

86.244
YJB

093353

预应力混凝土生产工艺

预应力混凝土技术经验交流会編



中国工业出版社

預应力混凝土生产工艺

預应力混凝土技术经验交流会編

中 国 工 业 出 版 社

本书系统地总结了我国几年来在预应力混凝土生产方面的实践经验，并指出了今后的发展方向。

书中包括：预应力混凝土材料、锚夹具及应力筋的制作、机具设备、预应力混凝土一般生产工艺、大型构件生产工艺、中小型构件生产工艺、特殊构件生产工艺、构件检验以及技术经济评价方法等十章。书后还附有装配式台座设计计算示例。

本书主要供从事预应力混凝土生产的技术人员阅读，也可以作为教学的主要参考用书。

预应力混凝土生产工艺

预应力混凝土技术经验交流会编

*

建筑工程部编辑部编辑（北京西便门大街）

中国工业出版社出版（北京东便门大街10号）

（北京市书刊出版事业许可出字第110号）

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $350 \times 1168 \frac{1}{32}$ ·印张11·字数290,000

1963年8月北京第一版·1963年8月北京第一次印刷

印数0,001—2,380·定价（10-6）1.70元

*

统一书号：15165·1958（建工-247）

前 言

預应力混凝土同普通鋼筋混凝土比較，具有抗裂性高、自重輕、耐久性好、節約鋼材和水泥以及降低成本等优点，适于制作受拉和大跨度受撓构件，以代替鋼結構和普通鋼筋混凝土結構。因而，世界各国都把它做为改善鋼筋混凝土結構性能、節約鋼材、降低成本的重要措施。

我国自从1956年在工业和民用建筑中开始采用預应力混凝土結構以来，随着社会主义經濟建設事业大跃进的步伐，預应力混凝土的生产技术 水平有了很大的提高。为了及时地总结这些成就，滿足进一步推广預应力混凝土生产技术的需要，在我部召开的第四次預应力混凝土技术經驗交流会（1960年4月于广东省茂名市召开）交流經驗的基础上，組織部分与会代表写出了这本书。

本书着重总结了我国近年来在預应力混凝土生产工艺方面的比較成熟的实践經驗，基本上反映了当前国内預应力混凝土生产技术的发展水平。

本书由于編写時間仓促，資料不全，遺漏和不当之处在所难免，欢迎讀者对本书提出批評和指正，来信請逕寄本局（地址：北京西郊百万庄）。

建筑工程部施工管理局

1962年4月

参加本书编写的有：

第一章 喻天璽；

第二章 謝宗樑、薛天相、何家棟、蔣家奋；

第三章 徐戊己、邱宏鏞、張开选；

第四章 吳世昌、李伯根、譚爱秋；

第五章 齐烽、錢本德、赵志緝、李志坚、刘光荣、罗潤生；

第六章 李明亮、盛荣宝、顾敏煜、張祖兴、芦振中；

第七章 陆欽贊、馮靖宇、張恒敏；

第八章 張祖綿、黄 辛、陈止戈、彭少武；

第九章 袁吉武、杜子忠、許鳴天、謝瑞标；

第十章 潘家璜、郑法学；

附 录 过鎮海、邢順琦。

参加本书审核的有：

丁方儒、王世威、吳健生、吳美淮、梅駿远、

陆欽贊、解宝琨、蔣季丰等。

目 录

前 言

第一章 概述	1
第二章 材料	5
第一节 鋼材的性能	5
第二节 鋼絲的刻痕与扭結	14
第三节 鋼絲的防腐	18
第四节 高强快硬混凝土	22
第三章 夹具、錨具及应力筋的制作	30
第一节 夹具和錨具概述	30
第二节 夹具	31
第三节 錨具	48
第四节 应力筋的制作	69
第四章 机具設備	81
第一节 千斤頂	81
第二节 电动高压油泵	92
第三节 灰浆輸送泵	97
第四节 电热張拉設備	103
第五章 預应力混凝土生产工艺	119
第一节 先張法生产工艺	119
第二节 后張法生产工艺	132
第三节 电热張拉法生产工艺	140
第四节 連續配筋法生产工艺	152
第五节 橫向張拉	160
第六章 大型构件生产工艺	163
第一节 屋架及屋面梁	163
第二节 吊車梁	179
第三节 托架与托梁	187

