

# 黄浦江核心区滨水游憩流空间结构特征研究\*

## Spatial Structure Characteristics of Waterfront Recreation Flow in Core Area of the Huangpu River

向博文 魏伟 赵渺希 XIANG Bowen, WEI Wei, ZHAO Miaoxi

**摘要** 开展滨水游憩流网络研究的挑战在于,既有构建旅游流网络模型的方法聚焦于城市及以上空间尺度,不适合街坊层面的滨水游憩流网络研究。提出GNSS轨迹数据和AOI数据相交的游憩流网络模型构建方法,以黄浦江核心段为例,基于社会网络分析法研究其空间结构特征。结论如下:(1) 该方法可以较好地表征黄浦江核心段滨水游憩流空间结构,节点的程度中心性呈现出以滨水空间为轴线向两侧衰减的趋势,并形成了双核心区结构。高度中介性节点特征为江河交汇处、衔接了关联空间与滨水空间、连接了边缘节点与临江节点。(2) 网络整体呈现出流量倾斜、结构松散的特征,东岸流通性显著高于西岸,世博滨江段是网络核心路径,苏州河、南京路与世博轴是主要垂江轴线。(3) 网络以南浦大桥为分界线,可被划分为5个社区,各自呈现出线状或网状结构,社区间在关联地段缺少联系导致网络整体结构松散。

**Abstract** The challenge of waterfront recreation flow network research lies in that the existing methods of constructing the tourism flow network model focus on city and larger scale but are not suitable for neighborhood-level research. This paper proposes a recreation flow network model construction method based on the intersection of GNSS trajectory data and AOI data, and the spatial structure characteristics of the core section of the Huangpu River are studied based on the social network analysis method. The conclusion is as follows: (1) In the waterfront recreation flow network of the core section of the Huangpu River, the degree centrality of nodes shows a trend of attenuation to both sides with the waterfront space as the axis, and a double-core zone structure is formed. Highly intermediary nodes are characterized by river interchange, connecting associated space and waterfront space, and connecting edge node and riverfront node. (2) The network as a whole shows the characteristics of inclined flow and loose structure, and the circulation of the east bank is significantly higher than that of the west bank. The waterfront section of the Expo is the core path of the network, and the Suzhou River, Nanjing Road, and the Expo axis are the central vertical axis of the river. (3) The network can be divided into five communities by the Nanpu Bridge, each showing a linear or reticular structure. The lack of connections between communities in related areas leads to the loose overall structure of the network.

**关键词** 滨水游憩网络;社会网络分析;GNSS轨迹数据;兴趣面

**Key words** waterfront recreation network; social network analysis; GNSS trajectory data; area of point

文章编号 1673-8985 (2022) 06-0104-07 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. supr. 20220614

### 作者简介

#### 向博文

武汉大学城市设计学院  
博士研究生

#### 魏伟

武汉大学城市设计学院  
教授, 博士生导师

#### 赵渺希 (通信作者)

华南理工大学建筑学院  
亚热带建筑科学国家重点实验室  
教授, 博士生导师, arzhao@scut.edu.cn

线型滨水空间作为城市重要的游憩轴线,通过垂江通道连接了两岸游憩节点,形成了城市的滨江游憩景点系统。尽管规划师已经意识到,应将滨江空间置于更宏观空间尺度的游憩景点系统中进行规划<sup>[1]</sup>,并产出了如上海黄浦江贯通工程等一系列实践成果,但学者较少从游憩者角度对既有滨江空间游憩景点系统进

行评价和检验。旅游流是旅游者在旅游节点间活动过程中发生联结时建立的各种关系的总和<sup>[2]</sup>,是从旅游者角度系统考察区域景点空间结构的重要切入点。游憩流引申自旅游流,是指由于游憩者相似的游憩需求而引起的集体性空间位移现象<sup>[3]</sup>,主要探讨解释微观尺度游憩者流动。对典型地区的滨江空间游憩流结构

\*基金项目:国家重点研发计划项目“城市新区规划设计优化技术”(编号2018YFC0704603)资助。

特征进行分析研究,能够从游憩者的角度研究滨江游憩景点系统,改善就滨水空间滨水空间的孤立视角,为整体性地提升滨江空间游憩功能提供实践指导。

随着信息通信技术时代的来临,大数据使研究者可以对人类的行为进行大规模、客观、连续及实时的感知、观测和计算<sup>[4]</sup>。游记<sup>[5]</sup>、点评<sup>[6]</sup>、照片<sup>[7]</sup>等网络大数据被广泛运用在旅游流网络的构建上,在旅游流拓扑网络结构<sup>[8-10]</sup>、时空间结构特征与演变<sup>[11-13]</sup>、驱动机制和影响因素<sup>[14-16]</sup>等方面产出丰富成果。但囿于数据时空粒度大小以及网络模型构建技术手段的限制,既有研究在空间尺度上聚焦于城市级及以上,研究对象则聚焦于游客,缺少对本地居民步行游憩流网络的关注。以步行为主要移动方式的滨水游憩特征决定了滨水游憩流网络研究的层面往往是街坊层面,既有宏观尺度的旅游流网络构建数据和方法并不适用于滨水游憩流网络。随着以全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)为代表的定位技术的日趋成熟,通过移动定位设备(如手机)获取到的移动对象轨迹数据越来越多,而移动端网络社交平台的兴起,则进一步提升了众包(crowd sourcing)轨迹的数据量。众包轨迹数据是通过手机自愿上传到网络平台的GNSS轨迹数据,储存了市民以游憩为目的的步行活动信息,相较于粒度较大的游记数据与手机信令数据,其空间粒度精细到市民个体,时间粒度精细到秒,更加适用于研究由市民日常游憩活动所构成的滨水游憩流网络。

