



第1章 人机工程学溯源

1.1 引言

1.1.1 人机工程学思想萌芽

人类自出现以来,就以不同形式追求着自身的舒适性和安全性,从而创造了现代的人类文明。恩格斯在《自然辩证法》中指出:“劳动创造了人类本身,而劳动是从制造工具开始的。”从开始制造工具起,人类就在研究工具使用与人之间的相互关系。可以说,人类工具的发展史就是不断改造工具使之方便人类使用的历史。一切人造工具,无论是原始的石器还是今天的电子产品,人们制造并不断改进都出于一个共同的观念与目标——为了更好、更方便、更安全地使用工具从事各种活动与工作(图1-1~图1-3)。尽管在过去没有人机工程学这一名词,但从人机工程学研究的基本问题——人与工具或用具的关系而言,其存在如同人类制造工具一样古老。

远古时代,人类过着狩猎和采集的生活。当时,人类为了解决基本生存问题而进行了简单的造物,根据自身的感受去选择和制作石器、骨器等,并通过一种自发的思维倾向和本能的行为方式来选择和制作方便使用的生活工具。比如,北京周口店出土的旧石器时代所制作和使用的石片、石砍砸器、石斧等工具,其大小和形态都比较适合人的手掌抓握和使用(图1-4)。由此可知,当时的人类已经知道将器物设计制作成与人(使用者)相适宜。当然,这一时期的设计制作只存在于个体之中,不具有普遍性,而且这种设计制作上的考量只是一种不成熟的人机工程学的简单表现。从某种意义上说,这是人机工程学基本思想的萌芽。



图 1-1 原始石器工具



图 1-2 商代晚期铜刀



图 1-3 现代割草镰刀



图 1-4 旧石器时代石制工具

1.1.2 人机工程学的基本概念及定义

人机工程学,又称为人体工程学、人类工效学、宜人学、人间工学、人的因素等,是一门以生理学、心理学、人体解剖学、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,使处于不同状态、不同条件下的人能安全、有效、健康、舒适地进行工作和生活的科学。

人机工程学是一门兼容技术科学、人体科学和社会科学的综合性边缘学科,研究的主要内容就是“人-机-环境”系统,简称人机系统。人机工程学不仅有自身的相关理论体系,同时又从其他许多学科吸取丰富的理论知识和研究手段,它除了与安全工程、环境工程等学科关系密切以外,还与生理学、心理学、人体测量学、环境保护学、控制论和信息论等学科联系紧密。它在综合各门学科的基础上,全面考虑“人的因素”,通过揭示人、机、环境三要素之间相互关系的规律,对人机系统的设计、使用提供更全面的依据,从而确保人机系统总体性能的最优化。

对于人机工程学定义,目前为各国多数学者所认同的且较权威地反映了人机工程学相对成熟的学科思想的,是国际人机工程学学会(International Ergonomics Association, IEA)给出的定义:

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因素,研究人和机器及环境的相互作用,研究在工作中、家庭生活中与闲暇时怎样考虑人的健康、安全、舒适和工作效率的科学。

1.1.3 日常生活中常见的人机工程学问题

在日常生活中,可以看到越来越多的设计将“符合人体工学”“人机工学的设计”等作为重要特点进行宣传,特别是信息产品和家具等与人体直接接触的产品。然而,人们在接触这类宣传之后常会产生疑惑——什么是人机工学?它与使用器物和生活环境有什么关系?为什么设计要考虑它?

事实上,由于人机工程学是考虑如何使各类设计适合人的生理心理特点,如何使人在舒适和便捷条件下工作和生活,所以,它是与人们的日常生活和工作密切相关的一门科学。可以说,人们随时随地都会接触到属于人机工程学范畴或与其相关的问题。以下列举一些现实生活中有关人机工程的例子。



例 1 生活中经常可以看到一些功能强大的高科技产品，比如手机、相机等数码产品，功能、形态等看起来都不错，应该是很好的设计（图 1-5）。但事实上，人们在使用过程中经常会遇到问题。最常见的就是产品的功能过于强大，人们要么不会用，要么用不上。从人机工程学角度考虑，设计时考虑使用者的能力，按需设置功能才是合理的，比如专门为老年人设计的手机就是一个很好的案例，其按键大、功能简单、操作方便（图 1-6）。



