

型钢混凝土框架梁正截面承载力研究*

苏启旺 杨万里

(西南交通大学 土木工程学院 四川 成都 610031)

摘 要 基于文献 [1] 提出了型钢混凝土框架梁正截面承载力的计算原理,编写调试了计算程序,对《型钢混凝土组合结构技术规程》^[2] 中建议的简化计算公式进行了分析与评估。并对规程计算方法进行了分析研究,提出了一些对设计及修改规程有用的结论。

关键词 型钢混凝土梁;承载力;程序;规程

中图分类号: TU311.41

文献标识码: A

文章编号: 1671-532X(2004)04-0065-04

型钢混凝土组合结构与普通钢筋混凝土结构相比,具有承载能力高,抗震性能好,经济指标好。近年来在高层及超高层建筑中被广泛应用。目前,确定型钢混凝土框架梁正截面承载力主要有两种计算方法:一种是基于累加原理基础上的简化计算方法。例如冶金工业部 1997 年发布的《钢骨混凝土结构设计规程》,该方法的理论基础是塑性力学中的下限定理,其计算结果偏于保守。另一种是基于平截面假定基础上的简化计算方法,例如建设部 2001 年颁布的《型钢混凝土组合结构技术规程》^[2],该方法采用平截面假定,与我国《混凝土结构设计规范》^[4] 理论基础一致。基于平截面假定基础上,关于型钢混凝土框架梁正截面承载力计算方法的研究,已有不少^[5,6]。但都未能考虑所有的边界条件。而文献 [1] 提出了一种实用计算方法,较好的反映了型钢各种受力状态。基于文献 [1] 的计算原理,采用 visual c++ 6.0 编程,对《型钢混凝土组合结构技术规程》中型钢混凝土框架梁的简化公式进行比较和评估,并分析规程公式中的不足,提出了一些建议。

1 计算机编程原理

基于文献 [1] 所提出的计算原理,考虑型钢的翼缘的状态和纵向钢筋的受力状态的各种组合,混凝土的应力-应变关系取为抛物线加一直线,抛物线的公式为,直线可考虑为平直线,也可考虑

为斜直线,由程序参数而定,钢筋为理想的弹塑性。

1.1 型钢翼缘、纵向钢筋的应力

$$\sigma' = k'_f \times f'_s \quad \sigma = k_f \times f_s$$

型钢中性轴通过截面不同位置时型钢翼缘可能出现的受力状态为

(1) 中性轴经过截面受压边缘和型钢上翼缘之间,型钢受力状态为:

① 型钢上、下翼缘都屈服

$$k_f = 1 \quad k'_f = 1$$

② 型钢上翼缘不屈服,下翼缘屈服

$$k_f = 1 \quad k'_f < 1$$

(2) 中性轴经过型钢腹板,型钢受力状态为:

① $\bar{\zeta}_s > \bar{\gamma}_s$ 时

$$0 < K < \bar{\gamma}_s: \quad k_f = 1, \quad k'_f < 1$$

$$\bar{\gamma}_s < K < \bar{\zeta}_s: \quad k_f = 1, \quad k'_f = 1$$

$$\bar{\zeta}_s < K: \quad k_f < 1, \quad k'_f = 1$$

② $\bar{\zeta}_s < \bar{\gamma}_s$ 时

$$0 < K < \bar{\zeta}_s: \quad k_f = 1, \quad k'_f < 1$$

$$\bar{\zeta}_s < K < \bar{\gamma}_s: \quad k_f < 1, \quad k'_f < 1$$

$$K > \bar{\gamma}_s: \quad k_f < 1, \quad k'_f = 1$$

(3) 中和轴经过型钢下翼缘和截面受拉边缘之间

* 收稿日期: 2004-10-11

作者简介: 苏启旺(1979-),男,湖南浏阳人,西南交通大学硕士研究生,主要研究方向:结构工程。

④型钢上、下翼缘都屈服

$$k_f = 1, \quad k'_f = 1$$

⑤型钢上翼缘不屈服,下翼缘屈服

$$k_f < 1, \quad k'_f = 1$$

1.2 纵向钢筋的应力

$$\sigma' = k'_\gamma \times f'_\gamma \quad \sigma = k_\gamma \times f_\gamma$$

式中: K 为截面相对受压高度; k_f 、 k'_f 为型钢翼缘屈服系数, 小于 1 时未屈服, 大于等于 1 时屈服; k'_γ 、 k_γ 为纵向钢筋屈服系数, 小于 1 时未屈服, 大于等于 1 时屈服; f'_s 、 f_s 为型钢抗压、拉强度; $\bar{\gamma}_s$ 、 $\bar{\xi}_s$ 为受压、拉翼缘屈服时的截面相对受压区高度。

程序参数输入分为 4 个模块: 构件参数输入模块(截面的宽度 b 、截面的高度 h)、混凝土参数输入模块(混凝土极限压应变 ε_0 、混凝土轴心抗压强度设计值 f_c)、纵向钢筋参数输入模块(受压、

拉纵向钢筋的面积 A'_s 、 A_s , 纵向受压、拉钢筋重心距混凝土截面近边的距离 a'_s 、 a_s 等)、型钢参数输入模块(型钢弹性模量 E_s 、型钢上、下翼缘的宽度高度、型钢腹板的厚度以及型钢在截面位置的控制参数等)。

为使程序编制较为简单, 程序中认为在承载力极限状态下, 受拉区的纵向钢筋将达到屈服强度, 即认为 $k_\gamma = 1$ (已在实验中得到证实)^[7]。

2 《型钢混凝土组合结构技术规程》简化计算公式的分析

2.1 框架梁正截面承载力评估

型钢截面为充满型实腹型钢的型钢混凝土框架梁, 其正截面受弯承载力应按下列公式计算(图 1)。

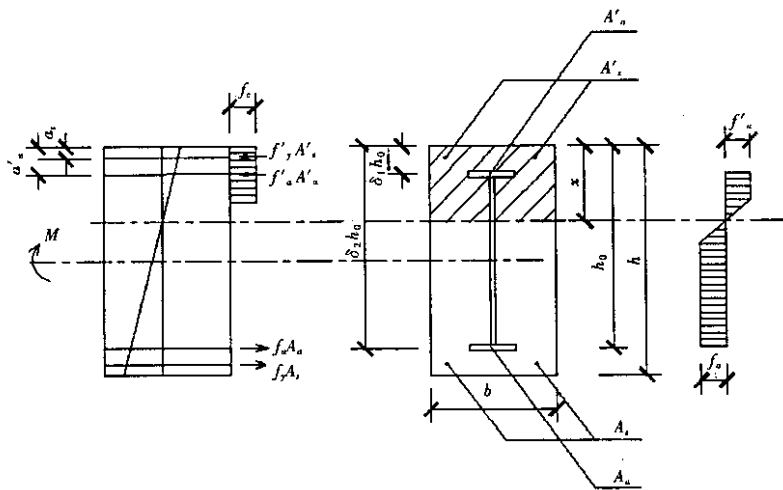


图 1 框架梁正截面受弯承载力计算简图

Fig.1 The calculation figure for the pane section flexural strength of the frame beam

非抗震设计

$$M \leq f_c b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f'_y A'_s (h_0 - a'_s) +$$

$$f'_a A'_{af} (h_0 - a'_a) + M_{aw}$$

$$f_c b x + f'_y A'_s + f'_a A'_{af} - f_y A_s - f_a A_{af} + N_{aw} = 0$$

当 $\delta_1 h_0 < 1.25x$, $\delta_2 h_0 < 1.25x$ 时

$$N_{aw} = [2.5\xi - (\delta_1 + \delta_2)] t_w h_0 f_a$$

$$M_{aw} = \left[\frac{1}{2} (\delta_1^2 + \delta_2^2) - (\delta_1 + \delta_2) + \right.$$

$$\left. 2.5\xi - (1.25\xi)^2 \right] t_w h_0^2 f_a$$

万方数据

$$\xi_b = \frac{0.8}{1 + \frac{f_y + f_a}{2 \times 0.003 E_s}}$$

混凝土受压区高度 x 应符合下列公式要求:

$$x \leq \xi_b h_0 \quad x \geq a'_a + t_f$$

式中: x 混凝土受压区高度; N_{aw} : 型钢腹板承受的轴向合力; M_{aw} : 型钢腹板承受的轴向合力对型钢受拉翼缘和纵向受拉钢筋合力点的力矩; a'_a : 型钢受压翼缘截面重心至混凝土截面近边的距离; t_f : 型钢翼缘厚度; 其它参数的含义见规程^[2]。

