



普通高等教育“十五”国家级规划教材

# 过程装备制造与检测

邹广华 刘 强 编著  
龙占云 审

3



化学工业出版社  
教材出版中心

普通高等教育“十五”国家级规划教材

# 过程装备制造与检测

邹广华 刘 强 编著  
龙占云 审

化学工业出版社  
教材出版中心  
·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

过程装备制造与检测/邹广华, 刘强编著. —北京:  
化学工业出版社, 2003. 7  
普通高等教育“十五”国家级规划教材  
ISBN 7-5025-4576-X

I. 过… II. ①邹…②刘… III. ①化工过程-化  
工设备-制造-高等学校-教材②化工过程-化工设备-  
检测-高等学校-教材 IV. TQ051

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 025979 号

---

普通高等教育“十五”国家级规划教材

过程装备制造与检测

邹广华 刘 强 编著

龙占云 审

责任编辑: 程树珍

文字编辑: 张燕文

责任校对: 郑 捷

封面设计: 蒋艳君

\*

化学工业出版社 出版发行  
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米×960 毫米 1/16 印张 22¼ 字数 408 千字

2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4576-X/G · 1245

定 价: 34.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

# 过程装备与控制工程学科的研究方向、趋势和前沿

## 代 序

人类的主要特点是能制造工具，富兰克林曾把人定义为制造工具的动物。通过制造和使用工具，人把自然物变成他的活动器官，从而延伸了他的肢体和感官。人们制造和使用工具，有目的、有计划地改造自然、变革自然，才有了名符其实的生产劳动。

现代人越来越依赖高度机械化、自动化和智能化的产业来创造财富，因此必然要创造出现代化的工业装备和控制系统来满足生产的需要。流程工业是加工制造流程性材料产品的现代国民经济支柱产业之一，必然要求越来越高度机械化、自动化和智能化的过程装备与控制工程。如果说制造工具是原始人与动物区别的最主要标志，那么就可以说，现代过程装备与控制系统是现代人类文明的最主要标志。

工程是人类将现有状态改造成所需状态的实践活动，而工程科学是关于工程实践的科学基础。现代工程科学是自然科学和工程技术的桥梁。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前苏联学习，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60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。其主要特点如下。

(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，如混合工程、反应工程、分离工程及其设备等，与一般机械设备完全不同，有其独特之处。

(2) 控制工程 对过程装备及其系统的状态和工况进行监测、控制，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

系统等)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。

过程装备与控制工程的上述特点就决定了其学科研究的领域十分宽广,一是要以机电工程为主干与工艺过程密切结合,创新单元工艺装备;二是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;三是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;同时要以现代系统论(Systemics)和耗散结构理论为指导,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,不断创新和发展过程装备与控制工程学科是我们的重要研究方向。

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、安全和风险评估等正在流程工业开始得到应用。工程科技界已开始移植和借鉴现代医学与疾病做斗争的理论和方法,去研究过程装备故障自愈调控(Fault Self-recovering Regulation),探讨装备医工程(Plant Medical Engineering)理论。

(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化的趋势。

(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。过程装备与控制工程学科的发展也必须依靠学科交叉和信息化,改变传统的生产观念和 production 模式,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、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。

(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、敏捷制造、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。

众所周知,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。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。

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的发展,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”,这是历史赋予我们过程装备与控制工程教育和科技工作者的历史重任。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,也要重视工程实践,实现产、学、研相结合。这样才能为结束我国过程装备“出不去,挡不住”的局面做出应有的贡献。

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、热能动力工程、化学工程、电子/电气工程、信息工程等工程技术的发展。我们不能只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科学技术,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。

实际上,早在 18 世纪末期,自然科学的研究就超出了自然界,从而包括了整个世界,即自然界和人工自然物。过程装备与控制工程属人工自然物,它也理所当然的是自然科学研究的对象之一。工程科学能把过程装备与控制工程在工程实践中的宝贵经验和初步理论精练成具有普遍意义的规律,这些工程科学的规律就可能含有自然科学里现在没有的东西。所以对工程科学研究的成果即工程理论加以分析,再加以提高就可能成为自然科学的一部分。钱学森先生曾提出:“工程控制论的内容就是完全从实际自动控制技术总结出来的,没有设计和运用控制系统的经验,绝不会有工程控制论。也可以说工程控制论在自然科学中是没有它的祖先的。”因此对现代过程装备与工程的研究也有可能创造出新的工程理论,为自然科学的发展做出贡献。

过程装备与控制工程学科的发展历史地落在我们这一代人的肩上,任重道远。我们深信,经过一代又一代人的努力奋斗,过程装备与控制工程这一新兴学科一定会兴旺发达,不但会为国民经济的发展建功立业,而且会为自然科学的发展做出应有的贡献。

高质量的精品教材是培养高素质人才的重要基础,因此编写面向 21 世纪的迫切需要的过程装备与控制工程“十五”规划教材,是学科建设的重要内容。遵照教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》,以邓小平理论为指导,全面贯彻国家的教育方针和科教兴国战略,面向现代化、面向世界、面向未来,充分发挥高等学校在教

