



石峰

上海华都建筑规划设计有限公司建筑二所副所长，国家一级注册建筑师，毕业于上海交通大学建筑系，主要参与项目：襄阳大剧院、东莞寰宇汇金中心凯越、凯尊大厦、五亭龙商务广场、克拉玛依工程教育基地体育场、新世纪星城、新世纪颐龙湾等。

PARAMETRIC TECHNOLOGY APPLICATION IN XIANGYANG THEATRE

“参数化”在襄阳大剧院设计深化过程中的实践应用

撰文 石峰 上海华都建筑规划设计有限公司

1 关于“参数化”及“参数化”分类

广义而言，凡是通过特征“参数”提取动态描述设计对象，并在一定逻辑框架驱动/约束下实现动态化、关联性干预设计过程的方法都属于“参数化”范畴。近年来，建筑领域常用的很多计算机辅助设计软件都逐渐有了向参数化方向发展的倾向。而根据其中逻辑框架设定模式的不同又有所区分，笔者姑且称之为“被动参数化”与“主动参数化”。

所谓“被动参数化”是指对可调节“参数”的逻辑约束更多地依赖于“软件”预先设定的几种特定模板或模式（典型的如：Revit中的“族”，AutoCAD中的“属性块”等），使用者对“参数”的自定义受到“软件”既定规则的约束。这种规则的存在，一方面起到逻辑导向的作用，引导使用者如何把具体问题数字化；另一方面也起到对信息分门别类的作用，使得大量的信息被纳入到一套相对统一的语汇体系，给整个信息链（数据）的完整保存、不断完善和连贯利用创造了可能。从这一意义而言，BIM（建筑信息化模型）更多地体现出“被动参数化”特征。

相对的，“主动参数化”是指软件本身仅提供平台、语言和语法，除此以外使用者可以更自由、更主动地按照自己的思维方式设定驱动/约束的逻辑框架（以Grasshopper为代表）。早年的“主动参数化”更多地依赖计算机编程技术，需要通过编制专门的程序脚本才能实现，对一般

设计者形成了一定的技术门槛。而近年来，随着Grasshopper等可视化节点式编程平台的出现，“主动参数化”在人机交互界面上有了质的飞跃，大大降低了使用者的技术门槛，这也是“主动参数化”工具在建筑设计领域应用得以爆发式增长的一大诱因。

襄阳大剧院项目在方案深化阶段更多地应用了主动参数化工具——Grasshopper，进入后期工程技术阶段则更多地使用了Revit等BIM软件进行深化。本文主要探讨了Grasshopper在该项目深化设计过程中的应用。

2 襄阳大剧院项目参数化设计的应用实践

作为一个城市的“文化名片”，剧院类建筑无论是从外观造型还是内部功能都被赋予了更多的文化、经济、政治诉求。加之剧院类项目本身的专业技术条件复杂，头绪繁多，更使其成为一种最考验设计团队“内外兼修”功力的建筑类型。

襄阳大剧院项目位于襄阳市汉江和唐白河交汇处的东岸，是襄阳市东津新城起步区的地标性建筑。由于该项目区位特殊，西、北两面与襄阳旧城区隔河相望，东、南两侧被规划中的东津新区CBD核心区包围，整个规划态势要求其成为一个“五面皆景”¹的核心地标。经过多轮的方案比选，最终确定的方案是一个中心对称、多瓣盛开的“水晶之花”造型（图1）。



