

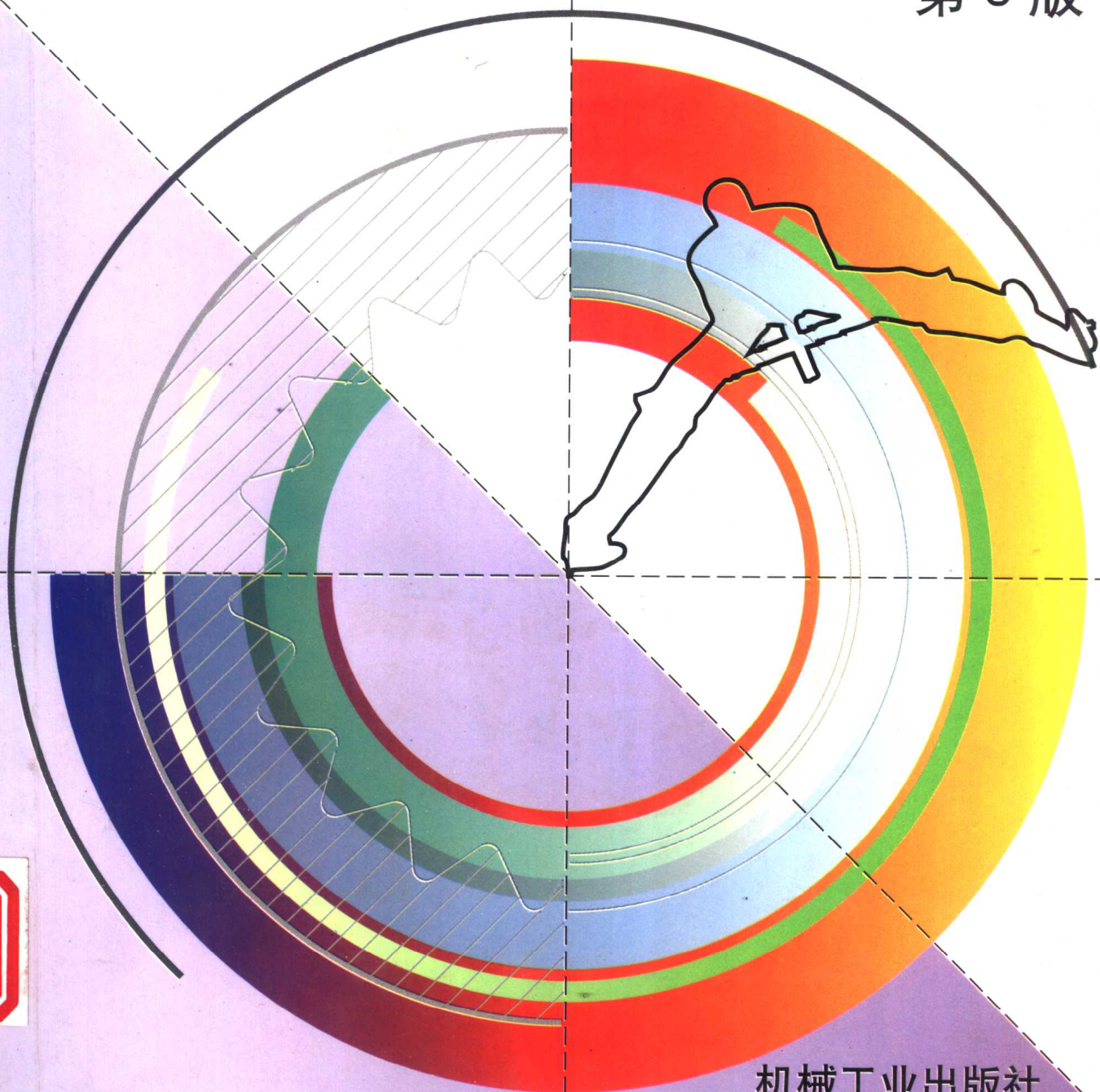
高等学校机械设计系列教材

# 机械设计基础

范顺成 马治平 马洛刚 主编

(多学时)

第3版



机械工业出版社

高等学校机械设计系列教材

# 机械 设计 基础

(多 学 时)

第 3 版

主编	范顺成	马治平	马洛刚
参编	王光林	陆正德	李春书
	张秀兰	来新民	白春林
	彭 炜		
主审	钱寿铨		

机 械 工 业 出 版 社

本书是根据国家教育委员会批准印发的《高等工业学校机械设计基础(原机械原理及机械零件)教学基本要求(多学时)》和天津大学及河北省多所高等学校多年来试行该教学基本要求的教改实践经验编写而成的。

全书除绪论外,共十九章,内容包括:平面机构的自由度,平面连杆机构,凸轮机构,齿轮机构,轮系,间歇运动机构,组合机构,回转体的平衡,机器速度的波动及调节,机械零件设计概论,联接,带传动,链传动,齿轮传动,蜗杆传动,轴,滑动轴承,滚动轴承,联轴器与离合器,弹簧。

本书可作为高等工业学校近机类、机械类(专科)专业机械设计基础(原机械原理及机械零件)课程的教材,也可供有关专业师生及工程技术人员参考。

## 机械设计基础

(多学时)

第3版

范顺成 马治平 马洛刚 主编

\*

责任编辑:王世刚 张一萍 版式设计:张世琴

封面设计:姚毅 责任校对:申春香

责任印制:王国光

\*

机械工业出版社出版(北京市百万庄大街22号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京市房山区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本 787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·印张 20.75·字数 501千字

1998年12月第3版第3次印刷

印数 10 001~13 000 定价 28.00元

\*

ISBN 7-111-06593-X/TH·890(课)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