本文提出基于GNSS轨迹数据的城市街坊层面的游憩流网络模型构建方法,通过社会网络分析法(Social Network Analysis, SNA)研究上海黄浦江核心区滨水游憩流网络结构特征,为滨江游憩系统提供理论与实践参考。

## 1 研究区域与数据收集

### 1.1 研究区域

本文选择上海市黄浦江核心段作为案例地,《黄浦江两岸地区公共空间建设设计导则》<sup>[17]</sup>

(以下简称“《导则》”)将核心段范围定义为杨浦大桥至徐浦大桥之间的黄浦江滨江公共空间,两岸长度总计45 km。2017年年底,上海市宣布基本实现黄浦江核心区的贯通开放,随后提出新的3年计划进一步推动滨水空间的内部连续以及滨水空间与两岸腹地的连接<sup>[18]</sup>。因此有必要从游憩者的角度对既有贯通格局进行“验收”。

为分别研究滨水空间的内部连通及其与城市腹地的连接能力,提出两个空间范围:滨水空间与关联地段。依据《导则》定义滨水空间为:滨江两侧至第一条市政道路之间的空间,具体的范围与区段名如图1、表1所示,表中各区段对应的编号为后文中游憩流网络中的节点编号。鉴于腹地作为专有名词较少被用于游憩研究中,本文提出“关联地段”并定义为:距离城市某一水域一定范围内的区域,有潜力与滨水空间产生游憩流的交换,具体空间范围是指滨江两侧第一条市政道路之外的空间。

### 1.2 轨迹数据获取与处理

#### 1.2.1 GNSS众包轨迹数据特征

国内对游憩的普遍定义是当地居民处于日常环境中休闲或者使人恢复精力体力的活动<sup>[19]</sup>。鉴于游憩活动类型庞杂,研究数据难以全部覆盖,本文聚焦于游憩流中的一种,即当地居民在城市滨水空间中进行步行游憩活动时,所产生的集体性空间位移现象。“户外助手”是国内用户量最大的可记录轨迹的户外游憩类APP,其数据多为当地居民在进行户外徒步活动时主动上传至该APP的GNSS轨迹数据,属于游憩数据中的一种,符合本文研究数据的需要。

轨迹数据是带有位置标记和时间戳标记的采样点的集合<sup>[20]</sup>,常见的轨迹数据包括出租车数据、手机信令数据、银行卡数据等。相较于上述数据,户外助手轨迹数据的时空粒度更加精细,其采样对象为用户个体(手机),采样位置数据类型为经纬度组成的地理坐标,采样方式包括按时间采样和按事件采样。其中,按

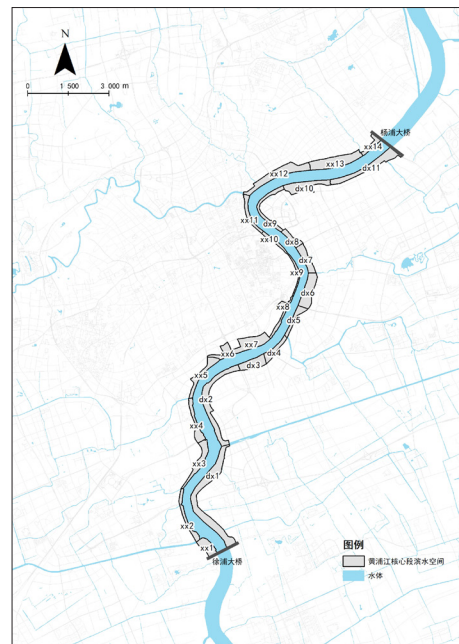


图1 黄浦江核心区滨水空间范围平面图  
Fig.1 Waterfront space in the core section of the Huangpu River

资料来源:笔者自绘。

表1 黄浦江核心区各区段汇总表  
Tab.1 Summary of the core section of the Huangpu River

编号	区段名(西岸)	编号	区段名(东岸)
xx1	徐汇滨江段 I	dx1	前滩段
xx2	徐汇滨江段 II	dx2	后滩段
xx3	徐汇滨江段 III	dx3	世博浦东段 I
xx4	徐汇滨江段 IV	dx4	世博浦东段 II
xx5	徐汇滨江段 V	dx5	南码头段
xx6	南国绿地带	dx6	南浦大桥北段
xx7	世博浦西段	dx7	老白渡滨江绿地
xx8	黄浦体育园段	dx8	东昌绿地段
xx9	南外滩段	dx9	小陆家嘴段
xx10	十六铺段	dx10	上海船厂段 I
xx11	外滩段	dx11	上海船厂段 II
xx12	北外滩片区		
xx13	杨浦滨江段 I		
xx14	杨浦滨江段 II		

资料来源:笔者自制。

时间采样会生成普通采样点,按事件采样会生成标记点,其形式如下:

$$NP = ([x, y], T) \quad (1)$$

$$SP = ([x, y], T, I) \quad (2)$$

式中:NP是普通采样点, x为经度, y为纬度, T为采样时间,采样间隔时间为10—20 s,是目前既有轨迹数据中时空粒度较高

的数据类型,适合街坊层面的研究;SP是标记点,当用户使用了该APP某些功能时(标记起点、终点和兴趣点),当前采样点就会被列为标记点,并在当前采样点中记录相应事件I。

