

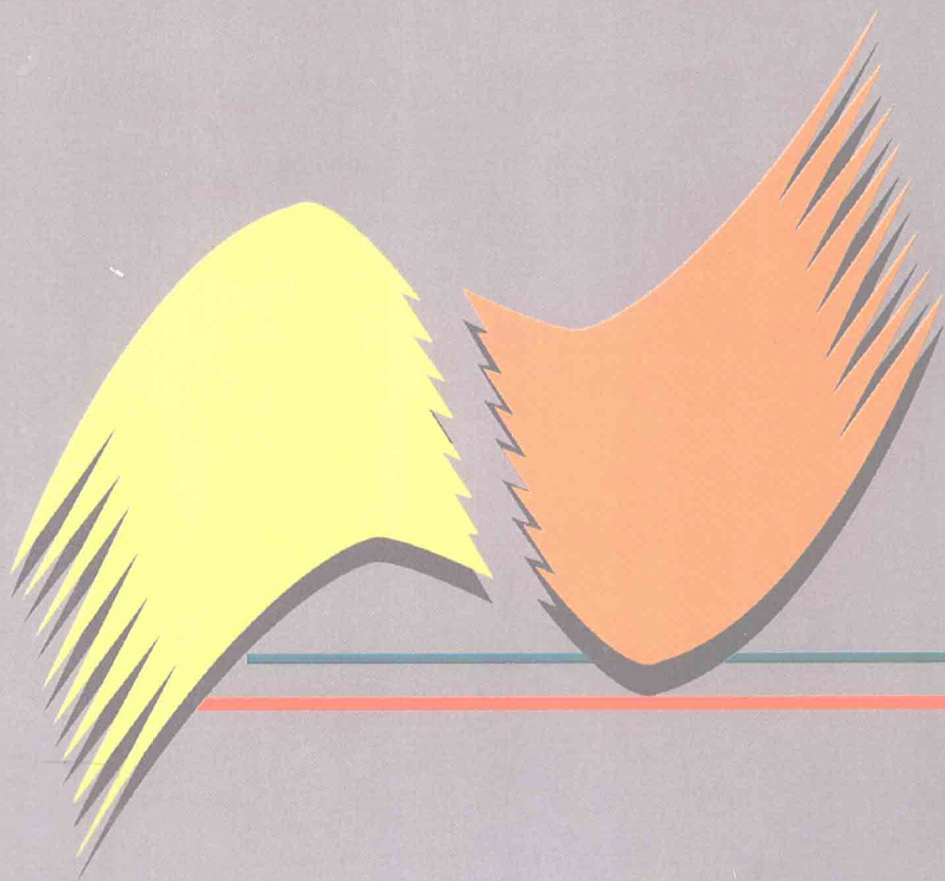
中等职业学校教学用书

ZHONG DENG ZHI YE XUE XIAO JIAO XUE YONG SHU

机械设计基础

JIXIE SHEJI JICHU (修订版)

◇隋明阳 主编



机械工业出版社
China Machine Press



本书是根据教育部 2000 年 8 月颁发的全国中等职业学校“机械设计基础”教学大纲(试行)编写并修改的。

全书贯彻了“以知识为基础,以职业能力为本位”,贴近工程实际、贴近生活实际和贴近学生实际的指导思想,主要讨论了常用机械传动(含机构)、联接、支承零部件的工作原理、结构、特点、应用、选择、设计、使用和维护等方面的内容,共十三个课题。书中强调了测绘、装拆、调整、运用和维护一般机械装置的技能培养;体现了“宽基础、活模块”的编排思想,使本书具有便于组织教学的特点。

本书可作为中等职业学校机械类、机电类和近机类专业的教学用书,也可供其他职业学校、各类成人院校师生和有关的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/隋明阳主编. —北京:机械工业出版社, 1999. 8

中等职业学校教学用书

ISBN 7-111-07224-3

I. 机… II. 隋… III. 机械设计-职业学校-教材 IV. T
H122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 24926 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:王海峰 李宜春 版式设计:陈伟 责任校对:姚培新

封面设计:东方 责任印制:李妍

保定市印刷厂印刷

2006 年 2 月第 1 版·第 4 次印刷

787mm×1092mm^{1/16}·15.5 印张·441 千字

11001—14000 册

本套书定价:29.00 元(本分册定价:19.50 元)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

修订版前言

本书是在第一版的基础上,依据教育部2000年8月颁发的全国中等职业学校“机械设计基础”教学大纲(试行),并参照北京市中等职业学校“机械设计基础”课程教学基本要求而编写并修改的,既可作为中专学校机械类,机电类和近机类各专业“机械设计基础”课程的教学用书,亦可供其他职业学校、成人院校师生和有关的工程技术人员参考。

本书贯彻了“以知识为基础,以职业能力为本位”,尽量贴近工程实际、贴近生活实际、贴近学生实际的指导思想,分成十三个课题,主要讨论了常用机械传动(含机构)、联接、支承零部件的工作原理、结构、特点、应用、选择、设计、使用、维护等方面的内容,尽量采用最新的国家标准和有关规范,强调了测绘、装拆、调整、运用和维护一般机械装置的技能培养。各课题之间既互相联系,又有一定的独立性,体现了“宽基础、活模块”的编排思想,便于组织教学。本书中带“*”号部分为选修内容。

本书是由北京市中专力学教学研究会组织,按课题顺序由隋明阳、钱卫、陈文霞、陈继荣、王达玲、崔达人、苏理中、张怀莲、杨合意、王凤玲、叶如燕、牛红芳和周大勇等同志共同编写修改,并由隋明阳同志任主编。李默生同志对本书进行了审阅并提出了宝贵意见,赵晶同志参加了书稿的后期整理工作,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限、时间仓促,有错误和不妥之处,欢迎读者批评指正。

