珠海歌剧院项目中的BIM技术应用

摘要：北京市建筑设计研究院有限公司（BIAD）业务范围包括：城市规划、投资策划、大型公共建筑设计、民用建筑设计、室内装饰设计、园林景观设计、建筑智能化系统工程设计、工程概预算编制、工程监理、工程总承包等领域。自1949年成立以来，累计完成建筑设计面积已超过1.5亿...

北京市建筑设计研究院有限公司（BIAD）业务范围包括：城市规划、投资策划、大型公共建筑设计、民用建筑设计、室内装饰设计、园林景观设计、建筑智能化系统工程设计、工程概预算编制、工程监理、工程总承包等领域。自1949年成立以来，累计完成建筑设计面积已超过1.5亿平方米，从1977年至今，设计作品获得各类奖项总计1166项，曾被北京市政府授予“首都建筑设计突出贡献设计研究单位”荣誉称号。在全国各地设有12个分支机构，建筑设计作品遍及全国31个省市自治区。

案例：

珠海歌剧院工程

相关软件及解决方案：

Autodesk Revit Architecture

Autodesk Revit Structure

Autodesk Revit MEP

Autodesk Navisworks

Autodesk Maya

Autodesk 3ds Max

客户证言：

建设工程产业链上下游之间的全程协同工作是问题的解决方案。依托互联网，利用BIM和云技术，搭建一个开放的建设工程服务平台，将咨询、规划、设计、建造和管理各个环节全部整合在平台上，实现全程协同工作和建筑全生命期的管理。

——北京市建筑设计研究院有限公司董事长 朱小地

信息化和工业化相结合的第三次工业革命将在 21 世纪从根本上改变人们的工作和生活，BIM 技术将是这次革命的主力军。

——北京市建筑设计研究院有限公司总经理 徐全胜

BIM 技术在建筑领域的运用，让我想起了二十年前 CAD 软件取代手绘图纸成为工作的必然需要，也许有疑问、也许有困惑，但绝不可以等待。

——北京市建筑设计研究院有限公司第四设计所所长、珠海歌剧院项目主持人 马泷

案例正文：

珠生于贝 贝生于海 珠海歌剧院项目中的 BIM 技术应用

北京市建筑设计研究院有限公司（简称“北京院”）作为业内著名的建筑设计企业，近年来在复杂形体和综合性建筑的专业协同、同步设计等领域进行了多样化的实践，在凤凰卫视传媒中心、CBD-Z15-中国尊、深圳机场 T3 航站楼等项目中均不同程度的运用了 BIM 技术作为工作手段，珠海歌剧院这一项目更是将 BIM 技术作为核心平台，旨在从设计到施工的各个方面为建筑的全生命周期提供最适宜的解决方案。

项目概况

珠海歌剧院地处中国南部，位于广东省珠海市野狸岛人工填海区，是野狸岛新填海区的核心建筑。无论从香洲湾到野狸岛，还是从珠江口到情侣路，在各个角度看歌剧院都是视线的中心。

珠海歌剧院总建筑面积 59000 平方米，包括 1550 座的歌剧院、550 座的多功能剧院、以及室外剧场预留和旅游、餐饮、服务设施等。作为我国第一座海岛剧院，珠海歌剧院的定位是：高雅的文化艺术殿堂、闻名的文化旅游胜地。其意义不单是建造一座高品质的剧院，而是为珠海这座城市创造一个具有原创性、地域性和艺术性的标志性建筑。



图 1 珠海歌剧院室外鸟瞰效果图

珠海歌剧院建筑方案的创作构思源于大海，用地的总体布局形似从海中升起的美丽鱼鳍烘托着纯净的双贝造型，又如海潮退去浮现出海纳百川般的日月形象，形成“珠生于贝，贝生于海”的意境，对珠海市的历史文化底蕴做出了恰如其分的诠释。

