

目 录

第一章 概论	(1)
§ 1-1 人机工程学的定义.....	(1)
§ 1-2 人机工程学的相关学科.....	(2)
§ 1-3 人机工程学发展史.....	(3)
§ 1-4 人机工程学的任务和研究范围.....	(5)
§ 1-5 人机工程学的研究步骤与方法.....	(8)
§ 1-6 人机工程学的应用领域.....	(14)
思考与复习题.....	(15)
第二章 人机系统及其界面	(16)
§ 2-1 人机系统的基本构架.....	(16)
§ 2-2 人与机的功能比较和分工.....	(19)
§ 2-3 人机界面.....	(21)
思考与复习题.....	(23)
第三章 神经活动机理	(24)
§ 3-1 神经组织.....	(24)
§ 3-2 神经活动的规律.....	(26)
§ 3-3 反射活动.....	(27)
§ 3-4 神经系统的感觉功能.....	(29)
§ 3-5 脑与脊髓.....	(31)
§ 3-6 神经系统对躯体运动的调节.....	(33)
§ 3-7 条件反射.....	(35)
§ 3-8 分析综合机能与动力定型.....	(37)
§ 3-9 记忆.....	(38)
思考与复习题.....	(38)
第四章 感觉器官与感知特征	(40)
§ 4-1 视觉器官.....	(40)
§ 4-2 视觉特征.....	(47)
§ 4-3 错觉.....	(47)
§ 4-4 视觉工效.....	(50)

§ 4-5 位听器官及其特征	(52)
§ 4-6 本体感受器	(54)
§ 4-7 皮肤感受器	(55)
§ 4-8 其它感受器	(56)
§ 4-9 人的感知综述	(57)
§ 4-10 人的反应特性	(57)
思考与复习题	(61)
第五章 人体运动与循环、呼吸系统	(62)
§ 5-1 劳动中的呼吸系统	(62)
§ 5-2 氧需与氧债	(64)
§ 5-3 心脏的机能	(66)
§ 5-4 血压与脉搏	(70)
思考与复习题	(71)
第六章 人体测量与作业姿势	(73)
§ 6-1 人体测量概述	(73)
§ 6-2 人体测量方法	(75)
§ 6-3 人体测量的数据处理	(78)
§ 6-4 作业姿势	(89)
§ 6-5 作业椅与工作台	(94)
思考与复习题	(96)
第七章 生物力学与操纵力	(98)
§ 7-1 人体运动系统	(98)
§ 7-2 人体运动的力学基础	(100)
§ 7-3 人体运动链与骨杠杆原理	(105)
§ 7-4 操纵力	(108)
思考与复习题	(114)
第八章 劳动与心理	(115)
§ 8-1 知觉的本质与分类	(115)
§ 8-2 思维的基础、特性与过程	(116)
§ 8-3 意志、情感与注意	(117)
§ 8-4 个性心理	(119)
§ 8-5 事故原因的心理分析	(121)
§ 8-6 人的不安全动作分析	(123)
思考与复习题	(124)

第九章 行为科学与人机学	(125)
§ 9-1 行为的一般概念.....	(125)
§ 9-2 行为的改变与强化.....	(126)
§ 9-3 空间行为、侧重行为、捷径反应与躲避行为.....	(129)
思考与复习题.....	(131)
第十章 人的模型与传递函数	(132)
§ 10-1 人的模型.....	(132)
§ 10-2 人的传递函数.....	(136)
§ 10-3 人的传递函数诸参数测定法.....	(140)
思考与复习题.....	(142)
第十一章 作业空间布局	(143)
§ 11-1 作业空间范围.....	(143)
§ 11-2 作业空间布置.....	(147)
§ 11-3 车间内机器设备布局.....	(148)
§ 11-4 控制室的设计.....	(154)
§ 11-5 工作地布置.....	(155)
思考与复习题.....	(155)
第十二章 搬运工效分析	(156)
§ 12-1 搬运的目的与原则.....	(156)
§ 12-2 搬运的方法研究.....	(158)
§ 12-3 搬运的工效分析.....	(161)
思考与复习题.....	(165)
第十三章 动作经济原则	(166)
§ 13-1 人力的合理利用.....	(167)
§ 13-2 工具和设备的有效利用.....	(170)
思考与复习题.....	(173)
第十四章 显示装置的设计研究	(174)
§ 14-1 视觉显示装置的种类与功用.....	(174)
§ 14-2 视觉显示装置的工效因素.....	(177)
§ 14-3 仪表板的布局.....	(182)
§ 14-4 其它显示器.....	(184)
思考与复习题.....	(185)

第十五章 控制装置的设计研究	(186)
§ 15-1 控制装置的类型与选择.....	(186)
§ 15-2 控制装置的工效因素.....	(188)
§ 15-3 手动控制器的研究.....	(192)
§ 15-4 控制器的排列布局.....	(196)
§ 15-5 脚动控制器的设计.....	(199)
思考与复习题.....	(201)
第十六章 人的差错及其分析法	(202)
§ 16-1 人的差错分析.....	(202)
§ 16-2 防止人的差错措施.....	(205)
§ 16-3 事故发生模型.....	(208)
思考与复习题.....	(210)
第十七章 劳动环境与微小气候	(211)
§ 17-1 劳动环境分类.....	(211)
§ 17-2 体温与环境温度.....	(213)
§ 17-3 湿度与风速.....	(221)
§ 17-4 改善微小气候的措施.....	(224)
思考与复习题.....	(224)
第十八章 气体环境	(225)
§ 18-1 空气中污染物的由来与人体的关系.....	(225)
§ 18-2 空气污染物的检测.....	(226)
§ 18-3 空气中有毒物质对人体的危害.....	(228)
§ 18-4 大气卫生标准与防污染途径.....	(232)
思考与复习题.....	(235)
第十九章 光照环境	(236)
§ 19-1 光的基本概念.....	(236)
§ 19-2 光的来源.....	(240)
§ 19-3 光的“量”.....	(243)
§ 19-4 光的“质”.....	(247)
§ 19-5 光照环境的工效因素.....	(249)
思考与复习题.....	(250)
第二十章 色彩调节	(251)
§ 20-1 颜色与色觉.....	(251)

