

建筑结构设计软件发展方向的几点思考

宫海 李国强

同济大学建筑工程系 上海 200092

[提要] 本文结合同济大学 MTS 建筑钢结构设计系统（以下简称 MTS 系统）的开发、推广与应用实践，总结了国内外建筑结构设计专用软件的发展趋势，提出了建筑结构设计专用软件开放化、透明化与自动化的三个新发展方向，并提出了一些具体实现的思路与方法。

[关键词] 结构设计软件 开放化 透明化 自动化

一、前言

建筑结构设计专用软件经过多年发展，已经在业内广泛使用，极大的提高了工程师的设计效率。应该说目前的建筑结构设计专用软件已经基本可以解决大部分结构专业设计问题。从业界的建筑结构设计专用软件应用角度来看，在各个领域，国产结构设计软件均占领着主要市场份额。但我们也不可否认在建筑结构设计软件的外围，我们还主要处于国外软件的包围与控制之中，如绘图软件 AUTOCAD；文字处理软件 WORD；钢结构详图软件 XSTEEL、STRUCAD；高级分析软件 ETABS、SAP2000 等。并且部分软件正在向建筑结构设计专用软件进行渗透发展。

国产结构设计软件具有设计规范功能考虑细致，符合国内设计习惯，需求反馈与改进速度快的特点，这些都是国外软件短期内较难追赶的。但我们也要看到，在部分专业领域目前结构设计专用软件还不能使广大结构工程师满意，功能还有待突破与完善。如目前需求较大的复杂钢结构厂房空间建模、计算、设计与出图的功能还不能很好解决。

同时，伴随着计算机性能的提高与软件技术的飞速发展，广大结构工程师也对建筑结构设计专用软件提出了更高的要求。如同类功能的不同软件、不同功能的不同软件之间的自动数据转换功能可以进一步提高工程师的设计效率与准确性；设计过程的可干预性及设计详细过程的透明化可以提高工程师对设计过程的驾驭性；此外，模型建立与编辑的参数化组织处理以及自动优化调整功能，均能进一步解放工程师的机械劳动，提高设计效率。为此，本文提出了建筑结构设计专用软件开放化、透明化与自动化的三个新发展方向，并提出了一些具体实现的思路与方法，与专业软件开发人员与广大设计人员进行交流。

二、结构设计软件的开放化

从大的建筑设计概念来看，建筑设计过程可以看作是一个建筑产品的设计过程，其中由建筑师牵头，结构与设备工程师配合共同完成这样一个产品设计。需要建立一个支持建筑、结构与设备设计的公共信息平台，来协调处理各类信息。其中，目前以 IAI^[1]（International Alliance for Interoperability）正在努力建设的 IFC^[2]（Industrial Foundation Classes）标准最为著名。由于目前建筑辅助设计软件还有待成熟，所以 IFC 的完善与实用化还需要一定的时间，但其应该是建筑设计相关软件产品长远的发展方向。

从建筑结构设计专用软件来看，其应该在四个方面提供开放性的接口。

（1）与绘图软件 AUTOCAD 的接口，主要体现在前处理的模型导入与后处理的图纸输出。

（2）与文字处理软件 WORD 的接口，如果能够把图文并茂的设计结果用 WORD 表达，工程师整理报告更加方便美观。

（3）与同类软件的接口，这样可以方便工程师使用不同软件校核，因为很多情况下需要两个或三个软件进行分析设计。

（4）与下游软件接口，如概预算软件、钢结构详图软件等，这样可提高整体设计效率。

MTS 系统目前初步提供了 AUTOCAD、WORD、SATWE、ETABS、SAP2000、XSTEEL、STRUCAD 接口，极大的提高了系统的开放性，方便用户使用。

三、结构设计软件的透明化

随着计算机性能的提高与软件技术的飞速发展,结构工程师已经不在满足于“傻瓜式”的自动设计结果与简单的设计“结论性”表达。

结构工程师需要能够通过参数修改来干预设计过程,如钢结构的节点设计中的螺栓位置需要能够人工设定与调整排布情况,而不是被动的接受程序自动排布的结果。一般情况下,往往需要程序先进行自动设计,而后工程师根据实际情况与经验进行确认与调整。提供可干预的设计过程,对结构设计专业软件提出了更高的要求。

