



大桥渝

1987年加入Zaha Hadid Architects，目前为扎哈·哈迪德建筑事务所合伙人，并担任北京工作室负责人，曾在全球多所学校授课并担任客座讲师，在中国参与的大型项目有银河SOHO、望京SOHO、凌空SOHO、宋庄设计博物馆、新北京机场等。

梁灏翔

2006年加入Zaha Hadid Architects，目前为扎哈·哈迪德建筑事务所北京工作室主设计师，主要参与的大型项目有：法国马赛CMA CGM总部大楼、银河SOHO、南京青奥中心、北京新机场方案征集等。

THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF GALAXY SOHO

过程与挑战 ——银河 SOHO 的设计与建造

撰文 大桥渝 梁灏翔 Zaha Hadid Architects

银河SOHO是扎哈·哈迪德建筑事务所（Zaha Hadid Architects）在北京的第一个大型项目，位于朝阳门CBD的核心地带，是SOHO中国的核心开发项目。该项目具备商业和办公的双重功能，并且与地铁二号线连通，使东四环北路一带活跃起来，成为人们工作、聚集并享受便捷生活的地带。

设计理念是基于北京城的宏大尺度，通过分散式流线形体进行分离和凝聚，将四座建筑塔楼和中央下沉广场相互交织在一起，并以中式庭院的布局创建首都稀有的内向公共空间。与相邻的长方形建筑形成强烈对比关系，使人们能够在相互交错的地平线中体验到充满动力的丰富环境。

银河SOHO自2009年开始设计，2012年10月竣工。在这段充满挑战的期间，扎哈·哈迪德北京团队（以下简称ZHA团队）与许多项目单位进行紧密合作，确保项目能够成功交付。事实上，如果没有合作，恐怕项目也很难从纸上的概念变成现实。本文将列出项目在设计和施工过程中所遭遇到的挑战，并讨论团队是如何利用合作的精神与各单位一起找到办法来克服挑战。

挑战一：功能与形式

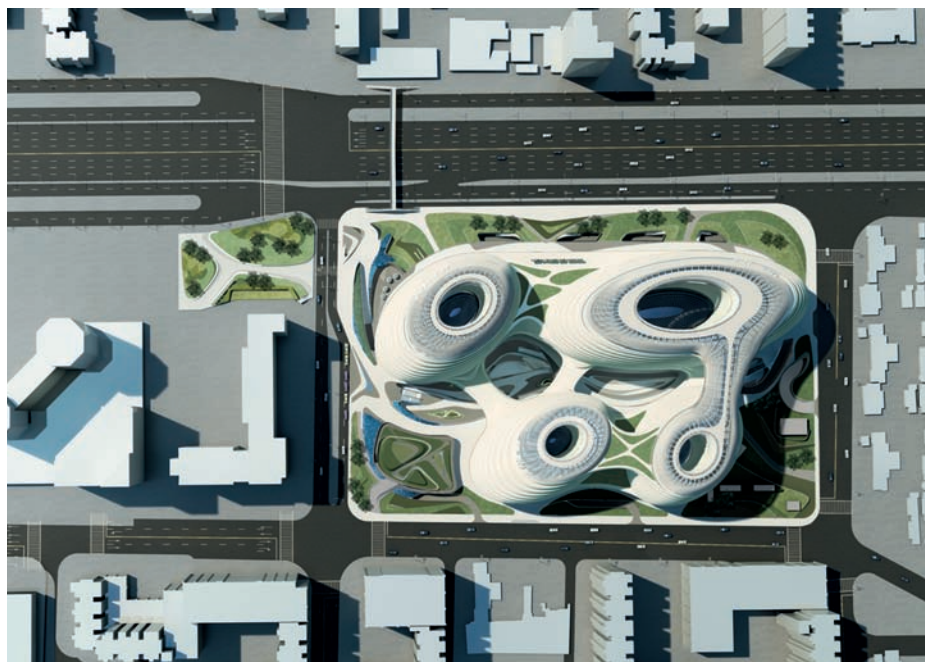
银河SOHO与当今的许多项目一样，既要实现建筑美学，又要满足功能、技术和预算的限制。因此，需要在设计的初衷与现实之间寻找平衡。当设计阶段展开时，ZHA团队遇到的第一个挑战就是将设计概念进行深化。ZHA团队将设计概念视为主要重点，但也深知功能的重要性，以及曲线建筑在结构、外幕墙、暖通机电等方面会遇到的挑战。

银河SOHO建筑本身分为四个塔楼，由空中连桥相连，地上15层，地下3层。地下一层至地上三层为商业楼层，而地上四层以上所有楼层为办公楼层。整个项目的占地面积为5.2万m²，建筑面积33万m²，并受到场地退线、日照锥线、高度上限的严格控制。银河SOHO是一座面积庞大而复杂的城市综合体，功能空间的布局必须要合理，流线必须要清晰，而且有效面积必须要维持有效百分比。由于建筑采用分散式的流线形体，很难用通常的设计做法来对项目进行功能布局，因此功能布局首先要有清楚的大战略来引导。

轴网线是初步设计阶段要最先落实的部分。与业主SOHO中国仔细研究后，采用8.4m轴网间距，因为其最能够有效地控制塔楼的功能布局和架构，并且兼顾经济，也很适合典型房间的尺度。每座塔楼都有独立的中庭，而每个楼层都有环绕中庭的单侧走道。房间单元采取单向布置，与轴网平行。环形走廊将所有的核心筒和房间单元连接起来，形成环状的流线，清晰易懂。与此同时，阳光能够从塔楼外立面以及中庭到达室内，使得每个房间单元都能够前后两边有采光，增加室内的舒适度。

