

第 1 章

人因工程简介(上)

为什么要学习人因工程?

本章概述

本章将概要介绍人因工程的概念和历史,在此基础上简介人因工程的目标和存在的必要性。

- ◆ 人因工程简介
- ◆ 人因工程的历史
- ◆ 发生在我们身边的人因设计问题
- ◆ 历史上典型的人因相关事故
- ◆ 人因工程的三大目标:安全、绩效、健康和宜人性
- ◆ 人因工程和各学科的关系
- ◆ 人因工程专业的职业前景
- ◆ 国内外人因工程的主要研究学会

1.1 人因工程简介

你的闹钟能成功叫醒你吗?你有过使用车载导航仪但依旧迷路的经历吗?学校里一堂课程的时长为什么设置在40~50min?或者,你在驾驶汽车时体验过不管怎样调整都无法获取适合驾驶视野的座椅吗?你遇到过用了不久就会感觉手酸的鼠标或键盘吗?你每次放置饮水机的水桶时会觉得十分吃力吗?这些问题都与人因工程息息相关。

人因工程是一门基于人的生理和心理因素的研究,通过人-机-环系统的设计与评估,来提高人-机-环系统的安全性、绩效、健康和宜人性的学科。

人因工程以人为核心因素,其对人的因素的研究主要从生理因素和心理因素两方面展开。

1.1.1 生理因素

生理因素是指人的身体的结构及其活动属性等因素。由于人的身体的各个部分受力

量、空间和时间等各种因素的限制,并且人对环境中温度、噪声、照明等变化比较敏感,因此生活中的许多设计都需要适应人的生理特性。例如汽车驾驶空间的结构尺寸需要考虑大部分人的身高、体重以及肢体的活动范围;火车在铁轨上行驶等会产生较大噪声,这类基础设施需要与住宅区保持一定距离,因为住宅区的噪声若白天超过 50dB、夜间超过 45dB 便会对人体产生危害^[1]。

1.1.2 心理因素

心理因素是指人的感知觉、决策、动作控制、情绪等因素。人脑是心理因素的神经学基础。人的思维、感觉、行为和语言等都是由大脑中枢神经控制的,因此,人因工程中针对人的心理的研究经常从脑科学和神经科学方向入手,探究人的心理变化与人脑思维规律之间的关系。此外,人所表现出的行为(包括决策行为)和心理状态源自脑部神经系统,是由中枢神经发出指令后的结果。因此,有学者构建了人的行为模型^[2],认为人的行为是一种知觉-决策-动作控制系统,该模型可用于改善缺乏人因考虑的设计,例如,很多十字路口红绿灯的闪烁时间并没有考虑行人通过马路的行为和心理因素。

1.2 人因工程的历史

人因工程的起源和发展可以追溯到人类历史早期。

中国自古以来就有“左灯右砚”的说法。图 1-1 展示了古代中国典型的书桌摆放模式,



图 1-1 古代中国典型的“左灯右砚”模式书桌^[4]

“左灯右砚”是指蜡烛或油灯放在桌面的左边,笔和砚台放置在右边。这是因为大部分人是右利手,习惯用右手写字^[3]。因此,砚台放置在右侧便于执笔的右手蘸墨与捺笔,如果砚台放置在左侧,右手则需要绕过书面或纸张才能蘸墨,不仅距离长、费时间,还容易将墨汁滴到纸上弄脏纸面;而油灯放置在左侧有利于桌面的采光,如果油灯放在右侧,执笔的右手将会遮挡从右侧射到纸面上的光线。“左灯右砚”便是根据人的操作习惯来设计机器和布置环境的一种方法,属于人因工程。

位于希腊雅典卫城的帕特农神庙以宏伟和美丽著称^[5],用于歌颂雅典战胜波斯侵略者的胜利以及供奉雅典娜女神。帕特农神庙建于公元前 447 年,是古希腊数学繁盛的时代,因此,在设计上神庙的许多结构尺寸都遵循了严格的数学法则——黄金分割。如果把一个整体分割为两部分,使较大部分与整体的比值等于较小部分与较大部分的比值,则这个比值即为黄金分割。如图 1-2 所示,如果正对帕特农神庙在外围描绘一个矩形,我们就会发现矩形的长大约是宽的 1.618 倍,这种矩形也称为黄金矩形。此外,神庙中的许多结构比例也符合黄金分割,例如:图中 AB 与 BC 的比值等于 BC 与 AC 的比值,即 0.618 : 1。黄金分割被公认为最能引起人的视觉舒适和美感的比例,深受建筑师和艺术家的喜爱,在许多著名建筑如古埃及金字塔、巴黎圣母院或者法国埃菲尔铁塔中都有符合黄金分割的结构设计。黄金

