

# 高强预应力混凝土板桩抗裂弯矩算法分析

黄建华<sup>1,2</sup>, 覃少杰<sup>1,2</sup>, 常建华<sup>1,2</sup>, 朱永涛<sup>1,2</sup>

(1.福建工程学院 土木工程学院, 福建 福州 350118;

2.地下工程福建省高校重点实验室, 福建 福州 350118)

**摘要:** 从计算思路、计算过程等方面详细介绍了现有高强预应力混凝土板桩的两种抗裂弯矩计算方法,将板桩生产企业采用的抗裂弯矩计算方法和钢筋混凝土规范(GB50010-2010)的计算方法进行对比,分析了两种算法特点及适用范围。通过试验和工程应用进行验证,得出两种算法在计算思路、过程及结果上的差异和产生差异的原因,为高强预应力板桩的设计和发展提供了新思路。

**关键词:** 高强预应力; 混凝土板桩; 抗裂弯矩; 受拉区; 优化分析

**中图分类号:** TU443

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-4348(2018)01-0001-07

## Analysis of the calculation method for crack-resistance moment of high-strength pre-stressed sheet piles

HUANG Jianhua<sup>1,2</sup>, QIN Shaojie<sup>1,2</sup>, CHANG Jianhua<sup>1,2</sup>, ZHU Yongtao<sup>1,2</sup>

(1. School of Civil Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;

2. Key Laboratory of Underground Engineering in Colleges and Universities of Fujian Province, Fuzhou 350108)

**Abstract:** Two methods for calculating crack-resistance moment of the pre-stressed high-strength concrete sheet piles were introduced in detail from their ways of thinking and calculation process. The method adopted by sheet pile manufacturers and the one adopted in the Code for Reinforced Concrete (GB50010-2010) were compared for their characteristics and application scopes. Comparison results were verified through tests and field applications. Differences in the way of thinking, processes and results were pointed out as well as causes of such differences. A new way of thinking for the design and development of high-strength pre-stressed sheet piles was put forward.

**Keywords:** high-strength prestress; concrete sheet pile; crack-resistance moment; tension zone; optimization analysis

高强预应力混凝土板桩有多种截面形式,整体刚度大、止水效果好、造价低,有较高的经济效益<sup>[1-3]</sup>。但其工程力学性能的分析研究却滞后于生产需求。日本在1993年颁布了JISA5334《混凝土板桩》工业标准。板桩在生产、装配、运输、施工和使用过程中都不可避免会受到拉力。但混凝土抗拉强度小,为避免板桩破

坏,板桩的抗裂弯矩计算很重要,应合乎实际力学情况。本文对比分析了现有板桩生产企业采用的抗裂弯矩计算方法(下简称方法一)和《钢筋混凝土规范》(GB50010-2010)计算方法(下简称方法二),对预应力板桩抗裂弯矩计算提出了优化分析方法,为今后预应力板桩的工业化生产和推广使用提供参考<sup>[4-7]</sup>。

收稿日期: 2018-01-01

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(51678153);福建省教育厅产学研重点科技项目(JA12227);福州市科技计划项目(2017-G-69)

第一作者简介: 黄建华(1969-),男,福建莆田人,教授,博士(后),研究方向:岩土与环境、地下围护与结构。

# 1 抗裂弯矩两种算法分析

## 1.1 抗裂弯矩计算方法介绍

方法一是通过先计算出各项预应力损失,然后计算受弯构件受拉边缘处的混凝土预压应力  $\sigma_{peII}$ ,最后通过材料力学公式  $\sigma_{max} = \frac{M}{W_z}$  导出的抗裂弯矩计算公式  $M_{cr2} = (\sigma_{peII} + \gamma f_{tk}) W_0$  计算抗裂弯矩。与方法二相比不同在于计算各项预应力损失的方法不同,导致计算出各自预应力损失后的  $\sigma_{peII}$  不同<sup>[8-9]</sup>。



