

佳构 STRAT 软件振型周期值，为什么不同于其他软件？

——佳构 STRAT 与 PKPM、YJK、ETABS、MIDAS/Gen 等 (2016/09)

【概要】

- 1、实际工程中，经常 JG-STRAT 的周期与其他软件差别大，造成困惑，必须找出原因。
- 2、算例表明，框架结构周期能够一致。
- 3、算例表明，框架-剪力墙结构，各软件之间差别较大，甚至基本周期的方向都不同。
- 4、当用墙单元计算连梁时，“墙梁中点从属刚性楼板”因素影响大。无该选项，则 PKPM、YJK 与 JG 接近。有该选项时，PKPM、YJK 与 JG 差别大，且基本周期方向改变。ETABS、MIDAS 结果显示隐含包含该选项。**“墙梁中点从属刚性楼板”人为使连梁刚度增大 4 倍**，造成显著计算偏差。
- 5、如排除墙梁因素、用梁单元模拟连梁，JG 能保持不变，但其他软件周期增大 35~90%，显著差异。显示 JG 计算准确可靠、且墙单元力学性能卓越。
- 6、有限元细分模型进一步验证，JG 结果吻合度最好。

在实际工程应用中，JG-STRAT 软件计算的自振周期，经常与其他软件有较大差别。这里进行深入剖析，找出产生差别的原因。

1、框架结构 ——高度一致

简单框架模型，5 层框架，总高度 16.5m，恒载 2.0、活载 4.0 (图 1)。

JG 采用隐含的 Lanczos 方法。对比软件选用 YJK，采用隐含 Ritz 向量法。结果见表 1，两者高度一致。

表 1、框架结构振型周期 (单位：秒)

振型类型	JG-STRAT	YJK	YJK/JG-1.0
X 平动	0.9082	0.9012	-0.77%
Y 平动	0.8751	0.8581	-1.94%
扭转	0.7636	0.7602	-0.44%

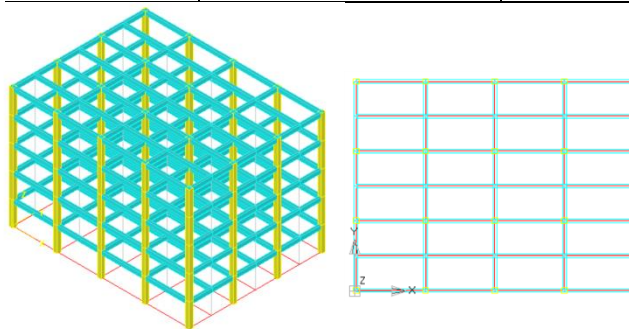


图 1、框架结构模型

2、框架-剪力墙结构 ——差别很大

框架-核心筒结构，16 层总高 48.6m，见图 2。柱截面 1.0×1.0，梁截面 0.3×0.6。剪力墙厚度 0.3m，沿 x 向墙开洞，设 0.8m 高连梁。沿 y 向无剪力墙开洞。楼面恒载 4.5、活载 2.5。

采用 JG-STRAT、ETABS(Ritz)、MIDAS/Gen(Lanczos)、PKPM(SubSpaces)、YJK 等软件计算。计算参数设置如下：

- 1) 剪力墙连梁模型：JG 采用梁单元，其他软件采用墙单元。
- 2) 取消各类调整系数：无梁柱刚度调整、无连梁刚度折减、无刚臂、无扭转刚度调整，等等。
- 3) 采用刚性楼层假定。其中，针对 PKPM、YJK “墙梁跨中节点作为刚性楼板从节点”选项，分别计算，表 2 中“梁中点刚”为选中结果。

结果见表 2。可看出各软件差别非常大：

- 1) 基本周期方向改变。JG 与 PKPM、YJK 基本周期为 T_x ，而 PKPM、YJK “梁中点刚” 模式以及 ETABS、MIDAS 基本周期为 T_y 。
 - 2) T_y 差别小。
 - 3) T_x 差别大。PKPM 稍小于 JG，YJK 稍大于 JG，三者接近，差别小于 2%。而 PKPM、YJK “梁中点刚” 模式以及 ETABS、MIDAS，均小于 JG，差别大于 8%。
 - 4) 墙梁中点采用刚性楼层假定，差别显著。PMPM、YJK 本身即有差别(见表 3)，ETABS、MIDAS 从表中数值看，隐含采用了 “梁中点刚” 的模式。
- 由此可见，JG 计算的振型周期值是合理的。

