

GUOCHENG ZHUANGBEI
YU KONGZHI GONGCHENG ZHUANYE
SHENGCHAN SHIXI

过程装备 与控制工程专业 生产实习

马 欣◎主编



四川大学出版社

GUOCHENG ZHUANGBEI
YU KONGZHI GONGCHENG ZHUANYE
SHENGCHAN SHIXI

过程装备 与控制工程专业生产实习

马 欣◎主编



四川大学出版社

责任编辑:梁 胜 王 锋

责任校对:孙滨蓉

封面设计:墨创文化

责任印制:李 平

图书在版编目(CIP)数据

过程装备与控制工程专业生产实习 / 马欣主编. —
成都:四川大学出版社, 2012. 4

ISBN 978-7-5614-5757-3

I. ①过… II. ①马… III. ①化工过程—化工设备—
生产实习—高等学校—教材②化工过程—过程控制—生产
实习—高等学校—教材 IV. ①TQ051-45②TQ02-45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 066500 号

书名 过程装备与控制工程专业生产实习

主 编	马 欣
出 版	四川大学出版社
地 址	成都市一环路南一段 24 号 (610065)
发 行	四川大学出版社
书 号	ISBN 978-7-5614-5757-3
印 刷	郫县犀浦印刷厂
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	9
字 数	205 千字
版 次	2012 年 5 月第 1 版
印 次	2012 年 5 月第 1 次印刷
定 价	19.00 元

版权所有◆侵权必究

◆读者邮购本书,请与本社发行科
联系。电 话:85408408/85401670/
85408023 邮政编码:610065

◆本社图书如有印装质量问题,请
寄回出版社调换。

◆网址: <http://www.scup.cn>

前 言

过程装备与控制工程专业生产实习是加强理论联系实际的重要教学实践环节。通过调研发现,学生在生产实习前普遍对专业实习内容没有了解,不清楚专业内涵,加上实习时间和条件有限,无法达到实习效果。《过程装备与控制工程专业生产实习》教材针对我国过程装备与控制工程专业没有专门实习教材的现状,依照我国高等教育过程装备与控制工程的专业内涵和建设需要,结合部分高校的实习实践和经验编写而成。内容包括过程装备与控制工程专业所涉及的基本工艺和普遍设备,主要有石油炼制基本工艺和设备、天然气净化基本工艺和设备、天然气化工基本工艺和设备、压力容器质量保证体系以及过程流体机械设备。本教材能帮助学生从认识上消除对专业生产实习的盲目性,提前了解专业内涵、基本实习内容和要求,并指导生产实习的顺利实施,切实提高生产实习效果。教材附有部分实习企业的基本情况介绍,便于学生了解相关企业。各章附有思考题,便于学生开展复习和检查实习效果。另外,还准备增加有关专业实习的视频资料。

本教材已经在西南石油大学过程装备与控制工程专业学生生产实习中连续使用了几届。同学们普遍反映有了这本实习教程以后,在实习前对实习有了初步了解和认识,明确了实习内容;实习中能对照现场与本实习教程开展理论联系实际的学习和讨论,加深了对设备及工艺的理解;实习后能借助本实习教程及时进行回顾和实习总结。另外,从实习指导教师自身的感受来讲,本教程也是实习带队指导教师顺利实施生产实习教学,组织和开展生产实习工作的重要参考资料和教学文件,体现了对生产实习教学大纲的理解和贯彻。

本书由西南石油大学过程装备与控制工程专业教研室马欣老师担任主编,由伍开松教授担任审阅。在编写过程中西南石油大学刘清友教授提出了不少宝贵意见,在此致以衷心的感谢。另外,中石油兰州石化公司董永生高工、中石化第五建设公司罗升鹏高工、四川日机密封件有限公司肖丁高工从现场的角度提出了很多宝贵的意见,在此一并表示衷心的感谢。

由于时间仓促,收集资料有限,书中错误在所难免,欢迎读者提出宝贵意见。

编者

2011年5月

目 录

第1章 专业介绍与生产实习概况	(1)
1.1 过程装备与控制工程专业介绍	(1)
1.1.1 发展历史	(1)
1.1.2 培养目标	(6)
1.1.3 教学内容	(6)
1.1.4 专业内涵	(6)
1.1.5 行业现状	(7)
1.1.6 发展趋势	(12)
1.2 生产实习概况	(14)
1.2.1 实习目的	(14)
1.2.2 实习要求	(14)
1.2.3 实习方式和主要内容	(15)
1.3 实习记录、实习报告要求及成绩评定	(15)
1.3.1 实习记录要求	(15)
1.3.2 实习报告要求	(15)
1.3.3 实习成绩评定	(16)
1.4 实习纪律	(16)
第2章 石油炼制工艺及设备实习	(17)
2.1 概 述	(17)
2.2 原油脱盐脱水工艺与设备	(17)
2.2.1 原油脱盐脱水工艺流程	(17)
2.2.2 脱盐脱水的主要设备	(18)
2.3 原油蒸馏工艺流程与设备	(19)
2.3.1 典型的原油常减压工艺流程	(19)
2.3.2 原油常压精馏塔	(21)
2.4 催化裂化	(24)
2.4.1 催化裂化装置的工艺流程	(24)
2.4.2 催化裂化装置的主要设备	(27)
2.5 催化重整工艺	(30)
2.5.1 重整反应部分	(30)

