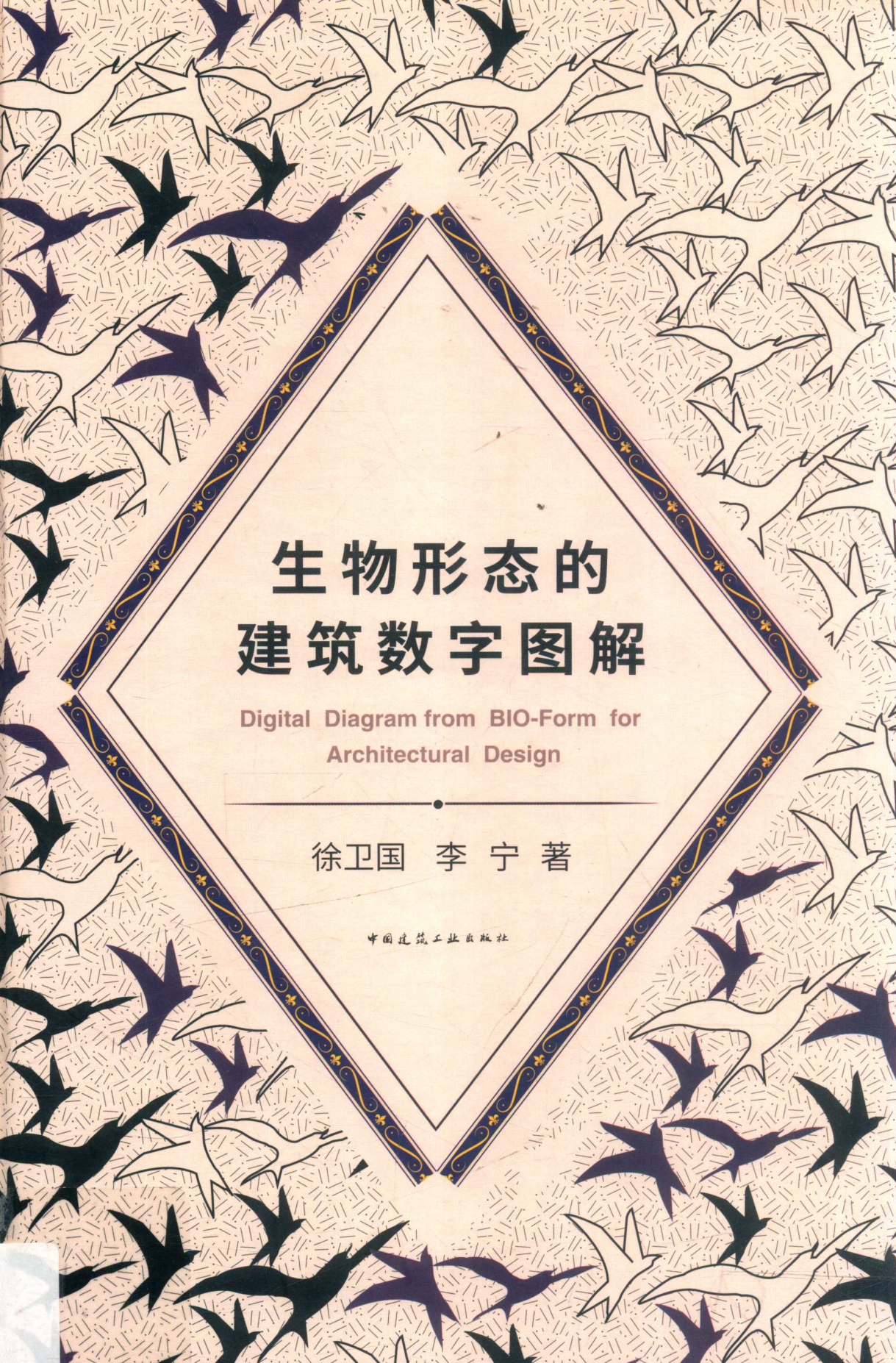




生物形态的 建筑数字图解

Digital Diagram from BIO-Form for
Architectural Design

徐卫国 李 宁 著

中国建筑工业出版社

国家自然科学基金重点项目资助 51538006

生物形态的建筑数字图解

Digital Diagram from BIO-Form
for Architectural Design

徐卫国 李 宁 著



中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

生物形态的建筑数字图解 / 徐卫国, 李宁著. — 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.4
ISBN 978-7-112-21936-0

I. ①生… II. ①徐… ②李… III. ①数字技术—应用—建筑设计 IV. ①TU201.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 049124 号

责任编辑: 张 建 张 明

责任校对: 李欣慰

中国建筑工业出版社官网 www.cabp.com.cn → 输入书名或征订号查询 → 点选图书 → 点击配套资源即可下载。(重要提示: 下载配套资源需注册网站用户并登录)。

生物形态的建筑数字图解

徐卫国 李 宁 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 22¼ 字数: 377千字

2018年5月第一版 2018年5月第一次印刷

定价: 99.00 元(附网络下载)

