

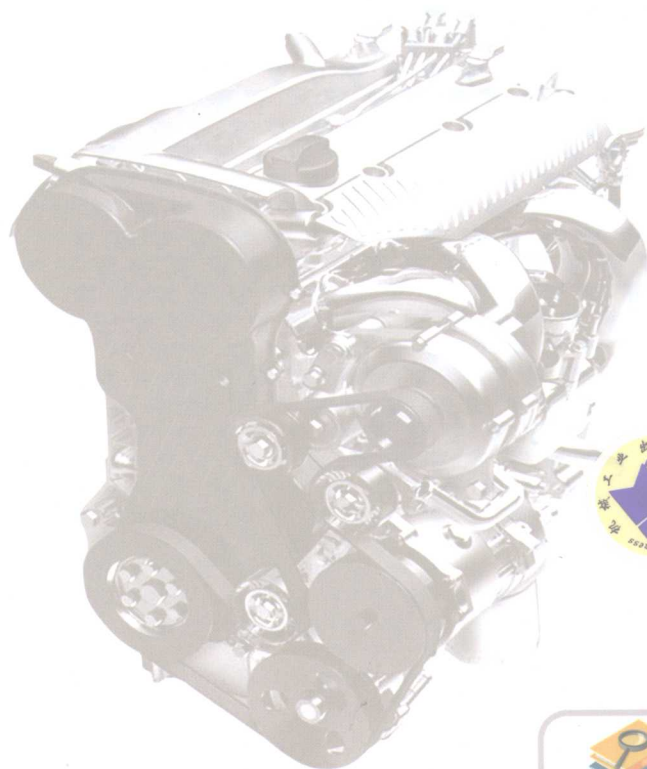


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机械设计基础

JI XIE SHE JI JI CHU

胥宏 同长虹 主编



配电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机械设计基础

主 编 胥 宏 同长虹
副主编 苏 珉 尤惠媛
主 审 吴鹿鸣



机械工业出版社

本书依据教育部制定的《高职高专教育机械类专业人才培养目标及规格》要求及高职高专“机械设计课程教学基本要求（机械类专业）”，同时参照原国家教委高教司批准印发的高等学校工程专科“机械设计基础课程教学基本要求（近机类专业）”编写而成。

全书除绪论外，共有12章，主要阐述了一般机械中常用机构和通用零部件的结构、运动特性、工作原理及有关的设计计算；简单介绍了机械系统传动装置设计的一些基本知识；同时考虑到高职高专的教学实际，突出了教材的实用性与针对性，反映了编者在多年教学中总结的教学经验，应用了最新的国家标准。本书配有电子教案，可方便教师教学使用。

本书可作为高职高专院校机械类、近机类各专业机械设计基础课程教材（60~90学时），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/胥宏，同长虹主编. —北京：机械工业出版社，2008.8
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-111-24682-4

I. 机… II. ①胥…②同… 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(2008)第108203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：王海峰 版式设计：霍永明 责任校对：申春香
责任印制：李妍
北京蓝海印刷有限公司印刷
2008年9月第1版第1次印刷
184mm×260mm·15.25印张·371千字
0001—4000册
标准书号：ISBN 978-7-111-24682-4
定价：25.00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) 88379756
封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是为适应高职高专院校机械类、近机类专业机械设计基础教学（60~90学时）需要，依据教育部制定的《高职高专教育机械类专业人才培养目标及规格》要求编写的。

本教材的特点如下：

1. 内容简洁实用，删除了繁杂的理论推导，添加了生产、生活中的实例，可激发学生学习兴趣，顺利地完专业基础课向专业课的过渡，引领学生对工程技术领域的探究。

2. 删繁就简，克服过去中专、高职教材机械地沿用大学本科教材、理论深度大、系统性过强、不适应现在高职高专学生学习的特点。教材注重实用性，便于培养学生理论联系实际的工作能力和技术应用能力。

3. 本教材的编写人员均来自教学一线，了解学生心理，从篇章结构的安排到教学语言的陈述均考虑得较为合理，便于讲授和学生学习。

4. 本教材中的带传动、齿轮传动和轴的设计三章中的例题均统一于一个大型例题，按先后顺序进行讲解，以保证设计思路的前后连贯，脉络清晰。

5. 本教材采用的工程符号、名词术语、单位等均为国家最新标准或国际标准，力求使用成熟的、简便易行的设计方法与设计资料。

本书由胥宏、同长虹任主编，苏珉、尤惠媛任副主编。参加编写的有：成都电子机械高等专科学校胥宏（绪论、第2章、第6章最后三节、第9章）、兰州城市学院同长虹（第3章、第6章前面九节、第12章）、四川工程职业技术学院苏珉（第5章、第10章）、洛阳理工学院尤惠媛（第4章、第11章）、辽宁科技学院韩颖焯（第7章、第8章）、四川职业技术学院祝林（第1章）。

