

DOI: 10.16788/j.hddz.32-1865/P.2021.01.001

引用格式:姜月华,吴吉春,李云,等. 高密度电法在城市地下水和土壤有机污染调查中的应用[J]. 华东地质, 2021, 42(1): 1-8.

## 高密度电法在城市地下水和土壤有机污染调查中的应用

姜月华<sup>1</sup>, 吴吉春<sup>2</sup>, 李云<sup>1</sup>, 周迅<sup>1</sup>, 周权平<sup>1</sup>, 刘林<sup>1</sup>, 贾军元<sup>1</sup>, 苏晶文<sup>1</sup>, 施小清<sup>2</sup>

(1. 中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016; 2. 南京大学, 江苏 南京 210093)

**摘要:** 运用高密度电法对苏南某城市 NH 化工厂场地地下水和土壤进行了勘查, 发现在地下 17~45 m 的含水层和土壤存在多个超过 100  $\Omega \cdot m$  高电阻异常区。通过钻探和化学测试验证, 发现这些高电阻异常区均为受到高浓度有机污染物影响的污染晕, 据此进一步扩大了勘察范围, 从而圈定出地下污染物的空间分布状况, 并确定了污染物的来源和迁移规律。研究表明, 应用高密度电法勘查化工厂场地地下水和土壤有机污染是行之有效的, 是探测地下有机污染晕非常经济方便的方法, 建议加以推广使用。

**关键词:** 高密度电法; 地下水; 土壤; 有机污染; 污染晕

**中图分类号:** P631.3; X53

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2096-1871(2021)01-001-08

随着城市化进程的加快, 城市规模不断扩大, 城市中心城区范围急速扩张, 如 1980 年上海中心城区面积为 193 km<sup>2</sup>, 2005 年面积达 1 571 km<sup>2</sup>; 1980 年南京中心城区面积为 62 km<sup>2</sup>, 2005 年面积达 358 km<sup>2</sup>。城市范围的扩大, 使原来位于城郊或城市边缘的化工厂变成了繁华的市区或主城区, 因此不得不采取关停搬迁措施, 如重庆市曾计划在 2010 年实施搬迁主城区 79 家化工企业<sup>[1]</sup>; 南京市栖霞区两年内关停搬迁 127 家化工厂<sup>[2]</sup>。关停搬迁后的化工厂原址土地存在水土污染问题<sup>[3-5]</sup>, 须进行“体检”<sup>[6]</sup>。本文即是在苏南某城市 NH 化工厂搬迁后开展的地下水和土壤有机污染调查示范案例成果, 旨在为类似化工场地实施快速污染调查评价提供借鉴。

苏南某城市 NH 化工厂建成于 40 年代, 面积约 1.2 km<sup>2</sup>。目前, 该厂已整体搬迁, 在搬迁之前主要生产苯胺盐酸盐 Aniline hydrochloride、邻硝基苯甲醛 o-nitrobenzaldehyde、抗氧化剂甲基 Poly(dicyclopentadiene-co-p-cresol)、单叔丁基对甲酚 2-

tert-Butyl-4-methylphenol、橡胶助剂 Rubber auxiliary 和氯碱 chloro-alkaline 等, 生产原料有苯、硝基苯、苯胺、氯苯和盐酸等。搬迁后的化工厂场地地下水和土壤是否发生污染是当地政府部门十分关心的问题, 因为这直接影响着土地开发利用的前景。显然, 尽快查明该场地地下水和土壤污染特别是有机污染的状况具有十分重要的意义。

### 1 地质背景

研究场地位于向北缓倾斜的“U”型小平原, 东侧、南侧、西侧均为海拔十几至几十米的丘陵, 北侧为河流。场地内地层分布自下而上依次为: ①上白垩统浦口组, 深度一般在地面以下 40~50 m, 岩性为紫红、灰黄色砂砾岩。②更新统下蜀组黄土, 深度一般在地面以下 12~40 m, 主要为多层粉质黏土夹粉砂和砂层。底部为砂砾岩层, 与基岩上白垩统浦口组呈不整合接触。③全新统, 下部为下蜀组次生黄土, 岩性以粉土、粉质黏土为主; 上部主要为河

\* 收稿日期: 2020-11-10 修订日期: 2021-01-27 责任编辑: 谭桂丽

**基金项目:** 中国地质调查局“长江经济带地质环境综合调查工程(编号: 0531、0802)”、“长江经济带地质资源环境综合评价(编号: DD20190260)”和“长三角南京—上海—温州城镇规划区 1:5 万环境地质调查(编号: DD20160246)”项目联合资助。

