

首届

SHOUJIE GUOCHENG ZHUANGBEI YU
KONGZHI GONGCHENG LUNTAN WENJI

过程装备与控制工程 论坛文集

教育部高等学校机械学科教学指导委员会
过程装备与控制工程专业教学指导分委员会

编



化学工业出版社

首届

SHOUJIE GUOCHENG ZHUANGBEI YU
KONGZHI GONGCHENG LUNTAN WENJI

过程装备与控制工程 论坛文集

教育部高等学校机械学科教学指导委员会
过程装备与控制工程专业教学指导分委员会

编



化学工业出版社

· 北京 ·

由教育部高等学校过程装备与控制工程专业教学指导分委员会、中国科学院过程工程研究所和合肥通用机械研究院联合主办,北京化工大学承办,华东理工大学、浙江大学和化学工业出版社协办的首届过程装备与控制工程论坛在北京化工大学举行。论坛主题为流程制造业和过程装备与控制工程,主要议题包括流程制造业和过程装备与控制工程的发展、“十一五”科技发展规划与过程装备与控制工程、石化重大装备自主创新与专业人才培养、过程装备与控制工程专业人才培养模式和过程装备与控制工程专业学科建设。

论坛总结了过程装备与控制工程学科半个世纪来的发展历程,分析了目前该学科的现状和面临的机遇与挑战,畅谈了该学科未来发展形势,也指出了该学科在专业归口和人才培养方面还存在的一些有待解决的问题。但代表们一致认为,过程装备与控制工程专业只要励志改革、加强创新,在国家振兴装备制造业的宏伟大业中,可以大有作为,正如高金吉院士的报告题目那样——海阔天空任飞跃。

图书在版编目 (CIP) 数据

首届过程装备与控制工程论坛文集/教育部高等学校机械学科教学指导委员会过程装备与控制工程专业教学指导分委员会编. —北京: 化学工业出版社, 2008. 10
ISBN 978-7-122-03662-9

I. 首… II. 教… III. ①化工过程-化工设备-文集
②化工过程-过程控制-文集 IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 139017 号

责任编辑: 程树珍 金玉连
责任校对: 周梦华

装帧设计: 史利平

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 北京云浩印刷有限责任公司

720mm×1000mm 1/16 印张 10 字数 228 千字 2008 年 10 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 50.00 元

版权所有 违者必究

目 录

海阔天空任飞跃——为振兴我国制造业发展过程装备与控制

工程学科	高金吉	1
我国炼油石化行业重大设备国产化的回顾与思考	曹湘洪	9
我国重大技术装备自主创新面临的形势和任务	隋永滨	17
化机专业 50 年的变迁——我国“过程装备与控制工程”专业的 发展	潘家祯	27
对高校本科专业建设中若干问题的一些思考	李志义	34
全面工程教育的兴起	涂善东	41
化工机械专业的昨天、今天和明天	钱才富	46
浙江大学过程装备与控制工程专业等特色建设及其发展	郑津洋	51
过程装备与控制工程专业——一个方兴未艾的专业	袁惠新 高金吉	56
不断创新适应国家和自治区经济社会发展需要的过程装备与控制 工程人才培养模式——内蒙古工业大学过程装备与控制工程 专业人才培养的探索	路智敏	61
过程专业人才培养模式变革及现存问题分析	唐委校 孙珊珊	65
大众化教育背景下专业精英人才的 培养	彭旭东 高增梁 盛颂恩 任建莉	70
对装控专业过程控制类课程体系改革的构想	李 斌	76
构建认知、实践、创新知识平台，完善过程装备与控制工程专业 人才培养模式	宣征南 徐 岩 刘 伟 高红利	79
过程装备与控制工程专业人才培养模式 探索	王维慧 曾 涛 周 敏 林海波	84
以“过程控制”为特色的过程装备与控制工程专业建设	朱振华 曹国华	87
过程装备与控制工程专业课程体系与教学内容 改革	徐建民 刘丽芳 喻九阳	91
过程装备与控制工程专业人才培养模式探讨	董金善 顾伯勤	95
过程装备与控制工程专业人才培养的 探索与实践	姬鸿斌 贺 华 蔡克霞 刘天霞	101

过程装备与控制工程专业实施多学科交叉集成教学的

必要性	王 娟 宋健斐 魏耀东 张 锴 时铭显	104
过控专业本科教学专门化管理过程的实践	任建莉 彭旭东	110
过程装备与控制工程专业课程设置的新构想	华玉洁	114
化工过程机械学科建设的思考与探索	王大成	117
加强过程装备与控制工程专业		
学科建设	周 敏 王维慧 曾 涛 林海波 石 艳	122
加强研究生教育和学科建设是过控专业发展的保证——对过程		
装备专业发展的思考	张早校 程光旭	126
强化校内外实习、实训基地建设,提高学生工程实践能力	孙 铁	129
我校“过控”与“热动”专业共同发展模式		
的探讨	王志奇 夏小霞 刘吉普 徐顺生 闭业宾 张大兵	133
专业综合课程设计的实践与探索	周 敏 王维慧 林海波	137
过程装备与控制工程专业实验的改革		
与发展	林海波 王维慧 曾 涛 周 敏 付 伶	141
过程装备与控制工程专业实验教学改革研究	赵 菁 王 毅 张属馨	144
过程装备与控制工程专业学生选择毕业设计课题的倾向性分析	冯 毅	147
撞击流技术与过程装备与控制工程专业学科建设	李 勤 李福宝	150

