

后张法预应力混凝土

〔英〕 威尔贝著

徐晓初 译

苏锵武 校



中国铁道出版社

1985年·北京

后张法预应力混凝土

〔英〕 威尔贝著

徐晓初 译

苏锵武 校

中 国 铁 道 出 版 社

1985年·北京

内 容 简 介

本书是后张法预应力混凝土拉杆和梁的分析与设计方面的一本专著，书中将该方面精确的与简化的计算方法并列，附有大量的计算机电算程序。

本书分两篇，第一篇共七章，主要论述后张法预应力混凝土拉杆的计算与设计和摩擦效应、试验验证、设计应用等。第二篇共九章主要论述后张法粘结的和无粘结的预应力混凝土梁的弹性分析理论和块体拼装梁的各种接缝的效能等。书中还研究了配置各种形状(直线的、弯起的)的外置预应力筋的单跨梁和连续梁。

本书可供土建技术人员和有关院校师生参考。

C.B. Wilby

Post-Tensioned Prestressed
Concrete

APPLIED SCIENCE PUBLISHERS LTD
LONDON. 1981

后张法预应力混凝土

〔英〕威尔贝著

中国铁道出版社出版

责任编辑 翁大厚 封面设计 赵敬宇

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: 850×1168 $\frac{1}{16}$ 印张: 9 字数: 213千

1985年4月 第1版 第1次印刷

印数: 0001— 8,000册 定价: 2.20元

序 言

这本书是论述后张法预应力混凝土的第一部主要的著作，它的立论新颖，可以帮助读者：

(a) 尽善地设计出在第一章叙述的，并在图1.1—1.9展示的各种型式的结构中的细长拉杆，它的制作较先张法预应力混凝土拉杆简便、经济。可以使图1.7和图1.9所示的结构型式在建造时，更为简便经济，并提高工效，预期会得到更多的应用。而对于图1.1—1.6和图1.8所示的这些结构型式也可望得到更多的应用。

(b) 估计梁和拉杆里预应力筋与其孔道和（或）中间支点之间的各种应力。这些应力可能是很重要的。预应力筋之间的混凝土质量可能很低劣，这是由于混凝土的水灰比高，在液态时，出现离析与收缩的现象，或者是由于混凝土搅拌较干造成捣固不实的缘故。作者曾得到这种类型的混凝土因预应力筋和它们孔道之间的应力很高而造成破坏的报导。

(c) 估计出由于预加应力引起的挠度和纵向应力，因而可以在某些情况下对预加应力造成的曲度/挠度的效应加以考虑。

(d) 对梁和拉杆做出更合乎逻辑和更加完善的分析。在后张法预加应力时，预应力筋受孔道的影响发生偏移，因而预应力筋与其孔道之间必然作用着各种力。并在分析时，要把这些必然存在的各种力都考虑进去。

本书为设计人员提供配有外置预应力筋的简支梁和连续梁的许多有益的分析方法。采用外置预应力筋的方法建造的桥梁，如在预应力筋上涂以防锈漆，再涂一层底漆，最后涂上光泽面层，看来是可以长久使用的。如果面层涂以白色，在定期检查中就很容易发现任何初期锈斑，加以清除，而后涂以新漆即可修复。必

要时，预应力筋亦可换新。之所以讲述这些细节，是因为近期有这类桥梁事故的报导，估计可能是由于没有遵循上述措施造成的。外置预应力筋的桥梁，若设计正确，建造合理并定期对预应力筋情况进行检查等等，这样，桥梁的安全实际上就有了保证。所以这些桥梁可以无限期地使用。在这些方面，它们应该受到大力的推荐。

本书常常对各种分析方法给予其它可替换的简化方法。为了迅速、简便、准确地求解各种理论的例子，书中提供了大量的 Basic 语言程序，采用价廉易得的台式计算机运算。它指出各类工程问题怎样建立起数学模式，以及如何应用微分方程解答这些问题。

书中阐述了根据基本原理得出的预应力筋因摩擦造成后张力损失的现有的估算方法，也阐述了作者采用不同的方法来进行这个估算的建议。在附录 I.6 里还列出了对世界各国的工程人员都有用的摩擦系数。

