



广东省高等职业教育品牌专业建设项目成果
高等职业教育“十三五”规划教材



机械 制造技术

彭丽英 周俊华 主编



中国轻工业出版社

全国百佳图书出版单位

广东省高等职业教育品牌专业建设项目成果
高等职业教育“十三五”规划教材

机械制造技术

主 编 彭丽英 周俊华
副主编 曾德江 李红霞



图书在版编目 (CIP) 数据

机械制造技术/彭丽英, 周俊华主编. —北京:
中国轻工业出版社, 2016. 8
高等职业教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5184-0963-1

I. ①机… II. ①彭… ②周… III. ①机械制造工艺
—高等教育—教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 186392 号

内容简介

机械设计、制造的最小单元是零件。本书以零件制造为主线, 以零件的普通机床加工工艺的实施与制定等岗位的职业能力培养为导向, 以提高职业技能为重点, 以制造任务为载体, 从零件图的分析、零件工艺规程的制订、零件的工艺验证三方面构建本书内容, 本书主要包括工程材料及热处理、金属切削加工的原理、机械加工工艺、机械制造质量分析等。

本书是高等院校机械设计与制造专业群的规划教材, 也是广东省高等职业教育品牌专业建设项目成果之一, 可作为高等职业院校机械设计与制造类专业的教学用书, 也可作为社会相关从业人员的业务参考书及培训用书。

责任编辑: 张文佳 责任终审: 孟寿萱 封面设计: 锋尚设计
版式设计: 王超男 责任校对: 晋洁 责任监印: 马金路

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印刷: 三河市万龙印装有限公司

经销: 各地新华书店

版次: 2016 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16 印张: 18

字数: 400 千字

书号: ISBN 978-7-5184-0963-1 定价: 38.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

160505J2X101ZBW

前 言

《机械制造技术》课程是广东省高等职业教育品牌专业建设项目，是机械设计与制造类专业一门重要的专业基础平台课程，针对高职高专人才培养的目标要求，按专业服从市场，课程服务于专业的原则，积极进行教学研究与课程教学改革。形成本课程以普通机床加工零件的工艺规程的制订、职业岗位能力培养为重点，按照“工学结合”的总体思路，基于工作过程，以情境为导向，以任务为驱动设计教学组织体系，以理论与实践教学合一的教学模式完成教学过程，适应“教、学、做”合一的教学模式改革。本书编写具有以下几个特点：

(1) 课程将《工程材料与热处理》《毛坯的成型》《金属切削机床》《金属切削原理与刀具》《机床夹具》及《机械制造工艺学》等多门课程的知识，实施重组与优化，按照由浅入深循序渐进的职业能力培养规律，形成以制造技术为核心、制造工艺为主线，构建了制造基础理论、制造技术及其应用三个层次的课程体系，实现了课程理论、技术与应用的有机融合。

(2) 课程采用多种素材及媒体手段，并以生产中典型零件制造案例为课程载体，突出了专业技术知识的实用性和综合性，培养了学生编制零件工艺规程的能力，提高学生零件的结构工艺性、材料及热处理应用能力，为后续专业课程的学习和职业能力的可持续发展打下坚实基础。

