

高等学校教材

机械设计基础

(第四版)

杨可桢 程光蕴 主编

JIXIE SHEJI JICHU

高等教育出版社



1122

Y19

(4)

00446146

高等学校教材

机械设计基础

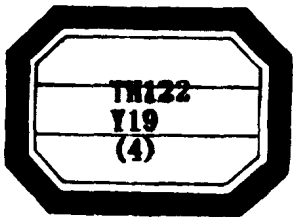
(第四版)

杨可桢 程光蕴 主编



00446146

5



高等教育出版社

(京) 112号

内 容 提 要

本书是在前三版基础上,参照1995年5月国家教育委员会批准印发的《高等工业学校机械设计基础课程教学基本要求(多学时)》和新近颁布的有关国家标准进行修订的。

本书的体系和章节顺序与第三版相同,全书18章,第1章至第8章讲述常用机构及机器动力学基本知识;第9章至第18章讲述常用联接、机械传动、轴系零部件和弹簧。

本书可作为高等工业学校机械设计基础课程的教材,也可供有关工程技术人员参考。

本书曾获国家教委高等学校优秀教材一等奖。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/杨可桢,程光蕴主编;钱庆蕊等编.—4版.
—北京:高等教育出版社,1999
ISBN 7-04-007279-3

I. 机… I. ①杨… ②程… ③钱… II. 机械设计-基
础理论-高等学校-教材 IV. TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第30969号

机械设计基础(第四版)

杨可桢 程光蕴

出版发行	高等教育出版社		
社 址	北京市东城区沙滩后街55号	邮政编码	100009
电 话	010-64054588	传 真	010-64014048
网 址	http://www.hep.edu.cn		
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷	北京外文印刷厂		
开 本	787×1092 1/16	版 次	1979年5月第1版
印 张	19.25		1999年6月第4版
字 数	470 000	印 次	1999年6月第1次印刷
		定 价	15.60元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

第四版序

《机械设计基础》第四版是根据1995年5月国家教育委员会批准印发的《高等工业学校机械设计基础课程教学基本要求(多学时)》和几年来各校使用这本教材的实践经验修订的。

本书的体系和章节顺序与第三版相同。在组织教学时,若有必要可适当调整本书的章节顺序。

与第三版相比,本次修订在内容上作了更新和增补,如介绍机器与机构的新概念,增加花键联接校核,根据新近颁布的国家标准对蜗杆传动、带传动、滚动轴承、金属材料等内容予以更新;对某些叙述较繁琐的部分酌予删减,如删去圆柱凸轮设计、由示功图求驱动力矩、液体动压轴承设计计算及不可拆联接等;增补了一些习题,其中有些习题用于加强学生查阅手册的训练。

本书小号字部分为论证及延伸内容,教学中可酌情取舍。

和过去一样,编者仍试图从满足教学基本要求、贯彻少而精原则出发,力求做到精选内容、适当拓宽知识面、反映学科新成就,但深度适中,篇幅不大,以期保持一本简明教材的特色。

本书承大连理工大学胡西樵、马书山两位教授细心审阅,提出很多宝贵意见,编者对此深表感谢。

本书第一版由南京工学院程光蕴、钱庆蕊、杨可桢、朱永玉、胡宗祺、郑文纬;同济大学喻怀正、董亲建;上海工业大学王绍杰;上海科技大学谢伟民、胡哲鸿;华东化工学院李永年、李仲生编写。杨可桢、程光蕴担任主编。参加本书第四版修订的有程光蕴、钱庆蕊、杨可桢、汝元功。修订过程中,各章修改较大之处均曾征询原编者意见。本书增补和更新的插图由阮嘉仪描绘。

编者殷切希望广大读者在使用过程中,对本书的错误和欠妥之处提出批评。对本书的意见请寄:南京东南大学机械系机械学学科组(邮编210018)

编者

1998年6月

目 录

绪论	1	§ 4-9 圆锥齿轮机构	69
§ 0-1 本课程研究的对象和内容	1	习题	72
§ 0-2 本课程在教学中的地位	3	第 5 章 轮系	74
§ 0-3 机械设计的基本要求和一般过程	3	§ 5-1 轮系的类型	74
习题	4	§ 5-2 定轴轮系及其传动比	74
第 1 章 平面机构的自由度和速度		§ 5-3 周转轮系及其传动比	76
分析	5	§ 5-4 复合轮系及其传动比	79
§ 1-1 运动副及其分类	5	§ 5-5 轮系的应用	80
§ 1-2 平面机构运动简图	7	§ 5-6 几种特殊的行星传动简介	82
§ 1-3 平面机构的自由度	9	习题	86
§ 1-4 速度瞬心及其在机构速度分析上 的应用	13	第 6 章 间歇运动机构	90
习题	16	§ 6-1 棘轮机构	90
第 2 章 平面连杆机构	20	§ 6-2 槽轮机构	92
§ 2-1 铰链四杆机构的基本型式和特性	20	§ 6-3 不完全齿轮机构	94
§ 2-2 铰链四杆机构有整转副的条件	25	§ 6-4 凸轮间歇运动机构	95
§ 2-3 铰链四杆机构的演化	26	习题	95
§ 2-4 平面四杆机构的设计	30	第 7 章 机械运转速度波动的调节	97
习题	35	§ 7-1 机械运转速度波动调节的目的和 方法	97
第 3 章 凸轮机构	38	§ 7-2 飞轮设计的近似方法	98
§ 3-1 凸轮机构的应用和类型	38	§ 7-3 飞轮主要尺寸的确定	102
§ 3-2 从动件的常用运动规律	39	习题	102
§ 3-3 凸轮机构的压力角	43	第 8 章 回转件的平衡	105
§ 3-4 图解法设计凸轮轮廓	44	§ 8-1 回转件平衡的目的	105
§ 3-5 解析法设计凸轮轮廓	48	§ 8-2 回转件的平衡计算	105
习题	51	§ 8-3 回转件的平衡试验	108
第 4 章 齿轮机构	52	习题	111
§ 4-1 齿轮机构的特点和类型	52	第 9 章 机械零件设计概论	113
§ 4-2 齿廓实现定角速比传动的条件	53	§ 9-1 机械零件设计概述	113
§ 4-3 渐开线齿廓	54	§ 9-2 机械零件的强度	114
§ 4-4 齿轮各部分名称及渐开线标准齿轮的 基本尺寸	55	§ 9-3 机械零件的接触强度	119
§ 4-5 渐开线标准齿轮的啮合	58	§ 9-4 机械零件的耐磨性	121
§ 4-6 渐开线齿轮的切齿原理	60	§ 9-5 机械制造常用材料及其选择	122
§ 4-7 根切、最少齿数及变位齿轮	62	§ 9-6 公差与配合、表面粗糙度和优先 数系	124
§ 4-8 平行轴斜齿轮机构	65	§ 9-7 机械零件的工艺性及标准化	127

