



机械设计基础

章定民 主编

广西教育出版社

TH11
80

西南七省（区）、市电大教材

机械设计基础

章定民 主编

章定民 邓克家

兰宏洁 唐绍勇 编写

庞中坚 孙昌安

江苏工业学院图书馆
藏书章

广西教育出版社出版

西南七省（区）、市电大教材
机 械 设 计 基 础

章定民 主编

☆

广西教育出版社出版发行

（南宁市民族大道7号）

南宁市人民印刷厂印刷

*

开本787×1092 1/16 28.75印张 720千字

1990年8月第1版 1990年8月第1次印刷

印数：1—1500册

ISBN 7-5435-0962-8/T·1

定价：11.90元

前 言

本书是根据三年制工业专科学校和西南七省（区）、市电大联办“机电专业”教材会议所讨论的“机械设计基础”教学大纲的要求，借鉴了电大历届教材编写方面的有用经验，以少而精，重实用的原则进行选编而成。在内容上，力求适应电大远距离、开放性，培养实用型大专人材的特点，因而对一些理论分析、公式推导和论证作了适量取舍，对一些可以自成系统的内容（齿轮啮合原理、齿轮传动）进行了归纳，统一在一章之中；并注重选入目前一些同类教材和工程设计中较好的应用实例，尽可能拓宽实用范围，以增强理论与实践的紧密结合。

参加本书编写的有广西广播电视大学章定民（绪论、第一章），邓克家（五、十二、十六章），兰宏洁（五、六、七、八章），唐绍勇（三、四、十一章），庞中坚（二、十三、十四、十五章），孙昌安（九、十章）；全书由章定民负责统稿、审定和编目工作。

本书主要作为电大系统“机电专业”（大专）的教材使用，总授课学时为90，也可作为各类成人高校机电专业、近机类专业的主要教学参考书，企业中的机电技术人员亦可参阅应用。

广西电大严灿南副编审承担了本书的文字编辑工作，谨表谢意。

由于时间仓促，书中所选内容，能否满足机电专业的要求，需经电大师生使用后才能作出评价；恳请使用过本书的同志，多提宝贵意见，以改进、提高本书质量，不胜感谢。

编者 一九九〇年元月

目 录

绪论	(1)
本课程的研究对象	(1)
机械设计的一般原则和主要内容	(2)
本课程的内容、性质、任务及学习方法	(3)
第一章 机构的结构分析	(4)
§ 1—1 研究机构结构的目的是	(4)
§ 1—2 构件与运动副	(4)
§ 1—3 平面机构的运动简图	(6)
§ 1—4 平面机构的自由度	(10)
§ 1—5 平面机构的组成原理	(15)
§ 1—6 平面机构中的高副低化	(16)
第二章 平面连杆机构的运动分析和设计	(21)
§ 2—1 机构运动分析的目的和方法	(21)
§ 2—2 同速点法及其在机构速度分析中的应用	(21)
§ 2—3 向量多边形法及其在机构运动分析中的应用	(28)
§ 2—4 平面机构运动的解析法分析简介	(42)
§ 2—5 机构的运动线图	(45)
§ 2—6 平面连杆机构的特点	(45)
§ 2—7 平面四杆机构的基本型式及其变换和演化	(46)
§ 2—8 平面四杆机构的几个工作特性	(54)
§ 2—9 平面四杆机构的设计	(60)
第三章 凸轮机构	(79)
§ 3—1 概述	(79)
§ 3—2 从动件常用运动规律	(83)
§ 3—3 作图法设计凸轮轮廓曲线	(91)
§ 3—4 凸轮机构基本结构尺寸参数	(97)
§ 3—5 凸轮材料和技术要求	(102)
第四章 间歇运动机构	(111)
§ 4—1 棘轮机构	(111)
§ 4—2 槽轮机构	(115)
§ 4—3 不完全齿轮机构	(118)
§ 4—4 空间间歇机构	(119)
第五章 机械零件设计和计算基础	(123)
§ 5—1 设计机械零件应满足的基本要求, 设计方法和一般步骤	(123)

