

机械制造 工艺学

张才芳 主编

哈尔滨船舶工程学院出版社



机 械 制 造 工 艺 学

张 才 芳 主 编

哈尔滨船舶工程学院出版社

内 容 简 介

本书内容主要由机械制造工艺原理和典型零件工艺分析两部分组成。工艺原理部分主要包括：机械加工精度和表面质量理论基础，尺寸链理论及其在机械加工和装配中的应用，制订机械加工工艺规程的理论和机械加工的生产率和经济性的分析方法。典型零件工艺分析主要介绍分析船舶机械中一些带有典型性零件的加工工艺和加工方法。

本书适用于中等专业学校机械制造类专业，也可供相近专业使用及有关专业工程技术人员参考。

机 械 制 造 工 艺 学

张 才 芳 主 编

•
哈尔滨船舶工程学院出版社出版
新华书店首都发行所发行
地 质 印 刷 厂 印 刷
•

开本 787×1092 1/16 印张17.75 字数409千字

1990年6月第1版 1990年6月第1次印刷

印数：1—2000册

ISBN 7-81007-101-7/TH·8

定价：3.20元

前 言

《机械制造工艺学》是根据中国船舶工业总公司教材编审室于1986年6月在杭州召开的教材会议制订的大纲编写的。适用于总公司系统中等专业学校机械制造类专业，也可供相近专业选用及有关专业工程技术人员参考。

本书内容主要由机械制造工艺原理和典型零件工艺分析两部分组成。工艺原理部分主要包括：机械加工精度和表面质量理论基础，尺寸链理论及其在机械加工和装配中的应用，制订机械加工工艺规程的理论和机械加工的生产率和经济性的分析方法。典型零件工艺分析主要介绍分析船舶机械中一些带有典型性零件的加工工艺和加工方法。

本书共十一章，绪论和第一、五、六、七、八、九、十、十一章和附录由张才芳同志编写，第二、三、四章由朱喜斌同志编写。本书由张才芳同志主编，秦忠简同志主审。本教材在大纲讨论及整个审订过程中，秦忠简、吕帆、汪耀中、林菊仙、陈晓军、李文奎、任恩举同志提出了宝贵的意见，还得到邹志明、王有悦、赖耕耘、张士扬、赵汉南、刘德本等同志大力支持和帮助，谨此表示衷心感谢！

由于编者水平有限，加之时间仓促，错误缺点在所难免，欢迎广大读者批评指正。

编 者

1988年2月

目 录

绪 论	(1)
第一章 机械加工工艺流程制订	(2)
第一节 概述	(2)
第二节 工艺流程的制订过程	(9)
第三节 零件图的研究	(10)
第四节 毛坯选择	(11)
第五节 定位基准选择	(14)
第六节 工艺路线的拟定	(22)
第七节 加工余量的确定	(28)
第八节 工序尺寸及其公差的确定	(31)
第九节 机床、工艺装备的选择	(38)
第十节 生产率	(39)
第二章 轴类零件的加工	(41)
第一节 概述	(41)
第二节 蜗杆加工	(48)
第三节 尾轴加工	(54)
第四节 曲轴加工	(57)
第三章 套筒类零件的加工	(73)
第一节 概述	(73)
第二节 柴油机气缸套的加工	(78)
第三节 深孔加工	(82)
第四章 机体类零件的加工	(91)
第一节 概述	(91)
第二节 小型机体加工	(99)
第三节 大型柴油机机座的加工特点	(105)
第五章 带有成形表面零件的加工	(114)
第一节 概述	(114)

第二节	凸轮轴的加工	(121)
第三节	螺旋桨制造	(128)
第六章	圆柱齿轮加工	(143)
第一节	概述	(143)
第二节	滚齿插齿及误差分析	(145)
第三节	剃齿珩齿研齿及挤齿	(154)
第四节	磨齿及其误差分析	(161)
第七章	机械加工精度	(169)
第一节	概述	(169)
第二节	工艺系统的几何误差	(169)
第三节	工艺系统受力变形所引起的加工误差	(174)
第四节	工艺系统受热变形所引起的加工误差	(179)
第五节	工件内应力所引起的加工误差	(183)
第六节	提高加工精度的工艺措施	(186)
第七节	加工误差的综合分析	(189)
第八章	机械加工表面质量	(199)
第一节	概述	(199)
第二节	影响表面粗糙度的因素	(201)
第三节	影响表面物理机械性能变化的因素	(202)
第四节	机械加工中的振动	(205)
第九章	机械装配工艺基础	(216)
第一节	概述	(216)
第二节	机械产品的装配精度	(219)
第三节	装配尺寸链	(221)
第四节	保证产品装配精度的方法	(226)
第五节	装配工艺规程的制订	(234)
第十章	特种加工	(237)
第一节	概述	(237)
第二节	电火花加工	(237)
第三节	电解加工和电解磨削	(242)
第四节	激光加工	(246)
第五节	其它特种加工方法简介	(249)