图1 襄阳大剧院效果图

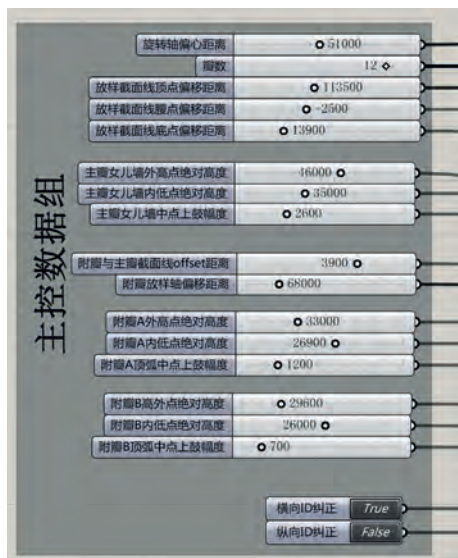


图2 主控数据组

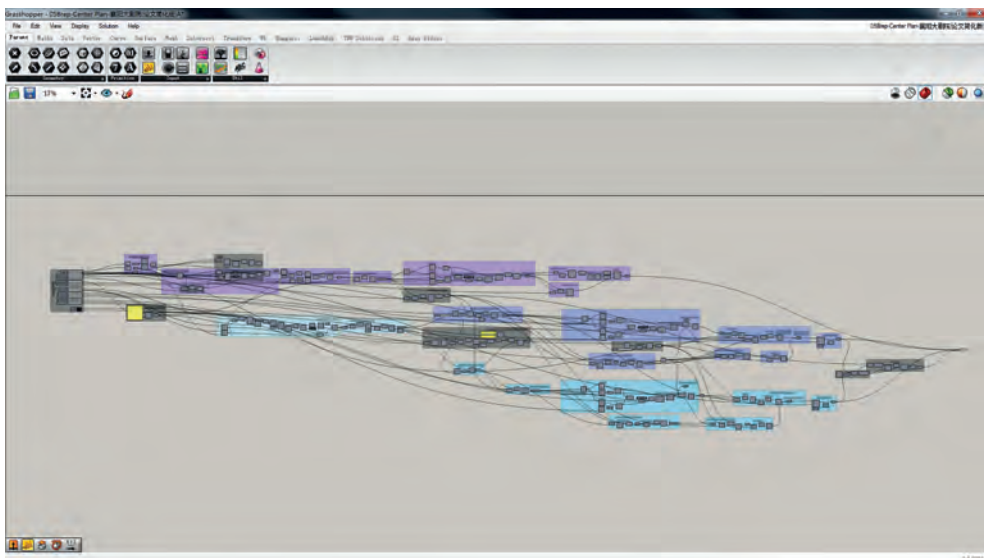


图3 Grasshopper花瓣造型模块

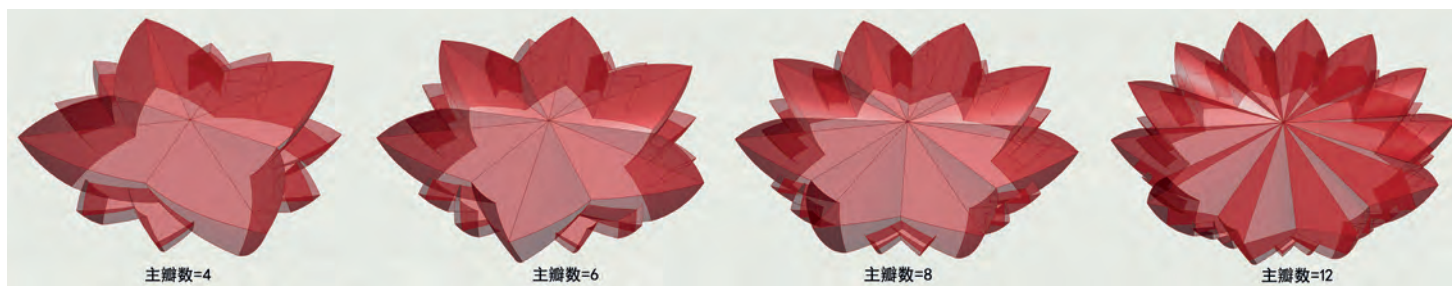


图4 瓣数比选

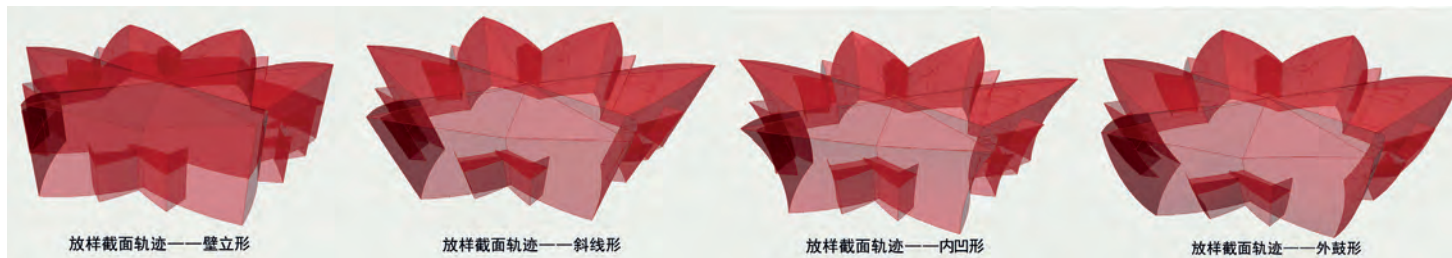


图5 放样截面比选

在该项目具体落实过程中，除了外围输入条件的不断变化以外，设计本身的变动要素也比较多，且各要素之间紧密相联，相辅相成，牵一发而动全身。为了提高工作效率，该项目在如下三个方面应用了参数化设计工具：1）双曲花瓣造型的形体推敲和曲面定位；2）曲面幕墙拓扑细分及平板拟合，以及相应钢结构支撑体系的初步定位；3）观众厅席位的视线分析。

2.1 造型控制——“参数化设计”在建筑形体推敲和曲面定位方面的应用

襄阳大剧院项目在塑形方面的难点并不在于单片曲面的构建，而更多地体现在多组双曲面相互交错、互有关联所带来的形态不稳定性。如采用传统设计方法手动进行调控，一旦某一条件发生变化，将引起整个形体的连锁反应，工作量十分可观。因此在方案定型阶段，优先考虑使用

