

21世纪全国高职高专机电系列实用规划教材



21st CENTURY
实用规划教材

机械设计基础

主 编	时忠明	吴 冉
副主编	张祝强	郭 平
	解后循	邹哲维



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高职高专机电系列实用规划教材

机械设计基础

主 编	时忠明	吴 冉
副主编	张祝强	郭 平
	解后循	邹哲维
参 编	吴 凡	戴有华
主 审	芮延年	



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是依据教育部制定的高职高专机械设计基础课程的基本要求,并结合编者多年的教学改革经验编写而成。

本书详细地介绍了通用零、部件的设计与计算,常用机构的结构、运动分析与设计等内容。全书分为14章,内容包括:绪论、平面机构运动简图及自由度、平面连杆机构、凸轮机构及其设计、其他常用机构、连接、带传动、链传动、齿轮传动、齿轮系、轴、轴承、其他常用零部件、回转构件的平衡。各章均有教学目标和本章小结,并配有相应的习题及必要的资料。

本书可作为高职高专院校机械类和近机类各专业的机械设计基础课程的教材,也可供其他非机类专业学生及相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/时忠明, 吴冉主编. —北京: 北京大学出版社, 2009. 8

(21 世纪全国高职高专机电系列实用规划教材)

ISBN 978-7-301-13656-0

I. 机… II. ①时…②吴… III. 机械设计-高等学校: 技术学校-教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 052310 号

书 名: 机械设计基础

著作责任者: 时忠明 吴 冉 主编

责任编辑: 赖 青

标准书号: ISBN 978-7-301-13656-0/TH·0102

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印刷者: 世界知识印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.75 印张 360 千字

2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 25.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

《21 世纪全国高取高专机电系列实用规划教材》

专家编审委员会

主 任 傅水根

副主任 (按拼音顺序排名)

陈铁牛	李 辉	刘 涛	祁翠琴
钱东东	盛 健	王世震	吴宗保
张吉国	郑晓峰		

委 员 (按拼音顺序排名)

蔡兴旺	曹建东	柴增田	程 艳
丁学恭	傅维亚	高 原	何 伟
胡 勇	李国兴	李源生	梁南丁
刘靖岩	刘瑞己	刘 铁	卢菊洪
马立克	南秀蓉	欧阳全会	钱泉森
邱士安	宋德明	王世辉	王用伦
王欲进	吴百中	吴水萍	武昭辉
肖 珑	徐 萍	喻宗泉	袁 广
张 勤	张西振	张 莹	周 征

丛书总序

高等职业技术教育是我国高等教育的重要组成部分。从 20 世纪 90 年代末开始,伴随我国高等教育的快速发展,高等职业技术教育也进入了快速发展时期。在短短的几年时间内,我国高等职业技术教育的规模,无论是在校生数量还是院校的数量,都已接近高等教育总规模的半壁江山。因此,高等职业技术教育承担着为我国走新型工业化道路、调整经济结构和转变增长方式提供高素质技能型人才的重任。随着我国经济建设步伐的加快,特别是随着我国由制造大国向制造强国的转变,现代制造业急需高素质高技能的专业人才。

为了使高职高专机电类专业毕业生满足市场需求,具备企业所需的知识能力和专业素质,高职高专院校的机电类专业根据市场和社会需要,努力建立培养企业生产第一线所需的高等职业技术应用型人才的教学体系和教材资源环境,不断更新教学内容,改进教学方法,积极探索机电类专业创新人才的培养模式,大力推进精品专业、精品课程和教材建设。因此,组织编写符合高等职业教育特色的机电类专业规划教材是高等职业技术教育发展的需要。

