

计算性设计与分析

2013 年全国建筑院系建筑数字技术教学研讨会论文集

COMPUTATIONAL DESIGN AND ANALYSIS

PROCEEDINGS OF THE 8TH CONFERENCE ON DIGITAL
TECHNOLOGIES IN ARCHITECTURAL EDUCATION

全国高校建筑学学科专业指导委员会

建筑数字技术教学工作委员会

天津大学建筑学院

主编

计算性设计与分析

2013 年全国建筑院系建筑数字技术教学研讨会论文集

COMPUTATIONAL DESIGN AND ANALYSIS

PROCEEDINGS OF THE 8TH CONFERENCE ON DIGITAL
TECHNOLOGIES IN ARCHITECTURAL EDUCATION

全国高校建筑学学科专业指导委员会

建筑数字技术教学工作委员会

天津大学建筑学院

主编

图书在版编目 (CIP) 数据

计算性设计与分析: 2013 年全国建筑院系建筑数字技术教学研讨会论文集 / 全国高校建筑学学科专业指导委员会, 建筑数字技术教学工作委员会, 天津大学建筑学院主编. — 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2013.8
ISBN 978-7-5381-8191-3

I. ①计… II. ①全…②建…③天… III. ①建筑设计—计算机辅助设计—学术会议—文集 IV. ① TU201.4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 176095 号

计算性设计与分析

2013 年全国建筑院系建筑数字技术教学研讨会论文集

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 29 号 邮编: 110003)

印刷者: 北京地大天成印务有限公司

幅面尺寸: 210mm × 285mm

印 张: 15.75

字 数: 600 千字

印 数: 1~500

出版时间: 2013 年 8 月第 1 版

印刷时间: 2013 年 8 月第 1 次印刷

责任编辑: 付 蓉 王雪娇

文字编辑: 邢少青 薛光卿

封面设计: 马文娟

版式设计: 马文娟

责任校对: 王玉宝

书 号: ISBN 978-7-5381-8191-3

定 价: 58.00 元

2013 年全国建筑院系建筑数字技术教学研讨会

主 办 单 位	全国高校建筑学学科专业指导委员会 建筑数字技术教学工作委员会
承 办 单 位	天津大学建筑学院 《城市·环境·设计》(UED)杂志社
协 办 单 位	天津大学建筑学院低碳城市与建筑创新引智基地
赞 助 单 位	欧特克软件(中国)有限公司

论文集编委会

顾 问	仲德崑						
主 任	张 颀						
副 主 任	李建成	许 蓁					
编 委	(以姓氏笔画排序)						
	孔宇航	石永良	白雪海	曲翠萃	孙红三	孙 澄	
	李 飏	何 捷	苑思楠	胡一可	盛 强	彭礼孝	
执 行 主 编	孔宇航						
执行副主编	许 蓁	何 捷					

论文评审委员（以姓氏笔画排序）

石永良	同济大学建筑与城市规划学院
吉国华	南京大学建筑与城市规划学院
许 蓁	天津大学建筑学院
孙红三	清华大学建筑学院
孙 澄	哈尔滨工业大学建筑学院
李建成	华南理工大学建筑学院
李 飏	东南大学建筑学院
何 捷	天津大学建筑学院
邹 越	北京建筑大学建筑与城市规划学院
曾旭东	重庆大学建筑城规学院

目 录

CONTENTS

专题 01 参数化设计 | PARAMETRIC DESIGN

- 2 参数化建筑设计背景下蜂巢的研究与应用 | 白胤君 万 达
- 6 基于 Voronoi 算法的建筑形态生成逻辑初探 | 张天悦 殷 青
- 10 建筑表皮生态设计的参数化设计模式初探 | 张 冉 孙 澄 刘 莹
- 15 传统艺术设计与非线性设计引导的设计美学之探讨 | 董鹄堃 倪伟桥
- 19 基于环境性能分析的算法生形研究 | 袁 烽 许文涛
- 27 基于声环境模拟的居住小区空间形态设计研究 | 韩 丹 马 蕙 张玉坤
- 32 遗传算法在建筑优化设计中的应用 | 李贺楠
- 36 并行工程理论与方法综述及在建筑领域的应用研究 | 胡一可 邵 笛
- 40 体育建筑的地域性参数化表达探索 | 陆诗亮 赵 建
- 44 浅析镶嵌图形的参数化设计 | 许 葵
- 48 交换·幸福——“流体空间”：西北角零散商业优化设计 | 颜 冬 王 韬 盛 强 苑思楠
- 54 过程—模拟—介入——以 Processing 工具为基础的开放性设计教学实践 | 盛 强 苑思楠 Jordan Kanter

专题 02 数字化建筑设计 | DIGITAL ARCHITECTURAL DESIGN

- 62 Architable：基于案例设计与新原型 | 魏力恺 张 颀 许 葵 张昕楠 张 备
- 67 建筑的计算性形式综合 | 魏力恺 张 颀 黄 琮 张昕楠 张 早
- 73 C-Sign：基于遗传算法的建筑布局进化 | 魏力恺 张 颀 张昕楠 张静远 张 备
- 79 非线性建筑的低技建造方法初探 | 孟 洁 邢 凯 孙 澄
- 83 基于行为模式的复杂形态建筑生成研究初探 | 芮 睿 孙 澄
- 87 扎哈·哈迪德的“塑性流动”理论与建筑空间探析——以辛辛那提当代艺术中心为例 | 董馨璐 殷 青
- 91 梯田在参数化建筑设计中的应用与构思 | 张 奇 万 达
- 94 建筑的“形体温差风指数”研究及应用初探 | 孙澄宇 李群玉 沈 彬
- 98 基于数字技术的体育建筑设计研究 | 陆诗亮 王少鹏 史小蕾
- 102 基于应变性的交互式设计发生 | 史小蕾 陆诗亮

专题 03 数字化设计分析 | DIGITAL DESIGN ANALYSIS

- 108 基于 Depthmap 软件的公共图书馆建筑空间组构模拟分析及量化评价
——以大英图书馆新馆为例 | 邱麟 孙澄 姜宏国
- 113 算法类型学与微观城市空间再造——以河内为基地的亚洲垂直城市设计竞赛教学为例 | 袁烽 李雪凝
- 120 多智能体系统 (MAS) 下的“干扰”建筑 | 黄勇 王凯 张伶伶
- 125 建筑形态发生机制刍议 | 石永良
- 130 简析数字技术对建筑学的三种影响 | 蔡瑜 虞刚

