

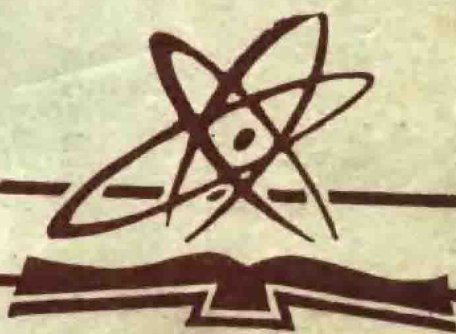
机械设计基础

桂林无线电学校

唐定贤 安清林

卓慈丰 杨 扬

国防工业出版社



续表

符 号	代 表 意 义	常用单位	符 号	代 表 意 义	常用单位
y	挠 度	毫米	ρ	曲率半径	毫米
Z	与接触强度有关的系数		Σ	轴交角	度
α	包角, 压力角	度	σ	正应力	兆帕
β	螺旋角	度		齿顶削减系数	
γ	螺旋升角	度	τ	剪应力	兆帕
φ, θ, δ	夹 角	度	ψ	齿宽系数	
η	效 率		ω	角速度	1/秒
λ	变形量	毫米			

角 标

符 号	代 表 意 义	符 号	代 表 意 义	符 号	代 表 意 义
a	齿顶的、轴向的	H	齿面的	t	端面的、切向的
b	弯曲的、基圆的	h	按小时计算的	v	当量的
c	计算的	j, Lim	极限的	Σ	总和的
l	临界的	m	中点的、平均的	0	初算的, 静的, 脉动循环的
F, f	齿根的	n	法面的、法向的	-1	对称循环的
g	工作的、滚子的	r	径向的	max	最大的
				min	最小的

内 容 简 介

本书主要介绍常用机构及通用机械零件的工作特点及设计计算方法。

本书共十三章：机构简图及机构的活动度，平面四连杆机构、凸轮机构、带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、轮系、轴、轴承、联轴器和离合器、弹簧、减速器。

本书可作为无线机械制造专业试用教材，也可供有关人员参考。

前 言

本书系中等专业学校电子类无线电机制造专业统编教材之一。

本书的教学总时数为196学时，其中课堂教学142学时，其余为课程设计时间。本书有些内容各学校可根据专业要求适当取舍，如高速带传动、变位齿轮、周转轮系、液体摩擦滑动轴承等。

为反映科学技术新成就，通用零件的设计采用了国际上先进的设计方法。例如，有的根据我国实际情况，选用了国际标准化组织标准建议（ISO）的计算方法，有的则考虑到中等专业学校的特点，参照ISO方法的精神加以简化。注意到日益频繁的国际交往，书中采用了国际单位制。与本书配用的手册主要是《机械工程手册》，由于本书脱稿时，《机械工程手册》的某些篇尚未出版，有的试用版正着手修改，故书中数据只供目前试用，待新标准颁布后概以新标准为准。

参加本书编写工作的有：安清林（第三、七、九、十一章），卓慈丰（第四、十三章及附录二），杨 扬（第二、五、十二章），杨 扬、卓慈丰合编第十章，其余部分由唐定贤编写。本书初稿经1979年4月四机部属中专校《机械设计基础》无锡审稿会各校代表提出了修改意见，修改后由无锡无线电学校葛洪彦同志审定。北京钢铁学院范垂本，华中工学院余俊、哈尔滨工业大学陈铁鸣，中国矿业学院孟惠荣、上海机械学院王绍杰，上海交通大学辛一行，南京工学院余长庚，上海机器制造学校马永林等同志对编审工作给予了大力支持和帮助，桂林无线电学校其他同志为本书的编写加工作了大量工作，在此一并致谢。

