

文章编号:1673-9469(2025)02-0107-06

DOI:10.3969/j.issn.1673-9469.2025.02.015

基于回归分析的环境设计感知要素与审美情感关系研究

任洪国,张璐佳*

(河北工程大学 京津冀空间智能感知协同技术创新中心,河北 邯郸 056038)

摘要: 探讨了环境设计感知要素与审美情感之间的关系,为生成式人工智能在建筑和环境设计中的应用提供了基础框架。通过问卷调查,收集了空间感、亮度感、尺度感、韵律感、秩序感、多变性、多彩性和自然性等8个感知要素,以及安全感、愉悦感、吸引力、兴趣感、印象感和依赖感等6个情感指标的数据。采用多元线性回归分析和多层感知器回归模型研究发现:秩序感显著增强安全感,多变性和自然性提升愉悦感,韵律感和多变性激发兴趣感。该研究揭示了秩序感、多变性等感知要素对审美情感的量化影响规律,有助于设计出更具情感共鸣和以用户为中心的设计方案。

关键词: 环境设计;感知要素;审美情感;多层感知器;回归分析

中图分类号:TU-026

文献标识码:A

Relationship Between Environmental Design Perception Elements and Aesthetic Emotions Based on Regression Analysis

REN Hongguo, ZHANG Lujia*

(Jingjinji Spatial Intelligent Perception Collaborative Innovation Center, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei 056038, China)

Abstract: The relationship between the perceptual elements of environmental design and aesthetic emotions was explored, providing a basic framework for the application of generative artificial intelligence in architectural and environmental design. Through questionnaire surveys, data on eight perceptual elements including spatial sense, brightness sense, scale sense, rhythm sense, order sense, variability, colorfulness and naturalness, as well as six emotional indicators including security sense, pleasure sense, attractiveness, interest sense, impression sense and dependence sense were collected. The research using multiple linear regression analysis and multi-layer perceptron regression model found that the sense of order significantly enhanced the sense of security, variability and naturalness improved the sense of pleasure, and rhythm and variability stimulated the sense of interest. These results provide a reference for the optimization of generative artificial intelligence algorithms, and are helpful for designing design schemes that are more emotionally resonant and user-centered.

Key words: environment design; perceptual elements; aesthetic emotion; multi-layer perceptron; regression analysis

在建筑与环境设计领域,设计感知元素与审美情感的关联研究具有重要价值^[1-2]。随着生成式AI技术的快速发展,建筑设计正经历深刻变革。该技术不仅能提升设计效率,还能通过自动生成

二维图像、视频和三维模型,帮助设计师快速探索创意方案^[3-4]。从情感建筑学视角看,优秀设计既要满足功能需求,更要能唤起并维持情感共鸣^[5]。情感建筑强调建立人本体验的设计思路^[5-6],而建

收稿日期:2024-12-24

基金项目:中央引导地方科技发展资金资助项目(246Z6101G)

第一作者:任洪国(1979—),男,山东德州人,博士,教授,从事感性建筑方面的研究。

* 通信作者:张璐佳(1999—),女,江苏镇江人,硕士,从事感性建筑方面的研究。

筑引发的情感体验往往源于对色彩、材料、空间质感等外在元素的感知,这对 AI 生成过程中如何精准把控这些元素提出了更高要求。研究显示,建筑对人的影响远超功能范畴,与心理感受和情绪认知密切相关^[7-8]。空间尺度、明暗程度等要素会显著影响使用者的心理状态^[9-10]。

现有研究多基于格式塔心理学^[11]和移情理论^[12],认为建筑审美体验源于对感知元素的整合与联想,通过移情赋予建筑人性化特征^[13]。具体而言,空间感、亮度感等 8 个感知要素对安全感等 6 种审美情感均有显著影响^[14-17]。本研究通过问卷调研,进一步探讨了建筑设计感知要素与审美情感的关系,采用多元线性回归和多层感知器(Multilayer Perceptron, MLP)模型进行分析。本研究通过建立感知要素与情感指标的量化映射模型,构建了可扩展的参数化设计评价体系,为后续开发情感导向的智能设计工具提供了参考。

