

综述与专论

加快智能工厂进程，促进生态文明建设

李德芳¹，索寒生²

(¹中国石油化工集团公司信息化管理部，北京 100728；²石化盈科信息技术有限责任公司 MES 事业部，北京 100007)

摘要：中国石化通过实施资源战略、市场战略、一体化战略、国际化战略、差异化战略与绿色低碳战略，提出了用信息化支撑传统产业升级转型、绿色低碳与节能减排、推进智能工厂建设的战略目标。重点从建设思路、主要工作进展与应用成效三方面阐述了智能工厂对中国石化应用信息技术改造石油石化传统生产工艺、提高资源利用率、实现安全生产与清洁生产等方面的重要影响。最后，结合中国石化信息化的发展愿景与发展目标，给出了智能工厂的总体框架与行动蓝图。

关键词：过程系统工程；石化行业；智能工厂；生态文明

DOI：10.3969/j.issn.0438-1157.2014.02.002

中图分类号：TE 99；TP 39

文献标志码：A

文章编号：0438—1157（2014）02—0374—07

Accelerate the process of smart plant, promote ecological civilization construction

LI Defang¹, SUO Hansheng²

(¹Information Management Department, Sinopec Group, Beijing 100728, China;

²Petro-CyberWorks Information Technology Co., Ltd., MES Department, Beijing 100007, China)

Abstract: By implementing resource strategy, market strategy, integration strategy, internationalization strategy, differentiation strategy and low-carbon strategy, strategic objective as using information technology was proposed to support the transformation from traditional industry, to promote environmentally friend, low-carbon develop, energy conservation and emissions reduction, and finally to establish smart plant. The important influences lead consequently was elaborated by smart plant in production engineering conversion, resources utilization, safe production and environmentally friend production. These achievements would mainly be done by using information technology and discussed from three aspects: construction method, main progress and expected achievements. In the end, taking SINOPEC's informatization vision and destination into account, the smart plant overall framework and blueprint were concluded.

Key words: process system engineering; petrochemical industry; smart plant; ecological civilization

引 言

当前，我国已经进入全面建设小康社会的关键时期，也是加快转变经济发展方式、促进经济社会

又好又快发展的攻坚时期。国家在“十二五”规划中，明确提出要把“全面提高信息化水平，推进信息化和工业化深度融合”作为“十二五”时期我国经济建设的一项主要任务，这是对信息化和工业化

2013-09-05 收到初稿，2013-09-15 收到修改稿。

联系人：索寒生。第一作者：李德芳（1961—），男，博士，教授级高级工程师。

Received date: 2013-09-05.

Corresponding author: SUO Hansheng, hansheng.suo@pcitc.com

关系的再强调, 是对坚持信息化和工业化融合方向的再明确, 也是转变经济发展方式取得实质性进展的具体要求^[1]。然而随着我国快速工业化进程, 中国在成为世界第一化工大国的同时, 也面临着持续发展的巨大压力和挑战, 走可持续发展之路, 坚持绿色发展是化工行业的必然选择^[2-3]。

中国石化从 2011 年 8 月起, 把绿色低碳作为公司重要战略。2012 年 12 月, 中国石化发布了中国工业企业首个环境保护白皮书, 郑重向社会承诺: 凡是环境保护需要投资的钱一分不少; 凡是不符合环境保护的事一件不做; 凡是污染和破坏环境的效益一分不要。

1 总体思路

1.1 智能工厂目标

智能工厂是中国石化信息化四大示范工程之一。它是以卓越运营为目标, 贯穿运营管理的全过程, 具备高度自动化、数字化、可视化、模型化和集成化的炼化工厂。通过技术变革和业务变革, 让企业具有更加优异的感知、预测、协同和分析优化能力。智能工厂模型框架如图 1 所示。