教材建设是高等学校建设的一项基本内容,高质量的教材是培养合格人才的基本保证。大力发展高等职业教育,培养和造就适应生产、建设、管理、服务第一线需要的高素质技能型人才,要求我们必须重视高等职业教育教材改革与建设,编写和出版具有高等职业教育自身特色的教材。近年来,高职教材建设取得了一定成绩,出版的教材种类有所增加,但与高职发展需求相比,还存在较大的差距。其中部分教材还没有真正过渡到以培养技术应用能力为主的体系中来,高职特色反映也不够,极少数教材内容过于浅显,这些都对高职人才培养十分不利。因此,做好高职教材改革与建设工作刻不容缓。

北京大学出版社抓住这一时机,组织全国长期从事高职高专教学工作并具有丰富实践经验的骨干教师,编写了高职高专机电系列实用规划教材,对传统的课程体系进行了有效的整合,注意了课程体系结构的调整,反映系列教材各门课程之间的渗透与衔接,内容合理分配;努力拓宽知识面,在培养学生的创新能力方面进行了初步的探索,加强理论联系实际,突出技能培养和理论知识的应用能力培养,精简了理论内容,既满足机械类专业对理论、技能及其基础素质的要求,同时提供选择和创新的空間,以满足学有余力的学生进修或探究学习的需求;对专业技术内容进行了及时的更新,反映了技术的最新发展,同时结合行业的特色,缩短了学生专业技术技能与生产一线要求的距离,具有鲜明的高等职业技术人才培养特色。

最后,我们感谢参加本系列教材编著和审稿的各位老师所付出的大量卓有成效的辛勤劳动,也感谢北京大学出版社的领导和编辑们对本系列教材的支持和编审工作。由于编写的时间紧、相互协调难度大等原因,本系列教材还存在一些不足和错漏。我们相信,在使用本系列教材的教师和学生的关心和帮助下,不断改进和完善这套教材,使之成为我国高等职业技术教育的教学改革、课程体系建设和教材建设中的优秀教材。

《21 世纪全国高职高专机电系列实用规划教材》

专家编审委员会

2007 年 7 月

前 言

本书是一本与高职高专教学模式相结合的,突出“以实践能力为主,理论够用为度”教学理念的教材,具有较强的高等职业教育教材的特色。机械设计基础课程是机电类和近机类各专业的一门技术基础课,具有较强的综合性和实践性。本书旨在使读者通过学习,了解机械设计的基本思想,掌握其基本原理和基本方法,并能把学到的知识应用到实践中,培养工程实践的基本素质。

编者根据教育部关于高职高专机械设计基础课程教学的基本要求及当前高等职业教育教学 and 改革的要求,广泛听取有关学校师生的意见,经过集体讨论确定编写方案和要求。本书具有以下几方面特点。

(1) 将机械原理、机械零件两部分内容有机的结合起来。

(2) 按照培养应用性生产一线工程技术人员的总目标,以生产实际所需的基本知识、基本理论和基本技能为基础,精选教学内容,把握理论深度,删减不必要的理论推导,注重实用性,与高职高专培养实用型人才的目标相吻合。

(3) 适应面广。适用于机电大类,也适用于汽车类等近机类专业的课程教学使用;知识面广,深度适宜;章节前后附有教学目标和本章小结,对教师与学生具有指导作用。

(4) 本教材的编写人员均来自教学一线,了解学生心理,章节顺序的安排及教学语言的陈述均比较合理,便于教师讲授和学生学习。

(5) 由于各学校、各专业的教学安排不同,教师可根据实际情况,选讲教材内容并适当调整顺序。

参加本书编写的人员有:苏州农业职业技术学院时忠明(第1、4、7章)、解后循(第5、8、11章)、吴凡(第6、10章),济宁职业技术学院吴冉(第14章),广东省岭南工商第一技师学院张祝强(第13章)、辽宁信息职业技术学院郭平(第9章)、江苏农林职业技术学院戴有华(第12章)、武汉工业职业技术学院邹哲维(第2、3章)。本书由时忠明、吴冉任主编,张祝强、郭平、解后循、邹哲维任副主编。苏州大学芮延年教授审阅了全书,在此表示衷心的感谢!

