

RENTI GONGCHENGXUE



人体工程学

封根泉 编著



甘肃人民出版社

内 容 简 介

人体工程学是研究人-机工效的科学。也就是通过改善机器和工作环境，使其适合人体的要求，从而提高工作效率的科学。

全书共分三部分：首先介绍了仪表、显示器、信号、操纵器、机具、照明以及一些特殊领域中的人体工程学问题；接着介绍了在力学、气体、温度、辐射、污染环境系统设计中的人体工程学；最后介绍人-机系统的总体设计：包括人-机的合理配合、机器人、人的信息传递效率、人的传递函数、仿生学在人体工程学方面的应用等。

本书可供工程和机器设计人员、人体科学的研究人员、军事工程的研究人员、劳动和环境保护人员、厂矿的管理人员参考。

人体工程学

封根泉 编著

甘肃人民出版社出版

(兰州庆阳路230号)

甘肃省新华书店发行 兰州新华印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/32 印张22.25 插页4 字数478,500

1980年8月第1版 1980年8月第1次印刷

印数：1—5,500

书号：13096·50 定价：2.40元

目 录

绪论	(1)
第一章 总论	(1)
第一节 人体工程学的目的、意义和研究对象	(1)
第二节 人体工程学的主要研究内容	(3)
第三节 人体工程学与其他科学的关系	(5)
第一篇 仪表、显示器、信号、操纵器和机具设计	
中的人体工程学	(8)
第二章 仪表显示	(8)
第一节 引言	(8)
第二节 指针与刻度的设计	(11)
第三节 仪表照明设计	(20)
第四节 仪表的形式	(24)
第五节 图形整合式显示	(29)
第六节 仪表板的总体设计	(37)
第三章 信号和荧光屏显示	(40)
第一节 信号灯的显示方式	(40)
第二节 拉丁字母和数字	(47)
第三节 符号和标记	(53)
第四节 荧光屏显示	(62)
第四章 操纵器和机具设计中的人体工程学	(74)
第一节 人体测量	(74)
第二节 操纵器的形状和式样	(101)
第三节 操纵器的大小和空间关系	(108)

第四节	操纵器的用力	(120)
第五节	操作参数的设计	(129)
第六节	显示—反应相合性和习惯性	(136)
第七节	特殊操纵器的设计	(147)
第八节	机具设备和生活空间设计	(149)
第五章	照明和观察中的人体工程学	(166)
第一节	引言	(166)
第二节	照明的设计要求	(169)
第三节	观察和能见度	(199)
第六章	特殊领域的人体工程学	(225)
第一节	宇宙飞船的仪表设计	(225)
第二节	宇宙飞船操纵器和机具设备的设计	(229)
第三节	宇宙服的设计	(239)
第四节	潜水装具的设计	(244)

第二篇 环境系统设计中的人体工程学 (264)

第七章	重力和动力环境设计中的人体工程学	(264)
第一节	超重及其防护	(264)
第二节	撞击伤害和耐力	(296)
第三节	失重、低重和人工重力	(312)
第四节	振动和振荡的可耐范围	(321)
第五节	噪声标准和安全要求	(340)
第八章	气体环境设计中的人体工程学	(357)
第一节	引言	(357)
第二节	缺氧的安全要求	(358)
第三节	氧中毒的防护	(368)
第四节	氮高压综合症和氮气的使用	(379)
第五节	减压病及其防护	(387)

第九章	温度环境设计中的人体工程学	(399)
第一节	引言	(399)
第二节	舒适温度	(404)
第三节	允许温度和可耐温度	(408)
第四节	高温安全	(414)
第五节	低温安全	(430)
第十章	辐射安全和防护	(442)
第一节	电离辐射的安全防护	(442)
第二节	激光的安全防护	(461)
第三节	微波的安全防护	(487)
第四节	紫外线、红外线和磁场的安全限度	(496)
第十一章	人工环境污染	(503)
第一节	主要污染物质及其安全限度	(503)
第二节	来自人体的污染	(505)
第三节	二氧化碳污染	(536)
第四节	一氧化碳污染	(542)
第五节	臭氧、灰尘和细菌污染标准	(550)
第十二章	生命保证系统的设计要求	(554)
第一节	引言	(554)
第二节	食物供应	(554)
第三节	供水问题	(561)
第四节	气体供应	(565)
第五节	生命保证系统的其他要求	(570)
第三篇	人-机系统的总体设计	(578)
第十三章	人和机器的合理配合	(578)
第一节	引言	(578)
第二节	人与机器的合理分工	(582)

