

仪表机构零件

冶金工业出版社

高等学校教学用书

仪表机构零件

东北工学院 施立亭 编

冶金工业出版社

高等学校教学用书
仪表机构零件
东北工学院 施立亭 编

冶金工业出版社出版
(北京市灯市口74号)
新华书店北京发行所发行
冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 24 3/4 字数 589 千字
1984年6月第一版 1984年6月第一次印刷
印数00,001~6,500册
统一书号: 15062·4128 定价2.55元

前 言

《仪表机构零件》系根据冶金部高等院校自动化仪表专业的教学计划编写的。

本书根据自动化仪表专业的要求，讲述了仪表中常用的机构和零部件的组成、构造、工作原理、传动规律及特性、特点、应用和设计计算。

本书加强了基础知识和基本理论的讲述，并使之与典型机构、零件的分析、设计密切结合。在讲述方法上，对有代表性的典型机构、零件进行较系统、全面地论述；对其他同类、不同型式的机构、零件，则着重讲明特点。

本书可作为高等学校自动化仪表类专业教材，亦可供仪器仪表维护、使用、研制的工程技术人员参考。

本书于一九八二年七月在沈阳召开了由北京工业学院、沈阳弹性元件厂、哈尔滨工业大学、海军第二炮兵学院、天津大学、沈阳化工学院、沈阳仪表工艺研究所、上海交通大学及东北工学院等参加的审稿会议。与会同志对书稿进行了全面、细致、认真的审查。提出了许多宝贵意见和建议。北京钢铁学院等热情地寄来了对书稿的审阅意见和建议。这对进一步完善书稿、提高书稿质量帮助很大，编者在此致以深切谢意。

根据审稿同志的意见和建议对书稿又进行了修改。最后由东北工学院刘茵同志审阅。限于编者水平，本书还会有不妥和错误之处，衷心希望使用本书同志批评指正。

编 者

一九八三年一月

目 录

第一章 机构的组成	1
第一节 构件和运动副	1
第二节 机构图	3
第三节 机构的自由度及确定运动的条件	6
第四节 平面机构的组成原理	9
习题	11
第二章 螺旋机构	14
第一节 概述	14
第二节 螺纹的形成、种类及参数	15
第三节 螺旋机构的传动规律	18
第四节 螺旋机构的摩擦和效率	19
第五节 滚珠螺旋传动	23
第六节 螺旋机构的回差及消除方法	23
习题	24
第三章 齿轮机构	26
第一节 概述	26
第二节 齿轮啮合基本定律	27
第三节 渐开线及其性质	28
第四节 齿轮的参数及标准渐开线齿轮传动的尺寸计算	31
第五节 渐开线齿轮传动速比的恒定性	34
第六节 渐开线齿轮传动保持恒速比啮合的条件	36
第七节 齿轮加工原理	37
第八节 齿轮的根切现象	39
第九节 变位齿轮	40
第十节 齿轮受力分析	46
第十一节 齿轮材料	46
第十二节 齿轮传动的回差及消除方法	47
第十三节 内啮合齿轮传动	49
第十四节 螺旋齿轮	51
第十五节 蜗杆传动	56
第十六节 圆锥齿轮传动	60
第十七节 齿轮传动设计的基本问题	63
第十八节 摆线齿轮传动	67
习题	70
第四章 轮系	73
第一节 定轴轮系(普通轮系)	73
第二节 动轴轮系(周转轮系)	76
第三节 轮系的效率	81

