

解析、转换、生成

——形状语法的研究回溯与解读

Analysis, Transformation, Generation: Review and Interpretation of Shape Grammar

王江 | WANG Jiang 范伟 | FAN Wei 赵伯伦 | ZHAO Bolun 赵继龙 | ZHAO Jilong

摘要: 形状语法于1972年被提出时主要是作为一种解析设计作品的工具, 通过以几何形状为基本单位的规则研究, 探索既有设计语言的生成逻辑; 2000年后形状语法逐渐开始作为一种辅助设计过程的工具, 通过应用形状转换规则, 扩展某种设计语言或构建一种新的设计语言。通过回溯形状语法的研究历程, 重新解读其理论渊源, 阐述形状的运算原理与规则的层级逻辑, 探究解析式形状语法和生成式形状语法的实施策略; 梳理形状语法在艺术、工业、建筑等领域中解决复杂设计问题的实现路径, 并以赖特草原系列住宅分析和山东建筑大学乡村批量住宅研究为例, 利用规则推理解析设计空间的生成过程; 最后, 简述形状语法的局限性, 对形状语法作为一种计算性设计方法朝向数字化、智能化发展的趋势进行展望。

关键词: 形状语法、生成设计、规则推理、设计分析、计算性设计

Abstract: When Shape Grammar was proposed in 1972, it was mainly used as a tool to analyze design works. It was used to explore the generative logic of existing design languages through the study of rules with geometric shapes as the basic unit. After 2000, Shape Grammar gradually began to be used as a tool to assist the design process, by applying shape transformation rules to extend a certain design language or create a new design language. Firstly, the research history and theoretical origins of Shape Grammar are reviewed, the operational principles of shapes and the hierarchical logic of rules are expounded, and the application strategies of Analytical Shape Grammar and Original Shape Grammar are explored. Furthermore, methods of Shape Grammar to solve complex design problems in the fields of art, industry, architecture, etc. are sorted out, and taking the analysis of Frank Lloyd Wright's Prairie Style Houses and the rural mass housing research of Shandong Jianzhu University as examples, using rule derivation to analyze the generation process of design space. Finally, the limitations of Shape Grammar are briefly described, and the development trend of Shape Grammar as a computational design method towards digitization and intelligence is prospected.

Keywords: Shape Grammar, Generative design, Rule derivation, Design analysis, Computational design

作者:

王江, 山东建筑大学建筑城规学院副教授;
范伟, 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学院博士研究生;
赵继龙, 山东建筑大学建筑城规学院教授。
山东建筑大学博士科研基金项目(X21111Z)。

Doi: 10.12285/jzs.20211130002

一、引子：从普遍语法到形状生成

1957年, 美国语言学家诺姆·乔姆斯基(Noam Chomsky)在其著作《句法结构》(*Syntactic Structures*)中提出了普遍语法(Universal Grammar)假说, 他指出语言是具有创造性的, 而语法则代表着语言的生成能力; 普遍语法并非一种特定的语言范式, 而是一系列用于界定人类语言的条件, 它耦合了形成人类语言的物理机制及相应的心理

机制。人类驾驭语言的关键方法不在于掌握了多少具体的句子, 而在于是否掌握了有限的语言素材和语言结构规则。转换是普遍语法的基本规则之一, 而转换生成语法(Transformational-Generative Grammar)也是普遍语法的基本组成部分^[1], 它用于转换句子的成分或顺序, 在保持语法结构正确的同时, 以生成新的句子。因此, 语言的生成能力源于转换生成语法对有限规则的无限使用, 也就是说转换是实现生成的重要手段。

1972年,乔治·斯蒂尼(George Stiny)和詹姆斯·吉普斯(James Gips)基于转换生成语法,提出了一种关联几何形状及其转换规则的形状生成方法,即形状语法(Shape Grammar,也称为形状文法)^[2]。他们使用一种定义形状规则并将其迭代、推理的研究方法,对绘画、雕塑等艺术作品进行了更为“理性”的解读。由此得出了以下论断,即艺术家或设计师在进行部分作品创作时,可侧重于“规则”的研究,形状规则一旦被确立,便能通过规则推理生成最终的作品。因此,形状语法的解析与设计过程即通过制定相对简单的规则来实现复杂多样的设计结果的过程。在形状语法提出后的50年间,其基本原理和实现路径不断得到充实与拓展,并逐渐对计算性设计与分析领域产生了深远影响。

二、源于自然语言的“形状”和“语法”

1. 设计语言：系统性的表述

在自然语言中,所谓的“文风”(Linguistic Features)是指语言的表述方式,一般要通过特定的语法对词汇调用及句式组织的过程进行有效的约束。与之类似,设计语言也有其相应的“词汇”(Vocabulary)和“语法”(Grammar),它们决定着图形或造型的组合方式及空间关系。基于此,与形状语法有关的术语主要包括:①“设计语言”(Design Language),即设计作品的总体样式或风格;②“语料”(Corpus),即词汇,是指用于单一设计过程的一组数量有限但各不相同的形状集合;③“语料库”(Corpora),是指经科学取样与加工的形状语料集合,用于储存那些在设计语

言的实际使用过程中已经出现过的语料;④“空间关系”(Spatial Relation),即多个基本形状在组合、排列、旋转等操作下所形成的一种具有可识别性的状态;⑤“语法”(Grammar),即形状语法,以“初始形状”(Initial Shape)和“形状规则”(Shape Rule)为基本内容,每一种形状语法均代表着一种设计语言;⑥“初始形状”,是指作为设计起点的形状,它既可以是一个坐标点,也可以是一种源于现状的复杂形状或是一种最为简单的基本形状;⑦“形状规则”,即实现空间关系变化的推理逻辑;⑧“标签”(Label),用于标记形状的位置、功能、尺寸等属性,也决定着形状规则的具体推理过程,通常采用点、字母、数字、颜色等方式进行表达。

2. 运算原理：推理性的呈现

一套完整的形状语法通常由四部分构成:一组有限的形状集合、一组有限的标签集合、一组有限的形状规则集合及一个初始形状^[3]。常用的形状规则呈现方式是 $A \rightarrow B$,其中,字母“A”和“B”表示两种不同的形状,符号“ \rightarrow ”表示“转换”。从图1-1可知,每一条形状规则通常在其前面使用数字表示规则的序号。例如,规则1是将带有标签“.”的正方形嵌入另一个带有标签“.”的正方形中,规则2是删除正方形中的标签“.”。从图1-2可知,当确定了形状语法的初始形状和形状规则后,其推理(Derivation)运算的过程为:对带有标签“.”的初始形状实施两遍规则1,再实施一遍规则2,此时箭头上的序号代表该过程应用的规则序号;当生成的形状没有标签“.”时,意味着

规则推理过程的终止。为了获得符合预期的结果,不仅相同的形状规则可以在设计中多次穿插调用,而且不同的形状规则也可以同时作用于一个推理过程,经过不断迭代而产生新的形状,因此形状的推理过程在绝大多数情况中是相对复杂的。为了简化推理过程,斯蒂尼认为可以使用“标签”对将要进行转换的形状做出标记,并为过程中所有出现的形状赋予不同的属性或含义,从而将更多的信息集成至最终的设计结果中(图1-3)。

