

doi: 10.3969/j.issn.1003-2029.2026.01.008

高密度电法在近海岸土壤腐蚀性评价和界线划分中的应用研究

杨道煌¹, 张伟¹, 吴琼², 蒋才洋¹

(1. 中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司, 贵州 贵阳 550081; 2. 中国国际经济咨询有限公司, 北京 100027)

摘要: 在海水潮汐影响下, 近海岸地区存在海水入侵现象, 导致近海岸土壤海水含量较高, 且具有一定程度的腐蚀性。土壤对钢结构等会产生不同程度的腐蚀, 降低其结构承载力, 减少其使用寿命, 并造成财产损失和安全事故。本文主要采用高密度电法和极化电流密度法对近海岸区域进行测试, 结合地质钻孔资料和氯离子 (Cl⁻) 浓度测定进行分析与解释。结果表明: 高密度电法与极化电流密度法均能有效评价土壤的腐蚀性等级, 其中, 高密度电法还能对研究区土壤的强、弱等级腐蚀性界线进行划分。研究结果可为该区域水文和地质调查提供基础参考资料, 对工程建设的设计施工和防腐措施具有重要参考价值, 为近海岸环境评估提供技术手段。

关键词: 近海岸; 高密度电法; 土壤腐蚀性评价; 视电阻率; 极化电流密度

中图分类号: P631; TV211.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-2029 (2026) 01-0065-10

随着近海岸地区的不断发展, 公路、铁路、油气管道和港口等基础设施建设逐渐完善。然而, 在海水潮汐作用影响下, 近海岸地区存在海水入侵现象, 导致土壤海水含量较高。土壤中的盐分对金属材料的腐蚀影响较大, 其会参与电化学反应, 促进土壤腐蚀的阳极过程, 土壤含盐量越高, 腐蚀性越强^[1-2]。土壤的腐蚀性会降低钢结构承载力, 减少其使用寿命, 并造成财产损失和安全事故^[3-4]。因此, 对土壤进行腐蚀性等级评价及强、弱腐蚀性界线划分尤为重要, 对工程建设的设计施工和防腐措施也具有重要的指导意义^[5]。

土壤腐蚀性等级评价方法众多, 原理也各有不同。1993年, 宋光铃等^[6]评述了土壤腐蚀性的评价方法, 分析了各种单项指标评价法和常见的多项指标综合评价方法。2001年, 陈华等^[7]介绍了土壤电阻率法和极化电流密度法测定土壤对钢铁结构腐蚀性的原理和方法。尹桂勤等^[8]在2004年提出土壤电阻率法是评价土壤腐蚀性等级的常用指标之一, 土

壤电阻率法根据电阻率测深法的原理测量土壤的电阻率值, 并根据土壤电阻率大小来评价土壤腐蚀性强弱。土壤电阻率法作为常用的腐蚀程度测定方法, 其优点在于现场数据易于获取, 但是对于多个点的测量极其不便, 且分辨率不高, 人为设定的测量点距会造成区域内土壤腐蚀程度变化不连续, 往往对工程中需要明确的腐蚀和非腐蚀区域的划分不敏感。高密度电法将常规的电阻率测深法和电阻率剖面法结合起来, 采用一系列多点的布极方式, 实现测深和剖面同时测量^[9], 与土壤电阻率四极测深法相比具有点距小和分辨率高等特点, 对于实现近海岸不同区域腐蚀程度的划分能发挥重要作用。

近年来, 越来越多的学者利用高密度电法实现了区域划分和分界面的圈定。何玉海^[10]提出, 利用高密度电法研究海水入侵是一种简单、高效的方法, 并通过对第四系各沉积层和基岩风化壳的物性测试, 测得含饱和海水后的电性参数。刘宏伟等^[11]应用高密度电阻率法对海(咸)水入侵界线进行识

收稿日期: 2025-07-12

作者简介: 杨道煌 (1995—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事工程地球物理勘探研究工作。E-mail: 845362193@qq.com

别,应用效果良好。陈松等^[12]采用高密度电法较为准确地圈定了咸淡水界面分界地段,并给出了咸水区域大致埋深深度。苏永军等^[13]利用高密度电法剖面成果资料划出研究区咸淡水界线,与水化学法确定的分界线基本吻合。部分学者采用高密度电法对海水入侵范围进行探测,能够有效地对海水入侵界面进行划分^[14-18],证明了该方法的可行性和有效性,海水入侵使土壤具有强腐蚀性,强腐蚀和非强腐蚀土壤之间存在明显的电阻率差异,这也证明了将高密度电法应用于近海岸区域腐蚀界面的划分是可行的。

电阻率和极化电流密度均为评价土壤腐蚀性等级的指标。高密度电法可在地面对深部进行探测,而极化电流密度法可以利用钻孔对地下的原土进行测试。本文以高密度电法为主要方法,以缅甸若开邦皎漂县近海岸地区为研究区域,探讨高密度电法在该区域进行土壤腐蚀性等级评价的适用性和准确性。通过极化电流密度法和Cl⁻浓度测定法对高密度电法测试结果进行验证,并对土壤腐蚀性等级进行综合评价,为近海岸地区工程建设提供基础资料。

1 土壤腐蚀性等级评价方法和依据

1.1 高密度电法测试

1.1.1 基本原理

高密度电法是以地下介质电性差异为基本前提,通过接地电极在地下建立稳定的人工电场,研究地下介质空间电性特征,进而查明和研究地下地质情况的一种方法。高密度电法也是一种高分辨率和高效率的勘探方法,测量点数多且点距小。在原理上,它将电测深法和电剖面法结合在一起,既实现了深部测量,也能形成所有测点的电剖面结果,如图1所示。野外测量时需要将电极一次性布设完成,根据不同的探测目的选择不同的测量装置进行数据采集,从而实现数据的自动快速采集。测定地下介质的电阻率公式如下^[19]。

$$\rho_s = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}} \quad (2)$$

式中, ρ_s 为视电阻率; V 为 N 和 M 之间电位差; I 为供电电流; K 为装置系数; AM 、 AN 、 BM 、 BN 分别为各电极间的水平距离。

