

流程工业综合自动化的探讨与思考

黄道¹, 李光华²

(1. 华东理工大学, 上海 200237; 2. 上海焦化有限公司, 上海 200241)

[摘要] 工业自动化的快速发展给化工企业实施综合自动化创造了良好的基础条件, 文章提出了流程工业企业综合自动化的三层框架式结构, 并在概念上对其进行了描述, 对实施综合自动化过程中必须重视的关键问题进行了讨论。根据在实际化工企业实施综合自动化过程中的体会, 简介了一项工程实例。

[关键词] 流程工业; CIMS; 综合自动化; 产品数据管理 (PDM)

1 流程工业自动化的进展与面临的挑战

工业自动化随着工艺和装备不断发展而发展, 从初期简单的手工操作 (可以说对自动化没有什么要求) 到连续工艺及负荷不断加大, 对生产稳定性要求越来越高, 对控制的要求及自动化水平随之越来越高, 仪表使用越来越普遍, 从简单回路的闭环控制到单元装置的全面自动化, 使用的控制工具也从气动单元组合仪表、电动单元组合仪表到 DCS 的广泛使用; 控制水平也从单参数简单控制回路到多变量复杂控制回路, 先进控制系统、优化控制系统在各种场合都有成功应用的典范; 但随着工业规模的进一步扩大, 快速反应、临界稳定工艺、能量综合平衡工艺的开发成功, 对自动化提出了更高的要求; 另外, 激烈的市场竞争也对自动化提出了新的目标和要求。图 1 为自动化系统发展示意图。

以往的自动化系统开发工作, 由于缺乏用 CIM 系统方法论思想指导系统开发过程, 这些生产过程控制与决策大都停留在单元自动化水平, 众多生产状态信息通常缺乏有效的集成而分散于各局部生产过程, 控制与决策策略所取得的效益常表现为局部最优, 难以保证企业获得更大的经济效益。

同时, 由于分散与各局部的数量众多、形式多样的生产状态信息受到现场噪声污染, 一些过程参数难以用直接的检测手段获得, 带来了诸如信息可靠性、相容性、一致性问题, 在不进行有效信息集成的条件下, 企业很难及时准确评估当前的生产状态, 并根据市场、原材料、劳动成本等因素的变化进行快速、准确的管理与决策, 赢得竞争胜利。

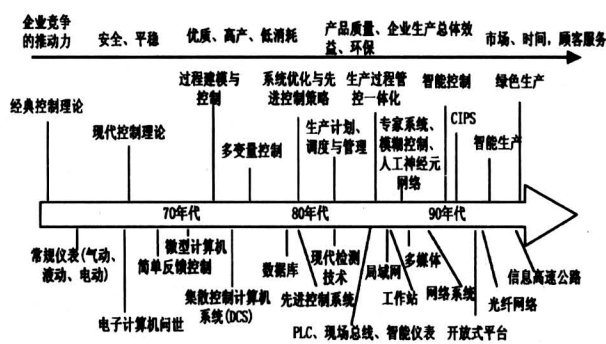


图 1 自动化系统发展示意图

Fig. 1 Sketch map of automatic system progress

在流程工业过程中, 为了长周期、平稳、安全、经济地进行生产, 人们对生产过程的控制、决策提出了必须得到满足的苛刻要求。另一方面, 过程工业自身具备的高强度、强关联、非线性、高度

[收稿日期] 2000-05-29; 修回日期 2000-06-12

[基金项目] “八六三” 高技术资助项目 (865-511-845-007)

[作者简介] 黄道 (1947-), 男, 江苏宜兴市人, 华东理工大学教授, 博士生导师

复杂性、不确定性等特点以及激烈的外部市场竞争影响，使得圆满解决生产过程的控制与决策命题遇到困难，将面临：**a.** 复杂的信息模型及大量的分布式传感器、数据量、计算量；**b.** 信息处理方式复杂性和数学模型的多样性；**c.** 精确机理建模日益困难；**d.** 大量不确定因素，如环境动态变化，输入信息中的噪声、干扰与误差，信息的未知性、不完全性；**e.** 多层次、多任务的控制要求。在这种情形下，实施综合自动化系统将是十分艰巨的任务。

