

“百花齐放”的结构分析程序介绍（一）

陈学伟/香港科进有限公司(WSP HONG KONG LTD.)

随着电脑技术的发展,越来越多的结构分析程序被应用于不同的结构分析当中,可谓是“百花齐放”,甚至跨学科的产品也不断出现。电脑技术(包括硬件技术,图象技术,有限元软件理论)在近年来对结构分析的影响非常大,例如:并行计算的出现,使得采用大型弹塑性分析程序 ABAQUS 对高层建筑结构进行弹塑性分析变成可能;三维模型建模技术的发展(RHINO),使更复杂的流线形结构能够被建模且进行分析等等。

国内刚开始计算机辅助结构设计的时候,被广泛使用的程序有 TBSA, PKPM (TAT, SATWE) 等,还有较早进入我国的通用有限元程序,如 ANSYS, ALGOR 等等。近几年出现“百花齐放”现象的主要原因是建筑设计规范对结构的分析提出了更高的要求,如需要推覆分析、弹塑性时程分析、消能减震结构的分析、风的计算、几何非线性分析等等。

1 国内的传统结构分析程序

国内的传统结构分析程序主要有 PKPM, GSCAD, 清华 TUS, 这些程序的计算内核基本上基于弹性理论开发(除了非线性分析模块如 PKPM 的 EPDA),最大的优点就是与我国结构设计规范结合得较好,建模和输入参数的方式均与工程师的习惯相符,简化了很多操作步骤。其中 PKPM 的市场占有量最大,且 PKPM 将结构参数的输入集成在一个模块内,这是一个很好的想法,国外很多结构分析软件(基于中国规范)很难做到这一点,后来的 MIDAS/Building 也参考这个输入方法。第二个优点就是符合我国设计量大、时间紧任务急的需要,PKPM 采用施工图与结构分析一体化的模式,在建模过程中很多参数是为了后面的施工图而定的,因此,PKPM 的前处理不仅是由结构的有限元来确定的,更多是由结构的施工图或者结构构件分类来确定的,如:在 PKPM 里面可以定义次梁,从有限元的角度看次梁与主梁均是梁单元,当然,除了次梁的铰接特点以外。由于国内项目长期使用 PKPM,它的后处理数据文件(WMASS.OUT, WDISP.OUT, WZQ.OUT)也变成了审批的标准,如果采用 PKPM 进行建模分析的话,可以减少后面整理计算书的时间。

2 国外的结构分析程序

国外的结构分析程序主要有 ETABS, SAP2000, MIDAS/GEN 等等,这些程序具有以下优点:

(1) 稳定的计算内核。程序的计算内核以结构有限元基本理论为主体,且经过多年的发展,具有一定稳定性。特别是 SAP2000,在行业内具有一定的参照标准地位(Benchmark),且拥有一些自己特有的计算方法,如:FNA 积分法,广泛用于边界非线性的结构分析当中。

(2) 基本以弹性理论为基础。目前除了 SAP2000 具有一定的弹塑性分析功能,其他程序的分析功能较弱,主要还是基于弹性理论处理大量结构分析问题。材料非线性分析在这些软件中是较难实现的,但是 SAP2000, MIDAS/GEN, ETABS 能处理很多边界非线性问题,如:粘滞阻尼器减震、橡胶支座隔震等。SAP2000 与 MIDAS/GEN 能处理简单的几何非线性分析问题。对于较复杂的弹塑性分析问题,三者均会出现难收敛的情况,也就是说即使建立了完备的模型,也可能分析不出结果。MIDAS 后期推出了 MIDAS FEA (处理微观有限元弹塑性问题)及 MIDAS/Building 里面的弹塑性分析模块。SAP2000 V14 以后增加了非线性剪力墙单元,慢慢地完善弹塑性分析的功能。

(3) 使用者需要具有结构模型及有限元的基本概念。在 PKPM 里定义的是构件,构件再通过“生成有限元模型”的功能变成计算的单元。与 PKPM 不同的是,ETABS, SAP2000 和 MIDAS/GEN 定义的就是单元或外部单元(外部单元定义了自动剖分功能,再将单元进行剖分,变成内部单元)。因此,在建模的过程中需要把握好节点、单元、划分及输出的关系,结构模型建模及参数设置的很多细节都是“可控”的。“可控”意味着电脑不会帮助你自动处理,你需要了解背后的相关知识后,自己定义。举个例子:在 PKPM 中连梁的折减只需要定义连梁折减系数 0.7 即可,而在 ETABS 或 SAP2000 中,对于每一个构件都可以折减,只需要点击菜单中的【ASSIGN】→【FRAME/LINE】→【FRAME PROPERTY MODIFIERS】,弹出修改截面参数调整的窗口,然后再将【MOMENT OF INERTIA ABOUT 3 AXIS】改为 0.7,完成刚度的折减(图 1)。甚至在 PKPM 无法定义的,如梁构件截面数据输出站,PKPM 默认且不能修改是 11(9+2)个,在 ETABS 中只需要定义【ASSIGN OUTPUT STATION SPACING】就可以定义不同构件的输出站数量(图 2)。