海阔天空任飞跃

——为振兴我国制造业发展过程装备与控制工程学科

高金吉

北京化工大学 北京 100029

1 过程装备与控制工程学科建设

工程科学具有宽广的研究领域和学科分支,如机械工程科学、化学工程科学、材料工程科学、信息工程科学、控制工程科学、能源工程科学、冶金工程科学、建筑与土木工程科学、水利工程科学、采矿工程科学和电子/电气工程科学等。现代过程装备与控制工程是工程科学的一个分支,严格地讲它并不能完全归属于上述任何一个研究领域或学科。它是机械、化学、电、能源、信息、材料工程乃至医学、系统学等学科的交叉学科,是在多个大学科发展的基础上交叉、融合而出现的新兴学科分支,也是生产需求牵引、工程科技发展的必然产物。显而易见,过程装备与控制工程学科具有强大的生命力和广阔的发展前景。

学科交叉、融合和用信息化改造传统的“化工设备与机械”学科产生了过程装备与控制工程学科。化工设备与机械专业是在建国初期向苏联学习,在我国几所高校首先设立后发展起来的,半个世纪以来,毕业生几乎一直供不应求,为我国社会主义建设输送了大批优秀工程科技人才。1998年3月教育部应上届教学指导委员会建议,正式批准建立了“过程装备与控制工程”学科。这一学科在美、欧等国家本科和研究生专业目录上是没有的,在我国已有90多所高校开设这一专业,是适合我国国情,具有中国特色的一门新兴交叉学科。过程装备与控制工程是加工制造流程性材料的由过程单元设备和机泵群通过管路、阀等连成的机电仪监控一体化的连续性复杂系统。过程装备与控制工程学科研究上述复杂系统关键技术及其相关工程科学的一门新兴学科,有以下几个主要特点。

① 过程装备:与生产工艺即加工流程性材料紧密结合,有其独特的过程单元设备和工程技术,如传质过程、传热过程、流动过程、反应过程、热力过程、机械过程及其设备等,与一般机械设备完全不同,有动和静,通用和专用,标准和非标,流体和粉体等设备之分。

② 控制工程:对过程装备及其系统的状态监测检测、故障诊断预测、控制、安全保护,以确保生产工艺有序稳定运行,提高过程装备的可靠度和功能可利用度。

③ 过程装备与控制工程:是指机、电、仪一体化连续的复杂系统,它需要长周期

稳定运行；并且系统中的各组成部分（机泵、过程单元设备、管道、阀、监测仪表、计算机系统）均互相关联、互相作用和互相制约，任何一点发生故障都会影响整个系统；又由于加工的过程材料有些易燃易爆、有毒或是加工要在高温、高压下进行，系统的安全可靠性十分重要。因此，过程装备与控制工程既要研究过程生产线过装控集成的成套装备，又要研究装备的全生命周期：研制、设计、建造、运行、维修、废弃、回收、再制造。

过程装备与控制工程的上述特点就决定了过程装备与控制工程学科研究的领域十分宽广，涉及到机械、化工、材料、动力、电、信息、控制与自动化、腐蚀与防护等多个专业领域。

过程装备与控制工程除了少数几个研究领域如混合工程、反应工程、分离工程及设备密封技术为本学科的独特之处以外，几乎其他研究方向都是其他相关学科的主攻研究方向。举例如下：

过程装备的压缩机、风机、泵有流体机械专业；压力容器设计计算有工程力学专业；焊接对过程装备至关重要有焊接专业；过程装备选材和腐蚀防护有材料工程与腐蚀科学与防护专业；过程装备检验有无损检测专业；过程装备控制有测试与控制工程专业等。

由此可见，过程装备与控制工程学科的特点与绝大多数学科是不同的。其主要特点：

- ① 要以机电工程为主干与工艺过程密切结合，研究和创新单元工艺装备；
- ② 与信息技术和知识工程密切结合，实现智能监控和机电一体化；
- ③ 不仅研究单一的设备和机器，而且更主要的是要研究与过程生产融为一体的机、电、仪连续复杂系统，在工程上就是要设计建造过程工业大型成套装备。因此，要密切关注其他学科的新的发展动向，博采众长、集成创新，把诸多学科最新研究成果之他山之石为我所用；要善于把相关学科开的花移植到过程装备与控制工程学科结出果；
- ④ 要以现代系统论为指导，研究本学科过程装备与控制工程复杂系统独特的工程理论，要把整个复杂系统作为研究对象，应用系统论研究其长周期有序稳定运行以及监控和可靠性问题。由于这一学科研究领域十分宽广，每个学校在研究方向上都可以有自己的特色，可以说是广阔天地，大有作为。

过程装备控制工程学科重点发展方向：过程成套装备设计——过装控系统总成；过程生产装置运行、维修、安全和绿色工程。过程装备与控制工程专业培养出的科技人才可以在过程工业、装备制造业和服务型制造业从事研究、开发、设计、制造、运行、实验、营销、咨询和教育等职责，也可以说是广阔天地，大有作为。

2 过程装备控制工程与发展过程制造业

中国科学院过程工程研究所与中国社会科学院工业经济研究所的专家在“过程工业的绿色化与信息化”一文中提出，按“技术特征”将制造业分为两类即装备工业和过程工业：

装备工业是以物件的加工和组装为核心的产业，根据机械电子原理加工零件并装配成产品，但不改变物质的内在结构，仅改变大小和形状，产品计件不计量，多为非连续操作，这类工业可统称为装备工业。

