

# 论人-机-环境系统工程

陈 信等著

梁宝林 编



人民军医出版社

1988·北京

# 论人-机-环境系统工程

LUN REN-JI-HUAN JING  
XI TONG GONG CHENG

陈 信 等 著

梁宝林 编

人民军医出版社

1988. 北 京

## 内 容 提 要

由于“人-机-环境系统工程”这门具有极其广泛应用价值的边缘性技术科学在中国创立以来,引起了国内外科技界、企业界和管理部门的极大重视,并在实践中不断发挥其应有的科学指导作用。本书通过搜集和整理有关实践经验和资料,编述了人的特征研究,人-机关系研究,环境对人体影响的研究,人-机-环境系统测量技术和可靠性的研究,人-机-环境系统总体性能和管理科学关系研究及本学科在国内外发展等情况,全面阐述了人-机-环境系统工程这门科学理论与应用范围,是一本理论与应用并重的参考书,适合于广大系统工程、系统总体设计、工程技术、医学科研工作者、工效学和管理科学工作者、工矿企事业单位领导人员和科技干部、大专院校师生参阅。

## 论人-机-环境系统工程

陈 信 等 著

梁 宝 林 编

人民军医出版社

(北京复兴路22号甲3号)

新华书店北京发行所发行

北京华新科技印刷厂印刷

开本: 850×1168毫米 1/32·印张: 9.6·字数: 225千字

1988年4月第1版 1988年4月第1次印刷

印数: 1——2,600册 定价: 2.50元

ISBN7-80020-070-1/R·69 [科技新书目: 167-1490]

# 前 言

众所周知，任何机器都必须有人操纵，并都处于各种特定环境下工作，因此人、机、环境是相互关联而存在的。现代机器的发展趋势是日益先进、复杂和精密，这不仅对环境条件提出了苛刻要求，而且对使用机器的人的要求也愈来愈高。所以深入了解这三个要素间相互作用，正确处理人、机、环境这三个基本要素的关系，提高这三者中每个要素的性能和系统的整体效能便成为研究的基本目标。

第二次世界大战期间，由于战争的需要研制新的武器，而各种新式武器的出现，对操纵武器的人员的感觉、知觉和决策能力提出了严格的要求，有些已超出了人的能力限度。这样就出现了人不能按要求使用武器，武器性能得不到充分发挥的矛盾。为了解决这些矛盾，从本世纪50年代初期开始，国际上有组织地进行了科学研究，并逐步形成一些相应学科，诸如人的因素、功效学、工程心理学、人体工程学和人-机系统等一系列问题。

1981年我们根据20多年从事航空航天医学工程的研究实践，同时对国内外相关科学的研究工作及其成果进行了认真的分析和学习，在钱学森系统科学理论的指导下，概括地提出了一门新兴的综合性技术学科——人-机-环境系统工程学。经过几年来的发展证明，这一学科不但在军事武器装备研究、制造生产和使用中得以应用，而且在民用生产中也极为重要，特别在宏观的科学管理和具体的科技管理中，它更有其广泛的通用性。因此在各个方面不同程度地发挥了它的作用，并形成一些理论性论文和实践的经验总结，这些文章曾先后在国内外学术会议上和有关刊物上发表，引起了同行专家和学术界的共鸣。为了进一步交流学术思想和为

