

基于Depthmap的景观轴线空间整合度解析技术研究 ——以烈士陵园为例

Research on Landscape Axial Space Integration Analytic Technique Based on Depthmap: A Case Study of Martyrs Cemetery

张学玲^{1*} 赵锴彧²
ZHANG Xueling^{1*} ZHAO Kaiyu²

(1.北京建筑大学建筑与城市规划学院,北京 100044; 2.苏州园林设计院股份有限公司,苏州 215002)
(1. School of Architecture and Urban Planning, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing, China, 100044; 2. Suzhou Institute of Landscape Architecture Design, Suzhou, Jiangsu, China, 215002)

文章编号: 1000-0283(2025)01-0101-09
DOI: 10.12193/j.laing.2025.01.0101.011
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2024-09-27
修回日期: 2024-11-21

摘要

空间整合度是当代景观环境空间序列构成机制与演变规律研究的重要表征概念,相关研究已由图式语言发展至量化描述,其关键技术途径之一即为以Depthmap等为代表的建成环境空间解析技术。选取具备典型轴线特征的当代烈士陵园实例,建立轴线空间分析模型并进行Depthmap整合度量化分析,在对全局整合度、局部整合度数据进行移动平均法分析的基础上,获取典型烈士陵园轴线空间整合度量化图谱。案例分析表明,轴线在风景园林整体空间设计中具有极强的渗透力和整合力,对于横向递次展开空间存在衍化整合能力;运用移动平均法能够对轴线空间整合度进行散点趋势分析,结果量化反映了烈士陵园轴线空间的建构特征与线性变化规律。以期为轴线型风景园林空间分析提供一种基于Depthmap的空间整合度解析技术,并为烈士陵园空间绩效提供一种空间量化分析方法。

关键词

景观轴线;空间整合度;移动平均法;散点趋势分析;烈士陵园

Abstract

Spatial integration is an essential representational concept in studying contemporary landscape architecture's spatial coupling mechanism and composition rules. Related research has developed from Schema Language to Quantitative Description. Depthmap and other built environment spatial analysis technologies have become one of the key technical approaches. The research selects typical examples of martyrs' cemeteries, establishes an axis spatial analysis model, and uses Depthmap to perform spatial integration quantitative analysis. Based on the analysis of the global integration degree and the local integration degree data by the moving average method, the spatial integration quantitative analysis diagram of the typical martyrs' cemetery axis is obtained. The results of the analysis show that the axis has the most vigorous spatial penetration and integration in landscape space. It has an influence on the node space on the horizontal layout. The axis space process is analyzed for the integration scatter trend using the moving average method. The relevant data quantitatively reflects the construction characteristics and linear change law of the martyrs' cemetery axis space. The research provides a quantitative analytic technology based on Depthmap for the integration analysis of landscape axial space and provides a reference method of space performance for the martyrs' cemetery.

Keywords

landscape axis; spatial integration; moving average; scatter trend analysis; martyrs cemetery

张学玲

1987年生/女/北京人/博士/副教授/研究方向为数字景观理论与技术、传统村落保护与利用

赵锴彧

1996年生/女/江苏苏州人/硕士/景观设计师/研究方向为园林与景观设计、数字景观理论与技术

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: zhangxueling@bucea.edu.cn

基金项目:

国家自然科学基金青年项目“基于eCognition遥感测度的乡村蓝绿景观形态耦合解析技术及其优化算法研究——以京西典型传统村落为例”(编号: 52108036);北京建筑大学“金字塔人才培养工程”英才项目(编号: JDYC20220802)

中国红色景观是在革命战争年代形成的红色文化基础上发展起来的一种独具中国特色的纪念性景观形式，承载着革命历史事迹与爱国主义精神。经过近70年的发展，其空间组织与景观规划模式逐步完善，形成较为稳定的体系。烈士陵园作为红色景观的典型代表，在日益强调铭记光辉历史、传承红色基因、坚持文化自信的时代背景下，系统运用量化分析方法、深入探究烈士陵园景观轴线空间特征已成为纪念性景观研究议题之一，其空间布局的数理逻辑有待深入探析。

轴线是景观序列线性展开的重要模式^[1]，是风景园林空间设计的经典议题，也是建成环境区别于自然景观的显性特征。以空间轴线规划组织与控制景观序列，在使整体景观形成连续知觉群印象的同时，其空间构成机制存在量化规律，并始终是景观序列组织与设计的重要内容。轴线空间分析是建成环境空间序列研究的一种主导型研究方法^[2]，成果多集中于以轴线管控为研究焦点分析、设计与评估建成环境空间效能^[3]，空间句法等数字化分析技术正迅速楔入景观空间研究领域^[4]。同时，相关量化技术尚未有效针对景观轴线空间序列形成研究优势，大量成果止步于空间模式的定性判断^[5]，研究结论相对离散且受分析技术制约较大，聚焦烈士陵园

“中国特色”“景观轴线组织”这一“中国问题”的研究亟待深入开展。

空间句法 (space syntax) 是一种面向建成环境空间主成分的量化分析方法^[6]，能够通过算法实现景观空间数字化界定，在获取量化数据基础上实现空间结构和形态的精确描述，是现阶段空间构成及其耦合关系研究的重要技术手段^[7]。空间整合度 (spatial integration) 用于描述某一空间元素与整个空间系统中所有其他元素的关联程度，可量化评价观测节点在空间系统中的交互关系与耦合能力。分析风景园林专业空间整合度与空间句法的研究成果可见，国内研究主要集中于城市、建筑及传统村落空间复合形态研判^[8-9]、历史城区与传统街区空间价值分析^[10]、水岸景观及城市公园等景观类型个案分析等^[11-12]；国外则主要为“movement”行为运动与路径空间研究^[13]、“accessibility”空间可达性及“connectivity”空间连接度分析^[14]、“architecture space”建筑空间分析^[15]、“design”空间设计研究^[16]等，相对更为楔入空间本体的专业讨论。同时可见，空间句法日趋成熟，可在典型景观轴线空间分析中进行纵深运用，同时结合统计学方法进行聚类分析，既能够对经典研究议题提供技术手段支撑^[17]，亦可由样本聚类分析推演至空间耦合机制与基本规律的量化描述。

