



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材
(经典精品系列教材)

混凝土及砌体结构 (下册)

(第二版)

哈尔滨工业大学 大连理工大学 合编
北京建筑大学 华北水利水电大学

中国建筑工业出版社

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材
(经典精品系列教材)

混凝土及砌体结构 (下册)

(第二版)

哈尔滨工业大学	大连理工大学	合编
北京建筑大学	华北水利水电大学	
哈尔滨工业大学	王振东 邹超英	主编
清华大学	叶列平	主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土及砌体结构(下册)/王振东, 邹超英主编. —2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014. 9

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材. 高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材 (经典精品系列教材)

ISBN 978-7-112-17256-6

I. ①混… II. ①王… ②邹… III. ①混凝土结构-高等学校-教材 ②砌体结构-高等学校-教材 IV. ①TU37 ②TU36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 209856 号

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材
(经典精品系列教材)

混凝土及砌体结构 (下册)

(第二版)

哈尔滨工业大学	大连理工大学	合编
北京建筑大学	华北水利水电大学	
哈尔滨工业大学	王振东 邹超英	主编
清华大学	叶列平	主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 14½ 字数: 300 千字

2014 年 9 月第二版 2014 年 9 月第十九次印刷

定价: 29.00 元

ISBN 978-7-112-17256-6

(26027)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材，也是高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材。本书是在 2003 年 2 月出版的《混凝土及砌体结构》的基础上，根据新颁布的《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010、《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011、《砌体结构设计规范》GB 50003—2011 重新编写的。

本书下册内容共 3 章：预应力混凝土构件的计算、单层厂房结构、砌体结构。

本书为高校土木工程专业教材，也可供土建设计、施工技术人员学习新颁布的《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010 和《砌体结构设计规范》GB 50003—2011 时参考。

责任编辑：朱首明 李 阳

责任设计：张 虹

责任校对：陈晶晶 赵 颖

出版说明

1998 年教育部颁布普通高等学校本科专业目录,将原建筑工程、交通土木工程等多个专业合并为土木工程专业。为适应大土木的教学需要,高等学校土木工程学科专业指导委员会编制出版了《高等学校土木工程专业本科教育培养目标和培养方案及课程教学大纲》,并组织我国土木工程专业教育领域的优秀专家编写了《高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材》。该系列教材 2002 年起陆续出版,共 40 余册,十余年来多次修订,在土木工程专业教学中起到了积极的指导作用。

本系列教材从宽口径、大土木的概念出发,根据教育部有关高等教育土木工程专业课程设置的教學要求编写,经过多年的建设和发展,逐步形成了自己的特色。本系列教材投入使用之后,学生、教师以及教育和行业行政主管部门对教材给予了很高评价。本系列教材曾被教育部评为面向 21 世纪课程教材,其中大多数曾被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材和普通高等教育土建学科专业“十五”、“十一五”、“十二五”规划教材,并有 11 种入选教育部普通高等教育精品教材。2012 年,本系列教材全部入选第一批“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

2011 年,高等学校土木工程学科专业指导委员会根据国家教育行政主管部门的要求以及新时期我国土木工程专业教学现状,编制了《高等学校土木工程本科指导性专业规范》。在此基础上,高等学校土木工程学科专业指导委员会及时规划出版了高等学校土木工程本科指导性专业规范配套教材。为区分两套教材,特在原系列教材丛书名《高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材》后加上经典精品系列教材。各位主编将根据教育部《关于印发第一批“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材书目的通知》要求,及时对教材进行修订完善,补充反映土木工程学科及行业发展的最新知识和技术内容,与时俱进。

高等学校土木工程学科专业指导委员会
中国建筑工业出版社
2013 年 2 月

第二版前言

本教材是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材，也是高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材。本教材是在 2003 年 2 月出版的《混凝土及砌体结构》的基础上，根据新颁布的《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010、《砌体结构设计规范》GB 50003—2011、《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153—2008、《建筑结构荷载规范》GB 50009—2012 和《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011 等我国现行的标准、规范和规程重新编写的。

