

Structure

Architecture

『2013 建筑、结构巅峰对话：结构成就建筑之美』
2ND DIALOGUE OF ARCHITECTURE AND STRUCTURE

Architecture Design and Structure Innovation

建筑创作与结构创新



任庆英

Ren Qingying/Chief Engineer/CAG

中国建筑设计研究院（集团）总工程师，国家勘察设计大师

代表作品：国家体育场（鸟巢）、首都博物馆新馆、北京梅地亚中心、北京金融街富凯大厦、海南国际会展中心、海南大厦、南京青奥中心等多个项目的结构专业负责人。



扫描二维码
可进入报告视频

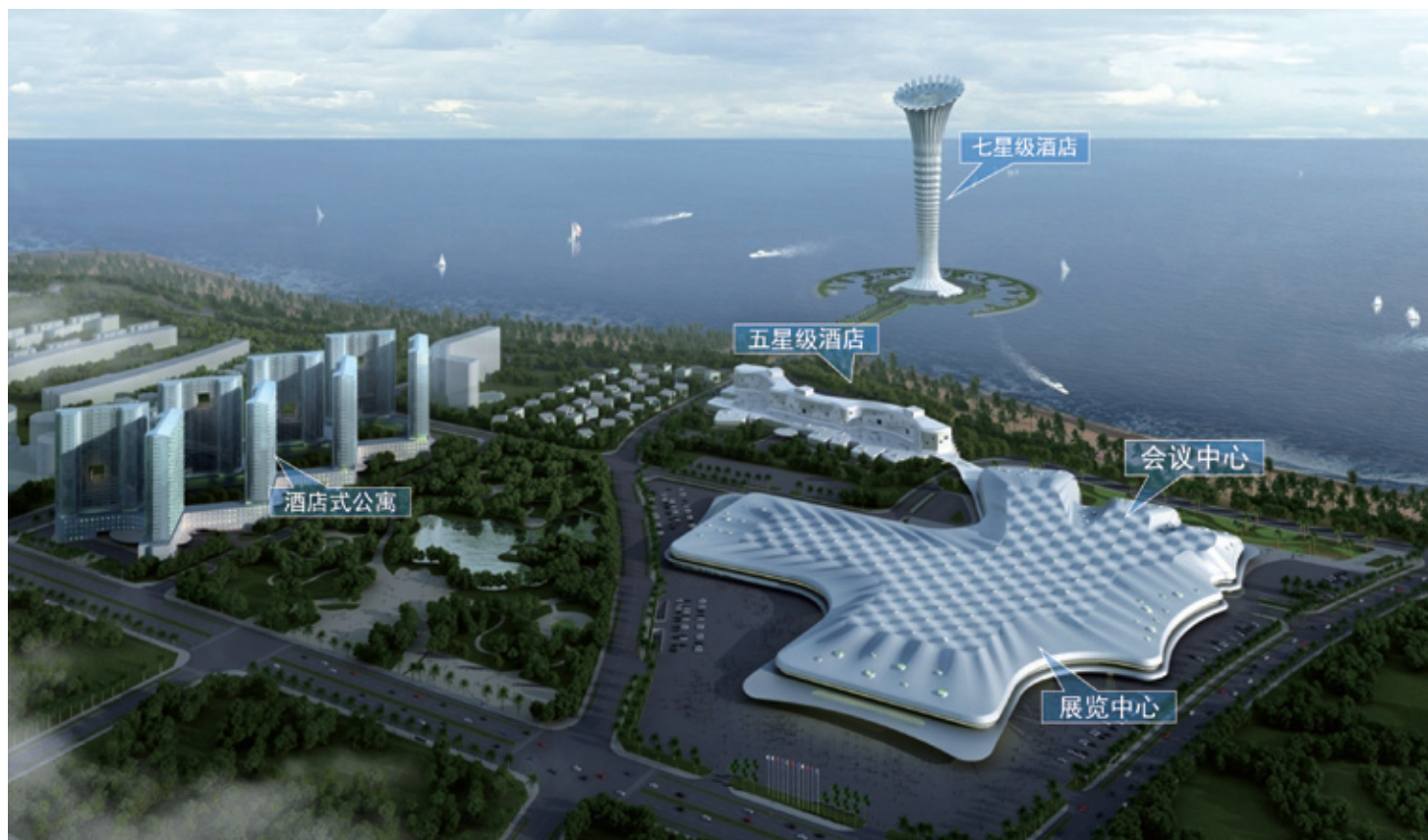
作为一名结构工程师，我参加结构专业的会议比较多，但参加以建筑师为主的会议还是第一次，感觉不一样。我觉得这次会议的题目非常好：“结构成就建筑之美”。我从参加工作到现在三十多年，实际上一直本着这样一个理念去做设计，可以说我做的所有项目和建筑师的配合都非常默契。是不是完全达到了成就建筑之美，自己不敢说，但是起码每个项目都有可圈可点之处，我也很乐于在这里与大家分享。以下我就从一个结构工程师的角度谈一谈对建筑 and 结构这两个专业的理解。

