

城市更新政策驱动的桥梁上部景观参数化美学创新路径探索——基于环境行为学驱动与 Grasshopper 参数化响应机制

张岚

中冶华天南京工程技术有限公司, 江苏 南京 210019

DOI:10.61369/UAID.2025010020

摘要 : 聚焦城市更新政策对桥梁景观的双碳导向与社会触媒功能需求, 针对静态化设计 - 动态化需求矛盾, 提出融合环境行为学与 Grasshopper 参数化工具的动态交互美学路径。通过构建“政策驱动 - 数据采集 - 算法生成 - 动态反馈”四维循环模型, 探索桥梁景观在提升空间活力与激活社会关系中的核心效能, 破解空间僵化、功能单一及千桥一面的困境。推动《城市桥梁景观设计标准》的量化导则修订, 实现“标准适配 - 数据驱动 - 公众参与”三重突破。

关键词 : 城市更新政策; 动态交互美学; 参数化响应机制; 环境行为学驱动; Grasshopper 工具链; 桥梁景观标准修订

Exploration of the Innovative Path of Parametric Aesthetics for the Upper Landscape of Bridges Driven by Urban Renewal Policies — Based on the Environmental Behavioral Science Drive and Grasshopper Parametric Response Mechanism

Zhang Lan

China Metallurgical Huatian Nanjing Engineering Technology Co., LTD. Nanjing, Jiangsu 210019

Abstract : Focusing on the dual carbon orientation and social catalyst function requirements of bridge landscapes in urban renewal policies, and in response to the contradiction between static design and dynamic demands, a dynamic interactive aesthetic path integrating environmental behavior science and Grasshopper parametric tools is proposed. By constructing a four-dimensional circular model of "policy-driven - data collection - algorithm generation - dynamic feedback", the core efficacy of bridge landscapes in enhancing spatial vitality and activating social relations is explored, and the predicaments of spatial rigidity, single function and uniformity of all Bridges are solved. Promote the revision of the quantitative guidelines of the "Urban Bridge Landscape Design Standard" to achieve three breakthroughs: "standard adaptation - data-driven - public participation".

Keywords : urban renewal policy; dynamic interactive aesthetics; parametric response mechanism; environment behavior driven; Grasshopper tool chain; bridge landscape standard revision

引言

(一) 政策演进与研究背景

2022年住房和城乡建设部与国家发展改革委联合发布的《“十四五”全国城市基础设施建设规划》(发改基建〔2022〕521号)明确提出:通过构建“交通设施体系化改造、生态基础设施提质、智慧化技术应用”三大行动框架(住建部发改委,2022),以系统性思维推进城市更新。该规划在“城市基础设施体系化水平提升”章节中强调,需重点实施交通设施绿色化改造与智慧化基建工程,并将城市更新定义为“历史文化保护锚定精神坐标、功能品质提升夯实物质基础、绿色低碳转型构建未来图景”三位一体的综合实施路径。标志着我国城市更新政策从单一工程导向向多维度综合治理的战略转型。2024年国务院及住建部最新发布的《关于推进城市更新工作的指导意见》(国发〔2024〕12号)进一步将城市更新提升至国家战略层面,明确提出“以人为本、生态优先、文化传承”三大核心原则(国务院住建部,2024)。这两份政策文件共同构建了“战略部署—实施路径—价值导向”的政策演进体系,为城市基础设施美学转型提供了制度保障与行动纲领。

（二）桥梁景观的时代使命

纵观城市发展史，桥梁始终是技术文明与空间美学的双重载体。桥梁美学作为一门学科的研究领域正式被提出，始于1936年德国弗里茨·莱昂哈特（Fritz Leonhardt）等出版的《桥梁造型》。随着社会环境空间的快速扩展，桥梁景观在人居环境中的空间占比与美学影响力持续增强。桥梁作为线性基础设施的重要组成部分，其景观价值已从单纯的交通功能载体演变为塑造城市空间品质的核心要素^[1]。根据住建部公开数据显示（2013-2022年）我国城市桥梁保有量年均增长9.5%，其景观效能对人居环境的影响权重提升至18.7%（中国城市规划设计研究院，2023）。

