

力 應 加 預
物 築 工 建 土 凝 混 筋 鋼

著 夫 諾 留 高 Б. Ф.
譯 合 善 守 葛 先 念 周

社 版 出 通 交 民 人



預加應力鋼筋混凝土
水工建築物

Б. Ф. 高留諾夫 著
周念先 葛守善 合譯

人民交通出版社

預加應力混凝土比普通鋼筋混凝土有許多優點，如經濟、安全、耐久等等，尤其是能消除裂縫，所以更能滿足水工建築物的基本要求。

本書不僅介紹了高強度鋼絲的應用，並且介紹了如何用普通強度的鋼筋和二、三百級的混凝土來做預加應力混凝土。這對我國現有的生產條件講來，是大有應用可能的。

此書除供水工建築方面的工程師和研究者們應用之外，其中許多章節如新型的樁基與經濟截面的選擇理論等等，也可供橋梁、房屋和其他混凝土工程方面的工程師和研究者們應用，同時這是一本水利學院與土建學院的很好的參考書。

書號：2018-滬

預加應力鋼筋混凝土水工建築物

Б. Ф. ГОРЮНОВ
ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫЙ
ЖЕЛЕЗОБЕТОН В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ
СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Государственное издательство
литературы по строительству и архитектуре
Ленинград—1953—Москва

本書根據蘇聯工程建築出版社 1953 年列寧格勒版本譯出

周念先 葛守善 合譯

人民交通出版社出版
(北京北兵馬司一號)

新華書店發行
(全國各地)

上海市印刷工業公司印刷

1955 年 3 月上海第一版 1955 年 3 月上海第一次印刷

開本：787 × 1092 $\frac{1}{25}$ 印張：6 $\frac{4}{5}$ 張

全書 136,000 字 印數：1~5,610 冊

定價 精裝一元六角八分
平裝一元零八分

(上海市書刊出版業營業許可證出字第零零六號)

編 者 的 話

本書說明如何採用預加應力鋼筋混凝土建造水工建築物的問題。書中所介紹的知識也可以用來設計輕型水工結構。當它們的強度和持久性與普通水工建築物相同時，它們所需的材料和資金就要少得多了。

此書可供水工建築物設計與施工方面的各種專家應用。

編者 C. H. 古樂契金工程師

前 言

被蘇聯共產黨第十九次代表大會的歷史性決議所鼓舞了的蘇聯人民正勝利地發展工程建築，為共產主義打下物質技術的基礎。大會所決定的各種偉大工程的計劃將更進一步地發展蘇聯的經濟，加強蘇聯的實力，並提高人民物質與文化的水平。

大會的決議中說：「為了保證完成這個五年計劃的發展國民經濟和提高勞動人民物質與文化水平的任務起見，必須在1951～1955年內，把國家基本建設的總量增加百分之九十左右，而國家對這種建設的撥款，比第四個五年計劃祇增加百分之六十左右，不足的百分之三十則依靠適當地減低工程建築的成本來抵償；其方法為：提高勞動生產率，節省雜費和減低建築材料與設備的價格……」

在蘇聯將完成的大規模創造性工程中，水力工程建築佔據一個很重要的地位。建造水工建築物時需要大量的價值高的材料，如鋼與水泥。所以，爭取節省用在水工建築上的資金和材料，對於國民經濟具有很大的意義。

蘇聯人民，不論他們致力於那一部分的共產主義建設，都必須盡量爭取實行最嚴格的節約制度。這也是從事水工建築物的設計與施工的專家們的當前任務。採用預加應力混凝土便是解決這個問題的方法之一，預加應力混凝土能增加建築物抵抗裂縫的能力，並節省鋼與水泥的用量。

如果採用這種材料，並配上其他一些措施，還能延長用鋼筋混凝土造的水工建築物的使用年限。

本書的目的就是使更多的設計人員和科學工作者能熟諳如何在水工建築中採用預加應力混凝土。

目 錄

前 言

緒 論

第一篇 用預加應力鋼筋混凝土建造水工建築物時所採用的材料和機械設備

第一章	建造預加應力鋼筋混凝土水工建築物所用的材料	(10)
1.	混凝土	(10)
2.	鋼筋	(13)
第二章	拉張鋼筋用的機械設備	(20)
1.	拉張鋼筋的各種方法	(20)
2.	鋼筋拉張的控制	(30)

