

从“赋形”到“造像”

——何塞·平托·杜阿尔特研究成果回顾和设计哲学凝练

From Shaping to Modelling: The Review of Jose Pinto Duarte's Research Achievement and Design Philosophy

王江 | WANG Jiang 田芸 | TIAN Yun 张胜 | ZHANG Sheng 赵伯伦 | ZHAO Bolun

中图分类号: TU-208 文献标志码: A 文章编号: 1001-6740 (2024) 02-0062-09 DOI: 10.12285/jzs.20221207003

摘要: 计算性设计思维、方法和技术作为当下解决复杂工程设计问题的密钥, 对建筑学学科的发展产生着深层影响, 其中, 最为直接的表现是该领域研究者的不断涌现以及他们在教育、科研到实践过程中累积而成的大量成果。葡萄牙籍学者何塞·平托·杜阿尔特作为该领域的杰出代表, 以形状语法作为主要工具, 构建了面向大规模定制的建筑计算生成方法论, 结合以形状规则为支撑的生成平台研发、算法思维主导的教育理念凝练以及数字技术驱动的多元化探索, 凝练出系统性、自新性、开放性兼备的计算性设计哲学。本文对杜阿爾特的学术历程、理论探索和教学实践进行深入剖析, 旨在为我国建筑学学科的发展和改革提供启发。

关键词: 计算性设计、何塞·平托·杜阿尔特、形状语法、大规模定制、生成、设计哲学

Abstract: Computational design thinking, methods and techniques, as the key to solving complex engineering design problems, have had a profound impact on the development of the architecture discipline. Of these, the most immediate manifestation is the continued emergence of researchers in this field and their accumulated achievements in the process of education, scientific research and practice. Portuguese scholar Jose Pinto Duarte, as an outstanding representative in this field, took shape grammar as the main tool, established a mass customization oriented architectural computing generation methodology. Based on the development of a generation platform supported by shape rules, the refinement of educational concepts led by algorithmic thinking, and the diversified exploration driven by digital technology, a computational design philosophy that combines systematicity, innovation, and openness has been constructed. This paper provides an in-depth analysis of Duarte's academic journey, theoretical explorations, and teaching practices, providing new ideas for the development and reform process of the Chinese architecture discipline.

Keywords: Computational design, Jose Pinto Duarte, Shape grammar, Mass Customization, Generation, Design philosophy

作者:

王江 (通讯作者), 博士, 山东建筑大学建筑城规学院副教授;

田芸, 山东建筑大学建筑城规学院硕士研究生;

张胜, 山东建筑大学建筑城规学院硕士研究生;

赵伯伦, 哈尔滨工业大学建筑与设计学院博士研究生。

山东省研究生精品和优质专业学位教学案例库建设项目 (SDYAL2023160)。

录用日期: 2023-06

勒·柯布西耶曾在《走向新建筑》中指出, 建筑业需要向反映最新科技文明的汽车、轮船、飞机等现代工业学习。因当时生产力水平不高, 他提出的以先进制造为核心的大规模住宅生产理念虽然满足了战后人民群众的基本居住需求, 但是也暴露出质量参差、个性不足、拓展性差等问题。1990年前后, 制造业领域出现的大规模定制理念再度对建筑业产生影响, 很多研究者像基

兰 (Kieran) 和廷伯莱克 (Timberlake) 在 2003 年 *Refabricating Architecture: How Manufacturing Methodologies are Poised to Transform Building Construction* 一书中所写的那样, 再一次开始向现代工业学习批量化和定制化的工业生产模式如何在建筑领域实践应用。尤其是 2023 年初住房和城乡建设部部长倪虹强调要“像造汽车一样造房子”, 号召建筑业学习和借鉴汽车行业, 为人

民群众建造好房子。然而，在当前建筑业高质量发展要求以及工程设计越发复杂的语境下，要想实现这一目标，建筑业的传统设计-建造模式需要进一步调整和优化，朝向更加数字化、智能化、集成化的方向发展，还要通过建筑教育培养更多的相关专业人才参与其中。葡萄牙籍学者何塞·平托·杜阿尔特 (Jose Pinto Duarte) 作为研究大规模定制理论和建筑计算生成方法论的旗帜性学者，在既有的四十余年学术经历中，取得了丰硕的成果。本文回顾了杜阿尔特教学科研的创新历程与其设计哲学的发展脉络，旨在为我国建筑学学科的发展和改革提供借鉴与启发。

一、背景溯源——从形状语法到大规模定制

随着计算机科学技术日新月异的改变，人类的生活生产活动正在迈向一个数字化信息全方位渗透的时代。正如1995年尼葛洛庞蒂 (Negroponte) 在《数字化生存》(Being Digital) 一书所言：数字时代带来了新产业、新市场、新技术，同时带来了新冲击、新挑战和新问题，更召唤着新发现、新思维、新理论。建筑设计领域也迎来了新的机遇，传统设计思维正在向计算性思维^[1] (Computational Thinking) 转变，同时推动了计算性设计方法、策略和工具的发展^[2]。彼得·丹宁 (Peter Denning) 和马蒂·泰德 (Matti Tedre) 将计算性思维的核心内容概括为“计算过程构建”和“复杂性进程诠释”两个方面^[3]。

形状语法作为计算性设计方法的其中一种，是乔治·斯蒂尼 (George Stiny) 和詹姆斯·吉普斯 (James Gips) 通过建筑学和计算机科学的学科交叉研究在1970年发明的。两年后他们又联合发表了《形状语法和关于绘画、雕塑的生成规范》(Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture)，从中首次提出形状语法规论^[4]。随后，很多学者在关于解析、生成、开发和推理等研究方向^[5]上不断拓展着形状语法的理论框架，促使形状语法

与设计应用的关联度越来越高，引领设计发展的新方向。这里需要特别强调的是，一些建筑教育工作者也开始在同时期的设计教学中逐渐向学生教授形状语法知识，以培养学生的创新思维^[6]。

杜阿尔特在计算性设计研究领域具有举足轻重的影响力，其研究成果密切围绕着形状语法的理论拓展、实践应用、计算机实现以及教育教学等方面^[7]。在形状语法研究的基础上，他进一步探索了更多维的设计方法，凝练了多层次的设计哲学理论。其中，最具代表性的成果是他将形状语法的生成设计方法应用于住宅、餐具、家具等产品的大规模定制领域，兼顾批量化产品的标准化和个性化双重需求，践行着“像造汽车一样造房子”的专业理想。

二、成果综述——杜阿尔特的研究经历回顾

1. 经历纵览：基础深厚、独辟蹊径

(1) 夯实专业基础：模块化住宅的设计方法

1964年，杜阿尔特出生于葡萄牙里斯本。受当时葡萄牙国内政权更迭和住房危机的影响，杜阿尔特从小时候起就对社会福利住房的改革和发展产生了浓厚兴趣，促使他在大学期间选择建筑学专业学习。1982年，杜阿尔特在里斯本大学 (ULisboa) 建筑系学习，萌生了将模块化思想广泛应用于建筑设计的想法^[8]，尝试着开发一种既容易建造又能保证建筑质量的低成本、模块化住宅设计方法。他在1987年获得学士学位后，进入帕达尔·蒙泰罗 (Pardal Monteiro) 事务所实习^[9]，在此期间接受了更多关于现代主义建筑及工业化生产技术的知识，也对住宅模块化系统有了更加深刻的见解。20世纪90年代，随着计算机技术的进步，形状语法成为当时最受欢迎的计算性设计方法之一，其相同风格设计结果涌现的特性与杜阿尔特早期的模块化住宅研究以及后期的住宅大规模定制构想相契合，这也成为杜