习题	128	§ 12-6 圆柱蜗杆传动的效率、润滑和 热平衡计算	190
第 10 章 联接	131	习题	192
§ 10-1 螺纹参数	131	第 13 章 带传动和链传动	194
§ 10-2 螺旋副的受力分析、效率和 自锁	132	§ 13-1 带传动的类型和应用	194
§ 10-3 机械制造常用螺纹	134	§ 13-2 带传动的受力分析	196
§ 10-4 螺纹联接的基本类型及螺纹 紧固件	137	§ 13-3 带的应力分析	198
§ 10-5 螺纹联接的预紧和防松	139	§ 13-4 带传动的弹性滑动和传动比	200
§ 10-6 螺栓联接的强度计算	141	§ 13-5 普通 V 带传动的计算	201
§ 10-7 螺栓的材料和许用应力	145	§ 13-6 V 带轮的结构	208
§ 10-8 提高螺栓联接强度的措施	146	§ 13-7 同步带传动简介	210
§ 10-9 螺旋传动	148	§ 13-8 链传动的特点和应用	210
§ 10-10 滚动螺旋简介	150	§ 13-9 链条和链轮	211
§ 10-11 键联接和花键联接	151	§ 13-10 链传动的运动分析和受力 分析	214
§ 10-12 销联接	156	§ 13-11 链传动的主要参数及其选择	216
习题	157	§ 13-12 滚子链传动的计算	218
第 11 章 齿轮传动	159	§ 13-13 链传动的润滑和布置	222
§ 11-1 轮齿的失效形式	159	习题	223
§ 11-2 齿轮材料及热处理	160	第 14 章 轴	225
§ 11-3 齿轮传动的精度	162	§ 14-1 轴的功用和类型	225
§ 11-4 直齿圆柱齿轮传动的作用力及 计算载荷	163	§ 14-2 轴的材料	226
§ 11-5 直齿圆柱齿轮传动的齿面接触 强度计算	164	§ 14-3 轴的结构设计	227
§ 11-6 直齿圆柱齿轮传动的轮齿弯曲 强度计算	166	§ 14-4 轴的强度计算	229
§ 11-7 斜齿圆柱齿轮传动	170	§ 14-5 轴的刚度计算	233
§ 11-8 直齿圆锥齿轮传动	173	§ 14-6 轴的临界转速的概念	235
§ 11-9 齿轮的构造	174	习题	235
§ 11-10 齿轮传动的润滑和效率	176	第 15 章 滑动轴承	237
§ 11-11 圆弧齿轮传动简介	177	§ 15-1 摩擦状态	237
习题	179	§ 15-2 滑动轴承的结构型式	238
第 12 章 蜗杆传动	182	§ 15-3 轴瓦及轴承衬材料	240
§ 12-1 蜗杆传动的特点和类型	182	§ 15-4 润滑剂和润滑装置	242
§ 12-2 圆柱蜗杆传动的主要参数和 几何尺寸	183	§ 15-5 非液体摩擦滑动轴承的计算	245
§ 12-3 蜗杆传动的失效形式、 材料和结构	186	§ 15-6 动压润滑的基本原理	246
§ 12-4 圆柱蜗杆传动的受力分析	188	§ 15-7 液体动压多油楔轴承简介	249
§ 12-5 圆柱蜗杆传动的强度计算	188	§ 15-8 静压轴承与空气轴承简介	250
		习题	251
		第 16 章 滚动轴承	252
		§ 16-1 滚动轴承的基本类型和特点	252
		§ 16-2 滚动轴承的代号	255
		§ 16-3 滚动轴承的选择计算	257

§ 16-4 滚动轴承的润滑和密封	263	§ 18-2 圆柱螺旋拉伸、压缩弹簧的 应力与变形	283
§ 16-5 滚动轴承的组合设计	265	§ 18-3 弹簧的制造、材料和许用应力	285
习题	267	§ 18-4 圆柱螺旋拉伸、压缩弹簧的 设计	287
第 17 章 联轴器、离合器和制动器	269	§ 18-5 其他弹簧简介	292
§ 17-1 联轴器、离合器的类型和应用	269	习题	294
§ 17-2 固定式刚性联轴器	269	附录	295
§ 17-3 可移式刚性联轴器	270	附表 1 常用向心轴承的径向基本额定动载荷 C_r 和径向额定静载荷 C_{0r}	295
§ 17-4 弹性联轴器	273	附表 2 常用角接触球轴承的径向基本额定动 载荷 C_r 和径向额定静载荷 C_{0r}	295
§ 17-5 牙嵌离合器	274	附表 3 常用圆锥滚子轴承的径向基本额定动 载荷 C_r 和径向额定静载荷 C_{0r}	296
§ 17-6 圆盘摩擦离合器	275	主要参考书	297
§ 17-7 磁粉离合器	278		
§ 17-8 定向离合器	279		
§ 17-9 制动器	279		
习题	281		
第 18 章 弹簧	282		
§ 18-1 弹簧的功用和类型	282		

