平行管理理论与方法

熊 刚，王飞跃

（中国科学院自动化研究所复杂系统与智能科学重点实验室，北京 100190）

摘要： 首先对复杂系统的研究现状和存在的控制问题进行了探讨，认识到复杂系统没有系统的、足够精确的模型，基于还原论的现有管理理论和方法难以发挥有效作用。在此基础上，提出了应对这类复杂系统问题的平行管理方法，介绍了它的思想、基本原理和优势等。之后，对平行管理研究的科学意义和现状进行了简要分析。本文重点介绍了平行管理理论研究的科学问题和主要内容。最后，提出了平行管理理论研究和实践的预期目标与成果。

关键词： 复杂系统；人工系统；计算实验；平行执行；平行管理理论

中图分类号： TP11; N94 ; TP273　　**文献标识码：** A

Parallel Management Theory and Method

XIONG Gang, WANG Fei-yue

(Key Lab. of Complex System Intelligent Science, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, 100190)

Abstract： Research status of complex system and its control difficult are firstly analyzed. Complex system has no accurate mathematical model, so traditional theory and method becomes useless for its control and management. To solve this problem, parallel system method is proposed, where its basic concepts and principal are introduced, its advantages are analyzed. Its scientific significance and research status are summarized. Its scientific problems and R&D topics are listed and introduced. In the end, the predictable target and achievement of parallel management theory research and application practice are analyzed.

Key words: Complex Systems; Artificial Systems; Computing Experiments; Parallel Execution; Parallel Management Theory

1. 引 言

随着信息技术和社会发展，使得社会系统和工程系统各自变得越来越复杂，它们和自然系统越来越相互依赖和关联，往往呈现动态性、快速性、开放性、交互性与数据海量性的等特征。系统复杂多变又难以建模，难以认识清楚其动态演化规律，现有控制和管理理论与方法往往难以奏效。比如，传统过程控制只侧重于设备、工艺等工程性要素的“小”闭环控制，能提高企业的生产效率。但是，实际工业系统总是涉及工程复杂性和社会复杂性两个方面。目前，由于没有在“小”闭环基础上充分考虑“人”的行为等社会性要素来形成“大”闭环控制和管理，现有控制和管理理论因为缺乏社会性要素的模型而无法帮助认识清楚生产优化、安全、节能、环保和长周期等管理目标和复杂系统要素间的因果关系，不能正确处置正常状态下的各种变化和非正常状态的应急事件，往往达不到预期的管理和优化目标。传统用科学实验、工程试验或计算仿真技术来认识规律的手段，在复杂工业系统中由于不容许（爆炸）、不可能（设备寿命）、成本极高（非正常开停车）或不可能建模而失去意义。据统计，国内外 90%以上的重大安全事故是由于人的不安全行为和管理不善引起的[1,2]。实际生产中人的不正常行为，轻则导致严重的能源消耗或污染事故，重则导致重大的安全事故或巨大的经济损失，产生恶劣的社会影响。如 2005 年 11 月 13 日，中石油吉林石化公司双苯厂苯胺装置因操作工疏忽大意，导致阀门未及时关闭，由此而引起的爆炸事件造成约 100T 苯类污染物流入松花江水体，造成中心城市大范围停水，引发社会安全事件和外交事件。诸如此类的事件使人们不得不重新审视和反思现有生产管理模式的缺失。

在非工程领域，由于人类还不能对复杂系统进行科学的建模、预测和分析系统演化规律，对越来越多和破坏力越来越大的非常规突发事件还不能进行有效管理，而这些事件一旦发生通常产生非常严重的后果。近期先后发生了许多重大事件，如 2001 年的美国“911”事件，2003 年的 SARS 危机，2004 年的印度洋地震海啸，2005 年的人禽流感事件，2008 年的汶川特大地震，2008 年的美国次贷危机引发世界金融风暴，2009 年传遍全球的甲型 N1H1 流感等，带来的社会影响和经济损失是不容忽视的。人类在非常规突发事件的预测、防范和管理方面采用传统的“预测-应对”思路因为难以认识、难以建模而显得力不从心。在未来，通过信息技术对事件构建假想情景，就能进行各类计算实验来认识事件、发现规律，事前做好预防、事中做好控制的“情景-应对”思路正成为可能的取代方案[3,4,5]。另外，在军事系统、分子生物系统、自然生态系统等领域存在同样的复杂系统问题[6,7]。

