

飞行器人-机-环境系统工程系列专著

人-机-环境系统工程 总论

主编 陈 信 袁修干

北京航空航天大学出版社



北京航空航天大学出版社

TP11

3H

392435

飞行器-机-环境系统工程系列专著

人-机-环境系统工程总论

主编 陈 信 袁修干

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书是飞行器人-机-环境系统工程总论、科学内容及其方法学专著,着重阐述人体是个开放的复杂巨系统,人体与环境进行物质交换的各种信息,以及提取这些信息的各种方法和数据处理。著者们根据自己多年的研究成果,综合国外研究的进展,提出了较为系统、全面的解决人-机-环境系统工程中有关生物、医学、工程之间既相互矛盾,又相互适应的对策和方法。全书共7章,分别为人-机-环境系统工程概述、人体是个开放的复杂巨系统、人体的信息测量、人体信号处理的理论与方法、人体系统辨识与建模、人体信息的结构与特征、人体几个主要系统的控制。本书内容丰富、广泛,科学性与实用性强,体现了航空与航天领域人体科学与工程学科之间的有机结合,具有前沿学科特色。

本书可供航空、航天医学与工程技术研究人员、教学人员及其他相关人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

人一机一环境系统工程总论/陈信等编著. —北京:北京航空航天大学出版社,1996.9

ISBN 7-81012-638-5

I. 人… II. 陈… III. 人一机系统:环境系统-系统工程-概论 IV. TP11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 02915 号

● 书名: 人-机-环境系统工程总论

REN-JI-HUANJING XITONG GONGCHENG ZONGLUN

- 主编: 陈 信 袁修干
- 责编: 赵延永 杨学祺
- 责校: 李宝田
- 出版: 北京航空航天大学出版社
- 地址: 北京市海淀区学院路 37 号(100083)
- 印刷: 北京市朝阳区科普印刷厂
- 发行: 新华书店总店北京发行所
- 经售: 全国各地新华书店
- 开本: 787×1092 1/16
- 印张: 15
- 字数: 384 千字
- 印数: 1000 册
- 版次: 1996 年 9 月第 1 版
- 印次: 1996 年 9 月第 1 次印刷
- 书号: ISBN 7-81012-638-5/V · 043
- 定价: 24.00 元

飞行器人-机-环境系统工程系列专著
编 委 会

主编 陈 信 袁修干

编委 (按姓氏笔画排序)

于志深	王玉兰	方振平	龙升照
孙长祝	孙洪元	庄祥昌	刘建中
吴文灿	吴国兴	陈延航	陈 信
余和琤	杨春信	沙 斌	庞 诚
周笃强	贾司光	袁修干	钱维权
顾鼎良	谢宝生	滕育英	

本书作者

龙升照	陈 信	陈延航
孙洪元	余和琤	

代 序^①

人-机-环境系统工程是很重要的一项工作。这个问题之所以重要,是因为过去我们对于精神与物质、主观与客观、人与武器这些问题,只能在哲学的高度来论述,要具体应用到某个问题,如国防科技问题,就没有什么办法了,不能定量,也不能进行严格的科学分析。这么一个状态,在最近十年已开始有变化,一个是由于自然科学技术的发展,对于人,在人的生理、功能、心理,以至于脑科学方面,最近十几年的发展是很大的,幸而在这些方面发展的同时还有另一方面的发展,即系统科学的发展。现在有机会将各个领域里的发展综合起来,这一综合就由量变到质变,有一个飞跃,以至于我们所今天可以提出人-机-环境系统工程,把人、机器与整个客观环境联在一起来考虑。联系在一起考虑就跟单个地考虑人、单个地考虑机器、单个地考虑环境不一样,这就是辩证法,总体辩证法。因此,我们提出的这个观点,对于我国的国防科学技术有深远的意义,这包括两个方面:一是从武器系统来讲,人与机器结合起来,而这种结合是越来越深入了。因为现在已经由于人工智能、专家系统这些方面的发展,将很复杂的武器系统里人操作这个系统中忙不过来或来不及解决的很多问题让电子计算机来解决,也就是说,人的操作已经分了工,一部分操作即控制武器的功能已经让机器去做了,人要腾出手来作更高级的判断或决策,所以人-机-环境这个系统里人与机器的分工跟过去不一样,这是一个大的问题。举例来讲,里根提出的SDI,那个东西差不多全是人工智能机器、计算机在操作的,因为不可能由人来操作,要在两三分钟之内打掉几万个目标,那是不可能由人来操作的,这是个极端的例子。当然他做得成做不成还是个问题,但他想那么做,朝那个方向走了。实际上他朝那个方向走是有基础的,就是现在的更简单一点的系统,最简单的如飞机的操作,大概在十几年前,曾经争论得很厉害,是否把驾驶舱里的仪器的信息综合起来,经过电子计算机的处理,然后显示给驾驶员。这是条理很清楚的一种显示,而不是像过去,驾驶员得一个个地读仪表。实际上有这个需要,因为驾驶员实在忙不过来读几百个仪表。刚提出这个问题,也有人反对,说机器靠不住,计算机不如人靠得住。经过十几年的争论,实际上飞机的驾驶舱里已经完全用计算机处理了。

