

数字建构文化 Digital Tectonic Culture

2015 年全国建筑院系
建筑数字技术教学研讨会论文集

Proceedings of the Tenth National 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
华中科技大学建筑与城市规划学院

主编

中国建筑工业出版社

数字建构文化

Digital Tectonic Culture

2015 年全国建筑院系

建筑数字技术教学研讨会论文集

Proceedings of the Tenth National 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

主编

华中科技大学建筑与城市规划学院

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字建构文化: 2015 年全国建筑院系建筑数字技术教学研讨会论文集/华中科技大学建筑学院编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2015. 6

ISBN 978-7-112-18185-8

I. ①数… II. ①华… III. ①建筑设计—计算机辅助设计—文集 IV. ①TU201.4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 122408 号

责任编辑: 陈 桦 张 健

责任校对: 张 颖 刘 钰

本论文集为“2015 年全国建筑院系建筑数字技术教学研讨会”会议论文集。此次研讨会的主题为“数字建构文化 (Digital Tectonic Culture)”。这是自 2006 年举办首届“全国建筑院系建筑数字技术教学研讨会”以来的第十届。论文集主要包括 5 个部分: A 数字建筑与教学, B BIM 和参数化设计, C 数字技术应用, D 数字化建筑设计, E 城市设计数字化研究。研讨会秉承历届会议的精神, 为从事建筑学教育的同仁提供有关数字化理论及实践信息的交流平台, 共同探讨当今和未来数字化建筑教学研究的新动向、新方法、新技术、新案例, 彰显数字技术对于建筑设计未来发展的影响及重要性。

数字建构文化

2015 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 主编

华中科技大学建筑与城市规划学院

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

*

开本: 880×1230 毫米 1/16 印张: 20½ 字数: 675 千字

2015 年 6 月第一版 2015 年 6 月第一次印刷

定价: 49.00 元

ISBN 978-7-112-18185-8

(27422)

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)

编 委 会

顾 问：王建国

主 任：谭刚毅

副 主 任：李建成

编 委：孙红三 孙 澄 李 飏 石永良 许 蓁 吉国华

曾旭东 黄 勇 胡 磊 王津红 孔黎明 邹 越

王 朔 邹贻权

执 行 主 编：倪伟桥

执行副主编：彭 雷 姜 梅 孙 谦 胡亚男 费小坤

前 言

由全国高校建筑学学科专业指导委员会及建筑数字技术教学工作委员会主办、华中科技大学建筑与城市规划学院承办的“2015年（第十届）全国建筑院系建筑数字技术教学研讨会”于2015年6月在湖北武汉华中科技大学举行，本次研讨会讨论的主题是“数字建构文化（Digital Tectonic Culture）”。

经典著作《建构文化研究》有一个副标题：“19世纪和20世纪建筑中的建造诗学”，肯尼思·弗兰姆普敦（Kenneth Frampton）将建筑的研究置于对“构筑方式”的认识基础之上，揭示现代建筑不仅与空间和抽象形式息息相关，而且也在同样至关重要的程度上与结构及建造血肉相连，展现出一条令人信服的别开生面的建筑道路。

本届活动包含会议、论坛、展览、REVIT杯全国大学生可持续建筑设计竞赛等多个部分。本次会议关注数字技术文化层面的研究和交流，尤其是新世纪的数字建构文化。

数字建筑是用二进制数字信息描述的建筑。与其相应的建筑数字技术经过几代人的努力与积累，到了21世纪，发展迅猛。它不仅丰富了建筑的空间、形态，也极大地拓展了对建筑的认知以及设计生成的方式和方法，对建筑的建造和相关产业都产生了极大的冲击，大大解放了建筑业的生产力，也对建筑教育提出了新的命题。数字建筑同样将“建筑视为一种建造的技艺”，同样会形成相应的建构文化，而基于建筑数字技术对环境、行为等的认知模式、方法和技术也将形成新的设计文化，其具体的应用也将形成新的互动体验、空间行为，并催生新的建造方式、产业文化和社会影响。

本次会议召开得到了欧特克软件（中国）有限公司的大力支持，中国建筑工业出版社、北京天正软件股份有限公司、Bentley软件（北京）有限公司为论文集的出版作出了贡献，在此表示感谢！

由于出版时间紧、周期短，论文集编撰疏漏之处在所难免，还请广大读者谅解。

编委会

2015年5月

目 录

Contents

A 数字建筑与教学

- 清华数字建筑设计教学 徐卫国 黄蔚欣 于 雷 (2)
- 建筑大数据应用刍议 王 朔 李建成 (12)
- 从问题发现到形态生成——基于数字化工具的“未来聚落形态”
生成设计教学研究 郑天宇 虞 刚 (18)
- 启发式教学法在建筑数字技术教学中的探索与实践
..... 邹 涵 董潇晓 邹贻权 (25)
- 基于数字建筑思维养成的建筑教学体系更新研究 闫幼锋 (31)
- 协同设计在建筑专业教育中的应用研究
——以 Revit 协同设计为例 宋 硕 商开阳 张亚举 (36)
- 基于现代数学理论的建筑复杂性形态设计手法研究
..... 郭 旗 陆诗亮 李 磊 (39)
- 西部高校数字化建筑设计与模拟分析课程教学探讨 杨 修 倪轶兰 (46)
- 高校建筑类专业虚拟现实实验室的建设与应用探析 杨 振 (49)
- 简析数字化与建筑设计 陶斯玉潇 (53)

