



职工高等工业专科学校
高等职业技术教育

试用教材

机械工业出版社精品教材

机械设计基础

第2版

孙宝钧 主编



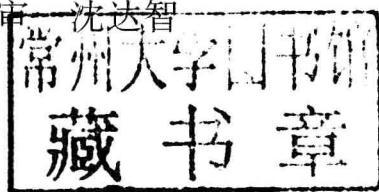
机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

机械工业出版社精品教材
职工高等工业专科学校 试用教材
高等职业技术教育

机械设计基础

第 2 版

主 编 孙宝钧
副主编 罗 华 郭贯之 鹿 林
参 编 屈 圭 陆 韵 郑祖堂
主 审 沈达智



机械工业出版社

本书是根据中国机械工程学会职工高等教育委员会机电一体化专业教学大纲编写的。经五年试用,现修订再版。再版中纳入了最新国家标准,并在与国际接轨中作了一些努力。

全书共分十五章,第一章为绪论;第二~七章讲述了机械原理的基本内容;第八章为机械零件设计概论;第九~十五章介绍了带、链、齿轮、蜗杆传动以及联接、轴、轴承、联轴器、离合器等通用零件的选择、设计计算等问题。

本书不仅是职工高等工业专科学校机电一体化专业的教材,也可作为成人高校、高等职业技术学院、普通高校专科机械类、近机类各专业的教材,还可供其它各专业师生和广大工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础 / 孙宝钧主编. -2 版. -北京:机械工业出版社,1999.5(2011.1 重印)
职工高等工业专科学校试用教材 高等职业技术教育
试用教材
ISBN978-7-111-04708-7

I. 机… II. 孙… III. 机械设计-技术学校:高等学校-教材… IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 07901 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:王海峰 王世刚 版式设计:霍永明 责任校对:孙志筠
封面设计:姚毅 责任印制:杨曦
赤峰彩益印刷有限公司印装
2011 年 1 月第 2 版第 17 次印刷
184mm×260mm ·18 印张·435 千字
112001-117000 册
标准书号:ISBN978-7-111-04708-7
定价:25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

封面无防伪标均为盗版

读者服务部:(010)68993821

序

随着机电一体化技术与产品在世界范围内的兴起与发展,教育必须紧紧跟上形势及经济发展的需要。1990年4月我会受原机械电子工业部教育司委托,组织了全国部分成人高等学校的专家、教授在天津编写了“机电一体化”等专业指导性教学文件,对本专业的研究与发展起了一定的推动和示范作用。编写组的这项工作获得1991年全国学会工作成果奖。

1992年我会机械制造专业委员会桂林年会建议编写“机电一体化”成套教材,以解决本专业当前教学急需。经过一年多的工作,重新编写了“机电一体化”专业教学计划(分为应用型和技艺型两类)及各科教学大纲,并在部分职工高校试用。在此同时,着手组织编写教材及出版工作。鉴于这套教材进程以及工作上的方便,自1993年5月济南会议起,由学会秘书处统一组织工作,并委托我会学术委员会具体负责本次编辑出版的协调和实施工作。

这套教材以我会学术委员会、机械制造专业委员会、工程材料专业委员会、技术基础课委员会、基础学科委员会为主,集中我会全国学术骨干力量编写的。书目有1.工程材料与金属工艺学;2.金属切削机床与数控机床;3.伺服系统与机床电气控制;4.机械制造工艺与机床夹具;5.计算机绘图;6.微机与可编程控制器;7.数控原理与编程;8.电子技术;9.8098单片机原理与应用;10.高等数学;11.工程数学;12.工程力学;13.公差配合与技术测量;14.电工技术;15.金属切削原理与刀具;16.机械设计基础;17.液压与气压传动;18.画法几何与机械制图;19.模具设计与制造;20.机械设计课程设计;21.画法几何与机械制图习题集。

本书可作为高等院校、高等职业技术教育院校、成人高校机电类及其它专业使用教材。

中国机械工程学会
职工高等教育专业学会

第 1 版 前 言

“机械设计基础”是职工高等工业专科学校机电一体化专业开设的一门技术基础课。本书是根据 1993 年 5 月中国机械工程学会职工高等教育委员会济南会议制订的教学计划, 1994 年 6 月苏州会议通过的教学大纲编写的。

职工高等工业专科学校, 培养的是应用型人才, “机械设计基础”课程是相应专业教学计划中属于需要加强的主干技术基础课。为此, 本书在力求精炼的前提下, 注重了对学生基本技能的训练和综合分析能力的培养, 尽量在培养应用型人才上下功夫。本书采用了法定计量单位和近年来颁布的有关国家标准。书中标有※号的内容供不同专业选用, 教学中可根据实际情况作必要的取舍。

本书由新疆职工大学孙宝钧副教授任主编。安徽淮南机械职工大学陈兰溪副教授任副主编。天津南开职工大学王顺清, 新疆职工大学罗华, 太原重型机器厂职工大学田治安, 兰州石化机器厂职大李丰浦, 上海机床公司职工大学梅筱荣, 苏州市职工业余大学施雄泉, 常州市机械冶金职工大学郭贯之, 江西省机械职工大学陆韵, 苏州市机械职工大学曹萍, 太原职工钢铁学院李小莉, 内蒙第一机械制造厂工学院陈明任编委。在本书整理过程中, 新疆职工大学罗华做了大量工作。本书由新疆八一农学院赵云望教授任主审。本书编写分工如下: 第一、八章孙宝钧、第二章罗华; 第三章田治安; 第四章李丰浦; 第五章梅筱荣; 第六、十五章施雄泉; 第七章郭贯之; 第九章陆韵; 第十章王顺清; 第十一、十六章曹萍; 第十二章李小莉; 第十三章陈明; 第十四章陈兰溪。