综观当前世界社会的发展，经济竞争已成为世界各国竞争的一个焦点和世界发展的重要推动力。至今，各企业均面临持续多变和不可完全预测的全球化市场竞争。其竞争的核心是以知识为基础的新产品的竞争，也表明知识经济时代的到来。随着 Internet 技术的突飞猛进，工业过程自动化发展已进入一个全新的时代。

2 工业企业综合自动化的层次结构

过程工业企业综合自动化工程从功能来看，应该包含三个主要的层次：首先是基于流程工业生产特点的先进控制与优化系统，这是完全不同于离散机械制造业 CIMS 系统的对应部分；其次是通用的工业企业信息管理系统，如物资、材料、财务及办公室自动化系统等；第三是实施企业 Intranet 网，与 Internet 全球网相连的上层网络通信系统；这三个不同层次要实现全面的信息集成与共享，实现企业优化运行，以求取企业的最大的经济效益。图 2 为过程工业综合自动化的层次结构图。

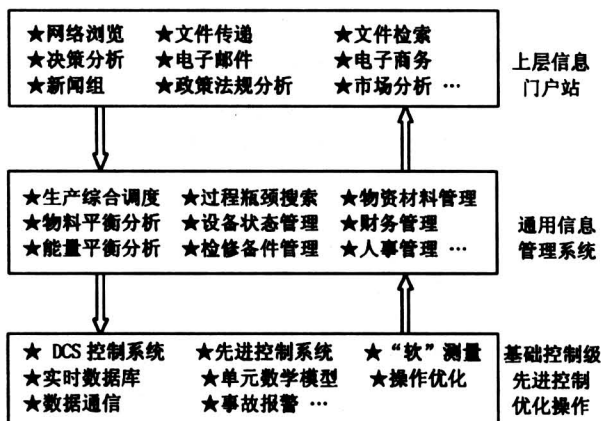


图 2 过程工业综合自动化的层次结构图

Fig.2 Three strata structure of the comprehensive automation of the enterprises

根据我们在石油化工企业实施自动化工程的体会，在实际建设过程中坚持可操作化原则，可以按照以上提及的三个层次进行建设，基础层是生产过程的先进控制和优化（包括以往的基础控制层，如图 2 中 DCS 控制系统、先进控制系统等），中层是通用的工业企业信息管理系统，上层是与 Internet 相连的网络通信系统。这三层结构可以自下而上的进行建设，也可以依据并行工程思想同步建设，但一定要预先做好全面规划，分步实施，特别要做好层与层之间的信息通信与共享，要通过信息集成手段达到信息增值的目的。

3 流程工业综合自动化一些主要内容

3.1 第一层次为上层信息门户网站

上层信息门户网站主要是基于 Internet Web 技术，可以有以下几类方法：

1) 采用中间件方式 (Middleware) 实现 Web 与数据的连接，常用的有 CGI (Common Gateway Interface, 通用网关接口) 和 API (Application Procedure Interface, 应用程序编程接口)。

2) 采用 Java Applet / Active X / Plug-in 等工具实现的应用程序下载方式。

3) 直接采用 Web 对象技术，利用 Java / CORBA (Common Object Request Broker Architecture, 公共对象请求代理) / DCOM 技术 (Distributed Component Object Model, 分布部件对象模型，这是微软公司从 Active X 发展来的)。

实现中，1 类和 2 类方法速度偏慢，建议采用第 3 类方法。在上层信息门户网站中的主要的服务有远程终端 (Telnet)、文件传递 (FTP)、电子邮件 (E-mail)、文件检索 (WAIS)、新闻组 (News)、网络浏览 (Http) 等

基于 Internet/Intranet 技术构成的集成平台，客户端软件简单而统一，用户主要通过常用的支持 HTML 格式的浏览器来与计算机进行交互工作，是一种适合企业上层经营决策管理以及企业与外部实现信息集成的结构方式，它把传统的 Client/Server 模式中的 Server 分解成为一个 Web 服务器和一个或多个信息/应用服务器，所有的开发与维护工作都在 Server 端进行，便于网络的管理，具有易于设计、使用、管理和良好伸缩性的特点，WWW 浏览器适用于不同的操作系统，对所有的应用提供公共的用户接口。