参加本教材下册修订的人员为：

哈尔滨工业大学：王振东（教授）、邹超英（教授）、唐岱新（教授）、严佳川（博士），华北水利水电学院：李树瑶（教授）。

本教材下册修订由王振东、邹超英担任主编，具体编写分工：李树瑶、邹超英（第十一章）、王振东、邹超英、严佳川（第十二章）、唐岱新（第十三章）。哈尔滨工业大学土木工程学院严佳川博士、黄铭硕士参加部分插图的绘制、例题试算、习题试算工作。全书由王振东、邹超英统稿，清华大学叶列平担任主审。我们谨向以上专家表示衷心的感谢。

限于作者水平所限，书中有不妥或错误之处，恳请读者指正。

编 者

2014 年 6 月

第一版前言

本书是“混凝土及砌体结构”教材的下册，和上册一起是根据全国高等学校土木工程专业普遍执行“混凝土结构教学大纲”的要求编写而成的。初稿于1996年由国家建设部审批为高等学校推荐教材，2002年由全国高校土木工程学科专业指导委员会审定为规划推荐教材。

此处出版的内容，在编写上和上册具有相同的特点：

首先是根据国内最新修订的《建筑结构荷载规范》(GB 50009)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010)、《建筑地基基础设计规范》(GB 50072)和《砌体结构设计规范》(GB 50003)等有关设计规范编写而成的，反映了新的科技成果。其次是教材力求内容精炼，便利教学的要求，其中带有“*”号的章节，可供学生自学参考。

参加本下册编写的单位和人员：

哈尔滨工业大学：王振东（教授）、唐岱新（教授、博导），华北水利水电学院：李树瑶（教授）。

本下册编写的分工：李树瑶（第十章）、王振东（第十一章）、唐岱新（第十二章）。

本书由哈尔滨工业大学王振东主编，东南大学丁大钧主审。

由于水平所限，书中有不妥或错误之处，恳请读者指正。

编 者

2002年12月

目 录

第 11 章 预应力混凝土构件的计算	1
§ 11.1 概述	1
§ 11.2 施加预应力的方法及锚夹具	3
§ 11.3 预应力混凝土的材料	7
§ 11.4 预应力混凝土构件计算的一般规定	8
§ 11.5 预应力混凝土轴心受拉构件的计算	16
§ 11.6 预应力混凝土受弯构件的计算	36
§ 11.7 预应力混凝土构件的构造要求*	51
第 12 章 单层厂房结构	57
§ 12.1 概述	57
§ 12.2 单层厂房结构的组成和布置	58
§ 12.3 排架计算	65
§ 12.4 单层厂房柱	82
§ 12.5 柱下独立基础	92
§ 12.6 单层厂房各构件与柱连接*	100
§ 12.7 单层厂房屋盖结构*	103
§ 12.8 吊车梁*	109
§ 12.9 单层厂房结构设计例题	112
第 13 章 砌体结构	141
§ 13.1 概述	141
§ 13.2 砌体材料	143
§ 13.3 砌体及其力学性能	145
§ 13.4 砌体结构耐久性规定	152
§ 13.5 砌体结构的强度计算指标	155
§ 13.6 无筋砌体构件的承载力计算	158
§ 13.7 混合结构房屋墙、柱设计	172
§ 13.8 配筋砌体结构构件的承载力计算	188
§ 13.9 混合结构房屋其他结构构件设计	195
附录 各种计算附表	211
参考文献	220

第 11 章 预应力混凝土构件的计算

§ 11.1 概 述

预应力混凝土结构,是在结构承受外荷载之前,预先对其施加压力,使其在外荷载作用时的受拉区混凝土内产生压应力,以抵消或减小外荷载产生的拉应力,使构件在正常使用情况下不裂或裂得较晚(裂缝宽度较小)。预应力混凝土结构广泛应用于土木工程的各个领域,如工业与民用建筑中的预应力空心楼板、屋面大梁、屋架及吊车梁等;其他,在桥梁、水利、海洋及港口工程中均已得到广泛的应用和很大的发展。采用预应力结构的原因有以下几个方面:

