

普通高等教育“十二五”规划教材

机械设计基础

段志坚 徐来春 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

机械设计基础

主 编	段志坚	徐来春			
副主编	李金方	徐小军			
参 编	冯仁余	石红霞	李改灵	刘永军	田广才
主 审	贾巨民				

机械工业出版社

本书是根据教育部高等院校机械设计基础课程的教学基本要求以及新颁布的有关国家标准编写而成的,是普通高等教育“十二五”规划教材。

本书将机械原理与机械设计的内容有机地结合在一起,适应了目前教学改革的需要。全书除绪论以外共分16章,内容包括:平面机构分析、平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构、轮系、回转体的平衡、带传动和链传动、齿轮传动、蜗杆传动、轴、轴承、螺纹联接、轴毂联接(键联接、销联接)、轴间联接(联轴器、离合器)、其他常用联接。各章结尾均附有一定数量的思考题。此外,为了便于学生对教材知识的理解和掌握,本书配套有完整的习题集,习题形式包括选择题、判断题、填空题、术语解释、应用题等。

本书可作为高等工科院校非机械类、近机械类专业的“机械设计基础”课程教材,也可供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/段志坚,徐来春主编. —北京:机械工业出版社, 2012.1

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-36382-8

I. ①机… II. ①段…②徐… III. ①机械设计—高等学校—教材
IV. ①TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第227760号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:余 皞 责任编辑:余 皞 王亚明 邓海平

版式设计:霍永明 责任校对:张 媛

封面设计:张 静 责任印制:乔 宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2012年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·17.5印张·431千字

标准书号:ISBN 978-7-111-36382-8

定价:40.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是普通高等教育“十二五”规划教材，是根据教育部高等院校机械设计基础课程的教学基本要求，采用最新颁布的有关国家标准，结合近年来的教学改革经验进行编写的。在本书的编写过程中，编者从满足教学基本要求、贯彻少而精的原则出发，力求做到精选内容、重点突出、繁简得当、联系实际；适当拓宽知识面、注意更新教学内容，加强素质教育，突出创新能力的培养；另外，对复杂的公式进行了合理简化，以使计算较为方便，同时便于教学。本书具有以下特色。

1) 本书按照课程内容的内在联系、认识规律和机械传动的一般顺序编排教学内容，适当拓宽了知识面，强调工程背景。

2) 加强工程意识、创新意识与应用能力的培养，更多地介绍机械设计基本理论知识在工程中的应用。

3) 本书从有利于教学这一基本目标出发，删减了一些比较烦琐的理论公式推导（如斜齿轮当量齿数、锥齿轮背锥、凸轮机构中从动件运动规律等）和陈旧内容（等加速等减速运动规律等）；强调整体概念，简化理论论证和设计计算。

4) 采用最新的国家标准，规范书中的术语、图表和数据。

5) 每章附有思考题和配套习题集，以帮助学生对课程内容的理解和掌握。

6) 本书将机械原理与机械设计的内容有机地结合在一起，适应了目前教学改革的需要。全书除绪论以外共分 16 章，内容包括：平面机构分析、平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构、轮系、回转体的平衡、带传动和链传动、齿轮传动、蜗杆传动、轴、轴承、螺纹联接、轴毂联接（键联接、销联接）、轴间联接（联轴器、离合器）、其他常用联接。

在本书的编写过程中，编者参考和引用了相关教材的相关内容，在此对这些教材的编者表示衷心的感谢。

本书由军事交通学院段志坚、徐来春担任主编。海军蚌埠士官学校李金方，国防科技大学徐小军任副主编，参加本书编写的还有军事交通学院冯仁余、石红霞、李改灵、刘永军、田广才。同时也要感谢曹树聪、杨玉琦、刘健、赵已阳、周春红、刘巍、王臻、杨栋，毛津晋、杨春国，武警工程学院赵雁，解放军理工大学谢庆华等同仁提供的多方面的帮助。

本书由军事交通学院贾巨民教授担任主审，他对本书进行了详细审阅，提出了许多宝贵意见，对保证本书质量起了很大作用，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不足之处，真诚希望广大读者给予批评指正。

