



普通高等教育“十三五”规划教材
河南省“十二五”普通高等教育规划教材

机械设计基础

Fundamentals of Mechanical Design

© 杨现卿 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十三五”规划教材
河南省“十二五”普通高等教育规划教材

机械设计基础

主 编 杨现卿
副主编 薛铜龙 张会端



机械工业出版社

本书为河南省“十二五”普通高等教育规划教材。本书以煤矿机械为特色，侧重于设计思想的培养与应用，增加了机械方案设计的编写。本书以机械基本知识、基本原理为基础，力求精选内容，适当拓宽知识面，着重于培养学生的创新设计思维与工程应用实践能力，力求反映机械设计领域的最新成果，采用最新国际或国家标准规范。

本书共 18 章，第一章介绍机械的基本概况，第二~五章为各类机械机构的设计，第六~九章为各类机械传动的设计，第十章为连接的设计，第十一~十三章为轴系零部件的设计，第十四~十八章为机械方案的设计与整机结构的设计与调整。

本书可作为高等学校机械类及近机械类各专业的教学用书，也可供机械类及近机械类专业的学生及有关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计基础/杨现卿主编. —北京: 机械工业出版社, 2018.5
普通高等教育“十三五”规划教材 河南省“十二五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-111-59571-7

I. ①机… II. ①杨… 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 (2018) 第 063305 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: 余 皞 责任编辑: 余 皞 安桂芳 责任校对: 刘 岚

封面设计: 张 静 责任印制: 张 博

三河市宏达印刷有限公司印刷

2018 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 21 印张 · 518 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-59571-7

定价: 49.80 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

服务咨询热线: 010-88379833

读者购书热线: 010-88379649

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

金书网: www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

前言

本书为河南省“十二五”普通高等教育规划教材，是在教育部教指委最新颁布的“机械设计基础课程教学指南”的基础上，经过充分吸取我校及兄弟院校七年多的实际使用经验及分析广大读者的反馈意见后编写而成。在本书的编写过程中，编者试图从满足课程教学基本要求、贯彻少而精的原则出发，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，使其保持简明、实用的特色。本书的主要特点为：

(1) 为体现以机械总体设计为主线的思想，增加了“机械系统的方案设计”的内容。

(2) 梳理“齿轮传动机构设计”的内容，使整章内容更加系统条理，同时增添了相应的图表，以备查用。

(3) 为适应“双语教学”的需要，书中各章列出了常用的名词术语的中英文对照。

(4) 删去了对非机械类专业较深的内容，如速度瞬心、变位齿轮传动的相关计算。

本书由河南理工大学机械与动力工程学院组织编写，具体编写分工为：第一章由杨现卿编写；第二章、第七章、第十章第九节~第十一节由张跃敏编写；第三章、第五章、第六章第一节~第五节由吴雪峰编写；第四章、第十二章第一节~第三节、第十七章由曹军编写；第六章第六节~第十四节由张会端编写；第八章、第十二章第四节~第八节、第十八章由王福荣编写；第九章、第十三章由周洪亮编写；第十章第一节~第八节、第十五章由向道辉编写；第十一章、第十四章由贾志宏编写；第十六章由薛铜龙编写；全书由杨现卿、薛铜龙、张会端修改统稿，由杨现卿担任主编。

本书广泛吸取了有关院校的教学经验，在此对所用参考资料的提供单位和作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中错误之处在所难免，敬请各位读者不吝赐教。

