

高等工科院校“十二五”规划教材

机械设计基础

王凤良 周克斌 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



教师免费下载
www.cmpedu.com

配电子课件

高等工科院校“十二五”规划教材

机械设计基础

主 编	王凤良	周克斌	
副主编	周 旭	李明辉	高中亚
参 编	闫 芳	王春华	夏培伟
	姜振华	崔保让	
主 审	孟庆东		



机械工业出版社

本书主要介绍机械设计中所必需的基础知识、平面机构的组成分析、平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、机械的调速与平衡、机构零件设计概述、螺纹联接和螺旋传动、其他形式的联接、带传动和链传动、齿轮传动、蜗杆传动和齿轮系、轴、轴承、其他常见的零部件。

本书可作为高等工科院校机械类以及近机械类专业“机械设计基础”课程教材，也可作为高等职业学校、成人高校有关课程的教材，还可供有关工程技术人员参考。

本书配有电子课件，凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 注册后下载。咨询邮箱：cmpgaozhi@sina.com。咨询电话：010-88379375。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计基础/王凤良，周克斌主编. —北京：机械工业出版社，2013.5

高等工科院校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-42198-6

I. ①机… II. ①王…②周… III. ①机械设计—高等职业教育—教材
IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 092353 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：薛 礼 责任编辑：薛 礼 刘良超

版式设计：霍永明 责任校对：张 媛

封面设计：赵颖喆 责任印制：乔 宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2013 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·16.25 印张·396 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-42198-6

定价：33.00 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 教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010) 68326294 机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010) 88379649 机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本书定位于对机械类、近机类和非机械类本、专科的相关专业学生讲授“机械设计基础”课程使用的教材。本书编写有以下几方面特点:

1) 本书在教学内容的安排和取舍上,遵循“尊重学科,但不恪守学科”的原则,删旧增新,减少理论推导,着重阐明实际应用价值,强调专业技术基础课和专业课之间的联系,注意与专业课的对接,力求做到立足实践与应用,拓宽知识面,使一般能力的培养与职业能力的培养相结合。

2) 本书从实用性出发,力求做到既保证基础知识内容,又注重知识的实用性,使教材内容有利于提高学生分析问题和解决问题的能力,教学目的性强。

3) 以培养“厚基础、强技能、高素质”型人才为指导思想,着重机械设计的基本知识、基本理论和基本技能,突出应用;针对当前高校学生时期学习内容多、要求高、学时少的状况,充分注意精选编写内容,力图将本书编写成内容简洁、结构紧凑、实用性强、具有一定特色的教学用书。

4) 本书中各章节是按 55~75 学时的要求编写的,因而教学内容取舍上有一定弹性。选用本书作为教材时可根据具体情况对各章节内容做适当调整。

本书总结了多位编者十多年来从事“机械设计基础”课程的教学经验,吸收了许多学校的教学改革成果,是一本具有较大改革力度的机械设计基础教材,突出了高等教育以培养生产、建设、服务、管理第一线的高级技术应用型人才为目标的特点,从培养学生的初步设计与应用能力出发,培养学生的创新意识和实践能力。

为配合本教材的使用,编者还同时制作了电子课件。电子课件不但是对教材内容的高度概括,还是对教材内容的拓展和延伸,汇集了丰富的图、声、视频等内容。电子课件中的动画过程循序渐进,将理论问题形象化,帮助学生加深理解,同时,也给教师教学带来了极大的便利。广大读者可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 注册后下载。

本书由王凤良、周克斌担任主编,周旭、李明辉和高中亚任副主编。全书由王凤良统稿。参加编写的还有闫芳、王春华、夏培伟、姜振华和崔保让等。青岛科技大学孟庆东教授精心审阅了本书,并提出了许多宝贵意见。在此表示衷心感谢。

限于作者的水平,书中难免存在疏漏、缺点和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
绪论	1
0.1 机构、机器与机械的概念	1
0.2 机械设计基础课程的内容、性质和任务	3
0.3 机械设计的基本要求及一般程序	3
0.4 机械零件设计的标准化、系列化及通用化	4
0.5 常用的现代化机械设计方法简介	5
思考与练习	5
第1章 平面机构的组成分析	6
1.1 概述	6
1.2 平面机构运动简图及其绘制	8
1.3 平面机构自由度的计算	11
思考与练习	15
第2章 平面连杆机构	18
2.1 概述	18
2.2 铰链四杆机构的类型及应用	18
2.3 平面四杆机构的一些基本特性	23
2.4 平面四杆机构的运动设计	26
2.5 平面连杆机构的应用	29
思考与练习	30
第3章 凸轮机构	32
3.1 凸轮机构的构成、功用及分类	32
3.2 从动件常用的运动规律及其选择	35
3.3 用作图法设计盘形凸轮的轮廓曲线	38
3.4 凸轮机构基本尺寸的确定	41
思考与练习	46
第4章 间歇运动机构	48
4.1 棘轮机构	48
4.2 槽轮机构	50
4.3 其他间歇机构	52
4.4 间歇运动机构的工程实例	53
思考与练习	56
第5章 机械的调速与平衡	57
5.1 机械速度波动的调节	57
5.2 机械运转的平均角速度和不均匀系数	58
5.3 机械的平衡	61
思考与练习	62
第6章 机械零件设计概述	64
6.1 机械零件的主要失效形式	64
6.2 机械零件的工作能力及其设计准则	65
6.3 机械零件设计的一般步骤	66
6.4 机械零件的强度计算	67
6.5 接触应力和接触强度的概念	71
6.6 机械零件的耐磨性	71
6.7 机械制造常用的材料及其选择原则	72
6.8 机械零件的工艺性及标准化	75
6.9 标准化、通用化、系列化的概念和意义	76
思考与练习	77
第7章 螺纹联接和螺旋传动	78
7.1 螺纹参数	78
7.2 螺纹副的运动、受力、自锁和效率	82
7.3 螺纹联接的基本类型和螺纹联接件	83
7.4 螺纹联接的预拧紧和防松	86
7.5 单个螺栓联接的强度计算	88
7.6 螺栓组的设计计算	92
7.7 提高螺栓联接强度的措施	95
7.8 螺旋传动	97
思考与练习	99
第8章 其他形式的联接	101
8.1 键联接	101
8.2 花键联接	105
8.3 销联接	106
8.4 过盈联接	107
思考与练习	108
第9章 带传动和链传动	109
9.1 带传动的类型和特点	109
9.2 V带传动的基本结构	111
9.3 带传动的工作情况分析	116
9.4 普通V带传动的设计计算	121