限于编者水平, 本书难免存在不少缺点和不妥之处, 恳望广大师生、读者批评指正。

编 者

第 2 版 前 言

随着科学技术的飞速发展，高等学校的教材也应该及时地进行修订，以适应现代化建设对人才培养的需要，适应社会主义市场经济对人才培养的需要，适应世界市场竞争对人才培养的需要。《机械设计基础》自第 1 版出版以来，得到了使用本书的同行们的厚爱，但教材本身还存在着一些不足之处，需要修订，使其跟上时代前进的步伐，为此，决定修订、再版。再版中对下面几个方面作为着力点：一是加大了应用型人才培养的力度，加强了应用环节，删去了一些不必要的部分，如某些公式推导等；二是加大了采用新标准的力度，纳入了一些 1997 年发布、1998 年实施的最新国家标准；三是加大了与国际标准接轨的力度，如 GB/T3480—1997 渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法，等效采用了国际标准 ISO6336-1 ~ 6336-3:1996，再版中根据该标准对第十章齿轮传动进行了重新编写；四是加大了使教材精炼的力度，再版后，本教材的篇幅有较大压缩。

本书再版由新疆职工大学孙宝钧教授任主编；新疆职工大学罗华、常州市机械冶金职工大学郭贯之、新疆高等工业专科学校鹿林任副主编；新疆机械电子职工大学屈圭、江西省机械职工大学陆韵、新疆职工大学郑祖堂参加了修订工作。再版编写分工如下：第一、八章孙宝钧；第二、三、四、六、十一章罗华；第五、七章郭贯之；第九章陆韵；第十章屈圭；第十二、十三章鹿林；第十四、十五章郑祖堂。全书由沈达智主审。

再版编写中虽经精心工作，但限于编者水平，缺点和不妥之处在所难免，恳请同行们指正。

编 者

目 录

序	
第 1 版前言	
第 2 版前言	
第一章 绪论	1
第一节 机械设计基础研究的对象	1
第二节 本课程的作用	2
第三节 机械设计的基本要求和一般过程	2
第二章 平面机构	4
第一节 运动副及其分类	4
第二节 平面机构的运动简图	6
第三节 平面机构的自由度	7
第三章 平面连杆机构	13
第一节 平面连杆机构概述	13
第二节 平面连杆机构的基本类型	14
第三节 平面四杆机构的演化	16
第四节 平面四杆机构的几个工作特性	17
第五节 平面四杆机构的设计	22
第四章 凸轮机构	31
第一节 凸轮机构的特点及类型	31
第二节 从动件的常用运动规律	32
第三节 设计凸轮的轮廓曲线	39
第四节 凸轮机构设计中的几个问题	44
第五章 齿轮机构	49
第一节 齿轮机构的特点及类型	49
第二节 齿廓啮合基本定律	50
第三节 渐开线齿廓	51
第四节 渐开线齿轮各部分的名称及尺寸	53
第五节 渐开线齿轮传动的啮合	55
第六节 渐开线齿轮的切齿原理	59
第七节 根切现象、最少齿数及变位齿轮	61
第八节 斜齿圆柱齿轮传动	64
第九节 圆锥齿轮传动	69
第六章 轮系	73
第一节 轮系的功用及分类	73
第二节 定轴轮系的传动比	73
第三节 周转轮系的传动比	75
第四节 混合轮系及其传动比	77
第七章 其它常用机构简介及机构的组合设计	80
第一节 其它常用机构简介	80
第二节 机构的组合设计	86
第八章 机械零件设计概论	98
第一节 概述	98
第二节 机械零件的主要失效形式和设计计算准则	99
第三节 机械零件的强度	101
第四节 机械零件常用材料及其选择	106
第五节 机械零件的结构工艺性及标准化	108
第九章 联接	110
第一节 螺纹	110
第二节 螺纹联接及其预紧和防松	112
第三节 螺栓组联接的设计与受力分析	118
第四节 单个螺栓联接的强度计算	122
第五节 提高螺栓联接强度的措施	127
第六节 轴—毂联接	129
第七节 铆接、焊接、胶接	137
第十章 齿轮传动	142
第一节 齿轮传动的失效形式和计算准则	142
第二节 齿轮的材料及热处理	143
第三节 齿轮传动的精度	146
第四节 直齿圆柱齿轮传动的的作用力及计算载荷	146
第五节 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	153
第六节 斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	163
第七节 直齿圆锥齿轮传动的强度计算	168
第八节 齿轮的结构	170
第九节 齿轮传动的润滑及效率	172
第十节 圆弧齿轮传动简介	173