编者

目录

前言	
第一章 绪论	1
第二章 平面机构的运动简图及自由度计算	7
第一节 运动副及其分类	7
第二节 平面机构运动简图	9
第三节 平面机构的自由度及其具有确定运动的条件	13
习题	18
第三章 平面连杆机构设计	20
第一节 铰链四杆机构的类型和应用	20
第二节 铰链四杆机构的基本知识	23
第三节 铰链四杆机构的演化	26
第四节 平面四杆机构的设计	31
习题	34
第四章 凸轮机构设计	36
第一节 凸轮机构的应用及分类	36
第二节 从动件的运动规律	38
第三节 凸轮机构基本尺寸的确定	43
第四节 盘形凸轮轮廓曲线的设计	45
第五节 凸轮的材料和结构	48
习题	49
第五章 间歇运动机构设计	50
第一节 棘轮机构	50
第二节 槽轮机构	51
第三节 不完全齿轮机构	53
第四节 凸轮式间歇运动机构	54
习题	54
第六章 齿轮传动机构设计	55
第一节 概述	55
第二节 齿廓啮合基本定律	58
第三节 渐开线及渐开线齿廓	59
第四节 标准直齿圆柱齿轮各部分名称及几何尺寸计算	61
第五节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	65
第六节 齿轮加工方法和变位原理	70
第七节 齿轮传动的失效形式及计算准则	75
第八节 齿轮材料及热处理	78
第九节 直齿圆柱齿轮传动的受力和计算载荷	81
第十节 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	85
第十一节 斜齿圆柱齿轮传动设计	98
第十二节 直齿锥齿轮传动设计	107
第十三节 齿轮的结构设计	112
第十四节 齿轮传动的润滑	114
习题	116
第七章 蜗杆传动机构设计	118
第一节 概述	118
第二节 普通圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算	122
第三节 蜗杆和蜗轮的常用材料和结构	125
第四节 蜗杆传动的受力和强度计算	126
第五节 蜗杆传动的润滑、效率和热平衡计算	129
习题	132
第八章 轮系设计	133
第一节 轮系的分类	133
第二节 定轴轮系的传动比计算	134
第三节 周转轮系的传动比计算	136
第四节 复合轮系的传动比计算	138
第五节 轮系的功用	139
习题	142
第九章 带传动和链传动	143
第一节 带传动概述	143
第二节 带传动的工作情况分析	147
第三节 普通 V 带传动设计	150
第四节 带传动的结构设计	157



第五节 链传动概述	161	第一节 概述	266
第六节 链传动的工作情况分析	164	第二节 机械工作原理及运动方案的拟定	267
第七节 链传动的设计计算	167	第三节 原动机的选择和机械传动机构	268
第八节 链传动的合理布置和润滑	171	第四节 执行机构的运动设计	271
习题	174	第五节 机构的选型和机构的组合	274
第十章 连接设计	175	第六节 机械系统方案拟定举例	279
第一节 螺纹	175	习题	283
第二节 螺旋副的受力分析、效率和自锁	177	第十五章 减速器设计	284
第三节 螺纹连接的基本元件和类型	179	第一节 减速器类型	284
第四节 螺纹连接的预紧和防松	182	第二节 减速器的典型结构	288
第五节 螺栓组连接的设计和受力分析	184	第三节 减速器的润滑与密封设计	293
第六节 单个螺栓的强度计算	189	第四节 减速器设计的一般步骤	294
第七节 提高螺栓连接强度的措施	194	习题	300
第八节 螺旋传动简介	197	第十六章 弹簧设计	301
第九节 键连接	198	第一节 概述	301
第十节 销连接	201	第二节 圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的设计 计算	303
第十一节 无键连接	202	习题	306
习题	204	第十七章 机械的平衡与调速	307
第十一章 轴的设计	205	第一节 机械平衡的目的、分类及方法	307
第一节 概述	205	第二节 刚性回转体的平衡计算	308
第二节 轴的结构设计	208	第三节 刚性回转体的平衡试验	311
第三节 轴的强度计算	214	第四节 机械速度波动产生的原因及调节 方法	312
习题	221	第五节 飞轮的设计原理	314
第十二章 轴承	223	习题	315
第一节 滚动轴承的结构、类型和代号	223	第十八章 煤矿机械简介	316
第二节 滚动轴承的寿命计算	229	第一节 采煤机械	316
第三节 滚动轴承装置的设计	234	第二节 综采工作面支护设备——液压 支架	317
第四节 滑动轴承的类型与结构形式	240	第三节 矿井运输设备	319
第五节 滑动轴承的材料与轴瓦结构	243	第四节 矿井提升设备	322
第六节 非液体摩擦滑动轴承设计	245	第五节 矿井排水设备	324
第七节 滑动轴承的润滑	247	第六节 矿井通风设备	326
第八节 液体摩擦滑动轴承简介	250	第七节 压缩空气设备	327
习题	252	习题	329
第十三章 联轴器和离合器	255	参考文献	330
第一节 联轴器	255		
第二节 离合器	262		
习题	265		
第十四章 机械系统的方案设计	266		

