

HUA GONG JI XIE JI CHU

[上册]

化工机械基础

叶春晖 金耀门 主编

上海交通大学出版社

化工机械基础

(上 册)

叶春晖 金耀门 主编

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书为化工工艺等专业学生加强机械知识而编写,篇幅较为紧凑。

全书共五篇,27章,分上、下两册。上册分三篇:工程材料、静力学、材料力学,计19章;下册分两篇:机械传动、化工容器,计8章。

本书可供大学本科化工工艺类专业或其他非机类专业选用,也可供有关工程技术人员参考。

化工机械基础

(上册)

上海交通大学出版社出版

(淮海中路1984弄19号)

新华书店上海发行所发行

浙江上虞汤浦印刷厂排版

江苏省常熟梅李印刷厂印装

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 13.625 字数 350,000

1989年1月第1版 1989年1月第1次印刷

印数: 1-10,200

ISBN7-313-00273-4/TQ0 科技书目:179-281

定价: 3.05元

前 言

许多年来,我院一直单独开设“化工机械基础”课程,其意图在于既能提高教学质量,又能减轻学生负担。实践表明已取得了较好的效果。课程内容经酌选后,目前开课范围已从化工系扩大到工管系和电子系的有关专业。本书就是在原讲义的基础上,经适当增删修改而成。

限于篇幅,本书只介绍化工工艺等专业学生所应掌握的一些基本机械知识。如要完成化工容器的课程设计,必须补充课程设计指导书。

为照顾学科习惯,同一符号在不同章节中可能代表不同意义,但均已作了相应说明。

本书编写的分工如下:叶春晖——第 22、23 章;金耀门——前言、绪论、第 7~19 章、第 24~27 章;王裕昌——第 1~6 章;张莉珍——第 20、21 章;第 7~19 章的习题由宋良编写。全书由叶春晖、金耀门主编。

本书先后承浙江大学朱国辉教授和华东化工学院朱思明副教授评阅。在编写和修改过程中,曾得浙江大学冯丽云老师以及浙江工学院机械基础教研室其他老师的帮助。在此,一并表示谢意。

限于水平和时间,书中难免存在缺点和错误,敬请读者批评指正,并先致谢。

编者 1987 年 11 月

绪 论

生产和科技的发展,对人才培养提出了较高的要求。社会调查表明,要求对化工工艺等专业毕业生加强机械知识教育的呼声十分强烈。然而,教学改革的深入,又指望化工工艺等专业能进一步压缩机械方面内容的教学时数。这是一对矛盾。解决这一矛盾的方法和途径可以是多方面的。设立新体系的课程,并编写具有综合性、针对性和实践性的教材,不失为其中之一举。“化工机械基础”课程及其教材应运而生,经多年实践,教学效果较显著,与原体系相比,学时数可减少一半以上。

“化工机械基础”是一门重要的基础技术课,它具有一定的深度。在本教材中编入了五个方面的内容:

(1) 工程材料 介绍常用金属材料和非金属材料的种类、性能和用途;阐述了金属材料的性能与其内部组织之间的关系,并指出了强化金属性能的一些方法。

(2) 静力学 主要研究物体在外力作用下的平衡条件及其应用,因而也是对物体进行受力分析的基础。

(3) 材料力学 主要研究物体在外力作用下的基本变形和破坏的规律,并为合理设计构件提供有关强度、刚度、稳定性计算的基本理论和方法。

(4) 机械传动 介绍若干通用零件的工作原理、特性、计算、选型和使用的基本知识。

(5) 化工容器 主要介绍中、低压容器的结构特点,设计方法和设计规范。

通过上述内容的学习,旨在使学生获得化工工艺等专业工程师或技术人员在机械方面所必备的基本知识和计算技能,并具有设计常用的常、低压化工容器的初步能力。这样,就为后继课程的