表 2、框筒结构振型周期（单位：秒）（比值以 JG 为基准）

振型类型	JG-STRAT	PKPM	YJK	PKPM (梁中点刚)	YJK (梁中点刚)	ETABS	MIDAS
T_x	1.0106	0.9903 (-2.01%)	1.0213 (1.06%)	0.9223 (-8.74%)	0.9288 (-8.09%)	0.8410 (-16.78%)	0.9222 (-8.75%)
T_y	0.9355	0.9421 (0.71%)	0.9430 (0.80%)	0.9419 (0.68%)	0.9430 (0.80%)	0.9651 (3.16%)	0.9498 (1.53%)
扭转	0.9258	0.8930 (3.54%)	0.9188 (0.76%)	0.8275 (10.62%)	0.8340 (9.92%)	0.7524 (18.73%)	0.8249 (10.90%)
备注	$T_x > T_y$	$T_x > T_y$	$T_x > T_y$				

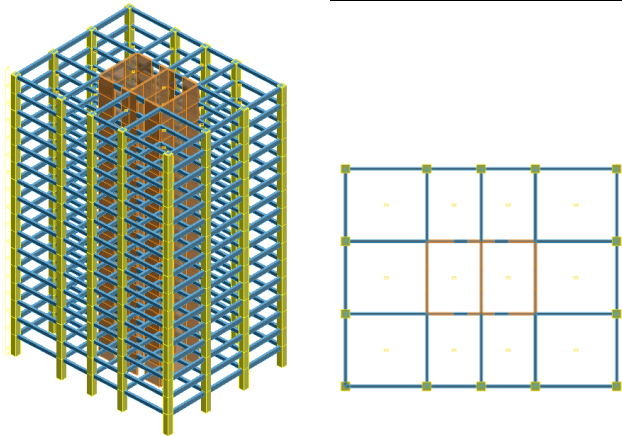


图 2、框架-剪力墙结构模型

3、框架-剪力墙结构 —— “墙梁中点从属刚性楼板” 对周期的巨大影响

当连梁采用墙单元计算时，如果刚性楼层假定不排除墙梁中间节点，将导致人为增大连梁刚度。

如图 3 所示，矩形截面连梁中和轴位于截面半高度。当采用刚性楼层假定时，楼面内节点纵向变形为 0，自然使得中和轴位于连梁的上边缘。

对于常见矩形截面，其抗弯刚度是原值的 4 倍，自然使结构抗侧刚度增大、振动周期显著减小。表 3 列出 PKPM、YJK 两软件该系数的影响，前后相差达 7%。

表 3、“梁中点刚” 使自振周期减小的比值 (%)

振型类型	PKPM	YJK
T_x	-6.87%	-9.06%
扭转	-6.61%	-10.17%

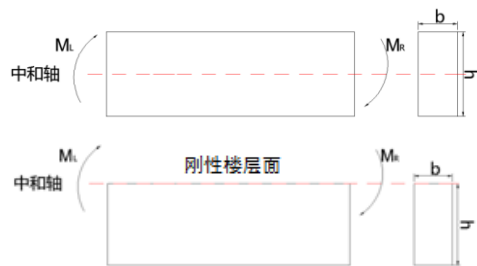


图 3、刚性楼层下，墙梁中和轴位于上缘，使 EI 增大 4 倍

有关“墙梁中点从属刚性楼层”

墙梁中点刚性楼层导致中和轴偏移、使弯曲刚度增大数倍，使高层结构计算严重失真，是个重大问题。

JG 对此早就有深刻认识。虽然 JG 高性能墙单元，不依赖“墙元计算连梁”，但 JG 软件“超元梁”功能——对全部连梁、框架梁有限元细分(见第 5 节)，仍遇到该问题。JG 自始至终强调：使用超元梁时，不能采用刚性楼层假定。

例如，YJK 软件帮助文档中，关于“墙梁跨中节点作为刚性楼板从节点”的解释：“勾选时，由于受到刚性楼板约束，水平荷载作用下的梁端剪力一般较不受刚性约束时大”。——虽然意识到问题，但不了解原因，更没有充分了解其危害！

