

飞行器 人-机-环境 系统工程系列专著

人-机-环境

系统工程计算机仿真



陈 信 袁修干 主编

 北京航空航天大学出版社
<http://www.buaapress.com.cn>

前 言

人-机-环境系统工程是一门运用系统科学理论和系统科学方法,正确处理人、机、环境三大要素间的关系,研究人、机、环境系统最优组合的工程技术科学。人-机-环境系统工程既是一种设计思想和理论,也是一种有效的系统综合设计和评价技术。对于后者,面向工程应用的研究已经成为工业界普遍关注的问题。

人-机-环境系统工程有关问题的研究必须有心理学、生理学、医学工程、工程技术等多学科的专家协同工作,而直接设计工作往往是由工程技术人员完成。因此,发展人-机-环境系统的计算机仿真技术是使该学科的研究发展走向工程应用的关键。人-机-环境系统计算机仿真(模拟)技术,是将人-机-环境系统工程的思想、理论以及工程应用的研究成果,用现代计算机仿真技术综合集成起来,使其成为一种可用于工程问题定量分析、设计及评价的现代技术。它可以提高人机工程问题的设计效率,及时发现并纠正错误,缩短设计周期,降低研制费用,是复杂系统人机工程设计的一种必不可少的手段。目前,大型复杂人机系统的设计(比如人机系统分析及功能分配、人机系统界面的工效设计、航天员任务操作设计等)都要经过计算机仿真。早在1985年,美国国家科学院人的因素委员会就讨论了开发综合工效评估软件系统的可行性问题,主要议题是推荐并制定综合工效评估软件系统的研制方法。在近20多年里,国外的许多著名研究机构、大型企业、公司均投入大量的人力、物力,相继开发了数十种人机工程仿真软件。这些软件为人机工程设计和评价做出了重大贡献。

本书介绍了国内外在人-机-环境系统工程的计算机仿真研究中的有关成果。第一章讲述人-机-环境系统总体分析的目标、任务和步骤。第二章讲述人-机-环境系统的建模和计算机模拟方法。第三章讲述驾驶(操作)员作业域的计算机辅助设计,主要是通过图形显示和定量分析对操作员的作业可达性和可视性问题进行研究。此外,还详细介绍了人体作业的计算机动态图形仿真方法。第四章讲述人机环境系统中生物动力学计算机模拟问题。第五章讲述人体热调节系统数值模拟及工程应用。第六章讲述作业环境三维流场数值模拟及应用。第七章讲述信息显示/控制的人机工程设计与评定。

本书的内容具有相当的学术和理论意义,而且对研究、生产领域以及高等院校有关专业人员有参考和应用价值。它将为入-机-环境系统工程的研究成果进入工程应用起到推动作用。

袁修干

2001年10月

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,由于自然科学技术的发展,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,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。现在已有办法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系在一起考虑。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。由于人工智能、专家系统这些方面的发展,现在已经将很复杂的武器系统里由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了。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作了,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了,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多个目标,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,曾经争论得很厉害的一个问题是,是否把驾驶舱里仪器的信息综合起来,经过电子计算机处理,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。刚提出这个问题时,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

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。

杂,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来说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分量要加重,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电子计算机,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。但用得合适,就解决问题;用得不合适,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,如果他们的反应也跟不上,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环节。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,就要做预先研究。

飞行器人-机-环境系统工程系列专著
编 委 会

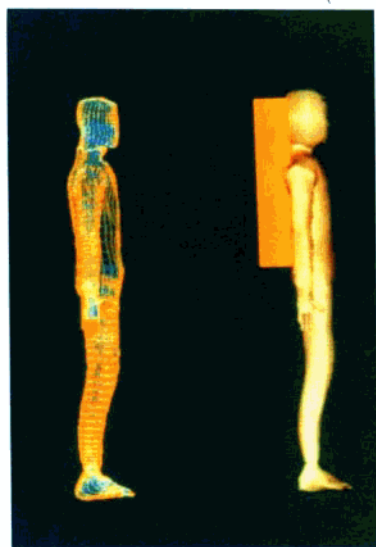
主编 陈 信 袁修干

编委 (按姓氏笔画排序)