分割是把美学问题用数学定量表示,并平衡了人的视觉审美和舒适度以及其他设计要素来设计事物的一种人因工程美学方法,也属于人因工程。

第二次世界大战时期军事科学技术的迅猛崛起加速了人因工程的发展,人因研究开始逐渐扩展进入工程应用的领域。“二战”结束后人们发现一个奇怪的现象:在训练过程中牺牲的飞行员比在战场上牺牲的数量还要多^[6]。经过对空军的调查研究,发现这是由于飞机控制面板设计不合理导致的。图 1-3 所示为“二战”期间使用的 P-51D 野马战斗机驾驶座舱,由于机器设备系统越来越复杂,机器控制面板所需要的仪表设备密集分布,控制操作也越来越多,导致飞行员出现信息过载,即需要掌握和接收的数据信息量急剧增长,无法及时作出判断;作为信息显示载体的仪表设计以及控制设备设计不合理导致飞行员容易错误读取信息,对飞机的实时速度、飞行高度等判断失误,或者错误地操作控制设备,最终酿成灾难。

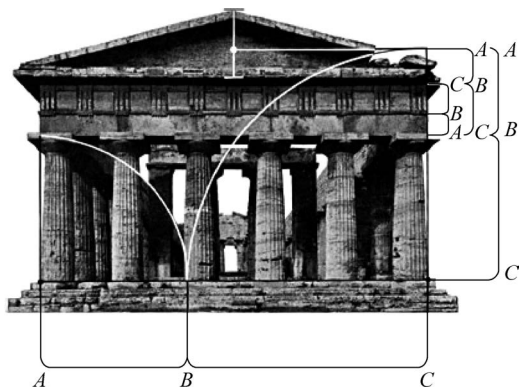


图 1-2 具有黄金分割比例的帕特农神庙^[5]



图 1-3 “二战”期间使用的 P-51D 野马战斗机驾驶座舱^[7]

由于人类很难轻易地改变积累的习惯,如果机器的设计不符合人的使用习惯,人即使通过长期的训练也很难适应机器。因此,为了能够改善飞机控制面板的设计,提高军用和民用领域机器的使用安全性并使机器的设计更具宜人性,西方国家在“二战”期间和“二战”后对人因工程开展了大量的研究并推广强制标准。这些在军用和民用方面迫切需要解决的机器设计问题也成为当时人因工程学快速发展的两大驱动力。

在军用方面,“二战”期间美国的军事力量和现代化工业生产水平都位居世界第一,这给美国的人因工程研究和发展带来了极大便利。美国军标是世界上较早涉及人因工程方面的标准,20 世纪 80 年代中国刚刚发起人因研究时就直接翻译或借鉴了美国军标中的很多标准,例如美国 SAE(Society of Automotive Engineers,汽车工程师学会)于 1965 年发布的 J941 规定机动车驾驶人眼椭圆位置,即眼睛位置推荐做法的标准^[8]。此外,美国是世界上较早实施载人航天计划的国家,因此,美国国家航空航天局(NASA)在人因工程方面进行了很多开拓性的研究和工作,包括测量人的工作负荷,即单位时间内人体生理和心理承受的工作量,以及人的疲劳程度等^[9]。

在民用方面,由于欧洲各国的工会具有较强的影响力,因此劳动保护在欧洲很早就受到重视。例如德国在 1957 年就建立了劳动保护机构——联邦劳动及社会事务部^[10]。20 世

纪中后期汽车工业的扩张也是人因工程发展的驱动力之一,例如 1968 年美国颁布的由美国密歇根大学交通研究所主要负责制定的《美国道路交通法规》就强制要求汽车安装安全带。1971 年由美国国会批准并成立的美国职业安全与健康管理局(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)和美国职业安全与卫生研究所(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)制定并推行了大量的要求企业强制遵守的劳动保护安全规则^[11-12]。此外,OSHA 和 NIOSH 还在大学设立奖学金,鼓励研究生在人因和安全

