

預应力鋼筋混凝土結構 計算方法在苏联的發展

C.A.特米脫里耶夫

Б.А.卡拉圖洛夫

建築工程出版社

5737
940

內容提要 这本小冊子是苏联中央工业建筑科学研究所的科学通报,其內容是介紹予应力鋼筋砼結構計算方法在苏联的發展,同时还叙述了这些結構按破坏阶段的計算方法的基本概念和按極限状态計算的新方法的基本原理。这些原理適合於計算那些过去从沒有推行过这种方法的予应力鋼筋砼結構。

本書可供設計工程师、研究生以及科学工作者应用。

原本說明

書名 РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СССР

編著者 С.А. Дмитриев и В.А. Калатуров

出版者 Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре

出版地点及日期 Москва—1955

予应力鋼筋混凝土結構
計算方法在苏联的发展

杜拱辰 譯

建筑工程出版社出版 (北京市阜成門外南風土路)

(北京市書刊出版業營業許可證出字第452号)

建筑工程出版社印刷廠印刷·新華書店發行

書號300 字數26千字 787×1092 1/32 印張 1 1/4

1956年11月第1版 1956年11月第1次印刷

印數: 1—3,400册 定價(10) 0.22元

統一書號: 15010·390

目 錄

前 言.....	2
序 言.....	3
一、關於鋼筋砼結構計算方法的概論.....	4
二、予应力鋼筋砼結構計算的發展.....	7
三、予应力鋼筋砼結構構件按極限狀態的計算.....	17
1. 總 則	17
2. 予应力鋼筋砼結構構件按承載能力的計算	20
1) 中心受拉構件	20
2) 中心受壓構件	21
3) 受彎構件	21
4) 偏心受壓構件	26
5) 偏心受拉構件	28
3. 予应力鋼筋砼結構構件按變形的計算	29
4. 予应力鋼筋砼結構構件按裂縫出現及開展的計算	31

前 言

中央工業建筑科学研究所的这一本科学通报是作为对第二屆国际予应力鋼筋砵會議（1955 年於荷蘭的阿姆斯特丹市召开）的報導。

通报中報導了予应力鋼筋砵計算方法在苏联的发展，对 鋼筋砵結構的一般計算方法在国内外的實踐中的发展作了 簡 短 的 叙 述，同时对作为“建筑法規”基础的按极限状态計算結構的新方法也作了重点的介紹。

通报中所引述的按极限状态計算新法的基本 原理，中央工業建筑科学研究所(ЦНИПС)目前尙在研究之中。

这些原理適合於計算那些过去从沒有推行过这种方法的予应力鋼筋砵結構。

中央工業建筑科学研究所辦公室

序 言

予应力鋼筋砼結構的实际应用要比普通鋼筋砼結構迟得多，因之本通报的第一部分对鋼筋砼結構在国内外的实践中所采用的一般計算方法的发展作了簡短的叙述。

其次叙述了予应力鋼筋砼結構按破坏阶段計算的方法的基本概念。这个方法直到目前为止，在苏联仍然規定作为对这一类結構的計算方法。

作为“建筑法規”基础的按极限状态計算結構物的新方法目前已受到极大的重視。該法規於1955年1月1日頒布执行，它適用於苏联目前進行的所有各种建筑。

書內引述了按极限状态計算新法的基本原理，它適合於那些还没有推行这种方法的予应力鋼筋砼結構的計算。

一、關於鋼筋砼結構計算方法的概論

苏联学者H.A. 別連留勃斯基、И.Г. 馬留格、С.И. 特魯齐宁、К.Н. 拉赫金、А.Ф. 羅列以脫、И.С. 波多爾斯基、Н.А. 阿勃拉莫夫教授等对普通鋼筋砼結構的計算及施工方法的发展曾作出了巨大的貢獻。

早在苏維埃政权的开始年代里,在工業建筑、民用建筑以及特别是水利建筑中,鋼筋砼都有了广泛地应用,並在第一个五年計劃中开始大量采用装配式鋼筋砼。

在膠結材料、砼、鋼筋所用的鋼材、鋼筋砼結構形式、計算方法等方面,在全世界的建筑實踐中已累积了非常丰富的經驗。

予应力鋼筋砼的概念,远在前一世紀末便產生了,但在本世紀二十年代末期,由於著名的法国工程师Э. 弗列新涅和德国工程师Ф. 吉辛及拉、Е. 何耶拉、У. 芬司遜尔伐里吉拉等的研究,方才獲得实用上的意义。

