

部分预应力混凝土结构设计建议

中国土木工程学会
混凝土及预应力混凝土学会
部分预应力混凝土委员会
《部分预应力混凝土结构设计建议》编写组编

中国铁道出版社
1985年·北京

部分预应力混凝土结构设计建议

中国土木工程学会
混凝土及预应力混凝土学会
部分预应力混凝土委员会
《部分预应力混凝土结构设计建议》编写组编

中国铁道出版社
1985年·北京

部分预应力混凝土结构设计建议
《部分预应力混凝土结构设计建议》编写组编

中国铁道出版社出版

责任编辑 翁大厚

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092毫米 1/32 印张：7.125 字数：160 千

1985年12月 第1版 第1次印刷

印数：0001—7,000册 定价：1.40元

内 容 简 介

部分预应力混凝土是采用预应力筋与非预应力钢筋混合配筋的一种新型结构，兼有全预应力混凝土和普通钢筋混凝土两者的优点。本书是根据国内外工程实践和试验研究的成果编写而成。

这本书的内容包括《部分预应力混凝土结构设计建议》的全部条文和条文的解释。为了便于广大设计者掌握这类结构的设计计算方法，还介绍了工业与民用建筑、铁路桥梁和公路桥梁部分预应力结构构件的计算例题。

本书可供土建设计、施工人员使用，亦可供土建专业的大专院校的师生和科研人员参考。

前 言

部分预应力混凝土是针对全预应力混凝土在理论和实践中出现的一些问题，于近十几年内发展起来的一种新型的预应力混凝土。由于采用了新的设计理论及预应力与非预应力混合配筋，部分预应力混凝土结构兼有全预应力混凝土与钢筋混凝土两种结构的优越性能，既能更好地控制使用条件下的裂缝、变形（短期与长期），破坏前又具有较高的延性与能量吸收能力，因此很有发展前途。

虽则早在40年代初，奥、英两国学者就已经提出了在使用荷载下允许混凝土出现拉应力，甚至开裂的“部分”预应力的概念。苏、中等国的有关规范于50年代就已对采用冷拉钢筋作应力筋的预应力混凝土作出允许开裂的规定。但是直到1970年随着理论和实践的逐步成熟，部分预应力才开始在国际上受到应有的重视。后来又经过国际预应力协会(FIP)举行的两届大会以及1980年召开的部分预应力混凝土学术会议，部分预应力混凝土的合理性与经济性可以说才被各国工程界所普遍接受，并认为这种介于全预应力混凝土与钢筋混凝土两个极端状态之间的部分预应力混凝土即将成为加筋混凝土系列中的主流。

为了加速部分预应力混凝土在我国的推广，中国土木工程学会混凝土及预应力混凝土学会于1981年成立了部分预应力混凝土委员会，鉴于我国各工交部门的设计规范，对部分预应力都还缺少系统的、明确的条文和规定，难以进行具体设计和推广，又于1982年成立了《部分预应力混凝土结构设

计建议》编写组，负责起草一本适用于房屋、桥梁（包括铁路桥、公路桥和城市道路桥）及其他工程各类结构的统一的《部分预应力混凝土结构设计建议》（以下简称《建议》），以供设计参考使用。在建设、铁道和交通三个部门的大力支持、学会的关怀和委员会的直接领导下，经过两年来的艰巨努力，于1983年底完成了《建议》（征求意见稿）的编写任务并征求了全体委员的意见。1984年2月召开了有部分委员和特邀专家、教授参加的《建议》审议会。会后编写组根据审议意见，再次进行了修改，最后正式提出了本《建议》。

编写组在工作过程中遇到的最大困难是各部门现行钢筋混凝土结构设计规范对各类结构的荷载性质及取值、安全度表达方式、材料指标取值、计算公式、结构构造以及设计习惯等都有较大的差异，一时难以编写出一本能够统一适用于各部门的、比较完整的具体设计建议，而只能列入与部分预应力设计有密切关系的一些条文和数据。因此应用本《建议》时必须结合各部门的现行规范方能进行具体设计。对各自规范条文和数据上的差异，在编写本《建议》时则采取了以下几条措施进行协调，并纳入条文：（1）充分考虑各类结构使用条件的特点，使《建议》内容尽可能满足各部门设计上的需要；（2）对具体计算公式与数据，尽量通过对各类结构的校核，力求都能得到较好的符合；（3）对那些差异不大经过协商可以统一的，则将统一意见写进了条文，对一时无法统一或者根据结构特点事实上不能统一的，则在条文中分别列出规定；（4）尽可能考虑与各类结构现行规范的协调，凡现行规范中已有的，在《建议》中不列或少列，同时注意与全预应力结构的衔接。

