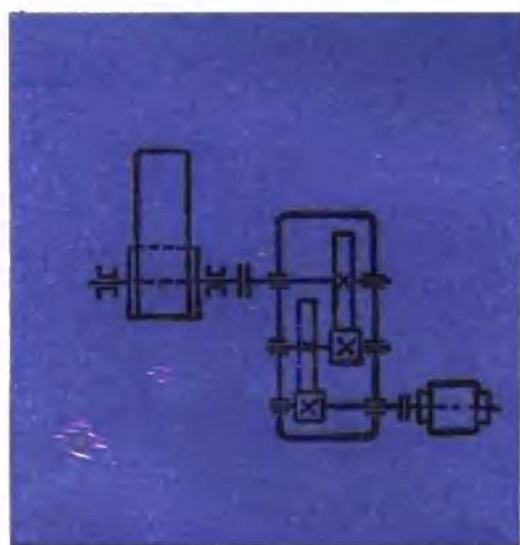


高等学校试用教材

机械设计基础

刘贵富 刘大维 主编



蓝天出版社

高等学校试用教材

机械设计基础

刘贵富 刘大维 主 编

薛 军 吴亚忠 副主编



蓝天出版社

机械设计基础

刘贵富 刘大维主编

*

蓝天出版社出版发行

(北京复兴路14号)

(邮政编码: 100843)

长春地质学院印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 16.81印张 420千字

1990年5月第1版 1990年5月第1次印刷

印数1-3500

ISBN7-80081-123-9/TH·1

定价: 6.28元

前 言

本书是根据国家教委课程教学指导小组制订的《机械设计基础教学基本要求》并结合编者多年的教学经验编写而成。在编写过程中,遵循“少而精”的原则,精选有关内容,着重阐明基本概念、基本理论、基本方法和基本技能,力求阐述清晰准确、条理分明和文字通顺。

本书可作为高等工科院校、职工大学、业余大学等近机类、非机类专业的试用教材。也可供有关工程技术人员参考。

参加本书编写的有:吉林工业大学刘大维(绪论、第三章)、崔可维(第二章);长春大学刘贵富(第十四章)、吴庆国(第十七章)、侯国春(第十八章);长春地质学院薛军(第十章);齐齐哈尔轻工学院张迎春(第一章)、姜玉英(第七章、第八章);哈尔滨轻工学院谢金强(第十五章);黑龙江矿业学院吴亚忠(第十一章);长春汽车高等专科学校杨兆华(第十六章、第十九章);吉化公司职工大学姬淑珍(第五章、第九章);长春冶金地质专科学校杨力(第十二章);装甲兵技术学校李闪(第四章)、杨会臣(第六章);上海水产大学朱镜(第十三章)。

本书由刘贵富、刘大维担任主编,薛军、吴亚忠担任副主编。

本书特邀吉林工业大学宋景文副教授、胡秉辰副教授,装甲兵技术学校王焜恩副教授担任主审,在此谨致以深切的谢意。

编 者

一九八九年十二月于长春

目 录

绪论

- § 0-1 本课程研究的对象及内容 1
- § 0-2 本课程的性质和学习目的 3

第一章 平面机构组成的基本知识

- § 1-1 平面机构的组成 4
- § 1-2 平面机构运动简图 5
- § 1-3 平面机构的自由度 7
- 思考题与习题 11

第二章 平面连杆机构

- § 2-1 平面四杆机构的类型及应用 14
- § 2-2 平面四杆机构的曲柄存在条件 18
- § 2-3 平面四杆机构的基本特性 20
- § 2-4 平面四杆机构的设计 22
- 思考题与习题 29

第三章 凸轮机构

- § 3-1 凸轮机构的应用和分类 31
- § 3-2 从动件常用运动规律 33
- § 3-3 用图解法设计凸轮的轮廓曲线 38
- § 3-4 用解析法设计凸轮的轮廓曲线 43
- § 3-5 凸轮机构的压力角和基圆半径 44
- 思考题与习题 47

第四章 齿轮机构

- § 4-1 齿轮机构的特点和类型 49
- § 4-2 齿廓啮合基本定律 50
- § 4-3 渐开线齿廓 51
- § 4-4 渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分名称和尺寸 53
- § 4-5 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动 56
- § 4-6 渐开线齿轮的加工原理 58
- § 4-7 根切现象、最少齿数及变位齿轮 61
- § 4-8 斜齿圆柱齿轮机构 66
- § 4-9 圆锥齿轮机构 71
- 思考题与习题 74

第五章 轮系

- § 5-1 轮系及其分类 76
- § 5-2 定轴轮系传动比的计算 77
- § 5-3 周转轮系传动比的计算 79
- § 5-4 混合轮系传动比的计算 81

- § 5-5 轮系的应用 82
- § 5-6 几种特殊的行星传动简介 84
- 思考题与习题 87

第六章 其他常用机构

- § 6-1 棘轮机构 89
- § 6-2 槽轮机构 91
- § 6-3 不完全齿轮机构 93
- § 6-4 组合机构 94
- 思考题与习题 95

第七章 机械速度波动的调节

- § 7-1 机械产生速度波动的原因及调节方法 96
- § 7-2 机械运转的平均速度和不均匀系数 97
- § 7-3 飞轮设计的近似方法 98
- 思考题与习题 101

第八章 机械的平衡

- § 8-1 机械平衡的目的和内容 104
- § 8-2 刚性转子的静平衡 104
- § 8-3 刚性转子的动平衡 106
- § 8-4 转子的许用不平衡量 109
- 思考题与习题 111

