



景泉

中国建筑设计研究院建筑专业院院长、高级建筑师，至今多次获得重大奖项并发表过多部论文及著作。代表作品：重庆国泰艺术中心、鄂尔多斯体育中心、遵义奥林匹克体育公园、长春文化广场区域地下空间综合利用规划及建筑设计等。

施泓

中国建筑设计研究院结构专业院副总工程师、结构三室副主任，作为专业负责人所完成的主要项目有：招商银行深圳分行大厦、重庆国泰艺术中心、德阳奥林匹克后备人才学校、大连君悦酒店、鄂尔多斯市体育场等。多次获得国家及省部优秀设计奖，完成多篇论文并开展了多项课题研究工作。

编者按：国泰艺术中心从2005年投标到2013年建成完工，凝聚了建筑师、工程师、施工方等众多参与人员的心血和努力，可谓八年磨一剑。而无论是设计理念、空间、材料、结构、施工、节能等各个方面，项目都进行了很多细致入微而又广泛深入的研究和实践，结果也可圈可点。在2013年重庆举办的“庆直辖15周年，寻找重庆新地标”全民评选中，国泰艺术中心从400多个地标建筑中脱颖而出，排名第二，也说明了当地人民对其的认可。

每个成功项目的背后都有其内在的深层次原因，为此，《建筑技艺》杂志社采访了设计主创建筑师和结构师，剖析这份成功背后不为人知的设计历程及技术细节。

CHONGQING GUOTAI ARTS CENTER 在城市的历史记忆中寻找场所精神 ——国泰艺术中心访谈

采访 张洁 《建筑技艺》杂志（AT）

采访人物 景泉 中国建筑设计研究院建筑专业院

施泓 中国建筑设计研究院结构专业院

设计理念及方案深化

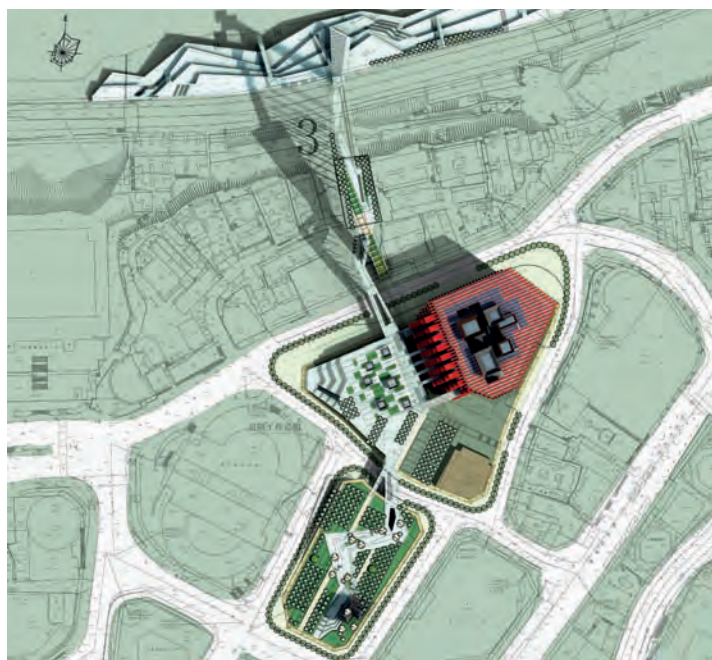
AT：据了解，国泰艺术中心从2005年10月投标开始，经历了好几轮的方案演变。能否和我们讲讲具体的投标过程？在方案逐步完善乃至中标的过程中，又蕴含着怎样的设计逻辑及其内在的必然性？

景泉：回想国泰艺术中心的投标过程，有很多令人难忘的故事。国泰艺术中心所在的重庆市渝中区解放碑地区对于重庆是非常核心的、重要的区域，而其前身国泰大戏院更是重庆人的精神会所和城市记忆，当地政府和市民非常重视这个项目，也因此该项目的方案共经历了两轮投标。第一轮从2005年10月开始，到12月25日交标，共有14家参与投标。当时还有个惊心动魄的小插曲，我们在第一轮方案初选中位列第四名，未能入围，直到重庆市委书记和市长亲自到评标现场看过模型之后，认为我们的方案应该是老百姓内心真正喜欢的，提出将其作为补充并进行第二轮修改的建议，我们的方案才由此死而复生。

在进行方案修改完善并参与第二轮投标的过程中，当时的重庆规划局领导针对重庆市政府领导的要求对原有的设计任务书进行了修改，希望用现代设计手法来体现中国传统精神，而我们的方案恰恰完全符合这点。第二轮修改竞标的竞争也是异常激烈和残酷的，虽然只有四家设计单位参与，但每一家都做了两到三个方案，只有我们自始至终坚持一个方案深入到底。从第一轮到第二轮，我们基于场地调研及资料研究，从时间和空间展开，探讨当地的场所精神，并将之转化为具体的空间设计，由此做了大量深入细致的设计修改，最终我们的方案获得所有评委的肯定，全票通过。

对于此次胜出，崔总（崔愷院士）在和我们总结原因时说，或许正因为我们不仅仅是把这个项目当成一个单体建筑去做，而是让它承载了更多对当地传统文化尤其是对“重庆精神”的理解，才让我们最终获得业主方的认可。

还清晰地记得获知项目中标的那一刻，那一瞬间的喜悦让我从内心深处觉得此前所有的艰苦劳累都不算什么。而现在回过头来看，项目之所以能够胜出最主要的原因还在于整个团队对项目的高度重视。虽然项目规模不是很大，最后建成才2.9万多平方米，但无论是设计还是建造过程都十分复杂。当时，我们整个设计团队在崔总和第二设计主持人秦莹的认真指导下，克服种种困难直至最终设计完成，每个人都付出了极大的心血和努力。在整个项目设计的8年时光中，崔总从40多岁到50岁，我从32岁到40岁，其他参与这个项目的年轻建筑师则从20出头到三十而立，每个人都渡过了自己人生中非常重要的八年，现在回想起来真是感慨良多。