9.5 带传动的安装、张紧、使用和维护	128	计算	180
9.6 其他带传动简介	129	11.6 蜗杆和蜗轮的结构	182
9.7 链传动	130	11.7 齿轮系	183
9.8 链传动的特点及应用	134	11.8 减速器简介	189
9.9 链传动的失效及设计计算概述	135	11.9 几种传动形式的比较	191
9.10 链传动的布置、张紧及润滑	135	思考与练习	192
思考与练习	137	第12章 轴	194
第10章 齿轮传动	138	12.1 概述	194
10.1 齿轮传动的类型	138	12.2 轴结构的选择设计	197
10.2 齿廓啮合的基本定律	139	12.3 轴的强度计算	200
10.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分 的名称和基本尺寸	141	12.4 轴的刚度校核	205
10.4 渐开线齿轮的啮合	143	12.5 轴的选择设计特点与重要性	206
10.5 渐开线齿轮加工原理及精度	146	思考与练习	206
10.6 渐开线齿轮加工的根切现象和变 位齿轮	148	第13章 轴承	208
10.7 轮齿的失效、齿轮传动的设计准 则	150	13.1 滑动轴承的类型与构造	208
10.8 齿轮常用的材料及选材原则	151	13.2 轴瓦及轴承材料	210
10.9 直齿圆柱齿轮的强度计算	153	13.3 非液体摩擦滑动轴承的计算	213
10.10 斜齿圆柱齿轮传动	162	13.4 滑动轴承的润滑和润滑装置	215
10.11 锥齿轮传动的概念	168	13.5 滚动轴承的基本构造和类型	216
10.12 齿轮的润滑	170	13.6 滚动轴承的选择计算	221
10.13 齿轮传动的效率	171	13.7 滚动轴承的润滑和密封	230
思考与练习	172	13.8 滚动轴承的组合设计	233
第11章 蜗杆传动和齿轮系	173	13.9 滚动轴承与滑动轴承的比较	237
11.1 蜗杆传动概述	173	思考与练习	237
11.2 普通圆柱蜗杆传动的主要参数及 几何尺寸计算	174	第14章 其他常见的零、部件	239
11.3 蜗杆传动的失效形式、设计准则 和材料选择	177	14.1 联轴器	239
11.4 普通蜗杆传动的强度计算	178	14.2 离合器	244
11.5 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡		14.3 制动器	246
		14.4 联轴器、离合器、制动器的使用 和维护	248
		14.5 弹簧	248
		思考与练习	249
		参考文献	251

绪 论

0.1 机构、机器与机械的概念

人类通过长期的生产实践活动，创造了各种劳动工具和机械，增强了同大自然斗争的本领，发展了生产力，推进了社会进步。迄今为止，各行各业都离不开机械设备。用机械设备进行生产是现代化生产的主要方式，可靠的、高效能的机械设备是保证生产实施和确保产品质量的必要条件。

任何机器都是为实现某种功能而设计制作的。图 0-1 所示为人们熟悉的自行车简图，当人蹬脚踏板时，链轮 1 逆时针转动，同时带动链条 2 传动，飞轮 3 内的棘轮棘爪驱动后轮 4 转动，使自行车向前运动。

图 0-2 所示为汽车单缸四冲程内燃机，它由气缸体（机架）、活塞、进气阀、排气阀、连杆、曲轴、凸轮、气阀推杆、齿轮和螺旋弹簧等零件组成。其工作原理是：气缸体内气体燃烧膨胀，推动活塞运动，由连杆将动力传递到曲轴，从而带动曲轴转动；曲轴运转时，带动与之相连的输出齿轮、配气链轮对和磁电机；输出齿轮通过离合器将动力传输到变速机构实现换挡变速；配气链轮对带动配气凸轮轴运转实现进排气；磁电机发电给整车供电。上述各部分必须协调工作，才能保证汽车正常行驶。