第七章 中小型构件生产工艺	190
第一节 芯棒	190
第二节 屋面板	201
第三节 楼板	212
第八章 特种构件生产工艺	221
第一节 预应力混凝土贮液罐	221
第二节 预应力混凝土抽筋桩	235
第三节 装配式预应力混凝土多层框架	242
第四节 装配式耐热预应力混凝土烟囱	249
第九章 构件检验	255
第一节 混凝土和钢材的检验	255
第二节 预应力值及预应力损失值的检查	260
第三节 构件的外观检查	262
第四节 静荷载试验	264
第五节 动荷载试验	281
第十章 技术经济评价	290
第一节 技术经济评价方法	290
第二节 技术经济评价实例	303
附录 预应力台座设计计算示例	317
一、预应力芯棒台座设计	317
二、吊车梁台座设计	331

第一章 概 述

預应力混凝土結構是近数十年內才发展起来的一門新兴的科学技术。在第二次世界大战結束以后，才开始在世界各国比較普遍地推广起来。我国在解放后，在党的领导下，随着国家大規模經濟建設的发展，預应力混凝土結構技术也得到了迅速的发展。

預应力混凝土与普通鋼筋混凝土相比，無論在節約材料、降低工程造价方面，以及在提高結構剛度、抗裂性和耐久性等方面，都显示了巨大的优越性。預应力混凝土可以充分發揮高强材料的潜在能力，因而能减小构件的截面，減輕結構自重；由于預应力混凝土的力学性能，結構中裂縫的出現得以推迟，可以保証在使用荷載作用下不出現或少出現裂縫，增加結構的抗裂性，对于有抗裂性要求的結構來說，采用預应力混凝土是很适宜的；由于能够控制裂縫的出現，結構在侵蝕环境中的寿命得以延长，从而也就提高了結構或工程构筑物的耐久性；預应力混凝土同时还能提高結構和构件的剛度，所以能够滿足大跨度結構的要求；重复荷載作用下的結構，采用預应力配筋以后，能够降低疲劳应力变化的幅度，因而也就提高了抵抗疲劳的性能。此外，預应力技术也是很好的一种拼裝手段，在改善結構的受力性能，扩大高、大、重型結構的預制裝配化程度方面，其效果也是比較显著的。

由于預应力混凝土具有上述特点，目前，除已广泛地采用于工业、民用、交通运输、水工建筑等方面外，还在不断地扩大其使用范围。

我国在建筑方面自1956年开始采用預应力混凝土結構以来，無論在采用数量、結構类型等方面，都取得了迅速的进展。先后召开过四次全国性的預应力混凝土生产經驗交流會議。目前，預

应力混凝土的生产几乎已遍及全国各地。

在预应力混凝土结构的应用方面，目前我国已广泛采用的有：跨度12~18米整体式或块体组合式屋面梁；跨度18~36米的双拼、多拼或整体式桁架；跨度12~24米的托架；6米或12米柱距、起重量达75吨的吊车梁； 1.5×6 米、 3×6 米的大型屋面板；芯棒或薄板配筋的各种楼板、屋面板和基础等；此外，预应力混凝土也应用于压力水管、柱、桩、烟囱、桥梁、轨枕、矿井支架、电杆、高压变电构架等方面。自1958年大跃进以来，预应力混凝土生产技术得到了更快的发展。如采用了跨度达61米的块体组合式拱形屋架，与同跨度的钢屋架比较，可以节约钢材74%，降低造价25%；用800号混凝土制成跨度为18米的杆件拼装式桁架，同一般预应力混凝土屋架比较，可以减轻重量40%，节省用钢量58%；又试制成功跨度12米、起重量为150~250吨的吊车梁，其中150吨吊车梁已经正式采用；也采用了长达27米的抽筋式预应力混凝土桩，它与普通钢筋混凝土桩比较，可节省钢材70%，降低造价达50%以上；又建成直径37.6米、高11.5米、容量为13,000立方米的煤气罐貯水池及容量为20,000立方米的装配式油罐；此外，还采用了 35×35 米的预应力混凝土双曲薄壳、220千伏超高压变电构架等。预应力混凝土结构也成功地应用于装配整体式高层框架结构，如采用“H”型平面构件在地面拼装成立体构架，然后进行吊装就位，并在高空利用电热法张拉钢筋，每个立体构架的重量达21吨，起吊高度达30米。这些成就，都标志着预应力混凝土结构在我国施工技术上又向前迈进了一大步。今后，随着技术上的不断革新，预应力混凝土新型结构亦将不断出现和创造出更为经济合理的结构型式，进一步扩大预应力结构的应用范围。

