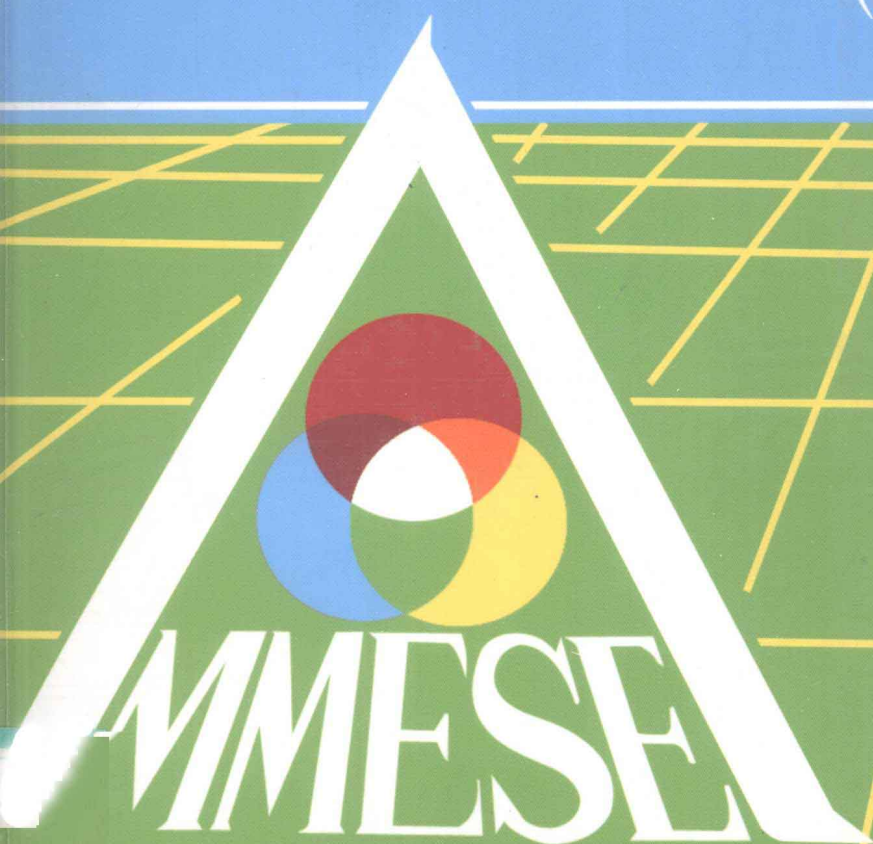


龙升照 主编

人-机-环境系统工程 研究进展

(第六卷)



海洋出版社

人-机-环境系统工程研究进展

(第 六 卷)

龙升照 主编

海洋出版社

2003 年 · 北京

内 容 简 介

人-机-环境系统工程是在著名科学家钱学森的亲自倡导下,于1981年在我国诞生的一门综合性边缘技术科学。本书全面反映了人-机-环境系统工程理论及应用的最新研究成果,共收集论文91篇,主要包括总论、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和应用研究等九个部分,内容涉及航空、航天、航海、兵器、交通、冶金、管理等众多领域。本书对从事人-机-环境系统工程理论及应用研究的广大科技工作者、科技管理干部及大专院校师生都有很好的参考价值。

图书在版编目 (C I P) 数据

人-机-环境系统工程研究进展. 第六卷/龙升照主编. —北京:海洋出版社,2003.11
ISBN 7-5027-5914-X

I. 人... II. 龙... III. 人-机-环境系统工程—研究 IV. X192

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 078658 号

责任编辑:方 菁

责任印制:严国晋

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京海淀区大慧寺路8号)

北京市红星黄佳印刷厂印刷 新华书店发行所经销
2003年11月第1版 2003年11月北京第1次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:31

字数:780千字 印数:1~1000册

定价:70.00元

海洋版图书印、装错误可随时退换

钱学森院士

致人-机-环境系统工程创立 20 周年纪念大会的贺信

(代 序)

