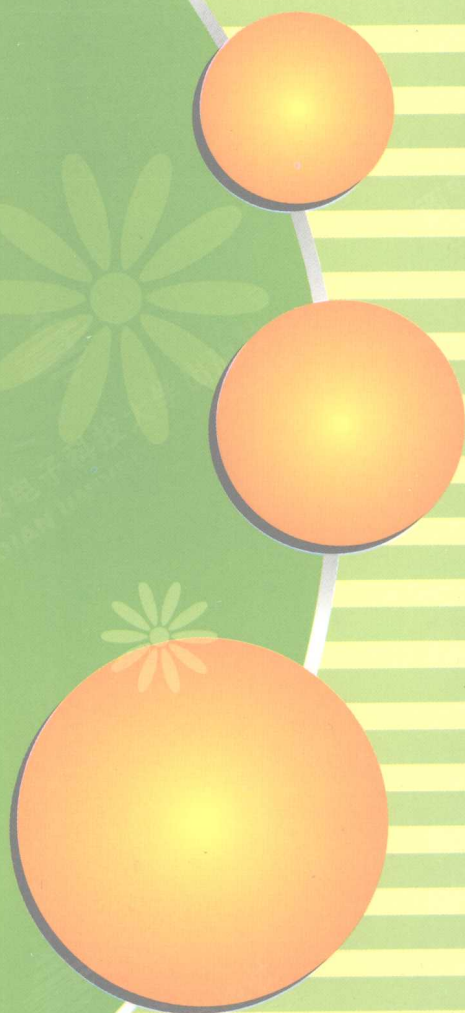


中等职业教育系列教材

机械基础

主 编 孙 华
副主编 刘秀萍 顾国洪
主 审 王明哲



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

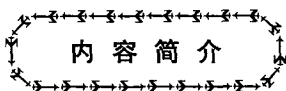
中等职业教育系列教材

机 械 基 础

主 编 孙 华
副主编 刘秀萍 顾国洪

西安电子科技大学出版社

2008



内 容 简 介

本书是为了适应中等职业学校机械或近机械类专业的教学改革需要而编写的。在对金属材料、机构与机械零件、液压传动等三部分内容进行整合的基础上,本书力求达到理论与实践相结合、拓宽基础、提高实用性的目的。

本书共分16章,主要内容包括:绪论,金属材料的性能,铁碳合金,钢的热处理,常用机械工程材料,摩擦轮传动与带传动,螺纹连接与螺旋传动,链传动与齿轮传动,轮系与减速器,平面连杆机构,凸轮机构,其他常用机构,轴系零件,液压传动基础知识,液压元件,液压基本回路。

本书可作为中等职业学校机械或近机械类各专业的教材,也可作为机械加工相关岗位技术工人的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

机械基础/孙华主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2008.9

(中等职业教育系列教材)

ISBN 978-7-5606-2068-8

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 084291 号

策 划 杨丕勇

责任编辑 张 玮 杨丕勇

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2008年9月第1版 2008年9月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 14.25

字 数 330千字

印 数 1~4000册

定 价 20.00元

ISBN 978-7-5606-2068-8/TH·0095

XDUP 2360001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

中等职业教育系列教材

编审专家委员会名单

主任：彭志斌（广东省佛山市顺德区陈村职业技术学校校长 中学高级教师）

副主任：徐益清（江苏省惠山职业教育中心校教务主任 高讲）

孙 华（张家港职业教育中心校机电工程部主任 中学高级教师）

计算机、电子组 组长：徐益清(兼)（成员按姓氏笔画排列）

王霁虹（深圳龙岗职业技术学校教务副主任 高级工程师）

王新荣（杭州市萧山区第三中等职业学校计算机教研组组长 中学高级教师）

甘里朝（广州市无线电中等专业学校计算机科副主任 讲师）

江国尧（苏州工业职业技术学院苏高工校区 中学高级教师）

吕小华（深圳华强职业技术学校计算机教研组组长 中学高级教师）

毕明聪（南京市江宁职业教育中心校教务处主任 中学高级教师）

严加强（杭州市电子信息职业学校电子教研组组长 高级教师）

陈 栋（广东省佛山市顺德区陈村职业技术学校实训处主任 中学高级教师）

徐伟刚（江苏省苏州职业教育中心校专业办主任 工程师）

机电组 组长：孙 华(兼)（成员按姓氏笔画排列）

王明哲（陕西国防工业职业技术学院机电系主任 副教授）

冯彦炜（陕西省机电工程学校机电专业科科长 讲师）

张 俊（西安航空职业技术学院机械系主任助理 讲师）

杨荣昌（陕西省机电工程学校科长 高级讲师）

周兴龙（南京市江宁职业教育中心校机电专业办主任 中学高级教师）

前 言

本书是为了适应中等职业学校机械类专业的教学需要,按照宽基础、低难度、重实用的原则编写的。通过将金属材料、机构与机械零件、液压传动等三部分内容进行整合,尽可能将理论与实践相结合,力求达到缩短课时、巩固基础、侧重应用的目的。

