



高等院校“十一五”规划教材

# 过程装备制造工艺

王文友 主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

高等院校“十一五”规划教材

# 过程装备制造工艺

王文友 主编  
王宗明 宣征南 副主编  
王世杰 审

中国石化出版社

## 内 容 提 要

《过程装备制造工艺》全书分为绪论、机械加工工艺规程、过程机器典型零件制造工艺、装配工艺、过程设备壳体制造的准备工序、成型加工工艺、过程设备的组装机工艺、过程设备的焊接工艺、典型过程设备制造、过程设备制造的检验与质量评定、过程设备制造的质量管理、超限设备、过程设备热处理共十二章。

全书内容贯彻实施工程教育，密切结合工程标准、法规，有丰富的工程实际应用成果，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。

本书适用于普通高等学校40~64学时《过程装备制造工艺》课程的教学。

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，对教材内容可适当选择，以达到各自的教学基本要求。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

过程装备制造工艺 / 王文友主编. —北京: 中国石化出版社, 2009  
高等院校“十一五”规划教材  
ISBN 978-7-80229-927-6

I. 过… II. 王… III. 化工过程-化工设备-机械制造工艺-高等学校-教材 IV. TQ051.06

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 071541 号

未经本社书面授权，本书任何部分不得被复制、抄袭，或者以任何形式或任何方式传播。版权所有，侵权必究。

### 中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京科信印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

\*

787×1092 毫米 16 开本 23.75 印张 440 千字

2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷

定价:39.80 元

# 前 言

为适应石油化工领域对过程装备与控制工程专业应用型人才培养的需要,石油化工高等院校专业教材协作组组织国内部分石油化工院校进行教材建设,并组织沈阳工业大学、中国石油大学、茂名学院、北京石油化工学院等院校,共同编写了这本《过程装备制造工艺》教材。

《过程装备制造工艺》是高等学校过程装备与控制工程专业学生必修的一门专业课,学生通过本课程的学习为过程装备的制造、维修打下良好的基础。

为了培养面向21世纪的高等应用型专业人才,参编人员总结多年工程实践、开展工程教育和教学改革的经验,力求创新。教材的主要特点如下:

1. 教材满足石油化工领域应用型本科《过程装备制造工艺》课程教学用书,同时又可以作为高职院校和现场工程技术人员的参考书;
2. 教材内容上有适当的理论,重点强化工程理念,突出工程应用特色;
3. 教材中的例题和习题尽可能多地选择工程实例,做到真、实,解决应用型人才毕业后“上手慢”的问题;
4. 结合教材内容适当编入典型零件的制造工艺卡设计、工艺装备设计;
5. 教材内容体现新标准、新知识、新技术、新方法,适当留有供自学和拓宽专业的知识内容。

本教材的内容包括绪论、机械加工工艺规程、过程机器典型零件制造工艺、装配工艺、过程设备壳体制造的准备工序、成型加工工艺、过程设备的组装工艺、过程设备的焊接工艺、典型过程设备制造、过程设备制造的检验与质量评定、过程设备制造的质量管理、超限设备、过程设备热处理共十二章。