B BIM 和参数化设计

- BIM 技术的含义和特点 李建成 (62)
- BIM 的辨识、瓶颈及其“落地”之路 倪伟桥 兰 彪 胡亚男 (66)
- 虚拟·体验·互动——Fuzor 软件在建筑设计教学中
的综合性应用 白雪海 许 蓁 (71)
- 数字语境下住宅空间适应性表达 邹 越 成慧祯 (76)
- 浅谈绿色建筑技术中的 BIM 技术应用 邹广宇 殷 青 夏 楠 (81)
- 云时代的 AutoCAD 协同合作 任首琦 (85)
- 一个“冰裂纹”的算法 吉国华 (89)
- 浅谈中国传统建筑中的非线性特征及重构 陈 喆 左 娜 (93)
- 基于遗传算法理论的绿色建筑优化设计研究 翟炳博 徐卫国 (99)
- 数字技术下的建构优化研究 张龙巍 黄 勇 刘 曦 (105)
- 自由曲面建筑表皮的建设与划分 王 辉 刘 莹 孙 澄 (110)
- 基于环境参量的绿色建筑参数化设计研究 张 帆 邢 凯 梁 静 (116)

基于虚拟现实技术的传统村落空间形态与认知研究——许村、南屏、西递比较研究	冯 磊 杜孟鸽 常铭玮 杨 朝 李渊文 苑思楠	(120)
肌理之美——大跨建筑结构网格的适应性表现	孙明宇 刘德明 董 宇	(126)

C 数字技术应用

自然通风在绿色建筑设计中的应用	钱 锋 宋德莹 杨 丽	(134)
基于 CFD 模拟的航站楼平面形态对其屋面风压分布影响研究	李 晶 刘德明	(139)
基于 DAYSIM 软件的建筑中庭自然采光设计研究	张 岩 孟 雪 郝秋实	(145)
机械臂装配在模块化建筑中的设计方法研究	陈玉婷 潘文特 岳 超	(150)
建筑人行为描述的扩展标识语言架构	孙红三 Tianzhen Hong 王 闯 丰晓航 燕 达	(155)
基于手持三维扫描仪的测绘实践研究	王景阳 曾旭东 何尔登 林文涵 叶 昕 张庆顺 魏 旭	(162)
多维化建筑空间的数字建构	黄 勇 王 凯 王 杨 陈 磐	(166)
基于数字建构整合化设计的材料应用策略	贾永恒 孙 澄 殷 青	(171)
浅谈数字化背景下媒体建筑的文化语义表达	宋泉昊 殷 青 夏 楠	(177)
基于眼动仪实验的东北严寒地区农村住宅地域性节能设计研究	甄 蒙 孙 澄 刘 莹	(182)
基于数字技术的砌块拱再思考	刘 晖 杨剑飞 殷志文	(190)
Ecotect 在建筑设计中的应用	魏 旭 曾旭东 王景阳 谢建荣 刘 伟	(196)
塞维利亚“都市阳伞”的形态解读与建造分析	于洪飞 卢小伟	(200)

D 数字化建筑设计

数字技术时代的交互建筑	顾丽丽 李玲玲	(206)
基于数字技术的建筑拟态创作研究	张弥弘	(210)
从系统叠加到逻辑形态——一种自下而上的设计方法	李 伟 曾令岳 许 蓁	(216)

基于 GIS 的场地分析在校园规划中的应用

——以威海市职业中等专业学校为例 孟 雪 张 岩 郝秋实 (223)

建造体系的民主化——以 WikiHouse 为例 甘振坤 王 珺 (228)

数字化软件在建筑物理环境中的应用——以北京某三甲医院为例

..... 杨婧一 李 英 (233)

算法设计在乡村景观规划设计中的应用

——以孙河乡规划设计研究为例 李晓岸 徐卫国 (238)

基于粒子系统模拟的动态数据关联方法研究 祁金金 许 蓁 (244)

荆楚乡村民居数字建筑设计策略 杨 丽 刘怡君 刘一琦 (248)

基于数字技术的图书馆多义空间设计的探讨 范 乐 王燕语 (251)

基于物理环境数值模拟的设计性能优化研究 黄 茜 孙 澄 刘 莹 (256)

数字化建筑设计对传统地域文脉的传承与发展 沈 忱 姜宏国 邢 凯 (261)

数字模拟技术在图书馆外围护结构保温模拟中的应用研究

..... 孙 适 梁 静 孙 澄 (267)

数字化建筑设计中叙事模式的转变 肖健夫 夏 楠 孙 澄 (274)

E 城市设计数字化研究

数字化技术在城市设计中的应用

..... 杨 丽 潘国荣 Joseph Valenti 董 佳 (280)

基于建筑组构理论的职教园区空间整合度研究

..... 郝秋实 费 腾 孟 雪 (285)

基于数字技术的商业综合体空间价值与空间均好性研究

..... 刘 曦 黄 勇 张龙巍 (288)

城市轨道交通站点影响域空间分异分析

——基于 ArcGIS 空间分析模块的城市研究 ... 王旭昊 褚冬竹 魏书祥 (293)

地铁线路及站点周边人流量空间预测模型研究

..... 侯静轩 苑思楠 盛 强 何 捷 (299)

城市与建筑的实验研究

——虚拟现实技术在空间认知研究中的应用 苑思楠 崔 雪 (312)

数字建筑与旧城区更新改造研究 梁晓慧 陈 忠 吕 宁 耿旷宇 (317)

A 数字建筑与教学

徐卫国 黄蔚欣 于 雷

清华大学建筑学院

Xu Weiguo Huang Weixin Yu Lei

School of Architecture Tsinghua University

清华数字建筑设计教学

Digital Architectural Education in Tsinghua University

摘要: 数字技术正在理论和实践等不同层面对建筑设计及相关行业产生越来越深刻的影响,并将带来整个建筑产业链的数字化升级。在这一快速变革的时代,建筑设计教学应当以积极的姿态担当起知识传播和前沿探索的责任。本文在论述“数字技术正在改变建筑设计内容”这一基本观点的基础上,介绍了清华大学建筑学院数字建筑教学,并通过一系列学生作业案例呈现了不同课程的教学过程与成果。

关键词: 建筑设计教学; 数字建筑设计; 数控加工与建造

Abstract: Digital technologies are deepening its influence in theoretical researches and practices in architectural design and related industries. Architectural education should take its responsibilities of knowledge propagation and frontier exploration in this fast changing era. Starts with explanation of the viewpoint that digital technologies are changing the content of architectural design, this article introduces the whole framework of digital architectural education in Tsinghua University. The processes and student works of the series of design courses are also introduced.

