

公司

北京市建筑设计研究院有限公司

地址

中国，北京

软件

Autodesk® Revit®

Autodesk® InRoads

Autodesk® 3ds Max®

Autodesk® Simulation CFD

AutoCAD®

BIM技术的应用使工程建设行业传统上带有浓厚手工色彩的分散和割裂的生产方式向着集成化和工业化方向进步。在固定资产投资领域的产业链上，有能力为业主方提供全过程咨询服务的大型民用建筑设计企业最有可能成为集成项目交付的操作主体，从而走出原先被割裂的缺少全局话语权的设计环节，成为引导产业链集成化的核心。

—朱小地
董事长
北京市建筑设计研究院有限公司

羽化成蝶

杭州奥体中心体育游泳馆项目中的BIM应用



图1 杭州奥体中心鸟瞰图

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。BIAD自成立以来的60年中，始终致力于向社会提供高品质的设计服务，在行业中享有极高声誉，并逐渐形成了“建筑服务社会”的企业核心理念。

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

杭州奥体中心体育游泳馆(以下简称“体育游泳馆”)位于杭州奥体博览中心内北侧，北临钱塘江，西临七甲河，是一座集合了体育馆、游泳馆、商业设施和停车设施等复杂内容的庞大综合体建筑，总建筑面积近40万平方米。建筑形态分为上下两个部分，下部是一个形式低调的大平台，内部包含了以商业设施和地下停车为主的功能空间，平台上部放置了一个形态生动的巨大的非线性曲面，把体育馆、游泳馆两个最主要的功能空间覆盖其中。这一非线性曲面通过长短轴连续变化的一系列剖面椭圆连续放样而成，曲面内的支撑结构和曲面外表皮分块相互对应，保持了内外一致，分格体系呈菱形网格状分布，使曲面成为巨大的网壳体。由于这一形态从造型到构造用传统手段难以完成设计、优化和输出，因此北京市建筑设计研究院有限公司从方案阶段引入了参数化手段直至施

工图设计结束。借助参数化手段，项目组应用了一系列逻辑强烈的数学方式，对网壳主体和各子体加以描述并确定其形态，对网壳结构和内外表面进行有效划分和组织，对空间构件进行定位，对围护结构构造和内外节点进行设计和控制，并且从实际加工角度对构件进行了逐次优化。同时，还在建筑内部进行了常规BIM设计，使上部网壳围护结构的构造、空间结构、内外幕墙、雨水、采光、通风系统等与下部功能对应的各系统等全部虚拟搭建起来，并进行了三维的校核和调整。

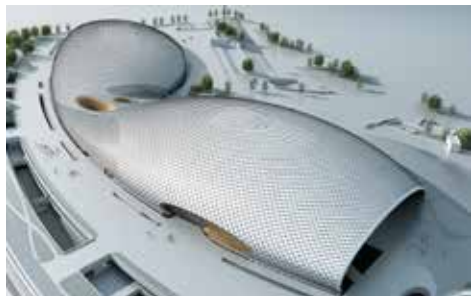


图2 杭州体育游泳馆室外鸟瞰效果图

体育游泳馆位于杭州钱塘江南岸，是城市跨江发展的重要标志，也是奥体博览城的重要组成部分。所处地域水体众多，地形复杂，造型采用独特的流线造型，结合双层全覆盖银白色金属屋面和两翼张开的平台形式，形成“化蝶”的杭州文化主题，建成后将成为世界上最大的两馆连接体非线性造型。

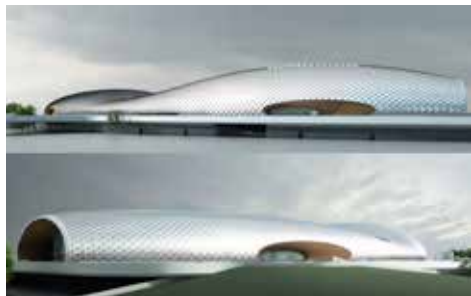


图3 体育游泳馆效果图

杭州奥体中心体育游泳馆建筑造型特点来自于功能的清晰分布，曲面造型下涵盖了一座18000座体育馆，一座6000座游泳馆，两馆之间由一个向城市开放的公共空间连接为一体。平台下部为商业和停车设施。

