



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

专业基础系列

机械原理

杨黎明 编



Machine

Elements



高等教育出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

专业基础系列

机械原理

杨黎明 编

高等教育出版社

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书共 9 章,包括绪论、机构的识别与构型、平面连杆机构、运动副中的摩擦和机械效率、凸轮机构、齿轮机构、齿轮系、其他常用机构、机械系统的运动方案设计,书后附有电动机的选择和课程设计题例。

本书是应用性、技能型人才培养的各类教育机械类专业教材,也可以供从事机械设计的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/杨黎明编. —北京:高等教育出版社,
2008.12

ISBN 978 - 7 - 04 - 025269 - 9

I. 机… II. 杨… III. 机构学 - 高等学校 -
教材 IV. TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 156699 号

策划编辑	罗德春	责任编辑	李京平	封面设计	张申申	责任绘图	尹 莉
版式设计	张 岚	责任校对	俞声佳	责任印制	陈伟光		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010 - 58581000

购书热线 010 - 58581118
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 涿州市京南印刷厂

网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 17.5
字 数 420 000

版 次 2008 年 12 月第 1 版
印 次 2008 年 12 月第 1 次印刷
定 价 23.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 25269 - 00

前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在编写时,编者遵循以下指导思想:

1. 根据课程教学任务、目的和要求,遵循必需、够用为度的原则精选教材内容。同时兼顾适当介绍本学科的新理论和新技术。
2. 按照机械设计过程构建教材内容体系。《机械原理》按机械传动系统运动方案设计过程安排内容体系,《机械零件》按机械传动装置设计过程安排内容体系。还增加了课程设计题例、课程设计指导和机械设计参考资料。
3. 以课程设计为纽带加强两课内容的联系与应用。
4. 重视阐明概念,减少数理论证。
5. 理论联系实际,强化设计训练。

教材中的例题、习题和课程设计题目大多数出自工程实际。

6. 贯彻启发式和循序渐进的教学方法。采用课堂教学与课程设计同步进行、课程设计采用分散与集中(专用周)进行的教学方式,实践证明,这种教学方式,使学生较长时间处于带着问题学和渴求获得实际问题办法的积极思维状态,能充分调动学生学习积极性和主动性,而且能达到分散难点,开阔构思方案思路,消化设计资料,提高课程教学质量的效果。

上述编写原则和做法,仅能抛砖引玉,不当之处望读者指正。

编 者
2008 年 10 月

目 录

第 1 章 绪论	1	第 5 章 凸轮机构	73
第 1 节 机器的组成和特征	1	第 1 节 凸轮机构的组成、特点、分类和应用	73
第 2 节 机械原理课程简介	6	第 2 节 从动件的常用运动规律及其选择	75
复习思考题	6	第 3 节 平面凸轮机构的几何参数	85
第 2 章 机构的识别与构型	7	第 4 节 用图解法设计凸轮廓线	94
第 1 节 机构的组成	7	第 5 节 用解析法设计凸轮廓线简介	101
第 2 节 平面机构运动简图	9	第 6 节 凸轮副的材料和热处理	103
第 3 节 平面机构具有确定运动的条件	12	第 7 节 凸轮的技术要求	105
第 4 节 平面机构的组成原理	16	第 8 节 凸轮和从动件的结构	106
复习思考题	20	复习思考题	110
习题	20	习题	111
第 3 章 平面连杆机构	24	第 6 章 齿轮机构	113
第 1 节 连杆机构的特点及其简图符号	24	第 1 节 齿轮机构的特点、应用和分类	113
第 2 节 曲柄存在的条件	24	第 2 节 齿廓啮合基本定律	113
第 3 节 平面四杆机构的基本类型	26	第 3 节 渐开线齿廓	116
第 4 节 平面四杆机构的应用	26	第 4 节 渐开线齿轮各部分名称、参数和几何计算	120
第 5 节 铰链四杆机构的演化	28	第 5 节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的检测尺寸	125
第 6 节 连杆机构的特性参数	31	第 6 节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	129
第 7 节 平面连杆机构的设计方法	37	第 7 节 渐开线标准斜齿圆柱齿轮机构	133
第 8 节 平面多杆机构的应用	50	第 8 节 交错轴斜齿轮机构	142
复习思考题	51	第 9 节 蜗杆蜗轮机构	145
习题	52	第 10 节 渐开线圆柱齿轮展成法切齿原理简介	152
第 4 章 运动副中的摩擦和机械效率	54	第 11 节 根切现象与最少齿数	156
第 1 节 移动副中的摩擦	54		
第 2 节 螺旋副中的摩擦	56		
第 3 节 转动副中的摩擦	58		
第 4 节 机械效率	60		
第 5 节 机械的自锁	64		
复习思考题	69		
习题	70		