本书在编写过程中主要考虑了以下几点:

(1) 充分考虑中职学生的学习特点和能力水平,力图使内容符合学生的认知规律,根据实用、够用的要求,侧重介绍各种机构和零部件在常用机械装置中的应用,打破理论的神秘感,提高学生对机械的感性认识和学习兴趣。

(2) 在每章教学内容中穿插有如“想一想”、“看一看”、“议一议”等形式出现的提问和要求,让学生在学中引发思考,延伸知识,突出应用。

(3) 为适应当前中职教学实行的“2+1”学习模式(即2年在校学习,1年企业顶岗实习)对教学时间的影响,以及针对中职机械类专业学生的就业定位,本书将多门机械类基础性学科进行了整合,删减了许多理论分析和定量计算的内容,力图使教材内容浅显、易懂。

本书共分16章,主要内容包括:绪论,金属材料的性能,铁碳合金,钢的热处理,常用机械工程材料,摩擦轮传动与带传动,螺纹连接与螺旋传动,链传动与齿轮传动,轮系与减速器,平面连杆机构,凸轮机构,其他常用机构,轴系零件,液压传动基础知识,液压元件,液压基本回路。

参与本书编写工作的有江苏省张家港职业教育中心校的孙华(绪论、第5章)、刘秀萍(第1、2、3章)、陈俩勤(第6章)、常鹤晖(第10、11、12章)、胡文君(第13、14、15章),昆山职业教育中心校的严国华(第4章)、陆齐芳(第7章)、金荣华(第8章),江阴职业教育中心校的顾国洪(第9章)。孙华担任主编并负责全书统稿。

由于我们的水平有限,加之编写时间仓促,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者
2008年3月

目 录

绪论	1	2.4.3 碳钢的成分、组织、性能之间 的关系	17
0.1 机器	1	2.5 铁碳合金相图的作用	17
0.1.1 机器的组成	1	思考题	18
0.1.2 机器的概念	2	第3章 钢的热处理	19
0.1.3 机构	3	3.1 热处理概述	19
0.1.4 构件和零件	3	3.1.1 热处理的概念	19
0.1.5 运动副	4	3.1.2 热处理的目的	19
0.2 本课程的性质、任务和内容	5	3.1.3 热处理的方法	19
思考题	5	3.2 热处理的基本原理	20
第1章 金属材料的性能	6	3.2.1 钢在加热时的转变	20
1.1 金属的力学性能	6	3.2.2 钢在冷却时的转变	21
1.1.1 强度	7	3.3 钢的热处理	23
1.1.2 塑性	7	3.3.1 钢的退火	23
1.1.3 硬度	8	3.3.2 钢的正火	24
1.1.4 冲击韧性	9	3.3.3 钢的淬火	24
1.1.5 疲劳	10	3.3.4 钢的回火	25
1.2 金属的工艺性能	10	3.4 钢的表面热处理和化学热处理	26
1.2.1 铸造性能	10	3.4.1 表面淬火	26
1.2.2 锻造性能	10	3.4.2 钢的化学热处理	26
1.2.3 焊接性能	10	思考题	27
1.2.4 切削加工性	11	第4章 常用机械工程材料	28
思考题	11	4.1 常见元素对钢性能的影响	28
第2章 铁碳合金	12	4.1.1 钢中常见杂质对钢性能的影响	28
2.1 铁的同素异构转变	12	4.1.2 合金元素在钢中的作用	29
2.2 铁碳合金的基本组织	12	4.2 工业用钢	30
2.2.1 铁素体(F)	12	4.2.1 常用碳素钢	30
2.2.2 奥氏体(A)	13	4.2.2 常用合金结构钢	32
2.2.3 渗碳体(Fe_3C)	13	4.2.3 合金工具钢	34
2.2.4 珠光体(P)	13	4.2.4 特殊性能钢	35
2.2.5 莱氏体(L_d 与 L_d')	13	4.3 铸铁	36
2.3 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 合金状态图分析	13	4.3.1 铸铁的分类	36
2.3.1 铁碳合金状态图的组成	13	4.3.2 常用铸铁的牌号及其用途	37
2.3.2 状态图主要点、线、区的分析	14	4.4 有色金属及其合金	38
2.4 典型合金的结晶过程及其组织	15	4.4.1 铝及铝合金	38
2.4.1 铁碳合金的分类	15	4.4.2 铜及铜合金	39
2.4.2 典型合金的结晶分析	15		

