

建筑结构基本知识丛书

预应力混凝土结构构件计算

浙江大学土木系

《预应力混凝土结构构件计算》编写组



中国建筑工业出版社





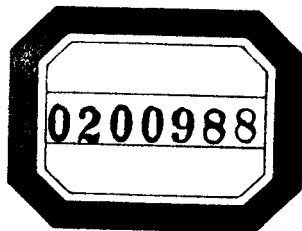
水	006549 水利部信息所
图书总号	中 7710
分类号	

建筑结构基本知识丛书

预应力混凝土结构构件计算

浙江大学土木系

《预应力混凝土结构构件计算》编写组



中国建筑工业出版社

本书是建筑结构基本知识丛书之一，主要介绍预应力混凝土结构基本构件的计算方法。全书共十章：钢筋和混凝土材料的力学和变形性能，预应力混凝土构件的应力阶段及计算原理，预加应力的计算，预应力混凝土受弯构件、轴心受拉构件、偏心受拉构件、轴心受压构件、偏心受压构件、后张法预应力混凝土构件的计算以及关于若干构造处理的说明。

这套建筑结构基本知识丛书，包括建筑力学、建筑结构和构件计算等方面的基本知识，按专题分册出版，每册力求重点突出，并有一定的独立性，以便读者根据需要选读。

本书可供具有初中以上文化程度的基本建设战线职工和刚从事基本建设工作的读者自学建筑结构知识参考。

建筑结构基本知识丛书

预应力混凝土结构构件计算

浙江大学土木系

《预应力混凝土结构构件计算》编写组

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米1/32 印张：6 1/8字数：138千字

1979年10月第一版 1979年10月第一次印刷

印数：1—95,150册 定价：0.46元

统一书号：15040·3589

目 录

绪 论	1
第一章 钢筋和混凝土材料的力学和变形性能	5
1-1 材料的应力—应变特性曲线	5
1-2 钢筋	7
1-3 混凝土	19
第二章 预应力混凝土构件的应力阶段及计算原理	28
2-1 预加应力的方法	28
2-2 预应力混凝土构件的应力阶段及计算内容	32
2-3 预应力混凝土结构的计算原理	39
第三章 预加应力的计算	48
3-1 钢筋的“张拉控制应力” σ_k	48
3-2 钢筋“预应力损失值”的种类及其计算	50
3-3 钢筋和混凝土预应力的计算	55
第四章 预应力混凝土受弯构件	61
4-1 预应力混凝土受弯构件的计算内容和设计计算步骤	61
4-2 设计计算资料的拟定	64
4-3 垂直截面强度计算	68
4-4 垂直截面抗裂计算	76
4-5 垂直截面采用冷拔低碳钢绞线和冷拉热轧钢筋配筋的 计算	84
4-6 斜截面强度和抗裂计算	92
4-7 预应力混凝土受弯构件挠度计算	103
4-8 预应力混凝土受弯构件若干问题的补充和讨论	107
4-9 其它常用截面形式构件的计算要点	112

4-10	多孔板计算实例	115
第五章	预应力混凝土轴心受拉构件	123
5-1	三铰屋架下弦内力计算	123
5-2	轴心受拉构件强度计算	125
5-3	轴心受拉构件抗裂计算	126
第六章	预应力混凝土偏心受拉构件	128
6-1	屋架下弦杆的内力计算	129
6-2	小偏心受拉构件强度计算	131
6-3	小偏心受拉构件抗裂计算	133
第七章	预应力混凝土轴心受压构件	136
7-1	预应力混凝土轴心受压构件计算的说明	136
7-2	强度计算公式	137
第八章	预应力混凝土偏心受压构件	139
8-1	大、小偏心受压构件的判别	139
8-2	大偏心受压构件的计算	140
8-3	关于大偏心受拉构件计算的说明	151
8-4	小偏心受压构件的计算	151
第九章	后张法预应力混凝土构件的计算	155
9-1	后张法预应力混凝土构件制作工艺概述	155
9-2	后张法预应力混凝土构件的计算特点	156
9-3	后张法预应力混凝土构件计算实例	158
第十章	关于若干构造处理的说明	171
附录 I	材料的标准强度	179
附录 II	截面抵抗矩的塑性系数 γ 表	181
附录 III	钢筋混凝土及预应力混凝土结构构件的附加安全系数	183
附录 IV	锚具变形值	184
附录 V	预应力混凝土构件最小配筋率的实用计算	184