第十一节 渐开线圆柱齿轮传动计算机辅助 设计 (CAD) 简介	175	第一节 概述	222
第十一章 蜗杆传动	179	第二节 轴的结构设计	224
第一节 蜗杆传动的特点和类型	179	第三节 轴的设计计算	227
第二节 普通圆柱蜗杆传动的主要参数和 几何尺寸计算	180	第四节 轴的刚度和临界速度的概念	233
第三节 蜗杆传动的失效形式、材料和 结构	184	第十四章 轴承	235
第四节 蜗杆传动的受力分析	186	第一节 滑动轴承的类型及典型结构	235
第五节 蜗杆传动的效率、润滑和热 平衡计算	187	第二节 轴瓦结构和轴承的材料	237
第十二章 带传动和链传动	191	第三节 滑动轴承的摩擦状态及润滑	241
第一节 概述	191	第四节 非液体摩擦滑动轴承的计算	243
第二节 V 带和 V 带轮	193	第五节 液体摩擦滑动轴承简介	244
第三节 带传动的工作情况分析	198	第六节 滚动轴承的类型、代号及选用	246
第四节 普通 V 带传动的设计计算	201	第七节 滚动轴承的失效形式和设计 准则	250
第五节 带传动的张紧和维护	209	第八节 滚动轴承的寿命计算	252
第六节 滚子链及其链轮	211	第九节 滚动轴承的静负荷计算	256
第七节 链传动的运动特性	214	第十节 滚动轴承的极限转速	257
第八节 滚子链传动的设计计算	215	第十一节 滚动轴承的组合设计	261
第九节 链传动的润滑及布置	220	第十二节 轴承的润滑及密封	265
第十三章 轴	222	第十五章 联轴器 离合器 弹簧	272
		第一节 联轴器和离合器	272
		第二节 弹簧简介	276
		参考文献	279

第一章 绪 论

机械设计是一门应用科学，是研究机械类产品的设计、开发、改造，以满足经济发展和社会需求的科学。机械设计涉及工程技术的各个领域。一台新的设备从提出设计任务到制造出来投入正常使用，一般要经过市场调查、收集同类产品信息、研究、设计、制造、运行考核等各个阶段。在设计阶段，不但要根据设计要求确定先进、合理的结构和工作原理，进行运动、动力、强度、刚度分析，完成图样设计，而且要研究在制造、销售、使用以及售后服务等方面的问题。机械设计又是一项创造性的工作，因此，设计人员除必须具有机械设计及与机械设计相关的深厚的基础知识和专业知识外，还要有饱满的创造热情。

第一节 机械设计基础研究的对象

机械是机器和机构的总称。

机器具有下列特征：①它是多种人为实物的组合。②各部分间具有确定的相对运动。③能代替或减轻人们的劳动和改善生活条件，完成有效的机械功或转换机械能。在现代生产和人们的日常生活中常见的电动机、内燃机、起重机、各种机床、电风扇、洗衣机等都是机器。

燃气推动活塞作往复运动，经连杆转变为曲轴的连续转动。凸轮和顶杆启闭进气阀和排气阀。为了保证曲轴每转两周进、排气阀各启闭一次，在曲轴和凸轮轴之间安装了齿轮，齿数比为 1:2。这样，当燃气推动活塞运动时，进、排气阀有规律地启闭，把燃气的热能转换为曲轴转动的机械能。

电动机和电风扇则是把电能转换成机械能。

机构只具有机器的前两个特征，即机构也是人为的实物组合，其各部分之间具有确定的相对运动。在内燃机中，活塞（看作滑块）、连杆、曲轴（看作曲柄）和缸体组成一个曲柄滑块机构，可将活塞的往复移动转变为曲轴的连续转动。凸轮、顶杆、气缸体组成凸轮机构，将凸轮的连续转动转变为顶杆的有规律的往复移动。曲轴、凸轮轴上的齿轮和气缸体组成齿轮机构，使两轴保持一定的转速比。

由上可知，机器是由机构组成的。一部机器可以包含几个机构，也可以只包含一个机构，如电动机。

组成机构的各个相对运动部分称为构件。构件可以是单一的整体，也可以是几个元件的刚性组合。如

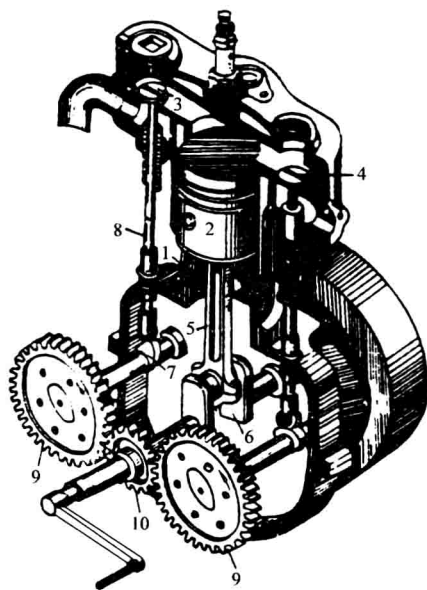


图 1-1 内燃机

- 1—气缸体 2—活塞 3—进气阀 4—排气阀
5—连杆 6—曲轴 7—凸轮
8—顶杆 9、10—齿轮

图 1-2 的齿轮用键与轴刚性地联接在一起, 则键、轴、齿轮之间便无相对运动, 成为一个运动的整体, 即一个构件。组成这个构件的三个元件则称为零件。构件是运动的单元, 零件是制造的单元。

机器中普遍使用的机构称为常用机构, 如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系、间歇运动机构等。

