

舟山海洋沉积物及沿海沉积物流动相石油 污染的电阻率特性及其影响因素研究*

伊国杰 潘玉英 陈琳 施羽昕 童森炜 童奕涵

(浙江海洋大学水产学院 舟山 316022)

摘要 海洋沉积物作为难以降解的石油类污染物的最终归宿,其污染程度的监测至关重要。本文通过现场采集舟山海洋沉积物及沿海沉积物(包括中砂、粉砂质砂和粉砂),以流动相原油为代表,采用单因素分析法室内配制标准污染沉积物样品测定电阻率,探讨沉积物类型、含水率、含油率、时间因素对石油污染海洋及沿海沉积物的电阻率影响及变化规律。结果显示,未污染和原油污染后海洋沉积物中砂、粉砂质砂、粉砂的电阻率随含水率的升高均呈幂函数降低趋势,并符合 Archie 公式。在含水率 15%时,电阻率随含油率总体上升;而在含水率 5%时,中砂电阻率呈现一个小幅上升的趋势;粉砂电阻率先小幅下降后略上升再小幅下降,粉砂质砂电阻率则是先大幅下降后略上升再小幅下降。15%含水率污染沉积物的电阻率随时间增加持续上升;5%含水率污染沉积物电阻率先上升后略下降再大幅上升。研究成果可为海洋及沿海沉积物石油污染电阻率法快速监测提供理论支持,以期海洋环境管理部门提供相应的决策依据。

关键词 海洋沉积物;沿海沉积物;流动相原油污染;电阻率特性

中图分类号 P76; X55 **doi:** 10.11693/hyh20170300055

海洋石油工业为我国的重要经济命脉之一,海上石油的开采、运输、装卸不可避免会造成溢油、漏油事故,导致严重的海洋石油污染(Wang *et al.*, 1999; Junoy *et al.*, 2013; Faksness *et al.*, 2015; Wei *et al.*, 2015)。海洋沉积物是污染物质最终富集的场所,也是重要的生物栖息地(徐艳东等, 2015)。石油是一种复杂的烃类混合物,具有非水溶性,其中的多环芳烃类物质(PAHs)有致癌性并难以被生物降解,最终会在一系列迁移转化过程后汇入沉积物中,在潮流作用下石油类物质会重新进入海水,成为海水的长期污染源(Venturini *et al.*, 2008; Prince *et al.*, 2016)。目前海洋沉积物中石油污染研究正在引起重视(李海明等, 2005; 岳宏伟等, 2009; 吴玲玲等, 2012; 李磊等, 2014; 刘亮等, 2014; 吴健等, 2016),但多为污染特

征和迁移转化规律的研究,新监测技术方面的研究不多见。舟山地处东海,作为中国四大石油储备基地之一,在建设过程中若产生石油污染必将影响舟山沿海地带的生物生存环境,尤其是潮间带沉积物污染后随潮汐变化会持续污染海水。传统的海洋沉积物中石油烃含量的测定采用紫外分光光度法(国家质量监督检验检疫总局, 2008),该方法需要样品预处理且分析步骤繁琐,而电阻率法作为一种快速、连续、无损的地球物理监测方法已经应用在陆域饱和沉积物离子组分的探测中,但将其应用在油类等有机物污染海洋沉积物的探测中还存在一定争议(潘玉英等, 2012)。前人的研究揭示了沉积物的电导特性主要受含水量、孔隙率、沉积物类型、饱和度的影响,其中含水量的影响最重要(Rinaldi *et al.*, 2002; Lee *et al.*,

* 国家自然科学基金项目, 41502261 号; 浙江省教育厅一般项目, Y201534409 号; 浙江省大学生科技创新活动计划(新苗人才计划)项目, 2016R411015 号; 浙江海洋大学大学生科技创新活动计划(育苗人才计划)项目, YMJH201609 号。伊国杰, E-mail: 17858803531@163.com

