

岩土工程勘察中水土腐蚀性检测方法的研究

李 娅*

(甘肃省建筑设计研究院有限公司, 兰州 730030)

摘 要: **目的** 本文研究不同水土腐蚀性检测方法在岩土工程中的应用, 旨在评估各种检测方法的准确性、稳定性及其环境效益。**方法** 采用 pH 值测定法、电导率法、离子浓度法和滴定法, 对水土腐蚀性进行实验评估, 并比较各方法的测量精度和稳定性。**结果** 利用实验结果分析 pH 值测定法和电导率法在准确性和环境负担方面表现较好, 适用于常规检测任务, 且对环境影响较小。离子浓度法和滴定法在精度上具有优势, 但操作复杂, 能源消耗和废水排放量较大, 环境负担较重。**结论** 不同检测方法的适用性应根据工程需求和环境要求进行选择。在确保检测精度的同时, 减少对环境的负面影响, 是选择检测方法的关键考虑因素。

关键词: 岩土工程勘察; 水土腐蚀性检测; 离子浓度法; pH 值; 电导率

0 引 言

岩土工程勘察中的水土腐蚀性检测对于保障工程结构的长期安全和稳定至关重要^[1-3]。水土腐蚀性通常与土壤和水体中的离子浓度、酸碱度、电导率等物理化学特性密切相关, 以上因素的变化能够影响岩土材料的耐久性, 影响到基础设施的使用寿命^[4-5]。随着科学技术的不断进步, 水土腐蚀性检测方法逐渐多元化, 并在一定程度上弥补传统方法的不足^[6-7]。本文将探讨分析岩土工程勘察中水土腐蚀性检测方法, 为工程实践中的腐蚀性评估提供科学支持。

1 实验方法

1.1 样本采集

样本采集在实验中严格遵循标准化程序, 所有样本均在实验室环境下采集并处理。采样地点选择基于预设的土壤类型和水文特征, 每个地点至少选择三个代表性样本, 保证数据的代表性和可靠性^[8]。土壤样本采集采用无扰动采样法, 使用专用土壤取样器进行垂直采样, 采集深度从表层到深层(0~30 cm、30~60 cm、60~90 cm)进行分层采样。每层土样分别装入标明编号的塑料袋中, 防止样本在运输过程中受到污染或失水。样本采集后, 在每个采样点标记具体位置和采样时间, 并记录现场环境参数(温度、湿度等)。水样采集则在土壤采样点附近进行, 采用不锈钢采样器具, 确保样品不受外界污染物的影响^[9]。水样以一定体积(500 mL)进行采集, 封闭并标记样品来源和时间。所有土壤和水样均在采集后的 24 h 内送入实验室, 避免样本在运输过程中变化。采集时严禁使用含有溶解物的容

器, 避免污染源干扰检测结果。样本在运输至实验室后, 即刻进行预处理, 避免因存储时间过长导致样本属性发生变化。

1.2 检测方法

1.2.1 pH 值测定法

pH 值测定法是测量水土样品的酸碱度来评估其腐蚀性^[10]。该方法操作简便, 通常在实验室环境下进行。在进行 pH 测定时, 首先取适量的土壤样品, 通常为 100 g 左右, 并将其与一定量的蒸馏水混合, 通常水样与土壤的比例为 5 : 1。混合后, 样品静置 15~30 min, 待土壤中的水分充分溶解后, 进行测量。使用的 pH 计应在测量前进行校准, 常用标准溶液为 pH 4.00、6.86、9.18 的缓冲液, 确保仪器精确读数。测量时, 缓慢将 pH 计电极插入溶液中, 直至读数稳定。每个样品需要进行多次测量, 取其平均值, 作为该土壤样品的 pH 值。不同 pH 值的土壤呈现出不同的腐蚀性, 酸性土壤由于氢离子浓度较高, 通常具有较强的腐蚀性, 因此测定土壤的 pH 值能够为评估腐蚀风险提供有力支持。