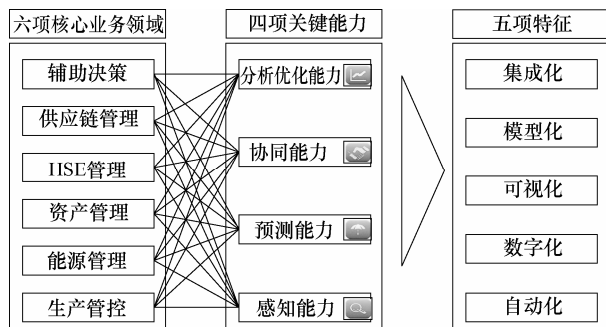


图 1 智能工厂模型框架

Fig.1 Smart plant model frame

1.2 智能工厂六项核心业务域

(1) 生产管控: 实现生产业务闭环管理, 提升生产操控优化及自动化水平, 推动生产工艺技术持续改进。

(2) 资产管理: 实现设备的全生命周期规范管理, 实现故障自动诊断及预知性维修, 实现预知维修模式的设备健康管理。

(3) 能源管理: 实现产能与用能的在线优化, 建设能源管理的评价与分析体系。

(4) HSE 管理: 实现 HSE 的规范性管理, 实现 HSE 过程监控, 实现联动的应急指挥。

(5) 供应链管理: 监控分析供应链各环节信息,

实现供应链的计划和整体优化, 实现供应链的高效协同。

(6) 辅助决策: 实现能源的全过程规范管理, 实现生产经营 KPI 的全面监控, 实现生产经营 KPI 指标的主动分析。

1.3 智能工厂四项关键能力

(1) 分析优化能力: 利用现有模型提升工艺控制水平; 使用更多的分析手段提高装置和全厂的优化能力。

(2) 协同能力: 远程专家可以参与解决问题; 远程专家可及时解决问题; 利用先进通讯手段建立虚拟环境以减少费用和提高反应速率。

(3) 预测能力: 通过智能仪表和传感器及软件智能化设备; 提高工艺建模, 从而获得预测能力。

(4) 感知能力: 对现场生产的洞察力; 大幅减少工程师和现场操作人员收集数据的时间, 以更好地分析生产操作数据。

1.4 智能工厂五项特征

(1) 自动化: 从手工操作发展到自动控制, 从低级的单回路控制发展到高级复杂系统控制, 从单元先进控制到区域集成优化, 是石化生产的基础手段。

(2) 数字化: 借助于覆盖工业现场的感知网络快速感知与工厂相关的各类信息, 实现物理制造空间与信息空间的无缝对接, 极大地拓展人们对工厂现状的了解和监测能力, 为精细化和智能化管控提供前提。

(3) 可视化: 将生产状态、工业视频等各类信息高度集中和融合, 为操作和决策人员提供一个直观的工厂真实场景, 确保迅速准确地掌握所有信息和快速地决策。

(4) 模型化: 利用生产运行数据和专家知识, 将石化工厂的行为和特征的知识理解固化成各类工艺、业务模型和规则, 根据实际需求, 调度适用的模型来适应各种生产管理活动的具体需要。

(5) 集成化: 与现有石化生产过程的工艺过程和管理业务流程高度集成, 实现石化生产各个管理环节和各工序间紧密衔接与集成, 从全局角度实现整体优化。

2 主要工作进展

对中国石化而言, 以“智能工厂”为主题的信息在改造传统生产工艺、提高资源利用率、实现安全生产与清洁生产等方面做出了重要贡

献, 信息技术已成为支撑中国石化绿色发展的重要手段。

2.1 通过协同优化的生产管控, 支撑公司精益生产

2.1.1 企业级 MES 实施成效 炼化企业生产执行系统 (MES) 在 36 家企业推广应用, 管理粒度进一步细化, 物料管理“数出一门, 量出—家”, 对物料管理的支持做到了“班跟踪、日平衡、旬确认、月结算”, 实现了“日清日结”, 统计月结时间由原来的 40 h 缩减到 17 h。系统投用以后, 平均降低能耗 2%、物耗 0.1%, 提高综合商品率 0.25%。企业级 MES 总体架构如图 2 所示。具体综合能耗趋势、

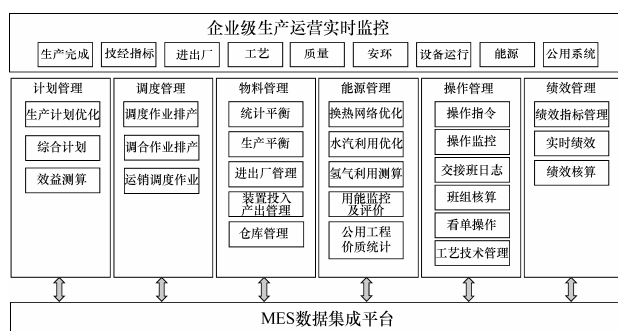


图 2 企业级 MES 总体架构

Fig.2 Enterprise MES overall architecture

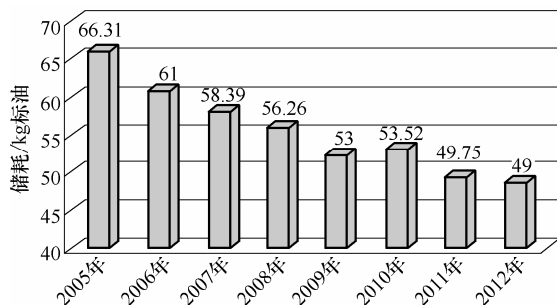


图 3 企业级 MES 实施成效之综合能耗趋势

Fig.3 Comprehensive energy consumption trend of enterprise MES implementation effect

