

全国高等院校艺术设计类“十三五”规划教材
普通高等教育艺术设计应用型与创新系列教材

人机工程学

主编 段雅芹



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

全国高等院校艺术设计类“十三五”规划教材
普通高等教育艺术设计应用型与创新系列教材

人机工程学

主 编	段雅芹	
副 主 编	郝静雅	
参 编	王晨海	周 一
插画制作	王姗姗	庄 广
	王 娇	冯晓璐



WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

人机工程学/段雅芹主编. —武汉:武汉大学出版社,2015.6

全国高等院校艺术设计类“十三五”规划教材 普通高等教育艺术设计应用型与创新系列教材

ISBN 978-7-307-16037-8

I. 人… II. 段… III. 人-机系统—高等学校—教材 IV. TB18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 121352 号

责任编辑:辛 凯 责任校对:汪欣怡 版式设计:马 佳

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:武汉中科兴业印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:9.5 字数:197千字

版次:2015年6月第1版 2015年6月第1次印刷

ISBN 978-7-307-16037-8 定价:48.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

本书结合了艺术设计专业的教学特色，以实践教学为依托，系统阐述了人机工程学的基本理论体系。同时，根据艺术类学生的特点，理论部分内容进行了精简，重点强调人机工程学在设计领域的应用，以丰富的设计案例深入浅出地描述了人机工程学的学科思想和理论知识在实践中的运用，重点突出、实用性强。

“人机工程学”是工业设计、机械设计、环境设计、交互设计等专业重要的专业基础课。通过这门课程，学生需要了解人机工程学的基础知识，理解与设计紧密关联的人的因素，掌握各种形式的人机工程设计的基本内容、原理和方法。根据这一思路，《人机工程学》第1章介绍人机工程学的含义、发展、范畴、方法；第2章介绍作为设计依据的人体尺寸、人体尺度；第3章介绍感觉及其特性、知觉及其特性；第4章介绍人体的运动系统和一些运动特征；第5章分别介绍人机界面设计（包括信息显示、操纵控制、手握式工具等）、作业器具设计；第6章介绍作业空间设计中的人机工程因素；第7章介绍如何运用人机工程的观点和方法进行室内设计；第8章介绍人机工程学在产品设计中的应用。

本书由段雅芹拟定全书提纲和编写要求，得到了郝静雅、周一、王晨海等参编老师的大力支持，王姗姗、庄广、王娇、冯晓璐同学负责书中插图的绘制，感谢他们的积极参与及配合。在教材中，引用了国内外部分书籍、文献以及网络的插图，编者向这

些书籍和文献的作者表示诚挚的谢意。由于编者水平有限，书中难免出现错误或存在欠妥之处，恳请广大读者朋友批评指正！

目 录

第1章 人机工程学概述 / 1

1.1 人机工程学定义 / 1

1.2 形成与发展 / 2

1.2.1 人机工程学的起源 / 2

1.2.2 人机工程学简史 / 2

1.2.3 我国人机工程学发展情况 / 5

1.3 研究范畴 / 6

1.3.1 人的因素 / 6

1.3.2 机器的因素 / 7

1.3.3 环境的因素 / 7

1.3.4 人机系统的综合研究内容 / 8

1.4 研究方法 / 8

1.4.1 人机工程学研究方法的特点 / 8

1.4.2 人机工程学研究方法的层次 / 9

第2章 人体尺寸测量 / 12

2.1 人体测量基本知识 / 12

2.1.1 人体测量概述 / 12

2.1.2 人体测量的主要方法 / 12

2.1.3	人体测量的基本术语	/ 14
2.1.4	人体尺寸的测量与特征	/ 16
2.2	人体测量中的主要统计参数	/ 19
2.2.1	正态分布	/ 19
2.2.2	平均值 (Mean)、中值 (Median)、 众数 (Mode)	/ 19
2.2.3	标准差 (Standard Distribution)	/ 19
2.2.4	适应域	/ 19
2.2.5	百分位	/ 19
2.2.6	百分位数	/ 20
2.3	常用的人体尺度数据	/ 20
2.4	人体尺度数据的应用	/ 22
2.4.1	人体尺寸应用原则	/ 22
2.4.2	人体尺寸的适用场合	/ 24
2.4.3	人体尺寸的应用方法	/ 24
2.4.4	人体模板及应用	/ 28