建筑与结构

对于建筑师，最重要的工作就是建筑创作，而对于结构师，最重要的工作就是结构创新。因此建筑与结构的关系其实就是建筑创作与结构创新的关系。事实上，不管一个工程是简单还是复杂、是重要还是一般，建筑和结构都可以做出比较出彩的东西。一个优秀的设计作品一定会体现出建筑创作和结构创新的完美结合，如果这一点没有体现出来的话，我觉得就称不上是一个优秀的设计。另外结构创新应该是建筑创作的强大技术支撑，如果说一个好的建筑创意没有结构方面很合理、很积极的态度来支持、配合和完善的话，那么这个创作的实现会受到很大的制约。经常有人会说，不合理的建筑创作使得结构本身的概念、力学的性能没有得到非常好的发挥，所以很多情况下建筑方案会受到指责，我觉得这是不合适的。

结构的创新就是要适应日益丰富的建筑创作，研究和创新结构体系。可以说从我参加工作到现在三十多年的时间里结构体系也发生了很大的变化，很多结构体系是以前上学的时候没有的，那么这些体系是怎么来的？是因为建筑创作不断提出一些新的要求，而结构一定要跟上这个步伐，于是就创新出了一些新的结构体系。而国内由于教育制度的原因，建筑师对结构概念的理解还是有很多欠缺之处，所以在整个建筑创作过程当中，结构应该有所介入，关于这一点，近些年我的体会更加强烈。我跟崔总（崔愷）、李总（李兴钢）、汪总（汪恒）等都做过很多配合，他们在建筑方案的创作阶段会提出很多问题和要求，对于这些，我们都会积极给他们出主意、想办法，使他们的想法能合理得到实现，这就是我们作为结构工程师的职责。把结构的理念体现于建筑方案创作当中，只有这样才能做到结构设计 with 建筑形式的完美结合，利用结构的技术使建筑更美观、更安全、更经济。结构工程师的工作非常重要，同时也希望建筑师能够放下一些顾虑，因为很多建筑师担心结构的介入会影响建筑创作或是形成制约，但如果结构工程师自身的技术能力过硬，并能充分理解建筑方案，则完全不会存在此问题，且能对建筑方案的创作起到提升作用。结构工程师可以结合所掌握的地质条件、材料供应、施工技术和业主对工期的要求，进行设计与施工的一体规划。实际上结构和建筑看问题的角度还是有很多不同的地方，比如建筑方案创作阶段往往比较注重体型、功能的布局等，而对于方案的可行性缺乏预估，尤其是国外设计师缺乏国内的抗震概念，方案创意往往受到国内技术能力、环境需求以及超限审查要求等很多方面的制约。而结构师看到建筑方案的时候，第一感觉是关于结构的合理性，第二是要判断其施工的可行性，然后还有它的经济性。建筑方案出来之后，结构工程师会进行多方案分析比较、优化，在充分满足建筑功能和形体要求的前提下，给出业主、建筑师、机电工程师都能满意的结构方案，这一点我称为“主动创新”，即结构工程师一定是要主动去做的。

与主动创新相对的就是被动创新。有很多建筑方案出来之后一看就非常怪异、非常难做，但是结构师一定做不了吗？不是，结构师可以说没有什么不能做的，只是一个代价问题、时间问题。但是现在有很多项目这两点实际上都是框定的，又不想多花钱，工期还要拼命缩短，这种情况下就使得很多事情很难实施。比如说关于中央电视台新址的议论是比较多的，但是里边没有结构创新吗？绝对不是，全国很多结构专家贡献了很多智慧才把它建起来，它的不合理就在于整个建筑是反力学的，它的不稳定性增加了很多质疑的声音。但是确实确实，不管是建筑、结构还是机电都贡献了非常大的智慧才最终把它建起来。我把这种情况叫做“被动创新”，即方案已经定了，业主和主管部门已经批了，就得做，但这必然会付出很大的代价，可见建筑方案的合理性是至关重要的。除了由于建筑方案的不合理要花费比较大的代价之外，被动创新往往对建筑形式的影响也比较大，甚至会导致由于结构限制不得不进行方案调整，这方面的例子也很多，就不一一列举了。下面结合我做过的在建筑与结构结合方面比较有特色的项目——海南国际会展中心、南京青奥中心与大家分享体会。

