



李孟崇

台湾建国工程股份有限公司工程规划处副总经理，负责公司BIM技术应用及后续研发，代表作品：卫武营艺术文化中心、中兴社研究大楼新建工程、法鼓大学校园新建工程、法鼓山佛教世界园区新建工程、法鼓山世界佛教教育园区新建工程及台北市农禅寺等。

TAIWAN WEIWUYING ARTS AND CULTURAL CENTER

台湾卫武营艺术文化中心的BIM工程规划运用及深化

撰文 李孟崇 台湾建国工程股份有限公司工程规划处

1 项目概述

卫武营艺术文化中心未来是台湾高雄地区的国际性艺术文化表演新地标，由荷兰麦肯诺建筑师事务所的Francine Houben建筑师与台湾共同投标者罗兴华建筑师设计，并由建国工程及共同投标团队承揽。

项目占地10ha，外围由57ha的绿地公园所环绕，该中心设有2 260座的戏剧院、2 000座的音乐厅、1 254座的中剧院以及470座的演奏厅，其独特的非线性自由曲面造型及空间体量使工程施工颇具挑战。

2 非BIM不可的八大议题

卫武营艺文中心以榕树空间为创作灵感，并与当地地景地貌紧密融合，打造出宛如音波流动的建筑外观。由此带来的设计复杂程度超乎想象，很多方面依靠传统技术难以实现，非使用BIM技术不可，具体包括：1) 复杂的3D结构体构件(图1)；2) 自由曲面金属屋顶(图2)；3) 3D金属铝及玻

璃幕墙系统(图3)；4) 使用造船技术的钢表皮(图4)；5) 错综复杂的外、内几何关系(图5)；6) 项目规模较大且涉及到国内外的协同作业(图6)；7) 世界上最严苛的NC15DB声学要求(图7)；8) 精密规划的室内装修设计(图8)。

除了一般的结构体施工规划、楼板标高检查、冲突检测、机电系统整合和物料使用数量估算、特殊造型工项检查等项目，到目前为止施工所需的90%现场制造图皆由BIM模型生成(图9)。进入施工阶段前，也做了3D模拟外观和4D工序，以尽早找出冲突并改正错误，加速营建的效率。

本项目因为是跨国团队合作，使用了多种BIM软件及技术，以IFC2X3格式做为统一沟通格式，整合在欧特克BIM解决方案中，以改善工作流程，促进项目团队间的多方协作和有效的设计沟通；整合在一起并进行细部发展的BIM模型，依接口管理的构架来区分管制重点。