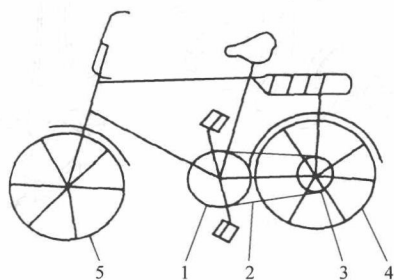


图 0-1 自行车简图

1—链轮 2—链条 3—飞轮
4—后轮 5—前轮

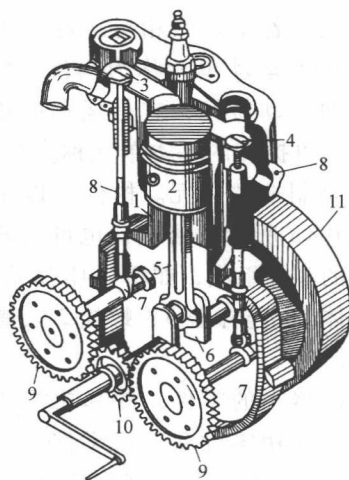


图 0-2 汽车单缸四冲程内燃机

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—气阀推杆
9—大齿轮 10—小齿轮 11—螺旋弹簧

图 0-3 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。

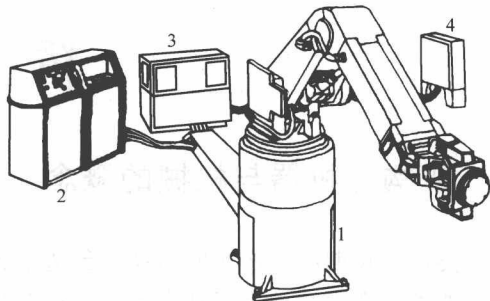


图 0-3 工业机器人

1—铰接臂机械手 2—计算机控制器
3—液压装置 4—电力装置

1. 机器与机构的特征

机器的种类繁多, 其结构、性能和用途也各不相同, 但从组成、运动和功能关系上分析, 机器均具有三个共同的特征:

- 1) 都是一种人为制作的实物组合。
- 2) 各部分形成运动单元, 各单元之间具有确定的相对运动。
- 3) 在工作时能进行能量的转换 (如内燃机、发电机等) 或做有效的机械功 (如起重机、金属切削机床等)。

只具备前两个特征的装置称为机构。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。机器中最常用的机构有连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、齿轮机构和轮系等。

2. 构件和零件

机构是由若干个做相对运动的单元组成的。机构中的运动单元称为构件。所以, 构件有独立的运动特性, 它是运动的单元。组成机器的不可拆卸的基本单元称为机械零件, 可见零件是制造的单元。构件可以是一个零件, 如图 0-4a 所示的曲轴; 也可由若干个无相对运动的零件组成, 如图 0-4b 所示的连杆, 它由连杆体 1、连杆盖 3、螺栓 2 及螺母 4 等零件组成。

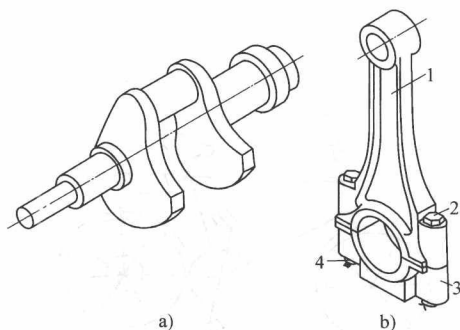


图 0-4 构件和零件

a) 曲轴 b) 连杆

1—连杆体 2—螺栓 3—连杆盖 4—螺母

对于机器中的零件, 按其功能和结构特点又可分为通用零件和专用零件。各种机械中普遍使用的零件, 称为通用零件, 如螺栓、螺母、齿轮、销、键、弹簧等; 仅在某些专门行业中才用到的零件称为专用零件, 如内燃机的活塞与曲轴、汽轮机的叶片、机床的床身等。机构中相对固定不动的构件称为机架, 驱动力直接作用的构件称为原动件, 其他的构件称为从动件。对于一套协同工作且完成共同任务的零件组合, 通称为部件。部件亦可分为通用部件与专用部件, 如减速器、滚动轴承和联轴器等属于通用部件, 而汽车转向器等则属于专用部件。

0.2 机械设计基础课程的内容、性质和任务

0.2.1 课程的内容

机械设计基础课程主要讲述机械中的常用机构和通用零部件的工作原理、运动特点、结构特点,基本设计理论与计算方法,以及机器动力学中的一些问题。同时扼要地介绍国家标准和规范、某些标准零部件的选用原则和方法,以及通用零部件的一般使用及维护知识。总之,本课程主要是讲述与常用机构和通用零部件设计有关的内容。

0.2.2 课程的性质

本课程是一门技术基础课。它综合运用高等数学、工程力学、机械制图、金属材料及热处理、互换性与技术测量、计算机程序设计等课程的基础知识,去解决常用机构、通用零部件设计等问题。本课程是一门综合性、实用性很强、培养工程类专业学生设计能力的专业技术基础课,在相应各专业的教学计划中占有重要的地位。