**第一作者简介:** 姜月华, 1963 年生, 男, 研究员, 主要从事环境地质和水文地质调查及研究工作。Email: jiangyuehua01@163.com。

湖相第四系松散沉积物,为粉质黏土夹粉土层,厚10~12 m。

可划分为潜水和微承压水2个含水层。潜水含水层厚5~6 m,由粉质黏土夹薄层粉砂、细砂、粉土组成;微承压水含水层主要赋存于更新统粉质黏土中的薄层细砂、中砂夹层中及基岩面上的破碎残积物,分布深度为12~40 m。地下水流向总体为自南向北。

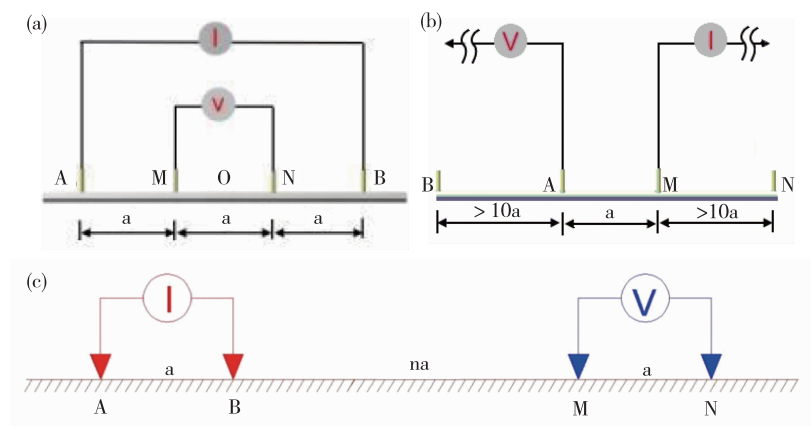
## 2 研究方法

主要采用高密度电法(又称高密度电阻率法)圈定异常区,然后辅之以钻探和化学分析测试验证。研究采用的“DUK-2 高密度电阻率法测量系统”是中国重庆地质仪器厂研发的新型高密度电阻率探测系统。

高密度电法是利用直流电通入地下以量测地

下地层电阻率,并依此判定不同物质的界面,所得的结果即地电阻率剖面。过去,高密度电法常用来寻找地下水资源及探查地下洞穴<sup>[4-10]</sup>、海水入侵<sup>[11-12]</sup>、滑坡勘查<sup>[13-15]</sup>、大坝、水库和堤防渗漏<sup>[16-18]</sup>、岩溶塌陷及采空区调查<sup>[19-20]</sup>、隧道勘察<sup>[21]</sup>、断裂和地层界面<sup>[22-24]</sup>等,近年来多有报道应用在探查垃圾场的地下水污染方面的文献<sup>[25-29]</sup>,而报道应用在探查化工厂地下水污染方面的文献则鲜见<sup>[30-31]</sup>。

高密度电法有多种排列方式,本次研究采用的方式包括了温纳排列法(Wenner Array)(图1)、施伦贝尔排列法(Schlumberger Array)、二极排列法(Pole-Pole Array)及偶极排列法(Dipole-Dipole Array)。结果表明,这4种排列方式均可以帮助圈定污染团之探测,但以温纳法、偶极法和二极法效果更好。



A、B.供电电极;M、N.测量电极;a.电极距;na.隔离系数×电极距;I.供电电流;V.供电电压

图1 高密度电法电极排列方式

Fig. 1 Electrode arrangement of high-density resistivity method

## 3 研究结果

### 3.1 高密度电法

根据高密度电法勘查结果,发现场地内潜水含水层厚度一般为4~5 m(潜水位埋深4~5 m),由交错分布于粉质黏土中的薄层粉砂和细砂组成,背景电阻率值一般在 $20 \Omega \cdot \text{m}$ 以下;微承压含水层上层为中更新统粉质黏土中的多层细砂、中砂组成,分布深度为20~26 m,背景电阻率值一般在 $60 \Omega \cdot \text{m}$ 以下;微承压含水层下层为白垩系残积物

砂砾石层,夹杂中细砂,分布深度为35~42 m,背景电阻率值一般在 $100 \Omega \cdot \text{m}$ 以下;未污染地层背景电阻率值一般在 $100 \Omega \cdot \text{m}$ 以下,超过 $100 \Omega \cdot \text{m}$ 高电阻集中区多为DNAPLs污染羽的分布或残留位置(图2,图3),分布深度为17~45 m。

### 3.2 钻探和测试

5口钻孔一致证实,在地下17~45 m深度范围内沿各类界面(砂泥层面、不整合面)及砂层、粉砂层、砂砾石层、部分粉质黏土层均分布大量污染物,污染十分严重,污染物具有一致的强烈的“苦杏仁”刺激性气味。污染物在砂层中呈现油污饱和状态