第九章 机械零件设计概论

- § 9-1 机械零件设计概述 113
- § 9-2 机械零件强度计算基础 114
- § 9-3 机械零件设计应遵循的原则 117
- § 9-4 机械制造常用材料及其选择 118

第十章 螺纹联接和螺旋传动

- § 10-1 螺纹的主要参数、类型和应用 122
- § 10-2 螺旋副的受力分析、效率和自锁 123
- § 10-3 螺纹联接类型及螺纹联接件 126
- § 10-4 螺纹联接的预紧和防松 128
- § 10-5 螺栓联接的强度计算 130
- § 10-6 螺旋传动 135
- 思考题与习题 138

第十一章 齿轮传动

- § 11-1 齿轮的失效形式及设计准则 140
- § 11-2 齿轮材料及热处理 142
- § 11-3 标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算 144
- § 11-4 斜齿圆柱齿轮传动的强度计算 151

§ 11-5	直齿圆锥齿轮传动的强度计算	153
§ 11-6	齿轮的结构	155
§ 11-7	齿轮传动的润滑和效率	157
	思考题与习题	158

第十二章 蜗杆传动

§ 12-1	蜗杆传动的特点和类型	160
§ 12-2	普通圆柱蜗杆传动的主要参数	162
§ 12-3	蜗杆传动的失效形式、材料和结构	164
§ 12-4	普通圆柱蜗杆传动的强度计算	166
§ 12-5	蜗杆传动的效率、润滑及热平衡计算	168
	思考题与习题	171

第十三章 带传动

§ 13-1	概述	172
§ 13-2	带传动工作情况分析	174
§ 13-3	V带和带轮	179
§ 13-4	普通V带传动设计计算	183
	思考题与习题	189

第十四章 链传动

§ 14-1	链传动概述	190
§ 14-2	链传动的运动特性	193
§ 14-3	链传动的设计计算	194
§ 14-4	链传动的布置、张紧和润滑	198
	思考题与习题	200

第十五章 轴及轴毂联接

§ 15-1	轴的分类和材料	201
§ 15-2	轴的结构设计	203
§ 15-3	轴的强度计算	205
§ 15-4	轴毂联接	209
	思考题与习题	212

第十六章 滚动轴承

§ 16-1	滚动轴承的类型、特点和应用	213
§ 16-2	滚动轴承的代号	215
§ 16-3	滚动轴承的选择和计算	216
§ 16-4	滚动轴承的组合设计	224
	思考题与习题	228

第十七章 滑动轴承

§ 17-1	概述	229
§ 17-2	滑动轴承的结构和材料	230
§ 17-3	润滑材料和润滑装置	232
§ 17-4	非液体摩擦滑动轴承的设计计算	234
§ 17-5	液体动压润滑滑动轴承	235
	思考题与习题	243

第十八章 联轴器和离合器

§ 18-1	概述	244
§ 18-2	联轴器	244
§ 18-3	离合器	248
	思考题与习题	252

第十九章 弹簧

§ 19-1	概述	253
§ 19-2	圆柱形螺旋拉压弹簧的结构	254
§ 19-3	圆柱形螺旋弹簧的制造、材料及 许用应力	256
§ 19-4	圆柱形螺旋拉压弹簧的设计	258
	思考题与习题	263

主要参考文献	264
--------	-----

绪 论

§ 0-1 本课程研究的对象及内容

“机械”是“机器”和“机构”的总称。

机器的种类是很多的。在日常生活和生产中，我们都接触过许多机器，例如发电机、内燃机、汽车、拖拉机、起重机、各种金属切削机床、洗衣机等。各种不同的机器，具有不同的形式、构造和用途。然而通过分析，我们可以看到，这些不同的机器却具有一些共同的特征。

如图 0-1 所示的内燃机，它是由气缸体 1、活塞 2、连杆 3、曲轴 4、齿轮 5 和 6、凸轮 7、进气阀推杆 8 等所组成。当燃气推动活塞 2 在气缸体 1 内作往复运动时，通过连杆 3 使曲轴 4 作连续转动，从而将燃气所产生的热能转换为曲轴转动的机械能。为了保证曲轴连续转动，要求可燃混合气定时进入气缸和废气定时排出气缸。这些动作可通过下述传动来实现，固定在曲轴 4 上的齿轮 5 随曲轴一同转动从而带动齿轮 6 转动，凸轮 7 和齿轮 6 固结在同一根轴上，凸轮 7 转动时通过进气阀推杆 8 推动阀门开启，从而使可燃混合气定时进入气缸 1 内（排气阀部分图中未画出）。又如发电机主要是由转子和定子所组成，当驱动转子回转时，发电机就把机械能转换为电能。从以上例子可以看出，机器具有下列特征：

