的信息加工     | 200 |
| 第三节 | 认知系统的信息贮存与加工  | 205 |
| 第四节 | 运动系统的信息加工     | 213 |
| 第八章 | 人的信息输出        | 215 |
| 第一节 | 信息输出形式        | 215 |
| 第二节 | 反应时与运动速度      | 219 |
| 第三节 | 信息输出准确性       | 226 |
| 第四节 | 定位运动          | 233 |
| 第五节 | 序列运动和重复运动     | 241 |

### 第三编 人机系统与人机界面

|     |           |     |
|-----|-----------|-----|
| 第九章 | 人机系统设计与评价 | 253 |
|-----|-----------|-----|

|      |                        |     |
|------|------------------------|-----|
| 第一节  | 系统和系统工程 .....          | 253 |
| 第二节  | 人机系统的评价 .....          | 257 |
| 第三节  | 人的差错 .....             | 266 |
| 第四节  | 人机系统的可靠性 .....         | 270 |
| 第五节  | 人机系统的故障分析 .....        | 278 |
| 第十章  | 视觉显示器设计的工效学要求 .....    | 287 |
| 第一节  | 视觉概述 .....             | 287 |
| 第二节  | 视觉显示器的分类和设计原则 .....    | 298 |
| 第三节  | 视觉显示器空间特性设计要求 .....    | 303 |
| 第四节  | 视觉编码 .....             | 310 |
| 第五节  | 符号标志与字符设计 .....        | 316 |
| 第六节  | 显示兼容性要求 .....          | 325 |
| 第七节  | 影响视觉显示质量的因素 .....      | 328 |
| 第十一章 | 听觉和触觉显示器设计的工效学要求 ..... | 333 |
| 第一节  | 声音和听觉 .....            | 333 |
| 第二节  | 听觉显示器设计的工效学要求 .....    | 341 |
| 第三节  | 听觉告警信号 .....           | 347 |
| 第四节  | 触觉和触觉显示器设计的工效学要求 ..... | 351 |
| 第十二章 | 言语通讯设计的工效学要求 .....     | 360 |
| 第一节  | 言语特征 .....             | 360 |
| 第二节  | 言语可懂度 .....            | 369 |
| 第三节  | 言语通讯系统 .....           | 387 |
| 第四节  | 人机言语通讯 .....           | 404 |
| 第十三章 | 控制器设计的工效学要求 .....      | 415 |
| 第一节  | 控制器的分类 .....           | 415 |
| 第二节  | 控制器的辨认与操作运动 .....      | 417 |
| 第三节  | 控制器的设计参数 .....         | 422 |
| 第四节  | 控制器的位置与排列 .....        | 433 |

|      |                   |     |
|------|-------------------|-----|
| 第十四章 | 人-计算机软件界面设计的工效学要求 | 441 |
| 第一节  | 用户界面分析            | 441 |
| 第二节  | 界面设计理论            | 445 |
| 第三节  | 界面设计形式            | 448 |
| 第四节  | 程序设计中的人的因素        | 452 |
| 第五节  | 文本编辑中的时间预测模型      | 457 |
| 第十五章 | 计算机手动输入装置设计的工效学要求 | 463 |
| 第一节  | 手动输入装置的设计         | 463 |
| 第二节  | 语音识别与语音生成系统       | 474 |
| 第三节  | 计算机辅助设计系统中的人的因素   | 478 |

## 第四编 人的作业活动

|      |                 |     |
|------|-----------------|-----|
| 第十六章 | 追踪与手控           | 487 |
| 第一节  | 闭环追踪系统          | 487 |
| 第二节  | 追踪系统的数学描述与分析    | 489 |
| 第三节  | 追踪效绩测量和人的能力限度   | 503 |
| 第四节  | 设备动力特性对操作的影响    | 506 |
| 第五节  | 尾随追踪与补偿追踪       | 512 |
| 第六节  | 多轴控制与显示         | 514 |
| 第七节  | 追踪作业中的知觉-运动负荷测量 | 519 |
| 第八节  | 操作者模型           | 524 |
| 第十七章 | 监控与自动化          | 531 |
| 第一节  | 监控概述            | 531 |
| 第二节  | 监控中的人的因素        | 534 |
| 第三节  | 监控模型            | 543 |
| 第十八章 | 人的体力工作负荷        | 547 |
| 第一节  | 人体活动力量          | 547 |
| 第二节  | 体力工作负荷及其评定      | 555 |