绪 论

§ 0-1 本课程研究的对象和内容

人类通过长期生产实践创造了机器，并使其不断发展形成当今多种多样的类型。在现代生产和日常生活中，机器已成为代替或减轻人类劳动、提高劳动生产率的主要手段。使用机器的水平是衡量一个国家现代化程度的重要标志。

机器是执行机械运动的装置，用来变换或传递能量、物料、信息。凡将其他形式能量变换为机械能的机器称为原动机，如内燃机、电动机（分别将热能和电能变换为机械能）等都是原动机。凡利用机械能去变换或传递能量、物料、信息的机器称为工作机，如发电机（机械能变换为电能）、起重机（传递物料）、金属切削机床（变换物料外形）、录音机（变换和传递信息）等都属于工作机。

图 0-1 所示为单缸四冲程内燃机，它是由汽缸体 1、活塞 2、进气阀 3、排气阀 4、连杆 5、曲轴 6、凸轮 7、顶杆 8、齿轮 9 和 10 等组成。燃气推动活塞作往复移动，经连杆转变为曲轴的连续转动。凸轮和顶杆是用来启闭进气阀和排气阀的。为了保证曲轴每转两周进、排气阀各启闭一次，曲轴与凸轮轴之间安装了齿数比为 1:2 的齿轮。这样，当燃气推动活塞运动时，各构件协调地动作，进、排气阀有规律地启闭，加上汽化、点火等装置的配合，就把热能转换为曲轴回转的机械能。

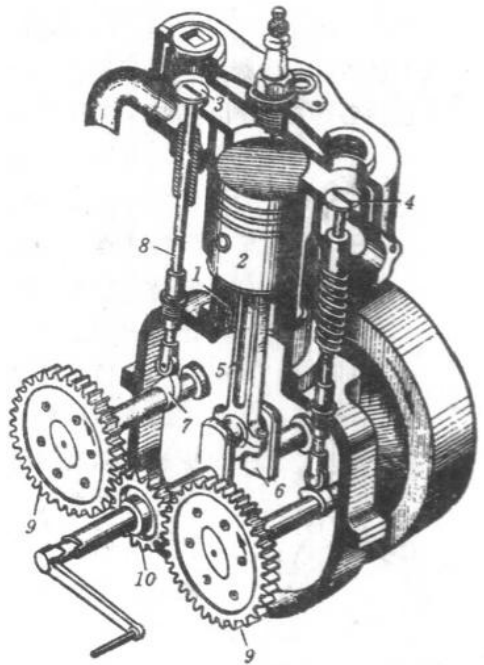


图 0-1 内燃机

图 0-2 所示为一工业机器人，它由铰接臂机械手 1、计算机控制器 2、液压装置 3 和电力装置 4 组成。当机械手的大臂、小臂和手按指令有规律地运动时，手端夹持器（图中未示出）便将物料搬运到预定的位置。在这部机器中，机械手是传递运动和执行任务的装置，是机器的主体部分，电力装置和液压装置提供动力，计算机实施控制。

从以上二例可以看出，机器的主体部分是由许多运动构件组成的。用来传递运动和力的、有一个构件为机架的、用构件间能够相对运动的连接方式组成的构件系统称为机构。在一般情况下，为了传递运动和力，机构各构件间应具有确定的相对运动。在图 0-1 所示内燃机中，活塞、

连杆、曲轴和气缸体组成一个曲柄滑块机构，可将活塞的往复运动变为曲柄的连续转动。凸轮、顶杆和气缸体组成凸轮机构，将凸轮轴的连续转动变为顶杆有规律的间歇移动。曲轴和凸轮轴上的齿轮与气缸体组成齿轮机构，使两轴保持一定的速比。机器的主体部分是由机构组成的。一部机器可以包含一个或若干个机构，例如鼓风机和电动机只包含一个机构，而内燃机则包含曲柄滑块机构、凸轮机构、齿轮机构等若干个机构。机器中最常用的机构有连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系和间歇运动机构等。

就功能而言，一般机器包含四个基本组成部分：动力部分、传动部分、控制部分、执行部分。动力部分可采用

人力、畜力、风力、液力、电力、热力、磁力、压缩空气等作动力源，其中利用电力和热力的原动机（电动机和内燃机）使用最广。传动部分和执行部分由各种机构组成，是机器的主体。控制部分包括各种控制机构（如内燃机中的凸轮机构）、电气装置、计算机和液压系统、气压系统等。

机构与机器的区别在于：机构只是一个构件系统，而机器除构件系统之外还包含电气、液压等其他装置；机构只用于传递运动和力，机器除传递运动和力之外，还应当具有变换或传递能量、物料、信息的功能。但是，在研究构件的运动和受力情况时，机器与机构之间并无区别。因此，习惯上用“机械”一词作为机器和机构的总称。

构件是运动的单元。它可以是单一的整体，也可以是由几个零件组成的刚性结构。如图 0-3 所示内燃机的连杆就是由连杆体 1、连杆盖 4、螺栓 2 以及螺母 3 等几个零件组成。这些零件之间没有相对运动，构成一个运动单元，成为一个构件。零件是制造的单元^①。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。

