

扎堆学社竭诚为您服务

扎堆学社

化工机械 基础资料

欢迎关注扎堆学社微信平台

学无止境，获取更多资料

出品人：
于宝地（第一篇）
张相禹（第二篇）
张恒源（第三篇）
日期：2017年12月27日



目录

第一篇 工程力学	1
第一章 物体的受力分析机器平衡条件.....	1
1.1 约束与约束反力:	1
1.2 平面力系的平衡方程	2
第二章 直杆的拉伸和压缩	2
2.1 杠杆的基本变形形式	2
2.2 截面法求内力	3
2.3 拉伸和压缩时材料的力学性能	3
2.4 拉伸和压缩的强度条件	5
第三章 直梁的弯曲	5
3.1 弯矩图与弯矩方程	5
3.2 弯曲时截面上的正应力和强度条件	7
3.3 梁的弯曲变形	7
第四章 剪切	8
4.1 切应力与剪切强度条件	8
4.2 挤压应力与挤压强度条件	8
4.3 剪切虎克定律	9
第五章 圆轴的扭转	9
5.1 外力偶矩的计算	9
5.2 扭转时横截面上的应力	9
第二篇 材料与焊接	10
第七章 化工设备材料	10
7.1 材料的性能	10
7.2 铁碳合金	11
7.3 钢的分类	12
7.4 有色金属材料（铁以外的金属）	13
7.5 非金属材料	13
7.6 化工设备腐蚀及防腐问题	14
7.7 化工设备材料选择	14
第八章 焊接	15
8.1 电弧焊	15
8.2 焊接材料	15
8.3 焊接接口和坡口形式	16
8.4 焊接缺陷与焊接质量检验	16
第三篇 容器设计	17
第九章 容器设计基础	17
9.1 概念	17
9.2 内压容器设计	17
9.3 外压容器设计	18
9.4 封头设计	18

第一篇 工程力学

第一章 物体的受力分析机器平衡条件

1.1 约束与约束反力：

1. 柔性约束

例如：绳索、链条、皮带、钢丝绳。

特点：只有被拉着时才有约束作用；只能越是非自由体沿绳索甚至的方位朝外运动。

约束反力：沿绳伸长的方向。

2. 光滑接触面约束

例如：滑槽、导轨。

特点：只能限制被约束物体沿着接触面公法线方向向着支撑面内的运动。

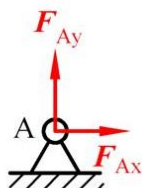
约束反力：沿接触面公法线方向，只想被约束物体。

3. 铰链约束

a) 固定铰链支座约束

特点：由固定支座、杆和销钉连接组成，只能绕销钉轴线转动。

约束反力：通过铰链中心，可分为 N_x 、 N_y 。

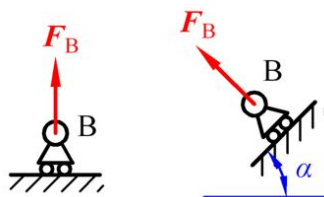


固定铰链支座约束
约束反力是正交的2个分量

b) 活动铰链支座约束

特点：只限制被约束物体沿垂直支撑面方向的运动

约束反力：通过铰链中心，垂直于支撑面。



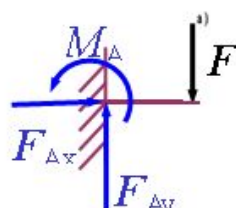
可动铰链支座约束
约束反力垂直于支撑面

4. 固定端约束

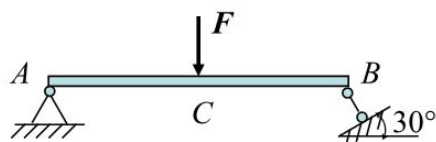
例如：塔器、悬臂式管道托架。

特点：被约束物体不能移动和转动。

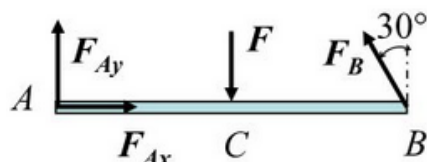
约束反力：除 N_x 、 N_y 外，还有阻止选装的力偶矩 m 。



【例】作出 AB 杆的受力图：



【解】A 点为固定铰链支座约束，有水平与竖直方向的约束反力，B 为活动铰链支座约束，约束反力垂直于斜面。



1.2 平面力系的平衡方程

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum M_o(F) = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sum M_A = 0 \\ \sum M_B = 0, \text{ AB 两点连线不能垂直于 x 轴。} \\ \sum F_x = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sum M_A = 0 \\ \sum M_B = 0, \text{ A、B、C 是平面内不能共线的三个点。} \\ \sum M_C = 0 \end{cases}$$

第二章 直杆的拉伸和压缩

2.1 杠杆的基本变形形式

种类	内容	外力特点	变形特点
轴向拉伸及压缩	作用于杆件两端的大小相等、方向相反的外力，作用线与杆轴线重合		
剪切	作用在构件两侧面上的大小相等，方向相反的外力，作用线平行且相距很近		
扭转	作用在垂直于杆轴线的平面内的外力偶系		
弯曲	作用在垂直于杆件轴线的外力或力偶		

2.2 截面法求内力

2.2.1 内力计算

内力的计算是分析构件强度、刚度、稳定性等问题的基础。求内力的一般方法是截面法。

截面法四步：

- ✧ 截：欲求某一截面的内力，沿该截面将构件假想地截成两部分；
- ✧ 取：取其中任意部分为研究对象，弃去另一部分；
- ✧ 代：用作用于截面上的内力，代替弃去部分对留下部分的作用力；
- ✧ 平：建立留下部分的平衡条件，确定未知的内力。