专题 04 建筑信息模型 (BIM) | BUILDING INFORMATION MODEL (BIM)

- 136 BIM 能力成熟度模型简介 | 李建成 王朔
- 140 校企联合设计进行 BIM 教学实践的探索 | 王俊 黄庆九
- 143 Revit 在项目实践中的若干问题探讨与展望 | 周琼 邹越 陈宇杰
- 146 紧密结合建筑设计课程的 BIM 技术教学探析 | 吕小彪 邹贻权
- 149 毕业设计中 BIM 技术应用和教学初探 | 徐欢 陈明明 石邢
- 152 整合 BIM 流和可持续设计的课程构想与教学实践 | 白雪海 何捷

专题 05 数字化设计教学 | DIGITAL DESIGN TEACHING

- 158 建筑学专业多媒体技术课程教学的实验与探索 | 魏旭 曾旭东 王景阳 谢建荣 魏彦杰
- 160 DAL 实验室数字建筑设计教学初探 | 胡磊
- 165 行进在数字道路上的建筑学实验班 | 倪伟桥 傅瓣
- 169 三维成型在数字技术课程中的教学实践 | 王景阳 曾旭东 王雅馨 宗德新 魏旭 尹轶华
- 172 数字技术在建筑学教学中的应用初探 | 张龙巍 黄勇 刘曦
- 176 媒介的转换：基于互动游戏引擎的虚拟建筑设计课题解析 | 俞传飞
- 180 基于数字化技术的建筑设计教学评价应变探讨 | 曲翠翠 许葵

专题 06 绿色建筑 | GREEN ARCHITECTURE

- 186 基于 Vasari 的前期设计节能形体研究 | 许娟 许葵
- 190 数字语境下夏热冬冷地区交通建筑的动态化可持续性设计
——以南京牛首山东入口旅客服务中心为例 | 朱子晔 王峰 朱力元
- 196 寒地小城镇居住区公共空间冬季日照环境设计研究——基于数字模拟的设计方法初探 | 赵天宇 李昂
- 201 基于 CFD 模拟的寒地校园建筑围合形式研究 | 刘珂鑫 梅洪元
- 205 集成 Energyplus 实现建筑节能优化设计的研究动态 | 丁迎春 田志超 胡星星 石邢
- 210 数字模拟技术在绿色建筑方案设计阶段的应用研究 | 曲大刚 夏楠
- 214 基于统计分析和 GIS 的住宅建筑存量动态发展研究 | 杨崴 董磊

专题 07 建筑遗产保护的数字化技术 | THE DIGITAL TECHNOLOGY OF ARCHITECTURAL HERITAGE CONSERVATION

- 220 针对“满洲式建筑”的三维信息化应用研究策略 | 韩锐 吕静
- 224 基于相似性的复杂系统应用——动态决策辅助平台在建筑遗产适应性保护和利用中的应用 | 冯瀚 张愚

专题 08 虚拟现实 | VIRTUAL REALITY

- 232 沉浸式虚拟现实实验平台在建筑设计体验中的应用 | 陈宇杰 邹越 周琼
- 236 虚拟现实技术在环境心理学领域应用初探 | 刘曦 黄勇 张龙巍
- 239 基于虚拟现实技术的城市空间认知实验 | 宋爽 张玉坤 苑思楠

专题 01

参数化设计

PARAMETRIC DESIGN

参数化建筑设计背景下蜂巢的研究与应用

RESEARCH AND APPLICATION OF HIVE IN THE VIEW OF PARAMETRIC DESIGN

白胤君 万达 | 天津城建大学建筑学院

Yinjun Bai Da Wan | School of Architecture, Tianjin Chengjian University

摘要: 当前, 参数化设计手段日趋成熟, 在建筑设计领域的应用为建筑师的设计实践开辟了新的途径, 赋予了现代建筑大胆前卫的形象。建筑设计二维语汇是建筑生成的基础, 也是参数化设计实践的载体。本文作为参数化设计背景下建筑设计二维语汇研究项目的一部分, 以大自然精巧构造——蜂巢——为例, 通过对不同类型蜂巢的特点及蜜蜂蜂巢单个巢房结构、巢脾组合形式的研究, 结合一些现在在建或已建成的建筑实例的分析, 得出了蜂巢规律在参数化建筑设计过程中的应用方法, 并对参数化背景下二维语汇的表达方法进行了简要阐述。

关键词: 蜂巢 二维语汇 参数化设计 建筑表皮

Abstract: Currently, as the parametric design tools have gradually become mature, it opens up new ways for architects design practice in the field of architectural design applications, which has brought the avant-garde image for modern architecture. Two-dimensional vocabulary of architectural design is the base of architecture generating. Meanwhile, it is a carrier for parametric design practice. This paper, as a part of two-dimensional vocabulary of architectural design in the scope of parametric practice, poses a delicate natural construction—Honeycomb as an example, with some detailed researches of characteristics of different types of hives and bee hive nest single room structures and honeycomb combination. In addition, it combines some architecture, which includes under construction and built one as examples to conclude the laws of hive's application methods in parametric building design process, and summarize the ways of expressing vocabulary for two-dimensional parametric design.

Key words: Cellular Two-Dimensional Vocabulary Parametric Design Architectural Surface

1 引言

随着软件技术的发展, 数字化技术逐步渗入到设计界的各个行业中。在建筑设计领域, 已经不再是当初仅仅把电脑当作辅助设计工具的阶段, 而进入到了利用软件技术模拟人工智能的参数化设计时代。参数化建筑设计从根本上打破了传统建筑设计过程中“自上而下”的思维模式, 转变为“自下而上”的过程式设计。实现了连续的多样性的复杂性设计, 开辟了新的形态生成途径, 创造出了富有视觉冲击效应的非线性空间形态, 提高了已有的建筑设计效率, 为设计创新带来了变革。

参数化建筑设计研究可以分为数字、仿生、图形等几个方面。几何图形是设计研究中一个比较重要的分支, 为设计实践提供了形式多样的构成元素, 其中蜂巢形式的应用比较广泛。目

