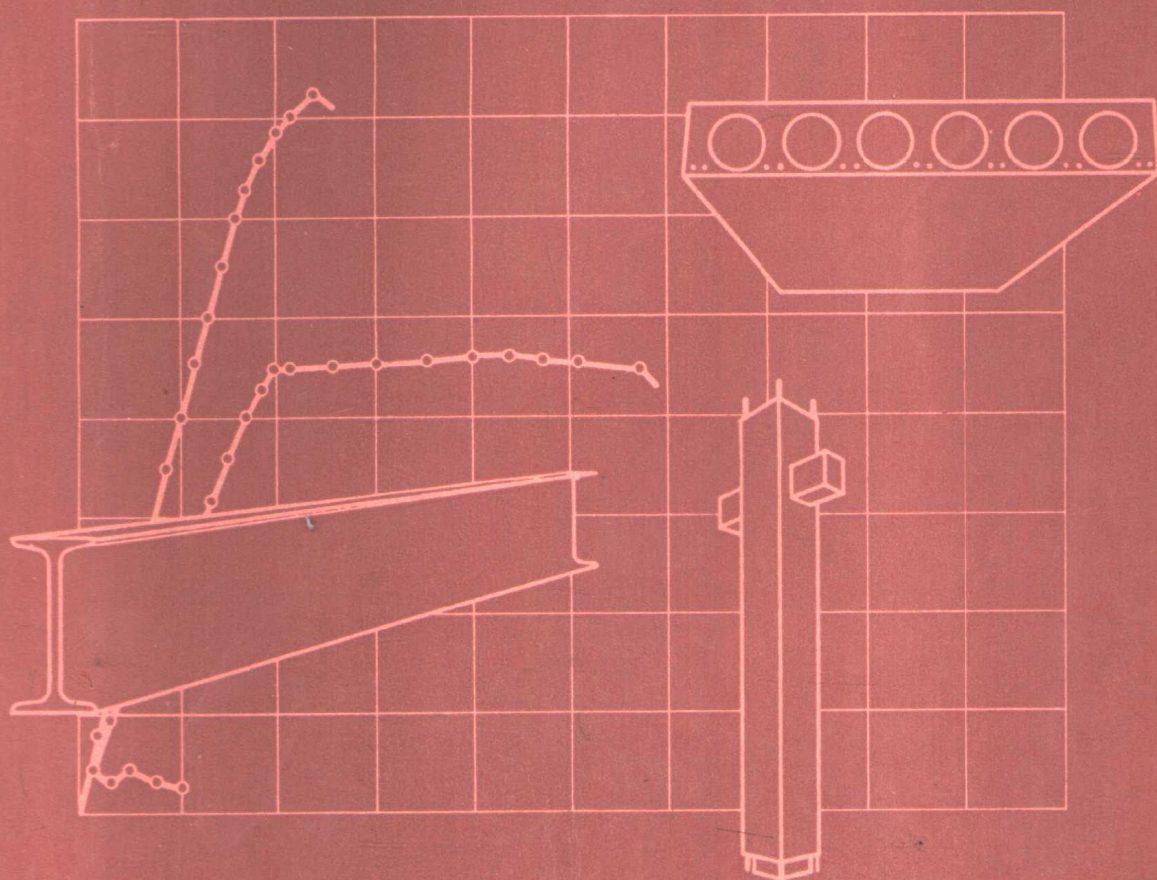


房屋结构基本构件

(下 册)

同 济 大 学 编



上海科学技术出版社

TU 22
81
7-3

2078

房屋结构基本构件

(下 册)

同济大学 编

上海科学技术出版社

房屋结构基本构件
(下册)

同济大学 编

上海科学技术出版社出版
(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 上海新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 10.75 字数 257,000

1978年9月第1版 1978年9月第1次印刷

印数 1—100,000

书号: 15119·1934 定价: 0.91元

目 录

第十四章 钢构件	1
第一节 钢结构的材料及设计安全度	1
第二节 钢梁	5
第三节 一点的应力状态	23
第四节 轴心受拉和受压的钢构件	37
第五节 偏心受拉和受压的钢构件	43
第十五章 预应力混凝土施工	56
第一节 概述	56
第二节 预应力混凝土材料	57
第三节 先张法的施工	59
第四节 后张法的施工	64
第十六章 预应力混凝土拉杆的计算	66
第一节 试验研究	66
第二节 张拉控制应力及预应力损失	68
第三节 预应力混凝土轴心受拉构件各阶段的应力分析	74
第四节 预应力混凝土轴心受拉构件的计算	82
第五节 构造要求	89
第十七章 预应力混凝土梁的计算	94
第一节 试验研究	94
第二节 预应力混凝土受弯构件各阶段的应力分析	97
第三节 预应力混凝土梁正截面的强度计算及抗裂度验算	101
第四节 受压区设置预应力钢筋的梁	112
第五节 预应力混凝土梁斜截面的抗剪强度计算及抗裂度验算	119
第六节 预应力混凝土梁的挠度验算	124
第七节 构造要求	125
第十八章 受扭构件	130
第一节 概述	130
第二节 支座反力和内力的计算	131
第三节 受扭构件的应力计算	137
第四节 钢筋混凝土弯扭构件的计算	144
附录十九 型钢规格表	152
附录二十 钢材的容许应力	160

附录二十一	钢受弯构件的容许挠度	160
附录二十二	钢梁计算图表	161
附录二十三	钢构件容许长细比	162
附录二十四	钢轴心受压构件计算图表	163
附录二十五	钢偏心受压构件计算图表	165
附录二十六	预应力钢筋的设计强度、弹性模量和标准强度.....	169

第十四章 钢 构 件

在某些房屋结构和建筑施工机具中,常要用到一些钢结构构件。本章先讨论钢结构的材料选用及设计安全度,再讨论钢梁和钢拉、压构件的设计方法。

本章第三节关于一点的应力状态是很重要的基础理论,要很好加以理解和掌握。

通过本章的学习,要求熟练掌握梁内正应力和剪应力以及偏心拉、压构件的正应力计算方法。同时,要经常同相应的钢筋混凝土构件作对比,掌握它们的区别和联系,以进一步加深对它们的理解。