图 1-5 智能手机



图 1-6 老年人手机

例 2 使用笔筒时，人们会发现拿出短铅笔很不方便，而且很有可能会将铅笔笔芯弄断（图 1-7（a））。根据人机工程学要求，设计这样的收纳产品时，不仅要考虑它的功能美和形式美，同时也要考虑产品的宜人性，使其尽量方便人们拿取收纳盒中的物品（图 1-7（b））。



(a) 笔筒



(b) 收纳盒

图 1-7 笔筒与收纳盒

例 3 骑自行车时，人上半身的重量都集中在坐骨结节上，其所承受的压力特别大。有一些自行车设计为了造型好看，将座椅做得非常小，如此一来，人们骑车时臀部局部受压很大，骑一会儿就会感觉不舒服。符合人机工程的自行车座椅，应当考虑人们骑车时臀部受力和通风散热等问题（图 1-8）。



图 1-8 自行车设计



例 4 生活中常用的台式饮水机，有时水桶位置过高，换水非常困难，对于女性尤其不方便（图 1-9）。从人机工程学角度考虑饮水机设计，不仅要考虑饮用过程，还要考虑换水方式，让人能够以舒适的姿势轻松换水及饮用（图 1-10）。



图 1-9 台式饮水机



图 1-10 柜式饮水机

例 5 一些大学餐厅的桌椅，桌子与座位距离太近，相邻桌椅间距也太窄，用餐时，学生们进出经常发生碰撞，而且容易造成拥挤。良好的餐厅桌椅设计，不仅要考虑就坐与进出方便，还要考虑餐厅整体容量，提高用餐效率（图 1-11）。



图 1-11 大学食堂餐桌椅

例 6 有一些沙发材质非常柔软，看似非常舒服，但人们坐不了多久就会腰酸背痛。这种情况的出现，要么就是沙发座垫太软，人们坐下时不能有效支撑上半身，要么就是沙发太低，人们陷入其中，形成不正常的腰椎状态。符合人机工程的沙发设计，不仅要符合人体生理结构与尺寸，还要提供舒适稳固的支撑（图 1-12）。



图 1-12 沙发



例 7 草地上石板铺成的小路是大家都熟悉的画面。但人们使用时往往会发现，两块石板间的距离很不合适，尤其不符合成年人的生理尺寸，让人在正常行走时感觉非常不舒服。这一类的设计，应该符合人们使用的尺度大小（图 1-13）。

例 8 生活中最常见的五孔插座，一上一下设置了两个插孔。人们在使用时，有时会由于两个插孔之间的间距太窄，造成插头无法同时使用（图 1-14）。这一类问题的解决，就要从插头使用的状态以及插孔间的距离等进行考虑，从而能有效使用多个插头（图 1-15）。



图 1-13 草地上的石板



图 1-14 五孔插座



图 1-15 改进后的插座

1.2 人机工程学的形成、发展及学科思想的演进

1.2.1 中国传统设计中的人机工程学思想

在长期的造物实践和造物历史中，古代工匠在制作和使用器物时，已经对人机工程学的宜人性、安全性等给与了考虑。现今保留下来的许多中国传统器物设计都反映了这一点。比如：汉代设计制造的“长信宫灯”，以汉代宫女形象为基本造型，宫女上身平直，右臂高举，袖口向下宽展如同倒置的喇叭，覆盖在灯罩上，右臂与体腔为空心连接，燃灯时起到烟道和排烟的功能；灯盘呈“豆”形，灯盘内留有槽，槽内有两片弧形屏板合拢组成圆形灯罩，灯盘可转动，灯罩可开合，以调节照度和照射方向，同时有挡风的功能，这些都充分体现出对人机工程的要求和考虑（图 1-16）。

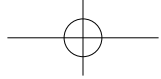
人机工程学思想不仅具体展现在中国传统设计中，也包蕴在丰富的传统设计思想之中。《考工记》和《天工开物》这两部著作，较为集中地记录和反映了我国古代某一阶段的设计工艺和思想。因此从这两部著作中，可以看到不少关于器物的宜人性、适用性等有关人机工程学方面的分析和记载。

《考工记》是我国最早的一部科技著作，也是世界上最早的一部科技文献，成书于春秋末期。在这部著作中，分别对运输和生产工具、兵器、乐器、皮革、染色、建筑等的设计和制作给出了规范化的总结和详细的记载。从人机工程学的角度思考所体现出的原理和法则仍给人以启迪。

