

力 学

(强度计算及电测)

广 东 农 林 学 院

农 机 系 力 学 教 研 组 编

一九七六年十一月

力 学

《强度计算及电测》

目 录

第一章	基本概念	1
§ 1—1	强度、刚度及稳定性	1
§ 1—2	变形的形式	3
§ 1—3	外力和内力·截面法	5
§ 1—4	横截面上的应力	7
第二章	材料的机械性能·强度条件的普遍形式	9
§ 2—1	概 述	9
§ 2—2	拉伸时材料的机械性能	10
§ 2—3	压缩时材料的机械性能	16
§ 2—4	木材的机械性能	17
§ 2—5	材料机械性能的比较	18
§ 2—6	许用应力及安全系数	21
§ 2—7	强度条件的普遍形式	24
第三章	四种基本变形的计算	25
§ 3—1	拉伸和压缩时的强度计算	25
§ 3—2	剪切和挤压时的强度计算	39
§ 3—3	扭转时的内力——扭矩图	49
§ 3—4	扭转时的强度计算和刚度计算	60
§ 3—5	弯曲时的内力——剪力图和弯矩图	81
§ 3—6	弯曲时的应力及其强度计算	97
§ 3—7	弯曲时的变形及其刚度计算	123
第四章	弯曲的进一步问题	142
§ 4—1	利用微分关系作剪力图和弯矩图	142
§ 4—2	简单刚架的弯矩图	148
§ 4—3	组合图形的惯性矩·平行移轴定理	151
§ 4—4	用变形比较法解超静定梁	166

第三章	组合变形的强度计算	164
§ 5-1	概 述	164
§ 5-2	弯曲与拉压的组合	165
§ 5-3	双向弯曲	169
§ 5-4	弯曲与扭转的组合	176
§ 5-5	转轴上载荷的确定	191

第六章	压杆的稳定计算	204
§ 6-1	概 述	204
§ 6-2	细长压杆的临界力	205
§ 6-3	临界力公式的应用范围	208
§ 6-4	压杆的稳定校核	210
§ 6-5	提高压杆稳定性的一些措施	212

第七章	动载荷	220
§ 7-1	概 述	220
§ 7-2	惯性力问题	221
§ 7-3	冲击载荷	224
§ 7-4	提高构件承冲能力的一些措施	230

第八章	电测应力分析	234
§ 8-1	概 述	234
§ 8-2	拉压及扭转时的破坏分析	236
§ 8-3	一点应力状态分析	240
§ 8-4	应力状态分类	245
§ 8-5	广义虎克定律	247

第九章	农机电测技术基本知识	249
§ 9-1	电阻应变仪的基本原理	249
§ 9-2	测定应变及计算应力	266
§ 9-3	测量仪器	281
§ 9-4	电阻变换器在农机试验中的应用	304
§ 9-5	试验测得数据的处理	321
§ 9-6	电机具电测实例	(另编)

第一章 基本概念

§1—1 强度、刚度及稳定性

在毛主席的“农业的根本出路在于机械化”的光辉照耀下，广大革命技术人员正和工农兵一道设计和试制各种农业机械，如收割机、插秧机、耕耙犁和拖拉机等，为在30年全国基本实现农业机械化而作出贡献。

在设计和试制各种新型农业机械时，必须把冲天的革命干劲和实事求是的科学态度结合起来，这就需要我们在正确的路线指引下，具有科学分析的头脑，掌握有关的力学知识和设计制造的能力。

大家知道，各种农业机械，如收割机、插秧机、耕耙犁和拖拉机等，都是由若干构件如齿轮、轴、键、螺栓等组成的，而任何构件都是由某种材料制成的，它们都具有一定的截面形状和尺寸，并且承受着一定的外力的作用，因此，构件所承受的外力，它的截面形状和尺寸，以及它所需用的材料，便构成我们在设计和试制农业机械时必须考虑的三个要素。

加在构件上的外力，就是它所负担的载荷，构件所具有承担载荷的能力，我们简称为构件的承载能力。构件在外力作用下都要产生变形，构件承载后随着外力的除去而能完全消失的变形，称为弹性变形，外力除去后仍不能消失的变形，称为塑性变形或残余变形。一般物件当外力不超过某一限度时将产生弹性变形，当外力超过某一限度后除了产生弹性变形外，还跟着产生塑性变形，若外力继续增加，最后将导致构件断裂而破坏。