编者

2001年3月

目 录

修订版前言

课题一 机械设计基础概述	1	* 第七节 齿轮传动的精度	95
第一节 机器及机构运动简图	1	第八节 渐开线直齿圆柱齿轮传动的强度 计算	96
第二节 本课程的任务、内容和基本要求	4	第九节 斜齿圆柱齿轮传动	101
第三节 机械设计的基本要求和一般程序	4	第十节 标准圆柱齿轮传动的设计 步骤	106
第四节 零件的工作能力计算和材料选择	6	第十一节 渐开线齿轮的加工原理与切齿 干涉	108
第五节 零件的结构工艺性和精度选择	10	* 第十二节 变位齿轮传动简介	110
第六节 机械中的摩擦、磨损与润滑	13	第十三节 锥齿轮传动	113
课题二 联接	16	第十四节 齿轮传动的维护	117
第一节 键联接	16	课题五 蜗杆传动	118
第二节 销及销联接	22	第一节 蜗杆传动的类型、特点及 应用	118
第三节 螺纹联接	22	第二节 蜗杆传动的基本参数和几何尺 寸	119
第四节 螺旋机构	36	第三节 蜗杆传动设计	122
第五节 不可拆联接	38	第四节 蜗杆传动的维护	130
第六节 轴间联接与制动器	40	课题六 轮系	131
课题三 摩擦轮传动和挠性传动	51	第一节 概述	131
第一节 摩擦轮传动	51	第二节 定轴轮系的传动比	131
第二节 挠性传动概述	54	第三节 行星轮系及其传动比	133
第三节 带传动的基本知识	55	* 第四节 组合轮系的传动比	136
第四节 带传动的基本理论	59	第五节 轮系的功用	137
第五节 V 带传动的设计计算	61	* 第六节 其他行星传动简介	139
第六节 带传动的张紧、使用和维护	69	课题七 支承零部件	141
* 第七节 同步带传动简述	71	第一节 滑动轴承	141
* 第八节 链传动	72	第二节 滚动轴承	145
课题四 齿轮传动	79	第三节 轴的分类、应用及结构	150
第一节 概述	79	第四节 轴的强度计算	155
第二节 渐开线齿廓	80	* 第五节 滚动轴承的寿命及静载荷 计算	159
第三节 渐开线圆柱齿轮的主要参数及标准 直齿圆柱齿轮的几何尺寸	83	第六节 滚动轴承的组合设计	169
第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮 合	87	课题八 机械的润滑与密封	173
第五节 齿轮的失效形式和设计准则	88	第一节 润滑剂	173
第六节 齿轮常用材料、许用应力和圆柱齿 轮结构	90	第二节 润滑方式和润滑装置	175

第三节	常用密封方式及密封件	182	第二节	槽轮机构	215
课题九	平面连杆机构	185	* 第三节	凸轮式间歇运动机构	218
第一节	铰链四杆机构	185	* 课题十二	弹性联接	220
第二节	单移副四杆机构	189	第一节	弹簧的功能与类型	220
第三节	四杆机构的基本特性	191	第二节	弹簧的制造与材料	221
第四节	连杆机构的结构和维护	193	第三节	圆柱形螺旋弹簧的结构、参数、尺寸和特性曲线	223
* 第五节	平面四杆机构的运动设计简介	196	第四节	圆柱形螺旋弹簧的设计	224
课题十	凸轮机构	199	第五节	片弹簧简介	227
第一节	凸轮机构的组成、特点、应用及分类	199	* 课题十三	机械的动力性能	229
第二节	凸轮机构工作过程及从动件常见运动规律	201	第一节	机构平衡的目的和分类	229
第三节	盘形凸轮轮廓曲线设计	204	第二节	刚性回转件的平衡计算	230
第四节	凸轮工作轮廓的校核	205	第三节	刚性回转件的平衡试验	233
第五节	凸轮机构常用材料及结构	207	第四节	机器的运动和功能关系	237
课题十一	间歇运动机构	210	第五节	机器速度波动原因及调速原理简介	238
第一节	棘轮机构	210	主要参考资料		239

课题一 机械设计基础概述

为了满足生活和生产的需要，人类创造并发展了机械。当今世界，人们越来越离不开机械了。学习机械知识，掌握一定程度的机械设计、制造、运用、维护与修理等方面的理论、方法和技能是十分必要的，特别是对于那些从事或即将从事机械设计、制造或与机械有关的技术、管理工作的人员来说显得更加重要。

第一节 机器及机构运动简图

一、机器及其组成

机器是执行机械运动的装置，用来变换或传递能量、物料与信息。汽车、自行车、缝纫机、通风机、食品加工机、打印机、电动机、机床、机器人等等都是机器。

为了更全面地认识机器，了解机器的共性，下面分析机器的组成。

从制造的角度看，机器是由若干个零件装配而成的。零件是机器中不可拆卸的制造单元。可以将零件按其是否具有通用性分为两大类：一类是通用零件，它的应用很广泛，几乎在任何一部机器中都能找到它，例如齿轮、轴、螺栓、螺母、销钉等；另一类是专用零件，它仅用于某些机器中，常可表征该机器的特点，例如牛头刨床的滑枕（见图 1-1）、起重机的吊钩等。

有时为了装配方便，先将一组组协同工作的零件分别装配或制造成一个个相对独立的组合体，然后再装配成整机，这种组合体常称之为部件（或组件）。例如牛头刨床的刀架（见图 1-1），车床的主轴箱、尾座，滚动轴承以及自行车的脚蹬子等。将机器看成是由零部件组成的，不仅有利于装配，也有利于机器的设计、运输、安装和维修等。按零部件的主要功用可以将它们分为联接与紧固件、传动件、支承件等。在机器中，零部件都不是孤立存在的，它们是通过联接、传动、支承等形式按一定的原理和结构联系在一起的，这样才能发挥出机器的整体功能。

从运动的角度看，机器是由若干个运动的单元所组成，这种运动单元称为构件。构件可以是一个零件（如图 1-1 中的导杆 5），也可以是若干个零件的刚性组合体（如在图 1-1 中，齿轮 1、轴 13、键 14 组合为一个构件）。在此，各构件之间也是有联系的，是靠运动副联系起来的。构件与构件直接接触形成的可动联接称

