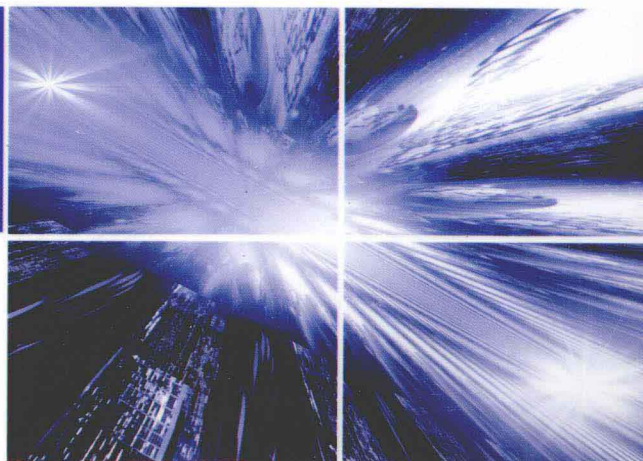


普通高等教育“十二五”规划教材



机械设计基础

樊智敏 孟兆明 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”规划教材

机 械 设 计 基 础

主 编 樊智敏 孟兆明
参 编 杨福芹 徐 俊
主 审 王 铁



机 械 工 业 出 版 社

本书是为适应现代高等教育的发展,满足当前教学改革的要求而编写的。在编写理念上以必需、够用为度,并贯彻最新国家标准,体现现代设计思想,突出理论知识的应用,加强针对性和应用性。全书内容主要包括:概论,平面机构及平面连杆机构,凸轮机构,其他常用机构,机械零件设计概论,带传动与链传动,齿轮传动,蜗杆传动,轮系,联接,轴,滚动轴承,滑动轴承,联轴器、离合器和制动器,弹簧,创新原理与创新技法,最优设计技术,减速器与变速器,每章后附有思考题与习题。

本书参考学时约 60 学时,可作为高等院校本科近机类、非机类等专业的教材,也可作为机械工程人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/樊智敏,孟兆明主编. —北京:
机械工业出版社, 2012. 2
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978 - 7 - 111 - 36848 - 9

I. ①机… II. ①樊…②孟… III. ①机械设计 - 高等学校 - 教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 264345 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑: 蔡开颖 责任编辑: 蔡开颖 章承林 冯 铤
版式设计: 霍永明 责任校对: 任秀丽
封面设计: 张 静 责任印制: 杨 曦
北京京丰印刷厂印刷
2012 年 2 月第 1 版 · 第 1 次印刷
184mm × 260mm · 18.75 印张 · 460 千字
标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 36848 - 9
定价: 38.00 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

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是为适应现代高等教育的发展,满足当前教学改革的要求,结合多年来高等院校机械设计基础课程教学改革的经验而编写的。本书贯彻最新国家标准,体现现代设计思想,突出理论知识的应用,加强针对性和应用性。本书主要特色为:

1) 强调整体设计概念,重视综合设计能力的培养。注重学生实践应用能力和工程设计能力的培养,在内容选取上,适应教学发展需要,适应不同专业的需要。

2) 针对教材中存在着内容多与学时少的矛盾,部分内容与培养新型人才不相适应,新的设计方法没有具体体现等问题,对教学内容进行了删减、重组和精炼。

3) 重视对新技术、新设计方法等新知识点的引入,力求教材内容适当,资料完整齐全并具有启发性。

4) 标准符号更新,采用了最新的国家标准和规范,协调一致,便于教学。

本书内容主要包括概论,平面机构及平面连杆机构,凸轮机构,其他常用机构,机械零件设计概论,带传动与链传动,齿轮传动,蜗杆传动,轮系,联接,轴,滚动轴承,滑动轴承,联轴器、离合器和制动器,弹簧,创新原理与创新技法,最优设计技术,减速器与变速器,每章后附有思考题与习题。

本书由青岛科技大学樊智敏、孟兆明主编,参加本书编写的人员及编写分工为:樊智敏(第6、13、16、18章,第7章7.9~7.15),孟兆明(第1、2、3、4、17章),杨福芹(第5、8、14、15章,第7章7.1~7.8),徐俊(第9、10、11、12章)。青岛科技大学李慧敏、乔亚波等为本书的编写工作提供了帮助。

