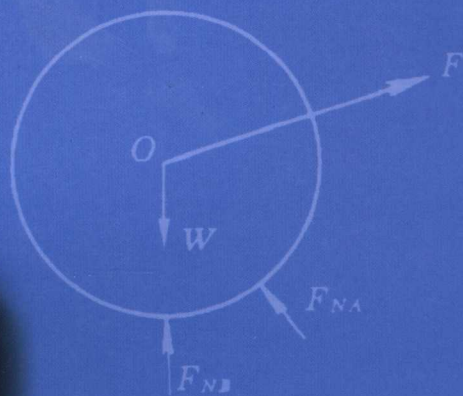


中等职业学校机电类教材

机械基础

樊安新 主编



JIXIE JICHU
JIXIE JICHU



黄河水利出版社

中等职业学校机电类教材

机 械 基 础

主 编 樊安新

副主编 车世明 马质璞

黄 河 水 利 出 版 社

内 容 提 要

本书根据教育部 2000 年制订的中等职业学校《机械基础》教学大纲基本精神和机械加工类国家职业资格等级考核标准编写。在编写过程中,按照中等职业教育的培养目标,结合机电类、机械类专业特点,本着“够用为度、实用为本、应用为主、突出技能”的原则,削枝强干,精选“应用型、技能型”内容,充分体现中职教材特色,突出培养中初级专门人才的现场实际工作能力。为适合各类学生的学习需求,本教材将内容分为基本、选学、扩展三类。全书分为工程力学基础、机械传动及常用机构、连接与支承零部件、机械零件的几何精度四篇内容。本教材可作为中等职业学校三年制机电类、机械类各专业的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

机械基础/樊安新主编. —郑州:黄河水利出版社,
2006.2
中等职业学校机电类教材
ISBN 7-80734-042-8

I. 机… II. 樊… III. 机械学—专业学校—教材
IV. TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 003059 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940

传真:0371-6022620

E-mail: yrcp@public.zz.ha.cn

承印单位:黄委会设计院印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:17

字数:400 千字

印数:1—3 200

版次:2006 年 2 月第 1 版

印次:2006 年 2 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80734-042-8/TH · 16

定价:23.20 元

前 言

本书根据教育部 2000 年制订的中等职业学校“机械基础”教学大纲基本精神和机械加工类国家职业资格等级考核标准,同时参照近几年河南省中等职业学校对口升学考试大纲,并结合编者中等职业学校教学经验编写,可供中等职业学校三年制机电类、机械类各专业使用。

本教材在编写过程中,根据中等职业教育的培养目标,结合机电类、机械类专业的特点,本着“够用为度、实用为本、应用为主、突出技能”的原则,削枝强干,精选教材内容。突破现行中职教材“抄大学”的模式;变大学教材的“学术型、设计型”为中职教材的“应用型、技能型”;充分体现中职教材特色。同时在尊重科学性和教学规律性的前提下,特别注意对有关教学内容进行适当综合,其意义不仅是为了提高教学效率,更为重要的是有利于培养中初级专门人才的现场实际工作能力。

全书分四篇内容:第一篇 工程力学基础;第二篇 机械传动及常用机构;第三篇 连接与支承零部件;第四篇 机械零件的几何精度。考虑到一些专业不再单独开设工程力学和公差、技术测量课程,所以将其应知内容编入第一篇、第四篇,以满足学生必要的力学知识和公差、技术测量知识。在第二篇、第三篇中,较少涉及“受力分析与设计计算”和比较抽象的“理论分析”内容,而增加了使用与维护、安装与装配等“技能”内容。

为适应各类学生的学习需求,本教材将内容分为三类,即:基本、选学、扩展,书后的习题分为 A、B 两类,对以技能培养为主的学生,以学习基础内容、完成习题 A 为主,选学内容由教师根据学时多少确定;扩展内容仅供学生自学。为便于区别,基础内容用宋体印刷,选学内容用仿宋体印刷,扩展内容用小号宋体印刷。目录中带“*”、“**”的为选学、扩展内容。

本书由河南省轻工业学校樊安新主编(编写绪论、第 2 章),参加编写的有:河南省轻工业学校车世明(副主编,编写第 4、5 章)、李万里(编写第 1、6 章),河南省南阳农业学校马质璞(副主编,编写第 3、7 章)、蔡永超(编写第 12、13、14、15、18 章)、武保强(编写第 8、9、10、11 章),郑州旅游职业学院李春明(编写第 16、17、19 章)。

在本书编写过程中,得到三校领导的大力支持,在此谨表示衷心的感谢!

