

剪力墙自动组合截面配筋方法

陈岱林, 高航, 刘建永/北京盈建科软件有限责任公司, 北京 100191

[摘要]对于剪力墙配筋, 目前的结构设计软件常采用单墙肢计算方法, 该方法没有考虑端部翼缘墙及端柱的贡献, 会导致某些情况下配筋不够, 造成不安全的结果; 而有时配筋又较大, 不经济。依据规范相关规定, 提出了组合截面配筋方法, 该方法在进行正截面配筋计算时, 自动考虑端部翼缘墙和端柱, 按照组合截面进行配筋计算, 对工程实践具有一定的指导意义。

1 剪力墙配筋设计存在的问题

剪力墙在高层建筑中应用广泛, 一般有矩形、T形、L形以及两端带翼缘的复杂截面等。结构计算软件一般对剪力墙采用细分的壳单元模拟计算, 墙肢与墙肢之间、墙与其他杆件之间变形协调, 其内力、位移、地震计算等都可得到理想的计算结果。但是在剪力墙的截面配筋设计环节, 传统通用软件常不能按照T形、L形以及两端带翼缘的复杂截面配筋, 因为软件虽然可方便地计算各单个墙肢的内力, 但是要得到组合截面的组合内力却很困难。传统通用软件只能把组合截面分解为单个墙肢, 并对单个墙肢按照矩形截面分别配筋, 对墙肢相交处的边缘构件采用叠加各墙肢分别配筋的结果进行配筋。这种配筋方式称为分段式配筋方式。

分段式配筋方式的计算结果常常与实际情况不符合。对于带边框柱剪力墙, 边缘构件的最终配筋量是分两部分单独计算的: 一部分为与边框柱相连的剪力墙暗柱的计算配筋量; 另一部分为边框柱的计算配筋量, 然后叠加配筋结果, 并与相应规范要求比较取较大值, 此种配筋方式常使配筋量偏大。业内很多专家多年来一直强调, 对剪力墙采用分段式配筋方式并不合理。因为在某些情况下配筋不够, 造成不安全的结果, 同时在很多情况下又造成配筋过大的计算结果。可以说这种配筋方式既不安全、又不经济。

某些软件给出了手动指定操作方式的剪力墙组合截面配筋功能, 是由人工指定相连的墙肢组成组合截面, 再由软件对各墙肢的内力进行组合并进行配筋。这种配筋方式的主要问题是: 1) 软件对所选的墙肢都按全截面考虑, 由多个墙肢组成的组合截面可能过长、过大, 已经很难符合平截面假定的配筋原理, 计算结果不可信; 2) 组合截面多为不对称截面, 但是目前大多数软件不具备不对称配筋功能, 而是按照对称配筋方式计算, 配筋结果常常偏大很多; 3) 采用人工指定操作方式效率很低不实用。

针对以上存在的问题, 笔者研究给出了剪力墙自动组合截面配筋计算方法。

2 规范对剪力墙的截面配筋要求

《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)第9.4.3条规定, 在承载力计算中, 剪力墙的翼缘计算宽度可取剪力墙的间距、门窗洞间翼缘的宽度、剪力墙厚度加两侧各6倍翼缘厚度、剪力墙墙肢总高度的1/10四者中的最小值。《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)第6.2.13条规定, 抗震墙结构、部分框支抗震墙结构、框架-抗震墙结构、框架-核心筒结构、筒中筒结构、板柱-抗震墙结构计算内力和变形时, 其抗震墙应计入端部翼缘的共同工作。从规范条文的要求中可以看出, 剪力墙的配筋应考虑翼缘, 而且考虑翼缘的长度有一定的限值, 不应过长。

3 YJK软件剪力墙自动组合截面配筋过程

对带边框柱剪力墙, 按照柱和剪力墙组合在一起的方式配筋, 即自动将边框柱作为剪力墙的翼缘, 按照工形截面或T形截面配筋。

对剪力墙的各个墙肢计算配筋时, 考虑其两端节点相连的部分墙段作为翼缘, 按照组合墙方式计算配筋。翼缘长度不应大于腹板长度的一半, 且每一侧翼缘伸出部分将不大于4倍翼缘厚度; 对于短肢剪力墙则自动考虑翼缘的全部长度。