### 1.2.2 GNSS众包轨迹数据获取与预处理

利用Python语言编写爬虫代码从“户外助手”的官方网站爬取数据,以上海市各区为搜索关键词,并对应于黄浦江3年行动计划时间,选择居民在2018年1月到2019年12月两个整年范围内上传的轨迹数据。过去去重、删除异常文件等操作后获得数据20 622条,数据格式为XML (Extensible Markup Language,可扩展标记语言)。为便于后续操作,将轨迹数据汇总为CSV (Comma-Separated Values,逗号分隔值)格式。具体如表2所示,表格的一行储存一个采样点的完整数据,包括经度(Lat)、纬度(Lng)、采样时间(Time)、所属轨迹编号(TrackId)、是否为标志点(SP)。

为了降低电脑运算量,需要对轨迹数据进行压缩。本文采用“时间—事件”<sup>[21]</sup>压缩方法:搜索前后两个采样时间间隔在45s以上的采样点,并舍弃中间非标记点的采样点,剩下的数据就是压缩完毕后的轨迹采样点数据。

## 2 模型构建与研究方法

### 2.1 游憩流网络模型构建方法

既有基于轨迹数据构建游憩流网络的方法较少,汪芳<sup>[22]</sup>在一种生成文化景点间功能结构的方法中提出:基于兴趣点(Point of Interest, POI)数据生成一定范围的缓冲区,与轨迹数据相交则判断该轨迹经过了景点,从

而形成景点序列。这个方法虽然快捷,但是由于POI生成的缓冲区范围不一定符合实际情况,生成数据的准确度有待确定。

AOI (Area of Interest, 兴趣面) 是相对于POI而被提出来的面数据,指地图数据中的区域状的地理实体。相较于点数据,面数据更加准确地描绘了某一个广场或者公园的实际地理范围,空间粒度更为精细,可以更加精确地判断游憩者的轨迹是否经过了景点。因此,本文提出基于AOI数据与轨迹数据相交来构建游憩流网络模型的方法。

(1) 确定游憩流网络范围和选择游憩节点  
基于“滨水空间对人的诱惑距离为1—3 km”<sup>[23]</sup>这一观点,本文选择距离黄浦江核心段5 km以内的范围为研究范围,并在ArcMap中分别绘制滨水空间和关联地段中游憩节点的AOI数据。首先,对照卫星地图绘制黄浦江核心段各区段面数据作为滨水空间的游憩节点AOI数据。然后,绘制关联地段中的游憩节点:在高德地图中以风景名胜、科教文化服务、体育休闲设施为大类,下载AOI数据并导入ArcMap;收集既有关于黄浦江开放空间研究以及相关政策文件中提及的重要开放空间节点,补齐重要节点的AOI数据;鉴于苏州河等河流与黄浦江交汇共同构成河网影响着居民的游憩行为,因此也绘制了这些河流的滨水空间,绘制规则与黄浦江核心区滨江空间规则一致,即岸线与第一市政路之间的空间。

#### (2) 获取滨水游憩轨迹数据

将滨水轨迹数据定义为:空间上经过了黄浦江核心段范围的轨迹数据。获取数据的具体操

作为:将轨迹数据导入ArcMap软件中生成点数据(.Shapefile),通过“按位置选择”功能,获取落在黄浦江核心段面数据范围内的轨迹点。

#### (3) 确定游憩流网络路径

游憩流网络路径即游憩节点之间的联系。本文侧重于以游憩者步行活动为行为主体,通过游憩者在游憩节点之间的流动路径表征游憩流网络结构。如一名游憩者在一次游憩中,依次经过了A、B、C这三个节点,则表示3个游憩节点间依次存在联系,形成了A→B→C的游憩节点路径。具体操作为:在ArcMap中遍历每一条滨水轨迹数据,通过与步骤(1)所得的游憩节点相交获取轨迹经过的游憩节点,并基于时间排序得到游憩节点路径。

#### (4) 构建游憩节点网络矩阵

将步骤(3)所得的游憩节点路径转化为游憩节点网络矩阵。遍历每一条游憩节点路径,通过前后节点配对的方式生成节点对,统计节点对组合及组合数量,分别作为游憩流网络的边和流量并储存为矩阵格式。例如存在3条节点路径为A→B→C、B→C→D、B→A,则可得到A→B、B→A和C→D的流量为1,以及B→C的流量为2,转为如图2所示的非对称矩阵形式。图中,行和列代表游憩节点,数字代表两个节点之间游憩流的流量,如0表示没有联系,2表示存在2次联系。

### 2.2 社会网络分析法

社会网络分析法是基于图论的思想从群体动力学角度来考察社会实体间的关系连接及其结构特征的一种研究范式<sup>[24]</sup>,拥有一套较为成熟的研究框架和指标,并在近些年来被广泛应用于在旅游、资金、交通、疫情传播等各种流动网络结构分析中。本文即使用Gephi软件从规模密度、中心性、社区划分等分析模块评价黄浦江核心段滨水游憩流网络结构特征<sup>[25]</sup>。

## 3 研究结果与分析

### 3.1 网络节点拓扑特征

根据上述方法构建黄浦江核心段滨水游憩流网络模型。鉴于节点间流量越小,其产生

表2 轨迹数据的CSV形式(示例)

Tab.2 CSV format of trajectory data (example)

Lat	Lng	Time	TrackId	SP
113.31396	23.10973	2017-10-20 11:52:16	0	False
113.31280	23.10951	2017-10-20 11:53:48	0	True
113.21413	23.02310	2018-07-03 15:23:43	1	False
113.21412	23.02313	2018-07-03 15:24:01	1	False