龙升照同志：

你的来信已收到。欣悉人-机-环境系统工程创立 20 周年纪念大会暨第五届全国人-机-环境系统工程学术会议即将召开，我向你们表示最热烈的祝贺！

20 年来，你们在人-机-环境系统工程这一新兴科学领域进行了积极的开拓和探索，并取得了非常可喜的成绩，我感到由衷的高兴。

希望你们今后再接再厉，大力推动人-机-环境系统工程理论及应用的蓬勃发展，为中国乃至世界科学技术的进步作出积极贡献！

祝

工作顺利！

钱学森

2001年6月26日

附：

龙升照同志致钱学森院士的信

钱老：

您好！

新千年伊始，时逢您 90 岁大寿，谨祝您身体健康，万事如意！

1981 年，在您的亲自指导下，一门综合性边缘技术科学——人-机-环境系统工程在我国诞生。20 年来，在您的关心和支持下，通过广大科技工作者的努力，人-机-环境系统工程在我国有了蓬勃的发展，正如您 1993 年写给我信中所指出的那样，“研究范围已大大超出原来航天，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。”1984 年 10 月，总装备部（原国防科工委）成立了人-机-环境系统工程军用标准化技术委员会；1986 年 5 月，总装备部将《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，总装备部成立了人-机-环境系统工程专业组；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，并分别于 1993 年、1995 年、1997 年、1999 年召开了第一届、第二届、第三届、第四届全国人-机-环境系统工程学术会议，而且还从这四届会议中精选出一批比较优秀的论文，分别编辑出版了《人-机-环境系统工程研究进展》第一卷、第二卷、第三卷、第四卷，在全国公开出版发行。

今年 10 月，我们计划召开人-机-环境系统工程创立 20 周年纪念大会暨第五届全国人-机-环境系统工程学术会议，并编辑出版《人-机-环境系统工程研究进展（第五卷）》。我们热切地希望，您能为人-机-环境系统工程创立 20 周年写篇简短的评论，或写个题词，作为人-机-环境系统工程创立 20 周年纪念大会的贺词和《人-机-环境系统工程研究进展（第五卷）》的序言，以鼓励和鞭策在人-机-环境系统工程领域从事开拓和奋斗的广大科技工作者。

毛泽东同志早就强调指出，“我们中华民族有自立于世界民族之林的能力”。我们深信，人-机-环境系统工程的广泛应用和蓬勃发展，不仅对中国，乃至对世界科学技术的进步，必将作出它应有的积极贡献！

此致

敬礼！

航天医学工程研究所
龙升照(签名) 敬上
2001 年 6 月 12 日

钱学森院士

对《人-机-环境系统工程研究进展(第一卷)》
的评语

龙升照同志:

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年秋提出的一个想法,现在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,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……等领域!你们是在社会主义中国开创了这门重要现代科学技术!

此致

敬礼!

钱学森

1993.10.22

前言

2003 年是人类社会发展史上最具有历史意义的一年。在这一年,人类向 SARS 进行了全面的抗击。在进行了大约半年的奋战之后,世界卫生组织于 7 月 5 日宣布,将最后一个地区从 SARS 疫区的名单中除名,这标志着全球抗击 SARS 斗争取得了阶段性胜利。在这全球欢庆的日子里,我们将《人-机-环境系统工程研究进展(第六卷)》奉献给广大读者。

人-机-环境系统工程理论一贯特别强调,人类社会发展的历史,就是一部人、机(包括工具、机器和计算机)、环境三大要素相互关联、相互制约、相互促进的历史。如果这三大要素的关系处理不当,将对人类社会的发展产生巨大影响。SARS 疫情的发生,又提供了一个很好的例证。SARS 为何会发生?专家认为,SARS 的出现不是孤立的偶发事件,不合理的生产与消费方式,使人类身边的环境受到不同程度的损害,进而危害人类的身体健康和生命安全^①。而香港“淘大花园”居民楼 E 座 400 多人感染、40 多人死亡的 SARS 事件^②,必将促使人们在建筑行业更应高度重视人-机-环境系统工程的应用问题。众所周知,住宅建筑是一个典型的人-机-环境系统。系统中的“人”是指居住人员,“机”是指居住设施,“环境”是指居住条件。在“淘大花园”这个住宅人-机-环境系统中、由于“机”(居住设施)的有些部分工作不正常(如排污系统的使用和维护不当),导致居住“环境”的恶化,使疫情不断扩大^③。因此,如何针对本行业的人-机-环境系统特点,积极应用人-机-环境系统工程理论来解决本行业的特殊问题,以避免类似事件的再次发生,已经鲜明地呈现在我们面前。

为了回顾和总结近几年来有关人-机-环境系统工程理论及应用的科研成果,中国系统工程学会人-机-环境系统工程专业委员会与北京市海淀区人-机-环境系统工程研究会将于今年 11 月在福建厦门联合召开第六届全国人-机-环境系统工程学术会议。本次会议收到学术论文 200 余篇。我们从中精选出 91 篇比较优秀的论文编辑成《人-机-环境系统工程研究进展(第六卷)》。但因篇幅所限,还有一些较好论文尚未收入本书,我们深表歉意。同时,由于时间比较仓促,书中文字尚显粗疏,可能存在不妥之处,欢迎广大读者提出宝贵意见和建议。

我们深信,SARS 过后,本书的出版发行,必将进一步推动人-机-环境系统工程理论在人类社会中的应用进程!