如果两端的翼缘都是完整的墙肢, 则自动对整个组合墙按双偏压配筋计算, 一次得出整个组合墙配筋, 见图1(a), 例如短肢剪力墙。若某一端翼缘只包含翼缘所在墙的一部分, 则对该分离的组合墙按不对称配筋计算, 得出的是该墙肢配筋结果, 见图1(b), 对于不对称的剪力墙组合截面, 若按对称配筋总是取两端较大值, 必将造成配筋浪费。

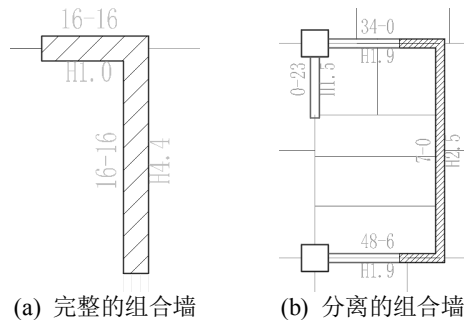


图1 组合墙轮廓

作者简介: 陈岱林, 硕士, 研究员, Email: chendailin@yjk.cn。

组合墙的计算内力是将各段内力向组合截面形心换算得到的组合内力,如果端节点布置了边框柱,则组合内力将包含该柱内力。

当鼠标悬停在任一剪力墙的墙肢上时,可以显示该墙肢配筋计算时采用的截面形状,如图2所示。不考虑翼缘时为矩形的单墙肢,考虑翼缘时则为组合墙的形状。由于长厚比小于4的墙肢按照柱来配筋设计,因此当该墙肢不满足双偏压配筋条件时,将显示为矩形的单墙肢。

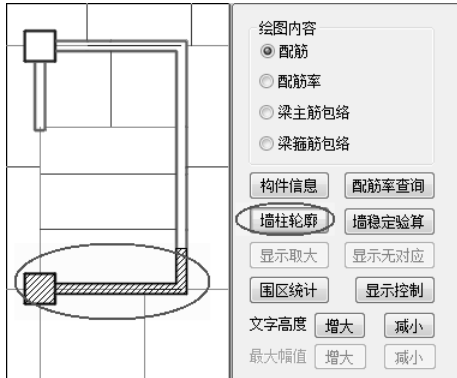


图2 组合墙轮廓查询

相比传统软件选组合墙时只能选墙肢的整个长度范围, YJK软件在进行组合墙配筋时,自动考虑的翼缘是一个有长度限制的局部范围(如不大于腹板长度的一半及每侧伸出不大于4倍翼缘厚度)。

4 剪力墙组合配筋的原理

以往按照分段直线墙配筋时,每一单独墙肢配筋都是取其各内力组合中的最大值,而最大值一般不会在相连的各墙肢中同时出现,因此这种配筋方法一般情况下都会偏大。而剪力墙组合配筋时,先将各墙肢单工况内力投影至组合截面形心轴,再进行荷载组合,其分析过程如下。

(1) 将各墙肢(柱)的内力组合至组合墙截面形心

图3为选取的两片垂直相交的L形剪力墙,两片墙各有自己的内力作用在形心处(细线表示的坐标系),组合墙的内力计算将各片墙的内力叠加至组合墙的中心(粗线表示的坐标系)。

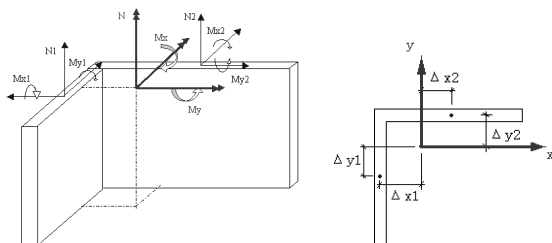


图3 组合墙计算简图

剪力墙内力组合计算原理如下式:

$$N = N_1 + N_2$$

$$M_x = M_{x1} \sin \theta_1 + M_{y1} \cos \theta_1 + N_1 \times \Delta y_1$$

$$\dots + M_{x2} \sin \theta_2 + M_{y2} \cos \theta_2 + N_2 \times \Delta y_2$$

$$M_y = M_{y1} \sin \theta_1 + M_{x1} \cos \theta_1 + N_1 \times \Delta x_1$$

$$\dots + M_{y2} \sin \theta_2 + M_{x2} \cos \theta_2 + N_2 \times \Delta x_2$$

式中: N, M_x, M_y 为组合墙的轴力及 X, Y 向的弯矩; N_1, N_2 为墙肢1, 2的轴力; M_{x1}, M_{x2} 为墙肢1, 2的平面内弯矩; M_{y1}, M_{y2} 为墙肢1, 2的平面外弯矩; θ_1, θ_2 为墙的方向角; $\Delta x_1, \Delta y_1, \Delta x_2, \Delta y_2$ 为墙肢形心与组合墙形心的距离。