第一节 钢结构的材料及设计安全度

一、钢结构采用的钢号及型钢

在上册第六章中,我们通过钢材的拉伸试验,了解了钢材的力学性能,如屈服强度、极限强度、弹性模量、伸长率等;这些力学性能是反映钢材质量的主要指标。本节将介绍钢材的品种规格、影响钢材质量的一些有关因素以及钢结构设计的安全度问题。

(一)建筑钢材的钢号和钢材的尺寸分组

钢结构中常用的建筑钢材有普通碳素钢(简称普碳钢)和普通低合金钢(简称普低钢)。按照国家标准《普通碳素钢钢号和一般技术条件》(GB 700-65)的规定,各类普碳钢的钢号应反映钢材的供应类别、冶炼方法、标号和铸锭方法等。

按供应时所保证的条件,钢材分甲、乙、特三类。甲类钢(符号 A)供应时主要保证一般的机械性能;乙类钢(符号 B)供应时只保证化学成分;特类钢(符号 C)供应时同时保证几种主要的机械性能和化学成分。

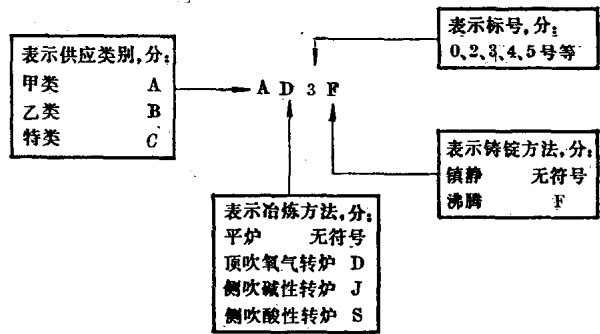
按冶炼方法的不同,钢材分平炉钢、顶吹氧气转炉钢和侧吹转炉钢等。平炉钢(无符号)的质量均匀稳定;顶吹氧气转炉钢(符号 D)的质量不亚于平炉钢,是国内外炼钢的发展方向,目前正在逐步推广应用;侧吹转炉钢有碱性(符号 J)和酸性(符号 S)两种,因为它的生产方法简易,所以是中、小型钢厂的主要炼钢方法,但其质量不如平炉钢和顶吹氧气转炉钢。

普碳钢的标号有 0、2、3、4 和 5 号等,标号愈大,含碳量愈高,强度也愈高,但塑性、韧性及可焊性却愈差;其中 0 号钢不是正式生产的标号,而是在冶炼其他标号的钢材时不合规格而降级使用的,它只在不受力或受很小静荷载的次要构件中应用;钢结构中大多数采用 3 号钢,因为它的强度、塑性、韧性及可焊性等都能较好地符合钢结构的要求。

按铸锭方法(即按铸锭过程中的脱氧程度)的不同,钢材分镇静钢和沸腾钢两种,镇静钢(无符号)是在铸锭时用硅、铝等元素充分脱氧稳定后铸成钢锭,它比未充分脱氧的沸腾钢(符号 F)的杂质要少,质量均匀。

各种普碳钢的钢号就是按照钢材的供应类别、冶炼方法、标号和铸锭方法的代号依次序

排列而成。例如甲类顶吹氧气转炉 3 号沸腾钢,其钢号的标注方法如下:

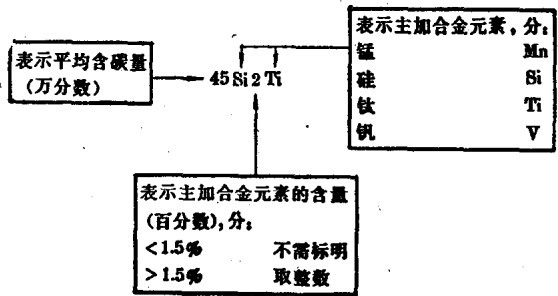


按照这个表示方法,特类平炉 3 号镇静钢的钢号为 C3; 甲类侧吹碱性转炉 3 号沸腾钢的钢号为 AJ3F, 等等。

按照国家标准《普通低合金钢钢号和一般技术条件》(YB13-69)的规定,各类普低钢的钢号应反映主加合金元素及其含量。

常用的普低钢,按其加入合金元素种类的不同,分锰系、硅-钛系和硅-钒系普通低合金钢等。锰系普低钢以锰(Mn)为主加元素;硅-钛系和硅-钒系普低钢分别以硅(Si)、钛(Ti)和硅(Si)、钒(V)为主加元素。

普低钢中各元素的含量表示方法: 第一个数字为平均含碳量,用万分之几表示;第二个是字母,表示加入的主要合金元素,如果含量小于 1.5%,在钢号中不需标明,如果含量超过 1.5%,则用百分之几来表示,写在字母的后面。例如硅-钛系普低钢中,平均含碳量为万分之四十五(即 0.45%),硅的含量大于 1.5% 小于 2%,钛的含量小于 1.5%,则其钢号的标注方法如下:



按照这个表示方法,锰系普低钢中 16 锰(16Mn)的钢号含义是: 平均含碳量为万分之十六(即 0.16%),主加合金元素锰的含量小于 1.5%, 等等。

普低钢供应时均同时保证机械性能和化学成分。目前在钢结构中用得较多的普低钢是 16 锰钢,尤其以平炉冶炼的镇静钢(16Mn)用得最多。

各类 2 号、3 号钢和 16 锰钢的标准代号、化学成分和机械性能见《钢结构设计规范》(TJ 17-74)的附录。

为什么钢材要采用这样复杂的表示方法呢? 这是因为钢材的性质与供应类别、冶炼方法、标号和铸锭方法等有密切的关系。出厂时,采用这些符号就说明了在炼钢厂中的主要工艺情况,这些工艺正是确定钢材内在质量的重要依据。

钢锭经过轧制后,由于轧制的条件和次数的不同,形成各种不同尺寸(指厚度或直径)的钢材,同时其内部组织也随着发生变化,因此材质也不同。为了充分利用钢材的强度,《钢结构设计规范》(TJ 17-74)采用尺寸分组的方法,把不同钢号的钢材按尺寸(主要是厚度或直径)分成三组,详见附录二十。三组钢材的机械性能不同,特别是强度不同,在设计时必须加以考虑。

