

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

Dalian International Conference Center Design

结构成就建筑构想

——大连国际会议中心设计



崔岩

Cui Yan / Chief Architect / DIAD

C+Z 崔岩 + 赵涛建筑师工作室主持建筑师，大连市建筑设计研究院有限公司总建筑师

主要作品：大连经济技术开发区第十高级中学、大连北方金融中心、大连邢良坤陶艺馆、大连国际会议中心等。

王立长

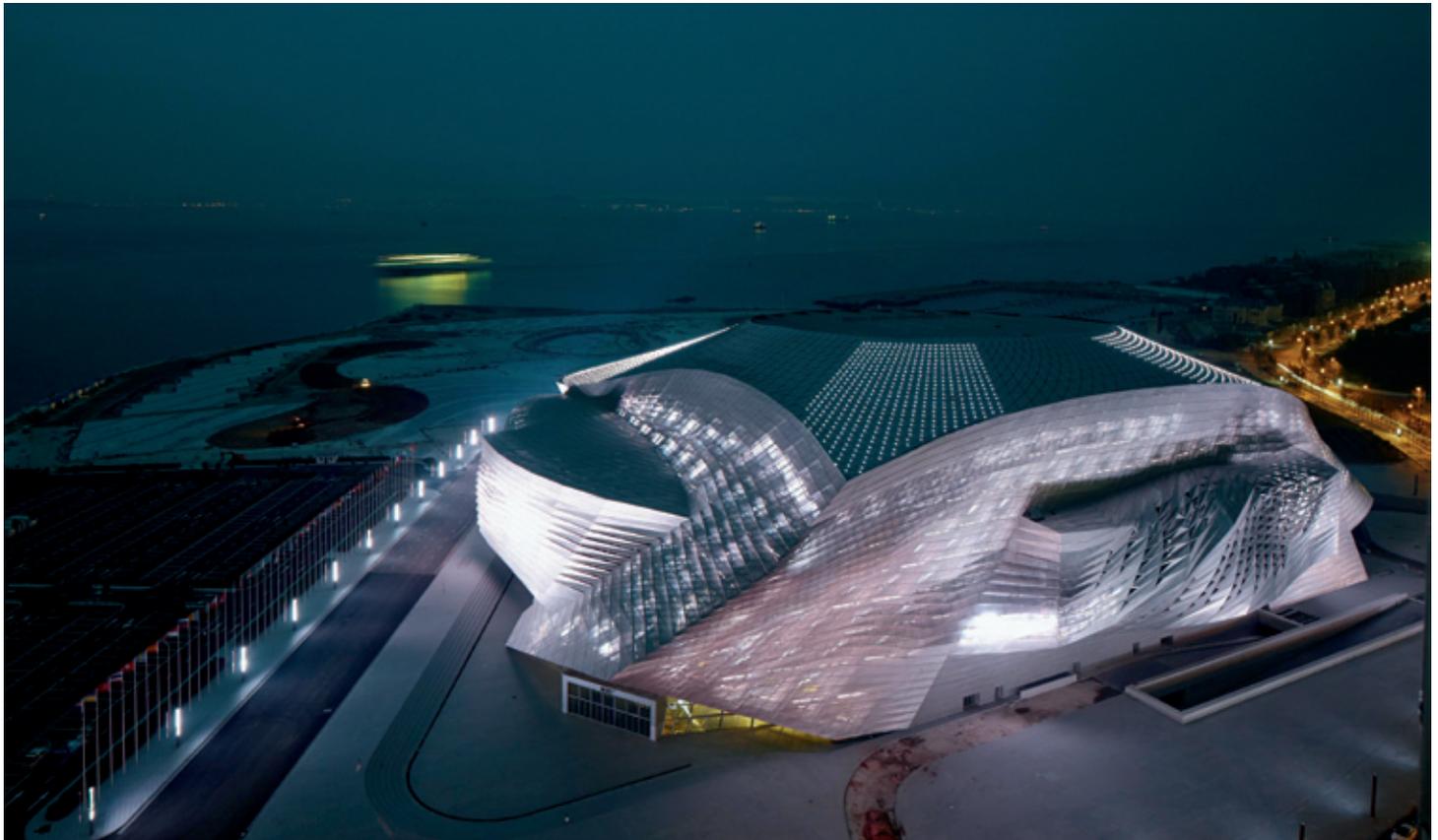
大连市建筑设计研究院有限公司首席总工程师。

赵涛

C+Z 崔岩 + 赵涛建筑师工作室主持建筑师。



扫描二维码
可进入报告视频



大连国际会议中心建成后的夜景鸟瞰



大连国际会议中心总平面图

大连市政府考虑到东港区首批政府启动项目的高起点、高品质，在大连国际会议中心方案设计阶段召集了六家世界顶级建筑事务所进行国际招标，最终选定奥地利蓝天组（Coop Himmelblau）的设计方案，并由奥地利蓝天组和大连市建筑设计研究院共同设计完成。设计的核心理念为“城市中的建筑，建筑中的城市”，体现了这个时代复杂多元的文化特征。整个建筑占地 4.3ha，总建筑面积 14.68 万 m²，高 59m，地下 1 层，地上 7 层。内设 3 000m² 可容纳 2 000 人的多功能大厅，可满足达沃斯的会议和餐饮要求；另有高标准 的 1 600 座剧场；会议中心内还设有 900、400、200 等中小型会议厅 6 个及 4 个多功能贵宾厅和多媒体会议厅；四层的 26 个中小型会议厅用于会议的分组讨论；