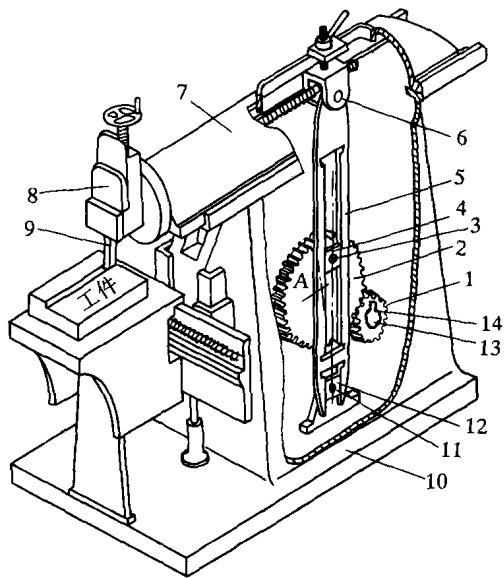


图 1-1 牛头刨床

- 1、2—齿轮 3、6、11—销钉 4—滑块 5—导杆
7—滑枕 8—刀架 9—刨刀 10—床身
12—摇块 13—轴 14—键

之为运动副。用运动副将若干个构件联接起来以传递运动和力的系统称之为机构，其中有一个相对静止的构件是机架。常用机构有齿轮机构、连杆机构、凸轮机构等。用运动的观点看机器，可以认为一部机器不是一个机构就是若干个机构的组合，这就为机器的运动分析与设计带来了方便。

机构与机器统称为机械。

二、机构运动简图

机构要用机构运动简图或机构示意图来表达（见图 1-2）。

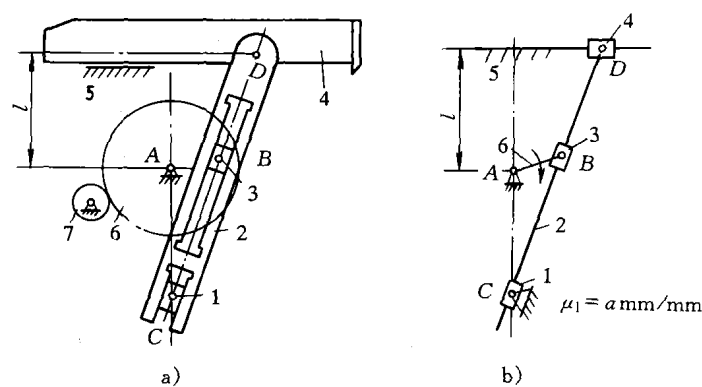


图 1-2 牛头刨床的主运动机构

a) 机构示意图 b) 机构运动简图

1—摇块 2—导杆 3—滑块 4—滑枕（滑块） 5—床身（机架）
6—大齿轮 7—小齿轮

机构运动简图是一种用规定的简单图符号表达构件和运动副并按适当比例绘制的图形，它能够表达各构件的相对运动关系、揭示机构的运动规律和特性。机构运动简图的长度比例尺通常用 μ_l 表示：

$$\mu_l = \frac{\text{实际长度 (mm)}}{\text{图示长度 (mm)}}$$

常用的运动副有四种：转动副、移动副、凸轮副和齿轮副，它们都是平面运动副（即两构件在同一平面内所组成的运动副）。转动副只能保证两构件在某一个方向上有相对转动。移动副只能保证两构件在某一个方向上有相对移动。凸轮副和齿轮副（见图 1-3），它们都有在两个方向上运动的可能性。

转动副和移动副又称为平面低副，凸轮副和齿轮副又称为平面高副。

构件和运动副在机构运动简图中的常用符号见表 1-1，其他符号详见有关标准，本教材也会陆续介绍一些，它们只是便于进行运动分析与设计的抽象符号，不表达构件和运动副的具体结构。

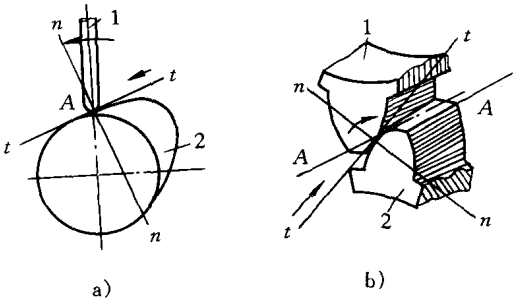
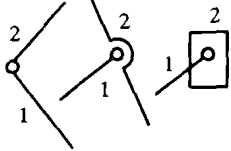
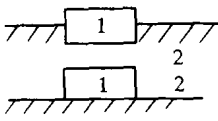
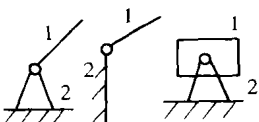
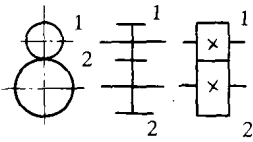
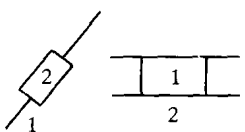
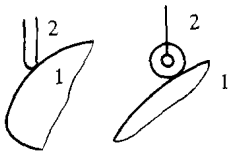


图 1-3 凸轮副和齿轮副

a) 凸轮副 b) 齿轮副

表 1-1 机构运动简图的常用符号

运动副及构件	代表符号	运动副及构件	代表符号
两活动构件 1 和 2 组成转动副		活动构件 1 和机架 2 组成移动副	
活动构件 1 和机架 2 组成转动副		齿轮副 (外啮合)	
两活动构件 1 和 2 组成移动副		凸轮副	

绘制机构运动简图的方法与步骤可参见本课程的实训练习指导书，在此仅举一例（见例题 1-1）。

例题 1-1 试绘制图 1-1 所示牛头刨床主机机构的机构运动简图。

解 (1) 分析机构运动，确定构件数目。图示牛头刨床刨刀的运动是这样实现的：电动机通过带传动（图中未画出）使齿轮 1 转动进而带动齿轮 2 转动。齿轮 2 再通过与其固定在一块的销钉 3 带动滑块 4、导杆 5、摇块 12 运动从而使销钉 6、滑枕 7、刀架 8 和刨刀 9 一起作往复直线运动。在其主机机构的运动简图中可以不考虑齿轮 1 构件（含轴 13、键 14），认为齿轮 2 和销钉 3 组成主动构件 6（运动规律已知的构件称为主动件或原动件），并作定轴转动，转动中心在轮心 A 处；滑块 4、导杆 5、摇块 12 各自成为一个构件，在主机机构的运动简图中分别用构件 3、2、1 表示；销钉 6、滑枕 7、刀架 8 和刨刀 9 组成移动构件 4，所有固定不动的零件均视为机架 5。此机构共有六个构件（含机架）。

(2) 确定运动副的类型和数量。构件 6 与构件 3、机架 5 分别组成两个转动副（用 A、B 表示）；构件 2 既分别与构件 3、1 组成两个移动副，又与构件 4 组成一个转动副（用 D 表示）；构件 4 与机架 5 组成一个移动副；构件 1 与机架 5 组成一个转动副（用 C 表示）。

