

面向公众满意度提升的公园水域质量调查及智能化途径

Water Quality Investigation and Intelligent Approach of Urban Park for Improving Public Satisfaction

朱 义 王 莹 吴 瑾 刘家霖 沈 帅 崔心红*

ZHU Yi WANG Ying WU Jing LIU Jialing SHEN Shuai CUI Xinhong*

基金项目:

上海市绿化和市容管理局科研专项“城市困难绿地绿化场地分类分级诊断评价方法”(编号: G190201)

上海市科委科技创新行动计划“河道水环境质量提升运行管理维护体系研究与示范”(编号: 19dz1204505)

文章编号: 1000-0283 (2021) 08-0013-07

DOI: 10.12193/j.laing.2021.08.0013.003

中图分类号: TU986

文献标志码: A

收稿日期: 2021-06-21

修回日期: 2021-07-13

朱 义

1982年生/男/安徽蚌埠人/硕士/上海市园林科学规划研究院生态研究所所长/上海市城市困难绿地生态园林国家林业和草原局重点实验室, 国家林业和草原局城市困难绿地绿化造林国家创新联盟, 上海城市困难绿地绿化工程技术研究中心高级工程师/研究方向为城市水域修复研究(上海200232)

王 莹

1985年生/女/江西抚州人/博士/上海市园林科学规划研究院工程师/研究方向为湿地生态修复研究(上海200232)

崔心红

1965年生/男/湖北秭归人/博士/上海市园林科学规划研究院副院长, 教授级高工/上海市城市困难绿地生态园林国家林业和草原局重点实验室副主任, 国家林业和草原局城市困难绿地绿化造林国家创新联盟, 上海城市困难绿地绿化工程技术研究中心副主任/研究方向为水生植物应用、湿地园林绿化技术和城市湿地生态修复技术等(上海200232)

*通信作者 (Author for correspondence)

E-mail: kysxinhongcui@163.com

摘要

城市公园水域作为城市水环境的重要组成部分, 具有重要的生态服务功能, 公园水域质量的调查监测, 是掌握水域环境变化及其原因的重要手段, 但是从公众感知角度, 开展城市公园水域质量的调查研究较少, 难以支撑精准化监管需求。在公园水域研究相关文献计量分析、景观娱乐用水标准分析基础上, 结合课题组在上海开展“湿地园林”相关研究和调查数据, 提出了描述公园水域质量的“水环境—水生态—水景观”指标筛选表。同时以崇明东平森林公园为例, 研究编制典型公园水域质量调查方案。尝试提出利用遥感数据产品、在线传感器和图像图形识别等信息化技术手段, 构建公园水域质量精准化监管的智慧化策略和途径, 以期公园水域智慧化管理提供技术手段和依据。

关键词

公众满意度; 公园水域质量; 公众感知; 生态系统服务; 水域智慧化管理

Abstract

As an important part of urban water environment, urban park water body has important ecological service. The park-water quality survey is helpful to understand the causes and trends of water environmental changes. From the perspective of public perception, there are few investigations and studies on the water quality of urban parks, which is difficult to support the demand for accurate supervision. In this study, based on the result of bibliometric analysis on park waters body and water quality standard for scenery and recreation area, and the investigation data and research on "Wetland landscape architecture" in Shanghai, the index of "water environment-water ecology-water landscape" was constructed to describe and evaluate park-water quality. This paper takes DONGPING State Forest Park as an example, to discuss how to formulate park-water quality investigation scheme. This paper tries to put forward the intelligent strategy and approach to construct the precise supervision of the park water quality by using the information technology means such as remote sensing data products, online sensors and image recognition. The research is expected to provide technical means and basis for water intelligent management.