机构中的零件分为两类。一类是在各种机械中经常遇到的, 称为通用零件, 如齿轮、弹簧、轴等。另一类是只出现在某些专用机械中的, 称为专用零件, 如汽轮机的叶轮, 内燃机的活塞等。

机械设计基础主要研究机械中常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本设计原理和计算方法以及材料的选择。这些常用机构和通用零件的设计原理、计算方法和材料选择, 对于专用机械和专用零件的设计也具有指导意义。

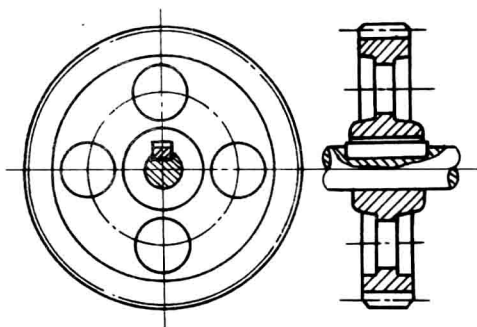


图 1-2 齿轮

第二节 本课程的作用

在现代化生产中, 几乎没有一个领域不使用机械, 即不但在机械制造部门, 而且在动力、采矿、冶金、石油、化工、建筑、轻纺、食品工业等部门工作的工程技术人员, 都将经常接触各种类型的机械, 因此, 他们都应该具备一定的机械设计基础知识。虽然每一种机械都有一些专门的问题, 需要有专门的课程来研究, 但各种机械也有其共性问题, “机械设计基础”课程就是研究这些共性问题的。可见, “机械设计基础”是高等学校工科有关专业一门重要的技术基础课。

通过本课程的学习, 将为学生学习有关专业课程提供必要的基础知识; 为学生将来从事机械产品设计、开发提供必要的理论基础; 为将来从事工艺、运行、管理工作时, 能对所使用机械的传动原理有正确地理解, 获得对设备正确使用、维护和故障分析的能力; 使学生具有运用标准、规范、手册、图册和查阅有关技术资料及编写设计说明书的能力; 使学生对与本课程有关的最新技术成果及其发展方向有所了解。

“机械设计基础”本身是许多理论和实践知识综合运用的课程, 在整个课程体系中又具有从理论性课程过渡到结合工程实际的设计课程, 从基础课程过渡到专业课程的承前启后的桥梁作用。

第三节 机械设计的基本要求和一般过程

机械设计应满足下列基本要求:

- 1) 机械设计首先要保证产品的功能, 而且要使产品的功能最优。
- 2) 要保证产品的工艺性。产品的工艺性是指产品的加工和装配是否可行、合理、经济。因此, 设计人员必须全面关心产品的加工、装配, 以至包装、运输的整个过程。
- 3) 产品要满足使用和维护要求。要把努力使机器适应人作为设计人员的重要任务。需

考虑的主要问题有：工作区域的空间分配；通风条件；色彩和照明；手柄、开关及踏脚的位置和尺寸；操作者的体力；安全保护；操作者的心理和习惯；使用者对机械的外观要求等。

4) 要使产品的社会效益好、经济效益高。既要使产品得到社会的认可，又要使产品的成本低、效率高。

5) 要有创造性。既要认真选择原有成功的原理和结构，又要大胆摒弃旧的，创造和构思新颖的原理和结构。

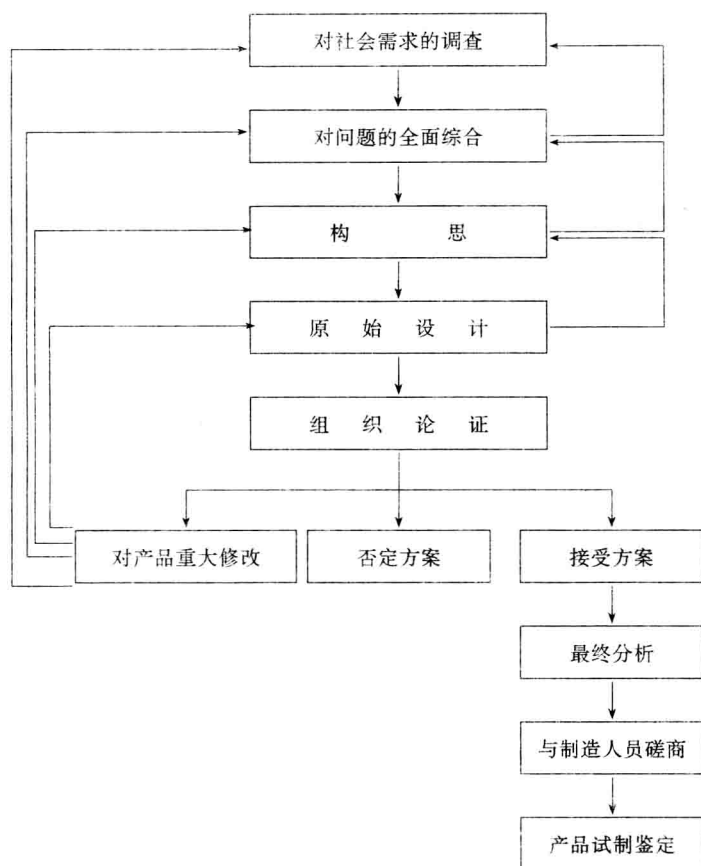


图 1-3 机械设计的一般过程

机械设计是一个复杂的过程，可以大致分为三个阶段，即初步设计阶段、论证阶段、试制鉴定阶段。初步设计阶段包括：对社会需求的调查；对问题的全面综合（包括制定设计技术任务书）；构思；原始设计（包括总体设计和结构设计）。论证阶段主要解决本产品是否为社会需要，有无销路；与同类产品有无竞争力；结构是否合理，使用维护是否方便；经济效益有多大。试制鉴定阶段主要解决制造中发现的问题和能否投入批量生产的问题。

