

普通高等院校“十一五”规划教材
普通高等院校机械类精品教材



顾问 杨叔子 李培根

机械设计基础

JIXIE SHEJI JICHU

师素娟 林 菁 杨晓兰 主编

华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>



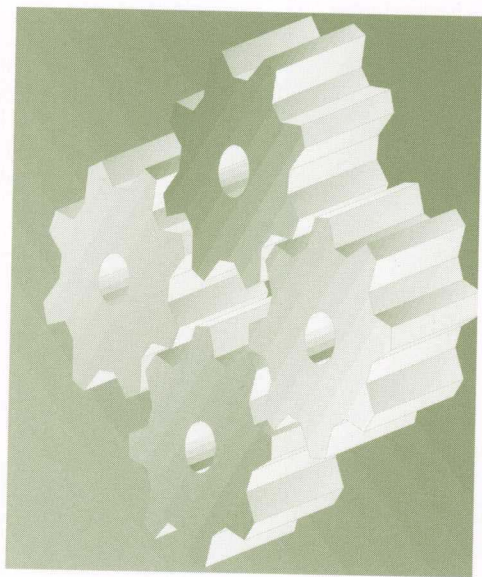
TH122/782

2008

普通高等院校“十一五”规划教材
普通高等院校机械类精品教材

顾问 杨叔子 李培根

机械设计基础



主 编 师素娟 林 菁

杨晓兰

副主编 侯勇俊 吴景华

强建国

参 编 郭 飞 韦志锋

李作全

华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/师素娟 林 菁 杨晓兰 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2008
年2月

ISBN 978-7-5609-4252-0

I. 机… II. ①师… ②林… ③杨… III. 机械设计-高等学校-教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 014233 号

机械设计基础

师素娟 林 菁 杨晓兰 主编

责任编辑:刘 勤

封面设计:潘 群

责任校对:刘 竣

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:湖北新华印务有限公司

开本:787mm×960mm 1/16

印张:19.5 插页:2

字数:383 000

版次:2008年2月第1版

印次:2008年2月第1次印刷

定价:29.80元

ISBN 978-7-5609-4252-0/TH·164

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书是根据教育部颁发的《高等学校机械设计基础课程教学基本要求》，以加强学生的创造性思维能力和设计能力的综合培养、重视工程应用为宗旨而编写的。

全书共 4 篇 17 章，主要包括：机械设计概述，常用机构及机械传动设计，各种机械连接设计，轴系零部件设计，机械系统设计概述，现代设计方法概述等。

本书可作为普通高等院校近机类或非机类各专业“机械设计基础”课程教学用书，也可作为有关工程技术人员参考用书。

序

“爆竹一声除旧，桃符万户更新。”在新年伊始，春节伊始，“十一五规划”伊始，来为“普通高等院校机械类精品教材”这套丛书写这个“序”，我感到很有意义。

近十年来，我国高等教育取得了历史性的突破，实现了跨越式的发展，毛入学率由低于10%达到了高于20%，高等教育由精英教育而跨入了大众化教育。显然，教育观念必须与时俱进而更新，教育质量观也必须与时俱进而改变，从而教育模式也必须与时俱进而多样化。

以国家需求与社会发展为导向，走多样化人才培养之路是今后高等教育教学改革的一项重要任务。在前几年，教育部高等学校机械学科教学指导委员会对全国高校机械专业提出了机械专业人才培养模式的多样化原则，各有关高校的机械专业都在积极探索适应国家需求与社会发展的办学途径，有的已制定了新的人才培养计划，有的正在考虑深刻变革的培养方案，人才培养模式已呈现百花齐放、各得其所的繁荣局面。精英教育时代规划教材、一致模式、雷同要求的一统天下的局面，显然无法适应大众化教育形势的发展。事实上，多年来许多普通院校采用规划教材就十分勉强，而又苦于无合适教材可用。

“百年大计，教育为本；教育大计，教师为本；教师大计，教学为本；教学大计，教材为本。”有好的教材，就有章可循，有规可依，有鉴可借，有道可走。师资、设备、资料（首先是教材）是高校的三大教学基本建设。