阿尔特选择继续深造学习的直接原因。

(2) 初识形状语法：住宅定制系统的计算机实现

1991年，杜阿尔特选择进入代表全球计算机技术最高殿堂的麻省理工学院 (MIT) 接受硕博研究生教育，师从建筑规划学院时任院长威廉·J. 米切尔 (William J. Mitchell)。作为形状语法理论的发源地，MIT 围绕着形状语法开展了很多研究工作，杜阿尔特通过两个阶段的专业教育学习系统地掌握了形状语法理论，并继往开来地将形状语法和其之前所设想的模块化设计方法进行了有机结合。

在硕士阶段，杜阿尔特延续了本科阶段关于模块化的思考，以“面向统一与多样的模块化住宅系统计算方法” (Order and Diversity Within a Modular System for Housing: A Computational Approach) 为题展开研究。一方面，为了能更好地解决大量性工业化住宅造成的居住环境单调性与重复性，他利用形状语法与评估规则建立了一套住宅模块化系统，用以生成住宅设计方案，还能为不同家庭提供更多的住宅产品类型选择；另一方面，他又建立了一种街道立面生成器 (Street Facade Generator)，可以生成有序且异质的建筑立面。该项研究成为最早一批融合计算机技术和形状语法理论方法的成果之一。

在博士阶段，杜阿尔特又以“大规模定制住宅：西扎马拉盖拉住宅的话语语法” (Customizing Mass Housing: a Discursive Grammar for Siza's Malagueira Houses) 为题展开研究。他将西扎设计的马拉盖拉住宅项目进行“数字化”复盘，利用形状语法将住宅设计的生成规则数字化，再基于并行语法 (Parallel Grammar) 的结构逻辑提出了话语语法 (Discursive Grammar)，进而开发了一个能在线生成新设计方案的交互式系统，可以帮助用户在线生成定制住宅的设计可视化模型^[10]。这在当时成为形状语法理论与计算机结合的一大突破。

(3) 深耕教学科研：大规模定制的多样化实验

2001年，杜阿尔特获得设计与计算

方向的博士研究生学位后，选择去大学任教，先后任职于 ULisboa 和宾夕法尼亚州立大学 (PSU)，开展了一系列以形状语法为主要工具的教育教学实验改革，也因此培养了一批该方向的人才，进而又通过师生合作完成了很多标志性成果。例如，2010 年，他与其在 ULisboa 的硕士研究生何塞·贝朗 (Jose Beirao) 首次将形状语法应用于城市设计教学；同年，与 DCG (Design & Computation Group) 成员萨拉·埃洛伊 (Sara Eloy) 共同提出了转换语法 (Transformation Grammar)；2018 年，又与其在 PSU 的博士研究生爱德华多 (Eduardo Costa e Costa) 共同研发了陶瓷餐具产品的大规模定制技术，真正实现了基于形状语法的数字设计建造一体化。

2. 成果总结：以点带面、触类旁通

(1) 以杜阿尔特文献研究成果为主体的量化分析

在 Web of Science 数据库和 Scopus 数据库中，以“Jose P. Duarte”为关键词检索，一共导出有效文献 188 篇。从文献分析视角出发，以关键词为线索，基于 Citespace v.6.1.R3 梳理其研究热点和演进规律。图 1 是杜阿尔特 2001—2022 年间所有发文关键词共线聚类分布图，图中显示了频次 1 及以上的 400 个关键词聚类节点，1609 条连线，总连接强度 0.0202，其中 8 个聚类较为明显，分别是：第一个聚类围绕形状语法展开，出现在 2001 年，即杜阿尔特获得博士学位的那一年，且出现频次最高 (72 次)，该研究主题内容还包括设计自动化 (Design Automation)、大规模定制 (Mass Customization)、数字制造 (Digital Fabrication)、生成设计 (Generative Design) 等关键词；第二个聚类围绕增材制造 (Additive Manufacturing) 展开，该研究主题内容还包括 3d 打印 (3d Printing)、产品设计 (Product Design) 等关键词；第三个聚类围绕建筑设计 (Architectural Design)，内容主要包括非正规性居民点 (Informal Settlement)、算法 (Algorithm)

等；第四个聚类围绕城市设计 (Urban Design) 展开，还包括设计 (Design)、转换语法等；第五到第八个聚类则分别围绕建筑业 (Construction Industry) 的住宅 (Housing)、住宅的参数化设计 (Parametric Design)、计算性设计 (Computational Design)，并基于语法 (Grammar) 和生成 (Generation) 系统 (System) 展开。

(2) 以杜阿尔特为核心的形状语法相关学者关系图谱

通过对杜阿尔特文献数据的量化分析可知，他在形状语法和大规模定制等研究方向所积累的成果数量及影响力最为显著；此外，通过以上成果与其他相关研究者和其所在研究机构的相关性分析还能发

现，杜阿尔特与包括形状语法发明者在内的其他相关研究者均有非常密切的学术合作关系。这种关系在图 2 中进行了诠释，大致可分为直接关系和间接关系。直接关系可概括为他与自己的导师和学生之间的关系 (紫色单向箭头)^①、与 MIT 同一研究方向的昔日同学之间的关系 (橙色双向箭头)^②；间接关系可概括为形状语法理论旗帜性人物之间的关系 (蓝色双向箭头)^③ 及以上人员与各自学生之间的关系 (灰色单向箭头)^④。

