

Python语言在水资源质量评价中的应用与展望

宋盼盼^{1*}, 尹伟荣¹, 余本林¹, 于湏湏²

¹湖北省孝感市水文水资源勘测局, 湖北 孝感

²孝感市水利水电工程质量监督站, 湖北 孝感

收稿日期: 2026年3月18日; 录用日期: 2026年5月7日; 发布日期: 2026年6月29日

摘要

针对当前水资源质量评价工作中存在的传统数据处理软件功能局限、海量数据处理能力不足以及技术集成度低等问题, 本文系统分析了Python语言在突破上述瓶颈方面的技术优势, 提出了一套基于Python的水资源质量评价系统技术架构, 涵盖水质分类评价、水体营养状态评价、黑臭水体污染程度评价及交互式水质地图绘制等典型应用场景。测试结果表明, Python能显著提升数据处理效率与评价科学性, 同时实现水资源质量问题的可视化。未来Python语言在水资源管理、水资源质量评价领域具有更加广阔的应用前景。

关键词

水资源, 质量评价, 数据处理, Python语言, 可视化

Application and Prospect of Python Language in Water Resource Quality Assessment

Panpan Song^{1*}, Weirong Yin¹, Benling Yu¹, Yunyun Yu²

¹Xiaogan Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Hubei Province, Xiaogan Hubei

²Xiaogan Hydropower Engineering Quality Supervision Station, Xiaogan Hubei

Received: March 18, 2026; accepted: May 7, 2026; published: June 29, 2026

Abstract

To address the limitations of traditional data processing software in current water quality assessments, such as functional constraints, inadequate capacity for processing massive data, and low technical integration, this paper systematically analyzes Python's technical advantages in overcoming these bottlenecks. It proposes a Python-based technical framework for a water quality assessment system, covering typical

作者简介: 宋盼盼(1987.01-), 湖北广水人, 大学本科, 高级工程师, 主要研究方向为水资源质量分析与评价。

*通讯作者 Email: pandasoong@foxmail.com

文章引用: 宋盼盼, 尹伟荣, 余本林, 于湏湏. Python 语言在水资源质量评价中的应用与展望[J]. 水资源研究, 2026, 15(3): 326-332. DOI: 10.12677/jwrr.2026.153035

application scenarios such as water quality classification, trophic status evaluation of water bodies, black-odorous water assessment, and interactive water quality mapping. Test results demonstrate that Python significantly improves data processing efficiency and the scientific rigor of assessments, while facilitating the visualization of water resource quality issues. Ultimately, Python shows great potential for broader applications in water resource management and water resource quality assessment.

Keywords

Water Resources, Quality Assessment, Data Processing, Python, Visualization

Copyright © 2026 by author(s) and Wuhan University & Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水资源是支撑社会经济可持续发展和维系生态平衡的基础性自然资源，其质量与人民群众生产生活息息相关。当前，面对人民群众日益增长的优美生态环境需要，水生态环境保护已逐步由污染防治为主向水资源、水环境、水生态等流域要素系统治理、统筹推进转变，随着水质水生态监测体系的不断完善，监测数据已呈现出“海量、多源、异构、高维”的新特征[1]。水资源质量评价是通过对水质监测数据的系统分析，评估水体质量状况、识别主要污染因子、预测水质变化趋势，为水资源保护规划制定、污染治理措施实施和水资源质量风险管理提供科学依据。在当前的评价工作中，Excel、WPS 等传统办公软件仍是主要工具。然而，在面对数据量爆炸性增长、多源数据整合及可视化展示等新挑战和新需求时，传统软件暴露出诸多局限性：一是对运行环境依赖性高，跨平台能力差；二是高度依赖人工操作，易引入人为误差；三是处理大规模数据和复杂计算任务时能力有限；四是数据处理、模型计算与可视化展示环节割裂，缺乏全流程的自动化与智能化支持。

近年来，随着智慧水利建设的纵深推进，以数字化、网络化、智能化为主线，以数字化场景、智慧化模拟、精准化决策为路径，具有预测、预警、预演、预案“四预”功能的智慧水利体系逐步构建，为新阶段水利高质量发展提供了有力支持和强力驱动，利用新技术新手段来解决水文水资源领域的问题已成为新时代需求[2]。