本书承教育部高等工业学校机械基础课程教学指导委员会原委员、国家级教学名师、西南交通大学吴鹿鸣教授审阅，并提出了许多宝贵意见和建议，在此我们谨致以深切的谢意。

由于编者水平有限，错漏之处在所难免，恳请各兄弟学校的专家和同行批评指正。

编 者

2007年10月

目 录

前言	
绪论	1
0.1 机器的组成及其特征	1
0.2 机械设计的基本要求及一般程序	2
0.3 机械设计基础课程的内容、性质和任务	3
小结	4
第1章 平面机构的运动简图及自由度	5
1.1 平面机构的组成	5
1.2 平面机构运动简图及其绘制	6
1.3 平面机构的自由度	10
小结	13
思考题与习题	13
第2章 平面连杆机构	15
2.1 平面连杆机构的特点及应用	15
2.2 铰链四杆机构的基本形式及其演化	16
2.3 平面四杆机构的工作特性	24
2.4 平面四杆机构的运动设计	28
小结	32
思考题与习题	32
第3章 凸轮机构	35
3.1 凸轮机构的应用和分类	35
3.2 从动件常用的运动规律	37
3.3 盘形凸轮轮廓曲线设计	42
3.4 解析法设计盘形凸轮轮廓简介	44
3.5 凸轮机构设计的其他问题	46
3.6 凸轮的结构和材料	49
小结	50
思考题与习题	51
第4章 间歇运动机构	53
4.1 棘轮机构	53
4.2 槽轮机构	58
4.3 其他间歇机构	61
小结	63
思考题与习题	63
第5章 带传动与链传动	65
5.1 带传动概述	65
5.2 带传动的力分析和运动特性	69
5.3 普通V带传动的设计	72
5.4 带传动的张紧、安装与维护	81
5.5 链传动简介	82
小结	86
思考题与习题	87
第6章 齿轮传动	88
6.1 概述	88
6.2 渐开线齿廓	89
6.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分的名称和几何尺寸计算	91
6.4 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	94
6.5 渐开线齿轮的加工原理与根切现象	100
6.6 变位齿轮传动简介	103
6.7 齿轮的失效形式与常用材料	105
6.8 渐开线标准直齿圆柱齿轮传动的设计	110
6.9 平行轴斜齿圆柱齿轮传动	118
6.10 直齿锥齿轮传动简介	125
6.11 齿轮传动的润滑	127
6.12 蜗杆传动简介	127
小结	131
思考题与习题	131
第7章 齿轮系	134
7.1 齿轮系的分类	134
7.2 定轴齿轮系的传动比	134
7.3 周转齿轮系的传动比	137
7.4 组合齿轮系的传动比	139
7.5 齿轮系的应用	140
小结	141
思考题与习题	141
第8章 联接	144
8.1 螺纹	144
8.2 螺旋副的受力分析、效率和自锁	146
8.3 螺纹联接的基本类型、预紧和防松	148
8.4 螺栓联接的强度计算	152

8.5 螺栓的材料和许用应力	155	10.6 滑动轴承概述	197
8.6 提高螺栓联接强度的措施	157	小结	202
8.7 键联接	159	思考题与习题	202
8.8 花键和销联接	163	第 11 章 其他常用零部件	204
小结	164	11.1 联轴器	204
思考题与习题	164	11.2 离合器	211
第 9 章 轴	166	11.3 弹簧	214
9.1 轴的分类和轴的材料	166	小结	221
9.2 轴的结构设计	167	思考题与习题	222
9.3 轴的设计计算	172	第 12 章 机械传动系统设计	223
小结	177	12.1 概述	223
思考题与习题	177	12.2 机械传动系统方案设计	224
第 10 章 轴承	179	12.3 传动系统的运动和动力计算	227
10.1 概述	179	12.4 机械创新设计简介	230
10.2 滚动轴承的类型及选择	179	小结	233
10.3 滚动轴承的寿命计算	185	思考题与习题	234
10.4 滚动轴承的组合设计	191	参考文献	235
10.5 滚动轴承的润滑、密封	195		

绪 论

机械是人类在长期的生产实践中创造出来的技术装置，在现代生产和日常生活中，机械都起着非常重要的作用。回顾机械发展的历史，从杠杆、斜面、滑轮到汽车、内燃机、缝纫机、洗衣机及机器人等，都说明机械的进步，标志着生产力不断向前发展。因此，使用机器的水平是衡量一个国家现代化程度的重要标志。对于现代工程技术人员，学习和掌握一定的机械设计基础知识是必需的。

0.1 机器的组成及其特征

0.1.1 机器的组成

任何机器都是为实现某种功能而设计制作的。如图 0-1 所示是人们熟悉的自行车简图，人蹬链轮 1 逆时针转动带动链条 2 传动，飞轮内的棘轮棘爪机构驱动后轮 4 转动，使自行车向前运动。

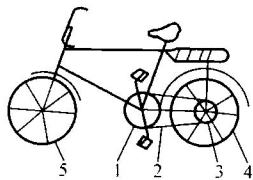


图 0-1 自行车简图

1—链轮 2—链条 3—飞轮
4—后轮 5—前轮

如图 0-2 所示为颚式破碎机，其主体是由机架 1、偏心轴 2、动颚 3 和肘板 4 等组成。偏心轴与带轮 5 固连，当电动机通过传动带驱动带轮运转时，偏心轴则绕轴 A 转动，使动颚作平面运动，轧碎动颚与定颚 6 之间的矿石，从而作有用的机械功。