我们设计和试制出来的农业机械必须要安全适用，它的各个构件必须能够正常地工作，这就是说，要求构件在承载后，不能够产生破坏；（包括断裂或塑性变形）不允许产生过量的弹性变形；不应该丧失自己原有的平衡形式，这就是对构件提出了强度、刚度和稳定性的要求。

所谓强度，是指构件在外力作用下抵抗破坏（包括断裂或塑性变形）的能力，这个要求是我们设计农业机械时最重要和最基本的要求。我们设计的所有农业机械，都要满足这个要求。例如我们设计的联合收割机，如果在工作的过程中割刀因强度不够而折断了，那就根本不能正常地进行收割麦子的工作。

所谓刚度，是指构件在外力作用下抵抗弹性变形的能力。在农业机械中，对一些精确度要求较高的零件，它们受外力作用后，除了满足强度要求而不破坏外，还要不能产生过量的弹性变形，否则将导致工作条件的恶化。例如拖拉机的齿轮轴，如果受力后变形过大，将造成齿轮啮合不良，工作冲齿大，轴承过早磨损等。又如收割机的滚筒轴，如果刚度不够，将影响到脱谷的质量。

所谓稳定性，是指构件在外力作用下保持其原有平衡形式的能力。在农业机械中对于一些受压的细长杆，如拖拉机的气门挺杆、连杆和液压油缸的活塞杆等，它们工作时往往不是由于强度或刚度不够而不能胜任工作，而是由于承载后当压力达到一定数值时不能保持自己原有的直线平衡形式而突然出现侧向弯曲，即丧失稳定的缘故。因此，我们要求受压的细长杆必须具有足够的稳定性。

怎样才能使构件具有足够的强度、刚度和稳定性，从而能安全可靠地工作呢？如果加大构件的截面尺寸或采用较好的材料，将能提高构件的承载能力，但构件截面尺寸的加大，将增加机器的重量，影响了实用性能；优质材料的选用，将导致生产成本的增加，影响了产品的经济性。由此可见构件的安全可靠和经济实用之间是存有矛盾的，我们研究构件的强度、刚度及稳定性的目的，就是在于合理地解决上述矛盾，为构件在承载后选择适当的材料、截面形状和尺寸，使构件既能安全可靠而又经济实用地工作。

“理论的基础是实践，又反过来为实践服务”。强度、刚度及稳定性的理论和计称方法，是千百年来广大劳动人民智慧的结晶和实践经验的总结，反过来必又推动生产的向前发展，为社会主义建设事业服务。

伟大领袖毛主席指出：“矛盾着的对立面又统一，又斗争，

由此推动事物的运动和变化”正是安全和经济这一对矛盾，推动着农业机械强度、刚度及稳定性的理论和计称方法的不断运动和发展。

§1-2 变形的本形式及其组合

前已指出，构件在外力作用下，都要产生一定程度的变形。我们这里主要研究的对象是其截面尺寸小于轴线长度的杆形构件，简称杆件（如农机上的齿轮轴、连杆、吊车梁……等）。

由于杆件受力的形式是各式各样的，因此其所产生的变形形式也是相对复杂的。尽管具体的变形形式各式各样，但按照它变形的特点，可以归纳为四种基本变形形式，或是它们中间的某些组合。现分述如下：

〈一〉拉压变形：这种基本变形是由一对大小相等、方向相反、作用线与杆轴线重合的外力 P_1 或 P_2 所引起，使杆的长度发生伸长或缩短的变化。也即是使杆的任意两横截面间的距离发生改变。

