

体外预应力梁受力性能的试验及分析

邓向辉 黄鼎业

一、引言

体外预应力的概念及方法产生于法国,由 Eugene Freyssinet 完成了体外预应力的首次应用。早在1928年,德国就设计建造了第一座体外预应力桥。70年代末以后,由于施工技术的不断进步,这种方法用得越来越多,尤以法国、美国居多。它的主要应用范围包括:①预应力混凝土桥梁、特种结构和建筑工程;②预应力混凝土的结构的重建、加固及维修;③用于临时性预应力混凝土结构或作为施工临时性钢索。

根据国际预应力协会(FIP)定义,体外预应力是指预应力筋位于混凝土截面之外,而普通无粘结和有粘结预应力的预应力筋都是位于混凝土截面内的。体外预应力结构的主要优点是:简化预应力筋曲线,减小摩阻损失,减小混凝土构件截面尺寸,减轻结构自重,可更换预应力筋,并能在使用期内检测和维护,施工工艺简便,由于预应力筋与混凝土截面分离提高了混凝土的质量和耐久性。

目前我国正在大力推广预应力技术,体外预应力也正逐步应用于桥梁和结构加固中。笔者结合有关试验,对体外预应力梁的受力过程进行了分析,并得出了一些有益的结论。

二、体外预应力梁的受力分析

体外预应力筋的布置形式大致有两种:一种是直线形,一种是折线形。如图1所示。

一般认为,预应力结构的分析可采用等效荷载法,即把预应力当成加在结构上的外荷载。这

种方法把预应力筋和结构分离开来,不考虑它们之间的相互影响(主要是预应力筋应力变化的影响)。对于体外预应力结构,由于预应力筋位于混凝土截面外,采用等效荷载法进行分析显得更直观,更易于被接受。

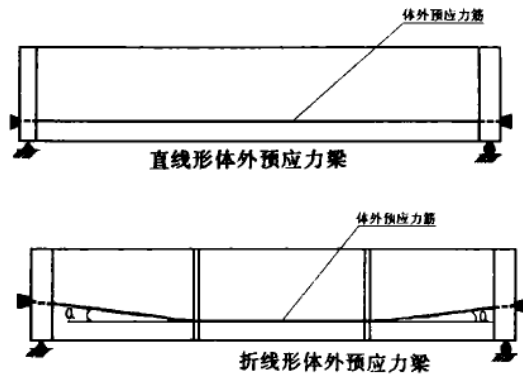


图1 体外预应力筋布置形式

(一) 直线形简支梁

下面以三等分加载的体外预应力梁为例进行分析,等效分析模型见图2。

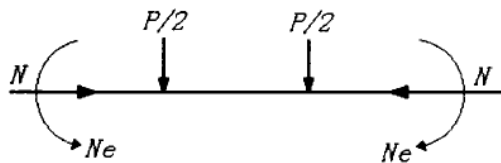


图2 应力分析模型

1. 施工阶段(施加预应力阶段)

体外预应力产生的等效荷载为: $N = f_{pe} A_p$, $M = f_{pe} A_p e$

施工阶段由体外预应力产生的梁的上下翼缘应力为:

$$\sigma_c = \frac{N - M}{A_0 W}$$

跨中挠度 (反拱值) 为: $\Delta = 1/8 EIM^2$

2.使用阶段 (加载阶段)

需要验算的截面为跨中截面, 外力产生的弯矩 (主弯矩) 为 $1/6Pl$

综合弯矩为 $M = 1/6Pl - Ne$

梁的跨中截面上下翼缘应力为: $\sigma_c = \frac{N-M}{A_0} + \frac{M}{W}$

当 $\left| \frac{N-M}{A_0} + \frac{M}{W} \right| > f_{ct}$ 时, 梁开始产生裂缝。

开裂前的挠度计算仍可采用弹性方法分析:

$$\Delta = \frac{23}{1296} EIP^2 - \frac{1}{8} EIM^2$$

3.破坏阶段 (强度极限阶段)

梁开裂后, 梁内非预应力受拉筋应力会突然增加。随着荷载的不断加大, 非预应力受拉筋的应力的应变都会逐渐加大, 直至达到屈服强度。钢筋屈服后, 应变虽然还会增加; 但应力不会增加, 而裂缝会不断扩大, 最后导致受压区混凝土被压碎而产生破坏。

破坏荷载的计算有以下两个方程 (力学模型见图3):

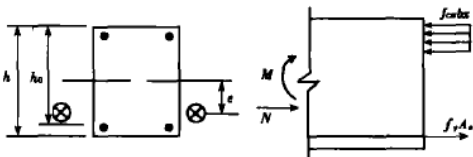


图3 力学模型

$$N + f_y A_s = f_c b x \quad Ne + f_c b x (h_0 - x/2) = N (h_0 - h/2) + M$$

其中 x 为混凝土受压高度。

(二) 折线形简支梁

分析方法与直线形简支梁完全类似, 只是需将转向块体外预应力筋的竖向力分量当成外荷

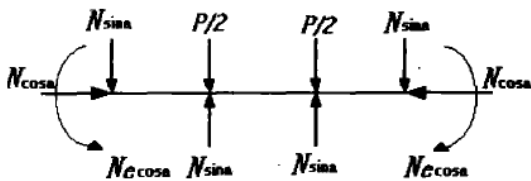


图4 折线梁力学模型

载, 力学模型见图4。

(三) 理论计算与试验值的对照

为验证所提出的分析方法, 笔者共做了6根体外预应力简支梁。其中, A1、A2、A3为直线形, B1、B2、B3为折线形。对比结果见表1。

表1 对比结果

梁号	反拱		开裂时挠度		开裂荷载		破坏荷载	
	理论值	实测值	理论值	实测值	理论值	实测值	理论值	实测值
A1	-3.2	-5.08	3.94	4.51	40.5	45.3	68.2	75.2
A2	-3.17	-4.74	5.73	7.84	40.4	53.4	67.5	72.4
A3	-3.27	-4.81	4.25	4.53	41.3	48.2	69.6	78
B1	-3.82	-4.67	5.31	5.66	40.3	46.5	71.2	84.1
B2	-3.03	-2.03	5.68	7.63	33.1	41.2	58.6	70.3
B3	-3.94	-3.57	4.92	5.83	48.1	48.3	84.6	79.8

