

结构刚度

徐珂/听课后的记录

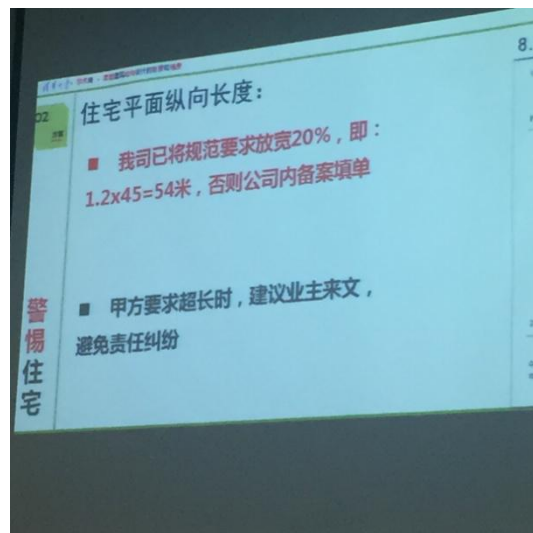
2016/11/01

10月份清华大学建筑设计研究院举办学术周，各个专业都有一些讲座举办，大的设计院有这个好处，就是在单位里可以听一些新东西，很多交流适合各专业去更新思维。学术周有三场结构专业讲座，分别是东南大学建筑设计研究院孙逊的《大跨度结构选型机理》、北京建筑设计研究院陈彬磊的《高层建筑结构设计刚度和强度》、清华大学建筑设计研究院候建群的《装配式钢结构住宅设计研发与具体工程实施方法》。



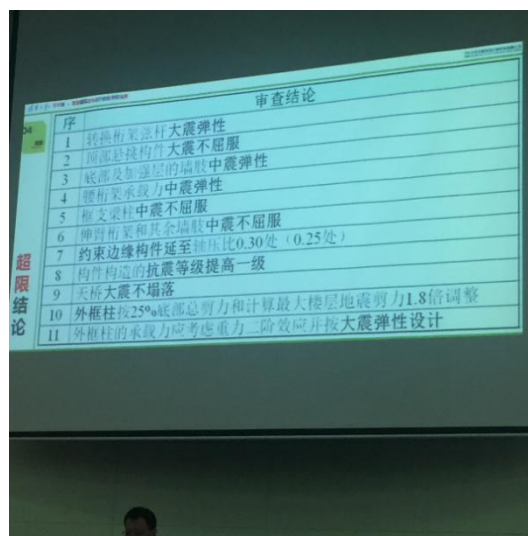
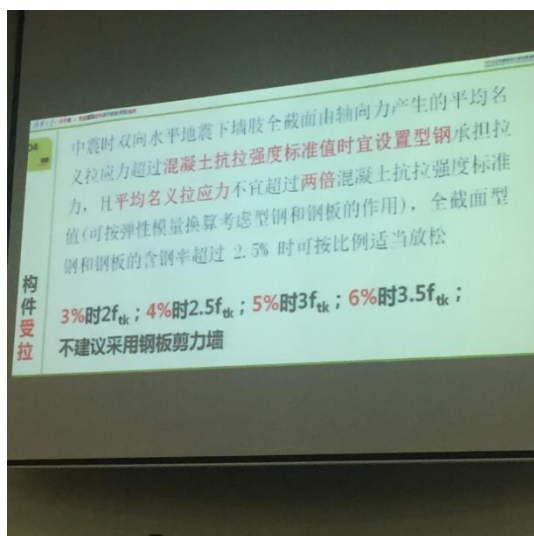
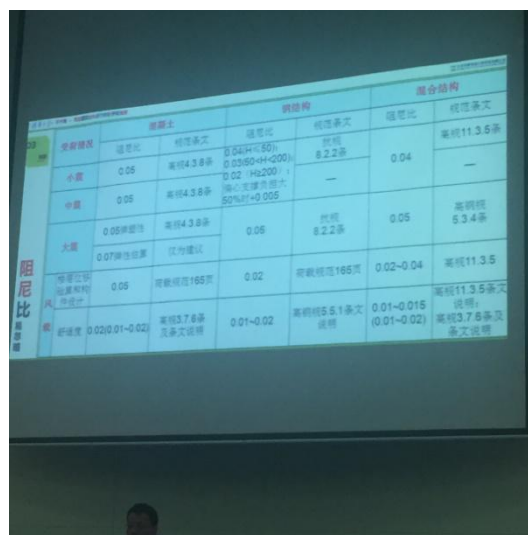
候院长一直在做装配式结构，以前也跟他探讨过一些工程事宜，他的东西不局限于钢结构，混凝土方面也有自己的产品，给我的感觉是，什么事情都需要人长期而深入的琢磨，才会知道其中的问题和解决之道，他的产品并不是规范和老