过程工业是以物质转化过程为核心的产业，这类产业从事物质的化学、物理和生物转化，生成新的物质产品或转化物质的结构形态，产品计量不计件，连续操作，生产环节具有一定的不可分性，可统称为过程工业，如涉及化石资源和矿产资源利用的产业（石油化工、冶金等）等。过程工业的主要特点如下：

① 过程工业生产往往伴随着十分苛刻的生产环境或条件，通常处于高温、高压、低温、真空、高粉尘和高湿度等极端条件，有时甚至存在易燃、易爆或有毒物质；

② 过程工业生产强调生产过程的实时性、整体性。因而应从全局出发协调和处理装置间复杂的耦合、制约关系，以求得全局最优；

③ 工艺流程连续，工序前后紧密相连，没有缓冲单元或缓冲单元相对复杂有限；

④ 过程工业生产方式属于少品种大批量连续生产，物流和能量流连续，生产过程往往伴随着物理化学反应、生化反应、相变过程及不确定性和突变性等因素，因而是一个十分复杂的工业大系统。

过程工业是制造业的重要组成部分。目前，我国工业部门共分为 37 个大的工业行业，每个大行业下又细分为若干小行业，两所专家按照技术特征对我国现有全部工业行业进行了重新划分。

根据上述文章研究的规定，我国 37 个大工业行业中，可直接确定为第一类过程工业的共 13 个，属于第二类和第三类的过程工业共 14 个（见表 1）。

表 1 我国过程工业所包括的范围

过程工业 (按大行业分)	包含在其他大行业中的 过程工业	过程工业 (按大行业分)	包含在其他大行业中的 过程工业
石油加工及炼焦业	金属表面处理及热处理业	橡胶	烟叶复烤业
化学原料及化学制品业	铸件制造业	塑料	纤维原料初步加工业
有色金属冶炼	粉末冶金制品业	非金属矿物制造业	棉纺印染业
黑色金属冶炼 (钢铁冶金)	绝缘制品业	食品加工业	毛染整业
医药制造业	集成电路制造业(部分生产环节)	食品制造业	丝印染业
化学纤维制造业	电子元件制造业(部分生产环节)	造纸及纸制品业	火力发电业
		印刷业	煤气生产业
			自来水生产业

目前我国 GDP 的产业中制造业占的 35.4%，是国民经济和社会可持续发展的支柱。没有一个强大的制造业，就无法实现科技强国和小康社会的目标。过程工业的产值占全部制造业产值的 46.9%，占我国 GDP 的 16.6%。过程工业为装备制造业提供原材料，又是装备制造业的用户，过程工业是国家财税收入的重要来源，制造业中近 52% 的增值税来自过程工业。

改革开放以来，我国过程工业虽然取得较大成就，为经济发展做出较大的贡献，但是，与国内其他工业和国外同类行业相比，过程工业的发展速度较慢，发展水平较低。与装备工业相比，过程工业的技术创新水平较低，过程工业的新产品产值率不到制造业平均水平的 1/2。对我国一些典型的过程工业的分析表明，普遍存在以下问题。

① 资源、能源浪费，环境污染严重。由于技术和装备落后，自动控制水平低。

② 自主研发能力很弱，过程放大和量化设计水平低。过程工业的主要技术都依靠

引进,自主研发一直在走“研究——开发——引进”的死循环,其根本原因是自主开发能力差。

③ 产量和质量都不能满足需求。如2000年我国乙烯消费量约1108万吨/年,但生产能力只有470万吨/年;钢铁产量已达世界第一,但优质钢材主要靠引进;制药工业发展迅速,但产品和技术主要靠仿制。

④ 无法满足高新技术发展的需求,已严重影响到一些高技术的发展。很多高新技术,如生物技术、纳米技术和材料加工都必须以过程工业为基础,我国过程工业的现状已严重影响到这些高技术的发展。

3 过程装备控制工程与振兴装备制造业

装备制造业是为国民经济和国防建设提供技术装备的基础产业,具有产业关联度大、需求弹性大、带动和促进作用强、技术密集和资金密集等特点,是国家实力的象征,振兴装备制造业,是提高我国国际竞争力,实现国民经济全面、协调和可持续发展的战略举措。

建设创新型国家,装备制造业是关键,增强自主创新能力,装备制造业应该先行,为此,“十一五”乃至更长的一段时间,加速提高装备制造业自主创新能力是国家目标,具有重要的战略意义。

据中国工程院“装备制造业自主创新战略研究”报告分析,我国装备制造业的现状:

(1) 已具备相当规模,取得了令人瞩目的成绩

我国装备制造业经过50多年的发展,尤其是“十五”期间的快速增长,已形成相当大的规模和能力。2005年,规模以上企业69538万家,从业人员1658.08万人;工业增加值(当年价)17119.91亿元,占全国工业的比重达22.47%;出口额3090.02亿美元;1999~2005年工业增加值年均增长25.08%,远高于同期工业和GDP的年均增长率。在重大装备中,电力装备水平大大提高,电力建设所需的火电设备80%由国内制造供应;冶金设备主要依靠与国外同行合作生产,满足用户需求;石化装备中大多数关键单机的设计制造国内已取得重大突破,基本实现了国产化,但成套能力十分薄弱,重大工程仍主要由外商总承包。

