

土建工程现场施工
技术丛书

JIANMING YUYINGLI HUNNINGTU GONGCHENG SHIGONG SHOUC

简明预应力混凝土 工程施工手册

王定一 王宇红 胡长改 编



中国环境科学出版社

土建工程现场施工技术丛书

简明预应力混凝土 施工手册

王定一 王宇红 胡长改 编

中国环境科学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

简明预应力混凝土施工手册/王定一、王宇红、胡长
改编. —北京: 中国环境科学出版社, 2003.7
(土建工程现场施工技术丛书)

ISBN 7-80163-620-1

I. 简... II. ①王... ②王... ③胡... III. 预
应力混凝土-混凝土施工-技术手册 IV. TU755-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 055077 号

中国环境科学出版社出版发行
(100036 北京海淀区普惠南里 14 号)
北京市联华印刷厂印刷
各地新华书店经售

*

2003 年 7 月 第 一 版 开本 850 × 1168 1/32
2003 年 7 月 第一次印刷 印张 8.75
印数 1—5000 字数 234 千字

ISBN 7-80163-620-1/TU·027

定价: 16.00 元

土建工程现场施工技术丛书编委会

主任委员 江正荣 朱维益

副主任委员 徐占发 高峰

委员 江正荣 朱维益 高峰 梁建智

王定一 王凤和 徐占发 朱国梁

朱晓斌

出版说明

这套《土建工程现场施工技术丛书》是由我社组织编写的，专门为从事民用与工业建筑施工人员，按每一施工阶段提供一本简明、实用、全面、系统、内容丰富和便于使用的施工技术手册，以满足城市、村镇各行各业的建筑施工队伍，提高职工技术素质，指导现场施工和新世纪建筑业迅速发展的迫切需要。

本丛书按照施工过程中的不同阶段分以下十个分册：即《简明土方与地基基础工程施工手册》（含桩基工程）、《简明砌体工程施工手册》、《简明模板工程施工手册》、《简明钢筋工程施工手册》、《简明混凝土工程施工手册》、《简明预应力混凝土工程施工手册》、《简明结构吊装工程施工手册》、《简明防水工程施工手册》、《简明地面工程施工手册》、《简明装饰与装修工程施工手册》（含门窗、吊顶、隔断、幕墙等）。一般现场技术人员、队长、工长和高级技工，按不同阶段使用本丛书的有关分册，即可迅速了解各分部工程从施工准备、施工工艺、技术操作方法到质量、安全监控的全部施工过程；建筑施工中遇到的各种实际技术问题，查阅本手册便可较快地得到解决，并可顺利地进行施工。

本丛书编写尽可能涉及到建筑施工各阶段的主要方面，努力做到适用面广，实用性强，工艺先进，措施可靠，内容全面系统、完整，基本概念清楚，资料丰富、翔实；对近年各地区创新的新技术、新工艺、新材料、新机具设备、新成果亦适当的加以反映，使能满足从事建筑施工人员现场解决处理有关技术方面问题的要求。

本丛书的编写均采用最新颁布的 2002 年系列设计规范与工程施工质量验收规范和新材料、新技术标准。

本丛书是对应于国家对施工项目的十个分部工程施工而编写

的，它既相对独立，又相互联系。本丛书的编写人员均为在施工单位长期从事施工实践又具有相当经验和知识水平的高级工程师，他们根据施工队伍的人员现实状况，在编写时文字力求做到简明扼要，深入浅出，通俗易懂，层次清楚，理论联系实际，使读者易于理解、掌握和应用。本丛书既可作为现场施工技术参考资料和技术指导，又可作为项目经理、施工员的培训教材使用，同时在施工队伍中具有中等文化水平的工人、高级技工也可将本丛书作为提高自身技术水平的自学文本。

由于作者来自各方，经验不一，加上编写水平和时间所限，本丛书内容、选材是否适当，能否满足读者的实际需要，尚祈广大读者在使用中提出宝贵意见和建议，以便今后修订时，加以改进、充实、提高、使臻完善。

