

# 乙烯生产的平行控制与管理系统设计

熊刚<sup>1</sup>, 王飞跃<sup>1</sup>, 沈小伟<sup>1</sup>, 魏巍<sup>1</sup>, 邹余敏<sup>2</sup>, 李乐飞<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>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;

<sup>2</sup>中国石化股份有限公司茂名分公司, 广东, 茂名 525011;

<sup>3</sup>清华大学工业工程系, 北京 100084)



**摘要:** 乙烯生产体系是由管理、人员等社会复杂性要素和设备等工程复杂性要素组成的有机的统一整体。目前, 其工程要素实现了小闭环控制, 但其社会复杂性要素的管控还主要停留在靠经验规划, 靠人工执行的阶段, 没有实现乙烯生产目标、效果和各要素等构成的大闭环控制, 自然无法应对来自内外部的各种变化和紧急状况, 无法保证乙烯生产的各项目标的优化实现。针对这类复杂系统问题, 本文作者提出了使用平行系统理论和方法予以应对。平行系统是指由一个实际系统和与其对应的一个或多个模拟该实际系统的人工系统所组成的共同系统。乙烯生产中的实际系统包括管理、人员、设备工艺等内容, 人工系统就是“等价”描述实际系统的仿真模型系统, 通过在人工系统上的计算实验来帮助人认识实际系统要素间的动态演化规律, 尔后利用所得规律通过平行执行来实现人工系统与实际系统在管理、人员和生产等方面的渐进优化, 从而提高系统适应内外部变化和应急管理的能力。本文给出了平行控制与管理的基本原理, 乙烯生产中的ACP方法、PMS系统设计与实现、PMS预期效果等。

**关键词:** 乙烯生产, 复杂系统, 平行控制与管理, 人工系统, 计算实验, 应急管理

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

## Parallel Control and Management System Design for Ethylene Production

XIONG Gang<sup>1</sup>, WANG Fei-yue<sup>1</sup>, SHEN Xiao-wei<sup>1</sup>, WEI Wei<sup>1</sup>, ZOU Yu-min<sup>2</sup>, LI Le-fei<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> Key Lab. of Complex System Intelligent Science, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, 100190;

<sup>2</sup> Sinopec Maoming Company, Maoming, Guangdong, China, 525011;

<sup>3</sup> Department of Industrial Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, 100084)

**Abstract:** Ethylene production structure is composed of complex social factors (management, workers) and complex engineering factors (devices), where “big” feedback control can not be realized. Because the management and control of complex social factors are planned based on historical experience, and executed by human beings, they cannot cope with internal and external changes and emergence situations, and management targets cannot be reached assuredly. Parallel system theory and method are proposed to solve this type of complex system problem. Parallel system is composed of an actual system and its “equivalent” artificial systems. For ethylene production, its actual system includes production management, workers, devices etc., and the artificial system is an equivalent modelling system. Computational experiments are executed on the artificial system to find out complicated relationships and dynamic evolutions among different factors, targets and results. Thereafter parallel execution can be applied to accomplishing continuous optimizations of the actual system, as well as improving abilities of change management and emergence management on the actual system. The paper mainly describes the basic principle of parallel control and management, ACP methods used in Ethylene production, PMS design, and PMS predictable benefits.

**Key words:** Ethylene Production; Complex System; Parallel Control and Management; Artificial System; Computational experiments; Emergence Management

## 1. 引言

流程工业将原材料连续地生产成产品, 涉及的行业大多是关系到国民经济命脉的重要行业。因此,

**作者简介:** 熊刚 (1969-), 男, 四川乐山人, 聘用研究员, 发表论文90余篇, 研究复杂系统、综合自动化、平行理论、企业信息化等

王飞跃 (1961-), 男, 浙江东阳人, 研究员, 副所长, 研究复杂系统的智能控制、平行控制、社会计算、智能交通、国家安全等

**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

对流程工业的控制与管理进行持续改进和优化，追求生产运行的“安、稳、长、满、优”具有重大的战略意义和经济效益。以乙烯生产系统为例，保证其高效安全地运行，延长其连续运行时间，提高其应急管理水平，就可以减少停产带来的产能损失、能源浪费、环境污染和数以亿计的经济损失(以茂名石化为例，预估停产一次损失达5亿多元)、减少设备定期大修的巨额费用等，并且能开启石化企业经济效益增长的新亮点<sup>[1,2]</sup>。如果我国乙烯生产周期能达到国际水平(中国的乙烯装置已为国际水平)，不但能为国家节约300亿元的资金<sup>[3]</sup>，对其他能耗大的流程工业(冶金、炼油等)也具有示范意义。

流程工业通过改进企业管理、技术、工艺等多种手段，实现对流程工业控制与管理的持续改进和优化，不断追求健康、高质量、低成本、安全环保、节能降耗的运行方式。随着自动化、计算机和企业管理理论和技术的不断发展，越来越多的方法和工具被应用到流程工业生产之中。例如，流程模拟<sup>[4]</sup>、先进控制<sup>[5]</sup>、生产执行系统(MES: Manufacturing Execution System)<sup>[6]</sup>、企业资源计划(ERP: Enterprise Resource Planning)<sup>[7]</sup>等已被广泛应用，并已取得了一定的效果。但流程工业的复杂生产不仅仅包括工程性要素(生产装置、工艺、原料供应系统、公用工程系统、产品销售系统)，还包括生产管理制度、生产人员和外界环境(自然、经济、政策法规)等社会性要素。这些要素间存在着复杂的相互影响和作用关系，忽略构成企业生产完整物质世界的社会性要素对生产效果的重要影响，用纯工程的方法无法对生产系统进行全面和准确的评估和修正，不实现它们之间“活生生”的有机集成，就无法实现其控制与管理的持续改进和优化，更不能有效地解决许多具有涌现特征的关键性问题。