材建设中的主体作用，在有关教师和教学指导委员会委员的共同努力下，过程装备与控制工程的“十五”规划教材陆续与广大师生和工程科技界读者见面了。这套教材力求反映近年来教学改革成果，适应多样化的教学需要；在选择教材内容和编写体系时注意体现素质教育和创新能力和实践能力的培养，为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。在此向所有为这些教材问世付出辛勤劳动的人们表示诚挚的敬意。

教材的建设往往滞后于教学改革的实践，教材的内容很难包含最新的科研成果，这套教材还要在教学和教改实践中不断丰富和完善；由于对教学改革研究深度和认识水平都有限，在这套书中不妥之处在所难免。为此，恳请广大读者予以批评指正。

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

北京化工大学 教授

中国工程院 院士

高永吉

2003 年 5 月 于北京

# 前 言

随着国内普通高等学校本科专业的建设和改革,原“化工设备与机械专业”名称已定为“过程装备与控制工程(080304)专业”(仍隶属于机械类),新的课程体系和课程内容的改革也在深入进行。

《过程装备制造与检测》教材于1999年编写,是在完成了面向21世纪高等学校教育科研成果《化工机械制造工艺课改革方案 and 教学基本要求的研究》基础上进行的。《过程装备制造与检测》是一门工程实践性很强的专业课,课程教学包括课堂教学,相应的实验和必要的生产实习,在“加强基础、密切结合工程实践、注重能力培养”的思想指导下,教研成果提出了开展工程教育的“四结合”:①课堂教学与工程实践相结合;②教学内容与工程法规相结合;③实验项目与工程问题相结合;④生产实习与典型产品生产相结合。这为本课程体系 and 课程内容的改革,为本教材的编写指明了方向、打下了基础。本教材的编写以生产中的产品为内容,在制造、检测等过程中密切结合国内、外的现行相关标准、法规。本教材既有先进的基础理论知识又有工程实际上的应用成果,是一本开拓型的创新教材,为普通高等工科院校深入教育、教学改革、开展工程教育,为培养面向21世纪的高等专业技术人才做出了重要的实践。本教材既可作为高等学校过程装备与控制工程等机械类专业的教学用书,也可作为从事化工、石油、制药、轻工、能源、电力、环保、食品等过程装备的设计、制造、检测、维修和经营、管理等工程技术人员或管理人员的参考书。

全书共分为Ⅲ篇,把检测部分放在第Ⅰ篇是考虑到在装备制造工艺过程中,检测工作是自始至终的,同时首先学习、了解检测内容,对全面掌握、控制装备制造的质量有利,对学习课程的后续内容有帮助,另外也方便了检测实验教学的安排。在过程装备检测这部分内容中,适当地增加了检测工艺,定期检测、常规检测,无损检测的缺陷等级评定,从而使装备检测部分内容更系统、全面,像在实际工程中和实际社会管理中的位置一样突出和重要。

本书第Ⅰ篇、第Ⅱ篇由邹广华教授编著,第Ⅲ篇由刘强副教授(博士)编著,全书由邹广华教授定稿。

本书由东北大学龙占云教授主审。

虽然准备较充分、编著认真,但鉴于作者水平有限,诚望指正。

编 者  
2002年12月

## 内 容 提 要

《过程装备制造与检测》全书分为绪论、第Ⅰ篇过程装备的检测、第Ⅱ篇过程装备制造工艺、第Ⅲ篇过程机器制造质量要求。

绪论中概括了课程讲授内容,以单层卷焊式压力容器为主介绍了其制造工艺,并介绍了国内外压力容器制造的现状及发展情况。同时介绍了机加工零件、产品质量的衡量标准及影响因素。

第Ⅰ篇中较详细地介绍了装备用材料、制造和运行中的常见缺陷及在制造和运行中的常用无损检测、定期检测的方法和要求。

第Ⅱ篇中以承压壳体的筒节和封头为主,突出介绍了影响壳体质量的关键工序:焊接、成形等工艺内容。

第Ⅲ篇中以典型机器零件制造为例,分析了影响机械加工质量的主要因素,介绍了制订机械加工工艺规程的要点和装配要求。

全书内容贯彻实施工程教育精神,紧密结合工程法规、标准,具有先进的理论上的知识,又有丰富的工程实际上的应用成果,使本书既可作为相关专业普通高校的教材,又可作为工程技术人员的参考书。

