

21 世纪普通高等院校规划教材——机械类

机械 原理

JIXIE YUANLI

主编 冯 鉴 何 俊 雷智翔

主审 林 良 徐耀信

JIXIE YUANLI



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

21 世纪普通高等院校规划教材——机械类

机 械 原 理

主 编 冯 鉴 何 俊 雷智翔

主 审 林 良 徐耀信

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

机械原理是高等工科学校机械类专业的一门主干技术基础课程。它将为相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。

本书共分3篇11章。第1篇为机构的运动分析,第2篇为机构的动力设计,第3篇为机械系统方案设计。本书着意把机械原理放在机械产品设计的总体观念上来阐述,并突出原理,加强建模指导,强调设计实例的学习,以期在传授知识的同时加强学生创新意识和创新能力的培养。

本书可作为高等工科院校机械原理课程的教材,也可供有关工程技术人员和自学者参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理 / 冯鉴, 何俊, 雷智翔主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2008.8
21世纪普通高等院校规划教材. 机械类
ISBN 978-7-5643-0024-1

I. 机… II. ①冯…②何…③雷… III. 机构学—高等学校—教材 IV. TH111

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第128748号

21世纪普通高等院校规划教材——机械类

机 械 原 理

主编 冯 鉴 何 俊 雷智翔

*

责任编辑 阳 晓

特邀编辑 李晓辉 帅 波

封面设计 翼虎书装

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段111号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 16

字数: 401千字

2008年8月第1版 2008年8月第1次印刷

ISBN 978-7-5643-0024-1

定价: 25.00元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

机械原理是高等工科大学机械类专业的一门主干技术基础课程，具有很强的理论性和实践性。目前科学技术和机械工业的迅速发展对该课程提出了新的要求，这主要体现在对学生的机械产品创新设计能力的培养上面。为了适应这一新的变化，多年来本教材编写队伍一直致力于本课程教学内容和方法的改革，目的是希望以创新人才培养观念来构建机械原理课程新的教学体系。本书就是在这一新形势下，结合编者多年的教学经验和相关专业发展要求，吸收近年来国内外同类教材的优点而编写而成的。

本书在内容与体系的编排上，着意把机械原理放在机械产品设计的总体观念上来讲授。运动方案设计是机械产品创新与质量保证的一个重要环节。因此，本课程是培养机械工程师创新能力的一门重要课程。在传授知识的同时有益于学生的创新意识和创新能力的培养，也是本书刻意追求的一个目标。在创新方法方面，全书特别突出了分析与综合中的几何建模和数学建模以及等效变换方面的内容，且所有机构综合的建模工具都是矢量旋转变换，从而将机构设计与分析上升到建模的高度，这样安排主要着眼于机构计算机辅助设计的新特点。为了突出这方面能力的培养，书中除了结合分析与综合的命题而反复阐明约束建模原理以及由给定约束和机构构型约束相结合的建模方法之外，还增加了优化建模的策略和模型完整性的检验。另外，本书在突出原理、突出创新的同时，也兼顾了对学生学习曲线的考虑，加强了基本知识点的介绍与陈述。否则，一切美好的愿望都只能是奢谈。

全书从结构上分为三篇，分别从机构运动学、机构动力学和机械系统方案总体设计三个方面进行内容的编排与组织。参加本书编写的有冯鉴（绪论、第二、第三、第四、第六、第八章）、何俊（第一、第五、第七、第九、第十章）、雷智翔（第十一章）。同时，全书插图由雷智翔等设计与绘制。

本书在编写过程中总体上借鉴了西南交通大学谢泗淮老师编著的《机械原理》教材中的机构建模理论与思想，在文献导读及部分章节中借鉴了清华大学申永胜老师编著的《机械原理教程》中的部分内容，

本书得到了西南交通大学出版基金资助，编者们在在此特致以由衷的感谢。

本书由林良、徐耀信教授担任主审。骆顺东、刘丹凤、杨茂举、刘小红、肖峰、柏羽泉、刘志华、冯贵平、马良骥、欧洲、李明、文艳琼、陶莉、易大勇、罗云、郭强、王明、赵晓磊、张浮平等在本书的插图绘制中给予了很大帮助，在此也一并表示谢意。