(1) 为了满足裂缝控制的要求 普通钢筋混凝土构件抗裂性能较差,在正常使用情况下往往会开裂,甚至会产生较宽的裂缝。有些结构,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以及水利、海洋、港口工程结构物等,应具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不出现裂缝或裂缝宽度不超过允许限值的要求。

(2) 为了充分利用高强度材料 在工程结构中,特别是对跨度大及承受重型荷载的构件,应采用高强度钢筋及高强度混凝土,以提高结构承载力,减轻自重,降低造价。而在普通钢筋混凝土构件中,采用高强钢筋虽能较大地提高结构承载力,但因钢筋应力过高,致使裂缝开展过宽,影响结构物正常使用;对于允许开裂的普通钢筋混凝土构件,当最大裂缝宽度允许值限制在 $0.2 \sim 0.3\text{mm}$ 范围内时,钢筋应力只达到 $15 \sim 25\text{N/mm}^2$ 左右,配置高强钢筋远不能充分发挥作用;因而需要这些构件事先预加压力,对裂缝加以控制,以达到充分利用高强度钢筋,使结构达到高强轻质的目的。

(3) 为了提高构件刚度,减小变形 有些结构物对于变形控制亦有较高要求,如工业厂房中的吊车梁,桥梁中的大跨度梁式构件等。采用预应力结构由于提高了抗裂度或减小了裂缝宽度,可使刚度不至于因裂缝原因而降低过多,有利于控制构件的变形。同时,由于预加压力的偏心作用而使构件产生的反拱,还可以抵消或减小在使用荷载下产生的变形。

上面所列采用预应力混凝土结构的原因,都与它具有较好控制裂缝的性能有关。现以一预应力简支梁为例来说明其基本受力原理(图 11-1)。在外荷载作用前,预先在混凝土梁受拉区施加一对偏心轴向压力 P ,在梁的下缘纤维产生压应力 σ_{pc} (图 11-1a),在外荷载作用下,梁下缘产生拉应力 σ_t (图 11-1b),截面上

最后的应力状态应是二者的叠加，梁的下缘可能是压应力（当 $\sigma_{pc} > \sigma_t$ 时），也可能是较小的拉应力（当 $\sigma_{pc} < \sigma_t$ 时）（图 11-1c）。由于预应力 σ_{pc} 的作用，可部分抵消或全部抵消外荷载引起的拉应力，因而能延缓裂缝的出现（提高抗裂荷载）。对于在使用荷载下出现裂缝的构件，也将起减小裂缝宽度的作用。

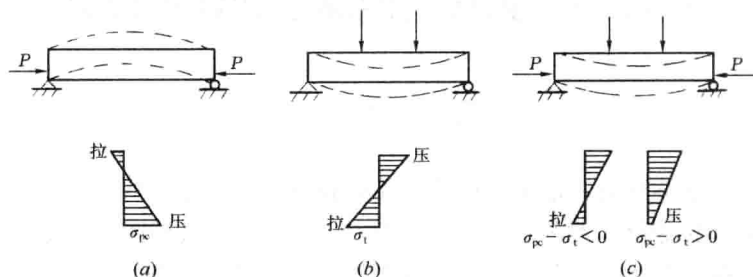


图 11-1

(a) 在预压力作用下；(b) 在外荷载作用下；(c) 在预压力及外荷载共同作用下

对于预应力混凝土结构，可依据其预应力度不同，划分为若干等级。1970 年国际预应力混凝土协会和欧洲混凝土委员会（CEB—FIP）曾建议将配筋混凝土分成四个等级：

I 级（全预应力混凝土）——在使用荷载作用下，混凝土中不允许出现拉应力；

II 级（有限预应力混凝土）——在使用荷载作用下，混凝土中允许出现低于抗拉强度的拉应力。

III 级（部分预应力混凝土）——在使用荷载作用下，允许混凝土开裂，但应控制裂缝宽度；

IV 级（普通钢筋混凝土）。

在预应力混凝土发展初期，设计时要求在全使用荷载作用下，混凝土永远处于受压状态，而不允许出现拉应力，即要求为“全预应力混凝土”。但实践表明，要求混凝土中严格不准出现拉应力实属过严，在某些情况下，预应力混凝土中不仅可以允许出现拉应力，甚至可允许出现宽度不超过限值的裂缝。有时在荷载标准组合作用下出现了裂缝，而在荷载准永久组合作用下，裂缝还可以重新闭合。