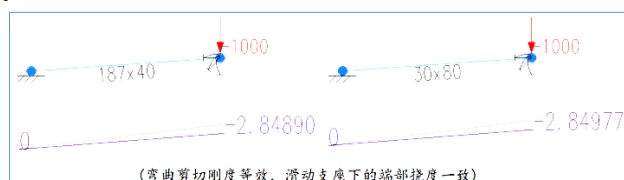
也很显然，这不仅仅是某一软件的问题。

正是这种理论认识上的不足，导致高层结构连梁计算的问题，以讹传讹，数十年来一直存在，而不被认知！

4、框架-剪力墙结构 ——用梁单元(Beam)算连梁，墙单元本身性能影响大

进一步分析，各软件统一采用梁单元(Beam)模拟连梁。(刚性楼层对梁单元没有影响)。

为了避免一些软件高连梁自动转换墙单元，将原 0.3×0.8 截面，按弯曲、剪切综合刚度等效，替换成 1.87×0.4 的宽扁梁。



结果见表 4，同时列出与表 2 中各软件自身周期的比值。可看出：

- 1) JG 两模型结果高度吻合。周期稍有增加，因为宽扁梁自重增加。
- 2) 其他软件 T_x 显著增大，普遍增大 35% 以上，最大达到 95%。
- 3) 基本周期均为 T_x ，与表 2 中 JG 结果一致。

由此可见，**JG 计算准确可靠**。而其他软件均存在**计算模式改变导致计算结果不同**的现象，使计算失去真实可靠性。

该算例实际上体现了墙单元的性能（参见《佳构 STRAT 软件技术资料：剪力墙单元计算精度算例比较》）。

表 4、框架-剪力墙结构，连梁用 Beam 单元的振型周期
(比值以表 2 为基准，各软件自身比较)

振型类型	JG-STRAT	PKPM	YJK	ETABS	MIDAS
T_x	1.0189 (0.8%)	1.4271 (44.1%)	1.4280 (39.8%)	1.1339 (34.8%)	1.7993 (95.1%)
T_y	0.9433 (0.8%)	0.9528 (1.1%)	0.9532 (1.1%)	0.9814 (1.7%)	1.1432 (20.4%)
扭转	0.9270 (0.1%)	1.1372 (27.3%)	1.1371 (23.8%)	1.0201 (35.6%)	1.3981 (69.5%)
备注	$T_x > T_y$	$T_x > T_y$	$T_x > T_y$	$T_x > T_y$	$T_x > T_y$

5、框架-剪力墙结构 ——全楼细分有限元模型，进一步验证 JG 的正确性

前面各软件结果差别较大，仍无法验证 JG-STRAT 计算周期的正确性。
为了验证结果的可靠性，采用 JG 建立全楼细分有限元模型，对剪力墙、连梁、框架梁、楼板，全部采用板单元细分，且具有足够的细分密度(图 4)。采用梁、墙细分有限元模型模拟。
与此匹配，对原计算模型考虑梁柱节点域设刚臂(图 5)，并采用弹性楼板以计入 120 厚楼板抗弯刚度贡献。其他软件，也考虑梁柱节点域刚臂及弹性楼板。结果见表 5。

可看出，JG 的刚域模型结果，与全楼细分模型，最为接近。细分模型结果验证了 JG 表 2 中结果的准确性。

表 5、框架-剪力墙结构，全楼细分、刚域模型振型周期（单位：秒）
(比值以 JG 细分模型为基准)

振型类型	JG (细分)	JG (刚域)	PKPM (刚域)	YJK (刚域)	ETABS (刚域)	MIDAS (刚域)
X 平动	0.9532	0.9574 (0.44%)	0.9680 (1.55%)	0.9974 (4.63%)	0.8059 (-15.45%)	0.8823 (-7.44%)
Y 平动	0.8223	0.8770 (6.65%)	0.9165 (8.29%)	0.9173 (11.55%)	0.9182 (11.66%)	0.8905 (8.89%)
扭转	0.8335	0.8452 (1.40%)	0.8657 (6.68%)	0.8888 (6.63%)	0.7152 (-15.19%)	0.7778 (-5.05%)

