

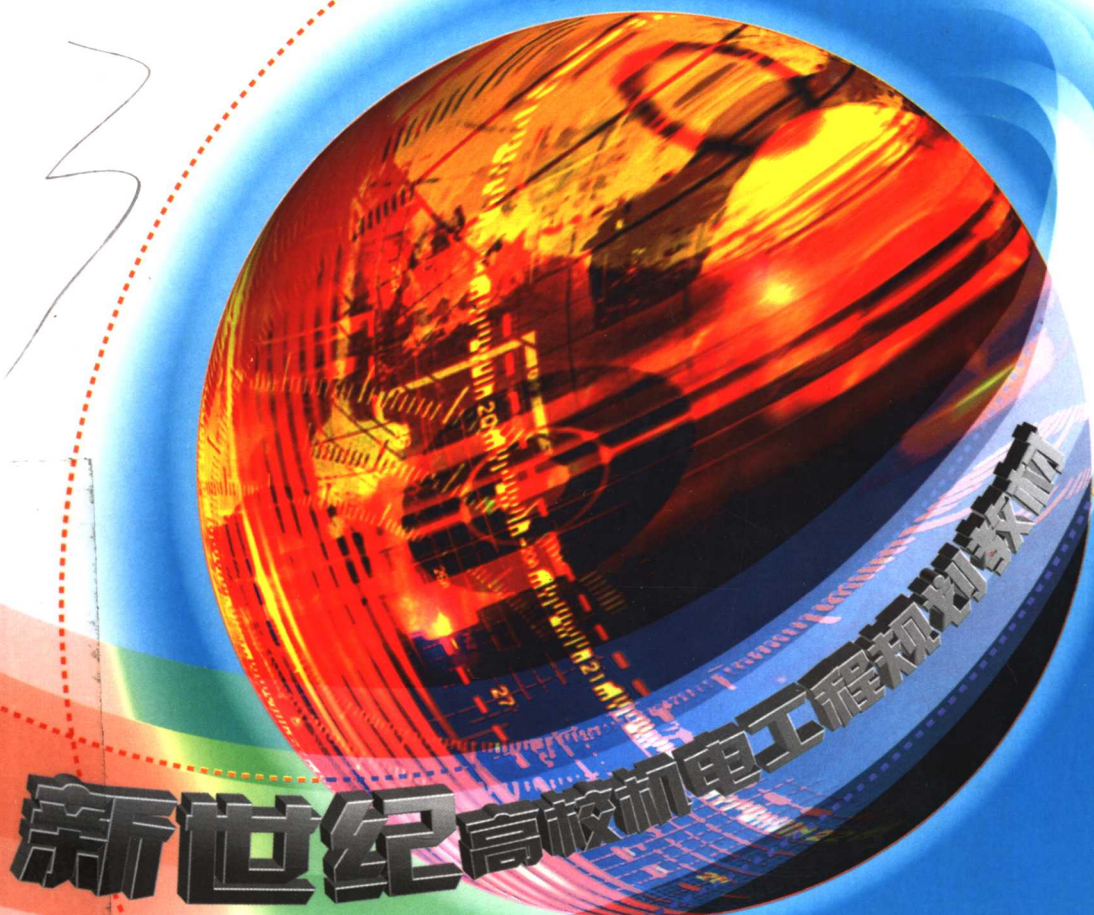


普通高等教育“十一五”国家级规划教材
新世纪高校机电工程规划教材

机械设计基础

第2版

朱东华 樊智敏 主编



新世纪高校机电工程规划教材

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



附光盘

TH122/294=2D

2007

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

新世纪高校机电工程规划教材

机 械 设 计 基 础

第2版

主 编	朱东华	樊智敏	
副主编	牛 玲	李乃根	王秀叶
参 编	姜 雪	赵 娥	
主 审	陈铁鸣	宋宝玉	

机 械 工 业 出 版 社

本教材根据教育部“十一五”规划教材的编写要求和全国高校教学指导委员会关于“机械设计基础”课程的“教学指南”及“基本要求”的精神重新进行了修订编写。在修订中,我们根据各高校意见对部分章节顺序进行了调整,对基本理论及相关公式进行了简化,同时,增加了部分例题。本教材力求做到概念把握准确,叙述深入浅出,主、次与薄、厚处理得当,辞章规范;强调“能比较”、“能选择”、“能设计”的基本能力的培养,并在启迪学生现代机构设计的思维和理念,提高读解能力和设计能力方面有所突破。