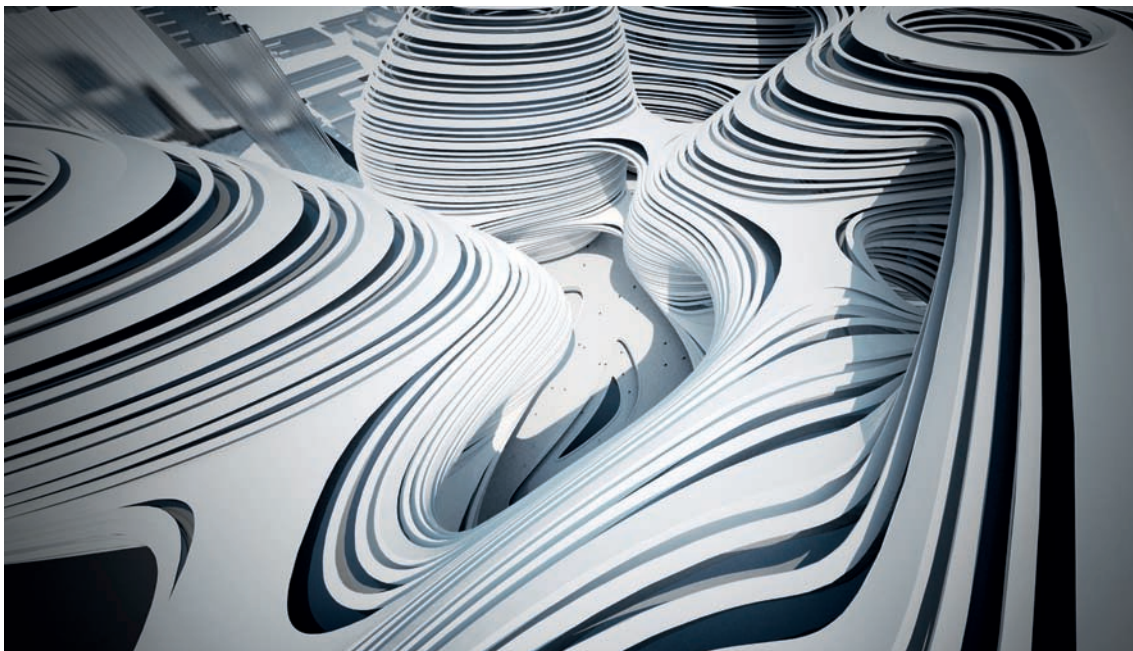


摄影：阴杰



模型鸟瞰

业主：SOHO中国
 地点：中国北京
 建筑面积：332 857m²
 建筑设计单位：Zaha Hadid Architects (UK)
 中方联合设计单位：北京市建筑设计研究院
 建筑设计：Zaha Hadid with Patrik Schumacher
 项目总监：Satoshi Ohashi
 合伙人：Cristiano Ceccato
 项目负责人：Yoshi Uchiyama
 BIM：Gehry Technologies
 LEED等级：Silver银级
 施工时间：2009~2012年
 资料提供：Zaha Hadid Architects / Gehry Technologies
 摄影：Hufton and Crow / 阴杰

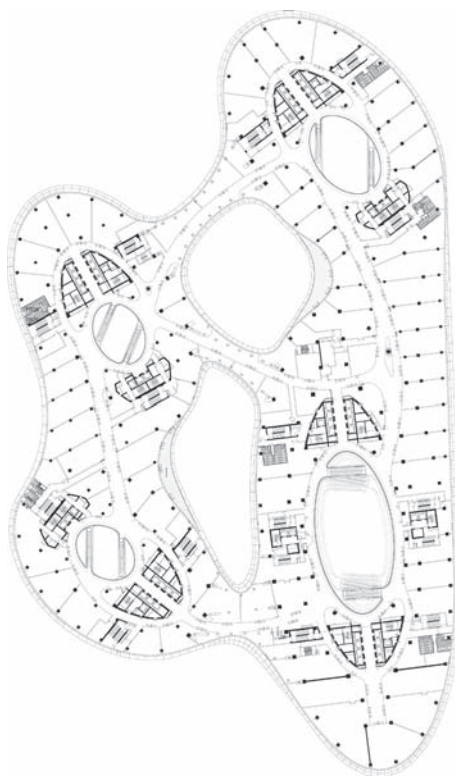


设计概念表达

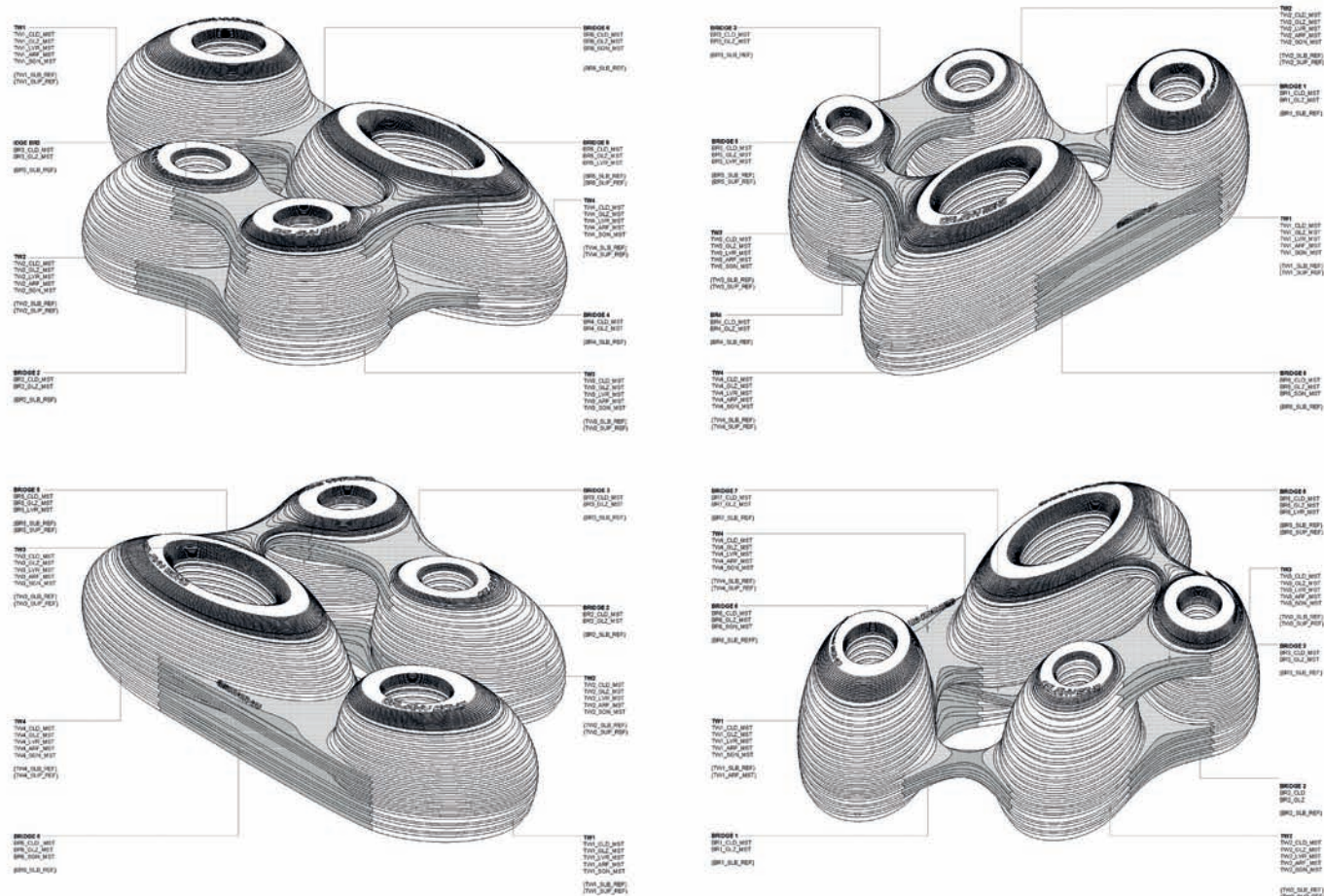
由于银河SOHO主体塔楼采用曲线形体，室内的有效面积比例开始未能达到要求。因此，为了提升有效面积，团队在初步设计阶段对塔楼外形进行调整。对于许多曲线形建筑来说，提升有效面积会给外形带来风险。如果盲目追求有效面积的提升，原来很有活力的曲线外形很可能会逐渐丧失特色。因此，建筑师需要协调形式与功能之间的平衡。ZHA团队就此矛盾，对外形调整提供了几套选择方案。每套方案都有不同程度的外形调整和随之增加的有效面积，并随即将所有选择方案成果与SOHO中国进行汇报和讨论。经双方讨论后，共同决定采取最能够平衡外形和面积的方案并进行深化。最终，银河SOHO的有效面积获得一定的增加，功能和使用度获得明显改善，而圆弧的外形只有少许的牺牲，完全不妨碍到设计概念的体现和曲线凝聚分离的力量。