龙升照

2003 年 11 月于北京

①《专家认为:非典的出现与生态环境变化关系密切》(<http://www.sina.com.cn>, 2003/06/10 新华网);

②《劫后走访香港“著名疫区”淘大花园》(<http://www.sina.com.cn>, 2003/06/15 人民网);

③《调查显示:导致香港淘大花园非典疫情四大因素》(<http://www.sconline.com.cn>, 2003/04/08)。

目 录

钱学森院士致人-机-环境系统工程创立20周年纪念大会的贺信(代序)

附:龙升照同志致钱学森院士的信

钱学森院士对《人-机-环境系统工程研究进展(第一卷)》的评语

前 言

第一部分 总论

《科技日报》要闻:钱学森关注“人机环境关系”——访“人-机-环境系统工程”

专家龙升照侯 静(1)

人-机-环境系统工程与一些相关学科的关系龙升照(4)

第二部分 人的特性的研究

人-机-环境系统中人的失误及其预防策略龙升照(9)

飞行员的心理素质与飞行安全刘宝善(14)

模拟失重对人体代偿缺氧能力可靠性影响的研究.....

.....张宝兰 彭远开 张 华 费锦学 刘 钢(21)

试探心理问题对人的可靠性的影响及其应对策略孙学建(25)

铁路运输员工作业可靠性分析与改进曹厚惠(30)

非理性用户模型的建立与安全性设计原则.....

——产品设计中用户模型的可靠性考虑.....刘永翔 马全明(34)

弹射座椅人椅重心测量及其对弹射稳定性影响的研究.....

.....王兴伟 刘宝善 孙明照 王荣娣 吴 铭 苏炳君 李 辉 张 行(39)

影响人的可靠性的各种因素分析孙 俭(44)

军用车辆驾驶员安全可靠指标体系与评估模型的研究.....袁健康 王国荣(47)

装甲装备人因故障统计与分析孙 伟 宋超生 刘维平 高连华 曹伟国(58)

人的行为与兵器操作安全研究徐静良 庞志兵 刘 军 李 勇 何祖伦(64)

军用装备人-机-环境系统中人的可靠性分析阮仲皋 阎国林 阮光珍(70)

多功能人用转椅在人的操作可靠性研究中的应用刘慧敏(73)

数字化虚拟飞行员体形精度、操作逼真度及工程应用探索性研究.....

.....冉红强 温文彪 郑国磊 常士楠 孙红三(79)

虚拟环境与虚拟人适配性仿真实用化前景.....

.....秦 双 温文彪 刘静华 常士楠 孙红三(86)

防空兵分队专业训练时间优化评估.....

.....庞志兵 易华辉 邹克华 费华平 吴照云 李 禾 张德强(93)

航天员心理负荷问题及其对策探讨.....孙学建(98)

基于网络的多导生理信号采集处理系统应用软件的研制杨健群 马殿富(104)

编队协同飞行中歼击机飞行员的信息使用需求.....

..... 郭小朝 刘宝善 马雪松 伊 丽 熊端琴(115)	
弹射座椅肩带惯性拉紧装置强制拉紧人体耐受参数	郭小朝
刘宝善 范 军 杨 毅 曹步平 蹇 强 王荣娣 刘保钢 毛彦荣 熊端琴(122)	
处境意识与认知差错.....	刘汉辉 高 杨(128)
核电站操纵员定量化心理评价方法研究	何旭洪 高 佳 黄祥瑞(133)
人体系统的最优控制研究.....	卢容德 朱月华(139)
人体系统的稳态和暂稳态	卢容德 杨三青 朱月华(143)
无人飞船人体代谢模拟装置的可靠性评估	陈金盾 杜振华 王立东(147)
潜艇艇员精神症状状况分析	余 浩 项光强 陈方华 田 靓 刘春利(153)
群体大小对群体决策可靠性影响的研究综述	刘树林 席酉民 唐 均(157)
动作技能习得系统理论及其教学研究.....	盛克庆 徐 涛(162)
人的可靠性分析(HRA)研究进展	黄祥瑞 何旭洪 沈祖培 高 佳(167)
操纵员班组失误机理的初步分析.....	高 佳 何旭洪 黄祥瑞 沈祖培(174)
大学出版社编辑的基本素质及其考评	秦振华(181)
人的可靠性分析中强度下降模型研究.....	吕震宙 曹现涛(185)