本书第一章至第八章着重研究机械中的常用机构（连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系和间歇运动机构）及机器动力学的基本知识（如机械的调速和平衡）；第九章及其后各章着重研究常用的联接（如螺纹联接、键联接），机械传动（螺旋传动、带传动、链传动、齿轮传动和蜗杆传动），轴系零、部件（轴、轴承、联轴器）

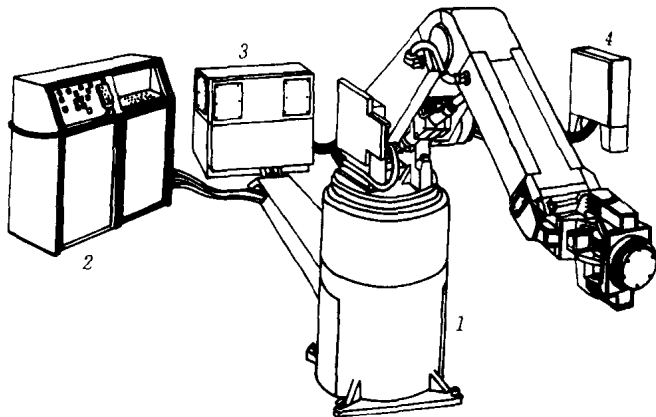


图 0-2 工业机器人

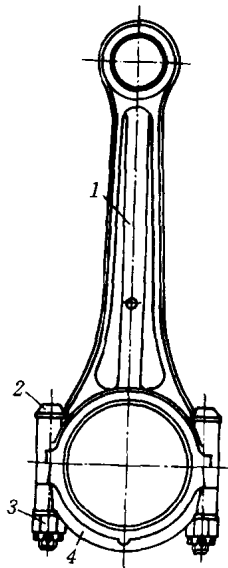


图 0-3 连杆

^① 通常把为完成共同任务而结合起来的一组零件称为部件，它是装配的单元，如联轴器、滚动轴承、减速器等。但是，在一般论述中，对零件和部件往往不作严格区分，而统称为零件。

和弹簧等，并扼要介绍国家标准和有关规范。这些常用机构和通用零件的工作原理、设计理论和计算方法，对于专用机械和专用零件的设计也具有一定的指导意义。

随着科学技术的发展，特别是计算机的应用，出现了一些新的机械设计方法。例如：用优化方法寻求最佳设计方案；用有限元法对强度、刚度、润滑、传热问题进行数值计算；用可靠性设计精确评定机械零件的强度和寿命等。这些新的设计方法，目前已在我国高等学校单独设课讲授，故不包括在本课程之中。

§ 0-2 本课程在教学中的地位

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。

机械设计基础将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。

机械设计基础将使从事工艺、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，为日后从事技术革新创造条件。

机械设计是许多理论和实际知识的综合运用。机械设计基础的先修课程主要是机械制图、工程材料及机械制造基础、金工实习、理论力学和材料力学等。除此以外，考虑到许多近代机械设备中包含复杂的动力系统和控制系统，因此，各专业的工程技术人员还应当了解液压传动、气压传动、电子技术和计算机等有关知识。

在各个生产部门实现机械化，对于发展国民经济具有十分重要的意义。为了加速社会主义建设的步伐，应当对原有机械设备进行技术改造，以充分挖掘企业潜力；应当设计出各种高质量的成套设备来装备各个生产部门；还应当研究和设计出完善的机械手和机器人，从事空间探测、海底开发和实现生产过程自动化。可以预计，在实现四个现代化的进程中，机械设计这门学科必将发挥越来越大的作用，它本身也将得到更大的发展。

§ 0-3 机械设计的基本要求和一般过程

机械设计是指规划和设计实现预期功能的新机械或改进原有机械的性能。

设计机械应满足的基本要求是：在满足预期功能的前提下，性能好、效率高、成本低，在预定使用期限内安全可靠、操作方便、维修简单和造型美观等。

在明确设计要求之后，机械设计包括以下主要内容：确定机械的工作原理，选择合宜的机构；拟定设计方案；进行运动分析和动力分析，计算作用在各构件上的载荷；进行零部件工作能力计算、总体设计和结构设计。本书第一至八章着重介绍选择机构和拟定设计方案的有关知识，第九至十八章着重论述应力分析、零部件工作能力计算和结构设计的有关内容。