第一章 绪 论

人类在长期的生活和生产实践中，为了提高劳动生产率和减轻人的体力劳动以及其他各种需要，发明创造了各种各样的机器。使用机器进行生产的水平是衡量一个国家技术水平和现代化程度的重要标志。

一、我国机械发展简史

我国是世界上机械发展最早的国家之一。我国机械发展史也经历了一个漫长的过程，期间有辉煌的成就，也有曲折的历程。在开始本课程学习之前，让我们先简单了解一下我国机械发展的历史。

1. 利用简单工具进行生产

在早期（石器时代——时间上相当于原始社会），人们使用的机械主要是简单工具，从粗制工具到精制工具，主要用于从事农业、渔猎、纺织和建筑等生产劳动。在40万~50万年前，我国就已出现了加工粗糙的刮削器、砍砸器和三棱形尖状器等原始工具；在28000年前出现了弓箭，这是机械方面最早的一项发明；农具出现在公元前6000~前5000年，除石斧、石刀外，还有石锄、石铲、石镰、蚌镰、骨镰。石斧和石刀上已有用硬质砂子磨削而成的孔。

在这一时期，人们已经能够在生产中利用杠杆、尖劈、弹性、热胀冷缩等原理，为较为复杂的古代机械的出现创造了条件。

2. 古代机械时期的辉煌

随着原始织机（公元前5000~前4000年）和制陶转轮（公元前3000年）的出现。人们已经从应用简单工具发展到利用几个零件组合的简单机械了。古车的出现并得到广泛应用成为进入古代机械时期的开始，接着一批古代机械相继出现。尤其在战国时期，奴隶制度崩溃，封建制度在一些诸侯国相继建立，出现了百家争鸣的学术气氛，科学技术和机械迅速发展。兵器从先前的弓箭发展到攻守器械和战车；春秋时期铁器和生铁冶铸技术开始出现；加速了由铜器向铁器时代的过渡；战国时期又有了叠铸和锚链铸造等工艺；当时出现的《考工记》总结了多种手工业的生产经验，是科学技术史上有重大价值的专著。

东汉时期出现了水力鼓风设备——水排，由水轮、带传动、杆传动和鼓风机组成（已经具备了现代机器原动机、传动部分、工作机三个组成部分）。在这一时期，我国古代机械保持着一个高的水平和发展速度，到宋、元时期，达到了一个高潮。

这一时期我国出现了一批杰出的科技人才，如张衡、马均、祖冲之、燕肃等。同时，我国古代机械的种类多，水平高，价值大，领先世界。其中如兵器、冶金、陶瓷、造纸、印刷等技术还传到国外，对世界文明的发展有较大影响。

3. 低谷与觉醒

到了明代，由于封建集权统治进一步加强，限制了资本主义萌芽的发展，也阻碍了科学



技术的前进。直到 1840 年的几百年间,在机械领域内,我国除了在兵器和造船方面有较为可观的进展外,其他方面几乎没有出现过价值重大的发明。值得一提的是宋应星所著的《天工开物》总结了我国长期以来的生产经验,成为一本机械的百科全书。

而在西方一些国家,科学技术有了迅速发展,并出现了哥白尼、伽利略、牛顿等一批杰出的科学家。18 世纪末到 19 世纪,英、美、法、俄等国先后进行了产业革命和技术革命,极大地推动了机械的进一步发展,当时,西方机械科学技术水平明显超过我国。然而由于统治集团采取错误方针,进入我国的西方科学技术除在数学和天文方面有一定影响外,传播范围很小。尤其是从清朝雍正到道光的 100 多年里,更采取闭关自守政策,几乎断绝了西方科学技术的传入,使得我国机械与西方的差距越来越大。

1840 年鸦片战争,打破了清朝闭关自守政策的堡垒,清政权中出现了洋务派,兴起了洋务运动;西方发达国家对我国的侵略和掠夺惊醒了国人。19 世纪末,我国派出不少留学生到发达国家学习科学技术,逐渐出现了一批民族资产阶级创办的机械工厂,我国机械与世界机械的关系又开始密切了。