苏联在予应力結構研究方面的許多初創工作中,应当指出,В.В. 米哈伊洛夫教授从1930年开始所進行的卓越研究。

致力於予应力結構研究稍迟的有А.А. 葛复斯捷夫、И.Г. 伊凡諾夫-賈脫洛夫、С.Е. 伏拉伊費爾德等教授,以及 С.А. 特米脫里耶夫、Э.Г. 拉茨、А.П. 柯洛夫金和其他許多人。

1921 ~ 1934 年間,对当时所行使的“鋼筋砼結構設計标准与技术規範”,在提高砼与鋼筋的容許应力等部分,曾作过四次修改。但由於这个标准是以容許应力为基础的,所以对鋼筋砼結構的計

算方法也就不可能正確的考慮到荷載作用下結構物的真實工作情況。

因之也就有必要轉變到按破壞應力或按破壞階段的計算方法。

這樣計算的最初概念是由 A.Φ. 羅列以脫教授在1931年提出的，而在1932年公布。鋼筋砼結構按破壞應力計算方法的進一步研究，有更廣泛的各方面的專家參加。計算的基礎系採用 A.Φ 羅列以脫教授的建議^①。當時對普通鋼筋砼結構及預應力鋼筋砼結構都進行了研究。而預應力鋼筋砼結構按破壞階段計算方面的最初成就，載於 B.B. 米哈伊洛夫在1933年所著的“應力配筋砼”書中。

大約於1936年春，中央工業建築科學研究所（ЦНИПС）的鋼筋砼結構試驗室在 A.A. 葛復斯捷夫教授領導之下，擬定了按破壞階段計算鋼筋砼的新方法，於1938年被引用於當時新的標準與技術規範（ОСТ 90003-38）之中，作為工業及民用建築結構中普通鋼筋砼結構設計的準則。

鋼筋砼結構計算的新方法的優越性，不僅在於得以更正確地來鑑定結構物於荷載下破壞階段時的實際工作情況，而且也就明確了強度的實際安全程度，同時還能節約鋼材，這一點在偏心受壓及偏心受拉情況中尤為顯著。

這個計算方法的改進工作進展得較慢，拖延很久。

1940年，B.И. 穆拉錫夫教授提出並於不久之後擬定了計算鋼筋砼強度、剛度及抗裂性的一般計算公式。計算中考慮了裂縫之間部分砼的受拉工作，以及砼受壓區的彈性-塑性的特質。

這一計算方法除鑑定強度之外，還可鑑定構件在荷載下的各個不同工作階段的剛度與裂縫的開展。按新方法計算剛度與抗裂

^① 大致在同一時間技術科學博士中，許秋辛和奧斯登費爾德提出了相似的建議，但是這個建議當時未能得到實際的採用。

性的結果，要比按以前采用的方法更符合於試驗的結果。

与此同时，M.C.波里山斯基在A.A.葛复斯捷夫教授領導之下，对受横向力的普通鋼筋砼受弯構件進行了斜截面强度（破坏阶段时）計算方法的研究。研究結果提出了按斜截面計算强度的新方法。这个方法的計算結果比按容許應力的計算方法更符合於試驗結果。这一計算方法導致轉變到在鋼筋砼中广泛地采用只具有横向鋼筋而沒有弯起鋼筋的鉚接骨架，同时为鋼筋工作的工業化創立了有利的条件。这一个計算方法同样也可用於予應力結構。

在战后年代中苏联学者統一了砼、鋼筋砼、磚石、木及鋼結構等的計算，並創造出按极限狀態計算結構的共同方法。在这个方法的擬訂中，参加者計有教授H.C.斯脫立茨基、B.M.凱尔德实、A.A.葛复斯捷夫、Л.И.奧尼西克、Ю.М.伊凡諾夫、И.И.戈里金勃拉脫，以及技术科学副博士B.A.巴尔金、К.Э.泰里和B.M.柯千諾夫等。

这一計算方法与按容許應力及破坏應力計算方法的区别不僅在於統一化，而且控制了妨碍結構物工作的某些計算极限狀態，並以一系列新的計算系数——过载、均質及工作条件系数來代替單一的安全系数。