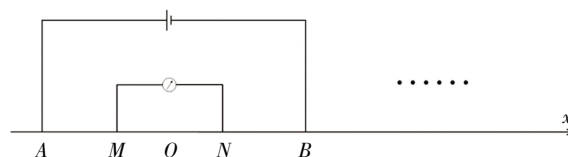


图1 高密度电法工作原理示意图

1.1.2 数据处理

高密度电法的数据处理主要是对视电阻率进行预处理。首先要对实测数据进行噪声压制,剔除实测数据中供电电流和测量电压过低的值。在高密度电法土壤腐蚀性评价测试中,每个测点的数据均测量两次,并对两次测量结果相差大于5%的测点进行处理,处理方法是两次测量结果求取平均数,该平均数即为该测点的最终视电阻率值。

1.2 土壤极化电流密度测试

1.2.1 基本原理

当两金属电极按一定间隔插入土壤中,构成一原电池时,只要电极中有电流通过,就会产生极化作用。极化作用是指电流通过后引起电极电流下降、电极反应过程速度降低、腐蚀速度减缓的现象。极化作用主要取决于电极和土壤的物理化学性质。

1.2.2 数据分析方法

根据测试电极上逐步增大的恒定电流,将其分别除以电极面积,得到电流密度。以各个电流密度 I_a 为横坐标,以测得的与电流密度相应的电位差 ΔE 为纵坐标作图,即可得到极化曲线图。从极化曲线上查出电位 ΔE 为500 mV时电流密度 I_a 的值,即为评价土壤腐蚀性等级的指标。

1.3 土壤腐蚀性等级评价依据

本文主要采用高密度电法和极化电流密度法来评价土壤腐蚀性等级,土壤对钢结构腐蚀性评价标准如表1所示^[20]。

表1 土对钢结构腐蚀性评价标准

腐蚀等级	视电阻率/($\Omega \cdot m$)	极化电流密度/($mA \cdot cm^{-2}$)
微	>100	<0.02
弱	100—50	0.02—0.05
中	50—20	0.05—0.2
强	<20	>0.2

2 研究区地质概况

研究区位于缅甸西部的若开邦皎漂县 (Kyauk-pyu) 的皎漂港, 地处孟加拉湾西海岸, 西邻印度洋。该区域地处平原, 地势较为平坦, 根据地质资料和钻孔资料, 地表覆盖层主要为黏土、含砂砾黏土。地下基岩岩性主要为泥岩、砂岩、粉砂岩, 基岩风化程度不一, 区域内大部分地区为农田, 有多

条因海水入侵而形成的河道分支。

由于地表覆盖层主要为黏土层和含砂砾黏土层, 覆盖层与基岩之间存在电性差异, 且不同风化程度的基岩也存在明显的电性差异。泥岩与砂岩的电性特征不同, 泥岩相对于砂岩表现为低阻。因此, 该区域具备高密度电法测试的物性前提, 高密度电法测线布置如图 2 所示。但是由于研究区存在海水入侵和倒灌现象, 长期的海水渗透导致各地层之间的电阻率值相对较小。

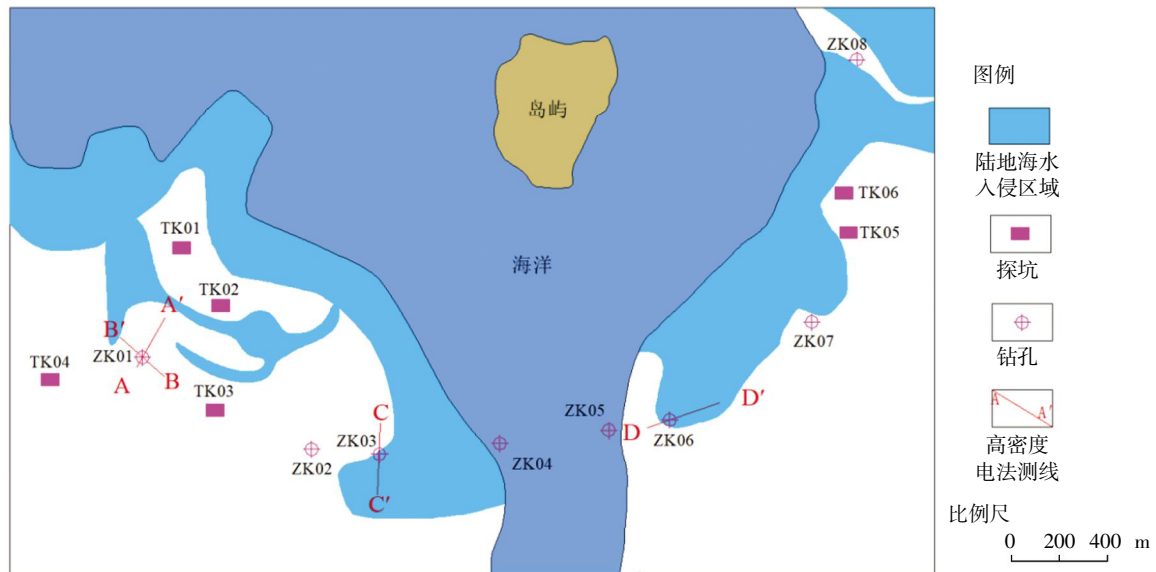


图 2 研究区工作布置示意图

3 土壤腐蚀性等级评价

3.1 A-A'和 B-B'测试成果

研究区位于近海区域, 经常受海水潮汐影响。涨潮时, 海水入侵陆地形成河道支流, 退潮时, 常有海水滞留。长期海水渗透导致地下土壤电阻率较低, 且土壤具有腐蚀性。测线 A-A'主要布置在海水入侵形成的支流附近, 测线方向大致垂直于海岸线, 由陆地向海洋延伸。测线长度为 240 m, 电极间距为 3 m, 装置类型选择为温纳装置。测线 B-B'与测线 A-A'斜交, 长度为 250 m, 电极间距为 3 m, 同样采用温纳装置。两条测线交汇于钻孔 ZK01 处, 该钻孔位于测线 A-A' 50 m 处和测线 B-B' 125 m 处。本文测试主要查明测线范围内土壤视电阻率在潮汐影响下的变化情况, 为评价土壤腐蚀性等级提供数