4.4.3 轴承合金	40	7.4.2 直齿圆柱齿轮的几何要素	72
思考题	41	7.4.3 内齿轮	75
第5章 摩擦轮传动与带传动	42	7.5 其他常用齿轮及其传动简介	76
5.1 摩擦轮传动	42	7.5.1 斜齿圆柱齿轮及其传动	76
5.1.1 摩擦轮传动的工作原理	42	7.5.2 直齿圆锥齿轮传动	76
5.1.2 传动比	43	7.5.3 齿轮齿条传动	77
5.1.3 摩擦轮传动的特点	43	7.6 齿轮的加工、结构及材料	78
5.1.4 摩擦轮传动的类型及应用场合	43	7.6.1 齿轮轮齿的加工方法	78
5.2 带传动	44	7.6.2 齿轮材料的选择	79
5.2.1 带传动的工作原理	44	7.6.3 齿轮的结构	80
5.2.2 平带传动	44	7.7 齿轮的失效形式	81
5.2.3 V带传动	46	7.8 蜗杆传动	83
思考题	51	7.8.1 蜗杆传动概述	83
第6章 螺纹连接与螺旋传动	52	7.8.2 蜗杆传动的特点	83
6.1 螺纹的种类及应用	52	7.8.3 蜗杆传动的类型	84
6.1.1 螺纹的种类	52	7.8.4 蜗杆传动的基本参数	84
6.1.2 螺纹的主要参数	53	7.8.5 蜗杆、蜗轮的材料及失效形式	86
6.1.3 螺纹的应用	54	思考题	86
6.2 螺纹连接	54	第8章 轮系与减速器	88
6.2.1 螺纹连接的基本类型	54	8.1 轮系概述	88
6.2.2 标准螺纹连接件	56	8.2 轮系的功用	89
6.2.3 螺纹连接的防松	58	8.3 定轴轮系的传动比	90
6.3 螺旋传动	59	8.4 普通减速器的类型和特点	92
6.3.1 螺旋传动的类型和特点	59	8.5 减速器的结构	94
6.3.2 传动螺旋的形式及应用	61	思考题	96
思考题	62	第9章 平面连杆机构	97
第7章 链传动与齿轮传动	64	9.1 铰链四杆机构的组成、基本类型及其演化	97
7.1 链传动	64	9.1.1 铰链四杆机构的组成	97
7.1.1 链传动及其传动比	64	9.1.2 铰链四杆机构的基本类型	97
7.1.2 链传动的主要类型	65	9.1.3 铰链四杆机构的演化	103
7.1.3 传动链	65	9.2 铰链四杆机构的基本性质	107
7.1.4 链轮的结构与材料	67	9.2.1 曲柄存在的条件	107
7.1.5 链传动的应用	68	9.2.2 急回特性	108
7.2 齿轮传动概述	68	9.2.3 死点位置	108
7.2.1 齿轮传动的特点	68	思考题	109
7.2.2 齿轮传动的常用类型	68	第10章 凸轮机构	111
7.2.3 齿轮传动的传动比	69	10.1 凸轮机构的组成	111
7.2.4 齿轮传动的基本要求	69	10.1.1 凸轮机构的基本组成	111
7.3 渐开线齿轮	70	10.1.2 凸轮机构的基本类型	111
7.4 直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸计算	71	10.1.3 凸轮和从动件的材料	113
7.4.1 直齿圆柱齿轮的基本参数	71		

10.2 凸轮机构的工作过程和 常见运动规律	113	第 14 章 液压元件	157
10.2.1 凸轮机构的工作过程	113	14.1 液压泵	157
10.2.2 从动件的常用运动规律	114	14.1.1 液压泵的工作原理及其特点	157
思考题	115	14.1.2 液压泵的分类	158
第 11 章 其他常用机构	116	14.1.3 液压泵的选用	163
11.1 变速机构	116	14.2 液压缸	163
11.1.1 有级变速机构	116	14.2.1 液压缸的类型和特点	163
11.1.2 机械无级变速机构	117	14.2.2 液压缸的典型结构	168
11.2 步进运动机构	118	14.3 液压控制阀	169
思考题	121	14.3.1 概述	169
第 12 章 轴系零件	122	14.3.2 方向控制阀	170
12.1 键、销及其连接	122	14.3.3 压力控制阀	178
12.1.1 键连接	122	14.3.4 流量控制阀	183
12.1.2 销连接	125	14.4 辅助装置	186
12.2 轴	126	14.4.1 滤油器	186
12.2.1 轴的分类和应用	126	14.4.2 油箱	187
12.2.2 轴的结构、轴上零件的固定及轴 的材料	127	14.4.3 管件	188
12.3 轴承	130	14.4.4 密封装置	190
12.3.1 滑动轴承	130	思考题	193
12.3.2 滚动轴承	133	第 15 章 液压基本回路	196
12.4 联轴器和离合器	140	15.1 方向控制回路	196
12.4.1 联轴器	140	15.1.1 换向回路	196
12.4.2 离合器	143	15.1.2 锁紧回路	197
思考题	146	15.2 压力控制回路	198
第 13 章 液压传动基础知识	147	15.2.1 调压及限压回路	198
13.1 液压传动的原理及其组成	147	15.2.2 减压回路	199
13.1.1 液压传动的原理	147	15.2.3 增压回路	199
13.1.2 液压传动系统的组成	148	15.2.4 卸荷回路	200
13.1.3 液压传动的优缺点	148	15.2.5 平衡回路	201
13.2 液压传动系统的流量和压力	149	15.3 速度控制回路	202
13.2.1 流量和平均流速	149	15.3.1 调速回路	202
13.2.2 液流连续性原理	149	15.3.2 快速运动回路	205
13.2.3 液压系统中压力的形成及 传递	150	15.3.3 速度换接回路	206
13.3 液压传动的压力和流量损失	153	15.4 多缸动作回路	209
13.3.1 液压传动的压力损失	153	15.4.1 顺序动作回路	209
13.3.2 泄漏和流量损失	154	15.4.2 同步回路	211
思考题	154	15.4.3 多缸快慢速互不干涉回路	213
		思考题	214
		参考文献	217