编 者
于天津

目 录

前言		
绪论	1	
第一节 本课程的研究对象和内容	1	
第二节 本课程的性质和任务	4	
第三节 本课程的特点及学习方法	4	
第四节 机械设计的基本要求和一般过程	5	
思考题	7	
第一章 平面机构分析	8	
第一节 运动副及其分类	8	
第二节 平面机构运动简图	10	
第三节 平面机构的自由度	15	
第四节 速度瞬心及其在平面机构速度分析中的应用	19	
思考题	23	
第二章 平面连杆机构	24	
第一节 铰链四杆机构的基本形式及应用	24	
第二节 铰链四杆机构的基本特性	29	
第三节 铰链四杆机构的演化	32	
第四节 平面四杆机构的设计	36	
思考题	40	
第三章 凸轮机构	41	
第一节 凸轮机构的应用和分类	41	
第二节 从动件常用运动规律	44	
第三节 凸轮机构的压力角	49	
第四节 图解法设计凸轮轮廓曲线	51	
思考题	55	
第四章 齿轮机构	56	
第一节 齿轮机构的特点和类型	56	
第二节 渐开线及渐开线齿廓	58	
第三节 渐开线标准直齿轮各部分的名称及尺寸的计算	61	
第四节 渐开线标准齿轮的啮合	64	
第五节 渐开线齿廓的切制原理	66	
第六节 根切现象及最小齿数	69	
第七节 变位齿轮概述	71	
第八节 渐开线斜齿轮机构	74	
第九节 锥齿轮机构	79	
思考题	83	
第五章 间歇运动机构	84	
第一节 棘轮机构	84	
第二节 槽轮机构	87	
第三节 凸轮式间歇运动机构	90	
第四节 不完全齿轮机构	90	
思考题	91	
第六章 轮系	92	
第一节 轮系及其分类	92	
第二节 定轴轮系传动比的计算	93	
第三节 周转轮系传动比的计算	96	
第四节 复合轮系传动比的计算	99	
第五节 轮系的应用	101	
思考题	103	
第七章 回转体的平衡	104	
第一节 回转体平衡的目的、分类及内容	104	
第二节 刚性转子的平衡计算	105	
第三节 回转体的平衡试验	109	
思考题	111	
第八章 带传动和链传动	112	
第一节 带传动概述	112	
第二节 带传动的受力分析和应力分析	116	
第三节 带传动的弹性滑动	119	
第四节 带传动的主要失效形式、设计准则和许用功率	120	
第五节 V带传动的设计计算	126	
第六节 链传动概述	132	
第七节 链传动的运动特性和受力分析	135	
第八节 滚子链传动的设计计算	138	
第九节 链传动的布置形式、润滑与张紧	142	
思考题	145	
第九章 齿轮传动	146	
第一节 齿轮的主要失效形式及设计准则	146	
第二节 齿轮传动的精度及选择	150	

第三节 标准直齿轮传动的受力分析及计算载荷	151	第八节 提高螺栓联接强度的措施	244
第四节 直齿轮传动的强度计算	153	第九节 螺旋传动简介	246
第五节 斜齿轮传动	159	思考题	249
第六节 直齿锥齿轮传动	162	第十四章 轴毂联接 (键联接、销联接)	250
思考题	164	第一节 键联接	250
第十章 蜗杆传动	165	第二节 花键联接	253
第一节 蜗杆传动的特点和类型	165	第三节 销联接	253
第二节 圆柱蜗杆传动的主要参数、几何尺寸计算及结构	166	思考题	254
第三节 圆柱蜗杆传动的失效形式、设计准则、常用材料和受力分析	172	第十五章 轴间连接 (联轴器、离合器)	255
第四节 蜗杆传动的效率与润滑、热平衡计算及散热措施	174	第一节 联轴器	255
思考题	177	第二节 离合器	259
第十一章 轴	178	思考题	261
第一节 概述	178	第十六章 其他常用连接	262
第二节 轴的结构设计	181	第一节 弹性连接	262
第三节 轴的设计计算	189	第二节 铆接	266
思考题	196	第三节 焊接	266
第十二章 轴承	198	第四节 粘接	267
第一节 轴承的功用及分类	198	第五节 过盈连接	268
第二节 滑动轴承	199	思考题	268
第三节 滚动轴承的结构、类型特点及代号	207	附录	269
第四节 滚动轴承的选择计算	212	附录 A 过渡圆角的有效应力集中系数	269
第五节 滚动轴承装置的设计	222	附录 B 螺纹、键、花键、蜗杆及配合边缘处的有效应力集中系数	269
思考题	228	附录 C 绝对尺寸系数	270
第十三章 螺纹联接	229	附录 D 表面质量系数 β	270
第一节 螺纹的常用类型及主要参数	229	附录 E 常用向心轴承的径向基本额定动载荷和径向额定静载荷	270
第二节 螺纹联接及螺纹联接件	230	附录 F 常用角接触球轴承的径向基本额定动载荷 C_r 和径向额定静载荷 C_{0r}	271
第三节 机械制造常用螺纹	233	附录 G 常用圆锥滚子轴承的径向基本额定动载荷 C_r 和径向额定静载荷 C_{0r}	271
第四节 螺旋副的受力分析、效率和自锁	235	参考文献	272
第五节 螺纹联接的预紧与防松	237		
第六节 螺栓联接的强度计算	240		
第七节 螺栓的材料和许用应力	243		

绪 论

本章知识导学

• 主要内容

零件、构件、部件、机器、机构和机械等名词的概念，机器和机构的特征及区别，本课程的研究内容、性质、任务、特点和学习方法等，通过实例说明了各种机器的主要组成部分都是各种机构，机械设计的基本要求，机械设计的一般过程等。