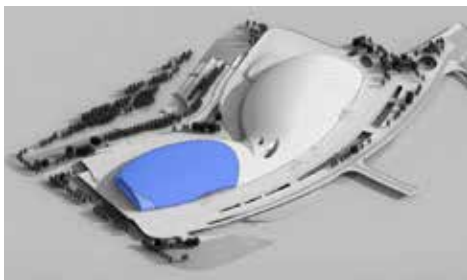


图6 两馆比赛大厅室内效果图



图5 两馆中部连接体内部空间效果图

在两馆中间的半室外运动广场，将为市民提供前所未有的休闲空间，可以在这里举办多种正式或非正式活动。兼顾了空间设计、交通组织、赛后利用等多方面的内容，同时在这里可以看到钢结构与外立面之间一一对应，协调一致的逻辑关系。

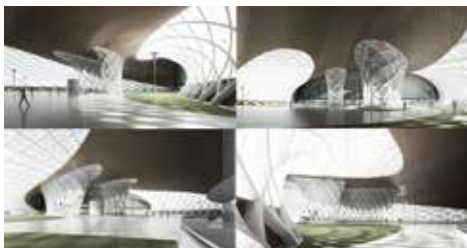


图5 两馆中部连接体内部空间效果图

在比赛空间的室内，北京市建筑设计研究院有限公司把设计重点放在如何衬托体育比赛本身的魅力上，因而并不打算对室内做过多的装饰、装修，在体育馆和游泳馆的比赛大厅中都裸露着曲线形态的钢结构，流线曲面和钢结构与外立面一一对应，给观众非凡的心理体验。



项目难点

如何适应复杂环境——周边城市环境十分丰富，建筑既要与奥体博览城的体育场与博览中心相互呼应，又要形成轴线与钱塘江对岸的城市中心相呼应，形态必须在各朝向都巧妙适应环境；场地地形复杂，既有宏大的钱塘江，又有河流及地下暗河等，需要仔细分析，提出安全完善的地形策略。

如何参数化自动生成复杂曲面造型——建筑无法用传统投影法设计建造，必须编写参数化脚本将抽象数学逻辑转化为曲面空间形体，对从整体造型到子系统到细部全程加以数学描述并予以定位。

如何使复杂的钢结构与建筑紧密一致——室内空间裸露钢结构，钢结构空间分布体现了结构的力学美感，两馆中间连接体还有大量的室内外连通区域，钢结构与外幕墙直接对接，二者需要逻辑一致性。

如何在超复杂空间下整合机电——网壳中的机电管线全部沿曲面设置，需要用BIM来整合机电与钢结构及其他相关专业，共同解决室内空气组织、保温隔声、检修、灯光、室外的雨水和排水沟系统等设计挑战。

设计团队的协同作业和生产效率的提高——大型综合体项目设计团队众多，应用软件众多，如何协作高效？需要建立有效的BIM协作平台。

设计周期和流程

设计周期：

2009年初——奥体中心总图规划——确定体育游泳馆采用两馆连接方式；

2009年6月——体育游泳馆方案设计——确定两馆的规模和功能，初步确定了形态和生成逻辑；

2009年6月~2010年3月——体育游泳馆初步设计——建立逻辑造型与钢结构、机电顾问团队初步建立BIM模型；

重视创意,强调整合,推崇理性科学的设计方法;借助高科技手段和工具进行整合与创新,契合BIM的精髓,使北京市建筑设计研究院有限公司追求建筑设计达到更高的境界。

—徐全胜
总经理
北京市建筑设计研究院有限公司

2010年9月~2011年5月——体育游泳馆施工图设计——完善协作平台/建立完整的BIM模型/协调各团队工作/设计输出。

设计流程:

这里用图示表示了施工图设计的整体设计流程。在这里,设计院内各专业之间,以及顾问团队之间,共同组成了一个网络状的分工合作模式,围绕钢结构网壳和平台下建筑两个大的分部进行综合BIM设计,其中参数化设计作为网壳设计的核心,在其中起到了关键作用。