3. 规则层级：逻辑性的划分

在语言学中,树形结构图常被用于分析句子的基本结构(图2-1),而形状语法的规则层级也可以使用相似的逻辑进行划分和表达,即利用树形结构图枚举出由规则推理而生成的所有过程性形状。在由树形结构图表达的规则层级中,所有的结点形状与其所含信息均具有一定的相关性,不仅可以集成于一体,而且相互之间能够通过编码建立起用于索引及映射的关系。这意味着树形结构图中的所有结点形状通过关联每一个子结点与一个父结点,建立起逻辑性的总分关系(图2-2)。在规则推理的过程中,上一层级的形状规则信息传递至下一层级,可确保生成结果具有一定的相似性和继承性;而不同层级的结点在一定范围内也可以进行关联,便于进一步探讨由不同结点组合所形成的空间关系并对其生成结果进行持续优化。在部分研究中,为了简化形状语法的树形结构关系,通常会聚焦于单一子结点,而将其余子结点及其分支隐藏,以一种单链条的形式呈现规则推理过程。此外,在分析某些复杂

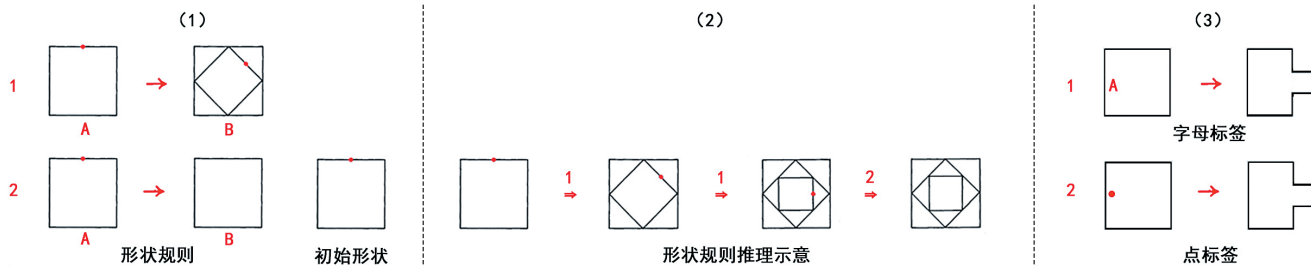


图1: 形状语法的运算原理

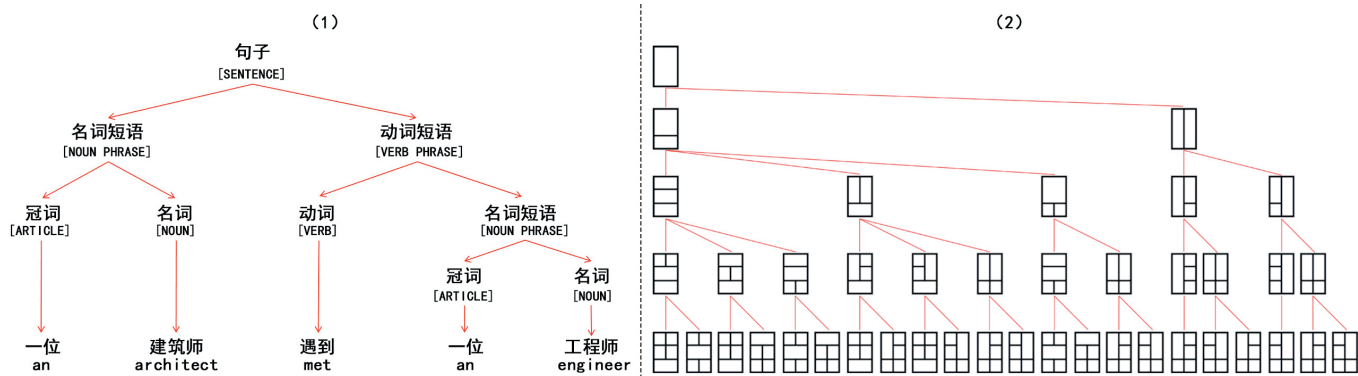


图2: 语言学和形状语法的树形结构示意图

设计作品时,通常会按照生成步骤对其所有形状规则进行阶段划分,每一阶段可包含多个层级的形状规则,以此强化规则推理过程的逻辑性和概括性。

三、形状语法的实施策略

1. “分毫析厘”的解析式形状语法

1976年,斯蒂尼提出了解析式形状语法 (Analytical Shape Grammar) 的概念,这是形状语法首次被明确界定为一种分析工具。之后,特里·奈特 (Terry Knight) 进一步指出形状语法是分析经典设计语言的最好方法之一,她认为一套好的解析式形状语法,既要做到形状规则简洁易懂,又要清晰地描述出形状规则的推理过程,从复杂性和随机性的设计现象中揭示出简单性与规律性的生成逻辑^[4]。博扬·泰帕夫切维奇 (Bojan Tepakvevic) 等进一步指出形状语法能够以直观可读的方式呈现出形状迭代的过程,并将所有生成的形状赋以可操作性^[5]。基于此,形状语法在早期应用时主要是以图示化推理的方式分析复杂形状的生成过程,一方面,通过以几何形状为基本单位的规则研究,探索既有设计语言的生成逻辑;另一方面,用于分析相似而不同的设计作品时,判断它们是否使用了相同或相近的设计语言。

当利用形状语法分析设计作品时,首先,应选择一个或一组设计样本作为语料库,从中抽象提取出一系列具有代表性的形状结果;然后,通过分析由形状词汇构

成的空间关系及变化规律,确定大致的形状规则,进而根据以上认识定义一个初始形状,并尝试进行推理运算。通常而言,经过合理的分析过程而定义的初始形状和形状规则,均能通过推理验证其生成结果从属于既有语料库,还能生成与既有形状词汇具有相同空间关系和功能属性的其他结果。解析式形状语法在实施时主要涉及网格 (Grid)、细分 (Subdivision)、加法 (Addition) 三种策略。^①网格分析用于推理具有一定比例或模数的形状生成过程,一般应先基于设计样本的几何构成、尺寸比例等关系,划分出矩形或方形的网格,之后在网格中勾勒出形状轮廓,划分出大致的空间关系,进而不断增加设计细节。^②细分分析用于推理具有固定边界或外部轮廓的形状生成过程,例如,将经抽象化的建筑外部轮廓设定为初始形状,对其进行多次切割和进一步细分后获得所有关于内部功能房间布局的可能性结果。^③加法分析与细分分析相反,用于推理具有不规则的边界或外部轮廓的形状生成过程;在该策略的实施过程中,初始形状应首先得到明确,它既可能是一个抽象的点,也可能是一处具体的空间;当初始形状被识别后,即可调取相应的加法规则进行推理运算。