• 重点、难点

重点：机器、机构、机械等名词的概念，机器与机构的特征，课程研究的对象和内容，机械设计的基本要求，机械设计的一般过程。

难点：对机器和机构的理解。

第一节 本课程的研究对象和内容

一、本课程的研究对象

1. 零件

零件是制造的单元。任何机器都是由许多零件组成的。若将一部机器进行拆卸，拆到不可再拆的最小单元就是零件。机械中的零件可分为两类：一类是在各类机械中经常用到的零件，称为通用零件，如齿轮、螺钉、轴、弹簧等；另一类是只出现于某些特定机械之中的零件，称为专用零件，如汽轮机的叶片、内燃机的活塞等。

2. 构件

构件是运动的单元。一个构件可以是单一的零件，也可以由刚性组合在一起的几个零件组成。图 0-1 中的齿轮 9 既是零件又是构件；而连杆 5 则是由连杆体、连杆盖、轴瓦、螺杆、螺母及轴套几个零件组成，这些零件形成一个整体进行运动，所以称为一个构件，如图 0-2 所示。

3. 部件

在机械中，把为完成共同任务彼此协同工作的一系列零件或构件所组成的组合体称为部件。它是装配的单元，如滚动轴承、联轴器等。

4. 机器

人类经过长期的生产实践逐步创造了各种机器，从家用的电风扇、洗衣机到工业上使用的各种机床，从汽

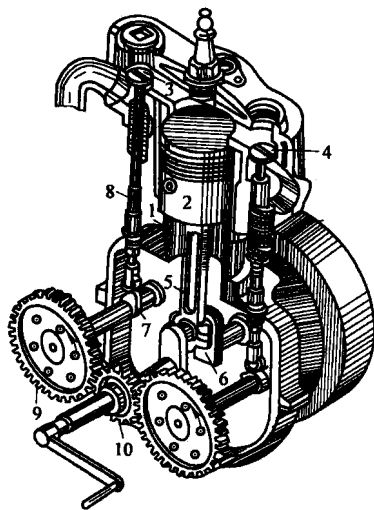


图 0-1 单缸四冲程内燃机

1—气缸体 2—活塞 3—进气阀
4—排气阀 5—连杆 6—曲轴
7—凸轮 8—顶杆 9、10—齿轮

车、火车、轮船、飞机到火箭、宇宙飞船、航天飞机，从挖掘机、起重机到各种机器人等。机器的种类很多，构造、性能和用途各不相同，但它们却有一些共同的特征。

图 0-1 所示为单缸四冲程内燃机。它由气缸体 1、活塞 2、进气阀 3、排气阀 4、连杆 5、曲轴 6、凸轮 7、顶杆 8、齿轮 9 和齿轮 10 等组成。燃气推动活塞往复移动，通过连杆将其转变为曲轴的连续转动。凸轮和顶杆是用来启闭进气阀和排气阀的。为了保证曲轴每转两周进、排气阀各启闭一次，曲轴与凸轮轴之间安装了齿数比为 1:2 的齿轮。这样，当燃气推动活塞运动时，各构件能够协调动作，进、排气阀可有规律地启闭，加上汽化、点火等装置的配合，从而将燃气的热能转换为曲轴转动的机械能。

图 0-3 所示为一自动送料冲压机，它由冲压机和送料传动装置两大部分组成。其工作原理为：机座 4 是整个装置的支撑，电动机通过带传动和齿轮传动（图中未标出）减速后，把运动和动力传递给冲压机的曲轴 1，曲轴带动连杆 2，连杆 2 又将运动和动力传给冲头 3（即滑块），使冲头 3 作上下往复运动。送料传动装置的曲柄 1' 与冲压机的曲轴 1 固连在同一轴上，由曲柄 1' 经连杆 5、齿条 5'、齿轮 6、单向离合器 7、锥齿轮 8 与 9、圆柱齿轮 9' 与 10 以及与两圆柱齿轮分别固连的滚筒的转动，将带状料或棒状料送入冲压模具中进行冲压。送料长度的调节是靠调整曲柄 1' 的长度来实现的。送料与冲压过程靠机械来实现，从而代替人完成有用的机械功。