学习，毕业后与机械技术人员的配合，以及个人的自学提高打下了一定的基础。

学习本课程要注重实践。为了达到理论结合实际、巩固及加深理解所学知识的目的，必须演算一定数量的习题；同时，还要完成一定数量的实验、参加金工实习、进行典型化工容器的课程设计等。

总的说来，“化工机械基础”还是一门新的课程，作为它的教材，本书有待于继续完善和提高。

目 录

第一篇 工 程 材 料

1	金属材料的基础理论	1
1.1	金属材料的机械性能	2
1.2	金属的晶体结构和结晶	11
1.3	合金的晶体结构和结晶	18
1.4	实际金属的晶体缺陷	26
2	铁碳合金材料	30
2.1	铁碳合金状态图	30
2.2	碳素钢	42
2.3	铸铁	53
3	钢的热处理	60
3.1	钢在加热时的组织转变	61
3.2	钢在冷却时的转变	65
3.3	钢的退火与正火	73
3.4	钢的淬火与回火	76
3.5	钢的表面淬火	82
3.6	钢的化学热处理	85
4	合金钢	92
4.1	合金元素对性能的影响	92
4.2	合金钢的分类及编号	94
4.3	合金结构钢及合金工具钢	96
4.4	特殊性能钢	103
5	有色金属及合金	114

5.1 铜及铜合金	114
5.2 铝及铝合金	120
5.3 钛及钛合金	125
5.4 轴承合金	128
6 非金属材料	131
6.1 非金属材料的特点及性质	131
6.2 有机非金属材料	133
6.3 无机非金属材料	139

第二篇 静 力 学

7 受力分析	142
7.1 静力学的基本概念和公理	142
7.2 约束与约束反力	146
7.3 受力图	149
8 平面汇交力系	152
8.1 平面汇交力系合成的几何法和平衡条件	152
8.2 平面汇交力系合成的解析法	155
8.3 平面汇交力系的平衡方程式	158
9 力矩、平面力偶系	161
9.1 力对点的矩	161
9.2 力偶	163
9.3 平面力偶系的合成与平衡方程式	166
9.4 力的平移定理	168
10 平面任意力系	170
10.1 平面任意力系的简化	171
10.2 平面任意力系的平衡条件和平衡方程式	173
10.3 静定与静不定问题的概念	181
10.4 物体系统的平衡	182
10.5 摩擦	186

10.6	平面静定桁架	194
11	空间力系	200
11.1	力沿空间直角坐标轴的分解及其投影	200
11.2	用矢量表示力对点之矩和力偶矩	201
11.3	力对轴之矩	203
11.4	空间力系的平衡条件和平衡方程式	206

第三篇 材料力学

12	引论	213
12.1	材料力学的任务	213
12.2	变形固体的基本假设	214
12.3	内力、截面法和应力的概念	216
12.4	应变的概念	218
12.5	杆件变形的基本形式	219
13	轴向拉伸及压缩	222
13.1	轴向拉(压)的概念	222
13.2	轴向拉(压)时横截面上的内力和应力	223
13.3	轴向拉(压)时的变形计算及变形能的概念	226
13.4	材料在拉(压)时的机械性能	231
13.5	轴向拉(压)时的强度条件	238
13.6	拉(压)中的超静定问题	245
13.7	应力集中的概念	249
13.8	温度和载荷作用时间对金属机械性能的影响	250
14	剪切	254
14.1	剪切的概念及其实用计算	254
14.2	剪切和挤压的“实用计算”举例	255
15	扭转	263
15.1	扭转的概念和扭矩的计算	263
15.2	剪切虎克定律和剪应力互等定理	266