Key words

public satisfaction; park-water quality; public perception; ecosystem services; water intelligent management

公园作为城市区域生态用地类型之一, 为人们提供休闲游憩、亲近自然、文旅交流等服务。公园水域以常年水位线和特殊情景变化水位线围合的带状或斑块状空间, 由水体、底质、驳岸或边坡等环境和生物共同构成, 是以水域和湿地为主的生态系统, 呈现公众感知景观(主要指人体感知的景观, 有别

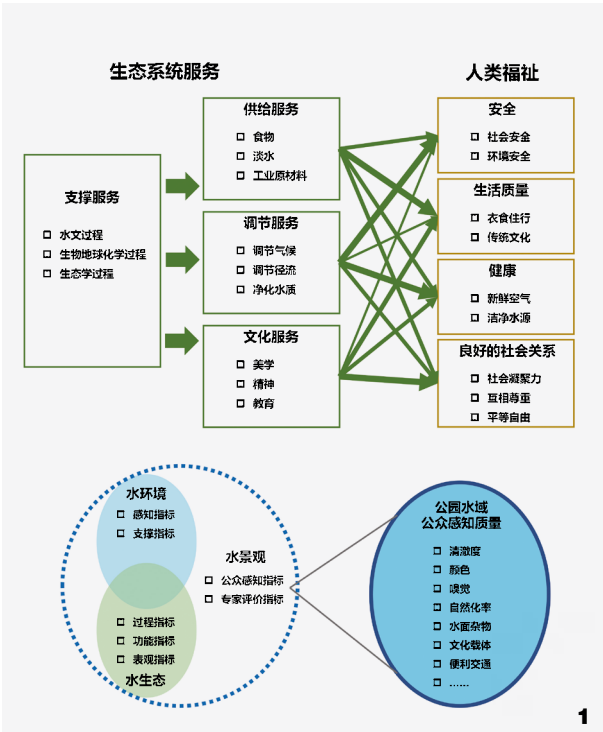
于地理学中的“景观”概念)的时空载体。公园水域存在与公园以外河湖(一般称为“市政河湖”)连通,或不连通的两种情况,文章探讨的公园水域主要指与市政河湖不连通的水域。这类水域形态上主要包括公园内部的湖泊、池塘、河流、溪流等,在水动力方面较少与市政河湖进行水力交换,水流速率较低。水务、绿化或林业的行政管理中,一般称之为小微水体、景观水体或小微湿地。

由于经过高强度的人为改造,与市政河湖黑臭水体、长期浑浊、富营养化等状况类似,公园水域同样经历了水环境、水生态和水景观退化的阶段。近年来,中国在“河湖长制”治理框架下以解决水质为重点改善水环境,河湖水环境治理和水生态修复取得了较大成效。深入辨析公园水域在城市和区域承载的功能上与市政河湖之间的差异性,将公众感知质量与水环境—水生态—水景观之间建立指标体系,可以为公园管理部门提升公众满意度和下一阶段纳入“河湖长制”治理体系提供科学指导。按照生态系统服务理论及其

类型划分,公园的水域生态系统以向公众提供美学、精神、教育等文化服务为主,兼顾净化水质、调节径流、调节气候等服务^[1-2]。目前公园公众满意度调查评价采用公众问卷调查、专家现场评判相结合的方法,主要是感知体验的主观评价法,在水域质量的公众感知方面,主要反映在清澈度、颜色、嗅觉、水面杂物、自然化率、文化服务主体、便利交通设计等方面(图1)。

随着生态系统健康、生态系统服务和大数据智能等研究深入,面向公众满意度提升的城市公园水域质量改善,迫切需求协调融合水环境、水生态、水景观等多维度指标结合卫星遥感、地面调查、在线监测、图像识别等技术手段,获取长序列数据信息支撑精准化、智慧化的综合修复策略。本文以上海公园水域和“湿地园林”课题组相关研究为基础,尝试从三方面进行阐述:(1)面向公众满意度提升的公园水环境—水生态—水景观指标选择哪些?(2)典型公园水域的水环境—水生态—水景观指标如何制定方案以获取多源数据?(3)利用卫星遥感、地面调查、在线监测、图像识别等技术手段,构建公园水体精准化、智慧化途径。