2. Python 语言在水资源质量评价中的优势

Python 作为一种解释性高级编程语言，已经深入大数据、人工智能等热门领域，其凭借简洁易读的语法、丰富的第三方库和强大的数据处理能力[3]，在水资源质量评价领域具有显著的应用优势：

1) 海量数据处理能力。借助 Pandas 和 NumPy 等库，Python 能够高效处理百万级以上的水质监测数据，支持缺失值处理、异常值检测和多维数据聚合，远超传统表格软件的性能极限。

2) 模型构建与评价方法多样性。从简单的单因子评价法到复杂的机器学习预测模型，Python 的 Scikit-learn 等生态库提供了极大的灵活性，支持自定义评价算法的快速落地。

3) 多源数据融合与高级可视化。Python 能够无缝读取 CSV、Excel、NetCDF 及 GIS 空间数据，并通过 Matplotlib、Seaborn、Folium 等库实现从静态统计图表到动态交互式水资源质量地图的全方位可视化展示。

4) 流程自动化与成本效益：Python 脚本可将数据导入、清洗、评价、出图整合为一键式自动化工作流，且作为开源语言，大幅降低了专业软件的采购与维护成本。

3. Python 在水资源质量评价中的应用

3.1. 水资源质量分类评价

水资源质量分类评价是水资源质量评价中最基本、最常用的一项内容，其目的是依据国家或者行业标准，将水体按其质量状况划分至不同的等级，从而直观地反映水体的污染程度和适用功能。该模块设计的主要依据为《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)和《地表水资源质量评价技术规程》(SL 395-2007)中的相关规定。在 Python 代码实现中，利用 Pandas 和正则表达式(re 模块)对含有特殊符号(如“<检出限”)的数据进行自动化清洗(按 1/2 检出限计算)。水资源质量分类评价的逻辑遵循“从优不从劣”的单项指标定级和“从劣不从优”的综合定级原则[4]。该模块核心代码如下：

```
01 def evaluate_single_factor(value, limits):
02     """根据单因子限值评价水质等级"""
03     if value <= limits[0]: return 'I类'
04     if value <= limits[1]: return 'II类'
05     if value <= limits[2]: return 'III类'
06     if value <= limits[3]: return 'IV类'
07     if value <= limits[4]: return 'V类'
08     return '劣V类'
09     # 示例：氨氮项目评价
10     NH3N_limits = [0.15, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0]
11     df['NH3N_level'] = df['NH3N'].apply(lambda x: evaluate_single_factor(x, NH3N_limits))
12     # 综合评价：取所有单项评价结果中最差等级
13     level_map = {'I类': 1, 'II类': 2, 'III类': 3, 'IV类': 4, 'V类': 5, '劣V类': 6}
14     inv_level_map = {v: k for k, v in level_map.items()}
15     # 获取所有指标评价列
16     factor_level_cols = [col for col in df.columns if '_level' in col]
17     df['综合评价'] = df[factor_level_cols].apply(
18         lambda row: inv_level_map[max(row.map(level_map))], axis=1
19     )
```

为了测试代码运行状况，同时实现软件的移植性应用，即在任何其他未安装 Python 软件的 PC 上正常运行，使用 auto-py-to-exe 工具可将写好的 Python 代码打包成可执行文件“地表水环境质量评价系统.exe”。将水质检测数据按表 1 中的样式导入评价软件，软件运行界面见图 1。测试结果表明，处理 1000 个样本(见表 1)的 21 项指标数据仅需约 1~2 秒，结果与传统人工计算完全一致。

表 1. 水资源质量分类评价导入数据样例

样品编号	样品名称	水体类别	采样日期	pH 值	溶解氧	高锰酸盐指数	氨氮	铜	
2025001	河流 001	河流	2025.1.4	7.64	10.69	3.2	0.715	<0.001	
2025002	湖库 002	湖库	2025.1.4	7.99	10.68	4	0.247	<0.001	
2025003	河流 003	河流	2025.1.4	7.36	10.5	5.1	0.769	<0.001	
2025004	水库 004	河流型水库	2025.1.4	7.48	9.6	<0.5	0.127	<0.001	
2025005	水库 005	河流型水库	2025.1.4	7.94	9.7	0.5	0.127	<0.001	
.....									