一、受弯构件	184
二、轴心受拉构件	188
附录 VI 预应力钢筋的锚固长度	189
附录 VII 预应力混凝土构件和钢筋混凝土构件的纵向弯 曲系数 φ	190
附录 VIII 钢筋混凝土矩形和 T 形截面受弯构件强度计算 表	191
附录 IX 钢筋的计算截面面积及理论重量表	192

绪 论

在基本建设中，预应力混凝土结构的应用日益普遍和广泛。大家知道，普通钢筋混凝土结构同其它材料的结构相比，虽然有不少显著的优点，但是，由于混凝土抵抗拉力的能力很差，所以存在着容易出现裂缝的缺点。如图1(a)所示的普通钢筋混凝土梁，在不大的外荷载 q 作用下，下部受拉区混凝土便裂开，开裂后截面上的拉力便转由配置在下部的钢筋来承担。可见，普通钢筋混凝土梁，在正常使用的荷载作用下，总是带有裂缝的。裂缝宽度将随着荷载的增加、钢筋的伸长，而不断扩大，梁的挠曲变形 f 亦会越来越大。普通钢筋混凝土结构就有以下一些缺点：

1. 由于它在正常使用条件下，总是带有裂缝的（一般这

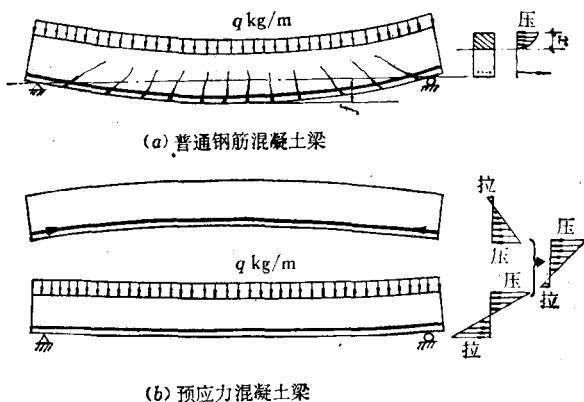


图 1 预应力和非预应力受弯构件受力性能对比

种裂缝肉眼不一定能看清楚)，所以，它的耐久性稍差，在某种环境下，钢筋将易于腐蚀。

2. 为了控制构件的裂缝和变形，在使用所允许的范围内，构件的截面通常要适当增大，既多费了材料，又增加了构件的自重。

3. 更主要的一点是：为了限制构件的裂缝宽度在使用所允许的范围内，就需要控制裂缝处钢筋的拉应力^①（或拉伸变形）不能过大，这就限制了钢筋强度^②的发挥。所以，在普通钢筋混凝土构件中，就只应用强度较低的钢筋，而不宜用高强度的钢筋。

4. 由于上述原因，普通钢筋混凝土结构的应用范围受到了很大的限制，例如：不宜应用于防水、防渗要求高的结构以及承受大吨位荷载作用和大跨度的结构等。

要克服上面所列举的普通钢筋混凝土结构的缺陷，简单而有效的方法就是设法对受拉区混凝土施加“预（压）应力”。例如，一个盛水用的木桶，大家知道是由一块块的木片用竹箍或铁箍箍成的，盛水后木桶所以不漏水，就是因为用力把它箍紧时，使木片与木片之间产生了预（压）应力。即木桶盛水后，水压对木桶所产生的环向拉力，只能抵消木片之间的一部分预压应力，使木片与木片之间始终保持受压