中国环境科学出版社

2003 年 1 月

目 录

1 概述	1
1.1 我国预应力混凝土的应用与发展	1
1.1.1 起步阶段	1
1.1.2 恢复发展阶段	3
1.1.3 快速发展阶段	4
1.2 预应力混凝土分类	6
1.2.1 按照结构类型分类	6
1.2.2 按照张拉工艺分类	7
1.3 预应力混凝土工程施工特点	7
1.4 部分预应力混凝土与高效预应力混凝土	8
1.4.1 部分预应力混凝土	8
1.4.2 高效预应力混凝土	9
2 材料	11
2.1 预应力混凝土钢材	11
2.1.1 预应力钢材品种、性能及适用范围	11
2.1.2 预应力钢材的检验	31
2.2 锚具	32
2.2.1 锚具的种类及应用	32
2.2.2 无粘结预应力锚具	50
2.2.3 锚具的静载锚固性能	54
2.2.4 锚具的进场验收	55
2.3 夹具和连接器	56
2.3.1 夹具	56
2.3.2 连接器	62
2.4 混凝土	63

2.4.1	原材料	63
2.4.2	高强混凝土配制	69
2.5	孔道灌浆材料	73
2.6	后张法构件或孔材料	74
2.6.1	抽芯成孔的芯管材料	74
2.6.2	金属螺旋管	74
3	预应力施工设备	76
3.1	钢筋切断设备	76
3.1.1	钢筋切断机	76
3.1.2	电动圆盘砂轮切割机	76
3.2	粗钢筋对焊、镦粗设备	77
3.3	钢筋冷拉设备	79
3.4	钢丝液压镦头器与挤压机	80
3.4.1	钢丝液压镦头器	80
3.4.2	挤压机	82
3.5	张拉设备	83
3.5.1	台座	83
3.5.2	液压千斤顶	92
3.5.3	电动油泵	104
3.5.4	机械式张拉设备	108
3.5.5	钢丝压折器	110
3.6	孔道灌浆设备	111
3.6.1	手动灰浆泵	111
3.6.2	电动柱塞式灰浆泵	113
3.6.3	电动挤压式灰浆泵	114
4	预应力施工计算	115
4.1	预应力损失	115
4.1.1	预应力损失	115
4.1.2	预应力损失值计算	116
4.1.3	无粘结预应力筋的预应力损失	123

4.2	张拉力及张拉值计算	125
4.2.1	张拉力计算	125
4.2.2	张拉值计算	126
4.3	张拉伸长值计算	126
4.4	预应力筋下料长度计算	130
4.4.1	预应力钢丝束下料长度计算	130
4.4.2	预应力钢绞线束下料长度计算	132
4.4.3	冷拉Ⅱ、Ⅲ级钢筋下料长度计算	133
5	预应力筋制备	136
5.1	热轧钢筋的制备	136
5.1.1	热轧钢筋对焊	136
5.1.2	钢筋镦粗	141
5.1.3	钢筋冷拉	141
5.2	预应力钢丝束制备	143
5.2.1	钢丝下料与编束	143
5.2.2	钢丝镦头	145
5.3	钢绞线束的制备	146
5.4	无粘结预应力束的制备	146
6	预应力张拉工艺	147
6.1	先张法预应力张拉工艺	147
6.1.1	工艺流程	147
6.1.2	张拉程序	148
6.1.3	张拉操作要点	148
6.2	后张有粘结预应力工艺	151
6.2.1	工艺流程	151
6.2.2	预应力孔道成型	151
6.2.3	清孔与穿束	157
6.2.4	施加预应力	159
6.2.5	孔道灌浆与封锚	163
6.3	后张无粘结预应力工艺	164

6.3.1	工艺流程	164
6.3.2	无粘结预应力筋的铺设	165
6.3.3	混凝土浇筑	166
6.3.4	无粘结预应力筋张拉	167
6.3.5	无粘结预应力筋的锚具防护	168
7	常用预应力混凝土构件	172
7.1	预应力混凝土屋架	172
7.1.1	预应力混凝土屋架类型	172
7.1.2	屋架现场预制平面布置	174
7.1.3	屋架块体制作	174
7.1.4	预应力筋张拉	177
7.2	预应力混凝土托架	178
7.2.1	托架的形式	178
7.2.2	托架块体制作	180
7.2.3	预应力筋张拉	181
7.3	预应力混凝土吊车梁	182
7.3.1	预应力混凝土吊车梁的类型	182
7.3.2	吊车梁块体制作	183
7.3.3	吊车梁预应力筋张拉	185
7.4	预应力混凝土 T 形板	186
7.4.1	胎模制作	186
7.4.2	双 T 板预应力筋放张	189
7.4.3	构件起模	190
7.5	预应力混凝土屋面板	190
7.5.1	预应力混凝土屋面板的型号	190
7.5.2	预应力混凝土屋面板的生产	191
7.6	预应力混凝土空心板	194
7.6.1	预应力混凝土空心板的板型	194
7.6.2	预应力混凝土空心板的制作	194
7.7	预应力混凝土薄板	203

