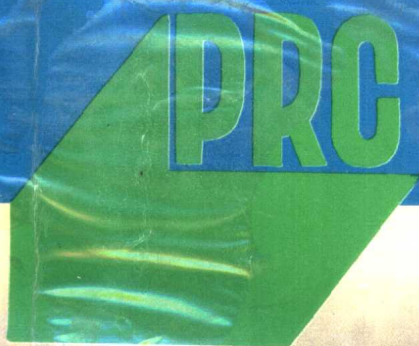


现代PRC结构设计

PRC·预应力钢筋混凝土



孙宝俊 编著

南京出版社

现代 PRC 结构设计

Design of Modern PRC Structures

孙宝俊 编著

Sun Baojun



南京出版社

Nanjing Press

现代 PRC 结构设计

孙宝俊 编著

南京出版社出版发行

(地址:南京市北京东路 41 号 邮编:210008)

河海大学印刷厂印刷

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 11.5 字数 300 千

1995 年 7 月第 1 版 1995 年 7 月第 1 次印刷

印数: 1-5000 册

ISBN 7-80614-163-4/TU·2

定价:15.00 元

责任编辑:张德玲

(本书凡有印装质量问题可向承印厂调换)

内 容 简 介

本书根据国内外预应力混凝土的工程实践经验和最新研究成果,结合我国现行有关的设计规范、规程和建议,系统地介绍了现代预应力钢筋混凝土(简称 PRC)结构的基本原理和概念、材料和工艺、设计基础、以及计算理论和设计方法;同时,还对常用的 PRC 结构构件给出了工程实例,既有比较详细的计算过程又有结构简图,具有较强的实用性。

本书可供土建结构设计、施工人员和科研人员参考,亦可作为高等院校土建专业的教材、教学参考书或培训教材。

献给不盲从规范
而寻求利用自然规律
的工程师

——林同炎, 1955

前 言

法国著名预应力学者 Y. 居易翁 (Guyon) 曾预言：“预应力混凝土将开创结构领域的新纪元，或许没有它所不能解决的问题。”纵观预应力混凝土的发展史，特别是近 30 年来在预应力混凝土结构分析、设计、材料和施工领域所取得的巨大进展，足以证实这一预言的正确性。预应力混凝土因能充分发挥材料的潜能，结构性能好，经济、耐久，已渗透到土木工程的各个领域，是建造高、大、重、特工程中最为重要的结构材料和技术，有着广阔的应用前景。它已成为现代结构工程师所不可缺少的有力工具。

现代预应力钢筋混凝土 (Modern Prestressed Reinforced Concrete, 简称 PRC) 是以高强度材料为特征用现代设计概念、方法和先进的生产工艺制造的高效预应力混凝土。它结合了预应力混凝土和钢筋混凝土两者的优点，可根据结构的不同功能要求和所处的环境条件以及预应力对外荷载的平衡程度和技术经济上的综合考虑，选择合适的预应力度，以适应各类结构的设计需要。本书较为系统地介绍了现代预应力钢筋混凝土 (PRC) 结构的分析和设计方法。

鉴于所述的内容易于被工程技术人员所接受，并能运用到实际工程中去，本书在编写时突出两个方面的内容：一是在讲述设计方法时，尽可能从一般的力学和结构知识出发，着重强调设计概念，力求浅显易懂；二是对常

用的 PRC 结构构件都有一个工程设计实例,有比较详细的计算过程,并给出结构简图,具有较强的操作性。

本书是配合我国新近颁布的《混凝土结构设计规范(GBJ 10-89)》、《无粘结预应力混凝土结构技术规程(JGJ/T 92-93)》、《冷拔钢丝预应力混凝土构件设计与施工规程(JGJ 19-92)》以及《冷轧带肋钢筋混凝土结构技术规程(送审稿)》的实施而编写的。

当今,世界科技,日新月异。出版此书的目的在于向读者介绍现代预应力混凝土设计的新方法,及时总结这一领域的新成果,加速预应力混凝土在我国的推广和应用,尽快将科学技术转化为生产力。

