

● 高等学校教学用书 ●

仪表机构零件

(修订版)

GAODENG XUEXIAO JIAOXUE YONGSHU



冶金工业出版社

高等学校教学用书

仪表机构零件

(修订版)

北方工业大学 施立亭 编

冶金工业出版社

(京)新登字036号

高等学校教学用书
仪表机构零件
(修订版)

北方工业大学 施立亭 编

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店总店科技发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16印张 21 3/4 字数 517 千字

1992年10月第一版 1992年10月第一次印刷

印数00,001~5,000册

ISBN 7-5024-1066-X
TP·41(课) 定价5.55元

修 订 版 前 言

根据冶金部高等院校自动化仪表专业类教学计划的要求,编写了本书第一版,并于1984年6月出版。按照冶金部、有色金属工业总公司高等院校本科教材出版选题规划会议的要求,对本书第一版进行全面修订。

修订版保持了第一版的特点:专业针对性强,课程内容密切结合专业需要;理论分析紧密结合设计应用;根据内容的内在联系组成“仪表机构零件”新体系;每章均编选丰富的例题、习题,方便教学,有利自学;采用“典型讲全面,一般讲特点”的方法,解决内容多与学时少的矛盾。

修订版除了对全书文字进行修改,使之更加准确、精炼和流畅外,还做了如下修改:对局部章节重新编写,对某些概念、原理阐述更加清楚、易懂;进一步贯彻少而精的原则,删掉过深、不常用及陈旧内容,约占第一版的百分之十五以上,例如变位齿轮公式推导,曲片簧计算及滚动轴承计算表格等;增写了绪论,阐明课程的性质、研究内容、特点及在教学计划中的地位,自动化仪表专业类的工程技术人员掌握本课程有关知识的必要性;每章的开始增写内容摘要,介绍该章的研究内容及其相互联系、重点和难点,有利于提高学习的目的性。

本修订版书稿于一九九一年八月在北京召开了审稿会议,北京理工大学盛鸿亮教授,北京科技大学龙树德副教授,东北工学院陈晓波讲师对书稿进行了全面、细致和认真的审查,提出许多宝贵意见和建议,在此致以深切谢意!

修订版书稿最后由北方工业大学刘茵审阅。

编者水平有限,本书修订版仍会存在缺点、错误,敬请读者批评指正。

编 者

一九九一年八月

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要求编写的。

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副教授审阅。

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

绪论	1
第一章 机构组成原理	3
第一节 机构和运动副	3
第二节 机构图	5
第三节 机构的自由度	8
第四节 平面机构的组成原理	11
习题	13
第二章 螺旋机构	15
第一节 概述	15
第二节 螺纹的形成、种类及参数	16
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 滚珠螺旋传动简介	23
第六节 螺旋机构的回差及消除方法	24
习题	25
第三章 齿轮机构	27
第一节 概述	27
第二节 齿轮啮合基本定律	28
第三节 渐开线及其性质	29
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	35
第七节 齿轮加工原理	37
第八节 齿轮的根切现象	38
第九节 变位齿轮	39
第十节 齿轮受力分析	43
第十一节 齿轮材料	43
第十二节 齿轮传动的回差及消除方法	45
第十三节 内啮合齿轮传动	46
第十四节 螺旋齿轮	48
第十五节 蜗杆传动	52
第十六节 圆锥齿轮传动	56
第十七节 齿轮传动设计的基本问题	58
第十八节 摆线齿轮传动	62
习题	65
第四章 轮系	67
第一节 定轴轮系(普通轮系)	67

第二节 动轴轮系(行星轮系)	70
第三节 轮系的效率	75
第四节 定轴轮系的速比分配	79
第五节 谐波齿轮传动简介	82
习题	85
第五章 柔韧件传动	88
第一节 柔韧件摩擦传动	88
第二节 柔韧件啮合传动	95
第三节 固定式柔韧件传动	103
习题	106
第六章 平面杆机构	108
第一节 概述	108
第二节 铰链四杆机构	110
第三节 其他类型的四杆机构	113
第四节 杆机构传动规律分析	115
第五节 杆机构的压力角与“死点”	121
第六节 杆机构的特性补偿作用	122
第七节 四杆机构设计	123
第八节 直线杆机构	127
习题	129
第七章 凸轮机构	131
第一节 概述	131
第二节 推杆的运动规律	133
第三节 凸轮机构的压力角	135
第四节 用图解法画凸轮曲线	137
第五节 用解析法确定凸轮曲线	141
第六节 滚子半径的选择	143
习题	144
第八章 间歇运动机构	146
第一节 槽轮机构	146
第二节 棘轮机构	150
第三节 摩擦式棘轮机构	154
第四节 齿轮间歇运动机构	155
第五节 擒纵机构	157
习题	158
第九章 弹性元件	159
第一节 概述	159
第二节 螺旋弹簧	163
第三节 片簧	176
第四节 游丝和发条	181
第五节 张丝	185
第六节 热双金属片簧	188