第三部分 机器特性的研究

液冷服调温装置的总体设计和可靠性分析	韩力军 孟运余 张群祥(191)
基于一种新型径向基神经网络的舰船雷达目标识别	马振晖(195)

第四部分 环境特性的研究

室内空调环境空气品质的CFD数值评价方法	马哲树 姚寿广(201)
水面舰艇舱室微小气候医学要求的制订.....	
..... 李政年 陈国根 刘忠权 丛 颖 郑满庄 徐建华 柯文棋(206)	
潜艇舱室大气环境膜除湿技术的研究.....	丁 成 刘书子(210)
特种车辆运动模拟装置的研制意义.....	
..... 吴圣钰 王振国 史力晨 任杰增 白雅娟 罗玉萍(215)	
特种车辆运动模拟平台的研制构想.....	
..... 吴圣钰 黄官升 史力晨 任杰增 白雅娟 罗玉萍 牛海燕 何耀锋(221)	

第五部分 人-机关系的研究

装甲车辆的人-机界面设计.....	张双成 刘培志 瞿 蓉(227)
基于Agent技术的智能人-计算机界面设计探讨	施华传 蒋建国 汤妹军(231)

第六部分 人-环关系的研究

水面舰艇磁场对人体作用安全限值的制订.....	
..... 柯文棋 乐秀鸿 何南章 李振杰 徐建华 李政年 吉庚耀(237)	
模拟失重条件下高温应激对认知工效的影响	田志强 虞学军 武建民(242)
全封闭舰船与“空调病”	徐建华 柯文棋 乐秀鸿 李政年(247)

舰船舱室噪声环境现状及其对机体的影响梁振福(252)

水面舰艇冲击对人体作用安全限值.....

..... 乐秀鸿 柯文棋 刘新祥 侍 坚 李国华 赵本立 何南章(258)

环境因素对驾驶员生理、心理特性的影响.....黄荣贵 赵炳强(262)

模拟舰艇磁场复合噪声、温度对大鼠机体联合作用的实验研究.....

.....柯文棋 乐秀鸿 李振杰 徐建华 李政年 周宏元 黄建松 唐志文 吉庚耀(268)

模拟舰船两水平磁场、噪声、温度对动物血浆内皮素和心钠素的影响.....

... 李政年 柯文棋 黄建松 周宏元 乐秀鸿 李振杰 徐建华 吉庚耀 唐志文(273)

高原环境中防护人员的适应性研究丁松涛 袁晓华 刘 斌(278)

环境温度、运动负荷等因素对人体排湿率影响的研究.....

..... 邱 曼 武建民 常绍勇 宋 德(283)

高原地区全封闭面罩式间断性供氧问题的探讨.....吴圣钰 罗玉萍 关志伟 谢 刚(286)

高原低氧环境对装甲车辆乘载员工效的影响及对策.....罗玉萍 吴圣钰(291)

低压舱小环境中人体心电图变化的观察张宝兰 彭远开 费锦学(297)

公共环境中人的行为方式与标识设置研究张露芳 黄 薇 吴 明(302)

装甲车辆舱室氧浓度变化及对乘载员健康影响的初步研究.....武海明 董伟杰(307)

环境二噁英对人的危害及其对策郭坤敏(312)

现代战争单兵防护系统的基本功能.....冯广军 路瑞明 戴述银 韩永谦(318)

卧位人体垂直振动模型及其应用的分析与探讨祁建城 孙景工 牛 福(322)

代偿背心衣面材料的选择和应用张 荣(327)

第七部分 机-环关系的研究

混合动力装甲车动力舱内高温环境下电控系统可靠性冷却设计.....

