

建筑工程新技术丛书

3

预应力技术

主 编 林寿 杨嗣信

副主编 余志成 侯君伟 高玉亭 吴琰

中国建筑工程出版社

建筑工程新技术丛书

3

预应力技术

主 编 林 寿 杨嗣信

副主编 余志成 侯君伟 高玉亭 吴 璠

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

预应力技术/林寿, 杨嗣信主编. —北京: 中国工业出版社, 2009
(建筑工程新技术丛书 3)
ISBN 978-7-112-11140-4

I. 预… II. ①林…②杨… III. 预应力技术 IV. TU756

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 119353 号

建筑工程新技术丛书

3

预应力技术

主 编 林 寿 杨嗣信

副主编 余志成 侯君伟 高玉亭 吴 琨

*

中国工业出版社出版、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

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 8 字数: 230 千字

2009 年 10 月第一版 2009 年 10 月第一次印刷

定价: 19.00 元

ISBN 978-7-112-11140-4

(18392)

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《建筑工程新技术丛书》之三，以预应力技术为专题。主要介绍了近些年，在建筑工程施工领域所采用的新技术、新工艺和新材料等，旨在为新技术的推广应用起到促进作用。

* * *

责任编辑：周世明

责任设计：赵明霞

责任校对：刘 钰 王雪竹

《建筑工程新技术丛书》 编写委员会

组织编写单位:

北京市城建科技促进会

北京双圆工程咨询监理有限公司

主 编: 林 寿 杨嗣信

副主编: 余志成 侯君伟 高玉亭 吴 璵

编 委 (按姓氏笔划) 王广鼎 王庆生 王建民

毛凤林 安 民 孙競立 杨嗣信 余志成

肖景贵 吴 璵 张玉明 林 寿 周与诚

侯君伟 赵玉章 高玉亭 陶利兵 程 峰

路克宽 薛 发

本册编写人员: 张玉明 张 然 钱英欣 徐中文

张 喆 汤世钧 张立森 李亚文

仝为民 王棣彬 郭 琛 尚美彦

王二坡 李 铭 苏国柱 许署东

王 丰 王建奎 徐端龙 秦 杰

王泽强 陈新礼 周黎光 司 波

沈 斌 冯智勇 吕李清 张开臣

杜彦凯

建设部于1994年首次颁发了《关于建筑业1994、1995年和“九五”期间重点推广应用10项新技术的通知》，对促进我国建筑技术的发展起到了积极的作用。随后，于1998年根据我国建筑技术的发展新情况，又颁发了《关于建筑业进一步推广应用10项新技术的通知》，进一步推动了我国建筑新技术的发展。为此，我们于2003年在系统总结经验的基础上，组织编写了《建筑业重点推广新技术应用手册》，供广大读者阅读参考。

随着我国建筑技术水平的不断提高，建设部于2004年对10项新技术进一步进行了修订，并于2005年又颁发了《关于进一步做好建筑业10项新技术推广应用的通知》，将10项新技术的范围扩大到铁路、交通、水利等土木工程。为此，我们根据21世纪以来新颁布的标准和建筑技术发展的新成果，以房屋建筑为主，突出施工新技术以及有关建筑节能技术，组织摘选编写了本系列丛书。

本书共分6册，第一册地基基础工程和基坑支护工程；第二册新型模板、高效钢筋、钢筋连接及高性能混凝土应用技术；第三册预应力技术；第四册设备安装工程应用技术；第五册围护结构节能技术及新型空调和采暖技术；第六册钢结构工程。