绪 论

0.1 机 器

0.1.1 机器的组成

在生产、生活中，机器随处可见。车床、铣床等机加工设备，洗衣机、冰箱等家用电器，汽车、火车、飞机等交通工具都是机器。观察图 0-1 所示的车床，我们可以发现，在一部完整的车床中，有电动机、齿轮、带轮、主轴、拖板电线、油管等零部件，这些零部件

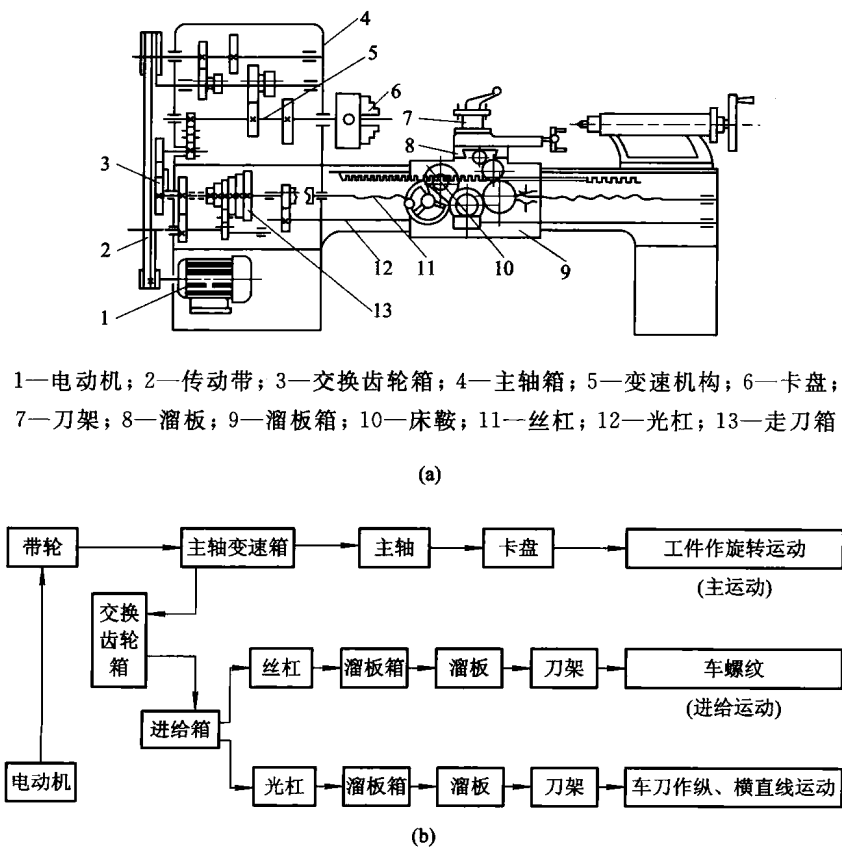


图 0-1 CA6140 型车床的传动系统
(a) 示意图；(b) 方框图

组成了车床不同的部分。归纳起来，机器一般由以下几个部分组成：动力部分、传动部分、工作部分。动力部分是机器动力的来源，常用电动机、内燃机、空气压缩机等提供机器所需的动力。工作部分处于传动部分的末端，是机器用来执行工作任务的部分，其结构形式取决于机器的性质和用途，如车床中的主轴、工作台等。传动部分处于动力部分和工作部分之间，其作用是将动力部分的运动和动力传递给工作部分，如车床中的带传动、齿轮传动、螺旋传动等。复杂的机器除了以上三个部分外，还有自动控制部分，以增加机器的自动化程度。

想一想：汽车的动力部分、传动部分、工作部分和控制部分分别是什么？

0.1.2 机器的概念

对机器的组成有了直观的了解后，我们一起来分析下列两种机器的工作过程。

如图 0-2 所示的单缸内燃机，由活塞、连杆、曲轴、汽缸体、齿轮、凸轮、推杆、排气阀、进气阀等组成，其工作过程如下：汽缸内燃烧的气体膨胀，推动活塞 1 下移，通过连杆 2 带动曲轴 3 转动，通过曲轴上的齿轮传动向外输出机械能，当活塞上行时，排气阀打开，废气排出，完成一个工作过程，将燃烧气体产生的热能转变为使机器运动的机械能。齿轮、凸轮和推杆的作用是按一定的运动规律按时开闭阀门，完成吸气和排气。这种内燃机中有三种机构：① 曲柄滑块机构，由活塞 1、连杆 2、曲轴 3 和汽缸体 4 构成，作用是将活塞的往复直线运动转换成曲轴的连续转动；② 齿轮机构，由齿轮 5、6 和汽缸体 4 构成，作用是改变转速的大小和方向；③ 凸轮机构，由凸轮 7、推杆 8 和汽缸体 4 构成，作用是将凸轮的连续转动变为推杆的往复移动，完成有规律地启闭阀门的工作。