由于编者水平所限，加之时间仓促，书中不妥之处在所难免，殷切希望同行和广大读者批评指正。

编 者

2008年5月

目 录

绪 论	(1)
思考题	(4)

第 1 篇 机构的运动分析

第 1 章 机构的构型分析	(6)
1.1 机构的组成	(6)
1.2 机构运动简图	(9)
1.3 机构自由度计算	(11)
1.4 机构的组成原理与结构分析	(15)
思考题	(20)
习 题	(21)
第 2 章 机构的运动分析	(24)
2.1 三心定理	(24)
2.2 平面连杆机构的运动分析	(27)
2.3 机构的运动等效变换	(33)
思考题	(42)
习 题	(43)
第 3 章 连杆机构综合	(46)
3.1 平面连杆机构的类型	(46)
3.2 平面连杆机构的工作特性	(49)
3.3 平面连杆机构设计的基本问题	(54)
3.4 实现给定刚体位置的四杆机构综合	(56)
3.5 实现给定连架杆对应位置的四杆机构综合	(67)
3.6 实现给定行程速比系数的四杆机构综合	(73)
3.7 实现给定点轨迹的四杆机构综合	(76)
3.8 多杆机构综合	(78)

思考题.....	(81)
习 题.....	(82)
第 4 章 凸轮机构综合.....	(85)
4.1 凸轮机构的组成与类型	(85)
4.2 凸轮机构的特点与功能	(87)
4.3 从动件运动规律设计	(88)
4.4 凸轮轮廓线的综合	(93)
4.5 凸轮机构构型和基本尺寸的确定	(97)
4.6 凸轮机构的计算机辅助设计	(102)
思考题.....	(103)
习 题.....	(103)
第 5 章 齿轮机构综合.....	(107)
5.1 齿轮机构的应用和分类	(107)
5.2 齿廓啮合基本定律及齿廓曲线	(109)
5.3 渐开线直齿圆柱齿轮传动的综合	(112)
5.4 渐开线齿廓的切削加工	(119)
5.5 渐开线变位齿轮	(123)
5.6 渐开线直齿圆柱齿轮传动综合	(125)
5.7 斜齿圆柱齿轮传动综合	(130)
5.8 圆锥齿轮传动设计	(133)
5.9 蜗杆蜗轮传动	(136)
思考题.....	(137)
习 题.....	(138)
第 6 章 轮系及其设计.....	(141)
6.1 轮系的类型	(141)
6.2 轮系的传动比	(142)
6.3 轮系的功用	(147)
6.4 轮系的设计	(150)
6.5 轮系的效率	(156)
6.6 其他类型的行星传动简介	(160)
思考题.....	(163)
习 题.....	(164)
第 7 章 其他常用机构简介.....	(166)

7.1 棘轮机构	(166)
7.2 槽轮机构	(169)
7.3 其他机构	(172)
7.4 组合机构	(175)
思考题	(177)
习 题	(177)

第 2 篇 机构的动力设计

第 8 章 机构的力分析	(180)
8.1 平面机构的动态静力分析	(180)
8.2 死区	(185)
8.3 机械的效率与自锁	(192)
思考题	(195)
习 题	(196)
第 9 章 机械系统动力学	(198)
9.1 机械运转过程及作用力	(198)
9.2 机械的等效动力学模型	(200)
9.3 机械运动方程式的建立及求解	(202)
9.4 机械速度波动及其调节方法	(204)
思考题	(208)
习 题	(208)
第 10 章 机械的平衡	(211)
10.1 机械平衡的目的及内容	(211)
10.2 刚性转子的平衡原理	(212)
10.3 刚性转子的平衡试验	(214)
10.4 平面机构的平衡设计	(217)
思考题	(222)
习 题	(222)