设计是一个动态过程。在全过程中，要不断地调查研究、征求意见，发现问题及时修改，以期取得最佳效果。既使在机械产品投入市场后，也要进行跟踪调查，根据从用户中反馈的信息，对产品不断改进完善。

第二章 平面机构

机构是由两个以上有确定相对运动的构件组成的。如果机构中所有运动部分均在同一平面或平行平面中运动，则称为平面机构。目前工程上常见的机构大多属于平面机构，所以，本章仅限于讨论平面机构。

第一节 运动副及其分类

一、构件

从根本上来讲机器是由零件组成的。所谓零件，是指机器中每一个单独加工的单元体。从运动的角度来看，并不是所有零件在机器运动过程中都是独立地起作用的，而往往是把几个零件刚性地联接在一起，使它们成为一个独立运动的单元体，我们把每一个运动的单元体就称为一个构件（简称为“杆”）。

构件是构成机器的最小的运动单元体，机器是由机构组成的，而机构是由构件组成的。构件可以是一个单独的零件，也可以由几个零件刚性地联接在一起组成。图 2-1 所示内燃机连杆，就是一个独立运动的单元体，是一个构件，但从制造的角度来看，它却是由分别加工的连杆体 1、连杆头 2、轴套 3、轴瓦 4、螺栓 5、螺母 6 等组成。

二、运动副

机构是由构件组成，而机构最主要的特征是各构件之间具有确定的相对运动。这就要求组成机构的各构件必须以一定的方式进行联接，但这种联接不是刚性的，而是通过联接，各构件之间仍能有一定的相对运动。这种使两个构件直接接触并能产生某种相对运动的联接就称为运动副。平面机构中，构成运动副的各构件的运动均为平面运动，故该运动副就称为平面运动副。

（一）运动副的种类

1. 高副 两构件构成点、线接触的运动副称为高副。如图 2-2 所示齿轮轮齿间的啮合。

2. 低副 两构件组成面接触的运动副称为低副。如图 2-3a 和 b，均为低副。

平面低副按其相对运动形式分为转动副和移动副。

（1）转动副 两构件间只能产生相对转动的运动副称为转动副。如图 2-3a 所示。

（2）移动副 两构件间只能产生相对移动的运动副称为移动副。如图 2-3b 所示滑块与导向装置的联接。

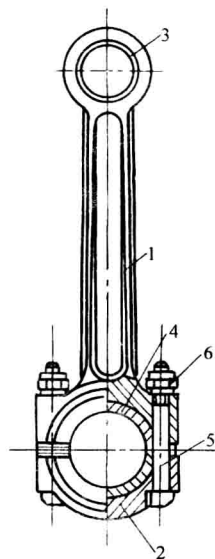


图 2-1 内燃机连杆

1—连杆体 2—连杆头 3—轴套
4—轴瓦 5—螺栓 6—螺母

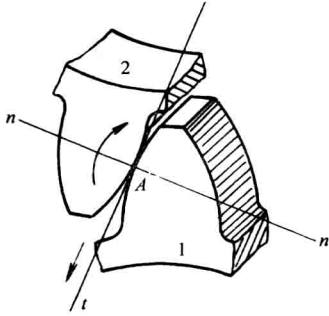


图 2-2 高副

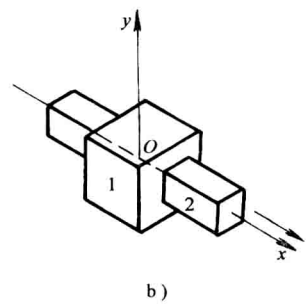
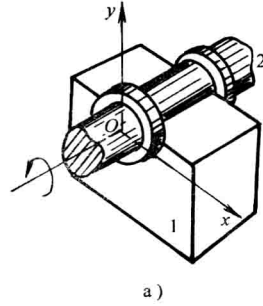