图 1. 水资源质量分类评价软件运行界面

3.2. 水体营养状态评价

水体营养状态是通过一系列营养状态代表性指标的监测与评估来实现的[5]，通过预警藻类水华风险，为污染防治、水产养殖、生态旅游等产业提供科学指导，促进生态环境的可持续发展。该模块设计主要依据《地表水资源质量评价技术规程》(SL 395-2007)中的相关规定，采用评分法对总磷(TP)、总氮(TN)、高锰酸盐指数(CODMn)、叶绿素 a (Chl a)和透明度(SD) 5 项核心指标进行评价。通过 Python 构建各指标浓度值与赋分值(En)的线性插值分段函数，自动计算营养状态指数(EI)并判定分级[6]。该模块还内置了“叶绿素 a 必评项目”的逻辑复核功能，确保评价程序的严谨性。其核心代码如下：

```
01 def __init__(self):
02     # 以参数总磷为例，分段函数参数配置 [阈值, 系数, 截距]
03     self.params = {
04         '总磷': [
05             (0.001, 10000, 0), (0.004, 10000/3, 20/3), (0.01, 5000/3, 40/3),
06             (0.025, 2000/3, 70/3), (0.05, 400, 30), (0.1, 200, 40),
07             (0.2, 100, 50), (0.6, 25, 65), (0.9, 100/3, 60),
08             (1.3, 25, 135/2), (float('inf'), 0, 100)
09         ]
10     }
11     # 营养状态分级
12     self.levels = [(20, '贫营养'), (50, '中营养'), (60, '轻度富营养'),
13                   (80, '中度富营养'), (100, '重度富营养')]
14     def calc_score(self, x, segments):
15         """计算单项指标得分"""
16         if pd.isna(x) or x < 0:
17             return float('nan')
18         for threshold, k, b in segments:
19             if x < threshold:
20                 return round(k * x + b, 3)
21         return 100.0
22     def get_level(self, ei):
23         """获取营养级别"""
24         for limit, name in self.levels:
25             if ei <= limit:
26                 return name
27         return '重度富营养'
```

3.3. 黑臭水体污染程度评价

黑臭水体是指由于水中有机污染物的生物、化学作用，降低了水体中溶解氧的浓度，导致水体进入缺氧、厌氧以至发黑发臭的状态[7]。黑臭水体的识别和治理成效的判定，其主要的技术手段为水体监测评价。本模块的设计依据为住建部等部委联合印发的《城市黑臭水体整治工作指南》，评价指标包括透明度、溶解氧(DO)、氧化还原电位(ORP)和氨氮(NH₃-N)。Python 程序通过定义多条件判断函数，快速识别水体是否属于“轻度黑臭”或“重度黑臭”。该模块极大简化了基层一线监测人员的数据筛查工作，为黑臭水体治理成效的动态评估提供了高效工具。其核心代码如下：

```
01 # 黑臭水体分级评价
02 def evaluate_black_odor(row):
03     """评价黑臭水体等级"""
04     do = row['DO']
05     nh3_n = row['NH3-N']
06     # 重度黑臭条件
07     if do <= 0.2 or nh3_n > 15:
08         return '重度黑臭'
09     # 轻度黑臭条件（满足任一即可）
10     # 透明度(SD) < 25cm, DO < 2mg/L, ORP < -200mV, NH3-N > 5mg/L
11     if row['SD'] < 25 or do < 2 or row['ORP'] < -200 or nh3_n > 5:
12         return '轻度黑臭'
13     return '非黑臭'
14 df['黑臭等级'] = df.apply(evaluate_black_odor, axis=1)
```

3.4. 交互式水质地图生成

交互式水质地图是 GIS 技术应用于水资源质量评价结果输出的最终展示，它将水环境领域中许多复杂多变的数据与空间位置相联系，可使流域水环境信息从单一的表格、数据中走出来，以生动形象的图形、图像方式呈现出来，实现水环境问题的可视化，在此基础上还可以实现相关流域水环境的动态监测、预警及规划[8]。本模块利用 Python 的 Folium 库将包含经纬度坐标的水质评价结果转化为动态交互式 HTML 地图，模块根据水质类别自动生成带颜色标记的监测点位。还可以通过缩放、平移和点击标记点，直观查看各断面的详细水质信息，实现了从枯燥表格到可视化空间叙事的跨越。其核心代码如下：

```
01 # 水质类别颜色映射
02 self.color_map = {
03     'I类': 'blue', 'I': 'blue',
04     'II类': 'green', 'II': 'green',
05     'III类': 'yellow', 'III': 'yellow',
06     'IV类': 'orange', 'IV': 'orange',
07     'V类': 'red', 'V': 'red',
08     '劣V类': 'black', '劣V': 'black',
09     'default': 'gray'
10 }
11 # 地图底图配置，以 OpenStreetMap 为例
12 self.tiles = {
13     'OpenStreetMap': 'https://{s}.tile.openstreetmap.org/{z}/{x}/{y}.png'
14 }
15 def create_map(self):
16     """创建地图"""
17     center = [self.df['纬度'].mean(), self.df['经度'].mean()]
18     m = folium.Map(location=center, zoom_start=10, control_scale=True)
19     # 添加底图
20     for name, url in self.tiles.items():
21         folium.TileLayer(url, name=name, attr=name).add_to(m)
```