4. 奋起直追

1949 年新中国的诞生,使我国机械也得到了新生。当时,世界科学技术有很大发展,特别是电子、原子能和计算技术的兴起,促进了机械的革新。我国在中国共产党的领导下,建立起独立自主的体系和布局,迅速摆脱了帝国主义的控制和对帝国主义的依赖,很快就能生产自己的机床、机车、汽车、轮船、飞机等,这一时期的发展速度超过了历史上的任何时期。虽然由于各种复杂原因,我国机械工业和科学技术的发展并非一帆风顺,但在国人的不懈努力下,我国机械科学技术水平与发达工业国家的差距在迅速缩小。

二、机器及其组成部分

人类在长期的生产、生活中,发明创造了各种各样的机器。日常生活中的缝纫机、洗衣机,生产中的起重机、运输机和各种机床,军事装备中的飞机、军舰等都是机器。但对于机器及其组成,怎样设计机器,如何使用维护机器,以及提高机器的性能却知之甚少。为了进一步了解和学习、掌握机械设计的基本知识、基本理论和基本方法,首先分析两台机器实例。

如图 1-1 所示的单缸内燃机,它由活塞 1、连杆 2、曲柄 3、气缸体 4、齿轮 5 与 6、凸轮 7、推杆 8 以及排气阀 9 和进气阀 10 组成。燃气的热能推动着活塞,通过连杆转换为曲柄的转动,代替人们的劳动做功;再经过相互啮合的齿轮带动凸轮不断地交替打开和关闭进气阀和排气阀,实现输入燃气阀和排出废气的工作。经过四冲程把燃气能转化为曲柄轴输出的机械能。

图 1-2 所示为颚式破碎机的结构简图,其主体结构由电动机 1、带轮 2 与 4、传动带 3、偏心轴 5、动颚板 6、肘板 7、定颚板 8 等构件以及转动副连接组合而成。电动机的转动经带传动带动偏心轴转动,从而使动颚板做平面运动,与定颚板一起实现破碎物料的功能。

由上述实例可知,一部完整的机器最基本的组成部分包括:

1. 原动机

机器的动力可采用电力、热力、人力、风力、压缩空气等。其中利用电力和热力的原动机(内燃机、电动机)使用最广。

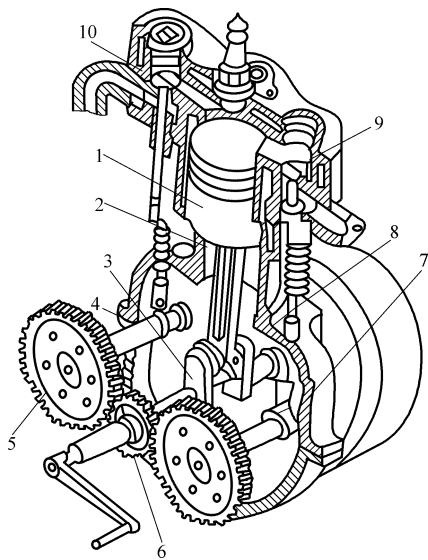


图 1-1 单缸内燃机

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

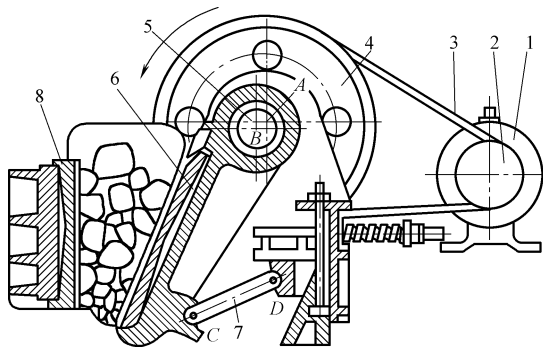


图 1-2 颚式破碎机的结构简图

1—电动机 2、4—带轮 3—传动带 5—偏
心轴 6—动顎板 7—肘板 8—定顎板

2. 执行部分

它是直接完成机器预定功能的部分，也称为工作部分，如仪表的指针、机床的刀架等。

3. 传动部分

它是将原动机的运动和动力传给工作部分的中间环节，可以在传递运动中改变运动速度、转换运动形式等，以满足执行部分的各种要求。

执行部分和传动部分由各种机构组成，是机器的主体。随着机械自动化程度的提高，现代机器还包括控制部分（控制机器的其他基本部分，实现或终止各种预定的功能，又称为操纵部分）和辅助系统（照明、润滑）等。