由于时间仓促及编者水平所限,不妥之处在所难免,恳请广大读者提出宝贵意见。

编 者

2006 年 1 月

目 录

前言

绪 论	(1)
§0-1 机械的基本知识	(1)
§0-2 机械的运动形式	(5)
§0-3 本课程的主要内容、性质与任务	(7)

第一篇 工程力学基础

第 1 章 静力学基础	(9)
§1-1 力的基本性质	(9)
§1-2 平面汇交力系的合成与平衡	(14)
§1-3 力矩和力偶	(19)
§1-4 平面任意力系的平衡	(24)
§1-5 平面平行力系的平衡	(26)
第 2 章 杆件的基本变形	(31)
§2-1 概 述	(31)
§2-2 拉伸与压缩	(33)
§2-3 剪切与挤压	(40)
§2-4 圆轴扭转	(43)
§2-5 直梁弯曲	(48)
§2-6 组合变形简介*	(54)
§2-7 影响杆件变形的其他因素*	(55)

第二篇 机械传动及常用机构

第 3 章 带传动与链传动	(59)
§3-1 带传动	(59)
§3-2 V 带与 V 带轮	(64)
§3-3 带传动的安装与维护	(67)
§3-4 链传动	(71)
第 4 章 齿轮传动	(79)
§4-1 概 述	(79)
§4-2 渐开线与渐开线齿廓	(82)
§4-3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和尺寸计算	(85)
§4-4 一对渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	(90)

§4-5	渐开线齿轮的切削加工与根切现象	(91)
§4-6	齿轮的失效形式	(93)
§4-7	斜齿圆柱齿轮传动*	(95)
§4-8	齿轮常用材料和圆柱齿轮的结构	(98)
§4-9	直齿圆锥齿轮传动简介	(100)
第 5 章	蜗杆传动	(106)
§5-1	概 述	(106)
§5-2	蜗杆传动的使用与维护	(111)
§5-3	蜗杆蜗轮的结构与材料*	(112)
第 6 章	其他机械传动简介	(115)
§6-1	螺旋传动	(115)
§6-2	摩擦轮传动*	(121)
第 7 章	轮系与减速器	(124)
§7-1	轮系的应用与分类	(124)
§7-2	定轴轮系传动比的计算与应用	(125)
§7-3	周转轮系的组成与传动比计算*	(131)
§7-4	圆柱齿轮减速器简介*	(133)
第 8 章	平面连杆机构	(140)
§8-1	平面四杆机构的基本类型与应用	(140)
§8-2	平面四杆机构的基本特性*	(148)
第 9 章	凸轮机构	(152)
§9-1	概 述	(152)
§9-2	凸轮机构的工作原理	(154)
§9-3	凸轮机构的常用材料及结构**	(159)
第 10 章	间歇运动机构*	(161)
§10-1	棘轮机构	(161)
§10-2	槽轮机构	(163)

第三篇 连接与支承零部件

第 11 章	螺纹连接	(166)
§11-1	螺纹连接的基本形式与螺纹连接件	(166)
§11-2	螺纹连接的预紧、防松与拆卸	(169)
第 12 章	轴毂连接	(173)
§12-1	键连接	(173)
§12-2	销连接简介*	(178)
第 13 章	联轴器与离合器	(180)
§13-1	联轴器	(180)
§13-2	离合器	(182)

§13-3 制动器**	(185)
第 14 章 轴 承	(188)
§14-1 滑动轴承简介	(188)
§14-2 滚动轴承的结构、类型和代号	(193)
§14-3 滚动轴承的组合结构*	(197)
第 15 章 轴	(202)
§15-1 概 述	(202)
§15-2 轴的结构	(204)

第四篇 机械零件的几何精度

第 16 章 光滑圆柱体结合的公差与配合	(208)
§16-1 概 论	(208)
§16-2 公差与配合的基本术语及定义	(209)
§16-3 公差与配合标准的主要内容简介	(217)
第 17 章 技术测量基础	(236)
§17-1 概 述	(236)
§17-2 常用长度量具	(236)
第 18 章 形状公差和位置公差	(241)
§18-1 概 述	(241)
§18-2 形状公差和位置公差	(243)
§18-3 形位精度的选用	(249)
第 19 章 表面粗糙度	(255)
§19-1 概 述	(255)
§19-2 表面粗糙度的评定标准	(256)
§19-3 表面粗糙度的标注	(258)
§19-4 表面粗糙度的应用	(260)
参考文献	(264)