面对要同时考虑社会要素、自然要素和工程要素相叠加的复杂系统，多数情况下既没有系统的、足够精确的模型，也不能建立可以解析的预测系统短期行为的模型，基于还原论的控制和管理理论和方法难以

发挥有效作用，上述复杂系统的控制成为控制界面临的挑战。

本文首先对复杂系统的研究现状和存在的管理问题进行了探讨。在此基础上，提出了应对这类问题的平行管理方法，重点介绍了它的思想、基本原理和优势等。之后，对平行管理研究的科学意义和现状进行了分析。 本文还重点介绍了平行管理理论研究的科学问题和主要内容。最后，给出了平行管理理论研究实践的预期目标与成果。

2. 复杂系统研究现状与存在的问题

复杂性科学不仅是系统科学的前沿，而且也是整个大科学的前沿。复杂性科学是运用非还原论方法研究复杂系统产生复杂性的机理及其演化规律的科学，基本原理包括整体性、动态性、宏观与微观相统一，确定性与随机性相统一。1999 年出版的《SCIENCE》特别编辑了复杂系统专辑，这标志着复杂系统成为全世界研究的热点[8]。20 多年来，复杂科学的研究逐步形成了几大学派[8]：混沌学派、结构学派、系统动力学派、自适应系统学派等，先后提出了模型分析、数值计算与模拟方法等，具体包括混沌动力学模型法、符号动力学方法、结构解释模型法、系统动力学方法、复杂自适应系统方法等。应用研究较多的方法包括基于多智能体(Multi-Agent)的建模方法、基于系统演化的系统动力学方法、基于学习和进化的智能方法。这些方法和技术本质上还属于对现实世界的仿真，对问题的解决往往停留在表面层次和专业领域，还不能满足复杂性研究的需要。解决复杂系统问题的关键是认识系统基本特征及其涌现机制，而该问题远未解决。

我国的钱学森、于景元、戴汝为等学者，从系统科学的角度开启了“开放的复杂巨系统”的研究，并在 1992 年提出了人机结合、从定性到定量的综合集成研讨厅体系[10-11]，这是复杂系统分析和决策的方法论体系，其核心是集成专家群体决策、智能化信息手段和人机结合的技术，它具有分析处理复杂社会和工程问题的能力，主要适用于复杂信息处理和决策支持。

到目前为止，人们已经积累了关于复杂系统的丰富经验，然而却没有把这些经验的积累上升到一个一般理论的高度。对于复杂系统必须寻求新的解决思路，引入新的概念和方法，建立针对复杂系统和复杂性科学的新的理论体系[10]。这就是发展复杂系统的平行控制与管理的基本出发点。

3. 平行系统的提出

平行系统，是指由某一个自然的实际系统和对应的一个或多个虚拟或理想的人工系统所组成的共同系统[13]。实际上，经典的传递函数方法，状态空间方法，从最优控制理论，到参数识别和变结构自适应控制，特别是基于参考模型的自适应控制都可以看作是平行控制和管理理论的早期的发展形式。现代控制理论是成功应用平行系统理念的典范，它先建立实际系统足够精确的模型，然后分析其特性、预测其行为、控制其发展，但是，由各种数学模型形成的人工系统往往以离线、静态、辅助的形式应用于实际系统的控制。在Fel'dbaum提出对偶控制概念，参数或结构的自适应变化等控制思想后，人工系统的地位和作用有所突破，但在理念和规模上都未能改变人工系统的非主导地位。为此，国内学者几年前提出的平行系统（框架如图1）为复杂系统的控制研究提供了一个全新的思路和视角。其最大特点就是要改变人工系统的非主导地位，使其角色从被动到主动、静态到动态、离线到在线，以至最后由从属地位提高到相等的地位，使人工系统在实际复杂系统的控制中充分地发挥作用[13]。