使用部门提供参考依据，本书从这一科学的基本概念、研究内容及其相关科学方面搜集了有关资料，其中包括了研究与分析方法、测试和可靠性等技术性论文。

由于本门学科是刚刚从中国发展起来的，是一棵幼苗，还有待今后同行专家和应用者通过实践加以培育，使之更加完善和茁壮成长，以利于科研生产和广大有关部门应用。

由于我们科学水平有限，在编撰本书过程中定有不当之处，甚至错误，请广大读者批评与指正。

**编著者**

# 目 录

|                                   |               |
|-----------------------------------|---------------|
| 一、前言                              | (Ⅱ)           |
| 二、理论与应用探讨                         | (1)           |
| 1. 人-机-环境系统工程学概论                  | 陈 信 龙升照 (1)   |
| 2. 人-机-环境系统工程学在军事武器装备研制中的地位       | 陈 信 龙升照 (9)   |
| 3. 人-机-环境系统的总体分析方法                | 陈 信 龙升照 (17)  |
| 4. 人-机-环境系统中人数学模型的研究              | 龙升照 (37)      |
| 5. 人-机-环境系统的测量问题                  | 沈力平 (41)      |
| 6. 人-机-环境系统可靠性问题                  | 孙金鏢 (82)      |
| 7. 人脑生物电和航天“人-机-环境”研究             | 梅 磊 (118)     |
| 8. 人-机-环境系统工程标准化概述                | 杜文侠 杨学祺 (125) |
| 9. 如何把人-机-环境系统工程深入研究下去            | 陈 信 (131)     |
| 10. 人-机-环境系统工程研究目的与途径             | 陈 信 (139)     |
| 11. 运用人-机-环境系统工程理论指导科技管理工作        | 石云峰 (144)     |
| 12. 人-机-环境系统工程理论在航空、航天研究中的应用      | 陈信 龙升照 (146)  |
| 13. 人-机-环境系统工程理论及其在航空研究中的应用       | 陈 信 龙升照 (150) |
| 14. 人-机-环境系统工程理论在弹炮结合防空系统研究中应用的探讨 | 龙升照 (156)     |

15. 人-机-环境系统工程理论在环境控制生命保障系统研究中的应用 …沈力平 孙金标 尚传勋 (164)
16. 加强人-机-环境系统工程的研究, 促进武器装备研制的发展 ……陈 信 龙升照 (178)
17. 指挥控制通信情报系统的人-机-环境系统工程问题 ……吴国兴 (192)
18. 环境因素在人-机-环境系统工程中的地位与作用 ……于喜海 (203)
19. 人-机-环境系统工程与管理科学 ……梁宝林 (213)
20. 武器装备人-机-环境系统工程研究的组织管理——过程和原则 ……陈燕平 杜文侠 (220)
21. 语言分析技术和人-机-环境系统工程 …黄端生 (229)
- 三、相关科学** …… (243)
1. 控制论在生理学中的应用 ……陈 信 (243)
2. 航天医学工程学的研究范围 ……陈 信 (261)
3. 运用现代科学技术成就推动人体科学研究……  
……陈 信 龙升照 (264)
- 四、国内外发展概况** …… (274)
1. 我国有关人-机-环境系统工程的科学研究与发展及其成果概述 ……梁宝林 (274)
2. 国外类似人-机-环境系统工程研究概况……  
……吴国兴 (285)

## 理论与应用探讨

# 人-机-环境系统工程学概论

随着现代科学技术的飞速发展，人体科学和工程技术的相互渗透，逐步形成了一门崭新的边缘科学——人-机-环境系统工程学。人-机-环境系统工程学，通过揭示人、机（计算机或机器）、环境之间相互关系的规律，确保人-机-环境系统的总体性能最优。我们提出这门学科的目的，不仅是对以往实践经验进行概括和总结，而且是为了推动该学科业已开始的发展和迎接随即来临的更大进展，并强调指出它对科学技术发展的重要意义。

### （一）人-机-环境系统工程学的提出

人-机-环境系统工程学是一门技术科学。技术科学是直接为工程技术服务的，它是实践经验的理论总结，又是实践的需要。我们是通过载人航天研究的实践抽象概括出来的。

载人航天的中心问题是把人送入宇宙空间，并在航天特殊环境下（如高温、低压、缺氧、超重、失重、振动、噪音……等），既要保证人的生命安全，又要提高他的工作能力。为了实现这一点，在载人航天的早期研究中，注意力主要是放在选拔和训练航天员上。因为人与人是有区别的，尽量从人本身挖掘潜力，尽量提高人本身的性能，使人能胜任航天这个工作，这是很有意义的。但是，这里出现了两个问题：第一，在航天特殊环境下，依靠选拔、训练来提高人耐受各种物理因素的能力，那是很有限的。温度超过100℃，再选拔、再训练，人也不能耐受；第二，在载人航天过程中，航天员必须在航天特殊环境下，进行诸如搜索、识别、跟踪、控制、停靠和对接等一系列复杂的工作，各种机器要求人接受大量信息，并完成各种精细的操纵动作，这往往也超出了人的工作能力极限。同样，用选拔、训练等手段来提高

