

# 基于数字化技术的复杂曲面整合研究设计

## ——以大型公共建筑工程实践为例

李琪 张冰

南京大学建筑规划设计研究院有限公司

**摘要：**本文通过对国内外复杂曲面造型建筑的剖析和批判性思考，对国外优秀案例的解读和南大设计院张冰土木方工作室实际创作中设计实践的梳理，归纳了参数化、反向影响、数字化平台、编程等设计策略的运用，以及总体逻辑、空间关系、建筑结构三个方面对整合设计的实质性的提升与优化。

**关键词：**复杂曲面；参数化；工程运用；整合；反向影响；数字化平台；编程

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.21.100

### 一、背景

天才建筑师安东尼奥·高迪（Antonio Gaudi）说过：“直线属于人类，而曲线归于上帝。”近年来伴随着高迪的继任者—Zaha、UN-studio、Coop Himmelblau等先锋事务所相继有惊世骇俗之作在国内落地，复杂曲面建筑备受关注，国内设计单位竞相模仿，然而设计中错误的堆积性往往造成整体的失控和返工，最终落地效果也往往差强人意。<sup>[1]</sup>

复杂曲面设计不仅外形有机，其与内部的逻辑关系和相应结构体系、细部处理等也应忠诚的和谐统一，这也更符合人文主义的初衷和技术进步的期待。这正如一辆豪华超跑的打造，其流线型外壳是建立在反复风洞实验模拟的基础上，也与内部机器位置、功能空间有高度的统一设计，看似夸张的进气开口实则是满足内部引擎吸气的外在自然流露，绝非矫揉捏造。复杂曲面的设计应为使用者提供完整的空间感知体验，而非仅仅一个哗众取宠的外壳。

国外相应研究开展相对较早，复杂曲面设计和深化发展体系以及相依靠的技术平台更为成熟。弗兰克·盖里（Frank Gehry）在90年代初设计毕尔巴鄂古根海姆博物馆时，为了描述复杂曲面的三维关系，引入了航空设计软件CATIA，这不仅使得非笛卡尔坐标体系的描述更加直观可控，也使复杂曲面的设计不必受限制于标准构件的重复使用：参数化的编程设计和输出，使得各不相同的异型构件直接由工厂进行数字化加工，全数字化平台的应用使得整套方案经济可行。这一成功的先例之后，复杂曲面的设计借助各式各样的数字化平台走出了纸上，并逐渐进入我国。<sup>[2-3]</sup>

### 二、设计策略分析

以落地的大型公建设计为例，以完善复杂曲面与结构体系的整合设计为目标，基于数字化技术的平台，探索更优雅的设计解决方案。<sup>[4-5]</sup>

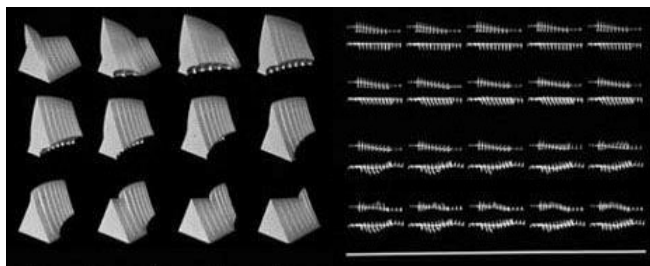


图1.1 Greg Lynn对某展馆给出的复杂曲面输出图表，结构呈渐变状跟随曲面

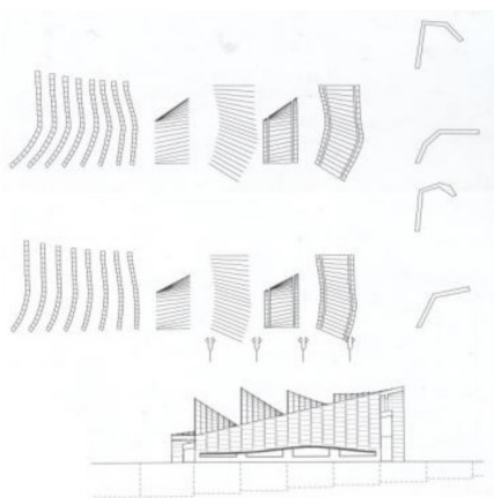


图1.2 复杂曲面结构优选深化

#### 1. 复杂曲面与结构系统的整合呈现。

多维度参数的量化分析和设定，可以让建筑师有选择的决定复杂曲面与结构系统的协作呈现模式，并反映在多层次的结构体系中：土建结构，幕墙结构，装饰结构。对于复杂曲面的结构体系给予参数化的建构展示，而非完全简化为线性模拟，本身就是一个探索复杂曲面与结构体系整合的新思路。<sup>[6]</sup>