前, 参数化建筑设计在国内属于起步阶段, 相关理论体系尚不健全, 关于参数化背景下建筑设计二维语汇的应用总结处于被忽视的地位。

在相关领域的研究中, 只有传统建筑设计语汇的总结, 没有参数化方面相应的系统的总结。因此, 有必要以蜂巢在参数化建筑设计背景下的研究应用为基本出发点, 对参数化设计背景下建筑设计二维语汇的应用进行总结。

2 蜂巢

2.1 关于蜂巢

蜂类是自然界常见的昆虫种类之一, 全世界约有 12 万种, 其个体差别极大, 大的有几厘米, 小的不足 1mm。蜂类是大自然中杰出的建筑师, 几乎所有蜂都具备建造蜂巢的能力。所建造的蜂巢样式精美、结构巧妙, 且各具特色。不同

种类的蜂筑造不同形式的蜂巢。蜜蜂的蜂巢是为大多数人所熟知的，六边形的巢房整齐排列形成了富有秩序感的平面，天然形成的十分牢固的结构既充分利用了空间也节省了建造材料。

2.2 蜂巢的种类及特点

常见的蜂巢从其形体上大体可以分为三类：蜜页式：家养蜜蜂的巢穴建造在由蜂蜡或塑料等材料经巢础机压制而成的巢础上，形态上大体是数千个巢房组成的块状的巢脾悬挂在蜂箱的顶部，养蜂的人称之为蜜页（图1）。

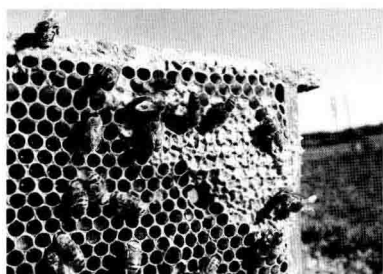


图1 蜜页式

莲蓬式：一般情况下，小群的蜂将蜂巢建在屋檐、窗沿、石坎等下部，它们的巢房少则三到五个，多至几十个；大群的蜂将蜂巢建在树枝上，直径可达50cm，有数百巢房，形体像倒悬的莲蓬（图2）。

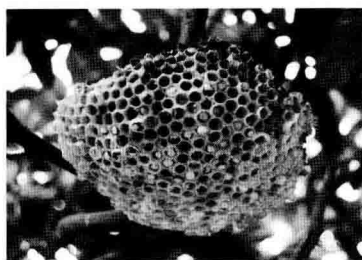


图2 莲蓬式

地穴式：有些蜂把巢建造在泥土之中，一般由主道和侧道组成，巢室在侧道端部，主道和侧道之间的关系及主道的形态因蜂的种类而异（图3）。

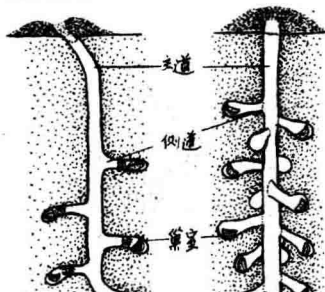


图3 地穴式

3 蜜蜂蜂巢的特点及规律

3.1 蜜蜂巢房结构特点

蜜蜂巢房形状呈六边形，底面为3个菱形面。底面的3个菱形的钝角都是 $109^{\circ}28'$ ，锐角都是 $70^{\circ}32'$ ，体积几乎都是 0.25cm^3 。巢房的壁很薄，平均不到 0.1mm 。两边巢房的底相互嵌合，以承受最大的负荷力。1743年苏格兰数学家 Maclaurin 用初等几何方法研究巢房的结构得出最省材料的菱形钝角为 $109^{\circ}28'16''$ ，锐角为 $70^{\circ}31'44''$ （图4、图5）。

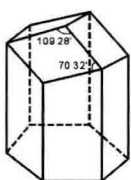


图4 巢房

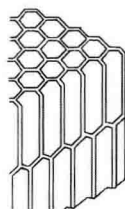


图5 巢房组合

3.2 蜜蜂巢脾组合的原因及优点

关于巢脾组合的原因有两种说法：第一种说法由波兰数学家、物理学家暨天文学家 Jan Brozek 提出，六边形能以每范围最小的周界去平铺一平面，就是说六边形结构可以在一定体积里，能用最少的材料去建造一个最宽敞的巢室。另一种说法由苏格兰生物学家、数学家暨古典学者达西·汤普森 (D'Arcy Wentworth Thompson) 提出，他认为六边形形状是基于个别的蜜蜂们将巢室摆放在一起的程序：有些类似在肥皂泡间制造的边界形状。为支持此论点，他指出个别建造的蜂王巢室，它们多是不规则 and 凹凸不平的，不是以最有效率的方式制作。六边形形式组合的根本原因，是由于表面张力作用形成的。若在相同面积内分别绘出这些几何图形，会发现圆形、五边形、八边形之间会留下不能利用的间隙，而且不是所有的壁都能共用，会造成建筑材料浪费、空间的浪费。三角形、四边形的

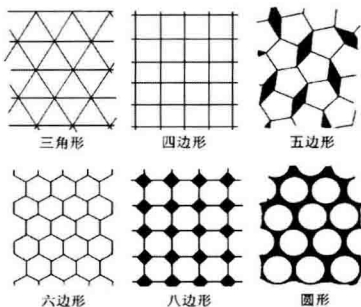


图6 相同面积不同图形的比较

组合虽然不存在上述缺点，但在相同面积的几何图形组合中，三角形和四边形的边长要比六边形的边长长（图6）。因此，蜜蜂巢脾组合形式是最优和最节约的筑巢方式。

4 蜂巢式建筑

4.1 表皮方面

建筑表皮是指独立于结构或是本身起着承重作用却以外皮的状态存在的建筑与环境发生关系的部分。参数化建筑设计的介入为表皮的发展增添了新的活力。蜂巢式表皮因其具有材料、结构、美观、节能方面的优点，在参数化设计实践中应用比较广泛。