资料来源:笔者自制。

	A	B	C	D
A	0	1	0	0
B	1	0	2	0
C	0	0	0	1
D	0	0	0	0

图2 游憩节点网络矩阵(示例)

Fig.2 Matrix of recreation node network (example)

资料来源:笔者自绘。

的偶然性越大,需要对其进行一定的阈值控制。筛选流量小于3的边,保留81%的整体流量,最后得到由109个节点、542条边构成的有权有向网络图。在Gephi中计算节点的程度中心性与中介中心性(见表3)。

### 3.1.1 程度中心性

程度中心性(以下简称“加权重”)反映了节点接收和放出流量的强度,可以直观体现哪些节点在网络中居于核心地位。在ArcMap中绘制黄浦江核心段滨江游憩网络平面图(见图3)。发现加权度的空间分布呈现以下特征:(1)以江为主轴,加权重向两侧关联地段衰减。黄浦江核心段的滨水空间构成了大部分的高加权重节点,形成了一条高流量的游憩主轴

线。游憩节点的加权重向这条轴线的两侧衰减,体现出滨水空间在滨水游憩流网络中的统筹地位。(2)高加权重节点形成双核心区格局。一是“世博会—徐汇滨江片区”,由后滩段—南码头段(dx2—dx5)、世博轴和南国绿地—世博浦西段(xx6—xx7)构成。二是“陆家嘴—外滩—北外滩”,包括东昌绿地—上海船厂段I(dx8—dx10)、外滩段—北外滩段(xx11—xx12)、万国博览建筑群。这些节点在整体网络结构中具有较强的连接和集散功能,是滨水游憩系统中的游憩集散中心,向游憩者提供信息咨询、游憩商品等服务,指导游憩者向其他节点转移。(3)网络的外围节点易成为低加权重节点。部分游憩节点处于网络的

外围,如苏州河、川杨河等河流的后半段以及太平桥公园、世纪公园等。这些节点与滨江段有较大的地理距离,难以吸引滨江游憩者的到访,因此处在明显的边缘地位,完善边缘节点游憩基础设施,加强与核心游憩节点联系,合理规划游憩线路并优化节点间街巷的步行友好性尤为重要。

### 3.1.2 中介中心性

中介中心性描述了游憩节点在整个网络中作为中介媒介的能力,反映了节点对网络中游憩者流动的控制能力。笔者发现高中介性的节点主要同时连接了多个游憩子系统的枢纽节点,具体而言有以下3类:(1)关联地段与滨水空间的连接节点。由前述分析可知,滨水游憩网络可被划分为滨水游憩系统和关联地段游憩系统,连接着这两个子系统的临江节点控制着游憩流在滨水空间与关联地段之间的流动,普遍拥有较高的中介性。例如南京路(0.164)作为著名的商业街,是南京路片区和外滩间的游憩流阀门,世博轴(0.139)是世博浦东段与世博区的游憩流阀门。(2)江河交汇处的连接节点。苏州河、川杨河等河流作为

表3 网络节点特征(加权重排名前50)

Tab.3 Network node characteristics

序号	节点	加权重	中介性	序号	节点	加权重	中介性
1	dx3	2 614	0.014	26	万国体育中心	434	0.000
2	dx4	2 065	0.008	27	xx14	392	0.073
3	dx2	1 569	0.040	28	bs1	364	0.046
4	dx5	1 567	0.106	29	金融广场	261	0.008
5	世博轴	1 538	0.139	30	xx4	257	0.000
6	dx9	1 445	0.068	31	八佰伴商厦	236	0.012
7	dx8	1 415	0.041	32	正大广场	226	0.002
8	dx7	1 320	0.049	33	ns1	218	0.002
9	dx10	1 120	0.017	34	cy1	201	0.075
10	xx12	1 107	0.135	35	xx3	179	0.010
11	dx6	1 081	0.125	36	汽车公园	178	0.000
12	xx11	1 066	0.091	37	dw_a	168	0.000
13	xx6	904	0.071	38	ns2	161	0.051
14	xx7	832	0.164	39	上海湾	140	0.010
15	万国博览	821	0.106	40	白玉兰广场	138	0.001
16	dx11	716	0.050	41	东方明珠	132	0.010
17	xx13	691	0.057	42	bs2	131	0.019
18	xx8	680	0.014	43	xx2	128	0.001
19	xx9	668	0.228	44	世博展览馆	119	0.000
20	xx5	622	0.016	45	bs3	117	0.117
21	中华艺术宫	587	0.002	46	陆家嘴绿地	117	0.015
22	dx1	546	0.036	47	阳光休闲广场	115	0.039
23	721广场	501	0.165	48	明珠广场	112	0.001
24	xx10	493	0.022	49	ns5	105	0.057
25	南京路	438	0.164	50	ns3	104	0.037

