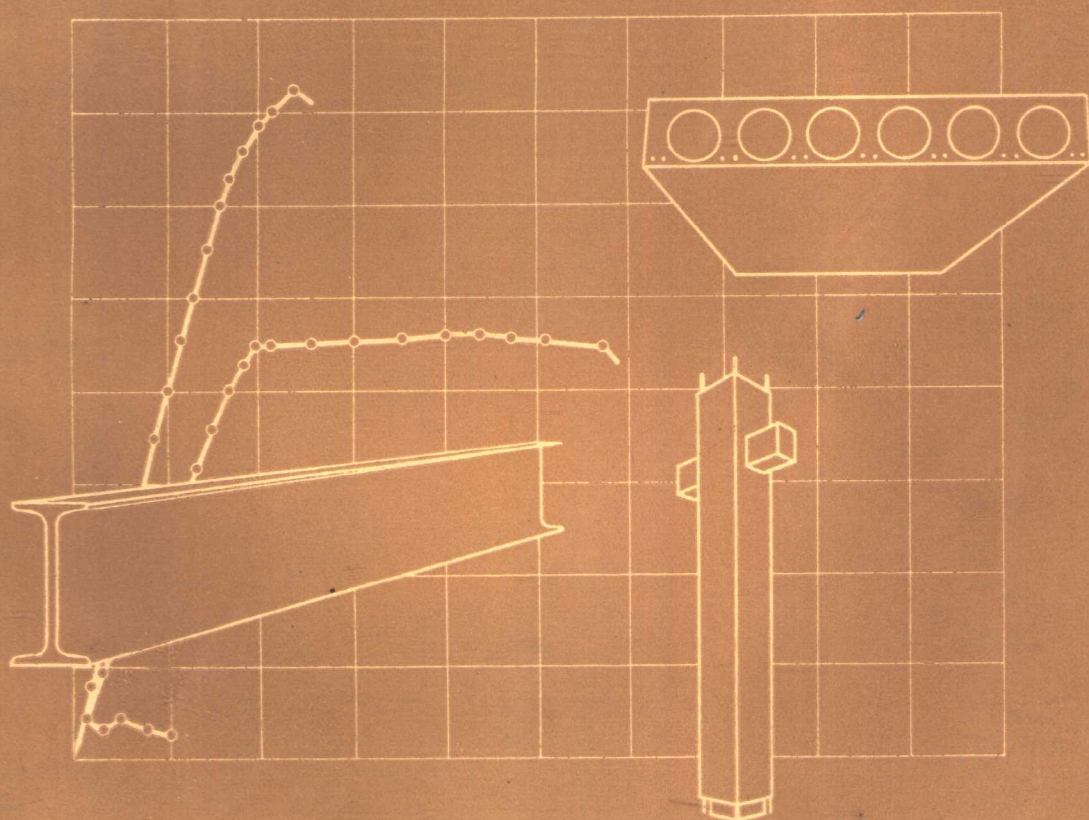


房屋结构基本构件

(中册)

同济大学编



上海科学技术出版社

房屋结构基本构件

(中 册)

同 济 大 学 编

上海科学技术出版社

房屋结构基本构件

(中册)

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 无锡县人民印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 13.5 字数 319,000

1978年1月第1版 1981年2月第2次印刷

书号: 15119·1919 定价: 0.93元

目 录

第七章 钢筋混凝土梁正截面的强度计算	1
第一节 试验研究结果	1
第二节 单筋矩形梁正截面的强度计算	8
第三节 双筋矩形梁正截面的强度计算	20
第四节 单筋T形梁正截面的强度计算	25
第八章 钢筋混凝土梁斜截面的强度计算	37
第一节 试验研究结果	37
第二节 梁斜截面强度的计算方法	39
第三节 梁斜截面强度的构造要求	55
第九章 梁在弹性阶段的计算及钢筋混凝土梁的抗裂度验算	65
第一节 梁在弹性阶段的计算	65
第二节 钢筋混凝土梁正截面的抗裂度验算	82
第三节 梁正截面计算小结	86
第十章 梁的位移计算及钢筋混凝土梁的挠度和裂缝宽度验算	95
第一节 概述	95
第二节 用虚功法求梁的位移	99
第三节 用迭加法求梁的位移	113
第四节 影响位移的因素	117
第五节 钢筋混凝土梁的挠度验算	120
第六节 钢筋混凝土梁的裂缝宽度验算	127
第十一章 钢筋混凝土轴心受压柱	137
第一节 轴心受压柱的强度计算和构造要求	137
第二节 轴心受压短柱的应力分析	147
第三节 轴心受压长柱的稳定分析	149
第十二章 钢筋混凝土偏心受压柱	158
第一节 试验研究结果	158
第二节 矩形截面偏心受压柱的强度计算	166
第三节 偏心受压柱的构造要求	182
第十三章 钢筋混凝土拉杆	186
第一节 轴心受拉构件	186

第二节 偏心受拉构件	193
附录十三 常用截面的几何及力学特性	197
附录十四 积分 $\int_0^l M_i M_k dx$ 的图形相乘公式	200
附录十五 钢筋混凝土受弯构件的刚度折减系数 β	201
附录十六 钢筋混凝土轴心受压构件计算图表	202
附录十七 钢筋混凝土轴心受拉构件不需作裂缝宽度验算的最大钢筋直径 $[d]$	203
附录十八 钢筋混凝土偏心受压构件计算图表	204