总平面图

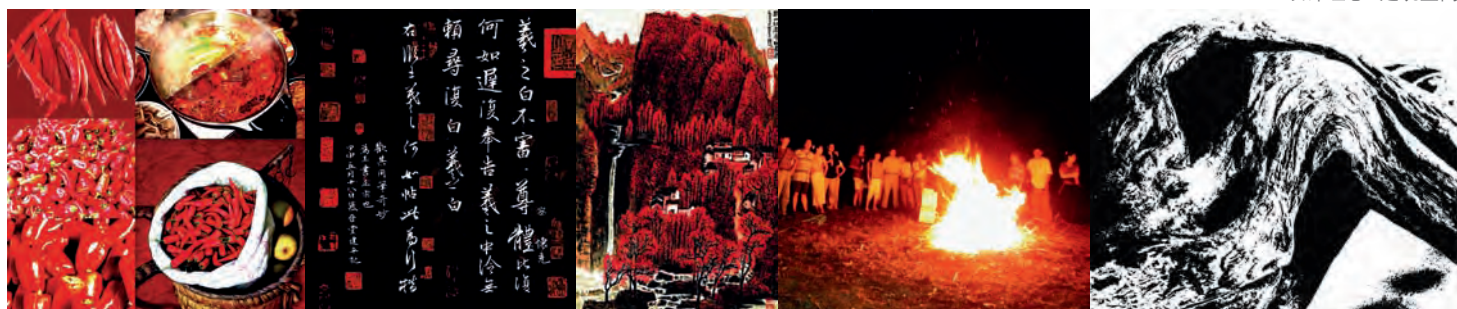
建筑：崔愷、秦莹、景泉、李静威、张小雷、杜滨、邵楠、栗晗、周舰
 结构：张淮湧、施泓
 给排水：靳晓红
 设备：孙淑萍
 电气：梁华梅、许士骅
 室内：张晔、刘烨
 景观：李存东、赵文斌
 经济：赵红
 项目经理：赵鹏飞
 BIM模型、数码制作及3D模型：点构数字有限公司、邵世仓
 业主方：重庆市地产集团、重庆市城市建设发展有限公司
 施工方：重庆建工集团、远大幕墙有限公司、北京建峰装饰有限公司、重庆港鑫装饰工程有限公司
 设计合作单位：中法中元蒂塞尔声学工作室、德国昆克舞台设计公司
 摄影：张广源



设计理念-形体结构



设计理念-建筑空间



设计理念-建筑色彩

AT: 国泰艺术中心在“寻找重庆新地标”全民评选中名列第二，也说明它深受当地人民的喜爱。您认为老百姓喜欢它的最主要原因是什么？

景泉: 国泰艺术中心对当地传统文化及精神的表达，它很好地融入了重庆这个城市及当地人的生活之中，这应该是当地百姓喜爱它的主要原因。具体而言有以下几点：1）这个建筑一定是属于重庆的。它不是北京的建筑，也不会是上海的建筑，人们在看它第一眼时就会觉得它本身便贴着重庆的标签。2）项目对传统文化的传承。无论建筑的空间、形态、色彩还是建构方式都和重庆城市特点以及当地人的生活息息相关。3）它体现了重庆山城以及重庆人的性格特征。重庆和成都虽都属于巴蜀地区，但两个城市各有特色。以火锅为例，重庆偏麻，“麻”的概念非常具有层叠感、动态感，而重庆人的性格也更为刚猛、直率、火热。项目建成后国泰艺术中心被当地市民昵称为“火锅筷子”，重庆人喜欢这个建筑就像喜欢重庆的火锅一样，因为它与当地人的生活息息相关。4）国泰艺术中心在高楼林立的解放碑地区为市民开辟了一个开放的、丰富的、舒适的城市空间，使人、建筑、城市三者形成互动，商业与艺术文化完美交融。

AT: 请您具体谈谈国泰艺术中心在地域、城市、场所这些层面的探索与研究，以及与之相应的具体的设计理念和手法。

景泉: 我们在设计之初便对巴渝文化及重庆地域进行了深入研究，并在此基础上展开设计，例如穿斗民居、黄肠题凑、城市树荫、红油火锅、金文金石、水墨点染等都是从重庆城市记忆中提取出来的

独特元素，我们运用现代的设计语汇和手法将这些传统元素转化成建筑的形态、空间、结构、色彩等，而并非简单地符号化处理。

考虑到解放碑地区的高密度和商业性质以及基地周边环境，我们更加强调建筑的开放性和通达性，以形成开放的界面，使人们可以从城市街道的不同方向、不同标高进入建筑中。通过创造城市广场、“城市森林”（灰空间）、“城市阳台”（休憩平台、外挂楼梯）、城市艺术中心等空间，增强人们在建筑与城市中的立体游走感，并将文化建筑与周边商业相对接，形成文化与商业的互动及人、城市与建筑的互动。

此外，在对基地内最大达到8.5m的高差处理上，我们将建筑外部不同标高的广场有机整合，使人们可以自由地在几个不同高度的广场上穿梭与活动，并结合高差形成美术馆的入口平台，与国泰广场形成很好的连接。

国泰艺术中心的整个造型为上大下小，类似重庆市树黄桷树。在由题凑编织的庞大“树冠”下，产生了很多“灰空间”，起到了类似树荫阻挡太阳辐射的作用，从而实现了节能的目的。这一造型也符合重庆本身的气候特征，下雨时人们在“树冠”下活动，起到了遮风避雨的作用。

AT: 国泰艺术中心给人最大视觉冲击的应该是“题凑”设计了，请您谈谈这一设计的灵感来源及其艺术性的表达。

景泉: “题凑”是国泰艺术中心最重要的建筑设计语言。在中国传统营造工法中，“题凑”与“斗拱”是两种相当具有代表性的元素。“题凑”是汉代普遍存在的一种营造工法，只有皇家和贵族才能够使