第3章 人体感知系统 / 31

3.1	视觉系统	/ 31
3.1.1	视觉器官与视觉过程	/ 31
3.1.2	视觉机能	/ 32
3.1.3	视觉特征	/ 34
3.2	听觉系统	/ 35
3.2.1	听觉器官与听觉过程	/ 35
3.2.2	听觉的几种效应	/ 35
3.3	嗅觉	/ 36
3.3.1	嗅觉的器官与味觉的形成	/ 36
3.3.2	嗅觉的特征	/ 36

3.4	味觉	/ 36
3.4.1	味觉的器官与味觉的形成	/ 36
3.4.2	味觉的特征	/ 37
3.5	肤觉	/ 37
3.5.1	触觉	/ 38
3.5.2	温度觉	/ 38
3.5.3	痛觉	/ 39
3.5.4	内部感觉	/ 39
3.6	感觉	/ 39
3.6.1	适宜刺激	/ 39
3.6.2	感觉的特性	/ 40
3.7	知觉	/ 41
3.7.1	感觉与知觉的联系与区别	/ 41
3.7.2	知觉的特性	/ 41

第4章 人体运动系统 / 44

4.1	人体运动系统的组成	/ 44
4.1.1	肌肉	/ 44
4.1.2	骨	/ 48
4.1.3	关节运动	/ 50
4.2	人的运动特点	/ 50
4.2.1	肢体活动的空间范围	/ 50
4.2.2	肢体活动的角度范围	/ 52
4.2.3	肢体的出力范围	/ 52
4.3	人的操作动作分析	/ 54
4.3.1	动作元素	/ 54
4.3.2	动作分析方法	/ 56
4.3.3	动作经济原则	/ 56

第5章 人机界面设计 / 65

- 5.1 人机界面设计 / 65**
 - 5.1.1 人机界面概述 / 65
 - 5.1.2 人机功能分配 / 66
- 5.2 显示器设计 / 67**
 - 5.2.1 显示器概述 / 67
 - 5.2.2 显示器分类 / 67
 - 5.2.3 显示器选择与设计的基本原则 / 68
 - 5.2.4 视觉显示器设计 / 68
 - 5.2.5 听觉显示器设计 / 70
- 5.3 控制器设计 / 71**
 - 5.3.1 控制器概述 / 71
 - 5.3.2 控制器的分类 / 71
 - 5.3.3 控制器选用与设计的一般原则 / 71
 - 5.3.4 控制器的编码 / 72
 - 5.3.5 常见控制装置设计 / 73
- 5.4 显示器与控制器的关系 / 76**
 - 5.4.1 控制量与显示量的比率 / 76
 - 5.4.2 控制器与显示器的组合方式与原则 / 76
 - 5.4.3 控制器与显示器的相合性设计 / 77
- 5.5 手握式工具设计 / 77**
 - 5.5.1 人手解剖及其工具使用相关的疾患 / 78
 - 5.5.2 手工具的一般人机学要求 / 78
 - 5.5.3 把手设计参数 / 80

第6章 作业空间设计 / 86

- 6.1 作业空间概述 / 86**

6.1.1	近身作业空间	/ 86
6.1.2	个体作业场所	/ 86
6.1.3	总体作业空间	/ 87
6.2	工作岗位空间设计	/ 87
6.2.1	作业姿势的选择	/ 87
6.2.2	坐姿作业空间设计	/ 88
6.2.3	立姿作业空间	/ 89
6.2.4	坐、立交替的作业空间	/ 89
6.2.5	影响作业岗位空间设计的因素	/ 90
6.3	作业场所布置	/ 91
6.3.1	机器、设备的布置原则	/ 91
6.3.2	控制面板的布置原则	/ 92
6.4	工作面设计	/ 93
6.4.1	工作面的高度	/ 93
6.4.2	工作面宽度	/ 93
6.5	工作台设计	/ 94
6.5.1	不同作业姿势的工作台	/ 94
6.5.2	不同组合形式的工作台	/ 95
6.6	工作座椅设计	/ 96
6.6.1	影响座椅设计的因素	/ 96
6.6.2	工作座椅设计	/ 100