Keywords: Architectural design education; Digital architectural design; Digital fabrication and construction

1 数字技术正在改变建筑设计内容

计算机技术对建筑设计的影响绝非仅仅给设计提供辅助工具(CAAD),20世纪末以来,数字技术的进一步发展并且与建筑设计的深度结合,正在方方面面深刻地改变建筑设计。

首先,在设计层面,各种三维软件、内嵌语言及插件、算法与编程等大大拓展了建筑形体的创造以及对形体变形的控制,程序可以生成人所想象不到的形体,但又可通过分析程序的生形逻辑认识形体的内在规则,从而有目标地改变形体。如果把程序的生形逻辑与建筑设计的要求相联系,通过程序生形,便可获得建筑设计方案。因此,建筑方案设计的方法及过程将根本改变,方案设计再也不是建筑师通过灵感的形式创造过程,而变

成了基于设计需求、通过构筑生形逻辑(规则系统、算法)、通过程序反复求解的形式搜寻及形式优化过程。这种设计方法和设计过程的特点,产生了新的设计立意构思的渠道,如何从各种设计条件及影响因素中找寻合适的“关系”,并进而设计或运用“规则系统或算法”,成为设计的出发点。

其次,在建造层面,由于建筑形体遵循某种规则而生成,从计算机图形学原理来看,这种规则需要通过几何关系构筑形体,而这一几何关系对于形体的建造具有了可参照的基本逻辑。也就是说,生形的几何规则可发展成建造的结构关系,并进而发展出可承受各种外力作用的结构系统;同时,生形几何规则也是材料构造的基本参照,它可以指导大尺度建筑体量的构件分形分块,使得构件的分形构造也与生形几何规则相对应,其根本

上造就了建筑构造与建筑结构的逻辑对应，保证了建筑整体的连续与层级的清晰。此外，数字技术对建筑设计更大的影响还在于它将彻底改变设计、加工、施工的组织方式，在设计的过程中，建筑师需要与跨专业的专家如结构工程师、软件工程师、材料工程师、加工厂商、施工技术员等通力合作来完成设计，设计与加工、施工之间的联系方式将以数据及软件参数模型为媒介进行传递，建筑师对加工及施工的控制程度将极大地提高。比如，建筑信息模型（BIM）及协同设计为基础的设计组织方式，使得设计团队里不同建筑师的局部工作得到整体统合，不同专业的矛盾可以在设计阶段被及时发现并消灭。这些变化越来越使得建筑设计及建筑产业更科学化。

再者，在思想理论层面，复杂性科学理论在数字技术条件下可有效指导及运用于建筑设计。如集群、分形、进化等理论可演化发展出各种规则或算法用于复杂建筑形体的生成，蚁群、遗传等规律可用于建筑形体优化，自组织、自适应、混沌等理论可用于行为或形态模拟，人工智能可用于建筑构件的机器人数控加工，等等这些结合正在形成数字建筑设计的基本理论。另外，一些哲学思想对数字建筑设计也具有重要影响。德勒兹提出的诸如“褶子”、“图解”、“条纹与平滑”等哲学概念被数字建筑师反复引用并在作品中加以体现，改变了建筑师看待和解决问题的方式，过程哲学及生成思想可直

接指导数字建筑设计方法，新唯物主义思想及其非线性材料观使建筑师认识到不同的材料在不同的环境条件下，其性能也是变化的。数字技术与建筑设计的结合使得一些既有建筑理论得到进一步发展，如场所理论追求建筑、人、环境三者之间的互动及其特殊的场所感，互动建筑设计可以真正实现三者的互动，并使人具有个性化的归属感，从而让这一理论有了新的内容。建构理论推崇建筑形式忠实表现建筑的结构及构造逻辑，而算法生形及数控加工可以最高程度地实现形式与结构系统及材料构造逻辑之间的对应，这些都是数字技术运用于现有建筑设计的结果。

上述这些变化迫切需要体现在建筑教育的内容里，它要求建筑课程体系增加新的内容。

2 清华数字建筑设计系列课程

清华建筑学院数字建筑课程是由传统计算机辅助建筑设计类课程、本科生和研究生的设计课发展而来。经过多年的探索，目前包括 5 个部分：本科二年级理论课“CAAD 方法”，二年级暑期实习课“CAAD 实习”，三年级设计专题“非线性建筑设计”，本科毕业设计以及研究生设计课程等。内容包括了从理论教学、方法学习、算法与生形、数字建造、综合运用等一系列环节，如表 1 所示。以下将分别对这一系列课程进行说明。