如图 1—1 所示的农机厂中常用的单臂吊车，工作时杆 AB 受轴的拉伸作用〔见图 1—1 (a)〕，而梁 BC 则受轴向压缩作用〔见图 1—1 (b)〕

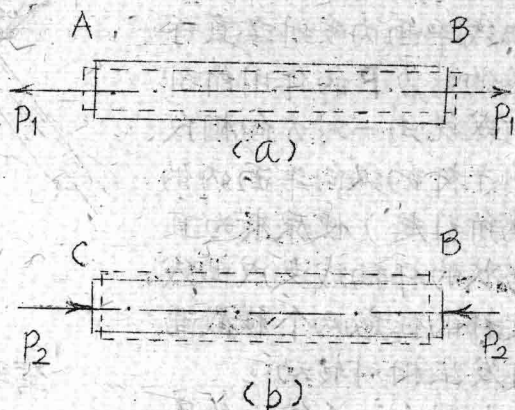
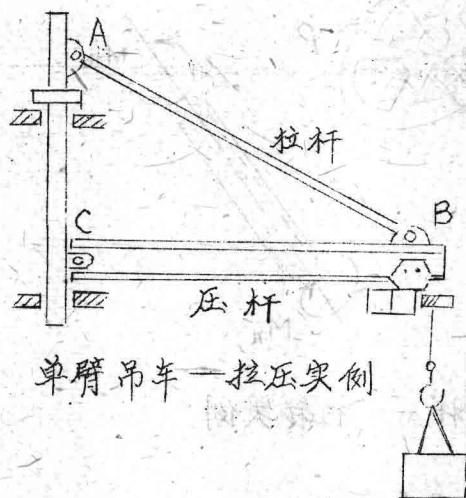


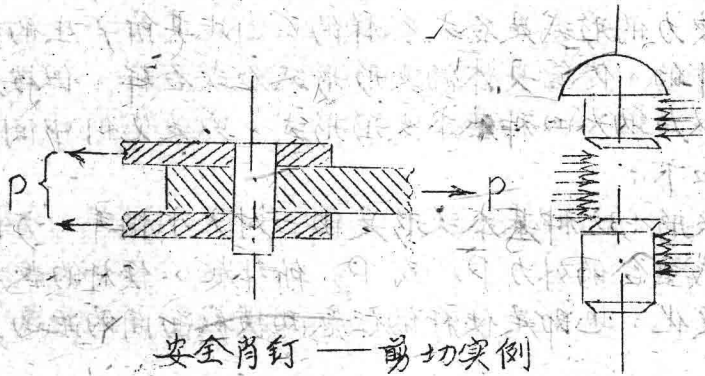
图 1—1

<二> 剪切变形：这种基本变形是由一对大小相等、方向相反、不在一直线上的力所引起的，杆的截面沿外力作用方向发生错动。

如图 1-2 所示的机引五铧犁牵引机架上的安全销钉，工作时便受剪切作用。

<三> 扭转变形：这种基本变形是由一对转向相反、作用在垂直于杆轴线的两个平面内的力偶所引起，杆的一端相对另一端绕轴产生转动。

如图 1-3 所示的拖拉机驾驶杆，工作时便受扭转作用。

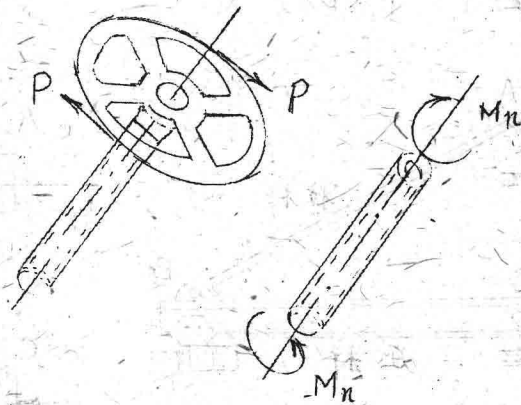


安全销钉 —— 剪切实例

图 1-2

<四> 弯曲变形：这种基本变形是因为杆件在它的轴线平面内受到垂直于轴线的外力 P 的作用所引起，(或说由一对方向相反、作用于杆的纵向平面内的力偶所引起) 使原来为直线形状的杆轴线变成曲线，即使杆的任意两个横截面各自发生相对转动。

