

# 楼层受剪承载力的计算方法与软件实现

史建鑫

(1. 中国建筑科学研究院 建研科技股份有限公司 PKPM 设计软件事业部 北京 100013)

**提 要:** 本文从楼层受剪承载力理论计算方法出发, 介绍了 SATWE 软件在统计楼层受剪承载力时的计算方法, 以及一些特殊处理的原因。

**关键词:** 楼层受剪承载力, SATWE, 简化算法

## 1 前言

合理的建筑形体和布置在抗震设计中是很重要的, 其中, 规则性是一个重要概念。“规则性” 不仅包括建筑的平、立面外形尺寸的要求, 还包括抗侧力构件布置、楼层质量分布、以及楼层承载力分布的要求。

GB50011-2010《建筑抗震设计规范》<sup>[1]</sup>第 3.4.2 和 3.4.3 条与 JGJ3-2010《高层建筑混凝土结构技术规程》<sup>[2]</sup>第 3.5.8 条指出: 对承载力分布不规则的楼层, 其对应于地震作用标准值的剪力应乘以 1.25 倍的增大系数。由此可见, 楼层受剪承载力是结构抗震设计中的一个重要指标。

## 2 楼层受剪承载力的计算方法

软件主要按现行国家标准 GB50023-2009《建筑抗震鉴定标准》<sup>[3]</sup>附录 C 中钢筋混凝土结构楼层现有受剪承载力的规定计算楼层受剪承载力, 公式如下。对于公式没有涵盖的情况, 软件在遵循公式基本原理的基础上, 也做了一些修正。

$$V_y = \Sigma V_{cy} + 0.7 \Sigma V_{my} + 0.7 \Sigma V_{wy} \quad (1)$$

式中:  $V_y$  ——楼层总现有受剪承载力

$\Sigma V_{cy}$  ——框架柱层间现有受剪承载力之和

$\Sigma V_{my}$  ——砖填充墙框架层间现有受剪承载力之和

$\Sigma V_{wy}$  ——抗震墙层间现有受剪承载力之和

### 2.1 柱的受剪承载力计算方法

在已知柱截面尺寸和配筋量的前提下, 柱的受剪承载力应由以下两种计算方法的较小值确定:

- 1) 根据规范给出的柱的受剪承载力计算公式计算得到的数值；
- 2) 在已知柱轴力的前提下，根据偏压构件的配筋公式，可以算出其受弯承载力  $M_{max}$ 。假定柱反弯点位于中点，则可由  $M_{max}$  算出相应的受剪承载力  $V_{max}$ ：

$$V_{max} = 2M_{max} / L \quad (2)$$

若柱截面相对于整体坐标系 XOY 有转角，则计算得到的  $V_{max}$  还应投影到整体坐标系的 X 和 Y 轴上。

## 2.2 支撑的受剪承载力计算方法

与柱不同，软件将支撑按照其与竖轴 Z 的夹角分为三类（如图 1 所示），分别用不同的方法计入其对楼层受剪承载力的贡献。

- 1) 与竖轴 Z 的夹角小于一定角度的支撑按照柱来计算其受剪承载力；
- 2) 与竖轴 Z 的夹角大于一定角度的支撑不计入其受剪承载力。因为在结构中，极少出现与竖轴 Z 的夹角很大的支撑，即使存在这样的支撑，大部分也属于层内构件（即上下端并不同时与上下楼板相连的构件），因此也就不计入其对楼层受剪承载力的贡献；
- 3) 以上两种情况之外的支撑，按照其轴压承载力  $N_{max}$  在整体坐标系 X 和 Y 轴上的投影计入其对楼层受剪承载力的贡献；

