

# ETABS、SAP、ANSYS 高层建筑结构分析应用比较

王建 李青

(华东建筑设计研究院有限公司, 上海, 200002)

**提 要** 针对 ETABS、SAP2000、ANSYS 三种软件, 从应用于高层建筑结构分析设计的角度进行对比分析, 重点从前处理、分析功能、后处理、软件接口的角度进行比较, 供结构设计同仁参考。

**关键词** ETABS, SAP2000, ANSYS, 高层建筑分析

## 0 高层结构设计软件

目前国内用于高层建筑结构分析、设计的软件主要有 PKPM、ETABS、SAP2000、ANSYS、MIDAS 等, 其中国产软件 PKPM 应用最为广泛, 其它软件应该说在分析领域都具有更加强大的功能, 但普遍结合中国规范的能力不如 PKPM, 各软件本身的设计能力也有高有低, 本文主要针对 ETABS、SAP2000、ANSYS 三种软件, 从应用于高层建筑结构设计角度进行对比分析, 供结构设计同仁参考。

值得注意的是, 上述 3 种软件处在不断的发展完善之中, 不同版本之间功能有所差异, 本文所述功能主要针对较新的软件版本: ETABS v9.08, SAP2000 v10.08, ANSYS10.0, 对于不同版本的其它不同功能也略有介绍。

## 1 软件定位

ETABS(Extended 3D Analysis of Building Systems)正如其名, 似乎是开发者专为(高层)建筑结构分析、设计而编写的软件, 当结构具有“层”的概念时, ETABS 的方便功能可以得到很好的体现, 对高层建筑结构而言, 这种优点更加突出。虽然现在很多高层结构外筒由于建筑需要设计成倾斜或曲线形, 但内筒仍多数保持竖直, 可以大部分发挥 ETABS “层”的功能。

SAP2000 (Structural Analysis Program) 可以理解为专门用于建筑、桥梁的“通用”有限元分析、设计软件, SAP2000 可以用于任意平面、空间结构, 其强大的功能主要体现在

王建, 男, 1975年11月生, 工学博士, 高级工程师

杆系结构方面，与实际的建筑和桥梁结构具有较好的建模“结合点”，例如节点刚域、构件偏心，甚至结构造价等方面。较新的 SAP 版本加入了实体单元，模拟楼面加载的功能也在 v10 以上的版本中得到体现。

SAP2000、ETABS 同为美国 CSI 开发，两种软件之间象是“父子”或“继承”关系，ETABS 来自 SAP，加入了更适合楼房结构的特点，同时也去掉了一些更加通用性的功能，例如实体单元等。

ANSYS 同 NASTRAN、ABAQUS 等许多软件一样都是通用有限元程序，之所以在这里重点列出，主要还是基于 ANSYS 软件在国内设计单位应用较为广泛。同其它通用有限元软件类似，ANSYS 也具有包括电、磁等其它学科领域的分析内容，用于建筑结构分析时又有其独有的特性。相对前面两种软件来说，ANSYS 应用于结构分析具有更多的功能，例如基于材料层面的弹塑性分析、完全大应变分析、弹塑性屈曲分析，以及较为突出的 APDL 参数化编程、控制功能，相应的，其前后处理就不太方便，需要编制相关的前后处理模块，一般可通过 APDL 作成批处理控制实现。

## 2 前处理

功能	子项	ETABS	SAP2000	ANSYS
层的模拟	层的模拟	层概念，对具有层模型的结构方便	利用分组 (group) 概念、或空间定位方法模拟层显示	利用 component/assembly 概念或空间定位方法模拟层显示
	相似层	有相似层概念，在相似层编辑状态下编辑相似层中的任一平面，相当于同时编辑所有相似层平面	无	无
	主从层概念	有主从层概念	无	无
利用模板	可否利用结构模板	有	有	无
	利用既有模型快速建立模型	可以	可以	可以
	特殊建筑结构构件模拟	有，例如次梁、支撑、压型钢板、组合梁	无，需要通过有限元概念模拟	无，需要通过有限元概念模拟
坐标系	多坐标系	皆可定义多个坐标系		
	坐标系类型	直角坐标	直角坐标、柱坐标	直角坐标、柱坐标、球坐标
	定义方式	先定原点再旋转	先定原点再旋转	多种方式

网格编辑功能		有	有	有
平面编辑功能		有, 且为主要建模、编辑方式		
3D 编辑功能		有, 主要在布置斜构件时采用		
几何构成(主要针对高层建筑结构)		点模拟质量, 线模拟梁、柱、支撑, 面模拟墙、楼板等		
单元构成		几何即单元, 可以定义隐式或显式划分		可以由几何体划分单元, 或者直接建立节点、单元, 最后的结构分析必须在节点、单元层面上进行
荷载及组合	荷载工况	同时定义多个荷载工况、荷载组合; 先定义荷载, 再定义分析工况, 最后定义荷载组合, 荷载组合可以定义在分析完成之后进行		通过 load step 定义荷载工况、load case 定义荷载组合, 可通过 APDL 批处理
图形显示速度		相对较慢、引入 OPENGL 功能后速度提高较大		相对较快