本书虽经集体讨论，多次修改，但因资料欠缺，特别是我们的理论水平、业务能力及编写经验所限，谬误欠妥之处一定不少，敬请使用本书的同志给予批评指正。

编 者

1979年7月

主要符号表

符 号	代 表 意 义	常用单位	符 号	代 表 意 义	常用单位
a	加速度	米/秒 ²	n	弹簧圈数	圈
	中心距	毫米		活动构件数	
B, b	宽 度	毫米	P	功 率	千瓦
C	额定负荷	牛		当量负荷	牛
	弹簧指数			运动副数	
c*	顶隙系数		p	节距、周节	毫米
D, d	直 径	毫米		单位面积上的力	兆帕
E	拉压弹性模量	兆帕	q	蜗杆特性系数	
F	力	牛		单位长度上的力	牛/毫米
f	系 数		R, r	半 径	毫米
G	剪切弹性模量	兆帕	S	力	牛
H	行程、高度	毫米		厚 度	毫米
HB	布氏硬度	兆帕		安全系数	
HRC	洛氏硬度		T	转矩、扭矩	毫牛米, 牛米
h	高 度	毫米	t	时 间	秒
h _a *	齿顶高系数			温 度	°C
i	传动比		u	齿数比	
K	系 数		v	速 度	
L	长 度	毫米	W	机构活动度	
	寿 命	转	X	径向系数	
l	长 度	毫米	x	变位系数	
M	弯 矩	毫牛米、牛米	Y	与弯曲强度有关的系数	
m	模 数	毫米		轴向系数	
n	转 速	转/分	y	分度圆分离系数	

目 录

绪论	(1)
第一章 机构简图及机构的活动度	(5)
第一节 机构简图	(5)
第二节 平面机构的活动度	(9)
第二章 平面四连杆机构	(16)
第一节 平面四连杆机构的基本型式——曲柄摇杆机构	(16)
第二节 平面四连杆机构的演变型式	(19)
第三节 平面四连杆机构的设计	(23)
第三章 凸轮机构	(32)
第一节 凸轮机构的应用、分类及优缺点	(32)
第二节 从动件的常用运动规律及其选择	(35)
第三节 按从动件的运动规律设计凸轮廓线	(38)
第四节 凸轮机构设计的其它问题	(42)
第四章 带传动	(52)
第一节 概述	(52)
第二节 三角胶带和带轮	(54)
第三节 带传动的工作情况分析	(58)
第四节 三角带传动的设计	(62)
第五节 三角带传动的张紧装置	(71)
第六节 高速带传动简介	(73)
第五章 链传动	(75)
第一节 链的类型及链传动的应用特点	(75)
第二节 传动链及链轮	(75)
第三节 链传动的布置和润滑	(80)
第四节 链传动的运动特性	(81)
第五节 链传动的设计	(82)
第六章 齿轮传动	(90)
第一节 齿轮传动的分类及优缺点	(90)
第二节 齿廓啮合基本定律	(91)
第三节 渐开线	(92)
第四节 渐开线齿轮传动的啮合特性	(96)
第五节 直齿圆柱齿轮的基本参数和几何关系	(97)
第六节 正确啮合及传动连续的条件	(101)
第七节 渐开线直齿圆柱齿轮加工的基本原理	(104)

第八节	齿廓干涉及过度切削	(106)
第九节	变位齿轮传动	(107)
第十节	齿轮的受力分析及失效形式	(119)
第十一节	齿轮的材料	(122)
第十二节	直齿圆柱齿轮的强度计算	(124)
第十三节	斜齿圆柱齿轮传动	(134)
第十四节	直齿圆锥齿轮传动	(140)
第十五节	齿轮的结构设计	(145)
第七章	蜗杆传动	(150)
第一节	概述	(150)
第二节	蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算	(153)
第三节	蜗杆传动失效形式, 材料、结构和精度等级	(155)
第四节	蜗杆传动的受力分析	(157)
第五节	蜗杆传动的强度计算	(158)
第六节	蜗杆传动的热量计算	(160)
第七节	圆弧齿圆柱蜗杆传动和圆弧面蜗杆传动简介	(164)
第八章	轮系	(168)
第一节	定轴轮系的传动比计算	(168)
第二节	周转轮系的传动比计算	(169)
第三节	周转轮系的类型及功用	(173)
第四节	行星轮系的齿数选择	(175)
第五节	三种特殊行星传动简介	(177)
第九章	轴	(185)
第一节	轴的分类和材料	(185)
第二节	轴的结构设计	(186)
第三节	轴的强度计算	(192)
第四节	轴的刚度和振动计算简介	(197)
第十章	轴承	(205)
第一节	滑动轴承的分类及结构	(205)
第二节	轴瓦的材料与结构	(207)
第三节	非液体摩擦滑动轴承的计算	(210)
第四节	滑动轴承的润滑	(212)
第五节	液体摩擦滑动轴承简介	(216)
第六节	滚动轴承的结构、类型及代号	(217)
第七节	滚动轴承的类型选择	(222)
第八节	滚动轴承的尺寸选择	(223)
第九节	滚动轴承的组合设计	(234)
第十节	滚动轴承与滑动轴承的比较	(239)