限于作者水平,加之时间仓促,书中有不当之处恳请读者批评指正。

孙 宝 俊

于东南大学土木工程系

1995 年 5 月

符 号

这里列出的符号系符号的统称,一般来说需与下标、上标接合组成完整的符号。

- A —— 截面面积的统称,系数;
- a —— 距离,受压区高度,锚具变形和钢筋内缩值;
- B —— 截面刚度,系数;
- b —— 矩形截面宽度,T形和I形截面的腹板宽度;
- C —— 压应力合力,压力中心,混凝土强度等级,系数;
- c —— 保护层厚度,中和轴至顶面纤维的距离;
- c.g.c. —— 混凝土截面的重心线;
- c.g.s. —— 预应力筋的重心线;
- d —— 圆形孔道的直径,钢筋直径,截面高度;
- E —— 弹性模量的统称;
- e —— 预应力筋重心至截面 c.g.c. 的偏心距,距离;
- F —— 集中力;
- f —— 材料强度,抛物线的垂度,挠度;
- $G(g)$ —— 永久荷载(恒载);
- h —— 截面高度的统称;
- h_0 —— 截面有效高度;
- I —— 截面惯性矩的统称;
- K —— 刚度的统称;
- $L(l)$ —— 跨度,长度;
- M —— 弯矩的统称;
- M_{dec} —— 消压弯矩;
- N —— 轴向力的统称;
- n —— 根数,次数;

- P —— 预拉力, 外力;
- PPR —— 预应力比率;
- Q —— 可变荷载(活荷载);
- q —— 均布线荷载的统称;
- R —— 支度反力的统称;
- r_c —— 曲率半径;
- s —— 钢筋间距;
- T —— 拉力的统称;
- u_m —— 冲切计算周长;
- V —— 剪力的统称;
- W —— 截面抵抗矩的统称;
- w —— 均布线荷载的统称, 裂缝宽度;
- x —— 受压区高度, 计算长度;
- y —— 任意一点离 c. g. c. 线的距离;
- z —— 受拉筋合力点至混凝土受压区合力点之间的距离;
- α —— 弯起钢筋与底面的角度, 力筋形状系数(al), 系数的统称;
- α_{ct} —— 混凝土拉应力限制系数(α_{ct} 为广义值);
- α_E —— 钢筋的弹性模量与混凝土的弹性模量之比;
- β —— 局部受压承载力的提高系数, 刚度折减系数, 系数;
- β_0 —— 综合配筋指数;
- γ —— 受拉区混凝土塑性影响系数, 系数;
- Δ —— 变形值;
- δ —— 弯矩调幅值;
- ϵ —— 应变的统称;
- θ —— 角度的改变, 长期提高系数($\theta=2$);
- κ —— 考虑孔道每米长度的局部偏差的摩擦系数;

- λ —— 预应力度, 力筋形状系数(λl);
 μ —— 摩擦系数;
 ξ —— 受压区相对高度, $\xi = x/h_0$;
 ρ —— 配筋率;
 σ —— 应力的统称;
 σ_{tp}, σ_{cp} —— 混凝土中的主拉应力、主压应力;
 φ —— 混凝土的徐变系数, 曲率;
 τ —— 剪应力的统称;
 ω —— 面积, 配筋指标。

下 标

- | | |
|--------------------|----------------------|
| b —— 底部, 平衡, 弯起; | p —— 预应力钢筋; |
| c —— 混凝土, 受压; | Q —— 活荷载; |
| con —— 控制; | r —— 松弛; |
| cor —— 核芯; | s —— 非预应力钢筋, 短期效 |
| cu —— 立方体; | 应组合; |
| e —— 有效值; | t —— 受拉, 顶部; |
| f —— 翼缘; | u —— 极限值; |
| G —— 恒载; | v —— 受剪, 体积; |
| g —— 毛截面; | y —— 强度(设计值); |
| i —— 初始; | 0 —— 换算截面, 应力为零; |
| k —— 标准值; | 0.2 —— 残余应变为 0.2%; |
| l —— 损失, 长期效应组 | 综 —— 综合内力; |
| 合, 局部受压; | 主 —— 主内力; |
| max —— 最大值; | 次 —— 次内力; |
| min —— 最小值; | 外 —— 外力。 |
| n —— 净截面; | |