0.2.3 课程的主要任务

- 1) 使学生掌握机构的结构、运动特性,初步具有分析和设计常用机构的能力,对机械动力学的某些基础知识有所了解。
- 2) 使学生掌握通用机械零件的工作原理、结构特点、设计计算和维护等基本知识,并初步具有设计机械传动装置的能力。
- 3) 使学生具有运用标准、规范、手册和图册等有关技术资料的能力。
- 4) 使学生获得本学科实验技能的初步训练。

0.3 机械设计的基本要求及一般程序

0.3.1 机械设计的基本要求

机械的类型繁多,但其设计的基本要求大致相同,主要有以下几方面。

(1) 预定功能要求 一般机器的预定功能要求包括:运动性能、动力性能、基本技术指标及外形结构等方面。预定功能要求是对机械产品的首要要求,它是设计最基本的出发点,是指实现预定的功能,满足运动和动力性能的功能性要求。

(2) 安全可靠性要求 安全可靠性要求是指机械产品在规定的使用条件下和规定的时间内,应具有完成规定功能的能力,它是机械产品的必备条件。

安全可靠性要求有三个含义:设备本身不因过载、失效以及其他偶然因素而损坏,切实保障操作者的人身安全(劳动保护性),不会对环境造成破坏。

(3) 经济性要求 这是一个综合性指标,表现在设计制造和使用两个方面。提高设计制造经济性的途径有三条:使产品系列化、标准化、通用化,运用现代化设计制造方法,科学管理。提高使用经济性的途径有四个方面:提高机械化、自动化水平,提高机械效率,延

长使用寿命,防止无意义的损耗。

(4) 工艺性要求 工艺性要求包含两个方面:装配工艺性和零件加工工艺性。在不影响工作性能的前提下,应使机构尽可能简化,力求用简单的机构装置取代复杂的装置去实现同样的功能,为便于拆装,应尽量使用标准件。为使零件的结构合理,就要很好地处理设计与制造的矛盾,满足加工制造的需要。

(5) 其他特殊性要求 具体的机器一般有一些特殊的要求。例如,飞机结构重量要轻,起重机、钻探机等流动使用机械要便于装拆和运输,食品、印刷等机械不得对产品造成污染等。

0.3.2 机械设计的一般程序

机械设计是一项复杂、细致和科学的工作,设计方法也在不断地深入和发展,近年来发展的优化设计、可靠性设计、有限元设计、模块设计、计算机辅助设计等现代设计方法,已在机械设计中推广应用,标志着机械设计正在向综合化、科学化方向发展。但是,归根结底,行之有效的设计方法应是试验、研究、设计、制造、安装、使用、维修综合在一起,而以设计为主进行综合权衡,也就是将设计、制造及使用综合考虑。机械设计过程视具体情况而定,没有一个通用的固定模式。机械设计的一般程序可分为设计计划、方案设计、技术设计、施工设计和改进设计五个阶段。

(1) 设计计划阶段 这一阶段的主要任务是市场调查和预测,进行需求分析、可行性分析,合理确定设计参数及制约条件,最后给出明确而详尽的设计任务书。

(2) 方案设计阶段 方案设计是最关键的设计阶段。这一阶段应进行产品功能分析、功能原理求解和评价,以决策选定最佳功能原理方案,并由此最后完成机械运动方案的设计。

(3) 技术设计阶段 这一阶段是将原理性设计方案简图具体化,完成产品总体设计、部件和零件的设计;进行技术经济评价;绘制机器总体结构图,即总装配图;必要时还应绘出电气、润滑系统图等;编制设计计算说明书等。

(4) 施工设计阶段 在施工设计阶段,应完成零件施工图的设计和编制各类技术文件。

(5) 改进设计阶段 这一阶段的主要任务是根据产品样机在试验、使用、鉴定中所暴露的问题,进一步做相应的技术完善工作,使产品达到设计任务书所规定的全部要求。

0.4 机械零件设计的标准化、系列化及通用化

标准化、系列化和通用化简称为机械产品的“三化”。“三化”是我国现行的一项很重要的技术政策,是缩短产品设计周期、提高产品质量和生产效率、降低生产成本的重要途径。

机械设计中的标准化是指对零件的特征参数、结构尺寸、检验方法和制图的规范化要求。机械零件设计的标准分为国家标准(GB)、部颁标准(如JB、HB等)和企业标准三级,这些标准(特别是国家和有关部颁标准)是在机械设计中必须严格遵守的。此外,进出口产品一般还应符合国际标准化组织制定的国际标准(ISO)。

有不少通用零件,如螺纹联接件、滚动轴承等,由于应用范围广、用量大,已经高度标

准化成为标准件。设计时只需根据设计手册或产品目录选定型号和尺寸,向专业商店或工厂订购。此外,有很多零件使用范围虽极为广泛,但在具体设计时随着工作条件的不同,在材料、尺寸、结构等方面选择也各不相同,这种情况则可对其基本参数规定标准的系列化数列,如齿轮的模数等。

通用化是指在不同规格的同类产品或不同类产品中采用同一结构和尺寸的零件部分,以减少零部件的种类,简化生产管理过程,降低成本和缩短生产周期。

0.5 常用的现代化机械设计方法简介

机械设计的历史可以追溯到人类开始制造和使用工具的初期。在经历了直觉设计、经验设计及半经验半理论设计的漫长演变历程后,20世纪70年代,随着计算机科学与技术的迅猛发展,利用计算机来完成技术设计的有关分析、计算和绘图作业的计算机辅助设计逐渐得到开发应用。