- (1) 机器是一种人为的实物组合；
- (2) 机器的各部分之间具有确定的相对运动；

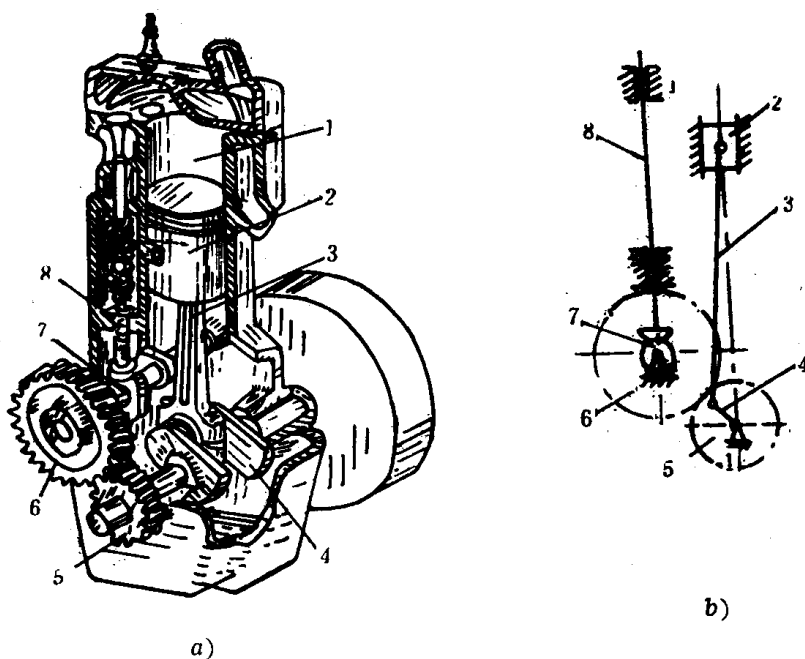


图 0-1

(3) 可以用来代替或减轻人类的劳动去完成有用的机械功(如起重机、金属切削机床和洗衣机)或转换机械能(如内燃机、发电机)。

至于“机构”，它仅具有机器的前两个特征，即机构也是人为的实物组合，而且各部分之间具有确定的相对运动。在图 0-1 中，活塞 2 (看作滑块)、连杆 3、曲轴 4 (即曲柄) 和气缸体 1 组成一个曲柄滑块机构，可将活塞的往复移动转变为曲轴的连续转动。凸轮 7、推杆 8 和气缸体 1 组成凸轮机构，将凸轮的连续转动变为推杆的有规律的往复移动。而曲轴、凸轮轴上的齿轮 5、6 和气缸体 1 组成齿轮机构，可使两端保持一定的转速比。由此可见，机器是由机构组成的。机构是用以实现某种确定运动的实物组合，而机器则是用来完成机械功或转化机械能的机构。最简单的机器只含一个机构，如电动机、鼓风机等。

组成机构的各个相对运动部分称为构件。构件可以是单一的零件，如内燃机中的曲轴(图 0-2)，也可以是几个零件组成的刚性联结。如图 0-3 所示的连杆即是由连杆体 1、连杆盖 2、轴瓦 3、4 和 5、螺栓 6、螺母 7、开口销 8 等零件所组成。这些零件组成一个整体而一起进行运动，所以称为一个构件。由此可见，构件是运动的单元，而零件是制造的单元。

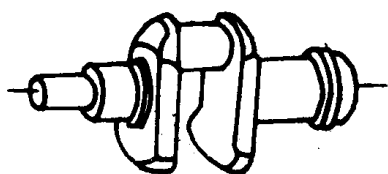


图 0-2

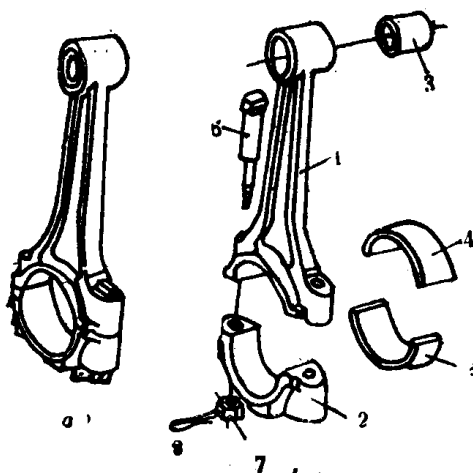


图 0-3

机器中普遍使用的机构称为常用机构，如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系和间歇运动机构等。

机械中的零件可以分为两类。一类称为通用零件，它在各种机械中都能经常遇到，如齿轮、螺钉、轴、弹簧等。另一类称为专用零件，它只出现于某些机械之中，如汽轮机的叶片、内燃机的活塞等。

“机械设计基础”主要研究机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和计算方法。

本课程的内容可分为机械原理和机械零件两大部分。本书前半部分属机械原理范围，主要研究各种常用机构的工作原理、运动学设计方法及机器动力学的基本知识(如机械的平衡及调速)；第九章以后属机械零件范围，主要研究具有一般性能参数的通用零件的工作原理、构造、维护使用和工作能力计算。机械原理部分主要是从运动学的

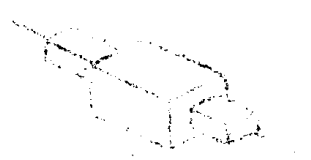
观点出发,着重分析各种常用机构的运动及设计。而机械零件部分则是从零件的工作能力(主要指强度、刚度、耐磨性等)出发研究各种通用零件。

§ 0-2 本课程的性质和学习目的

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。因此机械设计基础如同机械制图、电工学一样,是高等学校工科有关专业一门重要的技术基础课。它将综合运用机械制图、工程力学和金属工艺学等课程所学过的知识,为有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,使从事设计、工艺、运行、管理的技术人员,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,可以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,为以后从事技术革新奠定初步基础。