1. 公园水域生态系统服务和公众感知质量



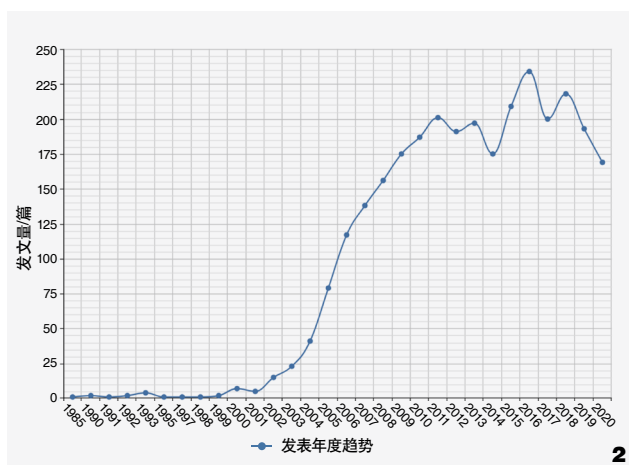
1 面向公众满意度提升的公园水环境—水生态—水景观指标筛选

1.1 中国知网科学数据库文献计量分析

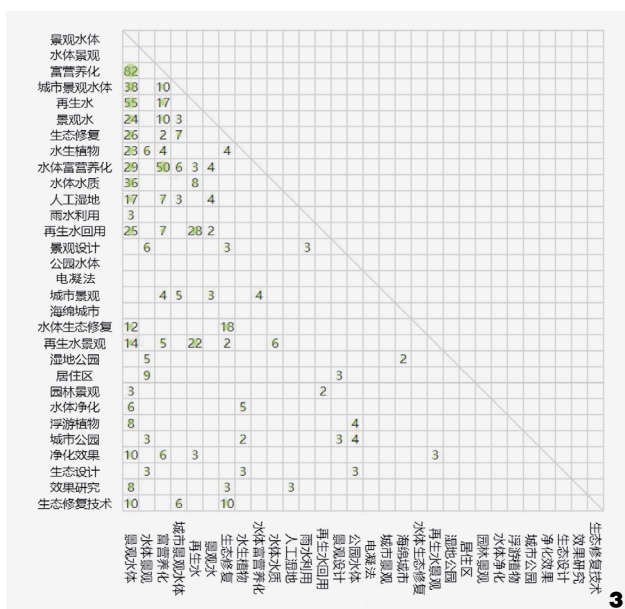
以“公园水体”或“景观水体”为主题词,通过“中国知网科学数据库”检索1980—2020年的发表文献,分析年度发表数量和主题词,结果表明:随着中国城市化进程的加快,“城市病”问题突显。研究者从20世纪80年代起开始关注公园水域退化和治理措施,涉及环境科学与工程、生态学、风景园林学等多个一级学科;2000—2010年是年度发表数量的快速上升阶段(图2),发表量从年度低于10篇增加至150篇以上;主题词为富营养化、再生水、水体水质和生态修复等的发文数量和共现频率较高;要素方面主要包括水域、驳岸、底泥、水生植物、浮游植物及治理措施,以及湿地、水域生态系统等(图3);被引排序大于10的文献,其研究地区主要包括上海、北京、合肥、厦门等。