第七节 膜片	196
第八节 波纹管	208
第九节 弹簧管	211
第十节 谐振弹性元件	216
习题	217
第十章 支承及导轨	220
第一节 圆柱支承	220
第二节 轴尖支承和顶针支承	227
第三节 滚动支承	230
第四节 其他类型的支承	244
第五节 减少支承摩擦的方法	248
第六节 直线导轨	250
习题	253
第十一章 轴及联轴器	255
第一节 轴	255
第二节 联轴器	259
习题	266
第十二章 仪表零件的联接	267
第一节 概述	267
第二节 不可拆卸联接	268
第三节 可拆卸联接	275
习题	282
第十三章 转动构件的平衡	283
第一节 机构平衡的意义	283
第二节 转动构件的静平衡	284
第三节 转动构件的动平衡	286
第四节 平衡的精度	288
习题	290
第十四章 显示装置	291
第一节 概述	291
第二节 标尺指针显示装置	291
第三节 记录装置	302
第四节 数字显示装置	306
习题	306
第十五章 阻尼器	307
第一节 阻尼器的功用	307
第二节 运动系统的运动微分方程	307
第三节 阻尼器的构造及参数	311
第四节 阻尼器的设计计算	316
习题	318
第十六章 减振器	319
第一节 概述	319

第二节 减振原理	319
第三节 减振器的结构	321
第四节 隔离仪表的减振器的选择计算	322
第五节 隔离振动源的减振器的设计计算	324
习题	327
附录	328
附表 1 常用单位及换算表	328
附表 2 材料的摩擦系数	329
附表 3 机械传动效率	330
附表 4 滚动摩擦系数	331
附表 5 材料的线膨胀系数 α	331
附表 6 仪器仪表轴承——深沟球轴承	332
附表 7 角接触球轴承分离型 $d3-30mm$	336
主要参考文献	338

绪 论

第一节 “仪表机构零件”研究内容

“仪表机构零件”是研究仪器仪表通用机构及零件、部件的分析及设计的一门课程。

通用机构及零件、部件的分析，是剖析通用机构及零件、部件的组成、结构、工作原理及性能。通用机构及零件、部件的设计，是根据仪器、仪表的具体要求确定机构及零件、部件的类型、结构、参数、性能、材料及加工工艺。

仪器仪表通常由若干类型的机构和零件、部件组成。“零件”是由同一材料制成的、未经任何装配工序的加工件，是仪器仪表的制造单元。仪器仪表中经常使用的零件称为通用零件，例如弹性元件、螺钉、轴等。只适用于特定类型仪器仪表的零件称为专用零件，例如光栅、磁尺等。为完成某种特定功能，由多个零件组成的装配体称为部件，例如减速器、阻尼器、减振器等。

“机构”是具有确定相对运动的物体的组合，完成传递、变换运动的功能，例如齿轮机构、连杆机构、凸轮机构等。

第二节 “仪表机构零件”在仪表类专业教学计划中的作用及任务

自动化仪表通常是泛指自动检测、控制生产过程参数的仪表。按照生产过程参数可分为三大类：

- 一、热工量仪表，例如温度、流量及压力检测及控制仪表；
- 二、机械量仪表，例如位移、厚度、长度、宽度、速度、加速度、振动、重力、轧制力、张力及转矩等检测及控制仪表；
- 三、成分量仪表，例如合金的各种成分含量、水分、湿度、酸度及各种气体含量的检测、分析及控制仪表。