首层平面图

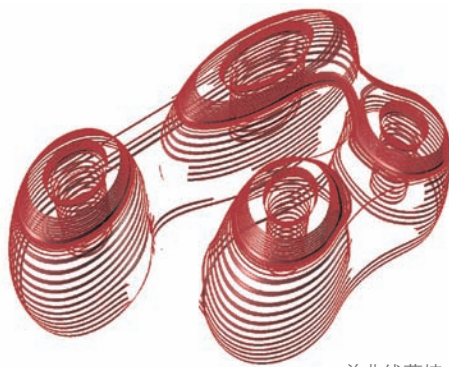


三层平面图

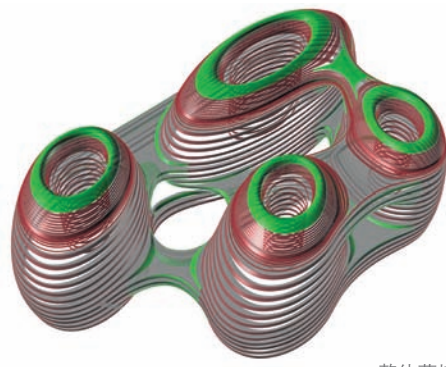




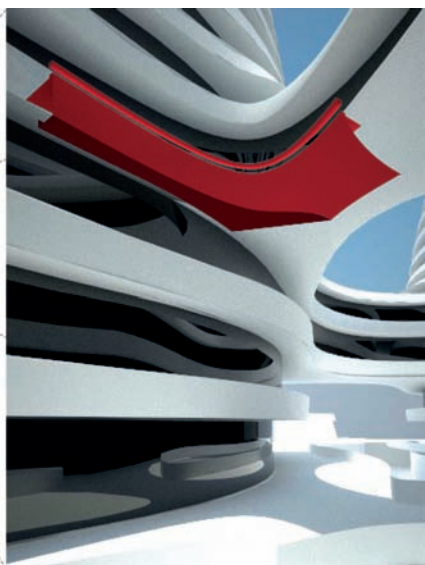
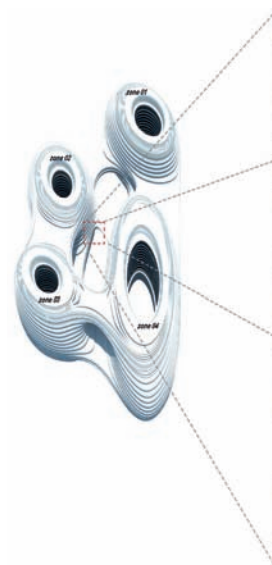
双曲线幕墙



单曲线幕墙



整体幕墙



幕墙样板位置图



铝板幕墙样板



造船钢板幕墙样板



GRC幕墙样板



FRP幕墙样板

经过最后一轮的调整，银河SOHO的布局达到以下状况：四层至十三层办公空间有效面积70%，而地下一层至地上三层有效面积55%。主体建筑的量体形状在退让红线范围内满足面积要求，还成功保留了ZHA设计元素，而且避开了场地的日照锥线，给周遭邻居房屋保留日照条件。银河SOHO很好地应对了CBD的尺度和周边环境，并以流线做出回应，利用静态中的动态给东三环北路带来活力。

挑战二：曲线外幕墙系统

在银河SOHO的众多部分之中，外幕墙应该算是项目外观中最重要的一部分。如果说结构负责支撑主体大楼的荷载，机电设备负责塔楼的日常运行，那外幕墙负责的就是将所有量体单元凝聚在一起。银河SOHO的成功之处很大部分取决于它的视觉外观效果，而外观效果又取决于外幕墙的品质。因此，如何确保外幕墙从设计、加工、运输到安装都能够在经济和技术的限制条件下顺利实现建筑方案的三维曲线，就成为项目团队面对的主要挑战之一。

从幕墙材质的比较和选择到与厂家共同研究节点和做法，银河SOHO外幕墙系统的幕后设计过程是一个艰辛但充满回报的旅程。团队从一开始就根据概念、技术、经济等因素制定了一系列的要求，然后将要求形成一个目标，即在技术和经济的限制条件下，打造出完美的曲线外幕墙系统。

幕墙的材质比选与优化

当外幕墙承包商开始参与项目时，团队遇到的挑战就是如何将曲线外幕墙方案进行深化与优化。优化后的结果既要满足经济要求以及技术要求，又不能过度追求现实而牺牲原设计的形态。

外幕墙设计首先面临的问题是选择最合适的材质以及承包人来实现银河SOHO延绵不断的曲线外形。在初步设计阶段时，ZHA团队在还没有确定材质的情况下对建筑量体进行优化，然后将外壳分成合理的尺寸。因为材质还没选择，也就没有厂家的尺寸限制可言，因此只能按集装箱卡车的公路运输限制来考虑。经过第一轮优化后，外幕墙部分被分成9%双曲面、30%单曲面、61%单曲面。当时认为这种组合最能够在技术和经济的限制条件

下实现最佳的建筑外观效果。但与厂家接触后，得知双曲面板的经济代价过高，因此再次进行了许多轮的来回调整。最终在项目的后期阶段，单曲面逐渐成为主要的面板种类。

经过第一轮的外壳优化后，SOHO中国与ZHA团队一起组织了外幕墙样板测试，邀请许多厂家来参与建造不同材质的幕墙样板。当时参考的材质有铝板、造船钢板、GRC、FRP。SOHO中国与ZHA团队对不同材质的样板进行了视觉检查，并测试材质对于曲线外形的表达能力、边缘的整齐度以及整体形状的精确度。