第七章 钢筋混凝土梁正截面的强度计算

本章讨论钢筋混凝土梁正截面的强度计算,主要目的是在如何根据梁的荷载、反力和内力来确定梁的截面形式和尺寸,以及纵向钢筋的数量。

钢筋混凝土梁从加荷到破坏,一般可分为三个阶段,要注意各个阶段之间的质的区别。梁的正截面破坏时有三种形态,也要注意它们之间的质的区别以及它们之间的界限。

本章讨论单筋矩形、双筋矩形和T形等三种典型截面的强度计算方法,学习时要注意它们之间的共同点和不同点,前后对照,相互比较,从而较深地领会这些内容。

在学习基本构件的计算时,不要忽视结构的构造要求(上册第五章),因为构造上的不合理,有时会造成浪费,有时则可能影响结构的安全使用。

学习本章时,必须结合参加一定的科学实验工作,以便获得有关的感性认识,从而加深对理论公式的理解。

第一节 试验研究结果

一、试验情况

毛主席教导我们:“人的正确思想,只能从社会实践中来,只能从社会的生产斗争、阶级斗争和科学实验这三项实践中来。”为了掌握钢筋混凝土梁的设计计算方法,必须首先了解梁受弯工作的实际物理现象。下面我们进行一个典型的基本构件——受弯构件(即一根简支梁)的科学实验,以观察钢筋混凝土梁受力和变形的全过程。

梁跨长1.8m,截面为矩形,尺寸为10×16cm,跨中配置2 Φ 10的II级钢筋(16锰),如图7-1所示。

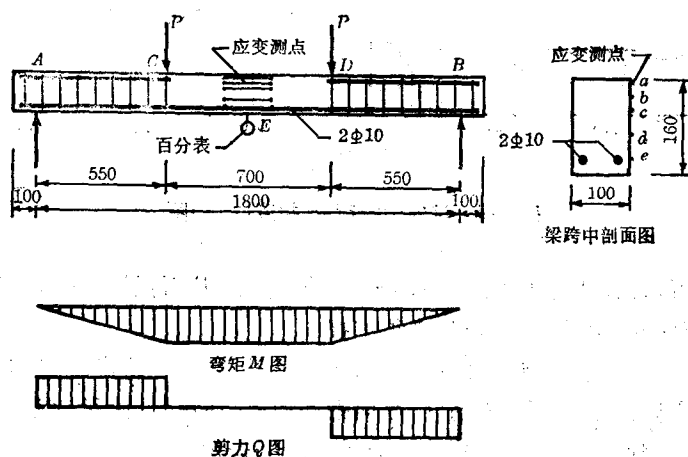


图 7-1 试验梁

梁上用油压千斤顶施加两个集中荷载 P , 其弯矩图和剪力图如图 7-1 所示。在 CD 段, 剪力为零(忽略梁的自重), 弯矩为常数, 称为“纯弯曲”段, 这一段是我们研究的主要对象, 由于排除了剪力的影响, 所以问题比较简单一些。

试验时主要测读三种数据, 即荷载、挠度和应变。荷载用电子秤测读; 挠度用百分表测量, 放在梁跨中的 E 点; 应变用手持式应变仪测读, 标距为 20 cm, 沿跨中截面的高度方向布置五个测点 a 、 b 、 c 、 d 、 e 。

荷载分级施加, 每级加荷后, 即测读挠度和应变值, 直到梁破坏为止。现在对主要的实测数据分析讨论于后。

二、受弯构件工作的三个阶段

首先我们看梁的破坏过程以及变形的发展情况。

图 7-2 表示实测的荷载-挠度($P-f$)图, 可以看出, 当荷载较小时, 挠度随荷载的增加而不断增长, 两者基本上成正比例; 当 $P=0.44t$ 时, CD 段的下部出现了第一根裂缝, 此后挠度就比荷载增加得快, 并出现了若干根新裂缝; 当 $P=1.48t$ 时, 裂缝急剧开展, 挠度急剧增大; 当 $P=1.53t$ 时, 上部混凝土被压碎, 梁不能继续负担荷载而破坏。

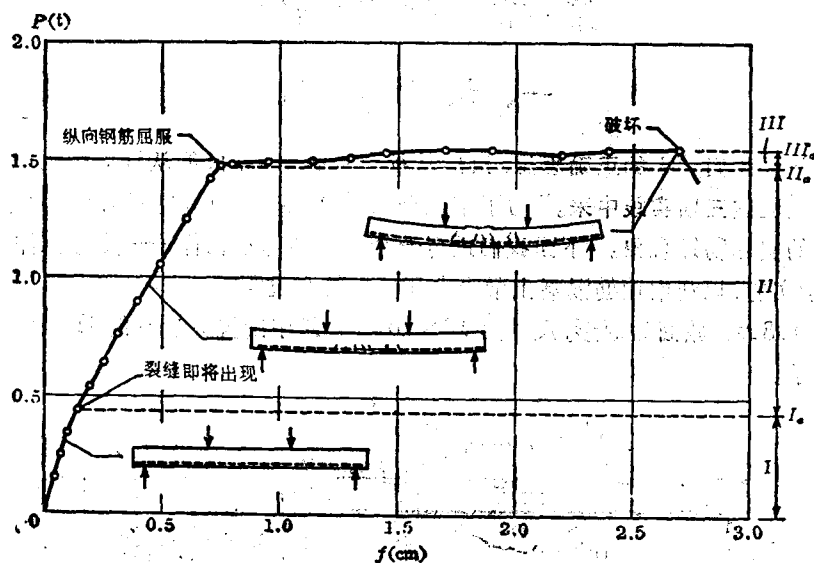


图 7-2 试验梁的荷载-挠度($P-f$)图

由图 7-2 还可看出, $P-f$ 曲线有两个明显的转折点, 从而把梁的受力和变形过程划分为三个阶段。这是一个很重要的特点, 必须掌握。

在第 I 阶段, 梁没有裂缝; 第 I 阶段末(用 I_a 表示), 裂缝即将出现; 在第 II 阶段, 梁带有裂缝工作; 第 II 阶段末(用 II_a 表示), 纵向钢筋屈服; 在第 III 阶段, 裂缝急剧开展, 纵向钢筋应力维持在屈服强度不变; 第 III 阶段末(用 III_a 表示), 梁上部混凝土被压碎, 整个梁截面破坏。