§ 5—2	机械零件的主要失效形式和计算准则	(124)
§ 5—3	机械零件的材料和结构工艺性	(125)
§ 5—4	机械设计中的标准化	(126)
§ 5—5	载荷与应力的分类	(126)
§ 5—6	机械零件的强度计算	(128)
第六章	键联接和销联接	(139)
§ 6—1	键联接	(139)
§ 6—2	销联接及过盈配合联接	(142)
第七章	螺纹联接	(146)
§ 7—1	螺纹	(146)
§ 7—2	螺纹联接的主要类型及联接零件	(147)
§ 7—3	螺栓组联接的设计与受力分析	(150)
§ 7—4	单个螺栓联接的强度计算	(154)
§ 7—5	螺纹联接的材料及许用应力	(158)
第八章	带传动	(167)
§ 8—1	概述	(167)
§ 8—2	三角胶带和带轮	(167)
§ 8—3	带传动的工作情况分析	(171)
§ 8—4	三角胶带传动的设计计算	(174)
§ 8—5	三角胶带传动的张紧装置	(180)
第九章	齿轮传动	(184)
§ 9—1	齿轮机构的分类及传动特点	(184)
§ 9—2	齿廓啮合的基本定律	(187)
§ 9—3	渐开线的形成、性质及其参数方程	(188)
§ 9—4	渐开线齿廓啮合传动	(193)
§ 9—5	渐开线直齿圆柱标准齿轮的基本参数和尺寸计算	(197)
§ 9—6	渐开线直齿圆柱齿轮啮合传动	(204)
§ 9—7	齿轮与齿条啮合的特点	(211)
§ 9—8	渐开线齿轮的加工方法	(213)
§ 9—9	渐开线齿廓的根切现象和不发生根切的最少齿数	(216)
§ 9—10	变位齿轮传动	(219)
§ 9—11	齿轮的失效形式	(227)
§ 9—12	齿轮材料及其热处理	(229)
§ 9—13	齿轮传动的制造精度	(231)
§ 9—14	圆柱齿轮传动的载荷计算	(233)
§ 9—15	标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	(240)
§ 9—16	设计参数选择及许用应力的确定	(250)
§ 9—17	齿轮传动的计算类型和步骤	(257)
§ 9—18	斜齿圆柱齿轮传动	(260)
§ 9—19	直齿圆锥齿轮传动	(272)
§ 9—20	齿轮的结构设计	(285)

§ 9—21 齿轮传动的润滑	(286)
§ 9—22 螺旋齿轮传动简介	(289)
第十章 蜗杆传动	(299)
§ 10—1 蜗杆蜗轮机构及其啮合特点	(299)
§ 10—2 蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算	(303)
§ 10—3 蜗杆传动的失效形式、设计准则和材料选择	(306)
§ 10—4 蜗杆传动的受力分析与计算载荷	(307)
§ 10—5 蜗杆传动的承载能力计算	(308)
§ 10—6 蜗杆传动的润滑与热平衡计算	(312)
§ 10—7 蜗杆和蜗轮的结构设计	(314)
第十一章 齿轮系	(320)
§ 11—1 轮系的分类	(320)
§ 11—2 轮系传动比的计算	(323)
§ 11—3 轮系的功用	(338)
§ 11—4 轮系效率的概念	(340)
§ 11—5 减速器简介	(342)
§ 11—6 其它类型行星齿轮传动简介	(345)
第十二章 轴	(358)
§ 12—1 轴的基本知识	(358)
§ 12—2 轴的材料及其选择	(359)
§ 12—3 轴的结构设计	(361)
§ 12—4 轴的强度计算	(364)
§ 12—5 轴的刚度计算	(374)
§ 12—6 轴的振动概念	(376)
第十三章 滚动轴承	(379)
§ 13—1 概述	(379)
§ 13—2 滚动轴承的寿命计算	(385)
§ 13—3 滚动轴承的组合结构设计	(398)
第十四章 滑动轴承	(406)
§ 14—1 概述	(406)
§ 14—2 滑动轴承的结构型式	(407)
§ 14—3 轴承材料与轴瓦结构	(409)
§ 14—4 非液体摩擦滑动轴承的设计计算	(413)
§ 14—5 滑动轴承的润滑	(416)
§ 14—6 液体动压滑动轴承简介	(421)
第十五章 联轴器和离合器	(424)
§ 15—1 概述	(424)
§ 15—2 联轴器	(425)

§ 15—3	离合器	(431)
第十六章	机械的平衡与机械速度波动的调节	(439)
§ 16—1	机械平衡的目的与内容	(439)
§ 16—2	刚性转子的平衡计算	(439)
§ 16—3	刚性转子的许用不平衡量	(443)
§ 16—4	机械速度波动的调节	(444)

绪 论

人类社会得以存在和发展的基础是不断进行的物质资料的生产。而现代化的大规模的生产，均有赖于各种机器的功能；充分运用和发展各种类别机器的功能，是生产高度发展的重要标志。而机械设计工作者的任务，就是要设法不断地用高效能的机器设备，武装工业、农业、国防和科学技术的各个部门，以便大大提高劳动生产率和产品质量，节约能源和原材料，促进我国国民经济的飞速发展。

本课程的研究对象

本课程“机械设计基础”是由机械原理、机械零件两部分组成，是一门研究机械中常用机构和通用零、部件的基本原理和设计计算方法的技术基础课；具有承前启后的作用，是后续研究各种专业机械的基础。