1 Depthmap 景观轴线空间解析途径

景观轴线空间解析是指根据轴线连接关系对空间进行分割，运用相应算法对空间构形进行拓扑结构图解，量化分析轴线进程中空间关联及其耦合关系的技术方法^[18]。通过实现轴线句法变量数字化及可视化，量化研判相应空间组群分布及交互关系，结合统计分析技术科学反映空间构型规律，是“图示语言”发展至“量化描述”的重要技术途径。Depthmap作为当前空间解析使用较前沿的计算平台，可依据相应算法计算景观空间轴线模型整合度参量数值，包括空间全局整合度以及局部整合度，并根据参量数值进行量化解译形成可视化图谱，展现景观空间结构特点。因此，该方法能够为烈士陵园景观轴线空间解析提供一种客观理性的数字化解析技术，相关技术构成与技术路线值得研究与实证测试。

1.1 景观轴线空间解析技术路线

空间整合度反映一个单元空间与空间系统中其他空间的集散或离散程度，度量标准与空间单元之间可达的拓扑步数正相关。整合度解析包括两个层面分析，即全局整合度和局部整合度 (图1)。全局整合度量化反映具体空间与其他所有空间之间的耦合关系，

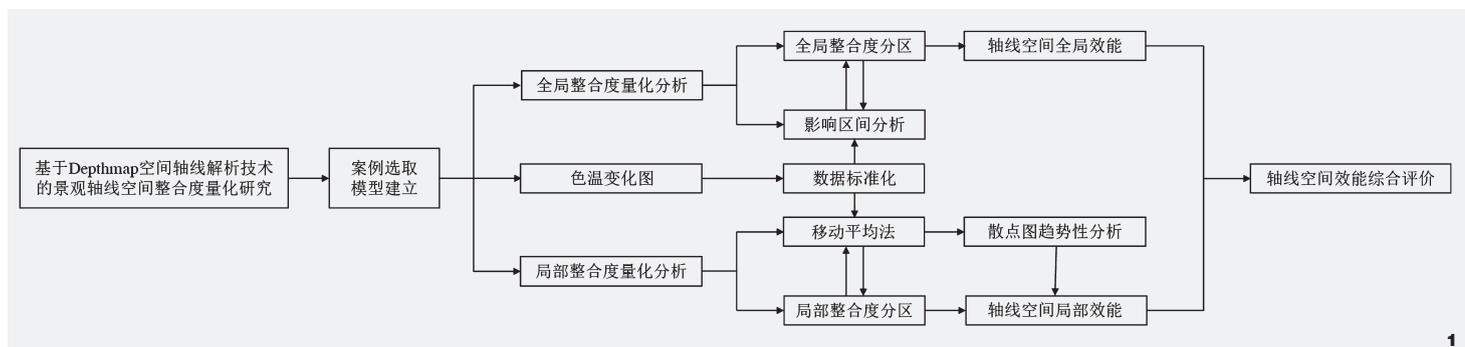


图1 研究技术路线图
Fig. 1 Schematic diagram of research technology

能够体现该空间在整体空间中的重要性，所有节点空间均在分析计算框架内。景观轴线全局整合度侧重描述空间轴线与总体景观（包括轴线外节点空间）之间的关系。将轴线空间视为一个整体空间，通过Depthmap拓扑步数设定计量出空间全局整合度值，对比轴线空间与周边节点空间整合度数值变化，通过设定实际距离区间分析判断其影响范围并进行量化评价。

局部整合度则用于量化映射轴线序列中典型空间与沿线拓扑距离处于最短的空间之间的耦合关系（不包括轴线外节点空间），可以科学地评估轴线空间序列的组织机制及其变化程度。通过确定拓扑深度，局部整合度能够揭示轴线空间的变化情况。因此，通过将轴线空间划分为不同的区段，并分别分析这些区段的局部整合度，可以量化描述轴线空间的变化规律。在景观空间分析中，可以通过处理局部整合度数据，构建一个以空间距离和局部整合度为坐标轴的正交坐标系，其中空间距离以轴线空间首次出现整合度数值变化的位置为起点。在案例汇总分析阶段，可以对所有案例的整合度数据进行分析处理，并绘制出局部整合度与实际距离相对应的折线统计图。采用线性回归方法来设定一个标准长度，并按比例换算整合度数值，从而得到一个标准化的整合度数值散点分布图。最终，通过应用移动平均法等趋势分析方法，总结轴线空间整合度的变化趋势，从而揭示轴线距离与整合度之间的量化关系。

1.2 景观轴线空间解析算法描述

1.2.1 构建轴线空间分析模型

在获取轴线空间分析模型数据基础上进行样本数据批处理，根据标准化整合度（Normalized Angular Integration, NAIN）现有研究结

果，排除线段数量对分析结果产生的影响^[19]，形成模型计算公式（1）。

$$NAIN = \frac{Node\ Count^{1.2}}{Total\ Depth + 2} \quad (1)$$

式中，*Node Count*即为节点数，*Total Depth*即为深度值。从景观轴线空间分析模型计算来讲，景观空间路径、景观空间外部节点、景观空间进程以及与景观功能之间的耦合关系等要素与景观轴线空间整合度密切相关。在进一步分析中，可从公式中计算相关影响要素，此为研究案例数据处理与量化分析的必要条件。

