

# 人-机-环境系统工程中计算机 的仿真与应用

袁修干

(北京航空航天大学5系, 北京, 100083)

## THE APPLICATION OF COMPUTER SIMULATION IN MAN- MACHINE- ENVIRONMENTAL SYSTEM

Yuan Xiugan

(Fifth department of Beijing University of Aero. and Astro., Beijing, 100083)

**摘要** 论述了计算机仿真技术在航空航天人-机-环境系统中的发展方向和应用, 包括人体生理系统的建模与仿真、座舱环境参数的数学模拟以及驾驶员工作域的计算机图形显示。

**关键词** 计算机化仿真, 模拟, 图形, 人因工程

**中图分类号** V2451.3, R8571.14

**Abstract** The computer simulation of man-machine-environmental system and its application in aircraft are presented. The contents include the modelling and simulation of human physiology system, the mathematical simulation of micro-environment in aircraft cabin, and the computer graph of working area of pilot.

**Key words** computerized simulation, analogies, graph (charts), human factors engineering

人-机-环境系统工程是多学科交叉的边缘学科, 它既是一种设计思想和理论, 同时也是一种有效的综合设计方法, 对人-机-环境系统工程的研究已成为各行业普遍关注的问题。人-机-环境系统工程的应用实践表明, 应该在发展系统(尤其是武器系统)的全过程中应用人-机-环境系统工程的思想和方法, 在系统发展的早期阶段这一应用会取得最大的效益。例如, 1983年美国在发展先进武装攻击直升机LHX时, 用人-机-环境系统工程中的乘员工作负荷分析方法论证了单座和双座两个方案; 在进行阿波罗登月计划时, 对载人飞船这一典型的人-机-环境系统发展了系统的数学模型, 并进行了广泛的数值实验研究; 前苏联在发展太空站计划时亦开展了类似的工作。据称, 美国军事发展的重大项目立项论证报告, 必须有相关的人机环境系统工程的内容才能得到批准。海湾战争后, 美国把人机工程列为优先发展的十大高新技术之一。

人-机-环境系统工程的一个显著特点是: 必须有医学工程、行为科学和工程技术等多学科的专家协同工作。由于直接设计工作是由工程人员完成的, 因而发展具有一定通用性的计算机仿真软件是人机环境系统工程走向实用的关键。

## 1 人体生理系统的建模与仿真

对人体生理系统的数学模拟实际上是用微分方程组描述生理系统调节和控制的动态过

程, 并由计算机对这一动态过程进行仿真。描述生理系统所涉及的几种传输过程 (以心血管系统为例) 为<sup>11~22</sup>:

1 动量传输 心血管系统中的压力和血流量由血液粘度、血管壁弹性及血液动量决定。

o 质量传输 血液流动时还携带了氧和二氧化碳等物质, 这些物质的传输是最基本的生理过程。

» 能量传输 在血液循环和呼吸系统以及肌肉活动中都存在着能量的转换和传输。

¼ 信息传输 信息由神经纤维送往全身, 血液流动时携带的荷尔蒙也是信息传递的载体

传输过程 (包括扩散和对流) 可写为微分方程的形式:

$$\text{传导方程} \quad \frac{\rho}{9t} = k_1 \frac{\rho^2}{9x^2} + k_2 \frac{\rho^2}{9y^2} + k_3 \frac{\rho^2}{9z^2} \quad (1)$$

$$\text{波动方程} \quad \frac{\rho^2}{9t^2} = K_1 \frac{\rho^2}{9x^2} + K_2 \frac{\rho^2}{9y^2} + K_3 \frac{\rho^2}{9z^2} \quad (2)$$

生理系统中的各种传递过程是相互影响的, 对这种非线性偏微分方程组的求解必须借助计算机才能实现。进行生理系统的计算机模拟时应注意:

1 明确研究目的, 即研究目的或模型的用途决定了生理学模型的细节、复杂性以及和其它生理系统模型的相关程度, 而这又在很大程度上决定了模型的适用性和模拟的真实性;

o 模型的集成, 即在研究中较可行的方法是用简单的系统模型集成为复杂系统的模型。例如在研究航天活动中人的生理活动时, 可以由心血管系统、体温调节

系统、呼吸系统等子系统模型集成为生理系统模型, 而这3种子系统的模型均已经过单独的发展和检验。

发展生理系统模型的基本过程见图1。

美国在进行阿波罗计划时, 发展了人体温度和热调节系统、心血管系统、呼吸系统及人体体液系统等数学模型。这些系统的建模过程中有生理学、医学工程、环境科学、数学等众多学科的专家参与, 并以大量的生理学实验数据作为建模基础。这些模型在美国的航天活动 (如阿波罗登月计划、航天飞机计划) 中有不可替代的作用。如模拟航天员着航天服在外太空行走时的生理反应; 研究微重力环境对人体体液分布的影响等等。80年代以来, 逐步发展了一维、二维和准三维的人体温度和热调节数学模型, 考虑了辐射、冷热环境等对人的影响, 并应用于飞机座舱设计、个体调温装备研制和复合环境因素研究、高低温环境下劳动保护装备的研制、航天员海洋溅落的生存时间预报、用于冷环境作业的防寒

