

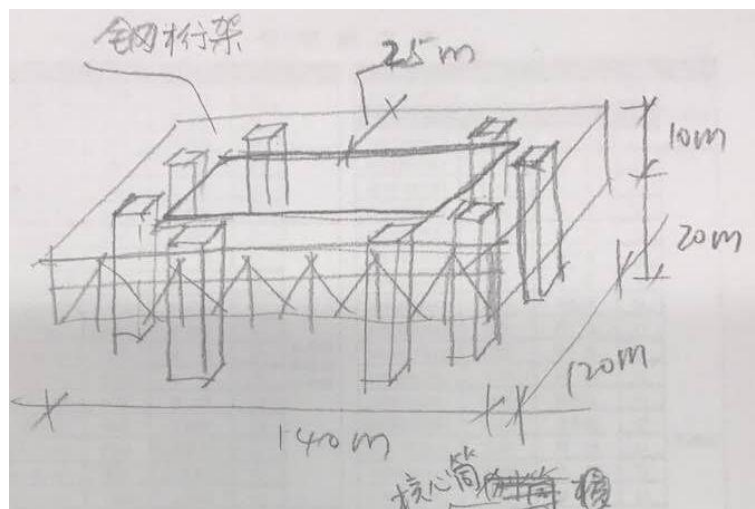
由一个结构设计方案想到的

徐珂/人间失格

20170228

2017年的春节比以往来的更早一些，我还没过够就有人让我准备明年的红包，这不逼着我琢磨钱从哪来吗？大家有结构设计的事记得找我，我是结构工程师，貌似比你们懂结构设计，做完设计你开心我就有红包钱。

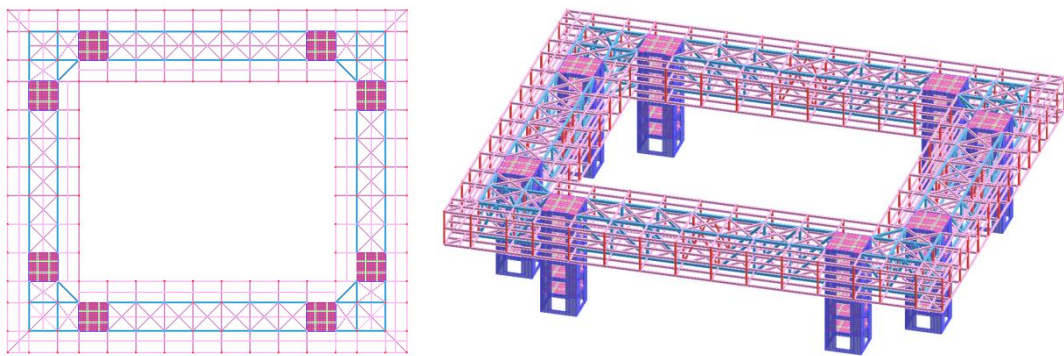
春节前某一天下班路上，我接到一个建筑师打来电话，说他们正在做一个投标，想做个支起来的建筑，问我这样的结构能不能做，听着有点奇怪，我说要不画张草图看看，建筑师手绘能力都很强，很快就发过来他的意思。



我看完后打过去电话，这肯定可以做呀，就相当于一个板凳。建筑师听完说板凳可以理解，这个方案中间开很大的洞有问题吧？我想了想咱们去四川吃火锅，火锅店里的桌子不就这样吗，那还只用四条腿，方案里有八条腿，做到稳当条件已经很好，再说你自己都把桁架画上去，那结构就很好开展工作。哦，建筑师感觉挺满意，接着又问，我们打算做两层，层高初步定5米，有可能还要减少，有问题没有？哟，这可能是个问题，做结构都应该知道，高度对刚度的影响，从图面上看腿之间的净距差不多70米，两层办公荷载加一层种植屋面荷

载对桁架要求比较高,减少层高也不会低于 4 米左右,跨高比在 9:1 左右,还是可以接受的,于是跟建筑师说应该可以,需要看造价能否接受,另外这个属于超限结构,做得话得报审,建筑师听明白问钢结构得用多少?关键的时候到了,我哪能直接说出来个数,但是鉴于我最近几年还有人找我做钢结构项目设计的底子,咱就按我的钢结构起步价说:250kg/m²,建筑师在那头说知道喽,明天让人把建筑方案发给我再看看。