歌剧院观众厅的色彩取意于傍晚时分，海面与天空渐渐融合深邃，星空渐起，海滩被夕阳染成一片金黄，苍茫的海平面已经宁静下来，仿佛正在等待着一场华丽乐章的响起。通过这一精心设计的歌剧院色彩氛围，巧妙地运用了色彩的退晕和对比，既满足了舞台台口区颜色较暗的原则，又将从天蓬到地面演变的景象自然地展现出来，这一环境空灵而震撼，与演出前的候场氛围十分统一，同时也使珠海歌剧院获得了独一无二的室内艺术环境。



图 2 珠海歌剧院室内效果图

项目难点

空间——剧场内复杂的曲面空间结合了声学、舞台照明、空调等各个专业的不同

要求，而事实上，观众厅内的复杂曲面不仅是设计意图的表达，同时也要将观众厅设计中的反声板、声扩散体、耳光、面光桥等功能性设施结合到一起。

专业——对于这样一个高难度的剧场设计，特聘请了荷兰的 KUNKEL 公司作为剧院舞台机械领域的设计顾问；澳洲的 MARSHALL DAY 作为剧院声学领域的设计顾问；SPEIR+MAJOR 照明设计公司作为整体照明设计的顾问；日本的 GK 公司作为标识系统的顾问；以及承接过国家大剧院外幕墙的珠海晶艺幕墙公司作为建筑屋面及幕墙系统的设计顾问。如此复杂的专项设计阵容，如何在满足工程进度的同时与全球顶级的剧场专项设计团队进行频繁而密切的配合与协调，这是对工作平台的一大考验。

结构——珠海歌剧院的主体建筑集中在海岛建筑环路的内侧，建筑最高点达到了 90 米，贝壳除标志性造型外，还为剧院提供竖向交通空间。虽然建筑自身的采光、通风环境十分优越，但对于珠海这一海滨城市，台风、潮湿空气的腐蚀和污染是对结构设计的重大挑战。

BIM 在建筑设计中的典型应用

在剧场的设计过程中，运用欧特克 BIM 软件帮助实现参数化的座位排布及视线分析，借助这一系统，可以切实的了解剧场内每个座位的视线效果，并做出合理、迅速的调整。根据座椅的设计尺寸，以单元的形式整合到模型中，可对每一个座椅的间距、尺寸等进行即时的调整，并结合通用人体模型模拟视线。欧特克 BIM 软件可以根据建筑师的要求自动生成各个角度的模拟视线分析，通过视线分析模拟，建筑师可以直观的看到观众视点的状况，从而逐点核查座椅高度和角度，进而决定是否修改设计。根据参数化模型可直接生成视线分析表格，在参数化的辅助下，高达 1550 座的视线分析，这几乎不可想象的工作量，都可交由参数化软件模拟，不仅提高了效率，也降低了错误率。