若全面剖析上述自动化仪表的组成、结构及工作原理，自动化仪表通常包含三部分：

- 一、应用各种物理、化学效应及定律制成的检测元件或传感器。例如应用热电效应，光电效应、压电效应、压磁效应及应变效应等制成的检测元件及传感器；
- 二、电子器件（包括微型计算机器件）。它将传感器输出的电信号进行放大、处理（包括滤波、运算、变换、补偿等）判断、显示……。
- 三、机械装置。它是任何仪器仪表不可缺少的组成部分，在整个仪器仪表中占的比重，因仪表的工作原理、使用要求不同而异。在某些仪表中机械装置起着关键作用，例如椭圆齿轮流量计通过一对椭圆齿轮将流体的流量转换成椭圆齿轮的转数（参看图3-3），动圈仪表通过在磁场中可旋转的游丝和线框，将流过线框的电流转化成线框的偏转角（参看图9-34），称重仪表中通过贴在弹性体上的应变片，将重量变换成电压信号（参看图9-22 d）。在一些电子仪表中虽然没有机械检测元件和传动机构，但各种联接零件和仪表机架

仍是必不可少的。

综上所述，仪器仪表类型专业的学生，必需具有一定的机械知识和技能才能胜任专业技术工作。

第三节 “仪表机构零件”的教学要求

“仪表机构零件”是仪表类型专业教学计划要求的知识结构的组成部分。在高等数学、物理、工程力学、工程制图及金属工艺等已修课程的基础上，通过本课程的教学达到以下要求：

- 一、了解一定的机械基础知识，例如仪表弹性元件的类型、功用、参数及特性等；
- 二、掌握一定的机械分析及设计的基本理论，例如仪表弹性元件的刚度分析、强度分析等；
- 三、具有初步地独立分析、解决仪表中机械方面问题的能力，例如对已有仪表机械部分的分析能力及对仪表通用机构和零件、部件的初步设计能力。

第四节 “仪表机构零件”的特点

“仪表机构零件”是自动化仪表类专业的技术基础课程。就其研究内容及方法而言，有以下特点：

一、考虑问题的综合性

“仪表机构零件”综合运用先修课程的知识来解决实际工程技术问题——仪表通用机构零件部件的分析及设计。

设计时，要综合考虑对所设计机构或零、部件的技术要求及性能，例如精度、刚度、强度、工艺性、可靠性、经济性等。但保证上述各项技术性能，并非等量齐观，而是在满足工作要求的主要技术性能的前提下，兼顾其它要求。

设计过程与解数学题不同，后者通常可求得唯一解，前者则往往有多种可行方案，要进行分析比较选取最优方案作为设计方案。

二、不同机构零件研究方法的同一性

通用机构零件部件类型繁多，但其研究方法基本相同，大体从三方面进行论述：

1. 结构、功用、工作原理及特点；
2. 参数分析及计算；
3. 分析、设计及应用实例。

注意本课程的特点，对提高教学质量可收到事半功倍的效果。

第一章 机构组成原理

内 容 摘 要

本章从运动学观点介绍有关机构的若干基本概念，运动副的性质，机构的自由度计算及其意义，进而说明平面机构的组成原理。

“机构运动简图”简称“机构图”是研究机构运动学、动力学常用的工程简图，本章介绍它的画法及应用。

第一节 机构和运动副

绪论中讲过，机构是具有确定相对运动的物体的组合，例如图1-3所示弹簧管压力表的传动放大机构，由齿轮机构和杆机构组成。弹簧管自由端的位移通过杆机构变换成转角，再经过扇形齿轮机构使指针旋转一个大的转角。

机构中作确定相对运动的各个物体称为构件，例如图1-3所示压力表传动机构的小齿轮，扇形齿轮等都是构件。机构中，有一个相对固定的构件称为机架，其余都是运动构件。受外力驱动的构件称为主动构件。随主动构件运动的构件称为从动构件。

构件是由零件组装成的，最简单的构件只含一个零件，如图1-1a所示仪表中称为“连杆”的构件，是用钢丝制成的Π形零件。复杂的构件，为方便制造、安装和维修，通常由若干个零件组成。如图1-1b所示机器中的“连杆”，由连杆身1、连杆头2、衬套3和4、螺栓5、螺母6及垫圈等多个零件装配而成。