当前,科学技术的发展酝酿着重大的突破,电子计算机的出现和应用,对于机械的设计理论和计算方法,已经或正在发生着重大影响。最优化设计方法的应用已使机构和机械零部件的设计,从经验的试凑过程,变成为真正的设计过程,这不能不引起我们的足够重视。然而,在一般的机械设计中,有关传统的设计方法,如图解法、试凑法等,仍颇为实用。这是因为图解法具有形象直观、概念清晰、简单方便等优点。即使应用电子计算进行最优化设计,其实质也是一种试凑。只不过在试凑的方案数目和速度上,作为一般手工试凑是无可比拟的。但用传统的设计方法,加之以努力实践也是有可能接近于最优设计的。本书主要是介绍传统的设计方法。



第一章 平面机构组成的基本知识

由前述可知,机构是由构件组成,并且各构件之间具有确定的相对运动。如果组成机构的所有构件都在同一平面内或几个相互平行的平面内运动,则称这种机构为平面机构,否则称为空间机构。本章只研究平面机构的组成、机构运动简图绘制及机构具有确定运动的条件。

§ 1-1 平面机构的组成

为了研究构件是怎样组成机构以及平面机构具有确定运动的条件,必须先研究一下构件间的联接型式。

一、运动副及其分类

构件组成机构时,必须把构件相互联接起来,而且相互联接的两个构件间还必须具有一定的相对运动。两个构件相互接触并能产生相对运动的联接,则称为运动副。

按构件间相互接触方式,平面运动副可分为低副和高副两大类。

1. 低副

两构件通过面接触组成的运动副称为低副。根据它们的相对运动是转动或移动,又可分为回转副和移动副。

(1) 回转副 若组成运动副的两个构件只能在一个平面内作相对转动,这种运动副称为回转副,或称为铰链。如图 1-1, *a* 所示的轴 1 与轴承 2 组成的回转副,它有一个构件是固定的,故称为固定铰链。图 1-1, *b* 所示构件 1 与构件 2 也组成回转副,其两个构件都未固定,故称为活动铰链。例如图 0-1, *b* 中曲轴与气缸体所组成的回转副是固定铰链,活塞与连杆、连杆与曲轴所组成的回转副是活动铰链。

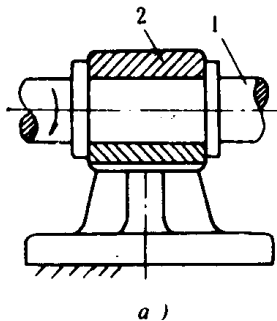


图 1-1

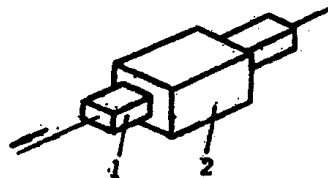
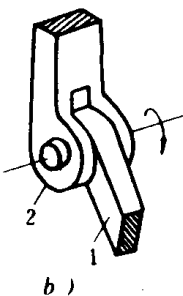


图 1-2

(2) 移动副 若组成运动副的两个构件只能沿某一方向相对移动,这种运动副称为移动副。图 1-2 中构件 1 与构件 2 组成的是移动副。图 0-1, *b* 中的活塞和气缸体组成的也是移动副。

2. 高副

两构件通过点或线接触组成的运动副称为高副。它们的相对运动是转动和沿切线 $t-t$ 方向的移动。图1-3, a 中的车轮1与钢轨2, 图 b 中的凸轮1与从动件2, 图 c 中的轮齿1和轮齿2, 分别在其接触处 A 组成高副。

此外, 常用的运动副还有图1-4, a 所示的球面副, 图1-4, b 所示的螺旋副, 它们都是空间运动副, 在本章不作讨论。

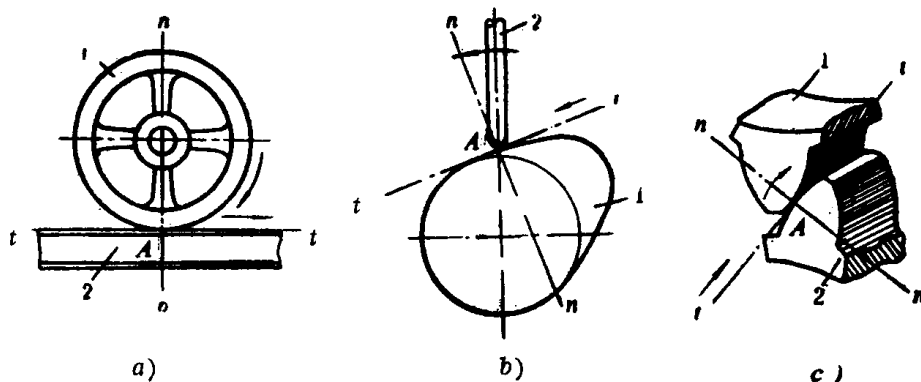


图 1-3

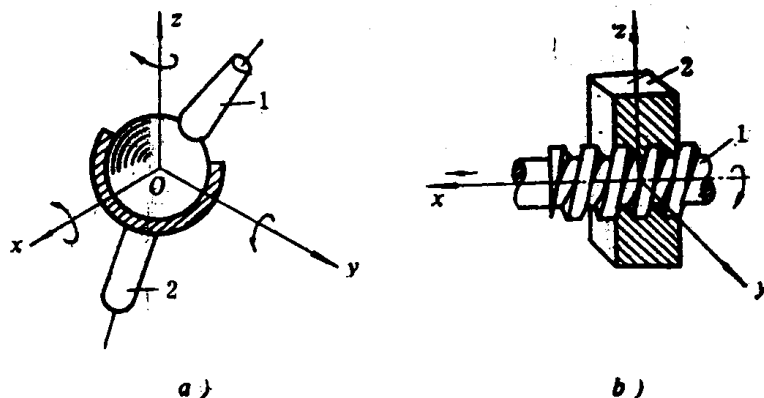


图 1-4

二、平面机构的组成

将构件用运动副联接起来, 其中支承其余运动构件的构件称为机架。当主动构件(又称原动件, 驱动力作用的构件)相对机架运动时, 从动件(被带动的构件)能实现确定的运动, 这样的构件组合体称为机构。