就这一个问题来看,人与机器的关系有了很大的变化,在复杂的武器系统里完全靠人去操作,不大可能,人没有这个本事,所谓更高级的自动化,甚至叫自主化,即对一些简单的操作,不需要人去参与,它就可以执行。这在武器系统里已经开始。将来一定是朝这个方向发展。因为武器系统越来越复杂,比现在还要复杂,

^① 本文是根据钱学森在航天医学工程研究所 1985 年的讲话整理的。

不得不这样做,所以人-机-环境系统工程已提到日程上来了。另一个问题,是更高级的,到了指挥系统,就是我们所说的C³I这些系统,一个指挥员当然是指挥战斗的,但指挥员要是离开了C³I,他也没法子工作。这是更高一级的指挥作战。无论从哪方面来看这个问题,我们都应意识到,在今天20世纪80年代要预见到21世纪国防科学技术的发展,不能再忽视人-机-环境系统工程了。

人-机-环境系统工程对于我们首先是用于国防建设,当然还有其他的应用。这么一个方向,现在已经得到领导的同意,定下来了。这个事大家虽然做了多少年了,但这方面的研究工作份量要加重,因为在这方面国外在发展,我们自己做的工作,也是不少的。国外的发展运用到国防技术方面和民用方面的量都很大,特别是他们最近的发展道路是:人和武器的中间还得再加一个,即人加电子计算机加武器加环境这样一个系统。我们也是这样想的,虽然我们没有说人-电子计算机-武器-环境系统,但我们的人-机-环境系统是包括这个内容的。这方面的发展看来已提到日程上来,我们要注意了。今后的国防技术的发展恐怕必然要走这条路。人、机要结合起来,这中间要有电子计算机。人、电子计算机和武器装备要结合起来。这个问题已经很重要了,光是人加武器装备已经不行了,还要加一个电子计算机,这个电子计算机要能尽量代替人的一部分工作,也就是采用专家系统、人工智能机这类东西。国外在这些方面的发展也是很多的,你们一定看过了,我最近拿到一本《人-机系统研究的最近发展》,这是1984年的,恐怕每年一本。其中内容就是我们说的这些。这样,我们的讨论会恐怕得把这个内容加进去,因为人-机-环境系统是我们自己讲的,现在这个任务已经不是我们自己讲的,是领导给我们的任务,而且认为这是国防科学技术发展的一个重要方面。

不能等人体科学都解决了问题再搞人-机-环境系统工程,现在摆着这些问题,不得不用简单、简化的理论和简单、简化的模型去做,但要用得合适,就解决问题,用得合适,就解决不了问题,就会失败。这里重要的是经验因素,可能要有好多模型,什么样的模型在什么场合用起来合适,这恐怕要你们使出看家老本了。

老人有个缺点,反应慢,我想假如仅仅是反应慢这么一个问题,这是可以解决的。就是在一个系统即机器和人之间加一个智能机,现在称人工智能。智能机可以解决反应慢的问题,因为反应慢是有规律的,就可以用机器,这个问题很重要。实际上年轻人也会遇到很紧张很复杂的情况,如果他们的反应还跟不上,中间也可加智能机。现在光是人操作武器不行,人操作武器时要有智能机的帮助。所以将来人-机-环境系统工程上还要加一个,要考虑的不能光是人、环境、机器;人、环境、机器中间还要加一个智能机,即人工智能,作为人的辅助的手段,帮助人做工作。我们现在考虑人-机-环境系统工程似乎应该有这么一个因素。人-机-环境系统工程现在的内容更复杂了,加了一个智能机,人工智能这些东西。