事务处理和决策支持,以信息 Push/Pull 的方式,向企业的决策层提供企业生产状况、财务状况、人员状况、物资库存状况等综合汇总信息,成为企业制订明确的发展目标的决策依据。通过对人事管理、物资需求计划、设备运行状况监控等工作相关的事务处理,保证管理信息的及时性和准确性,提高管理工作的精度和效率。

3.2 第二层次为通用的工业企业信息管理系统

流程工业对象的信息管理分系统主要覆盖经营决策、信息管理以及综合调度等三部分工作内容,通过实现生产、管理过程信息共享,构造企业协同化的信息管理环境,达到生产过程集成化管理的目的。在管理信息系统中针对企业的上层经营决策、管理与调度等工作的不同特点和需要,分别采用基于 Internet/Intranet 技术和基于传统的 Client/Server 技术,构筑具有互补性的集成化平台,建立起协同工作的计算机集成环境。

3.2.1 综合调度系统 调度系统要解决生产系统的均衡、协调地进行,要及时了解生产的瓶颈,通过及时调度提高瓶颈的通过能力。针对流程工业的集成概念,除去信息集成以外,还必须包括物料流的集成和能量流集成。化工企业的综合自动化系统,尤其要在全厂能量综合利用上有所突破,要做到对全厂生产装置的能量消耗、分布情况进行考核,考核内容包括总能量平衡情况、有效能消耗分布、按元素级的物料平衡,而且在调度层要强调管理的及时性,使装置始终维持在高度、协调平衡下进行,提高装置对原材料变化的应变能力。

当前能量管理工作已逐步细化,仅有总能量的管理是不够的,更为重要的是要深入到有效能管理层次。对化工企业的能量管理,首先要全面掌握生产过程中全系统有效能的变化情况,然后分析其间的薄弱环节,并进行解决,这样系统才能实现最经济的运行方式。调度层不仅要下面生产装置发出有关指令,而且要向上级管理层及时汇报生产装置全面情况与接受上级管理层发出的计划指令,完成上、下二层之间的有效连接。

3.2.2 综合信息管理系统 管理级则要提高全员劳动生产率为目标,对直接生产信息与物资消耗、生产计划制定、检修周期安排等多方面相结合,实现全厂信息集成与全面质量管理。

在综合自动化体系结构中的管理系统与通常意义下的 MIS 系统有很大的区别, MIS 系统主要局

限在一些静态的事务管理为主,使工厂管理信息更加条理化。从某种意义上说,这些信息在处理中没有起到增值作用,而新的信息管理系统要求把静态信息与动态信息结合在一起,从更高、更深的层次来管理全局生产,并带来十分重大的经济效益。

综合信息管理系统还包括物资管理、生产管理、财务管理与办公室管理等多个方面,可以提供各车间了解自己车间关键设备的后备情况,还可以设立备件产地、购销情况记录等。有利于上级人员在不同阶段时进行科学决策,倘若最终能实现对库存物资压缩 20% ~ 40% 就可带来十分可观的经济效益。还有其他如财务的管理、办公室事务的管理,在总体信息系统中占有一定的比重,对提高总体管理效率、促进企业发展有重要的作用。

3.2.3 经营决策系统 作为石化企业管理中最高一级,涉及企业的经营和决策,其主要目标是要让高层次领导可依据整个市场情况以及国家的政策、法规及指令来指挥全企业的生产,避免陷入具体的生产事务中,体现分级、分层发挥不同作用的优越。作为经营决策系统要求能给领导层提供不同决策方案,而且要求能对不同方案运行情况进行预测,以供领导者作出最后的、正确的决策。

3.3 先进控制与优化系统

在化工企业中,基础控制级要对整个工艺过程重要参数进行控制,以满足生产需要。它要求在操作波动和有扰动时能及时克服扰动,确保生产稳定。石油化工过程核心是有一定数量的反应器。这些反应器机理复杂,从数学角度描述,通常为非线性、分布参数的多变量对象;而在控制方面往往具有非自衡、不稳定特性。化工过程控制很重要的一环是化学反应器的控制,采用简单控制回路难以获得理想的效果,为此要开发合适的先进控制系统。