..... 王义春 王保国 杨英俊 王瑞君(333)

第八部分 人-机-环境系统总体性能的研究

现代化钢铁企业电缆管理的人-机-环境系统可靠性研究刘金龙(339)

导弹武器系统机动化保障系统可靠性初探.....戴宇进 宋贵宝(342)

拟模糊概率法在装备可靠性评估中的应用.....

..... 庞志兵 何 健 王洪建 幕 帅 陆 浩 纪树光 刘劲松(347)

高新技术产品人-机-环境系统可靠性研究.....张秀芳 王 冬(351)

提高人-机系统可靠性的软件设计方法研究顾一希 王恒山(356)

复杂可维修系统可信度计算方法研究杨宇航 庾 红 李会杰(361)

江苏交通管理——从权力行政到服务行政的新取向.....

.....张凤泉 方瑞祥(371)

安全健康权侵害与交通事故分离的探讨.....张凤泉 方瑞祥(376)

农村经济信息网络体系性能评价研究王艳霞 王 健 商 奎(380)

军用装备人-机-环境系统建模分析阮仲皋 刘深厚 阮光珍(385)

可视化智能仿真技术在坦克火控系统误差分析中的应用.....吴祖玉 郭永平(390)

柳州铁路局伤亡事故原因分析及预防措施.....姜方平 赵凤德(394)

高温环境下人-机误操作预防对策王云景 余 浩(400)

太阳能应用技术在人-居-环境关系中的地位.....

..... 郑宏飞 杨英俊 王保国(404)

虚拟人体模型在人-机-环境系统工程研究中的应用薛红军 张 炜 张红梅(410)

高压氧舱事故分析与对策.....刘慧敏 王 亮(416)

数字战场模拟中优化寻径算法的研究.....张静波 李剑锋(422)

人-机-环境系统中的多媒体教学研究.....王 冬 张秀芳(428)

生态环境影响下的路线设计与事故致因.....张凤泉 方瑞祥(432)

安徽道路交通安全社会分析.....李 群 何学著 夏 寅 方瑞祥(438)

通畅的城市交通问题和宣城手段.....陈 琦 方瑞祥(446)

第九部分 应用研究

“迈新(MMESE)”技术与信息技术融合将使“迈新”腾飞任纯泽(459)

用以科研人员为本的思想建设专业图书馆.....徐 宏 周 鹏 孙 伟 葛志敏(465)

导弹保障系统人-机-环境系统工程研究探讨.....戴宇进 宋贵宝 张福光 朱旭程(469)

企业管理创新与人-机-环境系统工程周永康(473)

关于无人机系统的人-机-环境系统工程研究张 炜 薛红军 宋笔锋(476)

军事装备全寿命过程的人-机-环境系统工程应用分析.....李剑锋 张静波(481)

人-机-环境系统工程在分析井下运输事故中的应用.....景国勋 宋江虎(486)

附录

第四届全国人的可靠性和人-机-环境系统可靠性专题研讨会征集论文通知(493)

1993~2003年度“人-机-环境系统工程研究突出贡献奖”获奖名单.....(494)

人-机-环境系统工程网站“<http://www.mnese.com>”简介(494)

第一部分 总 论

《科技日报》要闻：钱学森关注“人机环境关系” ——访“人-机-环境系统工程”专家龙升照^①

侯 静

（《科技日报》社）

日前全国人-机-环境系统工程学术会议在昆明召开。钱学森为本次会议发来的贺信指出：“20 年来，你们在人-机-环境系统工程这一新兴科学领域进行了积极的开拓和探索，并取得了非常可喜的成绩，我感到由衷的高兴。希望你们今后再接再厉，为中国乃至世界科学技术的进步作出积极贡献！”

* * * * *

近日举行的全国人-机-环境系统工程学术会议，引起了许多人的浓厚兴趣。因为这一新的学科是在著名科学家钱学森的指导下创建的。在庆贺钱老 90 华诞的日子里，记者走访了人-机-环境系统工程主要创始人之一、博士生导师龙升照研究员。他现任中国系统工程学会人-机-环境工程专业委员会主任。

记者：您能否简要介绍一下人-机-环境系统工程的研究内容？

龙升照：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。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、生产过程等）的总称；“环境”，是指人、机共处的特定工作条件。系统最优组合的基本目标是“安全、高效、经济”。所谓“安全”，是指不出现人体的生理危害或伤害，并避免各种事故的发生；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前提下，系统的建立要投资最省。