本书由太原理工大学王铁教授担任主审,并提出了很多宝贵意见和建议,编者谨在此表示衷心的感谢。

本书参考学时约60学时,可作为高等院校本科近机类、非机类等专业的教材,也可作为机械工程人员的参考书。

由于编者水平所限,书中不足之处在所难免,殷切期望广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 概论	1
1.1 本课程研究的对象、内容	1
1.2 本课程在教学中的地位	3
1.3 机械设计的基本要求和一般过程	4
思考题与习题	5
第2章 平面机构及平面连杆机构	6
2.1 运动副及其分类	6
2.2 平面机构运动简图	8
2.3 平面机构的自由度及其计算	10
2.4 铰链四杆机构的类型及其判别	14
2.5 铰链四杆机构的转化及转化机构	19
2.6 平面四杆机构的运动特性	22
2.7 平面四杆机构的设计	27
思考题与习题	32
第3章 凸轮机构	35
3.1 凸轮机构的应用及分类	35
3.2 凸轮机构的常用术语及从动杆常用运动规律	38
3.3 图解法设计凸轮轮廓	43
3.4 解析法设计凸轮轮廓	46
3.5 凸轮机构常用设计参数的选择与确定	49
思考题与习题	55
第4章 其他常用机构	56
4.1 棘轮机构	56
4.2 槽轮机构	58
4.3 不完全齿轮机构	61
思考题与习题	62
第5章 机械零件设计概论	63
5.1 机械零件设计概述	63
5.2 机械零件的强度	66
5.3 机械零件的接触强度	71
5.4 机械零件常用材料及其选择	72
5.5 机械零件的结构工艺性及标准化	76
思考题与习题	79
第6章 带传动与链传动	80

6.1 带传动的类型和特点	80
6.2 带传动的受力分析	83
6.3 V带传动的设计	88
6.4 V带轮设计及V带传动的维护	94
6.5 同步带传动简介	96
6.6 链传动简介	97
思考题与习题	99
第7章 齿轮传动	101
7.1 齿轮传动的特点和类型	101
7.2 齿廓啮合基本定律	102
7.3 渐开线齿廓	104
7.4 齿轮各部分名称及渐开线标准齿轮的基本尺寸	106
7.5 渐开线齿轮啮合传动	108
7.6 渐开线齿轮的切齿原理、根切及变位	110
7.7 齿轮传动的失效形式与设计准则	113
7.8 齿轮常用材料及热处理	114
7.9 齿轮传动的精度	116
7.10 直齿圆柱齿轮的强度计算	117
7.11 斜齿圆柱齿轮传动	124
7.12 锥齿轮传动	128
7.13 齿轮的结构设计	131
7.14 齿轮传动的润滑	133
7.15 圆弧齿轮传动简介	134
思考题与习题	135
第8章 蜗杆传动	137
8.1 蜗杆传动的特点和类型	137
8.2 蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	139
8.3 蜗杆传动的失效形式、材料和精度	141
8.4 蜗杆传动的受力分析及强度计算	143
8.5 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	145
8.6 蜗杆和蜗轮的结构	148
思考题与习题	150
第9章 轮系	152
9.1 轮系的类型	152

9.2 定轴轮系及其传动比	153	13.2 润滑剂和润滑装置	227
9.3 周转轮系及其传动比	155	13.3 滑动轴承的结构形式	230
9.4 混合轮系及其传动比	158	13.4 轴瓦及轴承衬材料	231
9.5 轮系的功用	158	13.5 非液体摩擦滑动轴承的设计计算	234
9.6 几种特殊的行星轮系简介	160	13.6 液体动压滑动轴承	236
思考题与习题	162	13.7 静压轴承与空气轴承简介	238
第10章 联接	164	思考题与习题	240
10.1 螺纹联接	164	第14章 联轴器、离合器和制动器	241
10.2 螺纹联接的类型及标准联接件	169	14.1 联轴器	241
10.3 螺纹联接的预紧和放松	172	14.2 离合器	247
10.4 螺栓联接的强度计算	174	14.3 安全联轴器和安全离合器	250
10.5 螺栓组联接	180	14.4 制动器	251
10.6 螺旋传动	182	思考题与习题	253
10.7 键联接和花键联接	185	第15章 弹簧	254
10.8 销联接	189	15.1 弹簧的功用及类型	254
10.9 过盈连接	190	15.2 圆柱螺旋弹簧的结构、制造、材料及 许用应力	256
思考题与习题	190	思考题与习题	259
第11章 轴	192	第16章 创新原理与创新技法	260
11.1 轴的分类及材料	192	16.1 创新与创造性思维	260
11.2 轴的结构设计	194	16.2 创新原理简介	264
11.3 轴的强度计算	198	16.3 创新技法简介	267
11.4 轴的刚度计算	200	思考题与习题	271
11.5 轴的振动及稳定性	201	第17章 最优设计技术	272
思考题与习题	202	17.1 概述	272
第12章 滚动轴承	204	17.2 最优设计方法简介	276
12.1 滚动轴承的特点、类型及代号	204	思考题与习题	283
12.2 滚动轴承的失效形式及选择计算	211	第18章 减速器与变速器	284
12.3 滚动轴承的组合设计	217	18.1 减速器	284
12.4 滚动轴承的润滑和密封	222	18.2 变速器	288
思考题与习题	224	思考题与习题	291
第13章 滑动轴承	226	参考文献	292
13.1 摩擦状态	226		