第 12 节 渐开线圆柱齿轮的变位原理 与几何尺寸计算	156	第 9 章 机械系统的运动方案设计	223
第 13 节 直齿锥齿轮机构	168	第 1 节 机械系统的总体方案设计 ...	223
复习思考题	175	第 2 节 机械系统总体方案设计 示例	233
习题	177	第 3 节 B665 牛头刨床运动方案 设计	235
第 7 章 齿轮系	179	附录 I 电动机选择	245
第 1 节 齿轮系分类	179	1 电动机类型选择	245
第 2 节 定轴齿轮系传动比的计算 ...	180	2 异步电动机基本系列	245
第 3 节 行星齿轮系的组成、分类和 传动比计算	183	附录 II 课程设计题例	251
第 4 节 混合齿轮系传动比的计算 ...	188	题目一 四工位专用钻床运动方案 设计	251
第 5 节 齿轮系的应用	190	题目二 三轴专用钻床运动方案 设计	253
第 6 节 渐开线少齿差行星齿轮减 速器	192	题目三 半自动专用钻床运动方案 设计	257
第 7 节 摆线针轮减速器	194	题目四 卧式多工位冷镦机运动方案 设计	259
第 8 节 谐波齿轮传动	197	题目五 简易插床运动方案设计	263
复习思考题	199	题目六 步进输送机运动方案设计 ...	264
习题	199	题目七 切钢管机运动方案设计	266
第 8 章 其他常用机构	202	题目八 专用镗床机构设计	269
第 1 节 棘轮机构	202	参考书目	271
第 2 节 槽轮机构	210		
第 3 节 螺旋机构	216		
第 4 节 组合机构简介	220		
复习思考题	221		
习题	221		

第 1 章 绪论

人们在日常生活和生产活动中见过或用过不少机器,如缝纫机、洗衣机、计算机、打印机、电动机、机床、汽车、拖拉机、印刷机、起重机等。虽然,机器种类繁多,构造、性能和用途各异,但它们之间却具有共同特征。下面通过对单缸内燃机、牛头刨床的分析,阐明机器组成和特征,零件、构件、机构的概念,机械原理课程研究的对象和内容,机械原理课程的性质、任务和基本要求以及机械原理课程与机械设计的关系。

第 1 节 机器的组成和特征

1.1 机器的组成和特征

图 1-1 所示单缸内燃机是由活塞 1、连杆 2、曲轴 3、齿轮 4 和 5、凸轮 6 和 6'、阀杆 7 和 7'、气缸(机架)8 等构件构成的齿轮机构、凸轮机构和曲柄滑块等机构所组成的。

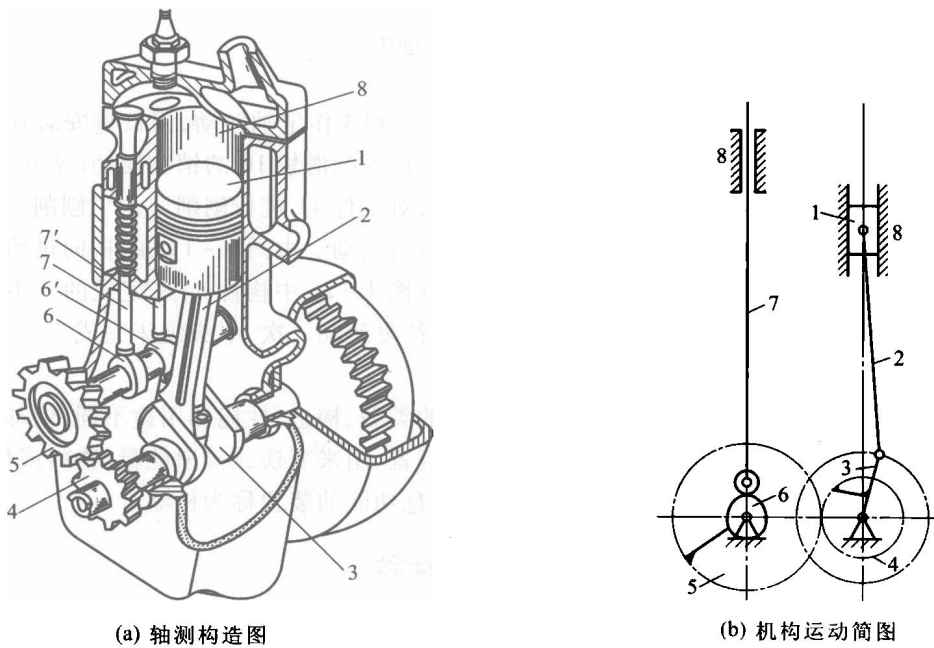


图 1-1 单缸内燃机

燃气通过进气阀进入气缸 8 后,进气阀随即关闭,点火,燃气在气缸中燃烧产生压力,推动活塞下移,活塞通过连杆驱动曲轴连续转动,曲轴一端接工作机,输出机械能,作有用机械功。活塞

上移时,排气阀打开,排出废气。进气阀与排气阀开启与关闭时间的控制,由齿轮4、5和凸轮6、6'按一定规律推动阀杆7、7'来实现。在工作过程中,内燃机各构件具有协调配合的确定运动,活塞往复移动一次,内燃机完成一个工作循环,实现热能与机械能的转换,并完成有用机械功。

图1-2所示牛头刨床是由电动机1、齿轮2和3、滑块4和10、导杆5、刀架6(滑枕)、工作台7、丝杠8、床身9(机架)等构件构成的齿轮机构、导杆机构等机构所组成的。