7.7.1	预应力混凝土薄板的构造	203
7.7.2	预应力混凝土薄板的制作	204
8	后张有粘结预应力混凝土结构	207
8.1	有粘结预应力混凝土框架梁	207
8.1.1	框架梁预应力筋的线形及布置方式	207
8.1.2	框架梁预应力筋张拉端构造	211
8.1.3	施工顺序和工艺流程	212
8.1.4	施工操作要点	215
8.2	有粘结预应力混凝土平板	218
8.2.1	结构特点及布筋方式	218
8.2.2	扁形锚具的应用	220
8.2.3	施工操作要点	221
8.3	整体预应力装配式板柱结构	222
8.3.1	结构原理	222
8.3.2	材料及构件	224
8.3.3	临时支撑系统	226
8.3.4	结构构件安装	228
8.3.5	施加预应力	228
8.4	预应力薄板叠合楼板	232
8.4.1	预应力薄板叠合楼板的构造	232
8.4.2	施工顺序	233
8.4.3	施工准备	233
8.4.4	搭设临时支撑系统	234
8.4.5	吊装预应力薄板	234
8.4.6	浇筑叠合层混凝土	235
8.4.7	产品保护	235
9	无粘结预应力混凝土结构	236
9.1	无粘结预应力混凝土平板	236
9.1.1	无粘结预应力混凝土楼板体系	236
9.1.2	预应力筋布置方式	237

9.1.3	施工工艺	238
9.1.4	铺放无粘结预应力筋	239
9.1.5	端部节点安装	241
9.1.6	楼板混凝土浇筑	242
9.1.7	施加预应力	243
9.2	无粘结预应力混凝土密肋楼盖	245
9.2.1	施工工艺流程	245
9.2.2	模板工程	246
9.2.3	铺放预应力筋	247
9.2.4	浇筑楼板混凝土	248
9.2.5	预应力筋张拉	248
9.3	无粘结预应力混凝土井字梁板	249
9.3.1	井字梁楼板结构布置方式	249
9.3.2	无粘结预应力井字梁板构造措施	250
9.3.3	无粘结预应力混凝土井字梁板工程实例	253
10	预应力施工质量控制	257
10.1	预应力施工质量保证体系	257
10.2	材料	258
10.2.1	预应力筋	258
10.2.2	锚(夹)具与连接器	258
10.2.3	成孔材料	259
10.2.4	水泥与外加剂	259
10.3	预应力筋制备与安装	260
10.4	预应力筋张拉和放张	262
10.5	孔道灌浆	263
10.6	封锚防护	263
	参考文献	265

1 概 述

1.1 我国预应力混凝土的应用与发展

我国自上世纪 50 年代中期开始推广应用预应力混凝土，40 多年来有了很大进步，取得了很大的成绩。回顾我国预应力混凝土将近半个世纪的发展历程，大体上可以划分为 3 个发展阶段。

1.1.1 起步阶段

这一阶段大致从 20 世纪 50 年代中期至 70 年代末。这个时期预应力混凝土应用的特点是：预应力钢材品种单一、强度低；锚夹具由施工单位自行加工，质量不稳定；张拉机具品种少、张拉力低，设备笨重；主要应用于装配式工业厂房。

(1) 预应力钢材及锚具：

预应力钢材的主要品种是冷拉Ⅱ、Ⅲ级钢筋，锚（夹）具有螺栓端杆、镦粗头及帮条锚具。冷拔低碳钢丝主要用于空心板等中、小型先张法构件。高强度 $\phi 5\text{mm}$ 预应力碳素钢丝（标准强度 160kgf/mm^2 ）的产量很少，只用于属架、托架、桥梁等大型构件，锚具为钢质锥形锚具（弗氏锚具）。

20 世纪 70 年代中期，冷拉 $\phi 12\text{mm}$ Ⅳ级钢筋束用于吊车梁、折线形托架等后张法结构件，锚具采用 JM12 型夹片式锚具，或用于后张自锚工艺。Ⅳ级钢筋可焊性较差，需定尺订货，其应用受到了限制。