绪 论

“机械”是一个内涵广泛的概念，大到飞机和轮船，小到工具和仪表，都属于机械的范畴。机械是人类在日常生活和生产劳动中发明和创造的，并且得到了日益广泛的应用。这是因为它能代替和减轻人的体力劳动，提高生产效率和产品质量。机械不仅是人类从事工农业生产和交通运输的重要工具，也是一个国家科学技术和经济发展水平的重要标志。随着机械工业的不断完善和发展，机械在各行各业的现代化建设中越来越显示出其巨大的作用和强大的生命力。

我国古代人民在机械方面有过许多杰出的创造与发明。远在五千多年前就使用了简单的纺织机械；夏朝发明了车子；夏商时发明了脚踏水车，使用了链传动；周朝有人利用卷筒原理制作辘轳；西汉的指南车已采用了轮系和离合器；东汉张衡发明的地动仪已采用了连杆机构；晋朝的水碓运用了凸轮原理。但是，由于漫长的封建社会，加之帝国主义的入侵，使我国的机械工业在新中国建立前处于非常落后的状态。新中国成立后，机械工业及其科学技术得到了飞速的发展，逐步形成了能研究、设计并制造精密、大型、尖端机械产品的机械工业体系。从 1956 年我国制造出第一辆“解放牌”汽车，到近年的高速列车；从 1970 年成功地发射了第一颗人造地球卫星“东方红”，到近年的“神舟 5 号”、“神舟 6 号”上天，都是机械工业高速发展的见证。

§ 0-1 机械的基本知识

机械是机器与机构的总称。

一、机器与机构

(一) 机器及其组成

在现代机械中，传动部分有机械的、电力的、液压和气压的，其中以机械传动应用最广，从制造和装配方面来分析，任何机械设备都是由许多机械零、部件组成的。

在日常生活和生产活动中，人们广泛地使用着各种各样的机器。图 0-1 所示的某型号电动助力自行车就是一台简单的机器。骑行时，先靠人力作用于脚蹬和大链轮(曲柄)，经链条传至小链轮(飞轮)，使后轮驱动。如果需要助力，将控制器上的电源锁旋开，蓄电池提供的电源与各控制线路接通，显示盘(在仪表前灯上方)的绿色电量指示灯亮(红灯亮时表明电量耗尽，应予充电)；右手向后缓慢转动调速把手，外转子为驱动轮轮毂的直流电动机启动，使车速稳定提高，并有时速显示。右手松开调速把手，把手自动回位并切断电源，则恢复到人力驱动状态。骑行时若需紧急刹车，两手握紧刹车闸把，控制线路与电源切断，车轮随即停转。