## 第 1 版前言

本书是由天津大学和河北省机械设计教学研究会合作编写的机械设计系列教材之一。本系列教材包括：机械设计（机械类专业用）、机械设计基础（近机类专业用）、机械设计基础（非机类专业用）、机械设计习题集（与机械设计配套使用）和机械设计课程设计等共 5 种。

本书是根据国家教育委员会批准印发的《高等工业学校机械设计基础（原机械原理及机械零件）教学基本要求（多学时）》和天津大学及河北省十余所高等学校多年来试行该教学基本要求的教改实践经验编写而成的。

编写本书时，编者在贯彻《机械设计基础（原机械原理及机械零件）教学基本要求》的基本精神前提下，力求做到精选内容、联系实际、叙述简明，便于教学。

为便于教学，本书按两大部分编写。第一章至第八章为第一部分（机械原理），主要叙述常用机构的工作原理、运动特点、机构设计和机器动力学的基本知识；第九章至第十九章为第二部分（机械设计），主要叙述通用机械零部件的工作原理、特点、基本设计理论和基本设计方法。另外，为反映科技新成就，拓宽知识面和有助于适当结合教学过程培养学生应用计算机的能力，本书第二十章对现代设计方法作了简要介绍。

本书各章均有例题，并在各章末附有习题。书中摘录了部分必要的的数据资料，以供例题及求解习题使用。其它数据资料可参阅系列教材中《机械设计课程设计》一书。

本书中带有 \* 号的内容为选学内容，可视学时多少和专业需要而作取舍。

近年来有关机械设计的标准有较多的更新，本书采用新颁布的国家标准。

参加本书编写工作的有：钱寿铨（绪论、第十三章），马治平（第一、二章），王光林（第三、十九章），陆正德（第四、五章），李春书（第六、七、八章），马洛刚（第九、十四章），张秀兰（第十章），李洪德（第十一、十二章），彭炜（第十五、十八章），范顺成（第十六章），白春林（第十七、二十章）。全书由钱寿铨、白春林担任主编。

本书由天津大学郭芝俊、李文禄担任主审，他们提出了许多有助于提高本书质量的宝贵意见；唐山工程技术学院李国柱同志在本书出版、印刷过程中做了大量工作，编者对此深表感谢。

限于编者水平，书中错误和不当之处在所难免，希望广大读者批评、指正。

编者

1992 年 11 月

## 第2版前言

原书第1版在天津大学、河北省十余所高等院校及其它一些院校使用后，得到了广大师生的欢迎和好评，认为原书较好地贯彻了国家教委颁发的《机械设计基础（原机械原理及机械零件）教学基本要求（多学时）》。原书具有内容精炼、深广度适宜，组织、编排恰当，反映了新科技、新标准，适用面广，便于教学等特点。

为使原书的内容不断更新和完善，以适应高等教育改革的发展和需要，系列教材编委会根据各方面的意见和建议决定对原书进行修订。

修订后的教材保留了第1版的体系和基本内容。修订的主要方面和内容如下：

(1) 删去了原书“现代设计方法简介”一章，而在本书第二、三章分别增补了连杆机构、凸轮机构设计计算的计算机程序框图，以便有助于结合教学过程培养学生应用计算机的能力。

(2) 按近年来新颁布的有关国家标准修订了原书中采用的相应旧标准，并按新标准重新编写了“滚动轴承”一章。

(3) 更换和增、删了原书中的部分插图。

(4) 对原书中某些叙述较为繁琐及非主要内容部分作了删减，以使内容更为精炼和切合实际。

与第1版一样，修订本书时，编者在贯彻《机械设计基础（原机械原理及机械零件）教学基本要求》的基本精神前提下，力求做到精选内容，联系实际，叙述简明，便于教学。

本书中带有\*号的内容为选学内容，可视学时多少和专业需要而作取舍。

本书第1版的全部编审人员按原有分工参加了本书的修订工作。

最后，欢迎广大读者对本书中错误和不妥之处提出批评。

编者

1995年11月

## 第 3 版前言

本书是在第二版的基础上根据两年来各校试用本教材的意见和建议进行修订的。

修订后的教材基本保留了第 2 版的体系和基本内容。为适应高等工科教育教学内容及课程体制改革的要求，在总结多年教学经验的基础上，本版教材对基本内容作了更进一步的精选，以满足实际教学需要。这次修订对第三、四、十、十八章等的內容作了适当删减或更换，力求内容更加精练和完善；考虑到本教材与《机械设计课程设计》一书配套使用，故本版教材删去了一些与该书重复的标准、规范和数据等内容。

参加本书修订工作的有：范顺成（绪论、第十三、十六章），马治平（第一、二章），王光林（第三、十九章），陆正德（第四、五章），李春书（第六、七、八章），马洛刚（第九、十四章），张秀兰（第十章），来新民（第十一、十二章），彭炜（第十五、十八章），白春林（第十七章）。本书由范顺成、马治平、马洛刚担任主编。