第二篇 預加應力鋼筋混凝土水工建築物的結構形式與建造方法

第一章	水壩	(34)
第二章	水閘與船塢	(54)
第三章	海港水工建築物	(72)
1.	各種預加應力鋼筋混凝土海港水工建築物的結構形式	(72)
2.	設計與建造預加應力鋼筋混凝土的海港防護建築物的實例	(80)

第三篇 預加應力鋼筋混凝土水工建築物的計算特點

第一章	抵抗裂縫能力的計算.....	(101)
1.	概述.....	(101)
2.	確定引起「初始」裂縫的負荷的最好方法.....	(104)
3.	裂縫開裂寬度的計算.....	(112)
4.	主應力的計算.....	(116)
5.	用高強度鋼絲束做曲綫鋼筋桿件的計算.....	(119)
第二章	水工建築物裝置錨固設備處的計算.....	(124)
第三章	分別拉張重型水工建築物各根鋼筋束的影響的計算.....	(127)
第四章	預加應力鋼筋混凝土受壓桿件的計算.....	(133)
第五章	水工建築拼裝結構物薄壁桿件截面之選定...	(139)

第四篇 預加應力鋼筋混凝土水工建築物的技術經濟評價

1.	水壩.....	(155)
2.	水閘.....	(156)
3.	海港水工建築物.....	(158)
總結.....		(162)
參考文獻.....		(164)

緒 論

水工建築中所用的基本建築材料混凝土與鋼筋混凝土，具有下列各種本質上的優點：能把建築物澆築成需要的形狀；水密性足夠大，尤其是用了特別的方法之後水密性更大；強度很高；造價比較低廉；加之在混凝土拌製、運送與澆築的過程中又能夠廣泛地機械化。

可是在許多場合中，用普通混凝土做的水工建築物往往不夠耐久。

鋼筋混凝土水工建築物破壞的原因常常是由於混凝土的化學性腐蝕和在其空隙中凍結的水的物理性作用，以及鋼筋的銹蝕。如混凝土的空隙多，並且又有裂縫，水便容易進到混凝土中並接觸到鋼筋，上述腐蝕現象即大大地加劇。

在實驗室中試驗受彎的鋼筋混凝土桿件的經驗證明了：即使在還沒有顯著可見的裂縫時，如果有了能引起混凝土發生微細裂縫的拉應力存在，就會使混凝土的水密性和抗凍性大大降低。因此，在水中的部分是不容許有裂縫現象的。根據這個條件，通常須把受彎和受拉的鋼筋混凝土桿件的截面尺寸定得非常大，大得簡直連鋼筋都不必用了。這可以如此解釋，就是在普通鋼筋混凝土桿件中發生裂縫時，鋼筋的應力尚未超過 200~400 公斤/平方公分，即約為普通建築鋼料的流限應力的十分之一。如此則在用普通鋼筋混凝土做的水工建築物中鋼筋的安全係數就大至 10。如果採用預加拉力的鋼筋就可以最充分地利用材料。

圖 1 表示用普通鋼筋混凝土和預加應力鋼筋混凝土做的桿件的強度和抵抗裂縫能力與混凝土級數的關係，表中鋼筋的極限數值為 0.4% 與 2.0%，建造水工建築物時一般都採用此兩數之間的百分率。