普通鋼筋砼結構按极限狀態的計算方法已被規定作为“建筑法規”的基础。該法規於1955年1月1日公布执行，並适用於苏联進行的所有各种建筑。按极限狀態的計算方法早在1950年就曾采用於計算予應力鋼筋砼压力管（“予應力鋼筋砼压力管計算的指示”У-96-50），但对其他的予應力鋼筋砼結構暫時还是按破坏阶段進行。

各种予應力鋼筋砼結構按极限狀態的統一計算方法的研究，目前已經完成。在本通报的第三部分內，將对予應力結構的計算方法作簡要的闡述。

二、預应力鋼筋砼結構計算的發展

予应力鋼筋砼結構的計算，最初是按普通鋼筋 砼結構的計算方法，亦即按容許应力的方法進行的。在計算原理上与其他各国所采用的没有什么区别。

随着普通鋼筋砼結構在强度、刚度及裂縫形成計算方法上的发展，予应力結構的計算方法也日臻完善。

苏联的B. B. 米哈伊洛夫教授、A. A. 葛复斯捷夫教授、C. A. 特米脫里耶夫及 A. П. 柯洛夫金等所進行的許多試驗指出，在破坏阶段时予应力結構与普通鋼筋砼結構的工作情况是相同的。

但是在裂縫的出現和开展、刚度、变形和时间的变化关系等方面，予应力結構与普通鋼筋砼結構相比有許多独特的性質，对这类結構的計算需要拟訂与頒布專門的標準文件。为补充和发展当时“鋼筋砼結構設計标准与技术规范”（全苏标准—ОСТ 90003-38），於1941年，中央工業建筑科学研究所（ИНИПС）拟訂了“予应力鋼筋砼結構設計規程及其施工指示”（草案）。

該規程被指定作为設計和制造工業及民用房屋和建筑物的予应力結構之用。規程內十分詳細地敘述了有关予应力鋼筋砼結構的使用范围，提出了对砼及鋼筋的要求，一般的計算原理，材料的彈性模量数值，砼与鋼筋的力学性質，以及予应力的損耗数值等。

規程內也包括中心受拉、中心受压、受弯、偏心受压和偏心受拉構件的構造和計算的一般指示，以及主应力的計算。施工指示包括有关鋼筋質量的檢驗，鋼筋的予先拉伸，錨着的方法等重要說明，以及予应力結構的質量檢驗、验收及应用的資料。規程內附有

根据計算原理的計算例題及說明。这个規程的問世对促進予应力鋼筋砼理論和實踐的发展起了极大的作用。

該規程对按破坏阶段計算鋼筋砼構件截面方面的主要特点可归納如下：

1. 按破坏阶段進行構件强度計算系假定受压区内砼及鋼筋当达到塑性状态时，砼与鋼筋仍能保証共同工作。同时在計算公式内应采用破坏应力：砼弯曲时受压的条件强度极限或棱柱强度，以及鋼筋的实际或假定流限。

砼弯曲时受压区内的条件强度极限—— R_H 及 棱柱强度极限—— R_{np} ，与砼立方强度 R 的关系采用 A.A. 葛复斯捷夫 教授的經驗公式：

$$R_H = 1.25 R_{np},$$
$$R_{np} = \frac{1300 + R}{1450 + 3R} R;$$

式中： R ——砼立方体(尺寸为 $20 \times 20 \times 20$ 公分)的抗压强度极限。

在所有予应力構件内，鋼筋的計算流限 σ_T 系根据其力学性質來決定並取等於：

1) 对具有明确流幅的鋼筋——实际流限，但不得大於 $0.7 \sigma_p$ ；

2) 对無流限的鋼筋—— $0.7 \sigma_p$ ， σ_p 为鋼筋抗拉强度极限。

2. 規定了总的强度安全系数，此系数被理解为破損应力对構件在使用时所受的应力之比。这些安全系数根据構件荷载种类(基本的、輔助的以及安裝的等等)構件类别(柱、梁等)，以及構件的破坏特征(鋼筋达到流限或砼达到抗压或抗拉强度极限)，而采取不同的数值。