《规范》对钢材的选择,根据结构的性质、荷载的特点以及结构工作条件等都作了具体的规定,我们将结合钢屋架和钢吊车梁的设计来讨论,详见《单层厂房设计与施工》。

(二)型钢

型钢是具有一定截面形状及规格尺寸的轧制钢材,常用的型钢有:钢板、角钢、槽钢、工字钢、钢管、弯曲薄壁型钢以及圆钢等。

钢板(图 14-1a)有薄钢板、厚钢板以及扁钢等。角钢(图 14-1b)有等边和不等边两种,其号数用边宽及边厚来表示,如 $\angle 100 \times 100 \times 10$ (或写成 $\angle 100 \times 10$) 表示等边角钢的边宽为 100mm, 边厚为 10mm; 又如 $\angle 160 \times 100 \times 12$ 表示不等边角钢的边宽分别为 160mm 和 100mm, 边厚为 12mm 等等。同一号数的角钢,其边宽均相同,但根据使用要求的不同,又做成几种不同的边厚,例如 10 号等边角钢就有 $\angle 100 \times 100 \times 6$ 、 $\angle 100 \times 100 \times 7$ 、 $\angle 100 \times 100 \times 8$ 、 $\angle 100 \times 100 \times 10$ ……等七种边厚。槽钢(图 14-1c)和工字钢(图 14-1d)的型号都用截面的高度(以 cm 计)来表示,如 [32, I50 分别表示截面高度为 32cm 的槽钢和截面高度为 50cm 的工字钢等。同一型号的槽钢或工字钢,其截面高度均相同,但根据使用要求的不同,又做成几种不同的腰厚(或称腹板厚),例如 32 号槽钢就有 [32a、b、c 三种,其腰厚分别为 8mm、10mm、12mm; 又如 50 号工字钢也有 I50a、b、c 三种,其腰厚分别为 12mm、14mm、16mm。钢管(图 14-1e)有圆管及方管等,可以是无缝的,也可以是焊接的。弯曲薄壁型钢是用扁钢经冷轧、热轧、冷弯、冷压以及冷拔等方法加工而成,截面形状可根据需要来设计,如带卷边的槽形(图 14-1f)以及 Z 形(图 14-1g)等,采用这种薄壁型材制造结构,可以大大节约钢材,是钢结构的发展方向之一。圆钢因价格比较便宜,取材又方便,目前有不少应用,但用料并不经济。

角钢、槽钢、工字钢的规格详见附录十九。

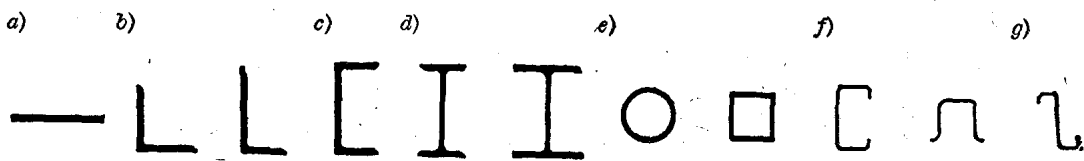


图 14-1 常用的型钢

二、钢结构设计安全度

钢结构与钢筋混凝土结构一样,为了考虑建筑物在使用过程中由于各种因素(包括荷载、材料强度、施工质量等)的变化所带来的影响,在设计时,必须给以必要的安全度。

《钢结构设计规范》(TJ 17-74)规定,设计钢结构构件时,应进行下列几种计算:

1. 强度计算

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (14-1)$$

$$\tau \leq [\tau] \quad (14-2)$$

式中: σ, τ ——由设计荷载(即标准荷载)计算而得的,在构件截面各点中产生的最大正应力和剪应力;

$[\sigma], [\tau]$ ——钢材的容许应力,即容许正应力和容许剪应力,其值可查附录二十(2)。

2. 稳定计算

$$\sigma \leq \varphi [\sigma] \quad (14-3)$$

式中: φ ——稳定系数,对于受压构件,可查附录二十四、二十五;对于受弯构件,见《单层厂房设计与施工》。

3. 变形计算

$$f \leq [f] \quad (14-4)$$

式中: f ——由设计荷载计算而得的构件的最大挠度(或变形);

$[f]$ ——构件的容许挠度(或变形)值,对于受弯构件,可查附录二十一;对于受压构件(即柱子),见《单层厂房设计与施工》。

各种承重结构均应进行强度和稳定计算。使用时需控制变形的结构,尚应进行变形计算。

值得注意,钢结构的强度基本计算公式(14-1)、(14-2)与钢筋混凝土结构的相应公式(6-21),即 $K T \leq T_p$,在表达形式上虽然不同,也就是说,前者采用的是应力表达式,后者则采用了内力表达式,但两者考虑设计安全度的出发点是一样的。

以轴心受拉构件为例,对于钢筋混凝土结构,可写出如下的强度计算基本公式,即式(13-2);

$$K N \leq R_g A_g$$

或写成

$$\frac{N}{A_g} \leq \frac{R_g}{K}$$

对于钢结构,上式中的钢筋截面面积 A_g 应改为钢拉杆的净截面面积(即扣除孔洞和缺口后的面积) A_j ; 钢筋的设计强度 R_g 应改为钢材的屈服强度 σ_s ①,于是可写出钢拉杆强度计算的基本公式如下:

$$\frac{N}{A_j} \leq \frac{\sigma_s}{K} \quad (14-5)$$

式中 N 为设计荷载作用下拉杆截面上的内力(轴力), A_j 的意义同上,因此 $\frac{N}{A_j}$ 就是拉杆截面上所产生的正应力 σ ; σ_s 为钢材屈服强度的废品限值, K 为强度设计安全系数,因此 $\frac{\sigma_s}{K}$ 就称为钢材的容许应力,并用符号 $[\sigma]$ 来表示。这样,式(14-5)可写成

$$\sigma \leq [\sigma]$$

这就是式(14-1)。

由此可见,钢结构考虑设计安全度的基本计算公式与钢筋混凝土结构的相应公式是能够统一起来的。《钢筋混凝土结构设计规范》把安全系数 K 乘以内力 N , 放在不等号的左

① 实际上 R_g 和 σ_s 都表示钢材屈服强度的废品限值。

边;《钢结构设计规范》把安全系数 K 除以钢材的屈服强度 σ_s , 放在不等号的右边, 但它们考虑设计安全度的基本原理是一致的。

这里还必须指出, 在某些方面, 它们也还有不一致的地方, 特别是对受弯、偏心受压和偏心受拉构件。钢筋混凝土结构考虑的是整个截面所负担的内力 (N 、 Q 、 M 等); 而钢结构考虑的是截面中某一点所产生的应力 (σ 、 τ 等)。钢筋混凝土结构考虑的是在将内力提高 K 倍 (KN 、 KQ 、 KM 等) 的作用下, 构件整个截面破坏时的抵抗能力; 钢结构考虑的是在不乘 K 倍的内力 (N 、 Q 、 M 等) 的作用下, 截面 (远未破坏) 上一点的抵抗能力, 所以它们还不是很完全一样的。

