

[编者按] 在网络时代全面到来之际,为更好地与广大一线结构工程师进行互动交流,《建筑结构·技术通讯》从2012年第5期开设“建闻天下”栏目,精选近期专业网站、论坛、博客、微博中精彩的文章和观点整理刊出。您也热爱结构设计?您也是个网络达人?那就加入到我们的队伍中来吧!把您对专业技术、工作技巧的思考以及在工作中对职业生涯的感悟等与大家分享(联系邮箱 yanglin@cadg.cn),本刊网站(<http://www.buildingstructure.com.cn/>)及博客(<http://blog.sina.com.cn/u/1928744817>)也将进行同步报道。

## 结构与电脑

### ——写给成长中的结构工程师

徐珂

(北京清华同衡规划设计研究院,北京 100085)

(北京清城华筑建筑设计研究院,北京 100085)

现在的学生毕业后不会用电脑进行简单设计似乎是奇怪的事情,我毕业进设计院时,工程师都在用图板画图,用计算器完成结构计算。电脑是新鲜玩意,会使用的人比较少,为了鼓励使用电脑进行设计,单位出台政策,每出一张电子图奖励两块钱。于是部门安排我们几个新毕业生使用电脑,那时候电脑出图也很麻烦,计算软件采用数据流输入方式,某个数据格式不对,出来的结果就千奇百怪,出图采用滚筒方式,经常一张图打到一半时硫酸图滚烂了,就要重来,不见得比手画图快。但我还是喜欢用电脑做设计,原因很简单,结构设计工作有很大一部分工作是需要进行计算,对于一个刚毕业的学生来说,能知道多少设计原理和计算公式,即使算出来也不知道算的对不对,用电脑只要按照格式要求,慢慢输入核实好数据对错,跑一遍结果就出来,配筋图调整一番就可以出图,比自己闷在那算、思考要容易的多,特殊设计的地方,用电脑画一次,以后就可以重复使用,比一遍遍手画图方便又快捷,前辈们还经常夸奖我做设计又快又好,于是很沉浸在这种“成功”状态中。

设计总会遇到各种问题,比如现场地基情况变化、进场的钢筋没有图纸中的规格、梁的高度不满足工艺要求,怎么改?顿时心底有些发慌,得回单位用电脑算一下,那年月用电脑需要领导允许才可以,工程在外地施工进度等不及我回去再算,只好向同去的前辈求救,有些是经验问题,有些是计算问题,计算的内容前辈很快就算出来,半是教育半是责怪地说:要加强自身计算能力!

当电脑成为设计主要工具时,可能很多年轻的工程

师都有过类似的经历,电脑究竟是大展身手的利器还是装饰门面的挡箭牌?这是希望成为优秀结构工程师的人必须思考的问题,脱离电脑结构工程师靠什么来完成设计?纽约帝国大厦建成于1931年,地上高度381米,曾雄踞世界最高建筑宝座达40年,2001年911事件后再度成为纽约最高楼,其高度放在今天对于结构设计也不是轻松的事情。而世界第一台电脑在帝国大厦建成后15年才出现,如果按我当初的做法去做设计,到今天都完成不了这个壮举。

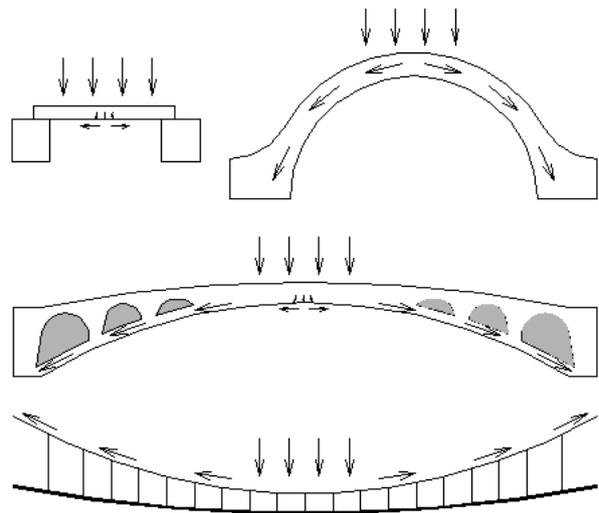


图1 桥的变化

我们所使用的软件不管多么强大,都只是根据固定指令进行计算,并不具有思维判别能力,计算结果并非一定正确,关键还是设计人如何应用把控计算结果。从某种意义上说电脑并非结构设计的必需品,我们的祖先用算盘做出应县木塔,经历数次大地震,仍屹立不倒;