(3) 研究述评

形状语法是杜阿尔特构建设计理论的重要线索，是其博士毕业后从事教育、科研工作的重要理论工具及思想来源。他通

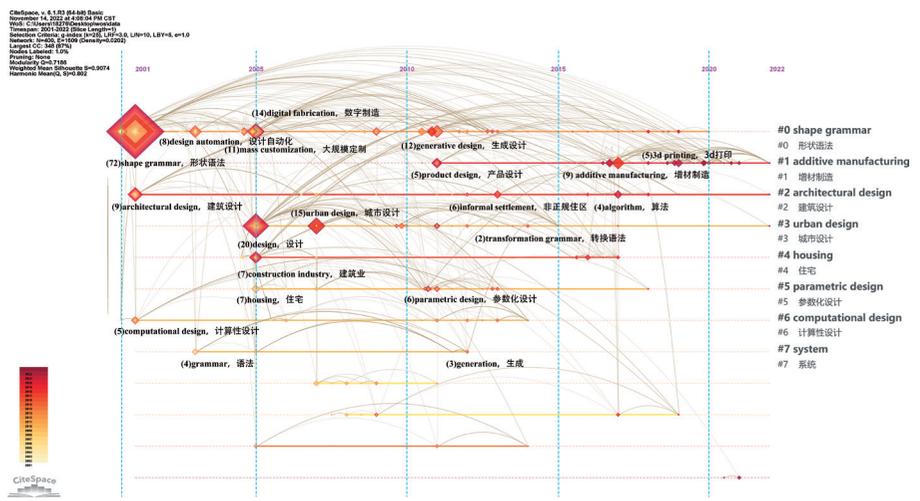


图 1：杜阿尔特在 2001—2022 年间发表文献的关键词共现聚类分布图

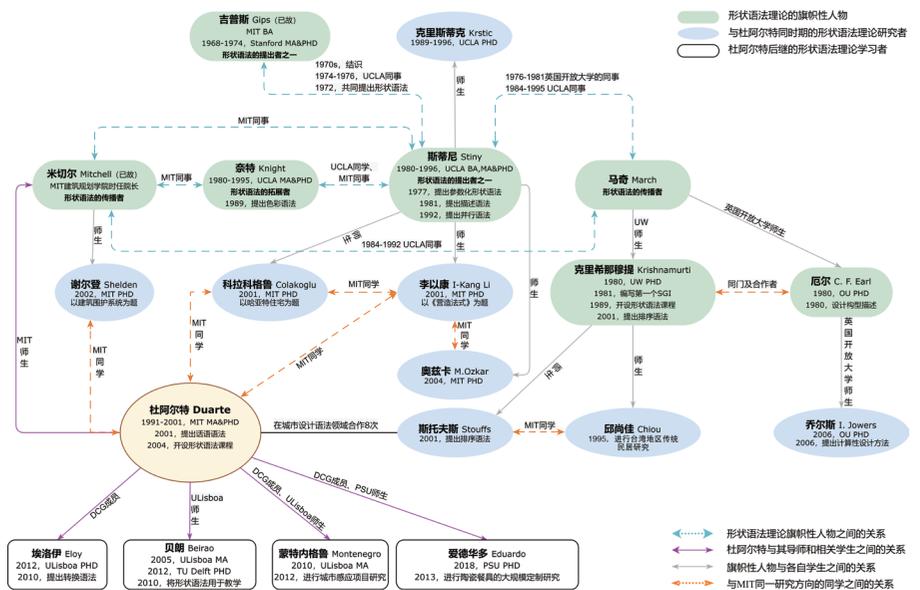


图 2：杜阿尔特和其他形状语法的主要研究者之间的关联性

过不断探索，拓展了斯蒂尼等创立的形状语法理论体系，将其更多地应用在解析、生成到评估等相关研究领域。杜阿尔特结合专业知识与国际上推陈出新的 CAAD (计算机辅助建筑设计) 技术 (图 3)，构筑出一种新的设计研究方法框架，系统地阐述了计算性思维指导下从方案分析、生成、输出到落地的设计实现全过程，而面向大规模定制、数字建造等形状语法的应用实践就是对其理论有力的成果验证。通过对杜阿尔特既有研究成果的归纳分析，一方面有助于了解形状语法作为一种计算性思维在建筑设计研究领域发挥的重要影响，另一方面可以帮助深入认识杜阿尔特作为一名科研先行者在建筑学及相关领域的多元探索历程。

三、创新历程——杜阿爾特的教学科研探索

1. 创新教学理念：参数化技术的深度引入

杜阿尔特在 ULisboa 任教期间，开设了由数字技术驱动的建筑课程。他发起了一个将参数化设计方法和快速原型等相关技术融入建筑设计课程的教学实验，教授学生形状语法的基本原理和新兴的 GH (Grasshopper)、Python 等工具使用方法：一方面，利用编程、编码描述建筑风格特征；另一方面，结合陶瓷等实物制品进行了面向生产的大规模定制的早期实践。2006 年，杜阿尔特作为负责人建立了基于 CAAD 课程的建筑研究实验室 (ISTAR)。该实验室具有两个主要功能：生物气候建筑实验室 (Bioclimatic Architecture Lab, LAB) 和计算性建筑实验室 (Computational Architecture Lab, LAC)。其中，后者又细分为四个模块，即高级几何模型实验室 (Advanced Geometric Modeling Lab)、快速原型实验室 (Rapid Prototyping Lab)、虚拟现实实验室 (Virtual Reality Lab)、远程协作实验室 (Remote Collaboration Lab)。这种基于实验室的教学模式在当时具有非常

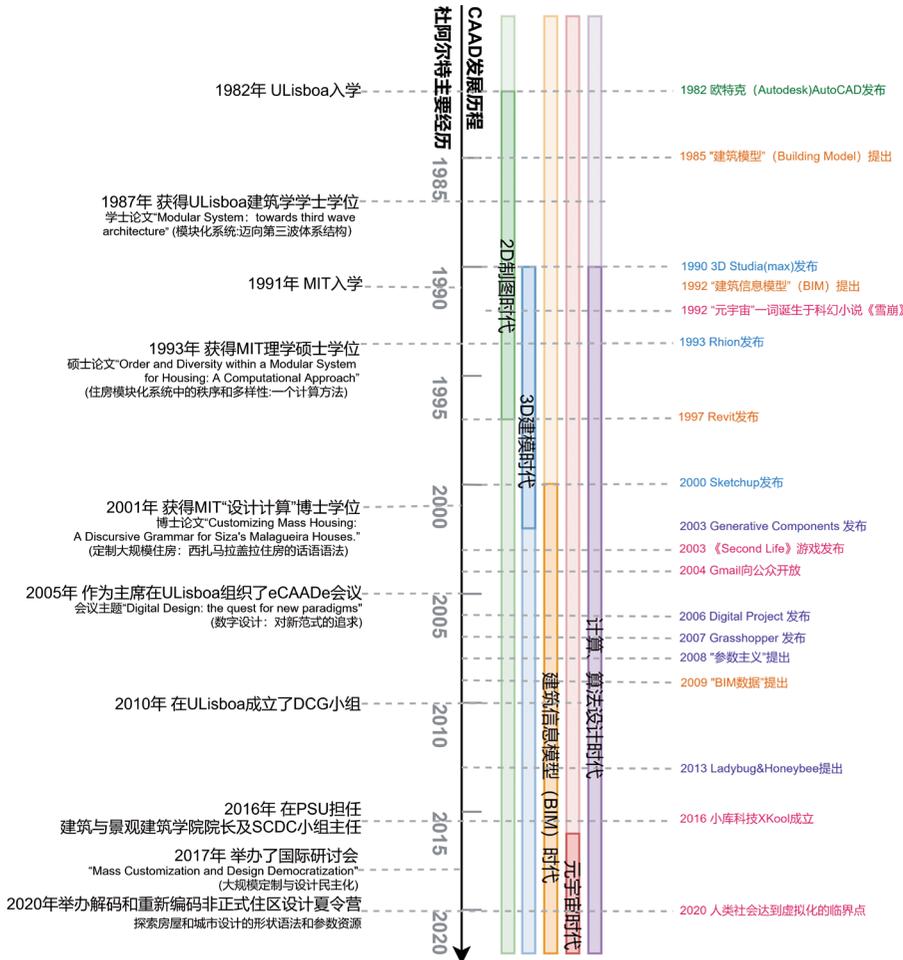


图 3：杜阿爾特主要研究经历与 CAAD 发展历程的比对关系示意图

显著的先进性，它以问题为导向，通过专业教师引导学生自主地借助交叉学科的知识解决复杂问题，旨在更为全面地培养学生的专业技能。此外，杜阿尔特认为在学生接受建筑教育的早期阶段，教师除了应教授学生传统设计方法之外，还需要与时俱进地鼓励学生更早地学习参数化建模等新方法^[11]，帮助他们选用合适的工具、技术，提出更有创新性的设计解决方案^[12]。