由实例不难知道机器具有以下共同特征：

- 1) 机器是人为的一种实体组合。
- 2) 各实体之间具有确定的相对运动。
- 3) 机器工作时，可做功、转换机械能或实现信息传输。

凡具备以上三个特征的称为机器，如内燃机（图 1-1）、颚式破碎机（图 1-2）等。若仅具有前两个特征的称为机构，如内燃机实例中的齿轮机构、连杆机构、凸轮机构等。而从运动观点出发，机构与机器并无区别，所以通常把机构和机器统称为机械。

组成机械的相对运动单元，称为构件。构件可以是单一的零件，也可以是零件组成的刚性结构。其区别在于：构件是运动的单元，而零件则是制造的单元。如图 1-3 所示的内燃机连杆机构中的连杆，它是一个运动整体，是一个构件。但为了便于制造和安装，设计由连杆体 2、轴套 1、连杆盖 6、轴瓦 5、螺栓 4、螺母 3 等多个零件组成。

机械零件是机械的基本组成要素。概括地说，机械零件有两类：一类是机械中普遍使用的零件，称为通用零件，如螺钉、齿轮、轴承、弹簧等；另一类是在某一类型机械中使用的



零件,称为专用零件,如活塞、飞轮、螺旋桨等。此外,将一组协同工作的零件所组成的独立制造或独立装配的组合物称为部件,如化油器、液压泵、减速器、离合器等。

三、本课程的内容、性质和任务

1. 本课程的内容

本课程的主要内容是研究机械中常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和计算方法。

研究的具体内容主要有:

- 1) 从运动学观点出发,重点分析各种常用机构的结构、工作特点、运动和动力特性及其关系和设计计算方法。
- 2) 从机械零件工作能力(强度、刚度、寿命、耐磨性等)出发,研究通用机械零件及部件的设计计算方法。

2. 本课程的性质和任务

本课程将综合运用“机械制图”“工程力学”“金属工艺学”“互换性技术”等课程中所学过的知识,来解决各种常用机构和通用零件中的一些共性问题。它是基础课和专业课之间的纽带,是培养学生具有一定机械设计能力的技术基础课程。

本课程有以下任务:

- 1) 逐步培养学生形成以人为本、以质量为本的设计思想。
- 2) 掌握常用机构的结构、运动特性和机械动力学的基本知识,并初步具有分析、设计基本机构和确定机械运动方案的能力。
- 3) 掌握通用机械零件的工作原理、特点、维护、选用原则和设计计算的基本知识,并具有设计机械传动装置和简单机械的能力。
- 4) 初步具有正确使用、维护一般机械和分析、处理常见机械故障的能力。

四、机械设计的基本要求和内容

1. 机械设计的基本要求

机械设计是指规划和设计实现预定功能的新机械或改进原有机器的性能。随着科学技术的进步,人们不断地应用新材料、新工艺、新技术等最新科技成果,改进现有产品和设计新产品以满足市场需求,推动科技和社会进步。不同类型的机械产品,其工作条件、用途、功能、结构形式、零件材料的选用,各不相同,但设计时(除特殊性能外)所应遵循的基本规则和满足的基本要求,则往往是相同的。主要有以下几方面:

(1) 保证实现预定功能 所谓功能是指被设计机器的功用和性能,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是否美观等方面。实现预定功能是设计机器的基本出发点,为此,必须熟悉各种常用机构的工作原理,正确选择机构类型和机械传动方案。

(2) 工作安全可靠 任何一台机器在正常使用条件下都应有一定的寿命,在使用寿命内安全可靠工作是机器正常工作的必要条件。安全包括机器的安全和操作者的安全两个方

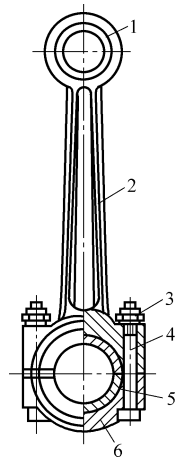


图 1-3 连杆的组成

- 1—轴套 2—连杆体
3—螺母 4—螺栓
5—轴瓦 6—连杆盖



面。因此,设计机器时就必须保证在预期的使用寿命内安全可靠工作。为此,要对组成机器的所有零件(标准件除外)进行结构设计,并对各主要零件的工作能力进行必要计算,即进行机械零件设计。

