

高等工科院校自学函授教材

钢筋混凝土结构

(下 册)

范家骥 高莲娣 喻永言 编



中国建筑工业出版社

高等工科院校自学函授教材

钢 筋 混 凝 土 结 构

(下 册)

范家骥 高莲娣 喻永言 编

中国建筑工程工业出版社

目 录

第十章 预应力混凝土构件计算	(1)
学习要点	(1)
10-1 预应力混凝土的基本概念	(1)
10-1-1 概述	(1)
10-1-2 预加应力的方法	(3)
10-1-3 夹具和锚具	(4)
10-1-4 预应力混凝土的材料	(7)
10-1-5 张拉控制应力 σ_{con}	(9)
10-1-6 预应力损失	(10)
10-1-7 预应力损失值组合	(17)
10-1-8 预应力钢筋的传递长度及锚固长度	(18)
10-1-9 构件端部锚固区的局部承压验算	(18)
10-2 预应力混凝土轴心受拉构件的计算	(23)
10-2-1 轴心受拉构件各阶段的应力分析	(23)
10-2-2 轴心受拉构件使用阶段的计算	(29)
10-2-3 轴心受拉构件施工阶段的验算	(32)
〔例题10-1〕	(33)
10-3 预应力混凝土受弯构件的计算	(36)
10-3-1 受弯构件的应力分析	(36)
10-3-2 受弯构件使用阶段正截面承载力计算	(41)
10-3-3 受弯构件使用阶段正截面抗裂度验算	(48)
10-3-4 受弯构件正截面裂缝宽度验算	(49)
10-3-5 受弯构件施工阶段的验算	(50)
10-3-6 受弯构件斜截面受剪承载力计算	(51)
10-3-7 受弯构件斜截面抗裂度验算	(53)
10-3-8 受弯构件的变形验算	(56)
10-4 预应力混凝土构件的构造要求	(57)
10-4-1 一般规定	(57)
10-4-2 先张法构件的构造要求	(60)
10-4-3 后张法构件的构造要求	(62)
〔例题10-2〕	(62)
复习思考题	(70)
习题	(72)
第十一章 单层厂房	(74)
学习要点	(74)
11-1 概述	(75)

11-2 单层厂房结构的组成和布置	(76)
11-2-1 结构的组成	(76)
11-2-2 荷载传递途径	(77)
11-2-3 支撑的作用和布置原则	(78)
11-2-4 单层厂房的变形缝	(82)
11-3 单层厂房结构主要构件的选型	(83)
11-3-1 屋盖结构选型	(84)
11-3-2 柱的选型	(91)
11-3-3 吊车梁的选型	(93)
11-3-4 基础和基础梁	(95)
11-4 排架计算	(97)
11-4-1 计算简图	(97)
11-4-2 排架荷载计算	(98)
11-4-3 排架内力分析	(104)
11-4-4 排架内力组合	(110)
11-4-5 排架考虑整体空间作用的计算	(112)
11-4-6 排架计算中的几个问题	(116)
11-5 单层厂房柱的设计	(118)
11-5-1 柱截面尺寸的确定	(118)
11-5-2 柱截面设计	(118)
11-5-3 牛腿设计	(119)
11-5-4 柱和其他构件的连接	(124)
11-5-5 抗风柱设计	(125)
11-6 柱下单独基础	(128)
11-6-1 概述	(128)
11-6-2 锥形(阶形)单独基础设计	(128)
11-7 单层工业厂房设计计算实例	(135)
11-7-1 设计资料	(135)
11-7-2 排架的计算简图和柱截面尺寸的确定	(137)
11-7-3 荷载计算	(137)
11-7-4 内力分析	(144)
11-7-5 内力组合	(155)
11-7-6 柱设计(④轴柱)	(155)
11-7-7 基础设计(④轴)	(162)
复习思考题	(167)
第十二章 多层及高层房屋	(169)
学习要点	(169)
12-1 概述	(169)
12-2 多层及高层房屋的结构体系和布置	(170)
12-2-1 多层及高层房屋的结构体系	(170)
12-2-2 多层及高层房屋结构布置原则	(173)
12-2-3 沉降缝与伸缩缝	(174)
12-3 荷载	(175)

12-3-1	楼面活荷载	(175)
12-3-2	风荷载	(176)
12-3-3	温度荷载	(178)
12-4	框架结构的计算简图	(178)
12-4-1	平面计算单元	(178)
12-4-2	杆件轴线	(178)
12-4-3	梁、柱截面尺寸	(179)
12-5	多层多跨框架的内力和侧移计算	(180)
12-5-1	竖向荷载作用下的内力近似计算(一)——分层法	(180)
12-5-2	竖向荷载作用下的内力近似计算(二)——弯矩二次分配法	(182)
12-5-3	水平荷载作用下的内力近似计算(一)——反弯点法	(184)
12-5-4	水平荷载作用下的内力近似计算(二)——改进反弯点法(D值法)	(188)
12-5-5	水平荷载作用下侧移的近似计算	(193)
12-5-6	框架构件的抗弯刚度 EI	(199)
12-6	框架结构的最不利内力组合和构件计算	(199)
12-6-1	最不利内力组合	(199)
12-6-2	考虑塑性内力重分布梁端弯矩的调幅	(203)
12-6-3	框架构件截面的计算	(203)
12-7	框架节点设计	(211)
12-7-1	现浇框架的节点	(212)
12-7-2	装配整体式框架的柱与柱连接节点	(212)
12-7-3	装配整体式框架的梁与柱连接节点	(214)
12-7-4	装配整体式框架梁与楼板的连接	(218)
12-8	剪力墙结构的内力和位移计算	(218)
12-8-1	基本假定	(218)
12-8-2	整截面剪力墙的内力及位移计算	(219)
12-8-3	整体小开口墙的内力及位移计算	(220)
12-8-4	双肢墙的内力及位移计算	(220)
12-8-5	壁式框架的内力及位移计算	(229)
12-8-6	各类剪力墙的分类界限	(232)
12-9	剪力墙的截面承载力计算及构造要求	(235)
12-9-1	矩形、T形或工字形截面剪力墙的正截面承载力计算	(235)
12-9-2	矩形、T形或工字形截面剪力墙的斜截面承载力计算	(237)
12-9-3	连系梁的承载力计算	(238)
12-9-4	剪力墙截面的构造要求	(238)
12-9-5	剪力墙结构的连接构造	(239)
12-10	基础	(244)
12-10-1	基础的类型及其选择	(244)
12-10-2	条形基础的内力计算	(246)
12-10-3	十字条形基础的内力计算	(249)
12-10-4	条形基础的构造要求	(251)
12-10-5	筏板基础的计算与构造	(252)
12-10-6	箱形基础	(253)