本教材第一章、第二章由沈阳工业大学刘波编写;第六章、第八章由茂名学院宣征南编写;第七章、第九章、第十章由中国石油大学

王宗明编写；第十一章、第十二章由北京石油化工学院王中辉、雷俊勇编写；绪论、第三章、第四章、第五章由王文友编写，全书由王文友最后统稿。

在编写过程中，中国石油辽阳石化分公司机械厂翟英明高级工程师帮助校阅书稿，并提出了许多有价值的修改意见，在此表示感谢。

本书由沈阳工业大学王世杰教授主审。

鉴于作者水平有限，虽然编写认真，但书中内容定有不妥之处，诚望读者批评指正。

编 者

# 目 录

绪论 .....	( 1 )
----------	-------

## 第一篇 过程机器制造工艺

第 1 章 机械加工工艺流程 .....	( 3 )
1.1 概述 .....	( 3 )
1.1.1 生产过程和机械加工工艺流程 .....	( 3 )
1.1.2 机械加工工艺流程的组成 .....	( 3 )
1.1.3 生产纲领和生产类型 .....	( 5 )
1.2 机械加工工艺流程 .....	( 7 )
1.2.1 机械加工工艺流程的格式 .....	( 7 )
1.2.2 机械加工工艺流程的作用 .....	( 9 )
1.2.3 制订机械加工工艺流程的原始资料和步骤 .....	( 10 )
1.3 零件的结构工艺性分析和毛坯的选择 .....	( 11 )
1.3.1 技术要求 .....	( 11 )
1.3.2 结构工艺性分析 .....	( 11 )
1.3.3 毛坯的选择 .....	( 15 )
1.4 工件定位基准的选择 .....	( 18 )
1.4.1 基准的概念及其分类 .....	( 18 )
1.4.2 定位基准的选择 .....	( 20 )
1.4.3 工件的定位和夹紧 .....	( 25 )
1.5 机械加工工艺路线的拟定 .....	( 34 )
1.5.1 表面加工方法的选择 .....	( 34 )
1.5.2 加工顺序的安排 .....	( 38 )
1.5.3 工序集中与工序分散 .....	( 41 )
1.5.4 机床和工艺装备的选择 .....	( 42 )
1.6 加工余量和工序尺寸的确定 .....	( 42 )
1.6.1 加工余量及其影响因素 .....	( 42 )
1.6.2 确定加工余量的方法 .....	( 45 )
1.6.3 工序尺寸及其公差确定 .....	( 45 )
1.7 计算机辅助工艺规程设计(CAPP) .....	( 57 )

1.7.1	CAPP(Computer Aided Process Planning)应用原理 .....	( 57 )
1.7.2	CAPP 基本概念及发展趋势 .....	( 58 )
1.7.3	零件分类编码和成组工艺 .....	( 61 )
1.7.4	数控工艺及其设计标准化 .....	( 70 )
复习题	.....	( 71 )
<b>第 2 章</b>	<b>过程机器典型零件制造工艺</b> .....	( 73 )
2.1	离心机主轴的制造工艺 .....	( 73 )
2.1.1	离心机主轴的功用、结构特点和技术要求 .....	( 73 )
2.1.2	离心机主轴制造工艺规程的拟定 .....	( 74 )
2.2	活塞式压缩机连杆的制造工艺 .....	( 81 )
2.2.1	连杆的功用、结构特点和技术要求 .....	( 81 )
2.2.2	连杆的制造工艺规程 .....	( 82 )
2.3	离心泵叶轮的制造工艺 .....	( 88 )
2.3.1	离心泵叶轮的功用、结构特点和技术要求 .....	( 88 )
2.3.2	离心泵叶轮的制造工艺特点 .....	( 92 )
2.3.3	离心泵叶轮的加工工艺过程 .....	( 93 )
复习题	.....	( 95 )
<b>第 3 章</b>	<b>装配工艺</b> .....	( 96 )
3.1	概述 .....	( 96 )
3.1.1	装配的概念 .....	( 96 )
3.1.2	装配精度 .....	( 97 )
3.1.3	装配的组织形式 .....	( 99 )
3.2	装配尺寸链 .....	( 100 )
3.2.1	基本概念 .....	( 100 )
3.2.2	装配尺寸链的建立 .....	( 102 )
3.2.3	装配尺寸链的计算 .....	( 104 )
3.3	装配方法及其选择 .....	( 108 )
3.3.1	互换装配法 .....	( 108 )
3.3.2	分组装配法 .....	( 111 )
3.3.3	修配装配法 .....	( 114 )
3.3.4	调整装配法 .....	( 119 )
3.3.5	装配方法的选择 .....	( 120 )
复习题	.....	( 121 )