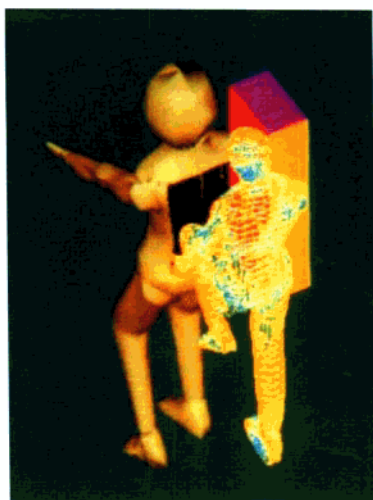
于志深	王玉兰	方振平	龙升照
孙长祝	孙洪元	庄祥昌	刘建中
吴文灿	吴国兴	陈延航	陈 信
余和琤	杨春信	沙 斌	庞 诚
周笃强	贾司光	袁修干	钱维权
顾鼎良	谢宝生	滕育英	

本书作者

袁修干	龙升照	方振平
孙长祝	沙 斌	沈 翔
付世波	魏 斌	季白桦
林国华	庄达民	邱义芬



人体和航天服模型(图3.66a)



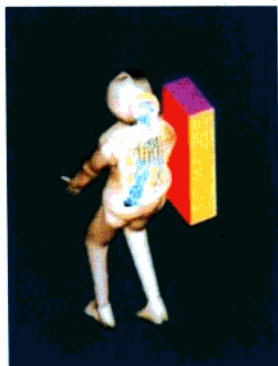
航天员打开生保系统，准
进入航天服(图3.66b)



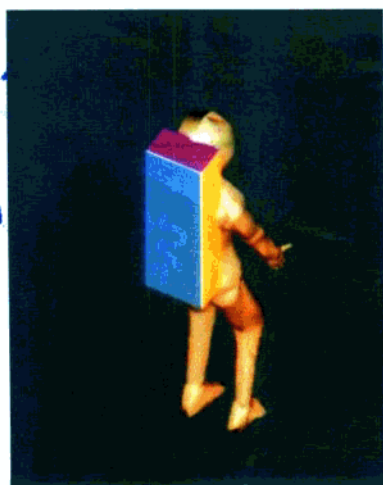
半身液冷服(图5.25)



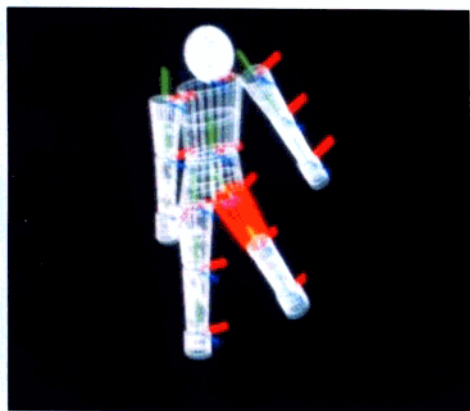
航天员双脚站在航天
服入口处(图3.66c)



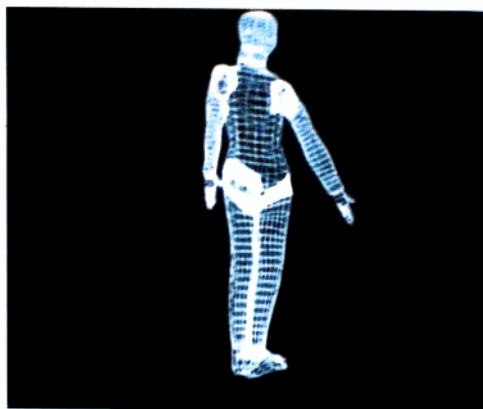
航天员下半身已经进
入航天服(图3.66d)



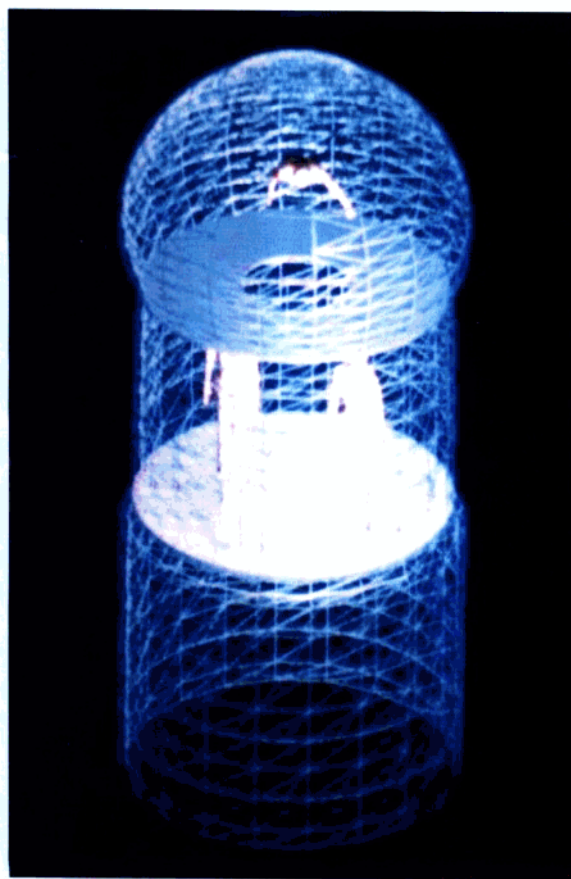
航天员全部进入航天服(图3.66e)