第十一章 联轴器和离合器	(241)
第一节 联轴器.....	(241)
第二节 离合器.....	(247)
第三节 联轴器与离合器的选择.....	(250)
第十二章 弹簧	(252)
第一节 弹簧的功用及类型.....	(252)
第二节 圆簧丝圆柱形压缩（拉伸）弹簧的端部结构及制造.....	(253)
第三节 圆簧丝圆柱螺旋压缩（拉伸）弹簧的设计.....	(254)
第十三章 减速器	(265)
第一节 减速器的分类、主要型式及应用.....	(265)
第二节 减速器的结构.....	(267)
第三节 减速器的润滑.....	(268)
第四节 标准圆柱齿轮减速器.....	(270)
附 录	(275)
附录一、常用材料的选择.....	(275)
附录二、滚动轴承的尺寸和主要性能表.....	(277)

绪 论

一、机 械

为了提高劳动生产率，减轻劳动强度，确保产品质量，机械正被广泛地用于国民经济的各个部门中。

机械是机器与机构的总称。

机器是代替人们劳动的一种重要工具，它由多个实物组合而成，各实物间有着确定的相对运动，并能完成有效的机械功或实现机械能与其它能量之间的变换。利用机械能做功的机器称为工作机，如改变工件形状和尺寸的各式机床，改变物体空间位置的各种起重运输机等。进行能量变换的机器可分为两类，一类是将机械能变为其它能量，称为转换机，如发电机等；另一类将其它能量变为机械能，称为原动机，如电动机、内燃机、蒸汽机等。

机构是实现人们所需运动的装置。它也是多个实物的组合，各实物间也有确定的相对运动，但与机器相比，它不能做功，也不能变换机械能，只能完成运动的传递或变换，如使汽车转弯、电扇摇动及用于绘图、运算、计时、测量的某些装置等。

图1所示的牛头刨床是机械加工车间中常见的机器之一。电动机的运动及动力通过带传动机构传给轴I，再经过齿轮传动机构传给空心轴IV。与空心轴固结的大齿轮上装有滑块，它使摆动导杆机构中的槽杆绕轴V摆动，并驱使装有刨刀的刨床滑枕实现直线往复运动，对工件进行刨削加工。工作台的间歇进给是由空心轴IV上的另一齿轮带动轴VI，并利用曲柄摇杆机构、棘轮机构及螺旋机构的联动来实现的。

可见，机器是由有限的一些机构组成的。为了正确地分析现有的机器或合理地设计新型的机器，必须熟悉几种常用的机构，如带传动机构、齿轮传动机构、蜗杆传动机构、平面四连杆机构、凸轮机构等，并掌握它们的运动特点及设计方法。

组成机构的具有确定运动的实物，称为构件。受驱动力作用的构件称为原动构件或主动件，其它运动构件称为从动构件或从动件，而相对静止的构件则称为机架或静件。

图2所示为内燃机的曲柄滑块机构，固定构件1（汽缸、支座等）是机构中的机架。滑块2（活塞）在燃气的推动下相对于机架作直线往复运动，是机构中的原动构件。连杆由连杆盖4、连杆体5、轴瓦6、螺栓7、螺母8、垫圈9等组成，在活塞推动下作平面一般运动、曲柄3（曲轴）在连杆推动下相对于机架作定轴回转运动。曲柄及连杆都是机构中的从动构件，当滑块的运动给定后，它们的运动都是确定不变的。

由图2可见，构件可以是多个物体的刚性结合（如连杆），也可以是不可拆卸的、被称为零件的单个物体（如曲柄）。因此，构件是运动的单元，而零件是制造的单元。

通常把零件分成两类，其中一类普遍使用在各种机械中，称为通用机械零件，如齿轮、蜗轮、轴、弹簧等，而另一类仅为一定机械所特有，称为专用机械零件，如汽轮机中的叶片、内燃机中的曲轴、机床的床身等。