部分预应力混凝土有以下优点：①由于部分预应力混凝土所需施加的预应力较小，张拉钢筋应力值可取得较低，降低了对张拉设备及锚夹具的要求，或可用一部分普通钢筋来代替预应力筋（混合配筋）；这些都将降低造价。②由于施加预应力较小，可避免预应力构件产生过大反拱。

预应力混凝土构件的设计计算，一般包括以下几个方面的内容：

1. 使用阶段

①承载力计算；②裂缝控制验算；③变形验算。

2. 施工阶段

①混凝土应力验算；②后张法构件端部局部受压承载力计算。

§ 11.2 施加预应力的方法及锚夹具

11.2.1 施加预应力的方法

使构件混凝土中产生预应力的方法有多种，一般采用张拉预应力筋的方法，由于受张拉预应力筋的弹性回缩，使混凝土获得预压应力。预加应力的方法主要有两种：

1. 先张法（浇灌混凝土前张拉预应力筋，图 11-2）

先张法的主要工序为：在台座上张拉预应力筋至预定长度后，将预应力筋固定在台座的传力架上，然后浇灌混凝土。待混凝土达到一定强度后（约为设计强度的 75% 以上），切断预应力筋。由于预应力筋的弹性回缩，使得与预应力筋粘结在一起的混凝土受到预压应力。因此，先张法是靠预应力筋与混凝土间的粘结力来传递预应力的。