就功能而言，一台机器不管其内部结构如何，一般都由四个部分组成：动力系统、传动系统、执行系统和操纵、控制系统。

机器通常具有下列特征：都是人为的实体组合；各实体间具有确定的相对运动；可实现能量的转化，完成有用的机械功。

机构也是人为的实体组合，其实体间具有确定的相对运动，它可以用来传递或转换运动，但它不能够转化能量或减轻人类的劳动。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。如图 0-3 所示为单缸内燃机，它是由曲轴 1、连杆 2、活塞 3、气缸体

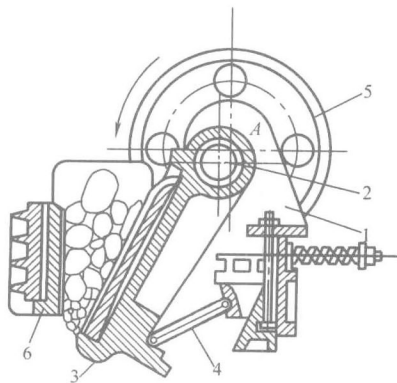


图 0-2 颚式破碎机

1—机架 2—偏心轴 3—动颚
4—肘板 5—带轮 6—定颚

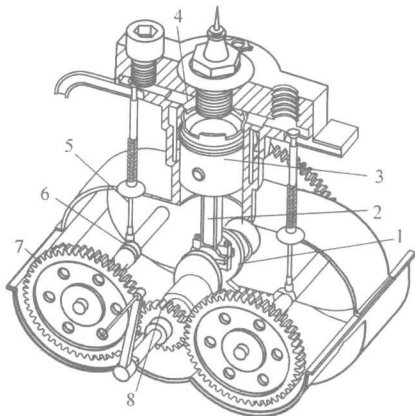


图 0-3 单缸内燃机

1—曲轴 2—连杆 3—活塞 4—气缸体
5—顶杆 6—凸轮 7、8—齿轮

4 组成连杆机构；顶杆 5、凸轮 6 组成凸轮机构；齿轮 7 与 8 组成齿轮机构。其基本功能是使燃气在缸内经过进气—压缩—爆发—排气的循环过程，将燃气的热能不断地转换为机械能，从而使活塞的往复运动转换为曲轴的连续转动。而进、排气阀的启闭则是通过齿轮、凸轮、顶杆、弹簧等各实物组合成一体，并协同运动来实现的。

0.1.2 基本概念

要研究机械，首先要了解几个基本概念。

(1) 零件 机械制造的最小单元，如齿轮、螺钉、弹簧等。机械中的零件分为两类：通用零件和专用零件。通用零件是指在各类机器中经常用到的尺寸一般、使用频率高、普通工作环境下的零件，如螺栓、轴、齿轮等；专用零件只出现在某些机械中，如曲轴、活塞、叶轮等。

(2) 构件 机械运动的最小单元，它由一个或一个以上的零件组成。如图 0-4 所示的连杆就是由连杆体 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。而曲轴是只有一个零件组成的构件。

(3) 部件 装配的最小单元，如减速器、离合器、滚动轴承。

(4) 机械 若撇开机器在做功和转换能量方面所起的作用，仅从结构和运动的观点来看，则机器与机构之间并无区别，因此，“机械”是机器和机构的总称。

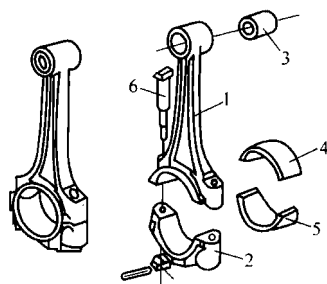


图 0-4 连杆简图

1—连杆体 2—连杆盖 3~5—轴瓦 6—螺栓

0.2 机械设计的基本要求及一般程序

0.2.1 机械设计的基本要求

机械的类型很多，但其设计的基本要求大致相同，主要有以下几方面：

1. 预定功能的要求

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的功能要求。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. 可靠性要求

可靠性要求是指在规定的使用时间（寿命）内和预定的环境条件下，机械能够正常工作的一定概率。机械的可靠性是机械的一种重要属性。

3. 经济性要求

在满足使用要求的前提下，还要使其结构简单，便于加工和维护，即零件的加工工艺性和机械的装配工艺性好，降低设计和制造成本，使产品质优价廉，具有市场竞争力。

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，这是针对个体的人提出的使用要求。与此同时，针对人类的生存环境有必要

提出绿色产品的要求。

20 世纪 80 年代末, 首先在美国掀起了“绿色消费”浪潮, 继而席卷了全世界。绿色冰箱、环保彩电、绿色电脑等绿色产品不断涌现, 广大消费者也越来越崇尚绿色产品。绿色设计在 20 世纪 90 年代以后成为现代设计技术研究的热点问题。绿色设计也称生态设计、环境设计、环境意识设计。在产品整个生命周期内, 着重考虑产品环境属性(可拆卸性、可回收性、可维护性、可重复利用性等)并将其作为设计目标, 在满足环境目标要求的同时, 保证产品应有的功能、使用寿命、质量等要求。

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; 食品、医药、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, 分清应满足的各项设计要求的主、次程度, 切忌简单照搬或乱提要求。

0.2.2 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。一部机器的诞生, 从感到某种需要、萌生设计念头、明确设计要求开始, 经过设计、制造、鉴定到产品定型, 是一个复杂细致的过程。为了清晰, 将机械设计的一般过程用框图来表示(图 0-5)。