2. “探渊索珠”的生成式形状语法

随着计算机技术的发展,一些研究者基于不同的编程语言,实现了对形状规则的自动推理,使其更多地作为一种生成设

计方法实施。生成式形状语法 (Original Shape Grammar) 在应用时类似于一种“探渊索珠”的过程。其主要步骤是:主观选取一组空间关系和形状词汇,以此定义初始形状与形状规则;通过规则推理生成符合特定设计语言风格的设计结果。在探索由形状词汇构成的空间关系时,要么从分析既有设计方案的过程中提取,要么从零开始构建。对前者而言,需要在解析既有语料库的基础上,通过形状规则的定义与推理,综合使用网格、细分、加法三种策略,实现对原有设计作品的复现、拓展与更新,这意味着在解析某种设计语言时,既能以形状语法为媒介进行直观的“阅读”,作为“分析之用”,也能通过定义替换、减法、组合等形状规则实现“借题发挥”,获得与既有语料库“同根”的新结果;对后者而言,由于不涉及对既有设计方案进行分析,所以可通过自定义初始形状并实施规则推理,获得符合预期的生成结果。基于此,与解析式形状语法相比,生成式形状语法属于一种基于规则的专家系统 (Rule-based Expert System),为“设计之用”提供了一种全新的可能性。

在计算机支持下,自动推理的运算效率得到了大幅度提高,能够在较短时间内生成更多符合需求的结果。生成式形状语法在实施时主要涉及过程性推理和自动化交互两种策略。^①过程性推理用于推理某种形状语法的生成过程,该策略一般面向生成设计过程,通过计算机语言将形状规则编码为形状语法解释程序,用户可输入自定义的设计参数以实现特定形状语法的

自动化生成。②自动化交互于大量且复杂的设计任务时，可提升语法解释的效率，通常要结合 AutoCAD、Rhino、Grasshopper 等计算机辅助设计工具，从中置入特定的形状语法插件，使之能大批量、自动化生成更多灵活性高的结果，还能与 BIM、图形用户界面 (GUI) 等平台进行实时交互，实现对设计全过程的集成与管理。

四、利用规则推理解决复杂设计问题的实现路径

形状语法被提出后，在艺术、工业、建筑等设计领域中得到了广泛应用。20 世纪 70 年代初至 20 世纪 80 年代末是形状语法研究的起步阶段，主要针对绘画装饰和经典建筑进行风格解析。20 世纪 90 年代，一些研究者结合计算机技术相继提出了利用形状语法解决特定设计问题的系统框架，相关成果主要集中于工业设计领域。2001 年，何塞·M·平托·杜阿尔特 (José M. Pinto Duarte) 在研究阿尔瓦罗·西扎 (Alvaro Siza) 的马拉盖拉 (Malagueira) 社会住宅过程中提出了基于形状语法的大规模定制住宅设计系统，这被视为形状语法朝向数字化发展的转折点。之后，形状语法主要

作为一种计算机辅助设计工具用于解决量大、复杂的设计问题。

1. 绘画装饰艺术：几何美学的解读与重构

虽然形状语法源于艺术，但相较于其他领域，与艺术的关联研究并不丰富，仅局限于分析由简单线条或几何形状构成的装饰绘画作品。最早的形状语法应用案例始于 1977 年，斯蒂尼在研究中国冰裂纹窗花时，定义了一种对几何平面形状进行细分的形状规则，即以凸多边形作为初始形状，在其左右两边之间设置一条连接线，将原有形状划分为两个新凸多边形。这一规则适用于利用任意三角形、凸四边形或凸五边形生成具有冰裂纹形状特征的图案设计 (图 3-1)^[6]。1980 年，奈特分析了赫波怀特式 (Hepplewhite) 盾形椅背，并在此基础上提出了一种由直线转变为曲线的形状规则 (图 3-2)^[4]。1986 年，琼·基尔希 (Joan L. Kirsch) 分析了美国画家理查德·迪本科恩 (Richard Diebenkorn) 的抽象油画作品，他以矩形为初始形状对其进行不断细分，将所划分的区域定义了不同的标签，并且分别设定了与标签相对应

的形状规则 (图 3-3)^[7]。同年，奈特通过将“1”形线条转换为“S”形线条的方式，重构了传统希腊式装饰纹理 (Greek Meander) (图 3-4)^[8]。1989 年，奈特研究了风格派艺术家乔治·万通格鲁 (Georges Vantongerloo) 的绘画作品，利用形状语法将不同时期的作品关联在一起，摸清了其 20 年间画风的转变 (图 3-5)^[9]。1995 年，约翰·罗洛 (John Rollo) 针对弗兰克·劳埃德·赖特 (Frank Lloyd Wright) 建筑作品中窗户的形式展开分析，推理出具有规律性的设计风格 (图 3-6)^[10]。以上研究说明形状语法在艺术设计领域中多用于对二维几何形状进行美学重构，很少涉及形状的功能属性。

2. 工业设计：用户需求的响应与匹配

艺术设计领域中关于形状与功能联系不足的问题在工业设计领域中得到了回应。乔纳森·卡根 (Jonathan Cagan) 指出，形状语法既可以利用已有的构配件对产品进行重构，也可以创造出具有不同风格的新产品^[11]。因此，形状语法在工业设计领域中更多的是服务于功能而非形式。1994