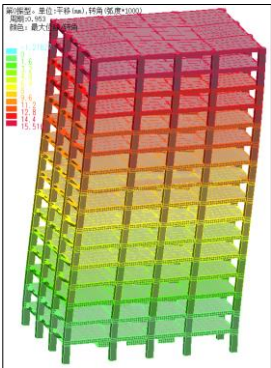


图 4、JG 全楼细分有限元模型

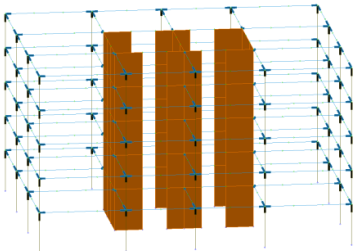
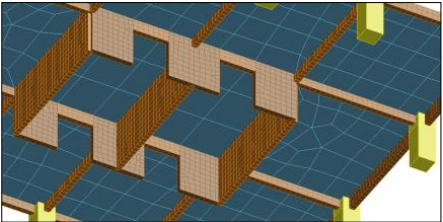


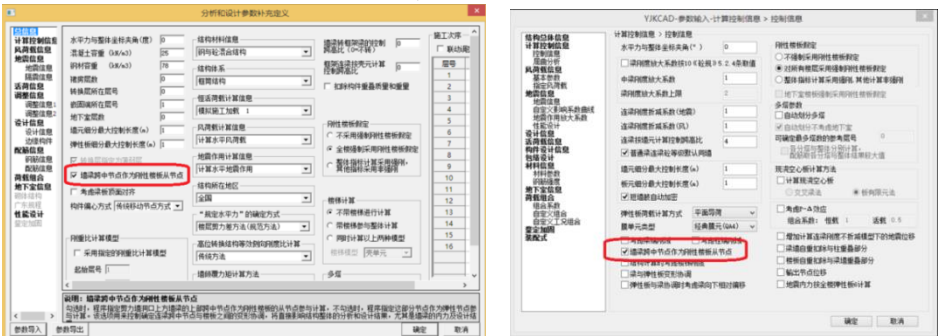
图 5、JG 梁柱节点域刚臂

附录 1、框架结构振型周期（左 JG，右 YJK）

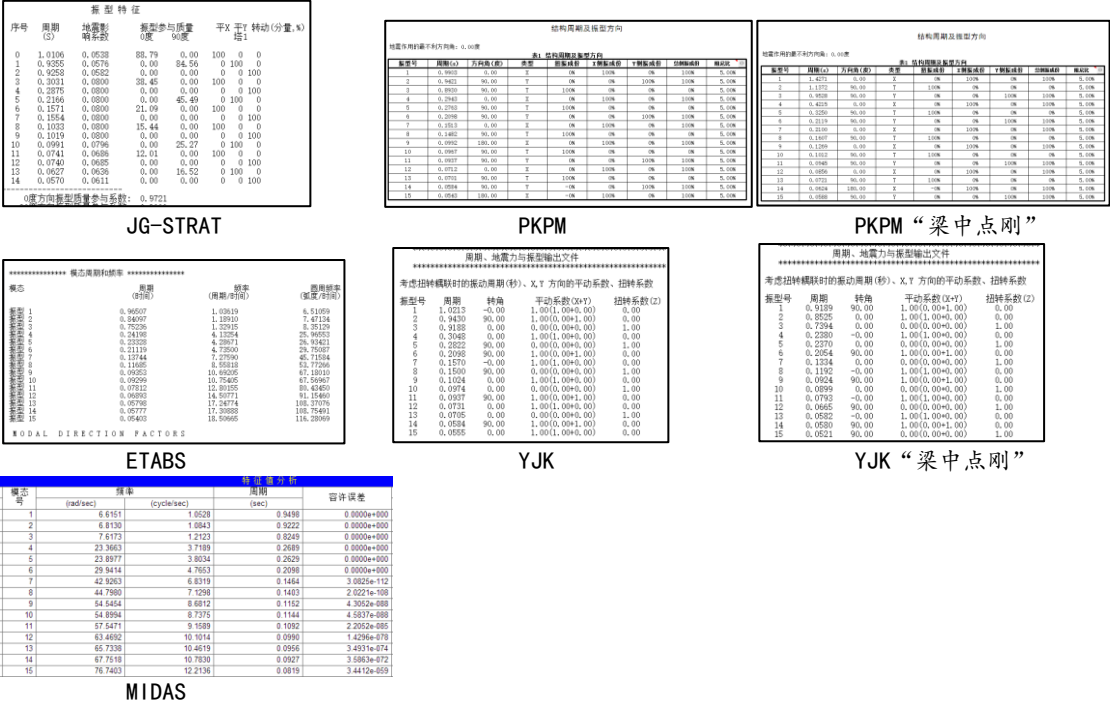
振型特征						
序号	周期 (s)	地震影响系数	振型参与质量 0度	平 X 平 Y 转动 (分量, %)	塔 1	
0	0.9082	0.0125	0.00	42.18	0 100 0	
1	0.8751	0.0190	42.27	0.00	100 0 0	
2	0.7636	0.0146	0.00	0.00	0 0 100	
3	0.2795	0.0362	0.00	15.47	0 100 0	
4	0.2711	0.0372	15.37	0.00	100 0 0	
5	0.2365	0.0400	0.00	0.00	0 0 100	
6	0.1484	0.0400	0.00	9.97	0 100 0	
7	0.1455	0.0400	9.86	0.00	100 0 0	
8	0.1268	0.0400	0.00	0.00	0 0 100	
9	0.0958	0.0391	0.00	6.95	0 100 0	
10	0.0949	0.0389	6.84	0.00	100 0 0	
11	0.0824	0.0361	0.00	0.00	0 0 100	
12	0.0730	0.0341	0.00	3.92	0 100 0	
13	0.0728	0.0340	3.84	0.00	100 0 0	
14	0.0631	0.0319	0.00	0.00	0 0 100	