第1章

概 论

1.1 本课程研究的对象、内容

机械可以减轻人们的体力劳动、提高劳动生产率、改善人们的生活质量，从而在人们的日常生活和生产中被广泛地使用着。随着科学技术的进步、人民生活水平的不断提高，人们对机械的需求越来越高、越来越广泛。如今的人类对机械的依赖程度已经达到了惊人的程度，可以说如果要是离开了机械，人们则是寸步难行。日常生活中常见机械如图 1-1、图 1-2 和图 1-3 所示。

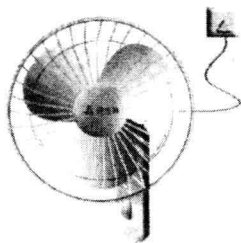


图 1-1 电风扇



图 1-2 机械手表

同样是机械，如果工程技术人员设计的特点不同时，其机械体现的效果就不一样，有时这种差距十分的巨大。于是人们清晰地认识到：机械的设计水平、制造水平、使用水平是衡量一个国家科学技术水平和现代化程度非常重要的标志。

各行业专用机械如图 1-4、图 1-5 和图 1-6 所示。

现在人们通常所说的机械是指机器（不含信息传递能力类）和机构的总称。

所谓机器，要满足如下三个条件：

1) 人为的实体组合。

- 2) 实体之间具有确定的相对运动。
- 3) 实体之间有机械能的转换或做机械功。



图 1-3 自行车

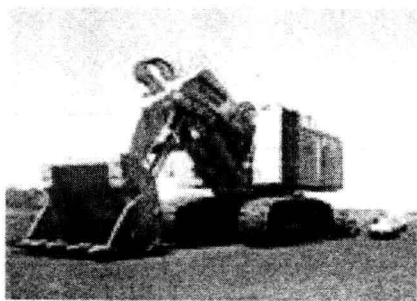


图 1-4 挖掘机

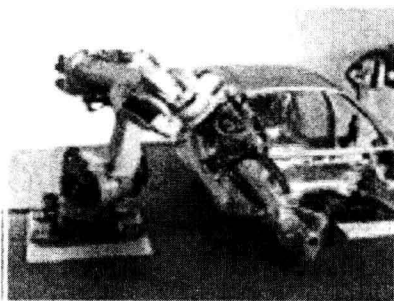


图 1-5 工业机器人

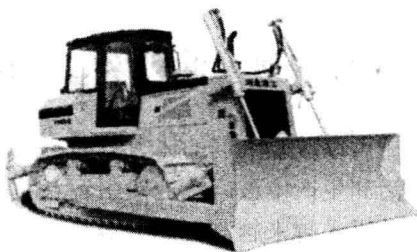


图 1-6 推土机

通常完整的机器由四部分组成：原动机、工作机、传动装置以及控制装置。

图 1-7 所示为家用洗衣机，它由原动机 1（电动机）、工作机 2（波轮）、传动装置 3（带传动及减速器）、控制装置 4（控制按键）组成。

机器的主要组成部分是机构，它满足机器条件中 1) 和 2) 两个条件。在研究工作系统受力及运动情况时，机器与机构之间没有区别。机器中常用机构有：齿轮机构、凸轮机构、杆机构、棘轮机构、槽轮机构、不完全齿轮机构、组合机构等。

图 1-8 所示为单缸内燃机，它主要由曲柄滑块机构、齿轮机构和凸轮机构组成。曲柄滑块机构由活塞 1、连杆 2、曲轴 3 和气缸体 4 组成；齿轮机构由曲轴 3、齿轮 8、9 和气缸体 4 组成；凸轮机构由凸轮 5、从动杆 6 和气缸体 4 组成。