(3) 教材以实用为原则，突出基本概念、基本原理、基本方法和基本训练，力求理论与实践相结合、内容充实、文字精练、深入浅出。

(4) 本教材内容以情境为导向，本教材共分为9个情境，分别介绍如下：

情境1 主要介绍机械制造工艺及工艺规程的基本知识、基本理论；

情境2 主要介绍零件图分析的内容；

情境3 主要介绍毛坯的类型及制造方法；

情境4 主要介绍常用的机械加工方法、机床的类型及编号、机床的夹具与量具等；

情境5 主要介绍金属切削运动及切削产生的物理现象、刀具的几何角度、切削用量及切削液的选择；

情境6 主要介绍工艺路线的拟定；

情境7 加工余量的基本术语、加工余量及工序尺寸的确定；

情境8 主要介绍典型零件的工艺分析；工艺规程的填写与工序图的绘制；

情境9 主要介绍工时定额的组成与计算；提高生产效率、降低生产成本、提高加工质量的方法。

本书由广东机电职业技术学院机械工程学院彭丽英、周俊华担任主编。彭丽英负责情境1、情境2、情境3的编写；曾德江负责情境4、情境5的编写；周俊华负责情境6、情

境 7 的编写；李红霞负责情境 8、情境 9 的编写。

由于编者水平所限，书中如有不足之处，敬请使用本书的师生与读者批评指正，以便修订时改进。

编者
2016 年 6 月

目 录

绪论	1
情境1 工艺与工艺规程	2
任务 1.1 工艺与工艺规程的基本概念	2
1.1.1 生产过程	2
1.1.2 工艺过程	2
1.1.3 机械加工工艺过程的组成	3
任务 1.2 工艺规程	6
1.2.1 生产纲领和生产类型	6
1.2.2 工艺文件的格式和内容	8
1.2.3 工艺规程的作用	10
1.2.4 制订工艺规程的原始资料	10
思考题	11
情境2 零件的分析	13
任务 2.1 材料性能	13
2.1.1 力学性能	13
2.1.2 工艺性能	20
2.1.3 改善工件材料可加工性的措施	21
任务 2.2 工件材料的可加工性	22
2.2.1 工件材料可加工性的衡量指标	22
2.2.2 工件材料可加工性的影响因素	24
任务 2.3 常用的工程材料	25
2.3.1 非合金钢	25
2.3.2 铸铁	30
2.3.3 合金钢	37
2.3.4 有色金属及其合金	43
2.3.5 非金属材料	47
2.3.6 复合材料	52
任务 2.4 材料的结构与凝固	53
2.4.1 金属的晶体结构	53
2.4.2 金属结晶	56
2.4.3 合金的晶体结构	58
任务 2.5 材料的热处理	63
2.5.1 热处理定义及分类	63
2.5.2 热处理原理及作用	64

2.5.3	钢铁材料的热处理	67
2.5.4	钢的表面热处理	72
2.5.5	热处理在图样上标注	73
任务 2.6	零件的工艺性分析	74
2.6.1	零件的技术性分析	74
2.6.2	零件结构工艺性分析	75
思考题		78
情境 3	毛坯的选择	81
任务 3.1	选择毛坯时应考虑的因素	81
任务 3.2	毛坯的种类与制造方法	81
任务 3.3	毛坯的形状与尺寸的确定	82
思考题		83
情境 4	常用机械加工方法	84
任务 4.1	机床的分类和型号编制	84
4.1.1	机床分类	84
4.1.2	机床的型号编制	84
任务 4.2	车削加工	86
4.2.1	车床的组成	86
4.2.2	车削加工工艺	90
4.2.3	车刀的类型	91
4.2.4	车刀的安装要求	92
4.2.5	车刀的材料及选用	92
任务 4.3	铣削加工	93
4.3.1	铣床	93
4.3.2	铣床附件	97
4.3.3	工件装夹	101
4.3.4	铣削加工工艺	103
4.3.5	铣削平面	103
4.3.6	铣削斜面	105
4.3.7	铣削台阶面	107
4.3.8	铣削沟槽	108
任务 4.4	磨削加工	111
4.4.1	磨床的运动和类型	111
4.4.2	M1432A 型万能外圆磨床	113
4.4.3	砂轮	114
4.4.4	磨削加工过程	118
4.4.5	磨削热和磨削温度	118
4.4.6	平面磨床的种类和应用	120
4.4.7	外圆面磨削的基本方法及工艺特点	122

