

# 人工湖周边土壤复电阻率特征研究

李凯旋, 李浩龙, 许焯国, 丁信然, 王朝霆, 曹 静\*

宿州学院资源与土木工程学院, 安徽 宿州

收稿日期: 2023年6月5日; 录用日期: 2023年8月8日; 发布日期: 2023年8月18日

## 摘 要

为了分析人工湖周边土壤的复电阻率特征, 本文采用复电阻率法对宿州学院校内珍珠湖旁随机的五个点采集土样, 并测量其相位和幅值。研究表明, 人工湖会对周围土壤的复电阻率产生影响。人工湖周边土壤的复电阻率特征呈现出明显的地理位置特征。在采样点中, 幅值和相位较低的采样点主要分布在低洼地区, 而幅值和相位较高的采样点主要分布在高坡区。本文的研究结果可以为人工湖的管理和治理提供数据支持。

## 关键词

复电阻率, 人工湖, 土壤

# Study on the Characteristics of Soil Resistivity around an Artificial Lake

Kaixuan Li, Haolong Li, Yeguo Xu, Xinran Ding, Zhaoting Wang, Jing Cao\*

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

Received: Jun. 5<sup>th</sup>, 2023; accepted: Aug. 8<sup>th</sup>, 2023; published: Aug. 18<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

In order to analyse the complex resistivity characteristics of the soil around the artificial lake, this paper uses the complex resistivity method to collect soil samples from five random points beside Pearl Lake on the campus of Cebu College and measure their phases and amplitudes. The results of the study show that the artificial lake affects the complex resistivity of the surrounding soil. The characteristics of the complex resistivity of the soil around the artificial lake show a clear geographical location. Among the sampling points, those with low amplitude and phase are mainly located in low-lying areas, while those with high amplitude and phase are mainly located in high-slope areas. The results

\*通讯作者。

of this paper can provide data support for the management and administration of the artificial lake.

## Keywords

Complex Resistivity, Artificial Lake, Soil

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

随着城市化进程的加速，人工湖泊成为了城市中不可或缺的组成部分。人工湖是指由人类建造和维护的湖泊，常用于景观美化、城市供水、灌溉和污水处理等方面。然而，人工湖的建造和维护过程中，可能会对周围土壤造成一定的影响。其中，人类是从水体和空气的污染认识并开始保护环境的，而对土地污染的相关研究从 20 世纪 70 年代才开始[1]，对污染土和污染场地的检测勘察评估研究也取得了一定的成果[2]。土壤复电阻率特征的改变可能是一个重要方面。

复电阻率是准确描述土壤电性的重要参数，复电阻率测试是一种用于测量土壤电性的方法，土壤分析可用于研究土壤的水分含量、质地和酸碱度等因素。在中国，人工湖对周围土壤的影响研究相对较少。多为地下水和农业土壤污染，以及工程勘察实例的研究。检测手段采用多为钻探[3] [4]，其昂贵的费用和较长的周期都会限制对土壤进行全面快速的检测。作为新兴的复电阻率法具有多项优点，包括经济、快速、准确等。在污染场地检测中，复电阻率法具有非常强的可行性和推广价值。复电阻率法在污染场地检测中具有广泛的应用前景。

前期部分学者也使用过复电阻率法对土壤污染源做出研究，施羽昕等分析柴油污染沿海土壤的电阻率特征[5]，张振宇等对三氯乙烯污染土壤的复电阻率特征和频谱参数做了研究[6]，陈太聪等做了土壤电阻率影响因素分析及 MAPLs 污染土壤电阻率特征的探究[7]，张辉研究了石油烃类污染土壤电阻率特征及其影响因素[8]，能昌信等研究了铬污染土壤的导电性、频谱激电性和介电特性[9]，刘豪睿等研究的铬污染土壤复电阻率频散特性[10]，蒋才洋等做了有机物污染土壤复电阻率频散特性实验[11]，邵亮亮研究了赤泥固化铜离子污染黄土的复电阻率及强度特性[12]，多是对已知会对土壤有污染的污染物或污染场地做的研究，人工湖不存在明确的污染物，因此人工湖对周围土壤的影响不易确定，而对与像人工湖这种，非污染场地对土壤的影响研究较少。