如图 1-4 所示的拖拉机前桥，工作时便受弯



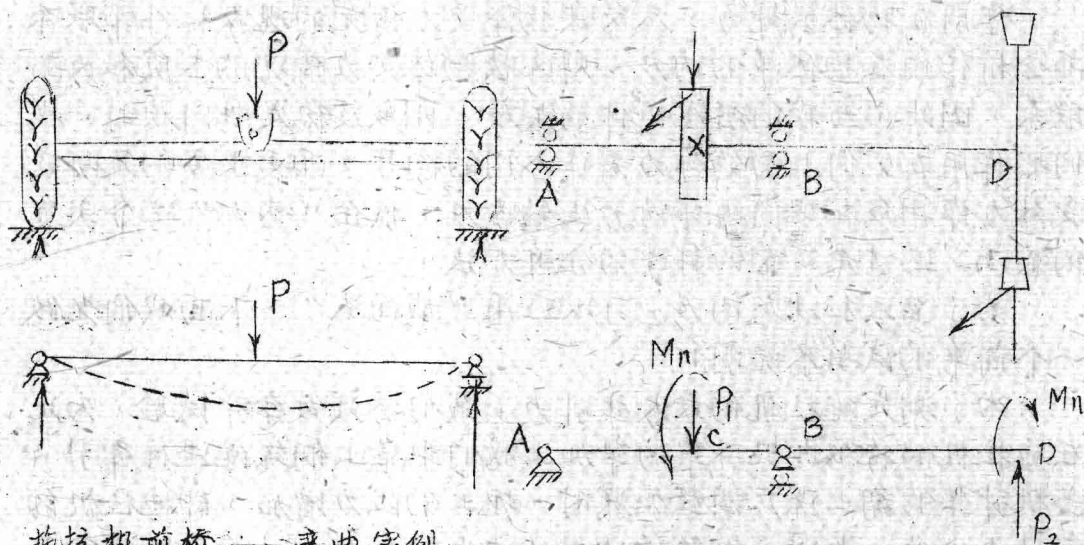
驾驶杆 —— 扭转实例

图 1-3

曲作用。

〈五〉组合变形：某些杆件受力后同时产生两种或两种以上的基本变形，这种情况，称为组合变形。

如图1—5所示的插秧机的地轮轴，工作时即受弯曲和扭转的组合作用。



拖拉机前桥——弯曲实例

插秧机地轮轴——组合变形实例

图1—4

图1—5

§1-3 外力和内力、截面法：

在静力学中，我们主要研究了物体的受力分析及其平衡规律，并通过平衡条件来求出未知反力。那时候我们研究的对象主要是作用在物体上的外力（包括支座反力）而物体在受力后其内部各点之间的相互作用力我们没有深究，为了进一步研究构件的强度、刚度及稳定性问题，我们必须首先要了解构件在受力后它所产生的内力。

什么叫内力呢？我们知道，任何物体在外力作用下，它的尺寸和形状一定有或多或少的改变，即发生变形，当外力使物体发生变形的同时，物体内部分子间就伴随着产生一种抵抗力，这种

抵抗力它力图保持物体原来的状态而抵抗变形,这种抵抗力就叫内力,或称抗力,一般说来,外力一去除,内力就没有了。

伟大领袖毛主席教导我们:“我们看事情必须要看它的实质,而把它的现象只看作入门的向导,一进了门就要抓住它的实质,这才是可靠的分析方法。”

作用在物体的外力,只反映物体受力情况的现象和外部联系,而分析作用在物体中的内力,则反映物体受力情况的本质和内部联系,因此,当我们研究零件的强度、刚度及稳定性问题时,我们把作用在它们上面的外力看作入门的向导,而更重要的是研究受外力作用后在它们内部所产生的内力,抓住“内力”这个实质的东西,这才是可靠的科学的分析方法。

为了显示和决定内力,可以运用“截面法”,下面我们先做一个简单的试验来说明:

为了测定拖拉机的最大牵引力,我们必须做牵引试验,为此,在拖拉机的拖板和机引擎的犁加上我们联结上钢丝绳进行牵引,当机引擎的翻土深度调整加深时,泥土的阻力增加,即拖拉机的牵引力上升,当时,钢丝绳中的内力也跟着加大,为了测定牵引力的大小及其变化情况,我们在钢丝绳的中间接上一个测力计,见图1-6。

当犁深时,测力计的指针指向数值大的方面,当犁浅时,则指向数值小的方面。测力计上指针所指示的数值,正反映出牵引力的大小,也是钢丝绳所承受内力的大小,从这个简单的试验中我们知道:内力总是与外力大小相等,方向相反的。换句话说,内力总是与外力维持平衡的。

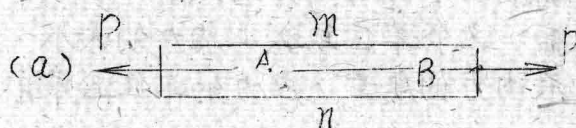
毛主席说:“学游泳有个规律,摸到了规律就容易学会。”根据内力总是与外力保持平衡这个关系,我们就可以运用“截面法”找出受力物体中每一个截面上的内力,下面我们举一个简单拉伸的情况为例(如单臂吊车的拉杆受力情况),说明“截面法”的具体步骤如下:



(见图1-7) -

〈一〉根据平衡条件, 求出所有未知外力。(本例假定外力 P 为已知)

〈二〉在需求内力的截面上将杆件假想地剖开。现在假定要求 $m-n$ 截面上的内力故把 $m-n$ 截面假想剖开。见图1-7(a)



〈三〉去掉一部分, 留下另一部分, 并用内力代替去掉部分对留下部分的作用。现在假定去掉 B 部分, 留下 A 部分, 并用内力 N 代替 B 部分对 A 部分的作用。见图1-7(b)。

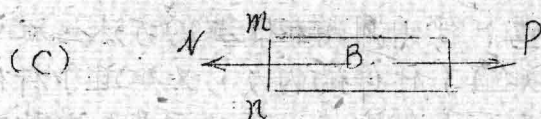


图1-7

〈四〉建立留下部分的平衡方程式, 求出内力。

$$\sum X = 0, \quad N - P = 0,$$

$$\therefore N = P$$

同理, 如果留下 B 部分来作研究, 也可以得出相同的结果即 $N = P$ [见图1-7(c)]

截面法是研究构件强度、刚度及稳定性问题中的一个基本方法, 十分重要, 一定要掌握好, 后面将结合四种基本变形的计标, 进一步学习和掌握它。

§1-4 横截面上的应力:

前面我们已经研究了杆件在载荷作用下横截面上所产生的内力这个问题。但是求出内力并没有完全解决问题。因为我们所感兴趣的是物体内部产生了这样大小的内力时究竟会不会破坏? 显然, 在内力大小一定的情况下, 受力面积的粗细不同, 则杆件的

强度也不同，所以，光知道截面上内力的合力，还不能解决强度问题，而必须要知道内力在截面上的分布情况，亦即各处内力的分布集度。

衡量一个物体内力的大小，应该用单位截面积上内力的大小的依据，这个单位面积上内力的大小，就叫做应力。因此，应力就表示内力的度量，应力的单位通常用 Kg/cm^2 或 Kg/mm^2 来表示。

伟大领袖毛主席教导我们：“社会实践的继续，使人们在实践中引起感觉和印象的东西反复了多次，于是在人们的脑子里生起了一个认识过程中的突变（即飞跃），产生了概念。……循此渐进，使用判断和推理的方法，就可产生出合乎逻辑的结论来。”

知道了杆件的内力，又知道了杆件的截面积，要想找出截面上任意一点的应力，就必须要知道截面上内力分布的规律，这就需要根据实验来观察杆件受力后的变形现象，并根据现象作出假设和推论，然后进行理论分析，这样，最后才能确定应力的大小、方向以及在截面上的分布情况，“产生出合乎逻辑的结论来。”

下面我们先做一个简单拉伸的试验来说明：取一等截面杆，为了便于观察实验中杆的变形现象，在杆未受力之前，先在杆的表面划上表示横截面的直线 ab 和 cd ，当杆件受拉力 P 后，可以观察到这些直线都作平衡移动，如图中 $a'b'$ 及 $c'd'$ 所示（见图 1-8）。

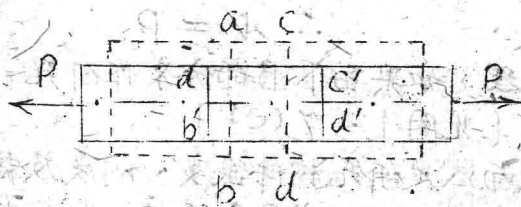


图 1-8

从上述现象可以作出如下假设，杆件变形前的横截面是平面，变形后仍保持为平面——平面假设。

根据上述现象与假设可以认为：受简单拉伸或压缩的杆件，其横截面上的内力是均匀分布的，即在截面上各点处产生垂直于横截面的应力，称为正应力，以 σ 表示。并且其大小相等——正应力平均分布在横截面上。