据基础, 并划分土壤腐蚀性等级, 同时查明地表土壤厚度变化情况。

图 3 为 A-A'测线视电阻率断面, 图 4 为 B-B'测线视电阻率断面, 分析表明, 两条测线的实测数据均无明显噪声干扰, 视电阻率空间形态较为平缓, 无突变点或孤点出现。图 5 和图 6 分别为两条测线两次测量的误差分布直方图, 可以看到每个测点两次视电阻率测量的误差小于 5% 的数据占据数据总量的主要部分。因此, 两条测线总体数据可靠, 数据质量较好。由图 2 和图 3 可知, 测线整体视电阻率在 $1.0\text{--}20.0\ \Omega\cdot\text{m}$ 之间, 大部分在 $1.0\text{--}10.0\ \Omega\cdot\text{m}$ 之间。测线 A-A'的视电阻率在横向上的变化趋势大致相同, 测线 B-B'在靠近海水入侵区域, 其深部的视电阻率逐渐降低, 测线 A-A'和测线 B-B'在每个层位的视电阻率范围变化不大。

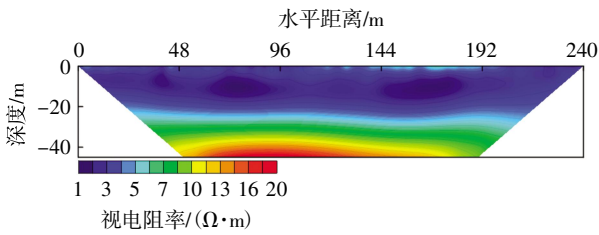


图3 A-A'测线高密度电法视电阻率断面

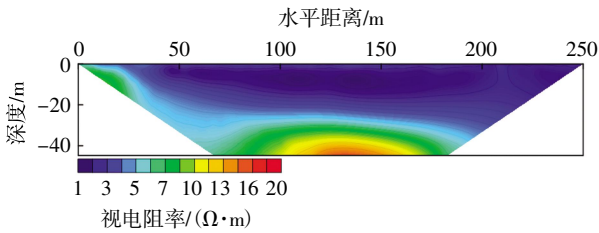


图4 B-B'测线高密度电法视电阻率断面

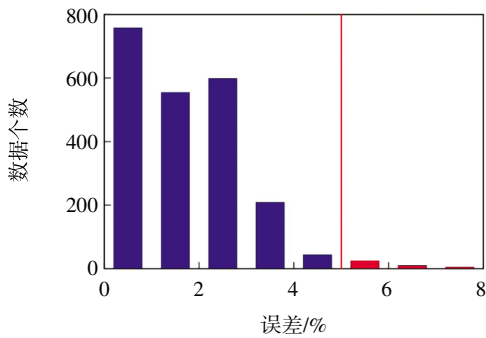


图5 A-A'测线两次测量数据误差分布

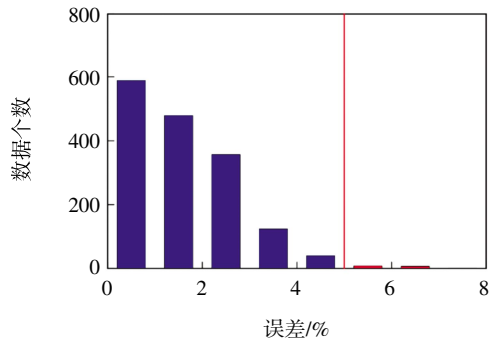


图6 B-B'测线两次测量数据误差分布

3.2 评价与分析

根据地质钻孔资料，覆盖层主要为黏土，钻孔ZK01处的覆盖层厚度为26.7 m，下覆基岩为泥岩。

图7为A-A'测线高密度电法解释图，结合地质钻孔资料可知，测线范围内土壤覆盖层的厚度变化不大，主要在26.5—27.5 m之间。在海水渗透的影响下，土壤覆盖层视电阻率较低，主要在1.0—5.0 Ω·m范围内，而下覆泥岩的视电阻率相对较高，主要在5.0—20.0 Ω·m范围内。根据土壤腐蚀性评价标准（表1），该测线范围内土壤视电阻率均小于20.0 Ω·m，所以该区域土壤腐蚀性等级评定为强等级腐蚀性。