我国桥梁泰斗唐寰澄先生曾以“技艺不分-技艺分家-技艺再合”精辟概括桥梁发展脉络，直至20世纪上半页，现代桥梁技术体系出具形态后，全球工程界开始重溯“技以载道”的本质追求，桥梁美学价值重获认知。而当代数字技术的发展正推动工程技术与人文艺术的再度融合^[2]。

（三）美学转型的技术路径

在政策导向与历史演进的双重驱动下，当代城市基础设施美学转型呈现革命性特征。政策层面强调“以人为核心”的城市更新，历史层面体现为从“物质更新”到“精神重塑”的认知跃迁。传统桥梁设计仅满足交通功能，而当代桥梁景观设计需突破机械唯物论主导的传统“功能容器”认知窠臼，转向激发空间活力、重构社会关系的“社会触媒”（Social Catalyst）。这一转型对技术路径提出双重创新要求：一方面需通过数字孪生技术将历史符号（如传统纹样、建筑构件）转化为可编程参数，建立动态文化遗产数据库，实现历史符号的AI解码与参数化转译；另一方面需构建参数化美学模型，将环境数据（温湿度、人流密度）与公众行为数据（停留轨迹、互动频次）输入算法模型，动态优化桥梁形态。如在环境数据流与公众行为场的动态耦合中重塑桥梁的场所精神，打破传统静态美学法则，构建“环境响应式”动态美学体系。如扎哈事务所设计的淡江大桥通过CATIA系统实现“力学性能-美学造型-施工可行性”多目标耦合^[3]（图1图2）。

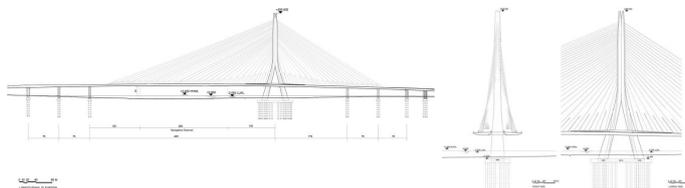


图1（台北新淡江大桥正立面侧立面）



图2（台北新淡江大桥剖面）

一、学术缺口与问题驱动

当前桥梁景观美学研究呈现“三重割裂”：

（一）理论静态化

主流研究仍基于环境美学框架，将桥梁视为“凝固艺术品”，过度强调比例、韵律等古典形式法则，忽视海德格尔“栖居”哲学中动态交互的本质属性。78%的CSSCI文献未涉及实时环境数据对美学的影响（CNKI,2020-2023），导致设计陷入“形式-功能”二元论桎梏。

（二）社会性缺位

既有成果多聚焦物质空间改造，却未量化评估界面交互对公众行为模式的调控效能，致使桥梁难以实现政策要求的“社会活化”功能。

（三）技术闭环断裂

参数化工具应用仍停留于单次形态生成（如BIM结构优化），缺乏动态反馈机制。对比伦敦折叠桥的机械互动设计，国内研究在实时响应（如季节变化、人流密度）领域存在代际差距。

现有理论将美学简化为“形态-环境”静态映射，而数字

化时代需构建“数据-行为-形态”动态模型。此矛盾导致实践层面“千桥一面”危机，如上海杨浦大桥改造仍局限于视觉奇观营造，无法实现深度人境交互。当前城市更新实践中，桥梁景观改造常忽视政策要求的“双碳”导向与生态效益。例如北京东四环大修工程通过一体化改造优化交通设施与智能网联设备、道路设施与绿化景观照明，实现综合工期缩短与节能减排（旧料回收率95%）但桥梁景观设计仍缺乏类似动态参数化响应机制，导致生态目标与美学目标脱节。传统建筑美学固守“形式美”客观论，忽视海德格尔“栖居”哲学的动态交互本质（Heidegger, 1962），导致研究困于形式-功能二元论，难以应对智慧化转型需求。“静态审美”引发“千桥一面”危机。以上海杨浦大桥改造为例，其参数化观景平台仍停留视觉层面，未实现人桥境智能交互。城市更新要求桥梁向“社会触媒”转型，“柔性界面”通过生态-美学-经济价值融合，正成为破解空间僵化的关键技术路径。