## 第二篇 过程设备制造工艺

第4章 过程设备壳体制造的准备工序 .....	(123)
4.1 钢材的预处理 .....	(123)
4.1.1 净化 .....	(123)
4.1.2 矫形 .....	(128)
4.2 划线 .....	(133)
4.2.1 零件的展开计算 .....	(133)
4.2.2 号料(放样) .....	(137)
4.2.3 标记和标记移植 .....	(142)
4.3 钢材的切割及边缘加工 .....	(143)
4.3.1 机械切割 .....	(143)
4.3.2 氧乙炔切割 .....	(144)
4.3.3 等离子切割 .....	(146)
4.3.4 碳弧气刨 .....	(147)
4.3.5 边缘加工 .....	(149)
复习题 .....	(150)
第5章 成型加工工艺 .....	(151)
5.1 筒节的弯卷成型 .....	(151)
5.1.1 冷卷成型的特点 .....	(151)
5.1.2 热卷成型的特点 .....	(153)
5.1.3 卷板机及弯卷工艺 .....	(153)
5.2 封头的成型 .....	(161)
5.2.1 封头的冲压成型 .....	(163)
5.2.2 封头的旋压成型 .....	(171)
5.2.3 封头的爆炸成型 .....	(174)
5.2.4 封头制造的质量要求 .....	(175)
5.3 管子的弯曲 .....	(176)
5.3.1 管子弯曲的应力分析和变形计算 .....	(176)
5.3.2 弯管方法 .....	(179)
5.3.3 管件制造的技术要求(GB 151—1999) .....	(187)
复习题 .....	(188)
第6章 过程设备的组装工艺 .....	(189)
6.1 设备组对工艺的意义及要求 .....	(189)



6.1.1	设备组对的意义 .....	(189)
6.1.2	设备组对的技术要求 .....	(191)
6.2	组装单元及其划分 .....	(192)
6.2.1	组装单元 .....	(192)
6.2.2	划分组装单元的要求 .....	(193)
6.3	常用组装机械及其使用方法 .....	(193)
6.3.1	用吊车进行筒体的组装 .....	(194)
6.3.2	组装机械 .....	(194)
6.3.3	液压组装机 .....	(199)
6.3.4	组装-焊接变位机械 .....	(200)
	复习题 .....	(201)
<b>第7章</b>	<b>过程设备的焊接工艺 .....</b>	<b>(202)</b>
7.1	焊接接头 .....	(202)
7.1.1	焊接接头的基本形式和特点 .....	(202)
7.1.2	焊缝级别分类 .....	(204)
7.1.3	焊缝坡口 .....	(205)
7.1.4	焊缝表示符号(GB/T 324—2008) .....	(207)
7.2	焊接工艺基础 .....	(210)
7.2.1	焊接接头的组织 .....	(210)
7.2.2	常见的焊接缺陷 .....	(213)
7.2.3	焊接残余应力和变形 .....	(216)
7.2.4	钢材的可焊性 .....	(223)
7.3	常用的焊接方法 .....	(224)
7.3.1	手工电弧焊 .....	(224)
7.3.2	埋弧自动焊 .....	(228)
7.3.3	其他焊接方法 .....	(229)
7.4	焊接工艺设计 .....	(232)
7.4.1	焊接方法的选定 .....	(232)
7.4.2	焊接材料的选择 .....	(233)
7.4.3	焊缝坡口设计 .....	(234)
7.4.4	焊接工艺参数 .....	(234)
7.4.5	焊后热处理 .....	(237)