本书除列有《建议》条文外，还附有各类结构设计计算

目 录

I、部分预应力混凝土结构设计建议	1
基本符号	1
一、总则	3
二、材料	4
(一) 混凝土	4
(二) 钢材	5
三、一般规定	5
(一) 预应力度及部分预应力混凝土 构件的分类	5
(二) 荷载	6
(三) 验算项目及限值	9
四、构件计算	11
(一) 承载能力计算	11
(二) 预加应力及其损失值的计算	11
(三) 应力计算	12
(四) 裂缝计算	13
(五) 变形计算	17
(六) 疲劳计算	18
五、构造	19
六、无粘结预应力筋的应用	20
附录一 混凝土收缩、徐变引起的预应力 损失的计算	22
附录二 消压后开裂截面的应力计算	26

II、部分预应力混凝土结构设计计算例题	28
例题一、24m后张法屋架下弦杆的计算(A类)	28
例题二、24m后张法屋架下弦杆的计算(B类)	32
例题三、0.9×3.6m先张法圆孔板的计算 (A类)	35
例题四、18m后张法双坡屋面梁的计算(B类)	43
例题五、18m后张法(无粘结预应力筋) 双坡屋面梁的计算(B类)	55
例题六、6m后张法吊车梁的计算(B类)	60
例题七、16m后张法铁路桥梁的计算(A类)	90
例题八、25m后张法公路桥梁的计算(B类)	102
III、部分预应力混凝土结构设计的 若干问题	119
一、预应力混凝土的分类及其设计概念的发展	119
二、荷载分类、代表值及其效应组合	126
三、抗弯承载能力计算	130
四、非预应力钢筋对预应力损失的影响	142
五、开裂截面的应力计算	152
六、裂缝控制与计算	159
七、裂缝宽度限值	176
八、变形计算	182
九、部分预应力混凝土构件的疲劳	190
十、构造	196
十一、无粘结预应力筋的应用	201
参考文献	210

I、部分预应力混凝土结构设计建议

基 本 符 号

内 外 力

- G ——永久荷载；
 Q ——可变荷载；
 A ——偶然荷载；
 S ——结构或构件的作用效应；
 M ——弯矩；
 N ——纵向力；
 N_p ——预加应力的合力；
 R ——结构或构件的抗力。

应 力

- σ_g ——受拉区非预应力钢筋的应力；
 σ_p ——扣除相应阶段预应力损失后，受拉区预应力筋的应力；
 σ_{s1} ——受拉区预应力筋在相应阶段的预应力损失；
 σ_{p1}^s ——正常使用极限状态下预应力筋的应力；
 σ_{p1}^c ——承载能力极限状态下无粘结预应力筋的应力；
 σ, σ_h ——分别为荷载及预加应力所产生的混凝土正应力；
 σ_{h1} ——受拉边缘混凝土的名义拉应力；
 σ_{h2} ——截面计算纤维处混凝土在相应阶段的预压应力

降低值;

σ_k ——预应力筋的张拉控制应力。

材 料 指 标

E_g ——非预应力钢筋的弹性模量;

E_v ——预应力筋的弹性模量;

E_k ——混凝土的弹性模量;

R_g ——非预应力钢筋的抗拉强度;

R_v ——预应力筋的抗拉强度;

R ——混凝土的立方强度;

R_c ——混凝土的轴心抗压强度;

R_t ——混凝土的抗拉强度。

几 何 特 性

A_g ——受拉区非预应力钢筋的截面面积;

A_v ——受拉区预应力筋的截面面积;

A ——构件截面面积;

A_o ——构件换算截面面积;

A_j ——构件净截面面积;

$A_{k.}$ ——受钢筋影响的有效混凝土截面面积;

b ——矩形截面的宽度、T形和工字形截面的肋宽;

b, b' ——分别为T形、工字形截面受拉区及受压区的翼缘宽度;

e_o ——纵向力作用点至截面重心的距离(偏心距);

h ——截面高度或厚度;

h_o ——截面的有效高度;

I ——截面的惯性矩;