因编者水平有限,错漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2009年4月

目 录

第 1 章 绪论	1	5.2 槽轮机构	46
1.1 机器及其组成	1	5.3 不完全齿轮机构	49
1.2 本课程的内容、性质及任务	2	5.4 凸轮式间歇运动机构	50
1.3 机械设计基本要求	3	本章小结	51
1.4 机械零件的主要失效形式及 设计计算准则	4	习题	51
1.5 机械零件的标准化、系列化及 通用化	5	第 6 章 连接	52
本章小结	6	6.1 螺纹连接	52
习题	6	6.2 螺纹连接的预紧与防松	57
第 2 章 平面机构运动简图及自由度	7	6.3 螺纹连接强度计算	60
2.1 平面机构的组成	7	6.4 螺纹连接结构设计	64
2.2 平面机构运动简图的绘制	9	6.5 键连接	66
2.3 平面机构自由度	12	6.6 花键和销连接	71
本章小结	16	本章小结	72
习题	16	习题	73
第 3 章 平面连杆机构	18	第 7 章 带传动	74
3.1 概述	18	7.1 概述	74
3.2 平面四杆机构的基本 形式及演化	18	7.2 V 带和带轮结构	75
3.3 平面四杆机构的基本特性	24	7.3 带传动的工作能力分析	78
3.4 平面四杆机构的设计	27	7.4 V 带传动设计	81
本章小结	29	7.5 带传动的张紧、安装和维护	89
习题	29	7.6 同步带传动简介	92
第 4 章 凸轮机构及其设计	31	本章小结	93
4.1 凸轮机构的特点和分类	31	习题	93
4.2 常用的从动件运动规律	33	第 8 章 链传动	94
4.3 盘形凸轮轮廓设计	36	8.1 链传动的结构及应用	94
4.4 凸轮机构设计中应注意的问题	38	8.2 链传动工作特性	97
本章小结	42	8.3 链传动的选择与计算	98
习题	42	8.4 链传动的安装与润滑	101
第 5 章 其他常用机构	43	本章小结	103
5.1 棘轮机构	43	习题	103
		第 9 章 齿轮传动	105
		9.1 齿轮传动的特点和类型	105
		9.2 渐开线齿廓与啮合特性	106

9.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的主要 参数和几何尺寸计算	109	11.6 轴的设计	177
9.4 渐开线直齿圆柱齿轮的 啮合传动	113	本章小结	180
9.5 渐开线齿轮的加工方法与 根切现象	114	习题	180
9.6 变位齿轮传动	117	第 12 章 轴承	182
9.7 齿轮的失效形式与设计准则	119	12.1 概述	182
9.8 齿轮常用材料及精度等级	120	12.2 滚动轴承的结构、类型 及其选择	182
9.9 渐开线直齿圆柱齿轮传动的 强度计算	125	12.3 滚动轴承的失效形式及计算	190
9.10 平行轴斜齿圆柱齿轮传动	130	12.4 滚动轴承的组合设计	198
9.11 直齿圆锥齿轮传动	135	12.5 滑动轴承的结构类型	206
9.12 齿轮的结构设计及润滑	139	12.6 非液体摩擦滑动轴承的 设计计算	214
9.13 蜗杆传动	142	12.7 滚动轴承与滑动轴承的 性能比较	216
本章小结	152	本章小结	217
习题	152	习题	217
第 10 章 齿轮系	154	第 13 章 其他常用零部件	219
10.1 齿轮系的分类	154	13.1 联轴器	219
10.2 定轴齿轮系的传动比	155	13.2 离合器	227
10.3 行星齿轮系的传动比	156	13.3 弹簧	229
10.4 齿轮系的应用	160	本章小结	233
10.5 其他新型齿轮传动简介	162	习题	233
10.6 减速器	163	第 14 章 回转构件的平衡	234
本章小结	164	14.1 概述	234
习题	164	14.2 静平衡	235
第 11 章 轴	166	14.3 动平衡	237
11.1 概述	166	本章小结	239
11.2 轴的材料及选择	167	习题	239
11.3 最小轴径的估算	168	参考文献	240
11.4 轴的结构设计	169		
11.5 轴的强度和刚度校核计算	174		

