文章编号:1009-6825(2005)03-0037-02

体外预应力混凝土简支梁极限应力分析

梁晓飞　徐茂华

摘　要:从结构的整体变形入手,推导出计算体外预应力混凝土简支梁极限应力实用计算方法,指出体外预应力混凝土简支梁的体外索的极限应力取决于整个构件的变形。

关键词:体外预应力混凝土梁,极限应力,极限承载力

中图分类号:TU375.1　　**文献标识码**:A

引言

体外预应力结构相对于传统的体内预应力结构而言,具有自重轻、施工工期短、预应力摩阻损失少、预应力筋维护方便等优势。在美国、法国和日本等国家,体外预应力技术已在混凝土结构中得到广泛应用,并且已经成为加固既有混凝土结构的最有效的方法之一[1]。在我国,体外预应力技术的应用才刚刚起步,对体外预应力结构的研究工作开展相对较少,相应的技术成果不多,其应用也多是既有结构的加固。

体外预应力结构在承载能力极限状态下的性能是设计关注的重要问题,为解决这一问题,国内外学者进行了大量试验研究与理论分析[1-4],并根据试验数据回归分析得到各自的半经验半理论的简化计算公式。但是至今为止,还没有一种计算方法能够全面和准确地概括各种因素的影响,它们也不够简化,较难推广应用。所以,欧洲规范不考虑预应力筋的应力增量,除非设计者能提供精确的分析。由于我国对体外预应力结构的研究开展工作较少,因此各类规范中尚无体外预应力混凝土梁计算的建议方法。现从结构的整体变形入手,推导出计算体外预应力混凝土简支梁极限应力的实用计算方法,为进一步研究体外预应力结构提供一种简便的方法。

2　基本假定

无论在弹性阶段还是在极限状态,主梁的变形均符合平截面假定;不考虑体外钢筋的摩阻损失,并设体外钢筋的应力沿其长度大小相同;混凝土受压时的应力应变关系采用二次抛物线及水平直线组成的曲线;普通钢筋及体外预应力钢筋均采用简化的理想弹塑性应力应变关系;梁的失效状态为受弯破坏;梁体配筋适当,破坏为塑性破坏,破坏时在最大弯矩截面处形成塑性铰;梁体在极限破坏时,取混凝土的极限压应变为 0.003。

3　实用公式的推导

3.1　截面平衡方程

计算图示见图 1 所示,由水平合力为零可知:

$$0.85\beta f'_c bx = A_s f_y - A'_s f'_y + A_p f_{ps} + A_{pe} f_{pse} \tag{1}$$

对于受压区进入腹板的 T 形截面梁,则有:

$$0.85\beta f'_c b_w x = A'_s f'_y - A_s f_y - A_{ps} f_{ps} - A_{pse} f_{pe} + 0.85\beta f'_c (b - b_w) \tag{2}$$

对受压区混凝土合力作用点取矩:

$$M_u = A_s f_y (d_s - \frac{\alpha}{2}) - A'_s f'_y (d'_s - \frac{\alpha}{2}) + A_{ps} f_{ps} (d_{ps} - \frac{\alpha}{2}) + A_{pse} f_{pse} (d_{pse} - \Delta_u - \frac{\alpha}{2}) \tag{3}$$

其中,A_s,A'_s分别为拉区、压区普通钢筋的面积;A_{ps},A_{pse}分别为体内、体外预应力钢筋的面积;α为混凝土受压区等效高度,按公路桥规取 $\alpha = 0.9x$;b 为矩形截面梁的宽度;d_s,d'_s分别为拉区、压区普通钢筋换算中心至梁上翼缘的距离;d_{ps},d_{pse}分别为体内、体外预应力钢筋换算高度至梁上翼缘的距离;f'_c为圆柱体抗压强度;f_y,f'_y分别为拉区、压区普通钢筋的屈服强度;f_{ps},f_{pse}分别为极限状态下体内、体外预应力钢筋的应力;x 为混凝土中性轴至压区混凝土外缘高度;ε_{cu}为混凝土的极限压应变;Δ_u 为计算截面的极限挠度。