對於普通的混凝土，如鋼筋的百分率很高，則根據桿件強度計算出來的應力要比根據抵抗裂縫條件計算出來的各相應數值大

上 3.5~7 倍。對於鋼筋百分率較低的桿件，則上述計算之正確性即較小。

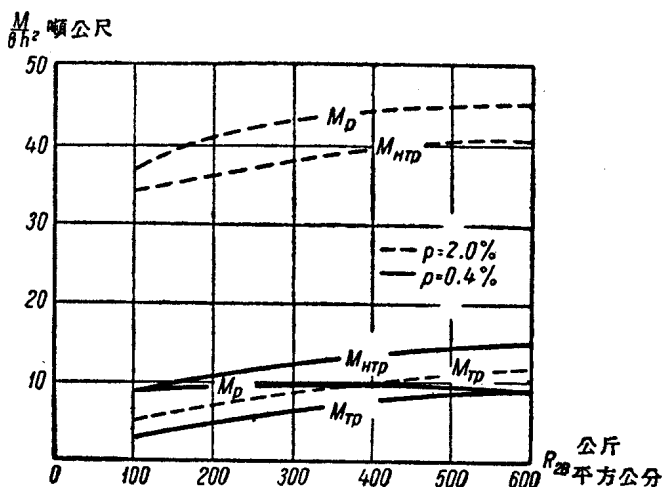


圖 1: M_D ——破損力矩； M_{mp} ——引起普通混凝土桿件裂縫現象的力矩； M_{HTP} ——引起預加應力混凝土桿件裂縫現象的力矩。

在預加應力鋼筋混凝土結構物中，遇鋼筋的百分率高時，則根據抵抗裂縫條件計算出來的應力數值，可達破損應力的 80%~90%。

如此，即使當鋼筋百分率很高時，預加應力混凝土結構物在抵抗裂縫能力方面的安全係數仍有 1.60~1.80，而按照國定標準的要求，則有 1.15~1.35 就夠了。

同時應當指出：別種提高抵抗裂縫能力的方法，例如提高混凝土級數或增加鋼筋百分率等，都是較貴而收效小的。

從圖 1 中可以看出：如把混凝土從 110 級提高至 600 級，在鋼筋百分率高時，也祇能把抵抗裂縫的能力增加一倍。而採用預先受拉的鋼筋時，則能將同樣鋼筋百分率的鋼筋混凝土的抵抗裂縫能力增加六倍以上。

增加普通鋼筋的含量所能得到的效果也很小。例如：將鋼筋

的百分率增加五倍，也只把抵抗裂縫的能力總共提高了 20% ~ 30%。

利用預加應力鋼筋混凝土的高度抵抗裂縫的能力，就能在滿足水工建築物對於抵抗裂縫能力的要求的條件下，將其桿件截面的尺寸大大減小。

我們可以用幾個對於普通情況都正確的近似公式來比較用普通鋼筋混凝土與用預加應力鋼筋混凝土所做的桿件。

對於寬度 $b=1$ 高度為 h 的矩形普通鋼筋混凝土桿件，可以用下面的公式算出其根據強度條件的容許彎矩：

$$M_{p \cdot \partial} \cong 0.4 \mu h^2 \sigma_m \quad (1)$$

式中： μ 為鋼筋百分率。

從下面的公式中，可以算出該桿件根據抵抗裂縫能力的條件（安全係數為 1.25 ~ 1.35）的容許彎矩：

$$M_{mp \cdot \partial} \cong 0.25 h^2 R_p \quad (2)$$

對於 250 級的混凝土，當 $\mu = 0.01$ 與 $\sigma_m = 2,500$ 公斤/平方公分時，則：

$$M_{p \cdot \partial} \cong 10 h^2 \quad M_{mp \cdot \partial} \cong 5 h^2 \quad (3)$$

因此，根據抵抗裂縫能力的條件，必須把受彎桿件的截面加大 30% 左右。

假如 $\mu = 0.02$ ， $M_{p \cdot \partial} \cong 20 h^2$ ，則顧及抵抗裂縫能力而必須加大的截面約為 80%。

對於預加應力鋼筋混凝土的矩形截面桿件，可按照下面的公式來近似地計算其根據抵抗裂縫能力條件的容許彎矩：

$$M_{mp \cdot \partial} \cong (0.6 \mu + 0.2 \frac{R_p}{\sigma_{mp}}) \sigma_{mp} h^2 \quad (4)$$

設

$$\sigma_{mp} \cong 0.8 \sigma_m$$

把它代入公式(4)中，則得：

$$\text{當 } \mu = 0.01 \text{ 時 } M_{mp \cdot \partial} \cong 16 h^2 \quad (5)$$

$$\text{當 } \mu = 0.02 \text{ 時 } M_{mp \cdot \partial} \cong 28 h^2 \quad (6)$$

預加應力鋼筋混凝土桿件根據強度條件的容許彎矩數值，可按照普通鋼筋混凝土桿件的公式來計算。

如此，如果採用了預加應力鋼筋混凝土，則不僅可充分利用鋼筋混凝土桿件的強度，同時也加大了防止裂縫的安全係數。

當從普通鋼筋混凝土改換為預加應力鋼筋混凝土時，設 $\mu = 0.01$ ，桿件截面縮小 25% 左右，設 $\mu = 0.02$ ，則縮小 45% 左右，如此平均縮小 35% 左右；並且同時可以從採用高強度的鋼方面來節省用料。