1.2.2 电导率法

电导率法用于评估水土溶液中离子的浓度, 进而推断其腐蚀性。实施该方法时, 首先取一定量的土壤样品, 通常为 10 g, 将其加入 50 mL 的蒸馏水中, 搅拌均匀并静置片刻以便充分混合。接着, 过滤去除土壤中的固体颗粒, 获得清澈的溶液。使用电导率仪测量溶液的电导率, 仪器在使用前应进行校准, 通常采用标准的 KCl 溶液进行电导率的标定。电导率值的高低反映溶解物质的浓度, 电导率越高, 说明水土溶液中溶解的盐类越多, 腐蚀性也越强。测量时需多次测量并取平均值, 确保数据的准确性^[11]。

* 通信作者: 李娅, 中级工程师, 研究方向为水、土腐蚀性检测方法的研究。E-mail: 3070952395@qq.com

1.2.3 离子浓度法

离子浓度法通过测定水土样品中特定离子的浓度来评估其腐蚀性。在实验操作时，首先将土壤样品与适量的蒸馏水混合，常见的土水比为 5：1，充分搅拌后静置一定时间，确保土壤中的离子充分溶解。之后，使用离子选择性电极 (ISE)或离子色谱仪 (IC)来测量溶液中各类离子，如氯离子、钙离子、镁离子等的浓度^[12]。为确保测量的准确性，实验前需要进行仪器校准，采用已知浓度的标准溶液对仪器进行调校。对于氯离子，可以使用氯离子选择电极；对于钙、镁离子，则可使用离子色谱法。离子浓度的高低直接影响水土的腐蚀性，氯离子、硫酸盐和钙离子的浓度较高时，通常伴随着较强的腐蚀性。每个样品的测量至少进行三次，确保数据的可靠性。

1.2.4 滴定法

滴定法用于测定水土样品中某些离子的浓度。实验开始时，取一定量的土壤或水样与蒸馏水混合，常见的土水比为 1：5，充分搅拌后静置一定时间，使离子溶解。溶液经过过滤去除固体颗粒，获得澄清液。选择合适的滴定液，如酸碱滴定液或氧化还原滴定液，根据待测离子类型进行反应。实验中，通过缓慢加入滴定液并观察反应终点的变化，通常通过 pH 计或指示剂的颜色变化来监测。滴定液的加入需要精确控制，以确保反应的完全性和准确性。在测量过程中，记录消耗的滴定液体积，并根据标准溶液的浓度，计算待测离子的浓度^[13]。根据不同离子的反应特性，滴定法能够准确反映水土样品中溶解物的浓度，提供腐蚀性评估的关键数据。

1.3 数据分析

数据分析方法基于对实验数据的统计处理和建模。在实验过程中获取的各类数据将进行初步清理，剔除无效数据和异常值，使用标准化处理方法对数据进行统一化处理。使用描述性统计分析方法，评估样本的分布特征。对于多个样本或变量的比较，采用方差分析 (ANOVA)对不同组别之间的差异进行检验，判断各组之间是否存在显著性差异^[14]。对于定量分析，使用回归分析建立各变量之间的关系模型，采用线性回归或多元回归模型，探讨不同因素与腐蚀性之间的关联性。为处理可能存在的多重共线性问题，引入逐步回归法 (Stepwise Regression)进行变量筛选，确保模型的稳健性和准确性^[15]。对于数据的拟合度检验，使用 r^2 值评估回归模型的拟合效果，并进行残差分析，检查模型假设是否成立。在数据可视化方面，采用散点图、箱线图和热力图等形式展示数据分布情况及相关性，帮助揭示数据背后的趋势与规律。在整个数据分析过程中，采用统计软件如 SPSS、R 或 Python 进行计算和分析，确保分析过程的高效性和准确性。