1.2.2 运用Depthmap进行算法分析

将轴线空间分析模型文件导入Depthmap平台，通过拓扑半径研判与设置，计算全局整合度与局部整合度，见公式（2）-（4）。

$$RA = \frac{2(\overline{MD}-1)}{(n-2)} \quad (2)$$

$$RRA = \frac{RA}{D_n} \quad (3)$$

$$D_n = \frac{2\{n[\log_2((n+2)/3-1)]+1\}}{(n-1)(n-2)} \quad (4)$$

式中，*RA*描述为相对不对称值；*RRA*指的是实际相对不对称值；*n*代表系统中的空间单元数量；*D_n*表示当系统中有*n*个空间单元时，排列成网络后最顶层节点的相对不对称值；*MD*则代表观测到的空间到达系统内所有空间的平均深度。

由于拓扑半径对整合度数值有显著影响，为确保分析结果的准确性，采用*RRA*倒数作为计算基础，见公式（5）。

$$Integration = \frac{1}{RRA} \quad (5)$$

通过以上算法进行轴线空间模型分析，在量化解析结果的基础上形成轴线模型整合度数据，进一步将数据进行色谱可视化，获

得空间整合度量化解析图谱。

1.3 移动平均法趋势分析

移动平均法属于趋势分析的统计工具，其核心在于通过计算数据点的移动平均值来预测下一个观测值，从而揭示事件的发展趋势^[20]。这种方法的关键在于构建一个坐标系，确保数据点之间存在稳定的对应关系。鉴于研究得到的整合度数值散点图及其对应的距离数据，满足了移动平均法对数据平滑处理的要求，即规定数量的数据点和相应的数值能够平稳过渡。因此，本研究采用移动平均法来评估轴线距离范围内整合度的变化趋势。

将整合度数据点序列定义为 $A=(X_1, X_2, X_3, \dots, X_t)$ ，按照数据点的顺序，依次计算*N*个连续数据点的平均值，从而得到一次移动平均数，见公式（6）。

$$F_t = \frac{X_t + X_{t-1} + \dots + X_{t-N+1}}{N} \quad (6)$$

式中，*F_t*代表第*t*个周期的一次移动平均值；*X_t*是第*t*个周期的观测值，也就是该周期的整合度数值；*N*是移动平均的项数，即求每一移动平均数使用的观察值的个数。随着*t*的递增，即每经过一个周期，会在计算中加入一个新的数据点，并移除一个较早的数据点，从而得到一个新的平均值。这个过程能够清晰地展示出整合度随时间的变化趋势。

2 景观轴线空间整合度案例研究

2.1 烈士陵园概述

烈士陵园是为纪念于伟大革命事业中牺牲的烈士而修建的一种特殊陵园类型，是具有中国革命红色文化特征的纪念性景观，是轴线型景观的典型代表。烈士陵园的景观空

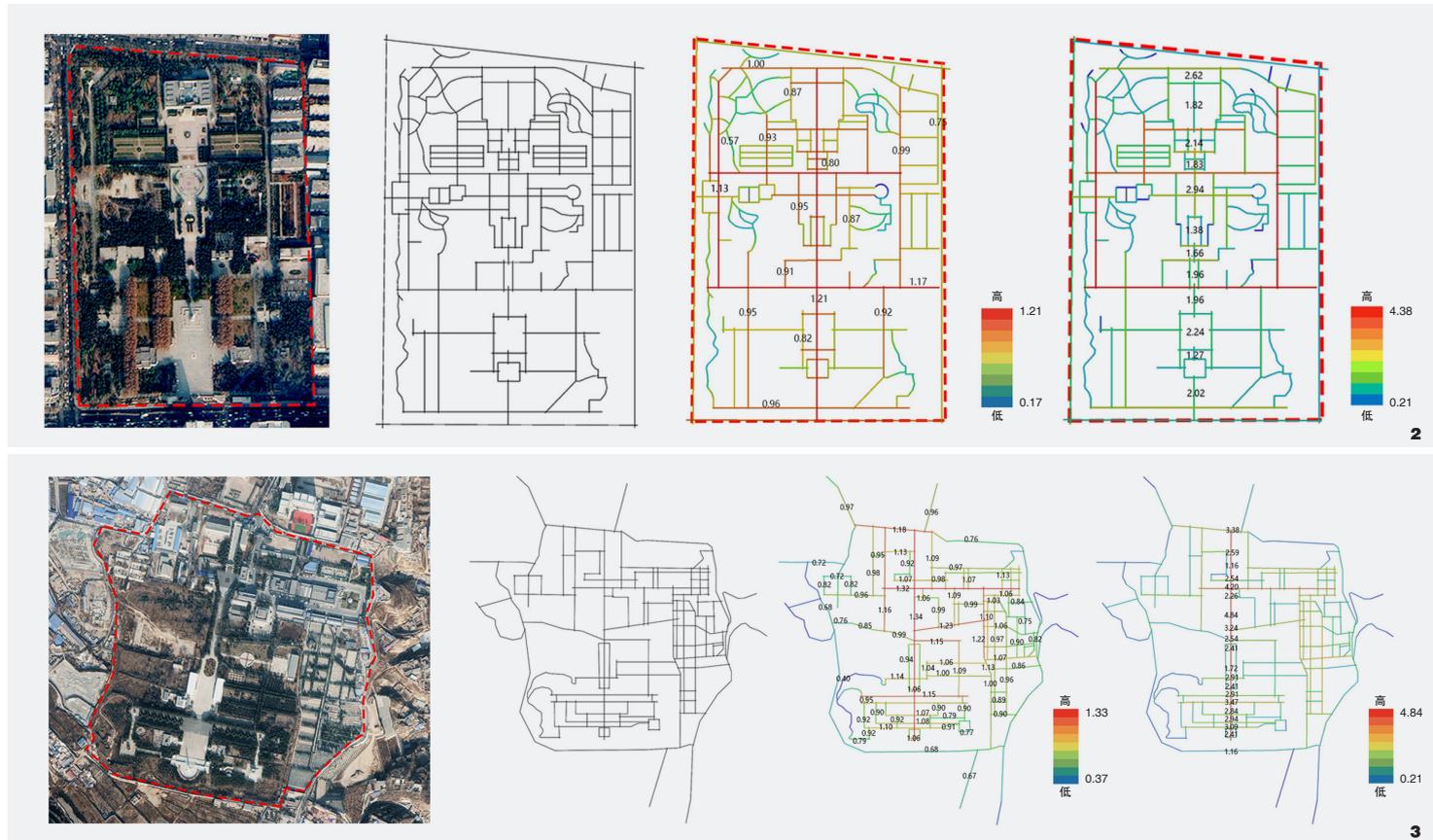


图2 华北军区烈士陵园模型构建
Fig. 2 Model construction of North China Military Martyrs Cemetery

