

胜利油田陆上采油区浅层地下水与土壤有机污染特征研究

孙剑锋¹⁾, 杨丽芝²⁾, 刘春华²⁾

1)湖北国土资源职业学院, 湖北武汉 430000;

2)山东省地质调查院, 山东济南 250013

摘要: 本文在对胜利油田陆上采油区水文地质条件和污染源现状分析的基础上, 对浅层地下水和包气带土壤进行了样品采集、污染物组分测试及污染程度研究, 分析研究结果表明: 胜利油田陆上采油区浅层地下水和土壤已普遍受有机物污染并形成多个有机污染区, 检出的有机污染物达 16 种之多, 个别有机物含量还很高。浅层地下水污染程度受到油田采油井数量、采油年限及相关石油化工工业布局的控制。

关键词: 胜利油田; 浅层地下水; 土壤; 有机污染

中图分类号: X132; X523; X53 **文献标志码:** A **doi:** 10.3975/cagsb.2011.06.10

Organic Pollution Characteristics of Shallow Underground Water and Soil in Overland Oil-producing Region of the Shengli Oilfield

SUN Jian-feng¹⁾, YANG Li-zhi²⁾, LIU Chun-hua²⁾

1) Hubei Land Resources Vocational College, Wuhan, Hubei 430000;

2) Shandong Institute of Geological Survey, Jinan, Shandong 250013

Abstract: Based on overland hydrogeological condition and pollution situation of the Shengli oilfield, the authors studied the components and pollution extent of organic pollutants in shallow underground water and soil. The result shows that the shallow underground water and soil have been subjected to pollution by organic pollutants and formed many shallow underground water contaminated areas. It is revealed that organic pollutants have 16 kinds of species, among which one or two species are of fairly high content. The extent of the contamination is controlled by the number of oil-mining wells, oil extraction years and relevant layout of petroleum and chemical industry.

Key words: Shengli oilfield; shallow underground water; soil; organic pollution

黄河三角洲以石油资源和湿地资源闻名于世, 自 20 世纪 60 年代初勘探开发至今已有近 50 年历史。中国第二大石油工业基地——胜利油田坐落于黄河三角洲之上。由于黄河三角洲成陆时间短, 土壤松散, 地下水埋深浅, 天然防污性能较差(钟佐荣, 2005; Gogu et al., 2000; Rupert, 2001), 所以一旦出现污染物泄露将会造成大面积地下水污染。

随着胜利油田油气资源、当地地热资源和卤水资源的大规模开发利用, 前期土地资源的无序开发,

特别是石油化工、精细化工等高污染企业的增多, 大量的污染物通过不同途径进入地下水体, 使得浅层地下水污染越来越突出(代杰瑞等, 2011), 严重威胁着三角洲湿地生态系统安全(李政红等, 2010)。本次地下水污染调查与地下水样品采集测试发现, 采油区有机物检出种类多达 16 种, 个别有机物含量很高。

本文通过对胜利油田陆上采油区污染源调查、地下水样品采集与有机污染组分测试, 掌握了采油

本文由中国地质调查局大调查项目“华北平原地下水污染调查评价”(编号: 1212010634603)资助。

收稿日期: 2011-10-24; 改回日期: 2011-11-07。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 孙剑锋, 女, 1967 年生。高级工程师。长期从事环境地质调查研究一线与教学工作。通讯地址: 430000, 湖北省武汉市汉南区纱帽街协子河 1 号。E-mail: sjfhtgt@163.com.cn。

区浅层地下水有机污染特征,进行了污染原因的分析,为该区生态环境保护和污染治理提供了科学依据。

1 采油区概况

研究区位于黄河三角洲现代黄河以北地区,包括东营的河口、利津,滨州的滨城、沾化、无棣,德州的临邑和济南的商河、济阳等县市,面积 8600 km²。采油区地势平坦开阔,海拔不超过 20 m,自西南向东北渤海湾微倾。地貌类型以黄河三角洲冲积-海积平原和滨海平原为主,西部临盘采油区为黄河冲积平原。研究区属于暖温带大陆型季风气候区,多年平均气温 11.5℃~14℃,多年平均降水量(1956—2010年)562 mm。区内水系发育,现代黄河为主要河流,其他入海河流有马颊河、徒骇河、德惠新河等。