产品上扒下来的，是这些年一步步改进出来的。我也做过装配式，包括早期毕业时搞过工业建筑的项目，当时完全不了解装配目的何在，那样做的结果是只知道装配设计方法，不会考虑施工可行性，更不会思考如何改进，因为有前辈定下原则，以为这就是最好的，永远都要这样做，完全没想过自己也可以改进一些东西。事实证明，装配式结构不是新东创意，很多东西都是成熟技术或者是国外技术，所谓新东西是指参与人是否用“心”设计出适应时代需求的产品，适应时代的结构设计一定与当前及未来施工技术相关联。今天开始做结构设计的工程师，如果不能理解这个事情的话，恐怕很难做好以后的设计，这一点在其它两位的报告内容中很直白的警告我们这些听课的工程师，尤其是像我这样的顽固分子！



北京院陈总《高层建筑结构设计刚度和强度》讲的是混凝土结构内容，他介绍的观点是混凝土结构尽量不要设缝，他列举包括北京新机场航站楼主体结构长度超过 400 米，这是个很有意思的观点，究竟是结构技术问题还是方案选择性问题值得探讨，因为陈总后面讲到住宅设计时又提到警惕住宅设计长度问题，北京院认为设计可行性定在 54 米，超过规范建议值 20%。以我简单理解结构做多长是个投资控制及技术至高点问题，从公开资料看，北京新机场是目前世界占地

面积最大隔震结构，采用不设缝结构可以实现这个目的，在抗震安全上可能比分缝更重要，所有出过国的人都知道，从美国或欧洲飞回中国，如果单看航站楼建筑，那是从落后国家飞回发达国家，中国制造在当下需要这样的手笔，这是最好的广告。为什么需要这样的手笔，因为前两天看德国历史，里面大概讲到“帝国主义是经济扩张的具体表现，是资本主义在自身经济体内无法继续扩张的必然选择。”如果想扩张，产品是最好的表现，东西在这里摆着，中国能建！这有点扯的远，对于我刚跟建筑师争得脸红脖子粗地说把一个 80 米的框架分成两个结构单体，可千万不能让他们知道这个事。



陈总的题目是刚度和强度，谈到结构工程师要有自己的刚度和强度，做项目

不是一个人在做，很多时候别人会审查，现在无论哪种项目经常会被外审以及被结构优化，陈总提出自己的观点“己所不欲勿施于人”，我想他是经历过很多后提出这句论语名言，他建议结构工程师在深入研究后，一定要有自己的设计立场，结构顾问或者结构优化提出好的建议要吸收，其他的建议要提出自己坚持的观点，比如他建议的中震验算 2ftk 的设计控制原则。



东南大学建筑设计研究院孙逊《大跨度结构选型机理》的内容帮我解答一个困惑，就是去年我第一次看苏州工业园区体育中心体育场资料时，就在想这个屋面结构是怎么设计的？公开资料是发表在《建筑结构》增刊上的结构设计论文，原文是如下介绍的：