上一代人用计算器做出帝国大厦，技术进步使我们这一代人可以用上电脑做各种结构设计，只不过是加快计算速度而已。随着工具的进步，结构设计的核心是什么，又有什么变化哪？在没有三大力学以前，古人主要依据自然观察和实践经验建造各种受力结构，比如修建一座桥，就用一块石板铺在石墩上，跨度取决于石材厚度。如果要实现更大的跨度就需要有更大更厚的石板，这种要求是难以满足的，于是出现石拱桥，利用石材抗压能力强的特点，既减轻了桥的自重又增加了桥的跨度，还可以实现小块石材砌筑成桥的目标，然后将多个拱连组合在一起形成更大跨度桥。与之相反的是采用吊挂形式，用轻且抗拉的树藤承担轴向拉力来实现承重，解决了跨度问题。结合古代结构发展史可以得出结构设计的核心，就是利用合理的结构材料，寻找最佳的荷载传递方式。

到了现代，出现了抗拉压强度更好的索、钢材和钢筋混凝土材料，工程师可以重新回到最初的设想，用轻薄的材料替代厚重的石板实现更远的跨度，用高强索悬吊更多的重量建造延展更远的跨海大桥。出现三大力学后，工程师可以用数字方式来精确描述结构内力，在既定的荷载传递方案中，通过计算寻找到最经济的结构方式，电脑替代人工进行大量的数据处理工作，这种替代工作基于正确指令会高效而正确地为工程师提供所需数据，使工程师有更多的时间去思考结构方案改进的可能性。但如果电脑的替代工作是基于错误指令，出来的结果也会是高效而灾难性的，这要求工程师要掌握全面的结构技能来判断电脑得出的结果正确与否。

工程师使用各种软件时，经常会遇到计算结果红不红的问题，红意味着构件验算未通过，不红意味着构件验算通过。红了要如何处理？通常想到的就是加大截面，这是一种方法，但未必是好方法，结构内力分布与结构刚度和变形协调有很大关系，某些构件结果为红可能是其它构件布置不合理内力分布不均匀所致，这时要根据整体情况进行调整，才能实现合理的布局。西北某高层住宅项目，底层墙体平均厚度是 250mm，设计人在计算中发现某道墙体总是红色警告，就将墙体厚度不断增加，达到 1 米尺度终于验算通过，于是说服建筑师和甲方按此设计并施工。后来汶川发生地震，远离地震中心的该楼此道墙体出现严重的剪切裂缝，分析原因是该墙体相对其它墙体刚度过大造成，而周边楼房受到地震影响但未发生破坏，这就是典型的依靠电脑不靠结构知识进行设计的例子，就像对待身体不适，普通人拿起一把药就吃，病好是蒙的、病没好是倒霉，医生则是

望闻问切，关注病的起因对症下药，自然药到病除。结构工程师对待上面的问题，也应该是找出验算不通过的本质原因再去决定是否增加墙厚。

三大力学的优点在于将结构内力以数字化方式表达出来，例如框架同时承受水平和竖向荷载作用时，工程师会按图 2 的方式进行计算组合，得出最后构件内力情况，然后计算构件验算结果。这个过程是从原因推导出分析结果，一个人只要培训得当可以不需要有结构知识就可以顺利完成。但当计算结果某个构件不满足时，结构工程师能否分辨出是由弯矩、剪力、还是轴力引起的计算超标？这个过程是从结果表现来分析产生的原因，这个过程还需要分辨验算结果主要由水平荷载控制还是竖向荷载控制，最终决定模型调整的思路，这就需要有力学知识加以判断。如果工程师不能判断各种内力的影响比重，也就不能对模型做合理调整。例如空间框架中，柱的内力由 X 向和 Y 向组合而成，如果 X 向原因导致计算结果不满足，调整时加强 Y 向数据往往结构效率很低，甚至起相反的作用。其它指标如层间位移、振型表现、底部剪力相对不直观，调整每个构件会出现哪种发展趋势，结构工程师要有明确地判断和控制能力，比如三层层间位移不满足设计需求，是应该加强二层柱、三层柱、还是二层梁、三层梁？几种处理方式那种效率最高？当掌握其中的影响原则，调整模型就很容易沿设计需求方向发展，很快得出理想的计算数据，这就是很多年轻工程师觉得很神秘的概念设计。概念设计除深入学习结构原理获得外，电脑可以提供高效的运算能力帮助我们快速验证设计结构原理，这是当代工程师的优势。结构设计如何用好电脑，取决于工程师的使用态度，当遇到一个结构原理，研究其中的奥秘，借助电脑去验证结果，就会变成自己的手艺，达到知行合一的境界，有助于多方案快速对比，指导精细化设计。

