

降雨对人工湖水体的复电阻率特性影响研究

李浩龙, 李凯旋, 许焯国, 丁信然, 王朝霆, 王海强

宿州学院资源与土木工程学院, 安徽 宿州

收稿日期: 2023年4月20日; 录用日期: 2023年5月18日; 发布日期: 2023年5月29日

摘要

复电阻率特性对水体中的物质、含量等能较好的识别, 通过复电阻率特征可以分析和测量来识别水质的变化和污染情况。为了了解降雨对人工湖水体的复电阻率特征影响, 用以判断人工湖水体的污染情况与污染范围, 以宿州学院校内人工湖为例, 分别采集了饮用水、下雨前人工湖湖水、下雨后人工湖湖水三种水质情况不同的水进行实验, 分别测量了三种水体的复电阻率的电导率、相位与幅值, 比较测量结果的电导率、幅值和相位差异。结果表明, 人工湖湖水与饮用水复电阻率相比相差明显, 人工湖水体的相位与幅值均小于饮用水的相位与幅值, 雨后人工湖水体与雨前人工湖水体复电阻率特性发生变化, 降雨之后的人工湖水体的电导率和幅值都增大。研究显示, 降雨会影响人工湖水体的复电阻率特性, 使人工湖水体的幅值和电导率增大, 减轻人工湖水体的污染程度。

关键词

复电阻率法, 水体污染, 降雨, 电阻率特性

Study on the Influence of Rainfall on the Complex Resistivity Characteristics of Artificial Lake Water Body

Haolong Li, Kaixuan Li, Yeguo Xu, Xinran Ding, Zhaoting Wang, Haiqiang Wang

School of Resources and Civil Engineering, Suzhou University, Suzhou Anhui

Received: Apr. 20th, 2023; accepted: May 18th, 2023; published: May 29th, 2023

Abstract

The complex electrical resistivity characteristics can effectively identify substances and contents in water bodies. By analyzing and measuring the complex electrical resistivity characteristics,

文章引用: 李浩龙, 李凯旋, 许焯国, 丁信然, 王朝霆, 王海强. 降雨对人工湖水体的复电阻率特性影响研究[J]. 自然科学, 2023, 11(3): 427-436. DOI: 10.12677/ojns.2023.113051

changes in water quality and pollution can be identified. In order to understand the impact of rainfall on the complex electrical resistivity characteristics of artificial lake water, and to determine the pollution situation and scope of artificial lake water, taking the artificial lake in Suzhou University as an example, experiments were conducted on three different water quality conditions: drinking water, artificial lake water before rain, and artificial lake water after rain. The conductivity, phase, and amplitude of the complex electrical resistivity of the three water bodies were measured, and the conductivity of the measured results were compared amplitude and phase differences. The results show that there is a significant difference in the complex resistivity between artificial lake water and drinking water. The phase and amplitude of the artificial lake water are both smaller than those of drinking water. The complex resistivity characteristics of the artificial lake water after rain and before rain change, and the conductivity and amplitude of the artificial lake water after rainfall increase. Research has shown that rainfall can affect the complex electrical resistivity characteristics of artificial lake water bodies, increase the amplitude and conductivity of artificial lake water bodies, and reduce the pollution level of artificial lake water bodies.

Keywords

Complex Resistivity Method, Water Pollution, Rainfall, Resistivity Characteristics

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

水是生命之源，是人类生存的基本需求之一[1]。然而，人类活动往往会对水资源造成污染和破坏，这对水的质量和人类健康带来了严重的影响。随着城市化和工业化的加速发展，大量的工业废水、城市垃圾和污染物被排放到水体中，导致水质严重污染[2]。除了人类活动对水资源造成污染和破坏，降雨也会对水资源产生影响。随着降雨的进行，地表水和地下水的水位会上升，从而增加水资源的量。同时降雨会影响水资源的质量，如果降雨带来的污染物太多，会加剧水体污染，从而影响水资源的质量。降雨也会促进水资源的循环，在降雨的过程中，雨水会渗透到土壤里，形成地下水，然后再流回河流和湖泊中。这个过程有助于水资源的循环和维持。为了能够高效治理水体污染，研究降雨对人工湖水体的影响，需要准确判断是污染情况和污染范围。传统的水质污染检测方法虽然能准确分析水质污染情况，但是传统的水质检测方法需要收集水样并将其送到实验室进行分析，这不仅耗时长而且费用高，费时费力[3]。

近年来地球物理学方法被广泛用于污染土壤和地下水修复实践中的重金属和 POPs 类污染物的检测和动态监测，相对于单一的探测方式，物探与化探相结合的方法不仅时间和费用成本更低，在整体污染情况探测和动态监测方面更是显示出巨大优势[4]。复电阻率法已经成为一种广泛使用的地球物理勘探方法。研究者们通过对不同地质环境下的复电阻率数据进行分析 and 解释，实现了对矿产资源、地下水资源和地质构造等方面的探测和研究。对于水体污染，复电阻率法测量是一种非侵入性检测方法，无需取样，不会对水质造成影响。相较于传统方法复电阻率法，灵敏度更高，对水中微小的离子浓度变化进行检测，具有较高的灵敏度；实时性更好，可以实时监测水质变化，及时发现问题并采取措施；精度更高，复电阻率测量可以提供水中各种离子的浓度信息，具有较高的精度；适用范围广，复电阻率测量可以适用于各种水质，包括自来水、地下水、河水、湖水等；操作简便，复电阻率测量仪器简单易用，操作方便。