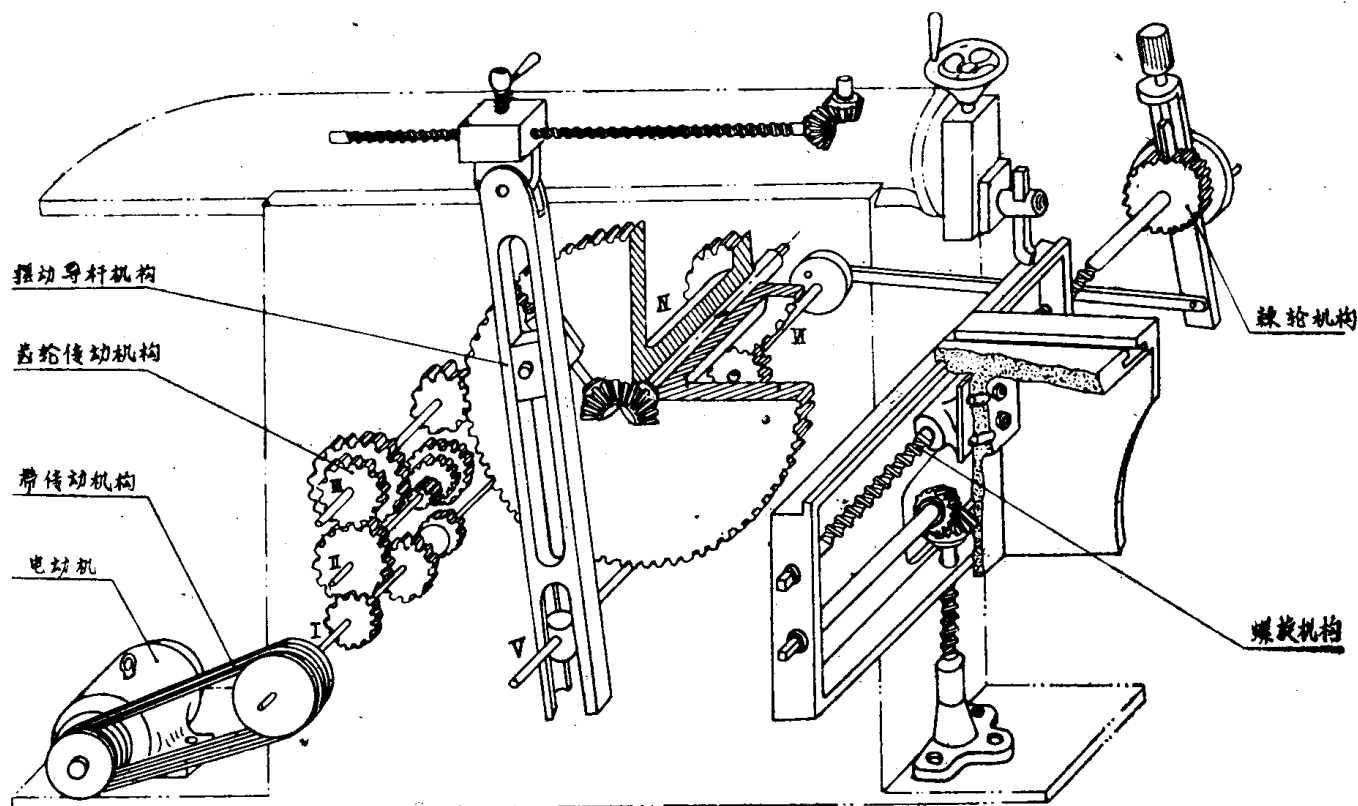


图 1 牛头刨床示意图

二、课程的内容和任务

本课程只研究机械中共性的问题：

1. 常用机构的工作原理，运动特点以及从运动观点进行机构设计的方法；
2. 通用机械零件的结构、用途、工作情况、材料选择及设计计算方法等。

本课程的主要任务是阐述常用机构及通用机械零件设计的基础理论，培养学生正确的设计观点及设计的实际技能，为专业课的学习和今后的工作打下基础。

三、机械设计的基本要求、方法和步骤

1. 机械设计的基本要求

各种机械的设计，均应综合考虑下述基本要求：

- 1) 运动准确：根据工作需要，在拟定适当的传动方案、确定机构型式及其组合时，必须注意运动准确、协调，以满足预期的运动要求。
- 2) 动力适当：根据承载要求，考虑机械效率，合理确定机械正常运行所需的功率，使之既满足承载要求，又不造成严重的浪费。
- 3) 工作可靠：为使机械在预定的期限内可靠地工作，不因个别零件的失效而影响机械的正常运行，在设计机械零件时应符合下列要求：