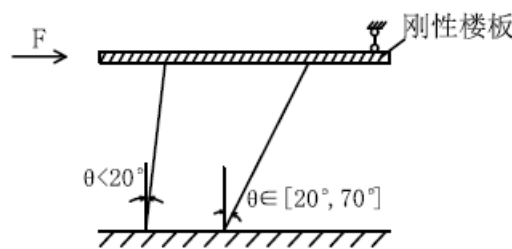


图 1 支撑的不同形式

## 2.3 混合结构中钢构件受剪承载力的折减

在水平荷载作用下，楼层中混凝土构件和钢构件的层间位移-水平荷载曲线如图 2 所示。图中钢构件还没达到其受剪承载力，混凝土构件就已经超过峰值，进入下降段。因此，对于混合结构，在迭加各构件受剪承载力来计算楼层受剪承载力时，需要对钢构件的受剪承载力做一定的折减。

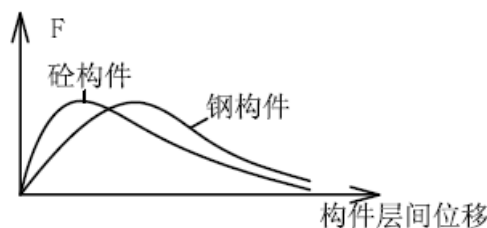


图 2 不同材料构件的层间位移-水平荷载曲线

### 3 受剪承载力计算的软件实现

#### 3.1 混凝土柱受剪承载力的软件实现

根据前述柱的极限受剪承载力计算方法，程序的计算流程如图 3 所示：

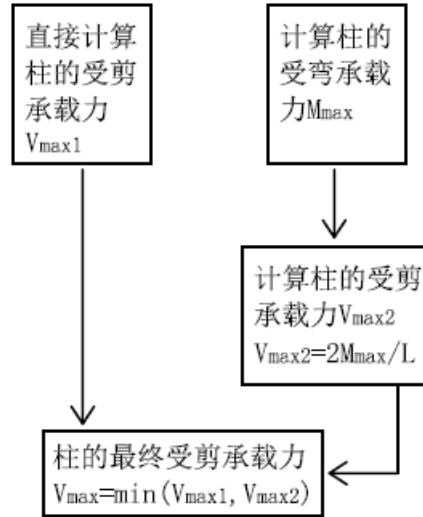


图 3 柱极限受剪承载力计算流程

其中，若柱在重力荷载代表值作用下轴力  $N$  为压力，则参照GB50023-2009《建筑抗震鉴定标准》<sup>[3]</sup>公式C.0.2 来计算柱的受剪承载力：

$$V_{max1} = \frac{0.16}{\lambda + 1.5} f_{ck} b h_0 + f_{yvk} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + 0.056N \quad (3)$$

若  $N$  为拉力，则参照GB50010-2010《混凝土结构设计规范》<sup>[4]</sup>公式 11.4.8 来计算柱的受剪承载力：

$$V_{max1} = \frac{0.16}{\lambda + 1.5} f_{ck} b h_0 + f_{yvk} \frac{A_{sv}}{s} h_0 - 0.2N \quad (4)$$

当上式右侧计算值小于  $f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$  时，取  $f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$ ，且  $f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$  值不应小于  $0.36f_t b h_0$ ，具体符号含义请参照相关规范。