《考工记》在“辀人”篇对制作合度的车辆进行了描述，其记载：“辀欲弧而无折，经而无绝。进则与马谋，退则与人谋。终日驰骋，左不榿；行数千里，马不契需；终岁御，衣衽不敝，此为辀之和也。”意即说，车辆要弯曲适度而无断纹，顺木理而无裂纹，配合人、马



图 1-16 汉代长信宫灯



进退自如；一天到晚驰骋，左边的驂马不会感到疲倦；即使行了数千里路，马不会伤蹄怯行；御者一年到头驾车驰驱，也不会磨破衣裳；这就是辔的曲直调和。这些对车辔与人、马进行配合的描述，充分体现了器物与人有效配合的设计考虑，也反映出人机工程学的“机”适于人的设计思想（图 1-17、图 1-18）。

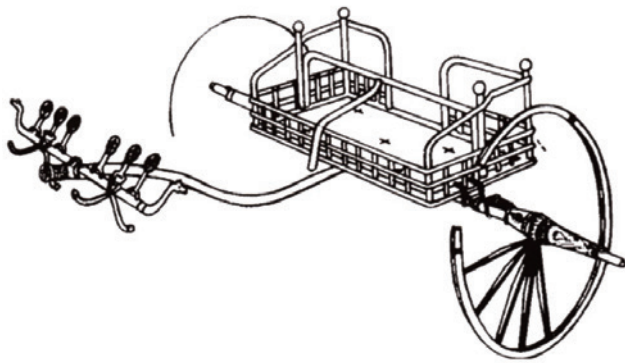


图 1-17 先秦独辔车形制



图 1-18 《考工记》中的车

《考工记》在“弓人”篇对弓的制作进行了描述，其记载：“凡为弓，各因其君之躬志虑血气。丰肉而短，宽缓以荼，若是者为之危弓，危弓为之安矢。骨直以立，忿执以奔，若是者为之安弓，安弓为之危矢。其人安，其弓安，其矢安，则莫能以速中，且不深。其人危，其弓危，其矢危，则莫能以愿中。”在这一段描述中，指出了要根据使用者的体型、脾性、气质配给不同性能的弓箭：长的矮胖、性情温和、动作缓慢的人，要配置强劲急疾的硬弓并配上柔缓的箭；身材挺拔、刚毅果敢、行动快猛的人，则要配置柔韧的软弓并配上剽疾的箭。如果慢人使用软弓再配上柔缓的箭，则易耽搁时间，箭行的速度也慢，即使射中也不能深入敌体；急人使用硬弓搭配剽疾的箭，则因过于急促，不能又稳又准地射中目标。由此可看出，当时的古人在设计弓箭时，除了考虑使用者的生理特征外，还考虑到了性格特点等心理特征，并通过优化弓与箭的组合去配合不同性格的人使用，并由此来弥补人的不足之处，使人在应用弓箭时达到最佳的射击效果（图 1-19、图 1-20）。《考工记》中所表现的这种对人生理和心理的设计考虑，体现了“人性化”设计的关怀，完全可以作为设计心理学应用的经典范例。

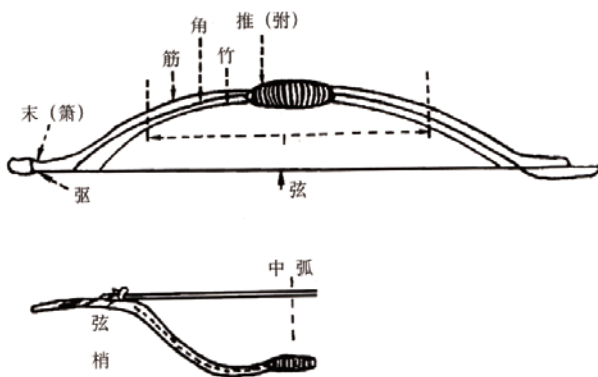


图 1-19 弓干各部分名称及构成材料^①

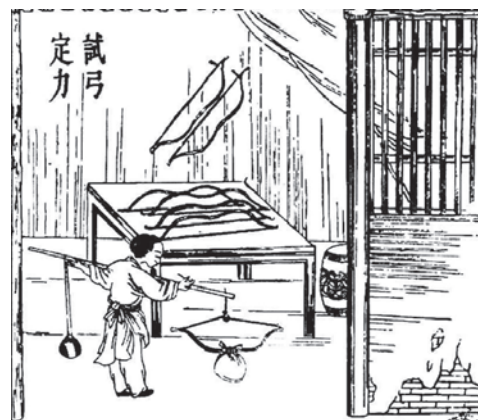
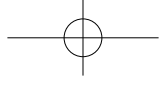