利用复电阻率特征来研究人工湖水体的污染有一些独特的优势。首先，它提供了一个精细的评估，可以帮助研究人员了解人工湖水体是否污染和污染范围。此外，复电阻率测量非常准确，精度高，可以

测量很小的变化。另外它是一种低成本、无毒、非侵入性的检测方法，可用于研究不同的人工湖及其水质变化的追溯。

因此，复电阻率法是一种方便快捷的研究人工湖水体污染的方法。它可以提供专业的分析和测量来识别水质的变化和污染物质。由于它的高精度和非侵入性，这项技术将在未来成为湖泊环境监测和保护的重要工具。

基于上述现状，本文通过使用复电阻率法对人工湖水体的复电阻率特性进行试验研究，通过分析复电阻率值参数以及相位与幅值的变化特征来了解降雨对水的复电阻率变化情况，以达到使用复电阻率法预测水体是否污染的尝试。

2. 材料与方法

2.1. 复电阻率法

复电阻率法是一种非侵入式的地球物理勘探方法，它是通过测量地下电阻率来推断地下岩石、土壤、水等物质的性质和分布情况[5]。该方法是基于电性质的不同而建立的，不同物质的电性质不同，因此它们在电场中的响应也不同。复电阻率法是利用电场的特性来研究地下物质的电性质和分布情况的一种方法。

复电阻率普遍使用四电极法测量，两个供电电极负责输出电流，两个不极化电极(Ag-AgCl)负责采集电压，当有电流输入时，介质就会表现出不同的导电性以及介电性，复电阻率法所测量出的复制和相位就分别对应于介质的导电性能(电能损耗)；相位对应于极化率，反应介质的介电性能(电能储存) [6]。

在降雨对人工湖水体的复电阻率特性影响研究中，复电阻率法被用来研究人工湖水体水质的评估和污染情况。通过测量湖水的电阻率，可以推断湖水中的含盐量、水温、水深等物理和化学特性。同时，通过不同时间段的测量，可以研究降雨对湖水复电阻率的影响，了解湖水的动态变化情况。

2.2. 试验材料

试验装置盛水柱材料选用的是具有出色耐化学腐蚀性、耐高温性、耐磨损性和不粘性、电绝缘性的高分子材料聚四氟乙烯，聚四氟乙烯材料是一种由四氟乙烯单体聚合而成的聚合物，通常被称为PTFE(聚四氟乙烯)或特氟龙。盛水柱高260 mm，内径为50 mm，厚5 mm，两个供电电极相距260 mm，两个测压电极相距80 mm，在距离上下底板90 mm处在一直线上各打一孔，孔直径为5 mm，A、B为供电电极；M、N为测压电极，装置示意图见图1。

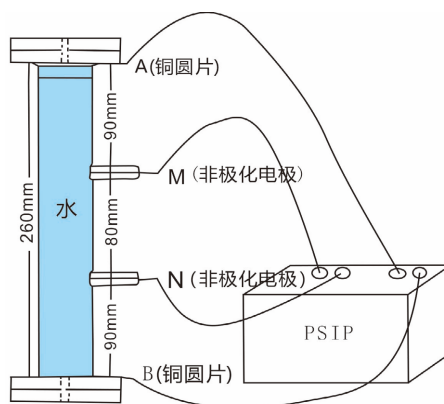


Figure 1. Schematic diagram of PSIP measurement and testing device

图 1. PSIP 测量试验装置示意图

盛水柱两端选用铜圆片与两端供电电极直接连接, 选用铜圆片优良导体既可以提供均匀分布的电流, 又可以防止水流流出。选用琼脂凝胶(Ag-AgCl)非极化电极作为测压电极不仅具有良好的导电性和稳定性, 还可以保持电极的稳定性, 具有较高的灵敏度[4]。本次使用的是由 O & E 公司生产的便携式频谱激电仪 (PSIP), 通过两供电电极发射正弦波交流电, 测量出样品的幅值与相位[7]。

实验采用的水体均为现场采集, 水体均采集于安徽省宿州学院东校区人工湖内如图 2 所示, 在人工湖内每隔十米处设为一个位置点, 总设五个位置点, 每个位置点同一时间内采集三次样品进行试验。五个位置点分别命名为 A1、A2、A3、A4、A5, 每个位置点同一时间内采集三次样品水体命名为 A1-1、A1-2、A1-3、A2-1、A2-2、A2-3 等。降雨后在相同位置点同一时间内采集三次样品水体命名为 A1-1*、A1-2*、A1-3*、A2-1*、A2-2*、A2-3* 等。取同一位置点的三次水体测量复电阻率特征平均值作为位置点复电阻率值。