打完电话在路上接着想这个东西怎么做,仔细看看草图,发现八个腿只占每边宽度方向的 1/3,估计顶多 9 米柱网,与自己刚在的感觉不大一样,另外 250 的名声不好听,还是加点更稳妥。第二天上班到办公室把建筑方案先看一下,好消息是腿的宽度是 10 米,两侧伸出各 7.5 米,实际加外部幕墙在 8.0 米,于是拿出张纸用手加脚趾头算一下,看看主桁架截面需要多大,后来脑内存不够还是在软件上按自己的想法建了一个模型,边建的时候就想,建筑师把桁架画在上边,咱也不能就在外边布置桁架,一个是桁架放在外侧影响观感,二是腿在中间在边上放桁架也使不上劲,三是不想点办法建筑师咋能觉得你是个结构工程师,人家都想明白是个板凳,为了证明咱的价值说这个结构很难,好像有点扯。



建完模型加上荷载点击验算,第一第二振型均为平动周期大约 0.9 秒,想想 30 米的高度算不算长?第三振型为扭转周期 0.83 秒。还真别说 255 kg/m² 钢材用量真给面,一看应力比很大一部分可以调整,说明能把用钢量降低下去,一番调整后,第一第二振型均为平动周期大约 1.0 秒,想想 30 米的高度貌似可以接受,第三振型为扭转周期 0.93 秒,这种体型符合特点,只是与规范建议的比值不太吻合,符合超限特点,再看看用钢量差不多降

到 210 kg/m^2 ，多不多呢？忽然想明白一个事，这项目看起来是两层建筑面积，实际上是个三层建筑，底下悬空的部分围起来就是建筑面积，得这么看用量， $210 \times 2/3 = 140 \text{ kg/m}^2$ ，这看起来比 250 要有面子。刚心里有点得意，建筑师打电话来说能不能帮忙手画个结构简图，说明一下怎么做结构设计，真是有兴趣做的事情一定不会浪费的，我刚建完模型这不就是现成的吗，直接截图发过去。

完事坐在那想有什么问题，想起傅学怡做过万科总部有这种形式，上网查果然有是深圳大梅沙万科总部，傅大师是 2008 年以前做的，我就算做这个项目也晚十年，学习一下万科的结构体系是如下形式：

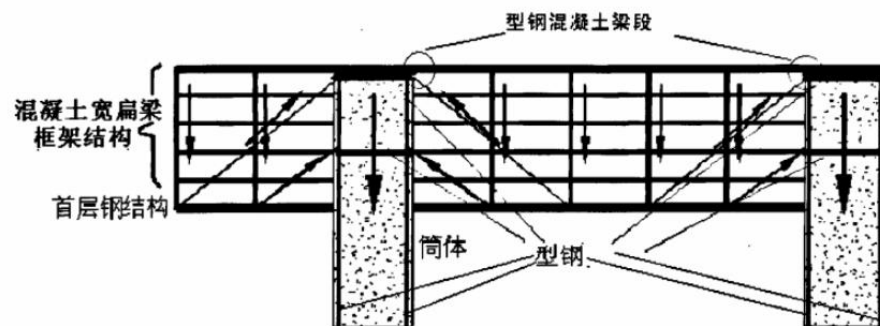


图3 结构体系示意图

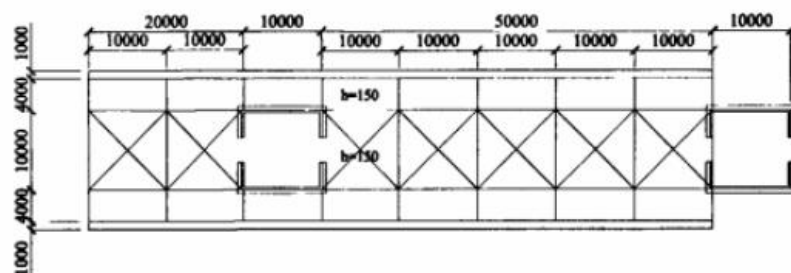


图4 顶层及底层平面布置图

万科总部是五层楼体，这个方案是两层楼体，外部伸出万科是 4 米，这个方案是 7.5 米，两者有相似的地方，区别也很明显。万科总部最后采用的是斜拉索结构，并不是桁架体系。这个项目如果采用斜拉索只能用在腿边 10 米的范围，再远效率不高。

先不管其他，毕竟只是个方案，考虑太多并没有太多针对性，唯一可以琢磨的就是用量，可是怎么降低用量？傅大师在一次交流会上谈到万科总部设计用量，大意如下：“我

们经历过类似央视在深圳建的专业中心这样一种巨型钢的支撑结构。这个做完以后每平方米的用钢量，由于它每层都是钢结构，包括要跨越 5、60 米，用钢量大概是在 200 到 250 公斤一个平方米，跟我们目前做的国内大型火车站的楼盖用钢量是差不多的，应该说不算多。但是万科业主找我们商量，觉得这个用钢量按照两年前的单价来看，应该钢结构部分单价是在 2000 块左右，再加上混凝土的造价估计要在 3 千不到，他们认为这个结构造价偏贵。有没有更好的方案呢，我们提了一个混合框架加拉索的结构。这就是今天我想跟大家介绍的，待会我有照片，楼已经盖好、建成了。最后综合下来，总的用钢量从 2 万吨下降到大概是 4 千吨，索加节点大概 1 千多吨，折算成索和节点大概是 7、8 千吨吧，结构造价降低了 8 千万，每平方米的结构造价大概是在 2 千。”