清华数字建筑设计系列课程 表 1

课程名称	CAAD 方法	CAAD 实习	非线性建筑设计	算法设计与机器人建造	数字建筑设计
课程时间	二年级 春季学期	二年级 夏季学期	三年级 春季学期	五年级 秋季学期、 春季学期	一年级研究生 秋季学期、 春季学期
课程学时	16 周 (每周 2 学时)	1 周	8 周 (每周 6 学时)	学期全时	16 周
学生数量	100	100	20	18 (秋季) 6 (春季)	8-10 (每学期)
课程内容	数字 建筑设计领域 的基础知识	数字 建筑设计的 基本软件应用训练	参数化非线性 建筑设计过程 及设计方法	算法生形，机 器臂用于建筑 形体加工	数字技术在 建筑设计中的 综合运用

2.1 从计算机辅助设计（CAAD）到计算设计（CD）（2 年级）

数字建筑设计思想和方法的基础是当代的信息技术和计算智能，而这些技术的思维方式和传统建筑学教育

并不一致，因此需要从本科低年级就开始培养。
“CAAD 方法”是 2 年级本科生春季学期的必修课，为期 8 周，每周 2 学时。在这门课中，希望能够以较宽的视角展现与建筑行业相关的数字技术，开拓学生的视野和思维。因此，课程安排上采用了数字技术专题、设

计实践专题、小论文讨论课相结合的方式 (表 2)。

“CAAD 方法” 课程 内容 安排 表 2

时间	内容	备注
第一周	绪论	
第二周	参数化建筑设计方法	
第三周	计算机图形学 数字建筑设计实践 (1)	外请专家讲座
第四周	数字建筑设计实践 (2) 讨论课 (1)	外请专家讲座 学生小论文交流
第五周	BIM 与协同设计	
第六周	人工智能方法与建筑设计	
第七周	互动式建筑 讨论课 (2)	学生小论文交流
第八周	数字加工与建造 讨论课 (3)	学生小论文交流

数字技术专题的内容不仅包括当前快速发展并得到较广泛应用的“参数化设计”、“BIM 与协同设计”、“数控建造”等,也包括作为 CAAD 基础的“计算机图形学”,在研究领域常用的“人工智能方法”,以及交叉学科议题“交互式与响应式建筑”等。与此同时,为了让学生第一时间接触到设计实践的最新动向,邀请校外专家在“设计实践专题”中为学生介绍他们最新的工作成果,作为理论学习的重要补充和拓展。最后,课程的平时作业是让学生们针对自己感兴趣的数字技术查阅资料,撰写小论文,并提出了自己的见解。在讨论课上,学生介绍自己论文的内容,并对观点进行交流和争论,既加深了对技术的理解,也开始思考技术与建筑的未来。

2.2 三维参数化软件的学习与运用

与讲授课不同,二年级暑期的“CAAD 实习”使得学生能够就某个专题进行更为深入的探讨,在学习数字设计常用软件的同时,完成一个简单的设计,并在这个过程中初步训练其数字设计思维。

对“CAAD 实习”课的定位有以下两点思考:其一,这门课程应该作为一个学生学习常用设计软件,培养数字技术基本思维的平台。通过将软件学习与建筑设计相结合的途径,学生可初步掌握常用设计软件,并开始思考数字逻辑与空间形态的关系。其二,课程内容可以适当多样化,分为几个方向,一方面适应数字技术快速发展的需要,另一方面希望学生通过相互交流学到更多的知识,激发其创造力。

参数化设计是当前得到广泛应用的数字设计方法,

并且常被用于建筑方案的创作阶段,因此可以很好地与低年级建筑学教学相结合。参数化设计工具 Grasshopper 是一个将建筑设计与数字技术思维相结合的理想平台,从其普及的速度,以及其大量涌现的插件来看,已成为建筑设计常用的,甚至是必备的工具之一。因此,在“计算机实习”课中,我们将 Grasshopper 作为普及型的内容,面向大部分学生。另一方面,对于学有余力的学生,尝试教授难度较大的 Rhinoscript 参数化编程工具。这一工具虽然需要编写程序代码,学习稍有难度,但使用起来也更灵活。最后,在 2012、2013 年开展的“参数化互动装置”专题(面向三年级)则受到了广泛欢迎,这一全新的领域激发了学生们极大的热情和创造性,展现出学生在跨学科探索中的巨大潜力。

2.3 非线性建筑设计 (三年级)

本科三年级非线性建筑设计是清华开展最早的数字设计课程,每年有 20~30 名同学参加这一为期 8 周的研究型设计课,深入探讨数字技术与建筑设计结合的途径。这一课程的研究内容和教学成果在 10 多年间得到了不断积累与发展,并多次参加国内外重要会议和展览的交流。

非线性建筑设计课程采用了以下两种不同的设计方法和教学过程。

(1) 基于现场调研和算法研究的生成式设计
教学过程包含如下环节:

1) 场地调查与设计条件分析,通过场地调查及人的行为、活动分析,找出其中的一种或几种关键因素,作为参数化模型中生成建筑雏形的输入条件。

2) 形体生成思想及法则研究,对物体的某种构成思想或法则进行研究,如块茎 (rhizome)、集群 (swarm)、泡状物 (blobs)、分形 (fractal)、折叠包裹 (folding envelop)、聚合 (aggregation) 等,并基于某种法则得到形体生成的算法。

3) 找形 (Form-finding),根据上一步找到的影响设计的关键因素与需要解决的设计问题,寻找适当的算法或规则系统,构建参数化模型,以反映影响因素之间相互作用的复杂关系,并生成建筑的基本形体。

4) 设计进化,即修正和完善建筑雏形。

5) 生成结构和表皮系统,进一步研究建筑的结构体系及表皮材料构造逻辑,寻找构件生产及建筑建造的有效途径。

(2) 基于物质实验的生成式设计

课程要求学生从一个实验开始,实验结果要能展现

动态的复杂形态现象；在实验的基础上，应对实验所产生的动态的复杂形态进行分析研究并发现其特征或规律，接着以某种规则或规则系统（算法）近似地描述形态特征或规律，并用计算机语言将规则或规则系统写入计算机形成软件程序，这一程序可以模拟实验的结果。本课程的目的用这一程序生成建筑方案雏形，如用于北京 798 艺术画廊的方案设计，并在得到方案初步形态之后，根据影响设计的其他因素进一步深化设计，把雏形发展成设计方案。此外，在生成雏形之前，还要求用程序先设计一个艺术装置。

