

倾覆力矩全网最强攻略（上）

——倾覆力矩的三种计算方式

董礼

关于倾覆力矩大家是否有以下问题：

什么是倾覆力矩的轴力方式？什么又是改进轴力方式？与规范规定的倾覆力矩有什么区别？我该怎么选用？

```

*****
          规定水平力下框架柱、短肢墙地震倾覆力矩
*****

*****
          规定水平力下框架柱、短肢墙地震倾覆力矩（轴力方式）
*****

*****
          规定水平力下框架柱、短肢墙地震倾覆力矩（改进轴力方式）
*****
    
```

“wmass.out”、“wv02q.out”、“wzq.out”有好几处能输出倾覆力矩的地方，它们有什么区别？为什么数值都不一样？

1 结构整体抗倾覆验算

抗倾覆力矩Mr	倾覆力矩Mov	比值Mr/Mov	零应力区 (%)
7.905E+004	6.660E+001	1186.94	0.00

2 规定水平力下框架柱、短肢墙地震倾覆力矩

层号	塔号	框架柱	短肢墙	普通墙
3	1	19.75	19.75 (0.453%)	65.18
2	1	11.83	31.58 (0.362%)	169.39
1	1	2.90	34.48 (0.263%)	283.18

倾覆力矩居然大于 100%？程序有没有搞错？

```

*****
          规定水平力下框架柱、短肢墙地震倾覆力矩百分比
*****
    
```

层号	塔号	框架柱	短肢墙
30	1	207.1	0.0
29	1	132.9	0.0
28	1	106.0	0.0
27	1	91.9	0.0
26	1	83.0	0.0
25	1	77.0	0.0
24	1	72.7	0.0
23	1	69.1	0.0
22	1	67.1	0.0
21	1	65.0	0.0
20	1	63.3	0.0
19	1	61.6	0.0

首、二层没有斜撑，哪里来的斜撑倾覆力矩？

```

*****
          规定水平力下框架柱、短肢墙地震倾覆力矩
*****
    
```

层号	塔号	框架柱	短肢墙	普通墙	斜撑	合计
6	1	575.6	0.0	0.0	0.0	575.6
5	1	5301.0	0.0	0.0	2027.0	7328.0
4	1	12724.8	0.0	0.0	2027.0	14751.8
3	1	22134.4	0.0	0.0	5821.3	27955.7
2	1	32699.1	0.0	0.0	5821.3	38520.3
1	1	29961.0	0.0	14717.9	5821.3	50500.2

今天就通过这篇全网最全攻略，将这些疑难问题一网打尽。

1、倾覆力矩的三种计算方式

对于倾覆力矩，《抗规》6.1.3 条文说明中这样规定的：

$$M_c = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m V_{ij} h_i$$

式中： M_c ——框架-抗震墙结构在规定的侧向力作用下框架部分分配的地震倾覆力矩；

n ——结构层数；

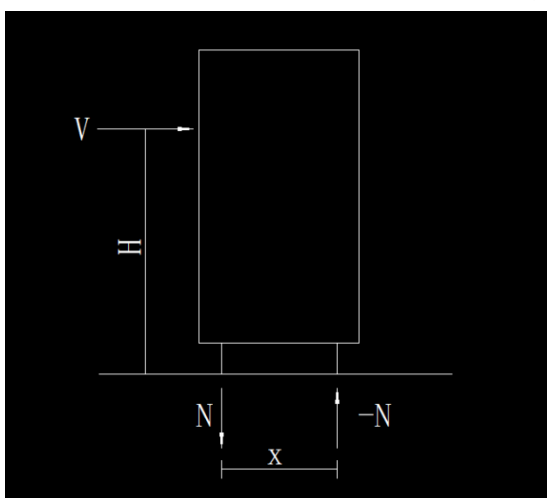
m ——框架 i 层的柱根数；

V_{ij} ——第 i 层第 j 根框架柱的计算地震剪力；

h_i ——第 i 层层高。

通过规范公式，我们不难看出。倾覆力矩为每一根竖向构件的剪力乘以层高，然后逐层累加得到的。它的特点是计算框架柱的地震倾覆力矩时忽略了梁对整体结构的影响，仅对墙、柱之间自身的抗弯比例关系做分析。