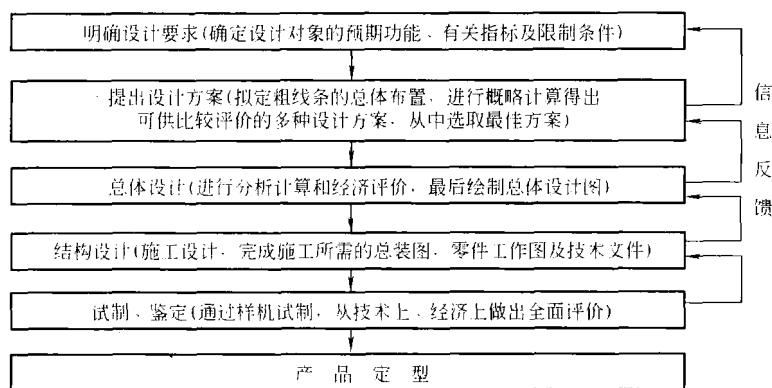


图 0-5 机械设计的一般过程

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, 以取得批准和赞同。除具体技术问题外, 设计人员还要论证下列问题: ①此设计是否正确为人们所需要? ②有哪些特色? 能否与同类产品竞争? ③制造上是否经济? ④维修保养是否方便? ⑤是否有市场? ⑥社会效益与经济效益如何?

设计人员要富有创造精神; 要从实际情况出发; 要调查研究; 要广泛吸取用户和工艺人员的意见, 在设计、加工、安装和调试过程中及时发现问题、反复修改, 以期取得最佳的成果, 并从中累积设计经验。

0.3 机械设计基础课程的内容、性质和任务

0.3.1 课程的内容

机械设计基础课程主要讲述机械中的常用机构和通用零部件的工作原理、运动特点、结

构特点、基本设计理论和计算方法，以及机器动力学中的一些问题。同时扼要地介绍国家标准和规范、某些标准零部件的选用原则和方法，以及通用零部件的一般使用及维护知识。总之，本课程主要是讲述与常用机构和通用零部件设计有关的内容。

0.3.2 课程的性质

本课程是一门技术基础课。它综合运用高等数学、工程力学、机械制图、金属工艺学、金属材料及热处理、互换性与技术测量、计算机程序设计等课程的基本知识，去解决常用机构、通用零部件设计等问题。

本课程的科学性、综合性、实践性都比较强，是机械类或近机类专业的主干课之一，在相应各专业的教学计划中占有重要的地位。

0.3.3 课程的任务

本课程的主要任务是培养学生：

1) 掌握机构的结构、运动特性，初步具有分析和设计常用机构的能力。对机械动力学的某些基本知识有所了解。

2) 掌握通用机械零件的工作原理、结构特点、设计计算和维护等基本知识，并初步具有设计机械传动装置的能力。

3) 具有运用标准、规范、手册、图册等有关技术资料的能力。

4) 获得本学科实验技能的初步训练。

总之，通过本课程的学习，应使学生具备使用、维护和改进机械设备的基本知识和分析设备事故的基本能力，培养学生能运用手册设计简单机械传动，为今后技术革新创造条件，并为学习有关专业课程奠定必要的基础。

小 结

本章主要内容如下：

1) 机器的组成及特征。

2) 几个基本概念：零件、构件、部件、机构、机器、机械。

3) 机械设计的基本要求和设计的一般方法。

4) 了解机械设计基础课程的性质和主要任务。

第1章 平面机构的运动简图及自由度

机构的主要作用之一是传递和交换运动，它是具有确定相对运动构件的组合。但不是构件任意拼凑就一定具有确定的运动，而是要必须满足一定的条件才行。清楚这个条件对分析现有机构或创新机构很重要。

在机构中，若组成机构的构件都在同一平面内或相互平行的平面内运动，这种机构称为平面机构，否则称为空间机构。实际机构一般由外形和结构都较复杂的构件组成。为了便于分析和研究其运动特性，常用机构运动简图来表示。本章主要讨论平面机构的问题。

1.1 平面机构的组成

1.1.1 运动副的概念

当构件组成机构时，每个构件都以一定的形式与其他构件相互连接，且相互连接的两构件间保留着一定的相对运动。这种使两构件既直接接触又能产生一定相对运动的连接称为运动副。

两构件之间的接触形式有点、线、面三种，通过面接触组成的运动副称为低副，通过点或线接触而组成的运动副称为高副。

根据组成运动副的两构件之间的相对运动是平面运动还是空间运动，运动副可分为平面运动副和空间运动副。本章主要介绍平面运动副。

1.1.2 平面运动副的类型

1. 平面低副

(1) 转动副 若组成运动副的两个构件只能绕某一轴线作相对转动，则这种运动副称为转动副。如图 1-1 所示，构件 1 和 2 是通过圆柱面接触，这两个构件只能产生绕 y 轴的相对转动，是转动副。如图 0-3 所示内燃机中，曲轴 1 与连杆 2、曲轴 1 与机架 4、连杆 2 与活塞 3 之间组成的都是转动副。

(2) 移动副 若组成运动副的两个构件只能沿某一方向作相对移动，则这种运动副称为移动副。如图 1-2 所示，构件 1 和 2 之间通过四个平面接触，这两个构件只能产生沿 x 轴的相对直线移动，是移动副。在图 0-3 所示的内燃机中，活塞 3 与机架 4、顶杆 5 与机架 4 之间组成的都是移动副。