结合各个不同使用功能的空间体块排列组合，达到一定的空间序列感，同时利用不同的高度，塑造出丰富的内部空间。这些功能块被设计成各种不同形状的体量，坐落在一个大的室内广场上，各功能体块之间由巨大而曲折的廊桥连接。整个建筑内部犹如一座微型城市，人们在设计意向的广场、街道、小巷和房子之间自由穿行游走，仿佛在城市中漫步，可以感受到大连的城市肌理，充分体现“城市中的建筑，建筑中的城市”。

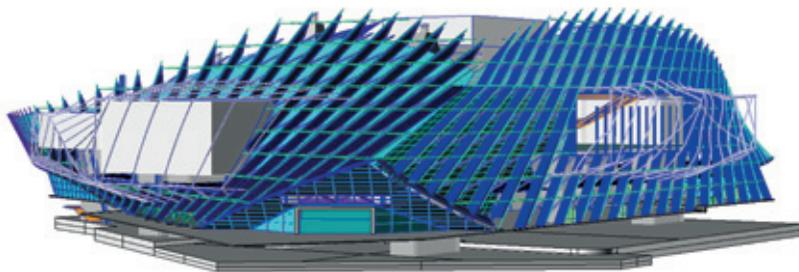
参数化设计

与蓝天组建筑师零距离的设计合作，让我们亲身经历并体验了参数化设计方法和解构主义作品从构思到创作的全过程。由于方案建筑造型特殊，引进了参数化设计方法。虽然运用 Rhino 软件可以很方便地确立自由形体与严谨的数学模型间的直观联系，并完整地展示一座建筑的全貌，但“相信实体模型而不是计算机模型”依然是西方建筑师贯彻始终的设计原则。孜孜不倦的模型推敲（模型比例 1: 1 000~1: 50）甚至是近乎偏执的追逐，将蓝天组建筑事务所实验性、前卫性的各路观点磨合消化，最终形成一个颇具成效的整体。这种计算机化和手工模型有机结合的设计方法和过程，与其说是一种依赖，倒不如说是一种对建筑师想象力的解放，而在此过程中传统的建筑师经验判断及对形态的推敲仍是决定因素。

设计成果的传达对于项目的完成尤为重要。建筑师所面对的合作单位除了各专项设计公司，还有施工总承包公司、钢结构公司、幕墙顾问及工程公司、室内设计施工公司、灯光顾问及工程公司、声学顾问、厨房顾问、结构机电顾问、广告标识设计、景观设计、遮阳帘、光伏发电及融雪专项等各种合作公司。设计的一项重要任务就是建筑师团队如何把信息清晰有效地传达出去，并协调各家公司准确落实到施工操作的末端环节。

设计工作的第一层信息平台是由蓝天组实时更新的 Rhino 三维模型，中外建筑师所有关于表皮和内部主要空间的修改都在这个模型中得到更新和验证。这个模型随着中方设计工作的深入，被拆解成了若干部分，按照统一的命名原则、命令标准、图层标准、标注标准等进行深化，在统一的 FTP 文件平台上进行文件更新，并再次整合为整体模型。设计工作的第二层信息平台主要由中方建筑师主导，依据三维模型导出二维设计深化，将复杂的部位进行通俗易懂的归类、索引，以清晰的图示语言表达，指导后续大量分包商的工作，保证了工程的按时、高质量进行。纵观设计全程，与国际水准的设计事务所在这种特殊项目上进行深度合作，我们感受到的不止是某些点、某些环节上方法的改进，而是整体工作标准的提升。可以说，所有参与的分包商都经历了一次理念和方法上的洗礼，因为非常规的项目打破了很多既有的工作模式，使工作变成了一种创新。

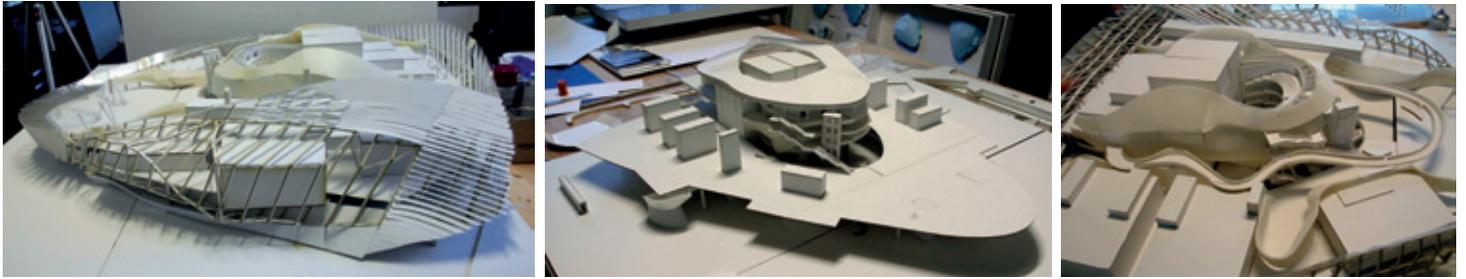
尽管这种实验性探索带来的修改是极其频繁的，但由于通过大量实体建筑模型的制作和研究推敲，使得每次修改的理性结果与原设计类比的优化成效极大，也让我们坚定地确认修改的结果，从而使设计决策的深化极有成效，空间理念的发展方向也变得理性可控，这些都是目前中国建筑师在设计方法上欠缺的地方。与世界一流优秀设计事务所合作，在新鲜感褪去之后，对中外双方的设计理念、设计方法和手段、设计态度上的诸多差距都有了具体而切身的体会，也开始让我们站在设计方法的角度去思考一个优秀作品的产生过程。