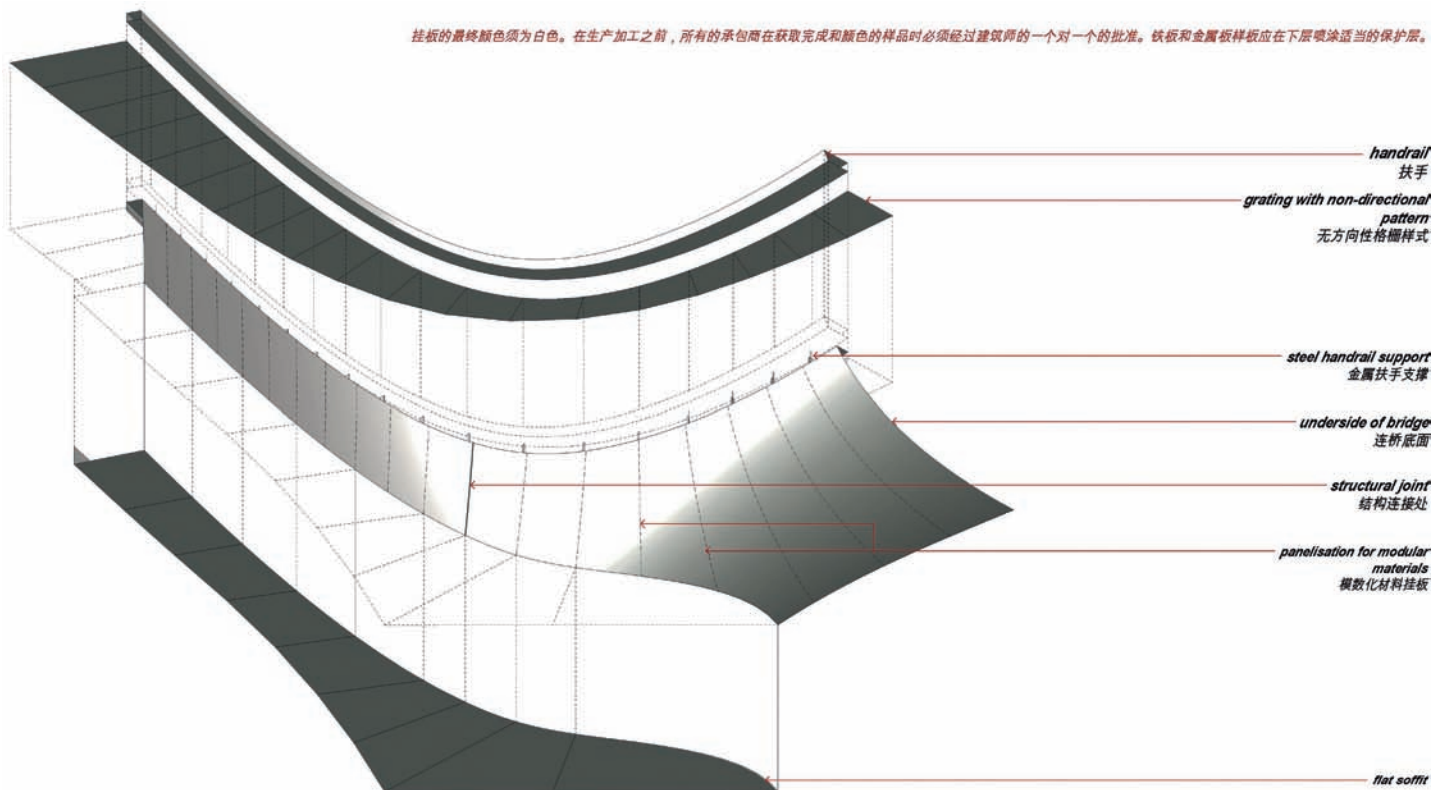
经过样板的深入比较后，项目各方对于不同材质的优缺点有了更加深入的认知。FRP（玻璃纤维加强塑料）、GRC（纤维加强混凝土）、造船钢板都能够以最少的分缝线来实现曲线形状，可精确地反映三维模型设计，但相比之下，铝板系统更适合银河SOHO项目本身的需求，而且技术成熟，国内能够配合的厂家也多。因此，铝合金挂板材质系统成为银河SOHO的首选材质。

在确定外幕墙材质之后，项目团队和业主甲方随即进入第二阶段的样板测试。此次样板测试邀请国内知名的幕墙公司前来参与建造铝合金和玻璃单元样板，展现不同厂家对于铝板的生产能力、形状控制能力，以及安装时的精度掌控能力。另外，设计团队与幕墙顾问也注重样板的连接件结构设计。连接件虽然属于幕后的节点部分，但是它对于铝板的现场定位、安装、调节都有关键性作用。因此，在厂家与设计团队沟通的过程中有很大一部分是在研究连接件的做法。

幕墙的曲线加工

如上文所述，外幕墙方案在经过一系列的优化后被分成众多小板块。每个板块单元的大小尺寸都考虑加工厂的车间设备以及公路运输的限制。铝板的形状和大小都是从BIM三维信息模型直接导入厂商的机械设备，也就是说厂家在不需要图纸的情况下就可以掌控每一块铝板单元的数据。单曲板直接用数控设备进行裁切，然后经过热弯工艺成型。银河SOHO有部分铝板甚至是平的铝板运到现场后再进行冷弯成型。

不论是厂内的热弯成型，或者是现场的冷弯成型，厂家都会根据三维模型的数据对铝板的尺寸和形状进行核实。如果是现场冷弯，铝板是直接挂在结构板边的预埋连接件，挂完后自然成型。因此，铝板的成功安装与预埋连接件的位置定位也有很大关系。每块铝板也都有各自的追踪条形码，以便外幕墙承包人进行有效的管理、加工及安装工作，减少施工周期。