将编写完成的 Python 代码制作成可执行程序，运行界面见图 2。导入包含监测点地理信息及水质类别的 xls 或 xlsx 文件，可迅速生成包含水资源质量信息的交互式水质地图，见图 3。

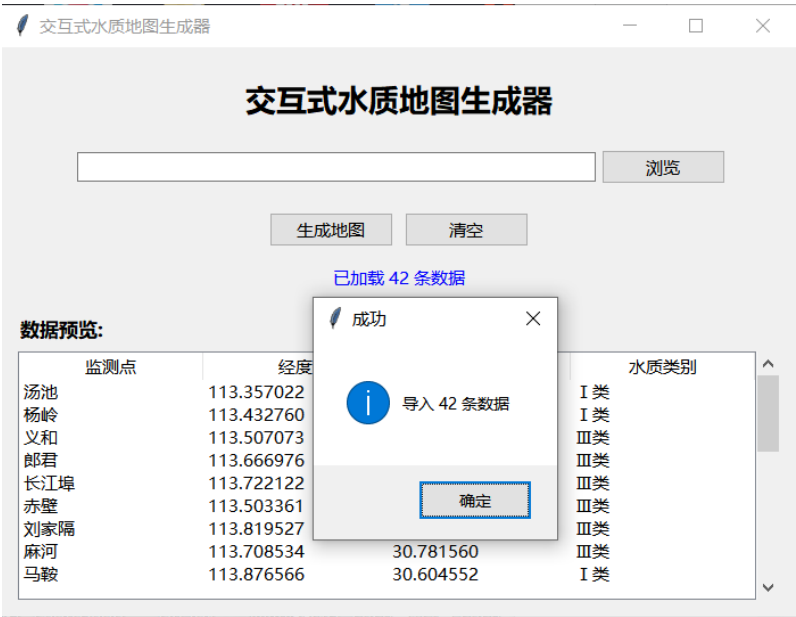


图 2. 交互式水质地图生成软件运行界面

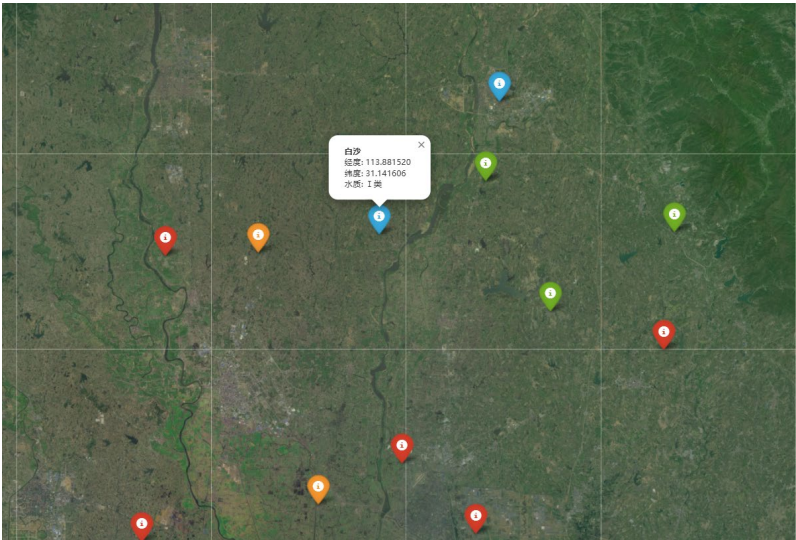


图 3. 包含水资源质量信息的交互式水质地图

4. 结论与展望

4.1. 结论

本文系统论证了 Python 语言在水资源质量评价中的巨大潜力，通过构建集数据清洗、智能评价、动态可视化于一体的综合性评价系统，有效地克服了传统办公软件在处理海量监测数据时的性能瓶颈与功能割裂问题。实践证明，基于 Python 开发的评价工具不仅计算准确、运行高效，且具备极强的可移植性与扩展性，能够显著提升水资源、水环境管理部门的工作效率与决策科学性。