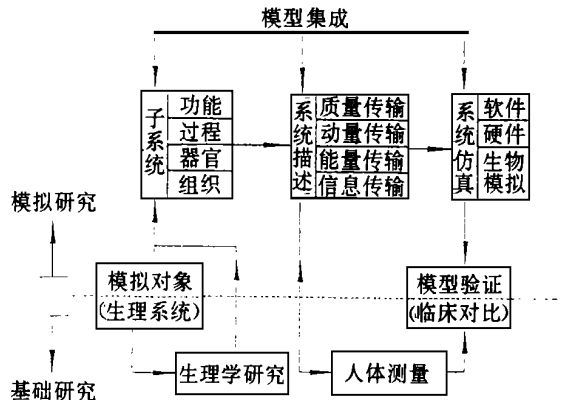


图1 生理系统建模与集成

抗浸服等<sup>13-42</sup>。图 2 为二维人体热调节系统仿真示意图。今后应加强的研究方向是人体血液流动与过载、呼吸系统与缺氧、人的视觉工效的数学模型及仿真。

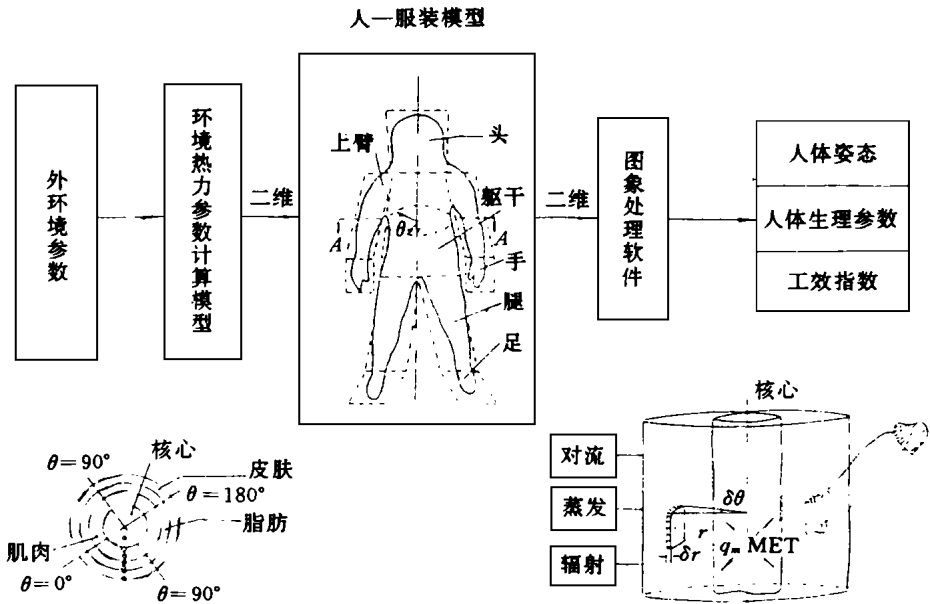


图 2 体温调节组合模型

## 2 操作环境的模拟

武器系统的乘员舱为一有限封闭空间，其中影响人体生理活动的环境因素非常复杂，包括温度、压力、辐射、湿度、振动、噪音等，这些环境因素应由武器系统的环境控制系统实施控制。可以把操作环境看作乘员（人）与系统（机）的中界，它在设计环境控制系统、评价乘员生理状态等方面有重要的意义。在研究有关问题时，必须把乘员、操作环境和乘员舱（包括环境控制系统）作为相互作用的整体系统研究（参见图 3）。一般可将驾驶舱视为有限通风空间，其中空气的流动和换热可用连续方程、动量方程、能量方程及紊流模型描述。

我们在国外对房间环境的数值模拟研究的基础上，发展了二维和三维环境计算软件，可计算有限空间内的空气温度分布和速度分布，并可考虑乘员舱结构、环境控制系统的工作参数、舱内设备发热等<sup>152</sup>。该模型及计算软件已用于歼击机热载荷分析、计算个体调温装备的评估等方面，国外类似的工作始见于 90 年代。