在使用材料方面，一般预应力混凝土构件所采用的混凝土标号为400~500号，也采用了800号混凝土生产预应力混凝土构件。目前，制作快硬高强混凝土的方法是采用快硬水泥或高级水泥配制，其次是采用水泥再次磨细配制的方法。此外，湿碾矿渣

混凝土也已在工程上試用。目前所使用的鋼材有 σ_s 、 σ_b 、 25°C 、低碳冷拔鋼絲、高強鋼絲及鋼絞綫等幾種。高強鋼絲采用了刻痕、扭結及并絲的處理方法。今后在材料使用方面應充分利用高強度鋼材及高強度混凝土，提高產量，改善質量，以進一步減輕結構重量和降低工程成本；另一方面也應當因地制宜，充分挖掘地方材料的潛力，如研究利用浮石、礦渣等材料，制作輕質高強而收縮變形小的混凝土，繼續推廣和應用低碳冷拔鋼絲和有效地利用部分中低強鋼材，以擴大預應力混凝土材料的來源。

在生產工藝及設備方面，長綫法生產是目前國內常用的一種先張工藝。一般吊車梁、芯棒、樑以及一些大型屋面板、樓板、桁架等都在長綫台座上進行生產。對於一些大型構件常採用塊體拼裝而后施加預應力的方法。採用電熱張拉鋼筋的方法，在國內應用得很普遍，從小構件到跨度為30米的桁架，從一般構件到特种構件都有採用。這種方法不僅設備簡易、操作方便、效率高，而且可以解決一般千斤頂所不易解決的張拉問題（如圓形結構、高空張拉、構件加固等方面）。此外，利用簡易設備進行橫向張拉以及小型構件利用模外熱張法，也在部分地區採用。在預應力混凝土壓力管生產上，較普遍的採用了連續纏絲的方法，最近又採用了電熱機械連續配筋法，從而為高強鋼材採用電熱張拉方法創造了條件。用砂箱來放松預應力筋的辦法，也是我國首先採用的。它具有設備簡易，操作便利，減低勞動量，不致引起放松鋼筋引起混凝土與應力筋粘結力的破壞。預應力混凝土所用的錨夾具，一般採用的夾具有楔形、錐形及波形等；錨具方面有筒式、錐形及混凝土或鋼的弗氏錨具等式樣。今后在生產工藝及設備的發展方面，應當逐步提高預應力混凝土構件生產的機械化和工廠化水平，同時因地制宜的推廣先張、後張、電熱及其它預應力張拉工藝，研究制造輕型耐用而又性能好的張拉機具，提高設備利用率，提高構件質量，並不斷創造出提高生產率的新工藝及相應的設備。

由於黨的正確領導和建築企業全體職工的不斷努力，在短短

几年中，我們已初步掌握了預应力混凝土各种先进的生产技术。今后还应当繼續努力，从我国的实际情况出发，不断提高預应力混凝土的生产水平，学习国内外先进經驗，加强預应力混凝土基本理論的研究，加强試驗研究工作，使得預应力混凝土生产技术更加迅速地向前发展。

第二章 材 料

第一节 鋼材的性能

在預应力鋼筋混凝土結構中所採用的鋼材，其性能的要求是：

1) 具有較高的強度 在預应力鋼筋混凝土結構中各項应力損失值最高可達2,000公斤/平方厘米，普通鋼筋的強度較低，減去損失以後，建立的預应力較小，不能滿足預应力混凝土構件的要求，而高強鋼材的強度高，建立的預应力也相應增大，因此採用高強度鋼材，可以使構件獲得更好的質量，而且能更有效地節約鋼材；

