

[文章编号] 1003-4684(2020)01-0091-04

# 仿生建筑设计中的数字图解

## ——以类细胞仿生建筑为例

邹贻权, 孟凡凯

(湖北工业大学土木建筑与环境学院, 湖北 武汉 430068)

**[摘 要]** 利用“图解”思维与计算机技术,在仿生建筑设计过程中融入“数字图解”这一新兴设计方法,能够较真实模拟生物生长的规律,使建筑仿生有据可循。以类细胞仿生建筑的设计为例,探寻这一方法的应用过程,为仿生建筑设计提供全新思路,并推动数字化技术在该领域中的应用与发展。

**[关键词]** 仿生建筑设计; 数字图解; 形态生成

**[中图分类号]** TU201.4      **[文献标识码]** A

生物学与技术的结合,是 21 世纪最大的创新之一。存在于自然界中的生物,大都是历经漫长岁月演化而形成,在形态功能方面具有一定科学合理性。这些优美生物形态给建筑空间构成和功能布局带来新的灵感,使得设计师们开始仿照自然界中生物体形态和生长机理来进行建筑设计。随着建筑行业发展,建筑仿生已逐渐成为一个新课题,受到设计师和建造者的广泛关注。

### 1 仿生建筑发展概况

在人类建筑历史中,很早就已出现模仿自然界生物形态的建筑。例如最古老的建筑——“巢居”,即为古人模仿鸟类筑巢而建造<sup>[1]</sup>(图 1)。西方文艺复兴时期出现的希腊柱式,也是对不同年龄、性别的人体形态进行了模拟<sup>[2]</sup>(图 2)。

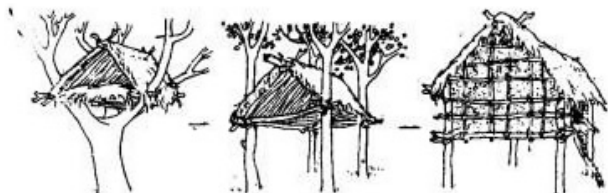


图 1 “巢居”



图 2 希腊柱式

随着 1960 年仿生学的诞生,建筑仿生学作为其子学科之一,逐渐进入人们的视野。它通过对自然界中生物构成规律和生长机理进行研究,来丰富和优化现有建筑设计方法。早在 1983 年,德国人勒伯多就已编写《建筑与仿生学》一书,促进了仿生科学与建筑艺术融合发展,且为建筑仿生学奠定了理论基础<sup>[3]</sup>。

由于设计方法论与设计工具限制,传统仿生建筑设计大多是以直觉式设计为主,直接或间接模拟生物形象,往往没有对其原理进行研究和计算,不能较精确地体现出自然界中生物体构成规律,因此大部分仿生建筑在建筑形式与结构稳定方面都存在一些问题。

到了 20 世纪中旬,随着计算机技术发展,人们对数字化理论的研究逐渐兴起,建筑设计领域也不可避免受到影响。其中具有重要意义的是美国建筑师格雷格林恩引领的数字化建筑生成设计思想,他认为建筑设计应该既体现设计理念,又响应外部环境影响<sup>[4]</sup>。这种具有一定仿生倾向的设计思想影响了大量建筑师,建筑设计领域开始尝试使用仿生算法进行数字化设计。

现阶段,建筑仿生学研究大多数内容只是揭示研究方向及发展趋势,并没有对某一具体内容进行深入研究,也没有形成一套系统理论与方法。为了促进建筑仿生学发展,使建筑仿生逐渐脱离单纯的感性与概念的层面,开始触及到对生命特性及生长规律的模拟,就需要将数字化技术手段运用到设计

[收稿日期] 2019-07-11

[第一作者] 邹贻权(1973-),男,湖北公安人,湖北工业大学教授,研究方向为数字建筑设计

[通信作者] 孟凡凯(1995-),男,湖北荆门人,湖北工业大学硕士研究生,研究方向为结构工程

中,探寻一种新型仿生建筑设计方法。

## 2 “数字图解”在仿生建筑设计中的应用

作为建筑设计的一种有效手段,“图解”概念由来已久,最初图解通常用来表示事物之间的几何关系或者内在联系,是一种解释、分析或演算的工具。随着建筑学发展,图解在不同阶段被赋予不同功能和属性。20 世纪 90 年代中期,新一代建筑设计师将数字技术与图解概念结合起来,利用编程技术将其移植到计算机上,实现图解工具的数字化操作,成功地创造了新型建筑设计方法,取得革命性进步。

