

最优截面法在工程设计中的应用

魏洪伟

(中船第九设计研究院工程有限公司, 上海 200063)

摘要: 介绍一种构件截面尺寸的确定方法——最优截面法。通过最优截面法, 可以依据钢筋及混凝土的现行价格对截面尺寸进行计算, 计算出最优构件截面尺寸和配筋面积组合, 达到节约工程造价的目的。

关键词: 最优截面法; 截面尺寸; 工程造价

中图分类号: TU 375.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)03-0085-03

Application of optimal section method in engineering design

WEI Hong-wei

(China Shipbuilding NDRI Engineering Co., Ltd., Shanghai 200063, China)

Abstract: We recommend a method to determine the cross-section dimensions of structure members, which named the optimal section method. Through the optimal section method, based on the current price of steel and concrete, we can calculate the optimal cross-section dimensions and reinforced area to reach the goal of the project cost savings.

Key words: optimal section method; cross-section dimensions; project cost

在工程设计中, 很重要的一个环节就是根据结构受力确定构件的截面尺寸, 但是目前大多数构件截面尺寸都是设计人员根据横向比较经验来确定的。同等的弯矩作用下, 构件截面尺寸加大, 配筋量减少; 构件截面尺寸减小, 配筋量增加。那么显然存在一个问题, 即什么样的截面尺寸和配筋是最经济的呢? 构件截面尺寸的经济合理性是和当时的钢筋及混凝土价格相关联的, 本文介绍一种根据钢筋及混凝土的价格来确定最经济合理的构件截面尺寸的方法——最优截面法。

1 最优截面法计算原理

梁的截面选择一般是通过试算确定, 在选择梁的截面时, 一般的构造要求是: 矩形截面梁的高宽比 h/b 一般取2.0~3.5; T形截面梁的 h/b 一般取

2.5~4.0 (此处 b 为梁肋宽)。常用的受拉钢筋配筋率为: 矩形梁0.6%~1.5%, T型梁0.9%~1.8% (相对梁腹而言); 但任何情况下, 受拉钢筋的配筋率不宜少于0.05%^[1-2]。

以梁的正截面受弯承载力计算为例, 为了便于截面选择, 国内、国外规范多采用将压区混凝土应力图形化为等效矩形应力图块的方法。从承载力设计角度来看, 确定受压区的实际应力分布图形的意义并不大, 更为关心的问题是受压区应力图的合力大小及其作用点的位置。梁截面的应力分布见图1。

由图1可知:

$$f_c b x = f_y A_s \quad (1)$$

$$M = f_c b x Z_h = f_c b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) = \xi (1 - 0.5\xi) b h_0^2 f_c \quad (2)$$

收稿日期: 2013-07-01

作者简介: 魏洪伟 (1979—), 男, 工程师, 从事港口工程及地下工程的设计工作。

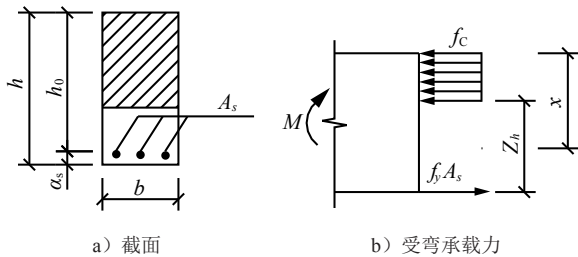
$$\text{式中: } \xi = \frac{x}{h} = \frac{f_y A_s}{f_c b h_0} = \frac{A_s f_y}{b h_0 f_c} = \mu \frac{f_y}{f_c} \quad (3)$$

取G为混凝土的单价(元/m³), v为钢筋的单价(元/m³), 并令

$$F = \left(\frac{v}{G} - 1\right) \frac{f_c}{f_y} \quad (4)$$

则梁的单位面积造价为

$$C = G h_0 (1 + \xi F) + G a_s \quad (5)$$



注: f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值(N/mm²); f_y 为纵向钢筋抗拉强度设计值(N/mm²); h 为梁截面高度(m); h_0 为梁截面有效高度(m); b 为梁截面宽度(m); a_s 为受拉区纵向钢筋合力点至截面受拉边缘的距离(m); A_s 为受拉区纵向钢筋的截面面积(mm²); x 为等效矩形应力图形的混凝土受压高度(m); Z_n 为等效矩形应力图形形心至受拉边缘的距离(m); M 为矩形梁受弯承载力设计值(kN·m)。

图1 矩形截面受弯构件正截面受弯承载力计算简图^[2-3]

根据上述公式, ξ 与配筋率有关, 而截面尺度 **b** 一定的前提下, h_0 与构件截面高度有关, 把 **ξ** 和 **h_0** 看做变量, C 为 **ξ** 和 **h_0** 两个变量的函数, 要求 **C** 的最小值, 将式(5)微分, 并取 $\frac{\partial C}{\partial h_0} = 0$, 因为

$$\xi = \frac{x}{h_0 + a_s} \quad (6)$$

所以 **ξ** 也是 **h_0** 的函数, 可以得到

$$\frac{\partial C}{\partial h_0} + \frac{\partial C}{\partial \xi} \frac{d\xi}{dh_0} = 0 \quad (7)$$