|      |                   |     |
|------|-------------------|-----|
| 第三节  | 手工操作劳动分析 .....    | 564 |
| 第四节  | 疲劳及其消除 .....      | 569 |
| 第十九章 | 心理负荷与应激 .....     | 579 |
| 第一节  | 心理负荷概述 .....      | 579 |
| 第二节  | 资源模型 .....        | 584 |
| 第三节  | 心理负荷的评定 .....     | 592 |
| 第四节  | 应激 .....          | 602 |
| 第五节  | 心理疲劳、单调与厌烦感 ..... | 607 |

## 第五编 工作空间与工位布局

|       |                      |     |
|-------|----------------------|-----|
| 第二十章  | 工作空间 .....           | 617 |
| 第一节   | 工作空间设计的一般要求 .....    | 617 |
| 第二节   | 人体静态尺寸与动态尺寸 .....    | 620 |
| 第三节   | 工作面设计 .....          | 628 |
| 第四节   | 个人的社会心理空间 .....      | 634 |
| 第二十一章 | 工位布置 .....           | 638 |
| 第一节   | 操作者体位设计要求 .....      | 638 |
| 第二节   | 工位器物布置范围 .....       | 640 |
| 第三节   | 工位器物布置原则与占位优先权 ..... | 648 |
| 第二十二章 | 坐姿与座位设计 .....        | 654 |
| 第一节   | 座位设计的重要性 .....       | 654 |
| 第二节   | 座位设计的科学基础 .....      | 656 |
| 第三节   | 座位和坐椅设计的工效学要求 .....  | 661 |

## 第六编 工作环境

|       |               |     |
|-------|---------------|-----|
| 第二十三章 | 照明 .....      | 677 |
| 第一节   | 光的性质与度量 ..... | 677 |
| 第二节   | 照明与颜色 .....   | 682 |

|       |                  |     |
|-------|------------------|-----|
| 第三节   | 照明与视觉功能 .....    | 693 |
| 第四节   | 照明与作业效绩 .....    | 699 |
| 第五节   | 眩光 .....         | 707 |
| 第二十四章 | 噪声 .....         | 713 |
| 第一节   | 噪声的一般概念 .....    | 713 |
| 第二节   | 噪声的主观度量 .....    | 720 |
| 第三节   | 噪声的生理、心理效应 ..... | 728 |
| 第四节   | 噪声对工作的影响 .....   | 735 |
| 第五节   | 噪声防治 .....       | 740 |
| 第二十五章 | 微气候 .....        | 747 |
| 第一节   | 人体热交换与体温调节 ..... | 747 |
| 第二节   | 温度指标 .....       | 752 |
| 第三节   | 微气候的生理效应 .....   | 757 |
| 第四节   | 微气候与工作效绩 .....   | 763 |
| 第二十六章 | 振动 .....         | 772 |
| 第一节   | 振动概述 .....       | 772 |
| 第二节   | 振动的生理、心理效应 ..... | 778 |
| 第三节   | 振动对工作效绩的影响 ..... | 785 |
| 第四节   | 振动控制 .....       | 792 |
| 第二十七章 | 特殊工作环境 .....     | 796 |
| 第一节   | 加速度效应 .....      | 796 |
| 第二节   | 失重效应 .....       | 804 |
| 第三节   | 高压与低压效应 .....    | 806 |
| 参考文献  | .....            | 813 |

## 第一编

# 人类工效学导论



# 第一章 引言

## 第一节 什么是人类工效学

使用工具进行劳动是人区别于动物的根本标志。人类祖先在自然环境中，直接依靠手足采摘果实、追捕猎物并抵御侵袭才得以延续生存。在漫长的求生过程中，他们逐渐学会了使用工具和制造工具。开始时只是简单地利用树枝、石块等自然物作工具，进而学会把石块、兽骨、树干等加工成石刀、石斧、骨刀、棍棒等，这就出现了原始的人造工具。冶炼技术的出现，为人类制造弓、箭、刀、叉等捕猎武器和各种铜、铁劳动工具与生活用具提供了可能。经过几千年的不断改革和发展，人类今天已拥有高度复杂的现代化技术。