2. 组建科研团队：设计领域的多维探索

2011 年后，杜阿爾特的工作重心转向设计工作室的建设上。他的这一举动源于美国哲学家、教育家、社会评论家约翰·杜威 (John Dewey) 提出的“做中学” (Learning-by-doing)^[13] 教育理念，其实施过程一般通过创建设计工作室实现。这种模式被认为能够有效改善以往“填鸭

式”的学习过程，帮助学生通过动手实践提升专业素养。基于此，杜阿尔特将其作为计算性设计领域的重要建设方向，应用于形状语法等教学科研环节^[14]。目前，他已经创建了两个设计工作室：一个是位于 ULisboa 的设计计算研究小组 (DCG)；另一个是位于 PSU 的设计计算中心 (Stuckeman Center for Design Computing, SCDC)。

(1) 创建 DCG 小组：形状语法的跨学科发展

2010 年，杜阿爾特担任 ULisboa 建筑学院院长，创建了 DCG 小组^⑤。这个小组依然将形状语法作为开展课题研究的基础，尝试着将形状语法应用于更多学科的相关研究，主要体现在产品设计、建筑设计、城市设计、遗产保护等方面。

在产品设计方面，杜阿爾特为索乃特椅子 (Thonet Chair) 提出了基于形状语

法的参数模型, 利用快速原型设计进行修正^[15], 进而为其开发了大规模产品定制系统, 支持用户创建满足其需求的椅子样式^[16] (图4)。在建筑设计方面, 杜阿尔特与埃洛伊为一种名为“拉波-德-巴卡豪”(Rabo-de-Bacalhau) 类型的住宅户型提出了适应新生活方式的设计改造方法, 即首先利用形状语法识别和编码既有住宅户型与当代生活需求相结合的形状规则, 建立转换语法^[17], 再利用空间句法评估户型改造过程中功能房间的关联性与连通性, 进一步确保生成方案具有一定的可行性 (图5)。在城市设计方面, 杜阿尔特尝试将亚历山大 (Alexander) 的模式语言、希利尔 (Hillier) 的空间句法和斯蒂尼的形状语法进行整合, 结合 GIS、CAD 和其他设计分析工具, 建立一个基于新技术的城市设计计算模型^[18] 和一套用于城市设计的综合语法, 即城市语法 (Urban Grammars)^[19]。在遗产保护方面, 杜阿尔特发起了一个名为“数字阿尔伯特——葡萄牙建筑理论与实践的传统及创新” (Digital Alberti-Tradition and Innovation in the Architectural Theory and Practice in Portugal) 的课题, 研究莱昂·巴蒂斯特·阿尔伯特 (Leon Batista Alberti) 理论对葡萄牙的影响, 一方面他利用形状语法分析并解码阿尔伯蒂的《论建筑》(De re aedificatoria) 一书中所涉及的古典柱式、建筑作品等, 通过图示语言进行规则推理和生成再现, 另一方面结合 GH 工具, 把图示语言编码, 创建数字模型, 再结合 3D 打印技术实现实体模型的快速生产^[20] (图6)。