(2) 总体上量大质弱

虽然我国装备制造业发展很快,总量规模已居世界前列,但整体素质与工业发达国家相比仍然差距很大。

① 产业结构不尽合理,一方面中低档产品和一般加工制造能力大量富余,另一方面国民经济发展所急需的重大成套装备和高技术装备过度依赖进口,对外依存度过高,2005年,全国进口装备产品3187.05亿美元,占全国外贸进口总额的48.28%,而且进出口逆差呈逐年增加趋势;

② 工程成套能力薄弱,缺乏一批具有较强实力、能承担系统设计、工艺和设备成套及工程总承包任务的工程公司;

③ 产品以中、低端为主,附加价值不高,全行业增加值率仅为25.44%,而工业发达国家在37%~48%之间;

④ 能源和材料消耗大、污染严重,如火力发电设备供电煤耗比国际先进水平多

19.1%，而污染却远远高出工业发达国家；

⑤ 自主开发能力薄弱，核心技术大部分依靠引进；

⑥ 产业基础薄弱，基础技术、基础材料、基础元器件、基础制造装备、自动化仪表、标准体系等发展滞后，制约了装备制造业的发展。

总体来看，我国装备制造业在国际竞争中处于弱势地位。

新中国成立以来，特别是改革开放以来，中国的制造业得到蓬勃发展。中国的制造业和装备制造业的工业增加值已居世界第四位，仅次于美国、日本和德国。但中国制造业的劳动生产效率远低于发达国家，约为美国的 5.76%、日本的 5.35%、德国的 7.32%。其中最主要原因是技术创新能力十分薄弱，基本上停留在仿制，实现国产化的低层次阶段。从 20 世纪 70 年代末，中国大规模、全方位地引进国外技术和进口国外设备，但没做好引进技术装备的消化、吸收和创新，没有同时加快装备制造业地发展，因此，步入引进——落后——再引进的怪圈。以石油化工设备为例，20 年来，化肥生产企业先后共引进 31 套合成氨装置、26 套尿素装置、47 套磷复肥装置，总计耗资 48 亿美元；乙烯生产企业先后引进 18 套乙烯装置，总计耗资 200 亿美元。因此，要振兴我国的装备制造业，必须变“国际引进型”为“自主集成创新型”，这是历史赋予过程装备与控制工程教育和科技工作者的历史重任。

回顾 50 多年的奋斗历程，虽然我国装备制造业的技术创新能力有了明显提高，为国民经济提供了一大批重大装备。但也应该看到，目前自主创新能力仍然十分薄弱，始终没有走出引进——落后——再引进——再落后的怪圈，仍然停留在引进技术、跟踪模仿这种创新模式之中。即使是一些我国生产能力已经非常巨大的行业，其核心技术也仍然是外国的，所以我国企业不得不向外国企业支付巨额的技术转让费。而日本、韩国则只用了大约 30 年就从引进技术走向了自主创新之路。

国务院关于加快振兴装备制造业的若干意见提出，以科技进步为支撑，大力提高装备制造企业自主创新能力。装备制造企业要以系统设计技术、控制技术与关键总成技术为重点，增加研发投入，加快提高企业的自主创新和研发能力。国家将重点支持自主创新项目，包括原始创新、集成创新和在引进消化吸收基础上再创新的项目。鼓励企业与科研院所、大专院校联合开展研发工作，并加快研究成果的产业化进程，创建一批享誉国内外的知名品牌。

国务院关于加快振兴装备制造业的若干意见还提出，以专业人才培养为重点，加强技术创新队伍建设。各级、各类教育机构要高度重视基础教育和人才培养，支持国家重大技术装备人才培养基地的建设。具备条件的高等院校要整合相关力量，加强技术创新人才培养；高等院校要与企业、科研院所加强合作，联合培育一批年富力强、具有创造性的中青年科技人才、管理人才和高级技工，特别要培养重大装备研制和系统设计的带头人才。

这些重要意见对高等学校工程教育改革，对过程装备与控制学科建设现实和长远都具有重大指导意义。

4 服务型制造——现代过程装备控制工程发展的新趋势

现代制造服务的概念是指制造企业及其派生出的，与其有紧密关系的、独立的、专

业的服务机构,面对日益激烈的市场竞争,为提高竞争力和获得更高的利润,通过对原核心业务的延伸,为客户提供的以知识密集、附加值高为特征的服务活动。现代制造服务包括以下几方面业务:

① 产品设计、技术研发;

② 装备成套、工程承包和交钥匙工程;

③ 节约客户资源的备品、备件供应;

④ 设备系统现代化改造;

⑤ 设备系统远程监测、故障诊断与智能维修;

⑥ 机电产品报废、回收与再制造;

⑦ 企业资产管理信息化与咨询服务;

⑧ 现场测试、维修及其他服务等;

⑨ 为用户提供人员培训;

⑩ 融资租赁及其他金融服务。

服务与制造的融合已经成为一种历史性的趋势。世界现代服务业发展状况:发达国家的现代服务业占整个服务业的比重超过70%,韩国接近68%;现代服务业占GDP的比重,美国52.4%,德国71%,日本48.1%。国外制造企业发展现代制造服务的案例:GE公司生产的十多万台飞机发动机、发电设备、火车机车和医疗设备,数十年来,为这些正在运行的设备提供服务,为他们带来了高额利润,2005年服务收入占总收入的58.9%。IBM公司2005年全球服务和金融服务占总收入的54.6%。