第 3 篇 机械系统方案设计

第 11 章 现代机械系统总体方案设计	(226)
---------------------------	-------

11.1 机械产品的开发与创新.....	(226)
11.2 总体方案设计的目的和内容.....	(227)
11.3 总体方案设计中的设计思想.....	(227)
11.4 功能原理设计.....	(231)
11.5 机构构型设计.....	(232)
11.6 机械运动方案的生成与优选.....	(241)
思考题.....	(245)
习 题.....	(245)
参考文献.....	(247)

绪 论

机械原理是研究机械内部普遍存在的共性规律的一门课程和学科。在进入本课程学习时,首先需要熟悉机械原理的名词、概念和术语,了解机械原理课程所研究的内容和所用的一般方法,从而初步明确本课程的重要地位及在国民经济中的作用。

一、本课程研究的对象及内容

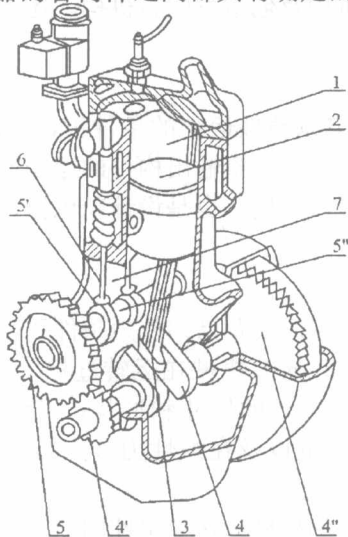
1. 机械原理课程研究的对象

机械原理课程研究的对象是机械,机械是机器与机构的总称。

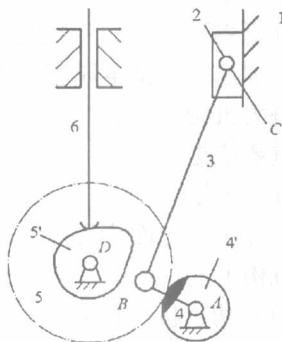
机器是具有确定运动的构件组合体,它用来转换能量、改变或传递物料和处理信息,以代替和减轻人的体力劳动和脑力劳动。机器的种类很多,根据用途不同,机器可分为:动力机器(如电动机、内燃机、发电机、蒸汽机等)、加工机器(如金属切削机床、纺织机、包装机、缝纫机等)、运输机器(如汽车、拖拉机、起重机、输送机等)和信息机器(如计算机、机械积分仪、记账机等)。虽然机器的种类繁多,并具有不同形式的构造和用途,但它们都具有三个共同的特征,即:

(1) 机器都是由一系列构件(也称运动单元体)组成。

(2) 组成机器的各构件之间都具有确定的相对运动。



(a)



(b)

图 0-1

(3) 机器均能转换机械能或完成有用的机械功。

如图 0-1 (a) 所示的内燃机, 由壳体 1、活塞 2、连杆 3、曲轴 4 (与齿轮 4' 一体)、齿轮 5 (与凸轮 5' 一体) 以及气门阀杆 6 等一系列构件所组成。其各构件之间的运动是确定的, 机构简图如图 0-1 (b) 所示, 内燃机的功能是将热能转换为机械能。

机构是实现传递机械运动和动力的构件组合体, 如常见的齿轮机构、连杆机构、凸轮机构、螺旋机构、带和链传动机构等。虽然机构有多种类型, 用途各有不同, 但它们都有相同的两个特征, 即:

(1) 机构由若干个构件所组成。

(2) 组成机构的各构件之间都有确定的相对运动。

如图 0-1 (a) 中的由壳体 1、活塞 2、连杆 3、曲轴 4 四个构件所组成连杆机构; 壳体 1、齿轮 4'、齿轮 5 三个构件组成齿轮机构; 壳体 1、凸轮 5'、气门杆 6 三个构件组成凸轮机构。它们的运动均是确定的。

从上述分析可知, 机构是机器的重要组成部分, 用以实现机器的动作要求。一部机器可能只有一个机构, 也可能包含若干个机构。机构与机器的根本区别在于: 机构的主要职能是传递运动和动力, 而机器的主要职能除传递运动和动力外, 还能转换机械能或完成有用的机械功。