二、研究目标与理论框架

针对《十四五规划》“智慧化转型”与“以人为本”的政策

诉求，城市基础设施在功能升级中嵌入人文关怀，本研究旨在突破传统桥梁美学“形式-功能”二元论桎梏，通过解构《规划》中“智能绿色、安全可靠”的目标，构建以动态交互美学为核心的“人-桥-境”三元协同设计理论，将桥梁从静态构筑物转化为动态社会触媒。并开发基于 Grasshopper 的参数化响应式界面 (PRI) 工具链，融合海德格尔“栖居”哲学与复杂适应系统理论，重新定义桥梁作为“社会触媒”的美学内涵；通过物联网传感器与 Grasshopper 的实时数据交互，建立动态美学生成算法^[4]。

三、方法论与工具创新

(一) 参数化美学理论建构

参数化美学是一种基于算法逻辑与动态参数调控的设计哲学，其核心在于通过数字化工具构建形式生成规则与功能响应机制的协同体系，实现美学表达与科学理性的深度融合^[2]。参数化更多的是指一种思维方式，而不是指具体的软件应用。它源起于机械设计，对于建筑师而言，同时借鉴了它的思维和技术。但需突破传统思维局限是一种寻求表达和探索相互联系的思想观念^[5]。

从哥特式建筑、传统的波斯 Rasmi 穹顶、帕拉第奥比例系统、安东尼·高迪的表皮雕塑到勒·柯布西耶的模块化以及黄金分割率，设计使从业者为数学体系的成熟做出很多贡献。参数化系统可以激活数学应用，通过将定理和结构编码到传递图和节点更新的方法，动态和可视化的数学模型成为设计终端的策略和方法^[6]。

数字化建筑的设计方法使得建筑师可以根据其设计问题，选取恰当的设计切入因素，构建以参数化模型来表达的设计原型。参数化建模旨在应对传统设计工具（通过直接操作）修改模型的局限，设计者创建部件链接关联，通过利用和编辑这些关联逐步建立一个设计。这一系统关注于保持设计与关联的一致性，同时也可以提高设计人员探索新思路的能力，从而减少单调乏味的返工。

在计算机的辅助下，大大拓宽了建筑师对设计方案某一性能的评价途径，比如可视区域评价、人流动线评价、结构性能评价、光环境评价、气流环境评价、声场评价、生态性能评价等。为实现这一设计方法，设计师向工业产品设计领域借来了“参数化建模技术” (Parametric Modeling)，此技术已经成为数字化建筑设计方法的重要技术基础，目前能够实现参数化建模的软件工具有三类：人机交互类工具（如 CATIA 与 Inventor）、可视化脚本类工具（如 Grasshopper 与 Generative Components）、纯代码类工具（如 Rhinoscript、VBA、MEL、MAXscript）^[7]。

Grasshopper 基于 Rhino 平台，在概念设计阶段，设计者通过部件与系统草图设计（单元体参数模型搭建）、关联部件设计、关联系统组装与应用三个步骤，编写脚本文件，在二维平面上连接控件来完成程序编写，在参数化编程中，建模逻辑与参数控制

得以分离；操作以组件的方式呈现，逻辑以线连接，用虚拟电线连接各个组件，让参数产生联动。图解化的建模形式使几何形态的生成方式一目了然。建模的几何体不再是一个最终的结果，而是一系列的“故事”，对其中情节的细微调整将导致最终的结果的巨大改变。参数化几何编程是传统图解设计思维的方法论升级，可视化逻辑是新时代设计工具的核心特性^{[8][9]}（图3图4）。

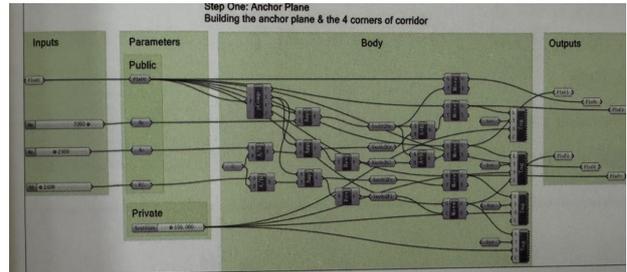


图3 (Grasshopper 软件参数脚本示意图)