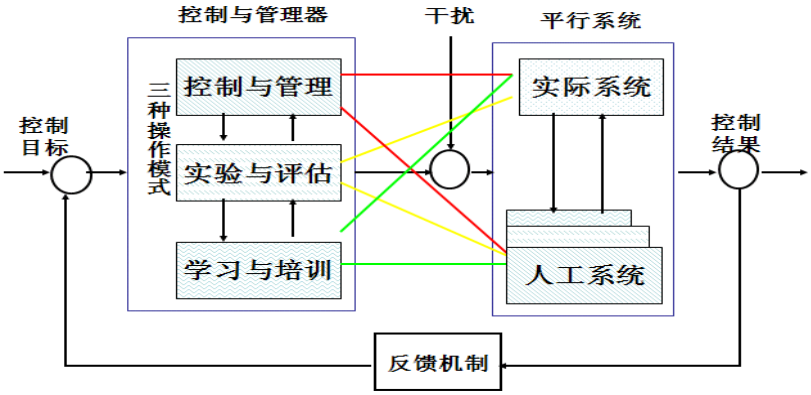

图 1 平行系统的基本框架

Fig.1 Basic Structure of Parallel System

平行系统理论框架下的 ACP 方法体系包括人工系统(Artificial Systems)、计算实验(Computing Experiments)和平行执行(Parallel Execution)，其基本原理和方法可以描述为：综合考虑多方面因素，采用智能体建模方法建立与实际系统“等价”的人工系统，解决实际系统难以建模的难题；在人工系统上通过计算实验或“试验”来认识实际系统各要素间正常和非正常状态下的演化规律和相互作用关系；通过二者的相互连接，对二者之间的行为进行对比和分析，研究对各自未来的状况的“借鉴”和“预估”，相应地调节各自的控制与管理方式；最后利用计算实验所认识的规律实现并行管理：正常情况下，利用人工系统认识复杂系统千变万化规律，不断优化实际系统的管理和减少意外的发生；非正常情况下，利用人工系统找到让实际系统迅速恢复正常的应急管理方法，减少损失。

平行系统的优势在于它符合了解决复杂问题必须遵循的思路[13]：

（1）必须采用整体论的观点考虑复杂系统的问题

此类系统结构不明确，边界不确定，以往的系统分析方法往往难以刻画要素之间的相互关系。必须探索研究复杂系统的新途径，比如基于人工系统的方法。

（2）复杂系统问题不存在“一劳永逸”的解决方案

此类系统涉及人与社会的动态变化，问题本身也在不断变化和发展之中，不可避免地需要一个不断深化的认识过程，也导致了对这类系统不存在精确完备的整体解析模型。因此，无法“一劳永逸”地解决系统的问题。需要基于“不断探索和改善”的原则，建立有效可行的计算实验方法体系，为不断地完善系统解决方案提供科学依据。

（3）复杂系统问题不存在一般意义下的最优解，更不存在唯一的最优解

首先，基于解析模型的最优解与假设条件直接相关，往往具有较强的条件敏感性，假设与实际状况的“失之毫厘”，导致最终结果的“差之千里”。其次，复杂系统问题一般不存在单一的优化指标，而多层次、多目标的优化指标往往造成多个甚至无数个解决方案，谁是最优解决方案难以判断。基于这种认识，可以利用人工系统与实际系统并举的平行系统和方法，追求具有动态适应能力的有效解决方案。按照“摸着石头过河”的方式，一步步对复杂系统进行管理。