1 研究设计与研究方法

1.1 研究设计

通过环境设计感知要素框架及其对审美情感的影响来理解建筑要素,可以将建筑的情感影响分为功能性情感(如安全感、舒适性等)与审美性情感(如愉悦感、兴趣感等)。为了研究两类情感之间的关联,设计了两个景观公园,该景观公园由 Ren 等^[8]进行设计。两个景观公园通过不同的布局、道路形式和植被配置等进行区分,一个是自由形式景观公园,一个是规则形式景观公园。通过主观评价进行评估,评价问题主要涉及空间感、亮度感、尺度感、韵律感、秩序感、多变性、多彩性和自然性等 8 个环境设计感知要素,以及安全感、愉悦感、吸引力、兴趣感、印象感和依赖感等 6 项审美情感指标。由 30 名参与者(其中男性 12 名,女性 18 名,年龄为 25±5 岁)对每项指标进行评分。参与者以上述 8 个要素和 6 项指标为依据给公园进行评分,评分标准从-5 分到 5 分不等,-5 分代表“强烈负面情感体验”(如混乱、压抑),0 分为中性,+5 分代表“强烈正面情感体验”(如有序、放松)。

1.2 研究方法

在分析过程中,本研究使用 G* power 软件进行样本量分析,设置效应量 $f^2 = 0.25$ (中等效

应)、显著性水平 $\alpha = 0.05$ 、统计功效 $1 - \beta = 0.95$ (β 为第二类错误概率),计算得到最小样本量为 28 例。实际纳入 30 例样本,满足统计学要求,并预留 10% 的冗余。数据通过 7 级量表评分获得(1 为最低评价,7 为最高评价)。在有限样本容量下,采用逐步回归法筛选变量(进入标准 $p < 0.05$),个体特征变量(如年龄、性别)的标准化回归系数均低于 0.15,且 $p > 0.2$,表明这些变量对因变量的解释力未达到统计学显著水平。这种基于数据驱动的变量筛选方法符合 Chatterjee 等^[18-19]提出的多元回归建模准则,有效避免了模型过度拟合。

通过可视化方法,本研究展示了预测审美情感的回归系数及其 95% 置信区间。变量包括空间感、亮度感等 8 个环境设计感知要素,各变量对安全感的影响及其统计意义。以每种审美情感为因变量(y),感知要素为自变量(x),构建多元线性回归方程,详细解析了各感知要素对特定情感的影响机制。这些回归公式进一步用于推导深度学习模型的初始权重和偏差,提升了 MLP 模型算法的精度。

2 研究结果

本研究从 4 个方面对结果进行了分析:首先,对总体数据进行相关性分析,考察变量间的关联;其次,针对 6 种审美情感分别建立回归方程;接着,结合回归方程与 MLP 模型算法,构建深度学习分类与预测模型;最后,再次采用多元回归模型对数据进行训练,以验证模型的稳健性。

2.1 相关性分析

如图 1 所示,本研究展示了空间感等 8 个感知要素与安全感等 6 个审美情感之间的相关性。颜色从红色到蓝色分别表示高正相关和高负相关。分析结果显示,愉悦感与多变性的相关性最高($r = 0.72$),其次是吸引力与多变性($r = 0.66$)以及兴趣感与多变性($r = 0.65$)。此外,吸引力与韵律感的相关系数为 0.6。