2.4 算法设计与机器人建造（毕业设计）

“算法设计与机器人建造”是五年级毕业设计中的专题。该专题是在当今数字建造成为国际研究热点的背景下的—种教学探索，希望能够让学生在理解数字设计思想，基本掌握数字设计方法的基础上，进一步讨论如何将专业课同机器人自主建造技术相结合，将数字设计技术同数字建造技术相结合。课程最终的成果为实体装置。

数控建造是建筑工业数字化升级的重要环节，也是当代数字建筑领域探索的热点。本课程选择了灵活性高、最具潜力的数控六轴机器臂作为建造的工具，在 15 周的—课程中，师生—同探讨了不同的形态生成思路和建造途径。18 名五年级的学生分成三组，每个—组都有相应的研究方向，最后建造三个实体的装置（见 3.3 算法设计与机器人建造案例）。在硬件上，使用了一台桌面级的 KUKA KR6 900 小型六轴机器臂，和—台 ABB IRB4600 中型六轴机器臂；在软件端，课程采用了 Rhinoceros 及 Grasshopper 的参数化工作平台，它们对于 KUKA 及 ABB 等工业级的精密设备都有很好的支持，所以在—一定程度上有效地缩减了设计与硬件之间的磨合期，使得课程在短短的三个月内取得了较好的效果。

2.5 数字建筑设计的综合运用（研究生设计课）

本课程针对研究生一年级学生开设，全长 16 周，旨在锻炼和培养学生—在建筑设计中综合运用数字技术的能力。课程以社会、环境等问题为—背景，在对既定条件的分析和研究的基础上，引导同学寻找适宜的—数字技术，综合运用到建筑设计中。近三年来，课程中的研究性课题包括“东京湾海上城市”、“仙—台海岸修复性景观设计”、“东京羽田机场微观城市”、“快速机场”、“颐—和园外团城湖片区规划及建筑设计”等。在这些课题中，尝试让学生探讨了不同的数字建筑研究和设计的方法。

在与美国普林斯顿大学、日本东京大学联合的设计

课题“快速机场”中，以日本“茨城机场”为例，研究了小型、快速的支线机场中丰富的功能和空间组织关系，探讨了未来新技术支持下人们的出行与机场航站楼设计的新的可能模式。

在“颐和园外团城湖片区规划及建筑设计”课题中，探讨了生物系统形态在景观设计中的应用。自然界的生物系统是典型的复杂系统，从细胞到生态系统，生物系统在各个层面都存在着丰富的形态结构，它是生物多样性的表现形式。生物形态结构取决于遗传基因以及外部影响，它经历了漫长的进化过程，因而是最合理的存在。本设计课程要求设计者对生物形态结构进行研究，从而发现某些形态结构的规则，进而运用计算机语言及算法编写程序描述这些规则，所得到的程序不仅能再现这种生物形态结构，也能生成新的形态原型。作为结果，城市系统及建筑形态可将—从这些原型中发展而来。

3 清华数字建筑设计课程案例

本节将通过数字建筑系列课中的学生作业案例的介绍，对—各门课程—的设置和教学进行进一步的说明。

3.1 CAAD 实习课设计案例（二年级）

CAAD 实习课中，要求学生结合 Grasshopper 数字设计平台的学习，使用参数化方法设计一个景观亭。在作品 Hydrangea 中，学生以平面 circle packing 为基础，将具有花朵形态的单元体赋予三维曲面，形成了颇具特色的空间形态（图 1，学生：杜广瑜、郭琳）。在作品

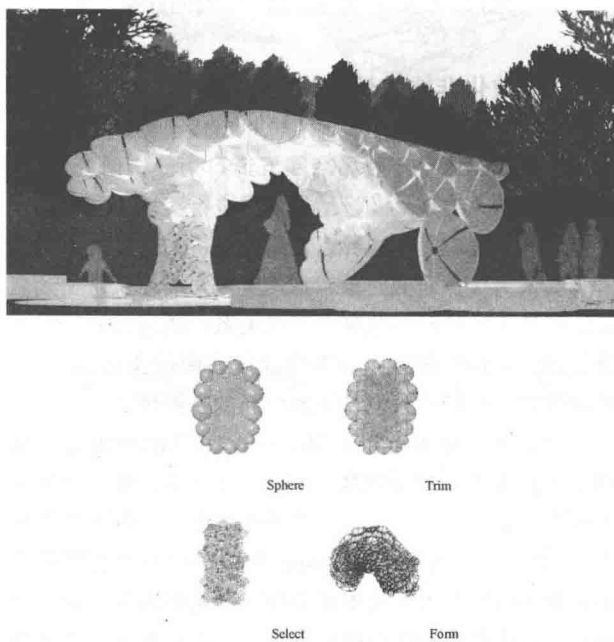


图 1 CAAD 实习作品——Hydrangea

“时间胶囊”中，尝试将场地人员活动的热力图转化为空间体量，并进一步发展成用直纹曲面围合的空间小品（图2，学生：苏天宇、金茶璇）。虽然这些作品功能和技术上尚待进一步完善，但对于低年级的同学，能够在很有限的时间里理解 Grasshopper 的数字化思维方式，并创造性地应用在数字设计中，说明教学取得了预期的效果。