3. 砼内抗压应力图形采取曲線，而砼受拉区的强度則不予

計算。

4. 擱弃平截面的假設和 n 值,此 n 值等於鋼筋彈性模量對砼彈性模量之比。在這個情況之下外力與構件應力狀態之間的关系从平衡条件來決定。

5. 對使用荷載所引起應力的抗裂性安全系数,在普通条件下工作的預應力構件規定為 $K_T=1.15$,當構件處於即使有下列条件之一存在時,則 $K_T=1.3$,這些条件是:

- 1) 經常的外部大氣作用;
- 2) 侵蝕性介質作用;
- 3) 動力荷載或變号荷載;
- 4) 不透水性的要求。

對壓力管採用 $K_T=2.0$

6. 在受彎構件內裂縫產生的核算按公式 $M_T=W_n(\gamma R_p \pm \sigma_{\sigma_1})$ 進行,這個公式考慮了預應力及受拉區砼彈性-塑性特征系数 γ 。

在公式中:

R_p ——中心受拉時的砼強度極限;

σ_{σ_1} ——截面邊緣砼的預應力;

γ ——考慮彎曲受拉時的砼工作修正系数。

對矩形實心截面, γ 值取等於1.7。

對其他形式的截面, γ 值根據下列公式決定:

$$\gamma = \frac{S_{n.B} + S_{n.H}}{W_n},$$

式中: $S_{n.B}$ 及 $S_{n.H}$ ——截面受壓區及受拉區對平分截面積為二等分的直線的換算靜力矩;

$W_n = J_n / y$ ——換算抵抗矩;

J_n ——對截面重心的換算慣性矩;

y ——由重心到最远纖維处的距离。

在予应力偏心受压及偏心受拉構件內出現裂縫的核算按同样的方法進行。

7. 構件橫向鋼筋截面的決定按破坏阶段進行，並考慮荷載的種類及作用点的地位。

对受平均荷載及集中荷載 P 的梁，当荷載置於梁頂面时；在被研究的节段 i 範圍內由橫向鋼筋所負擔的垂直力按下列公式計算：

$$q_i = \frac{(k_2 Q_i)^2}{0.6bh_0^3 R_n} - k_2 P,$$

式中：

q_i ——被研究节段 i 內單位長度上鋼筋承擔的垂直力；

k_2 ——安全系数，取等於2.5；

b 及 h_0 ——構件寬度及有效高度。

当梁受其他的荷載时，計算公式具有另外的一些形式。

8. 全部基本計算公式的拟定，已經考慮了 在構件中同时采用予应力的以及非予应力的兩種鋼筋，亦即混合配筋。

对予应力結構研究和应用方面進一步的发展，又要求將 1941 年的規程進行新的补充和修改。这些后來都被反映在中央工业建筑科学研究所 (ИИНИПС) 所編的“予应力鋼筋砼結構設計規程” (И 148-50) 中。

規程 И148-50 適用於設計裝配式与整体式的予应力結構及制件：小型板、鋪板、梁、大梁、樁、柱、桁架、框架、壳体、貯水池及筒倉。

修改与补充部分包括引入了不同的强度安全系数，这些系数与以往在“战时条件下砼及鋼筋砼結構的設計及应用指示”(У 37-42) 和“鋼筋砼結構設計标准及技术規范”(ННТ У3-48, ННТУ 3-49) 中計算普通鋼筋砼結構所采用者相彷彿。

不同的强度安全系数除考虑了以上所提的因素之外，还考虑了动荷载所引起的内力 T_B 与静荷载所引起内力 T_D 之间的比值。

因之安全系数 K 系根据内力之比来选用而不是根据引起内力的荷载，这样就有可能来比较不同性质的荷载所产生的应力。

由于硬钢配筋的预应力构件采用钢的强度极限来进行强度的计算，而不是像1941年规程所规定的那样采用等于 $0.7\sigma_p$ 的假定流限，因而这种构件的强度安全系数也作了适当的提高。钢筋的预应力全部数值不考虑由于砼收缩及徐变的损失，对硬钢采用不大於 $0.65\sigma_p$ ，而对软钢——不大於 $0.9\sigma_T$ 。

规程 N148 50 内规定的强度安全系数值列於表 1。

计算预应力钢筋砼构件强度时的安全系数(k 及 k_1)