第三节	人和机器的交往	(586)
第十四章	机器人—人工智能	(589)
第一节	引言	(589)
第二节	工业机器人的第一代	(591)
第三节	具有感觉和学习能力的第二代工业机器人	(595)
第四节	智能机器人—工业机器人的第三代	(605)
第五节	有人参与的机器人	(606)
第六节	机器人的未来	(608)
第十五章	人的信息传递效率	(610)
第一节	引言	(610)
第二节	人的信息传递能力	(611)
第三节	影响信息传递效率的信号因素	(621)
第四节	环境条件的作用	(639)
第五节	主体因素的影响	(640)
第六节	几个理论问题	(643)
第十六章	人的传递函数	(646)
第一节	引言	(646)
第二节	简单操作活动中人的传递函数	(649)
第三节	追踪操纵活动的假线性近似	(654)
第四节	非线性近似和其他模型	(662)
第五节	人的传递函数参数的测定方法	(670)
第六节	人的传递函数的稳定性判据	(676)
第七节	影响人的传递函数的因素	(683)
第八节	系统特性改善的方法	(687)
第九节	人的“系统特性”	(691)
第十七章	仿生学在人体工程学中的应用	(695)
第一节	感受器官的仿生	(695)
第二节	生物反应的仿生	(699)
第三节	生理过程的控制论分析	(703)

绪 论

第一章 总论

第一节 人体工程学的目的、意义和研究对象

人体工程学又名工效学。是本世纪五十年代前后迅速发展起来的一门新兴科学，它的研究对象是工程技术设计中与人体有关的问题。目的是解决工程技术设计如何与人体的各种要求相适应，从而使人机系统（包括操纵机器的人和他所操纵的机器在内的整个系统）工作效能达到最高。

这里所称的人，主要是指操纵机器的人，或者称作操纵者。机器是指广泛意义的机器系统而言的，亦即包括所有生产工具在内。例如对于驾驶飞机而言，则机器即是指的整架飞机的全部机器系统；对于工厂生产而言，则指的是整个工厂包括厂房在内的全部设备。

机器必须适合于人的使用，这是不言而喻的事。比如为了保证较高的生产效率，必须具有良好的工作环境和合用的工具机件，各种仪表，显示器和信号装备也必须是清晰易辨而且使用方便。然而这一点在生产实践中却并不是始终受到重视的。比如五十年代，有的飞机氧气开关就曾设在飞行员的背后；而有的潜水艇上，仪表、信号、操从器几乎到处分

布，艇员必须转着身子，甚至伸着头，才能全部看清它们！在一般生产中，机具不顺手和环境不适宜的情况则更为多见。这些问题如不很好解决，生产效率就很难达到最优。

在机器发展的早期，由于机器的操作简单，环境条件也不太复杂，这个问题表现得并不十分突出。当机器系统迅速发展，尤其是飞行器、复杂的武器系统和自动化系统迅速发展以后，对操纵者提出了愈来愈高的要求，这个问题就愈益显得突出。比如现代有的飞机座舱仪表、信号、操纵器、按钮等多至1~2百个，要求飞行员一人进行观察和操纵，而在飞机着陆过程的短短5分钟时间内，一个飞行员需要作出的操纵动作竟达100多个，平均注视仪表100多次，每次的注视时间只有0.4~0.6秒！在这些操作中，精确度的要求却很高，如飞机着陆过程中，俯仰角相差几度，即有可能造成严重事故。在这种情况下，机器系统必须充分适合于人的操作，才能保证人的工作效率，较好地完成任务。

机器的发展，在工程设计中愈来愈多地提出了种种与人体有关的问题。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，就是人体工程学。仅就这样一个极为简短的历史回顾中，即可使我们认识，这门科学与生产实践有着密切的联系，它对于提高生产效率具有明显的实践意义。

人体工程学虽然是一门实践科学，它与技术科学有着密切的联系，然而同时它也具有深刻的理论意义。人体工程学就其理论体系来说，主要是解决在提高人机系统整体效率的过程中，人和机器相互关系的规律。这一理论体系具有人体科学与技术科学相结合的特征，它是一门综合性的学科。需