三、截面上应变的分布规律

现在来看截面上应变的分布规律。前已说明,在梁跨中截面上布置了 a 、 b 、 c 、 d 、 e 五个测点(图 7-3a)。图 7-3b 表示当 $P=0.25t$ 时的实测应变图,就是把五个测点的实测应变 ϵ 值连接而成的。

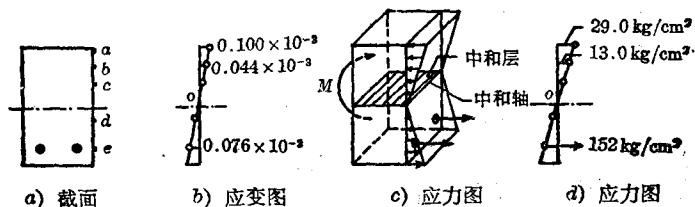


图 7-3 跨中截面的应变图和应力图

在梁截面的上部,例如 a 、 b 点,测得的是压应变,说明截面的混凝土受压。在梁截面的下部,例如在纵向钢筋处的 e 点,测得的是拉应变,说明截面的混凝土受拉,纵向钢筋也受拉。这就是说,梁受弯后,上部因受压而缩短,下部因受拉而伸长。

由图 7-3b 还可看到一个非常重要的规律:将截面上 a 、 b 、 c 、 d 、 e 五点的应变用线连起来,基本上形成一条直线,即形成上下两个三角形应变图,代表了梁截面从上到下的应变分布规律,称为“平面应变规律”。它说明梁的横截面在受力前是一个平面,在受力后基本上仍保持为一个平面,并不发生翘曲或扭曲。梁承受的是正弯矩,截面的上半部受压,最上面边缘的压应变为最大,从上到下压应变逐渐变小,到达某一点(即 O 点)时其应变为零,该点既不受压也不受拉,既不缩短也不伸长。应变为零的这一层称为中和层。中和层与横截面的交线称为中和轴。再往下,截面受拉,拉应变逐渐增加,到下面边缘,拉应变最大。

由于变形的数值很小,所以在试验时,只有用仪器才能测量出来。为了能用肉眼看到变形前后的形象,我们再来看一根橡皮梁的试验。先在梁侧面用纵线和横线画成格子(图 7-4a),然后施加两个集中荷载,使画格子的部分受“纯弯曲”(图 7-4b)。可以看出,梁上所有纵线(例如 mn 线)在弯曲后都由直线变为圆弧线,梁上部的圆弧线,例如 $1-2'$ 线缩短了,表明受压;下部的圆弧线,例如 $3-4'$ 线伸长了,表明受拉。梁中部的圆弧线 $O-O$ 线,既不缩短,也不伸长,这就是中和层。另一方面,梁上所有横线(例如 $1-3$ 线或 $2-4$ 线)在弯曲后仍保持为直线,不过不再平行,而是互相转动了一个角度,与圆弧线处处垂直。这说明梁的横

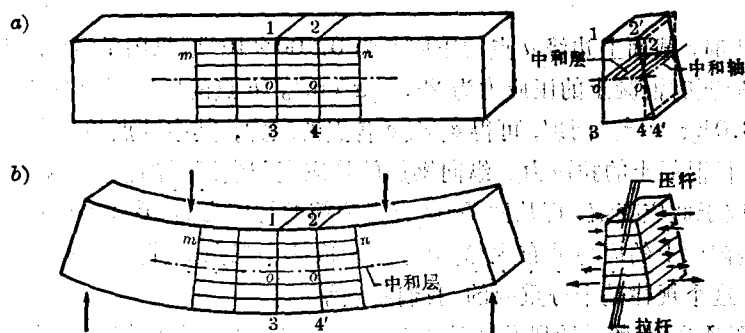


图 7-4 橡皮梁的变形

截面在受力后发生转动,但仍能维持原来的平面形状。

以上我们观察到的截面上应变的分布规律,指的是在第 I 阶段,这时荷载较小 ($P=0.25t$)。现在将第 I 阶段末、第 II 阶段直至第 III 阶段末梁破坏时的实测应变图示于图 7-5a,

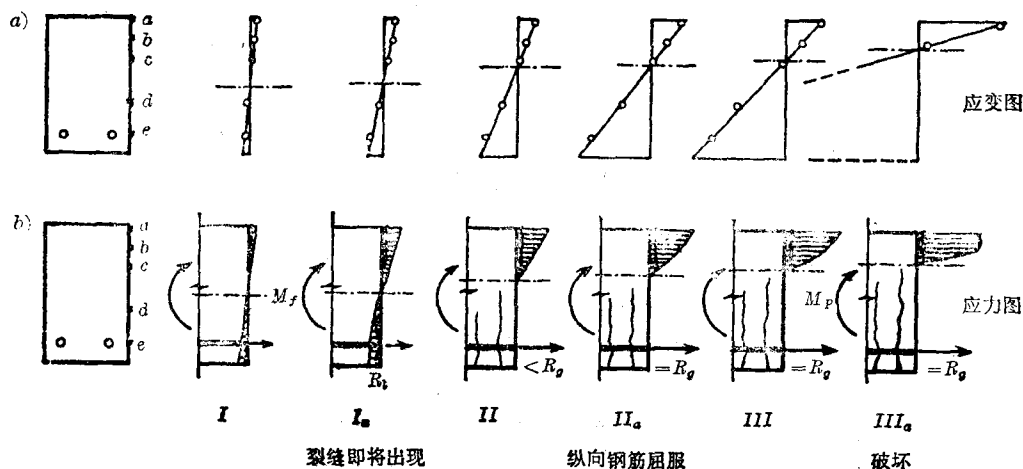


图 7-5 截面各阶段的应变图和应力图

可以看出,随荷载的增加,应变值也不断增加,但应变图基本上仍是上下两个三角形,即应变仍按直线规律分布,符合“平面应变规律”。同时要注意,随荷载的增加,中和轴逐渐向上升,所以上下两个三角形是不相等的。这就是钢筋混凝土梁受弯后截面上应变分布规律的主要特点,我们必须掌握。