记者：据知，钱老对这门新兴科学给予了极高评价。他在 1993 年 10 月写给您的信中指出，“你们是在社会主义中国开创了这门重要现代科学技术。”您能否介绍一下，它的重要性究竟在哪里？

① 本文标题在《科技日报》发表时，因标题套红排版需要，将“环境”一词省略。本次刊载将“环境”一词恢复。

龙升照：首先，它为人类社会的健康和可持续发展提供了科学方法。应该说，人类社会发展的历史，就是一部人、机（包括工具、机器和计算机）、环境三大要素相互关联、相互制约、相互促进的历史。由于环境的影响，高级灵长目动物演变成为人类；人类的诞生导致了机的出现；机的出现又产生了新的环境；新的环境又在影响人类的生活、工作和生存。

时至今日，当人们沉浸在享受高科技带来的社会繁荣之际，却也不自觉地闯入了两大误区：第一，在机器设计时，由于漠视了人的特点和要求，致使工作系统效率降低、事故增加，对社会发展造成严重影响；第二，在机器设计时，由于漠视了环境的特点和要求，不但影响了机器本身性能的发挥，而且带来了严重的环境恶化，对人类的生活、工作和生存造成重大威胁。今以汽车为例，它的出现，一方面是极大地推动了社会的进步，另一方面却也给社会带来了灾难，每年死于道路交通事故的人数全世界约有 25 万，同时，它也是造成城市污染的主要因素之一。其他的类似例子也很多。因此，当务之急，就是要研究和探索一套研究人、机、环境三大要素的运行规律及其最优组合的科学方法。

人-机-环境系统工程的诞生，使人们在设计和研制任何一个人-机-环境系统时，会产生三个方面的飞跃：第一、从经验走向科学；第二、从不自觉走向自觉；第三、从定性走向定量。其结果，不仅可以避免经济上的巨大损失，而且可以加速人类社会发展的进程。

此外，人-机-环境系统工程也为社会生产力的发展提供了技术手段。通常，哲学上是将生产力定义为：“从事物质资料生产的人同以生产工具为主的被用于生产的劳动资料相结合，就构成社会生产力。”很显然，生产力应该是人（从事物质资料生产的人）、机（生产工具和机器）、环境（生产场所的有关劳动条件）三大要素的有机结合。因此，采用人-机-环境系统工程方法，就能全面优化人、机、环境三者之间的关系，促进社会生产力的蓬勃发展。

记者：作为这门新兴科学的奠基人之一，您经历了它的诞生、发展和成长的全部历程。请您谈谈这门科学的诞生和发展过程。

龙升照：1981 年，在钱老系统科学思想的启发和亲自指导下，我们根据载人航天研究的实践，并对国内外情况进行了认真分析，概括提出了这门综合性边缘技术科学。1984 年，总装备部（原国防科工委）成立了人-机-环境系统工程军用标准化技术委员会；1986 年，总装备部将人-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；1993 年，中国系统工程学会人-机-环境系统工程专业委员会成立。从 1993 年起，每两年召开一次全国性学术会议，编辑出版了《人-机-环境系统工程研究进展》第一至五卷。而且，更为可喜的是，我国广大科技工作者对这门新兴科学进行了辛勤的耕耘和积极的开拓，其应用范围涉及航空、航天、兵器、电子、能源、交通、电力、煤炭、冶金、体育、康复、管理等领域。应该说，这些成绩包括每一步进展无不与钱老的关怀和指导有关，钱老对我们真可以说是“扶上马送一程”了。

记者：钱老早在 1986 年就曾讲过，我们中国人也别老看不起自己，我们在人-机-环境系统工程方面的学术思想当前在世界上是领先的，不是落后的。钱老的这一评价，您除了感到鼓舞以外，展望未来您是否也感到责任重大？

龙升照：是的。人-机-环境系统工程问世后，在国际上也引起了很好的反响。1984 年 10 月，陈信所长和我撰写的论文《人-机-环境系统工程理论在航空中的应用》在第 32 届

国际航空航天医学会议上宣读后，受到了各国学者的热情关注和好评。葡萄牙把该论文编入当年的军事年鉴；美、日学者也很重视这一科学理论。1992 年，《人-机-环境系统总体分析方法的研究》在第 18 届国际航空科学大会上报告；1998 年，《人-机-环境系统工程理论及其应用》在中法人与自动化会议上报告。这一切，也使人-机-环境系统工程逐步推向世界。当然，这方面我们做得还不够。我们应该加倍努力，实现钱老所提出的宏伟目标：“为中国乃至世界科学技术的进步作出积极贡献！”