4. 平行管理系统的科学意义和研究现状

平行管理理论主要涉及复杂性科学、智能科学、信息科学、社会学等学科。其科学意义主要体现在：

（1）复杂系统理论基础前沿

传统的科学研究手段主要是理论研究和科学实验两种，计算技术正在成为科学研究、认识问题和发现规律的第三种手段。复杂系统的基本特征就是很难认识和表达清楚，且动态多变，不可能用定量数学模型描述其变化规律，传统的理论失效。平行管理方法基于整体论，创新地采用自下而上的涌现方法建造“等价”于实际系统的人工系统，相当于传统的管理模型。对于复杂系统的先验理论和知识，可以体现在人工系统的建造中。在人工系统基础上，利用智能技术、信息技术和高性能计算技术发展的成果，通过计算实验来认识复杂系统要素间的动态演化规律，之后平行执行利用规律实现管理目标。可见，平行管理是将理论、实验和计算三种科学研究手段相结合，是研究方法和手段上的创新。

（2）管理系统高技术前沿

平行管理系统在传统管理系统基础上，增加了对社会性要素的管理功能，增加了人工系统和计算实验平台、平行管理平台等功能，提高了认识复杂系统要素相互作用的动态演化规律的能力，提高了管理复杂系统对象应对变化和非正常状态的能力。平行管理的成功应用可引起企业生产控制与管理的革命，社会和经济管理的革命，为我国工业与信息化进程带来革命性影响。

平行管理理论框架和 ACP 方法体系，结合综合集成研讨厅体系和并行分布式高性能计算技术，在复杂系统研究方法的多元化和集成化上又向前推进了一步。下面从复杂系统建模、实验和分析方法、复杂系统管理三方面介绍平行管理理论的发展概况。

（1）复杂系统的建模

90 年代初，兰德公司提出人工社会的概念[14]。目前，基于智能体（Agent）及人工社会的研究和应用已经很多（如软件人、虚拟人[15,16]等）。2008 年，美国军方启动了国家万维别动部队计划(National Cyber Range)，其核心技术就是以人和社会为表征的复杂系统建模与仿真。平行管理理论认为[17,18]，利用人工社会研究复杂系统时应采用“多重世界”的观点，即不再以逼近某一实际复杂系统的程度为唯一的建模标

准，而是把模型本身也作为实际复杂系统的一种“可能”的替代形式。人工系统建模方法已用于包括金融、制造、交通、物流、生态、军事等多个领域的建模和分析。

（2）复杂系统的实验和分析方法

传统的实验方法侧重于通过人来设计实验、分析实验结果，成本高且难以重复，需要产生新的计算实验分析方法。平行管理理论认为，利用人工社会中计算实验的可设计性和可重复性，可以对人工系统设计不同的实验方案，按不同指标体系对复杂系统进行量化的实验分析。同时，可以通过人工系统与实际系统的相互对比和参照，完成对相关行为和决策的实验与评估，对实际系统的管理。计算实验方法的提出，弥补了复杂系统难以进行全面和综合实验的不足，也为综合集成研讨厅体系提供了一种经济快速、虚实结合进行复杂系统实验的有效途径。

（3）复杂系统的管理

复杂生产管理的一个核心问题，就是如何避免事故，实现优化、安全、节能、环保约束下的长周期生产。在军事领域，近年来发达国家纷纷投巨资加速军事信息化的发展。例如，美国军方早在上世纪 90 年代初就投巨资支持“虚拟战场”项目。军事科学院采用综合集成方法，建立了人工军事模型系统，对现代军事尤其是信息化战争形态进行了系统分析和管理。

综上所述，平行管理理论是复杂科学和智能科学领域的理论创新，对复杂工程领域和社会领域的应用实践具有重要的指导意义。与其他理论相比，平行管理理论在实现复杂系统的管理问题方面具有不可替代的优势：①系统化地为提供基于智能体（Agent）和人工社会的建模方法；②提出了基于涌现的计算实验方法，为复杂系统管理问题提供机制设计和决策评估支持；③提出了平行管理框架，为动态复杂系统深层分析和优化管理提供了整体解决方案。