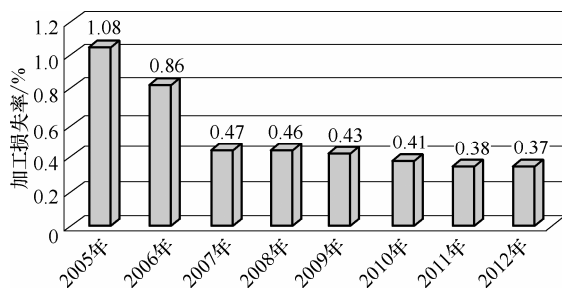


图 4 企业级 MES 实施成效之加工损失率趋势

Fig.4 Processing loss rate trend of enterprise MES implementation effect

加工损失率趋势如图 3、图 4 所示。

2.1.2 企业装置 APC 实施成效 炼化装置 APC 的实施, 改善了过程动态控制性能、减少过程变量的波动幅度, 最终达到增强装置运行的稳定性、提高目标产品收率、降低运行成本等目的。2012 年 APC 系统在 23 套装置上顺利投用, 炼化企业 APC 应用数量已达到了 142 套, 年创经济效益 5 亿元。炼油装置实施 APC 后产生的效益分析 (平均) 如图 5 所示, 化工装置实施 APC 后产生的效益分析 (平均) 如图 6 所示。

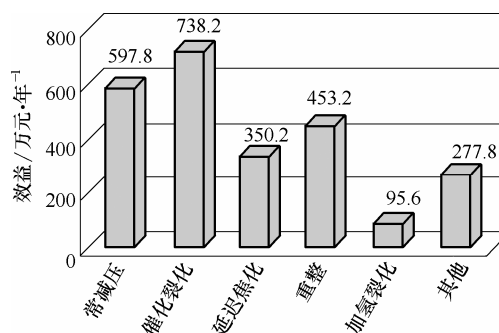


图 5 炼油装置实施 APC 后产生的效益分析 (平均)

Fig.5 Efficiency analysis of refining units after implementation of APC (average)

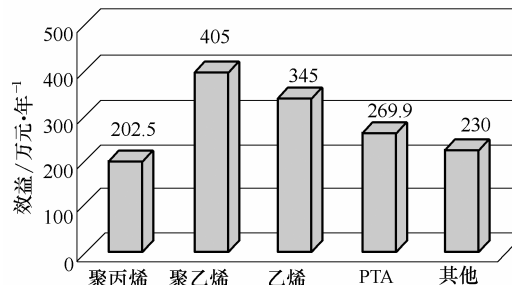


图 6 化工装置实施 APC 后产生的效益分析 (平均)

Fig.6 Efficiency analysis of chemical plant after implementation of APC (average)

2.2 通过精细优化的能源管理, 支撑公司节能减排

建立全介质、全口径的能源的规范管理, 形成计划、执行监控、统计、绩效评价、考核的管理闭环。从“说得清”、“管得住”、“省得下”入手进行系统建设, 帮助企业能源管理实现能效最大化、能流可视化、在线可优化^[4-5]。

2.2.1 流程模拟技术实施成效 中国石化在近 300 余套炼化生产装置推广应用流程模拟技术, 经济效益按一年计算, 累计实现挖潜增效超过 7.2 亿元/年, 其中节能效益 3.58 亿元/年, 折算成标准煤 32.7 万吨/年, 节能效果显著。具体项目经济效益如表 1 所示。

表1 流程模拟技术实施项目经济效益

Table 1 Economic benefits of process simulation technology project

项目名称	项目规模	经济效益 /万元·年 ⁻¹	节能效益 /万元·年 ⁻¹	节约标 煤量/吨
2001—2005年中国石化流程模拟技术推广应用	7家企业65套装置	12203	7550	68000
2006—2008年中国石化流程模拟技术推广应用	10家企业72套生产装置	14048	4750	44000
2009年中国石化流程模拟技术推广应用	13家企业47套生产装置	9613	5850	5500
2010年中国石化流程模拟技术推广应用	14家企业42套生产装置	13491	5288	48500
2011年中国石化流程模拟技术推广应用	14家企业38套生产装置	13350	4450	41200
2012年中国石化流程模拟技术推广应用	13家企业36套生产装置	7530	5880	56500
燕山三套污水汽提和天津2套溶剂再生装置优化(2011)	5套生产装置	1932	1932	13700
高桥石化苯酚丙酮装置优化	2套装置	90	90	820
合计	300套	72257	35790	327720