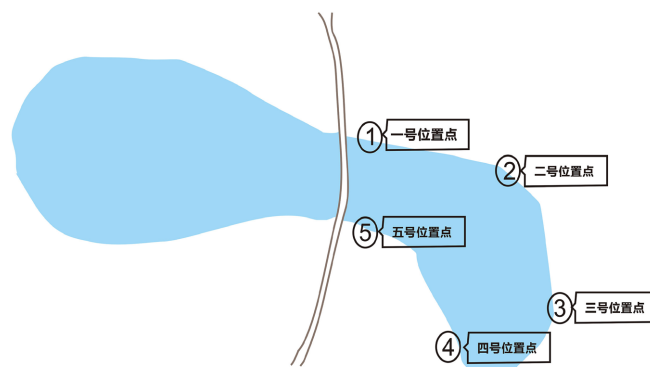


Figure 2. Collection location points of artificial lake water body
图 2. 人工湖水体采集位置点

2.3. 实验步骤

本次实验使用复电阻率法进行实验, 它是使用交流电源和电极来测量物质的电阻率。以下是使用副电阻率法进行试验的步骤。

a) 做好准备工作首先打开便携式频谱激光仪(PSIP), 包括电极、电缆、电源等, 并确认其工作状态正常。同时, 需要准备好测试水体, 饮用水、降雨前人工湖水体、降雨后人工湖水体三种不同水质的水体作为测试水体。

b) 安装好装置把所测水体倒入盛水柱中用两个铜圆片密封, 安装电极, 将电极安装在水中, 保证电极与水面垂直, 并将电极与电缆连接把两个供电电极分别于铜圆片连接, 把测压电极连接琼脂凝胶插入盛水柱中, 连接电源, 将电源连接到电极和电缆上, 保证电源工作正常。

c) 开始测量阻值, 打开测量仪器, 开始分别测量三种水体的电阻率。在测量过程中, 需要注意电极的深度和位置应当保持相同, 避免其他因素对三种水体测量结果造成影响。

e) 记录数据, 将测量结果记录下来, 并进行数据处理, 计算出三种水体的电导率、幅值、相位、电阻率等参数。

f) 分析结果, 根据测量结果, 分析三种水体复电阻率特性, 根据测量出的三种水体的相位以及幅值、电导率值分析比较得到三种水体的复电阻率特性差异。

g) 得出结论, 依据实验结果, 得出结论并进行讨论, 根据饮用水水体、降雨前人工湖水体、降雨后人工湖水体的三种不同水体的复电阻率特性差异, 得出降雨将会对人工湖水体的复电阻率特性产生影响。

3. 结果与分析

如图 3 所示同一位置点相同时间内采集的三次水体的幅值曲线都呈先增大后平缓，同一频率对应的三次数据幅值相差不大，三次采集的水体复电阻率性质基本上相差不大，说明 PISP 仪器相对稳定。