一部机器的诞生，从感到某种需要、萌生设计念头、明确设计要求开始，经过设计、制造、

鉴定到产品定型，是一个复杂细致的过程。为了清晰，将机械设计的一般过程用框图来表示（图 0-4）。

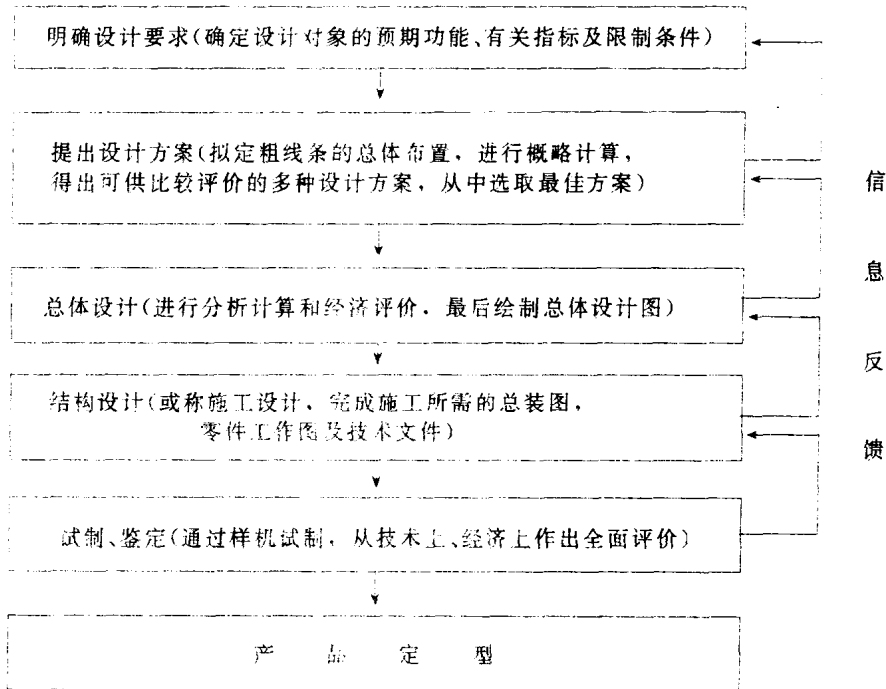


图 0-4 机械设计的一般过程

设计人员必须善于把设计构思、设计方案，用语言、文字和图形方式传递给主管者和协作者，以取得批准和赞同。除具体技术问题外，设计人员还要论证下列问题：（1）此设计是否确为人们所需要？（2）有哪些特色？能否与同类产品竞争？（3）制造上是否经济？（4）维修保养是否方便？（5）是否有市场？（6）社会效益与经济效益如何？

设计人员要富有创造精神；要从实际情况出发；要调查研究；要广泛吸取用户和工艺人员的意见，在设计、加工、安装和调试过程中及时发现问题、反复修改，以期取得最佳的成果，并从中累积设计经验。

习 题

0-1 对具有下述功用的机器各举出两个实例：（1）原动机；（2）将机械能变换为其他形式能量的机器；（3）变换物料的机器；（4）变换或传递信息的机器；（5）传递物料的机器；（6）传递机械能的机器。

0-2 指出下列机器的动力部分、传动部分、控制部分和执行部分：（1）汽车；（2）自行车；（3）车床；（4）缝纫机；（5）电风扇；（6）录音机。

0-3 指出缝纫机中若干专用零件和通用零件。

第 1 章 平面机构的自由度和速度分析

如绪论所述，机构是一个构件系统，为了传递运动和力，机构各构件之间应具有确定的相对运动。但任意拼凑的构件系统不一定能发生相对运动；即使能够运动，也不一定具有确定的相对运动。讨论机构满足什么条件构件间才具有确定的相对运动，对于分析现有机构或设计新机构都是很重要的。

在研究机械工作特性和运动情况时，常常需要了解两个回转件间的角速比、直移构件的运动速度或某些点的速度变化规律，因而有必要对机构进行速度分析。

实际机械的外形和结构都很复杂，为了便于分析研究，在工程设计中，通常都用简单线条和符号绘制的机构运动简图来表示实际机械。工程技术人员应当熟悉机构运动简图的绘制方法。

上述内容将在本章的各节中详细加以讨论。

所有构件都在相互平行的平面内运动的机构称为平面机构，否则称为空间机构。目前工程中常见的机构大多属于平面机构，因此，本章只讨论平面机构。

§ 1-1 运动副及其分类

一个作平面运动的自由构件具有三个独立运动。如图 1-1 所示，在 Oy 坐标系中，构件 S 可随其上任意一点 A 沿 x 轴、 y 轴方向移动和绕 A 点转动。这种相对于参考系构件所具有的独立运动称为构件的自由度。所以一个作平面运动的自由构件有三个自由度。

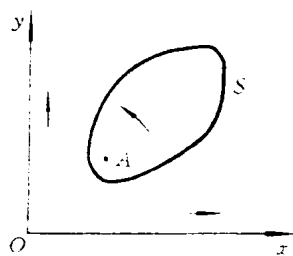


图 1-1 平面运动刚体的自由度

机构是由许多构件组成的。机构的每个构件都以一定的方式与某些构件相互联接。这种联接不是固定联接，而是能产生一定相对运动的联接。这种使两构件直接接触并能产生一定相对运动的联接称为运动副。例如轴与轴承的联接、活塞与气缸的联接、传动齿轮两个轮齿间的联接等都构成运动副。构件组成运动副后，其独立运动受到约束，自由度便随之减少。

两构件组成的运动副，不外乎通过点、线或面的接触来实现。按照接触特性，通常把运动副分为低副和高副两类。

1. 低副

两构件通过面接触组成的运动副称为低副。平面机构中的低副有转动副和移动副两种。

(1) 转动副 若组成运动副的两构件只能在一个平面内相对转动，这种运动副称为转动副。

或称铰链，如图 1-2 所示。

(2) 移动副 若组成运动副的两个构件只能沿某一轴线相对移动，这种运动副称为移动副，如图 1-3 所示。

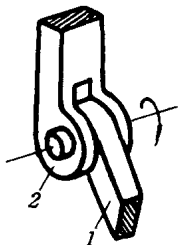


图 1-2 转动副

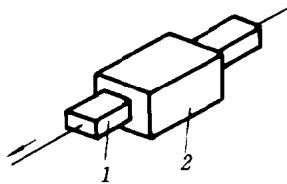


图 1-3 移动副

2. 高副

两构件通过点或线接触组成的运动副称为高副。图 1-4a 中的车轮与钢轨、图 b 中的凸轮与从动件、图 c 中的轮齿 1 与轮齿 2 分别在接触处 A 组成高副。组成平面高副二构件间的相对运动是沿接触处切线 $t-t$ 方向的相对移动和在平面内的相对转动。