以目前的乙烯生产为例(如图1)，设备、工艺等工程复杂性要素的生产控制主要是通过集散控制系统(DCS: Distributed Control System)来实现，我们称之为小闭环控制。而生产管理和人员等社会复杂性要素的管控我们称之为大闭环控制，目前还主要停留在靠经验规划，靠人工执行的时代，存在很大的随机性、滞后性和不确定性，更没有实现真正的管控一体化或流程工业综合自动化(CIPS: Computer Integrated Process System)<sup>[8,9]</sup>。通过精细化管理追求更大效益<sup>[1]</sup>是正确的，但大多数精细化管理还没有信息化，没有对生产人员的心理、行为、情绪等社会性方面进行定性到定量的建模、控制和管理。因此，企业生产没有实现目标、管理、人、设备工艺、生产效果等环节构成的大闭环控制，没有充分考虑不断变化的状态，不能有效适应复杂多

变的内外部变化和各种应急情况来保证各类生产目标的优化实现。

大量事实证明，面对诸如此类的复杂系统，还原论方法是失效的，解决此类问题必须要有新的理论、新的方法和新的技术<sup>[10]</sup>，需要从复杂性科学理论和技术中寻找答案。针对复杂系统的研究，国内外的科学家们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(Chaos Dynamics)、符号动力学方法(Symbolic Dynamics)、结构解释模型法(ISM)、系统动力学方法(System Dynamics)、复杂适应系统方法(Complex Adaptive System)等。其中，应用研究较多的方法包括：基于多主体(Multi-Agent)的建模方法<sup>[11]</sup>、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。但这些方法和技术本质上还属于对现实世界的仿真，对问题的解决往往也只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<sup>[12]</sup>。

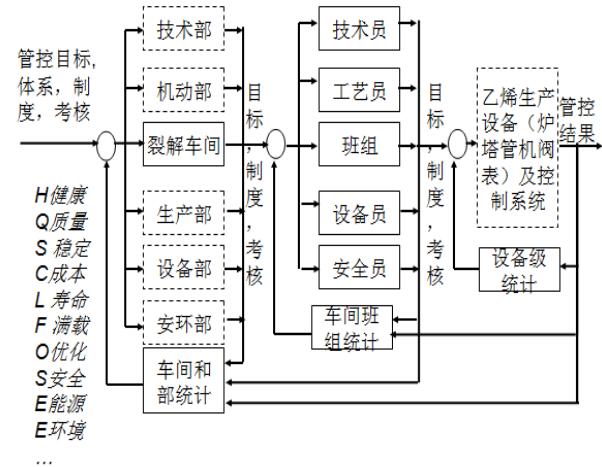


图 1. 乙烯生产的小闭环和大闭环控制

Fig.1 Small and Big Feedback Control of Ethylene Production

## 2. 平行控制与管理的基本原理及 ACP 方法

针对复杂系统中难以对社会复杂性和工程复杂性要素建模的问题，中国科学院自动化研究所王飞跃教授于2004年开创性地提出了平行系统理论，创建了解决复杂系统问题的ACP方法(人工系统(Artificial Systems)、计算实验(Computing Experiments)和平行执行(Parallel Execution))，为复杂系统的研究提供了一个全新的思路和视角。所谓平行系统，是指由某一个自然的实际系统和与其相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<sup>[13]</sup>。

复杂生产的平行控制与管理原理如图2所示。以乙烯生产为例，传统的设备、工艺控制通过C框中的DCS实现，构成传统的小闭环控制系统。传统的生产管理（A框）、人员班组（B框）和管理统计（D框）则通过管理执行系统（MES: Management Execution Systems）构成实际系统，成为大闭环控制系统。人工系统就是“等价”描述生产管理、人员班组、设备工艺和管理统计等方面模型系统，包括E框、F框、G框和H框中的内容，它们共同构成另外一个人工的大闭环控制系统。人工系统不同于传统控制建模和仿真建模的方面在于，它不以建立逼近实际系统的精确数学模型为目标。考虑到复杂系统中针对社会复杂性对象精确数学模型难以建立的困难，所建立的人工系统能反映实际系统大致行为即可。通过在人工系统上的计算实验来认知复杂系统要素间的动态演化规律。而后通过平行执行来实现人工系统与实际系统在管理、人员和生产等方面的渐进优化，从而提高实际系统适应内外部变化的水平与对突发事故（停电、停气）的应急管理水平。

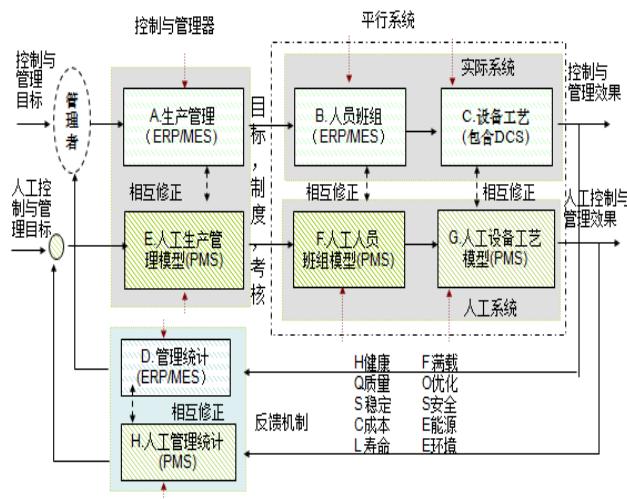


图2. 复杂生产的平行控制与管理原理图  
Fig. 2 Parallel Control and Management Principle of Complex Production

目前，中国科学院自动化研究所已基本建立了基于ACP理论的人工交通系统理论体系，并已经进行了几年的具体实施<sup>[14-16]</sup>。自2004年以来，中国科学院自动化研究所在乙烯生产过程的平行控制与管理系统原型研发中，先后得到科学院院长基金、中国石化和自动化所联合投资项目等资助。课题组针对乙烯生产过程中的社会性(管理制度、人员班组)和工程性(设备、工艺)等方面的不同，先后在智能体(Agent)建模、人工系统、计算实验、平行管理