人工智能,或叫专家系统,就是中间加上有智能的电子计算机。国外考虑的新

式武器大概都包括这个内容,没有什么人直接操纵武器,人操纵武器之间还有一个环节——智能机。这个智能也不是很高的智能,只是将有经验的人或者用武器打仗的这套经验形成电子计算机能够使用的一些规律,在实际操作中电子计算机就可以显示出该怎么打。这样就使一般的人因两个缘故:经验不够出错和情况复杂引起紧张出错的情况得以避免,并提高其作战操作能力,这是很重要的。现在美国已经在考虑这个问题,它的战斗机已有这种功能,不完全靠驾驶员自己,还靠机器,机器总结了以前所有使用这种飞机的最好的经验。对这个问题,我们是应该考虑的。我们完全有这个条件,我们不是有很多搞计算机和电子的人吗,也有搞心理的人,这是个好机会。这也是人-机-环境系统工程这个总题目里需要的。

人-机-环境系统工程要想得更远一些,想到 2000 年,想到 21 世纪。我们想的这个人-机-环境系统工程也是国防科学技术方面的问题。现在有一些迹象或苗头给我们一些启示,就是说到了 21 世纪,好像作战的系统决不是我们现在熟悉的作战系统。打仗,当然要靠人,但人跟机器,跟人-机使用的环境关系更错综复杂,或者说人跟机器更紧密。这个机器包括计算机。这样一个问题恐怕要考虑,譬如说机器人也会出现在我们这个人-机-环境系统工程里面,而且一个美国人在考虑空间站的进一步发展所说的机器人不是现在的这种机器人,现在的机器人大概只有一个胳膊,单臂的,做一件事情。比如生产线上用来喷漆的机器人,再有搞装配的机器人,大概就是一个胳膊一只手。但将来要考虑的机器人,要好多个胳膊,实际上是好多个机器人协同工作的。这个问题就复杂得多了。两个胳膊都在那儿工作别打架呀!何况多臂多个机器人在那儿工作,这是一个新问题。再说计算机,计算机现在最热的一个热门是让计算机有智慧,或者有一部分人的智慧,叫智能机。这是最热门的一个事情。现在像美国、日本、西德、欧洲都在搞这个事情,搞竞赛。我认为这个问题可以这样说,现在的计算机可以说是最笨的机器。就是这么一个笨的机器已经对我们技术的发展起了这么大的作用,这是在计算机早年包括我这样的人所从来没有想到的。那个时候认为计算机么,无非是计算计算了,但现在很清楚,计算机是影响了整个科学技术,影响了社会发展。假定它有智能了,那简直是不得了的事情。可见是热门了。各国都在做这个事情,也就是说把计算机变成高度并行的运算机。人的神经系统是高度并行的。所谓人的创造性——智能,最主要的恐怕就是这个。我们常常说一个人想问题简单,就是单线的想问题。如果这个人聪明,他就不是单线的,是好多线的想问题。这就是说人的智能是高度并行的。现在国外研究的就是高度并行的计算机。比我们的银河 I 号还要快。

我们说到了 2000 年,同志们如果觉得有道理,就在人-机-环境系统工程的题目下有一个远期的设想,就要作预先研究。

前 言

在钱学森同志系统科学思想指导下,在大量科研工作实践的基础上,80年代初我和龙升照教授提出人-机-环境系统工程,受到国内外学者的重视。不少科学工作者从自身的科研工作对此进行探索和实践,取得了丰硕成果,有力地证明了这门学问的客观实在性。本系列专著旨在将人-机-环境系统工程问世以来,主要是在航空航天领域所取得的一系列研究成果加以挖掘、归纳、整理;同时,对该理论、方法进行补充和完善。这些年来,我们深切地感到,人-机-环境系统工程是一门年青且十分重要的技术科学,其领域也在日益扩大,正如钱学森同志在1993年10月22日给龙升照教授的一封信中所阐述的“我收到您主编的《人-机-环境系统工程研究进展(第一卷)》,翻看了之后,感到非常高兴。1985年秋,我提出一个想法,在8年之后已赫然成书,500多页的巨卷!而且研究范围已大大超出原来航天(领域),内容涉及航空、航天、航海、兵器、电子、能源、交通、电力、煤炭、冶金、体育、康复、管理……领域!你们是在社会主义中国开创了这门重要现代科学技术!”(龙升照主编,人-机-环境系统工程研究进展(第二卷)。北京:北京科学技术出版社,1995)。