要人体科学和技术科学两方面的人员共同的努力来促进它的发展和完善。

第二节 人体工程学的主要研究内容

人体工程学的主要研究内容大体上包括三个方面：

1. 机器系统中直接由人操作或使用的部件如何适合于人的使用

所谓直接由人操作或使用的部件，主要包括下列四类装备：

(1) 显示器 指各种显示信息的装备，包括仪表、信号（信号灯、信号板、信号牌、信号画，以及各种标记、符号、警戒铃、信号声、警报声等等）、示波屏（雷达显示屏幕、电视屏幕、示波器屏幕等等），以及其他显示信息的装置，如地图、号牌、检查表等等。

(2) 操纵器 指操纵机器系统的各种装备，包括驾驶杆、把手、操纵杆、操纵轮（手轮）、驾驶盘、开关、足蹬、按钮、旋钮、扳钮、推钮、摇把以及各种工具等等。

(3) 机具 指各种家具、设备。包括桌、椅、沙发、床榻、工作台、橱、柜等等。

(4) 建筑和照明 指各种照明装置、房屋空间，以及房间的附属装备如楼梯、门、窗、走廊等等。

这些装备都必须适合于人的使用，才能保证工作效率达到最优。人体工程学所要解决的不是这些装备的工程技术设计问题，而是从适合于人的使用的角度，向设计人员提供必要的参数和要求。比如怎样设计仪表才能保证人看得清晰，而

且辨读迅速；怎样设计操纵器才能使人使用时得心应手，既方便而又工效高；怎样的照明条件使人视觉效率达到最优等等。

2. 环境控制和生命保证系统的设计要求

生产的发展促使人类向自然界的各个领域深入进军，人们也就面临了种种特殊的环境条件。比如在航空、航宇、潜水的南北极考察等情况下，就会经受缺氧、高温、低温、失重、振动、噪声、污染、辐射以及气压变化等等特殊条件。在许多工业中，有时也会遇到这类特殊条件，不过不若上述这些生产活动中所遇到的那么严重和复杂。比如在冶金和烧窑工业中的高温、化学工业中的污染、高山事业中的缺氧和低温等等。为了战胜这些不利的环境因素，保证生产的进行，就需设计一系列的环境控制装备，生命保障系统和安全防护措施。从保证人体安全，舒适和工作效率出发，为工程设计人员提供这一方面的设计要求和数据，也是人体工程学研究的一个主要领域。

3. 人机系统总体设计

为了提高整个人机系统的效能，除了必须使得机器系统的各个部分（包括它的环境系统）都适合于人体要求外，还必须解决整个机器系统与人体相适应的问题，这类问题就属于人机系统中人和机器的职能如何合理分工和相互配合（哪些工作适合于机器承担，哪些工作适合于人担任，两者如何合理配合，人和机器之间如何交换信息）；机器系统如何与人的信息传递特性相配合；机器系统的特性如何与人在操纵活动中的传递函数相配合；如何通过人体仿生（人工智能）来提高机器系统性能（机器人、智能机等等）等问题。

以上三个方面的内容就构成了人体工程学的基本理论体系，本书也将以叙述这三个方面的研究内容为主，并分三篇来分述它们。

就历史发展而言，以上三方面的研究内容中发展最早而且体系的形成也最早的是第一方面的内容。它同时也是人体工程学中成果比较丰富（有许多基本上已有了定型的标准）的一个领域。但就近年的发展而言，则第二、第三方面的研究进展比较迅速。尤其是第三方面（人机系统总体设计问题），可以说是近年人体工程学研究中的一个新的生长点，它与控制论在人体科学中的应用密切联系，所以在理论上也具有全新的特征。

人体工程学的这三个主要领域尽管各有其特点，但也不能否认它们的内在联系和相互关系，本书虽以三篇的篇幅分别叙述它们的内容，但这只是为了叙述的方便决不意味着它们是相互孤立的领域，应当说，从人体工程学的全局来看，它们都是整个理论体系中不可分割的组成部分。它们应当在“环境-人-机器”整个系统统一的观点的基础上，结合成一个整体。

第三节 人体工程学与其它科学的关系

人体工程学涉及技术科学与人体科学的许多交叉性的问题，所以它与人体科学和技术科学中的许多学科有着联系。

就人体工程学的第一方面研究内容（机器系统中直接由人操作或使用的部件如何适合于人的使用）而言，在心理学领域内被称作工程心理学，这个名称出现在人体工程学的体

系尚未形成之前，而且迄今仍在使用着。有人曾经企图把工程心理学与人体工程学（工效学）等同起来，不过大部分作者在使用工程心理学一词时总是指的人体工程学研究中的第一和第三方面的大部分内容，因而它不能包括人体工程学的全部。