数字图解具有互动性及对话性的特点,可以被理解为一台表示各种因素内部关系的机器,将功能需求输入,经过内部运算,输出可见形式<sup>[5]</sup>。对于仿生建筑设计而言,其目的也是通过某种方法,将科学合理的生物特性与生长规律转化成各种可能的建筑形态,这一点与图解过程类似。因此,引入数字图解方法,可以有效防止建筑形式僵化,为设计带来更多可能性。

对于数字图解方法的应用,徐卫国在《算法与图解—生物形态的数字图解》一文中做了详细的介绍,他在分析生物形态概念的基础上,阐述了利用数字图解将生物形态特征融入建筑设计中的方法<sup>[6]</sup>。这一新生设计方法显然为仿生建筑设计提供了全新思路与科学途径。

在仿生建筑设计中,为使建筑真实模拟自然界生物,首先需要根据生物形态绘制分析图,从中辨析其关键特征点,然后将这些生物形态特征转化成计算机语言,进而编写成一套完整算法。通过自动计算就可生成多种不同的形态。在这一过程中再加入某些设计需求与限定条件,并通过测试不断进行算法优化与迭代,即可从生成结果中找出具有美感的建筑雏形(图 3)。

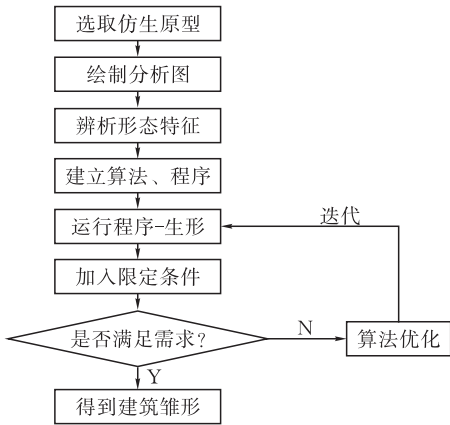


图 3 数字图解运用过程图

## 3 类细胞仿生建筑设计案例

细胞内膜系统是指细胞质基质中在结构、功能上相关,由膜围绕而成的细胞器或细胞结构。作为细胞生命活动的集中场所,细胞内膜系统拥有上下贯通的空间组织形态,这使其具有一定流动性与灵活性。这些形态特点同样是建筑设计目标之一,因此两者之间存在可类比性<sup>[7]</sup>。高尔基体是真核细胞中参与分泌活动的重要结构,其形态在细胞内膜系统中具有一定代表性。本节将以高尔基体为例,阐述数字图解方法的运用过程。

### 3.1 形态特点

高尔基体由扁平膜囊和大小不等的囊泡组成,扁平膜囊是其最富特征性的结构组分。通过原型分析图(图 4),得到其形态特点如下:1)高尔基体的主体是扁平膜囊,膜囊中间随机出现不规则孔洞;2)多层扁平膜囊之间、囊泡与扁平膜囊之间均靠孔洞相连接;3)孔洞形态上下放大,中间缩小,是呈哑铃型的空间形体;4)各孔洞之间如果相距较近,则会连接在一起生成复杂的空间曲面。

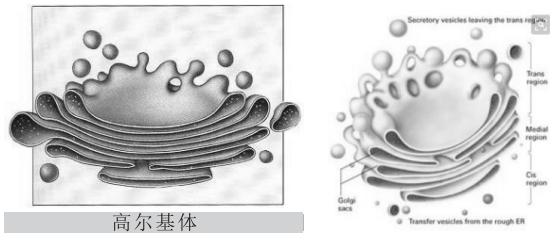


图 4 高尔基体形态图

### 3.2 算法程序研究

根据以上特点,可以看出,要模仿高尔基体形态,关键点在于研究出孔洞形态的生成规律。这种孔洞形态是高尔基体在外部细胞液压力和膜囊张力共同作用下形成的表面积最小的曲面形态,由此可以联想到利用极小曲面来模拟这一形态。极小曲面是指在以给定曲线为边界、加入外界条件的情况下,面积最小的曲面,其造型优美,空间层次丰富,力流传递直接,具有极强的可塑性。