钱学森同志的评价是中肯的,同时对大家也是一个鞭策和鼓舞。为什么人-机-环境系统工程的理论和方法能够在中国这块土地上得到如此迅速的发展呢?首先,中国的科技工作者是辩证唯物主义指导科研工作的;其次,应该充分肯定,中国科技界的有识之士是务实的,从自己的科学研究实践中,敢于提出自己的见解,否定“传统模式”,认为把“环境”排斥在“人-机系统”之外是不对的,不符合实际。按照传统的观念,环境只能是干扰因素,消极因素。事实上,人、机、环境三大要素具体到某个特定的空间、场合,总是处于有机联系不可分割的整体之中,与人-机系统耦合、协同、互补,起“积极因素”的作用。所以,把环境看成是干扰因素或消极因素是不合适的。再次,技术科学是要切实解决实际问题的。大量的科学事实表明,先进的理论和方法一旦和实际结合,就会产生巨大的物质力量。人-机-环境系统工程的理论和方法也充分体现了这点。过去把人、机、环境三大要素人为地分割开来,对立起来,给技术部门造成很大困难,为了对付环境这个“有害”因素,往往在设计人、机系统方面毫无道理地浪费了大量的人力、物力和时间,最后仍然不能实现预定的目标。现在把三者有机地联系起来,有条件求得“安全、高效、经济”的总体效果。之所以这门技术科学一问世就能得到采用,是因为它符合客观实际,切实解决问题。可以这样说,只要是科学的合理的东西,不管你承认与否,总是要存在的,总是要按照自己的规律发展的,迟早要被人们所认识和接受的。

人-机-环境系统工程所包含的三大要素,相互依存,互相制约,相互补偿,自不必说。但同时又不是平起平坐,而是有主次之分的。我们认为三大要素中人是主要方面,总是起主导作用的,即使将来自动化程度很高了,机器也不能完全替代人。而且人是一个有意识活动的极其复杂的开放的巨系统,随时随地要与外界进行物质、能量和信息的交换,这些信息种类繁多,性质各异。本书(总论)重点介绍本学科的理论框架和几种主要技术方法,可使阅读后两本书更加

方便。

本书的作者绝大多数都是五、六十年代过来的从事航空航天医学、医学工程和工程的专家、学者,他们各自在本学科领域是带头人,同时又具有丰富的人-机-环境系统工程理论探索 and 实际经验。但这些人中多数已经离开了自己的工作岗位,可以“告老还乡”了,又总觉得有些事没有做完,这次聘请写这本书,这批老科学家异常兴奋、活跃、自觉,把自己多年积累的资料翻出来,分析整理,不顾年老体弱,日以继夜地写作,非常认真,反复修改,一丝不苟,有的人一写就是几万字、十几万字,他们心目中只有一个愿望,给后人留下一点可以查找的资料。看来,这个愿望是能够实现的。另一部分专家还在工作岗位上,他们的科研任务十分繁重,但他们都愿意把多年科研成果整理出来供大家使用。

实践是认识事物的源泉,同时又是检验理论的唯一标准。人-机-环境系统工程的理论和实践在不断地开拓前进,肯定有很多新的东西出现,我们也无法搜集全部资料编入本书中,同时对已有的科学资料,我们还未能很好的用人-机-环境系统工作的理论框架归纳提炼。让我们共同来完善充实这门科学技术,作出自己应有的贡献。

陈 信

1996 年 5 月

目 录

第一章 人-机-环境系统工程概述

第一节 人-机-环境系统工程的形成和发展	(1)
第二节 人-机-环境系统工程的研究内容	(3)
第三节 人-机-环境系统工程的基础理论	(4)
参考文献	(7)

第二章 人体是个开放的复杂巨系统

第一节 开放的复杂巨系统	(8)
第二节 人体是个开放复杂巨系统	(11)
第三节 人体科学的概念与定义	(13)
第四节 人体科学的功能态理论	(14)
第五节 人体科学研究的方法论与方法学	(16)
参考文献	(18)

第三章 人体信息的测量

第一节 人体电特性与测量方法	(19)
第二节 人体生理压力特性及测量方法	(30)
第三节 人体声特性的测量	(36)
第四节 人体的温度及光特性	(40)
第五节 人体的流体特征与测量	(43)
第六节 生物化学量的测量	(48)
第七节 人体的断面成像技术	(50)
第八节 人体信号的动态测量	(52)
参考文献	(54)

第四章 人体信号处理的理论与方法

第一节 数理统计学的应用与发展	(55)
第二节 回归分析	(56)
第三节 判别分析	(58)
第四节 聚类分析	(61)
第五节 主成分分析	(63)
第六节 因子分析	(66)
第七节 时序分析	(69)
第八节 综合分析	(75)
参考文献	(79)

第五章 人体系统的辨识与建模

第一节 系统辨识	(80)
第二节 权函数辨识	(81)
第三节 线性参数模型辨识	(83)
第四节 广义最小二乘辨识	(85)
第五节 非线性系统辨识	(87)
第六节 灰色系统概况	(90)
第七节 灰色系统建模	(93)
第八节 关联分析	(98)
第九节 灰色系统预测	(100)
第十节 灰色系统决策	(104)
第十一节 灰色系统分析	(111)
第十二节 灰色系统控制	(115)
参考文献	(119)

