

结构设计的“广与专”

——写给成长中的结构工程师

徐珂/ [目前喜欢做盆景](#)

我刚工作的时候，跟大多数工程师一样，安排做楼梯设计工作。那时候没有互联网，结构书籍也没有现在丰富，看到的主要是计算、构造手册，专门讲结构精髓的书籍看起来主要讲砌体、框架、工业厂房之类的东西，于是我理所当然的认为，结构工程师就是画一些混凝土梁柱，里面配上钢筋，钢结构就是长细比加应力验算。有一次单位组织业务学习，请女专家讲工业双曲线塔的设计方法，以我当时的认识和能力，根本没想到结构还可以做这种奇怪的东西，也理解不透专家讲的内容，但是在介绍专家的时候，她讲的一段话我印象深刻，大意是：我其实跟大家一样，做过的项目有限，很多结构类型的设计经验还没有大家多，工作中主要做双曲线塔项目，碰到和解决过的问题比较多，如果一定要说我是专家，在双曲线塔方面还算有所专长，一些经验和方法可以跟大家分享一下。

那次学习给我两点感受，一是结构设计的面很广，远比学校学过的内容丰富，工作中总会遇到其它类型结构，见多识广是很重要的事情；二是人的精力有限，能做的项目不会很多，把接触的项目做成自己擅长的类型是提升自己能力的最佳渠道。回去后自己还找些资料看双曲线塔的设计方法，不过这么多年也没遇到双曲线塔的项目。每天继续画楼梯写计算书，当时所在的单位是工业院，各种类型的楼梯都可能遇到，悬挑、斜拉、旋转问题经常出现，也许自己可以成为楼梯专家，于是总找同事要楼梯做，图板时代以手画为主，要画出钢筋放样和钢结构节点加工尺寸图，结果楼梯没有成为我的专长，倒是很多专业配合、力学关系、构造要求的基本功在自己想成为楼梯专家的工作中得到锻炼。因为工业建筑对楼梯结构限制比较小，在我能力很弱的阶段通过单一类型设计不断发挥有限的想象，实践不同的设计方案，对比各类节点的差异，研究构造合理性，很多结构概念慢慢建立起来，直到今天我还会对长时间画楼梯的经历很满意。

现在的毕业生已经很少像我当年对结构的认识仅局限在传统体系，很多人的毕业设计已经在研究超高层、异形结构、创新体系，课题深度也会超过设计需求，互联网时刻为结构工程师提供最新结构成就，

如果对某个问题感兴趣，参与讨论下载论文很容易，如此看来，结构设计的“广与专”是很容易实现的。

相比现在的方便，我们更习惯前辈教育新人要多学多看各种类型的结构设计，总结实践各种工程经验方式，这是基于传统的工作经验以及成熟的结构体系去谈学习，因为工程师以后会做这样的设计，如果不看学就没办法承担这样的设计任务；如果不能把工作中的问题深入研究和讨论，自己遇到难题时怎么能做到迎刃而解？因此以前的“广与专”更多是站在相对确定性的角度去提高设计能力，这也是每个结构工程师成长过程中必须经历的。

仔细想一下，现在谈论的“广与专”与以前的角度有很大不同。1999年国家大剧院公布设计方案后，很多建筑师感慨“原来建筑可以这样设计！”从此中国的建筑设计开始花样百变，很多结构工程师也在惊讶“这样的建筑怎么去做结构设计？”这个建筑的特殊要求完全超出长久以来形成的结构设计模式，如果我们将时光停留在那一刻，结构工程师该怎么办？可以想象如果没有这种“广”带来的强烈冲击，结构设计依旧徘徊在传统理念上，因此现在谈论“广与专”更多体现在知识更新上，比如高层设计已达到1000米的水平，作为一个工程师如果只看到高度数据和外观形象，那么这和普通人看风光是一样的，不会对自己的结构能力有任何提高。或者参与过项目设计，仅仅是遵照专业负责人的安排，把楼梯、楼板按计算书数据画成图纸，对于高层设计方法没有过任何思考，这跟画多层房屋是没有区别的。如想致力于高层设计，那就应该思考这个项目为何采用这种结构体系，设计难点在于何处，有哪些分析目标和方法保证结构安全性等等。通过这种思考能不断拓宽自己的结构视野，并在思考中会发现自己的专注点在哪一方面，可能是材料选择问题，也可能长周期地震分析，或者是提高结构体系力学效率等等，这些问题往往没有成熟的答案，是结构高度不断提升中出现的新问题。有过设计经验的工程师或许能解答，但这种解答也是探索中得出的结论，或许是模糊的、特定的、经验的、甚至是错误的结论，需要学习者在思考中寻觅解决问题的方法，勇于提出自己的观点，而不是简单地获得一