图 1 高强预应力板桩实体图

Fig.1 Photo of high-strength pre-stressed sheet piles

## 1.2 抗裂弯矩公式介绍

现有的两种板桩抗裂弯矩均采用正截面抗裂验算的方法,即加荷至构件受拉边缘混凝土应力为零时,所对应的弯矩即为抗裂弯矩,设外弯矩为  $M_0$ ,则有:

$$M_0 = \sigma_{peII} W_0 \quad (1)$$

加荷至受拉边缘混凝土即将开裂时,设开裂弯矩为  $M_{cr}$ 。确定  $M_{cr}$  有以下两种方式<sup>[10-13]</sup>。

### (1) 按弹性材料计算

不考虑受拉区混凝土的塑性,既构件截面上混凝土应力按直线分布,则加荷至受拉边缘混凝土应力等于  $f_{tk}$  时,有

$$M_{cr1} = (\sigma_{peII} + f_{tk}) W_0 \quad (2)$$

### (2) 考虑受拉区混凝土的塑性

将构件截面受拉区考虑混凝土塑性的应力图等效转化为直线分布时,受拉边缘的应力为  $\gamma f_{tk}$ 。当加荷至受拉边缘即将开裂时,按材料力学公式则有

$$M_{cr2} = (\sigma_{peII} + \gamma f_{tk}) W_0 \quad (3)$$

式中,  $\sigma_{peII}$  为预应力钢筋的拉应力;  $f_{tk}$  为混凝土轴心抗拉强度标准值;  $W_0$  为换算截面受拉边缘的弹性抵抗矩;  $\gamma$  为混凝土构件的截面抵抗矩塑性影响系数,可按下列公式计算:

$$\gamma = \left( 0.7 + \frac{120}{h} \right) \gamma_m \quad (4)$$

$\gamma_m$  根据《混凝土结构设计规范》(GB50010-2010)附表查得,取 1.4。

## 1.3 方法一对 $\sigma_{peII}$ 的计算介绍

该方法为目前正在生产、使用的板桩抗裂弯矩的计算方法;  $\sigma_{peII}$  为第二批预应力损失完成后受弯构件受拉边缘处的混凝土预压应力,计算过程如下<sup>[14-15]</sup>:

### (1) 预应力放张后预应力钢筋的拉应力 $\sigma_{pt}$

$$\sigma_{pt} = \frac{\sigma_{con}}{1 + n \frac{A_p}{A}} \quad (5)$$

式中,  $\sigma_{con}$  为预应力钢筋的初始张拉应力 ( $N/mm^2$ ),  $\sigma_{con} = 0.70 f_{ptk}$ ,  $f_{ptk}$  为预应力钢筋的抗拉强度 ( $N/mm^2$ );  $A_p$  为预应力钢筋的横截面积 ( $mm^2$ );  $A$  为板桩的横截面积 ( $mm^2$ );  $n$  为预应力钢筋弹性模量与放张时混凝土弹性模量之比。

(2) 混凝土徐变及混凝土收缩引起的预应力钢筋拉应力损失  $\sigma_{l5}$

$$\sigma_{l5} = \frac{n \cdot \psi \cdot \sigma_{cpt} + E_p \cdot \delta_s}{1 + n \cdot \frac{\sigma_{cpt}}{\sigma_{pt}} \cdot \left( 1 + \frac{\psi}{2} \right)} \quad (6)$$

式中,  $\sigma_{cpt}$  为放张后混凝土的预压应力 ( $N/mm^2$ ),  $\sigma_{cpt} = \frac{\sigma_{pt} \cdot A_p}{A}$ ;  $\psi$  为混凝土的徐变系数,取 2.0;  $\delta_s$  为混凝土的收缩率,取  $1.5 \times 10^{-4}$ ;  $E_p$  为预应力钢筋的弹性模量 ( $N/mm^2$ )。