2.2 回归方程和置信区间

回归分析结果表明,两个景观公园的感知要素与审美情感之间存在显著关联,研究结果见表 1。

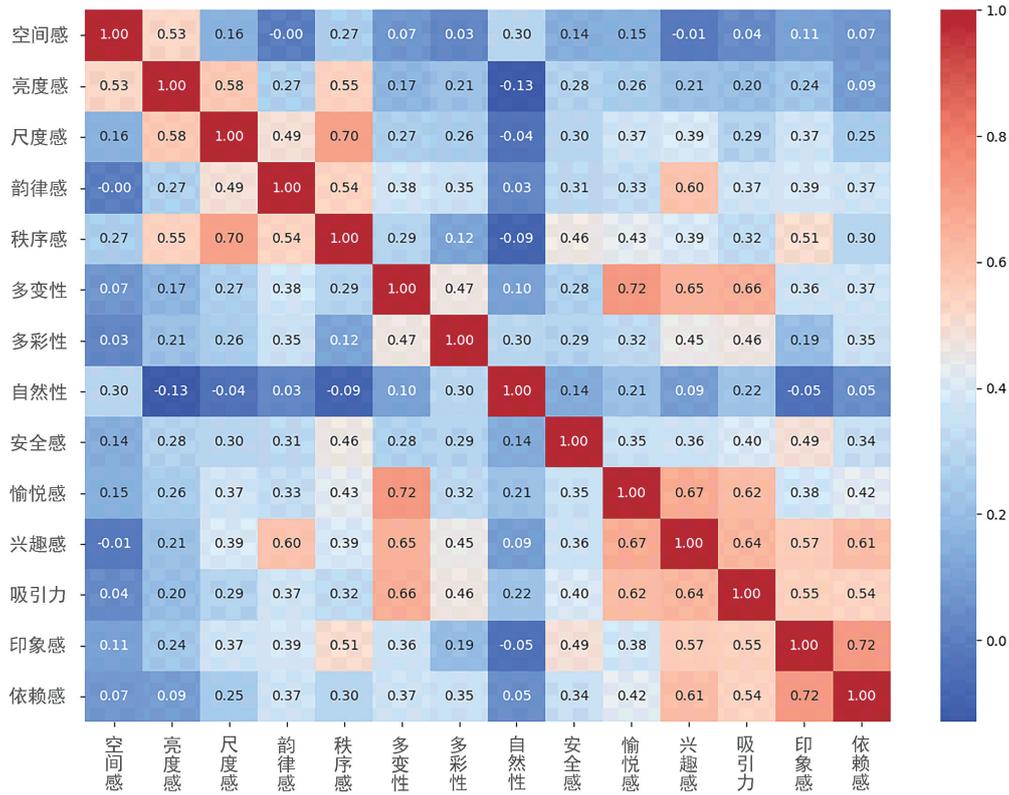


图 1 感知要素与审美情感的相关性矩阵热图

Fig. 1 Correlation matrix heatmap of perceptual elements and aesthetic emotions

表 1 回归方程统计表

Tab. 1 Statistical table of regression equation

回归方程	核心驱动要素(β 值)	显著性水平(p 值)
安全感=1.22-0.06×空间感+0.11×亮度感-0.13×尺度感-0.01×韵律感+0.44×秩序感+0.06×多变性-0.17×多彩性+0.11×自然性	秩序感(0.44)	p=0.010
愉悦感=-0.60-0.09×空间感+0.13×亮度感+0.05×尺度感-0.08×韵律感+0.27×秩序感+0.81×多变性-0.13×多彩性+0.21×自然性	多变性(0.81)	p<0.001
兴趣感=-0.07-0.08×空间感+0.03×亮度感+0.06×尺度感+0.33×韵律感+0.04×秩序感+0.48×多变性+0.09×多彩性+0.04×自然性	多变性(0.48)	p<0.001
吸引力=0.80-0.06×空间感-0.11×亮度感+0.11×尺度感-0.04×韵律感+0.02×秩序感+0.13×多变性+0.10×多彩性+0.12×自然性	多变性(0.13)	p<0.001
印象感=1.08-0.04×空间感-0.11×亮度感+0.01×尺度感+0.07×韵律感+0.37×秩序感+0.18×多变性+0.07×多彩性-0.05×自然性	秩序感(0.37)	p=0.025
依赖感=0.55+0.16×空间感-0.32×亮度感+0.06×尺度感+0.15×韵律感+0.18×秩序感+0.16×多变性+0.31×多彩性-0.10×自然性	多彩性(0.31)	p=0.075

由表 1 可知,秩序感对安全感有显著正向影响(β=0.44),多彩性和自然性也有积极贡献(β=0.17 和 0.11);亮度感对安全感有正向影响(β=0.11),而空间感和尺度感有负面影响(β=-0.06

和-0.13)。设计时应增强秩序感、多彩性和自然性,同时谨慎处理空间感和尺度感,以避免降低安全感。同理,为了提升愉悦感,设计时应注重多变性、自然性和秩序感,同时控制空间感、韵律感和

色彩丰富度。对于兴趣感,有序、多彩和自然的环境有助于提高兴趣感,过强的空间感可能降低兴趣感。对于环境吸引力,设计时应优先融入多变性、自然性和多彩性元素,同时确保适当的尺度感和秩序感,谨慎控制空间感、亮度感和韵律感。对于印象感,在秩序感、多变性和多彩性之间要保持平衡,同时避免使用过于明亮或自然的元素,以免对印象感造成负面影响。对于依赖感,多彩性、秩序感、空间感和韵律感对培养依赖感很重要,而过高的亮度和自然元素对依赖感存在潜在负面影响。