### 3 分析功能

功能	子项	ETABS	SAP2000	ANSYS
分析功能	常规	静力分析(恒、活、风)、地震反应谱、地震弹性时程		
	屈曲分析	无	可进行特征值分析, 获得临界荷载上限, 或用于确定构件计算长度系数	可进行特征值屈曲分析、非线性屈曲分析; 非线性屈曲分析可以考虑结构构件初始缺损, 更接近实际情况
	施工模拟	通过变刚度实现, 可考虑几何非线性, 与 SATWE 施工模拟不同		
		通过分层或分组实现	通过分组实现	通过死活单元实现
静力弹塑性 (Pushover)	适用于杆系结构, 通过指定塑性铰或设置 LINK 单元, 参照 FEMA、ATC, 可进行方便的 PUSHOVER 分析; 求解过程中需要克服收敛问题		无直接 PUSHOVER 分析, 可通过静力非线性分析实现, 需要预设构件骨架曲线	

		对剪力墙结构, 可通过等代柱、等代支撑组合构件模拟, 需要做到静力等代和非线性滞回关系等代		一般意义上的分析 (材料层面), 无所谓是否剪力墙
	动力弹塑性 (弹塑性时程分析)	通过 LINK 单元实现, 或通过 hinge 实现		考虑材料非线性的瞬态分析实现, 对于混凝土材料构件, 需要预设构件骨架曲线, 求解过程中需要克服收敛问题
非线性效应	几何非线性	可考虑 P-Δ 效应、大位移效应		可考虑 P-Δ、大位移、大应变效应
	材料非线性	通过 hinge 或 LINK 单元实现		材料层面上的弹塑性模型, 另有多种其它非线性类型
求解器	静力问题	较快	较快	较快
	特征值问题	特征值法、RITZ 向量法 (可以方便控制质量系数, 满足反应谱要求)		多种求解方法 (Block Lanczos, subspace, Reduced 等), 其中 reduced 方法可以有效控制质量系数, 满足反应谱要求
求解速度	硬件要求	主要决定于 CPU, 新版里已开始考虑内存加速		取决于 CPU、内存
算法	显式/隐式	隐式算法		隐式算法、显式算法 (特别适用于弹塑性时程、克服隐式算法的收敛问题)
批处理运行		— 批处理运行: 顺序运行多个文件		APDL 控制

#### 4 后处理

功能	子项	ETABS	SAP2000	ANSYS
后处理结果文件形式		文本文件, 或复制到 EXCEL 文件中	直接与文本文件、EXCEL 文件、ACCESS 文件数据接口	与文本文件有数据接口, 且可通过文件开关、读写控制处理数据
分析结果	总信息	直接输出总信息, 涵盖了大部分结构内容, 包括各工况总反力、风荷载、地震力、剪重比、位移角、位移比、刚重比、薄弱层判断等	无专门总信息, 大部分结果可通过输出到 EXCEL 表中稍做修改得到。对层间位移角、层剪力等需要在模型中专门设置些参数得到	相对较烦琐, 但对大型工程可通过 APDL 变成批处理文件。对部分结果 (例如时程分析反力) 等无法直接输出, 需要 APDL 命令流处理。

分析结果图形显示	位移	可显示变形图	可显示变形图, 如有平面单元可根据平面单元显示 contour 图	可显示 contour 图
	内力: 杆件	皆可显示构件弯矩、剪力、轴力		
		构件内力大小以附加图形高度显示	构件内力大小以 contour 图显示	
内力: 板壳	可显示平面力、平面力弯曲力组合应力, 还可显示剪力墙构件墙肢、墙梁内力	可显示平面力、平面力弯曲力组合应力	可显示平面力、平面力弯曲力组合应力	
针对大型结构体系的处理措施		结果较直接	可预设设置广义位移、截面切割等获取数据	一般需要较完整的后处理 APDL 二次开发

### 5 设计功能

功能	子项	ETABS	SAP2000	ANSYS
设计功能		可设计混凝土框架、钢框架、剪力墙。暂未提供 SRC、钢管混凝土结构设计。	可设计混凝土框架、钢框架。	有优化模块, 主要基于有限元层面, 较少规范联系。(CIVIL FEM 模块有中国规范)
出图功能		可出平法施工图	无	无

### 6 与其它 FEA 软件、CAD 系统数据交互

功能	子项	ETABS	SAP2000	ANSYS
	与 AUTOCAD	可读入、读出轴网、平面、3D 模型	可读入、读出 3D 模型	可导入、导出 IGES 模型, 通过第 3 方软件进行 IGES 与 AUTOCAD 模型交互。
	一般常用数据交互过程	(1) PKPM=》SATWE: PKPM (SATWE) 数据可导入 ETABS (中文版); (2) ETABS=》SAP2000: ETABS 可导入 SAP2000 (通过输出成 S2K 文件); (3) SAP2000=》ANSYS: SAP2000 无专门导入 ANSYS 的相关软件, 但现在有很多接口程序或小工具可将 SAP 格式转成 ANSYS 格式, 在 ANSYS 中稍加调整即可运行; (4) ANSYS=》SAP2000: 二者部分数据文件接近, 可通过 EXCEL 表或文本文件分批导入, 在 SAP 中略加调整即可计算。		

## 7 总结

ETABS、SAP2000、ANSYS 是目前高层建筑结构常用的有限元软件,其功能仍在不断加强、完善之中,不同软件的应用对结构工程师提供了更多的参考依据。

### 参考文献

- [1] CSI Analysis Reference Manual, Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA 2004 年9 月.
- [2] Release 10.0 Documentation for ANSYS, ANSYS ,20050718