2.5.2 芳烃抽提部分	(31)
2.5.3 芳烃精馏部分	(32)
2.5.4 重整反应器	(33)
2.6 催化加氢精制工艺流程	(34)
2.6.1 反应系统	(35)
2.6.2 生成油换热、冷却、分离系统	(35)
2.6.3 循环氢系统	(35)
2.7 润滑油加工工艺及设备	(36)
2.7.1 渣油丙烷脱沥青	(36)
2.7.2 润滑油的溶剂精制	(38)
2.7.3 润滑油脱蜡	(40)
2.8 石油蜡生产工艺	(48)
2.8.1 甲基乙基酮—甲苯脱蜡脱油联合工艺	(49)
2.8.2 喷雾蜡脱油工艺	(49)
第3章 天然气净化工艺及设备实习	(51)
3.1 概 述	(51)
3.2 天然气脱硫	(52)
3.2.1 天然气脱硫的工艺流程	(52)
3.2.2 天然气脱硫的主要设备	(53)
3.2.3 天然气脱硫的其他方法	(54)
3.3 克劳斯硫磺回收工艺	(55)
3.3.1 工艺流程	(55)
3.3.2 燃烧炉及废热锅炉	(56)
3.3.3 催化转化段	(56)
3.3.4 过程气的再热方式	(56)
3.3.5 液硫的冷凝、处理及成型	(57)
3.4 天然气脱水	(57)
3.4.1 甘醇法脱水工艺流程	(57)
3.4.2 三甘醇脱水的主要设备	(58)
第4章 天然气化工工艺及设备实习	(60)
4.1 概 述	(60)
4.2 合成氨生产工艺及设备	(61)
4.2.1 氨的性质	(61)
4.2.2 合成氨生产工艺流程	(61)
4.2.3 主要设备	(65)
4.3 尿素生产工艺及设备	(68)
4.3.1 尿素的性质	(68)
4.3.2 工艺流程	(69)

4.3.3 主要设备	(71)
4.4 三聚氰胺生产工艺及设备	(74)
4.4.1 三聚氰胺的用途	(74)
4.4.2 我国三聚氰胺生产现状	(75)
4.4.3 三聚氰胺的尿素生产方法	(75)
4.4.4 三聚氰胺生产工艺流程框图	(76)
4.4.5 三聚氰胺生产工艺流程	(77)
第5章 压力容器质量保证体系实习	(80)
5.1 质量管理概述	(80)
5.2 设计	(82)
5.2.1 设计单位许可资格与责任	(82)
5.2.2 设计许可印章	(82)
5.2.3 设计条件	(82)
5.2.4 设计文件	(82)
5.2.5 设计方法	(84)
5.2.6 风险评估	(84)
5.2.7 节能要求	(84)
5.2.8 安全系数	(84)
5.2.9 压力	(85)
5.2.10 温度	(86)
5.2.11 腐蚀裕量	(86)
5.2.12 最小厚度	(86)
5.2.13 装量系数	(86)
5.2.14 焊接接头	(86)
5.2.15 焊接接头系数	(87)
5.2.16 无损检测要求	(87)
5.2.17 压力容器用管法兰	(87)
5.2.18 检查孔	(87)
5.2.19 开孔补强圈的指示孔	(87)
5.2.20 快开门式压力容器	(87)
5.2.21 不允许拆卸的隔热层	(88)
5.2.22 特殊耐腐蚀要求	(88)
5.2.23 水质	(88)
5.3 材料	(88)
5.3.1 《固容规》对压力容器材料的要求	(88)
5.3.2 压力容器用材料及其质量的控制	(91)
5.3.3 材料代用	(92)
5.4 制造及制造中的检验	(94)

5.4.1 制造工艺	(94)
5.4.2 工艺技术准备	(95)
5.4.3 焊接	(110)
附录 1 部分实习基地介绍	(129)
附录 2 现场实习图片选摘	(135)

第1章 专业介绍与生产实习概况

1.1 过程装备与控制工程专业介绍

化工设备与机械专业是在新中国成立初期学习苏联模式在我国几所高校首先设立发展起来的。半个多世纪以来,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的工程科技人才。1998年3月,教育部正式批准建立了“过程装备与控制工程”学科。这一学科在欧美等国家本科和研究生专业目录上是没有的,而在我国已有100多所高校开设了这一专业,是符合我国国情的。这是一门具有中国特色的新兴交叉学科,这个专业的毕业生越来越受到企业和社会各界的欢迎。