§ 20-2 颜色表示法·····	(254)
§ 20-3 颜色对人的影响·····	(256)
§ 20-4 色彩的应用·····	(258)
思考与复习题·····	(261)
第二十一章 声音环境·····	(262)
§ 21-1 声的基本概念·····	(262)
§ 21-2 声的物理量度·····	(264)
§ 21-3 声的主观量度·····	(268)
§ 21-4 噪音的来源与影响·····	(271)
§ 21-5 噪音标准与控制·····	(275)
思考与复习题·····	(278)
第二十二章 振动环境·····	(279)
§ 22-1 生产性振动的来源与测定·····	(279)
§ 22-2 振动对人体与工作的影响·····	(281)
§ 22-3 振动标准与控制·····	(283)
思考与复习题·····	(287)
第二十三章 劳动与疲劳·····	(288)
§ 23-1 疲劳概述·····	(288)
§ 23-2 能量代谢·····	(290)
§ 23-3 疲劳测定·····	(292)
§ 23-4 工作节律·····	(295)
§ 23-5 疲劳对人体与工作的影响·····	(297)
§ 23-6 防止疲劳的措施·····	(297)
思考与复习题·····	(300)
第二十四章 技能与训练·····	(301)
§ 24-1 技能、能力及其分类·····	(301)
§ 24-2 技能形成过程·····	(301)
§ 24-3 职业培训·····	(302)
思考与复习题·····	(304)
第二十五章 人机系统设计与评价·····	(305)
§ 25-1 人机系统设计·····	(305)
§ 25-2 人机系统评价分析法·····	(307)
§ 25-3 人机系统错误的形成与危区分析·····	(312)
思考与复习题·····	(316)
参考文献·····	(317)

第一章 概 论

人机工程学是一门应用范围极其广泛的新兴的综合性的边缘科学。在国外研究这门科学，迄今已有 40 多年的历史。

人机工程学的名称，国际上还未统一。我国称谓工效学；美国称谓“人体工程学”（Human Engineering）；西欧称谓“人机工程学”（Ergonomics）；日本则称“人间工学”，即人机工程学；苏联早年叫“工程心理学”（Engineering' Psychology），近年也改称“人机工程学”（Эргономика）；有的国家也有称“人类工程学”或“机械设备利用学”的。

本书拟采用“Ergonomics”一词。“Ergonomics”由两个希腊字根构成，“Ergo”表示工作，“Nomos”表示自然规律。就是说，这是一门研究工作规律的学科。人机工程学简称人机学。

§ 1-1 人机工程学的定义

关于人机工程学的定义，各国人机学者的见解很不统一，现举几例：

美国人查理斯·伍德(Charls Wood)定义为：“设备设计必须适合于人的各方面因素，以便在操作上付出最小代价而求得最高效率”。而另一美国人伍德森(W.B.Woodson)则认为：“人机学是研究人与机器相互关系的合理方案，即对人的信息接受、操纵控制、人机系统的设计及其布置等进行有效的研究，其目的在于获得最高效率，使操作者在作业时安全舒适”。还有一些学者认为：“人机学是研究人和机器之间相互关系的边缘性科学”；“人机学是在综合各门有关人的科学成果基础上研究人的劳动活动的科学”。

英国人奥波纳(D.J.Oborne)认为人机学是一个混合物。它综合了解剖学、生理学、心理学、医学、物理学、生物力学和技术科学的成果、原理与数据，最大限度地应用于人机学，使操作者在作业时，安全、高效、方便、舒适。许多英国学者认为：“人机学是研究人和环境之间的相互关系的学科”。

苏联人机学者则定义为：“人机学是研究人在生产过程中的可能性、劳动的方式、劳动组织安排，从而提高人的工作效率；同时，创造舒适安全的劳动环境，有益于劳动者的健康，使人从生理上和心理上得到全面发展”。

国际人机学会(International Ergonomics Association)给人机学下的定义是：“研究人在工作环境中的解剖学、生理学 and 心理学等方面的各种因素；研究人、机器与环境系统中的交互作用着的各组成部分（效率、健康、安全、舒适等），在工作条件下，在家庭生活中，在闲暇时间内，如何达到最优化的问题的一门学科”。

由此可见，人机工程学的定义应是上述含义的综合，即依据人的心理、生理特征，利用科技成果、数据，去设计“机”（包括设备、工具、用品），使“机”符合人的使用要求；

改进环境,使环境对人无害;优化人-机-环境系统,使三者达到最佳配合,创造高效、安全、健康、舒适和方便的条件,以最小的劳动代价,换取最大的经济成果。

§ 1-2 人机工程学的相关学科

人机工程学是一个系统,此系统包括人、设备、工具、用品、工作地和人所处的环境,通常称做人-机-环境系统。人机工程学是边缘科学,它综合运用了人体测量学、劳动生理学、人体解剖学、工程心理学、生物力学、物理学、数学、管理科学、技术科学、信息论和控制论等成果、原理、数据、方法,形成独立而具有本身特点的学科,见图 1.1 所示。