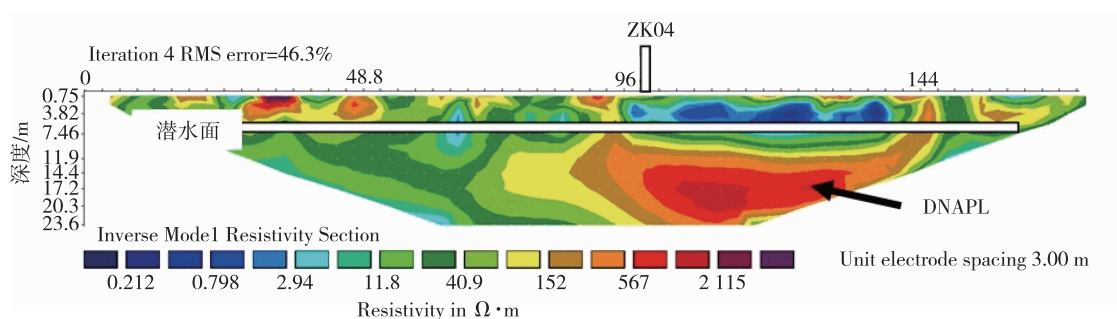


图 2 X2 测线(RES2DINV)反演电阻率剖面图(温纳法)

Fig. 2 Cross section of resistivity inversion (RES2DINV) of survey line X2 (Wenner Array)

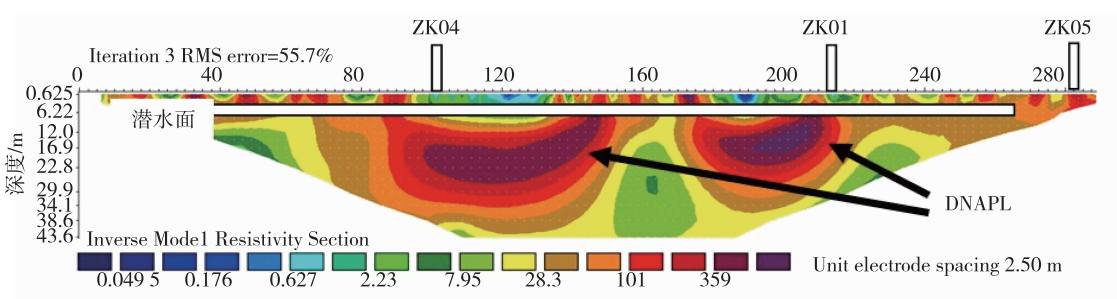


图 3 X3 测线(RES2DINV)反演电阻率剖面图(温纳法)

Fig. 3 Cross section of resistivity inversion (RES2DINV) of survey line X3 (Wenner Array)

而为黑色(图 4,图 5),在一些粉质含量稍高的粉质黏土层中肉眼看不出污染物,但仍可通过嗅觉(有强烈刺激性“苦杏仁”味)来判断污染物的存在。



图 4 污染发黑的砂层

Fig. 4 Black sand of the contaminated layer



图 5 被污染物污染的钻孔岩心

Fig. 5 Contaminated core of the drilling hole

采集的地下水样中检出大量有机污染组分(表 1)。以 ZK-01 孔为例,1,2-二氯乙烷达 7 123  $\mu\text{g/L}$ 、氯苯 226  $\mu\text{g/L}$ 、苯 26.1  $\mu\text{g/L}$ 、乙苯 5.2  $\mu\text{g/L}$ 、甲苯

0.3  $\mu\text{g/L}$ 、硝基苯 96.6  $\mu\text{g/L}$ 、1,2-二氯苯 10.2  $\mu\text{g/L}$ 、1,4-二氯苯 14.3  $\mu\text{g/L}$ ; ZK-02 孔硝基苯 799  $\mu\text{g/L}$ 、氯苯 376  $\mu\text{g/L}$ 、苯 408  $\mu\text{g/L}$ 、1,4-二氯苯 35.1  $\mu\text{g/L}$ 、1,2-二氯苯 25.1  $\mu\text{g/L}$ 、乙苯 4.6  $\mu\text{g/L}$ 、苯胺 0.48  $\text{mg/L}$ 。整体看,由于 ZK-03 孔位于最下游位置,因此,明显可以看到地下水中污染物种类最少,含