15.3	圆轴扭转时的应力和变形计算	269
15.4	圆轴扭转时的强度条件和刚度条件	272
16	弯曲	276
16.1	弯曲的概念	276
16.2	梁弯曲时的内力——剪力和弯矩	277
16.3	平面图形的形心计算	289
16.4	弯曲时横截面上的正应力	292
16.5	弯曲时按正应力的强度条件	300
16.6	提高弯曲强度的主要措施	306
16.7	弯曲时横截面上的剪应力	312
16.8	弯曲时的变形	315
17	复杂应力状态及组合变形的强度问题	325
17.1	应力状态的概念	325
17.2	平面应力状态分析	328
17.3	广义虎克定律	336
17.4	强度理论概要	337
17.5	组合变形的强度计算	340
18	压杆稳定	350
18.1	压杆稳定的概念	350
18.2	确定压杆临界载荷的欧拉公式	351
18.3	欧拉公式的适用范围, 临界应力的经验公式	354
18.4	压杆稳定的实用计算	359
19	动载荷和交变应力	364
19.1	动载荷的概念	364
19.2	构件作等加速运动时或等角速旋转时的应力 计算	364
19.3	构件受冲击时的应力计算	367
19.4	交变应力和疲劳破坏	369
19.5	疲劳极限及其主要影响因素	372

习题和习题答案	375
习题	375
习题答案	414
参考文献	422

第一篇 工程材料

作为现代技术三大支柱的材料、能源与信息,发展异常迅速。在材料科学中,非金属的发展尤为突出。其中,以人工合成高分子材料的发展最快,已成为一种重要的新型工程材料。无机材料(如陶瓷)在宇航、原子能、化学工业等也有着广泛的应用。工程结构已不再只使用金属材料了。

材料的发展与国民经济的发展有着密切的关系。从日常生活用具到高、精、尖产品,从简单的手工工具到复杂的宇宙飞船、机器人等,都是由不同种类、不同性能的工程材料加工成零件组装而成的。现代工业装备向高速、自动、精密等方向发展,没有特殊性能的材料就难以实现。解决当前能源的紧张问题,关键之一是材料。如若能用超导材料输送电力,可减少线路中能量损耗(约25%);国产的4t载重汽车自重为3.8t,而国外先进的同类汽车仅2.8t。要提高经济效益与降低产品成本亦与材料有关。所以工程材料是国民经济和科学技术的重要物质基础。

1 金属材料的基础理论

金属材料在现代工农业生产中占有极其重要的地位。金属材料的品种繁多,工程上常用的金属材料有钢铁、有色金属及其合金等。各种材料的成分不同,性能各异。金属材料的性能主要分为两类:一类称使用性能,即反映金属材料在使用过程中所表现出来的特点。它包括机械性能,物理和化学性能以及其他的使用性

能。另一类称工艺性能，即反映金属材料加工制造过程中所表现出来的特性。它包括铸造、压力加工、焊接、切削加工和热处理性能。只有深入全面了解金属材料的各种性能，才有可能做到正确、经济、合理地使用金属材料。

1.1 金属材料的机械性能

由金属材料制成的机械零件或工具，在使用过程中，要具有良好的机械性能，即具有高的强度、硬度以及足够的塑性和韧性。例如，起重机用钢丝绳及挂钩吊起几吨甚至几十吨的重物，工作中绝不允许产生断裂破坏，这就要求钢丝绳具有足够的抗拉强度，要求金属制成的挂钩，具有很高的强度和韧性；机床上使用的轴承，承受较大的交变载荷与摩擦，因此，要求材料具有很高的耐磨性（高硬度）和抗接触疲劳的能力；作为涡机主轴的材料，应具有相当高的强度、硬度以及足够的塑性和韧性。上述例中述及的几个指标都是金属材料的主要机械性能。

1.1.1 强度与塑性

所谓强度是指金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。材料的强度越高，所能承受的载荷也越大。由于承受载荷形式的不同，金属的强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等。各种强度间有一定的联系，工程上常用抗拉强度作为基本的强度。

为了测定金属材料的抗拉强度，通常采用拉伸试验。拉伸试样的形状尺寸如图 1-1(a) 所示。低碳钢在拉伸试验中表现出来的力和变形的关系比较典型，因此我们着重研究该材料在拉伸时的机械性能。