图 2-3 低副

a) 转动副 b) 移动副

(二) 运动副的表示方法

1) 转动副的画法如图 2-4a、b、c。其中带斜线的为固定构件 (又称机架)。

2) 移动副的画法如图 2-5a、b、c。

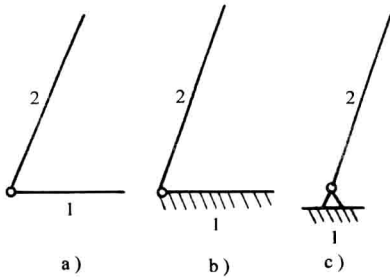


图 2-4 转动副的表示方法

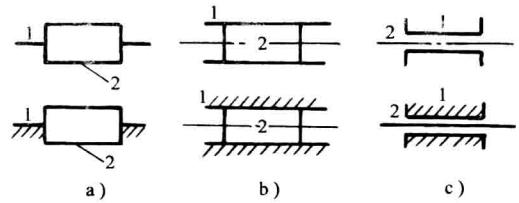


图 2-5 移动副的表示方法

3) 高副的表示方法如图 2-6a 和 b 所示, 即绘出其接触处的廓线形状。图 a 为凸轮副, 图 b 为齿轮副 (也可用一对节圆代替)。

(三) 构件的表示方法

1) 参与形成两个运动副的构件, 其表示方法见图 2-7。

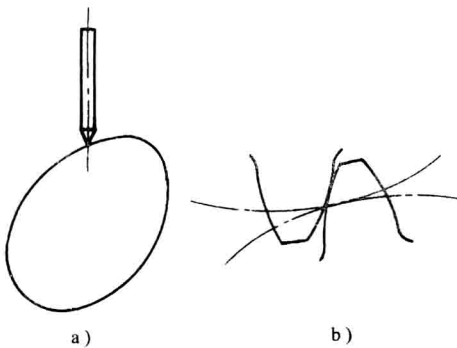


图 2-6 高副的表示方法

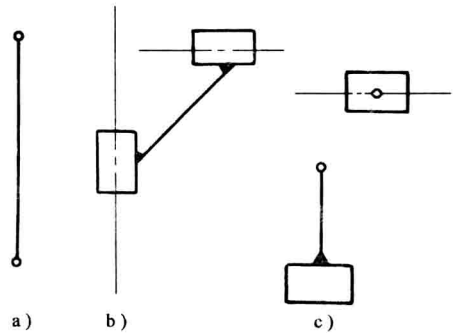


图 2-7 构件的表示方法

2) 参与形成三个转动副的构件, 其表示方法如图 2-8a、b、c 所示。图 a 是用三角形表示, 为了表明这是一个单一的构件, 故在三角形内角上涂以焊缝符号。图 b 也是用三角形表示, 只是将整个三角形画上斜线以表示是一个构件。如果同一构件上的三个转动副位于一直线上, 其画法如图 c 所示。

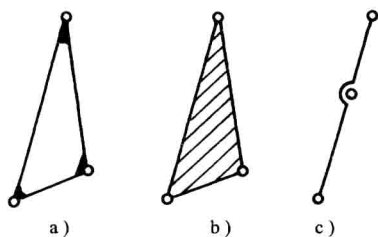


图 2-8 构件的表示方法

其它常用零部件的表示方法可参看 GB4460—84 “机构运动简图”。

第二节 平面机构的运动简图

在实际生产中对已有机构进行分析研究时, 或者在设计新的机构时, 总是首先要用工程语言——画出简图来表明其运动情况。由于从运动学的观点来看, 各种机构都是由多个构件通过运动副联接而成, 而机构的运动则决定于构件的数目、运动副的类型、数目和相对位置。所以, 为了使问题简化, 在研究机构的运动时, 有必要撇开那些与运动无关的构件的外形和运动副的具体结构, 仅用简单的线条和规定的运动副的符号来表示构件和运动副, 并按比例定出各运动副的相对位置。工程上就用这种简图来表达机构的各构件间的相对运动关系, 这就是机构的运动简图。机构运动简图与原动机具有完全相同的运动特性。

下面以图 2-9 所示发动机配气机构为例, 说明画机构简图的方法和步骤。

1. 明确机构的组成、研究分析机构的运动情况、认清机架、原动件以及构件间互相联接的运动副, 构件可用数字编号, 运动副可用字母代表。如从主动件开始 (按运动传递的顺序依次进行), 即主动件 (凸轮) 1 按顺时针方向转动, 从动件 (滚子) 2 绕转动副 C 转动, 从动件 3 绕转动副 D 摆动, 构件 4 作往复运动。故配气机构由 5 个构件, 3 个转动副 A、B、C, 一个移动副 F 和两个高副 B 和 E 组成。

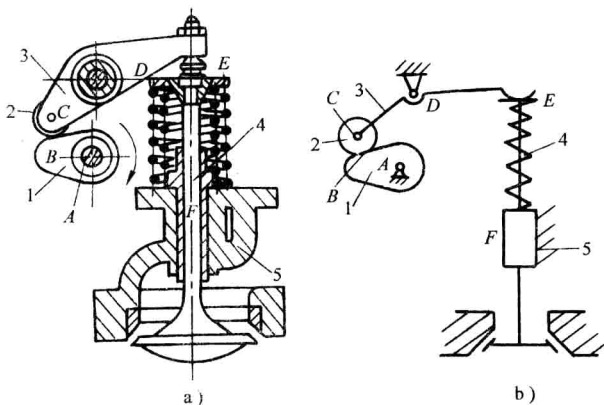


图 2-9 发动机配气机构

a) 结构图 b) 机构简图

1—凸轮 2—滚子 3—连杆 4—弹簧 5—机架

2. 选择视图平面 一般选择与各构件运动平面相互平行的平面作为绘制机构简图的视图平面。根据将图形表达清楚的原则, 把原动件定在某一位置, 以此作为机构示图的起始位置。