等领域进行了较充分的理论研究。同时，为茂名石化乙烯裂解车间初步开发出了用于人员培训的平行学习与培训系统(PTS: Parallel Training System)，用于生产管理、生产人员和生产方案等方面评估的平行实验与评估系统(PES: Parallel Execution System)<sup>[17]</sup>，并于2009年6月成功上线<sup>[18]</sup>。在完善PTS和PES基础上，课题组下一步计划开发平行控制与管理系统(PMS: Parallel Management System)。

针对图1实框中的乙烯生产对象，计划建立如图2所示的平行控制与管理系统(PMS)，它主要包括两大部分：乙烯生产中的综合管理执行系统(MES: Management Execution System)及其对应的人工系统、计算实验和由平行执行构成的平行控制与管理系统(PMS: Parallel Control & Management System)。以平行系统理论为指导，PMS的建立与应用应遵循如下步骤：

## 2.1. 乙烯生产的综合管理执行系统(MES)

PMS建设的前提是必须先建设乙烯生产的综合管理执行系统(MES: Management Execution System)的完整版本，内容涉及乙烯生产的人员、设备、生产、工艺、安全、技术、文档、培训、政务等方面业务功能。从人员方面来讲，乙烯生产虽然有严格的岗位考核标准，可是在考核时，考核标准的查找、确认、管理人员审核、统计员录入和周报、月报等方面都存在问题，工作效率较低。通过数据库技术和计算机技术，建立供人员(班组人员、班组、白班人员)管理、考核日常使用的MES信息化工具，实现乙烯裂解车间人员管理的信息化、高效率和精细化。其他业务方面的道理相同，此处不再详述。

此外，车间MES可以为PMS提供车间人员、设备、成本和安全方面的实际生产数据，用于PMS中人工系统的模型验证服务。

## 2.2. 模型建立与人工系统构建

模型建立和人工系统构建是平行系统实现的基础。根据“简单的一致”原理，从对简单对象及其相互作用基本一致的认识出发，充分考虑简单对象的主动性和随机性，通过综合集成，从行为生成的角度出发，根据自下而上的流程建立复杂系统综合人工社会模型。平行系统中的人工系统追求的是与实际系统的“等价”或“同构”，把人工系统看成是实际系统的一种实现，是实际系统的替代版本，这是计算实验与仿真的最主要区别，也是平行系统的

突出特点。

构建人工系统的基本构架，首先是采用自上而下的方式，对实际系统进行详尽分析。以乙烯生产为例，依据智能体（Agent）建模的思想，将其分成子系统(人员、设备、环境等)，子子系统(外操、内操、工艺员等；裂解炉、离心泵、压缩机等；气候、经济、社会等)，对于不是很重要的子系统，可直接作为元智能体（Agent）模型，对于比较重要的子子系统还必须对其进行更细致的拆分，直至找到粒度适当的元智能体（Agent）模型。然后，确定各个元智能体（Agent）模型的参数。在确定参数时，要利用“简单的一致”原则，结合实际生产中的数据，并参考专家的意见。对于参数难以确定的部件，进行系统辨识和定性分析，使其成为和实际系统部件相应的“同态”模型。接下来，从元智能体（Agent）模型开始逐层搭建乙烯生产的人工系统。此时要重点分析模型间的作用关系和作用强度，要综合集成多方面的知识和资料，既要把握好定性，也要把握好定量。最后，对搭建好的人工系统，结合实际系统进行整体的分析，利用从实际系统中获取的数据对人工系统进行检验和训练，及时更正模型参数和结构，如有必要重新返回最开始阶段做整体更正。具体实施中，对于人员模型可吸收原胞自动机的思想，其行为可以利用语言动力学<sup>[19]</sup>进行描述。智能体（Agent）之间的相互作用可利用Petri网模型和Petri翻译器等衍生模型进行分析。管理制度类模型，是定量建模和定性建模相结合，描述“活生生”的企业管理系统。把人建立的模型衍变成计算机能够理解的东西，以便计算机进行分析、评估、控制、优化等工作。这方面主要参考社会学科和管理学科的研究方法，比如，定性建模和分析方法等。人员和班组类模型，是描述出一个“活生生”的人，有些方面需要精确描述(考试成绩、性别、年龄等)，有些方面需要模糊描述(脾气、性格等)，有些方面需要基于涌现(每时每刻的智商、情商、岗位行为等)。设备模型是要描述出“活生生”的设备，主要基于现有模型(工程模型、机理模型、统计模型等)。对难于描述的部分，利用等价的专家经验等知识予以弥补。管理目标和管理结果的建模，最上层基本上是量化的，并逐级分解到下一级。不能量化的部分采用专家经验法预估和建立。关于人工系统中管理、人员、设备、工艺、统计等模块的模型建立，更详细的描述可参见参考文献<sup>[17]</sup>。

人工系统与一般的计算机模拟(或仿真)系统具有本质区别。一般的计算机模拟(或仿真)系统可以只模拟实际系统的一部分，比如对某个特定设备的

操作进行模拟，但人工系统则涉及实际系统整体的行为和要素。其次，一般仿真或模拟系统追求的是如何真实地模拟实际系统，而这只是人工系统的目标之一。除此之外，人工系统必须能够产生实际系统的替代版本功能才行。这个替代版本，包括但不限于通过变化参数或者条件来获得不同的生产状况，更重要的是发现那些与现实不同的，但是有可能发生的生产状况。只有这样，才能够达到“计算实验”的要求，完成对管理制度、生产方案等做出全面、准确、及时的评估并进行修正的目标。