复习思考题	(254)
第十三章 钢筋混凝土结构构件抗震设计	(255)
学习要点	(255)
13-1 概述	(255)
13-1-1 建筑结构震害简介	(255)
13-1-2 抗震设防	(257)
13-1-3 地震作用和地震烈度	(257)
13-1-4 抗震设计的原则	(258)
13-1-5 钢筋混凝土构件的延性	(260)
13-2 钢筋混凝土结构构件抗震设计的一般规定	(262)
13-2-1 本书前述静力设计各章与本章的关系	(262)
13-2-2 钢筋混凝土结构的抗震等级	(262)
13-2-3 承载力抗震调整系数	(264)
13-2-4 受力钢筋的锚固和接头	(264)
13-3 对材料的要求	(265)
13-3-1 混凝土	(265)
13-3-2 钢筋	(266)
13-4 框架梁的抗震设计	(267)
13-4-1 设计原则	(267)
13-4-2 正截面受弯承载力和斜截面受剪承载力	(267)
13-4-3 构造要求	(269)
13-5 柱的抗震设计	(271)
13-5-1 框架柱	(271)
13-5-2 铰接排架柱	(277)
13-6 框架节点及预埋件的抗震设计	(280)
13-6-1 设计原则	(280)
13-6-2 框架节点剪力设计值 V_j	(280)
13-6-3 框架节点受剪水平截面的限制条件	(281)
13-6-4 框架节点受剪承载力	(281)
13-6-5 构造要求	(282)
13-6-6 装配整体式框架刚性节点	(282)
13-6-7 预埋件的设计要求	(283)
13-7 剪力墙的抗震设计	(283)
13-7-1 概述	(283)
13-7-2 承载力计算	(284)
13-7-3 构造和配筋要求	(286)
复习思考题	(289)
附录	(290)
附表38 钢筋混凝土结构伸缩缝最大间距(m)	(290)
附表39 全国主要城市基本雪压标准值 S_0 (kN/m ₂)	(290)
附表40 屋面积雪分布系数 μ_r	(291)
附表41 全国主要城市基本风压标准值 W_0 (kN/m ₂)	(292)
附表42 风载体型系数 μ_s	(292)

附表43	风压高度变化系数 μ_z	(293)
附表44	单阶柱柱顶反力与位移系数表	(294)
附表45	单阶柱位移系数计算公式.....	(298)
附表46	规则框架承受均布及倒三角形分布水平力作用时标准反弯点的高度比	(304)
附表47	上下层横梁线刚度比对 y_0 的修正值 y_1	(308)
附表48	上下层高变化对 y_0 的修正值 y_1 和 y_2	(308)
参考文献		

第十章 预应力混凝土构件计算

学 习 要 点

1. 预应力施工有先张法和后张法的区别, 需注意它们不仅在工艺上各有其特点, 而且在计算方法中也各有其特点。

2. 预应力混凝土轴心受拉构件是预应力混凝土结构中比较简单的一种典型受力构件, 学习时必需很好掌握轴心受拉构件受力的全过程以及各阶段的应力状态, 具体计算就不难理解了。

3. 学习预应力混凝土受弯构件计算这一节内容时, 必需注意同预应力轴心受拉构件中所建立的预应力是不同的, 轴拉构件的预应力是使全截面均匀受压, 而预应力受弯构件中建立的却是偏心预压应力, 全截面不是均匀受压的。在学习时, 既要注意它们的施工工艺, 发生预应力损失等方面的共同性, 也要注意预应力在截面上的不同分布而得出不同的计算公式。

4. 学习预应力受弯构件, 需与普通受弯构件进行比较, 既要注意二者在抗裂度和刚度的显著区别, 又要注意在承载力计算上的一致性。

5. 预应力混凝土构件截面计算包括使用 and 施工两个阶段。使用阶段包括承载力和抗裂度的计算; 施工阶段包括张拉(或放松)钢筋对构件的承载力验算、吊装验算及构件张拉端(锚固区)局部承压的验算; 受弯构件还需进行变形计算等内容。其中使用阶段的计算是主要的问题, 但施工阶段的验算也不能忽视, 有时往往因对施工阶段的验算重视不够, 而使构件不能使用。使用阶段计算中, 除承载力计算同普通钢筋混凝土一样外, 重要的问题是抗裂度计算, 这是预应力混凝土计算中的特点, 必需予以充分重视。