一、机械、机器和机构

所谓机械，习惯上是机器和机构的通称。机器的种类繁多，其型式、结构、性能、用途虽然各不相同，但对其作一些分析之后，就会发现各种机器之间，都具有下面一些共同的特征。

1. 都是两个以上构件（机件）的人为组合体，如图 0—1 牛头刨床的组合。

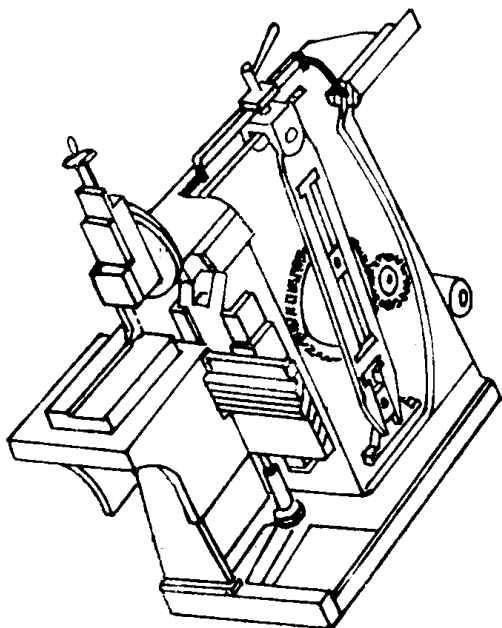


图 0—1

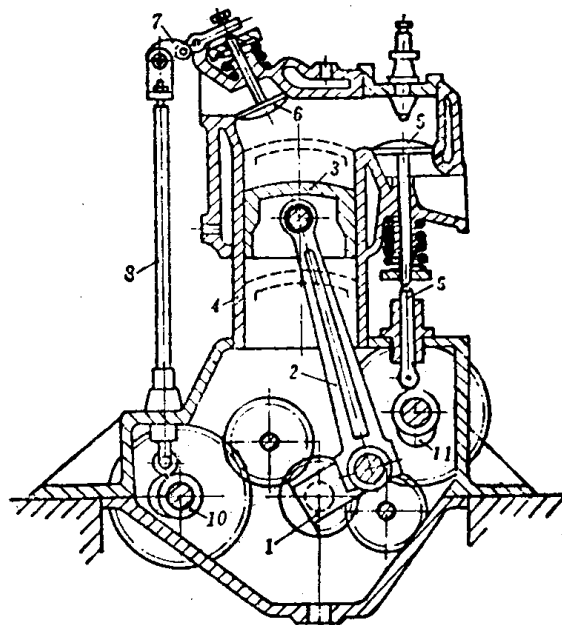


图 0—2

2. 各构件之间具有确定的有规律的相对运动（而不是杂乱的运动）。
3. 能代替人的劳动去完成有益的机械功或转换功能。

定义：凡是具有以上三个特征并能对人类作功的就称之为机器。仅仅具有前两个特征而

不能单独作功的,则称之为机构。故机构只能用来传递或变换运动,不能单独作功。这是机器与机构的原则区别。机构则是本书的研究对象。

如图 0—2 所示的内燃机,它是一部机器,通过曲轴 1、连杆机构 2,带动齿轮机构,再配以控制进、排气的凸轮机构,就可以将热能转换成机械能。它的整体是一台机器——发动机。而它的组成部分如齿轮部分只起传动作用,凸轮部分只起控制作用,曲轴连杆部分只是变换运动方向,这些部件均不能单独作功。故分别称它们为齿轮传动机构、凸轮机构、曲轴连杆机构(或曲柄滑块机构),通称为机构。

二、零件、构件与部件

零件是制造的单元,不可拆单一体。构件是作为一个整体,参与机构运动的单元,它可以是一个零件,也可以是几个零件联接而成的刚性体(必要时可拆)。如发动机中的连杆,是一个参与运动的构件。部件则是机器装配的单元,是若干零件的组合物,如减速器、变速箱、轴承、联轴器等。

各种常用零件、构件、部件,是本书的重要研究对象。

机械设计的一般原则和主要内容

一、机械设计时应考虑的几项基本原则

1. 应首先满足用户所需的各方面的使用性能要求,要根据市场信息和用户至上的原则来考虑,如耐用、好用、美观、价廉。如何使产品在市场上适销对路,就是设计工作者首先应考虑的。

2. 其次要充分考虑制造工艺的可行性和先进性。尽量采用新工艺、新技术、新材料,使产品不断更新换代,在市场畅销不衰。

3. 要考虑技术经济指标的统一性和合理性,设计者要对各种方案进行技术经济的综合比较,最后选定具有最佳效益的方案。

二、机械设计的主要程序和内容

机械设计的传统程序可概括为三个阶段。

1. 准备阶段。

包括设计前对设计任务书进行认真研究,明确设计要求,在调查市场需求信息的基础上,去准备设计资料、手册、图册、绘图工具、计算工具、纸张用品等,并订出产品设计计划和实施步骤。

2. 总体设计阶段。

(1) 选定机器的工作机构,以作为实现其预期职能的依据。

(2) 拟定机器的总体布置及传动方案,绘制机构运动简图。

(3) 确定机器的总体结构,划分部件、确定整机功率、选定原动机;尽可能使机器达到简单、紧凑、高效、经济等主要要求。

3. 结构设计。

这一阶段主要是根据总体结构设计方案中对于机器的运动和动力及其它要求,具体设计机器中的零、部件,并绘制部件装配图。

4. 完成阶段。

这一阶段主要是绘制机器的总图和零件工作图,并编写设计计算说明书。

本课程的内容、性质、任务及学习方法

1. 本课程由机械原理和机械零件两部分内容组成。前者是以研究机器中机构的结构及组成原理,机构的运动分析和受力分析以及常用基本机构的组合设计计算方法为主要内容。后者是从工作能力(强度、刚度)结构工艺性及使用维护等方面来研究机器中通用的零、部件的设计原理和计算方法,以达到能正确地设计、运用和改进零、部件的目的。鉴于各行各业的机器种类繁多,故各专业机械均由各有关专业课程去研究解决,本课程只是一门精减了的技术基础课,是为专业课打基础的,而不是为解决专业中的某些具体问题而设的。