1.2 中国景观娱乐用水质量的标准和指标分析

在景观娱乐用水质量的标准方面,前国家环保总局曾经于1992年颁布《景观娱乐用水水质标准》(GB12941-91)。该标



2. 1980—2020年中国知网发文年度数量
3. 中国知网主题词共矩阵分析



准从色、嗅、漂浮物、透明度、水温等指标来评价景观用水水质，目前该标准已经废止；原建设部于2002年发布了《城市污水再生利用景观环境用水水质》(GB/T18921-2002)，水利部于2007年颁布了《再生水水质标准》(SL368-2006)，前者主要包括pH值、BOD₅、浊度、总氮、总磷、氨氮、余氯、色度及粪大肠杆菌数，后者增加了水温、溶解氧、金属离子及挥发性有机物等指标；现阶段我国评价城市公园水体的水质标准有《城市污水再生利用——景观环境用水水质》(GB/T18921-2002)和《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)。国内标准主要侧重有机物和重金属污染、营养盐和卫生状况等指标，缺乏公众感知质量的直接衡量指标。欧洲和北美近年来研究重提水体清澈度对水环境、水生态的重要性，在水域质量与公众感知、休闲游憩等社会活动之间建立联系^[9]。

1.3 城市公园水环境—水生态—水景观指标筛选

上海市园林科学规划研究院崔心红课题组从2002年起，对湿地公园、湿地园林、水生植物、生态驳岸等开展了大量研究，近年来在上海市中小河道实施了130个区段的定位调查^[4-5]，研究表明：公园水域湿地是城市生物多样性保护的关键地，具

有极高的美学价值，是重要的科学研究和教育场所；因沿岸区域用地状况差异，上海静止型水域影响光衰减速率 K_d (PAR)的主要因子为悬浮颗粒物 (TSS)，局部片区受水体富营养化和溶解性有色有机物影响。TSS是水生态恢复关键组分——沉水植物定居的关键指标，也是影响公众感知的清澈度衡量指标。基于上述研究进展、标准分析和调查研究，本研究分析公众直接感知类别及其支撑指标，筛选提出“水环境—水生态—水景观”指标、测定方法及其参照难易程度 (表1)。

2 典型公园水域的水环境—水生态—水景观指标调查方案制定

2.1 公园水域质量调查方案编制原则

公园水域实施调查的目的是为了支撑政府监管、专题提升和科学研究等方面工作。在人力、物力、财力和时间有限的条件下，全面考虑公园水域的地域、形态、尺度、定位等方面差异，以及水环境—水生态—水景观等指标随时间变化的特征，如何科学精简指标以获得有效数据是调查方案编制最为关键的一环。因此，在公园水域制定面向公众满意度提升的调查方案时，应遵循如下原则：

表1 公园水环境—水生态—水景观指标、测定方法及其参照难易程度

序号	指标	类别	指标可感知类别与测定方法	参照难易程度
1	透明度*	水环境指标	视觉直接感知类指标，现场目视测定	易参照比较
2	浊度*		视觉可感知指标，现场仪器测定	易参照比较
3	水体光衰减系数		视觉可感知指标，现场仪器测定	易参照比较
4	水温*		触觉可感知指标，现场仪器测定	难参照比较
5	酸碱度		弱感知指标，现场仪器测定	可参照比较
6	电导率		无感知指标，现场仪器测定	可参照比较
7	溶解氧*		无感知指标，现场仪器测定	易参照比较
8	高锰酸盐指数		无感知指标，实验室测定	易参照比较
9	化学需氧量		无感知指标，实验室测定	易参照比较
10	五日生化需氧量		无感知指标，实验室测定	易参照比较
11	总悬浮物		视觉可感知指标，实验室测定	可参照比较
12	有色溶解性有机物		视觉可感知指标，实验室测定	可参照比较
13	氨氮		无感知指标，实验室测定	易参照比较
14	总氮		无感知指标，实验室测定	易参照比较
15	总磷		无感知指标，实验室测定	易参照比较
16	叶绿素a*	水生态指标	视觉可感知指标，实验室测定	可参照比较
17	水面植物覆盖率*		视觉可感知指标，现场测定	较难参照比较
18	沉水植物覆盖率		视觉可感知指标，现场测定	较难参照比较
19	野生鱼类出现频次*		视觉可感知指标，现场记录	可参照比较
20	野生鸟类出现频次		视觉可感知指标，现场记录	可参照比较
21	驳岸自然化率*	水景观指标	视觉可感知指标，现场测定	可参照比较
22	水面漂浮垃圾*		视觉可感知指标，现场测定	易参照比较
23	水体嗅觉		嗅觉可感知指标，现场测定	易参照比较
24	水域植物公众美景度*		视觉可感知指标，定性评判	难参照比较
25	水域人文景观协调度		视觉可感知指标，定性评判	极难参照比较
26	水域科普教育显示度		视觉可感知指标，定性评判	极难参照比较