2.2.2 应力

在此引出应力的概念：在所考察的截面某一点单位面积上的内力称为应力。

$$\sigma = \frac{N}{A}$$

其中， σ 成为截面上的正应力或法向应力， N 为该截面上的应力， A 为截面面积。附带指出，当截面尺寸有急剧改变时，则在截面突变附近局部范围内，应力数值也急剧增大，这种现象成为应力集中。为了避免材料或构件因应力集中而造成的破坏，工程上主要采取以下一些措施：表面强化、避免尖角、改善零件外形、孔边局部加强、适当选择开孔位置和方向、利用残余应力等方法。

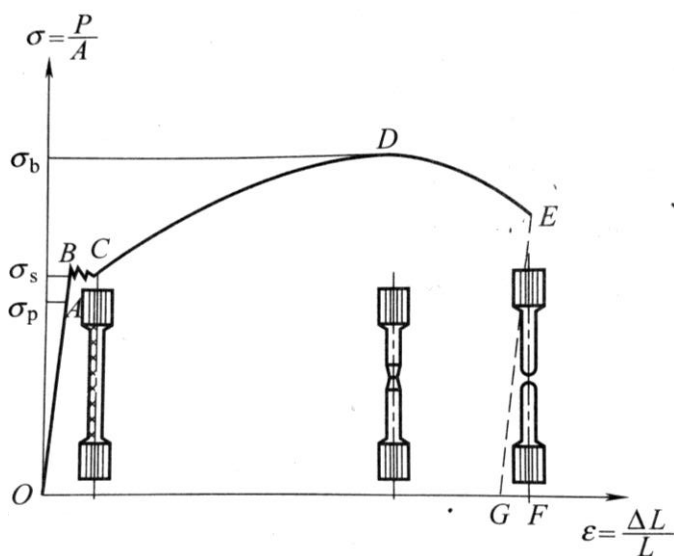
2.2.3 应变

物体在受到外力作用下会产生一定的变形，变形的程度称应变。

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

杆件原长 L ，变形后长度变为 $L + \Delta L$ ， ΔL 称为绝对伸长， ε 称为相对伸长或线应变，无量纲量，伸长为正，缩短为负。具体内容在弹性变形阶段、胡克定律详细介绍。

2.3 拉伸和压缩时材料的力学性能



图为低碳钢拉伸的应力应变曲线，这条线可大致分为四个阶段：OA、BC、CD、DE。

2.3.1 弹性变形阶段、胡克定律

OA 段可以认为形变是完全弹性的，若应力不超过 A 点卸载后时间将完全恢复，故称 A 点应力值为材料的比例极限，也可称为弹性极限，用 σ_p 表示。

在弹性阶段内，应力与应变成正比，即

$$\sigma = E\varepsilon$$

其中，E 为比例常数，称为材料的弹性模量，为材料常数。上式可写为

$$\frac{P}{A} = E \frac{\Delta L}{L}$$

$$\Delta L = \frac{PL}{EA}$$

EA 称为材料的抗拉刚度。当材料被拉伸或压缩时，横向尺寸也会发生相应变化。设杆件原直径为 d，受拉伸后直径为 d'，则纵向收缩为

$$\Delta d = d' - d$$

令

$$\varepsilon' = \frac{\Delta d}{d}$$

式中 ε' 称为纵向线应变。当杆受拉伸时，该值为负；压缩时，该值为正。实验证明，弹性阶段拉压杆的横向线应变与纵向线应变之比的绝对值是一个常数

$$\nu = \left| \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right|$$

该比值 ν 称为横向变性系数或泊松比，无量纲，与材料性质有关。

2.3.2 屈服阶段

此阶段应变显著增加，但应力基本不变——屈服现象。此时材料的强度为材料标准室温下的屈服极限强度，以 R_{eL} 表示，对应图中 B 点，应力为 σ_s 。对于没有明显屈服极限的材料，规定用出现 0.2%塑性变形时的应力作为名义屈服强度，用 $R_{p0.2}$ 表示。

2.3.3 强化阶段

经过屈服阶段后，在 CD 段，材料又表现出抵抗变形的能力，若使材料继续发生变形，就必须继续增加外力，此现象称为材料的强化现象。强化阶段的顶点 D 所对应的应力是材料所能承受的最大应力，称为强度极限，以 σ_b 表示。抗拉强度的下限值用 R_m 表示。

值得一提的是，对于塑性材料，衡量材料强度指标的是屈服极限 R_{eL} 和抗拉强度的下限值 R_m 。

2.3.4 颈缩阶段

应力达到强度极限时，时间上出现急剧局部横截面收缩——颈缩现象。在试件断裂后，图中弹性应变 GF 立即消失，而塑性应变 OG 残留在试件上。试件断裂后遗留下来的塑性变形的大小可以用来表明材料的塑性性能。一般有伸长率和断面收缩率两种表示方法。

✧ 伸长率 δ 以试件断裂后的相对伸长来表示

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

式中，L 为试件原来标距长度， L_1 为断裂后从试件量出的标距长度。

伸长率是评价材料塑性好坏的一个指标。 $\delta \geq 5\%$ 的材料称为塑性材料，如钢、铜、铝及塑料等； $\delta < 5\%$ 的材料成为脆性材料，如铸铁、陶瓷、混凝土、玻璃等。但也应指出塑性材料在一定条件下

