武汉市中心城区湖泊空间类型、开放程度及空间分布特征

张祚^{①②}, 谭术魁^{①*}, 周敏^①

① 华中科技大学公共管理学院, 武汉 430074;

② 湖北大学商学院, 武汉 430062

* E-mail: tansk@126.com

收稿日期: 2014-03-26; 接受日期: 2014-04-24

国家自然科学基金(批准号: 41201164)、教育部人文社会科学研究基金(批准号: 12YJCZH299)和中国博士后科学基金(批准号: 2012M521420)资助项目

摘要 兼具自然功能和社会功能的城市湖泊是城市开放空间的重要组成部分. 提高城市湖泊滨水空间的开敞程度、可进入程度是提升城市形象和人居环境质量的重要方面, 也是构建可持续城市的必要条件. 被誉为“百湖之市”的武汉市长期陷于“优于水而忧于水”困境中. 房地产开发的持续升温 and “湖景房”的兴起导致武汉市湖泊数量和水面的进一步减少和萎缩. 为应对挑战, 更合理的开发和保护城市湖泊, 武汉市加大了对湖泊的规划和管理力度. 本文以武汉市中心城区城市湖泊作为研究对象, 基于“城市空间发展边界”对城市湖泊与中心城区空间关系进行了划分. 选取和构建测度环湖开敞空间、可见水道路比例等相关指标及其相应人均指标, 并分别进行计算. 综合运用 GIS 工具、距离分析、Kernel 密度分析等方法对所选湖泊开放程度量化结果的空间分布特征进行分析, 并对“湖在城中”、“湖在城边”两种不同类型湖泊的各种指标差异进行对比分析, 从而为深化城市发展与湖泊空间关系的理解, 提升城市规划和管理的科学性提供支撑.

关键词

城市湖泊
空间类型
开放程度
空间分布
武汉

1 引言

水是一切地球文明的基础, 而湖泊是人类利用水的重要途径之一^[1]. 城市湖泊作为城市水环境的重要组成部分, 常常被誉为城市的“血液”和“眼睛”^[2]. Schueler 和 Simpson^[3]对于城市湖泊提出了 6 条标准, 这些标准除了涉及城市湖泊湖面大小、水深等要素, 还强调无论是城市的自然湖泊还是人工湖泊都应该在管理上具有休闲、水供应、防洪或其他直接可为人

类利用的功能. 此外, 城市湖泊不但是体现城市景观特征的重要部分, 而且通过增加配套基础设施、提供休闲和教育活动, 可以显著提高城市居民生活质量, 甚至有助于缓解城市气候变化^[4-7]. 城市开放空间包括城市开敞空间和城市公共空间 2 个子系统^[8], 前者主要指比较开阔、较少封闭和空间限定较少的空间, 后者指为多数民众服务的城市公共空间^[9]. 而城市公共空间本质属性即市民可以自由光顾、自由活动的公众场所, 同时也是享受城市生活、体现城市风

引用格式: 张祚, 谭术魁, 周敏. 武汉市中心城区湖泊空间类型、开放程度及空间分布特征. 中国科学: 技术科学, 2014, 44: 631-642

Zhang Z, Tan S K, Zhou M. Spatial pattern, openness and spatial distribution characteristics of lakes in Wuhan central urban area (in Chinese). Sci Sin Tech, 2014, 44: 631-642, doi: 10.1360/N092014-00084

情、彰显城市个性、领略城市魅力的空间^[10]。因此, 提高城市湖泊滨水空间开敞程度、可进入程度是充分体现其公共性的首要前提。在世界范围内看, 提高城市滨水公共空间的可进入性是成功实现空间再生国际案例中的重要因素, 也是实现城市可持续发展的必要条件^[11,12]。

随着中国改革开放的深入, 中国城市在经济快速发展的同时经历着大量人口涌入和快速城市化的过程^[13]。中国住房市场发展时间不长, 但快速发展的同时也推动了中国大中城市住房价格持续快速上涨^[14]。在此背景下, 过度的城市开发和围垦使城市湖泊面积锐减, 大量工农业废水、生活污水的排放, 使城市湖泊生态系统遭到严重破坏。与此相应, 有关中国城市湖泊及其影响的研究逐渐丰富。其中, 除了涉及湖泊对自然影响研究及影响范围^[15,16], 还包括城市湖泊景观与周边住房价格之间的关系等^[17-19]。多数研究认为城市绿色空间、水系等良好的环境要素在很大程度上改善着城市的基本生活状况; 城市湖泊对周边住宅价格有正向增值效应。这与其他国家类似研究结论基本一致^[20]。除了对理论模型的关注^[2], 遥感数据和 GIS 分析也常常被引入到涉及城市湖泊空间属性的研究中, 包括城市湖泊时空变化^[21-23]、水质的空间分布^[24]、城市扩张对湖泊的影响^[25], 以及综合运用 GIS 与 Hedonic 方法对包括城市湖泊在内的城市开放空间的价值评价等^[7]。总体而言, 现有研究对于城市湖泊与城市的空间关系、城市湖泊开放性程度及其空间特征, 特别是对于如何量化衡量城市湖泊开放程度的探讨较少。