上述各種見解，不僅對於受彎的桿件，而且對於中心與偏心受拉的桿件，也是正確的。

下面先討論中心受拉的情況。某高度為 h 、寬度為 $b = 1$ 的矩形截面根據強度條件的容許荷重等於：

$$N_{p \cdot \partial} = 0.5 \mu_0 \sigma_m h \quad (7)$$

式中： μ_0 為總的鋼筋百分率。

根據抵抗裂縫能力的條件的容許荷重為：

$$N_{mp \cdot \partial} = (0.75 R_p + 150 \mu_0) b h \quad (8)$$

必須指出，中心受拉桿件的鋼筋百分率一般比受彎桿件的要高得多。

例如，假使一件 30×30 公分截面的桿件應當承受 40 噸的拉力，則其鋼筋面積須等於：

$$F_a = \frac{40,000 \times 2}{2,500} = 32 \text{ 平方公分,}$$

這就相應於

$$\mu_0 = \frac{32}{900} = 0.0356。$$

對於這種鋼筋百分率，考慮到上述各種情況，當試驗受拉桿件時，按照強度條件， $N_{p \cdot \partial}$ 為 40.0 噸；按照裂縫限制條件， $N_{mp \cdot \partial}$

為 20.3 噸^①，換言之，抵抗裂縫能力的條件要求受拉桿件的截面面積比按照強度計算的加大一倍。對於受壓桿件，例如樁子，在運輸與拼裝的過程中如用預加壓力則似乎會有損於結構物在使用過程中的工作條件。可是這種損害大部分是表面上的。

假設一根 30×30 公分的樁子是由於中間有了預加應力的鋼筋而承受了預壓力。

設 $\mu = 0.02$ ，鋼筋中有效的預加應力等於 $0.7 \sigma_m = 1,750$ 公斤，樁子承受的預加壓力為 31,500 公斤。

如用 250 級的混凝土，樁子上的容許荷重為 90,000 公斤。

如此，驟然看來似乎樁子承壓的有效負荷從 90,000 公斤減至 $90,000 - 31,500 = 58,500$ 公斤，即減去三分之一以上。但事實上不是這樣的。

當用外來負荷的中心加荷來使樁子受壓時，鋼筋的預加應力就大大地減小了。（譯註：因為混凝土後來受壓的縮短減少了鋼筋受預拉力的伸長，以致降低了預加壓力）。

如果鋼筋預加應力的初始數值不超過 4,000 ~ 4,500 公斤/平方公分，在沒有彎曲現象的情況下，當混凝土中的應力達到臨界數值 R_{np} 的一刻，混凝土受壓的極限變形就會大到使得鋼筋中的預加應力實際上消失殆盡，並且當荷重接近於能使未受預加應力的桿件達到臨界數值時，這種有預加應力的受壓桿件也就會同樣發生破壞。

但是在有縱向彎曲時，現象就不同了，此時預加應力桿件的穩定性就比普通的無預加應力的受壓桿件高得多。這種現象就使我們能更充分地利用預加應力桿件材料的強度，並可相應地縮小它們的截面。

水工建築物中可廣泛地利用鋼筋混凝土樁。可是如何選擇樁子式樣的問題是很重要的。我們知道，製樁費用一般是打樁費用

① 照公式 $N_{mp \cdot \partial} = (0.75 R_p + 150 \mu_0) b h$ 計算，參照前面所給數據 $R_p = 20$ 、 $\mu_0 = 0.0356$ 、 $b = 30$ 、 $h = 30$ ，則 $N_{mp \cdot \partial} = 20.34 \times 900$ 或 $N_{mp \cdot \partial} = 18.3$ 噸，與 20.3 噸稍有不同。至於對加大截面而言，則更證明必須加大一倍以上。