“参数化”工具，设定16组参数分别对“花瓣”的主瓣及多组附瓣的放样截面形状、旋转轴偏移距离（相对主镜像轴）、瓣数、瓣顶女儿墙弧线形状等进行数字化描述（图2），并通过一定的绘图逻辑相互串联，实现动态调节、关联修改及多方案比选（图3~5）。

需要指出的是，在塑形逻辑的选择方面，实现“花瓣”造型的方法有很多，其中有两种比较容易实现：其一，从各层截面入手，通过逐层缩放或沿弧线路径放样获得曲面；其二，从立体形态入手，通过截面线沿特定轴旋转获得各向均质基本曲面，再通过阵列和相互剪切的方式确定形体（图6）。这两种方式所获得的形体在视觉上相差不大，均能满足要求，但在曲面自身的UV结构组成上却有着本质的不同，前者曲面UV结构随着放样平面的逐层变化呈“渐开

状”，各UV单元两两不同；而后的曲面UV结构则是单向均匀的，同纬度各单元相等。为了尽可能降低幕墙施工难度，避免因幕墙双向曲率不均而导致后期幕墙单元规格过多的情况发生，本项目采用了第二种构成方式。

此外，为了方便后续BIM工作的跟进，考虑到Revit并不擅长曲面的二次编辑和曲面自身UV结构的再调整，除了主要建筑形体的构建外，更多的曲面相互修剪和开洞等细节工作均在Grasshopper和Rhino中完善，再经过SAT格式的交换进入Revit深化，具体工作本文不作赘述。