2) 硬鋼條件流限 ($\sigma_{0.2}$) 要能在極限強度80%以上 這樣可以提高鋼材使用效能；

3) 要求有一定的塑性 因為鋼材過硬很容易在高应力狀態下引起脆裂，所以對各種鋼材必須符合其規定的延伸率，對於軟鋼的延伸率要求在10%以上；

4) 須有足夠的韌性 符合各類鋼材的冷彎要求；

5) 鋼材，尤其高強度鋼絲，其表面應保證能與混凝土有足夠的粘結力；

6) 在承受動力荷載的構件中，須有足夠耐疲勞的能力 鋼材表面不得出現節疤和缺陷，以免应力集中，降低耐疲勞強度。

目前我國生產預应力鋼筋混凝土結構使用的鋼材分為高強度鋼絲、低碳冷拔鋼絲、鋼絞綫和冷拉粗鋼筋幾種。現將其主要性能分述如下：

一、鋼材的物理力學性能

(一) 高強度鋼絲

高強度鋼絲宜用於跨度較大和承受重荷載的構件，以充分發

揮它的高強效能，如30米跨度以上的屋架和12米以上重噸位的吊車梁等；也適用於棒板結構和連續配筋生產工藝的構件。這是預應力結構中使用最廣的一種鋼材。

在預應力鋼筋混凝土結構中，採用高強度鋼絲，對於節約鋼材最為有效。

目前，國產高強度鋼絲是光圓的，通常用的是： $\phi 3$ 、 $\phi 4$ 和 $\phi 5$ 的鋼絲。國產高強度鋼絲的機械性能根據冶金工業部鞍山鋼鐵公司和天津鋼廠的標準列舉於表2-1及2-2。

國產高強度鋼絲的極限強度變化幅度較大，各單位在採用以前應通過試驗確定其機械性能，然後使用。

對於強度大於11000 公斤/平方厘米、直徑大於3毫米的鋼絲，在採用先張法製作構件時，一般要求進行表面加工處理，以增加其與混凝土的粘結力。目前國內對刻痕處理的鋼絲，尚無標準，根據蘇聯規律變形碳素鋼絲（ГОСТ 8480-57）規定其性能規格，如表2-3、2-4及圖2-1所示。

（二）低碳冷拔鋼絲

低碳冷拔鋼絲生產方法簡單，成本低廉，因此目前在預應力芯棒、薄板及中小型構件中廣泛地用來作為鋼弦混凝土的配筋，

鞍山鋼鐵公司預應力混凝土結構用碳素圓鋼絲機械性能規定

（鞍標：87-58）

表 2-1

鋼絲直徑 (毫米)	抗 拉 强 度		弯 曲 (180°)				标距为 100 毫米 拉断时的延伸率 (%) 不 少 于	
	(公斤/毫米 ²) 不少于		弯曲半徑 (毫米)	弯曲次数不少于		甲 級	乙 級	
	甲 級	乙 級		甲 級	乙 級			
2.5	200	170	10	10	11	1.5	2.0	
3.0	190	160		8	9			
4.0	180	150		6	7			
5.0	170	140		4	5	2.0	3.0	
6.0	160	130	15	3	4			

天津鋼廠預应力混凝土結構用碳素圓鋼絲機械性能規定

(天鋼預应力混凝土用鋼絲標準草案)

表 2-2

鋼絲直徑 (毫米)	抗 拉 强 度 (公斤/毫米 ²)			弯 曲 (180°)		延伸率 (≥%) (標距 100 毫 米)
	甲 級	乙 級	丙 級	弯曲半徑 (毫米)	弯曲次數	
2.5	200	170	140	10	10	2
3.0	190	160	130		9	2
4.0	180	150	120		6	3
5.0	170	140	110		4	3
6.0	160	130	100	15	3	3
7.0	150	120	100		2	4
8.0	140	110	90		2	4

