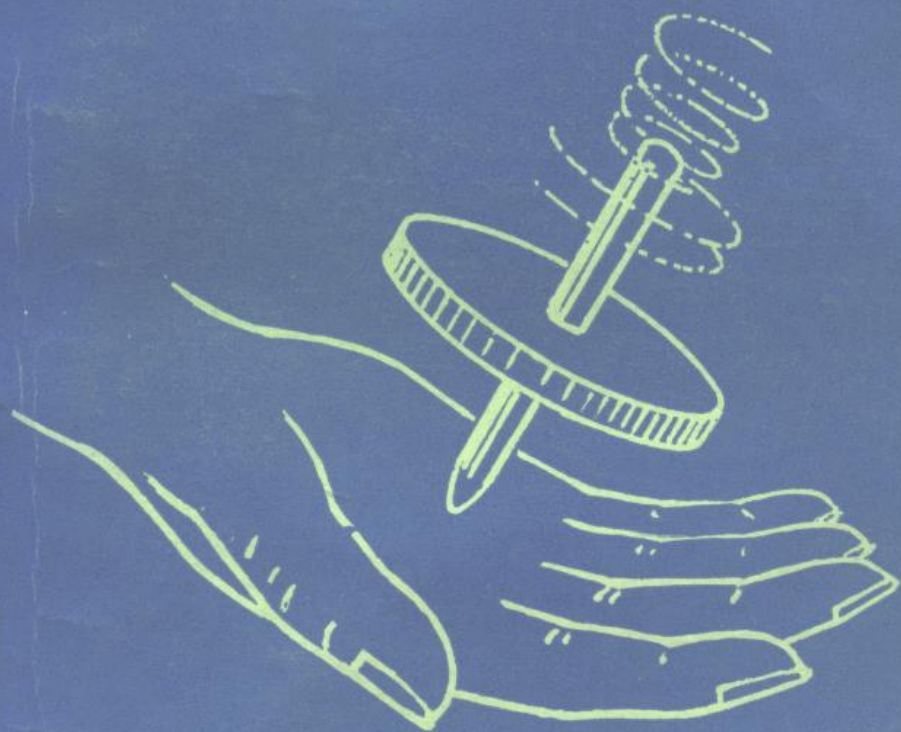


现代管理科学普及丛书

人-机-环境系统工程学

梁宝林 陆印成 龙升照 编著

科学普及出版社



内 容 提 要

本书从基本概念出发,全面阐述了人、机和环境三者之间的关系,介绍了系统模拟技术与模拟设备、人一机—环境系统的总体分析及其应用,指出本学科的发展方向等,是一本较高级的科普读物。适合于工程技术、医学科技、保健和特殊条件下作业的工作人员以及各级领导和管理人员参考。

现代管理科学普及丛书

人一机—环境系统工程学

梁宝林 陆印城 龙升照 编著

封面设计:王序德

科学普及出版社出版(北京海淀区白石桥路32号)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
北京燕山印刷厂印刷

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 6.625 字数: 145千字
1987年3月第1版 1987年3月第1次印刷
印数: 1—4600册 定价: 1.20元
统一书号: 17051·1090 本社书号: 1254

前 言

随着科学技术的纵向和横向发展，出现了人体科学和工程技术相互渗透和相互促进的事实，在进入八十年代以来，中国航天医学工程研究所所长陈信教授根据他二十多年从事航空、航天医学工程研究的全面实践，并在钱学森教授系统工程和系统科学思想的启发下，结合国内外有关的研究现状，提出了一门综合性边缘性技术科学——人—机—环境系统工程学。它是研究人、机、环境系统最优组合的一门学问。系统中的人是指作为主体工作的人；机是指人所控制或操纵一切对象的总称，大至载人航天器、飞机、船舰、工业机械、计算机，甚至是一个“群体”，小至具体仪器和个人装备；环境是指人、机共处的特定环境，包括物理的、自然的、乃至社会的环境因素的影响。

人—机—环境系统工程学是从系统的总体高度出发，揭示与研究人、机（包括计算机）、环境三大要素之间的信息传递、信息加工、信息控制的方式及规律，用系统工程方法找到它们的最优组合方案，使人—机—环境系统总体要求达到安全、高效和经济等性能指标。而这些指标与管理科学的一般原则又是相一致的。因此，这一学科，除用于人—机—环境系统的设计和研制外，也可以用于管理科学方面，特别是在研制各类现代化武器装备和工业机械设备方面，它可提供一套科学的组织管理和实施办法，甚至制定各类标准。