表 1

所考慮的作用力		由動荷載所產生的內力與由靜荷載所產生的內力之比 T_R/T_D	安 全 系 數			
			k		k_1	
			破 壞 原 因			
			鋼筋受拉時到達極限 (受拉比例極限)或於 受壓時到達受壓強度 極限	鋼筋受拉時到達 強度極限或於受 壓時到達受壓強 度極限	於受拉時到達受 拉強度極限 (主應力)	
			鋼 筋 的 鋼 種			
			軟 鋼	硬 鋼	任 何 鋼	
			力 組			
			I	II	I	I
使用 荷載	主要的	≤ 2 ≥ 1.8	1.8 2.0	2.0 2.2	2.5 2.8	2.2 2.4
	主要及 附加的	≤ 2 ≥ 1.8	1.6 1.8	1.8 2.0	2.2 2.5	2.0 2.2
考 慮 特 殊 作 用	任何比值		1.5	1.6	2.1	1.8
安 裝 荷 載	任何比值		1.5	1.5	2.1	1.8

表1內所列的第Ⅰ力組系指受拉、受弯、偏心受压（第一种情况）及偏心受拉；第Ⅱ力組則系指受压及偏心受压（第二种情况）。

對於工廠制造並自每批中选取試件作强度檢驗的裝配式予应力鋼筋砼結構及其構件，当計算主要荷載以及主要及附加荷載时，表1所列的所有强度安全系数，規程規定降低10%，但不得低於“安裝荷載”橫行內所載明的相应安全系数值。

規程中也規定了計算裂縫出現时的不同安全系数值。这些数值根据構件組別及荷載种类而定（見表2）。

預应力鋼筋砼構件抗裂性計算安全系数(k_T)

表2

破 壞 原 因	所 考 慮 的 作 用 力				
	使 用 荷 載				安 裝 荷 載
	主 要 的	主 要 及 附 加 的			
	構 件 組				
	I	II	I	II	I 及 II
砼到達受拉 強度極限	1.30	1.20	1.20	1.10	1.10

第Ⅰ組的構件为有不滲透性要求者，在这类構件中，在使用荷載下不允許有裂縫，或構件即使处於1941年規程中决定抗裂性安全系数时所列举的前三項因素中（見9頁）之一时，也不允許有裂縫。

屬於第Ⅱ組者为所有其他的構件。

上述抗裂性安全系数对貯水池以及其它类似結構有不透水要求者，采用不小於 $K_T=1.3$ ，而在以軟鋼配筋的第Ⅱ組構件中，如果施加予应力的目的只是为了增大剛度时，安全系数 $K_T=1.0$ 。

为了簡化予应力結構强度計算的目的，砼受压应力图形采用

了矩形以代替曲線。远在 1936~1937 年,中央工业建筑科学研究所(ЦНИПС)在作环形及矩形截面予应力構件的試驗計算时,便已經指出这样的代替对計算的精确性影响很小。当建立裂縫出現的力矩計算公式时,砵受拉区应力图形也 同样采用矩形以代替三角形。

在这些公式中也采用特征系数 $\lambda_p = 2$ 來考虑砵受拉区的彈性-塑性工作。特征系数 λ_p 砵受拉的彈性-塑性变形 对其彈性变形之比。

受弯、偏心受拉及偏心受压構件裂縫出現的一些基本計算公式,系从構件的平衡条件得來(見圖 1),並呈完全三次多項式。

为了簡化計算的目的,这些方程式用更簡單的一些公式來代替。

在矩形、丁形、工形及其他換算成这些形式的截面的構件中,引起裂縫出現的弯矩按下式求得:

$$M_T = k_T M = (A + B\psi_p - \sum \delta_i \psi_{pi}) bh^2 R_p,$$

式中:

$$\psi_p = \psi_{p1} + \psi_{p2} + \psi_{p3} + \psi_{p4} =$$

$$= \frac{F_a \sigma_{a.T} + F'_a \sigma_a + F'_{y.u} R_p + F_{a0} \times 300}{bh R_p};$$

$$\sum \delta_i \psi_{pi} = \delta_1 \psi_{p1} + \delta_2 \psi_{p2} + \delta_3 \psi_{p3} + \delta_4 \psi_{p4};$$

$$\sigma_{a.T} = \sigma_{a.n} + 300 \text{ 公斤/平方公分}$$

$$\delta_1 = \frac{a}{h}; \delta_2 = \frac{a'}{h}; \delta_3 = \frac{a_{y.u}}{h}; \delta_4 = \frac{a_0}{h};$$