研究区自中生代末期,特别是新生代喜马拉雅运动以来,地壳运动以沉降为主,沉积巨厚新近纪—第四纪松散沉积物。新生代新近系自下而上分为馆陶组和明化镇组,由一套半固结的河湖相物质组成。第四系平原组由一套松散的河湖相、滨海相、海相冲积相物质组成。新近系上部明化镇组和第四系组成研究区地下水含水系统(张宗祜等,2000;杨丽芝等,2009),可分为4个孔隙含水岩组。第I含水岩组主要为农业用水及生态涵养层,地层总厚度一般约40 m,地下水主要为潜水,水位埋深1~5 m。由于地下水含盐量较高,开发利用程度相对较低。浅层潜水以降雨入渗补给、蒸发排泄为主的方式循环交替与更新;第II、III含水岩组底板埋深300~350 m,本层为咸水,只在近海地区开采卤水资源;第IV含水岩组是西部城镇居民生活、工业用水的主要开采层,水质普遍较好,东部近海区为咸水,未开采。本层地下水为承压水,水头埋深30~50 m,滨州漏斗中心超过80 m(杨丽芝等,2006)。自然状态下,地下水自南西向北东流动,最终排入渤海。

2 污染源调查与样品采集、测试

2.1 污染源调查

地下水污染源按成因类型一般分为生活污染源、工业污染源和农业污染源,本区与地下水有机污染有关的污染源主要是工业污染源。

研究区是胜利油田主要采油区,石油开采井众多,在石油开采井钻探和生产过程中,会有部分原油散落,在油井较集中的区域,大多是利用管道进行原油输送,因管道腐蚀、打孔盗油等因素的影响,

管道会发生破裂,造成原油泄漏。原油输送管道一般埋深1 m左右,会对附近浅层地下水和土壤造成直接威胁。据调查因管道压力过大,在输油管线上打孔盗油等引起的原油泄漏事故时有发生,泄漏的原油虽然被及时清理运走,但残油对土壤和地下水污染仍不能小视。

以石油为主要原料的石油化工、纺织、冶炼化工、精细化工是本区主要产业支柱。主营业务收入过100亿元的大型企业有魏桥创业集团(纺织)、鲁北集团(化工)、滨化集团(化工)、西王集团(食品)等。在研究区内仅石油化工企业就有数百家,同时还有皮革、纸浆、制药、热电等高污染企业,大都分布在距市区较近的工业园区,部分污水由集中的管道进入当地的污水处理厂,部分甚至大部分污水由明渠暗道排入地下,个别小企业打回灌井将污水直接灌入地下深处。由于上述工业污染源区第四系多为粉细砂,包气带厚度小,地下水防污性能差(武强等,2006),工业废水、固体废料的排放对地下水构成极大的威胁。

2.2 采样与分析测试方法

本次研究于2007—2009年期间,采油区密集型采集浅层地下水样品共128组、选择性采集包气带土壤样品16处48组(图1)。所有样品均进行有机污染组分测试,测试项目达37项(见表1)。地下水样品直接从井口采集,采集前清洗井孔,排出全孔储存水,现场采用便携式、笔式测试仪测试气温、水温、pH值、电导率、溶解氧、氧化还原电位和浑浊度。地下水提水泵和出水套管材料为PTFE和不锈钢,提水泵类型为正压泵。采样时进水流率控制在0.2~0.5 L/min之间,不产生气泡和气体流失现象,专用的VOC样瓶和SVOC样瓶密封,置于4℃专用冷藏箱内保存和运输。包气带土样采用洛阳铲钻进的方式采集样品,钻至地下水水面以下,每个剖面采集多个层位的原状土样。有机样品均置于专门处理的玻璃瓶内。半挥发性测试土样存放于250 mL磨口瓶内,取1瓶土样;挥发性测试土样存放于40 mL的专用VOC小瓶内,取3瓶土样,其中两瓶取土各约5 g左右,保存于具聚四氟乙烯外套的磁力搅拌子和5 mL的20%硫酸氢钠基体保存溶液的VOC样瓶中,第三瓶装满土壤,保存于未加任何保护液的VOC样瓶中,置于4℃专用冷藏箱内保存和运输(饶竹等,2009)。地下水样品测试由中国地质科学院地下水科学与工程重点开放实验室完成;包气带土壤样品测试由国家地质测试中心完成。部分样品测试结果见表2。