主要内容包括:机械设计概论,平面机构,凸轮机构,带传动与链传动,齿轮,蜗杆传动,螺纹联接及滚动,滑动轴承与离合器等。

本教材为70学时教学内容,适用于高等院校本科近机类、非机类各专业以及专科机械类各专业。

为便于学生自学,本书配有1CD供读者使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/朱东华,樊智敏主编.—2版.—北京:机械工业出版社,2007.1

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

新世纪高校机电工程规划教材

ISBN 978-7-111-11309-6

I. 机… II. ①朱…②樊… 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011478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:高文龙 版式设计:冉晓华 责任校对:刘志文

封面设计:姚毅 责任印制:洪汉军

北京双青印刷厂印刷

2007年10月第2版第1次印刷

169mm×239mm·9.125印张·354千字

标准书号:ISBN 978-7-111-11309-6

ISBN 978-7-89482-238-3(光盘)

定价:28.00元(含1CD)

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) 88379711

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

本教材是在第1版的基础上,根据普通高等教育“十一五”国家级规划教材的选题与编写要求和国家教育部课程指导委员会《高等工科大学机械设计基础课程教学基本要求》的精神,以及多年来各高校使用的实践,重新整合、修订而成的。这次修订力求做到:

1) 体现教材整体知识构架的科学性、系统性和新颖性,使之进一步适应教学改革和课程建设的发展需要。

2) 贯彻概念准确、章节连贯、删繁就简、由浅入深的原则。对部分章节及内容进行了必要的调整与删减。

3) 配置了辅导用光盘,其中有电子教案、课程学习指导、课程设计指导、中英文技术术语对照等内容,便于学生自学、复习与练习。

4) 采用了国家最新标准规定的名词术语和符号。

参加本次修订的有朱东华(第一、七、八章)、樊智敏(第五、六、十一章)、牛玲(第三、十二、十三章)、李乃根(第十、十五、十六章)、王秀叶(第二、九、十四章)、姜雪(第四章)、赵娥(第十七章)。参加光盘编辑、制作的有:姜雪、赵娥、朱东华、宋宝玉、张峰。

本书由朱东华、樊智敏任主编,牛玲、李乃根、王秀叶任副主编,姜雪、赵娥参编。由哈尔滨工业大学陈铁鸣教授担任主审。他们对本教材的修订工作提出了许多宝贵的意见和建议。在此,与宋宝玉表示衷心的感谢!

限于编者水平,教材中难免有错误和不足,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

2006年11月

第一版前言

本规划教材是在满足国家教育部 2002 年颁发的“高等学校机电专业机械设计基础课程”教学基本要求的前提下, 结合近几年来高等院校机械设计基础课程教学改革的经验编写而成的。本教材的主要特色为:

1. 根据全国高校教学指导委员会关于机械设计基础课程的“教学指南”和“基本要求”的精神, 对传动教材章节进行了新的整合和删减, 同时增加了“传动系统方案设计与创新设计”等新的章节。对基本理论及相关公式也进行了简化, 并略去了以往繁琐的论证和推导。本书更加强调“能比较”、“能选择”、“能设计”的基本能力的培养。

2. 本教材力求做到概念把握准确, 叙述深入浅出, 主次分明, 内容多少适量, 辞章规范, 语句流畅, 以体现较强的“可读性”和“可教性”。

3. 本教材充分重视对新技术、新结构、新设计方法等新的知识点的引入。力求在启迪学生现代机构设计的思维和理念, 提高读解能力和设计能力方面有所突破。

4. 此外, 本教材尽量引用最新标准和规范, 采用国家标准规定的名词术语和符号。

参加本书编写的人员有: 朱东华 (第一、六、七、十七章); 樊智敏 (第二、五、十三章); 牛玲 (第四、十、十一章); 李乃根 (第十二、十五、十六章); 王秀叶 (第三、八、十四章); 姜雪 (第九章)。