ISBN 978-7-112-21936-0

(31841)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

目录

绪言

建筑设计的图解	1
建筑设计的数字图解	3
图解与算法	8
生物形态	8
生物形态与建筑设计	10
生物形态的数字图解研究	12

1 DNA 形态的算法程序及数字设计	13
2 细胞骨架形态的算法程序及数字设计	25
3 寺崎坡道形态的算法程序及数字设计	35
4 高尔基体形态的算法程序及数字设计	45
5 线粒体内膜形态的算法程序及数字设计	57
6 植物原生分生组织形态的算法程序及数字设计	67
7 植物次生分生组织形态的算法程序及数字设计	77
8 植物通气薄壁组织形态的算法程序及数字设计	87
9 植物传递细胞内壁形态的算法程序及数字设计	97
10 植物表皮细胞排列形态的算法程序及数字设计	107
11 动物外分泌腺形态的算法程序及数字设计	119
12 成纤维细胞形态的算法程序及数字设计	131
13 骨小梁形态的算法程序及数字设计	141
14 骨骼肌形态的算法程序及数字设计	149
15 植物根、茎、叶脉、花形态的算法程序及数字设计	161
16 植物叶序形态的算法程序及数字设计	173
17 植物聚合果形态的算法程序及数字设计	189
18 蝴蝶翅膀形态的算法程序及数字设计	201
19 人体呼吸系统及循环系统形态的算法程序及数字设计	211
20 人体消化道形态的算法程序及数字设计	223

21 海绵动物形态的算法程序及数字设计	233
22 海绵骨针形态的算法程序及数字设计	243
23 腔肠、棘皮动物形态的算法程序及数字设计	253
24 脑纹珊瑚形态的算法程序及数字设计	265
25 螺状贝壳形态的算法程序及数字设计	277
26 环节动物形态的算法程序及数字设计	287
27 单种群生物个体分布形态的算法程序及数字设计	297
28 鸟群捕食过程形态的算法程序及数字设计	309
29 黏菌觅食过程形态的算法程序及数字设计	317
30 群落内多种群形态的算法程序及数字设计	329
参考文献.....	339
图片来源.....	344
后记.....	349
作者简介.....	351

绪言

建筑设计的图解

（一）解释性图解

“图解”的概念由来已久，可以说与建筑学本身一样古老，然而，“图解”在过去只是一种解释性或分析性的工具，通常用来表示某种几何关系，进行形式研究，解释事物之间某种内在关系，或者展现建筑师的设计灵感。

西方建筑理论史的奠基人维特鲁威提出的“维特鲁威人”就是对他所建立的建筑形式标准的图解，一个人伸开双臂双腿，其手指脚趾落在以肚脐为圆心的一个圆上，从脚底到头顶的高度，正与其两直臂的两侧手指端间的距离相等，由此可形成正方形。之后希·罗·宾根、弗·迪·乔奇奥、温·斯卡莫奇以及达·芬奇等人均绘制过维特鲁威人，试图表达建筑、人体、世界之间的几何关系。¹

柯布西耶在1915年绘制的“多米诺住宅”是一个具有划时代意义的建筑图解，他以多米诺命名，意味着这是一栋像骨牌一样标准化的房屋，在这里柯布将建筑抽象还原到梁、柱、板，垂直交通组成的基本结构，这一结构可批量生产，其形式随着建筑类型的需要可进行修改。这个图解直接反映了柯布“住宅机器”的概念，是“机器美学”的具体体现。²

现代主义的功能关系泡泡图是典型的抽象分析性图解。基于“形式服从功能”的信条，建筑设计首先要分析功能组成及其之间的联系，功能泡泡图正是对建筑功能组成及其关系的图解，它简单化地表达了功能及流线的关系，并作为建筑形式发展的抽象基础。在泡泡图中，人的动态活动要求被片面地表示为静止的功能体块，建筑中各种活动之间的复杂联系被表示为简单的流线，其结果导致现代建筑僵化、生硬、缺少人性。

（二）生成性图解

埃森曼开发了“图解”的生成性用途，把建筑作为一个事件不断展开，时间在这里具有了积累、绵延的特征，于是形式

1 [德]汉诺-沃尔特-克鲁夫特著，王贵祥等译.建筑理论史：从维特鲁威到现在.北京：中国建筑工业出版社，2005.

2 [美]肯尼斯·弗兰姆普敦，张钦楠等译.现代建筑：一部批判的历史.北京：生活·读书·新知三联书店，2004:165.

是运动的积累。他的具体操作是从某一原始形式或初始概念出发,运用某种方法或规则,逻辑性地变化原始形式,从而形成系列形体并产生建筑设计。埃森曼认为,图解就是那些在过程中未被画出的工作过程,“在最初的羊皮纸建筑制图中,一个图解性计划通常用一支没蘸墨水的铁笔绘制或蚀刻在羊皮纸表面,之后再在上面用墨水画上实际的方案。而这些中间状况的踪迹,就是图解”。¹从住宅系列研究开始,埃森曼的多数设计均以这种图解的方法发展而来。比如住宅2号,以九宫格作为初始形式,运用旋转加倍等方法获得柱与墙系统的多重踪迹,并以此决定建筑的整体空间;住宅6号同样从九宫格原形出发,通过电影概念进行思考,建筑方案是一系列定格在时间和空间中的原形轨迹,它是一个过程的记录,基于一组图解式转换,因此,最终建筑客体不仅是自己生成历史的结果,并且它还保留下这段生成过程作为它完整的记录(图1)。在这里,埃森曼将注意力“从客体的感性方面转移到客体的普遍性方面”,“研究形式构造的内在的,所谓形式的普遍性本质”,并将九宫格的结构框架引入时间维度,成为动态的“生成中”的形体,与柯布的多米诺住宅的静止图解相比,埃森曼的住宅具备了生成性特征。²