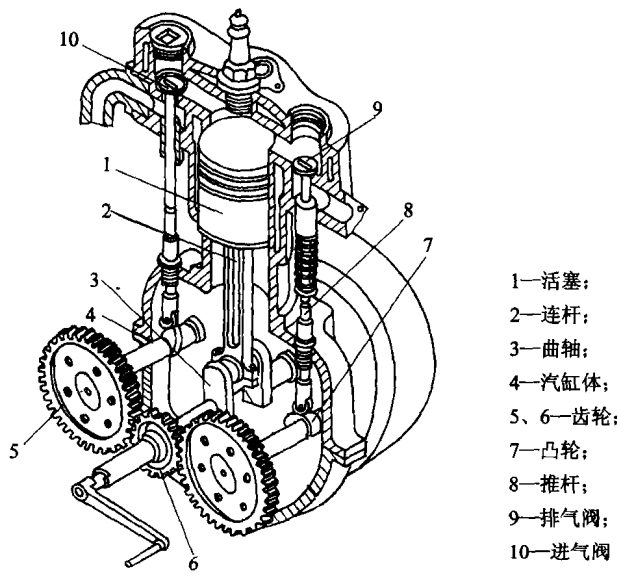


图 0-2 单缸内燃机

如图 0-3 所示的颚式破碎机，电动机(图中未画出)通过带传动使大带轮转动，驱动与大带轮固连在同一根轴上的偏心轮绕带轮轴心 A 转动，从而带动连杆(动颚)作往复摆动运动，完成破碎矿石的工作。

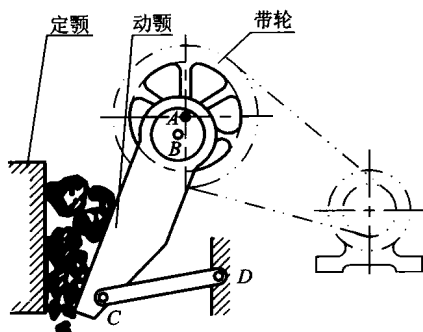


图 0-3 颞式破碎机

虽然以上两种机器的结构形式和用途各不相同，但它们都具有共同的特征：都是一些人为实体的组合；各运动实体之间具有确定的相对运动；能代替或减轻人类的劳动，完成有用的机械功或实现能量的转换。我们把具有以上三种特征的实物组合体称为机器。机器都是执行机械运动的装置，用来变换或传递能量、物料和信息等。

按照用途的不同，机器可以分为发动机和工作机。

发动机是将其他形式的能转换成机械能的机器。例如电动机是将电能转换成机械能的机器，内燃机是将热能转换为机械能的机器。

工作机是利用机械能做功的机器，用来改变被加工物体的尺寸、形状、位置、性能等。车床、铣床、汽车等都是工作机。

议一议：你所见过的机器有哪些？它们分别属于发动机还是工作机？

0.1.3 机构

只具备机器中前两个特征的实物组合体叫做机构，机构是用来传递运动和动力的构件系统，例如自行车、台虎钳、仪表等都是机构。通常机器中必包含一个或多个机构，图 0-2 所示的单缸内燃机中就包含了曲柄滑块机构、凸轮机构、齿轮机构等多个机构。机器和机构的主要区别是机器能利用机械能做功或实现能量的转换，而机构则主要用来传递或转变运动的形式。

如果不考虑做功或实现能量转换，只从运动的角度来看，机器和机构没有本质的区别，因此，我们常将机器和机构统称为机械。

选一选：下列属于机器的有()，属于机构的有()。

- | | | | |
|--------|----------|-----------|----------|
| A. 石英表 | B. 电动自行车 | C. 机械式手表 | D. 电脑 |
| E. 千斤顶 | F. 洗衣机 | G. 机床变速装置 | H. 家用缝纫机 |

0.1.4 构件和零件

从运动学的角度看，机器和机构是由许多具有确定相对运动的单元组成的，这种运动的单元就是构件，也就是相互之间能作确定相对运动的物体。一个构件，可以是一个不可拆卸的单一整体，如图 0-2 中的曲轴、活塞、齿轮等；也可以是由几个相互之间没有相对运动的物体组合而成的一个整体，如图 0-4 所示的连杆就是由连杆体 1、螺栓 2、连杆盖 3、螺母 4 等物体组合而成的。