在本书修订工作中，河北工业大学钱寿铨同志认真审阅了全部书稿，提出了很多宝贵意见和建议，编者对此表示衷心感谢。

编者欢迎广大读者对书中错误和不妥之处提出批评指正。

编 者  
1998 年 3 月

# 目 录

第1版前言	
第2版前言	
第3版前言	
绪论	1
第一节 引言	1
第二节 本课程研究的对象和内容	1
第三节 本课程的性质和任务	3
第四节 机械设计的基本要求和一般过程	3
第一章 平面机构的自由度及机构运动简图	6
第一节 平面机构运动副及其分类	6
第二节 平面机构运动简图	7
第三节 平面机构的自由度	9
习 题	13
第二章 平面连杆机构	15
第一节 平面连杆机构的特点和应用	15
第二节 四杆机构的基本形式及其演化	16
第三节 有关四杆机构的几个基本概念	22
第四节 平面连杆机构的设计	26
习 题	31
第三章 凸轮机构	33
第一节 凸轮机构的应用和分类	33
第二节 从动件常用运动规律	36
第三节 图解法设计盘形凸轮轮廓	40
第四节 凸轮机构设计中的几个问题	44
* 第五节 用解析法设计凸轮轮廓的基本方法	48
习 题	50
第四章 齿轮机构	52
第一节 齿轮机构的分类	52
第二节 齿廓啮合基本定律	53
第三节 渐开线的形成及其特性	55
第四节 标准直齿圆柱齿轮各部分名称及尺寸计算	57
第五节 渐开线标准齿轮的啮合传动	59
第六节 渐开线齿廓的切制原理	64
第七节 渐开线齿廓的切齿干涉和标准齿轮的最少齿数	67
* 第八节 变位齿轮概述	69
第九节 平行轴斜齿轮机构	70
第十节 锥齿轮机构	75
习 题	79
第五章 轮系	80
第一节 轮系的分类	80
第二节 齿轮系传动比的计算	81
第三节 行星轮系传动比的计算	83
第四节 轮系的功用	86
* 第五节 K-H-V型行星齿轮机构简介	88
习 题	91
第六章 间歇运动机构、组合机构	93
第一节 棘轮机构	93
第二节 槽轮机构	96
第三节 其它间歇运动机构	99
* 第四节 组合机构	101
习 题	102
第七章 回转体的平衡	103
第一节 回转体不平衡的原因及影响	103
第二节 静不平衡与动不平衡	104
* 第三节 回转体的平衡计算	105
第四节 回转体的平衡实验法简介	108
习 题	109
第八章 机器速度的波动及调节	111
第一节 机器速度波动的原因及影响	111
第二节 机器速度波动的类型及调节方法	111
第三节 飞轮设计的基本原理	112
习 题	117
第九章 机械零件设计概论	118
第一节 机械零件设计的基本准则及一般设计步骤	118
第二节 机械零件的疲劳强度	120
第三节 机械零件的常用材料及选择	125
第四节 机械零件的结构设计工艺性及标准化	127

* 习 题 .....	129	尺寸计算 .....	225
第十章 联接 .....	130	第三节 蜗杆传动强度设计计算基础 .....	229
第一节 螺纹 .....	130	第四节 蜗杆传动的强度计算 .....	231
第二节 螺旋副的受力分析、效率与自锁 .....	132	第五节 蜗杆传动的效率、润滑和散热计算 .....	233
第三节 螺纹联接 .....	134	第六节 蜗杆、蜗轮的结构 .....	237
第四节 螺栓联接的强度计算 .....	139	习 题 .....	240
第五节 螺纹联接结构设计应注意问题 .....	144	第十五章 轴 .....	241
第六节 螺旋传动 .....	148	第一节 轴的分类和设计要求 .....	241
第七节 键联接和花键联接 .....	151	第二节 轴的材料 .....	242
第八节 销联接及其它联接 .....	155	第三节 轴的基本直径的估算 .....	244
习 题 .....	156	第四节 轴的结构设计 .....	244
第十一章 带传动 .....	158	第五节 轴的强度校核计算 .....	248
第一节 带传动的类型、传动形式和几何关系 .....	158	* 第六节 轴的刚度计算 .....	254
第二节 带传动的基本理论 .....	159	* 第七节 轴的振动稳定性概念 .....	255
第三节 V带及V带轮 .....	163	习 题 .....	255
第四节 V带传动的设计计算 .....	167	第十六章 滑动轴承 .....	259
第五节 带传动的张紧装置 .....	173	第一节 滑动轴承的摩擦状态及应用特点 .....	259
第六节 带传动的使用与维护 .....	174	第二节 滑动轴承的结构及材料 .....	260
* 第七节 其它带传动简介 .....	176	第三节 边界和混合摩擦滑动轴承的计算 .....	266
习 题 .....	177	第四节 润滑剂及润滑装置 .....	267
第十二章 链传动 .....	178	第五节 流体动力润滑的基本原理 .....	272
第一节 链和链轮 .....	178	* 第六节 流体摩擦径向滑动轴承的计算 .....	274
第二节 链传动的运动分析和受力分析 .....	182	* 第七节 其它轴承简介 .....	278
第三节 链传动的设计计算 .....	185	习 题 .....	281
第四节 链传动的布置、张紧及润滑 .....	190	第十七章 滚动轴承 .....	282
习 题 .....	191	第一节 滚动轴承的结构、主要类型和代号 .....	282
第十三章 齿轮传动 .....	192	第二节 滚动轴承的类型选择 .....	287
第一节 渐开线齿轮传动强度设计计算基础 .....	192	第三节 滚动轴承的计算 .....	288
第二节 直齿圆柱齿轮传动的强度计算 .....	196	第四节 滚动轴承部件的组合设计 .....	297
第三节 载荷系数及许用应力 .....	202	习 题 .....	302
第四节 直齿圆柱齿轮传动设计计算顺序及有关设计参数的选择 .....	205	第十八章 联轴器和离合器 .....	303
第五节 平行轴斜齿轮传动的强度计算 .....	210	第一节 概述 .....	303
第六节 直齿锥齿轮传动的强度计算 .....	214	第二节 常用联轴器类型及选择 .....	303
第七节 齿轮结构 .....	218	第三节 常用离合器类型及选择 .....	307
第八节 齿轮传动的润滑 .....	220	习 题 .....	308
习 题 .....	221	第十九章 弹簧 .....	309
第十四章 蜗杆传动 .....	223	第一节 弹簧的类型和应用 .....	309
第一节 蜗杆传动的特点和类型 .....	223	第二节 弹簧的材料和许用应力 .....	311
第二节 蜗杆传动的主要参数和几何		第三节 圆柱螺旋弹簧的设计计算 .....	311
		习 题 .....	320
		参考文献 .....	321