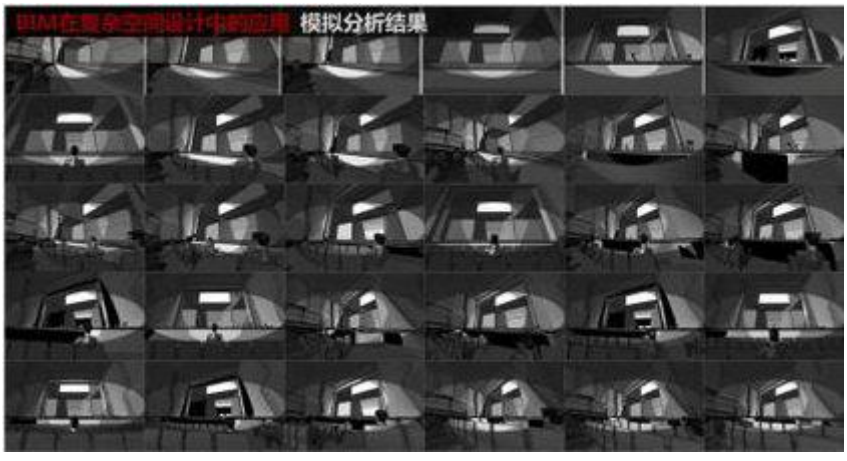


图 3 视线分析模拟

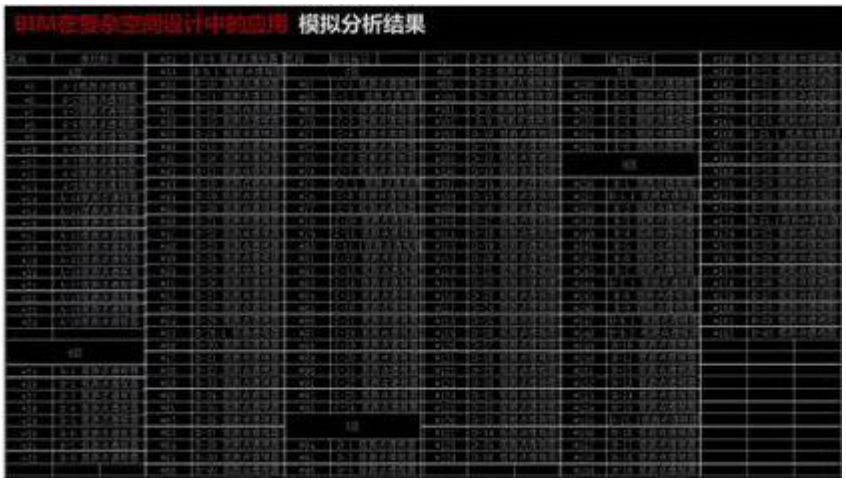


图 4 视线模型分析结果

在 BIM 技术的统一设计平台帮助下，各阶段都可以与各专项设计团队紧密的同步并共享设计成果。这一模式大大加快了设计的效率，同时避免了各团队之间由于沟通问题而产生的失误与返工。在剧场专项设计过程中，BIM 技术可以对舞台设计中的面光、耳光、追光的角度和投射面进行即时的模拟，即减少了工作量也提高了工作效率。

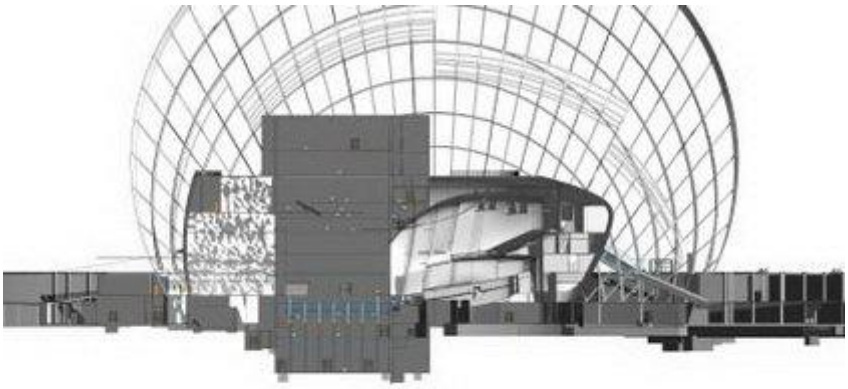


图 5 剧场综合专业设计图

对于观众厅来说，吊顶板声学设计非常重要，要满足一次反射声的要求，并能够最大限度的扩展观众厅内的混响时间。针对剧场内表皮模型的复杂性，借助欧特克软件搭建的 BIM 平台和 Odeon 声学软件，可以在很短的时间里建立完整的声学模型，模拟并纠正模型的问题，并反馈到设计师手中。