10-1 预应力混凝土的基本概念

10-1-1 概述

普通钢筋混凝土结构由于混凝土的抗拉强度及极限拉应变很小, 其极限拉应变约为 $0.1 \times 10^{-3} \sim 0.15 \times 10^{-3}$ (即每米只能拉长 $0.1 \sim 0.15\text{mm}$), 所以对使用上不允许开裂的构件, 受拉钢筋的应力仅为 $20 \sim 30\text{N/mm}^2$, 对于允许开裂的构件, 当裂缝宽度限制在 $0.2 \sim 0.3\text{mm}$ 时, 受拉钢筋应力也只能达到 250N/mm^2 。因此, 如果采用高强度钢筋, 在使用阶段其应力可达 $500 \sim 1000\text{N/mm}^2$, 但其裂缝宽度将很大, 无法满足使用要求。因而, 在普通钢筋混凝土结构中采用高强度钢筋是不能充分发挥作用的。由于无法充分利用高强度材料, 使普通钢筋混凝土结构用于大跨度或承受动力荷载的结构成为不可能或很不经济。其次, 对于处于高湿度或侵蚀性环境中的构件, 为了满足变形和裂缝控制的要求, 则需增加

构件的截面尺寸和用钢量，这将导致截面尺寸和自重的过大，以致无法建造。

为了避免普通钢筋混凝土结构的裂缝过早出现，充分利用高强度材料。目前，采用的方法是在结构构件受外荷载作用前，预先对由外荷载产生的混凝土受拉区施加压力，由此产生的预压应力可以减小或抵消外荷载所引起的混凝土拉应力，从而，使结构构件的拉应力不大，甚至处于受压状态，也就是可借助于混凝土较高的抗压能力来弥补其抗拉能力的不足。这种在构件受荷以前预先对混凝土受拉区施加压应力的结构称为“预应力混凝土结构”。

现以图10-1所示预应力简支梁为例，说明预应力混凝土的基本概念。

在外荷载作用之前，预先在梁的受拉区施加一对大小相等，方向相反的 偏心 预压力 N ，如使梁截面下边缘混凝土产生预压应力为 15N/mm^2 ，梁上边缘产生预拉应力为 σ_{ct} (图10-1a)。当外荷载 q (包括梁自重) 作用时，如果梁跨中截面下边缘将产生拉应力 18N/mm^2 (图10-1b)，梁上边缘产生压应力 σ_c ，这样，在预压力 N 和 外荷载 q 的共同作用下，梁的下边缘拉应力将减至 3N/mm^2 ，梁上边缘应力为压应力也可能为拉应力。如果增大预压力 N ，则梁下边缘的拉应力还可减小，甚至变成压应力。由此可见，预应力构件可延缓混凝土构件的开裂，提高了构件的抗裂度和刚度，克服了普通钢筋混凝土的主要缺点，取得节约钢材、减轻自重的效果，也为采用高强度混凝土创造了条件。

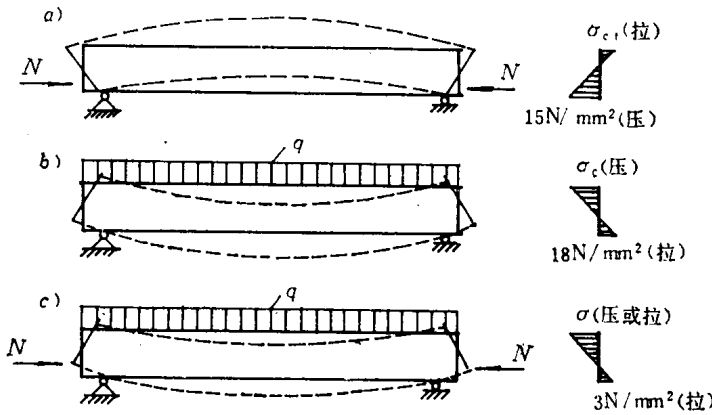


图 10-1

a) 预压力作用下; b) 荷载作用下; c) 预压力与荷载共同作用下

预应力混凝土结构虽具有一系列的优点，但并非所有结构都需采用预应力混凝土结构，因为预应力混凝土结构的构造、施工和计算均较普通钢筋混凝土复杂，因而对下列的结构物，宜优先采用预应力结构。

1. 为了满足裂缝控制的要求。有些结构物——如水池、油罐、原子能反应堆、受到侵蚀性介质作用的工业厂房、水利、海洋、港口工程结构物等，需要有较高的密闭性或耐久性，在裂缝控制上要求较严，采用预应力混凝土结构易于满足这种要求（不出现裂缝或裂缝宽度不超过允许的极限值）。

2. 在工程结构中，为了建造大跨度或承受重型荷载的构件，常有高强轻质的要求，而普通钢筋混凝土构件由于裂缝宽度的限制，满足不了上述的要求，采用预应力混凝土结构可对裂缝加以控制，并能充分发挥高强度钢筋的作用。

3. 为了提高构件的刚度、减少变形的要求。有些结构物对于变形的控制有较高要求，如工业厂房中的吊车梁、码头和桥梁中的大跨度梁式构件等。采用预应力混凝土结构，可以提高构件的抗裂度或减小裂缝宽度，可使刚度降低较小，变形也易于控制。同时，由于预加压力偏心作用而使构件产生反拱，还可以抵消或减小在使用荷载下产生的变形。

10-1-2 预加应力的方法

预加应力的方法主要有两种：

1. 先张法

在浇灌混凝土前张拉钢筋的方法称为先张法。其工序是：（1）在台座（或钢模）上张拉钢筋，并将它临时锚固在台座（或钢模）上（图10-2a、b）；（2）支模、绑扎一般钢筋（例如局部加强锚固区的非预应力钢筋，抗剪需要的非预应力钢筋等），然后浇灌混凝土（图10-2c）；（3）待混凝土到达一定强度后（约为设计强度的75%以上），切断或放松钢筋，钢筋在回缩时挤压混凝土，使混凝土获得预压力（如图10-2d）。所以先张法预应力混凝土构件中，预应力是靠钢筋与混凝土间的粘结力来传递的。

