



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国高等专科教育机械工程类专业规划教材

机械设计基础



李 威 穆玺清 主编



TH122/751

2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国高等专科教育机械工程类专业规划教材

机械设计基础

主 编	李 威	穆玺清	
副主编	同长虹	陈周娟	王志伟
参 编	王秀玲	孟玲琴	
	董世方	崔冰艳	
主 审	曾 平		

机械工业出版社

为了适应现代高等专科教育的发展,突出高等专科教育的特色,满足高等专科教育培养高级技术应用型人才的需要,编者结合本课程的教学规律、多年的教学经验以及现代科学技术对学生机械设计方面的能力要求编写了此书。

全书包括平面机构及其自由度、平面机构的运动分析、平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、联接、齿轮传动、蜗杆传动、齿轮系与减速器、挠性传动、支承零部件、联轴器、离合器和制动器、机械运转的调速和平衡简介、弹簧、机械传动系统设计等章节内容。每章后附有本章小结和一定量联系实际的思考题和习题,以帮助学生掌握和巩固教学内容,并进一步培养他们分析和解决问题的能力。

全书均采用最新国家标准。本书配套有助教光盘,供教师教学使用,请使用本书作为教材的教师与本书主编联系索取,联系 E-mail: lliiwei@hotmail.com。

本书适合于高等专科教育机械工程类和近机类专业使用,参考学时 90~110 学时,也可供非机械类各专业师生及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/李威,穆玺清主编. —北京:机械工业出版社,2007.11

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 全国高等专科教育机械工程类专业规划教材

ISBN 978-7-111-22537-9

I. 机… II. ①李…②穆… 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(2007)第 157798 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:李欣欣 责任校对:张晓蓉

封面设计:姚毅 责任印制:邓博

北京京丰印刷厂印刷

2008 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·20.75 印张·512 千字

0 001—4 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-22537-9

定价:31.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 68354423

封面无防伪标均为盗版

前 言

为了适应现代高等专科教育的发展,突出高等专科教育的特色,满足高等专科教育培养高级技术应用型人才的需要,编者结合本课程的教学规律、多年的教学经验以及现代科学技术对学生机械设计方面的能力要求精心编写了此书。

根据高等专科教育的要求,本着“理论知识够用,注重能力培养”的原则,编者在本书的编写过程中有机地结合相关实际应用案例,重新组织了教材内容:1)将键联接、销联接、螺纹联接合并为联接。2)将带传动、链传动合并为挠性传动。3)将轴与轴承合并为支承零部件。4)将齿轮系和减速器在一章中编写。5)将机械的润滑与密封融合到相关章节零部件的维护中。

针对高等专科教育的培养目标,本书突出了应用性,减少了理论及繁杂的公式推导,在阐述问题时,着重强调基本概念、基本理论和基本方法,力求做到层次分明、循序渐进、通俗易懂,以使学易于理解和掌握。本书突出学以致用,例题紧密结合实际,尽量选取工程实例,并注重加强实用图表、查阅手册等应用能力的培养。书中的打“*”号的内容是为了拓宽和延伸与该课程密切相关的知识面,不同专业可在教学中酌情取舍。

本书力图从高等专科教育的特色和层次出发,介绍了一些现代设计的内容,主要包括计算机辅助设计、优化设计和创新设计等基本知识和概念,使学生在已有设计知识的基础上对新的设计方法有所了解,从而达到整体优化学生的知识、能力和素质,特别是培养设计思想、设计方法和创新思维能力的目的。

全书每章后附有本章小结和一定量联系实际的思考题和习题,以帮助学生掌握和巩固教学内容,并进一步培养他们分析和解决问题的能力。全书均采用最新国家标准。

本书配套有助教光盘,供教师教学使用。助教光盘中充分利用多媒体教学的优势,在尊重教材内容的基础上应用了大量的图片和动画,使教学更加生动直观。

参加本书编写的有:山西运城学院机电工程系陈周娟(第1、2、3章),兰州城市学院培黎工程技术学院同长虹(第4、10、15章)、董世方(第6章),河北农业大学海洋学院机电工程系李威、崔冰艳(第7章),兰州工业高等专科学校机械工程系穆玺清(绪论、第11章),河南机电高等专科学校王志伟(第8章),孟玲琴(第9、13章),河北科技大学机械电子工程学院王秀玲(第5、12、14章)。本书由李威、穆玺清担任主编,由同长虹、陈周娟、王志伟担任副主编。

本书由吉林大学机械工程学院曾平教授担任主审,承蒙曾平教授认真细致地审阅,提出了许多宝贵的修改意见和建议,对编写给予了很大帮助,在此谨致以诚挚谢意。

本书适合于高等专科教育机械工程类和近机类专业使用,参考学时90~110学时,也可供非机械类各专业师生及有关工程技术人员参考。

由于编者水平有限,书中缺点和错误在所难免,欢迎读者和同行提出宝贵意见。联系E-mail: lliiwei@hotmail.com、muxiqing@126.com。

编 者

目 录

前言

绪论 1

- 0.1 本课程的研究对象 1
- 0.2 本课程的地位、内容和任务 3
- 0.3 机械设计的基本要求及一般程序 3
- 0.4 机械零件的结构工艺性及标准化 5
- 0.5 机械设计方法 7