(2) 领导 SCDC 小组: 先进技术与理念的多元化整合

出于教育教学方面取得的突出成绩, 2016年, 杜阿尔特前往美国担任

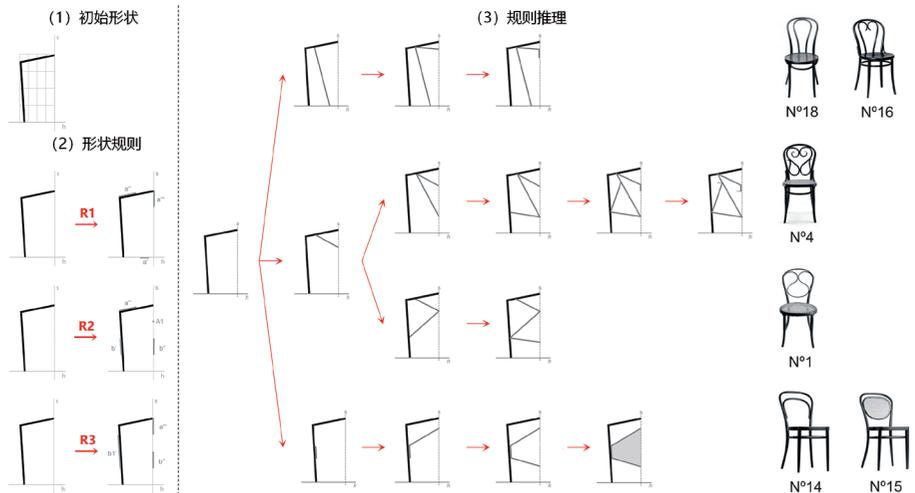


图4: 索乃特产品的椅背设计分析

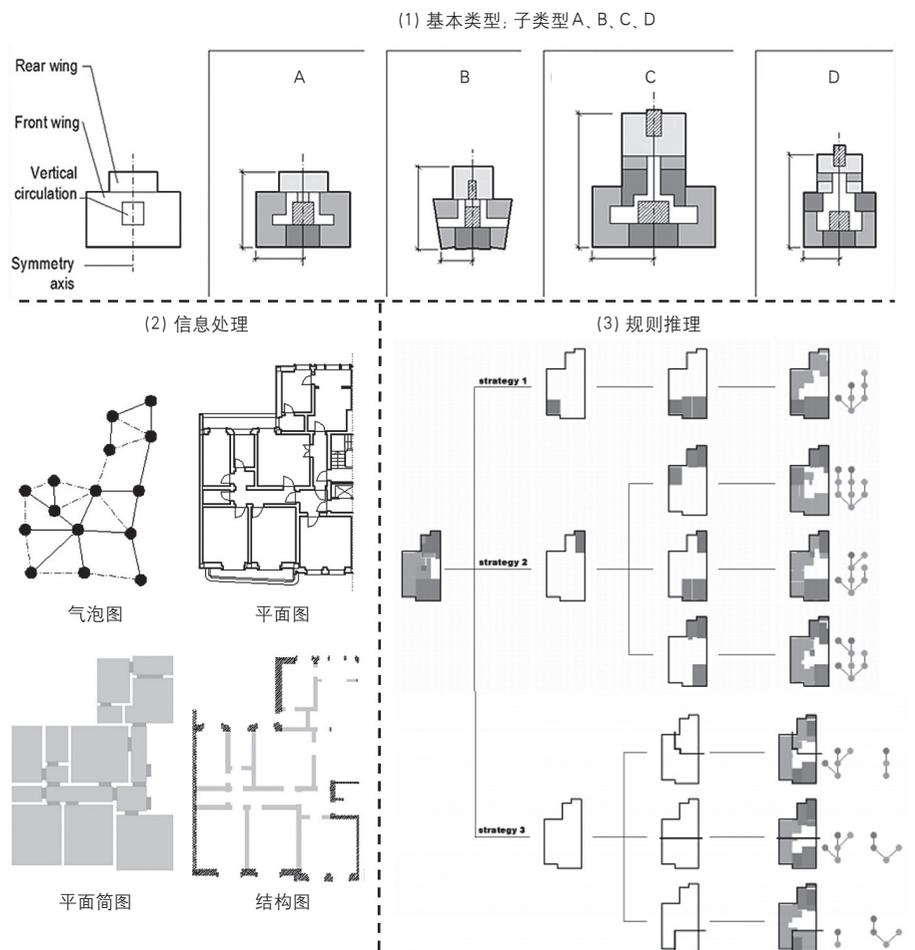


图5: “拉波-德-巴卡豪”住宅的户型设计分析

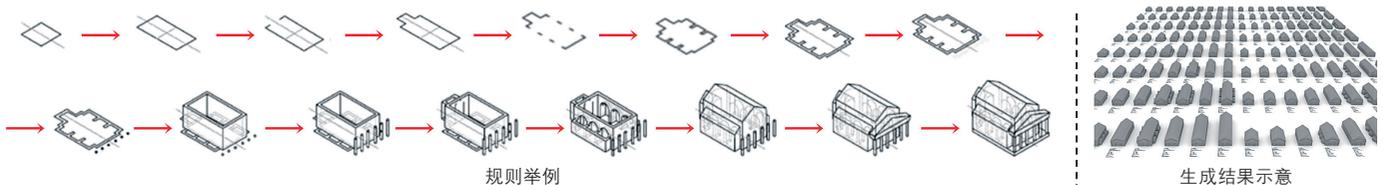


图6: 阿尔伯特建筑作品的设计分析

PSU 建筑与景观学院院长，兼任斯图克曼 (Stuckeman) 设计创新主席和 SCDC 小组主任。虽然 SCDC 小组并非由他初创，但它的研究方向与 DCG 相近，均要利用形状语法等计算性设计方法和工具提出具有创新性的设计解决方案。杜阿尔特带领这个小组主导了多个具有深远影响的研究项目，包括 CeraMYca- 陶瓷餐具的大规模定制^[21]、解码和重构非正规住区^[22]、增材制造^[23]、NASA 的 3D 打印栖息地^[24]等。以非正规住区为例，该项目基于 2011 年杜阿尔特和贝朗的联合设计教学成果，面向 PSU 建筑学和景观建筑学的本科生开设“世界工作室” (World Studio) 课程，教授学生利用形状语法、参数化工具研究巴西和印度的非正规居民点，为其开展人居环境提升研究^[25]。这个项目能让学生深入了解政治、社会和环境等制约因素如何影响当代城市形态发展，有助于学生利用所学知识探索为低收入群体设计建造经济适用住宅以及开展面向新生活的城市设计实践。

3. 领衔学术组织：数字设计与建造的一体化探索

2002 年 9 月，杜阿尔特受 eCAADe (Education in Computer Aided Architectural Design in Europe) 时任主席安德烈·布朗 (Andre Brown) 的委托，负责组织 2005 年在里斯本举办的第 23 届以“数字设计：追求新范式” (Digital Design: the Quest for New Paradigms) 为主题的学术会议。这次会议收集了来自 37 个国家的研究成果，涵盖了从几何建模到数字建造的最新成果和热点问题，展示了计算机用于解决建筑设计和城市规划等专业问题的一些方法。杜阿尔特着重回顾了计算机辅助建筑设计在过去 30 年间的发展历程，并为之归纳了五个重要阶段，分别为：(1) 2D 绘图阶段：绘图工具的使用，关注人体工学的需求；(2) 建筑信息化阶段：建筑知识的信息化搜集，满足设计师的认知需求；(3) 3D 建模阶段：建筑模型的开发，评

估设计方案；(4) 建筑信息编码阶段：设计逻辑的编码，实现计算结果输出的自动化；(5) 建筑数字化阶段：互联网的影响，设计过程注重回应社会层面的需求。通过这次会议，杜阿尔特借此总结了以往相关领域学术成果，并继续完善其设计理论框架。

此外，杜阿尔特在 2017 年又作为会议联合主席，主持了在 PSU 主办的关于“大规模定制与设计民主化” (Mass Customization and Design Democratization) 的国际研讨会。他邀请了来自商界、工业界等领域的思想领袖以及知名的设计师、建筑师、技术专家和理论家参加，针对以往大规模定制研究中设计民主化的消隐问题，一方面分析了大规模定制在商业、工业、设计、建筑和城市化等方面的研究现状^[26]，另一方面基于不同尺度层级探讨了大规模定制对当代社会文化的影响，并展望了设计民主化的发展趋势。

四、案例解析——杜阿尔特的设计哲学凝练

以下内容列举了杜阿尔特分别在研、学、产三个层面主导的代表性实践案例：关于系统开发的马拉盖拉住宅设计、关于创新教学的阿连特茹城市设计、关于产品定制的陶瓷餐具大规模定制，通过这些案例的解析，证明其设计哲学的系统性、自新性与开放性。

1. 设计方法的系统性：马拉盖拉住宅设计

杜阿尔特在其博士论文中，利用形状语法解析了马拉盖拉住宅的设计形式语言。他一方面总结了一套基于该项目风格特征的生成规则，并以此创建“话语语法”理论；另一方面，利用这套语法进行设计推理，生成了很多具有相同风格的解决方案。这些和而不同的住宅方案均一一得到了西扎的认可，被认为与马拉盖拉住宅具有“同根性”。此外，杜阿尔特还建

立了一个计算机生成模型，通过“人机协同计算”的方式将话语语法代入计算机程序，可以自动生成基于特定用户居住需求的住宅方案。该案例的学术价值分别体现在理论和实践两个层面。

在理论层面上，杜阿尔特从技术 (Technical) 和操作 (Operational) 两个角度定义了话语语法^[27]。该语法在技术上是通过形状语法、描述语法 (Description Grammar) 和一组启发式算法共同实现的 (图 7)：形状语法和描述语法之间存在着一条形状规则对应一条或多条描述规则的关系，而启发式算法则用于根据预先设定的目标评估规则调用的优先级并依次进行选择；从操作角度分析，该语法由编程语法 (Programming Grammar) 和设计语法 (Designing Grammar) 组成，前者将形状规则编码为计算机可识别的语言，而后者则用于把规则转译为形状或与其相应的一种描述语言。

在实践层面上，杜阿尔特依据葡萄牙住房计划和评估系统 (PAHP) 里的相关要求，将其抽象为一种设计约束规则，并以此为上述的编程语法建立了“编程” (PROGRAMA) 模块，再通过归纳符合马拉盖拉住宅风格特征的形状规则，为设计语法建立“设计” (DESIGN) 模块。以上两个模块关联在一起组成了 PAHPA-Malagueira 话语语法 (图 8)：用于输入端时可以接受用户需求及实际用地信息，生成设计指令；用于输出端时可以接受设计指令，再根据设计语法输出具有马拉盖拉风格特征的住宅方案。为了将以上成果赋予应用推广的价值，杜阿尔特在博士毕业后继续深化着 PAHPA-Malagueira 话语语法。他综合使用 HTML、Java、Clips 和 VRML 等编程语言，建立了可以在网页上运行的 MALAG 生成系统^[28]。网页信息除了马拉盖拉项目的介绍信息、语料库、设计策略及用户交互界面外 (图 9)，还包括一套用户教程，在该教程的指导下，用户根据自己的需求输入限制条件，利用快速原型和计算机可视化技术，可以获得符合自己要求的三维数字模型。