图 1-20 《考工记》中的弓^②

① ② 戴吾三. 考工记图说 [M]. 济南: 山东画报出版社, 2003.



《天工开物》是我国古代一部重要的科学技术名著，为明代科学家宋应星所著。该书全面系统地记述了我国古代农业和手工业的生产技术和经验。作者通过实地考察和研究，不仅对原料的品种、用量、工具构造和生产加工的操作过程等都有详细的记载，而且很注意用数据来说明问题。全书共有插图 123 幅，比例恰当，形象化地再现了当年生产操作的场景。由《天工开物》所记载的文字和图片中可以得知，当时的设计工匠已经对工作效率、劳动姿势等做出了考虑，他们充分利用自己的智慧设计创造出大量精巧实用的工具，把使用者从那些原始的、繁重的劳动中解脱出来，给人们的生产与生活提供了诸多的便利，有力地推动了社会的进步发展。以下列举两例以作简要说明。

碓，一种农业加工工具，具有舂米功能（图 1-21）。西汉末年设计出了水碓，由水轮带动碓进行工作，装置两个碓以上的称连机碓，常用的都装四个碓。明代宋应星在其《天工开物·粹精第四·攻稻》中对水碓的记载如下：“凡稻去壳用砬，去膜用舂、用碾。然水碓主舂，则兼并砬功。……凡水碓，山国之人居河滨者之所为也。功稻之法省人力十倍，人乐为之。”

筒车（又称水车），一种灌溉工具（图 1-22）。筒车轮四周缚有竹筒，利用水流冲击轮子旋转，把水由低处提高到高处，达到灌溉的目的。《天工开物·乃粒第一·水利》中对其记载如下：“凡河滨有制筒车者，堰陂障流，绕于车下，激轮使转，挽水入筒，一一倾于埭内，流入亩中。昼夜不息，百亩无忧（不用水时，拴木碍止，使轮不转动）。 ”

水碓、水车，两种以水为动力带动其进行运作的半机械化工具，其“功稻之法省人力十倍”“昼夜不息，百亩无忧”，给劳动者的生活和劳作带来了极大的便利。这些劳动工具的设计者了解到人们在持续操作工具时会产生疲劳，从而导致工作效率下降，为了减少或避免这种疲劳，他们充分利用自己的智慧想以“机”的操作来代替人的操作，充分利用“机”不会疲劳的特点，并最终设计出水碓、水车这些有着良好的人“机”分工的高效作业工具。这些设计的指导思想，正是源于对人机系统中如何优化人“机”分工以及如何提高人的工作效率、人机系统总体效率的考虑。

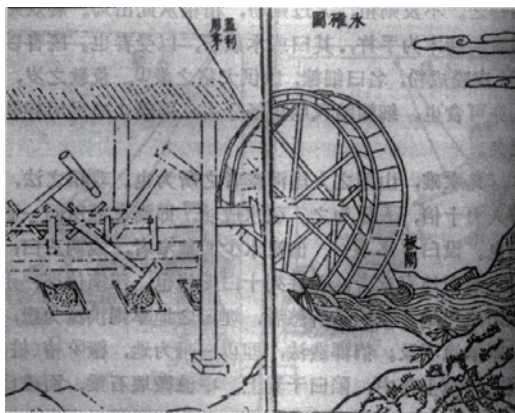


图 1-21 《天工开物》中的水碓

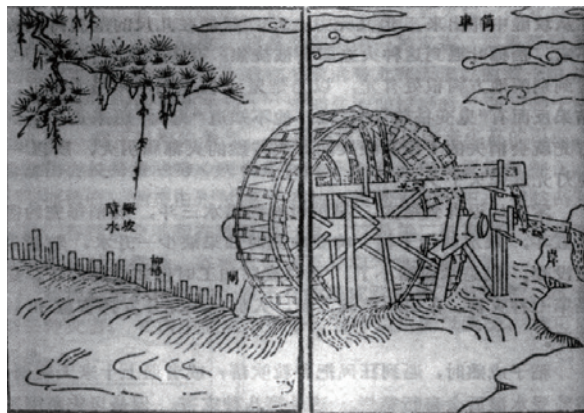
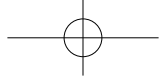