§ 1-2 平面机构运动简图

如前所述, 实际构件的结构往往很复杂, 在研究机构运动时, 为了使问题简化, 有必要撇开那些与运动无关的因素(如构件的形状、运动副的具体构造等), 仅用简单线条和符号表示构件和运动副, 并按一定比例定出各运动副的位置。这种说明机构各构件间相对运动关系的简单图形, 称为机构运动简图。机构运动简图符号可查阅GB4460-84, 表1-1中摘录了常用的一部分, 供画机构运动简图时参考。

表 1-1

机构运动简图常用符号

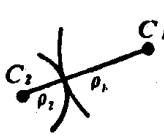
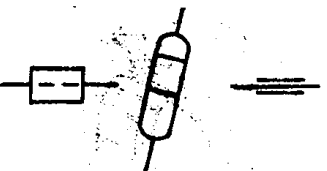
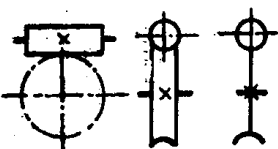
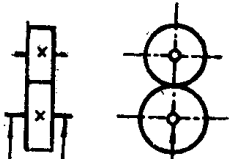
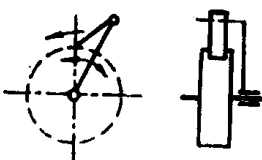
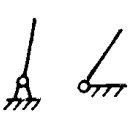
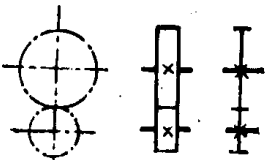
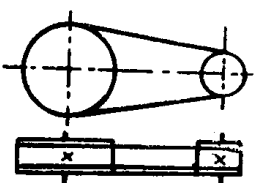
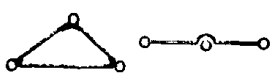
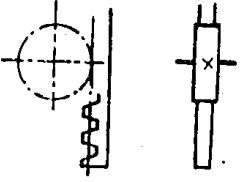
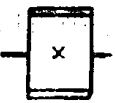
名称	符 号	名称	符 号	名称	符 号
线型规定	b , 表示一般机件轮廓 $2b$, 表示轴、杆类 $b/3$, 表示运动方向剖面线等 $b/3$, 表示轴线、齿轮、链条等	平面高副	曲面高副  凸轮高副 	圆锥齿轮啮合	
两构件组成移动副		两构件组成球面副		蜗杆蜗轮啮合	
两构件组成转动副	运动平面平行于图纸  运动平面垂直于图纸 	两构件组成螺旋副		带圆柱滚子的摩擦传动	
与机架组成移动副		与机架组成转动副	对心式  偏心式 	棘轮传动	
与机架组成转动副	运动平面平行于图纸  运动平面垂直于图纸 	外啮合圆柱齿轮		带传动	
一个构件与其他三个构件并接		齿轮齿条啮合		装在轴上的飞轮	

图 1-5, a 为偏心轮机构模型图, 其运动简图为图 1-5, b 。现 以此为例来说明绘制机构运动简图的步骤:

(1) 认清机架及主动件后, 按传动路线逐个分清各从动件, 并依次标上数字编号。

在图 1-5, a 中, 1 为机架, 偏心轮 2 为主动件。在主动件 2 的带动下, 通过连杆 3 使滑块 4 在水平导路中移动。

(2) 仍由主动件开始按传动路线逐个认清相邻两构件的相对运动性质, 据此确定

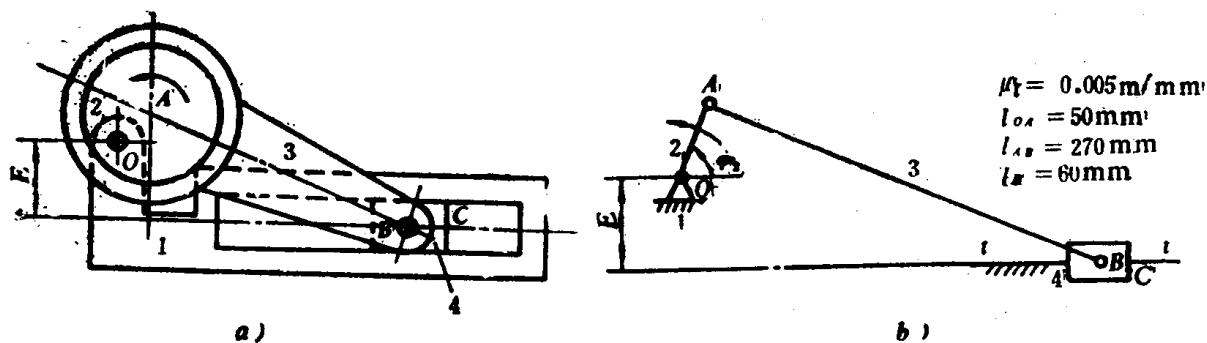


图 1-5

各运动副的类型，并对各运动副标上英文字母。

图 1-5, a 中, 偏心轮 2 绕固定中心 O 转动, O 处为回转副。偏心轮 又与连杆 3 的大端绕 A 点相对转动, A 处也是回转副。连杆的小端与滑块 4 相连, 两者绕 B 点相对转动, B 处也是回转副。滑块 4 在机架 1 的水平导路中移动, 故与机架用移动副相连。