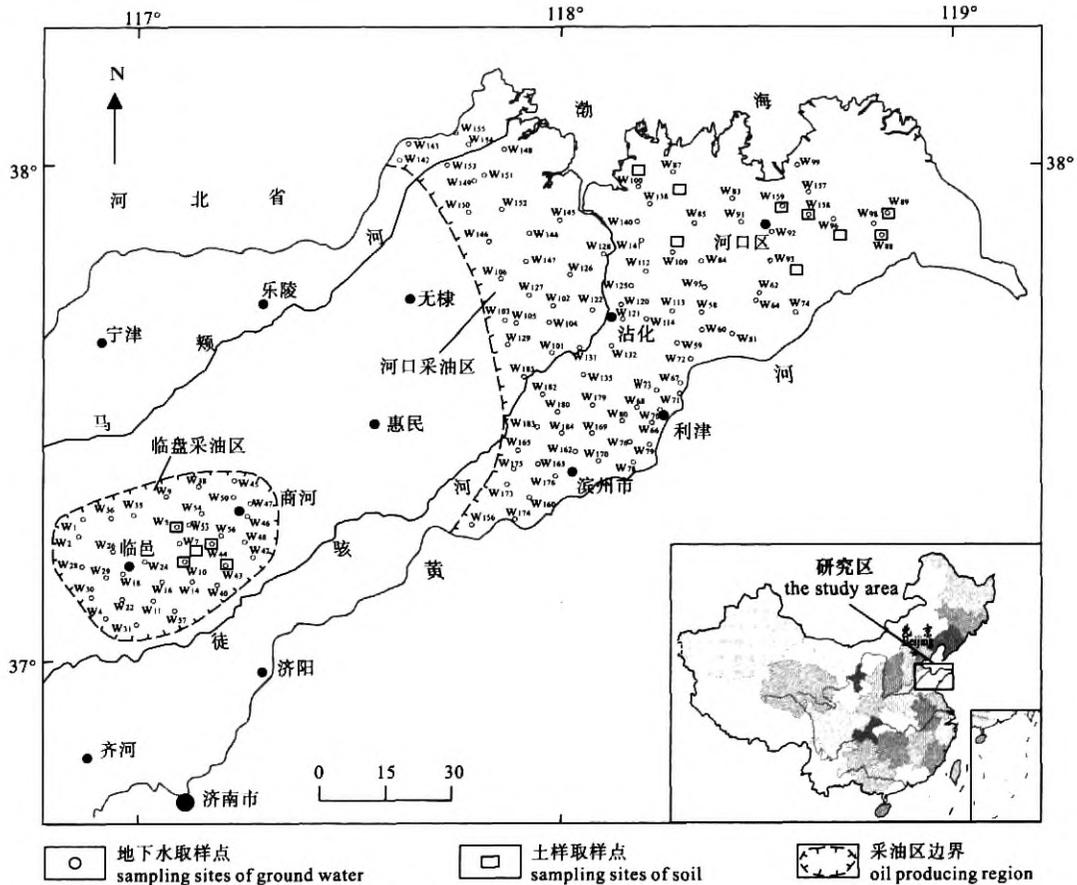


图 1 研究区位置及取样点分布图
Fig. 1 Location of the study area and sampling sites of organic pollutants