关于极小曲面的算法生成,一般可以按照初等数学函数表达式分为两种——显函数表达式法和隐函数表达式法<sup>[8]</sup>。以显函数表达式为基础,探寻极小曲面的参数化生成算法,对于建筑设计师来说更加容易实现。该类算法以微分法为基础,将空间曲面分为 N 个等分,并将等分点按照确定的显函数表达式进行变化,连接起来形成面,再对这个面进行一定的平滑处理。具体的算法生成步骤见图 5。

图 6 所示的是基于 GHPython 制作的极小曲面生成工具,通过改变 f 端输入的显函数公式、level

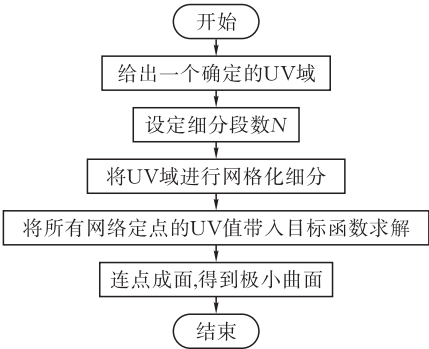


图 5 极小曲面算法生成步骤

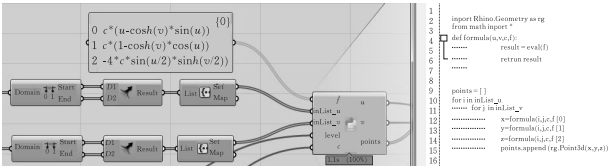


图 6 GHPython 代码

端输入的细分份数、c 端输入的常数,可以得到多种不同的极小曲面(图 7)。同时,目前已有不少 Grasshopper 的插件,如 MininalSurfaceCreator 等,包含了生成极小曲面的功能。依据不同的算法,生成的极小曲面也不尽相同,建筑设计师可以通过改变参数与算法,不断优化,从而得到想要的造型。

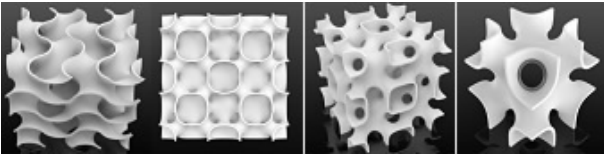


图 7 多种类型的极小曲面

解决生成极小曲面的关键性问题后,即可按照以下步骤完成对高尔基体形态的模拟(图 8):

- 1)建立分层折叠的曲面,并留出空隙,以此模拟高尔基体堆叠的膜囊;
- 2)在初始的扁平膜囊层间随机画出若干线段,作为膜囊间孔洞的基准轴;
- 3)以基准轴端点为中心,在原始扁平膜囊上做闭合曲线,曲线形状随意,但不能自交,且各曲线之间也不相交,各自独立;
- 4)利用自制的 Python 电池或极小曲面生成插件,在对应的闭合曲线之间做极小曲面,改变生成算法,选择最合适的极小曲面造型;
- 5)删除闭合曲线内的扁平膜囊,使生成的极小曲面与原扁平膜囊共同形成新的连续曲面;
- 6)得到最终的高尔基体模型。

3.3 建筑实例

通过对上述高尔基体形态生成算法进行改写,可进一步得到造型丰富的形体,它可用于各种由面围合成的、重复性较强的三维空间结构,使其具有韵

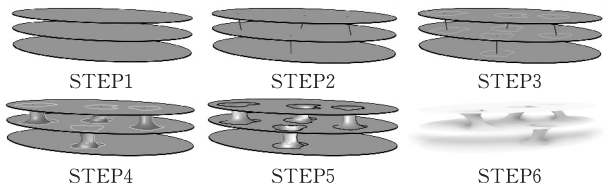


图 8 高尔基体形态生成步骤

律感。利用该算法,可以将单纯而规则的空间变为复杂而具有变化的空间,将僵硬而无机质的空间变为柔软的有机空间。

位于台湾的台中大都会歌剧院是日本著名建筑师伊东丰雄的作品(图 9)。其内部结构系统,是一个由三度空间曲面构成,犹如迷宫般连续的空间组织,具有与细胞内膜系统相似的形态特点。文章对内膜形态算法生成的建筑雏形进行了深化,即得到了类似于台中大都会歌剧院的造型(图 10)。