本书由朱东华、樊智敏任主编, 牛玲、李乃根、王秀叶任副主编, 姜雪参编。

本书承哈尔滨工业大学陈铁鸣教授精心审阅, 提出了很多宝贵的意见和建议, 编者谨此表示衷心的感谢。

限于编者的水平和时间, 书中定有缺点和错误存在, 谨望广大读者批评指正。

编 者
2002 年 11 月

目 录

第 2 版前言

前言

第一章 绪论	1	第四章 间歇运动机构	47
第一节 本课程研究的对象和任务	1	第一节 棘轮机构	47
第二节 本课程在教学中的地位与展望	2	第二节 槽轮机构	50
第三节 课程的内容体系和基本要求	3	思考题	52
思考题	5	习题	52
第二章 平面机构	6	第五章 机械零件设计概论	53
第一节 平面机构的运动简图及其自由度	6	第一节 机械零件的强度及设计准则	53
第二节 平面连杆机构的类型及应用	12	第二节 机械零件的常用材料及其选择	56
第三节 四杆机构的基本特性	18	第三节 机械零件的结构工艺性和标准化	61
第四节 平面四杆机构的设计	20	思考题	63
思考题	26	第六章 带传动与链传动	64
习题	26	第一节 带传动的类型和特点	64
第三章 凸轮机构	30	第二节 带传动的受力分析	67
第一节 凸轮机构的应用和分类	30	第三节 V 带传动的设计	72
第二节 从动件的常用运动规律	33	第四节 V 带轮设计及 V 带传动的维护	79
第三节 凸轮机构的压力角和基圆半径的选择	37	第五节 同步带传动简介*	81
第四节 图解法设计凸轮轮廓	39	第六节 链传动简介	82
第五节 解析法设计凸轮轮廓	44	思考题	84
思考题	46	习题	85
习题	46	第七章 齿轮传动	86
		第一节 齿轮传动的特点和类型	86
		第二节 齿廓实现定角速比的条件	87

第三节	渐开线齿廓	88	第四节	复合轮系及其传动比	148
第四节	齿轮各部分名称及渐开线 标准齿轮的基本尺寸	90	第五节	几种特殊行星轮系 传动简介	149
第五节	渐开线直齿圆柱齿轮的 啮合传动	93	思考题		151
第六节	渐开线齿轮的切齿原理 及根切与变位	95	习题		152
第七节	齿轮传动的精度	100	第十章 滚动轴承		154
第八节	齿轮的失效形式和 设计准则	101	第一节	滚动轴承的类型和代号	154
第九节	齿轮材料与热处理方法	103	第二节	滚动轴承的选择计算	161
第十节	直齿圆柱齿轮的强度 计算	105	第三节	滚动轴承的组合设计	169
第十一节	斜齿圆柱齿轮传动	112	第四节	滚动轴承的润滑和密封	174
第十二节	锥齿轮传动	118	思考题		176
第十三节	齿轮的结构设计	121	习题		176
第十四节	齿轮传动的润滑	123	第十一章 滑动轴承		178
思考题		124	第一节	摩擦状态	178
习题		124	第二节	润滑剂和润滑装置	179
第八章 蜗杆传动		126	第三节	滑动轴承的结构形式	182
第一节	蜗杆传动的特点和类型	126	第四节	轴瓦及轴承衬材料	184
第二节	普通圆柱蜗杆传动的 主要参数和几何尺寸	128	第五节	非液体摩擦滑动轴承的 设计计算	187
第三节	蜗杆传动的失效形式、 设计准则和材料选择	130	第六节	液体动压滑动轴承 简介	189
第四节	普通圆柱蜗杆的强度 计算	131	第七节	静压轴承与空气 轴承简介	191
第五节	蜗杆传动的效率、润滑 和热平衡计算	134	思考题		193
第六节	蜗杆和蜗轮的结构	136	习题		193
思考题		138	第十二章 螺纹联接与螺旋 传动		194
习题		139	第一节	螺纹概述	194
第九章 轮系		141	第二节	螺纹联接的基本类型和 标准联接件	201
第一节	轮系的分类及应用	141	第三节	螺纹联接的预紧和防松	204
第二节	定轴轮系及其传动比	143	第四节	单个螺栓的强度计算	208
第三节	周转轮系及其传动比	145	第五节	螺栓组联接的设计	216
			第六节	螺旋传动	217
			思考题		221

习题	221	思考题	260
第十三章 轴及轴毂联接	223	习题	260
第一节 轴的分类和材料	223	第十六章 机械动力学	261
第二节 轴的结构设计	226	第一节 机械速度波动的调节	261
第三节 轴的设计计算	229	第二节 回转件的平衡	265
第四节 轴毂联接	233	思考题	269
思考题	239	习题	270
习题	239	第十七章 传动系统方案设计与	
第十四章 联轴器和离合器	241	创新设计	271
第一节 联轴器	241	第一节 机械系统方案设计的	
第二节 离合器	247	一般原则	271
思考题	250	第二节 方案评价与决策	274
习题	251	第三节 机械系统创新设计概述	279
第十五章 弹簧	252	思考题	281
第一节 弹簧的功用和类型	252	习题	281
第二节 圆柱螺旋弹簧的材料和		参考文献	282
许用应力	253		
第三节 圆柱螺旋弹簧的设计	255		