通讯作者: 潘玉英, 博士, 讲师, E-mail: pyyhj02bh@163.com

收稿日期: 2017-03-15, 收修改稿日期: 2017-03-30

2003; Oh *et al.*, 2007)。石油侵入沉积物后,电阻率亦受到石油含量的影响,随油含量的变化而变化(潘玉英等, 2015, 2016)。通常普遍认为油类污染沉积物会引起高阻异常(郭秀军等, 2005; Kim *et al.*, 2007), 相关研究(Gajdoš *et al.*, 1995)还存在一种截然不同的观点, 即低电阻率异常。综上所述, 沿海沉积物石油污染的电阻率监测技术研究国内尚处在尝试阶段, 很多科学问题并未形成统一认识。本文试图以舟山沿海沉积物流动相原油污染为例, 通过研究沿海各类沉积物随石油污染程度、含水率及时间流逝引起的电阻率变化, 探讨不同影响因素下石油污染沿海沉积物的电阻率变化规律, 为建立电阻率监测技术快速判断沿海及海洋内部沉积物石油污染范围、程度及提出正确合理修复措施提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试海洋原油 试验所用海洋原油取自舟山嵊山岛石油储备基地, 区别于稠油, 该油样为流动性较好原油, 委托国家海洋局第一海洋研究所采用色谱法测定其含量组分如表 1, 其中原油 b 为原油 a 挥发 10d 时间后的样品。其中烷烃主要包括正烷烃、姥鲛烷、植烷三类; 多环芳烃主要包括萘、菲、二苯并噻吩、芴、屈及其衍生物; 生物标志物主要为甾烷、藿烷等。

表 1 挥发前后海洋原油组分
Tab.1 Components of the crude oil before and after volatilizing

石油名称	烷烃含量 ($\mu\text{g/mL}$)	多环芳烃 ($\mu\text{g/mL}$)	生物标志物 ($\mu\text{g/mL}$)
原油 a	66.74	7.02	3.55
原油 b	64.44	5.42	3.30

1.1.2 供试海洋沉积物 试验所用海洋潮间带沉积物为中砂、粉砂, 分别取自舟山桃花岛和长峙岛潮间带, 为对比不同粒径沉积物污染特征, 另取长峙岛浙江海洋大学油菜花地沉积物为粉砂质砂作为沿海沉积物代表, 沉积物经烘干, 分别过 0.25mm、0.5mm、0.5mm 筛置于密封袋备用。沉积物粒径组成委托中国海洋大学测定, 结果如表 2 所示, 分类标准采用“海洋调查规范 第 8 部分: 海洋地质地球物理调查(GB/T12763.8-2007)”。

1.2 试验方法

1.2.1 海洋原油挥发速率的测定 为研究海洋原

表 2 供试沉积物粒径组成

Tab.2 Particle size composition of the tested sediment	粒径(mm)	>0.5	0.5—0.25	0.25—0.063	0.063—0.004	<0.004
中砂	0.1	66	13.2	20.4	0.3	
粉砂质砂	0.3	36.4	10.6	45.5	7.2	
粉砂	0	0.1	4	91.4	4.5	

油挥发对污染沉积物电阻率的影响, 取质量分别为 67.29g、63.92g 的原油置于 100mL 玻璃烧杯, 测其初始质量, 隔一定时间再次测其质量, 其质量差即为原油挥发质量。为排除温度、烧杯以及各种因素干扰, 取不同质量原油作为挥发实验对照组, 比较不同质量石油挥发速率的差异, 提高准确度。由于原油性质较复杂, 为更精确了解石油的挥发情况, 前两日每隔 1h 测一次质量, 然后每隔 1d 测其质量以及对应环境的温度和湿度, 记录数据, 以时间为横坐标, 质量为纵坐标绘成折线图, 其斜率即为挥发速率。

1.2.2 海洋石油污染沉积物的制备 为研究含水率对不同类型未污染沉积物电阻率的影响, 分别配制含水率为 6%、8%、10%、12%、14%、16%、18%、20%的中砂、粉砂质砂、粉砂三种未污染供试沉积物共 24 个样品; 同时控制含原油率 5%代表污染沉积物, 配制含水率为 6%、8%、10%、12%、14%、16%、18%、20%的中砂、粉砂质砂、粉砂三种污染供试沉积物共 24 个样品; 另外为研究不同含油率污染沉积物的电阻率变化, 选定含水率为 5%以及 15%代表微湿和较湿的沉积物, 然后分别配制含原油率为 2%、4%、6%、8%、10%、12%、14%、16%的中砂、粉砂质砂、粉砂的污染供试沉积物共 48 个样品(潘玉英等, 2015, 2016)。

本试验采取传统的方法(刘国华等, 2004)配制所需样品, 即使用精度为 0.01g 的电子天平量取一定量的供试沉积物(粉砂、粉砂质砂 80g, 中砂 100g), 根据所需含水含油率计算出沉积物所需的水及原油质量, 在电子天平上直接配制出所需样品, 置入密封袋揉捏均匀并稳定 24h, 备用。