图1 复杂的3D结构形式

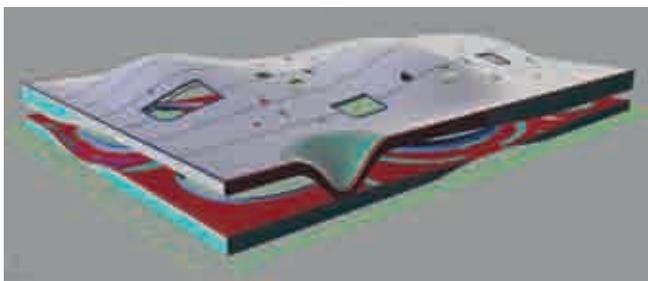


图2 自由曲面金属屋顶

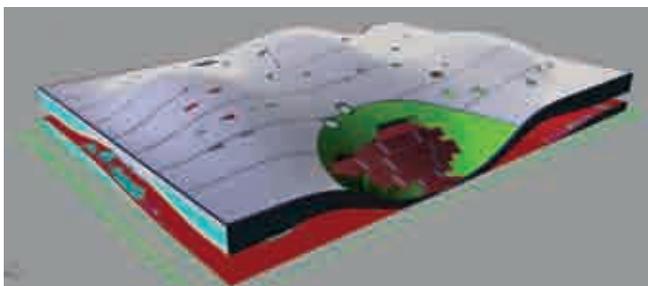


图3 大尺寸金属帷幕



图4 使用造船技术的钢表皮

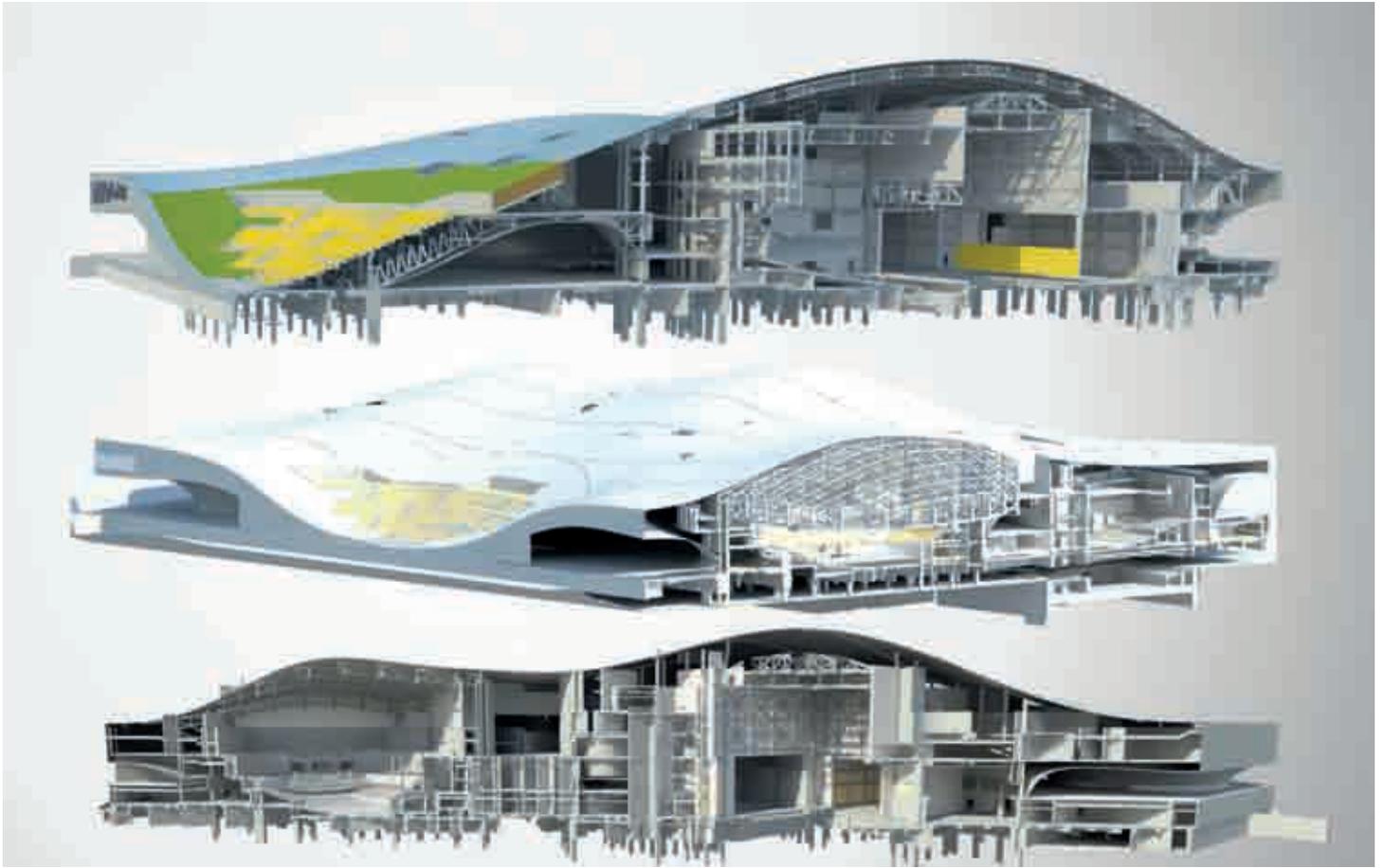


图5 复杂的室内、外几何关系



图6 良好的协同作业

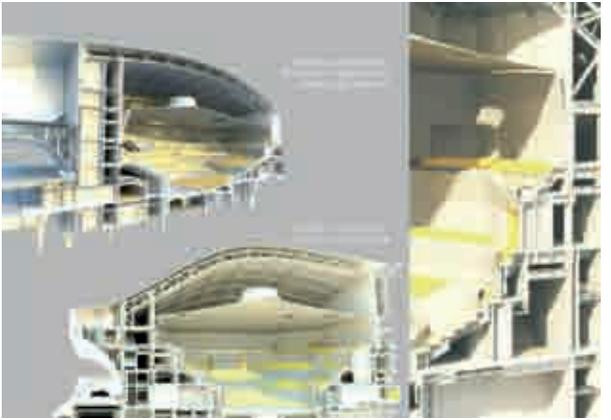


图7 NC15声学控制



图8 精密的声学装修 (来源于: 荷兰麦肯诺建筑师事务所)