本丛书仅摘选了有关房屋建筑施工中一些新技术内容，在编写中难免存在挂一漏万和错误之处，恳请批评指正。

编 者

目 录

1. 预应力混凝土技术	1
1.1 先张法折线张拉施工工艺	1
1.1.1 垂直折线张拉	1
1.1.2 水平折线张拉	2
1.1.3 先张法预应力施工质量检验	3
1.2 后张法预应力施工	5
1.2.1 后张法有粘结预应力成套技术	5
1.2.2 后张法无粘结预应力成套技术	70
1.2.3 后张法缓粘结预应力成套技术	93
1.2.4 大跨度现浇混凝土预应力空心楼盖体系 成套技术	109
1.2.5 体外预应力体系	127
2. 预应力钢结构（大跨度预应力钢结构屋盖体系）	147
2.1 预应力钢结构概况	147
2.1.1 国内外发展概况	147
2.1.2 预应力钢结构概念及基本原理	147
2.1.3 预应力钢结构特点	148
2.1.4 预应力钢结构适用范围和开发前景	149
2.2 预应力钢结构分类	151
2.2.1 张弦梁结构	151
2.2.2 弦支穹顶结构	154
2.2.3 索穹顶结构	157
2.2.4 吊挂结构	158

2.2.5	拉索拱结构	159
2.2.6	悬索结构	162
2.3	预应力钢结构设计计算原则	164
2.4	节点与连接构造	165
2.4.1	一般设计规定	165
2.4.2	张拉节点	166
2.4.3	锚固节点	168
2.4.4	转折节点	168
2.4.5	索杆连接节点	172
2.4.6	拉索交叉节点	173
2.5	材料及施工机具	177
2.5.1	材料	177
2.5.2	施工机具设备	187
2.6	预应力钢结构施工工艺、技术与质量控制	189
2.6.1	工艺原理	189
2.6.2	工艺流程	189
2.6.3	操作要点	189
2.6.4	安全措施	197
2.6.5	质量标准	197
2.6.6	使用期监测	201
2.7	工程实例——国家体育馆	201
2.7.1	工程概况	201
2.7.2	施工方案	209
2.7.3	施工仿真	219
2.7.4	测量与监控	221
2.7.5	国内部分工程实例	224
2.8	经济效益分析	226
附录 A	圆形平行钢丝 PE 护层索体规格选用表	228
附录 B	圆形平行钢丝 PE 护层索体锚具规格选用表	232
参考文献		247

预应力混凝土技术

1.1 先张法折线张拉施工工艺

桁架式或折线式吊车梁配置折线预应力筋，可充分发挥结构受力性能，节约钢材，减轻自重。折线预应力筋可采用垂直折线张拉（构件竖直浇筑）和水平折线张拉（构件平卧浇筑）两种方法。

1.1.1 垂直折线张拉

图 1-1-1 为利用槽形台座制作三榀 9m 折线式吊车梁的例子。预应力筋采用冷拉Ⅲ级直径 12mm 钢筋。三榀吊车梁共 12 个转折点。在上下转折点处设置上下承力架，以支承竖向力。预应力筋张拉可采用两端同时或分别按 $25\%\sigma_{con}$ 逐级加荷至 $100\%\sigma_{con}$ 的方式进行，以减少预应力损失。折线张拉时，钢筋因转折摩擦引起应力损失，预应力损失值 (σ_l) 与转角大小及转折次数有关，可用下式表示：

$$\sigma_l = \left(1 - \frac{1}{e^{\mu n \theta}}\right) \cdot (\sigma_{con}) \quad (1-1-1)$$