2. 本课程的学习方法。

本课程是在学过机械制图、工程力学(含理论力学、材料力学)等有关课程之后讲授的,必须运用前面学过的图示、图解问题的分析方法和有关的设计计算方法,并结合观察日常生产中常见的运动机构,通用零、部件的实际结构,自觉地去思考、联想,与所讲的内容进行对号入座,随时把理论知识和实践结合起来,以便加深理解,取得较好的学习效果。

其次,在学习时不仅要多分析一些原有的机构,更要提倡大胆设想一些新的机构;要有所突破,有所创新,因循守旧,固步自封和满足现状,是无所作为的。当今世界科学技术之所以日新月异,正是千千万万设计工作者不断创新的结果。

第一章 机构的结构分析

内容提要

本章主要从研究机构结构的目 的 出发, 探讨机构运动的可能性及其具有确定运动的条件, 以便了解机构的结构特点, 从而为机构的运动分析、受力分析等指明方向。

本章还介绍了有关名词、术语的概念和意义。本章的重点是: 掌握平面机构运动简图的绘制及机构自由度的计算方法。平面机构的组成原理, 作为一般了解。

§ 1—1 研究机构结构的目的

无论是机器还是机构, 它们的共同特征之一, 就是各个运动部分, 都必须有确定的相对运动。在设计新机器时, 首先应判断所设计的各个机构能否运动, 如果能运动, 则还必须判断在什么条件下才会有确定的运动。因此, 我们研究机构结构的目的之一就是了解机构运动的可能性和确定性; 其次是为研究机构的运动特性和动力特性指明方向; 第三是要了解机构的组成原理, 以便于分析现有机构和创造新机构。

§ 1—2 构件与运动副

一、运动副与自由度

1. 运动副

机构中的每一构件, 总是以一定的方式与其它构件相互联接(接触)的, 两者之间形成一种既不能分开又不能成为刚性系统的可动联接(接触), 这种可动联接称之为运动副。例如轴与轴承的联接, 滑块与导轨的联接, 两啮合齿轮的联接等, 都称为运动副。

运动副的特征有三:

(1) 两构件成对(副), 构成一个运动副; 两个以上构件, 则可构成多个运动副(复合铰链)。

(2) 两个构件成副后, 相互接触, 并相互约束其自由度。

(3) 可动。两构件成副后, 可相对运动, 如联死则不存在运动副。

2. 自由度

构件在平面或空间的独立运动, 称为自由度。

如图 1—1 所示, 在平面坐标系中的两个构件 1 和 2, 当它们未组成运动副之前, 均可沿 X 、 Y 方向移动和绕垂直 XOY 平面的 Z 轴转动, 其自由度数等于 3 (即每一构件在作平面运动时都有三个自由度)。但一旦将两构件用铰链在 A 处作可动连接形成运动副时, 两构件的相对运动, 显然受到限制, 在 X 、 Y 方向均不能作相对移动, 只剩下唯一可运动的是绕 Z 轴转动的自由度。由此可见, 运动副的作用结果是限制(约束)了两构件之间的相对运动, 使其运动的自由度减少了。