“过程装备与控制工程”专业是工程科学的一个分支。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,以过程工业为研究和服务对象,具有多学科综合、集成、渗透和互为依托的特色。它是在多个大学科发展的基础上交叉、融合形成的新兴学科分支;也是生产需求牵引、工程科技发展的必然产物。其前身是化工设备与机械专业。学科交叉、融合和用信息化改造传统的“化工设备与机械”产生了过程装备与控制工程学科。我国高校“化工设备与机械”(简称“化机”)专业创立于1951年,当时我国工业经济的体系亟待建立,急需掌握化工过程和机械方面的复合型工程师,遂在高等院校设立了当时名为“化学生产机器与设备”专业。自成立以来,已曲折地走过了60年的路程。专业初创时期,借鉴苏联模式,我们的前辈呕心沥血,把中国的化工机械专业办得初具规模、培养了一大批化工机械专业教学、科研、设计、制造与使用的中坚力量。

过程工业是加工制造新材料产品的现代国民经济的支柱产业之一,是提高我国国际竞争力不可缺少的基础,是改善人民生活水平的有力工具,是保障国家安全的重要支撑。因而,过程装备与控制工程在国民经济的发展壮大过程中起到重要推动作用。化机专业为新中国的化工、石油化工和相关流程工业的发展壮大建立了不可磨灭的功绩,今后国家将更需要大量过程装备方面的高级人才。

1.1.1 发展历史

1951年大连工学院首先成立“化学生产机器与设备”专业,1952年全国高校大调整,天津大学、浙江大学、华东化工学院、华南工学院、成都工学院、杭州化工学校(中专班)化工学院中都设有化工机械系。例如,华东化工学院在1952年建校初期的三

个系分别为无机工业系、有机工业系和化工机械系。化工机械系中设有“化工机械”专业，在1957年增设了“化学工程学”专业，1958年又增设了“化工机械制造”和“化工自动控制”两个专业。在恢复研究生招生后，华东化工学院和浙江大学的化工机械专业成为全国首批硕士点和博士点，定名为“化工过程机械”专业。早期的化工机械专业基本上是化工的底子再加上机械，20世纪60年代以后化学工程专业兴起，促使不少老学校对化工机械专业淡化了化工的基础。与此同时，西方压力容器技术的空前发展又为化工机械专业展现了一个崭新的、广阔的空间，各校根据自身条件形成了各自的特色。

英美国家的化工系一般分成两个专门化方向：一部分搞工艺，一部分搞设备。当时我国按苏联的模式，化工与机械并重。既要读机械系的机械课程，又要读化工系的化工课程。专业课要修化工设备课程，但其中化工机械的内容较少。因为苏联有两个专业：化工机械和机械设计制造。1954年，请来了苏联专家，莫斯科化工机械学院副教授杜马什涅夫（ДОЦЕНТ）在大连工学院讲学。全国各校选派了12位教师和10位研究生去进修，重新修订教学计划。进修班人员认为，不能盲目照抄苏联课程。他们考察了大连、吉林等地的苏联援建项目。由大连工学院出面，召集了天津大学、浙江大学、华东化工学院等校教师与杜马什涅夫教授一起制定中国第一份化工机械专业的教学计划。但中国的化工机械专业并不完全是苏联模式的翻版，它还吸纳了欧美国家化工和机械专业的特点，比如：（1）从美国、英国回来的老一辈教授主持了学科建设。（2）美国麻省理工学院（MIT）单元操作和英国压力容器技术在课程体系中有所反映。

1966年前我国培养化工机械毕业生的思路是化工厂需要大量能够从事化工设备运转的工程技术人员，包括设备的采购、安装、维护及零配件管理等。从教学角度讲，大学不宜教授运转、维修等方面的知识，而应择重教授设计、原理和原则。设备与机器的关系是以设备为主，以机器为辅。因为设备是非定型的，需要设计，而机器是定型的，只要会选用就行。容器、塔器、换热器、反应器等属于设备，机器有干燥机、离心机、破碎机、过滤机等。化工机械专业的第一轮教学计划，从1954年至1955年酝酿到1956年形成，矛盾很多。1956年教育部与各部委联合成立了教材编审委员会，同时，教育部在北京石油学院等院校又增加了一批化工机械专业。这样，全国就有十几所院校设置了化工机械专业。当时大多数人认为，教学以设计为主，但是培养目标是为企业培养运行和维修工程师。化机专业在当时十分受欢迎，全盛时期在1958年、1959年。后来，针对化工机械专业“化而不机”的状况，加强了机械，削减了化工的分量，减少了化工原理与物理化学的课程，增加了“泵和压缩机”、及“化工机械制造”，这样，在原来的塔器、换热器等份量不变的情况下，增加了机械的内容，本质上是培养化工厂的机械师。设计院也是化工机械毕业生的一条出路，他们也很需要化工机械人才。化工机械专业的毕业生不仅掌握了化工机械和设备方面的知识，而且能看懂化工工艺专业的小样图，并且可开展讨论及修改。