四、截面上应力的分布规律

上面已讲到,截面上部受压、下部受拉,所以可将梁看作为由许多横放的压杆和拉杆所组成。这些压杆和拉杆承受多少应力呢?这就是现在要讨论的问题——截面上应力的分布规律。

试验中,我们测得的是应变,例如图 7-3b 就是当 $P=0.25t$ 时的实测应变图。那么,怎样可以知道截面所受的应力呢?一般需从材料的应力-应变关系去推求。图 7-6a 表示这根梁纵向钢筋受拉时的应力-应变曲线;图 7-6b、c 分别表示混凝土受压及受拉时的应力-应变曲线。

当 $P=0.25t$ 时,截面上边缘 a 点的压应变为 0.100×10^{-3} (见图 7-3b),从图 7-6b 可查得相应于此压应变时混凝土的压应力为 29.0 kg/cm^2 。b 点的压应变为 0.044×10^{-3} ,相应的压应力为 13.0 kg/cm^2 。同理,可得 c、d、e 各点的应力,其中 d 点和 e 点是拉应变,所以应由图 7-6c 查得混凝土的拉应力。纵向钢筋的拉应变与它近旁的混凝土拉应变相等,为 0.076×10^{-3} ,相应于此应变值,可从图 7-6a 查得钢筋的拉应力为 152 kg/cm^2 。

图 7-3d 就是截面上的应力分布规律,基本上形成两个三角形,即应力按直线规律分布,如图 7-3c 所示。这个规律是十分重要的,我们必须掌握。

应该指出,图 7-3d 是第 I 阶段荷载较小时的应力图;如将第 I 阶段末、第 II 阶段直至第 III 阶段末梁破坏时的应力图也按同样方法推求,可得图 7-5b。这就是说,图 7-5b 的应力

图是根据图 7-5a 的实测应变图以及图 7-6 材料的应力-应变图,沿截面从上到下,一点一点画出来的。

图 7-5b 的应力图具有下列特点:

第 I 阶段: 荷载很小, 混凝土的压应力和拉应力基本上都形成三角形分布。纵向钢筋承受拉应力, 其值要比它近旁混凝土的拉应力为大, 这是因为钢筋的弹性模量比混凝土大而造成的。

第 I 阶段末: 混凝土的压应力基本上仍是三角形, 但它的拉应力图却成为曲线形了, 这是由于混凝土受拉时的曲线形应力-应变图(图 7-6c)所造成的。这时, 受拉边缘混凝土的拉应力到达其抗拉强度, 拉应变到达其抗拉极限应变, 表示裂缝即将出现, 这就是第 I 阶段的结束。

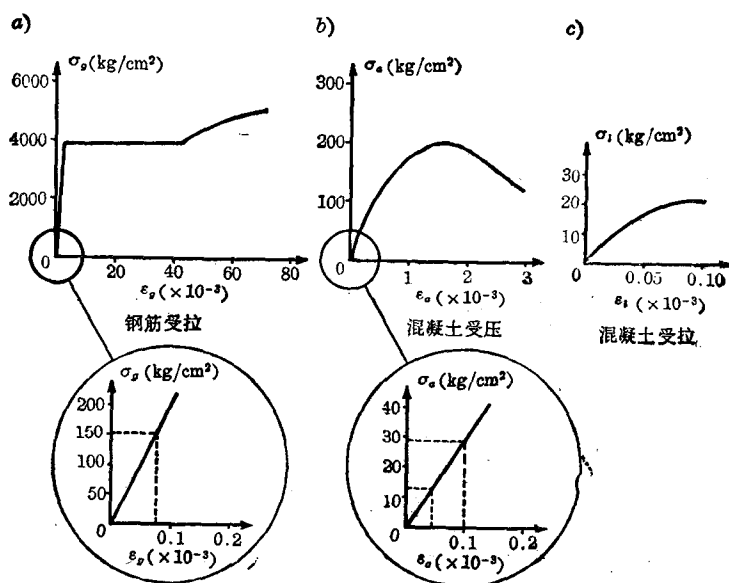


图 7-6 材料的应力-应变图

第 II 阶段: 荷载稍有增加, 混凝土拉应力即超过其抗拉强度。这时, 拉应力与抗拉强度这一对矛盾采取了对抗的形式, 在受拉区出现了裂缝, 这是一个质变。旧的矛盾过程结束了, 新的矛盾过程开始了, 构件即进入一个新的阶段——第 II 阶段。这时在有裂缝的截面上, 混凝土退出工作, 它把原来承担的拉力一下子交给钢筋。这是一个突变, 发生了明显的应力重分布。在第 II 阶段, 钢筋的拉应力随荷载的增加而增加; 混凝土的压应力不再是三角形, 而形成微曲的曲线形了。这时, 中和轴的位置向上升高。

第 II 阶段末: 拉应变达到钢筋屈服时的应变值, 表示钢筋的拉应力到达其屈服强度, 这就是第 II 阶段的结束。

第 III 阶段: 过了第 II 阶段末, 荷载再增加, 梁就进入第 III 阶段。从第 II 阶段到第 III 阶段, 又是一个质变。在这个阶段, 钢筋的拉应变飞速增加, 变形可能超过仪器的量程; 但钢筋的拉应力一般仍维持在屈服强度不变。这时裂缝急剧开展, 中和轴继续上升, 受压区不断缩小, 混凝土压应力也不断增大, 压应力图成为明显的曲线形。