### (3) 预应力钢筋松弛引起的拉应力损失 $\sigma_{l4}$

$$\sigma_{l4} = r_0 (\sigma_{pt} - 2\sigma_{l5}) \quad (7)$$

式中,  $r_0$  为预应力钢筋的松弛系数,参照所给预应力钢筋的松弛系数取值。

### (4) 预应力钢筋的有效拉应力 $\sigma_{pe}$

$$\sigma_{pe} = \sigma_{pt} - \sigma_{l5} - \sigma_{l4} \quad (8)$$

### (5) 预应力损失后的 $\sigma_{peII}$

$$\sigma_{peII} = \frac{\sigma_{pe} A_p}{A} \quad (9)$$

## 1.4 方法二对 $\sigma_{peII}$ 的计算介绍

采用《混凝土结构设计规范》(GB50010-2010)中的方法,计算过程如下:

### (1) 钢筋张拉控制应力 $\sigma_{con}$

$$\sigma_{con} = 0.70 f_{ptk} \quad (10)$$

(2) 预应力钢筋应力松弛引起的预应力损失

$\sigma_{l4}$

$$\sigma_{l4} = 0.125 \left( \frac{\sigma_{con}}{f_{ptk}} - 0.5 \right) \sigma_{con} \quad (11)$$

(3) 混凝土收缩、徐变的预应力损失  $\sigma_{l5}$

$$\sigma_{l5} = \frac{60 + 340 \frac{\sigma_{pc}}{f_{cu}}}{1 + 15\rho} \quad (12)$$

$$\rho = \frac{A_p + A'_p}{A_0} \quad (13)$$

$$A_0 = \frac{E_p}{E_c} (A_p + A'_p) + A \quad (14)$$

$$\sigma_{pc} = \frac{N_p}{A_0} \pm \frac{N_p e_{p0}}{I} y_0 \quad (15)$$

$$N_p = (\sigma_{con} - \sigma_{l4}) A_p + (\sigma'_{con} - \sigma'_{l4}) A'_p \quad (16)$$

$$e_{p0} = \frac{(\sigma_{con} - \sigma_{l4}) A_p y_p - (\sigma'_{con} - \sigma'_{l4}) A'_p y'_p}{N_p} \quad (17)$$

式中,  $A_0$  为混凝土全部截面面积以及全部纵向预应力钢筋和非预应力钢筋截面面积换算成混凝土的截面面积;  $N_p$  为预应力钢筋及非预应力钢筋的合力;  $e_{p0}$  为换算截面重心至预应力钢筋及非预应力钢筋合力点的距离;  $\sigma_{pc}$  为预应力钢筋在各自合力点处混凝土法向预应力;  $y_p$ 、 $y'_p$  为受拉区、受压区纵向预应力钢筋的合力点至净截面重心的距离(假设预应力钢筋的保护层厚度为 50 mm, 则  $y_p$ 、 $y'_p$  分别为受拉区、受压区边缘到形心的距离减去保护层厚度;  $A_p$ 、 $A'_p$  为受拉区、受压区预应力钢筋截面面积;  $\sigma'_{l4}$  为受压区预应力钢筋应力松弛引起的预应力损失;  $\sigma_{con}$ 、 $\sigma'_{con}$  为受拉区、受压区预应力钢筋的张拉控制应力;  $f_{cu}$  为混凝土抗压强度标准值;  $I$  为净截面惯性矩与换算截面惯性矩之和。

(4) 计算  $\sigma_{peII}$

$$\sigma_{peII} = (\sigma_{con} - \sigma_{l5} - \sigma_{l4}) \frac{A_p}{A_0} \quad (18)$$

## 2 工程算例分析对比

计算的工程算例见图 2, 布桩排列示意图如图 3, 计算模型如图 4, 两块预应力板桩拼接排列后截取 996 mm 长的一个对称截面, 在计算过程中板桩的倒角受力可忽略不计, 故把板桩截面等

效为一个 T 型截面。其抗弯系数计算模型如图 5。

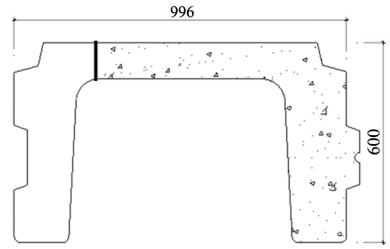


图 2 预应力板桩截面计算简图(单位:mm)