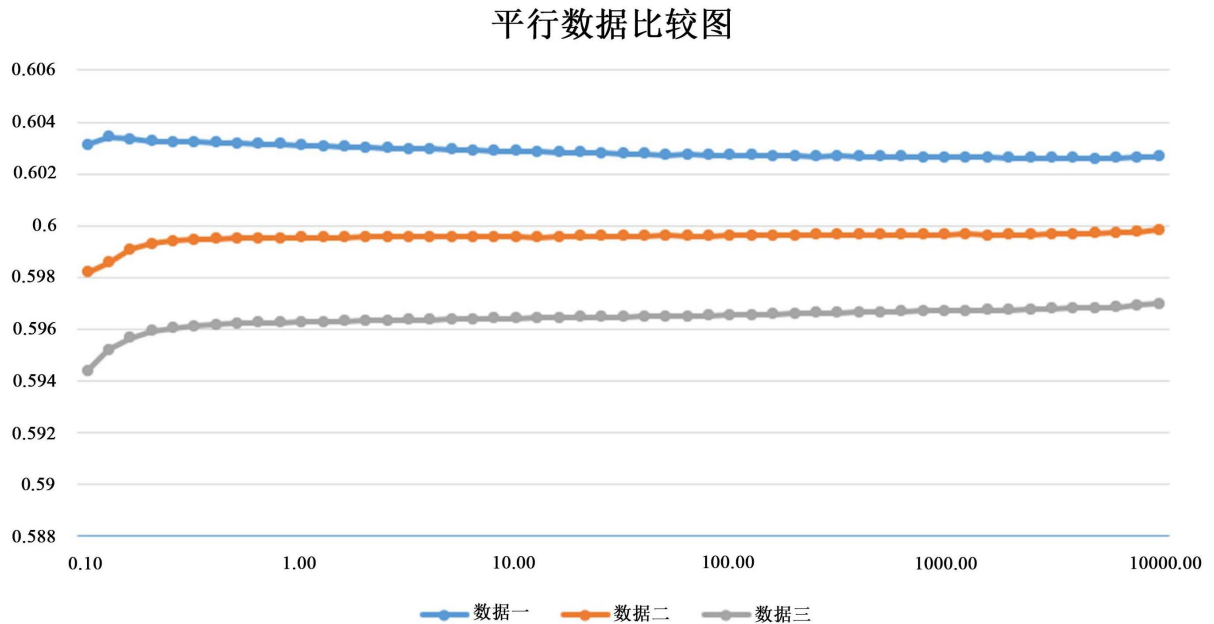
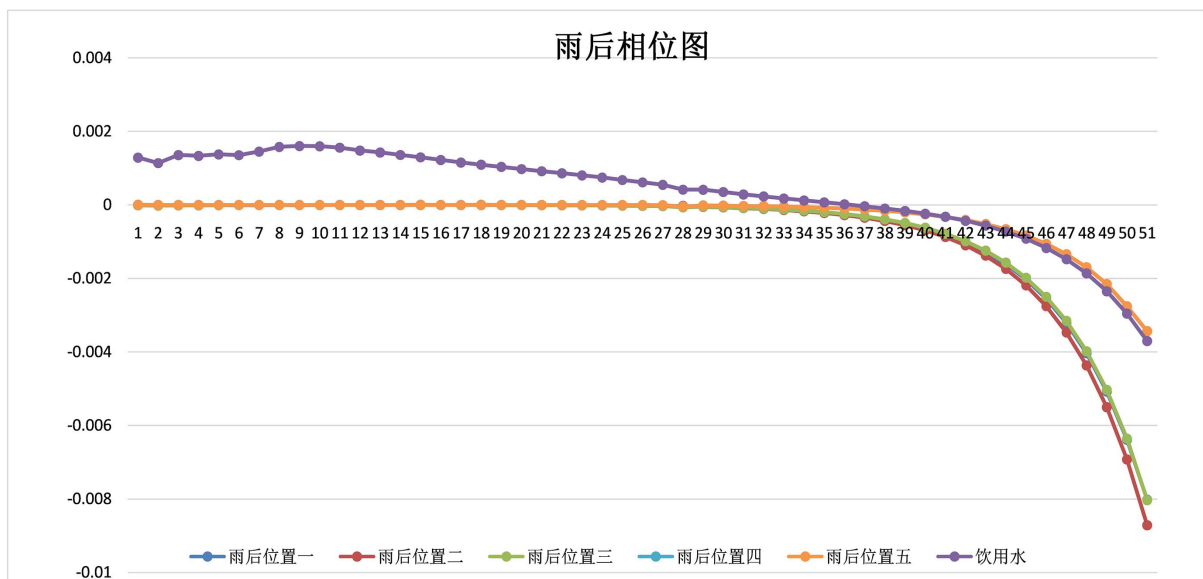


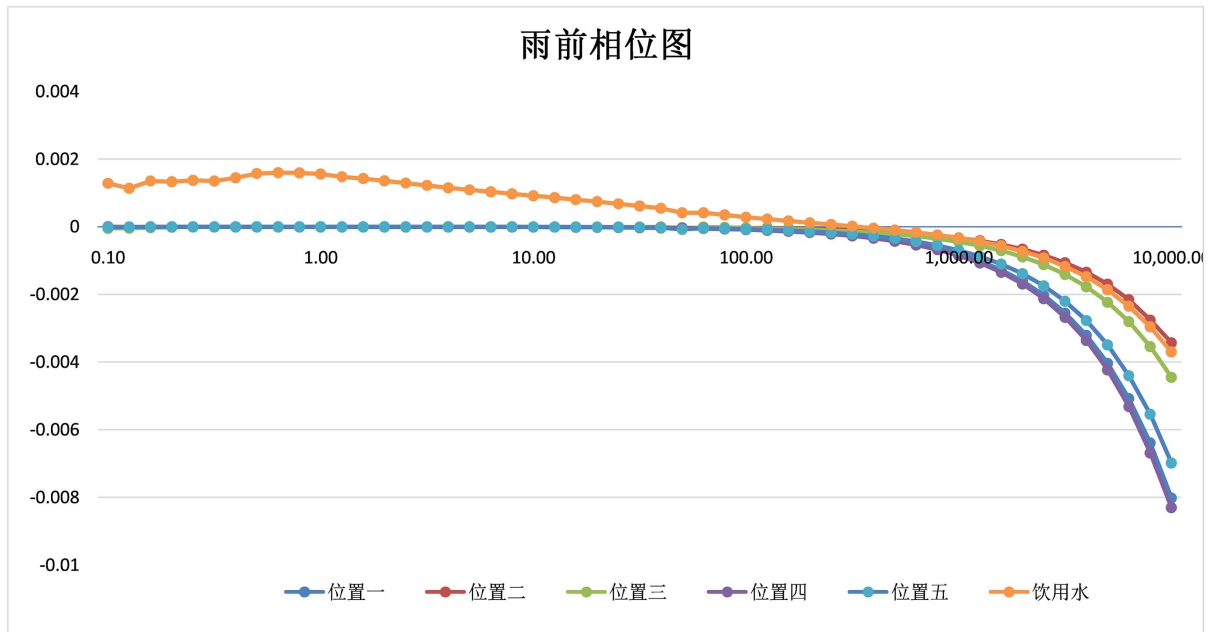
Figure 3. Comparison of water body amplitudes collected three times at the same location