机构往往是由多个构件组成的。构件是机器中最小的运动单元。工程

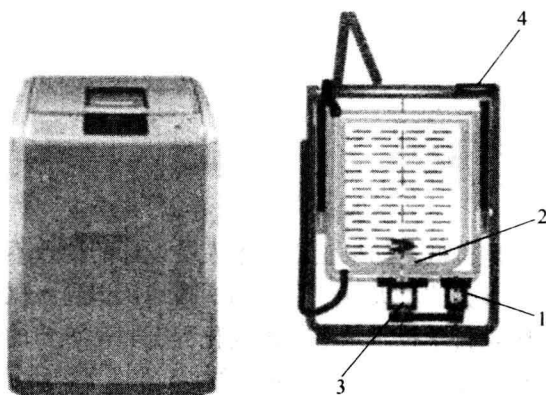


图 1-7 家用洗衣机

1—原动机 2—工作机 3—传动装置 4—控制装置

中为了节约材料、加工制造、热处理、运输、维修方便等，构件通常会被分拆设计制造后再进行连接，这种最小的分拆加工制造单元称为零件。

在图 1-8 所示的单缸内燃机中，连杆 2 就是曲柄滑块机构的组成构件之一。构件与零件的关系如图 1-9 所示。图中连杆由连杆体 1、连杆盖 2、轴瓦 3、4、5 以及螺栓 6、螺母 7、开口销 8 等零件组成。

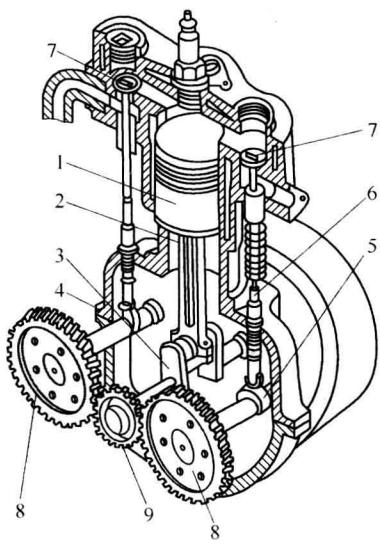


图 1-8 单缸内燃机
1—活塞 2—连杆 3—曲轴 4—气缸体
5—凸轮 6—从动杆 7—气阀
8、9—齿轮

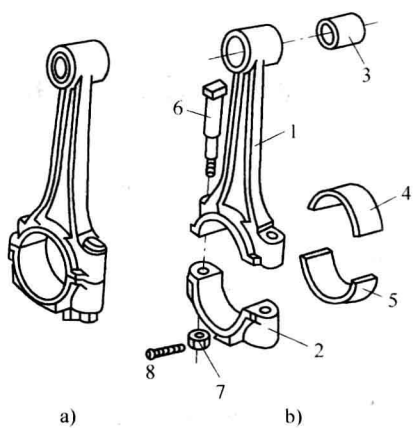


图 1-9 内燃机连杆及其组成
a) 连杆 b) 连杆的组成
1—连杆体 2—连杆盖 3、4、5—轴瓦
6—螺栓 7—螺母 8—开口销

机械设计基础主要是研究和介绍常见机构的运动规律和设计的基本原理、设计步骤；研究和介绍工程中通用零件的结构特点、工作原理、选择依据、强度计算、校核等基本设计方法。

本课程的主要目的和任务就是让学生掌握机械设计的基本知识和具有一定程度选择、设计、使用通用机械零件的能力。

1.2 本课程在教学中的地位

众所周知，任何机械的成功应用，必然要经过设计、制造、实验、维修、改进等多个环节，其中机械设计是首要环节，也是最重要的环节。如果没有机械设计现代化，就不会有高水平的机械工业，也就不会有国家的繁荣昌盛。因此，机械设计技术必然会引起工程机械设计人员的高度重视。

随着机械化生产规模的提高和日益扩大，除了机械制造部门外，在动力、热能、船舶、采矿、化工、土建、轻工、纺织、食品加工等各个部门工作的工程技术人员，将会经常用到或者接触到各种各样的机械设备。为了能够很好地做好本职工作，工程技术人员应该也必须具备一定的机械设计基础知识。为此，在高等工科院校，众多近机类甚至远机类的专业大都设置了“机械设计基础”课程。本课程的学习，可以使学生们在了解各种常用机械的传动原理，常用设备的正确使用、维护和维修等方面，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,为日后从事机械的使用、维护、技术改造和创新设计创造条件。

机械设计基础是许多理论和实践知识的综合运用,是一门理论性和实践性很强的课程。为了很好地学习与掌握本课程,在学习本课程之前,应该学习或阅读先修的课程有:机械制图、高等数学、工程力学、工程材料、金属工艺学、公差与技术测量等,另外,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,某些专业还应该了解液压和气压传动技术、电子技术和计算机技术等有关知识。