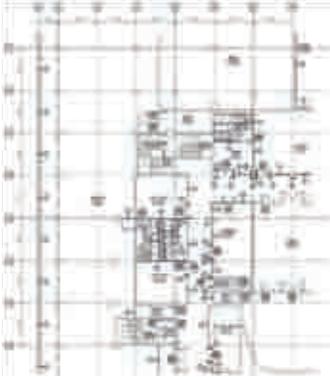


图9 BIM模型生成施工图



图10 BIM模型控制管理

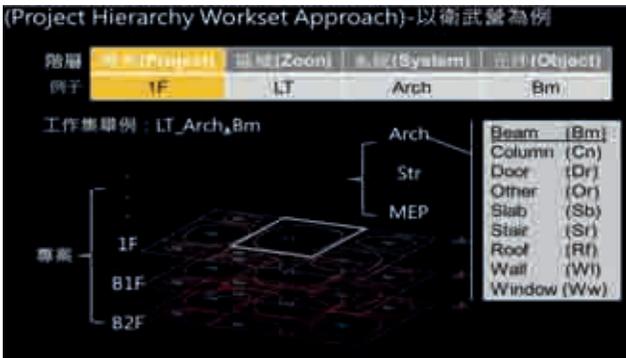


图11 工作集



图12 不同专业的信息整合

3 模型数据库交换机制

为明确各工作范畴所使用的软件及使用格式, 订立一个BIM模型控制管理机制(图10), 将模型分为钢结构、RC结构、MEP各分系统、建筑三大表皮工项、其他各特殊工项和各专业承包高等, 整合后分开管理; 依项目特性, 发展出独特工作集的应用(Ck Project Hierarchy Workset Approach)(图11), 避免单一工作项目或系统档案太大造成的硬件无法运行。

4 界面整合及工序检查

首先, 依营建管理专业将需要厘清分工的接口找出来, 作为建模及应用的接口, 且任何系统或工项修改到整合接口的

信息, 皆需回馈及被确认(图12)。

再将总体工程进度完全依照实际现场工程规划区分为系统及分区, 制作成与施工计划较为一致的4D工序。因为总体4D模拟太过概要, 在现实工作中并不存在, 进而将重点工项制作成工项4D模拟, 来补充总体4D模拟的不足。然后把碰撞冲突找出来, 定一个冲突沟通模式, 按照释疑、沟通、解决、确认等步骤, 管理解决冲突事项。除了分层级的一般模型冲突事项, 也将施工动线、不同标注间差异作为冲突管理的内容(图13)。