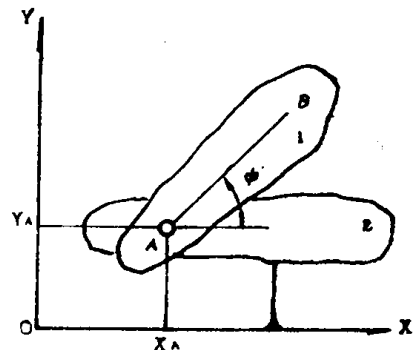


图 1—1

二、运动副的类型

运动副对自由度所产生的约束数目和内容，取决于运动副的类型。在平面中运动的机构，其运动副的类型有：

1. 转动副。如图 1—2 所示。构件 1、2 之间只能绕 Z 轴自由转动，而沿 X 、 Y 方向移动的自由度，被约束掉了，这种运动副称为转动副。

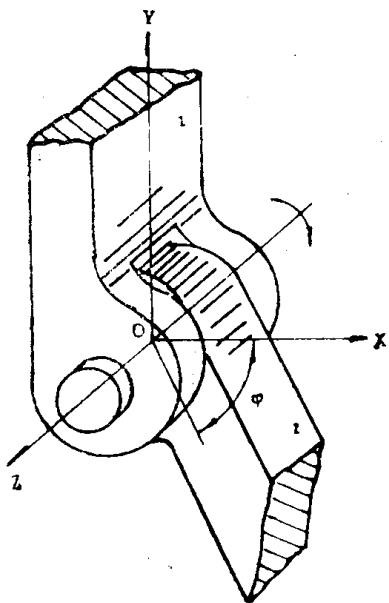


图 1—2

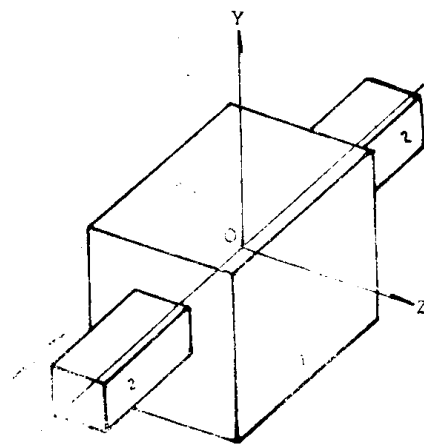


图 1—3

2. 移动副。如图 1—3 所示。构件 1、2 只能沿 X 方向相对移动，而在 Y 方向的移动和绕 Z 轴转动的自由度均被约束掉了。这种运动副称为移动副。

以上两种运动副的共同点是： A 、都约束掉两个自由度，只剩余一个自由度； B 、可动联接部分为面接触。这种以面接触的运动副，在承受载荷之后，其压强显然比线或点接触的运动副低得多。因此，我们又把这两种运动副（转动副、移动副）都称为低副。低副对自由度的约束数均为 2。

3. 高副。如图 1—4 所示为平面机构的第三种类型的运动副。两构件是以点（或线）相

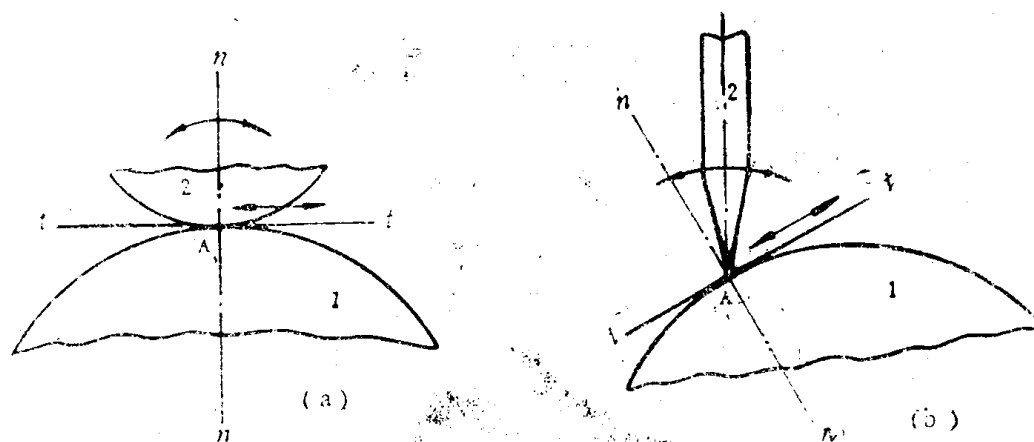


图 1—4

接触而形成的运动副。这种运动副使两构件在接触点 A 能绕 Z 轴转动和沿切线方向 $t-t$ 作相

对移动，而只约束掉沿过A点的法线 $n-n$ 方向作相对移动的自由度。由于它们之间是以点（或线）相接触的运动副，其接触部分的压强较高，因此这种运动副称为高副，高副对自由度的约束数为1。

§ 1—3 平面机构的运动简图

机器是由许多机构组成的，而实际机构中的一些构件外形，往往比较复杂，其中有些尺寸仅与强度、加工工艺、机器的布局有关，而与运动的性质无关；为了便于对机构进行运动分析和受力分析，就有必要撇开那些与运动无关的尺寸（厚度、宽度等），仅仅标出那些与运动有关的尺寸，并用简单的线条和符号，来表明机构运动的图形，这种简明的机构运动图形，称为机构运动简图。机构运动简图所要表示的主要内容为：运动副的类型和数目、构件的数目、运动尺寸、机构的类型及运动方式等。