(3) 确定视图平面。选择滑枕的运动平面作为视图平面可将所有构件的运动关系完全表达清楚。

(4) 徒手画草图并测量各运动副之间的相对位置（见图 1-2），特别要注意先确定机架的尺寸 l 和 l_{AC} （ l_{AC} 表示 A、C 之间的长度）。

(5) 选择适当的长度比例尺 $\mu_l = a\text{mm/mm}$ 并将实长换算为图长。

(6) 完成机构运动简图。先作一水平线表示移动构件 4 的运动方向，然后作它的垂线并在该垂线上量取图长 l 和 l_{AC} 找到 A、C 两点；以 A 点为圆心、 l_{AB} 为半径画一圆弧；过 C 点作一直线分别与圆弧、水平线交于 B、D 点；按规定的图示符号先画运动副、再画构件；注明构件号（1~6）、转动副代号（A、B、C、D）、原动件运动方向（箭头），完成全图（见图 1-2b）。

第二节 本课程的任务、内容和基本要求

本课程的任务是培养学生掌握通用零部件和常用机械传动（含机构）的基本知识、基本理论和基本技能，使他们初步具有分析、设计、运用和维护机械传动装置的能力，为他们解决机械方面的实际问题和继续学习打下基础。为此，本课程分十三个课题安排了有关机械设计基础概述、联接的原理与应用、机械传动和支承零部件的设计与维护、常用机构的基本原理与应用等方面的理论教学内容，还安排了机器的观察与分析、机械联接的拆装、齿轮参数测定、机构的结构与特性分析、机械传动装置的拆装与调整等实训练习内容和综合实践（课程设计）。

通过本课程的教学，学生应达到以下基本要求。

- 1) 熟悉通用零部件和常用机械传动（含机构）的工作原理、结构、特点及应用。
- 2) 具有与本课程有关的解题、运算、绘图、执行国家标准、收集和使用技术信息与资料的技能。
- 3) 初步具有测绘、装拆、调整、检测一般机械装置的技能。
- 4) 初步具有运用和维护机械传动装置的能力。
- 5) 掌握通用零部件和常用机械传动（含机构）的选用和基本设计方法，初步具有设计简单机械传动装置的能力。
- 6) 初步具有分析和处理机械中一般问题的能力。

第三节 机械设计的基本要求和一般程序

一、机械设计应满足的基本要求

机械设计是人们从生产和生活的实际需要出发，运用设计理论、方法和技能，经过构思、计算、绘图等过程，创造新机械的活动。机械设计可以是开发新产品，也可以是改造现有的机械；既可以设计功能不同的机械，又可以设计结构不同的机械……，但设计应满足的基本要求大致相同，应该使机械达到以下要求。

(1) 使用要求 使用要求是指机械在规定的工作期限内能实现预定的功能并且操作方便，安全可靠，维护简单。

(2) 工艺性要求 机械的工艺性要求是指在保证工作性能的前提下，尽量使机械的结构简单，好加工，易装配，修理方便。

(3) 经济性要求 经济性要求是指在设计、制造方面周期短、成本低；在使用方面效率高，能耗少、生产率高、维护与管理的费用少。

(4) 其他要求 机械设计除了要使机械达到上述要求以外，还要考虑：

- 1) 外观造型和色彩符合工业美学原则，具有时代感。
- 2) 设计新颖独特，符合人们求新、求异、求变化的心理特征。
- 3) 尽量减少对环境的污染，特别是降低噪声。
- 4) 某些特殊要求，例如设计食品机械要考虑干净、卫生、易于清洗；设计飞机要考虑重量轻、可靠性高等等。

二、机械设计应遵循的基本原则

为了满足上述要求，机械设计应注意遵循以下基本原则。

(1) 以市场需求为导向的原则 机械设计作为一种生产活动，与市场是紧密联系在一起。从确定设计课题、使用要求、技术指标、设计与制造工期到拿出总体方案、进行可行性论证、综合效用分析（着眼于实际使用效果的综合分析）、盈亏分析直至具体设计、试制、鉴定、产品投放市场后的信息反馈等都是紧紧围绕市场需求来运作的。设计人员要时时刻刻想着如何设计才能使产品具有竞争力，能够占领市场，受到用户的青睐。

(2) 创造性原则 创造是人的本质。人类如果不发挥自己的创造性，生产就不能发展，科技就不会进步，也就没有人类的今天。设计只有作为一种创造性活动才具有强大的生命力。因循守旧，不敢创新，只能永远落在别人后面。特别是在当今世界科技飞速发展的情况下，在机械设计中贯彻创造性原则尤为重要。

(3) 标准化、系列化、通用化原则 标准化、系列化、通用化简称为“三化”。“三化”是我国现行的一项很重要的技术政策，在机械设计中要认真贯彻执行。

标准化是指将产品（特别是零部件）的质量、规格、性能、结构等方面的技术指标加以统一规定并作为标准来执行。我国的标准已经形成了一个庞大的体系，主要有国家标准、部颁标准、专业标准等。为了与国际接轨，我国的某些标准正在迅速向国际标准靠拢。常见的标准代号有 GB、JB、ISO 等等，它们分别代表中华人民共和国国家标准、机械工业标准、国际标准化组织标准。

系列化是指对同一产品、在同一基本结构或基本条件下规定出若干不同的尺寸系列。

通用化是指在不同种类的产品或不同规格的同类产品中尽量采用同一结构和尺寸的零部件。

贯彻“三化”的好处主要是：减轻了设计工作量，有利于提高设计质量并缩短生产周期；减少了刀具和量具的规格，便于设计与制造，从而降低其成本；便于组织标准件的规模化、专门化生产，易于保证产品质量、节约材料、降低成本；提高了互换性，便于维修；便于国家的宏观管理与调控以及内、外贸易；便于评价产品质量，解决经济纠纷。

(4) 整体优化原则 设计要贯彻“系统论”和优化的思想，要明确：性能最好的机器其内部的零部件不一定是最好的；性能最好的机器也不一定是效益最好的机器；只要是有利于整体优化，机械部件也可以考虑用电子或其他元器件代替。总之，设计人员要将设计方案放在大系统中去考查、寻求最优，要从经济、技术、社会效益等各个方面去分析、计算，权衡利弊，尽量使设计效果达到最佳。