第 III 阶段末: 混凝土被压碎, 梁截面破坏。这时, 混凝土上边缘的压应变达到其极限

压应变值, 压应力图呈明显的曲线形, 并且最大的压应力已不在上边缘, 而稍向下面一点。这都是由混凝土受压时的曲线形应力-应变图(图 7-6b) 所决定的。在第 III 阶段末, 纵向钢筋的拉应力仍等于其屈服强度。

这里要指出, 图 7-6b 所示的混凝土受压时的应力-应变图是在轴心的、均匀的受压状态下测得的(相当于图 6-23 和图 6-24); 但在梁截面的受压区, 混凝土实际上是处于不均匀的受压状态, 因此, 根据图 7-6 和图 7-5a 所画出的应力图(图 7-5b), 与实际情况会有些差异。由于试验技术上的困难, 特别在第 III 阶段末, 实测资料较少, 需要继续研究。不过图 7-5b 还是可以很好地反映梁截面的应力分布规律, 下面再讨论如何定量地确定截面的强度计算公式。

五、破坏时构件的受力图式

通过上面试验可知, 钢筋混凝土梁从开始加荷到破坏, 经历三个阶段。各阶段有它特殊的应变分布规律和应力分布规律, 所以计算方法应有各自的特点。我们将在第九章讨论第 I 阶段的计算, 在第十章讨论第 II 阶段的计算, 而在本章讨论第 III 阶段末截面破坏时的计算, 称为正截面的强度计算。其目的就是为了使截面有足够的强度, 不致发生破坏。这是在各阶段中最重要的一项计算。

现在让我们把注意力集中到第 III 阶段末构件的受力状态。如图 7-7a 所示, 破坏时因受拉区早已开裂, 拉应力全部由纵向钢筋负担, 它好象一根横放的拉杆; 受压区混凝土负担压应力, 它好象一根横放的压杆。

如将梁沿破坏截面切开(图 7-7b), 则在左面半段上作用着四个力: 荷载 P 、支座反力 R 、纵向钢筋的总拉力 N_s 及混凝土的总压力 N_c , 这四个力在破坏时的一瞬间处于平衡状态。

P 和 R 是一对平行力, 数值相等, 方向相反; 它们组成一个力偶, 力偶矩 M_P 为

$$M_P = P \times a \quad (7-1)$$

弯矩 M_P 实际上就是破坏截面所负担的内力, 所以梁上的外力 P 和 R 可用破坏截面的内力 M_P 来代替(图 7-7c), 这也就是第三章所已经解决的问题。

按图 7-7c, 构件上作用着弯矩 M_P 、拉力 N_s 及压力 N_c 。 N_s 就是纵向钢筋负担的总拉力, 它等于所有纵向钢筋拉应力的合力。 N_c 就是混凝土负担的总压力, 它等于第 III 阶段

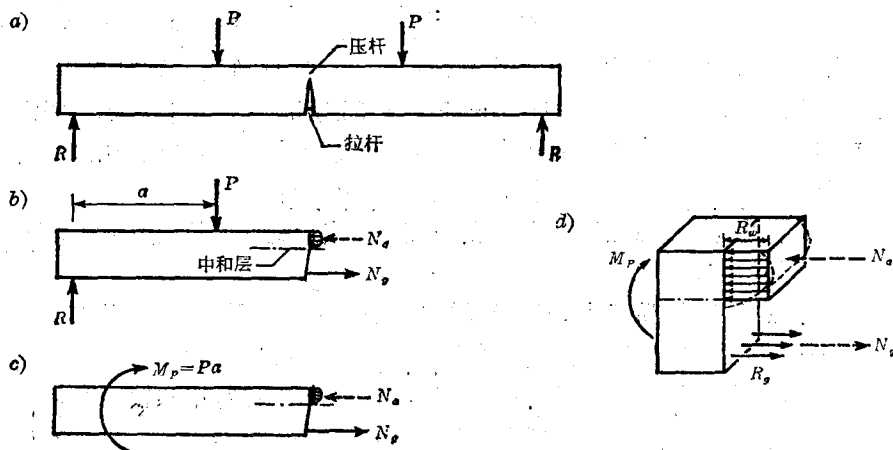


图 7-7 破坏时构件的受力图式

末混凝土曲线形压应力图的合力(图 7-7d)。

这里我们遇到一个麻烦,即曲线形的压应力图将使计算复杂,不利于实际设计工作。为了简化计算,我们把曲线形压应力图用等效的矩形来代替(图 7-7d),使矩形应力图的合力与曲线形应力图的合力,两者在数值上相等,位置相同。根据这个原则,经过一些专门的试验研究,得到梁破坏时矩形应力图的应力值为

$$R_w = 1.25 R_a \quad (7-2)$$

式中: R_w ——混凝土的弯曲抗压强度;

R_a ——混凝土的棱柱抗压强度。

对于上面的试验梁: $R^s = 288 \text{ kg/cm}^2$

由式(6-11)得 $R_a^s = 0.7 R^s = 202 \text{ kg/cm}^2$

$$\therefore R_w^s = 1.25 R_a^s = 1.25 \times 202 = 252 \text{ kg/cm}^2$$

要注意, R_w 并不是曲线形压应力图上边缘处的应力值,也不是最大(曲线高峰处)的应力值。 R_w 是一个计算时所采用的折算应力值,称为混凝土的弯曲抗压强度。

六、破坏时构件上力的平衡条件

由以上分析可知,破坏时构件的受力图式如图 7-7d 或图 7-8 所示。破坏时截面所负担的弯矩为 M_p ; 纵向钢筋的拉应力到达屈服强度 R_g , 对于这根试验梁, $R_g^s = 3950 \text{ kg/cm}^2$, 纵向钢筋的总拉力为 N_g ; 混凝土受压区的压应力按矩形规律分布,折算压应力值等于混凝土的弯曲抗压强度 R_w , 对于这根试验梁, $R_w^s = 252 \text{ kg/cm}^2$ 。这里我们在 R_g 和 R_w 的右上角各注以 s , 表示是这一根具体的梁的实际材料强度。