4.1.1 天津中钢国际广场

由中钢集团委托 MAD 设计的天津中钢国际广场，是国内参数化项目中蜂巢式表皮应用的典范（图7）。该项目由一栋高358m的超高层办公楼和一栋高95m的酒店组成。这两栋建筑的设计概念把建筑形态、结构受力统一在了中国古典建筑经典元素六棱窗中。建筑的蜜蜂蜂巢状表皮是由基于风力和日照指数确定的五种不同尺寸的六边形窗构件经过计算布置生成的（图8）。这样的设计不仅充分利用了当地的日照和风力资源，而且达到了控制室内气候环境的目的，节约了能源。在该设计中，充分利用了蜜蜂蜂巢状表皮形式节约材料的优点，同时，建筑表皮作为整个建筑受力的主体，使建筑内部除核心筒外，不再需要柱子支撑，室内空间得到了充分释放（图9）。而且，两座塔楼体块方正简洁，具有韵律感的六边形“蜂巢”窗有序排列形成的立面给整个建筑带来了自然肌理感，使得人们在该区域中的各个角度和距离都能够感受到建筑物外观的变化，领略建筑的美感。

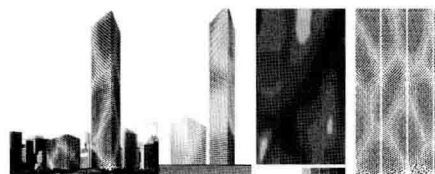


图7 中钢国际广场立面

图8 中钢国际广场立面

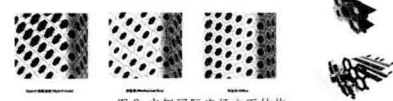


图9 中钢国际广场立面结构

4.1.2 深圳国际机场 T3 航站楼

出自于以建筑造型主打的国际著名的先锋建

筑设计机构——意大利 FUKSAS 事务所——之手的深圳国际机场 T3 航站楼的幕墙，是国内已建成的参数化项目中蜜蜂蜂巢表皮中的上乘之作（图 10）。该项目位于珠江入海口，占地面积约 19.5 万 m^2 ，总体建筑面积达 50 万 m^2 ，南北长约 1128m，东西宽约 640m，为飞鱼外形。航站楼主楼为地下二层地上四层（局部五层），由主楼和呈十字交叉的指廊组成。它的蜂巢表皮由三部分构成：外表皮的屋面、幕墙体系，中部的自由网壳结构，内部的空间吊顶体系。该幕墙由“几”字形金属板通过空间转折角度的变化与玻璃形成 0° 、 2° 、 4° 、 8° 、 12° 五种标准模式组成，同时其间的玻璃窗也根据空间造型需要，把窗高分为 0.9m、1.2m、1.5m、1.8m、2.4m 五种规格（图 11）。采用蜜蜂蜂巢形式的组合，考虑到 T3 航站楼建筑体量比较大，设计比较复杂，幕墙施工难度大，根据场地环境状况，通过光照、声学、风向等参数要求进行计算分析，对基础单元块进行布置，使幕墙达到了在设计上可能、施工上可行、造价上可控的目的。六边形的构件节省了建筑材料，同时，组成六边形的基础构件“几”易于加工、便于组装，降低了施工难度（图 12）。

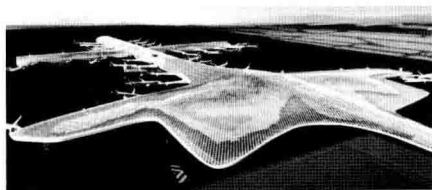


图 10 深圳机场 T3 航站楼鸟瞰图

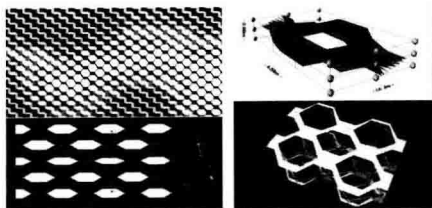


图 11 深圳机场 T3 航站楼六边形天窗网格系统

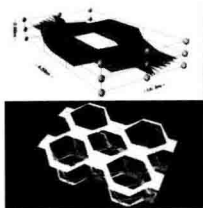


图 12 深圳机场 T3 航站楼基础结构单元

4.1.3 天津滨海新区中心商务区于家堡金融区的临时工程指挥部

在建筑表皮的参数化设计实践中，已经不再是六边形的组合形式，而是建筑师在选定某一构成元素后，基于场地环境的要求，编写程序脚本，根据设计、造价、施工上的可行性，通过计算机运算出合适的构成单元尺寸，再按照热学、光学、声学及安全性能上的特点

把这些单元在立面上进行有规律的排布，形成了类似于蜜蜂蜂巢一样的有序排列的“类蜂巢式结构”。位于于家堡起步区水线路与永泰路交口的天津滨海新区中心商务区于家堡金融区的临时工程指挥部，是整个金融区的工程管理中心（图 13）。为了便于对整个工地的观察，在其二层以上所有房间外侧均设有环通的走廊。它的立面是根据各房间的功能及所在位置对采光的要求采用了不同开孔率构件，这样为外廊提供了不同的景窗，增加了观赏过程中的趣味性。立面组成构件被设计成了一系列的以旋转为逻辑改变开孔率的几何构件，从开放式的线性的高采光率的景窗连续变化到封闭的四边形及六边形的低采光率的景窗。（图 14）立面由简单的几何图形经过特定逻辑关系的排列产生了丰富的几何变换关系，整体上形成了类蜂巢的平面，产生了特别的美感。（图 15）



图 13 天津滨海新区中心商务区于家堡金融区临时工程指挥部



图 14 于家堡金融区临时工程指挥部立面分析

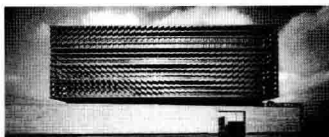


图 15 于家堡金融区临时工程指挥部立面

4.2 结构方面

蜜蜂巢房的六边形结构是由于表面的张力作用形成的，同多个肥皂泡交接在一起形成的六边形原理相同，在结构上具有天然的稳定性，这样的结构在设计实践中使用，可以使建筑具有高强度的力学结构，也可以提高空间的利用率。位于大柏树核心区域的邯郸路和逸仙路交会处的同济逸仙大厦，充分利用了蜂巢六边形结构稳定的优点，把表皮和结