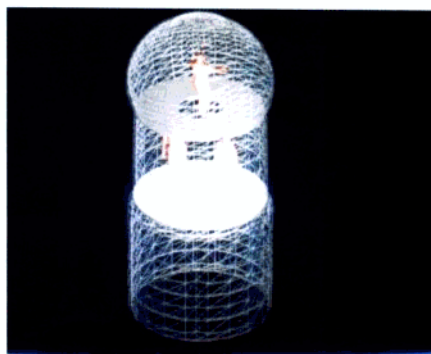
人体模型的局部坐标系(图3.33)



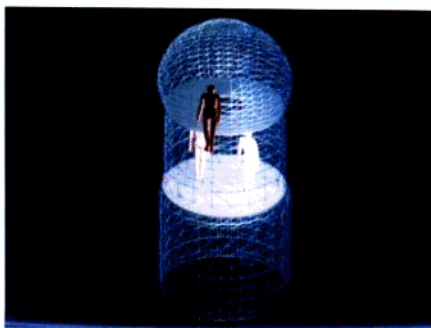
人体胳膊与躯干，腿与躯干之间的光滑拼接(图3.34)



一个宇航员从一个舱进入另一个舱(图3.67a)



一个宇航员完全进入轨道舱(图3.67b)



完全出舱(图3.67c)

目 录

第一章 人-机-环境系统的总体分析

第一节 人-机-环境系统的分类	1
第二节 总体分析的目标	2
第三节 总体分析的任务	3
第四节 总体分析的基本步骤	5
第五节 总体分析研究举例	9
参考文献	15

第二章 人-机-环境系统的计算机模拟

第一节 人操作者的数学模型	16
第二节 可操纵飞行器的动力学模型	23
第三节 环境的数学模型	39
第四节 人-机-环境操纵系统的计算机模拟	45
参考文献	56

第三章 作业域的计算机辅助设计

第一节 作业域设计的人体工程学参数	57
第二节 显示/控制器布局	71
第三节 控制台、座椅设计的人机工程学要求	75
第四节 人体运动计算机图形模拟	77
第五节 作业域的计算机辅助设计	108
第六节 应用举例	112
参考文献	114

第四章 人-机-环境生物动力学系统计算机模拟

第一节 人-机-环境中人体的受力	116
第二节 人-机-环境中人体力学效应	121
第三节 人体生物动力学模型	134
参考文献	145

第五章 人体热调节系统数学模拟及其应用

第一节 研究历史和现状	146
第二节 人体热调节的生理学基础及其控制系统	149
第三节 被控分系统数学模型	151
第四节 生物热方程	155
第五节 控制分系统数学模型	164
第六节 人体热调节系统数学模型的工程应用	168
参考文献	180

第六章 作业环境三维流场的数值模拟

第一节 作业环境的气体流动与人体热舒适性·····	182
第二节 三维贴体坐标系下的通用输运方程·····	183
第三节 贴体网格生成·····	190
第四节 基于自由型曲面的网格生成·····	195
第五节 数值求解方法·····	201
第六节 驾驶舱三维流场及热舒适性分析·····	213
参考文献·····	224

第七章 信息显示/控制的人机工程设计与评定

第一节 基于工效学的显示/控制器面板计算机辅助设计 ·····	226
第二节 目标拾取运动的特性和仿真·····	228
第三节 视觉与眼动系统·····	230
第四节 红外电视眼动测量系统·····	234
第五节 驾驶舱信息显示/控制的人机工效评定系统 ·····	236
参考文献·····	240