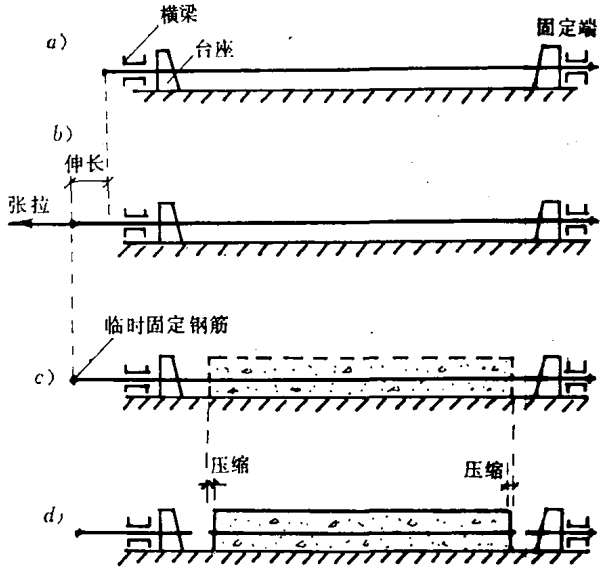


图 10-2 先张法主要工序示意图

a) 钢筋就位；b) 张拉钢筋；c) 临时固定钢筋，浇灌混凝土并养护；d) 放松钢筋，钢筋回缩、混凝土受预压

钢筋张拉

制作先张法预应力构件一般都需要台座、千斤顶、传力架和锚具等设备。台座承受张拉力的反力，形式有多种，长度往往很长，设计时应保证它具有足够的强度和刚度，且无滑移，不倾覆。当构件尺寸不大时，可不用台座，可在钢模上直接进行张拉。千斤顶和张力架随构件的形式和尺寸、张拉力大小的不同而有不同的类型。先张法中在张拉端夹住钢筋进行张拉的夹具以及在两端临时固定钢筋用的工具式锚具，可以重复使用，种类形式也很多。

2. 后张法

在混凝土结硬后在构件上张拉钢筋的方法称为后张法。其工序是：（1）先浇筑混凝土构件，并在构件中预留孔道（图10-3a）（2）待混凝土到达规定的强度后，将预应力钢筋穿入孔道，利用构件本身作为加力台座，张拉时，混凝土构件同时受到预压（图10-3b）；（3）当张拉预应力钢筋应力达到设计规定值后，在张拉端用锚具锚住钢筋，使构件保持预压状态（图10-3c）；（4）最后在孔道内灌浆，使预应力钢筋与构件混凝土结成整体。也可不灌浆，完全通过锚具施加预压力，形成无粘结的预应力结构。

采用后张法，不需要台座，张拉钢筋可用千斤顶，也可用电热法。电热法是对钢筋两端接上电线，通以电流，由于钢筋电阻较大，使得钢筋受热而伸长，当伸长达到预定长度时，将钢筋锚固在混凝土构件上，然后切断电源，利用钢筋冷却回缩建立预应力。

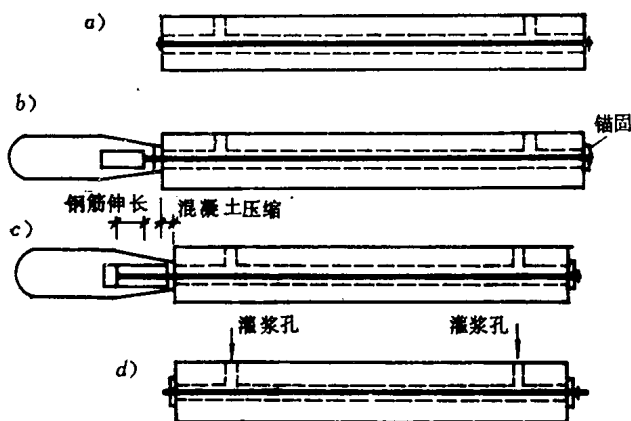


图 10-3 后张法主要工序示意图

a) 制作构件, 预留孔道, 穿入预应力钢筋; b) 安装千斤顶;
c) 张拉钢筋; d) 锚住钢筋, 拆除千斤顶, 孔道压力灌浆

后张法主要通过锚具传递预应力, 锚具永远留在构件上, 这种锚具称为工作锚具。

先张法的生产工艺比较简单, 质量较易保证。不需要永久性的工作锚具, 生产成本较低, 台座越长, 一次生产构件的数量就越多, 适合工厂化成批生产中、小型预应力构件。但需要台座(或钢模)设备, 第一次投资费用较大, 且只能固定在一处, 不能移动。后张法工序较复杂, 不需要台座, 比较灵活, 构件可在现场施工, 也可在工厂预制, 但由于构件是一个个地进行张拉, 又需安装永久性的工作锚具, 耗钢量大, 成本较高。所以后张法适用于运输不便现场成型的大型预应力混凝土构件。

后张法预应力钢筋可按照设计需要做成曲线或折线形状以适应荷载的分布状况, 而先张法由于在台座上张拉, 预应力钢筋一般均是直线布置。

10-1-3 夹具和锚具

夹具和锚具是在制作预应力构件时锚固预应力钢筋的工具, 一般说来, 构件制成后能够取下重复使用的称夹具; 留在构件上不再取下的称锚具。夹具和锚具所以能夹住或锚住钢筋, 主要是依靠摩擦阻、握裹和承压锚固。特别对后张法预应力混凝土, 主要是依靠钢筋端部的锚具来传递预应力, 因此必须对夹具和锚具的要求和特点有所了解。

1. 锚具的要求

设计、制作、选择和使用锚具时, 应尽可能满足下列各项要求: (1) 安全可靠, 其本身应具有足够的强度和刚度; (2) 锚具应使预应力钢筋尽可能不产生滑移, 以保证预应力的可靠传递; (3) 构造简单, 便于机械加工制作; (4) 使用方便、材料省, 价格低。