“山不在高，有仙则名。水不在深，有龙则灵。”教材不在厚薄，内容不在深浅，能切合学生培养目标，能抓住学生应掌握的要言，能做

到彼此呼应、相互配套,就行,此即教材要精、课程要精,能精则名、能精则灵、能精则行。

华中科技大学出版社主动邀请了一大批专家,联合了全国几十个应用型机械专业,在全国高校机械学科教学指导委员会的指导下,保证了当前形势下机械学科教学改革的发展方向,交流了各校的教改经验与教材建设计划,确定了一批面向普通高等院校机械学科精品课程的教材编写计划。特别要提出的,教育质量观、教材质量观必须随高等教育大众化而更新。大众化、多样化决不是降低质量,而是要面向、适应与满足人才市场的多样化需求,面向、符合、激活学生个性与能力的多样化特点。“和而不同”,才能生动活泼地繁荣与发展。脱离市场实际的、脱离学生实际的一刀切的质量不仅不是“万应灵丹”,而是“千篇一律”的桎梏。正因为如此,为了真正确保高等教育大众化时代的教学质量,教育主管部门正在对高校进行教学质量评估,各高校正在积极进行教材建设、特别是精品课程、精品教材建设。也因为如此,华中科技大学出版社组织出版普通高等院校应用型机械学科的精品教材,可谓正得其时。

我感谢参与这批精品教材编写的专家们!我感谢出版这批精品教材的华中科技大学出版社的有关同志!我感谢关心、支持与帮助这批精品教材编写与出版的单位与同志们!我深信编写者与出版者一定会同使用者沟通,听取他们的意见与建议,不断提高教材的水平!

特为之序。

中国科学院院士

教育部高等学校机械学科指导委员会主任

杨叔子

2006.1

前 言

本书是根据教育部颁发的《高等学校机械设计基础课程教学基本要求》，以加强学生的创造性思维能力、设计能力的综合培养和重视工程应用为宗旨而编写的。本书的特色主要体现在以下几个方面。

(1) 为了适应培养 21 世纪高质量人才和当前机械设计基础课程教学改革的实际需要，对机械原理和机械零部件设计内容进行了优化整合，将相关内容有机地结合在一起，以加强课程的整体性、系统性以及教材的适用性。

(2) 注重学生实践应用能力和工程设计能力的培养，在内容选取上，坚持少而精的原则，强调整体设计概念，重视综合设计能力的培养，弱化理论分析，淡化公式推导，增强与工程实际的联系，体现应用特色。

(3) 为了适应科学技术和经济发展的需要，拓宽知识面，改革教材内容，对部分内容进行了删减，增加了“机械系统方案设计”和反映机械设计领域最新成就的“现代设计方法”等内容，力求内容简明易懂并具有启迪性。

(4) 为了便于教学，摘录了部分国家标准和技术规范，并尽可能地采用了最新的国家标准和技术规范。

全书共 4 篇 17 章，主要包括：机械设计概述，常用机构及机械传动设计，各种机械连接设计，轴系零部件设计，机械系统设计概述，现代设计方法概述等。各章附有一定数量的思考题和习题。

参加本书编写工作的有：华北水利水电学院师素娟（第 1 章、第 11 章、第 12 章、第 14 章），兰州理工大学强建国（第 2 章、第 3 章、第 4 章），华北水利水电学院郭飞（第 5 章、第 16 章），黄石理工学院吴景华（第 6 章），重庆科技学院韦志锋（第 7 章），上海师范大学林菁（第 8 章、第 9 章），重庆科技学院杨晓兰（第 10 章），西南石油大学侯勇俊（第 13 章、第 15 章、第 17 章），广东海洋大学李作全负责本书部分插图的绘制工作。华北水利水电学院师素娟和上海师范大学林菁负责了全书的统稿和定稿前的修改工作。

由于编者水平和经验有限，书中难免存在疏漏之处，欢迎同行专家及广大读者指正。

编 者

2008 年 2 月

目 录

第 1 章 机械设计概论	(1)
1.1 本课程的内容、性质和任务	(1)
1.2 机械的组成	(2)
1.3 机械设计的基本要求	(4)
1.4 机械设计的一般过程	(6)
1.5 机械零件的工作能力和计算准则	(6)
1.6 机械设计中常用的材料及选用原则	(8)
思考题	(10)
第 1 篇 机械传动	14
第 2 章 平面机构的自由度计算	(12)
2.1 运动副及其分类	(12)
2.2 平面机构运动简图	(14)
2.3 平面机构自由度计算	(16)
思考题	(20)
习题	(21)
第 3 章 平面连杆机构设计	(22)
3.1 概述	(22)
3.2 平面连杆机构的基本类型	(23)
3.3 平面连杆机构的工作特性	(26)
3.4 平面连杆机构的设计	(32)
思考题	(35)
习题	(35)
第 4 章 凸轮机构及其设计	(37)
4.1 凸轮机构的类型及应用	(37)
4.2 从动件的运动规律	(42)
4.3 凸轮轮廓曲线	(45)
思考题	(50)
习题	(51)
第 5 章 齿轮传动设计	(52)