(5) 联系实际原则 所有的设计都不要脱离实际。设计人员特别要考虑当前的原材料供应情况，企业的生产条件，用户的使用条件等。

(6) 人机工程原则 机器是为人服务的，但也是需要人去操作使用的。如何使机器适应人的操作要求，人机合一后，投入产出比最高，整体效果最好，这是摆在设计人员面前的一个课题。好的设计一定要符合人机工程学原理。

三、机械设计的一般程序

机械的种类繁多，用途各异，但其设计程序却相差不多。机械设计一般可分为四个阶段。

(1) 定任务做准备阶段 本阶段应根据市场信息（含预测）或用户要求确定设计任务。要在反复调查研究、分析、收集整理信息资料的基础上进行论证，明确机械的功能要求、使用条件等，做出决策。本阶段的成果表现为设计任务书。

(2) 方案设计（或称总体方案设计）阶段 明确了设计的任务后，还需要进一步确定机

械的具体参数（性能指标、总体尺寸、重量、适用范围等），并进行总体方案设计。本阶段要解决的主要问题有：机械依靠什么原理完成任务，工作装置、动力装置、传动装置各采用什么方案，这三大装置如何联接、怎样布置，操纵和控制它们的装置采用什么方案。总体设计方案的优劣对最后的设计结果影响最大，要反复推敲、科学论证、全面评价、寻求最优。如果经过筛选后还剩下两个方案难分伯仲，条件允许时可以齐头并进。本阶段的主要成果表现在机械示意图、工作原理图、机构运动简图、传动系统图和对它们的说明中。

（3）技术设计阶段 本阶段就是要将总体方案具体化，主要包括机械的运动设计、动力计算、零部件的结构设计和主要零部件的工作能力计算，绘制各种图样等等。此阶段的技术成果有总体设计草图、部件装配草图、零件工作图、部件装配图、总装配图、标准件明细表和有关的设计计算草稿等。在此阶段，由于影响设计的因素太多，它们之间又存在互相联系互相制约的关系，造成设计工作出现反复、绘图与计算交叉进行的现象是不足为怪的。

（4）整理技术文档阶段 此阶段要编写设计计算说明书、使用说明书，还要整理图样，将全部图样装订成册、编写图样目录。必要时可以将全部技术文档存入计算机、拷进软盘、制成光盘或进行缩微处理。

设计能否达到预期目的，是否正确合理，还要通过实践来检验。因此，设计人员应该尽量参加产品的试制与鉴定工作，投产后，还要经常了解销售和用户的使用情况，掌握反馈信息，及时发现问题，采取改进措施，使产品更加完善，也可以按市场需求进行系列化设计和改型设计。

在设计工作中，特别要注意处理好继承与创新的关系，既要借鉴成功的经验（特别是新技术、新结构等），以便少走弯路，又要敢于突破旧的框框，运用创造性思维方法和创造技法去寻找新颖独特的设计，使产品具有竞争力。

在整个设计过程中还要注意充分利用计算机的强大功能（如上网查寻、学习与咨询、辅助设计、资料的存储与修改等等），从而提高设计质量和工作效率，取得最好的效益。

以上程序也不是一成不变的，在工作中，应根据实际情况进行灵活处理。

第四节 零件的工作能力计算和材料选择

零件设计是机械设计的重要组成部分，对整个设计有重大影响。有时因为一个零件的设计出现错误，会使整个机械无法正常工作。

零件设计应使零件达到使用性、工艺性、经济性皆好的基本要求。

零件设计的主要内容包括材料选择、结构设计（确定各部分的形状、尺寸）和提出技术要求（尺寸公差、形位公差、表面质量、热处理……）。对于主要零件还要进行工作能力计算。

一、零件的工作能力计算

1. 工作能力计算准则

零件的工作能力是指零件在一定的条件下抵抗可能出现失效的能力（相对载荷而言的工作能力称为承载能力）。零件由于某些原因不能正常工作称为失效。零件的常见失效形式可分为两大类：一类是整体失效，主要包括断裂（如齿轮轮齿折断、传动带拉断等）、塑性变形（如齿轮轮齿永久性弯曲）、过量的弹性变形（如车床主轴的挠度太大）、带传动打滑、螺纹联接松动、轴的共振等等；另一类是工作表面失效，主要包括压溃（如铸铁轮毂的键槽表面被

挤压破溃)、磨损 (如开式齿轮轮齿表面被磨坏)、点蚀 (如滚动轴承的钢球表面出现小麻点) 等等。对各种形式的失效进行分析、研究, 归纳起来, 主要还是强度、刚度、耐磨性、振动稳定性等方面的问题。按照这些主要问题可建立起不同的工作能力计算准则, 一般可表达为: 计算量 $\leq$ 许用量。如应力 $\leq$ 许用应力, 变形量 $\leq$ 许用变形量等等。

计算准则既可以作为零件工作能力的判定条件, 又可以作为确定零件主要尺寸的依据, 应用时则表现为零件工作能力的校核公式和设计公式。例如: 等截面圆钢在轴向拉伸载荷作用下工作时其校核公式为 $\frac{4F}{\pi d^2} \leq [\sigma]$, 设计公式为 $d \geq \sqrt{\frac{4F}{\pi [\sigma]}}$ (式中: d 表示圆钢直径; F 表示轴向拉伸载荷; $[\sigma]$ 表示圆钢的许用拉应力)。在实际工作中, 通常使用校核公式 (即先由结构设计确定圆钢的直径 d , 然后用校核公式判定其工作能力够否), 有时也使用设计公式 (即先计算 d , 然后进行结构设计)。

如果零件可能出现的失效形式有两种或者更多, 则应先按相应的计算准则分别进行承载能力计算, 然后取其中最小的载荷 (或最大的尺寸) 作为设计的依据。

在零件的承载能力计算准则中, 计算载荷=载荷系数 $\times$ 名义载荷。名义载荷是指在理想的平稳条件下作用在零件上的载荷。载荷系数是考虑到零件的工作条件不一定是理想条件, 可能会有附加载荷而引入的, 其值视具体情况查有关资料确定。