平行管理理论对复杂科学和智能科学的理论创新具有重大科学意义，对各个领域复杂系统的应用实践具有非常重大的指导意义，已经引起国内外的关注：1. 相关研究成果“智能管理理论与方法的研究”2007 年度获得国家自然科学二等奖。2. 2008 年的“控制科学与工程学科发展报告”对其进行了完整介绍。3. 2009 年国家自然基金拟在系统科学与系统工程领域开始支持“复杂系统的涌现与演化进化规律”。4. 参照平行管理理论思想，国内越来越多的单位和学者开始在社会演化和军事等领域的研究。张维[19]提出基于 Agent 计算实验金融学，完成了面向资本市场复杂性建模与分析。张军[20]探讨社会系统演化的计算实验方法。顾佳[21]等提出人工生命、人工社会、人工涌现的和谐仿真。柴象海[22]等探讨了基于 Agent 的公共场所突发事件。吴丹阳[23]等探讨了基于计算实验的 C4ISR 能力分析系统，臧垒[24]等研究基于计算实验的探索性分析框架。有理由相信，在平行管理理论进一步完善和充实，特别是得到实际应用验证之后，将吸引越来越多的理论研究和应用实践者。

5. 平行管理理论需要研究的主要内容

5.1 平行管理拟解决的科学问题

A 复杂系统的工程性和社会性要素的时空演化规律

实际复杂系统，比如：交通系统、生产系统、经济系统、军事系统等，本身包括有很多不断变化的要素，再考虑其社会性（制度、人员）和外部环境（经济、自然、社会、生态、文化）等要素的千变万化时就更加复杂。应用平行管理理论和 ACP 方法可以研究工程对象在各种内外部要素变化和人为干预下的时空演化规律。主要内容包括：复杂社会工程系统的一体化建模与验证；工程性和社会性要素演化规律的计算实验方法；面向复杂系统应用构建计算平台。

B 复杂系统的平行执行

在认识清楚了复杂系统内外部要素之间的因果变化规律之后，就可以通过平行执行来到达各种目标。主要内容包括：平行管理系统的虚实交互协议及其等价性的验证；平行管理系统的可控性、稳定性定义和判断；平行管理系统的管理反馈策略；平行管理系统的多目标、多层次有效解决方案的发现与优化；实时平行管理系统的并行计算。

5.2 需重点研究的理论与技术内容

A 人工系统的通用建造和验证方法

平行管理理论的 ACP 方法可以保证，不断变化的实际系统尽管不能精确建模，在人工系统的帮助下也能实现不断适应下的滚动优化。研究内容包括：

✧ 人工系统的一般建造、验证方法和步骤。人工系统模型的完备度、可信度，以及人工系统与实际系统

的等价性验证方法。

- ✧ 人员行为等社会性要素的基于智能体（Agent）的建模、分析、设计和综合方法，及其并行算法。具体包括：模型的定性、定量分析设计方法；模型粒度选取的一般方法；模型的验证问题；多智能体间的结构关系及其交互方式；智能体的参数、能力和行为特征与人工系统特性和稳定性的关系。
- ✧ 如何把已有的工程性对象、社会性对象和环境对象有机地集成到一起。人工系统中信息过载或信息不足时如何处理。

B 基于人工系统的计算实验的设计和分析

利用计算实验方法对人工系统进行各种“试验”，对复杂系统的行为进行预测和分析。视人工系统为“生长培育”各类复杂事件的手段，一个可控可重复的“实验室”。系统地设计各种各样的试验，引入各种不确定甚至传统上难以量化的因素和事件，多次重复并以统计的方法对结果进行分析，使传统的计算仿真变成系统性的计算实验，进而用来验证对复杂系统特征和行为分析的各种可能和假设。具体研究内容主要涉及：

