

預应力混凝土设计

法国 J. 巴雷 著

建筑工程出版社

預应力混凝土計算

葛 守 善 譯

建筑工程出版社出版

• 1959 •

內容提要 本书全面地介绍了預应力混凝土預应力的一般性原理、理論和計算方法；叙述各种預加应力的方法，以及預应力混凝土的物理性能；比較預应力混凝土与普通鋼筋混凝土的优缺点；簡述預应力的应用范围及其发展前途。

此外，书中还列举了不少有关預应力混凝土的計算实例。

本书可供从事預应力混凝土的工程师和技术人員参考之用。

原本說明

书 名 LE BÉTON PRÉCONTRAINT
ÉLÉMENTS DE CALCUL
著 者 J. BARETS
出版者 ÉDITIONS EYROLLES
出版地点及年份 PARIS-5e-1953

預 应 力 混 凝 土 計 算

葛 守 善 譯

1959年1月第1版	1959年1月第1次印刷	3,500册
850×1163 · 1/32	· 90千字 · 印張 5 5/8	· 定价(10)0.97元
成都印制厂印刷	· 新华書店發行	· 書号 1024

建筑工程出版社出版（北京市西郊百万庄）

（北京市書刊出版業營業許可証出字第 052 号）

目 录

弗 序	6
初版前言	8
再版前言	9

第一章 引 言

一、普通鋼筋混凝土的缺点	10
二、簡史	12
三、預应力的一般性原理和优点	14

第二章 混凝土的物理性能研究

一、三向受力的初步 概念	22
二、支配混凝土物理性能的一般性规 律	23
三、收縮现象	26
四、混凝土的膨胀	28
五、混凝土的弹性和系数 m 数值	29
六、关于混凝土离析现象的註明	32

第三章 預应力混凝土的优点及其理論和計算

概 述	34
一、弯矩	38
(一) 靜荷載所产生的应力	39
(二) 活荷載所产生的应力	39
(三) 預加力所产生的应力	39
(四) 梁变形的影响	40
(五) 計算中应考虑的情况	42
(六) 極限数值 $R_0, R'_0, R_1, R'_1, R_2, R'_2$	44

(七) 杆件截面的計算	45
(八) 鋼絲束弯起的问题	54
(九) 鋼絲束弯起部分的研究	57
(十) 数例	63
(十一) 靠端部分的专门研究	67
(十二) 数例	69
二、有关剪力的条件	71
(一) 剪力的計算	71
(二) 主拉应力	78
(三) 主拉应力的驗算	86
三、各种变形	87
四、預应力混凝土中所用的混凝土	89
五、預应力混凝土中所用的鋼筋	91
(一) 概述	91
(二) 徐舒的計算	94
六、各种工程实例中采用的应力降低数值	97
七、計算中应当采用的数值	100
(一) 概述	100
(二) 数例	100
(三) 一般规律	100
八、預应力混凝土的安全性	101
(一) 概述	101
(二) 抗裂性安全系数	101
(三) 鋼絲的極限强度安全系数	102
(四) 根据实际經驗求出之安全系数	104
(五) 結論	105

第四章 各种預加应力的方式与方法

一、概述	106
二、先张法的研究	106
三、后张法的研究	108

四、滑道管道的研究	110
五、鋼絲的加力与錨固	112
(一) 用弗来西奈式錨錐錨固的概念	113
(二) “弗氏”錨錐各部分的詳細研究	115
(三) 預加应力操作中所需要的施工人員和時間	118

第五章 預应力的应用范围及其前途

一、概述	120
二、預制与預应力	121
三、預应力和膨胀水泥	125
四、預应力混凝土的应用	127
(一) 概述	127
(二) 桥梁	127
(三) 桩	130
(四) 房屋	130
(五) 托換基础	133
(六) 水管	134
(七) 飞机场跑道	135
(八) 其他方面的应用	135
(九) 結論	136

参考文献总目录

一、計算方法	137
二、基本理論与計算	138
三、应用实例	138
四、应用在預应力混凝土上的材料力学	139

数 例

一、24公尺跨径的預应力混凝土板梁桥	140
二、36.2公尺跨径的預应力混凝土梁桥	150

弗 序

巴雷(Barets)先生嘱我为其著作《預应力混凝土之理論与計算》(Théories et Calculs du Béton précontraint)写序。

在前言中,巴雷先生已說明本书的目的,在于供給工程师与技術人員一种有助于开始从事預应力混凝土工作之工具。

对于預应力混凝土,究竟应否还談开始从事的問題?