1.2.3 海洋石油污染沉积物电阻率的连续监测 为研究各种原油污染沉积物电阻率随时间的变化, 将上述配制的不同含水、含油率并已稳定 24h 的石油污染沉积物置于烧杯, 排出气泡, 使用 HANNA HI98331 型电导率仪测其电导率, 每个样品测量三次作为对照, 求其平均值。在测量相邻样品电导率时, 将电导率仪用无水乙醇清洗, 再使用洁净的纸巾擦拭, 确认电导率仪干净后再测量下一组样品的电导

率, 避免原油交叉污染。每隔 3d 测 1 次样品电导率, 共测 10 次, 总计 30d。记录每次测量时环境的温度及湿度, 测量的电导率数据转换成电阻率后用 Excel 绘制成折线图。为了排除孔隙度对电阻率的影响, 将污染沉积物压实至同一高度, 每次测完数据后将沉积物样品恢复原状。

2 结果与讨论

2.1 海洋原油挥发速率对石油污染沉积物的影响

图 1 即为两组原油挥发状况示意图。由图 1 可以看出原油挥发速率呈现先快后慢的趋势, 但总体来看 62g 原油一个月时间仅挥发了 2g 左右, 挥发趋势较为缓慢, 故在此研究中, 原油的挥发导致电阻率变化是较小的, 平均挥发速率仅为 0.052g/d。

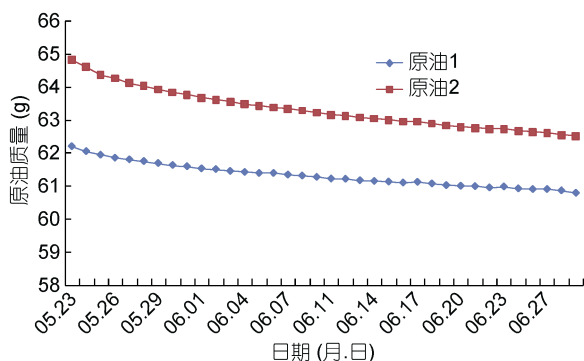


图 1 两组原油的挥发情况

Fig.1 Volatile situation of two groups of crude oil

2.2 含水率对未污染和石油污染沉积物电阻率的影响

2.2.1 含水率对未污染沉积物电阻率的影响 选用不含原油的三类沉积物代表未污染样品, 其电阻率随含水率变化如图 2 所示。可以看出三种沉积物的电阻率都随含水率的增加而降低。其中中砂随含水率增加降低的最快, 粉砂质砂次之, 粉砂的降低曲线最为平缓, 三种类型沉积物电阻率在含水率低时差别最大, 含水率增大时相互的差距逐渐减小。因为孔隙中“自由水”增多导致其连续性得到改善, 大部分电流优先选择连续的孔隙水传导, 形成电流通路, 使得电阻减小(Lee *et al*, 2003; Kim *et al*, 2007)。对于三种沉积物的电阻率的高低差异, 分析是由于中砂、粉砂质砂、粉砂的颗粒直径差异而导致的孔隙的差别造成(潘玉英等, 2015)。从微观结构分析, 粉砂的孔隙最小, 粉砂质砂次之, 中砂的孔隙最大。粉砂的孔隙最小, 在低含水率时水占孔隙的绝大部分, 因而电阻率最

低, 同理, 中砂的孔隙最大, 导电的水只占孔隙小部分, 从而电阻率最大。在含水率低时, 孔隙是影响沉积物电阻率的主要因素, 但是随着含水率的逐渐增加, 含水率逐渐成为影响沉积物电阻率的主要因素。因此, 在 6%含水率时, 三种沉积物的电阻率差异最大, 在 20%含水率时, 三种沉积物的电阻率差距十分微小。由图 2 拟合公式, 分别为中砂 $y=1031.9x^{-1.042}$, $R^2=0.993$; 粉砂质砂 $y=442.56x^{-1.324}$, $R^2=0.9475$; 粉砂 $y=44.451x^{-1.406}$, $R^2=0.9133$, 符合 Archie 公式(Archie, 1942)。