埃森曼对图解的另一贡献在于使用三维轴测图将过去二维图解发展到三维图解。轴测技术虽然曾是20世纪二三十年代先锋建筑师们的重要工具,但50年代末之前已不再作绘图工具。由于轴测法崇尚对象的自治,能克服透视法向灭点消失所产生的变形,又可同时表达出平、立、剖面的内容等特点,埃森曼及海杜克恢复了轴测图的使用,使得设计生成过程中的分析图解具有与实体建筑相接近的三维图形,这样图解具有了可度量的客观信息。

然而,埃森曼由于一直坚持建筑学的自治,并毫不妥协地坚守建筑学形式语言的领地,他的图解起点如上所述,通常是某一概念或初始形体,这样生成的建筑形体最终也只能停留在与建筑概念或建筑形式相关的层面。

与埃森曼相比较,库哈斯及赫尔佐格也坚信图解的生成性用途,并以图解为工具生成设计,但是他们图解的起点则与埃森曼完全不同。

库哈斯认为建筑学的中心应该让位于某些更广泛的社会力量,记者出身的库哈斯对建筑学以外的社会现象具有浓厚的兴趣,善于进行新闻报道式的发掘研究,他的设计图解正是来自

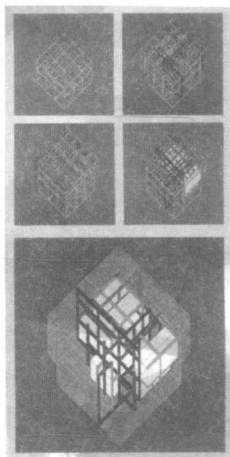


图1 埃森曼的“生成”图解

1 [美]彼得·埃森曼编著,陈欣欣,何捷译.图解日志.北京:中国建筑工业出版社,2005:28.

2 R·E·索莫尔.虚构的文本,或当代建筑的图解基础.详见:同上序言 P17-18.

于这些社会研究，并对图解进行操作，发展成建筑方案。比如在美国西雅图公共图书馆项目（1999年始）中，OMA的工作者绘制了一幅展现媒体发展历史的图解，展示了图书从1150年起作为唯一的媒体，到互联网出现，旧媒体与新媒体并存的状态的全过程。库哈斯认为图书馆已从一个单一的阅览空间转化为社会中心，因而其构架及形态也应转变以适应这个新角色，媒体发展历史的图解正好展示了当代图书馆这个容器中复杂的活动。设计者将这些复杂的活动进行压缩，并重组为9个功能组团：五个稳定功能和四个活动功能，并以这四个活动功能作为设计的出发点，将这四个活动功能组团进行平移，产生了整个设计的核心元素“平台”，并赋予平台不同的功能、不同的形状、不同的尺寸，并组织人流，成为城市活动的主要发生场所，之后，利用自动扶梯将平台相连，形成建筑整体，最终的设计正是从这步图解的操作中发展而来。¹

赫尔佐格更注重建筑所在场地及周边的特征，建筑形态的起点从研究地段及环境开始，研究环境及生活现象，以及其逻辑性的发展，形成最终的设计方案。比如日本东京Prada项目中，地段周边建筑的高度、日照分析、各个不同角度上的视觉景观等现状条件经过图解分析决定了建筑的基本形体；美国明尼阿波利斯的沃克艺术中心扩建项目中，为了将城市生活引入艺术中心，建筑的空间组织以一条变化的街道空间为主脊，增建的四块体量的方向分别与道路及对面建筑的方向相对应，建筑的形态表现出与生活及环境现象之间的逻辑关系。²

库哈斯以社会研究为起点发展设计，赫尔佐格以生活环境现象为起点发展设计，这样设计的结果具备了社会性及生活性特征，在埃森曼的基础上，使建筑贴近了社会生活。

建筑设计的数字图解

20世纪最后几年，新一代先锋建筑师运用图解工具进行建筑设计取得了革命性的进展，他们主要获益于哲学家吉尔·德勒兹对米歇尔·福柯图解概念的重新解释³，从而在哲学层面上定义了图解概念；同时，基于图解哲学定义的特征，借助计算

1 参见：El Croquis 134/135: 62-117. OMA REM KOOLHAAS[II]1996-2007, El Croquis I, 2007.

2 参见：a+u February 2002 Special Issue, Herzog & Meuron 1978-2002, Tokyo: a+u Publishing Co., LTD 2002.2.

3 M·福柯1975年写《监视与惩罚》（Michel Foucault. Surveiller et Punir-Naissance de la prison. Paris: Editions Gallimard Paris, 1975）阐述了图解概念；吉尔·德勒兹1986年写《福柯》（Gilles Deleuze. Foucault. Les Editions de Minuit, 1986），书中第一章第二节“新一代制图者”（A New Cartographer）阐述了福柯的图解概念。

机软件技术在建筑设计上实现了图解概念的具体操作，这一设计方法可以定义为数字图解的设计方法，它是用计算机程序生成设计形体的操作。其结果给建筑设计带来了新的历史开端，一种新的适用于建筑设计的数字图解工具及相关理论正在形成之中。