注:xx、dx分别为黄浦江核心段西、东岸节点,详见表1;ns、bs分别为苏州河南、北岸节点;cy为川杨河节点。

资料来源:笔者自制。

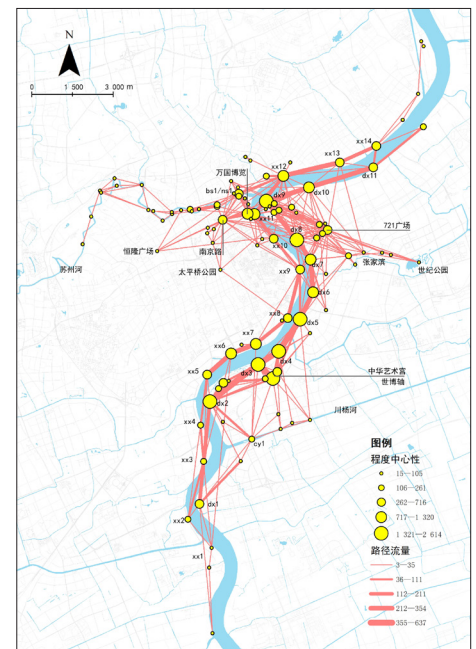


图3 黄浦江核心区滨水游憩网络平面图

Fig.3 Waterfront recreation network map of the Huangpu River core area

资料来源:笔者自绘。

线性景观易于形成网络距离较长的滨河游憩路径,江河交汇处的节点是游憩流在滨河游憩路径与黄浦江滨水游憩系统之间的阀门,影响着多个游憩节点,因此具有较高的中心性。(3)连接了关联地段外围游憩子系统的节点。当游憩路径向关联地段深处蔓延时,会形成较为孤立的线状游憩子系统,连接着这些孤立游憩子系统和网络核心节点的游憩节点,往往有着较高的中介中心性,例如恒隆广场(0.123)是苏州河后段与黄浦江滨水段的重要连接枢纽,721广场(0.165)同时连接了小陆家嘴滨江段和陆家嘴外围的关联地段节点如世纪公园。这些节点加强了相关游憩子系统间的联系,但由于缺乏替代性的游憩节点,可能造成游憩流瓶颈问题,因此应完善这些节点引导和疏散游憩者的功能,构建平行的游憩节点与路径进行分流。

### 3.2 游憩流网络空间整体特征分析

#### 3.2.1 不同流量控制下的游憩流网络特征

流量直观地体现了各个节点之间的联系强度,通过控制整体流量观察游憩流网络的整体特征。基于自然间断法,对流量进行分级,在Gephi中得到5组路径下的游憩流网络拓扑图(见图4),相关统计指标如表4。(1)当流量阈值为3时,共108个游憩节点、542条路径,游憩流网络呈现出较为复杂的网状空间格局,网络密度仅为0.06,说明黄浦江核心区段大部分游憩节点间不存在联系,网络的加权度中心势极高(88.52%)说明加权度分布十分不均衡,呈现出多个弱节点和较少强节点共存的特征,中介中心势相对较高(20.13%)说明网络中存在多个游憩子系统,这些子系统间只通过少量节点发生连接。(2)当流量阈值为36时,流量占比减少了近30%,主要是关联地带中的低流量路径与节点大幅度减少,网络呈现出较为明显的双核心区空间结构,并出现了如苏州河(ns1—ns3)、万国博览建筑群—南京路商业街等线状垂江路径,这种线状结构导致网络密度的下降与中介中心势的上升。(3)当流量阈值提升至112和212时,关联地段中的节点进一

表4 路径流量分级

Tab.4 The classification of edges based on flow

流量分区	节点量/个	路径量/条	网络密度	流量占比/%	平均流量	程度中心性/%	中介中心性/%
637—355	4	5	0.400	14.2	478.80	64.56	70.83
637—212	17	22	0.103	41.9	322.36	73.24	15.89
637—112	24	40	0.076	59.6	251.95	70.27	10.01
637—36	43	85	0.053	76.2	151.65	77.50	33.74
637—3	108	542	0.060	100.0	31.21	88.52	20.13