以上给出的简化计算公式只适用于配置充满

型实腹型钢框架梁的正截面承载力分析,即型钢中性轴过型钢腹板。计算机编制的程序则适用于各种型钢配置的截面承载力设计和分析。鉴于计算机方法理论上的精确性,经过大量的数据调试,考察规程[2]中简化计算公式在各种边界条件下的有效性,调试了中和轴过型钢腹板内 $\bar{\zeta}_s > \bar{\gamma}_s, \bar{\zeta}_s$

$< \bar{\gamma}_s$ 时,翼缘的6种受力状态且满足规程[2]公式条件下的承载力,并与规程中简化计算而得的结果作了比较(表1)。由于数据较多,仅列出部分数据的比较结果。

表 1 翼缘各种受力状态下承载力比较

Table1 the bearing capacity comparisons of the steel wings in the different states by force					
中和轴过型钢腹板时	翼缘受力状态	是否满足规程简化公式的条件	M1 /KN·m	M2 /KN·m	误差(M2 - M1)/M1 /%
$\bar{\zeta}_s > \bar{\gamma}_s$	$k_f = 1, k'_f < 1$	是	702.7	704.9	0.31
	$k_f = 1, k'_f = 1$	是	1 498.2	1 497.6	- 0.04
	$k_f < 1, k'_f = 1$	是	1 620.6	1 768.8	9.14
$\bar{\zeta}_s < \bar{\gamma}_s$	$k_f = 1, k'_f < 1$	是	1 717.2	1 763.1	2.67
	$k_f < 1, k'_f < 1$	是	1 715.9	1 762.2	2.70
	$k_f < 1, k'_f = 1$	是	1 741.8	1 754.8	0.75

为进一步分析简化公式的有效性,调试了 $\bar{\zeta}_s > \bar{\gamma}_s, \bar{\zeta}_s < \bar{\gamma}_s$ 时各种情况下,型钢上、下翼缘 k'_f, k_f 屈服程度不同时的承载力的比较。以下仅列出 $\bar{\zeta}_s$

$> \bar{\gamma}_s$ 时型钢上、下翼缘 k'_f, k_f 不同屈服程度时的承载力与规程简化公式计算而得的比较结果(表2)。

表 2 翼缘、不同屈服程度时承载力的比较

Table2 the bearing capacity comparisons of the steel wings in the different yielded coefficients(k'_f, k_f)					
上翼缘屈服 系数 k'_f	下翼缘屈服 系数 k_f	是否满足规程简化公式的条件	M1 /KN·m	M2 /KN·m	[(M2 - M1)]/M1 /%
0.91	7.97	是	700.4	702.5	0.30
1.04	8.50	是	763.4	765.0	0.21
1.20	8.66	是	827.2	829.2	0.24
1.47	8.93	是	966.7	969.8	0.32
1.67	9.13	是	1 122.1	1 126.7	0.41
1.84	9.30	是	1 293.6	1 299.9	0.49
1.95	9.4	是	1 442.4	1 450.1	0.53

注(1)以上表格中同一行中的数据具有相同配筋、型钢尺寸等(由于篇幅有限,具体数据不再列出),因而具有可比性,不同行的数据不具有可比性。

(2)M1、M2 分别由计算机编程计算和规程^[2]简化公式计算所得的正截面受弯承载力。

(3)规程简化公式的条件是指受压区高度是否满足 $x \leq \zeta_b h_0, x \geq a'_a + t_f$ 以及 $\delta_1 h_0 < 1.25x, \delta_2 h_0 > 1.25x$ 条件。