(2) 生产工艺：

先张法构件常用长线台座法与机组流水法组织生产。台座法设备简单、生产效率高，应用非常普遍，主要用于生产空心板、槽形板等中、小型构件。钢模机组流水法主要用于生产 $1.5\text{m} \times 6.0\text{m}$ 大型屋面板及空心楼板。

后张法是在施工现场生产大型预应力混凝土构件的主要方法，如屋架、托架、吊车梁等。后张束预留孔道的成孔方法，直线束用钢管抽芯成孔，曲线束常用充水或充气高压胶管成型。

(3) 张拉设备

常用高压油泵其公称压力一般为 400kgf/cm^2 (约 40N/mm^2)。常用的千斤顶有：拉杆式 YL-60 型千斤顶，主要用于张拉冷拉Ⅱ、Ⅲ级钢筋；锥锚式双作用千斤顶，用于张拉 $\phi 5\text{mm}$ 碳素钢丝束；穿心式 YC-60 型千斤顶，主要用于张拉 $\phi 12\text{mm}$ 冷拉Ⅳ级钢筋束。

台座法生产构件时，常利用普通油压千斤顶通过四横梁式传力架对预应力筋成组张拉。张拉冷拔低碳钢丝可采用机械式张拉机具，如手动螺杆式张拉器、电动螺杆式张拉机、电动卷筒式张拉机等。

(4) 主要构件

1) 预应力混凝土薄复屋面梁 屋面梁有单坡、双坡两种型式，跨度 $9 \sim 18\text{m}$ 。

2) 预应力混凝土屋架 屋架型式有折线形、梯形、拱形等，跨度 $18 \sim 36\text{m}$ ，按其制作方式可分为整体式、腹杆拼装式及块体拼装式，一般在施工现场制作，拼装式屋架可在预制厂生产块体运至工地拼装。

3) 预应力混凝土托架 托架有折线形与三角形两种形式，均为上承式，适宜于 12m 柱距、屋架间距为 6m 的单层工业厂房。

4) 预应力混凝土吊车梁 吊车梁常用类型有先张法等高度吊车梁、后张法等高度吊车梁、折线形吊车梁、鱼腹式吊车梁等，跨度为 6m 、 9m 、 12m ，跨度超过 12m 的采用桁架式吊车梁。吊车吨位一般为 $10 \sim 100\text{t}$ ， 12m 折线形吊车梁可达 200t 。

5) 预应力混凝土屋面板及双 T 板 应用最多的 $1.5\text{m} \times 6.0\text{m}$ 屋面板，肋高 240mm ，板厚 25mm 。双 T 板是一种板梁合一的楼面构件，适用于单层及多层工业厂房，其跨度可达 15m 或更大。其它槽形板有墙板、天沟板、走道板等，跨度 9m 、 12m 。

6) 预应力混凝土空心板 民用建筑广泛应用的圆孔板, 跨度 $2.1 \sim 3.6\text{m}$ 、板厚 110mm , 甲级冷拔低碳钢丝作预应力筋。工业建筑圆孔板, 板厚 240mm , 跨度 $6 \sim 8\text{m}$, 预应力筋为冷拉 II、III 级钢筋。

7) 预应力混凝土 V 形折板 折板跨度一般为 $9 \sim 21\text{m}$, 波宽 $2 \sim 3\text{m}$, 冷拔低碳钢丝配筋, 长线台座迭层生产。

8) 预应力混凝土槽瓦、檩条、挂瓦板、小梁等小型预应力构件。

1.1.2 恢复发展阶段

这一阶段大致为 20 世纪 80 年代的 10 年间, 这个时期我国预应力混凝土有了较大的发展。

(1) 预应力混凝土应用范围

预应力技术由单个构件向预应力混凝土结构发展, 现浇混凝土结构越来越多地采用预应力混凝土, 如部分预应力现浇框架、无粘结预应力平板与井式梁板、预应力混凝土叠合楼板、整体预应力板柱结构等。

80 年代末, 在大直径预应力混凝土筒仓、核电站预应力混凝土安全壳、电视塔等特种结构中, 开始应用环向预应力及竖向预应力技术。

(2) 高强度预应力钢材

$\phi 5\text{mm}$ 预应力碳素钢丝、 $\phi 12$ 与 $\phi 15$ 预应力钢绞线及热处理钢筋等高强度钢材, 得到了推广应用。在中小型预应力混凝土构件中, 传统的冷拔低碳钢丝逐步被中强度预应力钢丝取代。