后张法预应力混凝土梁的理论对一切这种类型的梁均适用。这种类型梁的主要实例见图 8.1—8.7。这些理论研究了在各种外形的（直线的、弯起的和抛物线的）孔道里配置预应力筋的梁。也研究了配置各种外形的（直线的和弯起的）外置预应力筋的单跨梁和连续梁，还研究了预应力筋中间有支点的那些梁。

书中辅以许多例子来说明在实际设计中是怎样运用这些理论的。

本书为设计人员提供了设计块体拼装的后张法预应力混凝土梁接缝（用于大型工程）所需的许多有益资料，这些资料大部分是作者个人的研究成果。

全部分析结果和数学运算已经过作者仔细校对。为使可解性有进一步的保证，并使其切实可行，书中引用了众多例子。这耗费了作者大部分的精力和时间——调正程序，处理计算机问题与故障以及解决数值和计算方面的问题。当发现异常时，就不知道是否这些问题中哪个出了差错，或者是个错误，甚至可能还是在

目 录

序 言	
术语表——第一篇	1
第一篇——后张法预应力混凝土拉杆	
第一章 前 言	7
第二章 历史的回顾	15
第三章 轴心后张构件的理论	17
3.1 理 论	17
3.2 方程式的简化解	25
3.3 可供代用的理论	27
3.4 小 结	33
第四章 偏心后张构件的理论	34
4.1 理 论	34
4.2 方程式的简化解	43
4.3 特例 $e = a$	46
4.4 可供代用的理论	47
4.5 可供代用的理论	51
4.6 可供代用的理论	55
4.7 各种理论的比较	61
4.8 预应力筋和孔道之间的应力	64
第五章 摩擦效应	65
5.1 摩 擦	65
5.2 摩擦, 经典理论的推理	68
5.3 摩擦公式的近似解	69
5.4 摩擦理论应用于4.5节	70

第六章	理论的试验验证	82
第七章	理论在设计上的应用	86
7.1	后张法拉杆的设计	86
7.2	讨 论	90
7.3	桥梁吊杆的设计	91
7.4	结 论	96
参考文献		97
附 录		99
I.1	预应力筋与曲线孔道之间的压力	99
I.2	图解法求解方程式 (4.36) 和 (4.37) 的例子	100
I.3	数字计算机上的程序编写	102
I.4	模拟计算机上的程序编写	107
I.5	微分方程解	110
I.6	摩擦系数	112
术语表——第二篇		115

第二篇——后张法预应力混凝土梁

第八章	前 言	125
第九章	直线预应力筋孔道梁的弹性分析理论	134
9.1	理 论	134
9.2	可供代用的理论	143
9.3	传统理论	155
9.4	传统理论的修正	156
9.5	孔道里的应力	157
9.6	讨 论	157
9.7	可供代用的理论	159
9.8	9.7节理论的简化	165
9.9	可供代用的理论	166
9.10	传统分析	169

9.11 传统分析的修正·····	169
9.12 各种分析的比较·····	170
9.13 预应力筋和孔道之间的最大压应力·····	173
9.14 结 论·····	175
第十章 弯起预应力筋孔道梁的弹性分析理论 ·····	177
10.1 理 论·····	177
10.2 以前理论的推理·····	193
第十一章 抛物线形预应力筋孔道梁的弹性分析理论 ·····	195
11.1 理 论·····	195
11.2 传统理论·····	206
11.3 孔道与预应力筋之间的应力·····	208
第十二章 外置直线预应力筋梁的弹性分析理论 ·····	209
12.1 理 论·····	209
12.2 结 论·····	215
第十三章 外置弯起预应力筋梁的弹性分析理论 ·····	216
13.1 理 论·····	216
13.2 示 例·····	224
13.3 与传统理论的比较·····	231
第十四章 支承于中间位置的外置预应力筋梁的理论 ·····	232
14.1 前 言·····	232
14.2 简支梁的分析·····	232
14.3 连续梁的分析·····	237
第十五章 制造上的缺陷与摩擦的影响 ·····	248
15.1 制造误差·····	248
15.2 摩擦的影响·····	250
15.3 关于摩擦的进一步讨论·····	252
第十六章 块体拼装的梁——接缝的效能 ·····	253
16.1 前 言·····	253
16.2 接缝的性状·····	254
16.3 作者和Inman的试验·····	255