先张法适宜于用长线台座（台座长 50~200m）成批生产配直线预应力筋的构件，如房屋的檀条、屋面板及空心楼板等。其优点为生产效率高，施工工艺及程序较简单。

除台座外，先张法为了张拉及固定预应力筋，还需要一套传力架、千斤顶和锚固及夹持预应力筋的设备。也可以不用台座而在钢模上张拉。

2. 后张法（混凝土结硬后在构件上张拉预应力筋，图 11-3）

后张法的主要工序为：先浇灌好混凝土构件，并在构件中预留孔道（直线形或曲线形）。待混凝土达到预期强度（不低于设计强度的 75%）后，将预应力钢

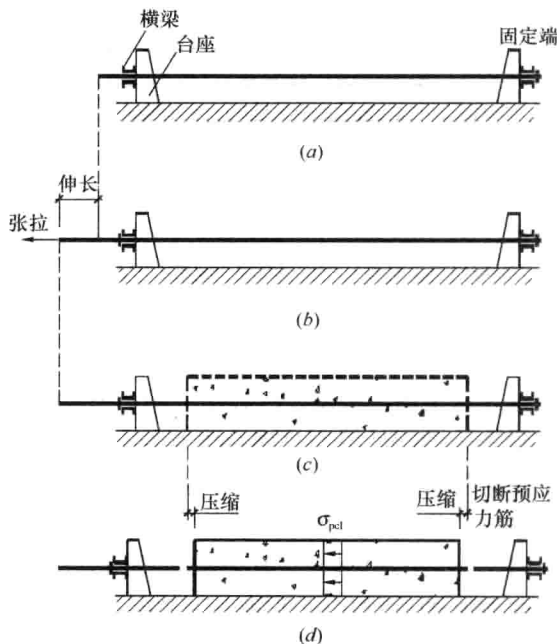


图 11-2 先张拉工艺

(a) 预应力筋就位；(b) 张拉、锚固预应力筋；(c) 浇筑、养护混凝土；(d) 放松预应力筋，预应力筋回缩，混凝土产生预压应力

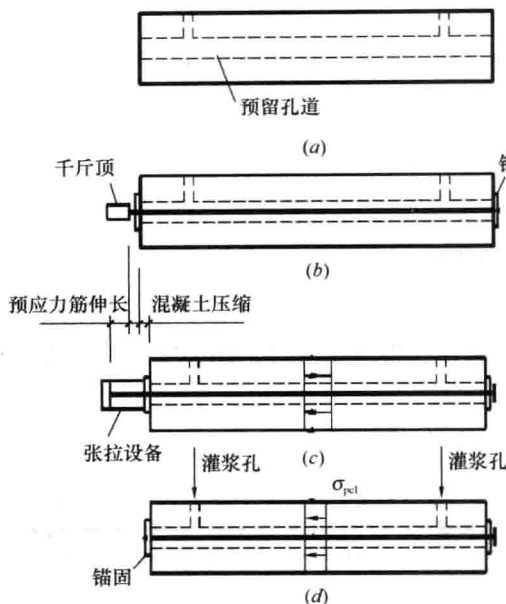


图 11-3 后张拉工艺

(a) 制作构件, 预留孔道; (b) 穿入预应力筋, 安装张拉设备; (c) 张拉预应力筋; (d) 锚固预应力筋, 拆除千斤顶, 孔道压力灌浆

筋穿入孔道, 利用构件本身作为受力台座进行张拉 (一端锚固, 另一端张拉或两端同时张拉)。在张拉预应力筋的同时, 混凝土受到压缩, 张拉完毕后, 将张拉端预应力筋用工作锚具锚紧 (此种锚具将永远留在构件内)。最后, 在孔道内进行压力灌浆, 以防止预应力筋锈蚀, 并使预应力筋与混凝土较好地结成一个整体。后张法的特点是靠构件两端工作锚具锚住预应力筋并将预应力传递给混凝土。

后张法不需要专门台座, 便于在现场制作大型构件或对结构的某一部分施加预应力, 适宜于采用配置直线及曲线预应力筋的构件。采用后张法, 预应力筋布置灵活, 施加预应力时可以整束

张拉, 也可以单根张拉。其缺点有: 施工工艺较复杂 (预应力筋中预应力需分别建立, 并需增加在混凝土中预留孔道、穿筋及灌浆等工序), 每个构件均需附有工作锚具, 耗钢量较大及成本较高等。

随着建筑结构技术和建筑材料技术不断发展, 从传统后张预应力方法中又派生出多种门类的后张预应力:

(1) 无粘结预应力 其方法是使用工厂专门制作的无粘结钢绞线; 这种钢绞线是在普通钢绞线外表涂一层油脂, 然后外包一层 0.8mm 厚塑料套管 (PE 管), 使套管和钢绞线之间可以相对滑动。制作时只需将这种无粘结钢绞线像普通钢筋一样放入模板内, 浇筑混凝土并在结硬以后张拉钢绞线, 张拉完毕后不必压力灌浆。这种方法施工相当方便, 但钢绞线的极限应力比有粘结情况略低。

(2) 体外预应力 在桥梁等大型构件中应用较多, 有时也用于房屋结构的体外预应力加固。这种方法是预应力筋的张拉端和固定端分别有一个固定在构件上的锚具和支座, 如果是曲线配筋, 在弯折处要设预应力筋的转向块。预应力钢绞线穿过锚具和转向块, 但预应力筋并不埋入构件混凝土内部, 而是在构件外部或箱形截面梁的“箱”内。这种方法多用于薄壁的大型构件中, 见图 11-4。



图 11-4 体外预应力工艺

11.2.2 锚具与夹具

锚具和夹具是锚固及张拉预应力筋时所用的工具。在先张法中，张拉预应力筋时要用张拉夹具夹持预应力筋，张拉完毕后，要用锚固夹具将预应力筋临时锚固在台座上。如预应力钢筋与混凝土之间的握裹力达不到自锚要求时，还要设置附加锚具。在后张法中则要用锚具来张拉及锚固预应力筋。一般在构件制成后能够取下重复使用的称为夹具（也称工具锚）。留在构件端部，与构件连成为一个整体共同受力不再取下的称为锚具（也称工作锚）。对锚具的要求应保证安全可靠，其本身应有足够的强度及刚度，使预应力筋尽可能不产生滑移，以保证预应力得到可靠传递，减少预应力损失，并尽可能使构造简单，节省钢材及造价。