图示所列学科分三种类型:第一类是人机学的基础,如人体测量学,它是人机学的组成部分。第二类是相关学科,相互渗透,你中有我,我中有你,不可脱离,如技术和管理科学。第三类是姊妹学科,两者有类似之处,存在共性的一面,又有相异之处,如工程心理学。现举例说明它们的相关关系。

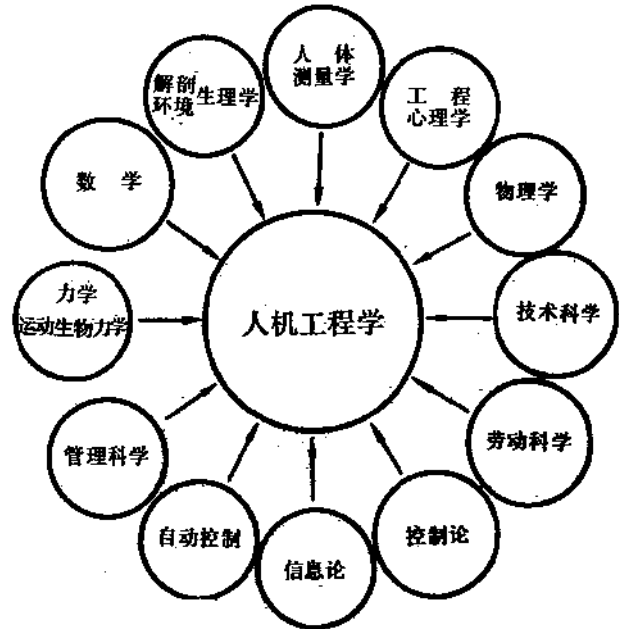


图1.1 与人机工程学研究相关的学科

物理学的有关原理是人机学的基础之一。从人的角度考虑,要根据作业活动的能力来寻求机械所需要的空间、位置和运动方向。从机械的角度考虑,人机系统必须遵守物理学的定律,如惯性定律、杠杆定律、物体平衡等。

人体测量学是研究人体的静态和动态尺度,并通过人体整体测量与局部测量来探讨人体的特征、类型、变异和发展规律。应用人体测量数据和资料,有利于科学地设计产品,使产品更适合操作者使用。根据人体测量学数据和资料,来评价产品是否最佳,是人机学衡量“机”的标准之一。例如一架电梯的箱笼,除考虑可靠性、安全性、升降速度等因素外,还要根据人的身高、肩宽、体重等数据,决定电梯的容积和载重能力。

劳动科学是研究人的本质和能力、劳动过程的规律、劳动条件、劳动效率和劳动经济。它要求人充分利用现有的各种技术和条件,去完成预定任务,为社会创造更多的财富。人机学与劳动科学有广阔的接壤。例如动作与时间研究,目的是为了操作合理化、规范化,降低作业时间消耗,提高工作效率。这种研究既是劳动科学的内容,也是人机学的内容。工效研究是时间研究的先导和基础,不考虑工效的时间研究,显然是无意义的;时间研究则是工效研究的归宿和结果,工效研究如果不落实到时间节约上,便反映不出经济价值。因此,两者是因果关系。劳动科学离不了人机学,人机学也包含了劳动科学的部分内容。

运动生物力学是研究运动力学规律的,包括人在运动中的力学特性、肌肉收缩时的能量大小、运动速度和加速度、运动技术原理、设备的适用性、人体各部分的重量与重心变化,以及做功时的惯性问题。它揭示了人体各运动器官的形态结构与机能之间的联系。根据运动生物力学规律设计的人机系统,才能最有效地做功,并能防止运动中的创伤。例如,骑自行车为什么比走路省力?除了自行车本身的机械原理以外,还存在着生物力学问题。从分析得知,(1)走路是立姿,骑车是坐姿,骑车可减少人体为支持本身体重所消耗的功;(2)走路时,两手前后摆动,以保持身体平衡,而骑车时则两手自然地搭放在车把上,免去了摆动所消耗的无效功;(3)走路时两腿呈直线移动,骑车时两腿作弧形动作,弧形动作比直线移动轻松自然。符合人体力学的原则。因此,骑自行车比走路省力。在设计控制器和工具时,不可不考虑生物力学的原则。

生理学为人机学提供了人体特性参数。在人机系统中,始终以人为主体的,来分析人与机器的相互作用。人的许多生理功能,如心率、脉搏、呼吸、血液循环、肌肉收缩等是人机系统设计的重要根据。此外,在劳动过程中,由于负荷情况不同,会产生某些生理变化。研究这种变化,可以确定人在各种负荷情况下的适应能力,并为减少疲劳和能量消耗取得所需参数。由于科技的迅猛发展,人不得不在许多特殊环境中工作和生活,例如振动场所、电磁场所、放射性场所、超音速飞机、空天飞行器、深水潜艇等,都需人去进行操纵作业。弄清了人体在这些环境中的反应,可以采取保护性措施,设计最佳人机系统。

工程心理学是当今人机学的发源学科之一。工程心理学的研究对象,都是人机学中不可缺少的内容。但工程心理学侧重于对人的心理活动研究,如人体的行为表现,工作动力,信息接受、储存、加工和决策,技能的形成等;人机学则需全面考虑人的因素,从而对人机系统设计提供更为全面的依据。换言之,除了工程心理学外,还要考虑图 1.1 所示其它学科所赋予的有关因素。然而人机学与工程心理学有着密切的亲缘关系,任何作业都不可忽视心理问题。人的思维、意识和行动,都是在大脑控制下发生的,既受外界环境和社会的影响,又与人的生理功能密切联系。在劳动过程中,人充满着心理活动。随着自动化的发展,人类的体力劳动相对减轻,心理学的重要性却日益突出。人机系统越复杂,心理因素也越突出。