2.2 表皮拓扑——“参数化设计”在曲面幕墙单元细分及平板拟合方面的应用

大剧院的各瓣幕墙整体呈现双曲面姿态，但是如果各幕墙的所有细分单元也均为双曲面的话，即意味着全部需要三维数控定

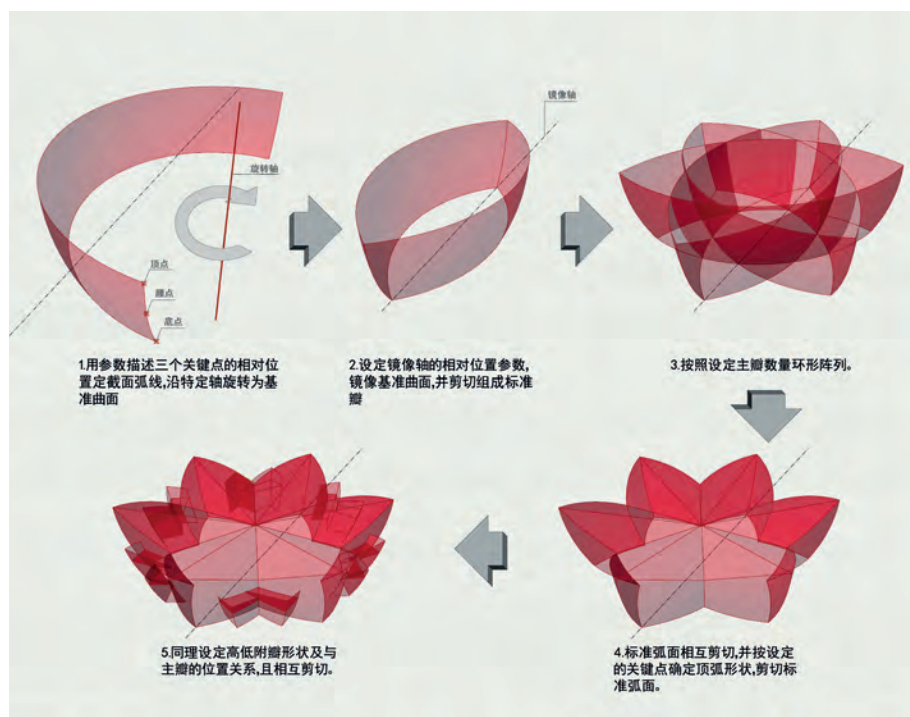


图6 造型确定步骤

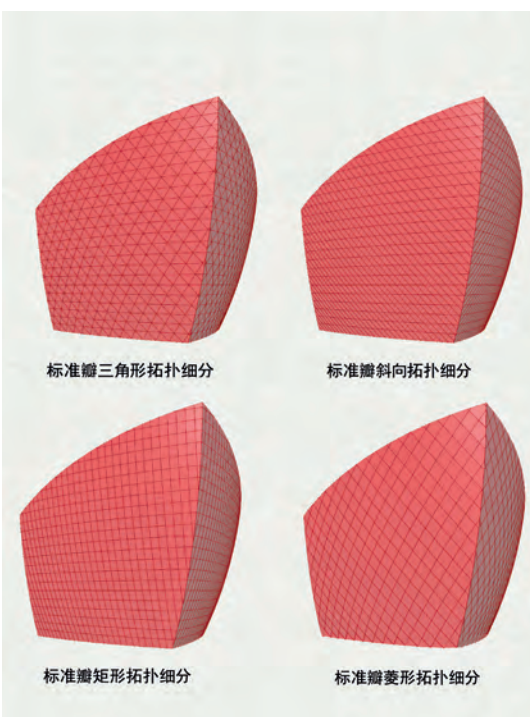


图8 拓扑细分样式比选

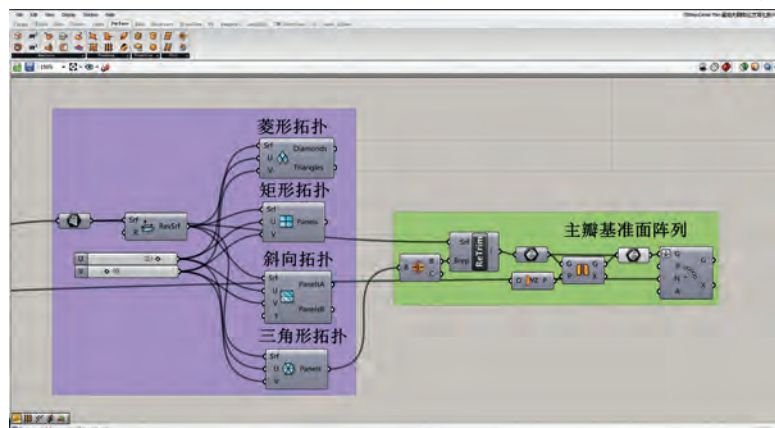


图7 Grasshopper拓扑细分运算器

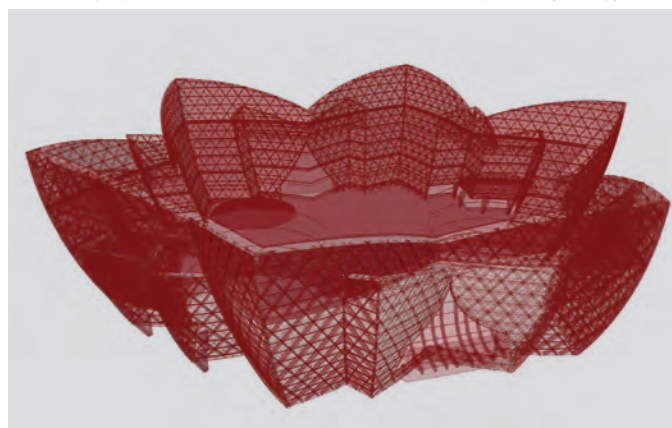


图9 外表皮参数化成果

制加工，造价失控。另外，从节能及安全使用方面考虑，幕墙单元所用的材料本身——双层Low-E中空玻璃，一方面实现“双曲”中空代价过高；另一方面，实际施工过程中也很难做到根据现场情况随意切割，需要尽可能采用平板玻璃来代替，并控制其尺寸规格。因此，为了降低材料加工难度、减少建造成本并便于后期维护，在外幕墙整体双曲造型明确以后，还必须对其进行可建造化的细分和平板拟合。这一过程即使是对强大的Grasshopper而言也是颇费周章的²，在实践过程中还借助了一款名为LunchBox的小插件，通过其中Triangle Panels等成品运算模块来实现拓扑细分的方案比选（图7，8），同时实现各单元的具体尺寸控制及具体定位³。经过设计团队共同协商，从兼顾立面效果和三点共面在实际建造过程中更易把控的角度出发，最终确定以三角形单元划分为最终