2 结构体系

体育场无地下室，仅有局部地下通道与车库相连。钢结构屋面除在混凝土结构 3 层设置铰接柱和上层看台侧面设置连杆外，自成平衡体系。混凝土看台高度为 31.8m，钢结构屋面高度为 52.0m。嵌固端设置在承台顶面，承台顶面高度 -2.5m，则结构计算高度为 $2.5 + 52.0 = 54.5\text{m}$ 。体育场混凝土结构的抗侧力系统为混凝土框架 + 屈曲约束约束支撑结构。体育场的屋盖结构是基于建筑师的马鞍形曲线的设计构思发展起来的单层索网结构，结构的外侧为整个体育场的幕墙。体育场的屋盖外边缘压环几何尺寸为 $260\text{m} \times 230\text{m}$ 。马鞍形的高差为 25m。图 2 为体育场主要几何尺寸。

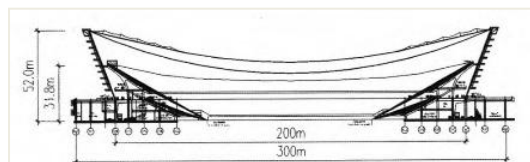
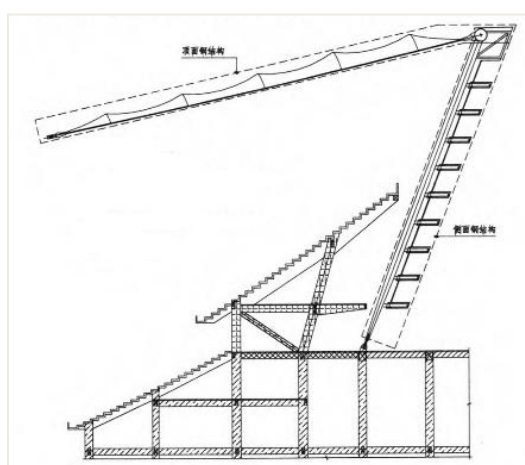


图 2 体育场主要尺寸

积的索膜结构，屋盖的跨度达到约 260m，以及 25m 的马鞍形高差。体育场的屋面结构体系设计原理是全封闭的索网体系，也称为轮辐式结构体系^[1]。内部的受拉环以及外侧的受压环通过对径向索施加预应力而形成预应力态。索网结构屋面采用上覆膜结构。

这个描述让我有点困惑，轮辐式结构？难道自行车轮可以飘着骑？最纳闷的

是结构体系介绍的“基于建筑师的马鞍形曲线的设计构思发展起来的单层索网结构”，如果说一个体育馆采用马鞍形单层索网结构这个不新鲜，体育场怎么实现，难道体育场中间保有索网？从效果图看是没有的，跟其它体育场一样中空，那是怎么回事？我当时看资料的时候觉得，写论文的人没有把这个项目的核心写出来，可能是技术保留吧，最奇怪这个项目是目前国内跨度最大的单层索网结构，竟然这样三言两语的介绍结构体系，只能感慨我大惊小怪见得少。