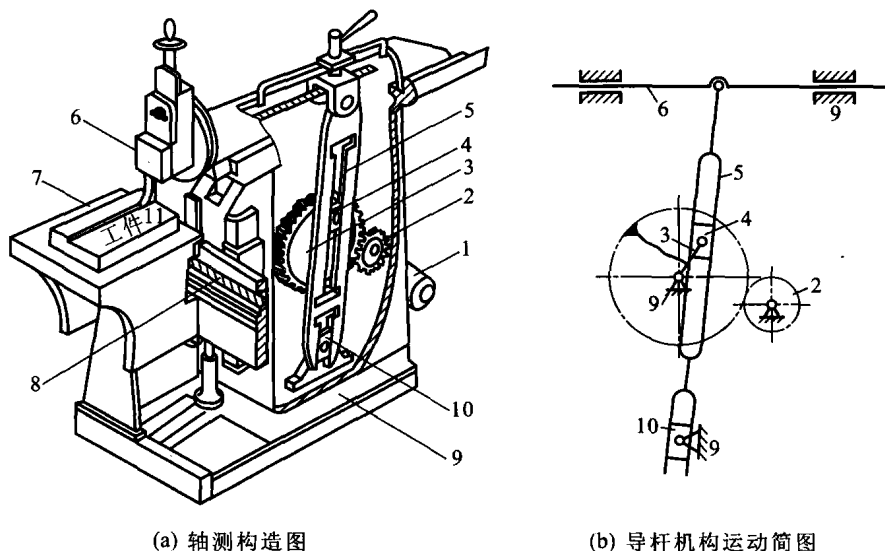


图1-2 牛头刨床

电动机1通过V带传动(图中未画出)带动齿轮2和3作定轴转动,用铰链安装在齿轮3上的偏心销轴上的滑块4在导杆槽中滑动,从而驱动导杆5绕滑块10的销轴摆动(滑块10空套在销轴上),导杆5驱动刀架6(滑枕)作往复直线运动,对工件11进行刨削。为了刨削一定宽度的工件,工作台连同工件还需作正反两个方向的横向进给运动。由图9-11知,横向进给是由齿轮3、曲柄摇杆机构、棘轮机构,带动与棘轮固连的丝杠(图1-2a中构件8)来完成的。牛头刨床在工作过程中,各构件具有协调配合的确定运动,刨刀往复运动一次,牛头刨床完成一个工作循环,实现电能与机械能的转换,并完成有用机械功。

从以上两例可知,尽管单缸内燃机和牛头刨床的类型、构造、性能和用途不同,但却具有以下共同特征:内燃机和牛头刨床都是执行机械运动的装置,用来变换或传递能量、物料或信息。

具有执行机械运动,变换或传递能量、物料与信息功能的装置称为机器。

1.2 零件、构件、机构、机械、机械系统的概念

(1) **机械零件** 机械零件是指机器的制造单元体。机械零件又分为通用零件和专用零件:通用零件是指各种机器普遍用到的零件,如螺栓、螺母、键、销等;专用零件是指某种机器才用到的零件,如内燃机用到的活塞、曲轴等。

(2) **构件** 构件是指机构中的运动单元体。构件可能是一个零件,也可能是若干个零件组合的刚性体,图1-3所示的内燃机连杆就是由连杆体1、连杆盖3、螺栓2和螺母4等零件组成

的构件,组成连杆的各零件之间没有相对运动。应当指出,零件间的联系不仅限于机械联系,而是包括电、磁、气、液等各种联系方式。

(3) **机构** 机构是指用来传递运动和力,有一个构件为机架,用运动副连接起来,具有确定运动的构件系统。例如内燃机的主体部分称为曲柄滑块机构,传动部分称为齿轮机构,排气的控制部分称为凸轮机构。由此可见,机器主要由机构组成。从组成角度看,机器与机构并无区别;从功能角度看,机器与机构则有根本区别,区别在于机构的主要功能是传递运动和力,而机器的主要功能除传递运动和力外,还能变换或传递能量、物料与信息。一台机器可以由一个机构组成,也可以由多个机构组成。例如图 1-4 所示的颚式破碎机是由一个曲柄摇杆机构组成的;前面介绍的单缸内燃机是由曲柄滑块机构、齿轮机构和凸轮机构三个机构组成的;牛头刨床是由齿轮机构、导杆机构、曲柄摇杆机构、棘轮机构和螺旋机构五个机构组成的。