第一章 人-机-环境系统的总体分析

所谓总体分析,是在明确系统总体要求的前提下,通过确定若干种方案,相应建立人、机、环境和全系统的数学模型并进行模拟实验,着重分析和研究人、机、环境三大要素对系统总体性能的影响和所应具备的各自功能及相互关系,不断修正和完善人-机-环境系统的结构方式,最终确保最优组合方案的实现^[1~6]。

本章将从总体分析的目标、任务和基本步骤三个方面,简要阐述飞行器人-机-环境系统总体分析的一般方法,并列举一个总体研究的例子。

第一节 人-机-环境系统的分类

通常,根据各种系统的性能特点及复杂程度,可将人-机-环境系统分为以下三种类型。

一、简单(单人、单机)人-机-环境系统

在这种系统中,一名操作人员只使用一台机器在特定环境中工作,如图 1.1 所示。现行的汽车、火车、飞机……都属于这类系统。

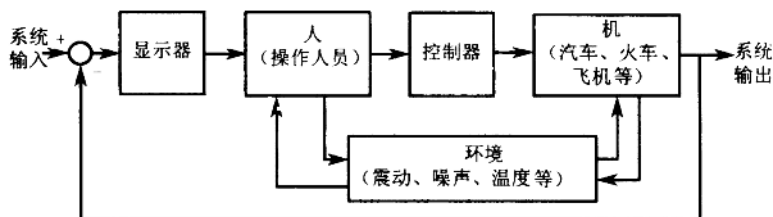


图 1.1 简单人-机-环境系统示意图

二、复杂(多人、多机)人-机-环境系统

这类系统的特点是,一名操作人员可以操作两台以上的机器,或者是一台或多台机器可以同时被几名操作人员使用,如图 1.2 所示。目前许多工业生产机器的操作都类似于此。

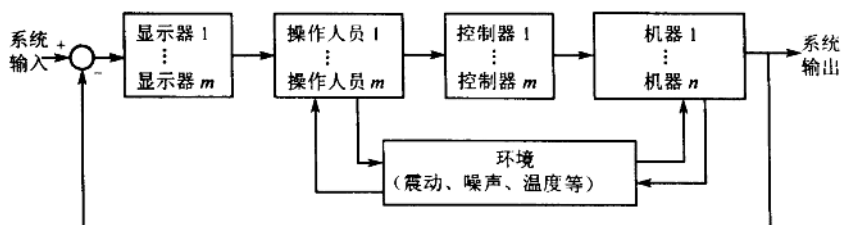


图 1.2 复杂人-机-环境系统示意图

三、广义(大规模)人-机-环境系统

这类系统广泛存在于各种生产部门。各生产部门的最高决策者通过一套指挥/控制系统，对下属各基层单位的生产状况实施统一的管理和调度。这是一种典型的广义人-机-环境系统，如图 1.3 所示。

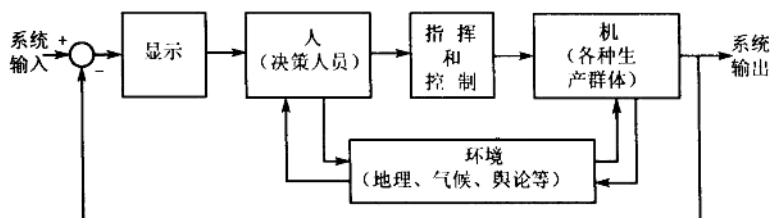


图 1.3 广义人-机-环境系统示意图

显然，无论是简单的、复杂的，还是广义的人-机-环境系统，都是一个复杂的巨系统。这是因为人体本身是一个巨系统，机器（或计算机）也是巨系统，再加上各种环境因素的作用和影响，因而形成人-机-环境系统这个复杂巨系统。实践证明，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，更重要的是取决于各要素的关联形式，也即信息的传递、加工和控制方式。因此，要实现人、机、环境的最优组合，其难度是相当大的。而且，人们对人、机、环境这三种因素的研究，原先都是隶属于不同的学科领域，其研究方法和研究思路也大不相同。现在，为了将它们组合成一个复杂巨系统，首先就必须有一个能够统一描述人、机、环境各自能力及相互关系的理论。没有这样一个理论作指导，就根本谈不上对整个系统作深入研究，也就谈不上实现全系统的最优化设计。人-机-环境系统工程正是针对这种现实应运而生的。