第1章 平面机构及其自由度 10

- 1.1 运动副及其分类 10
- 1.2 平面机构及其运动简图 11
- 1.3 平面机构的自由度 15
- 本章小结 20
- 思考题 20
- 习题 20

*第2章 平面机构的运动分析 22

- 2.1 用瞬心法分析平面机构中各点的速度 22
- 2.2 用相对运动图解法作机构的运动分析 24
- 本章小结 26
- 思考题与习题 26

第3章 平面连杆机构 28

- 3.1 铰链四杆机构的基本类型和应用 28
- 3.2 铰链四杆机构的演化 30
- 3.3 相邻两构件作整周转动的条件 33
- 3.4 四杆机构的工作特性 34
- 3.5 平面连杆机构的设计 37
- 本章小结 40
- 思考题 40
- 习题 40

第4章 凸轮机构 42

- 4.1 凸轮机构的应用和分类 42
- 4.2 从动件常用运动规律 45
- 4.3 盘形凸轮轮廓曲线设计 49
- 4.4 凸轮的加工方法 52
- * 4.5 解析法设计盘形凸轮轮廓简介 52
- 4.6 凸轮机构设计的其他问题 53

4.7 凸轮的结构和材料 56

- 本章小结 58
- 思考题 58
- 习题 58

第5章 间歇运动机构 60

- 5.1 棘轮机构 60
- 5.2 槽轮机构 63
- 5.3 不完全齿轮机构和凸轮间歇运动机构 64
- 本章小结 66
- 思考题 66

第6章 联接 67

- 6.1 螺纹 67
- 6.2 螺纹联接 70
- 6.3 螺栓联接的强度计算 74
- 6.4 螺纹联接件的材料和许用应力 77
- 6.5 螺纹联接设计时应注意的问题 81
- 6.6 键联接 83
- * 6.7 其他联接 89
- 本章小结 92
- 思考题 93
- 习题 93

第7章 齿轮传动 94

- 7.1 齿轮传动的特点和类型 94
- 7.2 齿廓啮合基本定律及渐开线齿廓 96
- 7.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸计算 99
- 7.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动 103
- 7.5 渐开线齿轮的切齿原理和根切现象 106
- 7.6 渐开线变位齿轮传动简介 110
- 7.7 齿轮传动的失效形式与设计准则 111
- 7.8 齿轮常用材料、热处理方法及传动精度 113
- 7.9 直齿圆柱齿轮传动的受力分析及强度计算 118

7.10 斜齿圆柱齿轮传动	127	第 11 章 支承零部件	225
7.11 直齿锥齿轮传动	136	11.1 滚动轴承	225
7.12 齿轮的结构设计	141	11.2 滑动轴承	246
7.13 齿轮传动的润滑与维护	143	11.3 轴	256
本章小结	145	11.4 支承零部件的润滑与密封	271
思考题	145	本章小结	277
习题	146	思考题	277
第 8 章 蜗杆传动	148	习题	278
8.1 蜗杆传动的类型、特点和应用	148	第 12 章 联轴器、离合器和制 动器	280
8.2 圆柱蜗杆传动基本参数和几何 尺寸	151	12.1 联轴器	280
8.3 蜗杆传动的强度计算	156	12.2 离合器	284
8.4 蜗杆传动的效率和热平衡计算	162	12.3 制动器	287
8.5 蜗杆传动的润滑和安装	165	本章小结	289
8.6 蜗杆传动的设计实例	166	思考题	289
本章小结	170	第 13 章 机械运转的调速和平衡 简介	290
思考题	170	13.1 机械运转的速度波动及其调节	290
习题	170	13.2 机械的平衡	293
第 9 章 齿轮系与减速器	172	本章小结	298
9.1 齿轮系的分类	172	思考题	298
9.2 定轴齿轮系的传动比	173	习题	298
9.3 周转齿轮系的传动比	176	第 14 章 弹簧	300
9.4 组合周转齿轮系的传动比计算	179	14.1 弹簧的类型和应用	300
9.5 齿轮系的应用	181	14.2 圆柱螺旋弹簧的结构形式、材 料及制造	302
9.6 减速器	184	14.3 圆柱螺旋弹簧的特性曲线、主 要参数及几何尺寸计算	305
本章小结	189	本章小结	307
思考题	190	思考题	307
习题	190	第 15 章 机械传动系统设计	308
第 10 章 挠性传动	193	15.1 概述	308
10.1 挠性传动概述	193	15.2 机械传动系统方案设计	309
10.2 带传动	194	15.3 传动系统的运动和动力计算	312
10.3 普通 V 带和带轮	196	15.4 计算机辅助设计简介	315
10.4 摩擦带传动的工作情况分析	200	15.5 机械创新设计简介	320
10.5 普通 V 带传动的设计	203	本章小结	323
10.6 带传动的张紧、安装和维护	210	思考题	323
10.7 其他带传动简介	212	习题	323
10.8 链传动	213	参考文献	325
10.9 滚子链传动的设计计算	215		
10.10 链传动的布置和维护	221		
本章小结	223		
思考题	224		
习题	224		