Fig.2 A simple diagram for calculating the section of a prestressed sheet pile (unit:mm)

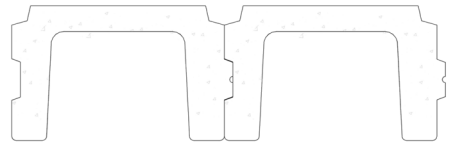


图 3 预应力板桩布桩排列示意图

Fig.3 Diagram of the arrangement of prestressed sheet piles

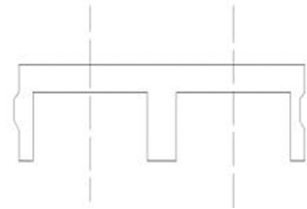


图 4 预应力板桩简化计算模型

Fig.4 Simplified calculation model of prestressed sheet piles

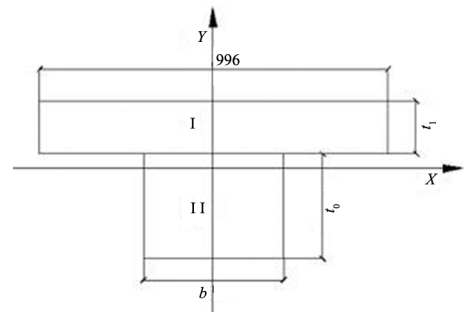


图 5 等效 T 形截面抗弯系数计算简图(单位:mm)

Fig.5 Simplified calculation diagram of equivalent T-section's anti-bending coefficient (unit:mm)

2.1 板桩模型参数

板桩计算模型的截面尺寸:

翼缘高度  $t_1 = 120\text{ mm}$ ,翼缘宽度  $l = 996\text{ mm}$ ,  
腹板高度  $t_0 = 480\text{ mm}$ ,腹板宽度  $b = 320\text{ mm}$ ,截面  
总高度  $h = 600\text{ mm}$ ,形心位置  $y_c = 382.89\text{ mm}$ ,截  
面面积  $A = 250\,930\text{ mm}^2$ ,净截面惯性矩  $I_0 =$   
 $8\,799\,691\,767\text{ mm}^3$ 。

钢筋采用 16 根直径 12.6 mm 预应力钢绞线,  
公称总面积为  $2\,000\text{ mm}^2$ ,在 T 形翼缘处配置 8  
根,在下方腹板处配置 8 根。混凝土采用 C<sub>60</sub> 混  
凝土,混凝土和钢筋的具体参数如表 1、2。

表 1 混凝土强度指标及弹性模量

Tab.1 Concrete's strength parameters and elastic modulus

混凝土 强度等级	抗压强度标准值 $f_{ck}/\text{MPa}$	抗压强度设计值 $f_c/\text{MPa}$	抗拉强度标准值 $f_{tk}/\text{MPa}$	抗拉强度设计值 $f_t/\text{MPa}$	弹性模量 $E_c/$ ( $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$ )
C60	38.50	27.50	2.85	2.04	$3.60 \times 10^4$

表 2 预应力钢绞线参数表

Tab.2 Parameters of PC stranded wires

预应力筋 数量	钢绞线规格/ mm	公称截面积/ $\text{mm}^2$	抗拉强度标准值 $f_{ptk}/\text{MPa}$	抗拉强度设计值 $f_{pt}/\text{MPa}$	抗压强度设计值 $f_{pe}/\text{MPa}$	1 000 h 松 弛值/%
16	12.6	125	$\geq 1\,420$	1 005	386	$\leq 2.0$