## 3 人机系统的图形模拟软件

这一工作是针对飞机、车、船等驾驶舱的工作台面设计的。传统的设计过程是：人工设计计算、绘图、样机实验、修改设计。上述过程有时要反复进行。利用 CAD 技术，可

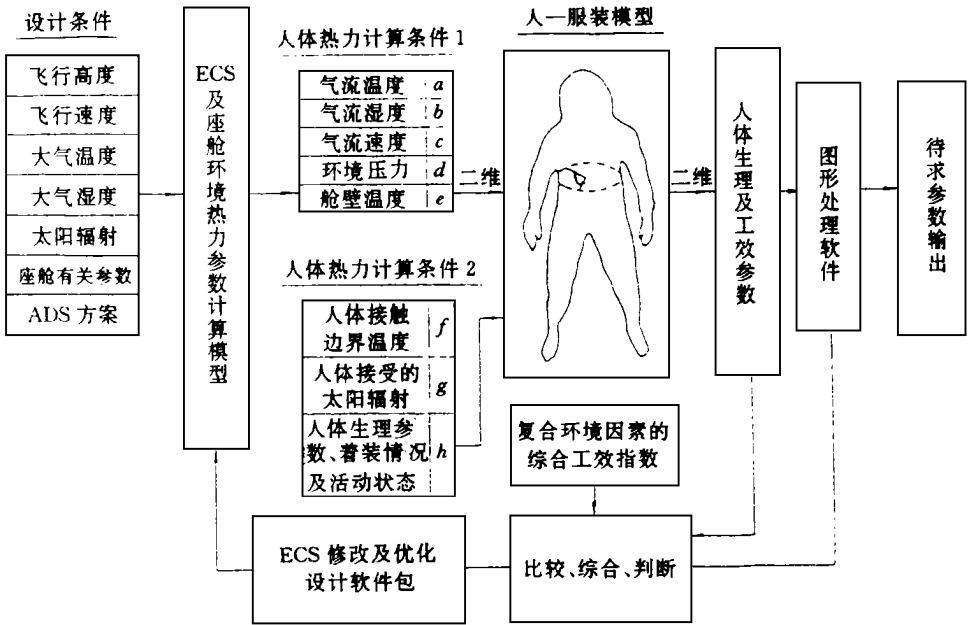


图3 人-座舱-热环境系统的计算机模拟

以建立机器和人体的几何模型，然后把人体生理特征加入几何模型中，这样可以模拟人在舱里的各种操纵动作。利用高性能的图形显示设备还可将人机相互作用的动态过程显示在图形终端上。这样可以提早发现设计中的各种问题，便于修改设计、降低设计费用、提高系统的可靠性。目前，这一方法较成熟的应用是通过图形模拟研究操作员的操作可达性和可视性问题，为设计者提供辅助设计手段和参考。图4为工作域CAD系统的主要功能模块。

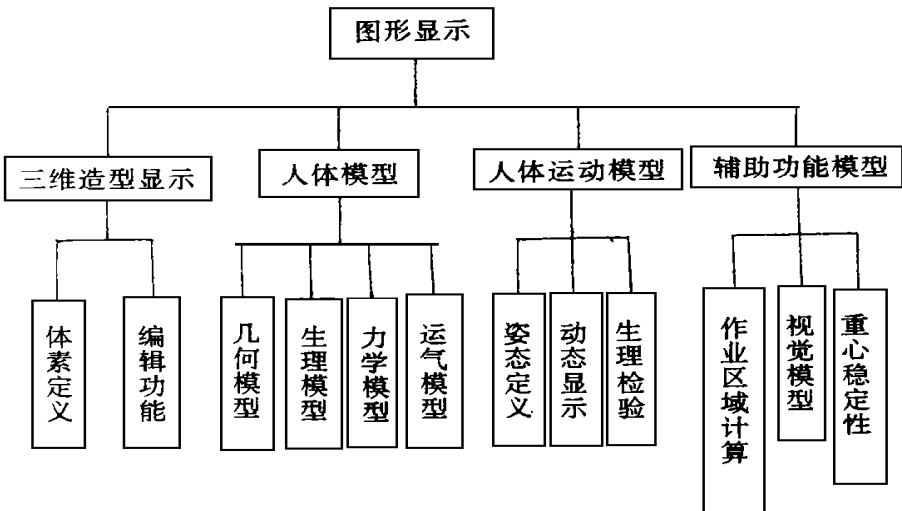


图4 工作域CAD系统的主要功能模块

## 4 总 结

(1) 根据研究实践, 在人-机-环境系统工程的计算机仿真研究中, 系统的建模工作是基础性的研究, 应该有多学科的研究人员参与; 软件发展是多学科研究成果的综合或集成, 应该分阶段逐步进行; 图形模拟是人-机-环境系统工程必备的设计辅助手段, 是工程设计技术的研究热点和发展方向, 应引起工程界的关注和重视。

(2) 在进行人-机-环境系统工程的研究时, 应坚持理论与实践相结合的技术路线。注重针对工程实际问题(如特定乘员舱的设计、专用装备的研制等)进行应用研究。在研究过程中, 应打破行业界线, 进行多学科专家的协同攻关。

(3) 应重视对特殊环境因素(如加速度、冲击、辐射、振动、噪音、深水、缺氧等)的基础研究, 尤其应重视发展可供工程实用的数学模型, 以研究人在这些特殊环境因素作用下的生理反应、行为特征和工效水平。

## 参 考 文 献

- 1 Rideout V C. Mathematical and computer modeling of physiological system. US: Prentice Hall, 1992: 15) 32
- 2 Doucet P, Sloep P B. Mathematical modeling in the life sciences. Britain: Redwood Press, 1991: 150) 201
- 3 沙斌. 非均匀温度环境中人体热调节系统的数学模拟与实验研究. 北京: 北京航空航天大学博士论文, 1992
- 4 徐向东. 冷环境人体热调节系统的数学模拟与实验研究. 北京: 北京航空航天大学博士论文, 1992
- 5 杨春信. 有限空间(座舱)内复杂换热的数学模拟. 北京: 北京航空航天大学博士论文, 1992