(3) 工艺性要求 机器的总体方案和各部分结构设计在保证实现预定功能的前提下,应尽可能地简单、实用;零件的选材及热处理方式要切实、合理;毛坯制造、机械加工、装配以及维修的工艺性要好。

(4) 经济性要求 技术经济的合理性是一个综合性指标,它与机器的设计、制造和使用等方面有关。为提高产品的竞争性,所设计的机械应在满足功能要求的前提下充分考虑经济性,力求使产品具有必要的功能和最低的成本,以获得最佳经济效果。

(5) 环保要求 机械工作过程中的噪声、废气、污水、粉尘等污染因素均需满足国家和地方的标准要求。

除此之外,为了产品具有良好的市场竞争力,设计中仍需要考虑操作方便、造型美观等要求。

2. 机械设计的主要内容

明确设计要求之后,机械设计的内容大致可归纳为三个阶段。

(1) 总体设计阶段 总体设计要求根据工作原理,从简单、实用、经济、美观等原则出发,设计出能实现预期功能的机械装置。通过对各种传动方案做分析比较,确定机械的总体布置,明确机械各部分之间的运动和动力关系,绘制机构运动简图。因此,总体设计是图样设计的第一阶段,即从工作原理到运动简图。

(2) 结构设计阶段 考虑和决定机械各部件的相对位置及连接方法,主要零件的具体形状、尺寸、材料、制造、安装、配合、运动关系等,将运动简图转变成具体的装配图或结构图,初步确定机械的总体尺寸,各零部件相对位置、配合等关系。这就是图样设计的第二阶段,即从运动简图到装配图。

(3) 零件设计阶段 零件设计要求从机械总体出发,综合考虑各零件的强度、刚度、寿命等工作能力和工艺性,确定机械零件的结构形状和结构尺寸,提出合理的技术要求,由装配图绘制出各个零件工作图。零件图反映了零件的全部尺寸、加工要求等,是零件制造的依据。从装配图到零件图的设计阶段,称为零件设计阶段。

在上述三个设计阶段中,除了机构运动简图、总装图(含部件装配图)、零件图外,还要有相关的辅助系统的设计以及图样、设计计算说明书、使用说明书等。

当然,上述设计阶段与内容都是相互关联、相互影响、相互交叉反复进行的。机械的创新设计和改造,都存在各种矛盾,很多时候,机械设计的一些基本要求之间是相互制约的,如要获得高品质,价格可能就会较高。这就需要通过分析、比较、计算,综合考虑,合理地处理矛盾,以确保良好的设计质量。

五、机械零件设计的要求与步骤

1. 机械零件设计的要求

机械零件的设计,即确定零件的结构形状与尺寸;一是要保证零件在机器中的功能,零件必须具有一定的工作能力,如强度、刚度、耐磨性、稳定性或寿命等;二是要从设计到制造考虑经济性,如优化设计零件结构及其加工工艺、装配工艺,合理选择零件的材料,尽量选择标准零件等。



2. 机械零件设计的一般过程

机械零件种类很多，工作情况与场合各不相同，具体设计步骤也不完全相同，大致过程可归纳为：

(1) 选择零件的结构类型 不同结构形式和类型的零件在机械中可以实现同样的功能。在进行设计时要根据具体情况优选零件的结构类型。

(2) 确定零件的载荷 根据零件在机器中的工作情况，建立零件的受力力学模型。

(3) 选择零件的材料 根据零件工作环境和零件受力情况，合理选择材料及热处理方法。

(4) 确定计算原则 根据零件的工作情况，进行失效形式分析，确定零件的设计计算准则。

(5) 工作能力计算 根据设计计算准则，对零件进行工作能力的计算或验算，确定零件的主要几何尺寸和参数。

(6) 结构设计 根据工作能力计算以及工艺性、经济性要求，确定零件的整体形状和尺寸。

(7) 绘制零件工作图 用图样表达以上设计结果，使之成为零件加工的技术文件。

第二章 平面机构的运动简图及自由度计算

如前所述，机构是具有确定相对运动的构件组合。显然，任意拼凑起来的构件组合不一定能产生运动，即使运动也不一定具有确定的相对运动。因此，研究机构具有确定运动的条件，这对于设计机构是非常重要的。研究机构具有确定运动的条件是本章主要研究内容之一；此外，由于实际构件的结构往往比较复杂，为了便于分析和研究机构的运动，往往需要用简单的线条和符号绘制机构的运动简图来表示机构的运动状况。如何绘制机构运动简图也将在本章中介绍。