表 1 水土有机污染物测试指标一览表
Table 1 Test indices of organic pollutants

有机物分类	有机物名称	测试方法
卤代烃	三氯甲烷、四氯化碳、1,1,1-三氯乙烯、三氯乙烯、四氯乙烯、二氯甲烷、1,2-二氯乙烷、1,1,2-三氯乙烷、1,2-二氯丙烷、溴二氯甲烷、一氯二溴甲烷、溴仿、氯乙烯、1,1-二氯乙烯、1,2-二氯乙烯	色谱法
氯代苯类	氯苯、邻二氯苯、间二氯苯、对二氯苯、1,2,4-三氯苯	色谱法
单环芳烃	苯、甲苯、乙苯、二甲苯、苯乙烯	色谱法
有机氯农药	总六六六、 α -BHC、 β -BHC、 γ -BHC、 δ -BHC、滴滴涕、p,p'-DDE、p,p'-DDD、o,p-DDT、p,p-DDT、六氯苯	色谱法
多环芳烃	苯并(a)芘	HPLC法

3 采油区有机物污染特征

3.1 浅层地下水有机物检出

在 128 组地下水测试样品中, 仅 23 组样品未检出有机污染物, 多数水样检出有机污染物, 检出的有机污染组分多达 16 种, 占地下水有机污染测试样品的 82%, 表明浅层地下水已普遍受到有机污染物污染。从有机物检出类别分布情况看, 氯代苯类有机物检出率最高, 达到 72.7%(邻二氯苯); 其次为卤代烃类和单环芳烃类, 分别为 14.8%(二氯甲烷)、

12.5%(乙苯)(图 2)。

从区域分布情况看, 检出有机污染物多于 5 种的采样点多分布于临盘采油区商河县贾庄镇一般巷镇—许商街道办一带, 主要组分有苯、甲苯、乙苯、二甲苯、1,2-二氯乙烷、1,2-二氯丙烷、1,1,2-三氯乙烷、邻二氯苯等。河口采油区地下水中有有机物检出项一般 1~3 种, 仅个别点检出多项, 主要检出有机物为邻二氯苯、甲苯、乙苯。

研究区地下水有机污染测试数据表明, 尽管浅层地下水有机污染较普遍, 但有机物含量相对较低,

表 2 部分地下水样品有机污染物测试结果一览表

Table 2 Analytical results of organic pollutants in shallow underground water samples

检测项目	W ₅	W ₃₅	W ₄₅	W ₄₇	W ₄₈	W ₅₀	W ₅₃	W ₅₄	W ₅₆	W ₈₀	W ₁₃₄	W ₁₅₃
苯	0.33	ND	1.3	1.7	2.02	1.98	1.48	200	5.65	ND	ND	ND
乙苯	ND	ND	2.21	2.85	2.98	3.62	1.16	200	6.9	ND	0.33	ND
甲苯	ND	ND	ND	0.56	0.64	0.62	ND	200	1.43	ND	1.34	ND
二甲苯	ND	ND	1.27	1.61	1.66	2.06	0.67	ND	3.86	ND	0.78	ND
二氯甲烷	ND	ND	1.48	ND	1.03	1.09	1.11	ND	1.45	1.11	2.2	ND
三氯乙烯	ND	ND	ND	ND	0.26	ND	ND	ND	0.26	ND	ND	ND
1,2-二氯乙烷	ND	36.21	ND	12.79	ND							
三氯甲烷	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.69	ND	15.97	1.82	12.83
1,2-二氯丙烷	2.47	ND	ND									
1,1,2-三氯乙烷	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.46	ND	ND	ND	ND
六氯苯	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.1807	ND
一氯二溴甲烷	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.09	ND	11.9	ND	ND
氯乙烯	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.03	ND
溴仿	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.97	ND	ND
邻二氯苯	4.04	1.77	2.15	1.41	1.72	1.6	1.18	ND	2.01	1.59	2.15	ND
氯苯	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.42	ND
有机物总量	6.84	37.98	8.41	8.13	10.31	10.97	5.6	603.24	21.56	32.54	23.04	12.83