人的工作能力那也是不行的。矛盾如何解决？最根本的出路在于，针对航天这种特殊环境，从人体和机器的有机结合中去寻找，一方面，既要认真考虑用选拔、训练等手段来提高人适应机器的能力；另一方面，在机器设计中，也应充分注意机器适应人的问题。例如，通过对人体进行研究，可以确定人耐受航天特殊环境的极限，找出适合人工作能力的限度。但是，单凭这个还不行。就航天供氧而言，我们知道，人没有氧气不行，缺少氧气也不行。飞船座舱里的氧分压下降到 $19\text{kPa}$ ，人就要产生缺氧。这时，就应该在机器设计中想办法去维持人的耐受限度，因此就需要搞一套人工环境，或采取个体防护措施，这就要靠工程来实现。显而易见，此工程必须考虑到人的因素、环境因素和技术因素等。如果把诸因素的各个环节构成一个系统，并研究整个系统各环节间信息传输的相互关系，从中分析、权衡，寻找出最佳工作状态，使该系统在“安全、高效、经济”诸方面获得最佳效果，这就是我们提出的“人-机-环境系统工程学”的研究任务。所以，只有把研究人体机能的科学——人体科学和研究机器实现的科学——工程技术，有机地结合在一起，才能保证载人航天活动的圆满成功，这正是形成人-机-环境系统工程学的基础。

应该指出，载人航天研究中提出的问题是带有普遍性的。例如，在航空研究中遇到的情形，与航天极为相似。一架现代化的歼击机，飞行员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，飞行员不但要识别、跟踪敌方目标，而且要使自己处于有利地位，抓住时机，向敌机发起攻击；与此同时，他还必须设法躲避、摆脱敌机的威胁，以达到保存自己、消灭敌人的目的。这时候，在不到半分钟的很短时间里，飞行员也许要完成十几个飞行动作，同时还要观察大量仪表。所以，如果不考虑特殊环境下的飞行员和飞机的有机结合问题，其后果是不堪设想的。再如，一艘潜水艇，在深海的高压、密闭环境下，潜艇人员与潜艇的有机

结合，才能确保其战斗性能。又如，一辆坦克，在恶劣的振动和噪音环境下，坦克手与坦克的有机结合，才能极大地发挥其战斗力。以上是军事装备方面的情况。在民用生产中也存在同样情形。例如，在一个钢铁工厂里，在高温环境下，如何考虑炼钢工人和炼钢机械的关系；在化工厂里，在有害气体污染的环境下，如何考虑操作人员和化工机械的关系，极大地提高生产效率。这些也是人们极为重视的问题。凡此种种，不一而足。

值得强调的是，电子计算机的诞生和发展，极大地加强了人体脑力劳动的功能。在科学技术蓬勃发展的今天，只要稍许复杂一点的对象，几乎都用计算机进行控制。在人-机-环境系统中，由于计算机的参与，使人的作用从一个直接操作者变为监控者和决策者。这不仅使系统性能大为提高，而且系统结构也在发生变化。人和计算机各有所长，也各有其短。让计算机执行大量的、重复性的、程序化的体力劳动和脑力劳动，而让人完成高级的、创造性的（其中包括不可预见的）思维活动，人通过界面直接与计算机发生关系，这是当代科学技术和生产技术发展的重要特点。在飞机的发展中，计算机的应用使座舱仪表大为简化，只用几个显示屏幕，并配合一些适当仪表，就可把飞机的全部信息显示出来。这不仅大大提高飞行员驾驶飞机的能力，而且还可减少机组人员。在“阿波罗”飞船中，人和计算机之间配有“程序”、“动词”和“名词”的场致发光显示器和相应控制按钮。根据各个飞行阶段的任务，航天员可从100条程序中任选一条，每条程序又可选100个动词和100个名词中的任何一个。比如，在相当于月球轨道阶段的程序中，航天员可选一个动词“计算”和一个名词“失败速度”。这时，航天员就能在显示器上看到在月球轨道飞行阶段上失败速度的三个正交分量，它们告诉航天员，若此时此刻飞行失败，安全返回地球的应有速度是什么。很显然，共有100万种（ $10^6$ ）可能性供航天员与计算机发生联系。这样，航天员就能以各种途径、并能在各级水平上最充分地结合到各种类型的特

