

⑫ 用两种极限状态控制受弯构件纵筋的直接计算方法

50-51, 63

张贵寿

(绍兴文理学院 浙江绍兴 312000)

TV 332.

摘要 根据新的水工混凝土结构设计规范,从两种极限状态控制原理出发,通过分析,推导出受弯构件按正截面承载力、允许裂缝宽度和允许挠度求纵向受拉钢筋截面面积的计算公式,可使计算和验算简便直观,从而迅速求得钢筋截面面积。

关键词 钢筋;承载力;极限状态;受弯构件;裂缝;挠度;纵向受拉钢筋 混凝土结构

结构设计的一般程序是先按承载力极限状态设计结构构件,然后再按正常使用极限状态进行验算。对于钢筋混凝土受弯构件的纵向受拉钢筋,在一般设计中,也是先按正截面承载力计算出纵向受拉钢筋面积,然后配置钢筋。再按所配置纵筋和其他条件验算裂缝宽度和挠度。但由于裂缝宽度和挠度验算公式复杂,且公式与允许裂缝宽度和允许挠度又没有直接的联系,常常需试算数次才能最后确定纵向受拉钢筋。为了避免验算中的烦琐运算,且使纵向受拉钢筋面积直接由允许裂缝宽度和允许挠度所控制,笔者按新的规范 SL/T191—96《水工混凝土结构设计规范》(以下简称规范),从两种极限状态控制原理出发,推导出受弯构件纵向受拉钢筋面积的计算公式,以从直接对比中求出满足两种极限状态要求的纵筋面积。这样,可使计算和验算简便而直观,从而迅速求得钢筋截面面积。

1 按承载力极限状态求受弯构件纵向受拉钢筋截面面积

1.1 计算公式

a. 单筋矩形截面计算公式为

$$A_{S(a)} = f_c b x / f_y \quad (1)$$

式中: f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值; f_y 为钢筋抗拉强度设计值; b 为截面宽度; x 为受压区高度,

$x = h_0 - \sqrt{h_0^2 - \frac{2\gamma_d M}{f_c b}}$, 其中 h_0 为截面有效高度, γ_d 为结构系数,对钢筋混凝土结构 $\gamma_d = 1.2$, M 为弯矩设计值。

b. 双筋矩形截面计算公式为

$$A_{S(a)} = (f_c b x + f_y' A_{S'}) / f_y \quad (2)$$

$$\text{其中, } x = h_0 - \sqrt{h_0^2 - \frac{2[\gamma_d M - f_y' A_{S'}(h_0 - a_{S'})]}{f_c b}}$$

c. 第一种情况 T 形截面计算公式为

$$A_{S(a)} = f_c b_f' x / f_y \quad (3)$$

$$\text{其中, } x = h_0 - \sqrt{h_0^2 - \frac{2\gamma_d M}{f_c b_f'}}$$

d. 第二种情况 T 形截面计算公式为

$$A_{S(a)} = \frac{f_c (b_f' - b) h_f' + f_c b x}{f_y} \quad (4)$$

其中,

$$x = h_0 - \sqrt{h_0^2 - \frac{2[\gamma_d M - f_c (b_f' - b) h_f' (h_0 - 0.5 h_f')]}{f_c b}}$$

以上各式中符号意义详见规范。

1.2 公式推导

对于单筋矩形截面有基本公式

$$M = [f_c b x (h_0 - 0.5 x)] / \gamma_d \quad (5)$$

$$f_c b x = f_y A_S \quad (6)$$

由式(5)可求得 $x = h_0 - \sqrt{h_0^2 - \frac{2\gamma_d M}{f_c b}}$; 由式(6)可求得 $A_{S(a)} = f_c b x / f_y$, 即式(1)。

对于双筋矩形截面和 T 形截面也可作类似推导, 此处从略。

2 按正常使用极限状态求受弯构件纵向受拉钢筋面积

2.1 按允许裂缝宽度控制条件求纵筋面积

2.1.1 计算公式

按允许裂缝宽度控制条件求纵筋面积的计算公式为

作者简介:张贵寿,男,讲师,从事建筑结构教学与研究工作。

$$A_{S(b)} = \frac{3.45c + \sqrt{(3.45c)^2 + 0.48\Delta dA_{te}}}{2\Delta} \quad (7)$$