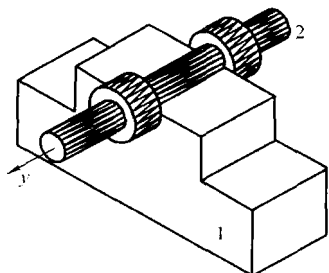


图 1-1 转动副

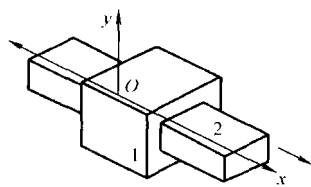


图 1-2 移动副

2. 平面高副

(1) 凸轮副 如图 1-3 所示, 凸轮 1 与从动件 2 以点或线接触所形成的运动副叫凸轮副。这种运动副只限制了从动件 2 沿接触处法线 n 方向的移动 (即从动件既不能与凸轮分离, 也不能嵌入凸轮中去), 从动件 2 可绕接触点 A 转动, 也可沿切线 t 方向移动。

(2) 齿轮副 如图 1-4 所示, 齿轮 1 与齿轮 2 以线接触所形成的运动副叫齿轮副。组成齿轮副的两构件间的相对运动与凸轮副的情况相似。

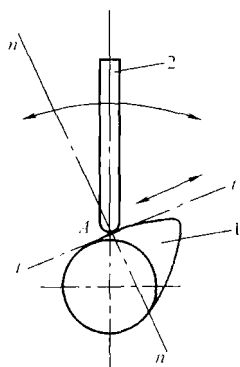


图 1-3 凸轮副

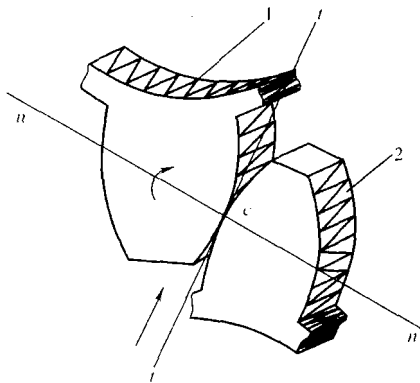


图 1-4 齿轮副

除上述常见的平面运动副外, 在生产实际和日常生活中还经常见到螺旋副和球面副等空间运动副, 如图 1-5 和图 1-6 所示, 两图中的 b 图分别为相应的运动副简图。

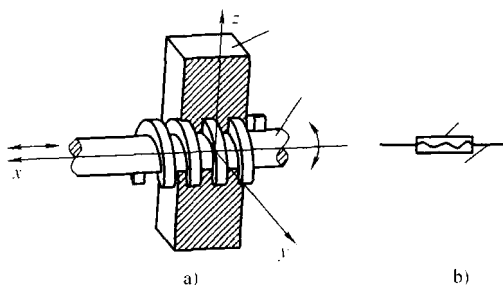


图 1-5 螺旋副

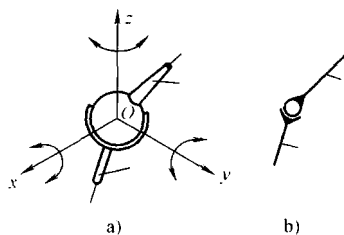


图 1-6 球面副

1.2 平面机构运动简图及其绘制

1.2.1 机构运动简图的概念

由于机构的运动仅与机构中运动副性质 (低副或高副)、运动副数目及相对位置 (转动副中心、移动副中心线、高副接触点的位置)、构件的数目等有关, 而与构件的实际外形和具体结构、运动副的具体构造等无关。因此, 为使问题简化, 而仅用一些规定的简单线条和符号, 按一定比例作出相应的图形来说明机构的结构运动和受力情况, 这种图形称为机构运动简图。正确绘制机构运动简图对研究已有的机构和设计新的机械非常重要。

在实践中, 有时只需要表明机构中运动的传递情况和构造特征, 而不要求研究机构的真实运动情况, 此时不必严格按比例确定机构中运动副的相对位置, 由此而得到的图形称为机构简图或机构示意图。

1.2.2 机构运动简图的绘制

1. 构件的名称

组成机构的构件通常可分为三类：

(1) 固定构件（机架） 机构中固结于定参考系的构件称为固定构件。它用来支承机构中的可动构件（机构中可相对于机架运动的构件）。如图 0-2 中的定鄂 6 就是固定构件。

(2) 主动件（原动件） 机构中作用有驱动力或力矩的构件，或运动规律已知的构件称为主动件或原动件。它是机构中输入运动或动力的构件，又称为输入构件。如图 0-3 中的活塞 3 就是主动件。