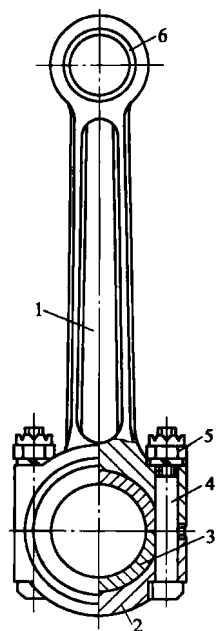


图 0-2 连杆

1—连杆体 2—连杆盖 3—轴瓦
4—螺杆 5—螺母 6—轴套

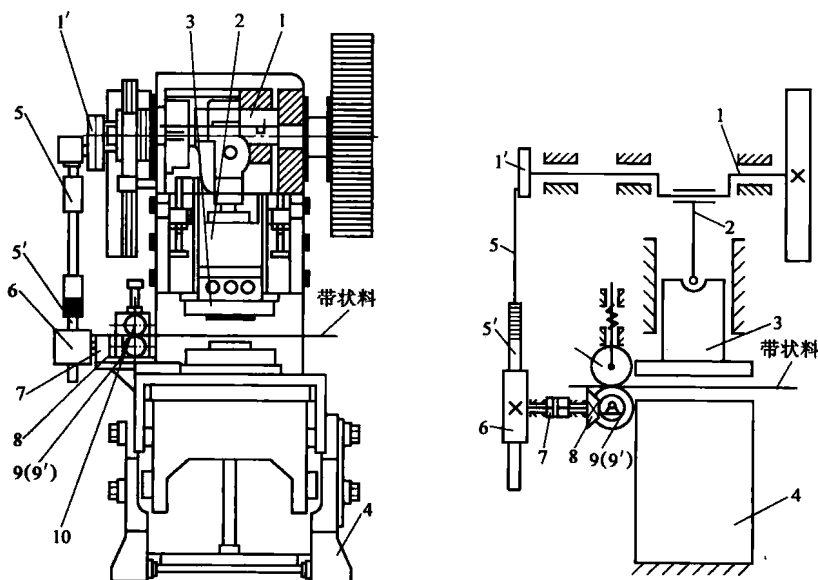


图 0-3 自动送料冲压机

1—曲轴 1'—曲柄 2、5—连杆 3—冲头 4—机座 5'—齿条 6—齿轮
7—单向离合器 8、9—锥齿轮 9'、10—圆柱齿轮

从以上两个实例以及日常生活中所接触过的其他机器可以看出,虽然各种机器的构造、用途和性能各不相同,但是从它们的组成、运动确定性以及功能关系来看,都具有以下几个共同特征。

1) 都是人为实体(构件)的组合。

2) 各个运动实体(构件)之间具有确定的相对运动。

3) 能够实现能量的转换,代替人类完成有用的机械功,或减轻人类完成有用机械功的强度。现代机器的内涵还包括信息处理、影像处理等功能。

凡同时具备上述三个特征的实物组合体就称为机器。

但是随着现代科学技术的迅猛发展,机器的概念也相应发生变化。尤其是计算机的出现和不断完善,在减轻人类脑力劳动方面有显著成效。这类机器除具有使其内部各机构正常动作的先进控制系统外,还包含信息采集、处理和传递系统等。

因此机器的概念可以这样表述:机器是执行机械运动的装置,用来变换或传递能量、物料、信息。

5. 机构

机器的概念已如上所述,那么什么是机构?为了说明这个问题,需要进一步分析上述几个实例。

图 0-1 所示的单缸四冲程内燃机中,活塞、连杆、曲轴和气缸体组合起来,可将活塞的往复移动变成曲轴的连续转动;凸轮、顶杆和气缸体的另一组合,可将凸轮的连续转动变成顶杆按某种预期运动规律的往复移动;而三个齿轮与气缸体组合在一起后,又可使转动变快、变慢甚至改变转向。这些具有各自运动特点且均含有一个机架(这里是气缸体)的组合物才是基本的。我们把能实现预期机械运动的各构件(包括机架)的基本组合物称为机构。在工程实际中,人们常根据实现各种运动形式的构件及主要零件的外形特点定义机构的名称。例如,图 0-1 中的齿轮 9 和 10、图 0-3 中的锥齿轮 8 和 9,其构件的形状特点是具有轮齿,其主要运动特点是把高速转动变成低速转动或反之,称其为齿轮机构;图 0-1 中的凸轮 7 和顶杆 8,其主要构件是具有特定轮廓曲线的凸轮,利用其轮廓曲线可使顶杆按指定规律作周期性的往复移动,称其为凸轮机构;图 0-1 中的活塞 2、连杆 5 和曲轴 6,图 0-3 中的 1、2、3、1' 和 5,其基本形状是杆状或块状,其运动特点是能实现转动、摆动、移动等运动形式的相互转换,称其为连杆机构。

由以上几个例子可以看出,机构具有机器的前两个特征,即:

1) 都是人为实体(构件)的组合。

2) 组成机构的各运动实体(构件)之间具有确定的相对运动。

★ 提示:机器与机构的主要区别是能否实现能量转换、做有用功。

通过以上分析可以看出,机器的主体部分是由各种机构组成的,它可以完成能量的转换或做有用的机械功;而机构则仅仅起运动及动力传递和运动形式转换的作用。从结构和运动的观点来看,两者之间并无区别。因此,人们常用“机械”一词作为机器与机构的总称。

二、本课程的研究内容

本课程为机械设计基础,主要研究机械中常用机构和通用零件的工作原理、运动特性、结构特点、标准和规范以及设计计算的基本理论和方法。

本课程第一章至第七章主要介绍机械中的常用机构（平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系和间歇运动机构）及机器动力学的基本知识（回转件的平衡）；第八章及其后各章阐述常用联接/连接（螺纹联接、轴毂联接、轴间连接和其他常用连接）、机械传动（带传动、链传动、齿轮传动和蜗杆传动）、轴系零部件（轴、轴承、联轴器）等，并扼要介绍有关国家标准和规范。这些常用机构和通用零件的工作原理、设计理论和计算方法，对于专用机械和专用零件的设计也具有一定的指导意义。