3. 绘制机构简图 选择适当的比例, 用前面讲述的运动副的符号, 从主动件开始依次绘图, 则就可以得到 2-9b 所示的配气机构的机构运动简图。

作图时, 要选用一定的长度比例尺 μ_l , 它是机构中任一实际尺寸与代表该尺寸的图形线段长度之比, 单位 m/mm。

例 2-1 绘制图 2-10a 所示颚式破碎机的机构运动简图。

解 颚式破碎机由图示中机架 1、偏心轴 2、动颚 3、肋板 4 共 4 个构件组成。偏心轴是原动件，动颚和肋板都是从动件。当偏心轴绕轴线 A 转动时，驱使输出构件动颚 3 作平面运动，从而将矿石轧碎。另外偏心轴 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。肋板 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，肋板与机架绕轴线 D 相对转动，故构件 4、1 组成以 D 为中心的转动副。

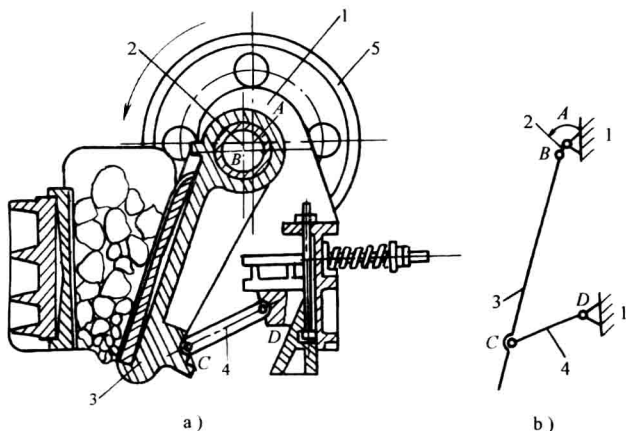


图 2-10 颚式破碎机及其机构运动简图
1—机架 2—偏心轴 3—动颚 4—肋板 5—轮

选择构件的运动平面为绘制简图的平面。并选原动件偏心轴在图 a 所示位置时，对应各从动件所在位置为机构简图的示图位置。

如图 2-10b 所示。先选定长度比例尺 μ_l ，测定图 a 上 A、B 两点的距离 l_{AB} ，在图 b 中作点 A 和 B 的位置，该图示长度 $AB = l_{AB}/\mu_l$ 。同理，按照图 a 中 A、B、C、D 各点相对位置，在图 b 中均按比例尺 μ_l 依次定出 C、D 的位置，并用构件和运动副的规定画法绘出机构的运动简图。最后，将图中的机架画上斜线，并在原动件 2 上标出指示运动方向的箭头。

第三节 平面机构的自由度

一、构件的自由度

在平面运动中，每一个独立的构件，其运动均可分为三个独立的运动，见图 2-11，即沿 x 轴和 y 轴的移动及在 xOy 平面内的转动。构件的这三种独立的运动称为其自由度。构件的位置，可以用其上任意一点 A 的 x 坐标、 y 坐标及其上任意直线 AB 的倾角 α 来决定。 x 、 y 及 α 为三个独立的参数。由上述可知：构件的自由度数等于构件的独立运动参数。

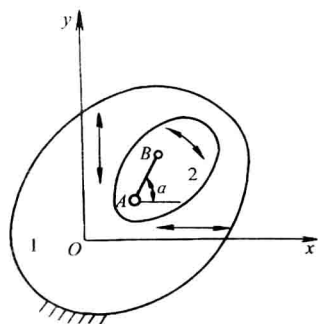


图 2-11 构件的自由度

二、运动副的约束

当两构件通过运动副联接，任一构件的运动将受到限制，从而使其自由度减少，这种限制就称为约束。每引入一个约束，构件就减少一个自由度。有运动副就要引入约束，但一个运动副不一定就引入一个约束。运动副的类型不同，引入的约束数目也不同。如图 2-3a 所示构件 2 沿 x 轴和 y 轴方向的两个移动都受到限制，而只能在坐标平面中转动。如图 2-3b 所示，同理，移动副也有两个约束。平面机构的高副，引入一个约束，构件的自由度为二。如图 2-2 所示，构件 2 相对于构件 1 在其接触点法线 $n-n$ 方向受到约束，在切线 $t-t$ 方向可移动，绕垂直于平面的轴可以转动。

由上述可知：平面低副具有两个约束，高副具有一个约束。

三、平面机构的自由度

(一) 平面机构自由度的计算公式

设一个平面机构有 N 个构件组成，其中必有一个机架，因机架为固定件，其自由度为零，故活动构件数 $n = N - 1$ 。这 n 个活动构件在没有通过运动副联接时，应该共有 $3n$ 个自由度，当用运动副将构件联接起来组成机构之后，则自由度就要减少，当引入一个低副，自由度就减少两个。当引入一个高副，自由度就减少一个。如果上述机构中引入了 p_l 个低副， p_h 个高副，则自由度减少的总数就为 $2p_l - p_h$ ，则该机构所剩的自由度数（用 F 表示）为：

$$F = 3n - 2p_l - p_h \quad (2-1)$$

式中， F 表示平面机构的自由度。上式可表示为：活动构件的自由度数减去运动副引入的约束总数，即机构中各活动构件相对于机架所具有的独立运动参数的总数就是该机构的自由度数。注意 n 为机构中的活动构件的个数，所以公式中的 n 不包括机架。

例 2-2 求图 2-12 所示凸轮机构的自由度。

解 该机构的活动构件数 $n = 2$ ，低副数 $p_l = 2$ ，高副数 $p_h = 1$ ，故

$$F = 3n - 2p_l - p_h = 3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 = 1$$