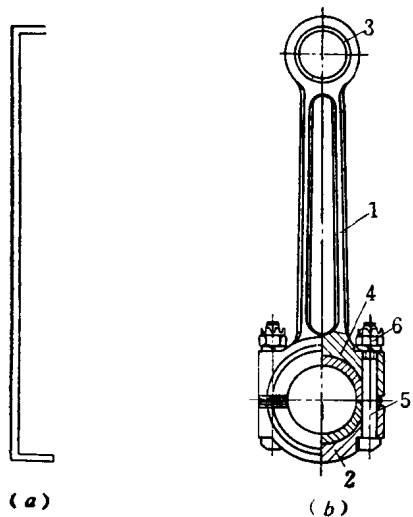


图 1-1 构件

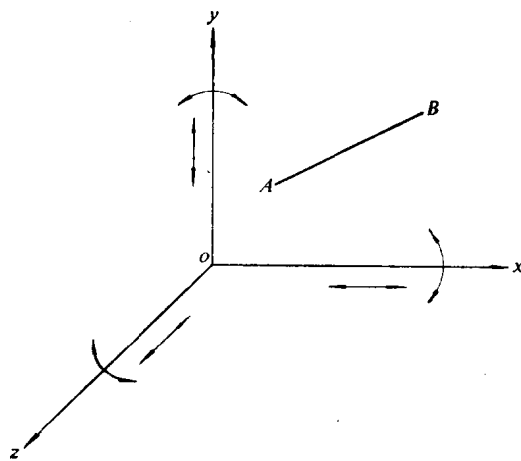
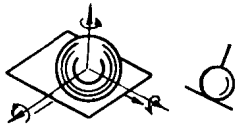
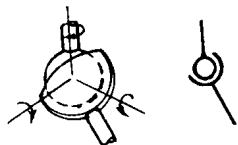
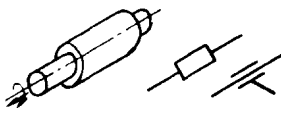
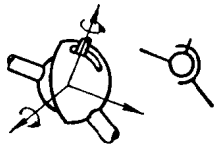
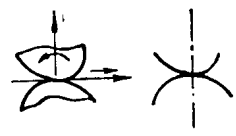
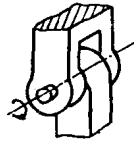
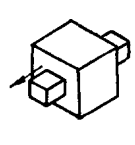
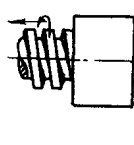


图 1-2 物体的独立运动

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 		

续表 1-1

级别	约束数	自由度	图 形 及 简 图								
			运动数	回 转	移 动	运动数	回 转	移 动	运动数	回 转	移 动
V	5	1	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		
											

机构中，构件之间相互接触的活动连接称为运动副，例如图 1-3 中小齿轮与扇形齿轮之间活动连接的运动副称为齿轮副，齿轮与机架的活动连接运动副称为转动副。按照接触的情况运动副又分为低副和高副。面接触的运动副称为低副，例如转动副为圆柱面接触是低副；点、线接触的运动副称为高副，例如齿轮副为点或线接触是高副。

运动副的性质是：既限制了被联接构件之间的某些相对运动又允许一定的相对运动，例如转动副只允许构件相对转动，其它五个独立相对运动均被限制了，齿轮副只允许构件之间绕接触点或线的相对转动和沿接触点切线的相对移动，而限制了其它四个相对独立运动。

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。

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：

- 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。

工程常用的各级运动副及其代表符号列于表 1-1。

了解了构件、运动副的概念，可以赋予机构更确切的定义：机构是用运动副连接、作确定相对运动的构件系统。各构件作确定相对运动是机构的特征。工程中将用运动副连接的构件系统统称为运动链。显然，运动链不一定是机构，而机构则是作确定相对运动的运动链。

第二节 机构图

设计新仪表或分析已有仪表的机构时，往往先画出机构图。

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，称为机构运动简图，简称机构图。

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1-3a是弹簧管压力表的结构图，图1-3b是其传动放大机构的局部放大图，图1-3c则是它的机构图。

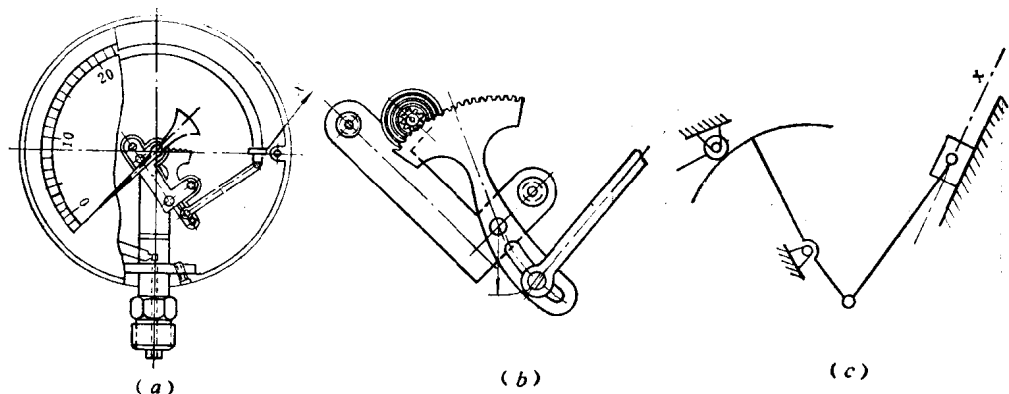


图 1-3 弹簧管压力表

常用运动副的代表符号参看表1-1。

常用构件的代表符号如图1-4所示。其中a是有二个转动副的构件，b是有转动副的机架，c是有移动副的构件，d是有三个转动副的构件，e是三个转动副在一条直线上的构件，f是与机架用移动副联接的构件。