整理后可以得到

$$\frac{d\xi}{dh_0} = \frac{1 + \xi F}{h_0 F} \quad (8)$$

又因作用力矩等于抵抗力矩, 即

$$M = K_1 m_1 q b l^2 + K_2 m_2 \rho_c g (h_0 + a_g) b l^2 = \xi (1 - 0.5 \xi) b h_0^2 R_w \quad (9)$$

对式(9)微分解 $\frac{d\xi}{dh_0}$, 并代入式(5), 可得到下式:

$$\xi_{\text{最优}} = \frac{1 + \frac{K_2 m l^2 \rho_c g F}{f_c h_0}}{1 + F} \quad (10)$$

以上各公式中: m 为弯矩系数, 例如, 对简支梁均布荷载 **$m=1/8$** ; l 为梁的计算跨度(m); q 为均布荷载值(kN/m); ρ_c 为混凝土的密度(t/m³)。

求得以上公式后, 即可用迭代法进行计算, 步骤如下:

1) 按经验或按不需要验算挠度的梁高度要求, 先假定 **h_{01}** 。

2) 根据构件受荷载情况, 代入式(10), 求出 **$\xi_{\text{最优}}$** 值。

3) 根据构件的弯矩, 用上述的 **h_{01}** 和 **$\xi_{\text{最优}}$** 代入式(9)求解 **h_{02}** , 即

$$h_{02} = \left[\frac{M}{f_c \xi_{\text{最优}} (1 - 0.5 \xi_{\text{最优}}) b} \right]^{1/2} \quad (11)$$

4) 如果所得 **h_{02}** 与 **h_{01}** 相等或近似, 此即最后的 **h_{01}** ; 如相差较大, 则将此 **h_{02}** 作为新的假设值重复计算, 直至满意为止。一般计算2次即可。

5) 求得 **h_0** 后即可算出钢筋的 **ξ** , 并将 **ξ** 代入式(5)算出构件的单价。

6) 如果求得的 **h_0** 很小时, 需要验算挠度。

2 用最优截面法对某工程的复核

某舾装码头工程, 码头长度360m, 宽度18m, 设计采用高桩梁板式结构, 纵向梁系由吊车梁、中纵梁及边梁组成, 预制吊车梁截面尺寸为600 mm × 1 600 mm, 纵梁截面尺寸为450 mm × 1 200 mm, 边梁截面尺寸为450 mm × 1 200 mm, 纵向梁系上设有400 mm厚叠合面层, 故吊车梁的整体截面尺寸为600 mm × 2 000 mm, 纵梁、边梁的整体截面尺寸为450 mm × 1 600 mm, 见图2。

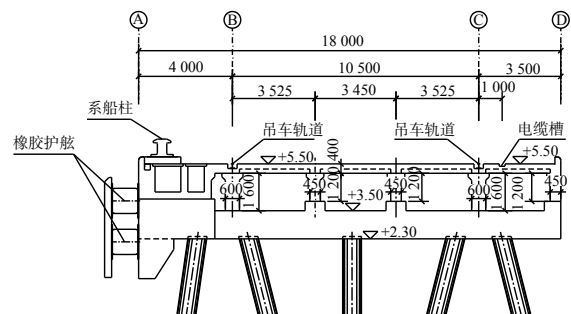


图2 某舾装码头标准断面

其中预制吊车梁、纵梁及边梁的混凝土强度等级为C40, 钢筋为Ⅱ级(工程设计时, 施行的是老规范, 故本文中引用老规范设计参数, 下同)。

接下来就采用最优截面法, 对码头设计的吊车梁及纵梁截面及配筋进行优化。

2.1 吊车梁截面及配筋优化

码头设计时, 通过计算, 可以得到吊车梁承载能力极限状态持久组合跨中正弯矩值 $M_1=3\ 839\ \text{kN}\cdot\text{m}$, 承载能力极限状态自重产生的跨中正弯矩值 $M_2=300\ \text{kN}\cdot\text{m}$, 根据常规方法配筋 $A_s=6\ 930\ \text{mm}^2$ 。

按现行的钢筋及混凝土的价格, 混凝土单价 $G=400\ \text{元}/\text{m}^3$, 钢筋的单价为 $4\ 500\ \text{元}/\text{t}$, 即 $v=4\ 500\ \text{元}/\text{t}\times 7.85\ \text{t}/\text{m}^3=35\ 325\ \text{元}/\text{m}^3$ 。

$$\text{二者的比值为 } \frac{v}{G} = \frac{35\ 325\ \text{元}/\text{m}^3}{400\ \text{元}/\text{m}^3} \approx 88$$