第二节 总体分析的目标

如前所述，人-机-环境系统工程的研究对象是人-机-环境系统，而且这种系统一般都是一个复杂巨系统。对于这种庞大系统，如何判断它已经实现了最优组合呢？人-机-环境系统工

程认为,对任何一个人-机-环境系统来说,都应满足“安全、高效、经济”综合效能。

所谓“安全”,是指不出现对人体的生理危害或伤害,并可避免严重事故(如飞机失事)的发生。显然,在任何一种人-机-环境系统中,作为工作主体的人可以说是最灵活的,他能根据不同任务要求来完成各种作业。然而,它在系统中也是最脆弱的,尤其在各种特殊环境下,这种矛盾更为突出。因此,在考虑系统总体性能时,把“安全”放在第一位是理所当然的,这也是人-机-环境系统与其他工程系统存在显著差异之处。为了确保安全,不仅要研究产生不安全的因素及采取预防措施,而且要探索不安全的潜在危险,力争把事故消灭在萌芽状态。

然而,建立人-机-环境系统的目的,并不单纯是为了安全,更重要的是使整个系统能高效率地进行工作。所谓“高效”,是使系统的工作效率最高。这是对系统提出的最根本要求,否则就失去了一个系统存在的意义。尤其在科学技术蓬勃发展的今天,人-机-环境系统变得愈来愈复杂,对整个系统的要求也愈来愈高,因而对高效性的要求也更高了。

当然,在设计和实施任何一个人-机-环境系统时,为了确保高效性能的实现,人们往往都希望尽量采用最先进技术。但在这样做的时候,应充分考虑为此而付出的代价。所谓“经济”,就是在满足系统技术要求的前提下,尽可能使投资最少,也即保证系统整体的经济性最佳。

所以,只有从安全、高效、经济三个方面对系统进行研究,才能比较全面衡量一个人-机-环境系统的优劣。这正是总体分析应该达到的目标。

第三节 总体分析的任务

前已指出,人-机-环境系统是一个复杂巨系统。面对这种庞大系统,如何实现人、机、环境三要素的最优组合呢?这就是总体分析应完成的任务。

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,更重要的是取决于各要素的关联形式,也即信息的传递、加工和控制方式。人-机-环境系统工程的最大特色在于:它在认真研究人、机、环境三个要素本身性能的基础上,不单纯着眼于个别要素的优良与否,而是科学地利用三个要素之间的有机联系,从而大大提高全系统的整体性能。因此,为了满足人-机-环境系统的总体性能,要对人、机、环境选择最优结构方案,并制订共同的性能准则,甚至要对标准进行研究。然后,根据三者对整个系统性能的贡献程度,找出关键所在,并据此安排各项研究的轻重缓急,确保“安全、高效、经济”综合效能的实现。

由此可见,总体分析的任务基本上可概括为两个方面:①分析人、机、环境的各自特性及其对“安全、高效、经济”综合效能的影响;②针对上述影响,确定人、机、环境的各自功能及相互关系,并采取相应的实施措施。下面对总体分析的任务进行初步分析。

一、安全性分析

在人-机-环境系统中,一些恶劣的特殊环境(如温度、噪声、低压、缺氧、辐射……)会给人的生命带来危害,所以应采取防护措施。这点已为人们所共知,而且容易被人们所注意,这里不再赘述。但是,由于人的操作错误(或称人的失误)造成系统的功能失灵,甚至危及人的生命安全,往往不被人们所认识,或者没有引起足够的重视。实践表明,随着科学技术的蓬勃发展,

人所操作的各种机器也趋复杂和精密,对操作机器的人的要求也越来越高。这不仅要求准确、熟练地操作机器,而且要求能准确、熟练地分析、判断,具有对复杂情况迅速作出反映的能力。然而,人的能力是有限的。如果先进的机器对人的操作要求过高,超出人的能力范围,就容易发生操作错误。这不仅使系统性能得不到发挥,而且可使整个系统失灵或发生重大事故。因此,如何从总体设计上尽量减少系统的不安全性,是确保系统安全的关键。为此,必须从如下四个方面进行努力:

(1) 应根据人、机的各自特点,合理分配人、机功能,尽量减轻对人操作复杂程度的要求,为人的有效工作创造有利条件,以防止操作错误的发生。

(2) 加强对人的选拔、训练和责任心教育,并合理安排生活作息制度,每天都要保证充分的睡眠和休息,使人处于最佳工作状态。

(3) 为了防止人的操作错误,机器的设计也要采取防错措施。对于一些重要部位,要用红色标记和保险扣住,平时不易碰到它们。

(4) 创造有利的工作环境,防止人的操作错误。例如,为了确保飞行员有良好的视觉环境,飞机上就要为飞行员配有不失真、不畸变、透明度好的舷舱玻璃;又如,噪声的污染不仅引起人的听觉错误,而且使人心烦意乱,容易造成操作错误,所以必须降低环境噪声等等。

二、高效性分析

人们设计和建立人-机-环境系统的目的,是为了使整个系统的工作性能最优化。这里所指的最优化有两个含义:一是系统的工作效果要佳,二是人的工作负荷要适度。所谓工作效果,是指工作速度、运行精度及运行可靠性等;所谓工作负荷,是指人完成任务所承受的工作负担和工作压力,以及人所付出的努力或注意力大小,如操作轻松或操作紧张,是否易于疲劳等等。以前,人们只是为各种机器的工程质量提出了种种衡量标准,但却忽视了对人的工作负荷进行评定,这样往往对系统工作效率的综合评价造成很大影响。为了弥补这种不足,应将系统的工作效率定义为系统工作效果和人的工作负荷的函数,也即:

$$\text{系统工作效率} = f(\text{工作效果}, \text{工作负荷})$$

为了提高系统工作效率,应从以下五个方面着手:

(1) 根据人、机的各自特点,合理分配人、机功能,这对系统效率的提高影响极大。

(2) 人-机界面的合理设计。所谓人-机界面设计,一般是指显示器、控制器的选择,以及显示和控制之间的协调,这是人、机信息交换的重要部分。显示器是将机器的信息呈现给人,使人充分了解机器的工作现状;控制器是将人的信息传递给机器,实现人的操作意图。因此,人-机界面的合理设计是提高系统工作效率的重要措施。值得指出的是,在进行人-机界面设计时,除了单独保证显示器和控制器本身的最佳性能外,还必须十分重视显示与控制之间的协调,如显示与控制之间运动方向的匹配、显示和控制灵敏度的适当配合、杆力大小的选择等等,这些也将对系统工作效率产生极大的影响。

(3) 通过选拔和训练,提高人的工作能力,这对系统工作效率的提高影响极大。实践证明,有时工程上可能要付出很大代价才使系统性能提高百分之几。而更换一个好的操作人员或尽量挖掘人的潜力,也许可将性能提高百分之十几,甚至更多。

(4) 在机器设计时,应尽量改善它的可操作性,使其符合人的要求。除此之外,还应在控

制回路中增加校正网络,以改善机器的可操作性。

(5) 确定适当的环境条件。人-机-环境系统与以往相邻学科的最大区别之一,就是将环境作为系统的一个环节。只有这样,才能从系统的总体高度对环境条件进行全面规划,克服环境因素对系统的不利影响。这些环境因素有的可以消除,有的可以防护,有的可减至最低限度,有的可获取环境因素综合影响的最佳值,使系统处于最佳工作状态,从而大大提高系统的工作效率。这就从根本上杜绝了那种先出产品、后治环境,头痛医头、脚痛医脚的被动局面。

三、经济性分析

一般说来,系统的经济性能包括三个方面:生产费用,运行、管理与维护费用,训练费用。

人-机-环境系统是一个复杂巨系统,建立这种巨系统,一般都需要大量的经费投资,而一旦系统建成后,又可获得一定的效能。如果把费用和效能都折合成货币形式来比较,并定义为效能/费用比值,那么对任何系统来说,效能/费用比值应愈大愈好。

为了降低整个系统的生产费用,也必须在人、机、环境三要素的最优组合上下功夫。例如,在确定机器的性能指标时,决不要忽视人的生理、心理特点。如果只是一味追求提高机器性能,而不考虑人的局限性,其结果只能是投资很大,收益甚微,使效能/费用比大大下降。再如,正确处理整体与局部的关系,往往也能在一定程度上降低生产费用。