也会发生脆性断裂，反之，脆性材料在某些特定受力条件下也会发生较明显的塑性变形，所以说不能简单通过 δ 来判断材料塑性好坏，影响塑性的还有受力状态的因素。

✧ 断面收缩率 ψ 来表示材料塑形的优劣

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

式中， A 为试件原来的截面面积， A_1 为试件断裂后颈缩处测得的最小截面面积。

总结以上研究，反映材料力学性能的主要指标有以下几个。

✧ 强度性能：对于塑性材料，衡量材料强度指标的是屈服极限 R_{eL} 和抗拉强度的下限值 R_m ；对于脆性材料用抗拉强度的下限值 R_m 来表示。

✧ 弹性性能：抵抗弹性变形的能力，用 E 表示。

✧ 塑性性能：塑性变形的能力，用延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 表示。

2.4 拉伸和压缩的强度条件

为保证拉（压）杆的正常工作，必须使其最大工作压力不超过材料（压缩）时的许应用力 $[\sigma]$ ，即

$$\frac{N}{A} \leq [\sigma]$$

该式称为受拉伸（压缩）直杆的强度条件。

如果杆件是塑性材料制作的通常以设计温度下的屈服强度 R_{eL}^t ，并用下式进行计算

$$[\sigma] = \frac{R_{eL}^t}{n_s}$$

式中， R_{eL}^t 为工作温度下材料的屈服强度， n_s 为一屈服强度为极限应力的安全系数，一般取 1.5。

如果杆件是用脆性材料制作的，许应用力该用下式确定

$$[\sigma] = \frac{R_m}{n_b}$$

式中， R_m 为常温下材料的抗拉强度下限值， n_b 为安全系数，取 2.7。

有了材料许用应力，可以利用强度条件解决三个方面的问题：强度校核、设计截面尺寸、确定许用载荷。

第三章 直梁的弯曲

3.1 弯矩图与弯矩方程

3.1.1 梁的基本形式

✧ 简支梁

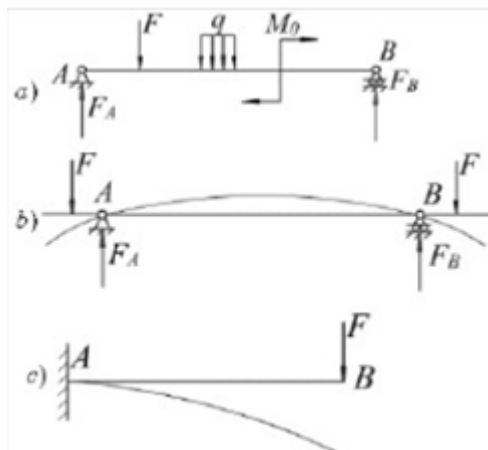
梁的一端为固定铰链支座，另一端为活动铰链支座。如图 a 所示。

✧ 外伸梁

梁的支座和简支梁相同，只是梁的一端或两端伸出在支座之外。如图 b 所示。

✧ 悬臂梁

梁的一端固定，另一端自由。如图 c 所示。在对称弯曲的情况下，梁的主动力与约束反力构成平面力系。上述简支梁、外伸梁和悬臂梁的约束反力，都能由静力平衡方程确定，因此，又称为静定梁。在工程实际中，有时为了提高梁的强度和刚度，采

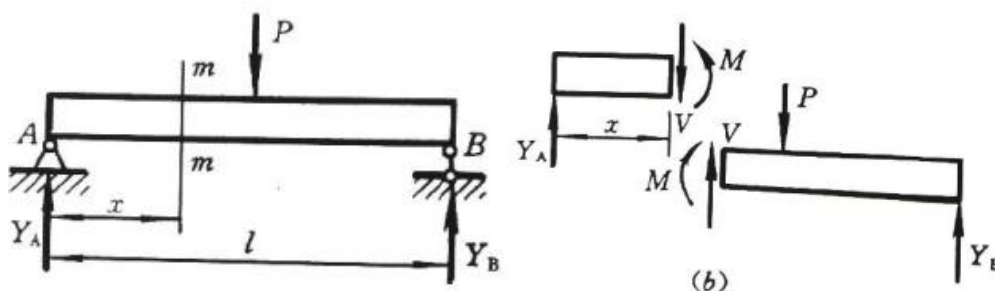


取增加梁的支承的办法,此时静力平衡方程就不足以确定梁的全部约束反力,这种梁称为静不定梁或超静定梁。

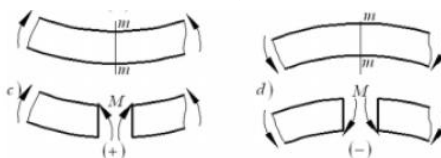
3.1.2 剪力与弯矩

剪力: 与横截面相切的内力 V 叫剪力

弯矩: 外力作用平面内的力偶, 其力偶矩 M 叫弯矩。



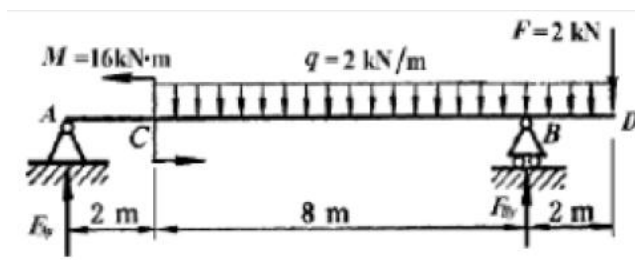
剪力的符号: 左上右下为正; 弯矩的符号: 下凸为正, 上凸为负 (下面受拉上面受压为正, 上面受拉下面受压为负)。



3.1.3 弯矩图

以横坐标 x 表示梁的截面位置, 纵坐标表示弯矩所做图形成为弯矩图。正弯矩画在 x 轴上面, 负弯矩画在 x 轴下面。

【例】: 一外伸梁受力情况如图所示, 作梁的弯矩图。



【解】(1) 求支反力:

$$\begin{cases} F_A + F_B = ql_{CD} + F \\ M - ql_{CD} \left(\frac{x_c + x_d}{2} \right) + F_B l_{AB} - F l_{AD} = 0 \end{cases}$$

解得 $F_A = 7.2 \text{ kN}$, $F_B = 14.8 \text{ kN}$.