基于以上, 本文从如何加强湖泊水环境保护, 科学地对城市湖泊开放空间及岸线进行空间组织和空间管理, 实现城市可持续发展出发, 以武汉市中心城区 3 环以内的城市湖泊作为研究对象, 在分析湖泊与中心城区空间关系的基础上, 尝试通过选取和构建相关指标, 对城市湖泊开放程度进行量化分析, 利用 ArcGIS 工具分析指标结果及其空间分布特征, 并对对比分析不同空间类型湖泊各类指标上所体现的差异性。

2 研究对象与指标选取

2.1 研究区域与研究对象

1) 研究区域。武汉市地处长江中游, 长江与汉

水流经市区, 全市每平方千米地表水资源量为 9345.6 万 m^3 , 远高于全国 27.5 万 m^3 的平均水平^[26]。此外, 武汉市不但被称为“江城”, 也被称为“百湖之市”。武汉市湖泊众多, 汇水面积 5 km^2 以上的湖泊就有 65 个, 总汇水面积 5925.2 km^2 , 居全国各大城市之首^[27]。然而, 长期以来武汉市一直陷于“优于水而忧于水”的困境中^[26]。随着经济社会的快速发展和城市规模的不断扩大, 水环境问题日益显现。一方面, 1950 至 1970 年代的围垦活动, 20 世纪 90 年代以来“湖景房”的兴起和房地产开发的持续升温造成武汉市湖泊数量减少和水面萎缩^[21,28,29]。另一方面, 武汉市水环境质量不断恶化^[25]。根据 2010 年武汉市水环境公告, 武汉市江河、湖泊水质多处于 III 类、IV 类, 少数处于 V 类、甚至劣 V 类水平。联合国开发计划署、联合国环境署通过数年的调查研究指出, 影响武汉市可持续发展的最重要的环境因素就是水环境问题^[16]。而针对武汉市水环境问题, 武汉市相关管理部门在规划、立法以及专项治理等方面不断探索、实践, 并取得了较显著成果^[16]。然而, 随着 2011 年 12 月, 武汉市十二次党代会在确立建设国家中心城市、复兴大武汉的宏伟的基础上, 提出武汉市未来应进一步彰显滨水特色, 构建大都市水岸景观, 凸显“东方水都”风貌等目标。相应, 武汉市的城市规划、空间管理、湖泊景观与水环境保护等方面都面临着更大的挑战。

2) 研究对象。根据 2002 年 3 月颁布实施的《武汉市湖泊保护条例》, 武汉市中心城区的湖泊为 27 个。本文将武汉市 3 环以内设定为中心城区范围, 将除南太子湖和三角湖(位于 3 环线以外)的 25 个城市湖泊作为研究对象(图 1)。根据 Wu 和 Xie^[23]的测算, 这 25 个城市湖泊, 1989~2009 年, 平均每个湖泊湖面面积缩减了 45.5%(表 1)。随着武汉市城市化进程加剧和湖泊污染状况日益恶化, 湖泊的自然属性不断削弱, 生态系统遭破坏^[26], 绝大多数城内湖泊均受到严重污染, 呈现富营养态势, 一些湖泊已达到严重过富营养程度^[29]。从 2012 年的水质检测数据看, 选取的 25 个城市湖泊中, 有 11 个水质为 V+, 另有 6 个水质为 V, 8 个水质为 IV。

2.2 城市与湖泊的空间关系

江、河以及湖泊等自然地理要素, 塑造了武汉市“大江大湖”独有的城市空间格局。随着 1990 年来, 武汉市城市建设的大规模增加, 城市空间不断向外扩张

图 1 (网络版彩图)武汉市数字地面模型和研究区域

根据 SRTM90 m 分辨率原始高程数据绘制, 原始高程数据来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据服务平台 (<http://datamirror.csdb.cn>)

图 2 (网络版彩图)武汉市中心城区城市湖泊的空间分布

的速度高于人口增长速度, 以至于出现 1993~2004 年建成区增加 100 万人, 人口密度反而轻微下降的现象^[25]. 武汉市的空间格局也逐步由单极极化模式向多

核模式的演变. 目前, 武汉市空间格局特征包括: 1) 以内环(1 环)线、中环(2 环线)、外环(3 环线)构成环状放射型结构的基本骨架; 2) 在宏观尺度上, 多核心在

表 1 武汉中心城区 25 个城市湖泊的基本信息

编号	名称	镇区	城区	人口密度 (人/km ²)	空间 类型	水质	环线	面积 (ha)	当前功能
L1	北湖	汉口	江汉	14380	I	V+	1-2	9.40	A, C
L2	后襄河	汉口	江汉	14380	I	IV	1-2	4.28	A
L3	鲇子湖	汉口	江岸	10578	I	V	1-2	9.40	A, C
L4	机器荡子	汉口	江汉	14380	I	IV	1-2	10.40	A, C
L5	菱角湖	汉口	江汉	14380	I	IV	1-2	9.02	A, C
L6	塔子湖	汉口	江岸	10578	II	V+	2-3	31.02	A, C
L7	西湖	汉口	江汉	14380	I	IV	1-2	5.00	A, C
L8	小南湖	汉口	江汉	14380	I	IV	1-2	3.50	A, C
L9	张毕湖	汉口	硚口	11518	II	V	2-3	48.30	A, B
L10	竹叶海	汉口	硚口	11518	II	V	2-3	18.70	A, B
L11	莲花湖	汉阳	汉阳	5103	I	V+	0-1	7.60	A, C
L12	龙阳湖	汉阳	汉阳	5103	II	V+	2-3	168.00	A, B, D
L13	墨水湖	汉阳	汉阳	5103	I	V+	1-2	363.80	A, D
L14	月湖	汉阳	汉阳	5103	I	V+	0-1	70.80	A, C
L15	北太子湖	汉阳	汉阳	5103	II	IV	2-3	52.40	A, B
L16	东湖	武昌	跨区	4438	II	V	2-3	3362.74	A, B, D
L17	内沙湖	武昌	武昌	13425	I	IV	1-2	5.60	A
L18	南湖	武昌	洪山	1980	I	V+	2-3	767.20	A, B
L19	晒湖	武昌	武昌	13425	I	V+	1-2	12.20	A
L20	水果湖	武昌	武昌	13425	I	V	1-2	12.30	A, C
L21	四美塘	武昌	武昌	13425	I	IV	0-1	7.70	A, C
L22	外沙湖	武昌	洪山	1980	II	V+	2-3	307.80	A, C
L23	杨春湖	武昌	洪山	1980	I	V	2-3	57.60	A, B, C
L24	野芷湖	武昌	洪山	1980	II	V+	2-3	161.50	A, B
L25	紫阳湖	武昌	武昌	13425	I	V+	0-1	14.30	A, C

