

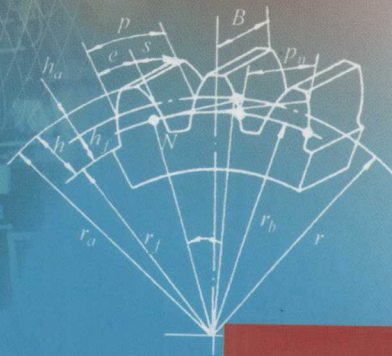
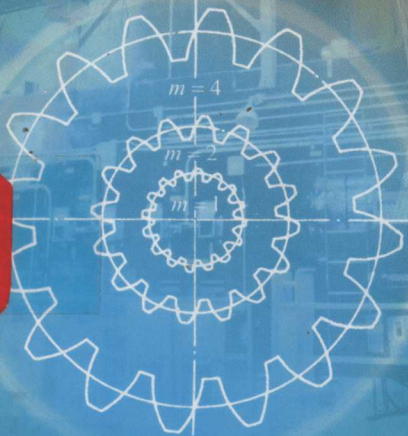


面向21世纪全国高职高专机电类规划教材

机械原理

JIXIE YUANLI

禹 营 主 编
杜 戊 李贵三 副主编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

面向 21 世纪全国高职高专机电类规划教材

机 械 原 理

禹 营 主编

杜 戊 李贵三 副主编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

全书共分为 11 章, 主要包括绪论、平面机构的结构分析、平面机构的运动分析、平面连杆机构及其设计、凸轮机构及其设计、齿轮机构及其设计、轮系及其设计、其他常用机构、机械中的摩擦和机械效率、机械的平衡、机械的运转及速度波动的调节。各章的末尾都附有思考题及习题。

本书可以作为高职类工科院校机械专业的教材, 也可供其他相关专业的师生和工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械原理/禹营主编. —北京: 北京大学出版社, 2005.8
(面向 21 世纪全国高职高专机电类规划教材)
ISBN 7-301-08845-0

I. 机… II. 禹… III. 机构学—高等学校—教材 IV. TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 031073 号

书 名: 机械原理

著作责任者: 禹 营 主编

责任编辑: 韩玲玲

标准书号: ISBN 7-301-08845-0/TH · 0007

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765013

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn>

电子信箱: xxjs@pup.pku.edu.cn

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.5 印张 320 千字

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 24.00 元

前 言

机械原理课程是高等工科院校机械类专业普遍开设的一门重要的技术基础课程,在教学计划中起到由基础理论向专业课过渡的桥梁与纽带的作用,对学生的机械设计和分析能力方面起着十分重要的作用。

高职机械类专业是培养机械行业生产、管理、维护、服务第一线需要的机械工程技术应用型高级人才的专业。根据对高职机械人才培养目标、教育模式的研究,经过近年来广泛、深入的市场调研及教学实践和探索,逐渐建立了以素质教育为目标,以岗位技能要求为核心的“宽基础、活模块”课程模式。

多年来,高职一直借用本科教材,实践证明,因借用教材内容偏多,理论偏深,也给教与学带来了一定困难;沿用普通专科教材的多数是“本科压缩型”,长期以来缺乏对高职的系统研究和理论指导;近年来,高职教材建设取得了一定成绩,出版的教材种类有所增加,但高职特色反映也不够。

本书针对现在高职教材存在的不足,编写了一本较适合高职学生的机械原理教材。为了扩大学生的知识面,本书力求全面、简单地讲述机械原理的基本知识。

本书在编写时,首先着重于讲清本课程的基本知识,基本理论和基本方法,而且促使学生在掌握和运用基本理论和方法的过程中,能够超越课程的界限去思考和研究问题。并考虑本书面向的对象,尽量用图说话,做到言简意赅。每章末尾都附有思考题及习题,习题的难度适中,基本上做到由浅入深。