I_o ——换算截面的惯性矩;

I_j ——净截面的惯性矩；
 W ——混凝土截面受拉边缘的弹性抵抗矩；
 W_0 ——换算截面受拉边缘的弹性抵抗矩；
 x ——混凝土受压区高度。

计 算 系 数

λ ——预应力度；
 γ ——分项安全系数或截面抵抗矩的塑性系数；
 n ——钢筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值；
 μ ——配筋率；
 B ——刚度；
 δ_f ——裂缝宽度；
 ε ——应变；
 $\varepsilon_s(t)$ ——混凝土的收缩应变；
 $\phi(t)$ ——混凝土的徐变系数。

采 用 单 位

长度 m (米) 或 cm (厘米) 或 mm (毫米)；
 面积 m^2 (米²) 或 cm^2 (厘米²) 或 mm^2 (毫米²)；
 截面抵抗矩 m^3 (米³) 或 cm^3 (厘米³)；
 截面惯性矩 m^4 (米⁴) 或 cm^4 (厘米⁴)；
 角度 rad (弧度)；
 力 kgf (公斤力)；
 应力 kgf/cm^2 (公斤力/厘米²)；
 弯矩 $kgf \cdot m$ (公斤力·米)。

一、总 则

第1条 为了按照不同条件，合理地进行部分预应力混

凝土结构的设计,以便更好地满足使用性能、安全和经济的要求,特制订本《建议》。

第2条 本《建议》适用于房屋、桥梁(包括铁路桥、公路桥和城市道路桥)及其他工程各类结构的部分预应力混凝土结构的设计。

第3条 本《建议》所提到的部分预应力混凝土结构,系指其预加应力程度介于钢筋混凝土和全预应力混凝土两个极端状态之间的预应力混凝土结构,即这种结构按正常使用极限状态设计时在荷载短期组合作用下,其截面受拉边缘出现拉应力或出现裂缝。

第4条 部分预应力混凝土结构应分别进行承载能力极限状态和正常使用极限状态的校核,并应满足构造规定和工艺要求。

第5条 按本《建议》进行设计时,计算所用荷载应按各有关规范的规定采用,其材料及施工质量均应符合各有关规范的要求。

第6条 凡本《建议》未涉及的其他事项,均应按照各有关规范的规定执行。

二、材 料

(一) 混凝土

第7条 混凝土所采用的材料应符合有关规范的规定。

第8条 部分预应力混凝土结构一般采用设计标号为300~600号的混凝土;在技术经济合理的条件下,也可以采用高于600号或低于300号的混凝土;但在任何情况下不得采用低于200号的混凝土。

第9条 混凝土的强度及弹性模量可按各有关规范的规定取值。

(二) 钢材

第10条 部分预应力混凝土结构采用的钢材应符合现行国家标准或冶金工业部标准的有关规定。

第11条 预应力筋应尽量采用碳素钢丝、钢绞线、V级钢筋或冷拉Ⅳ级钢筋，也可采用冷拉Ⅲ级、Ⅱ级或5号钢钢筋以及冷拔低碳钢丝。若采用冷拉钢筋或冷拔低碳钢丝，尚应符合有关的专门规定。