*ND-未检出; 有机物浓度单位: $\mu\text{g/L}$ 。

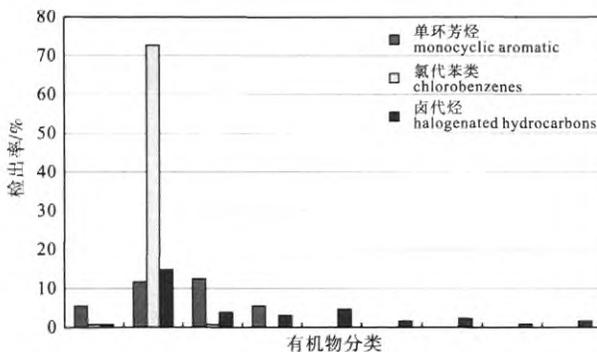


图 2 地下水有机物检出情况图

Fig. 2 Organic pollutants detection situation of underground water

仅局部地段存在有机物超标现象。在 128 个地下水采样井中, 仅 2 眼水井有机物含量超过生活饮用水卫生标准(GB5749-2006)(王昭等, 2009), 超标项目分别为苯、1,2-二氯乙烷, 超标倍数为 20 倍、1.2 倍。

3.2 包气带土壤有机物检出

临盘采油区 6 个采样点各深度土壤样品中, 检出单环芳烃苯、甲苯和有机氯农药总 DDT。第一层(0~20 cm)的 6 组土壤样品中, 苯和甲苯的检出率分别为 83.3%、66.7%; 有机氯农药总 DDT 检出率为 50%。第二层(0.2~100 cm)的 6 组土壤样品中, 仅检出苯, 检出率为 16.6%。第三层(100~200 cm)的 6 组土壤样品中, 苯和甲苯的检出率分别为 50%、

16.6%。第四层(200~300 cm)的 4 组土壤样品中, 苯的检出率为 75%。第五层(300~400 cm)土壤样品中, 苯和甲苯的检出率皆为 16.7%。

河口采油区 10 个采样点各深度土壤样品中, 检出单环芳烃苯、甲苯和有机氯农药总 DDT、六六六及多环芳烃苯并(a)芘。第一层(0~20 cm)的 10 组土壤样品中, 检出苯和甲苯, 检出率皆为 30%, 有机氯农药总 DDT 和六六六检出率分别为 20%、10%; 苯并(a)芘的检出率为 20%。第二层(0.2~100 cm)的 10 组土壤样品中, 苯和甲苯的检出率均为 20%, 有机氯农药总 DDT 的检出率为 10%。第三层(100~200 cm)土壤样品中, 仅检出苯, 检出率为 10%。

总的来说: 随着采样深度的增加, 土壤中有有机物的检出率(图 3)和检出种类逐渐减少; 有机物含量也逐渐降低, 至地下水位以下(图 4), 土壤中有有机物含量基本未检出。

3.3 地下水有机污染区域特征

临盘采油区采油井密集, 采油历史悠久, 多数采油井在 20 世纪 60—70 年代开始采油, 部分采油井采油历史超过 40 年。目前少数采油井交由地方管理, 采用油罐车运输, 增加了原油洒落泄露的几率, 贾庄镇还是临盘油田大型储油基地, 附近小型炼油厂较多。采油井、油罐车、输油管道、储油基地及炼油厂构成油区地下水有机污染的重要污染源。

表3 地下水有机物检出情况统计表
Table 3 Statistics of organic pollutants detection situation of underground water

有机物分类	分析项目	检出率/%	检出范围值/($\mu\text{g/L}$)
样品个数/件	128	82	0.20 ~ 200.00
单环芳烃	苯	5.5	0.33 ~ 200.00
	甲苯	11.7	0.43 ~ 200.00
	乙苯	12.5	0.2 ~ 200.00
	二甲苯	5.5	0.67 ~ 3.86
	氯苯	0.8	0.42
氯代苯类	邻二氯苯	72.7	0.22 ~ 11.86
	六氯苯	0.8	0.18
	氯乙烯	0.8	1.03
	二氯甲烷	14.8	1.03 ~ 3.31
	三氯甲烷	3.9	0.27 ~ 15.97
卤代烃	1,2-二氯乙烷	3.1	1.03 ~ 36.21
	三氯乙烯	4.7	0.24 ~ 0.84
	1,2-二氯丙烷	1.6	0.27 ~ 2.47
	1,1,2-三氯乙烷	2.3	0.46 ~ 0.60
	一氯二溴甲烷	0.8	11.90
	溴仿	1.6	0.79 ~ 1.97