人—机—环境系统工程学与一些相邻学科，如生物医学

工程、环境医学、工效学、人体工程学或人类工程学、人的因素、人的因素工程、工程心理学、人一机系统理论等科学的关系，除吸收有关内容外，其根本区别是：①它摒弃以往把环境作为干扰因素的消极观点，主张将环境作为系统中的一个环节，突出了环境的积极作用；②它特别强调系统的总体性，並着重分析和研究人、机、环境三大要素对总体性能的影响和所应具备的各自功能及相互关系。

本书在编写过程中，注意了“科普”的角度，较全面介绍了人一机一环境系统工程学所含的内容，从基本概念开始，阐述了人的特性、人与机的关系、人与环境的关系、机与环境的关系、系统中所遇到模拟技术及模拟设备、人一机一环境系统的总体分析和与管理科学的关系以及其应用部分。编写中受到航天医学工程研究所有关专家的指导与帮助，在陈信教授创建本学科总体思想指导下，由梁宝林、陆印城和龙升照执笔写成。由于本书所含内容涉及的范围较广，又未系统地与广大读者见过面，加之编写者水平所限，不足之处和错误在所难免，欢迎批评指正。

编著者

目 录

第一章 人一机—环境系统工程学的基本概念

第一节 问题的提出	1
第二节 人一机—环境系统工程学的形成	4
第三节 人一机—环境系统工程学的特点	8
一、突出系统性	8
二、单项因素研究成果是“系统”研究的基础	10
三、系统与局部统一在创造性上	11
第四节 人一机—环境系统工程学的基础理论	12
一、控制论	12
二、模型论	14
三、优化论	15

第二章 人一机—环境系统工程学中人的特性

第一节 人的总体特征	17
第二节 人的信息感觉、处理、输出特性	18
一、人的感觉功能	18
二、人的信息处理及输出特性	23
第三节 人体测量学参数	29
一、我国各地区人体各部平均尺寸	29
二、机体运动的范围	33
三、体重	33
四、人的力量	33
第四节 人的生命节律性	34
一、人体自然节律周期	34

二、轮班制工作特点	36
三、人体节律性与人才的管理	38
第五节 人体疲劳特性	39
一、疲劳的概念	39
二、疲劳的测定方法	40
第六节 人体潜能	42
第七节 人的学习特性和操作者的选拔训练	43
一、学习特性	43
二、选拔	44
三、训练	45
第三章 人与机的关系	
第一节 人、机功能的比较	46
一、人的优点	46
二、机器的优点	47
第二节 合理的人、机配合	50
第三节 人一机界面的设计	52
一、显示器的设计	52
二、控制器的设计	55
第四章 人与环境的关系	
第一节 环境的一般概念	59
第二节 各种环境因素对人体的影响	60
一、温度	60
二、低压与缺氧	65
三、超重和失重	68
四、电离辐射	74
五、微波辐射	77
六、噪声和振动	80
七、密闭环境毒理学对人体的影响	83

八、照 明.....	86
第五章 机与环境的关系	
第一节 机的特征、机与环境的关系含意.....	89
一、机的 特征.....	89
二、“机”与环境的关系 含意.....	89
三、以机为中心的环境分类	90
第二节 环境保护.....	91
一、利用与改进工程设计来实现环 境防护.....	91
二、针对某一特殊环 境的具体防护.....	94
第三节 环境控制.....	98
一、控制特殊作业场区的 环境因素.....	98
二、建立人工微小环 境系统.....	99
三、人体功能的延 长.....	102
第四节 个人防护.....	104
一、防护装具类别及其一 般性能.....	104
二、个人 防护服装.....	106
三、个人防护 装具.....	112
四、药物 防护.....	114
第六章 人一机—环境系统工程学中的模拟技术与模拟设备	
第一节 模拟.....	116
一、模拟的概念	116
二、模拟在人—机—环境系统工程学 中的意义.....	118
第二节 模拟技术.....	119
一、分 类.....	119
二、模拟方法和 手段.....	120
第三节 模拟设备.....	123
一、模拟设备的种 类及目的.....	123
二、特殊作业训 练模拟器.....	124