第二节 钢 梁

一、试验研究结果

为了掌握钢梁的设计方法, 我们进行一简支钢梁的试验, 观察它受力和变形的发展规律。

梁的跨度为 1m (图 14-2), 截面为工字形, 型号为 $I10$, 屈服强度 $\sigma_s = 3620 \text{ kg/cm}^2$ 。梁在万能试验机上进行试验, 承受两个集中荷载 P 。用百分表测量跨中央的挠度; 用电阻丝应变片测量跨中央截面的正应变。

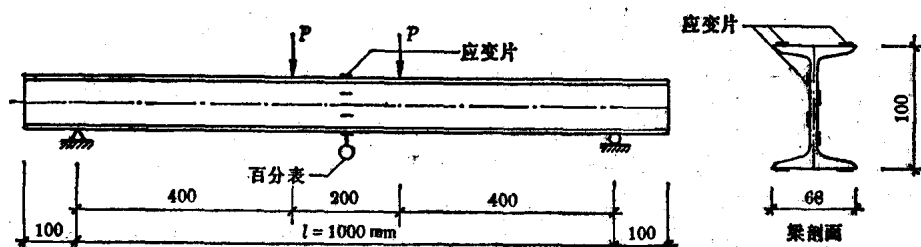


图 14-2 钢试验梁

图 14-3 表示实测的荷载-挠度 ($P-f$) 曲线。图 14-4 表示跨中央截面的实测正应变图和相应的正应力图。根据这两张图, 可将钢梁的受力和变形过程划分为两个阶段。

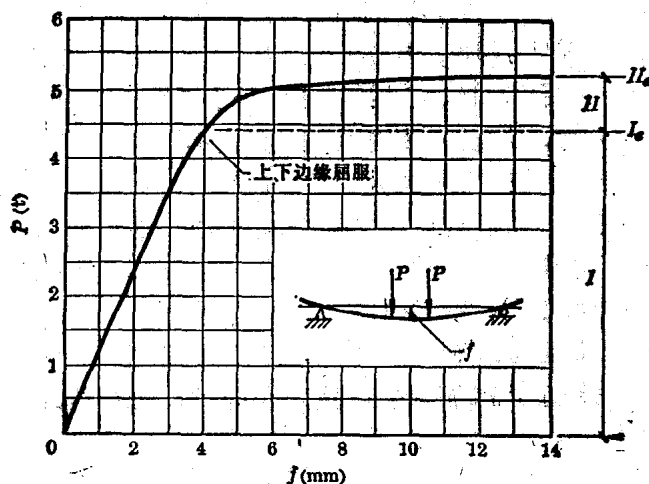


图 14-3 钢试验梁的荷载-挠度 ($P-f$) 图

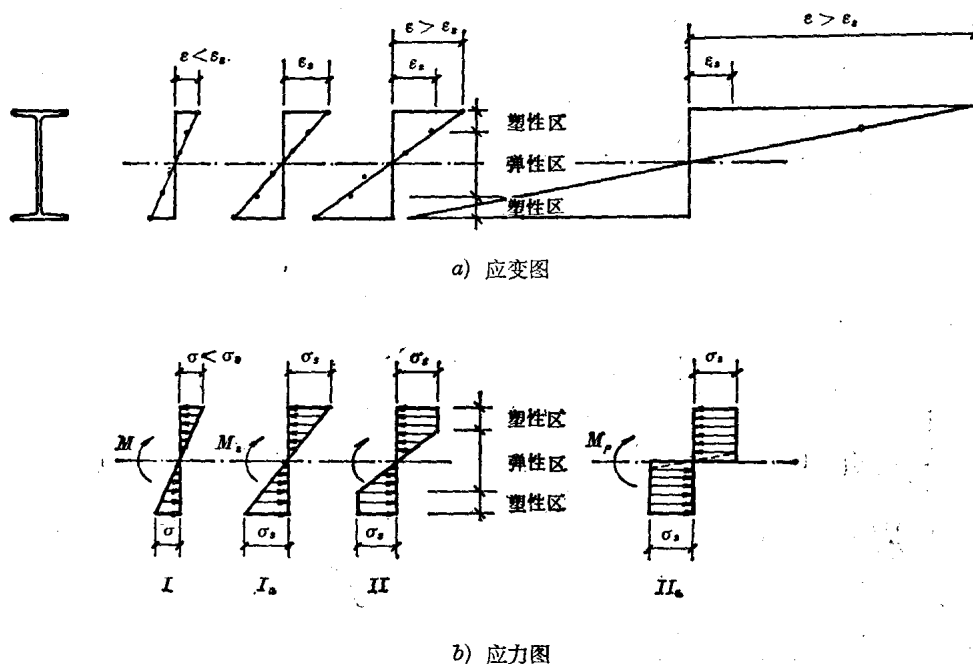


图 14-4 钢试验梁跨中截面的应变图和应力图

第 I 阶段：又称弹性阶段。荷载从零逐渐增加，挠度也逐渐增加，两者基本上成正比。沿截面的高度方向，应变基本上按直线规律分布，应变图成为两个三角形，符合“平面应变规律”；在截面的上、下边缘，应变为最大。由于钢材在弹性阶段的应力与应变成正比关系，所以截面上的正应力图也是两个三角形；在截面的上、下边缘，应力为最大。

第 I 阶段末(用 Ia 表示)：荷载到达 4.40t 时，截面上、下边缘的应变到达钢材屈服时的应变 ϵ_s ，应力到达屈服强度 σ_s ，此时截面承受的弯矩为 M_s ，这就是第 I 阶段的结束。