預应力思想本身一点也不复杂更不神秘;甚至于还是非常简单的,可是它属于另一个观念,这个观念不是习用的材料力学所能了解的。乃致对于初初接触預应力思想的人,困难即在于如何适应这种新的观念。

实际上,几乎所有的工程师一向都認為絕對可靠的、最实在的那些概念,在預应力混凝土中都只是在某些一般不能实现的假定下才具有价值。

例如,計算梁的工程师从年青时代起就肯定在任何情况中梁的抗弯强度在一个截面內都是一个常数,除了材料的特征以外,它只与以下四个通用的任意参数 Ω 、 I 、 ν 、 ν' 有关。而在預应力混凝土中,則不仅这种强度的有关参数是六个而不是四个,因为在 Ω 、 I 、 ν 、 ν' 以外还必须加上預应力的合力数值和其对截面重心的偏心,尤其值得使新接触預应力的人更觉惊奇的是:靠运用上述六个参数所能得到的最大强度在時間上随着荷載变化的条件可能产生从一比四到一比八的变化。

我們的工程师将见到在預应力結構物內,安全概念的普通形式失去其全部意义,并且出现了新的面貌;他将发现自己会进入一个完全新的概念中;这就是警告荷載;当警告荷載达到时,变形增值对荷載增值的比数突然加大,但在荷載去除以后变形依然

还能恢复原状；而且过后，建筑物仍旧完好，并无任何损伤。这个警惕性非常高的守卫会及时通知建筑物使用者危险之将至，若再坚持下去必遭不幸；这种警告不但非常有益并且还是免费的。

在鋼結構与鋼筋混凝土結構中，在应力超过材料的弹限导致损坏以前，沒有任何免費預告；而且这种损坏是永久性的，在某情况中，可以一直达到立刻垮台。

初学者必然还会见到其他的惊奇现象，只不过这些现象不会在头一天就对他們表现出来；对我來說虽然从預应力思想中产生的許多問題占据了我四十多年的光阴，其答案在日新月异的情况下，演变得如此的快，直使我写好的著作有时竟在付印以前，就已經失去价值。

愿此书符合于巴雷先生之原意尽可能便利最大多数讀者，进入一个有无限前途等待着青年人的新园地，因为不仅用通常方法所能建造之工程今日可以运用預应力来有利地完成，甚至直到今日認為不可能解決的問題将来也会由于預应力的运用而变得简单。

E. 弗來西奈

初 版 前 言

几年来各种杂志已在房屋建筑界和公共工程界散播了預应力的概念。

由于用預应力而能得到的新穎解决方案，由于預应力所能赋予工程师的力量和所能大量节省的材料，以及由于預料預应力在最近的将来所能节约的金錢，它已經喚起各有关方面人士的注意。

从事房屋建筑与公共工程的工程师和技术人員都想对預应力的原理进行深入的研究，可是由于各种专门杂志中登載的討論这个问题的文献种类众多，有时反使研究者灰心。因此在本书内作者設法全面地介紹一下預应力的原理、理論和計算方法。作者假定讀者对于鋼筋混凝土、材料力学和弹性力学的一般原理均已知悉，如此就可以免去一切不必要的証明，并且尽量精减篇幅。

在任何情况中，作者均不拟使本书内所闡明的一般性原理具有預应力教材的性质。作者并不想写关于这个问题的論著，而仅仅是預备給予工程师和技术人員一种便于应用的工具，帮助他們开始从事預应力混凝土的工作。对預应力有了初步了解，并被这种思想說服了的讀者想要从事这方面的工作时，需要通过更深入的研究和在預应力工地上对各个施工阶段的实习来充实他的基本知識。只有在鋼筋混凝土方面有了必要的經驗的工程师和技术人員，才能进行預应力結構物的研究和施工。因为根据 H. 波安加雷 (H. POINCARÉ) 的話：“經驗是真理的广泛来源。我們只有从实践中学到一些东西。”