国内现代制造服务状况:GE公司和哈尔滨动力设备有限公司投资1600美元成立服务性合资企业,主要为GE重型燃气轮机提供维修和现场服务;壳牌和上海汽车公司各出资50%,投资2300万美元成立安吉一捷飞络汽车服务公司;阿尔斯通公司独资成立技术服务(上海)有限公司主要业务包括工程、技术服务、员工培训、维护、仓储、分销、备件装备和国际贸易;卡特彼勒公司已在上海建立再制造基地等。

5 过程装备与控制工程学科发展的趋势和前沿

过程工业是国民经济的支柱产业;是发展经济提高我国国际竞争力的不可缺少的基础;过程工业是提高人民生活水平的基础;过程工业是保障国家安全、打赢现代战争的重要支撑,没有过程工业就没有强大的国防;过程工业是实现经济、社会发展与自然相协调从而实现可持续发展的重要基础和手段。

装备制造业是为国民经济和国防建设提供技术装备的基础产业,振兴装备制造业,是提高我国国际竞争力,实现国民经济全面、协调和可持续发展的战略举措。

服务型制造有助于使中国经济高投入的增长模式转变为高附加价值的增长模式;服务型制造有助于实现“中国代工”向“中国制造”转变;缓解中国区域经济发展不平衡,促进大中型企业的国际化,带动中小企业的快速发展;提升企业创造价值的能力和成套服务能力,从而提升装备制造业的整体水平和国际竞争力。

上述行业都与过程装备与控制工程密切相关,因而,过程装备与控制工程在发展国民经济的重要地位是显而易见的。过程装备与控制工程是应用科学和工程技术,这一学科的发展会立竿见影,直接促进国民经济的发展。过程装备的现代化也会促进机械工

程、材料工程、热动力工程、化学工程、电气工程、信息工程等工程技术的发展。我们不仅要看到过程装备与控制工程是一个新兴的学科,是博采诸多自然科学学科的成果而综合集成的一项工程技术,而忽略了反过来的一面,一个反馈作用,也就是过程装备与控制工程学科也应对自然科学的发展做出应有的贡献。

我国科技部和国家自然科学基金委员会在本世纪初发表了《中国基础学科发展报告》,其中分析了世界工程科学研究的发展趋势和前沿,这也为过程装备与控制工程学科的发展指明了方向,值得借鉴和参考。

① 全生命周期的设计/制造正成为研究的重要发展趋势。由过去单纯考虑正常使用的设计,前后延伸到考虑建造、生产、使用、维修、废弃、回收和再利用在内的全生命周期的综合决策。

过程装备的监测与诊断工程、绿色再制造工程和装备的全寿命周期费用分析、安全和风险评估以及以可靠性为中心的维修(RCM: reliability centered maintenance)和预测维修(PDM: predictive maintenance)等正在流程工业开始得到应用。

② 工程科学的研究尺度向两极延伸。过程装备的大型化是多年发展方向,近年来又有向小型化集成的发展趋势。

③ 广泛的学科交叉、融合,推动了工程科学不断深入、不断精细化,同时也提出了更高的前沿科学问题,尤其是计算机科学和信息技术的发展冲击着每个工程科学领域,影响着学科的基础格局。学科交叉导致传统的生产观念和 production 模式发生了根本转变,随着需求个性化,制造信息化的进程,传统的生产观念由物质制造向信息制造转变。

学科交叉、融合和用信息化改造传统的化工机器与设备学科产生了过程装备与控制工程学科,这一学科的发展也必须依靠学科交叉和信息化。过程装备复杂系统的监控一体化和数字化是发展的必然趋势。

④ 产品的个性化、多样化和标准化已经成为工程领域竞争力的标志,要求产品更精细、更灵巧并满足特殊的功能要求,产品创新和功能扩展(强化)是工程科学研究的首要目标,柔性制造和快速重组技术在大流程工业中也得到了重视。过程装备与控制工程学科的发展不仅仅要发表 EI、SCI 文章,而且要十分重视发明专利和标准,这样才能结束我国重大过程装备“出不去,挡不住”的局面。

⑤ 先进工艺技术得到前所未有的广泛重视,如精密、高效、短流程、虚拟制造等先进制造技术对机械、冶金、化工、石油等制造工业产生了重要影响。

⑥ 可持续发展的战略思想渗透到工程科学的多个方面,表现了人类社会与自然相协调的发展趋势。制造工业和大型工程建设都面临着有限资源和破坏环境等迫切需要解决的难题,从源头控制污染的绿色设计和制造系统为今后发展的主要趋势之一。

6 培养高素质过程装备与控制工程科技人才势在必行

高素质的工程师源于教育的创新,要培养高素质的工程师,工科高等教育特别是过程装备与控制工程学科必须改革和创新。将军是战场上打出来的,一流的工程科技人才是在大的工程实践中磨炼出来的。高等工程教育目标只提培养高级专门人才,毕业的学生不愿去工程一线工作,学校不注重培养工程师的状况应该改变。

(1) 选拔有工程实践的工程师充实教师队伍
工科院校的教师,特别是专业课教师应有工厂实践经验,必要时从工厂工程师中选派教师。学生光有书本知识,从校门到校门不利于工程师的培养。

(2) 科学研究要与工程实践相结合
科研工作应从过去只重视文章和鉴定成果的状态下,变成开放的同经济建设主战场密切联系的大系统中去定位。科研成果转化率低得可怜的状况必须改变。开展科研选题,既要重视搜索文献,跟踪国际先进水平,又要重视从工程实践中,从人工自然物的复杂系统中去提炼新的课题,创新工程理论。创新之根在实践,既要在学校的实验室研究,又要重视在工厂、城市、社会大实验室中的实践。