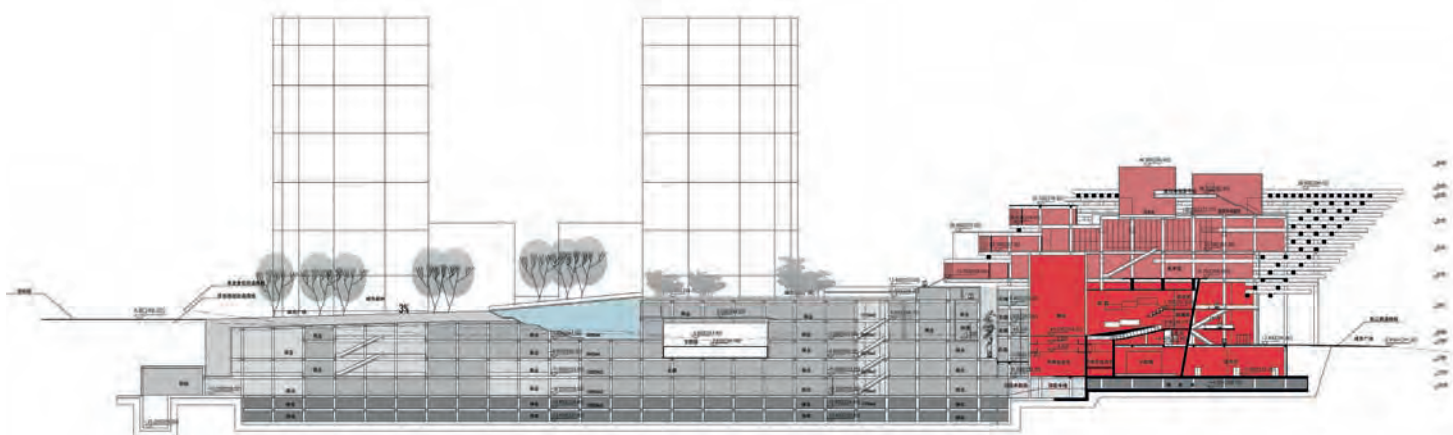
用。“题”指木头的端头，“凑”是工法、排列的方式。另外，重庆湖广会馆中的多重斗拱构件既作为结构支撑部分，又具有装饰性，带来“如鸟斯革，如斯飞”的态势。整个“题凑”的建构方式依据《后汉书》中提到的“题凑”工法，利用传统斗拱构件的穿插形式，以现代简洁的手法表达传统建筑的精神内涵。建筑中互相穿插、叠落、悬挑的构件高高迎举、顺势自然，正是重庆人最本质的精神追求。

同时，这一形式也将传统意义上的“立面”通过“点阵”的方式打散重构，突破了传统立面表达的局限。点阵的立面表达形式更具有融合性和完整性、纵深感与层次感。经过多次调整，打破呆板，形成点、线、面共存的有机整体，达到了“点染”的艺术效果。

而“题凑”色彩也从重庆地域文化中提取，红油火锅、国泰大戏院的红色记忆、长江三峡黑色磐石、重庆阴沉木、金文金石……这些文化元素都决定了红与黑的选择与搭配，使二者达到相互协调、相互映衬的效果。

AT：在国泰艺术中心深化设计阶段，主要进行了哪些大的修改？

景泉：国泰艺术中心的深化设计过程比较复杂，主要有以下几方面大的修改：1）根据功能需要并结合场地要求，充分考虑建筑本身与国泰广场的连接，经过多次修改和调整才形成丰富的空间层次，创造了很多可以与城市进行互动的台阶、平台、展示空间，使它不是孤立



国泰艺术中心与城市森林整体剖面图（建筑与城市广场的互动，商业与艺术的交融）



建筑与城市的互动（楼梯、坡道、平台）

地存在着，而是与原有的城市进行多层次的交流，使建筑的表情更丰富；2）面对业主方对成本及造价的严格控制，我们反复调整方案，将原设计中的1 300多根题凑缩减到680多根，将题凑的装饰性与功能、成本等问题统筹考虑；3）在设计深化的后期阶段，一些重要的使用功能又进一步引入，例如屋顶平台、重庆歌舞团的办公及排练场地等，从而使项目的功能、设备及空间布局都发生了新的变化；4）国泰艺术中心的生态节能设计与清华大学江亿院士合作进行，为解决空调系统及设备放置问题，江亿院士特意为本项目设计了采用基于溶液调湿热回收的全空气空调系统，但在已经与江亿院士做完设备扩初设计之后，由于成本问题及甲方的保守，该系统被迫取消，使得结构体系也随之发生了很大的变化。

AT：国泰艺术中心内部有大剧院、美术馆、音乐厅以及很多平台，设计团队是如何将这些功能众多的复杂空间组织整合在一起的？又是如何实现复杂空间与复杂结构的统一建构的呢？

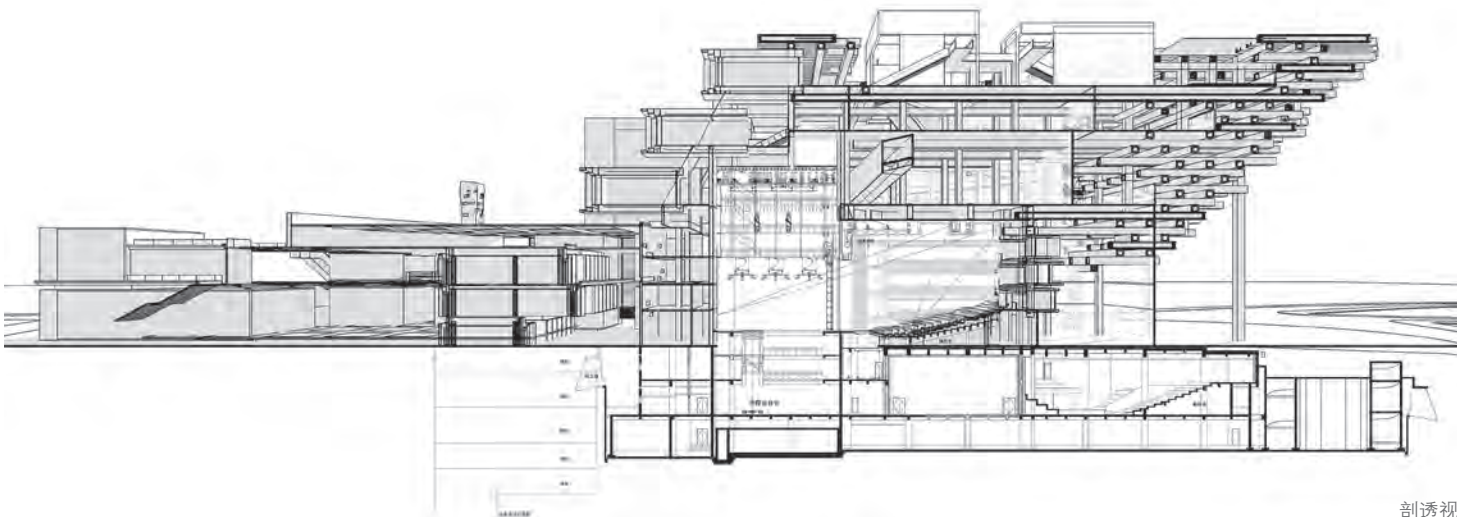
景泉：在整体功能空间布局和组织上，国泰艺术中心比较特殊。一般的建筑空间设计多是下部安排小型空间、上部安排大型空间。但由于基地高差、流线组织等原因导致本项目下部设置了剧场等大空间，上部反而设置了美术馆等相对较小的空间，这也造成结构上的难度和挑战。