5.1	齿轮传动的特点及类型	(52)
5.2	齿廓啮合基本定律	(53)
5.3	渐开线齿廓	(54)
5.4	标准直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸计算	(56)
5.5	渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	(59)
(1) 5.6	渐开线齿轮的加工方法和根切	(61)
(1) 5.7	渐开线变位齿轮传动简介	(64)
(2) 5.8	齿轮传动的失效形式和计算准则	(66)
(4) 5.9	齿轮材料	(68)
(3) 5.10	齿轮传动的精度	(69)
(3) 5.11	直齿圆柱齿轮传动的作用力和计算载荷	(70)
(8) 5.12	直齿圆柱齿轮传动的强度计算	(72)
(01) 5.13	斜齿圆柱齿轮传动	(77)
5.14	斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	(81)
(51) 5.15	直齿圆锥齿轮传动	(84)
(51) 5.16	直齿圆锥齿轮传动的强度计算	(87)
(41) 5.17	齿轮结构	(89)
(31) 5.18	齿轮传动的润滑	(91)
(03) 思考题		(92)
(13) 习题		(93)
第6章	蜗杆传动设计	(96)
(33) 6.1	蜗杆传动的类型和特点	(96)
(33) 6.2	普通圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	(100)
(33) 6.3	蜗杆传动的失效形式、设计准则和常用材料选择	(106)
(33) 6.4	蜗杆传动的受力分析和强度计算	(107)
(33) 6.5	蜗杆传动的效率、润滑及热平衡计算	(113)
(33) 6.6	蜗杆、蜗轮的结构	(117)
(73) 思考题		(121)
(73) 习题		(121)
第7章	轮系	(123)
(31) 7.1	轮系的类型	(123)
(03) 7.2	定轴轮系传动比的计算	(124)
(13) 7.3	周转轮系传动比的计算	(126)
(33) 7.4	复合轮系传动比的计算	(128)

7.5 轮系的功用	(129)
思考题	(132)
习题	(133)
第8章 带传动	(136)
8.1 带传动的类型和应用	(136)
8.2 带传动的几何计算	(138)
8.3 带传动的受力分析	(140)
8.4 带的应力分析	(142)
8.5 带传动的弹性滑动和传动比	(145)
8.6 普通 V 带传动的设计计算	(146)
8.7 V 带轮的材料和结构	(153)
8.8 带传动的安装、张紧和润滑	(154)
思考题	(155)
习题	(156)
第9章 链传动	(157)
9.1 链传动的特点和应用	(157)
9.2 链条和链轮	(157)
9.3 链传动的工作情况分析	(162)
9.4 链传动的设计计算	(164)
9.5 链传动的布置和润滑	(170)
思考题	(172)
习题	(173)
第2篇 机械连接	
第10章 螺纹连接	(174)
10.1 概述	(174)
10.2 螺纹副的受力分析、效率和自锁	(176)
10.3 常用螺纹的基本类型、特点和应用	(179)
10.4 螺纹连接的基本类型和螺纹连接件	(183)
10.5 螺纹连接的预紧和防松	(185)
10.6 螺栓连接的强度计算	(188)
10.7 螺栓的材料和许用应力	(192)
10.8 提高螺栓连接强度的措施	(194)
思考题	(196)
习题	(197)

第 11 章 键、花键连接和销连接	(199)
11.1 键连接的类型、特点及应用	(199)
11.2 平键连接的设计计算	(203)
11.3 花键连接	(205)
11.4 销连接	(208)
思考题	(210)
习题	(210)
第 3 篇 轴系零部件	
第 12 章 滑动轴承	(211)
12.1 滑动轴承的类型、结构及润滑	(211)
12.2 轴瓦的结构与材料	(214)
12.3 非液体摩擦滑动轴承的设计计算	(218)
12.4 液体摩擦滑动轴承简介	(220)
思考题	(222)
习题	(222)
第 13 章 滚动轴承	(223)
13.1 滚动轴承的基本类型、特点和应用	(223)
13.2 滚动轴承的代号	(228)
13.3 滚动轴承的失效形式和寿命计算	(230)
13.4 滚动轴承的润滑和密封	(238)
13.5 滚动轴承的组合设计	(240)
思考题	(245)
习题	(245)
第 14 章 联轴器和离合器	(247)
14.1 概述	(247)
14.2 联轴器	(247)
14.3 离合器	(259)
思考题	(263)
习题	(263)
第 15 章 轴	(264)
15.1 轴的功用和类型	(264)
15.2 轴的材料	(266)
15.3 轴的结构设计	(267)
15.4 轴的强度计算	(270)