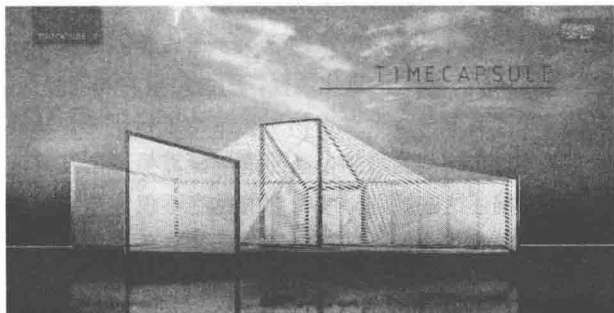


图2 CAAD 实习作品——时间胶囊

3.2 参数化非线性建筑设计案例（三年级）

(1) 五道口信息中心

本设计以北京市著名商圈五道口为分析研究对象，针对现场的人流聚集及场地等情况进行实地调研，以速度空间与零速空间的边界以及人们获得加速度的方式及其含义作为重点研究对象，将速度作为描述人行为的变量，研究人的活动与速度之间的关系，通过控制不同速度之间的交融与分离以及不同速度之间的柔软的变化，希望界定一种符合人的行为的全新的空间模式。

在设计过程中，利用 Realflo 对场地的人流聚集情况进行模拟，对速度属性进行线性插值，使速度作用于整个场地之中（在这里，速度代表了人流到达的可能性）；进一步，通过 Landscape 将其转化为对建筑的控制，得出建筑基本的轮廓控制线；利用外部空间的流线模拟，以所得速度空间对场地中的零速空间进行“冲刷腐蚀”，获得简单的零速空间的布局，并在基本的零速

空间中均布引力场，得到外部流线；利用流体试验，以加强现有交通混杂、有活力的状态为出发点，生成多种混合流线，从中选出合适的内部流线；利用功能球在表皮软体中扩散的形式，生成初步的功能布局；并分析流体边界的空隙与速度关系，利用变形与扰动对表皮进行形态变形，生成最终形态（图3~图7，学生：王申皓、赵静远）。

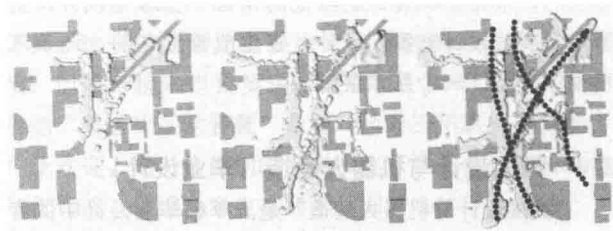


图3 利用 Realflo 对场地人流进行模拟



图4 建筑外观

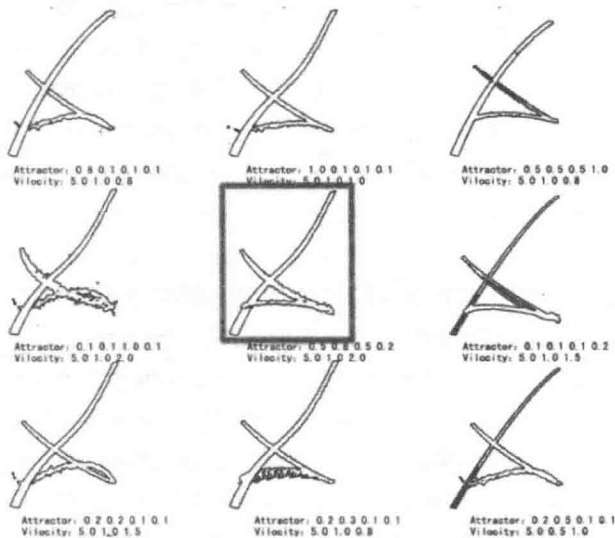


图5 速度引力场与速度空间对零度空间的“冲刷腐蚀”与选型（部分）

(2) 798 艺术馆

本设计以揉纸实验为开端，一方面通过对同类纸张



图6 内部空间生成(功能球扩散)

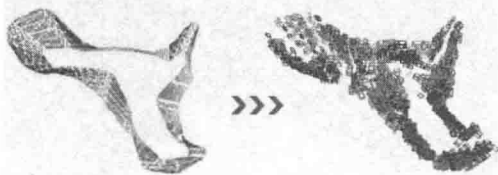


图7 通过聚集与扰动的形式对表皮进行进一步的变形处理

多次揉折后的折痕进行分析,另一方面对不同纸张揉折的折痕进行比较,发现揉纸所具有的分层级、小面互相支撑、近似分形等规律,并对这些规律进行研究,探讨其生成建筑的潜力;进一步,从折痕的划分、外部受力、内部受力等三方面,利用 Grasshopper 等编程软件对折痕的规律进行模拟,生成具有相近机理的形态,得到“硬纸”、“软纸”两种典型算法;而后,结合艺术画廊的实际功能,考虑 798 艺术区内的旺盛人气和频繁交通等因素,利用得到的算法,通过不同层级的细分生成功能分区、主骨架、局部功能区、细微边角、地面连接等多重尺度,进而生成不同的建筑雏形并进行筛选,最终,深化形成建筑设计方案(图8~图11,学生:张凝忆、吴明柏、李鑫)。

3.3 算法设计与机器人建造案例(毕业设计)