16.4 结 论.....	260
参考文献	262
附 录	263
11.1 单位及希腊文符号.....	264
11.2 抛物线的性质.....	266
索 引	269

术语表——第一篇

括号内的符号用于程序编目中。

第三章和第四章

$$a(A) = (d_1 - d)/2$$

$$A'(A4) = b \times D$$

$A(A3)(A6)$ = 积分的任意常数, 见方程式 (3.5) 和 (4.4)。

$A_1(A5)$ = 第三章里积分的任意常数, 见方程式 (3.13)

$A_1(A1)$ = 第四章里积分的任意常数, 见方程式 (4.10)

$A_2(A2)$ = 积分的任意常数, 见方程式 (3.56)

$A_3(A8)$ = 积分的任意常数, 见方程式 (4.55)

A_4 = 积分的任意常数, 见方程式 (4.65)

A_5 = 积分的任意常数, 见方程式 (4.88)

$(A9)$ = 净截面积

$(A0), (B9), (C0), (Z), (Z1)$ (这里 0 为零) = 图4.4中的表达式

$b(B0)$ = 宽度 (这里 0 = 零), 见图3.1

b_1 = 预应力筋与其孔道之间接触面的宽度

$B(B)$ = 积分的任意常数, 见方程式 (3.5) 和 (4.4)

$B_1(B1)$ = 第四章中积分的任意常数, 见方程式 (4.10)

$B_2(B2)$ = 积分的任意常数, 见方程式 (3.57)

$B_1(B4)$ = 第三章中积分的任意常数, 见方程式 (3.13)

$B_3(B9)$ = 积分的任意常数, 见方程式 (4.55)

B_4 = 积分的任意常数, 见方程式 (4.66)

B_5 = 积分的任意常数, 见方程式 (4.88)

(B8) = 图4.8中的符号

C_4 = 积分的任意常数, 见方程式 (4.68)

C_5 = 积分的任意常数, 见方程式 (4.98)

$d(D)$ = 预应力筋直径, 见图3.1

$d_1(D2)$ = 孔道内径, 见图3.1

$D(D0)$ = 高度 (这里 0 = 零), 见图3.1

$D_1(D1)(D3) = x_1(X1)$ = 从构件端头到预应力筋与其孔道最初接触点的距离, 见图3.3, 以及图3.4中 P_1 点的 x 坐标

D_4 = 积分的任意常数, 见方程式 (4.69)

D_5 = 积分的任意常数, 见方程式 (4.99)

(D8), (D9), (R) = 图4.6中的表达式

$e(E)$ = 构件端头预应力筋的偏心距, 见图4.2和4.3

$E(E0)$ = 混凝土的杨氏模量 (这里 0 = 零)

E_c = 混凝土的杨氏模量

E_s = 钢的预应力筋的杨氏模量

f' = 宽度 b_1 的长条中央的最大压应力

$f_1 = (S1) = (S3) + (S4) = (S7) = (S3) + (S6)$ = 最大边缘纤维应力

$f_2 = (S2) = (S3) - (S4) = (S8) = (S3) - (S6)$ = 最小边缘纤维应力

H = 预加力的分力, 见图3.3

$I(I)$ = 惯性矩 = $bD^3/12$

$\kappa(K) = \{V/(EI)\}^{0.5}$

$\kappa_1 = \left(\frac{P}{EI} \cos \phi_2 \right)^{0.5}$

$$K_1 = \frac{d \cdot d_1}{d_1 - d}$$

$$K_2 = \frac{1}{E_c} + \frac{1}{E_s}$$

$L_1(L1)$ = 一半长度, 见图3.3

M = 附录 I .1 中的弯矩和表 4.1 中的最大弯矩

(M) = 弯矩 = 图4.6中的表达式

P = 施加于预应力筋上的后加张力

$P_c = P$ 的欧拉 (Euler) 压曲临界荷载值

R = 图 A1.1.1 中所示的小单元处的曲率半径

$S_4 = E D a k^2 / 2$, 见方程式 (3.53), (3.54) 和 (3.62)