2.2.2 炼化企业全厂蒸汽动力系统实施成效
2008~2012年共在18家中大型炼化企业实施了蒸汽动力系统优化技术，累计实现降本增效超过3亿元。蒸汽动力系统优化技术应用效益统计如图7所示。

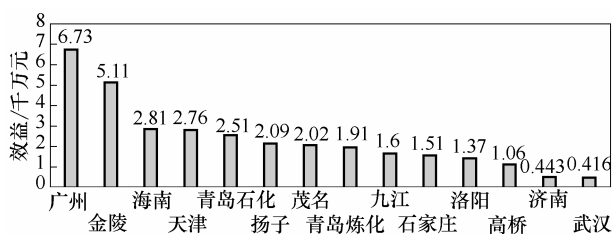


图7 中国石化蒸汽动力系统优化技术应用效益统计

Fig.7 Application benefit statistical figure of Sinopec steam power system optimization technology

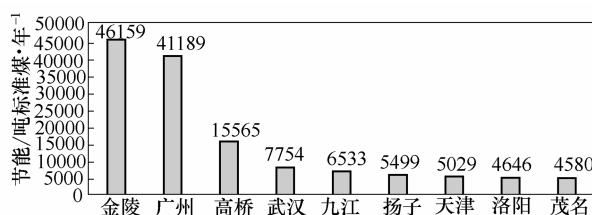


图8 蒸汽动力系统优化技术节能效果

Fig.8 Energy saving effect of steam power system optimization technology

7所示，蒸汽动力系统优化技术节能效果如图8所示。

2.3 通过灵活敏捷的供应链管理，支撑公司优化资源

在全球化环境下，当前石油化工企业的竞争已不是单个企业之间的竞争，而是供应链与供应链之间的竞争，所以改进供应链管理技术对提高石油化工企业的竞争力至关重要^[6-8]。建设信息技术驱动的智能工厂和供应链网络，促进全球竞争力、提供可持续的工作，从根本上改善性能，促进行业创新^[9]。

2.3.1 生产计划优化实施成效 通过利用优化模型进行网络排产，提高了排产计划的准确率和管理效率，降低了管理成本。实现了35家炼油企业原油资源和生产方案的整体优化，上线前后进口原油硫含量同比提高0.09个百分点，API度(american petroleum institute gravity)下降1.27，酸值上升0.1 mg KOH·g⁻¹，降本增效效果明显；实现了19家化工企业生产方案的整体优化，有效支撑了化工板块不同口径，全产品、全原料计划管理，提升了精细化管理水平。完善了252套化工装置投入产出模型，实现了多方案效益对比分析，全年增创效益9亿元。石化生产计划优化总体框架如图9所示。2012年各炼油企业PIMS模型测算及实施案例数量如图10所示。

2.3.2 化工销售物流系统成效 系统涵盖了物流订单生成、运输/保险/商检委托、发运、运输、卸货、入库、出库、配送回单、物流计划、保险、损耗、物流费用计费与结算等一系列业务，对危化品物流进行了全流程的监管。

对于公路和水路运输，利用GPS进行监控。目



图9 石化生产计划优化总体框架

Fig.9 Overall frame diagram of Sinopec production plan optimization

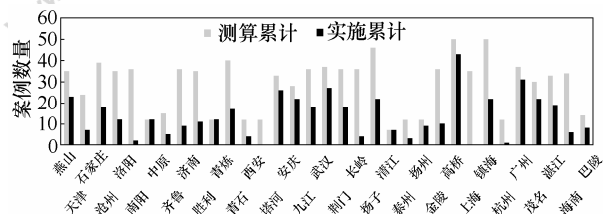


图 10 2012 年各炼油企业 PIMS 模型测算及实施案例数量
Fig.10 2012 various refining enterprise PIMS model measure and implementation case quantity