德勒兹在《福柯》中认为福柯在其前期著述中一直在研究两种形式，即可述者的形式及可见者的形式，直到《监视与惩罚》才找到肯定的答案：可述者的形式与可见者的形式完全不同，并以“刑法”及“监狱”为对象阐述了两者的关系。“刑法”作为“违法及惩罚”这一内容的形式，它是可述的功能，是可述者的形式；而“监狱”作为“囚徒及监狱环境构成”这一内容的形式，它是可见的内容，是可见者的形式。这两种形式不断发生联系，相互渗透，相互摆脱：刑法不断提供囚徒，并将他们押送进监狱，监狱却不断再造罪犯，使罪犯成为“对象”，实现刑法所另外构想的目标（保卫、囚犯变化、刑罚调整、个性）等等。由此可见，监狱是刑法的形态转化，即“可见者的形式”是“可述者的形式”的转化。而事实上，刑法对应的形式并不一定是监狱，比如18世纪的刑法基本不涉及监狱；监狱也并不是刑法唯一对应的形式，比如，监狱就曾是欧洲复仇或君主复辟时的惩罚形式，那么，我们如何确切地表示刑法及监狱之间的关系呢？或者说如何确切地表示“可述者的形式”与“可见者的形式”之间的关系呢？德勒兹基于福柯的思想提出了“纯粹的可述的功能”，“纯粹的可见的内容”以及抽象形式的构想，并认为功能及内容均体现在抽象形式之中。福柯把这两者之间的关系抽象地确定为一台机器，“这种机器不仅通常运用于可见的内容，而且通常渗透于一切可陈述的功能”，对于“刑法”与“监狱”，其抽象的关系则可表述为“在异常的人类多样性上强加异常的行为”，他给这种抽象关系取了一个最贴切的名字：这就是“图解”（Diagram）。福柯认为，图解是“一种函数关系，从一些必须分离于具体用途的障碍和冲突中抽象出来的关系”。德勒兹认为，图解不再是视听案卷，而是一种图，一种与整个社会领域有共同空间的制图术。它是一部抽象机器，它一方面由一些可述的功能及事物所定义，另一方面，产生出不同的可见的形式；它是一部无声而看不见的机器，但是又让别人看见和言说。

德勒兹在讨论了权力概念及社会势力问题之后，又进一步定义图解，什么是图解？图解是构成权力的各种势力之间关系的显示。权力或势力之间的关系是微观物理的、策略性的、多点状的、扩散的，它们决定了特征并构成纯粹的“可述的功能”。

图解或抽象的机器是力之间关系的图，密度或强度之图，它通过原初的非局部化的关系而发展，并在每一时刻通过每一点，“或者更恰当地说，处于从一点到另一点的每一种关系之中”。当然，这与先验的观念没有关系，与意识形态的超结构也没关系，与由物质限定的、由形式和用途所定义的经济基础更无关系。同样，图解作为非一元化的内在原因而发生作用，内在原因与整个社会领域有共同空间：抽象机器就像执行关系的具体集合的原因；这些力之间的关系发生在它们产生集合的组织内部，而不超越其上。¹

由此可见，图解表示了各种力之间的联系关系，它是一部抽象的机器，一边输入可述的功能，另一边输出可见的形式。在这一点上，建筑设计过程与其相似，也是将一些可述的功能要求及影响设计的要素通过某种关系转化成各种可能的可见的形态，新一代先锋建筑师正是从这里入手，在设计过程中引入作为抽象机器的图解工具，将传统设计改变成图解过程。由于抽象机器本身表示了各种影响力之间的关系，或称它是一个函数关系，并且输入的可述的因素不止一种因素且具有动态性（可称为参变量），这样输出的结果也具有多样性，如果要人为地控制这一过程是不可能的，而计算机技术却可以控制并实现这一过程的转化，因而，计算机技术与图解概念找到了结合点。以计算机图形学为基础，计算机可以通过某种几何关系及屏幕效果将设计要求及影响要素转换成计算机中的图形，这一图形可以作为建筑设计的雏形。先锋建筑师正是依靠软件技术建立抽象机器，并将那些影响设计的要素输入，通过计算获得各种可能的形式，作为建筑设计的方案。

格雷戈·林恩是这一领域的代表建筑师之一，他在1993年纽约“Port Authority Triple Bridge Gateway”竞赛方案设计中，以动画软件中的粒子系统作为图解，以纽约第7大道及38街上人流及车流的交通量作为影响设计的主要因素，在粒子系统中，行人及汽车的速度及交通量作为作用力建立了一个引力场，不同强度的交通量以不同密度的粒子来表示，粒子受到力场的作用发生运动，软件可以记录下粒子的运动轨迹，经过一段时间对其轨迹的捕捉，这些粒子移动的相位图就渐渐形成了管状形态，这个形态正是建筑设计所要的设计雏形（图2）。在90年代后期的设计中，林恩已不再局限于使用动画软件中给定的工具作为图解，而是自己编写计算机程序并在某种软件系统中运行，由此获得图解，并以此来生建筑初始形体，比如哥斯达黎

1 参见：Gilles Deleuze, translated by Sean Hand. Foucault. Minneapolis: The University of Minnesota Press, 1988:23-44；及吉尔·德勒兹著，于奇智，杨洁译，福柯 帽子，长沙：湖南文艺出版社，2001：28-49。