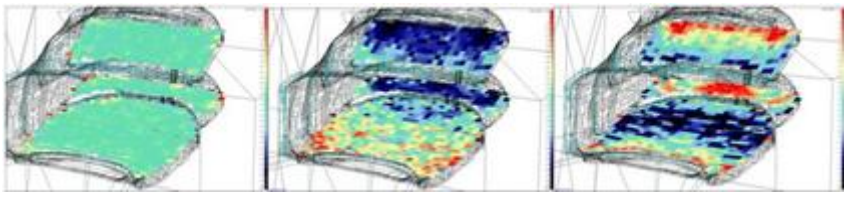


图 6 声学-混响时间 图 7 声学-EDT 分布 图 8 声学-清晰度

在整个观众席区域所有网格点(1m x 1m 的网格)的计算结果显示了声学参数随空间位置的变化，用彩色图来显示这些计算值可以清楚地表示声学参数在座位区域的分布。

图 6 显示了频率为 1000Hz 时观众厅内混响时间的分布，混响时间的变化范围是 0.8s 到 1.8s。在一个声扩散空间内，混响时间的分布是均匀的，图 7 显示了频率为 1000Hz 时 EDT（早期衰减时间即人们对一个房间混响时间的感受）的分布。EDT 的变化范围为 0.8s 到 1.8s。可以看出池座后部和楼座看台的观众席处具有较低的 EDT 值（图中的深色部分），这一结果表明这些观众席处的声音将具有较低的丰满度和混响感。图 8 显示了模型中两个对清晰度来说至关重要的区域。在池座的中央位置颜色很深，表明该区域的声音具有较低的清晰度，这也表明该区域接收到的早期反射声较少，而较多地暴露在混响声场中。根据这些建议，通过不断的修改室内模型的造型，以便更好的满足观演的需求。

在 BIM 模型内建立一套反馈机制，生成从声源到反声板再到观众区的一套计算模型。在这套反射模型中，通过调整反声板的角度、大小、高度等数据，确保来自声源的声音能够准确的落在观众席上，最终将反声板整合到观众厅内表面模型中，并由 Odeon 声学软件进行验证。