技术科学往往是人机系统中设计“机”时必须遵循的技巧、方法和规律性。不懂得技术科学,无法对生产过程进行有效的研究。

§ 1-3 人机工程学发展史

自有人类以来,人类的生活就离不开工具。原始的人机关系,就是人与石斧、石刀、木棒等的组合,借以狩猎、加工。最初的工效概念,只考虑工具的尺寸、形状、重量、质地等,以便战胜野兽和粗略的加工。青铜器时代以后,由石器发展到铜器、铁器。工具的类型增多,由简单到复杂,由笨拙到灵巧,经历了漫长的过程。

指南车的设计是最早的人机学的典型。它的传动机构,运用了力学知识和反馈原理,与现代人机学原理相吻合。然而那时处于经验人机学阶段。

19 世纪 80 年代,人们开始了科学人机学的研究,比较著名的项目有:

一、肌肉疲劳试验 1884 年,德国人莫索(A. Mosso)对人体的疲劳现象进行研究。当操作者开始作业时,就在身体上通以微电流,随着人的疲劳程度的递增,电流也随之发生变

化。这是由于人产生疲劳的时候，使得皮肤电阻上升，电位下降，见图 1.2 所示。但是，经过锻炼的人，在相同的劳动量下，其疲劳程度要比未经锻炼的人为轻。

二、铁锹铲矿石试验 1898年，美国人泰勒(F. W. Taylor)对铁锹的重量进行了研究。当时，泰勒在伯利恒(Bethlehem)钢铁厂，发现效率比较高的工人搬运矿石时，大多使用“自备铁锹”，不爱用厂方提供的铁锹。基于这一现象，他对比了“厂备锹”与“自备锹”的差异，并且专制

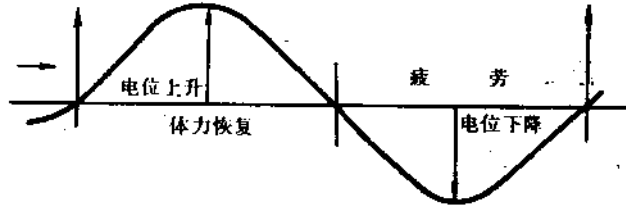


图1.2 人体疲劳与体力恢复呈现的皮肤电变化

了四种尺寸不同的铁锹(每次铲重分别为5公斤、10公斤、17公斤、30公斤)进行试验，结论是10公斤的铁锹效率最高。因此，他设计了两种规格的铁锹，装卸重物时用小锹；装卸轻物时用大锹。这项改进，使原来需要400人去完成的工作，压缩到140人即可完成。

三、砌砖作业试验 1911年，美国人吉尔布雷思(F. B. Gilbreth)对建筑工人的砌砖动作进行了研究，采用快速摄影机将砌砖动作一一拍摄下来，通过分析试验，去掉无效动作，并将基本作业与辅助作业分开。砌砖工人只完成砌砖作业，而将挑选砖头，搬运灰浆，调整手脚架等工作让一些工资较低的力工去做。这项改进，使砌砖速度由每小时120块，提高到350块。

上述三项研究为人机工程学科诞生起了前奏的作用。

第一次世界大战期间(1914~1918年)，英国已孕育着人机学科的萌芽，例如，1915年成立了军工工人健康委员会，其后又成立了工业疲劳研究所，就是早期研究人机关系的组织。

第二次世界大战期间(1937~1945年)，武器的性能不断提高，威力不断增大，但是，操作武器的人对武器不能适应，失败的教训是屡见不鲜的。究其原因有三：

1. 武器设计忽视了人的心理和生理特性，一些结构不适合于人操纵，引起失控。如仪表的位置安排不当，操纵器的编码难以识别，或操纵不方便，都可能发生意外事故，或降低了命中率。

2. 操纵者缺乏足够的训练，动作不熟练，在紧急和复杂情况下，容易惊慌失措，手忙脚乱，从而导致事故。

3. 环境因素未受到足够重视。

此时，工程师们感到“人的因素”在设计中是不可忽视的，只有工程技术知识是不够的，还必须心理学、生理学和生物力学等知识。于是人机学便应运而生了。

1950年2月16日，英国海军部召开的边缘学科会议，正式通过了这一学科，并成立了人机学研究协会。这是世界上最早把人机学作为独立学科来研究的国家。

到了60年代，欧美各国和日本进入了大规模经济发展时期，新技术层出不穷，人机学也得到了显露头角的机会。1960年成立国际人机学会。1961年在瑞典斯德哥尔摩召开了第一届国际人机学代表会议。1964年在西德召开了第二届代表会；1967年在英国召开了第三届代表会；1970年在法国召开了第四届代表会。其后又分别在荷兰、美国、波兰、日本、英国、澳大利亚等多次召开国际人机学会议，到1988年已开过十届国际代表会议，这对人机学的研究和发展起到了有力的推动作用，使国际的人机学研究到达一个新的水平。1988年10月