三、特殊环境因素模拟器(装置).....	130
四、微小环境模拟装置.....	150
第七章 人一机一环境系统的总体分析	
第一节 总体分析的目标.....	152
第二节 总体分析的任务.....	154
一、安全性分析.....	155
二、高效性分析.....	156
三、经济性分析.....	159
第三节 总体分析的基本步骤.....	162
一、方案决策阶段.....	163
二、研制生产阶段.....	166
三、实际使用阶段.....	168
第四节 总体分析举例.....	168
第八章 管理科学与人一机一环境系统工程学的关系和应用问题	
第一节 某些共同特点.....	172
一、在历史发展上有并行之处.....	172
二、人是重要的共同因素.....	173
三、“系统”的观点是共同的主导思想.....	175
第二节 人一机一环境系统工程学与管理科学相互促进, 目的一致.....	177
一、一致的目的是求得最大的效益.....	177
二、突出安全性.....	179
三、相互促进.....	181
第三节 应用问题.....	183
一、应用的普遍意义.....	183
二、在具体单位的应用.....	184
三、在某些大的专业系统或领域中应用的意义.....	185

四、在军事武器装备研制中的应用.....	186
第九章 人—机—环境系统工程学在科学技术发展中的地位	
第一节 科学技术的发展与人—机—环境系统工程学.....	193
第二节 前景展望.....	196
主要参考书目.....	198

第一章 人一机—环境系统 工程学的基本概念

第一节 问题的提出

从地球上存在人类的第一天起,人类为了满足自身各方面的需要,从一个适应自然环境的人,逐步发展为与自然环境作斗争的人。在这漫长的历程中,产生了两个质的飞跃:第一个飞跃是机器的出现,使人的体力劳动获得极大的扩展和加强;第二个飞跃是计算机的出现,使人的脑力劳动也正在得到加强和延伸。环顾一下我们周围的一切,不但机器的使用比比皆是,而且计算机的使用也十分普遍。人们为了达到某种预定目标(如航天探险、军事对抗、发展生产……),总是针对某些特定环境试图利用已经掌握的科学技术领域,组成一个既有人又有机(计算机或机器)、还有环境的复杂系统,称之为人一机—环境系统。系统中的“人”是指作为工作主体的人,如飞船中的航天员、飞机中的飞行员,汽车驾驶员和各种机器的操作者……;“机”是指人所控制的一切对象的总称,如人所操纵的飞船、飞机、汽车和各类机器……;“环境”是指人、机共处的特定条件,如温度、压力、噪声等物理环境,有害气体、化工污染等化学环境,人心向背、舆论呼声等社会环境……。很显然,飞行员驾驶飞机在空中环境下飞行是典型的人机环境系统;航天员操纵飞船在宇宙环境中航行

是典型的人—机—环境系统，同样，工厂的工人在特定环境中使用某种机器工作也是典型的人—机—环境系统……。这类系统广泛存在于从民用到军事，从天上到地下、从陆地到海洋的各个领域(图1)。当然，随着科学技术的不断发展，各项工作的自动化程度会愈来愈高，人的劳动(体力劳动或脑力劳动)将会更多地被机器取代。但是人的高级智能活动是任何完善的智能机器人也无法代替的。所以在任何情况下，也总会有人参与工作。人要完成诸如控制、监视、决策、管理等各种功能，故人—机—环境系统总是普遍存在的。然而，它的存在只是问题的一个方面，而能不能从理论的高度来认识它、驾驭它，并使之处于最优工作状态？这才是问题的真正关键。近年来，对人—机—环境系统的研究已经形成一门综合性边缘技术科学——人—机—环境系统工程学。