(3) 把主动件固定在某一位置, 以此时的机构位置为作图位置。据此位置定出与构件运动情况有关的各尺寸要素, 回转副中心的位置、移动副导路的方位、平面高副的轮廓形状 (组成高副的两构件在该瞬时接触点的曲率中心位置及曲率半径) 等。

图 1-5, a 中量得回转副中心 O 与 A 之间的距离 $l_{OA} = 50\text{mm}$; 回转副中心 A 与 B 之间的距离 $l_{AB} = 270\text{mm}$, 移动副 C 的导路 $t-t$ 为水平方向, 它与回转副 O 的偏距 $l_E = 60\text{mm}$ 。图中以 $\varphi_2 = 70^\circ$ 为作图位置。

(4) 用一般规定的符号, 根据机构的实际尺寸按比例画出机构运动简图。

图 1-5, b 即为偏心轮机构模型的机构运动简图。图中构件 2 上的箭头表明它是主动件。

必须注意, 在机构运动简图中惯用的作图比例尺为 μ_l 。 μ_l 的单位是 m/mm , 即图上每毫米的长度代表实际尺寸多少米。为了对分析机构提供准确的数据, 在机构运动简图旁还应按要求的精度写明各运动副的实际相对位置尺寸, 如图 1-5, b 所示。

§ 1-3 平面机构的自由度

一、平面运动构件的自由度

在平面运动中, 任何一个独立的构件, 其运动可分解为三个独立运动 (图 1-6) 即沿 x 和 y 轴移动及在 xoy 面内的转动。构件的这种独立的运动称为自由度。构件的三个独立运动可用其上任一点 A 的 x 坐标、 y 坐标及其上任一直线 AB 的倾角 φ 三个独立的参变数来描述。所以, 构件的自由度数等于构件独立运动的参变数的数目, 一个作平面运动的独立构件具有三个自由度。

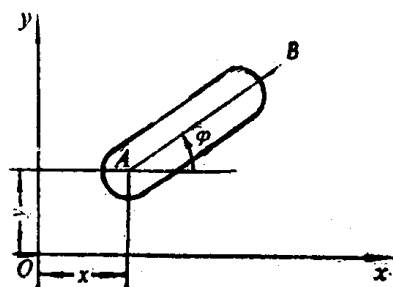


图 1-6

二、运动副的约束

构件组成运动副后, 其相互间有接触, 独立运动受到限制, 把对独立运动的限制称

为约束。显然运动副型式不同，其具有的约束数目也不同。对于图 1-1 所示的回转副，构件 2 相对构件 1 只能转动，而不能沿 x 及 y 轴移动，所以回转副引入两个约束。同理，图 1-2 所示的移动副也引入两个约束。图 1-3 所示的高副，构件 2 相对构件 1 在其接触点法线 $n-n$ 方向运动受到约束，在切线 $t-t$ 方向可移动，绕垂直于平面的轴可转动，所以高副引入一个约束。综上所述可知：平面低副引入两个约束，具有一个自由度；平面高副引入一个约束，具有两个自由度。

三、平面机构自由度的计算

一个平面机构由 N 个构件组成，其中一个构件为机架，活动构件数为 $n = N - 1$ 。在没有用运动副联成机构之前， n 个活动构件所具有的自由度总数为 $3n$ 。当用运动副将构件联接起来组成机构之后，则自由度总数就应减少。若该机构中低副数目为 p_L ，将引入 $2p_L$ 个约束；高副数目为 p_H ，将引入 p_H 个约束；则机构中全部运动副所引入的约束总数为 $(2p_L + p_H)$ 。活动构件自由度总数减去运动副约束总数就是该机构相对机架所具有的自由度数，称为机构的自由度，以 F 表示，即

$$F = 3n - 2p_L - p_H \quad (1-1)$$

上式表明，机构自由度 F 取决于活动构件的数目以及运动副的性质（低副或高副）和数目。

例 1-1 试计算图 1-5 所示偏心轮机构的自由度。

解 由其机构运动简图不难看出，此机构共有 3 个活动构件（即构件 2、3、4），4 个低副（即回转副 O 、 A 、 B 及移动副 C ）没有高副，故根据式 (1-1) 可求得机构自由度为

$$F = 3n - 2p_L - p_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$

例 1-2 试计算图 1-7 所示凸轮机构的自由度。

解 该机构中 $n=2$ ， $p_L=2$ ， $p_H=1$

$$F = 3n - 2p_L - p_H = 3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 = 1$$

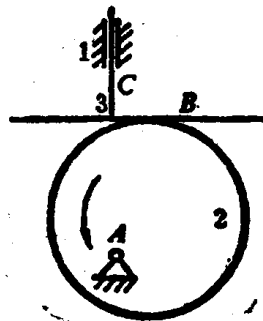


图 1-7

四、计算平面机构的自由度时应注意的事项

在计算机构的自由度时，往往会遇到按公式算出的自由度数与机构实际的自由度数不相符合的情况。这并非自由度计算公式有什么错误，而是在应用该公式计算机构的自由度时，某些应该注意的事项未能正确考虑的缘故。现将应注意的主要事项简述如下。