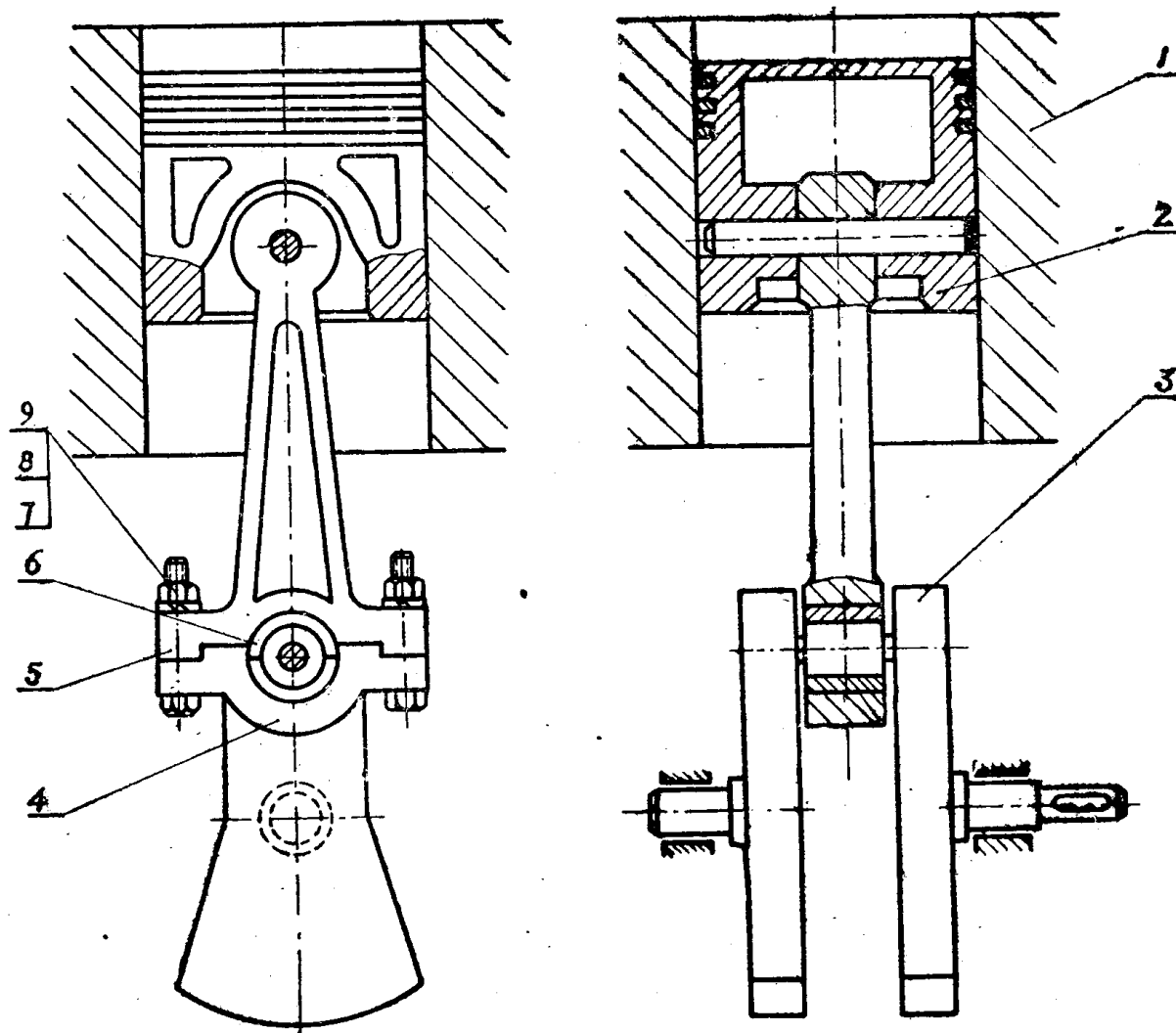


图 2 曲柄滑块机构

(1) 足够的强度：零件的强度包括疲劳强度及静强度。疲劳强度考虑变应力引起的疲劳失效，静强度考虑不变应力或循环次数不多的变应力引起的断裂或塑性变形。零件的强度不够将直接影响机械的承载能力，严重时会出现安全事故，因此，一般情况下应首先考虑。