人体工程学的第二方面研究内容（环境控制和生命保证系统的设计要求）与许多特殊医学（航空医学、空间医学、潜水医学、高山医学、职业病学，劳动卫生学等）以及环境医学（环境保护科学、温度环境医学、辐射环境医学、毒理学、环境光学，环境声学等等）有着密切的联系。与劳动保护、环境控制等技术科学也有着密切的联系。人体工程学第二方面的研究内容与特殊医学和环境医学的区别在于，后者研究这类特殊职业或特殊环境中的全部医学生理学问题。而人体工程学则只研究为了战胜这些特殊环境而设计的环境控制系统和生命保证系统如何适合于人体的各种要求，而不涉及其它方面。它与劳动保护和环境控制等技术科学的差别在于后者研究工程技术设计的具体内容，而前者则是研究工程技术设计如何适合于人体的需要而不涉及工程设计中的具体技术问题。

人体工程学的第三方面研究内容（人机系统总体设计问题）与信息论、控制论、自动调整理论、仿生学、人工智能、生物技术学和计算技术等学科的关系比较密切，而且涉及这些学科领域的许多技术概念。不过，人体工程学只研究人机系统中人与机器关系方面的问题，从而与这些技术科学有所区别。

最后，还要说一说人体工程学与劳动心理学的关系，劳

动心理学有时可以概括人体工程学的全部内容，甚至还加上许多其他内容，包括技工培训，人员选拔，技术熟练过程，创造发明心理学等等问题。但是大部分作者在劳动心理学中只包括了人体工程学的第一二部分内容，而很少涉及第三部分内容。所以它们之间也有一定的区别。

此外还要顺便说一说，关于人体工程学的名称。人体工程学这个名称国内外尚未充分一致，有人称之为工效学、人的因素学，人类工程学。不过目前使用较广的是人体工程学，故本书沿用这一名称。最近工效学一词应用很广，而且我国也已成立了工效学会，所以称之为工效学也是合适的。

人体工程学作为与许多邻近科学相互交叉的一门新兴科学来说，有着它自己独特的理论体系。这一理论体系常常被称作“人-机系统”理论。但是应当说，决定一个人-机系统整体效率的不仅是人体和机器，而且应当包括环境条件的作用，在不同的环境条件下，人-机系统最优效率的条件会有变化。所以我们认为，把人体工程学的理论体系仅仅归结为人-机关系是不全面的，应当建立一个更为完善的理论体系——环境-人-机系统的理论体系。由于本书的目的只是介绍人体工程学的实践方面，关于这些基础理论问题，拟另文进行专门的论述。不过本书的内容将符合于环境-人-机系统这一观点，希望读者在阅读本书时，也能根据这一观点，将环境、人体和机器这三方面的情况有机地结合起来考虑。

第一篇 仪表、显示器、信号、 操纵器和机具设计中 的人体工程学

第二章 仪表显示

第一节 引言

仪表是一种出现最早而又应用最广的信息显示装置。随着机器系统的复杂化，仪表的应用愈益广泛，在生产过程中所起的作用也愈益重要。仪表显示的好坏对于工作效率具有重要的影响，所以本篇将以这一章作为开始。

仪表的种类很多，显示的方式也很多，从仪表的功能来说，大体上可以分作五类：

1. 读数用仪表

这类仪表指示各种状态和参数的具体数值，供操纵者读出数值来使用。比如飞机的高度表、升降率表、空速表等等。

2. 检查用仪表

这类仪表大部分有数字指示（有的没有数字），但使用时则一般不读其数值，而是为了检查仪表的指示是否偏离正常位（当偏离正常位时，将它调节回正常位）。

3. 警戒用仪表

这类仪表的目的主要是为了检查指示的状态是否处在正常范围之内。这类仪表指示的范围一般分作三个区域，即：正常区、警戒区和危险区，当仪表指示进入警戒区或危险区时，即需及时进行处理。

4. 追踪用仪表

这类仪表是为了追踪操纵的目的而使用的。追踪操纵是动态控制系统中最常见的操纵方式之一，目的是通过人的手控，使机器系统按照人所要求的动态过程去工作，或者按照客观环境的某种动态过程去工作。比如追踪和描准“运动中的目标”就是一种追踪工作。追踪操纵方式主要有二种：