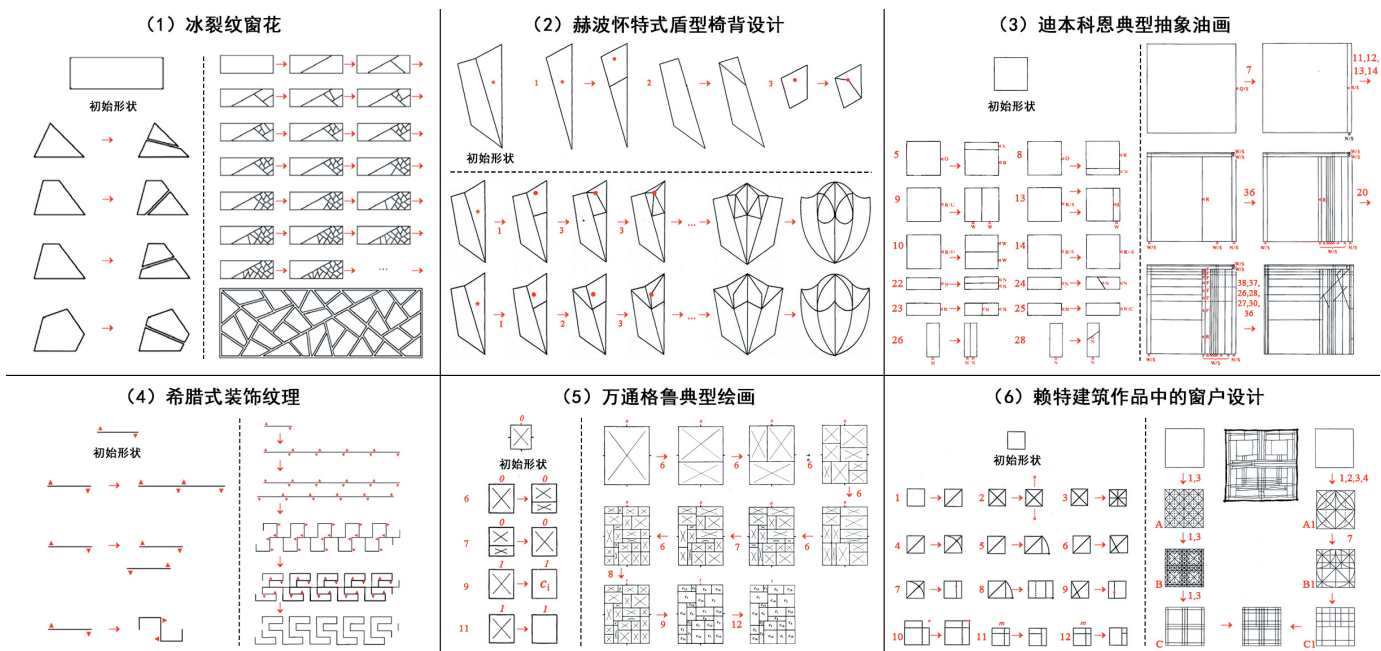


图 3: 绘画装饰艺术领域应用案例的形状规则和设计分析

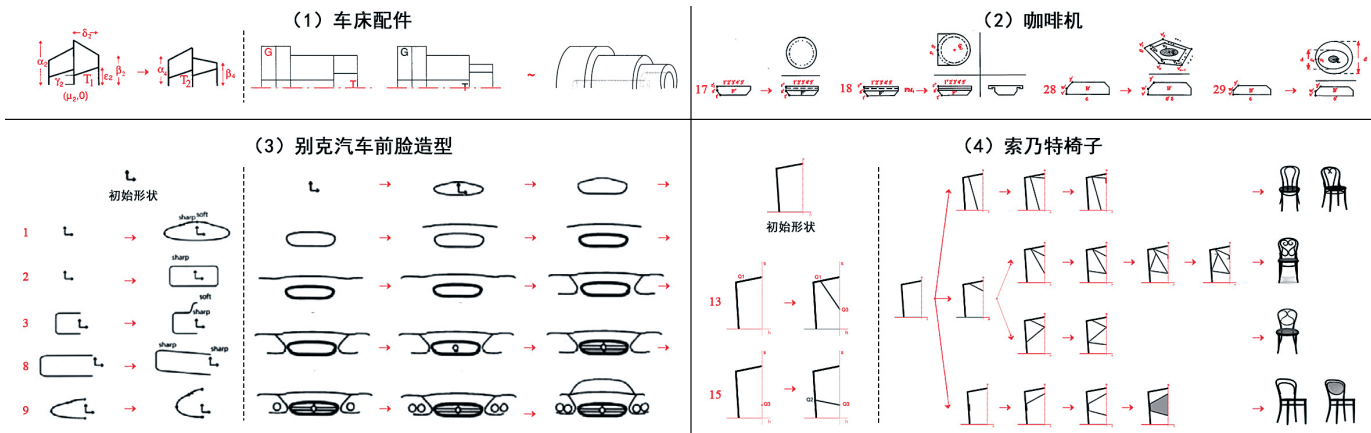


图4: 工业产品设计领域应用案例的形状规则和设计分析

年,肯尼思·布朗(Kenneth Brown)通过形状语法开发了一种“车床语法”,在车床上实现了生产各种具有特定功能属性和形状特征的构配件(图4-1)^[12]。1998年,马尼什·阿加瓦尔(Manish Agarwal)基于咖啡机的工作原理和结构形式开发了一种“咖啡机语法”,在功能和形式两个层面提出了包括过滤器、储水槽和基座三个子规则系统(图4-2)^[13]。2010年,卢兆麟总结了运用形状语法进行产品造型设计的具体步骤,并以别克汽车前脸造型设计为例进行了说明(图4-3)^[14]。2011年,杜阿尔特以索乃特椅子(Thonet Chair)为例,提出了一种基于形状语法的大规模定制家具系统,支持用户创建满足其需求的座椅样式(图4-4)^[15]。综上可知,形状语法作为一种能够对空间关系进行精确建模、推理生成和遍历搜索的工具,能够较好地解决大量性工业生产中经常存在的设计效率低下等问题,不仅可以协助设计师获取若干备用方案,而且能够辅助用户获得满足其需求的最佳配置结果。

3. 系列建筑设计: 空间关系的复现与创造

形状语法在建筑设计领域的应用研究主要涉及建筑风格的“经典解析”和“全新设计”两方面。在具体应用中,首先要将建筑的平面布局、空间形态、结构构造等抽象为二维或三维的几何形状,再将研

究对象中出现的比例、尺度、功能等关系提炼为形状规则,进而将建筑风格转换为一种便于清晰描述的设计语言。1978年,斯蒂尼和威廉·米切尔(William J. Mitchell)针对帕拉第奥系列别墅之一的马孔坦塔别墅(Villa Malcontenta)进行解析研究,是形状语法在建筑设计领域的开山之作,他们提出了72条规则并按照8个阶段进行推理:①划分网格;②确定外墙;③确定房间布局;④调整内墙;⑤调整门廊和外墙;⑥确定装饰柱位置;⑦确定门窗位置;⑧推理终止^[16](图5-1)。1981年,奈特·弗朗西斯·唐宁(Frances Downing)、马尔里希·弗莱明(Ulrich Flemming)分别对日本传统茶室^[17](图5-2)、美国布法罗(Buffalo)住宅^[18](图5-3)、意大利朱利亚尼·弗里杰里奥(Casa Giuliani Frigerio)公寓^[19](图5-4)进行了设计解析,它们不同于帕拉第奥式别墅中针对矩形建筑轮廓的细分分析,而是利用加法分析,推理生成了具有一定随机性的建筑轮廓。1994年,塔姆辛·赫伯特(Tamsin Herbert)在研究非洲传统恩德贝勒(Ndebele)住宅时制定了一套模拟大规模增量住宅设计的形状规则,将研究对象由建筑单体扩展至建筑群体,为后续的非正规住区、城市设计等研究方向奠定了基础^[20]。1996年,邱上嘉(Shang-Chia Chiou)基于台湾建筑风水理论和传统合院的空间组织关系,研究了正房、庭院、厢房、倒座的生成过程,该研究是形状语法引入中国后的早期成果

之一(图5-5)^[21]。2001年,李以康(Andrew I-kang Li)对《营造法式》中所描述的中国宋代传统建筑语言进行分析,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,进而将规则推理结果与现存其他朝代的传统建筑做法进行了比较,探索了中国传统建筑的演化过程(图5-6)^[22]。

五、形状语法的案例解读与设计应用

形状语法在建筑设计领域的应用研究中,已经形成了系列化的“经典解析”类案例成果,例如关于弗兰克·劳埃德·赖特草原系列住宅的“形式解构、风格复盘”研究;而“全新设计”类的应用成果尚不丰富,一些研究者针对不同的设计问题“从零开始”尝试着开展自动化设计生成实验,例如关于山东建筑大学的乡村批量住宅设计研究。

1. 草原系列住宅的案例解读

形状语法在被当作一种设计分析工具使用时,可通过针对形状的抽象化和规则化分析,解读特定建筑风格的生成逻辑。由于形状语法更擅于描述建筑的“生形”原理,而不能完全复现建筑作品的所有细节,所以通过分析、解读所建立的某种建筑风格的形状语法可能无法完全符合历史