1) 人口密度数据源于《武汉统计年鉴 2011》; 2) 空间类型: I-“湖在城中”, II-“湖在城边”; 3) 湖泊面积数据来源于《武汉市中心城区湖泊“三线一路”保护规划》, 其东湖面积不包括湖中岛屿和道路面积; 4) 东湖跨武昌区(人口占 21.5%)和洪山区(人口占 78.5%); 5) “当前功能”主要参考文献[27]并结合实地考察整理得到, 其中, A-调蓄、B-养殖、C-城市公园、D-风景区

内环线以内共同组成一个路网密集区, 内环线路网密度最高(局部超过 10 km/km² 以上); 3) 在微观尺度上, 在自然地理环境条件的约束下, 各个镇区都逐步形成了自己的次核心^[30].

城市空间增长边界(urban growth boundary, UGB) 基本功能是控制城市规模的无节制扩张, 是城市增长管理最有效的手段和方法之一^[31]. 2011 年武汉市为促进城市空间集约有序发展, 防止“摊大饼式”无序蔓延, 确保城市生态安全, 以城市总体规划、土地利用总体规划为依据, 组织编制了空间管制与实施规划并在该规划中划定武汉市 UGB. 根据 UGB 的范围, 本文将武汉市的城市湖泊和武汉市中心城区的空间关系可以划分为 3 种类型(图 3). 即, 1) “湖在城中”: 湖泊位于城市 UGB 内. 这类湖泊都位于城市的成熟建成区. 随着城市的扩张, 逐渐成为城市主体的一部分. 除南湖(L18)外, 这类湖泊都位于 2 环以内(图 3(A)). 2) “湖在

城边”: 湖泊紧邻城市 UGB. 这些湖泊位于城市发展区域, 是城市的生态边界, 基本位于 2 环到 3 环之间或 3 环边缘(图 3(B)). 3) “湖在城外”: 湖泊位于城市城郊. 这些湖泊在城市中心区附近, 但在 UGB 和 3 环之外, 是远城区生态控制区域(图 3(C)). 图 3 中的 25 个城市湖泊中有 17 个属于“湖在城中”(简称 SP I), 其他 8 个属于“湖在城边”(简称 SP II); 其中 10 个位于汉口, 10 个位于武昌, 5 个位于汉阳; 除东湖跨城区外, 其他 24 个湖泊分别位于 6 个人口密度不同的中心城区: 江汉、江岸、硚口、汉阳、武昌、洪山(表 1). 此外, 25 个城市湖泊中 3 个位于 1 环内, 13 个位于 1 环 2 环间, 9 个位于 2 环 3 环间(图 2, 表 1).

2.3 湖泊开放性程度指标选取

为了更好地量化分析武汉市中心城区湖泊开放性程度, 在 ArcGIS 工具的支持下, 借鉴 2012 年 12

图 3 (网络版彩图)武汉市湖泊与城市的三种空间关系

月公示的《武汉市中心城区湖泊“三线一路”保护规划》(“三线一路规划”)中的基础指标和数据,并根据本文分析的实际需要,对部分相关指标进行了改进和延伸。

“三线一路规划”主要思路是通过对湖泊“蓝线”(水域控制范围)、“绿线”(绿化控制范围)、“灰线”(建筑控制范围)和“环湖道路”4个方面对武汉市中心城区湖泊提供空间约束和保护(图 4)。基于“三线一路”规划中蓝线面积(BS)、蓝线长度(BL)、绿线面积($GreS$)、灰线面积($GraS$)、环湖开敞空间面积(OS)、环湖公共绿地见水道路长度(GL)和湖泊外围车行道路长度(VL)这些基础控制指标,进一步衍生强度性指标:反映滨湖绿化及公共绿地围合度的绿化岸线开敞率(RG)以及反映滨湖开敞度和环湖建设围合度的环湖开敞空间岸线率(RL)(图 4)。