# 绪 论

## 第一节 引 言

人类在长期的生产实践中创造和发展了机械。早在古代，人类就将杠杆、楔和滚子等工具和简单机械用于建筑和运输。16世纪的第一次工业革命和19世纪欧洲的产业革命形成了机械工业并使之得到迅猛发展。

在我国，机械的创造、发展和使用有着悠久的历史。三千年前就出现了简单的纺织机。二千年前已把绳轮、凸轮等用于生产作业器具。汉代以后的指南车及记里鼓车中利用了齿轮和轮系传动。东汉张衡将杆机构巧妙地使用在人类第一台地震仪——候风地动仪上。元朝有利用曲柄、滑块和飞轮的纺织机。可是，由于我国长期的封建制度以及近代历史上长年战乱和帝国主义的侵入，使我国的机械工业和其它科学技术领域一样长期得不到应有的发展而处于落后状态。

1949年新中国诞生后，我国的工农业生产、科学技术取得了前所未有的巨大发展，机械工业和机械科学水平相应有了很大提高。目前，我国不但能自行设计制造大型、精密、成套和高新技术设备，而且在为数不少的科技门类中已接近和赶上先进工业国家水平，有的已处于领先地位。同时，还建立了学科齐全、装备精良的机械科学设计和研究部门。

机械化是社会生产率发展水平的重要标志。在各个生产部门实现机械化、自动化，利用机械来代替和减轻人们的体力劳动乃至脑力劳动，不断提高生产率，这对我国进行社会主义建设，发展国民经济和逐步实现四个现代化有着极其重要的意义。因此，对高等工科大学一些与机械工业密切相关的工艺类专业的学生，学习《机械设计基础》等机械学科的课程是十分必要的。

## 第二节 本课程研究的对象和内容

机械通常是机器和机构的总称。

在生产实践和日常生活中，广泛地使用了各种机器。经常见到的如电动机、内燃机、汽车、起重机和洗衣机等都是机器。它们的作用是实现能量的转换；或完成有用的机械功，以代替人的劳动。随着生产的发展，机器的种类、型式、功能将越来越多。

为便于研究机器的工作原理、分析运动特点和设计新机器，通常又将机器视为是由若干机构组成的。

如图0-1所示的单缸内燃机，它由气缸体（机架）1、曲柄2、连杆3、活塞4、进气阀5、排气阀6、推杆7、凸轮8、及齿轮9、10组成。当燃气推动活塞4作往复移动时，通过连杆3使曲柄2作连续转动，从而将燃气的压力能转换为曲柄的机械能。齿轮、凸轮和推

杆的作用是按一定的运动规律按时启闭阀门，以吸入燃气和排出废气。这种内燃机可视为由三种机构组成：①由活塞4、连杆3、曲柄2和机架1构成的曲柄滑块机构，它将活塞的往复移动转变为曲柄的连续转动。②由齿轮9、10和机架1构成的齿轮机构，其作用是改变转速的大小和转动的方向。③由凸轮8、推杆7和机架1构成的凸轮机构，它将凸轮的连续转动转变为推杆的往复移动。

由此可见，所谓机构乃是若干具有确定相对运动的构件的组合，它在机器中起着改变运动形式、改变速度大小或改变运动方向的作用。组成机构的构件，可以是单一的零件，也可以是由几个零件固结而成的运动单元体。如图0-1中的内燃机连杆，就是由如图0-2所示的连杆体1、连杆盖5、螺栓2、螺母3、开口销4、轴瓦6和轴套7等多个零件构成的一个构件；又如图中的齿轮-凸轮轴，则是由如图0-3所示的凸轮轴1、齿轮2、键3、轴端挡圈4和螺钉5等零件构成的又一个构件。显然，构件是运动基本单元，而零件是制造基本单元。