资料来源:笔者自制。

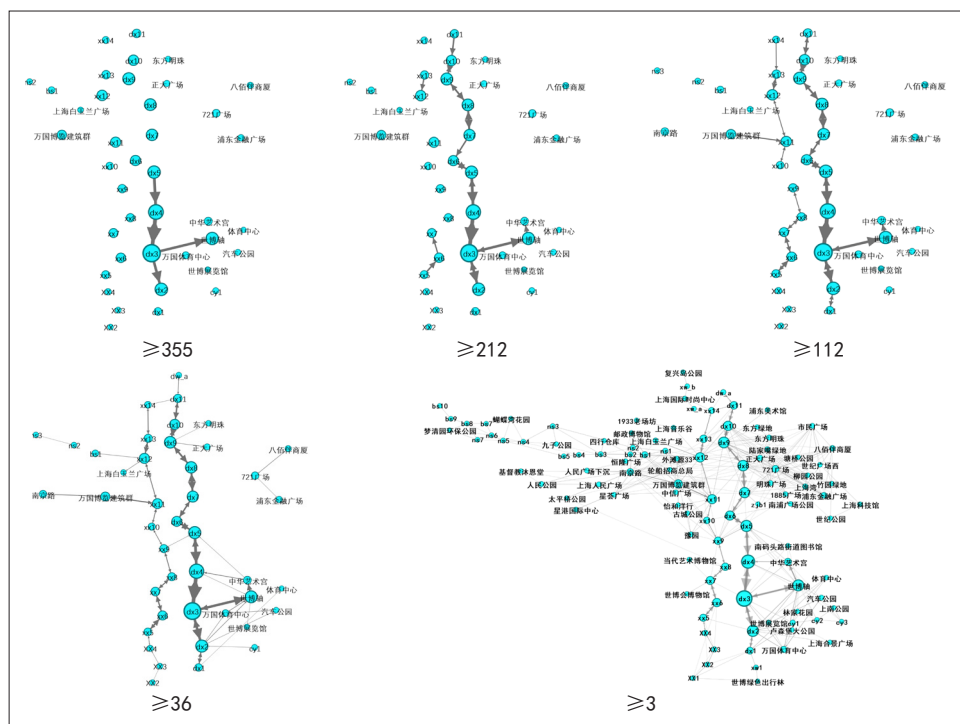


图4 不同流量控制下节点之间流动网络  
Fig.4 Networks in different volume of flow

资料来源:笔者自绘。

步减少,核心段西岸的节点只保留了徐汇滨江段与外滩段,东岸滨江路径则相对完整,保留了基本的双核心结构。网络的程度中心势与中介中心势持续降低,网络密度持续上升,说明网络的紧密度和均衡性在持续上升。(4)当流量阈值提升至355时,网络中仅剩位于世博片区的4个节点和5条路径,形成了T字型的空间结构,平均流量高达478.8。程度中心性虽然有所降低但仍然高达60%以上,说明流量的分布仍然不均。从以上不同流量控制下的游憩流网络指标数值变化可知,随着流量阈值的不断增加,平均流量和网络密度呈现上升趋势,而节点数、路径数和流量占比则有所减少,网络密

度和中心势并未呈现出相关性。同时,核心游憩节点和主要路径不断呈现,东岸的连通性普遍优于西岸,其中,世博滨江段(dx5—dx2)是两岸的核心路径,苏州河、南京路—外滩、世博轴—世博浦东段是重要的垂江路径。

#### 3.2.2 游憩流网络社区分析

社区是复杂网络节点集合的若干子集,每个子集内部的节点之间的连接相对紧密,而不同子集节点之间的连接相对稀疏。黄浦江滨水空间作为天然的线性景观,在沿岸两侧组织起各个游憩社区。这些社区内部自成体系,社区之间又互相连接,构成完整的黄浦江核心区滨江游憩流网络。从社区层面研究滨水空间可以

更加有层次地分析滨水游憩流网络结构。本文采用Lambiotte基于模块度 (Modularity) [26]所提出的算法,在Gephi中进行社区划分,得到社区网络图(见图5)以及网络特征表(见表5)。

本文共得到5个社区,模块度较高(0.627),说明社区划分的结果较好。其中,社区0占据了最多的流量(36.58%),由前滩段—南码头段作为滨江轴线,世博轴和川杨河作为两条垂江轴线,形成了网状的滨水游憩社区。社区1有最高的加权重中心势(83.11%)和最低的网络密度(0.129),说明网络结构松散且流量倾斜,由南外滩段—杨浦滨江段作为滨江轴线,以南京路与苏州河前半段构成两条垂江轴线,与北外滩段形成网状+线状的结构。社区2中关联空间节点较少,大部分由徐汇滨江段—黄浦体育园段构成,形成了线状结构。社区3由南浦大桥北段—上海船厂段作为滨江轴线,以东方明珠、721广场、世纪公园等作为重要节点,形成网状社区,但是缺少高流量的垂江轴线。社区4占据了最低的流量(2.03%),是唯一独立于黄浦江的社区,由苏州河西藏路桥—曹杨路桥构成线状结构。整体而言,以南浦大桥为分界线,黄浦江游憩流网络可划分成5个社区,社区的密度普遍较低且中心势普遍较高,说明网络结构松散且流量不均。社区间的联系主要集中在滨水地段之间,关联地段之间的联系较少,因此有必要构建关联地段节点间的游憩路径,从整体上优化滨水游憩流网络的结构。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

以黄浦江核心段为研究案例区域,利用GNSS轨迹数据构建滨水游憩流网络,基于社会网络分析法分析黄浦江核心段游憩流网络空间分布特征、网络整体特征与节点分布特征,结论如下:

(1) 在黄浦江核心段滨水游憩流网络中,节点的程度中心性呈现出以滨水空间为轴线向两侧衰减的趋势,并形成了“世博会—徐汇滨江片区”与“陆家嘴—外滩—北外滩”的双核心区结构。高度中介性节点的节点特征则

表5 社区网络特征

Tab.5 Features of social network

社区	范围(滨江空间)	节点数/个	网络密度	流量占比/%	加权重中心势/%	空间结构
0	前滩段—南码头段	21	0.267	36.58	78.98	双轴网状
1	南外滩段—杨浦滨江段	37	0.129	21.81	83.11	双轴网状+线状
2	徐汇滨江段—黄浦体育园段	11	0.309	13.07	56.96	线状
3	南浦大桥北段—上海船厂段	27	0.305	27.96	76.55	单轴网状
4	苏州河西藏路桥—曹杨路桥	12	0.273	2.03	54.26	线状

资料来源:笔者自制。

表现为:江河交汇处节点、衔接了关联地段与滨水空间的节点、连接了边缘节点与临江水系统的节点。

(2) 网络整体呈现出流量倾斜、结构松散的特征。在网络流量有序控制中,核心节点和主要路径不断呈现,大量流量集中于极少部分的路径,东岸流通性显著高于西岸,世博滨江段是网络核心路径,苏州河、南京路—外滩、世博轴—世博浦东段则是主要的垂江路径,但在关联地段中缺少与江体平行的轴线。

(3) 以南浦大桥为分界线,游憩流网络可被划分为5个社区。社区呈现出网状或线状空间格局,社区间的流量和路径广泛集中于滨水空间,而在关联地段中缺少联系,导致游憩流网络的整体结构松散。