① 应力——指材料单位面积所抵抗的力。例如直径为12毫米的钢筋，圆面积为1.131厘米²，当这根钢筋上作用有3吨（等于3000公斤）的拉力时，则钢筋内的拉应力为： $\sigma = \frac{3000}{1.131} = 2652.5 \text{ kg/cm}^2$ ，即每1个平方厘米的面积内，抵抗2652.5公斤的拉力。

② 强度——指材料承受外力作用的能力。例如，上述钢筋若能承受8.5吨（8500公斤）拉力，则这根钢筋的抗拉强度为 $R_g = \frac{8500}{1.131} = 7500 \text{ kg/cm}^2$ 。

的紧密状态。这就是简明的“预应力”原理。

我们在制作钢筋混凝土梁时，采用某一种方法使配置在梁下部的钢筋预先受拉，并使钢筋的这个预拉力又同时反作用在混凝土截面上，则梁下部混凝土便产生了预（压）应力。显然，钢筋的预拉应力愈大，混凝土受到的预压应力亦愈大，可以根据需要通过计算加以确定。这种梁便是预应力混凝土梁，如图1(b)所示。图1(c)为混凝土截面上的应力分布图，由图示可知，在同样的外荷载 q 作用下，梁下缘所产生的拉应力，仅仅使梁下缘的预压应力减小，在抵消了梁下缘的预压应力后，才开始使梁下缘受拉。所以，可以这样说：对混凝土施加预应力的结果，大大地提高了受拉区混凝土抵抗拉力的能力，在预应力和外荷载的共同作用下，梁的下缘亦不产生裂缝。

采用预应力混凝土构件，能克服普通钢筋混凝土结构的缺陷。预应力混凝土结构的优点在于：

- 1.在正常使用条件下，预应力混凝土构件不会产生裂缝，结构的耐久性好。

- 2.混凝土梁在预应力作用下，将会向上产生“预拱”，如图1(b)所示，当在外荷载作用下，梁向下的挠曲变形（即挠度 f ）也就大大减小。预应力的结果，大大地增强了梁的刚度。所以，在同样的荷载作用下，我们可以把梁的截面设计得比较小些，既节约了材料，又减轻了构件的自重。

- 3.更重要的是，在预应力混凝土梁中，由于受拉区钢筋已经预先受到了很大的拉应力（或拉伸变形），所以，它可以而且必须采用高强度的钢筋，从而可相应的减少钢筋的截面面积，节约大量的钢材。钢筋的强度愈高，其经济效果愈好。

4. 由于构件的刚度好，又采用了高强度的钢筋，则同样的构件截面，同样的用钢量，便可以比普通钢筋混凝土构件承受1~2倍以上的荷载。所以，预应力混凝土可以应用于大吨位、大跨度的结构中；又由于它的抗裂性能好，便可以进一步应用于水池，高压油罐等防渗抗压要求高的结构中。

本书着重叙述预应力混凝土结构设计的基本原理和基本构件的计算方法，对于可能碰到的其他类型构件的计算，例如组合截面构件、变截面构件以及构件的疲劳验算等，读者须参阅其他有关书籍。

随着社会主义建设事业的发展，预应力混凝土的新材料、新结构和新机具将不断涌现，预应力混凝土这门技术一定会得到更为广泛的应用和发展。

第一章 钢筋和混凝土材料的 力学和变形性能

不同材料的结构，其计算原理和方法是不相同的。预应力混凝土结构，由两种不同性能的材料——预应力钢筋和混凝土所组成。要很好地了解这种结构材料的一些基本性能，即它们的力学和变形的性能，以便了解和掌握预应力混凝土结构的特性。对于材料的一些基本性能，工程上常常通过材料在受力过程中的应力和应变变化规律来加以认识。因此，需要首先介绍一下材料应力—应变特性曲线的基本概念。

1-1 材料的应力—应变特性曲线

所谓应力（以 σ 表示），就是材料单位面积上所抵抗的力，而所谓应变（以 ε 表示），则是材料在外力作用下，单位长度内所产生的变形值（即伸长或缩短值）。它们是怎样测定的呢？