由此可以得出正应力的公式为：

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

或

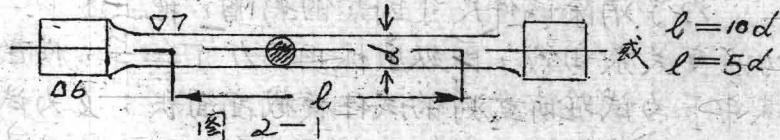
$$\sigma = \frac{N}{F}$$

式中： N — 轴向力（内力）， F — 横截面面积

σ — 正应力（单位： Kg/cm^2 或 Kg/mm^2 ）。

第二章 材料的机械性能、强度 条件的普遍形式

§2-1 概述



“一切真知都是从直接经验发源的”。在外力作用下不同的材料所表现的机械性能不同。所谓材料的机械性能概括来说是指构件在外力的作用下，材料抵抗破坏和抵抗变形的能力，也就是材料发生破坏或产生一定量的变形与所加外力的关系。因此，要解决构件的强度及刚度问题，就必须通过试验来研究材料的机械性能，作为合理选择材料及计称的依据，并为合理制订工艺规程提供参考数据。

这里介绍的是在常温、静载下，材料的拉伸和压缩试验，观察不同材料的试件从开始受力直至最后破坏的整个过程，从而了解材料的外力和变形的关系，以及它们的变化规律，从而掌握材料的一些主要机械性能。

为了使试验结果能互相比对，采用标准试件，形状如图2-1所示。

式中， l 为标距长度（工作段长度）， d 为圆试件直径。试件两端加粗，是为了避免在试验机夹头中破坏，测取变形的标点至加粗的端部应保持一定距离以避免受端部应力分布不均的影响。

材料的拉伸和压缩试验在万能材料试验机上进行，把试件装在试验机上，开动机器后，试件受到从零慢慢逐渐增加的拉力 P 的作用，并在标距长度 L 内产生相应的变形 ΔL 。装接好试验机上的自动绘图设备，即可自动绘出 $P - \Delta L$ 的关系图，如图 2—2 所示，这里： $\Delta L = L' - L$ L' —试件受力后的长度； L —试件原长度

§2—2 拉伸时材料的机械性能：

<一> 低碳钢的拉伸试验：

低碳钢是工程上常用的材料，如吊车车身的结构件、地脚螺钉、紧固螺栓、拉杆、吊钩等，由于低碳钢表现的机械性能具有典型性，故选择低碳钢作为拉伸试验的典型材料。

为了消除试件尺寸因素的影响，把上述 $P - \Delta L$ 曲线改为应力应变关系曲线，即纵坐标用应力 $\sigma = \frac{P}{F}$ ，横坐标用应变 $\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$ ，其中 F 为试验前量测的试件横截面面积； L 为试验前试件的标距，画出的曲线与 $P - \Delta L$ 拉伸图完全相似，只是两者的纵横坐标比例尺不同而已，从应力应变图上可以得到一系列的重要机械性能见图 2—2 现分别说明特点如下：

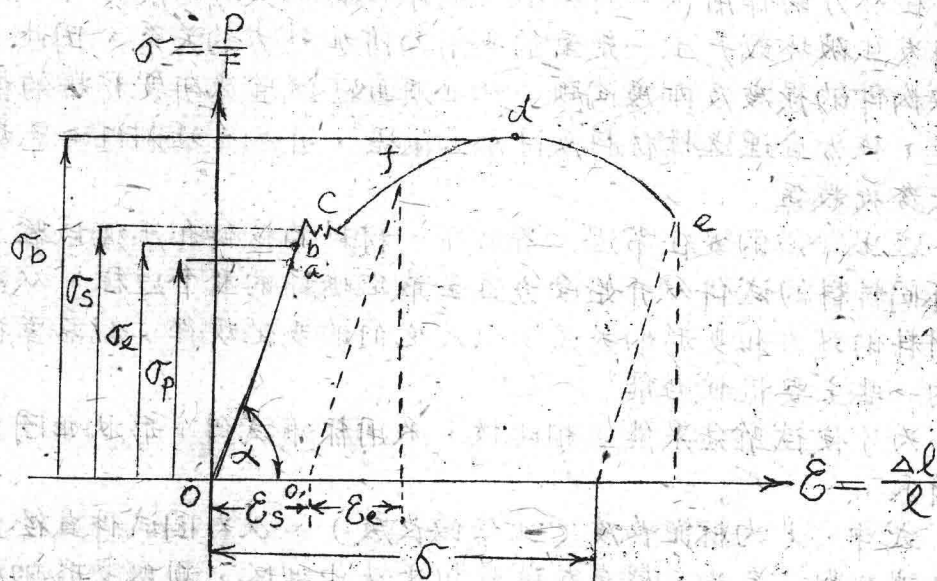


图 2—2

(1) 比例极限：图中 oa 为一直线，说明了这范围内应力和应变成正比例关系，相应于 a 点的应力称为比例极限，以 σ_p 表示，对于低碳钢 (A_3) $\sigma_p = 2000 \text{ Kg/cm}^2$ ，从图中求得：