本书由禹营担任主编并负责统稿,杜戊和李贵三担任副主编,参与编写的还有范庆祝、汪冰、刘于、李笑迪、谢昱北等。

本书作为一种教材,广泛吸取了国内众多专家学者的研究成果,编写的主要参考书目附后,未及一一注明,在此谨表谢意,并请谅解。由于成书时间仓促,同时限于水平,本书存在着种种不足和缺点,恳切希望得到大家的批评指正。

编 者

2005年3月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 机械原理课程研究的对象	1
1.2 机械原理课程研究的内容	2
1.3 机械原理课程的学习方法	2
1.4 机械原理课程的地位、任务和作用	3
1.5 机械原理学科的新发展	3
1.6 思考题	4
第2章 平面机构的结构分析	5
2.1 机构结构分析的内容及目的	5
2.1.1 机构结构分析的内容	5
2.1.2 机构结构分析的目的	5
2.2 机构的组成	5
2.2.1 构件	5
2.2.2 运动副	6
2.2.3 运动链	8
2.2.4 机构	9
2.3 机构运动简图	9
2.4 机构具有确定运动的条件	11
2.4.1 机构自由度	11
2.4.2 机构具有确定运动的条件	12
2.5 计算平面机构自由度应注意的事项	12
2.5.1 复合铰链	13
2.5.2 局部自由度	14
2.5.3 虚约束	15
2.6 平面机构中的高副低代	17
2.7 平面机构的组成原理及结构分析	18
2.7.1 平面机构的组成原理	18
2.7.2 平面机构的结构分析	19
2.8 思考题及习题	22

第3章 平面机构的运动分析	27
3.1 机构运动分析的目的和方法	27
3.1.1 机构运动分析的定义	27
3.1.2 机构运动分析的目的	27
3.1.3 机构运动分析的方法	27
3.2 速度瞬心法及其在平面机构速度分析中的应用	28
3.2.1 速度瞬心的意义	28
3.2.2 机构中瞬心位置的确定	28
3.2.3 速度瞬心法在机构速度分析中的应用	29
3.3 用相对运动图解法作机构的速度和加速度分析	31
3.4 用解析法进行机构的运动分析	34
3.4.1 构件上点的运动分析	35
3.4.2 RRR II 级组的运动分析	36
3.4.3 RRP II 级组的运动分析	38
3.4.4 RPR II 级组的运动分析	41
3.5 思考题及习题	43
第4章 平面连杆机构及其设计	46
4.1 连杆机构及其传动特点	46
4.2 平面四杆机构的类型和应用	47
4.2.1 平面四杆机构的基本形式	47
4.2.2 平面四杆机构的演变	49
4.3 平面四杆机构的基本知识	52
4.3.1 铰链四杆机构中曲柄存在的条件	52
4.3.2 四杆机构的急回运动特性	53
4.3.3 四杆机构的压力角和传动角	55
4.3.4 四杆机构的死点	56
4.3.5 四杆机构的运动连续性	58
4.4 平面四杆机构的设计	58
4.4.1 连杆机构设计的基本问题和方法	58
4.4.2 平面连杆机构的设计	59
4.5 平面连杆机构力分析	66
4.5.1 机构力分析的目的和方法	66
4.5.2 构件惯性力的确定	66
4.6 思考题及习题	68
第5章 凸轮机构及其设计	73