第一章 绪 论

第一节 本课程研究的对象和任务

机械是减轻或替代体力劳动、提高生产效率的重要辅助工具，是人类在长期的生产实践中不断地创造与发展起来的。在当今，机械的设计水平和机械现代化的程度已成为衡量一个国家工业发展水平的重要标志。

机械是机器和机构的总称。在机械系统中，将其他形式的能量转换为机械能的机器称为原动机，如内燃机、电动机等；利用机械能去转换或传递能量的机器称为工作机，如发电机（机械能转换为电能）、起重机（传递物料）、金属切削机床（使物料变形）等都属于工作机。机器一般包含动力部分、传动部分、控制部分、执行部分等四个基本组成部分。动力部分可采用风力、液力、电力、热力等作动力源，其中以利用电力和热力作为原动机动力源的最为广泛。传动部分和执行部分由各种机构组成，是机器的主体。控制部分包括各种控制机构、电器装置、计算机和液压、气压控制系统等。

图 1-1 所示为一工业机器人，它由机械手 2、机械臂 3、气动装置 4、电气装置 5、计算机控制系统 6 组成。当机械手的大臂、小臂和手按指令有规律地运动时，手端夹持器便将物料 1 搬运到预定的位置。在这部机器中，机械手和机械臂是传递运动和执行任务的装置，是机器的主体部分，气动装置和电气装置提供动力，计算机实施控制。

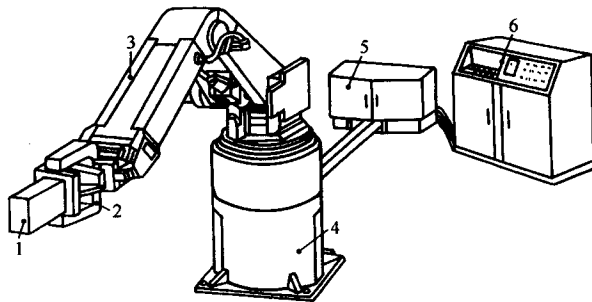


图 1-1 工业机器人

- 1—物料 2—机械手 3—机械臂 4—气动装置
5—电气装置 6—计算机控制系统

图 1-2 所示为单缸内燃机。图中活塞 1、连杆 2、曲柄轴 3 和气缸体 4 组成曲柄滑块机构，将活塞的直线运动变为曲轴的连续转动；凸轮 5、顶杆 6 和气缸体 4 组成凸轮机构，将凸轮轴的连续转动变为顶杆有规律的直线移动；曲柄轴 3 和凸轮轴上的齿轮 8 与气缸体 4 组成齿轮机构。

所以，单缸内燃机的主体部分是由曲柄滑块机构、凸轮机构、齿轮机构等若干个机构组成的。

从上述两例可以看出，虽然机器的构造、用途和性能有所不同，但都具有以下几个共同的功能。

- 1) 是许多人为实物的组合。
- 2) 各实物之间具有确定的相对运动。
- 3) 能完成有用的机械功或转换机械能。

凡具有上述三个功能的实物组合体称为机器；其中，诸多具有各自特定功能的制造单元

体称为零件，如：键、轴、齿轮、螺栓等通用零件和顶杆、连杆、活塞、气缸体等专用零件；诸多具有各自特定运动的运动单元体称为构件，它可以是单个零件，也可以是多个零件。如：单个的键、轴、齿轮组合在一起称为齿轮构件；诸多以一定的连接方式组成的构件系统称为机构；如：两个齿轮构件相互啮合，各自具有确定的相对运动，传递运动和力，称为齿轮机构。机器中最常用的机构有连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系和间歇运动机构等，连接各个机构的固定构件称为机架。机构与机器的区别在于：机构只满足上述三个功能的前两项功能。但是，在研究机构的运动和受力的情况时，机器与机构之间并无区别。

机械设计基础主要研究常见机构的运动规律及传动设计的基本理论；研究各类通用零件的工作原理、结构特点及强度计算、校核等基本设计方法。掌握机械设计的基本知识和具备一定的通用机械零件的设计能力，是本课程学习的主要目的和任务。