图3 兰州市烈士陵园模型构建
Fig. 3 Model construction of Lanzhou Martyrs Cemetery

间构型往往采用一条清晰、明确的轴线串联各个景观空间单元，景观空间层次与秩序通常采用整体空间轴向推演、单元空间序列组织和辅助空间横向拓展等设计手段进行明确，整体空间逻辑构成与耦合规律特征显著。近10年相关文献检索研究表明，传统研究从感性角度分析居多，成果主要聚焦在“空间设计主题”“空间组织方法”“景观叙事”等景观空间认知理论方面，并通过景观空间结构、景观要素以及典型事件之间的融合研究，总结提炼烈士陵园的景观空间设计特点^[21]。在现象学、统计学成为常用方法基点上，Depthmap等空间解析技术为烈士陵

园风景园林轴线空间推演与耦合规律研究提供了一种量化探析途径。

2.2 模型构建

研究选取华北军区烈士陵园、上海龙华烈士陵园、华东革命烈士陵园、广州起义烈士陵园、黄花岗七十二烈士墓园、大别山革命历史纪念馆、沈阳抗美援朝烈士陵园、红花岗区红军山烈士陵园、李大钊烈士陵园、牛驼寨烈士陵园、兰州市烈士陵园、连云港抗日山烈士陵园、晋冀鲁豫烈士陵园、拉萨烈士陵园、白城市烈士陵园、乌鲁木齐市烈士陵园、延安四八烈士陵园、

上饶集中营革命烈士陵园、哈尔滨烈士陵园、董存瑞烈士陵园共计20个具有典型轴线空间特点的烈士陵园或红色景观烈士陵园区作为研究对象展开研究。通过ENVI平台分别对以上研究对象的高分辨率遥感数据进行大气校正、几何校正等预处理，进一步通过AutoCAD软件将数据转为矢量文件，同时对完整的轴线模型进行分区检查并导入Depthmap。通过整体分析研判，在轴线模型拓扑半径设置中将全局整合度与局部整合度的对应半径分别设置为 $R=n$ 与 $R=2$ ，获取并生成整合度数值及相关图纸。此处节选华北军区烈士陵园、兰州市烈士陵园、哈

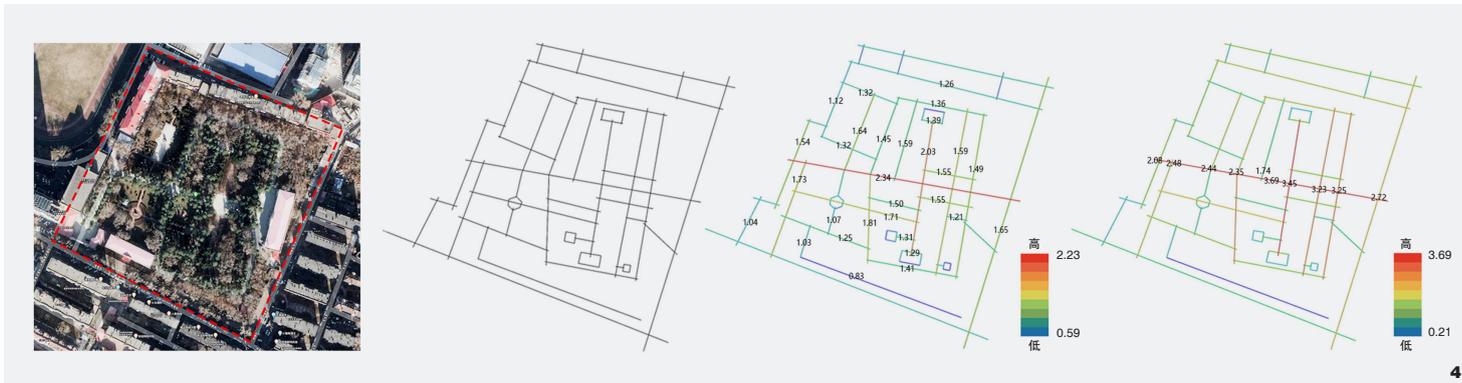


图4 哈尔滨烈士陵园模型构建
Fig. 4 Model construction of Harbin Martyrs Cemetery

图5 牛驼寨烈士陵园模型构建
Fig. 5 Model construction of Niutuozhai Martyrs Cemetery

尔滨烈士陵园、牛驼寨烈士陵园，展示研究过程中遥感底图提取、空间句法模型、全局整合度以及局部整合度分析进展及量化情况(图2-图5)。

2.3 烈士陵园空间整合度分析

烈士陵园空间整合度分析分为全局整合度分析和局部整合度分析。全局整合度主要体现空间系统的整体结构特征，用于衡量一个节点与系统中其他节点之间的聚合或分散水平。局部整合度则侧重于特定拓扑步数下的整合程度，主要用于描述小尺度局部空间的结构关系。