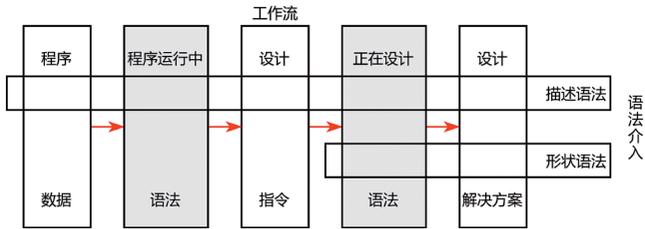


图7: 话语语法的工作流

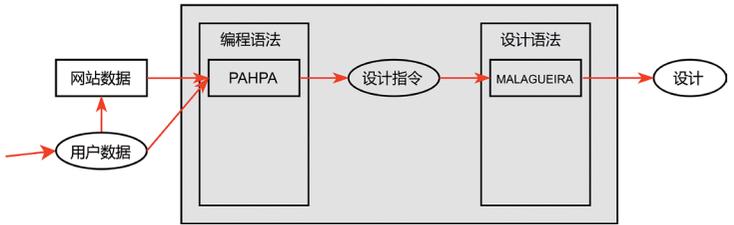


图8: PAHPA-Malagueira 话语语法

2. 设计逻辑的自新性：阿连特茹城市设计

在 MALAG 生成系统的初步探索中取得经验后，杜阿尔特又在教学实践中将形状语法的应用进一步拓展至城市设计尺度，并不断完善了设计系统的顶层逻辑和应用适配性。阿连特茹城市设计项目是杜阿尔特拿到 Ulisboa 教职后发起的一个创新探索，也是形状语法在欧美建筑学本科专业教学中的首次尝试^[29]。在 2002—2003 年和 2003—2004 年两个学年的本科 5 年级课程设计中，教学环节分别依照以下三个步骤开展：首先，开展相关案例分析，以马拉盖拉项目、阿姆斯特丹的婆罗洲斯波伦堡 (Borneo-Sporenburg) 项目、莫伊塔的 Quinta da Fonte da Prata 项目及佛得角的普拉亚 (Praia) 项目^[30]为例，分析它们自下而上、自上而下或者两者结合的规划实现路径，进而整理出包括地标建筑、图底关系、单元地块、生活设施四个层级的通用城市设计方法；其次，在教授学生关于模式语言和形状语法的基本原理后，指导他们根据葡萄牙阿连特茹的上位规划选择适宜的地块，制定能够容纳 5000

人居住生活的规划策略，要求按照以上四个层级分别设计形状规则；学生通过用地分析，可以选择扩建或者新建进行应对：扩建一般需要基于现状按照自上而下的方式综合考虑，这种方式通常以场地边界的外轮廓线为初始形状，通过逐步细分道路网格，生成用地布局形态（图 10）；而新建则是以自下而上的方式推理实现，例如图 11 所示，将一个十字形道路交叉口作为初始形状，然后以其为原点逐步延伸形成路网，再以此构建街区组团，进而将所

有可能性结果填充至用地边界，获得整体布局形态。此外，杜阿尔特还安排一组学生根据扩建的做法制定了一个基于规则的生成设计系统，要求另外一批学生通过地块的详细设计对该系统进行测试和评估，继续优化规则并持续改进系统。杜阿尔特通过以上研究，一方面证明了形状语法可以兼顾设计解决方案的隐形逻辑与可视化要求，另一方面论证了形状语法在隐性表达和显性表达上均具有一定的灵活性。

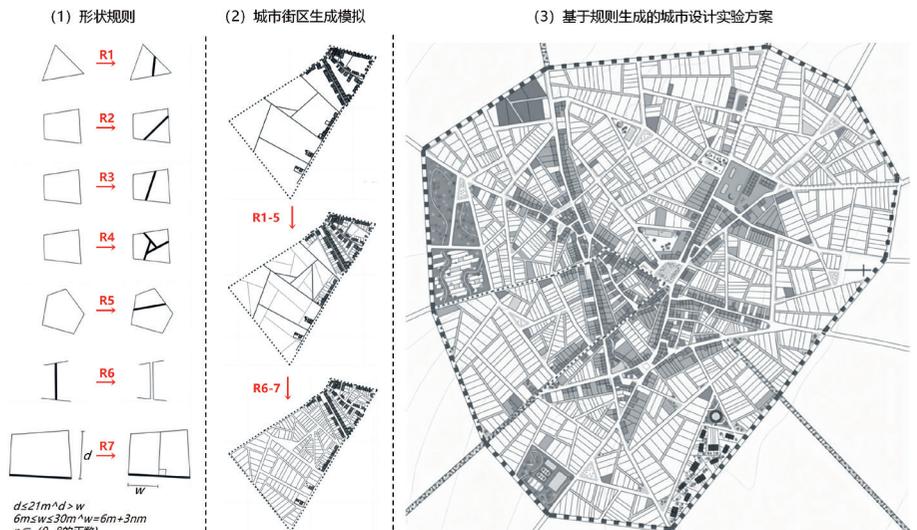


图10: 阿连特茹城市设计的逻辑分析（自上而下）

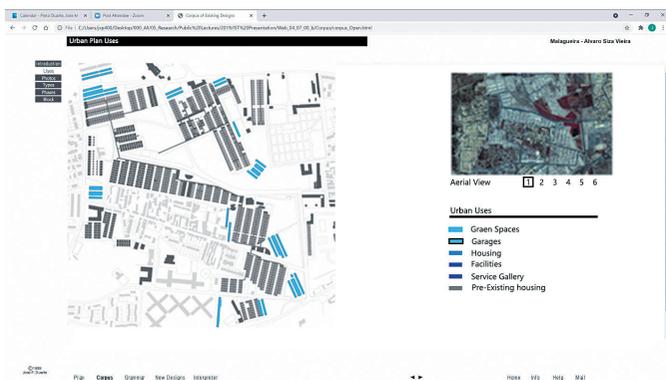


图9: MALAG 生成系统的交互界面

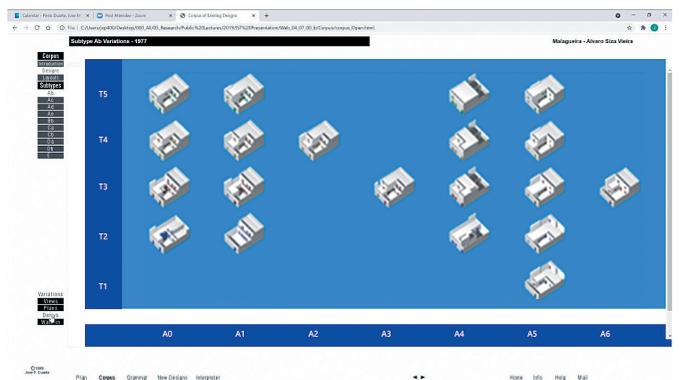


图9: MALAG 生成系统的交互界面

3. 设计维度的开放性：陶瓷餐具大规模定制

除了建筑规划领域，杜阿尔特还积极地在其他领域展开探索，不断地印证着其设计理论的适用性和开放性。2013年，他发起了CeraMYca陶瓷餐具的大规模定制研究项目，该项目是杜阿尔特开展大规模定制设计系统开发研究的首次尝试^[31]，也是他在2004年联合ULisboa、MIT、CTCV（葡萄牙陶瓷和玻璃技术中心）、RECER陶瓷厂开展校企教学实验^[32]的后续研究。其目的是利用形状语法和参数化建模，开发一个可定制陶瓷餐具的设计系统^[33]，最终希望能够面向用户，为之提供通过半沉浸式的交互界面定制产品并获得实体制品的体验。在具体的实践过程中，他首先对市场流通的陶瓷餐具进行归类分析，获取相关形状词汇等信息并为之建立语料库；其次，使用二维形状表示陶瓷餐具的初始形状和相应的细分、倾斜、替换等生成规则，建立了基于推理逻辑的陶瓷餐具形状语法；随后，利用GH和Rhino将形状语法转译为可视化的编程语言，实现了通过编辑形状语法的参数和规则构建陶瓷餐具数字模型的生成流程。以上研究均需要借助预先构建的设计系统实现，而接下来关于数字模型到实体模型的转译则需要通过计算系统和生成系统实现。这里，计算系统起到“桥