考虑扭转耦联时的振型周期(秒)、X、Y 方向的平动系数、扭转系数				
振型号	周期	转角	平动系数(X+Y)	扭转系数(Z)
1	0.9012	90.00	1.00(0.00+1.00)	0.00
2	0.8581	-0.00	1.00(1.00+0.00)	0.00
3	0.7602	0.00	0.00(0.00+0.00)	1.00
4	0.2778	90.00	1.00(0.00+1.00)	0.00
5	0.2668	-0.00	1.00(1.00+0.00)	0.00
6	0.2357	0.00	0.00(0.00+0.00)	1.00
7	0.1478	90.00	1.00(0.00+1.00)	0.00
8	0.1440	-0.00	1.00(1.00+0.00)	0.00
9	0.1265	0.00	0.00(0.00+0.00)	1.00
10	0.0956	90.00	1.00(0.00+1.00)	0.00
11	0.0944	-0.00	1.00(1.00+0.00)	0.00
12	0.0823	0.00	0.00(0.00+0.00)	1.00
13	0.0730	90.00	1.00(0.00+1.00)	0.00
14	0.0728	-0.00	1.00(1.00+0.00)	0.00
15	0.0631	0.00	0.00(0.00+0.00)	1.00

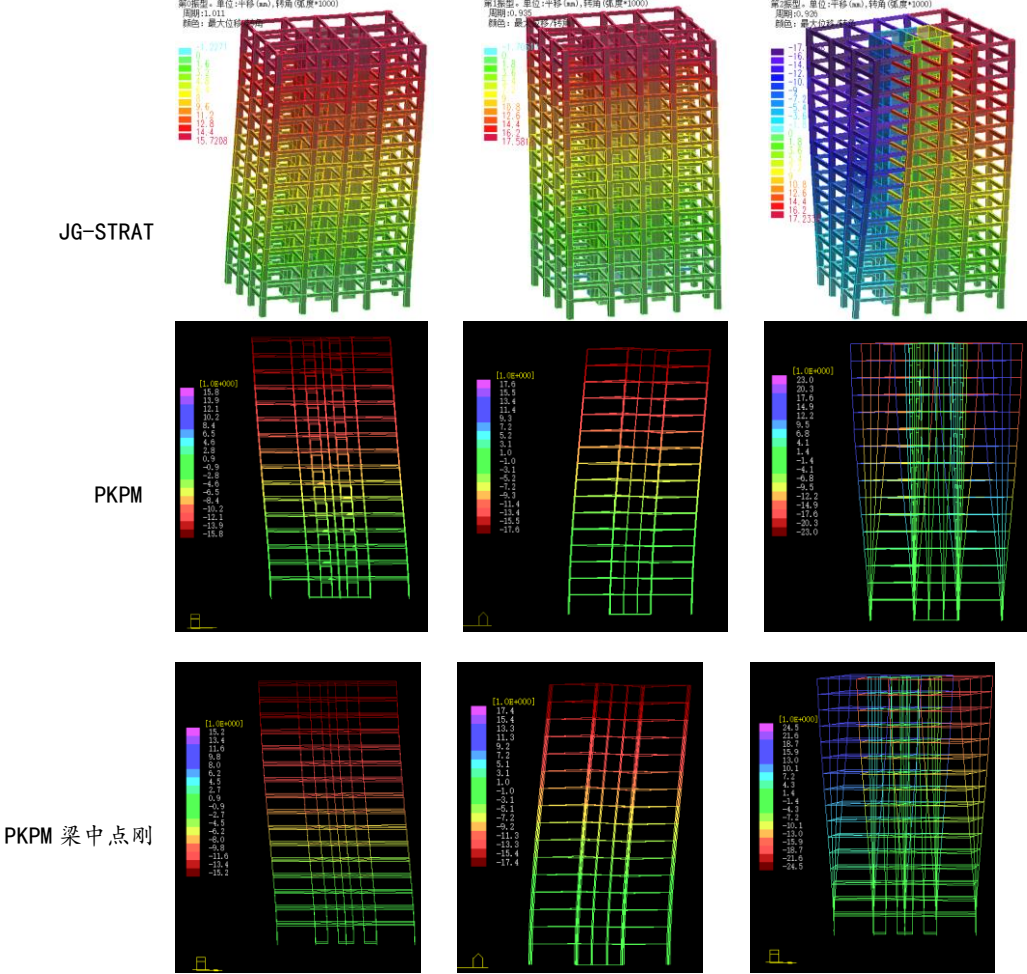
附录 2、PKPM、YJK 软件“墙梁从节点”选项，及计算参数设置（左 PKPM，右 YJK）



