



潘辉

北京市建筑设计研究院有限公司方案创作工作室建筑师，BIM专业负责人，主要参与项目：英东游泳馆改扩建工程、奥体中心综合训练馆工程、山东济南历城区体育馆、游泳馆综合体工程、凤凰国际传媒中心工程等。

EXPLORING THE BALANCE OF ARCHITECTURAL GEOMETRY AND INDUSTRIAL PROCESS

探寻建筑几何与工业建造的平衡点 ——再论“计算”出来的建筑

撰文 潘辉 北京市建筑设计研究院有限公司

随着大规模的城市建设和众多标志性建筑的涌现，传统的以西方古典几何学为基础的二维设计方法已经不能满足当今复杂建筑形体的设计需求。因此，对基于数字平台的优化水平、BIM技术等新技术方法的研究已经成为必须，而建筑几何与工业建造之间的平衡问题是其中应首先要解决的重要课题。

记得几年前（2007年），我写过一篇拙文《“计算”出来的建筑——记某省体育建筑馆健身馆初步设计》，那时候对数字几何、工业建造、BIM等概念仅仅是一些很笼统的认识。通过近几年的设计实践，这些在我脑中萦绕的独立单元，慢慢能有机组合起来了。

下面通过研究弗兰克·盖里（Frank Gehry）的项目并结合自己的一点实践来具体介绍。

对于弗兰克·盖里设计手段的项目研究

Foundation Louis Vuitton坐落于巴黎西部的布洛涅森林，是一件很吸引眼球的建筑作

品（图1），包含艺术展览、报告厅、住宿等功能。建筑外表被一系列的玻璃罩棚包裹，可谓是由一系列实体元素（类似冰山）组成的建筑体，其间穿插着玻璃幕墙。这些罩棚可以起到挡雨和遮阳的作用，并由12个独立的结构支撑。罩棚面积最小500m²，最大3 000m²，总共将近13 400m²。每一个罩棚都是由两个可展开曲面组成，这些“原形”来源于有机玻璃制作的物理模型。

基于盖里独特的设计手段，即物理模型—三维扫描—数字模型，罩棚的实体模型是以可展开为标准而制作的，但是由于有机玻璃的材料特性及约束方式，使其中一些变成双曲面。这些物理模型随后通过3D扫描及曲面重建而变成最终的数字模型（此过程在机械领域叫做“逆向”，其实同汽车工业的设计方式十分类似）。在数字模型的重建中，绝大多数的曲面将被有理化成真正的可展开面，但是一些靠近端部及转角部分的双曲面将被保留。由