量除个别外基本都很低,这与钻孔现场整个岩心中没有刺激性味相一致,表明位于最下游位置的 ZK-03 孔污染最轻或仅仅刚受到污染影响,而位于上游位置的

ZK-01 孔、ZK-02 孔、ZK-04 孔和 ZK-05 孔地下水中均存在强烈刺激性气味,并均因高含量的有机污染物而受到了严重污染,且污染物严重超标。

表 1 5 个钻孔地下水主要污染物含量

Table 1 Contents of main pollutants in groundwater of five drilling holes

钻孔 编号	主要污染物含量/( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )												
	苯胺	1,2-二氯乙烷	氯苯	硝基苯	三氯乙烷	苯	1,4-二氯苯	1,2-二氯苯	乙苯	二氯甲烷	氯仿	四氯乙烯	苯并(a)芘
ZK-01	未测	7 123	226	96.6	51.6	26.1	14.3	10.2	5.2	4.7	1	ND	0.14
ZK-02	420	0.3	376	799	ND	64.8	35.1	25.1	4.6	1.3	0.7	1.7	ND
ZK-03	120	33.8	11.9	0.8	ND	1.9	1.3	0.9	ND	1.6	0.3	ND	ND
ZK-04	1 830	0.88	1 590	351 000	ND	1 230	364	204	82.9	4.99	8.3	0.72	ND
ZK-05	—	0.29	1 570	—	ND	276	291	174	4.51	3.75	4.42	0.46	ND

注:—代表未检测;ND代表未检出。

采集的不同深度土层样品中也检出大量有机污染组分(表 2),包括苯、氯苯、硝基苯、苯胺、1,1,2-三氯乙烷、1,2-二氯苯、1,4-二氯苯、二氯甲烷、氯仿、邻二氯乙烷、邻二氯丙烷、甲苯、苯乙烯、溴二氯甲烷、一氯二溴甲烷、1,2,4-三甲苯、乙苯、四氯乙烯、三氯乙烯、溴仿、苯并(a)芘等,主要以前 10 种为主,尤其以苯、氯苯、硝基苯、苯胺为主。钻探结果表明,各钻孔土层样品均在 17~42 m 污染最严重,土层具有强

烈的“苦杏仁”刺激性味,并具有较高的污染物含量。如以 ZK-01 孔 33.5 m 处土层样为例,氯苯含量达 3 040  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、硝基苯含量为 1 373  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、苯含量高达 562  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ;ZK-04 孔 33.5 m 处土层样硝基苯含量为 1 836 000  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、苯含量为 8 980  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、氯苯含量为 12 500  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、苯胺含量为 7 880  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、1,2-二氯苯含量为 4 550  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、1,4-二氯苯含量为 7 180  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、乙苯含量为 1 390  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,均严重超标。

表 2 5 个钻孔土层中主要污染物含量

Table 2 Contents of main pollutants in soil layer of five drilling holes

钻孔编号		主要污染物含量/( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )												
		苯胺	1,2-二氯乙烷	氯苯	硝基苯	三氯乙烷	苯	1,4-二氯苯	1,2-二氯苯	乙苯	二氯甲烷	氯仿	四氯乙烯	苯并(a)芘
ZK-01	±1	—	ND	3 040	1 373	ND	562	319	190	140	ND	1	0.5	47.8
ZK-02	±1	2 000	1.6	4 303	920	ND	937.7	396	238	39.3	0.7	0.9	0.5	69.9
	±2	600	2.3	450	509	ND	125	43.3	28.5	3	0.9	0.3	ND	4.31
	±1	1 070	ND	59.8	35 200	ND	7.69	7.3	4.58	0.71	1.04	ND	0.72	ND
	±2	1 680	ND	2 820	120 000	ND	37	882	538	95.9	ND	ND	0.53	3.39
	±3	7 880	3.77	12 500	1 836 000	ND	8 980	7 180	4 550	1 390	21	13	15.4	463
ZK-04	±4	1 690	ND	37.3	13 600	ND	2.98	18.1	14.3	0.91	0.56	ND	0.7	ND
	±5	430	ND	38.9	10 200	ND	1.77	4.64	3.27	0.68	1.17	ND	ND	4.07
ZK-05	±1	15 800	ND	20 100	472 000	ND	1 810	12 000	7 240	52.7	3.25	ND	4.02	267
	±2	1 830	ND	35.4	2 000	ND	4.39	6.43	5.06	0.46	0.5	ND	1.06	46.8
	±3	2 300	ND	4 880	56 200	ND	319	322	197	3.46	2.6	ND	0.49	2.33