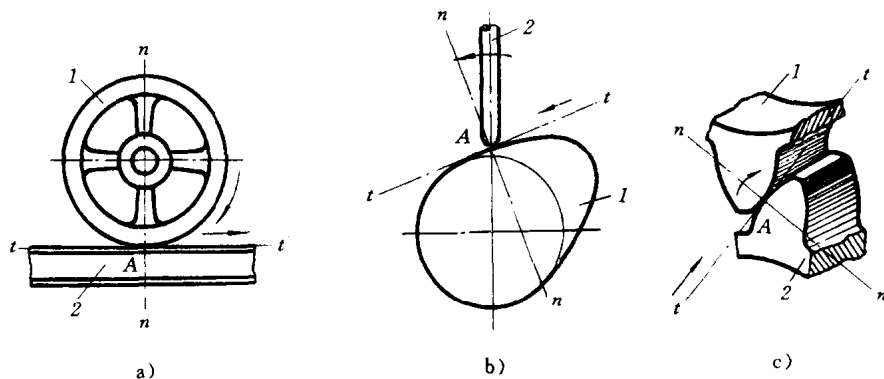


图 1-4 平面高副举例

除上述平面运动副之外，机械中还经常见到如图 1-5a 所示的球面副和图 1-5b 所示的螺旋副。这些运动副两构件间的相对运动是空间运动，故属于空间运动副。空间运动副已超出本章讨论的范围，故不赘述。

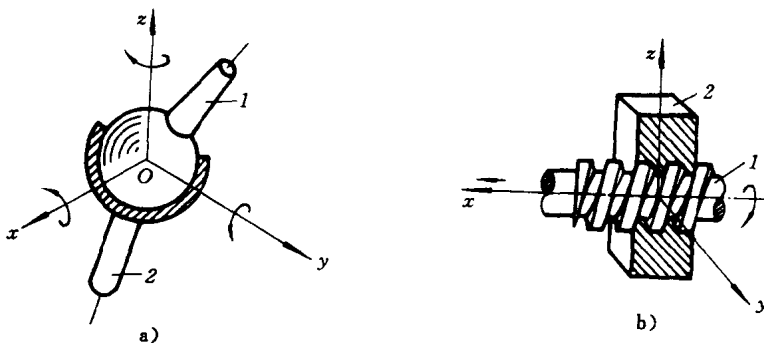


图 1-5 球面副和螺旋副

§ 1-2 平面机构运动简图

实际构件的外形和结构往往很复杂，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构件外形和运动副具体构造，仅用简单线条和符号来表示构件和运动副，并按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化图形，称为机构运动简图。

机构运动简图中的运动副表示如下：

图 1-6a、b、c 是两个构件组成转动副的表示方法。用圆圈表示转动副，其圆心代表相对转动轴线。若组成转动副的二构件都是活动件，则用图 a 表示。若其中有一个为机架，则在代表机架的构件上加阴影线，如图 b、c 所示。

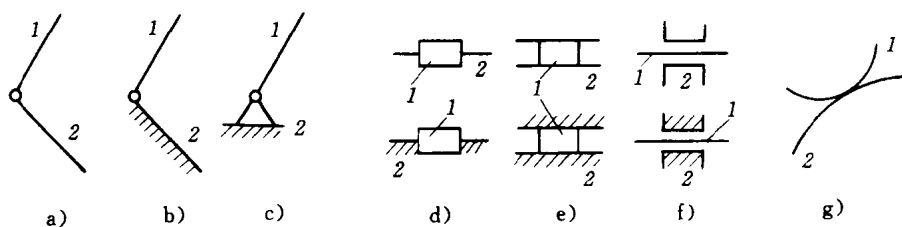


图 1-6 平面运动副的表示方法

两构件组成移动副的表示方法如图 1-6d、e、f 所示。移动副的导路必须与相对移动方向一致。同前所述，图中画阴影线的构件表示机架。

两构件组成高副时，在简图中应当画出两构件接触处的曲线轮廓，如图 1-6g 所示。

图 1-7 为构件的表示方法。图 a 表示参与组成两个转动副的构件。图 b 表示参与组成一个转动副和一个移动副的构件。在一般情况下，参与组成三个转动副的构件可用三角形表示。为了表明三角形是一个刚性整体，常在三角形内加剖面线或在三个角上涂以焊缝的标记，如图 c 所示；如果三个转动副中心在一条直线上，则可用图 d 表示。超过三个运动副的构件的表示方法

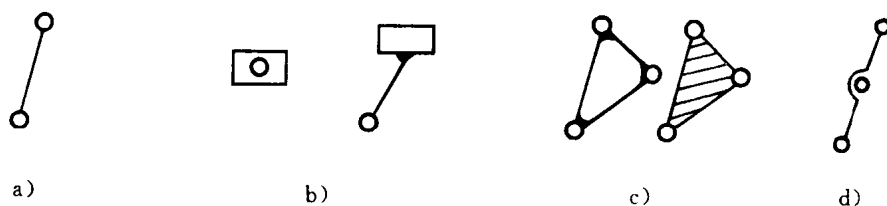


图 1-7 构件表示方法

可依此类推。对于机械中常用的构件和零件，有时还可采用惯用画法，例如用粗实线或点划线画出一对节圆来表示互相啮合的齿轮；用完整的轮廓曲线来表示凸轮。其他常用零部件的表示方法可参看 GB4460—84 “机构运动简图符号”。

机构中的构件可分为三类：

(1) 固定构件（机架） 是用来支承活动构件（运动构件）的构件。例如图 0-1 中的气缸体就是固定构件，它用以支承活塞和曲轴等。研究机构中活动构件的运动时，常以固定构件作为