假若我们取一根直径为12mm（mm表示毫米）的钢筋试件，它的圆面积 $A_g=1.131\text{ cm}^2$ （ cm^2 表示厘米²），长为50 cm，放在试验机上拉，在钢筋中段10 cm的标距内装上一只应变仪，我们可以观察到，随着拉力的不断增加，钢筋在不断伸长。钢筋上加了多大的力？可以从试验机表盘上测读，钢筋在10 cm的标距内伸长了多少？可以从应变仪上测

读。假若每次加拉力 $N_1=1000\text{ kg}$ (kg 表示公斤), 并由应变仪上读出标距 $l=10\text{ cm}$ 内伸长了 $\Delta l=0.0442\text{ mm}$, 于是就可以算出每次加荷时, 该钢筋内产生的应力 σ 和应变 ε 值, 即

$$\sigma = \frac{N_1}{A_g} = \frac{1000\text{ kg}}{1.131\text{ cm}^2} = 885\text{ kg/cm}^2$$

标距 10 cm 长度内试件伸长了 0.0442 mm , 所以单位长度的伸长值 ε 为

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{0.0442\text{ mm}}{100\text{ mm}} = 0.000442 = 442 \times 10^{-6}$$

假若对某个试件按每次 1000 kg 继续加荷, 并把每次加荷后的变形值记录下来, 就可以计算出每次加荷后, 钢筋内的应力和应变, 然后把每一次加荷所得到的应力值和应变值在直角坐标上加以表示, 以纵座标表示 σ (kg/cm^2), 横座标表示 ε , 每次加荷下的 σ 值和 ε 值在直角坐标上可得到一个

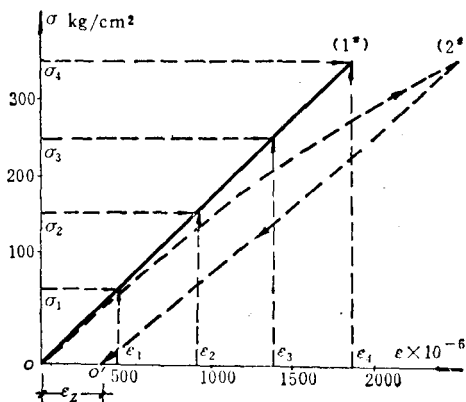


图 1-1 应力—应变曲线

一个交点, 将所有交点连接起来, 就得应力—应变特性曲线 (图 1-1)。

图 1-1 中, 有二种类型的曲线, 如 1* 线所示, 各交点的连线是一条连接原点 O 的直线, 这表明应力和应变成比例地增加; 相反, 当应力减小

时, 应变亦成比例地减小, 当 σ 回到零时, ε 值亦等于零。这种变形特性, 称为“弹性变形”, 具有这种变形特性的材

料，就称为“弹性材料”。如2*线所示，每次加荷后，应变的增长比例越来越大，所以它的交点的连线是一条向下凹的曲线。这说明加荷时，材料除了产生弹性变形外，还产生了“塑性变形”。所谓“塑性变形”，就是当卸除荷载后，基本上不能回复的变形（有一小部分的塑性变形能回复）。所以，卸荷时的应力—应变曲线将是向上略凹的一条曲线，且应力 σ 回到零、应变 ε 并不回到零，而是回到 O' ， $O-O'$ 的变形值 ε_s 便是不能回复的塑性变形值。这一部分不能回复的变形值叫做“残余变形”。对于这种既具有弹性变形、又具有塑性变形的材料，称为“弹塑性材料”。