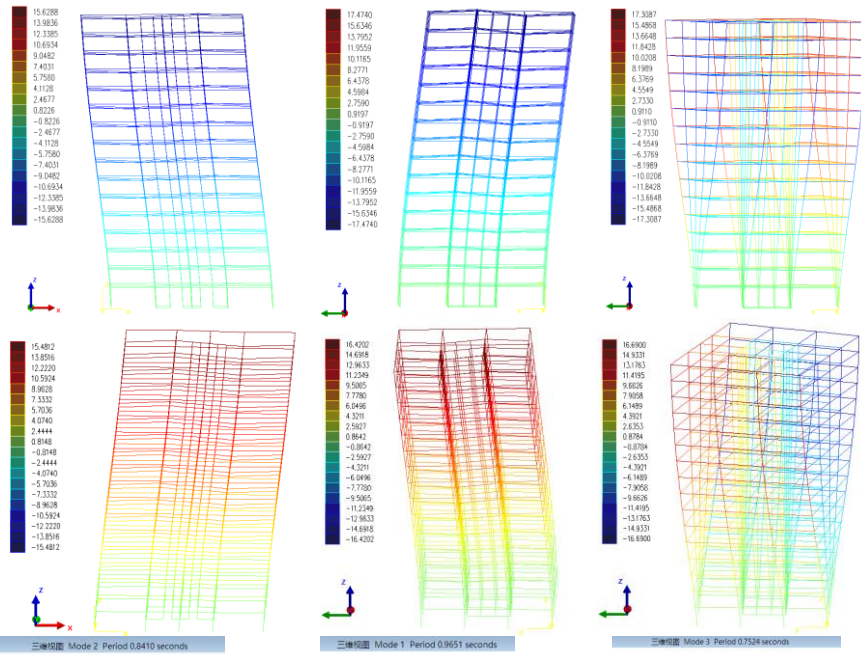
附录 3、框架-核心筒结构振型周期文本



附录 4、振型图

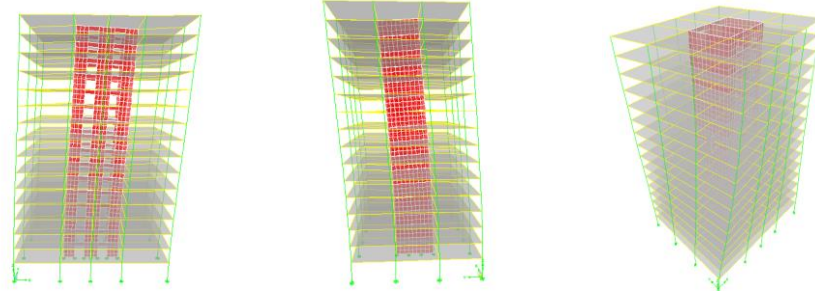


YJK



YJK 梁中点刚

ETABS



MIDAS