把试样装夹在拉力试验机上，并缓慢地对试样施加载荷(P)，试样逐渐变形伸长，直至拉断。图 1-1(b) 为拉断后的试样图，断

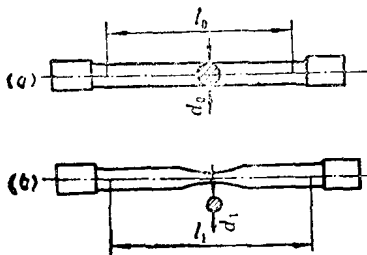


图 1-1 拉伸试样

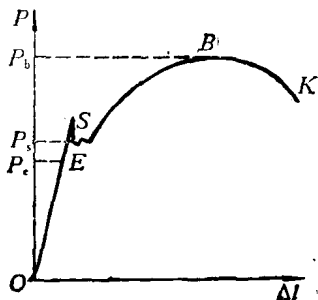


图 1-2 低碳钢的拉伸图

口处试样截面减小。在拉伸过程中，试验机自动记录下每瞬间的载荷 P 和变形量 Δl ，并绘出它们之间的关系曲线（见图 1-2），通常称为拉伸曲线或拉伸图。

拉伸曲线中， OE 段是直线，即外力不超过 P_e 时，外力与变形成正比。这时试样只产生弹性变形，即当外力去除后，试样将恢复到原来长度。

过 E 点后，即外力超过 P_e 时，试样除产生弹性变形外还发生部分塑性变形。此时外力去除后，试样不能完全恢复到原有的长度（弹性变形部分消失，塑性变形部分保留）。如继续增加拉力达到 P_s 后，虽然外力不再增加，但试样继续伸长，这种现象称为“屈服”。屈服时试样开始出现明显的塑性变形。

外力继续增加到最大值 P_b 后，试样某一部分开始变细，出现了“缩颈”如图 1-1(b) 所示。以后试样变形集中在缩颈附近，由于截面缩小，因此继续变形所需要的外力将下降。外力达到 P_k 时，试样在缩颈处断裂。根据拉伸曲线可以求得材料的强度指标。而为了便于比较，强度指标通常以应力的形式表示。当材料受外力作用时，其内部也产生了抗力。截面上的抗力的集度称为应力，拉伸时横截面上的应力称为正应力，以 σ 表示，其单位为 Pa 或 MPa 。即

$$\sigma = \frac{P}{A} (\text{MPa}).$$

式中 P —— 外力, N 或 kN;