注：指标标注“*”，建议作为公园水域“水环境—水生态—水景观”调查基本指标。

- (1) 明确调查目的。分析选取描述问题的因变量 ($y_1, y_2, y_3, \dots$)，以及影响该问题的自变量 ($x_1, x_2, x_3, \dots$) 与协变量 ($z_1, z_2, z_3, \dots$)。
- (2) 研定调研单元。在明确调查目的和问题的基础上，分析在调查公园的水域类型和分布。一般可根据公园水域的水力连通性和形态特征差异，将水域划分为池塘 / 湖泊、河流 / 溪流两个类型。按照空间布局进行分片划定基本调查单元，设置调查样带和调研样点。
- (3) 选择调查手段。针对具体问题所选择的调查指标，

- 应清楚获取手段采集的瞬时信息能有效代表什么空间和时间尺度特征，否则，会导致有效信息缺失或大量冗余信息，产生结果失真和无效信息问题。目前较常用的信息获取手段包括遥感数据产品（卫星、无人机）、传感器监测（固定式和移动式）、图像图形识别、现场测定、实验室测定等，多源数据整合分析已成为解决问题的有效手段和发展趋势。
- (4) 确立调查频次。通常在公园水域全年稳定的信息基础上，一般可利用遥感数据产品获取相关要素（水域类型、植被分布、园路栈道、驳岸平台、潜在污染源、泵闸喷泉等）的



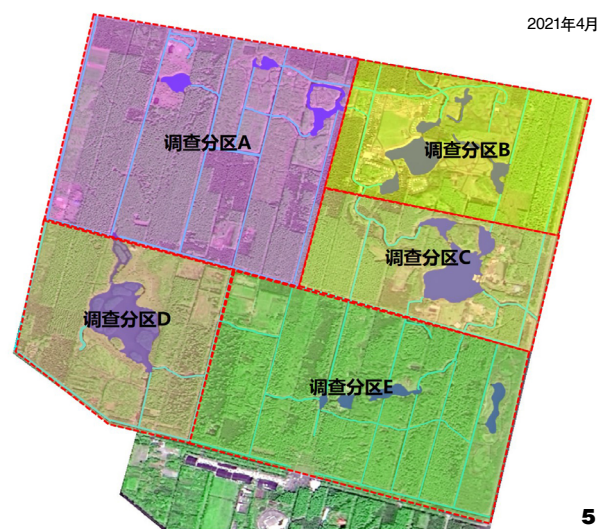
地理分布、用地状况等基本信息；而针对季节性变化、随机性事件或具有事件累积效应的水环境—水生态—水景观问题，比如藻类爆发、水草疯长、景观季相、水体浑浊、漂浮垃圾、污染超标等，则需要现场实施数据信息采集，甚至是长时间序列的数据获取。

2.2 崇明东平森林公园水域质量调查方案编制案例

2021年5月，第十届中国花卉博览会在上海崇明东平地区举办。本文以东平森林公园（占地范围212 km²）为案例介绍公园水域质量调查实施方案，并调查东平森林公园的水域质量及其生物多样性维护现状。

（1）调查工作的目的和问题分析。由于目前政府对公园水域的环境—生态—景观质量监管方面，在项目级尺度尚缺乏明确的法律法规、行政要求和技术规范，调查工作委托方也无法判定明确的调查目的和问题，研判后明确该项调查要解答两个方面问题：（1）建设活动对东平森林公园水域质量的影响是正效应，还是负效应；（2）东平森林公园水域的质量现状是否健康，实际上要科学解答上述比较性或过程性问题，需要多期跟踪观测数据，在规定时间内完成调查工作应选取关键指标和可实现的技术手段。