第六章 人体信息结构特征

第一节 神经系统的结构和功能	(121)
第二节 神经冲动系列的统计性质	(127)
第三节 随机系列信息处理	(150)
第四节 皮肤与本体感觉系统的信息机构	(155)
第五节 听觉系统信息结构	(161)
第六节 视网膜的视觉信息处理	(167)
第七节 信息理论在人体信息分析中的应用	(175)
参考文献	(186)

第七章 人体几个主要系统的控制

第一节 温度的调节控制	(188)
第二节 呼吸运动的控制	(194)
第三节 心血管系统的控制	(204)
第四节 四肢运动的控制	(216)
参考文献	(227)

第一章 人-机-环境系统工程概述

第一节 人-机-环境系统工程的形成和发展

人-机-环境系统工程作为一种理论,作为一门科学的出现,是 80 年代初的事,但人-机-环境系统工程的古老根源可以追溯到人类的早期活动,人-机-环境系统工程的形成和发展已经历了漫长的历史阶段。

从远古时代起,人类一代一代地不断改善劳动工具,直至大规模使用机器,以提高人战胜自然、改造世界的能力。当人类最初使用简单工具进行大量和笨重体力劳动时,客观上就提出了人-机-环境系统的最优结合问题。18 世纪、19 世纪的第一次工业革命及其随后的能源革命使人类进入了机器时代。人们所从事的劳动在复杂程度和负荷量上都有了很大变化,开始形成人、机、环境的复杂关系。20 世纪初英国的泰勒(F. W. Taylor)提出要研究人的操作方法,并从管理的角度制订了相应的操作制度,人们把它称为“泰勒制”。

后来,人们开始有组织地对人、机、环境三者之间的关系进行实验研究,并积累了大量数据。40 年代,特别是第二次世界大战期间,各种新式武器不断出现,性能也日趋复杂;到了 50 年代,电子计算机的应用迅速发展;60 年代,载人航天活动也取得了突破性的进展。这一切,使人、机、环境相互关系的研究显得更为突出,先后出现了人的因素(Human Factors)、人体工程学(Human Engineering)、工程心理学(Engineering Psychology)、工效学(Ergonomics)、人的因素工程(Human Factor Engineering)、人-机系统(Man-Machine System)等学科名称,并从不同的侧面、不同的角度积累了人、机、环境的实验数据和经验,为人-机-环境系统工程的形成创造了条件。但是,在这个时期,研究工作的重点是让人如何适应机器、适应环境;而对于机器设计如何适应人的特点和需要,以及如何改造和控制环境等问题虽然有所认识,但是缺乏用系统的整体观点来全面解决人、机、环境的相互关系问题。虽然有了关于人、机、环境的各种数据,但如何运用这些数据,仍然是凭经验进行,因而难以取得最佳效果。

1980 年末,美国科学院应陆、海、空三军的要求,组成一个专门委员会,着重分析和研究该领域的研究现状,并于 1983 年 1 月提出了题为《人的因素研究需要》的专门报告。该报告承认,70 年代由于单纯依靠过去 20 年的数据而放松基础研究,导致若干设计和研制的重大失误。于是,对科研部署作了一些调整,但仍未摆脱传统框框的束缚。

1981 年,在著名科学家钱学森的指导下,陈信、龙升照发表了《人-机-环境系统工程(学)概论》一文^[1]。该文根据载人航天预先研究的实践,并对国内外情况进行了认真分析,概括性地提出了人-机-环境系统工程的科学概念,标志着一门新兴科学的形成。

人-机-环境系统工程是运用系统科学理论和系统工程方法,正确处理人、机、环境三大要素的关系,深入研究人-机-环境系统最优组合的一门科学,其研究对象为人-机-环境系统。系

统中的“人”，是指作为工作主体的人(如操作人员或决策人员)；“机”是指人所控制的一切对象(如汽车、飞机、轮船、生产过程……)的总称；“环境”是指人、机共处的特定工作条件(如温度、噪声、震动、有害气体……)。