$(S1), (S2)$ = 边缘纤维应力 = 图4.6中的表达式

$(S3)$ = 均布应力 (第四章中采用扣去孔道的面积) = 图4.6中的表达式

$(S4)$ = 弯曲引起的边缘纤维应力

$(S3)$ = 第三章中的 V / A'

$(S6)$ = 弯曲引起的边缘纤维应力 = (弯矩) $\times D / (2I)$

$V(V)$ = 预加力的分力, 见图3.3

$w(W)(W3)$ = 预应力筋与其孔道之间单位长度上的力, 见图3.3

$(W1)(B3)$ = 图3.6中所示的表达式

x, y = 图3.3中所示的有关坐标轴的坐标

$x_1(X1)$ = 图3.4中 P_1 点的 x 坐标 ($= D_1$)

$x_2(X2)(X3)$ = 图3.4中 P_2 点的 x 坐标

$y_1(Y1)(Y3)(Y4)$ = 图3.4中 P_1 点的 y 坐标

$y_2(Y2)$ = 图3.4中 P_2 点的 y 坐标

$y_z = Z'$ 点的 y 坐标, 见图4.9

$(Z) = (Y_1) - (Y_3)$ (第三章)

$(Z_1) = (F_2) - (F_3)$ (第三章)

$(Z_3) = (W) - (W_3)$ (第四章)

$\delta(D_9)(S)(S_5)$ = 构件中央的挠度 = 当 $x = L_1$ 时的 y 坐标值

θ = 图A1.1所指的角

$\phi_2(F_2)(F_3)$ = 图3.4中所示的角

第五章

$K = \mu \alpha$

$n = x$ 长度上半圆形缺陷的数量

$P_0 = x = 0$ 处预应力筋的力

$P_x = x = x$ 处预应力筋的力

R = 预应力筋的曲率半径

$\alpha = \frac{\theta_N}{x}$

$\theta = x = 0$ 和 $x = x$ 之间的偏向角, 以弧度计, $\theta_1, \theta_2, \theta_3 \cdots \theta_n$ 为 θ 值

$\theta_N = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 \cdots + \theta_n$

μ = 预应力筋及其孔道之间的摩擦系数

第六章

a, e, k, L_1 同第三、四章

P = 施加于预应力筋上的后加张力

δ = 构件中央的挠度

第七章

$a, B, D_1, \delta, e, E, E_s, f_1, f_2, I, K_1, K_2, L_1, P, V, w, x$ 同第三、四章

A' = 扣掉全部孔道总面积的截面积

$k = \{P/(EI)\}^{0.5}$

(R) = 挠度与跨度的比值, 见图7.1

注意: 不包括在本术语表中的符号见书内定义。

第 一 篇

后张法预应力混凝土拉杆

第一章 前 言

在实际工作中，常常需要设计后张法预应力混凝土细长的拉杆，但按照现行理论，在后加张力时会侧向失稳，使得设计这种拉杆难以实现，因而这种拉杆就需要预制并用先张法预加应力。可是从施工进度来看，采用这种方法既不经济又不简便。其原因在于：

(a) 如果承包的是现浇混凝土工程，而拉杆又必须预制的话，就要购买第二承包单位预制构件，或原承包单位要指定其它部门做现浇作业。如果当现场需用而预制拉杆不能如期运到，则将延误合同进度，而使管理费用增加。而且还要为预制拉杆造完后运入施工现场及安装留出通路，这就常常使得现浇施工计划不能有效的进行。其它缺点就在于现场至少要备一部吊车，但它的使用效率又常常很低。因为吊车只是在现浇施工能够接受预制拉杆的时候以及预制拉杆运抵现场时才能使用上它。而且这种适用于起吊长拉杆的吊车又很不适宜作他用。