第 II 阶段：又称弹塑性阶段。荷载继续增加，钢梁进入第 II 阶段，受力和变形情况发生了质的变化，因为荷载-挠度 ($P-f$) 曲线呈现明显的转折，挠度的增加比第 I 阶段大得多，而荷载却增加不多。应变也是这样，增加很快。应变图则仍为两个三角形，但数值比第 I 阶段大得多。然而应力图却变为梯形，因为在靠近上、下边缘的那两部分截面(称为截面的塑性区)，应变已超过 ϵ_s ，说明钢材已进入屈服阶段，处于塑性状态，即应变虽然增大，但应力却维持在屈服强度 σ_s 不变，使塑性区的应力图成为矩形。在截面的中间部分(称为截面的弹性区)，应变尚未超过 ϵ_s ，说明钢材仍处于弹性状态，弹性区的应力图仍为三角形。整个截面的应力图就成为梯形。在第 II 阶段中间，随荷载的增加，应变越来越大，使截面有更大一部分的应变超过 ϵ_s ，由弹性转入塑性。也就是说，弹性区不断缩小，塑性区不断扩大。

第 II 阶段末(用 IIa 表示)：荷载到达 5.19t 时， $P-f$ 曲线接近于水平线，表示荷载不增加，挠度也在发展。截面的弹性区缩小到接近于消失，塑性区扩大到接近于全截面(称为全塑性状态)，应力图已接近于上、下两个矩形，其值等于 σ_s ，此时截面承受的弯矩为 M_p ，这就是第 II 阶段的结束。

由于第 II 阶段的变形很大，钢梁往往已不适合于正常使用，同时第 II 阶段末截面能负担的极限弯矩 M_p 比第 I 阶段末的屈服弯矩 M_s 增加不多，所以，当钢梁到达第 I 阶段末，即

上边缘或下边缘的最大正应力到达钢材的屈服强度 σ_s 时,一般即认为钢梁已“破坏”。这时,从外观上看,除了钢梁有一定的挠度外,肉眼并不能看到裂缝或别的“破坏”形象。

二、梁的正应力计算

(一) 正应力计算公式

根据以上的试验结果,在钢梁的弹性阶段,即第I阶段,包括第I阶段末,截面上的正应力图为两个三角形;在任意弯矩 M 的作用下,截面上任意点的正应力 σ 应按式计算(图14-5):

$$\sigma = \frac{M}{J} y \quad (14-6)$$

式中: J ——截面对中和轴的惯性矩;

y ——截面上所考虑的点离中和轴的距离。

最小和最大正应力发生在截面的上、下边缘,其值为

$$\sigma_{\min} = \frac{M}{J} y_{\min} = \frac{M}{W_{\max}} \quad (14-7)$$

式中: $W_{\max}$ ——截面上、下边缘的弹性抵抗矩。

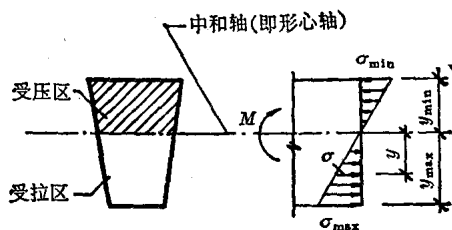


图14-5 梁在弹性阶段的正应力计算图式

式(14-6)和式(14-7)可以适用于任意形状的截面,如矩形、T形、L形或工字形等。

对于不同型号和尺寸的型钢梁,其惯性矩、形心轴位置和弹性抵抗矩等,均可由附录十九查得。

例题14-1 简支钢梁 AB (图14-6), 跨度 $l=120\text{cm}$, 截面为矩形, 宽度 $b=8\text{cm}$, 高度 $h=20\text{cm}$, 承受均布荷载 $q=160\text{kg/m}$ 。钢梁自重略去不计, 求梁跨中央截面 D 的下边缘 a 点以及截面 C 的 d 点所受到的正应力, 并画出 A 、 C 、 D 各截面的正应力图。

[解]

1. a 点的正应力

截面 D 承受的弯矩为

$$M_D = M_{\max} = \frac{1}{8} q l^2 = \frac{1}{8} \times 160 \times 120^2 = 288000 \text{ kg-cm} = 2.88 \text{ t-m}$$

a 点在截面的下边缘, 正应力为最大, 可按式(14-7)计算:

$$\sigma_a = \sigma_{\max} = \frac{M}{W_{\min}} = \frac{M}{\frac{1}{6} b h^2} = \frac{288000}{\frac{1}{6} \times 8 \times 20^2} = 540 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{拉})$$

2. d 点的正应力

截面 C 承受的弯矩为

$$M_C = \frac{1}{2} \times 160 \times 120 \times 30 - \frac{1}{2} \times 160 \times 30^2 = 216000 \text{ kg-cm} = 2.16 \text{ t-m}$$

d 点的正应力应按式(14-6)计算:

$$\sigma_d = \frac{M}{J} y = \frac{M}{\frac{1}{12} b h^3} y = \frac{216000}{\frac{1}{12} \times 8 \times 20^3} \times 5 = 202.5 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{压})$$