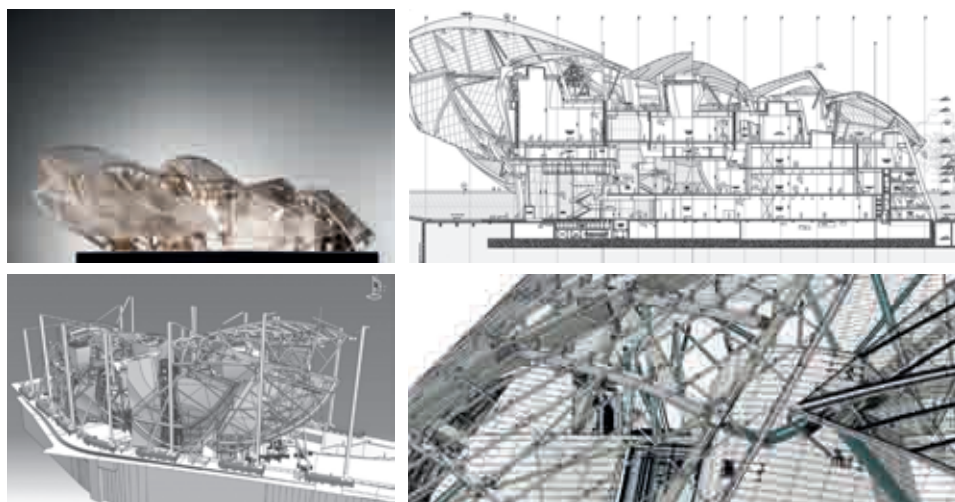


图1 Foundation Louis Vuitton

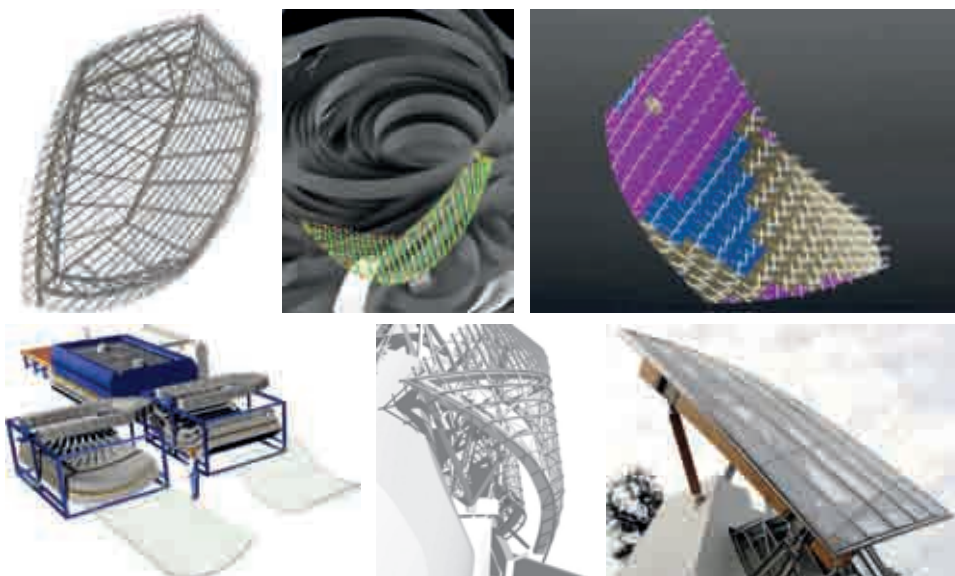


图2 基于数字分析的面板优化

于目前加工水平及经济等因素的限制，曲面最终被优化成较大面积的可展开的圆柱曲面，通过对原有曲面的容差控制，试图在设计—建造—经济等诸多因素中找到一个大家均可接受的平衡点。这些优化工作在设计的过程中依靠Gt团队，利用强大的Digital Project数字BIM平台——实现。设计曲面多数被优化成柱面，完成面板优化过程（图2）。

罩棚的幕墙支撑系统概念，对于本项目是一个巨大的挑战。首先，很难通过大范围的变量来适应这种无重复性的几何造型；其次，幕墙系统很难适应各个组件的几何容差，包括玻璃面板、玻璃肋、次支撑结构。从纯几何的角度讲，玻璃肋与次支撑结构（二次结构）在理想状态下应该基于设计曲面的几何网格。但这会导致形成扭曲截面，在加工构件阶段会带来过度的时间消耗和造价提高等问题，此类问题

在凤凰国际传媒中心幕墙工程中也同样碰到。因此，需要采用平面近似的手段来解决不同位置组件的自适应问题。通过幕墙系统组件节点设计解决了柱形玻璃面板曲面近似与玻璃肋、次支撑结构平面近似之间的有机结合，达到了设计与建造之间的平衡（图3）。

盖里成熟的设计流程及强大的咨询团队保证了最终设计产品的高完成度。通过对材料以及现有技术的熟练掌握，天马行空的建筑设计由纸面逐渐变为现实，高度的全程控制、利用数学理论的优化手法、对现有工业建造程序的改良是保证建筑设计最终效果的先决条件，这也是国内建筑师、工程师、承建商、制造商应该学习的。

项目1 山东某体育馆、游泳馆综合体工程（2006）

本项目是我最早进行数字建筑实践

的项目，我在其中主要担任BIM专业负责人。建筑通过一片完整的巨型金属屋面将体育馆和健身馆覆盖其下，中间利用灰空间进行两馆的过渡与联系。可以说，这个巨型屋面是本案的一个亮点，更是一个十分突出的难点。此外，本项目的另一个特色就是外围护结构为大面积全玻璃幕墙系统，由于整个平面呈一个椭圆形而且上下两个椭圆虽然同中心，但长轴并不相同，所以整个幕墙类似一个椭圆台。

在做初步设计期间，我利用纸粘土进行工作模型的塑造，由于当时的技术限制，并没有像盖里那样进行专业三维扫描得到逆向曲面，而是先掌握屋面的造型特点，也就是对模型进行分解，找到了分模线的位置，通过参数化手段对曲面进行调解（主要是连续性）。通过Rhino中宏观的曲面分析，利用Paneling tools将屋面进行面板的划分。由于屋面所用材料为铝