1. 复合铰链

两个以上的构件同时在一处以回转副相联接，就构成了所谓复合铰链。如图 1-8 所示，构件 1 与构件 2 和 3 组成两个回转副 A 和 B ，但由于在主视图上只能画出一个回转副，所以在计算自由度时常常容易错当成一个回转副来计算，而得出错误的结果。一般地说，若有 m 个构件在某点构成复合铰链，复合铰链处的回转副数则为 $(m-1)$ 个。

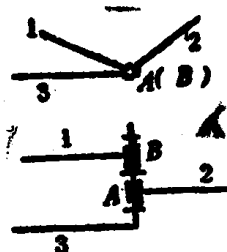


图 1-8

2. 局部自由度

在有些机构中，其某些构件所能产生的局部运动，并不影响其他构件的运动。我们把这种局部存在的对整个机构运动无关的自由度称为局部自由度。例如图 1-9，a 所示

的滚子从动件凸轮机构中,为了减少高副元素的磨损,在从动件和凸轮之间装了一个滚子3。此时在该机构中 $n=3$, $p_L=3$, $p_H=1$ 。

其自由度为

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times 3-2\times 3-1=2$$

但是,滚子3绕其自身轴线的转动并不影响其他构件的运动,因而它只是一种局部自由度。

如图1-9, b所示,如设想将滚子3和从动件2焊在一起,显然并不影响其他构件的运动。

但此时该机构却变为 $n=2$, $p_L=2$, $p_H=1$, 而其自由度为

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times 2-2\times 2-1=1$$

这个计算结果与我们通常认定该机构的实际自由度为1是一致的。因此,在计算机构的自由度时,应将机构中的局部自由度除去不计。

3. 虚约束

在机构中,有些运动副引入的约束,对机构的运动实际上起不到约束作用。我们将这类对机构运动实际上不起约束作用的约束称为虚约束。

例如在图1-10, a所示的平行四边形机构中,连杆3作平移运动,BC线上各点的轨迹,均为圆心在AD线上而半径等于AB的圆周。该机构的自由度为

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times 3-2\times 4=1$$

现如图1-10, b所示,在连杆3的BC线上的任一点E处再铰接一构件5,而该构件的另一端则铰接于E点轨迹的圆心——AD线上的F点处。即使构件5与构件2、4相互平行且长度相等。显然这对该机构的实际运动并不产生任何影响。但此时用式(1-1)计算该机构的自由度为

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times 4-2\times 6=0$$

这是因为加入了一个构件5(增加3个自由度)和两个回转副(引入4个约束)的结果,形式上引入了一个约束的缘故。如上所述,这个约束对机构的运动是不起约束作用的,因而它是一个虚约束。在计算机构的自由度时,应将虚约束除去不计。如果错误地将虚约束当作一般约束计算在内,则会得出错误的结果。例如图1-10, b所示的机构,由于未考虑到其中存在着虚约束,所以得出了由计算求出的自由度与机构实际的自由度不相符合的错误结果。而当将上述的一个虚约束除去后(可将引入此虚约束的构件5

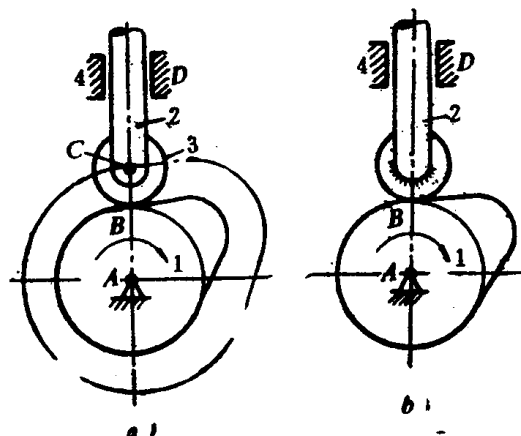


图 1-9

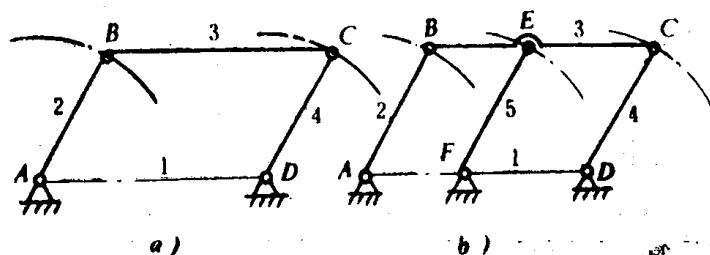


图 1-10

和两个回转副 E 、 F 全部除去不计)，则该机构的自由度为 1。

机构中的虚约束常发生在下列情况：

(1) 在机构中如果有两构件相联接，而当将此两构件在该联接处拆开后，两构件上的联接点的轨迹是互相重合的，则该联接引入 1 个虚约束。如上例所述就是这种情况。

(2) 如果两构件在几处接触而构成移动副，且在各接触处两构件相对移动方向是一致的（如图 1-11, a 所示机构中的移动副 D 、 D' ）；或两构件在几处配合而构成回转副，且各配合处两构件相对转动的轴线又是重合的（如图 1-11, b 所示机构中的回转副 A 、 A' ）；则在此情况下，当计算机构的自由度时，应只考虑一处所引入的约束，而将其余各处所引入的约束视为虚约束。