① 即中册第九章式(9-9)和式(9-10)。

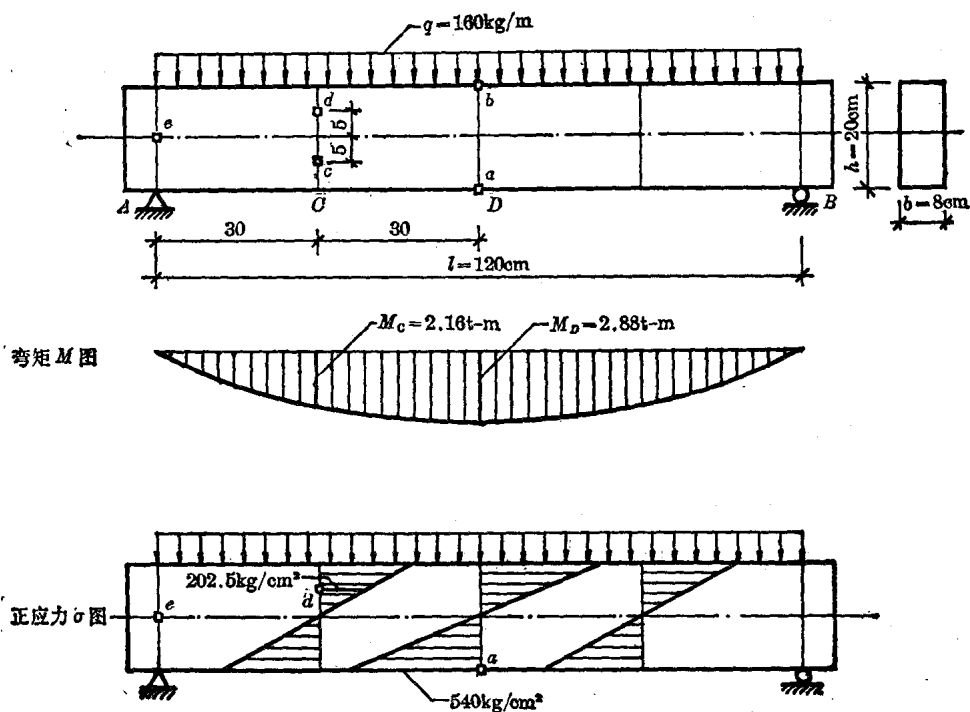


图 14-6 矩形钢梁的正应力

各截面的正应力图示于图 14-6。可以看出，截面 D 承受的弯矩最大，该截面的 a 点又在下边缘，其拉应力为最大；也就是说， a 点就是整根梁最大拉应力的所在位置。同理， b 点就是整根梁最大压应力的所在位置。此外，截面 A 的弯矩为零，所以截面上的正应力全部为零。

例题 14-2 简支工字形钢梁(图 14-7)，跨度 $l=2.40$ m，型号为 I40a，承受四个相等的集中荷载 $P=12$ t。钢梁自重略去不计，求 a 点和 b 点的正应力，并画出 A 、 B 、 C 、 D 各截面的正应力图。

[解]

1. 截面的几何特性

查附录十九(4)，I40a 工字钢的惯性矩 $J_x=21720$ cm⁴，弹性抵抗矩 $W_x=1090$ cm³。

2. a 点的正应力

支座反力为
$$R_A = \frac{1}{2} \times 4 \times 12 = 24 \text{ t}$$

截面 D 承受的弯矩为

$$M_D = 24 \times 1.2 - 12 \times 0.72 - 12 \times 0.24 = 17.28 \text{ t-m}$$

a 点的正应力为

$$\sigma_a = \frac{M}{W} = \frac{1728000}{1090} = 1585 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{拉})$$

3. b 点的正应力

$$M_C = 24 \times 0.8 - 12 \times 0.32 = 15.36 \text{ t-m}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{J} y = \frac{1536000}{21720} \times 10 = 707 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{压})$$

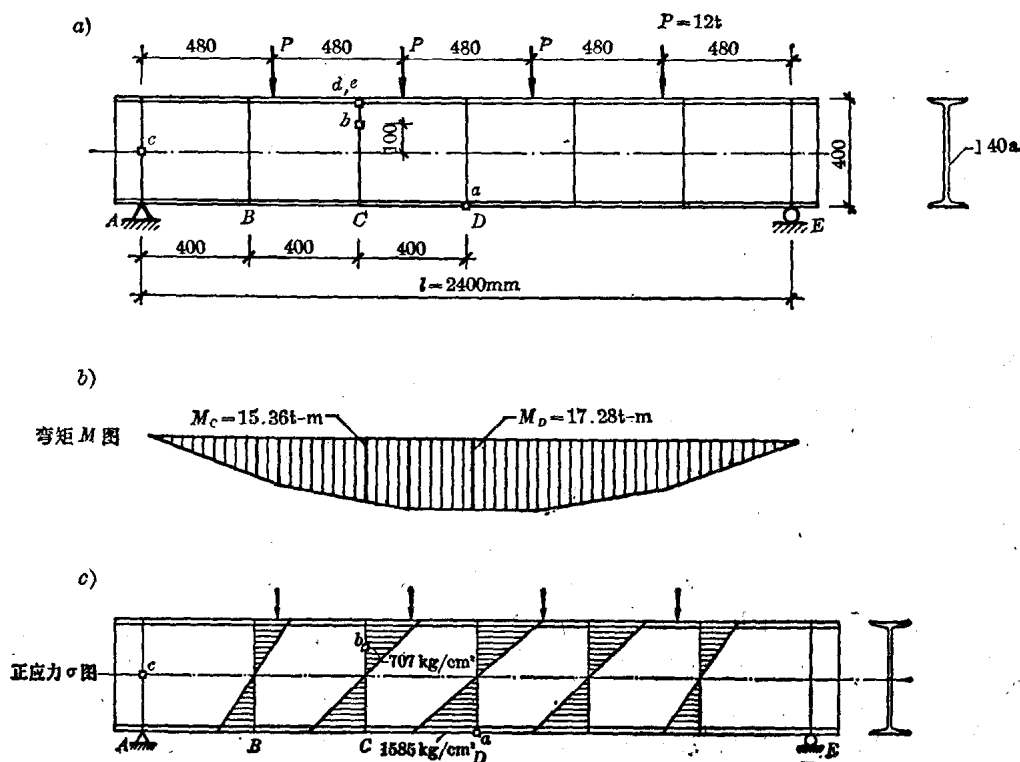


图 14-7 工字形钢梁的正应力

各截面的正应力图示于图 14-7c。

(二) 形心主轴

现在来说明实践中要遇到的“形心主轴”的概念。

如果将例题 14-2 的工字形钢梁横放成 H 形,我们要问,在同样的荷载(或弯矩)的作用下, H 形钢梁所受到的正应力是否比工字形钢梁大? 截面竖放与横放,何者合理?

这个问题在中册第七、第九章曾经讨论过,现在结合正应力计算公式作进一步说明。

由式(14-6)可知,正应力 σ 与截面的惯性矩 J 成反比; 惯性矩愈大, 正应力愈小。但惯性矩是针对某一根形心轴而言的。通过截面的形心沿不同方向可以作出许多根轴线, 它们都是截面的形心轴。例如对于图 14-8a 的矩形截面, 通过形心 O 可以画出许多根形心轴, $y-y$ 、 $z-z$ 、 z_1-z_1 和 z_2-z_2 就是其中的四根。对于不同方向的形心轴, 惯性矩值也不同。例如, 对 $z-z$ 轴, 惯性矩 $J_z = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12} \times 6 \times 12^3 = 864 \text{ cm}^4$; 对 $y-y$ 轴, $J_y = \frac{1}{12}hb^3 = \frac{1}{12} \times 12 \times 6^3 = 216 \text{ cm}^4$ 。对于倾斜的轴, 惯性矩值将随倾角 α 的不同而变化。例如, 对 z_1-z_1 轴和 z_2-z_2 轴(它们同 $z-z$ 轴的夹角分别为 α_1 和 α_2), 可得① $J_{z_1} = 702 \text{ cm}^4$; $J_{z_2} = 378 \text{ cm}^4$ 。惯性矩 J 随倾角 α 的全部变化规律见图 14-8a。可以看出, 当 $\alpha = 0^\circ$ 和 180° 时(即 $z-z$ 轴), 惯性矩具有极大值; 当 $\alpha = 90^\circ$ 时(即 $y-y$ 轴), 惯性矩具有极小值。