前在网监控的运输车辆 6907 余台, 涉及承运商 106 家, 对 92% 以上的公路运输普货业务, 99% 以上的公路运输危化业务实现了实时监控。

对于铁路运输, 通过与铁路运输管理信息系统 (TMIS) 的集成和企业专用线车号识别系统 (AEI) 的实施进行监控。系统全面地掌握 4494 辆化工自备车在国铁与专用线上的运行状态, 大幅度提高了自备车的周转率和负荷率。

返程车利用是化工销售物流系统亮点之一, 通过后台模型与规则, 系统自动搜索具备回程车运输的线路, 大幅度提高载运车辆重驶率, 促进了绿色、低碳与环保。返程车界面如图 11 所示。



图 11 返程车界面示意图
Fig.11 Return car interface sketch

2.3.3 化工销售 CRM 系统成效 化工销售公司从 2007 年初进行客户经理制的试点, CRM 系统的建设打造了“以客户为中心”的客户关系管理平台, 支持销售业务全过程管理。

CRM 系统活跃的客户 8700 余家, 每日登录次数 4000 余次, 众多客户在 CRM 系统中可以直接了解化工销售公司的产品信息, 查询自身的相关商务信息, 包括计划、资金、订单、物流、发票等。

化工销售 650 余名客户经理每日在网上开展业务处理工作, 每月形成客户需求计划 8500 条以上, 每日安排订单 3000 个以上, 同时, CRM 记录了客户服务中心每日 100 个以上的交互记录。

2.4 通过全面可控的 HSE 管理, 支撑公司安全环保与职业健康

HSE 管理系统涵盖油、炼、化、销板块 HSE 核心业务, 实现了总部、企业、基层单位 HSE 三级管理。通过 HSE 管理系统的实施, 实现了 26 家炼化企业的环保在线实时监测。通过推行多维度考核量化分析, 实现 HSE 管理“显性化、透明化、规范化”, 并最终促成 HSE 管理的“四个转变”, 即传统管理向信息化管理的转变、结果管理向过程管理的转变、粗放管理向精细管理的转变、局部管理向全员管理的转变^[10]。HSE 管理体系如图 12 所示。

以镇海炼化为例: 2012 年, 公司 HSE 检查发现问题 23950 项, 避免事故发生 12513 人次; 2012 年, 公司共发生未遂事件 21 起, 无集团公司级事故; 2013 上半年, 公司一般风险 691 项, 中等风险 290 项, 重大风险 12 项, 并均通过隐患治理措施进行控制。镇海炼化 2012 年 HSE 检查问题及整改情况如图 13 所示。

HSE 管理系统不仅实现了问题的整改闭环、考核、审批, 为月度考核提供重要依据, 还改变了各



图 12 HSE 管理体系
Fig.12 HSE management system

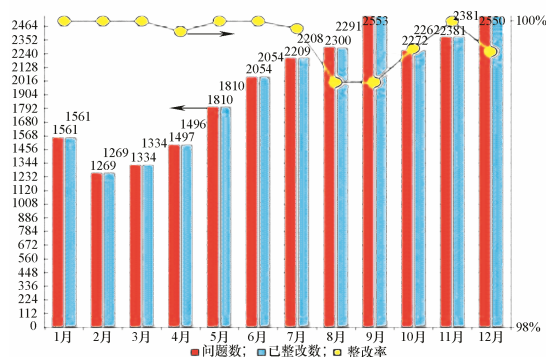


图 13 镇海炼化 2012 年 HSE 检查问题及整改情况
Fig.13 2012 HSE check problems and rectification figure of Zhenhai refining

单位岗检系统的“各自为政”, 实现了在整个公司范围内检查问题跨单位的转发、整改和验证, 提升了管理深度。

3 工作展望

中国石化的智能化进程, 紧扣生态文明的主题, 按照总体规划、分步实施、急用先上、重点突破的建设思路, 稳步推进智能工厂建设, 用3年时间建成智能工厂应用框架, 5年实现重点业务领域智能化应用的试点建设, 8~10年在千万吨级大型炼化企业进行推广, 率先在炼化企业打造世界一流信息化能力, 为智能石化建设奠定基础。智能工厂业务蓝图如图14所示。智能工厂工作思路如图15所示。