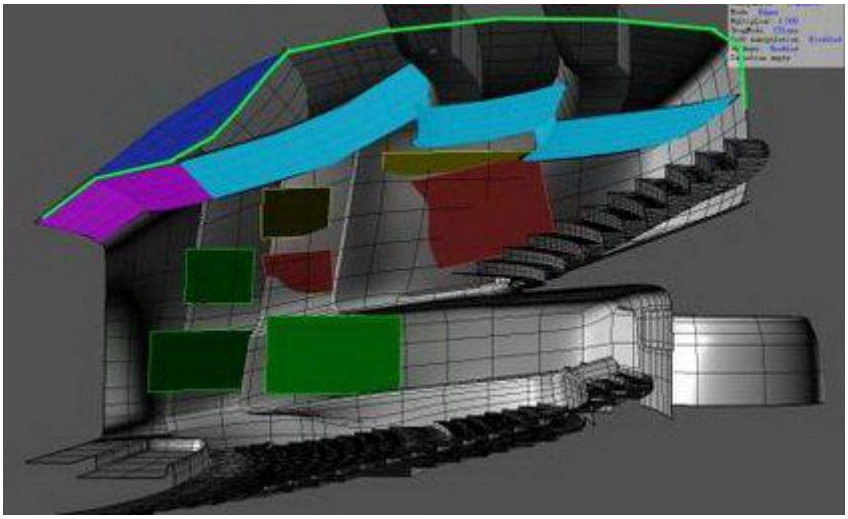


图 9 观众厅内表皮调整前

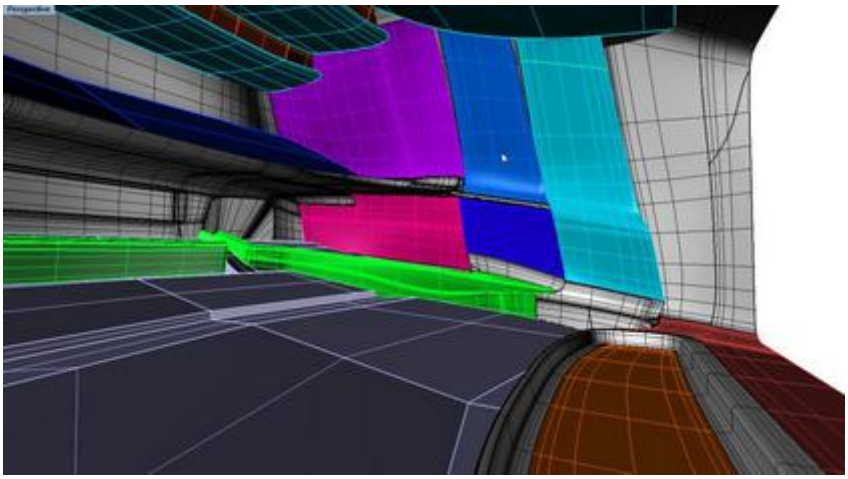


图 10 观众厅内表皮调整后

同样的，BIM 技术在建筑结构形体的塑造也体现了不可替代的作用。
建筑造型的缘起，选择了寓意珠海历史与文化的双贝形象。歌剧院的观众厅和主舞台、后舞台都涵括其间，建筑造型纯净而自然，通向歌剧院上部楼层的交通系统完全设计在贝壳区的钢结构之间，走在楼梯上观众既可以通过玻璃和细目金属穿孔板欣赏室外的阳光、大海、景观绿化屋面，又可以透过室内的细目金属穿孔百叶，欣赏观众厅球体及贝壳的优美造型。