图 3. 同一位置点三次采集水体幅值对比较图

三组水体所测的相位图如图 4 所示，饮用水以及雨前水体、雨后水体的相位曲线均都先保持不变后减小，随着频率的增大在 1~100 Hz 内都趋于平缓约等于零，在 100~10,000 Hz 内都慢慢减小。人工湖水体雨前雨后相位值相差不大无明显变化，饮用水水体相位值略大于人工湖水体相位值。



(a)

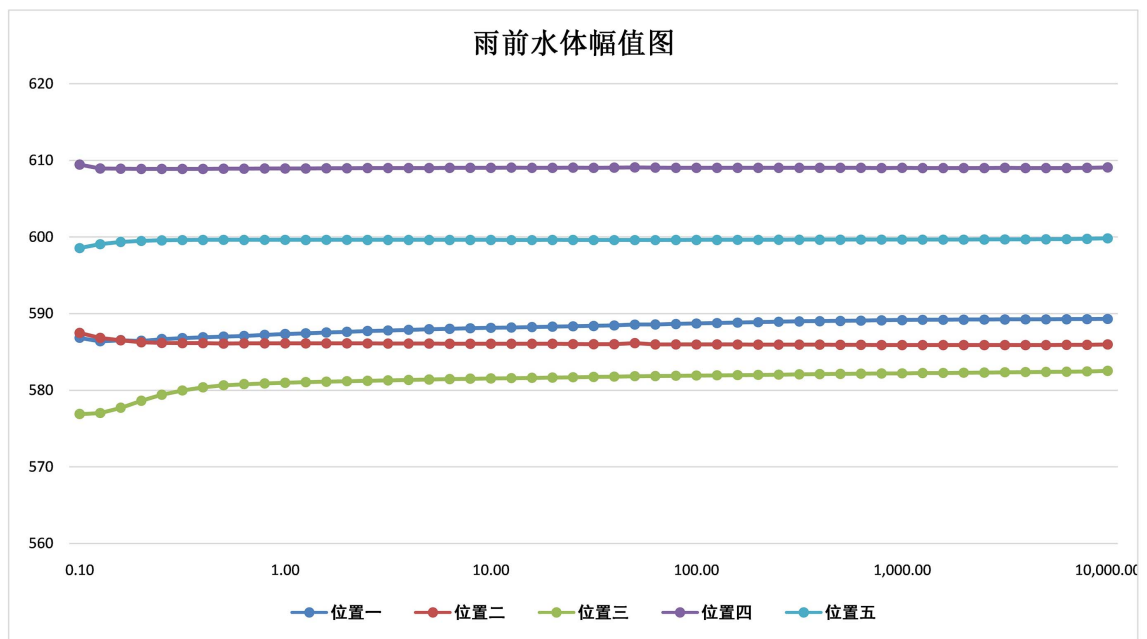


(b)

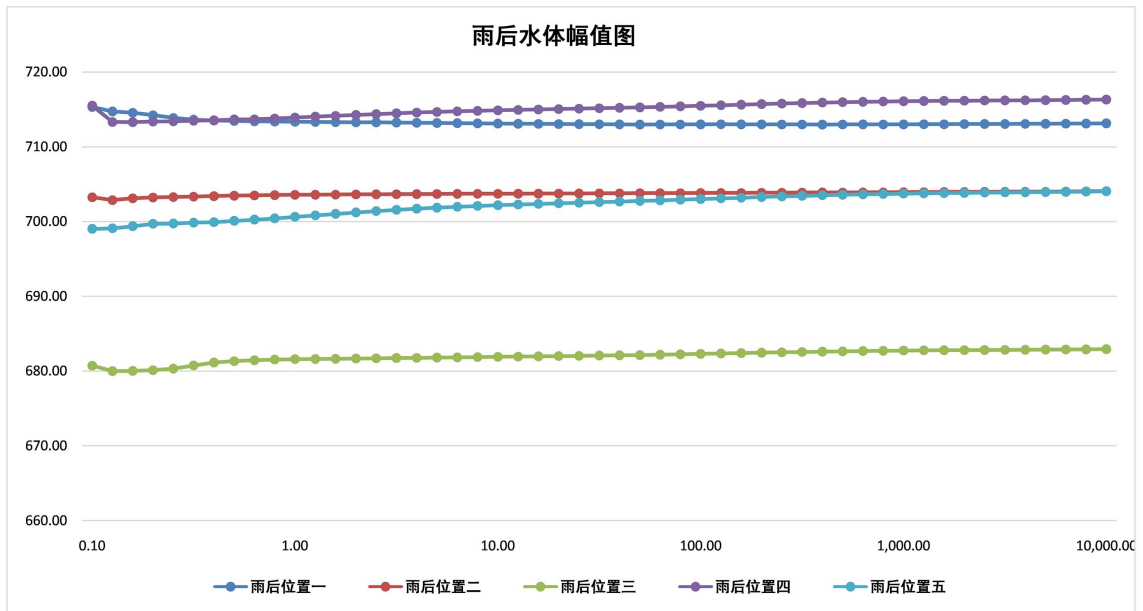
Figure 4. Phase diagram of water body before and after rain. ((a) Phase diagram of water body before rain; (b) phase diagram of water body after rain)