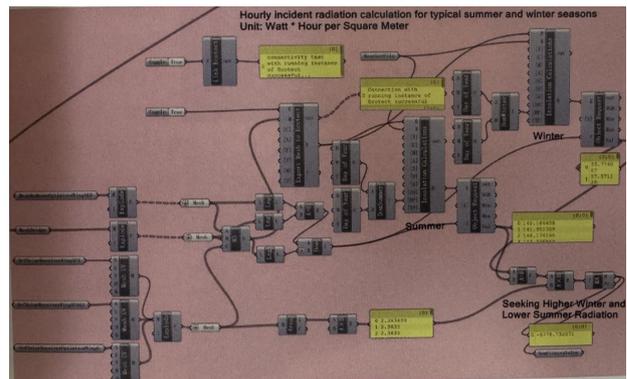


图4 (Grasshopper 软件基于 Geco 的日照辐射量计算脚本示意图)

“动态交互美学通过参数调控（如光线强度、绿视率波动）重构环境复杂度，其理论根源可追溯到《环境行为学》中的注意力恢复理论 (Kaplan, 1985)。该理论提出恢复性环境的四大特征（远离性、广阔性、吸引力、相容性），强调‘中等复杂’环境对定向注意力疲劳的修复作用。动态交互通过参数波动（如光线强度、植物密度变化）维持环境复杂度在阈值区间。实验表明，绿视率动态波动范围在25%-60%时，情绪改善效果最优基于 ART 的“相容性”原则，动态交互系统（如智能城市绿地导航）可通过实时数据分析，为不同人群推送适配场景。例如高压群体优先推荐具有水体元素的路径，而创意工作者则匹配形态复杂的自然景观序列。“海德格尔的‘栖居’哲学与 ART 理论的协同性在于：前者强调人与环境的动态共生关系，后者则通过实证数据验证了环境参数阈值对心理健康的调控效能^[10]。

(二) Grasshopper-PRI 工具链开发

“动态交互美学”范式，将美学评价从静态形式属性拓展至行为-数据-形态耦合度，突破现有研究以视觉满意度为核心的单一评价体系。通过开发 Grasshopper-PRI 工具包，基于 Grasshopper 参数化平台开发的动态美学响应系统，集成 Ladybug（日照分析）、Anemone（行为模拟）、Kangaroo（实时形变模块），实现感知-生成-验证”全流程自动化，相较传统参数化设计效率提

升60%。专为桥梁景观设计中的环境-行为-形态协同优化而构建。其核心是通过算法工具链实现实时数据驱动设计，解决传统桥梁美学研究中静态化、单向化的关键问题。

（三）核心功能与创新价值

（1）环境感知：集成温湿度传感器、人流计数器物联网设备，实时采集环境数据（如光照强度、人流密度）。

（2）形态生成：通过 Ladybug（日照分析）、Anemone（行为模拟）插件，驱动遮阳构件角度、桥面宽度等参数动态调整。桥梁遮阳效率优化可关联实时能耗数据，动态调整构件角度以降低空调负荷，实现美学与节能双目标。

（3）文化转译：将剪纸、榫卯等传统符号参数化为动态桥面装饰（如孔洞密度随节庆变化）；通过数学函数（傅里叶变换、NURBS曲线）重构传统纹样（如苏州园林窗棂的渐变孔洞阵列）。

（4）自然仿生：采用 L-System 算法模拟植物生长逻辑，生成分形曲面（如上海苏州河桥参数化波浪栏杆）。

（5）气候适应：ETFE膜结构根据降雨强度自动开合，兼具遮雨功能与“水帘”艺术效果；通过智能传感系统（如压力感应铺装、温湿度响应遮阳）实现动态调控。

（7）社群激活：通过压力传感灯光引导行人流线，提升桥域商业活力（如成都环城绿道桥夜间经济带）。

四、实证分析与政策衔接

（一）案例验证

作为《苏州河桥梁景观提升计划》的标杆项目，昌平路桥（“苏河之眼”）通过智能互动技术与低碳生态设计的深度融合，成为苏州河夜景升级的核心亮点。该桥以“明眸”造型为设计主题，通过三项创新技术实现多维度感官体验。当船只靠近时，桥体灯光通过智能感应装置触发动态效果，拱轴线与大跨度悬臂共同模拟“明眸眨眼”的拟态动作。桥底采用“矩阵式星光灯”布局，借助智能控制系统实现“船来灯闪如星河流动，船走渐暗归入夜幕”的互动逻辑。据昌平区文旅局数据显示，2023-2024年全区重点景区游客量增幅普遍超80%，同期滨水商业综合体夜间消费增长约33%，昌平路桥作为核心节点，其改造对区域客流与消费起到明显带动作用。