1.3 机械设计的基本要求和一般过程

1.3.1 通用机械设计中的要求

1. 运动性能

严格按照要求实现预定的运动规律,选择适当的传动装置和传动系统。例如设计机械表,必须满足秒针转一圈、分针走一小格,分针转一圈、时针走一大格的运动关系。

2. 动力性能

能够承担预定的载荷,传递预定的功率。

3. 工作可靠性能

为了实现机械在规定的工作寿命期限内和预定的环境条件下可靠地工作,防止零件失效而影响机器的正常运行。

4. 经济性能

在设计机械时,追求的目标之一就是经济效益最大化。通常选择价廉和市场供应充分的材料;合理地设计零件的结构形状,力求工艺性优良,减少加工制造成本;便于运输、维修和保养。对于机械设计工作者而言,机械设备选用标准零件,不仅可以简化设计,确保互换性,方便维护更新,而且有利于保证零件的质量并降低成本。

5. 操作方便和安全性能

在设计机械时,应首先强调安全意识、加强劳动保护,尽量使设备操作方便。要改善机械的使用条件和减轻劳动条件,并设置完善的保护装置、报警装置、显示装置。例如,链传动、带传动应加防护罩。

1.3.2 机械设计的一般过程

1) 根据市场需求,分析有关产品,参考技术资料,经过调查研究确定机械的工作原理和拟订总体方案。

2) 设计机构运动简图,绘制机械传动系统示意图,通过运动分析、动力分析,以及强度、刚度、稳定性计算,确定相关参数。

3) 确定机械各个部分的结构、形状和尺寸,绘制装配图、零件图,列出选用标准件,并编写设计说明书和使用说明书。

机械设计人员通常希望自己设计的机械产品能够达到尽可能的完美甚至公认最优,因此就应该从实际出发,深入调查研究广泛听取工艺人员、销售人员以及一线工人

议,在上述设计环节中要不断地反复修正、改进,发现问题及时采取有效措施,使设计不断完善。另外,在学习、掌握好传统设计方法的基础上,还应该不断地学习和了解国内外新的设计方法和创新理念,如经常阅读相关的学术刊物、新闻报道等,以不断地拓展自己的知识面,提高自己的综合机械设计能力。

本书第16章、17章编入了近几年在工程设计中被广泛采用并深受设计人员重视和欢迎的新型设计方法:机械创新设计技术和最优化设计技术。

思考题与习题

- 1-1 试列举日常生活中常见的机器实例,指出其通常由哪几个部分组成。
- 1-2 试列举机械可以改善人们生活质量的应用实例。
- 1-3 为什么通常大多数的构件都是由多个零件组成的?试列举实例。
- 1-4 构件一定是有两个或两个以上零件组成的吗?为什么?试列举实例。
- 1-5 在学习本课程时通常应该有哪些先修课程?为什么?

第 2 章

平面机构及平面连杆机构

机构由具有确定的相对运动的多个构件组成，这种构件间的组合是有序的而不是无条件的任意组合。多个构件的任意组合不一定就能够运动；即便是能够运动，也不一定就具备确定的相对运动。因此研究机构组成的内在规律，判断组成的系统是否是机构，是否能够完成预定的运动使命，就显得十分重要。

如果组成机构的构件都在同一平面或者相互平行的平面内运动，这种机构称为平面机构，否则称为空间机构。平面机构如手动压力机（见图 2-1），空间机构如机械手（见图 2-2）。

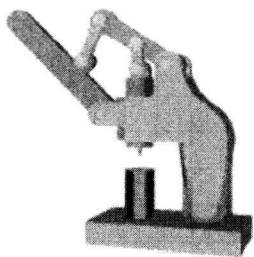


图 2-1 手动压力机

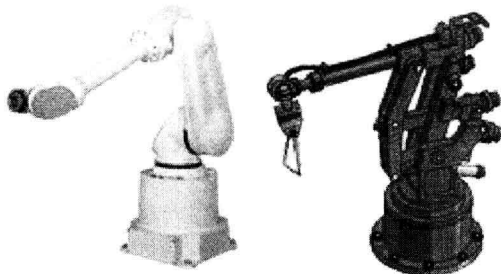


图 2-2 机械手

2.1 运动副及其分类

在图 2-3 所示二维平面坐标系 xOy 中，一个构件的独立运动的可能性有三个：①沿 x 轴方向平动；②沿 y 轴方向平动；③既不沿 x 轴方向平动、也不沿 y 轴方向平动，而是绕垂直于 xOy 平面的轴转动。

这种可能出现的独立运动称为构件的自由度。因此，一个构件在平面内有三个自由度。同理，在图 2-4 所示三维空间 $Oxyz$ 里，一个构件独立运动的可能性有六个：①沿 x 轴方向平动；②沿 y 轴方向平动；③沿 z 轴方向平动；④绕 x 轴转动；⑤绕 z 轴转动；⑥绕 y 轴转动。