4.4.8	内圆磨削的基本方法及工艺特点	123
任务 4.5	刨削加工	124
4.5.1	刨削加工原理及其特点	125
4.5.2	刨床	125
4.5.3	刨刀	126
任务 4.6	钻削加工	127
4.6.1	钻床	127
4.6.2	钻头	128
4.6.3	钻床夹具	131
4.6.4	钻削加工方法	134
任务 4.7	镗削加工	136
4.7.1	镗床及镗刀	136
4.7.2	镗削加工	138
任务 4.8	齿轮加工	140
4.8.1	圆柱齿轮的功用、结构特点和精度要求	140
4.8.2	齿轮精度等级与公差组	141
4.8.3	齿轮加工机床	142
4.8.4	齿轮材料的选择	143
4.8.5	齿轮的毛坯	144
4.8.6	齿轮的热处理	144
4.8.7	铣齿	144
4.8.8	滚齿	145
4.8.9	插齿	146
4.8.10	剃齿	148
4.8.11	珩齿	149
4.8.12	磨齿	149
4.8.13	研齿	150
思考题		151
情境 5	金属切削加工的基础知识	152
任务 5.1	切削要素及刀具的几何参数	152
5.1.1	工件表面	152
5.1.2	切削运动	152
5.1.3	切削要素	153
5.1.4	刀具的几何角度	155
任务 5.2	金属切削过程	157
5.2.1	切屑	157
5.2.2	积屑瘤	160
5.2.3	切削力	162
5.2.4	切削热与切削温度	163

5.2.5	影响切削温度的因素	164
任务 5.3	切削液	166
5.3.1	切削液的作用机理	166
5.3.2	切削液的分类与选择	168
任务 5.4	刀具磨损与使用寿命	172
5.4.1	刀具磨损和破损的形式	172
5.4.2	刀具磨损和破损的原因	174
5.4.3	刀具磨钝标准	175
5.4.4	刀具使用寿命及其影响因素	175
	思考题	176
情境 6	工艺路线的拟定	177
任务 6.1	制定工艺规程原则和步骤	177
任务 6.2	加工方法和加工方案的选择	178
任务 6.3	加工顺序的安排	181
6.3.1	加工阶段的划分	182
6.3.2	工序集中与工序分散	184
6.3.3	工序顺序的安排	185
	思考题	186
情境 7	工序尺寸的确定	187
任务 7.1	加工余量	187
任务 7.2	工艺尺寸链	191
7.2.1	尺寸链概述	191
7.2.2	尺寸链的计算方法	193
7.2.3	工艺尺寸链的应用	194
	思考题	199
情境 8	典型零件工艺	201
任务 8.1	阶梯轴的加工	201
8.1.1	加工零件	201
8.1.2	基准的概念及分类	201
8.1.3	粗基准的选择	203
8.1.4	精基准的选择	204
8.1.5	切削用量的选择	206
8.1.6	轴类零件加工工艺的编制	207
任务 8.2	蜗杆轴的加工	211
8.2.1	加工零件	211
8.2.2	螺纹车刀的几何形状与安装	212
8.2.3	螺纹的加工方法	212
8.2.4	螺纹的检测	213
8.2.5	毛坯选择	213

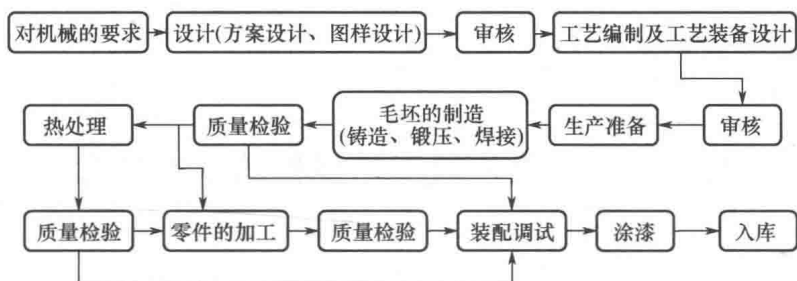
8.2.6	工艺路线拟定	213
8.2.7	工艺过程分析	215
8.2.8	工序尺寸计算	216
8.2.9	确定设备、工艺装备	217
任务 8.3	箱体零件的加工	228
8.3.1	加工零件	228
8.3.2	箱体的功用和结构特点	228
8.3.3	箱体的技术要求	228
8.3.4	箱体的材料、毛坯和热处理	229
8.3.5	箱体零件机械加工工艺过程	229
8.3.6	箱体零件机械加工工艺过程分析	229
8.3.7	箱体的孔分类	230
8.3.8	孔系加工	231
8.3.9	箱体上的平面加工	234
8.3.10	箱体零件加工工艺的编制	234
思考题		237
情境 9	工艺规程的验证	241
任务 9.1	生产效率与工艺成本	241
9.1.1	时间定额	241
9.1.2	生产率与经济性	242
9.1.3	工艺过程的技术经济分析	245
任务 9.2	机械加工精度	247
9.2.1	概述	247
9.2.2	工艺系统的几何误差	248
9.2.3	工艺系统受力变形引起的误差	252
9.2.4	工艺系统热变形引起的误差	259
9.2.5	工件残余应力引起的加工误差	263
9.2.6	提高加工精度的工艺措施	264
任务 9.3	机械加工表面质量	267
9.3.1	基本概念	267
9.3.2	加工表面几何特性的形成及其影响因素	269
9.3.3	加工表面物理力学性能的变化及其影响因素	271
9.3.4	机械加工中的振动	273
思考题		276
参考文献		277

