

朱海鹏, 孔宇航, 大野隆造. 基于全景技术的园林游观体验视觉分析方法: 以留园为例 [J]. 风景园林, 2021, 28 (12): 77-84.

# 基于全景技术的园林游观体验视觉分析方法——以留园为例

## Visual Analysis Method of Garden Tour Experience Based on Panoramic Images: A Case Study of the Lingering Garden

朱海鹏 孔宇航\* (日) 大野隆造

ZHU Haipeng, KONG Yuhang\*, (JPN) OHNO Ryuzo



中图分类号: TU986

文献标识码: A

文章编号: 1673-1530(2021)12-0077-08

DOI: 10.14085/j.fjyl.2021.12.0077.08

收稿日期: 2021-02-28

修回日期: 2021-10-29

朱海鹏 / 女 / 天津大学建筑学院在读博士研究生 / 研究方向为建筑设计及其理论

ZHU Haipeng is a Ph. D. candidate in the School of Architecture, Tianjin University. Her research focuses on architectural design and theory.

孔宇航 / 男 / 博士 / 天津大学建筑学院教授 / 研究方向为建筑设计及其理论

通信作者邮箱 (Corresponding author Email): kongart@126.com

KONG Yuhang, Ph. D., is a professor in the School of Architecture, Tianjin University. His research focuses on architectural design and theory.

(日) 大野隆造 / 男 / 工学博士 / 东京工业大学名誉教授 / 日本环境学会 (MERA) 前会长 / 研究方向为环境行为学

(JPN) OHNO Ryuzo, Dr. of Engineering, is an emeritus professor in the Tokyo Institute of Technology, former president of the Man-Environmental Research Association (MERA) Japan. His research focuses on environment-behavior studies.

**摘要:** 运动视知觉是观察者认知建成环境的重要方式。全景视觉技术的发展为多视角、定量地研究园林游观体验的影响因素与作用机制提供了新思路。以生态学知觉为理论基础, 借助全景影像技术重新解析园林游观体验的视知觉线索, 并提出动态环境视觉信息的测度和分析方法。以苏州留园中的游园路径与景观构成为对象, 量化、可视化解析游观过程中的视觉信息的变化规律与特征, 为园林游观体验机制的研究提供参考。

**关键词:** 风景园林; 全景影像; 运动视觉; 环境视觉信息; 光流测度; 游观体验

**基金项目:** 国家自然科学基金 (编号 51778401, 52038007); 高等学校学科引智计划 (编号 B13011)

**Abstract:** Visual perception in motion is an important way for observers to recognize the built environment. The development of panoramic vision technology provides new ideas for multi-perspective and quantitative studies of the influencing factors and action mechanism of garden tour experience. This research applies ecological psychology and parallel visual processing in the vision system as the theoretical foundation. It re-examines the visual perception in motion from the perspective of panoramic projection, and proposes measurement methods of dynamic visual information based on optical flow diagrams. Taking the Lingering Garden as an example, the research quantitatively and visually analyzes the patterns and characteristics of continuous changes in visual information during motion, as a reference for the research on the mechanism of garden tour experience.

**Keywords:** landscape architecture; panoramic image; visual perception in motion; ambient visual information; optical flow measurement; tourism experience

**Fund Items:** The National Natural Science Fund of China (No. 51778401; 52038007); Programme of Introducing Talents of Discipline to Universities (No. B13011)

人们对于建成环境 (城市、建筑、园林等) 的理解、认知不仅来源于固定视角的静态观看, 更有赖于多视角的、动态的连续运动体验。其中, 视觉作为主要的环境感知方式, 由观察者视点运动引发的视觉信息改变, 对其空间认知、环境体验的结果具有显著影响<sup>[1]</sup>。同时, 相较于固定或静态视角, 连续的环境信息获取方式使观察者更易于感知和理解环境<sup>[2]</sup>。序列视觉信息变量的解析与测度是研究游观过程中环境游观体验影响因素和作用机制的重要前提。

## 1 相关研究进展

### 1.1 园林游观体验研究

区别于西方园林和日本坐观式园林, 基于画意造园的中国古典私家园林更侧重于人们的游观体验。造园者通过设计出复杂、多变的动线来串联园林中的造景元素, 如建筑、山石、树木、水池等, 营造丰富的运动视觉体验<sup>[3-9]</sup>。冯纪忠以图示解析园林游观体验, 即视点位置的改变会引发空间视觉界面变换<sup>[1]</sup>, 该过程使体验者对景物产生“横看成岭侧成峰”的印象<sup>[10]</sup>。

表 1 既有环境视觉信息分析方法  
Tab. 1 Analysis methods of existing environmental visual information

方法分类	举例			
	作者	参考文献	方法	评价
序列视觉信息分析 定性描述	图片序列	APPLEYARD 等	[14] 道路上的景观	受到相机参数, 镜头焦距等影响, 无法记录完整的环境视觉信息; 受拍摄角度, 照片畸变等影响, 无法准确记录环境信息属性, 如空间方位, 视域面积等, 对环境视觉信息的量化分析带来不便
		CULLEN	[15] 连续视景	
	环境注记系统	HALPRIN	[16] 运动注记法	
		THIEL	[17] 序列体验注记法	
	影片视频	BOSELMMANN	[18] 采用影片形式模拟物理环境 内窥镜拍摄模型影片	
全景视觉技术介入后 环境视信息分析	量化分析	HARRY 等	[19] 对比序列图片感知与影片视频感知	指明对环境视觉信息动态属性研究的必要性
		THIEL	[17] 鱼眼相机, 半球型投影环境视觉信息记述法	
	物理心理学实验	OHNO	[20] 全天候环境视觉信息记述法 环境构成要素的可视域; 可见空间体积	多为环境的静态属性, 对运动引发的动态属性 (motion-induced cues) 没有涉及
		张玮等	[21] 全景绿视率	
		SUGITA 等	[22] 全景图像作为真实室内空间的可行性再现	
布朗宁等	[23] 全景图像作为真实室外空间的可行性再现	认知实验中全景作为真实环境的可行性替代		
	[24] 全景图像易与头戴式虚拟现实设备、洞穴式自动虚拟环境 (CAVE) 结合的特性			

表 2 焦点视觉与环境视觉并行的处理系统<sup>[25]</sup>  
Tab. 2 Focal and ambient vision parallel processing system<sup>[25]</sup>