虽然机器和机构的种类很多, 但组成各种机器的基本机构的种类却不很多, 最常用的机构有连杆机构、齿轮机构、凸轮机构、间歇运动机构等。这些机构也是本课程的主要研究对象。

2. 机械原理课程研究的内容

(1) 机构的结构分析。

机构的结构分析将研究机构是怎样组成的, 机构组成情况对其运动的影响以及机构具有确定运动应满足的条件; 还将研究如何绘制机构运动简图, 以便对实际机构进行运动和动力分析。此外, 为便于更系统地研究现有机构及创造发明新机构, 还需要研究机构的组成原理和方法。

(2) 机构的运动分析。

机构的运动分析将研究并介绍机构在给定原动件运动的条件下, 求解其他构件的位移、轨迹、速度、加速度的基本原理和方法, 进而考察输出构件的运动变化规律。对机构进行运动分析, 将为机构受力和动力学分析提供基础, 也是设计新机械、合理使用现有机械的必须步骤和重要依据。

(3) 机械的动力学分析。

机械的动力学分析一方面将研究机构在给定运动及已知外力条件下, 求解各运动副的反力, 以便了解机构上的动压力及其变化情况; 研究机械在运转过程中各运动副的摩擦、构件受力及其所做的功、机械的效率, 以决定构件的尺寸和形状, 了解机械的动力性能等。另一方面将研究由于各构件质量、转动惯量以及在惯性力 (力矩) 和其他外力作用下, 机构各构件的真实运动规律。

此外, 还将研究因机械运动速度波动带来的机械运转稳定性问题及其调节方法。由于机械各构件产生的惯性力将影响到机械的正常工作效率和使用寿命, 所以还要研究机械的平衡问题。

(4) 常用机构的分析与设计。

常用机构的分析与设计将对用以组成各种机器的典型机构如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构及常用的间歇机构等运动和工作特性和有关理论进行较系统的分析,并研究探索典型机构满足一定运动规律、动力要求时机构设计的方法。为充分了解、有效利用这些机构提供理论基础。

(5) 机械的传动系统设计。

它将讨论机械传动系统设计时如何选用机构、机构间如何组合和协调、机构的变异与演化方法以及拟订传动系统方案时必须考虑的问题。

应当指出,机械原理课程中有关机构设计的研究,只限于给定运动和动力的设计要求,不涉及各个零件的结构形状、工艺要求、材料选择、热处理方式、强度及刚度计算等问题。所以本课程中的机构设计又常称为机构综合。机械原理课程研究的内容可概括为机构分析与综合两部分。

二、机械原理课程的地位、作用和学习方法

1. 机械原理课程的地位和作用

机械原理是机械类及近机械类专业进入专业课前必修的一门重要的技术基础课。它主要是在高等数学、普通物理、理论力学等理论基础课后,将这些理论和实际机械相结合来探讨机械内部基本规律的基础性理论课程。课程所学内容是研究现有机机械运动、工作性能和设计、发明新机械的知识基础。它对机械类及近机类各专业的专业课学习、毕业设计乃至参加实际工作都有直接的和长远的意义,起着非常重要的作用。

机械原理在发展国民经济方面也具有重要的意义。实现生产的机械化、自动化和高效益是不同专业领域的所有生产部门的目标,这需要创造出大量结构新颖、性能优良的新型机械设备充实和装备各行各业;需要更新改造现有机机械设备,以期合理有效地使用,发挥其潜力;需要提高操作者的业务水平、技术人员的创造力、管理者的素质和指挥能力,而有关机械原理的知识是必不可少的。

机械原理对提高我国机械学水平及技术在国际上的学术地位也起着非常重要的作用。我国学者在著名的国际学术会议如“机构与机器理论”、“机械传动与机构学”等上发表的论文越来越多,学术水平不断提高,而机械原理方面的知识则是基础知识。

2. 机械原理课程的学习方法

由于机械原理课既不同于理论基础课,又有别于专业课,因此在学习本课程的过程中,一方面要着重搞清基本概念,理解基本原理,掌握机构分析和设计的基本方法;另一方面也要注意这些原理和方法在机械工程上实际应用的范围和条件。

