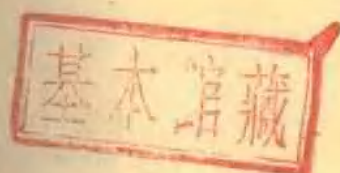


116862

[苏联]H.A.卡拉什尼科夫著

预应力混凝土迭合梁 在桥梁上的应用



科学技术出版社

預应力混凝土迭合梁 在桥梁上的应用

〔苏联〕H. A. 卡拉希尼可夫著

葛守善译

科学技术出版社

內 容 提 要

本書說明預应力混凝土迭合梁性質的理論研究根據，及其应用于城市与道路桥梁的計算方法，可供工程人員及科学研究工作者之參考。

預应力混凝土迭合梁在桥梁上的应用

КОМБИНИРОВАННЫЙ
НАПРЯЖЕННО-АРМИРОВАННЫЙ
БЕТОН
И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ
В ГОРОДСКИХ И АВТОДОРОЖНЫХ
МОСТАХ

原 著 者 (苏联) Н. А. Калашников
原出版者 苏俄公用事业部出版社 1952年版
譯 者 葛 守 善

科学技術出版社出版
(上海錢閣西路 336 弄 1 号)

上海市書刊出版業營業許可證出 078 号

上海市土山灣印刷廠印刷 新华書店上海發行所總經售

統一書号: 15119·495

开本 787×1092 耗 1/27 • 印張 6 8/9 • 字數 184,000

1957年 4 月第 1 版

1957年 4 月第 1 次印刷 印數 1—2,700

定價: (10) 1.10 元

原 序

苏联正在完成龐大的建設計劃——建造着工业厂房、运河、学校、医院、住宅和剧院，鋪設着新的鉄道和公路，并广泛地展开伏尔加河、阿姆河、頓河和德聶伯河上的共产主义偉大建筑物建設工作。

水力发电站的建筑、运河的开挖和現代化城市道路与公路的修筑均涉及鋼筋混凝土的广泛采用。由于各种建筑，其中包括桥梁在內的鋼筋混凝土工程数量很大，所以必須尽量提高鋼筋混凝土工程的速度和質量，并設法节省用料。工程技术人员面临着这样的重要任务：就是研究出新的建筑材料，采用新的結構型式和新的施工方法，使得不仅能完成、并且能超額完成龐大的战后建設計劃。

苏联工业所生产的水泥和鋼的强度逐步在提高。合理地使用高强度建筑材料便是节省材料用量与提高工程技术水平的方法之一。

在鋼筋混凝土桥梁中，利用高强度材料尤为重要，因为鋼筋混凝土桥的自重往往占据計算荷載中很大一部分。

預应力混凝土迭合梁是能够符合現代要求的新式进步結構物之一。

在桥梁建筑中如采用了这种結構物，就能使施工过程工业化、造桥工期縮短，并能以較高的技术水准来建成。

預应力混凝土迭合梁的应用將更推进建筑結構技术方面的发展。

讀者应注意本書是关于預应力混凝土迭合梁的应用与計算方面的第一本書。

書內第一、二、三章是关于預应力混凝土迭合梁的研究,說明預应力混凝土迭合梁的性質和特点,而第四、五兩章則叙述在城市与公路桥梁建筑中如何应用預应力混凝土迭合梁的实例。

此外,第五章內还研究了一系列如何簡化桥梁設計的輔助問題。

作者所著的論文“預应力混凝土迭合梁在装配式短跨桥梁中之应用”为本書之基本資料,这篇論文是在莫斯科古比雪夫工程建筑学院 Е. Е. 吉勃施曼 (Гибшман) 教授领导下做的,此外,書后所介紹的参考文献,本書中亦部分采用过。

作者对 Н. И. 波利瓦諾夫 (Поливанов) 与 Я. А. 諾維高夫 (Новиков) 两位技术科学碩士深深致謝,他們在审核与校閱本書中曾提过許多寶貴的意見。