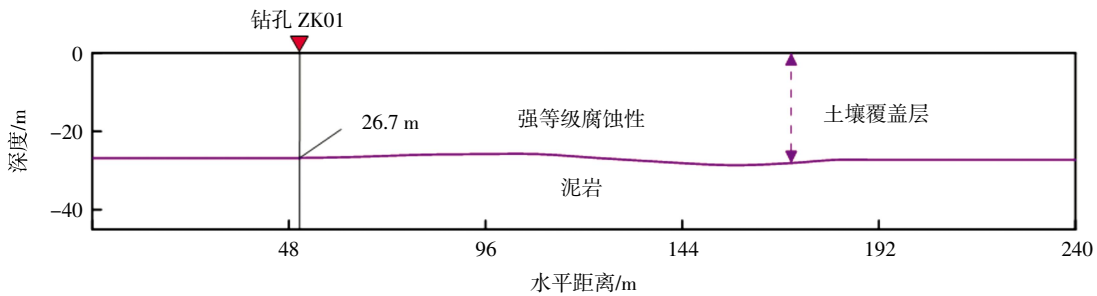


图7 A-A'测线高密度电法解释图

图8为B-B'测线高密度电法解释图，结合地质钻孔资料，测线范围内土壤覆盖层的厚度随着水平距离的增加而逐渐增加，厚度主要在5.0—27.5 m之间。土壤覆盖层视电阻率较低，主要在1.0—

5.0 Ω·m范围内，下覆泥岩的视电阻率相对较高，主要在5.0—20.0 Ω·m范围内。根据土壤腐蚀性评价标准（表1），该测线范围内土壤视电阻率小于20.0 Ω·m，所以评定为强等级腐蚀性。

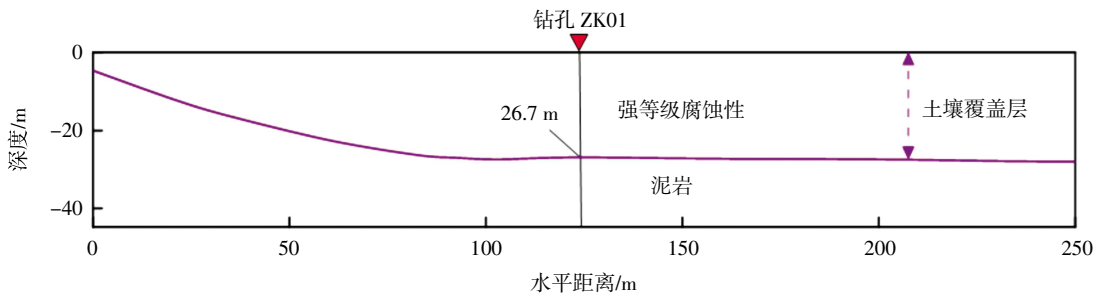


图8 B-B'测线高密度电法解释图

对地质钻孔 ZK01 中土壤样本 0 m 处、15 m 处及 26.7 m 处分别进行极化电流密度测试, 将两电极金属 (紫铜) 面 (面积 6.25 cm²) 按一定间隔插入到土壤样本中, 且相向平行对立。随后, 对电极按一定时间逐步增大供应电流, 并得到相应的电位差, 当电位差达到 500 mV 时, 得到的极化电流密度即为评价土壤腐蚀性的指标。测试结果如表 2 和图 9 所示。钻孔 ZK01 在 0.0—26.7 m 深度范围内的极化电流密度均大于土壤腐蚀性评价标准表 (表 1) 中规定的 0.2 mA/cm², 因此通过极化电流密度法可以评定钻孔 ZK01 处的土壤为强等级腐蚀性。

表 2 钻孔 ZK01 极化电流密度测试结果

土样所处的深度/m	极化电流密度/(mA·cm ⁻²)	腐蚀等级
0.0	7.1	强
15.0	9.4	强
26.7	8.9	强

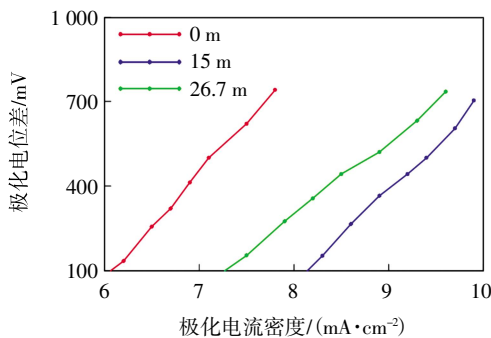


图 9 钻孔 ZK01 土壤样本极化曲线

对高密度电法和极化电流密度法的结果进行分析比较可知, 两种方法所得到的评价结果一致, 综合两种方法的评价结果, 在 A-A' 测线和 B-B' 测线范围内土壤腐蚀性评价为强等级, 也证明了高密度电法对于土壤腐蚀性等级评价的可行性和适用性。

4 土壤腐蚀性等级界线划分

研究区海水入侵区域分布广泛, 涨潮时在海岸上形成许多大大小小的支流, 因此, 在近海岸区域海水入侵范围不尽相同, 在地形条件不同的情况下, 部分区域不受涨潮时海水入侵影响。由于海水在深部土壤中的入侵距离未知, 因此, 在实际情况下, 无法根据现场水文地质特征明确判断一片区域是否因海水入侵影响而导致土壤具有强腐蚀性, 而高密度电法以地下电性特征为基础, 当视电阻率值

小于 20.0 Ω·m 时, 判定土壤为强等级腐蚀性; 当视电阻率值大于 50.0 Ω·m 时, 判定土壤为弱、微等级腐蚀性; 当视电阻率在 20.0—50.0 Ω·m 范围内, 则判定土壤为中等等级腐蚀性过渡区。据此, 可以实现对土壤强、弱腐蚀性界线的划分, 对工程建设的设计施工和防腐措施具有重要参考意义, 为水文地质等调查提供基础参考数据, 并为近海岸环境评估提供技术手段。