处理系统	视觉信息来源	感知者心理特征	信息处理特征	信息处理结果
焦点视觉	离散的要素信息	注意力集中、有意 识、主动	选择信息压缩, 部分群集 的详细信息, 耗时处理	对所观察的物体辨别、认知, 形 成对对象物体的理解
环境视觉	连续的环境信息	注意力分散、无意 识、被动	整合信息的压缩, 广泛范 围的大致信息, 瞬时处理	身体运动、唤起注意、方向定位 整体印象、感觉

在此基础上, 刘滨谊以景观空间序列为线索, 研究客观环境与视觉感受间的动态关联性<sup>[11]</sup>, 从人眼视觉注意机制的视角探究景观空间视觉吸引要素及其机制<sup>[12]</sup>。

### 1.2 序列视觉信息分析

游观体验过程伴随着视觉信息的连续变化。序列视觉信息的量化解析是研究主观视觉感受的基础方法与必要途径<sup>[13]</sup>。现有研究对视觉信息的分析一般从体验者视角和连续时间线索展开。早期研究多以定性描述的方式记录环境信息改变以及体验者的主观感受, 主要方法有: 图片序列, 环境注记系统, 影片视频<sup>[14-19]</sup> (表 1)。相对于序列图片, 影片成为运动体验过程中的“动态视觉信息<sup>②</sup>”的呈现媒介。既有研究分别使用静态 (照片、幻灯片) 和动态 (视频) 媒介再现真实场景, 并对比两种情况下人们的环境认知结果, 研究表明二者之间存在显著差异<sup>[19]</sup>, 指明了“动态视觉信息”对理解运动感知 (perceiving in motion) 的重要性<sup>③</sup>。

### 1.3 全景视觉技术的应用

新数据环境下全景视觉技术的发展为解析环境视觉信息与游观体验提供了新机遇。首先, 全景相机、全站仪等数据采集设备为全方位获取环境视觉信息提供了硬件基础。其次, 全景图像为量化地解析建成环境提供了数据基础, 用于计算环境构成要素的可视面域<sup>[20]</sup>, 如全景绿视率<sup>[21]</sup>、天空率等。再次, 在环境行为学的研究领域, 全景图像相较于特定视角的透视图像, 在建成环境再现、空间体验与评价等研究中体现出显著优势<sup>[22]</sup>。全景图像易与头戴式虚拟现实设备、洞穴式自动虚拟环境 (CAVE) 结合, 是实验室条件下重现真实环境的可行性替代<sup>[23-24]</sup>。

以上研究指明了全景图像在分析环境视觉信息方面的优势: 1) 可记录以视点为中心辐射 360° 空间范围内的环境视觉信息, 还原人在真实环境中的视觉体验; 2) 可准确记录“视点-环境”的空间几何关系, 为量化环境视觉信息提供数据基础。本研究通过分析全

景投影类型及其图形特征, 提出基于全景图像的动态环境中视觉信息的分析方法。

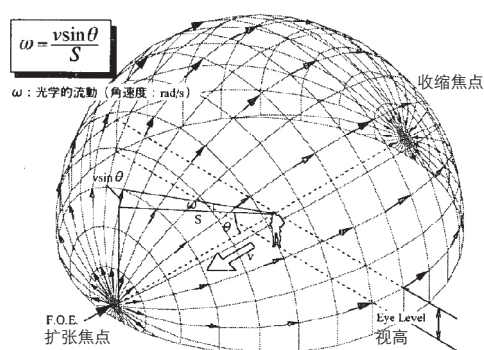
## 2 要素与机制: 视觉生态学视角下的园林游观体验

本研究对园林游观体验过程的讨论基于两种理论: 并行处理视觉系统和运动视觉作用机制。本研究从人类生理和心理感知的层面, 探究视觉信息动态变化的内在因素、外在影响等基本规律, 归纳研究游观体验机制的视觉线索。

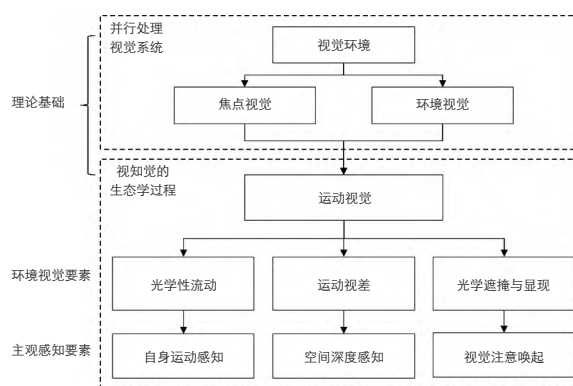
### 2.1 并行处理视觉系统: 焦点视觉与环境视觉

来自环境的视觉信息, 按照接收方式可划分为 2 种<sup>[20]</sup>: 1) 有意识以固定的视线方向, 从关注的局部环境获取焦点视觉信息, 非连续的、离散的物体常被作为焦点视觉信息处理; 2) 无意识由无数放射状视线汇聚于观察点 (视辐射), 从全局范围的环境中获取的环境视觉信息, 环境中连续的、包围身体的表面被作为环境视觉信息处理。

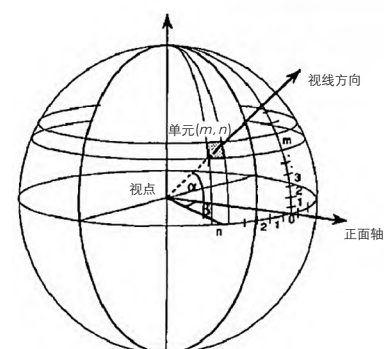
焦点视觉和环境视觉是运动视觉过程中的并行处理系统, 两者配合可高效处理环境中庞杂的视觉信息 (表 2)。传统环境信息记录、分析方法 (如普通照片、局部透视) 受视角、视野限制, 多关注焦点视觉信息, 忽



1 视觉信息的光学性流动<sup>[27]</sup>  
The optical flow of visual information<sup>[27]</sup>



2 视觉生态学视角下的园林游观体验机制  
Mechanism of garden tour experience from the perspective of ecological vision



3 全地球环境视觉信息记述法<sup>[20]</sup>  
Description method of visual information in a spherical coordinate system<sup>[20]</sup>

视了环境视觉对游观体验的重要作用。因此园林游观体验的研究应综合考虑焦点视觉对象(亭子、曲桥、塔、檐角等)和环境界面(地面、天空、墙面、水面、树冠等)对游观体验的影响。