绪 论

机械制造业是国民经济的支柱产业，是国民经济的装备部，国民经济各部门的生产能力和经济效益在很大程度上取决于机械制造业所提供的装备的技术性能、质量和可靠性。因而，各发达国家都把发展机械制造业放在了突出的位置。可以说，机械制造业是一个国家经济实力和科学发展技术水平的重要标志。

一、机械制造技术

机械制造是人们按照所需的目的，运用知识和技能，使原材料变成产品的过程。其流程为：



机械制造技术是机械制造过程所涉及的各种技术的总称，包括以材料的成形为核心的金属和非金属材料成形技术（铸造、焊接、锻造、冲压、注塑及热处理）、以切削加工为核心的金属冷加工技术（车削、铣削、磨削、钻削和刨削等）、机械装配技术和特种加工技术（电火花加工、电解加工、超声波加工、电子束加工等）。其中，金属切削加工和装配技术是机械制造技术的主体。

二、本课程的特点和任务

机械产品是由相互关联的若干零、部件按照规定的技术要求装配而成的。零件是设计与制造的最小单元。本课程基于工作过程，以生产中的典型零件、普通机床、通用工艺装备为载体，完成机械制造理论学习，通过典型零件的工艺过程、检测，使学生掌握一定的零件制造技术，具备“使用普通机床加工零件”的职业能力和基本素质，并为后续专业课程的学习及将来从事设计、工艺等持续发展能力提供支撑。

情境 1 工艺与工艺规程

【能力目标】

工艺的基本术语，能正确划分工序、工步
生产类型，合理选择工艺规程的文件格式
制订工艺规程的原则和步骤

【知识点】

工艺的基本术语
生产纲领和生产类型
工艺规程的格式

【重点难点】

工序、工步的划分

任务 1.1 工艺与工艺规程的基本概念

1.1.1 生产过程

生产过程是指产品的制造，从原材料或半成品到成品之间的各个相互联系的劳动过程的总和。

产品的生产过程内容如下：

- (1) 生产技术准备工作。如产品的设计和试验研究、编制工艺文件，专用工装及设备的设计与制造等。
- (2) 原材料（或半成品、元器件、标准件、工具、工装、设备）的购置、运输、检验、保管。
- (3) 毛坯制造：如铸造、锻造、冷冲压、焊接等。
- (4) 零件的机械加工及热处理。
- (5) 产品装配与调试、性能试验以及产品的包装、发运等工作。

1.1.2 工艺过程

在各车间的生产过程中，不仅包括直接改变工件形状、尺寸、位置和性质等的主要过程，还包括运输、保管、磨刀和设备维修等辅助过程。

在生产过程中，直接改变毛坯的形状、尺寸、相对位置和性质等，使其成为合格零件所进行的全部过程称之为机械加工工艺过程，简称工艺过程。

工艺过程又可以具体分为锻造、冲压、焊接、机械加工、热处理、电镀和装配等工艺过程。

零件依次通过的全部工艺过程称为工艺路线或工艺流程，工艺路线是制定工艺过程和进行车间分工的重要依据。工艺路线是产品除外购件以外的全部零（部）件，从毛坯准备到成品包装入库的生产过程中，所经过的各有关部门（科室、车间、工段、小组或工种）或工序的先后顺序。