J. 巴 雷 1949年8月

再 版 前 言

本书初版的迅速脱销，已经证明技术人员們对于預应力的問題頗感兴趣。

由于这种新技术的扩展及其应用范围的增加，就需要对它有更全面的研究。我們希望能写成一本比本书初版更进一步的有关預应力实用的书籍，以求对这方面有所供献。

我們已經征求过 L.P. 勃理斯氏的同意，使在計劃中之著作能从他的权威和經驗中有所得益。

新著作的主要内容将为：

- 各种預加应力的方式
- 各种超靜定預应力結構物
- 法国公共工程和房屋建筑方面在預应力实际应用中
所发生的问题

这本著作将在以后再出版。

因此，本书即成为研究預应力問題的入門，对于非专家来说，作为开端已經足够了。为了避免混淆起见，我們已請出版者在再版中将題目改为：“預应力混凝土計算”

将发表的新著作的书名則为：

預应力混凝土的計算与施工实論

从本书初版到目前再版的一段时期內，預应力技术方面的演进并没有使所研究的原理发生多大的变化，因此在再版中只作了几处細节方面的修改。

第一章 引 言

一、普通鋼筋混凝土的缺点

1906年法国公共工程部設立的鋼筋混凝土委员会对普通鋼筋混凝土已經正式予以承認，并已制定其設計规范。

該委员会的成員都是負有声誉的技术专家，他們預料到这种新型材料将有广闊的发展前途。为了便于发展起见，他們所制定的规范的应用范围具有很大的彈性，并对各种合理的改进都敞开着門戶。

四十年以来，鋼筋混凝土一直在应用，并且随着組成材料的品質的不断改进，在它的范围以內繁荣起来。

可是近几年来，古典方法証明已不适用，并且不允許更合理地利用混凝土和鋼筋的现有高度品質。在鋼筋混凝土中对混凝土只允許用 60 至 90 公斤/公分²的資用应力，对鋼筋只允許用 13 至 14 公斤/公厘²的資用应力；而现代技术已能供給我們可以安全地承受 120 至 170 公斤/公分²的混凝土，和强度可达 100 公斤/公厘²的特种鋼筋。

上述巨大的差額說明在混凝土与鋼的古典理論上的和现代技术上的可能应用方面有了很深的分离。

妨碍应用混凝土和鋼筋的现代品質的理由是很容易了解的。

事实上，鋼的彈性模量大致是一个常数，当鋼筋承受的力为普通情况下的四五倍时，它产生的引伸率也就有四五倍之多。可是当鋼筋所受的拉应力接近于最大值 18 公斤/公厘²时，受拉混凝土的裂縫就不再是发縫；于是这种裂縫将使大气中造成腐蝕的因素侵入，迅速地去侵蝕鋼筋，并危害到杆件的寿命。

同样地，如果只想利用混凝土的高强度而把鋼筋的資用应力

限制在 14 公斤/公厘²，那么我們就会发现受压区域增加得很厉害，例如，当 $Rb = 140$ 公斤/公分²； $R'a = 14$ 公斤/公厘²， $m = 10$ 时，将有

$$y = \frac{mRb}{m \cdot Rb + R'a} h' = \frac{10 \times 140}{10 \times 140 + 1400} h' = \frac{1}{2} h'$$

当受压区域的高度增加和 Rb 加大时，抗压的能力就变得相当大，乃致必須用非常大的鋼筋截面来造成一个下緣的拉力合力，借以平衡上緣的压力合力。

根据以上的数字，鋼筋的截面几乎超过普通截面三倍。这样大的鋼筋截面非常难布置；此外，由于这种杆件的易挠性所引起的裂縫可能是危险的。因为，事实上杆件的慣性矩大致保持不变（增加得非常少），所以当可能有三倍荷载时，挠度亦为三倍。



图 1 佛罗利得預应力混凝土桥

还有，即使这些困难都不存在，采用这种方法也是不經濟的，由于必須将大量鋼筋分成好几层布置而造成中性軸降低与有效高度的减小会导致 Z 值的减低，因此也就失去一部分估計到的有利因数。这种杆件一般是費錢的。

最后，应当記住杆件的尺寸常常受 $\frac{T}{bZ}$ 值的支配；因此单使杆件能够抵抗三四倍大的弯矩是不够的，并且还要使它能够承受

以同样比例增加的剪力。

此外，工地上的施工条件也反应了这个問題。现代的鋼筋混凝土有时已經达到实际条件所允許的复杂限度。如森林一样密布的蹬筋妨碍到混凝土的灌注，迫使非灌注异常塑性的，甚至于几乎是液体的混凝土不可，往往为了得到混凝土的易流性而损害了材料的品质，尤其是单位强度。