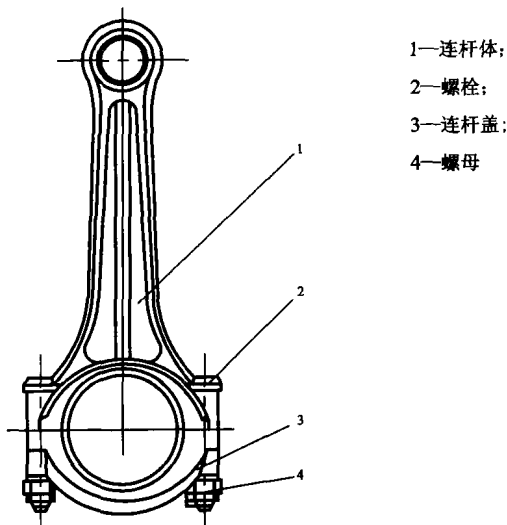


图 0-4 内燃机的连杆构件

根据构件的运动状况，可以将构件分为固定构件和运动构件。固定构件又称为机架，任何一种机器或机构中只有一个机架。运动构件是相对机架有相对运动的构件。我们把机构中作用有外部驱动力或力矩的运动构件称为主动件，随主动件的运动而运动的构件称为从动件。

从制造的角度看，机器是由许多不可再分的零件组合而成的，零件是制造的单元。零件可以分为通用零件和专用零件。通用零件是在大多数机器中都用到的零件，如齿轮、螺钉、键、轴等；专用零件只用于某些特定的机器中，如内燃机中的曲轴、活塞等。

议一议：自行车中哪些是构件，哪些是零件？哪些属于通用零件，哪些属于专用零件？

0.1.5 运动副

在机构中，为使各构件间具有确定的相对运动，必须将各构件以某种方式连接起来，以实现相应的运动规律。我们把两构件间直接接触组成的可动连接称为运动副。两构件组成运动副时的接触形式有三种：点接触、线接触和面接触。点接触或线接触的运动副称为高副，面接触的运动副称为低副。

在图 0-1 所示车床中，丝杠和螺母所组成的低副只允许丝杠与螺母作相对螺旋运动，这种运动副称为螺旋副；在图 0-2 所示的单缸内燃机中，活塞和汽缸壁组成的低副产生的是相对移动，这种运动副就称为移动副；活塞和连杆用铰链连接，组成的低副只能产生相对转动，这种运动副称为转动副。由于低副是面接触，接触面积大，因此低副比高副的承载能力大，但传递的运动比较简单。

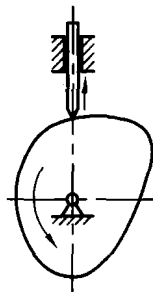


图 0-5 凸轮机构

如图 0-5 所示的凸轮机构中，凸轮与从动件之间构成点接触的高副，由于高副的接触面积小，因而两构件接触处易磨损，但高副能传递较复杂的运动。

0.2 本课程的性质、任务和内容

本课程是中等职业技术学校机械类专业的一门专业基础课，主要以认知学习为主，为后续专业课程的学习提供较强的感性认识和一定的理论基础。学生应熟悉和掌握金属材料、机械传动、常用机构、轴系零件和液压传动的基本知识，了解它们的特点和应用场合，能做简单的计算，会查阅资料和选用标准件。

本课程的主要学习内容如下：

(1) 金属材料：主要介绍金属材料的性能，铁碳合金，钢的热处理，碳素钢、合金钢的基本知识，金属材料的各种力学性能和钢的热处理方式，各种钢的牌号、性能和应用场合。

(2) 机械传动：主要介绍带传动、螺旋传动、链传动、齿轮传动，轮系和减速器的工作原理、结构、传动特点、应用场合、选用和维护方法。

(3) 常用机构：主要介绍平面连杆机构、凸轮机构、变速机构、间歇运动机构的结构、工作原理、特点与应用。

(4) 轴系部件：主要介绍键连接、轴、轴承、联轴器、离合器和制动器的结构、特点、应用场合、标准和选用。

(5) 液压传动：主要介绍液压传动的工作原理，常用液压元件的结构和液压基本回路的组成、特点与应用。

思 考 题

1. 什么是机器？机器一般由哪几个部分组成？以生活中的实例来分析机器的各组成部分。
2. 什么是机构？机构与机器有什么区别？以生活中的实例来说明两者的不同。
3. 以自行车的车轮为例分析构件与零件有什么区别。
4. 什么是运动副？什么是低副？什么是高副？低副与高副有什么不同？试举例说明。

第 1 章 金属材料的性能

金属材料是现代工业、农业、国防和科学技术的物质基础，是制造各种机械的最主要的材料。金属材料之所以获得广泛的应用，是因为它具有加工和使用过程中所需要的各种优越的性能。

金属材料的性能包括使用性能和工艺性能两方面。使用性能是指金属材料在使用情况下表现出来的性能，包括物理性能、化学性能、力学性能等；工艺性能是指金属材料在制造加工过程中反映出来的性能，包括热处理、铸造、锻压、焊接、切削加工性能。