注:—代表未检测;ND代表未检出。

5 个钻孔土层样显示,污染物的种类和地下水中几乎相同,反映了为同一污染源。此外,ZK-03 孔因位于

最下游位置,岩心中未出现有强烈刺激性味的土层,反映了总体上未受到污染,但位于上游位置的 ZK-01 孔、

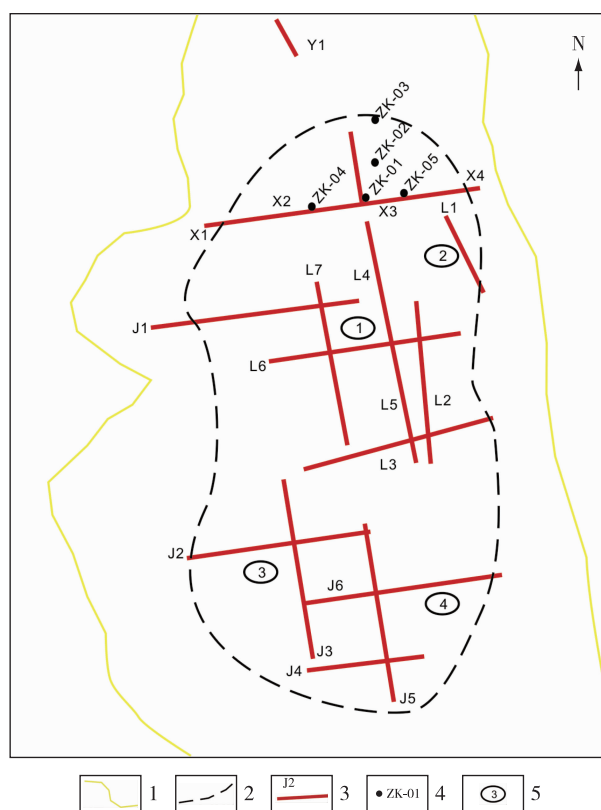


ZK-02 孔、ZK-04 孔和 ZK-05 孔岩心中均存在强烈刺激性味,并都有高含量的有机污染物,污染十分严重。

#### 4 污染成因

在进一步向地下水流向的上游扩大高密度电法勘察范围并及结合地形、地貌和水文地质条件后,基本查明了研究区域污染物的分布范围(图 6,图 7—图 12),污染面积约  $0.5 \text{ km}^2$ ,污染深度主要为  $17 \sim 45 \text{ m}$ ,污染程度随着砂或粉砂层厚度变化及粉质黏土层中粉质含量的高低而各处不一。通常认为黏土层是不透水层和隔污层,然而场地深部部分粉质黏土层却出现例外,特别是粉质含量稍高的粘土层也存在污染物,原因可能为场地内砂层相对较薄,最厚不超过  $0.5 \text{ m}$ ,且呈透镜状分布,在上游地下水压力传导下,污染物除了沿易于扩散通道运移外,也沿着粉质黏土层侧向渗透运移。

鉴于 NH 化工厂的主要生产产品(苯胺盐酸盐、邻硝基苯甲醛等)及生产原料(苯、硝基苯、苯胺、氯苯等)与地下水和土层中有机组份(苯、氯苯、硝基苯、硝基苯、苯胺等)基本一致的事实,研究认为地下水和土层中有机污染物来源于同一污染源,即化工厂地下储物罐发生渗漏所致(图 13)。通过分析研究并结合场地原来地面和地下储物罐的位置,推断出在研究区域存在多个泄漏源(图 6)。泄漏源都位于高密度电法勘察线(X 线)和 ZK-01 孔、ZK-02 孔、ZK-04 孔和 ZK-05 孔以南。



1.研究区边界;2.污染范围;3.测线;4.钻孔及编号;5.污染源及编号

图 6 高密度电法勘察线、钻孔及污染范围图

Fig. 6 Distribution of survey lines, drilling holes and polluted areas

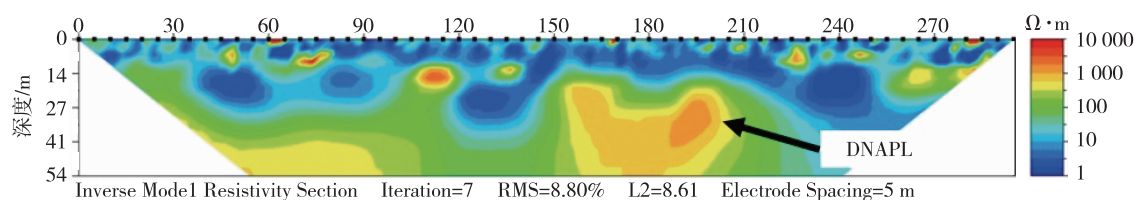


图 7 J1 测线(Earth Imager)反演电阻率剖面图(温纳法)

Fig. 7 Cross section of resistivity inversion (Earth Imager) of survey line J1 (Wenner Array)