(1) 强调重视基本概念。

课程中的基本概念不仅仅是简单名词定义,它对课程的学习、认识和理解有着非常重要的作用,有时直接用基本概念来分析、解决问题以及进行机构的分析和设计。因此不能死记硬背,必须重点搞清其含义和指导意义。

(2) 深入理解基本原理。

机构结构理论、机构分析的运动学和动力学理论、齿轮啮合、加工及其传动理论、摩擦学理论、机械速度波动及调节原理、机械平衡理论等构成了本课程的理论框架,因此要充分理解、正确应用这些理论,并要善于用理论及其公式证明问题和解决问题,使之更有

说服力。

(3) 牢牢掌握基本研究方法。

课程中机构结构组成方法、高副低代法；机构分析中的瞬心法、相对运动法、扩大构件法、复数质量法、等效力学模型分析法、速度波动调节法及机械平衡方法；机构设计的反转法、直角坐标法、齿轮传动设计方法以及机构组合、变异、演化方法等都是机械原理课程应用的基本研究方法，应牢牢掌握并善于用其解决工程实际问题。

(4) 逐步树立工程观点。

机械原理是一门理论性比较强的技术基础课，其研究对象和内容就是工程实际上常用的机械及其相关知识，因此学习过程中应把基本原理和方法与研究实际机构和机器密切联系起来。善于用所学知识观察和分析日常生产、生活中所遇到的各种机构和机器。在一定附加条件下，可将一些比较复杂的问题转化为比较简单的问题，并注意各种理论和方法的应用条件和范围，以求能正确而灵活地应用。同时要注意，解决工程实际问题可以有几种方法，其所得结果也往往不唯一，有时也不要求十分精确。因此，树立工程观点，培养综合分析、判断、决策能力和严肃认真的科学态度是十分重要的。

三、机械原理与创新设计

机械运动方案设计是一种创新设计。它是提高机械产品性能、质量和竞争力的一个关键环节，对于设计师是最具有魅力的挑战。设计师的创新能力包括创新思维、知识积累、创新方法和创新毅力四个方面。设计师创新能力的形成是一个系统工程，有一个积累的过程。机械原理课程在培养学生的机械创新能力方面处于十分重要的地位。在创新能力中，知识积累是创新能力的基石。学生通过学习掌握本课程的内容是基本的要求。为培养学生的创新性逻辑思维与科学方法，在本课程的教学应着重加强以下内容。

(1) 机构分析与综合中几何建模与数学建模的理论与方法。

(2) 理论与方法的发展及其条件性和实用性。

(3) 机构及其运动副在运动学与动力学上的条件性等效变换原理与方法。

(4) 方案设计中建模与优选的方法。

创新性思维中的非逻辑思维（即无序思维）在创新设计中是极其重要的，它往往是创新的先导。创新性无序思维的特征是凭直觉、联想、发散式思维，从而产生灵感或预感，然后通过逻辑的理性推演产生出新的方案。创新性无序思维可以从机构的变换过程与创新范例中领悟和在设计实践中培养。至于创新需要毅力这一点是不言而喻的，因为创新是对已有成果的挑战，缺乏勇气的人自然会望而却步，有为的设计师应当是创新的实践人与推动者。

思考题

0-1 什么是机构、机器、机械？它们之间有何联系？试举例说明。

0-2 机构和机器各有什么特征？

0-3 机械原理课程研究的内容是什么？

0-4 如何学好机械原理课程？

第 1 篇 机构的运动分析

机电产品的设计都为了满足某种特定的功能要求，而这些功能要求往往是通过机构的动作来实现的。因此，机构的运动设计在机械系统方案设计及创新设计中占有重要地位。

本篇首先论述机构的组成和结构，然后介绍各种常用机构的类型、运动特点、功能和运动设计的方法。这些常用机构包括连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系、间歇运动机构、螺旋机构、摩擦传动机构、挠性传动机构、液压气动机构、组合机构、开式链机构等。全篇重点讨论闭式链机构，也适当介绍开式链机构；每章重点讨论平面机构，也适当介绍空间机构。目的在于使读者在进行机电产品设计时，既有广阔的视野，又有坚实的基本功。本篇的内容将为机械系统的方案创新设计打下必要的机构学方面的基础。