(3) 学科交叉与团队协作
那些在专业知识之外,能掌握并广泛了解不同学科为基础的相关领域知识的人是明天的获奖者。在知识环境中需要有广度和深度思维,非常专业化已经不够。拆除那些隔离传统大学院系之间的围墙是至关重要的。

(4) 发挥团队的协作精神,培养有终生学习能力的人才
知识新陈代谢越来越快,工程师知识必须不断更新。学校教育的根本是教人如何学习(to learn how to learn),才能适应社会的快速变化。正规教育不仅要提供专业教育,而且要培养学生有终生学习的能力。

纵观历史,世界上的一流大学,都是在不同历史时期为本国经济和军事的振兴作出突出贡献,使其走上世界经济发展的前列,从而称雄世界。国家要建设世界一流大学,最重要的标志也应该是为中国经济发展和国防建设作出杰出成就。我国和世界最发达的国家处于不同的经济发展阶段,不去解决我国经济发展主战场的理论和科学技术问题,而去和现在世界一流大学比论文,比SCI、EI,这样“拔苗助长”创世界一流大学值得深思,有的国内名牌大学机械工程专业竟取消了有优良传统的“转子动力学”课程,考其原因是绝大多数毕业生根本不去工厂,因而对如何造好机器不感兴趣。工程教育应该以培养工程师为主要目标,要坚持产、学、研相结合,应鼓励毕业生到生产第一线去。高等院校特别对于机械工程、过程装备与控制工程等学科要成为企业自主创新的同盟军,研发出具有自主知识产权的国际一流技术并且在我国的工厂应用,在世界装备市场竞争中争当强者,让中国制造的装备走向世界,让中华品牌誉满全球,为我国从制造大国变成制造强国作出贡献。

海阔天空任飞跃。中国正处在空前的、举世瞩目的经济高速发展时期,振兴装备制造业广阔天地,大有作为!科技工作者特别是年轻一代要自强不息,为中华复兴,为中华民族立足于世界民族之林作出新的更大的贡献!

参 考 文 献

- [1] 高金吉. 过程装备与控制工程学科研究的特点、趋势和前沿.
- [2] 中国科学院过程工程研究所, 中国社会科学院工业经济研究所. 过程工业的绿色化与信息化.
- [3] 池红卫. 复杂过程工业系统故障诊断与预测方法的研究. 天津大学博士学位论文, 2004, (10).
- [4] 中国工程院. 装备制造业自主创新战略研究, 2006, (10).

我国炼油石化行业重大设备国产化的回顾与思考

曹湘洪

中国石油化工股份有限公司高级副总裁 中国工程院院士

各位老师、各位同学早上好。非常感谢首届过程装备与控制过程论坛邀请我到这介绍我们国家炼油化工重大装备国产化的情况。我是学高分子化工的，所以今天这个论坛叫我来讲述国产化，我只能作一般的情况介绍。我希望我们大家能共同努力，为推动我国石油石化装备的国产化继续做贡献。今天，我报告的题目是《我国炼油石化行业重大设备国产化的回顾与思考》，一共有五个部分。第一部分是我国炼油石化工业设备国产化的回顾；第二部分是我国炼油石化工业重要设备国产化主要成果；第三部分是炼油石化工业设备国产化存在的问题与不足；第四部分是炼油石化工业设备国产化面临的挑战；第五部分是继续推进炼油石化工业设备国产化的对策思考。

1 我国炼油石化工业设备国产化的过程

我国炼油工业、石油化工工业分别从20世纪60年代中期和70年代中期步入快速发展的通道。从大庆油田被发现以后，我们国家开始发展大型的炼油工业。乙烯是从20世纪70年代初期，在北京燕山石化引进第一套30万吨乙烯装置后开始发展的。

炼油、石化工业的快速发展为炼油、石化工业的装备制造业发展提供了巨大的商机，但是到90年代初，多数石化设备仍然依靠进口。炼油设备国产化虽然在90年代初期达到比较高的比例，常减压、催化裂化的一些设备我们可以国内设计制造，但是最重要的设备还是要引进。常减压、催化裂化、焦化、半再生固定床催化重整、丙烷脱沥青、酮苯脱蜡等炼油装置的设备大多可国内制造，但这些装置中一些重要设备的国产技术水平比较低，如催化裂化的主风机、气压机等需要进口，连续重整、大型蜡油加氢裂化、蜡渣油加氢处理主要设备也需要进口。

经过近20年的努力，我国炼油石化工业重要设备国产化取得了令人鼓舞的进展。从1988年起，结合镇海炼化80万吨/年加氢裂化装置建设开始，加氢裂化反应器及压缩机等设备国产化开始起步，连续重整、大型加氢裂化、加氢处理的重要设备及大型催化裂化的主风机、大型催化裂化及焦化装置的气压机开始加快国产化的步伐。我查了一下，80万吨加氢裂化的反应器和两个氢气压缩机，基本都是在1991年投产。镇海的装置是1993年建成。从1992年起，燕山石化14万吨/年HDPE装置技术与重要设备国产化开始起步，我国大型石油化工装置的重要设备开始加快国产化步伐。