通过下面这张图可以知道， $V*H=N*x$ ，因此倾覆力矩还可以按照轴力方式进行计算。



所谓轴力方式，就是找到一个轴力的合力点，然后各个构件对这个合力点进行取矩。但是在规定水平力下，柱底会产生轴力有正有负的，且这些轴力的和为 0。

因此我们需要将所有轴力取绝对值，这样轴力和不为 0 才能计算合力点，其计算方法为：

$$x_0 = \frac{\sum |N_i| x_i}{\sum |N_i|}$$

其中

x_0 —— x 向合力作用点

N_i —— x 向规定水平力下各构件的轴力

x_i —— 柱的 x 坐标或者墙柱的中心点 x 坐标。

得到了合力点，这样我们就得到了轴力方式的公式了：各类构件对合力点取矩，再叠加各类构件的局部弯矩。这样就可以统计出框架、剪力墙、短肢剪力墙等倾覆力矩的结果。

$$M_c = \sum_{i=1}^n N_i (x_i - x_0) + \sum_{i=1}^n M_{ci}$$

既然规定水平力下，柱底产生的轴力代数和为 0，那么取一部分墙或者柱，它们的轴力和就不为 0 了。因此可将局部构件的轴力分解为力偶，比如框架结构，可以存在框架部分的力偶，剪力墙部分的力偶，框架部分剩余合力对剪力墙剩余合力的力偶。后来，学者在“轴力方式”的基础上改进了合力点的计算方法：

“改进轴力方式”将群墙剩余合力作用点 x_w 替换“轴力方式”的取矩点 x_0 ； x_w 为群墙

剩余合力作用点，当受拉群墙的合力的绝对值大于受压群墙的合力绝对值时，取为受拉群墙的合力作用点，反之取为受压群墙的合力作用点(哪个方向合力大，就取对应方向的合力点)。

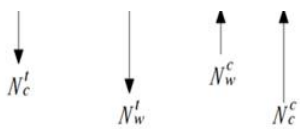


图4 竖向力合力示意图

$$M_c = \sum_{i=1}^n N_i(x_i - x_w) + \sum_{i=1}^n M_{ci}$$

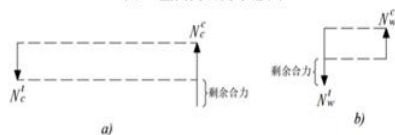


图5 力偶分解示意图

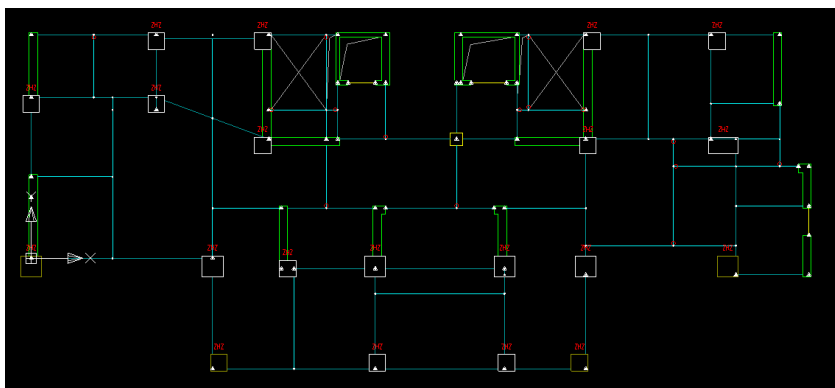
因此，轴力方式计算除了体现框架柱自身抗弯在整体抗倾覆力矩中的作用，还体现了框架梁对整体抗倾覆的贡献，轴力计算方式所得的柱倾覆力矩百分比，不仅反映了框架柱的数量，同时反映了其空间布置。