第四节	定轴轮系的速比分配	85
第五节	谐波齿轮传动	89
习题	.....	93
第五章	摩擦传动及柔韧件传动	96
第一节	摩擦轮传动	96
第二节	柔韧件摩擦传动	102
第三节	固定式柔韧件传动	109
第四节	柔韧件啮合传动	111
习题	.....	118
第六章	平面杆机构	120
第一节	概述	120
第二节	铰链四杆机构	121
第三节	其他类型的四杆机构	124
第四节	杆机构传动规律分析	126
第五节	杆机构受力分析	132
第六节	杆机构的特性补偿作用	136
第七节	四杆机构设计	136
第八节	直线杆机构	140
习题	.....	142
第七章	凸轮机构	144
第一节	概述	144
第二节	推杆的运动规律	146
第三节	凸轮机构的压力角	148
第四节	凸轮基圆半径的确定	150
第五节	用图解法画凸轮曲线	152
第六节	用解析法确定凸轮曲线	155
第七节	滚子半径的选择	158
习题	.....	159
第八章	间歇运动机构	160
第一节	槽轮机构	160
第二节	棘轮机构	164
第三节	摩擦式棘轮机构	169
第四节	齿轮间歇运动机构	170
第五节	擒纵机构	172
第六节	凸轮间歇运动机构	173
习题	.....	174
第九章	弹性元件	175
第一节	概述	175
第二节	螺旋弹簧	178
第三节	片簧	191
第四节	游丝和发条	199
第五节	张丝	203

第六节	热双金属片簧	206
第七节	膜片	213
第八节	波纹管	226
第九节	弹簧管	229
第十节	谐振弹性元件	233
习题	.....	235
第十章	支承及导轨	237
第一节	圆柱支承	237
第二节	轴尖支承和顶针支承	244
第三节	滚动支承	247
第四节	其他类型的支承	265
第五节	减少支承摩擦的方法	266
第六节	直线导轨	269
习题	.....	271
第十一章	轴、联轴器及离合器	273
第一节	轴	273
第二节	联轴器	278
第三节	离合器	286
习题	.....	289
第十二章	仪表零件的联接	291
第一节	概述	291
第二节	不可拆卸联接	291
第三节	可拆卸联接	299
习题	.....	315
第十三章	机构的平衡	317
第一节	机构平衡的意义	317
第二节	转动构件的静平衡	317
第三节	转动构件的动平衡	320
第四节	平衡的精度	322
第五节	机构的平衡	324
习题	.....	328
第十四章	显示装置	329
第一节	概述	329
第二节	标尺指针显示装置	329
第三节	记录装置	340
第四节	数字显示装置	345
第十五章	阻尼器	348
第一节	阻尼器的功用	348
第二节	运动系统的运动微分方程	348
第三节	阻尼器的构造及参数	351
第四节	阻尼器的设计计算	357
第十六章	减振器	360

第一节 概述	360
第二节 减振原理	360
第三节 减振器的结构	362
第四节 隔离仪表的减振器的选择计算	366
第五节 隔离振动源的减振器的设计计算	367
习题	370
附录	371
附表 1 常用单位及换算表	371
附表 2 材料的摩擦系数	373
附表 3 机械传动效率	374
附表 4 滚动摩擦系数	375
附表 5 材料的线膨胀系数 α	375
附表 6 超轻系列单列向心球轴承	376
附表 7 轻窄系列单列向心球轴承	378
附表 8 特轻及轻窄系列单列向心推力球轴承	380
附表 9 轻窄系列单列向心推力球轴承	382
附表 10 特轻系列单列推力球轴承	384
主要参考文献	386

第一章 机构的组成

第一节 构件和运动副

在机械或仪表中，多个构件用运动副联接起来、作确定运动的构件系统称为机构。

所谓构件是指机构中作相对运动的各个物体；是机构的运动单元。最简单的构件只有一个零件。例如图1-1a所示仪表中称为“连杆”的构件，就是用钢丝制成Π形的一个零件；形状复杂的构件，为便于制造、安装，通常由若干个零件组成。如图1-1b所示机器中的“连杆”构件，由连杆身1，连杆头2，衬套3和4，螺栓5，螺母6等几个零件组成。

所谓零件是制造单元。

机构的构件有主动构件、从动构件和固定构件之分。机构中作独立运动的构件称为主动构件或原动构件。实现要求的运动规律的随动构件称为从动构件。机构中常把机架作为固定构件，其他构件的运动都是相对于固定构件而言。

所谓运动副，是构件之间相互接触的活动联接部分。它由被联接构件各自参与接触的部分组成。构件参与接触的部分称为运动副元素。常用运动副列于表1-1。点、线接触的运动副称为高副；面接触的称为低副。运动副的特点是：既限制了两构件的某些相对运动、又允许一定的相对运动。