此外，为了保持“题凑”的建构方式和完整统一的设计理念及设计表达，以便于处理复杂的功能、空间、结构、形式、设备等问题，

整个建筑体系除个别特殊情况外全部按照1050的模数进行延展和整合。而1050这个模数的确定，则是在综合考虑功能、层高、结构、设备等因素的基础上再结合人体工学模数经过多次比较和论证寻找到的最优数据。

由于“上大下小”的空间格局，建筑便产生了很多类似重庆山地的平台，我们再把些平台空间进行来回穿插，并在局部增加和悬挂一些玻璃盒子，通过坡道、楼梯、扶梯等方式相互联系，从而创造了丰富的互动空间，人们可以在此停留、游走、观赏，形成不同的空间感受体验。对于这些互动空间以及后来的构造节点，崔总一直在不断地调整以达到最好的空间效果。比如，“题凑”垒积式的建构逻辑可谓是本项目的主题设计规则与秩序，从传统意义而言本应是严格坚守的，但崔总认为在设计秩序已足够严谨的情况下，可以适当增加一些灵活性以及建筑与城市的互动性。于是我们通过局部抽掉几根“题凑”来形成平台，给老百姓提供活动空间。这样，整个建筑的空间层次就更为丰富，与城市、人的互动也随之加强。这种严谨却又不拘泥理论的设计思路，使各位成长中的建筑师也受益匪浅。

此外，我们的设计是贯穿项目始终的。令我印象尤为深刻的是，在施工接近尾声时，原本设计在题凑中的楼梯、电梯空间又被创意性地支出来，暴露在建筑外部，这也是为了增加人、建筑与城市三者之间的互动。由此可见，模数、标准、理性虽是建筑设计的精髓，但感性、灵感及对人的理解与尊重也是必不可少的。



剖透视



剧场



休息厅

材料的选择及建造

AT: 对于“题凑”材料的选择是从何时开始考虑的呢？主要考虑了哪些因素？

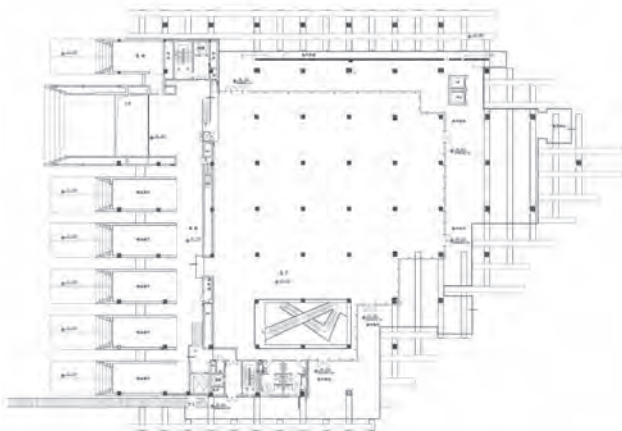
景泉: 项目中建筑材料的选择是一个漫长的复杂过程，前后经历了1年多的时间，最终是在跟各方充分探讨并进行多次实验后才确定的。事实上我们在投标时就已开始考虑“题凑”的材料问题，最初曾经想过使用铝单板作为表皮材料，因为重庆的气候条件比较特殊，高温、高湿、多雾，且酸雨比较严重。这就要求所选用的室外材料要有良好的自洁性、耐久性和耐腐蚀性，因此铝板要较钢板为好，但铝单板的问题在于平整度很难达到要求。后来经过慎重的比较试验，综合考虑结构、外观、造价等因素，我们最终选用了蜂窝铝板。蜂窝铝板的强度较高，而且外观平整，比较适用于题凑的构建和互相搭接。单件蜂窝铝板的最大尺寸可达到9m，可减少接缝，还可以保证一些直接落地的“题凑”不会发生变形或破坏。过程中也曾考虑过竖向的肋型板以及一种斜向肋型板，但出于对题凑的模数、尺度以及建筑层数的考虑而放弃，因为如果用棱板的话会弱化这种模数感而显得比较凌乱，缺乏秩序感。

在选定“题凑”构件材料之后，对其进行防腐、防水处理是接下来很关键的一步。题凑内部的盒子框架由钢结构制成，为了防止腐蚀，我们特意选用了一种用于船舶工业的锌加防水防腐涂料。同时还对构件进行了防水构造处理，即使进入构件内部的水也可以通过底部的溢流口流出。而题凑的两端也并非完全封闭，而是由设计成汉字“国”与“泰”造型的冲孔铝板封堵，可以进行通风、散热，避免水汽在其内部凝结。

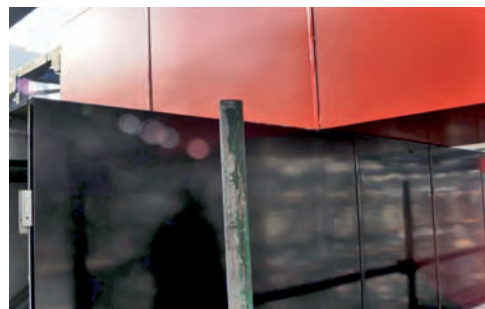
此外，在“题凑”材料的色彩与质感选择方面，我们也做了大量的研究和论证，当地政府对此也十分重视，我曾三次到重庆人大亲自汇报。因为重庆高温高湿，黑色在这里不太会被反对，但红色就很容易显得“躁”。因此，经过反复试验和调整，在构件“漆面”的处理上我们最终决定红色“题凑”采用哑光板，黑色“题凑”采用高光板，二者可以达到相互映衬和协调的效果。设想一下，如果在红色中反衬出黑色，红色就不再纯正，给人的视觉和心理感受都不好。而黑色中反射出红色，恰恰能有种映衬感，以黑色为底，那么红色也不再“躁”，黑色也不至于特别呆板。颜色的选择过程还包括了漆面反射度的试验和调整，好让这种映衬感达到最佳效果，最终实现的效果非常好，各方都非常满意。