构统一在了一起，实现了内部无柱网设计，提升了空间的使用率。（图 16）蜂巢在参数

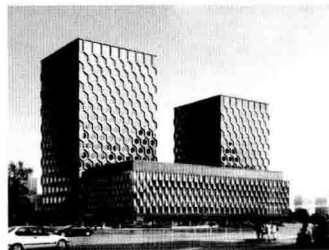


图 16 同济逸仙大厦

化结构设计领域中的应用为一些跨度大、结构复杂的设计提供了新的解决途径。水立方在其参数化结构设计的过程中，充分运用了蜜蜂蜂巢结构形成的原理，生成了一个泡沫状的结构方案，解决了形式美与功能要求的关系。这种结构也具有构成体系简单、重复性高、汇交杆件少、节点种类少、结构稳定性强等优点。（图 17、图 18）



图 17 水立方

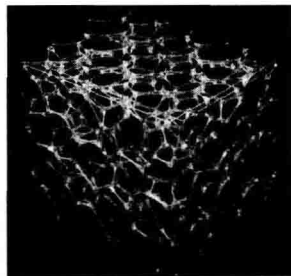


图 18 水立方结构模型图

5 参数化背景下二维语汇的表达方法

在几何图形学应用到参数化设计实践的过程中，蜂巢式形式，其实也就是连续差异性变化特征的设计手法被广泛使用。该方法以传统建模软件为基础，通过编写脚本程序去实现相对复杂的连续渐变的设计。在脚本程序中，作为单元的建筑构件作为数阵被赋予到建立在场地环境特点基础上的逻辑关系中，再通过重复和循环语句在后台进行运算。这一过程借用了计算机的运算速度的优势，实现了人工操作无法实现的连续渐变的复杂形体的设计。这种二维语汇的表达方法为解决大体量建筑中建筑外在表现形式与组成建筑

的各功能房间的复杂关系提出了新的解决方案,同时,由于其外表构成的元素单一重复,既保证了外在形式上的秩序感和韵律感,也使设计上的成为可能,达到了造价上可控、施工上可行的目的。

6 结语

在参数化建筑设计的发展过程中,蜂巢式设计为几何图形学的应用提供了一个新方向,蜂巢的规律和原理的运用为参数化设计方法开辟了新的途径。目前,参数化设计在建筑

领域的应用仍处于发展阶段,本文以蜂巢为例对参数化背景下建筑二维语汇的表达方法进行小结,希望为建筑师在以后的参数化设计实践过程中提供参考。

图片来源

图 1: <http://www.nipic.com/show/1/9/1ab2f4045a37472d.html>

图 2: <http://iask.sina.com.cn/b/5674826.html>

图 3: 马安宁,蜂巢漫谈[J],大自然,1995(5):8-10

图 4: 作者自绘

图 5: 彩万志,蜜蜂巢房的结构与仿生[J],昆虫知识,2001(2):151-153

图 6: 彩万志,蜜蜂巢房的结构与仿生[J],昆虫知识,2001(2):151-153

图 7: 陈淑渝,中钢国际广场,天津,中国[J],世界建筑,2009(8):54-55

图 8: http://www.i-mad.com/#works_details?wtid=4&id=48

图 9: http://www.i-mad.com/#works_details?wtid=4&id=48

图 10~图 12: 马泷,深圳国际机场 T3 航站楼的参数化设计实践[J],建筑技艺,2011(Z1):62-67

图 13~图 15: http://www.goood.hk/_d271273387.htm

图 16: http://www.tjt.cn/content.aspx?info_lb=212&flag=98

图 17、图 18: 郑方,张欣,水立方—国家游泳中心[J],建筑学报,2008(6):36-47

参考文献

[1] 马安宁.蜂巢漫谈[J].大自然,1995(5):8-10

[2] 彩万志.蜜蜂巢房的结构与仿生[J].昆虫知识,2001(2):151-153

[3] 陈淑渝.中钢国际广场,天津,中国[J].世界建筑,2009(8):54-55

[4] 马泷.深圳国际机场 T3 航站楼的参数化设计实践[J].建筑技艺,2011(Z1):62-67

[5] 周恺,张一.参数化设计天津滨海新区中心商务区于家堡金融区临时工程指挥部[J].时代建筑,2010(05):80-85

[6] 郑方,张欣.水立方:国家游泳中心[J].建筑学报,2008(6):36-47

[7] 董玉香,柴哲雄,赵鹤.数字技术影响下的建筑表皮设计[J].中国建筑装饰装修,2010(11):160-163

基于 Voronoi 算法的建筑形态生成逻辑初探^{*}

BUILDING FORM GENERATION LOGIC BASED ON VORONOI ALGORITHM

张天悦 殷青 | 哈尔滨工业大学建筑学院

Tianyue Zhang Qing Yin | School of Architecture, Harbin Institute of Technology

摘要: 建筑形态生成逻辑是通过计算机算法等数字技术,将自然界中的美学原理转译为控制建筑形体组织和形式表达的参数。根据所形成的原理不同,形态逻辑的来源分别根据数学、生物学、拓扑学等。由于 Voronoi 算法具有最近性、临近性等性质和相对完善的理论体系,其广泛应用于建筑形态设计中,但是针对 Voronoi 算法的相关分析仍有待完善。本文将从生成过程、前期调研、建筑形式功能和后期建筑结构形式四个方面对 Voronoi 算法应用实例进行解析,探究参数化设计中的形态逻辑,进而揭示出在 Voronoi 生成算法下,建筑形态不断地在所提供的条件数据下进行反馈和演变、生成最优解的过程。

关键词: 建筑生成逻辑 生成算法 建筑形态 建筑空间

Abstract: Building form generation logic is through digital technologies such as computer algorithms, the nature of the aesthetic principles are translated into control construction organization form and expression form of parameters. According to the different principle, which is formed by the form of logic source respectively according to math, biology, topography, etc. Have recently because of the Voronoi algorithm, closely and other properties and relatively complete theoretical system, it is widely applied in the design of architectural form, but in view of the Voronoi algorithm related analysis remains to be perfect. From generation process, prophase research, late architectural form and architectural structure form four aspects the Voronoi algorithm analyzes application example, explore the parametric design of form logic, to reveal the Voronoi generation algorithm, the architectural form provided condition feedback and evolution continuously, generate the optimal solution of the process

Key words: Architecture Generation Logic Generation Algorithm Architectural Form Architectural Space

1 引言

当代参数化背景下,由于有了计算机强大的运算功能,使得规则和算法可以生成各异的建筑形态。参数化设计在建筑形式方面的应用,似乎是其应用的最主要也是设计者们最为关注的部分。

