

浅谈混凝土框架结构楼层受剪承载力的计算

刘奕嫔

楼层受剪承载力之比是控制结构竖向不规则性和判断薄弱层的重要指标。本篇以混凝土框架结构为例，来梳理一下规范相关条文及其在 YJK 程序中的实现。

一、楼层受剪承载力比值规范规定

《高层混凝土结构技术规程》JGJ3-2010 的 3.5.3 条规定：“A 级高度高层建筑的楼层抗侧力结构的层间受剪承载力不宜小于其相邻上一层受剪承载力的 80%，不应小于其相邻上一层受剪承载力的 65%；B 级高度高层建筑的楼层抗侧力结构的层间受剪承载力不应小于其相邻上一层受剪承载力的 75%。”

《建筑抗震设计规范》GB50011-2010 的 3.4.4-2（3）规定：“楼层承载力突变时，薄弱层抗侧力结构的受剪承载力不应小于相邻上一楼层的 65%。”

二、受剪承载力计算方法规范规定

《高规》3.5.3 注：“楼层抗侧力结构的层间受剪承载力是指在所考虑的水平地震作用方向上，该层全部柱、剪力墙、斜撑的受剪承载力之和。”

《高规》3.5.3 条文说明中指出：柱的受剪承载力可根据柱两端实配的受弯承载力按两侧同时屈服的假定失效模式反算；剪力墙可根据实配钢筋按抗剪设计公式反算；斜撑的受剪承载力可计及轴力的贡献，应考虑受压屈服的影响。

三、构件受剪承载力计算——程序中的实现

软件分构件类型、材料计算受剪承载力，并在 wmass.out、wpj.out 和构件信息中输出受剪承载力计算结果。

对于混凝土柱：软件按照《建筑抗震鉴定标准》附录 C 的公式计算，分受弯反算和抗剪公式反算两种，二者取小。

C.0.2 矩形框架柱层间现有受剪承载力可按下列公式计算，并取较小值：

$$V_{cy} = \frac{M_{cy}^u + M_{cy}^l}{H_n} \quad (C.0.2-1)$$

$$V_{cy} = \frac{0.16}{\lambda + 1.5} f_{ck} b h_0 + f_{yk} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + 0.056N \quad (C.0.2-2)$$

式中： M_{cy}^u 、 M_{cy}^l —分别为验算层偏压柱上、下端的现有受弯承载力；

λ —框架柱的计算剪跨比，取 $\lambda = H_n / 2h_0$ ；

N —对应于重力荷载代表值的柱轴向压力，当 $N > 0.3f_{ck}bh$ 时，取 $N = 0.3f_{ck}bh$ ；

A_{sv} —配置在同一截面内箍筋各肢的截面面积；

f_{yk} —箍筋抗拉强度标准值，按本标准附录 A 表 A.0.3-1 采用；

f_{ck} —混凝土轴心抗压强度标准值，按本标准附录 A 表 A.0.2-1 采用；

s —箍筋间距；

b —验算方向柱截面宽度；

h 、 h_0 —分别为验算方向柱截面高度、有效高度；

H_n —框架柱净高。

C.0.3 对称配筋矩形截面偏压柱现有受弯承载力可按下列公式计算：

当 $N \leq \xi_{bk} f_{cmk} b h_0$

$$M_{cy} = f_{yk} A_s (h_0 - a'_s) + 0.5 N h (1 - N / f_{cmk} b h) \quad (C.0.3-1)$$

当 $N > \xi_{bk} f_{cmk} b h_0$

$$M_{cy} = f_{yk} A_s (h_0 - a'_s) + \xi (1 - 0.5\xi) f_{cmk} b h_0^2 - N (0.5h - a'_s) \quad (C.0.3-2)$$

$$\xi = [(\xi_{bk} - 0.8)N - \xi_{bk} f_{yk} A_s] / [(\xi_{bk} - 0.8) f_{cmk} b h_0 - f_{yk} A_s]$$

(C.0.3-3)