20世纪80年代初重建化工机械专业教学指导委员会时，许多学校已开始招收化工机械专业硕士生。当时的的问题是，企业需要既懂工艺又懂设备和控制的复合型人才，这一要求就历史性地落在化工机械专业的身上。化工机械专业要加强机械，在原有的压力容器、化工设备、化工机器及化工机械制造这四门课独立设置基础上，又增加了断裂力

学、有限元分析等课程,后来增加了自动控制及仪表。进一步削弱了化工方面的内容,加强了机械且内容趋于现代化。专业课程学时数也作了大的调整,如压缩机从原来的18学时增加到80学时,学生的负担越来越重。在教学内容方面,乙烯车间是很典型的例子。重点还是车间机械师,维护日常运行、备件管理。他们的知识面要宽,但不一定要很深。既要面对当前的化工厂继续运行,又要面对现代化的计算机智能化控制。以前曾统计过化工厂,工艺师与机械师的比例为1:4。工艺不会经常变,而设备问题很多,每年要换零配件。化工厂的运行,机械师的任务比工艺师多。

自20世纪50年代至90年代,化机专业的人才对我国化工、石油化工、制药等行业的发展起到了不可替代的作用。1998年中国经历了新中国成立以来最大规模的专业调整。从1000多个专业,合并成500多个专业,又从500多个专业,减少为249个专业。教育部对普通高校本科专业目录进行调整,在新的专业目录中,将化工设备与机械(本科)专业更名为“过程装备与控制工程”专业,归入机械学科教学指导委员会。这样,化工机械专业得到保留,并把它拓宽为“过程装备与控制工程”专业,为化工机械专业开辟了更加美好的前程,化机专业在专业调整中获得了新生。教育部在2001年第11号文件“关于成立2001—2005年教育部高等学校有关科类教学指导委员会的通知”中,机械学科教学指导委员会下设五个教学指导分委员会:

机械设计制造及其自动化专业指导分委员会;

- 材料成型及控制工程教学指导分委员会;
- 工业设计教学指导分委员会;
- 过程装备与控制工程专业教学指导分委员会;
- 机械基础课程教学指导分委员会。

按1999年正式实行的新目录,“过程装备与控制工程”在业务教学、培养方案、主干学科、课程结构体系上有大幅度的调整,主要体现:

(1) 主干学科有了根本的改变。新主干学科为:化学工程与技术、动力工程及工程热物理。而原学科为:工程力学、机械工程、化学工程。

(2) 业务培养目标和要求有较大改变。学科理论增加了控制工程、加强了化学工程。从事工作领域扩展为:在化工、石油、能源、轻工、环保、医药、食品、机械及劳动安全等部门从事工程设计、技术开发、生产技术、经营管理以及工程科学研究等方面工作。

(3) 主要课程有了很大的改变。列入了:物理化学、化工计算、流体力学、粉体力学、计算机控制技术、控制与管理等。

此后,一批院校利用原有相近专业(如真空技术及设备、粮食机械、轻工机械、食品机械、造纸机械、制药机械等等)的办学条件,也纷纷成立了“过程装备与控制工程”专业,据统计,全国具有该专业的院校由1998年的43所发展到2011年109所。大大加强了该专业的培养规模,扩大了该专业的专业内涵、覆盖领域和影响力。其中绝大多数学校在开始这一专业之前都有相关专业的办学背景,如化机、炼油、造纸、食品、制药等相关专业,因此各校的办学质量存在一定的差异。