随着科学技术的发展，特别是计算机的应用，一些新的机械设计方法出现了。例如：用优化方法寻求最佳设计方案，用有限元法对强度、刚度、润滑、传热等进行数值计算，用可靠性设计精确评定机械零件的强度和寿命，用 CAD（计算机辅助设计）技术替代手工计算和绘图等。这些新的机械设计方法，目前已在我国高等学校单独设课讲授，故未列入本课程中。

第二节 本课程的性质和任务

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、轻纺、食品、军工等生产部门工作的工程技术人员，都会经常接触各种类型的通用机械和专用机械，这就要求技术人员必须具备一定的机械基础知识。因此，机械设计基础同机械制图、电工学、计算机应用技术一样，是专门培养学生具有一定机械设计能力的技术基础课。

本课程的主要任务为：

- 1) 掌握机构的组成、运动特性和机械动力学的基本知识，具有一定分析和设计常用机构的能力，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、结构特点、基本的设计理论和设计计算方法，并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、图册及查阅有关技术资料的能力。

本课程是理论性和实践性很强的非机类、近机类专业的主干课程，在教学中具有承上启下的作用。

第三节 本课程的特点及学习方法

一、本课程的特点

本课程是从理论性、系统性很强的基础课向实践性较强的专业课过渡的一个重要环节。因此，在学习本课程时必须在学习方法上有所转变，应注意以下几个特点：

1) 本课程**综合性强**。**综合性强**指的是本课程要综合运用高等数学、工程力学、金工实习、机械制图、互换性与测量技术等课程的基本知识去解决常用机构、通用零件的设计等问题，先修课程的掌握程度直接影响到本课程的学习。因此，学习时要注意综合复习、横向联系，不要将知识分成孤立的知识岛，要形成知识链、知识网，注意活学活用。

2) 本课程**工程性、实践性强**。**工程性强、实践性强**指的是本课程所研究的基本理论和

方法,要直接为工程实践服务,要能解决工程实际问题。因此,在学习时除了注意理论与方法上的严密性与逻辑性外,还要注意两点:一是要有工程观点、掌握工程方法,如选择与比较的观点,实际依据与理论分析相结合的观点,分析问题的简化方法(转化、当量、等效),实用方法(如图解、近似)、标准化的概念,以及使用手册、图表查阅资料等;二是要广泛联系实际,包括工农业生产、日常生活、国防建设,尤其是专业实际。

3) 感觉“没有系统性”、“逻辑性差”。这是由于学生习惯了基础课的系统性所造成的。本课程中,虽然不同研究对象所涉及的理论基础不同,且相互之间无多大关系,但最终的研究目的只有一个,即设计出能应用的机构、零件等。本课程的各部分内容都是按照工作原理、结构、设计应用及强度计算顺序介绍的,有其自身的系统性,学习时应注意这一特点。

4) 用纯理论的方法难以解决实践中的问题。由于实践中的问题很复杂,很难用纯理论的方法来解决,因此,常常采用很多经验公式、参数及简化计算等。这样往往会给学生造成“不讲道理”、“没有理论”等错觉,这一点必须在学习过程中逐步适应。

5) 计算步骤和计算结果常常不像基础课具有唯一性。

此外,概念多、术语多、公式多、符号多、数据多、图形多也是本课程的一个非常重要的特点,在学习中要多加注意。

二、本课程的学习方法

1) 对概念的掌握要做到准确无误,这是分析问题的前提。

2) 对术语要熟记,注意标准化和规范化。凡是符合标准及习惯上常用的符号决不能任意杜撰。

3) 公式大体上分为两类:重要的、简练的、概念性强的、带有定义性的公式一定要记住;其他公式和派生公式则要求弄清其含义和使用条件即可,不必死记。

4) 符号要标准化、规范化,不仅要知其然,还要知其所以然。

5) 重要的数据要牢牢记住。

6) 对图形要注意:原理图要会画,结构图要看懂。要会查、会用图表、手册。在学习过程中要图文并重,千万不要只看图形不看文字,或者只看文字不看图形。

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

机械设计是机械产品研制的第一步,设计的好坏直接关系到产品的质量、性能和经济效益。机械制造过程实质上就是要实现设计所规定的产品性能和质量。不同的机械有着不同的设计要求,但其设计的基本要求相同,主要有以下几方面:

(1) 良好的使用性能要求 所设计的机械要求保证实现预期的使用功能,并在规定的工作条件下、规定的工作期限内正常运行。不必追求“多功能”,因为“多功能”会增加成本、降低可靠性。

(2) 经济性要求 设计的经济性要求体现在设计、制造和使用的全过程,如设计周期短、设计费用低,制造、运输、安装成本低,使用效率高、耗能少、易管理维护等。此外,

设计中应尽可能多选用标准件和成套组件,它们不仅可靠、价廉,而且能大大节省设计工作量。可以说,设计中使用标准件的多少是评价设计水平的重要标准。要重视节约贵重原材料,以降低成本。此外,零件的设计还必须注重加工工艺性,力求减少加工费用。