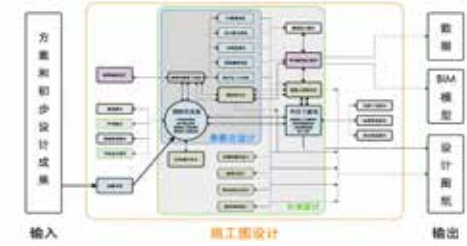


图7 施工图设计流程

BIM在方案草创阶段的应用——基础分析和造型

在设计草创阶段,面对复杂周边环境,项目组将建筑确定为流线体量。这个流线体的基本容量应满足两座场馆规模的需要,并在此之上确定一个可以用数学规律实现的计算体量关系的逻辑,这就需要设定一系列决定体量的参数。在这个阶段,北京市建筑设计研究院有限公司对体量大小与座位规模的关系做了参数化的基础研究,并找到了其中的规律,建筑的形态随着场馆座位数的规模,可以有一定程度的响应变化,这样,建筑的形态和功能便建立了对应关系,使形态以及形态的变化找到了逻辑基础。



图8 方案基础参数推敲

同时,由于场地临钱塘江和内河,并且内部有若干层平台,标高十分复杂,因此项目团队使用了Autodesk Infracad软件对场地做了三维模拟并反复修改标高。

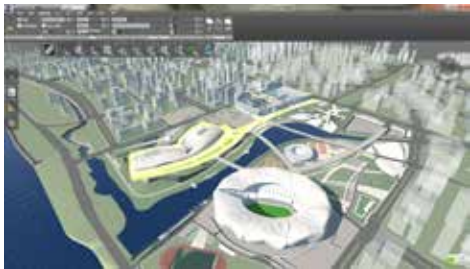


图9 场地地形推敲

由于该项目的最复杂点在于造型的完整性,其基本形态是有钢结构塑造成型的。同时,钢结构在大部分空间中是暴露在空间视线中的,建筑因此减少了大部分内装饰部件,体现了体育建筑简洁有力的性格。在此钢结构的重要性不言而喻,所以在方案早期,项目组就与钢结构专业就钢结构布置的基本问题进行了组织和多次反复计算,两者经过了匹配研究,钢结构的基本逻辑在方案早期即已经被确定。钢结构基准面和钢结构呈交互关系,并反复调试钢结构的尺度。钢结构反馈给建筑的基本要求——结构形式、分格数、分格大小、网架高度等也成为造型的参数之一,在下一步中成为造型的决定因素之一。



图10 造型和钢结构的基础配合

方案早期阶段的最后,项目组还根据该项目特殊造型集中在网壳上,其他部分只复杂在二维平面内的特点,将工程大体分为上下两个部分,上部复杂造型采取以参数化逻辑关系为主的BIM手段,下部采取常规BIM手段进行设计,项目的数字小组把攻关的重点放在网壳设计上。

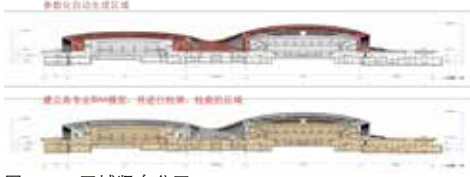


图11 BIM区域竖向分区

参数化自动生成

参数化设计是该项目造型完成的关键步骤。北京市建筑设计研究院有限公司初始设想的造型是由三个部分连缀起来的平滑空间曲面,体育

馆、游泳馆两个主空间的巨大屋盖位于两端,他们由位于中间的连接体平滑联系成一体。

造型时先平面后剖面产生了满足场馆功能尺度的基础曲面,接下来加入了檐廊入口、南北入口、中部斗形体等特殊造型,完成了可满足建筑的全部功能需求的基础造型。以上步骤全部由参数化通过逻辑编程达成。

接下来的参数化设计内容向两个方向发展,其一为建筑外表皮幕墙设计,其二为内部结构和防水布置等建造和构造问题的设计。外表皮和内部结构的布置借助参数化达到了逻辑上的内外统一,这两个深化方向都分别包括了面向构思的“实现设计”和面向建造的“优化设计”两个过程,完成这两个方向后,参数化设计即接近完成。