#### 2. 复杂曲面对空间的忠实还原

空间的固有形式并非只能是规则的方形体量，这只是设计和绘图简化的结果。复杂曲面三维变化为其本身

的优点：方形空间无法比拟的空间生动性。常规做法对曲面外形和内在空间的脱离，使得这一空间生动性被阻隔于空间使用者感知之外。借助数字化平台的整合，可以提供给使用者忠实还原的相应空间感知。

### 3. 结构系统对复杂曲面的反向优化。

常规的对于复杂曲面的深化只能简化为线性拟合的常规做法，例如复杂曲面的出挑部分，其支撑若简化为悬挑梁或平行桁架，在设计开始则已经定义为厚重的出挑体量。借助数字化平台进行三维模拟分析，出挑部分断面可以呈现渐变收窄的效果，从而将设计定义为轻盈的语言。

### 4. 注重工作过程逻辑而非渲染图导向的整合思维

参数化和工作方法更强调思考的过程，<sup>[7]</sup>起始于依托结构找形的整合逻辑，有别于渲染图导向的简单模仿塑形。

## 三、研究方法与平台推进

### 1. 针对具体问题的软件编程解答方法

这是构成数据库的基本组成单位，也是本研究计划回应工程现实和解决实际问题的基本所在，需要深入学习和借鉴编程语言，回到项目上运用。本研究计划主要采用现有软件平台的二次开发编程，主要包括犀牛软件内语言脚本Rhinoscript、Monkey、Grasshopper编程应用，以及新型空间结构的优化插件karamaba、Millipede、Ameba、rhino VAUL、Topot。

### 2. 实际反馈逆向推理的方法

本研究为问题导向型研究，工程实践中具体问题给出的解答难免有意想不到的纰漏，错误的出现将第一时间反馈呈现在编程语言上，逆向推进核查优化。形式的失望，结构的报错，空间的欠缺，cnc数控机床提示的bug，都将是逆向推理的驱动因素。

3. 对于国内外先进编程语言和软件知识的主动探索和阅读学习的方法

着重针对国际先锋事务所的新技术、新应用进行探索，借鉴新的设计思想和经验。

平台的推进包括但不限于以下特性：

### 1. 多维数字量化的技术平台

运用多维度的参数量化描述设计，将项目文脉、理念、形式等感性因素量化翻译到多维的参数化控制因子，并反映到结构中。常规设计中许多控制因素只能由设计者感性区分，例如两个曲面连接处的平滑程度，对整体设计有重要影响，但常规设计只能定性描述。<sup>[8]</sup>

### 2. 多接口的正向联动优化平台

复杂曲面设计中需要考量的结构因素灵活多样，例如由复杂曲面生成的超高层综合体设计，需要考虑风环境和风荷载的作用影响。借助数字化平台，流体力学分

析可以在第一时间介入结构评价，从而在建筑概念设计与结构找形之间搭建了一座桥梁。<sup>[9]</sup>

### 3. 同一时间多可能性的解答和优选

在常规设计中，设计者在自己也不太确定做出正确选择的时候，往往会给出比选方案。究其原因，是因为在同一时间确实存在合理程度相似但方向不同的解答。借助参数化平台，给定如前所述的量化限制条件之后，计算机可以给出多个合理的不同方向的解答，从而反向激励设计者给出更切题的设计取向。

## 四、项目实践与思考

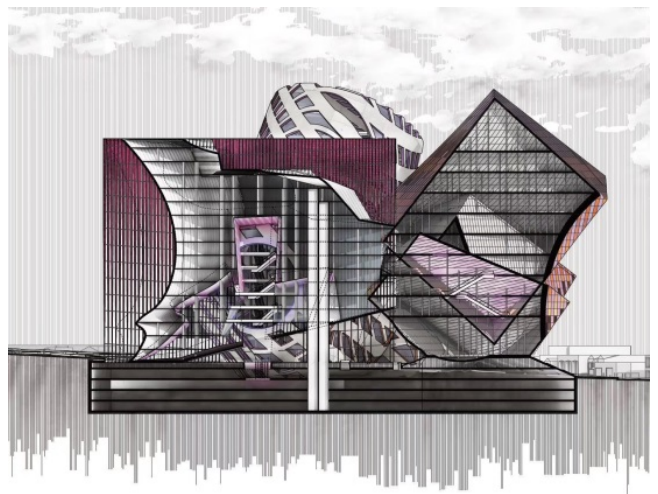


图2.1 作者在伯克利的毕设剖面



图2.2 复杂曲面由数字化平台直接输出至3D打印机

加州大学伯克利分校是美国最著名的综合性大学之一，其下辖的建筑学院亦名列世界前茅。伯克利非常重视多学科领域的整合研究，在我曾就读的建筑专业，建筑学与其他专业和新兴技术在设计初期的整合工作即已开始整合，而非简单在后期被动引入其他学科。建筑学中复杂曲面的研究设计一直为热点之一，其与计算机科学、结构力学、流体力学一直有颇具深度和前瞻性的合作设计思考、通用逻辑框架和数字化技术平台。