C40混凝土 $f_c=15\ \text{MPa}$, Ⅱ级钢筋 $f_y=310\ \text{MPa}$ 。

$$F = \left(\frac{v}{G} - 1\right) \frac{f_c}{f_y} = (88 - 1) \times \frac{15\ \text{MPa}}{310\ \text{MPa}} = 4.20$$

1) 用一般方法计算。

根据本工程中梁截面尺寸可知 $b=600\ \text{mm}$, $h_0=1\ 950\ \text{mm}$, 由于 $A_s=6\ 872\ \text{mm}^2$, 则,

$$\mu = \frac{A_s}{bh_0} = 0.59\%$$

$$\xi = 0.59\% \times \frac{310\ \text{MPa}}{15\ \text{MPa}} = 0.122$$

所以, $G_1=Gh_0(1+\xi F)+Ga_s=2.999G$ 。

2) 使用最优截面法。

$$\xi_{\text{最优}} = \frac{1 + \frac{M_2 F}{f_c h_0}}{1 + F} = 0.201$$

$$h_0 = \left[\frac{M_1}{f_c \xi_{\text{最优}} (1 - 0.5 \xi_{\text{最优}})} \right]^{1/2} = 1.54\ \text{m}, \text{取 } 1.55\ \text{m}。$$

再以 $bh_0=0.6\ \text{m}\times 1.5\ \text{m}$ 代入, 得到:

$$\xi_{\text{最优}}=0.203, h_0=1.54\ \text{m}; A_s = \frac{\xi f_c b h_0}{f_y} = 9\ 076\ \text{mm}^2;$$

$$C_2=Gh_0(1+\xi F)+Ga_s=2.903G;$$

$$\text{节约造价} = \frac{2.999G - 2.903G}{2.903G} \times 100\% = 3\%。$$

不考虑钢筋混凝土的施工费用(模板制作、混凝土浇捣、养护、拆模等过程所需的材料费及人工费), 采用原材料价格加权的方式

进行验证, 原截面尺寸及配筋情况下, 钢筋混凝土价格=混凝土价格+钢筋价格=723元/ m^3 , 而新调整的截面尺寸配筋情况下, 钢筋混凝土价格=混凝土价格+钢筋价格=704元/ m^3 , 节约造价

$$= \frac{723\ \text{元}/\text{m}^3 - 704\ \text{元}/\text{m}^3}{704\ \text{元}/\text{m}^3} \times 100\% = 3\%$$

2.2 纵梁截面及配筋优化

同理, 通过计算, 可以得到纵梁承载能力极限状态持久组合跨中正弯矩值 $M_1=1\ 106\ \text{kN}\cdot\text{m}$, 承载能力极限状态自重产生的跨中正弯矩值 $M_2=338\ \text{kN}\cdot\text{m}$, 根据常规方法配筋 $A_s=3\ 927\ \text{mm}^2$ 。

$$F = \left(\frac{v}{G} - 1\right) \frac{f_c}{f_y} = 4.20$$

1) 用一般方法计算。

根据本工程中梁截面尺寸可知 $b=450\ \text{mm}$, $h_0=1\ 550\ \text{mm}$, 由于 $A_s=3\ 927\ \text{mm}^2$, 则 $\mu=0.56\%$, $\xi=0.116$, 所以, $G_1=Gh_0(1+\xi F)+Ga_s=2.356G$ 。

2) 使用最优截面法。

$$\xi_{\text{最优}} = \frac{1 + \frac{M_2 F}{f_c h_0}}{1 + F} = 0.204;$$

$$h_0 = \left[\frac{M_1}{f_c \xi_{\text{最优}} (1 - 0.5 \xi_{\text{最优}})} \right]^{1/2} = 0.95\ \text{m};$$

再以 $b \times h_0=0.45\ \text{m}\times 0.95\ \text{m}$ 代入公式, 得到:

$$\xi_{\text{最优}}=0.211, h_0=0.93\ \text{m}; A_s = \frac{\xi f_c b h_0}{f_y} = 4\ 280\ \text{mm}^2;$$

$$G_2=Gh_0(1+\xi F)+Ga_s=1.804G; \text{节约造价} = \frac{2.356G - 1.804G}{1.804G} \times 100\% = 31\%。$$

不考虑钢筋混凝土的施工费用(模板制作、混凝土浇捣、养护、拆模等过程所需的材料费及人工费), 采用原材料价格加权的方式进行验证, 原截面尺寸及配筋情况下, 钢筋混凝土价格=混凝土价格+钢筋价格=427元/ m^3 , 而新调整的截面尺寸配筋情况下, 钢筋混凝土价格=混凝土价格+钢筋价格=328元/ m^3 , 节约造价

$$= \frac{427\ \text{元}/\text{m}^3 - 328\ \text{元}/\text{m}^3}{328\ \text{元}/\text{m}^3} \times 100\% = 30\%。$$

但考虑到纵梁的刚度, 及与横梁、吊车梁的尺度协调性, 纵梁截面调整为 $450\ \text{mm}\times 1\ 200\ \text{mm}$, 通过计算可知, 造价节约7%。

(下转第106页)