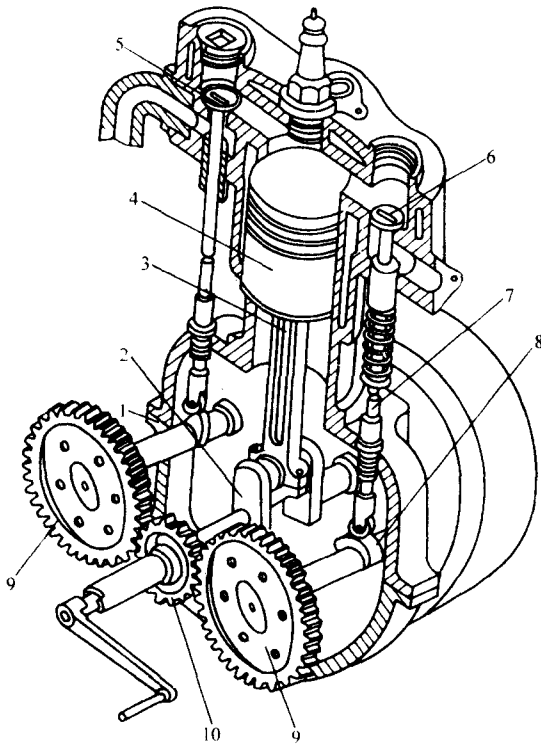


图0-1 单缸内燃机

- 1—机架 2—曲柄 3—连杆 4—活塞  
5—进气阀 6—排气阀 7—推杆  
8—凸轮 9、10—齿轮

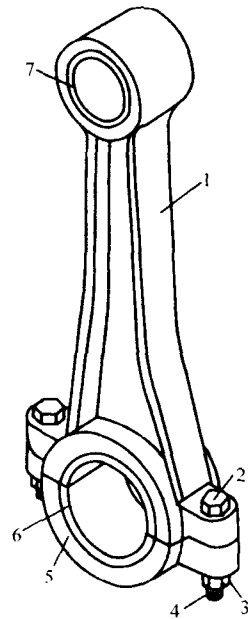


图0-2 内燃机连杆

- 1—连杆体 2—螺栓 3—螺母  
4—开口销 5—连杆盖  
6—轴瓦 7—轴套

各种机械中普遍使用的机构称为常用机构，如平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构和间歇运动机构等。

各种机械中普遍使用的零件称为通用零件，如螺钉、齿轮、轴和弹簧等；只在某一类型机械中使用的零件称为专用零件，如汽轮机中的叶片、内燃机中的活塞等。

本课程作为机械设计的基础，主要介绍机械中的常用机构和通用零件的工作原理、运动特性、结构特点、使用和维护、标准和规范以及设计计算的基本理论和方法。这是因为这些机械设计的基本内容，在各种机械设计中是普遍适用的。在很小或很大的机械中；在精度要求很高或精度要求较低的机械中；……，它们所用的同类型机构和零件，虽然其尺寸大小、具体结构形状、工作条件等有很大差异，但其工作原理、运动特点、设计计算的基本理论和方法是类同的。

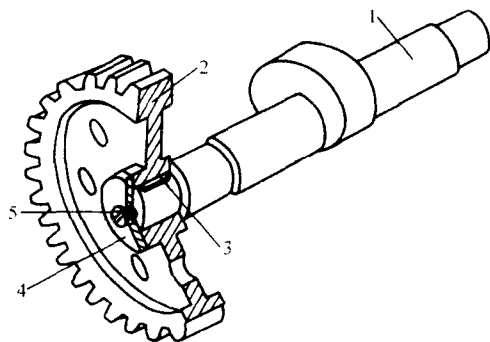


图 0-3 齿轮—凸轮轴  
1—凸轮轴 2—齿轮 3—键  
4—轴端挡圈 5—螺钉

### 第三节 本课程的性质和任务

“机械设计基础”课程是一门培养学生具有一定机械设计能力的技术基础课。

为加速社会主义建设步伐，应对现有机械设备进行技术改造，以充分挖掘企业潜力，同时应当设计出各种高质量的成套设备来装备各个生产部门，以逐步实现生产过程的自动化。因此，除机械制造部门外，动力、采矿、冶金、石油、化工、土建、轻纺、食品工业等各部门的工程技术人员也应具有一定的有时甚至是较深入的机械及机械设计基础知识。本课程正是为适应这一需要而设置的。

本课程的主要任务是：

- 1) 掌握机构的结构、运动特性和机械动力学的基本知识，初步具有分析和设计基本机构的能力，并对机械运动方案的确定有所了解。
- 2) 掌握通用机械零件的工作原理、特点、维护和设计计算的基本知识，并初步具有设计机械传动装置和简单机械的能力。
- 3) 具有运用标准、规范、手册、图册等有关技术资料的能力。

“机械设计基础”课程与许多学科密切相关。其主要先修课有工程制图、金属工艺学、理论力学和材料力学、金属材料及热处理、互换性及技术测量、工程数学和算法语言等；后续课则均为专业课。因此，它在教学计划中起着承上启下的作用。

### 第四节 机械设计的基本要求和一般过程

#### 一、机械设计的基本要求

机械产品的功能、成本等很大程度上取决于设计工作的优劣。因此，不论是设计新产品还是对现有设备进行技术改造，设计人员必须满腔热情和负责任的对设计过程的每个细节作周密、细致和深入的考虑。

用户希望能得到物美价廉的产品。物美价廉是产品获得市场、经济效益和社会效益的先决条件，也是机械设计的基本要求。设计人员不仅有责任使产品具有良好的功能和优越的质量，同时也有责任使产品价格便宜、合理。

对机械设计而言，物美就是指所设计的机械能有效地执行预期的全部职能，在预定的工作期限内安全可靠的工作、操作简便、维护方便、效率高、不易造成环境和产品污染及引起人身伤害、外形美观大方等。

价廉就是要尽量降低成本，同时又要降低维护费用。这就要求设计人员合理的选择材料；使机械及其零件有良好的工艺性和适当的精度和表面质量；在产品中推行标准化、系列化、通用化等以尽可能的降低材料、能源、劳动力的消耗，以提高经济效益。

## 二、机械设计的一般过程

机械设计是机械工业中的一个重要环节。任何机械设备从设计任务的提出到制成并投入使用都必须经历设计过程。机械设计的过程无一定模式，需视具体设计任务而定。但一般设计过程可简化成如图 0-4 所示的几个阶段。

(1) 明确设计任务 机械设计任务通常是为实现某种功能（如满足生产要求）而提出的。提出任务时，应首先分析实现机械要求的可能性，然后根据对所设计机械的工作要求确定功能范围、各项技术性能指标等，以明确设计任务。