从运动的观点看，一部机器可分成一个或者多个特定机件的组合体，这种特定机件组合体就是机构，它是专门用来实现某一种运动的传递或运动形式转换的，即机构是机器中执行某种特定机械运动的装置。图 0-2 所示内燃机中，由活塞、连杆、曲轴和缸体组成曲柄滑块机构，它实现了由活塞的往复直线运动到曲轴整周转动的运动形式变换；由凸轮、推杆和缸体组成凸轮机构，它实现了由凸轮转动到推杆按一定规律直线移动的运动转换；由一对齿轮和缸体组成了齿轮机构，实现了回转运动的传递。因此从运动的观点来看，机器是由机构组成的，但机构不具备变换或传递能量、物料和信息的功能。从研究角度来看，机器种类繁多，但机构的种类有限，常用机构如齿轮机构、凸轮机构和连杆机构等在各种机器中经常出现。所以说，研究机构是研究机器的前提。

机器和机构总称为机械。通常人们将某一类机器统称为机械，如矿山机械、农业机械、轻工机械、纺织机械、建筑机械等。这种分类的范围可大可小，如冶炼机械、轧钢机械又可合称为冶金机械。

机器和机构中独立运动的单元体称构件。组成机器的不可拆卸的基本单元称为机械零件，简称零件，它是机器中最小的独立制造单元，如曲轴、飞轮、凸轮、齿轮等。构件可以是单独的零件，如图 0-3a 所示的曲轴；也可以由多个零件刚性联接组成，如图 0-3b 所示的连杆由连杆体 1、螺栓 2、连杆盖 3 及螺母 4 等零件组成。由一组协同工作的零件组成的独立制造或独立装配的组合物，称为部件，如车床的主轴箱、进给箱、各种机器的减速箱、离合器等。零件与部件合称为零部件（但在有些场合，零件即指零部件），可概括地分为两类：

一类是各种机器中经常用到的零部件，称为通用零部件，如螺钉、齿轮、带轮等零件，离合器、减速器、滚动轴承等部件；另一类是特定类型机器中才能用到的零部件，称为专用零部件，如内燃机中的曲轴、连杆（部件），船舶的螺旋桨，纺织机中的织梭、纺锭，离心分离机中的转鼓（部件）等。本课程研究的机械零部件，是指普通条件下工作的一般尺寸与参数的通用零部件。

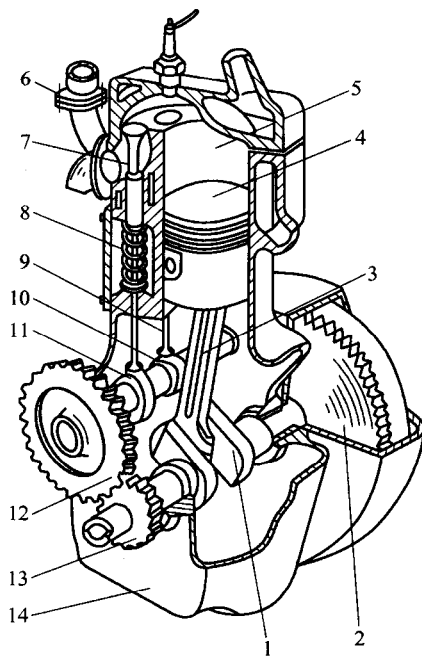


图 0-2 单缸四冲程内燃机

- 1—曲轴 2—飞轮 3—连杆 4—活塞
5—气缸 6—螺母、螺栓 7—气门
8—弹簧 9—阀杆 10、11—凸轮
12、13—齿轮 14—机座

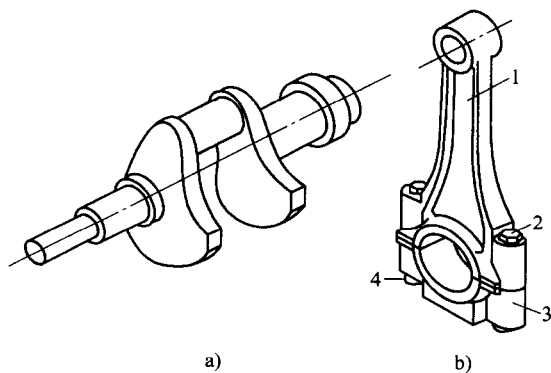


图 0-3 构件和零件

0.2 本课程的地位、内容和任务

0.2.1 本课程的地位

本课程是一门研究常用机构、通用零件与部件以及一般机器的基本设计理论和方法的课程,是机械工程类各专业中的主干课程,它介于基础课程与专业课程之间,具有承上启下的作用,是一门重要技术基础课程。本课程要综合应用机械制图、工程力学、互换性与技术测量、工程材料及金属工艺学等先修课程的基础理论和基本知识,且偏重于工程应用。因此,要重视生产实践环节,学习时应注重培养工程意识、理论联系实际。本课程将为学生今后学习有关专业课程和掌握新的机械科学技术奠定必要的基础。

0.2.2 本课程的内容

本课程主要内容概括如下:

1) 研究机械中常用机构、通用零部件的工作原理、结构特点、基本设计理论和基本计算方法,并简要介绍机械动力学和机械系统方案设计的有关知识。

2) 研究机械零部件选用和设计问题,具体机械零部件包括:

① 传动件,包括带传动、链传动、齿轮传动、螺杆传动及螺旋传动。

② 支承零部件,包括轴、滚动轴承及滑动轴承。

③ 联接件,包括轴毂联接、螺纹联接及铆接、焊接、粘接。

④ 其他零部件,包括联轴器、离合器、制动器、弹簧。

0.2.3 本课程的任务

本课程的任务是使学生掌握常用机构和通用零件的基本理论和基本知识,初步具有分析、设计能力,并获得必要的基本技能训练,同时培养学生正确的设计思想和严谨的工作作风。通过本课程的教学,应使学生达到下列基本要求:

1) 熟悉常用机构的组成、工作原理及其特点,掌握通用机构的分析和设计的基本方法。

2) 熟悉通用机械零件的工作原理、结构及其特点,掌握通用机械零件的选用和设计的基本方法。

3) 具有对机构分析设计和零件计算的能力,并具有运用机械设计手册、图册及标准等有关技术资料的能力。

4) 具有综合运用所学知识和实践的技能,设计简单机械和简单传动装置的能力。

0.3 机械设计的基本要求及一般程序

0.3.1 机械设计的基本要求

机械设计的类型很多,但其基本要求大致相同,主要有以下几方面:

1. 预定功能要求

预定功能要求是指被设计机器的功用和性能指标。设计机器的基本出发点是实现预定功能要求，为此必须正确选择机器的工作原理、机构的类型和机械传动方案。

一般机器的预定功能要求包括：运动性能、动力性能、基本技术指标及外形结构等方面。

2. 安全可靠与强度、寿命要求

安全可靠是机器正常工作的必要条件，因此设计的机器必须保证在预定的工作期限内能够可靠地工作，防止个别零件的破坏或失效影响正常运行，为此应使所设计的机器零件结构合理并满足强度、刚度、耐磨性、振动稳定性及其使用寿命等方面的要求。

3. 经济性要求

设计机器时，应考虑在实现预定功能和保证安全可靠的前提下，尽可能做到经济合理，力求投入的费用少、工作效率高且维修简便等。

由于机器的经济性是一个综合指标，它与设计、制造和使用等各方面有关，为此设计者需要注意：设计要可靠可行，选材要合理、经济，尽可能实现三化（零件标准化、部件通用化、产品系列化），以最大限度地提高经济效益。

4. 操作使用要求

设计的机器要力求操作方便，最大限度地减少工人操作时的体力和脑力消耗，改善操作者的工作环境，降低机器噪声，净化废气、废液及灰尘，使其对环境的污染和公害尽可能小。

5. 其他特殊要求

某些机器还有一些特殊要求，例如，机床应能在规定的使用期限内保持精度；经常搬动的机器（如塔式起重机、钻探机等），要求便于安装、拆卸和运输；对于食品、药品、纺织等机械有不得污染产品的要求等。

总之，必须根据所要设计的机器的实际情况，分清应满足的各项要求的主、次程度，且尽量做到结构上可靠、工艺上可能、经济上合理，切忌简单照搬或乱提要求。

0.3.2 机械设计的一般程序

机械设计没有一成不变的程序，应根据具体情况而定，这里仅介绍常用的一般设计程序。

1. 提出和制定产品设计任务书

首先应根据用户的需要与要求，确定所要设计机器的功能和有关指标，研究分析其实现的可能性，然后确定设计课题，制定产品设计任务书。

2. 总体设计

根据设计任务书进行调查研究，了解国内外有关的技术经济信息。分析有关产品，参阅有关技术资料，并充分了解用户意见、制造厂的技术设备及工艺能力等。在此基础上确定实现预定功能的机器工作原理，拟定出总体设计方案，进行运动和动力分析，从工作原理上论证设计任务的可行性，必要时对某些技术经济指标作适当修改，然后绘制机构简图，同时可进行液压、电气控制系统的方案设计。

3. 技术设计

在总体方案设计的基础上,确定机器各部分的结构和尺寸,绘制总装配图、部件装配图和零件图。为此,必须对所有零件(标准件除外)进行结构设计,并对主要零件的工作能力进行计算,完成机械零件设计。

机械零件设计是本课程研究的主要内容之一,其设计步骤如下:

- 1) 根据机器零件的使用要求,选择零件的类型与结构。
- 2) 根据机器的工作要求,分析零件的工作情况,确定作用在零件上的载荷。
- 3) 根据零件的工作条件,考虑材料的性能、供应情况、经济因素等,合理选择零件的材料。
- 4) 根据零件可能出现的失效形式,确定计算准则,并通过计算确定零件的主要尺寸。
- 5) 根据零件的主要尺寸和工艺性、标准化等要求进行零件的结构设计。
- 6) 绘制零件工作图,制定技术要求,进行润滑设计。

以上这些内容可在绘制总装配图、部件装配图及零件图的过程中交叉、反复进行,然后编写设计说明书、有关的技术文件、外购件明细表等。

4. 样机的试制和鉴定

设计的机器是否能满足预定功能要求,需要进行样机的试制和鉴定。样机制成后,可通过试生产运行,进行性能测试,然后便可组织鉴定,进行全面的技術评价。

5. 产品的正式投产

在样机的试制与鉴定通过的基础上,才可能进行产品的正式投产。将机器的全套设计图样(总装图、部件图、零件图、电气原理图、液压传动系统图、安装地基图、备件图等)和全套技术文件(设计任务书、设计计算说明书、试验鉴定报告、零件明细表、产品质量标准、产品检验规范、包装运输技术条件等)提交产品定型鉴定会评审。评审通过后,才能由有关部门下达任务,进行批量生产。