此外,如果结构设计专业软件能够表达设计过程的详细计算书这对于设计工程师更加方便。因为,国内设计规范比较复杂,工程师通过经验与多个软件对比的方法,可以校验设计内力与整体分析结果的正确性。通过简单的设计结论性的表达,特别在有疑问的时候很难进行判断规范设计过程的正确性。如果专业软件能够表达设计过程的详细计算书,这对于工程师发现问题及调整设计都具有很大的帮助,同时也方便了设计工程师与审核工程师之间的交流。当然,这样实现后软件的黑箱就变成透明的了,对于软件提供商的错误与疏忽也可以很方便发现,可快速提高软件质量。

MTS 系统在这两个方面进行了尝试,功能已经基本成熟,取得了用户的好评。

四、结构设计软件的自动化

专业软件的专业化一个很重要的方面是深入领域,详细分析具体的设计需求细节,在各个设计环节提供自动参数化模型处理与操作方式,从而简化了操作,提高效率。这也是国内专业软件一贯的优良传统。

此外,随着计算机性能的提高,自动优化与调整功能,对于结构设计工程师也不再是奢求。综合各种约束的自动优化与调整设计功能,已经初步具备了理论与硬件基础,需要进行大量的工作的方面是如何建立符合实际设计情况的优化模型,如何全面考虑各种专业化特点的约束。

对于整体层间位移约束问题的优化而言,以满应力为代表的基本准则法处理整体位移在定量调整方面有欠缺;数学规划方法对这种多变量大型复杂问题在实用上有缺陷;遗传与模拟退火方法在这种大型问题情况下,计算时间爆炸制约了其应用;而人工神经网络等启发算法对这类大型定量问题,在如何获得足够学习样本方面难以实现。综合来看,文献^{[3][4]}中所采用的由拉格朗日乘子法与虚功原理组合而得的位移准则法是一种比较实用的整体优化方法。这种方法最主要的优点是对整体位移约束求解的针对性强,迭代次数少(一般只需5到15次),并且有较高的收敛性。此外,还需要考虑

与位移准则法相配套的局部约束优化算法,从而实现结构兼顾整体与局部约束的综合截面优化。我们提出一种以结构造价为目标函数的优化模型^[5],在MTS软件的具体开发中进行了采用,取得了比较好的优化效果。

目标函数:

$$C = \sum_{i=1}^N (C_i A_i(H_i, B_i)) + \sum_{i=1}^M (C_{wt} t_i)$$

考虑的主要约束有最大层间位移限值:

$$d_j = (\delta_j - \delta_{j-1}) \leq d_j^U \quad (j=1, 2, \dots, M)$$

截面的尺寸限值:

$$d_{top} \leq d_{top}^U \quad (j=1, 2, \dots, M)$$

强度、稳定限制:

$$Strength(H_i, B_i) < Limit_i \quad (i=1, 2, \dots, N)$$

$$Stable(H_i, B_i) < Limit_i \quad (i=1, 2, \dots, N)$$

局部约束在构造截面库的时候自动考虑,构件的关联关系(如变截面小头与等截面高度相等协调)在程序处理过程中自动协调处理。

五、结论

本文结合我们在MTS系统的开发、推广与应用实践,并根据市场需求与CAD前沿技术发展,提出了建筑结构设计软件开放化、透明化与自动化的三个新发展方向,并在MTS系统中进行了尝试^[6],探索了一些具体实现的思路与方法,取得了较好的应用效果。

参考文献:

- [1] IAI www.iai-international.org/ iai-international
- [2] IFC IFC Technical Guide: Industrial Foundation Classes- Release 2x
- [3] Chang, T.Y.P., Liang, J, and Chan, C.M., "An Integrated system of Computer Aided Design for Tall Building", Proceedings of the seventh International Conference of Computing in Civil and Building Engineering, Seoul, Korea (1997)
- [4] Gang Li. "Multi-objective and multi-lever optimization for steel frames", Engineering Structures, Vol. 21 (1999).
- [5] 宫海. 多高层建筑钢结构计算机辅助设计与优化系统研究. 同济大学博士论文, 2005

MTS 试用版及功能演示参见 www.lankesoft.com