MEP系统与建筑、结构系统的冲突, 需要先依照CSD(Combined Service

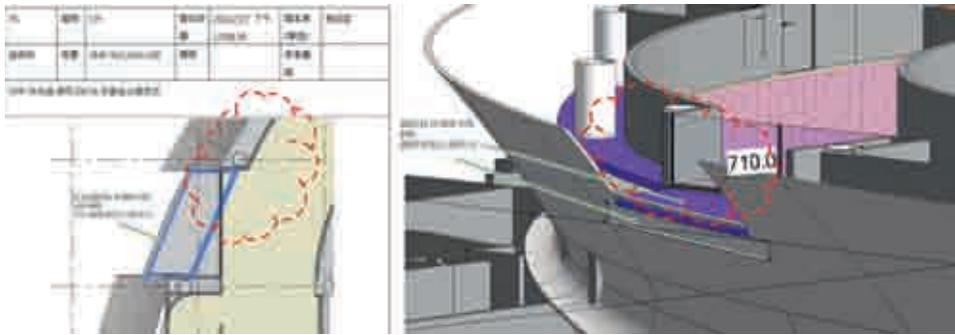


图13 碰撞检核与动线规划



图14 3D-CSD检核

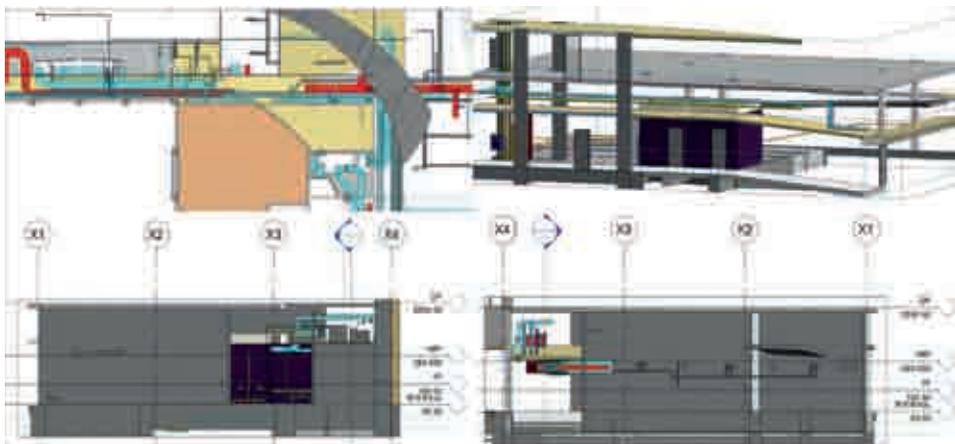


图15 SEM检核

Drawing, 即机电整合界面图), 将工程中所有机电设备部分, 包括水电、空调、消防、舞台灯光、音响等各主要设备位置与管理路径作协调配置计划, 再依配置计划原则去建置模型(图14)。然后按照SEM (Structural, Electrical and Mechanical, 即结构、机电整合界面图) 计划, 将土建工程配合机电系统安装, 并在考虑结构安全的情况下, 综合各关联厂商所提出的意见需求, 将其所需开口、基座、套管、预埋件及管道间等, 整合纳入

到建筑/结构图中, 再做第二次的整合及冲突检查(图15)。

5 特殊工项工程规划应用

5.1 自由曲面屋顶

这个项目最大的特色之一是超大面积的自由曲面屋顶设计, 每一处曲度都不相同。正因建筑师受到卫武营原有的茂密榕树群启发, 屋顶由8段数千片不规则形状的金属板片组合成整片不规则曲面屋顶, 好似从天空鸟瞰榕树林顶端的曲线; 内部则像榕树林构成的树穴, 由一片片不规则

曲度的钢表皮精密组装而成。对这个有机、大胆的不规则设计, 工程团队从德国空运全球仅有的最先进3D自由曲面屋顶成型机械, 将一张张板片按照BIM模型所设定的形状曲度压制成形, 再分别精确吊装后组装(图16)。

自由曲面屋顶依照钢结构体3D扫描后的点云分析数据, 调整次结构屋架尺寸; 并将屋顶上非法向量上的天井、天窗、通风井等开口详细建置, 以便取得发展细部制件大样的详细信息(图17)。