2.3.1 全局整合度分析

全局整合度指标展示烈士陵园轴线空间的整体结构特性，以及系统内部节点空间彼此之间的关联关系，其量化结果与整体空间的结构完整性正相关。通过对所有样本数据分析，可以明显地观察到轴线区域的全局整合度是最高的，其空间的渗透性和整合性都达到了峰值，并且位于整体空间的中心位置。显而易见，轴线两侧的节点空间均以轴线作为核心，向周围区域进行强烈的扩张。在忽略边界效应对研究结果影响的情况下，烈士陵园轴线空间的全局整合度数值范围为[0.70, 3.17]。

进一步分析可见，轴线空间对其两翼节点空间影响呈规律性分布。根据样本全局整合度绘制表格，归纳距离主轴向外拓50~150m全部节点空间的轴线整合度平均值(表1)，分析可见，除部分横向次级空间拓展过大，且有道路、辅助轴线等影响的烈士陵园样本外，研究样本全局整合度在距离主轴线100m范围内呈正向分布的规律，这说明轴线空间与相应区域在空间组织上的关联、互适关系显著；同时，在距离轴线100~150m，研究样本全局整合度平均值明显升高，轴线作用能力随之降低。可见，烈士陵园样本轴线空间对两翼次级空间的影响距离处于150m

表1 烈士陵园轴线空间全局整合度统计表
Tab. 1 Martyrs cemetery axis space global integration data statistical table

序号 No.	样本名称 Sample name	主轴线空间整合度 Spatial integration of principal axes	全局整合度数值 Global integration value		
			距离轴线 50 m	距离轴线 100 m	距离轴线 150 m
01	华北军区烈士陵园	1.21	0.88	0.65	0.70
02	上海龙华烈士陵园	1.42	1.08	0.86	0.89
03	华东革命烈士陵园	3.17	2.02	1.77	1.94
04	广州起义烈士陵园	1.14	0.87	0.75	1.12
05	黄花岗七十二烈士墓园	0.93	0.87	0.63	0.68
06	大别山革命历史纪念馆	0.93	0.80	0.72	0.75
07	沈阳抗美援朝烈士陵园	2.22	1.64	1.54	1.13
08	红花岗区红军山烈士陵园	0.95	0.83	0.74	0.76
09	李大钊烈士陵园	1.00	0.80	0.70	0.73
10	牛驼寨烈士陵园	1.32	1.03	0.86	0.96
11	兰州市烈士陵园	1.33	1.12	1.01	1.04
12	连云港抗日山烈士陵园	1.15	0.97	0.84	0.86
13	晋冀鲁豫烈士陵园	1.08	0.97	0.87	0.89
14	拉萨烈士陵园	2.22	1.74	1.56	1.71
15	白城市烈士陵园	0.70	0.62	0.48	0.50
16	乌鲁木齐市烈士陵园	1.73	1.21	1.15	1.17
17	延安四八烈士陵园	1.49	1.23	1.17	1.20
18	上饶集中营革命烈士陵园	1.05	0.88	0.76	0.82
19	哈尔滨烈士陵园	2.34	1.62	1.56	1.75
20	董存瑞烈士陵园	0.88	0.69	0.54	0.66

以内，其轴向空间耦合能力暗合中国传统纪念性景观“百尺为形，千尺为势”的空间建构规律，其空间内核依旧延续了中国传统纪念性景观的空间组构逻辑。

2.3.2 局部整合度分析

局部整合度量化反映空间进程中具体空间与距离最短拓扑步数节点空间之间的关联程度，能够客观评测局部空间的序列组织及其变化幅度，通过界定拓扑深度表征核心空间序列变化。局部整合度高意味着局部中心性强，空间效能高，量化体现轴线空间的变化特征。

以华北军区烈士陵园为例进行局部整合

度分析，建立空间距离x与局部整合度y的正交坐标系，距离计算以空间第一次发生整合度数值变化处为起点直至整个空间进程结束。考虑到分析案例较多，为便于进行空间整合度的统一比较，利用空间句法中“移动平均法”计算核心空间范围内整合度变化趋势，获得空间距离与整合度值之间数据关系，绘制标准化前后对比图(图6)。

同理，将20个烈士陵园样本轴线空间距离及整合度数据进行标准化处理，置于同一坐标系统一绘制散点图，通过移动平均法开展趋势性分析。移动平均法的优势在于其能够平滑数据的波动，使得数据序列更加稳定。随着移动平均项数n的增加，数据的波动幅

度会减小，预测结果对数据的敏感度也随之降低。研究参考数据特点，通过测试、比较与研判设定移动平均项数n=3作为计算参数，并将结果进行可视化，获得清晰平滑并能客观反映轴线空间标准化整合度数值趋势变化图。由图7可见，烈士陵园的景观轴线空间在特定标准化距离内，局部整合度表现出多次显著的趋势变化。第一次出现在50m范围内，局部整合度峰值为3.98。紧接着的第二次变化出现在大约90m的范围内，局部整合度的峰值上升至5.28。第三次变化发生在大约200m处，局部整合度的峰值进一步升高至6.10。随后的第4次变化则出现在大约350m的范围内，局部整合度的峰值达到5.84。第5次局部整合度峰值出现在450m处左右，高达全轴整合度最高数值为7.37，之后整体数值态势趋于平缓、持续走低至稳定到达终点。

3 分析与讨论

通过对烈士陵园景观全局整合度进行量化分析可见，景观轴线空间起到强烈的统领整体空间格局作用，同时对两翼150m空间范畴形成较为强烈的耦合效应。另外，轴线空间中的景观节点数量，以及两翼次级节点距离，均和轴线空间效能形成正相关关系。相关解析结果为风景园林设计中轴线节点数量设置、两翼次级节点规模和布局提供了科学的量化分析手段和模拟数据参考。

同时，综观局部整合度变化情况，可以观察到5个明显的空间进程阶段：

第一阶段：在轴线的前100m范围内，从起点至第二个显著峰值点。在前50m，数值经历了一次显著的波动，而50~100m区间内，数值呈现出较小幅度的规律性波动，整体变化较为平稳。通过案例分析，第一个峰