(2) 求弯矩方程:

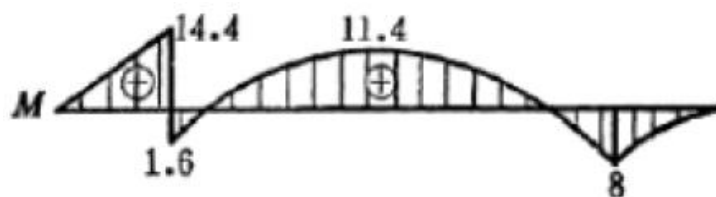
AC 段: $M_x = F_A x = 7.2x$. 当 $x = 2 \text{ m}$ 时, $M_{\max} = 14.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$

CB 段: $M_x = F_A x - M - q(x - 2) \frac{(x-2)}{2} = -x^2 + 11.2x - 20$. 当 $x = 2 \text{ m}$ 时, $M_{\max} = -1.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$. 当 $x =$

5.6 m 时, $M_{\max} = 11.36 \text{ kN} \cdot \text{m}$. 当 $x = 10 \text{ m}$ 时, $M_{\max} = -8 \text{ kN} \cdot \text{m}$

BD 段: $M_x = -F(12 - x) - q(12 - x) \frac{(12-x)}{2} = -x^2 + 26x - 168$. 当 $x = 10 \text{ m}$ 时, $M = -8 \text{ kN} \cdot \text{m}$

(3) 画弯矩图。



注意:

- 存在力矩时，在弯矩图中表现为突变，突变大小等于力偶矩大小。顺时针力矩为向上突变，反之则向下突变。
- 梁受集中力时弯矩图为直线，弯矩发生转折。
- 梁受均布载荷作用时，弯矩图为抛物线。均布载荷向下，抛物线开口向下，反之则向上。

3.2 弯曲时截面上的正应力和强度条件

梁纯弯曲弯曲时横截面上的最大正应力的公式可写为

$$\sigma_{\max} = \frac{My_{\max}}{J_z} = \frac{M}{W_z}, \quad \left(W_z = \frac{J_z}{y_{\max}} \right)$$

式中， M 是横截面上的弯矩；对面积的积分 $\int y^2 dA$ 称为横截面对中性轴 z 的惯性矩，用 J_z 表示，单位为 m^4 ； W_z 称为抗弯截面模量，单位为 m^3 ； J_z 与 W_z 都是与截面尺寸和形状有关的几何量。弯曲应力强度条件是：梁的最大弯曲工作正应力不超过材料的许用弯曲正应力

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma]$$

截面形状			
惯性矩	$J_z = \frac{bh^3}{12}$ $J_y = \frac{hb^3}{12}$	$J_z = J_y = \frac{\pi D^4}{64}$	$J_z = J_y = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$
抗弯截面模量	$W_z = \frac{bh^2}{6}$ $W_y = \frac{hb^2}{6}$	$W_z = W_y = \frac{\pi D^3}{32}$	$W_z = W_y = \frac{\pi}{32D} (D^4 - d^4)$

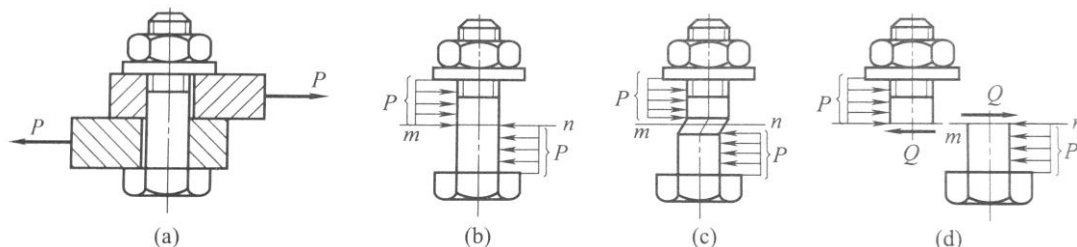
3.3 梁的弯曲变形

挠度：横截面变形在垂直于梁轴方向的位移叫做挠度。

转角：横截面绕中性轴转动的角度叫做转角。

计算方法参见课本 P49 表 3-3。

第四章 剪切



从上图我们可以分析出剪力 Q 的分布与性质，大小相等，方向相反，距离很近，材料上部下部发生相对错动。

4.1 切应力与剪切强度条件

切应力是与截面平行的应力，用 τ 表示

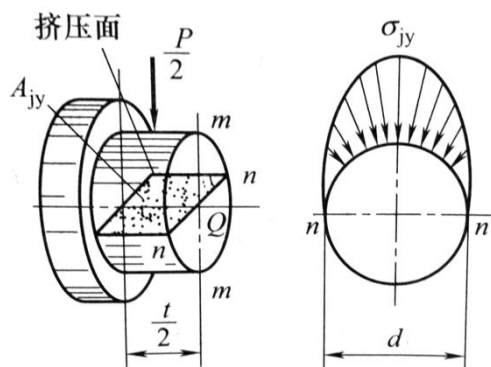
$$\tau = \frac{Q}{A}$$

其中， A 为受剪切面积。为剪切构件安全工作，需满足剪切强度条件

$$\tau \leq [\tau]$$

对于一般钢材，材料的许用切应力 $[\tau]$ 与许用拉应力 $[\sigma]$ 有如下关系：塑性材料 $[\tau] = (0.6 \sim 0.8)[\sigma]$ ；脆性材料 $[\tau] = (0.8 \sim 1.0)[\sigma]$ 。利用强度条件同样可以解决强度校核、截面选择和求许可载荷等三类问题。

4.2 挤压应力与挤压强度条件



由挤压引起的应力叫做挤压应力，用 σ_{jy} 表示。工程上嘉定挤压应力在挤压面上是均匀分布的

$$\sigma_{jy} = \frac{P}{A_{jy}}$$

式中， P 为挤压力， A_{jy} 为挤压面积。当接触面为平面时，此平面面积为挤压面积；当接触面为曲面时，为简化计算，采用接触面在垂直于外力方向的投影面积作为挤压面积，即