为了降低运行、管理和维护费用,机器的设计应尽量标准化、模块化、积木化和通用化。

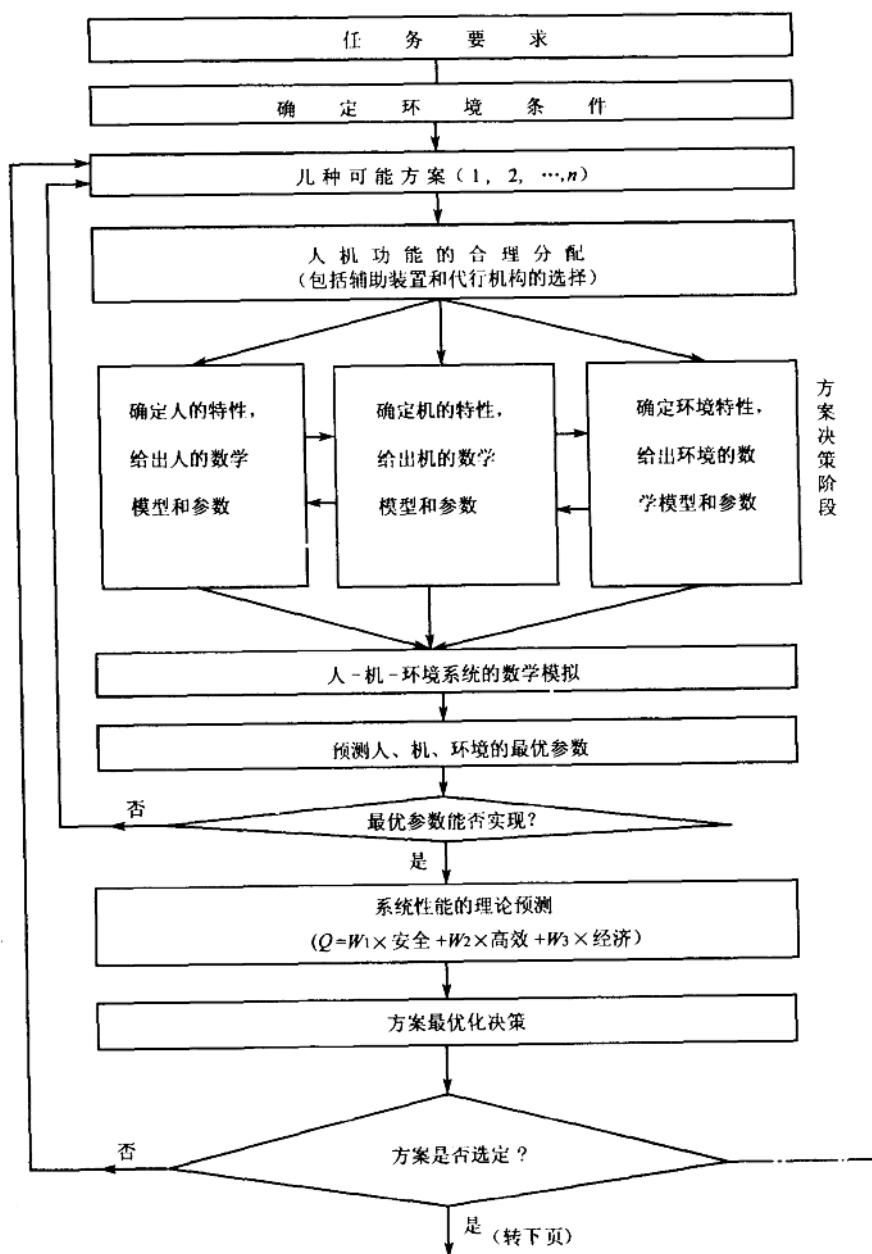
训练费用与系统的复杂程度有关。系统愈复杂,人学会使用的时间就会愈长,这必然造成训练费用增加。为了降低训练费用,为人-机-环境系统配备相应的训练设备(或称训练模拟器)是十分重要的。

从以上分析不难看出,只要从系统的总体高度出发,并根据人、机、环境三者的特性及相互关系,安排好人-机-环境系统的结构和布局,就能确保系统“安全、高效、经济”这一综合效能的实现。

第四节 总体分析的基本步骤

众所周知,在系统工程领域内,存在一个普遍公认的命题:“做任何一件事情、解决任何问题、达到任何一个目标、完成任何一项任务,一般总不止一种方法、途径或办法,而在这些方法、途径、办法中,又总会有一种或几种是最好的或较好的”。这种寻求最佳途径的观点和思想,正是人-机-环境系统最优组合方式研究的基本原则。根据这一原则,可将总体分析的基本步骤概括为图 1.4 所示的流程。从图 1.4 可知,总体分析的基本步骤可分为三个阶段:方案决策、研制生产和实际使用,而其中以方案决策最为关键。由于图 1.4 已将各个步骤列举得比较详细,现只就某些重点做些说明。