定系统中去，从而大大提高载人航天活动的安全性和可靠性。显而易见，随着计算机的高度发展和被控对象的不断复杂化，必然把计算机引入到人-机-环境系统中来。因此，人-机-环境系统工程学应发展为人-计算机-机-环境系统工程学这样一个新的含义，它也可写作人-机（或计算机）-环境系统工程学。

综上所述，无论是从天上到地下，从陆地到海洋，从军事到民用，在这相当广泛的不同领域里，都提出了一个人们共同关心的问题：在各种特殊环境下，如何用科学的办法来使人和机器（或计算机）进行有机结合，以发挥其最大效能？人-机-环境系统工程学正是适应这方面的需要而登上科学技术的舞台。人-机-环境系统工程学，它从总体观念出发，将人、机器（或计算机）、环境看作是一个相互作用、相互依赖的超巨系统（见图1），并运用系统工程的方法，合理地安排系统中的每一个布局，以获得系统的整体最优效率。

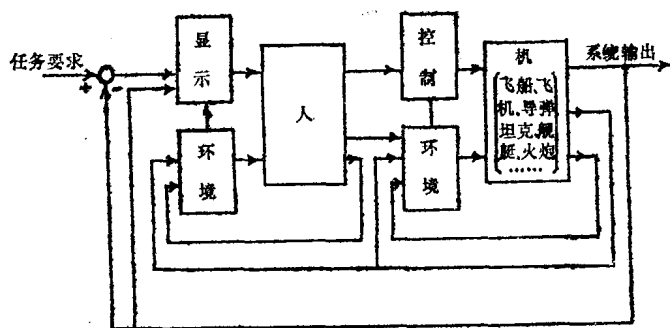


图1 人-机-环境系统示意图

## （二）人-机-环境系统工程学的研究范畴

人-机-环境系统工程学的研究对象是人-机-环境系统。这里所称的“人”，是指作为主体工作的人；所称的“机”，是指人所控制的一切对象的总称，它大至一个飞船或一架飞机，小至微小环境、个人装备等；所称的“环境”，是指人、机器（或计算

机)共处的特殊条件,它既包括物理因素的效应,也包括社会因素的影响。人-机-环境系统工程学把“人”、“机”、“环境”看作是系统的三大要素。并通过这三大要素之间的信息传递、信息加工和信息控制等作用,组成一个非常复杂的超巨系统(参见图1)。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能,但更重要的是取决于系统中各要素的关联形式,也即信息的传递、加工和控制的方式。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,却导致了截然不同的物理性能,这些浅显的道理,当然已为人们所共知。同样,在人、机、环境的总体结合上,情况更是如此。人体本身是一个巨系统,机器(或计算机)也是一个巨系统,再加之各种恶劣环境的影响,因而便构成了人-机-环境这个超巨系统。面对这样庞大的系统,如何实现它们之间的最优组合呢?人-机-环境系统工程学,正是从“系统”的总体高度出发,一方面既注意研究人、机、环境各要素本身的性能,另一方面却更重视研究这三大要素之间的相互关系、相互作用、相互影响,以及它们的协调方式,并借助系统工程的科学成就,引导人们有条不紊地找到最优组合方案,使人-机-环境系统的总体性能达到最佳状态。这种最佳状态一般都应满足安全、高效、经济等指标。举例来说,飞船的座舱压力制度,究竟多大合适?是二分之一一个大气压力好呢,还是三分之一一个大气压力好?人们对此也曾进行过分析。但这种分析,由于没有采用一套科学方法,今天看来,就显得比较粗糙。为什么呢?我们知道,如果与通常采用的一个大气压力相比,飞船座舱采用二分之一一个大气压力,对航天员来说,不会造成缺氧;而且,由于与外界的压力差小,对飞船的压力负担就可能小一点,因而飞船的重量也许能有所减轻。如果采用三分之一一个大气压力,飞船的重量将会减轻得更多,但这时对航天员来说,产生缺氧的可能性就增加了。究竟哪个是最佳值?我们只要采用系统工程的方法,对飞船这个特定的人-机-环