思考题·····	(274)
习题·····	(274)

第 4 篇 机械系统设计综述

第 16 章 机械系统设计概述 ·····	(277)
16.1 机械系统的设计方法和设计程序·····	(277)
16.2 机械传动系统方案设计·····	(279)
思考题·····	(282)
第 17 章 现代设计方法概述 ·····	(283)
17.1 计算机辅助设计·····	(283)
17.2 有限元法设计·····	(285)
17.3 优化设计·····	(288)
17.4 可靠性设计·····	(293)
思考题·····	(297)
参考文献·····	(298)

第1章 机械设计概论

在长期的生产实践中,人类为了减轻体力劳动和脑力劳动,改善劳动条件,提高劳动生产率,发明创造了各种各样的机械,如汽车、拖拉机、缝纫机、洗衣机、电动机、内燃机、机床等。

机械行业虽然是一个比较古老的行业,但是它不会过时。世界上任何一个“先进”、“尖端”的行业都离不开机械行业作基础。从宇宙飞船到航空母舰,从万吨油轮到纳米级的微型医疗器械,都是机械行业科技进步的产物。机械行业的发展程度是衡量一个国家工业、科技水平高低及综合国力强弱的重要标志之一。

1.1 本课程的内容、性质和任务

1.1.1 课程内容

本课程的主要研究内容涉及机械系统中常用机构和通用零部件设计的基本概念、基本理论、基本方法和设计计算,以及与此相关的标准、规范、手册、图表等技术资料的运用。具体包括以下内容。

(1) 机械传动:平面机构的自由度、平面连杆机构设计、凸轮机构设计、齿轮传动设计、蜗杆传动设计、轮系设计、带传动设计、链传动设计。

(2) 机械连接:螺纹连接及键、花键连接和销连接。

(3) 轴系零部件:滑动轴承、滚动轴承、联轴器和离合器及轴。

(4) 机械系统设计综述:机械系统设计概述、现代设计方法概述。

1.1.2 课程性质

“机械设计基础”是一门技术基础课程,比较集中地体现了基础理论与实践经验的综合,对培养学生的创新意识和设计能力起着至关重要的作用。

随着科学技术的不断进步,生产过程机械化和自动化水平不断提高,机械的应用日益广泛。各个专业的工程技术人员都会或多或少地遇到机械系统的设计问题,以及机械设备的使用、维护和管理等问题。因此,不同专业的工程技术人员具备一定的机械设计方面的知识,可以更好地做好本职工作,为国民经济建设服务。

1.1.3 课程任务

本课程的主要任务如下。

(1) 使学生掌握常用机构的工作原理、运动特性和机械动力学等基本知识,初步具备分析、设计基本机构和确定机构运动方案的能力。

(2) 使学生了解机械设计的基本要求、基本内容和一般设计过程,掌握通用零部件的工作原理、结构特点、材料选用、设计计算的基本知识,并初步具有设计简单机械与常用机械传动装置的能力。

(3) 培养学生运用标准、规范、手册、图册等相关技术资料的能力。

(4) 使学生初步具有正确使用、维护一般机械和分析、处理常见机械故障的能力。

本课程需要综合应用许多先修课程,如工程力学、机械制图、金属工艺学等的知识,课程涉及的知识面较广且偏重于应用,因此,学习本课程时应注重理论联系实际,重视基本概念的理解和基本技能的训练,注意学习分析问题、解决问题的方法,力求达到能够运用本课程所学的基本知识解决常用机构、一般简单机械及其通用零部件的设计问题的目的。

1.2 机械的组成

1.2.1 机器、机构与机械

机器种类繁多,虽然其构造、性能和用途等各不相同,但就其组成来讲,都是由各种机构组合而成的。如图 1-1 所示的内燃机就包含着由气缸 1、活塞 2、连杆 3 和曲轴 4 组成的连杆机构,由齿轮 5 和齿轮 6 组成的齿轮机构,以及由凸轮轴 7 和阀门推杆 8 组成的凸轮机构等。从其组成、运动与功能角度来看,机器具有以下三个特征:

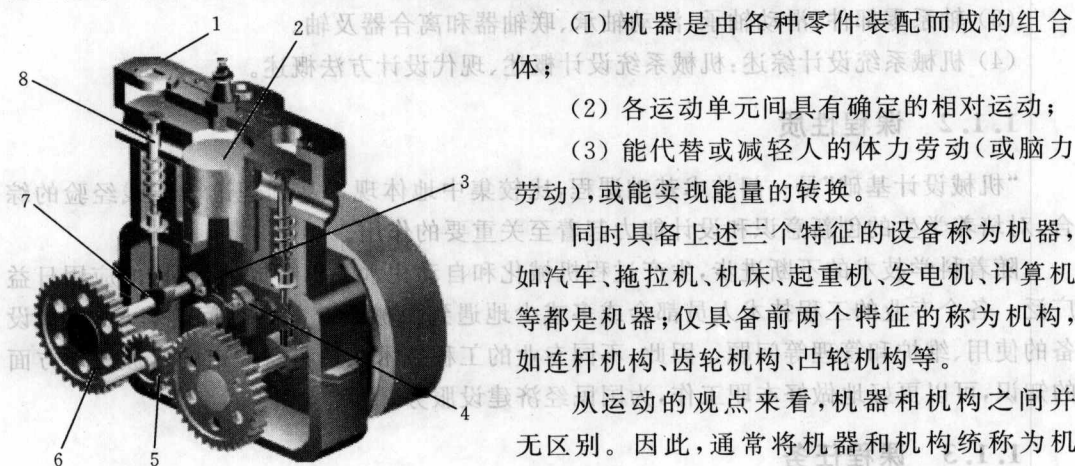


图 1-1 内燃机

1.2.2 构件与零件

组成机械的运动单元(包括运动速度为零的单元)称为构件。内燃机中,活塞、连杆、曲轴、凸轮、推杆、汽缸体等都是构件。

机器中不可分拆的基本制造单元称为零件。

构件既可以由单一的零件组成,也可以由几个零件组成,形成一个刚性结构。图 1-2 所示的内燃机连杆就是由几个零件组成的典型构件,它是由连杆头 1、螺栓组 2 和连杆体 3 组成的刚性连接。

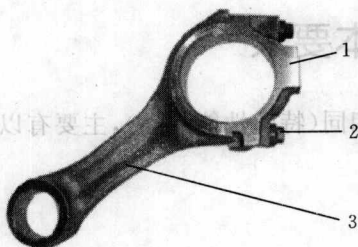


图 1-2 内燃机连杆



图 1-3 机器的组成

1.2.3 机器的基本组成部分

从功能的角度来看,机器由三个基本部分组成,如图 1-3 所示。

(1) 原动机。原动机是机器的动力来源,可采用人力、畜力、水力、风力、热力、电力等作为动力源,常用的原动机有电动机、内燃机等。

(2) 执行部分。执行部分是完成机器预定功能的部分,也称为工作部分,如压路机的压辊、机器人的手臂、机床的刀架、起重机的卷筒等。

(3) 传动部分。传动部分是将原动机的运动和动力传给工作部分的中间环节,它可以转换原动机的运动形式、速度、转矩等,以满足执行部分的不同要求。

除此之外,机器还可能有控制系统和辅助系统。控制系统又称操纵部分,用于控制机器的启动、停止、换向、运动速度等;辅助系统,如机器的电气系统、润滑系统、冷却系统、监测系统等,用于实现机器的更为复杂的功能要求或更高的精度要求。

机器的传动部分大多数使用机械传动系统,有时也采用液压或电力传动系统。机械系统是绝大多数机器必不可少的重要组成部分。机械系统由各种各样的机构所组成,机构的构件又是由各种各样的机械零件所组成。因此,机械零件是机械的基本组成要素。