- ✧ 基于人工系统的计算实验方案设计和标定方法、灵敏度分析和验证算法。基于涌现的观察和解释方法及其各种核心算法。建立利用计算实验实现实际系统组成与行为的主动辨识和管理的基本步骤。利用计算实验进行各种各样的“加速”，“压力”，“极限”，“失效”或“突变”等实验。
- ✧ 目标驱动和事件驱动的两种计算实验评估方法。建立多目标、多有效解决方案的计算实验与评估方法：专家经验评估方法，定性评估方法，模糊评估方法，定性加定量评估方法。
- ✧ 研究复杂系统要素的相互作用和演化规律的计算实验结果分析和评判方法。如何在复杂的多维空间中对最优策略进行搜索？好的分析方法能够从繁杂中快速地找到所需，对于人工系统这样复杂的高维空间，更显重要。

C 复杂系统平行管理的运行机制及关键技术

平行管理是管理系统、计算机仿真系统随着被管控系统复杂程度的增加、计算技术和分析方法的进一步发展的必然结果，是弥补很难甚至无法对复杂系统进行精确建模和实验不足的一种有效手段，也是对复杂系统管理的一种可行方式。其中，实际系统是从上到下的还原论建造的，符合传统的控制论、系统论和信息论等。人工系统是自下而上由基本组件生成的，模型的验证是个问题，需要找到基本的验证方法和原理。人工系统模型是定性、定量、已知、未知等的综合，通过自下而上的涌现来产生系统行为。人工系统是否满足需要，应该可以借用信息论中的“熵”概念来判定。平行系统包括管理系统的基本要素：管理目标、反馈、管理器，所以必然也有可控性、稳定性定义和判断标准等。具体研究内容主要涉及：

- ✧ 人工系统和实际系统的合理交互是平行管理系统得以实现的关键。因而人工系统和实际系统之间有效的相互作用机理和协议就显得很重要，如何定义合适的接口方式和相互作用形式，是必须要研究的问题。
- ✧ 另外一个不可逃避的问题是人工系统和实际系统的等价性验证问题，这本质上是信息系统和物理系统之间相互表示的问题，该问题一直未彻底解决，需要将这种等价验证具体化并尽可能量化。

针对实际系统和人工系统信息不足和缺失条件下的管理问题。考虑人机结合、综合集成的平行管理系统的有效优化方法。基于摄动分析和序数优化的平行系统的优化方法。

- ✧ 建立平行管理系统的多目标、多有效解决方案的有效性评估与验证方法。研究出平行管理系统的可控性、稳定性定义和判断标准。
- ✧ 平行管理系统内部的反馈机制，对应的管理及自适应算法，反馈调节的优化策略。比如，最优反馈管理性能指标函数的收敛性分析以确保管理的最优

D 平行系统的并行计算技术

基于人工系统的计算实验和平行管理的计算规模巨大，有必要借助于高性能计算平台，并采用并行计算技术。人工系统模型复杂，包括工程仿真的机理模型、经验模型，社会计算的单个人模型、组织的模型，还有人机交互模型等。特别是可以尝试采用 CPU+GPU 的计算平台来研究开发平行系统的应用平台。

建立离散化方法和任务调度方法，形成实用的基于 CPU+GPU 的并行计算方法，实现平行管理系统中复杂工程系统模型和复杂社会系统模型的大规模并行计算；实时平行管理系统的并行计算；应用高性能并行计算平台实现复杂系统的模型实时计算，交互计算，以及模型算法更新运行，海量实际信息数据与平行系统数据交互处理技术。

E 基于计算平台研发平行管理系统平台原型

信息系统平台，目前主要采用的是客户端/服务器(C/S)，浏览器/服务器(B/S)等两层架构，或者加上中

间层（Middleware）的三层架构。在未来，为了满足信息技术服务化的发展趋势，面向大型用户的信息系统平台正在向基于服务架构 SOA(Service Oriented Architecture)方向发展；利用“长尾理论”为大批量的中小用户群服务的信息系统平台，正在向软件即服务 SAAS(Software-as-a-service)方向发展。平行管理系统平台依据用户特征，也将向这两个方向发展。