A —— 横截面面积, m^2 。

常用的强度指标有弹性极限、屈服极限和强度极限。

弹性极限 材料能保持弹性变形时的最大应力, 以 σ_e 表示,

$$\sigma_e = \frac{P_e}{A_0} (\text{MPa}).$$

式中 P_e —— 为弹性极限载荷,

A_0 —— 试样原始截面积。

屈服极限(屈服强度) 材料开始产生屈服时的应力, 以 σ_s 表示,

$$\sigma_s = \frac{P_s}{A_0} (\text{MPa}).$$

式中 P_s 为屈服极限载荷。

对于没有明显屈服现象的材料, 规定以产生 0.2% 塑性变形时的应力作为屈服强度, 以 $\sigma_{0.2}$ 表示。

屈服强度是最重要的机械性能指标之一, 是绝大多数零件设计时的依据。

脆性材料(如灰口铸铁)拉伸时几乎不发生塑性变形。它不仅有屈服现象, 也不产生缩颈, 断裂是突然发生的, 最大载荷即是断裂载荷。

强度极限(抗拉强度) 材料承受最大载荷时的应力, 以 σ_b 表示,

$$\sigma_b = \frac{P_b}{A_0} (\text{MPa}).$$

式中 P_b 为最大拉伸载荷。

抗拉强度也是材料的主要机械性能指标, 是设计和选择材料的主要依据之一。

金属的塑性指标有两个，它们都表示材料在外力作用下产生塑性变形的能力。

伸长率 用 δ 表示，

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%。$$

断面收缩率 用 ψ 表示，

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%。$$

式中 l_0 ——试样标距长度，

l_1 ——试样拉断后的标距长度，

A_1 ——试样拉断后断口处的截面积。

伸长率 δ 的大小与试样尺寸有关，因为伸长量 Δl 包括试样均匀伸长和局部缩颈后伸长两部分，为了便于比较，试样的尺寸必须标准化。常用的试样标距长度规定为直径的 5 倍或 10 倍，其伸长率分别用 δ_5 或 δ_{10} 表示， δ_{10} 常记作 δ 。断面收缩率与试样尺寸无关，它能更可靠、更灵敏地反映材料塑性的变化。

通常以伸长率的大小来区别材料塑性的好坏，把 $\delta > 2 \sim 5\%$ 的材料称为塑性材料。良好的塑性是顺利进行压力加工的重要条件。

除了强度指标和塑性指标外，还有材料的刚度与弹性模数。

刚度与弹性模数 材料抵抗弹性变形的能力叫刚度。刚度的大小由弹性变形范围内应力与应变(应变是指单位长度的变形量)的比值——弹性模数 E 表示。 E 在拉伸曲线上表现为 OE 线的斜率。 E 越大，表明在一定的应力作用下产生的弹性变形越小，亦即刚度越大。

一般零件在使用过程中均处于弹性变形状态。对于要求弹性变形小的零件，如柴油机曲轴，精密机床的主轴等，应选用刚度大即弹性模数 E 大的材料。室温下钢铁的 E 值为 $190 \sim 220 \text{GPa}$ ，并随温度升高而降低。

1.1.2 冲击韧性

某些机械零件在工作过程中，往往受到冲击载荷的作用。如锻锤的锤头和锤杆，冲床的连杆和曲轴等。为了防止金属材料在冲击载荷作用下所引起的突然破坏，充分发挥其承受冲击载荷的能力，因此需要进行冲击试验，以测定其抗冲击载荷的能力。

金属材料抵抗冲击载荷而不破坏的能力称为冲击韧性。由于冲击是一种能量，所以韧性指标是以材料受冲击破坏时单位面积上所消耗的能量来表示。目前工程上常用一次摆锤冲击弯曲试验来测定金属材料的冲击韧性。其原理如图 1-3(b) 所示。将被测材料按标准尺寸做成试样(见图 1-3(a))，安放在冲击试验机上，把重为 G 的摆锤抬高到 H_1 ，此时摆锤位能为 GH_1 ，然后使其下落

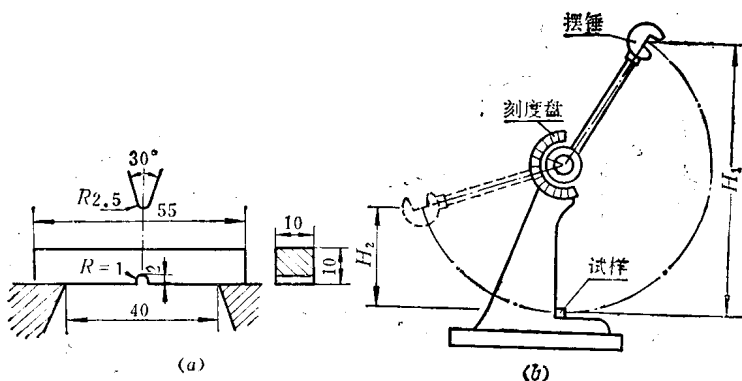


图 1-3 一次摆锤冲击弯曲试验示意图

- (a) — 试样，
(b) — 冲击试验机

冲断试样。摆锤冲断试样后剩余的能量为 GH_2 ，摆锤对试样所做的功 $A_k = G(H_1 - H_2)$ 。 A_k 除以试样缺口处的截面积 A ，得冲击韧性

$$\alpha_k = \frac{A_k}{A} (\text{J/cm}^2)。$$