图 0-2 所示的台钻是比较常见的典型机器。观察其工作过程：电动机 1 转动，驱动

带传动，带传动又将运动和动力传递给变速箱 2 内的齿轮系，变速箱中的主轴与钻头 3 直接连接，从而将运动与动力传递给了钻头，最后完成对工件的切削加工。

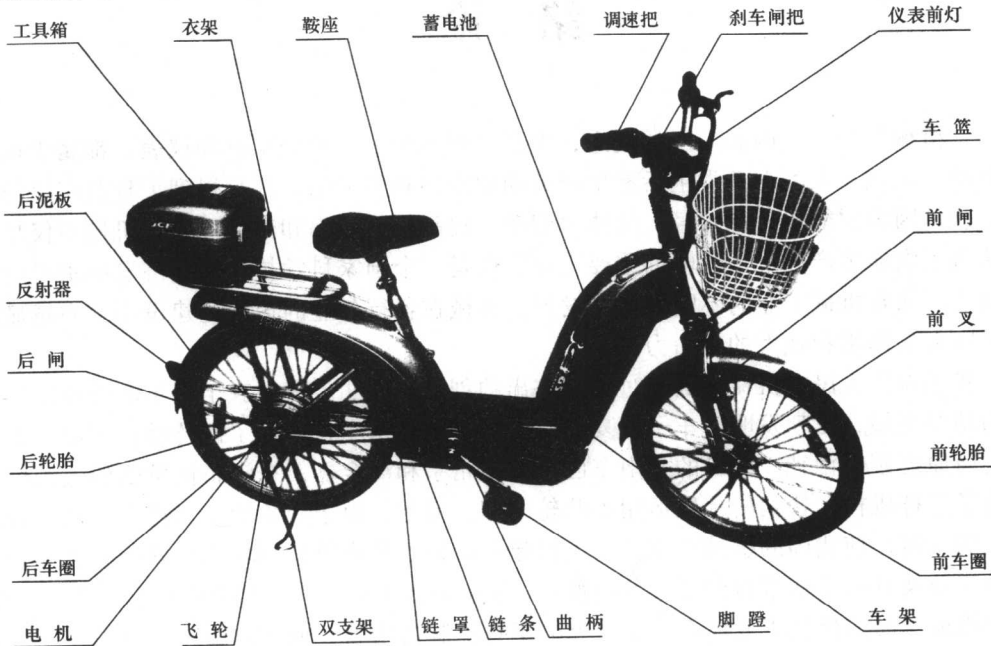


图 0-1 电动助力自行车

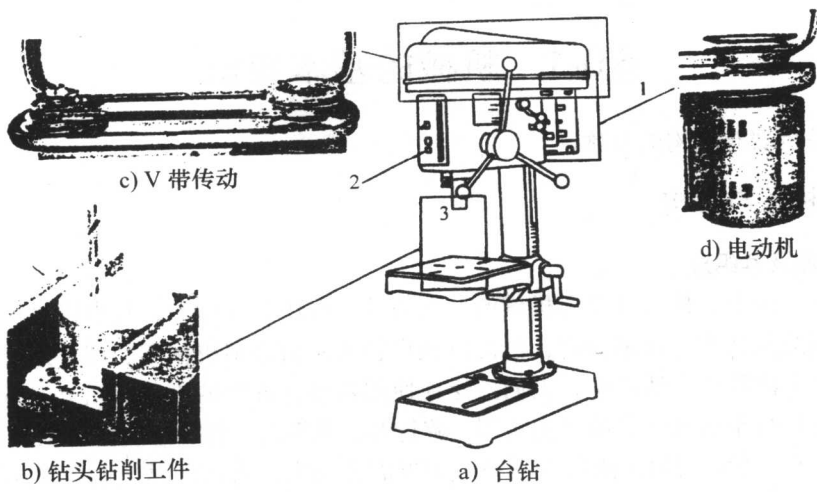


图 0-2 台钻

1—电动机；2—变速箱；3—钻头

图 0-3 所示为牛头刨床，它由电动机 1 通过带传动 3 和齿轮传动装置 2 实现减速，又通过摆动导杆机构 9 改变运动形式，使滑枕 5 带动刨刀 7 作往复移动来实现刨削。

图 0-4 所示为单缸四冲程内燃机，可将热能转换为曲轴转动的机械能。它由齿轮 1

和 2、凸轮 3、排气阀 4、进气阀 5、气缸体 6、活塞 7、连杆 8、曲轴 9 组成。当燃气推动活塞作直线往复运动时，经连杆使曲轴作连续转动。

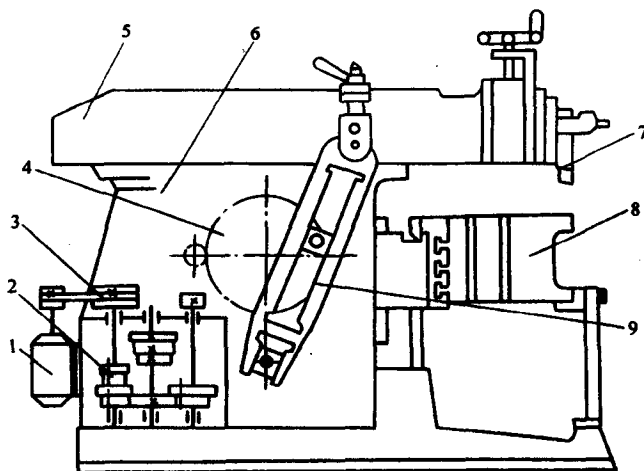


图 0-3 牛头刨床

1—电动机；2—齿轮传动装置；3—带传动；4—大齿轮
5—滑枕；6—床身；7—刨刀；8—工作台；9—导杆

凸轮和顶杆是用来开启和关闭进气阀和排气阀的。在曲轴和凸轮轴之间两个齿轮的齿数比为 1 : 2，使其曲轴转两周时，进排气阀各启闭一次。这样就把活塞的运动转变为曲轴的转动，将燃气的热能转换为曲轴转动的机械能。这里包含了气缸、活塞、连杆、曲轴组成的曲柄滑块机构，凸轮、顶杆、机架组成的凸轮机构，齿轮和机架组成的齿轮机构。