作为教学用书时,由于各学校的培养方向、授课学时等情况不同,对教材内的工艺过程应有基本的了解,较详细的工艺内容可适当选择,以达到各自的教学基本要求。

# 目 录

|                        |   |                                 |   |
|------------------------|---|---------------------------------|---|
| 绪论 .....               | 1 | 0.2.2 压力容器用钢的发展 .....           | 7 |
| 0.1 课程内容 .....         | 1 | 0.2.3 焊接新材料、新技术的产生和<br>应用 ..... | 7 |
| 0.1.1 过程设备制造部分 .....   | 1 | 0.2.4 无损检测技术的可靠性逐步提高<br>.....   | 8 |
| 0.1.2 过程机器制造部分 .....   | 5 | 复习题 .....                       | 9 |
| 0.2 压力容器制造技术的进展 .....  | 5 |                                 |   |
| 0.2.1 压力容器向大型化发展 ..... | 5 |                                 |   |

## 第 I 篇 过程装备的检测

|                                  |    |                                 |    |
|----------------------------------|----|---------------------------------|----|
| 1 装备制造的定期检测 .....                | 10 | 试块 .....                        | 37 |
| 1.1 定期检测 .....                   | 10 | 3.2 超声波检测缺陷 .....               | 43 |
| 1.1.1 外部检测 .....                 | 10 | 3.2.1 检测前的准备 .....              | 43 |
| 1.1.2 内外部检测 .....                | 10 | 3.2.2 缺陷的检测 .....               | 46 |
| 1.1.3 全面检测 .....                 | 11 | 3.3 超声检测焊接接头的缺陷等级评定 .....       | 51 |
| 1.2 常规检测 .....                   | 12 | 3.3.1 超声检测焊接接头的等级选择 .....       | 51 |
| 1.2.1 直观检测 .....                 | 12 | 3.3.2 缺陷评定 .....                | 51 |
| 1.2.2 工具检测 .....                 | 12 | 3.3.3 检测结果的分级 .....             | 52 |
| 1.2.3 理化检测 .....                 | 13 | 复习题 .....                       | 52 |
| 复习题 .....                        | 14 | 4 表面检测及缺陷等级评定 .....             | 54 |
| 2 射线检测及缺陷等级评定 .....              | 15 | 4.1 磁粉检测 .....                  | 54 |
| 2.1 X射线、 $\gamma$ 射线的产生和性质 ..... | 15 | 4.1.1 磁粉检测原理 .....              | 54 |
| 2.1.1 X射线的产生 .....               | 15 | 4.1.2 影响漏磁场强度的主要因素 .....        | 54 |
| 2.1.2 $\gamma$ 射线的产生 .....       | 15 | 4.1.3 磁粉检测的特点 .....             | 55 |
| 2.1.3 射线的性质 .....                | 16 | 4.1.4 磁化方法及特点 .....             | 55 |
| 2.2 射线检测的原理和准备 .....             | 16 | 4.1.5 磁化规范 .....                | 57 |
| 2.2.1 射线检测原理 .....               | 16 | 4.1.6 磁粉 .....                  | 59 |
| 2.2.2 射线检测准备 .....               | 16 | 4.1.7 退磁 .....                  | 60 |
| 2.3 焊缝射线透照缺陷等级评定 .....           | 24 | 4.1.8 磁痕评定和缺陷等级评定 .....         | 61 |
| 2.4 射线防护 .....                   | 28 | 4.2 渗透检测 .....                  | 62 |
| 复习题 .....                        | 30 | 4.2.1 基本原理和特点 .....             | 62 |
| 3 超声波检测及缺陷等级评定 .....             | 32 | 4.2.2 方法分类和选用 .....             | 63 |
| 3.1 超声波检测的基础知识 .....             | 32 | 4.2.3 对比试块 .....                | 64 |
| 3.1.1 超声波及其特性 .....              | 32 | 4.2.4 缺陷显示痕迹分类和缺陷等级<br>评定 ..... | 65 |
| 3.1.2 超声波的种类及应用 .....            | 32 | 复习题 .....                       | 65 |
| 3.1.3 超声波探伤仪、探头、耦合剂、             |    |                                 |    |

## 第 II 篇 过程装备制造工艺

|                   |    |                |    |
|-------------------|----|----------------|----|
| 5 钢制压力容器的焊接 ..... | 66 | 5.1 焊接接头 ..... | 66 |
|-------------------|----|----------------|----|