## 2.2 运动视觉作用机制：动态特征与光学流动

本研究所指的游观体验动态特征是当观察者沿环境中的路径行进时，视野中的景象呈现连续的、动态的变化。视点运动与环境界面交互作用会产生3个方面的动态视觉信息变量：1) 视点向前运动，周围环境沿行进的反方向流动，即光流(optical flow)；2) 景物运动速度随其与观察者相对距离的变化而变化，即运动视差(motion parallax)；3) 当两个视觉对象相互遮挡时，前方对象逐渐遮挡住后方对象，随视点继续运动，被遮挡的后方对象再次逐渐显露的过程，即光学遮挡和显现(optical occlusion and disocclusion)<sup>[19]</sup>。动态视觉信息是研究游观体验的重要依据。本研究将主要探讨光流引起的动态视觉信息变化对游观体验的影响。

既有研究发现，光流是体验者感知自身运动的主要途径<sup>[20]</sup>。观察者视点运动过程中，以视点为中心、位移方向为极轴的全天球中，所有环境光学阵列(ambient optic array)从扩张焦点(focus of expansion)离心式流出，向收缩焦点(focus of contraction)向心式流入(图1)。光流受视点运动与环境界面两方面因

素影响。1) 光流方向，环境光学阵列的光流方向由视点位移方向决定，即特定视点移动方向下，来自环境界面的光学阵列运动模式(flow pattern)恒定<sup>[1]</sup>。2) 光流速率，环境视觉信息的光流速率受视点运动速率 $v$ ，信息来源方向(光学阵列视线与前进方向)的夹角 $\theta$ 和视深度 $S$ (到视信息来源的距离)空间参数影响。视线方向与前进方向的夹角越大，环境界面光流速率越大<sup>[27]</sup>，例如，在行驶的汽车上，侧面景物移动速度快于前方景物。

光流角速度 $\omega$ 应满足：

$$\omega = \frac{v \sin \theta}{S} \quad (1)$$

## 2.3 游观体验作用机制：视觉线索与环境体验

引入视觉生态学的光学性流动概念为研究游观体验的影响因素与作用机制提供了理论基础(图2)。已有研究揭示了游观体验过程中环境视觉要素与主观感知要素(秩序节奏、体量形态、印象氛围、唤起引导等)间的显著关联性<sup>[28-35]</sup>(表3)。本研究对动态视觉信息的测度与可视化是后续研究游观体验中客观环境与主观感知间关联性的必要技术路径。在园林的复杂场景下，环境界面光学性流动的测度与图示，仍需要较为精细的三维空间信息数据(BIM、LIM、3D点云数据等)的支持，实证研究中实施难度较大。全景视觉技术的发展为环境视信息的记述与测度提供了新的思路。

## 3 图示与测度：全景图像解析运动视觉

### 3.1 全地球环境视觉信息记述方法

全地球环境视觉信息记述法<sup>[20]</sup>假设：以视点为中心，存在可覆盖全视野范围的假想球体，将视点接收的每一束光线(光学阵列构成元素)近似地视为来源于球体内表面特定单元网格，并用网格与视点连线的高度角( $\alpha$ )、方位角( $\beta$ )表示与之对应的环境视觉信息元素的空间方位(图3)。

基于全地球坐标系的环境视觉信息记述法，突破了二维图像媒介受视角、空间维度的局限，全方位地记录三维视觉环境。因天球表面为连续闭合曲面，无法从球体内外部任何一个视角呈现连续、完整的环境视觉信息。同时，对比分析天球表面环境要素的光学性流动时，受观察角度的制约会出现光流轨迹重叠覆盖、图像变形等问题。故球体表面图像的平面化过程成为视觉信息分析的叠加对比与量化测度的基础。

### 3.2 全景图像投影变换与图形特征

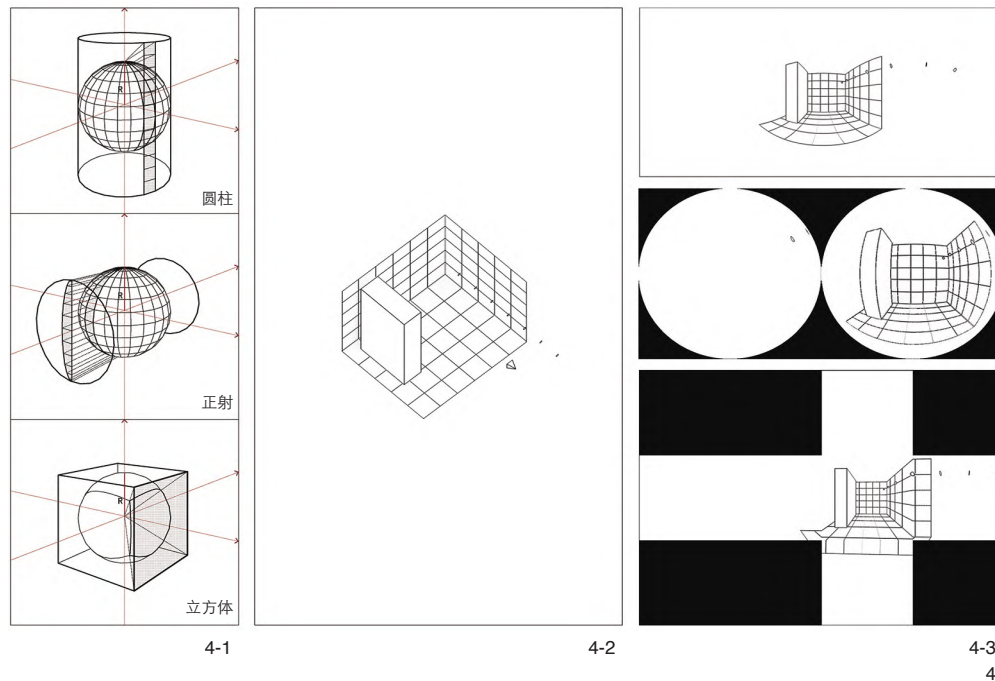
将全地球表面的图形信息按特定规则映射到二维平面的过程称为全景投影。图4-1显示了全景视觉技术中常用到的全景投影类型(等距圆柱投影、等距正射投影、立方体投影)及其映射方式<sup>④</sup>。以图4-2场景为例，根据映射方式的不同，环境视觉信息(点序列、线性边界、环境界面)在不同投影类型图中的空间方位、线性关系、形状比例等几何特性呈现差异(图4-3)，适用于全景图像的采集、存储



表 3 动态视觉线索与游观体验间的关联性研究  
Tab. 3 Research on the correlation between dynamic visual clues and tourism experience