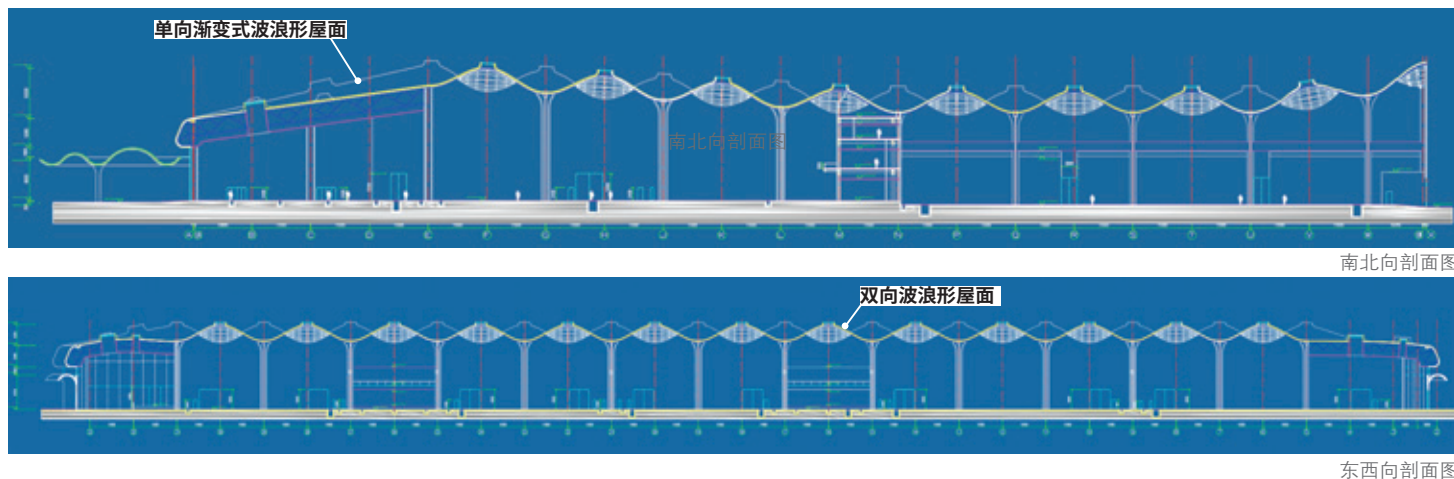


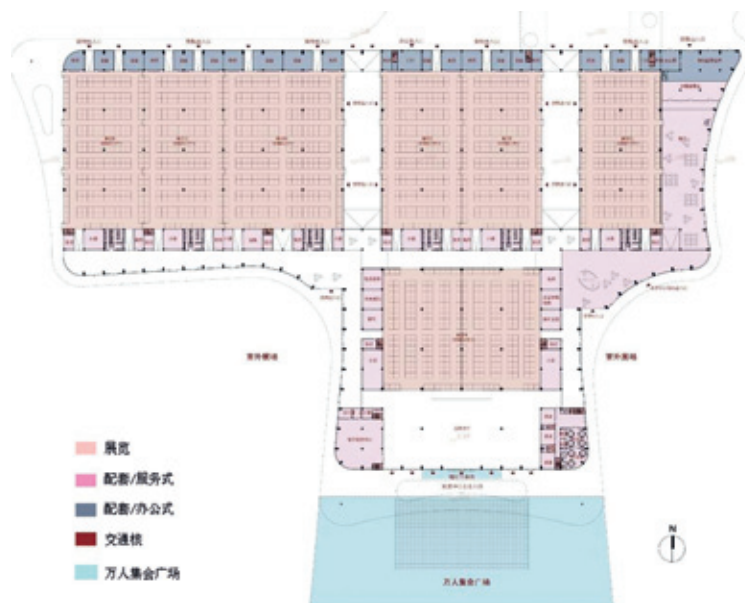
案例一：海南国际会展中心（与李兴钢工作室合作设计）

项目建筑面积：约 13 万 m^2 ；檐口高度：15.64m；风荷载： $w_0=0.75\text{kN/m}^2$ (50 年)， $w_0=0.90\text{kN/m}^2$ (100 年)；
 设防烈度：8 度（0.30g）；设计地震分组：第一组；建筑场地类别：II 类；抗震设防类别：乙类。

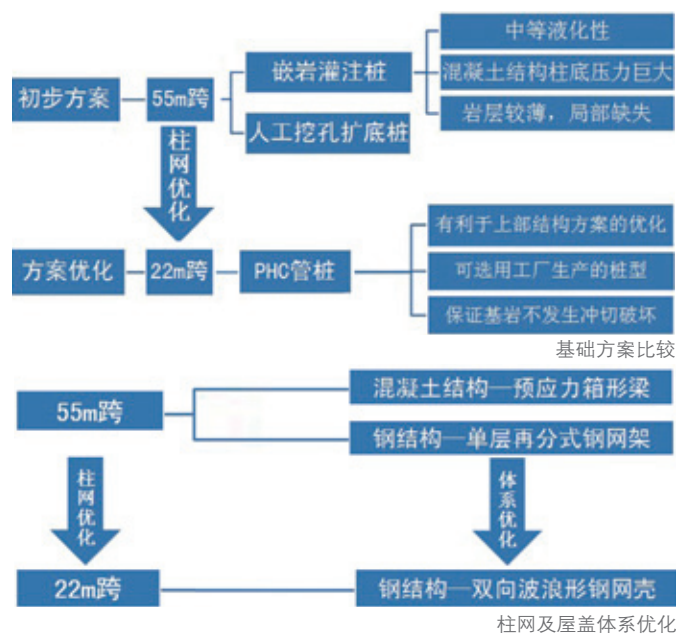
屋盖采用 22m 跨网壳 + 周边网架 + 预制叠合板的结构形式，其优点是：周边网架的存在对网壳形成有效的约束；网壳曲面与建筑屋面造型完美结合；结构自重大大降低，减少了基础造价；结构所占高度小；施工速度快。后因工期紧张，且施工单位对曲面形预制叠合板不甚熟悉，最后经甲方同意，将预制叠合板改成 6~10mm 厚钢板。