2. 锚具的形式

锚具的形式很多, 从不同的角度来区分, 有下面几种。

按所锚固的钢筋类型区分, 可分为锚固粗钢筋的锚具、锚固平行钢筋(丝)束的锚具、锚固钢绞线束的锚具等几种。对于粗钢筋, 一般是一个锚具锚住一根钢筋。对于钢筋束和钢绞线, 则一个锚具须同时锚住若干根钢筋或钢绞线, 它们往往排列成环形或圆形, 也有排列成矩形的。显然, 由于预应力钢筋根数和排列的不同, 锚具的形式和构造也将不同。

按锚固和传递预拉力的原理区分, 可分为依靠承压力的锚具、依靠摩擦力的锚具、依靠粘结力的锚具等几种。实际上, 一个锚具往往由若干个零件组合而成, 在预应力钢筋与某一个零件之间、这个零件与那个零件之间、某个零件与混凝土构件之间, 常常具有不同的传力特点, 依照不同的传力原理, 需要结合具体的锚具来分析。

按锚具的材料来区分,有钢制的锚具、混凝土制的锚具等。有时一个锚具的各个零件根据需要采用不同的材料制成。

按锚具使用的部位不同,可分为张拉端的锚具和固定端的锚具两种。有时同一个锚具,既可以用于张拉端,也可以用于固定端。有的锚具当用于固定端时,其构造与用于张拉端时有所不同。

不同形式的锚具需要采用不同形式的张拉设备,如千斤顶和传力架等,它们往往经过专门的设计,配套使用,并有特定的张拉工序和细节要求。

3. 锚具的实例

(1) 螺丝端杆锚具(图10-4)。

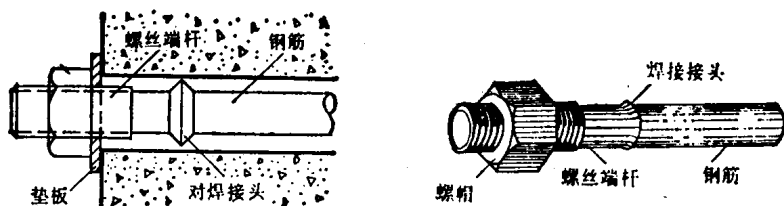


图 10-4 螺丝端杆锚具

在单根预应力粗钢筋的两端各焊以一短段螺丝端杆,套以螺帽和垫板,即形成一种最简单的锚具。预拉力通过螺丝端杆上螺纹斜面上的承压力传到螺帽,再经过垫板承压在预留孔道口四周的混凝土构件上。螺丝端杆用冷拉或热处理钢筋制成。螺纹用细牙。端杆与预应力钢筋的焊接宜在预应力钢筋冷拉前进行。这种锚具可用于张拉端,也可用于固定端。张拉用一般的千斤顶,单根张拉。将千斤顶拉杆(端部带有内螺纹)拧紧在螺丝端杆的螺纹上进行张拉。张拉完毕后,旋紧螺帽,钢筋就被锚住。

这种锚具的优点是比较简单,且锚固后千斤顶回油时,预应力钢筋基本不发生滑动。如有需要,便于再次张拉。缺点是对预应力钢筋长度的精确度要求高,不能太长或太短,否则螺纹长度不够用。

(2) JM-12锚具(图10-5)

这是一种锚固3~6根 $d=12\text{mm}$ 的Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级光面钢筋组成互相平行放置的钢筋束或者锚固5~6根由7 $\phi 4\text{mm}$ 钢丝绞结成的钢绞线所组成互相平行的钢绞线束的锚具。这种锚具由锚环和呈扇形的夹片组成,夹片的块数与预应力钢筋或钢绞线的根数相同。夹片成楔形,其截面成扇形。每一块夹片有两个圆弧形槽,上有齿纹,以锚住预应力钢筋。锚环可以如图10-5所示嵌入混凝土构件中,也可以凸出在构件外,这时常需插入钢垫板。

预应力钢筋依靠摩擦力将预拉力传给夹片。夹片依靠斜面上的承压力将预拉力传给锚环,后者再通过承压力将预拉力传给混凝土构件。

这种锚具既可以用于张拉端,也可以用于固定端。

张拉时需采用特制的双作用千斤顶。所谓双作用,即千斤顶应用时有两个动作,其一是夹住钢筋进行张拉,其二是将夹片顶入锚环,将预应力钢筋挤紧,牢牢锚住。

锚环和夹片都用钢制成,加工的精确度要求较高。

此种锚具的缺点是钢筋的内缩量较大,实测表明对于光面钢筋可达2mm,变形钢筋可达3mm,钢绞线可达5mm。

(3) 锥形锚具 (图10-6)

这种锚具也是用于锚固多根直径为5、7、8、12mm的平行钢丝束，或者锚固多根直径为13、15mm的平行钢绞线束的。

锚具由锚环及锚塞组成，一般用铸钢制作。对于吨位较小的预应力束（如12 ϕ 7以下），也可以采用高强度混凝土制成的锚环和锚塞，如图10-6所示。可以看出，锚环的外圈和内圈均用螺旋筋加强。锚环在构件混凝土浇灌前埋置在构件端部。