(1)尾随式(追溯式)追踪 指的是在操纵过程中，显示器既指示机器系统所需要的状态(比如需要的飞行轨迹，或目标的运动情况)，又指示系统实际所处的状态(比如飞行的实际轨迹或描准子的运动情况)的那种追踪操纵方式。典型的尾随追踪，如控制一个描准子追踪一个雷达目标。这种追踪操纵的优点是操纵者既能看到目标运动的情况，又能看到描准子运动的情况。

(2)补偿式追踪 进行这种操纵时，显示器只指示系统需要的状态和实际的状态之差(误差)，比如只显示炮位与目标之间的差距，以及实际的飞行状态与应有的飞行状态之间的差值等等。典型的补偿追踪如通过操纵将一个运动着的指针始终保持在指定数值上，或者通过操纵将一个运动着的光点始终保持在荧光屏的中心等。在这些操纵中，指针的偏位和光点的偏位都指示着系统应有的状态与实际的状态之间的差值，在仪表显示的技术学科中称之为“误差值”或称“误

差显示”。

5. 调节用仪表

这类仪表只是用来指示操纵器调节的值，而不是指示机器系统的动态。比如无线电（收音机）上显示周率的仪表就是这类仪表。它指示操纵者所调节的周率（电台），而不是指示无线电（收音机）内部运行的动态过程（如电压、电流的变化等等）。

仪表就其指示方式而言，可分作下列三类：

1. 指针式仪表

这类仪表应用极广，其特点就是用不同形式的指针（如箭头形、长条形、三角形等等）来指示有关参数或状态。这类仪表有很多式样，如圆形的、半圆形的，弧形的，方形的，水平长条的，垂直长条的，立体弧形的，扇形的等等。有的指针处在仪表面内，有的处在仪表面外。有的指针运动而仪表面不动，有的则仪表面运动而指针不动，如此等等。

2. 数字式仪表

这类仪表不用指针，而直接用数码来指示有关参数或状态。常用的有条带式数字仪表（如常用的机械运动的计数器），荧光屏上呈现数字，以及用数码管或液晶呈现数码等等。

3. 图形式仪表

如形象化的地平仪，平视仪，地图或导航仪，图形式飞机着陆仪等等。正在研制中的还有用来综合指示飞机状态的立体图形式仪表等。

不过这些仪表也常常综合使用，比如有时在一个圆形的指针式仪表面上用一个扇形或长方形的小开窗来指示某个有关的参数等等。这种小开窗仪表可以是指针式的，也可以是

数字式的，也可以是仪表面运动式的。人们常用的日历手表中的日历部分就是一种数字式的小开窗仪表附加于一个圆形仪表（钟面）之中。

本章的目的是介绍这些仪表显示器设计中的一些人体工程学原则。

第二节 指针与刻度的设计

关于仪表显示的设计问题，让我们先从最基本的结构单元，亦即仪表的刻度和指针谈起。

1. 指针设计

(1) 指针的形状和大小 一般仪表的指针系设在刻度圈内，其基本设计原则如下：①指针的形状以尾部平，头部尖，中间等宽的指针，和狭长的三角形指针较好。②指针的针尖应与最小的刻度标记等宽。或者与刻度间隔距离（简称刻度间距）成 10^{-n} 关系（ n 为整数）。例如指针针尖宽度正好等于刻度间距的 $1/10$ （亦即 10^{-1} ）等。在需要进行内插读数的情况下，指针针尖宽度最好设计成正好等于一个内插单位。比如要求内插读数到最小刻度间距的 $1/5$ ，则指针针尖宽度也应设计成等于最小刻度间距的 $1/5$ ，这样有利于利用针尖宽度来帮助内插读数。③针头形状应当简单，不必设计花样，以免干扰针尖的指示。④圆形仪表指针的长宽比应为 $8:1$ 或 $36:1$ ，宽厚比应为 $10:1$ 。⑤正常光照时，视距 $46\sim 71$ 厘米条件下，指针的宽度应在 $0.8\sim 2.4$ 毫米范围；荧光指针应当偏狭一些；需要精确读数的仪表，则指针应当细些；然而短的指针则应当偏宽一些。⑥圆形仪表指针的长度不宜超过仪表的半径。倘若