计算机模型



总体结构模型图



实体模型

结构成就建筑空间

典型的解构主义建筑空间表达需要结构工程师团队的积极支持和理解。大连国际会议中心的结构设计是一项特别不同于常规的原创新设计，独特的建筑外观造型及复杂的建筑内部空间对结构技术提出了非同寻常的挑战。为达到通透漂浮的空间效果，建筑物尽可能减少竖向承重构件，作为承重体系的14个核心筒体和稀柱间的跨度普遍达到20~70m距离，最大悬挑长度达到39m，由此而形成了多筒稀柱支承大跨长悬挑转换平台的复杂空间组合结构体系，而且大跨度长悬挑楼面都是人员活动密集的重荷载区域，所有会议厅以及大剧院都坐落在15.3m高度的大型钢结构平台上，通过钢平台将荷载传递到14个混凝土筒体再向下传给基础。在建筑结构领域中，这样规模的大型工程全面采用复杂的不规则转换结构体系是前所未有的。屋顶和下方的建筑体块为活性连接，采用道桥节点技术，上述竖向支撑体经建筑师的授意，其骨架形式距离建筑的固定形式很远，仿佛雕塑或某种构筑物，其漂浮的视觉冲击力却又让人为之惊艳和赞叹。巨大的幕墙系统造型浪漫，动感十足，龙骨最长长度达到70m，许多部位还坐落在悬挑大平台上；大型屋面系统支承在不规则布置的多种形式的支座上，并且悬挂了多部巨大的室内廊桥；多条空中廊桥从头顶上越过，蜿蜒曲折，连接不同的使用功能空间；建筑物中央的内置歌剧院仅由5根倾斜和直立巨柱通过复杂的转换平台支承在空中，与悬挑钢平台、交通筒体、屋架相连。此种结构的连接冲突和反理性及对空间的解放，也预示了建成后的空间冲击和空间艺术表现力，建筑师的空间理念在得到表达的同时也成就了结构设计的六大创新。

创新1：提出并系统研发了多筒稀柱支承大跨长悬挑转换平台大型复杂空间组合结构体系，形成了关键设计理论与技术。它将下述创新的四大受力体系及高性能构件与节点优化集成为内外部结构协同工作的受力整体，高效合理。

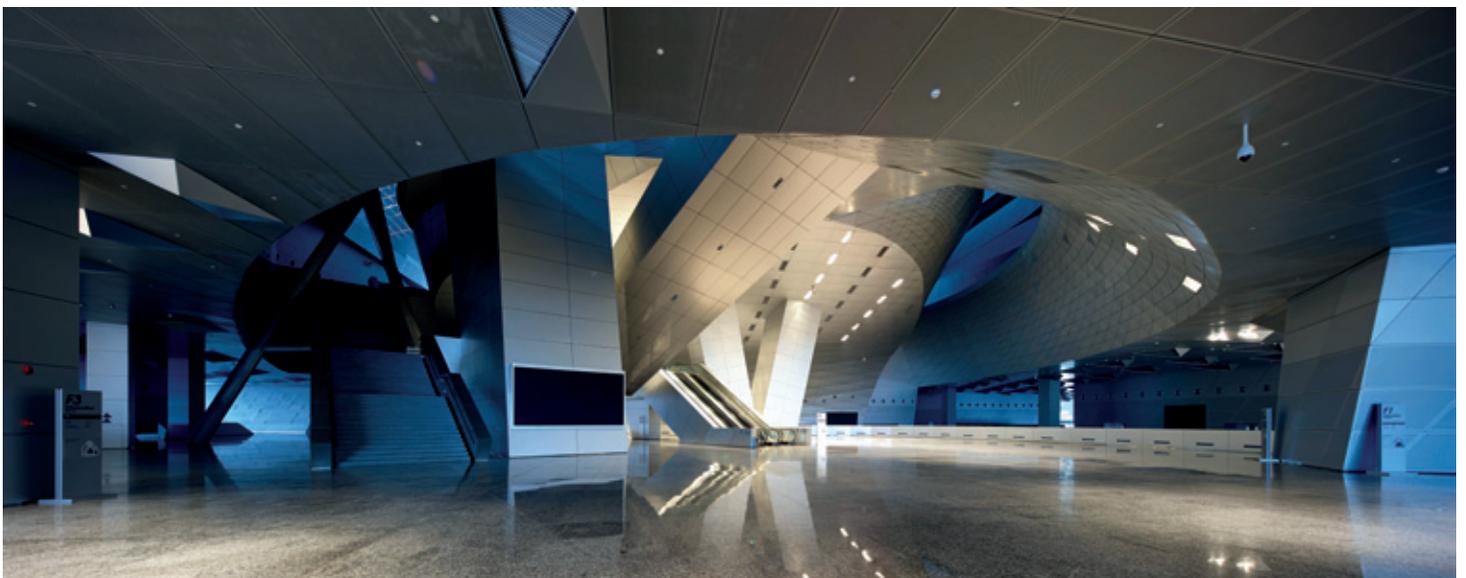
创新2：提出并研发了变厚度中空钢桁架承重大跨长悬挑转换平台受力体系。有效地将不规则桁架与筒体可靠连接，解决了高位中央大剧院与功能建筑传力转换的复杂受力问题。