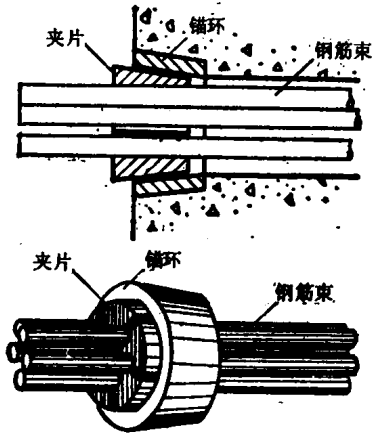


图 10-5 JM12锚具

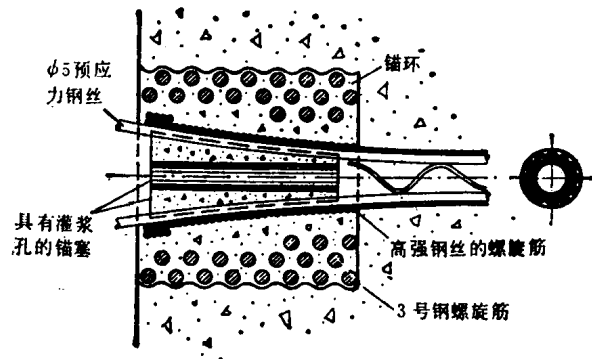


图 10-6 锥形锚具

预应力钢筋通过摩擦力将预拉力传到锚环，后者再通过承压力和粘结力将预拉力传到混凝土构件。

这种锚具可用于张拉端，也可用于固定端。张拉采用特制的双作用千斤顶，一方面张拉钢筋，一方面将锚塞推入挤紧。

这种锚具其优点是效率高，缺点是滑移大，而且不易保证每根钢筋（丝）中的应力均匀。

(4) 墩头锚具 (图10-7)

这种锚具用于锚固多根直径为10~18mm的平行钢筋束，或者锚固18根以下直径5mm的平行钢丝束。

这种锚具由被墩粗的钢丝头、锚杯、外螺帽、内螺帽和垫板组成。锚杯上的孔洞数和间距均由被锚固的预应力钢筋（或钢丝）的根数和排列方式而定。

操作时，将钢筋（或钢丝）穿过锚杯孔眼，用冷墩或热墩的方法将钢筋或钢丝的端头墩粗成圆头，与锚杯固定，然后将预应力钢筋束连同锚杯一起穿过构件的预留孔道。待钢筋伸出孔道口后，套上螺帽进行张拉，边张拉边旋紧内螺帽。

预拉力依靠墩头的承压力传到锚杯，再依靠螺纹斜面上的承压力传到螺帽，再通过垫板传到混凝土构件。

墩头锚具锚固性能可靠，锚固力大，张拉操作方便，但要求钢筋或钢丝的长度有较高的精确度。

(5) 后张自锚锚具 (图10-8)

在构件端头将预留孔道扩大为锥形孔。张拉钢筋到规定的预应力值后，维持预拉力不

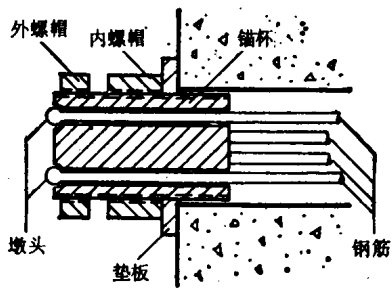


图 10-7 锚头锚具

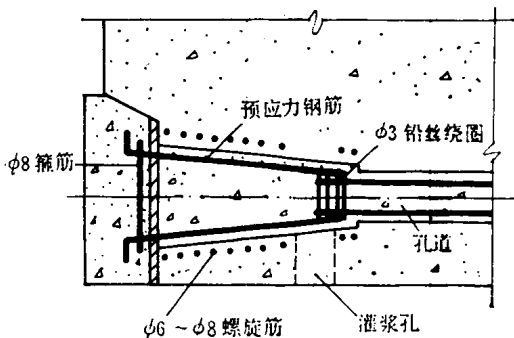


图 10-8 后张自锚锚具

变。此时的锥形孔内浇灌高强度混凝土，形成一个自锚头。待自锚头混凝土达到设计强度后放松（切断）钢筋。当钢筋回缩时，依靠粘结力将预拉力传给锥形自锚头混凝土，后者再将预拉力传到构件混凝土上。

10-1-4 预应力混凝土的材料

1. 混凝土

预应力结构构件所用的混凝土，需满足下列要求

(1) 强度高。因为高强度混凝土配以高强度钢筋可以有效地减小构件截面尺寸和减轻自重。特别是先张法构件，粘结强度一般是随混凝土强度等级的增加而增加的。

(2) 收缩、徐变小。这样可减少收缩、徐变引起的预应力损失。

(3) 快硬、早强。这样可以尽早施加预应力，加快台座、模具、夹具的周转率，以利加快施工进度。

选择混凝土强度等级时，应考虑施工方法（先张或后张）、构件跨度、使用情况（如有无振动荷载）以及钢筋种类等因素。一般先张法构件预应力损失比后张法构件大，同时为了提高台座和设备的周转率，强度等级一般以后张法构件高些。预应力构件混凝土强度等级不宜低于C30，用高碳钢丝或钢绞线作预应力钢筋的结构，特别是大跨度结构，混凝土强度等级不宜低于C40。

2. 钢材

预应力结构构件所用的钢筋（丝）需满足下列要求：

(1) 强度高：混凝土预压应力的大小，取决于预应力钢筋张拉应力的大小。由于构件在制作过程中会出现各种应力损失，因此需要采用较高的张拉应力。这就要求预应力钢筋具有较高的抗拉强度。

(2) 具有一定的塑性：为了避免预应力混凝土构件发生脆性破坏，要求预应力钢筋在拉断时，具有一定的伸长率。当构件处于低温或受到冲击荷载作用时，更应注意塑性和抗冲击韧性的要求。一般对冷拉钢筋要求极限伸长率 $\geq 6\%$ （Ⅳ级）、 8% （Ⅲ级）和 10% （Ⅱ级）；碳素钢丝和钢绞线 $\geq 4\%$ 。