计算柱受弯承载力相当于在已知柱截面尺寸、对称配筋配筋量和柱轴力的前提下，计算柱所能承受弯矩的最大值，其计算流程如图 4 所示。

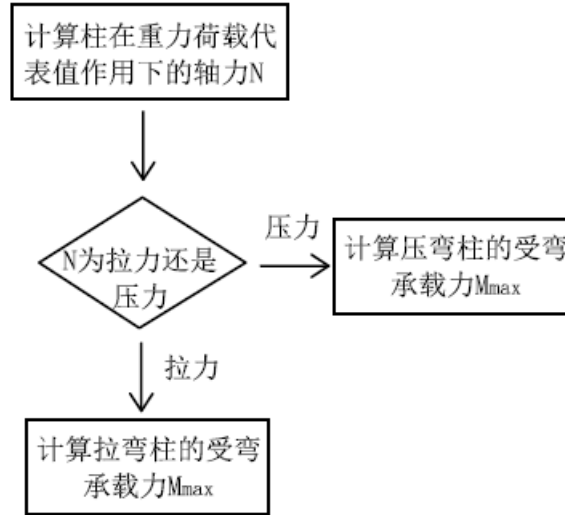


图 4 柱受弯承载力计算流程

若柱在重力荷载代表值作用下轴力  $N$  为压力，则首先计算出柱截面的受压区高度  $x$ （计算公式根据大偏压还是小偏压有所不同），然后根据  $x$  计算受弯承载力。具体计算公式参考GB50023-2009《建筑抗震鉴定标准》<sup>[3]</sup>公式C.0.3

当  $N \leq \xi_{bk} f_{cmk} b h_0$  时：

$$M_{max} = f_{yk} A_s (h_0 - a'_s) + 0.5 N h (1 - N / f_{cmk} b h) \quad (5)$$

当  $N > \xi_{bk} f_{cmk} b h_0$  时：

$$M_{max} = f_{yk} A_s (h_0 - a'_s) + \xi (1 - 0.5 \xi) f_{cmk} b h_0^2 - N (0.5 h - a'_s) \quad (6)$$

$$\xi = \frac{(\xi_{bk} - 0.8) N - \xi_{bk} f_{yk} A_s}{(\xi_{bk} - 0.8) f_{cmk} b h_0 - f_{yk} A_s} \quad (7)$$

上式中具体符号含义请参照相关规范。

若柱在重力荷载代表值作用下轴力  $N$  为拉力，则受弯承载力计算公式如下：

$$M_{max} = f_{yk} A_s (h_0 - a'_s) - N (0.5 h - a'_s) \quad (8)$$

### 3.2 混凝土支撑受剪承载力的软件实现

如前文所述，与竖轴Z的夹角 $<20^\circ$ 的混凝土支撑将按照混凝土柱来计算其受剪承载力；而与竖轴Z的夹角在 $[20^\circ, 70^\circ]$ 范围内的混凝土支撑，则通过计算其抗拉和抗压承载力的较小值在X和Y轴上的投影计入其对楼层受剪承载力的贡献。混凝土支撑的抗拉和抗压承载力计算公式参考GB50010-2010《混凝土结构设计规范》<sup>[4]</sup>公式 6.2.15 和公式 6.2.22。其中：

抗压承载力  $N_c$ ：

$$N_c = 0.9\varphi(f_c A + f_y' A_s') \quad (9)$$

抗拉承载力  $N_t$ ：

$$N_t = f_y A_s \quad (10)$$

### 3.3 钢柱受剪承载力的软件实现

在计算钢柱受剪承载力时，首先计算出其全截面塑性抵抗矩作为其受弯承载力，再根据公式（2）计算其受剪承载力。其中，钢柱的全截面塑性抵抗矩  $M$  的计算方法参考GB50017-2003《钢结构设计规范》<sup>[5]</sup> 公式 9.2.3：

当  $\frac{N}{A_n f} \leq 0.13$  时：

$$M = W_{pn} f \quad (11)$$

当  $\frac{N}{A_n f} > 0.13$  时：

$$M = 1.15(1 - \frac{N}{A_n f}) W_{pn} f \quad (12)$$

### 3.4 钢支撑受剪承载力的软件实现

若钢支撑与 Z 轴夹角小于  $20^\circ$ ，则按照钢柱计算其受剪承载力；若钢支撑与 Z 轴夹角在  $[20^\circ, 70^\circ]$  范围内，则按照图 5 所示的支撑轴压承载力计算流程计算其能承担的轴压力最大值  $N_{\max}$ 。