4.1 C-C' 测试成果及腐蚀性界线划分

测线 C-C' 位于海岸平地, 测线总长为 297 m, 电极间距为 3 m, 装置选择为温纳装置。根据水文地质资料, 测线 0—115 m 范围内无明显海水入侵现象, 115—297 m 范围内有明显的海水入侵影响, 测线整体地势平坦。图 10 为 C-C' 测线视电阻率断面图, 分析表明, 测线的实测数据无明显噪声干扰, 视电阻率空间形态较为平缓, 无突变点或孤点出现。图 11 为 C-C' 测线两次测量数据误差分布直方图, 可以看到每个测点两次视电阻率测量的误差小于 5% 的数据占数据总量的主要部分。因此, 该测线总体数据可靠, 数据质量较好。测线整体视电阻率介于 1.0—205.0 Ω·m 之间, 在测线 115 m 处存在明显的视电阻率分界点, 0—115 m 范围内视电阻率大部分在 140.0 Ω·m 以上, 115 m 以后视电阻率大部分在 20.0 Ω·m 以下。据此, 可明确区分土壤强、弱等级腐蚀性分界线, 并划分强、弱等级腐蚀性区域。

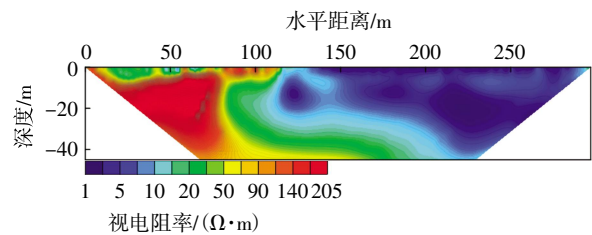


图 10 C-C' 测线高密度电法视电阻率断面

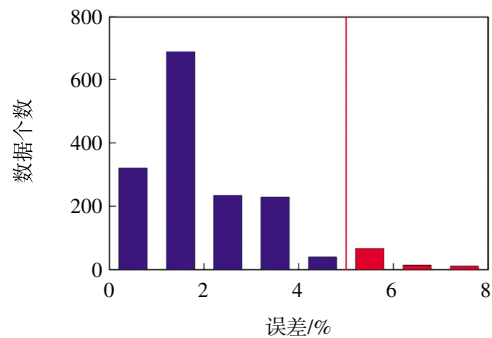


图 11 C-C' 测线两次测量数据误差分布

图12为C-C'测线高密度电法解释图。钻孔ZK03位于测线124 m处,结合地质钻孔资料可知,测线范围内土壤覆盖层厚度主要介于3.4—24.5 m之间,覆盖层主要为黏土,钻孔ZK03处的覆盖层厚度为16.6 m,下覆基岩为砂岩。在测线0—115 m范围内,覆盖层视电阻率主要分布在10.0—140.0 $\Omega\cdot\text{m}$;而在115—297 m范围内,覆盖层视电阻率主要分布在1.0—50.0 $\Omega\cdot\text{m}$,下覆砂岩的视电阻率相对较高,主要分布在10.0—205.0 $\Omega\cdot\text{m}$ 。图13为C-C'测线土壤腐蚀性界线划分图。根据视电阻率变化及土壤腐蚀性评价标准(表1),将测线

0—115 m范围评价为弱、微等级腐蚀性区域,115—297 m范围评价为强等级腐蚀性区域,中等级腐蚀为过渡区。其中,在测线12—71 m范围内,表层受含水量等因素影响体现为强、中等级腐蚀性。根据视电阻率差异,受海水入侵影响,土壤的视电阻率会低于10.0 $\Omega\cdot\text{m}$,大部分分布在1.0—5.0 $\Omega\cdot\text{m}$ 。在测线12—71 m范围内,视电阻率分布在10.0—50.0 $\Omega\cdot\text{m}$,表明该区域的腐蚀性特征与海水侵染现象无关。根据水文地质资料,海水入侵区域在测线115—297 m范围内,通过对高密度电法结果的分析可知,其与水文地质资料记录基本一致。

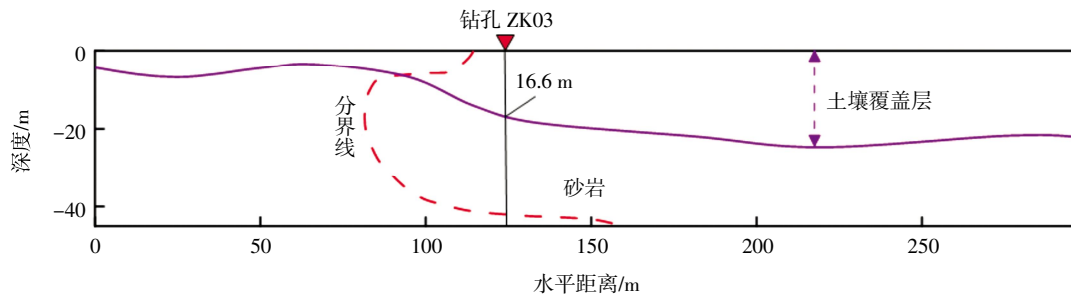


图12 C-C'测线高密度电法解释图

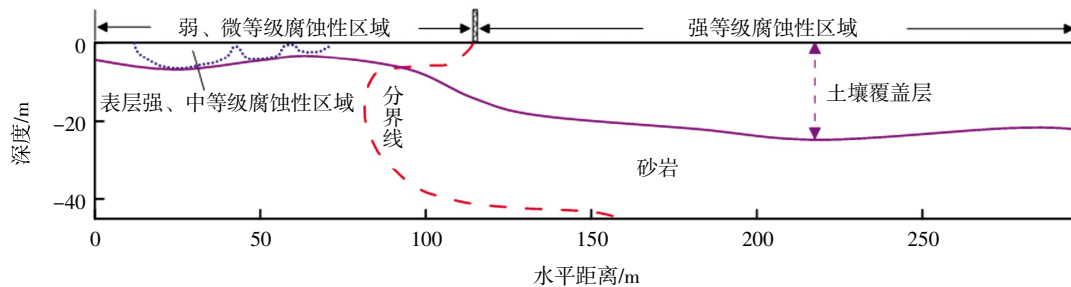


图13 C-C'测线土壤腐蚀性界线划分

对钻孔ZK03土壤样本0 m、10 m和16.6 m处分别进行极化电流密度测试,测试结果如表3和图14所示。钻孔ZK03位置处0.0—16.6 m深度范围内的极化电流密度均大于土壤腐蚀性评价标准表(表1)中规定的0.2 mA/cm^2 ,因此,通过极化电流密度法可以评定钻孔ZK03处的土壤为强等级腐蚀性,与高密度电法评价结果一致。