5.1	凸轮机构的应用与分类	73
5.1.1	凸轮机构的应用	73
5.1.2	凸轮机构的组成	73
5.1.3	凸轮机构的基本类型	74
5.2	从动件常用运动规律	76
5.2.1	凸轮与从动件间的运动关系	76
5.2.2	从动件常用运动规律	77
5.2.3	从动件运动规律的选择	80
5.3	盘形图轮廓线的设计	82
5.3.1	用图解法设计凸轮廓线的基本原理	82
5.3.2	用反转法设计盘型凸轮轮廓曲线	82
5.4	凸轮机构基本尺寸的确定	87
5.4.1	压力角和基圆半径	87
5.4.2	滚子半径和平底尺寸的确定	90
5.5	思考题与习题	92
第6章	齿轮机构及其设计	94
6.1	齿轮机构的应用与分类	94
6.2	齿轮啮合的基本定律	96
6.2.1	齿轮啮合的基本定律	96
6.2.2	齿廓曲线的选择	97
6.3	渐开线的形成及其特性	97
6.3.1	渐开线的形成	97
6.3.2	渐开线的性质	97
6.3.3	渐开线的方程	98
6.4	渐开线齿廓的啮合特性	101
6.5	渐开线标准齿轮各部分的名称和尺寸	102
6.5.1	外齿轮	102
6.5.2	内齿轮	105
6.5.3	齿条	106
6.6	渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	107
6.6.1	正确啮合的条件	107
6.6.2	渐开线直齿圆柱齿轮的中心距和啮合角	109
6.6.3	连续传动的条件	112
6.7	渐开线齿廓的切制	116
6.7.1	仿形法	116

6.7.2	展成法	117
6.8	渐开标准齿齿轮的根切现象和不发生根切的条件	120
6.8.1	渐开线齿廓根切的原因	120
6.8.2	避免发生根切的方法	121
6.9	变位齿轮	122
6.9.1	标准齿轮的缺点	122
6.9.2	变位	123
6.9.3	避免根切的最小变位系数	123
6.9.4	变位齿轮的几何尺寸	124
6.10	变位齿轮传动	126
6.10.1	变位齿轮传动的正确啮合条件和连续传动的条件	126
6.10.2	变位齿轮传动的中心距和啮合角	126
6.10.3	变位齿轮传动的类型	128
6.10.4	渐开线直齿圆柱齿轮传动的设计步骤	131
6.11	斜齿圆柱齿轮传动	133
6.11.1	斜齿圆柱齿轮	133
6.11.2	斜齿圆柱齿轮的啮合传动	138
6.11.3	斜齿圆柱齿轮传动的设计	140
6.11.4	斜齿圆柱齿轮的特点	142
6.12	交错轴斜齿轮传动	143
6.12.1	交错角	143
6.12.2	正确啮合条件	144
6.12.3	传动比及从动轮的转向	144
6.12.4	交错轴斜齿轮传动的特点	145
6.13	蜗杆蜗轮传动	146
6.13.1	蜗杆蜗轮机构的形成及其传动特点	146
6.13.2	蜗杆和蜗轮的传动类型	147
6.13.3	蜗杆蜗轮的正确啮合条件	148
6.13.4	蜗杆蜗轮传动的设计	149
6.14	圆锥齿轮传动	151
6.14.1	圆锥齿轮传动的特点和应用	151
6.14.2	直齿圆锥齿轮齿廓的形成	151
6.14.3	背锥和当量齿数	152
6.14.4	正确啮合条件和连续传动条件	154
6.14.5	直齿圆锥齿轮传动的设计	155

6.15 思考题及习题	157
第7章 轮系及其设计	159
7.1 轮系及其分类	159
7.2 定轴轮系的传动比	161
7.3 周转轮系的传动比	163
7.4 复合轮系的传动比	166
7.5 轮系的功用	168
7.6 行星轮系各轮齿数的确定	172
7.7 思考题及习题	174
第8章 其他常用机构	177
8.1 万向铰链机构	177
8.1.1 单万向联轴节	177
8.1.2 双万向联轴节	178
8.2 棘轮机构	179
8.3 槽轮机构	183
8.4 不完全齿轮机构	185
8.5 思考题与习题	187
第9章 机械中的摩擦和机械效率	188
9.1 研究机械中摩擦的目的	188
9.2 运动副中的摩擦	188
9.2.1 移动副中的摩擦	189
9.2.2 螺旋副中的摩擦	191
9.2.3 转动副中的摩擦	194
9.3 机械的效率	195
9.3.1 机械功及效率的表达方式	195
9.3.2 机组的效率	196
9.4 机械的自锁	199
9.4.1 移动副自锁	199
9.4.2 转动副自锁	200
9.4.3 根据效率确定自锁条件	200
9.4.4 根据所求阻力确定自锁条件	200
9.5 思考题及习题	201
第10章 机械的平衡	206
10.1 机械平衡的目的和内容	206
10.2 刚性转子的平衡计算	207