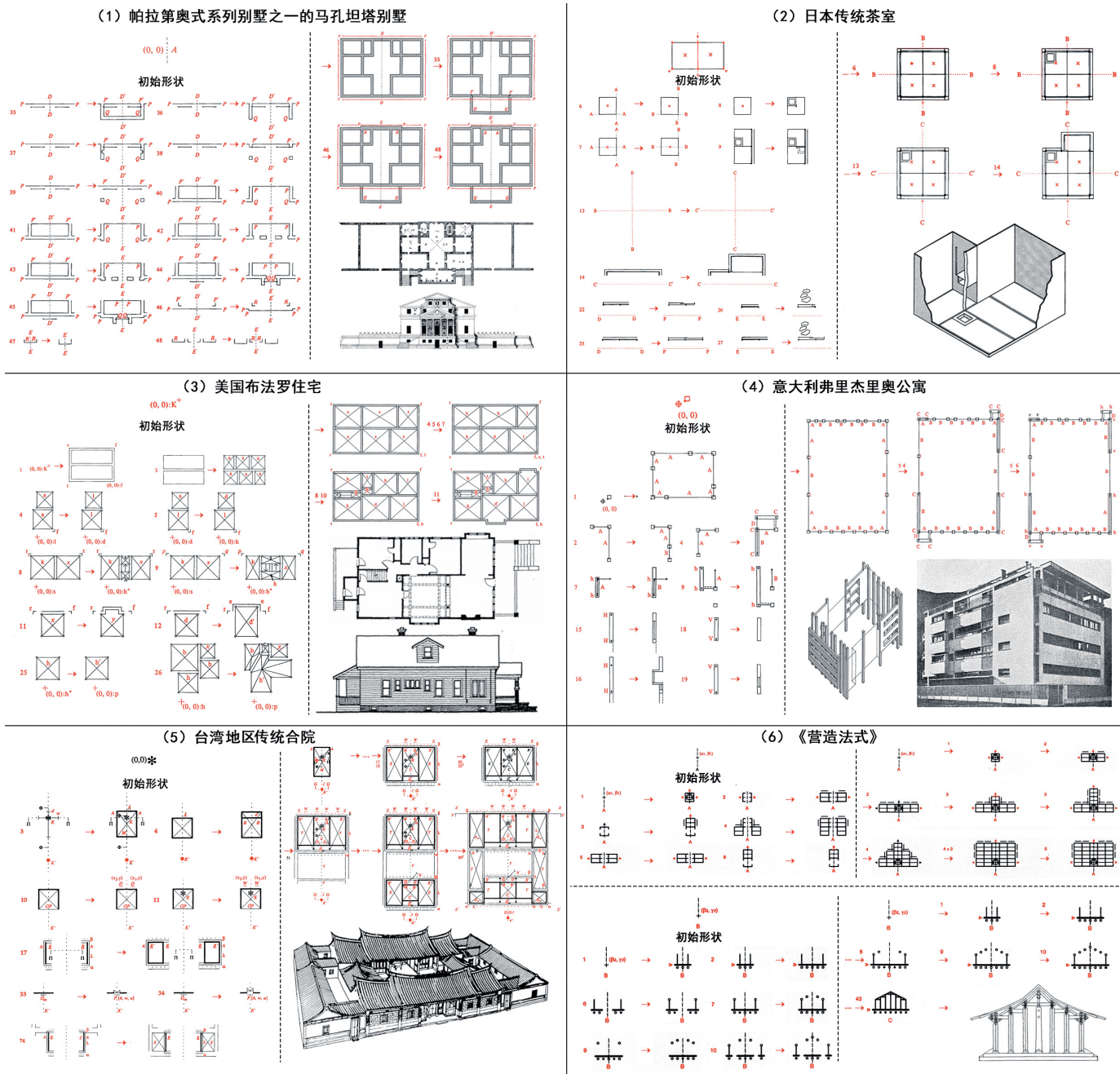


图5: 建筑设计领域应用案例的形状规则和设计分析

现实，甚至与建筑师的初始构思和设计过程鲜有联系。基于此，奈特认为形状语法能够为研究者提供一种审视经典建筑作品的新视角，帮助他们着重关注作品中潜在的构思逻辑与创造性策略^[23]。

赖特在1900年前后设计的草原系列住宅，因为“和而不同”被普遍认为是“难以破译”的。虽然不乏相关的研究成果，但是它们更多地从空间组织方式上聚焦于草原住宅的有机性与艺术性，未能有效地破译赖特的设计语言。直到1981年，汉

克·康宁 (Hank Koning) 和朱莉·伊森博格 (Julie Eizenberg) 选取了11栋草原系列住宅作为语料库 (图6-1)，按照解析式形状语法的研究逻辑并利用树形结构图分析了语料的空间关系及变化规律，确定了以壁炉位置的坐标点作为初始形状、由99条形状规则构成、按照22个“加法”推理阶段实施的形状语法^[24]。从规则实施的阶段性而言，前5个阶段主要用于推理住宅体块组合关系，涉及18条规则；后17个阶段主要用于推理住宅细节，涉及81

条规则。

以罗比住宅 (Robie House) (图6-2) 为例，图6-3以树形结构图列举了草原系列住宅的体块生成过程，在阶段⑩所生成的89种阶段性结果中，罗比住宅的体块方案与初始形状及形状规则 (图6-4) 的关联性是明晰的。以下具体分析了前5个阶段的规则推理过程：首先通过规则1定位壁炉位置，这里使用了标签“△”表示壁炉所面对的方向，因其仅出现了一次，说明罗比住宅采用的是单向壁炉；在阶段