加的自然历史博物馆设计以及胚胎住宅设计均用这种方法生成设计。¹

卡尔·初是另一位以图解为工具设计的探索者，他积极探讨生命原理与计算机技术相结合的图解工具，形态基因体系是他设计的基础，他坚信应以内在法则和形态代码来生成建筑形体，从而建立建筑学的自治。他的图解是建立在递归基础上的基因遗传学，“在基因这个概念中内涵的是一个基于遗传规则复制遗传单元的思想。埋藏在这种机械复制之中的是一种生成功能：基于递归的自指涉逻辑。递归是一种不断自我重复的规则，从而自指涉地生成一系列变形。”“ZyZx”是一组由一维原胞自动机的基因密码生成的几何形体，每一种规则形成一个可能的单胞体，通过各个球体表现；“原形建筑”是这些规则扩展而生成的建筑形体（图3）。在这些形体的生成过程中，元胞自动机算法系统是作为抽象机器的图解。²

UN Studio 更多地把图解工具用在实际项目中。博克尔和博斯通常从其他领域借取图解材料，输入到计算机软件中，比如数学图解、电路图、乐谱等等，在某个设计项目进行时，根据项目具体情况如场地、功能、流线等选择合适的图解素材，并以项目具体的条件作为触发，促使图解运动并产生变形，从而获得建筑设计的形体。他们认为设计过程中借用的图解素材与素材本身的信息无关，它们只是作为某种先在性关系而存在，在结合到具体项目时，项目信息导致先在性图解发生拓扑变形，生成了适合于具体项目的形态，因而同一图解在不同项目中使用，同样可以产生不同的设计结果。UN Studio 最常用的图解是莫比乌斯环及其变体克莱因瓶和三叶草。莫比乌斯环最早用在其 1993 年设计的一个住宅，在这个方案中互相缠绕的两条轨线上分别布置了 24 小时家居生活中起居及工作功能；独立的工作空间

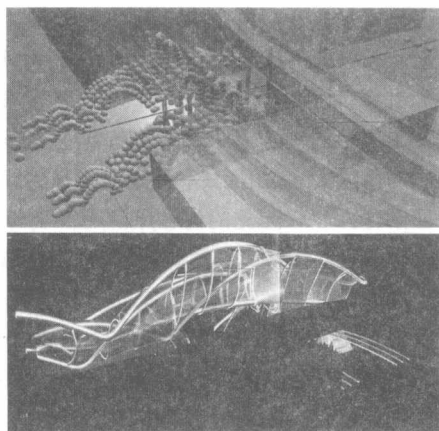


图2 格雷戈·林恩设计的竞赛方案

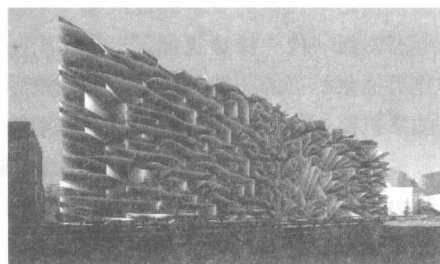


图3 “原形建筑”

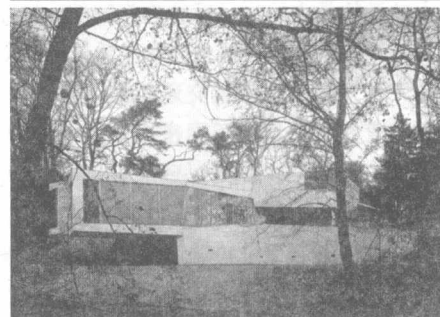
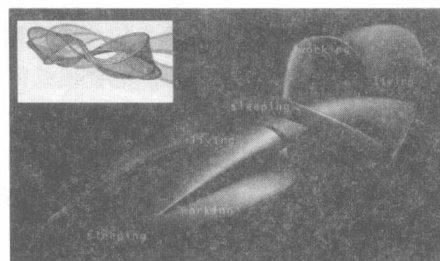


图4 UN Studio 设计的住宅

1 参见：Greg Lynn. *Animate Form*. New York: Princeton Architectural Press, 1999. 及 Ingeborg M-Rocker. *Calculus-based form: an interview with Greg Lynn*. *Programming Cultures*, AD. Vol26, Issue4:88-95. 同时参见 Centre Pompidou. *Architectures Non Standard*. Paris: Editions du Pompidou, 2003:90-101.

2 参见：Neil Leach, Xu Wei-guo. *Fast Forward/ Hot Spot/ Brain Cell*. HongKong: Map Book Publisher, 2004: 22-25.

与卧室空间互相平行，轨线的联结处则作为公共空间（图4）。莫比乌斯环图解在 UN Studio 2006 年的西班牙新项目中被稍加变形再次使用，在新的方案中，建筑与人流车流充分互动，为来访者带来多重体验。1996 年开始设计的阿恩海姆综合中心使用了克莱因瓶作为图解，以一种封闭的方式连接了综合体中的办公楼、火车站、地下停车场、汽车终点站等各部分，在这个方案中，各部分之间的关系是克莱因瓶的拓扑变形。2006 年建成的德国斯图加特奔驰博物馆则是三叶草图解拓扑变形而生成建筑形体。¹