(3) 锚具及张拉机具

这一时期锚具品种增多, 开始形成各种不同用途的锚具系列, 涌现一批具有一定生产规模的张拉机具专业生产厂家。用于锚固钢丝束的 DM 型镦头锚具、用于锚固钢绞线束的 XM 型及 QM 型等新型锚具, 已形成具有自身特色的张拉锚固体系, 应用范围广, 大小张拉力束均可使用。

千斤顶、高压油泵等张拉机具向多样化、轻型化方向发展,

以满足工程的不同需要。

(4) 成孔材料:

后张法预应力混凝土结构预应力束孔道的成孔材料,逐步推广金属波纹管(金属螺旋管),金属波纹管初步形成适用不同要求的系列产品。

(5) 无粘结预应力混凝土的应用

无粘结预应力新技术在现浇混凝土楼盖工程得到了越来越多的应用,并取得了较好的技术经济效果。

1.1.3 快速发展阶段

上世纪90年代初期至今这10多年间,我国的预应力技术有了长足的发展,奠定了我国现代预应力技术快速发展的坚实基础。

(1) 预应力混凝土应用范围不断扩大

10多年来,预应力混凝土已逐步渗透到建筑业的各个领域,现代预应力技术工程应用不断扩大。例如:高层建筑预应力混凝土楼板的广泛应用,在使用功能与经济上都取得了显著效果;预应力混凝土大梁、预应力混凝土桁架在转换层结构中的应用,满足了高层建筑下部大空间的功能要求;大型商业城、航空港、停车库及大型综合厂房的兴建,推动了大面积、大柱网预应力混凝土结构的发展;大型预应力混凝土构筑物,如电视塔、核电站安全壳、污水处理厂蛋形消化池、大直径贮罐、倒锥壳水塔与球形水塔等相继建成;各种类型的大跨度预应力桥梁大批建成,我国的建桥技术已跻身于世界先进行列。

(2) 预应力混凝土技术标准逐步完善

近年来,我国有关预应力混凝土的标准、规范、规程陆续出台或修订,促进了预应力技术的发展与提高。

1) 预应力钢材标准 高强度、低松弛的预应力混凝土用钢丝与钢绞线的新标准 GB/T 5223—1995、GB/T 5224—1995,已与国际标准接轨。《钢绞线、钢丝束无粘结预应力筋》JG3006—93、《中强度预应力混凝土用钢丝》YB/T156—1999、《冷轧带肋钢筋》

GB13788—2000 等标准相继颁布实施。

2) 锚夹具、张拉机具标准 如《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T14370—93、《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ85—92、《预应力用液压千斤顶》JG/T5028—93、《预应力用电动油泵》JG/T5029—93 等相继出台。锚具、夹具和连接器的产品标准与应用技术规程,最近还进行了修订,以 GB/T14370—2000 标准代替 GB/T14370—1993,以 JGJ85—2002 代替原行业标准 JGJ85—92。

3) 预应力混凝土技术规程 如《冷拔钢丝预应力混凝土构件设计与施工规程》JGJ19—92、《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ/T92—93、《整体预应力装配式板柱建筑技术规程》CECS52: 93、《冷轧带肋钢筋混凝土技术规程》JGJ95—95 等。

4) 工程设计与施工质量验收规范新发布的《混凝土结构设计规范》GB50010—2002 设有专门章节规定了预应力混凝土结构构件计算要求;《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204—2002 中“预应力分项工程”一章,对预应力筋、锚夹具、连接器等材料的进场检验、预应力筋布置或预应力束预留孔道设置、预应力的张拉与放张、孔道灌浆直至封锚保护等一系列重要工序,都作出了具体规定及检验方法。这对于指导与规范我国预应力技术的发展将起到积极的重要作用。

(3) 高效预应力钢材成为主导钢材

近年来,我国的高效预应力钢材产量增加,供应充足,预应力混凝土用钢丝、钢绞线已成为预应力混凝土的主力钢筋。钢绞线强度高(标准强度达 $1720 \sim 1860 \text{ N/mm}^2$)、松弛低、延伸率大、伸直性好,是现代预应力混凝土的首选钢材,年产量已达 20 万 t。预应力钢丝由于适用面广、价格较低,应用仍很多。

无粘结预应力筋涂色生产线全国已有 30 多条,年涂色量可达 15000t。目前我国高效预应力钢材的生产已完全可以满足预应力工程的需要。

(4) 锚具与张拉设备配套齐全