表3 钻孔ZK03极化电流密度测试结果

土样所处的深度/m	极化电流密度/ $(\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2})$	腐蚀等级
0.0	8.4	强
10.0	9.2	强
16.6	9.3	强

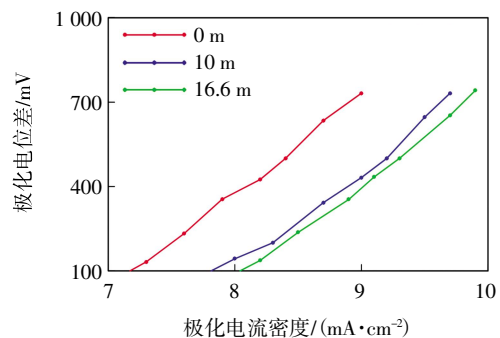


图14 钻孔ZK03土壤样本极化曲线

4.2 D-D'测试成果及腐蚀性界线划分

测线D-D'位于海岸平地,测线总长为318 m,电极间距为3 m,装置选择为温纳装置。根据水文地质资料,测线0—70 m范围内无明显海水入侵现

象, 70—318 m 范围内有明显海水入侵影响, 测线整体地势平坦。图 15 为 D-D'测线视电阻率断面图, 图 16 为 D-D'测线两次测量数据误差分布直方图, 可以看到每个测点两次视电阻率测量的误差小于 5% 的数据占数据总量的主要部分。因此, 该测线总体数据可靠。测线整体视电阻率在 1.0—226.0 Ω·m。在测线 65 m 处存在明显的视电阻率分界点, 0—65 m 范围的视电阻率大部分在 20.0 Ω·m 以上, 65—318 m 范围的视电阻率主要在 20.0 Ω·m 以下。

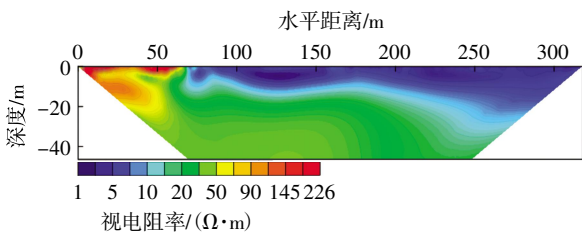


图 15 D-D'测线高密度电法视电阻率断面

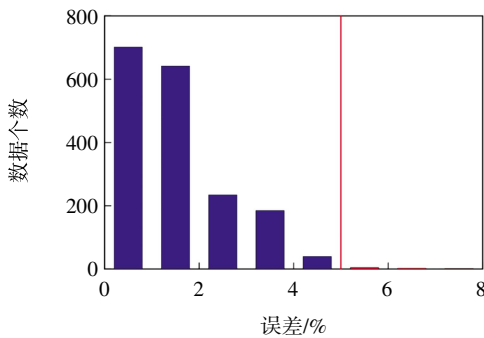


图 16 D-D'测线两次测量数据误差分布

图 17 为 D-D'测线高密度电法解释图。钻孔 ZK06 位于测线 97 m 处, 结合地质钻孔资料可知, 测线范围内土壤覆盖层厚度主要分布在 6.5—21.3 m, 覆盖层主要为黏土, 钻孔 ZK06 处的覆盖层厚度为 5.6 m, 下覆基岩为砂岩。在测线 0—65 m 范围内, 覆盖层视电阻率主要分布在 50.0—226.0 Ω·m; 在 65—318 m 范围内, 覆盖层视电阻率主要分布在 1.0—10.0 Ω·m, 下覆砂岩的视电阻率相对较高, 主要分布在 10.0—226.0 Ω·m。图 18 为 D-D'测线土壤腐蚀性界线划分图, 根据视电阻率变化及土壤腐蚀性评价标准 (表 1), 测线 0—65 m 范围被评定为弱、微等级腐蚀性区域, 65—318 m 范围则为强等级腐蚀性区域, 中等级腐蚀为过渡区。根据水文地质资料, 海水入侵区域在测线 70—318 m 范围内, 分析高密度电法结果可知, 海水入侵及渗透作用实际影响区域为 65—318 m 范围。

对钻孔 ZK06 土壤样本 0 m 处和 5.6 m 处分别进行极化电流密度测试, 测试结果如表 4 和图 19 所示。钻孔 ZK06 位置处 0.0—5.6 m 深度范围内的极化电流密度均大于土壤腐蚀性评价标准表 (表 1) 中规定的 0.2 mA/cm², 因此, 通过极化电流密度法可以评定钻孔 ZK06 处的土壤为强等级腐蚀性, 与高密度电法评价结果一致。