### 4.2 讨论

笔者发现黄浦江核心段滨水游憩流网络对标于新3年计划所提出来的“对外拓展”的行动目标仍有一段距离,主要体现在滨水空间与关联地段的联系不紧密,游憩系统的网络化程度有待加强。基于上述分析,从网络节点和社区两个层面提出优化策略与建议:(1) 高加权重和中介性节点应继续发挥其辐射作用与流量阀门功能,打通这些节点与边缘节点之间的联系,如通过在节点中设置标志物、指示牌,构建游憩路线,优化相应街巷步行空间品质等方式引导游憩流的流动,从而形成具有整体性、系统性的游憩网络。(2) 对于已经呈现出网状结构的社区,应加强既有轴线间的联系,从而强化网状游憩体系,在此基础上向关联地段拓展,通过垂江轴线强化与边缘节点的联系,扩大网络规模。优化线状结构社区的方式

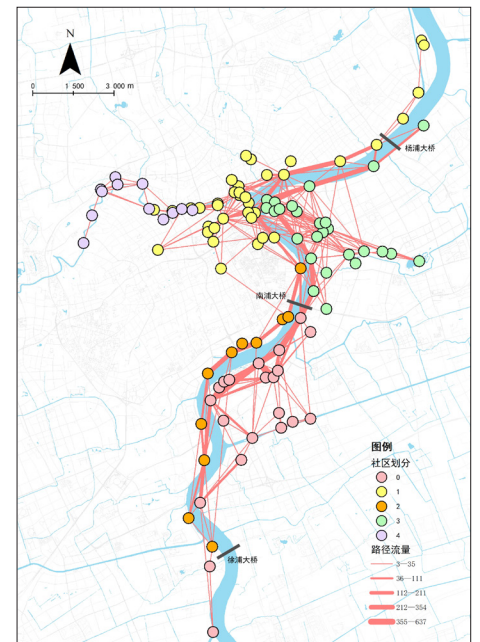


图5 黄浦江核心区滨水游憩网络社区图  
Fig.5 Waterfront recreation network community map of the Huangpu River core area

资料来源:笔者自绘。

则是在关联地段中增设游憩点轴,加强关联地段与滨江地段间的联系,一是构建如南京路等开放空间的垂江游憩空间,二是积极推行“点”状游憩空间发展模式,在主要的垂江道路上增设可停放、开放共享式的游憩空间,构建垂江轴线,将线状结构优化为网状结构。

本文的创新之处在于提出GNSS轨迹数据与AOI数据相交构建滨水游憩流网络模型的方法,能够在街坊空间尺度上拓展游憩流网络研究;同时提出了关联地段与滨水空间,从游憩流网络视角考察滨水游憩功能,增益于滨水游憩系统的实证研究。但本文也存在一定的不足之处:一是本文数据来源“户外助手”APP的用户使用场景多为户外徒步,只代表了游憩活动中的一种,其游憩流无法表征居民在进行

其他滨水游憩活动时所形成的流动网络;二是未能深入探讨塑造游憩流网络的影响因素与动力机制。游憩流网络是游憩者与游憩环境耦合的结果,城市的景观空间结构、交通空间结构、文化空间结构等都会影响游憩流的扩散,而游憩者的属性特征同样也是塑造游憩流网络结构的重要因素。