4.2. 展望

随着信息技术的不断发展, Python 语言在水资源管理、水资源质量评价领域具有更加广阔的应用前景。水资源质量评价系统的开发是一项融合了水资源管理、水环境监测、地理信息技术及计算机语言编程多项技术的交叉学科, 本文的水资源质量评价系统仅实现了水质分类评价(地表水类别评价模块和黑臭水体分级评价模块)、综合指标评价(水体营养状态评价模块)和交互式水质地图绘制三个常用功能。未来基于 Python 的水资源质量评价系统可在以下方向进一步发展和完善:

一是人工智能深度融合。进一步融合深度学习、自然语言处理、知识图谱等人工智能技术, 提升系统的智能化水平。如利用深度学习模型预测水质演变趋势、借助计算机视觉从遥感影像中反演水质参数[9]、通过图谱识别技术从实验室检验检测仪器中快速识别并抓取检测数据;

二是实时数据处理与预警。强化与物联技术的结合, 实现水质传感器实时数据的接入、处理和自主分析, 构建实时水质监测与预警系统。利用流计算技术处理海量实时数据流, 实现水质异常的快速识别和预警, 进一步提升监管机构的应急响应能力。如南水北调中线工程集成了 13 座水质监测自动站、30 个固定监测断面等各种水质指标实时数据, 实现全线水质多参数监测告警[10];

三是数字孪生流域集成。将水资源质量评价系统与数字孪生流域技术相结合, 构建虚拟流域环境, 实现水质过程的动态模拟、情景预测和可视化展示。当前, 数字孪生流域在水资源管理方面的应用已从试点走向规模化实践, 广泛支撑精准调度、高效配水、生态保障与应急响应等关键场景。浙江省安吉县数字孪生水资源系统通过构建包括指标体系、评价方法与等级划分标准的水量水质综合评价模型, 实现流域水资源数量、质量与开发利用程度的综合评价[11]。通过数字孪生模型与实体流域的实时交互, 为智慧水利和精准治污提供全景式的决策支持平台。

参考文献

- [1] 徐梦溪, 施建强, 王丹华. 天地网一体的水环境监测数据整合关键技术[J]. 水利信息化, 2021(2): 29-33.
- [2] 姜秋香, 郭伟鹏, 王子龙, 等. Python 语言在水文水资源领域中的应用与展望[J]. 计算机工程与应用, 2023, 59(9): 46-58.
- [3] 祝永志, 荆静. 基于 Python 语言的中文分词技术的研究[J]. 通信技术, 2019, 52(7): 1612-1619.
- [4] 水利部水环境监测评价研究中心. 地表水资源质量评价技术规程 SL 395-2007 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
- [5] 张辰, 夏婧, 闵天, 等. 基于 Landsat 影像的长寿湖水体营养状态时空变化遥感研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2025, 59(1): 135-144.
- [6] 宋盼盼, 周猛, 肖莹. 基于 Python 语言的水体营养状态评价系统的设计[J]. 水利技术监督, 2024(1): 45-49.
- [7] 吴娜娜, 何洋, 谭有晨. 我国黑臭水体的污染现状与治理技术[J]. 建筑与预算, 2019(11): 79-81.
- [8] 赵勇胜, 林学钰. 环境及水资源系统中的 GIS 技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 251.
- [9] 沈蔚, 纪茜, 邱耀炜, 等. 基于高光谱遥感的长江口叶绿素 a 浓度反演推算[J]. 水生态学杂志, 2021, 42(3): 1-6.
- [10] 孙维亚, 邬俊杰, 茹兴康, 等. 数字孪生在南水北调中线高质量发展中的应用实践[J]. 水利发展研究, 2024, 24(9): 85-89.
- [11] 李传龙, 王思如, 胡继成, 等. 数字孪生流域水资源优化配置研究与实践[J]. 水利信息化, 2025(4): 10-16.