第 1 章 绪 论

教学目标

理解机器、机构和机械等基本概念，掌握机械设计的基本要求、机械设计一般程序，了解机械零件的主要失效形式及设计计算准则。

本章提要

本章阐述机器、机构等概念，简述机械设计的基本要求、步骤及设计计算准则等。

1.1 机器及其组成

在人们日常生活和工作中广泛使用着各种机器，例如洗衣机、缝纫机、汽车、拖拉机、内燃机、起重机、各种机床、工业机器人等。图 1-1 所示为单缸内燃机，它由曲轴 1、连杆 2、活塞进气阀 3、气缸体 4、阀杆 5、凸轮 6、齿轮 7、8 等组成。

通过燃气在气缸内的进气——压缩——做功——排气 4 个过程，使其燃烧的热能转变为曲轴转动的机械能。

机器的种类繁多，结构和用途也各不相同，但机器具有 3 个共同的特征：①它们都是人为的实物组合体；②各实体间具有确定的相对运动；③能实现能量转换或完成有用的机械功。仅具备前两个特征的称为机构。机构是多个实物的组合体，能实现预期的机械运动。

常见的机构有连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构等，它们只能完成运动和动力的传递。在图 1-1 中，构件 1~4 组成连杆机构；构件 5、6 组成凸轮机构；构件 7、8 组成齿轮机构。连杆机构将活塞的往复运动转化为曲轴的回转运动，齿轮机构和凸轮机构的协调运动使内燃机按工作要求有规律地完成进气、排气任务。机器大多包含若干个机构，最简单的机器只包含一个机构，如电动机等。机械是机器和机构的统称。

组成机械的各个相对运动的实物组合体称为构件，它是运动的单元，机械中不可拆的制造单元体称为零件。构件可以是多个零件的刚性组合体，如

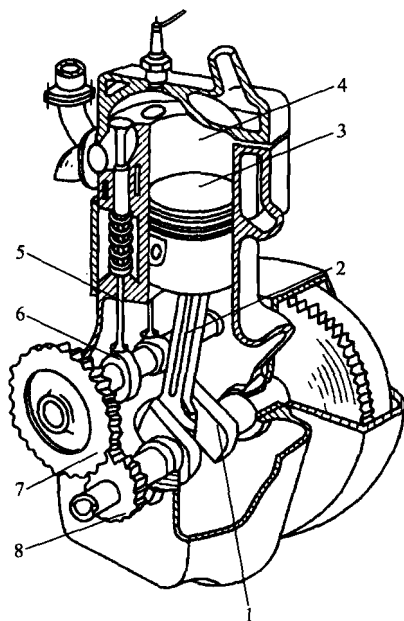


图 1-1 单缸内燃机

1—曲轴；2—连杆；3—活塞进气阀；4—气缸体；5—阀杆；6—凸轮；7、8—齿轮

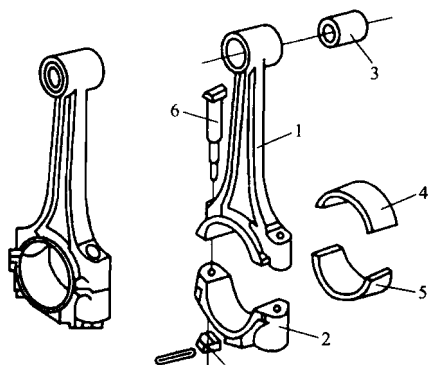


图 1-2 连杆

1—连杆体；2—连杆盖；
3~5—轴瓦；6—螺栓

图 1-2 所示，连杆是由连杆体 1、连杆盖 2、轴瓦 3~5、螺栓 6、螺母、开口销等组成的运动构件。构件也可以是单一零件，如图 1-1 所示，曲轴 1 是由一个零件组成的构件。