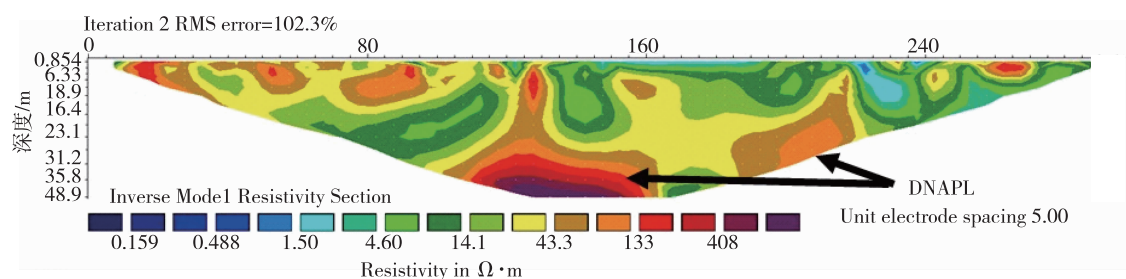


图 8 L6 测线(RES2DINV)反演电阻率剖面图(温纳法)

Fig. 8 Cross section of resistivity inversion (RES2DINV) of survey line L6 (Wenner Array)

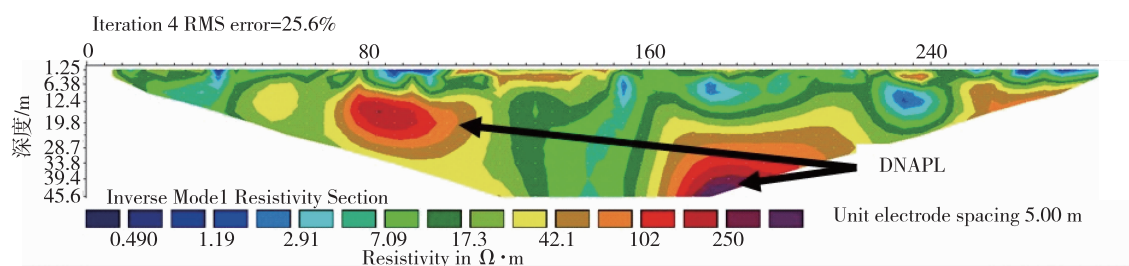


图 9 L3 测线(RES2DINV)反演电阻率剖面图(温纳法)

Fig. 9 Cross section of resistivity inversion (RES2DINV) of survey line L3 (Wenner Array)

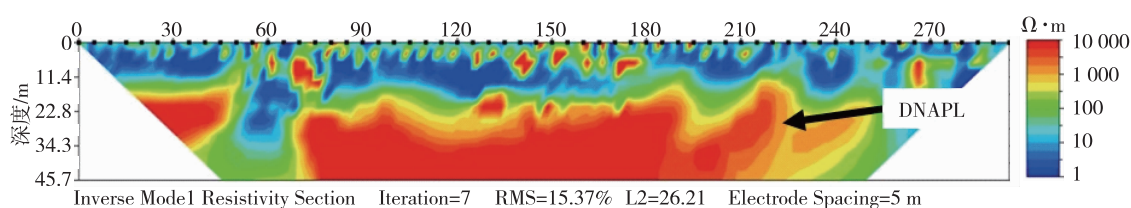


图 10 J2 测线(Earth Imager)反演电阻率剖面图(温纳法)

Fig. 10 Cross section of resistivity inversion (Earth Imager) of survey line J2 (Wenner Array)

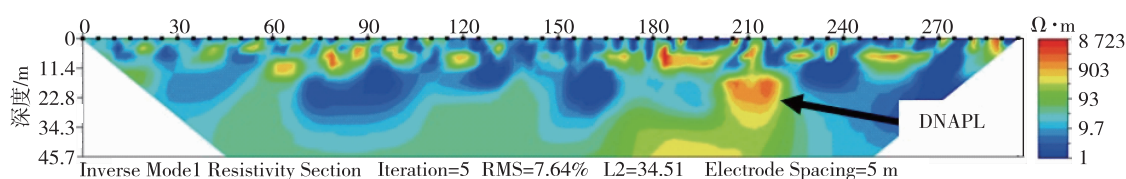


图 11 J6 测线(Earth Imager)反演电阻率剖面图(温纳法)

Fig. 11 Cross section of resistivity inversion (Earth Imager) of survey line J6 (Wenner Array)

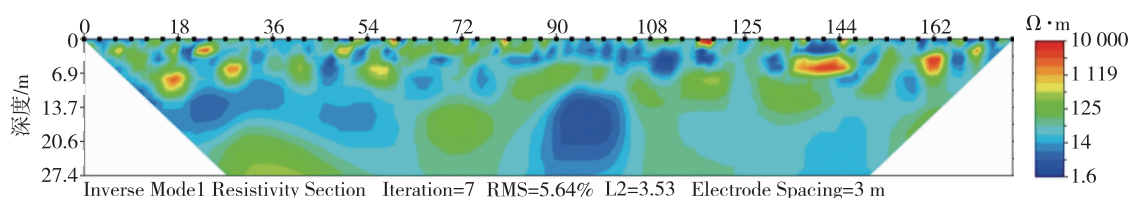


图 12 J4 测线(Earth Imager)反演电阻率剖面图(温纳法)