在基层控制级,“软”测量技术将是最受关注也是极为有发展前途的技术,在化工生产过程中,有不少重要指标是无法直接测量的,而正是这些指标决定了产品产量、质量和生产的价值。为此,工艺人员只能通过对其他可测参数如流量、温度、压力等的测量控制来间接加以保障。直接了解这些重要指标并及时进行控制是化工生产人员多年来的心愿。现代控制理论和计算机技术的发展,人们通过对机理的了解,先测量一些可以直接测量的参数,再通过建立有效的数学模型,通过软件编制可以在计算机上直接显示一些重要参数。因为它通过软

件实现的，又称为“软”测量技术。它在不少化工行业中都有了迅速的发展，如，德士古炉煤气化反应过程中炉膛温度参数，若不及时检测会影响到装置的安全性，现在通过对入口水煤浆的水/煤比，氧/煤比、流量以及出口甲烷含量等就可以比较准确地估计出反应温度。

先进控制系统的开发将是流程企业综合自动化工程中重要一环。要充分运用 DCS 丰富的软件组态功能，满足生产中各种要求，取得满意的效果。

4 流程工业企业综合自动化关键技术

流程工业企业综合自动化涉及到化学工程与工艺、自动控制、可靠性理论、计算机网络与数据库技术等多学科、多专业领域。从现在情况来看，流程工业企业综合自动化在化工等过程中有了较大的进展，也取得了较满意的结果，如第 3 节所述，但下面一些问题还有待深入研究，并着重加以解决。

4.1 综合自动化系统集成理论与方法

研究集成系统各部分及其相互关系，提出标准的、功能优良的、实用的总体体系结构及其方法体系、建模工具和集成基础结构。国内外一些研究结构针对机械制造业提出了多种复杂控制与管理系统的模型与体系结构，其中 CIM-OSA、GRAI-CIM 和普渡参考模型^[1-5]各具特色，影响较大，但均有不足之处，目前都还难以在流程过程直接推广应用。针对连续过程生产的实际问题，根据我国的国情研究综合自动化系统的设计、分析、规划和评价的一整套方法与技术^[6]，建立开放式复杂系统的体系结构，研究复杂系统的建模理论与方法，对综合自动化系统的实施有着重要意义^[7]。

4.2 信息获取与处理方法研究

综合自动化系统完成全过程控制、决策任务，依赖于获取数量众多、性质各异的定量、半定量、定性语义的不同模式、不同深度及不同层次的过程信息。国内外对信息获取、分类、容错、融合处理及评价技术的研究工作已开始多年。利用人工智能理论、神经网络、模糊逻辑、基于概率的证据理论、粗糙集理论的多方面智能化技术的研究成果，在总体集成思想的指导下，研究综合自动化系统结构框架的不同信息控制与决策层次之间的信息传递、通信和融合处理机制。在不同信息层次上处理相应模式的信息，以降低每一信息层次信息处理工作的规模及复杂度。

4.3 综合自动化系统模型化研究

综合自动化系统需要处理大量定量的、半定量的以及定性的过程信息。生产过程与环境的交互作用、生产控制与管理决策的交互作用、人一机交互作用，使得综合自动化系统系统具有非同态特性。复杂的信息知识的层次性使得传统的基于单一结构和单一模型描述形式（解析形式或符号描述形式）的模型化方法不再适用。利用智能控制、人一机工程等理论与技术的成果，将基于过程机理的参数化数学模型、基于连接的人工神经网络模型、模糊模型、知识模型等模型形式有机融合，研究实现多模式组合的一致性与相容性的理论与方法，已成为国内外学者日益关注的复杂课题，对于连续过程综合自动化系统具有重要的意义。

4.4 先进控制系统的开发研究

在流程企业 CIMS 工程的体系结构中，基础控制级要对整个工艺过程重要参数进行控制，以满足稳定生产的需要。它要求在操作波动和有扰动能及时克服扰动，确保生产稳定。另一方面，从优化和调度角度对生产工况的调整，使装置从一个状态平稳地过渡到另一个状态，达到优化操作。因此，先进控制系统开发占有十分重要的地位，也是全系统能否有效运转的保障。当今的 DCS 系统给用户提供了十分先进的工具，关键在于要充分发掘其潜能，真正发挥其作用。