参考坐标系。

(2) 原动件(主动件) 是运动规律已知的活动构件。它的运动是由外界输入的, 故又称为输入构件。例如图 0-1 中的活塞就是原动件。

(3) 从动件 是机构中随着原动件的运动而运动的其余活动构件。其中输出预期运动的从动件称为输出构件, 其他从动件则起传递运动的作用。例如图 0-1 中的连杆和曲轴都是从动件, 由于该机构的功用是将直线运动转换为定轴转动, 因此, 曲轴是输出构件, 连杆是用于传递运动的从动件。

任何一个机构中, 必有一个构件被相对地看作固定构件。例如气缸体虽然跟随汽车运动, 但在研究发动机的运动时, 仍把气缸体当作固定构件。在活动构件中必须有一个或几个原动件, 其余的都是从动件。

下面举例说明机构运动简图的绘制方法。

例 1-1 绘制图 1-8a 所示颚式破碎机的机构运动简图。

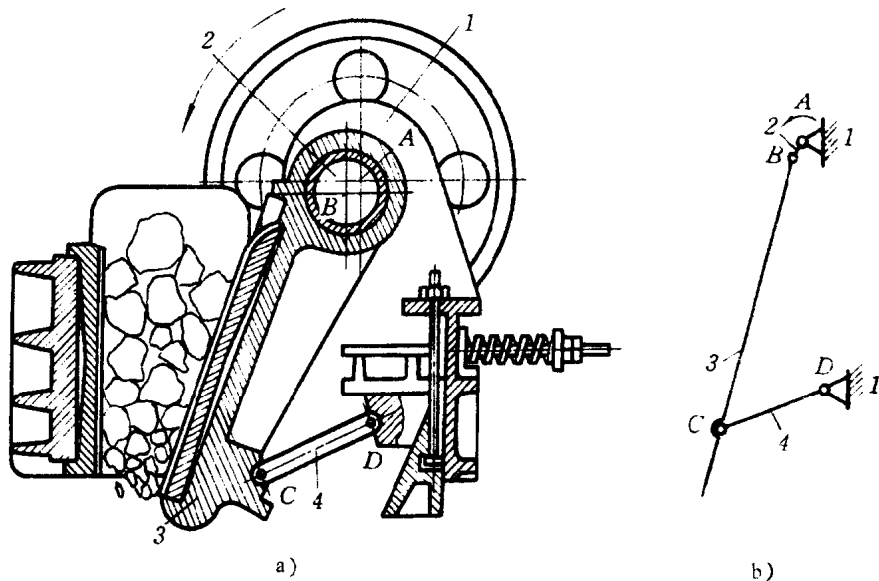


图 1-8 颚式破碎机及其机构运动简图

解 颚式破碎机的主体机构由机架 1、偏心轴(又称曲轴) 2、动颚 3、肘板 4 共四个构件组成。带轮与偏心轴固联成一整体, 它是运动和动力输入构件, 即原动件, 其余构件都是从动件。当带轮和偏心轴 2 绕轴线 A 转动时, 驱使输出构件动颚 3 作平面复杂运动, 从而将矿石轧碎。

在确定构件数目之后, 再根据各构件间的相对运动确定运动副的种类和数目。偏心轴 2 与机架 1 绕轴线 A 相对转动, 故构件 1、2 组成以 A 为中心的转动副; 动颚 3 与偏心轴 2 绕轴线 B 相对转动, 故构件 2、3 组成以 B 为中心的转动副; 肘板 4 与动颚 3 绕轴线 C 相对转动, 故构件 3、4 组成以 C 为中心的转动副; 肘板与机架绕轴线 D 相对转动, 故构件 4、1 组成以 D 为中心的转动副。

选定适当比例尺, 根据图 a 尺寸定出 A、B、C、D 的相对位置, 用构件和运动副的规定符号绘出机构运动简图, 如图 1-8b 所示。

最后, 将图中的机架画上阴影线, 并在原动件 2 上标出指示运动方向的箭头。

需要指出, 虽然动颚 3 与偏心轴 2 是用一个半径大于 AB 的轴颈联接的, 但是运动副的规定符号仅与相对

运动的性质有关，而与运动副的结构尺寸无关，所以在简图中仍可用小圆圈表示。

例 1-2 绘制图 1-9a 所示活塞泵机构的机构运动简图。

解 活塞泵由曲柄 1、连杆 2、齿扇 3、齿条活塞 4 和机架 5 共五个构件所组成。曲柄 1 是原动件，2、3、4 为从动件。当原动件 1 回转时，活塞在气缸中往复运动。

各构件之间的联接如下：构件 1 和 5、2 和 1、3 和 2、3 和 5 之间为相对转动，分别构成转动副 A、B、C、D。构件 3 的轮齿与构件 4 的齿构成平面高副 E。构件 4 与构件 5 之间为相对移动，构成移动副 F。