Fig. 12 Cross section of resistivity inversion (Earth Imager) of survey line J4 (Wenner Array)

## 5 结论

(1) 苏南某城市 NH 化工厂场地地下 17~45 m 含水层和土壤(土层)发生了严重有机污染, 污染物主要是高浓度的氯苯、硝基苯、苯、苯胺、乙苯等有机污染物; 查明化工厂地下土壤和地下水污染状况, 确定污染物来源和成因主要为化工储罐发生渗漏向地下迁移扩散所致, 并圈定了地下污染物空间分布范围。

(2) 高密度电法在勘查地下土壤(土层)和地下水严重有机污染是行之有效的。其中, 温纳法、偶极法、二极法和施伦贝尔法均可以帮助确定地下污染晕, 但以温纳法、偶极法和二极法效果更好, 钻探和采集的地下水和土壤样品测试进一步证实了该方法的有效性和正确性。本次研究发现在地下 17~45 m 的含水层和土壤(层)存在多个超过 100  $\Omega \cdot m$  高电阻异常区, 这些高电阻异常区均为受到高浓度有机污染物影

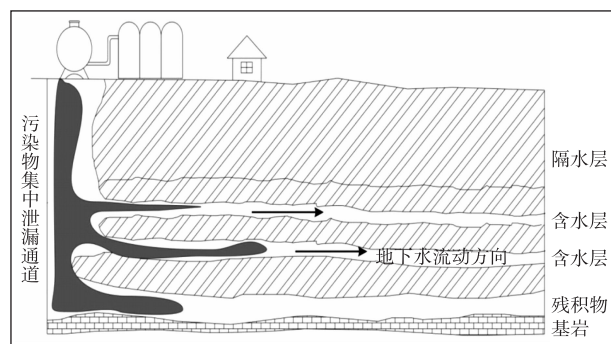


图 13 地下水和土层污染示意图

Fig. 13 Schematic diagram of groundwater and soil pollution

响污染晕,据此进一步扩大了勘察范围从而圈定出地下污染物空间分布状况。

(3)高密度电法在城市探测地下有机污染晕十分经济和方便,建议推广使用。

## 参考文献

- [1] 李顺军. 化工厂搬迁应有远见[N]. 重庆晨报, 2004 年 4 月 26 日.
- [2] 鹿伟. 南京栖霞区年内关停搬迁 45 家化工厂[N]. 现代快报, 2012 年 2 月 15 日.
- [3] 姜月华, 林良俊, 陈立德, 等. 长江经济带资源环境条件与重大地质问题[J]. 中国地质, 2017, 44(6): 1045-1061.
- [4] 姜月华, 周权平, 陈立德, 等. 长江经济带地质环境综合调查工程进展与主要成果[J]. 中国地质调查, 2019, 6(5): 1-20.
- [5] JIANG Y H, LIN L J, CHEN L D, et al. An overview of the resources and environment conditions and major geological problems in the Yangtze River economic zone, China[J]. China Geology, 2018, 1(3): 435-449.
- [6] 王娟. 南京关停污染企业 搬迁后原址土地须“体检”[N]. 扬子晚报, 2011 年 7 月 8 日.
- [7] 崔玉贵, 姜月华, 刘林, 等. 高密度电法在江西于都黄麟地区地热勘查中的应用[J]. 华东地质, 2020, 41(4): 368-374.
- [8] 姜月华, 李云, 葛伟亚, 等. 河南巩义抗旱地下水井位确定和钻探方法[J]. 华东地质, 2018, 39(2): 142-150.
- [9] 任明霞, 向阳. 高密度电法在新吴哥国际机场地下水勘探中的应用[J]. 资源环境与工程, 2020, 34(增刊): 122-125.
- [10] LU Y X, WANG Y, XU Y X, et al. Application in surveying of underground caves by high-density resistivity method[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2010, 7(6): 674-678.
- [11] 苏永军, 黄忠峰, 范翠松, 等. 三维高密度电法在海水入侵界面探测中应用——以莱州湾地区为例[J]. 地质调查与研究, 2018, 41(2): 134-137.
- [12] 姜月华, 哈承佑, 卢耀东, 等. 东南沿海及重要经济区环境地质[M]. 北京: 地质出版社, 2010.
- [13] CHENG Q, TUO X G, GE B, et al. The application of the high-density electrical method to the survey of Chayuangou landslide in Gaochuan, Sichuan province[J]. Geophysical and Geochemical exploration, 2012, 36(1): 69-72.
- [14] GAN J J, ZHANG Y X, LIU X. An application of the high-density electrical resistivity method for detecting slide zones in deep-seated landslides in limestone areas[J]. Journal of Applied Geophysics, 2020, 177.
- [15] LIU F, YANG Z. Research on slope investigation using high density resistivity method[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1732(1): 12108.
- [16] ZHAO Z W, XU W M, FU Q H. Application of the high-density resistivity method in embankment dam seepage detection[J]. Jiangxi Hydraulic Science and Technology, 2011, 37(4): 266-268.
- [17] 樊炳森, 郭成超. 高密度电法在水库渗漏检测中的应用[J]. 长江科学院院报, 2019, 36(10): 165-168.
- [18] 刘家涛, 张晓伟, 宋瑞超. 高密度电法对复杂地质条件下堤防隐患探测的数值模拟研究[J]. 地下水, 2021, 43(1): 104-107.
- [19] 王洁. 三维高密度电法在城市地下岩溶塌陷区探测中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2021, 18(1): 107-112.
- [20] 杨兆林, 郭凯. 高密度电法在铁矿隐伏采空区探测中的应用[J]. 中国矿业, 2020, 29(8): 158-164.
- [21] ZHANG G B. The application of the high-density resistivity method to the exploration of large and long railway tunnels[J]. Geophysical and Geochemical exploration, 2010, 34(6): 833-835.
- [22] 张建国, 严江勇. 高密度电法在断裂构造探测中的应用[J]. 工程技术研究, 2020, 5(14): 249-250.
- [23] 姜月华, 叶念军, 李云, 等. 淮河流域(河南巩义)严重缺水地区地下水勘查[M]. 北京: 地质出版社, 2013.
- [24] 施羽, 吴永贵, 赵勇. 高密度电法在废弃矿渣堆体底界面探测中的应用研究[J]. 地质灾害与环境保护, 2020, 31(4): 73-76.
- [25] LIU Z B, YANG J, LUO S T. The application of geophysical methods to the analysis of landfill[J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(3): 250-258.