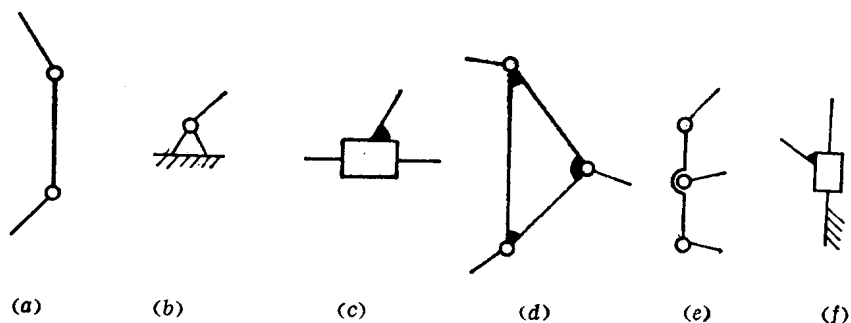


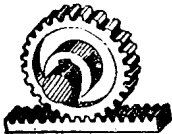
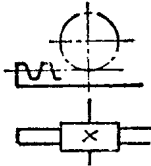
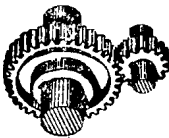
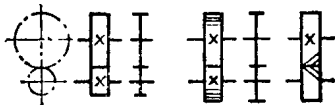
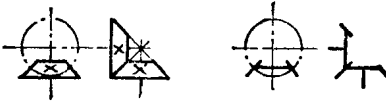
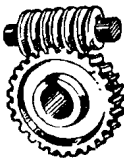
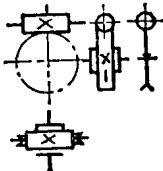
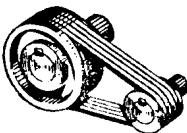
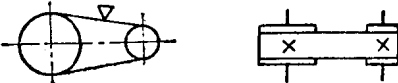
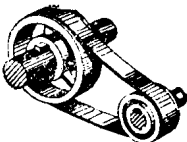
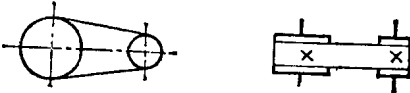
图 1-4 构件的代表符号

画机构图的方法如下：

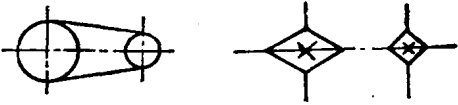
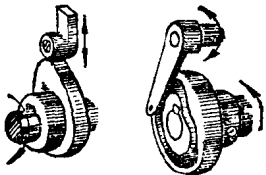
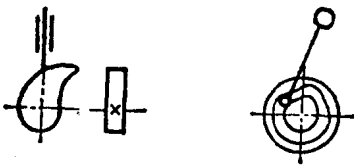
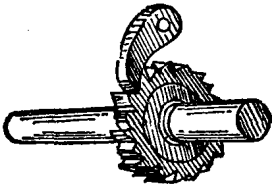
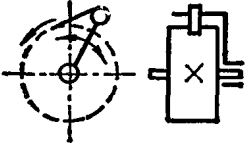
- (1) 分析机构的组成和结构，观察清楚机构包含的构件、运动副的数量及类型；
- (2) 选择画图平面，通常选择多数构件的运动平面作为画图平面；
- (3) 用规定符号表示构件和运动副，而不管它们的实际形状和大小；
- (4) 各运动副的相对位置尺寸与实际机构的尺寸保持相同。因为运动副相对位置尺寸直接影响机构的运动规律。

常见的机构图的代表符号参看表1-2。

表 1-2 机构图代表符号

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		
蜗杆传动		
三角带传动		
平型带传动		

续表 1-2

名 称	立 体 图 样	代 表 符 号
链传动		
凸轮机构		
棘轮机构		

第三节 机构的自由度

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1-3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