(3) 从动件 机构中除了主动件外，随主动件的运动而运动的其余可动构件均称为从动件。如图 0-3 中的连杆 2 和曲轴 1 等都是从动件。

由上所述，机构可由机架、主动件和从动件系统（除机架与原动件外的所有从动件）所组成。从动件的运动规律决定于原动件的运动规律和机构的结构。

2. 运动副及构件的规定符号

(1) 转动副

1) 转动副：转动副用小圆圈表示。两个构件组成转动副时，其规定符号如图 1-7 所示，图中画短斜线的构件表示机架。

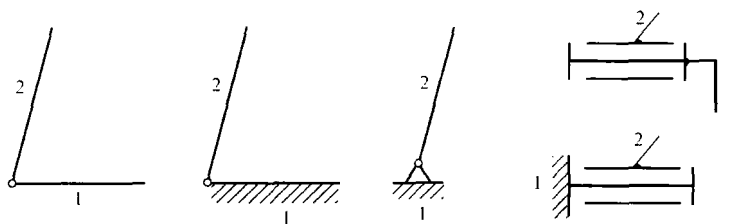


图 1-7 转动副

2) 移动副：两个构件组成移动副的规定符号如图 1-8 所示。两构件组成移动副时，其中一个构件一般都用小方块表示（称为滑块）。用点画线表示移动导路，其方向应与两构件的相对移动方向相同。

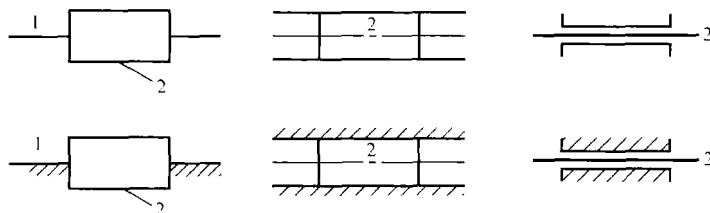


图 1-8 移动副

3) 高副：当两构件组成高副时，通常画出两构件在接触处的轮廓曲线，如图 1-9 所示。

如两构件组成的高副是凸轮副，则画出凸轮的轮廓曲线和在接触处的从动件形状，如图 1-10 所示。如两构件组成的高副是齿轮副，其常见的表示方法如图 1-11 所示。当齿轮曲线垂直于图面时，以图 1-11a 表示；当齿轮轴线平行于图面时，则以图 1-11b 表示。

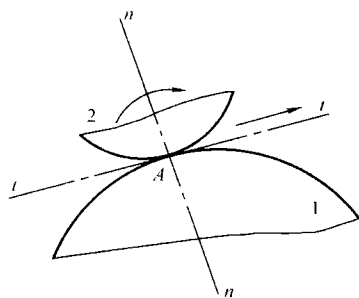


图 1-9 高副

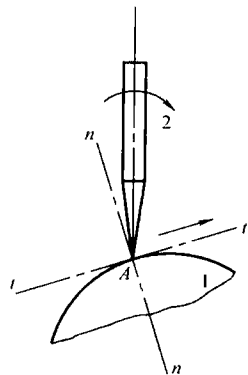


图 1-10 凸轮副

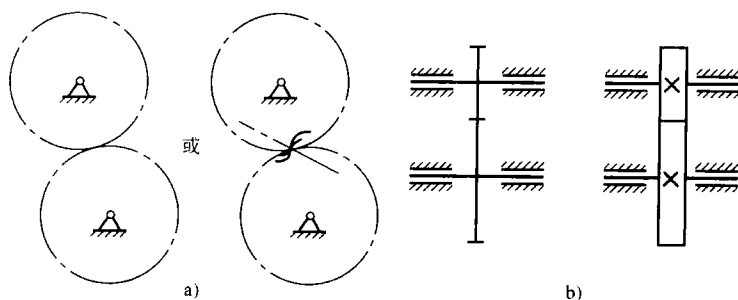


图 1-11 齿轮副

(2) 构件

1) 构件的表示方法是：先在组成运动副的地方以规定符号画出运动副，再用简单线条把这些运动副连接起来，所得图形即表示该构件。

2) 机架：机架的表示方法是在代表机架的构件上均匀画出若干短斜线，如图 1-12 所示。



图 1-12 机架

3) 含两个运动副的构件：对于只含两个运动副的构件，其表示方法如图 1-13 所示。

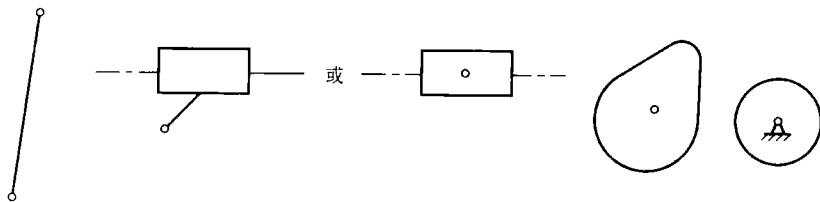


图 1-13 含两个运动副的构件

4) 含三个及三个以上运动副的构件：这类构件的表示方法如图 1-14 所示。当构件上的这些运动副不在一条直线上时，就用线条以多边形的方式连接起来，并在多边形顶角处画上焊接标记或在多边形内画剖面线以表明是一个构件，如图 1-14a、d 所示；当这个构件上的多个运动副都是转动副且分布在一条直线上时，要用半圆弧表示的跨接符号及直线将中间转动副和两端转动副连接起来，如图 1-14b 所示；当这个构件上的多个运动副中含有移动副时，其表示方法如图 1-14c 所示。