第7章 人机工程学在室内设计中的运用 / 106

7.1	人机工程学与室内设计的关系	/ 106
7.2	人机工程学在室内设计中的作用	/ 106
7.2.1	确定人和人际在室内活动所需空间的主要依据	/ 107

7.2.2	确定家具、设施的形体、尺度及其使用范围的主要依据	/ 107
7.2.3	提供适应人体的室内物理环境的最佳参数	/ 107
7.2.4	对视觉要素的计测为室内视觉环境设计提供科学依据	/ 107
7.3	室内空间设计主要人机问题	/ 107
7.3.1	居室空间布局问题	/ 107
7.3.2	通风问题	/ 107
7.3.3	采光问题	/ 108
7.3.4	色彩的处理与装饰材料的选择	/ 108
7.3.5	室内污染等问题	/ 108
7.4	室内主要空间设计	/ 109
7.4.1	起居室设计	/ 109
7.4.2	餐厅设计	/ 110
7.4.3	厨房设计	/ 111
7.4.4	卧室设计	/ 111
7.4.5	老年人房间	/ 112
7.4.6	书房设计	/ 112
7.4.7	卫浴间设计	/ 112
7.4.8	玄关设计	/ 113

第8章 人机工程学在产品设计中的运用 / 121

8.1	人机工程学与产品设计的关系	/ 121
8.2	人机工程学在产品设计中的作用	/ 121
8.2.1	为产品设计中考虑“人的因素”提供人体尺度参考	/ 121
8.2.2	为产品设计中“物”的功能合理性提供科学依据	/ 122

8.2.3	为产品设计中考虑“环境因素” 系统设计提供理论依据	/ 122
8.2.4	为进行“人—机—环境”系统设计 提供理论依据	/ 122
8.3	产品设计各阶段中人机工程设计工作程序	/ 122
8.3.1	规划阶段（准备阶段）	/ 122
8.3.2	方案设计阶段	/ 123
8.3.3	技术设计阶段	/ 123
8.3.4	总体设计阶段	/ 123
8.3.5	加工设计阶段	/ 123
8.4	产品设计中的人机工程因素	/ 123
8.4.1	产品的功能设计	/ 123
8.4.2	产品造型设计	/ 123
8.4.3	产品色彩设计	/ 124
8.4.4	美学规律	/ 124
8.4.5	产品安全性设计	/ 126

第 1 章 人机工程学概述

教学目的与要求：通过本章的学习，要求学生了解人机工程学的定义、发展与研究内容等。

教学重点：

1. 人机工程学的定义
2. 人机工程学的形成与发展
3. 人机工程学的研究范畴

计划课时：2 课时

1.1 人机工程学定义

人机工程学，是应用人体测量学、人体力学、劳动生理学、劳动心理学等学科的研究方法，对人体结构特征和机能特征进行研究，提供人体各部分的尺寸、重量、体表面积、比重、重心以及人体各部分在活动时的相互关系和可及范围等人体结构特征参数；还提供人体各部分的出力范围，以及动作时的习惯等人体机能特征参数，分析人的视觉、听觉、触觉以及肤觉等感觉器官的机能特性；分析人在各种劳动时的生理变化、能量消耗、疲劳机理以及人对各种劳动负荷的适应能力；探讨人在工作中影响心理状态的因素以及心理因素对工作效率的影响等。

在人机工程学发展的不同历史时期，不同的学者提出过多种关于人机工程学的定义，

分别反映了当时人机学学科思想的侧重点。这里优先介绍国际人机工程学学会（IEA, International Ergonomics Association）对人机工程学所下的定义。因为这个定义反映了人机工程学已经相对成熟时期的学科思想，也为各国多数学者所认同。该定义如下：

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（研究对象）；研究人和机器及环境的相互作用（研究内容）；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、舒适和工作效率的学科（研究目的）。