锚具的形式很多。选择哪一种锚具与构件外形、预应力筋的品种、规格和数量有关，同时还要与张拉设备相配套。从不同角度来区分，有下面几种锚具：

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）束的锚具及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，对于钢丝束和钢绞线，则一个锚具须同时锚住若干根钢丝或钢绞线。

按锚固和传递预拉力的原理来分，可分为：依靠承压力的锚具，依靠摩擦力的锚具及依靠粘结力的锚具等几种。

下面介绍几种国内常用锚具的形式：

1. 螺丝端杆锚具

这是单根预应力粗钢筋常用的锚具，在张拉端采用，由端杆和螺母两部分组成（图 11-5）。预应力筋张拉端通过对焊与一根螺丝端杆连接。张拉端的螺丝杆连接在张拉设备上。张拉后预应力筋通过螺帽和钢垫板将预压力传到构件或台座上。

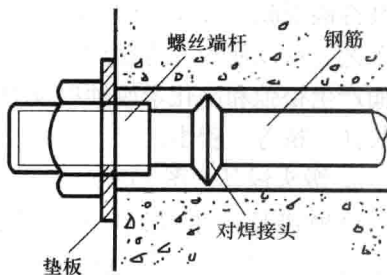


图 11-5 螺丝端杆锚具

2. 夹片式锚具

这类锚具是目前在后张法预应力系统中应用最广泛的锚具（图 11-6），它可以根据需要，每套锚具锚固数十根钢绞线。所锚固的钢绞线通常分直径为 15.2mm (0.6") 和 12.7mm (0.5") 两种。每套锚具由一个锚座、一个锚环和若干个夹片组成，每个锚环上的锥形圆孔数目与钢绞线根数相同，每个孔道通过

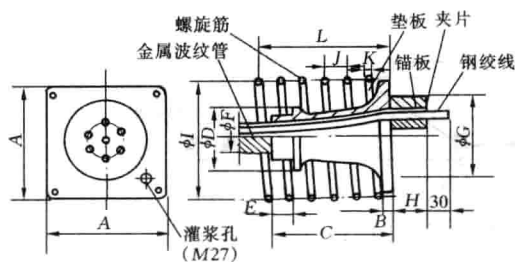


图 11-6 夹片式锚具

两片（或三片）有牙齿的钢夹片夹住钢绞线，以阻止其滑动。国内常见的夹片式锚具有 OVM、BM、XM、QM 等型号。国际著名的 VSL 夹片式锚具产品也已在我国预应力工程中应用。图 11-7 为一套典型的夹片式锚具中 VSLEC 型锚具示意图。

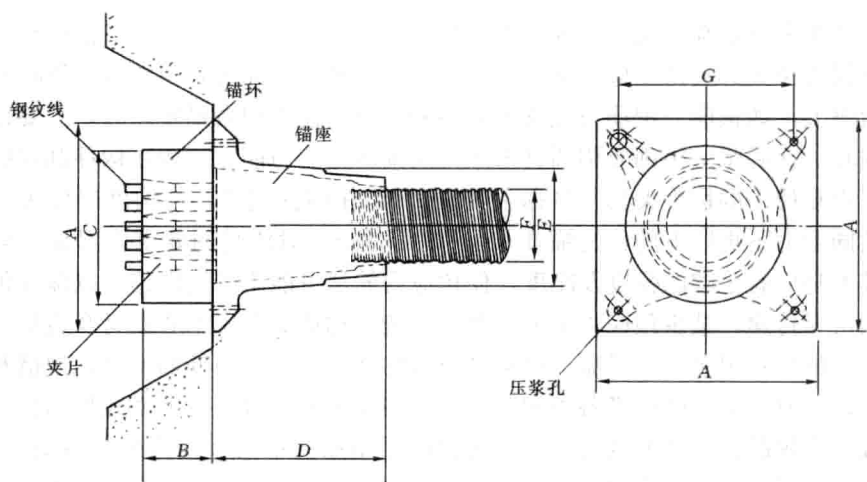


图 11-7 VSLEC 型锚具

近些年来锚具生产厂家又推出新一代全封闭、全绝缘的超级锚固系统。它采用高性能混凝土锚座、塑料波纹管和塑料密封锚具保护盖帽，配合真空辅助压浆新工艺，可以使预应力钢绞线与外界完全隔绝且导电，彻底防止了钢绞线因导电而产生松弛和电化学腐蚀以及空气对钢绞线的腐蚀。这套工艺已成功应用于南京长江二桥等工程中。