式中 σ_l ——由于 n 次转折所引起的预应力损失 (N/mm^2)；

σ_{con} ——张拉端控制应力 (N/mm^2)；

e ——自然对数的底，取 2.718；

μ ——转折处的摩擦系数；

n ——转折次数；

θ ——转折角度（以弧度计）。

为了减少预应力损失，应尽可能减少转角次数，据实测，一般转折点不宜超过 10 个（故台座也不宜过长）。为了减少摩擦，

1. 预应力混凝土技术

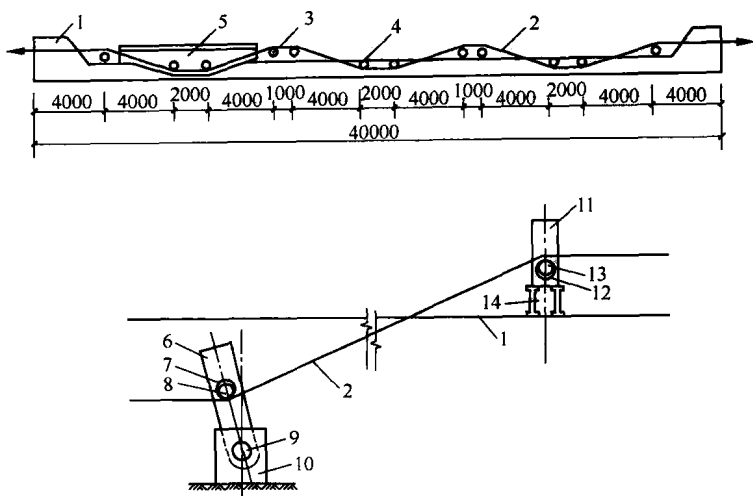


图 1-1-1 折线式吊车梁预应力筋垂直折线张拉示意图

1—台座；2—预应力筋；3—上支点（即圆钢管 12）；4—下支点（即圆钢管 7）；5—吊车梁；6—下承力架；7、12—钢管；8、13—圆柱轴；9—连锁；10—地锚；11—上承力架；14—工字钢梁

可将下承力架做成摆动支座，摆动位置用临时拉索控制。上承力架焊在两根工字钢梁上，工字钢梁搁置在台座上。为使应力均匀，还可在工字钢梁下设置千斤顶，将钢梁及承力架向上顶升一定的距离，以补足预应力（称为横向张拉）。

钢筋张拉完毕后浇筑混凝土。当混凝土达一定强度后，两端同时放松钢筋，最后抽出弯折点的圆柱轴 8、13，只剩下支点钢管 7、12 埋在混凝土构件内（钢管直径 $D \geq 2.5$ 倍钢筋直径）。

1.1.2 水平折线张拉

图 1-1-2 为利用预制钢筋混凝土双支柱作为台座压杆在现场成对生产 8 榀桁架式吊车梁的例子。在预制柱上相应于钢丝弯折点处，套以钢筋抱箍 5，并装置短槽钢 7，连以焊接钢筋网片，

预应力筋通过网片而弯折。为承受张拉时产生的横向水平力，在短槽钢上安置木撑 6、8。

两根折线钢筋可用 4 台千斤顶在两端同时张拉，或采用两台千斤顶同时在一端张拉后，再在另一端补张拉。为减少应力损失，可在转折点处采取横向张拉，以补足预应力。

垂直折线张拉需要有较复杂的锚固装置，以承受横向力，但张拉和制作较方便。水平折线张拉可借自己平衡横向力，不需复杂的锚固装置，但需要有较多的千斤顶，且占地面积较多。

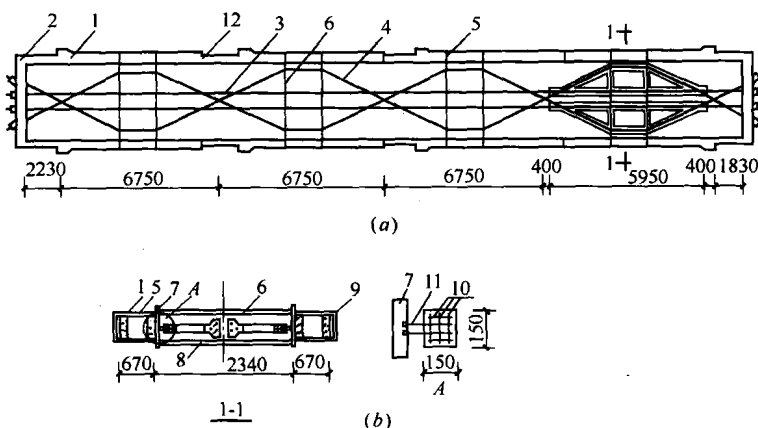


图 1-1-2 桁架式吊车梁预应力筋水平折线张拉示意图

(a) 平面图；(b) 预应力筋在转角处固定方法

- 1—台座；2—横梁；3—直线预应力筋；4—折线预应力筋；
5—钢筋抱箍；6、8—木撑；7—8号槽钢；9—70×70 方木；
10—3 ϕ 10 钢筋；11—2 ϕ 18 钢筋；12—砂浆填缝