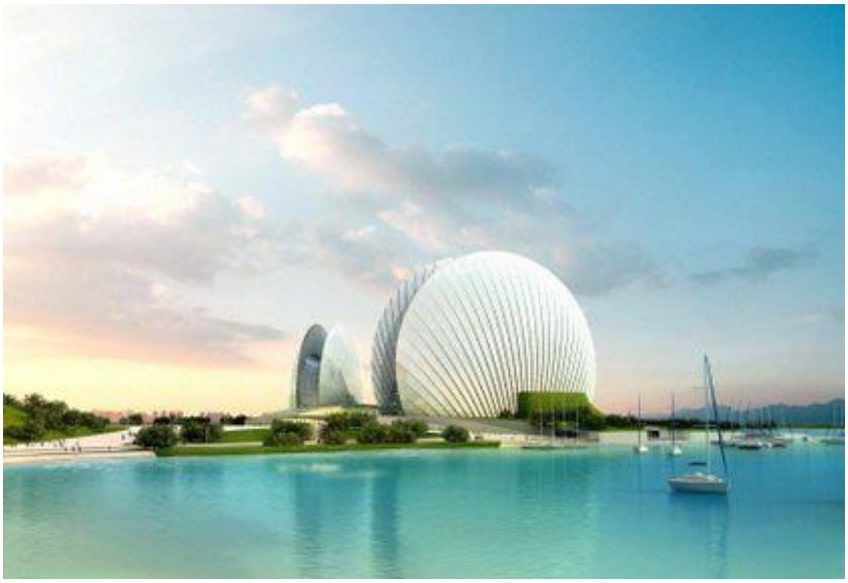


图 11 室外人视图

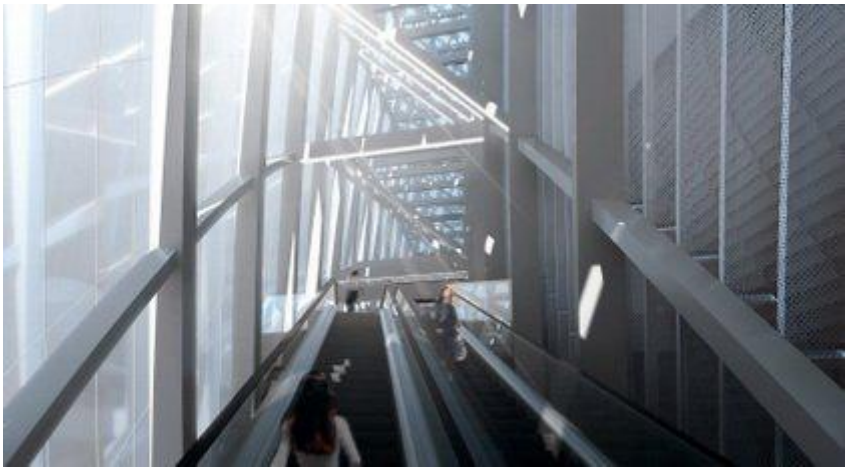


图 12 歌剧院交通厅

BIM 在造形设计及钢结构设计中的应用

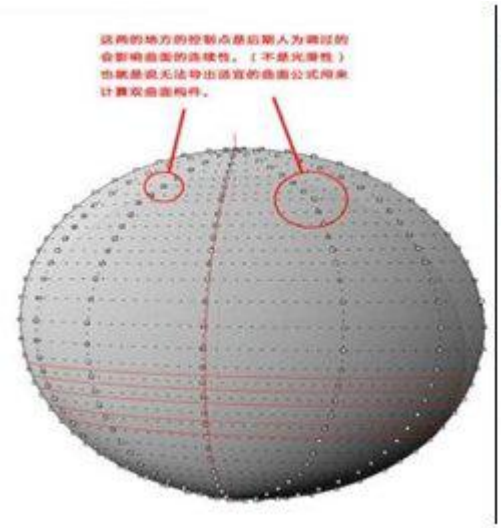
珠海歌剧院位于风景隽秀的野狸岛上，她的形象不但要承载艺术殿堂的底蕴，也要融合海洋、山林的自然之美，成为珠海人民引以为豪的城市标志。由于基地为人工填海而成，并且歌剧院为海岛的核心建筑，因此建筑的用地规划较为统一。工程总用地面积为 57670 平方米，主体建筑集中在海岛建筑环路的内侧，建筑限高小于 100 米，建筑自身的采光、通风环境十分优越，但必须特别注意台风、海边潮湿空气的腐蚀和污染。

在结构上，最大的挑战在于大剧场钢结构顶标高为 90 米，水平投影长约 130 米，宽约 60 米。如此高耸的结构体系矗立在填海区的沿海小岛上，可想而知其面临的困难。在设计过程中，初步将钢架模型导入到 Autodesk Revit 软件中，并与建筑、混凝土结构、设备、电气模型进行合模，由形成贝壳的空腹桁架和屋顶面的平面桁架形成巨型框架为主要结构体系。



图 13 钢结构设计流程

譬如：处理原始参照曲面存在的种种问题，图 14 所示可见在红圈内的关键点存在连续性的问题，这就需要调整曲面上的控制点生成连续的曲线，才能最终生成可用来进行钢结构计算的双曲面构件。



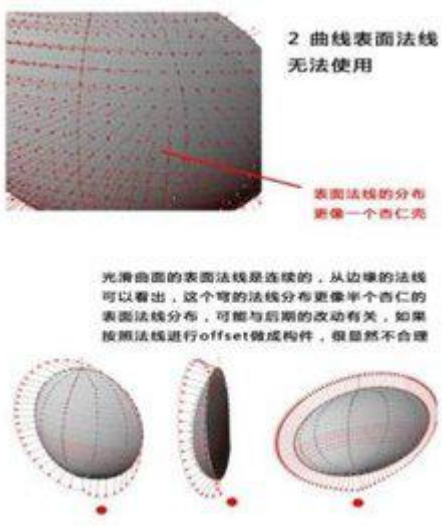


图 14 表面分析-1 图 15 表面分析-2

从图 15 可以看到曲线表面的不规则法线，这就会导致钢结构构件的受力不合理，也需要进一步的优化。遵循建筑及结构专业的意见，利用偏心圆和三度线在曲面布置钢结构定位线。根据布线生成结构杆件，综合美观，造价及可施工性的考虑，选择合理的生成原则。

在整体的设计过程中，基于合理的成型原理，采用参数化脚本程序完成控制曲面到杆件布置，为结构计算生成规律的计算模型。如此，不仅能够针对当前阶段设计辅助，将模型进行数据化，并且能够建立符合各设计阶段要求的数字化模型。