在零件的诸多计算准则中, 应用最多的是强度计算准则。

2. 零件的强度

(1) 载荷与应力 载荷有静载荷和变载荷之分。变载荷是指随时间变化的载荷。静载荷是指不随时间变化或变化很缓慢的载荷。

应力有静应力和变应力之分。不随时间变化或变化很缓慢的应力称为静应力 (图 1-4a)。随时间变化的应力称为变应力 (图 1-4b、c、d)。变应力的大小和变化性质由最大应力 $\sigma_{\max}$, 最小应力 $\sigma_{\min}$, 平均应力 $\sigma_m = (\sigma_{\min} + \sigma_{\max})/2$, 应力幅 $\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2$ 和应力循环特征 $r = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$ 五个参数中的任意两个来确定。

零件的受载类型和应力类型要根据实际情况作具体分析, 例如图 1-5 所示, 分析 A 点的应力性质可知: 静载荷可以使零件产

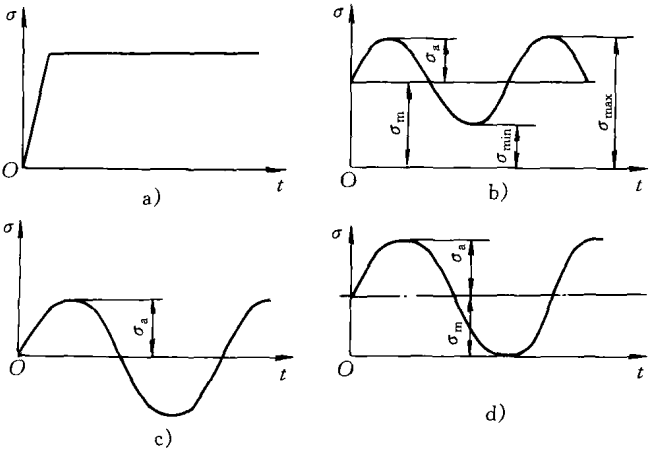


图 1-4 应力的类型

a) 静应力 b) 非对称循环变应力 c) 对称循环变应力 d) 脉动循环变应力

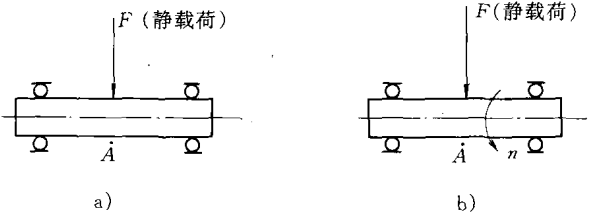


图 1-5 静载荷与应力

a) 静载荷产生静应力 b) 静载荷产生变应力

生静应力，也可以使零件产生变应力。

(2) 零件的体积强度 零件在载荷作用下，如果应力是在较大的体积内产生，则将这种状态下的强度称为零件的体积强度。在体积强度计算中，又分为静强度计算和体积疲劳强度计算两种情况。

1) 零件的静强度计算。零件在静应力下工作时，可进行静强度计算。

对于塑性材料零件，静强度条件为

$$\sigma \leq [\sigma] = \frac{\sigma_s}{S} \quad \text{或} \quad \tau \leq [\tau] = \frac{\tau_s}{S}$$

式中 σ (或 τ) —— 零件的最大工作应力；

$[\sigma]$ (或 $[\tau]$) —— 许用应力；

S —— 安全系数，可查阅有关资料；

σ_s (或 τ_s) —— 塑性材料的屈服点 (即按不发生塑性变形考虑)，可查阅有关资料。

计算脆性材料零件的静强度时，只要将上面公式中的 σ_s (或 τ_s) 换成 σ_B (或 τ_B) 即可。 σ_B (或 τ_B) 为脆性材料的强度极限 (即按不发生断裂考虑)。但要注意式中的 S 为脆性材料的安全系数，形式上没有改变，但数值上则可能有很大的变化。

2) 零件的体积疲劳强度计算。零件在变应力下工作时，如果失效形式为疲劳断裂，应进行体积疲劳强度计算。

金属疲劳断裂面如图 1-6 所示，其主要特点是有光滑区 (即疲劳发展区)，而静力断裂则没有。体积疲劳强度条件为

$$\sigma \leq [\sigma] = \frac{\epsilon_s \beta \sigma_r}{K_\sigma S}$$

式中 σ_r —— 应力循环次数为 10^7 时材料的疲劳极限。应力如果是对称循环时，用 σ_{-1} 代入；应力如果是脉动循环时，用 σ_0 代入；

β —— 表面状态系数；

ϵ_s —— 尺寸系数；

K_σ —— 应力集中系数；

S —— 安全系数。

以上各项均可查阅有关资料，其中 ϵ_s 、 β 、 K_σ 是考虑到零件的几何形状、尺寸大小、表面状态对 σ_r 的影响而引入的。

(3) 零件的表面强度 零件在载荷作用下，如果产生的应力仅仅存在于较浅的表层内，则将这种状态下的强度称为零件的表面强度。在表面强度计算中，又分为挤压强度计算和表面接触疲劳强度计算 (简称接触强度计算) 两种情况。

1) 零件的挤压强度计算。面与面接触且没有相对运动的零件，当靠接触表面互相挤压来传递载荷时，其接触面上的应力称为挤压应力 (例如平键传递转矩，具体情况见图 1-7 所示)。此时，塑性材料可能出现的失效形式为挤压面的塑性变形，而脆性材料则是挤压面被压溃。挤压强度条件为

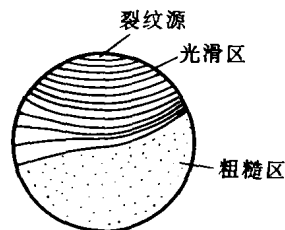


图 1-6 金属的疲劳断裂面

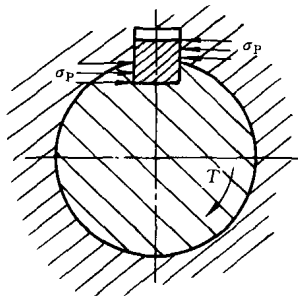


图 1-7 平键联接的挤压应力

$$\sigma_p \leq [\sigma_p]$$

式中 σ_p ——挤压应力；

$[\sigma_p]$ ——许用挤压应力，取互相挤压的零件中的最弱者代入。

2) 零件的接触强度计算。点接触或线接触的两个零件，受到载荷作用时，在接触表面会引起局部变形，并产生很大的局部应力，称之为接触应力（例如在两个齿轮互相啮合时其齿面接触点处的应力）。由弹性力学分析结果表明，两个零件上的接触应力具有大小相等、方向相反、对称分布、稍稍离开接触区中线就迅速降低的特点（见图 1-8， σ_H 表示接触应力的最大值， F_n 表示载荷）。