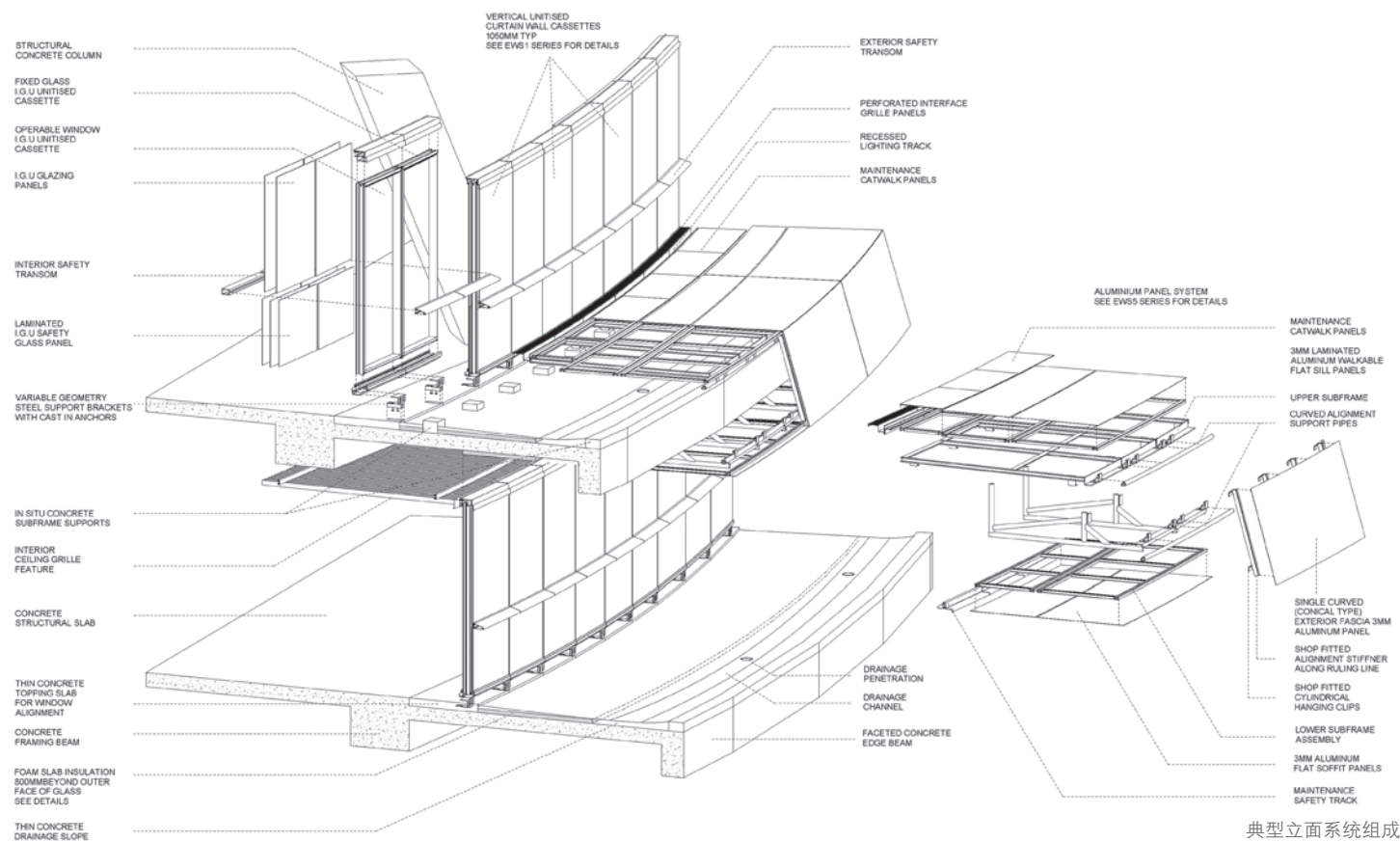


幕墙样板分解轴测图

幕墙的施工安装

外幕墙除了优化与加工以外，其安装顺序也是一个需要克服的挑战。铝板的大小、形状和连接件的设计只能控制安装精度，但承包人还需要在有效的施工周期之内完成任务。因此，团队将每个楼层的铝板环带分成底部的吊顶板、外侧的外挂板、朝上的顶盖板，方便安装顺序。现场的工人可以通过外围的脚手架进行作业，看情况选择安装吊顶或外侧板，然后进行调节，最后封上吊顶板，完成局部的作业。这种作业顺序为工人提供了调整修正的空间，确保铝板之间以及分缝线的处理都能够满足外观要求。

就整体施工顺序来说，玻璃单元是首先被安装的部分。当玻璃单元安装就位，楼层也就等于是封闭状态，承包人可以同时进行室内的精装修作业以及室外脚手架的幕墙铝板安装作业，将两种工作重叠可有效缩短周期。