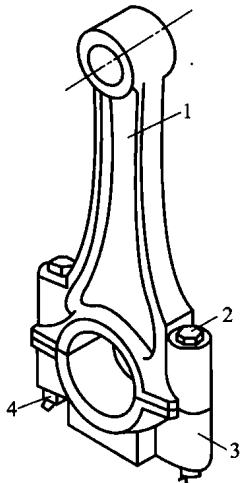


图 1-3 内燃机连杆

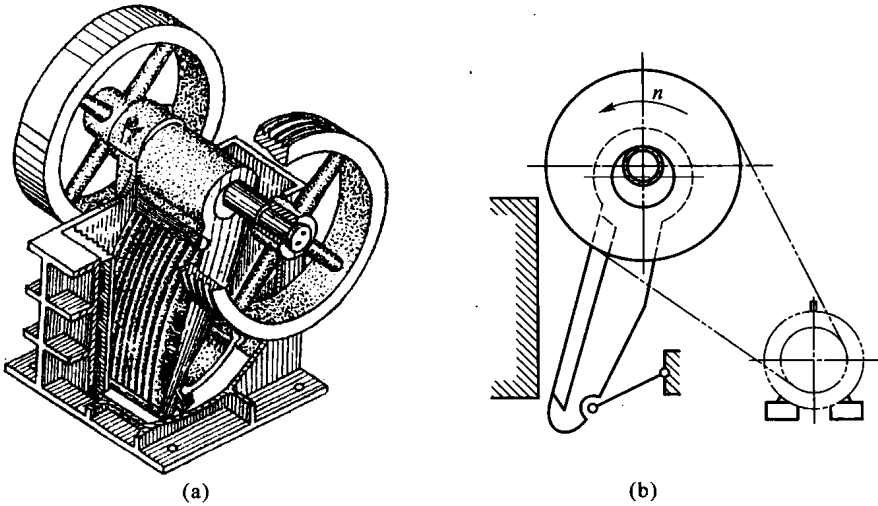


图 1-4 颚式破碎机

(4) **机械** 在工程上,通常用“机械”一词作为机器和机构的总称,例如,机械产品、机械工业、机械制造、机械零件,等等。

(5) **机械系统** 系统是指具有特定功能,相互间具有联系的许多要素构成的一个整体。因此,机械系统就是指由若干机器与机构及附属装置组成的具有特定功能的系统。

一个大机械系统,可以由若干小的系统组成,大系统中的小系统常称为**子系统**。例如牛头刨床就是由切削系统和进给系统两个子系统组成的。

上述这些名词概念在机械原理课程、机械设计课程和机械工业领域中经常遇到,应深刻理解其含义。

1.3 机器的功能结构图

从功能观点来观察和认识机器,描述机器的组成,才能不断地探索机器的新原理和新结构。

按照功能观点来描述机器的组成,将机器划分为动力系统、传动系统、执行系统(工作系统)和控制或操纵系统等四个功能子系统,画出牛头刨床的功能结构图,如图 1-5 所示。