(3) 可靠性、耐用性要求 这种要求指在预期的使用期限内不发生或极少发生故障;大修或更换易损件的周期不宜太短,以免经常停机影响生产。但是,也不宜过分强调“耐用”。现代化生产推行定期更新和逾期强制报废制度,个别零部件的“长寿”对整机并无实际意义,因追求“耐用”而滥用贵重材料只会徒然增加成本。

(4) 安全性要求 许多重大事故出自机械故障:密封件泄漏导致“挑战者号”航天飞机失事,起落架故障引发空难,制动失灵酿成车祸,频繁出现的汽车“召回”更暴露了机械设计不良造成的安全隐患。机械设计必须以人为本,凡关系到人身安全或重大设备事故的零部件都必须进行认真、严格的设计计算或校核计算,不能凭经验或以“类比”代替。计算说明书应妥善保留,以备核查。暴露的运动构件要配置防护网,易造成人身伤害的部位必须有安全连锁装置或可实施远距离操控,电气元件、导线的规格和安装必须符合安全标准。除此之外,为了保护设备,还应设置保险销、安全阀等过载保护装置以及红灯、警铃等警示装置。

(5) 符合环保要求 当机械用于生产和生活时,确保使用者的安全舒适和避免对环境的污染是设计者必须要考虑的基本问题。因此,设计中要尽量采用可回收循环利用的绿色设计技术,合理采用各种防护、报警、显示等附件装置;确保机器噪声不超标,不采用石棉等禁用的原材料;机械使用过程中不泄漏水、油、粉尘和烟雾;生产中的废水、废气必须经过治理,达标后方可排放。

除此之外,欲使产品具有市场竞争力,工业设计成为极其重要的因素。为此,机械设计师还应与工业设计师密切配合,力求使产品造型完美无缺。

二、机械设计的一般过程

根据设计任务大小的不同,设计过程的繁简程度显然会不一样,但大致要经过表 0-1 所示的几个阶段。

表 0-1 机械设计的一般过程

阶段	内容	应完成的工作
计划	1. 根据市场需要,或受用户委托,或上级下达,提出设计任务 2. 进行可行性研究,重大的问题应召开由各方面专家参加的评审论证会 3. 编制设计任务书	1. 提出可行性报告 2. 提出设计任务书。任务书应尽可能详细具体,它是以后设计、评审、验收的依据 3. 签订技术经济合同
方案设计	1. 根据设计任务书,通过调查研究和必要的实验分析,提出若干个可行方案 2. 经过分析对比、评价、决策,确定最佳方案	提出最佳方案的原理图和机构运动简图
技术设计	1. 绘制总装配图和部件装配图 2. 绘制零件工作图 3. 编制各种技术文件	1. 提出整个设备的标注齐全的全套图样 2. 提出设计计算说明书、使用维护说明书、外购件明细表等

(续)

阶 段	内 容	应完成的工作
试制试验	通过试制、试验发现问题，加以改进	1. 提出试制、试验报告 2. 提出改进措施
投产以后	设计投产以后并非设备设计工作的终结，要根据用户的意见、使用中发现问题以及市场的变化，作相应改进和更新设计	收集问题，发现问题，改进设计

因为机械设计工作是一项创造性劳动，在设计之初许多问题和矛盾尚未暴露，因而上述的设计过程一般不会是一帆风顺的，也不会一次就能进行到底，而是不断出现反复和交叉，这是在设计中经常会遇到的正常现象。

思 考 题

- 0-1 什么是机器、机构、机械？机器和机构的主要区别是什么？
- 0-2 什么是构件、零件、部件？试各举两个实例。
- 0-3 什么是通用零件、专用零件？试各举两个实例。
- 0-4 本课程研究的对象和内容是什么？
- 0-5 机械设计的基本要求是什么？
- 0-6 机械设计的一般过程是什么？

第一章 平面机构分析

本章知识导学

- 主要内容

平面运动副的定义和分类，平面机构运动简图的绘制方法，平面机构自由度的计算，机构具有确定运动的条件，速度瞬心及其在平面机构速度分析中的应用。

- 重点、难点

重点：运动副及其类型，机构运动简图的画法，机构具有确定运动的条件，机构自由度的计算方法，速度瞬心及其在平面机构速度分析中的应用。

难点：平面机构运动简图，特殊结构自由度的计算，速度瞬心及其在平面机构速度分析中的应用。

所有构件都在同一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**。工程中常见的机构大多数属于平面机构，本章只讨论平面机构。

如绪论中所述，机构是一个构件系统，为了传递运动和动力，机构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不一定能发生相对运动，即使能够发生相对运动，也不一定具有确定的相对运动。机构满足什么条件构件间才具有确定的相对运动呢？画出真实机器和机构非常复杂，也没有必要，我们能不能用简单的图形表达它们，并在此基础上进行一些必要的分析呢？此外，在研究机械工作特性和运动情况时，常常需要了解两个回转构件的角速度之比、直移构件的运动速度或某些点的速度变化规律等，因而有必要对机构进行速度分析。这一章我们来解决这些问题。