零件分为两类：一类是通用零件，是各种机器中经常使用的零件，如螺栓、螺母等；另一类是专用零件，是仅在特定类型机器中使用的零件，如活塞、曲轴等。

在工程中，常常把组成机器的某一部分的零件组合体称为部件，如减速器、联轴器、离合器、制动器等。这些部件用以完成特定的工作，企业往往把它们独立加工装配。

1.2 本课程的内容、性质及任务

1.2.1 本课程内容

本课程的研究对象是机器和机构，课程主要包括以下内容。

1. 机械设计的基本理论

机械设计的基本理论主要介绍机械设计的基本要求和设计的一般过程。

2. 常用机构及其传动设计

常用机构包括连杆机构、凸轮机构、齿轮传动、蜗杆传动、带传动、链传动、间歇运动机构及其他常用机构等。这些机构用于实现运动和动力的传递及运动形式的改变。传动设计主要包括机构的类型、工作原理、运动参数及几何尺寸计算、失效分析、设计准则及承载能力设计计算、零件结构设计等。

3. 通用零部件设计

通用零部件主要指用于连接和支承的常用零部件，介绍它们的类型、特点、工作原理、工作能力设计、结构设计及标准零部件的选用等。

1.2.2 本课程的性质和任务

机械设计基础课程是机电类专业的主干课程之一，是学习专业课程和进行机构、通用零部件分析和设计的必备基础，本课程的主要任务如下。

(1) 使学生了解常用机构及通用零部件的工作原理、类型、特点及应用等基本知识。

(2) 使学生掌握常用机构的基本理论和设计方法，掌握通用零部件的失效形式和设计方法。

(3) 使学生具备设计传动装置及简单机械的基本技能。

(4) 使学生具备运用标准、规范、手册、图册和查阅有关技术资料的能力。

1.3 机械设计基本要求

1.3.1 机械设计的基本要求

机械的种类很多,用途、结构、性能差别很大,但设计的基本要求大致相同。其基本要求如下。

1. 实现预定功能

设计的机器能实现预定的功能,如运动的形式、速度、精度、稳定性、所传递的功率以及设计期限内的寿命等。

2. 可靠性要求

机器由许多零件及部件组成,其可靠度取决于零部件的可靠度。机械系统的零部件越多,其可靠度也就越低,因此在设计机器时应尽量减少零部件数目。但就目前而言,对机械产品的可靠度难以提出统一的考核指标。

3. 经济性要求

经济性指标是一项综合性指标,要求设计及制造成本低、机器生产率高,使产品质优价廉,具有市场竞争力。

4. 安全性要求

操作系统要简便可靠,有利于减轻操作人员的劳动强度。要有各种保险装置以消除由于误操作而引起的危险,避免人身及设备事故的发生。

在满足安全性要求的基础上,力求产品功能完善、造型大方宜人,要使人类的生存环境得到保护和改善。

1.3.2 机械设计的一般过程

机械设计是一个复杂的过程,在明确设计要求之后,机械设计包括的主要内容为:确定机械的工作原理,进行机械总体设计、结构设计、零部件设计、零部件制造、安装及调试。

设计过程通常分为以下几个阶段。

1. 规划设计阶段

开展广泛的市场调查和分析,确定机械的设计参数,给出可行性报告并编制详细的设计任务书。任务书中应明确机械的用途、功能、主要性能参数、工作环境、生产批量、预期成本以及基本使用要求等。

2. 方案设计阶段

在满足设计任务书中具体要求的前提下,设计各种可行方案并进行分析比较,从中选

出最佳设计方案,并用规定的简单符号绘制机构运动简图。

3. 技术设计阶段

根据设计方案,完成机械产品的总体设计(包括总体布置、传动系统图、液压系统图、电气系统图等)、部件设计、零件设计等。最后绘制出总装配图、部件装配图和零件的工作图,编写设计计算说明书、机械使用说明书等技术文件。