$\sigma_{a.n}$ 及 σ_a ——考虑了砵收縮及徐变等損失后鋼筋 F_a 及 F'_a 內的予应力。

系数 A 及 B 的数值按下式計算:

$$A = \frac{1}{2} - \frac{\tau \psi_c}{1 + 2\psi_c} - \frac{1 - 2\psi_c}{6(1 + 2\psi_c)} - \frac{1}{6} \left(\frac{1 + 2\psi_c}{2 + 2\psi_c} \right)^2;$$

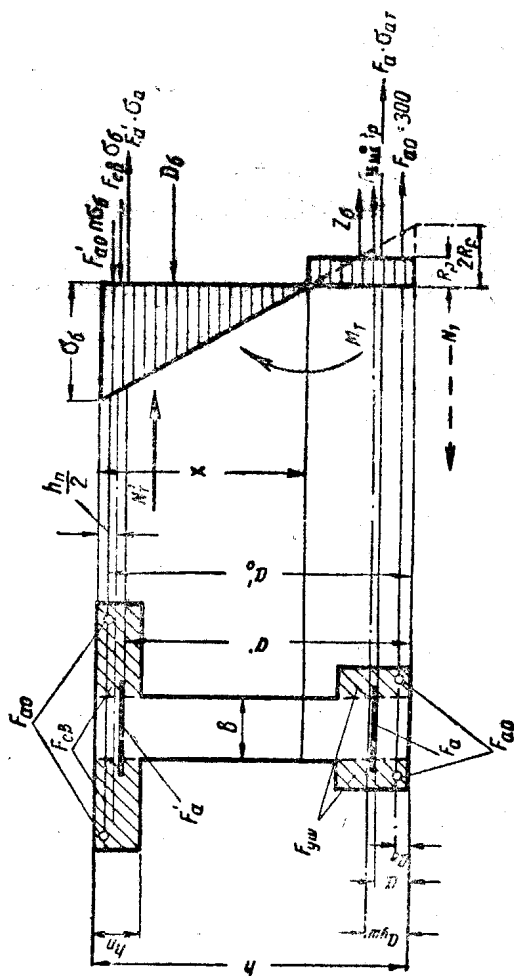


圖 1 用普通鋼筋(用雙筋)及預應力鋼筋(用雙筋)的受彎、偏心受壓及偏心受拉
(第二種情況)構件出現裂縫時的應力狀態簡圖

附註: 力 N_r 僅對偏心受壓的情況有關 (偏心受拉時與 N_r 的方向相反)。

$$B = 1 - \frac{\tau \phi_c}{1 + 2\phi_c} - \frac{1}{3(1 + 2\phi_c)}.$$

为简化抗裂性计算起见，规程列出系数A及B值的表，系数A及B值与 τ 及 ϕ_c 成函数关系， τ 值等于0到0.4而 ϕ_c 值等于0到4.0，此处

$$\phi_c = \frac{F_{C.B} + (F'_{a.o} + F'_a)n}{bh};$$

$$\tau = \frac{h_n}{h}; \quad n = \frac{E_a}{E_c}.$$

由图1可见，由构件翼板部分砼承受的应力考虑了被钢筋承受的同量应力。

这些应力用砼翼板面积与相应的应力乘积来说明。

为了规程使用的方便起见，增加了予应力构件计算的例题。

在1952年第二版的“予应力钢筋砼结构设计规程”(И 148 52)中，对混合配筋时强度的安全系数作了新的补充，对一些计算公式也作了修正以使其更为精确。

用软钢及硬钢作截面配筋时构件的强度安全系数，按表1内硬钢垂直栏内的数值采用。

计算公式的精确化反映在求砼及钢筋予应力值的部分。

1955年对予应力构件的强度安全系数重新作了修订。对受第Ⅰ力组作用以硬钢配筋，并考虑主要荷载的装配式构件，当 $T_E/T_n < 2$ 及 $T_B/T_n \geq 2$ 时，表1的系数采用2.1~2.35。受第Ⅰ力组作用的其他动力荷载的强度安全系数同样也做了降低。

1951年，交通部曾制定了“用高强度予应力钢丝束制造予应力钢筋砼大跨度桥梁的设计与计算技术指示”草案。

这个草案是根据交通部科学研究所 A.П.柯洛夫金及 E.A.特