在我国北京召开的一次国际性的人机学会议，共同讨论工业卫生、环境保护、职业、安全等方面的问题，这对我国人机学研究，将起积极的影响。

在我国，人机学虽处于起步阶段，但近年来发展很快。例如，许多院校大多已开设了人机学课程；东北工学院、南京航空学院、同济大学等都设有实验室；杭州大学早年就开展了工程心理学研究，成果卓著。中国标准化与信息分类编码研究所，内设人机学标准化室，已颁布人机学标准十余项。目前又公布了中国成年人人体尺寸标准(GB10000-88)。1980年，机械工业系统成立了人机学会。1985年，冶金工业系统成立了人机学会。1988年1月，中国人类工效学学会筹备小组在上海同济大学开会，商讨了成立中国人类工效学学会筹备工作。中国科学院心理研究所所长徐联仓同志、杭州大学名誉校长陈立教授主持了会议。1989年6月30日，正式宣告成立，下设六个专业委员会，开创了研究人机学新的一页。

我国今后的人机学研究方向，许多专家认为应主攻下列项目：环境医学工程；噪声生理；高空生理；空间脑科学；空间人体功能；呼吸生理；重力生理；环境模拟工程；生命保障系统；劳动条件问题；产品人机学标准；人机学最佳化问题等等。

由于各国工业和科学基础不同，对人机学的研究重点也有所不同。例如，法国侧重于劳动生理；捷克侧重于劳动卫生；保加利亚侧重于人体测量；苏联侧重于工程心理学；英国侧重于环境影响；而美国侧重于工程技术。一般说来，许多国家开展人机工程学研究往往从人体测量、环境因素、作业强度、疲劳问题入手，逐渐转移到感觉知觉、运动特征、显示装置和控制装置设计，最后进入人机关系、人与环境关系、人际关系等的研究。

我国人机学的研究重点，因所属专业而异。例如，医疗卫生单位多侧重于生理卫生；技安环保单位，多侧重于安全人机学；工程技术部门侧重于产品人机学；心理学研究单位则侧重于工程心理学；管理部门一般综合性较大，以适应各个行业。

§ 1-4 人机工程学的任务和研究范围

一、人机学的任务

人机学的研究体系是人-机-环境系统。任何人机系统，都是离不开人的。如果没有人参与的系统，便不是人机系统(Man-Machine System)。“机”的范围极广，几乎包含了各种劳动手段。例如机械、设备、仪器、工具、器皿、用品等物质资料，均可看作“机”。一架飞机是“机”，一台电子计算机是“机”，一把斧头是“机”，甚至喝水的杯子、装药的瓶子都可视为“机”。环境是指人机所处的周围条件，人的体外环境，包括工作地、作业空间、空气成分和流速、温湿度、音响、照明、振动、色彩以及一切影响人机系统的因素。

人机系统有以脑力劳动(智力劳动)为主体的体系，体力劳动为主体的体系，生产性质体系，劳务性质体系，生活性质体系。有群体人机体系(多人-机)；个体人机体系(一人-机)；多机人机体系，(多机一人)；群体多机体系，(多人多机)。无论哪种人机系统，都是统一的整体。

在人机系统中，人和设备相互作用，相互配合，相互制约。但任何人机系统中，人始终是主体，是起决定作用的因素。这是因为在整个系统内，都要围绕着人的感知、思维、肌肉活动等规律为出发点，都要按人的意图、目的去办事。物是从属于人的，由人来控制和使

用。不管是原始的石磨（至今仍用来磨面、磨豆腐），还是现代的机器人(Robot)，都是执行人的意志的。违反了原则，石磨就可能转不动，机器人也会失控。失控的机器人，反过来会伤害人。图 1.3 就是机器人失控的一个例子。它在转动时，毫不留情地用后臂把人挤压在钢柱上，演出了悲惨的一幕。

现代工程技术解决人和“机”之间的矛盾，一般都是从两个方面着手，其一是改善设备发出的信号、信息，使人易于辨认；其二是改善设备的控制装置，提高人对设备的控制能力。

从效率与健康角度出发，必须创造一个良好的环境。虽然，从目前的科技条件而言，环境还不可能完全受人控制，例如夏日的高温，冬天的严寒等自然规律，目前还无法全面改变它。但可在局部范围内改变它。夏日室内可设冷气装置；冬天可采用暖气设备，使室内温湿度达到舒适的程度。有些环境如噪声、“三废”等是人为造成的，则在设计人机系统时就应同时考虑治理和控制措施，变废为宝，化祸为福。

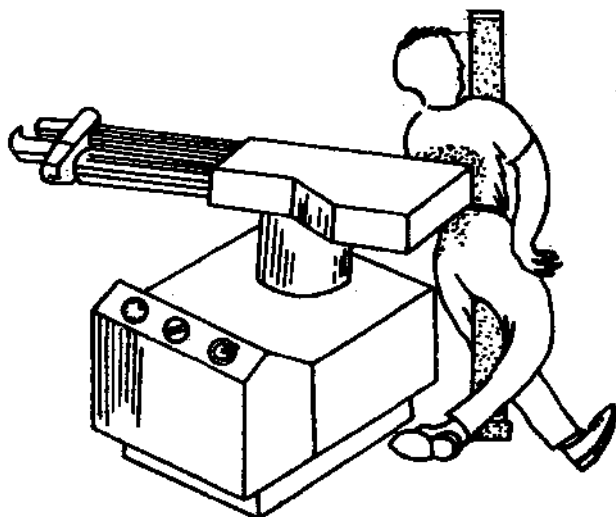


图1.3 失控事故实例

企业生产的各种产品，都要经过人机工程学评价，凡是不便于人使用，不符合人的要求，不安全可靠的，不能认为是最佳产品。

因此，人机学的主要研究任务是：建立一个合理的可行的方案，使人-机-环境系统达到最优化配合，充分发挥人与“机”的作用，做到人尽其力，“机”尽其用，环境尽其美，经济效益尽其好。使整个系统安全、高效、可靠，让人类在健康、舒适的环境中工作和生活。