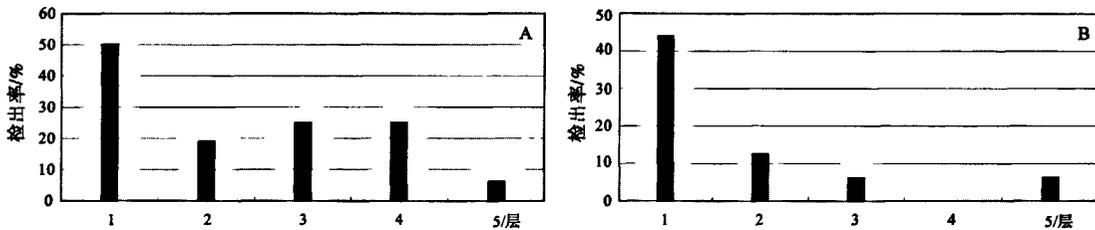


图3 苯(A)和甲苯(B)检出率随深度变化图
Fig. 3 Variation of the detection rate of bebenzene(A) and toluene(B) in soil with increasing depth

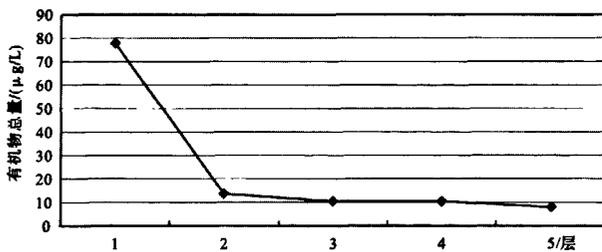


图4 土壤有机物总量随深度变化曲线
Fig. 4 Variation of total amount of organic matter in soil with increasing depth

临盘采油区地形平坦,地下水以垂直运动为主,地下水位埋深一般在 3~5 m,包气带岩性多为粉土。石油原油洒落及工矿企业污废水的排放,无任何屏障直接进入含水层,对地下水造成不同程度的污染(薛强等,2005)。从样品测试结果分析,临盘采油区地下水大部分受到有机污染,以商河县贾庄镇

为中心形成一条东西直径 32 km、南北直径 28 km 的椭圆形有机污染区(图 5),面积近 900 km²,并形成明显的污染晕,污染区地下水有机污染物总量大于 1 $\mu\text{g/L}$,最高大于 603.24 $\mu\text{g/L}$,两个有机中度污染水井和两个重度污染(超标)水井即位于该污染区。

在河口采油区面积大,采油井分布范围广,新旧油井混杂,但管理相对严格,因居民稀少,偷漏油等人为引起的原油污染较少发生。区内工业主要为石油化工和棉纺织业。因位处黄河三角洲生态保护区,地下水位更浅,一般 1~3 m,包气带土质疏松,环境脆弱,更容易受到污染。河口采油区地下水大部分受到有机污染,以利津和河口区为中心形成一条东西长 110 km、南北宽 35 km 的长条形有机污染区,面积近 3820 km²。污染区地下水有机污染物总量大于 1 $\mu\text{g/L}$,最高大于 32.54 $\mu\text{g/L}$,均属轻度污染,目前没有发现超标水点。