由于零件的接触应力通常都是变应力（一般为脉动循环），故称此种状态下的零件强度为表面接触疲劳强度（简称接触强度），其条件式为

$$\sigma_H \leq [\sigma_H] = \frac{\sigma_{Hlim}}{S_H}$$

式中 σ_H ——接触应力，根据具体情况计算；

$[\sigma_H]$ ——许用接触应力；

σ_{Hlim} ——零件材料的接触疲劳极限，可查阅有关资料；

S_H ——接触强度安全系数，可查阅有关资料。

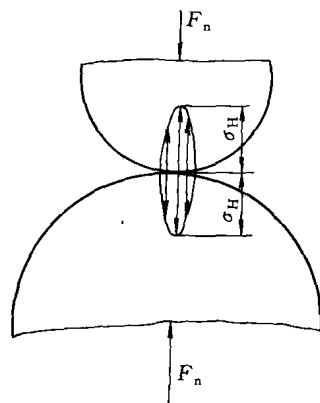


图 1-8 接触应力分布图

二、零件的材料选择

机械制造中最常用的材料是钢和铸铁，其次是有色金属（如铝合金、铜合金等）和工程塑料、橡胶、陶瓷等非金属材料以及复合材料等。

选择零件的材料时，要考虑零件的功能、作用、重要程度、受载情况、应力性质、工作条件、尺寸大小、重量要求、加工难易、制造成本和材料的价格与供应情况；还要考虑能否通过某些措施（如热处理、表面涂镀、喷丸处理、改变结构、合理组合……）使其达到要求。一般来说，都希望在满足使用要求的前提下尽量采用价格便宜，好加工的材料，以降低成本。

在解决实际问题时要注意：

1) 零件在变应力下工作时，要选用疲劳极限较高的材料或采取减小应力集中的措施（如降低表面粗糙度，减小截面的变化程度，表面硬化处理等）。

2) 如果磨损是主要失效形式时，对于组成运动副的两个零件可采用：钢-铜合金、钢-轴承合金（巴氏合金）；钢-铸铁、铸铁-铸铁、钢-塑料、钢-陶瓷等材料组合并选用合理的表面粗糙度或进行表面硬化、表面涂镀处理。

3) 对于既有强度要求又有刚度要求的零件，一般按强度要求选材料，然后采取改变截面形状和尺寸的方法提高其刚度。

4) 对于既有强度要求又有耐腐蚀要求的零件，可采用不锈钢或对普通钢进行表面处理。

5) 根据材料的焊接性能、压力加工性能、切削性能、铸造性能和热处理工艺性能以及零件的生产批量、尺寸大小、形状复杂程度、加工费用高低等情况选择合适的材料和合理的加工工艺。

6) 了解材料的价格和供应情况（常用材料的相对价格见表 1-2）。

表 1-2 机械工程常用材料的相对价格

材 料 种 类	相对价格	材 料 种 类	相对价格	材 料 种 类	相对价格
普通碳钢（钢板及圆钢）	1	弹簧钢	2.5~2.9	轴承钢	4.3~5
槽钢、角钢、工字钢	0.8~1	铬钢	3.7	铝	5.3
灰铸铁件	0.85	钼钢	3.8	铜板（棒）	11~13
铸钢件	1.7	镍钢	4	铜管	12~25
铸铝件	8~10	铬钒钢	4		
优质碳钢	1.5~1.8	铬镍钢	4.2~4.7		

注：以上价格仅供参考。

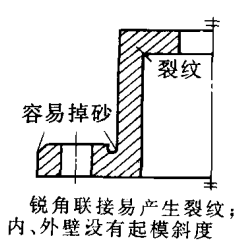
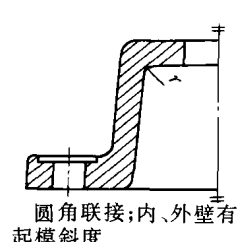
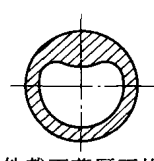
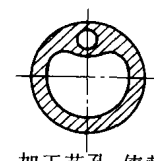
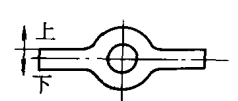
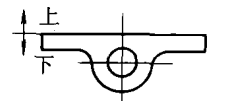
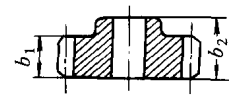
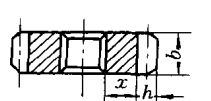
在实际工作中，往往先采用类比法选择材料，然后对重要零件进行承载能力计算。如果承载能力不够，再考虑是否改换别的材料或采取其他措施来提高承载能力。

第五节 零件的结构工艺性和精度选择

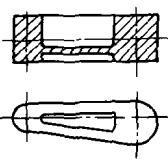
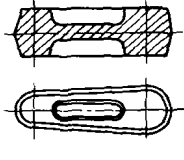
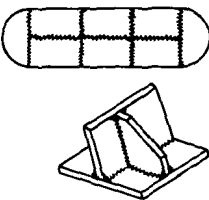
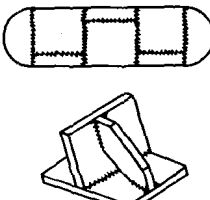
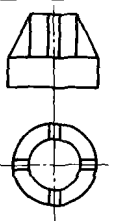
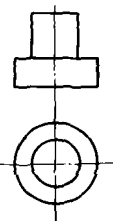
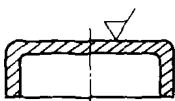
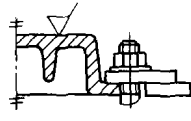
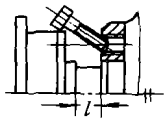
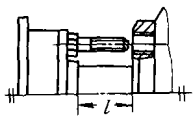
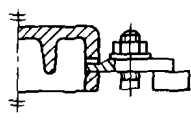
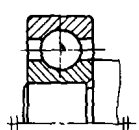
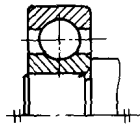
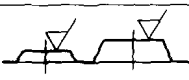
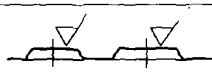
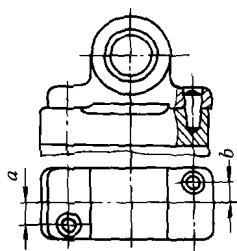
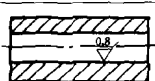
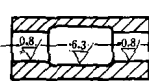
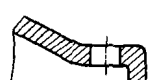
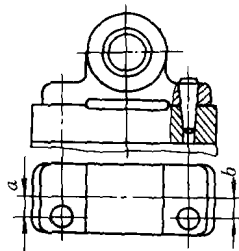
一、零件的结构工艺性