为了分析人工湖周边土壤的复电阻率特征，通过现场采集和实验分析等方法，探究人工湖周边土壤的复电阻率特征，包括相位、幅值。研究人工湖对周围土壤复电阻率的影响，为人工湖的管理和治理提供数据支持。

本文采用复电阻率法对宿州学院校内珍珠湖旁随机的五个点采集土样，并测量其相位和幅值，探究采样点的地理位置与土壤复电阻率的关系，本文的研究结果可以为人工湖的管理和治理提供数据支持。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 复电阻率法

复电阻率法是一种利用变频电法技术研究大地电性的方法。通过分析土壤总电阻率的实分量和虚分量，可以揭示出激发极化的不同参数、土壤电性相关信息。这种方法能够分别区分它们各自的作用，

并得出相关结果，以供分析。因此，在电法勘探领域，复电阻率法是一项非常重要的研究方法[13]。

复电阻率法主要是通过供电的电极，向检测区域输入不同频段的交变电流，由于土壤阻抗的频率特性，检测区域的导电介质会出现不同的阻抗特性和电容特性[14]，主要利用在交流电场激化下物质对电场的电性特度来分析物质的内部结构。在复电阻率法测量土样时，采用交流电场来激化土样。土样被认为是一种复杂的电阻抗体系，其电阻性由土壤中水、溶解质、气泡和某些矿物质等的阻抗组成，而电容性则是土壤中各种类型介电常数的组合。使用交流电场后，土样中导电物质中的电离(阳离子和阴离子)以及自由电子在电场的作用下会运动，从而产生电流。复电阻率是土样在这种交流电场中电容率和电导率之比，反映了土壤中各种物质的复杂交互作用。

复电阻率法采用四电极法测量，四电极法是一种常用的电阻率测量方法。在四电极法中[15]，需要使用四个电极将土样充分接触，以便测量土样的电阻率。具体来说，四电极法需要在土样中放置四个电极，其中两个电极为供电电极，另外两个选用不极化电极(铂丝/Ag-AgCl)作为测量电极。

需要注意保持电极之间的接触良好，以便获得可靠的测量结果。使用四电极法进行电阻率测量过程中，为确保测量结果的准确性和可靠性，需要遵循相应的测量操作规程。

## 2.2. 实验材料

本试验装置采用聚四氟乙烯材料制造，该材料具有良好的化学稳定性、耐腐蚀性和电绝缘性[15]。砂柱的内径为 50 毫米，高度为 260 毫米，厚度为 5 毫米。两测量电极(M、N)的间距为 80 毫米，供电电极(A、B)位于砂柱的两端，距测量电极的距离为 90 毫米。装置示意图可见图 1。

试验使用的土壤均从安徽省宿州市宿州学院东校区人工湖周围采集如图二所示，每个点位在不同位置采五份土样，以方便排除出特殊情况，减少误差，试验前要将土样风干研磨处理成粒径为 40 目的土壤颗粒。

在土样中放置的四个电极，其中两个选择铁纱网做为供电电极，既可以防止土样流失，又可以给土样提供分布均匀的电流，另外两个选用不极化电极(铂/Ag-AgCl)做为测量电极，该电极为不极化电极，稳定性优异，相位几乎不会偏移，因此可以不考虑电极带来的极化效应。试验所使用的便携式频谱激电仪(图 2)可在 0.1 Hz~10,000 Hz 频率范围内通过两个供电电极发射正弦波交流电，并在两测压电极间测量样品的幅值和相位偏移[6]。