作者	参考文献	案例研究	主观感知要素				环境视觉要素				游观体验现象描述	环境视觉相关变量	
			秩序节奏	体量形态	印象氛围	唤起引导	可视界面面积	可视空间体积	光学性流动	运动视差			遮挡与显现
KAPLANS	[28]	景观空间			●	●					●	神秘性	连贯性、易读性、复杂性和神秘性
冯纪忠	[10]	景观空间		●					●	●	●	横看成岭侧成峰、步移景异	总感受量、导线长度、变化幅度、时间或速度四者之间的相互关系
刘滨谊等	[11]	景观空间	●					●			●	景观空间序列组织、旷奥变化	空间界面尺度、视觉界面尺度、空间界面与视觉界的关系
OHND	[29]	日本传统回游式园林		●	●		●					行走过程中空间体积连续变化	景观构成要素可视面积
OHND	[30]	出口空间			●	●		●			●	行走过程中视觉诱导与景观整体印象评价	景框遮蔽边缘移动角度
KOBAYASHI 等	[31]	日本传统回游式园林	●		●		●					空间体验分节化	景观构成要素可视面积、路径方位、标高、材质变化
INAGAMI 等	[32]	街道空间			●		●	●		●		行走过程中的压力感	景观构成要素可视面积、视点周围建筑的平均距离
NAOJI 等	[33]	街道空间			●	●					●	行走过程中的期待感	曲折街道空间的曲折度、高度、宽度、可见区域比例和可见墙面长度
王飒等	[34]	苏州园林			●	●					●	拟入画中行	景深、景框
李奕昂等	[35]	苏州园林			●	●				●		步移景异、往复观看	路径与视距、路径与视线方向

注：●表示参考文献中涉及的主观感知与环境视觉要素。



4 常见全景投影类型 (4-1)、示例场景 (4-2) 及其图形特征 (4-3)  
Common types of panoramic projections (4-1 projection type, 4-2 example scenario and 4-3 graphic features)

与体验等不同过程。相较其他类型，圆柱投影的投影面数量唯一、图像连续，更适用于分析环境视觉信息的连续性变化（光流）。同时，观察者视点移动过程中，当视角水平旋转时，等距圆柱投影图像水平平行移动，图

形无形变。该特性使其宜于叠加分析曲折路径过程中不同方向的光流变化。

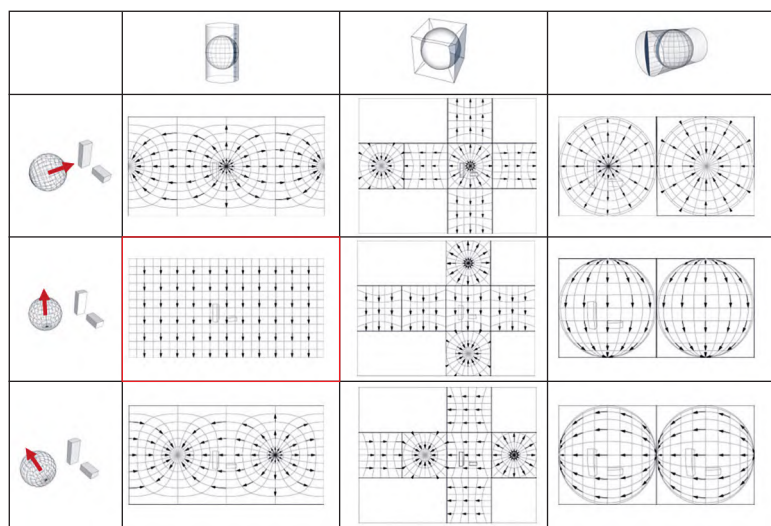
### 3.3 基于全景投影的光流位移测度

比较不同投影类型下环境视觉信息的光流方向发现，沿视点运动方向展开的等距圆柱

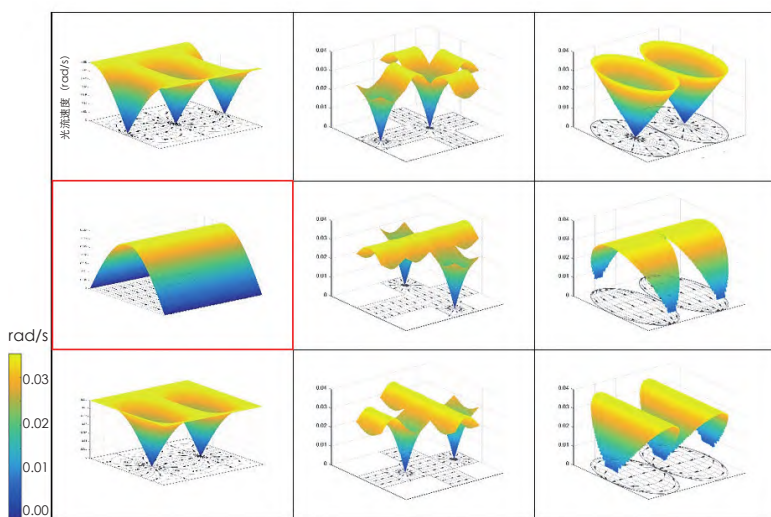
投影中光流表现出同一线性分布特征（图 5 中红框部分）。该类型投影中要素图像距离与空间夹角具有一致性，使之更易于视信息的定量化解析。同时，等视深度（40 m，普通人清晰视距）条件下该类型投影光流速率沿运动方向呈现正弦单曲面变化（图 6 中红框部分）。本研究将该投影类型称为光流投影，作为环境视信息光流量化解析的媒介。

为定量描述环境视觉信息要素方位的变化程度，本研究将因视点移动前后环境光学阵列的变化程度定义为光流位移，单元要素的光流位移通过移动前后视线方向夹角  $\varphi$  表示（图 7-1）。单元要素在全球表面的移动路径称为光流轨迹，体现为视线夹角切天球表面的圆弧（红色线段）。全景图像中的光流轨迹和位移不受视角方向影响，故可作为游观体验研究中可视化、量化视觉信息差异程度的媒介与参数。

1) 单元要素测度。在光流投影图像中，视点移动前、后环境光学阵列呈现垂直对位关系（图 7-2），环境光学阵列单元要素在全景图像中自上而下运动，起点与终点间的连线即为该要素的光流轨迹投影。根据圆柱投影的图像坐标与空间坐标系的对应关系，则单元要素光