式中： N —对应于重力荷载代表值的柱轴向压力；

A_s —柱实有纵向受拉钢筋截面面积；

➤ 下面我们结合一个具体的案例来介绍：

四、用户疑问

为何同一个模型，YJK 和 PK 的楼层抗剪承载力值相差较多？

以下是两个软件比较的结果，左边是 PK 结果，右边是 YJK 结果。

楼层抗剪承载力验算

| | | | | | |
|---|---|-----|---------|---------|---------|
| 1 | 1 | X方向 | 7677.0 | 7829.1 | 1.98% |
| | | Y方向 | 9332.0 | 8406.7 | -9.92% |
| 2 | 1 | X方向 | 6869.0 | 6951.4 | 1.20% |
| | | Y方向 | 13370.0 | 10145.0 | -24.12% |
| 3 | 1 | X方向 | 4482.0 | 4354.9 | -2.84% |
| | | Y方向 | 5480.0 | 5780.5 | 5.48% |
| 4 | 1 | X方向 | 3366.0 | 3344.4 | -0.64% |
| | | Y方向 | 3307.0 | 3614.3 | 9.29% |

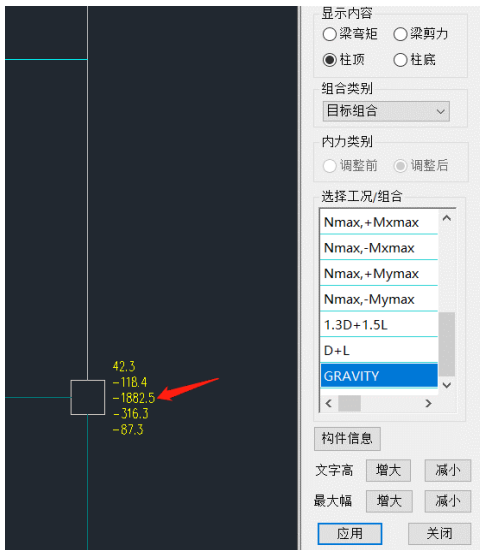
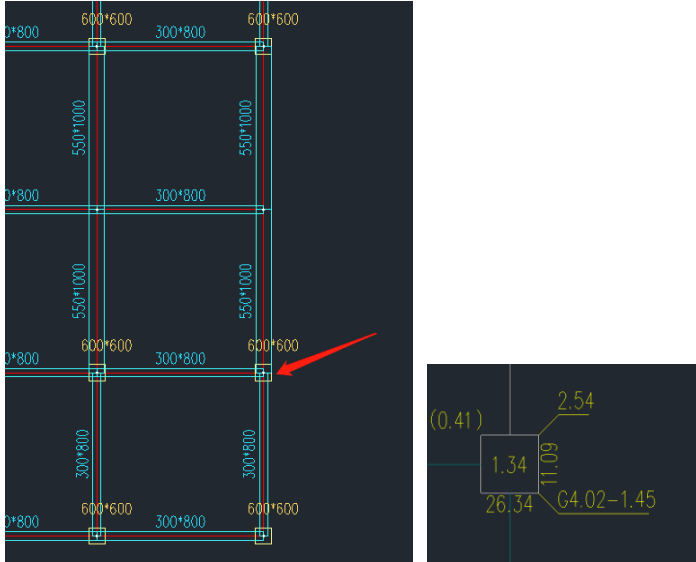
五、分析原因及复核

回复：据了解，PK 是采用层高来计算受剪承载力。

但 YJK 软件是采用净高来计算的。

YJK 结果复核过程：

- (1) 以 2 层 Y 向为例，我们先复核单个的柱受剪承载力，结构布置及计算结果如下所示：



CB_XF, CB_YF --- 投影到整体坐标系下的X、Y向抗剪承载力(kN)
 FI --- 柱冲切计算时的等效冲切力(kN)

注意表格里要按规范填标准值

N=C=11 (I=2000014, J=1000014) (1) B*H(mm) =600*600
 Cover=20(mm) Cx=1.25 Cy=1.25 Lcx=3.35(m) Lcy=3.35(m) Nfc=2 Nfc_gz=2 Rcc=30.0 Fy=360 Fyv=360
 砼柱 C30 转换柱 矩形
 livec=1.000 kzzx=1.000, kzzy=1.000 kzzn=1.200
 η mu=1.500 η vu=1.950 η md=1.500 η vd=1.950
 λ c=3.004
 (28) Nu= -2097.8 Uc= 0.41 Rs= 1.80(%) Rsv= 1.50(%) Asc= 254
 (31) N= -1872.8 Mx= -971.6 My= -119.6 Asxt= 2634 Asxt0= 2634
 (1) N= -2186.5 Mx= -367.0 My= -103.7 Asyt= 1109 Asyt0= 0
 (33) N= -1357.9 Mx= 352.1 My= 48.9 Asxb= 1109 Asxb0= 249
 (1) N= -2186.5 Mx= 41.9 My= 47.8 Asyb= 1109 Asyb0= 0
 (31) N= -1872.8 Vx= 72.9 Vy= -587.0 Ts= -1.6 Asvx= 401 Asvx0= 145
 (31) N= -1872.8 Vx= 72.9 Vy= -587.0 Ts= -1.6 Asvy= 401 Asvy0= 145
 节点核心区设计结果:
 (28) N= -1142.7 Vjx= 499.9 Asvjx= 134 Asvjxcal= 0
 (31) N= -1039.4 Vjy= -1443.9 Asvjy= 134 Asvjycal= 102
 抗剪承载力: CB_XF= 502.30 CB_YF= 852.50