其中, RG 是环湖公共绿地看到水面的道路长度与外围城市车行道路总长度的百分比((1)式); RL 是滨湖外围城市车行道路上能到水面的城市道路总长度(TWL)与外围城市车行道路总长度的百分比((2)式)。

$$RG = 100 \cdot \frac{GL}{VL}, \quad (1)$$

$$RL = 100 \cdot \frac{TWL}{VL}, \quad (2)$$

为了进一步将湖泊本身的面积大小与湖泊开放程度联系起来并考虑对湖泊周边的空间影响,本文沿湖泊蓝线外围设置紧邻湖泊缓冲区。对于缓冲距离的设置, 500 和 1000 m 常常被用于设置缓冲区作为空间尺度的相关研究^[24,32,33]。宗跃光等人^[33]将城市湖泊水体、500 m 缓冲区和 1000 m 缓冲区分别设置为

图 4 (网络版彩图)武汉外沙湖(L22)卫星图及“三线一路”范围

(A) 来源 Google Earth 2012 年 12 月数据; (B) 基于“三线一路规划”公示图片自绘

“高敏感”、“中敏感”和“非敏感”生态敏感等级。同时,考虑到 500 m 也常被认为是生活服务设施配套的服务半径^[34], 这里选取距离湖泊蓝线 500 m 的缓冲区视为对于湖泊水体中度敏感湖泊紧邻区域(图 4)。图 2 显示了基于 ArcGIS 对武汉市中心城区所有湖泊设置的 500 m 缓冲区范围。包括环湖开敞空间(OS)与绿线面积(GreS)的环湖开敞空间总面积(TOS)可以视为湖泊紧邻区域内能对湖泊生态保护起到缓冲作用用时又能为居民提供亲水活动的空间。TOS 与 500 m 缓冲区面积(SA₅₀₀)的百分比(RO)可以用来作为具体反映环湖开敞空间总量相对湖泊紧邻区域面积比例的另一个湖泊开放性程度指标

$$RO = 100 \cdot \frac{TOS}{SA_{500}}, \quad (3)$$

其中, SA₅₀₀ 可以通过 BL 的距离与缓冲区距离的乘积估算。因此, (3)式可以转化为(4)式。

$$RO = 100 \cdot \frac{OS + GreS}{0.5BL}. \quad (4)$$

2.4 人均湖泊开敞空间的计算

为了很好地理解武汉市中心城区和区域内湖泊的空间距离关系, 基于 ArcGIS 中工具, 计算得到中心城区湖泊以外任意地点到 25 个湖泊岸边的欧式距离并通过制作武汉市“擦除”各种水体的中心城区的“掩膜”最终得到中心城区非水域区域到湖泊欧式距离的空间分布(图 5(A))。通过进一步统计发现, 中心城区离湖泊最远距离的是 9.35 km; 将中心城区非水

域区域划分为 38103 个空间单元, 各单元到湖泊的平均距离是 1.8 km。自然分类法(Jenk's)是按照同组内数据方差最小而组间方差最大的常用数据分组方法^[35]。基于该方法将所有到湖泊的距离划分为 5 类(图 6), 其中距离湖泊最近的距离类别分别是 0~1.06 和 1.07~2.3 km, 这两类空间单元数分别占到了全部空间单元数的 40.6%和 31%。图 5(B)显示了重分类后的中心城区到湖泊距离的等级分布。由此可见, 武汉中心城区超过内 70%的区域到最近的湖泊岸边距离在 2.3 km 内。

基于以上计算结果, 将 0~1.06 km, 也是以正常步行速度 85 m/min 计算, 步行约 12 min 内到达湖岸的范围作为湖泊日常能影响到周边居民的区域。为了分析该区域的人均湖泊开敞程度, 本文对所有中心城区内的湖泊设置 1000 m 缓冲区用来近似反映该区域, 并将各自缓冲区内有相重叠的部分的较邻近城市湖泊进行群组: L1~L5 以及 L7, L8 群组为 G1; L9, L10 群组为 G2; L11~L14 群组为 G3; L17, L20, L22 群组为 G4; L19, L25 群组为 G5; L18, L24 群组为 G6。经过群组以后, 武汉市中心城区, 3 环以内, 除东湖风景区外, 能在步行约 12 min 内到达湖岸的区域被划分为 10 个(图 5(B))。

为了分析这些区域内人均可以享受到开敞空间和见水岸线长度, 采取以下计算方法: 根据各个湖泊所在城区的人口密度(DoP)以及各个湖泊蓝线(BL)的长度计算紧邻湖泊 1000 m 作缓冲区的面积 SA₁₀₀₀。根据各湖泊的总体开敞空间以及能见水岸线总长度在

图 5 (网络版彩图)到湖泊的欧式距离与重分类

图 6 到湖泊距离的分类统计

临湖 12 min 步行距离范围内(1000 m 作缓冲区)人均湖泊开敞空间面积(ARO)以及人均环湖能见水道路长度(AWL)

$$ARO = \frac{TOS}{SA_{1000} \cdot DoP}, \quad (5)$$

其中 SA_{1000} 可以通过 BL 的距离与缓冲区距离的乘积估算. 因此, (5)式可以转化为(6)式

$$ARO = \frac{OS + GreS}{BL \cdot DoP}. \quad (6)$$

同理, 得到(7)式

$$AWL = \frac{TWL}{BL \cdot DoP}. \quad (7)$$

3 数据计算结果与分析

3.1 湖泊开放性程度的计算与分析

由于以武汉市东湖(L6)为核心, 目前已经形成了集旅游观光、休闲度假、科普教育为一体的国家级风景名胜景区, 并且东湖水面面积较大(3362.74 ha), 在空间上跨多个城区, 同时, 岸线较长(119.18 km), 沿岸空间功能复杂. 因此, 具体的指标分析主要针对除 L16 外的其他 24 个城市湖泊.