第一节 运动副及其分类

机构是由许多构件组合而成的。在机构中，每个构件都以一定方式与其他构件相连接。这种连接不是固定连接，而是能产生一定相对运动的连接。相互连接的两构件既保持直接接触，又能产生一定的相对运动，我们把这种连接称为**运动副**。例如轴颈与轴承之间的连接、滑块与导槽之间的连接以及传动齿轮两个轮齿之间的连接等都构成运动副。

两构件组成运动副，不外乎通过点、线或面接触来实现。按照这种接触特性，运动副通常被分为**低副**和**高副**两类。

1. 低副

两构件通过面接触组成的运动副称为低副。根据组成低副两构件之间的相对运动形式，低副又可分为以下两类。

(1) 转动副 若组成运动副的两构件只能在同一个平面内绕同一轴线相对转动，则这种运动副称为转动副。组成转动副构件的相对运动形式类似于日常生活中的铰链，所以，转动副亦称为回转副或铰链。图 1-1a 所示的轴颈与轴承之间的连接、图 1-1b 所示的铰链连接

都为转动副。

(2) 移动副 若组成运动副的两构件只能沿某一轴线相对移动, 则该运动副称为移动副, 如图 1-2 所示。图 0-1 所示内燃机中, 活塞相对气缸体作往复直线运动, 该运动副就是移动副; 同样, 控制进气阀和排气阀动作的顶杆与气缸体之间的相对运动是往复直线运动, 两者组成移动副。

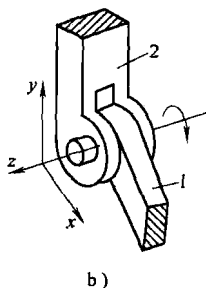
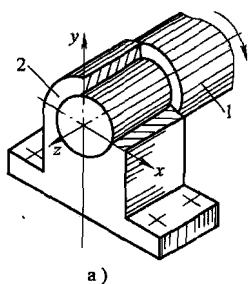


图 1-1 转动副

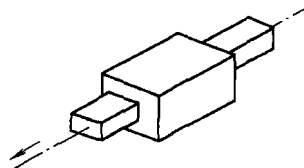


图 1-2 移动副

2. 高副

两构件通过点或线接触组成的运动副称为高副。两个构件连接形成高副时, 构件在接触处的相对运动是绕接触点或者接触线的相对转动, 以及沿接触点、接触线切线方向的相对移动。图 1-3a 中车轮 1 与钢轨 2 的线接触、图 1-3b 中凸轮 1 与推杆 2 的点接触、图 1-3c 中齿轮 1 与齿轮 2 的线接触分别在接触处组成高副。组成高副两构件间的相对运动是沿接触切线 $t-t$ 方向的相对移动和在平面内的相对转动。

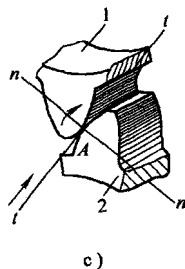
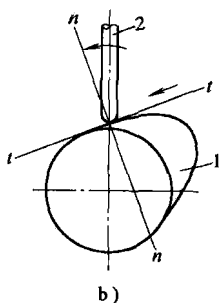
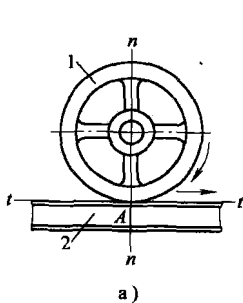


图 1-3 高副

除上述平面低副和平面高副外, 机械中还经常见到图 1-4a 所示的球面副和图 1-4b 所示的螺旋副。它们都属于空间运动副。对于空间运动副, 本节不作进一步讨论。

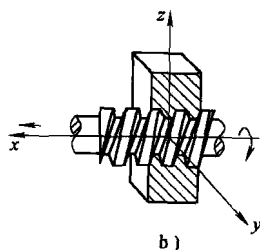
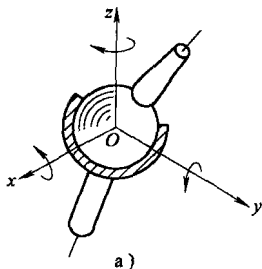


图 1-4 球面副和螺旋副

第二节 平面机构运动简图

一、机构中构件的类型

机构由若干个构件通过可动连接方式连接而成。组成机构的构件，按其运动性质可分为固定件、原动件和从动件三种类型。

1. 固定件（机架）

固定件是机构中用来支承活动构件（运动构件）的构件。任何机构中一定存在一个相对固定的构件，这一构件称为机构中的固定件，也称为机架。例如图 0-1 所示内燃机中的气缸体就是固定件，它用以支承活塞、曲轴等活动构件。在研究机构中活动构件的运动时，常常以固定件作为参考坐标系。

2. 原动件（主动件）

机构中运动规律已知的构件称为原动件。原动件的运动规律由外界给定。例如，内燃机中的活塞，其运动规律取决于进气的时间、气体压力和气体流量等。进气时间、气体压力和气体流量等均由外界给定，并不依赖于内燃机中机构或构件的运动。原动件是机构获取运动源的构件，也称机构中的主动件。欲使机构产生运动，一个机构中至少需有一个原动件。