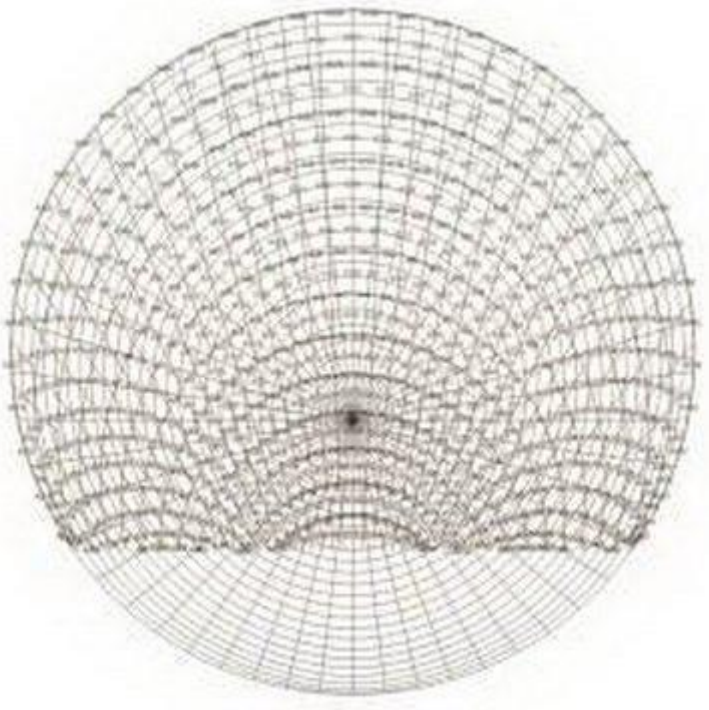


图 16 数据化模型

同时，通过 Autodesk Revit 软件的碰撞检查，设计团队能够在复杂的结构模型中轻松发现设计中不合理的部分，为整个工程争取更多的协调时间，并且在早期控制成本、解决问题。