按照(1), (2)和(4)式分别计算出 24 个湖泊的 RG ,

RL 及 RO 以及各指标间的相关系数. 表 2 显示了各指标计算结果的基本统计特征和 $Pearson$ 相关系数, 图 7 则显示各湖泊在 ArcGIS 环境中的空间分布情况. 具体特征包括: 1) 从 24 个湖泊的 RG , RL 及 RO 间的相关性来看, RG 与 RL 呈现显著的高强度正相关性 ($r=0.978$, $p=0.01$), 而 RO 和 RG , RL 没有相关性特征 (表 2); 2) 武汉市中心城区内湖泊绿化面积比例总体水平较高, 均值超过 85%. 其中小南湖(L8)、张毕湖(L9)、竹叶海(L10)、内沙湖(L17)与水果湖(L20) RG 高达 100%, 低于 30% 的机器荡子(L04)、北湖(L01)和塔子湖(L06)都集中在汉口(图 7(A)); 3) 武汉市中心城区内湖泊能见水岸线比例总体处于中上水平, 均值为 69.28%, 由于 RG 与 RL 呈现显著的高强度正相关性, 湖泊绿化面积比例更高的湖泊能见水岸线比例也相应更高, 反之亦然(图 7(B)); 4) 武汉市城区内湖泊临湖开敞空间所占“中度生态敏感”临湖区域(500 m 缓冲区)的比例均值为 14.7%, 其中 RO 值超过 30% 的龙阳湖(L12)、竹叶海(L10)与野芷湖(L24)都位于 2 环以外, 而 RO 小于 5% 的机器荡子(L04)、水果湖(L20)与晒湖(L19)都在 2 环以内(图 7(C)).

3.2 湖泊开敞空间和见水路长计算与分析

为了进一步对武汉市中心城区湖泊开放空间总量大小及空间分布情况, 分别对各湖泊的环湖开敞空间总面积(TOS)和总见水路长(TWL)进行计算和分析. 其中: TOS 包括环湖开敞空间(OS)与绿线面积($GreS$), 能综合反映湖泊的开敞空间的面积大小; TWL 则能综合反映在城市湖泊滨湖道路上能见水的道路总长度. 24 个城市湖泊 TOS 和 TWL 分别累计达到 1369.31 ha 和 73.15 km. 武汉市中心城区除东湖外环湖开敞空间总面积约为 1918 个标准足球场的面积. 以正常步行速度 85 m/min 计算, 走完滨湖能见水的道路需要约 14 h. 由此可见, 武汉市中心城区目前所拥有较充裕城市湖泊开敞空间. 各湖泊具体的 TOS 与 TWL 基本统计描述表 3.

表 2 湖泊开放性指标基本信息统计描述和 $Pearson$ 相关系数

指标	最大值(%)	最小值(%)	均值(%)	标准误(%)	$Pearson$ 相关系数	
					RL	RO
RG	100	25.50	67.25	5.58	0.978** ^{a)}	0.163
RL	100	28.12	69.28	5.15	1	0.196
RO	42.73	2.34	14.70	2.32	—	1

a) **表示显著水平为 0.01(双尾检验)

图 7 (网络版彩图)湖泊 RG , RO 与 RL 值空间分布

表 3 湖泊开敞空间(TOS)和见水路长(TWL)基本信息统计描述

指标	最大值	最小值	均值	标准误
TOS (ha)	207.7	2.00	57.05	17.75
TWL (km)	15.72	0.17	3.05	0.75

为了进一步分析和理解武汉市中心城区城市湖泊 TOS 和 TWL 的空间差异特征, 依据武汉市“两江三岸”和“环状放射型结构”的空间格局, 将武汉市中心城区按照不同的镇区和环线范围划分为 9 个空间区域(图 8)并分别计算各自相应的 TOS 和 TWL . 基于 ArcGIS 将各对应区域的非水域空间制作成不同的面文件并链接相应的 TOS 和 TWL 数据. 图 8 显示了 9 个不同区域的 TOS 和 TWL 在 Arcscene 中的差异. 由图 8 可以发现: 1) 武汉市中心城区环湖开敞空间总面积总体上呈现由外向内逐层递减的“盆状”空间格局(图 8(A)); 2) 武汉市中心城区武昌和汉阳的环湖见水路长同样呈现由外向内逐层递减的趋势, 而汉口环湖见水路长的“高地”则在 1~2 环(图 8(B)“HK2”); 3) 从不同镇区看, 无论是 TOS 还是 TWL , 同一环线范围

内呈现“南高北低”的趋势, 武昌高于汉阳, 而汉阳高于汉口.

3.3 人均湖泊开敞程度及空间密度分析

武汉市中心城区人口密度的空间差异, 可能造成不同城市湖泊滨湖区域日常生活中人均能享有的湖泊开敞空间和见水路长的程度存在空间差异. 按照图 2 所示的环湖 1000 m 缓冲区范围分别计算 24 个湖泊 1000 m 缓冲区的近似面积, 并按照各个湖泊所在中心城区的人口密度, 估算了 1000 m 缓冲区内平均人口数. 进而依据公式(6)和(7)分别计算各个湖泊人均湖泊开敞空间面积(ARO)以及人均环湖见水路长(AWL). 从计算结果看, 武汉市中心城区人均湖泊开敞空间达到每人 16.06 m^2 , 而人均环湖见水路长达到约每 10 人 1 m 的水平(表 4).