1.1.3 机械加工工艺过程的组成

要制定工艺过程，关键要了解机械加工工艺过程的组成。在机械加工工艺过程中，根据被加工对象的结构特点和技术要求，常需要采用各种不同的加工方法和设备，并通过一系列加工步骤，才能将毛坯变成零件。因此，机械加工工艺过程是由一个或几个顺次排列的工序组成的，每一个工序又可划分为若干个安装、工位、工步和走刀，如图 1-1 所示。

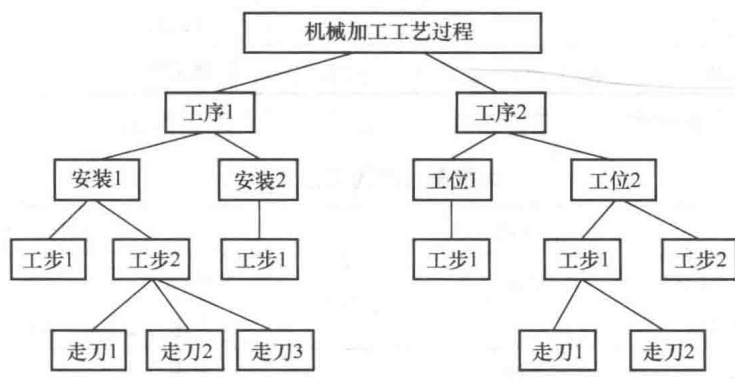


图 1-1 机械加工工艺过程

(1) 工序

工序，是一个（或一组）工人，在一个工作地，对同一个（或同时对几个）工件（或部件）所连续完成的那一部分工艺过程（生产活动）。

所谓“三同”，就是指：

- ①同一个（或同一组）工人，指同一技术等级的工人。
- ②同一工作地点，指同一台机床（同一精度等级的同类型机床），同一个钳工台或同一个装配地点。
- ③同一个工件（劳动对象），指同一零件代号的工件（或部件）。

所谓一个“连续”，就是指同样的加工必须是连续进行。当加工对象（工件）更换时，或设备和工作地点改变时，或完成工艺工件的连续性有改变时，则形成另一道工序。这里的连续性是指工序内的工作必须连续完成，中间没有插入另一个工件的加工，如果其中有中断，则不能作为一个工序。

工序不仅是组成工艺过程的基本单位，也是生产计划的基本单元。

例如：阶梯轴如图 1-2 所示，如果各个表面都需要进行机械加工，则根据其产量和生产车间的不同，应采用不同的方案来加工。属于单件、小批量生产时可按表 1-1 方案来加工；如果属于大批量生产，则应改用表 1-2 方案加工。

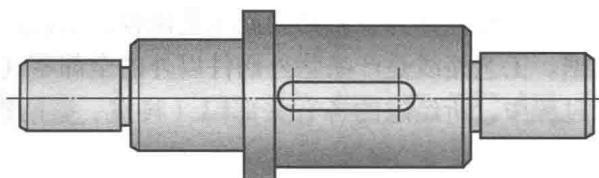


图 1-2 阶梯轴

表 1-1 单件、小批量生产的机械加工工艺过程

工序号	工序内容	工作地（设备）
1	车端面、钻中心孔、车外圆、切槽、倒角	车床
2	铣键槽	铣床
3	磨外圆	外圆磨床
4	去毛刺	钳工台

表 1-2 大批量生产的工艺过程

工序号	工序内容	工作地（设备）
1	同时铣削两端面、钻中心孔	铣钻床
2	粗车外圆	车床
3	精车外圆、倒角、切退刀槽	车床
4	铣键槽	铣床
5	磨外圆	外圆磨床
6	去毛刺	钳工台

(2) 安装

在工件的加工过程中为了保证被加工零件的几何参数正确，必须保证加工过程中工件与刀具的相对位置关系正确，因此，工件在加工之前首先应保证其位置正确，找出工件正确位置的过程叫定位。其次在加工过程中切削力产生后，为保证工件在该力及重力等作用下不改变其定位确定的正确位置，应对工件进行固定，该过程叫夹紧。工件在加工前将其在机床或夹具中定位、夹紧的过程称为安装。在一个工序中，工件可能只需要安装一次，也可能需要安装几次。