照这样看来，問題就似乎无法解决。

以往在古典理論范围中的确是如此的，并且許多研究者的挫折就在于墨守鋼筋混凝土中著名的成規。例如：

靠造成一对力偶——一个是混凝土的压力合力，另一个是鋼筋的拉力合力——获得抗弯力矩。

于是就在一条新路綫的探索中产生了預应力混凝土。

我們說这是一条新的途径。因为事实上預应力混凝土的原理不再停留在两个力的对立上：即一方面是压力，另一方面是鋼筋所承受的而与混凝土无关的拉力。預应力混凝土的原理为

《消除混凝土中的拉应力》

預应力混凝土是在普通受拉的区域中，人为地加上压力。压应力的绝对值超过了荷载所产生的拉应力，于是最后整个的混凝土截面都在压应力之下作用。

这种人为产生的压应力就称为“預应力”。

二、簡 史

預应力思想的酝酿已很久了，比鋼筋混凝土要早不知多少。虽然从使用鋼筋混凝土的初期，有远见的专家如龔錫代 (CONSIDÈRE) 氏已經隱約见到其缺点，許多实践家也都寻求过相当的方法来减小受拉混凝土的裂縫。龔錫代氏和巴赫 (BACH) 等氏都已經想到用压紧混凝土和拉伸鋼筋的办法来推迟或者消除变形。早在1838年，C. E. W. 多林 (DOEHRING) 氏曾經取得应用某些預应力原則的专利权，可是他失败了。

1907年德国的高嫩(KOENER)氏和倫特(LUNDT)氏試用實驗証实这种思想。由于所根据的原理有誤，初試的几次虽然成功而，該实验日后終于失敗。可納尔和倫特实际上只想如何抵御由于混凝土受拉而产生的裂縫，由于他們采用的鋼筋預張数值比鋼筋在使用中所受的拉力还低：即鋼筋預張到535公斤/公分²，而在一般使用中則已經达到1200公斤/公分²，因此当混凝土稍为受张以后发縫即出現。所以他們的混凝土依然受拉，并且他們肯定混凝土在这样小的拉应力下便会象完全弹性的固体一般作用；可是許多原因，例如混凝土的組合料的滑动，和断裂的开端都足以破坏預应力。收縮和徐变的影响也会大大地抵消这种微弱的預张力，这便正是以后所发生的。可是，即使他們用試驗室里的方法消除了这些作用，以上所述的各种原因也曾导致他們的失敗。事实上，在1912年可納尔已經放弃这种办法，改变了他的看法，并且写过宜于另找其他方法来改善混凝土的著作。

几年以后，弗来西奈氏則以更可靠的根据来重新研究这个問題。

弗来西奈氏攢弃高嫩氏的想法，他設想某些与拱相近的条件，在拱圈中是用法向力来抵消拉应力的，使得全部都变成可由混凝土安全承受的压应力。

預应力供給了他这种用力学来解决問題的原則，而作为一个伟大的建筑者，他通过經驗認識到由于不了解材料的性質而产生的困难。可是，靠用預应力，工程师却能使材料听凭他的意志指揮。因此为了能控制材料，就必定要尽量多了解它們的性質。

因此弗来西奈氏即从事对控制混凝土的物理性能的各种規律作深入研究。1926年他发现了混凝土受荷时的徐变，接着他又闡明了收縮、各种变形和潮湿状态的規律。此时，在研究計劃上，他的斗争已胜利了。1928年弗氏得到其发明的专利权。

然后他开始从事于在实际工程中实现他的理想的斗争。这场斗争是长久的，因为要推翻一代的概念是不容易的，人愈是无知就愈不肯改变。现在已經达到工业化建筑的时代，預应力成为許

多实际工程中所熟悉的名称，这是成功的証明，而弗来西奈先生則認為在呂桑茜(Luzancy)桥落成的一天他就已經获得了胜利。

三、預应力的一般性原理和优点

在本书中，一般均按照弗来西奈氏所給的定义称以下的建筑物为“預应力建筑物”：即指在正式承受它們所应当承受的荷載以前，或者如果是靜荷載的話，則与承受靜荷載的同时，建筑物受到一个体系的人为的永存力，其目的在于造成附加的应力，这种应力的方向最好和荷載所产生的应力方向相反，并且在全部分外加力(荷載和所造成的永存力)所产生的应力中都不允許有采用的材料所不能永久安全承受的作用力发生。