|                                   |     |                                   |     |
|-----------------------------------|-----|-----------------------------------|-----|
| 5.1.1 分类 .....                    | 66  | 6.2.2 号料(放样) .....                | 167 |
| 5.1.2 基本形式和特点 .....               | 67  | 6.2.3 标记和标记移植 .....               | 171 |
| 5.1.3 组织与性能 .....                 | 72  | 复习题 .....                         | 172 |
| 5.1.4 坡口 .....                    | 75  | <b>7 成形加工</b> .....               | 173 |
| 5.1.5 表示符号 .....                  | 76  | 7.1 筒节的弯卷成形 .....                 | 173 |
| 5.1.6 焊接坡口的选择和设计 .....            | 79  | 7.1.1 冷卷成形的特点 .....               | 173 |
| <b>5.2 常用焊接方法及其焊接工艺</b> .....     | 79  | 7.1.2 热卷成形的特点 .....               | 174 |
| 5.2.1 手工电弧焊 .....                 | 79  | 7.1.3 卷板机及弯卷工艺 .....              | 175 |
| 5.2.2 埋弧自动焊 .....                 | 90  | 7.2 封头的成形 .....                   | 182 |
| 5.2.3 气体保护电弧焊 .....               | 103 | 7.2.1 封头的冲压成形 .....               | 183 |
| 5.2.4 电渣焊 .....                   | 119 | 7.2.2 封头的旋压成形 .....               | 195 |
| 5.2.5 窄间隙焊 .....                  | 123 | 7.2.3 封头的爆炸成形 .....               | 197 |
| 5.2.6 焊接材料的选择 .....               | 124 | 7.2.4 封头制造的质量要求 .....             | 199 |
| <b>5.3 常用钢材的焊接</b> .....          | 124 | 7.3 管子的弯曲 .....                   | 200 |
| 5.3.1 金属材料的焊接性 .....              | 124 | 7.3.1 管子弯曲的应力分析和变形<br>计算 .....    | 201 |
| 5.3.2 碳钢的焊接 .....                 | 132 | 7.3.2 弯管方法 .....                  | 203 |
| 5.3.3 低合金钢的焊接 .....               | 135 | 7.3.3 管件制造的技术要求 .....             | 209 |
| 5.3.4 奥氏体不锈钢的焊接 .....             | 143 | 复习题 .....                         | 211 |
| 5.3.5 铝及铝合金的焊接 .....              | 146 | <b>8 典型压力容器</b> .....             | 212 |
| 5.3.6 钛及钛合金的焊接 .....              | 147 | 8.1 管壳式换热器 .....                  | 212 |
| 5.3.7 异种金属的焊接 .....               | 148 | 8.1.1 主要零部件、分类及代号 .....           | 213 |
| <b>5.4 焊后热处理</b> .....            | 149 | 8.1.2 结构特点与应用 .....               | 216 |
| 5.4.1 目的和规范 .....                 | 149 | 8.1.3 壳体组对焊接的要求与管子<br>管板的连接 ..... | 217 |
| 5.4.2 方法 .....                    | 151 | 8.2 高压容器的制造 .....                 | 219 |
| 5.4.3 钢制压力容器应进行焊后热处<br>理的条件 ..... | 153 | 8.2.1 单层和多层容器制造的比较 .....          | 219 |
| 复习题 .....                         | 154 | 8.2.2 热套式高压容器 .....               | 220 |
| <b>6 受压壳体制造的准备</b> .....          | 155 | 8.2.3 扁平钢带倾角错绕式高压<br>容器 .....     | 221 |
| 6.1 钢材的预处理 .....                  | 155 | 8.2.4 层板包扎式高压容器 .....             | 221 |
| 6.1.1 净化处理 .....                  | 155 | 复习题 .....                         | 223 |
| 6.1.2 矫形 .....                    | 159 |                                   |     |
| 6.2 划线 .....                      | 164 |                                   |     |
| 6.2.1 零件的展开计算 .....               | 164 |                                   |     |

### 第Ⅲ篇 过程机器制造的质量要求

|                              |     |                                    |     |
|------------------------------|-----|------------------------------------|-----|
| <b>9 机械加工工艺规程</b> .....      | 224 | 9.2.2 机械加工工艺规程的作用 .....            | 230 |
| 9.1 概述 .....                 | 224 | 9.2.3 制订机械加工工艺规程的原始<br>资料和步骤 ..... | 230 |
| 9.1.1 生产过程和机械加工工艺过程<br>..... | 224 | 9.3 零件的工艺分析和毛坯的选择 .....            | 231 |
| 9.1.2 机械加工工艺过程的组成 .....      | 224 | 9.3.1 零件的技术要求分析 .....              | 231 |
| 9.1.3 生产纲领和生产类型 .....        | 226 | 9.3.2 零件的结构工艺性分析 .....             | 231 |
| 9.2 机械加工工艺规程 .....           | 228 | 9.3.3 毛坯的选择 .....                  | 235 |
| 9.2.1 机械加工工艺规程的格式 .....      | 228 | 9.4 工件的定位基准的选择 .....               | 237 |