1.1.3 先张法预应力施工质量检验

先张法预应力施工质量，应按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204—2002) 的规定进行验收。

1. 预应力混凝土技术

1. 主控项目

(1) 预应力筋进场时, 应按现行国家标准《预应力混凝土用钢丝》(GB/T 5223)、《预应力混凝土用钢绞线》(GB/T 5224) 等的规定抽取试件作为学性能检验, 其质量必须符合有关标准的规定。

检查数量: 按进场的批次和产品的抽样检验方案确定。

检验方法: 检查产品合格证、出厂检验报告和进场复验报告。

(2) 预应力筋用夹具的性能, 应符合现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》(GB/T 14370) 的规定。

检查数量: 按进场批次和产品的抽样检验方案确定。

检验方法: 检查产品合格证和出厂检验报告。

(3) 预应力筋铺设时, 其品种、牌号(级别)、规格、数量等必须符合设计要求。

检查数量: 隐蔽工程验收时全数检查。

检验方法: 观察与钢尺检查。

(4) 先张法预应力施工时, 应选用非油质类隔离剂, 并应避免玷污预应力筋。

检查数量: 全数检查。

检验方法: 观察。

(5) 预应力筋放张时, 混凝土强度应符合设计要求; 如设计无规定, 不应低于设计的混凝土立方体强度标准值的 75%。

检查数量: 全数检查。

检验方法: 检查同条件养护试件试验报告。

(6) 预应力筋张拉锚固后实际建立的预应力值与工程设计规定检验值的相对允许偏差为 $\pm 5\%$ 。

检查数量: 每工作班抽查预应力筋总数的 1%, 且不少于 3 根。

检验方法: 检查预应力筋应力检测记录。

(7) 在浇筑混凝土前发生断裂或滑脱的预应力筋必须予以

更换。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查张拉记录。

(8) 预应力筋放张时，宜缓慢放松锚固装置，使各根预应力筋同时缓慢放松。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查张拉记录。

2. 一般项目

(1) 钢丝两端采用墩头夹具时，对短线整体张拉的钢丝，同组钢丝长度的极差不得大于 2mm。

钢丝墩头的强度不得低于钢丝强度标准值的 98%。

检查数量：每工作班抽查预应力筋总数的 3%，且不少于 3 束。对钢丝墩头强度，每批钢丝检查 6 个墩头试件。

检查方法：观察、钢尺检查。检查钢丝墩头试验报告。

(2) 锚固时张拉端预应力筋的内缩量应符合设计要求；当设计无具体要求时，应符合相关规范的规定。

检查数量：每工作班抽查预应力筋总数的 3%，且不少于 3 根。

检验方法：钢尺检查。

1.2 后张法预应力施工

1.2.1 后张法有粘结预应力成套技术

后张法主要用于现浇混凝土结构，也可用于制作预制混凝土构件。后张法有粘结预应力技术采用在结构或构件中预留孔道，待混凝土硬化达到一定强度后，穿入预应力筋，通过张拉预应力筋并采用专用锚具将张拉力锚固在结构中使之产生预压力，然后在孔道中灌入水泥浆，使预应力筋沿全长与混凝土粘结在一起。其技术内容主要包括材料、设备及设计技术、成孔技术、穿束技

