

MATERIOLOGY IN PARAMETRIC ARCHITECTURE

从具象到具象

数字建筑中的材料试验

文 Article > 许伟舜 Xu Weishun

当参数化模型为未来设计的形式提供参考，而数字建构为它们的实现提供可能时，材料应用便由于它与复杂现实间不可分割的联系，显示出它在未来建筑设计中独特的一面。



> 阿基姆·曼格斯设计的半透明亭子完成后被整体搬到场地上锚固©ICD/ITKE Universität Stuttgart

参数化设计：抽象还是具象？

对于当代建筑师来说，使用计算机建立三维模型已经成为标准的设计手段，而电子模型中引入各类算法来进行的参数化（parametric）建模和模拟演算（simulation）也已经并不新鲜，成为前卫设计师们探索新形式和设计逻辑的好方法。在这些设计中，人们常常从自然界寻找灵感，在天然的几何图案中寻找特征，使得这些天然形态能够被数学分析和理解；设计师再将这些解释运用于设计当中，试图通过运用这些逻辑和几何关系得到建筑形态。对中国民众来说最著名的例子也许是国家游泳中心（即水立方）的建筑外墙：它利用了沃罗诺伊（Voronoi）网格这种几何形态。这种网格常常在纳米晶体和皮层细胞中被发现；由于

这种网格能够通过数学逻辑描述其几何中心和边界的关系，它最早被应用在城市规划和设计当中，作为控制区域划分的方式。在19世纪的伦敦，当一次霍乱爆发时，一位英国医生将这种网格用来划分发病区域，通过统计病人数量，最终确定了传染源。这个成功的案例使设计师注意到了这种网格系统的有效性，它进而作为一种二维图案被应用在建筑外墙面等设计中。

然而很多时候，这一类参数化设计尽管有几何算法作为基础，却并不能保证这些算法在恰当的场所被应用；到头来，许多为了加强建筑空间的逻辑性进行的演算，却变成了纯粹创造表面形态的工具。近几年来，建筑设计对沃罗诺伊网格的滥用已经遭致许多批评。当许多设计

师将之用来作为设计建筑外表皮的结构依据时，常常忽略垂直竖立的沃罗诺伊网格本身并不提供当代建筑幕墙系统常常需要的自我支撑的结构能力。在很多对参数化设计持保守看法的建筑师看来，这一类设计往往代表了一个“从抽象到具象”，即抽象概念和具象建筑缺乏对接的过程：建筑师试图通过抽象的逻辑或数学关系来推导出具象的建筑，却忽略了现实中的场地、材料等实际限制，**结果成品设计不但在施工中造价高昂，浪费材料，更容易让建筑变成和环境脱离关系的雕塑。**

为了摆脱这种看似环环相扣，实则简化逻辑、脱离复杂现实的设计，许多前沿建筑师开始转向“从具象到具象”的探索实践，也就是在应用计算机模拟演算的同时，以实际而具象的建



> 左：哈佛大学研究生汪隽和赖尊恒对两种不同纤维交叉编织的尝试。扇形有机玻璃骨架下方可旋转的轴，使得建筑的边界在编织过程中可以调整自身位置。

右：在大尺度下做的实验模型被用树脂浸润后定型并拆除骨架

造规则作为演算出发点设计建筑，通过现实中的条件和限制避免抽象空洞的逻辑讨论。在这方面的探索中，对建筑材料的创新应用吸引了许多力图解决这一问题的设计师。他们试图将寻找新的建筑形态的工作和材料的物理特性连接起来，将材料本身的复杂性质作为模拟演算和实验的第一步，让材料代替计算机模型说话，从而让新的建筑形态具有容易塑造、构建方便、紧密连接自然等特点。

纤维织造：让建筑设计自己

在这种探索中，德国建筑师阿基姆·曼格斯（Achim Menges）无疑是先行者之一。早在2006年，他和学生们已经通过对薄木片沿着木纹热胀冷缩特性的研究，发展出了一系列复

杂曲面形成的装置空间，这些装置空间鱼鳞状的表面会根据温度和湿度改变形态，应用在建筑表皮上，则可以期待建筑外墙能够实时反应环境情况。在木质材料上取得成功，为了更加可控的效果和更严谨的参数考虑，曼格斯将自己的研究方向转变为对丝状纤维的探索。这些不同材料的纤维具有质量轻、承受拉力强的特点，并且，丝状纤维受力的方向总是沿着丝线行进的方向，这样的结构在受力上十分高效。在2012年与斯图加特大学的合作中，曼格斯从龙虾钳子外壳的微米结构中找到灵感，使用了玻璃纤维和碳化纤维两种材料，在临时钢骨架上纯采用机器人技术编织出了一座半透明的亭子。亭子完成之后，钢骨架被移出，轻便的亭子被整体移动到场地上固定。虽然这座