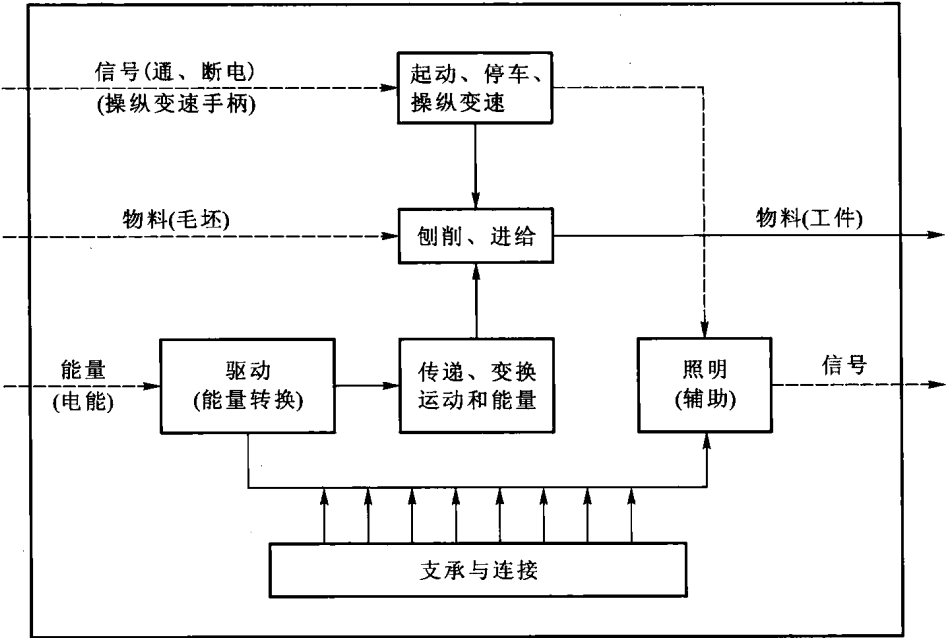


图 1-5 牛头刨床的功能结构图

图 1-6 为自行车的功能结构图。

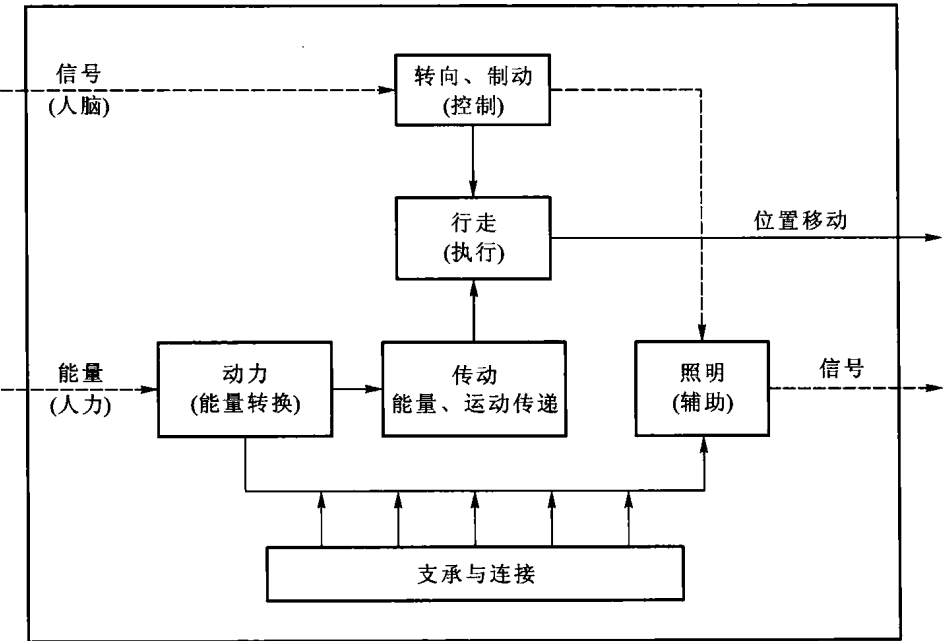


图 1-6 自行车功能结构图

1.4 机械设计的一般过程

1. 机械设计的概念

机械设计是指根据所设计的机械使用要求,对机械的工作原理、结构、运动方式、力和能量的传递方式、各零件的材料和形状尺寸、润滑方法等进行构思、分析和计算,并将之转化为具体的描述,用来作为制造依据的工作过程。

2. 机械设计的一般流程

机械设计流程大致可划分为产品规划阶段、原理方案设计阶段、结构方案设计阶段、总体设计阶段、施工设计阶段和试制、生产、销售阶段等,每个阶段的工作内容和目标如图 1 - 7 所示。

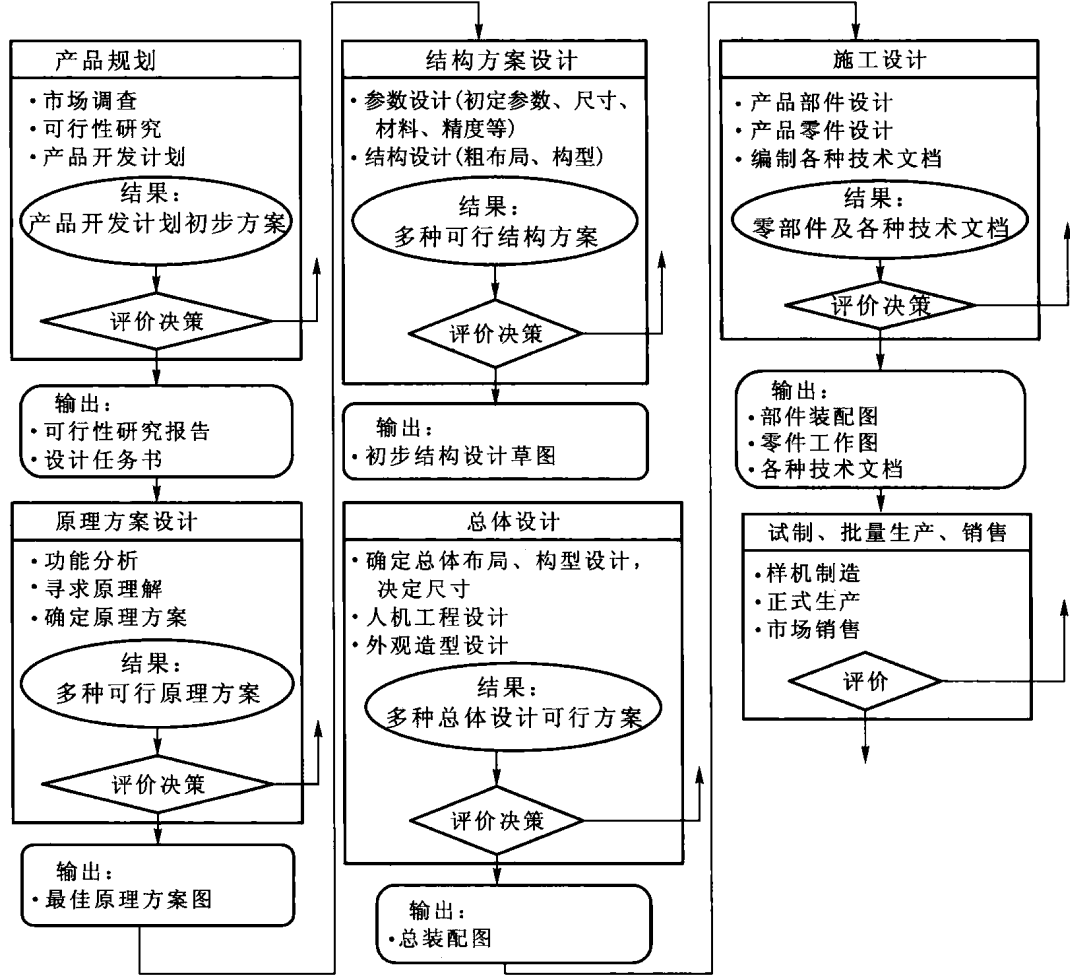


图 1 - 7 机械产品设计过程的一般流程

第2节 机械原理课程简介

1. 机械原理课程研究的内容

可以说,机器是一种可以用来变换或传递能量、物料与信息的机构的组合。机械原理课程是讨论机构和机器的一些共性问题,主要包括以下几方面内容:

(1) 机构的识别与构型 研究机构的识别与构型是为了探讨机构具有确定运动的条件和机构组成的原理。

(2) 机构的运动分析 在给定机构原动件运动规律的条件下确定其他构件的运动规律和构件上各点的运动轨迹。

(3) 动力学 研究机械在运转过程各构件上所受的力、机械效率、在外力作用下各构件的运动规律,以及机械的调速与平衡。

(4) 基本机构的分析与综合 对连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、齿轮机构等的运动及工作特性进行分析。所谓综合是指不涉及与机械零件的强度、刚度、材料、形状和尺寸有关的内容,而是根据机构的结构、运动学和动力学要求进行机构设计。

2. 机械原理课程的性质、任务和基本要求

机械原理课程是机械类专业必修的一门主干技术基础课。其任务是使学生掌握机构的结构分析、运动分析和受力分析的基本理论、基本知识和基本技能,具有设计基本机构和机械系统的能力,为后继课程学习和今后从事机械设计工作奠定必备的基础。

3. 机械原理课程与机械设计的关系

由图1-7所示机械产品设计的一般过程可知,机械产品的原理方案设计属于机械原理课的范围。

产品的原理方案设计是产品设计的关键阶段,因为原理方案的优劣决定产品开发的成败。

复习思考题

1-1 什么叫机器? 什么叫零件? 什么叫构件? 什么叫机构? 什么叫机械? 什么叫机械系统?

1-2 用生产中的三个实例说明机器的特征。

1-3 用生产中的三个实例说明机构的特征。

1-4 用实例说明零件与构件的区别、通用零件与专用零件的区别。

1-5 绘制单缸内燃机的功能结构图。

1-6 说明机械设计的含义和设计过程。

1-7 机械原理课程研究哪些内容?

1-8 机械原理课程的性质、任务和基本要求是什么?

1-9 机械原理课程与机械设计有什么关系?

第2章 机构的识别与构型

第1节 机构的组成

1.1 机构的组成要素

1. 构件

在第1章已经说明构件的含义。

2. 运动副及其分类

机构中任一构件,总是以一定方式与其他构件相互接触并组成活动连接。例如,滑动轴承与轴颈通过圆柱面接触组成活动连接,构成运动副;单缸内燃机的活塞与气缸通过圆柱面接触组成活动连接,构成运动副;牛头刨床的滑枕和工作台与床身导轨平面或V形面接触组成活动连接,构成运动副;轮齿通过齿廓接触组成活动连接,构成运动副。两构件相连后,构件间的相对运动受到约束,即运动自由度随之减少。机构正是靠着构件间的活动连接,构件间的某些相对运动受到约束,并使之具有确定的运动的。

一般来说,两构件直接接触并能保持一定形式的相对运动的连接称为运动副。显然,不仅构件是组成机构的要素,运动副也是组成机构的必然要素。

根据运动副对构件运动形式的约束及两构件接触方式的不同,运动副可作如下分类:

1) 平面运动副

若运动副只允许两构件在同一平面或相互平行平面内作相对运动,则称该类运动副为平面运动副。平面运动副又分为低副和高副。

(1) 低副 两构件通过面接触组成的运动副称为低副。如单缸内燃机的活塞与气缸、牛头刨床的滑枕与导轨构成的运动副都是低副。平面低副又分为转动副和移动副。

① 转动副 若运动副只允许两构件作相对转动,则该运动副称为转动副,也称铰链。图2-1a所示构件的连接就是转动副。如果构件转动副两构件之一是固定不动的,则称该转动副为固定铰链。例如电动机的定子固定在机架上,则电动机的转子与定子便组成固定铰链,其代表符号见图2-1b。若构成转动副两构件都是运动的,则称该转动副为活动铰链。例如图1-1所示单缸内燃机的连杆2与曲轴连接铰链,其代表符号见图2-1c。图2-1d表示转动副位于两连接构件之一的中部。图2-3为球面铰链。