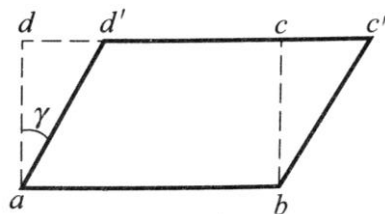
$\sigma_{jy} = \frac{t}{2} d$ 。为使构件安全工作，需满足

$$\sigma_{jy} = \frac{P}{A_{jy}} \leq [\sigma]_{jy}$$

对于一般钢材，材料的许用挤压应力 $[\sigma]_{jy}$ 与许用拉应力 $[\sigma]$ 有如下关系：塑性材料 $[\sigma]_{jy} = (1.7 \sim 2.0)[\sigma]$ ；脆性材料 $[\sigma]_{jy} = (2.0 \sim 2.5)[\sigma]$ 。对于受剪构件的强度计算，必须满足剪切强度有满足挤压强度条件才能安全工作。

孤身苦读多寂寞，扎堆学习欢乐多。

4.3 剪切虎克定律



当切应力小于弹性极限时，切应力与切应变成正比

$$\tau = G\gamma$$

式中， G 为切变模量，表示材料抵抗剪切变形的能力。前边已讨论过弹性模量 E 、横向变形系数 ν 和切变模量 G ，对于各向同性材料，它们之间存在如下关系

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

第五章 圆轴的扭转

5.1 外力偶矩的计算

$$M_T = 9550 \frac{N}{n}$$

式中， M_T 为外力偶矩， $N \cdot m$ ； N 为功率， kW ； n 为转速， r/min 。

5.2 扭转时横截面上的应力

$$\tau = \frac{M_T R}{J_\rho} = \frac{M_T}{W_\rho}, \quad \left(W_\rho = \frac{J_\rho}{R} \right)$$

式中， M_T 是扭矩；积分 $J_\rho = \int \rho^2 dA$ 称为横截的极惯性矩； W_ρ 称为抗扭截面模量； J_z 与 W_z 都是与截面尺寸和形状有关的几何量。

$$\text{对于实心圆轴 } J_\rho = \frac{\pi d^4}{32}, \quad W_\rho = \frac{\pi d^3}{16}.$$

$$\text{对于内径为 } d、\text{外径为 } D \text{ 的空心圆轴, } J_\rho = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4), \quad W_\rho = \frac{\pi}{16D} (D^4 - d^4).$$

扭转的强度条件是 $\tau_{\max} \leq [\tau]$ 。

第二篇 材料与焊接

第七章 化工设备材料

7.1 材料的性能

1、力学性能

(1)强度：材料抵抗外加载荷而不致失效破坏的能力。

① 材料在常温下的强度指标：屈服强度和抗拉强度

a) 屈服强度：材料抵抗开始产生大量塑性变形的应力。

b) 材料抵抗外力而不致断裂的最大应力。

② 蠕变现象：金属材料在高温环境下长期工作，在一定应力下，会随着时间的延长缓慢不断发生塑型变化的现象。

a) 蠕变极限 (R_n)：材料在高温条件下抵抗这种缓慢塑性变形的能力。

b) 单位：MPa

③ 疲劳破坏：金属材料在小于屈服极限的循环载荷长期作用下发生破坏的现象。

a) 疲劳极限 (σ_r)：金属材料在循环应力下不发生破坏的最大应力。

b) 交变应力的循环特征值 (r)： $r=r_{\min}/r_{\max}$

(2)硬度：材料局部抵抗其他物体刻划或压入其表面的能力，是弹性、强度与塑性的综合性能指标。

① 压入硬度：布氏硬度(HB)、洛氏硬度(HRC、HRB)、维氏硬度(HV)

②金属硬度与强度间的关系：

a) 低碳钢 $\sigma_b=0.36 HB$

b) 高碳钢 $\sigma_b=0.34 HB$

c) 灰铸铁 $\sigma_b=0.1 HB$

(3)塑性：材料受力时，当应力超过屈服极限后，能产生显著变形而不发生断裂的性质。

①衡量金属静载荷下塑性变形能力的指标：伸长率 δ 、断面收缩率 ψ

a) 伸长率 δ ：材料均匀变形的能力（总伸长长度/原始长度）

b) 断面收缩率 ψ ：材料局部变形的能力（断面缩小面积/原始截面积）

②材料的伸长率和断面收缩率越大，塑性越好。

③化工设备材料一般要求 $\delta=10\%-20\%$ （过高塑性导致强度下降）

(4)韧性：材料在外加载荷突然袭击时的一种及时并迅速塑性变形的能力。

① 冲击韧度 α_k ：使材料破坏所消耗的功/试件的截面面积 (J/cm^2)

② 低温容器所用钢板 α_k 值不得低于 $30J/cm^2$

2、物理性能：密度、熔点、线膨胀系数、导热性、导电性、弹性模数与泊松比。

3、化学性能

(1)耐腐蚀性：金属和合金对周围介质侵蚀的抵抗能力

孤身苦读多寂寞，扎堆学习欢乐多。

(2)抗氧化性：高温氧化，降低表面硬度和抗疲劳强度（选耐热材料）

4、加工工艺性能

(1)可铸造性能：液体金属的流动性和凝固过程中的收缩和偏析倾向。

(2)可锻造性能：金属承受压力加工的能力。

(3)可焊接性能：金属材料在一定条件下，通过焊接形成优质接头的可能性。

(4)可切削加工性能：材料在切削加工时表现的性能

7.2 铁碳合金

1、铁碳合金的组织结构

(1)金属的组织与结构

① 铁的晶体结构：面心立方晶格（塑性好）和体心立方晶格（强度高）。

② 铁：球墨铸铁、细片状石墨、片状石墨（强度依次减小）。

(2)纯铁的同素异构转变： $\gamma - \text{Fe}(\text{面心立方晶格}) \xrightleftharpoons{910^\circ\text{C}} \alpha - \text{Fe}(\text{体心立方晶格})$