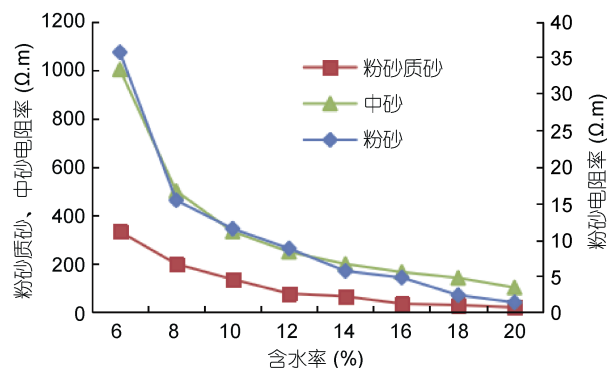


图 2 不同含水率的未污染沉积物电阻率

Fig.2 Resistivity of uncontaminated sediment under different water content

2.2.2 含水率对石油污染沉积物电阻率的影响 选用含原油率 5%的三类沉积物代表石油污染样品, 其电阻率随含水率变化由图 3 所示。分别将三类沉积物的污染样品与未污染样品进行对比, 其结果于图 4、图 5、图 6 所示。由图 4—图 6 可知, 石油污染沉积物的电阻率随含水率的变化趋势与未污染沉积物的变化趋势大体一致, 都随着含水率的增加而降低, 分别拟合公式为中砂 $y=106.2x^{-1.204}$, $R^2=0.992$; 粉砂

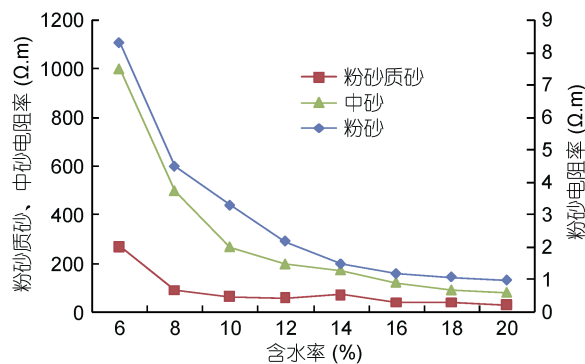


图 3 不同含水率的污染沉积物电阻率(原油 5%)

Fig.3 Resistivity of contaminated sediment under different water content (5% crude oil)

质砂 $y=22.161x^{-0.933}$, $R^2=0.909$; 粉砂 $y=0.9113x^{-1.074}$, $R^2=0.9854$, 符合 Archie 公式(Archie, 1942)。

由图 4—图 6 可以看出, 三种海洋沉积物的石油污染土壤的电阻率都略低于未污染的沉积物, 但三种石油污染与未污染沉积物之间差别并不相同。其中粉砂质砂和粉砂的情况较类似, 在低含水率时原油污染与未污染样品电阻率差异较大, 而随着含水率的增加, 其差距在迅速缩小, 其中粉砂质砂在含水率为 14% 时, 原油污染与未污染样品电阻率大体趋于一致; 粉砂也在含水率为 20% 时, 污染与未污染样品电阻率趋于一致。而中砂石油污染与未污染样品的电阻率差距控制在 19.8—63.0 $\Omega \cdot m$ 之间, 较为微小。对此分析, 粉砂质砂和粉砂在低含水率时, 原油占了孔隙的一部分, 而原油与水不混溶, 从而将孔隙中的水体“挤”到了一边, 达到了类似缩小孔隙的效果, 孔隙中的水相比较容易形成电流通路, 从而使得电阻率降低; 而随着含水率的不断增加, 水在沉积物孔隙的比重不断增加, 孔隙中石油对水的“排挤”作用不断减小甚至在含水饱和时被“挤”出孔隙, 因而在达到一定含水率时原油污染与未污染样品电阻率开始趋于一致。

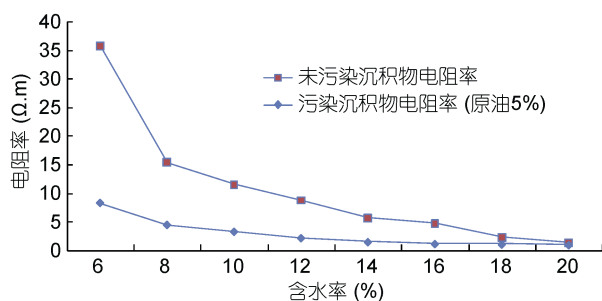


图 4 污染与未污染粉砂电阻率随含水率的变化

Fig.4 Resistivity variation of contaminated and uncontaminated silt with water content