|                                   |     |                                     |     |
|-----------------------------------|-----|-------------------------------------|-----|
| 9.4.1 基准的概念及其分类 .....             | 237 | 10.4.5 减小工艺系统热变形的途径 ...             | 298 |
| 9.4.2 定位基准的选择 .....               | 239 | 10.5 工件残余应力引起的变形 .....              | 301 |
| 9.4.3 工件的定位和夹紧 .....              | 243 | 10.5.1 产生残余应力的主要原因 .....            | 301 |
| 9.5 机械加工工艺路线的拟定 .....             | 251 | 10.5.2 减小残余应力及其所引起<br>变形的措施 .....   | 302 |
| 9.5.1 表面加工方法的选择 .....             | 251 | 复习题 .....                           | 303 |
| 9.5.2 加工顺序的安排 .....               | 255 | <b>11 机械加工表面质量</b> .....            | 305 |
| 9.5.3 工序集中与工序分散 .....             | 257 | 11.1 概述 .....                       | 305 |
| 9.5.4 机床和工艺装备的选择 .....            | 258 | 11.1.1 机械加工表面质量的概念 .....            | 305 |
| 9.6 加工余量和工序尺寸的确定 .....            | 258 | 11.1.2 机械加工表面质量对零件<br>使用性能的影响 ..... | 305 |
| 9.6.1 加工余量及其影响因素 .....            | 258 | 11.2 影响加工表面质量的工艺因素 .....            | 307 |
| 9.6.2 确定加工余量的方法 .....             | 261 | 11.2.1 切削加工时的影响因素 .....             | 307 |
| 9.6.3 工序尺寸及其公差确定 .....            | 261 | 11.2.2 磨削加工时的影响因素 .....             | 311 |
| 复习题 .....                         | 271 | 11.3 表面强化工艺 .....                   | 313 |
| <b>10 机械加工精度</b> .....            | 273 | 11.3.1 滚压加工 .....                   | 313 |
| 10.1 概述 .....                     | 273 | 11.3.2 喷丸强化 .....                   | 314 |
| 10.2 工艺系统的几何误差 .....              | 273 | 复习题 .....                           | 315 |
| 10.2.1 原理误差 .....                 | 274 | <b>12 装配工艺</b> .....                | 317 |
| 10.2.2 机床的几何误差 .....              | 274 | 12.1 概述 .....                       | 317 |
| 10.2.3 装夹误差和夹具误差 .....            | 279 | 12.1.1 装配的概念 .....                  | 317 |
| 10.2.4 刀具误差 .....                 | 279 | 12.1.2 装配精度 .....                   | 318 |
| 10.2.5 调整误差 .....                 | 280 | 12.1.3 装配的组织形式 .....                | 319 |
| 10.3 工艺系统的受力变形 .....              | 281 | 12.2 装配尺寸链 .....                    | 320 |
| 10.3.1 基本概念 .....                 | 281 | 12.2.1 基本概念 .....                   | 320 |
| 10.3.2 工艺系统受力变形对加工<br>精度的影响 ..... | 283 | 12.2.2 装配尺寸链的建立 .....               | 322 |
| 10.3.3 减小工艺系统受力变形的<br>途径 .....    | 290 | 12.2.3 装配尺寸链的计算 .....               | 323 |
| 10.4 工艺系统的热变形 .....               | 293 | 12.3 装配方法及其选择 .....                 | 327 |
| 10.4.1 概述 .....                   | 293 | 12.3.1 互换装配法 .....                  | 328 |
| 10.4.2 机床热变形对加工精度的<br>影响 .....    | 294 | 12.3.2 分组装配法 .....                  | 331 |
| 10.4.3 刀具热变形对加工精度的<br>影响 .....    | 295 | 12.3.3 修配装配法 .....                  | 333 |
| 10.4.4 工件热变形对加工精度的<br>影响 .....    | 297 | 12.3.4 调整装配法 .....                  | 337 |
|                                   |     | 12.3.5 装配方法的选择 .....                | 340 |
|                                   |     | 复习题 .....                           | 340 |
|                                   |     | <b>参考文献</b> .....                   | 342 |

# 绪 论

## 0.1 课程内容

过程装备主要是指化工、石油、制药、轻工、能源、环保和食品等行业生产工艺过程中所涉及的关键典型装备。从过程装备制造角度可将上述过程装备大致分为两大类：以焊接为主要制造手段的过程设备部分，如换热器、塔器、反应容器、储存容器及锅炉等；以机械加工为主要制造手段的过程机器部分，如泵、压缩机、离心机等。另外，过程装备也包含由于各种特殊生产工艺要求，如吸附、离子交换、膜分离技术等而以综合制造手段生产的各种工艺装置。

过程装备制造对于过程装备与控制工程专业来讲，应该突出过程设备的制造内容，这也正是本专业与其他机械类专业的重要区别，同时也应该掌握过程机器在制造过程中影响制造质量的主要因素和原因，以利于在实际工作中对机器选型、维修、管理等。在装备制造的全过程中必须要进行检测工作，为此本书分三部分予以介绍：第Ⅰ篇过程装备的检测；第Ⅱ篇过程设备制造工艺；第Ⅲ篇过程机器制造质量要求。

### 0.1.1 过程设备制造部分

在设备制造过程中，要涉及很多零部件的制造，最重要的或者说直接影响到安全生产的承压部件的制造是最关键的。例如，一台列管式换热器主要由壳体、接管、法兰、支座、管板、管束等零部件所组成，承压壳体的制造是核心问题。同样，塔器、反应容器、储存容器及锅炉等过程设备制造中最重要核心问题也是承压壳体的制造问题。了解、掌握了承压壳体的制造工艺内容也就抓住了过程设备制造的重点。