一、在机构运动简图中各种运动副的表示法

1. 如图1—5所示是两个构件形成转动副的几种表示方法。其中转动副都用小圆圈表示。

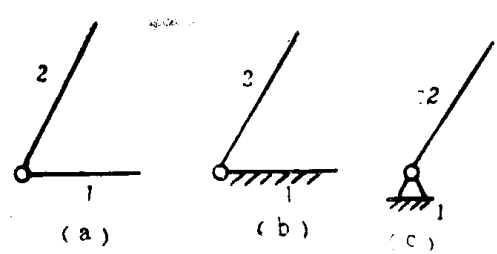


图1—5

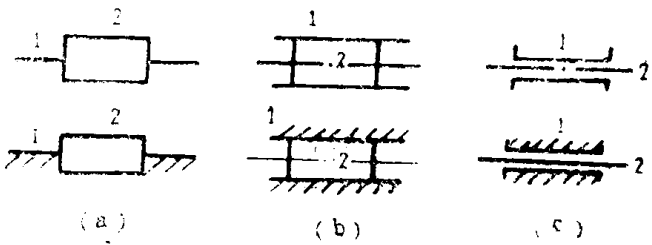


图1—6

2. 图1—6为两个构件组成移动副的几种表示方法。其中画有斜线的构件表示为固定件。

3. 当两个构件组成高副时，用图1—7表示。

(a) 为齿轮高副。(b) 图为凸轮高副。

画运动简图时应注意以下两点：

1. 两转动副中心之间的距离应与实际长度成比例。
2. 移动副的导路与相对移动的方向应一致，其运动副之间的相对位置尺寸必须与实际尺寸成比例。

二、几种主要机构的运动简图的表示法

1. 连杆机构

连杆机构是由转动副和移动副组成的低副机构，其构件形状为杆状或块状。凡具有两个转动副的杆状构件，用直线连接两转动副的几何中心来表示。如图1—8(a)为四铰链机构的运动简图。两铰链（转动副）中心连线的长度是直接与运动有关的尺寸，必须标出(a、b、c、d)以便于进行运动分析和受力分析。如为弯曲构件，简图中仍应以直线表示，但两运动副中心距不变，如图1—8(b)。如果构件上具

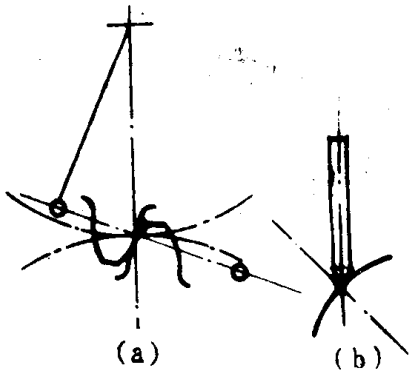


图1—7

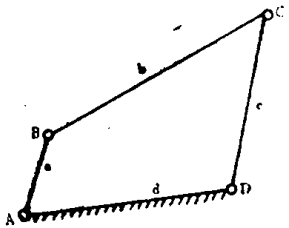


图1—8 (a)

有多个转动副，则用直线把它们连接成多边形，并在相邻两条直线相交部位涂以焊接记号、或画上阴线。如图 1—9 中 (a) (b)

(c)。如同一构件上的三个转动副正好位于同一直线上时，则用跨越半圆符号来连接两段直线，如图 1—9 (d)。

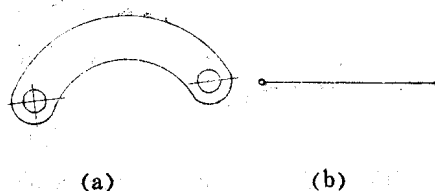


图1—8

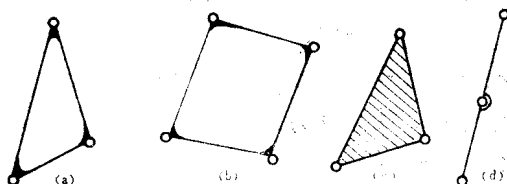


图 1—9

当两构件组成移动副时，它们的相对移动方向，应在运动图中正确表示，如图 1—10 (a) (b)，其中点划线表示两构件相对移动方向；在画机构运动简图时，点划线为实线，以表示滑动构件。图 1—10 (c)