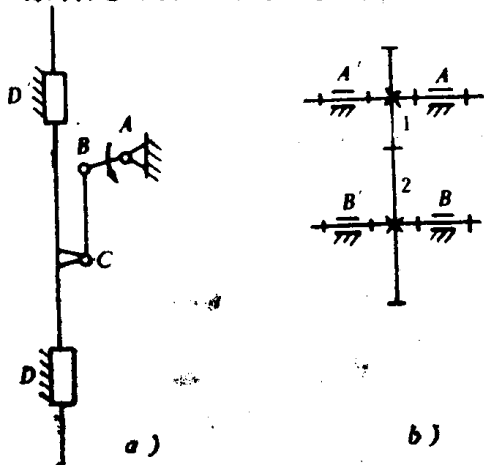


图 1-11

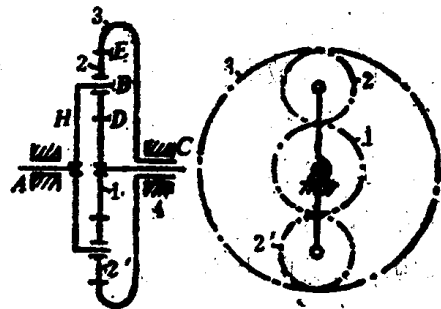


图 1-12

(3) 机构中对传递运动不起独立作用的对称部分。如图 1-12 所示轮系，中心轮 1 经过两个行星齿轮 2 和 2' 驱动内齿轮 3，其中有一个行星齿轮对传递运动不起独立作用，是虚约束，计算自由度时应除去。

由上所述可见，机械中的虚约束都是在一些特定的几何条件下出现的。如果这些几何条件不能满足，则原认为是虚约束的约束，就将变为实际有效的约束，而使机构的自由度减少。故从保证机构运动和便于加工装配等方面来说，应尽量减少机构中的虚约束。但在一些实际机械中，为了改善构件的受力情况、增加机构的刚度、或保证机械运动的顺利等目的，虚约束却往往是不可缺少的。

五、机构具有确定运动的条件

由前述可知，机构的自由度是指确定机构各构件位置（或运动）所需要的独立参变量的数目。若给机构输入的独立运动数目与机构的自由度数相等，则此机构就有确定的运动。在绝大多数情况下，主动件是和机架相联的，对这样的主动件一般只能给定一个独立的位置（或运动）参数。因此，在上述情况下，机构具有确定运动的条件是：机构中的主动件数目等于机构的自由度数。若主动件数比自由度数多，则可能导致机构中最薄弱环节的损坏。反之，若主动件数比自由度数少，则各构件的运动就不确定。

在分析现有机器或设计新机器时，须考虑所画出的机构运动简图应满足机构具有确定运动的条件，否则将导致结构组成原理上的错误。例如图 1-13, a 所示机构是错误

的。设计者的意图是想把主动件 2 的转动变为从动件 3 的移动。但是用公式 (1-1) 计算后知该机构的 $F = 0$ ，说明它是一个刚性结构而不是机构，此设计存在结构原理错误。图 1-13, b, c 给出了两种改进方案。它们的自由度都是 1，在运动上都达到设计要求。

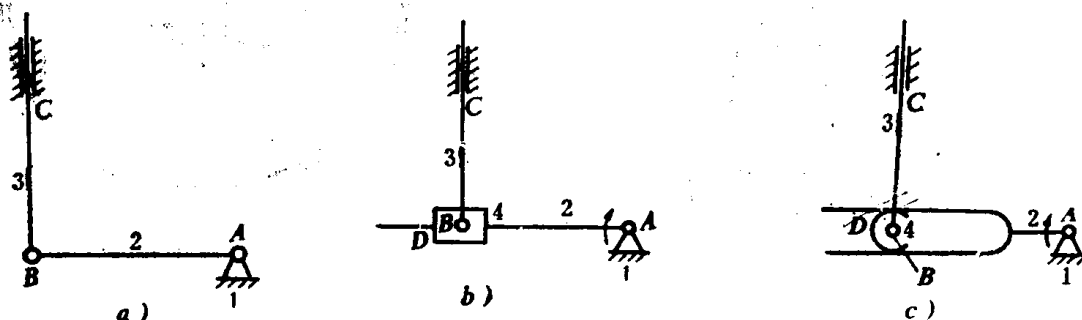


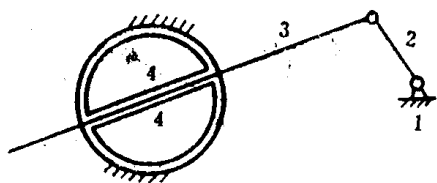
图 1-13

思考题

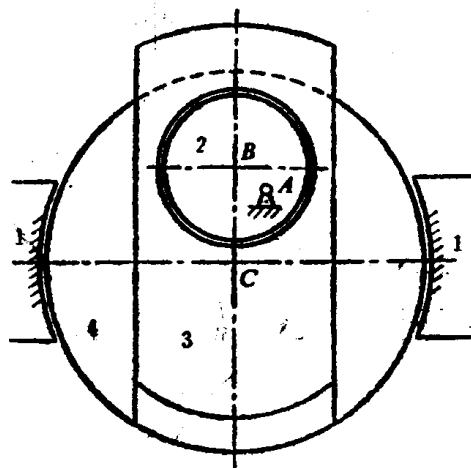
1. 何谓运动副？平面高副和平面低副的主要区别是什么？
2. 绘制平面机构运动简图的方法与步骤如何？
3. 计算平面机构自由度的目的是什么？如何进行计算？
4. 机构能够运动的条件是什么？机构具有确定运动的条件是什么？ $F=0$ 、 $F>$ 主动件数目各说明什么问题？

习题

1-1至1-4绘出图示机构的机构运动简图。



题 1-1图



题 1-2图