术、大吨位张拉锚固技术、灌浆技术及锚头保护等。

扁管有粘结预应力技术用于平板混凝土楼盖结构，适用跨度为 8~15m，高跨比为 1/50~1/40；圆管有粘结预应力技术用于单向或双向框架梁结构，适用跨度为 12~40m，高跨比为 1/25~1/18。在高层楼盖建筑中采用扁管有粘结预应力技术可以保证净空的条件下显著降低层高，从而降低总建筑高度，节约材料和造价；在多层、大面积框架结构中采用有粘结技术可提高结构性能、节省钢筋和混凝土材料，降低建筑造价。

该技术可用于单层、多层、高层房屋建筑、地下建筑的楼板、转换层和框架梁结构等，以抵抗大跨度或重荷载在混凝土结构中产生的效应，提高结构、构件的性能，降低造价。该技术还可以用于电视塔、核电站安全壳、海洋结构、水泥仓、飞机跑道等特种结构工程及各类大跨度混凝土桥梁结构。

1. 材料与设备

(1) 材料

1) 混凝土：预应力混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C30，当采用高强度钢丝、钢绞线、热处理钢筋作预应力筋时，混凝土强度等级不宜低于 C40。

2) 预应力用钢材：预应力高强钢筋主要有高强钢丝、钢绞线和粗钢筋 3 种。后张法广泛采用钢丝束和钢绞线，高强粗钢筋也可用于后张法。目前现浇预应力混凝土结构以钢绞线为主。

①消除应力钢丝的规格与力学性能应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢丝》（GB/T 5223）的规定，常用规格见表 1-2-1~表 1-2-3。

②钢绞线的规格和力学性能应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》（GB/T 5224）的规定，常用规格见表 1-2-4~表 1-2-6。

③精轧螺纹钢筋的外形尺寸与力学性能见表 1-2-7、表 1-2-8。

消除应力光圆及螺旋肋钢丝的力学性能

表 1-2-1

公称直径 d_n (mm)	抗拉强度 σ_b (MPa) 不小于	规定非比例 伸长应力 $\sigma_{p0.2}$ (MPa) 不小于		最大力下 总伸长率 ($L_0=$ 200mm) δ_{gt} (%) 不小于	弯曲次数 (次/180°) 不小于	弯曲 半径 R (mm)	应力松弛性能								
							初始应力 相当于 公称抗拉 强度的 百分数 (%)	1000h后应力 松弛率 r (%) 不大于							
								WLR	WNR	WLR	WNR				
	对所有规格														
4.00	1 470	1 290	1 250	3.5	3	10	60	1.0	4.5						
	1 570	1 380	1 330												
4.80	1 670	1 470	1 410		4	15				70	2.0	8			
	1 770	1 560	1 500												
5.00	1 860	1 640	1 580			15							80	4.5	12
6.00	1 470	1 290	1 250		4	20									
	6.25	1 570	1 380				1 330	4	20						
1 670		1 470	1 410		4	20									
7.00	1 770	1 560	1 500				4	20							
8.00	1 470	1 290	1 250		4	20									
9.00	1 570	1 380	1 330		4	25									
10.00	1 470	1 290	1 250		4	25									
12.00					4	30									

注: WLR 为低松弛; WNR 为普通松弛。

冷拉钢丝的力学性能

表 1-2-2

公称直径 d_n (mm)	抗拉强度 σ_b (MPa) 不小于	规定非比例伸长应力 $\sigma_{p0.2}$ (MPa) 不小于	最大力下总伸长率 ($L_0=200\text{mm}$) δ_{gt} (%) 不小于	弯曲次数 (次/180°) 不小于	弯曲半径 R (mm)	断面收缩率 ϕ (%) 不小于	每 210mm 扭矩的 扭转次数 n 不小于	初始应力相当于 70%公称抗拉强度时, 1000h 后应力松弛率 r (%) 不大于
3.00	1 470	1 100	1.5	4	7.5	—	—	8
4.00	1 570	1 180		4	10	35	8	
	1 670	1 250						
5.00	1 770	1 330		4	15	30	8	
6.00	1 470	1 100		5	15		7	
	1 570	1 180						
7.00	1 670	1 250		5	20		6	
8.00	1 770	1 330		5	20		5	