从这段话可以知道，一平米结构造价降低 1000 块钱，其中钢材用量下降 60~70%，具体怎么省的，如有兴趣可以看万科总部的结构论文，里面说的比较清楚

如果真做这个结构方案 恐怕还得深入研究 在没有具体工作前考虑体系变化也不实际，但就桁架结构怎么节省还是可以思考的，闲着没事在微博上发一条：“这样的结构，用钢量多少合适呢，目前跟我的特点比较契合，每平米 250 公斤！”很快有人回复，对我触动最大的是下面的回答：

HiStruct：用优化软件跑一下，分分钟用量就下来了

徐珂微博：推荐哪种软件？

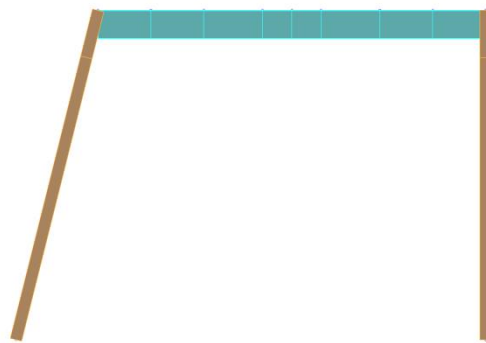
HiStruct：回复@徐珂微博：不知道，我们是自己编的

徐珂微博：你觉得多少合适？

HiStruct：回复@徐珂微博：一般是100左右吧，看你功能了。

触动不是指 100 这个数字，而是怎么解决优化的方法，通用软件的出现使很多人可以成为结构工程师，以我为例，在手算加脚趾头算不出来的时候，计算机及时出现，确切地说

是结构设计软件出现，让我规避很多实际分析和计算的难题，像极限、收敛、微积分等等，这些都交给计算机去解决，看起来一切都很正常，所以我也当了这么多年的结构工程师。事实上在某一天 BIM 成为设计必备工具后，结构工程师在某种程度可以省略的，因为建筑师自己可以搭起板凳的形式，然后按下结构分析的按钮，计算机经过通用软件进行初步分析得出基本可选结构体系，再进入优化模块，对分析结果进行递归模拟，然后得出合适的结构形式。



以上面所示框架为例需要设计，很现实的问题是，如果请来十个如我一般的结构工程师做同一个设计，很可能出现十种完全不同的结果，第一个我可能重视斜柱，第二个我可能重视框架梁，第三个我可能重视基础等等，最关键是我可能从心里已经默认这个梁必须得用混凝土做，这就是很奇怪的事情，在同一个标准下，我们的结果不相同。而且不可能出现十个人设计同一个项目，因此我们并不知道谁的设计更优，或者说更符合标准的要求，只是在资本的力量下，可能谁的设计更省钱似乎更优。

房地产行业在过去二十年的发展中，我觉得房地产对剪力墙结构设计的贡献远大于结构设计对房地产的贡献，大型房地产商掌握各方设计成果，通过对海量设计案例进行归纳总结以及数据化分析后，很多房地产商优化报告已经是反过来告诉工程师结构材料如钢筋用在哪里更精准，例如剪力墙中的暗柱，在早期只是很模糊的应用。这就是一种倒逼行为，看起来是某个结构工程师先做减法，实际是资本力量倒逼设计行为。作为结构工程师想一下，究竟你能看到多少不同的设计图纸，尽管互联网给大家带来很多设计图纸，设计人员看图纸的目

的显然与房地产商看图纸的目的不同，其结果是不同的。更何况大部分设计人都只能按照单位规定的模式进行设计，思路只是一两种，与房地产所遇到各种所谓好、所谓坏的案例相比，只是实施方案之一，因此很多优化方案实际上是资本产物而不是设计本质的结果。