那么，“轴力方式”以及“改进轴力方式”主要应用于哪些方面呢？

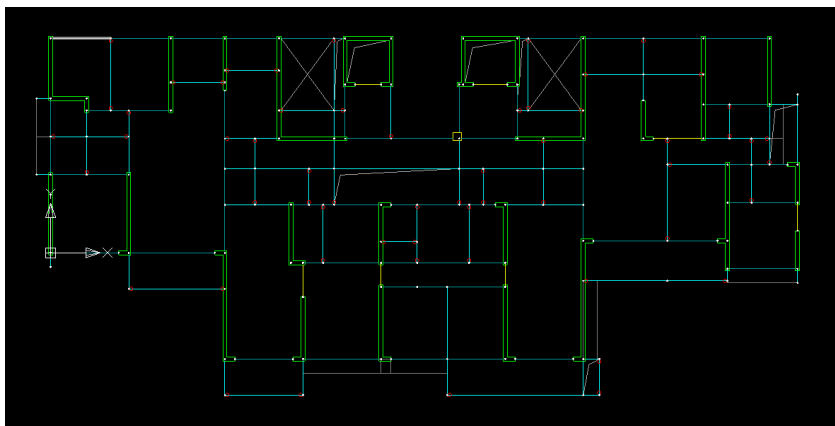
对于带框支转换层的结构，在转换层及其以下各层，框支框架所占的比例较多，按照这些层计算出的框支框架所占地震倾覆力矩的比例较高。但是在转换层以上各层，由于没有框支柱，因此这些楼层计算得到的框支框架所占的倾覆力矩为0，而剪力墙承担的倾覆力矩占了绝大部分。这部分剪力墙的倾覆力矩累加到框支层之后，会导致框支层的框支框架部分倾覆力矩占比过小。

以下面这个项目为例：

框支层：



标准层：



可以看到，Y方向剪力墙较多，框支框架的倾覆力矩在规范方法下占比很小，而在“轴

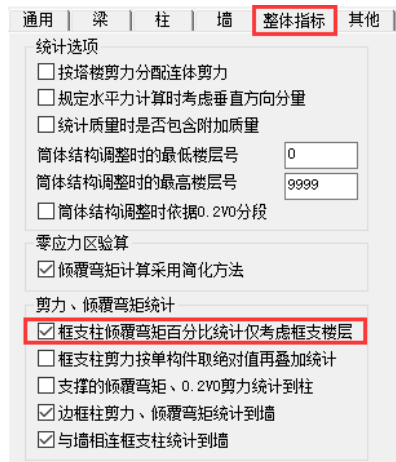
力方式”以及“改进轴力方式”下，占比就很高。

***** 规定水平力下框架柱、框支框架、短肢墙地震倾覆力矩百分比 *****				***** 规定水平力下框架柱、框支框架、短肢墙地震倾覆力矩百分比（轴力方式） *****							
层号	塔号	框架柱	框支框架	短肢墙	层号	塔号	框架柱	框支框架	短肢墙		
11	1	X	7.3%	0.0%	0.0%	11	1	X	3.2%	0.0%	0.0%
10	1	X	5.2%	0.0%	0.0%	10	1	X	0.2%	0.0%	0.0%
9	1	X	4.3%	0.0%	0.0%	9	1	X	0.0%	0.0%	0.0%
8	1	X	3.8%	0.0%	0.0%	8	1	X	0.1%	0.0%	0.0%
7	1	X	3.5%	0.0%	0.0%	7	1	X	0.7%	0.0%	0.0%
6	1	X	3.1%	0.0%	0.0%	6	1	X	1.5%	0.0%	0.0%
5	1	X	2.5%	21.1%	0.0%	5	1	X	0.9%	35.0%	0.0%
4	1	X	2.4%	19.9%	0.0%	4	1	X	0.6%	27.8%	0.0%
3	1	X	2.2%	20.1%	0.0%	3	1	X	0.6%	25.5%	0.0%
2	1	X	2.1%	19.4%	0.0%	2	1	X	0.6%	23.3%	0.0%
1	1	X	1.8%	18.6%	0.0%	1	1	X	0.6%	21.6%	0.0%
11	1	Y	4.1%	0.0%	0.0%	11	1	Y	1.4%	0.0%	0.0%
10	1	Y	2.7%	0.0%	0.0%	10	1	Y	0.1%	0.0%	0.0%
9	1	Y	2.2%	0.0%	0.0%	9	1	Y	0.4%	0.0%	0.0%
8	1	Y	1.8%	0.0%	0.0%	8	1	Y	0.5%	0.0%	0.0%
7	1	Y	1.6%	0.0%	0.0%	7	1	Y	0.6%	0.0%	0.0%
6	1	Y	1.4%	0.0%	0.0%	6	1	Y	0.8%	0.0%	0.0%
5	1	Y	1.2%	7.5%	0.0%	5	1	Y	0.7%	68.3%	0.0%
4	1	Y	1.1%	6.9%	0.0%	4	1	Y	0.5%	60.3%	0.0%
3	1	Y	1.1%	7.1%	0.0%	3	1	Y	0.3%	53.8%	0.0%
2	1	Y	1.0%	6.9%	0.0%	2	1	Y	0.3%	47.7%	0.0%
1	1	Y	0.9%	6.6%	0.0%	1	1	Y	0.2%	41.6%	0.0%