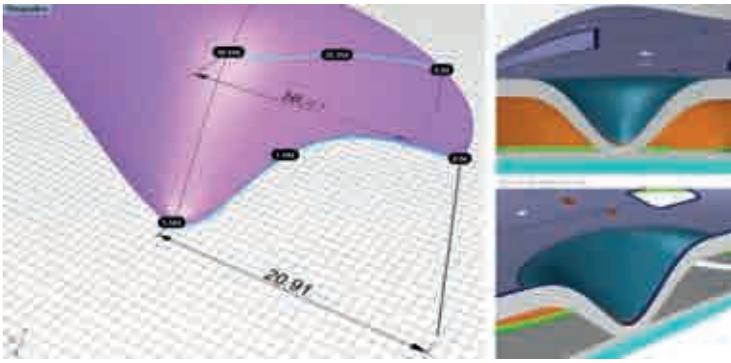


图16 自由曲面金属屋顶模型指导制作

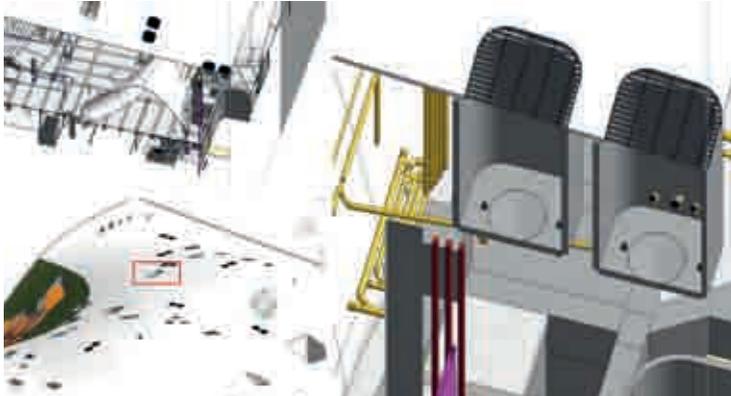


图17 自由曲面金属屋顶接口整合



图18 钢表皮接口整合



图19 钢表皮模型生成

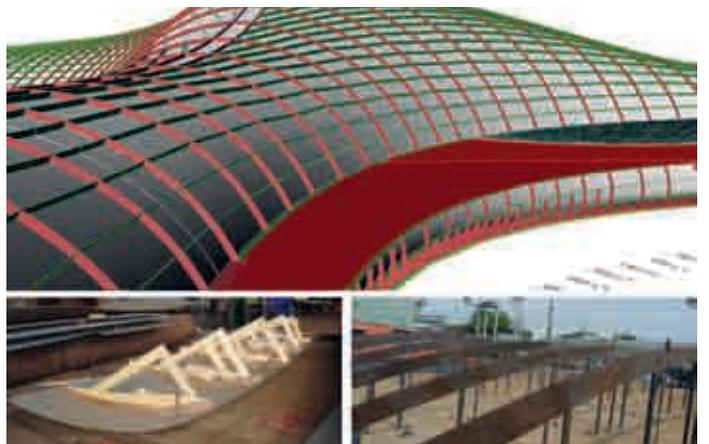


图20 船壳钢表皮整合

5.2 船壳钢表皮

呼应代表高雄海港精神的造船文化，内部树穴的钢表皮不规则弯曲设计组装必须使用造船技术。建国工程找来高雄造船厂共同完成这艘陆上巨轮，项目钢板表皮曲面板总组装面积为2 300m²，分为21个区块组装（2 320片），每件（先2~4片小组装）于现场组装的板片重量约为1.2~2.4t，均为3D不规则形状的金属板，组装过程有相当的难度（图18）。

具体流程是先将模型用造船业的BIM

软件做强度计算，再生成3D model、PI information与Shop drawings（图19）。模型建置时需包含天井、窗户、入口、灯具、吊点等与钢板表皮相关的详细信息，除了便于控管关系接口，也是为了非法向量上的对象及开口详细建置，便于制作细部大样，进而发展钢板表皮板列线与加劲肋骨的配置工程（图20）。