1. 预应力混凝土技术

消除应力刻痕钢丝的力学性能

表 1-2-3

公称直径 d_n (mm)	抗拉强度 σ_b (MPa) 不小于	规定非比例伸长 应力 $\sigma_{p0.2}$ (MPa) 不小于		最大力下 总伸长率 ($L_0=200\text{mm}$) δ_{tg} (%) 不小于	弯曲次数 (次/180°) 不小于	弯曲 半径 R (mm)	应力松弛性能		
							初始应力 相当于 公称抗拉 强度的 百分数 (%)	1000h 后应力松弛 率 r (%) 不大于	
								WLR	WNR
		对所有规格							
≤ 5.0	1 470	1 290	1 250	3.5	3	15	60	1.5	4.5
	1 570	1 380	1 330						
	1 670	1 470	1 410						
	1 770	1 560	1 500						
	1 860	1 640	1 580						
> 5.0	1 470	1 290	1 250	3.5	3	20	80	4.5	12
	1 570	1 380	1 330						
	1 670	1 470	1 410						
	1 770	1 560	1 550						

1×2 结构钢绞线的力学性能

表 1-2-4

钢绞线 结构	钢绞线 公称直径 D_n (mm)	抗拉强度 R_m (MPa) 不小于	整根钢 绞线的 最大力 F_m (kN) 不小于	规定非 比例延 伸力 $F_{p0.2}$ (kN) 不小于	最大力 总伸长率 ($L_0 \geq 400\text{mm}$) A_{gt} (%) 不小于	应力松弛性能	
						初始应力 相当于 公称抗拉 强度的 百分数 (%)	1000h 后 应力松 弛率 r (%) 不大于
1×2	5.0	1 570	15.4	13.9	3.5	60	1.0
		1 720	16.9	15.2			
		1 860	18.3	16.5			
		1 960	19.2	17.3			
	5.8	1 570	20.7	18.6		70	2.5
		1 720	22.7	20.4			
		1 860	24.6	22.1			
		1 960	25.9	23.3			

续表

钢绞线 结构	钢绞线 公称直径 D_n (mm)	抗拉强度 R_m (MPa) 不小于	整根钢 绞线的 最大力 F_m (kN) 不小于	规定非 比例延 伸力 $F_{p0.2}$ (kN) 不小于	最大力 总伸长率 ($L_0 \geq$ 400mm) A_{gt} (%) 不小于	应力松弛性能	
						初始应力 相当于 公称抗拉 强度的 百分数 (%)	1000h 后 应力松 弛率 r (%) 不大于
1×2	8.0	1 470	36.9	33.2		80	4.5
		1 570	39.4	35.3			
		1 720	43.2	38.9			
		1 860	46.7	42.0			
		1 960	49.2	44.3			
	10.0	1 470	57.8	52.0			
		1 570	61.7	55.5			
		1 720	67.6	60.8			
		1 860	73.1	65.8			
		1 960	77.0	69.3			
		1 470	83.1	74.8			
		1 570	88.7	79.8			
		1 720	97.2	87.5			
		1 860	105	94.5			

注：同表 1-2-6。

1×3 结构钢绞线的力学性能

表 1-2-5

钢绞线 结构	钢绞线 公称直径 D_n (mm)	抗拉强度 R_m (MPa) 不小于	整根钢 绞线的 最大力 F_m (kN) 不小于	规定非 比例延 伸力 $F_{p0.2}$ (kN) 不小于	最大力 总伸长率 ($L_0 \geq$ 400mm) A_{gt} (%) 不小于	应力松弛性能	
						初始应力 相当于 公称抗拉 强度的 百分数 (%)	1000h 后 应力松 弛率 r (%) 不大于
1×3	6.2	1 570	31.1	28.0	对所有规格	对所有规格	对所有规格
		1 720	34.1	30.7			
		1 860	36.8	33.1			
		1 960	38.3	34.9			