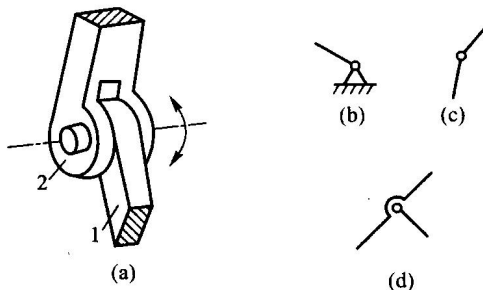


图2-1 转动副

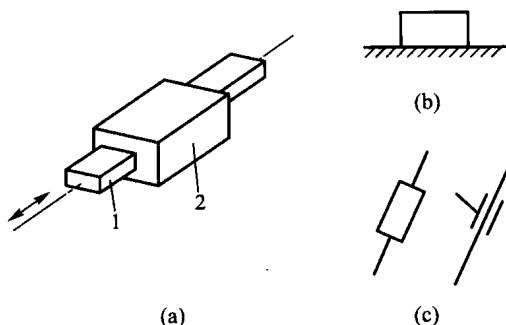


图 2-2 移动副

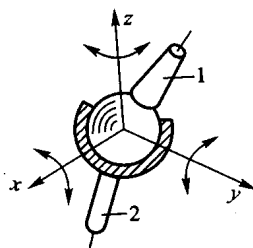


图 2-3 球面铰链
1—球接头;2—球面座

② 移动副 若运动副只允许两构件沿接触面某方向相对滑动,则该运动副称为移动副。例如图 1-1 所示单缸内燃机的活塞 1 与缸体 8 构成移动副,凸轮从动件(阀杆)7 与缸体 8 构成移动副,其代号见图 2-2b 和 c。

(2) 高副 两构件通过点或线接触组成的运动副称为高副。例如图 2-4a 所示凸轮 1 与从动件 2、图 2-4b 所示齿轮 1 与齿轮 2 的连接都是高副。

2) 空间运动副

若运动副允许两构件作空间相对运动,则该运动副称为空间运动副。图 2-5 所示的螺旋副就是空间运动副。

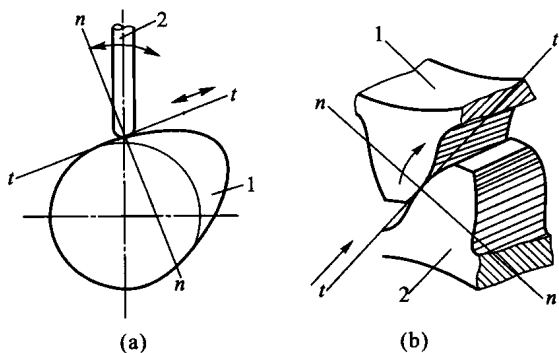


图 2-4 高副

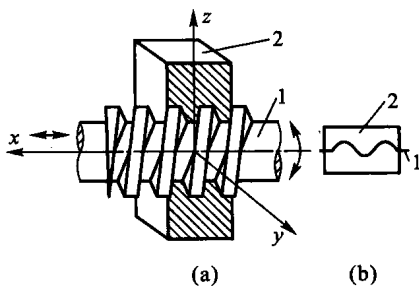


图 2-5 螺旋副

1.2 运动链

若干构件通过运动副连接而成的系统称为运动链。如果运动链中各构件构成如图 2-6a 所示封闭形式的运动链,则该运动链称为闭式运动链,简称闭链;如果运动链中各构件构成如图 2-6b 所示不封闭形式的运动链,则该运动链称为开式运动链,简称开链。

运动链中如果只有如图 2-6a 所示一个闭链则称为单闭环链;有如图 2-6c 所示的两个闭环链的称双闭环链;有两个以上闭环链的名称可依次类推。

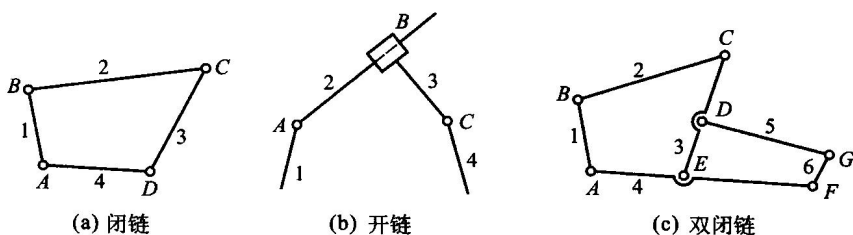


图 2-6 运动链

1.3 机构的形成

当运动链具有以下三个条件时就成为机构：

(1) 具有一个机架，机架作为描述其他构件运动的参考坐标系。在多数情况下，选择相对地面固定的构件作为机架。某些机器（如汽车、飞机、火车、轮船、机器人等）的机架对地也有运动。

(2) 具有一个原动件，原动件的运动规律是给定的。图 2-7 所示推土机机构具有一个原动件，图 2-8 所示筛料机机构具有两个原动件，图 2-9 所示液压挖掘机机构具有三个原动件。标有带圆弧或直线箭头的构件为机构的原动件。

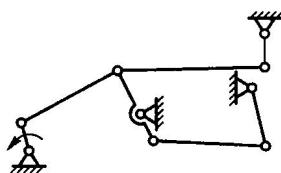


图 2-7 推土机机构

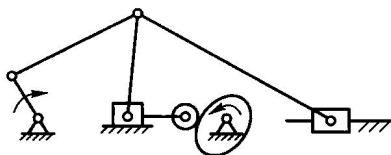


图 2-8 筛料机机构

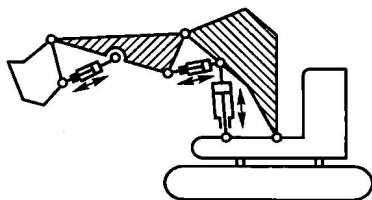


图 2-9 液压挖掘机机构

(3) 除原动件和机架外，其余构件称为从动件，各从动件都能根据运动链中运动副的类型和布置情况及原动件的运动规律获得确定的运动。

第 2 节 平面机构运动简图

分析已有机械或设计新机械时，为了便于研究机械的运动，工程上常用 GB/T 4460—1984 规定的机构运动简图符号和线条，画出能够表达各构件相对运动关系的图形，这种图形称为机构运动简图。