2 我国炼油石化工业重要设备国产化主要成果

(1) 反应设备

在炼油行业，对于大型加氢裂化、加氢处理反应器，现在我们可以设计制造大型蜡油加氢裂化和渣油加氢处理反应器，而且反应器的材料均由国内生产。目前我们加氢裂化的装置可以达到 200 万吨/年，反应器的直径可以到 4m 上，重量可以超千吨。像茂名建设的 200 万吨/年榨油加氢处理的设备也都是国产的。关于大型催化裂化反应器及再生器，现在可加工 280 万吨/年加氢处理常压渣油的催化裂化反应器及再生器已成功工业运行。催化裂化从单装规模来讲，最大有 300 万吨/年，但那是蜡油催化，渣油催化的反应器个头要比 300 万吨/年常压设备要大。这个装置去年应该在海南炼化已投入运行。还有焦化，现在我们可以设计制造直径 9.6m 的大型焦炭塔，24 小时生焦周期，2 座焦炭塔可处理减压渣油 160 万吨/年。目前国际上焦化装置焦化塔也就是到 9.4~9.6m。大型乙烯裂解炉，我把乙烯裂解炉也归纳到反应器里面，因为它是一些重质原料在高温下裂解，经过一个化学反应过程，生成乙烯丙烯。现在我们可以设计制造 10 万吨/年乙烯裂解炉，15 万吨/年乙烯裂解炉正在开发中，我们准备使用到镇海炼化乙烯装置当中去。裂解炉辐射段、对流段炉管、废热锅炉、引风机、烧焦阀均实现国产。大型釜式搅拌反应器，不同高径比和移热方式的大型釜式搅拌反应器开发成功，最大体积已达 137m^3 。对于大型流化床反应器，现在我们可以设计制造 25 万吨/年线型聚乙烯流化床反应器和 13 万吨/年丙烯腈流化床反应器。还有，大型轴径向固定床反应器，教科书上的反应器一般都是轴向的。固定床反应器，有轴向的有径向的。国内自己开发的轴径向固定床反应器用在 20 万吨/年苯乙烯装置上，已成功工业化运行。这几年大家都在非常看重煤化工的发展，那么我们现在日处理 1000 吨的水煤浆气化炉投入运行，更大规模的水煤浆气化炉正在开发中。这是反应设备。

(2) 流体输送设备

可设计制造 200 万吨/年高压加氢裂化装置的新氢、循环氢压缩机。这些压缩机都可以在国内实现自主制造。280 万吨/年加氢处理常压渣油催化裂化配套的主风机、气压机、烟机成功工业运转。乙烯装置裂解气压缩机，64 万吨/年乙烯装置裂解气压缩机成功工业化运行。我国正在设计制造 100 万吨/年乙烯装置裂解气压缩机、丙烯制冷压缩机。这个 100 万吨乙烯装置裂解气压缩机功率要达到 5 万千瓦。我们可以设计制造一定规格型号的高速离心泵。我为什么说一定规格呢？因为现在大流量的高速离心泵和小流量的高速离心泵国内制造还有困难。

(3) 分离设备

以填料或塔板为内件的大型精馏设备我们都可以设计制造，现在 1000 万吨/年炼油的常减压装置中的常压分馏塔和减压分馏塔直径都在 10m 以上，我们国内无论是填料塔还是板式塔都能设计制造。可设计制造一定规模大型卧式离心机，像 PTA 等装置使用的大型卧式离心机，但是太大规模我们还是要进口。可设计制造与大型 PTA 及酮苯脱蜡配套的转鼓真空过滤机，过去呢，我们转鼓脱蜡真空过滤机国产的水平确实比较低。但是从 20 世纪 80 年代，引进技术，国内制造，到逐步演变成国内设计制造。现在转鼓真空过滤机运行得都不错。去年年底，我到扬子石化，看了我们新建的公称能力是

45 万吨/年,但实际可开到 55 万吨/年的 PTA 装置,它的转鼓真空过滤机是国内四川一家厂子设计制造的,运转得不错。可设计制造不同规格的高效旋风分离器,催化裂化也好,丙烯烃也好,里面各种型号的旋风分离器都可以设计制造。分离效率可以达到国际先进水平。

(4) 干燥设备

可以设计制造大型 PTA 装置(单线能力 50 万吨/年)的回转干燥机,更大规模 PTA 装置回转干燥机正在开发中。20 世纪 90 年代,高压聚乙烯装置国产化的直径是 2.7m,现在可以做到 4.2m,单线能力 50 万吨/年。可设计制造一定规模带式干燥机,分别应用于乳聚丁苯、SBS 等橡胶的干燥系统。过去,橡胶的干燥加工要用带式干燥机,我们国内做不了,需要引进,现在我们可以国内制造。

(5) 冷换设备

比较典型的是大型中、高压加氢裂化装置螺纹锁紧环换热器,这也是相当有技术难度的,这个国内可以设计制造了。可设计制造与 64 万吨/年乙烯装置配套的冷箱,与 100 万吨/年乙烯装置配套的冷箱正在开发中。冷箱实际上也是一种冷换设备。可设计制造与大型连续重整装置配套的板翅式换热器。板翅式换热器的换热面积在 4000m² 左右。

(6) 储运设备

可设计建造 100000m³、150000m³ 大型原油储罐,并实现材料国产化。设计建造 1500m³ 大型乙烯储罐,并实现材料国产化。可设计建设大容量原油、天然气长输管线,并实现材料国产化。可设计建设大容量原油、天然气长输管线,并实现材料国产化。