3. 绘制机构运动简图的步骤

1) 分析机构的组成, 找出机构中的机架、主动件、从动件。

2) 从主动件开始, 顺着运动传递路线, 依次分析各构件间相对运动的情况, 确定出构件数目、运动副的类型及数目。

3) 测量运动副间的相对位置, 根据图纸幅面和构件实际尺寸选择适当的绘图比例。

4) 选择视图平面, 用规定的符号和线条画出机构中的所有运动副及构件, 所得到的图形即为机构运动简图。

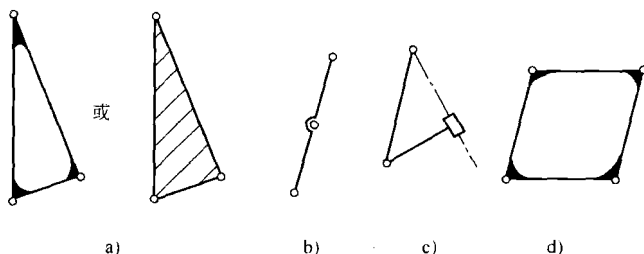


图 1-14 含三个及三个以上运动幅的构件

〔例 1-1〕 试绘制图 0-3 单缸内燃机主运动机构的机构运动简图。

解 (1) 分析机构的组成, 确定机架、主动件、从动件。

在单缸内燃机主运动机构中, 壳体和气缸体是一个整体, 在内燃机中起机架的作用, 气缸内的活塞 3 是主动件, 连杆 2、曲轴 1 和与之相固连的齿轮 8、齿轮 7 和与之相固连的凸轮 6、顶杆 5 是从动件。该机构共有六个独立构件。

(2) 按运动传递路线和相对运动的性质确定运动副类型及数量。

该机构的运动由活塞 3 输入, 活塞在气缸内作相对移动, 所以活塞 3 与气缸 (即机架) 4 组成移动副; 活塞的运动直接传到与之连接的连杆 2 上, 活塞和连杆作相对转动, 所以活塞 3 与连杆 2 组成转动副。

连杆 2 又将运动传到曲轴 1, 连杆 2 和曲轴 1 之间也是相对转动, 则连杆 2 与曲轴 1 组成转动副; 曲轴 1 和与之相固连的齿轮 8 是一个整体, 在壳体 4 中作相对转动, 因此曲轴 1 与机架 4 也组成转动副。

运动经齿轮 8 传到齿轮 7, 齿轮 8 与齿轮 7 之间是线接触, 二者组成高副; 齿轮 7 在壳体 4 中作相对转动, 所以齿轮 7 与机架 4 组成转动副; 同时, 齿轮 7 与凸轮 6 固连成一个整体, 运动由凸轮 6 传到顶杆 5, 凸轮 6 与顶杆 5 之间是点或者线接触, 二者也组成高副; 顶杆 5 在机架 4 中作直线上下移动, 所以二者组成一个移动副。

综上所述, 在内燃机主运动机构中有 2 个移动副、4 个转动副、2 个高副, 共 8 个运动副。

(3) 测量运动副之间的相对位置。

(4) 选择视图平面和比例尺, 用规定符号和线条画出机构运动简图。

根据测量所得出的运动特征尺寸和图纸幅面的大小选定适当的绘图比例。用规定符号和线条画出所有构件和运动副, 即可得到内燃机主运动机构的机构运动简图 (如图 1-15 所示)。

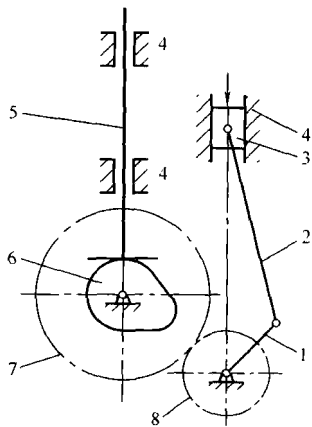


图 1-15 内燃机主运动机构运动简图

1.3 平面机构的自由度

1.3.1 平面机构自由度及计算

1. 平面机构的自由度和约束

平面机构的自由度就是指机构中各构件相对于机架所具有的独立运动的数目。一个作平面运动的自由构件有三种独立运动的可能性。如图 1-16 所示, 在 Oxy 坐标系中, 构件 AB 可随其上任意一点 A 沿 x 轴、 y 轴方向移动和绕 A 点转动。这种可能出现的独立运动的数目称为构件的自由度。由此可知, 一个作平面运动的自由构件有 3 个自由度。

当两个构件组成运动副之后, 它们的运动就受到限制, 对于相对运动所加的限制称为约束, 每加上一个约束, 构件的自由度数就随之减少。不同种类的运动副引入的约束不同: 在平面机构中, 每个低副引入两个约束, 使构件失去两个自由度; 每个高副引入一个约束, 使构件失去一个自由度。

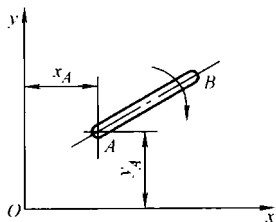


图 1-16 构件的自由度

2. 平面机构自由度的计算

在一个平面机构中, 设共有 N 个构件, 其中有一个机架, 故活动构件的数量 $n = N - 1$, 再假设该机构中共有 P_L 个低副和 P_H 个高副。由于一个活动构件有 3 个自由度, 一个平面低副引入 2 个约束, 一个平面高副引入 1 个约束, 所以 n 个活动构件在未用这些运动副连接前共有 $3n$ 个自由度, 当用 P_L 个低副和 P_H 个高副连接起来后, 共引入了 $(2P_L + P_H)$ 个约束, 即失去了 $(2P_L + P_H)$ 个自由度。所以, 该机构的自由度 F 应为