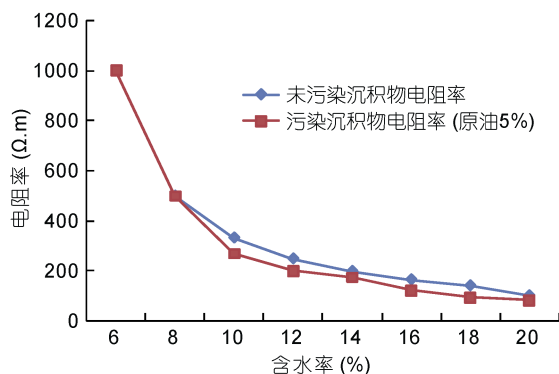


图 5 污染与未污染中砂电阻率随含水率的变化

Fig.5 Resistivity variation of contaminated and uncontaminated medium sand with water content

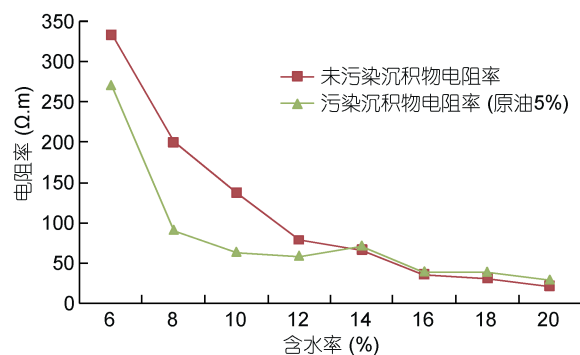


图 6 污染与未污染粉砂质砂电阻率随含水率的变化

Fig.6 Resistivity variation of contaminated and uncontaminated silty sand with water content

致(潘玉英等, 2016)。中砂孔隙较大, 5% 含油率并未对其孔隙中的水造成类似的“排挤作用”, 从而使得原油污染与未污染样品的电阻率差别并不明显。

2.3 含油率对海洋沉积物电阻率的影响

三种海洋沉积物随含油率电阻率变化见图 7、图 8、图 9。可以看出, 在较湿状态(15% 含水率)下, 含油率的增加对三种样品的电阻率影响并不明显, 但仍能看出其电阻率上升趋势。而在微湿状态(5% 含水率)下, 三种样品电阻率变化较为复杂, 其中中砂电阻率呈现一个略上升的趋势, 最后一组数据由于误差太大对其模拟数据进行内插; 粉砂电阻率先小幅下降后略上升再小幅下降, 降低趋势较为平缓(电阻率降低仅为 0.9 $\Omega \cdot m$); 粉砂质砂电阻率则是先大幅下降后略上升再小幅下降, 降低曲线在 8% 含油率前较为陡峭(电阻率降低 730 $\Omega \cdot m$)。这里出现的结果与 Gajdoš 等(1995)的研究类似, 即电阻率随着含油率的升高而降低。对此分析, 在低含水率含油率时, 含水率及孔隙率是影响沉积物电阻率的主要因素, 在开始加入原油时, 非水相原油占领了粉砂质砂及粉砂两种孔隙较小的沉积物孔隙, 从而挤压孔隙中的水体, 迫使孔隙中的水形成电流通路从而使得两种沉积物的电阻率降低(Oh *et al*, 2007; 潘玉英等, 2016)。对于两种沉积物的降低趋势不同, 分析为粉砂孔隙较粉砂质砂更小, 从而由水体被挤压聚集形成的电流通路而导致的电阻率降低并不十分明显。而随着原油增加到一定程度, 不导电的原油开始占据孔隙的大部分, 因而电阻率开始转为上升; 而中砂则是因为孔隙较大, 孔隙中的水受加入的原油影响较小, 电阻率受到原油影响增大。