由此可见，根据各种材料的应力—应变特性曲线，我们便很容易区分它们是属于哪一类材料的特性。

1-2 钢 筋

一、钢 筋 的 分 类

根据钢筋的应力—应变特性曲线来区分，可大体分为两类。

（一）软钢：它的应力—应变曲线如图 1-2 所示，从加

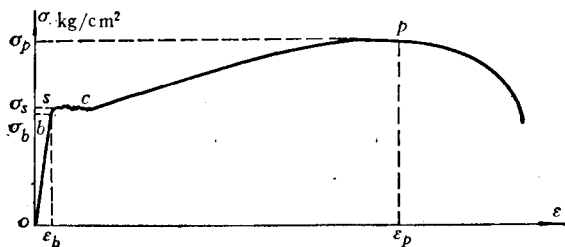


图 1-2 软钢的应力—应变曲线

荷开始到破坏（拉断）为止，它的变形特性，可大体分为三个阶段。

第一阶段 $O-b$ ：应力—应变成比例增大，为弹性变形阶段，这一阶段顶点处的应力 σ_b ，称为“比例极限”。

第二阶段 $s-c$ ：当应力达 σ_s 时，应力不增加而变形（即塑性变形）骤然急速发展，形成一个“屈服台阶”，“屈服台阶”起点 s 处的应力 σ_s ，便叫做钢筋的“屈服强度”。

第三阶段 $c-p$ ：当继续加荷时，钢筋的应力尚能继续增大，但在这一阶段内，变形的增长速度远大于应力的增长速度，钢筋的塑性变形有很大的发展，这个阶段称为钢筋的“强化阶段”。当钢筋应力到达 P 点的 σ_p 时，我们即可发现，钢筋应力不再增大，而是渐渐减小，但变形仍持续发展，这表示钢筋已开始“颈缩”，这是钢筋即将断裂的征兆。所以把 σ_p 叫做“极限强度”，也就是通常说的钢筋的“抗拉强度”。

用这种钢筋配筋的构件，由于上述的变形特征，当钢筋的应力尚未达到 σ_p 时，构件早已变形过大而破坏，所以在

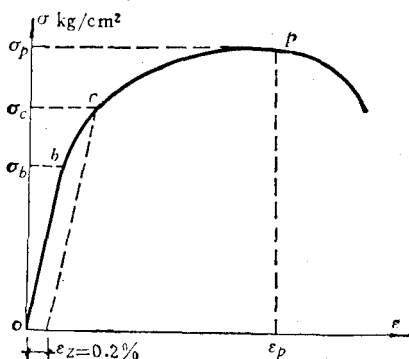


图 1-3 硬钢应变曲线

构件的强度计算中，钢筋的强度限值取“屈服强度” σ_s ，而不采用 σ_p ，后面的强化阶段只作为强度储备。

（二）硬钢：它的应力—应变曲线如图 1-3 所示。其应力—应变曲线的变化规

律，亦可分为三个阶段，其重要特征是没有明显的屈服台阶。

第一阶段 $O-b$ ：为弹性变形阶段， σ_b 称为“比例极限”。

第二阶段 $b-c$ ：变形的增长比应力增长为快，除产生弹性变形外，还产生了塑性变形，所以当加荷到 c 点处的应力 σ_c 时，再卸荷，其卸荷曲线回不到 O ，而是回到 O' 点， $O-O'$ 就是“残余变形”。若应力 σ_c 所产生的“残余变形”值为 $\varepsilon_z=0.002$ ，即 $\varepsilon_z=0.2\%$ 时，则把应力值 σ_c 叫做“条件流限”，以 $\sigma_{0.2}$ 表示之。

第三阶段 $c-p$ ：应力—应变曲线过 c 点以后，钢筋的塑性变形将有更大的发展。当应力达极限强度 σ_p 时，钢筋便开始“颈缩”而断裂。但断裂时，钢筋总的伸长率比软钢要小得多。

由以上两类钢筋的应力—应变特性曲线比较可知：前者强度较低，但伸长率大，即塑性性能较好，质地较软，故称为“软钢”。因这类钢材系热轧而成，所以又叫做“热轧软钢”。后者则相反，强度较高，但塑性性能较差，质地硬而脆，故称为“硬钢”。上述两类钢筋的差异，主要由于软钢含碳量较低，故又称为“低碳钢”，硬钢含碳量较高，故又称为“高碳钢”。高碳钢由于塑性差，质地过于硬而脆，所以在建筑结构中，一般都不宜直接应用。预应力混凝土结构中所用的钢筋，通常由热轧软钢加工处理而成，详见下一节的介绍。