符号說明表

- L —— 計算跨徑
 F —— 整個迭合截面的混凝土面积(見附注 1)
 F_1 —— 預应力梁的混凝土截面面积
 F_2 —— 加澆混凝土的有效截面面积
 f —— 混凝土截面下部中預应力鋼筋截面
 f' —— 混凝土截面上部中預应力鋼筋截面
 f_0 —— 混凝土截面下部中不受預应力的鋼筋截面
 f'_0 —— 混凝土截面上部中不受預应力的鋼筋截面
 h —— 迭合截面的全高
 h_a —— 預应力梁截面的高度
 h_{amp} —— 預应力梁截面的极限高度(譯注:一般指最小高度)
 h_n —— T 形梁翼緣(桥面板)的厚度
 b —— 矩形截面的寬度或 T 形梁翼緣的寬度
 l_0 —— T 形截面腹版的厚度
 a —— 截面下部中鋼筋預拉合力的着力点至下緣的距离
 a' —— 截面上部中鋼筋預拉合力的着力点至上緣的距离
 a_0 —— 截面下部中不受預应力的鋼筋截面重心至下緣的距离
 a'_0 —— 截面上部中不受預应力的鋼筋截面重心至上緣的距离
 η —— 迭合截面重心至下緣的距离
 $\bar{\eta}$ —— 將加澆混凝土开裂部分略去不計以后的迭合截面重心至下緣的距离
 η_1 —— 預应力梁截面重心至下緣的距离
 η_2 —— 加澆混凝土截面重心至迭合截面下緣的距离
 η_p —— 由加澆混凝土的凝縮所造成的、相应于迭合截面受力状态的

中性軸至截面下緣的距离

x —— 在破坏弯矩 F 截面受压区域的高度

S —— 部分截面对通过迭合截面重心軸綫的靜力矩

S_1 —— 預应力梁的部分截面对通过預应力梁重心軸綫的靜力矩

I —— 迭合截面的慣矩

I_1 —— 預应力梁截面的慣矩

$W = \frac{I}{\eta}$ —— 迭合截面对下緣的截面模量

$W' = \frac{I}{h - \eta}$ —— 迭合截面对上緣的截面模量

$\bar{W} = \frac{\bar{I}}{\eta}$; $\bar{W}' = \frac{\bar{I}}{h - \eta}$ } —— 將加澆混凝土开裂部分略去不計以后的迭合截面对下緣和上緣的截面模量

$W_1 = \frac{I_1}{\eta_1}$; $W_1' = \frac{I_1}{h_s - \eta_1}$ } —— 預应力梁对下緣和上緣的截面模量

$h_s' = \frac{W}{F}$ —— 自迭合截面的重心至截面核心上緣的距离

$h_s = \frac{W'}{F}$ —— 自迭合截面的重心至截面核心下緣的距离

$h_{1s} = \frac{W_1}{F_1}$; $h_{1s}' = \frac{W_1'}{F_1}$ } —— 自預应力梁截面重心至預应力梁截面核心上緣与下緣的距离

z'_{sH} —— 下部鋼筋預拉力合力的着力点至迭合截面核心上緣的距离

z_{sH} —— 下部鋼筋預拉力合力的着力点至迭合截面核心下緣的距离

$z'_{s\theta}$ —— 上部鋼筋預拉力合力的着力点至迭合截面核心上緣的距离

$z_{s\theta}$ —— 上部鋼筋預拉力合力的着力点至迭合截面核心下緣的距离

$\left. \begin{matrix} z'_{1sH}; z_{1sH}; \\ z'_{1s\theta}; z_{1s\theta} \end{matrix} \right\}$ —— 分別为下部、上部鋼筋預拉力合力的着力点至預应力梁截面核心上緣下緣的距离，例如， z_{1sH} 为下部鋼筋預拉力合力的着力点至預应力梁截面核心下緣的距离

z —— 截面重心至所研究的纖維的距离

z_p —— 破損时内力偶的力臂

$k; k_1$ —— 計算强度的安全系数

k_T —— 計算抗裂性的安全系数

R —— 混凝土立方体的强度(混凝土級数)

R_{np} —— 混凝土的棱柱体强度

R_u —— 弯曲时混凝土受压区域的假定极限强度

R_p —— 受拉时混凝土的极限强度

R_{pu} —— 弯曲时混凝土受拉区域的假定极限强度

σ —— 混凝土中的应力

σ_n —— 凝結与徐变后混凝土中永存的預应力(即永存应力)

σ_N —— 凝結与徐变以前混凝土中的預应力(即初始应力)