變形碳素鋼絲(ГОСТ8480-57)機械性能

表 2-3

公称直徑 (毫米)	破坏极限强度 (公斤/毫米 ²)	条 件 流 限 (公斤/毫米 ²)	弯曲直徑30毫米 时 反 复 弯 折 180° 的 次 数	当破坏时計算长度 100 毫 米 的 相 对 伸 长 率 (%)
			不 小 于	
2.5	180	144	4	4
3	170	136	4	4
4	160	128	3	5
5	150	120	3	5
6	140	112	2	5
7	130	104	} 以抗弯試驗 代替弯折試驗	6
8	120	96		6

也适宜于連續配筋的生产工艺。

低碳冷拔鋼絲大多是由大、小直徑盘圓鋼筋 (由 5~10 毫米直徑) 通过拔絲模孔抽拔制成。随着冷拔次數的增加, 冷拔鋼絲的强度有显著的增长 (图 2-2)。通常在第一次冷拔时极限强度增长得最多, 而繼續冷拔时, 則增长率逐漸减少。表 2-5 列出鋼筋冷拔后的机械性能試驗資料。根据該表所示的数值可以明显看

变形碳素鋼絲(ГОСТ8480-57)的規格

表 2-4

公称直径 (毫米)	尺寸及允許偏差(毫米)			計算截面积 (厘米 ²)	每米重量 (公斤)
	<i>h</i>	<i>a</i>	<i>b</i>		
2.5	2.2(±0.05)	4.0(±0.50)	4.0(+1.00)	0.0491	0.037
3.0	2.6(±0.05)	4.0(±0.50)	4.0(+1.00)	0.0706	0.054
4.0	3.5(±0.05)	4.0(±0.50)	4.0(+1.00)	0.1256	0.094
5.0	4.4(±0.05)	4.0(±0.50)	4.0(+1.00)	0.1963	0.146
6.0	5.3(±0.10)	6.0(+1.00)	4.0(+1.00)	0.2826	0.211
7.0	6.1(±0.10)	6.0(+1.00)	4.0(+1.00)	0.3847	0.287
8.0	7.0(±0.10)	6.0(+1.00)	4.0(+1.00)	0.5024	0.357

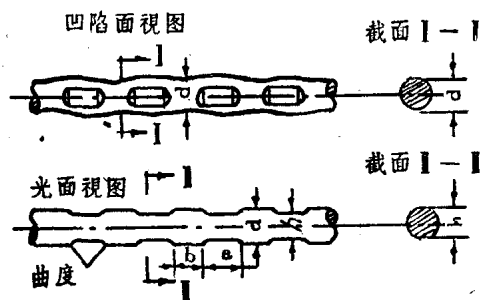


图 2-1 变形碳素鋼絲刻痕要求

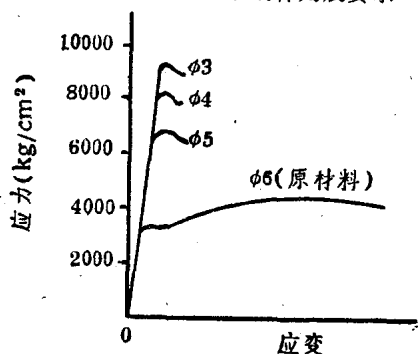


图 2-2 冷拔前后应力应变图

这种鋼絲极限强度在110公斤/平方毫米以下, 当所用混凝土标号不

出, 由于冷拔次数的不同, 鋼絲的极限强度和延伸率都有很大的变化。

一般預应力混凝土构件中所用冷拔鋼絲, 要求冷拔两次至三次, 以充分发挥鋼材的潜在能力。如果冷拔后的鋼絲經過回火处理 (溫度 250°C 回火時間 5~10 分钟), 則还可以提高鋼絲的比例极限 (σ_p) 及条件流限 ($\sigma_{0.2}$), 而延伸率并不降低。