-2.100标高平面图



28.350标高平面图



材料的实验比选

其实，外皮材料最终选择蜂窝铝板也跟它使用的滚涂工艺有关。滚涂和喷涂不同，滚涂工艺在漆面的附着力、耐久性、自洁性、颜色、光感等方面都比较好，尤其是滚涂工艺可以产生我们想要的高光效果。当时曾有四、五家材料厂商投标，经过各方比选后，最终选出了我们心目中国泰艺术中心应有的色彩与质感。

AT：在“题凑”材料的建造过程中，主要遇到了哪些问题和挑战？

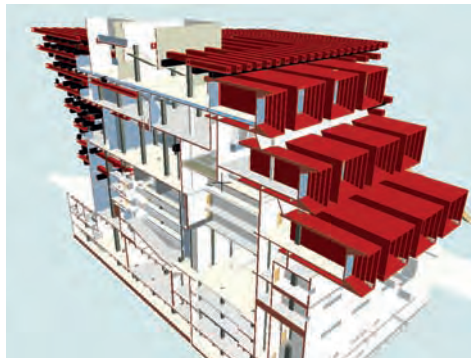
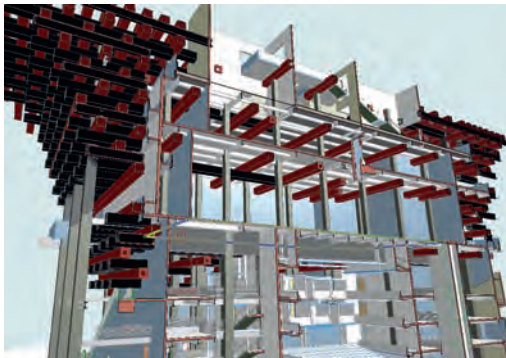
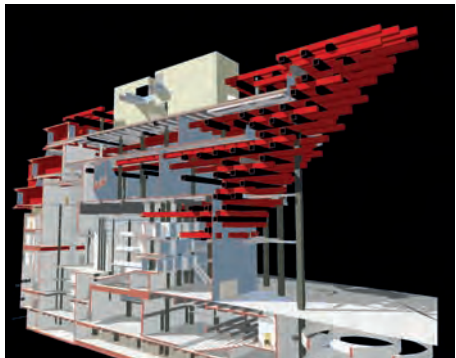
施泓：材料建造方面的难点主要体现在以下两点：1）“题凑”交叉位置的材料处理。由于交叉位置的主体钢梁连接构件太大，已经超出了面板的尺寸范围。我们采用了两种解决方案：一是将交叉位置的此块板做在钢件之外，此位置的小“题凑”剖面超过1 050mm×1 050mm；二是保持小“题凑”断面为1 050mm×1 050mm，蜂窝铝板在此位置断开，外露钢件涂刷氟碳漆；2）为了保证整个大厅尽可能地通透，大厅选用了隐索玻璃幕墙，“题凑”与隐索玻璃幕墙的交接也是一个比较复杂的节点。这些技术难点，最终通过业主、设计人员、厂家、施工单位的共同努力而逐一解决，这也充分体现了团队共同努力的力量。

先进的BIM设计及绿色技术的运用

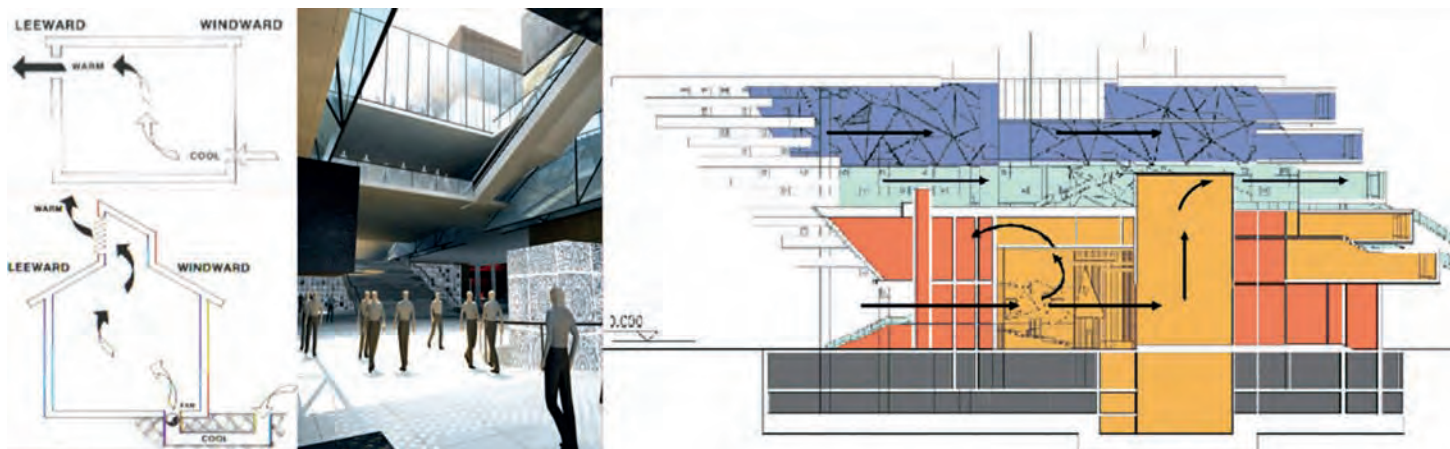
AT：此项目设计过程中运用了BIM设计技术，这在国内当时可算是非常超前的。请问当初决定采用BIM出于何种目的？BIM在此项目的设计及实施中发挥了哪些作用？是否达到了预期？

景泉：BIM对于国泰艺术中心的设计及建造是至关重要的。因为传统的二维设计表达方式在国泰艺术中心上是无法清楚表达其复杂的空间、结构、设备关系的。国泰艺术中心共有10层，高度近50m，其中分布着32层680多根“题凑”构件，而这些构件的功能又各不相同，同时牵扯到建筑、结构、设备等各个专业。例如一根风管在水平方向要沿着某一标高的“题凑”分布，但在竖向空间内转向后又要以另外一根“题凑”作为管道，扩展到全局整个体系就会非常复杂，因此，我们只能通过三维的BIM技术来表达，同时整合多个平台和体系。