设计程序往往需要配合、交叉、反复进行,这些步骤并不能截然分开,有些小型设计或技术改造的设计过程可以简单些。设计就是创新,设计是一种复杂、细致和科学性很强的创造性工作,需要多次修改、逐步完善,最终设计出技术先进、工作可靠、经济合理、外形美观的产品来。

0.4 机械零件的结构工艺性及标准化

0.4.1 机械零件的结构工艺性

机械零件的结构形状除了要满足功能上的要求,还应该有利于满足零件在强度、刚度、加工、装配、调试、维护等方面的要求。在一定的生产条件和生产规模下,花费最少的劳动量和最低的生产成本把零部件制造和装配出来,并且保证零部件具有良好的结构工艺性。结构工艺性贯穿于零件的材料选择、毛坯制作、热处理、切削加工、机器装配及维修等生产过程的各个阶段。这一工作在整个设计中占有很大的比例,应予以足够重视。

设计零件的结构时,通常要使零件的结构形状与生产规模、生产条件、零件材料、毛坯制作、工艺技术等诸多方面相适应,应从以下几方面加以考虑。

1. 零件形状简单合理

一般来讲,零件的结构和形状越复杂,制造、装配和维修将越困难,成本也越高,所以在满足使用要求的情况下,零件的结构形状应尽量简单,并尽可能采用平面和圆柱面及其组合,各面之间应尽量相互平行或垂直,避免使用倾斜、突变等不利于制造的形状。满足使用要求的条件下,力求减少加工表面的数量和加工的面积。

2. 合理选用毛坯类型

根据零件尺寸大小、生产批量的多少和结构的复杂程度来确定齿轮的毛坯类型,尺寸小、结构简单、批量大时用模锻毛坯,结构复杂、批量大时采用铸造毛坯,单件或少量生产时则可采用焊接件或自由锻毛坯。

3. 铸件的结构工艺性

铸造毛坯的采用较为广泛,设计其结构时应注意:①壁厚均匀、过渡平缓,以防产生缩孔和裂纹,保证铸造质量。②要有适当的结构斜度及起模斜度,以便于起模。③铸件各面的交界处要采用圆角过渡。④为增强刚度,应设置必要的加强肋。

4. 锻件的结构工艺性

设计其结构时应注意力求零件形状简单、不应有很深的凹坑,要留有适当的锻造斜度及圆角半径,尽量设计成对称形状;对于自由锻件应避免带有锥形和楔性,不允许有加强肋,不允许在基体上有凸台。

5. 切削加工工艺性

在机床上加工零件时,切削加工工艺性主要应从三方面考虑:①提高切削效率。②便于切削加工。③减少切削加工量。

在设计结构时要有合适的基准面,要便于定位与夹紧,并要尽量减少工件的装夹次数。加工面要尽量布置在同一平面或同一母线上,应尽量采用相同的形状和元素,如相同的齿轮模数、螺纹、键、圆角半径、退刀槽等,结构尺寸应便于测量和检查,应选择适当的精度公差等级和表面粗糙度值,过高的精度和过低的表面粗糙度要求,将极大地增加加工成本和装配难度。

6. 零部件的装配工艺性

装配工艺性是指零件组装成部件或机器时,相互联接的零件不需要再加工或只需要少量加工就能顺利地安装或拆卸,并达到技术要求。装配工艺性主要应考虑:①尽量避免或减少装配时的切削加工和手工修配。②使装配和拆卸方便。③应有正确的装配基准。④尽可能组成独立部件或装配单元,以便于平行安装。因此,在结构设计时应注意:①要有正确的装配基准面,保证零件间相对位置的固定。②配合面大小要合适。③定位销位置要合理,不致产生错装。④装配端面要有倒角或引导锥角。⑤绝对不允许出现装不上或拆不下的现象等。

7. 零部件的维修工艺性

良好的维修工艺性要体现以下几方面:①可达性,指容易接近维修处,并易于观察到维修部位。②易于装拆。③便于更换,为此应尽量采用标准件或采用模块化设计。④便于修理,即对损坏部分容易修配或更换。

应该注意,评定结构工艺性的条件随生产规模、生产条件的不同而不同。在单件、小批量生产中被认为工艺性好的结构,在大量生产中却往往显得不好,反之亦然。如外形复杂、尺寸较大的零件,单件或少量生产时,宜采用焊接毛坯,可节省费用;大批量生产时,应该采用铸造毛坯,可提高生产率。同样,不同的生产条件(生产设备、工艺装备、技术力量

等)也对结构工艺性产生较大的影响,一般应根据具体的生产条件研究零件的结构工艺性问题。

0.4.2 机械零件设计中的标准化

所谓机械零件的标准化就是对零件尺寸、规格、结构要素、材料性能、检验方法、设计方法、公差与配合、制图规范等制定出大家共同遵守的各种标准,它的基本特征是统一与简化。贯彻标准化的重要意义在于:

1) 减轻设计工作量,缩短设计周期,提高设计质量,有利于设计人员将主要精力用于关键零部件的设计。

2) 便于建立专门工厂采用最先进的技术大规模地生产标准零部件,有利于合理使用原材料、节约能源、降低成本、提高质量和可靠性、提高劳动生产率。

3) 增大互换性,便于维修。

4) 便于产品改进,增加产品品种。

5) 采用与国际标准一致的国家标准,有利于产品走向国际市场。

因此,在机械零件的设计中,设计人员必须了解和掌握有关的各项标准并认真地贯彻执行,不断提高设计产品的标准化程度。目前,标准化程度的高低已成为评定设计水平及产品质量的重要指标之一。