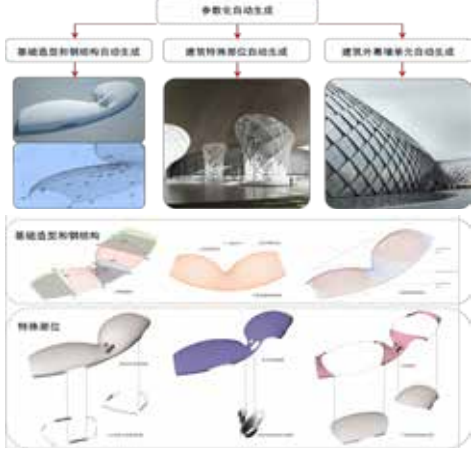


图12 参数化分部示意图

首先项目团队通过平面逻辑和确定、水平分点和连线、定义脊线、定义剖面椭圆、完成基础曲面等步骤建立起基准面模型,作为整个设计的基础造型,同时在基础造型上进行了逻辑上的网格划分,建立了一整套从平面出发到造型的逻辑关系,修改其中任何一个参数,都会对造型进行控制和修改。

完成这些步骤之后,项目团队得到了外幕墙基准面,并在基准面上做了网格划分。在此过程中出现的参数可分为两大类:一类参数可以影响外幕墙基准面的形态,主要有椭圆方程式、参考脊线点坐标,这些参数可称为体型参数,它们会决定曲面覆盖的容积;第二类参数影响网格的密度,包括基准线上的分点数目、椭圆线上的分点数目。在实际建造中,密度参数影响了单元面板的大小,并且由于外幕墙曲面的网格与钢网壳结构的网格存在联动关系,因此密度参数也决定了钢网壳结构网格的划分。

紧接着项目团队将在这些基础曲面上,通过一致的逻辑和不同的参数进行逻辑上的钢结构设计,完成钢结构上下弦曲线中心线的建模,从而使钢结构和外幕墙曲面以及分格达到一一对应的状态。

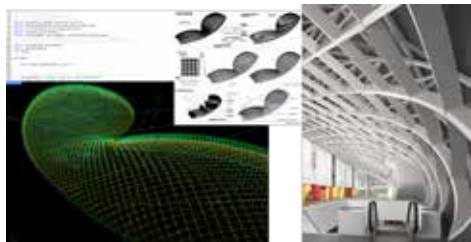


图13 参数化完成钢结构中心线设计

前面步骤通过逻辑生成的造型虽然很流畅,但过于完整了,也不适应功能的需求。北京市建筑设计研究院有限公司又根据功能需要加入了一些特殊部位,对完整的形态产生了一些修剪,增加些有趣的变化,使得造型更加生动。这些部位包括中部斗形连接体、两端檐廊、四个入口以及直立锁边排水层,这些特殊部位都具有各自独立的逻辑,并附着在基础曲面之上,但并不对基础曲面的逻辑造成系统破坏。其层级关系,使基础曲面调整时,特殊部位跟随变化,但特殊部位调整时,对其他部位不造成影响。

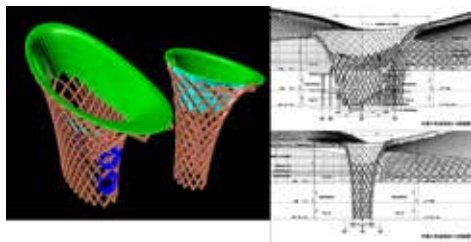


图14 特殊部位——中部斗形连接体

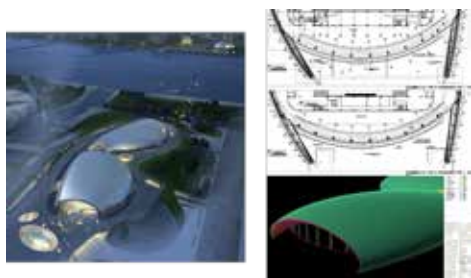


图15 特殊部位——两端檐廊

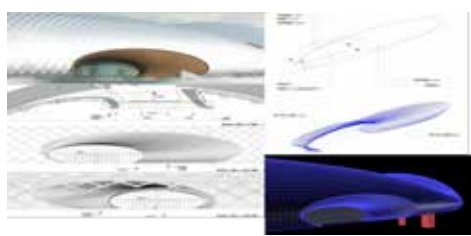


图16 特殊部位——南北入口

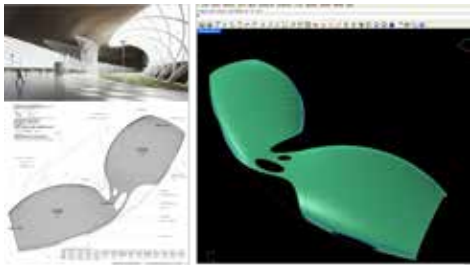
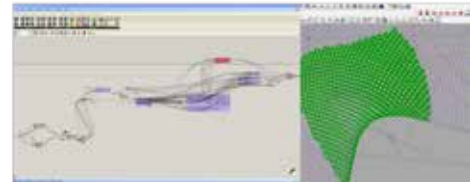
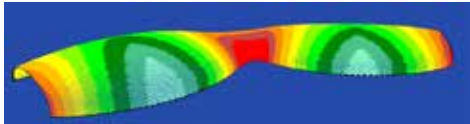