***** 规定水平力下框架柱、框支框架、短肢墙地震倾覆力矩百分比（改进轴力方式） *****					
层号	塔号	框架柱	框支框架	短肢墙	
11	1	X	3.3%	0.0%	0.0%
10	1	X	1.2%	0.0%	0.0%
9	1	X	1.6%	0.0%	0.0%
8	1	X	1.7%	0.0%	0.0%
7	1	X	1.0%	0.0%	0.0%
6	1	X	0.2%	0.0%	0.0%
5	1	X	3.4%	51.4%	0.0%
4	1	X	3.5%	38.5%	0.0%
3	1	X	2.6%	29.3%	0.0%
2	1	X	0.8%	22.2%	0.0%
1	1	X	0.4%	21.2%	0.0%
11	1	Y	1.9%	0.0%	0.0%
10	1	Y	0.7%	0.0%	0.0%
9	1	Y	0.4%	0.0%	0.0%
8	1	Y	0.3%	0.0%	0.0%
7	1	Y	0.1%	0.0%	0.0%
6	1	Y	0.1%	0.0%	0.0%
5	1	Y	0.0%	88.4%	0.0%
4	1	Y	0.3%	76.5%	0.0%
3	1	Y	0.3%	65.7%	0.0%
2	1	Y	0.3%	56.7%	0.0%
1	1	Y	0.2%	48.5%	0.0%

为了避免规范算法带框支转换层的结构，框支框架部分倾覆力矩过小的问题，盈建科软件将总倾覆弯矩（即分母）扣除框支层以上的倾覆弯矩，如此处理相当于仅统计框支楼层范围内的结果。