想一想：铝合金门窗、齿轮、游标卡尺等这些用不同的金属材料制成的器件利用了金属的什么性能？

1.1 金属的力学性能

所谓力学性能，是指金属在外力作用下所表现出来的性能，包括强度、塑性、硬度、韧性、疲劳极限、断裂韧性等。它反映了金属材料在各种外力作用下抵抗变形或破坏的能力，是选用金属材料的重要依据，同时与各种加工工艺性能也有密切的关系。

金属材料在加工及使用过程中所受的外力称为载荷。例如柴油机的连杆在工作时除了受到拉力和压力的作用外，还受到冲击力的作用；起重机上的钢丝绳受到悬吊物体的重力作用。

金属材料受到载荷作用而产生的几何形状和尺寸的变化称为变形。变形一般分为弹性变形和塑性变形两种。随载荷的卸除而消失的变形称为弹性变形。当作用在材料上的载荷超过某一限度时，若去除载荷，还是留下了一部分不能消失的变形，这种不随载荷的卸除而消失的变形称为塑性变形，也称为永久变形。

试一试：

- (1) 将一根钢丝折弯后能恢复原状吗？它发生的是什么变形？
- (2) 将一根弹簧拉长后松开，弹簧能恢复原状吗？弹簧发生的是什么变形？

金属受到外力作用时，为保持其不变形，在材料内部作用着与外力相对抗的力，称为内力。单位面积上的内力称为应力，即

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

式中： σ ——应力，单位为 Pa。1 Pa=1 N/m²。当面积用 mm² 表示时，则应力可用 MPa 为单位，即 1 MPa=1 N/mm²。

F ——外力，单位为 N。

S ——横截面积，单位为 mm^2 。

1.1.1 强度

强度指材料在外力的作用下抵抗永久变形和断裂的能力。强度通过拉伸试验测定，常用屈服极限、抗拉强度来表示。

(1) 屈服极限(σ_s)：表示材料开始产生明显塑性变形时的最低应力值。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \text{ (MPa)}$$

式中： F_s ——材料开始产生明显塑性变形时的最小载荷。

S_0 ——试样原始截面积，单位为 mm^2 。

很明显，如果零件所受的应力低于材料的屈服极限，则不会产生过量的塑性变形。一般工程材料均不允许出现明显的塑性变形，因此，材料的屈服极限是选材的重要依据。

想一想：若材料的屈服极限越高，允许的工作应力越高还是越低？

(2) 抗拉强度(σ_b)：表示材料拉断前所能承受的最大拉应力。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \text{ (MPa)}$$

式中： F_b ——试样拉断前所能承受的最大载荷。

零件在工作中所承受的最大应力不得超过抗拉强度，否则会发生断裂，因此，抗拉强度也是选材的重要依据。

1.1.2 塑性

塑性指金属材料断裂前发生永久变形的能力。塑性也是通过拉伸试验测得的，常用断后伸长率、断面收缩率来表示。

(1) 断后伸长率(δ)可表示为

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中： L_1 ——试样拉断后的标距。

L_0 ——试样的原始长度。

(2) 断面收缩率(Ψ)可表示为

$$\Psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中： S_1 ——试样拉断后最细处的横截面积。

塑性好的金属可以发生大量的塑性变形而不被破坏，适于通过塑性变形加工成形状复杂的零件。

想一想：金属材料的断后伸长率(δ)及断面收缩率(Ψ)值越大，表示材料的塑性越好还是越差？

练一练：某厂购进一批 40 钢，按国家标准规定，力学性能应不低于下列数据：

$\sigma_s = 335 \text{ MPa}$ ， $\sigma_b = 570 \text{ MPa}$ ， $\delta_5 = 19\%$ ， $\Psi = 45\%$ 。入厂验收时，采用 $d_0 = 10 \text{ mm}$ ，

$L_0=50\text{ mm}$ 的标准短试样进行拉伸试验,测得 $F_s=28\ 260\text{ N}$, $F_b=45\ 530\text{ N}$, $L_1=60.5\text{ mm}$, $d_1=7.3\text{ mm}$ 。试列式计算并回答这批钢材的力学性能是否符合要求。

(答案: $\sigma_s=360\text{ MPa}$, $\sigma_b=580\text{ MPa}$, $\delta_5=21\%$, $\Psi=46.7\%$, 符合要求。)

1.1.3 硬度

硬度指材料抵抗更硬物体压入的能力。机械制造业所用的各种机械零件、刀具、量具、模具等都应具备足够的硬度,才能保证其具有足够的耐磨性和使用寿命。硬度是金属材料的重要力学性能之一。硬度测试的方法很多,常用的有布氏硬度试验法、洛氏硬度试验法和维氏硬度试验法。

1. 布氏硬度(HB)试验法

(1) 原理:使用直径为 D 的球体(钢球或硬质合金球),以规定的试验力 F 压入试样表面,经规定保持一定时间后卸除试验力,然后测量压痕直径,载荷 F 与压痕表面积 S 的比值,即为布氏硬度值,以符号 HB 表示。