鋼絲經冷拔后, 沒有明显的流塑台阶, 呈硬鋼特征。这

6 毫米鋼筋冷拔前后的机械性能

表 2-5

序号	鋼筋直徑 (毫米)		鋼筋面積 (厘米 ²)		面積收 縮 率 (%)	流 限 (公斤/ 厘米 ²)	極 限 (公斤/ 厘米 ²)	延伸率 (%)	冷 弯	冷拔 次数
	冷拔前	冷拔后	冷拔前	冷拔后						
1	6	—	0.238	—	—	2910	4454	26.2	合格	
2	6	5	0.238	0.196	30.7	—	6875	8.0	合格	1
3	6	5	0.238	0.196	30.7	—	6930	8.0	合格	1
	6	4	0.238	0.125	36.2	—	7655	5.0	合格	2
	6	3	0.238	0.071	43.2	—	8640	3.3	合格	3
4	6	5	0.238	0.196	30.7	—	6530	8.0	合格	1
	6	4	0.238	0.125	36.2	—	7750	5.0	合格	2
	6	3	0.238	0.071	43.2	—	8570	3.3	合格	3

小于400号、鋼絲直徑不超过 5 毫米时，可以不必經過表面加工处理。

(三) 鋼絞綫

鋼絞綫系多根平行鋼絲按着一个方向絞成的。一般中間鋼絲直徑較其它鋼絲直徑約大10%。国产鍍鋅鋼絞綫有 7 支、19支、37支不等。每根鋼絲直徑从 2.0 毫米到 5.0 毫米不等。目前国内在預应力混凝土构件中常用的是 7 支 $\phi 2.6$ 和19支 $\phi 2.6$ 两种。

鋼絞綫的自錨能力較好，能充分發揮鋼絲的高强性能；而且鋼絲集中，使結構截面减小，便于混凝土的澆制，宜在大跨度和重載荷的結構中采用。我国电力系统曾以国产鍍鋅鋼絞綫用于220千伏变电构架、30米屋架及大型屋面板等預应力结构中。

建筑科学研究院对鋼絞綫基本力学性能的試驗結果示于表2-6。

(四) 鋼筋

目前国内在預应力鋼筋混凝土結構中使用的鋼筋，有經過冷拉的无螺紋鋼、25 Γ C低合金鋼等两种。

国产无螺紋鋼筋經冷拉后的机械性能和化学成分列于表2-7。国产25 Γ C低合金鋼的机械性能和化学成分列于表2-8。

整股鋼絞綫的基本力学性能 表 2-6

名 称	E_1 (公斤/厘米 ²)	E_2 (公斤/厘米 ²)	$\sigma_{0.2}$ (公斤/毫米 ²)	$\sigma'_{0.2}$ (公斤/毫米 ²)	σ_p (公斤/毫米 ²)	預拉后的 延 伸 率	总延伸率
C-50鋼絞綫 (7支 ϕ 2.6)	1680000	1850000	104	113	140	4.20%	4.65%
C-100鋼絞綫 (19支 ϕ 2.6)	1640000	1860000	91	105	130	4.16%	4.65%

注: E_1 —— 預拉前彈性模量; E_2 —— 預拉后彈性模量;

$\sigma_{0.2}$ —— 預拉前条件流限; $\sigma'_{0.2}$ —— 預拉后条件流限。

国产Ⅱ₅螺紋鋼筋机械性能和化学成分 表 2-7

机 械 性 能				化 学 成 分 (%)			冷 拉 后 的 性 能			熔 炼 方 法
廢品限值 (公斤/厘米 ²)	长試 件延 伸率	冷弯180° 弯 心 直 徑等于鋼 筋直徑 的 3 倍		碳	硫	磷	拉 长 率	廢品限值 (公斤/厘米 ²)	冷弯 90° 弯 心 直 徑等于鋼 筋直徑 的 3 倍	
极限	流限	(%)					%	流限	极限	
				不 大 于						
5000	2800	≥15	合格	0.28~0.37 0.17~0.30	0.055 0.065	0.05 0.085	≥5.5	4500 5000	合格	平炉 轉炉

25℃ 低 合 金 鋼 的 机

机 械 性 能				化 学		
廢品限值(公斤/厘米 ²)	长試件的 延 伸 率	冷弯 90° 弯心 直徑等于鋼筋 直徑的.3 倍		碳	硅	磷
极 限	流 限	(%)		(%)	(%)	(%)
6000	4000	≥11	合 格	0.2~0.29	0.6~0.9	<0.05