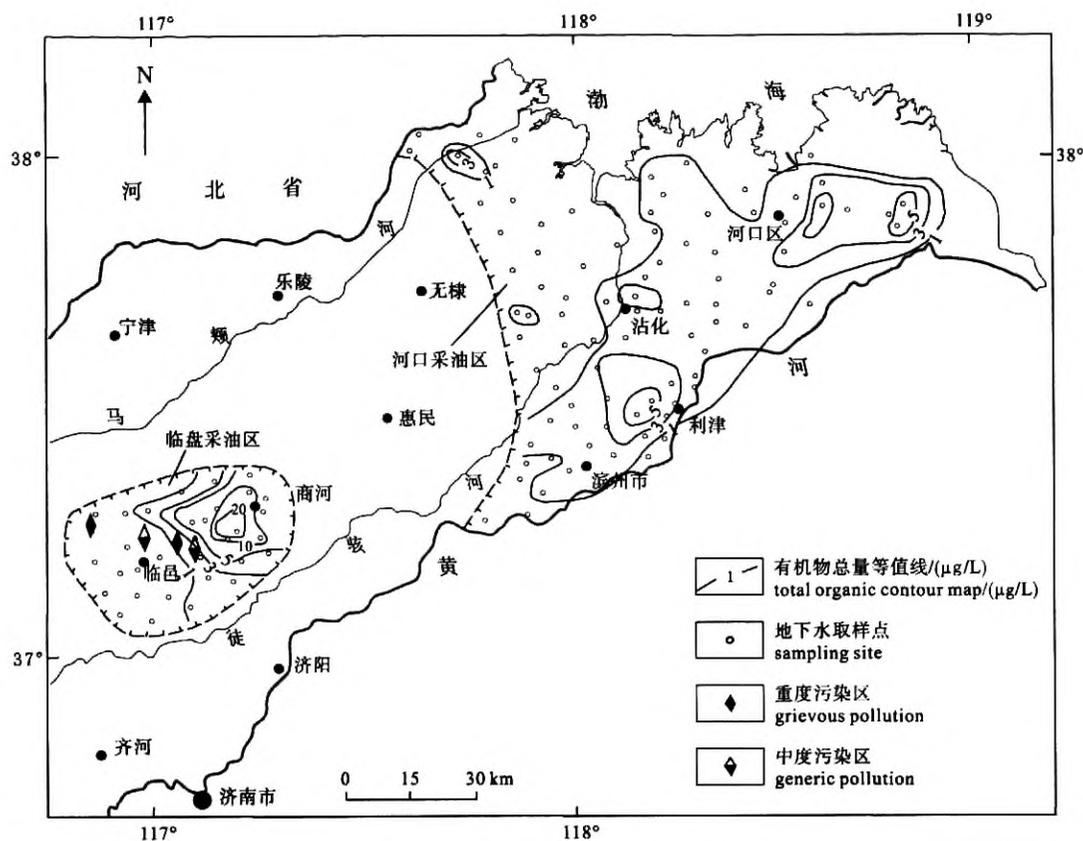


图5 浅层地下水中有有机物总量等值线图

Fig. 5 Contour diagram of total amount of organic matter in shallow underground water

4 结论

胜利油田陆上采油区浅层地下水和土壤已普遍受到有机物污染,但含量较低,一般为轻污染,仅局部地段出现中度污染和重度污染(有机物超标)。

在临盘采油区形成的有机污染区与采油井密度及采油年限有很好的相关性,老采油井及储油厂附近地下水有机污染较严重。河口采油区地下水和土壤污染相对较轻,但来源广,不仅有落地油污染,还来自石油化工企业的排污及有机氯农药的不当喷洒。

根据采油区浅层地下水与土壤污染特点及成因,建议加强原油采取及输送管理,防治原油泄漏,控制地下水污染源产生,防止污染物下渗污染地下水和土壤,建立健全生态保护区地下水与土壤管理及监测系统,对重要水源区、湿地及生态保护区作为重点管理区域,依法清除可能导致水土污染的因素,对土壤和地下水水质(尤以有机污染组分)进行监测。

参考文献:

代杰瑞,赵西强,喻超,王增辉,庞绪贵,孙彬彬. 2011. 青岛市

生态地球化学预测与预警研究[J]. 地球学报, 32(4): 447-454.

李政红,张胜,毕二平,于娟,王文中,马丽莎,马琳娜,何泽,张翼龙. 2010. 某储油库地下水有机污染健康风险评价[J]. 地球学报, 31(2): 258-262.

饶竹,李松,吴淑琪,黄毅,王苏明,宋淑玲,谢原利,贾静,田芹. 2009. 地质调查中有机物分析方法研究及应用[J]. 地球学报, 30(3): 291-300.

王昭,石建省,张兆吉,费宇红,李亚松,张凤娥,陈京生,钱永. 2009. 关于饮用地下水水质评价标准的探讨——以华北平原地下水水质调查结果为例[J]. 地球学报, 30(5): 659-664.

武强,王志强,赵增敏,刘东海. 2006. 油气田区承压含水层地下水污染机理及其脆弱性评价[J]. 水利学报, 37(7): 851-857.