实施方案。

而在结构设计方面，为了保证水晶花瓣的通透效果，避免因内部结构支撑方式与外部的幕墙划分交错而导致视觉紊乱，经过多番协商，结构设计团队最终采纳了与外幕墙划分样式呼应的斜向网状支撑体系方案。这一方案对外围幕墙和内部结构支撑的相互对应提出了较高的要求，两者相互关联，一动俱动。在这方面使用参数化工具也体现出了明显的优势，通过与外幕墙同逻辑的“轴网”曲面重构（由于非正交体系双曲面相互截交关系较为复杂，简单的“中心缩放”或者“曲面偏移”要么导致旋转轴相对关系错位，所得曲面互不平行；要么导致截交关系不吻合，因此采用了同逻辑、局部参数关联的重新建构方式），动态化调整“轴网”面斜向结构支撑的三维定位，并始终保持其与外幕墙细分单元“四对一”的对应关系（即

外幕墙四个三角单元对应结构支撑一个三角单元，见图9），以获得结构布置的初步定位。后续再根据结构要求适时调整，直到全部满足要求。

2.3 数字化条件的驱动和约束——“参数化设计”在剧院视线分析中的应用

观众厅的视线设计的主要内容包括：通过对视距、视角以及前后排视差升起计算等的精确控制，最大限度保证观众席的视线质量。传统设计方法包括图解法、相似三角形数解法、公式法（包括谢尔克公式法、微分法）等，在传统手动设计的过程中，无论是通过作图求解，还是查表计算，都是一个比较繁琐的过程。相对而言，使用参数化工具将主要“参数”提取出来并驱动整个调整过程，工作效率大为提高。