5



6

5 全景投影光流方向分布

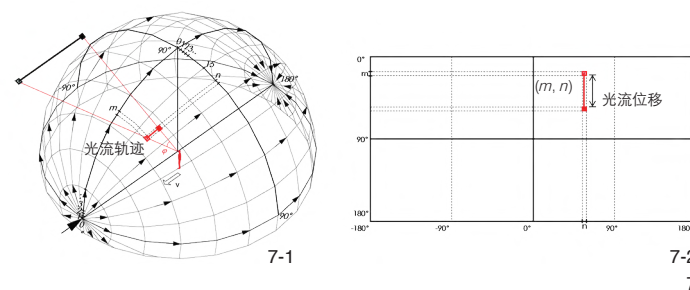
Distribution of optical flow directions in panoramic projections

6 等视距条件下全景投影光流速率分布

Distribution of optical flow rates in panoramic projections under equal apparent distance

7 单元要素光流位移测度 (7-1 全地球、7-2 光流投影图)

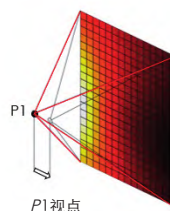
Measurement of element's optical flow (7-1 spherical coordinate, 7-2 optical flow projection)



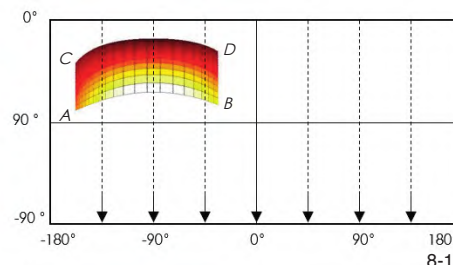
7-1

7-2

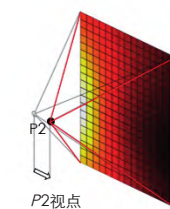
7



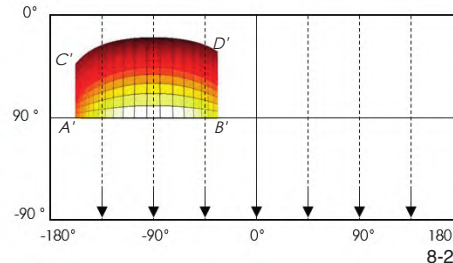
P1视点



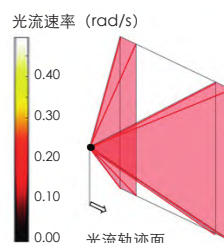
8-1



P2视点

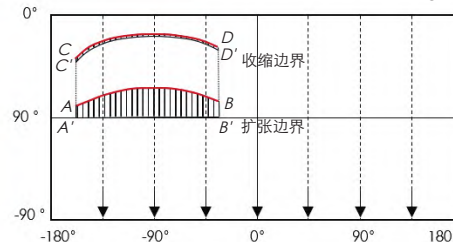


8-2



光流速率 (rad/s)

光流轨迹面



8-3

8

8 环境界面光流位移测度 (8-1 P1 视点光流速率分布, 8-2 P2 视点光流速率分布, 8-3 光流轨迹面)

Measurement of environmental surface's optical flow (8-1 distribution of optical flow rate at viewpoint P1, 8-2 distribution of optical flow rate at viewpoint P2, 8-3 surfaces of optical pathways)

流位移可通过视点移动前后的图像距离测度。

2) 环境界面测度。环境界面占据较大视野区域时, 需考虑光学阵列要素光流速率差异, 可将环境界面的光学性流动视为界面光学阵列单元元素在全景图像中的光流位移累积。图 8 所示, 将界面视为由单元网格构成的阵列, 假定视点沿  $P_1$  向  $P_2$  方向移动, 通过公式 (1) 计算阵列各要素在  $P_1$ 、 $P_2$  两点处的光流速率 (rad/s) 分布趋势, 以光流投影的方式获取两视点处环境界面光学阵列的全景

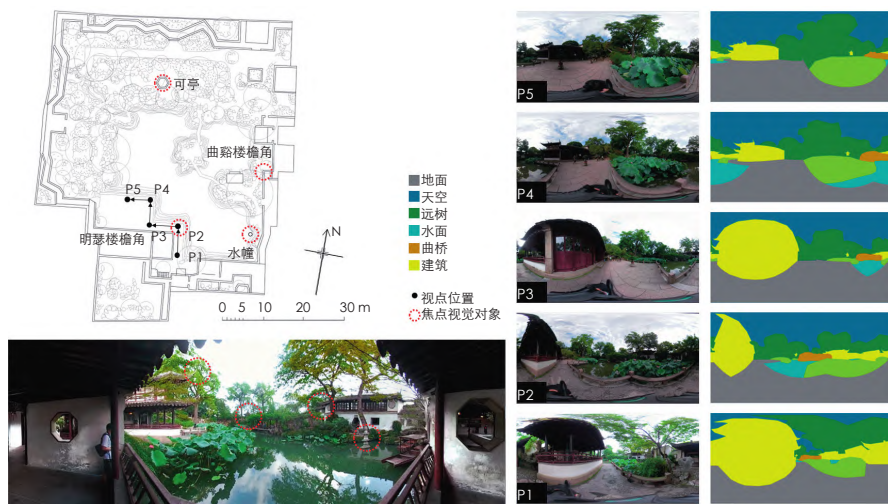
投影图像。光流投影下要素的运动方向一致, 相邻网格单元因速率不同产生光流位移差异 (图 8-1、8-2)。同向、非等速位移引起的网格非等比例变化改变了被感知界面中元素的疏密分布。

在实证研究中, 通常难以测度界面所有构成要素的光流位移与轨迹。考虑到光流投影界面的边界具有显著的对位关系, 本研究提出通过边界光流轨迹面 (图 8-3 中  $ABB'A'$  面) 定量测度环境界面的光流程度。界面前、

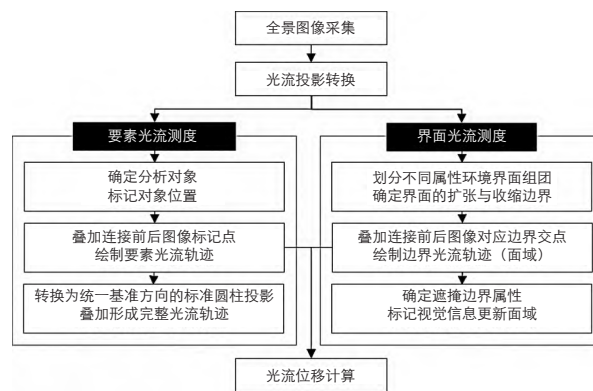
后边界光流轨迹面域分别对应界面在视野中扩展、收缩的区域。运动视知觉过程中界面扩展边界 ( $AB$ ) 的光流位移面域显著大于收缩边界 ( $CD$ ) 时, 界面在视野中呈现展开趋势, 反之则呈现收聚趋势。因此, 界面边界的同向、非等速位移是视点运动过程中界面面域、投影形状变化的动因。