标准化包括三方面内容,即标准化、系列化和通用化。系列化是指在同一基本结构下,规定若干个规格尺寸不同的产品,形成产品系列,以满足不同的使用条件。通用化是指在同类型机械系列产品内部或在跨系列的产品之间,采用同一结构和尺寸的零部件,使有关的零部件特别是易损件,最大限度地实现通用互换。

国际标准化组织制定了国际标准(ISO),我国国家标准化法规规定的标准分国家标准(GB)、行业标准和企业标准三个等级,在设计机械零部件时必须自觉地执行相关标准。

0.5 机械设计方法

机械设计的方法通常可分为两类:一类是过去长期采用的传统(或常规的)设计方法,另一类是近几十年发展起来的现代设计方法。

0.5.1 传统设计方法

传统设计方法是以经验总结为基础,运用力学和数学形成经验公式、图表、设计手册等,并将其作为设计的依据,通过经验公式、近似系数或类比等方法进行设计。这是一种以静态分析、近似计算、经验设计、人工劳动为特征的设计方法。目前,在我国的许多场合下,传统设计方法仍被广泛使用,传统设计方法可以划分为以下三种。

1. 理论设计

根据长期研究和实践总结出来的传统设计理论及实验数据所进行的设计,称为理论设计。理论设计的计算过程又可分设计计算和校核计算。设计计算是按照已知的运动要求、载荷情况及零件的材料特性等,运用一定的理论公式设计零件尺寸和形状的计算过程,如按转轴的强度、刚度条件计算转轴的直径等;校核计算是先根据类比法、实验法等方法初步定出

零件的尺寸和形状,再用理论公式进行零件的强度、刚度等校核及精确校核的计算过程,如转轴的弯扭组合强度校核和精确校核等。设计计算多用于能通过简单的力学模型进行设计的零件,校核计算则多用于结构复杂、应力分布较复杂,但又能用现有的分析方法进行计算的场合。

理论设计可得到比较精确而可靠的结果,重要的零部件大都应该选择这种设计方法。

2. 经验设计

根据针对某类零件归纳出的经验公式或设计者本人的工作经验用类比法所进行的设计,称为经验设计。对一些不重要的零件如不太受力的螺钉等,或者对于一些理论上不够成熟或虽有理论方法但没有必要进行复杂、精确计算的零部件,如机架、箱体等,通常采用经验设计的方法。

3. 模型实验设计

将初步设计的零部件或机器制成小模型或小尺寸样机,经过实验手段对其各方面的特性进行检验,再根据实验结果对原设计逐步进行修改,从而获得尽可能完善的设计结果,这样的设计过程称为模型实验设计。该设计方法费时、昂贵,一般只用于特别重要的设计中。一些尺寸巨大、结构复杂而又十分重要的零部件,如新型重型设备及飞机机身、新型舰船船体等的设计,常采用这种方法。

0.5.2 现代设计方法

20世纪60年代以来,随着科学技术的迅速发展以及计算机技术的广泛应用,在机械设计传统设计方法的基础上又发展了一系列新兴的设计理论与方法。现代设计方法还将随着科学技术的飞速发展而不断地完善。现代设计方法的应用将弥补传统设计方法的不足,从而有效地提高设计质量,但它并不能离开或完全取代传统设计方法。现代设计方法种类极多,内容十分丰富,这里仅简略介绍几种国内近一二十年来在机械设计中应用较为成熟、影响较大的方法。

1. 机械优化设计

机械优化设计是将最优化数学理论(主要是数学规划理论)应用于机械设计领域而形成的一种设计方法。该方法先将设计问题的物理模型转化为数学模型,再选用适当的优化方法并借助计算机求解该数学模型,经过对优化方案的评价与决策后,求得最佳设计方案。采用优化设计方法可以在多变量、多目标的条件下,获得高效率、高精度的设计结果,极大地提高了设计质量。

2. 机械可靠性设计

机械可靠性设计是将概率论、数理统计、失效物理和机械学相结合而成的一种设计方法。其主要特点是将传统设计方法中视为单值而实际上具有多值性的设计变量(如载荷、应力、强度、寿命等)如实地作为服从某种分布规律的随机变量来对待,用概率统计方法定量设计出符合机械产品可靠性指标要求的零部件和整机的主要参数及结构尺寸。

3. 有限元分析

这是一种随着计算机的发展而迅速发展起来的现代设计方法,其基本思想是:把连续的介质(如零件、结构等)看作由在有限个节点处联接起来的有限个小块(称为元素)所组成,然后对每个元素通过取定的插值函数,将其内每一点的位移(或应力)用元素节点的

位移（或应力）来表示。再根据介质整体的协调关系，建立包括所有节点的这些未知量的联立方程组，最后用计算机求解，以获得所需答案。当元素足够“小”时，可以得到十分精确的解答。

4. 机械动态设计

机械动态设计是根据机械产品的动载工况，以及对产品提出的动态性能要求与设计准则，按动力学方法进行分析与计算、优化与试验并反复进行的一种设计方法。它是把机械产品看成是一个内部情况不明的黑箱，通过外部观察，根据其功能对黑箱与周围不同的信息联系进行分析，求出机械产品的动态特性参数，然后进一步寻求它们的机理和结构。关键是建立对象（黑箱）的动态数学模型，并求解数学模型。该设计方法可使机械产品的动态性能在设计时就得到预测和优化。