值通常出现在烈士陵园的主入口区域，该区域是轴线空间与外部空间连接的关键节点，设计上呈现出多样化，为后续空间进程奠定基础。此外，在100 m左右，数值的显著峰值表明该空间的交互作用显著增强，同时对节点空间的耦合能力呈现较高要求。

第二阶段：位于100 ~ 200 m。在这一阶段，局部整合度出现了第三次显著峰值，并伴随多次大幅度的数值变动，反映出该区域的景观空间活跃度较高，空间节点和序列的组织形式多变。此区间通常代表了从烈士陵园的主入口到轴线上重要节点的空间演变，属于轴线空间推进至景观核心空间的重要部分，往往呈现复杂多样的空间组织与高频景观空间设计相互映衬。

第三阶段：位于200 ~ 350 m。在这一阶段，局部整合度呈现下降并趋于平缓的趋势。尽管在该区间内局部整合度出现了两次较为明显的波动，但相较于上段进程来看，整体趋于下降态势，一直到约350 m处达到此段的极限值。从其数值整体呈现情况判断，该段景观空间交互能力减弱，从第一、二空间进程进入到相对单调、闭塞的区域。

第四阶段：位于350 ~ 450 m，局部整合度在数次起伏波动后上升到全轴最高值。此段进程处于整体轴向序列空间效能最高的区域，是景观空间互动频繁的核心区域。在烈士陵园景观中，往往核心纪念节点设置在这一区域。

第五阶段：范围为450 m至轴线终点。在此阶段，局部整合度经历几次波动起伏，但整体呈现逐步下降的趋势，随后趋于平稳，最终稳定值与初始值接近。此进程已趋于轴线空间末端，空间效能相仿第一空间进程，但空间布局与交互能力应结合具体案例的特征与实际情况进行评估判断。

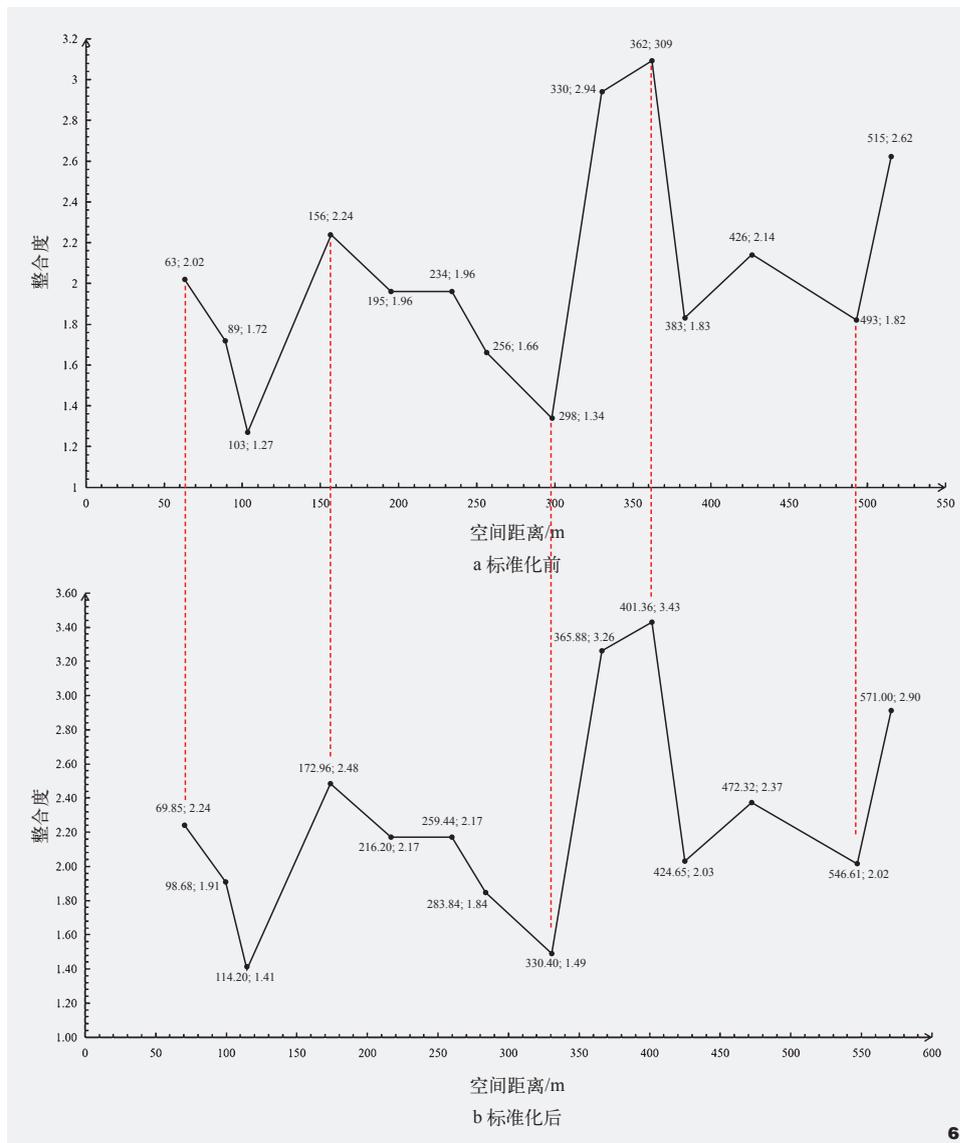


图6 华北军区烈士陵园轴线空间整合度数据标准化前后对比图
Fig. 6 Comparison of axis spatial integration data of North China Military Region Martyrs Cemetery