海南国际会展中心项目是全国省会城市里最后一个会展中心，由李兴钢负责建筑设计，他也是顶着非常大的压力给出了现在的方案。建筑体量很大，长方向将近 400m，短方向近 300m。屋面是双向交错的波浪形，比较有规律，形成的难度也比较大。这个项目在创意阶段遇到了一些问题。开始甲方给我们提供了一个地质参考报告，显示大概在地面下 10m 左右有基岩，我跟李总说地基条件很好，方案跨度的大小可以随意定。于是李总设计了 55m 跨度、11m 区格的波浪形屋面形式，当时我觉得是没有问题的，只是需要很大尺度的结构做出来。但后来地勘报告显示，这层基岩很薄，甚至项目所在场地有的地方都缺失了，地基形式非常可怕，如果柱的压力很大，又承载在一个很薄的岩层上，岩石一旦开裂，后果不堪设想。面对这种情况，我就和李总以及业主开了一次会，告诉他们地基情况的严峻性，建议把 55m 柱网减小。他们问我减到多少？我说

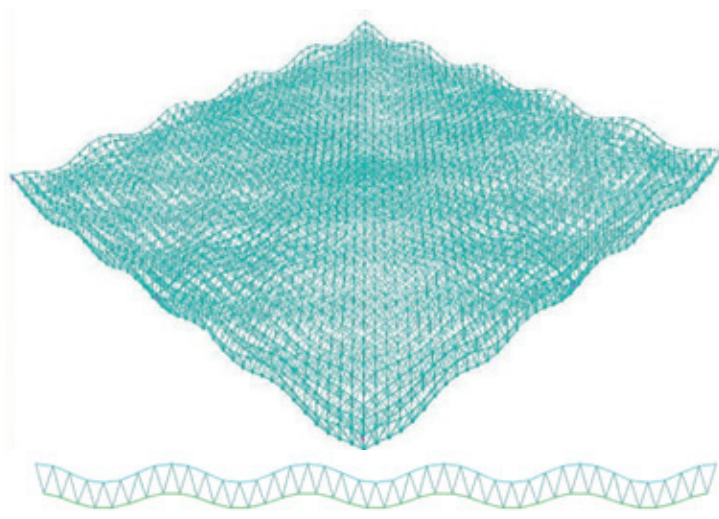




一层平面图



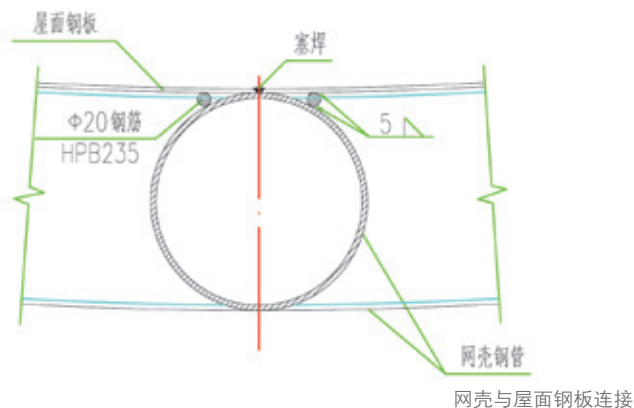
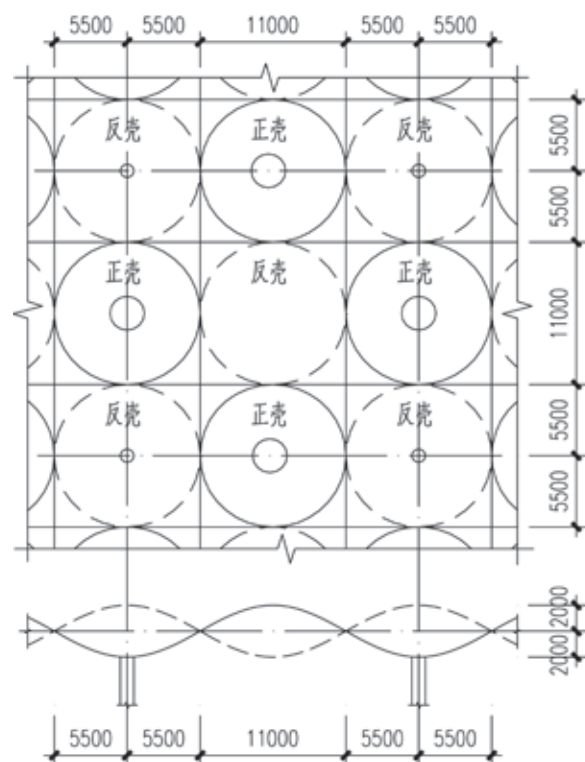
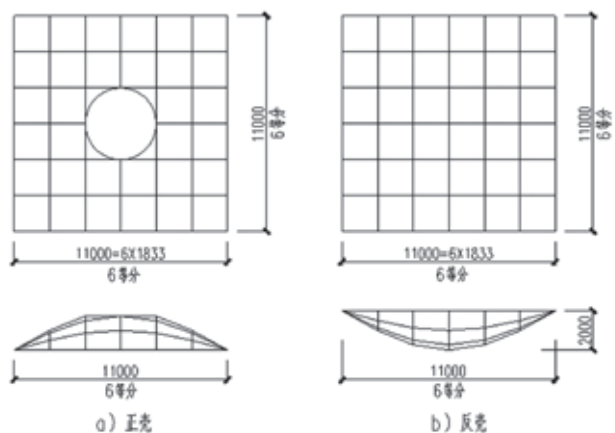
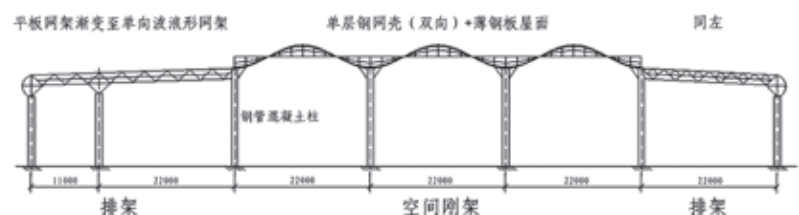
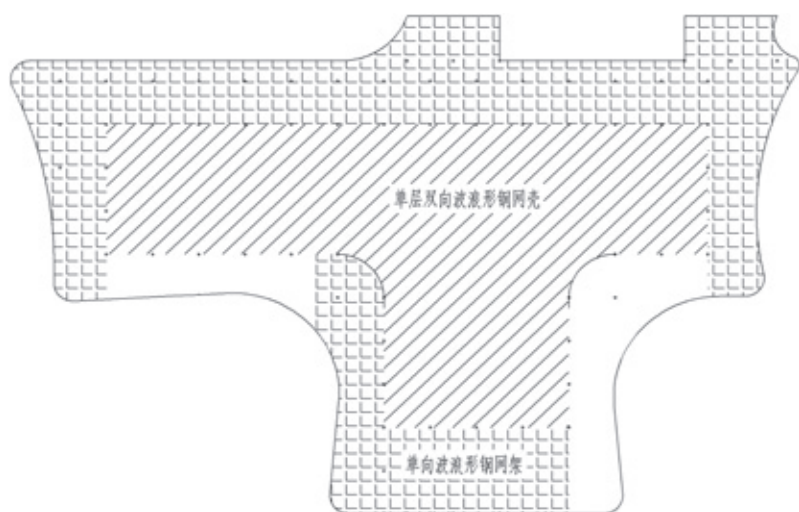
混凝土结构—预应力箱型梁+现浇波浪形屋面板