第十一章 机械加工工艺发展新动向	(253)
第一节 成组技术.....	(253)
第二节 机械加工自动化.....	(264)
主要参考文献	(275)

绪 论

我国的社会主义现代化建设，离不开交通运输业的现代化。船舶工业在交通运输和海军建设上都有重要的地位。我国国土辽阔，海岸线长，内河航运四通八达，发展现代化的船舶工业对交通运输业的发展和巩固国防有举足轻重的作用。而船用主、辅机制造业的发展是船舶航行作业实现机械化、电气化和自动化的关键。

随着对现代船用机械要求地不断提高，要制造高质量的船用机械必须十分重视机器制造工艺技术的研究。本机械制造工艺学就是以船用机械制造中的工艺技术问题为研究对象的一门技术科学。由于生产中工艺问题涉及面极广，本机械制造工艺学主要讨论机械加工和装配方面的工艺问题。

机械制造工艺学是机械制造专业主要课程之一，本课程的任务是通过机械加工工艺理论和典型零件加工工艺学习，使学生掌握机械加工工艺的基本理论知识，熟悉制订工艺规程的原则、步骤及方法，同时配合实验教学、生产实习，以及通过课程设计和毕业设计等教学环节的锻炼，使学生具有制订船用机械一般常用零件机械加工工艺规程的能力和解决生产中一般工艺问题的能力。

学习中应注意理论和实际相结合；分析工艺问题时注意综合运用《公差与技术测量》、《金属切削原理与刀具》、《金属切削机床》、《机床夹具设计》、《金属材料与热处理》等课程的知识。此外，还应注意从加工质量、生产率和经济性三方面进行分析论证。

第一章 机械加工工艺规程制订

第一节 概 述

一、生产过程和工艺过程

无论是一台船用主机还是船用辅机，它的生产过程都是一个复杂的过程。例如一台柴油机，它是由许多零件、组件及部件装配而成的。对柴油机生产厂家来说，对其中自制件部分，首先把各种原材料如生铁和轧制的钢材，在铸造、锻压等车间制成零件的毛坯，然后送到机械加工、热处理等车间进行加工和处理，再把加工好的零件（或半成品）送到装配车间，与其它厂生产的协作件、外购件一起装成一台柴油机，最后经过磨合、调整、试验等，在达到规定的性能指标后正式出厂。除去上述直接的生产部门外，工厂中还必须有生产准备和为生产服务的辅助部门，如原材料及半成品的供应、质量检查和准备，生产工具的制造、管理和准备，设备的维修以及刀具的刃磨等。所谓生产过程就是将原材料或半成品制成产品的全部过程。

在机械产品的生产过程中，对于那些与原材料变为成品直接相关的过程，如毛坯制造、机械加工、热处理和装配等，称为工艺过程。而采用机械加工的方法，使毛坯逐步改变形状尺寸和表面质量而成为合格零件的过程（包括滚压、喷丸处理及使用其它机械方法的强化工艺），称为机械加工工艺过程。机械加工工艺过程在船用主辅机生产过程中占有较大的比重，其中绝大部分是应用金属切削机床进行加工。

二、机械加工工艺过程的组成

机械加工工艺过程常常是比较复杂的。在这个过程中，根据被加工零件的结构特点和技术要求，常需要采用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。为了比较客观地反映这一过程，便于分析和研究这一过程，需要对其组成单元作出科学的定义。