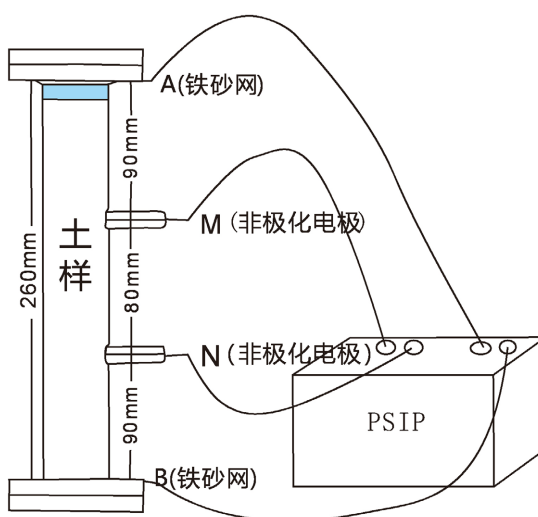


Figure 1. Test device diagram

图 1. 试验装置示意图

### 2.3. 实验步骤

1) 采集土样：本文主要研究人工湖对土壤复电阻率的影响，因此选取人工湖周围不同地点的土壤，随机采集土样，每个点采集五份土样并记录相关的环境位置信息；记录第一个点为 1-1, 1-2, ……，第二个点为 2-1, 2-2, ……，以此规律标记样品。

2) 处理土样：为获得饱和土壤，需要先将土样完全晒干后再研磨，使其变成均匀的粉末。并筛选出颗粒为 40 目的土壤颗粒。

3) 装入土壤：打开便携式频谱激电仪(PSIP)，将土样装入试验装置聚四氟乙烯容器内，饱水样品的制备采用浸水饱和法，装土样的同时倒入水，要求水一直略高于土，装满后压实即可。

4) 测量复电阻率：使用便携式频谱激电仪(PSIP)对不同土样分别进行复电阻率测量，记录不同频率的复电阻率数据。

5) 数据处理和分析：将采集到的数据统计整理并绘制成图表，根据不同频率的复电阻率值，分析不同地点土样的复电阻率差异，并建立相应的模型，提取主要影响因素。

统计分析：采用 EXCEL 等统计分析软件对数据进行统计学分析，验证对复电阻率主要影响因素的分析结果。这些步骤的结果可以全面比较不同地点土样的复电阻率差异，进一步识别其影响因素。这有助于深入了解土壤的物理性质和变化规律，并为人工湖的治理提供数据支持。

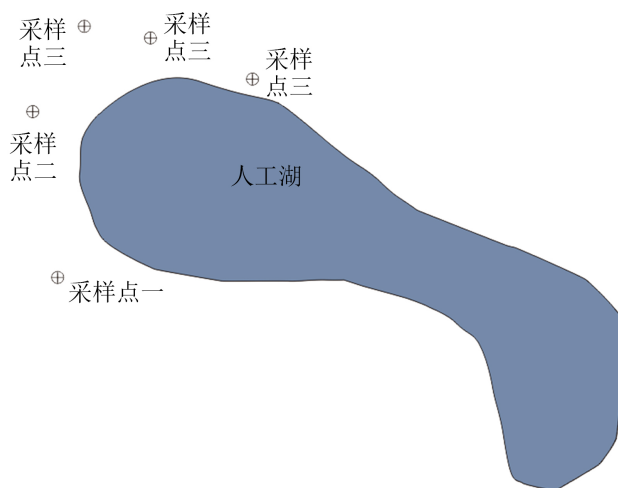


Figure 2. Sampling point location map  
图 2. 采样点位置图

### 3. 结果与分析

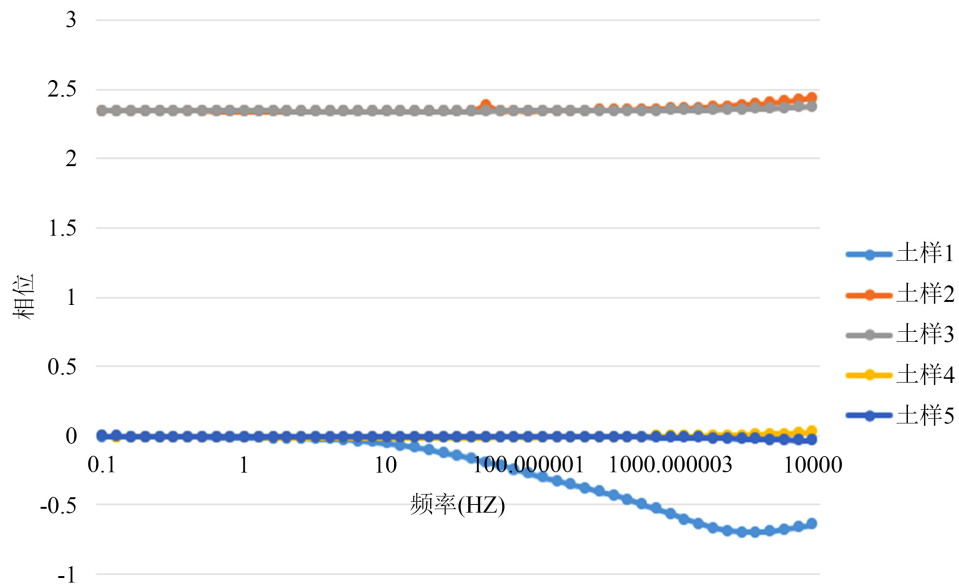
根据图 3、图 4 的数据处理结果可以看到，不同地点的土壤存在明显的复电阻率特征，有的土样基本平稳，但也有一些特殊土样，具有较大波动，明显异于其他土样的数据。