龙升照最后总结说，目前人-机-环境系统工程的广泛应用面临新的挑战 and 机遇，中国加入 WTO 和西部大开发，都为人-机-环境系统工程的应用和发展提出了新的要求。今后，我们还将从完善理论体系、加强应用研究、建立实验基地、培养骨干队伍和拓展国际交流等几方面加强努力，争取为国民经济的发展做出更大贡献。

（摘自 2001 年 12 月 14 日《科技日报》）

人-机-环境系统工程与一些相关学科的关系

龙升照

(北京航天医学工程研究所)

一、问题的提出

1981年,在著名科学家钱学森的亲自指导下,一门综合性边缘技术科学——人-机-环境系统工程(Man-Machine-Environment System Engineering, 简称为 MMESE)在我国诞生。钱学森同志对这门新兴科学给予了极高评价。他于1993年指出,“你们是在社会主义中国开创了这门重要现代科学技术。”^[1]

人-机-环境系统工程作为一门新兴科学,它与一些相关学科有哪些联系和区别,它的开创性究竟在哪里?为了回答这些问题,我们不妨先对国外相关领域的研究概况作一简要叙述。

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,人与机器的矛盾也日益尖锐。为了充分发挥人的作用,国外先后产生了一些研究人和机器相互关系的学科。美国有人的因素(Human Factors)、人体工程学(Human Engineering)、人的因素工程(Human Factor Engineering)、人-机系统(Man-Machine System)等众多的学科名称,西欧有工效学(Ergonomics)之称,东欧有工程心理学(Engineering Psychology)之称。这些学科对于推动科学技术的发展起到了非常重要的作用。但是,由于它们的研究重点是让人如何适应机器、适应环境,而对于机器的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思路来全面解决人、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《人的因素研究需求》的专门报告^[2]。该报告承认,20世纪70年代由于单纯依靠过去20年的数据而放松了基础研究,因而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。直至1996年,美国国防部在它的《国防技术计划》中还无可奈何地指出^[3],“几年来,已采集了大量的有关人体机能的数据,但是,这些数据既不能为设计集成界所利用,也很难找到并加以解释。结果,‘(系统)集成’总是要在设计过程后期完成,且其鉴定要依赖于昂贵的实物样机。”另外,美国的IEEE杂志也提供了一个很好的例证。20世纪50年代,该杂志有一种汇刊名为IEEE Transactions on Human Factors in Electronics(电子学中人的因素);60年代,该汇刊改名为IEEE Transactions on Man-Machine System(人-机系统);70年代,该汇刊又与另一汇刊IEEE Transactions on System Science & Cybernetics(系统科学与控制论)合并,改名为IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics(系统、人与控制论)。该名称一直沿用至今,并又将它分

为3个部分(分卷)出版: Part A, System and Human(系统与人); Part B, Cybernetics(控制论); Part C, Applications and Reviews(应用与述评)。由此可见, 虽然他们想从系统的高度来考虑问题, 但又苦于没有办法。因此, 他们对于如何来阐述这个十分复杂的研究领域, 也显得十分茫然。

应该强调指出的是, 人-机-环境系统工程正是针对以上现实而提出的。它的诞生虽然与人的因素、人的因素工程、工效学、人-机系统……等相关学科有关, 并从这些学科中汲取了丰富的营养, 但它高于这些相关学科。它不但包括的内容更广泛(尤其是环境因素的考虑), 而且更是特别强调从系统总体的更高层次来处理问题。

牛顿曾经说过, “假如我能比别人了解得略为远些, 那是因为我站在巨人的肩膀上。”^[4] 同样, 人-机-环境系统工程的提出, 并不是对其他相关学科的否定或取代, 而是要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, 从而把人们的认识水平推进到一个崭新的阶段。

正是基于上述事实, 本文重点在于阐述人-机-环境系统工程与一些相关学科(如工效学、人-机系统和环境医学)的联系与区别, 并不断汲取和借鉴其他相关学科的研究成果, 从而加速人-机-环境系统工程理论及应用的蓬勃发展。