选取2019年5月期（景）遥感数据作为建设前的对照，选取2021年5月期（景）遥感数据作为现状数据。遥感数据产品分别采用美国地质调查局Landsat 8（30 m）为一类数据，欧洲宇航局哥白尼计划Sentinel-2（10 m）为二类数据（图4），国产高景-1号（2 m）作为调查最高分辨率辅助数据，指导现

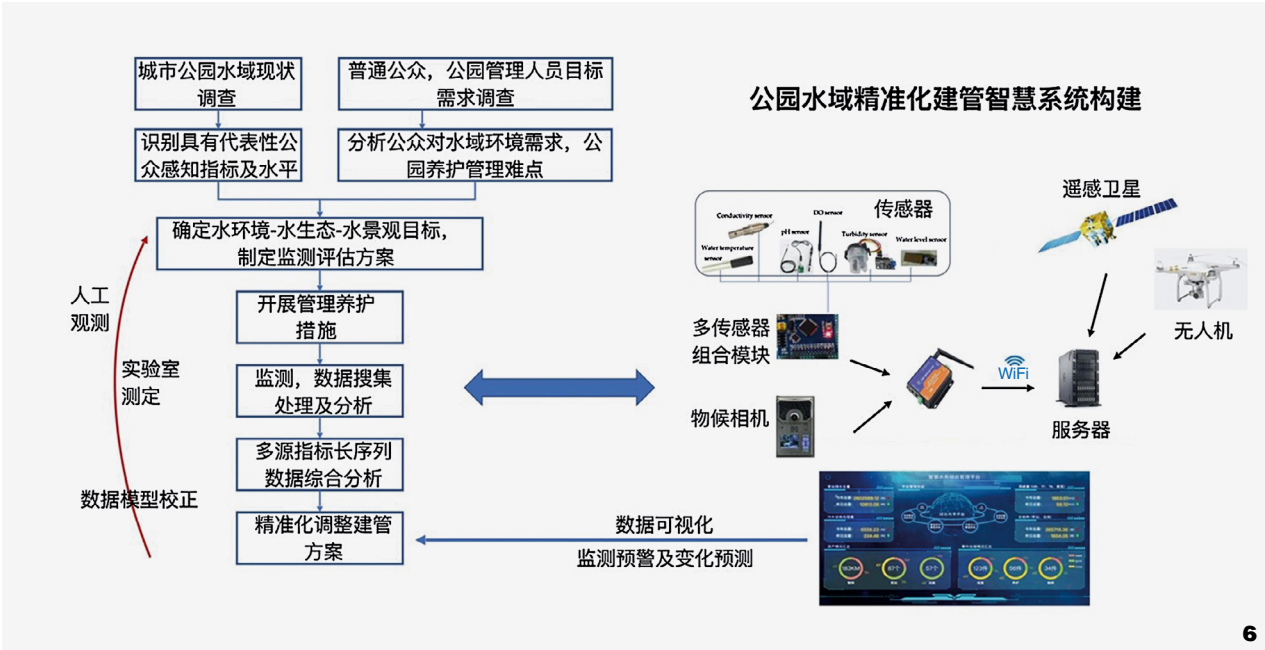


4. 不同时期的东平森林公园水域遥感数据比较分析

5. 东平森林公园水域质量调查分区

场调查方案编制（图5）。由图4所示，两者显示为水域的比较差异较大，将显著变化区标识为现场重点核查区域。

（2）调查基本单元和调查方案编制。如图5所示，利用国产高景-1号（2 m）对水域分布格局进行识别，上海作为典型的平原河网地区，公园水域主要由人工开挖的湖泊/池塘和河流/沟渠组成。考虑到公众视觉作为最重要的感知，一般视点和视距在开放空间能接收的有效面积信息约600 ~ 5 000 m²。同时，考虑到遥感数据产品精度和较小水域的视觉影响力较弱，筛选斑块状的湖泊/池塘面积大于2 500 m²，带状的河流/沟渠常水位宽度不小于5 m，且长度不小于100 m的公园水域作