注: 反拱和挠度的单位为mm, 荷载的单位为kN。

另一个大家颇为关心的问题为体外预应力筋的应力增量。关于预应力筋的极限应力增量。一直就没有统一的看法。一般认为, 预应力筋的应力增量与结构的变形有关。在这里也就是说与梁的跨中挠度有关。在梁开裂以前, 挠度不大, 预应力筋的应力增量也就比较小。开裂后, 随着挠度的增加, 应力增加较快, 到临近破坏前应力增至极限值。在发生破坏时, 由于梁受压区混凝土被压碎, 预应力筋两锚固端的距离有所变小, 因而预应力筋的应力反而有所减小。图5是实测的一根体外预应力简支梁的预应力筋的应力曲线。图6是实测的挠度与理论值对照曲线。

(四) 结论与建议

经过试验我们发现, 体外预应力梁的受力形态和破坏形态与普通无粘结预应力梁相似。而通过理论分析与试验结果的对比, 我们认为, 采用等效荷载法对体外预应力梁的受力全过程进行分析可以得到令人满意的结果。该方法简便实用,

体外索

易于理解和接受。有关预应力筋应力增量的计算方法及应力增量对提高结构极限承载力的影响还有待进一步研究。

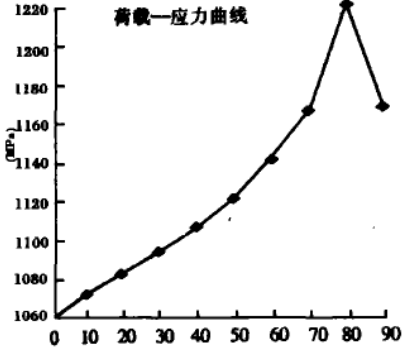


图5 实测的应力曲线

参考文献

- 1 乔墩 体外预应力技术及其在桥梁工程中的应用。重庆交通学院学报, 1992.9.
- 2 单成林 体外力筋简支梁的配筋极限强度和使用阶段应力计算。华东公路, 1995 (4)。
- 3 林同炎 NED.H.BURNS著 预应力混凝土结构设计。中国铁道出版社, 1983。
- 4 孙训方等 材料力学。高等教育出版社。

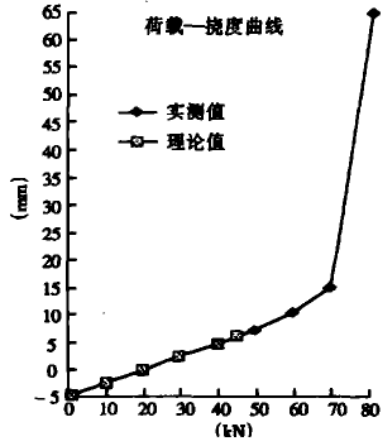


图6 实测的挠度与理论

- 5.FIP.State of the Art Report. Materials and Systems for Externally Prestressing. May 1996.
- 6.P.Srinivasa Rao and George Mathew. Behavior of Externally Prestressed Concrete Beams with Multiple Deviators. ACI Structural Journal. v.93.No.4.
7. Azez Hindi etc. Enhancing Strength and Ductility of Post-Tensioned Segmental Box Girder Bridges. ACI Structural Journal V.92.No1.
- 8.F.M.Alkhairi and A.E.Naaman. Analysis of Beams Prestressed with Unbonded Internal or External Tendons. ASCE Journal of Structural Engineering. Vol.119.No.9.

(上接第28页)

承受永久荷载, 其优越性十分显著。

1、该钢结构利用预应力体外索张拉使屋架成形, 预应力筋的张拉仅用11个小时钢结构就整体到位成形, 与传统施工方法相比较, 利用预应力体外索张拉技术进行起重, 简单易行, 效率高, 经济性好。

2、设计要求九台千斤顶同时进行工作, 要保证各台设备加载同步, 以便各索张拉后屋架的形状能满足设计和后继施工的要求, 避免出现局部屋架变形过大及各张拉单元之间出现过大的相对变形, 即九束预应力筋在张拉过程中每一束的张拉伸长值要等长, 每一台千斤顶的活塞要同步工作, 每一台油泵进油的速度要尽量相同, 以及

张拉系统稳压时的稳定性要好。正是如此严密的施工工艺, 才能保证这种一举两得的起重与承载相结合的施工方法的成功。工程实践表明, 我们采用的OVM品牌的预应力配套设备及其施工方法完全可以达到上述严格要求。

3、STRARCH钢结构在国外已广泛采用, 其最大跨度达120m, GAMECO飞机库利用预应力体外索起重和张拉施工的圆满成功, 为今后国内更大跨度钢结构的快速施工提供了良好的范例。

通过本次预应力技术的新应用, 为预应力技术的发展方向提供了一个新的思路, 如何更广泛地拓展预应力技术的新用途, 将多种用途有机结合, 以带来更大的经济、技术、社会效益, 成为预应力工作者很值得深入研究的课题。