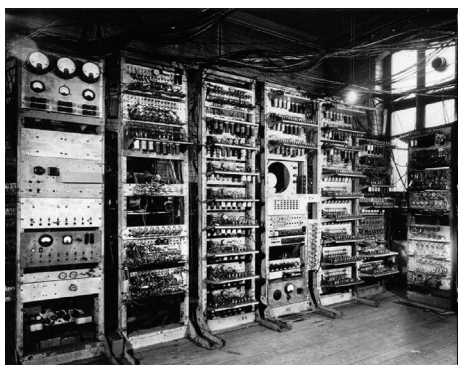


图 1-4 第一台通用电子计算机 ENIAC^[18]

全相关专业进行学习和研究^[13-14]。1972 年,美国通过了《消费者产品安全法》(Consumer Product Safety Act, CPSA),旨在保护公众免受不合理的消费产品使用风险,例如因产品缺陷而导致的受伤或死亡。这部法律设立了消费者产品安全委员会(CPSC),负责监管消费品的安全性。CPSC 被授权制定强制性的安全标准,并有权召回存在缺陷或危险的产品。该法案为电子产品、玩具、家具等消费品的安全制定了重要标准,大幅减少了相关事故的发生。

由于 ENIAC 只有暂存器,因此,虽然计算时间短,但人们仍然需要额外花费较多的时间准备 ENIAC 的程序。图 1-5 所示为一种穿孔卡片,用于存储程序和数据,通过插入计算机中的穿孔卡片来让计算机读取程序和数据^[19]。当有大量的数据需要传输时,ENIAC 便依靠这样的穿孔卡片来准备程序。虽然使用起来极其不方便,但 ENIAC 依旧在原子弹、氢弹、天气预报、宇宙射线研究等领域发挥了不小的作用^[20],用于解决各种计算问题。



图 1-5 20 世纪早期电子计算机使用的穿孔卡片^[21-22]

伴随着各领域民用需求的逐渐增大,以及人因工程理念的渗透,电子计算机逐渐向着体积更小巧、操作更便捷、功能更强大、更适应人的方向发展。1897 年德国物理学家卡尔·费迪南德·布劳恩发明了一种带荧光屏的阴极射线管(cathode ray tube, CRT),当电子束撞击荧光屏时,荧光屏上会发出亮光^[23]。但是 CRT 技术直到晶体管发明并取代真空管后才开始量产和普及,人们开始将 CRT 技术应用在显示器上^[24]。如图 1-6 所示,在 20 世纪 50 年代之前,许多电子计算机还没有显示屏,操作员需要结合纸质文件来记录和辅助完成人机

界面操作台的任务。

20 世纪五六十年代以后 **CRT 显示器** 逐渐普及,如图 1-7 所示,几乎每台电子计算机上都配有一个 CRT 显示器,人们可以在显示屏上获取操作信息,并得到输入后的反馈。**人机界面**(人与机器的交互界面)的概念开始慢慢形成,计算机、操作台等设备的设计也逐渐开始考虑如何更加贴合人的自然行为习惯。



图 1-6 操作员在没有 CRT 显示器的人机界面操作台上操作^[25]



图 1-7 带有 CRT 显示器的计算机^[26]

在使用带有显示器的计算机设备时,人们发现仅靠操作台上的按钮已经不能满足复杂的计算机程序日益增长的操作需求。例如当实现某个功能需要上百个执行按钮时,制造一个有几百个按钮的操作台的成本过于昂贵,而使用操作台/键盘上的方向按钮来依次翻阅和选择人机界面中的指定按钮又太浪费时间。为了代替键盘或操作台上烦琐的操作, Tom Cranston 于 1952 年为加拿大海军的 DATAR 系统发明了世界上**第一个轨迹球**^[27],如图 1-8 所示。轨迹球的原理是将保龄球放在能够侦测球面转向的硬件设备上,硬件设备再将转向信息转化为人机界面上的光标移动。

根据轨迹球的原理,1964 年美国加州斯坦福大学的博士 Douglas Engelbart 使用一个小木头盒子以及小球、变阻器等零件发明了世界上**第一个鼠标器**,如图 1-9 所示。鼠标器的出现使人们操作计算机和其他操作台更加方便快捷。