#### 4 实证研究: 以留园中路径与组景为例 全景投影视角下环境视觉信息光学性

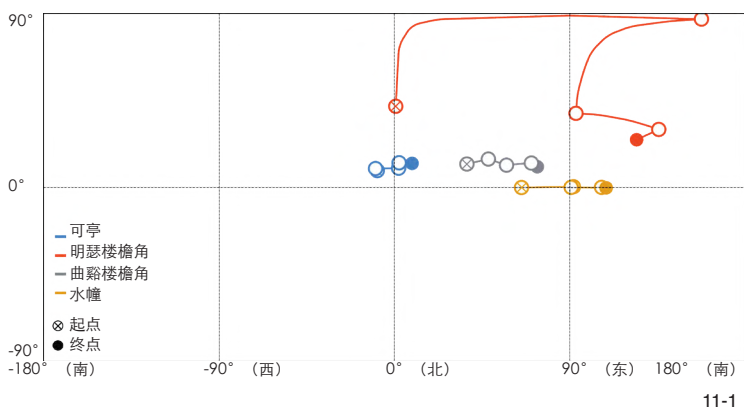




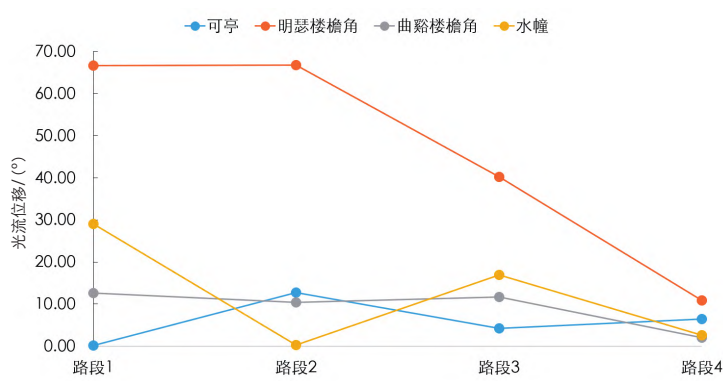
9



10



11-1



11-2

9 全景图像采集与环境视觉信息分类  
Panoramic image collection and environmental visual information classification  
10 全景图像光流测度流程  
Procedure of optical flow measurement of panoramic images

11 滨水路径视觉吸引点的光流轨迹 (11-1) 与光流位移 (11-2)  
Optical pathways (11-1) and displacement (11-2) of visual attraction points along the waterfront path

流动的二维可视化与图解测度，为定量研究园林游观体验中“视点-环境”空间关系的动态变化提供数据基础。以典型中国传统园林——留园的主景区滨水空间为研究对象，尝试应用全景投影解析，表现园林游观体验过程中视觉吸引点和环境界面的动态变化规律。

#### 4.1 对象选取与全景光流测度

选取主景区涵碧山房前的滨水曲折路线，根据移动方向将路线切分为4条线段，由全景相机实地拍摄各路段起点、终点处的全景图像。再依据环境构成要素（地面、天空、远树、水面、曲桥、建筑）处理全景图像，将其划分为不同属性的环境界面。同时，选取移动过程中4处潜在的视觉吸引点（可亭、明

瑟楼檐角、曲谿楼檐角、水幢）为焦点视觉分析对象（图9）。全景图像的投影变换处理与光流轨迹的绘制测度，通过MATLAB与AutoCAD混合编程实现。图解过程分为焦点视觉对象和环境视觉界面光流测度2个部分，步骤如图10所示。

#### 4.2 焦点视觉对象光流解析

通过全景图像解析，获得视点沿整条路径移动过程中，焦点视觉对象（潜在视觉吸引点）在全视域范围的连续光流轨迹分布（图11-1）。等距圆柱投影图与全天空球坐标系相对应（横轴0°为北向），有利于从空间方位角度解析游观体验过程中视信息变化的影响因素。

光流轨迹可从分布方位、运动趋势两方面解读，同时结合路径曲折形态探讨路径与景物布局的关系。首先，分布方位可主要分为2类，明瑟楼光流轨迹集中于视野的上方；可亭、曲谿楼、水幢在视平行线区域依次分布，其中可亭基本位于视觉中心点。视觉对象光流轨迹的分布方位受空间高度、视深度共同作用，空间高度越低、视距越远的对象轨迹越贴近视平线区域分布。其次，以可亭、曲谿楼、水幢为一组，结合路径方向，其运动趋势呈现的规律为：当视点行进方向与视觉对象空间夹角较小时，其运动趋势较弱，通常情况下作为固定视觉对象，起到视觉引导作用（如可亭与路段P1-P2、P3-P4）；行进