以下是我国目前设有“过程装备与控制工程”本科专业的高校名录以及网址, 总共 109 所学校。

表 1-1 开设“过程装备与控制工程”本科专业的高校名录及网址

所在地区	高校名称	高校数量
山东	山东大学 (http://www.sdu.edu.cn/)、中国石油大学(华东) (http://www.upc.edu.cn/)、青岛科技大学 (http://www.qust.edu.cn/)、山东科技大学 (http://www.sdust.edu.cn/)、山东轻工业学院 (http://www.sdili.edu.cn/)、枣庄学院 (http://www.uzz.edu.cn/)	6
北京	清华大学 (http://news.tsinghua.edu.cn/)、北京理工大学 (http://www.bit.edu.cn/)、北京化工大学 (http://www.buct.edu.cn/)、中国石油大学(北京) (http://www.cup.edu.cn/)、北京联合大学 (http://www.buu.edu.cn/)、北京石油化工学院 (http://www.bipt.edu.cn/)、北京工业大学 (http://www.bjut.edu.cn/)	7
天津	天津大学 (http://www.tju.edu.cn/)、天津科技大学 (http://www.tust.edu.cn/)、天津理工大学 (http://www.tjut.edu.cn/)、天津大学仁爱学院 (http://www.tjrac.edu.cn/)	4
河北	河北工业大学 (http://www.hebut.edu.cn/)、河北工业大学城市学院 (http://cc.hebut.edu.cn/)、河北科技大学 (http://www.hebust.edu.cn/)、河北科技大学理工学院 (http://hbklg.hebust.edu.cn/)、燕山大学 (http://www.ysu.edu.cn/)、燕山大学里仁学院 (http://stc.ysu.edu.cn/)、东北大学秦皇岛分校 (http://www.neuq.edu.cn/)、河北联合大学(原河北理工大学) (http://www.heut.edu.cn/)	8
山西	太原理工大学 (http://www.tyut.edu.cn/)、中北大学 (http://www.nuc.edu.cn/)、中北大学信息商务学院 (http://xxsw.nuc.edu.cn/)、太原科技大学 (http://www.tyust.edu.cn/)	4
内蒙古	内蒙古工业大学 (http://www.imut.edu.cn/)、内蒙古科技大学 (http://www.imust.cn/)	2
辽宁	大连理工大学 (http://www.dlut.edu.cn/)、沈阳化工大学 (http://www.syuct.edu.cn/)、沈阳理工大学 (http://www.sylu.edu.cn/)、辽宁石油化工大学 (http://www.lnpu.edu.cn/)、辽宁石油化工大学顺华能源学院 (http://www.lnshny.com/)、东北大学秦皇岛分校 (http://www.neuq.edu.cn/)、沈阳工业大学 (http://www.sut.edu.cn/)、大连大学 (http://www.dlu.edu.cn/)、辽宁工业大学(原辽宁工学院) (http://www.lnit.edu.cn/)	9
吉林	吉林化工学院 (http://www.jlict.edu.cn/)、长春理工大学 (http://www.cust.edu.cn/)	2
黑龙江	齐齐哈尔大学 (http://www.qqhru.edu.cn/)、东北石油大学(原大庆石油学院) (http://www.dqpi.edu.cn/)、东北石油大学华瑞学院 (http://www.hr-edu.com/)	3
安徽	合肥工业大学 (http://www.hfut.edu.cn/)、安徽工业大学 (http://www1.ahut.edu.cn/)、安徽理工大学 (http://www.aust.edu.cn/)、安徽工程大学(原安徽工程科技学院) (http://www.aust.edu.cn/)	4
上海	华东理工大学 (http://www.ecust.edu.cn/)、上海应用技术学院 (http://www.sit.edu.cn/)、上海理工大学 (http://www.usst.edu.cn/)	3

续表1-1

所在地区	高校名称	高校数量
江苏	南京工业大学(http://www.njut.edu.cn/)、江南大学(http://www.sytu.edu.cn/)、南京林业大学(http://www.njfu.edu.cn/)、常州大学(原江苏工业学院)(http://www.jpu.edu.cn/)、常州大学怀德学院(http://hdc.cczu.edu.cn/)、淮海工学院(http://www.hhit.edu.cn/)、中国矿业大学(http://www.cumt.edu.cn/)、中国矿业大学银川学院(http://www.cumtyc.com.cn/)、南京工程学院(http://www.njit.edu.cn/)、盐城工学院(http://www.ycit.cn/)	10
浙江	浙江大学(http://www.zju.edu.cn/)、浙江工业大学(http://www.zjut.edu.cn/)、浙江理工大学(http://www.zstu.edu.cn/)	3
福建	福州大学(http://www.fzu.edu.cn/)、福州大学至诚学院(http://www.fdzexy.com/)	2
江西	南昌大学(http://www.ncu.edu.cn/)、南昌大学科学技术学院(http://www.ndkj.com.cn/)	2
河南	郑州大学(http://www.zzu.edu.cn/)、郑州轻工业学院(http://www.zzili.edu.cn/)、河南工业大学(http://www.haut.edu.cn/)、洛阳理工学院(http://www.lit.edu.cn/)	4
湖北	华中科技大学(http://www.hust.edu.cn/)、武汉理工大学(http://www.whut.edu.cn/)、武汉工业学院(http://www.whpu.edu.cn/)、武汉工程大学(原武汉化工学院)(http://www.wit.edu.cn/)、武汉工程大学邮电与信息工程学院(http://www.witpt.edu.cn/)、江汉大学(http://www.jhun.edu.cn/)、长江大学(http://www.yangtzeu.edu.cn/)、长江大学工程技术学院(http://gcxy.yangtzeu.edu.cn/)	8
湖南	湘潭大学(http://www.xtu.edu.cn/)、南华大学(http://www.nhu.edu.cn/)、湖南工业大学(原株洲工学院)	3
广东	华南理工大学(http://www.scut.edu.cn/)、广东石油化工学院(原茂名学院)(http://www.mmc.edu.cn/)	2
广西	广西大学(http://www.gxu.edu.cn/)	1
四川	西南石油大学(http://www.swpu.edu.cn/)、四川大学(http://www.scu.edu.cn/)、四川理工学院(http://www.suse.edu.cn/)、西南科技大学(http://www.swust.edu.cn/)、西南科技大学城市学院(http://www.ccswust.com.cn/)	5
贵州	贵州大学(与贵州工业大学合并)(http://www.gzu.edu.cn/)	1
云南	昆明理工大学(http://www.kmust.edu.cn/)	1
陕西	西北大学(http://www.nwu.edu.cn/)、西安交通大学(http://www.xjtu.edu.cn/)、陕西科技大学(http://www.sust.edu.cn/)、西安石油大学(原西安石油学院)(http://www.xapi.edu.cn/)、延安大学(http://www.yau.edu.cn/)、榆林学院(http://www.yulinu.edu.cn/)	6
甘肃	甘肃工业大学(http://www.gsut.edu.cn/)、兰州交通大学(http://www.lzjtu.edu.cn/)、陇东学院(http://www.ldxy.edu.cn/)	3
青海	青海大学(http://www.qhu.edu.cn/)	1