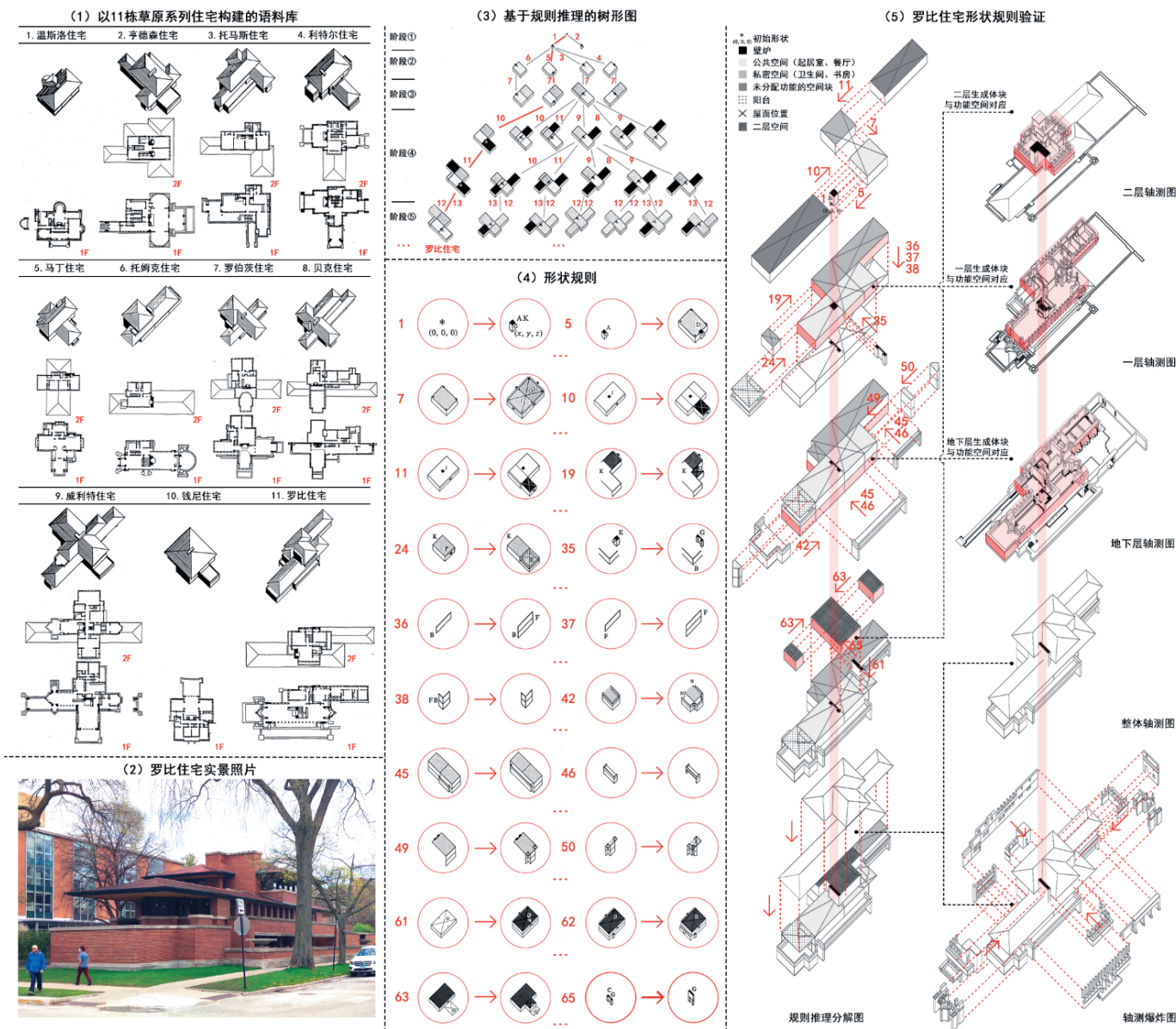


图6. 草原系列住宅的形状规则与案例解读

②~③中，主要通过规则7使以壁炉为中心的体块逐渐明确，这里使用了标签“▲”和“▶”表示其所在一侧增加体块的优先级，在同样条件下，前者要高于后者；在阶段④~⑤中，主要完善了住宅主体空间并为所有体块分配房间功能。这里需要补充说明的是，所有形状规则中的字母也均作为标签使用，而且形状中的不同灰度代表着不同的功能分区。

在后17个阶段中，随着规则推理的持续进行，建筑形体的复杂性也随之增加。例如，规则19、规则24分别用于阶段⑥增加辅助空间、阶段⑦增加门廊；规则35~38综合用于阶段⑧增加地下室；规则

42~46、规则49~50、规则61~62、规则63和规则65分别用于阶段⑩增加露台、阶段⑪完善一层外部空间细节、阶段⑭增加二层卧室、阶段⑮扩大二层卧室、阶段⑯增加卧室细节；而其余规则则分别用于阶段⑧细化一层内部空间、阶段⑫生成雨棚、阶段⑬删除一层标签、阶段⑰增加起居室层高、阶段⑱删除卧室标签、阶段⑲增加屋面脊线、阶段⑳增加阳台、阶段㉑删除剩余标签、阶段㉒增加屋面细节，具体内容不再赘述。

由于在前期定义语法时，简化了住宅的部分细节，因此通过规则推理仅能生成住宅的各层体块及整体组合关系。为了验

证以上生成结果与实际功能空间的对应关系，图6-5通过图示推理与添加细节，以轴测图方式对罗比住宅的设计生成过程进行了复现。该过程不仅验证了草原系列住宅形状语法的合理性与可行性，说明通过初始形状和形状规则推理能够比较准确地描述罗比住宅的设计生成过程，而且也证明了形状语法是一种能够有效描述建筑设计语言的应用工具。

2. 乡村批量住宅的设计应用

由于形状语法的规则推理逻辑可以通过图示化表达，这为设计师带来了三方面

的益处：一是利用它的“可读性”，在一些复杂设计任务中更好地控制和表达形状规则的推理过程；二是利用它的“过程性”，在分析或定义规则进而生成新设计的过程中，可直观地对某些设计推理步骤进行检查、修改或删除；三是利用它的“可变性”，通过调整形状规则以控制设计推理过程，生成具有差异性的设计结果，响应多元化的设计需求。我国乡村住宅是一种体小、量大的建筑类型，随着国家乡村振兴战略的推行，其高质量建设被视为5亿乡村人口的福祉。与自发自建农宅营造的鲜活语境不同的是，在一些统规统建的乡村批量住宅项目中，设计“失语”和同质化成为一种普遍性现象。为了应对以上问题，山东建筑大学JY502工作室以形状语法作为方法论，近年来开展了针对乡村批量住宅定制设计的方法研究^[25]，形成了包括项目、论文、专利等在内的一系列成果。以下内

容简述了乡村批量住宅的设计应用逻辑。

遵循解析式形状语法和生成式形状语法的实施过程，首先，选取北方传统农宅作为语料库进行解析，挖掘形态布局的空间关系和形状词汇；其次，参照图5-5中所示的台湾传统住宅“加法”解析策略，定义了前5个阶段共32条形状语法规则，主要用于生成与当地农宅风格具有相近性的初步方案；之后，为了生成更多式样的方案，根据住宅平面的房间功能进行划分，结合村民的实际需求，又定义了关于第6阶段的60条规则，主要涉及“替换”规则，使每一方案均能具备个性化特征；最后，制定了3个阶段的若干条“组合”规则，用于探讨聚居组团的生成逻辑。图7-1以树形结构图列举了乡村住宅由微观“房间”到中观“组团”的生成设计过程，每一结点均由住宅的二维平面和三维形体共同组成。通过树形图建立起的具有阶段性

特征的“父子”图示化推理逻辑，能够帮助设计师明确每一阶段的操作目的和生成结果，直观地感受到父结点图形和子结点图形在规则作用后所产生的差异性，帮助设计师在解决实际问题的过程中建立设计推理的逻辑性。

为了简化规则的表达，图7-2列举了初始形状和13条形状规则用于描述设计推理的前6个阶段：阶段①是结合模块化理念，将视为模块单元的房间定义为初始形状；阶段②是通过对初始形状应用规则1以增加正房的开间数量，通过规则的实施次数可确定开间的数量；阶段③是通过应用规则2或规则3以确定二层屋面类型，前者可生成二层高的坡屋面形式，后者可生成二层露台的形式；阶段④是通过应用规则4~7以适应宅基地的有限范围；阶段⑤确定了辅房和院落布局，例如规则8将代表辅房的二维矩形替换为三维辅房形