计算机辅助设计与计算机辅助制造(CAD/CAM)是利用计算机系统对产品进行描述,并在计算机内建立模型的工作过程。该技术是近来飞速发展起来的一种综合性高新技术,是最富发展潜力的新兴生产力,其应用对传统的设计方法和组织生产模式都是一场深刻的变革。本课程的内容正是开发和应用计算机CAD软件所必需的重要知识之一。此外,有限元分析和机械优化设计则是机械CAD的两大支撑技术。

在机械CAD发展的同时,人们不满足于仅仅利用计算机来代替人工分析、计算和绘图,而试图在机械设计的全过程中发挥计算机的效能,于是出现了协助技术人员进行工艺设计的CAPP和将人工智能应用于方案设计、技术设计及工艺设计的专家系统,以实现自动化、智能化;进而又提出了将设计、制造及生产管理等运用计算机加以集成化的计算机制造系统(CIMS),CIMS现已获得初步成效。另一方面,工程设计方法学的研究也得到重视和长足发展,如系统化设计、优化设计、人机工程以及可靠性设计等。近年来,随着对知识经济的认识和对创造性的高度重视,机械创新设计已经成为一个重要的研究方向。

所以,在学习本课程的同时,密切关注有关领域的发展动向和最新成果,才可能适应科学技术的飞速发展和国际市场的激烈竞争。

思考与练习

0.1 什么是机械、机器、机构、构件及零件?

0.2 下列实物中哪些是机器?哪些是机构?

A. 车床 B. 内燃机车 C. 机械式钟表 D. 机用虎钳 E. 客车车辆 F. 游标卡尺

0.3 下列实物中哪些是构件?哪些是零件?

A. 螺钉 B. 键 C. 火车轮 D. 自行车轮 E. 齿轮 F. 内燃机的连杆

0.4 下列实物中哪些是通用零件?哪些是专用零件?

A. 电风扇的叶片 B. 螺母 C. 内燃机的曲轴 D. 起重吊钩 E. 齿轮

第1章 平面机构的组成分析

1.1 概述

在设计平面机构时,首先应该确定选择什么类型的机构,由多少个构件、多少个运动副组成,然后才能进行机构的尺寸设计。因此,通过机构的运动简图表达机构,借助于一定的规则判断平面机构的可动性是平面机构组成原理研究的内容。

1.1.1 构件的自由度

图 1-1 所示的构件 S 在 Oxy 坐标系中可随其上任一点 A 沿 x 、 y 轴方向移动和绕该点(即绕垂直于 Oxy 平面的 z 轴)转动。构件这种可能出现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。同理,一个作空间运动的自由构件有六个自由度。

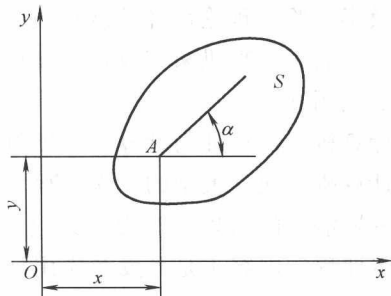


图 1-1 平面运动构件的自由度

1.1.2 运动副及其分类

1. 运动副

由构件组成机构时,总是需要用一定的方式把各个构件彼此连接起来,而且每个构件至少与一个其他构件相连接。不过这种连接必须保证彼此连接的两构件之间仍能产生某些相对运动,所以一般都不应该是刚性连接,而是可动的连接。这种由两个构件组成的可动的连接称为运动副,如图 0-2 中的活塞与连杆、活塞与气缸体、凸轮和气阀推杆之间的连接都是运动副。构件组成运动副后,它们的独立运动受到约束,但都保留一定的自由度。

2. 运动副的分类

构件间的接触方式不外乎点、线、面三种。根据接触形式的不同,运动副可分为低副和高副两种。

(1) 低副 当两个构件以面接触且仍具有一定形式的相对运动的连接称为低副,低副又分转动副和移动副。

若组成运动副的两个构件只能作相对转动,这种运动副称为转动副,如图 1-2a 所示。

若组成运动副的两个构件只能作相对移动,这种运动副称为移动副,如图 1-2b 所示。

(2) 高副 当两个构件以点或线接触且仍具有一定形式的相对运动的连接称为高副,如图 1-2c、d 所示。图 1-2c 中的两个构件(齿轮)作共轭相对运动,图 1-2d 中的两个构件作非共轭相对运动。

此外,常用的运动副还有图 1-3a 所示的球面副,构件 1 可相对于构件 2 绕空间坐标系的 xyz 轴独立转动;如图 1-3b 所示的螺旋副,其两个构件之间所作的相对运动是螺旋运动。这两种运动副均属空间运动副。