绘制机构运动简图步骤如下：

(1) 弄清机构的实际构造和运动状况，找到原动件（驱动力作用的构件）、执行件（完成预定工作的构件）和机架（构件中视为固定不动的构件）。

(2) 沿着传动路线弄清其余构件的作用和运动副的类型。

(3) 选择能表达构件运动关系的视图平面，用运动副的符号、表示构件的线条和机构运动简

图符号,根据机构的实际尺寸,选取适当的比例尺绘出机构运动简图。

绘图时,机构中凡与运动无关的结构一律不画,使图形简明清晰。

国家标准规定的常用机构运动简图见表 2-1。

例 2-1 试绘制图 2-10a 所示单缸内燃机的运动简图。

解:

单缸内燃机由三个基本机构组成。按以下步骤绘制单缸内燃机的运动简图:

1. 分析机构运动,找出机架、原动件、执行件和其他构件

1) 曲柄滑块机构 由缸体 4(机架)、活塞 1(原动件)、连杆 2 和曲柄 3(执行件)组成。该机构将活塞的直线往复移动转换成曲轴的回转运动。

2) 齿轮机构 由缸体 4(机架)、齿轮 5(原动件)和齿轮 6(执行件)组成。该机构将主动齿轮的转动(转速较高)转换成被动齿轮的转动(转速较低)。

3) 凸轮机构 由缸体 4(机架)、凸轮 7(原动件)和推杆 8(执行件)组成。该机构将凸轮的转动转换成推杆(从动件)的间歇直线运动。

2. 分析各构件间相对运动的性质,确定各运动副的类型和数目

1) 曲柄滑块机构 活塞 1 与缸体 4 组成移动副,活塞 1 与连杆 2、连杆 2 与曲轴 3 组成转动副(活动铰链)。

2) 齿轮机构 齿轮 5 与缸体 4(机架)组成转动副(固定铰链),齿轮 5 与齿轮 6 组成平面高副。

3) 凸轮机构 凸轮 7 与缸体 4(机架)组成转动副(固定铰链),推杆 8 与缸体 4 组成移动副,凸轮 7 与推杆 8 组成平面凸轮高副。

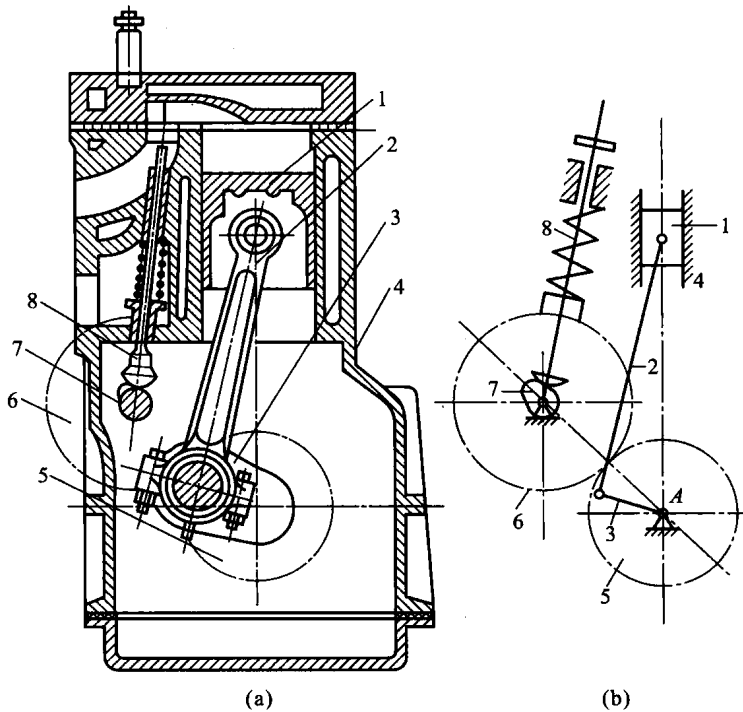


图 2-10 单缸内燃机

表 2-1 部分常用机构运动简图符号 (摘自 GB/ T 4460—1984)

名称		代表符号		名称	代表符号
构件固定连接				链传动	
零件与轴的固定					
轴 承	向心轴承	 普通轴承	 滚动轴承	外啮合圆柱齿轮机构	
	推力轴承	 单向推力 双向推力	 推力滚动轴承	内啮合圆柱齿轮机构	
	向心推力轴承	 单向向心推力 双向向心推力	 向心推力滚动轴承	齿轮齿条传动	
联轴器		 可移式联轴器 弹性联轴器		锥齿轮机构	
离合器		 啮合式 摩擦式		蜗杆蜗轮传动	
制动器				棘轮机构	 (外啮合)
在支架上的电动机				槽轮机构	 (外啮合)
带传动					

3. 选择视图平面

一般应选择多数构件运动所在平面或其平行平面,以便清晰地表达构件间的运动关系。如