此外，基于 BIM 技术提供的精确风洞模型，风洞实验可针对珠海的气候特征，辅助设计师优化造型，使其更有利于适应当地环境。

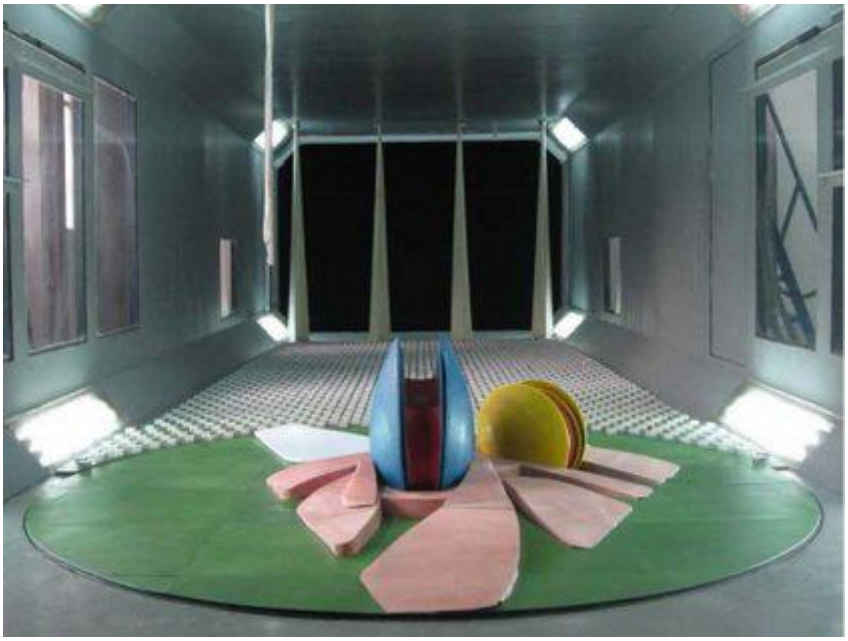


图 17 珠海歌剧院风洞测压实验报告

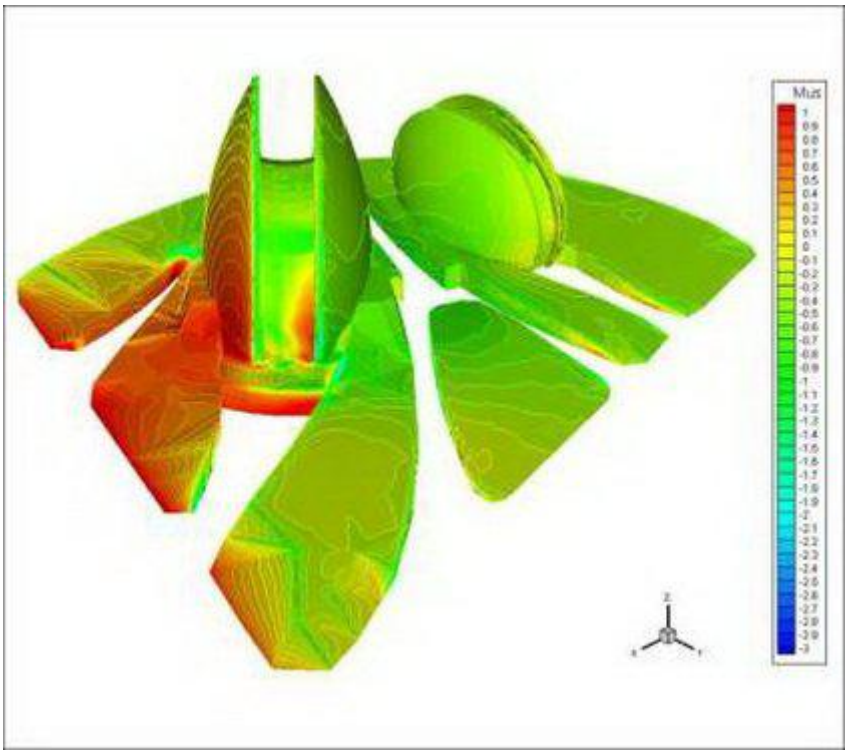


图 18 风向角系数

针对在钢结构施工图绘制的最后阶段出现的焊接和倒角问题，采用优化后的自适应节点，节点的几何数据由网格计算得出。主要目的是为了解决 3 段截面空间旋转后无法相接的问题，这种问题在后期修改很频繁，所以采取自适应节点的策略——由三段接口的位置程序生成节点。



图 19 通用有限元分析

关于管线综合方面，依靠 BIM 技术的优势可以将 Autodesk Revit 文件导成 MWC 文件，在 Autodesk Navisworks 中选择需要碰撞的构件并生成 THML 格式的碰撞报告，直接索引到 Autodesk Revit 总模型中打开生成的局部三维模型，在其中找到相应的构件调整管线。

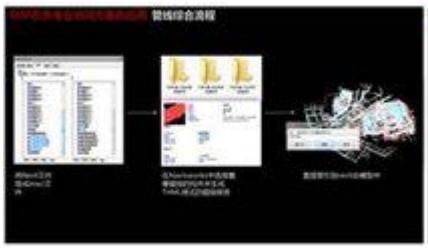


图 20 管线综合流程-1

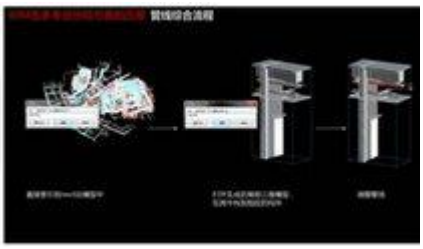


图 21 管线综合流程-2

总结

珠海歌剧院项目具有较高的复杂性，包含了幕墙、钢结构系统。观众厅部分，内部支撑结构、管线综合等各个方面，基于 Autodesk Revit 软件的通用性以及便捷性，确保了在各个设计阶段良好的实用性，同时保持与各专业之间紧密的联系及反馈机制。项目组希望能够在建筑设计的全生命周期里运用 BIM 技术为各专业提供精准的可视化模型，在同一个平台下构建综合信息模型，这是在 BIM 技术平台上对大型复杂建筑的一次初步尝试。