各构件的相对运动均在同一平面内或在相互平行的平面内的机构，称为平面机构 (planar mechanism)；否则称为空间机构 (spatial mechanism)。本章只讨论工程中常见的平面机构。

第一节 运动副及其分类

一、运动副的概念

从运动的观点看，任何机构都是由若干个构件组合而成的。当构件组成机构时，需要以一定的方式把各个构件彼此连接起来。每个构件至少必须与另一构件相连接。这种连接既要两个构件直接接触，又要两构件能产生一定的相对运动。两构件直接接触而组成的可动连接称为运动副，而把两构件上能够参加接触而构成运动副的部分称为运动副元素。

二、运动副的分类

两个构件组成的运动副，不外乎是通过点、线或面的直接接触连接起来的。按照接触的特性，一般将运动副分为低副 (lower pair) 和高副 (higher pair) 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，又称为铰链，如图 2-1 所示。

(2) 移动副 若组成运动副的两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 2-2 所示。

2. 高副

两构件通过点或线接触组成的运动副称为高副。图 2-3 a 中的凸轮与从动件 (driven link)、图 2-3b 中的齿轮 1 与齿轮 2、图 2-3c 中的车轮与钢轨分别在接触点 A 组成高副。组

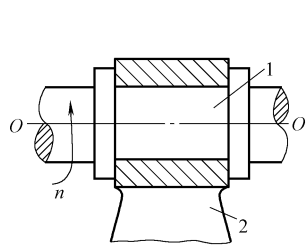


图 2-1 转动副

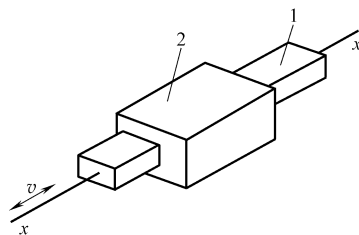
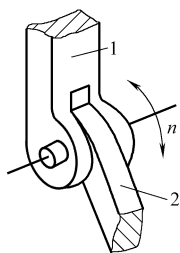


图 2-2 移动副

成平面高副的两构件间的相对运动是沿接触点切线 $t-t$ 方向的相对移动和在平面内的相对转动。

由于高副为点、线接触，所以与低副相比，在同样载荷下，单位面积的压强较高，并且高副比低副易磨损。

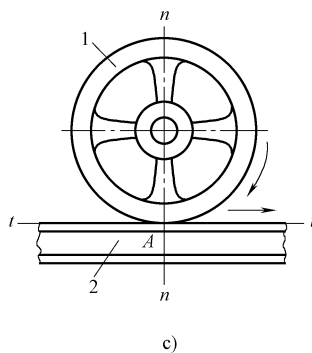
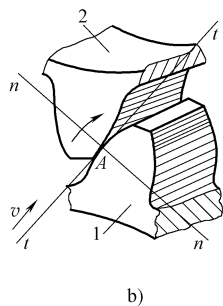
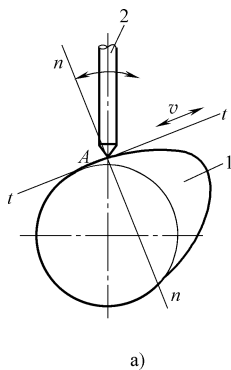


图 2-3 高副

除了上述平面运动副之外，机械中还经常见到如图 2-4 所示的螺旋副和图 2-5 所示的球面副。这些运动副中两构件间的相对运动是空间运动，故属于空间运动副。空间运动副不在本章讨论的范围之内。

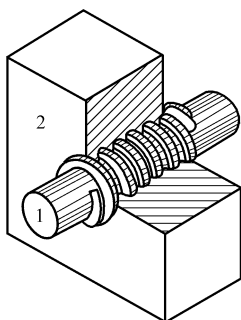


图 2-4 螺旋副

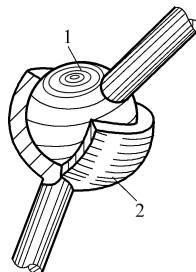


图 2-5 球面副



第二节 平面机构运动简图

一、运动副 (kinematic pair) 及构件 (link) 的表示方法

1. 低副

(1) 转动副 图 2-6a、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。若组成转动副的两构件都是活动件，则用图 2-6a 表示。若其中一个为机架，则在代表机架的构件上加阴影线，如图 2-6b、c 所示。