$$H_{ny}=3350-1000=2350, h_0=600-20-22.5=557.5,$$

$$\lambda_{cy}=2350/(2*557.5)=2.1076, 1.5 < 2.1076 < 3$$

查附录 A 得, $f_{ck}=20, f_{yk}=400,$

查配筋简图, 按 $s=100$ 间距, $A_{sv}=402,$

本模型未勾选通用规范, $N=1882500/1.2=1568750, < 0.3f_{ck}bh=2160000,$

$$V_{cy} = \frac{0.16}{\lambda + 1.5} f_{ck} b h_0 + f_{sv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + 0.056 N$$

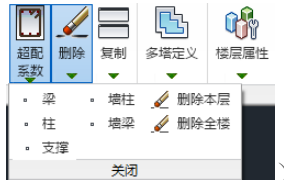
故根据式 C.0.2-2,

$$V_{cy}=0.16*20*600*557.5/(2.1076+1.5)+400*402*557.5/100+0.056*1568750=1281017$$

(N)

查附录 A 得, $f_{cmk}=22, f_{yk}=400,$

$A_s=2634*1.15$ (超配系数) $=3029.1$, (注: “超配系数”是指在设计参数中‘设计信息’页输入的“实配钢筋超配系数”, 1.15 为程序默认值, 前处理中可以局部修改。



$$N=1568750 < 0.55f_{cmk}*b*h_0=4047450,$$

$$\text{根据式 C.0.3-1, } M_{cy} = f_{yk} A_s (h_0 - a'_s) + 0.5 N h (1 - N / f_{cmk} b h)$$

$$M_{cy}=400*3029.1*(557.5-42.5)+0.5*1568750*600*[1-1568750/(22*600*600)]=1001400791,$$

$$V_{cy} = \frac{M_{cy}^u + M_{cy}^l}{H_n}$$

故根据式 C.0.2-1, $V_{cy}=2*1001400791/2350=852256$ (N)

1281017 与 852256 取小, 为 852256 N, 与构件信息中的 CB_YF 值 852.50 kN 匹配。

| 鉴定标准 | C.0.2-2 | | C.0.3-1 | | C.0.2-1, 2+Mcy/Hn | | | |
|-----------------|---------|---|----------|---------------------------|-------------------|---|------------------------|-------------|
| f _{ck} | 20 | f _{yk} | 400 | Gravity | 1882500 | f _{cmk} | 22 | |
| b | 600 | A _{sv} | 402 | 分项系数 | 1.2 | N < | 0.55f _{cmk} b | 4047450 |
| h | 600 | s | 100 | N | 1568750 | f _{yk} | 400 | |
| b ₀ | 557.5 | (若c不是20, b ₀ h ₀ 式) | | 0.3f _{ck} bh | 2160000 | A _s | 3029.1 | (计算配筋*超配系数) |
| h ₀ | 557.5 | (子集修改) | | (限值) | 0.056 | M _{cy} = f _{yk} A _s (h ₀ -a' _s)+0.5N(1-N/f _{cmk} bh) | 6.24E+08 | + 377406191 |
| H _{nx} | 2550 | λ _{cx} | 2.286996 | (根据研发老师回复, 软件执行了1.5到3的限制) | | | M _{cy} = | 852256 |
| H _{ny} | 2350 | λ _{cy} | 2.107623 | (C.0.2-2) | | | V _{cy} = | 852256 |
| X向 | | | 282651.5 | 896460 | 87850 | 合计 | 1266962 | CB_XF |
| Y向 | | | 296705 | 896460 | 87850 | 合计 | 1281015 | CB_YF |