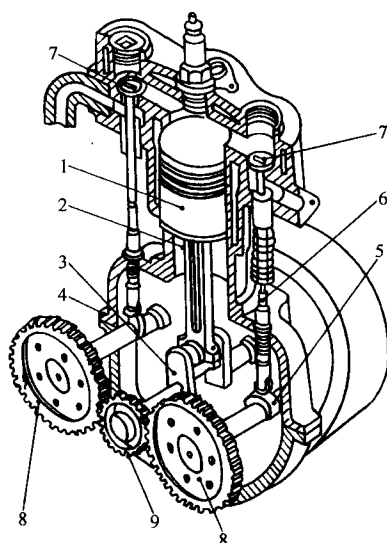


图 1-2 单缸内燃机

- 1—活塞 2—连杆 3—曲柄轴
4—气缸体 5—凸轮 6—顶杆
7—进气、排气阀 8、9—齿轮

第二节 本课程在教学中的地位与展望

随着机械化生产规模的日益扩大，除机械制造部门外，在动力、采矿、冶金、石油、化工、土建、轻纺、食品工业等各部门工作的工程技术人员，将会经

常接触到各种类型的通用和专用机械,他们应当对机械具备一定的基础知识。因此机械设计基础同机械制图、电工、电子学、工程力学等课程一样,成为高等工科院校近机类、非机类专业重要的技术基础课。它将为这些相关专业的学生学习专业机械设备课程提供必要的理论基础,使其在了解各种机械的传动原理、设备的正确使用和维护及设备的故障分析等方面获得必要的基本知识。通过本课程的学习和课程设计实践,可培养学生初步具备运用手册设计机械传动装置和简单机械的能力,为日后从事技术改造与创新设计创造条件。

机械设计基础是许多理论和实际知识的综合运用,是一门理论性和实践性很强的课程。本课程的先修课程主要有机械制图、工程力学、金属工艺学、工程材料、公差与技术测量等课程。只有在学习和掌握了这些主要先修课程的基本知识的基础上才能进入本课程的学习。此外,考虑到许多近代机械设备中包含复杂的动力系统和控制系统,各相关专业还应当了解液压和气压传动、电子技术和计算机等有关知识。

在各个生产部门加速实现机械化、自动化,对于已进入 WTO 的中国经济具有十分重要的意义。为了加快社会主义建设步伐,增强国际竞争力,应加强对原有设备的技术改造,充分挖掘企业潜力,应设计出各种高质量的成套设备来装备各个生产部门以实现生产过程自动化;应研究和设计出更为完善的机械手和机器人,从事空间、海洋的探测与开发。随着我国科学技术的发展,特别是计算机应用的普及,各个生产、研究部门已将一些新的方法和设计软件应用于机械设计中。例如:概念设计、模块化设计、最优化设计、有限元设计、可靠性设计、工业造型设计以及支持新设计方法的 PRO/E、UG、CATIA、I-DEAS、MATLAB、ANSYS、3DMAX 软件平台等。可以预计,在 21 世纪,机械设计这门学科还将创新出更多、更先进的设计方法和设计软件,并在我国现代工业的高速发展中发挥越来越大的作用。

第三节 课程的内容体系和基本要求

本课程的内容体系主要包含三个方面:一是各类常见机构的运动分析、动力分析、机构的图解法设计和解析法设计,以及各类通用零件的失效形式、设计准则、受力分析、强度计算、校核和结构设计等方面的基本内容;二是提高通用机械的运动精度、工作效率、可靠性以及各类零部件的强度、寿命的方法与措施方面的拓展内容;三是有关各类设计方案的选择与比较,以及现代设计方法方面的创新内容。要求学生在重点掌握基本内容的基础上,熟悉拓展内容,了解创新内容,初步具备设计和分析基本机构、设计简单机械和普通机械传动装置的能力。

设计的机械应满足的基本要求是：实现预期功能。在满足预期功能的前提下，还应保证其性能好、效率高、成本低、造型美、在预定的寿命期限内安全可靠、操作方便、维修简单等。

一部机器的诞生，从某种需求到萌生设计念头，再经过调研、论证、设计、校核、制造、鉴定一直到产品定型，是一个复杂、细微、反复论证的过程。图 1-3 所示是机械设计制造的一般程序框图。虚线框中，列举了现代企业中常用的一些设计方法；实线框中，除了介绍常见的机械设计过程外，还对能否通过评估验收、市场认同等进行了反复的判定，它反映出注重市场调节、信奉客户至上的现代设计理念。

设计人员必须善于把设计构思、设计方案用语言、文字和图形方式传递给主管者和协作者以获得认同和批准。除具体技术问题外，还要论证以下问题：

- 1) 此设计是否确为市场所需要。
- 2) 功能与造型是否有特色。
- 3) 能否与同类产品竞争。
- 4) 制造上是否经济。
- 5) 维修保养是否方便。
- 6) 社会效益与经济效益如何。