(2) 移动副 两构件组成移动副的表示方法如图 2-6d、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，图中画阴影的构件表示机架。

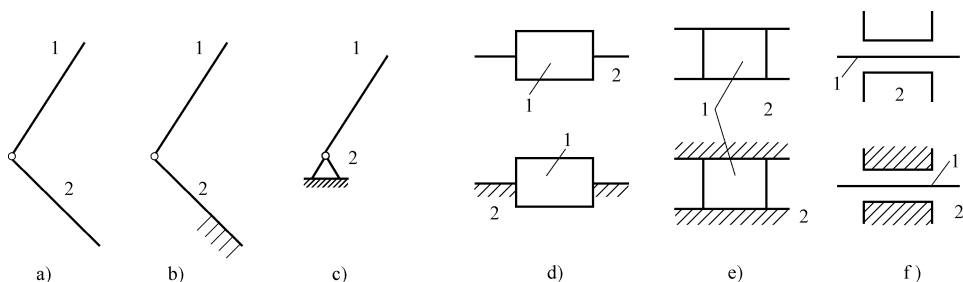


图 2-6 平面低副的表示方法

2. 平面高副

两构件组成平面高副时，其运动简图中应画出两构件接触处的曲线轮廓，对于凸轮、滚子，要画出其全部轮廓；对于齿轮，常用点画线画出其节圆，如图 2-7 所示。

3. 构件

图 2-8 所示为构件的表示方法。图 2-8a 表示参与组成两个转动副的构件。图 2-8b 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角形上涂以焊缝的标记，如图 2-8c 所示。如果三个转动副中心在一条直线上，则可用图 2-8d 表示。超过三个运动副的构件的表示方法可以此类推。其他常用机构的表示方法可参看 GB/T 4460—2013《机械制图 机构运动简图用图形符号》，见表 2-1。

机构中的构件按其运动性质可分为三类：

(1) 固定构件 (fixed link) (机架) 机构 (mechanism) 中固定不动的构件称为机架。这里的固定不动包括绝对不动和相对不动。

1) 绝对不动。一般情况下，机械安装在地面上，那么机架相对于地面是固定不动的。

2) 相对不动。如果机械是安装在运动的物体上，那么机架相对于该运动物体是固定不动的，但相对于地面有可能运动。例如，内燃机中气缸体就是固定构件，它用以支承活塞和曲轴等，它虽然跟随汽车运动，但在研究发动机的运动时，仍把气缸当作固定构件。研究机构中活动构件 (active link) 的运动时，常以固定构件作为参考坐标系。

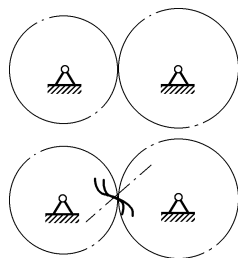


图 2-7 平面高副的表示方法

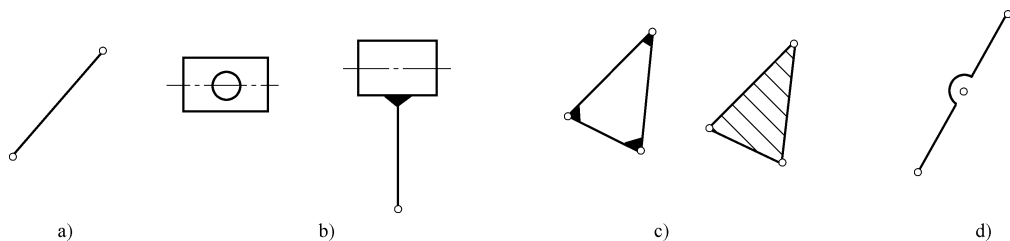


图 2-8 构件的表示方法

表 2-1 常用机构运动简图符号

在支架上的电动机		齿轮齿条传动	
带传动		锥齿轮传动	
链传动		圆柱蜗杆传动	
摩擦轮传动		凸轮传动	
外啮合圆柱齿轮传动		槽轮传动	
内啮合圆柱齿轮传动		棘轮传动	