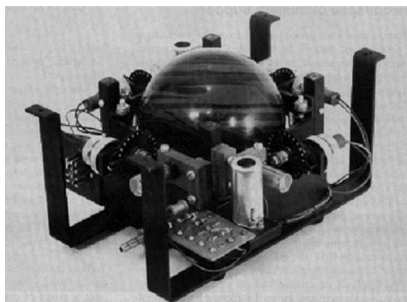


图 1-8 世界上第一个轨迹球^[28]

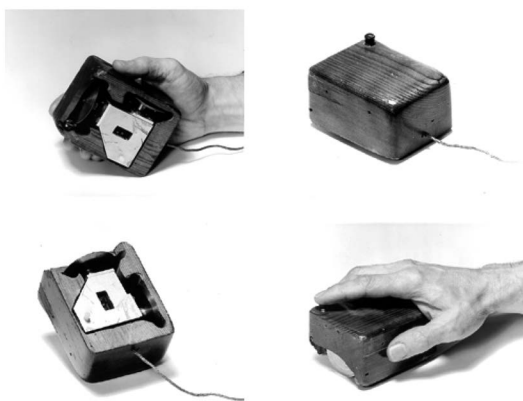


图 1-9 Douglas Engelbart 发明的世界上第一个鼠标器^[29]



启发式教学思考题 1-1

如图 1-10 所示, Douglas Engelbart 发明的第一个鼠标器的设计有什么人因工程问题?

图 1-10 世界上第一个鼠标器外形图^[30]

答案

请思考并写下您的答案,最后再把您的答案与扫描左侧二维码获得的答案进行比较,也许您的答案比我们的答案更好。如果您没有主动思考,就失去了一次启发式练习的机会。

人因工程在日常生活中的应用使得许多产品的使用变得更加便捷和高效,产品的设计变得越来越符合人的使用习惯。21 世纪以来,人因工程随着信息科技的发展有了更多新的驱动力(参考视频 1-1)。人工智能和网络空间相融合的智能网络为人因工程提供了包括电网管理、自动驾驶、智慧供应链、智能推荐系统等扩展应用空间。此外,随着空天技术的发展,我国亟须人因工程在军事科技、载人航天等方向的深入探索和应用。



视频 1-1 美国国家科学基金会人因工程科普短片

1.3 发生在我们身边的人因设计问题

1.3.1 日常生活中的人因设计问题

人因工程在工业和日常生活等领域都有许多应用,但是我们的生活中还存在很多不符合人的使用习惯的人因设计问题。



启发式教学思考题 1-2

日常生活中的人因设计问题

(1) 你知道图 1-11 中的机械水表显示用了多少水吗? 你认为红色指针和黑色指针有什么区别? 哪种颜色更重要? 它符合人因设计吗? 为什么? 请把你的答案写出来。

(2) 图 1-12 所示为某汽车导航系统中的输入地址步骤,你觉得在操作过程中会遇到什么阻碍? 它符合人因设计吗? 为什么? 请把你的答案写出来。

图 1-11 某机械水表^[32]

图 1-12 某车载导航界面



彩图

(3) 生活中(或者装备设计、生产设计、大型设计系统等)还有哪些此类人因设计问题? 你认为它们会对我们的生活造成什么影响? 请在下面空白处列出至少 3 项(可画图说明)。



答案

1.3.2 人因设计问题的代价

具有人因问题的设计将会给我们的生活和社会造成不同程度的负面影响。用户的绩效和安全问题是人因设计问题造成的最高昂的代价。根据数据统计,在军事和工业等领域中,由人的因素直接导致设备或系统出现问题的比例占有所有因素的至少 50%^[6]。例如,车载导航界面如果在流程设计上不符合人的使用习惯,驾驶员就会花费更多的时间和精力搜索路线,这不仅降低了操作效率还增加了驾驶风险;有些汽车的安全气囊的弹出程序中设置了乘员分类系统,但分类系统需要数据样本进行校准,而前座的分类系统在出厂时没有获得全面且准确的数据(儿童样本数量少),导致当前座乘客是儿童的情况下安全气囊无法弹出。这些汽车产品在设计阶段没有考虑到多种类型的乘客特征,导致大批量生产并正式运行之后出现故障或事故而被召回,不仅给企业带来巨大的经济损失,损害企业和产品的形象,还会严重危害人的生命安全。系统如果存在人因设计问题也很容易出现安全事故。例如,美国三哩岛核电站事故造成了高达数亿美元的经济损失^[33],埃塞俄比亚航空公司的波音 737 MAX 坠机事故直接夺走了 150 多人的生命^[34]。