7.4.6 焊接工艺规程的确定 .....	(238)
复习题 .....	(239)
<b>第8章 典型过程设备制造 .....</b>	<b>(241)</b>
8.1 换热器 .....	(241)
8.1.1 结构特点 .....	(242)
8.1.2 主要零部件、分类、代号 .....	(244)
8.1.3 管板与折流板 .....	(246)
8.1.4 管箱组焊 .....	(250)
8.1.5 管束 .....	(251)
8.1.6 管和管板的连接 .....	(256)
8.1.7 列管式换热器总装 .....	(259)
8.2 塔设备 .....	(261)
8.2.1 塔盘零件的制造及塔盘组装 .....	(261)
8.2.2 塔设备的组装 .....	(266)
8.3 储罐 .....	(272)
8.3.1 球罐 .....	(272)
8.3.2 立式圆筒型储罐 .....	(280)
8.4 高压容器的制造 .....	(293)
8.4.1 单层和多层容器制造的比较 .....	(294)
8.4.2 热套式高压容器 .....	(294)
8.4.3 扁平钢带倾角错绕式高压容器 .....	(295)
8.4.4 层板包扎式高压容器 .....	(297)
复习题 .....	(298)
<b>第9章 过程设备制造的检验与质量评定 .....</b>	<b>(300)</b>
9.1 质量检验的基本要求 .....	(300)
9.1.1 质量检验的意义 .....	(300)
9.1.2 质量检验的内容和方法 .....	(300)
9.1.3 质量检验标准与基本要求 .....	(301)
9.2 破坏性试验 .....	(303)
9.3 无损检测 .....	(304)
9.3.1 无损检测的要求 .....	(304)
9.3.2 射线检测 .....	(305)
9.3.3 超声波检测 .....	(309)

9.3.4	表面检测 .....	(313)
9.3.5	其他检测技术 .....	(316)
9.4	压力试验与气密性试验 .....	(319)
9.4.1	液压试验 .....	(319)
9.4.2	气压试验 .....	(322)
9.4.3	气密性试验 .....	(322)
9.4.4	煤油试验 .....	(323)
	复习题 .....	(323)
<b>第 10 章</b>	<b>过程设备制造的质量管理 .....</b>	<b>(324)</b>
10.1	设备制造质量管理与安全监察 .....	(324)
10.1.1	设备制造质量管理的意义 .....	(324)
10.1.2	质量管理的措施与要求 .....	(324)
10.1.3	压力容器制造质量的监督检查 .....	(325)
10.2	质量保证体系及制度 .....	(326)
10.2.1	质量保证体系 .....	(326)
10.2.2	设备制造的主要质量保证制度 .....	(331)
10.2.3	质量事故反馈程序 .....	(335)
	复习题 .....	(336)
<b>第 11 章</b>	<b>超限设备 .....</b>	<b>(337)</b>
11.1	技术要求 .....	(337)
11.2	暂时卷紧 .....	(339)
11.2.1	筒节的暂时卷紧 .....	(339)
11.2.2	薄壁球壳的暂时卷紧 .....	(342)
11.3	现场总装 .....	(344)
	复习题 .....	(345)
<b>第 12 章</b>	<b>设备热处理 .....</b>	<b>(346)</b>
12.1	热处理的目的是使用范围 .....	(346)
12.2	热处理制度 .....	(348)
12.3	炉内整体热处理 .....	(352)
12.3.1	热处理炉的特点 .....	(352)
12.3.2	支承方式 .....	(353)
12.4	局部热处理 .....	(353)
12.4.1	气体燃烧加热 .....	(353)

12.4.2 红外线加热	(354)
12.4.3 感应加热	(356)
12.5 内燃式整体热处理	(360)
12.5.1 热处理装置	(360)
12.5.2 热处理工艺	(363)
复习题	(365)
参考文献	(366)

# 绪 论

制造业的基础是装备制造业，它的发展不仅是一个国家社会生产力全面发展的基本条件，是实现现代化的基础，也是一个国家国际竞争力的根本体现。以美国、日本、德国为代表的发达国家，其发展历程无一不是以装备制造业的发展作为其发展前提。装备制造业不仅是三大产业进一步发展的保障，更是关系到国家安全、国家实力、民生发展的基本保证，无论从全球国家发展史的角度，还是从产业、行业发展史的角度都说明装备制造业是立国之本、兴业之源。

统计显示，美国制造业对国民生产总值的直接贡献度一直保持在 20% 以上，美国出口的产品中有 72% 是制造业产品，美国国家先进制造联合会的一份报告认为，制造业仍是美国经济增长中最强劲的“发动机”。日本、德国等经济强国也都采取措施把制造业作为必须加强的基础产业，近年日本还专门颁布了《振兴制造业基础技术基本法》。可见，制造业并不是像一些人认为的那样是所谓的“夕阳”产业，即便是主要发达国家，其在整个国民经济中仍然占有举足轻重的地位。