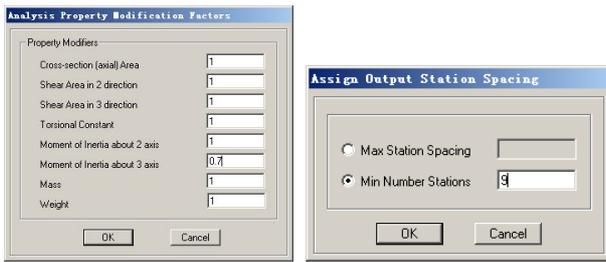


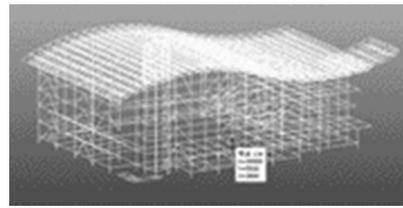
图1 截面修改参数窗口 图2 构件输出站修改窗口

(4) 具有很好的导入、导出及结构文本编辑功能文本。导入、导出功能深受这些程序的高端用户喜爱。如 ETABS 的 E2K 文本格式、MIDAS 的 MGT 文本格式和 SAP2000 的 S2K 文本格式，这些文本格式可读性非常强，可以批量修改，也可以进行程序建模的二次开发。更重要的是，可以实现各个软件之间的转导与交互，笔者强调“大胆转换、小心修正”的原则，进行导换建模，节省时间且方便程序之间的对比。结构模型的建模均基于单元为单位，转换不存大的问题。笔者曾开发过较为少见的转换，从 MIDAS/GEN 至 ETABS(非 SAP2000)，如图 3 所示，详见 <http://www.dinochen.com/article.asp?id=81>。

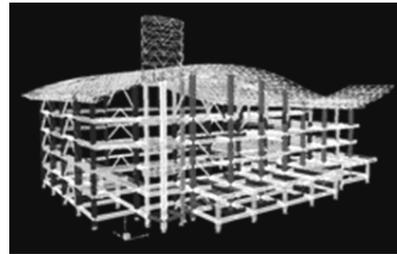
(5) 基于三维建模体系：这些程序基本上基于三维建模，可以完成复杂的空间模型建模。ETABS 虽然以层为竖向坐标单位，但是只要搞清楚层的概念，也能在 ETABS 上面建立复杂的三维模型。近年来，建筑、结构及机电行业越来越多地采用 BIM 技术及 REVIT 等软件，建筑、结构、机电模型一体化的发展势不可挡。REVIT 与 ETABS, SAP2000 有较好的交互，可以实现三维模型的交互建模。对于复杂的空间结构，建筑师与结构工程师往往会采用 RHINO 的三维模型进行交互，那么带文本导入功能的 SAP2000 与 MIDAS/GEN 理所当然地成为三维空间复杂建模软件的程序对接口。当然，传统的空间及平面 CAD 也能与这些程序接口，且为目前空间结构建模的主体。

(6) 在结构分析领域内基本上能分析大部分问题。结构设计中常用的分析有两种：静力分析及振型分解反应谱分析（结合模态分析）。而设计中较少涉及到的分析，这几个软件也及完成，如：简单的几何非线性分析及线性屈曲分析、简单的带塑性铰的结构弹塑性分析（SAP2000 目前可以完成剪力墙弹塑性分析）和弹性时程分析等等。在满足了结构设计乃至超限结构设计的大部分分析内容后，剩下的可能就是“弹塑性时程分析”了。那么在市场上、科研领域有哪些弹塑性分析程序，它们具有什么功能、有什么特别之处，笔者将另文介绍。

上述均为这些强大的结构分析程序所具备的优



(a) MIDAS/GEN 模型



(b) ETABS 模型

图3 MIDAS/GEN 转成 ETABS

点，还有很多这类程序，如钢结构设计用得较多的 STAAD 等，就不一一列出了。这些程序的不足之处，就是与我国结构设计规范结合不紧，验算模块制作与 PKPM 有一定的差别，而且很多参数需要人为的修改。只有熟悉程序及规范验算细节的工程师，通过二次开发或计算文本操作，才可以实现结构的构件设计与辅助结构施工图绘制。笔者开发的 ETABS TO ENGINEER（简称 ETE）的主要功能就是根据 ETABS 计算结果进行配筋设计，如图 4 所示。详见 <http://www.dinochen.com/article.asp?id=62>。

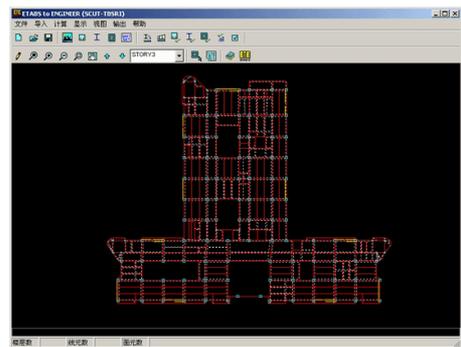


图4 ETABS TO ENGINEER 程序界面

作者简介：陈学伟，博士（Dr. Dino Chen），毕业于华南理工大学，工作于香港科进有限公司(WSP HONG KONG LTD.)，主要从事结构方案设计、抗震性能评估分析及结构优化的工作。对结构分析程序、算法理论及弹塑性分析具有浓厚兴趣，掌握多个结构分析程序，熟悉有限元程序开发理论及软件二次开发，倡导在工程界合理运行结构分析程序，结合结构概念去设计出更好的结构方案。个人博客：www.dinochen.com。