图17 特殊部位——直立锁边排水屋面

外幕墙表皮是建筑外墙上微观单元的组合,如何在宏观曲面上定位他们,并用可实际建造的方式实施他们是一个有趣的挑战。最初的设想是让表皮呈现出生物的鳞片状的形态,参数化设计会使形态设计与更为细小的构造单元设计直接地联系在一起,并且相互影响着。在操作层面,项目团队将为上一阶段划分的每个菱形网格赋予一个立体造型单元。菱形网格的划分是对曲面的细分,而每个网格上的单元形态的设计将最终积分成为对整体形态的重构,将宏观曲面划分与微观单元形态联系起来的是二者定位信息的相互关联,每一个单元形态会根据自己所处的位置发生变形,以适应其所在的曲面环境。这样的建筑表皮就好像生物鳞片一样具有有机的渐变形态。

经过最初的多方案比较,最终确定了以外幕墙单元周长大小为参数,在两个方向对增加外幕墙变化的方案。变化其一为每个单元片一端翘起,其二为在单元上开与所在单元周长呈反比的透光孔洞,这样周长越小的单元片开孔越大。由于最小的单元片位于中部连接体上空,这里开孔将最大,这与项目团队希望中部连接体有较大开放性的初衷不谋而合。

不仅如此,在深化阶段,项目团队还将幕墙构件的细节——从角码卡件到螺栓——全部建立可视化模型,进行了一次虚拟安装建造,避免可能发生的构件相互碰撞等不匹配情况出现。



英国学者克里斯托弗·琼斯认为设计发展史经历了两个重要的阶段:一个是原始时期的工艺演化阶段,一个是以图纸作为设计媒介的阶段。两个发展阶段的重要区别是设计工具的改变。BIM技术的出现标志着设计工具的一次变革,运用好这个新的工具才能使我们跟上时代的步伐。

—胡越
总建筑师
北京市建筑设计研究院有限公司

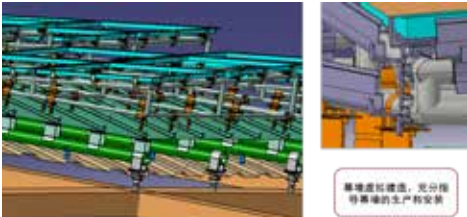
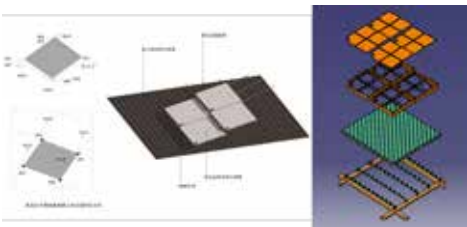


图18 外幕墙单元从逻辑到构件建模示意图

钢结构BIM设计

前一步参数化设计为项目的造型奠定了基础,但参数化形成的一整套逻辑体系和计算关系更多存在于虚拟世界中,而钢结构BIM的步骤则通过钢结构的构件化,将虚拟世界中的中心线和曲面等抽象的要素物质化起来。BIM强大的可视化模型最终使工程设计从虚拟走向实际的加工和生产,使项目团队直观的看到了完成后实际情况。

在钢结构深化中,北京市建筑设计研究院有限公司通过分析每一根空间杆件的曲率,发现杆件越是靠近下部支撑端,其曲率越大,相应的结构计算也证明,其相应的弯扭程度和内部应力也越大;而杆件越靠近顶端,其曲率和弯扭程度越小。因此项目团队将最下两段杆件设计为弯扭杆件,而上部为直杆件。这样,既符合了受力情况,又节省了造价,同时与观众更多更直观的接触网壳下部也是吻合的。类似的推敲也解决了复杂结