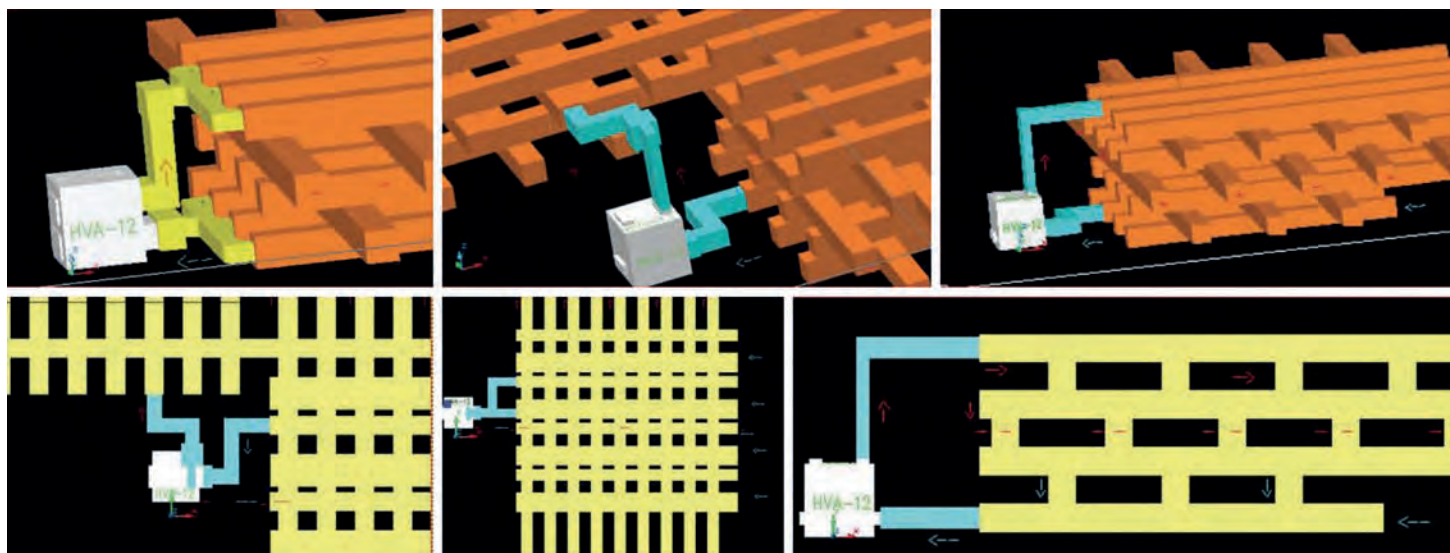
在方案创意设计阶段，国泰艺术中心项目表面上看是一个逻辑体系，即依照1050模数建立起尺度语言完成整体建筑设计。但实际上在设计深化和落实的时候包含了两个体系，一是人的体系，就是由人的尺度形成的空间体系；二是“题凑”体系，主要承担起结构、机电、



BIM设计（结构、管道、“题凑”一体化设计）



多层交叉的中庭空间，有利于自然通风和采光



溶液调湿与国泰“题凑”的互相结合

设备功能。这两个体系相互渗透、相互利用，共同构建起整体建筑空间。我们在设计过程中都希望遵循一个逻辑体系进行到底，否则便会成为被人垢病的只做了一个壳、一个表皮的建筑形式。而国泰艺术中心的外围体系正是其结构体系，两个体系完全无缝衔接，这正是该项目最复杂、难度最大的地方，也是我们选择用BIM来解决其建构问题的根本原因。

此外，BIM技术在帮助解决“题凑”数量不断增减变化而带来的结构、功能同步配合的问题上也起了很大的作用。在整个从扩初到施工图设计的过程中，“题凑”的数量和位置一直在不停地改动变化。即使在出完扩初图纸之后，也依然重新设计了很多遍。如果没有BIM作为辅助工具，这项工作是很难进行的。

当时Revit软件还未在中国全面兴起，我们在设计过程中使用的是ArchiCAD软件。通过软件模型能直观清晰地看到那些人脑难以想象的复杂空间结构。在确定使用BIM技术进行设计后，我们很多设计师就马上投入到软件的学习中，这也是项目周期如此之长的一个原因。但ArchiCAD软件也有其局限性，不能很快地展现设计成果，这给各专业之间互相提图带来很大问题，与我们院严格的审图、出图体系不能很好地接轨。因此，我们将整个团队分为三部分，画了三套设计图纸。一套用ArchiCAD做施工图，一套用CAD做施工图，还有一套用3DMax做建筑模型。三套软件图纸和模型不断地互相转换，先用3DMax软件

建一个准确的模型，再转换成ArchiCAD模型，并在各个层高上进行切分后，才能最终以CAD施工图纸的形式输出设计成果。

AT：前面您提到，为解决空调系统及设备放置问题，江亿院士专门为项目设计了采用溶液调湿热回收的全空气空调系统，但由于种种原因未能实施。那么这对项目是否有影响？如果能实施，又是何种情况？

景泉：基于溶液调湿热回收的全空气空调系统在当时还是一项新技术，还在试验性阶段，应用的不多。它特别适合重庆高温高湿的气候，只有在这样的气候下，它的效能才最大。同时，它也特别适合国泰艺术中心这个建筑，因为这项技术要求机房分散，有多个排风管道，而这些都恰恰能完全在国泰艺术中心的建构体系中实现。可以用白蚁穴来形容这个系统，有很多的通气孔。

因此，在设计初期，崔恺院士团队就与江亿院士成立了课题专项工作组，对溶液调湿热回收的全空气空调系统在项目中的应用做了大量研究和技术攻关，利用“题凑”来组织排风与进风管道。初步计算，大约40%的“题凑”将作为设备管道，同时大约30%的“题凑”作为承重构件，还有大约30%的“题凑”作为装饰构件，很好地将功能、结构、造型、设备与节能结合在了一起。

