

# 陕北油田土壤和地表水石油污染特征<sup>\*</sup>

李小利<sup>1,2</sup>, 刘国彬<sup>2</sup>, 许明祥<sup>2</sup>

(1. 河南工业大学 化学与化工学院, 郑州 450001; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

**摘 要:** 陕北黄土丘陵区大规模油田开发产生的石油污染对环境造成了一定的影响。为了解油田开发区(油区)石油污染特征, 选取陕北油田开发体制不同的 2 个典型流域燕沟和巴家河, 对油区土壤和地表水环境现状进行了调查和采样分析。结果表明, 两个油区井场土壤都受到了不同程度的石油污染, 土壤石油污染含量为 5.5~131.2 g/kg, 其中原私人开发的巴家河油区污染更严重。采用单井脱水工艺的巴家河油区水体石油类污染指数严重超标, 采用集中脱水工艺的燕沟油区水体则没有受到明显的石油污染, 采油废水进入水体是前者石油类污染的主要原因。

**关键词:** 陕北油田; 土壤; 地表水; 石油污染

中图分类号: X53      文献标识码: A      文章编号: 1002-3409(2009)05-0145-04

## Features of Oil Pollution of Soil and Surface Water in Northern Shaanxi Oilfield, China

LI Xiaoli<sup>1,2</sup>, LIU Guobin<sup>2</sup>, XU Mingxiang<sup>2</sup>

(1. Institute of Chemistry and Chemical Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Oil pollution from the massive oil exploitation caused some impact on the environment in the Loess Hilly Region of Northern Shaanxi province. To understand the status quo of oil pollution of oilfield region, this study surveyed and analyzed samples of soil and water from two selected watersheds which were regarded as the representations for state and private investment respectively. Results showed that soils of the oilwell fields in the watersheds were all polluted with oil, oil content in the soils ranged from 5.5 to 131.2 g/kg, and oil pollution in privately owned Bajiahe oilfield was severer than state Yangou oilfield. Oil pollution of surface water went badly beyond the state limit in Bajiahe oilfield which adopted onewell technique to remove water from crude oil while there were nearly no water pollution in Yangou oilfield region which used a multiwell centralizing technique to dehydrate oil, and the reason of heavy oil pollution in Bajiahe watershed was mainly due to oilbearing waste water poured into surface water.

**Key words:** Northern Shaanxi oilfield; soil; surface water; oil pollution

石油是国家经济发展必不可少的重要基础能源。石油开发过程会对环境产生污染, 主要污染物包括石油类、硫化物、重金属和各种生产用化学药剂等, 而作为石油勘探开发的生产对象, 石油类无疑是该行业的特征污染物<sup>[1]</sup>。钻井、采油、储运和加工都可能产生石油类污染物并污染环境<sup>[22]</sup>。陕北地区石油资源丰富, 探明地质储量大, 分布面积广<sup>[3]</sup>。近年来, 随着大规模的石油开发, 陕北地区的环境污染

与生态破坏有加剧的趋势<sup>[45]</sup>。由于历史原因, 陕北油田开发层次多, 主要的两种开发模式国有投资和私人投资在管理和技术水平上相差很大, 造成的石油污染特征也不尽相同, 但目前此方面报道较为少见。为了解油区石油污染现状特征, 选取陕北两个油田开发体制不同的典型流域燕沟和巴家河, 对油区土壤和地表水石油污染现状进行调查和监测, 期为该区环境现状及预测评价提供基础资料。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2009-04-03  
基金项目: 中科院科学院西部行动计划(KZCX2-YW-05); 河南工业大学引进人才专项资助项目(150329); 中科院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-421); 973 国家重点基础研究发展计划(2007CB407205); 国家科技支撑课题(2006BAD09B03)  
作者简介: 李小利(1969-), 男, 河南博爱人, 博士, 讲师, 主要研究方向为环境影响评价。E-mail: lixiaoli@mails.gucas.ac.cn

# 1 研究方法

## 1.1 研究区概况

燕沟油区位于延安燕沟流域东北部,由国有延长油矿投资开发;巴家河油区位于安塞县北部巴家河流域,2005 年以前由安塞县钻采公司承包给私人投资开发,后收归国有。2 个流域的自然地理和油田开发概况见表 1。

## 1.2 井场土壤石油污染调查与采样分析方法

调查分为 2 个方面,一是现场查看采油区及井场的地形地貌、污染分布等情况;二是取样分析土壤石油含量。野外取样时,分别在 2 个研究区选取典型井场,根据目视的石油污染强度在井场上选取重度、中度、轻度污染区和对照区(目视无污染),设置 4 个取样点,并在井场附近撂荒草地上设置环境背景值取样点,每个样点布置 3 个采样位置,每个采样位取 0- 10 cm 的表层土壤混合样品,供室内分析测定<sup>[6]</sup>。土壤取样采用土钻法。环刀法测定土壤容重。重量法测定土壤石油含量<sup>[7]</sup>。