在【高级参数】——【整体指标】里面也开放了接口，默认为勾选。



下图为是否勾选该参数的效果，可见勾选之后对于框支框架部分倾覆力矩是有提高的。

***** 规定水平力下框架柱、框支框架、短肢墙地震倾覆力矩百分比 *****						***** 规定水平力下框架柱、框支框架、短肢墙地震倾覆力矩百分比 *****					
层号	塔号		框架柱	框支框架	短肢墙	层号	塔号		框架柱	框支框架	短肢墙
11	1	X	7.3%	0.0%	0.0%	11	1	X	7.3%	0.0%	0.0%
10	1	X	5.2%	0.0%	0.0%	10	1	X	5.2%	0.0%	0.0%
9	1	X	4.3%	0.0%	0.0%	9	1	X	4.3%	0.0%	0.0%
8	1	X	3.8%	0.0%	0.0%	8	1	X	3.8%	0.0%	0.0%
7	1	X	3.5%	0.0%	0.0%	7	1	X	3.5%	0.0%	0.0%
6	1	X	3.1%	0.0%	0.0%	6	1	X	3.1%	0.0%	0.0%
5	1	X	2.5%	21.1%	0.0%	5	1	X	2.5%	67.3%	0.0%
4	1	X	2.4%	19.9%	0.0%	4	1	X	2.4%	42.2%	0.0%
3	1	X	2.2%	20.1%	0.0%	3	1	X	2.2%	34.9%	0.0%
2	1	X	2.1%	19.4%	0.0%	2	1	X	2.1%	29.9%	0.0%
1	1	X	1.8%	18.6%	0.0%	1	1	X	1.8%	26.3%	0.0%
11	1	Y	4.1%	0.0%	0.0%	11	1	Y	4.1%	0.0%	0.0%
10	1	Y	2.7%	0.0%	0.0%	10	1	Y	2.7%	0.0%	0.0%
9	1	Y	2.2%	0.0%	0.0%	9	1	Y	2.2%	0.0%	0.0%
8	1	Y	1.8%	0.0%	0.0%	8	1	Y	1.8%	0.0%	0.0%
7	1	Y	1.6%	0.0%	0.0%	7	1	Y	1.6%	0.0%	0.0%
6	1	Y	1.4%	0.0%	0.0%	6	1	Y	1.4%	0.0%	0.0%
5	1	Y	1.2%	7.5%	0.0%	5	1	Y	1.2%	23.0%	0.0%
4	1	Y	1.1%	6.9%	0.0%	4	1	Y	1.1%	14.2%	0.0%
3	1	Y	1.1%	7.1%	0.0%	3	1	Y	1.1%	12.1%	0.0%
2	1	Y	1.0%	6.9%	0.0%	2	1	Y	1.0%	10.5%	0.0%
1	1	Y	0.9%	6.6%	0.0%	1	1	Y	0.9%	9.2%	0.0%

由于该处理方式相对简单，并不能够适应所有框支转换结构，因此对于框支转换结构，建议采用“改进轴力方式”或者“轴力方式”作为判别依据。而对于非框支转换结构，可以采用规范方式作为倾覆力矩百分比的判别依据。

下面我们来看两组常见问题：

问题 1：首、二层没有斜撑，哪里来的短肢倾覆力矩？

***** 规定水平力下框架柱、短肢墙地震倾覆力矩 *****							
层号	塔号		框架柱	短肢墙	普通墙	斜撑	合计
6	1	X	575.6	0.0	0.0	0.0	575.6
5	1	X	5301.0	0.0	0.0	2027.0	7328.0
4	1	X	12724.8	0.0	0.0	2027.0	14751.8
3	1	X	22134.4	0.0	0.0	5821.3	27955.7
2	1	X	32699.1	0.0	0.0	5821.3	38520.3
1	1	X	29961.0	0.0	14717.9	5821.3	50500.2
6	1	Y	623.5	0.0	0.0	0.0	623.5
5	1	Y	6967.6	0.0	0.0	1196.4	8164.0
4	1	Y	16250.2	0.0	0.0	1196.4	17446.6
3	1	Y	26732.7	0.0	0.0	4144.2	30876.9
2	1	Y	38789.0	0.0	0.0	4144.2	42933.2
1	1	Y	35012.4	0.0	19453.7	4144.2	58610.2