续表1-1

所在地区	高校名称	高校数量
宁夏区	宁夏大学(http://www.nxu.edu.cn/)、北方民族大学(原西北第二民族学院)(http://www.nwsni.edu.cn/)	2
新疆	新疆大学(http://www.xju.edu.cn/)、新疆大学科学技术学院(http://www.kj.xju.edu.cn/)、新疆石油学院(www.xjpi.edu.cn)	3
总计数量	109	

1.1.2 培养目标

总体来说过程装备与控制工程覆盖了石油炼制、化学工艺与工程、制药生产、生物制品、食品加工、轻工等领域所需的全部装备及控制系统。因此本专业的培养目标是：培养具备化学工程、机械工程、控制工程和管理工程等方面的知识，能在化工、石油、能源、轻工、环保、医药、食品、机械及劳动安全等部门从事工程设计、技术开发、生产技术、经营管理以及工程科学研究等方面工作的高级工程技术人才。

1.1.3 教学内容

本专业主要学习化学、物理、物理化学、化工计算、工程热力学、化工原理、流体力学、粉体力学、工程力学、机械设计及计算机控制技术方面的基本理论和基本知识，受到工程设计、测控技能和工程科学研究的基本训练，掌握对化工单元设备及成套装备的优化设计、创新改造和新型化工装置技术开发研究的基本能力。

毕业生应获得的知识与能力：

- (1) 掌握化学工程、动力工程及工程热物理、机械工程、控制工程等学科的基本理论、基本知识；
- (2) 掌握化工单元设备和成套装备的设计方法与控制技术；
- (3) 熟悉国家关于化工装备设计、开发、研究、环境保护和安全防灾等方面的方针、政策和法规；
- (4) 了解化工装备与控制工程的理论前沿，了解新装置、新技术、新工艺的发展动态；
- (5) 掌握文献检索、资料查询的基本方法，具有一定的科学研究和实际工作能力。

1.1.4 专业内涵

过程装备与控制工程本科专业是机械大学科的一个分支，后相继并入炼油机械、轻工与食品机械，又增加了生物化工、精细化工和核电工业等方面的内容，使学科的内涵和深度有了很大的发展。它既属于机械领域，同时又服务于过程工业，自身的发展又需要机电控制。所谓过程工业，是指通过化学和物理的方法以达到改变物料性能的加工业，它涵盖了化学、化工、石油化工、食品、制药，甚至于冶金等众多行业部门。过程

工业所涉及的对象是流程性物料,从原料到产品需经过复杂的工艺过程,因而整个过程需要由为数众多的单元构成,而每一个单元均需要由能实现这一功能的设备来完成,将这些单元设备连在一起便构成过程装备。动力工程及工程热物理学学科是研究能量以热、功及其他相关的形式在转化、传递过程中的基本规律,以及按此规律有效地实现这些过程的设备及系统的应用科学及应用基础科学。它对整个国民经济和工程技术领域内起着支持和促进的作用,在工学门类中占有不可替代的地位。在长期发展的过程中,过程装备与控制工程得到不断升华和扩展,容纳了物理学的多个分支,并在近代进展中应用了数学、力学、机械工程、仪器科学、材料科学、电子技术、控制科学及计算机科学等学科的理论、方法和已有成果,形成自身独立的理论体系和实践范畴,为国民经济的可持续发展提供了良好的基础和前提。它不断在冶金、电子、交通运输、船舶与海洋工程、航空宇航工程、土木工程、水利工程、化学工程、矿业工程、农业工程、兵工科学、核科学、环境科学和生物医学工程等各个学科获得越来越广泛的应用。