创新3：发明了多重组合筒体抗侧力体系。将不同抗侧力体系和不同特性材料优化组合，具有多道抗震防线。

创新4：提出并设计了稀疏支座复杂曲面大跨长悬挑屋架受力体系。创新了大型整体球铰支座系统，解决了稀疏支座支承超大复杂曲面屋架集中受力与变形相容的关键技术问题。

创新5：提出并研发了异型折板曲面框架外围护结构受力体系。解决了复杂异形折板外围护结构在复杂受力下与转换平台、屋架连接技术的难题。

创新6：发明了多种抗震和消能减震构件与节点，经验证工作性能良好。



一层主入口空间实景

交流互动的工作模式

建筑师要求结构师在完成自身设计任务的同时，尝试建筑师的部分工作内容：考虑结构的空间中都有哪些其他专业的管线。由于建筑师设计的内外装饰面板为冲孔铝板，均有透视、透光的效果，并要求结构受力构件体现力学逻辑的美，这是结构师面临的美学难题。另一个难题是配合，需要多专业的配合协同，结构师强调建筑师必须考虑到结构的可行性，建筑师则逼迫结构师熟悉建筑模型，国际会议中心的设计就是在这样相互交流、相互逼迫中进行着，最终结构师实现了建筑师的作品。当然若有充足的时间结构师一定会优化得更好，但是国情环境下的时间实在是太紧迫了，能做到现有程度已属不易。

在工程设计白热化的阶段，中方共有 80 名设计师的人力投入，蓝天组方面也有二十几名建筑师的投入。为了便于记忆和管理的简洁方便，建筑师给难点最大的设计部位起了很多“外号”，像“三根筷子”、“桥”、“海螺楼梯”、“泡泡”等，这些部位后来被结构师开玩笑称为“结构雕塑”，“结构雕塑”除需有理论支持，进行大量的计算分析外，还要通过做试验来验证。

关于建筑与结构的配合，体现在中心剧场的设计过程中：一是建筑师最初的创意是将中心剧场设计得像一个蛋被几个很细的杆支撑，这种形式对结构来讲实施起来是很困难的，相当于用几个杆件把大剧场撑在空中。结构计算发现这几根柱子很弱，满足不了受力要求，于是结构师提出了符合结构计算的新想法：用两个规矩的四方形桁架，虽然形式略显呆板，但计算后可以实现，建筑师最终勉强接受了结构师的想法。经过多轮次的工作磨合，到后来只要结构师提出造型方面完全无法实现，建筑师就马上建议依据结构原理进行变形，结构师就再根据新的变形进行计算。工作方法顺畅后双方交流互动得非常快且有效率。在极端状态下，建筑师显得更善于交流思考，其思维的开放度胜过结构师，最终的方案应该说是结构师理解了建筑师想要的这种空间变化，双方在理念上达成了一致的结果。这种互动的模式进行了约一个月时间后，建筑师与结构师可以说已经做到了互相之间不分专业、不分彼此了，就是这种相互交流转换条件的“乒乓”式互动，将建筑与结构融合在一起，最终实现了结构的大方案。



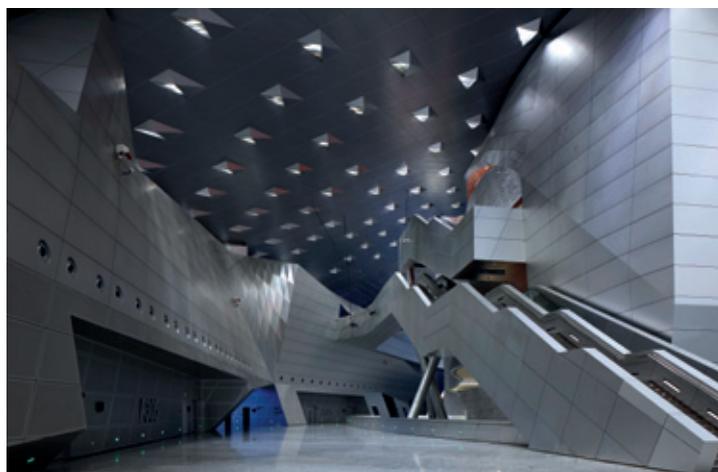
大走廊建成实景



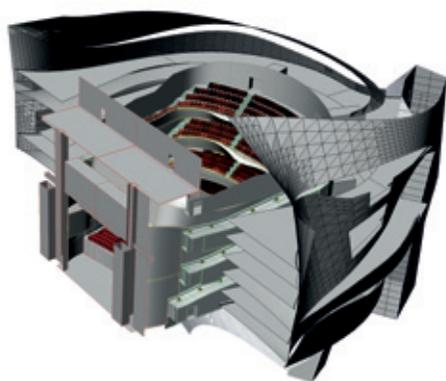
“三根筷子”