$\sigma_{\text{先}}$ —— 拉伸鋼筋时产生在混凝土中的預应力(即原施应力)

σ_y —— 加澆混凝土的凝結在混凝土中造成的应力

$\Delta\sigma$ —— 由于后張鋼筋內拉力的变化所造成的混凝土中的应力变化
—— 这种变化是在預加力傳遞到混凝土上之后梁受到荷載时才发生的

σ_{am} —— 鋼筋屈伏点

σ_{ap} —— 鋼筋极限强度

σ_{an} —— 混凝土凝結和徐变后預应力鋼筋中永存的应力, 先張鋼筋由于混凝土彈性压缩而造成的应力損失則未予計入(即永存应力)

σ_{aH} —— 拉力傳遞到混凝土上之后, 凝結与徐变发生以前鋼筋中的預应力; 先張鋼筋由于混凝土彈性压缩而造成的应力損失則未予計入(即初始应力)

$\sigma_{a, \text{先}}$ —— 拉伸时鋼筋中最高的应力(原施应力)

σ'_{aH} —— 破損时受压区域鋼筋中剩余的預应力

E —— 混凝土的彈性模量

E_i —— 混凝土的有效彈性模量(即計入了塑性变形的)

E_s —— 鋼筋的彈性模量

E_1 —— 預应力梁混凝土的彈性模量

E_2 ——加澆混凝土的彈性模量

m ——換算系数

$$m = \frac{E_a}{E_1}; m_{\sigma} = \frac{E_2}{E_1} \text{ 或 } m_{\sigma} = \frac{R_{2u}}{R_{1u}}; m' = \frac{E_a}{E_2}; m_t = \frac{E_{2t}}{E_{1t}}$$

q ——均匀分布的靜荷载

p ——均匀分布的活荷载

M ——弯矩

M_p ——破損弯矩

M_T ——相应于初次出現裂縫的弯矩

M_n ——靜荷载所产生的弯矩

M_s ——活荷载所产生的弯矩

M_{kp} ——相应于临界应力的弯矩

$N_{an}; N'_{an}$ ——分别为下部鋼筋与上部鋼筋經混凝土凝結与徐变后的預加拉力合力,由于混凝土彈性压縮的損失則未計入

ΔN_{an} ——后張鋼筋在預应力傳遞到混凝土上后受到梁上荷载作用的預加力变化

ϵ_{np} ——破損时的应变

ϵ_{kp} ——相应于达到极限应力时的应变

ϵ_n ——混凝土中相应于应力 σ_n 的应变

ϵ_{1T} ——对預受压的混凝土在随后受拉时之极限应变

ϵ_y ——凝結所产生的混凝土应变

ϵ_{noA} ——由于徐变所造成的混凝土的应变

ϵ_{yn} ——混凝土应变的彈性部分

ϵ_{ns} ——混凝土应变的塑性部分

Q ——剪力

Q_a ——在加澆混凝土硬化以前作用在預应力梁上的荷载所产生的剪力

Q_{κ} ——作用在整个横截面上的荷载所产生的剪力

t_1 ——預应力梁中的剪应力

t_2 ——加澆混凝土中的剪应力

σ_{12A} ——預应力梁中的主应力

σ_{2sA} ——加澆混凝土中的主应力

* * *

附注: 1. 計算迭合截面所有的几何特征(F, I, W, η 等等)时, 应当考虑到预应力梁混凝土和加澆混凝土有不同的彈性模量, 就是要將加澆混凝土換算成预应力梁混凝土計算。

2. 混凝土截面全部几何特征应如此計算:

a) 在用先張法的結構物中——预应力鋼筋的截面亦計算在內。

б) 在用后張法的結構物中——预应力鋼筋的截面不予計入, 并从截面中扣除穿鋼絲束的洞的面积。

3. 除了安全系数之外所有字母符号下脚注有(1)字者, 均属于预应力梁; 注有(2)字者則属于加澆混凝土, 例如:

$F_1; \sigma_1$ 为预应力梁的截面面积与应力; $F_2; \sigma_2$ 則为加澆混凝土的截面面积与应力。

4. 所有字母符号右上角有〔'〕号者均属上部截面, 无〔'〕者則属下部截面, 例如:

σ'_2 为加澆混凝土上部纖維中的应力

σ_2 为加澆混凝土下部纖維中的应力

譯者加注的名詞解釋

1) 凝縮 一般用“收縮”兩字, 其实凝縮只是收縮的一种, 比較明确的区分应当是:

由于受压所产生的变形叫“压缩”

由于降温所产生的变形叫“冷缩”

由于水化所产生的变形叫“凝缩”

由于乾燥所产生的变形叫“乾缩”

凝固用水在水泥水化过程中一方面被水泥吸去, 一方面由于外界湿度比較低, 所以混凝土里靠边部分的水就向外蒸发, 概之由于毛细管作用, 混凝土內部的多余水分也向外蒸发。与此同时, 水泥仍繼續水化, 以完成其最后凝結, 所以在发生凝縮的时候也会发生乾缩。

在上述两种作用下, 混凝土的毛细管中的水就愈来愈少, 最后仅管壁上有一层水膜而管道中則为空气。当水分再欲繼續蒸发或被水泥的凝結作用吸收时, 就产生了表面張力。这个張力把各顆粒相互拉近, 使其距离縮小, 这种收縮即叫凝縮。

放在水中养生的混凝土,在水中时不发生收缩现象,但是出水后即依然发生,所以也可说是由于环境干燥而产生收缩。但是由于一方面普通混凝土在水中养生的时期不长,出水后依然有收缩作用;另一方面在水灰比小于0.5的现代混凝土中,被水泥结晶所吸去的水分一般都大于蒸发掉的水分,因为空气中总有一定的湿度并不比混凝土体内干燥很多,所以为符合一般情况计,仍叫这种收缩为收缩。只有在干燥现象显著的情况下,才将它相提并论。

2) 急变 指混凝土在短时期内受到不过大的活荷载应力时所发生的弹性变形。这个变形随活荷载的来去而立刻产生与消失,故称急变。

3) 徐变 指混凝土在长时期承受静荷载的压应力时所产生的应变的一大部分。在这种压应力作用下先发生急变,然后继续发生徐变,大约二、三年后方完成全部变形。当卸荷时,虽然有些回弹,但是很小,因为在压力作用下,混凝土内部的水分更易排出,而被排出的水并不能全部再回到混凝土内部的毛细管中去。此种现象与收缩相似。加之在由各种颗粒所组成之混凝土骨架之间的胶合料并无十足的弹性。此外,在干燥的空气中,毛细管内的水,蒸发得比较多而快,乃致徐变就比较在潮湿的空气中为大些。还有,加荷愈晚徐变愈小,这一点对预制的预应力杆件是值得注意的。

4) 蠕变 钢材在受一定的比较高的应力下,其变形会加大,在高温下容易出现。即在常温下亦会发生。往往要经过一两年方趋稳定。此种钢材的徐变叫做蠕变(徐变两字专门保留给混凝土用)

5) 徐舒 钢材在一定的长度下,即在没有加大的变形下,如其受拉的应力达到某个程度时,即会发生应力的降低,这种现象叫做徐舒。初拉的应力愈高则徐舒愈大。如初拉应力低于临界应力则无徐舒现象,此项临界应力又称为徐舒起点。

对于混凝土在受拉时的徐舒现象,可以参照钢的徐舒去理解。但在一般实用中,大多都不考虑混凝土的徐舒现象。

目 录

原 序	1
符号說明表	1
緒 論	1
第一章 預应力混凝土迭合梁的概述	7
§ 1. 預应力混凝土結構物的三种类型	7
§ 2. 全部預应力混凝土的几个缺点	9
§ 3. 預应力混凝土迭合梁	14
1. 預应力混凝土迭合梁的要点和特性	14
2. 預应力混凝土迭合梁的缺点	22
第二章 預应力混凝土迭合梁的基本計算理論	24
§ 4. 概述	24
§ 5. 結合面的位置对于塑性有筋杆件的破損弯矩 M_p 数值的影响	25
§ 6. 預应力梁极限高度的計算	30
§ 7. 預应力梁上緣可能比下緣先开裂的情况的确定	32
§ 8. 当 $h_a < h_{anp}$ 时和利用預应力梁作为脚手架时对形成裂縫的 弯矩 M_r 的計算	34
§ 9. 結合面的位置对于迭合梁总体积中受預应力的混凝土应占 部分的影响及对于迭合梁其他特征的影响	40
§ 10. 試驗数据	45
第三章 加澆混凝土的凝縮对于迭合梁作用的影响	55
§ 11. 概述	55
§ 12. 迭合梁内由于加澆混凝土凝縮与徐变而产生应力的計算公 式結論	56