这个定义的三句话，分别阐明了人机学的研究对象、研究内容和研究目的。

（1）研究对象：工作环境中的解剖学、生理学、心理学等方面的因素。这些因素除了工业设计以外，还与管理工程、

劳动科学、安全工程、环境工程等领域有关。

(2) 研究内容: 人一机—环境的最佳匹配、人一机—环境系统的优化。

(3) 研究目的: 设计一切器物都要考虑人们生活、工作的安全、舒适、高效。

1.2 形成与发展

1.2.1 人机工程学的起源

任何事物的发展都起源于事物内部的矛盾。

人机工程学的产生首先是由于人和工具或者“人造物”之间的矛盾和关系。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”,人类借助工具扩大了手和脚的功能。自从人类着手制作工具起,工具就体现了它的两个最根本的特征:第一,工具应具有人们对它规定的使用功能;第二,工具必须适合人的生理特点(如适合手或脚使用等)。早期,人类制造工具的过程实际上主要是设法使之能适合人的手和脚的使用。以一件石斧为例,任何一块锋利的石片都具有砍斫野兽皮骨的功能,但要能使之成为一件工具(石斧),它还必须具备两个条件:一是人手要拿得动、握得住;二是手握的部分要适合人手的形态,不会因反推力而将手弄伤。由此可见,人类从开始制造工具起,就在研究如何使用工具及工具如何适宜人使用这样一个人与工具的关系问题。

人类社会就是在不断地改造自然物,使之成为人类自身服务的过程中发展起来

的。在这个改造过程中,要解决的主要问题之一,就是人和物的相互适应问题。人机矛盾的本质就是人和工具发展的不平衡造成的矛盾。

1.2.2 人机工程学简史

1.2.2.1 人机工程学的萌芽

打制石器体现了人类最早工具意识和设计意识。在青铜时代和农耕时代,人类开始了社会分工,出现了工匠、商人、农民和战士等。无论是工匠的工具还是战士的武器的使用效率和成果基本取决于人的技能和技巧。即“百工之事,皆圣人之作”(《考工记》)。这一时期,人们使用的工具均属于手工工具,人的劳动属于手工劳动。因此,人机关系是一种“柔性”关系,即工具对于使用者而言是一种“器物”,所以有“工欲善其事,必先利其器”之说,工具对于人没有很大的“约束力”,工具是个体意义的工具,或者说“我的工具”。因此,在人机关系中,人占主导地位。

1.2.2.2 经验人机工程学

19世纪后期,一系列的发明、发现为西方工业的迅速发展提供了新技术基础,机械化的生产方式和机器大工业日趋成熟,并转而追求效率。这时的机械设计多以功能的实现为目标,机械生产出来后,让人去适应机器,以它们的运转来决定与调节工人的生产活动。生产的效率与节奏完全由机器所决定,操作者只能被动地跟随机器的节奏工作,以便使机器充分发挥其效率。由于机器设计没有充分考虑人的

因素,对操纵机器的工人必须加以选拔与训练,并要尽量创造条件使他们保证机器高效率工作。基于工业生产的实际要求促成了心理工艺学和泰勒制的产生和发展。

20 世纪初,美国学者 F. W. 泰勒 (Frederick. W. Taylor) 在传统管理方法的基础上,首创了新的管理方法和理论,并据此制定了一整套以提高工作效率为目的的操作方法,考虑了人使用的机器、工具、材料及作业环境的标准化问题。例如,他曾经研究过铲子的最佳形状、重量、研究过如何减少由于动作不合理而引起的疲劳等。

其中,比较典型的是“铁锹作业试验研究”。1898 年,他用形状相同而铲量不同的四种铁锹(每次可铲重量分别为 5 千克、10 千克、17 千克和 30 千克),分别去铲同样一堆煤。试验结果,用 10 千克的铁锹铲煤效率最高,因此他设计了许多大小不同的铁锹,以适应装卸不同的物料。在此以后,他还进行过搬运生铁的研究,通过制定每次的搬运量、搬运速度、休息时间,使作业者充分发挥劳动潜力,从而提高工作效率。

其后,随着生产规模的扩大和科学技术的进步,科学管理的内容不断充实丰富,其中动作时间研究、工作流程与工作方法分析、工具设计、装备布置等,都涉及人和机器、人和环境的关系问题,而且都与如何提高人的工作效率有关,其中有些原则至今对人类工程学研究有意义。因此,人们认为他的科学管理方法和理论是后来人机工程学发展的奠基石。