721	10.2.1 刚性转子的静平衡计算	207
821	10.2.2 刚性转子的动平衡计算	208
921	10.3 转子平衡实验	209
101	10.3.1 静平衡实验	209
111	10.3.2 动平衡试验	210
121	10.4 平面机构的平衡	210
131	10.4.1 机构惯性力的完全平衡	210
141	10.4.2 机构惯性力的部分平衡	212
151	10.5 思考题及习题	212
161	第11章 机械的运转及其速度波动的调节	216
171	11.1 概述	216
181	11.1.1 机械运转的三个阶段	216
191	11.1.2 作用在机械上的驱动力和工作阻力	217
201	11.2 机械系统的等效动力学模型	219
211	11.2.1 等效构件	219
221	11.2.2 等效转动惯量、等效质量、等效力矩、等效力的求解	220
231	11.3 机械运动方程式	224
241	11.4 机械速度波动的调节	225
251	11.4.1 速度波动的调节	225
261	11.4.2 速度不均匀系数	225
271	11.4.3 调节方法	226
281	11.4.4 飞轮设计	226
291	11.5 思考题及习题	230
301	参考书目	235
311		
321		
331		
341		
351		
361		
371		
381		
391		
401		
411		
421		
431		
441		
451		
461		
471		
481		
491		
501		
511		
521		
531		
541		
551		
561		
571		
581		
591		
601		
611		
621		
631		
641		
651		
661		
671		
681		
691		
701		

第1章 绪 论

1.1 机械原理课程研究的对象

机械原理又称为机器理论与机构学。它研究的对象是机械，而机械是机器与机构的总称。

机械原理是研究机构和机器的运动及动力特性，以及机械运动方案设计的一门基础技术学科。它是机械设计理论和方法中的一个分支。

所谓机器，是根据某种使用要求而设计的一种执行机械运动的装置。机器的种类繁多，其机构、性能和用途等各不相同。如内燃机（如图 1-1 所示）、拖拉机、起重机、金属切削机床、纺织机、缝纫机、包装机、绣花机等。图 1-1 所示的活塞式内燃机，主体部分是由缸体 6、活塞 5、连杆 4 和曲轴 3 组成。当燃气在气缸内腔燃烧膨胀时，推动活塞做功，通过连杆推动曲轴绕 A-A 转动。左侧的凸轮 9、推杆 8 和阀 7 来实现定时的燃气输送和废气的排出。齿轮 1、2 将曲轴的传动传递给凸轮 9，并使推杆 8 的运动与活塞 5 的移动位置保持一定的配合关系。上面所述的构件的协同运动的结果是，将燃气燃烧的热能转变为使曲轴转动的机械能，达到从 A-A 轴输出有用的机械功的目的。