PMS的人工系统模型相对比PES和PTS中的人工系统更精确、可靠，并能够实现滚动修正。

## 2.3. 实际系统与人工系统的虚实交互

该部分是人工系统的完善和对平行系统的构建阶段。第一步的建模重点是结构的建模，在结构合理的前提下，具体参数的设置可以允许有一定偏差。通过对实际系统的学习，可以渐进减少这些差异。第二步主要就是人工系统对实际系统的学习，既包括对原始数据的离线学习，也包括对实时数据的在线学习。此时，实际系统的地位高于人工系统，并对人工系统具有指导作用，实际系统对人工系统进行“播种”和“培育”，人工系统则通过对实际系统的学习，调整内部结构和参数，从而实现系统的完善。而后人工系统和实际系统通过接口协议进行连接，实现虚实交互，初步构建平行系统。必须说明的是，人工系统对实际系统的学习并不追求对实际系统的重现，而只是追求结构和功能的“等价”或“同构”。换句话说，我们建立的并不是“一个”实际系统的仿真模型，而是“一簇”可以成为现实的人工模型，自然这“一簇”模型中应该包含实际系统模型。

## 2.4. 基于人工系统的计算实验

在上一步的基础上，利用人工社会的思想与方法，通过计算模拟和涌现观察，产生和分析复杂系统的行为，进而建立计算实验的理论和方法，以此克服难以对复杂系统进行实验的困难，为深入分析复杂系统的行为和有效评估决策奠定基础。

我们在确信平行系统中人工系统能等价于实际系统之后，就要从计算仿真到计算实验来验证各种可能和假设，从而帮助我们分析人工系统的特征和行为。我们视人工系统为一个可控可重复的“实验室”，可以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，进行多次重复实验并以统计的方法对实验结果进行分析，从而使传统的仿真变成系统性的实验，进而实现对复

杂过程系统的定量分析。值得注意的是，在计算实验方法中，传统的计算模拟变成了“计算实验室”的“试验”过程，成为“生长培育”各类突发事件的手段，而实际事件只是这个“计算实验”的一种可能结果而已。根据这一理解，自然就可以利用计算模拟进行“计算实验”了。利用计算实验方法对人工系统进行各种“试验”，从而达到对这个复杂过程系统的行为预测和分析，例如试验生产方案或制度、原料特性的变化对生产系统的影响、操作人员的典型行为对生产系统故障的影响、大幅度改变调度方案对操作人员和产品质量的影响、突发性或周期性的社会需求对系统的干扰、“极限”、“失效”或“突变”条件下生产系统的行为、界定重大生产事故对企业和社会的冲击、以及为对应的预案措施评估等。涌现的概念将在计算实验中起到核心作用，通过涌现的方法，人工系统可以方便的“培植”各种复杂现象。

## 2.5. 人工系统和实际系统的平行执行

在人工系统模型和计算实验方法完善的基础上，可以通过实际系统与人工系统的交互运行和过程演绎，构成完备的平行系统。基于平行系统的对比、借鉴和实验，使“摸着石头过河”的经验型决策方法科学化、系统化和综合化，在“不断探索和改善”的原则下，建立复杂系统的决策分析、支持和生成体系。通过实际系统与人工系统的不断交互、作用与借鉴，最终实现虚实两种系统的“互举”。

## 3. 乙烯生产中平行控制与管理系统的 设计与实现

乙烯生产中平行控制与管理系统（PMS）建造前，必须先建造综合管理执行系统（MES：Management Execution System)的完整版本，一是实现生产综合管理的信息化，二是成为 PMS 的实际系统部分，为 PMS 提供实际生产数据。PMS 设计和建造的主要任务包括：

### 3.1. 任务 1：MES 的设计与建造

MES 设计和建造中，必须具备的基本功能包括：

- ◆ 为 PMS 提供基础数据录入工具：乙烯生产车间人员和班组管理数据，重点是与设备、班组、工艺相关内容；乙烯生产管理制度和考核标准的数据，重点是人员、设备、安全和成本；乙

烯生产装置生产方案的数据，重点是冷态开车、热态开车、正常运行、正常停车；乙烯生产装置的数据，重点包括反应装置、压缩机、离心泵、蒸汽透平机、热交换器、调节阀等；乙烯裂解车间所有班组人员、班组、白班人员的数据；乙烯裂解车间的管理制度和考核标准库的数据；乙烯裂解车间的各种生产方案的数据；乙烯裂解车间的生产装置的数据。主要使用者是 PMS 系统员，实现车间 MES 的数据录入。

- ◆ 为乙烯生产提供人员、设备、生产、工艺、安全、技术、文档、培训、政务等方面综合管理工具。主要使用者包括乙烯生产各车间的车间主任、白班人员（综合组、设备组、工艺组、安全组、生产组）和班组人员（班长、小班长、主操、外操）等。本文不对 MES 进行详细的功能描述。

MES 系统员客户端主要具有车间 MES 原数据的创建、修改、查找和删除等功能。MES 原数据主要涉及如下内容，（更详细、完整、准确的 MES 原数据在项目开发中逐步确定）：

- ◆ 人员组态：工作日志；日常考核；每周考核；每月考核；每年考核等；
- ◆ 设备组态：裂解炉；关键机组；主要设备；静密封点；其他设备等；
- ◆ 生产组态：乙烯产量；双烯收率；总损失率等；
- ◆ 安全组态：五零；三率；环保；排放等；
- ◆ 成本组态：原料；操作；检修；能源等；
- ◆ 其它组态：工艺；企业；质量；综合；政务等；
- ◆ 系统工具：数据导出；网络管理；日志管理；故障分析；
- ◆ 数据导入：ERP 数据导入；MES 数据导入；实验室信息管理系统（LIMS：Laboratory Information Management Systems）数据导入；DCS 数据导入；TIB 数据导入等；
- ◆ 功能组态：岗位（外操、主操、小组长、工艺员等）；组织（生产班组，管理班组）；设备；制度；工况；
- ◆ 模型组态：情景；规则；模型；考核；
- ◆ 查询报告：统计；查询；分析；报告；