过程装备与控制工程专业的研究生培养属于“化工过程机械”二级学科,它隶属于“动力工程及工程热物理”一级学科。化工过程机械”学科是国务院学位委员会1981年批准的首批具有硕士学位和博士学位授予权的学科之一。本学科是一个专业面广,为国民经济多个行业服务的、涵盖多种学科的交叉型二级学科。流体力学、热力学、粉体力学、燃烧学、传热学、传质学等工程热物理和化工过程原理的科学基础为本学科的重要理论基础。

本专业主要研究的内容包括:过程装备设计与制造,高效节能装备的开发,成套装置的开发与设计,成套工程,设备结构及强度理论,过程安全理论、技术与装备,流程参数控制理论与技术,制冷技术与装备,粉体理论与技术等。例如,过程工业中的传热设备及节能技术的研究;化工单元传质设备和相分离设备研究;化工过程用泵、压缩机等流体机械的研究与监控;压力容器及管道的设计、制造和安全保障的技术研究;过程设备的腐蚀、损伤与延寿技术的研究;非金属材料成型加工技术与设备的研究,等等。

凡是涉及热量传递、能量传递及质量传递过程的工业,均属于过程工业,而不仅仅是化学工业。从传统的观点来看,过程工业或者说是流程工业中涉及的所有的机器和设备,均属于过程装备,包括以下几大类:

- (1) 流体动力过程及设备。
- (2) 传热过程及设备。
- (3) 传质过程及设备。
- (4) 热力过程及设备。
- (5) 机械过程及设备。
- (6) 化学过程及设备。

1.1.5 行业现状

化工过程装备主要服务于现代大化工及与之相近地许多流程工业,是现代大化工中必不可少的工艺、设备、自控三大核心技术之一。过程装备服务面向的生产过程十分宽广,通常包括压力容器、过程设备、过程机器三大部分。随着我国石油化工业的飞速

发展并成为支柱产业之一，化工过程装备行业获得了迅猛的发展。

1.1.5.1 压力容器发展

在压力容器领域，最有代表性的是高压和超高压容器技术的发展。由于多种高强抗氢钢的开发和先进技术的发展，高压加氢反应器已由过去的冷壁技术发展今天的大型热壁技术。当今世界最大的高压加氢反应器内径达 6 米，壁厚 480 毫米，单台总重 1438 吨；采用锻焊结构，每段长 5 米，重 200 吨；材料为 3Cr-1Mo-1/4V 钢，堆焊层采用 316、347、316SS 钢等。我国已可制造内径 5 米、壁厚 300 毫米、单重 1 200 吨的大型加氢反应器，满足了千万吨级大型炼油装置的需要。目前正在研制的煤液化加氢反应器内径已达 5.5 米、壁厚 340 毫米、单重 2040 吨，是世界上最重的加氢反应器。在超高压聚乙烯管式反应器方面，国内已研制成了 3 万吨/年超高压反应器和冷却器，但国外采用的是先进的 Pilger 轧机冷旋轧制高压管材，而国内则还在采用效率低、耗材多的深孔钻法，技术上有明显差距。

在压力容器设计方面，我国目前是以 GB 150 及 JB 4732 等相关标准为基础开展的，它们要求承压设备在工艺规定的设计压力、设计温度及介质条件下，满足强度、刚度及稳定性要求。然而，现行设计标准与软件缺乏承压设备使用过程中失效机理与失效模式等数据库支撑，没有完全考虑压力容器全寿命过程中动态服役环境中的各种风险因素，在介质危害性问题上往往考虑的是由于均匀腐蚀引起减薄的预防，如设定一定的腐蚀裕量。对其它因服役环境引起的失效机理与失效模式考虑甚少，因而无法预先确定承压设备的使用寿命，使得承压设备要么由于设计制造要求不足在使用过程中往往发生突然失效或过早失效，无法保证其安全性；要么由于选材或制造工艺过高要求，造成不必要损耗，缺乏经济性。设计制造与使用相脱离引发的安全问题日益突出，与时间相关的退化机理影响已不得不在设计制造早期加以考虑，而最好的解决方案就是建立基于风险与寿命的承压设备设计制造技术方法平台。基于风险与寿命的设计（RBD）理念就是承压设备设计寿命（预定的使用寿命）内，考虑全寿命过程中动态服役条件下可能出现的各种失效模式和损伤机理产生的风险对设备安全性与寿命的影响。欧洲的 PED 指令要求压力容器在设计时应提交风险评估报告，在这个风险评估报告中要指出所设计制造压力容器在使用过程中主要失效模式与机理、主要失效模式的失效可能性、在设计制造中已采取哪些预防措施、在使用中应注意的问题等。2009 年 12 月 1 日正式实施的我国 TSGR0004—2009《固定式压力容器安全技术监察规程》3.6 条规定了对第Ⅲ类压力容器，设计时应出具包括主要失效模式、失效可能性及风险控制措施等内容的风评估报告。从此，我国重要固定式压力容器进入了基于风险与寿命设计的新时期。西南石油大学过程装备与控制工程课题组在中石油科研项目资助下完成了基于我国石油标准的Ⅲ类压力容器风险评估软件的开发并在中石油工程设计公司实施应用，大大提高了设计人员的工作效率，也提升了设计人员开展风险评估的整体水平。