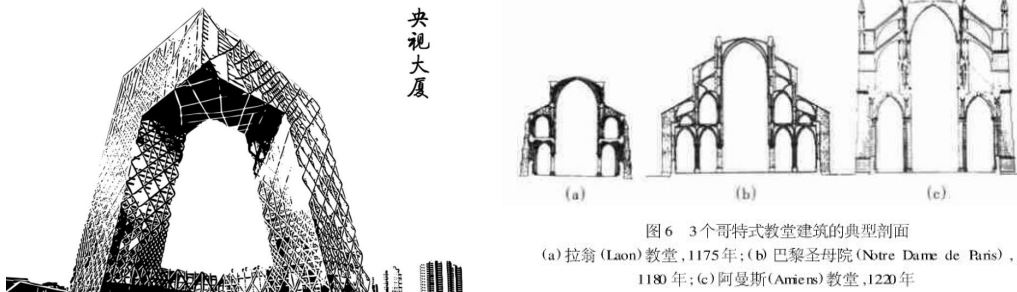
结构设计谈到优秀方案，往往是概念方案决定的，大方向符合力学效率高特点，就意味着设计工作不浪费有限的时间，但是这仍然不能确定最经济的方案，因为工程师只是在做有限次方案选择，目前计算机是帮助工程师从手工计算转化为机器计算，将一个设计方案时间缩短，并没有在数量上进行改进，仍然需要人工进行数量改进。在改进的过程中存在着改进哪方面的问题，人脑内存的特点，决定每一次改进的数量和范围很有限，每个改进对于目标的贡献是多少没有明确的比较，这就是目前多数结构工程师在分析中遇到的最大问题。

计算机其实可以做这个事情，对于上面的的框架，结构工程师一般只能考虑材料、截面、刚度等因素，进行有限次的分析，请注意是有限次，然后选择其中一个方案做实际工作，但是计算机可以考虑更多因素，比如材料价格、人工费用、加工费用等可以限定的条件，然后进行覆盖性循环分析，然后找出更符合目标要求的方案，用目前时髦的词来说，就是量化，或者称为管理的数量统计法，以数字为基础，用数学的方法来考察和量化管理研究事物的运动状态和性能，对关键的决策点及操作流程，以求对事物存在和发展的规模、程度等做出精确的数字描述和科学控制，实行标准化操作的管理模式。想像一下量化条件给定下，计算机会给我们找出一个水平位移最接近 1/550、造价最省的框架，而且会详细列出材料、人工、加工、安装、维护的费用，如果你需要限制水平位移到 1/800，请稍等，即刻出来最优结果。

即使是结构扭转问题，通过计算机语言设置，也可以用数据方式寻找扭转与平动比控制在 0.9 以下还是在 0.8 以下的方案，这与我们先建一个模型得出扭转比有本质上的区别，我们习惯设计方法得出的扭转比，在事先是不清楚扭转比在什么区间。通过控制得出的扭转比可以帮助结构设计了解抗扭转的代价有多大。

在某种程度我认为应该将结构分析软件开发为并行运行软件 将多种结构方案同时进行分析,从而获得在数据上最佳的方案,这就好比一个设计由原来一两个人设计转变为多人同时设计,在概率上讲一定会比一两个人做的方案有更多的选择。

将分析都交给计算机是否会抹杀结构工程师的作用?这要看结构工程师的如何看待这个问题,结构工程师相对于普罗大众,只是专业学习过结构力学等三大力学,有更多的机会处理结构设计事物,至少我不能确定就比建筑师更了解结构设计,比如央视这样结构工程师比较头疼结构就是建筑师想出来的,它只是不符合结构受力舒适度而已,并不妨碍它站立在那里;又比如欧洲的一些早期教堂结构,当时并没有结构专业学科,并不阻挡古人建出大跨度建筑。因此建筑永远不会脱离力学本质,只是采用什么方式去实现,力学的出现让建筑可以按目标去实现,结构工程师的作用就是寻找更适合的结构方案,运用计算机可以帮助结构工程师快速实现目标。在没有新技术新材料新方法之前,寻求最优是结构设计的重点。



当年有个著名的问题曾经难倒过我,从1加到100等于多少,脚趾头不够用,后来问我儿子,他说1+100然后乘以50。这是方法改变,并不会清楚每个数字对于最后值得影响,从1开始一个个加过去,可以了解总值变化的每个过程,实现数据全覆盖。我儿子听完了说脑内存不够你用计算机呀!

于是这个春节我在家学习编程,归纳起来就像下面的命令:

```
while True:
```

```
    N1 = len(g. design_all) # 设计方案的可实施数量
```

```
for roject_1 in g.design_all: # 遍历设计方案

    ansys_data=get_cost (roject_1, start_date= run_params.start_date,

                        end_date= run_params.end_date, count=max,

                        条件一='刚度满足', 条件二='强度满足',

                        条件三='规范满足', 条件四='材料满足',

                        条件五='加工满足', 条件六='价格满足'

    )

    X = ansys_data ['满足条件'][0] # 对满足条件方案进行排序选择

    if isnan(X) == True : # 剔除不符合要求的方案

        g.design_all.remove(roject_1)

N2 =len(g.design_all)

if N1 == N2 :

    break
```

理论上就应该有结果，可以知道方案在哪不符合要求，250 一定会降到 100！

然后春节就结束，我还没学会编程，然后就没有然后。

没有答案的生活，
要比有答案但这答案可能是错的这种生活有趣得多。

理查德·费曼