3. 墩头锚具 (图 11-8)

这种锚具用于锚固 18 根以下直径为 5mm 的平行钢丝束。锚具由锚环、外螺帽、内螺帽和垫板组成。锚环应先进行热处理调质后再加工。锚环上的孔洞数和间距均由被锚固的预应力钢丝的根数和排列方式来定。

操作时，将预应力钢丝穿过锚环孔眼，用冷墩或热墩的方法将预应力钢丝的端头

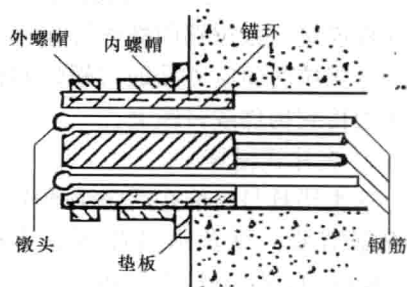


图 11-8 墩头锚具

墩粗成圆头，与锚环固定。然后将预应力钢丝束穿过构件的预留孔道。待预应力钢丝伸出孔道口后，套上螺帽进行张拉，边拉边旋紧内螺帽。张拉后依靠螺帽把整个预应力钢丝束锚固在构件上。它具有锚固性能可靠、锚固力大及张拉操作方便等优点，但要求预应力钢丝的下料长度有较高的准确性。

§ 11.3 预应力混凝土的材料

11.3.1 钢 筋

在预应力混凝土结构中，对预应力筋有下列要求：

(1) 强度要高 强度越高，可建立的预应力越大。在构件制作、使用过程中，预应力筋中将出现各种应力损失，其总和有时可高达 200N/mm^2 以上。如果预应力筋强度不高，则达不到预期的预应力效果。

(2) 与混凝土间有足够的粘结强度 在先张法构件中预应力筋与混凝土之间必须有较高的粘结自锚强度。

(3) 具有足够的塑性 为了避免预应力混凝土构件发生脆性破坏，要求预应力筋在最大力下的总伸长率不应小于其规定的限值，即 $\delta_{gt} \geq 3.5\%$ 。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性的要求。

(4) 具有良好的加工性能 为了保证预应力筋的加工质量，要求钢筋有良好的可焊性，在预应力钢丝“墩粗”后，其原有的物理力学性能基本不受影响。

预应力筋包括预应力钢丝、钢绞线和预应力螺纹钢筋。

(1) 预应力钢丝。由碳素钢或热轧钢筋经冷加工等工艺制成的钢筋。预应力钢丝有以下种类：

1) 中强度预应力钢丝（极限强度为 $800 \sim 1270\text{MPa}$ ）

中强度预应力钢丝有光面和螺旋肋两种，是由碳素钢丝经冷加工和热处理等工艺制成的。用于中、小跨度的预应力构件。

2) 消除应力钢丝（极限强度为 $1470 \sim 1860\text{MPa}$ ）

由热轧钢筋经冷拔或冷轧减径等工艺制成的消除应力光面钢丝和消除应力螺旋肋钢丝。在后张法构件中，当需要钢丝数量很多时，钢丝常成束布置，就是将几根或几十根钢丝按一定规律平行排列，用钢丝扎在一起，成为钢丝束。排列的方式有好几种，如图 11-9 所示。