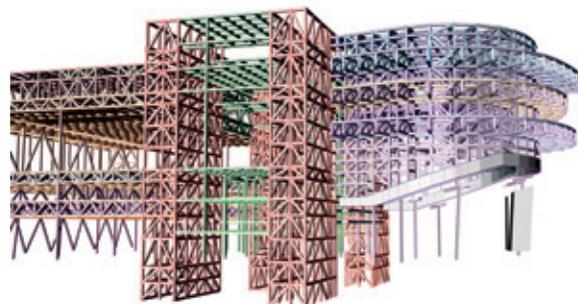
建成中的螺旋楼梯



建成中的大楼梯



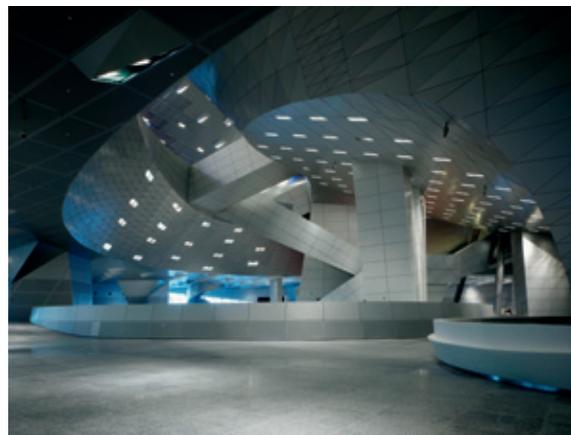
剧场推敲模型



剧场结构模型



剧场内部空间



剧场支撑空间

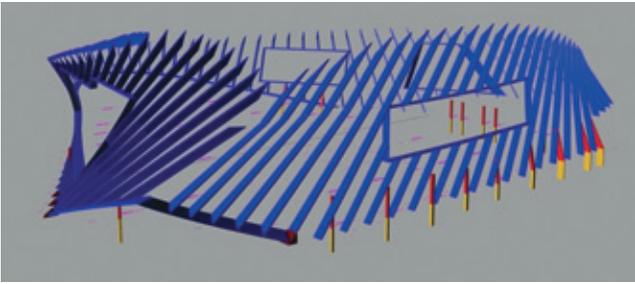
还有就是怎么实现这种不可描述的形状。结构师大体理解中心剧场的形状，但如何布置里面很异形的结构部件？于是他们要求建筑师提供剖面图，但建筑师需要结构师提供需要的构件形式，才能提供详细的剖面图。就好像“鸡生蛋，蛋生鸡”一样说不清谁在先、谁在后，最终经多轮讨论，建筑师提供解决方案：建筑的外表形状确定后，向内回退的尺度即是结构的杆件空间，空间内是结构的需求空间，犀牛软件将空间建成并找形，结构师用工程的方法悬挑桁架，把工程空间做成，辅助面完成即是结构空间——有外皮，有辅助面，从而确定了结构的区域。数字技术处理空间模拟的巨大特点和能力使精彩点不仅是设计，施工技术也完全可以接受这种描述，钢结构加工厂利用数字模型，同样建出适合加工的数字模型，重要的就是数字的找形。

空间释放——中心歌剧院

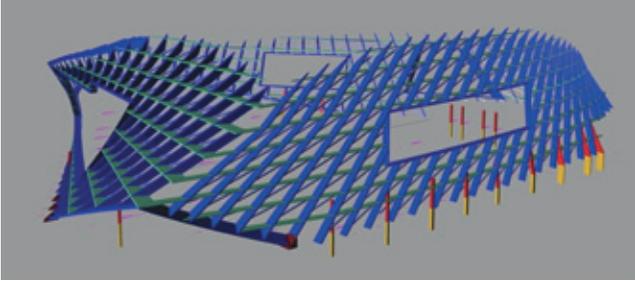
中心歌剧院是大连国际会议中心设计难点中的难点，建筑师将 1 600 座歌剧院设置于中央部位，歌剧院主看台区与钢平台脱离，舞台与钢平台连接在一起，从建筑艺术角度该方案具创造性，它丰富了会议中心的内涵，增添了建筑的创新和效果等，但对结构是一个巨大挑战。

蓝天组设想歌剧院看台区由一个闭合体钢结构和两根支柱组成。经过结构几次试算，这种结构仅能承受竖向荷载，在地震作用下非常不安全。主看台部分总质量近 1 万 t，这样大的质量在无约束或约束很小的情况下，摆动非常严重，并且带动整个后台区甚至与后台区相连的达沃斯主会场区，使整个结构产生不规则的摆动。为此结构师提出必须给歌剧院看台结构提供足够安全的支撑，确保歌剧院和整体结构安全，最终形成的 V 字形支撑与其说是建筑师的创作，不如说是在结构师诉求底线时的灵感再现。

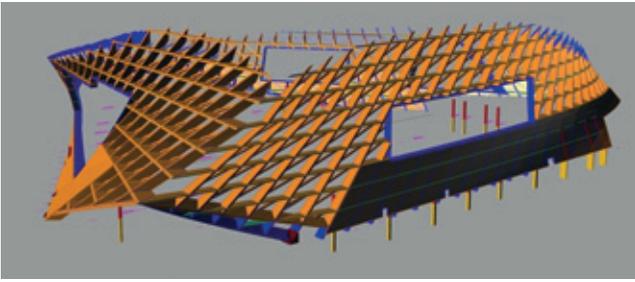
歌剧院存在的第二个问题是其外部有很大的悬挑休息平台，悬挑最大的尺度超过 12m。由于歌剧院看台部层高的限定，大悬挑的休息平台悬挂在歌剧院钢结构上，平台挠度控制非常困难。经过几次与建筑师的探底性的交流，建筑师最终同意了结构师的拉杆方案，将几层悬挑看台通过拉杆统一捆绑在歌剧院主体上，悬挑长度也相应减小，看台的挠度和刚度得以较大改善。总之，在结构师与建筑师相互制衡最终达到平衡点时，建筑师原创渴求的空间漂浮感也得以实现。