传统设计,比如仿生建筑或者有机建筑,只能通过建筑师对自然的感悟以及对环境的理解力,将自然的因素融入到设计当中,使建筑具有某些自然的美感。当今蓬勃发展的计算机技术为设计的“找形”提供了技术策略平台,复杂的“找形”过程可以借助于软件方便地完成,并且可以精确到用以施工的数据提供。

非线性建筑的参数化设计是各种矛盾的综合

体,但是在面对建筑设计的复杂性时,可以通过不同的角度来选择参数,并设定参数关系。具体来说,凡与建筑密切相关的设计元素都有可能特定的问题中成为重要参数,如建筑功能、形式、结构、环境行为心理等。在构建参数控制模型时,可以选择其中的一个或几个作为切入点,来进行参数关系的建立。

2 参数化设计中的建筑形态逻辑

逻辑是一个抽象而富于理性的哲学命题。逻辑从概念上讲,具有直线性、顺序性和因果性的特征;对建筑而言,逻辑的表现相对比较复杂。由于建筑具有工程与艺术的双重属性,因此既有建筑和建筑创作中逻辑性的存在,又有欣赏感官的、文化的、精神的等非理性成分,若把建筑的内涵扩大至与其相关的建筑创作、设计

^{*}教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET-10-0063)

黑龙江省科技攻关计划资助项目(GZ10A509)

方法、认知规律等广义的范畴,不难发现建筑的逻辑其实是广泛存在的。

2.1 建筑逻辑“生成”概念

建筑逻辑“生成”思想,首先要从“生成”着手理解,“生成”不能被固化成为一种空间性的先后秩序,“生成”的主要特征就是与在场性的“现在”相互区别。“生成”是在某个特定的时间点,它既是存在的,又是不存在的。换言之,“生成”是一个运动过程,不能通过现在的片段性推断是否“存在”。建筑逻辑“生成”的概念打破了固化理论学说,实质上是承认系统的多元化。

2.2 设计的“过程性”

“过程”概念是建立在生命有机体理论上的,也就是认为自然是活的生命有机体。将“过程”概念推广到建筑设计中来,究其本质是把建筑设计过程看成生命有机发展的过程。

当代参数化过程设计强调生成的过程性,即在调整参数的过程中,建筑形态根据已设定好的关系演化,最终浮现出理想的建筑形态。于是,设计的重点从设计“物体”转移到设计物体的“过程”。

这种过程的形态一方面由于这种自下而上的设计思想使演化的结果具有独特的唯一性,另一方面由于持续的过程性和参变量的可调节性又可以产生具有相似性的形态系列。

过程性产生的形态随着参数的变化不断产生新的结果。“生成”结果不是某个概念的再现,而是基于对具体条件的分析与认知,演化、生成的一种逻辑的必然。因此结果不是主观预设的,同时具有不可预测性。

2.3 参数化设计背景下建筑生成逻辑的演变

任何一种建筑的形态,都有其内部生成的逻辑,这指的是在建筑的生成过程中,建筑各部分形体间的关系。参数化建筑的美感,从很大程度上也发于此。在把建筑当成一个复杂系统进行设计和操作的过程中,我们总能发现其内在的秩序与美学特征。

现代主义,可以看作是控制欲望的膨胀,是国际式的设计逻辑,精确理性的判断完全取代直接而感性的审美经验,国际式重功能、轻人性的设计理念,导致了建筑自然属性的消退。

后现代主义,注重大众文化和援引历史文化的隐喻为主的反对现代建筑简单僵化的建筑风格。它从种复杂性和多样性的思维出发,挑战了现代主义“非此即彼”的二元对立和简单化思维。

解构主义,对现代主义进行了批判和消解,以反叛的形式语言,如颠倒、错位、分解等手法,创造出了充满矛盾性、复杂性和不确定性的建筑形象,但同时导致了形式美原则的缺失和虚假形式的泛滥。解构主义,跳出了束缚的网,试图建立一种复杂的形式,并追求视觉的冲击力,却忽略了复杂现象背后所隐含的秩序,最终导致了解构主义的边缘化。

再之后的参数化设计是对于洋溢着激情的逻辑和经过优化的美的追求过程。曾经涌现出这样的观点,就是参数化设计是通过几何和诗意的手段培育建筑系统之间的连贯的关系,向着建筑中更高秩序的涌现的整体性发展。

2.4 参数化设计中的几种生成算法

非线性建筑的参数化设计是各种矛盾的综合体。但是在面对建筑设计的复杂性时,可以通过不同的角度来选择参数,并设定参数之间关系。具体来说,与建筑密切相关的设计因素,如建筑功能、形式、结构、环境行为心理等。在构建参数控制模型时,可以选择其中的一个或几个作为切入点,来进行参数关系的建立。

2.4.1 Voronoi 算法

Voronoi 算法是为了纪念俄国数学家沃罗诺依命名的。Voronoi 图的形态无论从自然界还是已经建成建筑来看,都不会太陌生。

龟裂的大地所形成的纹理,抑或是动物表皮所形成的斑纹,还是空间上泡沫聚在一起所形成的多面体,都给人以非常紧凑的秩序美感。从建筑上说,水立方的外墙结构设计也是根据沃罗诺依原理。

2.4.2 L-system 算法

L-system 也是一种可用来进行建筑设计生成的算法。它是由美国生物学家所提出的算法,并以这位生物学家的姓氏命名。这个算法主要是基于形式语言用来描述植物发生和生长过程中的形态变化,其本质是重写系统,通过有限的数量的公式进行有限次迭代,并对产生的字符串进行几何语言的转化,进而生

成复杂图形。

2.4.3 元胞自动机算法

元胞自动机是一种人工智能技术,其设计思想是通过复杂系统来模拟生物生化与演化过程。元胞自动机不是传统意义上的确定性计算。元胞自动机运算的循环过程会执行到结果的完成。在此过程中,其形成现象具有空间性,可以被看作是一种空间演化工具。

2.4.4 极小曲面算法

极小曲面也是经典的生成系统,现今也是广泛运用于建筑设计中。极小曲面本身可以分为很多种,比如悬链面、螺旋面等。不同种类的极小曲面算法被应用在不同地方。极小曲面的算法给建筑师提供了极其有趣的特殊空间逻辑和结构特性。