对于图 14-8b 的不等肢角钢, 惯性矩也有类似的变化规律。

① 具体计算方法可参阅有关书刊。

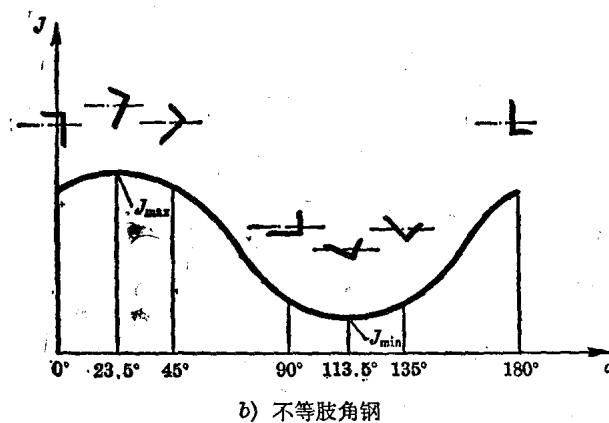
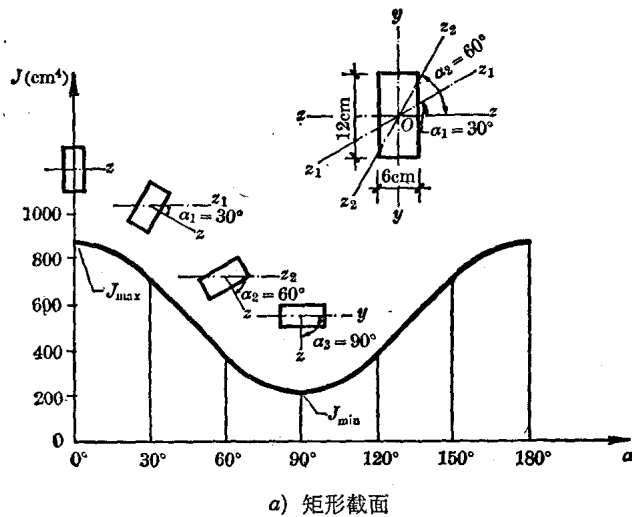


图 14-8 截面惯性矩的变化规律

在所有形心轴中，惯性矩具有极大值和极小值的这一对轴（如图 14-8a 中的 y - y 轴和 z - z 轴）总是相互垂直的，它们称为截面的形心主轴，简称主轴。对形心主轴的惯性矩（图 14-8a 的 J_y 和 J_z ）称为主惯性矩，有两个数值，一个极大，一个极小。

如果截面具有两根互相垂直的对称轴（图 14-9a），这两根对称轴就是形心主轴。如果截面只有一根对称轴（图 14-9b），这根对称轴以及与它垂直的另一根形心轴就是形心主轴。如果截面没有对称轴（图 14-9c），就需要根据惯性矩为极大或极小的条件来确定形心主轴的位置。

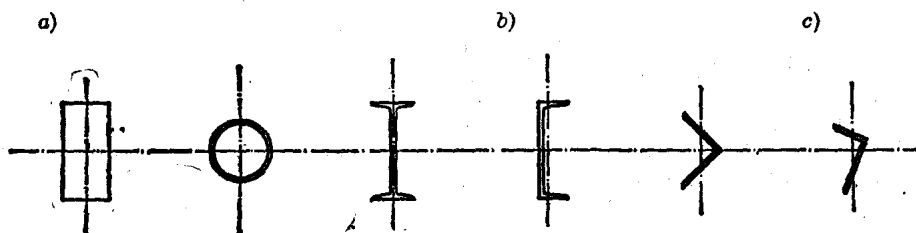


图 14-9 截面的形心主轴

显然,在竖直荷载作用下,当具有极大惯性矩值的主轴①(图 14-8a 中的 $z-z$ 轴)在水平位置时,截面受到的正应力最小,即梁的抗弯能力最大;同时,梁的刚度最大,挠度最小,因为挠度与截面的刚度或惯性矩成反比(第十章)。

现在可以回答前面提出的问题,矩形截面竖放比较合理;例题 14-2 的工字形梁的正应力比横放的 H 形梁为小。

三、梁的剪应力计算

由第八章我们知道,钢筋混凝土梁会沿斜裂缝发生破坏,斜裂缝是由截面上正应力与剪应力所组成的合应力,即斜拉应力所造成的。在生产实践中,也会发生钢梁的剪切破坏。例如如图 14-10 所示的由三块钢板焊接起来的工字形梁,由于跨度较小,受到的剪力较大,剪应力也较大,造成端部梁截面下翼缘与腹板之间的水平焊缝开裂。

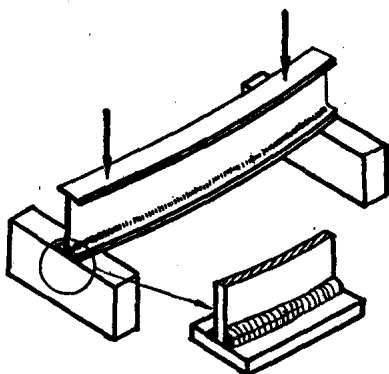


图 14-10 钢梁的剪切破坏

由此可见,设计一根梁时,除正应力外,还必须考虑剪应力。那末,梁中剪应力怎样分布?如何计算呢?下面分几点来讨论。

(一) 水平剪应力

先做一个实验,把四块厚度为 d 、宽度相等的矩形截面板迭在一起(图 14-11a)。如果板与板之间的接触面非常光滑,基本上没有摩擦力,则在受荷以后(图 14-11b),每块板将各自发生弯曲变形,上部受压缩短,下部受拉伸长。因此,上面一块板的下表面在变形后总要比下面一块板的上表面为长,板端部的横截面变成了阶梯形。这说明板与板之间产生相互错动,即荷载使板与板之间有剪开的趋势。