第12条 部分预应力混凝土结构中的纵向非预应力钢筋宜选用Ⅱ级、Ⅲ级或5号钢钢筋，也可以采用Ⅳ级钢筋。

第13条 钢筋的强度及弹性模量可按各有关规范的规定取值。

第14条 部分预应力混凝土结构一般宜采用预应力筋和非预应力钢筋的混合配筋，在技术经济合理的情况下也可全部采用预应力筋。

三、一般规定

(一) 预应力度及部分预应力混凝土构件的分类

第15条 预应力度 λ 定义为：

1. 受弯构件

$$\lambda = \frac{M_0}{M} \quad (\text{I}-1)$$

式中 M_0 ——消压弯矩，即使构件控制截面受拉边缘应力抵消到零时的弯矩，可按下式计算：

$$M_0 = \sigma_k \cdot W_0 \quad (\text{I}-2)$$

其中 σ_k ——受弯构件在预应力作用下受拉边缘的有效预压应力；

W_0 ——换算截面受拉边缘的弹性抵抗矩；

M ——使用荷载（不包括预加力）短期组合作用下控制截面的弯矩。

2. 轴拉构件

$$\lambda = \frac{N_0}{N} \quad (\text{I}-3)$$

式中 N ——使用荷载（不包括预加力）短期组合作用下的轴向拉力；

N_0 ——消压轴向力，即使构件截面应力抵消到零时的轴向力，可按下式计算：

$$N_0 = \sigma_k A_0 \quad (\text{I}-4)$$

其中 σ_k ——轴心受拉构件在预应力作用下的有效预压应力；

A_0 ——构件换算截面面积。

预应力度 λ 的范围可从全预应力混凝土的 $\lambda \geq 1$ 变化到钢筋混凝土的 $\lambda = 0$ ：

全预应力混凝土： $\lambda \geq 1$ ；

部分预应力混凝土： $1 > \lambda > 0$ ；

钢筋混凝土： $\lambda = 0$ 。

第16条 按照使用荷载短期组合作用下构件正截面混凝土的应力状态，部分预应力混凝土构件可分为以下两类：

A类：正截面中混凝土的拉应力不超过表 I—4 的规定限值；

B类：正截面中混凝土的拉应力超过表 I—4 的规定限值，但裂缝宽度不超过表 I—2 和表 I—3 的规定限值。

（二）荷载

第17条 设计部分预应力混凝土结构时，可将作用在结

构上的荷载，区分为下列几类：

1、永久荷载 G ：在设计基准期内其值不随时间变化，或其变化与平均值相比可以忽略不计。例如结构自重、土压力和支座沉降等。

2、可变荷载 Q ：在设计基准期内其值随时间变化，且其变化与平均值相比不可忽略。例如活荷载及其冲击作用，以及风、雪、水、冰压力及温度作用等。

3、偶然荷载 A ：在设计基准期内不一定出现，而一旦出现则其量值很大且持续时间较短。例如较强的地震或较大的撞击、爆炸等。

第18条 部分预应力混凝土结构的设计，应根据不同的极限状态和各类构件的不同要求，选用不同的荷载代表值。其中包括荷载标准值、组合值、准永久值以及设计时认为需要考虑的其他代表值。

1、荷载标准值 (G_k 表示永久荷载的标准值， Q_k 表示可变荷载的标准值)，即结构设计时所采用的荷载名义值。对各类极限状态均需使用，其取值应按各有关规范的规定采用。

2、荷载组合值 ψQ_k 是当结构承受两个或两个以上的可变荷载时，考虑到各个可变荷载的最大值同时出现的可能性不大而采用的代表值，主要用于承载能力极限状态设计的基本组合及正常使用极限状态设计的短期组合中。

3、荷载准永久值 $\psi_2 Q_k$ 是指结构在设计基准期内有较长累计时间（或较多累计次数）达到或超过的可变荷载值，主要用于正常使用极限状态设计时考虑长期效应的长期组合中。

几种常用荷载的组合系数 ψ 及准永久系数 ψ_2 见表 I —

荷载组合系数 ψ_0 及准永久系数 ψ_2 表 表 I — 1

荷 载 种 类	ψ_0	ψ_2
住宅及办公楼楼面活荷载	0.6	0.4
风 荷 载	0.6	0
雪 荷 载	0.6	0~0.2

第19条 按承载力极限状态设计时应采用下列荷载组合:

1. 基本组合

$$\gamma_G S_{G_k} + \gamma_Q S_{Q1k} + \gamma_Q \sum \psi_0 S_{Q2k} \quad (\text{I} - 5)$$

式中 γ_G 、 γ_Q ——分别为永久荷载与可变荷载的分项系数;

S_{G_k} ——永久荷载标准值产生的荷载效应;

S_{Q1k} ——基本可变荷载标准值产生的荷载效应;

S_{Q2k} ——其他可变荷载标准值产生的荷载效应。

在各分项系数 γ_G 、 γ_Q 确定以前,可暂按各有关规范的规定核算构件的承载能力。

2. 偶然组合

偶然组合中的偶然荷载及与其同时作用的其他可变荷载,可根据观测资料和工程经验采用适当的代表值,设计表达式也可按有关规定采用。

第20条 按正常使用极限状态设计时应采用下列荷载组合:

1. 短期组合

$$S_{G_k} + S_v + S_{Q1k} + \sum \psi_0 S_{Q2k} \quad (\text{I} - 6)$$

2. 长期组合

$$S_{G_k} + S_v + \sum \psi_2 S_{Qk} \quad (\text{I} - 7)$$