(2) 方案构思 根据设计任务，设计人员应调查同类产品的设计、开发、制造和使用情况；用户意见和要求；有关的理论研究和应用成果；技术资料和专利；市场情况和发展动态；承制单位的技术水平和设备条件等。在此基础上进行设计方案构思。必要时，可将几个构思方案，平行进行设计，最后择优选用。

(3) 初步设计 按所构思出的方案并经必要的计算后，即可初步确定机械的总体布置，并绘制机构的运动简图和传动系统示意图。然后，进行运动、动力分析和强度计算，以确定机构和零件的主要参数和尺寸。

(4) 技术设计 技术设计是使初步设计具体化的过程。本阶段应根据初步设计阶段已确定的主要参数和尺寸，并考虑如生产批量、材料供应情况、毛坯类型、加工和装配工艺、有关标准和规范等方面的因素，绘制总装配图、部件装配图、零件工作图和编制技术文件等。

(5) 样机试制、试验 样机试制、试验是验证设计是否合理以及能否转入生产准备的重要阶段。同时，也为进行设计评价提供了依据。样机试制、试验中发现的不合理处，应及时加以修改，以使设计达到最优状态。

(6) 评价 评价内容主要包括技术和经济两方面。

技术上需对设计是否满足各项技术指标、是否安全可靠、操纵和维护是否方便等作出评价。

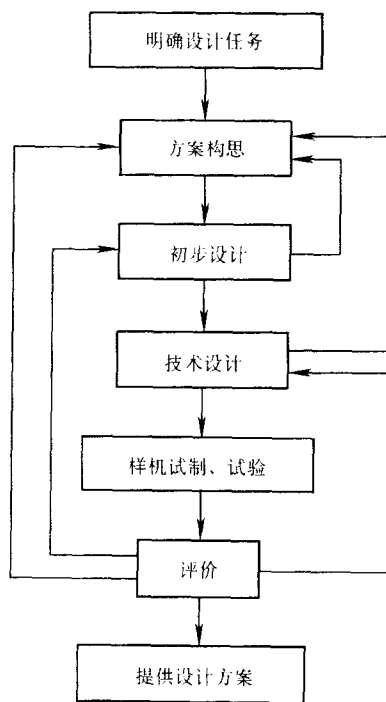


图 0-4 机械设计一般过程示意

经济上则需进行成本预测、利润预测等，以评定设计的经济价值。

(7) 提供设计方案 经评价确认设计的技术价值和经济价值均优时，即可向承制部门提供设计方案。提供的方案应包括完整的设计图样以及各种技术文件，如总装配图、零（部）件图、计算说明书、使用说明书、样机试验报告、技术经济评价报告、有关工艺文件等。

必须指出，以上设计过程的各个阶段并不是截然分开的，而常常是相互联系、相互影响、相互制约的。因此，设计过程各阶段往往需交叉进行。而且，经常还由于某种原因而使设计过程出现反复，甚至推翻重来，图 0-4 所示各阶段间返回箭头指向即示意设计过程的反复，有时要经过多次反复，才能提供一个良好的设计方案。

# 第一章 平面机构的自由度及机构运动简图

各运动构件均在同一平面内或相互平行平面内运动的机构，称为平面机构。平面机构应用很广泛。

前已述及，机构是若干具有确定相对运动的构件组合，但是若干构件的任意组合，并不一定能成为机构。如图 1-1 所示，设计者意欲由凸轮 1 推动杠杆 2 而使冲头 3 上下运动，以完成冲压工作。但不难看出，实际上构件 2、3 和机架 4 是不能运动的构件组合。

由此可见，构件组合必须具备一定的条件才能成为机构。因此讨论机构的组成及具有确定运动的条件，对设计新机械或对已有机械进行分析都是十分重要的。

机构及构件的实际外形往往比较复杂，工程上常用简单线条和符号绘制机构运动简图来表示机构的运动关系。

本章将主要讨论平面机构具有确定运动的条件及平面机构运动简图的绘制方法。

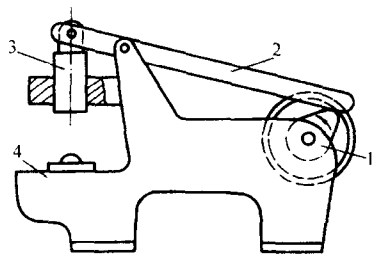


图 1-1 不能运动的构件组合  
1—凸轮 2—杠杆 3—冲头 4—机架

## 第一节 平面机构运动副及其分类

### 一、构件的自由度及其约束

构件的运动是指构件的位置在空间的变化。如图 1-2 所示，在  $xOy$  坐标系中，构件  $S$  有三个独立运动的可能性，即沿  $x$  轴、 $y$  轴方向移动和绕其上任一点  $A$  的转动。构件的这种可能出现的独立运动称为自由度。所以一个作平面运动的自由构件有三个自由度。

当一构件与其它构件相互连接时，其相对运动将受到限制，对构件独立运动所加的限制称为约束。约束增多、构件的自由度将减少，约束的数目与构件的连接形式有关，构件每增加一个约束，便失去一个自由度。

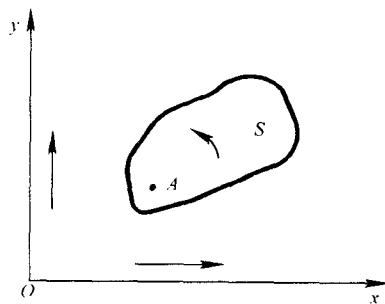


图 1-2 平面构件的自由度

### 二、运动副

构件组成机构时，每个构件都以一定的方式与其它构件相连接。这种连接是能产生一定相对运动的连接。两构件直接接触并能产生一定相对运动的连接称为运动副。组成运动副的两构件只能相对作平面运动的运动副称为平面运动副。