如果把各块板用胶水粘结成为一个整体,于是它们的接触面之间存在着粘结力,或抵抗剪切的力,受荷后就能阻止这种错动,使板端部的横截面仍保持为一个齐整的平面(图 14-11c)。显然这种板的强度和刚度都比前面说的由没有联系的几块板迭在一起所组成的

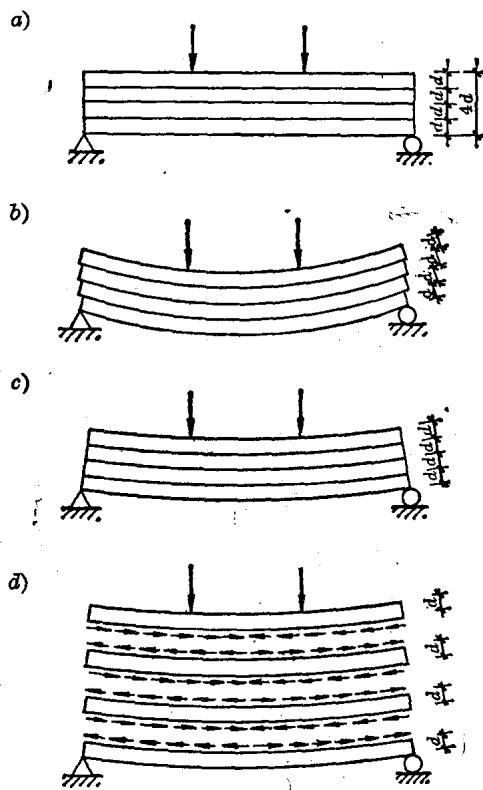


图 14-11 迭合板的实验

① 实际上,应该具有极大抵抗矩 W 的主轴。

板大得多,它如同厚度等于 $4d$ 的板一样。这也说明,在用胶水粘合的水平面内存在着水平向的剪应力(图 14-11d)。

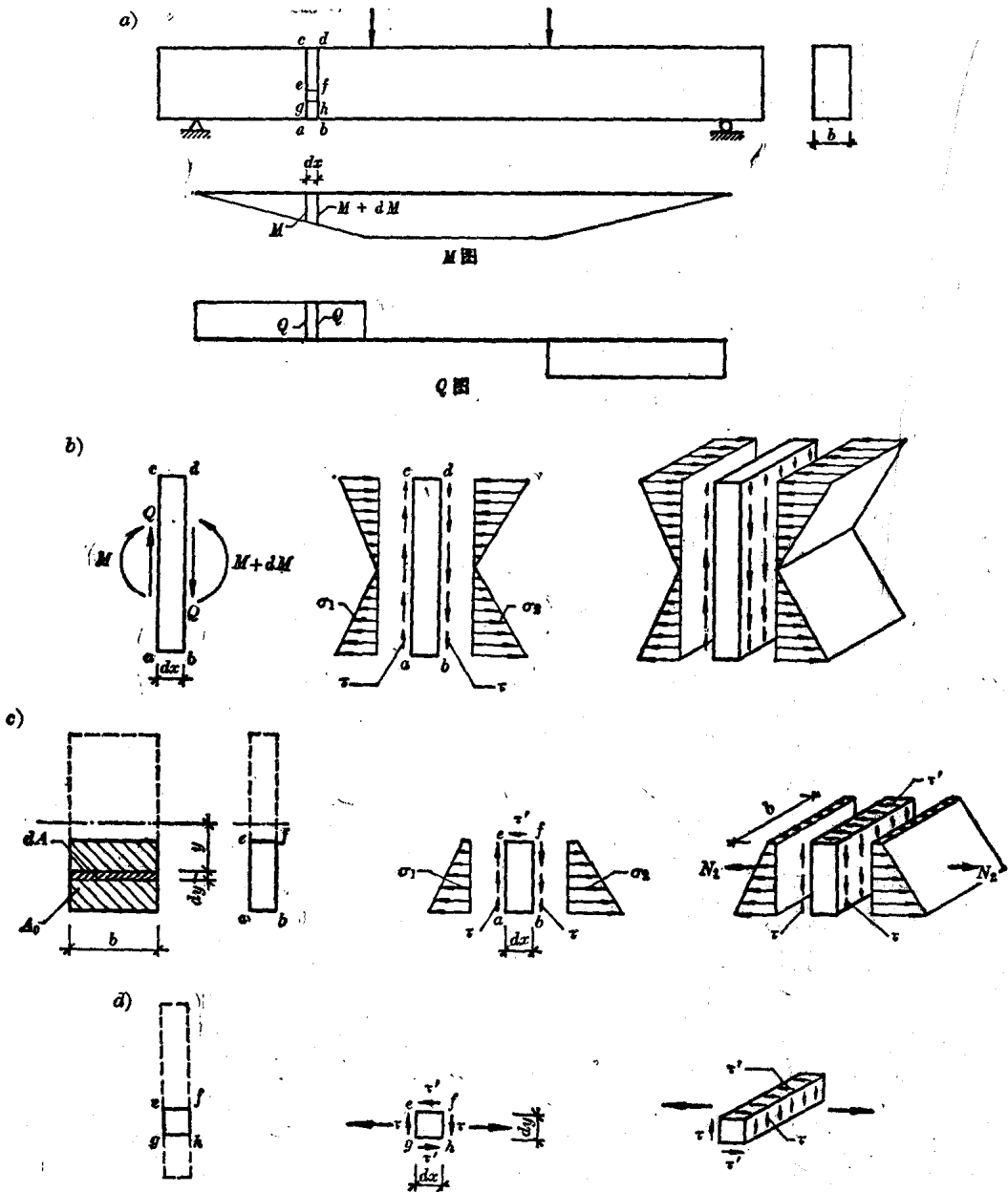


图 14-12 剪应力的计算

水平剪应力如何计算呢? 先从梁中取出长度为 dx 的微段 $abcd$, 分析它所受到的内力(图 14-12a、b)。左截面 ac 上受到剪力 Q 和弯矩 M ; 右截面 bd 上受到剪力 Q 和弯矩 $(M+dM)$ 。由于在微段 $abcd$ 上无荷载作用, 所以左、右两个截面的剪力, 数值相等, 方向相反, 左面的剪力向上, 右面的向下。左、右两个截面的弯矩, 转向相反, 大小不等, 左面的 (M) 小, 右面的 $(M+dM)$ 大。由微段 $abcd$ 的平衡条件 $\sum M=0$, 可得

$$M+dM = M + Qdx$$