此外,用户不愿购买存在人因设计缺陷或设计过于复杂的产品或功能,这将导致产品设计研发、制造和销售等资源和时间的浪费,进而可能造成成本的增加和销售价格变动,影响市场运转。有缺陷的设计还会增加售后维护的成本,用户可能会频繁地拨打售后电话咨询产品的使用和维修问题。最后,这些存在人因设计缺陷的产品将会降低用户满意度并导致较差的评价和口碑,从而损害企业声誉,降低产品和企业的市场竞争力。

因此,我们希望能够通过对人因的研究在产品、系统或功能的设计过程中提前预测以避免可能出现的设计缺陷,从而减少这些代价的付出。



课堂练习题

不良的人因设计可能会造成什么问题?

1.4 历史上典型的人因相关事故

历史上发生过许多由于人因问题导致的重大安全事故。

视频 1-2 为位于美国宾夕法尼亚州的三哩岛核电站,1979 年 3 月 28 日该核电站发生核泄漏^[32],起因是由于二回路的水泵发生故障,加上此前检修人员在检修完相关设备后未将冷却系统的阀门打开,导致整个系统再次运行后引起了一系列巨大的连锁故障。三哩岛核电站不符合人因设计的报警系统以及不合理的应急突发事件管理造成的人为操作失误与设备上的故障交织在一起,导致这起本该是小型的故障却急剧扩大成为重大事故。

作为美国最畅销机型的波音 737 MAX 近年来接二连三发生事故。2018 年一架载有 189 名乘客的波音 737 MAX 从雅加达苏加诺-哈达国际机场起飞,13min 后在加拉璜地区附近坠毁^[35]。2019 年埃塞俄比亚航空公司一架载有 157 名乘客的 737 MAX 客机起飞后不久坠毁(视频 1-3 所示为发生事故的埃航 ET-AVJ 号波音 737 MAX8 客机)^[35]。两架客机的事故原因如出一辙,均为飞行自动驾驶系统中的人因设计问题。



视频 1-2 三哩岛核电站事故介绍^[34]



视频 1-3 埃塞俄比亚航空公司涂装的 ET-AVJ 号波音 737 MAX8 客机^[35]



启发式教学思考题 1-3

波音 737 MAX 事故的人为因素在哪里?



答案

观看波音 737 MAX 事故的详细视频之后,请花 3min 时间主动思考:波音 737 MAX 事故的人为因素在哪里?把你的答案写出来。

此外,大部分的道路交通事故也是由人的因素引起的。交通事故造成了我国每年巨大的人员伤亡和财产损失。2015—2019 年全国交通事故死亡 311 022 人,直接经济损失达 618 837 万元,且事故数和财产损失均有上升趋势^[37],而这些事故大部分是由人的因素造成的^[38],例如超速、开车的时候使用手机或者其他电子设备、酒驾和超载等。

1.5 人因工程的三大目标:安全、绩效、健康和宜人性

如上所述,一方面,人因工程在人机系统(如核电管理系统、飞机或汽车或潜艇驾驶系统、载人航天系统、生产和供应链系统、医疗服务系统等)中扮演着至关重要的角色。由人因导致的安全事故和对人类社会造成的损害是亟须解决的问题,也是人因学科发展的主要动力。另一方面,人因工程可以为我们提供有效的以人为本的产品设计方法,设计以人为本的产品并提高用户使用产品的绩效。这里的产品包括人类社会各个领域的产品和系统,例如

汽车、飞机、载人航天器、空间站、核电厂等大型设备和系统,或者计算机、手机、座椅、鞋子等日用产品。经过人因工程分析和设计的产品能够有效提高人的满意度和产品的使用评价价值,进而提高产品的市场占有率,这也是产品以及产品的设计是否成功的重要判断指标。并且,不仅限于设计、评估和提高产品的性能,人因工程将为人类带来一种新的生活方式,是一种趋向于人机和谐共处的生态交互平衡。因此,针对人因的研究是为了解决以上问题以实现安全、绩效、健康和宜人性三大目标。