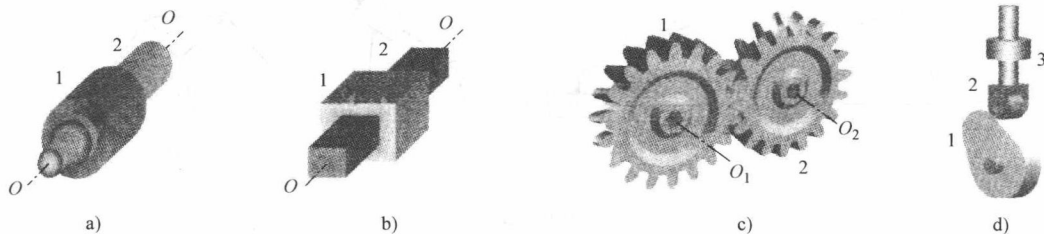


图 1-2 平面运动副的三维图

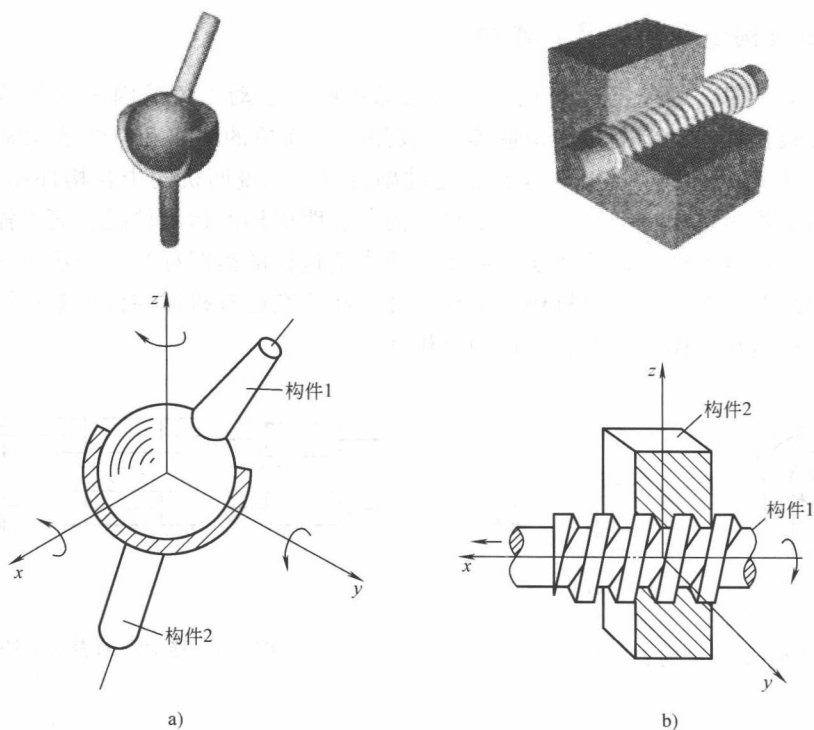


图 1-3 空间运动副

a) 球面副 b) 螺旋副

1.1.3 运动链

如上所述，组成机构的各构件是通过运动副而彼此相连的。我们把构件通过运动副连接而构成的相对可动的构件系统称为运动链。又如运动链的构件形成了首末封闭的环链（见图 1-4a、b），则称其为闭式运动链，或简称闭链；而其构件未构成首末封闭环链的（见图 1-4c、d），则称其为开式运动链，或简称开链。在各种机械中一般都采用闭链。

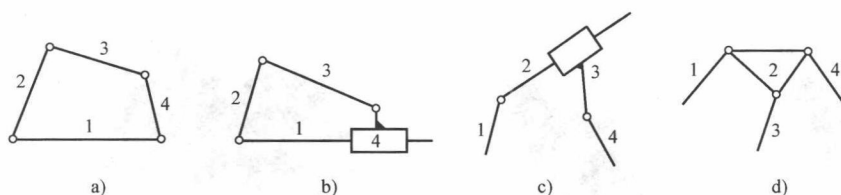


图 1-4 运动链

1.2 平面机构运动简图及其绘制

1.2.1 平面机构运动简图及其作用

研究机构运动时,为使问题简化,可不考虑那些与运动无关的因素(如构件形状、组成构件的零件数目、运动副的具体构造等),仅用一些简单的线条和符号表示构件和运动副(见图 1-5 ~ 图 1-7),并按一定比例定出各运动副位置,以说明机构中各构件相对运动关系。这样绘制的图形称为机构运动简图。如果只是为了表明机构的运动情况,而不需求出其运动参数的数值,也可以不严格按比例绘制简图,通常把这样的简图称为机构示意图。