机械加工工艺过程组成的基本单元是工序，而工序又可细分为工步和走刀。

（一）工 序

工序是指一个（或一组）工人，在一台机床（或在其它设备或工地）上，对一个（或同时对几个）工件所连续完成的那部分加工工艺过程。

工作地（设备）是否变动是区分工序的主要依据。

工序不仅是制订机械加工工艺过程的基本单元，也是制订劳动定额、配备工人、安排作业计划和进行质量检验的基本单元。

（二）工步与走刀

在一个工序内，往往需要采用不同的刀具和切削用量对不同的表面进行加工，为了

便于分析和描述工序的内容，工序可进一步划分为工步。工步是指在一次安装中加工表面、切削刀具和切削用量中切削速度与进给量不变的条件下所完成的那部分加工过程。只要其中一个因素改变了，就变成了另一工步。

其余 12.5/

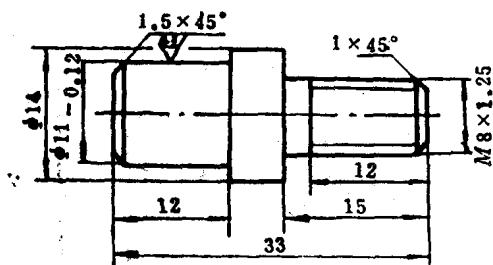


图1-1 螺纹柱销零件图

我们对加工图1-1零件进行分析：在一台普通车床上，如图1-2中(a)所示，将工件安装在机床上，对工件进行(b)、(c)、(d)、(e)、(f)工步的加工；然后如图中(g)所示，将工件调头装夹，对工件进行(h)、(i)、(j)、(k)、(l)工步的加工。这样，整个加工工作过程只包括在一个工序内。如果按上述完成(l)工步的加工后，改为在另一台机床上将工件调头，在(g)的安装情况下直到完成(l)工步的加工为止，这样的加工工作过程便包括两个工序。

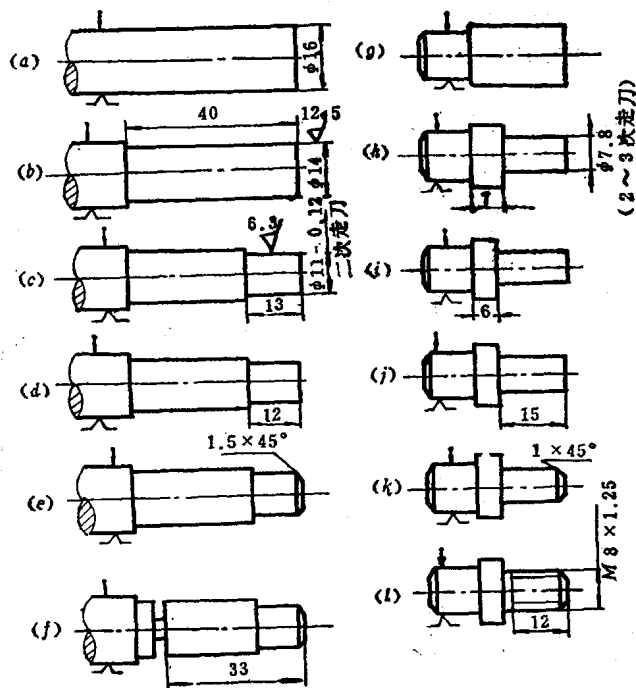


图1-2 螺纹柱销机械加工工艺过程示意图

(“Δ”为定位符号，“↓”为夹紧着力点)

对于那些在一次安装中连续进行若干相同的工步，为简化工序内容的叙述，通常多看做一个工步。例如，对于图1-3所示零件上四个φ15mm孔的钻削，可写成一个工步

——钻4- $\phi 15$ mm孔。

为了提高生产率，用几把刀同时加工几个表面的工步，称为复合工步，如图1-4。在工艺文件上，复合工步应视为一个工步。

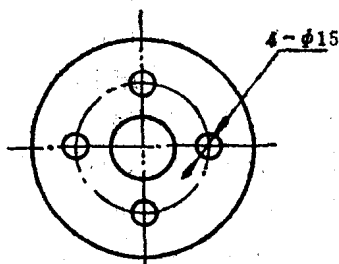


图1-3 包括四个相同表面加工的工步

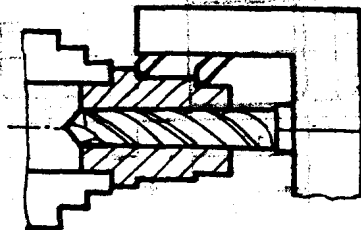


图1-4 复合工步

在一个工步内，若被加工表面需要切去的金属层较厚，需要分几次切削，则每进行一次切削就是一次走刀。一个工步可包括一次或几次走刀。

(三) 安装与工位

工件在加工之前，在机床或夹具上先占据一个正确的位置（定位），然后再予以夹紧的过程称为安装。在一个工序内，工件可能安装一次或数次，为了减少安装误差，安装次数越少越好。