1.5.1 安全

安全主要是指系统运行的安全性能以及人在系统中的安全。根据数据统计,在航空航天、航海、工业等领域中,由人的因素直接导致设备或系统出现问题的比例占有因素的至少一半^[6]。因此,改善并提高系统的安全性能、保证人的生命和财产安全是人因工程研究的首要目标。

1.5.2 绩效

人的绩效主要是指人在系统中完成任务的时间和错误率。图 1-13 所示为某工厂车间中的工人正在进行汽车变速箱的安装和检验,在此过程中,工作桌面的高度和宽度、车间的照明、规定的检验流程以及工厂自动化程度等都会影响工人的绩效,进而影响整个工厂和企业的生产效率和产品质量。

此外,在军事国防领域也非常重视人的绩效,尤其在机器设备如坦克、导弹、潜艇、战斗机武器操作系统的设计中,需要考虑人在控制面板上操作任务的完成时间,包括接收信息和对信息反应的速度。图 1-14 所示为某飞机驾驶控制面板,由于控制面板信息量大,操作复杂,飞行员可能需要反复对照说明手册并经过长期的训练才能熟练操作面板。如果控制面板存在人因设计问题,在真实战斗中可能会造成机器的运行速度很快而人的反应或操作速度过慢,这将会增大操作错误率。如果是在以微秒级为竞争单位的现代战争中,这将大大降低战斗获胜概率。因此,改善并提高系统中人的绩效是人因工程研究的第二个目标。



图 1-13 某汽车变速箱生产线上的工人^[39]



图 1-14 某飞机驾驶控制面板^[40]



彩图

1.5.3 健康和宜人性

健康和宜人性主要是指系统或产品的使用需要符合人体的健康标准,如避免人产生职

业疾病、降低人的工作负荷等。在此基础上,要提高系统的宜人性,即人在系统中或使用产品的舒适性、高效性、便捷性等。

汽车是最典型的人因系统。保证驾驶员与乘客的健康和舒适性是用户以及制造商最重视的一项体现汽车竞争水平的指标。不同地区的汽车结构设计需要适应该地区大多数驾驶人员的体型尺寸,如针对中国销售的汽车其结构应该使用中国人体的尺寸参数来进行设计。此外,如图 1-15 所示,在舒适性和宜人性方面,汽车内部空间结构组成,例如座椅设计,需要考虑人体最舒适的坐姿(包括颈椎和腰椎的角度以及腿部摆放的关节角度);方向盘的设计



图 1-15 车辆驾驶舒适性研究^[41]

需要考虑人手臂的弯折角度和最舒适的操作空间;车顶的高度需要考虑人的头部距顶部的最舒适距离。在健康方面,车内饰材料的选择、行驶时产生的车内震动和噪声、空调的循环模式等都会影响人体健康。舒适和健康的空间感能够提高汽车产品的竞争力,能够给用户带来良好的驾驶体验,从而间接提高驾驶人员的绩效,保障行车安全。因此,在保证安全和绩效的前提下,进一步考虑人的健康以及系统的宜人性是人因工程的第三个目标。

1.6 人因工程概念及其与其他学科的关系

1.6.1 人因工程的概念和含义

人因工程最早起源于欧洲,形成于美国。针对“人因工程”国际上早期使用的英文名词是 **Ergonomics**,翻译为中文即“人类工效学”。Ergonomics 实际上为一个组合词,由 Ergo 和 nomics 两个分词组成。如图 1-16 所示,在古希腊语中 Ergo 表示“工作”的词根^[6],nomics 则表示“规律”,因此,Ergonomics 一开始在欧洲出现时表示为“人工作的规律”,其研究更侧重职业工效学、人体生理和生物力学以及人体测量学等方向。当人因工程在美国逐渐发展后有了一个更加泛化的名字——Human Factors,翻译为中文即“人的因素”。“人的因素”的研究不仅包括“人工作的规律”,还包括心理学和认知学。此外,人因工程在国内还有许多其他名字,如“人机工程”“人-机-环”,以及融合计算机学科的“人机交互”,等等。



图 1-16 Ergonomics(人类工效学)的英文解释

我们建立了一个人因工程相关知识学习和交流网站: www.renyinbaike.cn。该网站将汇集和介绍人因工程的知识,包括新的人因工程基础知识、主要书籍和期刊、学习视频、会议信息和人因工程相关的招聘工作信息等,希望阅读本书的同学关注和分享该网站以及其微信公众号(见图 1-17)。