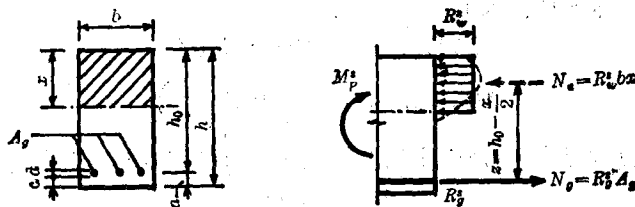


图 7-8 破坏时计算图式

根据图 7-8 的计算图式,可写出构件上力的平衡条件如下:

(1) 截面上水平方向各力(即总压力和总拉力)的代数和应等于零,即

$$\sum X = 0;$$

$$N_c = N_g$$

或

$$R_w^s \cdot b \cdot x = R_g^s \cdot A_g$$

混凝土弯曲
抗压强度
受压区
的宽度
受压区
的高度
受压区
的面积
总压力

 纵向钢筋抗拉强度
纵向钢筋截面面积
总拉力

$$(7-3)$$

(2) 截面上各力对纵向钢筋总拉力作用点(即纵向钢筋截面的形心)的力矩的代数和应等于零,即

$$\sum M = 0;$$

$$M_p^s = N_s \cdot z$$

或

$$M_p^s = \underbrace{R_w^s}_{\substack{\text{破坏} \\ \text{弯矩}}} b x \cdot \underbrace{\left(h_0 - \frac{x}{2}\right)}_{\substack{\text{受总} \\ \text{压力} \\ \text{区力} \\ \text{力矩臂}}} \quad (7-4)$$

式中. M_p^s ——破坏时截面实际负担的弯矩;

R_s^s ——纵向钢筋的实际抗拉强度;

R_w^s ——混凝土的实际弯曲抗压强度;

A_s ——纵向钢筋的截面面积;

b ——截面的宽度;

x ——截面受压区的高度;

h_0 ——截面的有效高度,即纵向钢筋总拉力作用点至截面上边缘的距离, $h_0 = h - a$;

h ——截面的高度;

a ——纵向钢筋总拉力作用点至截面下边缘的距离; 如采用一排钢筋, $a = \frac{d}{2} + c$ (d 为纵向钢筋直径, c 为净保护层厚度);

z ——钢筋总拉力至混凝土总压力作用点之间的距离,称为力臂, $z = h_0 - \frac{x}{2}$ 。

现将实验梁的具体数据代入上面两式,得

$$252 \times 10 \times x = 3950 \times 1.57$$

$$M_p^s = 252 \times 10 \times x \left(13.5 - \frac{x}{2}\right)$$

以上是两个代数方程式,有两个未知数 x 及 M_p^s , 很容易联立求解。

先由第一式,得

$$x = 2.46 \text{ cm}$$

代入第二式,得

$$M_p^s = 76100 \text{ kg-cm}$$

M_p^s 既已求得,就可由式(7-1)算出破坏时梁所负担的荷载:

$$M_p^s = P_p \times 55$$

$$76100 = P_p \times 55$$

$$\therefore P_p = 1380 \text{ kg}$$

实测破坏荷载为 1530 kg, 可见计算值基本上与实际相符(误差 9.8%)。

第二节 单筋矩形梁正截面的强度计算

一、基本计算公式

现在我们把以上试验梁的分析计算加以一般化,写成基本计算公式,来解决生产中的实

际问题。那么,生产中的实际问题与试验梁有什么不同呢?主要是前者必须考虑安全度问题,而后者不考虑。

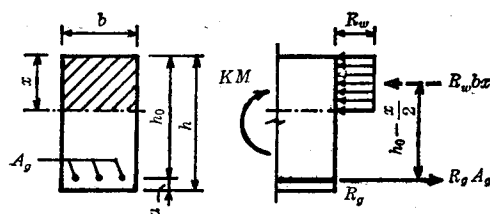


图 7-9 单筋矩形梁正截面的强度计算图式

为了考虑安全度,我们用图 7-9 代替图 7-8,其中用 KM 代替 M_p^s ,用 R_w 、 R_g 代替 R_w^s 、 R_g^s ,并据此将式(7-3)、式(7-4)写成强度计算的基本公式如下:

$$\sum X = 0: \quad R_w b x = R_g A_g \quad (7-5)$$

$$\sum M = 0: \quad KM \leq M_p = R_w b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) \quad (7-6)$$

如按各力对受压区总压力作用点(即受压区面积的形心)取矩,则得

$$KM \leq M_p = R_g A_g \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) \quad (7-7)$$

式中: K ——钢筋混凝土受弯构件的强度设计安全系数,一般取 $K=1.40$,见附录四(1)、(2);

M ——截面所负担的、由荷载所产生的弯矩;

R_w ——混凝土的弯曲抗压设计强度,查附录六(1);

R_g ——纵向钢筋的抗拉设计强度,查附录六(2);

其余符号意义同前。

式(7-6)或式(7-7)的意义是:为了保证截面的强度,由设计荷载(即标准荷载,或简称荷载)的 K 倍计算而得的、要求梁正截面负担的弯矩(KM),必须小于或等于由材料设计强度计算而得的、梁正截面破坏时所能负担的弯矩(M_p)。

式(7-5)、式(7-6)、式(7-7)称为单筋矩形截面受弯构件强度计算的基本公式。所谓“受弯构件”就是承受弯矩的构件,也就是“梁”的又一种名称。所谓“单筋”,指的是仅在受拉区布置纵向钢筋,以区别于第三节中我们将要讨论的双筋截面。