5. 计算机辅助设计(CAD)

计算机辅助设计是利用计算机运算快速、准确、存储量大、逻辑判断功能强等特点进行设计信息处理，并通过人机交互作用完成设计工作的一种设计方法。CAD 系统能充分应用其他各种先进的现代设计方法，并且由于 CAD 系统的日益完备与高度自动化，使设计工作不断得到完善与简化。计算机辅助设计（CAD）与计算机辅助制造（CAM）可结合成 CAD/CAM 系统，它还可与计算机辅助检测（CAT）、计算机管理自动化结合形成计算机集成制造系统（CIMS），综合进行市场预测、产品设计、生产计划、制造和销售等一系列工作，实现人力、物力、时间等各种资源的有效利用，有效地促进了现代企业生产组织、管理和实施的自动化、无人化，使企业总效益提高。

现代设计方法还有很多，如模糊优化设计、模块化设计、价值分析等。与传统设计方法相比，现代机械设计方法具有如下一些特点：

- 1) 以科学设计取代经验设计。
- 2) 以动态的设计和分析取代静态的设计和分析。
- 3) 以定量的设计计算取代定性的设计分析。
- 4) 以变量取代常量进行设计计算。
- 5) 以注重“人—机—环境”大系统的设计准则，如人机工程设计准则、绿色设计准则，取代偏重于结构强度的设计准则。
- 6) 以优化设计取代可行性设计以及以自动化设计取代人工设计，从而有效地提高设计质量。

第 1 章 平面机构及其自由度

机构是一个构件系统，为了传递运动和动力，机构中各构件之间应具有确定的相对运动。但任意拼凑的构件系统并不一定能够发生确定的相对运动，所以研究机构的构件间是否具有确定的相对运动的条件，对于分析现有机构和设计新机构都是很重要的。

1.1 运动副及其分类

1.1.1 运动副

要传递运动和动力，各构件之间需通过一定的连接方式组成一个机构，组成机构的各构件之间的连接必须是可动的，且这种相互运动要是确定的。这种由两个构件组成的可动连接称为运动副，如图 1-1 所示，轴和轴承、滑块与导路以及齿轮与齿轮之间的连接都构成运动副。

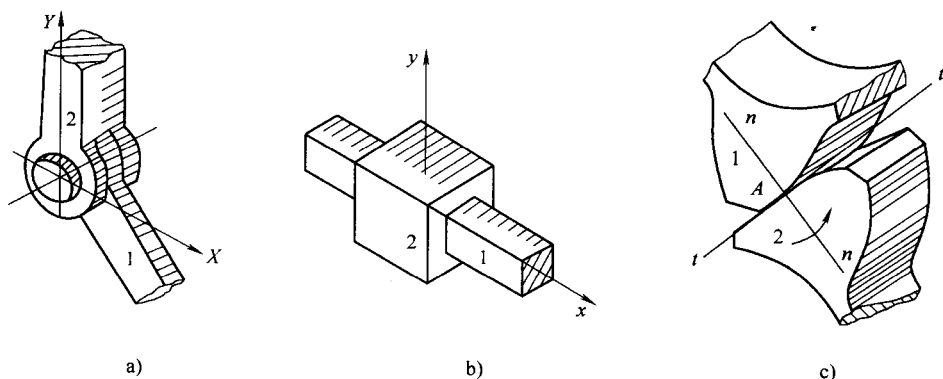


图 1-1 运动副

1.1.2 运动副的分类

根据连接的两构件之间的相对运动是平面的还是空间的，运动副可分为平面运动副和空间运动副，这里我们只介绍平面运动副。

两构件通过点、线、面实现接触，根据两构件之间的接触情况，可将运动副分为高副和低副。两构件通过面接触构成的运动副统称为低副，如图 1-1a、b 所示。两构件通过点或线接触构成的运动副统称为高副，如图 1-1c 所示。

根据两构件之间的运动特点，低副又可分为转动副和移动副。两构件之间的相对运动为转动的低副称为转动副或回转副，也称为铰链，如图 1-1a 所示。两构件之间的相对运动为移动的低副称为移动副，如图 1-1b 所示。

1.2 平面机构及其运动简图

所有构件都在同一平面或相互平行平面内运动的机构称为平面机构，反之则称为空间机构。由于常用的机构大多数为平面机构，所以本章仅讨论平面机构的有关问题。

1.2.1 平面机构的组成

在组成机构的各构件中，与参考系固定、相对不动的构件称为机架。一般情况下，机构安装在地面上，那么机架相对于地面是固定不动的；如果机构安装在运动物体（如车、船、飞机等）上，那么机架相对于该运动物体是固定不动的，而相对于地面则可能是运动的，其余的构件均相对于机架而运动。其中，给定独立运动参数的构件称为原动件，由原动件带动而随之运动的构件称为从动件。

由此可知，机构是由机架、原动件及从动件通过运动副连接而成的系统。

1.2.2 平面机构运动简图及其意义

由于设计和研究的需要，人们常通过绘制简图的方式来表示一个机构。另外，通过研究人们发现，机构在运动时，各部分的运动是由其原动件的运动规律、该机构中各运动副的类型（例如是高副还是低副、是转动副还是移动副等）、数目及相对位置决定的，而与构件的外形（高副机构的轮廓形状除外）、断面尺寸、组成构件的零件数目及固定连接方式，以及运动副的实际结构无关。