(3) 良好的加工性能：要求有良好的可焊性；同时钢筋“锚粗”后并不影响原来的物理力学性能。

(4) 与混凝土之间有良好的粘结强度：先张法构件的预应力主要依靠钢筋和混凝土

之间的粘结强度来完成的，因此必须有足够的粘结强度。当采用光面高强钢丝时，表面应经“刻痕”或“压波”等措施处理后方能使用。

我国目前用于预应力混凝土结构中的钢材有钢筋、钢丝和钢绞线三大类（图10-9）

（1）冷拉低合金钢筋

采用Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级钢筋冷拉后获得，Ⅱ、Ⅲ级钢筋经冷拉后，其冷拉性能较好，可焊性也较好，但强度偏低，冷拉Ⅳ级钢筋是目前应用较多的一种预应力钢筋，受拉强度设计值可达 580N/mm^2 ，但由于其含硅量较高，焊接质量不稳定，容易在钢筋焊接热影响区范围产生断筋现象，故设计和施工时应加以注意。针对粗直径钢筋的对焊问题，近年来用热轧方法生产出一种在钢筋表面不带纵向肋的螺旋钢筋，可以用螺丝套筒（连接器）把钢筋接长（图10-10），这样就能在任意部位切断钢筋，对施工极为有利。另外，由于不用焊接，可以提高钢材的含碳量，减少合金元素，因此很适合于做成粗直径的高强度钢筋。

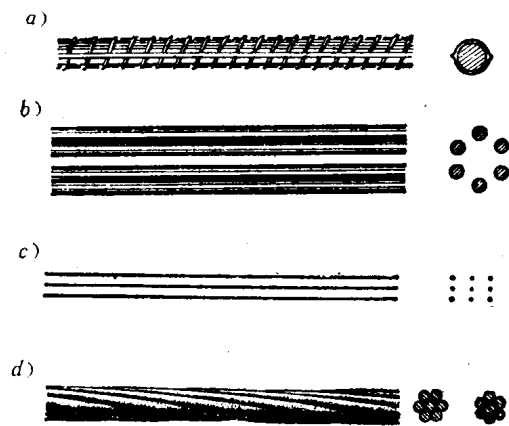


图 10-9 预应力钢筋
a) 单根钢筋；b) 钢筋束；c) 平行钢丝；d) 钢绞线

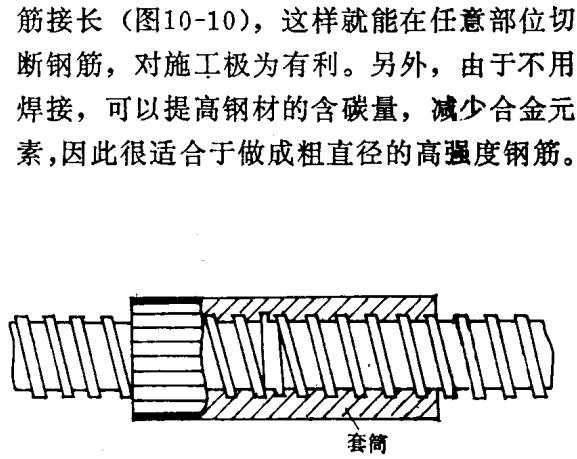


图 10-10 螺旋钢筋的套筒连接

粗钢筋可单根地放在预应力构件中，也常常将几根钢筋组成一束（图10-9b）。

（2）热处理钢筋

热处理钢筋具有强度高（受拉强度设计值可达 1000N/mm^2 ）、松弛小等特点。它以盘圆形式供应，可省掉冷拉、对焊和整直等工序，大大方便施工。与相同强度的高强冷拔钢丝相比，这种钢材的生产效率高，价格低，目前常用的热处理钢有44硅2锰、48硅2锰和45硅2铬等。

（3）冷拔低碳钢丝

冷拔低碳钢丝一般是由盘圆的Ⅰ级钢经过几道冷拔工序加工而成，常用的钢丝直径为5、4、3mm。

通过冷拔提高了钢丝的强度，但塑性下降了。由于Ⅰ级钢筋各地钢厂均能生产，且冷拔工艺设备简单，故被广泛用于中小型构件中。目前各地采用的盘圆强度不同，拔制工艺不同，为了合理使用起见，《规范》将甲级冷拔低碳钢丝的受拉强度设计值分成Ⅰ、Ⅱ两组，以便设计时按实际情况选用。

（4）高强钢丝（碳素钢丝、刻痕钢丝）

这种钢材是用高碳钢轧制成盘圆后经过多道冷拔而成。直径为4~5mm，直径越细、强度越高，其受拉强度设计值可达 $1000\sim1100\text{N/mm}^2$ ，而极限伸长率仅2~6%。适用于

大跨度构件。

(5) 钢绞线

一般由七股 $\phi 3$ 、 $\phi 4$ 、或 $\phi 5$ 的高强度钢丝绞织在一起而成的钢绞线(图10-9d)，公称直径分别为9、12和15mm，截面面积分别为51.98、91.86和142.99mm²，受拉强度设计值分别为1130、1070和1000N/mm，伸长率 $\geq 1\%$ 。在后张法预应力结构中采用较多。

钢筋、钢丝和钢绞线各有优缺点。高强钢丝的强度最高，钢绞线的强度接近于钢丝，但价格最贵。钢筋的强度最低，而使在构件中钢材的用量增加，但价格最低。钢筋和钢绞线的直径大，所以使用根数少，便于施工。钢绞线的锚具最贵，但钢筋束或钢绞线束的长度越增加，锚具价格在整个构件造价中所占的比例越低。因此，在选择钢材时，需综合考虑上述各项因素，根据实际情况合理地选用钢种。

钢筋和钢丝的强度设计值、强度标准值和弹性模量见上册附表6~10。

10-1-5 张拉控制应力 σ_{con}

张拉控制应力是指在张拉预应力钢筋时的最大应力值。其值为张拉设备(如千斤顶油压表)所指示的总张拉力除以预应力钢筋面积得到的应力值，以 σ_{con} 表示。

为了充分发挥预应力的优点，张拉控制应力尽可能定得高一些，可使混凝土得到较高的预压应力，从而可提高构件的抗裂度，或使构件的裂缝开展和挠度减少。但如果控制应力过高，则可能引起以下的问题：