在一道工序内，可能只需进行一次安装，也可能进行多次安装。加工中应尽量减少安装次数，因为这不仅可以减少辅助时间，而且可以减少因安装误差而导致的加工误差。

(3) 工位

为了完成一定的工序内容，一次装夹工件后，工件与夹具或设备的可动部分一起相对于刀具或设备的固定部分所占据的每一个位置称为工位。采用多工位夹具、回转工作台或在多轴机床上加工时，工件在机床上一次安装后，就要经过多工位加工。采用多工位加工可以减少工件的安装次数，从而缩短了工时，提高了工作效率，如图 1-3 所示。多工位、多刀或多面加工，使工件几个表面同时进行加工。

(4) 工步

在同一工序中,有时需要使用不同的刀具或切削用量对不同的表面进行加工。为便于分析和描述,在加工表面、加工工具和切削用量中的转速与进给量都不变的情况下,所连续完成的那部分工序内容称为工步。一个工序可包括一个工步,也可包括几个工步。

构成工步的任一因素(加工表面、切削工具或切削用量)改变后,一般即变为另一个工步。

工步的特殊情况有以下几种:

①在一次安装中连续进行的若干相同的工步,为简化工序内容的叙述,通常看作一个工步。如图 1-4 所示零件上钻削 6 个 $\phi 10$ 的孔,可写成一个工步。

②为了提高生产率,将用几把刀具同时加工几个表面的工步称为复合工步,如图 1-5 所示。在工艺文件上复合工步应视为一个工步。

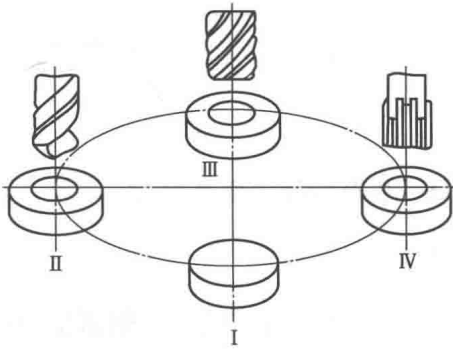


图 1-3 四工位加工
I—装卸工位 II—钻孔工位
III—扩孔工位 IV—铰孔工位

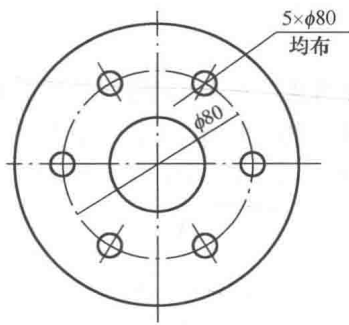


图 1-4 圆盘类零件

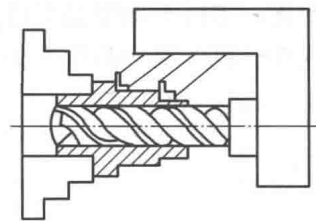


图 1-5 复合工步

(5) 走刀

在一个工步中,若被加工表面需切去的金属层很厚,需要几次切削,则每一次切削就叫一次走刀(改变切削用量三要素中的背吃刀量,但进给量和切削速度均不变)。一个工步包括一次或几次走刀,如图 1-6 所示。

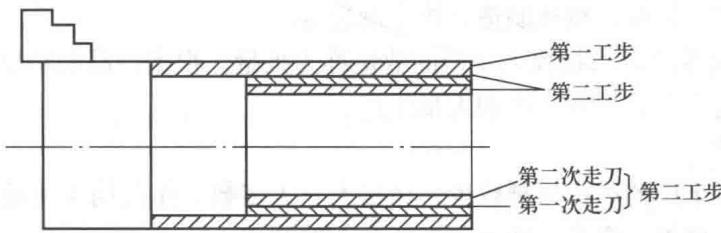


图 1-6 用棒料加工阶梯轴

任务 1.2 工艺规程

1.2.1 生产纲领和生产类型

1.2.1.1 生产纲领

产品（或零件）的生产纲领是指企业在计划期内生产的产品（或零件）数量，计划期为一年称为年产量。对于零件而言，除了制造机器所需的数量外，还应包括一定数量的备品和废品。