## 1.3 地表水石油污染调查与采样分析方法

采用现场调查法对 2 个研究流域进行地表水环境现状调查,记录河流水体污染源、水文、水质和水体功能利用等方面的环境背景情况。在流域下游主沟道设置控制断面,并在流域无石油开发的支沟汇入主沟道前设置对照断面,于 2007 年 4 月中旬和 8 月下旬对所设断面进行了水质监测,并记录断面附近水体水质特征。采样时,每个断面取三次样,时间间隔为 10 min,监测项目有石油类(红外分光光度法)、挥发酚(蒸馏后 4- 氨基安替比林分光光度法)、pH 值(玻璃电极法)和电导率(玻璃电极法)。水质评价方法采用单因子标准指数法,评价标准适用 5 地表水环境质量标准 6(GB 3838- 2002) III 类标准,其中电导率无国家标准,本研究取 2 个对照断面最小实测值的平均值进行评价。

# 2 结果与分析

## 2.1 研究流域石油污染特征现场调查结果

2.1.1 井场石油污染现状 巴家河油区开发始于 1996 年,初期普遍实施掠夺式开采,生产工艺落后,环境污染严重,于 2005 年陕北油田重组时划归延长油矿,但生产方式变化仍然不大。油井井场一般是在坡地上人工开出长约 50 m,宽约 30 m 的平台,一般一个井场 1~ 2 个油井。油井布置在平台的中心,由采油管和抽油器组成。采出原油流入设于井场一侧的储油罐,在罐内贮藏并脱水等待外运。在油井的旁边

设有储存事故漏油和收集落地原油的污油池以及收集油水分离后含油废水的废水坑。在井场入口处建有供油井生产值班人员生活的简易设施。井场上的污染源主要是油井、储油罐、废水坑、污油池等,其余地面石油污染相对较轻,但也随处可见由于落地原油没能及时收集或收集不完全形成的黑色油斑,以及含油废水下渗后形成的条状或面状油污染带。

表 1 研究流域自然地理和石油开发概况

指 标	燕 沟	巴家河
自然地理概况		
所在水系	延河流域	大理河流域
区 划	黄土丘陵沟壑 区	黄土丘陵沟壑 区
海 拔	1 000~ 1 300 m	1 300~ 1 500 m
气 候	暖温带半湿润大陆性季风气候	暖温带半干旱大陆性季风气候
年降水量	500~ 600 mm	350~ 450 mm
植 被	暖温带落叶阔叶林	暖温带典型草原
土 壤	黄绵土	黄绵土
流域面积	48 km <sup>2</sup>	27 km <sup>2</sup>
主要作物	马铃薯、小米、玉米、大豆等	马铃薯、小米、荞麦、玉米等
油田开发概况		
油区面积	14. 8 km <sup>2</sup>	19 km <sup>2</sup>
开发年限	4 年	11 年
开发体制	国有企业投资开发	私人投资, 2005 年后收归国有
井场密度	4~ 6 个/ km <sup>2</sup>	5~ 6 个/ km <sup>2</sup>
油井密度	10~ 24 眼/ km <sup>2</sup>	8~ 11 眼/ km <sup>2</sup>
采出水处理	污水处理站集中脱水并回注油层	单井脱水为主, 部分集中脱水回注, 其它就地排放
落地油回收率	约 80%	约 60%
河面污染状况	未见	可见漂浮油花和小油块
河岸污染带	无	有
生产方式	丛式井开采为主	单井开采为主
运输方式	油罐车运输	油罐车运输

燕沟油区是国有延长油矿 2003 年新开发的油田,目前大规模开发工程建设已经结束,进入正常生产营运阶段。燕沟油田采用丛式井采油技术,油井密度大,平均每个井场约有 4~ 7 口油井。燕沟油田的井场污染与巴家河相似,两者都存在落地原油和污油池的石油污染,区别是燕沟油田采用原油集中脱水工艺,井场上不设油水分离设施和废水坑,不直接产生含油废水的土壤污染。

2.1.2 研究流域地表水体石油污染现状 采用现场查看法调查流域地表水体表观物理性状和受污染程度。巴家河流域主沟水量较大, 水体混浊, 泥沙含量高, 河水表面漂浮着黑色的油花和小油块, 河水有明显的石油味道, 河床岸边分布断断续续的黑色石油污染带, 河中未见到鱼、虾等水生生物, 甚至没有水草生长, 而对照支沟则没有上述现象, 可见到小鱼、蝌蚪等水生生物, 说明油区主沟水体受到了明显的石油污染, 并造成了严重危害。燕沟油区河水流量较小, 水体清澈透明, 表面没有明显的石油污染迹象, 河中水草茂盛, 可见蝌蚪、小鱼等活动, 说明油区水质尚未受到明显的石油污染, 应取样作深入分析。