(3)碳钢的基本组织

① 碳素体：碳溶解在 $\alpha - \text{Fe}$ 中形成的固溶体。

② 奥氏体：碳在 $\gamma - \text{Fe}$ 中形成的固溶体。

③ 渗碳体：当碳不能全部溶入铁素体或奥氏体时，剩余的C将与Fe形成化合物 Fe_3C 。

④ 珠光体：铁素体与渗碳体的机械混合物。

⑤ 莱氏体：珠光体和初次渗碳体的共晶混合物。

⑥ 马氏体：钢和铁从高温急冷下来的组织，是碳原子在 $\alpha - \text{Fe}$ 中过饱和的固溶体。

2、铁碳合金状态图（P83）

3、铸铁：其含碳量一般在2%以上，并含有有益元素Si、Mn及杂质元素S、P。

(1)分类：灰铸铁、球墨铸铁、高硅铸铁、可锻铸铁等。

4、钢的热处理：把钢材在固态下加热到一定温度，保温一段时间，然后以不同速度冷却，以改变其组织和性能的一种工艺操作称之为热处理。

(1)退火和正火：

① 退火：将工件缓慢加热到相变温度以上某一温度，保温一定时间，随炉缓慢冷却。以得到状态图上的组织。**目的**：细化晶粒，提高力学性能；降低硬度、提高塑性、便于冷加工；消除部分内应力，防止工件变形。

② 正火：正火加热方法同退火，只是置于空气中冷却。**目的**：晶粒变细，韧性可显著提高。

(2)淬火、回火和调质

① 淬火：将工件加热至相变温度以上 $30^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$ ，保温一段时间，投入淬火剂中急速冷却。

a) 目的：为了获取马氏体组织，以提高工件硬度和耐磨性。强化钢材最主要的热处理方法。

b) 淬火剂：空气、油、水、盐水，冷却能力递增。（碳钢在水和盐水中淬火，合金钢

在油中淬火。)

② 回火：淬火后进行的一种较低温度的加热与冷却热处理工艺。

a) 目的：消除淬火内应力，降低硬度、脆性。

b) 处理方法：

i. 低温回火：150~250℃，得到的组织：回火马氏体。

ii. 中温回火：350~450℃，具有一定的韧性和高的弹性极限及屈服极限。

iii. 高温回火 500~650℃，具有适当的强度和足够的塑性和韧性。

③ 调质：淬火后高温回火称调质处理。

(3)表面淬火：快速加热使钢的表面奥氏体化后淬火冷却，获得表层硬而耐磨的 M 组织，心部仍保持原来的组织。应用：中碳钢和中碳低合金钢

(4)化学热处理：将工件置于特定的介质中加热、保温，使介质中的活性原子渗入工件表层，以改变表层的化学成分、组织和性能。

7.3 钢的分类

1、碳素钢：含碳量小于 2%的铁碳合金称为碳素钢

(1)常存杂质元素对钢材性能的影响 (P87)

杂质：硫、磷、锰、硅、氧、氮、氢等

(2)分类

①普通碳素钢：含硫、磷杂质较多。

②优质碳素结构钢：硫、磷含量较普通碳素钢低， $S < 0.03\% \sim 0.045\%$ ； $P < 0.04\%$ 。

A、分类：低碳钢、中碳钢、高碳钢 (含 C、Mn 量递增、机械强度递增，塑性可焊接性递减)

2、低合金钢

(1)合金元素对钢的影响 (P89)

常用的合金元素有：铬(Cr)，锰(Mn)，镍(Ni)，硅(Si)，硼(B)，钨(W)，钼(Mo)，钒(V)，钛(Ti)，铝(Al)和稀土元素(RE)等。

(2)分类

①可焊接的低合金高强度结构钢

②合金结构钢

3、高合金钢

(1)不锈钢：耐空气、蒸汽和水等弱腐蚀介质的钢为不锈钢，耐酸、碱、盐等强腐蚀性介质的钢为耐酸钢。(习惯上这两种钢统称为不锈钢。)

①主要合金元素：铬、镍、锰、钼、钛

②分类：

a) 按化学成分分：铬不锈钢、铬镍不锈钢

b) 按钢的组织结构分：奥氏体型、奥氏体-铁素体双相型、铁素体型、马氏体型、沉淀硬化型。

(2)耐热钢：在高温下具有较高强度和化学稳定性的合金钢。

4、专用钢

(1)压力容器用钢：工况往往是高温、高压或低温，具有危险性。

(2)低温用钢：工作温度在 -20°C ~ -269°C 之间的工程结构用钢。

5、钢材的品种及规格

钢材的品种有钢板、钢管、型材、棒材、锻件等。

7.4 有色金属材料（铁以外的金属）

1、铝及其合金

(1)铝及其合金牌号表示方法（P95）

(2)纯铝：高纯铝、工业纯铝。

(3)铝合金：由铝锰系或铝镁系组成的铝合金有优良的耐蚀性，称为防锈铝。

①Al-Mn 合金

②经热处理可强化的铝合金：硬铝、超硬铝、锻铝。

③铸造铝合金

2、铜及其合金

(1)纯铜—紫铜

(2)铜合金

①黄铜：Cu-Zn 系合金

②青铜：Cu-Sn、Cu-Al、Cu-Be 系等合金。

③白铜：Cu-Ni 系合金

④铸造铜合金

3、钛及其合金：钛的密度小、强度高、耐腐蚀性好、熔点高，在军工、航空、化工广泛应用。

7.5 非金属材料

1、无机非金属材料

(1) 化工陶瓷：有良好耐腐蚀性、足够不透性、耐热性及一定机械强度。但导热性差，热膨胀系数较大，受碰击或温差急变易破裂。

(2) 化工搪瓷：具有优良的耐腐蚀性能（除 HF，含氟化物溶液、浓热磷酸、强碱外）、力学性能和电绝缘性能，但易碎裂。

(3) 辉绿岩铸石：铸石除对氢氟酸和熔融碱不耐腐蚀外，对各种酸、碱、盐都具有良好的耐腐蚀性能。

(4) 玻璃：耐腐蚀性好、清洁、透明、阻力小、价格低等特点，但质脆、耐温度急变性差，不耐冲击和振动。

2、有机非金属材料

(1)工程塑料：主要成分树脂（决定其性质的主要因素）

①一般添加剂：填料、增塑剂、稳定剂、固化剂

②分类

- a) 热塑性塑料：遇热软化或熔融，冷却后又变硬，可反复多次。如聚氯乙烯、聚乙烯等。
- b) 热固性塑料：固化后不能用加热的方法使之再软化，如酚醛树脂、氨基树脂等。