4. 制造与调试阶段

经过加工、安装及调试制造出样机,对样机进行试运行,并根据调试过程中发现的问题做进一步的修改,完善产品,最后通过验收或鉴定。

1.4 机械零件的主要失效形式及设计计算准则

机械零件丧失工作能力或达不到工作能力时称为失效。由于强度不够引起的破坏是最常见的零件失效形式,但并不是零件失效的唯一形式。进行机械零件设计时必须根据零件的失效形式分析原因,提出防止或减轻失效的措施,并确定相应的设计计算准则。

1.4.1 失效形式

机械零件最常见的失效形式有以下几种。

1. 断裂

机械零件的断裂通常有以下两种情况。

(1) 零件在外载荷的作用下,当某一危险截面上的应力超过零件的强度极限时将发生断裂,如螺栓的折断。

(2) 零件在循环变应力的作用下,当某一危险截面上的应力超过零件的疲劳强度时将发生疲劳断裂。

2. 过量变形

当零件上的应力超过材料的屈服极限时,零件将发生塑性变形。当零件的弹性变形量过大时也会使机器的工作不正常,如机床主轴过大的弹性变形会降低零件的加工精度。

3. 表面失效

表面失效主要有疲劳点蚀、磨损、压溃和腐蚀等形式。表面失效后通常会增大零件的摩擦,使零件尺寸发生变化,最终造成零件的失效。

1.4.2 设计计算准则

为了保证零件能正常工作,在设计零件时应首先进行零件的失效分析,根据不同的失效原因建立起来的工作条件称为设计计算准则,常用的设计计算准则有以下几个。

1. 强度准则

强度是机械零件在载荷作用下抵抗断裂、表面疲劳破坏或过大塑性变形等的的能力。强

度是机械零件能正常工作的基本要求。

常用的强度条件表达式为应力表达式, 即

$$\sigma \leq [\sigma]$$

$$\tau \leq [\tau]$$

式中: σ 、 τ 为零件在载荷作用下引起的工作应力; $[\sigma]$ 、 $[\tau]$ 为零件的许用应力。

2. 刚度准则

刚度是指零件在载荷的作用下抵抗弹性变形的能力。刚度准则要求零件在载荷作用下的弹性变形 y 在许用的极限值 $[y]$ 之内, 其表达式为

$$y \leq [y]$$

3. 散热性准则

机械零件工作时如果温度过高将导致润滑油失效、氧化、胶合等, 使材料的强度极限下降, 引起热变形及附加热应力等, 从而使零件不能正常工作。散热性准则为: 根据热平衡条件, 工作温度 t 不应超过许用工作温度 $[t]$, 即

$$t \leq [t]$$

4. 耐磨性准则

耐磨性是指相互接触并运动的零件工作表面抵抗磨损的能力。过度磨损将改变零件的结构形状和尺寸, 削弱其强度, 降低机械精度和效率, 以致零件失效报废。

关于磨损的计算, 目前尚无可靠成熟的计算方法。有一些机械零件, 由于磨损是其主要失效形式, 所以常采用条件性计算。验算接触表面压强 p 不超过许用值 $[p]$, 以保证工作面不致因油膜破坏而产生过度磨损, 即

$$p \leq [p]$$

5. 振动稳定性

机器中存在着许多激振源, 例如轴上零件的偏心载荷等。当丧失振动稳定性时, 零件中的动应力很高, 振幅急剧增加, 从而导致零件甚至整个系统损坏。所以需对零件和系统进行振动稳定性的验算。通过改变零件或系统的刚度阻尼等办法可以改善振动稳定性, 用隔振、消振等技术也可以改善机器的抗震性能。

1.5 机械零件的标准化、系列化及通用化

标准化是对机械零件的种类、尺寸、结构、材料性能、检验方法、设计方法、配合及制图规范等制定出相应的标准, 供设计和制造中共同遵照使用。按规定标准零件生产的零件称为标准件, 如螺纹连接件等。标准化给机械设计、制造带来的好处是: ①选用标准件, 简化了设计工作, 缩短了产品的生产周期; ②对用途广泛的零件进行专业化大规模生产, 可以提高质量, 节约材料, 降低成本; ③具有互换性, 便于维修更换。