(2) 必要的刚度：刚度是指零件在载荷作用下抵抗弹性变形的能力。某些零件过大的弹性变形，将严重影响机械的工作质量，弹性变形还可能导致高速回转零件的振动破坏，故弹性变形应受限制。

(3) 适当的寿命：零件的寿命常指使用到失效时的总工作小时数。影响零件寿命的因素有相对运动表面的磨损，变应力工作时的疲劳和高温工作时的蠕变。零件的疲劳寿命也可以用疲劳失效前的应力总循环次数来表示。

4) 经济适用：设计时应最大限度地考虑经济性，力求成本低、效率高，使用维修方便。

(1) 工艺性好：机械或零件应尽可能结构简单、易做，以便既合乎技术要求又使得费用最省。故对于机械中的零件，不可盲目地提高精度及光洁度要求。

(2) 选材合理: 材料的选择合理与否, 影响着机械的重量、工作质量、寿命及成本。在满足使用要求的前提下, 应尽量选用价格低廉、供应充分的材料, 并配合适当的热处理, 以提高材料的机械性能。材料的选用方法详见附录一。

(3) 推广“三化”: “三化”即零件标准化, 部件通用化, 产品系列化。推广“三化”, 可简化设计工作, 满足互换性要求, 利于保证产品质量, 降低机械成本, 便于机械的修配, 故设计时应尽量符合国家标准(GB)或专业标准。

(4) 便于操作: 设计机械时应考虑到操作方便, 以便减轻劳动强度, 避免操作差错, 确保操作人员及设备的安全。

此外, 应注意各种机械的特殊要求。如机床应能长期保持其精度, 无线电机机械应考虑电气性能, 食品机械应防止食品污染, 钻探机械应便于装卸运输等。

2. 机械设计的方法

常用的设计方法有理论设计、经验设计及模型实验设计三种。

1) 理论设计: 这种方法是按照设计理论、计算公式及实验数据进行设计的。当分析正确、考虑全面时, 理论设计能获得可靠的结果。

对零件进行理论设计时, 由于零件结构对应力分布的复杂影响, 多趋向于将一批相同的零件在一定条件下进行试验, 根据试验结果, 确定其承载能力, 然后考虑实际使用零件与试验零件在工作情况、结构尺寸、所用材料等方面的差异, 运用计算公式来解决。

2) 经验设计: 这种方法是按照经验公式及经验数据或用类比方法进行设计。它简便、迅速, 但须一定的实践经验。对于形状复杂, 载荷情况不明, 无法进行理论分析的零件以及各种零件中的次要尺寸, 常依据经验处理。

3) 模型实验设计: 对于新型机械, 或巨大的, 形状复杂而要求较高的零件, 当缺乏成熟的设计资料及计算方法时, 常采用模型实验设计。即将按经验初步设计出的机器或零件做成模型进行实验, 然后根据实验结果(如应力分布、极限承载能力等)对原设计作适当修改。

3. 机械设计的步骤

机械设计的一般步骤是: 根据设计的任务与要求, 拟定传动方案, 确定主要尺寸, 绘制装配图及零件工作图, 然后编制技术说明书、标准件及外购件明细表等。

为了满足设计的基本要求, 从方案的选取到零件结构尺寸的确定, 由于条件的相互依赖, 将出现各种矛盾, 常需边设计, 边修改, 多次反复, 交叉进行, 这是机械设计的特点。使用电子计算机有利于迅速而准确地获得最佳设计。

第一章 机构简图及机构的活动度

第一节 机构简图

一、运动副及其分类

机构中各构件间的相对运动取决于它们的联接形式。保证两构件直接接触并具有一定相对运动的联接称为运动副。

根据两构件相对运动的性质是平面运动还是空间运动，可把运动副分成平面运动副和空间运动副两种。

根据两构件的接触情况是点接触、线接触还是面接触，可把运动副分成高副和低副两种。凡点或线接触的运动副统称为高副，而面接触的运动副称为低副。

平面运动副中，无论是使两构件组成相对转动的回转副，还是使两构件组成相对移动的移动副，由于它们都是面接触，因此都是低副。

图 1-1 为凸轮机构的示意图，当构件 2 绕固定轴线转动时，将使构件 3 在导槽中往复移动。构件 2、3 与构件 1 的接触都是面接触，因此都属于低副，而构件 3 与构件 2 的接触为点接触，故属于高副。