5.3 低噪音空调气室及盒中盒构造

为符合NC15的超高建筑声学规格，本项目的空调采用座椅下方送风的方

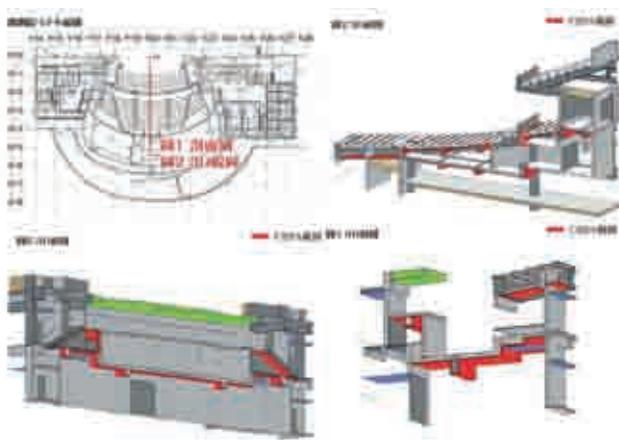


图21 空调气室保温层施工

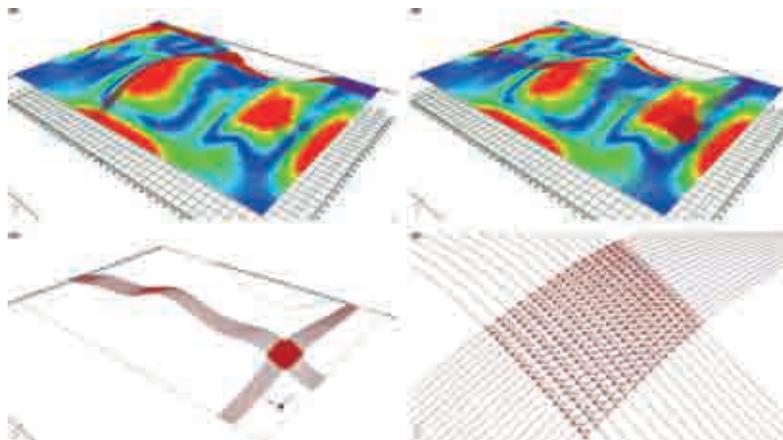


图22 外观金属曲面分析

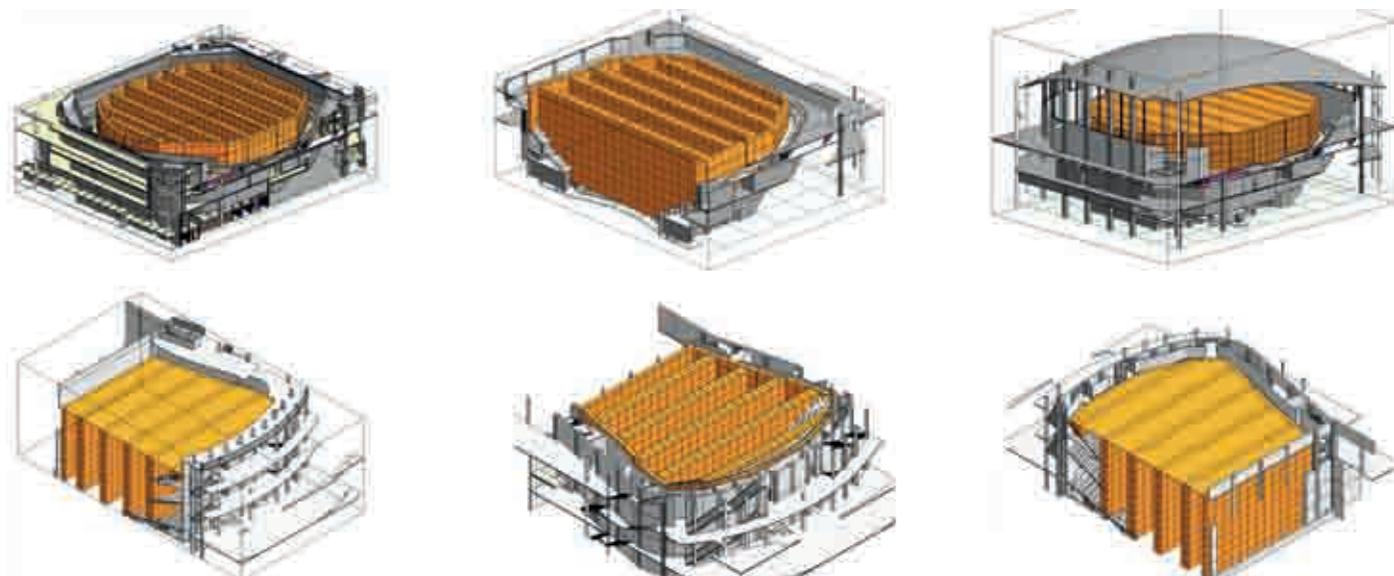


图23 施工架设置和安全防护

式。楼板下的复层空调气室可以确保空调出风量、温度，不会影响各音乐厅的声学质量。为了确保空调气室的功能，将气室的所有细节建置出来，并用剖透视图协助施工团队了解相关细节，减少施工错误（图21）。