设计零件的具体结构时，只从使用要求和功能要求考虑还不够，还要考虑好加工、耗材少、成本低，这就是零件的结构工艺性问题。在实际工作中，零件设计的大量工作是设计其具体结构，因此对零件的结构工艺性应给予足够的重视。在此，仅举一部分结构工艺性示例供参考（见表 1-3），详见有关的手册、资料。

表 1-3 零件结构工艺性示例

零件铸造工艺性示例		零件热处理工艺性示例	
不合理结构	合 理 结 构	不合理结构	合 理 结 构
 容易掉砂 锐角联接易产生裂纹； 内、外壁没有起模斜度	 圆角联接；内、外壁有 起模斜度	 零件截面薄厚不均匀， 热处理变形大	 加工艺孔，使截面尺 寸均匀
 铸件不在同一砂箱内， 易错型	 铸件在同一砂箱内，避 免错型	 齿轮类零件 b_1、b_2 尺 寸相差越大，变形越大	 高频淬火时，应使 $x \leq 2.5h$, $b \leq 55\text{mm}$

(续)

零件锻造工艺性示例		零件焊接工艺性示例	
不合理结构	合理结构	不合理结构	合理结构
 形状不对称,无起模斜度	 形状对称,有起模斜度 便于锻造	 焊缝密集并交叉,内 应力大	 焊缝错开,切去交叉处 肋板的角,减少内应力
 加强肋不便锻造	 去掉加强肋	 施焊空间不足	 改变两件位置便于焊接
零件机械加工工艺性示例		零件装拆工艺性示例	
不合理结构	合理结构	不合理结构	合理结构
 难以在机床上固定;加 工面积大的薄壁件刚性差	 增加夹紧凸缘;加肋以 提高加工面刚性	 螺钉所需装配长度 l 不足	 保证螺钉所需装置长度 l
	 开夹紧工艺孔	 轴肩过高,轴承不易 拆卸	 轴肩高应小于轴承内 圈厚度,按规定尺寸设计
 加工需两次进给完成	 加工需一次进给完成	 1) 定位销拆卸不便 2) 定位销所处位置易导 致安装错误($a=b$) 3) 支座凸台过小,不能 保证装配位置	
 精加工孔长度过长,不 易加工	 减小精加工孔的长度		
 斜面上钻孔,孔不完 整,难以钻孔	 尽量避免在斜面上钻孔或 钻不完整孔	 1) 销孔为通孔,便于拆 卸定位销 2) 定位销同侧布置或对 角线布置($a \neq b$) 3) 支座凸台加大	

二、标准尺寸

在零件的结构设计中，对于各种尺寸一般都要按 GB2822—81 取标准尺寸 R 或取其圆整值 R_a 。（见表 1-4）。

表 1-4 标准尺寸（摘自 GB2822—81） (mm)

20~40					
R			R _a		
R10	R20	R40	R _a 10	R _a 20	R _a 40
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
20.0	20.0	20.0	20	20	20
		21.2			
	22.4	22.4		22	22
		23.6			24
25.0	25.0	25.0	25	25	25
		26.5			26
	28.0	28.0		28	28
		30.0			30
31.5	31.5	31.5	32	32	32
		33.5			34
	35.5	35.5			36
		37.5			38
40.0	40.0	40.0	40	40	40
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

- 注：1. R_{40} 、 R_{20} 、 R_{10} 分别表示公比为 $\sqrt[40]{10} \approx 1.06$ ， $\sqrt[20]{10} \approx 1.12$ ， $\sqrt[10]{10} \approx 1.25$ ；
2. 只要能满足使用要求，就应按照 R_{10} 、 R_{20} 、 R_{40} 的顺序选取；
3. 如果取值需要圆整，可在 R_a 系列中选用。

采用标准尺寸的目的是为了简化、统一刀具、量具、零件、毛坯、原材料等的规格，使之相互协调，便于组织生产，降低成本。特别是对于那些有互换性或系列化要求的主要尺寸（如安装尺寸、联接尺寸、配合尺寸、决定产品系列的公称尺寸等）更应该使用标准尺寸，但对于由这些主要尺寸导出的因变量尺寸（如 V 带轮的轮槽尺寸）可以不取标准尺寸。

三、零件的精度和表面粗糙度选择

设计零件时，除了确定各部分形状和尺寸外，还要根据使用要求，工艺要求和经济要求来选择合适的尺寸精度、形状位置精度和表面粗糙度。这部分内容在公差课中已有详细讨论，在此不赘述，只强调两点：①从提高疲劳强度和耐腐蚀性的角度看，希望表面粗糙度越低越好；②从提高耐磨性角度看，表面粗糙度应该合适。太高了摩擦阻力大，磨损快；太低了则会增加分子亲和力，可能发生咬焊现象，反而加剧磨损。耐磨损的最佳粗糙度一般取 $R_a 0.32 \sim 1.25 \mu m$ 。

另外，在满足使用要求的前提下，希望加工费用低，就要了解用什么样的加工方法达到什么精度最经济。在此，给出了普通加工方法所能得到的公差值和表面粗糙度的经济值（见表 1-5），以及相对价格 C_R 与公差值 H 、表面粗糙度 R_a 之间的近似关系曲线（见图 1-9a、b），以供参考。注意不要盲目追求过高的精度和过低的表面粗糙度，而使加工成本显著增加。

表 1-5 普通加工方法所能得到的表面粗糙度和公差值

加 工 方 法	表面粗糙度	公差值	加 工 方 法	表面粗糙度	公差值
	μm	$\pm mm$		μm	$\pm mm$
气割、锯、砂型铸造	12.5	0.5	拉、铰、冷拉	0.8	0.05
金属型铸造	6.3	0.25	磨	0.4	0.025
钻、龙门刨、牛头刨	3.2	0.125	珩	0.2	0.0125
铣、车、镗、精铸	1.6	0.075	研磨、抛光、超精加工	0.05	0.0025