构在空间中出现的各种难点和节点，包括空中节点和落地节点等的一系列问题，完成了钢结构的设计。

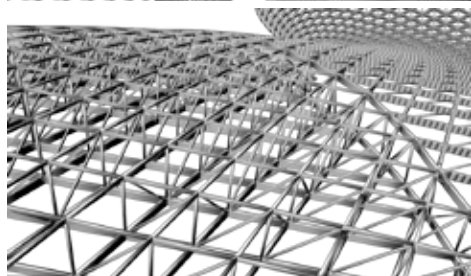
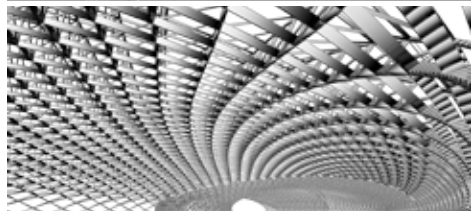
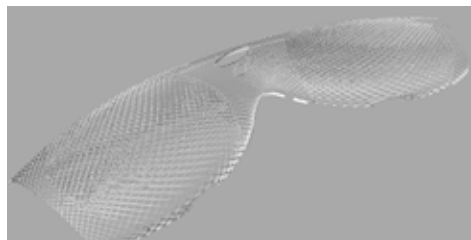


图19 钢结构布置形态

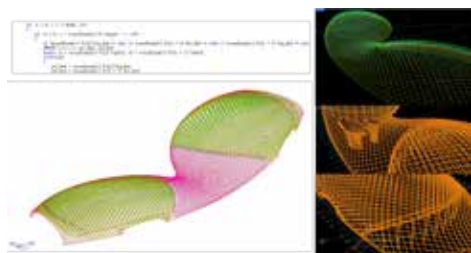


图20 钢结构从逻辑到杆件化

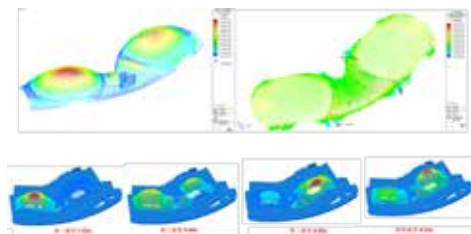
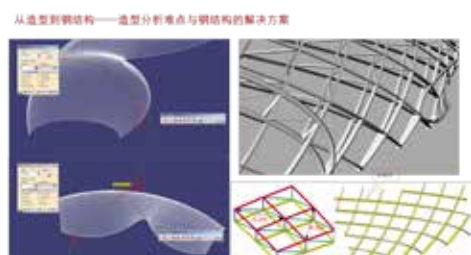


图21 钢结构受力



从造型到钢结构——造型分析难点与钢结构的解决方案

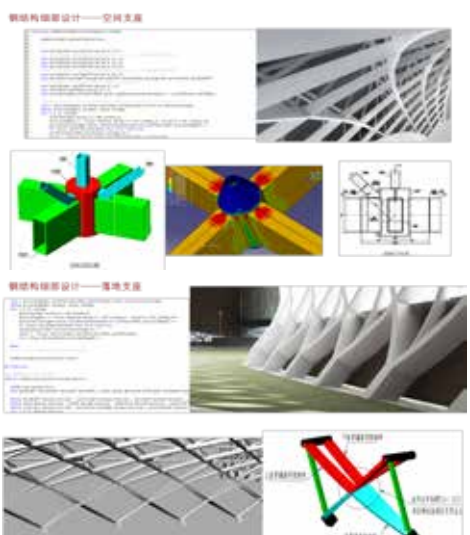


图22 钢结构杆件难点和节点设计

机电整合和节能设计

机电整合以及与之密切联系的节能设计，是该项目BIM设计的又一个重点。由于建筑造型复杂，可以想象将大大增加附着在复杂造型的机电管线的设计复杂性。在这里，北京市建筑设计研究院有限公司仍然通过BIM模型强大的可视化功能，将所有构件进行建模推敲，对他们之间的关系和是否碰撞进行检查检测，排除了二维图中难以发现的诸多问题。这些系统包括管线综合、空间管线以及雨水系统等。