NC15只是一个数字，但却是一个超高标准，据我们所知，全球极少展演厅可以达到这个标准。卫武营艺文中心是个声音盒子，唯有运用盒中之盒（Box in Box）的概念，做完一个结构体后再盖一间房子升上去，四周加装防震弹簧、橡胶，才能有效阻隔外界杂音的传递。而这些被视为悬浮房子的轻隔间就有74种不同的类型，再根据各种模拟的情况，制作成各种材料逐一送进国家实验室，测试地板冲击音就耗时近半年。而

为求完美，金属曲面屋顶还装货运到亚洲唯一能做暴雨冲击音试验的北京清华大学建筑声学实验室进行试验，以确保南台湾下暴雨时不会影响到室内音质。

6 参数数值化设计

本项目的参数化设计主要用在外观的曲面金属屋顶及榕树广场地坪，分析曲面屋顶的曲率变化及平顺度、板片的宽度及长度变化、极端板片的曲率大小变化、反曲线的积水污情形；也分析了榕树广场地坪的泄水坡度、结构与装修面冲突、复层楼板的空层尺寸；并依据所分析出来的结果，调整相关接口及模型、尺寸（图22）。

7 临时性设施与安全防护

为了完成许多复杂工项，有许多必需的临时性设施，皆建置到模型中，以分阶段

功能来管理必要的施工架等设置（图23）；并将安全卫生防护措施的计划，以可视化的方式，让施工单位能清楚知道哪些地方需要设置防护网和安全通道，以确保施工的安全（图24）。

8 API 撰写及研发

为解决现今BIM软件生成的2D施工图无法满足施工人员所需信息的问题，藉由BIM软件的应用程序编程接口（Application Programming Interface, API）开发施工图辅助程序，协助工程师将繁复性的操作自动化，并撷取相关BIM组件参数，重新整合为现行施工图需求的数据，提升2D施工图生成的便利性及效率，降低错漏。