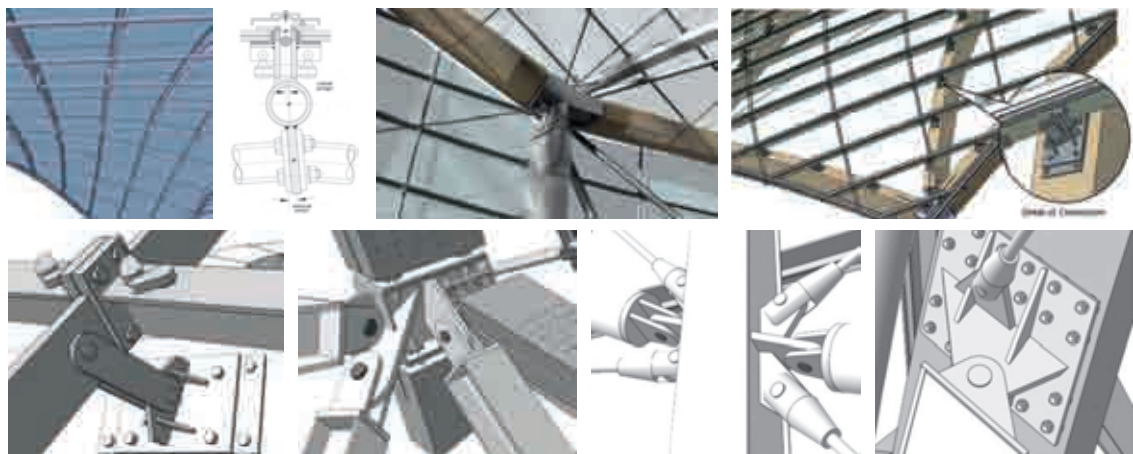


图3 Foundation Louis Vuitton利用数字优化幕墙支撑系统制定加工方案

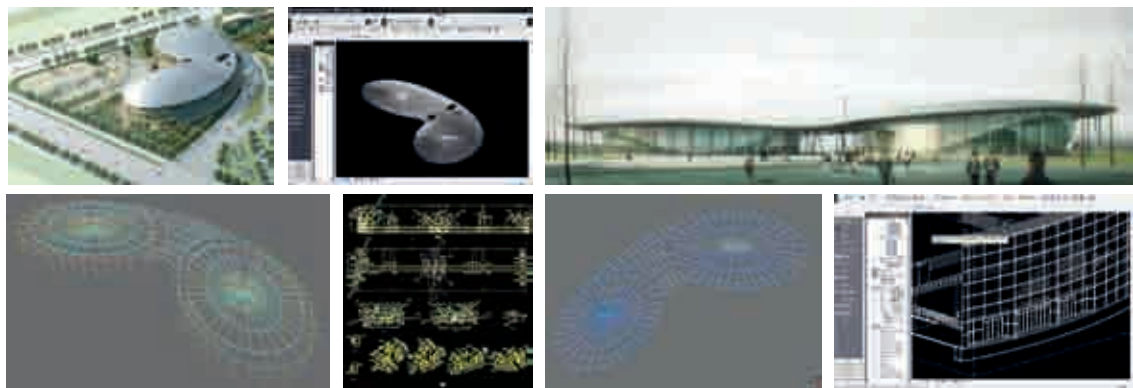


图4 山东某体育馆、游泳馆通过对屋面几何形体的研究分析制定优化方案

镁锰金属屋面板，材质本身具备良好的柔性，所以对于屋面曲面的几何特性要求降低。在最终施工前，屋面专业厂家利用设计方提供的分板模型进行深化设计，保证了设计过程的完整性（图4）。

曲面的数字模型将作为原始的数据，是屋面及结构设计的依据。由于Revit可以读取其他造型软件输出的SAT格式文件作为体量模型，所以屋面信息化模型的生成就变得比较简单。通过Revit的面幕墙系统，将屋面进行面板的划分，基于Revit系统的BIM平台可以自由地对屋面板的尺寸进行划分，得到具体面板数量及尺寸，为施工图具体设计提供可靠数据。

由于两馆幕墙系统的特殊性，即为上下不同椭圆截面的椭圆台体。大的思路同屋面基本类似，即首先通过一个体量作为幕墙整体的模型控制，然后利用Revit的面幕墙系统对体量进行分割。由于幕墙主体是一个变截面的椭圆台，因此给幕墙表面的分割带来困难，而且椭圆的形式对于柱网以及今后施工放线都不是很方便。对