人-机-环境系统工程的最大特点是把人、机、环境看作是一个系统的三大要素，在深入研究三者各自性能的基础上，强调从全系统的整体性能出发，通过三者间的信息传递、加工和控制，形成一个相互关联的复杂巨系统，并运用系统工程方法，使系统具有“安全、高效、经济”等综合效能。所谓“安全”，是指不出现人体的生理危害或伤害，并尽量减少事故；所谓“高效”是指全系统具有最好的工作性能或最高的工作效率；所谓“经济”，就是在满足系统技术要求的提前下，系统的建立要投资最少，也即保证系统的经济性。此外，人-机-环境系统工程还抛弃了以往把环境作为干扰因素的消极观点，积极主张把环境作为系统的一个环节，并按系统的总体要求对其进行全面的规划和控制。这样一来，人-机-环境系统工程不仅把人的因素、人体工程学、工程心理学、工效学、人的因素工程、人-机系统等学科纳入一个统一的科学框架，避免概念和术语的混乱，而且从系统的总体高度研究人-机-环境系统各种组合方案的优劣，改变以往分散、孤立的研究局面，把人们设计和研制人-机-环境系统的实践活动推向一个崭新阶段。应该强调的是，人-机-环境系统工程的提出，并不是对上述各学科的否定或取代，而是把这些大致相近或相辅相成的研究范畴提到一个更高的层次、更广的视野去分析和综合，从而把该领域的研究工作推进到一个新水平。

人-机-环境系统工程的理论和方法提出后，先后在我国的军工及其他有关部门得到了应用和发展。有些国内学术刊物(如《自然杂志》和《国际航空》等)也发表了本科学的有关论文。在有影响的报刊上，如《解放军报》、《中国科技报》、《北京科技报》、《经济日报》和《国防科技要闻》上也有这门科学的内容简介和科技短文，人-机-环境系统工程已逐渐被广大科技界所熟悉。1993年6月出版的《中国军事百科全书》已将“人-机-环境系统工程”作为该书的一个条目^[2]。

人-机-环境系统工程发展的几个重大事件如下：

1981年，陈信、龙升照撰写的论文《人-机-环境系统工程(学)概论》在航天医学工程研究所《论文汇编(三)》上首次发表^[1]。该文于1985年在《自然杂志》第一期上公开发表；

1984年10月，国防科工委成立了“人-机-环境系统工程标准化技术委员会”；

1986年5月，国防科工委将“武器装备人-机-环境系统工程研究”列为国防科技应用、基础研究重点项目；

1987年4月，国防科工委成立了“人-机-环境系统工程专业组”；

1988年4月，北京航空航天大学成立了“人-机-环境系统工程研究所”；

1993年10月，中国系统工程学会“人-机-环境系统工程专业委员会”成立，并于北京召开了第一届全国人-机-环境系统工程学术会议。会议收到学术论文150余篇，并从中精选出117篇比较优秀的论文编辑成书，定名为《人-机-环境系统工程研究进展(第一卷)》，在全国公开发行^[3]。该书首次公开发表了著名科学家钱学森关于人-机-环境系统工程的重要论述。国防科工委主任、工程院院士丁衡高特别为该书题词——“研究人-机-环境系统工程，为国防现代化服务”。该书内容涉及航空、航天、兵器、电子、能源、交通、电力、煤炭、冶金、体育、康复、管理等众多领域，它全面反映了人-机-环境系统工程这门新兴科学在理论和应用方面的最新研究成果。

人-机-环境系统工程问世后，在国际上也引起了很好反响。1984年10月，人-机-环境系统工程理论的论文在第三十二届国际航空、航天医学会议上发表后，得到了各国学者们的热情关

注和好评^[4]。学者们认为,用人-机-环境系统工程理论来指导研究工作,很有创造性;同时还认为,把人、机、环境作一个系统整体来研究,的确是一个创举,它为实践提供了新的模式。葡萄牙国还把它编入当年的军事医学年鉴;美日学者也很重视这一科学理论,他们说这是中国人的创造,表示愿意与我国在此领域进行宏观上的学术交流;墨西哥一学者将本学科内容向他的学生讲授,引起大学生们极大的兴趣;日本学者斋藤一郎来华访问时,与我国学者进行了这方面的学术交流及参观活动,回国后在日本《宇宙航空环境医学》杂志上发表文章,赞扬本科学在中国的发展。

综上所述,本世纪 40 年代之前,是人-机-环境系统工程的萌芽期;40 年代至 70 年代是准备期;80 年代初,人-机-环境系统工程开始进入真正发展期。目前,人-机-环境系统工程虽处于初期阶段,但其踪迹却已深入到人类生活的各个领域。它的不断发展和日趋完善,必将在科学技术的发展中发挥其积极作用。

第二节 人-机-环境系统工程的研究内容

人-机-环境系统工程的研究内容可用图 1 来形象描述,它包括七个方面:人的特性的研究、机器特性的研究、环境特性的研究、人-机关系的研究、人-环关系的研究、机-环关系的研究、人-机-环境系统总体性能的研究。现将这七个方面的部分研究要点简述如下:

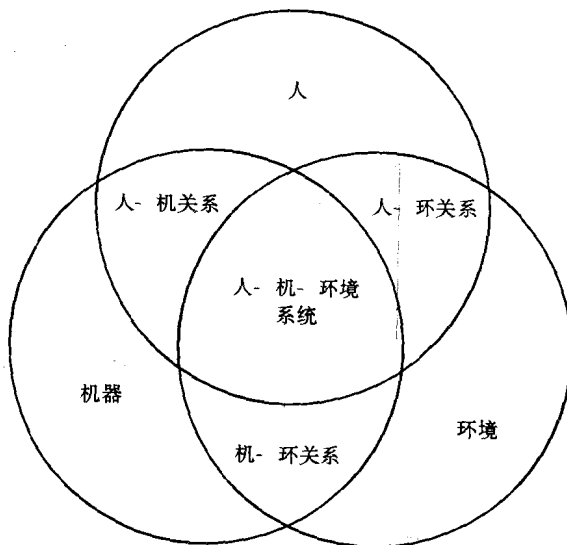


图 1-1 人-机-环境系统工程研究范畴示意图

(一) 人的特性的研究

主要包括人的工作能力研究,人的基本素质的测试与评价,人的体力负荷、智力负荷和心理负荷研究,人的可靠性研究,人的数学模型(控制模型和决策模型)研究,人体测量技术研究,人员的选拔和训练研究。

（二）机器特性的研究

主要包括被控对象动力学的建模技术,机器的防错设计研究,机器特性对系统性能影响的研究。

（三）环境特性的研究

主要包括环境检测技术的研究,环境控制技术的研究,环境建模技术的研究。

（四）人-机关系的研究

主要包括静态人-机关系研究、动态人-机关系研究和多媒体技术在人-机关系中的应用等三个方面。静态人-机关系研究主要有作业域的布局与设计;动态人-机关系研究主要有、机功能分配研究(人、机功能比较研究,人、机功能分配方法研究,人工智能研究)和人-机界面研究(显示和控制技术研究,人-机界面设计及评价技术研究)。

（五）人-环关系的研究

主要包括环境因素对人的影响,个体防护措施的研究。

（六）机-环关系的研究

主要包括环境因素对机器性能的影响,机器对环境的影响。

（七）人-机-环境系统总体性能的研究

主要包括人-机-环境系统总体数学模型的研究,人-机-环境系统全数学模拟、半物理模拟和全物理模拟技术的研究,人-机-环境系统总体性能(安全、高效、经济)的分析、设计和评价,灵境(Virtual Reality)技术在人-机-环境系统总体性能研究中的应用。

第三节 人-机-环境系统工程的基础理论

人-机-环境系统工程是一门综合性边缘技术科学,它从一系列基础学科中吸取了丰富营养,并奠定了自身的基础理论。人-机-环境系统工程的基础理论可以概括为控制论、模型论和优化论。

控制论的根本贡献在于,它用系统、信息、反馈等一般概念和术语,打破了有生命与无生命的界限,使人们能用统一的观点和尺度来研究人、机、环境这三个物质属性本是截然不同、互不相关的对象,使其成为一个密不可分的有机整体。

模型论能为人-机-环境系统工程研究提供一套完整的数学分析工具。显然,人-机-环境系统工程不仅要求定性地而且要求定量地刻划全系统的运动规律。为此,就必须针对不同客观对象,引入适当模型,并通过建模、参数辨识、模拟和检验等步骤,用数学语言阐明真实世界的客观规律。

优化论的基本出发点是:在人-机-环境系统的最优组合中,一般总有多种互不相同的方法

和途径,而其中必有一种或几种最好或较好的,这样一种寻求最优途径的观点和思路是人-机-环境系统工程的精髓。优化论正是体现这一精髓的数学手段。

下面对这三个理论作些简述。

一、控制论

控制论是研究各种系统共同的控制规律的一门科学理论。

控制论的诞生是与1948年诺伯特·维纳的出色著作《控制论或关于在动物和机器中控制和通讯的科学》的出版分不开的。在该书中,这位杰出的美国数学家清楚地概述了发展一门关于一般的控制理论的必要性和可能性,并为用一个统一观点来考察和研究各种系统的控制与通讯问题奠定了基础。