方向与视觉对象夹角较大时,运动趋势明显,易在行进过程中成为视觉吸引点(如水幢和路段 P1-P2、P3-P4)。

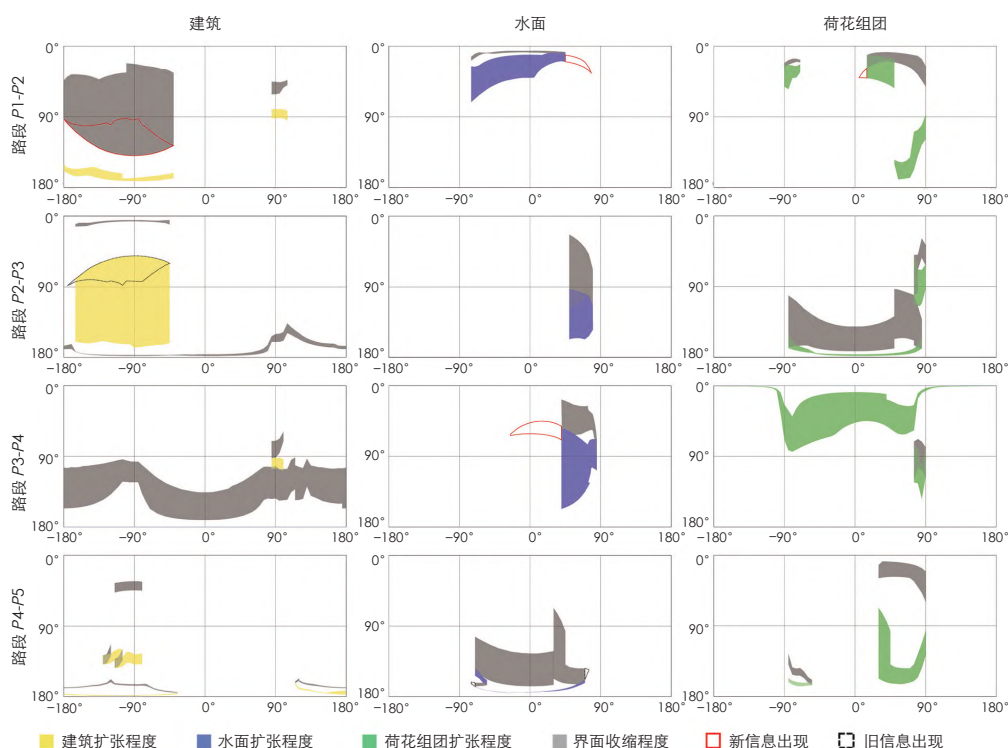
焦点视觉对象在不同路段的光流位移大小如图 11-2 所示。视觉对象的光流位移越大带给人的运动感知越强,反之则作为相对静态的对象被感知。首先,明瑟楼檐角在前 3 段路径中的光流位移较大,且其主要分布在视域的上方边缘,起着增强运动感知的作用;水幢在路段 P1-P2 光流位移较大,且分布在视平线区域,有可能成为视觉吸引点。其次,可亭与曲谿楼檐角的光流位移整体较小,作为相对静态的观赏对象。最后,不同视觉对象(如可亭、水幢)的光流位移峰值交替出现,反映出路径方向转折导致的潜在视觉吸引点交替变化,使园林游观体验具有鲜明的节奏性变化特征。

### 4.3 环境视觉界面光流解析

环境界面作为环境视觉信息被观察者接收,作用于身体运动感知与整体空间印象。通过光流投影解析不同属性环境界面的光学性流动,图 12 为建筑、水面、荷花组团界面的扩张与收缩程度。

单一环境界面扩张与收缩边界的位移间差异,反映了游观体验过程中界面展开与收缩形式,视觉信息变化的快慢程度在一定程度上体现出其对体验者运动感知的作用强度。以建筑(明瑟楼)界面为例,在路段 P1-P2、P2-P3 中,其光流轨迹分布于行进方向的右侧,在围绕建筑移动过程中交替呈现急剧的收缩与扩张的视野变化趋势;在路段 P3-P4 中,建筑界面分布于视野后方呈均匀收缩态势。路段 P4-P5 中则仅有少量视觉信息的变化,对运动感知的作用较弱。结合界面信息变化与路径形态分析,设置曲折路径可增加移动过程中视觉界面分布方位、收缩程度的动态变化。

多个环境界面间光流位移差异的叠加分析,可用于解析由运动引发的组景要素间动态空间效果。以水面与荷花组团为例,因视距不同,界面组团间呈现光流位移的差异:1) 路段 P1-P2、P3-P4 使得竖向分布的荷花组团间距增加水面展开,增强了南北空间进深



12 滨水路径环境界面扩张及收缩程度

Expansion and contraction of environmental interface along the waterfront path

感;2) 路段 P2-P3、P4-P5 中,水面、荷花组团界面位于光流投影中的不同“轨道”,视点运动(东西向)使得组团间平行错动,产生空间错位移动的效果。传统造园中设置的多层次视觉界面,利用前、中、后景的运动视差效应产生园林空间深度的不确定性、动态性感知。

同时,界面间相互遮挡时,同一光流轨道中相邻界面边界间的遮掩与显现效应,导致游观体验过程中视觉信息更新。如园林中水面边界多由其他属性界面的遮掩边界围合而成,视点移动过程中伴随新信息出现与旧信息消失,故水面呈现出不确定性、模糊性与动态性的特征。

## 5 总结与展望

本研究在全天球环境视觉信息记述法的基础上,结合全景投影类型、图形特征及投影变换等技术,为环境视觉信息的光学性流动提供二维可视化图示、量化分析手段,对视点移动过程中环境视信息的动态变化做补充研究。本研究提出的全景投影分析方

法,可为阐释园林游观体验提供新视角。相对三维空间的分析,二维投影图像在图像校准、光流位移测度等实际操作方面具有优势,但同时也存在与人们常规认知方式间的差异,不利于对分析结果的直观表达与理解。

本研究的测度分析方法旨在“投石问路”,通过光流位移和光流轨迹概念的提出,量化、可视化研究动态视觉信息。以留园作为案例分析,一定程度上体现了全景光流解析在实证研究中的可行性,但在分析对象的选取、数据的精细程度以及分析结果的讨论等方面存在局限。在后续的研究中将结合既有的理论基础,增加路径长度、样本数量和典型案例间的横向比较,对园林游观体验机制做进一步的讨论。

本研究从光学性流动入手探索诱发运动视觉的动因,对于光学性遮掩与显现、运动视差等游观体验现象与认知机制的分析方法将在后续研究做进一步讨论。同时,本研究侧重于环境视觉信息的记述与测度,未涉及体验者知觉感受与心理行为等因素的影响。在未来的研究中将结合眼动追踪、脑电波、

心电等生理检测技术,对动态环境视信息与主观认知行为之间的潜在关联性进行探讨。

#### 注释 (Notes):

① 冯纪忠对空间视觉界面的定义:“如果从一个视点扫视周围,那么看到的连续画面构成视点所在空间的视觉界面,这里称为界面者当然包括天地二面在内……”(详见参考文献[10])。

② 本研究所指的动态视觉信息为詹姆斯·吉布森的视觉生态学理论中的运动视知觉,包含光学性流动(optical flow)、运动视差(motion parallax)、光学遮掩与显现(optical occlusion and disocclusion)。

③ 二维图像(平面、透视图等)作为分析运动体验的媒介存在一定弊端:其无法呈现完整的、三维的环境视觉信息,且无法呈现动态视觉信息。这为准确、量化地分析动态环境视觉信息带来不便。

④ 全景相机采集、存储图像多为正射投影图,洞穴式自动虚拟环境(CAVE)应用中多为立方体投影。现有的环境视觉信息记述法多以等距圆柱投影作为静态视觉信息(如环境构成要素可视域)的二维分析媒介。

#### 参考文献 (References):

[1] GIBSON J J. The Ecological Approach to Visual Perception[M]. New York: Psychology Press, 1986.