MES 的业务管理功能很多，其中人员管理包括：

- ◆ 日常的人员考核的数据输入（本人、班组长或统计员）修改和删除；
- ◆ 日常的人员考核的相关数据的查找、确认、管理人员审核；
- ◆ 周报相关数据的输入、修改和删除；
- ◆ 月报相关数据的输入、修改和删除；
- ◆ 其他相关数据的输入、修改和删除；
- ◆ 本人、本组考核报告；

本功能的用户包括被考核人员本人、被考核人员的班组长和统计员。详细、完整、准确的人员管理功能将在项目开发中逐步确定。

MES 中人员管理的统计报告功能：

- ◆ 个人考核统计报告；
- ◆ 组织考核统计报告；
- ◆ 周报考核统计报告；
- ◆ 月报考核统计报告；
- ◆ PMS 数据导出；

本功能的用户包括被统计员、班组长、车间（副）主任。详细、完整、准确的人员管理功能将在项目开发中逐步确定。

### 3.2. 任务 2：PMS 的理论研究

PMS 的理论研究就是要为建造的人工乙烯系统的提供精确、可靠、滚动优化的模型和算法。PMS 的建模对象包括：人工乙烯生产装置的模型、人工乙烯生产相关管理制度的模型、人工乙烯生产班组人员和班组的模型、人工乙烯生产方案的模型、人工乙烯生产目标统计分析模型、人工乙烯生产目标预测分析模型。主要建模方法包括专家经验规则、数理统计、模糊逻辑、神经网络、代理建模等，这里不再详述。对于装置的建模，重点是研究基于机理和工艺的精确理论模型。对于人的建模，重点是研究基于智能体（Agent）的建模，通过认知逻辑等方法手段，把人的社会性体现出来；对于管理制度主要依据统计分析和专家经验来加以量化，这里不再详述。

### 3.3. 任务 3：建立 PMS 原数据的管理功能

#### 模块

PMS 原数据的管理功能主要包括：设定、添加和修改 PMS 的元数据（Meta Data），并完成相关的组态，为人工乙烯生产模型功能模块（班组人员、班组、装置、管理制度、生产方案等）、控制与管理功能模块、报告功能模块等提供标准、完整、准确的基础数据。内容主要包括人工乙烯生产人员、装置、安全、工艺、技术、生产、管理制度、生产方案、成本、经验规则、建模方法等，提供标准、完整、准确的原数据。

### 3.4. 任务 4：建立人工乙烯生产班组人员和班组的模型功能模块

以乙烯裂解车间为例，班组人员包括裂解外操、急冷外操、压缩外操、分离外操、裂解主操、急冷主操、压缩主操、分离主操、裂解班长、压分班长、值班长。人工乙烯裂解车间的班组包括班组 1、班组 2、班组 3、班组 4。

人工乙烯裂解车间的班组人员模型就是要努力描述出一个活生生的人，把每一个岗位上的每一个人在不同时间、不同场合和不同环境下的主要方面描述出来，以满足 PMS 进行控制与管理的实际需求。模型内容主要涉及人员的岗位职责、社会性和个人特性（技能、经验、体力、精神、性格）等。

人工乙烯生产班组的模型就是要努力描述出一个活生生的班组，把每一个班组在不同时间、不同场合、不同组合和不同环境下的主要方面描述出来，以满足 PMS 进行控制与管理的实际需求。模型内容主要涉及班组职责、班组社会性、班组人员之间的相互作用和班组特性等。

### 3.5. 任务 5：建立人工乙烯生产装置模型的功能模块

将不同时间、不同生产方案、不同工况、不同原料和不同环境等下的设备特性描述出来，以满足 PMS 进行控制与管理的实际需求。人工乙烯生产模型内容主要涉及设备的物理特性、化学

特性、工艺特性、环境特性、对外影响、受外界影响的特性等。

### 3.6. 任务 6: 建立人工乙烯生产相关管理制度的模型功能模块

以乙烯裂解车间装置为例，模型描述对象主要包括装置的管理制度和考核标准、生产管理制度和考核标准、成本管理制度和考核标准、安全管理制度和考核标准、工艺管理制度和考核标准、班组管理制度和考核标准、班组人员管理制度和考核标准等。该功能模块就是要努力描述清楚人工乙烯裂解车间的车间管理人员、车间管理制度和考核标准，以满足 PMS 进行控制与管理的实际需求。人工乙烯裂解车间的模型内容主要涉及制度的管理目标、管理对象、管理执行者、管理手段、考核结果等。

### 3.7. 任务 7: 建立人工乙烯生产方案的模型功能模块

该功能模块要描述清楚人工乙烯生产装置在相关的工况下，如何准确、定量地描述清楚管理制度、班组人员、装置应该如何相互作用、相互作用的结果等。

### 3.8. 任务 8: 建立人工乙烯生产目标设定功能模块

该功能模块要求使用者能够自己制定和修改乙烯生产管理目标。目标内容主要包括人工乙烯生产的长周期管理目标、生产管理目标、成本管理目标、设备管理目标、工艺管理目标、安全管理目标、班组和人员管理目标等。人工乙烯生产管理目标的具体指标、参数主要参考实际乙烯生产管理目标。

### 3.9. 任务 9: 建立人工乙烯生产目标统计功能模块

该功能模块要求使用者能够在完成实验和评估后得到相应的人工乙烯生产的管理目标统计结果。目标内容主要包括人工乙烯生产的

长周期管理目标、成本管理目标、生产管理目标、设备管理目标、工艺管理目标、安全管理目标、班组和人员管理目标等。人工乙烯生产管理目标的具体指标、参数主要参考真实乙烯生产的管理目标。