图14 智能工厂业务蓝图

Fig.14 Smart plant business blueprint

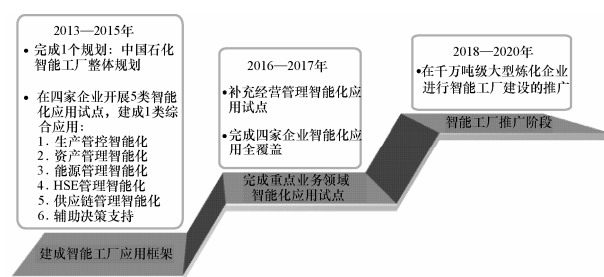


图15 智能工厂工作思路

Fig.15 Smart plant working train of thought

4 结 论

信息化是生态文明建设的必由之路和必然选择, 步入智能化阶段的信息化对生态文明建设的作用, 必将从助力、支撑、保障, 走向融合创新、引领发展的崭新阶段。

中国石化从自身发展需要出发, 建设智能工厂, 为产业升级、企业转型、促进内涵式发展提供支撑, 为绿色低碳、安全环保、节能减排提供支撑, 为企业提高工作效率、盈利水平、科学决

策能力提供支撑, 是中国石化“建设世界一流能源化工公司”的一项重要举措, 符合国家“十二五”规划关于“推动信息化和工业化深度融合, 支撑工业转型升级、提高产业核心竞争力”的要求。开展中国石化智能工厂试点建设, 将为后续的推广工作及智能石化的建设工作积累经验, 将为中国能源化工行业信息化发展提供示范, 意义重大, 社会效益广泛。

(1) 通过智能工厂着力推进科技创新、管理创新, 用信息化支撑传统产业升级转型、绿色低碳、节能减排, 积极实施资源战略、市场战略、一体化战略、国际化战略、差异化战略和绿色低碳战略, 注重持续保障能源供应, 向消费者提供优质产品和服务, 保持安全稳定运营, 实现绿色低碳发展。

(2) 推动中国石化应急指挥从被动反应转变为主动前瞻, 提高应对突发事件的应急和指挥决策能力。规范了企业、总部的应急指挥管理程序和工作流程, 促使各级员工自觉遵守HSE要求, 并按HSE的应急指挥程序开展工作, 提高了应急指挥处置水平, 提升了中国石化的企业形象。

(3) 辅助企业进行合理的生产调度, 及时采取预防措施应对生产上的潜在风险, 保障“安稳长满优”运行, 提高原料利用率, 保障产品和能源供应, 服务社会。

(4) 实现能源的优化利用, 实现“节能低碳、绿色发展”, 践行社会责任, 为环境保护、经济建设做出贡献。

References

- [1] Wang Jiming(王基铭). Promoting the harmonization of industrialization and the tendency to become information-based, accelerating the optimization and upgrading of petrochemical industry[J]. *Petroleum & Petrochemical Today*(当代石油化工), 2012(10): 1-4
- [2] Wang Jiming(王基铭). Taking the path of sustainable development and green development is the inevitable choice[J]. *Chemical Enterprise Management*(化工管理), 2013(6): 30
- [3] Wang Jiming(王基铭). Research and application of process system engineering technology in China petroleum and chemical engineering [J]. *Journal of Tianjin University*(天津大学学报), 2007, 40(3): 329-334
- [4] Siirila J J, Edgar T F. Process energy systems: control, economic, and sustainability objectives[J]. *Computers & Chemical Engineering*, 2012, 47(12): 134-144
- [5] Henrik Lunda, Anders N Andersenb, Poul Alberg Østergaarda, Brian Vad Mathiesenc, David Connollyc. From electricity smart grids to smart energy systems—a market operation based approach and

- understanding[J]. *Energy*, 2012, **42**(1): 96-102
- [6] Yang Youqi(杨友麒), Cheng Siwei(成思危). PSE in China over the past 20 years: retrospective and prospects(I)[J]. *Modern Chemical Industry*(现代化工), 2012, **32**(6): 1-5
- [7] Yang Youqi(杨友麒), Cheng Siwei(成思危). PSE in China over the past 20 years: retrospective and prospects(II)[J]. *Modern Chemical Industry*(现代化工), 2012, **32**(7): 1-6
- [8] Yang Youqi, Cheng Siwei. PSE in China: retrospect and prospects[J]. *Computer Aided Chemical Engineering*, 2012, **31**: 61-69
- [9] Jim Davis, Thomas Edgar, James Porter, John Bernaden, Michael Sarlie. Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance[J]. *Computers & Chemical Engineering*, 2012, **47**(12): 145-156
- [10] Asadzadeh S M, Azadeh A, Negahban A, Sotoudeh A. Assessment and improvement of integrated HSE and macro-ergonomics factors by fuzzy cognitive maps: the case of a large gas refinery[J]. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2013(4): 1-12