6. 公园水域精准化建管智慧系统构建示意图

为有效调查对象。在由湖泊/池塘+河流/沟渠构建的公园水系，调查范围尺度较大时，建议以斑块状水域分布特征作为调查分区划分依据，在调查分区内分别开展湖泊/池塘和河流/沟渠的类别调查样线和调查点布设；每个调查分区按照斑块状和条带状水域的面积占比，设置相应比例的调查样线和调查点数量，每个调查分区至少布置三个单类型的调查点和调查样线。公园内除了单个斑块状的水域面积较大，通常单个调查分区的面积不超过4 hm²，以调查分区内不同类型水域的调查指标平均值代表局域质量。

(3) 调查指标选取和现场调查。根据本案例需解答的问题，选取了公众感知的水域清澈度指标两个，分别为透明度(SD)和浊度(Turb)，以及支撑水域清澈度的指标4个，分别为溶解氧(DO)、叶绿素a(Chl-a)、总悬浮物(TSS)、总磷(TP)；在水域沿岸边坡选取了公众感知的驳岸自然化率、水面植物覆盖率、水面漂浮垃圾等指标，主要采用高清遥感判读、现场调查与拍照图像识别等手段；为获得生物多样性现状数据，记录调查了植物多样性、浮游植物种类、浮游动物种类、底栖动物种类等信息。

3 城市公园水域质量精准化、智慧化监管策略和途径构建

在半个世纪的发展历程中，水域质量调查评价一直使用现场人工观测和实验室分析的方法。该方法虽然能够提供足够的指标信息，但是耗费大量人力物力获取了低频次的瞬时数据信息^[6]。水域质量调查评价面临最难的问题是：单个指标或多个指标统计的结果，如何评价水域质量优劣？在水环境指标方面，尤其是污染物指标方面可依据国家或地方标准、基准值进行判定^[7]；而在水生态、水景观指标方面，由于缺乏参照坐标系或指标本身就属于公众美学和社会学属性，低频次的指标能代表的质量信息较弱，无法进行比较。替代的方法就是进行同时期的自身变化比较，以及利用公众满意度概率法进行质量优劣排序。

遥感数据产品、在线传感器和图像图形识别等信息化技术手段的迅猛发展，为水环境—水生态的高频次数据采集提供了有力支撑，克服实验室和人工监测方法的一些局限性，与数据远程传输和大数据模型技术正在逐渐解决以往该领域的瓶颈问题^[8]。目前在饮用水质量、市政管网达标、污水处理监管、河湖水域黑臭水体、富营养化藻华爆发、水产养殖、入侵

生物漂浮垃圾等预警监测领域,已逐渐从数据可视化向数据智慧化发展,成为“智慧水务”的重要内容。公园水域质量的精准化、智慧化途径(图6),应鉴别吸纳较成熟“智慧水务”解决方案,建立应用场景化的“公园水域智慧化”解决方案,建议围绕如下策略和途径实施:

(1) 建立典型公园水域设立参照系观测。应根据本地地区的公园水域特征,以最小调查单位设立典型公园水域的水环境—水生态—水景观参照系观测点。建议综合公众满意度、专家现场评判、支撑质量指标等三方面因素,选择综合评价排序最优的作为目标参照系。开展公众满意度因变量、自变量和协变量的人工观测和实验室测定,分阶段建立有利于公众满意度提升的关键指标调查评价指标体系。

(2) 构建多源数据监测和数据校正体系。遥感数据判读、图形图像识别、在线传感器等数据信息,在地块尺度获取的研究对象信息,会与人工观测和实验室测定数据产生偏差。应对本地域的公园水域主要研究对象,进行信息化采集数据和传统采集数据的校正,在此基础上形成成熟信息化采集数据的外推模型估计,通过不断叠加数据信息逐步提高预测解释率。