当两个构件相互接触时，彼此就会阻碍相对的独立运动，这种构件之间具有一定相对运动的连接称为运动副。

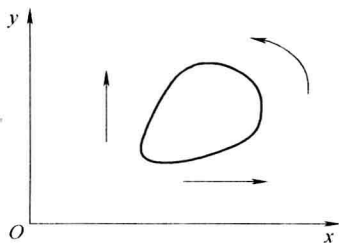


图 2-3 二维平面构件自由度

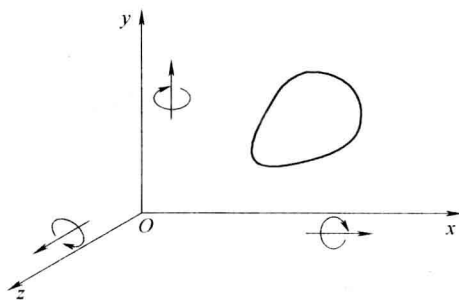


图 2-4 三维空间构件自由度

在图 2-3 所示的平面坐标系下, 如果两个零件彼此制约了所有的三个相对运动, 即这两个零件间没有相对运动, 则认为这两个零件就是一个构件 (如焊接、螺纹联接等), 它们没有运动副存在。如果两个构件彼此没有制约所有的三个相对运动, 则认为这两个构件没有连接, 也没有运动副存在。如果这两个构件彼此形成了可动连接, 要么会制约两个自由度, 要么会制约一个自由度, 只有这两种可能。通常按照人们的习惯, 将这两种制约相对运动的可能分别称为低副和高副。

如果两个构件彼此制约了两个相对运动, 这时连接形成的运动副称为低副; 如果两个构件彼此只是制约了一个相对运动, 这时的可动连接形成的运动副称为高副。

2.1.1 低副

两个构件通过面接触组成的运动副称为低副。根据它们之间的相对运动是转动还是平动, 又分为转动副和移动副。

1. 转动副

在平面坐标系下, 如果两个构件的可动连接是制约了 x 轴、 y 轴两个平动自由度, 只保留了绕垂直于 xOy 平面的轴转动, 这两个构件组成的运动副称为转动副, 或称为回转副、铰链。

如果构成转动副的两个构件中一个是固定的, 这种转动副则称为固定铰链, 如图 2-5 所示。

如果构成转动副的两个构件都未固定, 这种转动副则称为活动铰链, 如图 2-6 所示。

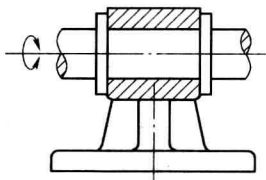


图 2-5 转动副——固定铰链及其表示法

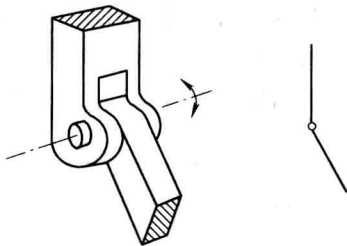


图 2-6 转动副——活动铰链及其表示法

2. 移动副

在平面坐标系下, 如果两个构件的可动连接是制约了一个平动自由度, 以及制约了绕垂直于 xOy 平面的轴转动, 这两个构件组成的运动副称为移动副, 或称为平动副, 如图 2-7 所示。

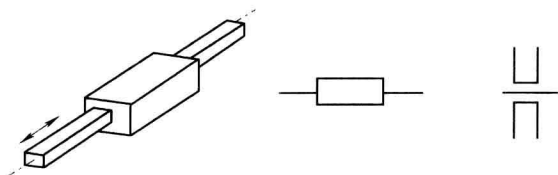


图 2-7 移动副及其表示法

2.1.2 高副

在平面坐标系下, 如果两个构件的可动连接只是制约了一个自由度, 而保留了另外两个自由度, 则组成的运动副称为高副。通常这两个构件是通过点或线接触的。

如图 2-8 所示的平面凸轮机构、图 2-9 所示的平面齿轮机构, 两个构件保留了彼此的相对转动和沿接触曲线的 $t-t$ 切向运动两个自由度, 只限制了沿 $n-n$ 法向这一个自由度。