的 20~30 %。

所以應當採用這樣的一種樁子：它們不僅能減少製造時的鋼筋混凝土工作量，並且還能節省打樁的費用。從這一點看來，有加粗部分的預加應力樁子是較為優越的，因為能把它們的截面和長度做得比普通方樁小得多。

用普通鋼筋混凝土來做這樣的樁是不可能的，由於在打樁過程中（譯註：包括運樁、吊樁）會發生很大的拉應力，在許多場合中，這種拉應力會造成不許可的裂縫。祇有用預加壓力的混凝土才能消除這些拉應力。

如此，在上述情況中，就使得採用改良的樁子構造與利用具有很大優點的新材料來製造樁子的兩方面成功地結合起來。

利用提高強度的材料是建築物設計中現代的進步趨勢。

可惜在普通鋼筋混凝土中，如採用「強度單價」比較低的高強度鋼筋，就會引起嚴重的困難。

高強度的鋼在荷重下的應力比普通強度的鋼要超出許多。相應地，鋼筋的伸長和裂縫的開展也就較甚，並且可能達到危險的地步。

根據裂縫的極限容許寬度（在 0.005~0.025 公分之間），可求出普通鋼筋混凝土中可以利用的鋼筋強度。

實際上，可以按照下面的公式①來近似地計算裂縫間的距離：

$$l_m \cong 2 \frac{\sigma_a F_a}{\tau_c S} = \frac{\sigma_a d}{2 \tau_c},$$

式中： F_a 和 σ_a ——鋼筋的面積和其中的應力；

τ_c ——鋼筋與混凝土的黏結力；

S ——鋼筋橫截面的週長。

① 見 Б.Ф.Горюнов 著「用預加應力鋼筋混凝土作為水工建築物的材料」(Предварительно напряженный железобетон, как материал для гидротехнического строительства), 載海上運輸中央科學研究院 (ЦНИИМФ) 科學論文集, 1950 年出版。

$$\text{裂縫寬度 } \delta = \left(\frac{1}{2} \sim 1 \right) \frac{\sigma_a l_m}{E_a}$$

把 l_m 的數值代入 δ 的式子內，則得：

$$\delta_{np} = \left(\frac{1}{2} \sim 1 \right) \frac{\sigma_a^2 d}{2 \tau_c E_a}$$

由此，根據裂縫開展的極限數值，可求出最大的容許應力為：

$$\sigma_{np} = (1 \sim 2) \sqrt{\frac{\delta_{np} \tau_c E_a}{d}}$$

假定：

$$\delta_{np} = 0.005 \sim 0.025 \text{ 公分} \quad E_a = 2.1 \times 10^6 \text{ 公斤/平方公分}$$

$$d = 0.5 \sim 2.5 \text{ 公分} \quad \tau_c = 20 \text{ 公斤/平方公分}$$

即得：

$$\sigma_{np} = 2 \sqrt{\frac{0.025 \times 20 \times 2.1 \times 10^6}{2.5}} = 1,260 \text{ 公斤/平方公分}$$

得出的數據證明：對於普通的鋼筋混凝土，不應當採用屈伏點超過 2,500 公斤/平方公分的鋼來作為鋼筋。

屈伏點為 2,500 ~ 3,500 公斤/平方公分的鋼筋鋼祇可以用來作為銲合的鋼筋網和鋼筋骨架。

如果採用輪替變形截面的鋼筋，由於鋼筋和混凝土的結觸面增加了，就能夠利用較高屈伏點的鋼筋。

同時大家知道：採用高強度的鋼能得到很大的經濟效果，並保證節省用在每方混凝土上的鋼料。

駁岸上部建築的總造價的 40% 都是化在鋼筋上的，這可以作為證實上述採用高強度鋼的經濟價值的例子。

如此，就不難概略算出改用高強度鋼能夠得到的節約價值。

如照工業建築中央科學研究所認定的那樣，用提高鋼料「強度單價」的方法來計算，即設：

$$V_1 = \frac{V}{\sigma_m} \quad (9)$$

式中：\$V\$ 為各種鋼筋的每噸價值。\$V_1\$ 則為 \$V\$ 被極限應力除得之商，對於普通的 Ст.3 號鋼和在亞伐可夫式軋鋼機上冷壓成的 Ст.3 號鋼以及正常強度的鋼絲束而言，\$V_1\$ 則為：