在大型储罐方面，国内已开发成 1500 立方米的乙烯球罐，采用 CF62 低温钢，壁厚 44 毫米，操作压力 2.21Mpa，温度 -27°C 。国外最大的乙烯球罐达 3700 立方米，采用了低温高强钢如 N-TUF50、LT-50、LT-62、WEL-TEN80C、9Ni 等；而且还开发了双层结构新技术，使容积高达 1~2 万立方米，处于深冷低压状态，大大减少

了钢材用量。国内目前正在研发 13~30 万立方米大型双壁圆筒型低温液化气储罐（采用 16MnR）。国外最大的半地面储油罐已达 34 万立方米；国内可生产 12 万立方米储油罐，目前正在研发 20 万立方米大型油罐，采用了焊接线能量较大的高强钢 WH610D2。

1.1.5.2 过程设备发展

以现代大化工的核心内容之一的石化工业为例，我国石化装备从开始的成套引进，已逐渐发展到以国产为主、引进为辅的阶段，其中大型炼油成套装备的国产化率已经达到 90% 以上。最能反映一个国家科技与经济实力的百万吨级大型乙烯成套装备的国产化率也已接近 70%。目前只是引进少量国内暂时还不能设计制造，或者质量不过关、规格品种满足不料需要的关键装备。中国石油先后关闭了大庆林源、吉林江南、马岭、马家滩等 8 座小炼厂，合计炼油能力 1005 万吨/年，淘汰高耗低效装置 170 多套。特别是“十一五”以来，中国石油加大了对炼化化工业务的投入。炼油方面，相继建成了大连 2050 万吨/年、独山子 1000 万吨/年炼油项目，形成了兰州、大连、大连西太平洋、独山子、抚顺 5 大千万吨级炼油基地，2010 年建成广西 1000 万吨/年炼油项目。截至 2009 年底，中国石油炼油能力达到 1.49 亿吨/年，比 2000 年增长 27.5%，占全国的 34%。化工方面，建成了独山子 100 万吨/年乙烯，完成了吉林 85 万吨/年、兰州 70 万吨/年两个大乙烯改造，抚顺 100 万吨/年、四川 80 万吨/年乙烯正在加紧建设。在世界炼油能力不断增长的同时，欧、美、日炼油业界为了提高市场竞争力，不断关闭效益低下的小型炼厂，世界炼厂平均规模不断提高，从 1982 年的 492 万吨/年提高到 2009 年的 660 万吨/年。世界最大的 25 家炼油公司合计炼油能力 26.37 亿吨/年，占世界炼油总能力的 60.5%，比 1997 年提高 11.2 个百分点。世界炼油能力大于或等于 2000 万吨/年的炼厂共 21 座，合计炼油能力达 5.71 亿吨/年，占总炼油能力的 13.1%。上述情况表明，世界炼油产业的集中度进一步提高，炼油工业趋于大型化。乙烯工业同样如此，世界乙烯装置以乙烷为原料的最大规模为 135 万吨/年，以石脑油为原料的最大规模为 120 万吨/年，2006 年沙特阿拉伯的乙烯装置平均规模已经提高到 88 万吨/年，北美地区和新加坡乙烯平均规模在 65~77 万吨/年，中国、韩国、日本和印度则在 38~52 万吨/年。

鉴于过程设备尤其是大型石化设备大多处于高压、高温、有腐蚀、易爆易燃有毒等苛劣状态下操作，一旦发生事故就会造成重大损失，因此压力容器的安全评定与延寿技术就显得十分重要。这需要采用现代数学方法（如分形、模糊、概率分析等），将光声电传感检测、材料性能与状态分析、信息处理技术和计算机模拟分析等各种现代技术综合起来。目前已发展的综合评定技术有：综合应用定量金相技术、概率断裂力学评定技术与模糊综合评判等方法的寿命预测与延寿技术，裂纹分形效应与失效整体概率分析等。目前还在发展可直接在设备上直接评定的缺陷自动识别与计算机模拟技术等。为了进一步提高实时监测及在役检测的水平，正在发展许多先进技术，如多路光导、声发射、光学无损金相复型现场检测技术，可测定组织蠕变的磁声发射，可检测表面缺陷的高温超导量子干扰技术等。还有可在役检测带有保温层的压力容器损伤的脉冲或低频涡流检测、铁磁材料伸缩声发射检测、低频超声检测等新技术。同时，各种高强高韧钢与高耐蚀材料及其焊接成型等先进制造技术的研发也在同步配套发展，如抗氢蚀的 Cr—