式中: $\Delta = \frac{h_0 E_s [w_{\max}]}{\alpha_2 \alpha_3 M}$, α_2 为钢筋表面形状系数(变形钢筋 $\alpha_2 = 1.0$, 光面钢筋 $\alpha_2 = 1.4$); α_3 为荷载长期作用影响系数(对荷载效应的短期组合 $\alpha_3 = 1.5$, 对荷载效应的长期组合 $\alpha_3 = 1.6$); M 为由荷载标准值计算的弯矩值(对荷载效应的短期组合 M 用 M_s , 对荷载效应的长期组合 M 用 M_l); $[w_{\max}]$ 为最大裂缝宽度允许值, 见规范表 4.3.2.

其余符号意义可见规范.

2.1.2 公式推导

对于最大裂缝宽度的计算, 规范有公式(7.2.2)

$$w_{\max} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \frac{\sigma_s}{E_s} (3c + 0.1 \frac{d}{\rho_{te}}) \quad (8)$$

对于受弯构件 $\alpha_1 = 1.0$, $\sigma_s = \frac{M}{0.87 h_0 A_s}$, $\rho_{te} = \frac{A_s}{A_{te}}$. 若取 $w_{\max} = [w_{\max}]$, 将以上各式代入式(8)可得

$$\frac{h_0 E_s [w_{\max}]}{\alpha_2 \alpha_3 M} A_s^2 - 3.45 c A_s - 0.12 d A_{te} = 0 \quad (9)$$

令 $\frac{h_0 E_s [w_{\max}]}{\alpha_2 \alpha_3 M} = \Delta$ 就可解得求 A_s 的公式(式(7)).

2.2 按允许挠度控制条件求纵筋面积

2.2.1 计算公式

按允许挠度控制条件求纵筋面积的公式为

$$A_{S(c)} = \frac{S M l_0^2}{0.28 \alpha_E \beta \gamma E_c h_0^2 [f]} - \frac{b h_0}{11.2 \alpha_E} \quad (10)$$

式中: S 为与荷载形式和支座条件有关的系数, 均布荷载时 $S = 5/48$, $M = q l_0^2/8$, 跨中作用集中荷载时 $S = 1/12$, $M = p l_0/4$; M 为由荷载标准值计算的弯矩值, 对荷载效应的短期组合 M 用 M_s , 对荷载效应的长期组合 M 用 M_l ; β 为系数, 短期组合时, $\beta = \frac{M_s}{M_l(\theta - 1) + M_s}$ (规范式 7.3.2-1), 长期组合时 $\beta = 1/\theta$ (规范式 7.3.2-2); γ 为翼缘加强系数, $\gamma = 1 + 0.55 \gamma_f' + 0.12 \gamma_f$; $[f]$ 为受弯构件的允许挠度, 见规范表 4.3.4; 其余符号见规范, 此处不赘.

2.2.2 公式推导

取 $f = [f]$, 按材料力学有 $f = S M l_0^2 / B$, 其中刚度 $B = \beta B_s$, 由规范式 7.3.3-2 有

$$B_s = (0.025 + 0.28 \alpha_E \rho) (1 + 0.55 \gamma_f' + 0.12 \gamma_f) E_c b h_0^3 \quad (11)$$

令翼缘加强系数 $\gamma = 1 + 0.55 \gamma_f' + 0.12 \gamma_f$, 而 $\rho = \frac{A_s}{b h_0}$, 式(11)变为

$$B_s = (0.025 + 0.28 \alpha_E \frac{A_s}{b h_0}) \gamma E_c b h_0^3 \quad (12)$$

因此有

$$\frac{S M l_0^2}{\beta (0.025 + 0.28 \alpha_E \frac{A_s}{b h_0}) \gamma E_c b h_0^3} = [f] \quad (13)$$

由此可解得求 A_s 的公式(式(10)).

3 公式应用

按照混凝土结构理论, 若所配钢筋不能满足裂缝宽度要求, 可适当减小钢筋直径, 采用变形钢筋, 必要时可适当增加配筋量. 若所配钢筋不能满足变形要求, 可适当增加截面高度, 增加配筋量, 提高混凝土强度等级, 选用合理的截面形式, 增加构件刚度以减少挠度, 其中尤以增加截面高度效果显著 (B_s 与 h 的三次方成正比).