1.4 工程取样

某工程现场采集 I 级土样，分别采用前文所述四种方法进行分析。该工程位于兰州市皋兰县庙儿岔片区及兰州城关区奔马驾校北侧，地理位置优越，属于沟谷和黄土梁崩丘陵地貌

区。该区域土壤类型复杂，水文条件多变，具有一定的地质特征和环境条件，因此水土腐蚀性检测尤为重要。

2 结果与分析

2.1 准确性分析

根据表 1 中的误差率对比结果，五组样本在不同检测方法下的测量结果存在一定波动，显示出各方法在实际应用中的准确性差异。pH 值测定法的误差率波动较大，第一个样本的误差为 3.12%，第五个样本为 -2.09%，表明在不同样本中，pH 测量的准确性受外部环境或土壤类型影响较大，导致测量结果的浮动。相比之下，电导率法的误差率同样有较大差异，第三组样本的误差率为 6.25%，而第五组为 2.44%，表明电导率法对于不同土壤样本的电解质浓度差异十分敏感，引起测量误差的波动。离子浓度法 (氯离子)的误差率变化较为平稳，误差范围从 -4.72% 到 5.11% 之间，显示出该方法在多个样本中表现出较好的稳定性，适合用于需要较为一致的测试环境。滴定法的误差率在第 2 组 (-5.83%)和第 3 组 (4.77%)中表现出较大的波动。滴定法的操作依赖于实验人员的经验和滴定液的精确控制，反应终点的判断以及滴定液的加入速度都可能对结果产生较大影响。该方法的误差通常较大，尤其在样品较复杂的情况下，可能导致较为显著的波动。滴定法虽然能够准确测量某些离子的浓度，但其操作繁琐且误差源多，因此在精度要求高的实验中，可能需要特别小心。

表 1 误差率对比 /%

检测方法	第 1 组	第 2 组	第 3 组	第 4 组	第 5 组	
pH 值测定法	3.12	-0.14	0.79	1.92	-2.09	
电导率法	1.18	-0.67	6.25	-2.87	2.44	
离子浓度法	氯离子	-4.72	-5.38	5.11	3.61	-4.33
	钙离子	-3.34	2.16	3.77	4.06	-1.97
滴定法	4.16	-5.83	4.77	-3.61	2.84	

2.2 稳定性分析

变异系数对比如表 2 所示，各检测方法的波动性被清晰地呈现出来。pH 值测定法的变异系数较小，尤其是在 20:00，其数值降至 0.26，表现出稳定的测量效果。尽管上午和下午的波动幅度相对较小，但该方法的稳定性仍体现在其低于其他方法的标准差上，说明 pH 值的测定在不同时间段内没有受到过多的外部因素干扰。对于电导率法，尽管该方法的测量值在不同时间点之间保持一定的稳定性，其变异系数的数值仍然显示出一定的波动，尤其是 11: 00 和 14: 00 的测量数据。在该情况下，电导率的测量受水体中溶解物的影响较大，可能是因为在某些时段内土壤或水的离子浓度发生变化，导致电导率出现波动。离子浓度法的测量结果呈现较大的波动，尤其是钙离子的变异系数在各时间段间的波动较大。这表明在不同时间段内，土壤或水中钙离子的溶解状态存在一定的差异，可能与环境条件、土壤湿度等因素有关。滴定法的变异系数最大，尤其在 11: 00 (1.64)波动较大，显示出较高的不稳定性。平均值

为 1.38，表明滴定法的实验重复性较差，可能与操作人员的技术水平、滴定液的精准控制、反应终点的判断等因素相关。滴定法虽然能够精确地测定某些离子浓度，但由于其操作过程复杂，易受人为因素影响，因此其稳定性较低。

表 2 变异系数对比

检测方法	08: 00	11: 00	14: 00	17: 00	20: 00	平均	
pH 值测定法	0.31	0.28	0.38	0.26	0.34	0.31	
电导率法	0.57	0.44	0.51	0.54	0.49	0.51	
离子浓度法	氯离子	1.14	1.06	1.12	0.97	1.04	1.07
	钙离子	1.29	1.18	1.19	1.22	1.19	1.21
滴定法	1.19	1.64	1.37	1.28	1.41	1.38	
0.83	0.82	0.87	0.91	0.79	0.84		

2.3 环境效益分析

表 3 中呈现不同检测方法在环境效益方面的对比。能源消耗、温室气体排放量和废水排放量的差异显著，反映各检测方法在环境影响上的不同。对于 pH 值测定法，能源消耗和温室气体排放量均较低，表明其在实施过程中对环境的负担较小。相比之下，电导率法的温室气体排放量较低，但能源消耗有所增加，显示出其在效率上的折中。尽管电导率法的温室气体排放较少，但其更高的能源消耗意味着可能在较长时间内对环境的累积影响较大。离子浓度法和滴定法的环境影响较为显著，尤其是在废水排放方面。离子浓度法的废水排放量高达 2.92 L，显著高于其他方法，可能与其使用的化学试剂和溶液处理有关。同样，滴定法的废水排放量为 3.12 L，温室气体排放量为 6.43 kg，相较其他方法，排放量较大。钙离子法的综合表现较为平衡。其能源消耗较低，但废水排放量略有上升，可能是由于其需要更多的清洗和溶液更换。相比其他方法，在温室气体排放上保持中等水平，表明其对环境的影响具有一定可控性。