1.2.4 机械零件的分类

总体上,机械零件分为通用零件和专用零件两大类。

1. 通用零件

在各类机器中广泛应用的零件称为通用零件,如齿轮、螺钉、螺母、轴、弹簧等。

2. 专用零件

仅在某一类型的机器中使用的零件称为专用零件,如内燃机中的曲轴、活塞,水轮机中的叶片等。

当一组零件在设计、制造或装配过程中作为一个整体出现,在工作过程中又协同工作时,这组零件就称为部件,如液压泵、减速器、滚动轴承、联轴器、离合器等。

同样,部件也有通用部件与专用部件之分。

1.3 机械设计的基本要求

尽管机械的类型很多,但其设计的基本要求都大体相同(特殊性能除外),主要有以下几个方面。

1.3.1 满足功能、运动和动力性能的要求

实现预定的功能要求是机械设计最基本的出发点。在机械设计过程中,设计者必须使所设计的机械能够完全实现预定的功能。为此,设计者需确定机械的工作原理,选择机构的类型,拟定机械传动系统方案,并使所选择的机构类型和拟定的机械传动系统方案能满足运动和动力性能的要求。

运动要求是指所设计的机械应保证实现规定的运动速度和运动规律,以满足工作平稳性、启动性、制动性等要求。动力要求是指所设计的机械应具有足够的功率,以满足机械正常工作的要求。为此,要正确设计机械的零件,使其结构合理并满足强度、刚度、耐磨性和振动稳定性等方面的要求。

1.3.2 工作安全可靠的要求

机械的可靠性是指机械在规定的使用条件下,在预定的工作期限内,完成规定功能的能力。安全可靠是机械的必备条件,为满足这一要求,必须从机械系统的整体设计、零部件的结构设计、材料及热处理的选择、加工工艺的制定等方面加以保证。

对于机器来说,机器的可靠度到底应选多大?从理论上讲,当然是越大越好,但可靠度越大,机器的成本越高。有时候,提高一点点可靠度,可能会使机器的成本增加几倍。一般来说,与人的生命、国家的财产息息相关的机器,如飞机、宇宙飞船等,其可靠度设计要高一些。而一般的机械产品,可靠度设计可相对低一些。

1.3.3 市场需要和经济性的要求

经济性要求是指在满足机械的功能性要求的前提下,所设计的机器应最大限度地减

少成本、减少能源消耗、提高效率、降低管理与维护费用。在市场竞争中,特别是我国加入WTO以后,经济性是产品推向市场的一个重要性能指标,应贯穿于机械设计的全过程。

在产品设计中,自始至终都应把产品设计、制造与销售三方面作为一个整体来考虑。只有设计与市场信息密切结合,在市场、设计与生产中寻求最佳关系,才能以最快的速度收回投资,获得满意的经济效益。

1.3.4 机械零件工艺性和标准化的要求

1. 机械零件的结构应具有良好的工艺性

机械零件的结构应具有良好的工艺性,是指在满足使用要求的前提下,设计周期短、加工制造容易、成本低、装拆与维护方便。

设计机械零件时,应从以下几个方面考虑零件的结构工艺性。

(1) 毛坯选择合理。尺寸小的零件可选用型材,尺寸大的零件可选用锻件,尺寸非常大的零件可选用铸件;生产批量小的零件可选用型材或焊接件,生产批量大的零件可选用铸件。

(2) 结构简单合理。机械零件的结构形状应尽量简单,如仅由平面、圆柱面组合而成。同时追求加工表面数目少,加工量小。

(3) 规定适当的零件精度。零件的精度越高,机械的性能就越好。但零件的精度过高,加工的成本将急剧增加。因此,要根据实际情况确定合适的机械零件的加工精度。

2. 标准化

标准化是长期生产实践和科学研究的技术总结,是我国现行的一项重要的技术政策。许多机械零件都是标准化的零件。在机械设计中,能采用标准件的地方一定要选用标准零件,除非标准零件不能满足要求,才可自行设计。选用标准化的零件有如下好处。

(1) 质量好、成本低。标准零件是由专门生产标准零件的标准件厂设计、加工、制造的。标准件厂拥有加工标准零件的专用设备,可进行大批量的生产。这种专用设备是一般的机械加工厂所不具备的。另外,标准件厂生产标准零件时所采用的技术也是最先进的。因此,标准化的零件质量好、成本低。

(2) 互换性好。如标准零件失效,只需花极少代价换上一个同样型号的标准零件就能解决问题。

(3) 采用标准化的零件可节省设计时间,使设计者能将主要精力用在关键零件的设计上。

(4) 交流方便。机械工程技术人员主要是通过图纸交流设计思想、设计要求等,图纸的标准化程度越高,越有利于工程技术人员之间的交流。

在国家标准中,有强制性的和推荐性的两大类标准。GB表示强制性的标准,是必须执行的;GB/T表示推荐性的标准,是建议优先选用的。