二、人机学的研究范围

根据人机学的任务，其研究范围一般有以下几个方面：

1. 研究人机之间的配合和分工问题

(1) 人要熟练地控制设备 对设备的结构、功能、运行规律和操纵方法要了如指掌，要求得心应手、运用自如地操作，特别是对应急措施的反应要灵敏，动作要快，毫不含糊。

(2) 设备要适合人使用 就是要求操作方便、省力、安全、容易驾驶，结构符合人体尺度和生理、心理规律，而且信息交流无阻碍。

人机配合是否良好，其标准是一个经过简单训练的人就能有效地安全地使用设备。

人机分工的原则，其一是按人机各自的特点和优势来进行分工；其二是让机器更多地代替人的工作；其三是经济上是否合算，避免花较多的资金去生产少量零件。

2. 研究人的效率与疲劳的关系

(1) 动作的准确性 它关系着工效高低，也关系到失误率高低。

(2) 工作姿势 姿势不同，疲劳产生的速度也不同。图 1.4 所示为采用三种不同姿势进行

操作，其产生的结果也不一样。(a)的姿势较自然，能耗小，不易疲劳；(c)的姿势是举手操作，能耗大，极易疲劳。因此，在设计工作地与决定控制器位置时，尽量考虑应用低能耗动作。姿势欠佳，也会导致肌肉劳损、驼背、近视等疾病。



图1.4 三种不同的操作姿势

(3) 操作速度和频率 人的操作速度和频率是有一定限度的，不宜超越生理可能性去求索。例如，冲床的额定冲次往往大于100次/分，这对于自动化操作并无不可，冲次越高，效率

也就越高。但若用人手取放冲件，则额定冲次要适当降低，一般不宜大于60次/分，以免发生事故。自动生产线的节拍，同样要按人的正常操作速度来计算，才能符合实际的可能。

(4) 操作范围 人的操作范围一般取决于手的活动范围。有脚操纵器时，要同时研究手和脚所及的范围。手或脚移动的距离不同，效率也就不同。

3. 研究作业环境对操作者的影响

人都离不开环境，环境对于人的工作和生活影响甚大。例如，37℃的高温气候，人体感到极不舒适，此时，工效迅速降低，差错频繁发生，并极易呈现疲劳状态。因此，如何设法将环境控制到标准条件，使操作者在心理和生理上都能适应，并且把有害环境变为无害环境，这是人机学者应研究的内容之一。

4. 研究人在劳动过程中的生理变化和心理变化

人机关系牵涉到很多生理学和心理学问题。在劳动过程中，人体会产生反应和适应。例如，劳动强度不同，操作者的体力消耗就不同，机能变化也不同。合理的劳动强度，可以使人的作业能力得以正确发挥。在劳动过程中，人的心理能力是极重要的参数。这些参数包括气力、握力、耐力、控制力、调整力、坚持力、手指和手臂灵活性、手眼协调性、手眼足协调性、方向感、形状感、大小感、视觉灵敏度、听力灵敏度、注意力集中度、注意力分配、判断力、反应时间，以及情绪波动等。

5. 研究人的作业适应性、人才选拔、技能训练

人各有特点，也各有特长，应科学地用其所长，补其所短。人不管有多大才能，在安排工作时，若能力与岗位不相称，就会逐渐失去积极性，以致变为无能的人。相反，一个人的才能虽不出众，若岗位安置得当，再给予相应的教育，就可能成为优秀人才，起到1+1>2的作用。再者，人在使用“机”之前，必须经过训练，懂得“机”的特性、功能、操作方法和紧急措施，方能掌握住“机”，才算组成了一个人机系统。

6. 研究人机之间的信息沟通，控制器与显示器的设计

人机之间的信息传递，在人机学研究中占有重要地位。图1.5所示为有代表性的信息传递图。

为了有效地实行人机之间信息传递，就必须对设备上的显示器和控制器进行研究，要使90%的人使用起来方便无误。

7. 方法研究

方法研究的目标为：(1)使作业变得容易；(2)增加工人对作业的兴趣；(3)降低成本；(4)增加产量；(5)提高质量；(6)缩短生产周期；(7)改进生产设备，使其更为适用；(8)消

除无效劳动、重复劳动和虚功；(9)改进作业环境等。方法研究分为程序分析、操作分析、动作分析等。

8. 研究人的作业能力、各种器官功能的限度及其影响因素。

9. 研究人机系统的可靠性，人机系统的安全性。

10. 研究生产作业系统的优化设计

(1) 研究产品开发、试制、制造中的工效学问题；

(2) 研究监控作业、检查作业、流水作业等的优化设计；

(3) 设计高质量人机系统；

(4) 研究产品包装、说明书以及广告的工效学问题。

11. 研究人机系统分析评价方法。

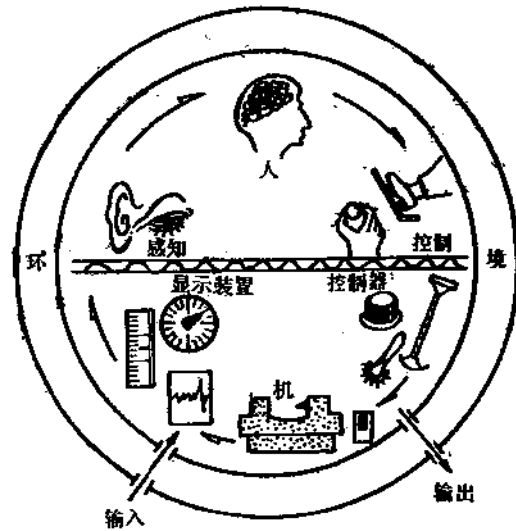


图 1.5 人机系统信息传递图

§ 1-5 人机工程学的研究步骤与方法

一、研究步骤

1. 根据生产需要，提出人机工程学的主攻目标

企业中需要解决的人机学问题是很多的，千头万绪，不可能都列为主攻目标。由于研究人机学的人力是有限的，因此，只能选择生产中的主要矛盾作为研究目标。通常可列为目标的项目为