第 1 章 机构的构型分析

机构有多种类型,不同的机构有着不同的结构。而机构的结构取决于机构的运动形式、组成方法和机构自由度等一些重要的因素。机构的组成是把若干构件按一定规律联接起来使之成为运动的系统的,所以在设计机构时,需要从大量且各样的机构中选择最合适的结构及零件的形式。为此,同学们首先应该了解现代机构的基本形式、结构特点和组成原理。考虑到实际中机械大多数为平面机构,所以本章将主要进行平面机构的结构分析。

1.1 机构的组成

1.1.1 构件与零件

机构是由具有确定运动的单元体组成的,这些运动单元体称为构件。在机械原理中,一般认为构件是刚体或柔韧体(如皮带、钢丝绳和链条等),而不是液体和气体。组成构件的制造单元体称为零件。构件可以由一个或多个零件组成,图 1-1 所示内燃机的曲轴 1 为一个零件;连杆 2 为多个零件组成。因此,构件是相互固接在一起的零件组合体。

1.1.2 运动副及其分类

1. 运动副

在机构中,每一构件都以一定方式与其他构件相互联接。这种使两构件直接接触的可动联接称为运动副。如轴与轴承、滑块与导轨、轮齿与轮齿、凸轮与推杆等的联接都构成了运动副,如图 1-2 所示。两构件只接触构成运动副的部分称为运动副元素。图 1-2 中运动副元素分别为圆柱和圆孔面、棱柱和棱孔面及齿廓曲面。为保证两构件恒处于接触状态,运动副应是几何封闭或力封闭。至于组成运动副后,两构件能产生哪些相对运动,与该运动副性质或与该运动副所引入的约束有关。

2. 运动副分类

由理论力学可知,作平面运动的构件可有三个独立运动,即在直角坐标系中沿 x 轴和 y 轴的移动,及绕 z 轴的转动。构件的独立运动数目称为构件的自由度。显然作平面运动的构件有三个自由度。而作空间运动的构件有六个自由度,即三个移动和三个转动。

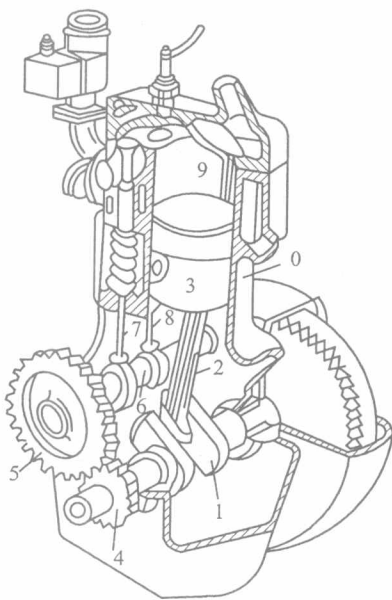


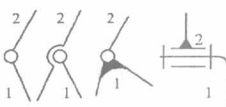
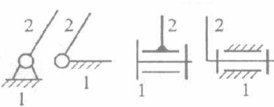
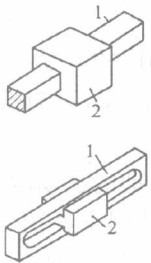
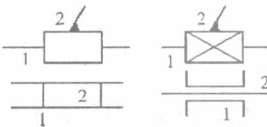
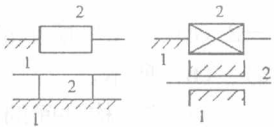
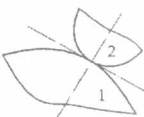
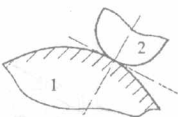
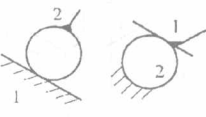
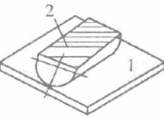
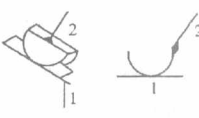
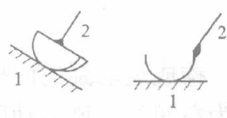
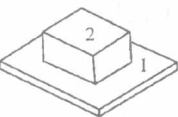
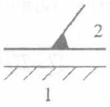
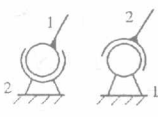
图 1-1