(3) 数据可视化和预警预测智慧系统构建。基于无线传感器网络的监测方法,通常包括数据采集、数据传输、数据处理、数据存储和数据转发5个步骤^[9]。物联网新发展的通信技术很大程度上推动基于无线传感器网络的水质监测系统向更高的水平发展,数据可以存储在本地服务器或云,然后分享给终端用户。数据可视化和预警预测智慧系统构建应该:根据较成熟技术的公园建管应用场景,比如水环境参数在线监测、水面漂浮垃圾、水生植物分布与季相等,搭建公众满意度提升的数据可视化解决方案;基于参照系观测、多源数据实验校正模型等研究结果,逐步搭建难以参照比较的水生态—水景观指标体系,通过进行目标参照系比较、自身过程变化比较,形成精准化指导公园水域建管措施数据支撑;利用大量数据的不断累积,整合多源手段的高频次数据信息,建立本地域公园水域质量指标的多元模型关系,实现“监测—预警—预测”功能,为提前做好精准化公园管养措施决策提供数据和技术支撑。

4 结论

文章以面向公众满意度提升的公园水域质量调查为主要研究内容,根据生态系统服务理论剖析了公园水域质量的公

众感知指标,在分析1980—2020年中国知网科学数据库在公园水域研究文献、景观娱乐用水标准基础上,结合课题组在上海开展“湿地园林”相关研究和调查数据,提出了描述公园水域质量的“水环境—水生态—水景观”指标筛选表;以2021年5月在崇明东平森林公园水域调查为案例,阐述了平原河网地区公园水域调查方案编制和实施过程;尝试提出了利用遥感数据产品、在线传感器和图像图形识别等信息化技术手段,构建公园水域质量精准化建管的智慧化策略和途径。期望本研究能为公园水域质量纳入“河湖长制”治理体系,以及城市公园水域景观智慧建设提供参考。后续应重点深入研究公众满意度提升的具体应用场景,细化描述关键指标和支撑指标的获取手段,为城市绿化行业的“水环境—水生态—水景观”质量监管提供技术手段和依据。■

参考文献

- [1] COSTANZA R, ARGE, GROOT R D, et al. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital[J]. Nature, 1997, 387(15): 253-260.
- [2] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis[Z]. Washington DC: World Resources Institute, 2005.
- [3] TEUBNER K, TEUBNER I E, PALL K, et al. New Emphasis on Water Transparency as Socio-Ecological Indicator for Urban Water: Bridging Ecosystem Service Supply and Sustainable Ecosystem Health[J]. Frontiers in Environmental Science, 2020(24): 1-22.
- [4] 崔心红, 钱又宇. 湿地公园[J]. 中国园林, 2004(04): 60-61.
- [5] 朱义, 张群, 刘家霖, 等. 沿岸用地状况对中小河道沉水植物定居光照强度的影响[J]. 环境科学学报, 2021, 41(6): 2414-2420.
- [6] BIRGAND F, APPELBOOM T W, CHESCHEIR G M, et al. Estimating Nitrogen, Phosphorus, and Carbon Fluxes in Forested and Mixed-use Watersheds of the Lower Coastal Plain of North Carolina: Uncertainties Associated with Infrequent Sampling[J]. Transactions of the Asabe, 2011(54): 2099-2110.
- [7] 生态环境部. 环境影响评价技术导则 地表水环境: HJ2.3-2018[S]. 北京: 中国环境出版社, 2018.
- [8] ZHU J J, DRESSEL W, PACION K, et al. ES&T in the 21st Century: A Data-Driven Analysis of Research Topics, Interconnections, and Trends in the Past 20 Years[J]. Environmental Science and Technology, 2021, 55(6): 3453-3464.
- [9] CHEN Y, HAN D. Water Quality Monitoring in Smart City: A Pilot Project[J]. Automation in Construction, 2018(89): 307-316.