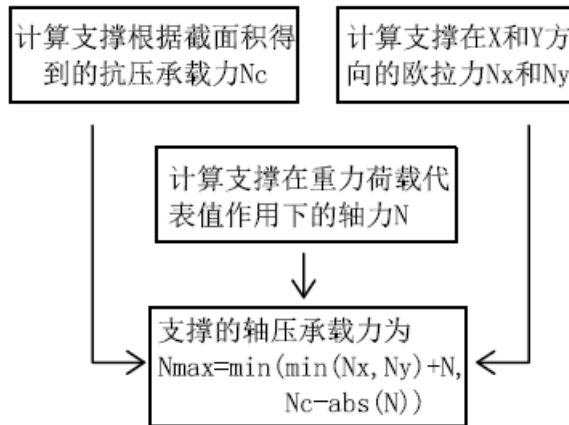


图 5 支撑轴压承载力的计算流程

其中，欧拉力的计算参照GB50017-2003《钢结构设计规范》<sup>[5]</sup> 5.2.5

$$N_x = \pi^2 EA / (1.1\lambda_x^2) \quad (13)$$

$$N_y = \pi^2 EA / (1.1\lambda_y^2) \quad (14)$$

在计算得到  $N_{\max}$  后, 对于钢结构, 直接将其投影到  $x$  和  $y$  轴上作为最终的受剪承载力。而对于混合结构, 由于前文提到的钢材的延性要大于混凝土的原因, 在混凝土构件已经达到了受剪承载力时, 同样的层间位移下, 钢支撑还没有达到其轴压承载力。根据规范对于钢结构和混凝土层间位移角的限值之间的比值, 程序对混合结构的钢支撑取其轴压承载力的 1/4 计入楼层受剪承载力。

### 3.5 异形柱和型钢混凝土柱受剪承载力的软件实现

对于工字型、圆形以及其它异形截面柱, 程序都会将其简化为面积相等的矩形截面, 再将柱截面内的纵向钢材(如钢管混凝土周边钢板等)的面积, 平均分配到简化后的矩形截面四周, 按照矩形截面混凝土柱受剪承载力计算方法近似计算。

对于型钢混凝土柱, 程序会参照普通混凝土柱的计算流程, 按照 JGJ138-2001《型钢混凝土组合结构技术规程》<sup>[6]</sup>相关公式进行受剪承载力的计算。

### 3.6 抗震墙受剪承载力的软件实现

软件在计算抗震墙的受剪承载力时, 是参照 GB50023-2009《建筑抗震鉴定标准》<sup>[3]</sup>公式 E.0.7 来计算。偏心受压时:

$$V_{\max} = \frac{1}{\lambda - 0.5} (0.04 f_c b h_0 + 0.1 N \frac{A_w}{A}) + 0.8 f_{yv} \frac{A_{sh}}{s} h_0 \quad (15)$$

偏心受拉时:

$$V_{\max} = \frac{1}{\lambda - 0.5} (0.04 f_c b h_0 - 0.1 N \frac{A_w}{A}) + 0.8 f_{yv} \frac{A_{sh}}{s} h_0 \quad (16)$$

## 4 结束语

楼层受剪承载力的计算方法并不是唯一的, 而是和结构形式和计算假定密切相关。结合现行规范要求和实际工程情况, 软件总结出以上楼层受剪承载力的计算方法供用户作为设计参考。用户在设计过程中, 应根据工程实际情况对软件的计算结果合理应用。

### 参考文献

- [1] GB50011-2010 建筑抗震设计规范[S]. 北京:中国工业出版社, 2010.
- [2] JGJ 3-2010 高层建筑混凝土结构技术规程[S]. 北京:中国工业出版社, 2010.
- [3] GB50023-2009 建筑抗震鉴定标准[S]. 北京:中国工业出版社, 2009.
- [4] GB50010-2010 混凝土结构设计规范[S]. 北京:中国工业出版社, 2010.
- [5] GB50017-2003 钢结构设计规范[S]. 北京:中国计划出版社, 2003.
- [6] JGJ138-2001 型钢混凝土组合结构技术规程[S]. 北京:中国工业出版社, 2001.