(b) 这种预制拉杆需要特殊的装置把它固定在需要拉住的各个地点。

现浇的后张法拉杆就没有上述预制的先张法拉杆的这些缺点。由那些便于搬运的块体，用后张法预加应力把它们拼装在一起的拉杆也没有这类的缺点。

本书对经济实用的后张法预应力混凝土拉杆的设计理论进行了论述。这些理论与试验结果符合较好。这项工作的实际过程是这样的，首先是作者须要解决他在实际设计中所遇到的这种问题¹；其次，开展试验工作，由 Godden²主持，并在作者的鼓励以及指导下进行；最后，作者在以后各章里阐述了他所建立的理论¹。

下面列举与这类建造型式有关的几个实例:

(I) 双曲抛物面薄壳屋顶的拉杆

图1.1和图1.2为里兹 (Leeds) 师范学院的 V型双曲抛物面薄壳屋顶的外观与内景。建筑师为 G. Alan Burnett, Messrs McCalls Macalloy 有限公司承担设计并承制了钢筋工程。作者为该公司设计了薄壳。在这个例子中, 拉杆是预制的, 并用 Lee-McCall 体系进行后张法预加应力。在每根现浇柱子上, 设标准连接器将后张的钢筋彼此拉紧, 这样就把各个拉杆连接起来了。这里, 每根拉杆只配一根钢筋后加张力。如果书中提出的各项理论在作者设计上述这个结构时已经定论, 那么就可以把这些后张法预加应力的拉杆的长度做得更长一些, 以减少所需要的接头和端头锚具的数量。图1.3所示的是在林肯 (Lincoln) 的一个双曲抛物面薄壳屋顶的汽车库。在这里, 薄壳的底部角隅之间相连的拉杆长18m, 而且端支点之间没有横向约束。这些拉杆由第二承包单位预制并用先张法进行预加应力。如果根据本书的理论, 就可以考虑用后张法拉杆作为设计的一种代用方案。这种拉杆可由主承包单位在现场施工中根据自己的计划进度来建造, 这样, 薄壳和拉杆的全部造价很可能会降低 (见上述的 (a) 项)。

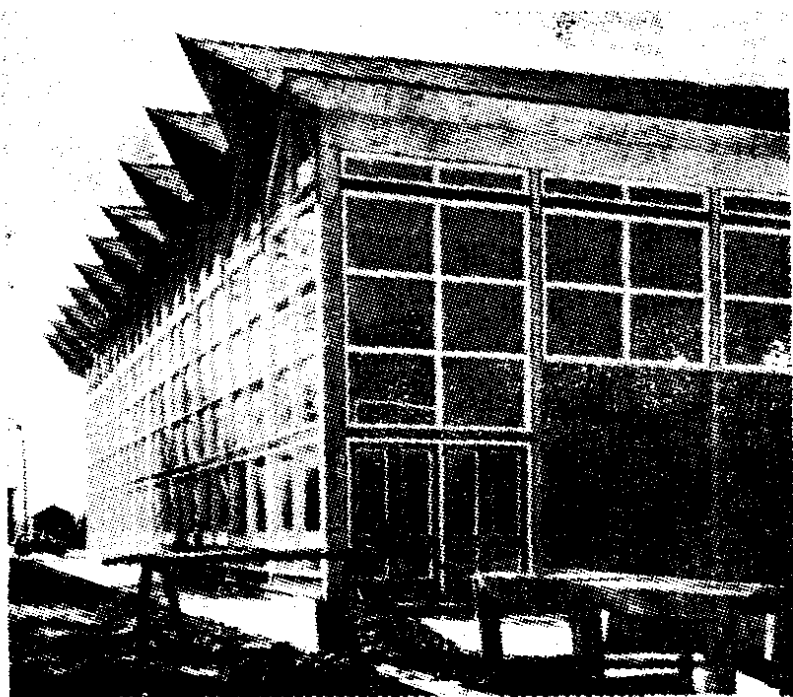


图 1.1