例 2-3 求图 2-13 所示平面连杆机构的自由度。

解 该机构的活动构件数 $n = 3$ ，低副数 $p_l = 4$ ，高副数 $p_h = 0$

$$F = 3n - 2p_l - p_h = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$

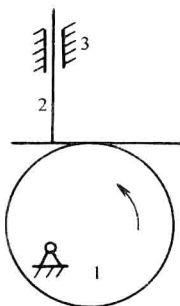


图 2-12 凸轮机构

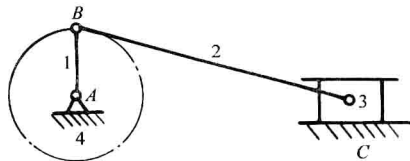


图 2-13 平面连杆机构

概括起来，机构的自由度就是机构所具有的独立运动的参数的个数。由前述可知，从动件是靠原动件来带动的，本身是不能独立运动的，只有原动件才能独立运动。通常原动件和机架相联，所以每个原动件只能有一个独立的运动参数，因此，机构的自由度必定与原动件数目相等。

如果原动件数少于自由度数，则机构就会出现运动不确定的现象，如图 2-14 所示。

如果原动件数大于自由度数，则机构中最薄弱的构件或运动副可能被破坏，如图 2-15 所示。

如果自由度等于零，则这些构件组合在一起形成的是刚性结构，各构件之间没有相对运动，故不能构成机构（图 2-16）。

综上所述：机构具有确定运动的条件是： F 大于零且 F

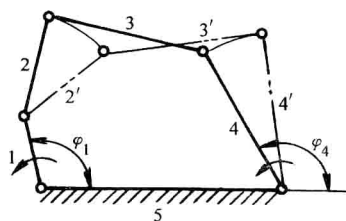


图 2-14 原动件数 $< F$

等于原动件的个数。

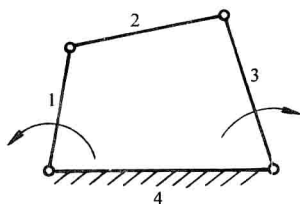


图 2-15 原动件数 $> F$

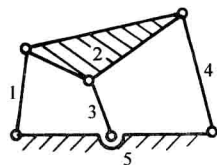


图 2-16 $F=0$ 的构件组合

(二) 计算机构的自由度时应注意的问题

在应用机构的自由度计算公式时，对以下几种情况必须加以注意。

1. 复合铰链 两个以上的构件同时在一处以转动副相联这就构成复合铰链。如图 2-17a 所示是三个构件在一处构成复合铰链，从侧视图 2-17b 中可以看出，构件 1 分别与构件 2、构件 3 构成两个转动副。依此类推，如果有 k 个构件同时在一处以转动副相联，必然构成 $(k-1)$ 个转动副。

例 2-4 计算图 2-18 所示机构的自由度。

解 图示机构中其活动构件数 $n=5$ ，C 点为复合铰链，有两个转动副，所以，低副数 $p_l=7$ ，高副数 $p_h=0$ ，则机构的自由度为

$$F = 3n - 2p_l - p_h = 3 \times 5 - 2 \times 7 - 0 = 1$$

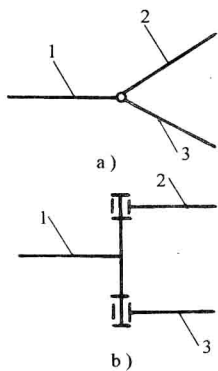


图 2-17 复合铰链

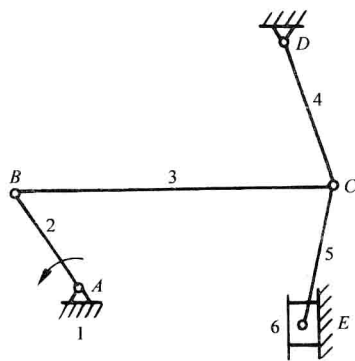


图 2-18 带复合铰链机构

2. 局部自由度 机构中存在的与输出构件运动无关的自由度称为局部自由度，在计算机构自由度时应予以排除。如图 2-19a 所示的凸轮机构。当主动构件凸轮 1 绕 O 点转动时，通过滚子 4 使从动构件 2 沿机架 3 移动，其活动构件数 $n=3$ ，低副数 $p_l=3$ ，高副数 $p_h=1$ ，按式 (2-1) 得

$$F = 3n - 2p_l - p_h = 3 \times 3 - 2 \times 3 - 1 = 2$$

这说明此机构应有两个主动构件。而实际上只有一个主动构件，这是因为此机构中有一个局部自由度——滚子 4 绕 B 点的转动，它与从动件 2 的运动无关，只是为了减少从动件与凸轮间的磨损而增加了滚子。由于局部自由度与机构运动无关，故计算自由度

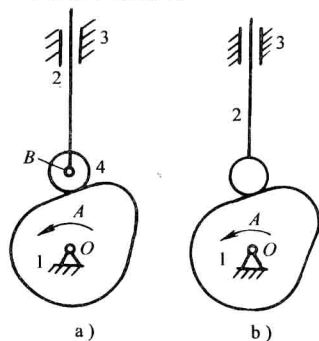


图 2-19 局部自由度