然而，建筑的建构体系本身就已经很复杂了，再加上机电系统就

更复杂了。当时，我们不断地跟甲方探讨这项技术实现的可能性，但甲方出于成本等因素的考虑，最终还是选择了比较保守的常规做法。后来，在一次重要的公开座谈中，甲方表示如果当时能够再坚持一下把这项技术实施下去，这个项目就能够成为真正“自我呼吸”的有机的绿色建筑。技术没能实现还有另外一个原因是中国招投标体制的限制，对于政府项目要求必须有三家投标进行比选，而当时能够提供此项技术的只有江亿院士一家。这实际上限制了新技术的创新、运用及推广。

尽管遇到上述很多困难，建筑与机电暖通团队依然经过多方讨论与修改，尽量使用“题凑”构件作为传统中央空调新风系统的机电进风、排风管道，并将水电暖通管道与“题凑”构件相结合，最终运用了20%的“题凑”构件，还有30%的“题凑”作为承重构件，也算是在一定程度上实现了最初的设想。

结构创新及应用

AT：每一个复杂建筑形体的实现都离不开结构的支撑，国泰艺术中心自然也不例外。请您介绍一下项目在结构方面的创新，具体采用了何种结构体系，结构选型是如何考虑的？

施泓：国泰艺术中心的结构体系很复杂，要考虑互相搭接的“题凑”体系、多种类型的功能空间叠加（上部大空间、下部小空间）以及多次结构转换、大开洞、大跨度、大量错层等多种因素。最初的方案是全钢结构框架体系，这种体系可以使结构各部分连接比较方便，整体延性也比较好。但是出于节省造价的原因，最终选用了钢筋混凝土框架剪力墙加部分钢结构体系。钢结构主要用于外“题凑”部分、西侧大挑台、观众厅上部转换桁架、其他转换钢骨梁和部分钢骨柱。这样，如何保证各部分之间的连接可靠就成了一个大问题，为此我们对各连接节点进行了分析，确保传力直接有效。

对于外“题凑”，结构专业提出了两种方案，即悬挂结构体系和斜撑结构体系。在最初的方案中，“题凑”杆件还是相当规律的，斜撑的传力方式比较复杂，但总体受力较小，还是比较适用的。但是，在设计深化过程中，方案不断修改和调整，尤其是“题凑”体系不断调整。为了让建筑与城市、人有更多的灵活互动，崔总不断地在“抽棍”（减少“题凑”）、不断地增加玻璃盒子和平台，这就需要结构体系有更多的稳定性和灵活性。经过综合考虑，我们最终选择了悬挂结构体系。这可谓是一种创造性的结构体系，通过顶部3层杆件形成3.15m高的空腹钢桁架来悬挂其他杆件，最大悬挂高度达到了30.45m。

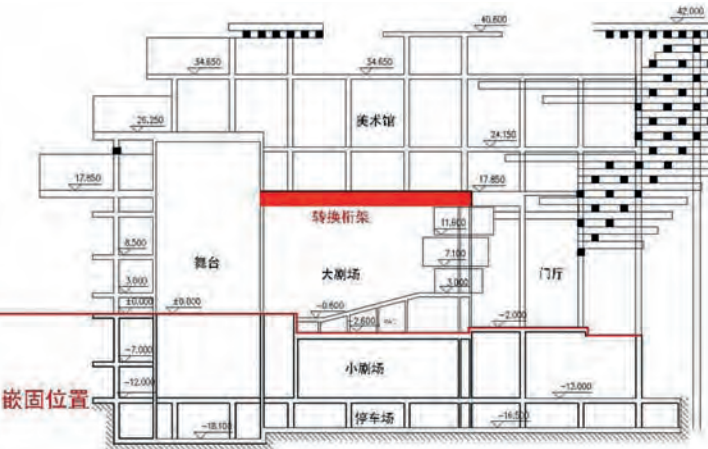
AT：面对极具建造挑战的“题凑”，除了解决结构选型外，还做了哪些工作？

施泓：此项目对于“题凑”的杆件构成、杆件表达、受力的分解、节点构造、设备管线等方面都做了很多的尝试、研究和优化。

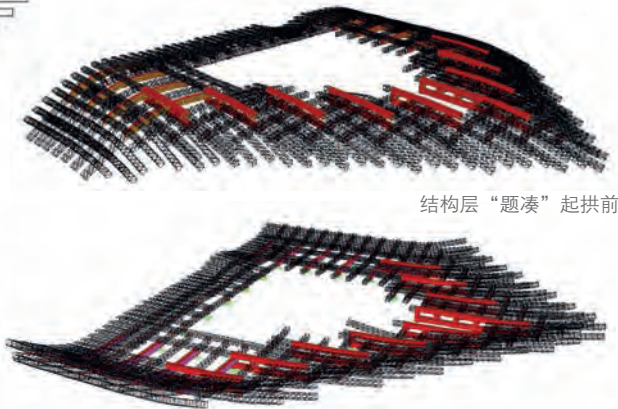
（1）“题凑”杆件构成：为了节省结构用钢量，控制结构自重，根据结构受力状态，将杆件分为3种模式。上部3层高受力空腹桁架采用实腹钢板围合，每延米用钢量约800~1 000kg；次一级受力构件采用小矩形钢管桁架，每延米用钢量约100~400kg；杆件末梢或不受力部分采用小角钢桁架，每延米用钢量约40~60kg。同一根杆件可能存在上述3种模式中的2种甚至3种。

（2）“题凑”的杆件表达：由于杆件种类众多、排列方式各异，本工程独创了结构杆件表达方式，将各部分杆件截面以编号代替，并以一种特定的排序组合，加之节点构造详图，以期达到设计、表达、施工的统一。