为了减少工件安装的次数，常采用各种回转工作台，回转夹具或移位夹具，使工件在一次安装中先后处于几个不同的位置进行加工。工件在机床上占据的每一个位置称一个工位。图1-5所示为一利用回转工作台在一次安装中顺次完成装卸工件、钻孔、扩孔和铰孔四工位加工的实例。采用多工位加工，可减少工件安装次数，缩短辅助时间，提高生产效率。

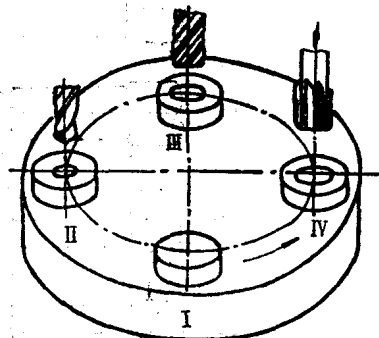


图1-5 多工位加工

工位I—装卸工件；工位II—钻孔，
工位III—扩孔，工位IV—铰孔

三、生产纲领与生产类型

产品（或零件）的生产纲领，即产品（或零件）的年产量。生产纲领的大小，对机械加工工艺过程的制订有很大影响。

零件的生产纲领可按下式计算：

$$N = Qn(1 + a\% + b\%)$$

式中 N ——零件的生产纲领；

Q ——产品的生产纲领；

n ——每台产品中该零件的数量；

$a\%$ ——备品的百分率；

$b\%$ ——废品的百分率。

根据生产纲领的大小和产品品种的多少，机械制造业的生产可分为三种类型：单件生产、成批生产和大量生产。

(一) 单件生产

单件生产的基本特点，是生产的产品品种繁多，每种产品仅制造一个或少数几个，而且很少再重复生产。例如船用重型柴油机多属单件生产。

(二) 大量生产

产品（或零件）年产量很大，在每台机床上经常重复完成某一工件的某一工序，这种生产方式称大量生产。例如汽车、拖拉机发动机生产，船用辅机某些零件及附件的专业化生产等也多属于大量生产。

大量生产使用专用工艺装备较多，机床按零件工艺过程顺序排列，按流水线的生产方式进行。此外，大量生产适合采用自动线。

(三) 成批生产

产品按批量制造，而且往往每隔一定时间又重复进行生产称成批生产。

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的大小，成批生产可分为小批生产、中批生产和大批生产。小批生产机械加工工艺过程的特点和单件生产相似，大批生产机械加工工艺过程的特点和大量生产相似，中批生产的工艺特点介于两者之间。各种生产类型的工艺特征见表1-1。

表1-1 各种生产类型的工艺特征

特 点	单 件 生 产	成 批 生 产	大 量 生 产
毛坯的制造方法及加工余量	铸件用木模手工造型，锻件用自由锻。毛坯精度低，加工余量大。	部分铸件用金属模，部分锻件用模锻。毛坯精度中等，加工余量中等。	铸件广泛采用金属模机器造型，锻件广泛采用模锻，以及其它高生产率的毛坯制造方法。毛坯精度高，加工余量小。
机床设备及其布置形式	采用通用机床。机床按类别和规格大小采用“机群式”排列布置。	采用部分通用机床和部分高生产率机床。机床按加工零件类别分工段排列布置。	广泛采用高生产率的专用机床及自动机床。机床设备按流水线形式排列布置。
夹具	多用标准附件，很少采用专用夹具。靠划线及试切法达到尺寸精度	广泛采用夹具，部分靠划线法达到加工精度。	广泛采用高生产率夹具，靠夹具及调整法达到加工精度。
刀具与量具	采用通用刀具与万能量具。	较多采用专用刀具及专用量具。	广泛采用高生产刀具和量具。
对工人的要求	需要技术熟练的工人。	需要一定技术熟练程度的工人。	对操作工人的技术要求较低，对调整工人的技术要求较高。
工艺文件	有简单的工艺路线卡。	有工艺规程，对关键零件有详细的工艺规程。	有详细的工艺文件。