对照上述原理, 结合分别按承载能力、允许裂缝宽度和允许挠度等控制条件, 应用式(1), (7), (10) 可求得纵向受拉钢筋面积 $A_{S(a)}$, $A_{S(b)}$, $A_{S(c)}$, 则满足两种极限状态要求的纵筋面积 A_s 可按下列原则确定: ①若 $A_{S(a)} > A_{S(b)}$, $A_{S(a)} > A_{S(c)}$, 则取 $A_s = A_{S(a)}$; ②若 $A_{S(b)} > A_{S(a)}$, $A_{S(b)} > A_{S(c)}$, 则取 $A_s = A_{S(b)}$; ③若 $A_{S(c)} > A_{S(a)}$, $A_{S(c)} > A_{S(b)}$, 如果 $A_{S(c)}$ 与 $A_{S(a)}$ 相差不大, 则 $A_s = A_{S(c)}$; 如果相差较大, 则适当增加梁高 h , 按式(1), (7), (10)重算, 至满足①, ②两种要求为止.

4 例题

一矩形截面简支梁(结构安全级别为Ⅱ级)处于露天环境, $b \times h = 250 \text{ mm} \times 650 \text{ mm}$, 计算跨度 $l_0 = 7.2 \text{ m}$; 混凝土用 C20 级, 纵向受拉钢筋采用Ⅱ级钢筋; 使用期间承受均布荷载, 永久荷载标准值 $g_k = 13 \text{ kN/m}$ (包括自重); 可变荷载标准值 $q_k = 7.2 \text{ kN/m}$; 可变荷载标准值的长期组合系数 $\rho = 0.5$. 试按本文方法确定纵向受拉钢筋面积(同时满足两种极限状态要求).

解: 已知数据如下: $b = 250 \text{ mm}$, $h = 650 \text{ mm}$, $h_0 = 605 \text{ mm}$, $l_0 = 7.2 \text{ m}$, C20 混凝土 $E_c = 2.55 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$, $f_c = 10 \text{ N/mm}^2$, Ⅱ级钢筋 $E_s = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$, $f_s = 310 \text{ N/mm}^2$, $\alpha_E = E_s/E_c = 7.84$, $g_k = 13 \text{ kN/m}$, $q_k = 7.2 \text{ kN/m}$, $\gamma_G = 1.05$, $\gamma_Q = 1.2$, $\rho = 0.5$, $\gamma_d = 1.2$, 环境条件为二类, 短期组合时 $[w_{\max}] = 0.30 \text{ mm}$, 长期组合时 $[w_{\max}] = 0.25 \text{ mm}$, 允许挠度 $[f_s] = l_0/250 = 28.8 \text{ mm}$, $[f_l] = l_0/300 = 24 \text{ mm}$.

a. 求 $A_{S(a)}$:

$$M = \gamma_0 \psi [(\gamma_G g_k + \gamma_Q q_k) l_0^2 / 8] = 144.44 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(下转第 63 页)

般预留一级叶轮扬程)。改造时,将 JD36 型改为 JD56 型。因两种泵型适宜同一井径,且转速、传动轴直径、泵体外径、材质均相同,易于改造。水泵局部变型后,因流量增加、动、静水位差大,扬程提高,水泵轴功率增加、与原电动机匹配合理,避免了改后的“大马拉小车”现象,因此装置效率得到了相应提高。一般改后综合效率可提高 18% 以上。另外,安装在弯斜井上的高速 JD 型深井泵,装置综合效率大都在 25% 左右,且经常损坏,一次维修费 400~500 元,农民反映,“打得起井,用不起泵”。一般条件允许的井径可将 6JD36 型和 6JD56 型高速深井泵改为 10JQ50 型、6609/5 型、QFB 和 NQ 型潜水泵机组(只利用深井泵扬水管),效率可提高 45% 左右。改型中还应注意引进低能高效机组,逐步淘汰低劣产品。