薛强,梁冰,冯夏庭,刘建军. 2005. 石油污染物在地下环境系统中运移的多相流数值模型[J]. 化工学报, 56(5): 920-924.

杨丽芝,刘春华,刘中业,卫政润,韩晔. 2006. 华北平原地下水可持续利用调查评价(山东)报告[R]. 山东: 山东省地质调查院.

杨丽芝,张光辉,刘中业,刘春华. 2009. 鲁北平原地下水同位素年龄及可更新能力评价[J]. 地球学报, 30(2): 235-242.

张宗祜, 沈照理, 薛禹群. 2000. 华北平原地下水环境演化[M]. 北京: 地质出版社.

钟佐荣. 2005. 地下水防污性能评价方法探讨[J]. 地学前缘, 12(S1): 6-14.

References:

DAI Jie-ru, ZHAO Xi-qiang, YU Chao, WANG Zeng-hui, PANG Xu-gui, SUN Bin-bin. 2011. A Study of Ecological Geochemical Early Prediction and Warning in Qingdao City[J]. Acta Geoscientica Sinica, 32(4): 447-454(in Chinese with English abstract).

GOGU R C, DASSARGUS A. 2000. Current trends and future Challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods[J]. Environmental Geology, 39(6): 549-559.

LI Zheng-hong, ZHANG Sheng, BI Er-ping, YU Juan, WANG Wen-zhong, MA Li-sha, MA Lin-na, HE Ze, ZHANG Yi-long. 2010. The Health Risk Assessment of Groundwater Organic Pollution at a Certain Oil Depot[J]. Acta Geoscientica Sinica, 31(2): 258-262(in Chinese with English abstract).

RAO Zhu, LI Song, WU Shu-qi, HUANG Yi, Wang Su-ming, XIE Yuan-li, JIA Jing, TIAN Qin. 2009. Research and Application of Organic Analysis in Geological Survey[J]. Acta Geoscientica Sinica, 30(3): 291-300(in Chinese with English abstract).

RUPERT M G. 2001. Calibration of the DRASTIC ground water vulnerability mapping method[J]. Ground Water, 39(4): 625-630.

WANG Zhao, SHI Jiang-sheng, ZHANG Zhao-ji, FEI Yu-hong, LI Ya-song, ZHANG Feng-e, CHEN Jing-sheng, QIAN Yong.

A Tentative Discussion on the Assessment Standards of Groundwater Quality: A Case Study of the Groundwater Quality in the North China Plain[J]. Acta Geoscientica Sinica, 30(5): 659-664(in Chinese with English abstract).

WU Qiang, WANG Zhi-qiang, ZHAO Zeng-min, LIU Dong-hai. 2006. Pollution mechanism and vulnerability assessment of confined aquifer groundwater in oil field[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 37(7): 851-857(in Chinese with English abstract).

XUE Qiang, LIANG Bing, FENG Xia-ting, LIU Jian-jun. 2005. Numerical modeling with multiphase flow model of petroleum pollutant transport in subsurface environment[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering (China), 56(5): 920-924(in Chinese with English abstract).

YANG Li-zhi, LIU Chun-hua, LIU Zhong-ye, WEI Zheng-run, HAN Ye. 2006. The Survey and evaluation about Groundwater Sustainable development in the HuaBei Plain (in Shandong Province)[R]. Shandong: Shandong Geological Survey(in Chinese).

YANG Li-zhi, ZHUANG Guang-hui, LIU Zhong-ye, LIU Chun-hua. 2009. Isotope Age of Groundwater in Lubei Plain and an Evaluation of Its Renewable Capacity[J]. Acta Geoscientica Sinica, 30(2): 235-242(in Chinese with English abstract).

ZHANG Zong-hu, SHEN Zhao-li, XUE Yu-qun. 2000. Groundwater environment Evolution in the North China Plain[M]. Beijing. Geological Publishing House(in Chinese).

ZHONG Zhuo-xing. 2005. A discussion of groundwater vulnerability assessment methods[J]. Earth Science Frontiers, 12(S1): 6-14(in Chinese with English abstract).