- [26] OSAZUWA I B, ABDULLAHI N K. 2-DElectrical Resistivity and Induced Polarisation Investigation at an Open Solid Waste Dumpsite: Case Study from Kaduna, North Central Nigeria[J]. Journal of Environmental Hydrology, 2008, 16(29): 1-11.
- [27] AL-TARAZI E, ABU R J, AL-NAQA A, et al. Detecting leachate plumes and groundwater pollution at Ruseifa municipal landfill utilizing VLF-EM method[J]. Journal of Applied Geophysics, 2008, 65: 121-131.
- [28] SAMSON I J, ISAAC B O, NASIR K A. Geoenvironmental Study of groundwater contamination in a dual aquifer environment using earth resistivity imaging[J]. Journal of American Science, 2011, 7(2): 367-377.
- [29] 邱波,王斌战,周世昌,等.高密度电法在垃圾填埋场渗滤液调查中的研究[J]. 资源环境与工程, 2020, 34(增刊): 128-133.
- [30] 蔡五田,郑继天,查恩来,等. 场地污染调查技术与实践[M]. 北京:地质出版社, 2012.
- [31] 姜月华,苏晶文,张泰丽,等. 长江三角洲经济区环境地质[M]. 北京:地质出版社, 2015.

## The application of high-density resistivity method in organic pollution survey of groundwater and soil of cities

JIANG Yuehua<sup>1</sup>, WU Jichun<sup>2</sup>, LI Yun<sup>1</sup>, ZHOU Xun<sup>1</sup>, ZHOU Quanping<sup>1</sup>, LIU Lin<sup>1</sup>,  
JIA Junyuan<sup>1</sup>, SU Jingwen<sup>1</sup>, SHI Xiaoqing<sup>2</sup>

(1. Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China;

2. Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China)

**Abstract:** High-density resistivity method has been applied to explore groundwater and soil pollution of NH chemical plant in the south of Jiangsu in this paper. The results indicate that there are several anomaly areas with high resistance more than  $100 \Omega \cdot \text{m}$  in the aquifer underground of 17~45 m. The anomaly areas virtually are pollution plumes of dense non-aqueous phase liquids with high concentrations, which are verified by drilling and chemical analysis. According to the characteristics of anomaly areas, further exploration has been carried out in the site to identify spatial distribution, sources and migration of underground pollutants. The study shows that the application of high-density resistivity method to explore organic pollution of groundwater and soil in chemical plants is effective, economic and convenient. It is recommended to popularize the method in the exploration of organic pollution plume.

**Key words:** High-density Resistivity Method; groundwater; soil; organic pollution; pollution plume