在经验人机工程学发展阶段,研究者大多是心理学家,其中突出的代表是美国

哈佛大学心理教授 H. 闵斯特泼格,在其代表作《心理学与工业效率》中,提出了心理学对人在工作中的适应与提高效率的重要性。闵的心理学研究工作与泰勒的科学管理方法联系起来,解决了选拔、培训人员与改善工作条件、减轻疲劳等实际问题。但他们的理论研究与管理方法并没有明确提出“使机器适应于人的思想”,而过多地强调了工人对机器或工作的适应(见图 1-1)。

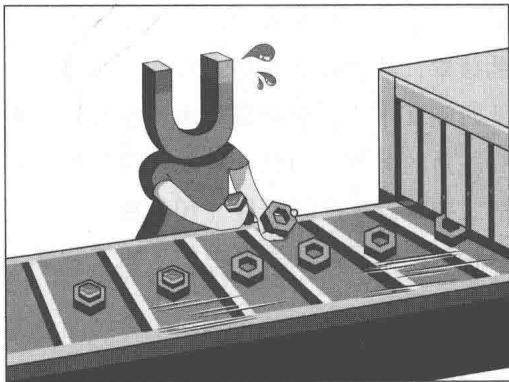


图 1-1 工人要适应机器

这一阶段的主要特点是:机器设计的主要着眼点在于力学、电学、热力学等工程技术方面的优选上,在人机关系上是以选拔和培训操作者为主,使人适应于机器。

1.2.2.3 科学人机工程学

人机工程作为一门学科,其成熟前期的基础性发展是在第二次世界大战期间。当时,由于战争的需要,武器系统越来越庞大、复杂。例如,德国制造的 80 厘米口径 DORA 远程大炮,射程为 47 千米,炮弹重达 4.8 吨,需 250 名士兵协同操

作；在美国制造的轰炸机上，仪表及控制装置有 100 多个，驾驶员的负担过重（见图 1-2）。对于这样复杂的武器，一方面，由于显示部分、联络部分及操作部分的设计不符合人的生理、心理特点，设计时没有很好地考虑操作方法而造成操作程序的混乱，不仅给士兵训练带来很大的困难，影响了武器效率的发挥，而且还发生过大量的武器事故。据统计，美国在第二次世界大战中的飞机事故，80%是由于人机工程方面的原因造成的。另一方面，为了争取时间，提高武器生产的效率，减少作业事故，对作业方法、作业时间及作业安全的研究本身也是一场争夺胜负的竞赛。因此，第二次世界大战中的主要武器生产国都建立和发展了专门的机构对武器设计及生产中的人机工程学问题进行研究。

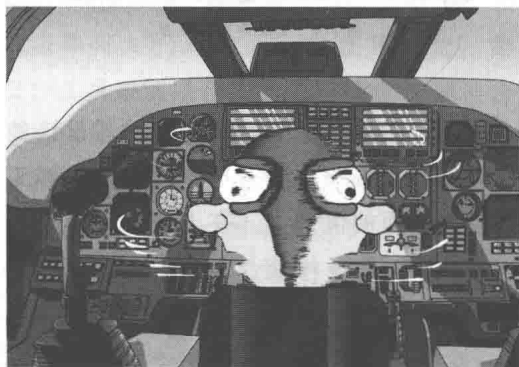


图 1-2 战斗机驾驶室

在第二次世界大战后，1949 年查帕尼斯（A. Chapanis）等合著的《应用实验心理学——工程设计中人的因素》一书，总结了第二次世界大战时期的研究成果，系统地论述了人机工程学的基本理论和方

法，为人机工程学作为一个独立的学科奠定了理论基础。1957 年，美国的麦克考米克发表的《人类工程学》是第一部关于人机工程学的权威著作，标志着这一学科已进入成熟阶段。