2.4 时间对原油污染沉积物电阻率的影响

由于中砂及粉砂质砂在中后期电导率即为 0, 所

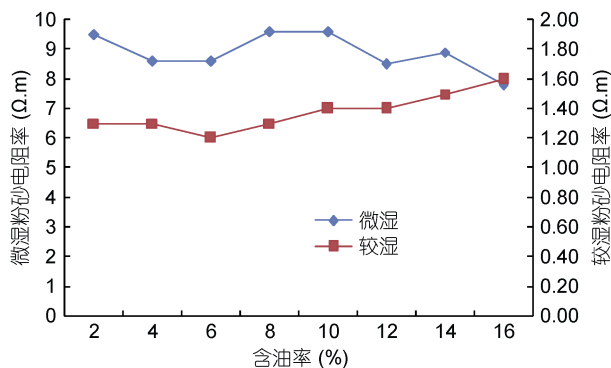


图 7 含油率对粉砂电阻率的影响

Fig.7 The impact of oil content on silt resistivity

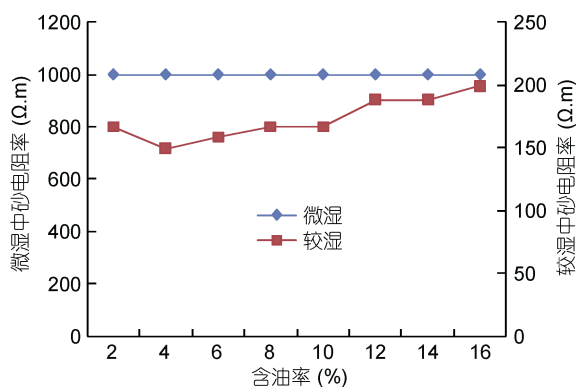


图 8 含油率对中砂电阻率的影响

Fig.8 The impact of oil content on medium sand resistivity

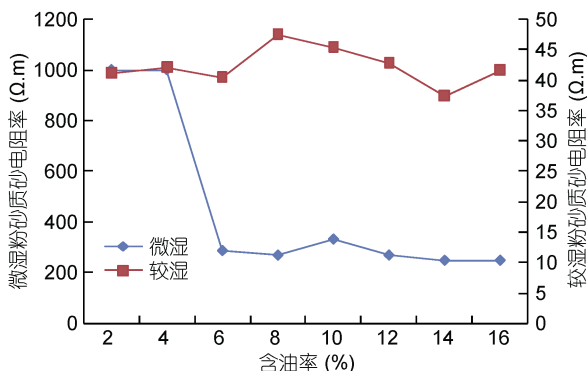


图 9 含油率对粉砂质砂电阻率的影响

Fig.9 The impact of oil content on silty sand resistivity

能使用数据太少导致没有代表性, 因此选用粉砂作为代表沉积物, 其电阻率随时间的变化由图 10、图 11 所示。

微湿及较湿粉砂的电阻率随时间的增长皆呈现上升的趋势, 两类沉积物电阻率随时间增长而增大; 其中较湿粉砂上升趋势十分规律, 而微湿粉砂则较为复杂, 电阻率呈现先上升, 后下降(Gajdoš *et al.*, 1995), 再上升的趋势。对此分析, 由于沉积物的电阻

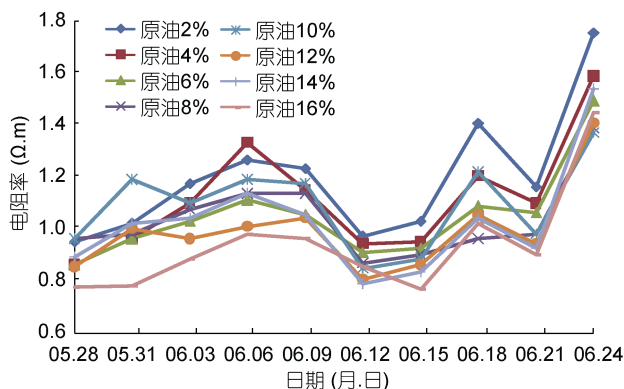


图 10 微湿粉砂电阻率随时间的变化

Fig.10 Resistivity variation of slightly damp silt with time

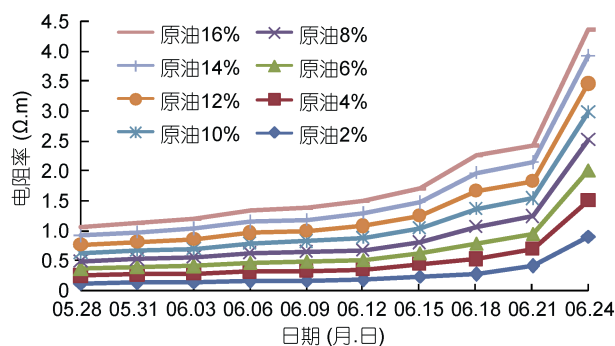


图 11 较湿粉砂电阻率随时间的变化

Fig.11 Resistivity variation of damper silt with time

率主要是含水率引起的, 较湿粉砂含水率较高, 沉积物中水分挥发速率较缓慢, 30d 内水分仍未完全挥发, 因此其电阻率变化较为规律; 而微湿粉砂含水率较低, 沉积物中水挥发占主导地位, 水体在沉积物中先挥发了大部分, 导致电阻率升高, 沉积物中含水率的下降导致原油挥发占了主导地位, 但原油只能挥发小部分, 从而电阻率只有小幅度降低, 另外潮间带沉积物中盐分的溶解也会导致电阻率降低, 最后随时间的增加沉积物中含水率逐渐降到最低, 电阻率大幅上升。