(1) “瓶颈”工种或关键工种 设法疏通流程，扩大“瓶颈”，解除关键。

(2) 事故频繁的作业 分析引起事故原因，改善人机关系，采取有效措施，保障劳动者的安全。

(3) 成本过高的产品 设法减低活劳动和物化劳动消耗，堵塞浪费漏洞。

(4) 复杂程度较大的作业 着眼于分解简化，降低复杂等级，使得易于操作。

(5) 质量不稳定的产品 关键在于认识该产品技术规律，掌握其规律，协调人机关系，抓住决定因素的环节，进行技术会诊(由设计人员、工艺人员、人机学者、质管人员参加)，对症下药，稳定产品质量。

(6) 工艺路线较长的工作 调整工艺路线，缩短周期和中间环节，减少等待停息时间。

(7) 环境条件较差的工作地 设法改造环境，力争达到国家规定的标准范围。

(8) 工作效率明显低下的作业 针对原因采取改善措施。

(9) 频繁搬运的物料 设法集中搬运，减少搬运次数，缩短搬运距离，减轻劳动强度，防止重复搬运，物料的摆放方式要易于移动。

(10) 全新的工作 由于新开发的产品，新开辟的工作，往往有某些不完善的地方，应全面研究其人机关系，不断加以完善。

在选择目标的同时，还要考虑具体条件、领导意向和资金来源。

2. 收集信息和数据

- (1) 观察现状，记录全部事实。
- (2) 测定操作者劳动前后的生理和心理变化数据；人体静态和动态数据。
- (3) 测定“机”的参数。
- (4) 询问操作者在劳动过程中的主观感觉。
- (5) 测定操作者的负荷、操作速度、频率和疲劳程度。
- (6) 了解信息反馈系统。
- (7) 分析工作失误和事故产生原因。
- (8) 收集同行业较佳人机系统的数据资料，以便加以比较。

3. 根据事实进行人机学分析，并设计新方案

(1) 对现行情况进行考察，找出主要问题和解决办法，一般可按表 1.1 所示项目逐个研究。

表 1.1 考察表

着眼点	考察 1	考察 2	考察 3	考察 4
人	能否适应此系统?	须具备什么条件, 什么素质?	该操作者条件和素质如何?	更换合适人员? 用培训弥补? 改善心理生理状况?
机	存在什么问题?	有否改进可能?	如何改善其结构?	用它机代替? 优化该机? 折衷措施弥补?
环境	存在何种有害因素?	标准环境条件是什么?	该环境有否改进可能?	更换环境? 改善环境? 维护环境?
工作地	存在什么问题?	标准的工作地布局怎样?	操作者本身能否改进工作地?	更换地点? 改进布置? 扩大面积?
方法	方法是否得当?	有效的、正确的方法是什么?	怎样改进现行方法?	用其它方法代替? 原方法改善?
时间	有否不合理因素?	有否浪费现象? 有否无效劳动?	如何改善?	节约方案? 简化操作? 缩短流程?

(2) 利用数理统计方法研究平均数、标准差、标准误、百分率数。

(3) 提出若干个可行方案，至少 2 个以上，以便比较。

4. 进行试验、验证、对比、评价

新方案最好经过试验，并与预定目标相对比。为了使方案得出正确的结论，需要组织专家、老工人等进行人机学评价。评价项目见表 1.2 所示。

评选方案时，都应计算经济效益：

(1) 劳动生产率

$$R = R_1 - R_2 = \frac{P_1}{L_1} - \frac{P_2}{L_2} \quad (1-1)$$

式中 R ——劳动生产率提高值；

R_1 ——新方案的劳动生产率；

表1.2 评价表

评价项目	原方案	预定目标	甲方案	乙方案	丙方案
人机调协					
人力发挥					
机力发挥					
系统可靠性					
产品质量					
流程效率					
工作环境					
工作地布局					
安全性					
可行性					
总效率					
合计					

①评价时可采用打分法。②项目可以增减。

R_2 ——原方案的劳动生产率;
 P_1, P_2 ——改进前后产品产量;
 L_1, L_2 ——改进前后劳动时间消耗。

(2) 设备能力利用率

$$S = S_1 - S_2 = \frac{Q_1 - Q_2}{A} \quad (1-2)$$

式中 S ——设备能力利用率提高值;
 S_1 ——新方案设备能力利用率;
 S_2 ——原方案设备能力利用率;
 Q_1, Q_2 ——改进前后单位时间内实际产量;
 A ——单位时间内最大可能的产量。

(3) 单位产品成本

$$C_0 = C_A - C_B = \frac{C_1}{P_1} - \frac{C_2}{P_2} \quad (1-3)$$

式中 C_0 ——成本降低率;
 C_A ——原产品成本;
 C_B ——新产品成本;
 C_2, C_1 ——改进前后产品成本;
 P_2, P_1 ——改进前后产品产量。

(4) 新方案的经济价值

不计利息的计算公式

$$S = T_0NL - G/n \quad (1-4)$$

式中 S ——一年节省费用;

T_0 ——单件产品节省工时量, 等于改善前所需工时减去改善后所需工时(小时/件);

N ——年产量(件/年);

L ——工资等费用(元/小时);