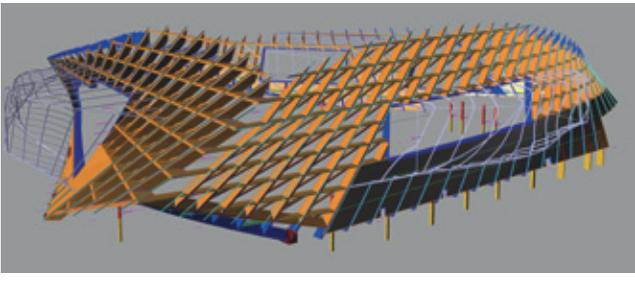
西南幕墙体系1



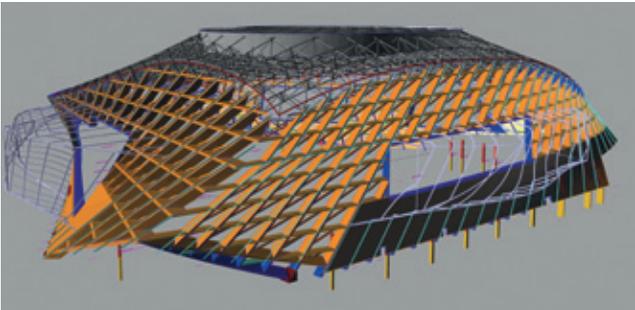
西南幕墙体系2



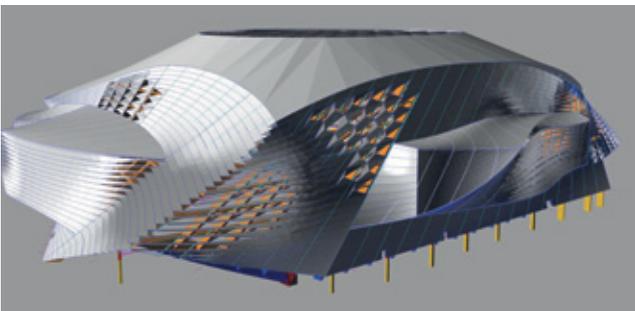
西南幕墙体系3



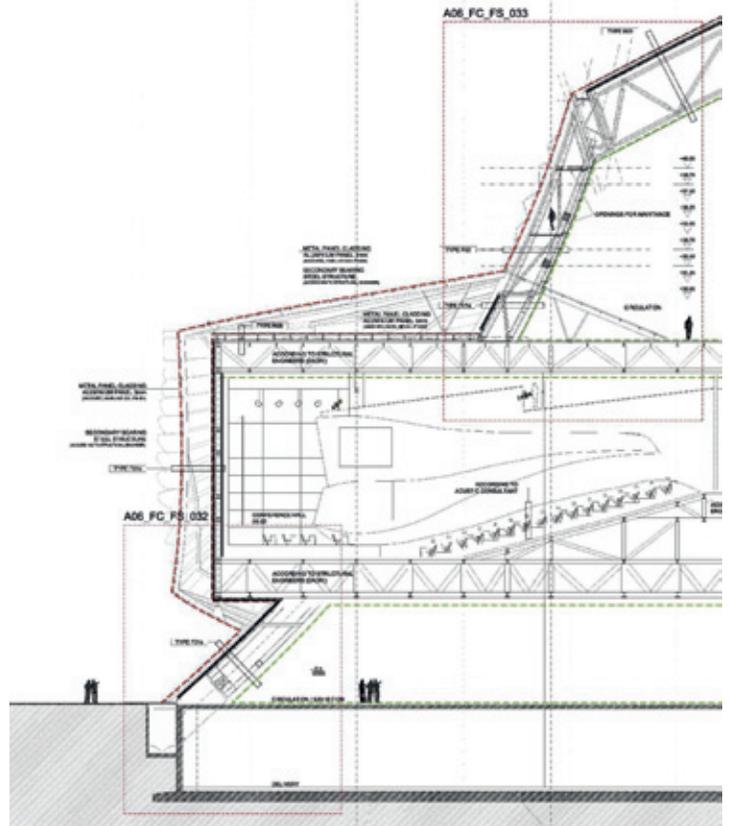
西南幕墙体系4



西南幕墙体系5



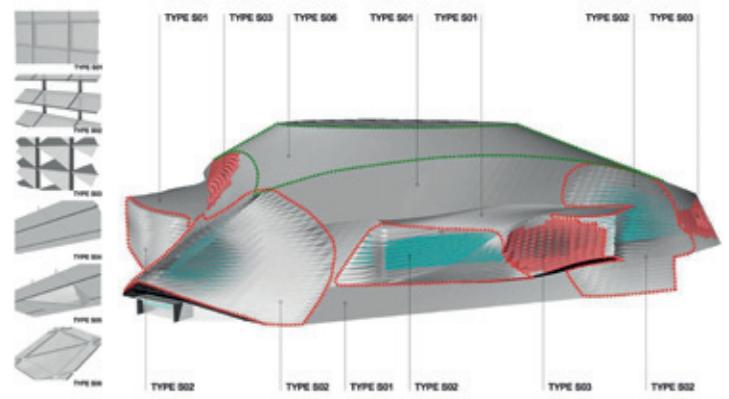
西南幕墙体系6



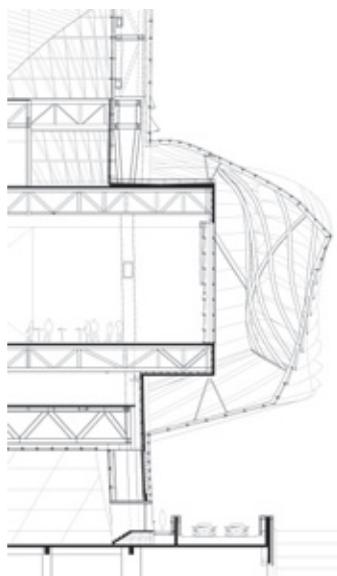
表皮剖面细部



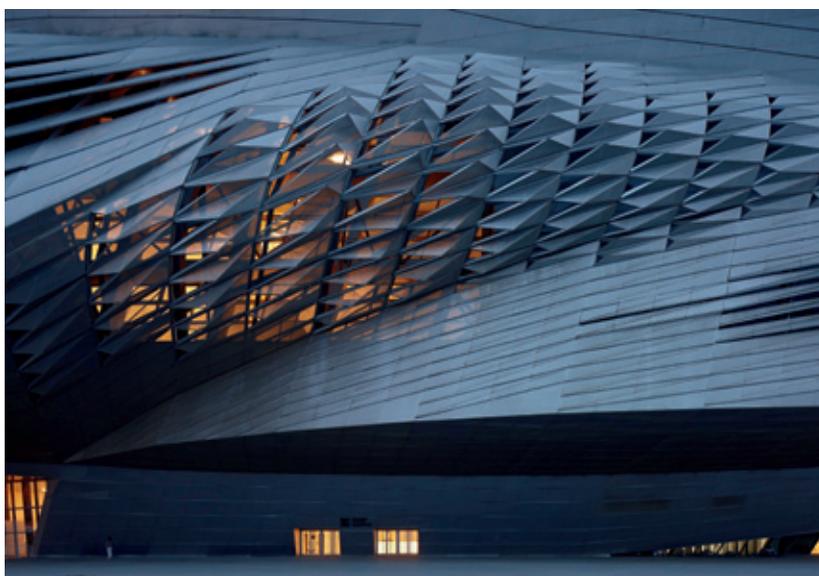
穿孔表皮类型1



穿孔表皮类型2



“泡泡”结构细部图



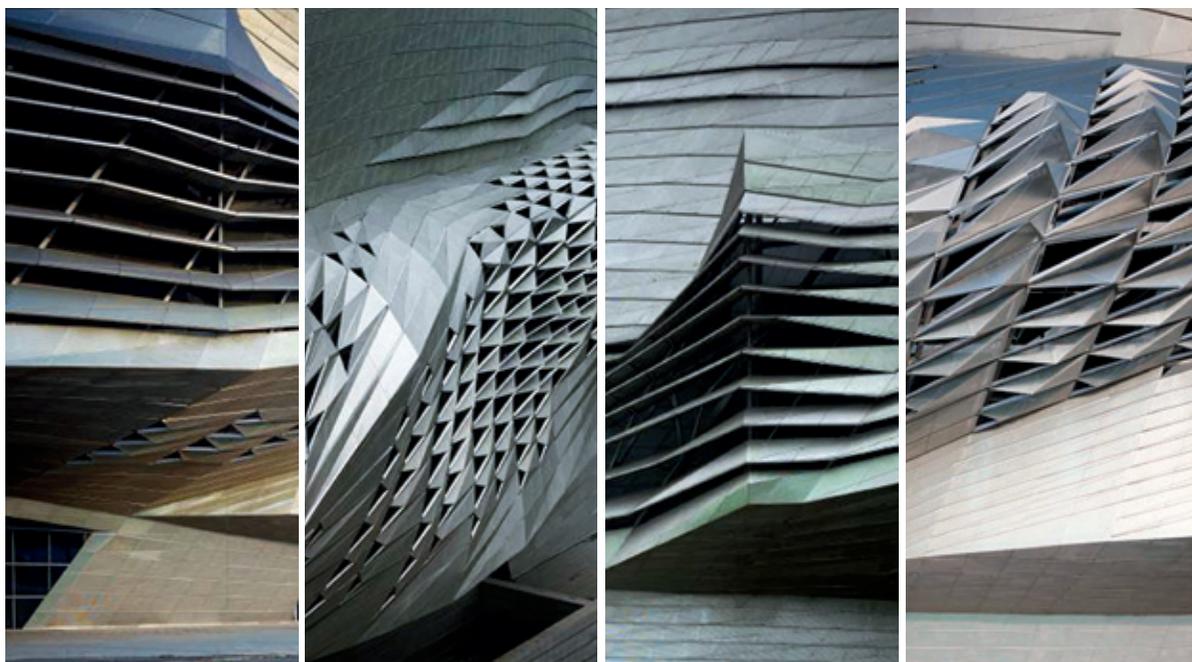
建成后的“泡泡”细部

表皮空间的塑造