图 1-22 《天工开物》中的筒车（水车）

在中华五千年的历史中，流传下来的优良器物设计数不胜数，《考工记》和《天工开物》中所记载的只不过是中华五千年文化创造成果的一部分。但即便是部分成果，也已让人清晰地了解到我国传统设计中人机工程学思想的考究。

1.2.2 人机工程学的形成、发展和演进

人机工程学是现代设计中的新兴学科，也是现代设计艺术进一步科学化的标志。虽然过去人们已经有了对人机工程学原理和设计造物关系的考虑，但当时人机知识的获得和考虑主要是通过制作



者向使用者了解或是自身在使用过程中的了解。该人机研究的过程是从个体中获得的过程，是从实践到实践的过程，是片面的人机工程知识的运用，不具有普遍应用性，与建立起一门完整的学科完全是两回事。比如：制作者在设计弩时所考虑的操作姿势和特性等，仅仅将其运用于弩的设计，并没有把它运用于所有的与人的操作姿势和特性有关的设计之中。所以，早前设计的人机考虑过程只是一个简单的运用过程，是一个不成熟的过程。

1. 人机工程学的发展时期

人机工程学作为一门独立的学科已有六十年左右的历史，其作为一门学科而言，起源可以追溯到 20 世纪初。在学科的形成和发展过程中，大致经历了以下三个时期。

1) 人机工程学的孕育

19 世纪末，为了提高生产效率，人们开始研究人与工具的关系及操作方法，其中最具影响的当推现代管理学先驱——美国学者 F. W. 泰勒 (F.W. Taylor)。泰勒于 1898 年进入伯利恒钢铁公司，他提出要研究人的操作方法，并从管理的角度制定了相应的操作制度，人们把它称为“泰勒制”。他曾对铲煤和铁矿石的工具——铁锹进行研究，他用形状相同而铲量不同的几种铁锹去铲同样一堆煤（每次可铲重量分别为 6lb^①、10lb、17lb 和 30lb）。虽然 17lb 和 30lb 的铁锹每次铲量大，但实验结果表明，用 10lb 效率最高（图 1-23、图 1-24）。他做了许多试验，终于找出了搬运煤屑、铁屑、砂子和铁矿石等松散粒状材料时，每一铲的最适当重量。这就是人机学建立过程中著名的“铁锹作业试验”。他改进铁铲，使工人的劳动效率成倍提高，这种关于手工操作工具设计与人操作绩效关系的研究成为人机工程学发展史上的第一个里程碑。