在方案决策阶段,总体分析是在几种可能的方案中选一种最优方案。为此,首先应建立人、机、环境的数学模型,并借助计算机进行人-机-环境系统的数学模拟,以获得图 1.5 所示的关系曲线。为了将安全、高效、经济三个指标综合为一个指标,可以定义一个综合评定值 Q :



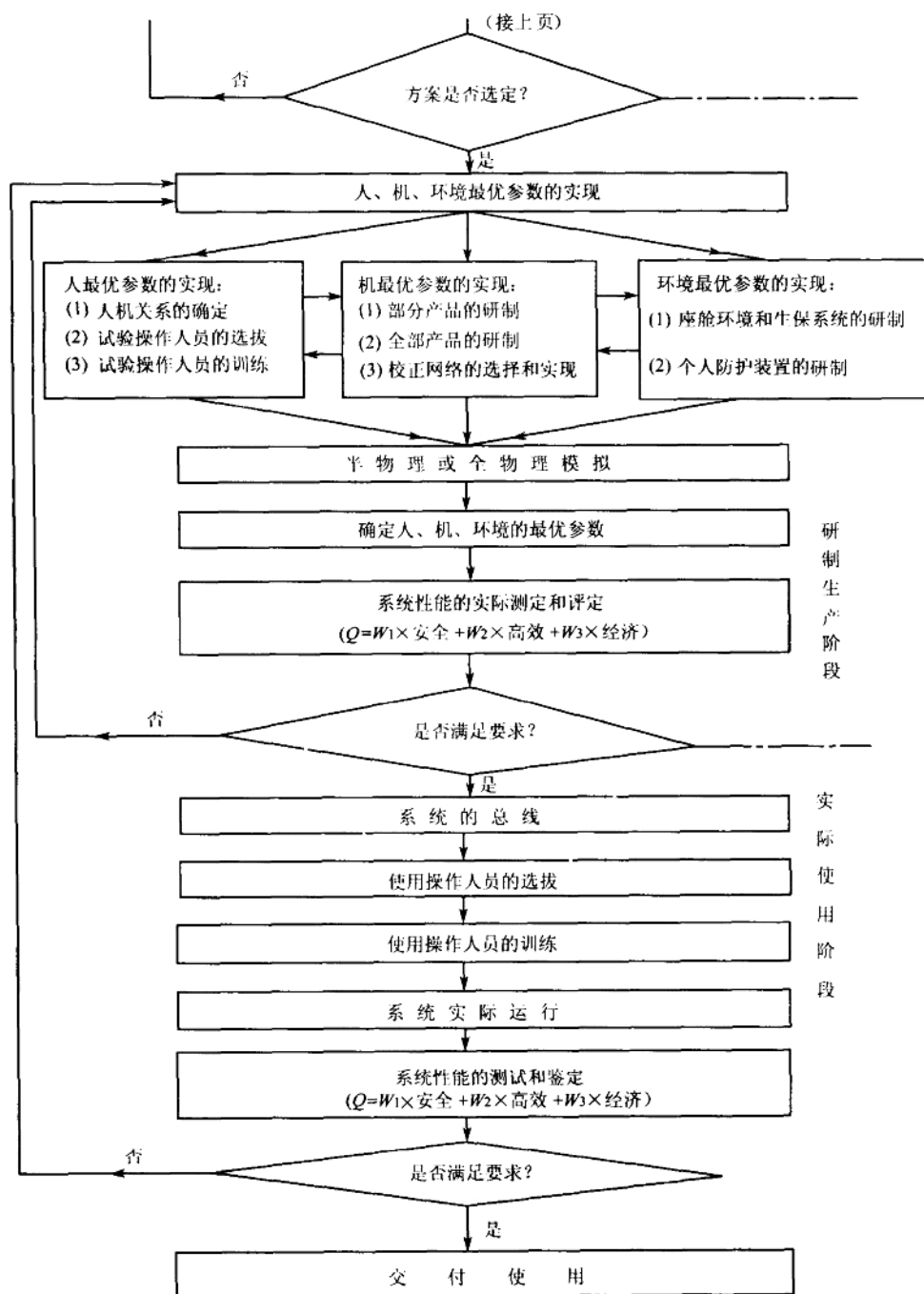


图 1.4 人-机-环境系统工程研究流程图