除计算上滥用电脑，还有制图滥用电脑的情况。现在网络发达，各种计算书、图纸很容易获得，于是把他人设计说明、连接节点拷贝下来，充当自己的设计成果，全然不考虑说明和图纸与当前设计契合度。曾经看过两套图纸，一份是砌体结构图纸，但结构设计总说明里没有砌体相关的内容；一份是桩基础图纸，但图纸中没有桩身强度验算设计内容。设计人把别人的图纸拷贝过来，简单修改一下工程名称就交图，在思想上没有任何学习、吸收、改进成为自己知识的概念。设计人应注意设计说明和详细图纸的差异，详细图纸中表达各种材料数量、规格信息，但不表达工程师最关心的材料要求、设计等级、构造措施、施工细节，这些内容在结构设计

总说明里表达，设计人员不重视结构设计总说明，就等于放弃设计要求，将设计质量交给施工单位去决定。因此结构设计总说明是项目最重要的设计指导文件，工程师应根据项目特点仔细检查每条说明的完整性、适用性和严谨性，让施工技术人员理解设计意图，确保施工质量符合设计要求，不要成为制图复印机。

【正式稿件发表于 2013 年 03 月《建筑结构》的技术通讯中建闻天下，欢迎斧正，也欢迎留言提供讨论话题！】

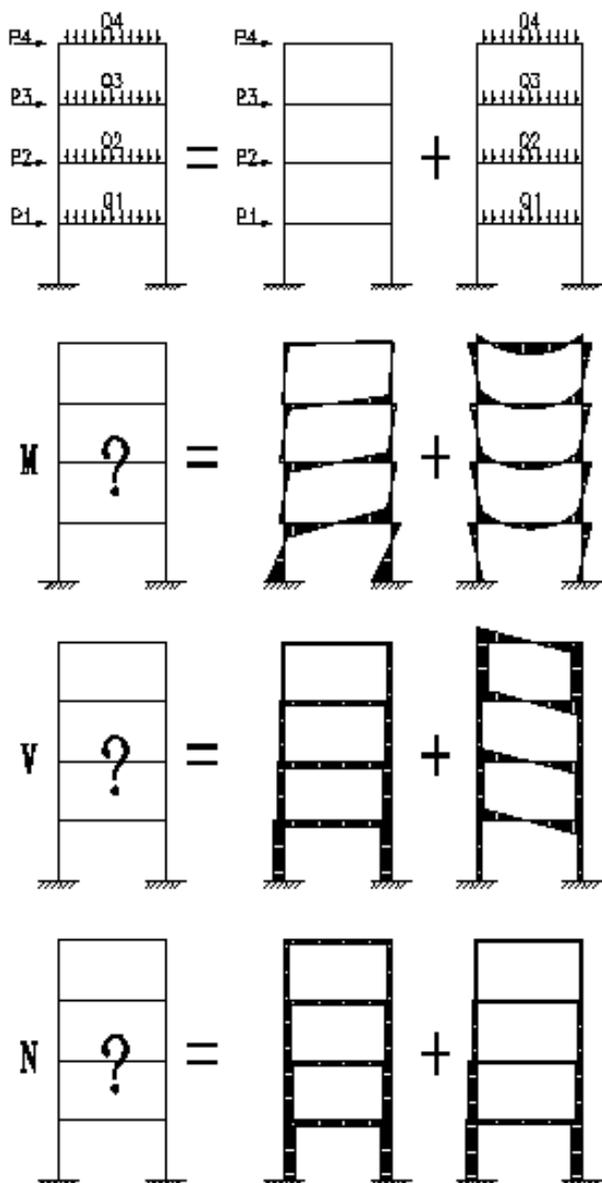


图 2 框架结构内力分布

徐珂：一个普通的结构工程师，参与计算、画图 20 年，关注结构新技术及精细化设计，目前就职北京清华同衡规划设计研究院。从 2006 年开始写个人博客（<http://www.jiegoublog.cn/>），记录工作中的想法和解决方案，希望通过不断地积累与更新，为下一个满意的结构作品做准备。

在当代快速设计的时代，结构工程师不会使用电脑显然不能胜任结构设计角色，电脑帮助工程师快速完成复杂计算和制图，但结构设计的本质是以结构思维去解决建筑荷载传递问题，并非由一堆计算数据罗列而成。最近读到英国人马尔科姆·米莱编写的《建筑结构原理》，书中基本没有计算内容，以生动的描述和简单的图形讲解结构概念，将复杂的结构设计案例进行解释，读来受益匪浅，所谓“大道至简”不过如此。