必须指出,如图 7-7 所示,作用在梁上的各力形成一平面平行力组。在上册第二章中我们讲过,平面平行力组只能有两个独立的平衡条件。所以,上面虽写出了三个平衡条件——式(7-5)、式(7-6)、式(7-7),但它们中间只有两个是独立的。我们只能利用其中任意两个解决生产实际问题,而不能理解为多了一个平衡条件。

还要指出,式(7-5)、式(7-6)与式(7-3)、式(7-4)基本相似,但有区别。前者考虑安全度,引入了安全系数 K ,后者不考虑;前者引用材料的设计强度(不带右角标 s),后者引用材料的实际强度(带有右角标 s)。

二、梁正截面的三种破坏形态

以上讨论了梁的破坏特点以及基本计算公式。应该注意,梁的这种破坏特点只有在一

定条件下才会发生,所以这些基本公式只能在一定的范围内适用,这就是下面我们要说明的问题。

根据大量的试验结果,按照梁破坏性质的不同,可将梁划分为三种:

1. 适筋梁——塑性破坏

这种梁的配筋量不太多也不太少,称为适筋梁;其截面称为适筋截面。它的破坏过程是:受拉纵向钢筋首先到达抗拉屈服强度 R_g ,然后受压混凝土到达弯曲抗压强度 R_w ,截面破坏。破坏前,梁反映出较大的挠度(图 7-10),有较大的裂缝宽度,可以给人们一个破坏的预兆,以便采取必要的安全措施。这种破坏称为塑性破坏,其破坏形态见图 7-11a 或照片 2。这种梁的配筋量有多有少;配筋量越多,截面的承载能力也愈大(图 7-12),但最大不超过一个限值 M_{Pmax} 。

2. 超筋梁——脆性破坏

这种梁的配筋量太多,称为超筋梁;其截面称为超筋截面。它的破坏过程是:受压混凝土首先到达弯曲抗压强度 R_w ,截面就破坏了;但这时受拉纵向钢筋尚未到达抗拉屈服强度 R_g 。破坏前,梁的挠度(图 7-10)和裂缝宽度都不大,破坏来得比较突然,没有什么警告。这种破坏称为脆性破坏,其破坏形态见图 7-11b 或照片 3。这种梁的承载能力基本上是一个常数 M_{Pmax} (图 7-12)。

3. 少筋梁——脆性破坏

这种梁的配筋量太少,称为少筋梁;其截面称为少筋截面。它的破坏过程是:当截面受拉区出现第一条裂缝时,拉力由混凝土全部转交给钢筋负担,因钢筋太少,所以钢筋的拉应力突然激增,并立即到达和超过屈服强度而进入钢筋的强化阶段,最后钢筋被拉断(图 7-10)。由于破坏来得突然,所以这种破坏也称为脆性破坏,其破坏形态见图 7-11c 或照片 4。

由图 7-10 可看出,这种梁因钢筋太少,其承载能力(指钢筋被拉断、梁破坏时的荷载)很低,低于裂缝出现时的荷载。当第一根裂缝出现后,矛盾突然集中到钢筋上,荷载立即下