大连国际会议中心幕墙系统在整个结构体系中起着重要作用，它既是围护结构，又承担部分竖向荷载，还参与抵抗水平荷载和地震作用。结构各部位幕墙系统受力不同，其形式也各不相同。为满足结构整体需要，外围护结构在围合建筑物的复杂曲面的同时，还要将屋盖与钢平台有机地联系在一起，保证结构各部分的相容性。

为满足建筑及结构受力需要，围护结构形式为曲面框架，其少部分落地，大部分采用悬挂方式，与会议厅、平台桁架、屋架相连。在整个建筑物的东、西、南侧各有一个体型庞大的“泡泡”结构。该结构面积大，体型复杂，其受风荷载作用十分明显，因此“泡泡”结构在增加外围护结构体系自重的同时，又传递给围护结构很大的附加风荷载，给围护结构设计带来难度。各部位围护结构的封闭形式不同，包括金属板封闭、玻璃封闭。为保护这些封闭材料在正常使用中不被破坏（尤其是玻璃），设计中通过构造措施加强了围护结构的整体刚度。屋盖单独计算结果同屋盖与围护结构连接后计算结果的对比表明，二者连接后，围护结构对屋盖大悬挑部位起到支撑作用，围护结构为空间框架结构，其框架结构上端多固定于屋架边缘，下端大部分悬挂在钢平台上，落地框架跨度很大，中间部位需与钢平台连接，以减少柱跨度，减小框架柱截面尺寸。