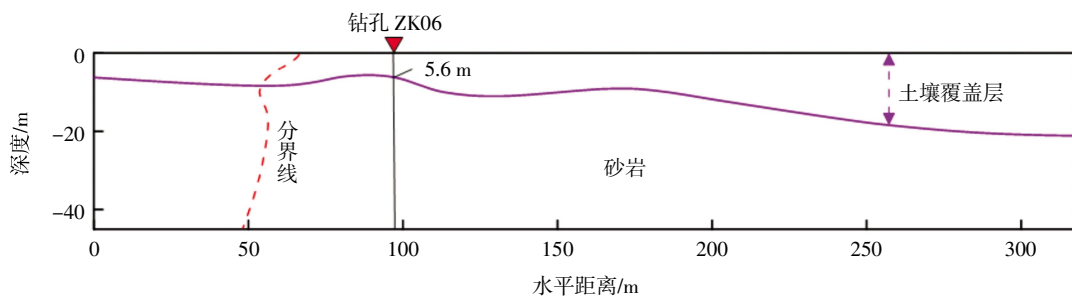


图 17 D-D'测线高密度电法解释图

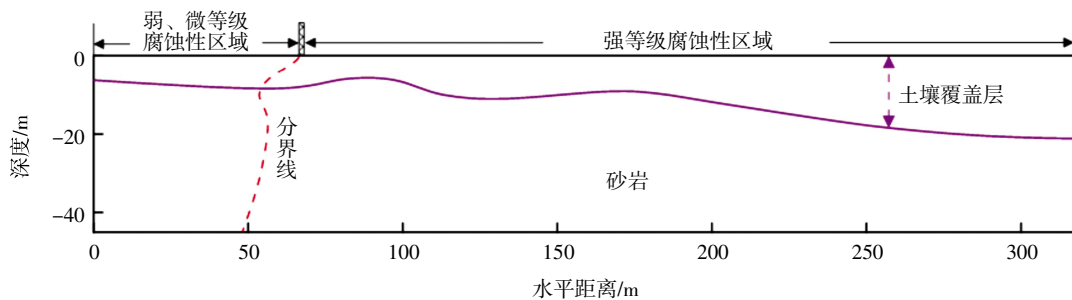


图 18 D-D'测线土壤腐蚀性界线划分

表4 钻孔 ZK06 极化电流密度测试结果

土样所处的深度/m	极化电流密度/(mA·cm ⁻²)	腐蚀等级
0.0	9.3	强
5.6	8.5	强

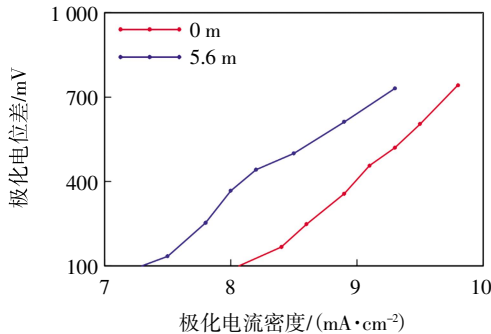


图19 钻孔 ZK06 土壤样本极化曲线

4.3 视电阻率和 Cl 浓度变化情况

土壤电阻率受许多因素影响,土壤中离子浓度是影响电阻率的重要因素之一。海水入侵会给土壤中的 Cl 浓度带来变化,在一定条件下,孔隙液 Cl 浓度越大,土壤中的导电离子数量增加,土壤的导电性增强,土壤电阻率越低。

土壤中的 Cl 浓度对材料腐蚀的影响较大,除了对土壤腐蚀介质的导电过程起作用外,还参与电化学反应。土壤中可溶盐是电解液的主要成分,所以土壤中的 Cl 浓度与土壤电阻率有明显的负相关性。Cl 对金属材料的钝性破坏很大,促进土壤腐蚀的阳极过程,并能渗透到金属腐蚀层,与钢铁直接反应生成可溶性腐蚀产物,所以土壤中 Cl 浓度越高,土壤腐蚀性越强。

4.3.1 C-C'测线视电阻率和 Cl 浓度变化分析

对 C-C'测线上的强腐蚀区域和非强腐蚀区域土壤中 Cl 浓度进行测定,每个区域选择 3 个测点,测点根据区域内测线长度均匀布置。数据分析表明,强腐蚀区(测线桩号 115—297 m)土壤 Cl 浓度明显高于非强腐蚀区(测线桩号 0—115 m)的土壤 Cl 浓度,表明 Cl 浓度分布情况与土壤电阻率界限划分结果是一致的。具体变化情况如表 5 所示。

表5 C-C'测线视电阻率与 Cl 浓度统计

序号	测线桩号/m	视电阻率/($\Omega \cdot m$)	Cl 浓度/(mg·L ⁻¹)	区域
1	0—115	20.0—205.0	21.4—40.9	非强腐蚀区域
2	115—297	1.0—20.0	436.4—8 753.3	强腐蚀区域

4.3.2 D-D'测线视电阻率和 Cl 浓度变化分析

对 D-D'测线上的强腐蚀区域和非强腐蚀区域的土壤中 Cl 浓度进行测定,每个区域选择 3 个测点,测点根据区域内测线长度均匀布置。数据分析表明,强腐蚀区(测线桩号 65—318 m)土壤 Cl 浓度明显高于非强腐蚀区(测线桩号 0—65 m)的土壤 Cl 浓度,表明 Cl 浓度分布情况与土壤电阻率界限划分结果是一致的。具体变化情况如表 6 所示。

表6 D-D'测线视电阻率与 Cl 浓度统计

序号	测线桩号/m	视电阻率/($\Omega \cdot m$)	Cl 浓度/(mg·L ⁻¹)	区域
1	0—65	20.0—226.0	14.2—42.5	非强腐蚀区域
2	65—318	1.0—20.0	452.3—8 534.6	强腐蚀区域

5 结论

本文以高密度电法为主要方法,以近海岸地区为研究区域,对土壤腐蚀性进行评价并划分土壤强、弱腐蚀性界线,经分析总结,得到以下结论。

(1) 结合地质钻孔资料,采用高密度电法可对近海岸地区土壤覆盖层与基岩界面进行划分,并能有效评价土壤的腐蚀性等级,测试评价结果与极化电流密度法和 Cl 浓度变化情况基本一致,证明了高密度电法的适用性和准确性。综合高密度电法、极化电流密度法和 Cl 浓度测定,可实现对该区域土壤腐蚀性的综合评价。