我国明确把发展装备制造业作为重要战略进行部署，也充分说明了这一点。“十五”期间，石化工业重点改造五套 60 ~ 70 万吨/年乙烯设备，新建或扩建一批 10 ~ 20 万吨/年的聚酯装备，新增生产能力 400 万吨；电力工业计划更新 3000 万千瓦小发电机组，净增发电机装机容量 4500 万千瓦，总计需要发电机组 7500 万千瓦；冶金工业将投资 750 亿元用于技术改造；“西气东输”干线建设投资 1400 亿元，其中施工机械的投入占 15% 以上；“南水北调”工程每年需要提供 50 多亿元的工程设备。

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。

### (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的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。

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,见图0-1。

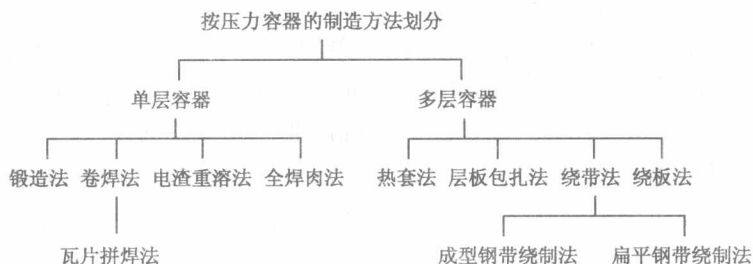


图0-1 压力容器的分类

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。

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。

### (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。本专业与纯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知识、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。

# 第一篇 过程机器制造工艺

过程机器制造工艺是将原材料、半成品制造成合格产品的过程，是装备制造业的基础技术之一。采用先进适用的制造工艺及设备是保证产品质量、节能节材、降低成本、提高劳动生产率、减轻环境污染、提高企业经济和社会效益的主要途径。

## 第1章 机械加工工艺规程

### 1.1 概 述

#### 1.1.1 生产过程和机械加工艺过程

机械产品的生产过程是将原材料转变为成品的全过程。它包括：生产前的准备，原料的采购、运输、验收和保管，毛坯的选择和制造，零件的机械加工，产品的装配，整机的检验和试运转，油漆和包装等。这里要说明的一点是原材料和成品是一个相对的概念，一个工厂的原材料可能是另一工厂的成品。例如，轧钢厂的成品是各种规格和型号的钢材，而对机床厂来说，钢材只是原材料，机床才是它的产品。这种生产上的分工，有利于生产过程的机械化和自动化，有利于保证产品质量、提高生产率和降低生产成本。

工艺是指产品的制造(加工和装配)方法和手段。工艺过程是指按一定的顺序改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和性质等，使其成为成品的过程。机械加工艺过程即通过机械加工的方法，逐次改变毛坯的尺寸、形状、相互位置和表面质量等，使之成为合格零件的过程。

#### 1.1.2 机械加工艺过程的组成

一个零件的机械加工艺过程往往是比较复杂的。为了便于组织和管理生产，以保证零件质量，生产中常把机械加工艺过程分为若干工序，而工序又可分为工位、工步和走刀等。

##### (1) 工序

工序是指一个或一组工人，在一个工作地点对同一个(或同时对几个)工件

所连续完成的那一部分工艺过程。

区分工序的主要依据,是设备(或工作地)是否变动和完成的那一部分工艺内容是否连续。零件加工的设备变动后,即构成另一工序。如图 1-1 所示的阶梯轴,当零件小批生产时,其加工工艺及工序划分见表 1-1;当中批生产时,其工序划分见表 1-2。