4.5 过程工业产品数据管理 (PDM) 理论与方法的研究

产品数据管理 (PDM Product Data Management) 是在现代产品开发环境中不断发展起来的一项管理数据的新技术，它的基础是数据库系统。用这种数据库系统来保存各种数据和相关文件，促进新产品的设计和开发，缩短产品上市时间，增强企业的竞争力。从这个角度来看，PDM 在流程工业同样十分重要，其相应的一些技术也有所不同。

作为流程工业，特别是石化行业，其产品是以内部物料流的形式在生产线上流动，这时候的产品数据应该是物料的工艺数据，如组分、温度、压力、流量、热焓、有效能等。另一方面对流程工业的设备、物资、备件、财务等的有效管理也要与物料数据相结合，物料的平衡、能量的平衡、节能降耗、稳定生产都与流程工业经济效益密切相关。

流程工业综合自动化与原生产过程自动化在概念上有很大的拓宽，从原先的基础控制、先进控

制、二级优化控制等扩大到综合调度、决策、组织管理等生产的全过程。流程工业的PDM是在这扩大过程中能否获得有效成功的关键。

4.6 过程综合自动化系统集成优化与决策理论和方法的研究

生产过程集成优化与决策系统是综合自动化系统的核心部分,企业依靠综合自动化系统的集成优化与决策系统支持,根据市场需求、原材料、能源的供给情况、生产过程设备与生产环境的状态,确定企业的生产目标,制定企业的生产计划,协调企业各局部过程生产,达到企业总体最优目标。

解决集成优化决策命题将面对模型非同态、不确定性以及时变性、多目标、自变量众多、约束条件纷繁等等困难。国内外对于过程工业生产优化与决策课题已进行了长期的、大量研究工作。近年里,人们借助遗传算法、模拟退火算法、混沌优化、随机优化、智能控制以及神经网络等领域的最新成果,提出了一些具有很高搜索效率的全局优化算法。根据过程优化与决策的总体要求,建立起了一系列基于数学模型及非模型化的理论与方法。在线滚动优化、满意控制、工况区域优化等技术也受到了工业界的肯定。对优化与决策方法的鲁棒性和适应性问题的研究刚起步就已经引起了工业界和控制界的关注,研究工作渐趋系统化、综合化。然而面对生产过程的庞大规模以及极度复杂性,现有方法和理论仍远远落后与生产实际需要,尚未大范围推广和取得实效。

5 典型应用工程实例

上海焦化有限公司是以煤为主要原料的综合性大型化工企业,是我国煤气化、碳一化工与煤焦油加工的研究与开发中心之一。其下属有6个主要分厂,生产能力为:第一、第二炼焦厂现有大型炼焦炉5座,年产冶金焦炭 180×10^4 t;有机化工厂建有年处理 13×10^4 t焦油的管式炉及工业萘、酚、蒽等生产装置,年产各种化工产品总量达 15×10^4 t;第一、第二煤气厂,日产城市煤气 320×10^4 m³,并联产硫酸胺、黄血盐钠、硫氰酸钠等产品,以及粗苯、煤焦油等化工原料;建有制氧能力(标准状态,下同)11 000 m³/h、供氮能力22 000 m³/h的四套空分装置,副产液氩、液氧、液氮;生产精甲醇 20×10^4 t/a,部分合成气经废热回收、低温甲醇洗脱CO₂和H₂S后,通过深冷分离生产