3. 从动件

机构中随原动件运动而运动的其余活动构件称为从动件。其中，输出预期运动的从动件称为输出构件，其他从动件则起到传递运动的作用。例如图 0-1 中的连杆和曲轴都是从动件，由于该机构的功用是将直线运动变换为定轴转动，因此，曲轴是输出构件，连杆是传递运动的从动件。

二、构件与运动副的表示方法

机器由机构组成，而机构中各构件的实际外形和结构很复杂。在对机构进行运动分析和受力分析时，为了使问题简化，有必要撇开那些与运动无关的构件外形和运动副的具体构造，仅用一种表示机构的简明图形，即机构运动简图来表示。机构运动简图是用国家标准 GB/T 4460—1984《机械制图 机构运动简图符号》规定的简单符号及线条表示机构中的运动副及构件，并且按一定比例确定机构的运动尺寸，绘制出反映机构各个构件之间相对运动关系的简明图形。机构运动简图中各个构件的运动特性与机构原型中对应构件的运动特性完全相同。

1. 机构运动简图中运动副的表示方法

两构件组成转动副时，其表示方法如图 1-5a、b、c 所示。用小圆圈表示转动副，其圆心代表相对转动轴线。若组成转动副的两构件都是活动的，则用图 1-5a 表示；若两构件之一为机架，则在代表机架的构件上加阴影线，如图 1-5b 所示，也可简化成图 1-5c 所示的形式。

两构件组成移动副的表示方法如图 1-5d、e、f 所示。移动副的导路必须与两构件相对移动方向一致。同上所述，画有阴影线的构件表示机架。

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，如图 1-6 所示。表示

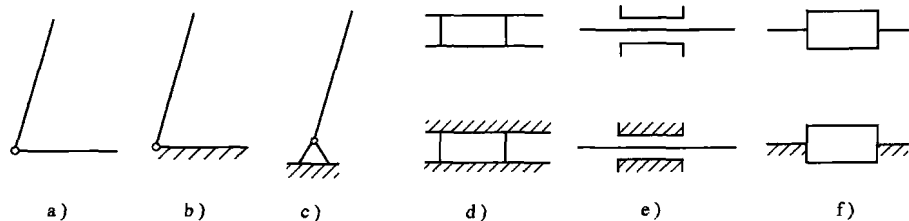


图 1-5 低副的表示方法

平面高副的曲线，其曲率中心的位置必须与组成高副两构件接触处实际轮廓的曲率中心位置一致。同样，画有阴影线的构件表示机架。

2. 机构运动简图中构件的表示方法

用一条线段代表参与组成两个运动副的构件，将这两个运动副相连，如图 1-7a 所示。同一构件的不同部分在角处加上焊接标记，如图 1-7b 所示。图 1-7b 中图①为图②所示为构件的另两种习惯表示方法，因为移动副的导路只要与两构件相对移动方向一致即可，画在什么地方都无妨。

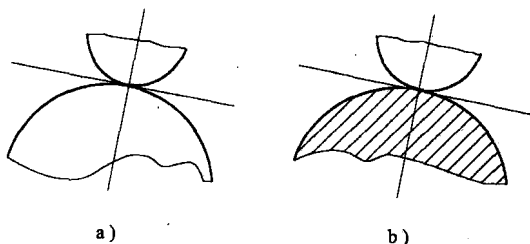


图 1-6 高副的表示方法

一般来说，参与组成三个转动副的构件可用三角形表示。为了表明三角形是同一个构件，常在三个角上加焊接标记或在三角形内打上阴影线，如图 1-7c 所示。如果三个转动副的中心处于一条直线上，则可用图 1-7d 表示。以此类推，参与组成 n 个运动副的构件可用 n 边形来表示。其他常用零部件的表示方法可参看 GB/T 4460—1984《机械制图 机构运动简图符号》。

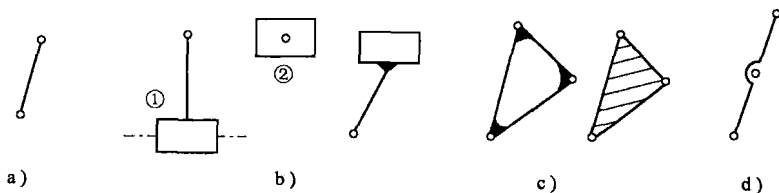


图 1-7 构件的表示方法

三、平面机构运动简图的绘制方法和步骤

绘制平面机构运动简图的过程可以划分为五个步骤，绘图方法涵盖在每个步骤中。下面分别介绍每个步骤的具体内容。通过绘制机构运动简图的三个实例，熟悉和掌握这五个步骤的具体内涵。

1. 绘制平面机构运动简图的步骤

1) 明确机构的组成。绘制机构运动简图之前，首先应明确机构的组成，辨别机构中的固定件、原动件和从动件。

2) 分析机构的运动。明确机构组成之后，在确定固定件的基础上，从原动件开始，按照机构中运动的传递顺序，分析各个构件之间的相对运动性质，辨别相互连接的两个构件是