建国工程目前也尝试于各个图面和模型中设定二维码，让工程师们通过扫描二

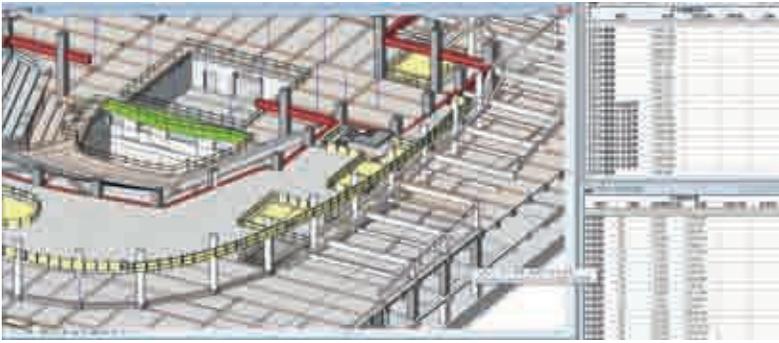


图24 安全可视化管理



图25 实时浏览图文信息

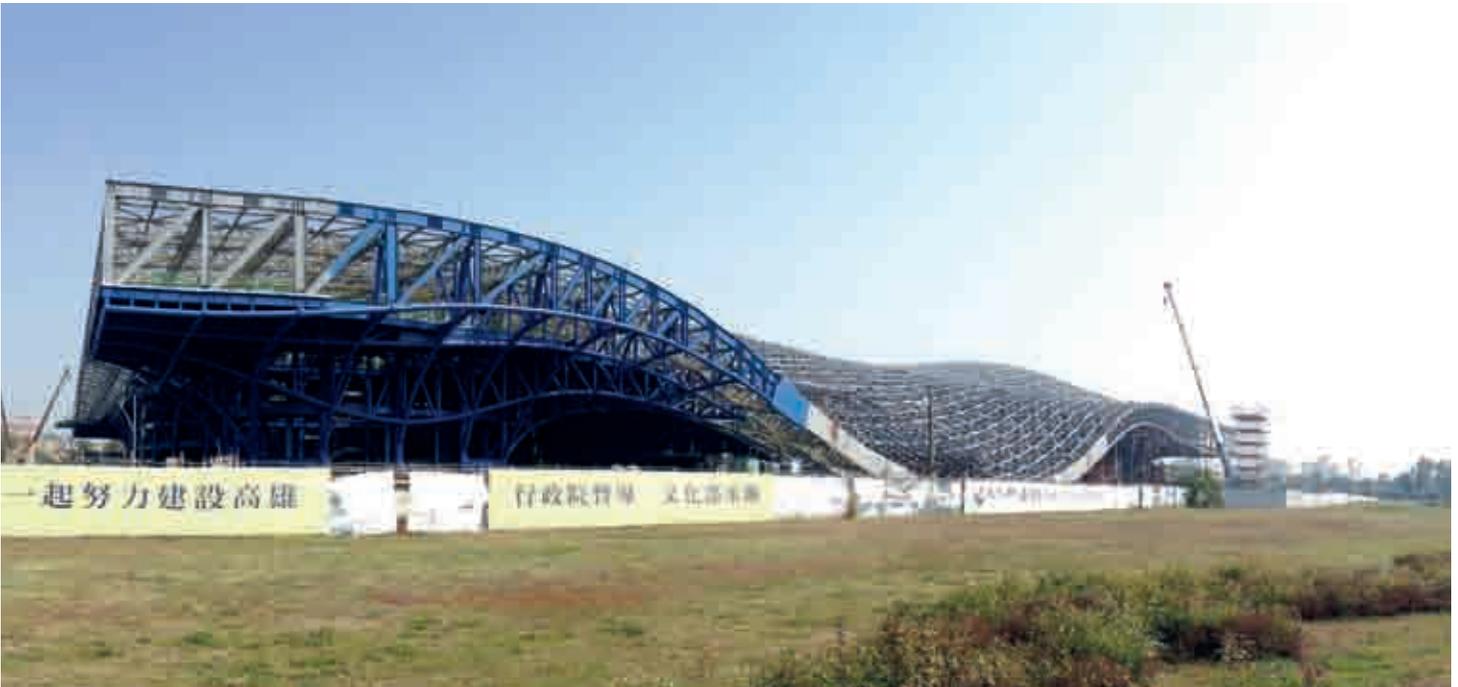


图26 建设中的卫武营艺术文化中心

业主单位：卫武营艺术文化中心筹备处
 建筑设计单位：Mecanoo Architecten
 联合设计单位：罗兴华建筑师事务所
 BIM团队负责人：李孟崇
 BIM团队成员：罗嘉祥、李致远、黄政家、苏郁智、
 陈秀圆、利瓦伊腾、徐雪芬、周信玮、谢一诠
 建设地点：台湾高雄
 总建筑面积：141 049.78m²
 项目状态：装修工程进行中
 设计时间：2007~2009年
 竣工时间：2015年
 摄影/图片版权：建国工程、卫武信息、(部分
 Mecanoo Architecten)

维码，即可浏览自己所需的图文件和其他相关信息（图25）。

9 异地协同作业及云端运用

为了确保复杂、庞大的卫武营艺文中心项目，能够让二、三十位人员同时在异地协同作业，有效沟通并针对设计冲突做出最精准的判断，我们除采用BIM软件的协同功能外，也使用了能够做历程版次及分阶段权限管理的档案平台。

我们也经常利用欧特克所提供的云端服务，快速完成硬件要求高又耗时的彩现、环绕视景、人工照明、日照模拟等工作，并随时与业主、设计师、承包商等各方沟通协调使用，以保证项目进度。项目目前已进入装修阶段，图26为建设中的卫武营艺术文化中心。

10 结语

这是一个标准的国际协同合作案，在所需要的团队资格中，会公开地要求投标工程团队必须拥有整合3D模型的能力。以往是每个工程师分摊项目的部分图面，导入整合式BIM软件后，可以让不同国家的工程师、建筑师一起在同一个模型上完成所有沟通修改的作业，大幅降低沟通失误。

BIM模型的建立对营建工程而言只是个开始，目前建国工程将该模型应用于施工计划的安排、施工模拟和冲突检测等项目，但该3D模型在后续运维管理的使用与API撰写及研发中更具关键性的作用，这也是建国工程未来将积极推动的应用方向。AT