

煤矸石粉对土壤影响的复电阻率特征研究

许焯国, 李凯旋, 李浩龙, 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5月12日; 录用日期: 2023年7月7日; 发布日期: 2023年7月14日

摘 要

煤矸石是一种存在巨大资源潜力但同时也具有严重环境问题的废弃物。为研究煤矸石粉对土壤复电阻率影响的变化特征, 本文以在宿州学院内采集的土壤为背景土样, 对煤矸石粉和采集的土样进行不同质量配比, 研究了复电阻率参数。实验共配置了10种质量比例(10、20、30、40、50、60、70、80、90和100 g)煤矸石粉与土壤(540 g)的混合物样本, 分别测试振幅、相位和电导率的变化情况, 分析在不同比例下煤矸石粉对土壤电阻率的影响。结果表明: 随着煤矸石粉添加比例的增加, 混合物样本的电导率和振幅逐渐降低, 相位逐渐提高。本文的研究将为煤矸石粉在土壤改良剂中的应用提供重要的实验依据, 同时为SIP方法在实际煤矸石污染场地的调查与评估提供了理论依据。

关键词

复电阻率法, 煤矸石, 电阻率特征, 环境污染

Study on the Complex Resistivity Characteristics of the Influence of Coal Gangue Powder on Soil

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

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

Received: May 12th, 2023; accepted: Jul. 7th, 2023; published: Jul. 14th, 2023

Abstract

Coal gangue is a type of waste that has enormous resource potential, but also poses serious environmental problems. To study the variation characteristics of the influence of coal gangue powder on the complex electrical resistivity of soil, this paper takes soil samples collected at Suzhou Uni-

*通讯作者。

文章引用: 许焯国, 李凯旋, 李浩龙, 丁信然, 王朝霆, 曹静. 煤矸石粉对土壤影响的复电阻率特征研究[J]. 自然科学, 2023, 11(4): 613-618. DOI: 10.12677/ojns.2023.114073

versity as the background, and conducts different mass ratios of coal gangue powder and collected soil samples to study the complex electrical resistivity parameters. A total of 10 mixture samples of coal gangue powder and soil (540 g) with different mass ratios (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, and 100 g) were configured for the experiment. The changes in amplitude, phase, and conductivity were tested, and the effects of coal gangue powder on soil electrical resistivity were analyzed under different ratios. The results indicate that as the proportion of coal gangue powder added increases, the conductivity and amplitude of the mixture sample gradually decrease, while the phase gradually increases. The research in this article will provide an important experimental basis for the application of coal gangue powder in soil amendments, and also provide a theoretical basis for the SIP method in the investigation and evaluation of actual coal gangue-contaminated sites.

Keywords

Complex Resistivity Method, Gangue, Resistivity Characteristics, Environmental Pollution

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

煤炭是一种化石燃料,是我国主要能源来源之一。国家统计局发布的数据显示,截至2020年底,我国煤炭查明储量为35.8亿吨,储量主要分布在华北、东北、西北地区。但同时,煤矸石是煤炭开采和加工过程中必然产生的工业固体废物,排放量占煤炭产量的12%~20% [1]。

长期以来,煤矸石的处理和利用一直是煤炭开采中的难题,传统的处理方式包括堆存、填埋、燃烧等,但这些方式存在环境污染和资源浪费等问题。近年来,随着环保和可持续发展意识的增强,越来越多的国家和地区开始重视煤矸石的处理和利用。一些先进的技术和工艺已经被开发出来,用于煤矸石的加工和处理,例如煤矸石发电、水泥生产、建筑材料等[2]。这些技术的实施可以有效地减少煤矸石对环境的污染,同时也可以节约能源和资源。

前期部分学者已研究了煤矸石堆积区的重金属污染问题。马骅等分析了不同降水的pH值对煤矸石堆重金属浸出率的影响[3];顾霖骏等分析了不同地区煤炭生产中煤矸石重金属含量的地域性分布特征[4];李永峰等对矸石堆周围土壤重金属作了污染质量评价,认为Zn危害最严重[5];吴汉福等采用原子吸收分光光度法对矿区新鲜煤矸石和煤矸石山周围土壤的重金属污染状况进行分析评价[6]。但在煤矸石对土壤的复电阻率法方面的研究却相对较少。

因此,本文旨在研究煤矸石粉对土壤影响的复电阻率特征,以宿州学院校内土壤为背景土样,将不同质量的煤矸石粉和土壤充分混合成不同比例的样品,测量土样的电导率、振幅和相位,探究随着煤矸石粉含量的增加,其复电阻率特征的变化,以期煤矸石粉的利用和处理提供科学依据,同时,该研究也可以为其他固体废物的处理和利用提供借鉴和参考。