机构运动简图简明地表达了机构的传动原理。在研究已有机械和设计新机械时,都需要画出相应的机构运动简图,以便进行运动分析和受力分析。

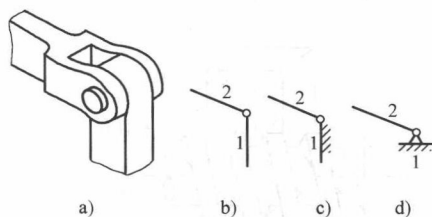


图 1-5 转动副的表示方法

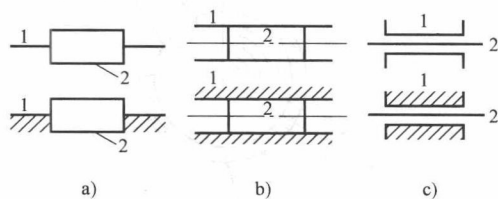


图 1-6 移动副的表示方法

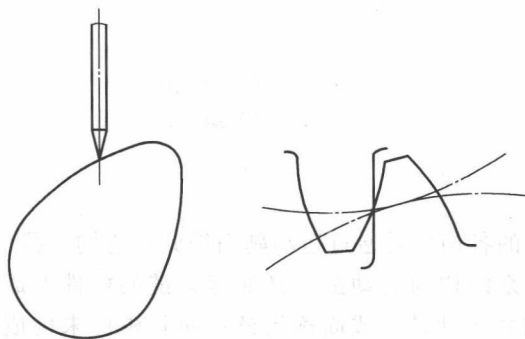


图 1-7 高副的表示方法

1.2.2 运动副的表示方法和常见构件的规定画法

1. 平面运动副的表示方法

两个构件组成转动副时，转动副的结构及简化画法如图 1-5 所示：图 1-5a 为其结构，图 1-5b 表示两构件均为活动构件，若两构件之一为机架，则应把代表机架的构件（图中的构件 1）画上斜线，如图 1-5c、d 所示。

两构件组成移动副时，其表示方法如图 1-6 所示，画有斜线的构件代表机架。

两构件组成平面高副时，其表示方法如图 1-7 所示，在简图中应画出两构件接触处的曲线轮廓。

2. 常见构件的规定画法

表达机构运动简图中的构件时，只需将构件上的所有运动副按照它们在构件上的位置用符号表示出来，再用简单的线条把它们连成一体。

参与组成两个运动副的构件的表示方法如图 1-8 所示。当按一定比例绘制机构运动简图时，表示转动副的小圆的圆心必须与相对回转轴线重合；表示移动副的滑块、导杆或导轨，其导路必须与相对移动方向一致；表示平面高副的曲线，其曲率中心的位置必须与构件的实际轮廓相符。

参与组成三个转动副的构件的表示方法如图 1-9 所示。若三个转动副的中心处于一条直线上，可用图 1-9a 表示；当三个转动副中心不在一条直线上时，可用三条直线连接三个转动副中心组成的三角形表示（见图 1-9b、c）。为了说明是同一构件参与组成三个转动副，在每两条直线相交的部位涂以焊缝记号或在三角形中间画上剖面线。以此类推，参与组成 n 个运动副的构件可以用多边形表示，如图 1-9d 所示。

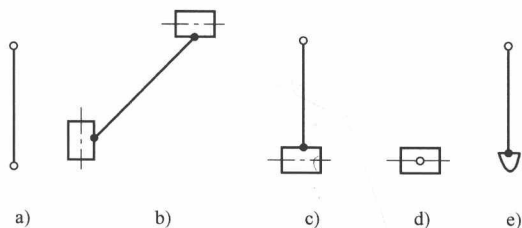


图 1-8 两个运动副的构件的表示方法

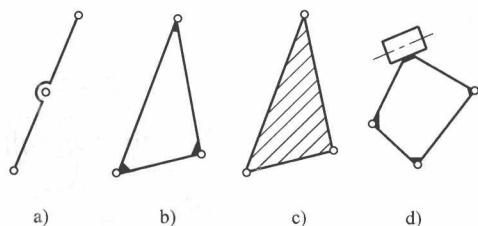


图 1-9 三个及四个运动副的构件的表示方法

在机构运动简图中，某些特殊零件有其习惯表示方法。例如凸轮和滚子，通常画出它们的全部轮廓（见图 1-10）。圆柱齿轮副的画法则如图 1-11 所示。图 1-11a 是用齿轮的一对节圆来表示；也可在节圆上画一对互相啮合的齿廓来表示（见图 1-11b）。其他特殊零件的表示方法可参看 GB 4460—1984《机械制图 机构运动简图符号》中的规定画法。

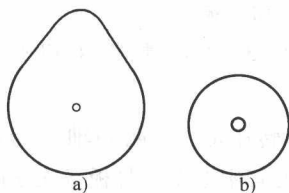


图 1-10 凸轮和滚子的表示方法

a) 凸轮 b) 滚子

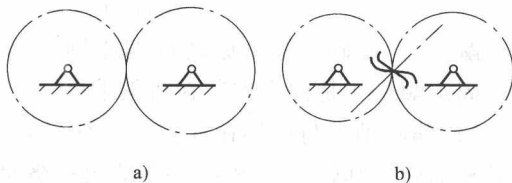


图 1-11 圆柱齿轮副的表示方法

1.2.3 绘制机构运动简图的要求

掌握了构件和运动副的简化画法后,即可绘制平面机构运动简图,其要求如下:

- 1) 简图上应按规定符号画出全部构件,并标明主动件。必要时将各构件编号并注出。
- 2) 简图上应按规定符号画出全部运动副。
- 3) 简图上应按比例表示出机构的各运动尺寸,如转动副间的中心距、移动副轴线(即导路)的方向和位置、转动副到导路的距离等。必要时应注出尺寸。

1.2.4 绘制机构运动简图的步骤

通常,绘制平面机构运动简图的步骤如下:

- 1) 仔细分析机构的运动情况,认清固定构件、原动件和从动件,从而判定该机构含有多少个活动构件。如果包含多个机构,则应按顺序、分别对每个机构仔细进行分析,并应注意各个机构间的运动传递情况。
- 2) 仔细观察各构件间的相对运动关系,从而判定机构中包含的运动副数目与类型。
- 3) 合理选择投影面。
- 4) 选择适当的比例尺,测定各运动副间的相对位置和尺寸。
- 5) 从原动件开始,按照活动构件运动传递的顺序,用选定的比例尺和规定的构件与运动副的表示符号,绘制出平面机构运动简图。

下面举例说明机构运动简图的绘制方法。

例 1.1 图 1-12a 所示为一颚式碎矿机。当偏心轴 1 绕其轴心连续转动时,动颚板 2 作往复摆动,从而将处于动颚板 2 和固定颚板 4 之间的矿石轧碎。试绘制此碎矿机的机构运动简图。

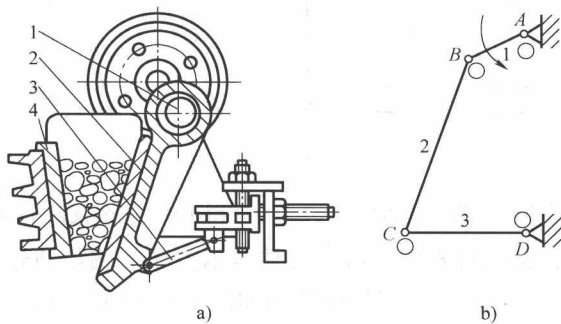


图 1-12 颚式碎矿机及运动简图

1—偏心轴 2—动颚板 3—肘板 4—固定颚板

解: 1) 此碎矿机由原动件偏心轴 1、动颚板 2、肘板 3、固定颚板 4 和机架等构件组成,固定颚板 4 是固定安装在机架上的。

2) 偏心轴 1 与机架在 A 点构成转动副(即飞轮的回转中心);偏心轴 1 与动颚板 2 也构成转动副,其轴心在 B 点(即动颚板绕偏心轴的回转几何中心);肘板 3 分别与动颚板 2 和机架在 C、D 两点构成转动副。其运动传递路径为

电动机→带→偏心轮→动颚板→肘板

所以,其机构原动件为偏心轴,从动件为动颚板2、肘板3,它们与机架共同构成曲柄摇杆机构(曲柄摇杆机构将在第2章中介绍)。

3) 图1-12已能清楚表达各构件之间的运动关系,故选此平面为简图的投影面。

4) 选取合适的比例尺,确定A、B、C、D四个转动副的位置,即可绘制出机构运动简图,如图1-12b所示,最后标出原动件的转动方向(图中“○”表示转动副)。

在机构运动简图绘制完成后,还应注意对较复杂的机构需要校核其机构的自由度,以判定它是否具有确定的相对运动和所绘制的简图是否正确。

1.3 平面机构自由度的计算

1.3.1 平面机构自由度

平面机构自由度即机构相对于机架能够产生独立运动的数目,它与组成机构活动构件的数目、运动副的类型及数目有关。

任何一个作平面运动的自由构件都具有3个自由度。当两个构件组成运动副之后,它们之间的相对运动便受到约束,相应的自由度数目随之减少。例如,组成的运动副为高副时,构件受到一个约束,失去一个自由度,剩下两个自由度。

如果一个平面机构中包含有 n 个活动构件(机架除外),包含有 P_L 个低副和 P_H 个高副,则这 n 个活动构件在未用运动副连接前共有 $3n$ 个自由度,能产生 $3n$ 个独立的运动。当用 P_L 个低副和 P_H 个高副连接成机构后,受到 $2P_L + P_H$ 个约束,整个机构相对于机架独立运动的自由度 F 等于活动构件自由度的总数减去运动副引入约束的总数,即

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

由式(1-1)可知,要使机构能够运动,其机构自由度 F 必须大于零。

注意:此处所说的自由度是“机构”的自由度 F ,而前面所说的自由度是“构件”的自由度,不要混淆。

1.3.2 平面机构具有确定运动的条件

运动机构是由构件和运动副组成的系统。机构要实现预期的运动传递和变换,必须使其运动具有可能性和确定性。如图1-13a所示的五杆系统,若取构件1作为主动件,当给定 φ_1 时,构件2、3、4既可以处在实线位置,也可以处在虚线或其他位置,因此其从动件的运动是不确定的。但如果给定构件1、4的位置参数 φ_1 和 φ_2 ,则其余构件的位置就都被确定下来。如图1-13b所示的四杆机构,当给定构件1的位置时,其他构件的位置也被相应确定。如图1-13c所示三杆系统,机构的自由度等于0,因此该构件系统就没有运动的可能性。

由此可见,无相对运动的构件组合或无规则乱动的运动构件,都不能实现预期的运动变换。将运动链的一个构件固定为机架,当运动链中一个或几个主动件位置确定时,其余从动件的位置也随之确定,则称机构具有确定的相对运动。那么究竟取一个还是几个构件作主动件,这取决于机构的自由度。

机构自由度是机构所具有的独立运动的数目。因此当机构中的主动件数等于机构自由度数时,机构具有确定的相对运动,它是机构具有确定运动的条件。