③常见工程塑料

- a) 硬聚氯乙烯塑料(PVC)：使用温度为 $-10\sim+55^{\circ}\text{C}$ 。当温度在 $60\sim90^{\circ}\text{C}$ 时，强度显著下降。
- b) 聚乙烯塑料(PE)：在室温下，除硝酸外，对各种酸、碱盐溶液均稳定，对氢氟酸特别稳定。
- c) 耐酸酚醛塑料(PF)：使用温度为 $-30^{\circ}\text{C}\sim+130^{\circ}\text{C}$ 。这种塑料性质较脆、冲击韧性较低。
- d) 聚四氟乙烯塑料(PTFE)：耐强腐蚀性介质腐蚀。甚至超过贵金属金和银，有塑料王之称。
- e) 玻璃钢：具有优良的耐腐蚀性能，强度高和良好的工艺性能，是一种新型非金属材料。

(2)涂料：是一种高分子胶体混合物溶液，涂在物体表面，能形成一层附着牢固的涂膜，用来保护物体免遭大气腐蚀及酸、碱腐蚀。常用防腐涂料：防锈漆、底漆、大漆、酚醛树脂漆、环氧树脂漆以及某些塑料涂料。

(3)不透性石墨：由各种树脂浸渍石墨消除孔隙后得到。

- ① 优点：有较高的化学稳定性和良好的导热性，热膨胀系数小，耐温度急变性好；不污染介质，能保证产品纯度；加工性能良好。
- ② 缺点：机械强度较低、性脆。

7.6 化工设备腐蚀及防腐蚀问题

1、金属的腐蚀

- (1)化学腐蚀：①金属的高温氧化与脱碳。②氢腐蚀
- (2)电化学腐蚀：①腐蚀原电池。②微电池与宏电池。③浓差电池。④电化学腐蚀过程。

2、金属腐蚀破坏的形式

- (1)均匀腐蚀
- (2)局部腐蚀：①点腐蚀。②晶间腐蚀
- (3)应力腐蚀

3、金属设备的防腐蚀措施

- (1)衬覆保护层：①金属覆盖层。②非金属覆盖层
- (2)电化学保护：①阴极保护。②阳极保护
- (3)加入缓蚀剂

4、金属腐蚀的评定方法

- (1)根据质量变化 (2)根据腐蚀深度

7.7 化工设备材料选择

1、介质的腐蚀性

- 2、设计压力
- 3、设计温度
- 4、其他

第八章 焊接

8.1 电弧焊

1、手工电弧焊

(1)原理：利用电弧产生高温来熔化金属进行焊接。

(2)特点及应用：使用范围广，非常灵活，安全性高，焊接质量好，效率高，节省电能，适用于长缝焊接。常用于焊接 $>2\text{mm}$ 的钢。

2、埋弧电弧焊

(1)原理：为提高焊接质量和生产率，改善劳动条件，将焊条电弧焊的引弧、焊条送进、电弧移动几个动作均由机械自动来完成，称为自动焊。

(2)特点及应用：

- ①焊接速度快，焊缝外观质量好、均匀。
- ②可防止弧光四射及熔化金属的飞溅。
- ③焊车带着焊丝自动均匀地向前移动或焊车不动，焊件均匀移动。
- ④可用于摩托车的车架、平叉等的焊接。

3、氩电弧焊：

(1)原理：以氩气作为保护气体，以焊丝作为电极进行焊接

(2)特点及应用：

- ① 氩气的散热能力较低，一旦引燃后，能较稳定地燃烧。
- ② 焊接成本高。焊接易氧化的有色金属、稀有金属、高强度合金钢及一些特殊用途的高合金钢（不锈钢、耐热钢）。
- ③ 分类：非熔化极氩电弧焊（TIG 焊）、熔化极氩电弧焊（MIG 焊）
- ④ 可用于摩托车的车架、平叉等的焊接。