运用图解工具进行建筑设计，实际上，是把建筑放到了一个动态系统中进行设计，这是因为图解表示的是各种力之间的关系，具体到建筑设计的场合，也就是表示的影响建筑设计的各种条件因素之间的关系，它是一个设计的参数模型，当输入的设计条件因素发生范围或量的变化时，图解的结果也会相应发生变化，因而，作为图解输出结果的形体其实是一个形体范围，它是各种可能的形体的集合，而这一形体的范围或集合形体，正好可满足建筑建成后各种环境条件具有一定变化范围的实际情况的要求，因而它更适用。在这一点上，这种设计方法与传统的设计方法完全不同，传统的建筑设计是把建筑的场所环境抽象为一个理想的匀质空间，各种影响设计的条件因素均是不变的常量。但即便是在过去，在其他学科却并不像建筑设计这样对待设计，例如在舰艇设计时，抽象环境充满了流动、湍流、黏性和拉力，这些力用来测验舰艇的外壳，在船体实验中，顺水航行与逆水航行时，对船身的形态的不同要求可以使船身成为最终优化的形体。同样的道理，建筑为什么不由它所处场所的物理环境及文化环境的动态因素来塑造呢？变化的因素将通过图解生成建筑形体范围，这一形体范围正是最优化的建筑形体。因而运用图解的建筑设计就像船体设计那样，得到虚拟运动环境中建筑设计的优化结果。

另一方面，与前述解释性图解及生成性图解相比，图解与计算机技术的结合使图解内涵本身有了令人惊讶的扩展。埃森曼的图解虽然也称作生成性图解，但是，这种生成性只是记录了设计过程中间状况的绘图踪迹，这种设计过程图的叠合图如果称得上生成结果的话，最多也只不过是手工半自动操作的形体结果；库哈斯的社会学图解，实际上还停留在从统计学的角度找到形式灵感，并进行人为操作发展设计；赫尔佐格则是从现象的分析中，人为找到形式参照，并发展形成设计。它们与

1 Ben Van Berkel, Caroline Bos. UN Studio: Design models, Architecture Urbanism Infrastructure. London: Thames & Hudson, 2006.

具有全自动生成能力的数字图解相比，还有相当的距离。埃森曼之前的解释性图解就更是如此。

图解与算法

图解与算法是两个独立的概念，本来并无联系。在建筑设计的发展中，图解作为设计手段具有不同的作用和性质，最初图解只是一种解释性或分析性的工具，通常用来表示某种几何关系，进行形式研究，解释事物之间某种内在关系，或者展现建筑师的设计灵感。但正是 20 世纪 90 年代中叶，新一代先锋建筑师把数字技术与图解概念相结合形成数字图解的建筑设计方法，实现了图解概念的具体操作，而数字图解与算法紧密结合。

这是因为数字图解的操作需要用计算机程序生成形体，程序包含了计算机语言以及算法，算法是一系列按顺序组织在一起的计算操作指令，这些指令内涵了对所要生成的形体的要求及形体的特点的描述，它们共同完成某个特定的形体生成任务。在建筑方案设计过程中，基于对人的使用要求或行为以及对建筑所处环境的影响因素的分析，找到可以与分析结果相对应的基本形体关系，进而用算法（规则系统）描述形体关系、并编写程序，之后进行计算，从而生成建筑设计雏形；¹ 算法表达了目标形体的特点及性质，把设计者对目标形体的要求及期许蕴藏其中。正是在数字图解用于建筑设计时，算法与图解建立起了联系，算法是数字图解设计的内核。

描述算法的方法有多种，常用的有自然语言、结构化流程图、伪代码和 PAD 图等，其中最普遍的是流程图。流程图即算法的指令描述及指令的前后顺序框图，包含从一个初始状态和初始输入开始，经过一系列有限而清晰定义的指令，最终产生输出并停止于一个终态²。很明显，算法的指令流程框图具有图解的特性，直观地展示了设计形式生成的控制过程。

生物形态

生物学是自然科学的分支学科，源自博物学，主要研究生物的发生、发展、功能、结构、生物体与环境的关系等³。19 世纪生物学主要研究生物的结构和功能问题，后来同自然哲学一

1 参见：徐卫国，参数化设计与算法生形，世界建筑，2011 年第 6 期：110-111。

2 参见：百度百科“算法”词条。

3 拉马克（Jean-Baptiste Lamarck）法国博物学家，于 1802 年在其著作《Hydrogéologie》（法语，意为“水文地质学”）中最早提出生物学的概念。

起关注生命的多样化以及不同生命形式之间联系的问题；20 世纪经过了实验生物学、分子生物学、生态与环境科学的发展，生物学进入到系统生物学时期，研究范围涉及环境、心理等领域，它是一门综合性的学科¹。

本书主要关注生物学有关“生物形态”的概念。对生物形态的研究几乎与生物学的发展同步，在 19 世纪早中期，博物学家们已经在“生物形态多样性与地理分布之间的联系”方面有丰富的论述，洪堡用物理和化学定量分析的方法研究生物形态与其生长环境之间的关系，揭示了自然和生物形态之间的因果关系²；在洪堡研究的基础上，地质学的发展使生物形态的研究多了一个层次；居维叶³提出“生物在形态上存在‘亲缘’关系”，客观上为进化论提供了理论基础；达尔文借取洪堡的地理学研究方法，同时受莱尔⁴的均变论启发，并融入马尔萨斯⁵关于人口学的理论，对生物形态进行深入研究，创造性地提出了基于自然选择的演化论，他于 1859 年出版巨著《物种起源》（on the Origin of Species），至此，生物形态形成的原因已经明确。生物形态是自然选择作用下，生物适应自然的形态，它因地理环境和时间的不同而不同，具有多样性、复杂性特点。同时期，生理学的发展突飞猛进，细胞理论、胚胎学、化学等学科在微观上也证明了达尔文理论的正确性。