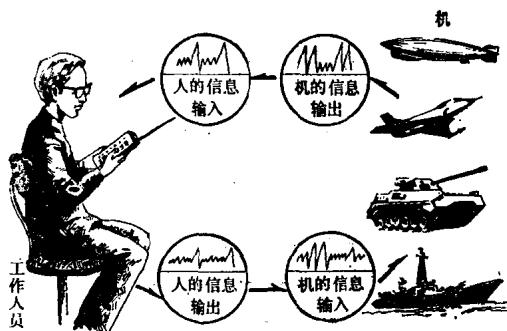


图 1-1 人—机—环境系统示意图

众所周知，载人航天的中心问题是把人送入宇宙空间，在航天的特殊环境中(低压、缺氧、失重和温度高低交变，

飞船的噪声、振动及起飞返回的重力变化……),既要保证人的生命安全、又要提高人们的工作能力。为此,在载人航天的早期研究中、注意力主要放在选拔和训练航天员上,人与人是有区别的,尽量从人体本身挖掘潜力,尽量提高人本身的能力,使人能胜任航天工作,这很有意义。但随之也产生了两个问题:一是在航天特殊环境中,单凭选训来提高人耐受各种因素的能力是有限的,温度超过 100°C ,无论怎样选拔、训练,人也无法生存;二是在航天过程中,航天员必须在各种特殊环境下进行搜索、识别、跟踪、控制、停靠、对接、科学研究等一系列复杂工作,各种机器要求人接受大量信息,并完成各种精细操作动作,这往往也超出了人的工作能力极限,单凭选训来提高人的工作能力也不行。矛盾如何解决?最根本的办法是针对航天特殊环境,从人和机的有机结合中去寻找出路:一方面既要认真考虑用选拔、训练等手段来提高人适应机的能力;另一方面在机的设计中,也应充分注意机如何适应人,便于人使用。例如就航天供氧而论,人没有氧气不行,缺乏氧气也不行,飞船座舱里的氧分压下降到140毫米汞柱人就产生缺氧。在机器设计时就应设法维持人的耐受限度,设计一套人工环境或采取个体防护措施,这要靠工程技术来实现。很显然只有把人、机、环境作为一个整体来加以研究,才能获得最佳工作效果,以确保载人航天活动的圆满成功。象这样针对人、机、环境三个特定因素、以医学和工程学相结合的方法系统地解决载人航天中各类具体问题所取得的科研成果,正是形成人一机一环境系统工程学的实践基础。

应该指出,载人航天研究中所提出的问题具有普遍性,例如在航空研究中遇到的情形与航天情况极为相似,飞行员在

一架现代化歼击机上不仅要经受高空环境中各种不利物理因素的影响，而且随时随地都要维持飞机的优良飞行状态，尤其在两机格斗的关键时刻，飞行员不仅要识别、跟踪敌方目标，使自己处于有利的攻击地位，还要设法躲避和摆脱敌机威胁。在不到半分钟的短时间内，飞行员在观察舱内大量仪表和舱外敌机状态的同时，往往还要完成七、八个飞行动作。此时此刻如果不考虑飞行员、飞机和航空环境的有机结合，其后果不堪设想。再如，一艘潜艇在深海的高压密闭环境下，唯有潜艇人员与潜艇有机结合，才能极大发挥其战斗力。又如一辆坦克在恶劣的振动和噪声环境下活动，唯有坦克手与坦克的有机结合才能确保其战斗性能。在民用方面也往往如此，例如一个炼钢厂，必须使炼钢工人、炼钢机械和现场环境有机结合，才能取得它应有的效益。一个化工厂必须考虑操作人员与化工机械、有害物质污染环境的关系，只有处理与解决好这三者的关系，才能极大地提高生产率和减少污染。总之，从上述例子可见，凡是有人参与工作的场合，都提出了一个人们共同关心的课题：在各种特定环境下，如何用科学的方法使人、机、环境有机结合，以发挥其最大效能来达到预期目标。人一机一环境系统工程学正是适应这种需要，才登上技术科学的舞台。

第二节 人一机一环境系统工程学的形成

严格地讲，“人一机一环境系统工程学作为一种理论，作为一门独立学科的出现，那是最近几年的事。但是人一机一环境系统工程学的古老根源可以追溯到人类早期活动，人一机一环境系统工程学的形成和发展是经过漫长的历史阶

段的。

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，客观上就提出了人一机—环境系统的最优结合问题。十八、十九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。二十世纪初英国的泰罗(F.W.Taylor, 1856~1915)提出的研究工人操作方法、并从管理的角度制订了相应的操作制度，人们把它称为“泰罗制”。它以工作分解、过程表解、流程图解以及动作分析为手段，试图以最少的体力消耗换取最大的劳动成果，这在当时机器还不十分复杂的情况下已取得了良好的效果。但其不足之处是：它只单纯从人体如何适应机器的角度来探索人与机器的组合问题。由于历史条件的限制，他不可能正确解决人、机和环境的最优组合问题，但也明显看出了人与机器结合的人—机关系的萌芽。

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，并积累了大量有关人、机、环境各自性能的数据。四十年代，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；到了五十年代，电子计算机的应用范围迅速扩大；六十年代载人航天活动也取得了突破性的进展。所有这一切，使人、机、环境相互关系问题的研究显得更为突出，为此，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)，人的因素工程学(Human Factor Engineering)，人一机系统(Man-