$$\tan \alpha = \frac{\sigma}{\epsilon} = E$$

即 $\sigma = E \cdot \epsilon$

上式称为拉伸时的虎克定律，说明在比例极限内应力与应变成正比关系，在农机的测试中，常利用这种关系，将测得的应变转换为应力或载荷，从而了解农机具的受力及外载情况。式中的比例常数 E ，称为材料的弹性模数，它表示材料的弹性性质， E 值越大，则材料抵抗弹性变形的能力越强， E 值由实验测定，对于低碳钢 $E = 2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$ 。一些常用材料的 E 值，可从“农机设计手册”上册 51 页表 1—49 中查得。

若以 $\sigma = \frac{N}{F}$ 及 $\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$ 代入上述虎克定律中，则其另一

表现形式为

$$\Delta l = \frac{Nl}{EF}$$

从上式中可知，分母 EF 越大，则拉伸变形 Δl 越小，所以 EF 称为材料的抗拉（压）刚度，其值越大，则变形越小。

拉伸时，试件除了产生纵向变形 Δl 外，还要产生横向应变，横向尺寸从直径 d 缩小到 d' （见图 2—3），则横向变形为 $\Delta d = d' - d$ ，横向应变为：

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

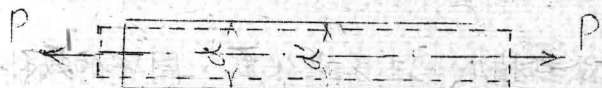


图 2—3

Δd 为负值，表示变形后直径是减小的。

同样 ϵ' 也是负值，而纵向应变 ϵ 则为正值（对压缩来说正好相反）试验指出：各向同性材料在弹性范围内，横向应变与纵向应变之比为—常数，用 μ 表示，习惯上采用正值，因此：

$$\mu = -\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$$

μ 称为泊松比，它是一个无量数，也是表示材料弹性性质的一个常数，其数值可由实验测定，上式也可写为：

$$\varepsilon' = -\mu \varepsilon$$

对于低碳钢 $\mu = 0.24 \sim 0.28$ ，各种常用材料的 μ 值，可从“机械设计手册”上册51页表1—49中查得，

表2—1给出了一些常用材料的 E 和 μ 的约值。

表2—1 弹性模量和泊松比的约值

材 料 名 称	$E (10^6 \text{ Kg/cm}^2)$	μ
低 碳 钢	2.0 ~ 2.1	0.24 ~ 0.28
合 金 钢	2.1	0.25 ~ 0.30
铸 钢	1.75	—
灰 铸 铁	1.15 ~ 1.60	0.23 ~ 0.27
球 墨 铸 铁	1.6	0.25 ~ 0.29
铜 及 其 合 金	1.1 ~ 1.3	0.31 ~ 0.42
铝 及 其 合 金	0.72	0.33
木材(顺纹)	0.10 ~ 0.12	—
(横纹)	0.005 ~ 0.01	—
橡 胶	0.00003	0.47
混 凝 土	0.146 ~ 0.36	0.16 ~ 0.18

应当指出，过了点 a 后，图中的线稍微弯曲了，比 a 稍高些的点 b ，称为弹性极限，以 σ_e 表示，如果应力不超过弹性极限卸力后试件可恢复原长即属弹性变形范围，如果超过了弹性极限则会产生塑性变形，比例极限与弹性极限的数值很是接近在实际应用中常认为两者的数值相同。