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

3. 平面机构自由度的计算应注意的问题

在应用公式计算平面机构自由度时, 必须要注意以下几种情况, 否则就会出现计算结果与实际相矛盾的情况。

(1) 复合铰链 两个以上的构件在同一处以同轴线的转动副相联称为复合铰链。如图 1-17 所示, 构件 1、2、3 在 A 处组成了两个共轴线的转动副, 在侧视图 (图 1-17b) 中, 这两个转动副能比较明显地显示出来, 但在俯视图 (图 1-17c) 中, 则只能显示一个转动副符号, 在计算机构自由度时, 很容易将其看成是一个转动副而出错。

一般地, 当由 m 个构件汇集在一起组成复合铰链时, 共有 $(m - 1)$ 个转动副。在计算机构自由度时, 应仔细观察是否有复合铰链存在, 以免算错转动副的数目。

【例 1-2】 计算图 1-18 所示机构的自由度。

解 此机构在 C 处构成复合铰链, 该处含有 2 个转动副, 所以对该机构有: $n = 5$, $P_L = 7$, $P_H = 0$, 由公式 (1-1) 得

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

(2) 局部自由度 不影响其他构件运动, 仅与其自身的局部运动有关的自由度称为局部自由度。如图 1-19a 所示的凸轮滚子机构中, 滚子 3 绕本身轴线的转动情况不影响凸轮 1 和从动件 2 间的相对运动, 因此滚子 3 绕其自身轴线的转动的自由度就是凸轮机构的局部自由度。

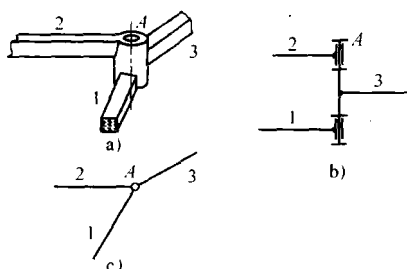


图 1-17 复合铰链

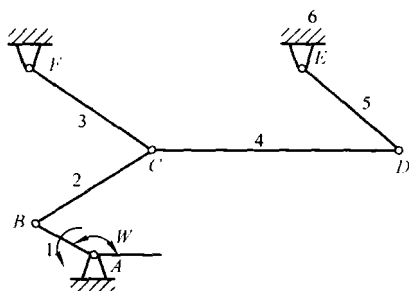


图 1-18 含有复合铰链的机构

在计算机构自由度时，局部自由度应略去不计，方法是将产生局部自由度的两个构件看成是一个整体即作为一个构件来对待，如图 1-19b 中将滚子 3 和从动件 2 固联成一个整体。排除完局部自由度后即可按公式计算机构的自由度。

【例 1-3】 计算图 1-19a 所示凸轮机构的自由度。

解 由局部自由度的含义可知，该凸轮机构中滚子转动的自由度是局部自由度，省去后得到图 1-19b 所示机构，其中 $n = 2$ ， $P_L = 2$ ， $P_H = 1$ ，(由式 1-1) 得

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

(3) 虚约束 在机构中与其他约束重复而对机构运动不起限制作用的约束称为虚约束。计算机构自由度时应当先除去虚约束。虚约束是构件间几何尺寸满足某些特殊条件的结果。平面机构中虚约束常出现在下列场合：

1) 两构件组成多个移动方向一致的移动副时，其中只有一个是真实约束，其余都是虚约束。如图 1-20 所示机构中压板 1 与机架 2 共在 A、B、C 三处形成的三个移动副，其中有两个虚约束。

2) 两构件组成多个轴线重合的转动副时，其中只有一个是真实约束，其余都是虚约束。如图 1-21 所示机构中，齿轮 1 与机架 2 在 A、B 两处组成的两个转动副，其中有一个是虚约束。

3) 机构中对传递运动不起作用的对称部分所引入的约束是虚约束。如图 1-22 所示差动轮系，中心齿轮 1 通过一行星齿轮 2 便可以传递运动，但该差动轮系则用了三个对称布置的行星齿轮 2、2' 和 2'' 来传动。在三个行星齿轮中，其实只用一个传递运动就可以了，另两个与之对称布置的行星齿轮不起独立传递运动的作用，这两个对称布置的行星齿轮所引入的约束（二个转动副和四个高副）都是虚约束。

4) 构件上某点的运动所加的约束与该点本来的运动轨迹重合时，则此连接形成的运动副就是虚约束。这种情况的虚约束也可以表达为：机构中两构件上有两点之间的距离始终保持不变，若将此两点用一个构件和两个运动副连接起来，就一定会产生虚约束。这种情况下所产生的虚约束，解决方法是将产生虚约束的多余构件和相应运动副除掉。

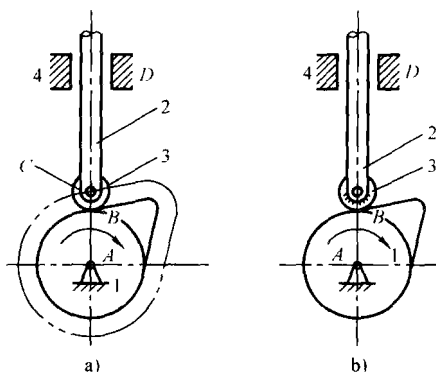


图 1-19 局部自由度