曲面网架透视图



展览中心大厅



22m。这样做除了能满足地基要求外，更可以完全满足会展的功能要求，因为海口这个地方做展览都得依靠空运或者海运，不宜有太长的构件，而宽度22m能满足任何展览的需要，即使不展览的时候，各种民用的功能也都可以满足。另外柱网减到22m，就可以做成圆钢管单层网壳，结构几乎不占高度。因为屋面从波峰到波谷有一个4m的高差，中线上2m、下2m，其矢高可以满足受力要求。同时把基础的压力也减下来了，仅为原来的1/10，最后几根预应力管桩撑到薄的基岩上就解决问题了。而55m跨度的方案上面是波浪形的屋面，底下不得不做成网格形的梁，屋面非常重。钢结构如果形成波浪形的话，网架的厚度再加上波浪高差4m是很难接受的，而改成22m之后就发生了非常大的变化。因为海口风力非常大，如果采用很轻的结构，就需要花费代价去压屋面，所以做一个相对重一点的屋面是合理的。当时我们做成了叠合板，底下是40mm厚的混凝土曲面壳板，然后把它和底下巨型钢结构壳对接，上浇60mm厚的叠合层。但是因为施工工期、复杂性问题，底下的混凝土板最终改用钢板，去掉了上面的叠合层，钢屋面上做防水、保温和现制GRC装饰面。屋面上面有天窗，阳光照进来是光柱，随着阳光的移动光柱也在移动，效果非常好。