HBS: 用钢球试验时的布氏硬度值。

HBW: 用硬质合金球试验时的布氏硬度值。

显然,在试验力 F 、压头球体直径 D 一定时,布氏硬度值仅与压痕直径有关,压痕直径越小,表明布氏硬度值越大,也即硬度越高;反之,压痕直径越大,硬度越低。

(2) 测量范围: HBS 用于测量布氏硬度低于 450 的材料。HBW 用于测量布氏硬度在 450~650 范围内的材料。

(3) 表示方法: 硬度值 HBS(W)球体直径/试验力/作用时间。

例: 120HBS10/1000/30 表示用直径为 10 mm 钢球为压头将 1000 kgf (1 kgf = 9.806 65 N) 的试验力作用于试样上持续时间为 30 s 时测得的布氏硬度值为 120。

(4) 特点及应用: 测量数据稳定、误差小;压痕大、费时。该方法用于灰铸铁、非铁金属、非金属材料的硬度测试,不宜测量成品或薄壁零件。

2. 洛氏硬度(HR)实验法

(1) 原理: 洛氏硬度试验采用金刚石圆锥体或淬火钢球为压头,压入金属表面后,经规定的时间后卸除主试验力,以测量的压痕深度来计算洛氏硬度值。

(2) 表示方法及测量条件: HRA 表示用 120° 圆锥体金刚石为压头、主试验力为 60 kgf 测得的硬度值。HRB 表示用 $\Phi 1.588\text{ mm}$ 淬火钢球为压头、主试验力为 100 kgf 测得的硬度值。HRC 表示用 120° 圆锥体金刚石为压头、主试验力为 150 kgf 测得的硬度值。

(3) 特点及应用: 测量方便、快捷、压痕小,所测硬度范围大,能测量成品和薄壁零件,但测量的准确性差,通常需要在不同部位测量数次,取其平均值来代表材料的硬度。该方法的应用范围分别如下:

HRA	60~88	硬质合金、表面淬火层、渗碳层
HRB	20~100	非铁金属、退火钢、正火钢
HRC	20~70	淬火钢、调质钢

3. 维氏硬度(HV)实验法

(1) 原理: 维氏硬度的试验原理基本上和布氏硬度试验相同,即将相对面夹角为 136°

的正四棱锥体金刚石压头以选定的压力压入试样表面，经规定的时间后卸除试验力，测量压痕对角线的长度来计算硬度。

(2) 特点及应用：维氏硬度测量范围广(可测 5~1000 HV)，能测量薄壁零件，但不能测量组织不均匀的材料，广泛应用在精密工业和材料科学研究中。

(3) 表示方法：与布氏硬度相同，如 400HV30 表示用 30 kgf 试验力保持 10~15 s(可省略)后测定的维氏硬度值为 400。

布氏、洛氏及维氏硬度和材料的强度都有一定的关系，见本书附录。

比一比：有五种材料，它们的硬度值分别为 478HV、81HRB、79HRA、65HRC、474HBW，试将这五种材料的硬度从低到高排列。

1.1.4 冲击韧性

金属材料的强度、塑性和硬度等力学性能是在静载荷的作用下测得的。所谓静载荷，是指载荷的大小和方向不随时间变化而变化(或变化缓慢)的载荷。而许多机械零件在工作中往往要受到冲击载荷的作用，所谓冲击载荷，是指在短时间内以较高的速度作用于零件上的载荷，如活塞销、锤杆、冲模和锻模等。

金属材料抵抗冲击载荷的作用而不被破坏的能力称为冲击韧性。目前常用一次摆锤冲击弯曲试验来测定。

1. 冲击试验原理

将一标准试样 10 mm×10 mm×55 mm 的 U 形或 V 形缺口试样置于如图 1-1 所示的冲击试验机的支座上。放置时，使试样缺口背向摆锤的冲击方向。再将一重为 G 的摆锤自由落下，将试样冲断。试样被冲断时所吸收的能量即是摆锤冲击试样的功，称为冲击吸收功，即

$$A_{KV} = A_{KV1} - A_{KV2} = mg(H_1 - H_2) \text{ (J)}$$

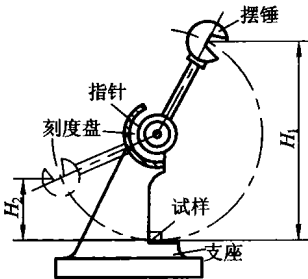


图 1-1 冲击功试验原理图

2. 冲击韧性

冲击韧性即冲击吸收功除以缺口处截面积，用符号 a_k 表示。

$$a_k = \frac{A_K}{S_0} \text{ (J} \cdot \text{cm}^{-2}\text{)}$$

材料的冲击韧性一般随温度的降低而下降，应注意低温条件下钢材的使用。碳素结构钢在 -20℃ 时韧性会明显降低。

注意：金属零件在实际工作中承受冲击载荷时，很少因一次大能量冲击而遭破坏，绝