如图 3 所示是 5 个点位的相位图，土样 1、土样 4 和土样 5 在频率 10 Hz 之前几乎一致，相位都接近于 0，土样二和土样三在频率 1000 Hz 之前几乎一致，相位都在 2.4 左右，且并无明显变化。

土样 1 随着频率的增加相位降低，之后又变的平缓，可能是因为土壤中的污染物质对高频信号的传输产生较大的影响，从而导致电阻率相位的变化较大。

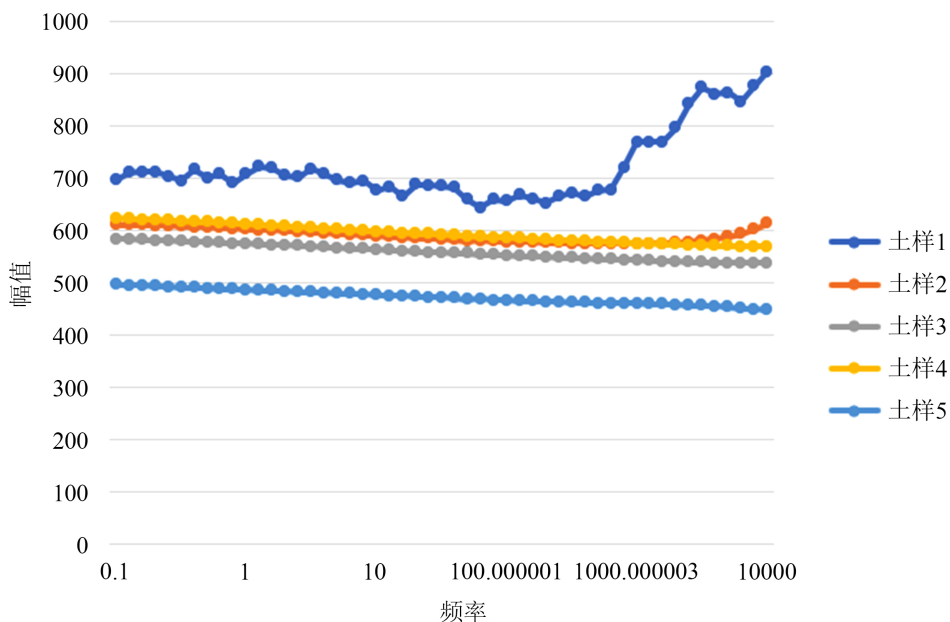
土样 2 和土样 3 的相位明显高于其他土样的相位，可能是因为土壤盐度过高，盐度是土壤中离子浓度的指标，过高的盐度会导致土样的复电阻率相位偏高。因为盐度高会降低土壤中水的活性，从而降低

电导率，造成土样相位偏高。土壤盐度过高的原因往往与土壤中水分和离子含量的平衡失调有关。土样 4 和土样 5 的相位稳定在 0 左右，整体呈现上升的趋势，频率在 1000 后图样四的相位有明显升高。



**Figure 3.** Phase diagram of different sampling points  
**图 3.** 不同采样点相位图

如图 4 所示为五个土样的幅值图，土样 1 的幅值最高，且土壤复电阻率的幅值随频率的升高快速上升，与土壤受污染程度之间可能存在一定的关系。而土样 5 的幅值最低，且明显低于其他土样，开始时大致为 500，之后随频率的增大线性减小。土样 2、土样 3 和土样 4 的幅值在 600 左右，成整体下降趋势，在频率接近最大时上升，其土样 3 略小于土样 2 和土样 4。