3 结论

本文选取舟山沿海中砂、粉砂质砂、粉砂 3 种类型海洋沉积物和原油作为研究对象, 采用单因素分析法研究沉积物类型、含水率、含油率及时间对海洋石油污染沉积物电阻率的影响, 结果发现:

(1) 原油污染对中砂的电阻率影响极小, 在低含水率情况下, 原油污染对粉砂电阻率影响最大, 粉砂质砂次之; 在含水率高达 15% 以上时, 原油污染对粉砂质砂电阻率影响极小, 对粉砂电阻率影响也逐渐

开始减小, 20%含水率时石油污染已基本无法影响三种沉积物电阻率。

(2) 未污染和原油污染后中砂、粉砂质砂、粉砂的电阻率随含水率的升高均呈幂函数降低趋势, 并符合 Archie 公式。其中中砂的变化最大, 范围为 83.3—1000.0 $\Omega\cdot\text{m}$; 其次为粉砂质砂, 范围为 21.6—333.3 $\Omega\cdot\text{m}$; 最小为粉砂, 范围为 1.4—35.7 $\Omega\cdot\text{m}$ 。

(3) 在含水率 15%时, 随含油率的增加, 污染沉积物电阻率呈总体上升的趋势; 而在含水率 5%时, 中砂电阻率呈现一个小幅上升的趋势; 粉砂电阻率先小幅下降后略上升再小幅下降, 降低趋势较为平缓; 粉砂质砂电阻率则是先大幅下降后略上升再小幅下降, 降低程度在 8%含油率前较为剧烈。

(4) 含油率固定时, 随时间增加, 15%含水率污染沉积物的电阻率上升呈相似规律; 5%含水率污染沉积物电阻率先上升后小幅下降再大幅上升。

综上所述, 不同含水率、含油率及污染时间条件下, 石油污染沿海沉积物规律复杂, 不能单纯认为高阻异常, 研究成果为利用电阻率法快速判断沿海沉积物石油污染程度和范围提供理论基础。