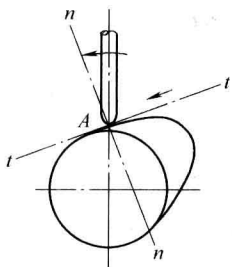


图 2-8 平面凸轮机构

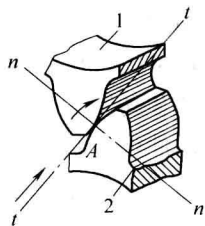


图 2-9 平面齿轮机构

2.2 平面机构运动简图

在工程设计与技术交流中, 通常忽略那些与运动无关的因素, 如构件的外形、截面形状、运动副的具体构造等, 仅仅用工程规定的简单的线条和符号来表示构件和运动副, 这种按照一定的比例尺寸描述各运动副之间的相对位置、表示机构中构件间相对运动关系的简单图形, 称为机构运动简图。而只是为了表明机构的大致结构, 不按照严格比例绘制的图形, 称为机构运动示意图。

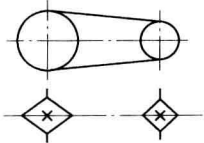
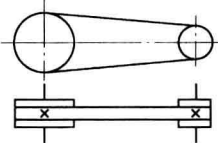
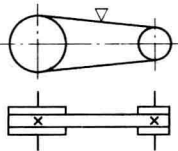
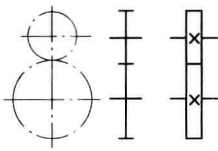
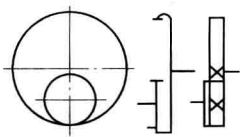
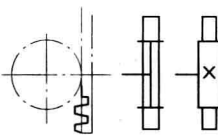
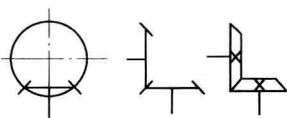
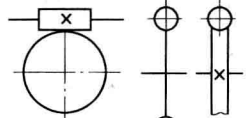
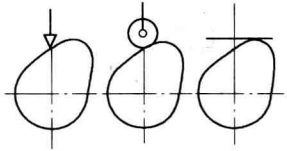
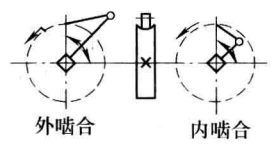
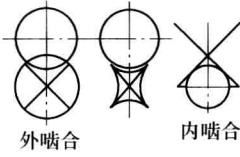
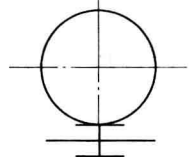
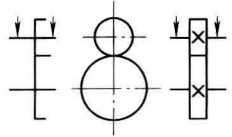
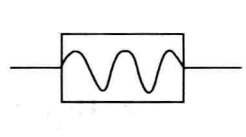
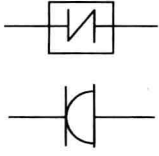
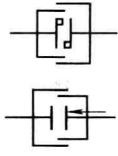
完整的机构由三部分组成: 原动件、从动件、机架。原动件在机构运动简图或机构运动示意图中用箭头示出, 机架则将该构件用剖面线示出。

工程中用到的机构运动简图常用符号见表 2-1。

表 2-1 机构运动简图常用符号

名 称	机构示意图	名 称	机构示意图
杆的固定连接		固定电动机	
零件与轴的固定连接		压缩弹簧	
		拉伸弹簧	

(续)

名 称	机构示意图	名 称	机构示意图
链传动		平带传动	
V 带传动		外啮合圆柱 齿轮传动	
内啮合圆柱 齿轮传动		齿轮齿条传动	
锥齿轮传动		蜗杆传动	
凸轮机构		棘轮机构	
槽轮机构		螺旋齿轮传动	
摩擦轮传动		蜗杆传动	
弹性联轴器 万向联轴器		啮合式离合器 摩擦式离合器	

(续)

名 称	机构示意图	名 称	机构示意图
双向向心 推力轴承		双向推力 普通轴承	

在平面机构运动简图描述中,工程中用到的常用构件表示方法如图 2-10 和图 2-11 所示。图中尽管表述了一个构件,但是表示了与之连接的可能会有两个或多个运动副。