§13.	各种因素对凝縮应力数值的影响	62
§14.	凝縮应力数值的計算	65
§15.	凝縮应力的自消与凝縮对于受弯鋼筋混凝土杆件承载力的影响	70
§16.	加澆混凝土凝縮对于接縫强度的影响	75
第四章	預应力混凝土迭合梁在城市桥梁与道路桥梁上的应用	77
§17.	用預应力混凝土迭合梁構成桥孔結構的各种方法	77
§18.	关于以往建造过与設計过的預应力混凝土迭合梁桥的記載	81
第五章	預应力混凝土迭合梁桥孔結構的設計与計算方法	88
§19.	概述	88
§20.	安全系数	89
§21.	材料	91
§22.	混凝土質量在截面上的分布对于預应力混凝土受弯杆件作用的影响	96
§23.	确定截面主要尺寸的一般性考虑	102
§24.	根据强度条件計算鋼筋截面与驗算混凝土受压区域尺寸	104
§25.	預应力鋼筋截面根据抗裂性条件的計算	109
§26.	后張法預应力混凝土結構物中鋼筋拉力变化的計算	112
§27.	迭合梁各作用阶段中混凝土与鋼筋的法向应力計算	119
1.	混凝土中的法向应力	119
2.	鋼筋中的应力	122
§28.	剪力的計算	125
1.	預应力梁的剪应力与主拉应力計算	125
2.	加澆混凝土中剪应力与主拉应力的計算	127
3.	横向鋼筋截面的計算	128
§29.	荷載彈性分布的計算	130
第六章	預应力混凝土迭合梁桥的計算示例	140
§30.	例1 利用預应力梁作为脚手架与模板的跨路迭合版梁	

桥的计算.....	140
1. 几何特征的计算.....	140
2. 作用力的计算.....	145
3. 钢筋截面根据抗裂性的计算.....	147
4. 钢筋截面根据强度条件的验算.....	148
5. 混凝土应力的计算.....	148
6. 拉力传递到混凝土上以后,在铅直荷载作用下预应力钢筋中拉力变化的计算.....	150
7. 钢筋预应力数值的精确计算.....	152
8. 使用应力的计算(跨径中央的).....	153
9. 剪力计算(支承截面).....	156
§31. 例2 利用预应力梁作为脚手架的装配-整体式肋形跨路	
桥的计算.....	159
1. 各种几何特征的计算.....	160
2. 作用力的计算.....	161
3. 钢筋截面根据抗裂性条件的计算.....	163
4. 钢筋截面根据强度条件的验算.....	164
5. 板的混凝土强度验算.....	165
6. 使用应力的计算.....	166
7. 剪力的计算.....	167
参考文献.....	169

緒 論

鋼筋混凝土在工业与民用建筑、水工建筑以及桥梁建筑等类工程中均获得广泛应用。

由于鋼筋混凝土有許多好的品質（例如耐火性、整体性、耐风雨性、与能利用就地材料等等），所以鋼筋混凝土在建筑材料中占据首要地位之一。

可是普通的鋼筋混凝土也有本質上的缺点，由于抗拉强度小，用普通鋼筋混凝土做的結構物，其受弯时的抗拉强度仅为混凝土抗压强度的 10% 左右，甚至在自重作用下就可以产生早期裂縫。所以中性軸以下的混凝土截面部分主要只用来承受剪应力，使得截面的受压部分能和鋼筋一同作用，并保护鋼筋不使生銹。

由于混凝土的抗拉强度小，在普通受弯鋼筋混凝土結構物中采用高强度的材料是不合理的。

在普通鋼筋混凝土建筑物中，自重占据了荷載中很大的部分，这就限制了鋼筋混凝土梁桥跨徑的尺寸，因而使装配式鋼筋混凝土桥梁的应用受到了限制。采用預应力混凝土結構物即可减小或完全消除上述缺点。預应力混凝土的特点为：在承受使用荷載以前，先在預应力梁中人为地造成与使用荷載所生应力符号相反的預应力。