3 Voronoi 算法应用解析

Voronoi 图形的每个多边形只有一个“生成点”,该点到该多边形的任意一边的距离最短,因此 Voronoi 算法在数学原理上是一种获取图形的最优算法。其除了在建筑学上给我们带来的美轮美奂的视觉效果外,在空间统计上同样也有应用。

3.1 三维 Voronoi 表皮的生成过程

一个三维的 Voronoi 表皮的生成,首先定义空间中的点集合,再根据 Voronoi 的几何规律对空间进行划分,得到细分的面,然后从面上得到表皮的结构,再展开表皮进行制作。首先定义空间点的集合,之后两点相连,取每条线段的垂直平分面,这些垂直平分面相交,形成空间多面体结构(图1)。

3.2 Voronoi 算法案例分析——墨尔本大学建筑设计实例

Voronoi 算法的设计实例是来自墨尔本大学毕业设计。设计方案的基地在 Docklands,墨尔本。

该设计的目的在于连接 Docklands 和墨尔本的城市中心。基地上的铁道将这两个区域分割(图2)。由于与市中心连接的脱节,Docklands 成为了一个失败的城市案例——本应该连接城市的铁路线却变成了视觉上和功能上阻隔城市的重要因素。

此设计尝试通过在铁路上方建立一个新的网



图2 设计 Docklands 区位图

格来解决上述问题。这个新填充的空间将最大程度上连接 Docklands 和墨尔本。通过合适的混合功能，这个新的空间将变成两个城市的缓冲区域。

3.2.1 前期踩点调研

首先根据 Voronoi 算法，创建一组点阵，连接点来得到线。然后创建一组垂直于直线又经过直线中点的直线，于是这些线形成了沃

罗诺依图形。根据不同的功能分区与已有的基地状况然后压缩来形成更加高密度的网格，基于一种对于 Voronoi 图可以进行的如何影响建筑和城市空间的尝试（图3）。

3.2.2 中期建筑形式功能分析

Docklands 被阻隔和缺少开发的一个主要原因就是缺少流动性的空间进行过渡。之前由于被铁道形成地理上的隔离而产生的阻断，

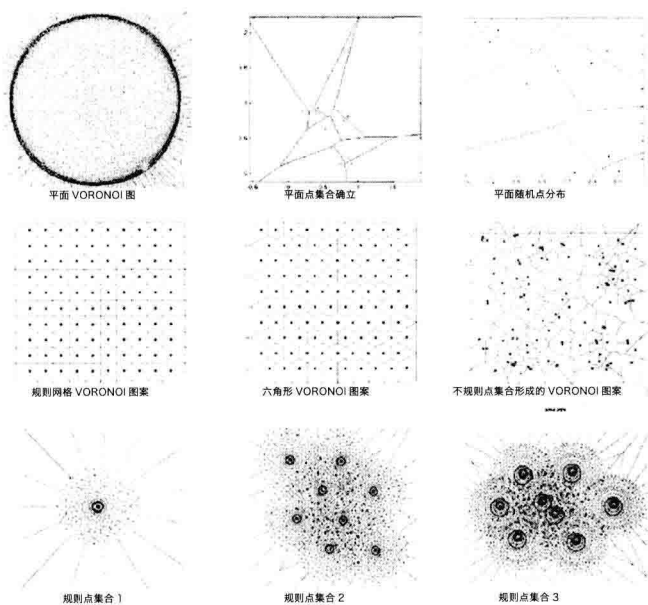


图1 三维 Voronoi 表皮的生成过程

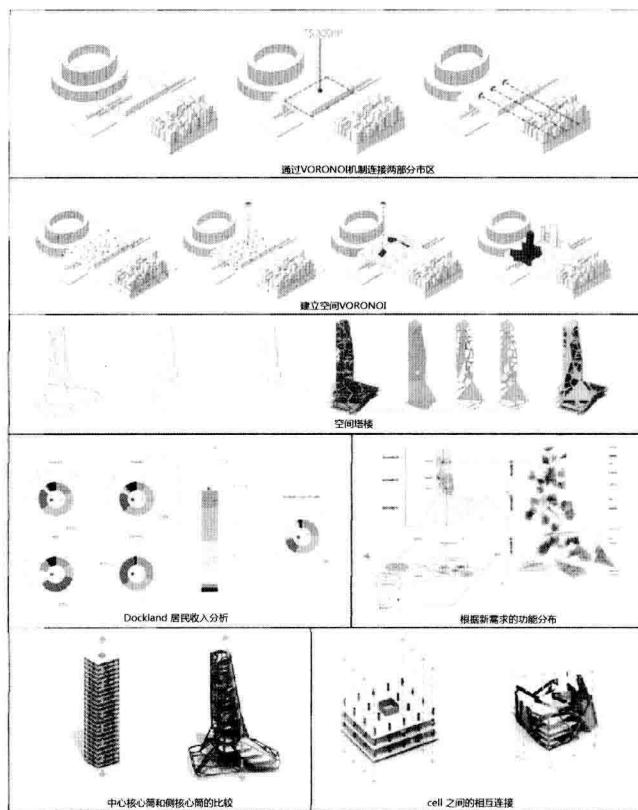


图4 中期建筑生成 Voronoi 图分析

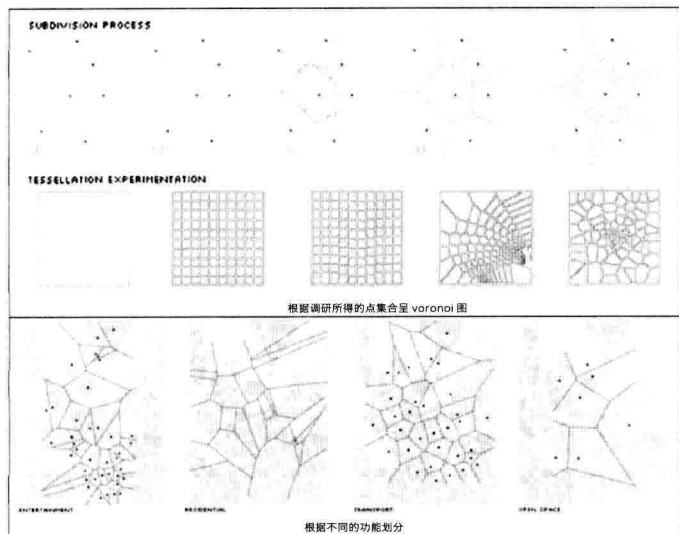


图3 前期 Voronoi 图生成

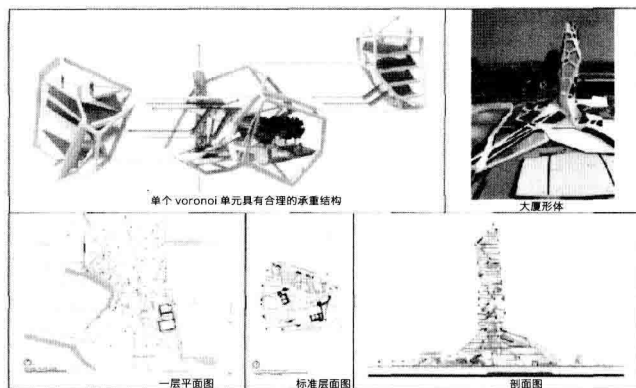


图5 后期建筑结构单元及平面剖面图

希望在采用 Voronoi 算法后,细胞的形式可以形成集功能性和视觉性双重的空间过渡。于是,将铁道线同墨尔本城市中心一样高度的平面进行连接,一系列的连接通过商业综合体来增加联系。这样加强了视觉联系,从而使得更多的人群被吸引。

介于之前前期调研的分析研究,创造出一个 Voronoi 算法开始的点阵,进行平面点集合的转换空间,之后根据距离关系生成一个三维的 Voronoi 网格。

在建筑单体的设计中继续使用 Voronoi 算法的生成法则。首先,根据前期分析得出的功能性,创建空间点集合。根据周围建筑群所产生的高度变化而带来的视觉差异,来改变建筑形体的起伏、通透效果。

针对形成建筑单体的塔楼形式,塔楼的功能混合基于它整体上会影响 Dockland。塔楼以一种高密度的功能分布进行设计,最终希望产生更紧密连接的城市环境。于是学校、图书馆、宗教相关场所、康复中心等功能需在塔楼中有所体现,以弥补高商业化的 Dockland 的规划不足,从而,高密度的建筑功能的集中也是吸引人群的强力手段,它满足了 Docklands 和墨尔本两个城市的环境需求。