Machine System)等众多学科名称,并从不同的侧面、不同的角度积累了人、机、环境的实验数据及经验,这对科学技术的发展起了积极作用,也为人—机—环境系统工程学的形成创造了条件。但是在这个时期的工作、重点仍然是要人如何适应机器、适应环境。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。更为遗憾的是,环境往往被作为一种干扰因素来考虑。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。美国载人航天中,阿波罗登月舱的设计就是一个明显例证。航天员在失重等空间环境下,要驾驶登月舱从月球轨道向月面降落,这是一个典型的人—机—环境系统。怎样使该系统满足安全、高效、经济等综合指标?最初的设计方案,两名航天员是坐着的,即使开了四个窗口,航天员在座位上的视野也非常有限,如果以倾斜姿态下降登月,航天员将不能直接看到着陆地点的情况;如果要垂直登月就更看不到月面情况,所以这个方案既不安全工作效率又不高,而且登月舱也重。其后足足花了两年时间也未找出一个理想方案,大家都为这些问题没有得到解决而苦恼,争论也相当激烈。一位工程师抱怨说航天员座位太重、占的地方太大!另一位工程师马上接着说,登月舱从母舱下降到月面大约只有一小时或更短些,为什么非要坐着?!就不能站着进行这次短途旅行吗?出人意料,这个牢骚却为一种新的设计方案打开了思路,当即大家同意“站着”方案。这样,航天员可把眼睛贴近窗口,既缩小了窗口面积,又扩大了视野,整个座舱的重量也减轻了。这真是一个安全、高效、经济的设计方案。这个例子告诉我

们，人并不一定要处于“最佳”工作状态，他从系统的一个局部稍许作点“让步”，就换来了系统整体的极大优越性。但是在这个时期，由于没有人—机—环境系统工程学理论指导，他们经历了两年的摸索，最后才取得满意的结果。因此，人—机—环境系统工程学的问世已势在必行。

任何科学理论的建立和发展，都需要一定的历史条件，既有必要、又有可能。人—机—环境系统工程学理论的诞生和发展也应如此。在萌芽时期和准备时期，必要性已逐步显露出来，到了八十年代初，形成人—机—环境系统工程学理论的可能性也已具备。七十年代末和八十年代初，在钱学森教授倡导下，我国兴起了一股学习和运用系统工程理论的热潮。人—机—环境系统工程学也是在钱学森教授系统工程和系统科学的科学思想启发和指导下，结合人—机—环境系统这个特定研究对象而概括提炼出来的一门科学。在航空航天和某些军事武器装备的科研上相对地起到了学术指导作用。

1984年10月，在葡萄牙召开的第32届国际航空航天医学会议上，中国代表宣读了陈信教授等的论文：“人—机—环境系统工程学理论在航空航天研究中的应用”，受到了各国学者们的热情关注和好评。学者们认为，这篇论文在理论上很有启发性，用人—机—环境系统工程学理论来指导研究工作，很有创造性。同时还认为这篇论文把环境作为整个巨系统的一个环节来考虑是非常必要的，它对人的工作效率关系极大。把人、机、环境作为系统整体来研究它，的确是一个创举，它为实践提供了新的模式。

第三节 人一机—环境系统工程学的特点

一、突出系统性

人一机—环境系统工程学是研究人一机—环境系统最优组合的一门学问，其研究对象是人—机—环境系统。

人一机—环境系统工程学是把“人”、“机”、“环境”看作是一个系统的三大要素，并通过它们之间的信息传递、信息加工和信息控制，组成一个非常复杂的超巨系统，其情况如图1-2所示，很显然对任何一个系统来说，系统的总体性能不仅取决于各组成要素的单独性，更重要的是还取决于系统中各要素的关联形式，也即信息的传递、加工和控制方式。例如金刚石和石墨的化学成分都是碳元素，但由于两者的原子排列、结构组合不同，导致了截然不同的物理性能，这种显而易见的道理是人所共知的。在人—机—环境的总体结合上，

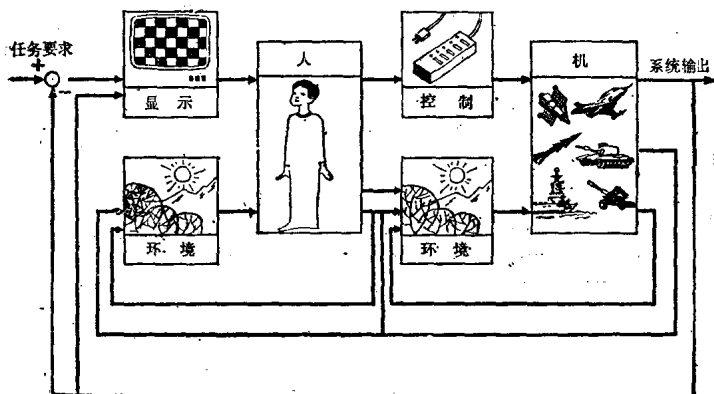


图 1-2 人一机—环境系统示意图