表 3 环境效益对比

检测方法	能源消耗(kWh)	温室气体排放量(kg)	废水排放量(L)
pH 值测定法	4.16	4.36	0.29
电导率法	4.27	2.93	0.62
离子 氯离子	3.42	4.53	2.92
浓度法 钙离子	3.26	4.41	2.63
滴定法	5.37	6.43	3.12

3 结 论

本文研究岩土工程勘察中的水土腐蚀性检测方法，重点比较不同方法的准确性、稳定性与环境效益。对各方法的实验结果分析，提出不同方法的适用性和优化建议。得到如下三条结论：

(1)准确性：pH 值测定法和电导率法在准确性上展现出良好的表现，尽管存在一定的误差率波动，但总体上适用于常规检测任务。离子浓度法和滴定法在提供精确数据上具有优势，但操作复杂，误差源多，对实验条件要求高。

(2)稳定性：pH 值测定法表现出较高的稳定性，测量效果在不同时间段内保持一致。电导率法虽有一定波动，但整体稳定。离子浓度法和滴定法的稳定性较低，尤其是滴定法，受人为因素影响大，实验重复性较差。

(3)环境效益：pH 值测定法在能源消耗和温室气体排放量上均较低，对环境的负担小。电导率法虽然温室气体排放较少，但能源消耗略高。离子浓度法和滴定法在环境效益上表现不佳，尤其是废水排放量大，对环境的影响显著。

因此，不同检测方法的选择应根据项目的具体需求和环境条件进行。在确保检测精度的基础上，减少环境负担应作为关键的决策依据。

参考文献

[1] 胡方深,黄红燕.岩土工程地质勘察过程中基岩完整性检测的分析[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024,(10): 65-68.

[2] 刘诚.岩土工程勘察中的无损检测技术研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024,(08):1-4.

[3] 邹广明,吴儒芳.滑坡勘察中岩土工程综合勘察技术[J].低碳世界,2024,14(02):43-45.

[4] 颜玉兵.水文地质对岩土工程勘察的影响及控制措施研究[J].有色金属设计,2021,48(04):87-89.

[5] 袁平凡.过硫酸盐氧化修复后土壤对建筑物的腐蚀性分析[J].山东国土资源,2021,37(08):52-56.

[6] 马喜云.岩土工程勘察中的水文地质危害及预防措施分析[J].石材,2023,(05):128-130.

[7] 马维.岩土工程勘察中矿井深基坑检测技术改进研究[J].世界有色金属,2019,44(14):219-219,222.

[8] 李玉超.水电工程地基岩土试验检测要点研究[J].水利技术监督,2020,(01):77-80.

[9] 吴宇杰.水利工程地质勘察要点和降水处理技术[J].地产,2022,(15):182-184.

[10] 刘小萍,胡造时,闭潇予.电位法测定土壤pH值不确定度评定[J].广东化工,2024,51(14):134-136.

[11] 黄亮亮,张慧琴,劳丽燕,等.电导率在土壤盐分检测中的研究进展[J].低温建筑技术,2018,40(11):77-78,91.

[12] 严鹏飞,罗迎禧,刘春秘,等.循环伏安法测定氯化铵镀镉溶液中镉离子浓度[J].电镀与精饰,2024,46(06):99-104.

[13] 杨娜,丁新艳,昌慧娟,等.用电位滴定法测定含锌硫化活性剂中锌含量[J].合成橡胶工业,2024,47(04):290-295.

[14] 李钟林,高在龙.基于ANOVA模型的延边地区制造业偏离-份额分析[J].东疆学刊,2021,38(02):55-61,128.

[15] 赵文娟,许碧纯,陈迪,等.基于多对多双重筛选逐步回归法进行不同位置食管癌形态学和剂量学的相关性分析及预测[J].中国医学物理学杂志,2024,41(12):1486-1493.