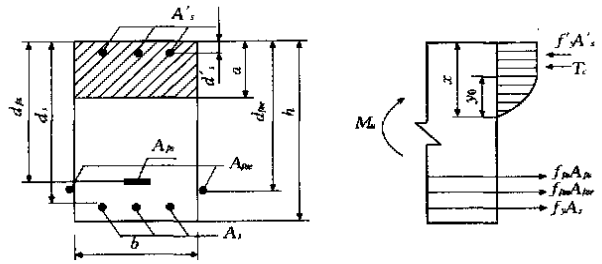


图 1　体外预应力混凝土梁正截面抗弯承载力计算图示

3.2　极限挠度 Δ_u

随着荷载的增加,作用在梁体上的最大弯矩大于截面开裂弯矩,这时梁体出现裂缝,截面刚度沿梁长方向不再均匀,沿梁长方向上存在开裂截面和不开裂截面,且由于中和轴的位置随外荷载和预加应力的大小等不同而沿截面变动,开裂截面的形心轴也随之而变动,导致开裂截面的换算截面惯性矩也随之而变动。梁体处在开裂工作状态下,由于沿梁长的截面惯性矩不均等,因此在一个已经开裂的构件中,应该采用截面有效惯性矩 I_e,按 Branson 公式取值:

$$I_e = \left[\frac{M_{cr}}{M}\right]^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M}\right)^3\right] I_{cr} \leq I_g \tag{4}$$

其中,M_{cr}为梁体首次开裂时弯矩;M 为混凝土梁计算挠度时承受的最大弯矩;I_g 为开裂毛截面对形心轴的惯性矩;I_{cr}为开裂截面对形心轴的惯性矩。

极限状态下的弯矩[6]可以用下式表示:

$$M_u = E_c I_e \psi_u \tag{5}$$

把式(5)代入式(3)即可求出极限状态的挠度:

$$\Delta_u = [A_s f_y (d_s - \frac{\alpha}{2}) - A'_s f'_y (d'_s - \frac{\alpha}{2}) + A_{ps} f_{ps} (d_{ps} - \frac{\alpha}{2}) - E_c I_e \psi_u] / A_{pse} f_{pse} + d_{pse} - \frac{\alpha}{2} \tag{6}$$

3.3　体外钢筋极限应力

收稿日期:2004-10-30

作者简介:梁晓飞(1978-),女,长安大学桥梁与隧道专业在读硕士研究生,助教,山东理工大学建筑工程学院,山东 淄博　255049
徐茂华(1975-),男,2000 年毕业于东北林业大学交通土建专业,助工,中铁十三局集团有限公司第四分公司,黑龙江 哈尔滨　130033

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

极限状态下体外预应力筋的极限应力由下式给出:

$$\begin{cases} f_{pse} = f_{pe} + \Delta f_{pse} \\ \Delta f_{pse} = \dfrac{\Delta L_{pse}}{L_{pse}} E_{pse} \end{cases} \tag{6}$$

式中: E_{pse} ——体外预应力筋的弹性模量;

f_{pe} ——体外预应力筋的有效预应力;

Δf_{pse} ——极限状态下体外预应力钢筋的应力增量;

L_{pse} ——体外预应力钢筋的计算长度。

设跨径为 L 的体外预应力混凝土受弯构件在最大弯矩截面发生破坏时,两个未破坏的梁段均发生刚性转动,无挠曲变形。由图2可知变形后跨中截面的转角、体外预应力钢筋的伸长量为:

$$\theta = 2\theta_u = \frac{2\Delta_u}{L/2} = \frac{4\Delta_u}{L} \tag{7}$$

$$\Delta L_{pse} = \theta \cdot (d_{pse} - x - \theta_u \cdot \frac{\alpha L}{2}) \tag{8}$$

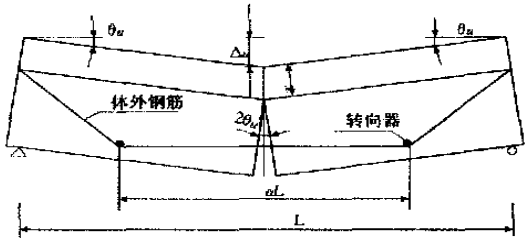


图2 体外预应力梁受弯破坏时整体变形示意图

式(7),(8)中: α 为转向器之间的长度与梁全长的比值,当 $\alpha = 0$ 时为单转向器的情况,当 $\alpha = 1$ 时为无转向器的情况; θ_u 为梁端极限转角。