(7) 其他设备

炼油石化行业都需要大型的空分设备。我们已能设计制造制氧能力达到 60000m³/h 的空分装置。石油化工行业中的大型粉粒料掺混料仓,粉粒料掺混料仓看起来简单,但大型化后,怎么保证粒子的掺混,保证产品的质量,有很高的技术要求,现在我们都做。这是我向大家介绍的第二方面的情况。

3 炼油石化行业设备国产化存在的问题与不足

(1) 部分大型设备仍然需要进口

比如乙烯装置乙烯制冷压缩机组,过去乙烯装置有 3 个机,一个是乙烯压缩机、一个是丙烯压缩机、一个是甲烷制冷压缩机。后来又发展二元制冷、三元制冷,可以把 3 个冷机混在一起,通过一个压缩机压缩后制造不同冷机的低温来供工艺需要。那么乙烯制冷压缩机、乙烯装置乙烯、甲烷二元制冷压缩机组包括三元压缩机组都需要引进。像高压聚乙烯装置超高压压缩机组,20 世纪 70 年代,我在燕山石化引进单线在 20 万吨、25 万吨那个高压压缩机组,20 万吨的功率甚至到了一万四五千千瓦,操作压力在 3200 公斤左右。这样的高压压缩机组,现在我们都需要引进,国内做不了。现在还有一个大型塑料挤压造粒机组,中国石化、北京化工大学和大连橡塑机厂都在研究国产化。现在 20 万吨机组正在进行设计阶段。但是现在大型塑料挤压造粒机组都需要进口。20 万吨、30 万吨、40 万吨,越大越需要引进。我们国内做的都是小机组,一万、两万都可以做。

对于大型粉粒料输送系统设备，如旋转給料阀、插板阀，看起来很简单，但装置大型化以后，实际上是有相当的制造难度的。既要通过粉料，又要有气封性能，国内做不了。高温高黏度液体输送泵，如催化裂化油浆泵、减压塔底泵，温度比较高，黏度比较大，这些设备也做不了。尽管国内也做过，但运转水平不是太高。所以大家还是希望引进这些设备。大型乙二醇装置列管式固定床反应器及循环气压缩机组。说起来，列管式固定床反应器是比较简单的，就是一个换热器，把它竖起来，在列管里装催化剂。但是一旦大型化以后，带来的问题就比较复杂。比如列管式固定床反应器直径到了7m、8m，反应温度也比较高，壳层要把反应热给测出来，在设计制造上有相当的难度。去年我们曾经论证过，论证的结果是我们国内不能做，还是要引进。7m、8m的管板制造，肯定没有那么大的钢板，也没有那么大的锻件，所以拼焊。拼焊的应力消除等实际过程当中的一些具体技术问题，我们都感到有难度。设计单位感到设计上有难度，制造单位感到制造上有难度。所以我们引进，其中还有循环气压缩机组，虽然是离心式的，但是这个设备国内现在还没有人敢做。因为它是乙烯氧化，乙烯氧化成含氧乙烷，这个过程危险性比较大，所以这个压缩机还需要引进。还有大型PTA装置空气压缩机组，现在大型的机械装置、空气压缩机压力并不高，工艺优化以后压力在14~15公斤，但是它是高速压缩机，多级的，动力源有好几级透平，有4公斤蒸汽，有0.4公斤蒸汽，最后还有一个烟气膨胀。装置排出的废气通过催化氧化燃烧以后到一定温度，送到膨胀机里，现在我们做不了。只能靠引进，要么西门子，要么就是三菱。还有大型高速离心泵，一般的高速离心泵我们可以做，但是大型化以后，进量一大，我们就做不了了。我们相当一部分设备还是要靠引进。而且现在有些设备的引进，外国的制造厂商认为比较繁重，有些设备国外制造厂商连报价都不来。

(2) 有些已国产化的设备技术水平上与国外有差距

虽然我们有些设备已经国产化，但是实事求是地讲我们设备上的差距还是存在的。大型压缩机组机械效率、加工制造精度有待提高。我们的机械效率从设计上和国外报价的水平差不多，但实际的结果还是有差距。假如差0.5个百分点、差1个百分点，那100万吨乙烯压缩机组，功率5万千瓦，效率差百分之一，就是500千瓦，蒸汽耗量增加。还有机组振动可以达到国内标准的要求，但与国外机组比明显偏大。像64万吨乙烯装置裂解气压缩机国产化，振动值达到国标，但是和同类的进口压缩机作比较的话，水平差距是客观存在的。我到过上海塞科90万吨/年的乙烯压缩机厂，看过他们的压缩机。进了厂房以后，我说你这个压缩机给我开一开，因为感觉不到这个机组在运行，实际上是开着的，振动非常小，噪声很小。这就是加工的精度，应该承认有这个差距。但如果说不让国内制造行业练练兵的话，他永远学不会。像高压加氢反应器体积利用效率比国外低10%~15%，同样是高压加氢反应器，因为压力一高，设备重量就大，所以国外通过工程研究，努力提高设备的使用效率，我了解国外加氢反应器它的企业使用效率最高可以达到86%，为什么呢？它反应过程的生热，用冷氢来控制温度，它的冷氢箱的工程化研究和设计做得非常好。人家冷氢箱做得很小，同样一个高压加氢反应器的利用效率就明显提高了。我们国内低的效率为67%，高的为70%，人家到86%。起码差15个点。那么同样一个设备，人家的可以处理115kg/h，而我们只能处理100kg/h。炼油大型减压塔馏分油拔出率比国外低，体积利用率也比国外低。我们到国外去考察，看到