早在第二次世界大战期间,就出现了控制论的技术前提。为了对付德国的空中优势,英国和美国急需大力改进防空系统。改进防空系统的实践促进了控制论这门新学科的形成。这是因为,在防空系统中发射炮弹的装置是由人操纵的,射击的目标——飞机也是由人驾驶的,在这种情况下,人和机器组成一个统一系统。为了说明这个系统就必须了解二者的特性,对人和机器中的某些控制机制进行类比研究并找出它们在功能上的共同规律。这就需要使用电子学、数学、生理学和心理学等学科的知识,它们是控制论产生的科学前提。与此同时,维纳也亲自参加了改进防空系统的研究实践,从实践中得到启发,从而能系统地提出控制论理论。维纳本人是一位数学家,但为了研究生理学问题,他专门到墨西哥国立心脏学研究所进行动物实验,还和生理学家、医生、工程师以及物理学家经常讨论。他在综合各门学科研究成果的基础上,终于写成《控制论》这本专著,创立了控制论这门新学科。

通常认为,控制论的基本假设有两个:一切有生命和无生命系统都是信息系统;一切有生命和无生命系统都是反馈系统。控制论的第一个假设使人们对周围世界的成分有了新的看法:世界由物质和能量两种成分组成的古典概念已经让位于世界由物质、能量和信息三种成分组成的新概念。如果没有信息,世界上任何有组织的系统都不可能实现。控制论的第二个假设为人们提供了一个实现控制的手段。所谓反馈,是指当系统将控制信息传送出去后,有关控制结果的信息沿着反馈通道又送回系统,并对控制信息的再输出产生影响,从而实现控制作用。

应该指出,控制论就像其他学科一样,能够而且应当逐步建立一套有效的理论概念、定律和原理,从而形成这门学科的核心。但是,理论本身不会对许多应用问题提供直接解答,为了解决实际问题,必须在理论概念和实用方法之间架一座桥梁,认真考虑某些种类的控制系统的特殊性质。显然,人-机-环境系统作为一般系统的一种特例,控制论的理论价值是不言而喻的,但作为实际应用仍需人们作出不懈地努力。

二、模型论

模型论是研究描述客观事物相似性的一门科学理论。

模型论的最基本概念是模型、对象和相似性。模型与某一对象(或客观事物)之间,存在某种相似性。这里应对“相似性”和“对象”两个词作最广义的理解。首先,对象与模型在外表上也许毫无相似之处,但它们的内部结构却相似;第二,对象与模型在形状和结构上毫无共同之处,

但它们的行爲特征却相似。相似性概念适用于自然界非常广泛的一类物质对象,其中包括有生命与无生命对象。如果在两个对象之间可以建立某种相似性,那么在这两个对象之间就存在着原型与模型的关系。

长期以来,人们对某一现象进行理论的和科学的研究,都是集中在一个模型上进行。因为利用模型可以避免或减少对现实世界作昂贵的、不希望或不可能的实验。所以,任何理论的探讨都不是直接与真实世界打交道,而是借助于它的模型来阐明真实世界的客观规律。

对人-机-环境系统工程研究来说,在每个特定的人-机-环境系统建成之前,为了拟定与验证系统的总体方案,估计系统各要素之间的相互适应性,考察系统在实际运行时的各种行为,按照系统工程方法,总是要把与系统有关的各个要素归纳成反映系统性能与机制的模型,以便于用计算机进行全系统的数学模拟。因此,模型论在人-机-环境系统工程研究中处于非常重要的地位。

三、优化论

优化论是研究系统具有最佳功能的一门科学理论。

优化论是一门较新的数学分支,也称为“运筹学”。优化论一般要对一个系统的众多方案进行分析,首先要确定一个判别方案优劣的标准,然后才在技术条件允许的范围内寻找一个或几个最好的方案,这就是优化论的研究内容。

优化论是从40年代起由于客观上的需要开始发展起来的。虽然历史不长,但发展异常迅速,应用范围愈来愈广,方法也愈来愈多。目前常用的有静态最优化、动态最优化以及大系统最优化等分支。

在人-机-环境系统工程研究中,人们在设计和建立人-机-环境系统时,总希望在安全、高效、经济等方面达到最优化。事实上要同时满足这些要求是不可能的,而必须从总体上对这三个目标进行权衡,使目标函数的总和达到最优化。

总而言之,根据上述三个基础理论,再结合一些具体的学科内容,如生理学、心理学、环境医学、人体科学和工程技术、电子技术等,就能在人-机-环境系统建立之前,从理论的角度来探索该系统的运行规律;根据控制论,就可确立人-机-环境系统的结构组合方式;根据模型论,就能恰当描述人-机-环境系统的模型形式;根据优化论,就能选择人-机-环境系统的最优组合方案。因此,有了这三个基础理论就在理论研究与现实应用之间架起一座坚实的桥梁。