## 参考文献 References

- [1] 褚筠. 健康导向下的城市滨水空间形态模式研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.  
CHU Jun. Study on the spatial pattern of urban waterfront under the guidance of health[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2010.
- [2] 杨兴柱, 顾朝林, 王群. 南京市旅游流网络结构构建[J]. 地理学报, 2007(6): 609-620.  
YANG Xingzhu, GU Chaolin, WANG Qun. Urban tourism flow network structure construction in Nanjing[J]. Acta Geographica Sinica, 2007(6): 609-620.
- [3] 张佑印, 顾静, 马耀峰. 旅游流研究的进展、评价与展望[J]. 旅游学刊, 2013, 28(6): 38-46.  
ZHANG Youyin, GU Jing, MA Yaofeng. Tourist flow: research progress, evaluation and outlook[J]. Tourism Tribune, 2013, 28(6): 38-46.
- [4] 陈虹, 刘雨菡. “互联网+”时代的城市空间影响及规划变革[J]. 规划师, 2016, 32(4): 5-10.  
CHEN Hong, LIU Yuhan. The impact and planning reform of “internet+” to city space[J]. Planners, 2016, 32(4): 5-10.
- [5] 周慧玲, 许春晓. 基于游记行程的湖南旅游流空间网络结构特征[J]. 经济地理, 2016, 36(10): 201-206.  
ZHOU Huiling, XU Chunxiao. Study on spatial network structure of Hunan tourist flow based on travel arrangement[J]. Economic Geography, 2016, 36(10): 201-206.
- [6] 许亚元, 姚国荣. 基于在线点评的黄山风景区旅游形象感知研究[J]. 世界地理研究, 2016, 25(2): 158-168.  
XU Yayuan, YAO Guorong. Study on image perception of Huangshan Mountain based on online reviews[J]. World Regional Studies, 2016, 25(2): 158-168.
- [7] 王朝辉, 汤陈松, 乔浩浩, 等. 基于数字足迹的乡村旅游流空间结构特征——以浙江省湖州市为例[J]. 经济地理, 2020, 40(3): 225-233, 240.  
WANG Zhaohui, TANG Chensong, QIAO Haohao, et al. Spatial structure characteristics of rural tourism flow based on digital footprint: taking Huzhou City in Zhejiang Province for example[J]. Economic Geography, 2020, 40(3): 225-233, 240.
- [8] 刘大均, 陈君子, 贾焱焱. 高铁影响下成渝城市群旅游流网络的变化特征[J]. 世界地理研究, 2020, 29(3): 549-556.  
LIU Dajun, CHEN Junzi, JIA Yaoyan. Characteristic of tourist flow network in Chengzhou-Chongqing urban agglomeration under the influence of high-speed railway[J]. World Regional Studies, 2020, 29(3): 549-556.
- [9] 吴姗姗, 王录仓, 刘海洋. 黄河流域旅游流网络结构特征研究[J]. 经济地理, 2020, 40(10): 202-212.  
WU Shanshan, WANG Lucang, LIU Haiyang. Study on the structural characteristics of tourism flow network in the Yellow River Basin[J]. Economic Geography, 2020, 40(10): 202-212.
- [10] LAZZERETTI L, PETRILLO C S. Tourism local systems and networking[M]. Amsterdam: Elsevier Science, 2013.
- [11] 姚梦汝, 陈焱焱, 周桢津, 等. 中国—东盟旅游流网络结构特征与重心轨迹演变[J]. 经济地理, 2018, 38(7): 181-189.  
YAO Mengru, CHEN Yanming, ZHOU Zhenjin, et al. The evolution of structural features and gravity center for China-ASEAN tourist flow network[J]. Economic Geography, 2018, 38(7): 181-189.
- [12] 阮文奇, 郑向敏. 城市群旅游经济网络的空间结构与权力演变[J]. 资源开发与市场, 2017, 33(5): 635-640.  
RUAN Wenqi, ZHENG Xiangmin. Spatial structure and power evolution of tourism economic network of urban agglomeration[J]. Resource Development and Market, 2017, 33(5): 635-640.
- [13] 万田户, 黄和平. 江西省入境旅游流时空演变研究[J]. 世界地理研究, 2014, 23(3): 128-139.  
WAN Tianhu, HUANG Heping. Temporal and spatial variation research of inbound tourist flow in Jiangxi[J]. World Regional Studies, 2014, 23(3): 128-139.
- [14] 赵多平, 曹兰州. 宁夏入境旅游时空演化特征及驱动因素研究[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2019, 55(2): 127-134.  
ZHAO Duoping, CAO Lanzhou. A study on the spatial-temporal evolution and driving factors of inbound tourism in Ningxia[J]. Journal of Northwest Normal University (Natural Science Edition), 2019, 55(2): 127-134.
- [15] 姚云霞, 管卫华, 李在军. 江苏省入境旅游流的时空演变及影响因素分析[J]. 旅游科学, 2016, 30(5): 52-62.  
YAO Yunxia, GUAN Weihua, LI Zaijun. An analysis of the temporal-spatial evolution of inbound tourist flow of Jiangsu Province and its influencing factors[J]. Tourism Science, 2016, 30(5): 52-62.
- [16] 闫闪闪, 靳诚. 市域内部旅游流空间扩散动力机制——以洛阳市为例[J]. 人文地理, 2019, 34(5): 149-158.  
YAN Shanshan, JIN Cheng. The dynamic mechanism of the city domestic tourist flow space: a case study of Luoyang[J]. Human Geography, 2019, 34(5): 149-158.
- [17] 沪浦江办. 黄浦江两岸地区公共空间建设设计导则(2017年版)[Z]. 2017.  
Hupu River Office. Guidelines for the construction design of public space on both sides of the Huangpu River (2017 edition)[Z]. 2017.
- [18] 沪浦江办. 黄浦江两岸地区公共空间建设三年行动计划(2018年—2020年)[Z]. 2018.  
Hupu River Office. Three-year action plan for the construction of public space in the region on both banks of the Huangpu River (2018-2020)[Z]. 2018.
- [19] 吴必虎. 旅游是什么: 评《旅游学纵横: 学界五人对话录》[J]. 旅游学刊, 2014, 29(2): 121-124.  
WU Bihu. A comment on *Dialogue on Tourism Studies: what is tourism?*[J]. Tourism Tribune, 2014, 29(2): 121-124.
- [20] 刘大有, 陈慧灵, 齐红, 等. 时空数据挖掘研究进展[J]. 计算机研究与发展, 2013, 50(2): 225-239.  
LIU Dayou, CHEN Huiling, QI Hong, et al. Advances in spatiotemporal data mining[J]. Journal of Computer Research and Development, 2013, 50(2): 225-239.
- [21] 梁明, 陈文静, 段平, 等. 轨迹压缩的典型方法评价[J]. 测绘通报, 2019(4): 60-64, 70.  
LIANG Ming, CHEN Wenjing, DUAN Ping, et al. Evaluation for typical compression method of trajectory data[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2019(4): 60-64, 70.
- [22] 汪芳, 刘钊, 彭晓, 等. 一种基于网络数据的跨区域文化景观间功能结构规划方法: CN109002961A[P]. 2018.  
WANG Fang, LIU Zhao, PENG Xiao, et al. A method for planning interregional functional structure of cultural landscape based on network data: CN109002961A[P]. 2018.
- [23] 张沛佩. 城市滨水空间活力营造初探[D]. 长沙: 中南大学, 2009.  
ZHANG Peipei. Preliminary study on building vitality of urban waterfront space[D]. Changsha: Central South University, 2009.
- [24] WASSERMAN S, FAUST, K. Social network analysis: methods and applications[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- [25] 刘军. 整体网分析: UCINET软件实用指南(第二版)[M]. 上海: 格致出版社, 2014.  
LIU Jun. Integral network analysis: UCINET software practical guide (second edition)[M]. Shanghai: Gezhi Publishing House, 2014.
- [26] LAMBIOTTE R, DELVENNE J C, BARAHONA M. Dynamics and modular structure in networks[R]. 2008.