选取适当比例，按图 a 尺寸，用构件和运动副的规定符号画出机构运动简图，如图 1-9b 所示。

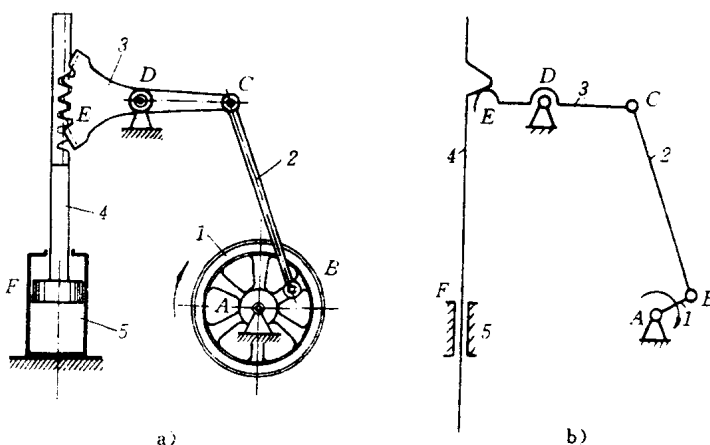


图 1-9 活塞泵及其机构运动简图

应当说明，绘制机构运动简图时，原动件的位置选择不同，所绘机构运动简图的图形也不同。当原动件位置选择不当时，构件互相重叠或交叉，使图形不易辨认。为了清楚地表达各构件的相互关系，应当选择一个恰当的原动件位置来绘图。

§ 1-3 平面机构的自由度

机构的各构件之间应具有确定的相对运动。显然，不能产生相对运动或作无规则运动的一堆构件难以用来传递运动。为了使组合起来的构件能产生相对运动并具有运动确定性，有必要探讨机构自由度和机构具有确定运动的条件。

一、平面机构自由度计算公式

如前所述，一个作平面运动的自由构件具有三个自由度。因此，平面机构的每个活动构件，在未用运动副联接之前，都有三个自由度，即沿 x 轴和 y 轴的移动，以及在 xOy 平面内的转动。当两个构件组成运动副之后，它们的相对运动就受到约束，自由度随之减少。不同种类的运动副引入的约束不同，所保留的自由度也不同。例如图 1-2 所示的转动副，约束了两个移动自由度，只保留一个转动自由度；而移动副（图 1-3）约束了沿一轴方向的移动和在平面内的转动两个自由度，只保留沿另一轴方向移动的自由度；高副（图 1-4）则只约束了沿接触处公法线 nn 方向移动的自由度，保留绕接触处转动和沿接触处公切线 tt 方向移动两个自由度。也可以说，在平面机构中，每个低副引入两个约束，使构件失去两个自由度；每个高副引入一个约束，使构件失去一个自由度。

设平面机构共有 K 个构件。除去固定构件，则机构中的活动构件数为 $n=K-1$ 。在未用运动副联接之前，这些活动构件的自由度总数为 $3n$ 。当用运动副将构件联接起来组成机构之后，机构中各构件具有的自由度就减少了。若机构中低副数为 P_L 个，高副数为 P_H 个，则机构中全部

运动副所引入的约束总数为 $2P_L + P_H$ 。因此活动构件的自由度总数减去运动副引入的约束总数就是该机构的自由度（旧称机构活动度），以 F 表示，即

$$F = 3n - 2P_L - P_H \quad (1-1)$$

这就是计算平面机构自由度的公式。由公式可知，机构自由度 F 取决于活动构件的件数以及运动副的性质（低副或高副）和个数。

机构的自由度也即是机构相对于机架所具有的独立运动的数目。由前述可知，从动件是不能独立运动的，只有原动件才能独立运动。通常每个原动件只具有一个独立运动（如电动机转子具有一个独立转动，内燃机活塞具有一个独立移动），因此，机构的自由度必定与原动件数相等。

例 1-3 计算图 1-8b 所示颚式破碎机主体机构的自由度。

解 在颚式破碎机主体机构中，有三个活动构件， $n=3$ ；包含四个转动副， $P_L=4$ ；没有高副， $P_H=0$ 。所以由式 (1-1) 得机构自由度

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$$

该机构具有一个原动件（曲轴 2），原动件数与机构的自由度相等。

例 1-4 计算图 1-9 所示活塞泵的自由度。

解 活塞泵具有四个活动构件， $n=4$ ；五个低副（四个转动副和一个移动副）， $P_L=5$ ；一个高副， $P_H=1$ 。由式 (1-1) 得

$$F = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 1 = 1$$

机构的自由度与原动件（曲柄 1）数相等。

机构的原动件的独立运动是由外界给定的。如果给出的原动件数不等于机构的自由度，则将产生如下的影响：

图 1-10 所示为原动件数小于机构自由度的例子（图中原动件数等于 1，而机构的自由度 $F=3 \times 4 - 2 \times 5 = 2$ ）。当只给定原动件 1 的位置角 φ_1 时，从动件 2、3、4 的位置不能确定，不具有确定的相对运动。只有给出两个原动件，使构件 1、4 都处于给定位置，才能使从动件获得确定运动。

图 1-11 所示为原动件数大于机构自由度的例子（图中原动件数等于 2，机构的自由度 $F=3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$ ）。如果原动件 1 和原动件 3 的给定运动都要同时满足，势必将杆 2 拉断。

图 1-12 所示为机构自由度等于零的构件组合（ $F=3 \times 4 - 2 \times 6 = 0$ ）。它的各构件之间不可

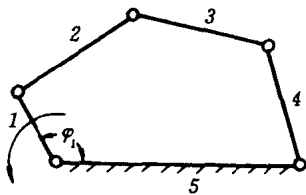


图 1-10 原动件数 $< F$

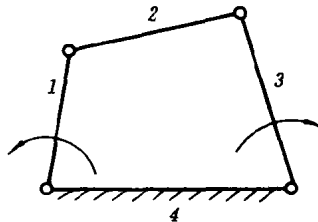


图 1-11 原动件数 $> F$

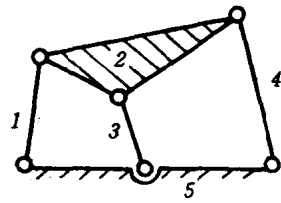


图 1-12 $F=0$ 的构件组合