1. 在施工阶段它会引起构件某些部位受到拉力(称为预拉力)以致开裂，对后张法构件则可能造成端头混凝土局部承压破坏。

2. 构件出现裂缝时的承载力和破坏时承载力接近，构件破坏前无明显的预兆，呈脆性破坏构件的延性较差。

3. 为了要减少预应力损失，往往要进行超张拉，由于钢材材质不均匀，钢筋强度有一定的离散性。如果把 σ_{con} 定得太高，有可能在超张拉过程中使个别钢筋的应力超过它的实际屈服强度，使钢筋产生塑流或脆断。

所以，预应力钢筋的张拉应力必须加以控制， σ_{con} 的大小应根据构件的具体情况，按照预应力钢筋的钢种及施加预应力方法等因素加以确定。

张拉控制应力与预应力钢筋的钢种有关，冷拉热轧钢筋的塑性较好，到达屈服强度后有较长的流幅，所以 σ_{con} 可定得高些，钢丝和热处理钢筋的塑性较差，没有明显的屈服台阶， σ_{con} 就定得低些。

张拉控制应力与施加预应力方法有关，先张法的张拉力由台座承受，预应力钢筋受到实足的张拉应力。后张法的张拉力由于构件承受，构件受压后立即缩短，所以千斤顶所指示的张拉控制应力是已扣除混凝土弹性压缩后的钢筋应力。因此，当 σ_{con} 值相同时，不论受外荷之前，还是受外荷后，后张法构件中钢筋的实际应力值比先张法构件的实际应力值为高。为此，后张法构件的 σ_{con} 值应适当低于先张法构件。

《规范》规定在一般情况下，张拉控制应力 σ_{con} 不宜超过表10-1所示的张拉控制应力允许值 $[\sigma_{con}]$ 。

表中 f_{ptk} 及 f_{pyk} 表示预应力钢筋的强度标准值。碳素钢丝、刻痕钢丝、钢绞线、冷拔低碳钢丝和热处理钢筋的强度标准值指抗拉强度(f_{ptk})；冷拉钢筋的强度标准值指屈服强度(f_{pyk})。因为对预应力钢筋进行张拉的过程，同时也是对它进行检验的过程， σ_{con}

张拉控制应力允许值 $[\sigma_{con}]$

表 10-1

钢 种	张 拉 方 法	
	先 张 法	后 张 法
碳素钢丝、刻痕钢丝、钢绞线	$0.75f_{ptk}$	$0.7f_{ptk}$
冷拔低碳钢丝、热处理钢筋	$0.70f_{ptk}$	$0.65f_{ptk}$
冷拉钢筋	$0.90f_{pyk}$	$0.85f_{pyk}$

可不受强度设计值的限制，而直接与强度标准值相联系。

表中所列 $[\sigma_{con}]$ 值，在下列情况下允许提高 $0.05f_{ptk}$ 或 $0.05f_{pyk}$ ：

(1) 为了提高构件在施工阶段的抗裂性能而在使用阶段受压区内设置的预应力钢筋；

(2) 为了部分抵消由于应力松弛、摩擦、钢筋分批张拉以及预应力钢筋与张拉台座之间的温差因素产生的预应力损失。

为了保证获得必要的预应力效果，避免将 σ_{con} 定得过少，《规范》规定对碳素钢丝、刻痕钢丝、钢绞线、热处理钢筋、冷拔低碳钢丝的张拉控制应力值 σ_{con} 不应小于 $0.4f_{ptk}$ ；对冷拉钢筋的张拉控制应力值 σ_{con} 不应小于 $0.5f_{pyk}$ 。

10-1-6 预应力损失

由于张拉工艺和材料特性等种种原因，使得预应力构件从开始制作直到使用，预应力钢筋的张拉应力是在不断降低的，引起这种应力值的损失因素很多，如混凝土收缩、徐变、钢筋松弛等使预应力损失值随时间的增长和环境的变化而不断变化。因此要计算及确定预应力损失值是非常重要的，但也是一项非常复杂的任务。工程设计中为了简化起见，一般认为预应力混凝土构件的总预应力损失值可以采用将各种因素产生的预应力损失值进行叠加的办法来求得。下面将分项讨论引起预应力损失的原因、损失值的计算方法以及减少预应力损失值的措施。

1. 预应力直线钢筋由于锚具变形和钢筋内缩引起的预应力损失 σ_{l1}

直线预应力钢筋当张拉到 σ_{con} 后进行锚固在台座或构件上时，由于锚具、垫板与构件之间的缝隙被挤紧，或由于钢筋和楔块在锚具内的滑移，使得被拉紧的钢筋松动回缩 a (mm)而引起预应力损失 σ_{l1} (N/mm^2) 其值可按下列公式计算：

$$\sigma_{l1} = \frac{a}{l} E_s \quad (10-1)$$

式中 a ——张拉端锚具变形和钢筋内缩值按表10-2取用；

l ——张拉端至锚固端之间的距离 (mm)；

E_s ——预应力钢筋的弹性模量 (N/mm^2)。

锚具损失只考虑张拉端，因为在张拉端无论采用何种锚具，当张拉应力达到 σ_{con} 后，便卸除张拉设备，预应力钢筋回弹将引起锚具变形或钢筋内缩，而使预应力钢筋的张拉程度降低，应力减小，即引起了预应力钢筋的应力损失。而对于锚固端由于锚固端锚具在张拉过程中已被挤紧，故不考虑锚固端锚具引起的应力损失。

对块体拼成的结构，其预应力损失尚应考虑块体间填缝的预压变形，当采用混凝土或