大量试验结果表明[2]:梁在普通钢筋屈服后至破坏前,弯矩较大的区域将出现塑性铰或塑性区段,梁体的变形主要发生在塑性铰附近,体外预应力混凝土梁在破坏前亦有类似情况出现,此时梁的曲率分布见图3,根据图3假设的理想曲率分布曲线可以认为在 $0 \sim L/2 - T_p$ 范围内 $\psi(x) \approx 0$,则体外预应力混凝土梁极限状态下梁端的转角为:

$$\theta_u = \int_{\varepsilon_0}^{L/2} \psi(x)\,\mathrm{d}x = \int_{L/2-T_p}^{L/2} \psi_u \mathrm{d}x = Z_p \cdot \psi_u \tag{9}$$

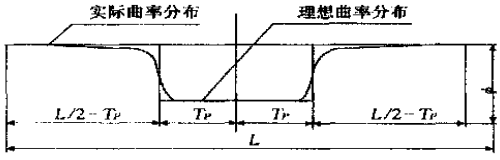


图3 体外预应力梁极限状态曲率分布

其中, $\psi_u = \dfrac{\varepsilon_u}{x}$ (10)

式(9),(10)中: ψ_u 为梁的极限曲率; Z_p 为梁的塑性区长度的1/2, $Z_p = \begin{cases} 0.5\,d_e + 0.05\,Z \\ 0.5(L_0 + d_e) \end{cases}$, 其中 $d_e = \dfrac{A_s f_y d_s + A_{ps}^i f_{ps}^i d_{ps}^i}{A_s f_y + A_{ps}^i f_{ps}^i}$ 为体内钢筋的换算高度, Z 为剪跨长度。

通过上述分析可知,若想计算体外预应力钢筋的应力增量,需采取如下步骤求解:

1) 首先假设一个体外预应力钢筋的应力 f_{pse}。

2) 在 f_{pse} 已确定的情况下,由式(1),(2)可以求出受压区的高度 x。将 x 代入式(6),(7),(8),(9),(10)求出体外预应力钢筋的应力 f'_{pse}。

3) f_{pse} 和 f'_{pse},若不满足精度要求,修改 f_{pse} 的值,重复1),2)步,直到满足精度要求为止。

4 结语

1) 文中给出的体外预应力混凝土简支梁极限应力求解方法,综合考虑了梁内普通钢筋和预应力钢筋的配筋、体外钢筋的面积、有效预应力的布置、材料强度、截面形式、转向器的个数、跨度等主要因素对体外预应力正截面承载力的影响,为进一步研究和设计体外预应力结构提供了一种简便易行的方法。

2) 由于公式推导是基于对称荷载作用下的简支梁,对其他体系的体外预应力结构,其适用性还有待验证。

参考文献:

[1] Rabbat, B. G., and Sowlat, K., Testing of Segmental Concrete Girders With External Tendons[J]. PCI, V. 32(2), 1987. 86-107.

[2] 牛 斌. 体外预应力混凝土梁极限状态分析[J]. 土木工程学报, 2000, 33(6): 7-15.

[3] M. Harajli, N. Khairallah, H. NaSSif. Externally prestressed members: Evallustion of second-order effects[J]. Journal of Structural Engineering, ASCE, V. 125(10), 1999: 1151-1161.

[4] Kiang-Hwee Tan, Chee-Khoon Ng. Effects of Deviators and tendon configuration on behavior of externally prestressed beams ACI Structuenal journal V. 94(1), 1997. 13-21.

[5] 牛 斌. 体外预应力混凝土梁弯曲性能分析[J]. 土木工程学报, 1999, 32(4): 37-44.

[6] M. Abdullah-Al Farooq Chee-Khoon Ng. Behavior of Simple-Span Reinforced Concrete Beams Locally Strengthened with External Tendons ACI Structuenal journal V. 98(2), 2001: 174-183.

A practical analysis method for ultimate stress of external prestressed simple supported concrete beams

LIANG Xiao-fei[1] XU Mao-hua[2]

(1. *Shandong University of Technology, Architectural and Civil Engineering Institute, Zibo* 255049, *China;*
2. *The* 4*th Corporation of China Railway* 13*th Bureau group Co. Ltd., Haerbin* 130033, *China)*

Abstract: The paper points out, a practical analysis method based on the global deformation is derived to calculate the ultimate stress of external prestressed concrete beams. Ultimate stress in external tendons of external prestressed simple supported concrete beams is dependent on the global deformation compatibility of whole member.

Key words: external prestressed concrete beams, ultimate stress, ultimate carrying capacity

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.