成不变的经验，因此现在的“广与专”更考验结构工程师的创新思考能力。

如果能以开放的心态去看结构设计是很有意思的事情，结构工程师为建筑提供各种安全的结构方案，但是仍有很多地方是结构工程师没有想到的地方，例如某国际跨海大桥设计方案中，大多数方案都是采用传统的海中落基础形式，特殊方案是在海中设置空气浮箱产生浮力支撑桥体重量，再利用预应力技术锚固海底拉住浮箱，这种技术可能过于超前，实现的可能性为零，但学习这种创意可以为结构工程师在解决问题时提供新的思路。



图1 悬浮的楼梯

很多建筑师特别喜欢设计悬浮方案，结构设计往往采用悬挂形式来解决这个问题，但是这还达不到建筑师愿望，于是日本富士ゼロックス関西研修所在1991年设计并建成图1所示的悬浮在半空的楼梯，它的休息平台和长梯段下面没有支柱，上面没有吊挂构件，整个结构非常轻盈，可以看出这种悬挑结构不是依靠两段梯跑结构刚度实现悬浮效果，那它是如何实现的呢？

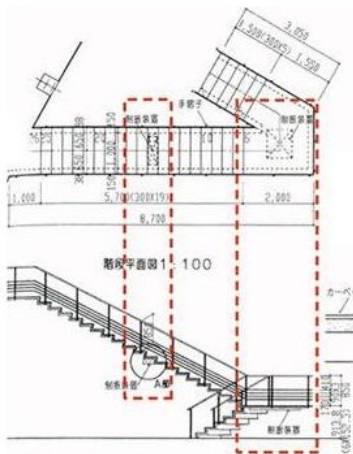


图2 楼梯结构示意图

这个楼梯力学设计思路是将实际构件提供支撑力改变成看不见的力，在休息平台和对应地面处设置电磁线圈装置（图2），利用电磁力具有同性相斥和

异性相吸的特性支撑起楼梯荷载，支撑构件设计转化成电磁线圈设计。楼梯悬浮在空中，人在上面行走会有竖向振动问题，因此在长楼梯段中部设置减振装置符合人体舒适度要求，楼梯两跑按一定角度布置，保证水平振动符合要求。可见一点改变就可以颠覆结构工程师的思维，但是这点改变也需要结构工程师对电磁力要有专业的认识才能实现最终效果。

结构知识的丰富性和发展性也考验工程师的选择能力，如何在纷杂的资讯中提高自己的水平，并不能简单说想学习就可以得到自己期望的结果。网络可以提供各种结构设计图纸，于是就把别人的成果拿来武装自己的设计，至于对自己的项目是否适用则不去对比思考；完成过一种类型的设计通过设计审查，以后就是重复利用的动作，至于改进提高就是把规范版本、图集编号按时间修正一下，这种滥用资源学习方式节约的是迅速完成设计任务的时间，实质在浪费工程师学习成长时间。人的时间不具有复制性，当资源很容易获得就会陷入免费是最昂贵的东西之陷阱，表面上已经获得各种技术，实际并没有理解的结构设计的本质。比如现在抗震分析已进入弹塑性时程分析时代，分析计算量已经不是人工能力可以达到，必须借助弹塑性软件进行分析，很多人会认为掌握软件是弹塑性分析最重要的事情，迷恋上学习各种软件操作，花费大量的时间建立复杂模型，以分析结果为导向，成为软件操作熟练工，在使用软件的过程中忘记弹塑性分析的前因后果，忘记最重要的工作是研究结构的受力合理性和破坏模式，因此将精力投入在哪一方面是需要仔细思量的。

想成为优秀的工程师，除了踏实下来埋头设计制图外，也能时刻抬头向前学习新的知识和理念。埋头苦干时要有传统的“广与专”思维，细致研究不断磨练结构基本功，将每一个项目变成自己的精品。抬头向前时要有现代的“广与专”思维，时刻准备打破旧的思维模式，重新思考结构设计方法，适应快速变化的设计需求。