(4)在计算受弯承载力时,当 $k_f, k'_f, k'_\gamma, k_\gamma$ 大于 1 时,应取其等于 1 来计算。

从上述的表中可以看出,两种方法计算得到的截面承载力均呈现相同的变化趋势,简化计算得到的截面承载力值(个别情况除外)大于计算方法得到的承载力,两者之差很接近,个别情况达 10%。大量数据表明,通过文献[2]计算的中和轴距受压区截面距离 $1.25x$,小于按计算机方法得出的受压区高度 K 。另外,规程简化公式中的修

正的 N_{aw} ,以及通过积分得到的修正 M_{aw} 在中和轴通过型钢腹板时,该表达式具有较好的精度。

2.2 现行规程^[2]关于框架梁正截面承载力简化计算公式的不足

(1)规程中混凝土受压区高度尚应符合的下列要求中的 $x \geq a'_a + t_f$ 这个控制条件主要是要控制中和轴在型钢腹板内通内,由于型钢使用的

钢材材质均匀,其翼缘的重心 a'_a 位于翼缘的中心。故该表达式表达概念不清晰,不利于工程设计人员理解,建议改为 $x \geq a'_a + \frac{t_f}{2}$ 。这样便于工程设计人员理解,也强调了规程^[2]型钢混凝土框架梁中的型钢,宜采用充满型实腹型钢,充满型实腹型钢的一侧翼缘宜位于受压区,另一侧翼缘位于受拉区这个概念。通过大量数据分析证实建议可行,不会使结果出现异常。

(2)规程未考虑加预应力筋的计算表达式,与《混凝土结构设计规范》GB50010-2002 中关于钢筋混凝土正截面承载力计算相比较欠完整。由于涉及到加预应力筋,截面受力变得更为复杂,需要有待更进一步的研究。

(3)规程中推荐配置充满型实腹型钢,也给出了相应的简化计算式,但未说明配置非充满型时应参考的计算方法。

参考文献:

- [1] 赵世春. 型钢混凝土组合结构计算原理[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2004.
- [2] JGJ138-2001. 型钢混凝土组合结构技术规程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [3] YB9082-97. 钢骨混凝土结构设计规程[S].
- [4] GB50010-2002. 混凝土结构设计规范[S].
- [5] 周起敬. 钢与混凝土组合结构设计施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1991.
- [6] 赵鸿铁. 钢与混凝土组合结构[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [7] 白国良, 赵鸿铁. 实腹式型钢混凝土(SRC)梁正截面承载力计算[J]. 钢结构, 1999(4): 22-25.
- [8] 刘路放. Visual C++ 与面向对象程序设计教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.

3 结论

本文基于文献[1]的计算原理,编制程序对《型钢混凝土组合技术规程》中建议的框架梁正截面承载力的简化计算方法进行分析和评估,通过比较获得以下结论:

(1)除个别情况外,规程中建议的简化计算方法得到的结果与计算方法的结果呈现相同的变化趋势,两者结果比较接近,且前者普遍略大,该误差在工程允许范围内,可以用于工程设计。

(2)分析了规程中的不足,提出了一些改进和建议,可供修改规程时参考。

(3)由于规程只给出了中性轴通过腹板内的简化计算式,对于中性轴不通过腹板内的其它情况,可参考有关计算表达式计算,也可采用本文编制的程序来计算。

Research on Normal Sectional Bearing Capacity of Steel Reinforced Concrete Composite Beams

SU Qi-wang, YANG Wan-li

(Civil Engineering School, Southwest University of Communications, Sichuan chengdu 610031)

Abstract: Based on the theory in the reference book[1] on the ultimate bearing capacities of steel reinforced concrete composite beams, the authors evaluate and caculte precisely with the concise formulasin the "Technical Specification for Steel Reinforced Concrete Composite Structures". The analyze the concise formulae and come up aith some constructive conclusions conducive to the design and modificutien of specifications.

Keywords: Steel reinforced concrete composite beam; bearing capacity; program; specification