8.2 焊接材料

1、电焊条的组成（内部钢芯和外侧药皮）

(1)钢芯：主要作用导电，并在焊条端部形成具有一定成分的熔敷金属。

(2)药皮：又称为涂料，保证熔敷金属具有一定的成分和性能。

2、电焊条牌号与型号（P109、110）

3、焊条的选用

- (1)焊缝机械性能与基体金属一致；
- (2)在化学成分方面接近基体；

(3)还应根据焊接位置及板厚确定药皮类型；

8.3 焊接接口和坡口形式

1、对接接头

(1)容易焊透，受力情况好，应力均匀，联接强度高，焊接接头质量容易保证。

(2)坡口的主要作用是保证焊透：X形坡口可减少焊条金属量二分之一，变形及内应力小；较重要的焊接结构用U形坡口

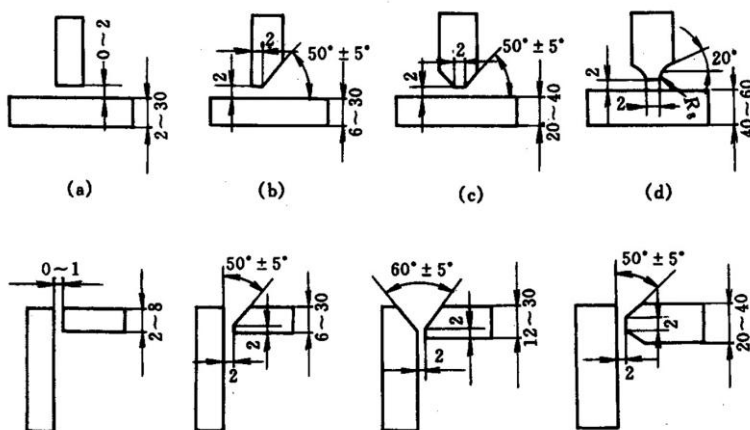
(3)等厚度焊接，避免焊不透或烧穿；

要求：薄板 $\leq 10\text{mm}$ ，两板厚度差 $\geq 3\text{mm}$ ；

薄板 $> 10\text{mm}$ 而厚度差大于薄板30%，或超过5mm时，需削薄厚度边缘。

2、T形接头和角接头

不开坡口、单边和双边V形及K形坡口



3、塔接接头

不开坡口，均属角焊缝，分为端焊缝和侧焊缝

8.4 焊接缺陷与焊接质量检验

1、焊接缺陷

(1)焊接变形

(2)焊接外部缺陷：①焊缝过高。②焊缝过凹。③焊缝咬边。④焊瘤。⑤烧穿。

(3)焊接内部缺陷：①未焊透。②夹渣。③气孔。④裂纹（热裂纹、冷裂纹）

2、焊接的检验

(1)外观检查

(2)无损探伤

(3)水压试验和气压试验

(4)焊接试板的力学性能试验

第三篇 容器设计

第九章 容器设计基础

9.1 概念

分类

1. 按形状：①方形和矩形容器；②球形容器；③圆筒形容器
2. 按承压性质①低压容（0.1~1.6MPa）②中压容器（1.6~10MPa）③高压容器（10~100MPa）④超高压容器（100MPa 以上）
3. *按容器壁温①常温容器（-20~200℃）②中温容器③高温容器④低温容器

9.2 内压容器设计

设计/计算(记忆公式时可以记一套，比如全记应力公式，或者是压力公式、厚度公式)
首先看懂下标的含义 d 设计；c 计算；w 工作；e 有效；n 名义。

9.1.1 应力

✧ 对于圆筒

$$\text{轴向应力}\sigma_1 = \frac{pD}{4\delta}, \text{环向应力}\sigma_2 = \frac{pD}{2\delta}$$

由 $\sigma_2 > \sigma_1$ ，以环向应力作为条件判据。

✧ *对于其他壳型结构

应用书上 p127 平衡方程，由于一般容器高度对称，因此直接使用推出的公式。

✧ *对于受液体静压

将 p 换成 ρgh 即可。

9.1.2 强度

即 $\sigma_{max} \leq [\sigma]^t$ ，若有焊接，则 $\sigma_{max} \leq [\sigma]^t \Phi$ （ $[\sigma]^t$ 是该温度下的许用应力， Φ 是焊头系数）。

✧ 筒体强度

$$\sigma_2 = \sigma_{max} \leq [\sigma]^t (\Phi)$$

$$\text{即} \frac{p(D_i + \delta)}{2\delta} \leq [\sigma]^t (\Phi) \rightarrow \delta = \frac{pD_i}{2[\sigma]^t \Phi - p} \quad \text{这两个式子是等效的}$$

在实际的设计中，厚度还要考虑腐蚀余量 C_2 ，钢板负偏差 C_1 ($C = C_1 + C_2$)

$$\delta_e = \delta - C$$

对于已在役圆筒，判断条件为

$$p \leq [p] = \frac{2[\sigma]^t \Phi \delta_e}{D_i + \delta_e} \text{ 或 } \sigma = \frac{p_c(D_i + \delta_e)}{2\delta_e} \leq [\sigma]^t \Phi$$

✧ 球壳强度

$$\sigma = \frac{p_c(D_i + \delta_e)}{4\delta_e} \leq [\sigma]^t \Phi$$

需要注意的是：

碳素钢和低合金钢制容器 δ 不小于 3mm；高合金钢制容器 δ 不小于 2mm。为了安全，在使用前容器需进行压力试验。（具体过程见于书 p133）

孤身苦读多寂寞，扎堆学习欢乐多。

9.3 外压容器设计

9.3.1 长短圆筒

$L_{cr} = 1.17D_o \sqrt{\frac{D_o}{\delta_e}}$ 此为判断长圆筒的条件 $L > L_{cr}$ ，反之为短圆筒。

✧ 对于长圆筒 $p_{cr} = \frac{2Et}{1-\mu^2} \left(\frac{\delta_e}{D_o}\right)^3$ 对于钢制圆筒， $\mu = 0.3$

✧ 对于短圆筒 $p_{cr} = 2.59Et \frac{(\delta_e/D_o)^{2.5}}{L/D_o}$

✧ $[p] = \frac{p_{cr}}{m}$ ， m 为安全系数，取 3

9.3.2 外压容器

外压容器在使用前也需试压，具体见于书 p141。

9.3.3 加强圈

就一个公式：
$$L = \frac{2.59 E D_o \left(\frac{\delta_e}{D_o}\right)^{2.5}}{mp}$$

9.4 封头设计

3.1 椭圆形封头

✧ 内压 $\delta = \frac{Kp_c D_i}{2[\sigma]^t \Phi - 0.5p_c}$ ，椭圆的 $a:b=1:2$ 时， K 取 1；其等效式为 $[p] = \frac{2[\sigma]^t \Phi \delta_e}{K D_i + 0.5 \delta_e}$

✧ *外压时，需查表，见于书 p145

✧ *半球形封头，蝶形封头，球冠形封头，锥形封头，无折边封头，折边锥形封头见于书 p146

✧ 3 平板封头 $\delta_p = D_c \sqrt{\frac{Kp_c}{[\sigma]^t \Phi}}$