总体来看，轴线空间整合度在烈士陵园总体景观空间设计中呈现起伏前进、峰值显著明确的规律性走势，同时伴随空间的逐渐推进，表现出阶段性的布局和典型空间之间的互动关系。研究成果直观地呈现出烈士陵园特有的设计“节奏”“尺度”“外部空间模数”等规律性特征。通过局部空间的多样化组织和排列，可以追溯到整体轴线空间的演

进机制，并获得连续多样的知觉群印象，形成一种具有独特本体特征和量化规律的空间建构逻辑。

烈士陵园作为当代极具代表性的纪念性景观，其空间发展规律不仅继承中国传统的轴线营建智慧，还融入具有典型时代特征、主题特征的空间场域，形成具有独特的空间序列与轴线营造的量化逻辑，展现出显著的

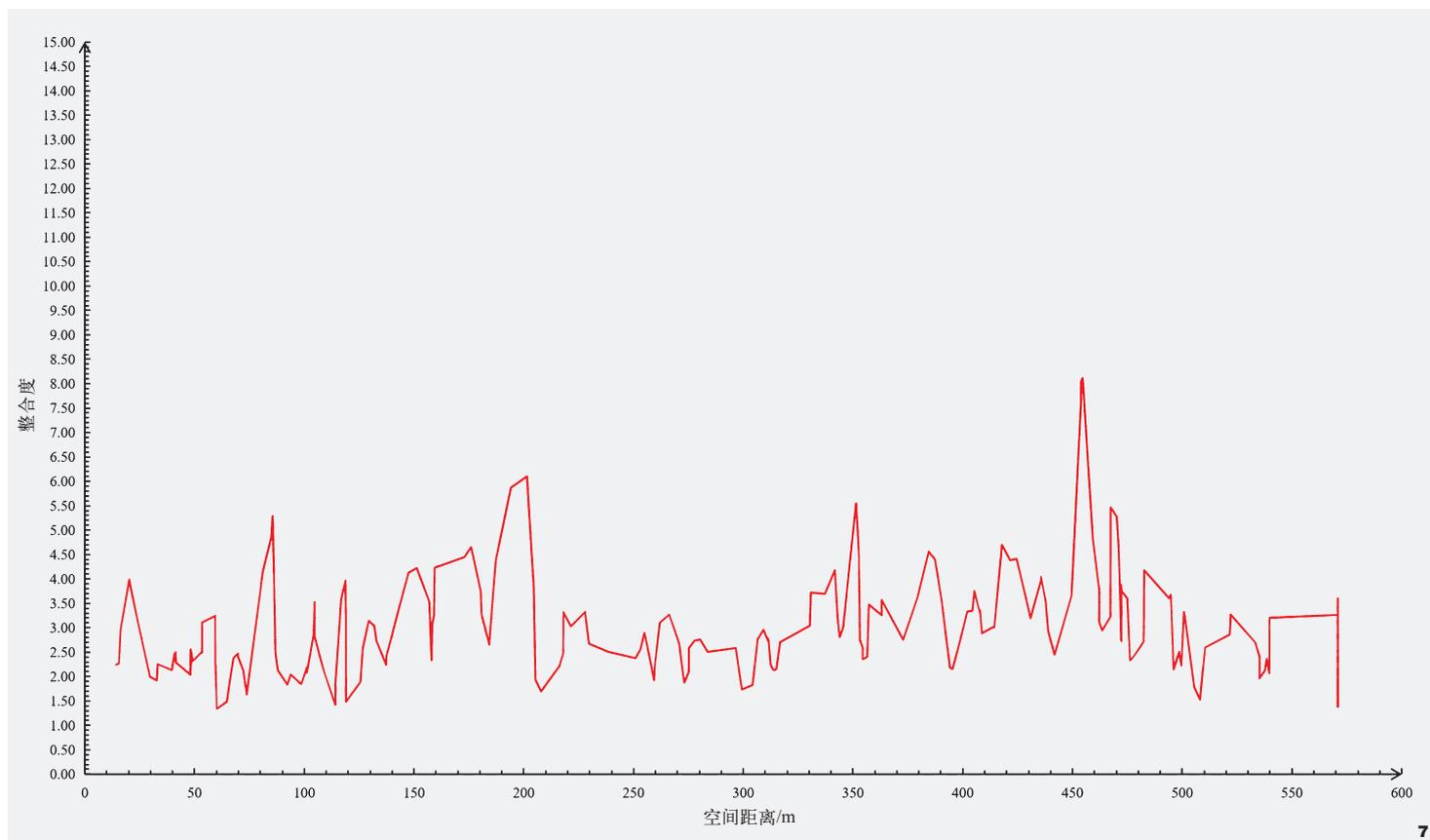


图7 20个烈士陵园轴线空间标准化整合度数值趋势变化图
Fig. 7 Trend chart of standardized integration values for the axial space of 20 martyrs cemeteries

空间效能。在日益强调历史记忆和红色文化的时代背景下，科学建构具有纵深研究潜力的空间绩效评价模型，运用量化分析方法探索烈士陵园景观的空间序列和轴线特征，深入探索分析其营造规律已成为景观空间研究的必然使命^[22]。

4 结语与展望

以烈士陵园为代表的红色景观，是由中国本土发展而来的，作为具有鲜明特色的纪念性空间载体，将红色文化与爱国主义精神深度融入其中。其空间结构通常展现出强烈的层次感与秩序性，且逻辑建构特征突出。本研究探索了以空间句法理论为基础，

以轴线空间的整合度作为研究视角，基于Depthmap平台展开量化研究，旨在探索一种定量分析景观轴线空间的技术手段，为建成环境的空间轴线评估以及设计方案中轴线空间效能的比较提供科学依据，同时也为红色景观研究提供了一种科学理性且具有进一步发展潜力的空间模拟与绩效分析技术路径。

风景园林典型空间的耦合机制与构成规律一直是量化研究景观空间形态的核心议题，通过应用当代空间分析技术进行模型推演和算法表达，已成为解析景观空间的重要方式。数字化模型的分析使研究过程更具逻辑性，在摆脱空间表意策略干扰的前提下，更专注于空间本体的深入研究；空间算法促