人造的工具，不论是原始的石器工具，还是今日的电子产品，人们制造它们并不断改进它们，都出于一个共同的观念和目标，就是为了让它们能更好地适合于人使用，使人们能够更有效、更省力、更方便、更安全地用工具从事各种活动和工作。人类生产工具的发展史就是不断实现这一目标的历史。人们在长期的生产实践中积累了大量制造工具的经验。但人类真正自觉地把实现这一目标的途径和方法作为科学研究的对象并使之成为科

学，则是近100年以来的事，而且主要是20世纪40年代以后的事。这门科学就是人类工效学。

人类工效学，在美国称为“人的因素”（“人类因素学”）（Human Factors）或“人类因素工程学”（Human Factors Engineering），在欧洲称为“工效学”（Ergonomics）。它是一门以心理学、生理学、解剖学、人体测量学等学科为基础，研究如何使人-机-环境系统的设计符合人的身体结构和生理心理特点，以实现人、机、环境之间的最佳匹配，使处于不同条件下的人能有效地、安全地、健康和舒适地进行工作与生活的科学。因此，人类工效学主要研究人的工作优化问题。工作优化主要包含以下涵义和要求：

第一，效率高。社会进步和个人成就都与工作效率有密切关系。优化的工作必然是高效率的工作。条件同等的企业，效率高的企业自然要比效率低的企业产量多、成本低、效益大，因而具有更大的竞争力。因此，效率是衡量工作是否优化的一个重要标志。这里说的效率是数量与质量的统一，是工作速度和工作质量的统一。只求质量不求数量，就难以有高效率；只求数量，不求质量，同样也不能算高效率。例如，一个人打字，打得快而错字多，就不能说他的打字效率高。只有打得快而错误少，才是效率高。

工作优化的第二个标志是安全可靠。安全的反义词是事故。容易发生事故的工作，不是优化的工作。有时，人们为追求高效率而忽视安全。有的工作方法，效率高但包含着不安全因素。有的企业产量高而事故多。凡此种种都称不上优化工作。

工作优化的第三个标志是无害于人的健康。人的健康受许多因素影响，例如，有毒的气体、过强的噪声、过高过低的温度、过重的劳动强度、不合理的工作姿势等都会对操作人员的健康产生不良影响。优化的工作，必须消除这种有害健康的因素，或

至少把它们限制在不致危害操作者健康的最低限度。

工作优化的第四个标志是满意感和舒适感，即要使操作者对工作感到满意或感到舒适。满意与舒适自然是更高的要求。不安全的工作，有损健康的工作，都难以使人满意，更不会使人感到舒服。

一种工作若能完满地满足以上四方面的要求，无疑是高度优化的工作。但高度优化的工作，只是人们所追求的理想，在实际工作中要同时完满地实现以上四方面的要求是很困难的。因此，在实际工作中，以上四方面要求应根据不同情况而有轻重之别。例如，在一般工作中，安全要求应放在首要地位加以考虑，不能为提高效率而冒生命和人体伤害之险。但在使用军事装备的工作中，效率因素显然要放在首位考虑。有时为了保证作战效能，不得不冒生命危险，自然无法强调舒适因素。而对用于休养或旅游设施，则不仅要优先考虑安全和健康的要求，而且对舒适的要求也往往看得比效率更重要。工作优化的四项要求中，安全、健康与舒适均属福利方面的要求。随着人的价值日益受到重视，福利因素必将在工作评价中具有更大的意义。

## 第二节 人类工效学的研究对象

人的工作，不论简单的或是复杂的都受多种因素的影响。简单的工作如伐木工用斧伐木，其效率高低显然取决于伐木者体力的强弱，及树木的品种、质地，铁斧的形状、重量、锋利度和工作场地、气候条件好坏等。复杂的工作如飞机对敌格斗，其成效更取决于飞行员的驾驶能力与作战技术、飞机的性能、空中气象条件和地面指挥等因素。有人把这些因素概括为人、机、环境三大要素。在生产过程中，人、机、环境三者互相联系组成系