### 3.10. 任务 10: 建立乙烯生产控制与管理功能模块

这是 PMS 最核心的模块，其主要功能包括：

- ◆ 使用者在这里可以根据自己设定的人工乙烯裂解车间（班组人员、班组、装置、管理制度、生产方案等）的模型、规则和参数（实验条件），由 PMS 计算出人工乙烯裂解车间在该设定条件下的管理目标（长周期管理目标、生产管理目标、成本管理目标、设备管理目标、工艺管理目标、安全管理目标、班组和人员管理目标）的统计结果。
- ◆ 使用者在不同实验条件（管理策略）下做不同实验，得到不同实验结果（管理目标的统计结果）。从大量的实验结果中，使用者可结合自己的知识、经验和智能进行判断，确定最合理的管理目标和管理策略，并应用于实际乙烯生产管理之中。
- ◆ 使用者在这里可以根据自己设定的人工乙烯生产管理目标和约束（实验条件），主要包括长周期管理目标、成本管理目标、生产管理目标、设备管理目标、工艺管理目标、安全管理目标、班组和人员管理目标等，由 PMS 计算出人工乙烯生产若干种的最优化管理策略（实验结果），内容涉及乙烯裂解车间班组人员、班组、装置、管理制度、生产方案等管理制度。

### 3.11. 任务 11: 建立乙烯生产长周期管理的决策支持功能

#### 1) 长周期管理建模目标主要包括：

- ◆ 建立正向预测模型：在主要的输入变量值、约束条件值和外界干扰值确定之后，通过基于正向定量预测模型计算得到定量的输出结果“约束条件下设备长周期的最佳预测值”，从而正向预测乙烯生产过程。进行评估输入变量包括

描述乙烯生产过程的，如制度标准、组织人员岗位、设备工艺、投料催化剂等。

- ◆ 建立逆向决策支持模型：根据多目标（经济、安全、可靠等）及其权重的变化，通过较为准确的逆向评估模型，寻找主要因果关系及其定量描述，提出实现变动后目标可能采取的具体措施，比如，如何改变制度标准、改变组织人员岗位、改变设备工艺投料催化剂等。

## 2) 长周期管理正向预估建模和决策支持方法：

首先，需要对来自设备、成本、安全等各方面的数据做出有效信息的筛选和综合的判断分析。建立各子目标的评价模型，在模型中应体现评价变量、评价准则（总目标的大背景结合各子领域的评价准则）以及以往的经验值。运用数据挖掘的技术对各子目标的数据筛选分析后，可得到各子目标评价变量的评判值，加权后得到长周期总目标的评判值，其中，权重可以系统自动设定或人工设定（实验者或决策者根据自己的经验或意愿），从而可以量化每一子目标对总体目标的影响。

如对乙烯裂解炉建立故障评价模型，评价准则（约束条件）为安全、稳定、高效运行，评价（输入）要素包括工艺、人的行为等，评价变量（输出）为裂解炉的当前剩余寿命，以往的经验值则为后期的预测生产周期提供参考依据。

目前典型的评估方法有统计法、决策树法、关联规则法、粗糙集法、模糊集法、神经网络法等。每一种评估方法都有其自身的特点和实现步骤，如对输入、输出数据形式的要求、结构、参数设置、训练、测试和模型评价方式各有不同的要求，算法应用、适用领域的含义和能力存在差异。因此，需要根据评估目标和评估对象特点选择合适的评估模型和方法。

## 3) 长周期管理逆向决策支持的层次分析法：

层次分析法是一种应用较为广泛适用于解决多层次多目标评价决策的综合性决策方法，层次分析法是将决策问题的有关元素分解成目标、准则、方案等层次，在此基础上进行定性分析和定量分析的一种决策方法。

层次分析法通过分析问题，建立层次分析模型，构造判断矩阵，层次单排序和层次总排序等步骤来计算各层次评价指标对总目标的组合权重，从而得出不同方案的综合评价值。

- ◆ 构建层次分析模型：包括目标层、准则层、方

案层等。根据决策问题的复杂性，准则层还可以分解为子准则层。

- ◆ 构建判断矩阵：从第二层开始，针对上一层某个指标，对下一层与之相关的指标，即层间有连线的指标，进行两两相比，按其重要程度评定等级。
- ◆ 计算权重向量：为了从判断矩阵群中提炼出有用的信息，需要计算每个判断矩阵的权重向量和全体判断矩阵的合成权重向量。

## 3. 12. 任务 12：建立 PMS 的报告功能模块

为使用者在系统维护、模型组态、模型建立、控制与管理中，提供分析、图表和报告等的存储、导出工具。乙烯生产的 PMS 开发完成后，它的整体架构可描述如图 2。最底层是支撑 PMS 大规模数据、模型和计算需求的高性能计算平台。其上左侧是人工系统，右侧是实际系统。再上是基于人工系统和实际系统之上的计算实验平台，以及控制与管理平台。