（3）“题凑”受力的分解：“题凑”共分为32层，除顶部3层主受力层较为完整，其他各层依据建筑形态或多或少有所取舍，越到下

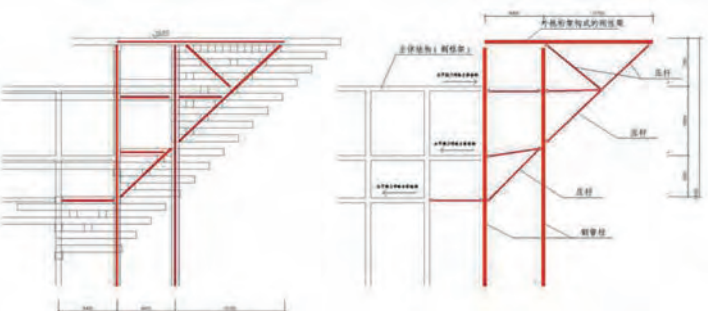


结构设计

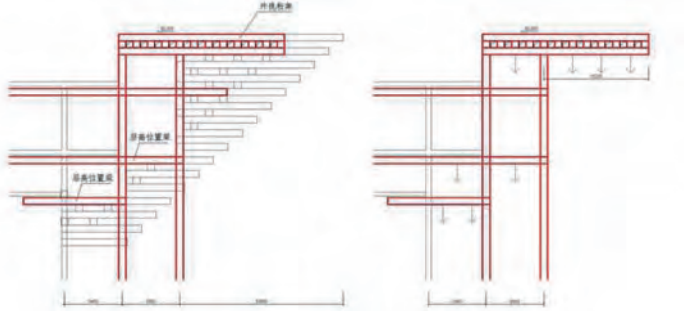


结构层“题凑”起拱前

结构层“题凑”起拱后



（1）通过预埋件将题凑荷载传递到主体结构。



（2）通过顶部悬挂题凑传力。通过分析比较，最终选择此种结构方式。

小“题凑”结构整体传力体系的选择



面杆件根数越少且偏心越大，为简化结构受力，某些特定杆件与混凝土主体相连，将下面16层杆件的绝大部分重量传递至结构主体。“题凑”中下部的16层由于杆件较短，分布较稀，将其直接与内部混凝土受力杆件连接；上部16层悬挂于顶部3层高空腹桁架下，每4层形成一个次结构层；部分杆件分布不均匀时，在视线看不到的部分增加吊杆。从外观上看，邻近两根杆件都连在一起，其实它们有的连接，有的虚铺，减少了结构的超静定次数，减轻了施工顺序对结构计算的影响，形成整体较为清晰的受力模式。

（4）“题凑”节点试验：节点安全应高于杆件安全，我们与重庆大学合作，对“题凑”节点进行了1:1比例试验，试验结果证明节点具有足够的安全度。

（5）“题凑”设备管线：由于一部分“题凑”杆件要用于设备管

道，为了进排风、排烟的畅通，对其内部构造做了结构优化，例如减少了矩形对角线处的斜杆，增加其悬挂固定点数目等等。

施工技术及施工配合

AT：此项目的施工难点主要有哪些？又是如何解决的？是否达到了项目预期？

景泉：施工难点在建筑方面主要体现在以下几点：1）由于国泰艺术中心地处解放碑商业中心地带，人群密集，为了不影响周边环境，施工场地范围限制较多，工作界面特别小，只好利用基地岩石和建筑之间的空隙来安放设备。2）大量的“题凑”杆件、复杂的空间结构、平台楼梯的相互穿插等因素导致建筑多界面、多标高，如何清楚地“交接”以及避免和减少误差是施工中面临的巨大挑战。3）除了建



混凝土结构施工



预压加载施工



转换桁架施工



“题凑”土建与钢结构施工



外装效果调整



外装施工



筑自身的复杂性、方案不断调整等原因，还有一些其他建筑师无法掌控的因素。例如，我们原本将国泰艺术广场与建筑统一规划设计，希望通过广场上屋面15m标高平台作为美术馆的主入口，但这样一来一旦广场不建成，美术馆就无法进入，因此必须要保证两者工期一致。但国泰艺术广场又牵扯到商业开发等问题，有3年时间处于完全停工状态，这也是造成施工周期特别长的一个主要原因。此外，为实现商业与文化建筑完全无缝连接，我们必须预留洞口，假想广场、商业的存在。但最后也没能实现完全无缝连接，这也是我们的一个遗憾。

施泓：从结构专业而言，施工难点主要有以下六点：

（1）场地局促是施工中一个比较大的难题，观众厅顶部钢桁架吊装时，由于场地狭小，预制钢件现场无法翻身、转运，为此采用了“剪力墙留槽，构件分节转运，现场拼装焊接，双桅杆抬吊，整体提升，旋转就位，考虑环境温度实施结构固结”的非常规施工方法。

（2）由于观众厅顶部净高的要求，转换桁架总高度仅为3.7m。其上要承托将近25m高的美术馆，所以桁架刚度不足，计算挠度较大，达到37mm，这额外的沉降差就会使得上部混凝土梁端产生较大的裂缝。为保证结构安全，需要将计算挠度在施工过程中解决，为此采用了“一次加荷、分阶段卸载，保证桁架受力相对稳定，上部框架支座相对位移在控制范围内”的技术。经过多次调整和详细的计算分析，最终将总挠度控制在了12mm以内。

（3）外“题凑”是施工中最大的难点，从构件的加工、运输到现场预起拱的控制、安装、卸载，每一步都需要克服很多预料不到的

问题。整个安装过程分五阶段进行：1）混合支撑系统搭设；2）“题凑”结构层的安装，这主要依靠型钢支撑和碗扣式脚手架混合支撑系统平台承重，利用塔吊吊装进行上部3层结构层“题凑”的安装；3）悬挂“题凑”的安装，型钢支撑保持不变，分层降低脚手架平台，利用上层已安装“题凑”为吊挂支承，逐层转运安装；4）型钢支撑分步卸载；5）室内题凑与悬挂题凑最终连接，完成安装。

（4）钢结构安装量大，并与土建结构同步混合施工。工程设计大量转换层，特别是33m的重型钢转换桁架和西侧大“题凑”悬挑12m组合空间钢桁架的安装与土建混凝土结构施工同步交叉进行，这给现场施工组织带来了比较大的困难。

（5）测量控制要求高。由于结构部分为钢骨及钢筋混凝土混合结构，重型转换桁架固结时必须考虑温度影响，并且小“题凑”为空间三维结构，对测量控制的方法和测量精度提出了更高要求。

（6）低合金高强钢材Q420、Q390焊接难度大，焊接质量要求高。钢结构焊接工作量大，绝大部分焊接部位钢板厚度达到30mm以上，最厚钢板达到50mm，使用钢材Q345、Q390、Q420强度较高，焊接拘束度高。控制焊接变形、消除残余应力、防止层状撕裂是本工程钢结构焊接的重要内容。AT

致谢：此次采访得到了中国建筑设计研究院第六建筑工作室主任李静威、建筑专业院办公室主任贾濛的大力支持，包括部分文字整理、修改工作，特此感谢！