图 4. 雨前雨后水体相位图。((a) 雨前水体相位图; (b) 雨后水体相位图)

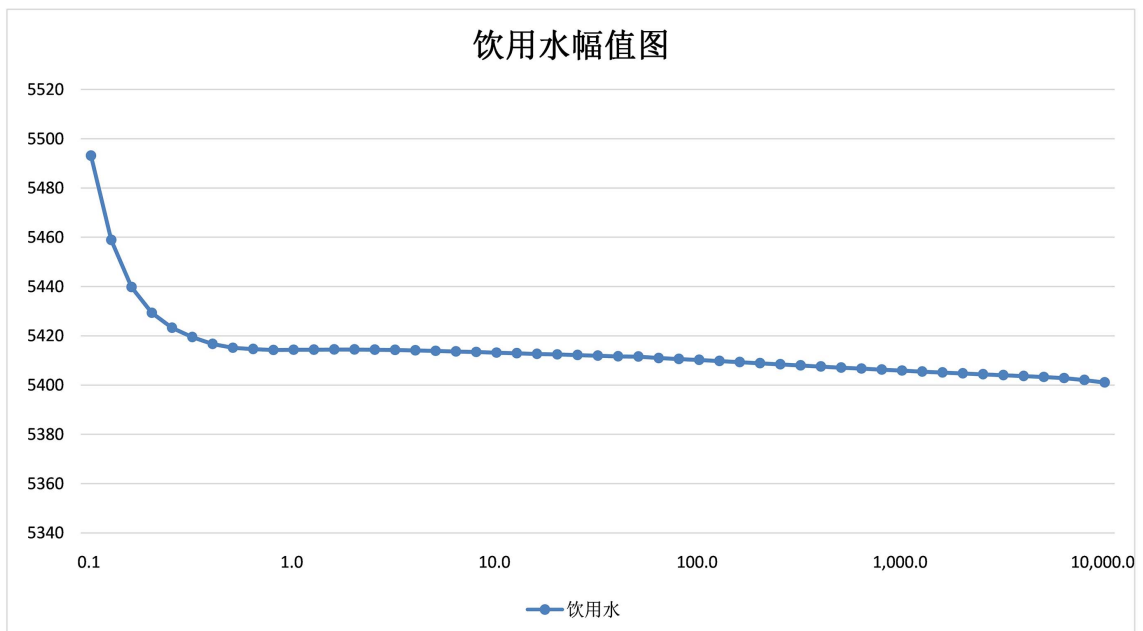
三组水体所测的幅值图如图 5 所示，总的来看三组水体幅值曲线随着频率的增大都趋于平缓，三组水体之中雨前水体的幅值最小大致为 600 左右，雨后水体的幅值普遍大于雨前水体的幅值大致为 700 左右，人工湖水体雨前雨后幅值相差明显，相同位置点雨前和雨后的所测的幅值大致相差 100，饮用水幅值则大致为 5400 与人工湖水体幅值相差较大



(a)



(b)



(c)

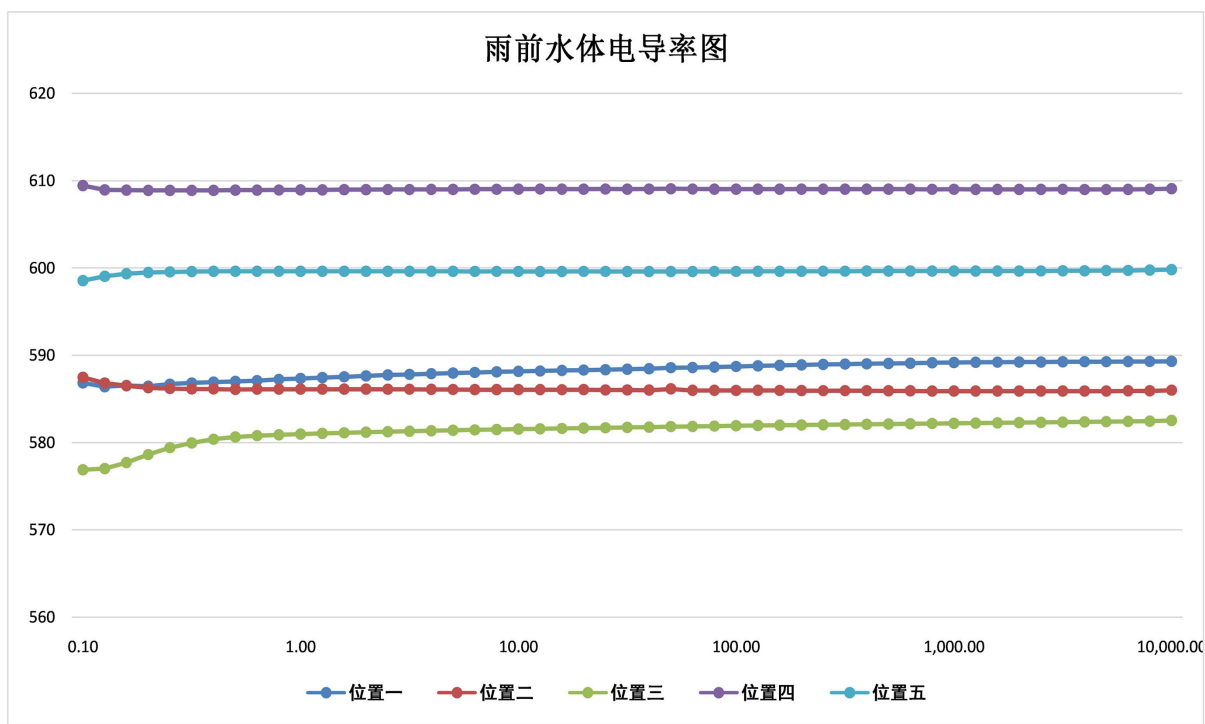
Figure 5. Three different water body amplitudes. ((a) Amplitude map of water body before rain; (b) amplitude map of water body after rain; (c) amplitude map of drinking water)