其他各种形状的组合墙的内力组合方法与上述情况类似;对有柱的情况,也可采用上述的公式,只是 M_x, M_y, θ 分别为 X, Y 方向的弯矩和柱的转角。

(2) 计算组合墙配筋

将组合墙当作一个整体截面按照异形柱的配筋方式计算配筋:先根据分布筋配筋率布置好分布钢筋,再给固定节点处钢筋赋以初值。配筋按照双偏压配筋计算方式和不对称配筋方式两种计算方式进行。

组合墙计算原理如图4所示。采用《混凝土异形柱结构技术规程》(JGJ 149—2006)中的异形柱正截面承载力计算公式的变形,并以前处理中指定的分布筋配筋率进行分布筋配筋,得到分布筋面积 A_{sv} 及钢筋位置,再进行边缘构件的钢筋计算。

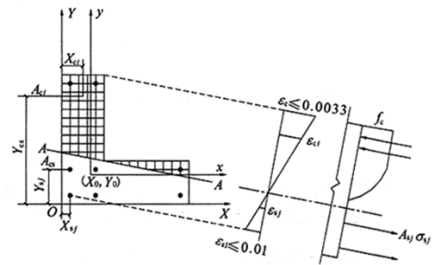


图4 截面、配筋及其单元划分

$$N \leq \sum_{i=1}^{n_c} A_{ci} \sigma_{ci} + \sum_{j=1}^{n_s} A_{sj} \sigma_{sj}$$

$$N \eta_{\alpha} e_{iy} \leq \sum_{i=1}^{n_c} A_{ci} \sigma_{ci} (Y_{ci} - Y_0) + \sum_{j=1}^{n_s} A_{sj} \sigma_{sj} (Y_{sj} - Y_0)$$

$$N \eta_{\alpha} e_{ix} \leq \sum_{i=1}^{n_c} A_{ci} \sigma_{ci} (X_{ci} - X_0) + \sum_{j=1}^{n_s} A_{sj} \sigma_{sj} (X_{sj} - X_0)$$

$$e_{ix} = e_i \cos \alpha, \quad e_{iy} = e_i \sin \alpha, \quad e_i = e_0 + e_a$$

$$e_0 = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{N}, \quad \alpha = \arctan \frac{M_x}{M_y} + n\pi$$

式中各参数含义详见《混凝土异形柱结构技术规程》(JGJ 149—2006)第5.1.2条。

组合墙配筋方法是通过整体截面的双偏压计算方法,将钢筋在全截面中有效布置,既减少了总的配筋面积,又能使所配钢筋在截面中发挥最大的利用效率,更趋合理。图5为某L形组合墙的组合配筋结果对比。不对称配筋计算时,由于剪力墙两端钢筋不等,要求解 A_s, A_s' 及截面受压区高度(x)

三个未知数，必然要在轴力平衡方程、弯矩平衡方程基础上增加一个求解条件。通过 $d(A'_s + A_s)/dx = 0$ 作为补充求解条件，即可保证截面配筋最少。可见，由于增加了这个补充条件，不对称配筋模式比对称配筋模式会节约钢筋用量。

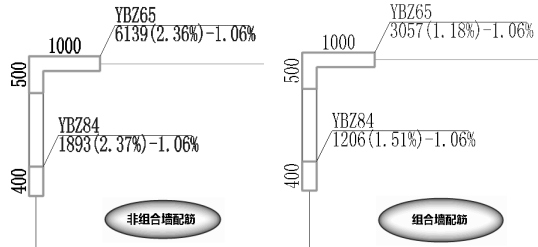
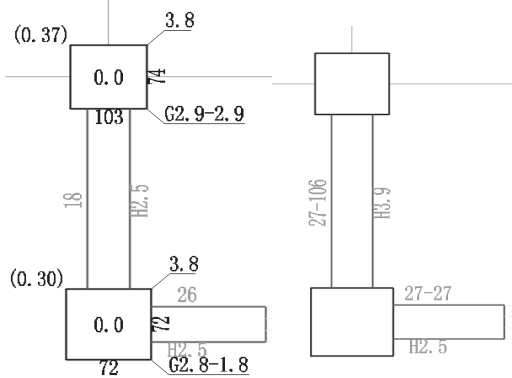