梁”的作用，确保计算信息能在不同软件之间进行数据转换，而生成系统则基于同步传输的计算信息，借助3D打印技术实现实体模型的输出。2019年，杜阿尔特又分别利用GH和Unity两种编程软件，为陶瓷餐具建立了数字模型，比较了形状语法转译为可视化编程语言（VPL）与文本编程语言（TPL）各自的优劣势^[34]（图12）。

五、结语

综上，本文主要回顾了计算性设计领域的杰出代表——杜阿尔特由形状语法到大规模定制的计算性设计理论构建与实践探索。他在“科研、教育、实践”结合与互动过程中，开展了与形状规则支撑的生成平台研发、算法思维主导的教育理念凝练以及数字技术驱动多元实践探索等方面的研究，进行了面向大规模定制的计算性思维转变，也促进了设计过程的可交互性及设计结果多样化的可能性探索，为大规模定制应用于建筑业开展了有益的

前沿探索。此外，本文还梳理了杜阿尔特学术历程，将之置于CAAD发展脉络，同其他相关研究者进行对比研究，一方面证明了计算性设计思维和方法有益于设计者更好地理解、解决复杂工程的设计问题，另一方面凸显了杜阿尔特在计算性设计尤其是形状语法、数字建造及大规模定制等领域的学术贡献。

为表彰杜阿尔特在建筑领域的突出贡献和奉献精神，马奎斯世界名人录（Marquis Who's Who）组委会授予他终身成就奖（Marquis Who's Who Lifetime Achievement Award）和顶级科学家（Marquis Who's Who Top Scientists）的称号，并评价他为建筑和高等教育领域的领导者。如今，杜阿尔特仍活跃在计算性设计领域，不断地为该领域的创新发展发声，他本人也俨然成为该领域的“一个研究样本”或者“一面镜子”，为大量持有相同研究兴趣的学人指明方向，也为我国建筑学学科的发展提供有益参考。

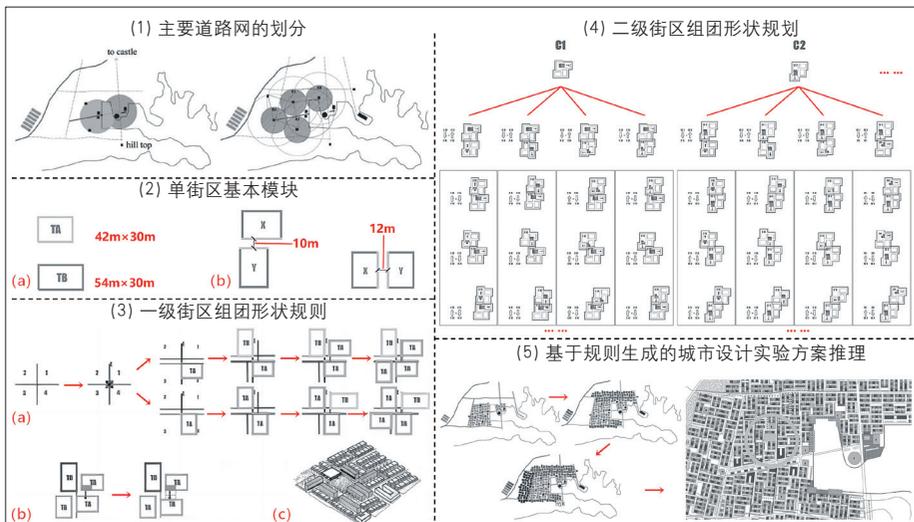


图 11：阿连特茹城市设计的逻辑分析（自下而上）

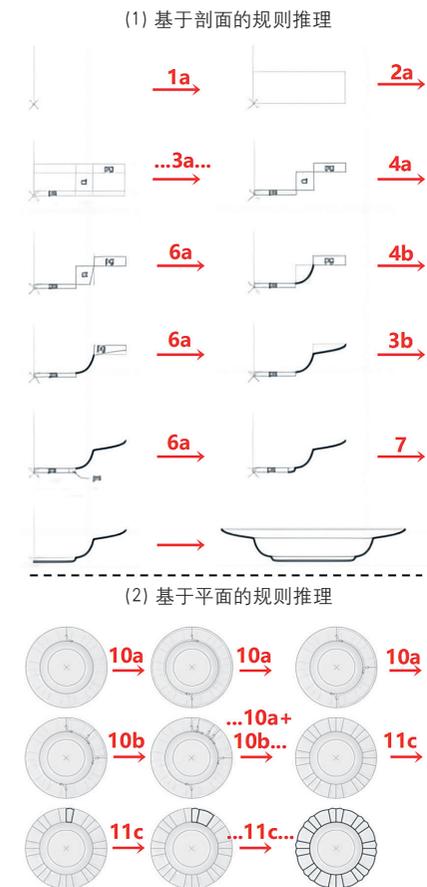


图 12：陶瓷餐具的大规模定制设计分析

注释

- ① 杜阿尔特教授其硕士研究生何塞·贝朗 (Jose Beirao)、博士研究生爱德华多 (Eduardo Costa e Costa) 等人开展形状语法学习, 并通过师生合作完成了很多标志性成果。
- ② 杜阿尔特在 MIT 求学期间, 与比尔古尔·科拉科格鲁 (Birgul Colakoglu)、李以康 (Andrew I-Kang Li)、米内·厄兹卡 (Mine Ozkar) 成为同学。他们四人的博士选题均源于 MIT 当时立项的同一个关于形状语法教学研究的课题: 科拉科格鲁解析了波斯尼亚哈亚特 (Bosnia, Hayat) 乡土住宅的生成逻辑, 又结合当地住宅建设的新要求, 定义了一套可以生成具有传统风格特征的新住宅语法; 李以康解析了《营造法式》中所描述的中国宋代传统建筑语言, 分别制定了开间、进深、柱子等平面布局规则及梁、柱、举折等剖面变化规则; 米内·厄兹卡则从设计计算的角度对建筑教育的相关历史和理论进行了框架式的构建; 而杜阿尔特则是为葡萄牙建筑师阿尔瓦罗·西扎设计的马拉盖拉 (Malaguera) 住宅开发了一套语法系统。
- ③ 乔治·斯蒂尼、詹姆斯·吉普斯、特里·奈特 (Terry Knight)、莱昂内尔·马奇 (Lionel March) 以及杜阿爾特的导师米切尔, 他们大多是 MIT 或 UCLA 的同事, 也是同时期形状语法理论最重要的支持者与传播者。
- ④ 例如: 马奇的学生拉梅什·克里希那穆提 (Ramesh Krishnamurti) 于 1982 年开始研究通用形状语法解释器 (Shape Grammar Interpreter, SGI), 这在当时形状语法的计算机实现方面是开创性的。
- ⑤ <http://dcg.fa.utl.pt/>