上 标

- f —— 疲劳;
 $'$ —— 受压区, 施加预应力时。

缩 写

- PC —— 预应力混凝土 (Prestressed Concrete);
- PPC —— 部分预应力混凝土 (Partially Prestressed Concrete);
- PRC —— 预应力钢筋混凝土 (Prestressed Reinforced Concrete);
- RC —— 钢筋混凝土 (Reinforced Concrete)。
- AASHTO —— 美国各州公路与运输工作者协会 (American Association of State Highway and Transportation Officials);
- ACI —— 美国混凝土学会 (American Concrete Institute);
- ASCE —— 美国土木工程师学会 (American Society of Civil Engineers);
- BS —— 英国标准 (British Standards);
- CEB —— 欧洲混凝土协会 (Comité Européen du Béton);
- FIP —— 国际预应力协会 (Fédération Internationale de la Précontrainte);
- PCI —— 预应力混凝土学会 (Prestressed Concrete Institute);
- PTI —— 后张预应力委员会 (Post-Tensioning Institute)。

目 录

符 号	
绪 论	1

第 I 部分 设计计算原理

1 原理和概念	
1.1 PRC结构的特征	8
1.2 几个设计概念	11
1.3 预应力混凝土的分类	22
1.4 预应力混凝土的各受力阶段	28
1.5 设计方法概述	30
2 材料与预应力工艺	
2.1 预应力钢材	34
2.2 混凝土	45
2.3 施加预应力的方法	49
2.4 后张预应力工艺	51
2.5 无粘结预应力混凝土	60
3 PRC设计计算基础	
3.1 结构行为特点	62
3.2 张拉控制应力	64
3.3 预应力损失	65
3.4 预加应力的计算	80
3.5 预应力曲线筋的特征值	83
3.6 锚固设计	84
3.7 构造要求	91
4 PRC受弯构件的受力机理与设计原则	

4.1	正截面承载力计算	96
4.2	无粘结筋的极限应力	101
4.3	斜截面承载力计算	105
4.4	截面的性能和分析	109
4.5	截面应力验算	116
4.6	裂缝控制与计算	124
4.7	变形计算	130
5	PRC 受弯构件设计	
5.1	截面选择	135
5.2	按裂缝控制要求设计	138
5.3	按受弯承载力要求设计	141
5.4	预应力筋的布置	143
5.5	非预应力筋的设置	145
5.6	设计过程与简化计算	146
5.7	有关规定	151
5.8	先张预应力梁计算实例	152
6	超静定预应力混凝土结构设计	
6.1	概述	164
6.2	预应力连续梁的弹性分析	166
6.3	等效荷载法	172
6.4	荷载平衡法	177
6.5	荷载平衡法的应用	180
6.6	次弯矩的计算及其影响	190
6.7	弯矩重分布和弯矩调幅	194
6.8	预应力筋的线形选择	197
6.9	预应力连续结构设计	207
7	后张预应力混凝土板设计	
7.1	概述	214
7.2	后张预应力混凝土楼板	215
7.3	单向板	218

7.4	周边支承的双向板	220
7.5	无梁平板	224
7.6	冲切设计计算	236
7.7	预应力混凝土板柱结构设计	242

第 II 部分 设计计算实例

8 后张预应力简支梁设计实例

8.1	初步设计	248
8.2	正截面承载力计算	250
8.3	预应力损失计算	252
8.4	抗裂验算	256
8.5	使用阶段验算	258
8.6	斜截面承载力计算	261
8.7	施工阶段验算	264

9 无粘结 PRC 连续梁设计实例

9.1	设计资料	267
9.2	预应力的估计	269
9.3	预应力损失计算	272
9.4	次内力分析	276
9.5	承载力计算	279
9.6	使用阶段验算	281
9.7	施工阶段验算	284

10 PRC 框架结构设计实例

10.1	设计资料	288
10.2	预应力的估计	290
10.3	预应力损失计算	294
10.4	次内力分析	296
10.5	承载力计算	299
10.6	使用阶段验算	301
10.7	施工阶段验算	302