当一构件与另一构件组成运动副后,由于构件间的直接接触,使构件的某些独立运动受到限制,构件自由度数便随之减少。这种对构件独立运动的限制称为约束。多一个约束,构件便失去一个自由度。显然,作平面或空间运动的构件其约束数不能超过2或5,否则构件将没有相对运动。

运动副的分类方法如下:

(1) 按运动副所引入的约束数目分。引入一个约束的运动副称为Ⅰ级副,引入两个约束的运动副称为Ⅱ级副,依次有Ⅲ级副、Ⅳ级副和Ⅴ级副,见表1-1。

表1-1 常用运动副的模型及符号

运动副名称 及代号	运动副模型	运动副级别 及封闭方式	运动副符号	
			两运动构件构成的运动副	构件之一为固定时的运动副
平面运动副	转动副 	Ⅴ级副 几何封闭		
	移动副 	Ⅴ级副 几何封闭		
	平面高副 	Ⅳ级副 力封闭		
空间运动副	点高副 	Ⅰ级副 力封闭		
	线高副 	Ⅱ级副 力封闭		
	平面副 	Ⅲ级副 力封闭		
	球面副 	Ⅲ级副 几何封闭		

续表 1-1

运动副名称 及代号	运动副模型	运动副级别 及封闭方式	运动副符号	
			两运动构件构成的运动副	构件之一为固定时的运动副
空间运动副	球销副	IV级副 几何封闭		
	圆柱副	IV级副 几何封闭		
	螺旋副	V级副 几何封闭		

(2) 按两构件间的接触情况分。凡两构件以点或线接触构成的运动副称为高副，如图 1-2 (c)、(d) 所示的运动副。凡两构件以面接触构成的运动副称为低副，如图 1-2 (a)、(b) 所示。

(3) 按两构件间的相对运动形式分。两构件之间作相对转动的运动副称为转动副（或称铰链），如图 1-2 (a) 所示；做相对移动的运动副称为移动副，如图 1-2 (b) 所示。此外，还有作相对螺旋运动的螺旋副和作相对球面运动的球面副和球销副。

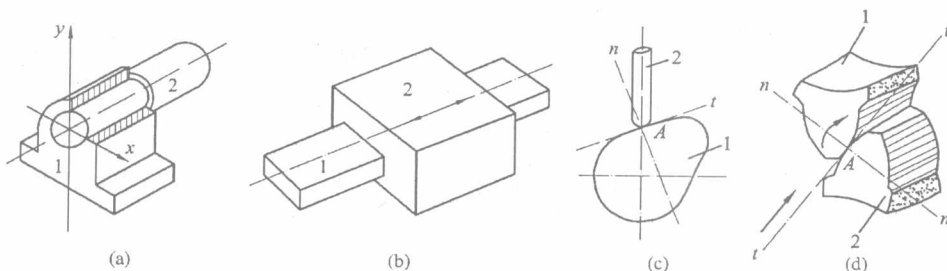


图 1-2

构成运动副的两构件的运动平面为相互平行的，该运动副称为平面运动副，而运动平面为空间的，该运动副称为空间运动副。

常用运动副的符号见表 1-1，图中画斜线的构件代表固定构件。

1.1.3 运动链与机构

若干个构件通过运动副所构成的相对可动系统称为运动链。如果运动链中各构件构成了首末封闭的系统，称其为闭式运动链，如图 1-3 (a)、(b) 所示；若未构成首末封闭的系统，称其为开式运动链，如图 1-3 (c)、(d) 所示。根据运动链中各构件的运动平面是否平行，运动链又分为平面运动链和空间运动链，分别如图 1-3 和图 1-4 所示。