不仅如此，项目团队还在设计之初就开始对建筑自身的复杂造型对节能的影响进行评估，在施工图阶段，运用了相应的软件对节能系统提出的设想进行了复核和检验。

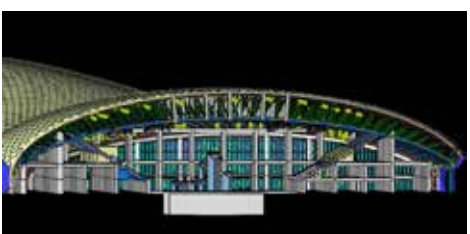


图23 双层网架内部管线系统布置和检查

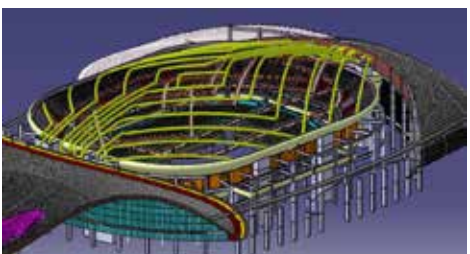


图24 游泳馆顶部空间风管布置

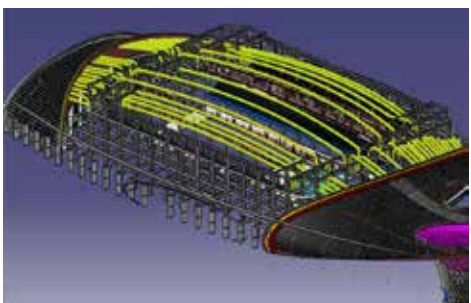


图25 游泳馆顶部空间风管布置

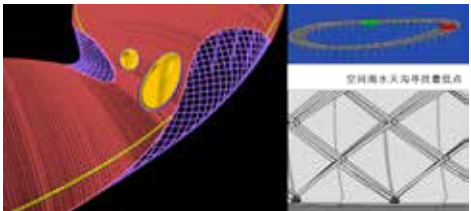


图26 空间雨水系统布置和检查

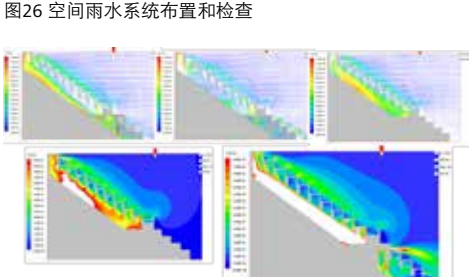


图27 室内风环境模拟

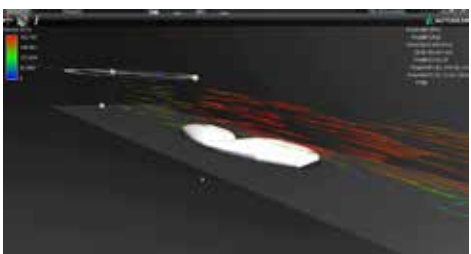


图28 室外风环境模拟

施工准备、构件组织和工程量统计

BIM应用的另一大优势是在复杂造型条件下，实际建造开始之前进行一系列的数据统计，以达到对构件相互关系的组织、构件数量的统计以及工程用量的统计，使设计方和施工方都能心中有数。可以想象，该项目在实施之前，各方面都会希望设计方提供相应的统计参考数据。北京市建筑设计研究院有限公司设计自身也希望通过数据统计掌握对造型和建造可调可控的内在规律。因此项目团队设计了一整套数据支撑体系，在设计完成前，提出一整套数据，未来可对建造进行必要的指导。

首先在全可视化模型中进行了全面的碰撞检查，其次分别对钢结构和外幕墙面板两个大的系统进行坐标定位和数量统计等。



图29 碰撞检查和数据统计

团队协作和设计输出

BIM的最终目的是使建筑工作者在面对日益复杂的建筑建造时，提出最有效率最具可行性的设计建造方法，使一切工作最终达到井然有序的状态。因此，如何建立有效的团队协作平台体系是BIM中不露峥嵘，但却是必不可少的环节。由于团队协作并不与软件相对应，因此团队协作更多的是一种协调机制而非单纯依赖软件的通用性，反之，软件的通用性却可以大大促进团队协作间的通顺性。杭州奥体中心体育游泳馆项目在跨越多种软件平台的同时，通过对文件系统命名，文件系统组织，在文件夹之间解决软件通用性的问题，达到各团队之间最有效协作。在这里，北京市建筑设计研究院有限公司建议各项目根据自身规模和需要，制定切实可行的协作平台等级，协作平台宜成为一个“必要复杂程度下最大程度简化”的系统。