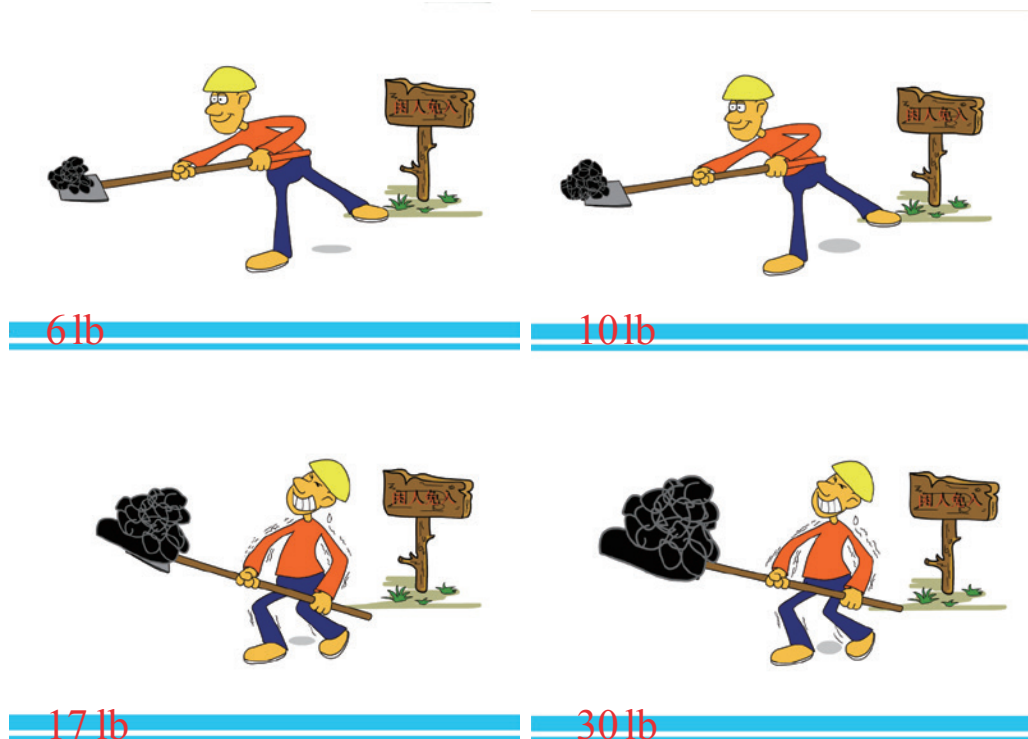


图 1-23 泰勒的四种不同铲量铁锹试验

① 磅，1lb = 0.45kg。

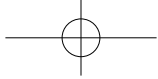
**10 lb**

图 1-24 泰勒试验效率最高铲量：10lb

1911 年，以动作研究闻名于世的吉尔布雷斯夫妇（F. B. Gilbreth and L.M. Gilbreth）对美国建筑公司工人砌砖作业进行了试验，他用快速摄影机将工人砌砖动作拍摄下来，对动作过程进行分析研究，去掉无效动作，将砌砖动作从 18 个简化到 5 个，使工人砌砖速度由当时 120 块 /h 提高到 350 块 /h。后人将泰勒与吉尔布雷斯的成果综合为“动作与时间研究”，这一研究成果至今对提高作业效率仍有重要意义。

1914 年，美国哈佛大学心理学家闵斯特伯格（H.Munsterberg）把心理学与泰勒等人的上述研究综合起来，出版了《心理学与工业效率》一书。他提出了心理学对人在工作中的适应与提高效率的重要性，在生产实践中倡导运用心理学，并运用心理学方法选拔和训练工人、改善劳动条件。《心理学与工业效率》一书也成为人机工程学史上的重要经典文献。

自泰勒开始进行试验研究起，提高工效的观念已不再是一种自发的思维倾向，它已开始建立在科学试验的基础上，具有了现代科学的形态。所以，人机工程学的学科历史常从这一阶段谈起。从泰勒的科学管理方法和理论的形成开始一直到第二次世界大战之前，可以看作是人机工程学学科的孕育阶段。在这一阶段，人机工程学的研究者大都是心理学家，学科的研究偏重于心理学方面，因而此阶段的人机工程学多被称为“应用实验心理学”。在学科孕育阶段，人们所从事的劳动在复杂程度和负荷量上还不是很大，对操作人员稍作选择或训练即可适应机器的要求，所以这一阶段人机关系研究的主要特点是：以机械为中心进行设计，通过选拔和培训操作者，使人适应于机器。

2) 人机工程学的诞生

到了第二次世界大战时期，因为战争的需要，许多国家大力发展效能高、威力大的新式武器和装备。但由于片面注重新式武器和装备的功能研究，此时完全依靠选拔和培训已无法使人员适应不断发展的新武器的性能要求，因而由于操作失误而导致失败的事故屡见不鲜。例如：由于战斗机中座舱及仪表位置设计不当，造成飞行员误读仪表和误用操纵器而导致意外事故；或由于操作复杂、不灵活和不符合人的生理尺寸，造成战斗命中率低等（图 1-25）。