答：通过规范公式可以知道，倾覆力矩是累加下来的，由于上面有斜撑，因此尽管首、二层没有斜撑，但是依然会累加上面斜撑的倾覆力矩。

$$M_c = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m V_{ij} h_i$$

问题 2：首、二层普通墙全改为短肢墙，为什么规范算法还有普通墙，而轴力方式则没有？

***** 规定水平力下框架柱、短肢墙地震倾覆力矩 *****							***** 规定水平力下框架柱、短肢墙地震倾覆力矩（轴力方式） *****						
层号	塔号	框架柱	短肢墙	普通墙	斜撑	合计	层号	塔号	框架柱	短肢墙	普通墙	斜撑	合计
14	1	X	51.5	0.0	-27.0	0.0	14	1	X	74.2	0.0	-46.4	0.0
13	1	X	51.5	0.0	453.2	0.0	13	1	X	0.0	0.0	504.7	0.0
12	1	X	51.5	0.0	1235.7	0.0	12	1	X	0.0	0.0	1287.2	0.0
11	1	X	51.5	0.0	2232.6	0.0	11	1	X	0.0	0.0	2284.2	0.0
10	1	X	51.5	0.0	3391.8	0.0	10	1	X	0.0	0.0	3443.3	0.0
9	1	X	51.5	0.0	4679.2	0.0	9	1	X	0.0	0.0	4730.8	0.0
8	1	X	51.5	0.0	6071.4	0.0	8	1	X	0.0	0.0	6122.9	0.0
7	1	X	51.5	0.0	7563.1	0.0	7	1	X	0.0	0.0	7614.7	0.0
6	1	X	51.5	0.0	9163.4	0.0	6	1	X	0.0	0.0	9215.0	0.0
5	1	X	51.5	0.0	10878.9	0.0	5	1	X	0.0	0.0	10930.4	0.0
4	1	X	51.5	0.0	12709.4	0.0	4	1	X	0.0	0.0	12761.0	0.0
3	1	X	51.5	0.0	14648.2	0.0	3	1	X	0.0	0.0	14699.8	0.0
2	1	X	51.5	2037.0	14648.2	0.0	2	1	X	0.0	16736.8	0.0	16736.8
1	1	X	51.5	3493.4	14648.2	0.0	1	1	X	0.0	18193.2	0.0	18193.2
14	1	Y	0.9	0.0	31.3	0.0	14	1	Y	4.9	0.0	27.8	0.0
13	1	Y	0.9	0.0	631.6	0.0	13	1	Y	0.0	0.0	632.9	0.0
12	1	Y	0.9	0.0	1596.2	0.0	12	1	Y	0.0	0.0	1597.7	0.0
11	1	Y	0.9	0.0	2805.8	0.0	11	1	Y	0.0	0.0	2807.4	0.0
10	1	Y	0.9	0.0	4187.8	0.0	10	1	Y	0.0	0.0	4189.6	0.0
9	1	Y	0.9	0.0	5713.9	0.0	9	1	Y	0.0	0.0	5715.8	0.0
8	1	Y	0.9	0.0	7380.1	0.0	8	1	Y	0.0	0.0	7382.2	0.0
7	1	Y	0.9	0.0	9188.1	0.0	7	1	Y	0.0	0.0	9190.3	0.0
6	1	Y	0.9	0.0	11140.4	0.0	6	1	Y	0.0	0.0	11142.9	0.0
5	1	Y	0.9	0.0	13241.0	0.0	5	1	Y	0.0	0.0	13243.6	0.0
4	1	Y	0.9	0.0	15486.9	0.0	4	1	Y	0.0	0.0	15489.7	0.0
3	1	Y	0.9	0.0	17856.1	0.0	3	1	Y	0.0	0.0	17859.0	0.0
2	1	Y	0.9	2465.8	17856.1	0.0	2	1	Y	0.0	20324.9	0.0	20324.9
1	1	Y	0.9	4239.8	17856.1	0.0	1	1	Y	0.0	22098.8	0.0	22098.8

答：规范算法是累加的，从规范公式可见，倾覆力矩要两次求和，一次是本次构件加和，一次是层层叠加，因此下面两层会出现普通墙的倾覆力矩。

而轴力方式是标准的力学算法，只考虑本层构件的加和，因此下面两层没有普通墙的倾覆力矩。

由于篇幅的原因，本文将分为上、中、下三篇，“程序中输出的多处倾覆力矩有什么区别？”“倾覆力矩大于 100%”等常见问题，我们将会后续文章中一一揭晓，敬请期待。

参考文献：

- [1] 陈岱林、高航等. 结构软件技术条件及常见问题详解. 北京：中国建筑工业出版社，2015
- [2] 曾庆立、魏涟等. 部分框支剪力墙结构框支框架承担倾覆力矩计算方法的研究. 建筑结构 2021（10）：7-11
- [3] 魏涟、曾庆立等. 框架部分承担倾覆力矩的力偶算法. 深圳土木与建筑 2018（1）：43-49