2. 材料与方法

2.1. 原理与方法

2.1.1. 复电阻率法

复电阻率是指一个物质在电场作用下,其电荷分布和电场相互作用的结果。复电阻率是一个描述物

质电学特性的物理量，是指一个物质对电流的阻碍程度，通常用电阻率表示。当交变电流作用于土样的物质时，会发生复电阻率的变化。不同比例的新型土样都会导致复电阻率的变化。因此，测量土样中的复电阻率可以提供对土样的详细描述和评估。

煤矸石的复电阻率是指煤矸石中的电荷分布和电场相互作用的结果。影响煤矸石复电阻率的因素包括以下几个方面：

① 煤矸石的化学成分：煤矸石中化学成分的不同对其复电阻率有重要影响。一般来说，煤矸石中的灰分和杂质含量越高，其复电阻率越高。此外，煤矸石中的含钙量也对其复电阻率产生影响。

② 煤矸石的物理结构：煤矸石的物理结构对其复电阻率也有影响。一般来说，煤矸石的粒度大小、均匀性、粉末度等指标越差，其复电阻率越高。

③ 煤矸石的地质成因：不同成因的煤矸石其化学成分和物理结构也有所不同。例如，火山成因的煤矸石通常含有较高的碱性物质，而沉积成因的煤矸石则通常含有较高的灰分和杂质。

④ 煤矸石的含水量：煤矸石的含水量的变化对其复电阻率也有影响。当煤矸石含水量较高时，其复电阻率会相应降低。

总之，煤矸石的复电阻率受到多种因素的影响，需要根据具体情况进行分析和处理。

复电阻率法的基本思想是使用两个电极，一个正极和一个负极，将它们与材料接触。当电压施加在电极之间时，电子将从正极流向负极，并在材料中流动。由于电子的流动，材料中的电荷密度将发生改变，从而导致材料的电阻率发生改变。通过测量施加电压时的电阻率，可以计算出材料的介电常数。而我们使用的是四极法测量，就是由两个供电电极与两个不极化电极(Ag-AgCl)所构成，供电电极负责供电，不极化电极负责接收，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幅值与相位就分别对应于介质的导电性能和介电性能[7]。

2.1.2. 实验材料

实验装置材料选用的是具有耐化学腐蚀性、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。它是由四氟乙烯单体聚合而成，被称为PTFE(聚四氟乙烯)或特氟龙。实验装置高260 mm，内径为50 mm，厚5 mm，两个供电电极A、B相距260 mm，两个测量电极M、N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，装置具体参数见图1。

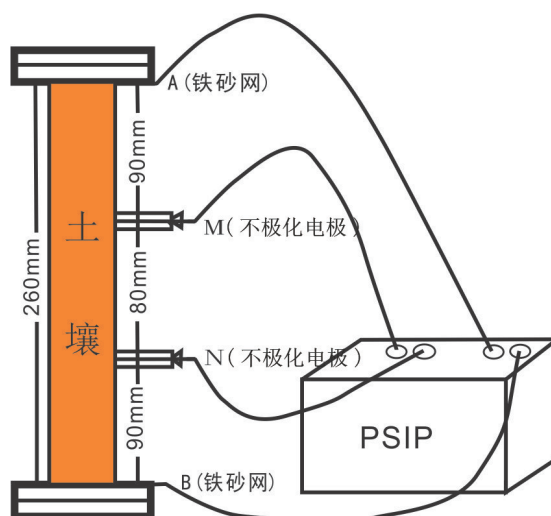


Figure 1. Schematic diagram of PSIP measurement and testing device
图 1. PSIP 测量试验装置示意图

选用铁砂网与两端供电电极直接连接, 选用铁砂网优良导体可以提供均匀分布的电流, 测压电极采用琼脂凝胶(Ag-AgCl)不极化电极。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交流电, 测量出样品的幅值与相位[8]。

2.2. 样品采集与处理

在校内采集新鲜土样, 先进行晒干处理。在对土样进行预处理, 用研磨器进行破碎和研磨, 过 100 目(0.15 mm)筛, 用放置一旁干燥地方待用; 所有的背景土样均为 540 g, 再用分别称取 0 g(对照组)、10 g、20 g、30 g、40 g、50 g、60 g、70 g、80 g、90 g、100 g 煤矸石粉末样, 在通风干燥的地方进行均匀混合, 等待试验的开始。