Ст. 3	0.16
Ст. 3 冷壓鋼	0.11
φ5 公厘的鋼絲束	0.10

如此，僅由於採用高強度鋼而減低的結構物造價平均為：

Ст. 3 冷壓鋼	13%
鋼絲束	15%

按重量計算，鋼筋的用量是減少了：

Ст. 3 冷壓鋼	35%
鋼絲束	62%

高強度鋼不能夠用來作為普通鋼筋混凝土的鋼筋，尤其是在水工建築中，所以祇有採用預加應力鋼筋混凝土才能達到上述的節約。

上述一切證明：採用預加應力鋼筋混凝土必可得到相當大的經濟效果，效果在於：

a) 提高水工建築物桿件的抵抗裂縫能力，因此增加了建築物的耐久性；

б) 能夠縮小建築物桿件的截面，因而相應地節省了材料，並減低了建築物的造價；

в) 能夠利用高強度鋼，因而相應地更加節省了鋼料。

以上所列舉的關於預加應力鋼筋混凝土建築物的高度技術——經濟成效的見解，已經使得許多科學研究、設計和施工的機構都注意到如何把這種材料採用到水工建築中去的問題，同時並吸取了工業、鐵路和公路建築在這方面的經驗（B.B. 米哈伊洛夫教授的，A.П. 珂羅夫金科學技術碩士等人的工作）。

計算預加應力結構物的理論是建立在世界上最先進的普通鋼筋混凝土結構的理論上的，這種理論是蘇聯研究出來的。

在完成許多關於在水工建築中採用預加應力鋼筋混凝土方面的科學研究的科學研究機構中，必須指出以維捷尼也夫命名的全蘇水工科學研究院、全蘇水力工程和衛生工程科學研究院以及海上運輸中央科學研究院等等。

全蘇水工科學研究院的工作主要在於水力工程建築方面，可是該院也研究許多有關採用預加應力鋼筋混凝土造水閘的建議。

應當指出：全蘇水工科學研究院基本上已推荐了利用建築物桿件的自重來使鋼筋受拉的方法，以及某些其他的專門辦法。

全蘇水力工程和衛生工程科學研究院進行了許多關於水閘輕型結構物和水閘引道駁岸結構的研究。海上運輸中央科學研究院則完成了很多關於預加應力樁子方面的實物研究，研究出了並在海港水工建築的實施中建造了一種用預加應力鋼筋混凝土做的新式樁子。

全蘇水力工程和衛生工程科學研究院與海上運輸中央科學研究院的研究工作都是在本書作者領導下進行的。

工程建築科學研究院和列寧格勒鐵道工程學院所完成的某些工作，也可以利用到水工建築中去。

本書在有關的幾節中分別敘述幾個最重要的、已完成的的研究。

第 一 篇

用預加應力鋼筋混凝土建造水工建築物時所採用的材料和機械設備

第 一 章

建造預加應力鋼筋混凝土水工建築物所用的材料

1. 混凝土

直到最近，一向都認為如果用預加應力鋼筋混凝土建造建築物，就必須採用 400~600 級的甚至更高的高強度混凝土。

這種見解主要是由於這樣的情況所造成的，就是：——大部分的預加應力鋼筋混凝土桿件是根據「弦綫混凝土」的原理來製造的。

在弦綫混凝土結構物中，可用單根的 2~3 公厘直徑的高強度鋼絲來做鋼筋，有時可用更細的。在弦綫混凝土中，這種鋼絲僅靠鋼絲表面與混凝土的黏結力來錨固。首先可以用提高混凝土級數的方法，以及加大鋼絲單位截面的週邊（減小直徑）與增加鋼筋表面粗糙性的方法來加大鋼筋與混凝土的黏結力。

在廠內施工的條件下，要獲得較高級的混凝土並不致引起任何困難，但在工地施工時，尤其當用混凝土澆築重型水工建築物時，要解決這個問題就比較繁難了，減小鋼筋的截面則更會產生某些外加的困難。

使用小直徑的鋼筋，還會增加鋼筋因銹蝕而斷裂的危險性。

以往曾研究過許多時候，希望能找到增加混凝土與鋼筋之間的黏結力的方法，從而減低預加應力鋼筋混凝土結構物所必需的混凝土級數。