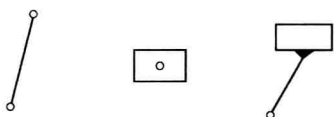


图 2-10 一个构件含两个运动副

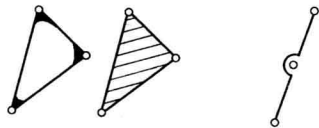


图 2-11 一个构件含三个运动副

例 2-1 参照图 2-12a 所示手动压力机,画出机构运动示意图和机构运动简图。

解: (1) 机构运动示意图画图步骤

1) 分析机构的组成和运动情况 平面机构手动压力机由原动件上下摆动,经连杆传递至冲头实现上下冲压。

2) 找出机构的原动件、从动件和机架 机构的原动件杆 1 上下摆动,从动件有杆 2、3、5,机架是构件 4。

3) 用规定的符号将构件用运动副连接起来 使原动件处于一个恰当的位置,尽可能表达得准确、直观。按连接关系画出机构运动尺寸关系,机构运动示意图略。

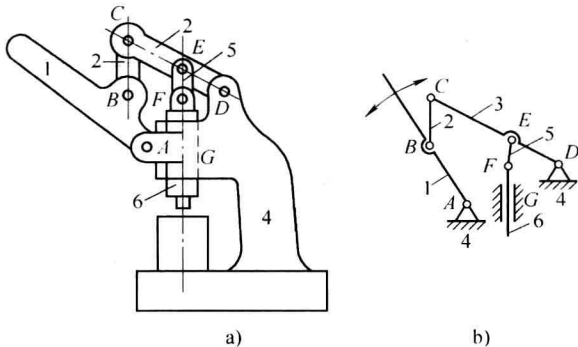


图 2-12 手动压力机及其机构运动简图

(2) 机构运动简图画图步骤

1)、2) 同上。

3) 选择合适的比例尺

4) 用规定的符号将构件用运动副连接起来 使原动件处于一个恰当的位置,尽可能表达得准确、直观。严格按连接关系画出机构运动尺寸关系。机构运动简图如图 2-12b 所示。

2.3 平面机构的自由度及其计算

机构具有确定的相对运动,其具有确定的相对运动条件就是传动系统的自由度等于输入系统的主动件(原动件)数。如果原动件数小于系统的自由度数,机构运动将不确定,会依据最小摩擦力原则运动,即沿着摩擦力最小的方向运动。如果原动件数大于系统的自由度数,机构将在相互矛盾的运动趋势中叠加运动,通常会在构件最薄弱处破坏。因此对传动系统进行自由度计算非常重要,在分析、设计机构时,必须核实机构存在的条件:传动系统

的自由度数等于输入系统的主动件（原动件）数。

2.3.1 平面机构自由度计算

如前所述，在平面机构中，如果取一个构件作为机架（参照物），只要有一个活动的构件，其相对于机架就会有三个自由度，如果该机构的构件间有一个低副，就会减少2个自由度，如果有一个高副，就会减少1个自由度。那么如果有 n 个活动构件，则最多会有 $3 \times n$ 个自由度，如果机构构件间有 P_L 个低副，机构的自由度数就会减少 $2 \times P_L$ ，如果机构构件间有 P_H 个高副，机构的自由度数就会减少 $1 \times P_H$ 。于是在多个构件组成的机构中，机构的自由度计算公式为

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

F 即是传动系统的自由度数。

例 2-2 计算图 2-13a、b 所示平面连杆机构传动系统的自由度。

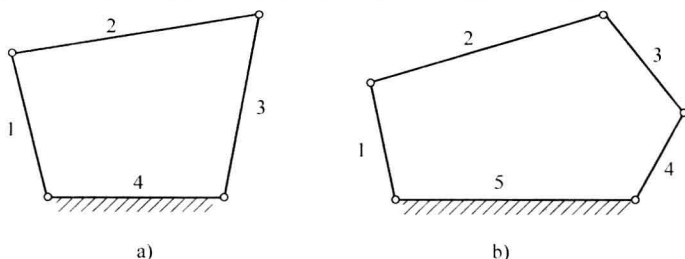


图 2-13 连杆机构

解：如图 2-13a 所示，连杆机构的活动构件 $n = 3$ ，低副数 $P_L = 4$ ，高副 $P_H = 0$ ，依据式 (2-1) 有

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$

系统的自由度是 1，由于系统的原动件也是 1，故该系统的运动是确定的，该系统能够确定为机构。

如图 2-13b 所示，连杆机构的活动构件 $n = 4$ ，低副数 $P_L = 5$ ，高副 $P_H = 0$ ，依据式 (2-1) 有

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 0 = 2$$

系统的自由度是 2，由于系统的原动件是 1，故该系统的运动是不定的，该系统不能够确定为机构。如果系统的原动件是 2，则该系统能够确定为机构。

例 2-3 计算图 2-12 所示手动压力机传动系统的自由度。

解：该机构的活动构件 $n = 5$ ，低副数 $P_L = 7$ ，高副 $P_H = 0$ ，则系统自由度为

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 5 - 2 \times 7 - 0 = 1$$

系统的自由度是 1，由于系统的原动件也是 1，故该手动压力机的运动是确定的，该系统能够确定为机构。

2.3.2 平面机构自由度计算时应注意的事项

1. 复合铰链

在机构自由度计算时要注意，只要有两个构件相接触，就必然存在着一个运动副。如果