此，我们通过将椭圆分解成四心圆的方法解决了这一难题，这样在一组单体中就有了4个圆弧轴网，它们大小相等、互相对称，这无疑给幕墙的分割带来了极大的便利。我们将每一组的圆弧面（共四组）进行等分，通过几何分析，根据上下不同圆弧长度进行等分推导出竖挺的轴线位置，调整设计截面形式，做出幕墙。而且，通过Revit信息化模型的特点，幕墙分割大小以及幕墙横、竖挺形式都可以根据建筑造型的需要方便更改。这一点让我们看到了BIM的强大与便捷，值得一提的是，在后来的深化设计中我们还修改过体量族的大小，幕墙系统也实时更新，包括所有的平面图、剖面图、立面图等都完全实时变更。可以说，我们从始至终一直关注的是设计本身，而并没有太多注意图纸。

项目2 凤凰国际传媒中心工程（2009）

在凤凰国际传媒中心项目中，我是设计人之一和幕墙的数字化负责人，同时负责协调外部的BIM团队、设计方以及制造

商。下面谈谈自己在此项目数字化实践中的体会。

凤凰国际传媒中心是凤凰卫视在北京的总部基地，其建筑外形为基于Möbius Band概念的曲面——一个自由连续的曲面。此曲面作为基础控制曲面，外幕墙系统的生成逻辑正是基于这个曲面进行深化设计（图5）。如果仅仅运用传统方法进行幕墙分格设计，势必导致幕墙面板全部异型且均为双曲面板，使后期幕墙深化工作难度加大，工程造价呈几何级数增加。通过多次比对研究，最终选择单元悬挂式玻璃幕墙体系作为外幕墙结构系统。本项目中3 000多个幕墙单元各不相同，而每个单元由30多块不同尺寸的铝合金板材组成，所有幕墙单元构件的数量超过了9万个。而且建筑构件之间具有异质连续性的特征，看起来极为类似，但实际中每个构件位置是唯一固定的。