(1) 互动的数据与机器建造

这个题目是将人的身体姿态采集下来,随后转换成空间点坐标数据库,并通过一系列算法转换,最终成为

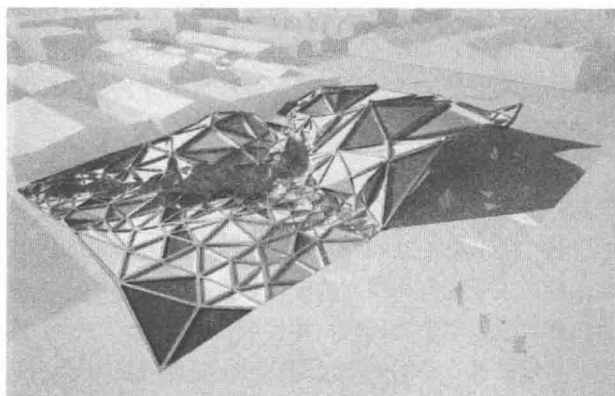


图8 透视

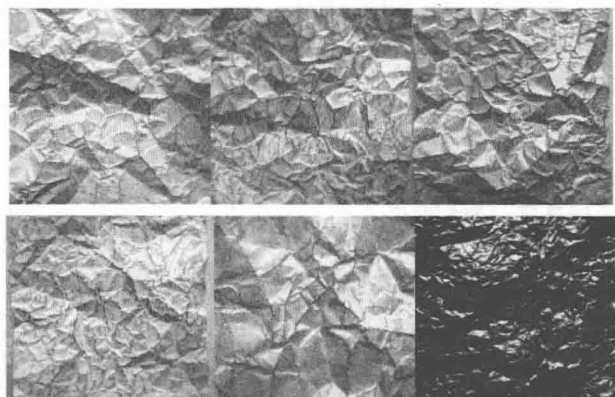
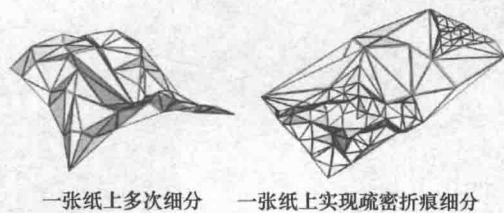


图9 纸张折痕(从左至右为:绿卡纸、黑卡纸、锡纸)



一张纸上多次细分 一张纸上实现疏密折痕细分

图10 折纸形态模拟

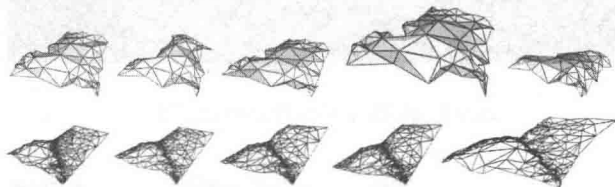


图11 建筑外部形态雏形

一种艺术化的视觉表现形式。

第一步,学生们使用了微软的 Kinect 动作识别器将一个人的五秒钟的身体动作通过关节的空间坐标录制下来,并建立了一个相对完整的空间点阵数据库;第二步,通过对这个数据库的梳理和算法的转换,在计算

机内生成空间模型；第三步，将空间模型转换成为机器臂的加工路径，并根据加工的要求设计相对应的机器手，然后完成最终模型的成型。最终模型探讨了两个具体的方向：

其一，根据对各个关节的行为关系的研究，将它们定义为磁力源的南极和北极。这样在人体运动过程中由于各个关节的空间关系发生了改变，各个磁力源的磁场就产生了密度和强度的变化。将磁力线的轨迹转换为机器臂的运动轨迹代码，并使用长时间曝光的摄影技术，将机器臂在空间中扫过的轨迹描绘出来（图12）。

其二，将一个连续时间间隔的关节坐标点拓扑为一系列二维的断剖面，然后将这些剖面的轮廓线以人的运动轨迹为路径进行放样，生成三维模型。本方案之所以采用高密度聚苯泡沫作为材料，是因为其易于加工、快速成型的特点。同学们自己研发了镍铬合金片的高温刮刀，通过对切割模式的多次实验，可以在材料表面生成丰富的肌理，达到了意想不到的表现效果。最后，将模块组合在一起，形成了一个进深接近六米的雕塑（图13）。

（本组学生：马尧、李乐、孙晨炜、高远、王智、吴晓涵）



图12 机器臂完成的空间磁场光绘

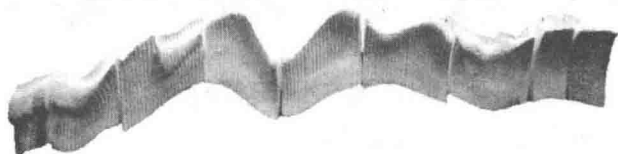


图13 使用高温刮刀加工的雕塑形体

(2) 机器蚕茧

蚕茧的丝状结构貌似无序，但其实它遵循着某种编

织规则，具有普遍的相似性。机器臂的运动具有严谨的规律性，我们可以依据蚕茧的编织规则形成算法，通过程序操控机器臂，让它通过吐丝再现编织过程，从而加工出具有蚕茧形态特点的构件。这个小组的主要概念就是在采用熔融三维打印的技术的支持下，创造出由“编织的模块”拼接而成的空间结构。

机器臂在这个不规则多单元的项目中发挥了重要的作用，同学们只需要在 Grasshopper 中导入每个模板的文件就可自动生成加工路径。经过简单的原点对位工作后，机器人就可独立地自动完成编织工作。六边形编织单元的路径是经过多次推敲的，目的是为了有效地利用重力的作用使内外层的下垂曲面能够恰好扣合在一起。最后，将内层单元体和外层单元体分别缝合成片状，并通过简单搭接就可以形成稳定且富有“天然”的纹理结构的壳体（图14）。

（本组学生：李同、陈瑗、丁沫、祝豪樱、南天、仇沛然）



图14 机器臂三维打印的“蚕茧”壳体

(3) 植入的韵律

这一组的研究基于线切割技术。由于机器臂能够灵活而准确地控制空间位置及其角度，将其与线切割技术相结合，将能得到光滑的直纹空间曲面，利用这一特性可以掏切出多种复杂的形态。