核密度估计(kernel density estimation, KDE)作为一种针对空间数据的非参数估计^[36], 是热点和冷区识别的有效探索工具^[37]. 考虑到 24 个湖泊各自的 1000 m 缓冲区有相重叠的部分(2.4 节), 本文基于

图 8 (网络版彩图)不同区域湖泊 TOS 与 TWL 值分布

表 4 人均湖泊开敞空间(*ARO*)和人均见水路长(*ARL*)基本信息统计描述

指标	最大值	最小值	均值	标准误
<i>ARO</i> (m ²)	88.44	0.86	16.06	4.8
<i>ARL</i> (m)	0.41	0.01	0.1	0.02

ARO 与 *ARL* 的计算结果, 利用 ArcGIS 中的 KDE 分析工具进一步考察 *ARO* 与 *ARL* 的空间密度分布特征. 主要操作步骤包括: 1) 将 *ARO* 与 *ARL* 赋值到对应湖泊岸线; 2) 分别以 *ARO* 与 *ARL* 作为权重字段以 1000 m 作为搜索半径计算 KDE 值; 3) 将计算完成的核密度结果提取到不包括水体的中心城区范围内; 4) 计算和密度结果相应的等值线. 图 9 和 10 分别显示了在 Arcscene 中按照一定的拉伸比例所显示的 *ARO* 与 *ARL* 核密度以及相应的等值线空间分布结果.

依据前文所划分的 10 个步行约 12 min 内到达湖岸的区域(图 5(B)), 武汉市中心城区 *ARO* 密度最高的区域是武昌区 2~3 环的 G6, 此外武昌的 G4, L23 与汉阳的 G3 的 *ARO* 密度也非常突出(图 9). 武汉市中心城区 *ARL* 密度最高的是武昌区靠近 3 环的 L23, 而同在武昌区的 G4 和 G6 的 *ARL* 密度也非常突出(图 10).

图 9 (网络版彩图)湖泊 *ARO* 核密度分布 图 10 (网络版彩图)湖泊 *ARL* 核密度分布

综合而言, 武昌人均湖泊开敞程度综合最高, 其中值得注意的是位于武昌 2~3 环的 G4, 不但在长江和东湖之间, 紧邻多个商业中心, 区位优势明显, 而同样位于武昌 G6 更是包括了武汉市中心城区内除东湖(L16)外最大的城中湖南湖(L18), 这些区域应该是城市规划部门重点发展和保护的区域. G3 基本上将汉阳 3 环内所有湖泊包括在内, 该区域跨度大, 湖泊水面面积大, 并且人均湖泊开敞程度较高也是城市规划部门重点发展和保护的区域. 此外, 汉口的 G1 虽然人均湖泊开敞程度处于中等水平, 这可能受到该区域内湖泊面积普遍较小, 而周边区域人口密度较大等因素的影响. 由于该区域是汉口 2~3 环内核心区域, 配套设施成熟, 加上空间上辐射的人口多, 也应是城市规划部门重点发展和保护的区域.

3.4 不同空间类型湖泊的开放性对比

为了进一步考察不同空间类型划分下 SPI 和 SPII 类型湖泊开放性程度的差异性, 本文参照 Batty 对比不同类城市相关指标采用的方法^[38], 将 24 个被研究湖泊按照 SPI 和 SPII 类型进行划分并分别按照反映湖泊开放性程度的各类指标进行排序, 绘制相应散点图. 为了增强对比效果, 对排序序位和指标值进行了标准化处理(图 11). 由于 *RG* 与 *RL* 呈现显著的高强度正相关性, 数值分布结果接近, 图 11 中仅选取 *RL* 作为代表.

从对比中可以发现: 1) 在湖泊开放程度指标上, 除了少数 SPII 类型湖泊 *RL* 比对应的 SPI 类型湖泊略高, 总体没有明显差别(图 11(A)); 但是, SPII 类型湖泊 *RO* 明显总体高于 SPI 类型湖泊(图 11(B)). 这说明, “湖在城中”和“湖在城边”湖泊在环湖绿地面积比例和见水路长的比例上差别不大, 但“湖在城边”湖泊的环湖开敞空间总量占临湖“中度生态敏感”空间的比例总体高于“湖在城中”湖泊. 2) 在湖泊开放空间和见水路长总量指标上, SPII 类型湖泊 *TOS* 明显总体高于 SPI 类型湖泊(图 11(C)); 除了少数湖泊外, SPII 类型湖泊 *TOL* 高于 SPI 类型湖泊(图 11(D)). 这说明, “湖在城边”的湖泊无论是开敞空间还是见水路长都绝大部分优于“湖在城中”的湖泊. 3) 在人均指标上, 多数 SPII 类型湖泊 *ARO* 和 *ARL* 明显高于 SPI 类型湖泊(图 11(E)和(F)). 这说明, 大部分“湖在城边”类型湖泊附近的居民相对于“湖在城中”类型湖泊附近的居民人均享有的湖泊开敞空间和能见水路长更多.