系列化是指产品按主要参数分档, 形成一定系列的产品, 用较少规格的产品来满足不同的需要。如对于同类型、同内径的滚动轴承, 按滚动体直径的不同形成各种外径、宽度

的滚动轴承系列。

通用化是指对不同规格的同类产品或不同类产品，在设计中尽量采用相同的零件或部件，如几种类型不同的轿车可以采用相同的轮胎。通用化是广义的标准化。

我国现行标准分为国家标准(GB)、行业标准(如 JB、YB 等)及企业标准等 3 个等级。国际上则推行国际标准化组织(ISO)的标准，我国也正在逐步向 ISO 标准靠近。

本章小结

本章主要介绍了机器、机构和机械等基本概念，机械设计一般程序，机械设计的基本要求及设计计算准则。

机器具有三个特征；机械零件失效形式主要有：断裂、过量变形和表面失效，在机械零件设计时，应首先进行零件的失效分析，确定其设计计算准则。

习 题

- 1-1 机器和机构有何联系和区别？构件和零件有何联系和区别？
- 1-2 列举生活中所见到的事件来说明机构的应用。
- 1-3 机械产品设计有哪些基本要求？机械设计的一般过程包括哪些阶段？
- 1-4 零件主要有哪些失效形式、设计计算准则？
- 1-5 机械零部件标准化的意义及内容是什么？

第 2 章 平面机构运动简图及自由度

教学目标

掌握平面运动副、构件的分类及表示方法，掌握平面机构自由度计算及机构具有确定运动的条件，能够绘制机构运动简图。

本章提要

本章阐述平面运动副、构件的分类及表示方法，平面机构自由度的计算及机构具有确定运动的条件，绘制机构运动简图的步骤。

机构分为平面机构和空间机构两类。所有构件都在一个平面或相互平行的平面内运动的机构称为平面机构；否则称为空间机构。工程中大多数常用机构是平面机构，因此本章只讨论平面机构。

2.1 平面机构的组成

2.1.1 运动副

两构件直接接触而又能产生一定相对运动的连接称为运动副。两构件组成运动副是通过构件上的点、线、面接触来实现的，参与接触的点、线、面称为运动副元素。构成运动副的两构件之间，若相对运动为平面运动，则称该运动副为平面运动副；若相对运动为空间运动，则称该运动副为空间运动副。按照接触方式的不同，平面运动副可分成低副和平面高副两类。

1. 低副

通过面接触组成的运动副称为低副，根据两构件间相对运动的形式不同，低副又可分成移动副和转动副。

(1) 移动副。组成运动副的两构件只能沿某一直线相对移动的运动副称为移动副，如图 2-1 所示，构件 1、2 间只能做相对移动。

(2) 转动副。组成运动副的两构件只能绕同一轴线相对转动的运动副称为转动副或铰链，如图 2-2 所示，构件 1、2 只能做相对转动。

2. 平面高副

通过点或线接触组成的运动副称为平面高副，图 2-3(a)所示为凸轮副，凸轮 1 与从动件 2 为点接触，它们的相对运动是绕 A 点的转动和沿接触处切线 tt 方向独立移动；图 2-3(b)所示为齿轮副，齿轮 1 与从动件 2 为线接触。