设计人员应富有创造精神，应从实际情况出发，深入调查研究，广泛听取工艺人员、销售人员的意见。在设计、加工、安装和调试过程中应及时发现问题，反复修改，以期取得最佳的效果。应结合书本知识对一些典型产品进行类比、分析、归纳，从中积累设计经验。不能只顾强度计算，忽略结构设计；只顾内在质量的物质功能作用，忽略外观质量的精神功能作用；只顾产品设计，忽略市场信息反馈；只顾书本知识，忽略现场实践。除此之外，在学习、掌握好传统设计方法的基础上，还应不断地学习和了解国内、外新的设计方法和创新理念。应不断地拓宽自己的知识面，不断地更新知识。只有这样，才能逐步提高自己的综合设计能力，不断地创新设计出质量可靠、造型美观、性能价格比高、用户喜闻乐见的名牌产品。

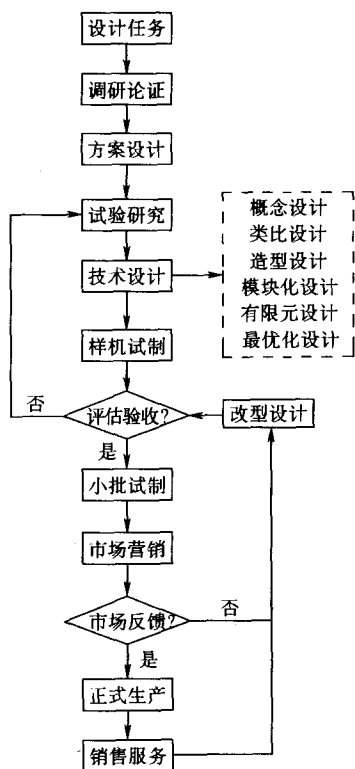


图 1-3 机械设计制造的一般程序框图

思 考 题

1-1 对下列机器各举出两个实例：

- 1) 将机械能变换为其他形式能量的机器。
- 2) 将其他形式的能量变换为机械能的机器。
- 3) 变换或传递信息的机器。
- 4) 传递物料的机器。

1-2 试说明下列机器的动力部分和执行部分：

- 1) 火车； 2) 车床； 3) 风力发电机； 4) 洗衣机； 5) 摩托车。

1-3 试指出 1-2 题中 5 种以上专用零件和通用零件。

第二章 平面机构

第一节 平面机构的运动简图及其自由度

机构是有确定相对运动的构件的组合，而不是无条件的任意组合。所以，讨论机构在满足什么条件下，才具有确定的相对运动，对于分析现有机构或设计新机构都是十分重要的。

机构及构件的实际外形及结构往往都很复杂，为便于机构设计和分析，需用简单的线条和符号以机构运动简图的形式来表示。因此，需掌握其绘制方法。

所有构件都在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。

一、运动副及其分类

如图 2-1 所示，一个作平面运动的自由的构件有三种独立运动，即构件沿 x 轴和 y 轴方向的移动及在 xOy 平面内的转动。构件所具有的独立运动的数目，称为构件的自由度。显然，一个作平面运动的自由的构件有三个自由度。

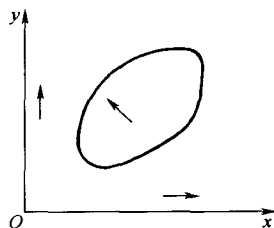


图 2-1 平面运动
构件的自由度

机构是由许多构件以一定的方式联接而成的，这种联接应能保证构件间产生一定的相对运动。这种使两构件直接接触并能产生一定相对运动的联接称为运动副。例如，轴颈与轴承、活塞与气缸、相啮合的两齿轮的轮齿间的联接等都构成运动副。

当构件用运动副联接后，它们之间的某些独立运动将不能实现，这种对构件间相对运动的限制，称为约束。自由度随着约束的引入而减少，不同的运动副，引入不同的约束。

运动副的类型可按接触方式的不同分为两大类。

1. 低副

两构件通过面接触所组成的运动副称为低副。它包括转动副和移动副两种。

(1) 转动副 若运动副只允许两构件作相对的回转，这种运动副称为转动副或铰链，如图 2-2a 所示。

(2) 移动副 若运动副只允许两构件沿某一方向作相对移动，这种运动副称为移动副，如图 2-2b 所示。

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

两个构件通过点或线接触组成的运动副称为高副。

图 2-3a 中凸轮 1 与从动件 2、图 2-3b 中轮齿 1 与轮齿 2 在接触处 A 分别组成高副。形成高副后, 彼此间的相对运动是沿接触处切线 $t-t$ 方向的相对移动和在平面内的相对转动, 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。