[2] THIEL P. Processional Architecture[J]. Ekistics, 1964, 17(103): 410-413.

[3] 潘谷西. 苏州园林的观赏点和观赏路线[J]. 建筑学报, 1963 (6) : 14-18.

[4] 彭一刚. 中国古典园林分析[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986.

[5] 郭黛姮, 张锦秋. 苏州留园的建筑空间[J]. 建筑学报, 1963 (3) : 19-23.

[6] 吴越, 王冉然. 分形与城市规划[J]. 现代城市研究, 2010, 25 (4) : 53-57.

[7] 齐康, 黄伟康. 建筑群的观赏[J]. 建筑学报, 1963 (6) : 19-23.

[8] 封云. 步移景异: 古典园林的游赏之乐[J]. 同济大学学报(人文·社会科学版), 1997 (2) : 11-14.

[9] 乐志, 程云杉. 从画到园林: 苏州古典园林画面转换研究[J]. 中国园林, 2012, 28 (5) : 68-72.

[10] 冯纪忠. 组景刍议[J]. 中国园林, 2010, 26 (11) : 20-24.

[11] 刘滨谊, 张亭. 基于视觉感受的景观空间序列组织[J]. 中国园林, 2010, 26 (11) : 31-35.

[12] 刘滨谊, 范榕. 景观空间视觉吸引要素及其机制研究[J]. 中国园林, 2013, 29 (5) : 5-10.

[13] 刘滨谊. 风景园林主观感受的客观表出: 风景园林视觉感受量化评价的客观信息转译原理[J]. 中国园林, 2015, 31 (7) : 6-9.

[14] APPLEYARD D, LYNCH K, MYER J R. The View from the Road[J]. Economic Geography, 1964, 42(3): 119-124.

[15] CULLEN G. The Concise Townscape[M]. London: The Architectural Press, 1961.

[16] HALPRIN L. Motion[J]. Progressive Architecture, 1965.

[17] THIEL P. People, Paths, and Purpose: Notations for a Participatory Envirotecture[M]. Seattle: University of

Washington Press, 1997.

[18] BOSSELMANN P. The Berkeley Environmental Simulation Laboratory: A 12 Year Anniversary[J]. Philosophy, 1984, 1(1).

[19] HARRY H. JACK L N. Evaluating Environmental Scenes Using Dynamic Versus Static Displays[J]. Environment and Behavior, 2000, 32(3): 301-322.

[20] OHNO R. Concept of Ambient Vision and Description Method of Ambient Visual Information: A Study on Description Method of Ambient Visual Information and its Application (Part 1)[J]. Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering (Transaction of AIJ), 1993, 451: 85-92.

[21] 张炜, 周显杏, 杨梦琪. 全景绿视率自动识别和计算研究[J]. 风景园林, 2019, 26 (10) : 89-94.

[22] SUGITA S, NISHINA D, KOBAYASHI R, et al. A Study on Alternative Possibility of Psychological Evaluation of Exterior Space by Whole Sky Image Evaluation[J]. Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), 2018, 83(748): 235-245.

[23] AKIYAMA M, NISHINA D, SUGITA S, et al. A Study on Alternative Possibility of Whole Sky Image in Psychological Evaluation of Indoor Space[J]. Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), 2018, 83(748): 503-513.

[24] 布朗宁, 萨布卡特派桑, 姜珊, 等. 虚拟现实技术在绿色基础设施健康效益评估中的应用[J]. 风景园林, 2020, 27 (9) : 35-49.

[25] OHNO R. Studies on Environmental Perception During Locomotion: a Review of Empirical Studies by the Ohno Laboratory[J]. Japan Architectural Review, 2018, 1(2): 194-206.

[26] WARREN, R. The Perception of Egomotion[J]. Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance, 1976, 2(3): 448.

[27] UDAGAWA A, YAMASHITA T, SOEDA M, et al. Perception of Spatial Configuration Caused by Optical Flow of Visual Image: Part1: Psychophysical Experiments to Detect Occluding Edge[C]//Summaries of Technical Papers of Meeting Architectural Institute of Japan. Tokyo: Architectural Institute of Japan, 2000.

[28] KAPLAN S. Aesthetics, Affect, and Cognition: Environmental Preference from an Evolutionary Perspective[J]. Environment and Behavior, 1987, 19(1): 3-32.

[29] OHNO R, HATA T, KONDO M. Experiencing Japanese Gardens: Sensory Information and Behavior[M]//WAPNER S, DEMICK J, YAMAMOTOT, TAKAHASHI T, et al. Handbook of Japan-United States Environment-Behavior Research. New York: Plenum Press, 1997: 163-182.

[30] OHNO R, UDAGAWA A, SOEDA M. Effects of Emerging Scenes from the Occluding Edges on Visual Attention and Evaluation of the Landscape[J]. Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering (Transactions of AIJ), 2002(556): 197-203.

[31] KOBAYASHI M, OHNO R. Analysis of the Landscape of Kami-Ochaya Upper Area in Syugakuin-Rikyu Villa by Multi-Sensory Stimulus Information (Papers of the 18th Scientific Research Meeting)[J]. Journal of The Japanese Institute of Landscape Architecture, 2000, 63: 577-582.

[32] INAGAMI M, OHNO R. Anisotropy of Environmental Perception caused by Spatial Changes during Locomotion[J]. Journal of Environmental Psychology, 2009,

30(2): 258-266.

[33] NAOJI M, ATSUSHI H, TAKAFUMI I, KAZUMI K. About the Maximum Position and the Intensity of Anticipation in the Space of Curved Streets: A Study on Anticipation in Street Spaces[J]. Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering (Transactions of AIJ), 2005(589): 91-97.

[34] 王飒, 李奕昂. 中国古典园林造景手法的眼动实验研究: 景深与景框[J]. 新建筑, 2018 (3) : 15-19.

[35] 李奕昂, 王飒. 苏州文人园林曲桥路径对视线引导的实验研究[J]. 风景园林, 2019, 26 (11) : 120-125.

#### 图表来源 (Sources of Figures and Tables):

图 1 由作者根据参考文献[27]改绘, 图 2、4~12 由作者绘制, 图 3 由作者根据参考文献[20]改绘; 表 1 由作者根据参考文献[14-24]改绘; 表 2 由作者根据参考文献[25]改绘; 表 3 由作者根据参考文献[10-11, 28-35]改绘。

(编辑 / 李清清)