20 世纪生物学向着宏观和微观两个方向发展。在宏观方面，发展出生态学和环境科学，提出一系列新的思想如“生态演替的概念”、“种群之间此消彼长的振荡规律”，最终将群落内不同群体之间的关系放在了核心研究的位置，并阐述了种群、群落的形态以及形态形成的原因；在微观方面，发展出分子生物学、生物化学和微生物学。这一时期分子生物学领域取得了最具有划时代意义的成果，即首次描述了 DNA 的双螺旋结构，确定了生物大分子的基本形态⁶；而微生物学在显微镜被发明

1 参见百度百科“生物学”词条。

2 洪堡（Alexander Von Humboldt）在生物形态的研究方面做出杰出贡献，其主要著作有《Central-Asien》（中部亚洲）、《Personal Narrative of a Journey to the Equinoctial Regions of the New Continent》（新大陆热带地区旅行记）、《Cosmos》（宇宙），这些著作多是关于植物地理分布的阐述和分析，揭示了自然和生物形态之间的因果关系；但洪堡对生物形态的研究仅基于地理学，并没有加入时间的因素。

3 居维叶（Georges Cuvier）是进化思想的重要先驱之一，他与同时期其他科学家一起创立了比较解剖学和古生物学。

4 莱尔（Charles Lyell）是英国地质学家，均变说的重要论述者。均变论在他的最重要著作《Principles of Geology》（地质学原理）中得以详尽阐述，此观点认为自然形态的形成是长时间积累的结果。达尔文受到这本书的启发而提出了“进化论”。

5 马尔萨斯（Thomas Malthus）是英国人口学家和政治经济学家，他的著作《An Essay on the Principle of Population》（人口学原理）论述了四个思想：（1）如没有限制，人口数量呈指数增长；（2）食物供应呈线性增长；（3）食物增长跟不上人口增长；（4）自然原因、道德限制、罪恶等能够限制人口的过度增长。这些思想直接影响了达尔文的自然选择学说。

6 沃森（James Dewey Watson）和克里克（Francis Harry Compton Crick）在基于威尔金斯（Maurice Hugh Frederick Wilkins）和富兰克林（Rosalind Elsie Franklin）的研究基础上，在《Nature》杂志第 171 期（1953 年 4 月 25 日出版）发表了《Molecular Structure of Nucleic Acids: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid》（核酸的分子结构：脱氧核糖核酸之构造），该文首次描述了 DNA 的双螺旋结构，确定了生物大分子的基本形态。

后,在细胞及其群体尺度上研究微小生物,展示了细菌、真菌、藻类等微生物的形态结构、生态分布、进化变异等规律,同样取得丰富的成果。这些生物形态的科学研究成果是基于生物形态的建筑设计研究的前提。

生物形态不仅具有多样性,而且具有某些共同的特征和属性。19世纪德国科学家施莱登和施旺¹提出细胞学说,认为动物与植物都是由相同的基本单位“细胞”所组成。生物具有多层次结构模式,相同细胞聚集成群就形成了生物的组织(Tissue);多种不同的组织可组成器官(Organ);一起完成任务的多个器官形成系统(System);不同功能的各个系统构成多细胞生物个体(Biont);而生物个体又以一定的方式组成群体(或称种群Population),种群是各种生物在自然界中存在的基本单位,在同一环境中,生活着不同生物的种群,它们彼此之间存在着复杂的关系,共同组成一个生物群落(Biome);生物群落加上它所在的环境就形成生态系统(Eco-system),如一片沼泽就是一个生态系统;生态系统的更高结构层级便是生物圈(Biosphere)²。

进入21世纪,生物学及其分支学科在科学、技术、设备和互联网的影响下一方面向纵深方向发展,另一方面,生物学与其他学科交叉发展,形成了众多生物交叉学科。本书研究的目的试图发展生物学与建筑学的交叉,尝试通过数字技术,将生物形态与建筑设计的形式生成相结合,以拓展建筑设计的范围。

生物形态与建筑设计

从细胞到生物圈,生物在各个层级都存在着丰富的生物形态,比如,在植物组织层级,有原生分生组织、次生分生组织、通气薄壁组织、吸收薄壁组织等不同形态的组织,在植物器官层级,有根、茎、脉序、花序等不同形态的器官,这是生物多样性的表现形式,这些生物形态取决于遗传基因以及外部影响,它们经历了漫长的进化过程,因而是相对合理的存在。

在生物学上,对生物形态的研究已有丰富的科学研究成果,比如达西·汤普森早在1917年就用解析几何、拓扑学、几何学以及机械物理学方法,论述了生物形态千差万别的原因³;数学

1 施莱登(Matthias Jakob Schleiden)是德国植物学家,施旺(Theodor Schwann)是德国动物学家。二人于1838年至1839年间最早提出了“细胞学说”,到1858年,细胞学说得以完善。细胞学说论证了生物在结构上的统一性和在进化上的共同起源。

2 参见:百度百科“生物学 生物特征 多层次结构模式”词条。

3 参见:达西·汤普森(D'Arcy Wentworth Thompson)于1917年所著的《On Growth and Form》(生长和形态)。

生态学家依维琳·屁诶罗通过数学建模论述了种群动态空间形式¹；S·鲁宾诺基于线性代数和图论的基本微分方程，阐述了细胞生长、酶促反应、生理示踪、生物流体力学和扩散等生物现象和形态²。