形成基本形体和功能的混合分布之后,根据美学原理,开始适当选择开放空间和闭合空间的结合分布,更或者中和一定的设计节点,进行相对的调整(图4)。

3.2.3 后期建筑结构形成

基于 Voronoi 算法生成建筑单元本身的受力特性,这个独立的结构自身可以支撑自己,于是在每个单元中插入楼板,结果在不同的单元中的楼板之间的高度距离会不一样。

并且由于三维的 Voronoi 几何特性——最小体积的分割,因此结合自身可以承重的结构特点(图5),将表皮和空间围合在一个结构元素中,便提供了高度的建造和材料使用的效率。

4 Voronoi 算法所产生的问题

4.1 设计形态细小变化的不可控制

在 Voronoi 算法辅助下的建筑设计带来方便、灵活化和参数化的同时,也产生一定的不可控性。Voronoi 算法运用于建筑设计,不同于用于机械或者别的方面,建筑虽然是大体量的空间,但其大小或者细节的变化还是相对复杂的。Voronoi 算法基于数学公式,在数学公式中,改变其中的一个参数所带来的变化是具体的、跳跃的,这样的不连续的变化,会同起初的建筑设计概念和理念产生绝对的误差,甚至是错误,这样可能造成违背之前的设计想法,而变成一味的为了追求算法生成的形式,从而忽略空间感受和造价问题。

4.2 设计形态趋于定式

基于各种算法下的参数化设计面临的另一个问题,即虽然形态逻辑能够带给建筑以多种新奇的形式,但这些算法就如同公式的发明,一旦参数之间变量与常量的关系确立,建筑所生成的形态便趋于定式,如果将参数化设计依赖于“找形”,那么在新出现的建筑形式得到惊叹之后,建筑的形式会在另一个形式下产生大同小异、千篇一律的形式,甚至是空间感,仍旧会导致索然寡味,不能适应随着社会技术的发展而改变的人们对于建筑形式和空间的需要。

一个酒店设计作业(图6),充分体现了问

题——建筑内部的功能区同外部的 Voronoi 算法下的表皮是两个单独的部分,这就造成了形式和功能的分离同时产生了材料和空间的浪费。

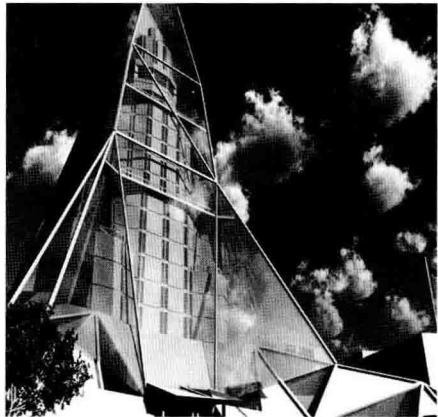


图6 酒店设计效果图

这个建筑设计形态趋于定式的现象虽然目前还没有发生,但是确实是一个在计算机辅助下参数化设计的潜在问题。

5 结语

由此可见,参数化设计策略可以帮助建筑实现如此多的形式,参数化设计策略下的建筑生成逻辑是多样的、可变的、开放的,并且是不断发展的。

本文从生成过程、前期调研、建筑形式功能和后期建筑结构形式四个方面对 Voronoi 算法应用实例进行解析,从而探究参数化设计中的形态逻辑。本文仅仅从一个算法入手探究形态逻辑的“生成”逻辑,并且探究针对 Voronoi 算法可能之后在运用上会产生问题,但对于其他算法,如 L-system 算法,只是提及并未深入探究。之后会对不同算法下的参数化建筑设计进行更深入的探究。

参考文献

- [1] 陈军. Voronoi 动态空间数据模型[M]. 北京: 测绘出版社, 2002.
- [2] 张有会. 线段加权的 Voronoi 图[J]. 计算机学报, 1995.
- [3] 李成名, 陈军. Voronoi 图生成的栅格算法[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1998.
- [4] 周培德. 计算几何: 算法分析与设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [5] 李武龙, 陈军. 线状障碍物的可视最短路径 Voronoi 图生成. 武汉测绘科技大学学报, 1998.