**Figure 4.** Amplitude diagram of different sampling points  
**图 4.** 不同采样点幅值图

当土壤中存在大量污染物时, 这些污染物可能会影响土壤的导电性, 导致土壤的负电阻率升高。相反, 如果土壤中的污染物浓度较低, 则土样负电阻率幅值可能会较低。

采样点 1 受到的污染最严重, 可能是因为该地点有人工施肥导致土壤被污染, 采样点 2 和采样点 3 可能位置较高, 水分渗入湖中, 盐分留在原地, 导致盐度过高, 采样点 5 所在位置距离湖水较近, 地势低洼, 且该地点的湖水可长时间被阳光照射, 杂草多, 人为干扰少, 污染最低。

#### 4. 结论

1) 人工湖周边土壤的电阻率特征呈现出明显的地形地貌特征。在采样点中, 土壤幅值和相位较低的采样点主要分布在低洼地区, 而土壤幅值和相位较高的采样点主要分布在高坡区。

2) 人工湖水体会对土壤的复电阻率值产生一定影响, 接近人工湖水体的土壤复电阻率相对较小, 距离人工湖水体的土壤复电阻率值相对较大。

3) 人工湖周围土壤的复电阻率值也可能受到其他因素的影响, 例如采样点一的土壤的受施肥的影响会导致幅值偏高, 因在研究土壤复电阻率时应全面考虑。

#### 基金项目

省级大学生创新创业训练计划项目(“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训练计划项目(“煤矿区土壤污染的复电阻率特征研究”); 宿州学院大学生创新创业训练项目(“皖北煤体复电阻率频谱特性研究”YBXM23-025; “农药对土壤污染的复电阻率频谱参数的研究”ZCXM23-002)。

#### 参考文献

- [1] 陈先华, 唐辉明. 污染土的研究现状及展望[J]. 地质与勘探, 2003, 28(1): 77-80.
- [2] 白兰, 周仲华, 张虎元, 等. 污染土的电阻率特征分析[J]. 环境工程, 2008, 52(2): 66-69+4.
- [3] 徐永利, 王雪莉. 宝鸡某场地污染土的分析评价[J]. 陕西地质, 1996(2): 99-104.
- [4] 孙维中, 郑建齐. 结合实例谈污染土的勘察与处理[J]. 河北煤炭, 2000(S1): 15-16.
- [5] 施羽昕, 伊国杰, 陈琳, 等. 可控条件下柴油污染沿海土壤的电阻率特征研究[J]. 环境科学与技术, 2017, 40(S2): 149-154.
- [6] 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.
- [7] 陈太聪, 张辉, 孙从军, 等. 土壤电阻率影响因素分析及 NAPLs 污染土壤电阻率特征初探[J]. 绿色科技, 2016(8): 69-72.
- [8] 张辉. 石油烃类污染土壤电阻率特征及其影响因素[J]. 物探与化探, 2017, 41(4): 769-774.
- [9] 能昌信, 刘玉强, 刘豪睿, 等. 铬污染土壤的导电性、频谱激电性和介电特性的实验结果[J]. 环境科学, 2011, 32(3): 758-765.
- [10] 刘豪睿, 孙亚坤, 能昌信, 等. 铬污染土壤复电阻率频散特性[J]. 物探与化探, 2010, 34(3): 372-375.
- [11] 蒋才洋, 邓居智, 陈辉, 等. 有机物污染土壤复电阻率频散特性实验[J]. 工程地球物理学报, 2014, 11(3): 387-395.
- [12] 邵亮亮. 赤泥固化铜离子污染黄土的复电阻率及强度特性研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 太原理工大学, 2018.
- [13] 华佳. 复电阻率法简介[J]. 地质与勘探, 1978, 14(4): 71-76.
- [14] 刘家琳. 基于正交对角线温纳方法的三维场地监控系统的研究[D]: [硕士学位论文]. 烟台: 山东工商学院, 2019.
- [15] 王泽亚, 徐亚, 能昌信, 等. 海滨垃圾填埋场渗滤液污染土壤的复电阻率特性[J]. 环境科学研究, 2020, 33(4): 1021-1027.