亭子看起来材料均一，事实上，纤维的厚度、层数、编织方向、相互交叉的次数等都以龙虾的钳子作为雏形经过仔细研究，才得以保持最终成品在受力结构上的整体性。

为了最大程度地研究轻质纤维在建筑上的可能性，并且完善通过建筑材料进行新型设计的方法，曼格斯与研究生们在2013年将这种材料带到了哈佛大学的设计课程中。在那里，学生们用手工模型的形式开始探索之前的数控机器人建造中没有被触及到的问题。在其中一个设计小组里，研究生汪隽和赖尊恒两人致力于解决材料成型过程带来的挑战：当数控机器人在钢骨架上操作时，由于纤维是慢慢累积织成的，整体结构事实上随着时间的推移有微小形变；这些形变在骨架足够强壮时可以忽略，但它们在手工操作时被放大了。对于精确控制的数控建构而言，这意味着误差，但对他们的研究小组而言，重要的不是消除这些形变，而是利用和控制形变的过程，使得建筑来设计自身，找到最适合自己的受力形态。为了达到这种目的，设计团队将原来建造过程中静止的钢筋骨架替换成可以沿着一根轴转动的板材，这样一来，在编织纤维的过程中建筑将根据材料受力随时微调自身形态——原来设计师对静止的雕塑般的建筑的追求由此变成了建筑对自身材料和构造过程进行的反应，既优化了设计，又节省了材料。为了在设计时最大限度模拟实际建造过程，研究小组的两人在采用尽量大尺度的模型的基础上换用较弱的纤维，这是为了在减小模型重量的同时相应弱化材料强度，使得建筑微调形态的过程尽量明显。成品的模型被敷以树脂材料后硬化，以取出可动的骨架并测试建筑定型后与场地的关系。由于材料本身的物理性质往往在计算上超过目前的软件所及，这种实验设计在曼格斯看来能够很好地对参数化建筑模型进行测试和调整：要想模



> 上：帕特里克·舒马赫代领的研究组将棉线捆扎处理后浸入水中，并施以定量的胶水，使得棉线在一定重力和材料弹性下悬挂定型，翻过来成为拱结构。

下：研究组经过电脑模拟形成的三维模型内部，木材的走向以及粗细都是使用棉线实验采集的数据进行模拟计算得出。©Felix Luong/John Morrison/Joseph Ross

拟材料的行为，没有什么比这种材料本身更好的计算工具了。

旧材料与新应用

曼格斯并不是唯一在这个领域进行研究的知名设计师。扎哈·哈迪德事务所的合伙人，一向将“参数化符号学(Parametric Semiology)”等理论语言挂在嘴边进行新颖形式创作的帕特里克·舒马赫(Patrik Schumacher)，也开始转向类似的“从具象到具象”的设计方法，而织物纤维同样在他的专注范围内。他在英国的AA建筑学院和哈佛大学设计学院组织的研究团队将大量精力投入到对张拉结构和拱结构这两种古老形式的重新开发中，因为它们在仅承受自重的情况下能



> BLOOM亭子顶上的金属板由于受到阳光照射已经张开，在下部阴影中的金属板则仍处于闭合状态。

够高效地利用材料，非常适合大跨度的空间建设。在这里，材料测试的结果更讲究与参数化设计的结合，各种性质被第一时间数字化，帮助设计师在电脑模型中找到准确的形体。在一个复杂穹顶的结构测试中，设计小组的成员想要用可弯曲的轻质木材表现一组屋顶承受自重情况下力的传递方式，进而从这些图案中寻找美感。传统的结构软件并不能轻松地找到最优化的力传递路径，因此，设计小组决定在小尺度的物理模型上用合适粗细的浸湿棉线来寻找答案。通过悬挂，浸湿的棉线团簇开始自我组织，大致排出了力通过的最短路径。为了使棉线反应不同的木材材质，研究小组还在水中加入控制剂量的粘合剂，以使棉线在定型前达到不同的硬度。这些数据随后被

汇总分类，输入研究小组自行开发的代码中进行计算，以确定什么样的参数组合产生的电脑模型最接近实际情况。在这个研究中，物理材料的测试避免了研究小组在参数化模型上花费大量时间猜测和写入并不需要的木材性质，而只需要通过编制电脑模型中几何形体的曲率和假设材料间的相互作用力就完成了对模型的简化。

在业界，这些研究成果已经开始了试点应用，并且正在快速推广，促使一部分中小型设计事务所向半研究的商业模式转变，以抢先占据市场。DO|SU建筑事务所是注意到这种发展机会的公司之一。坐落于美国西海岸的这家事务所试图利用当地充足的阳光做出不一样的材料应用：他们利用不同配比的合金形成双层贴片，这些合金在不同的温度下涨缩的比例不同，并且在80华氏度(约合摄氏27度)上下时两层合金材料涨缩差异很大。因此，环境温度在摄氏27度周围变化时，双层贴片就会向合金伸长较短的那一面弯曲。由于这种温度在美国西海岸通过阳光照射就能轻易达到，DO|SU试图制成能自动根据环境调节通风开口大小的金属墙面，并将之应用在建筑和装置艺术上。DO|SU的材料工程师正致力于将这种变化做成可控的参数化模型进行大规模数控生产。2011年底开始，DO|SU在位于洛杉矶的材料和应用中心展出了他们设计的名为BLOOM的亭子，亭子的表面即可根据阳光被动调节形态。

材料的创新应用并不是十分前沿的话题，但是当参数化模型为未来设计的形式提供参考，而数字建构为它们的实现提供可能时，材料应用便由于它与复杂现实间不可分割的联系，显示出它在未来建筑设计中独特的一面。有理由相信，随着数字建构的普及，前所未有的建筑形态不断涌现时，材料测试和应用将成为保证建筑不成为纯造型艺术的重要依据。■(编辑：孙源)