襄阳大剧院项目的观众厅坐席排布采用长排法，以谢尔克公式法为基本原理实现

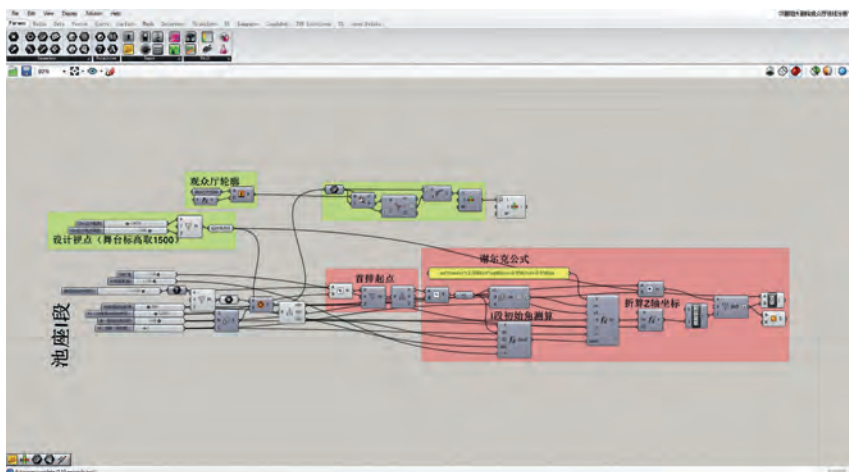


图10 视线分析参数模块

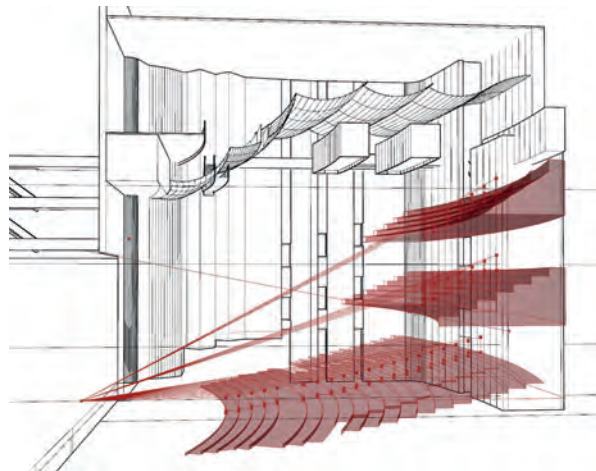


图11 观众厅视线分析

参数化（图10），通过动态的基本参数的设定，实时代入下列公式自动计算获得各排相对于首排地面的高度（ h_n ）：

$$h_n = a_n \left[\tan \alpha + c \left(\frac{2.3026}{d} \times \lg \frac{a_n - 0.5d}{a_1 - 0.5d} \right) \right]$$

当然，谢尔克公式法更适用于连续多排排距相等的情况，实际运用中还需根据工程情况进行变通。就本项目而言：观众厅中部另设有横走道，VIP席的排距也不同于一般观众席，因此在参数化设计过程中，将池座部分拆分为三段分别计算，并综合模拟。

楼座部分的视线模拟基本与池座相同，但是受到如下条件的约束：

（1）根据剧场建筑设计规范（JGJ 57-2000）9.2.2条规定，楼座下挑台开口的高度与挑台深度比宜大于或等于1:1.2，楼、池座后排净高应大于或等于2.8m。同时，声学设计也要求尽可能保证设于池座后方的声光控制室能够获得直达声。因此，在参数化设计过程中，除了将楼座首排视高设为动态句柄外，另设了一个判定条件，保证同时满足各方面要求，该条件设定为在下列三个值中取最大值作为楼座首排地面的高度：1）按照动态句柄输入的参数；2）声光控制线与楼座首排排距的交点高度（扣除相应结构高度，并换算为绝对高度）；3）楼座至观众厅后排墙面水平距离W（即挑台深度）的1/1.2与对应下部池座高度之和。最后尚需验证池座最后排净高是否小于2.8m（扣除相应结构标高）。