在混凝土这个特殊情况中，一般需要造成人为的压应力来抵消荷載所引起的拉应力。

預应力的产生要比一般所想象的容易得很多。这将是高强度鋼筋的任务。通过下面的简单例子很快就能了解。

假定有一根受弯的鋼筋混凝土杆件。在浇混凝土以前，先对鋼筋加拉力，鋼筋由于受拉而发生引伸。待浇好混凝土，并經硬化以后，松去它两端的拉力，于是鋼筋就有恢复原状的趋势，并在縮短过程中对混凝土予以有力的压紧；靠用这种简单的方法，就能完成預加应力。

更精确地說明如下：

如果这个預加力作用在核心范围内，則全部区域均将受压。如果所加的力作用在核心以外，那么它将在某一个区域的纖維内产生压应力，而在另外的区域内产生拉应力。因此，只要謹慎布置造成預应力的鋼筋，并对它們加上拉力就行了。一方面使其对混凝土所产生的压应力等于或者大于靜荷載和活荷載所引起的拉应力；另一方面使得由于偏心預加力的作用在受拉区域中造成的拉应力的绝对值低于最小荷載所产生的一般压应力。



图 2 只产生压应力的預应力



图 2甲 同时也产生拉应力的預应力

总而言之，由于預应力、靜荷載和活荷載所造成的拉应力和压应力的代数总和在整个截面中給出一个正的数值，也就是压应力。

以上的六个应力图清楚地說明此例如下：

計算的原理非常簡單

事实上，鋼筋混凝土是非匀质体，因此需要用特殊的方法来計算；而預应力混凝土則系匀质体，可以用对匀质体的公式来計算。

这点很快就能了解，因为預应力混凝土所受的应力总不会超出弹性上下限度范围以外；而在鋼筋混凝土中，受拉的混凝土超过了弹性下限，并且发生了塑性变形。

作为匀质体和弹性体的預应力混凝土将遵循类似物体的规律。因此它是受材料力学中对同时受弯和受压的物体所习用的公式支配的，即：

$$n = \frac{N}{s} \pm \frac{Mv}{I}$$

这种方法的巨大优越性并不难以数字来表示。假定鋼筋混凝土杆件的有效高度为 h' ，混凝土的压应力为 60 公斤/公分²，鋼筋的拉应力为 1,200 公斤/公分²， $m = 10$

則：

$$y = \frac{1}{3}h' \quad z = \frac{8}{9}h'$$

$$\text{单位宽度的抗弯力矩为 } \frac{Rb}{2} \frac{h'}{3} \frac{8}{9} h' = \frac{4}{27} Rbh'^2$$

对于同样的预应力杆件，则受压区域占据全部的高度，在三角形应力图的情况中：

$$y = h \quad z = \frac{2}{3}h$$

$$\text{抗弯力矩} = \frac{Rb}{2} h \frac{2}{3} h = \frac{1}{3} Rbh^2$$

因此抗弯力矩之比为：(假定 h' 等于 h)

$$\frac{Rb \frac{1}{3} h'^2}{Rb \frac{4}{27} h'^2} = \frac{9}{4} = 2.25$$

于是，预应力杆件的弯矩即为同样的普通钢筋混凝土杆件弯矩的两倍。

此外，预应力混凝土允许应用高强度混凝土。 Rb 可以是上述数值的双倍，乃致抗弯力矩之比将等于4.5。

以上的比较明白地表示出这种新方法的优越性：在所得到的抗弯力矩方面，不知道要比用古典方法高出多少；此外，由于预应力混凝土允许采用，甚至必须采用单位强度高的混凝土和钢筋，因此就能避免普通钢筋混凝土的困难。

前面曾说过在古典理论范围中，钢筋混凝土不允许采用强度很高的混凝土和钢筋。在预应力的理论中，则禁止采用高强度材料的理由均自行消除。

再继续分析如下：

1) 在高应力下钢筋的引伸度过大的问题

在预应力混凝土工程中，这种引伸度的关系甚小，因为它在浇灌混凝土以前就产生，或者与浇灌混凝土无关。因此混凝土就