2.3 MLP 模型

本研究提出神经美学理论与深度学习融合的混合建模框架。第一阶段基于神经美学理论构建多元线性回归模型,量化 8 个环境感知要素与 6 种审美情感的线性关联 ($R^2 = 0.62 \sim 0.78$), 筛选出秩序感 ($\beta = 0.44$)、多变性 ($\beta = 0.81$) 等核心驱动因子。第二阶段设计多层感知器 (MLP) 捕捉非线性交互;网络采用 8-64-32-6 降维架构,输入层接收 8 维感知要素,双隐藏层通过 ReLU 激活函数提取高阶特征,输出层映射至 6 维情感指标;为防止过拟合,组合 L_2 正则化 ($\lambda = 0.01$) 与 Dropout (rate = 0.2) 控制模型复杂度;采用 Adam 优化器动态调整学习率 (初始 0.001),通过五折交叉验证优化 500 个训练周期,早停策略控制迭代次数,见图 2。

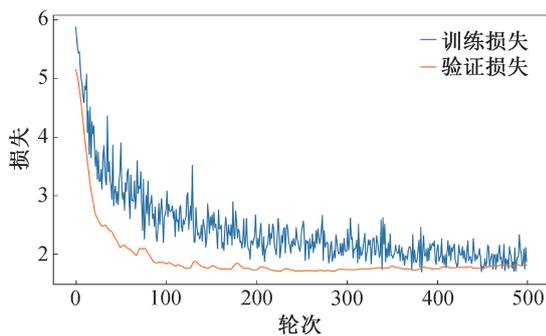


图 2 MLP 训练与验证损失变化

Fig. 2 The change of training and validation loss in MLP

2.4 回归模型分析

通过比较不同回归模型的性能^[20],可以观察到其训练结果的差异,见表 2。(1)性能对比:MLP 测试集 MAE = 0.18 ± 0.03 ,较线性模型降低 27%

($p = 0.013$),证实非线性扩展必要性;(2)可解释性:SHAP 值解析显示,形态复杂度(贡献度 0.32)与色彩对比度(贡献度 0.29)为跨情感维度的核心驱动要素;(3)稳健性验证:通过岭回归 ($R^2 = 0.51$)、弹性网络回归 ($R^2 = 0.49$) 等多模型对比,秩序感 ($\beta = 0.37 \pm 0.02$) 与多变性 ($\beta = 0.41 \pm 0.03$) 显著性稳定 ($p < 0.05$)。结果表明,融合理论先验与数据驱动的混合框架,在提升预测精度的同时保持了机制的可解释性。

表 2 预测印象感的多元回归模型

Tab. 2 Multivariate regression models for predicting

impression perception

方法	R^2	重要变量
多重线性回归	0.32	秩序感(0.07)
岭回归	0.32	空间感(0.04)、亮度感(-0.11)、尺度感(0.02)、韵律感(0.07)、秩序感(0.37)、多变性(0.18)、多彩性(0.07)、自然性(-0.05)
Lasso 回归	0.31	空间感(-0.00)、亮度感(-0.00)、尺度感(0.00)、韵律感(0.06)、秩序感(0.32)、多变性(0.17)、多彩性(0.00)、自然性(-0.00)
弹性网络回归	0.32	空间感(0.00)、亮度感(-0.01)、尺度感(0.00)、韵律感(0.07)、秩序感(0.33)、多变性(0.17)、多彩性(0.02)、自然性(-0.02)
决策树回归	1.00	空间感(0.24)、亮度感(0.01)、尺度感(0.06)、韵律感(0.30)、秩序感(0.12)、多变性(0.09)、多彩性(0.09)、自然性(0.09)

由表 2 可知,秩序感和多变性是影响印象感的核心要素。岭回归显示秩序感 ($\beta = 0.37$) 和多变性 ($\beta = 0.18$) 的正向影响显著;Lasso 回归进一步简化模型,保留秩序感 ($\beta = 0.32$) 和多变性 ($\beta = 0.17$) 的关键作用;弹性网络回归结果与此一致 (秩序感 $\beta = 0.33$, 多变性 $\beta = 0.17$);决策树回归虽呈现完全拟合 ($R^2 = 1.00$),但仍验证了秩序感与多变性的重要性。结果表明,设计中融入秩序感和多变性可有效增强印象感。

同理,分析得出了多元线性回归模型在安全感 ($R^2 = 0.30$)、愉悦感 ($R^2 = 0.62$)、兴趣感 ($R^2 = 0.59$)、吸引力 ($R^2 = 0.32$) 和依赖感 ($R^2 = 0.27$) 预测中表现稳健,其中愉悦感主要受多变性 ($\beta = 0.81$) 和自然性 ($\beta = 0.21$) 驱动。岭回归在各类情