用简单线条和规定符号表示构件和运动副，并按照一定比例确定运动副的相对位置及与运动有关的尺寸，这种表明机构的组成和各构件间真实运动关系的简单图形称为机构运动简图。有时，只是为了表示机构的组成及其传动原理，也可以不严格按照比例来绘制，通常把这种简图称为机构示意图。

1.2.3 运动副和构件的表示

在机构运动简图中，各平面运动副在不同视图中的表示方法是不同的。图 1-2 所示为两构件用转动副连接的表示方法，其中图 1-2a、b、c 所示为垂直于回转轴线的平面，图 1-2d、e 所示为通过回转轴线的平面，图中画斜线的构件表示机架。

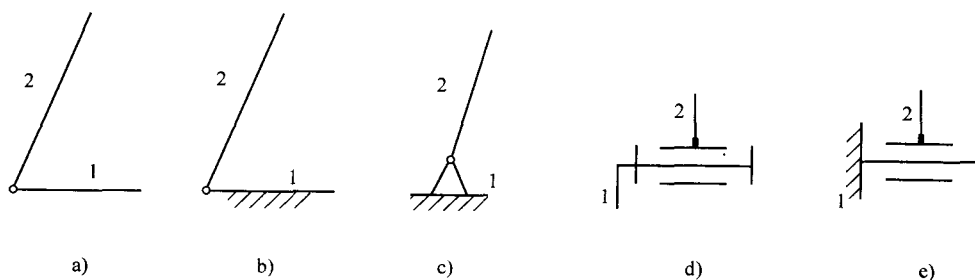


图 1-2 转动副

图 1-3 所示为两构件用移动副连接的表示方法。

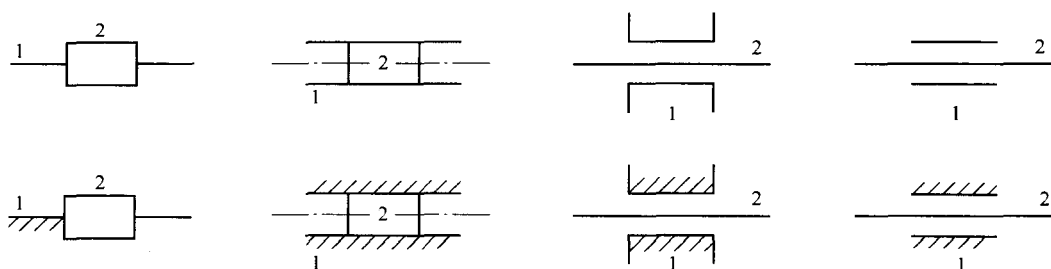


图 1-3 移动副

由于构件的相对运动主要取决于运动副，因此首先应当用符号画出各运动副元素在构件上的相对位置，然后再用简单线条把它们连接成构件，图 1-4 所示为具有两个运动副元素构件的表示方法。

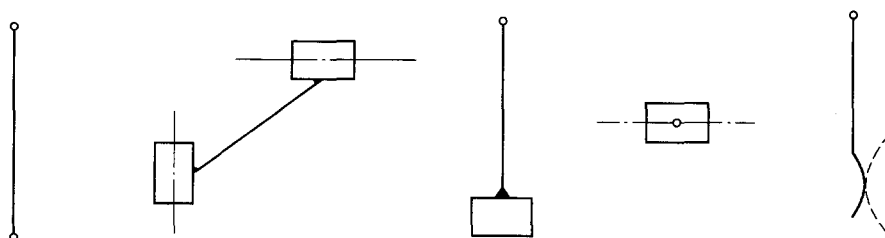


图 1-4 具有两个运动副元素的构件

图 1-5 所示为具有三个或四个运动副元素的构件，此时各运动副元素间的连线形成三角形或多边形。为了表明它们是同一构件，应在三角形、多边形中画上斜线（见图 1-5b），或将两条直线相交的部位画出焊缝符号（见图 1-5c）。如果一个构件上的三个转动副位于一条直线上，则应用半圆跨越连接上下两段直线来表示，而不能用中间的转动副直接连接这两段直线，如图 1-5d 所示。

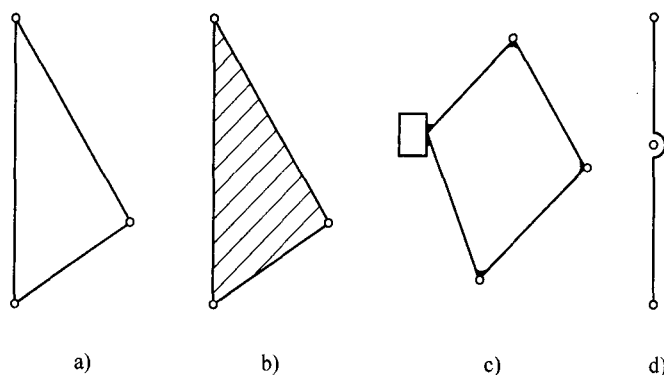


图 1-5 具有三个或四个运动副元素的构件

其他构件和机构的习惯表示方法可参见表 1-1。