生产类型的划分，主要取决于产品的复杂程度及生产纲领的大小。表1-2所列生产

类型与生产纲领的关系, 可供确定生产类型时参考。

表1-2 生产类型和生产纲领的关系

生 产 类 型	重型 (零件重大于2000kg)	中型 (零件重100—2000kg)	轻型 (零件重小于100kg)
单 件 生 产	<5	<20	<100
小 批 生 产	5~100	20~200	100~500
中 批 生 产	100~300	200~500	500~5000
大 批 生 产	300~1000	500~5000	5000~50000
大 量 生 产	>1000	>5000	>50000

四、工艺规程及其应用

将工艺过程的各项内容写成文件，用来指导生产，组织和管理生产，这些技术文件就是工艺规程。常见的工艺规程有以下三种卡片：

(一) 工艺过程综合卡片

这种卡片主要列出了零件加工从毛坯到成品依次所经过的各车间，列出了工序的安排顺序，也就是列出了零件加工的工艺路线。这种卡片由于对各工序的说明不够具体，故不能直接指导工人操作。它是制订其他工艺文件的基础，也是生产技术准备、编制作业计划和组织生产的依据。当单件小批生产时，通常不编制其它详细的工艺文件，而以这种卡片指导生产。这时，这种卡片应编得详细一些。工艺过程综合卡片见表1~3。

表1-3 工艺过程综合卡片

工 厂	工 艺 过 程 综 合 卡 片	产 品 名 称 及 型 号		零 件 名 称	零 件 图 号			第 页			
		材 料	名 称		毛 种 类	零 件 重 量			毛 重	共 页	
			牌 号	kg		净 重					
			性 能				每 台 件 数	每 批 件 数			
工 序 号		工 序 内 容		加 工 车 间	设 备 名 称 及 编 号	工 艺 装 备 名 称 及 编 号			技 术 等 级	时 间 定 额 min	
						夹 具	刀 具	量 具		单 件	准 编 备 号
更 改											
内 容											
编 制		校 对		审 核		会 签					

(二) 机械加工工艺卡片

工艺卡片是以工序为单位详细说明零件整个工艺过程的工艺文件。工艺卡片内容包括零件的工艺特性（材料、重量、加工表面及其精度和表面粗糙度等）、毛坯性质、各道工序的具体内容，各工序所用机床、刀、夹、量具和各工步所采用的切削用量等。它可以用来指导工人生产，亦可帮助技术管理干部掌握零件整个加工过程，是组织管理生产的主要技术文件。其格式见表1-4。

表1-4 机械加工工艺卡片

工 厂	机 械 加 工 工 艺 卡 片	产 品 名 称 及 型 号		零 件 名 称		零 件 图 号									
		材 料	名 称	毛 坯	种 类	零 件 重 量	毛 重	第 页							
			牌 号	还	尺 寸	kg	净 重		共 页						
			性 能			每 台 件 数			每 批 件 数						
工 序	装 夹	工 步	工 序 内 容	同 时 加 工 零 件 数	切 削 用 量			设 备 名 称 及 编 号	工 艺 装 备 名 称 及 编 号	技 术 等 级	工 作 定 额 min				
序					切 削 深 度 mm	切 削 速 度 m/min	每 分 钟 转 数 或 复 转 次	进 给 量 mm/r 或 mm/d-str		夹 具	刀 具	量 具		单 件	准 备 终 结
更 改 内 容															
编 制				校 对				审 核				会 签			

(三) 机械加工工序卡片

它是根据工艺卡片为每道工序制定的，它详细记载了工序内容和加工必须的工艺资料，除工艺卡片上所有的基本项目外，它还标出了定位基准的选择、工件的装夹方法、画出工序加工简图，列出了工序尺寸及公差，列出了工时定额等。它是用来具体指导工人操作的一种工艺文件，其格式见表1-5。

以上三种卡片是常见的，各工厂根据自己厂的具体情况，还可编制其它卡片，如工序调整卡，质量检查卡等。此类卡片根据生产需要编制。

工艺规程不但是组织生产、管理生产、指导生产的主要技术文件，也是新建或扩建工厂和车间的基本依据资料。

表1-5 机械加工工序卡片

[illegible][illegible]

第二节 工艺规程的制订过程

一、制订工艺规程的原则

制订工艺规程的原则是：在一定的生产条件下，以最少的劳动消耗和最低的费用，按计划规定的速度，可靠地加工出符合图纸及技术要求的零件。工艺规程首先要保证产品质量，同时要争取最好的经济效益。在制订工艺规程时，应注意以下问题：