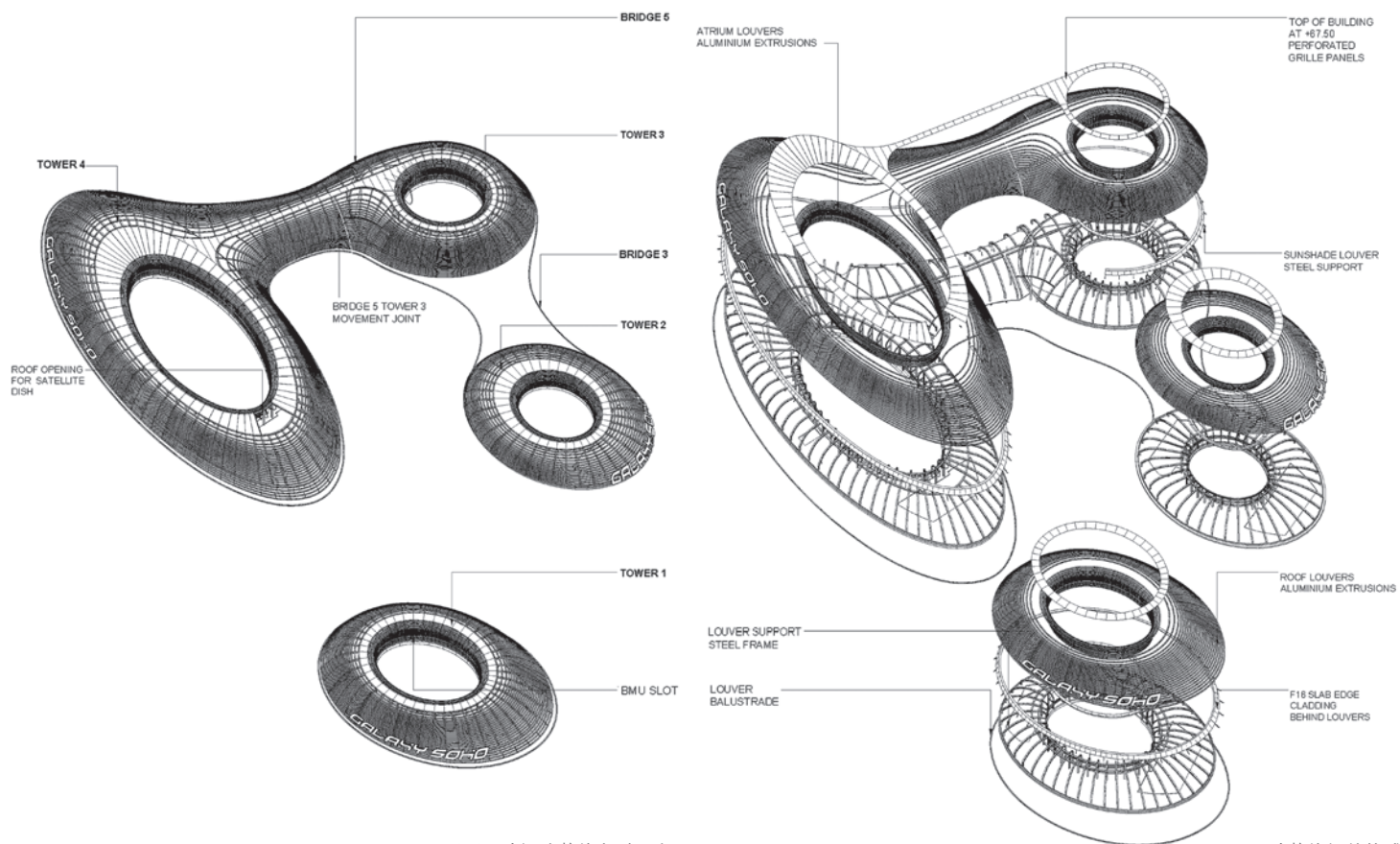
典型立面系统组成



铝合金和玻璃单元样板

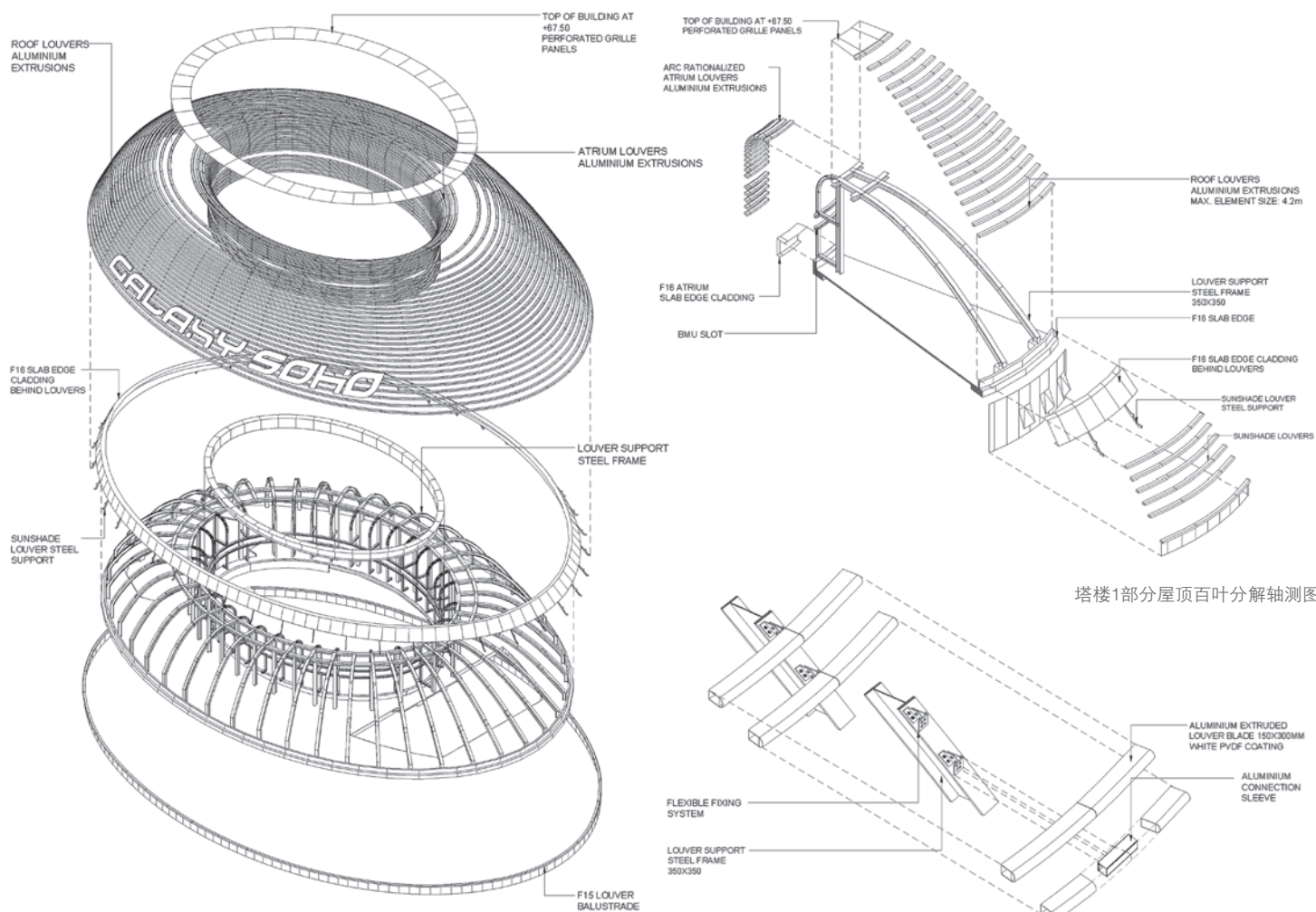


幕墙的施工安装



屋顶百叶组建整体鸟瞰示意图

屋顶百叶整体组件构成



塔楼1部分屋顶百叶分解轴测图

塔楼1屋顶百叶整体组件构成

屋顶百叶安装系统

铝板的分缝线处理也是团队重视的一部分，同时也是ZHA历年来许多项目面临的典型挑战。就建筑概念来说，完美的曲线形状应该是不间断地延续，不被分缝线破坏。但在现实中，材质的限制使得分缝线成为无法避免的现实，尤其是铝板材质要特别考虑厂家的设备以及公路运输的限制。因此，设计师有两种选择，一是控制分缝线的方向和布局，使其成为形状外观不可或缺的一部分；二是缩小分缝线宽度，后面提供插片，遮挡后方，使分缝线不易被肉眼见到。ZHA团队认为两者都很重要，解决办法是将分缝线设置为20mm宽，减轻线条对整个建筑单元的影响，然后要求分缝线后面提供插片遮挡，消除分缝线的黑线效果。而且插片容易安装，能够根据铝板方向调整，维持曲线的延续。中庭方面，圆顶式的钢架首先在四层的加大环梁上方进行安装，然后焊接钢架。等整体钢架系统就位，再进行玻璃的安装，然后等整个中庭屋顶完成后，再安装四层的竖向玻璃。