二、机构中构件的分类

1. 固定件 (机架)

用来支承活动构件的构件。如内燃机中的气缸体就是固定件, 它用来支承活塞、曲轴等。

2. 原动件

运动规律已知的活动构件。例如内燃机中的活塞就是原动件, 它的运动是由外界输入的。

3. 从动件

随原动件的运动而运动的其余活动构件。如内燃机中的连杆、曲轴等都是从动件。

三、平面机构的运动简图

在设计新机构或对现有机构进行运动分析时, 为了便于设计和讨论, 常常忽略那些与运动无关的因素 (如构件的外形、组成构件的零件的数目、运动副的具体构造等), 仅用简单的线条和符号来代表构件和运动副, 并按一定比例确定各运动副的相对位置。这种表示机构中各构件间相对运动关系的简单图形, 称为机构运动简图。若只是为了表明机械的结构, 而不按严格比例绘制的机构简图称为机构示意图。

机构运动简图中, 运动副的表示方法如图 2-4 所示。转动副用小圆圈表示,

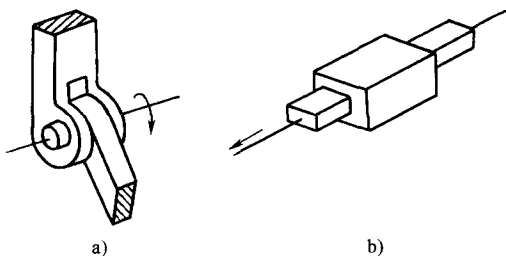


图 2-2 平面低副
a) 转动副 b) 移动副

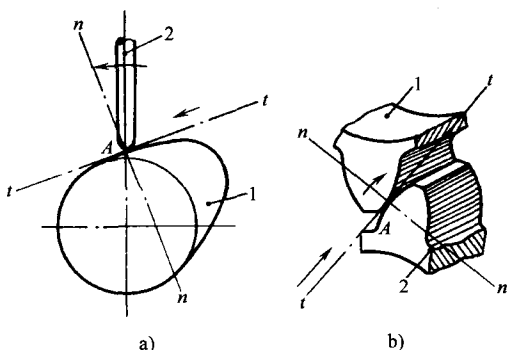


图 2-3 平面高副
a) 凸轮副
1—凸轮 2—从动件
b) 齿轮副
1、2—轮齿

小圆圈的中心应画在回转中心处；移动副的导路必须与相对移动方向一致。图中画斜线的构件代表固定件。

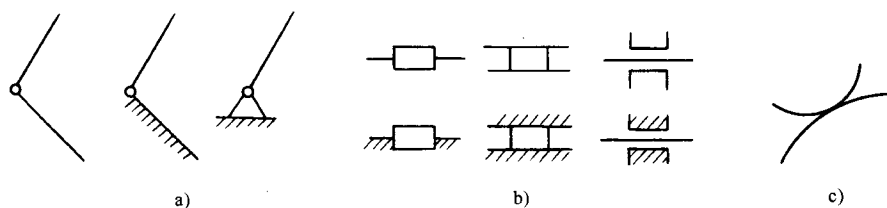


图 2-4 平面运动副的表示方法

a) 转动副 b) 移动副 c) 高副

构件的表示方法如图 2-5 所示，图 2-5a 表示参与组成两个运动副的构件，图 2-5b 表示参与组成三个运动副的构件。对于机构中常用的构件和零件，有时还可采用惯用画法，例如用粗实线或点画线画出一对节圆来表示互相啮合的齿轮；用完整的轮廓曲线来表示凸轮。

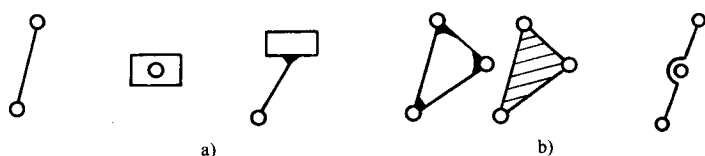


图 2-5 构件的表示方法

下面以冲床为例说明机构运动简图的绘制方法和步骤。

1. 分析机构组成和运动情况，找出固定件、原动件和从动件

如图 2-6 所示为一具有急回作用的冲床，它由菱形盘 1、滑块 2、构件 3 (3 与 3' 为同一构件)、连杆 4、冲头 5 和机架 6 组成。菱形盘 1 为原动件，绕 A 轴转动，通过滑块 2 带动构件 3 绕 C 轴转动，然后再由作平面运动的连杆 4 带动冲头 5 沿机架 6 上下移动，完成冲压工件的任务。滑块 2、构件 3、连杆 4 及冲头 5 为从动件。