一个在空间不受限制的物体共有六个独立运动。独立运动的数目称为自由度。如图1-2所示，物体AB在xyz坐标系的六个自由度是：沿x、y和z轴的三个移动和绕x、y和z轴的三个转动。

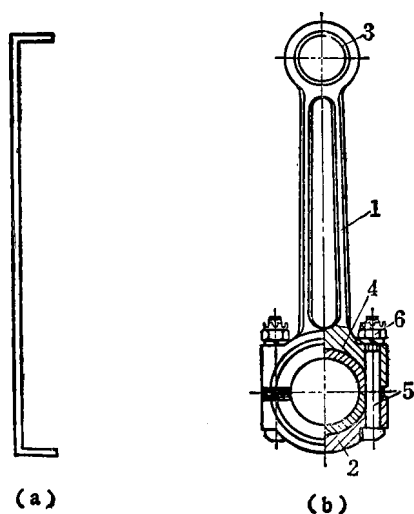


图 1-1 构件

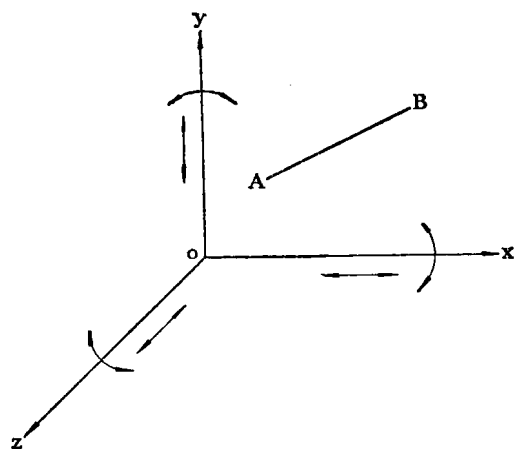
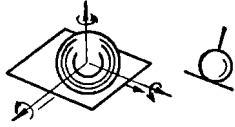
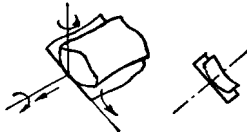
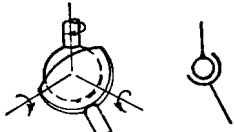
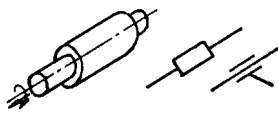
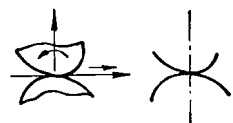
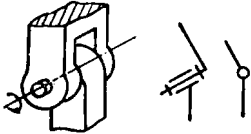
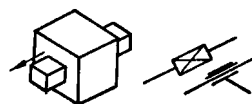
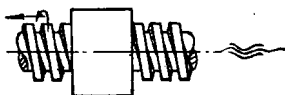


图 1-2 物体的独立运动

对独立运动的限制称为约束。根据运动副具有的约束数目，运动副被分为五级（见表1-1）：

表 1-1 常用各级运动副及代表符号

级 别	约 束 数	自 由 度	图 形 及 简 图								
I	1	5	运动数	回 转	移 动						
			许可的	3	2						
			约束的	0	1						
											
II	2	4	运动数	回 转	移 动						
			许可的	2	2						
			约束的	1	1						
			曲面副 								
III	3	3	运动数	回 转	移 动						
			许可的	3	0						
			约束的	0	3						
			球面副 								
IV	4	2	运动数	回 转	移 动	运动数	回 转	移 动	运动数	回 转	移 动
			许可的	1	1	许可的	2	0	许可的	1	1
			约束的	2	2	约束的	1	3	约束的	2	2
			圆柱副 			球销副 			平面高副 		
V	5	1	运动数	回 转	移 动	运动数	回 转	移 动	运动数	回 转	移 动
			许可的	1	0	许可的	0	1	许可的	1(0)	0(1)
			约束的	2	3	约束的	3	2	约束的	2(3)	3(2)
			转动副 			移动副 			螺旋副 		