根据组成、功用和运动等特点，对机器可初步定义如下：机器是一种由人为物体组成的具有确定机械运动的装置，它用来完成一定的工作过程，以代替人类的劳动。

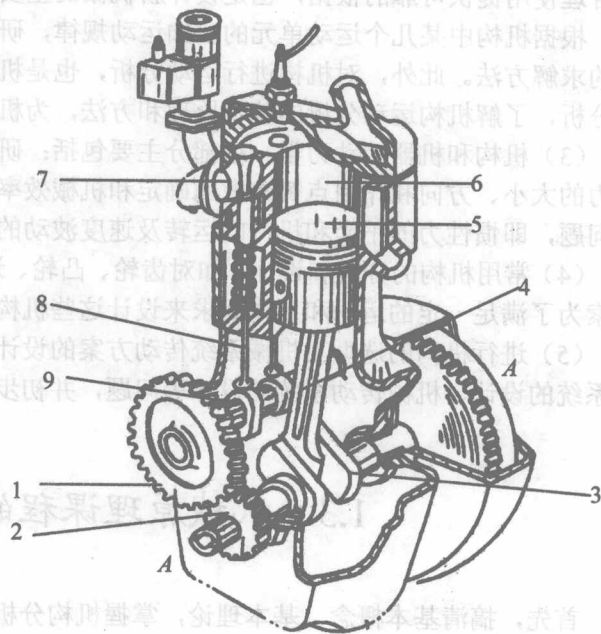


图 1-1

根据其工作类型的不同,一般把机器分为三类:动力机器、工作机器、信息机器。

动力机器是用来将任何一种能量转换成机械能,或将机械能转换成其他形式能量的。如:压气机、涡轮机、电动机、发电机等。

工作机器是用来完成有用的机械功或输送物品等。如:织布机、包装机、汽车、起重机、轧钢机等。

信息机器是用来完成信息的交换和传递的。如:复印机、打印机、传真机、照相机等。

1.2 机械原理课程研究的内容

本课程研究的内容主要有以下几个方面:

(1) 机构的结构分析。机械原理的主要研究对象是机构,因此我们将研究机构是如何组成的、机构的组成情况及其对运动的影响以及机构具有确定运动的条件;此外,机构的组成原理和机构运动简图的绘制也是十分重要的内容。这部分将在第二章进行重点地介绍。

(2) 机构的运动分析。对机构进行运动分析,了解机构的运动状况,不仅为现有机器的合理使用提供可靠的依据,也是设计新机械的重要内容。这部分仅从机构的几何特点出发,根据机构中某几个运动单元的已知运动规律,研究其余运动构件的轨迹、速度、加速度的求解方法。此外,对机构进行运动分析,也是机构力分析的重要依据。对机构进行运动分析,了解机构运动分析的基本原理和方法,为机构动力学分析打下基础。

(3) 机构和机器的动力学。这部分主要包括:研究机械在运动过程中作用在各构件上的力的大小、方向和作用点等参数的确定和机械效率确定的方法;研究机械稳定运转方面的问题,即惯性力的平衡和机械的运转及速度波动的调节问题。

(4) 常用机构的分析和设计。如对齿轮、凸轮、连杆等机构进行运动及特性分析,并探索为了满足一定的运动和工作要求来设计这些机构的方法。

(5) 进行机构的选型及机械系统传动方案的设计。了解机械总体方案的拟定、机械执行系统的设计、机械传动系统的设计等问题,并初步具有拟定简单机械运动方案的能力。

1.3 机械原理课程的学习方法

首先,搞清基本概念、基本理论,掌握机构分析与综合的基本方法,注意培养获取知识的能力。

其次,注意理论联系实际,加强形象思维能力的培养。学习时注意把一般的原理和方法与研究实际机构和机器的具体运用密切联系起来,同时也要注意这些原理和方法在机械工程中的应用范围和条件。

最后,要培养一定的工程观点。本课程是一门技术基础课,与学习理论基础课的方法有所不同。要注意所学的理论的应用条件及场合等。

1.4 机械原理课程的地位、任务和作用

机械原理课是研究机构及机械运动设计的一门重要的基础课。它的主要任务是使学生掌握机构学和机械动力学的基本理论、基本知识和基本技能,使学生具有初步的设计机械运动的方案、分析和设计基本机构的能力。

(1) 机械原理是后续专业课的基础。机械原理是机械类各专业的一门技术基础课程,主要研究机械所具有的共性问题。在以后的学习和工作中,不仅要研究具体机械的特殊问题,也要研究机械的共同问题,机械原理正是为此开设的技术基础课。

(2) 机械原理是开发新产品的的基础。随着科学技术的发展和国际竞争的日益激烈,就需要制造大量的种类繁多、性能优良的新机械,为此机械原理的知识是必不可少的,因为产品是否具有创新性,在很大程度上取决于总体方案的设计,而这正是机械原理所研究的内容。