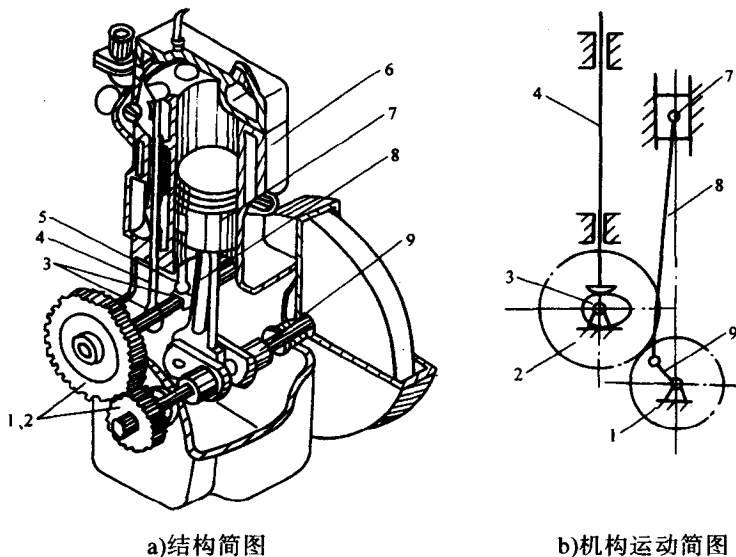


图 0-4 单缸四冲程内燃机

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

由上述几例分析表明, 机器通常由四大部分组成(见图 0-5), 即原动机部分(动力部分)、传动部分、执行部分(工作部分)和操作控制部分。机械最常见的原动机部分是电动机, 传动部分和执行部分通常由一些机构或传动组成(如台钻的传动装置为带传动和变速箱, 牛头刨床的执行装置为摆动导杆机构等)。

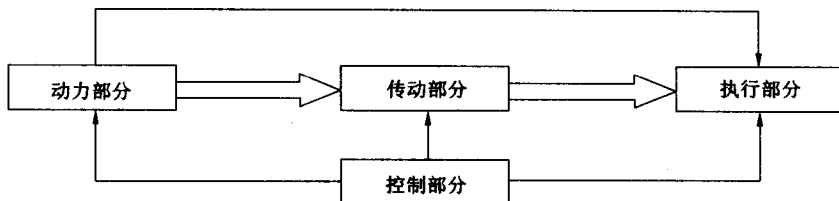


图 0-5 机器各部分之间的基本关系

(二)机器与机构

机器的形式与用途各不相同, 但却都具备以下共同特征:

- (1)机器由许多的人工物体组成。
- (2)机器的各部分之间具有确定的相对运动。
- (3)机器能代替或减轻人的体力劳动来完成有用的机械功或转换机械能。

由此断定, 前述的电动助力自行车、台钻、牛头刨床和内燃机等都是机器, 又如各种机床、电动机、汽车、电风扇等都是机器。

为了便于分析和研究机器, 我们常常把机器中具有确定的相对运动并能实现运动的传递或运动形式的转换部分称为机构。由此可知, 机构只具有机器的前两个特征。机器中至少包括一个机构, 复杂的机器则包括多个机构。如电动助力自行车中的链传动是机构, 台钻中的带传动是机构, 电动机仅有一个由定子与转子组成的两杆机构, 而单缸内燃机则包括由缸体 6、活塞 7、连杆 8、曲轴 9 组成的曲柄滑块机构; 由缸体 6、齿轮 1、2 组成的齿轮机构; 由缸体 6、凸轮 3 与顶杆(排气阀 4、进气阀 5)组成的凸轮机构等。

图 0-3 所示的牛头刨床和图 0-4 所示的单缸内燃机中的齿轮机构, 在各种机器中, 差不多都要用到。这些在机器中经常采用的机构, 称为常用机构。

机器与机构从功用上讲是有区别的, 但从运动与组成的角度来看, 并无区别。因此, 为了叙述方便, 通常把机械一词作为机器与机构的总称。

二、构件与零件

组成机构的各相对运动部分称为构件。构件可以是单一的整体(如活塞), 也可以是多个零件组成的刚性结构, 如齿轮与轴作为一个整体转动, 它们构成一个构件, 但在加工时是两个不同的零件。组成构件的每一个加工制造的部分称为零件。

由此可知, 构件是运动的最小单元; 零件是加工制造的最小单元。

如单缸内燃机中的曲柄滑块机构中的缸体、活塞、连杆与曲柄均为构件, 组成连杆的连杆体 1、连杆盖 3、螺母 4 和螺栓 2 等是零件(见图 0-6), 而齿轮构件是由轴、齿轮