- I 级副——具有一个约束，允许五个自由度；
- II 级副——具有两个约束，允许四个自由度；
- III 级副——具有三个约束，允许三个自由度；
- IV 级副——具有四个约束，允许两个自由度；
- V 级副——具有五个约束，允许一个自由度。

第二节 机 构 图

设计新仪表或分析已有仪表时，往往先画出它的框图和机构图。

仪表虽然种类繁多，构造及工作原理各异，但其共同作用是将人们不能直接感受的被测参数或信息，转换成能直接感受的形式。就检测仪表而言，通常包括三个基本部分：

- (1) 接收及变换部分——将被测参数转换成相应的位移或电参数的敏感元件；
- (2) 传递放大部分——将敏感元件的位移或电参数用传动放大机构或放大器放大，驱动执行部分，并满足仪表精度要求；
- (3) 执行部分——将被测参数显示出来，如示数装置、记录装置等。

表示仪表各基本组成部分相互关系及作用的原理图称为仪表的框图，如图 1-3 所示。

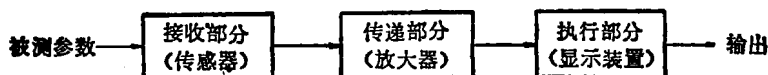


图 1-3 检测仪表框图

从运动观点看，仪表由若干构件组成；从结构方面看，则由若干零件组成。如果按照机械制图标准画仪表结构图不但费时，而且不能一目了然地表示出机构的运动关系，为了表示机构的运动情况，工程上常采用一种简化图，称为机构图。

机构图是用规定符号代表构件和运动副，表示机构运动关系的简图。例如图 1-4a 是弹簧管压力表的结构图，图 1-4b 是其传动放大机构的局部放大图，图 1-4c 则是它的机构图。

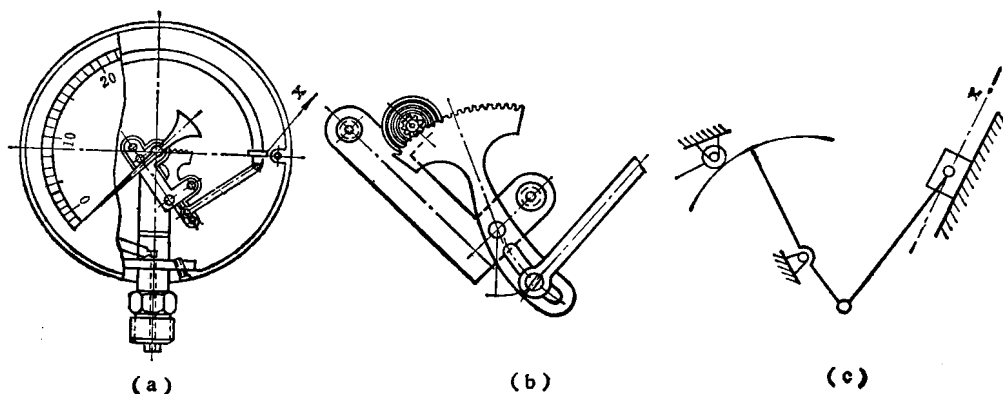
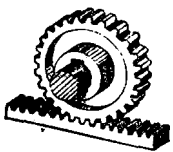
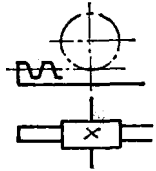
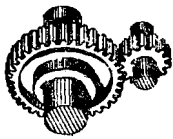
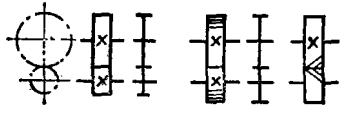
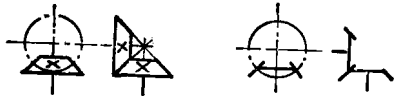
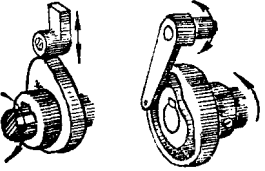
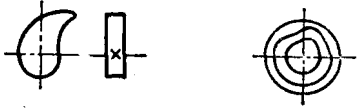
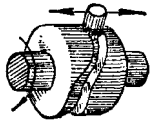
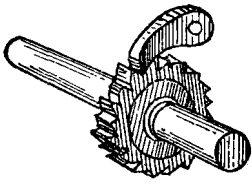
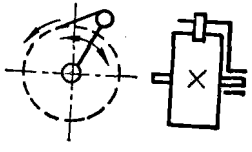
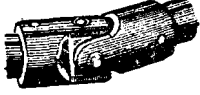
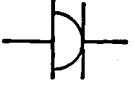
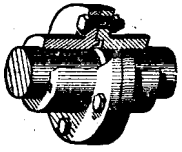
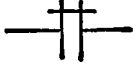