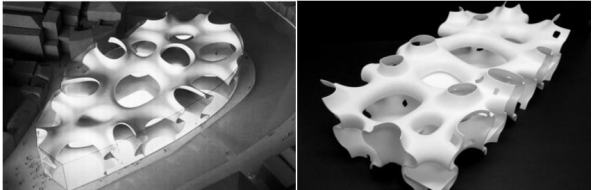


图 9 台中大剧院模型

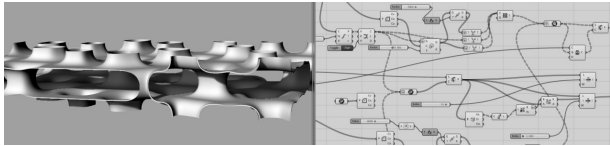


图 10 高尔基体算法生成的模型

由此可见,作为细胞内部机能组织一部分的细胞内膜系统,在建筑形态、空间构成等领域的仿生上具有现实借鉴意义,同样也能为建筑设计师带来全新设计灵感。

4 总结

将数字技术运用至仿生建筑设计中,利用 Grasshopper 等参数化设计工具与编程技术,可以将“数字图解”、“算法”与“设计”相结合,弥补传统设计方法中不能较精确体现自然界生物体构成规律的缺陷。通过类细胞仿生建筑中数字技术的应用方式及案例分析,证明了仿生学与数字技术共同作用于建筑设计领域,可以将生物形态特征转化为建筑设计形体,提供逻辑性更强、形式更多样的设计方案,极大丰富了建筑设计的形式创造领域。但与此同时,该方法的局限性在于形式生成规则具有特殊性,没有上升到普适性的程度,同一算法用于不同条件的形式生成将产生一系列相近的结果,如何解决这一问题还需要各领域技术的密切融合与深入发展。

[ 参 考 文 献 ]

[1] 张汉军.中国首位建筑师——有巢氏与其“原始屋”[J].  
兰台世界,2013(31):139-140.

[2] 朱亚红,王育亮.浅析希腊古典建筑柱式语言[J].山西  
建筑,2011,37(29):6-7.

[3] 杨小峰,罗文媛.仿生建筑浅析[J].青岛理工大学学报,  
2005[6]:67-70.

[4] 秦浩.建筑仿生学的数字化设计研究[D].杭州:浙江大  
学,2010.

[5] 徐卫国,陶晓晨.批判的“图解”——作为“抽象机器”的  
数字图解及现象因素的形态转化[J].世界建筑,2008  
(5):114-119.

[6] 徐卫国,李宁.算法与图解—生物形态的数字图解[J].  
时代建筑,2016(5):34-39.

[7] 李世芬,李超先,丁晓博.类细胞仿生建筑设计方法研  
究[J].新建筑,2016(1):112-115.

[8] 江振彦.极小曲面的参数化生成与设计[D].南京:南京  
大学,2018.

Digital Illustration in Bionic Architectural Design

—Taking Cell-like Bionic Buildings as an Example

ZOU Yiquan,MENG Fankai

(School of Civil Engin.,Architecture and Environment ,Hubei Univ. of Tech.,Wuhan 430068,China )

**Abstract:** By using the graphic thinking and computer technology, the newly designed method of "digital diagram" is integrated into the process of bionic building design, which can simulate the law of biological growth more realistically and make the Bionics of architecture have evidence to follow. Taking the design of cell-like biomimetic architecture as an example, the application process of this method is explored, which not only provides a new idea for the design of biomimetic architecture, but also promotes the application and development of digital technology in this field.

**Keywords:** bionic architectural design; digital diagram; form-finding for design

[责任编辑:裴 琴]

(上接第 90 页)

Discussion on Roof Garden Design of Office Building

—Taking the Terrace Greening Design of the Structure Hall as an Example

YE Jianjun, LUO Xianlin, XU Jun, XIA Jianqiao, WU Yameng,ZENG Linfeng

(School of Civil Engin.,Architecture and Environment ,Hubei Univ. of Tech.,Wuhan 430068,China )

**Abstract:** In modern cities, many office building roofs are idle. It is therefore advisable to transform the roof of the office building into a roof garden with recreational functions. To this end, this paper discusses the regular pattern of design, graphic design, space, form, color design and technical design of the roof garden of the office building, and applies this regular pattern of design to the green design case of the terrace in the structure hall of Hubei University of Technology.

**Keywords:** office building; roof garden; terrace greening; green design

[责任编辑:裴 琴]