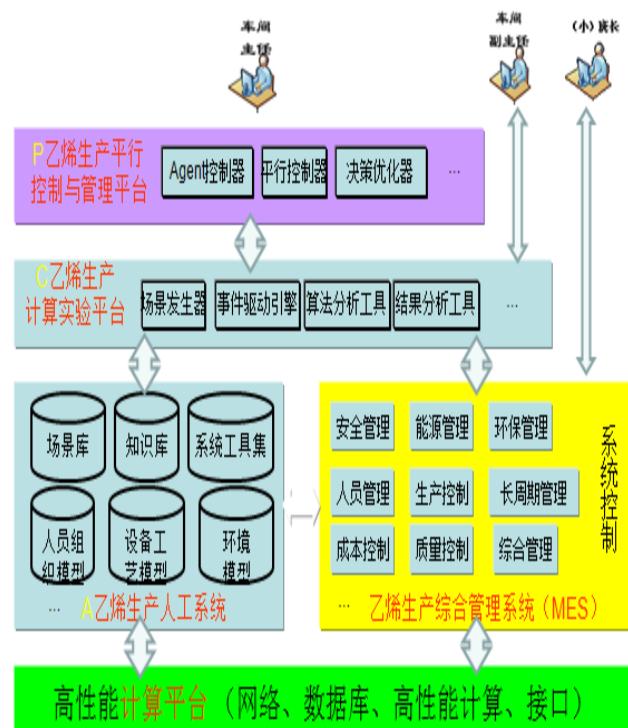


图 3 乙烯生产 PMS 的整体架构  
Fig.3 PMS Infrastructure for Ethylene Production

## 4. PMS 的预期效果

平行控制与管理方法的应用将为过程系统的控制与管理带来全新的视角，平行控制与管理系统PMS与传统的DCS、MES、ERP系统相比，其预期效果主要有：

- ◆ 在传统对工程性要素实现自动化和信息化的基础上，添加社会性要素内容，从而实现复杂生产系统各个要素的闭环控制和管理。
- ◆ 针对社会性要素建模困难，精确数学模型难以描述复杂多变的内外部要素变化的困难而建立的人工系统，提供了各种假设性计算实验的平台工具，方便了人们在事前从定性到定量认识复杂生产要素和目标之间的动态演化规律，从而增强了实际系统应对变化和紧急状态的能力。
- ◆ 实现正常情况下实际系统的滚动优化。工业生产必须协调管理制度、人员班组、设备、工艺等诸多问题，并且要适应不断变化的社会和物理环境，要实现诸如安全、平稳、节能、环保等多个目标。它是一个多约束，多目标的动态优化问题，无论从控制角度还是从管理角度，都属于难于解决的问题。平行系统的引入，为问题的解决提供了全新的思路，平行系统中各种现象是通过元素的相互作用而涌现出来的，元素的完全可控可观性，使得对整个系统的分析具有同样的性质，系统成为了“水晶球”，可以方便的实现对各种影响因素的标定。通过计算实验进行分析比较，便很容易的实现了传统方法难以实现的问题解决与优化。
- ◆ 实现异常情况下的应急管理，并帮助实际系统恢复到正常状态。流程工业系统是典型的复杂系统，这种复杂性突出的表现为系统的不可预测性。而一些突发事件（如雷击、地震、重大操作失误等）具有不可控性，往往难于避免，对系统造成的危害却很大，常伴随着重大的人员伤亡和财产损失。平行系统的引入可以有效的实现对实际系统的应急管理：一方面，在平时可以通过平行系统进行大规模的灾变演练，找出薄弱环节，提高安全意识，防患于未然；另一方面，在灾难发生时可以通过平行系统推演灾难进程，做出实时决策，还可以通过平行系统进行最佳救援方案和最佳逃生路径等的设计，将损失降低到最小。另外，突发危害的另一个重要表现就是系统一旦瘫痪将难于恢复，有效地恢复系统将能够极大的降低损失。平行系统由于基于实际系统构建，可以涵盖实际系统的所有数据，可以很好的帮助和指导实际系统进行恢复重建。

◆ 本文所描述的预期效果是美好的，但是要成功实现是困难的。我们正在为此进行不懈努力。

## 参考文献(References) :

- [1] 邹余敏, 丘仲宜. 勇于创新著宏篇—写在茂名乙烯安全长周期运行五年[J]. 化工管理, 2004 (03): 4-5.  
(Y. M. ZOU, ZH. Y. QIU. Innovation Creates Bright Future —The 5th Anniversary for MaoMing Ethylene Keeps Running. [J]. CHEMICAL INDUSTRY MANAGEMENT, 2004, (3): 4-5)
- [2] 曹湘洪. 解放思想依靠科学强化管理—努力延长乙烯装置运转周期[J]. 化工管理, 2004 (03):12-13  
(X. H. CAO. Extent Ethylene Production Period By Using of Mind, Technology and Management. [J]. CHEMICAL INDUSTRY MANAGEMENT, 2004, (03):12-13)
- [3] 王飞跃, 李乐飞, 黄星, 邹余敏. 关于长周期连续安全节能有效生产基础理论的探讨[J]. 计算机与应用化学, 2007 (12): 1711-1713. (F. Y. WANG, L. F. LI, X. HUANG, Y. M. ZOU. A Discussion of Fundamental Theory of Long Period Continuous Production Emphasizing Effectiveness, Safety and Energy Saving. COMPUTERS AND APPLIED CHEMISTRY. 2007 (12):1711-1713)
- [4] 侯卫锋, 苏宏业, 胡永有, 褚健. 基于ASPEN PLUS用户模型技术的催化重整全流程模拟[J]. 化工学报. 2005, 56(9): 1714-1720. (W. F. HOU, H. Y. SU, Y. Y. HU and J. CHU. Simulation of industrial catalytic reforming process by developing user's module on ASPEN PLUS platform. Journal of Chemical Industry and Engineering in CHINA. 2005, 56(9): 1714-1720)
- [5] 孙优贤, 邵惠鹤. 工业过程控制技术-应用篇[M]. 北京: 化学工业. 2006 (Y. X. SUN, H. H. SHAO. Industrial Process Control Technology - Its Application. Beijing: Chemical Industry. 2006)
- [6] 柴天佑, 郑秉霖, 胡毅, 黄肖玲. 制造执行系统的研究现状和发展趋势[J]. 控制工程. 2005, 12(6): 505-510.  
(T. Y. CHAI, B. L. ZHEN, Y. HU and X. L. XIAO. Current Research Situation and Development of Manufacturing Execution Systems. CONTROL ENGINEERING OF CHINA 2005, 12(6): 505-510)
- [7] 徐宏斌, 薛恒新, 吴士亮. 企业管理信息系统研究综述 [J]. 科学学与科学技术管理 .2005, 4(6):155-160. (H. B. XU, H. X. XUE and SH. L. WU. Overviews of Research on Enterprise Management Information System. SCIENCE OF SCIENCE AND MANAGEMENT OF SCIENCE and TECHNOLOGY 2005,