图 11 不同空间类型湖泊开放性指标对比

(A)~(F) 纵坐标中的 RL' , RO' , TOS' , TOL' , ARO' , ARL' 分别是 RL , RO , TOS , TOL , ARO , ARL 采取 z-score 标准化后的结果; 横坐标的 $Rank'$ 是湖泊排序 $Rank$ 采取 z-score 标准化后的结果

4 结论

1) 从武汉市中心城区湖泊环湖绿地面积比例(RG)、能见水岸线长度的比例(RL)以及临湖开敞空间比例(RO)来看, 武汉 RG 和 RL 总体处于较高水平, 充分体现出武汉作为“百湖之市”的优势。此外, 各个湖泊 RG 和 RL 呈现强正相关的关系, 也说明环湖能见水岸线几乎被绿化覆盖。各个湖泊 RO 有一定的差异, 其中比例最低的湖泊都位于 2 环以内。这显示了更靠近城市中心的地区, 对于湖泊周边“中度生态敏感”空间的占用比例更大。

2) 从武汉市中心城区湖泊环湖开敞空间总面积(TOS)和能见水路长总长度(TWL)来看, TOS 和 TWL 在总量上都相对充裕, 这无论是从空间、功能、环境还是形象塑造等各方面对于武汉市城市发展都是极为重要的资源。按照不同镇区和环线分区后, TOS 总体上呈现由外环向内环逐层递减的“盆状”空间格局; TWL 除了在汉口外, 也呈现了这一特征; 此外, TOS 和 TWL , 在同一环线内都呈现出“南高北低”的趋势。

3) 武汉市中心城区湖泊 1000 m 范围内人均湖泊开敞空间均值达到每人 16.06 m^2 , 而人均的能见水岸线长度能达到每 10 人 1 m 的水平。从各湖泊 ARO 与 ARL 的 KDE 密度差异看, ARO 与 ARL 高密度区多

集中在武昌, 值得注意的是这其中还包括有着良好区位条件的内沙湖(L17), 水果湖(L20)和外沙湖(L22), 这些区域应该是城市规划部门重点发展和保护的区域。

4) 基于武汉 UGB 的设定对城市中心城区与湖泊的空间关系划分为“湖在城中”、“湖在城边”和“湖在城外”三种类型。从武汉市中心城区内“湖在城中”、“湖在城边”两种不同类型湖泊的各种反应开放性程度的指标差异来看, 除了 RG 和 RL 差别不明显, 其他指标, “湖在城边”类型的湖泊明显高于“湖在城中”类型的湖泊。这显示了两种不同空间类型城市湖泊在开发强度、开放空间总量和人均享有湖泊开放程度方面的空间差异。

当前中国处于持续快速城市化进程中, 随着城市“摊大饼”模式的扩张, 武汉市城区周边的湖泊逐渐由“湖在城外”变为“湖在城边”, 进而变为“城在湖中”。而在这一过程中, 过度的、不合理的开发和环境保护的缺失可能导致湖面“缩水”甚至消失。这不但不利于城市的可持续发展, 也与构建资源节约型和环境友好型社会的目标相悖。在当前武汉市建设国家级中心城市目标的驱动下, 如何科学地制定和落实城市发展和生态空间管制界限, 处理好城市空

间和湖泊的关系, 科学地实现相邻湖泊的“空间串联”, 进一步提高湖泊开放性程度, 将中心城区内的滨湖空间打造成提升城市形象和人居环境质量的重

要窗口, 这既是未来武汉市在建设国家级中心城市过程中城市规划、管理部门应该关注的重点, 同时也是值得进一步深入探索的研究议题.