图5 组合墙配筋结果

5 带边框柱剪力墙的配筋计算过程

传统通用软件剪力墙的配筋简图中，墙和边框柱配筋分别输出，边缘构件取二者之和，如图6(a)所示。按组合墙配筋设计考虑端柱时，剪力墙的配筋简图中，没有了边框柱单独的配筋，包含边框柱的边缘构件取墙的配筋，如图6(b)所示。



(a) 非组合墙配筋 (b) 组合墙配筋

图6 带边框剪力墙配筋结果输出

带边框柱剪力墙的设计方法如下：1) 搜索端部是否有边框柱，并记录；2) 将边框柱单工况内力换算到柱和墙组合截面的形心轴，并与原墙柱内力叠加；3) 对叠加后的标准内力进行荷载组合与设计内力调整，按照组合截面进行配筋设计。

由于实际工程中柱的类别、柱与墙的位置关系较复杂，针对部分特殊情况考虑如下：1) 只处理墙柱端部有边框柱的情况；2) 如果墙柱一端有柱，按T形截面设计；如果两端有柱，按工字形截面设计；3) 如果墙柱端部既有端柱又有翼缘墙，则根据端柱截面宽度判断端柱能否作为翼缘；4) 如果两端均为型钢混凝土柱，则按型钢混凝土剪力墙的相关公式计算配筋；5) 如果仅一端为钢柱或型钢混凝土柱，则将型钢换算成钢筋面积，按规则1)~3)处理；6) 对于型钢混凝土剪力墙的配筋计算，可按《型钢混凝土组合结构技术规程》(JGJ 138—2001)、《钢筋混凝土结构技术规程》(YB 9082—2006)两种规范选择。

6 按组合截面方式配筋偏大的实例

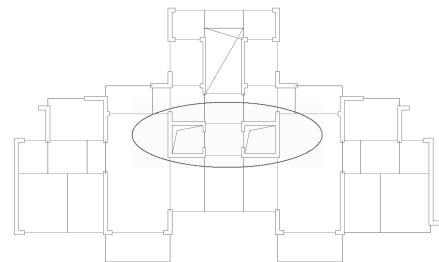
某28层剪力墙住宅工程，抗震设防烈度为8度(0.3g)，场地类别为II类，典型楼层平面示意及构件尺寸如图7所示。由于项目两方向墙肢数量不对称，组合墙弯矩很大，导致不对称配筋比单肢计算大很多。

图7中加圈位置墙肢按照单肢矩形截面配筋方式的配筋结果只有 12cm^2 ，如图8(a)所示；按照组合截面配筋方式，该墙肢左端配筋达 90cm^2 ，右端配筋达 27cm^2 ，如图8(b)所示。

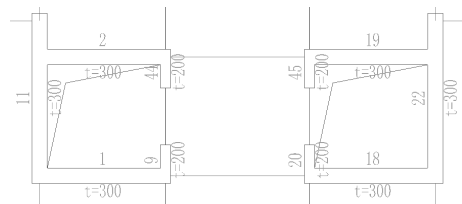
上述实例说明，剪力墙按照单肢矩形截面配筋，有时是不安全的，国内不少专家也曾多次指出这一点。

7 多数剪力墙结构按照组合墙配筋方式使边缘构件配筋量减少

某21层剪力墙住宅工程，抗震设防烈度为8度(0.3g)，分别按照单墙肢方式配筋和组合墙方式配筋，取出一部分对比如下。按照单墙肢配筋方式的配筋简图和边缘构件配筋结果见图9；按照组合墙配筋方式的配筋简图和边缘构件配筋结果见图10。可以看出，按照组合墙配筋方式的计算结果中，边缘构件配筋量减少较多。

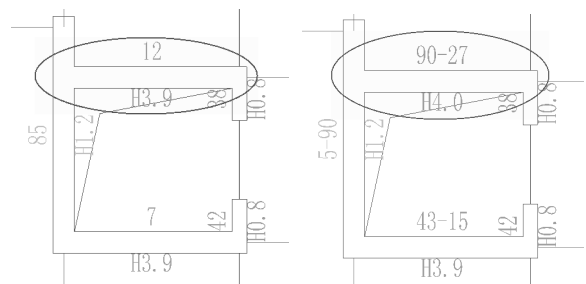


(a) 典型楼层平面示意图



(b) 构件尺寸/mm

图7 典型楼层平面示意及构件尺寸



(a) 非组合墙配筋 (b) 组合墙配筋

图8 墙配筋计算结果

(下转第15页)