感预测中均保持稳定 (R^2 均值 > 0.5), Lasso 回归通过系数归零简化模型(如依赖感模型中,除多彩性 $\beta = 0.20$ 外其余变量系数归零),弹性网络平衡了岭回归与 Lasso 的优势。决策树虽拟合度高 ($R^2 = 1.00$),但过拟合风险显著,需结合其他模型结果综合判断。

3 结论

回归分析揭示了环境设计感知要素与审美情感的多维度作用机制:安全感主要由秩序感驱动 ($\beta = 0.44$),环境组织的有序性显著提升心理安全感;愉悦感受多变性 ($\beta = 0.81$) 和自然性 ($\beta = 0.21$) 共同影响,体现自然与多样设计对幸福感的促进作用;兴趣感依赖于韵律感 ($\beta = 0.33$) 与多变性 ($\beta = 0.48$) 的协同效应,动态设计元素激发探索欲;吸引力呈现多要素协同特征(多变性 $\beta = 0.13$, 自然性 $\beta = 0.12$),需平衡色彩、尺度与秩序感;印象感由秩序感主导 ($\beta = 0.37$),有序结构强化记忆留存;依赖感的形成机制复杂,需综合考量多彩性 ($\beta = 0.31$) 等多要素交互作用。研究结论表明:秩序感(安全感 $\beta = 0.44$ 、印象感 $\beta = 0.37$) 与多变性(愉悦感 $\beta = 0.81$ 、兴趣感 $\beta = 0.48$) 是情感体验的核心驱动要素;兴趣感、吸引力等维度需多要素协同设计;依赖感等复杂情感需统筹多彩性 ($\beta = 0.31$) 的非线性交互机制。结论为建筑与环境设计提供了强化关键要素、优化协同策略的实证依据。

参考文献:

- [1] WEBER R. On the aesthetics of architecture: A psychological approach to the structure and the order of perception[J]. *Architectural Psychology Review*, 2023, 15(2): 45-67.
- [2] NASAR J L. *Environmental aesthetics: Theory, research and applications*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.
- [3] 吴奕锦. 浅谈 AI 人工智能对建筑设计的影响[J]. *艺术与设计*, 2023, 2(12): 60-62.
- [4] NOURIAN P, AZADI S, OVAL R. Generative design in architecture: From mathematical optimization to grammatical customization[M]//A Editor, B Editor. *Computational design and digital manufacturing*. Cham: Springer International Publishing, 2023: 1-43.
- [5] LI P, LI B, LI Z. Sketch-to-architecture: Generative AI-aided architectural design[EB/OL]. arXiv:2403.20186, 2024.
- [6] FURTADO L S, SOARES J B, FURTADO V. A task-oriented framework for generative AI in design[J]. *Journal of Creativity*, 2024, 34(2): 100086.
- [7] HIGUERA-TRUJILLO J L, LLINARES C, MACAGNO E. The cognitive-emotional design and study of architectural space: A scoping review of neuroarchitecture and its precursor approaches[J]. *Sensors*, 2021, 21(6): 2193.
- [8] REN H, SHI M, ZHANG J. Research contents, methods and prospects of emotional architecture based on a systematic literature review[J]. *Buildings*, 2024, 14(4): 997.
- [9] PENG H, LI X, YANG T, et al. Research on the relationship between the environmental characteristics of pocket parks and young people's perception of the restorative effects—A case study based on Chongqing City, China[J]. *Sustainability*, 2023, 15(5): 3943.
- [10] GUO Q, SAMSUDIN S, YANG X, et al. Relationship between perceived teacher support and student engagement in physical education: a systematic review[J]. *Sustainability*, 2023, 15(7): 6039.
- [11] KÖHLER W. Gestalt psychology[J]. *Psychologische Forschung*, 1967, 31(1): xviii-xxx.
- [12] GREIF E B, HOGAN R. The theory and measurement of empathy[J]. *Journal of Counseling Psychology*, 1973, 20(3): 280-284.
- [13] 丁宁. 格式塔完形法则与图形设计语言融合研究[J]. *设计*, 2023(8): 612-615.
- [14] TAWIL N, SZTUKA I M, POHLMANN K, et al. The living space: psychological well-being and mental health in response to interiors presented in virtual reality[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18(23): 12510.
- [15] BOWER I, TUCKER R, ENTICOTT P G. Impact of built environment design on emotion measured via neurophysiological correlates and subjective indicators: A systematic review[J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2019, 66: 101344.
- [16] SPENCE C. Senses of place: Architectural design for the multisensory mind[J]. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 2020, 5(1): 46.
- [17] HU J, WU J, SUN Y, et al. Spatiotemporal influence of urban park landscape features on visitor behavior[J]. *Sustainability*, 2023, 15(6): 5248.
- [18] CHATTERJEE A, VARTANIAN O. Neuroscience of aesthetics[J]. *Annals of the New York Academy of Sciences*