2.2 方法一的抗裂弯矩计算

采用方法一对上述截面进行计算,把 16 根钢  
筋全部当做受拉钢筋计算抗裂弯矩。

预应力放张后预应力钢筋的拉应力  $\sigma_{pt}$   
计算:

$$\sigma_{con} = 0.70 f_{ptk} = 1\,420 \times 0.7 = 994\text{ N} \quad (19)$$

$$\sigma_{pt} = \frac{\sigma_{con}}{1 + n \frac{A_p}{A}} = \frac{994}{1 + 5.56 \times \frac{2\,000}{250\,930}} =$$
  
$$951.82\text{ N/mm}^2 \quad (20)$$

混凝土收缩、徐变的预应力损失  $\sigma_{i5}$  计算:

$$\sigma_{i5} = \frac{n\psi\sigma_{cpt} + E_p\delta_s}{1 + n \frac{\sigma_{cpt}}{\sigma_{pt}} \left(1 + \frac{\psi}{2}\right)} =$$
  
$$\frac{5.56 \times 2 \times 7.586 + 2.0 \times 10^5 \times 1.5 \times 10^{-4}}{1 + 5.56 \times \frac{7.586}{951.82} \times \left(1 + \frac{2}{2}\right)} =$$
  
$$105.05\text{ N/mm}^2 \quad (21)$$

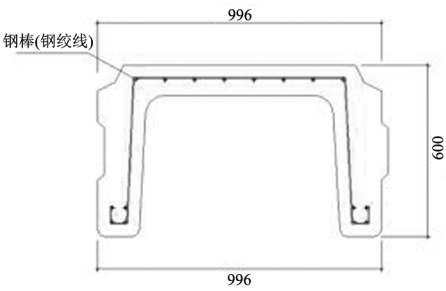


图 6 预应力板桩配筋截面图 (单位:mm)

Fig. 6 Cross-section of prestressed sheet piles reinforced with iron bars (unit:mm)

$$\sigma_{cpt} = \frac{\sigma_{pt} \cdot A_p}{A} = \frac{951.82 \times 2\,000}{250\,930} =$$
  
$$7.586\text{ N/mm}^2 \quad (22)$$

预应力钢筋应力松弛引起的预应力损失  $\sigma_{i4}$   
计算:

$$\sigma_{i4} = r_0(\sigma_{pt} - 2\sigma_{i5}) =$$
  
$$0.025 \times (951.82 - 2 \times 105.05) =$$
  
$$18.543\text{ N/mm}^2 \quad (23)$$

预应力钢筋的有效拉应力  $\sigma_{pe}$  (有效预应力  
为钢筋放张后的预应力减去损失的预应力):

$$\sigma_{pe} = (\sigma_{pt} - \sigma_{i5} - \sigma_{i4}) =$$
  
$$951.82 - 105.05 - 18.543 =$$
  
$$828.227\text{ N/mm}^2 \quad (24)$$

第二批预应力损失完成后,受弯构件受拉边  
缘处的混凝土预应力  $\sigma_{peII}$  计算:

$$\sigma_{peII} = \frac{\sigma_{pe} \cdot A_p}{A} = \frac{828.227 \times 2\,000}{250\,930} =$$
  
$$6.60\text{ N/mm}^2 \quad (25)$$

截面受拉边缘的弹性抵抗矩:

$$W_0 = \frac{I}{y_0} = \frac{I_0 + I_g}{y_0} \quad (26)$$

预应力钢筋换算截面惯性矩  $I_g$  计算:

$$I_g = A_s \times (y_c - a_s)^2 \times \frac{E_p}{E_c} =$$

$$2\,000 \times (382.89 - 60)^2 \times \frac{20}{3.6} =$$

$$1\,158\,421\,690 \text{ mm}^4 \quad (27)$$

$$W_0 = \frac{8\,799\,691\,767 + 1\,158\,421\,690}{382.89} =$$

$$26\,007\,765.83 \text{ mm}^3 \quad (28)$$

抗裂弯矩  $M_{cr2}$  计算:

$$\gamma = \left(0.7 + \frac{120}{h}\right) \gamma_m =$$

$$\left(0.7 + \frac{120}{600}\right) \times 1.4 = 1.26 \quad (29)$$

$$M_{cr2}(\sigma_{peII} + \gamma f_{tk}) W_0 =$$

$$(6.60 + 1.26 \times 2.85) \times 26\,007\,765.83 =$$

$$265.08 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (30)$$

## 2.3 方法二的抗裂弯矩计算

预应力钢筋的初始张拉应力  $\sigma_{con}$  计算:

$$\sigma_{con} = 0.70 f_{ptk} = 0.7 \times 1\,420 =$$

$$994 \text{ N/mm}^2 \quad (31)$$

预应力钢筋应力松弛引起的预应力损失  $\sigma_{l4}$  计算:

$$\sigma_{l4} = 0.125 \left( \frac{\sigma_{con}}{f_{ptk}} - 0.5 \right) \sigma_{con} =$$

$$0.125 \times (0.7 - 0.5) \times 994 =$$

$$24.85 \text{ N/mm}^2 \quad (32)$$

混凝土收缩、徐变的预应力损失  $\sigma_{l5}$  计算:

$$A_0 = \frac{E_p}{E_c} (A_p + A'_p) + A =$$

$$\frac{200\,000}{36\,000} \times (1\,000 + 1\,000) + 250\,930 =$$

$$262\,041.11 \text{ mm}^2 \quad (33)$$

$$\rho = \frac{A_p + A'_p}{A_0} = \frac{2\,000}{262\,041.11} = 0.007\,63 \quad (34)$$

$$N_p = (\sigma_{con} - \sigma_{l4}) A_p + (\sigma'_{con} - \sigma'_{l4}) A'_p =$$

$$(994 - 24.85) \times 1\,000 + (994 - 24.85) \times 1\,000 =$$

$$1\,938\,300 \text{ N} \quad (35)$$

$$e_{p0} = \frac{(\sigma_{con} - \sigma_{l4}) A_p y_p - (\sigma'_{con} - \sigma'_{l4}) A'_p y'_p}{N_p} =$$

$$\frac{969.15 \times 1\,000 \times 157.11 - 969.15 \times 1\,000 \times 322.89}{1\,938\,300}$$

$$= -82.90 \text{ mm} \quad (36)$$

$$\sigma_{pc} = \frac{N_p}{A_0} \pm \frac{N_p e_{p0}}{I} y_0 =$$

$$\left( \frac{1\,938\,300}{262\,041.11} + \frac{1\,938\,300 \times 82.90 \times 382.89}{9\,958\,113\,457} \right) =$$

$$13.58 \text{ N/mm}^2 \quad (37)$$

$$\sigma_{l5} = \frac{60 + 340 \frac{\sigma_{pc}}{f'_{cu}}}{1 + 15\rho} =$$

$$\frac{60 + 340 \times \frac{13.58}{38.5}}{1 + 15 \times 0.007\,63} = 161.45 \text{ N/mm}^2 \quad (38)$$

第二批损失完成后,受弯构件受拉边缘处的混凝土预压应力  $\sigma_{peII}$  计算:

$$\sigma_{peII} = (\sigma_{con} - \sigma_{l5} - \sigma_{l4}) \frac{A_p}{A_0} =$$

$$(994 - 161.45 - 24.85) \times \frac{1\,000}{262\,041.11} =$$

$$3.08 \text{ N/mm}^2 \quad (39)$$

截面受拉边缘的弹性抵抗矩:

$$W_0 = \frac{I_0 + I_g}{y_0} \quad (40)$$

为计算  $I_g$  先要求得截面的相对受压区高度  $x$ :

$$x = \frac{E_p A_p}{E_c b} \left( \sqrt{1 + \frac{2bh_0 E_c}{E_p A_p}} - 1 \right) =$$

$$\frac{5.56 \times 1\,000}{320} \times \left( \sqrt{1 + \frac{2 \times 320 \times 540}{5.56 \times 1\,000}} - 1 \right) =$$

$$120.71 \text{ mm} \quad (41)$$

预应力钢筋换算截面惯性矩  $I_g$  计算:

$$I_g = A_p (h_0 - x)^2 \frac{E_p}{E_c} =$$

$$2\,000 \times (540 - 120.71)^2 \times \frac{20}{3.6} =$$

$$1\,953\,378\,934 \text{ mm}^4 \quad (42)$$

$$W_0 = \frac{I_0 + I_g}{y_c} =$$

$$\frac{8\,799\,691\,767 + 1\,953\,378\,934}{382.89} =$$

$$28\,083\,968.51 \text{ mm}^3 \quad (43)$$

抗裂弯矩计算:



$$\gamma = \left( 0.7 + \frac{120}{h_0} \right) \gamma_m =$$

$$\left( 0.7 + \frac{120}{600} \right) \times 1.4 = 1.26 \quad (44)$$

$$M_{cr2} = (\sigma_{peII} + \gamma f_{tk}) W_0 =$$

$$(3.08 + 1.26 \times 2.85) \times 28\,083\,968.51 =$$

$$187.35 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (45)$$

## 2.4 两种算法结果对比分析

从两种算法的最后结论可发现,在同一工程算例、相同计算截面和工况参数的条件下,用方法一比用方法二计算出的抗裂弯矩结果大了大约 30%。导致差异产生的原因是两种不同算法计算出来的  $\sigma_{peII}$  值相差较大,方法一计算得到的  $\sigma_{peII} = 6.60 \text{ N/mm}^2$ ,而方法二计算得到的  $\sigma_{peII} = 3.08 \text{ N/mm}^2$ ,产生差异的原因为:

1) 方法一在计算抗裂弯矩时把全部的 12 根预应力钢筋绞线都当作受拉区受拉钢筋,不考虑预应力钢筋在受压区对构件的影响来计算分析抗裂弯矩,计算时采用全部 16 根预应力钢筋截面积  $2\,000 \text{ mm}^2$ 。而方法二分别考虑受拉受压区预应力钢筋的作用,计算抗裂弯矩时只取在受拉区的 8 根预应力钢筋截面积为  $1\,000 \text{ mm}^2$  来计算抗裂弯矩,配筋截面积为方法二的二分之一,故  $\sigma_{peII}$  较方法一小得多,这是产生差异主要原因。

2) 方法一在计算过程中使用的截面面积未加入预应力钢筋的换算面积,而方法二加入了预应力钢筋的换算截面积,导致  $\sigma_{peII}$  计算结果偏小。

3) 方法一在计算徐变产生的预应力损失  $\sigma_{i5}$  时,采用的计算方法为 1990 年欧洲混凝土委员会——国际预应力协会标准规范 (CEB-FIP),计算出的  $\sigma_{i5}$  较小,使得最后的  $\sigma_{peII}$  偏大。

4) 方法一在计算钢筋换算截面惯性矩时,采用的是截面实际受拉区高度,而方法二采用的是钢筋换算截面受拉区高度,计算出的截面总惯性矩偏小,因此得到的抗裂弯矩值也偏小。

## 2.5 两种算法结果与实验结果对比分析

在采用同一个算例情况下,即预应力板桩截面总高度  $h = 600 \text{ mm}$ ,截面翼缘宽度  $l = 996 \text{ mm}$ ,截面面积  $A = 250\,930 \text{ mm}^2$ ,预应力钢筋为 16 根直径  $12.6 \text{ mm}$  预应力钢筋绞线,方法一计算得到的抗裂弯矩值为  $265.08 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ,方法二计算得到的抗裂弯矩值为  $187.35 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ,而实验结果值为  $454.09$

$\text{kN} \cdot \text{m}$ 。由此可见,实际的抗裂弯矩比两种计算方法所得抗裂弯矩都大,导致差异产生的原因如下:

1) 采用的钢筋和混凝土参数均为设计值,而实际测量的为板桩的极限抗裂弯矩,故计算结果较实际结果相对保守。

2) 采用单元截面进行计算,而实际测量板桩为一个  $15 \text{ m}$  长的整体,实际情况与计算时的假设不同,这必然会产生差异。

3) 生产时,在板桩的中心处还加入了 4 根腰筋,用作抗扭构造配筋。计算时并没有考虑腰筋对抗裂弯矩的影响,而实际上腰筋会对板桩的抗裂弯矩产生影响。

## 3 结论

1) 两种方法在计算上各有特点,方法二计算过程更为严谨,而方法一更适用于一般工况,两者在计算抗裂弯矩时,方法一采用全部的预应力钢筋计算,而方法二采用受拉区预应力钢筋计算。采用全部预应力钢筋计算忽略了预应力钢筋在受拉区和受压区的区别,在一些特定条件下方法一中的假设不符合实际情况,计算出的抗裂弯矩误差较大,但这种计算方法能够满足一般的工程要求,工程实际中,所有预应力钢筋对混凝土构件施加压力,使得混凝土不承受拉力。因此一般工程中方法一更具有使用价值。

2) 方法一所使用的规范较为老旧,在计算过程中有许多细节考虑不周,导致结果存在误差。但方法一已经在企业生产和施工中使用了较长时间,说明这套计算方法虽然存在一些误差,但总体而言误差不影响实际工程的应用。方法二过程详细周全,公式严格按照材料力学公式推导而得,但计算结果偏于保守,不能完全体现构件的使用价值。在实际工程应用中,还需要进一步改进,使算法和公式更满足实际工况需求,计算结果更合理有效。在环境等级高、工程质量要求苛刻的情况下,更为严谨、周密的方法二比较适用,其抗裂弯矩计算结果更为保守,能够保证工程质量和安全。

3) 生产和施工过程中,可根据工程特点和需求选用合适的分析方法计算抗裂弯矩。两种方法的计算结果都比实验结果小,使用这两种计算方法都相对安全,能满足工程需求。在一般的工程设计中,可以使用方法一进行计算,有利于企业节

省建筑材料和节约成本资金;工程情况较复杂或

设计计算,确保工程满足更严格的质量、环境

工程质量要求较高时,建议采用方法二进行详细

要求。

参考文献:

[1] 蒋家畚.高强混凝土板桩——日本最近开发生产的一种新型桩材[J].混凝土与水泥制品,1995(2):38-39.

[2] 匡红杰,朱群芳,徐祥源.先张法预应力混凝土异形桩的发展概况调研[J].混凝土与水泥制品,2012(12):27-30.

[3] 郭立廷.钢筋混凝土板桩合理形式和构造的探讨[J].水运工程,1985(6):1-7,28.

[4] 黄远超,杨忠军,田茂荃.预应力混凝土板桩施工技术[J].施工技术,2011,40(s1):404-406.

[5] 王新泉,陈永辉,章宇强,等.板桩加固护岸受力机制的现场试验研究[J].岩土力学,2011,32(6):1749-1756.

[6] 李荣庆,贡金鑫,杨丽民.板桩结构可靠度分析[J].水利学报,2007,38(10):1265-1271.

[7] 中华人民共和国住房和城乡建设部.混凝土结构设计规范:GB50010-2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.

[8] 陈道志,陈东升.先张法施工中的预应力损失及控制[J].公路与汽运,2004(2):77-78.

[9] 苏杭.预应力混凝土箱梁桥腹板受力分析及预应力损失研究[D].武汉:武汉理工大学,2007.

[10] 陆春阳.混凝土受弯构件正截面抗裂弯矩计算[J].广西大学学报(自然科学版),2005,30(3):181-183,214.

[11] 汤关祚,王清,禹琦.先张法预应力混凝土管桩抗裂弯矩和极限弯矩计算式的探讨[J].工业建筑,2004,34(1):57-59.

[12] 叶洋,张权斌.型钢混凝土受弯构件开裂弯矩的计算初探[J].水利与建筑工程学报,2009,7(2):130-132.

[13] 龙炳煌,顾文龙.高强混凝土梁的开裂弯矩计算[J].交通科技,2006(2):4-6.

[14] 王俊.折线先张法预应力混凝土梁徐变性能研究[D].郑州:郑州大学土木工程学院,2011.

[15] 张利梅.高效预应力混凝土梁受力性能及延性研究[D].大连:大连理工大学研究生院,2004.

(责任编辑:陈雯)