境系统进行科学地分析，就能找到一个明确的答案。飞船座舱压力的变化，对飞船设计的重量有多大影响？经济上合适不合适？人在这种环境中能生活得如何？这一切，通过计算分析或数学模拟，都可以事先预测出来。如果只是局限于以往的知识，硬往上凑，那是不科学的。当然，凑出来的结果，有时可能也会相对合理。但是，可能还有比它更合理的，还不知道，因为没有用最优化方法来逼近那个最合理的最佳状态。所以，采用系统工程方法来对人-机-环境系统进行最优化分析，就能避免盲目性，工作少走弯路，最终达到安全、高效、经济等多个目标。这正是人-机-环境系统工程学研究面临的最终课题。

但值得强调指出的是，人-机-环境系统工程学，虽然着重强调从系统的高度、总体的高度来思考问题，同时也必须主张对单个的人体、机器（或计算机）和环境作更细致的研究。因为系统各部分的各自性能研究得愈透彻，分析得愈仔细，用系统工程的方法来综合人-机-环境系统的基础也就愈牢靠、愈扎实。例如，深入研究各种环境因素对人体的影响，并找出人体的耐受限度和保证工作效率的界限，仍是十分重要的；与此同时，从机器（或计算机）设计的角度，大力研究保证人正常生活和工作的最佳技术的途径，同样也是必不可少的。更甚之，若再能对造成各种特殊环境物理条件的作用机制进行仔细研究，并设法从根本上杜绝或减轻环境因素的影响，那就更加完善了。通过上述三个方面的研究，就能获得进行人-机-环境系统综合的必要参数。有了这套参数，才能用系统工程的方法进行最优化选择，否则是不可能的。所以，只见树木，不见森林；或者只见森林，不见树木，这都不是人-机-环境系统工程学的研究方针。因此，对人-机-环境系统工程学研究来说，只有把个别分析与整体综合融为一体，才能为揭示人、机、环境相互关系的规律，开辟一条切实可行的道路。

### **（三）人-机-环境系统工程学与一些学科的关系**

人-机-环境系统工程学，是一门综合性的边缘科学，它一方

面有着它自己的理论体系，而另一方面又与一些学科存在着密切关系，同时也有区别。

当然，为了形成人-机-环境系统工程学的理论体系，它从一系列基础科学中吸取了丰富的营养。诸如：控制论、信息论、一般系统论、巨系统理论、系统工程论、计算机技术、电子工程学、人体科学、环境医学、生物医学工程、人-机系统理论等等，都为入-机-环境系统工程学的发展奠定了理论基础。

与此同时，当今发展起来的一些新兴理论，例如：模糊集理论、耗散结构理论、协合学和突变理论等，也为入-机-环境系统工程学研究打开了新的思路，并提供了新的手段。

关于入-机-环境系统工程学的理论体系问题，我们打算另文论述。在这里，我们着重强调入-机-环境系统工程学与几个相近学科的关系和区别，以突出入-机-环境系统工程学的学科含义、研究任务和目的意义。

1. 入-机-环境系统工程学与生物医学工程既有联系，又有区别。目前，我们国内所称的生物医学工程，与国际上的习惯叫法基本是一致的，它的学科含义，实际上是指医务工程，也即是围绕医学用的各种工程，如手术器械、医疗电子仪器、人工脏器等这类东西，都属于生物医学工程的研究范畴。入-机-环境系统工程学与这门学科有些关系，有时在入-机-环境系统中也用一点医务工程方面的东西，但两者的出发点是不同的。生物医学工程是侧重于取代或恢复人体的机能状态；而入-机-环境系统工程学是侧重于改善系统的总体性能。

2. 入-机-环境系统工程学与环境医学也既有联系，又有区别。通常，环境医学是研究各种环境因素对人体的影响，找出它们的影响规律，并决定应采取何种医学防护措施。所以，环境医学需要研究特殊环境中的全部医学生理学问题；而入-机-环境系统工程学则是侧重研究特殊环境对人、对机器（或计算机），以至对整个系统的影响。当然，入-机-环境系统工程学是要运用环