2.3. 实验步骤

打开便携式频谱激光仪(PISP), 连接好电源、光缆、电极等, 再用标准样品进行检测, 确保仪器正常使用。同时, 需要准备好测试土样。

把装置组装好后, 倒入提前准备好的没有添加煤矸石的土样进行试验, 用两个铁砂网密封, 安装不极化电极, 将电极安装在土样中, 保证电极与土样垂直, 并将供电电极与测压电极分别连接装置两端铁砂网和不极化电极中, 接通电源, 准备测量。

将测量后的数据记录并保存下来, 并把实验装置中的土样清理出来, 继续下一组实验。实验结束后进行数据处理, 绘制出相关参数曲线图。

根据实验测量结果, 分析新型土样的理化性质。得出结论, 根据实验结果, 得出结论并进行讨论, 进一步探究土样的特性和环境影响等问题。

3. 结果与分析

针对土壤在不同质量的煤矸石粉的对比试验, 试验结果如图 2 所示。由于本研究偏重于探究在低频范围内煤矸石污染对于电化学极化的影响(0.1~10000 Hz), 因而以下分析均为低频段复电阻率频谱结果。由图 2 电导率曲线变化图分析可以看出, 电导率变化来看随着频率的增大而减小; 在同一个频率下, 随着土样中煤矸石比例的增加, 其电导率也随着减小。可能是因为煤矸石中的杂质金属离子可能会与土壤中某些元素形成沉淀, 从而降低了土壤溶液中的金属离子浓度, 导致土壤中金属离子(导电相)导电能力的减小而引起的。此外, 煤矸石中还可能含有一定量的黏土矿物, 它们可能会增加土壤的黏度和团聚体含量, 使得土壤水的移动速度减缓, 导致土壤中的导电能力下降, 从而降低土壤的电导率。

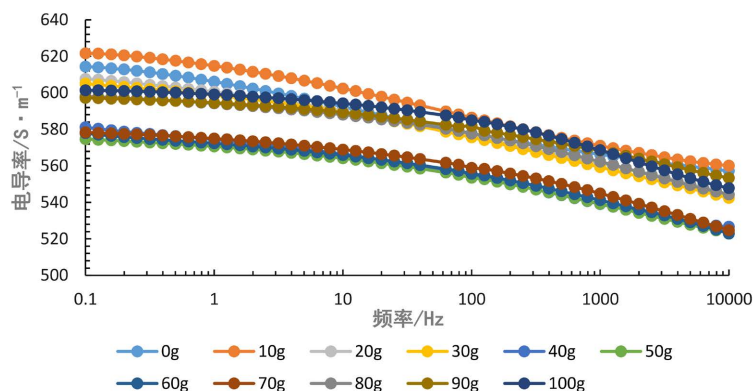


Figure 2. Conductivity curve of coal ganguesoil samples with different contents
图 2. 不同含量煤矸石土样电导率曲线图

由图3可以看出,不同含量煤矸石的相位都随着频率的增加而减小,并在1000 Hz附近达到低谷,之后开始突然增大。这是由于土壤电阻率是一个阻抗,在低频段时,它阻碍了电磁波的传播,使得相位延迟一段时间,从而看到电阻率的相位随着频率的增大而减小,但随着频率的增加,土壤的阻抗阻碍不了电磁波的传播,使得土壤的相位随着频率的增大而增大。

但随着煤矸石的含量增多,使得土壤相位曲线变得平缓,且曲线的低谷在不断地往后移,可能是因为煤矸石中含有较多的矿物质,使得土壤的电阻率增大,从而使土壤的相位曲线变得平缓且低谷往后移。同一频率下,使得土壤的相位随着煤矸石的含量增加而逐渐增大,说明煤矸石的含量增多导致土壤的颗粒度增加,土壤的黏性增强,使得土壤相位发生变化。

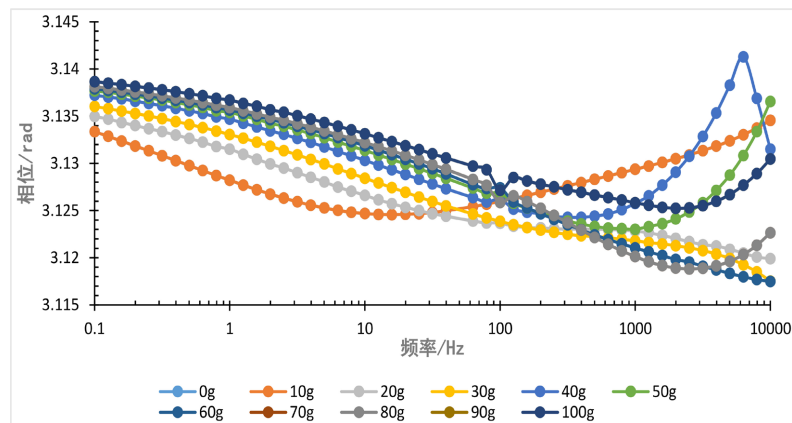


Figure 3. Phase curve of coal ganguesoil samples with different contents

图3. 不同含量煤矸石土样相位曲线图

由图4振幅变化曲线图可以看出,随着频率增加而减小,在同一个频率下,随着土样中煤矸石比例的增加,振幅也是明显降低,这是由于煤矸石中含有一定的化学物质,会影响土壤的酸碱度,当土壤中含有较多的煤矸石,会使得土壤酸碱度发生变化,从而影响土壤的透气性和渗透性,使得土壤电阻率下降,导电通路更加顺畅,导致土壤振幅变化。