結構物中的預应力多半是用拉紧鋼筋的办法造成的，所以这种結構物一般称为預应力混凝土結構物。

由于能預加应力，鋼筋混凝土的应用范围便更大大地扩展了。

預应力混凝土除了能保持以上所述的普通鋼筋混凝土的优点

之外，还具有抗裂性与更大的刚度、以及更長的耐久性等优点，并且还可以有效地利用高强度材料。

桥梁建筑中如采用預应力混凝土即能：

- 1) 减小梁的構造高度——在某些情况中可以减小两倍以上，这对于城市桥与跨路桥非常重要；
- 2) 大大地減輕結構物的自重，因此，把梁桥的最大跨度加大到 100 公尺以上；
- 3) 保証結構物的抗裂性；
- 4) 减少材料用量。

預应力混凝土比之普通鋼筋混凝土最大的优点为在桥梁建筑中采用裝配式的可能性更大。

虽然預应力混凝土的开始发展比普通鋼筋混凝土的要迟很多，可是現在已有了跨度达 70 公尺的造桥实例，該桥主梁是由 3~5 吨左右重的块件拼成的。用普通鋼筋混凝土建造的梁桥中，实际上还未有过类似的例子。

解决采用裝配式鋼筋混凝土的問題对于小桥尤为重要，往往由于小桥的数目多而分散性大，使得公路的修筑难于迅速完成。

早在十九世紀末叶，已有过用預張鋼筋的方法来造成鋼筋混凝土結構受拉区域中的压应力的想法。可是由于对混凝土的物理力学性質研究得不够，所以初几次的預应力混凝土試驗沒有成功。实际采用預应力混凝土是从二十世紀的三十年代开始的。

苏联在 1928~29 年建造莫斯科的停車場时已首次采用了預应力的方法。

1930 年，大量的預应力混凝土研究工作与实施方案已在特比利斯科学研究院 B. B. 米哈依洛夫 (Михайлов) 教授的领导下开始。

从 1935 年起，許多科学研究院，学者和工程师都开始研究預应力混凝土。

由于各科学研究机构的科学工作者们集体进行的庞大而有成果的理论研究与实验工作:如中央工业建筑科学研究院(ЦНИПС)在 А. А. 葛伏斯捷夫(Гвоздев)与 В. В. 米哈依洛夫教授的领导下;建筑工业部中央科学研究院(ЦНИС МПС)在技术科学候补博士 А. П. 考罗夫金(Коровкин)的领导下,哈尔科夫(Харьков)的建筑材料中央科学研究院(ЦНИИСМ)在 С. Е. 弗拉依非尔特(Фрайфельд)教授的领导下;莫斯科建筑结构研究院(МИИКС)和以 К. Д. 帕姆非洛夫(Памфилов)命名的公用事业研究院在 И. Г. 依凡諾夫-賈特洛夫(Иванов-Дятлов)教授的领导下所做的工作;以及 И. Е. 斯克理亞賓(Скрябин), П. Л. 帕斯特尔那克(Пастернак)教授的理论工作等;苏联在普通钢筋混凝土结构物和预应力混凝土结构物的计算理论研究方面都超过了外国。

从1946年起在桥梁建筑中实际开始采用了预应力混凝土,那年在某一条铁路上建造了第一座跨径为 10.8 公尺的预应力混凝土桥。

1949 年底,在苏联各铁路上又造了九座跨径达 23 公尺的试验性预应力混凝土桥孔结构^①。

1949 年还在公路上造了两座跨径各为 12 公尺与 16 公尺的装配式预应力混凝土桥^②。

1950 年~1951 年根据前几次建桥的经验又建造了两座跨径各为 21.3 与 32.0 公尺的预应力装配式桥梁,并拟定了 89 公尺跨径的预应力混凝土悬臂式桥孔结构的设计。

建造与试验桥孔结构的良好结果促使在桥梁建筑实施中广泛地利用预应力混凝土。

① 参看 Б. В. Якубовский 著:“预应力混凝土在桥梁上之应用”(Применение предварительно напряженного железобетона в мостах), Дориздат, 1950 年出版。

② 载“道路建筑”(Строительство дорог)杂志,1950 年第二号。