图 1-4 弹簧管压力表

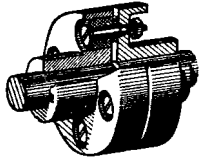
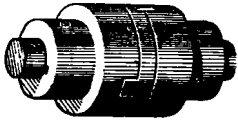
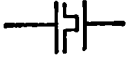
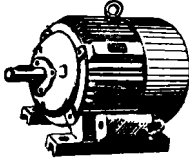
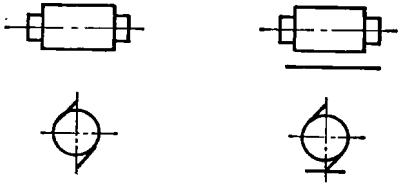
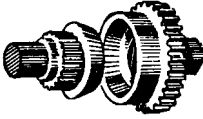
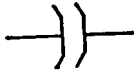
表 1-2 机构图的代表符号

名 称	立 体 图 样	代 表 符 号
与固定构件 组成移动副		
两运动构件 组成移动副		
与固定构件 组成转动副		
两运动构件 组成转动副		
两构件组成螺旋副		
三角带传动		
平型带传动		
链 传 动		
蜗杆传动		

续表 1-2

名 称	立 体 图 样	代 表 符 号
齿条传动		
圆柱齿轮传动		
圆锥齿轮传动		
凸轮机构		
圆柱凸轮机构		
棘轮机构		
万向联轴器		
刚性联轴器		

续表 1-2

名 称	立 体 图 样	代 表 符 号
弹性联轴器		
十字滑槽联轴器		
电 动 机		
摩擦离合器		
单向啮合式离合器		

常用构件、运动副及机构的规定代表符号列于表1-2。

画机构图的方法如下：

- (1) 分析机构的组成和结构，观察清楚机构包含的构件、运动副的数量及类型；
- (2) 选择画图平面，通常选择多数构件的运动平面作为画图平面；
- (3) 用规定符号表示构件和运动副，而不管它们的实际形状和大小；
- (4) 各运动副的相对位置尺寸与实际机构的尺寸保持相同。因为运动副相对位置尺寸直接影响机构的运动规律。

第三节 机构的自由度及确定运动的条件

一、机构的自由度

机构的自由度是机构相对于机架所具有的独立运动数目，可按下式计算：

$$w = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1$$

或

$$w = 6n - \sum_{k=1}^5 k p_k \quad (1-1)$$

式中 w ——机构的自由度；

n ——机构的活动构件数目；

p_5 ——机构的Ⅴ级运动副数目；

p_4 ——机构的Ⅳ级运动副数目；

p_3 ——机构的Ⅲ级运动副数目；

p_2 ——机构的Ⅱ级运动副数目；

p_1 ——机构的Ⅰ级运动副数目；

k ——正整数， $k=1,2,3,4,5$ 。

若机构所有构件均在同一平面或平行平面中运动，该机构称为平面机构，例如 图 1-4 所示压力表机构。作 xoy 平面运动的自由物体，具有三个公共约束：沿 z 轴移动和绕 x 、 y 轴转动；它只有三个自由度：绕 z 轴转动和沿 x 、 y 轴移动，参看图 1-2。平面机构各运动副约束应该除去公共约束，即平面机构中只含有Ⅴ级副（具有 $5-3=2$ 个约束）和Ⅳ级副（具有 $4-3=1$ 个约束）。平面机构的自由度计算公式为：