Gensler事务所是国际上最早引入数字信息平台的

事务所之一，在实际工作的包含复杂曲面的大型综合体项目中，数字化工具只作为正向设计平台，从设计开始即融合其他设计考量因素，而非后期逆向检查，工作流程上实现了整合设计的初衷。

在伯克利读研和Gensler工作期间，作者接受了良好的数字化设计的逻辑教育和技术培训，并一直在工程实践中保持应用，这为我在南大设计院参与大型公建中复杂曲面的处理打下了坚实的基础。



图2.3 “国家极限运动深水训练基地项目”，复杂曲面与山脉融为一体

在南大设计院的“国家极限运动深水训练基地项目”这一大型非线性公共建筑的设计工作中，建筑复杂曲面在三维空间中的发展和控制、复杂曲面细部参数化设计及其与其他工程专业的关系处理，均借助于数字化平台的帮助，工程实践中复杂曲面的建筑形态有机的与实际使用功能结合，并反向启发重要空间的二次设计，如入口门厅、比赛场馆大厅的室内空间效果感受。

### 五、综合研究方法的展望

1. 结合我国实际，阅读国内外相关的科研文献和工程资料。

科研文献研究着重于新型数字平台的设计和开发。工程资料研究一方面着眼于先锋事务所的辅助案例，另一方面结合我国实际情况，分析现有工程存在的问题和瓶颈，作为下一阶段改良优化的起始点。

2. 归纳分析现有问题和瓶颈，并在数字化平台中提出多样化的解决途径。

多样化的解决途径包含但不限于数字化平台建模和语言编程。数字化平台建模包含物理模型优化和信息反馈优化；语言编程提供从整体控制到局部细化的完整逻辑。因为项目和要求的未知性，其他的解决途径也可能出现。

3. 深入研究数字化平台创新设计和编程语音

“工欲善其事，必先利其器。”结合上一阶段的要

求，在计算机软件中研究数字化平台的应用，解决不可避免的各种bug，优化编程，整理出针对具体问题难点的解决路径，并在下一阶段不断优化。

4. 在现有工程中加以实践运用。

结合前期的知识积累和平台搭建，在新项目中具体分析问题，在满足业主和人民群众需求的前提下，充分考虑各种工程和人文因素，应用复杂曲面参与建筑设计之中。在后期深化与反向优化工作中，发挥数字化平台独有的特性和优势，结合工程实际提供经济可行的优雅解决方案。

未来的难点、需求无法预知，所接受的挑战也充满未知。然而建筑师应始终忠诚于建筑和结构的有机关联，建筑和结构的整合不仅是技术需要，更重要的是逻辑统一，建筑、结构和其他功能要求的高度整合，也是建筑学在哲学方面的追求之一。

图片来源：

图1.1, 1.2: [www.giform.com](http://www.giform.com)

图2.1, 2.2, 2.3: 作者自绘及拍摄

### 参考文献

[1] 陈稷, 李玲玲. 大空间建筑形态与结构一体化设计研究——以新疆大学体育中心方案设计为例[J]. 建筑与文化, 2019(04): 188-189.

[2] 傅先恺. 基于BIM的非线性建筑设计研究[D]. 北京交通大学, 2018.

[3] 孙澄. 数字化建筑设计与建造[J]. 城市建筑, 2017(04): 3.

[4] 高峰. 当代西方建筑形态数字化设计的方法与策略研究[D]. 天津大学, 2007.

[5] 王征. 结构技术影响下的当代建筑形态创新研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2013.

[6] 耿多. 格雷戈·林恩数字化设计方法研究[D]. 北京建筑工程学院, 2012.

[7] 袁烽. 数字化2.0——从数字范式到数字文化[J]. 城市建筑, 2015(28): 3.

[8] 张向宁. 当代复杂性建筑形态设计研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2010.

[9] 王倩, 戴航, 高青. 从结构找形看建筑的物质文化[J]. 建筑与文化, 2019(01): 168-169.

(作者: 李琪, 南京大学建筑规划设计研究院有限公司中级建筑师, 加州大学伯克利分校硕士;

张冰, 南京大学建筑规划设计研究院有限公司副总建筑师, 东南大学博士)