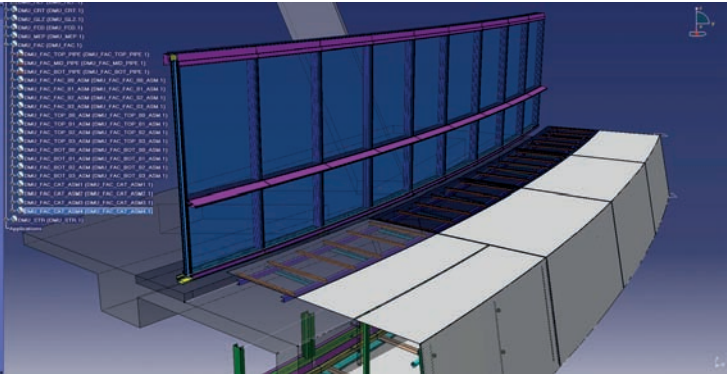
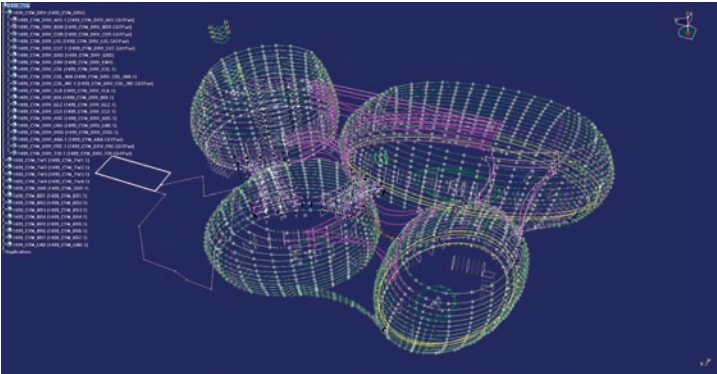
挑战三：BIM与团队合作

当深化设计阶段接近尾声而现场施工即将开始时，ZHA团队立即将BIM（建筑信息管理系统）带入项目的工作流程中，以面对项目的第三个挑战：确保业主方、方案设计建筑师、中方深化设计单位、顾问以及承包商都能够同步而准确地处理庞大而复杂的项目信息，能够有效沟通协调，避免许多系统和流程的冲突，保证在规定期限内圆满完成工作。

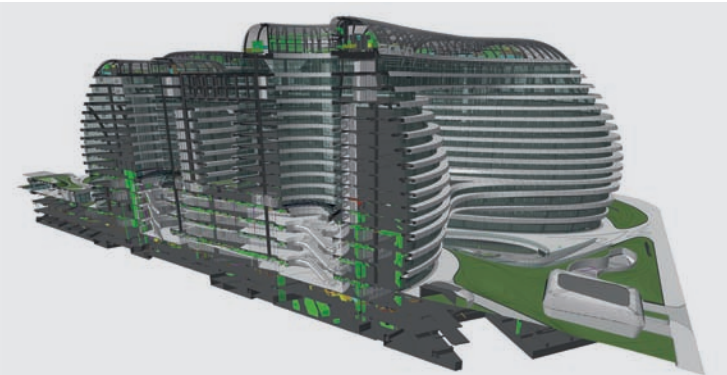
每家工作单位在项目中负责不同的工作范围和内容，会在不同时间内提交图纸和成果。因此，常常会有团队某些成员因没有收到最新的图纸而根据旧的图纸进行工作导致系统出现冲突和错误，不仅影响工期还会增加后期弥补的工作量。为了将这种错误降到最低，项目团队决定在工作的流程中使用BIM将最新的图纸、三维模型和设计说明在第一时间传达到所有单位，以确保大家所拥有的信息量都能够同步，并对项目做出最精确的决定。因此，协调的合作对项目非常重要。

银河SOHO的整体项目团队采取BIM为项目后期工作流程的主力信息平台。首先，信息平台由专门的BIM公司（GT技术公司）来负责，根据中方深化设计单位（北京市建筑设计研究院）交付的设计施工图来创建BIM三维模型。完成以后就使用该模型来找寻和解决结构、机电设备、排水和建筑设计之间的潜在冲突。

BIM模型从地下层开始往上创建，并赶在施工进度前。如此，承包商、监理单位、甲方、建筑设计单位等的每周例会就可以根据已创建完毕的BIM楼层模型进行讨论，如土建与其他部分存在任何碰撞、蓝图里的节点做法体现到三维模型里发现不合理等问题，团队都可以马上在同步的信息中研究对策方案。外幕墙、土建结构、机电设备和给排水都是依照这种工作流程模式来克服庞大复杂项目所带来的许多问题。



铝板幕墙BIM三维信息模型



BIM三维信息模型



摄影：Hufton and Crow

挑战四：现场施工中的若干难点

售楼中心与主体的交接

银河SOHO作为开发商项目，在开始营造之前首先搭建了一座一层楼高的售楼处中心。出于功能和面积的考虑，售楼中心设计为永久建筑，计划在主体完成施工后能成为项目的一部分，并且地下空间完全连通。因此，售楼中心在施工时也同时开展其地下一层至三层，需要彻底考虑到它与主体部分的界限，预留条件给后续施工程序。

售楼中心建设完毕并对外开放时，已成为眺望施工现场的阳台，前来参观的民众以及投资人都可以走到屋顶观赏场地，施工的活动一览无遗，使人们拥有参与感。地下空间的楼板则是做到固定的交接线，钢筋突出，方便主体结构从此处继续施工。

混合结构

除了追求优美的流动外形以及良好的内部功能以外，项目团队在很大程度上也考虑了现场施工的可行性。银河SOHO采用钢筋混凝土和钢架的混合结构。混凝土能够实现无缝式的曲面，因此它适合实现塔楼的曲线外形。另一方面，钢结构的硬度高，精度也高，能够实现超长跨度，因此被应用在塔楼之间的空中连桥。这种结构上的组合使得银河SOHO能够在经济和技术限制的条件下，实现当初概念设计所追求的流线效果。

充满动态的四座塔楼由钢筋混凝土建造，而每座塔楼有两个面对面的核心筒，外圈根据建筑形体曲线布置倾斜柱。由于外圈倾斜柱承受的是偏心荷载，有翻转的倾向，因此每层楼板都特别加入钢结构形成张力环，将倾斜柱套入，在保持形状的同时也维持了结构安全。