零件的生产纲领要计入备用品和废品的数量，因此对一个工厂来说，产品的产量和零件产量是不一样的。由于同一产品中，相同零件的数量可能不止一件，所以在成批生产产品的工厂中，也可能有一批大量生产零件的车间。某零件年生产纲领 N 按下列公式计算：

$$N = Q \cdot n (1 + \alpha) (1 + \beta) \quad (1-1)$$

式中： Q ——产品的年产量（台/年）；

n ——每台产品中该零件的数量（件/台）；

α ——零件的备用品百分率；

β ——零件的废品百分率。

其中备品率的多少要根据用户和修理单位的需要考虑，一般由调查及检验确定，可在 0 ~ 100% 内变化。零件平均废品率根据生产条件不同，各工厂不一样。生产条件稳定，产品定型，如汽车、机床等产品生产废品率一般为 0.5% ~ 1%；当生产条件不稳定，新产品试制，废品率可高达 50%。

1.2.1.2 生产类型

工厂生产专业化程度的分类方式称为生产类型。机械制造业通常分为 3 种类型：单件生产、成批生产和大量生产。

(1) 单件生产

单件生产是指生产的产品品种繁多，每种产品仅制作一件或几件，且很少再重复生产。例如，重型机械产品制造和新产品试制。

(2) 成批生产

成批生产是指生产的产品品种较多，每种产品均有一定的数量，各种产品是分期、分批地轮番进行生产。例如，机床制造、机车制造等。

同一产品（或零件）每批投入生产的数量称为批量。根据产品的特征和批量大小，成批生产可分为小批生产、中批生产和大批生产。

(3) 大量生产

大量生产是指生产的产品品种较少，产量大，大多数工作长期重复地进行某一零件的某一工序的加工。例如，汽车、轴承和摩托车等的制造。

生产类型决定于生产纲领，但也与产品的大小和复杂程度有关。生产类型与生产纲领的关系可以参照表 1-3。

表 1-3

生产类型与生产纲领（年产量）的关系

生产类型		同类零件的年产量		
		重型零件	中型零件	小型零件
单件生产		5 以下	10 以下	100 以下
成批生产	小批	5 ~ 100	10 ~ 200	100 ~ 500
	中批	100 ~ 300	200 ~ 500	500 ~ 5000
	大批	300 ~ 1000	500 ~ 5000	5000 ~ 50000
大量生产		1000 以上	5000 以上	50000 以上

从表 1-3 中我们可以看出，成批生产根据批量大小可分为小批、中批和大批生产。小批生产的特点接近于单件生产；大批生产的特点接近于大量生产；中批生产的特点介于小批和大批生产之间。

所采用的生产类型不同，产品的制造工艺、工装设备、技术措施和经济效果等也不同。其工艺特征如表 1-4。机械制造技术就是根据不同生产类型的要求和被加工零件的结构及技术要求选择合理的加工方法，确定合理的加工工艺，以保证加工质量，提高生产率和降低加工成本的一门综合技术学科。

表 1-4

各种生产类型的工艺特征

情境	生产类型		
	单件、小批生产	中批生产	大量、大批生产
加工对象	不固定，经常换	周期性地变换	固定不变
机床设备和布置	采用通用设备，按机群式布置	采用通用和专用设备，按工艺路线成流水线布置或机群式布置	广泛采用专用设备，全按流水线布置，广泛采用自动线
夹具	非必要时不采用专用夹具	广泛使用专用夹具	广泛使用高效能的专用夹具
刀具和量具	通用刀具和量具	广泛使用专用刀具、量具	广泛使用高效率专用刀具、量具
毛坯情况	用木模手工造型、自由锻，精度低	金属模、模锻，精度中等	金属模机器造型、精密铸造、模锻，精度高
工件安装	广泛采用直线找正定位或划线找正定位	部分采用划线找正定位，重要工序使用专用夹具定位	专用夹具定位
尺寸获得方法	试切法	调整法	用调整法、自动化加工
零件装配方法	修配法及调整法为主	主要采用互换法装配	采用互换法装配
工艺文件形式	过程卡片	工序卡片	操作卡及调整卡
操作工人平均技术水平	较高	中等	较低
生产率	较低	中等	较高
成本	较高	中等	较低