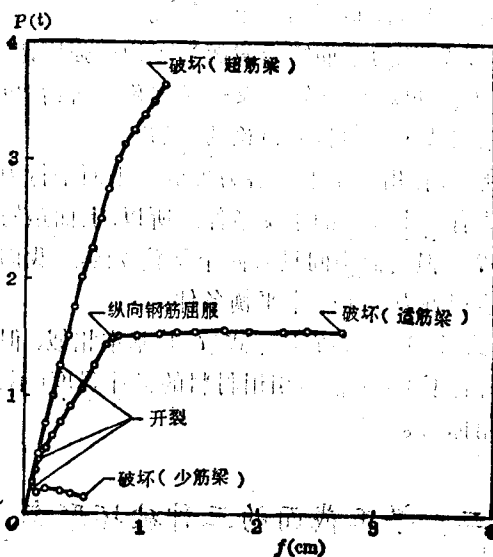


图 7-10 三种梁的荷载-挠度($P-f$)曲线

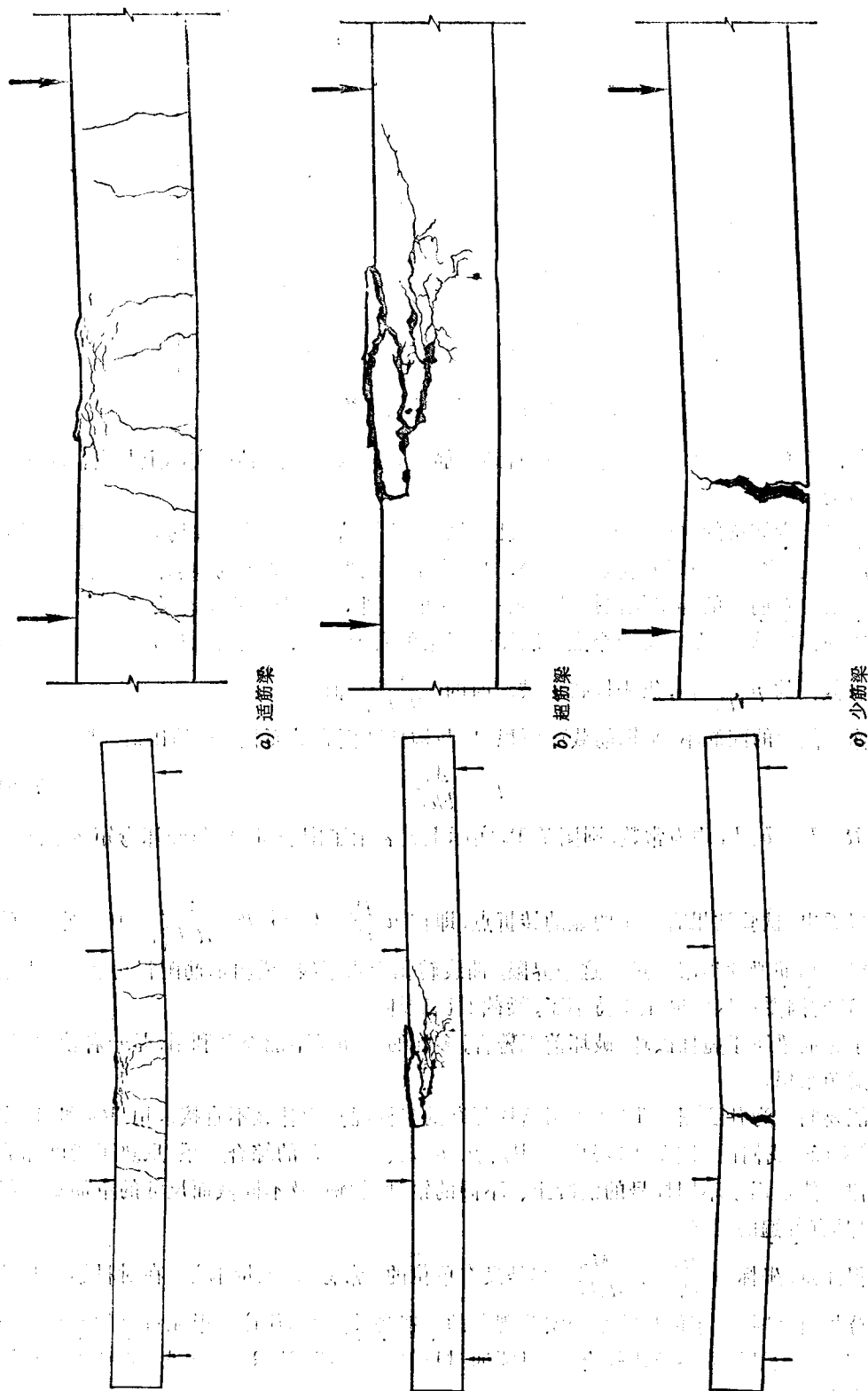


图 7-11 三种梁的破坏形态

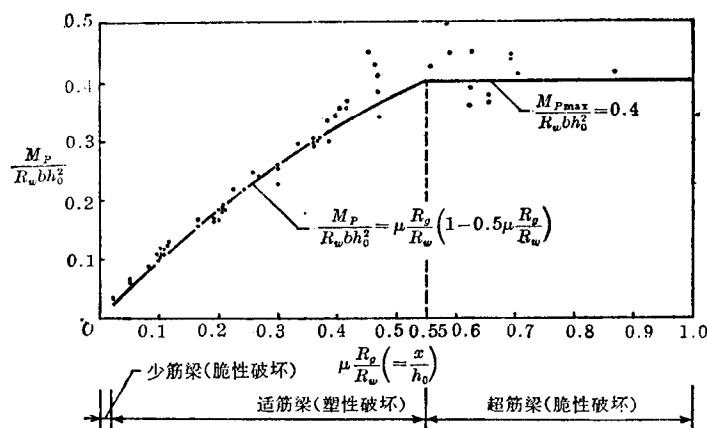


图 7-12 配筋率与承载力的关系

降,但并不下降到零,而还能支持一些,直到钢筋被拉断为止。这种梁实际上与素混凝土梁是差不多的。

适筋梁与少筋梁的界限是根据生产实践经验及计算结果确定的。除防止脆性破坏外,为了考虑温度、收缩应力以及构造要求等,也要求配置最少数量的钢筋,具体数值下面再讲。

适筋梁与超筋梁的界限是根据试验结果确定的。图 7-12 表示我国有关单位所进行的几十根梁的试验结果,图中每一个点子表示一根梁的实测数据,曲线表示计算结果。图的横坐标代表截面的 $\mu \frac{R_g}{R_w}$ 值,纵坐标代表破坏时的 $\frac{M_P}{R_w b h_0^2}$ 值。

μ 称为截面的配筋率,是钢筋截面面积 A_g 与构件截面有效面积 $b h_0$ 的比值,即

$$\mu = \frac{A_g}{b h_0} \quad (7-8)$$

如 R_g 、 R_w 、 b 、 h_0 均为常数,则图 7-12 实际上就表示了配筋量 A_g 与破坏弯矩 M_P 之间的关系。

可以看出,试验结果有一个明显的转折点,即在 $\mu \frac{R_g}{R_w} = 0.55$ 及 $\frac{M_P}{R_w b h_0^2} = 0.4$ 处,这就是适筋梁与超筋梁的界限。过了这个界限,曲线转化为水平线,说明钢筋配得再多,弯矩也上不去,这时因受压区混凝土支持不了,梁截面已破坏。

由于超筋梁属于脆性破坏,破坏前无警告,多配的钢筋又不能充分利用,是一种浪费,设计时应避免采用。

可能要问,为什么图 7-12 要采用这样复杂的坐标呢?为什么不直接采用 M_P 和 A_g 作为纵、横坐标?我们说,图 7-12 考虑了 M_P 、 μ 、 b 、 h_0 、 R_w 、 R_g 的综合关系,反映了梁破坏的一般规律,能适用于不同标号的混凝土、不同的钢种(软钢)及不同截面尺寸的单筋矩形截面,所以具有普遍的意义。

值得注意,坐标 $\mu \frac{R_g}{R_w}$ 和 $\frac{M_P}{R_w b h_0^2}$ 都是没有单位的,常称为“无量纲”。在对科学实验结果进行分析研究时,为了能反映某一实验现象的一般规律,我们往往采用无量纲的参数。至于采用哪一种无量纲的参数比较合适,只能通过反复的“实践、认识、再实践、再认识”以后,才能逐步掌握。