(2) 屈服极限：过了点 b ，图线的坡度逐渐减少，到达 c 点附近，应变增加得很快，而应力几乎不再增加，在一定范围内波

动，材料暂时失去抵抗变形的能力。此时的应力称屈服极限（或称流动极限），以 σ_s 表示，对于低碳钢（A3） $\sigma_s \approx 2400 \text{ Kg/cm}^2$ ，如果试件表面光滑，可以看到许多倾斜的条纹，其方向与轴线约成 45° ，这是由于材料内部晶格发生滑移所引起，当滑移到一定程度，即流动极限終了时，晶格间因形状改变给继续滑移造成困难，材料逐渐恢复了抵抗变形的能力，过了屈服极限，图线又成曲线向上凸出。钢的屈服极限对热处理是一个非常敏感的指标，淬火后， σ_s 可以大幅度提高。

（3）强度极限：到了d点，试件所受的拉力为最大，相应于d点的应力称强度极限，以 σ_b 表示。强度极限是以最大载荷除以试件原横截面面积而得的应力，对于低碳钢（A3）， $\sigma_b = 4000 \text{ Kg/cm}^2$ 。

当应力达到强度极限时，试件的某一软弱部分形成颈缩（即断面发生显著的收缩）并逐渐发展（见图2—4），由于颈缩处横截面面积显著减少，故拉力虽然下降，但变形还继续增加，到e点时试件断裂。钢的强度极限对处理也是一个非常敏感的指示，淬火后， σ_b 也可以大幅度提高。

（4）塑性性能：低碳钢被拉断后，存在着很显著的不能恢复的变形通常称为塑性变形或残余变形。

工程上一般用延伸率来衡量材料的塑性。

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

式中 l_1 为试件被拉断后的长度， l 为试件原长。对于A3钢 $\delta = 20 \sim 30\%$ 。

有时也用断面收缩率 ψ 作为衡量材料塑性的另一指标。

$$\psi = \frac{F - F_1}{F} \times 100\%$$

图2—4

式中 F_1 为试件被拉断后颈缩处的截面面积， F 为原来的截面面积。对A3钢 ψ 约为60%左右，对于无颈缩的材料通常可以用一个指标 δ 来衡量其塑性。一些手册上常见到



延伸率的记号为 δ_{10} 或 δ_5 、 δ_1 代表由 $l=10d$ 的试件测得的延伸率， δ_5 表示由 $l=5d$ 的试件测得的延伸率。

δ 和 ψ 都是衡量材料塑性的指标， δ 、 ψ 越大，材料的塑性越好。工程中根据延伸率的大小把材料分成两类：对 $\delta > 5\%$ 的称为塑性材料，如各种钢、铜、铝合金、镁合金等；对 $\delta < 5\%$ 的称为脆性材料，如铸铁、铸铝等。

(5) 冷作硬化：如果将力加至超过屈服极限（例如 f 点）然后卸力，则卸力规律将沿一条几乎与 OA 平行的直线 fO' 下降，（见图2-2）力全部去掉后，变形不能完全消失，其中弹性应变为 $O'10_2$ （ ϵ_2 ），而塑性应变为 $O1$ （ ϵ_1 ）如果再重新加载则将基本上沿将卸载时的同一直线 $O'f$ 上升至 f 点，再往后则沿着原来的曲线直到拉断。如果我们用原拉伸曲线 $Oacfdle$ 和 $O'1fde$ 相比较，可以看出比例极限上升了，而断裂后的残余应变却减小了 $O10_2$ 一段，这种预先将载荷加得超过屈服极限，然后卸载，其所引起的比例极限上升和断裂后残余应变减少的现象，称为冷作硬化。对于通过冷加工抽拉轧或冲孔等材料，都有冷作硬化现象，要消除这种现象需要经过退火处理，材料才能恢复原来的塑性性质。但在工程中有时也利用冷作来处理零件为生产服务，例如起重机的链条常经过冷作过程，以减少这些零件的变形而使链环和链轮能正常咬合，并提高其强度，又如钢筋，经过冷作处理也可提高其强度，节约钢材。

<二> 铸铁的拉伸试验：

以灰铸铁作为脆性材料的典型，将它制成标准试件，在试验机上拉伸，通过试验，发现铸铁断裂是突然发生的，断裂前既没有流动现象，也没有颈缩发生，断口平齐（见图2-5），断裂后测得的延伸率 δ 几乎等于零这与塑性材料大不相同。

由实验得到的应力—应变图是微弯的曲线（见图2-5），在工程计标中，仍采用直线关系式 $\sigma = E\epsilon$ 来近似地表示应力 σ 与应变 ϵ 之间的关系。它的强度通常用拉断时的强度极限 σ_b 来表示。