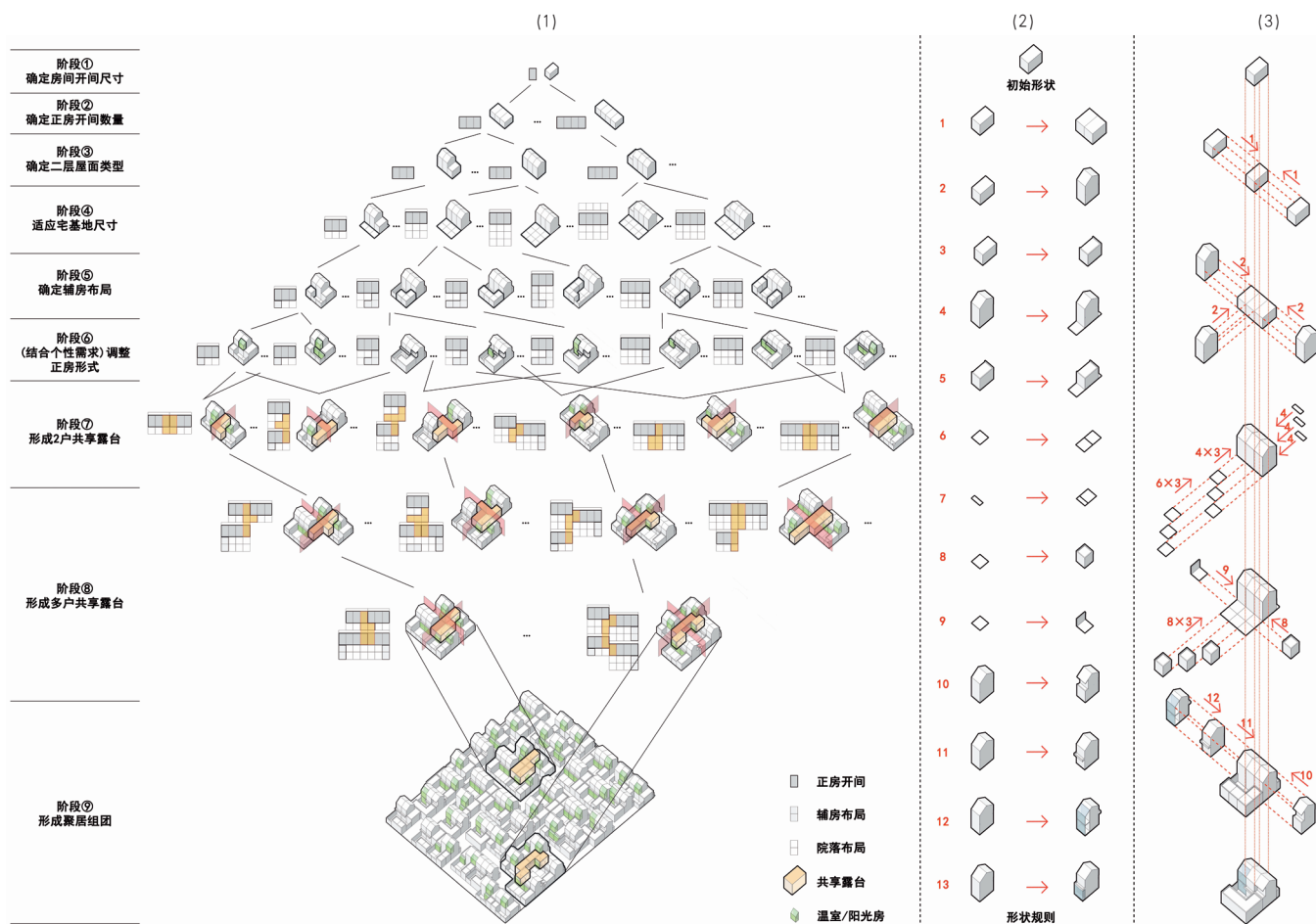


图7: 乡村批量住宅的设计应用

态, 规则 9 将表示庭院的二维矩形在其一侧增加院墙; 阶段⑥结合村民个性需求, 定义了正房平面布局的调整规则, 例如, 规则 10 是对正房二层南侧的一个开间进行“减法”处理, 形成阳台的样式, 规则 11 在正房南侧增加了凸阳台, 规则 12 将正房南侧界面调整为阳光房, 规则 13 是在正房一层南侧增加阳光房。为了验证以上形状规则对住宅设计的作用结果, 图 7-3 将前 6 个阶段的某一设计生成结果进行“复原”, 用以验证形状语法从解析到生成过程的合理性。

六、结论

早期的形状语法研究强调在保证可视化的前提下对简单形状以手动方式进行规则推理, 是一种侧重“形式化”分析的工具, 尤其适用于形式驱动的分析与设计过程。因为形状语法的推理过程更易于被艺术家或设计师所理解, 所以其应用范围涉及很多领域。近年来, 随着与计算机科学与技术等学科的交叉融合, 形状语法在自身理论不断发展与完善的基础上, 也在不断拓展其应用路径。其一, 形状语法用于解决复杂设计问题时, 结合设计语义的能力和效率得到大幅提升, 不仅能实施复杂多样的形状规则, 而且能将用户需求转译, 与形状规则进行匹配; 其研究实施对象逐渐由简入繁, 特别是在 1980 年代部分欧美建筑院校, 例如卡内基梅隆大学、麻省理工学院、加州大学洛杉矶分校、里斯本大学等, 陆续在本科或研究生阶段开设形状语法课程, 越来越多的成果涉及更为复杂的教育建筑、建筑遗产、大规模住宅、非正规住区及城市设计研究。其二, 描述语法 (Descriptive Grammar)、并行语法 (Parallel Grammar)、排序语法 (Sortal Grammar)、集合语法 (Set Grammar)、图形语法 (Graph Grammar) 等形状语法的研究分支相继产生, 它们对科学解析设计作品和理性推理生成设计意义深远^[26], 例如, 图形语法的对偶图原理已广泛用于建筑设计作品分析^[27]; 形状语法与其他数字模型的集成研究也成为研究热点, 例如耦合元胞自动机 (Cellular Automata)、遗传算法 (Genetic Algorithms)、L 系统 (L-systems)、多智能体 (Multi-Agent) 等建立生成设计系统, 通过开发基于多个子系统的复合模型来实现更为灵活的设计探索, 进而解决更为复杂的设计需求; 维沙尔·辛格 (Vishal Singh) 等还

构建了集成形状语法和多种生成模型的设计框架, 能够在不同的设计阶段采用多种生成设计方法以辅助设计决策^[28]。其三, 更多的研究者致力开发基于形状语法的计算机应用程序, 主要包括形状语法解释器和计算机辅助设计程序, 前者通常内置一种特定的形状语法, 通过用户操控语法解释器演示形状自动推理与生成设计的过程, 例如托马斯·格拉斯 (Thomas Grasl) 等开发的 GRAPE 程序^[29]以及鲁迪·斯托夫斯 (Rudi Stouffs) 开发的 SortalGI 程序^[30]; 后者面向实际的设计应用, 包括大规模定制住宅设计系统^{[31][32]}和三维城市建模, 例如帕斯卡尔·穆勒 (Pascal Müller) 基于形状语法开发的三维城市建模程序 CityEngine, 用于城市设计尺度的大规模快速建模^[33]。