11 后张预应力平板结构设计实例	
11.1 设计资料	304
11.2 板厚的选择	305
11.3 预应力筋的估算	306
11.4 平板内力分析	309
11.5 使用阶段应力验算	311
11.6 正截面承载力验算	313
11.7 冲切承载力验算	314
11.8 变形验算	318
11.9 预应力筋的布置	320
附录 A 曲线和折线预应力筋锚固损失的计算公式与示例	
A.1 曲线预应力筋	321
A.2 折线预应力筋	323
A.3 计算示例	324
附录 B 破坏截面极惯性矩 J_c 及计算系数 α_0 计算公式	327
附录 C 钢筋和混凝土的力学指标	
C.1 混凝土	329
C.2 钢筋	330
附录 D RC 矩形截面受弯构件正截面承载力计算系数表	333
附录 E 常用钢筋的计算截面面积及理论重量	336
附录 F PRC 受弯构件的允许挠度	337
致 谢	338
参考文献	339

绪 论

——现代预应力工程结构的新进展^①

预应力(Prestressing)是为了改善结构构件在各种使用条件下的工作性能和提高其强度而在使用前预先施加的永久应力。当今,预应力原理不仅广泛应用于混凝土结构,还应用到其它工程结构,以及用来解决一些工程特殊问题的一种新技术。

现代预应力混凝土结构是用高强度材料、现代设计理论和先进的施工工艺建造来的高效预应力混凝土结构。与传统的结构混凝土相比,现代预应力混凝土不仅具有结构性能好、耐久,而且经济、节材、节能,提高综合经济效益,具有广阔的应用前景。近 20 年来,预应力混凝土和预应力技术的应用有了迅猛的发展,它已渗透到土木工程的各个领域,是建造高(高层建筑、高耸结构)、大(大跨度、大空间结构)、重(重载结构)、特(特种结构及特殊应用)工程中不可缺少最为重要的结构材料和技术。同时,预应力技术是节约钢材的最有效手段。因此,我国十年规划和“八五”计划中把发展和推广高效预应力混凝土结构作为建筑业的基本国策之一。

预应力混凝土(Prestressed Concrete,简称 PC),由于具有突出的优越性,它在世界各国的土木建筑程中得到了大量推广和应用。

^① 系作者在国际华人结构工程青年专家研讨会(1995 年 1 月,上海)所作论文报告^[1]。

预应力混凝土结构的发展,推动了预应力混凝土科学技术的进步。近20年来,在预应力混凝土结构设计思想与计算理论、预应力混凝土材料、张拉锚固体系、预应力工艺等方面都有很大的发展。

1. 预应力设计思想的发展

预应力设计思想经历了“全”预应力(E. Freyssnet, 1928)、“部分”预应力(V. Emperger, 1938; P. W. Abeles, 1940)和“现代”预应力钢筋混凝土三个历史阶段。

预应力混凝土设计思想的重大发展在于肯定了部分预应力混凝土(Partially Prestressed Concrete, 简称 PPC)的优越性,并按预应力程度(Degree of prestressing)的高低将预应力分为全预应力(Full prestressing)、限值预应力(Limited prestressing)、部分预应力(Partial prestressing),并与钢筋混凝土(Reinforced Concrete, 简称 RC)组成完整的配筋混凝土系列。设计人员可以根据对预应力的要求,合理选用,以得到使用性能好、材料省和经济的结构。

随着部分预应力概念的发展和部分预应力混凝土在工程领域中广泛应用,形成了现代预应力钢筋混凝土(Modern Prestressed Reinforced Concrete, 简称 PRC)这一新的设计概念。现代预应力钢筋混凝土(PRC)是以高强度材料为特征的预应力混凝土,它结合了预应力混凝土(PC)和钢筋混凝土(RC)两者的优点,可根据结构对外荷载的平衡程度和技术经济上的综合考虑,选择合适的预应力度,以适应各类结构的设计需要。同时,这一概念引入,使得制定有关混凝土结构的统一设计规范和标准成为可能,有利于克服当前设计工程师要花较多的时间和精力去理解和熟悉各种规范的条文和构造细部,把注意力集中用于考虑更重要的设计问题。

从现代预应力钢筋混凝土(PRC)的概念出发,预应力筋的作用由原来仅作为产生预压应力的手段,发展为产生用于平衡外荷载(Load balancing; T. Y. Lin, 1963)的反向荷载(等效荷载, Equivalent loads)的配筋,调整结构内力和变形的手段,探索新型结构体系及施工方法,以及用于解决某些工程特殊问题(比如,建