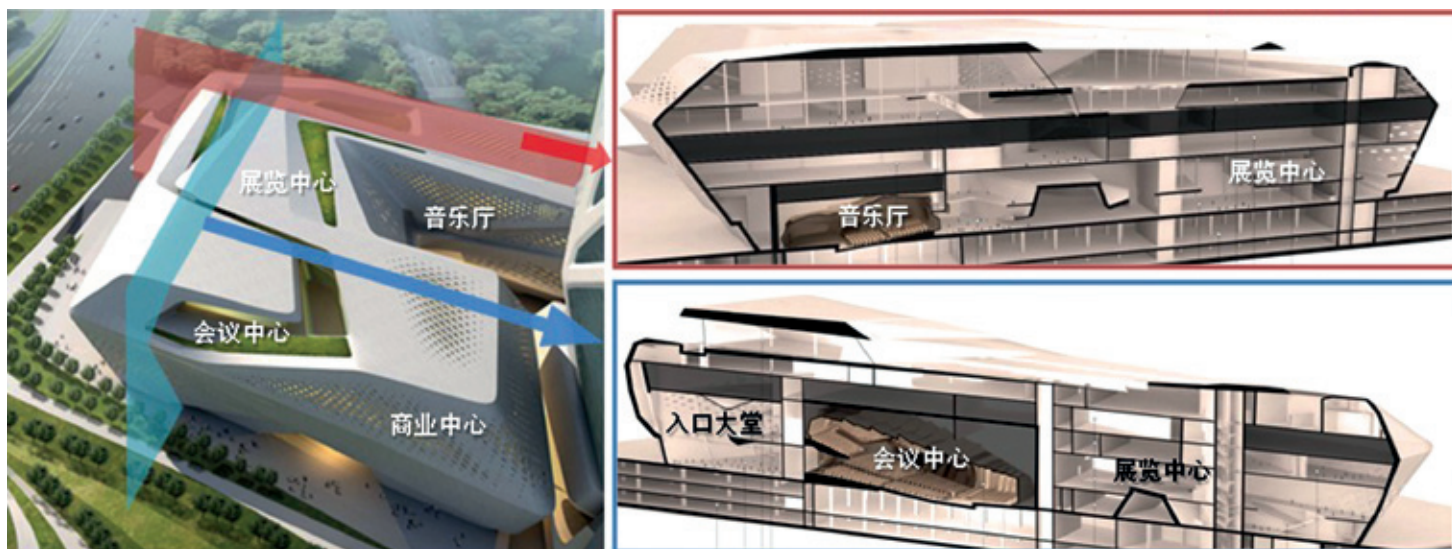
建设中的海南国际会展中心起伏的屋面



案例二：南京青奥中心会议中心（与英国扎哈建筑设计公司合作设计）

项目作为第二届世界青年奥林匹克运动会会议中心，地上6层，建筑高度45m，青奥中心总建筑面积49万 m^2 ，其中会议中心建筑面积约12万 m^2 ，建筑体量 $170\text{m} \times 170\text{m} \times 45\text{m}$ 。功能分区主要包括会议中心、展览中心、商业中心、音乐厅。其中，会议中心：平面尺寸约 $100\text{m} \times 66\text{m}$ ，0~27m为通高会议大厅，上部为小会议室；音乐厅：平面尺寸约 $60\text{m} \times 70\text{m}$ ，0~15m为通高音乐厅，上部为小会议室；展览中心：平面尺寸约 $48\text{m} \times 100\text{m}$ ，标高6m、15m为两个 $32\text{m} \times 48\text{m}$ 多功能厅，上部为餐厅；商业中心：平面尺寸约 $60\text{m} \times 60\text{m}$ ，标高15m、27m为 $36\text{m} \times 40\text{m}$ 的多功能厅，上部为会议室。

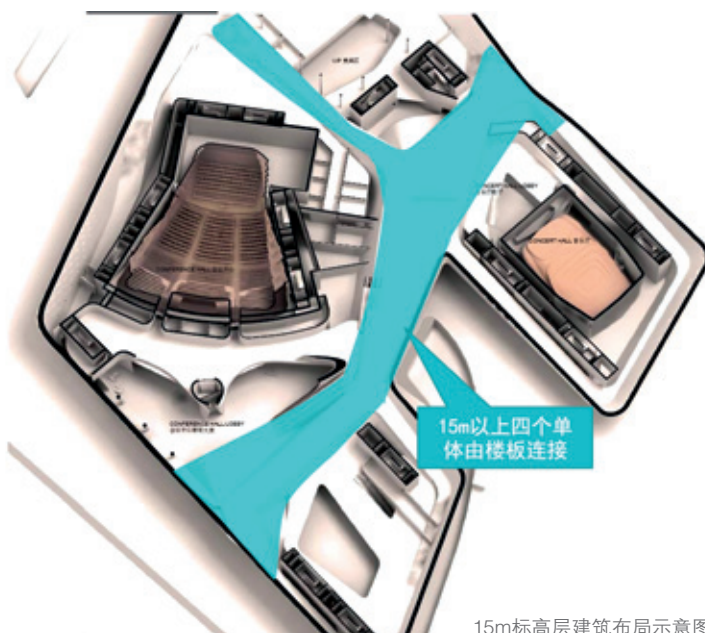
单体间空间关系：首层至15m标高层为四个单体，15m至21m标高层以上四个单体由楼板连接为整体。