进了可观测空间要素的聚类分析，促使空间形态内在逻辑得以科学研判。与之相比，本文目前局限于以烈士陵园拓扑轴线代表几何空间进行整合度分析，对于竖向解析的参考变量分析不足，更完善的空间分析体系仍待深化研究。由于空间模型与实际环境之间存在一定偏差，模型精度显著影响分析结果的准确性。例如在计算全局整合度的影响范围时，距离范围和整合度均值的处理方法较为粗略；将全局整合度与局部整合度进行有效的叠合分析方面，其技术手段仍需进一步改进优化。

此外，优秀的烈士陵园景观方案形成不应仅仅考虑空间客观构成要素，其设计过程

还受到文化、历史、主题等因素强烈影响,以上两方面因素应充分融合才能形成完整且科学合理的设计方案。如何在尊重轴线空间组构规律的基础上,坚持理性精神、科学开展空间因子的辨析遴选、系统分类与权重设定,乃至建立更为系统、严谨的红色景观量化解析模型仍是值得深入探究的问题。后续研究可系统纳入主观因子,探索形成一个更系统、更科学、更精准的量化解析模型。另外,对于全局整合度叠合局部整合度开展研究的技术方法仍有待结合更多的优秀案例进一步完善与优化,可将技术发展进一步拓展至循证设计、增强现实领域,并结合文化景观、园林遗产等研究成果进行优化。

在景观空间本体的科学解析与数理论证逐渐成为当代风景园林学研究热点之一的背景下,以空间句法为代表的风景园林数字化分析,也同步为存量建设、提质增效等风景园林新的研究视角与理论发展提供技术支撑。秉持实用理性原则,精准应用科学方法和技术进行专业问题深入研究,将有助于推动传统风景园林研究语境的开放,推动研究问题向以算法语言为特征的量化研究方向发展,实现风景园林研究由感性到理性、由经验判断到科学分析论证的跨越提升,以更积极的姿态融入中国人居环境高质量发展时代洪流。

注:文中图表均由作者绘制。

参考文献

- [1] 彭一刚. 建筑空间组合论[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [2] 王建国. 城市传统空间轴线研究[J]. 建筑学报, 2003(05): 24-27.
- [3] JIN L. Optimization Design of the "Axis" as the Characteristics of Urban Landscape[C]// ICOD 2010: Proceedings of the International Conference on Optimization Design, 2010: 235-238.
- [4] 张玉洋, 孙雅婷, 姚崇怀. 空间句法在城市公园可达性研究中的应用——以武汉三环线内城市公园为例[J]. 中国园林, 2019, 35(11): 92-96.
- [5] 蒋滢, 林晓华. 浅析纪念性景观的空间形态与轴线关系[J]. 工业设计, 2020(06): 104-105.
- [6] 比尔·希列尔. 空间是机器[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [7] BAFNA S. Space Syntax: A Brief Introduction to Its Logic and Analytical Techniques[J]. Environment and Behavior, 2003(35): 17-29.
- [8] 李江, 郭庆胜. 基于句法分析的城市空间形态定量研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2003(02): 69-73.
- [9] 陶伟, 陈红叶, 林杰勇. 句法视角下广州传统村落空间形态及认知研究[J]. 地理学报, 2013, 68(02): 209-218.
- [10] 陈仲光, 徐建刚, 蒋海兵. 基于空间句法的历史街区多尺度空间分析研究——以福州三坊七巷历史街区为例[J]. 城市规划, 2009, 33(08): 92-96.
- [11] 丘华恩. 基于空间句法的城市水岸景观研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [12] 杨梅, 张建平, 李宝勇, 等. 城市绿地空间可达性与安全感相关性研究——以南昌八一公园为例[J]. 中国园林, 2019, 35(11): 76-80.
- [13] ZHAI Y J, WU H B, FAN H C. Using Mobile Signaling Data to Exam Urban Park Service Radius in Shanghai: Methods and Limitations[J]. Computers Environment and Urban Systems, 2018(71): 27-40.
- [14] LIU P X, XIAO X, ZHANG J, et al. Spatial Configuration and Online Attention: A Space Syntax Perspective[J]. Sustainability, 2018, 10(1): 221.
- [15] WONG J F. The Script of Viscosity: The Phenomenal Experience in Steven Holl's Museum Architecture[J]. Journal of Architecture, 2012(17): 273-292.
- [16] CZERKAUER-Yamu C, VOIGT A. Strategic Planning and Design with Space Syntax[C]// 29th Conference on Education in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe). Ljubjana: Univ Ljubljana Press, 2011: 125-133.
- [17] 李哲, 宋爽, 何钰昆. 基于美景度评价法(SBE)的当代新中式景观材质建构研究[J]. 中国园林, 2018, 34(11): 107-112.
- [18] 余伟平. 空间句法在城市形态分析中的应用[C]// 华东地区第十次测绘学术交流大会论文集. 南京: 江苏省测绘学会, 2007: 195-198.
- [19] HILLIER B, YANG T, TURNER A. Advancing Depth Map to Advance our Understanding of Cities: Comparing Streets and Cities, and Streets Tocities[C]// 8th International Space Syntax Symposium. Santiago: Santiago Press, 2012: 241-253.
- [20] MUHAMMAD A, ABDULMOHSEN A S, KHUSHNOOR K. Monitoring the Temperature Through Moving Average Control Under Uncertainty Environment[J]. Scientific Reports, 2022, 12(1): 11269.
- [21] 童涛. 红色纪念园景观改造设计研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2014.
- [22] 李哲, 赵恒毅, 曹银银, 等. 长征国家文化公园红色景观微域识别及其涵化解析——以红25军长征沿线为例[J]. 风景园林, 2023, 30(2): 73-81.