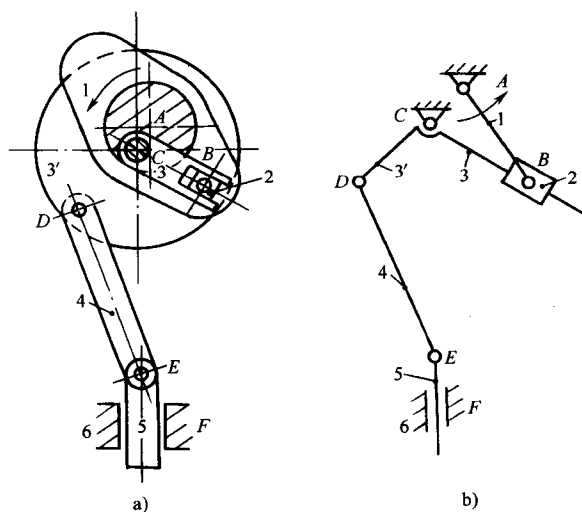


图 2-6 冲床及其机构运动简图

1—菱形盘 2—滑块 3—构件 4—连杆 5—冲头 6—机架

2. 确定运动副的类型和数目

根据各构件的相对运动可知, 菱形盘 1 与机架 6, 菱形盘 1 与滑块 2, 构件 3 与机架 6, 圆盘 3' 与连杆 4, 连杆 4 与冲头 5 均构成转动副, 其转动中心分别为 A 、 B 、 C 、 D 、 E ; 而滑块 2 和构件 3, 冲头 5 与机架 6 则组成移动副。

3. 确定原动件位置

在合适的视图平面上选定一个恰当的原动件的位置, 以便此时最能清楚地表达构件间的相互关系。因冲床是平面机构, 故选构件运动平面为视图平面。

4. 选适当的比例尺

依照运动的传递顺序, 定出各运动副的相对位置; 用构件和运动副的规定符号绘制出机构运动简图。

原动件的瞬时位置如图 2-6 所示, 再根据图 2-6a 按比例定出 A 、 B 、 C 、 D 、 E 的相对位置, 然后再用线条相联接。最后在机架 6 上画上斜线, 原动件 1 上画上箭头。便得到如图 2-6b 所示的机构运动简图。

四、机构的自由度

机构的自由度是指机构具有确定运动时所需外界输入的独立运动的数目。机构要进行运动变换和力的传递就必须具有确定的运动, 其运动确定的条件就是机构原动件的数目应等于机构的自由度数。若机构的原动件数目小于机构的自由度数时, 机构运动不确定; 若机构的原动件数目大于机构的自由度数时, 机构将在强度最薄弱处破坏。因此, 在分析现有机器或设计新机器时, 必须考虑其机构是否满足机构具有确定运动的条件。

1. 平面机构自由度计算

如前所述, 一个作平面运动的自由构件有 3 个自由度, 当构件与构件用运动副联接后, 构件之间的某些运动将受到限制, 自由度将减少。每个低副引入两个约束, 即失去两个自由度; 每个高副引入一个约束, 即失去一个自由度。

因此, 若一个平面机构中有 n 个活动构件, 在未用运动副联接之前, 应有 $3n$ 个自由度; 当用 P_L 个低副和 P_H 个高副联接成机构后, 共引入 $(2P_L + P_H)$ 个约束, 即减少了 $(2P_L + P_H)$ 个自由度。如用 F 表示机构的自由度数, 则平面机构自由度计算公式为:

$$F = 3n - 2P_L - P_H \quad (2-1)$$

下面举例说明机构自由度的计算

例 2-1 计算图 2-6 所示冲床的自由度, 并判定机构是否具有确定的运动。

解: 该机构的活动构件数 $n = 5$ 、低副数 $P_L = 7$ 、高副数 $P_H = 0$, 代入式 (2-1) 得:

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 5 - 2 \times 7 - 0 = 1$$

菱形盘为原动件, 则机构的自由度数等于原动件数目, 所以冲床的运动是确