功能分区



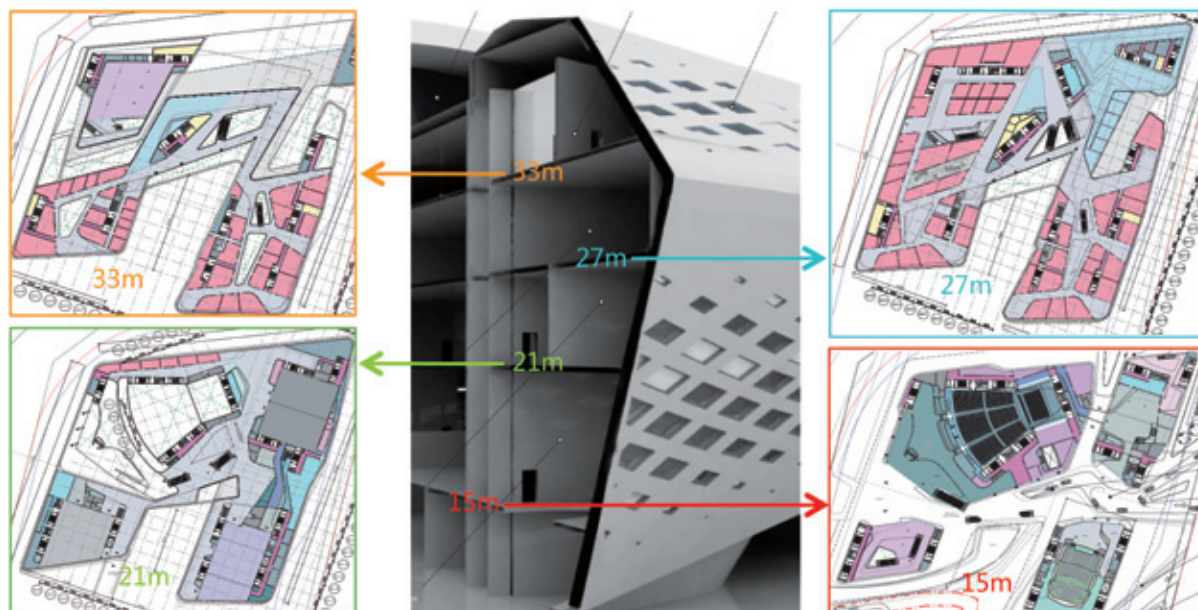
首层建筑布局示意图

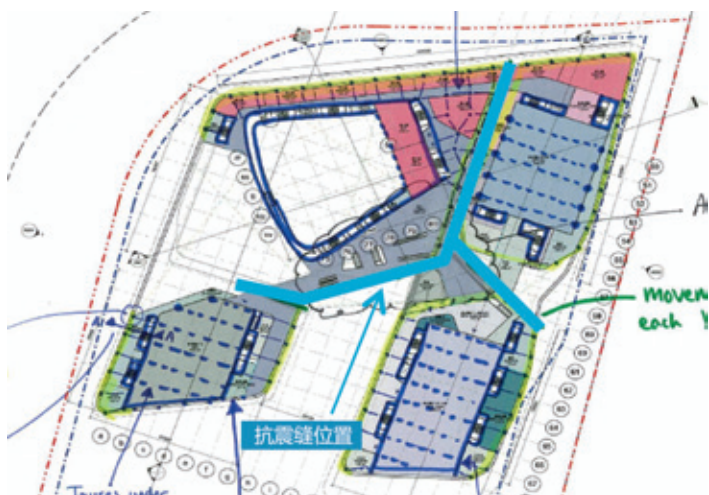


15m标高层建筑布局示意图

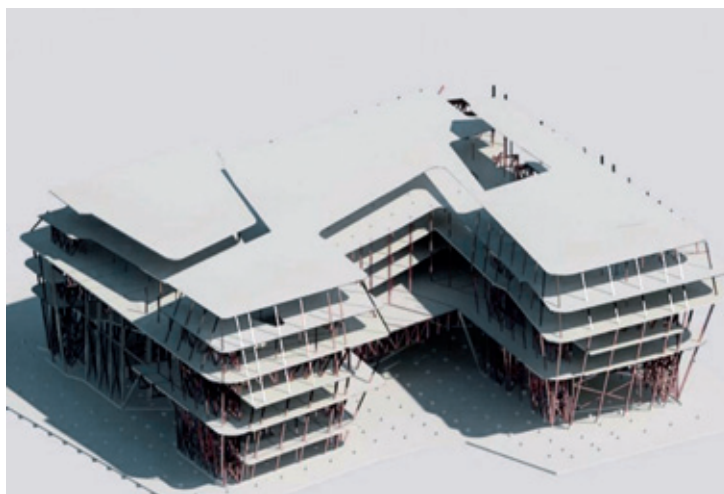
会议中心最终选用钢结构框架 - 中心支撑束筒的结构体系。标高 15m 以下由四个独立的单体组成，每个独立单元由若干钢结构中心支撑楼梯筒作为主要竖向受力构件，和周边钢柱共同抵抗水平和竖向荷载作用，标高 15m 以上连成整体，形成约 160m x 190m 的独立建筑物，在局部较大空间区域，利用大空间的顶部设置矢高为 4.5m 至 6m 的整体交叉桁架层，将底部四个单元连为整体，标高 27m 上面以空间桁架层为支承，由框架结构体系实现建筑功能及平面布置。

南京青奥中心是由英国扎哈建筑设计公司做的建筑方案，这个项目当时压力很大，业主提出两年建成，2014 年青奥会要亮相。包括一个 12 万 m^2 异形会议中心，还有 314m、255m 两个超高层酒店，将近 50 万 m^2 ，如此规模的项目要在两年时间建成简直是不太可能的事情。但是政府工程又必须要实现，所以在整个设计当中跟扎哈需要洽谈的方面很多，但是又很难谈拢。会议中心下面的平面是很不规则的四块，向上慢慢合拢，到标高 21~27m 之间整个合拢，再到上面又分开，空间非常复杂，底下布置又很不规则，面对这种情况结构如何处理？英国顾问结构师提出的结构方案是把一个流动性的体型分成四块，这从结构角度来讲没有什么不对，