然而, 形状语法在应用时也存在一定的局限性: 其一, 形状语法的计算性、逻辑性较强, 这在一定程度上会“抑制”设计师的跳跃性思维, 所以形状语法在普适性应用方面仍存在争议; 其二, 基于形状语法的设计推理过程时刻伴随着经验主义和惯性思维, 使用者在很多情况下无法遍历所有的设计问题, 而且难以简化形状规则的推理过程; 其三, 形状语法的运算逻辑在工作流程上与通用计算机辅助设计工具仍存在不易兼容、集成的问题, 若要朝向更加数字化、智能化的方向发展, 仍然任重道远。

参考文献

- [1] Chomsky N. Syntactic Structures[M]. Berlin: Walter de Gruyter, 2002.
- [2] Stiny G, Gips J. Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture[C]. Proceedings of IFIP Congress. Ljubljana, 1971.
- [3] Stiny G. Introduction to Shape and Shape Grammars[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1980, 7(3): 343-351.
- [4] Knight T W. The Generation of Hepplewhite-Style Chair-Back Designs[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1980, 7 (2) : 227-238.
- [5] Tepavčević B, Stojaković V. Shape Grammar in Contemporary Architectural Theory and Design[J]. Facta Universitatis-Series: Architecture and Civil Engineering, 2012, 10 (2) : 169-178.
- [6] Stiny G. Ice-Ray: A Note on the Generation of Chinese Lattice Designs[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1977, 4 (1) : 89-98.
- [7] Kirsch J L, Kirsch R A. The Structure of Paintings: Formal

- Grammar and Design[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1986, 13 (2) : 163-176.
- [8] Knight T W. Transformations of the Meander Motif on Greek Geometric Pottery[J]. *Design Computing*, 1986, 1: 29-67.
- [9] Knight T W. Transformations of De Stijl Art: The Paintings of Georges Vantongerloo and Fritz Glarner[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1989, 16 (1) : 51-98.
- [10] Rollo J. Triangle and T-square: The Windows of Frank Lloyd Wright[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1995, 22 (1) : 75-92.
- [11] Cagan J. Engineering Shape Grammars: Where We have been and Where We are Going[M]. *Formal Engineering Design Synthesis*. New York: Cambridge University Press, 2006, 65-92.
- [12] Brown K N, McMahon C A, Williams J H S. A Formal Language for the Design of Manufacturable Objects[C]. *Proceedings of the IFIP TC5/WG5. 2 Workshop on Formal Design Methods for CAD*. Amsterdam, 1994.
- [13] Agarwal M, Cagan J. A Blend of Different Tastes: The Language of Coffeemakers[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1998, 25 (2) : 205-226.
- [14] 卢兆麟, 汤文成, 薛澄岐. 简论形状文法及其在工业设计中的应用[J]. *装饰*, 2010 (02) : 102-103.
- [15] Barros M, Duarte J P, Chaparro B M. A Design System for the Mass Customization of Thonet Chairs[C]. *Proceedings of the 1st International Conference on Sustainable Intelligent Manufacturing*. Lisbon, 2011.
- [16] Stiny G, Mitchell W J. The Palladian Grammar[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1978, 5(1): 5-18.
- [17] Knight T W. The 41 Steps[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1981, 8 (1) : 97-114.
- [18] Downing F, Flemming U. The Bungalows of Buffalo[J]. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 1981, 8 (3) : 269-293.
- [19] Flemming U. The Secret of the Casa Giuliani Frigerio [J]. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 1981, 8 (1) : 87-96.
- [20] Herbert T, Sanders I, Mills G. African Shape Grammar: A Language of Linear Ndebele Homesteads[J]. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 1994, 21 (4) : 453-476.
- [21] Chiou S-C, Krishnamurti R. Example Taiwanese Traditional Houses[J]. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 1996, 23 (2) : 191-216.
- [22] Li A I. A Shape Grammar for Teaching the Architectural Style of the Yingzao Fashi[D]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2001.
- [23] Knight T W. Applications in Architectural Design, and Education and Practice[R]. Cambridge: NSF/MIT Workshop on Shape Computation, 1999.
- [24] Koning H, Eizenberg J. The Language of the Prairie: Frank Lloyd Wright's Prairie Houses[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1981, 8 (3) : 295-323.
- [25] 王江, 范伟, 郭道夷, 杨阳, 赵继龙, 董廷路. 基于形状语法的AutoCons可持续住区生成设计研究——以章丘岳滋新村为例[J]. *西安建筑科技大学学报(自然科学版)*, 2021, 53 (03) : 421-428.
- [26] Gu N., Behbahani P.A. Shape Grammars: A Key Generative Design Algorithm[M]. Berlin: Springer, 2018, 1-21.
- [27] 谢晓晔, 丁沃沃. 从形状语法逻辑到建筑空间生成设计[J]. *建筑学报*, 2021 (02) : 42-49.
- [28] Singh V, Gu N. Towards an Integrated Generative Design Framework[J]. *Design Studies*, 2012, 33 (2) : 185-207.
- [29] Grasl T, Economou A. GRAPE: Using Graph Grammars to Implement Shape Grammars [C]. *Proceedings of the 2011 Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design*. Boston, 2011: 45-52.
- [30] Stouffs R. On Shape Grammars, Color Grammars and Sortal Grammars: A Sortal Grammar Interpreter for Varying Shape Grammar Formalisms[C]. *Proceedings of the 30th eCAADe Conference*. Prague, 2012: 479-487.
- [31] 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 (04) : 4-14.
- [32] Wang J, Zhao B, Fan W, Yang Y, et al. A Combined Shape Grammar and Housing-Space Demand Approach: Customized Mass Housing Design in Rural Areas of the North China Plain[J]. *Nexus Network Journal*, 2022, 24 (1) : 5-23.
- [33] Müller P, Wonka P, Haegler S, et al. Procedural Modeling of Buildings[C]. *Proceedings of the ACM SIGGRAPH 2006*. New York, 2006: 614-623.

图表来源

图1: 依据参考文献[3]、[26], 作者改绘

图2-1: 作者自绘

图2-2: Correia R, Duarte J, Leitao A. GRAMATICA: A General 3D Shape Grammar Interpreter Targeting the Mass Customization of Housing[C]. *Proceedings of the 30th eCAADe Conference*. Prague, 2012: 489-496.

图3: 依据参考文献[6]、[4]、[7]~[10], 作者改绘

图4: 依据参考文献[12]~[15], 作者改绘

图5: 依据参考文献[16]~[19]、[21]、[22], 作者改绘

图6-1、图6-3、图6-4: 依据参考文献[24], 作者改绘

图6-2: 季宏拍摄

图6-5: 作者自绘

图7: 作者自绘