

佳构 STRAT 软件大震弹塑性时程分析操作要点与技巧

(上海佳构软科技有限公司, 2015/12)

1、计算发散是计算不成功吗？

大震模拟结构在强荷载下屈服、破坏。当结构整体不足，或存在薄弱环节时，结构出现过大变形，是正常现象。由于大震分析是数值模拟，与一般试验得到的想象毕竟有所不同。数值分析中的结构实效、破坏，往往表现为过大的变形。

薄弱环节导致的大震破坏，是数值分析的特点所致。当局部构件出现大范围屈服，构件刚度趋于极小值。在动力响应中，刚度极小的构件变形会放大、动力效应集中(类似高层中的辫梢效应、减震结构中的悬挂钟摆)。这种局部的放大会导致相邻构件的破坏，并逐步扩散到整个结构，导致结构破坏，计算发散。

2、怎样根据分析结果，找到导致发散的“病灶”

一旦计算发散，最终变形会是一个极大值(例如 $10e6$)，图形已经混乱，无法找到破坏点。这是可以将变形缩小(例如 $10e-6$)。

然后，分步察看变形图。找到开始发散的几步。缩小图形的变形比例，会发现最初变形特别大的构件。这些构件即是导致发散的病灶。

3、怎样增强薄弱构件

1) 混凝土构件：增加配筋。混凝土的抗震性能，主要来自于钢筋。梁柱纵筋直接影响屈服承载力和屈服后的性能。梁柱的箍筋，在考虑“约束混凝土”增强的时，能提高混凝土的屈服强度、和弹性模量。

2) 钢支撑：设二力杆，或不算自重。高层中的钢支撑对抗震往往起关键作用(例如加强层)，支撑的应力比都很高，往往达到全截面屈服。但如果存在弯矩，即便弯矩很小的情况下，都会导致截面应力分布不均匀，承载能力下降。在反复荷载作用下，这种全截面屈服基础的上不均匀分布应力，各部分加卸载状态不同，刚度差异极大，往往导致破坏发散。设二力杆是弯矩为 0，全截面应力相同、状态相同，极大提高屈服后性能。此外，STRAT 软件中，二力杆仍包含自重的弯矩(实际情况就这样)，必要时支撑不算自重。

3) 剪力墙：a)避免狭长墙单元，适当合并节点。b)增加配筋，不仅需要增加主要受力的暗柱钢筋，在有较大水平受力的部位还需要增加水平分布钢筋。

4) 增加纤维细分密度。纤维越密精度越高，计算越稳定。全部构件纤维加密计算量太大，局部薄弱的构件可以增加纤维密度。

5) 改善结构。梁与墙平面外连接的，可以在墙另外一侧设一段梁，形成连续梁。

4、避免小构件

结构模型中经常采用小截面构件导算荷载，例如 PKPM 中的虚梁。在大震分析中，这些小截面构件必须处理。因为大震分析需要根据构件的实际承载力计算其状态。这些小构件承载力都严重不足，在恒、活载作用下就达到屈服甚至破坏，使计算失真，并往往导致计算发散。

此外，剪力墙也不宜过小。尤其是洞口侧边、墙断部，避免出现宽度小于 0.1m 的极小墙单元。可以采用如下处理措施：

- 1) 小截面梁处理：删除，或者不计算“材料非线性”。
- 2) 小截面墙处理：适当合并墙元。如果梁较为密集，将梁端部集中到一个节点，然后设梁端三维偏心（佳构“墙整合”命令能自动这样处理）。

5、怎样判断结构是否失效

出现明显的、不可恢复的塑性变形，可以认为是结构失效的直接依据。

一般情况下，地震波沿轴线上下波动，振幅正负值大小基本相同。如果结构屈服严重，在一个方向产生的过大屈服变形、在反向作用下的卸载不足以抵消这些屈服变形，将导致不可恢复的塑性变形。