- 4(6):155-160)
- [8] 熊刚. CIPS 体系结构、智能工具及其应用. 上海: 上海交通大学博士论文. 1996. 12 (GANG XIONG. Architecture, Intelligent Tool of CIPS and its Applications. PH.D. Dissertation. Shanghai Jiao Tong University. 1996)
- [9] 熊刚, 许晓鸣, 张钟俊. 流程工业综合自动化的理论研究与实施 [J]. 北京: 计算机集成制造系统 CIMS, 1995, 1(3):35-38 (G. XIONG, X. M. XU and ZH. J. ZHANG. Theoretic Research and Practice of Computer Integrated Process Systems. Beijing: Journal of Computer Integrated Manufacturing Systems. 1995, 1(3):35-38)
- [10] 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. Vol. 19 No. 5 P485-489 (F. Y. WANG. Parallel System Methods for Management and Control of Complex Systems. CONTROL AND DECISION. 2004. Vo1. 19 No. 5 P485-489)
- [11] 石纯一. 基于 Agent 的计算 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2007, 5. (CH. Y. SHI. Agent Based Computing. Beijing: Tsinghua University Press, 2007. 5)
- [12] S. Staab, et al. Emergent Computing [J]. Intelligent Systems, IEEE, 2002, 17(1):78-86.
- [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, 2(1):1-9 (F. Y. WANG. On the Modeling, Analysis, Control and Management of Complex Systems. COMPLEX SYSTEMS AND COMPLEXITY SCIENCE, 2006, 2(1):1-9)
- [14] 王飞跃, 汤淑明, 人工交通系统的基本思想与框架体系 [J]. 复杂系统与复杂科学, 2004, 1(2): 52-59. (F. Y. WANG, SH. M. TANG. Basic Principal and Framework of Artificial Transportation System. COMPLEX SYSTEMS AND COMPLEXITY SCIENCE, 2004, 1(2):52-59)
- [15] Fei-Yue Wang, Agent-Based Control for Networked Traffic Management Systems [J]. IEEE Intelligent Systems, 2005, 20(5): 92-96.
- [16] Fei-Yue Wang, Shuming Tang, Artificial Societies for Integrated and Sustainable Development of Metropolitan Systems [J] IEEE Intelligent Systems, 2004, 19(4): 82-87.
- [17] 熊刚, 王飞跃. 提升乙烯长周期生产管理的平行评估方法. 控制工程. 录用待发表. (G. XIONG, F. Y. WANG etc. Parallel Evaluation Method to Improve Long Period Ethylene Production Management [J]. CONTROL ENGINEERING OF CHINA. Accepted and to be published)
- [18] 中科院平行管理系统在茂名石化成功上线, 科学时报, 2009 年 7 月 1 日第一版 (Parallel System is successfully created by Chinese Academy of Science, and starts its production in Sinopec Maoming Company. Chinese Science Times. Volume 1. July 1. 2009)
- [19] Feiyue Wang. Modeling, analysis and synthesis of linguistic dynamic systems: a computational theory [A]. Proc. of IEEE International Workshop on Architecture for Semiotic Modeling and Situation Control in Large Complex Systems [C]. Monterey, CA. 1995. 173-178

# 乙烯生产的平行控制与管理系统设计

作者: 熊刚, 王飞跃, 沈小伟, 魏巍, 邹余敏, 李乐飞

作者单位: 熊刚, 王飞跃, 沈小伟, 魏巍(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), 邹余敏(中国石化股份有限公司茂名分公司, 广东, 茂名 525011), 李乐飞(清华大学工业工程系, 北京 100084)

## 本文读者也读过(10条)

1. 王飞跃 平行系统方法与复杂系统的管理和控制[期刊论文]-控制与决策2004, 19 (5)
2. 程长建. 崔峰. 李乐飞. 熊刚. 邹余敏. 廖昌勇. CHENG Chang-jian. CUI Feng. LI Le-fei. XIONG Gang. ZOU Yu-min. LIAO Chang-yong 复杂生产系统的平行管理方法与案例[期刊论文]-复杂系统与复杂性科学2010, 07 (1)
3. 张会. 于泉. 刘金广. 荣建. ZHANG Hui. YU Quan. LIU Jinguang. RONG Jian 平行系统理论在交通工程中的应用浅探[期刊论文]-交通信息与安全2009, 27 (z1)
4. 王飞跃. WANG Fei-yue 关于复杂系统的建模、分析、控制和管理[期刊论文]-复杂系统与复杂性科学2006, 3 (2)
5. 王飞跃. 史帝夫·兰森 从人工生命到人工社会—复杂社会系统研究的现状和展望[期刊论文]-学会2004 (5)
6. 熊刚. 王飞跃. 邹余敏. 程长建. 李乐飞. 廖昌勇. 崔峰. 何力健. XIONG Gang. WANG Fei-yue. ZOU Yu-min. CHENG Chang-jian. LI Le-fei. LIAO Chang-yong. CUI Feng. HE Li-jian 提升乙烯长周期生产管理的平行评估方法[期刊论文]-控制工程2010, 17 (3)
7. 王飞跃. WANG Fei-yue 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[期刊论文]-复杂系统与复杂性科学2004, 1 (4)
8. 王飞跃. 李乐飞. 黄星. 邹余敏. Wang Feiyue. Li Lefei. Huang Xing. Zou Yumin 关于长周期连续安全节能有效生产基础理论的探讨[期刊论文]-计算机与应用化学2007, 24 (12)
9. 汤淑明. 王飞跃. TANG Shu-Ming. WANG Fei-Yue 人工交通系统的基本方法研究[期刊论文]-中国科学院研究生院学报2006, 23 (4)
10. 王飞跃. 曾大军. 袁勇. WANG Fei-yue. ZENG Da-jun. YUAN Yong 基于ACP方法的电子商务系统复杂性研究[期刊论文]-复杂系统与复杂性科学2008, 5 (3)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Conference\\_7191971.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Conference_7191971.aspx)