(3) 革新和合理使用现有机器的基础。对于一位机械行业的工作人员来说,要想充分发挥机械设备的潜力,关键在于了解机器的性能,学习机械原理,掌握机构和机器的分析方法,才能了解机器的性能和更加合理地使用机器;掌握机构和机器的设计方法,才能对现有机器的革新改造提出方案。

1.5 机械原理学科的新发展

机械原理作为机械学科的重要组成部分,是现代机械工业和科技发展的重要基础。目前,机械学科和信息科学、生物科学及管理科学等相互渗透、相互结合,已成为一门崭新的学科。它的研究领域已扩展到生物工程、微观世界、机械电子等。它的课题层出不穷,研究方法也日新月异。在以下的方面都得到了广泛的发展。

(1) 机构的结构。由于机器人、假肢和新型机器的发展需要,以及机器的动力源日益广泛采用液压与气动,近年来多自由度、多闭环的多杆平面连杆机构都有了较多的发展和

研究。随着科学技术的进步, 仿生机构的研究受到了很大的重视, 不少国家开展了对人的手腕和手臂的结构、动作原理等广泛的研究, 研制出多种自由度的生物电控或声控的机械假手。人们为了通过松软的地面和跨越较大障碍还努力研究了四足步行机、六足步行机等行走机理和步行机构学。为了提高沙漠行走的效率, 还在研究骆驼足底构造和行走机理。另外, 通过研制蛇行机构来探测煤气管道的故障; 通过水游机构研制来解决深水中的探测问题。

(2) 机构的最优设计。机构优化设计大致包括: 根据设计要求确定设计准则和设计变量; 给出数学模型, 确定设计约束, 建立目标函数; 探索最优化途径, 优选设计变量; 最优化方案的确定。最优化方法分为无约束方法和约束方法两类。在机械设计中, 无约束方法主要有坐标转化法、共轭梯度法、变尺度等。约束最优化方法主要有罚函数法、随即方向搜索法、复合形法等。

(3) 仿生机构学。近年来, 仿生机构的研究受到了很大的重视, 不少国家开展了对人的手腕和手臂的结构、动作原理等广泛的研究, 研制出多种自由度的生物电控或声控的机械假手。人们为了通过松软的地面和跨越较大障碍还努力研究了四足步行机、六足步行机等行走机理和步行机构学。为了提高沙漠行走的效率, 还在研究骆驼足底构造和行走机理。另外, 通过研制蛇行机构来探测煤气管道的故障; 通过水游机构研制来解决深水中的探测问题。

(4) 机构系统设计。在美国和日本, 方案设计被称为概念设计。它是根据产品生命周期各个阶段的要求, 进行产品功能创造、分解以及功能和子功能的结构设计; 进行满足功能和要求的工作原理求解和进行实现功能结构的工作原理载体方案的构思和系统化设计。

机构系统设计是机械原理学科又一新的研究分支。目前已有不少学者研究机构创新的设计方法, 机构类型和机构分析知识库, 机构系统设计的推理方法, 以及智能化机构系统设计方法。

1.6 思考题

- 1-1 说明机构和机器的相同和不同之处。
- 1-2 学习机械原理应该注意哪些问题?
- 1-3 试举出几种机构的例子, 说明其功用和结构。

第2章 平面机构的结构分析

2.1 机构结构分析的内容及目的

2.1.1 机构结构分析的内容

(1) 研究机构的组成及其具有确定运动的条件。研究机构是怎样组成的；机构结构情况对运动的影响；机构在什么条件下具有确定的运动。

(2) 研究机构组成原理及结构分类。研究在具有确定运动的前提下，组成机构的途径和组成机构的可能形式。并按结构的情况将机构加以分类，根据这种分类便可建立运动分析、动力分析的一般方法。