（2）最大俯角控制：三层楼座最大俯角不超过30°，两侧距离舞台最近的包厢最大俯角不超过35°，通过参数化工具，实时反映最后排视线俯角角度，及时控制。

（3）最大视距控制：根据剧场建筑设计规范（JGJ 57-2000）5.1.5条规定，观众席

对视点的最近视距，歌舞剧场不宜大于33m，通过参数化工具，可以及时反映最近视距，动态控制视线质量与坐席数量之间的平衡。

通过上述模块，获得各排的基准视线控制点，相互连接分别得到池座、楼座的截面线，放样后得到观众厅的实际排布模型（图11）。

3 结语

单以建筑造型而论，襄阳大剧院项目实现参数化的难度仅为适中，但随着各专业设计工作的深入，一些需要及时应对的实际建造问题逐一浮出水面，使用参数化工具介入的深度开始增加，尤其是在一些传统设计工具很难实现的方面，参数化工具充分体现出“成果实时可控、修改相互关联”的优势。同时我们也看到，尽管Grasshopper一类的主动参数化工具已经极大改善了人机交互界面，通过“电池”（运算器模块）的相互串联替代繁琐的程序编写，但其本质依然是把设计者的形象思维与计算机的数字逻辑互译，并实现互动的过程。在实践过程中，需要有明确的目标导向、清晰的工作思路、精密的逻辑控制，并且不断往复调试。借用通用决策模型的八何分析法（6W2H）⁴，其工作要点可以表述为：

（1）Why?——明确目标：为什么要用参数化？想用参数化工具实现什么目的和效果？以及介入到什么深度？

（2）How to do?——明确方法：拟采用什么方法（逻辑形式）来实现这一目的？

（3）Who?——明确对象：用“谁”来驱动/约束“谁”？即明确控制与被控制的对象，该对象可以是动态定位的具体图元（点、线、面、体量等）、向量、数值控制或约束条件（比如公式）等。

（4）Where?——明确控制图元定位：

关键的“控制图元”在哪儿？一般而言，“以点定线，以线定面，以面定体”是图形的基本控制方法。控制点的静态/动态位置决定了设计成果的具体造型。

（5）How much?——明确参数取值：参量的具体取值类型和大小，可以是具体的数值、数域、布尔值、字符串、向量、公式等。

（6）What?——明确使用工具：用什么运算器？不同的运算器达到不同的目的。

（7）When?——明确工具连接顺序：运算器什么时间参与控制？指代运算器的先后串连顺序。

（8）Which?——明确数据对应关系（数据结构）：与哪个数据相对应？相互串联的运算器的数据类型和结构均需做到互相匹配，才能得到想要的结果。参数化过程极其重要的一环就是适时整理和变化数据结构，使其完美对接。^[1]

注释

- 1 指包括第五立面——屋顶在内的全方位景观要求。
- 2 用Grasshopper实现曲面的不同结构拓扑细分，一般方法是：首先对未修剪曲面的UV结构进行调整，并对各点进行ID编号，通过其编号的数学重组、连接来模拟不同拓扑形状的组成，最后令各细分单元分别投影到各自在双曲面位置法线平面来实现平板拟合。
- 3 LunchBox的几种拓扑细分运算器虽然方便，但会把已经被剪切过的曲面还原成原始未修剪状态，因此在细分步骤后，还必须经过特别编制的运算模块，对所有细分单元进行重新修剪，以保证最终获得的成果与所设计的形态一致。
- 4 一种标准化决策评价模型，不同事件的表述略有差异。

参考文献

- [1] 建筑设计资料集4 [M]. 北京：中国建筑工业出版社，2005.
- [2] JGJ 57-2000剧场建筑设计规范[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2005.