需要研究平行管理系统的技术架构、功能架构和实现技术。技术架构主要包括数据采集与存储，数据挖掘与分析，数据库与模型库，高性能计算架构和算法等。建立平行管理系统的通用技术体系和软件平台，主要包括高性能计算平台（硬件环境和软件环境）和应用平台两个部分。其中计算平台包括高性能计算机、大规模数据存储和交换系统、大规模网络互联环境、操作系统、基础软件、应用开发工具等，要符合多领域复杂系统的应用需求。应用平台为平行管理系统的行业应用提供信息资源（计算资源、数据资源、软件资源）服务虚拟化，提供智能体建模、场景生成、知识构建和仿真计算工具，支持应用集成，它可分为基础构建层、数据和知识层、计算实验层和平行管理层等。 研究平行管理系统应用的通用架构，它需要具备完整性、标准性，良好的扩展性、组态性。比如软件平台采用 SOA 等灵活架构，就能够随需而变，快速灵活满足业务需求。应用平台需要满足未来其他领域应用的开放性、支持模块化，具有独立的数据处理模块，支持互联网资源的识别、应用，将互联网络的资源有机地集成以满足软件平台。

6. 结论和展望

目前，平行管理理论框架和 ACP 方法体系已基本建成，并研究了部分内容，在中国石化茂名分公司的应用实践也取得了初步成功[25]，急需研究核心理论和关键技术。在工程等领域中有对平行管理的实际需求，急需利用研究成果开发平行管理系统。平行管理理论的研究将逐渐从理论研究转向技术研究，进而实现工程实际的应用。在今后的一段时期内，有望实现如下目标。

(1) 初步形成一套具有原始创新性和可用性的平行管理理论体系

以社会经济和工程等领域的复杂系统管理需求为牵引，在复杂系统平行管理理论框架下，在理论上提出复杂系统的动态优化的理论和方法，平行管理系统中人工系统与实际系统之间的在线优化的理论指导和方法，具体包括基于代理管理(Agent Based Management: ABM)的理念和实现方法，多智能体（Agent）系统、多目标协调优化方法和理论，基于 CPU+GPU 的并行计算技术等等。既丰富最优管理、智能管理等领域的研究成果，也形成有特色的平行管理的理论和方法。平行管理理论将进一步发展智能管理理论，实现由智能管理到复杂系统平行管理的跨越，形成对复杂系统综合管理的新方法和理论体系。

平行管理可实现包括人在闭环内(Human-in-the-loop）的复杂大系统管理，解决社会和工程要素叠加后的复杂系统在正常和非正常状态下的演化规律，利用规律在正常状态下更有效和人性化地实现生产管理和优化，对非正常状态的预测、模拟、应急预案布置等。使得目前靠管理人员去完成的单闭环管理变成由平行系统去完成的双闭环管理，减少管理系统的滞后性，提高管理精度和水平，从而产生更多效益。这是管理理论基础前沿领域，取得的成果可提升我国管理领域前沿的在国际上的原始创新能力。

(2) 平行管理系统平台

依据研究开发平行管理系统平台的需求，建造计算平台环境，包括建造高性能计算机、大规模数据存储和交换系统、大规模网络互联环境、操作系统、基础软件、应用开发工具等。以此为基础，针对应用需求研发平行管理系统平台，真正实现工业生产的管控一体化，提高生产管理水平，完成理论技术的研究成果向实际应用的转化，在工业生产应用示范中验证相关理论研究和平台开发成果。