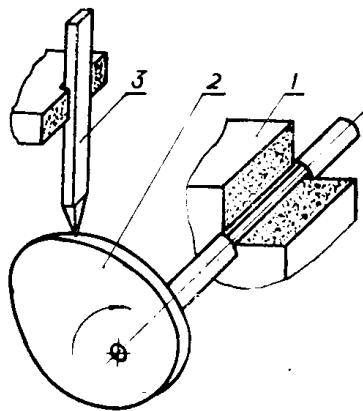


图 1-1 凸轮机构

二、机构简图

用直线、曲线等简单线条表示构件，用规定的符号表示运动副所画出的机构图形称为机构简图。机构简图中的常用符号见表 1-1。

用简图所表示的机构应与所研究的真实机构具有完全相同的运动，故机构简图又称机构运动简图。图 1-2 即为图 1-1 所示凸轮机构的机构简图。

显然，机构简图能简明、清晰地反映机构的运动特征，便于对机构进行分析与研究。因此，在设计新机构时，用它来进行传动方案的比较，按运动要求确定构件的主要尺寸，进行受力分析及强度、刚度分析都比较方便。

画机构简图时，应注意以下几点：

1. 应根据构件间的相对运动情况，将各构件的运动平面作为视图平面，以利于显示机构运动特征。

2. 应明确各类运动副数目及相对位置（两转动副中心间的距离、两移动副中心线间的夹角、转动副中心与移动副中心线间的距离等），并按规定的符号画出各运动副。

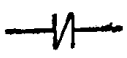
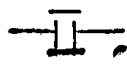
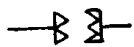
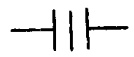
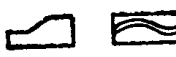
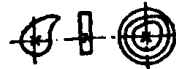
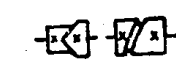
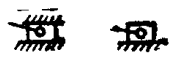
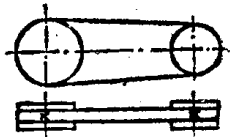
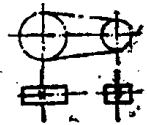
3. 以简单线条表示构件时，若同一构件上有三个或三个以上的转动副，画简图时可参照图 1-3 处理。图 1-3a 为三副共线的情况；图 1-3b 为三副不共线的两种画法。

表 1-1 机构简图中的符号

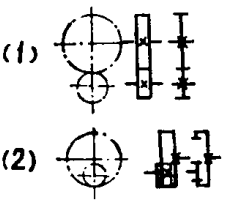
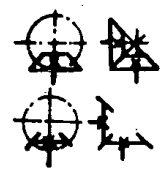
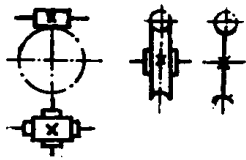
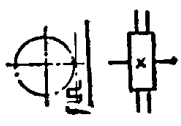
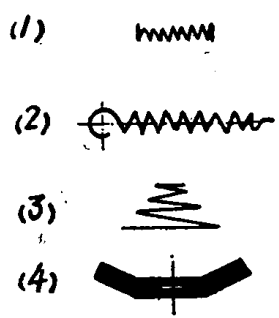
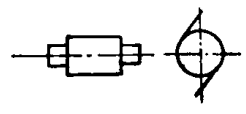
(摘自 GB138-74)

序 号	名 称	符 号
1	轴、杆、连杆等	
2	轴、杆的连接 (1) 牢固连接 (2) 活销连接 (3) 两杆间牢固联接而与第三杆用活销连接	
3	杆与固定支点的活销连接	
4	向心滑动轴承	
5	滚动轴承 (1) 向心球轴承 (2) 向心球面球轴承 (3) 单列向心推力球轴承, 双列向心推力球轴承 (4) 单向推力球轴承, 双向推力球轴承	
6	零件与轴的连接 (1) 导键连接 (2) 固定键连接 (3) 花键连接 (4) 牢固连接	