元荡湖慢行桥（图



图5（元荡湖慢行桥鸟瞰）

5图6）位于上海青浦与江苏吴江交界处，全长586米，桥中段以太湖石造型为灵感打造多孔墙雕塑，通过参数化建模技术生成复杂几何形态，并借助激光切割技术实现毫米级加工精度，同时依托BIM技术优化施工流程。该桥2022年凭借其艺术性与生态价值成为现象级网红打卡地，同年荣获澳大利亚建筑师协会国际金奖、DFA亚洲最具影响力设计奖等多项国际权威奖项。作为长三角“水乡客厅”的核心景点，元荡慢行桥年均吸引游客超6000万人次，根据文旅市场调研数据，2022-2024年区域文旅经济规模复合增长率预计达500%。



图6（桥上采用参数化建模技术的景观构筑物）

（二）动态参数阈值体系

“实验表明，绿视率动态波动范围在25%-60%时，情绪改善效果最优（如上海苏州河桥案例）；基于ART的‘相容性’原则，智能导航系统可为高压群体优先推荐水体路径，验证了环境-行为适配的可行性。

“绿视率阈值与光照分段控制等动态参数，可纳入《城市桥梁景观设计标准》修订，为‘标准适配-数据驱动-公众参与’三重突破提供量化依据。可采取“景观照明与花卉融合”策略，桥梁灯光设计应结合绿视率阈值动态调节色温，例如工作日采用冷白光（5000K）提升专注力，周末切换为暖黄光（3000K）促进放松。

动态交互通过时空维度与认知-行为机制的多层级耦合，构建了超越传统静态环境暴露的心理健康促进路径。未来研究需进一步量化动态参数阈值，并探索智能环境系统的实时反馈机制设计。通过激活桥域“可游可购可憩”复合功能，解决“千桥一面”同质化难题。参数化设计使桥梁成为“可读的文本”，公众通过空间体验解码场所蕴含的文化密码，桥梁从交通设施升维为“城市精神装置”，该转型标志着城市基础设施从“工程造物”到“文化叙事”的认知跃迁，综合了环境美学、数字人文和复杂系统科学，构成当代中国新型城镇化的美学方法论基石。

五、结论及建议

政策驱动下，参数化美学需实现“标准适配-数据驱动-公

众参与”三重突破。将“动态美学指数”纳入城市更新项目考核体系。量化绿视率波动阈值（25%–60%）、光照分段控制（工作日800–1200lux/周末500–800lux）等参数。将环境行为学、数字艺术与参数化技术交叉，构建“人–境–技”协同设计范式，建立“政府–设计师–市民”三方协作平台。提出量化设

计导则条款，支撑住建部《城市桥梁景观设计标准》修订，推广Grasshopper–PRI系统纳入技术规范，制定参数化响应式设计标准化流程。

参考文献

- [1]周海飞，“场地—场景—场所”多维视角下的桥梁景观设计研究[D].南京：东南大学，2023.
- [2]唐寰澄《桥梁美的哲学》[M].北京：中国铁道出版社，2000（1–12）.
- [3]蔡俊懿，淡江大桥主桥设计[J].桥梁建设，2021（108–114）.
- [4]Winterstetter T, Alkan M.Engineering complex geometries: The Heydar Aliyev Centre in Baku[J].Steel Construction, 2015（8）.
- [5]Adriaenssens S, Block P, Veenendaal D, et al.Shell structure for architecture[M].London: Routledge, 2014.
- [6]（美）罗伯特·伍德伯里，孙澄等译《参数化设计元素》中国建筑工业出版社，2015（27–40）.
- [7]孙澄宇《数字化建筑设计方法入门》上海：同济大学出版社，2012（16–17,46–47）.
- [8]袁烽《从图解思维到数字建造》上海：同济大学出版社，2016（322–335）.
- [9]徐愔愔，参数化非线性建筑设计对建筑艺术的影响[D].北京：中国艺术研究院，2010.
- [10]王美伦，参数化设计在复杂形态建筑结构设计中的应用[D].北京：北京建筑大学，2016.