(2) 测试结果显示,该区域受海水入侵影响的土壤视电阻率值普遍较低,一般在 1.0—10.0 $\Omega \cdot m$ 范围内,大部分在 1.0—5.0 $\Omega \cdot m$ 范围内。根据土壤视电阻率差异,采用高密度电法可以对土壤强、弱等级腐蚀性界线进行划分,且在腐蚀性界线划分中的视电阻率测量误差可以控制在 5% 以内。

(3) 高密度电法测试结果表明,由于海水在土壤中的渗透作用,其强腐蚀性区域可能比水文地质资料中的海水入侵范围大。

(4) 本文的高密度电法测试结果可为该区域水文、地质调查提供基础参考资料,对工程建设的设计施工和防腐措施制定具有重要参考意义,同时为近海岸环境评估提供了有效的技术手段。

参考文献:

- [1] 王强. 地下金属管道的腐蚀与阴极保护[M]. 西宁: 青海人民出版社, 1984.
- [2] 陈敬友, 陈超, 吴迪. 接地网腐蚀性评价方法与腐蚀速率预测[J]. 腐蚀与防护, 2021, 42(3): 64-78.
- [3] 佟淑娇, 吴宗之, 王如君, 等. 埋地油气管道沿线土壤腐蚀性可拓评价研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2015, 11(12): 116-122.
- [4] 吴龙宇, 潘永林. 地质水文及土壤腐蚀性因素对道路稳定性的影响研究[J]. 山西建筑, 2025, 21(5): 122-126.
- [5] 田玉林. 渤海湾地区土壤腐蚀调查研究[J]. 腐蚀与防护, 2000, 21(10): 444-446.
- [6] 宋光铃, 曹楚南, 林海潮, 等. 土壤腐蚀性评价方法综述[J]. 腐蚀科学与防护技术, 1993, 5(4): 268-276.
- [7] 陈华, 董忠华, 王煜霞. 土壤对钢铁结构腐蚀性的测定方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(增): 1805-1808.
- [8] 尹桂勤, 张莉华, 常守文, 等. 土壤腐蚀研究方法概述[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2004, 16(6): 367-370.
- [9] 姜国庆, 郝社锋, 喻永祥, 等. 基于三维电阻率反演的滑坡地质灾害调查: 以无锡市雪浪山景区滑坡为例[J]. 物探与化探, 2024, 48(6): 1720-1729.
- [10] 何玉海. 高密度电法在莱州湾海水入侵调查中的研究与应用[J]. 海洋环境科学, 2016, 35(2): 301-305.
- [11] 刘宏伟, 黄忠峰, 郭旭, 等. 地球物理技术在识别海(咸)水入侵界线中的应用: 以莱州湾冲洪积扇区为例[J]. 海洋地质前沿, 2016, 32(9): 58-63.
- [12] 陈松, 刘磊, 刘庆怀, 等. 北部湾咸淡水分界面划分中的电法应用分析[J]. 地球物理学进展, 2019, 34(4): 1592-1598.
- [13] 苏永军, 范翠松, 赵更新, 等. 综合电法在探测海水入侵界面中的研究与应用: 以莱州湾地区为例[J]. 物探与化探, 2020, 44(3): 705-707.
- [14] 陈学群, 李成光, 田禅娟, 等. 高密度电阻率法在咸水入侵监测中的应用[J]. 物探与化探, 2021, 45(5): 1347-1352.
- [15] 于海. 基于高密度电法试验对海水入侵界面确定的研究[J]. 地下水, 2021, 43(6): 158, 252.
- [16] 柯永华. 基于高密度电法监测海水入侵特征的研究[J]. 陕西水利, 2021, 5: 143-145.
- [17] 徐喆, 杨娇娇, 刘荣波, 等. 基于高密度电法的滨海地区地下淡水体识别[J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(6): 47-53.
- [18] 孙建宏, 程立群, 赵伟锋, 等. 海水入侵区视电阻率与氯离子浓度关系研究: 以秦皇岛地区为例[J]. 物探与化探, 2022, 46(2): 518-524.
- [19] 覃剑文, 姜晓腾, 谢贵城, 等. 基于高密度电法的城市复杂环境岩溶探查研究: 以贵港市北环新村为例[J]. 物探与化探, 2023, 47(2): 530-539.
- [20] 中华人民共和国建设部. 岩土工程勘察规范(2009年版): GB 50021—2001[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009, 122-126.

Application of High Density Resistivity Method in Soil Corrosion Evaluation and Boundary Division in Coastal Areas

YANG Daohuang¹, ZHANG Wei¹, WU Qiong², JIANG Caiyang¹

(1. Power China Guiyang Engineering Corporation Limited, Guiyang 550081, China; 2. China International Economic Consultants Corporation Limited, Beijing 100027, China)

Abstract: Under the influence of ocean tides, seawater intrusion occurs in near-coastal areas, leading to relatively high seawater content in the soil and a certain degree of corrosiveness. Such soil can induce varying levels of corrosion in steel structures, thereby reducing their load-bearing capacity and service life, and potentially causing property loss and safety incidents. In this study, we apply the high-density electrical method and the polarization current density method to investigate near-coastal zones, integrating geological drilling data and chloride ion (Cl⁻) concentration measurements for comprehensive analysis. The results demonstrate that both methods can effectively assess the corrosiveness grade of the soil, with the high-density electrical method further capable of delineating the boundary between strongly and weakly corrosive zones in the area. These findings offer fundamental reference information for hydrogeological and geological surveys in the region, and hold significant implications for the design, construction, and anti-corrosion strategies of engineering projects, thereby supplying technical support for environmental assessment in coastal settings.

Keywords: coastal areas; high density resistivity method; evaluation of soil corrosion; apparent resistivity; polarization current density