幕墙基本单元通过主控制线和次控制线的交点与耳板控制线之间的关系来定位，并通过与基础控制曲面之间进行控制

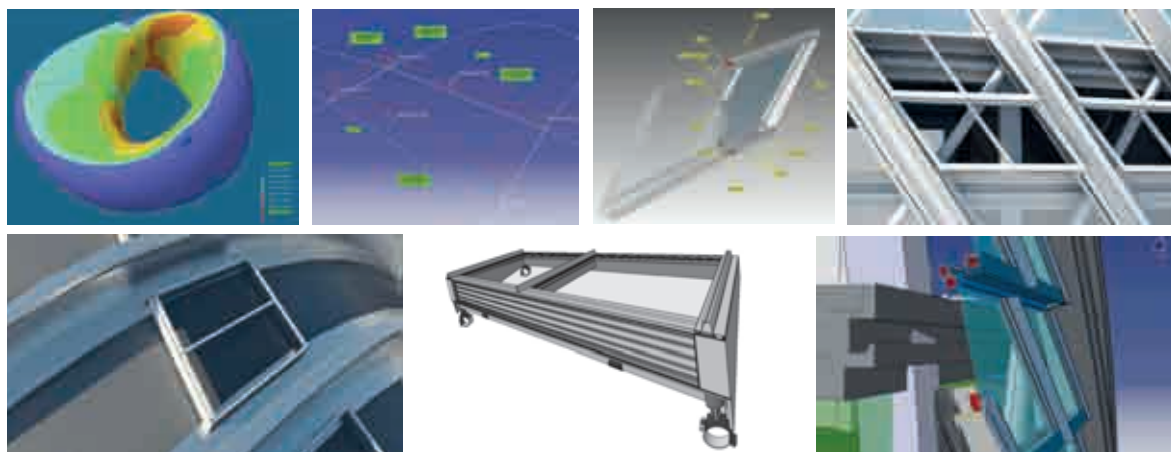


图5 凤凰国际传媒中心基于Möbius Band概念的曲面

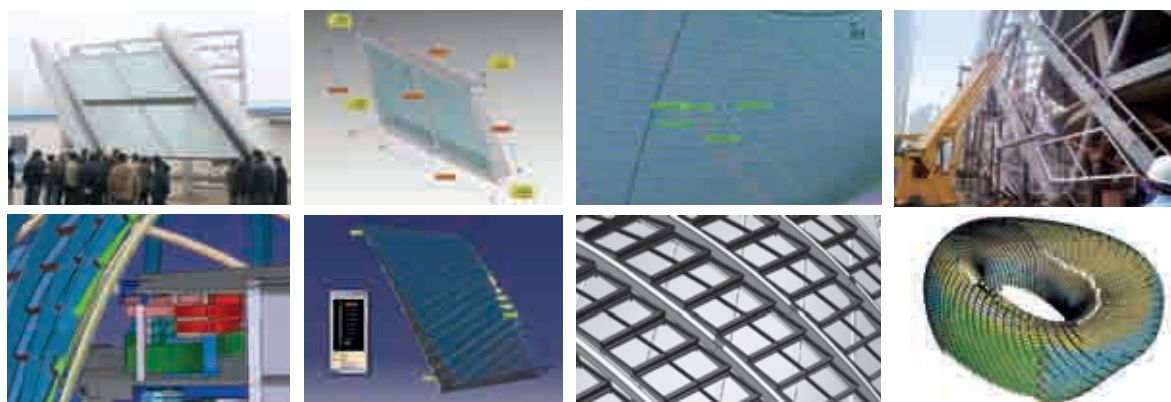


图6 通过构造设计，采用容差拟合的手段来解决不同位置组件的自适应问题

计算，构造出单元幕墙控制框架，形成一个类似簸箕的形体；运用几何优化（其中大量运用了计算几何的知识），最终保证单元幕墙各个表面均为平板（玻璃及铝板），并保证玻璃面板与下侧封板之间的垂直关系。由于幕墙体系采用Digital Project全BIM平台进行控制及输出，每个幕墙都会有唯一的ID号，其包含了幕墙所有的数字信息和参数控制信息，包括幕墙单元参考定位点坐标、各个面板相关尺寸、面板中心线与曲面的角度等众多信息。再依据编号将其归入某一个“类”或者“集合”之中，进行管理、统计、调用和输出。当建筑构件发生变化，数据库也随之更新。最终深化设计厂家拿到设计方提供的大量Excel表格和数字模型作为设计依据，从而进行相应的详细设计。同时，还要将深化设计成果——加工模型与设计方提供的模型进行比对，所有BIM信息均与设计方保持一致。

此项目实践中，数字技术帮助我们构建了基于Digital Project的协同设计平台。借助数字化平台，建筑师、结构师、

生产厂商、实施单位可以在同一平台同步、高效地深化设计，设计方案的任何更改都可以实时传递给各专业，并在第一时间得到反馈成果，最终使设计方案在动态调整中达到各方平衡（图6）。

总结

通过近几年的实践，我深深感觉到建筑几何在建筑设计过程中的重要作用。通过在设计初期对建筑几何构成逻辑的研究及构造几何方法的控制，能够使后期建筑详细设计阶段以及建筑建造阶段的一些工业加工问题得到很好的解决。因此，探寻建筑设计数字几何与工业建造的平衡点是考验新时代建筑师的又一重大课题。同时，BIM技术和三维协同真正实现了虚拟建造。它改变了传统的借助二维视图来表达设计思想的设计方法，也区别于普通的三维表现技术。它既是矢量化的成果，也具有智能联动和数字编程的条件，可以使复杂建筑的设计工作有效简化，从而使工程的生产、建造与运行工序大大受益。AT

参考文献

- [1] Advances in Architectural Geometry 2012, ISBN 978-3-7091-1250-2, Springer Wien, NewYork.
- [2] ARCHITECTURAL GEOMETRY, Published by: Bentley Institute Press Bentley Systems, Incorporated.
- [3] Building Information Modeling-BIM Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations, McGraw-Hill, 2008.
- [4] Geometric Computing for Freeform Architecture, Johannes Wallner_1;2, Helmut Pottmann.

参考网站

- [1] <http://www.gehrytechnologies.com/>
- [2] <http://albertopugnale.wordpress.com/>
- [3] <http://causalocuta.blogspot.com/2011/07/rainfall-simulation-kangaroo.html>
- [4] <http://rhizome.org/announce/events/59208/view/>
- [5] <http://lab.modecollective.nu/lab/introduction-to-parametric-design-for-architects/>
- [6] <http://gracefulspoon.com/graphic.html>
- [7] <http://zh.wikipedia.org/>