(3) 研究机构运动简图的绘制。研究如何用简单的图形将机构的结构情况和运动传递的情况表示出来。

2.1.2 机构结构分析的目的

弄清机构的组成及运动原理；正确绘制机构的运动简图；通过对机构的结构分析，为研究机构的运动和动力分析提供有利条件。

2.2 机构的组成

2.2.1 构件

零件是机械制造的单元，所有的机械都是由零件精加工后组装而成的。若干个零件刚性的固结在一起，作为一个整体在机构中运动，则成为机构的运动单元，那么这样的单元称为构件。构件是指机器或机构中的每一个独立的运动单元体。构件可以是单一的零件，也可以是多个零件的刚性联接体。最重要的是组成同一构件的各零件之间不能有相对运动。如图 1-1 所示的内燃机，就是由活塞 5、连杆体 4、齿轮 2 等一系列零件组成的。这些零件中，有的是作为一个独立的运动单元体而运动的（如推杆 8），有的则是由多个零件刚性地联接在一起，作为一个整体来参与运动。

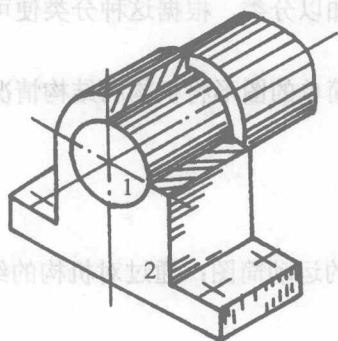
2.2.2 运动副

机构中各构件具有确定的运动,才能完成特定的传递运动、转化运动的任务。两个构件通过直接接触所形成的可动联接称为运动副。而两构件上能够参加接触而构成运动副的表面称为运动副元素。我们一般认为运动副没有间隙,这一假设,可以使我们研究问题更加简化。机构中构件的联系方式不同,那么构件的运动范围就不相同,如果机构中各构件都在同一平面或互相平行的平面内运动,这样的机构就称为平面机构。

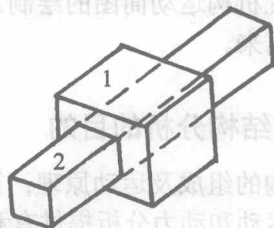
运动副按相对运动的形式可分为:

如图 2-1 (a) 的两构件 1、2 之间只能相对转动,称为转动副。图 2-1 (b) 的两构件只有相对的滑动,这样的运动副称为移动副。两构件间的相对运动为螺旋运动,称为螺旋副,如图 2-1 (c)。两构件间的相对运动为球面运动,称为球面副,如图 2-1 (d)。

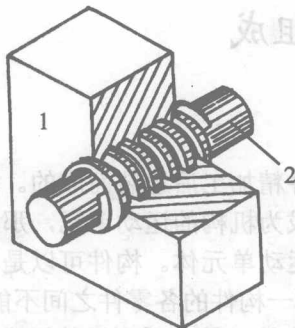
判断运动副的性质主要根据两构件的相对运动轨迹,如果两构件的相对运动轨迹为沿圆弧槽的转动,转动中心在圆弧槽的圆心处,则两构件在相对转动中心的位置构成转动副。



(a) 转动副



(b) 移动副



(c) 螺旋副



(d) 球面副

图 2-1 低副 (各图中 1、2——构件)

按照运动副的接触形式来分, 运动副分为高副和低副。

如果两构件以点、线接触, 则相互作用时压强比较大, 称为高副。图 2-2 所示的齿轮副就是高副。如果两构件是以面相接触的运动副则称为低副。图 2-1 (a), (b) 所示的运动副都为低副。

运动副及构件的表达方法见表 2-1。

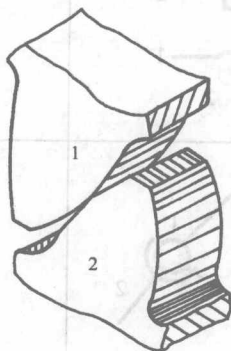


图 2-2 高副

表 2-1 常用运动副的符号

运动副名称		运动副符号	
		两运动构件构成的运动副	某一构件为静止时的运动副
平面运动副	转动副		
	移动副		
	平面高副		