参考文献

- [1] Jeannette M. Wing. Computational thinking[J]. Communications of the ACM. 2006, 49 (3) : 33-35.
- [2] 孙澄, 韩昀松, 任惠. 面向人工智能的建筑计算性设计研究[J]. 建筑学报, 2018 (9) : 98-104.
- [3] Matti Tedre, Peter Denning. The Long Quest for Computational Thinking[J]. Proceedings of the 16th Koli Calling Conference on Computing Education Research, 2016: 120-129.
- [4] George Stiny, James Gips. Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture[J]. OR Petrocelli (ed) The best computer papers of 1971, 1972: 125-135.
- [5] Alison McKay, Scott Chase, Kristina Shea, Hau Hing Chau. Spatial grammar implementation: From theory to useable software[J]. AI EDAM, 2012, 26 (2) : 143-159.
- [6] Terry Knight. Shapes and Other Things[J]. Nexus Network, 2015 (17) : 963-980.
- [7] 王江, 范伟, 赵伯伦, 赵继龙. 解析、转换、生成——形状语法的研究回溯与解读[J]. 建筑师, 2022 (4) : 116-125.
- [8] José Pinto Duarte. Sistemas Modulares: por uma Arquitectura de Terceira Vaga. (Modular Systems: towards third wave architecture) [D]. Faculty of Architecture, TU Lisbon, 1987.
- [9] Joao Pardo Monteiro. Porfirio Pardo Monteiro and the Global Design[J]. Docomomo, 2016 (55) : 24-29.
- [10] 王江, 田芸, 赵伯伦, 范伟, 高海岑. 参与式设计决策——阿尔瓦罗·西扎的社会住宅实践及启示[J]. 建筑师, 2023 (1) : 67-76.
- [11] José Pinto Duarte. Reflections on the insertion of technologies in architectural curricula[J]. Education for research, research for creativity, 2016: 127-130.
- [12] José Pinto Duarte, Gabriela Celani, Regiane Pupo. Inserting computational technologies in architectural curricula[M]// Computational design methods and technologies: applications in CAD, CAM and CAE education. IGI Global, 2012: 390-411.
- [13] John Dewey. Democracy in education[J]. The elementary school teacher, 1903, 4 (4) : 193-204.
- [14] Gero, John. Recent design science research: Constructive memory in design thinking[J]. Architectural Science Review, 1999, 42 (2) : 97-99.
- [15] Mário Barros, José Pinto Duarte, Chaparro Bruno. Thonet Chair Design Grammar: A Step towards the Mass Customization of Furniture[C]. Proceedings of the 14th International conference on Computer Aided Architectural Design, 2011: 181-200.
- [16] Mário Barros, José Pinto Duarte, Chaparro Bruno. A design system for the mass customization of Thonet chairs[C]. Proceedings of the 1st International Conference on Sustainable Intelligent Manufacturing, 2011: 737-745.
- [17] Eloy Sara, José Pinto Duarte. A transformation-grammar-based methodology for the adaptation of existing housetypes: the case of the 'rabo-de-bacalhau' [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2015, 42 (5) : 775-800.
- [18] José Pinto Duarte, José Beirão, Nuno Montenegro, orge Gil. City Induction: A Model for Formulating, Generating, and Evaluating Urban Designs[J]. DUMS, CCIS 242, 2012: 79-104.
- [19] José Beirão, Jose Pinto Duarte, Rudi Stouffs. Structuring a grammar for urban design: linking GIS to shape grammars[C]. Proceedings of the 26th Conference on Education in Computer Aided Architectural Design in Europe, 2008: 929-938.
- [20] José Pinto Duarte, Eduardo Castro e Costa, Filipe Coutinho, Bruno Figueiredo, Mário Krüger. Descodificando o De re aedificatoria: usar as novas tecnologias para caracterizar a influência de Alberti na arquitetura clássica em Portugal[J]. Na gênese das racionalidades modernas II: em torno de Alberti e do Humanismo, 2015: 199-223.
- [21] Eduardo Castro e Costa, Joaquim Jorge, Jose Pinto Duarte. Comparing Digital Tools for Implementing a Generative System for the Design of Customized Tableware[J]. Computer-Aided Design & Applications, 2019, 16 (5) : 803-821.
- [22] Debora Verniz, José Pinto Duarte. Santa Marta Urban Grammar: Unraveling the spontaneous occupation of Brazilian informal settlements[J]. Urban Analytics and City Science, 2019: 1-18.
- [23] Eduardo Castro e Costa, José Pinto Duarte, Paulo Bártolo. A review of additive manufacturing for ceramic production[J]. Rapid Prototyping, 2017, 23 (5) : 954-963.
- [24] Naveen Kumar Muthumanickam, Keunhyoung Park, Jose Pinto Duarte, etl. BIM for parametric problem formulation, optioneering, and 4D simulation of 3D-printed Martian habitat: A case study of NASA's 3D Printed Habitat Challenge[C]// Proceedings of the 5th Residential Building Design and Construction Conference, 2020: 4-6.
- [25] Debora Verniz, Fernando Lima, Jose Pinto Duarte. Decoding and recoding informal settlements in a design studio: an overview of the World Studio Project[J]. Gestão & Tecnologia de Projetos. São Carlos, 2022, 17 (1) : 131-140.
- [26] 王江, 赵伯伦, 郭芸麟, 赵继龙. 国际大规模定制住宅设计研究: 概念、挑战与对策[J]. 建筑师, 2021(4): 4-14.
- [27] José Pinto Duarte. Customizing Mass Housing: A Discursive Grammar for Siza's Malagueira Houses[D]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, Department of Architecture, 2001.
- [28] José Pinto Duarte, Rodrigo Correia. Implementing a description grammar: Generating housing programs online[J]. Construction Innovation, 2006, 6 (4) : 203-216.
- [29] José Beirao, José Pinto Duarte, Rudi Stouffs, Henco Bekkering. Designing with urban induction patterns: a methodological approach[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2012, 39 (4) : 665-682.
- [30] José Beirao, José Pinto Duarte, Rudi Stouffs. An Urban Grammar for Praia: Towards Generic Shape Grammars for Urban Design[J]. Proceedings of the 27th Conference on Education in Computer Aided Architectural Design in Europe, eCAADe2009, 2009: 574-584.
- [31] Eduardo Castro e Costa, José Pinto Duarte. Mass customization of ceramic tableware through digital technology[J]. Green Design, Materials and Manufacturing Processes, 2013: 467-471.
- [32] José Pinto Duarte, Luisa G. Caldas, Joao Rocha. Free-form Ceramics: Design and Production of Complex Architectural Forms with Ceramic Elements[J]. Digital Design Tools, 2004: 174-183.
- [33] Barros M, José Pinto Duarte, Chaparro B M. Integrated generative design tools for the mass customization of furniture[C]// Design Computing and Cognition' 12. Springer, Dordrecht, 2014: 285-300.
- [34] Eduardo Castro e Costal, Joaquim Jorge, José Pinto Duarte. Comparing Digital Tools for Implementing a Generative System for the Design of Customized Tableware[J]. Computer-Aided Design & Applications, 2019, 16 (5) : 803-821.

图片来源

图 1: Citespace

图 2、图 3: 作者自绘

图 4: 参考文献 [16]

图 5: 参考文献 [17]

图 6: 参考文献 [20]

图 7、图 8: 参考文献 [28]

图 9: <http://home.fa.utl.pt/~jduarte/malag/>

图 10、图 11: 参考文献 [29]

图 12: 参考文献 [33]