不可恢复塑性变形的特点：结构的侧移曲线，偏向一侧，不再沿轴线上下波动。

一旦出现不可恢复的塑性变形，在持续的地震作用下，塑性变形将逐步累加，这时结构已经处于不稳定状态，可以判定结构失去继续承载能力，结构已经失效。

6、刚臂的处理方法

刚臂的弹性模量，不宜增大太多。刚度极大，导致 PCG 迭代速度降低。

刚臂的计算模式：截面与普通截面相同。材料弹性模量提高 100 倍，即可。

刚臂可以不计算“材料非线性”。

7、弹性时程、弹塑性时程的差异

1) 弹塑性是分步直接积分，弹性时程如果采用振型叠加法，算法本身就存在差异。弹性时程对比，最好也采用直接积分法。

2) 弹性时程混凝土截面没有考虑钢筋，弹塑性包含钢筋的刚度贡献。

3) 弹性时程混凝土采用割线模型(规范提供 E_c 值)，弹塑性时程采用混凝土骨架曲线的切线模量。在应力较低时，切线模量大于割线模量。

4) 弹性时程的截面刚度针对截面几何形状直接计算，弹塑性的截面刚度根据细分纤维积分，纤维积分存在一定的误差。

8、采用“弹性纤维”，实现弹性、弹塑性时程分析的精细对比

仍采用纤维模型，且包含钢筋刚度，但不考虑材料的屈服。这样时程分析时，结构是弹性的，与弹塑性时程结果具有高度对比性。

材料不屈服实现方法：1)弹性模量不改变，2) 提高屈服强度。具体设置方法如下：

1) 混凝土：

Prep 材料表内， $f_c/f_t/f_{ck}/f_{tk}$ 等值均增大 100 倍。

Strat 大震“砼纤维”参数：峰值应变选择“设定”，由 0.02 增大 100 倍到 0.2。

2) 钢材：

Prep 材料表内， $f/f_v/f_y/f_{vk}/f_{tk}$ 等值均增大 100 倍。

3) 钢筋：

Strat 大震“钢筋纤维”参数：梁主筋、柱主筋等的 f_{yk} 增大 100 倍

9、钢筋对于混凝土构件的重要作用

如果没有钢筋，混凝土构件作为脆性材料，大震作用下很快就会破坏、计算发散。

10、弹性楼板下的梁侧面钢筋

在弹性楼板下，梁往往侧面有较大的受力。而设计中梁的钢筋集中在上下顶面，侧面的抗弯作用很弱。这时梁需要配置一定的侧面钢筋。

STRAT/Prep 内“非线性初始化”时，有侧面钢筋的选项。侧面钢筋通过配筋率确定。

两侧向毕竟是次要受力方面。侧面钢筋有一定值即可，一般不需要很大。如果梁存在极大的侧向力，这时仅靠侧面构造钢筋不能满足要求。这样需要将“梁”改为“柱”。佳构软件中，柱与梁的钢筋构成方式不同。柱可以设定两方向的钢筋。并且在佳构软件，柱并不一定需要是竖直的。

11、大震中弹性楼板处理

超高层结构的中楼板只是协调平面变形，弹性楼板的网格不必很细，以免增加计算量。再者，楼板细分导致周边的梁、墙细分，形成琐碎构件，增大发散、失效的可能性。

弹性楼板的网格与梁格的大小一致即可。如果梁格宽度 3m，设板细分也为 3m。

大震模型的中弹性楼板，不需要专门输出“超元”作为楼板。软件有“网格布板”功能，直接在有网格荷载的位置，布置上弹性楼板。

12、弹性楼板必须考虑材料非线性

弹性楼板厚度虽然不大，但在梁大范围屈服的情况下，楼板的抗弯刚度就是很大的值了。如果楼板保持弹性，梁屈服的情况下板仍有较大的弯矩，将破坏结构的“强柱弱梁”机制，使柱、墙分担极大的地震力，往往导致柱墙破坏。

弹性楼板如果不考虑非线性，大震分析几乎都会发散。

但弹性楼板的计算精度可以适当降低。例如佳构软件的楼板的采用分层壳模型，厚度分层可以减少一点，例如 4~6 层即可(程序隐含 10 层)。

13、为什么混凝土最大应力大于设计强度？

STRAT 软件隐含考虑混凝土梁、柱的箍筋约束作用对混凝土抗压强度的提高，这样得到的混凝土最大应力会大于设定的抗压标准强度。

14、为什么混凝土拉应变很大？

在不考虑混凝土裂缝机制的情况下，混凝土受拉超过一定值即退出工作。此时混凝土的拉应变，实际是同位置的钢筋应变。虽然混凝土拉应变很大，但应力为 0，刚度贡献也为 0。

在考虑裂缝机制下，混凝土达到抗拉极限后，裂缝之间的混凝土仍对钢筋有“握裹”作用，此时混凝土的拉应变对刚度是有影响的。

15、为什么 EL Centro 波被广泛采用？

EL Centro 波是美国在 1940 年得到的，是第一次捕捉到的最大加速度超过 300 gal 的强震记录。在这以前，由于强震仪自身质量不过关，强震发生时往往被破坏，没有得到过一条真正的强震记录。EL Centro 在地表测得，记录处的剪切波速约为 120m/s。

EL Centro 波不但最早，而且频谱特性适中，应用于各类试验、分析都能得到适中的结果，久而久之，形成经典。