三维向二维输出也是目前的一个BIM热点问题，对于该项目这样复杂的造型设计，项目团队相信三维直接输出将是最终解决方案，但在目前的行业现实中，仍然以二维输出为最终保存的媒介，因此整个团队也花费了相当的精力将三维模型组织为二维输出，并为此建立了一套出图体系，在输出环节上，北京市建筑设计研究院有限公司深感到软件的巨大推动作用，希望以欧特克公司为代表的软件供应商可以提供更完善的解决方案。

杭州奥体中心体育游泳馆项目的输出在传统二维图纸的基础上，增加了数据输出和BIM模型两个环节，在现阶段最大程度满足了各方各面的需求。其中的数据输出将供施工方直接引用和参考，而BIM模型对后期建造以及建成后维护都将产生积极的作用。

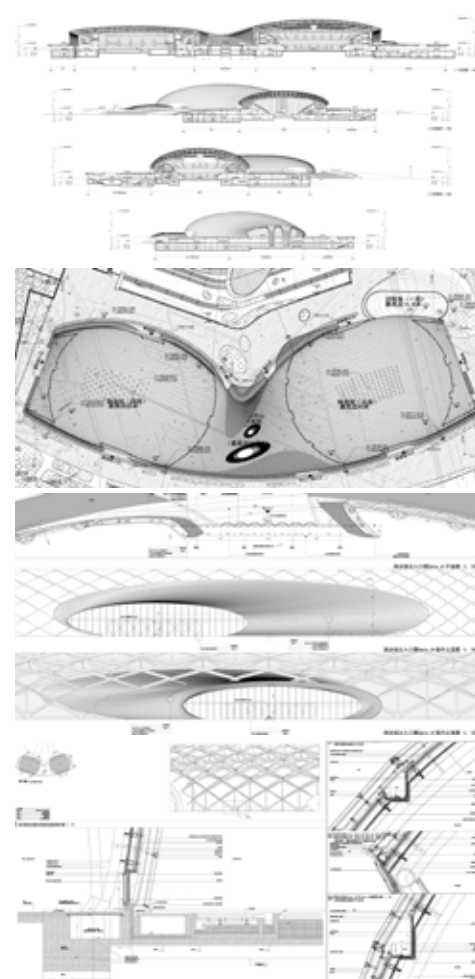


图30 输出的二维设计图纸



图31 输出的幕墙面板数据

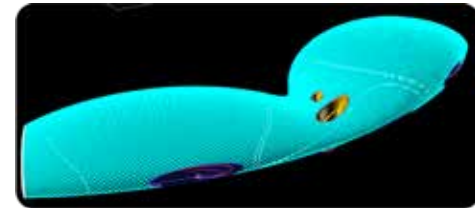


图32 输出的BIM模型

BIM是推动当前建筑设计方法的重要动力，对更好更有效率方法的执着是建筑师的一贯追求。

—陈宜
BIM研究室总工程师
北京市建筑设计研究院有限公司

总结

杭州奥体中心体育游泳馆项目具有高度的造型复杂性和内部空间复杂性，包含了幕墙、钢结构系统，比赛大厅、观众休息大厅，内部支撑结构、管线综合等各个方面。基于BIM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。北京市建筑设计研究院有限公司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，在逐步深化使用BIM系统的过程中也获得了一些感受：

- BIM是推动当前建筑设计方法的重要动力，对更好更有效率方法的执着是建筑师的一贯追求。对类似本项目的特殊造型工程，BIM应用不可或缺，也是解决空间曲面建筑的有效途径。
- 数学领域在建筑上应用的前景广阔，利用参数化平台，未来设计中更可能引入更多其他科学领域的理论模型，这将大大拓宽建筑设计的方法，并将推动新的建筑评价和审美体系的建立。同时，建筑师需要在传统图形思考的同时，学习适应数学和逻辑的思考方法。
- 通过BIM和协作平台的应用，让设计人员从小作坊工作形态下解脱出来，形成更细致更紧密更有利于配合的专业分工，有利于大幅提高大型建筑的设计工作效率。
- BIM应用很大程度上依赖于相应软件，软件平台的成熟性、便捷性能更好的对应建筑设计。