二、与工效学的关系

工效学(Ergonomics)是第二次世界大战以后发展起来的一门科学。工效学的英文名称是 Ergonomics. 这个词是由希腊词“ergon”(即工作或劳动)和“nomos”(即规律或规则)复合而成。因此, 工效学可以定义为是研究人的工作规律的一门学科。它的早期研究主要集中于人体测量和人的生物力学特性。后来, 其研究内容有所扩展。它目前已包含了有关人的能力、人的局限性等方面的内容。而且, 美国已将人的因素(Human Factors)与工效学(Ergonomics)等效使用^[5]。

为了阐明人-机-环境系统工程与工效学的关系, 我们兹将人-机-环境系统工程的研究内容作简要叙述。

众所周知, 人-机-环境系统工程的研究内容主要包括7个方面(见图1)^[6]: ①人的特性的研究; ②机器特性的研究; ③环境特性的研究; ④人-机关系的研究; ⑤人-环关系的研究; ⑥机-环关系的研究; ⑦人-机-环境系统总体性能的研究。

从人-机-环境系统工程的研究内容可以看出, 人的特性的研究与工效学的研究内容有很大联系。很显然, 为了对人-机-环境系统的总体性能(安全、高效、经济)进行分析、设计与评估, 首先就必需对人的特性有充分的了解, 也即必需从工效学或人的因素角度对人的特性进行全面研究, 只有这样, 才能实现人-机-环境系统工程的基本目标。

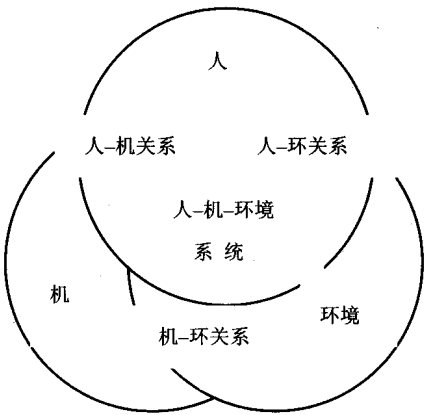


图1 人-机-环境系统工程研究范畴示意图

人-机-环境系统工程与工效学的最大区别在于，它是从系统总体的高度来处理人、机、环境三大因素的关系，而不单独强调人的因素或工效学要求的最优化。这是因为，按照人-机-环境系统工程的观点，单个因素优良，并不能确保系统整体性能的优良，系统的各个要素都要按系统的总体性能进行规化，有的指标甚至要作出一些让步^[7]。美国阿波罗登月舱的设计就是一个明显例证^[8]。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。一位工程师则抱怨说，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”的方案。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-环境系统工程理论作指导，人们只是从人的因素(工效学)的角度来满足人的工作要求，缺乏从系统总体来考虑问题，因而使设计工作走了弯路。因此，人-机-环境系统工程既强调从工效学(也即人的工作规律)的角度获得有关人的特性的各种数据，但更强调从系统的总体高度来利用这些数据，从而使入-机-环境系统满足“安全、高效、经济”的综合效能。

在我国，有些学者将 Ergonomics 一词翻译为“人机工程学”或“人机工程”^[9]。

三、与人-机系统的关系

人-机系统(Man-Machine Systems)是研究人与机器相互作用的一门学科^[10, 11]。人-机系统的研究内容与人-机-环境系统工程中人-机关系的研究内容有许多交叉(见图1)。但是，人-机-环境系统工程研究与人-机系统研究存在很大区别，主要表现为两个方面：

第一，人-机-环境系统工程研究首先特别强调机(包括工具、机器和计算机)的设计要符合人的要求(也即“机宜人”)，然后再强调通过选拔和训练使人去适应机器(也即“人宜机”)。但是，人-机系统研究却主要着眼于“人宜机”方面。1996年的美国《国防技术计划》指出：“人-机系统技术领域荟萃了人体科学、生理学、生物学、行为科学以及生物工程等学科，涉及人在作战活动中的方方面面。……人-机系统技术提供了保证恰当地选拔、训练、装(配)备和保护能适应(作战)发展趋势的所有部队人员所需的机会和技能。”^[3]由此不难看出，人-机系统的研究重点是侧重在“人宜机”。

第二，人-机-环境系统工程研究特别强调将环境因素作为一种积极的主动因素纳入系统之中，并成为系统的一个重要环节；人-机系统研究则将环境作为一种干扰因素而置于系统之外，其结果将会导致严重后果。例如，据英国媒体报导，^[12]英军于2001年秋，在阿曼举行了一次历时3个月、代号为“快剑”的军事演习，以检验英军的远征作战能力。其结果