两构件不外乎通过点、线或面来实现接触。按照接触情况和两构件接触后的相对运动形式的不同，通常把平面运动副分为低副和高副两类。

1. 低副 两构件通过面接触所构成的运动副称为低副。低副又有转动副和移动副之分，如图 1-3 所示。

在图 1-3a、b 所示构件 1、2 组成的运动副中，两构件只能绕  $z$  轴相对转动，即沿  $x$  轴、 $y$  轴方向的相对移动受到约束。这种组成运动副的两构件只能绕某一轴线作相对转动的运动副称为转动副或称铰链。在图 1-3a 所示转动副中，有一个构件是固定的（或称机架）称为固定铰链；图 1-3b 所示构件 1、2 组成的转动副，两构件都未固定称为活动铰链。

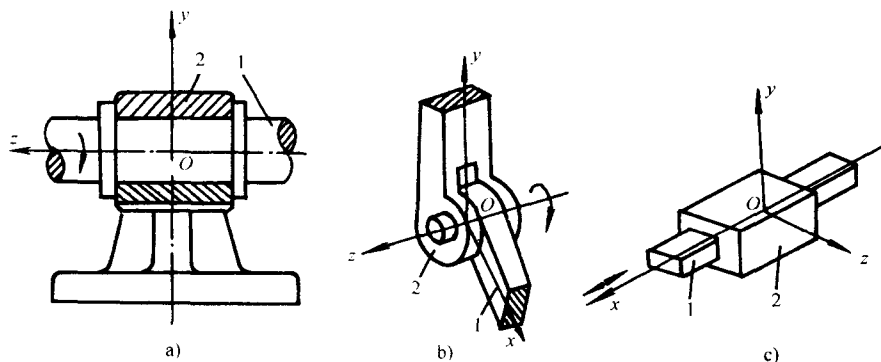


图 1-3 平面低副

图 1-3c 所示运动副中的两构件只能沿  $x$  轴方向作相对移动，沿  $y$  轴方向的相对移动和绕  $z$  轴的相对转动均受到约束。这种两构件只能作相对直线移动的运动副称为移动副。

转动副只能在一个平面内相对转动，移动副只能沿某一轴线方向移动。因此，一个低副引入两个约束，即减少两个自由度。

2. 高副 两构件通过点或线接触所构成的运动副，称为高副。如图 1-4 所示。

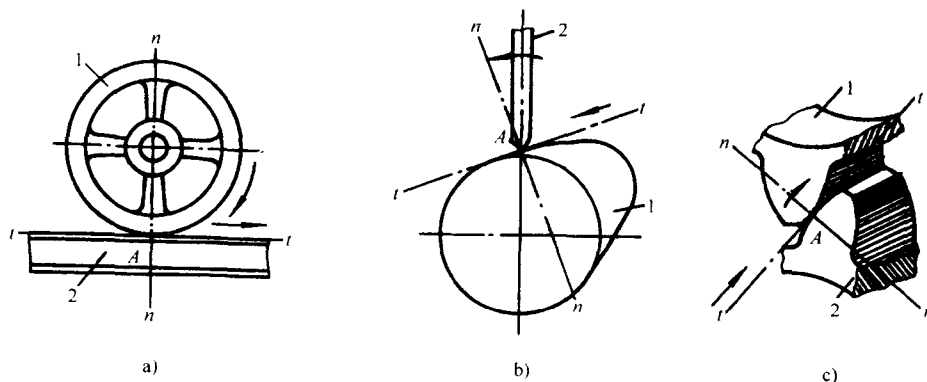


图 1-4 平面高副

两构件组成高副，彼此间可沿接触处切线  $t-t$  方向作相对移动和在平面内作相对转动；而沿法线  $n-n$  方向的相对移动受到约束。所以一个高副引入一个约束，即减少一个自由度。

## 第二节 平面机构运动简图

在研究机构运动时，为了使问题简化，可以不考虑那些与运动无关的构件外形和运动副的具体构造，仅用简单线条和符号表示构件和运动副，并按比例定出各运动副的位置。这种表明机构各构件间相对运动关系的简单图形称为机构运动简图。

为了绘制机构运动简图，首先要把该机构的实际构造和运动情况分析清楚，要明确三类构件，即固定件（又称机架）——机构中固结于定参考系的构件；原动件——机构中作用有驱动力或力矩的构件。有时也将运动规律已知的构件称为原动件；从动件——机构中除了原动件以外的随着原动件的运动而运动的其余可动构件。在任何一个机构中，必须有也只能有一个构件为机架，在分析机构运动时常取机架为参考坐标系。在可动构件中必定有一个或几个构件为原动件，一般和机架相连。其余的均为从动件。其次还需弄清该机构是由多少个构件组成，各构件间组成何种运动副，然后按照 GB 4460-84“机构运动简图符号”所规定的符号和尺寸关系，按比例绘制机构运动简图。

图 1-5a 所示为一颚式破碎机，主体机构由机架 1、偏心轴 2、动颚 3、肘板 4 等 4 个构件以转动副连接而成。当偏心轴 2 在带轮 5 的带动下绕 A 轴心转动时，驱使动颚 3 作平面运动，而将矿石轧碎。图中所示的排料口调整机构 6，在破碎机工作时静止不动，故在简图绘制时，视它与机架为同一固定构件。