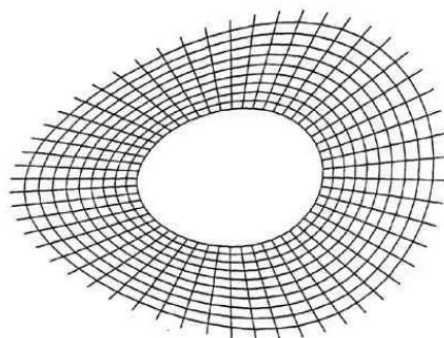
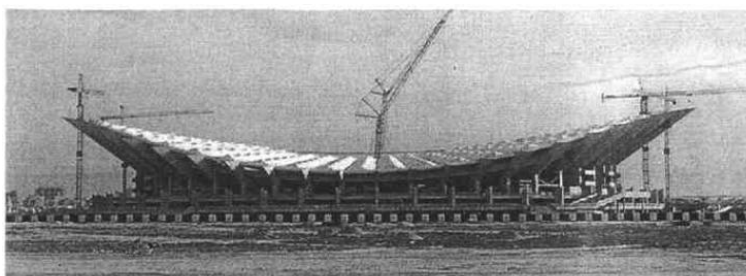
孙总讲到这个项目时，是以十分羡慕的口吻介绍的，“这是一个创新的空间结构体系！”，之所以羡慕是因为这个项目不是他参与设计的，更重要的原因是国内结构界的一个痛点，那就是结构方案是外国人设计的，这就像法茨拉·卡恩设计的希尔斯大厦只有四百米高，你做完八百米还是要膜拜他！简单说这个索网设计原理是在马鞍形单层索网中间开洞演变而成，实现体育场建筑只有单层屋面结构。不要拿跨度小或者悬挑小的单层体育场来比较哦，不是一个比较层面。话说我也很羡慕，这么简单的原理我咋光纳闷想不出来呢？孙总谈到这个项目在超限审查时，设计方介绍方案也是按轮辐式结构做起点论述，可能是为了炫耀设计能力，也可能是为隐藏其技术创新，总之很容易让你觉得它跟别的空间结构类似，但所谓轮辐说法是演变结果而非方案实质。说到这你可能不明白，这跟结构刚度

有关系吗？

我理解所谓结构刚度是指在限定条件下，用最少的材料实现既定结构目标。

开发商之所以跟设计院签限额设计，是因为他们从大数据上知道，限定的材料用量足够结构工程师建立起他们认为满意的刚度，大数据是什么意思？结构工程师用周期和位移来定义结构安全，开发商就用材料用量来定义结构安全，因为材料用量是从周期和位移下设计出来的结果，开发商没办法研究周期和位移，那就总结材料用量来评判，而这恰恰是结构工程师的相对弱项。苏州工业园区体育中心体育场面积用钢量是 76 公斤每平米，我经验少就不去对比，如果开发商来建设的话，就好玩了！最关键它是纯粹的单层结构，如果不看整体结构体系单看剖面，什么力把单薄的东西支起来的？我能力有限，最近做项目都是 250 公斤起步的水平就不瞎解释，有兴趣在大跨度空间结构体系发展的话，一定要好好研究它。

这个项目还有一个有趣的事情，它是国内跨度最大的单层索网结构，这么说它不是世界最大的？是的，目前世界上还有一个更大的，也是采用该结构体系，在科威特好像叫科威特贾比尔·艾哈迈德体育场，貌似长下面那样。



都有先例还说它干什么！且慢，最大个建成后有点问题，索网张拉不到位，没法正常使用，整体刚度没有达到预期效果，到现在还没分析清楚怎么回事，可见创新结构体系不是说说就实现的。关于结构体系创新，陈总和孙总都提到自己的看法，有几点是一致的，分享一下：一是理论突破；二是材料创新；三是技术可实施性。

大数据有一个能力就是行为优化，它可以控制某一个结构工程师的设计行为更具有可预测性。住宅材料用量下降就是其产物，但这个结果是粗略分析产品，以后更加细化后，就会分门别类进行分析，其结果如果开发商想实现更高的安全性，依据大数据的结论，就能预估出在哪一方面付出更多的材料量是合理的。比如说梁的材料用量下降 5%，其他部分需要增加多少材料量，才能弥补这个相对损失，这就是选择，结构工程师不容易非常明确说哪一种方法更好，但是数据智能化后，可以帮助开发商进行量化分析，通过几百个、几千个案例对比，设置分析优先性就可以对结构的优劣得出更精确的判断，开发商就可以指导工程师如何改进。也许我们不喜欢这样，但是有人喜欢研究这个。

每一个人的心中都有一座监狱

监狱的尽头就是我们目光的尽头

--肖申克的救赎