（一）技术上的先进性

在制订工艺规程时，要了解国内外本行业工艺技术的发展，通过必要的工艺试验，积极采用合适的先进技术和工艺装备。

（二）经济上的合理性

在一定生产条件下，可以拟订几个保证工件图纸及技术要求的工艺方案，然后对这些方案全面考虑分析对比，并通过核算选出经济上最合理的方案，使产品的能源、物资消耗和成本最低。

（三）有良好的劳动条件

工艺规程制订时，在条件允许的情况下，尽量多采用一些机械化或自动化措施；同时应保证安全和良好的劳动条件。

二、制订工艺规程的原始资料

制订工艺规程时，通常应具备下列原始资料：

（一）产品的全套装配图和零件的工作图

（二）产品验收的质量标准

（三）产品的生产纲领

（四）毛坯资料

毛坯的资料包括各种毛坯制造方法所获得的毛坯的余量，技术经济特征；各种钢材型料的品种和规格；毛坯图等（关键性零件毛坯图还需附有理化性能试验、取样、试压等特殊技术要求）。在无毛坯图的情况下，需实地了解毛坯的形状、尺寸及机械性能等。

（五）现场的生产条件

为了使制订的工艺规程切实可行，一定要考虑现场的生产条件。因此，要深入生产实际，了解毛坯的生产能力及技术水平；加工设备和工艺装备的规格及性能；运输设备和起重能力；工人的技术水平以及专用设备及工艺装备的制造能力等。

（六）国内外工艺技术的发展情况

工艺规程的制订，既应符合生产实际，又不能墨守成规。要随着产品和生产的发展，不断地革新和完善现行工艺。因此，要经常研究国内外有关工艺技术资料，积极引进适用的先进工艺技术，不断提高工艺水平，以便在生产中取得最大的经济效益。

（七）有关的工艺手册及图册

三、制订工艺规程的步骤

制订零件机械加工工艺规程的主要步骤大致如下：

- (一) 分析零件图和产品装配图
- (二) 确定毛坯
- (三) 确定加工中的定位基准
- (四) 拟定工艺路线
- (五) 确定各工序尺寸及公差
- (六) 确定各工序的设备、刀夹量具和辅助工具
- (七) 确定切削用量和工时定额
- (八) 确定各主要工序的技术要求及检验方法
- (九) 填写工艺文件

下面分节对上述主要问题进行分析讨论。

第三节 零件图的研究

零件图是制订工艺规程最主要的原始资料,在制订工艺时,必须首先加以认真分析。为了深刻地理解零件结构上的特征和主要技术要求,通常还需研究产品的总装图、部件装配图及验收标准,从中了解零件的功用和相关零件间的配合,以及主要技术要求制订的依据。

研究零件图时,要注意以下两个方面:

一、零件的结构分析

(一) 注意零件是由哪些几何表面组成的

机械零件的结构,由于使用要求不同而具有各种形状和尺寸。但是如果仔细分析一下,零件都是由一些基本的几何表面和特形表面所组成。基本表面有内外圆柱表面、圆锥表面和平面等;特形表面主要有螺旋面、渐开线齿形表面及其它一些成形表面等。

(二) 注意组成零件表面的结构特征

同样是内外圆构成的表面可组成轴类零件,也可组成盘类零件;可组成环类零件,又可组成套类零件,还可组成形状复杂的薄壁套零件。显然这些零件在工艺上差别是较大的。

(三) 要注意审查零件的结构工艺性

零件的结构形状在保证使用要求的前提下,应便于制造,便于以较高的生产率和较低的成本制造出来。结构工艺性问题比较复杂,它涉及毛坯制造、机械加工、热处理和装配各方面的要求。图1-6中列出了零件机械加工工艺性对比的一些实例。图中(a)表示孔的位置应便于刀具接近加工表面;图中(b)是为了刀具退出应留出退刀槽;图中(c)、(d)是表示孔口形状应防止钻头的引偏和折断;图中(e)、(f)是为减少加工面积和避免深孔加工;图中(g)是取相同尺寸的退刀槽以减少刀具的规格和换刀时间;图中(h)是孔的分布方向应减少工件的安装次数。

二、零件的技术要求分析

零件的技术要求包括下列几个方面:

(一) 加工表面尺寸精度、形状精度和位置精度要求