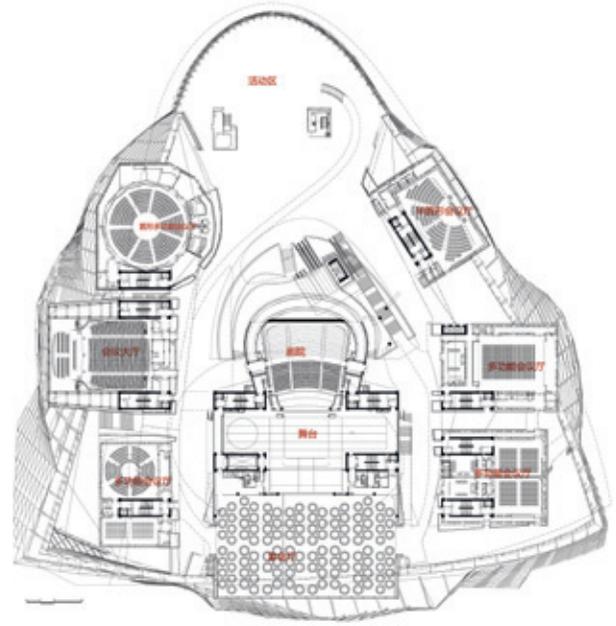
根据围护结构中幕墙的受力特征，幕墙结构为钢框架网格结构，幕墙柱构造分为格构桁架和矩形钢管两种；矩形钢管用于直接与地面和屋架相连部分柱，桁架用于被会议厅割断部分幕墙柱，承重柱与幕墙柱重合时采用的交叉柱为矩形管，桁架柱承受部分屋架荷载，协助屋架减少悬挑挠度。由于与桁架平台相连，部分幕墙柱又起到支柱作用。



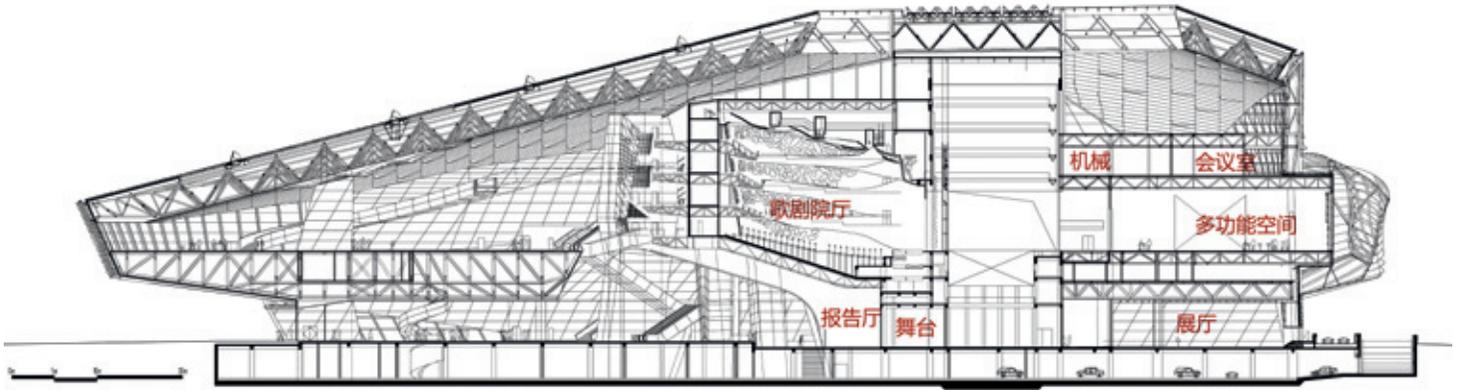
表皮实景



首层0.000标高平面图



三层15.300标高平面图



剖面图



室内空间实景



大连国际会议中心东南城市景观

围护结构中难点中的难点体现在西南入口外围护结构，由于其倾斜角度较大，且曲面框架扭曲，根据建筑造型要求，其落地支撑构件仅为两端两个落地框架斜柱，这两根柱高达70m，如果不考虑钢平台与屋盖结构对此部位的支撑和连接作用，此部位围护结构将成为只有两个支点的巨大的悬挑曲面扇形结构体系，既不合理也不安全。故此处将外围护结构与钢平台和屋盖之间建立合理的连接非常重要。西南入口处各幕墙柱的顶端与屋架边杆铰接连接，两侧落地幕墙柱的中段与平台连接；柱下端设置截面与柱相当的宽扁形环梁，将各悬挑柱与落地柱刚性连接；各框架柱之间设置与柱截面相当的实腹式水平梁及单向斜撑，这些斜撑将该入口处幕墙体系中部的荷载传至两侧落地幕墙柱与屋盖。通过上述构造，西南入口的幕墙体系成为上端与左右两端简支、下端自由的空间曲面框板架结构体系，为下端建筑艺术的塑形创造了条件，达到了建筑师强调的西南入口具有大地生长出的空间质感。

结语

当今时代是一个多元的时代，无论是从世界环境的大背景还是中国改革开放和经济迅猛发展带来的建筑市场的新局面来看，都是如此。纵观大连的城市百年发展史，在城市步入近现代时期，其殖民的历史也造就了多元化的建筑，多元化的共同点即是包容性。就大连国际会议中心项目的选址、设计、建造而言，正面的声音和质疑的声音始终是并存的，并存的过程其实也是全社会各方面对美学和文化的思考和验证过程，这不仅针对建筑本身，更深层次的是对文化的思考。或许只有时间的磨砺才会给出精准的评价和答案。

后记

以“创新：势在必行”为主题的夏季达沃斯论坛于2013年9月11~13日大连国际会议中心召开，来自90多个国家和地区的1600多名政商界领袖、学者参加了会议，会议取得圆满成功。会议举办地大连国际会议中心也因其独具个性的创新设计受到各国参会者的广泛赞誉。——编者AT

项目概况

设计单位：蓝天组/大连建筑设计研究院有限公司
建筑师：蓝天组/C+Z建筑师工作室
结构师：大连市建筑设计研究院结构大师工作室

地点：辽宁大连东港区
设计/竣工：2008/2013
建筑规模：14.62万m²

结构形式：钢结构
建筑摄影：杨超英