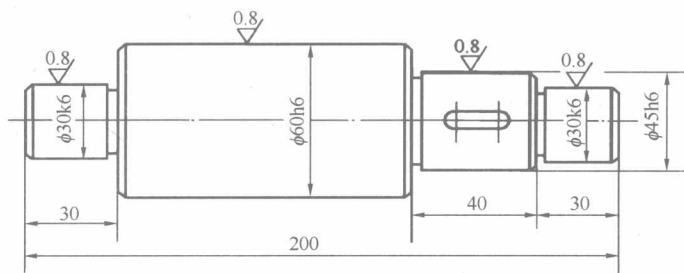


图 1-1 阶梯轴

表 1-1 阶梯轴加工工艺过程(单件小批生产)

工序号	工序名称	工序内容	设备
1	车	车端面、钻中心孔、车全部外圆、车砂轮越程槽与倒角	车床
2	铣	铣键槽、去毛刺	铣床
3	磨	磨外圆	外圆磨床

表 1-2 阶梯轴加工工艺过程(中批生产)

工序号	工序名称	工序内容	设备
1	铣	铣端面、钻中心孔	铣端面钻中心孔机床
2	车	车外圆、车砂轮越程槽与倒角	车床
3	铣	铣键槽	铣床
4	钳	去毛刺	钳工平台
5	磨	磨外圆	外圆磨床

工序不仅是制订工艺过程的基本单元,也是制订时间定额、配备工人、安排作业计划和进行质量检验的基本单元。

## (2) 安装

工件经一次装夹所完成的那一部分工序,称为安装。在一道工序中,工件可能被装夹多次才能完成,即一道工序中可能包含几次安装。例如,表 1-2 中的工序 3,一次安装即可铣出键槽,而表 1-2 中的工序 2,为了车出全部外圆则至少需要两次安装。工件加工中应尽量减少安装的次数,因为多一次安装就多一次安装误差,而且还增加了辅助时间。



## (3) 工位

工位是指为了完成一定的工序部分，在一次装夹下，工件与夹具或设备的可动部分一起相对刀具或设备的固定部分所占据的每一个位置。图1-2所示为用回转工作台在一次安装中顺序完成装卸工件、钻孔、扩孔和铰孔四个工位加工的实例。

## (4) 工步

工步是指在零件的加工表面和加工刀具不变的条件下所连续完成的那一部分工序。一个工序可以包括几个工步，也可以只包括一个工步。例如，在表1-2的工序2中，包括车外圆、车槽与倒角等工步，而工序3用键槽铣刀铣键槽时，就只包括一个工步。

为了提高生产率，用几把刀具同时加工几个表面的工步，称为复合工步(见图1-3)。在工艺文件上，复合工步应视为一个工步。

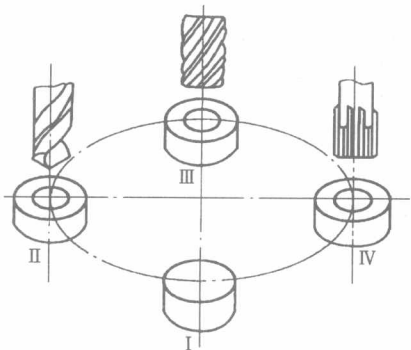


图1-2 多工位加工

I—装卸工件；II—钻孔；III—扩孔；IV—铰孔

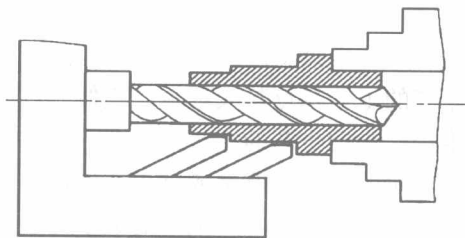


图1-3 复合工步

## (5) 走刀

在一个工步内，若工件被加工表面需除去的金属层很厚，可分几次切削，则每切削一次即为一次走刀。

## 1.1.3 生产纲领和生产类型

生产纲领是企业计划在计划期限内应当生产的产品产量和进度计划。由于一般工业企业都是以年作为计划期限，这样年产量即为生产纲领。零件的生产纲领可按下式计算。

$$N = Qn(1 + \alpha + \beta)$$

式中  $N$ ——零件的生产纲领，件/年；

$Q$ ——产品的年产量，台/年；

$n$ ——每台产品中该零件的数量，件/台；