该设计希望在建筑学院的教学空间中植入一个构筑物，通过这一构筑物重新定义教学空间中的关系。经过对人流量及其行为特点的概括和分析，使用算法生成了一个具有韵律孔隙的壳状结构，该结构通过三个空间支点与原有建筑相连接。数字模型被沿着每个开孔的中心点的连线分成若干块，然后求出每个单元块各个面的空间扫描路径，并将路径转换成为机器臂可识别的代码，最后将切割好的单元块积聚成为一个整体（图 15）。（本组学生：齐轶昶、杨晔、彭宁、孙广标、张璐、王靖雯）

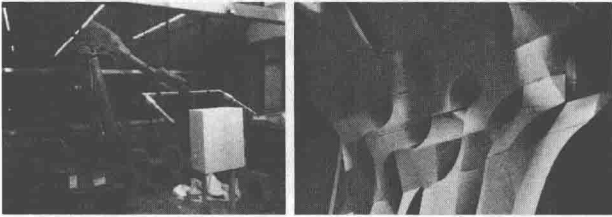


图 15 机器臂热线切割的空间植入体

3.4 研究生数字建筑设计案例

(1) 快速机场

本设计以日本茨城机场为例，尝试将“游牧空间”这一吉尔-德勒兹的重要哲学概念转译为生形算法，生成建筑形体。茨城机场是一座位于东京首都圈内的小型机场，本设计尝试将智能汽车系统及购物、餐饮、社交等功能引入机场，提出新的乘机模式：乘客在智能汽车的引导下可在机场中自由穿梭，完成登机手续并使用机场的其他功能，从而带来丰富的候机体验。为了最大化乘客的自由度，建筑空间设计避免传统机场中固化的“条纹空间”，而是通过算法生成自由的“游牧空间”：首先通过遗传算法优化各功能组团的位置及属性，使系统具有最佳的可达性；进而使用寻路算法模拟人驾驶智能汽车的行为，确定建筑的主要流线及功能组团的使用频率；而后根据流线划分地块、确定建筑组团的规模及相互联系的密切程度，生成形体雏形；最后使用 Maya 的 Subdiv 算法将功能组团融为一体，获得平滑流畅的建筑形体与空间，并进一步完成表皮、景观、光影等内容的深化设计（图 16～图 20，学生：吕帅、赵一舟）。

(2) 向生物形态学习

成纤维细胞（fibroblast）是疏松结缔组织的主要细胞成分，对于人体的创伤修复有着十分重要的作用。在伤口愈合过程中，成纤维细胞通过有丝分裂大量增殖，从细胞核伸出纤维，逐步与其他细胞连接，为表皮细胞

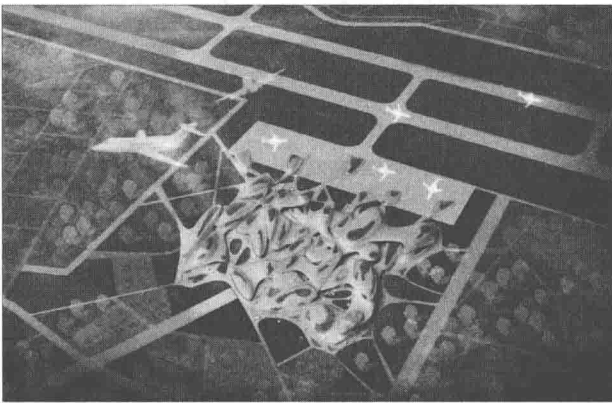


图 16 茨城机场设计鸟瞰图

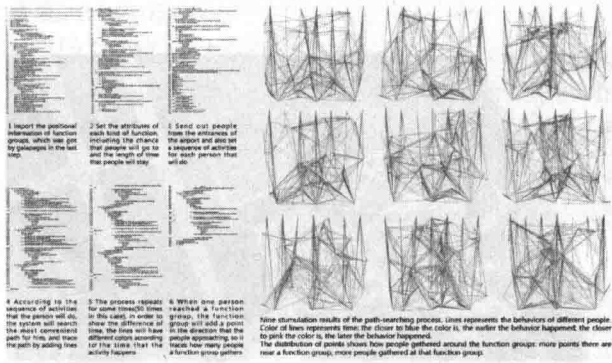


图 17 寻路算法模拟智能汽车交通

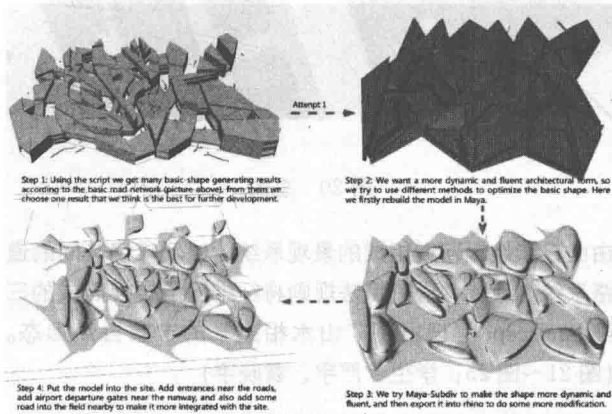


图 18 形态生成过程

的覆盖创造条件。在“颐和园外团城湖片区规划”中，两位同学希望借鉴成纤维细胞的机制，对这一片区进行修复性景观规划。在 3km² 的区域上，一系列具有特征的关键地点被选择出来，作为成纤维细胞核的位置，然后通过计算机算法模拟纤维的生长过程，形成两个相互交错的纤维网络。接下来，两个纤维网络被分别发展成