#### (1) 压力容器的压力等级

按压力容器的设计压力( $p$ )分为低压、中压、高压、超高压四个压力等级，划分如下。

- ① 低压(代号 L)  $0.1\text{MPa} \leq p < 1.6\text{MPa}$
- ② 中压(代号 M)  $1.6\text{MPa} \leq p < 10\text{MPa}$
- ③ 高压(代号 H)  $10\text{MPa} \leq p < 100\text{MPa}$
- ④ 超高压(代号 U)  $p \geq 100\text{MPa}$

#### (2) 压力容器的种类

按压力容器在生产工艺过程中的作用原理，将压力容器分为反应压力容器、换热压力容器、分离压力容器、储存压力容器。

a. 反应压力容器(代号 R) 主要用于完成介质的物理、化学反应的压力容器，如反应釜、合成塔、煤气发生炉等。

b. 换热压力容器(代号 E) 主要用于完成介质的热量交换的压力容器，如热交换器、冷却器、冷凝器、管壳式余热锅炉、加热器等。

c. 分离压力容器 (代号 S) 主要用于完成介质的流体压力平衡和气体净化分离等的压力容器, 如分离器、过滤器、吸收塔、干燥塔等。

d. 储存压力容器 (代号 C, 其中球罐代号 B) 主要用于盛装生产用的原料气体、液体、液化气体等的压力容器, 如各种型式的储罐。

### (3) 压力容器的划分

为有利于安全技术监督和管理, 按压力容器的工作条件将压力容器划分为三类。

#### a. 第三类压力容器 (下列情况之一)

① 毒性程度为极度和高度危害介质的中压容器和  $p \cdot V \geq 0.2 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$  的低压容器。

② 易燃或毒性程度为中度危害介质且  $p \cdot V \geq 0.5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$  的中压反应容器和  $p \cdot V \geq 10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$  的中压储存容器。

③ 高压、中压管壳式余热锅炉。

④ 高压容器。

#### b. 第二类压力容器 (下列情况之一)

① 中压容器 [第 a 条规定除外]。

② 易燃介质或毒性程度为中度危害介质的低压反应容器和储存容器。

③ 毒性程度为极度和高度危害介质的低压容器。

④ 低压管壳式余热锅炉。

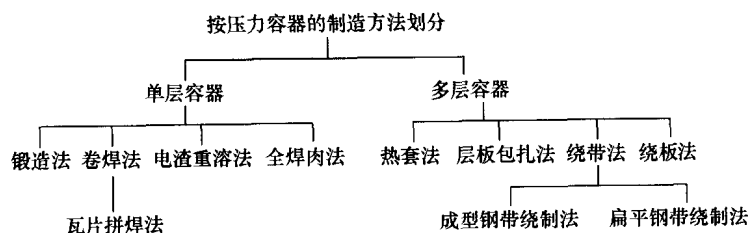
⑤ 搪玻璃压力容器。

#### c. 第一类压力容器

除第 a、b 条规定外, 为第一类压力容器。

目前, 压力容器按制造方法不同可分为单层容器和多层容器两大类。见表 0-1。

表 0-1 压力容器的品种



上述压力容器的几种制造方法 (除全焊肉法外), 国内均已采用, 其中大型压力容器以热套法和单层卷焊法制造, 尤其是后者最为常用。

某超高压锅炉汽包的主要制造工艺流程 (单层卷焊法制造压力容器) 如图 0-1 所示, 材料为 BHW-35 (前西德); 内径为  $\phi 1600 \text{ mm}$ , 厚  $80 \text{ mm}$ 。

中国年产 30 万 t 合成氨塔壳体的主要制造工艺流程如图 0-2 所示。该壳体用热套法制造, 三层热套式结构。大筒体内径  $\phi 3200 \text{ mm}$ , 由三层  $50 \text{ mm}$  的钢板热套式制造, 小筒体内径  $\phi 1100 \text{ mm}$ , 单层  $50 \text{ mm}$  钢板, 材料均为 18MnMoNb; 封头为单层  $110 \text{ mm}$  的 BHW-35 (前西德) 钢板冲压成型。