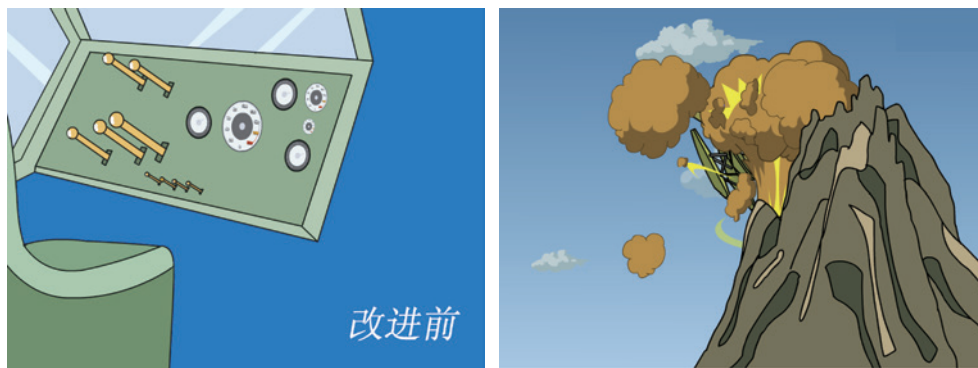
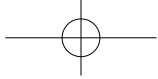


图 1-25 驾驶过程中误操作飞机

人们在屡屡失败中逐渐清醒地认识到，“人的因素”在设计中是不能忽视的一个重要条件，如果一味追求武器装备技术性能的优越，而不考虑与使用人的生理机能相适配，是发挥不出设计的预期效能的。为此，有的国家开始聘请解剖学家、生理学家、心理学家来参与设计。在装备仪表和操作件数量保持不变情况下，改进仪表的显示方式、尺寸、色彩搭配等，并重新布置它们的位置和顺序，使之与人的视觉特性相符合，提高了认读速度、降低了误读率；改进操作件的形状、大小、操作方式、操作方向及安置的顺序与位置，使之与人的生理特性、运动特性相适应，提高了操作速度、减少了操作失误（图 1-26）。这些设计上的改变没有增加多少经费投入，但却收到了事半功倍的效果。例如：“二战”期间，美国战斗机使用的高度计为三指针式，长针表示百分位、中针表示千单位、短针表示万单位的高度。在 Fitts 所分析的 227 例飞行员失误的案例中，高度计误读的比例占到 17.6%。Grether 用 97 名飞行员和 79 名大学生对三种高度计进行判读试验（图 1-27），结果显示，对 304.8m（1000ft^①）以上高度的判读，三指针式误读率高达 10% 以上，而一针式误读率小于 1%。

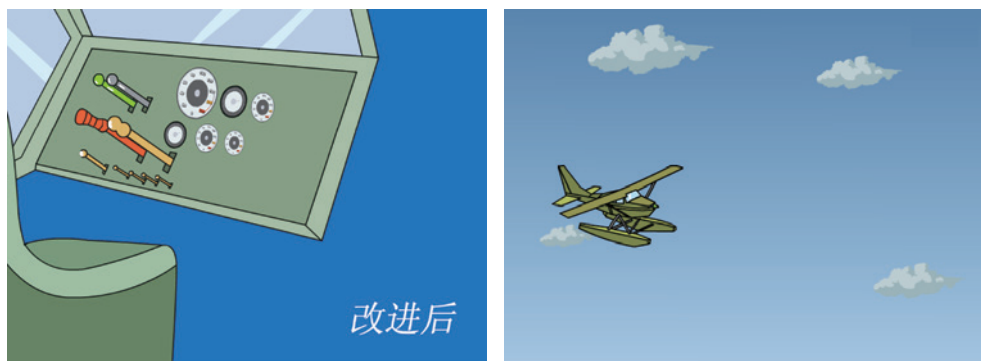


图 1-26 仪表改进后的飞机操作

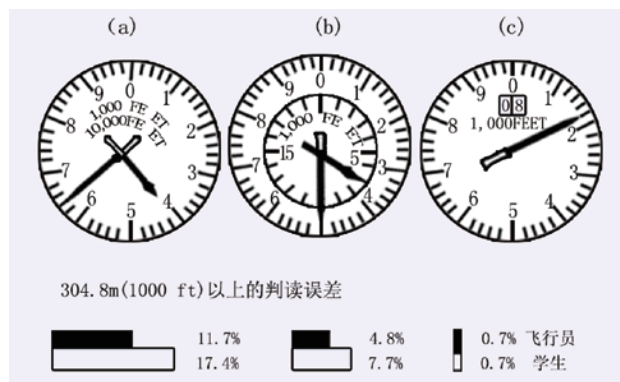


图 1-27 三种高度计的判读试验

① 英尺，1ft = 0.3048m。