续表

序 号	名 称	符 号
	轴与轴连接 (1) 紧固连接 (2) 弹性连接 (3) 齿轮联轴器连接	(1)  (2)  (3) 
8	离合器 (1) 单向啮合式 (2) 摩擦式 (3) 单向超越式	(1)  (2)  (3) 
9	凸 轮 (1) 纵向移动式 (2) 圆盘式 (3) 圆柱式	(1)  (2)  (3) 
10	在固定导轨内的滑块	
11	摆动式汽缸与活塞	
12	带传动 (1) 平型带传动 (2) 三角带传动	(1)  (2) 
13	链传动	

续表

序 号	名 称	符 号
14	圆柱齿轮传动 (1) 外啮合 (2) 内啮合	
15	圆锥齿轮传动	
16	圆柱蜗杆传动	
17	齿条啮合	
18	弹 簧 (1) 压缩弹簧 (2) 拉伸弹簧 (3) 锥形弹簧 (4) 碟形弹簧	
19	电动机	

4. 机构简图画完之后, 应认真检查运动副的类型、数目、相互位置、构件数及运动特征, 看是否与原机构相符。

例 1-1 绘制图 1-4a 所示冲床的机构简图。

解:

1. 分析机构的运动情况

机构运动情况如下: 偏心盘 2 绕定轴 O_1 转动, 驱动构件 3、4、5, 使滑块 6 上下移动以完成冲压工作。

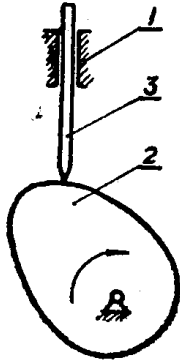
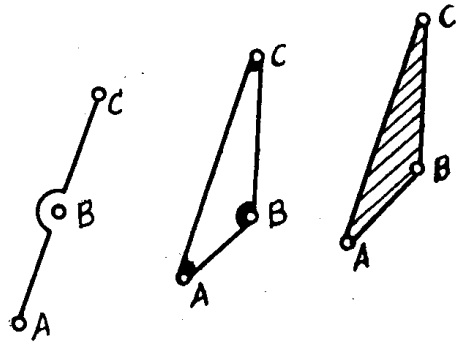


图 1-2 凸轮机构的简图



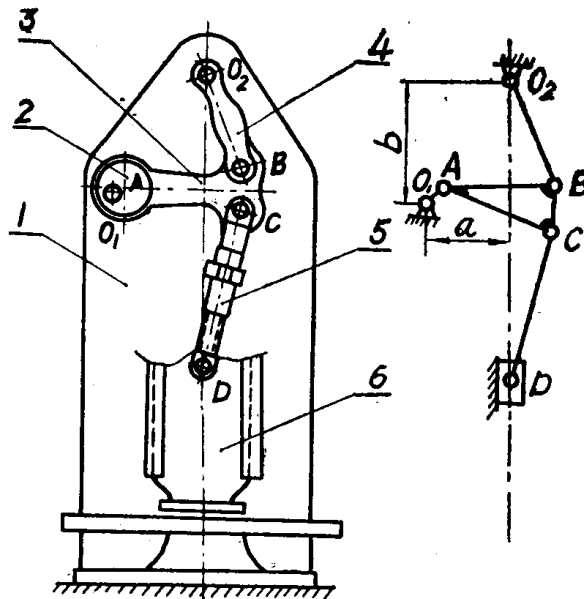
(a) 三副共线 (b) 三副不共线
图 1-3 具有三个转动副的构件

2. 分析机构的运动副

机构中有一个移动副(构件 1 与 6 组成)六个转动副 (O_1 、 O_2 、 A 、 B 、 C 及 D)，六个构件 (其中构件 3 上有不共线的三副 A 、 B 及 C)。

3. 绘制机构简图

按规定符号画出机构各构件及各运动副，即成为冲床的机构简图，如图 1-4b 所示。



(a) 结构图 (b) 机构简图

图 1-4 冲床

第二节 平面机构的自由度

各构件的运动均处于同一平面或平行平面的机构称为平面机构。

一、平面机构的自由度及其计算

平面机构的自由度，是指平面机构相对于其机架的自由度数。研究机构活动度的目的在