- ces,2016,1369(1):172-194.
- [19] GOODFELLOW I. Deep learning[M]. Cambridge:MIT Press,2016:196.
- [20] GARETH J,DANIELA W,TREVOR H,et al. An introduction to statistical learning: With applications in R[M]. New York:Springer,2013.
- (责任编辑 张爱丽)
-
- (上接第 100 页)
- [3] 计震,楚瑞坤,陈志茹,等. 激光选区熔化 GH3536 高温合金的成形工艺及组织性能[J]. 金属热处理,2020,45(11):205-210.
- [4] 白洁,马瑞,王亚军,等. 热处理对选区激光熔化制备 GH3536 镍基高温合金组织性能的影响研究[J]. 河北工程大学学报(自然科学版),2023,40(3):106-112.
- [5] 赵志国,柏林,李黎,等. 激光选区熔化成形技术的发展现状及研究进展[J]. 航空制造技术,2014(19):46-49.
- [6] 刘晓娟. 高温合金薄壁机匣焊接应力变形控制及加工工艺优化[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2018.
- [7] 林可欣,刘秀国,龚宝明,等. 热等静压处理对选区激光熔化 GH3536 微观结构及拉伸性能的影响[J]. 中国激光,2023,50(4):49-58.
- [8] 闵师领,侯娟,张恺,等. 激光粉末床技术制造 GH3536 合金研究现状[J]. 激光与光电子学进展,2021,58(17):106-117.
- [9] 常逢春. 后处理对选区激光熔化 GH3536 合金微观组织和力学性能的影响[D]. 西安:长安大学,2022.
- [10] 张梓涵. 基于 SLM 工艺制备的 GH3536 高温合金拉伸性能及损伤机理研究[D]. 西安:长安大学,2023.
- [11] 冯振宇,张宏宇,马佳威,等. 晶体塑性有限元方法在增材制造金属材料力学性能研究中的应用[J]. 材料导报,2024,38(1):181-190.
- [12] 周胜,曾鑫,黄文科,等. 考虑第二相粒子的晶粒尺寸梯度镍基合金晶体塑性有限元分析[J]. 机电工程技术,2024,53(3):1-8.
- [13] 孔令宇,武建国,武雷刚,等. 基于晶体塑性的镍基单晶合金横向高温力学性能研究[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(9):1097-1102.
- [14] 徐怀忠. 激光增材制造钛合金的静/动态力学性能及组织演化多尺度研究[D]. 宁波:宁波大学,2023.
- [15] ASARO R, LUBARDA V. Mechanics of solids and materials[M]. New York:Cambridge University Press,2006.
- [16] PILGAR C M, FERNANDEZ A M, LUCARINI S, et al. Effect of printing direction and thickness on the mechanical behavior of SLM fabricated Hastelloy-X[J]. International Journal of Plasticity,2022,153:103250.
- [17] HILL R. The elastic behaviour of a crystalline aggregate[J]. Proceedings of the Physical Society. Section A, 1952,65(5):349.
- [18] HOU Z F. Elastic properties and electronic structures of antiperovskite-type InNiCo_3 and InNiNi_3 [J]. Solid State Communications,2010,150(39):1874-1879.
- [19] HUANG Y. A user-material subroutine incorporating single crystal plasticity in the ABAQUS finite element program[D]. Massachusetts:Harvard University,1991.
- [20] 王姝予,宋世杰,陆晓翀,等. CrMnFeCoNi 高熵合金拉伸断裂的晶体塑性有限元模拟[J]. 机械工程学报,2021,57(22):43-51.
- [21] 何宽. 基于 BP 神经网络的晶体塑性本构参数预测方法研究[D]. 秦皇岛:燕山大学,2023.
- (责任编辑 张爱丽)