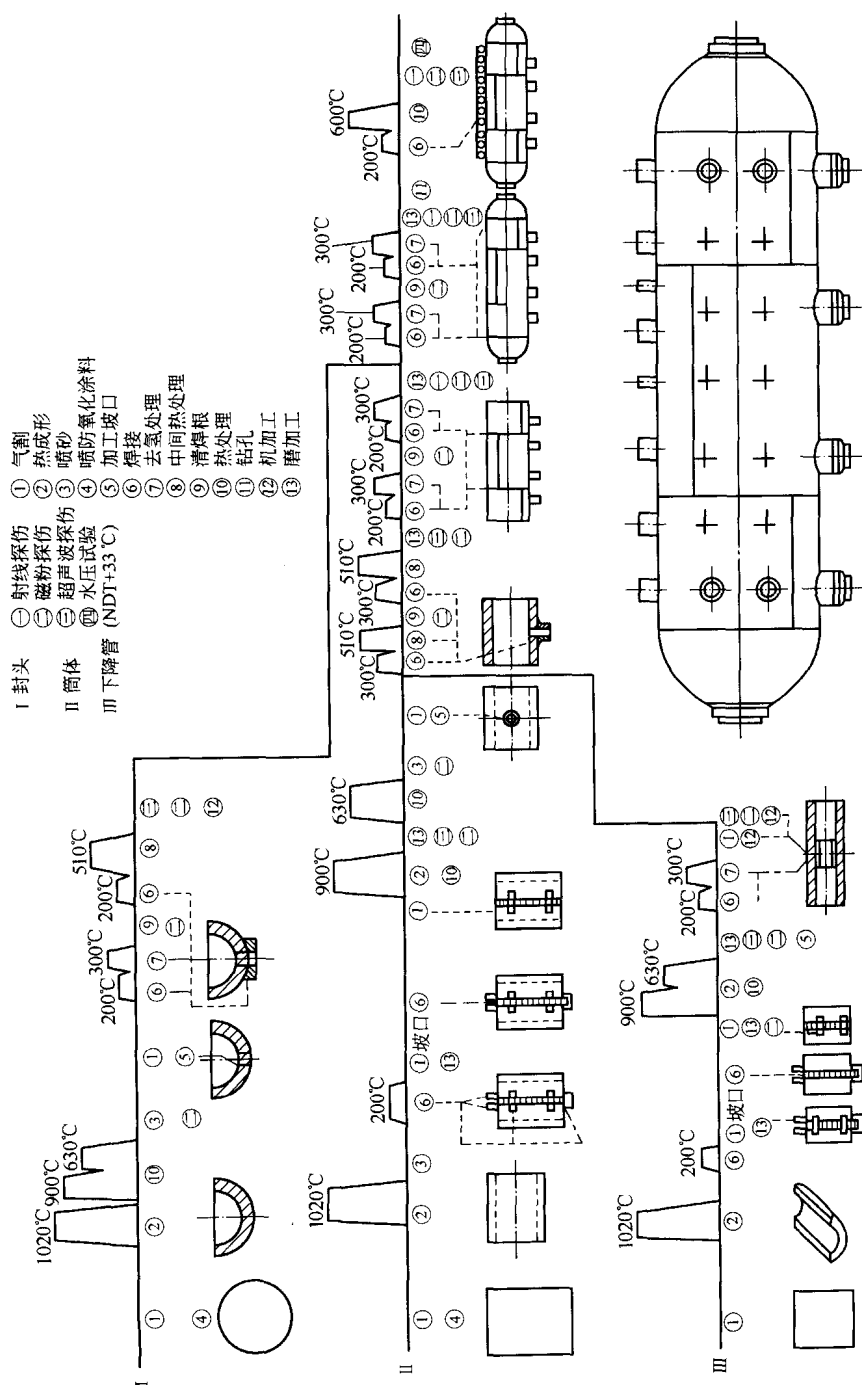


图 0-1 超高压锅炉汽包制造流程

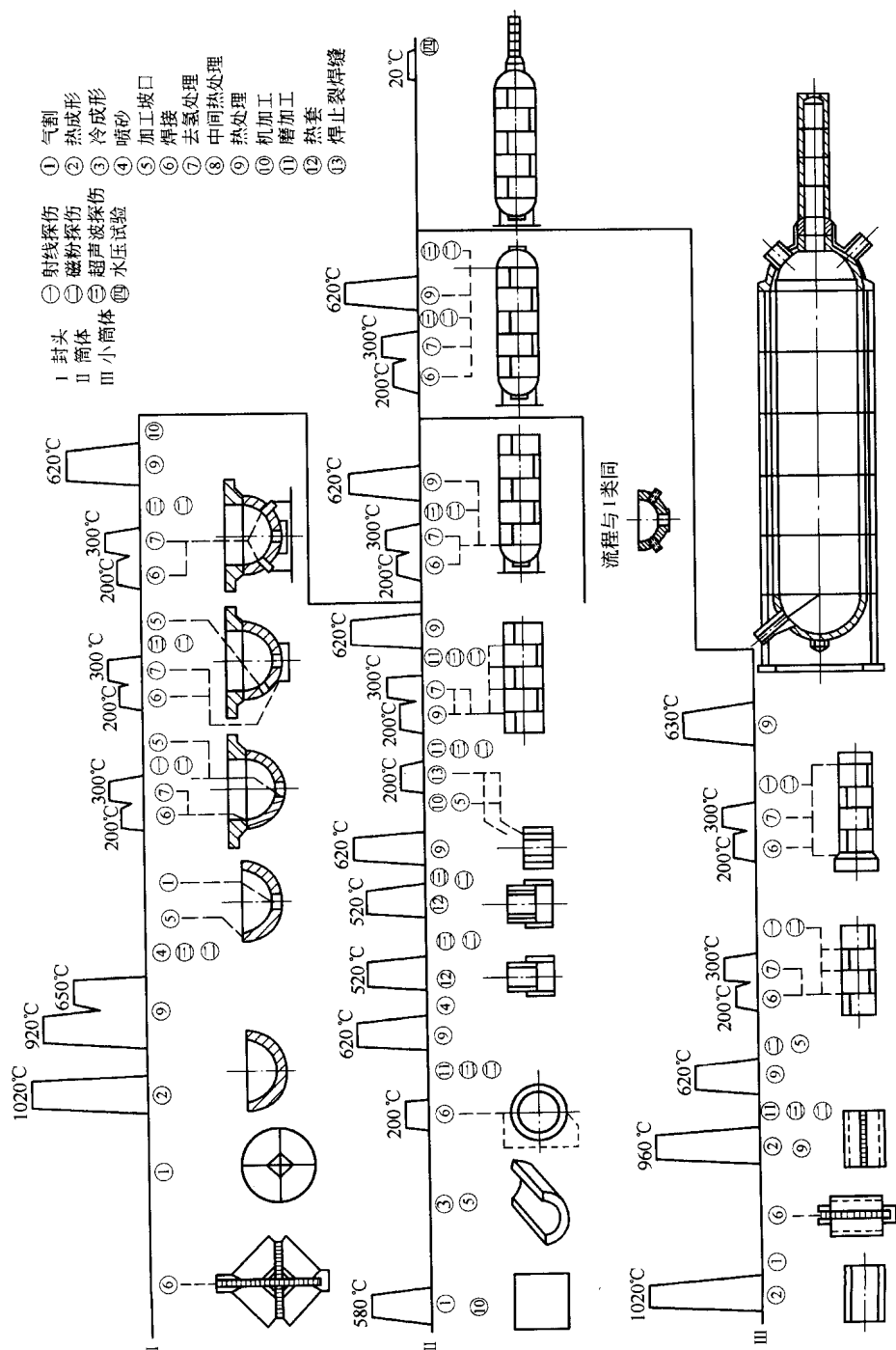


图 0-2 氨合成塔制造流程

从以上两例壳体制造工艺流程上清楚地看出其基本的制造工艺流程大致为：选择材料→复检材料→净化处理→矫形→划线（包括零件的展开计算、留余量、排料）→切割→成型（包括筒节的卷制、封头的加工成型、管子的弯曲等）→组对装配→焊接→热处理→检验（无损检测、耐压实验等）。

本书将以单层卷焊式结构为主，介绍压力容器的材料、成型、焊接和检测等制造工艺内容，与“过程设备设计”等课程配套形成本专业的一个特点。

### 0.1.2 过程机器制造部分

本专业隶属于机械类，工程实践中要求本专业工程技术人员要掌握一些典型机器（如泵、压缩机、离心机等）中的重要零部件及整机的制造工艺内容。本专业与机械类专业有所不同，课程体系受学时及专业特点限制，不可能将“机械制造工程学”课程中的金属切削原理、切削机床、机械制造工艺和机床夹具设计原理等内容都介绍，但由于机器中的重要零件（如轴类、箱体等）的制造工艺是相同的，因此本书重点介绍了机械制造工艺的基本理论知识，衡量机加工零件产品质量的主要标准（机加工精度和表面质量），机加工工艺规程的制定等内容。

过程机器制造工艺内容与专业课“过程流体机械”等课程配套形成了本专业的另一个特点。

## 0.2 压力容器制造技术的进展

随着化工、石油、能源、锅炉等工业的迅速发展，近年来压力容器制造技术的进展主要表现在以下四个方面：①压力容器向大型化发展，容器的直径、厚度和质量等参数增大，容器的工作条件，如温度、压力、介质越来越恶劣、复杂，而且这一大型化的趋势仍在继续；②压力容器用钢逐渐完善，专业用钢特点越来越明显；③焊接新材料、新技术的不断出现和使用，使焊接质量日趋稳定并提高；④无损检测技术的可靠性逐步提高，有力地保证了装备制造及运行的安全。

### 0.2.1 压力容器向大型化发展

压力容器的大型化可以节约能源、节约材料、降低投资、降低生产成本、提高生产效率。近年来压力容器大型化的趋势仍在继续，国外大型容器的参数见表 0-2。

表 0-2 国外大型容器的参数

| 容 器              | 设计压力<br>/MPa | 设计温度<br>/℃ | 材 料                        | 制造型式     | 内径/mm     | 壁厚/mm   | 单台质量/t   | 制 造 厂  |
|------------------|--------------|------------|----------------------------|----------|-----------|---------|----------|--------|
| 加 氢 脱<br>硫 反 应 器 | 15~22        | 400~470    | $2\frac{1}{4}\text{Cr1Mo}$ | 锻焊       | 2800~4500 | 150~300 | 200~1200 | 日本 JSW |
| 氨 合 成<br>塔       | 15~38        | 200~450    | $2\frac{1}{4}\text{Cr1Mo}$ | 螺旋包<br>扎 | 2900      | 212     | 380      | 日本 NKK |