$$w = 3n - 2p_5 - p_4 \quad (1-2)$$

例 1-1 计算图 1-5 所示机构的自由度。

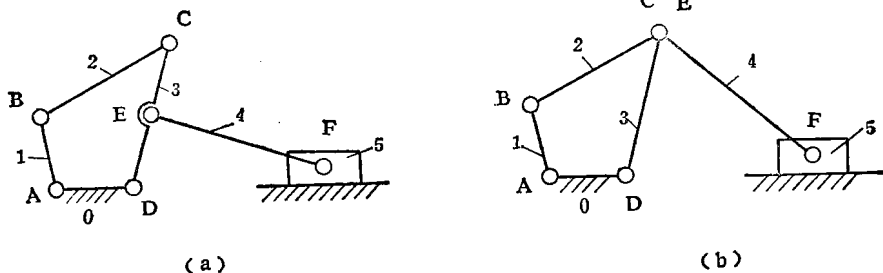


图 1-5 六杆机构

由图 1-5a 知，这是一个平面六杆机构，活动构件 $n=5$ ，Ⅴ级副 $p_5=7$ （包括转动副 A，B，C，D，E，F 6 个，移动副 1 个），Ⅳ级副 $p_4=0$ ，由式 (1-2)：

$$w = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \times 5 - 2 \times 7 - 0 = 1$$

该机构有 1 个自由度，是构件 1 绕铰链 A 的自由转动，构件 1 是主动构件。

图 1-5b 所示机构与图 1-5a 的机构基本相同，只是将转动副 E 移到 C 的位置，使二者重合，组成复合转动副。如图 1-6 所示，由 3 个构件组成的复合转动副，转动副数目 $p_5=2$ ；显然由 k 个构件组成的复合转动副的数目为 $p_5=k-1$ 个。故图 1-5b 所示机构的自由度仍为 1。

例 1-2 计算图 1-7 所示凸轮机构的自由度。

此机构为平面机构。

由图1-7a知: $n=3$, $p_5=3$, $p_4=1$, 由式 (1-2) 计算出:

$$w = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \times 3 - 2 \times 3 - 1 = 2$$

实际上图1-7a所示凸轮机构与图1-7b所示机构具有相同的自由度, 均为 $w=1$, 对于图1-7b所示的机构有:

$$w = 3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 = 1$$

在图1-7a所示机构中, 为减轻高副元素磨损, 在凸轮 1 与推杆 2 之间安装滚子 3。显然滚子 3 绕其轴线 A 转动, 即滚子 3 的转动自由度, 并不影响其他构件的运动, 这样的自由度称为局部自由度。计算机构自由度时, 应将局部自由度除去不计。

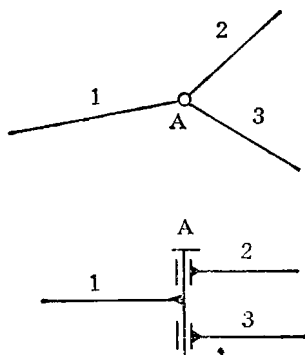


图 1-6 复合转动副

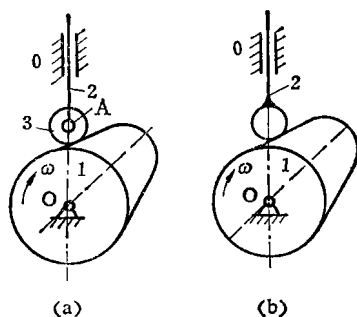


图 1-7 凸轮机构

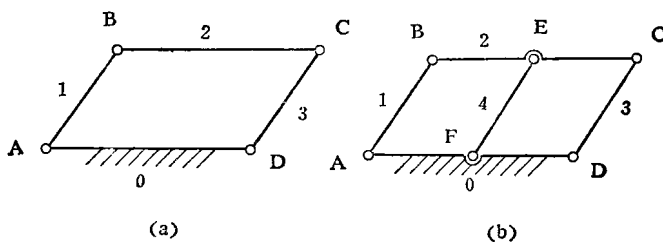


图 1-8 平行连杆机构

例1-3 计算图1-8所示平行连杆机构的自由度。

此机构为平面机构, 对图1-8b所示五杆机构: $n=4$, $p_5=6$,

$$\therefore w = 3 \times 4 - 2 \times 6 = 0$$

但是机构的实际自由度为 1; 与图1-8a所示平行四连杆机构具有相同的自由度:

$$w = 3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$$

由于在图1-8b所示机构中, 加上 1 个构件 4 和两个运动副 E、F, 即引入 1 个约束条件, 所以计算出的机构自由度为零。但是, ABCD 是平行四边形, 构件 2 作平面平行运动, 即构件 2 上各点均作以 $AB=CD$ 为半径的圆运动; 而新引入的约束条件, 也是使构件 2 上的点 E 作同样的圆运动, 与原有约束重复, 对机构的实际运动并没有新的约束作用, 这种约束称为虚约束。计算机构自由度时, 应将虚约束除去不计。故图1-8b所示机构实际自由度为 $w=1$ 。

从上面例题看出, 计算机构自由度时必须正确判断:

- (1) 机构有无复合转动副? 如果有, k 个构件组成的复合转动副的数目为 $(k-1)$;
- (2) 机构有无局部自由度? 如果有, 计算机构自由度时, 应除去不计;
- (3) 机构有无虚约束? 如果有, 计算机构自由度时, 应除去不计。

二、机构确定运动的条件

工程上为了便于对机构的控制, 通常使一个主动构件具有一个独立运动, 即具有一个自由度。

机构主动构件通常是直接或通过其他传动机构与原动机相连的构件。例如作转动的主动构件常由电动机驱动, 作移动的主动构件可由直线电机或活塞式原动机等驱动。这样, 主动构件的独立运动就按原动机的规律运动, 其他构件随之作相应的规律运动。

机构确定运动的条件是: 机构的自由度等于主动构件数目。当主动构件由单独原动机驱动时, 机构的自由度也就是机构需要的原动机数目。例如计算出机构自由度 $w=1$, 表明机构有 1 个主动构件, 需要一个原动机驱动。

第四节 平面机构的组成原理

我们知道, 机构是由构件和运动副组成的。最简单的机构是由两个构件和一个低副组成, 如图1-9所示。图1-9a 是用转动副联接两个构件, 如电动机、发电机、风机及涡轮流量计等均属这种机构; 图 1-9b 为用移动副联接两个构件, 如直线电机、汽缸-活塞机构等均属这种机构。

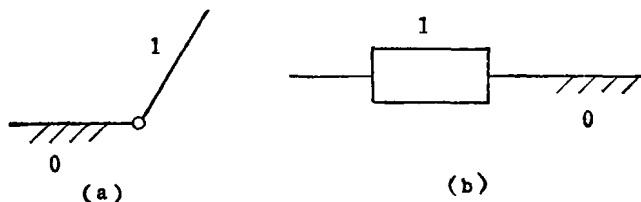


图 1-9 两杆机构

应用最广泛的平面四杆机构, 是由四个构件和四个低副组成, 如图1-10所示。根据转动副、移动副的数目和位置不同, 可组成不同型式的平面四杆机构。

很明显, 三个构件用三个转动副联接起来, 不是机构而是个刚架, 如图1-11所示。

以图1-10a所示铰链四杆机构为例, 分析机构的组成。该机构的自由度 $w=1$, 机构有 1 个主动构件, 即构件 1。试将该机构的主动构件 1 和机架 0 拆掉, 剩下的是由两个构件 2 和 3、三个转动副 B、C 和 D 组成的运动链 (由运动副和构件组成的构件系统称为运动链)。该运动链的自由度 $w=3n-2p_5=3 \times 2-2 \times 3=0$, 是个零自由度运动链, 如图1-12所示。其中与其他构件联接的运动副 B 和 D (本例中运动副 B 和主动构件 1、运动副 D 和机架 0 联接) 称为待联接运动副。