(d) 表示一个与另两个构件可分别形成移动和转动副的表示方法。

2. 凸轮机构

凸轮机构中的主要构件是凸轮，它有三种基本形状。

(1) 盘形凸轮。如图 1—11 中 (a)(b)。

(2) 移动凸轮。如图 1—11 中 (c)(d)。

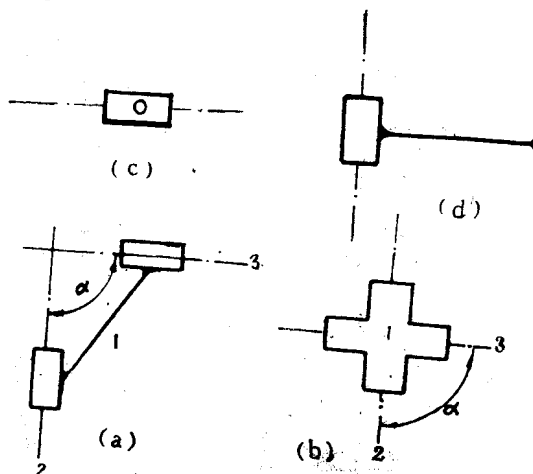


图 1—10

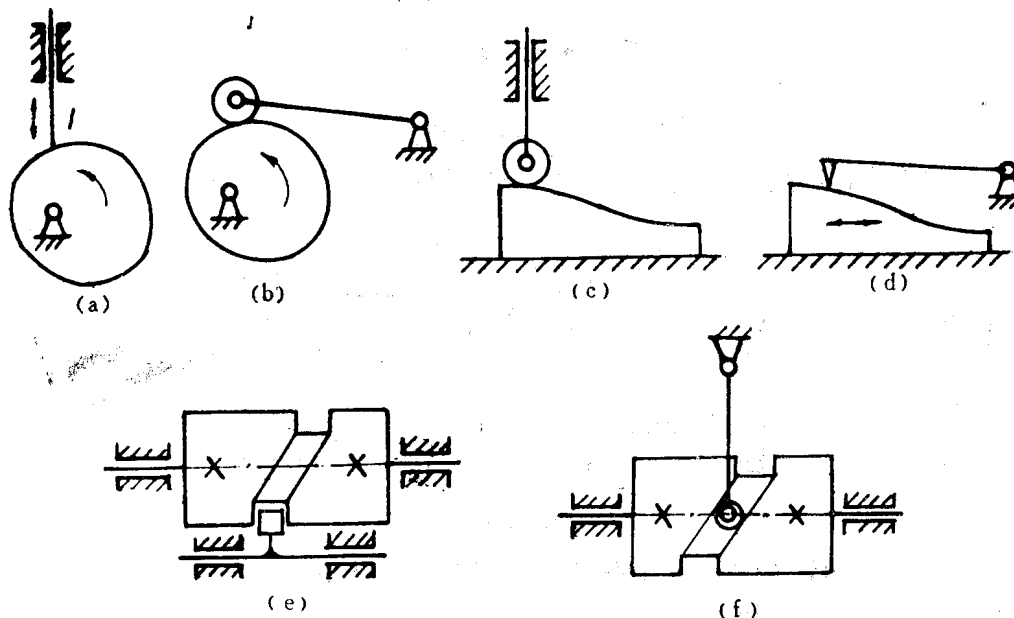


图 1—11

(3) 圆柱凸轮。如图 1—11 中 (e)(f)。

(图中有“×”者表示凸轮固结在轴上)。

3. 齿轮传动机构

按齿轮传动中各轴线相对位置关系, 其传动方式可分为:

(1) 两轴线平行的圆柱齿轮传动。其中又分为:

1) 两齿轮转向相反的外啮合传动。如图 1—12(a)

2) 两齿轮转向相同的内啮合传动。如图 1—12(b)

(2) 齿轮——齿条传动。如图 1—12(c)。

(3) 两轴线相交的圆锥齿轮传动。如图 1—12(d)。

(4) 两轴线交叉的齿轮传动。其中分为:

1) 蜗杆蜗轮传动。如图 1—12(e)。

2) 螺旋齿轮传动。如图 1—12(f)。

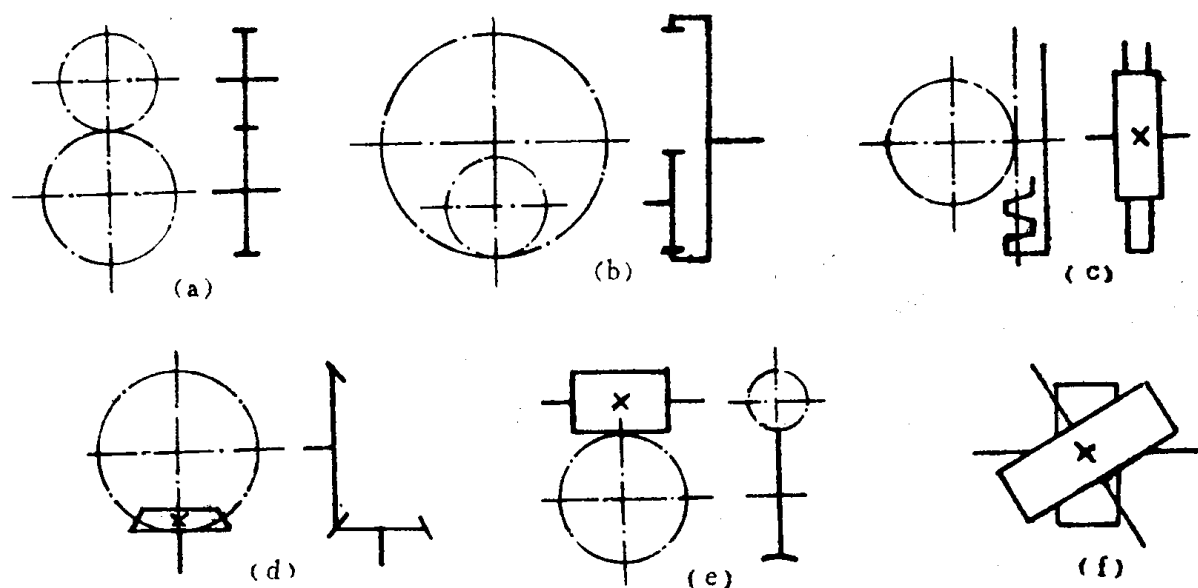


图 1—12

4. 胶带传动。分为:

(1) 开口式平型带传动的简图。如图 1—13(a)。

(2) 交叉式平型带传动的简图。如图 1—13(b)。

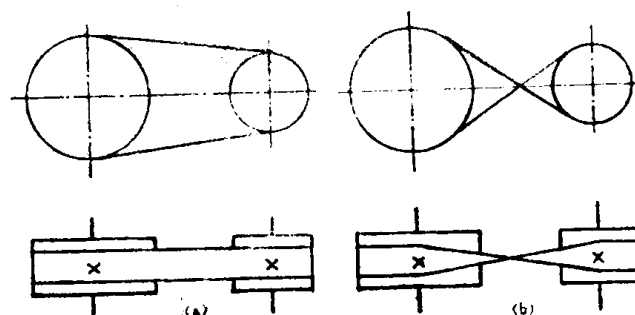


图 1—13

此外, 还有其它一些机构的简图, 可参看国家标准 GB4460—84。

三、机器运动简图的绘制

一部比较完整的机器, 它所包含的机构大体上可分为三类:

1. 主要运动系统的机构（主机构）。如牛头刨床刨刀的运动机构。
2. 辅助运动系统的机构（辅助机构）。如刨床工作台的横向进给运动机构。
3. 调整系统机构。

机器运动简图的主要内容是主机构系统的简图，它应在图面中占有最明显的地位。下面以牛头刨床为例来讨论其运动简图的绘制。图 1—14 是牛头刨床的运动简图，其主运动系统是从电机 1 开始，通过一级皮带传动减速，带动小齿轮 2——大齿轮 3，再由大齿轮 3 侧面所铰接的滑块 4，带动槽形导杆 5 和绕定轴摆动的滑块 6 作往复摆动，最后通过导杆 5 上的铰链 E 使装有刨刀的滑枕 7 在机架 10 的燕尾槽中往复运动，刨切工作台 8 上的工件。因此，从电机 1 开始，直到滑枕 7，都属于主运动系统的机构。辅助的送进机构是丝杠 9 和工作台 8 组成的螺旋机构，它是通过与齿轮 3 侧面铰接的构件 11，带动摆动杆 12、棘爪 13，使棘轮 9' 间隙转动，（棘轮 9' 与丝杠 9 是同一构件在 H 轴上转动），带动螺旋机构，使工作台 8 产生进给动作。此图表示在图 1—14 左边。

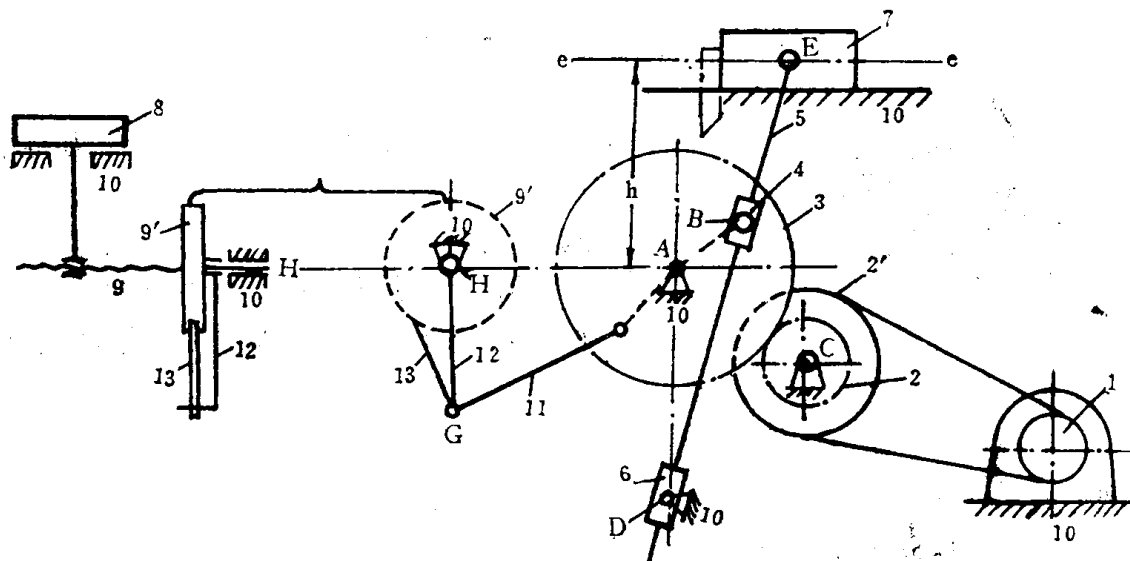


图 1—14

在绘制运动简图时，要注意以下几点：

- 1) 图中尽量减少重迭时的虚线。
- 2) 凡是同一刚体的若干个零件，都编以相同的构件数码，同轴零件各自分别转动时，则标以不同的构件数码。

3) 在绘制供运动分析、受力和机构尺寸设计用的运动简图时，需要准确按长度比例尺画出各个构件的长度并标出那些与运动有关的尺寸，长度比例尺用符号 μ_l 表示

$$\mu_l = \frac{\text{实际长度 (m)}}{\text{图示长度 (mm)}}$$

4) 调整系统机构运动简图，一般不画出。因调整系统机构，通常是在机器运动之前进行调整，而当机器运行时，则处于相对静止状态，多与机器的运动无关，故常不在运动简图中表示出来。