建筑设计学者对生物形态的研究并不像上述科学家对其进行的科学探究，建筑研究在某种程度上更具有设计专业的功利性，主要兴趣在于生物形态的形式，比如生物体态、生物形态的内在结构关系、生物形态发生及发展规律、生物动态行为轨迹等，这些生物形态所展示的形式对于建筑设计具有无穷的吸引力，它们为建筑设计提供了丰富的形式创造原型。

建筑历史上的仿生设计案例不胜枚举，赖特称自己的建筑为有机建筑，据说路易斯·沙利文从赫伯特·斯潘塞生物学著作中受到很多启发，沙利文曾把他的斯潘塞生物学著作的抄本传给年轻的赖特³，赖特的有机建筑思想得益于斯潘塞生物学观念；西班牙加泰罗尼亚建筑师安东尼·高迪受恩斯特·海克尔宇宙生物论的影响，从海克尔发表的许多关于自然界动植物形态著作（特别是《机体形态概论》）中吸取营养⁴，创造了一系列自然形态结构及装饰的建筑；20世纪80年代布鲁斯·高夫的学生巴特·普林斯在美国新墨西哥州以生物的有机形态为原型创作了一系列的仿生建筑，赤裸裸地展示出生物的体态特征⁵；另一位高夫的学生崔悦君则以自然界万物为研究对象，将其进化过程及内在规律运用于解决建筑问题，发展出进化建筑⁶；奥地利建筑师甘特·杜麦尼格不仅以野兽及生物的形态作为建筑的外观，并以动物内脏形态作为建筑室内造型及装饰⁷；这些建筑设计都是建筑师以生物形态作为原型进行的建筑创造，但是从设计到建造，他们步履艰难，费尽心机。

90年代开始，将计算机技术与建筑设计相结合的数字图解设计方法探索，给生物形态的建筑设计打开了一扇门，基于计算机图形学，程序可以在计算机上生成图形，这样借助于各种复杂几何学如计算几何、微分几何、分形几何等，对复杂的生物形态的模仿可以通过计算来实现，并且同样的计算程序可以

1 依维琳·屁诶罗(Evelyn Chrystalla Pielou)著名的统计生态学家,她的主要贡献在于数学生态学、自然系统的数字建模。她所著的《Mathematical Ecology》(数学生态学),是关于种群动态的书籍,重点讨论了能求出明确数字解的简单模型,比如:一个种群的个体空间排列、多个种群的个体之间的空间关系,以及多种群的组成、种群的多样性、分类和排序等一系列内容。

2 参见:S·鲁宾诺(S. I. Rubinow)著《Introduction to Mathematical Biology》。

3 参见:孔宇航著,非线性有机建筑,北京:中国建筑工业出版社,2012。

4 参见:胡安·爱德华·西罗特(1916-1973,巴塞罗那)所著的《高迪建筑设计作品欣赏》(P13高迪的思想来源),特明格勒画册出版有限公司,2002。

5 参见:萧上正幸编著,覃力等译,世界建筑师思想和作品,北京:中国建筑工业出版社,2000:174。

6 参见:进化式建筑,世界建筑导报,2000年03期。

7 a+u February 2002 Special Issue. Herzog & Meuron 1978-2002, Tokyo: a+u Publishing Co, LTD, 2002: 58。

结合设计要求，用以生成建筑设计雏形；进而言之，由计算机生成的设计形体，由于计算机内构筑形态的时候具有基本结构关系逻辑，因而，它也为建筑的实际建造奠定了结构及构造基础。这一新生的设计途径很明显为生物形态的建筑设计提供了一条科学且便捷的道路。

生物形态的数字图解研究

数字图解其实就是通过计算生成形体，如上所述，其核心是算法或称规则系统，算法包含了所要生成的形态的特征的描述，算法决定通过计算生成的形态的结果。因此，建筑设计形体的生成若要借取生物形态，首先需要辨析生物形态的特征，并把这些特征体现在算法中，进而把算法写入程序，通过计算就可生成具有某种生物形态特征的图形作为建筑设计的雏形。对于程序而言，它不仅可以模拟生物形态原型，同样可以根据不同条件生成新的建筑设计形体。

因此，我们对生物形态的计算生形研究主要瞄准了“生物形态算法”研究，并试图通过不同层级的生物形态的逐个算法案例研究，最终建立生物形态算法库。为此，我们研究的方法和过程可概括为，从生物形态的观察记录开始，用语言描述生物形态的特点，用分析图表现其特征，进而建立算法，把算法写入程序，在计算机内运行程序生成模拟的生物形态，并用此程序生成建筑设计形体（图5）。

作为结果，建筑设计形体将可从这一过程中发展而来。

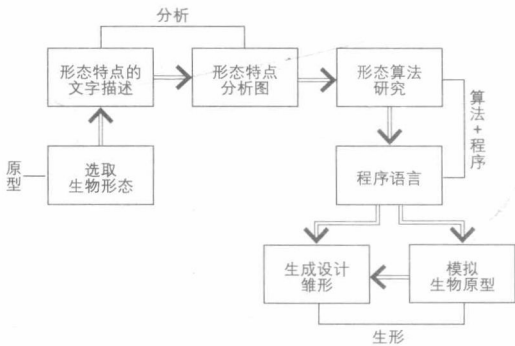


图5 生物形态算法研究及设计运用过程图