二、预应力钢筋的种类

作为预应力钢筋的条件，首先要有较高的强度，同时要

保证具有一定的塑性性能。前面介绍的“热轧软钢”虽然具有一定的塑性性能，但它的强度较低，所以不宜直接用作预应力钢筋，必须把它进一步加工处理，以提高它的强度。但强度提高后，钢筋的塑性性能却相应降低了。加工处理的方法有二种：一种方法是把热轧软钢进行“冷拉”或“冷拔”，统称为“冷加工”；另一种方法是把热轧软钢再行“调质”热处理，叫做“热加工”，分述如下。

（一）冷拉

热轧软钢按其强度大小分为四级，即Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级、Ⅳ级。其中Ⅰ级钢为普通的低碳钢；Ⅱ～Ⅳ级钢中，则各含有少量的合金元素（如锰、钛、钒、硅等），含碳量亦高些，又称低合金钢，强度较高。上述四级钢种，均可通过“冷拉”提高它们的屈服强度，即提高它们设计计算的强度限值。一般通过“冷拉”约可提高20～40%左右的设计强度。冷拉的方法如图1-4所示， $obkp$ 为未经冷拉的应力—应变曲线。假若把钢筋先拉到超过“屈服台阶”后的 k 点（我们把 k 点处的应力 σ_k 叫做“冷拉应力”）然后卸荷，此时，卸荷线将沿 ko' 回到 o' 点， $o-o'$ 即为“残余变形”，也就是说钢筋伸长了。如果把钢筋再次拉伸变形时，则应力—应变曲线将沿 $o'kb'p'$ 发展。显然，这时它的“屈服台阶”提高了。屈服强度从 σ_b 提高到 σ'_b （钢筋的“抗拉强度”则提高很少）。同时可以看到，“冷拉应力” σ_k 越大，即拉伸力越大，屈服强度亦提高得越多。但是，冷拉以后的钢筋，它拉断时的总伸长率则显著减小，即钢筋的塑性显著降低了。所以，“冷拉应力” σ_k 不宜太大，为确保钢筋具有一定的塑性，宜控制冷拉后的屈服比（即 σ'_p/σ'_b ）大于1.07，或控制冷拉时的“拉伸率”（又叫“冷拉率”）在

3.0~5.0% 范围内（即每米拉长 3~5 cm）。在实际施工时，若同时控制“冷拉应力”和“冷拉率”，则称为“双控”，若仅控制“冷拉率”则称为“单控”。

由图 1-4 可见，钢筋经冷拉后，仍具有“屈服台阶”和“屈服”以后的“强化阶段”，只是都相应的缩短了。由于冷拉后的钢筋基本上仍保持原有软钢的特性，故仍属软钢范畴。

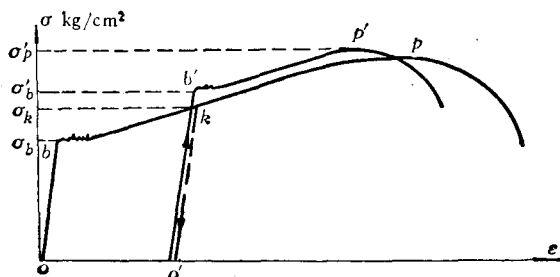


图 1-4 钢筋的冷拉

需要指出的是，钢筋冷拉后，并不能提高它的抗压屈服强度（即抗压设计强度值）。

（二）冷拔

“冷拔”就是把普通的热轧软钢通过孔洞小于原材直径的特制的拔丝模具，一道道拔细，拔得越细，强度越高，但塑性性能越差，即钢材性质越来越脆。拔丝模具如图 1-5(b) 所示，“冷拔”后的应力—应变曲线如图 1-5(a) 所示。作为预应力钢筋应具有一定的塑性，所以不允许拔得太细，强度提得太高。通常宜由直径为 8~6 mm 的钢筋，拔制成直径 5~2.5 mm 的钢丝。

通过冷拔加工，钢丝强度（抗拉强度）一般约比原材强