境医学的研究成果的。

3. 人-机-环境系统工程学与人-机系统理论(有时也被称为工效学或人体工程学)也有着十分密切的联系,当然也有区别。通常,在人-机系统理论中,环境是作为一种干扰因素而引入系统的;但人-机-环境系统工程学却与此不同,它是把环境作为系统的一个环节而引入(见图1),而且环境与人、环境与机器(或计算机)、环境与系统之间,既存在着信息流通、信息加工问题,也存在信息控制问题。这样,就把环境因素从人-机系统理论中的单纯消极因素,转化为一个主动的积极因素,这就更加突出了环境因素在人-机-环境系统工程学研究中的重大作用。当然,人-机系统理论的许多观点,如人机通讯、人机界面、人机配合等,也将被用于人-机-环境系统工程学研究。

总而言之,人-机(或计算机)-环境系统工程学是一门综合性学科,是属于技术科学。当科学技术的发展正在创造一个又一个奇迹,而人类的足迹也不断扩展到更遥远的宇宙空间之际,人-机(或计算机)-环境系统工程学所肩负的责任更加广泛,更加艰巨。因此我们应该不断完善和尽量加快这门学科的发展,使它尽早地在科学技术发展中发挥它应有的威力!

# 人-机-环境系统工程学在军事 武器装备研制中的地位

人-机-环境系统工程学，是一门综合性边缘技术科学，其应用范围十分普遍。就一个国家而论，研制和发展军事武器装备往往是一切科学技术的先导和前锋。因此，将人-机-环境系统工程学用于武器装备研制，更有其特殊意义。本文试图从发展和研制武器装备的三个阶段（方案决策、研制生产、装备部队等），阐明人-机-环境系统工程学在武器装备研制中的地位。

## （一）

为了避免国防费用使用不当而给国家安全带出重大风险或造成不必要的损失，对标志国防力量的各种军事武器的发展、开发计划进行科学决策，历来都受到各国军事及经济部门的高度重视。

通常，在发展和研制武器装备过程中，往往发生这种现象：有时对是否要发展一种新式武器争论不休；有时一种新武器已进入研制阶段，而对它的使用方式尚未确定；有时一种新武器已研制完成，却还在议论是否需要这种装备；有时一种新武器刚交付部队使用，就发现在战术使用和技术性能方面存在较大的缺陷。为了改善这种情况，把人-机-环境系统工程学用于武器装备研制这个领域，将对武器装备的发展起着重要作用。

任何军事武器都必须有人参与。例如，火箭、导弹，要人发射；飞机、坦克、舰艇、雷达、火炮，要人操纵等等。而且任何武器装备又往往处在某些特殊环境下工作。所以，人、武器装备和环

境，就组成一个典型的人-机-环境系统（见本书第4页图1）。怎样使研制出来的武器装备处于最优工作状态？人-机-环境系统工程学，将提供一个科学的理论、技术和方法。图1表示了这种科学的理论、技术和方法的一般情况，它基本上是以反馈为基础、最优化为中心、模型化为手段而展开。由图不难看出，人-机-环境系统始终处于它的核心部位。

当然，任何一种军事武器的研制和发展都是极为复杂的过程。但概括而言，它一般可分为三个阶段：方案决策、研制生产和装备部队。下面从这三个阶段来阐述人-机-环境系统工程学的重要作用。

## （二）

方案决策阶段，重点是解决要发展什么样的新式武器问题，这是属于理论分析范畴。以往，一个决策的成功与否，主要取决于领导者的阅历是否丰富、知识是否渊博、智慧是否过人。当然有时也依靠一些参谋人物的协助，这同样也是凭借他们的阅历、知识和智慧而已。所以，历来的决策从本质上讲，都是靠人的经验进行。然而，在科学技术迅猛发展的今天，情况不仅复杂，而且往往多变。单纯依靠个人经验进行决策，容易产生失误。科学的发展已为决策建立了一整套决策程序、决策技术和决策理论。

为了发展武器装备，一个完善的决策过程应包括明确背景、提出目标、建立模型、最优分析、方案选择和确定技术规范等步骤（见图2中点划线的左侧部分）。明确背景，就是弄清被研制的武器装备的战略、战术要求。很显然，背景不一样，所需的军事武器也就不一样。提出目标，就是找出衡量武器装备优劣的效能准则。这既要从经济效果、进度要求、军事威力（战略的或战术的）着眼，有时甚至还要从社会舆论方面加以权衡。这一步如果做不好，往往造成大量的无效劳动，或引起不必要的争议。建