参 考 文 献

[1] 白文元, 王蕊. 如何推行企业安全文化控制员工的不安全行力［J］.安全.2008 7:40-41
[2] 陈红,祁慧,谭慧.中国煤矿重大瓦斯爆炸事故规律分析［J］.中国矿业.2005 14(3):64-72
[3] 范维澄 国家突发公共事件应急管理中科学问题的思考和建议［J］. 中国科学基金, 2007. 2:71-76.
[4] 牛文元 国家突发公共事件应急管理中的科学问题［J］. 中国应急管理, 2007.3:35-38.
[5] 王飞跃,加强信息技术在应急管理中的作用,科学时报.2008: 北京.
[6] 曾大军,王飞跃,曹志冬 开源信息在突发事件应急管理中的应用［J］. 科技导报, 2008. 26(16).
[7] 王飞跃 人工社会、计算实验、平行系统——关于复杂社会经济系统计算研究的讨论［J］. 复杂系统与复杂性科学, 2004.1(4).
[8] Complexity system [J]. Science, 1999,April 2: 80～ 107
[9] 宋学锋,复杂性科学研究现状与展望［J］,复杂系统与复杂性科学，2005 2(1):10-17
[10] 钱学森,于景元,戴汝为.一个科学的新领域:开放的复杂巨系统及其方法论[J].自然杂志,1990,13(1):3-10
[11] 戴汝为,王珏,田捷.智能系统的综合集成[M].杭州:浙江科学技术出版社,1995.39-56
[12] 王飞跃 平行系统方法与复杂系统的管理和控制［J］. 控制与决策, 2004. 19(5):485-489.
[13] 王飞跃.关于复杂系统的建模、分析、控制和管理［J］.复杂系统与复杂性科学, 2006. 3(2):27-34.
[14] Epstein, J. and Axtell, R., Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up. 1996: Mit Press. Epstein, J. and Axtell, R. Artificial Societies and Generative Social Science［J］. Artificial Life and Robotics, 1997. 1(1):33-34.

[15] 王洪泊，曾广平，涂序彦 “软件人”系统研究及其应用［J］. 智能系统学报, 2006. 1(1):24-28.
[16] Swartout, W., Gratch, J., Hill, R., et al. Toward Virtual Humans. AI Magazine, 2006. 27(2):96-108.
[17] 王飞跃，从一无所有到万象所归：人工社会与复杂系统研究，科学时报. 2004: 北京.
[18] 王飞跃.关于复杂系统研究的计算理论与方法［J］. 中国基础科学, 2004. 6(41):3-10.
[19] 张维，刘文财，王启文,刘豹. 面向资本市场复杂性建模：基于 Agent 计算实验金融学［J］. 现代财经, 2003. 23(155).
[20] 张军.研究社会系统演化的计算实验方法［J］，实验室研究与探索，2008 27（10）:40-44
[21] 顾佳,贺仲雄.人工生命、人工社会、人工涌现的和谐仿真［C］. 2006 - 2006 系统仿真及其应用学术交流会 第 8 卷 335-338
[22] 柴象海，金先龙等. 基于 Agent 的公共场所突发事件三维仿真建模与应用［J］.上海交通大学学报.2008 42(10)：1669-1673
[23] 吴丹阳,王钰,蒋晓原,吴广涛.基于计算实验的 C4ISR 能力分析系统架构研究冰［J］.指挥控制与仿真.2008 30(1):6-12
[24] 臧垒,蒋晓原,王钰,陈少卿,王鸿洁.基于计算实验的探索性分析框架研究［J］.系统仿真学报.2008 20(12):3077-3081
[25] 中科院平行管理系统在茂名石化成功上线. 科技时报. 2009 年 7 月 1 日：北京.

作者简介：

熊刚，男，1969 年出生，1996 年博士，发表学术论文 90 余篇. 研究方向：复杂系统的智能控制、流程工业综合自动化、平行系统理论、企业智能等，中国科学院自动化研究所复杂系统与智能科学重点实验室, 100190, gangxiong@hotmail.com

支持项目： 中国石化的横向课题“乙烯生产过程的平行控制与管理系统原型开发”
国家自然科学基金项目“长周期运行安全生产的控制与管理及其决策支持系统研究”编号：70871112/G011202