(2) 软件中，楼层的受剪承载力，也是根据鉴定标准附录 C 来计算：

附录 C 钢筋混凝土结构楼层受剪承载力

C.0.1 钢筋混凝土结构楼层现有受剪承载力应按下式计算：

$$V_y = \Sigma V_{cy} + 0.7 \Sigma V_{my} + 0.7 \Sigma V_{wy} \quad (C.0.1-1)$$

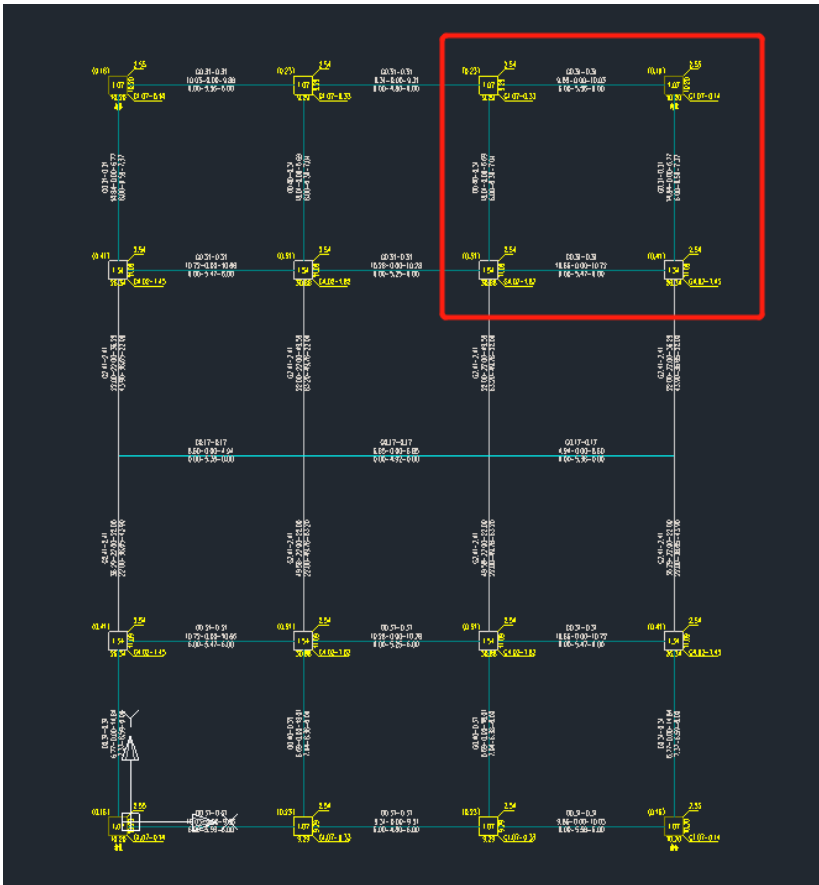
式中： V_y —楼层现有受剪承载力；

ΣV_{cy} —框架柱层间现有受剪承载力之和；

ΣV_{my} —砖填充墙框架层间现有受剪承载力之和；

ΣV_{wy} —抗震墙层间现有受剪承载力之和。

由于本结构正好是完全对称的，统计柱的受剪承载力之和比较简单，可以取右上角 4 个柱的受剪承载力来近似统计：



$$4 * (352 + 305 + 1026.4 + 852.5) = 10143.6$$

和软件统计的结果是吻合的。

楼层受剪承载力

《高规》3.5.3条规定：A级高度高层建筑的楼层抗侧力结构的层间受剪承载力不宜小于其相邻上一层受剪承载力的80%，不应小于其相邻上一层受剪承载力的65%；B级高度高层建筑的楼层抗侧力结构的层间受剪承载力不应小于其相邻上一层受剪承载力的75%。

Ratio_X, Ratio_Y: 表示本层与上一层的承载力之比

表1 楼层受剪承载力

| 层号 | 塔号 | X向承载力(kN) | Y向承载力(kN) | Ratio_X | Ratio_Y |
|----|----|-----------|-----------|---------|---------|
| 4 | 1 | 3344.4 | 3614.3 | 1.00 | 1.00 |
| 3 | 1 | 4354.9 | 5780.5 | 1.30 | 1.60 |
| 2 | 1 | 6951.4 | 10144.8 | 1.60 | 1.76 |
| 1 | 1 | 7829.1 | 8406.7 | 1.13 | 0.83 |

六、小结

对于混凝土柱：软件按照《建筑抗震鉴定标准》附录 C 的公式计算，分受弯反算和抗剪公式反算两种，二者取小。

由于抗震设计时，柱有强剪弱弯调整，因此对于新建项目，通常是受弯承载力反算（式 C.0.2-1）得到的结果更小。

对于框架结构，将各个柱的受剪承载力相加，即可得到本层的楼层抗剪承载力。