4 合理调节轴向间隙

安装深井泵后,必须根据泵的下井深度,合理调节叶壳与叶轮之间的轴向间隙,以满足水泵性能要求。JD 型水泵大都采用提升螺母来调节轴向间隙,调节后,用定位螺钉将背母固定后投入运行。这一使用深井泵的基本方法普遍被群众忽视,安装时草率进行,致使运行效率下降。据测试分析:由于轴向间隙调整不当而影响综合效率可达 5% 以上。深井泵长轴由于温度轴向拉力等使用条件的变化而影响其长度的变化,水泵轴长在不同使用环境中不是一个绝对数值,所以必须适当控制一个既能保证叶壳与叶轮不被碰撞磨擦,又能使水泵回流较小、效率最高的最佳轴向间隙。一般 6JD36 和 6JD56 型额定要求为 6~10 mm,泵轴伸长 130 mm。测试发现,多数泵的轴向间隙都没有调整到最佳位置,没有达到高效运

行工况。如 8JD80×12 型深井泵改后轴向间隙调整测试表明:拆除 4 级叶轮保留中段,随着轴向间隙调整的减小,流量由 45.34 m³/h 增至 85.26 m³/h,装置扬程基本不变,能耗由 10.022 kW·h/(kt·m)降至 6.51 kW·h/(kt·m),装置效率由 27.16% 提高到 41.81%,工作电压由 400 V 降到 390 V,工作电流由 22 A 增至 25.5 A,电机转速基本不变。平均降低能耗 28.65%,装置综合效率提高 11.05% 以上。

5 其他改造方法

a. 改高速深井泵导流体为潜水泵机组。高速(2900 r/min)JD 型深井泵安装在弯斜井孔内,效率只有 13% 左右,若机井井孔允许,可利用原扬水管改换潜水泵机组进行水泵改型,一般综合效率可提高 5%~7% 以上。

b. 去掉中段。JD 型水泵可去掉中段,减少水力损失,一般效率可提高 1% 左右。

c. 打磨叶槽、流道。为减少水力损失,通过打磨叶槽、流道,使之光滑,减少损失,可提高效率 2% 以上。

6 结 语

对 JD 型深井泵进行综合改造后,经济效益高,一般能耗可降低 3~4 kW·h/(kt·m),装置效率可提高 14% 以上,节能效果明显,是一项值得推广的技术,特别是深井泵使用广泛的地区,更应加以推广应用。

参考文献

- 1 余春和. 水泵及水泵站. 南京:河海大学出版社,1986
- 2 王天祥. 农村常用水泵安装与维修. 北京:清华大学出版社,1997 (收稿日期:1998-03-27 编辑:熊水斌)

(上接第 51 页)

$$x = h_0 - \sqrt{h_0^2 - \frac{2\gamma_d M}{f_c b}} = 128 \text{ mm}$$

代入式(1),有 $A_{S(a)} = 1032 \text{ mm}^2$, 选用 3 $\varnothing$ 22 ($A_S = 1140 \text{ mm}^2$).

b. 求 $A_{S(b)}$: $A_{se} = 23000 \text{ mm}^2$, 短期组合时

$$M_S = \gamma_0 [(g_k + q_k) l_0^2 / 8] = 130.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\Delta = \frac{h_0 E_S [w_{\max}]}{\alpha_2 \alpha_3 M} = 0.1849$$

代入式(7),则 $A_{S(b)} = 986 \text{ mm}^2$.

长期组合时

$$M_t = \gamma_0 [(g_k + \rho q_k) l_0^2 / 8] = 107.6 \text{ kN} \cdot \text{m},$$

$\Delta = 0.1757$, 故 $A_{S(b)} = 1025 \text{ mm}^2$.

c. 求 $A_{S(c)}$: 短期组合时, $\beta_s = 0.5488$, 矩形截面 $\gamma = 1$, 代入式(10), 有 $A_{S(c)} = 460 \text{ mm}^2$.

长期组合时, $\beta_t = 0.5$, 代入式(10), 有 $A_{S(c)} = 640 \text{ mm}^2$.

比较 $A_{S(a)}$, $A_{S(b)}$, $A_{S(c)}$, 最后确定 $A_S = A_{S(a)} = 1032 \text{ mm}^2$, 选用钢筋 3 $\varnothing$ 22 ($A_S = 1140 \text{ mm}^2$).

参考文献

- 1 SL/T191—96 水工混凝土结构设计规范
- 2 刘瑞主编. 水工钢筋混凝土结构学. 第三版. 北京:中国水利水电出版社,1996
- 3 麻建锁. 钢筋混凝土受弯构件纵向受拉钢筋面积的合理取值. 工业建筑,1996(3):47

(收稿日期:1999-01-12 编辑:熊水斌)