G ——改善过程中所需费用(元);

n ——改善后的设备折旧期(年);

计利息的计算公式

$$S = T_0NL - G \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (1-5)$$

式中 i ——年息;

n ——偿还期;

$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$ ——年金率, 见表 1.3 所示。

表 1.3 年 金 率 $\left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right)$

$i \backslash n$	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	10%
1	1.0200	1.0300	1.0400	1.0500	1.0600	1.0700	1.0800	1.1000
2	0.5150	0.5226	0.5302	0.5378	0.5454	0.5531	0.5608	0.5762
3	0.3468	0.3535	0.3603	0.3672	0.3741	0.3811	0.3880	0.4021
4	0.2626	0.2690	0.2755	0.2820	0.2886	0.2952	0.3019	0.3155
5	0.2122	0.2184	0.2246	0.2310	0.2374	0.2439	0.2505	0.2638
6	0.1785	0.1846	0.1908	0.1970	0.2034	0.2098	0.2163	0.2296
7	0.1545	0.1605	0.1666	0.1728	0.1791	0.1856	0.1921	0.2054
8	0.1365	0.1425	0.1485	0.1547	0.1610	0.1675	0.1740	0.1874
9	0.1225	0.1284	0.1345	0.1407	0.1470	0.1535	0.1601	0.1736
10	0.1113	0.1172	0.1233	0.1295	0.1359	0.1424	0.1490	0.1627
12	0.0946	0.1005	0.1066	0.1128	0.1193	0.1259	0.1327	0.1468
15	0.0778	0.0838	0.0899	0.0963	0.1030	0.1098	0.1168	0.1315
18	0.0667	0.0727	0.0790	0.0855	0.0924	0.0994	0.1067	0.1219
20	0.0612	0.0672	0.0736	0.0802	0.0872	0.0944	0.1019	0.1175

【例】: 设有某项人机系统改善方案, 其改善费用花去 5000 元, 年息定为 8%, 偿还期为 6 年。每年该产品生产 5 万件, 单件节约工时为 1.2 分, 小时工资费用为 10 元, 求其经济价值?

解: 由表 1.3 查得年金率的数值为 0.2163, 根据公式计算, 每年可节约资金为

$$S = 0.02 \times 50000 \times 10 - 5000 \times 0.2163 = 10000 - 1081.5 = 8918.5 \text{元}$$

最后, 还要分析一下管理是否方便, 对操作者的心理和生理是否适应, 最佳方案便可选定了。

5. 实施新方案, 并进行标准化

新方案经过领导批准后, 在实施中要做好下列工作:

(1) 利用图表、模型、录象等形式, 形象地说明新方案的优点、施行方法、技术措施。特别要讲明新方案对国家、企业、个人三者有何利益, 消除人们种种疑虑。

(2) 安排一个试行小组先行试点, 做出示范, 证明新方案的可行性。同时, 进一步验证能否达到预定的目标。

(3) 培训有关操作者, 从速掌握新的工作方法, 协调人机关系, 使工人有充分信心实践新方案。

(4) 处理好在方案实施中涌现出来的问题。例如, 有些方案实行伊始, 由于操作者的某些心理状态或操作方法不娴熟, 可能会发生偏离目标的逆反现象。但这是暂时性的, 不足为怪。一旦工作进入稳态, 情况就明朗了。

(5) 将人机系统改善成果纳入标准, 包括产品标准、工艺标准、操作标准和时间标准等。

(6) 保证操作者合理的经济收入, 并实行新方案鼓励奖, 奖励那些积极实行新方案的人。

6. 检查、总结、再评价

新方案付诸实施后, 要注意各方面的信息反馈, 记录在案, 以便作进一步改进。例如: 新方案涌现出来的问题; 实际情况与标准的差异; 产量、质量、安全、成本、交货期是否符合预定指标和要求; 管理能否适应; 新方案的联想。

根据执行结果, 进一步提出改进方案, 转入下一轮循环。改进是无止境的, 任何事物随着生产的推进, 科技的发展, 可以不断改进。所谓最佳方案也是有阶段性的, 今日认为是“最佳”, 明日有“更佳”的东西出现在前头。图 1.6 为工效环运转图。

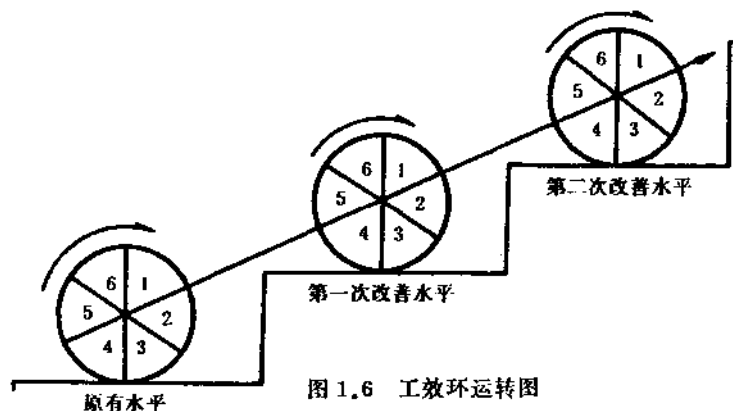


图 1.6 工效环运转图

图中有六分格, 分别代表人机学研究的六个步骤。每运转一个循环, 就上升到一个新的水平, 类似质量管理中 PDCA 管理。

二、人机工程学常用的研究方法

1. 系统法

研究人机工程学要采用系统法, 就是从系统的观点出发, 在系统与要素, 要素与要素, 系统与外部环境的相互联系中揭示研究对象的系统性质和运动规律, 从而可以最佳地处理问