此外，常用的运动副有球面副和螺旋副，这两种运动副均属空间运动副。

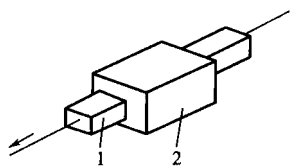


图 2-1 移动副

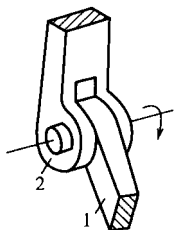


图 2-2 转动副

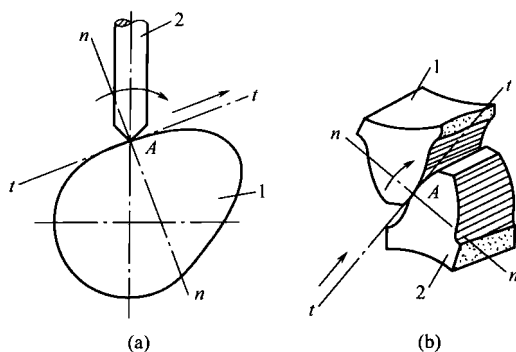
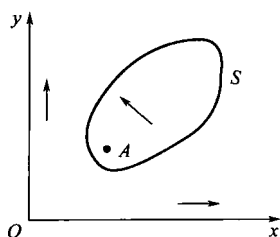


图 2-3 平面高副

1—凸轮；2—从动件

图 2-4 平面运动
机构的自由度

2.1.2 自由度和约束

一个做平面运动的自由构件具有 3 个独立运动参数，即构件沿 x 轴、 y 轴方向的移动及绕垂直于 xOy 平面轴的转动，如图 2-4 所示。构件所具有的独立运动参数的个数称为构件的自由度。显然，一个做平面运动的自由构件有 3 个自由度，一个做空间运动的自由构件有 6 个自由度。

两个构件通过运动副连接后，它们之间的某些独立运动将受到限制，这种对构件间相对运动所加的限制称为约束。自由度随着约束的引入而减少，引入一个约束条件将减少一个自由度。

2.1.3 运动链和机构

1. 运动链

两个以上的构件以运动副连接而构成的系统称为运动链。运动链各构件构成的首末封闭的系统称为闭链，如图 2-5(a)、(b)所示。运动链各构件构成的首尾不封闭的系统称为开链，如图 2-5(c)所示。在各种机构中一般都采用闭链，只有少数机构(如工业机械手)采用开链。

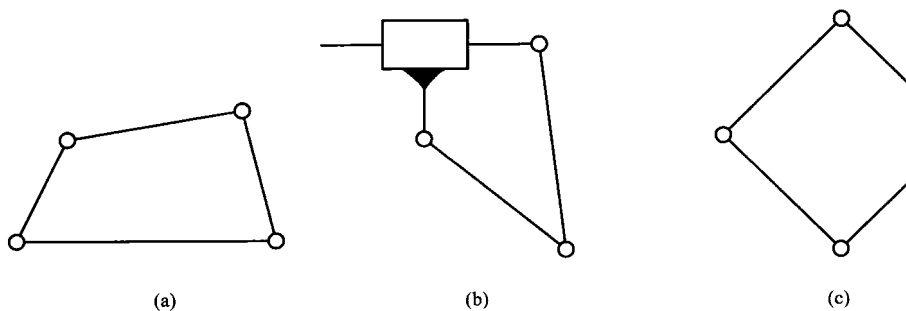


图 2-5 运动链

2. 机构

在运动链中选取一个固定构件作为机架，当另一构件(或几个构件)按照给定的运动规律独立运动时，其余构件随之具有确定的相对运动，这种运动链称为机构。

2.2 平面机构运动简图的绘制

实际机构的外形和结构往往都很复杂，而构件的运动只取决于运动副的类型和各运动副相对位置的尺寸，与构件的外形、断面尺寸、组成构件的零件数目及运动副的具体结构等无关。为了便于研究机构的组成和运动，只用简单的线条和规定符号代表构件和运动副，并按一定的比例确定各运动副位置，这种能够表示机构各构件间相对运动关系的简明图形称为机构运动简图。

2.2.1 运动副及构件的表示方法

1. 运动副的表示方法

(1) 低副。转动副和移动副的表示方法见表 2-1。

(2) 高副。两构件组成高副时，在简图中应当画出两构件接触处的曲线轮廓，见表 2-1。

表 2-1 常用运动副和构件的代表符号

名 称	符 号
两副元素构件	
三副元素构件	
转动副	
移动副	
凸轮机构	