7 000 m³/h高纯度CO,经压缩送至吴泾化工总厂 10×10^4 t醋酸装置。

在建设公司综合自动化一期工程中,基层控制系统已有11套DCS投入运行,以100 Mb/s光纤建立起一个覆盖主要生产管理过程的企业主干计算机通信网络,并根据集成工作实际需要,在企业生产管理子过程建立起了多个10 Mb/s的专业局域网,利用MICRO VAX小型机,多台应用服务器、数据库服务器及500余台微型计算机共同构成了企业综合自动化系统的计算机集成平台。根据整个系统的管理信息系统、生产过程自动化系统、生产过程安全保障系统、产品质量保证系统的集成工作要求,在UNIX、Windows NT、Windows等多种操作系统、INFORMIX、ORACLE等大型分布式数据库的支持下,开发了集成化控制、管理与决策支持软件,建立了全系统的软件平台。图3为全系统的网络拓扑图。全系统于1995年开始陆续投入运行后,对财务系统的流水单、稽核统计等实现了全面的计算机管理,对库房物资的出入库采用了计算机出票;德士古炉、甲醇、空分、UGAS等生产装置的DCS先后投运,对德士古炉的煤气比、氧煤比、甲醇塔的碳氢比等重要工艺参数实现了先进控制系统(如带逻辑功能的双交差比值控制系统),稳定了工艺生产,提高装置的经济效益1.5%以上,仅此一项就可年增经济效益500万元以上;此外实施了4号空分装置冷量平衡优化控制系统,实现了在生产负荷变动时,空分装置切换时间的优化控制。该随动控制系统的成功投运,取得了明显的经济效益;在生产安全保护方面,如德士古炉是典型的高温高压工艺过程,对安全有特别严格的要求,一次停车事故就会造成上百万元的损失。为此系统中使用了分级的联锁保护系统,对德士古炉的氧油比、气油比、炉膛温度的重要参数,以及对压缩机的轴瓦温度等均实现了越限报警和联锁保护,对稳定生产起到了重要的保障作用,使停车大为减少。如今各装置的DCS均已进入正常运行,在保障生产稳定方面起到了重要作用。一期工程系统连通过后,在工厂调度中心可以直接监控部分生产工段的一些运行画面,并对其进行实时成本分析计算,调度中心可全面掌握生产状况,进行平稳调度。通过一期工程的建设,提高了生产装置稳定长周期运行时间,企业经济效益有了明显的提高。

Development and Suggestion on the Comprehensive Automation of Process Industry

Huang Dao¹, Li Guanghua²

(1. *East China University of Science & Technology, Shanghai 200237, China*;

2. *Shanghai Coking & Chemical Corporation, Shanghai 200241, China*)

[**Abstract**] The rapid development of industrial automation has brought favorable requirements for the chemical enterprises to carry out comprehensive automation. This article brings forward the three-strata structure of the comprehensive automation, describes it in concepts, and discusses the key problems which should be paid attention to during its process. Finally, an example project is briefly introduced on the basis of the understanding which is acquired through practical implementation of comprehensive automation for chemical enterprises.

[**Key words**] process industry; CIMS; comprehensive automation; product data management (PDM)

(上接第 33 页)

参考文献

[1] Remotely operated vehicles of the world [M]. 4th edi-

tion. 888W. Sam Houston Pkwy S. Suite 280 Houston, TX77042, USA: Oilfield Publications Limited, 2000

[2] 封锡盛, 刘永宽. 自治水下机器人研究开发的现状和趋势 [J]. 高技术通讯, 1999, (9): 55~59

From Remotely Operated Vehicles to Autonomous Undersea Vehicles

Feng Xisheng

(*Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110015, China*)

[**Abstract**] A clear definition and a very fine classification of the unmanned undersea vehicles are given in this paper. Following a brief introduction of the advances on the unmanned undersea vehicles the paper points out that the autonomous underwater vehicles at present is a hot spot in the research realm of the unmanned undersea vehicles. This paper describes the research and development achievements pertinent to the unmanned undersea vehicles in Shenyang Institute of Automation (SIA), Chinese Academy of Sciences with the cooperation of organizations home and abroad in the last two decades. SIA started to be engaged in the research and development of the remotely operated tethered vehicles in the end of 1970's. This paper gives a wide introduction of the critical characteristics and technical descriptions of the first remotely operated tethered vehicle "HR-01" in China, the first autonomous underwater vehicle "Explorer" and the autonomous underwater vehicle CR-01 (6 000 m).

[**Key words**] undersea vehicles; ROV; AUV; ocean engineer; ocean resources exploration