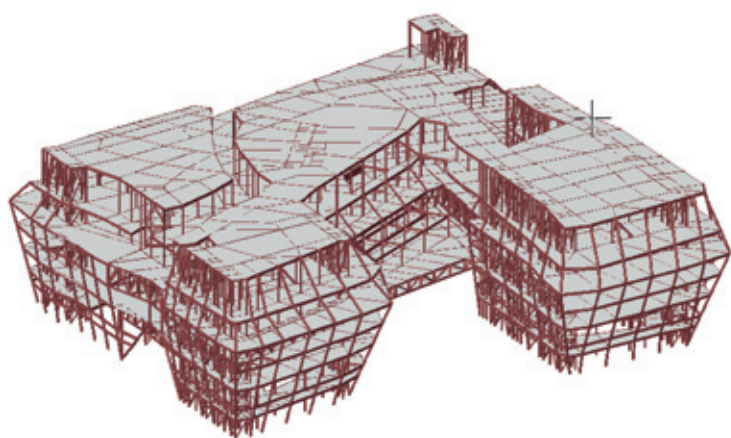




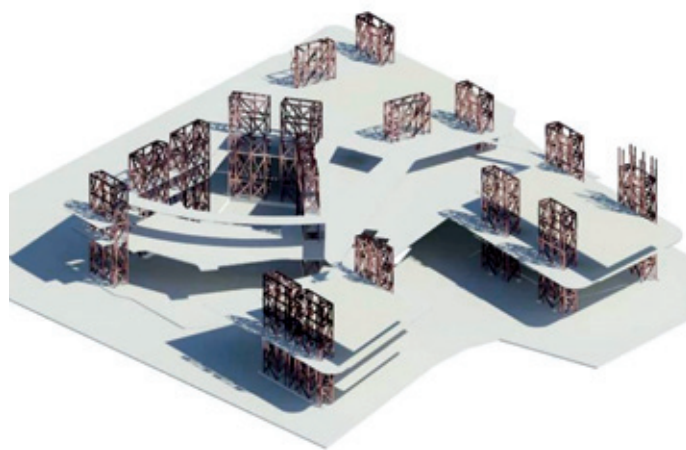
初步结构方案：分离单体（结构咨询公司）



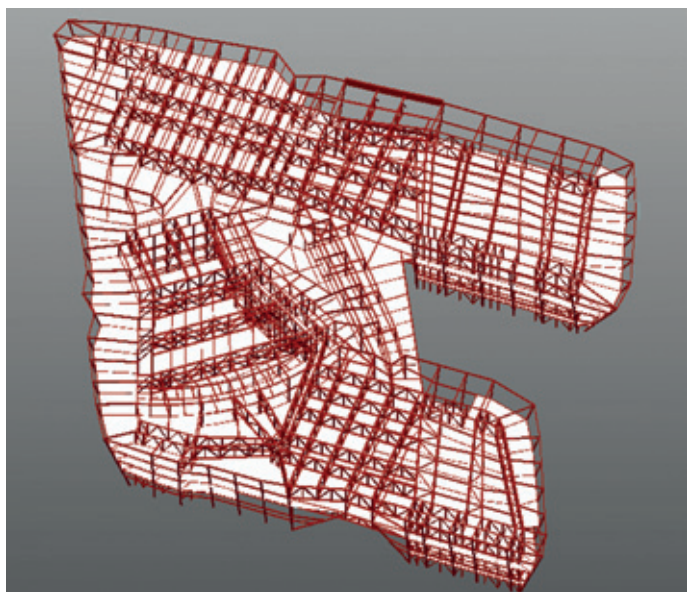
最终结构方案



整体结构示意图



中心支撑楼梯筒体示意图



21~27m交叉桁架示意图

但是从建筑师角度讲则很难接受。我一再追问他们是不是跟建筑师沟通过，他们的答复是建筑师没意见。我觉得很难理解，所以他们来汇报方案的时候，我也在会上提出了我的观点，我觉得不应该分缝，如此分缝就把一个超限项目变成了四个。这四个项目要考虑罕遇地震的情况下相向不能碰撞，我问建筑师要留多宽的缝，他说结构工程师说要200mm宽，我说600mm也不够。一个建筑出现这么多缝怎么处理？从结构来讲是合理的，但是从建筑来讲没法儿实现。后来我建议合拢为一体，否则将来超限审查很难通过，另外结合起来能比分开更稳定。最终形成一个底下分开、上边合拢，利用21~27m标高空间做整层转换，形成四条腿板凳式的纯钢结构，只有楼电梯的地方有垂直构件，其他全都为不规则斜构件。中间几乎没有柱子，外围柱子为向外倾斜的折线柱，就利用这么一个板凳结构实现了整个建筑功能的转换以及体型的完整性。为此，扎哈建筑设计公司的建筑师和结构顾问非常满意，从此互相信任，我们后来的配合也非常融洽。AT