和键连接而成的(见图 0-7)。

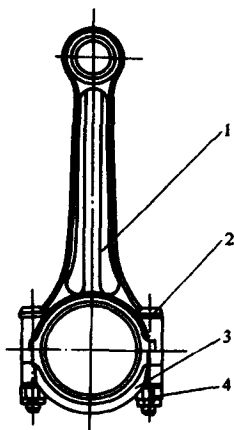


图 0-6 内燃机的连杆构件

1—连杆体；2—螺栓；3—连杆盖；4—螺母

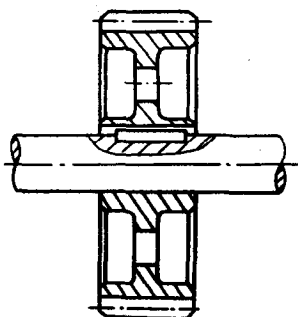


图 0-7 齿轮构件

构件可分为运动件和静件(也称机架),运动件又有原动件与从动件之分。原动件是机构中接受外部给定运动规律的活动构件,从动件是机构中随原动件运动的活动构件。

零件按使用情况可分为通用零件和专用零件。前者是指在各种机器中经常用到的且具有相同功用的零件,后者是指只适用于在特定型式的机械上使用的零件,如内燃机中的曲轴、汽轮机上的叶片等。在本课程中讨论的通用零件主要有连接类零件(螺母、螺栓、键、联轴器与离合器等)、传动类零件(皮带轮、齿轮、链轮等)和支承类零件(轴、轴承等)。

在机器中,为了设计、制造、安装、运输的方便,通常把为了完成同一职能的一组协同工作的零件组成独立制造或独立装配的组合物,这种组合物称为部件。如减速器、轴承等。

§ 0-2 机械的运动形式

一、运动副

由前述可知,机构是由若干构件通过动连接组成的。凡是两个构件直接接触而又能产生一定形式的相对运动的连接,称为运动副。两构件接触不外乎点、线、面三种方式,通常把面接触的运动副称为低副,把点、线接触的运动副称为高副。

(一)低副

按两构件的相对运动情况来分,常用的低副有:

(1)移动副。两构件接触处只允许作相对移动,如图 0-8a 所示的滑块 1 与导槽 2 组成的移动副。

(2)回转副。两构件接触处只允许作相对转动,如图 0-8b、c 所示的铰链即为回转副的实例。

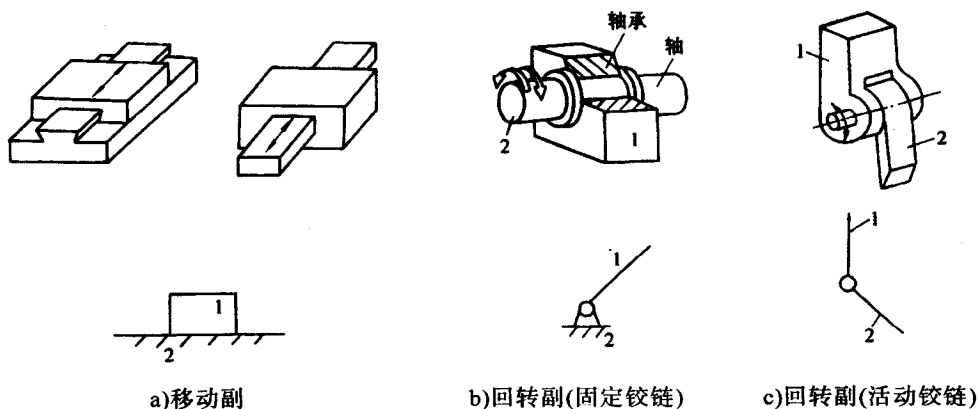


图 0-8 平面低副

图 0-8a 所示为移动副及其运动简图符号；图 0-8b、c 所示为回转副及其运动简图符号，回转副有时也称为铰链。

(二)高副

高副最常见的形式有两种，如图 0-9a 所示的凸轮与尖顶从动件之间的连接是点接触，如图 0-9b 所示的齿轮之间的连接是线接触。通常也相应称为凸轮副和齿轮副。

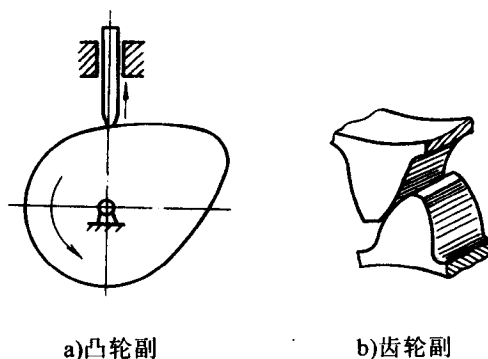


图 0-9 平面高副

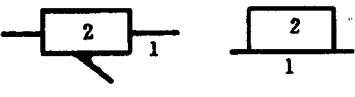
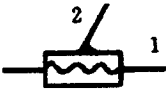
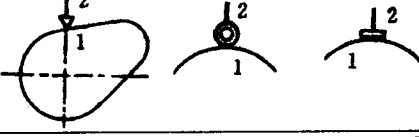
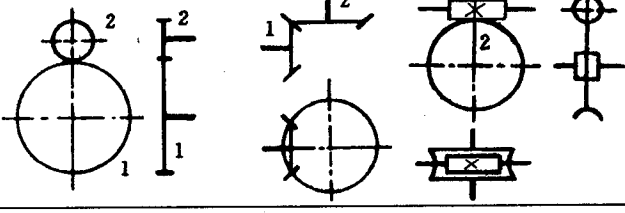
以上运动副中，各构件的相对运动均在同一平面或相互平行的平面内运动，故又称为平面运动副。

二、机构运动简图*

机构的类型很多，各构件的形状也比较复杂。实际上，机构的运动与构件的外形等因素(如构件的外形与截面尺寸，组成构件的零件数目，运动副的结构形式等)无关，而仅与机构中所有构件的数目，由构件所组成的运动副数目、类型、相对位置关系有关。因此，在研究机构的运动时，完全可以不考虑那些与机构运动无关的因素，而用简单线条和符号来代表构件和运动副，如表 0-1 所示。这种用简单线条和符号表示机构中各构件之间相对运动关系的图形，就称为机构运动简图。

可画出图 0-4a 所示的单缸内燃机中的曲柄滑块机构的机构运动简图(见图 0-4b)。

表 0-1 机构简图符号

名 称		符 号
低副	回转副	
	移动副	
	螺旋副	
高副	凸轮副	
	齿轮副	
构件	带有运动副构件元件	
	机架	

从机构运动简图中，不仅能清楚地反映出构件的数目、运动副的类型及其数目，还能反映出机构的传动原理和运动特性。因此，它是进行机械的分析、设计和技术交流的一种简便而又科学的方法。

§ 0-3 本课程的主要内容、性质与任务

一、机械零件设计的一般步骤

机械设计没有一成不变的固定程序，常因具体条件不同而异，但一般设计步骤如下：

(1)根据零件在机械中的地位 and 作用，选择零件的类型和结构。

- (2)根据零件的工作条件及对零件的特殊要求,选择适当的材料。
- (3)分析零件的载荷性质,拟定零件的计算简图,计算作用在零件上的载荷。
- (4)分析零件可能出现的失效形式,决定计算准则和许用应力。
- (5)确定零件的主要几何尺寸,综合考虑零件的材料、受力以及加工、装配工艺和经济性等因素,参照有关标准、技术规范以及经验公式,确定全部结构尺寸。
- (6)绘制零件工作图并确定公差和技术要求。
- (7)根据零件工作图,进行加工制造的工艺设计。
- (8)用机床(或数控机床)对零件进行制造加工,装配,试车。

二、本课程的主要内容

在高等学校的机械类专业中,上述每一步骤实际上都可演绎为一门课程,如(2)演绎为“机械工程材料”;(3)演绎为“工程力学”;(6)演绎为“机械制图”和“公差配合与技术测量”两门课程;(1)、(4)、(5)演绎为“机械原理”、“机械零件”或“机械设计”; (7)演绎为“机械制造工艺学”等。由于本课程是中等职业教育机电类、机械类专业的技术基础课,不可能详尽地阐述机械形成的全过程,因此只能简要介绍机械设计中一些基础知识。

本课程主要讲授常用机构和通用机械零件的结构特点、运动特性和计算的一般方法,相关的公差配合与技术测量的基本知识 with 基本方法。本课程涵盖并融合了工程力学、机械传动及常用机构、连接与支承零部件、机械零件的几何精度(公差配合与技术测量)的内容,并综合运用机械制图、工程材料与金属热加工等课程的基础理论和实践知识。

综上所述,归纳要点如下。

- (1)构件与零件的区别在于:构件是机械运动的基本单元,零件是机械制造的基本单元;有时一个零件就是一个构件,但通常构件由多个零件刚性固接而成。
- (2)机器与机构的区别在于:虽然机器和机构都具有确定的相对运动,且机器可以是一个机构或由若干构件与零件组成,但机器具有能代替或减轻人类劳动、完成功能转换的特征,而机构则不具有此特征。
- (3)平面运动副可分为低副和高副:低副为面接触;高副为点或线接触。

习 题

- 0-1. 一般机械有哪几个组成部分? 机器和机构、构件和零件之间的区别与联系是什么? 试举例说明。
- 0-2. 什么叫运动副? 常见的有哪几类? 试举例说明。
- 0-3. 以雨伞为例,分析其包含有几个运动副,属于何种类型,并绘制机构运动简图。