(2) 钢绞线（极限强度为 $1570 \sim 1960\text{MPa}$ ）

由若干根直径相同的高强钢丝捻绕在一起，再经低温回火处理而成。钢绞线有 1×3 （三股）和 1×7 （七股）两种，如图 11-10 所示。

(3) 预应力螺纹钢筋（极限强度为 $980 \sim 1230\text{MPa}$ ）

是一种热轧成带有不连续的外螺纹的大直径、高强度、高尺寸精度的直条钢

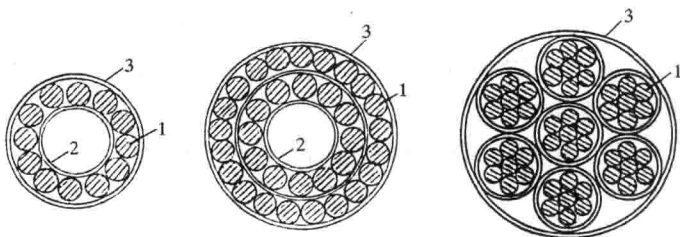


图 11-9 预应力钢丝束

1—预应力钢丝；2—芯子；3—绑轧铁丝

筋，该钢筋在任意截面处，均可用带有匹配形状的内螺纹的连接器或锚具（螺帽）进行连接或锚固，如图 11-11 所示。



图 11-10 钢绞线

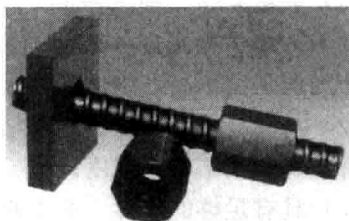


图 11-11 预应力螺纹钢筋

11.3.2 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预应力筋可以在混凝土中建立较高的预压应力，从而提高构件的抗裂度和刚度；在先张法中有利于提高混凝土对预应力筋的锚固性能；在后张法中有利于提高锚具下混凝土的局部抗压强度；可以有效地减小构件截面尺寸和减轻自重。

(2) 收缩、徐变小。可减少收缩、徐变引起的预应力损失。

(3) 快硬、早强。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。

《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010（以下简称《规范》）规定，预应力混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于 C40，且不应低于 C30。

§ 11.4 预应力混凝土构件计算的一般规定

11.4.1 预应力筋的张拉控制应力

张拉控制应力是指在张拉预应力筋时经控制达到的最大应力值。其值为张拉

设备（如千斤顶油压表）指示的总张拉力除以预应力筋面积得到应力值，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小。但如果控制应力过高，则可能引起以下问题：

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

2. 构件的开裂荷载和破坏荷载接近，构件的延性较差，破坏前无明显的预兆，呈脆性破坏。

3. 为了减少预应力损失，往往要进行超张拉。但由于钢材材质不均匀，预应力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预应力筋进入强化阶段，甚至被拉断。

《规范》规定，预应力筋的张拉控制应力 σ_{con} 应符合如下规定：

消除应力钢丝、钢绞线

$$\sigma_{\text{con}} \leq 0.75 f_{\text{ptk}} \quad (11-1)$$

$$\text{中强度预应力钢丝} \quad \sigma_{\text{con}} \leq 0.70 f_{\text{ptk}} \quad (11-2)$$

$$\text{预应力螺纹钢筋} \quad \sigma_{\text{con}} \leq 0.85 f_{\text{pyk}} \quad (11-3)$$

式中 f_{ptk} —— 预应力筋极限强度标准值；

f_{pyk} —— 预应力螺纹钢筋屈服强度标准值。

为了保证获得必要的预应力效果，避免将 σ_{con} 定得过小，《规范》规定对消除应力钢丝、钢绞线、中强度预应力钢丝的张拉控制应力值 σ_{con} 不应小于 $0.4 f_{\text{ptk}}$ ；预应力螺纹钢筋的张拉控制应力值 σ_{con} 不宜小于 $0.5 f_{\text{pyk}}$ 。

当符合下列情况之一时，上述张拉控制应力限值可相应提高 $0.05 f_{\text{ptk}}$ 或 $0.05 f_{\text{pyk}}$ ：

(1) 要求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筋；

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

11.4.2 预应力损失

自预应力筋张拉、锚固到后来经历运输、安装、使用的各个过程，由于张拉工艺和材料特性等种种原因，预应力筋中的张拉应力将逐渐降低，称为预应力损失。预应力损失会影响预应力效果从而降低预应力混凝土构件的抗裂性能及刚度。因此，正确分析估算各种预应力损失，并减少这些损失的措施是预应力混凝土结构设计、施工的重要内容。下面对这些损失分项计算进行介绍。