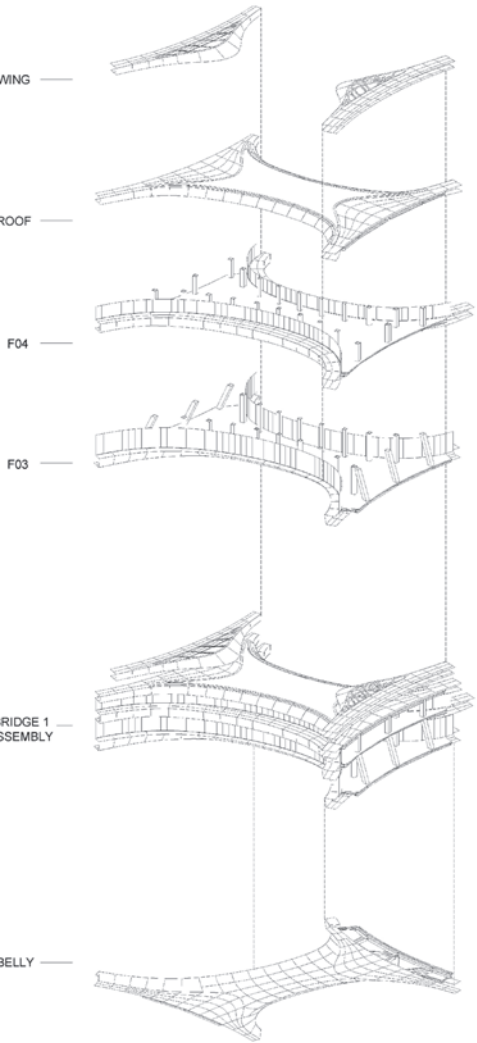
板边线

楼板外边的板边线当初是单纯随着外形而走。后来在初步设计阶段深化的过程中，团队逐渐了解到板边和外幕墙铝板需要保持一定距离，以容纳连接件以及防水层，而且为了简化混凝土倒灌工艺，降低施工成本，板边线从原来的自由曲线优化成一系列的折线。折线虽然与外幕墙铝板的曲线之间不是固定距离，但在优化的过程中，ZHA团队小心地将两者的距离保持在一个合理范围中。

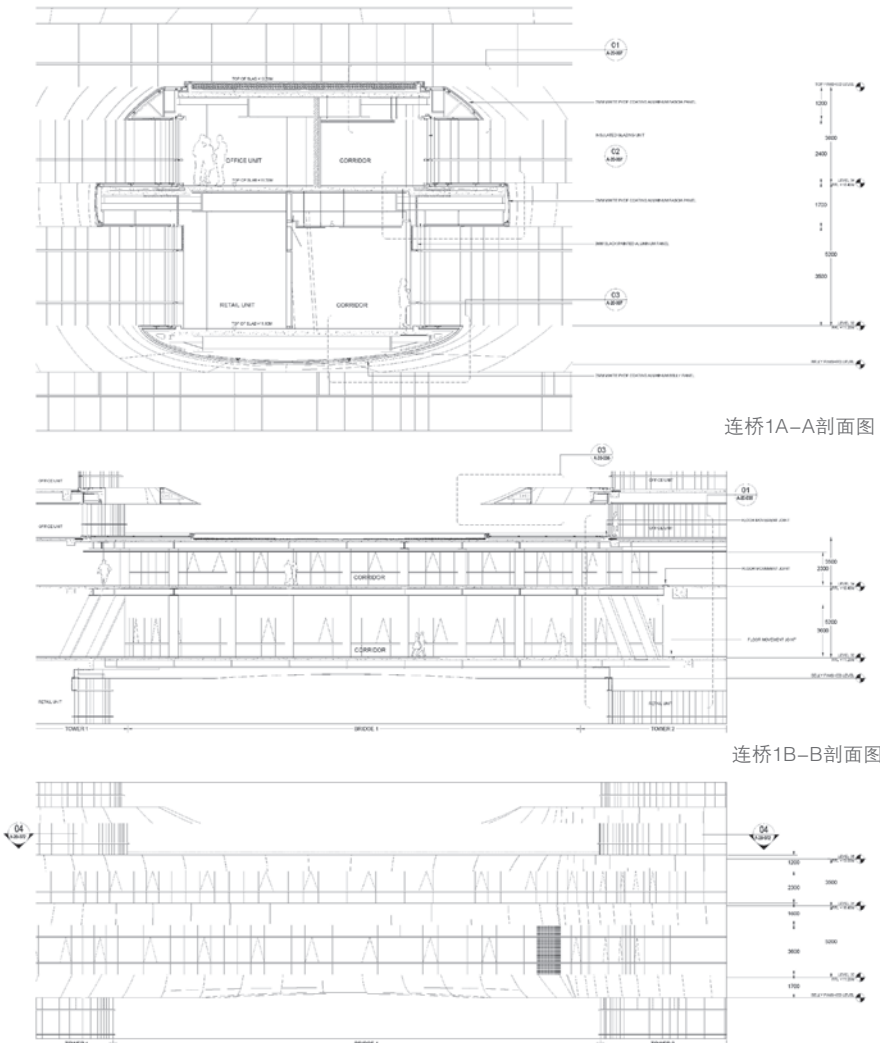
另一方面，位于中庭部分的内圈板边线是往里曲伸。如果将它们优化成折线，会造成边线与铝板距离过长，超出连接件的合理受力范围。因此，这部分的板边线则优化为弧线。弧线虽然给混凝土倒灌工艺（因为浇灌模板很难做弧形）带来一定程度的困难，但是中庭板边线的整体长度不多，而且弧线更适合铝板挂件，因此利大于弊。

连桥

塔楼之间的五座空中连桥由钢梁和钢立柱组成。由于连桥的跨度长，在高空中没有其他支撑，只有钢结构能够承受超长跨度所带来的弯曲应力，并可在经济和技术的限制下实现设计。在连桥的施工期间，工人必须考虑到连桥两端塔楼的误差。为了能在施工时有效地克服这些图纸上没有预计到的误差，承包商采用现场焊接的方式进行拼装，而不是在工厂里组装。在高空中进行钢结构组装就是一种挑战。承包商采用的办法是建造空中作业平台，以临时立柱支撑，然后以起重机方式将钢部件吊到平台上，方便工人进行空中的测量和焊接工作。



连桥1轴测分解图



连桥1立面图



连桥施工过程



接近完工的连桥



建造中的银河SOHO外圈倾斜柱



售楼中心



摄影：Hufton and Crow

连桥在设计上应考虑塔楼混凝土结构因热胀冷缩、地震、风力等自然因素造成的横向移动。根据结构工程师计算，银河SOHO在高层区域最大水平方向位移高达200mm，因此连桥两端由主体立柱的牛腿支撑。连桥一边的牛腿是以固定方式支撑，而连桥另一边的牛腿则是提供滑动支撑。换句话说，连桥固定在东侧的塔楼结构，允许与西侧的塔楼结构里外滑动。连桥与西侧塔楼（分别为一塔和四塔）有伸缩缝，避免结构和外幕墙铝板在横向移动中受到损坏。

总结

银河SOHO是一个庞大而复杂的项目，从设计、深化到建造，ZHA团队一直都在克服各种挑战，以合作的方式向目标前进。从与北京院合作克服建筑、结构、机电的挑战，到与承包商协调确认外幕墙的组装和安装办法，合作这二字都扮演着关键性的角色。如果没有紧密的协调，没有默契的合作，没有BIM做信息同步，解决问题的方法就不会被找到，创意也就不可能被实现。在此，通过本文对所有参与银河SOHO项目的工作单位及同仁们表达最深的谢意。At