参 考 文 献

- 刘 亮, 王菊英, 胡莹莹等, 2014. 渤海近岸海域石油类污染变化趋势. 海洋与湖沼, 45(1): 88—93
- 刘国华, 王振宇, 黄建平, 2004. 土的电阻率特性及其工程应用研究. 岩土工程学报, 26(1): 83—87
- 吴 健, 谭 娟, 王 敏等, 2016. 某石油污染滩涂沉积物中总石油烃和多环芳烃组成分布特征及源解析. 安全与环境学报, 16(1): 282—287
- 吴玲玲, 周俊杰, 李海涛等, 2012. 珠江口表层沉积物石油类含量、分布及变化趋势. 生态科学, 31(5): 543—547
- 李 磊, 蒋 玫, 王云龙等, 2014. 长江口及邻近海域沉积物中石油烃污染特征. 中国环境科学, 34(3): 752—757
- 李海明, 郑西来, 刘宪斌, 2005. 渤海滩涂沉积物中石油污染物的迁移——转化规律研究. 海洋环境科学, 24(3): 9—12
- 国家质量监督检验检疫总局, 2008. GB17378-2007, 海洋监测规范. 北京: 中国标准出版社
- 岳宏伟, 王海燕, 汪卫国等, 2009. 厦门湾沉积物对石油的吸附解吸规律研究. 台湾海峡, 28(2): 187—191
- 徐艳东, 魏 潇, 杨建敏等, 2015. 山东近岸海域表层沉积物 7 种重金属污染特征和生态风险评估研究. 海洋与湖沼, 46(3): 651—658
- 郭秀军, 武瑞锁, 贾永刚等, 2005. 不同土壤中含油污水污染区的电性变化研究及污染区探测. 地球物理学进展, 20(2): 402—406
- 潘玉英, 杨金生, 邓小艳等, 2016. 含水饱和度和含油饱和度和对柴油污染土壤电阻率的影响研究. 土壤通报, 47(2): 461—466
- 潘玉英, 贾永刚, 许中硕等, 2015. 不同影响因素下石油污染土电阻率特征研究. 环境科学学报, 35(3): 880—889
- 潘玉英, 贾永刚, 郭 磊等, 2012. LNAPL 在砂质含水层中动态迁移的电阻率法监测试验研究. 环境科学, 33(5): 1744—1752
- Archie G E, 1942. The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. Transaction of American Institute of Mining Engineers, 146(1): 54—62
- Fakness L G, Altin D, Nordtug T *et al*, 2015. Chemical comparison and acute toxicity of water accommodated fraction (WAF) of source and field collected Macondo oils from the Deepwater Horizon spill. Marine Pollution Bulletin, 91(1): 222—229
- Gajdoš V, Král V, 1995. Influence of hydrocarbon pollution to soil conductivity//Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists, 785—789
- Junoy J, Castellanos C, Viéitez J M *et al*, 2013. Seven years of macroinfauna monitoring at Ladeira beach (Corrubedo Bay, NW Spain) after the *Prestige* oil spill. Oceanologia, 55(2): 393—407
- Kim Y S, Oh M H, Park J, 2007. Laboratory study on the dielectric properties of contaminated soil using CPT deployed probe. Geosciences Journal, 11(2): 121—130
- Lee J H, Oh M H, Park J *et al*, 2003. Dielectric dispersion characteristics of sand contaminated by heavy metal, landfill leachate and BTEX (02-104b). Journal of Hazardous Materials, 105(1/3): 83—102
- Oh M, Kim Y, Park J, 2007. Factors affecting the complex permittivity spectrum of soil at a low frequency range of 1kHz-10MHz. Environmental Geology, 51(5): 821—833
- Prince R C, Nash G W, Hill S J, 2016. The biodegradation of crude oil in the deep ocean. Marine Pollution Bulletin, 11(1—2): 354—357
- Rinaldi V A, Cuestas G A, 2002. Ohmic conductivity of a compacted silty clay. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 128(10): 824—835
- Venturini N, Muniz P, BICego Mar C *et al*, 2008. Petroleum contamination impact on macrobenthic communities under the influence of an oil refinery: integrating chemical and biological multivariate data. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 78(3): 457—467
- Wang Z D, Fingas M, Page D S, 1999. Oil spill identification. Journal of Chromatography A, 843(1—2): 369—411
- Wei L, Hu Z W, Dong L *et al*, 2015. A damage assessment model of oil spill accident combining historical data and satellite remote sensing information: A case study in Penglai 19-3 oil spill accident of China. Marine Pollution Bulletin, 91(1): 258—271

THE STUDY ON RESISTIVITY CHARACTERISTICS AND INFLUENCING FACTORS OF MOBILE PHASE OIL CONTAMINATED MARINE AND COASTAL SEDIMENTS IN ZHOUSHAN

YI Guo-Jie, PAN Yu-Ying, CHEN Lin, SHI Yu-Xin, TONG Sen-Wei, TONG Yi-Han
(Fisheries College Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

Abstract Marine sediments is considered as the final destination of the petroleum pollutants degraded difficultly, and the monitoring of pollution degree is very important. Through collecting in-situ marine and coastal sediment samples in Zhoushan (including medium sand, silty sand and silt), and selecting mobile phase crude oil as typical representative, the resistivities of standard crude oil contaminated sediment samples which were prepared indoor were measured using single factor analysis method, and then effect of sediment types, water content, oil content and time on the oil contaminated sediment resistivities and the according changing rules were discussed. Results showed that the resistivities of clean and oil-contaminated medium sand, silty sand and silt all decreased in the form of power function with the increasing water content and conformed to the Archie formula. When the water content was 15%, the resistivity rose with the increase of oil content overall. While the water content was 5%, the change rules of resistivity of three kinds of sediment were different. The resistivity of medium sand presented a small increasing trend, and the resistivity of silt decreased slightly firstly, rose a little afterly, and then decreased slightly again. The resistivity of silty sand decreased largely firstly, rose slightly afterly and decreased slightly. The contaminated sediment resistivities with 15% water content kept rising, while with 5% water content the resistivities rose firstly, decreased slightly, and then rose largely. Research results can provide theoretical support to the fast monitoring of oil contamination of marine and coastal sediments by the method of resistivity, and then provide the decision-making basis for the marine environment management department.

Key words marine sediment; coastal sediment; mobile phase crude oil pollution; resistivity characteristics