参考文献

- 1 亚历山大·贝尔. 水文明的崩溃. 罗红译. 北京: 金城出版社, 2012. 5–10
- 2 刘耀彬, 王鑫磊, 刘玲. 基于“湖泊效应”的城市经济影响区空间分异模型及应用—以环鄱阳湖区为例. 地理科学, 2012, 32: 680–686
- 3 Schueler T, Simpson J. Why urban Lakes are different. *Ratio*, 2004, 2: 19
- 4 Shafer C S, Lee B K, Turner S. A tale of three greenway trails: User perceptions related to quality of life. *Landscape Urban Plan*, 2000, 49: 163–178
- 5 Martínez-Arroyo A, Jáuregui E. On the environmental role of urban lakes in Mexico City. *Urban Ecosys*, 2000, 4: 145–166
- 6 Miller R W. *Urban Forestry: Planning and Managing Urban Green Spaces*. 2nd ed. N J: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1997. 502
- 7 Jiao L M, Liu Y L. Geographic field model based hedonic valuation of urban open spaces in Wuhan, China. *Landscape Urban Plan*, 2010, 98: 47–55
- 8 赵蔚. 城市公共空间的分层规划控制. *现代城市研究*, 2001, 5: 8–10
- 9 洪亮平, 刘奇志. 武汉市城市开放空间系统初步研究. *华中建筑*, 2001, 19: 78–81
- 10 杨保军. 城市公共空间的失落与新生. *城市规划学刊*, 2006, 6: 9–15
- 11 Chang T, Huang S. Reclaiming the city waterfront development in Singapore. *Urban Stud*, 2011, 48: 2085–2100
- 12 Dale O J, Wong T. Sustainable city center development: The Singapore city center in the context of sustainable development. *Spatial planning for a sustainable Singapore*, 2008, 10: 978–971
- 13 Song Y, Zenou Y. Urban villages and housing values in China. *Reg Sci Urban Econ*, 2012, 42: 495–505
- 14 Ying Q, Luo D, Chen J. The determinants of homeownership affordability among the ‘Sandwich Class’: Empirical findings from Guangzhou, China. *Urban Stud*, 2013, 1: 1–20
- 15 李江林, 陈玉春, 吕世华, 等. 利用 RAMS 模式对山谷城市兰州冬季湖泊效应的数值模拟. *高原气象*, 2009, 28: 955–965
- 16 李雪松, 高鑫. 基于外部性理论的城市水环境治理机制创新研究—以武汉水专项为例. *中国软科学*, 2009, 4: 87–97
- 17 吴冬梅, 郭忠兴, 陈会广. 城市居住区湖景生态景观对住宅价格的影响—以南京市莫愁湖为例. *资源科学*, 2008, 30: 1503–1510
- 18 钟海玥, 张安录, 蔡银莺. 武汉市南湖景观对周边住宅价值的影响—基于 Hedonic 模型的实证研究. *中国土地科学*, 2009, 23: 63–68
- 19 温海珍, 卜晓庆, 秦中伏. 城市湖景对住宅价格的空间影响—以杭州西湖为例. *经济地理*, 2012, 32: 58–64
- 20 Mahan B L, Polasky S, Adam R M. Valuing urban wetlands: A property price approach. *Land Econ*, 2000, 76: 100–113
- 21 曾忠平, 卢新海. 城市湖泊时空演变的遥感分析—以武汉市为例. *湖泊科学*, 2008, 20: 648–654
- 22 李华, 周志翔, 徐永荣, 等. 城市化背景下近 30 年武汉市湿地的景观变化. *生态学杂志*, 2009, 28: 1619–1623
- 23 Wu J, Xie H. Research on characteristics of changes of Lakes in Wuhan's main urban area. *Procedia Eng*, 2011, 21: 395–404
- 24 Yin Z Y, Walcott S, Kaplan B, et al. An analysis of the relationship between spatial patterns of water quality and urban development in Shanghai, China. *Comput Environ Urban Syst*, 2005, 29: 197–221
- 25 Du N R, Ottens H, Sliuzas R. Spatial impact of urban expansion on surface water bodies—A case study of Wuhan, China. *Landscape Urban Plan*, 2010, 94: 175–185
- 26 汪常青, 吴永红, 刘剑彤. 武汉城市湖泊水环境现状及综合整治途径. *长江流域资源与环境*, 2004, 13: 499–502
- 27 杨洪, 陈红梅. 武汉湖泊. 武汉: 武汉出版社, 2003. 43
- 28 赵艳. 江汉湖区的开发及其环境效应. *长江流域资源与环境*, 2000, 9: 370–374
- 29 刘耀彬, 陈红梅. 武汉市主城区湖泊发展的历史演变、问题及保护建议. *湖北大学学报(自然科学版)*, 2003, 25: 163–168
- 30 余瑞林, 王新生, 刘承良. 武汉市道路网络发展历程与演化模式分析. *现代城市研究*, 2007, 22: 70–76
- 31 段德罡, 芦守义, 田涛. 城市空间增长边界(UGB)体系构建初探. *规划师*, 2009, 25: 11–14
- 32 朱杰, 管卫华, 蒋志欣, 等. 江苏省城市经济影响区格局变化. *地理学报*, 2007, 62: 1023–1033
- 33 宗跃光, 王蓉, 汪成刚, 等. 城市建设用地生态适宜性评价的潜力—限制性分析—以大连城市化区为例. *地理研究*, 2007, 26: 1117–1126
- 34 建筑设计资料集. 第二版. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994. 102
- 35 Kemp K. *Encyclopedia of geographic information science*. Sage, 2008: 40
- 36 Zhang S, Karunamuni R J. Deconvolution boundary kernel method in nonparametric density estimation. *J Stat Plan Infer*, 2009, 139:

2269–2283

- 37 De Smith M J, Goodchild M F, Longley P A. *Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools*. Winchelsea: Winchelsea Press, 2007. 82
- 38 Batty M. The size, scale, and shape of cities. *Science*, 2008, 319: 769–771

Spatial pattern, openness and spatial distribution characteristics of lakes in Wuhan central urban area

ZHANG Zuo^{1,2}, TAN ShuKui¹ & ZHOU Min¹

¹ *College of Public Administration, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;*

² *School of Business, Hubei University, Wuhan 430062, China*

Urban lake, both with natural and social functions, is an important part of urban open spaces. Make the waterfront space of urban lakes more open and more accessible is important to improving the city's image and quality of living environment, and is moreover important to achieving sustainable city. Wuhan which has been hailed as “city of hundred lakes” used to be troubled in water environmental problems. As the real estate market continues to heat up and the housing with lake view becomes more popular, the number and the area of lakes in Wuhan decreased and shrunk. To deal with such challenges, Wuhan government strengthened the plan and management to urban lakes for more reasonable development and protection. This paper chose the lakes in Wuhan central urban area as study objects. Based on the analysis of spatial relationship between lakes and central urban area, we selected related indicators to measure openness and visible shoreline of lakes and their corresponding degree of per capita. By integrated using GIS tool, distance analysis and Kernel density estimation, we analyzed the spatial characters of all calculation results and compared the differences between the “lakes in city” and “lakes beside city” in different indicators. The findings of this paper could help better understanding of the spatial relationship between city development and urban lakes and provide a scientific basis for future urban plan and management for Wuhan Municipality.

urban lake, spatial pattern, openness, spatial distribution, Wuhan

doi: 10.1360/N092014-00084