图 5. 三种不同情况水体幅值图。((a) 雨前水体幅值图; (b) 雨后水体幅值图; (c) 饮用水幅值图)

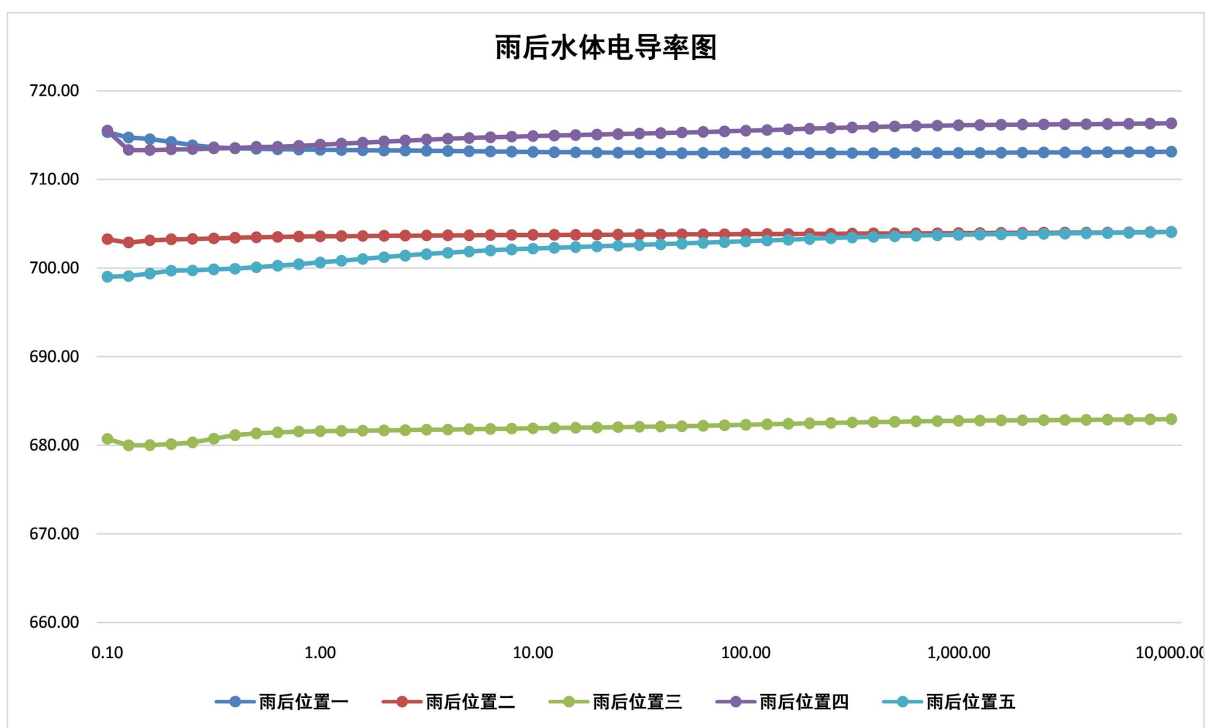
三组水体所测的电导率图如图 6 所示, 所测水体电导率值与其幅值近似相等, 雨前水体与雨后水体电导率值相差明显, 雨后水体电导率值大于雨前水体, 饮用水电导率远远大于人工湖水体电导率值。

总的来看人工湖水体相位随着频率的增大而减小, 电导率, 幅值也随着频率的增大而趋于平缓。雨后湖泊水体与常态湖泊水体的复电阻率性质相对比, 雨后湖泊水体电导率幅值增大相位变化不明显, 根据复电阻率性质分析五个位置点水体相较于饮用水标准水体离子浓度大, 相位与幅值相差较大也更小。

通过分析其人工湖水体降雨前与降雨后的复电阻率特性差异，雨后的人工湖水体幅值和电导率值增大，水体污染程度相对减轻。



(a)



(b)