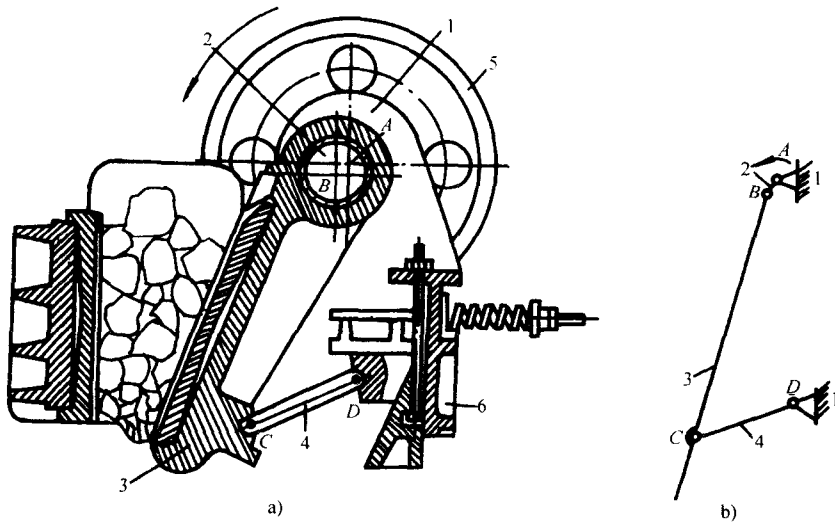


图 1-5 颚式破碎机及其机构运动简图

1—机架 2—偏心轴 3—动颚 4—肘板 5—带轮 6—排料口调整机构

现以颚式破碎机为例，说明机构运动简图的绘制步骤。

1) 找出原动件、从动件和机架。由图可知，机构运动由带轮 5 输入，而带轮和偏心轴 2 固连成一体（属同一构件），绕 A 转动，所以偏心轴 2 为原动件。动颚 3 和肘板 4 为从动件，构件 1 为机架、共 4 个构件。

2) 由原动件开始，顺着运动的传递，分析各构件之间相对运动的性质，从而确定运动副数目及其类型。偏心轴 2 与机架 1、偏心轴 2 与动颚 3，动颚 3 与肘板 4，肘板 4 与机架 1 均组成转动副，共 4 个转动副。

3) 选择适当的绘图面，并选定机构运动的一个瞬时位置来绘制机构运动简图。若一个平面视图不能表达清楚运动传递关系，可另加辅助视图。图 1-5a 所示绘图面和机构运动的瞬时位置，较好地表达了机构运动的传递关系，因此可按此绘制运动简图。

4) 选择适当的比例尺，绘制运动简图。按选定的比例尺，确定各运动副的相对位置，



并按规定符号绘出运动副，如图 1-5b 中的 A、B、C、D（转动副 B 虽然半径大于偏心距 AB，但运动简图只表示相对运动性质，不表示具体结构，所以转动副 B 与其它转动副用同样大小的圆圈表示）。然后用直线（或曲线）将同一构件上的运动副相连接来代表构件。连接 A、B 为偏心轴 2，连接 B、C 为动颚 3，连接 C、D 为肘板 4，并将图中机架画出斜线，在原动件 2 上标出指示运动方向的箭头。这样便绘出图 1-5b 所示的破碎机主体机构运动简图。

绘图时应注意：

- 1) 图 1-6a 表示在一个构件上有若干个转动副。
- 2) 图 1-6b 表示在两个构件上有 3 个低副。
- 3) 当两构件交叉时，在交叉处应将其中一个画成如图 1-6c 所示的形状。

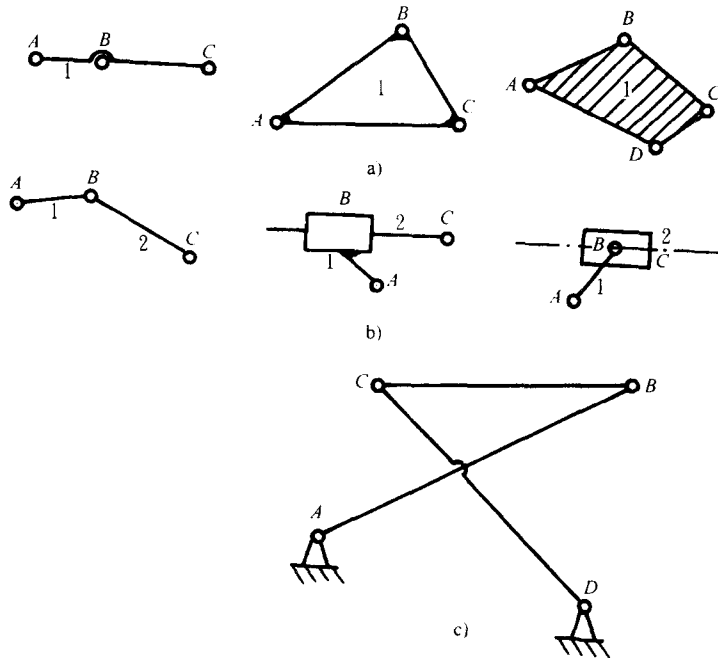


图 1-6 机构简图符号示例

应当说明，在绘制机构运动简图时，机构的瞬时位置选择不同，所绘制的机构运动简图的图形也不同。若选择不当时，构件互相重叠或交叉，使图形不易辨认。为清楚地表达各构件的相互关系，应当选择恰当的机构运动瞬时位置来绘图。

### 第三节 平面机构的自由度

为使组合起来的构件能产生确定的相对运动，需要确定机构的自由度和判定机构是否具备确定运动的条件。

#### 一、平面机构自由度的计算

如前所述，一个作平面运动的自由构件具有三个自由度，若机构中有  $n$  个可动构件（即不包括机架），在未通过运动副连接前共有  $3n$  个自由度。当用  $P_L$  个低副和  $P_H$  个高副