1949 年，英国在克·马勒等人倡导下，首先成立了人机工程学研究学会；1953 年，联邦德国成立了人机工程学会；1957 年，美国成立了人的因素协会（HFS）。到 20 世纪 60 年代，这一学科已在世界范围内普遍发展起来；1960 年，建立了国际人机工程学协会（IEA）；1961 年，在斯德哥尔摩举行了第一次国际人机工程学会会议；1962 年，苏联的全苏技术美学研究所成立并建立了人机工程学学部；1963 年，日本建立了人机工学学会；同年，法国也建立了人机工程学会。

科学人类工程学一直延续到 20 世纪 50 年代末。在其发展的后一阶段，由于战争的结束，学科的综合研究从军事领域向非军事领域发展，并逐步把应用在军事领域的研究成果用来解决工业与工程设计中的问题，如飞机、汽车、机械设备、建筑设施以及生活用品等。人们还提出在设计工业机械设备时也应集中运用工程技术人员、医学家、心理学家等相关学科专家的共同智慧。

这一阶段的主要特点是：重视工业与工程设计中“人的因素”，力求使机器适应于人。

1.2.2.4 现代人机工程学

20 世纪 60 年代以后，科学技术飞速发展，电子计算机应用的普及，工程系统的进一步复杂及其自动化程度的不断提

高, 宇航事业的空前发展, 一系列新科学的迅速崛起, 不仅为人机工程学注入了新的研究理论、方法和手段, 而且也为人机工程学提出了一系列新的研究课题。

随着人机工程学所涉及的研究和应用领域的不断扩大, 从事本学科研究的专家所涉及的专业和学科也就愈来愈多, 主要有解剖学、生理学、心理学、工业卫生学、工业与工程设计、工作研究、建筑与照明工程、管理工程等专业领域。IEA 在其会刊中指出, 现代人机工程学发展有三个特点:

①不同于传统人机工程学研究中着眼于选择和训练特定的人, 使之适应工作要求; 现代人机工程学着眼于机械装备的设计, 使机器的操作不超出人类能力界限之外。

②密切与实际应用相结合, 通过严密计划设定的广泛实验性研究, 尽可能利用所掌握的基本原理, 进行具体的机械装备设计。

③力求使实验心理学、生理学、功能解剖学等学科的专家与物理学、数学、工程学方面的研究人员共同努力、密切合作。现代人机工程学研究的方向是: 把人—机—环境系统作为一个统一的整体来研究, 以创造最适合于人操作的机械设备和作业环境, 使人—机—环境系统相协调, 从而获得系统的最高综合效能。

国际人机工程学会 (IEA) 1960 年成立至今, 先后召开了 10 届国际性会议, 英国、美国、德国、日本、法国等许多国家的人机工程学会均与 IEA 建立了联系。从 1975 年成立国际人机工程学标准化技术委员会 (ISO/CT—159), 至 1986 年共

制定 8 个标准草案或建议, 发布《工作系统设计的人体工程学原则》, 作为人机系统设计的基本方针。

此外, 许多国家设立了专门的人机工程学研究机构。英、美、苏等国都相继制定了本国的人机工程学国家标准。目前, 人机工程学已被广泛应用于国防、交通运输、工业、航天航空、农业、建筑等各个领域。

现代人机工程学的研究方向是: 把“人—机—环境系统”作为一个统一的整体来研究的, 即在充分考虑人与机相互关系的同时, 还要考虑到各种环境因素 (如声、光、气体、温度、色彩、辐射等) 以及在高空或水下作业的生命保障系统等。这样, 就把人机相互适应的柔性设计提高到人—机—环境的系统设计高度, 使人—机—环境的系统和谐统一, 从而获得系统最佳的综合使用效能。

1.2.3 我国人机工程学发展情况

人机工程学在我国起步较晚, 在 20 世纪 60 年代国防科委的有关研究所曾结合飞机设计做过一些有关人机工程学方面的实验研究工作, 但是它作为一门学科, 直到 20 世纪 80 年代初才确立起来——各大学及研究所开始建立人机工程研究室。1980 年, 封根泉编著的我国第一本人机工程学专著《人体工程学》出版。1981 年, 由中国科学院心理学研究所和中国标准化综合研究所共同建立了“中国人类工效学标准化技术委员会”, 并与国际人机工程标准化技术委员会 (CIEA) 建立了联系。1984 年, 国防科工委成立了军人—