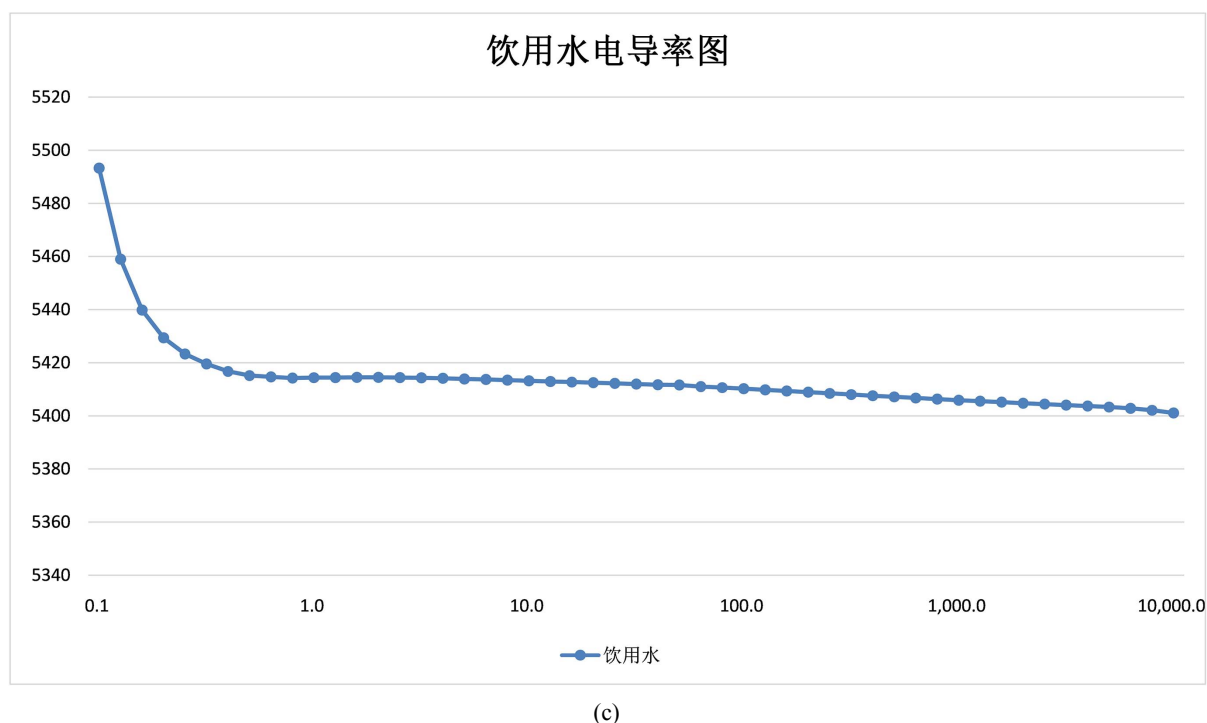


Figure 6. Water conductivity diagrams for three different scenarios. ((a) Conductivity map of water before rain; (b) conductivity map of water after rain; (c) conductivity map of drinking water)

图 6. 三种不同情况水体电导率图。((a) 雨前水体电导率图; (b) 雨后水体电导率图; (c) 饮用水电导率图)

4. 结论

相较于前人探究降雨对人工湖水体复电阻率特性影响, 收集水样送到实验室进行分析耗时耗力, 使用复电阻率法拥有更高的测量精度, 可以更加准确的确定水体的电阻率, 从而更好的反映水体的复电阻率特性; 实时性更好, 即采即测, 实时监测水质变化; 方便快捷, 仪器简单易操作。

本文通过现场采集人工湖水体和室内实验相结合的方式研究降雨对人工湖水体的复电阻率特性影响, 验证了使用复电阻率法, 通过 PISP 仪器评估人工湖水体污染情况以及降雨前与降雨后人工湖水体复电阻率性质差异。

试验得出降雨之后人工湖水体复电阻率特性发生变化, 水体幅值和电导率明显增大, 而相位并无明显变化, 降雨可以使人工湖水体污染相对减轻, 使用复电阻率法可以测量水的复电阻率特性判别水质污染情况。

基金项目

宿州学院资助省级大学生创新创业训练计划项目, 项目名称: 煤矿区土壤污染的复电阻率特征研究; 国家级大学生创新创业项目(“电性参数识别异常体效果对比的实验研究” 202110379011)。

参考文献

- [1] 梁福庆. 水利水电工程移民与环保问题研究[M]. 北京: 中国三峡出版社, 2011: 15-18.
- [2] 顾唯雨. 南明河对城市化响应及水面率研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 华北水利水电大学, 2018.
- [3] 中国科学院大连化学物理研究所. 一种微型质谱在线快速分析液体中有机污染物的方法[P]. 中国专利, CN200910265446.6. 2011-06-22.

- [4] 张振宇, 许伟伟, 邓亚平, 等. 三氯乙烯污染土壤的复电阻率特征和频谱参数研究[J]. 地学前缘, 2021, 28(5): 114-124.
- [5] 雷东记, 周猛, 孟慧, 等. 煤体复电阻率实验室测试方法研究[J]. 重庆大学学报, 2022, 45(2): 103-113.
- [6] 向葵, 胡文宝, 严良俊, 等. 岩石复电阻率测量技术及标定方法研究[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(5): 138-141+153.
- [7] 瞿德福, 张云尔. 概述我国激电仪行业标准和国内外仪器水平[J]. 国外地质勘探技术, 1996(6): 12-22.