第一篇 工程力学基础

第1章 静力学基础

本章研究物体在力系作用下的平衡问题。平衡是物体相对于地面处于静止或匀速直线运动状态。物体在工程中受力产生的微小变形,对研究物体平衡影响甚微,可忽略不计,从而可近似认为物体受力时不产生变形,这种理想化的物体称为刚体。这样在研究物体平衡问题时,略去了与平衡无关或关系甚少的因素,使问题研究得到简化。

§ 1-1 力的基本性质

一、力的定义

力是物体之间的相互作用,这种作用使物体的机械运动状态发生变化。这种作用存在于物体与物体之间,例如:在自然界中,物体相互吸引的万有引力,运动物体之间的摩擦力以及相互接触物体之间的挤压力等,都是物体之间相互作用的结果。也就是说,物体的机械运动状态发生的变化,都是由于其他物体对该物体所施加力的作用。力的作用效果取决于三个要素,即力的大小、力的方向、力的作用点,称为力的三要素。

力的图示法:力是一个既有大小又有方向的矢量。如图 1-1 所示,力的矢量在图上用带箭头的有向线段 AB 表示,箭头的指向表示力的方向,线段的起始点表示作用点,大小为有向线段 AB 的长度。

力矢量常用黑体字母 F 表示。在国际单位制中,以牛顿(简称牛)为力的单位,记作 N ,有时也用千牛顿(简称千牛)为单位,记作 kN 。

二、力系

(一)力系

力系是指同时作用于一物体上的若干个力,如图 1-2 中的 F_1 、 F_2 、 F_3 是一个力系。

(二)平衡力系

如果一个力系对物体的作用使物体处于平衡状态,则此力系称为平衡力系。

(三)等效力系

用来简化复杂力系,如果一个简单力系对物体的作用效果与一个复杂力系作用效果相同,则两力系彼此称为等效力系。在工程计算中,常用简单力系代替复杂力系。若一个力与一个力系等效,那么这个力就称为该力系的合力,而力系中的各个力都是其合力

的分力。

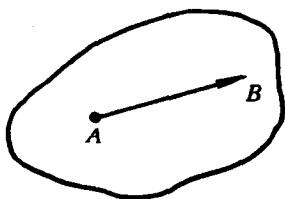


图 1-1

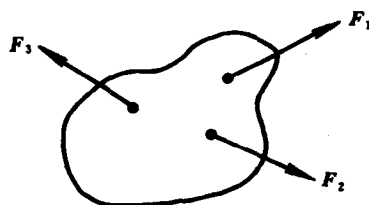


图 1-2

三、静力学的基本公理

静力学的基本公理，是静力学的基础，是符合客观实际的普遍规律，是人们长期生活和实践积累的经验总结。

(一)公理 1(二力平衡公理)

作用于刚体上的两个力，使刚体处于平衡状态的必要和充分条件是：两力大小相等，方向相反且作用在同一直线上，如图 1-3 所示。

(二)公理 2(加减平衡力系原理)

在已知力系上加上或减去任意平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效果。

推论(力的可传性原理)：作用于刚体上的力，可沿其作用线任意移动而不改变此力对刚体的作用效果。

(三)公理 3(力的平行四边形公理)

作用在物体上同一点的两个力，可以合成为一个合力，合力的作用点仍在该点，合力的大小和方向由这两个力为边构成的平行四边形的对角线来表示(见图 1-4)，即

$$F = F_1 + F_2 \quad (1-1)$$



图 1-3

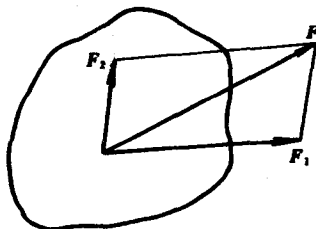


图 1-4

推论(三力平衡汇交定理)：当刚体受三个力作用而处于平衡时，若其中两个力的作用线汇交于一点，则第三个力的作用线必交于同一点，且三个力的作用线在同一平面内。如图 1-5 所示，物体在 F_1 、 F_2 、 F_3 作用下平衡，且 F_1 、 F_2 汇交于一点 A ，则 F_3 必通过 A 点。

(四)公理 4(作用与反作用公理)

作用力与反作用力总是同时存在，两力的大小相等方向相反，沿着同一直线分别作用在两个相互作用的物体上。如图 1-6 所示，吊钩提升一重物 W ，重物对吊钩的作用力为 F ，