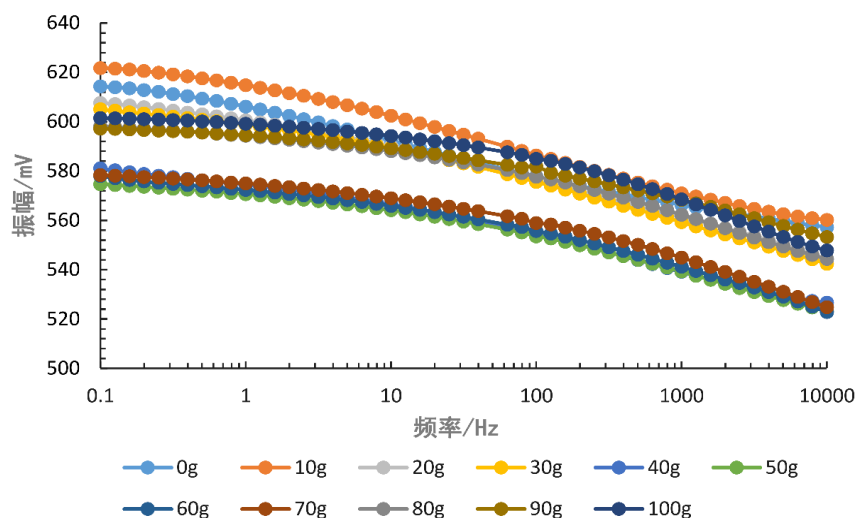


Figure 4. Amplitude curve of coal ganguesoil samples with different contents

图4. 不同含量煤矸石土样振幅曲线图

综上,从图2和图4中可以看出,电导率和振幅所呈现的变化是一致的,说明两者之间表现出一定的频率相关性;在同一频率下,其电导率、振幅和相位均随着煤矸石的含量增加而相应的提高,但这也可能会对土壤原本的肥力、微生物活动、透气性和水分渗透性等方面产生不良影响,从而对植物的生长和农业生产带来危害。

4. 结论

本文通过室内实验研究了煤矸石粉对土壤影响的复电阻率特征,验证了复电阻率法用于监测煤矸石污染的可靠性,探讨了电导率、振幅和相位与不同比例的煤矸石之间的关系。研究表明:

- ① 在观测的频段范围(0.1~10000 Hz)内,所有土壤的电导率和振幅都随着频率呈单调递减的趋势,相位曲线的形状为一平放的“勺子”形。
- ② 煤矸石比例的不同会影响复电阻率频谱特征。电导率和振幅均随着煤矸石比例的增大而减小,相位随着煤矸石的比例增大而增大。这是因为煤矸石粉中含有一定量的导电物质,其添加到土壤中可以提高土壤的导电性。
- ③ 复电阻率是衡量土壤导电性能的重要指标,它能有效地反映土壤导电性能的变化。因此,在使用土壤电阻率作为环境监测指标时,需要考虑煤矸石粉等杂质对土壤电阻率的影响。

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] 胡振琪,肖武,赵艳玲.再论煤矿区生态环境“边采边复”[J].煤炭学报,2020,45(1):351-359.
- [2] 王振欢,邵琪.煤炭生产中矸石的处理问题[J].科技与生活,2010(11):91.
- [3] 马骅,任明强,赵宾.煤矸石毒性浸出及周边土壤环境影响分析[J].能源环境保护,2017,31(3):55-57+25.
- [4] 顾霖骏,申艳军,王念秦,等.煤矸石堆积区土壤重金属潜在危害评价及污染特征[J].西安科技大学学报,2022,42(5):942-949.
- [5] 李永峰,苏娇娇,李桂平,等.探究煤矸石堆放对土壤重金属污染[J].化工管理,2019(33):58-59.
- [6] 吴汉福,田玲,吴有刚,等.煤矸石山周围土壤重金属污染及生态风险评价[J].工业安全与环保,2012,38(8):37-40.
- [7] 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.
- [8] 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.