2.2 研究流域土壤石油污染测定结果

井场土壤样品石油含量和容重测定结果见表 2, 可以看出, 2 个井场的土壤普遍受到了较为严重的落地石油污染。井场土样实测含油量为 5.5~131.2 g/kg, 方差分析表明, 2 个井场所有样点油含量均极显著( $p < 0.01$ ) 大于当地背景值 0.6 和 0.5 g/kg; 2 号井场含油量平均约为 60.0 g/kg, 其抽油管口的土壤含油量达到了 131.2 g/kg, 污染程度明显高于 1 号井场, 表明巴家河油区井场污染更严重。表 2 中值得注意的还有 2 点, 一是井场上没有可见石油污染的地表土壤, 其石油含量也分别达到 5.5 g/kg 和 6.2 g/kg; 二是目视污染程度与实测含油量之间不一定相关, 1 号井场 3 号样点实测污染最重, 但目视却污染较轻, 原因是泄漏的原油被油田工作人员加土覆盖, 其容重也显著低于其它 3 个样点。

表 2 井场油污土壤样品分析结果

样点 编号	目视污 染程度	样点位置	含油量/ (g# kg <sup>-1</sup> )		容重/ (g# cm <sup>-3</sup> )	
1 号	重度	储油罐 0.5 m 处	16.4		1.75	
	中度	油罐车经停处	14.8		1.87	
	轻度	油罐与油井之间	84.6		1.53	
	无	井场边缘	5.5		1.67	
	背景值	附近撂荒草地	0.6		1.19	
2 号	重度	抽油管口	131.2		1.67	
	中度	污油池内壁	68.9		1.56	
	轻度	油罐车经停处	17.5		1.78	
	无	井场边缘	6.2		1.53	
	背景值	附近撂荒草地	0.5		1.11	

2.3 研究流域地表水水质监测结果

表 3 报告了研究流域水质的分析结果。可知, 2 次监测中, 巴家河主沟道控制断面石油类污染指数均严重超标, 分别为 36.40 和 23.60, 远远高于其对照断面( $p < 0.01$ ), 是巴家河主沟水体的主要污染因子; 采油废水中含有大量地壳深层溶解的盐类<sup>[8]</sup>,

进入水体后会使得水体电导率增大, 两期监测中, 控制断面的电导率污染指数均明显高于对照断面, 显示该水体可能受到了油田高含盐采油废水的污染。与巴家河相比, 燕沟流域水体受到的石油类污染较轻, 其控制断面石油类污染指数旱季未超标, 雨季略超出限值; 而流域 2 个监测断面电导率指数两次监测均无显著性差异( $p > 0.05$ ), 说明燕沟流域水体未受到采油废水污染, 雨季石油类轻微超标可能主要来自伴随着水土流失而进入水体的落地石油污染。两个流域控制断面和对照断面 pH 值均为 8~9, 且均差别不大, 说明该地区河流水质普遍偏碱性, 油田开发对水体 pH 值没有影响。值得注意的是与石油类污染密切相关的挥发酚污染指数均小于 1, 说明石油开发没有影响水中挥发酚的含量<sup>[9]</sup>。

表 3 巴家河流域和燕沟流域的水质分析结果

流域	指标	采样 时间	控制断面		对照断面	
			实测值	污染指数	实测值	污染指数
巴 家 河	石油类/ (mg# L <sup>-1</sup> )	4 月	1.82	36.40	0.05	1.00
		8 月	1.18	23.60	0.04	0.80
	挥发酚/ (mg# L <sup>-1</sup> )	4 月	0.003	0.60	0.002	0.40
		8 月	0.002	0.40	0.002	0.40
	pH 值	4 月	8.6	0.80	8.6	0.80
		8 月	8.3	0.65	8.4	0.70
	电导率/ (LS# cm <sup>-1</sup> )	4 月	1250	1.77	890	1.26
		8 月	890	1.26	710	1.01
	石油类/ (mg# L <sup>-1</sup> )	4 月	0.04	0.80	0.03	0.60
		8 月	0.08	1.60	0.02	0.40
燕 沟	挥发酚/ (mg# L <sup>-1</sup> )	4 月	0.002	0.40	0.002	0.40
		8 月	0.002	0.40	0.001	0.20
	pH 值	4 月	8.9	0.95	8.8	0.90
		8 月	8.6	0.80	8.4	0.70
	电导率/ (LS# cm <sup>-1</sup> )	4 月	870	1.23	850	1.21
		8 月	710	1.01	700	0.99

3 结论与讨论

无论其开发体制和开发历史如何, 陕北油田开发区各油井井场都普遍存在不同程度的土壤石油污染, 土壤石油污染含量变化范围大, 污染途径和污染特征较为复杂, 其中县区钻采公司承包给私人开发的巴家河油区井场土壤石油污染更严重。土壤石油污染难以降解, 又往往不易采取大规模的治理措施, 并会随着当地强烈的水土流失发生转移造成二次污染, 其危害是长期和难以估计的<sup>[10][11]</sup>, 土壤石油污染的防止比治理更具现实意义。因此, 油田企业须加强管理, 改进采油工艺, 提高落地石油回收率, 从源头上减少污染排放, 同时, 结合当地气候、土壤特点

研究适合的修复措施对石油污染土壤和废弃油井迹地进行生态恢复也极为必要。

水质监测结果显示,巴家河油区水体污染严重,污染的主要来源是原油采出水;而国有延长油矿新开发的燕沟流域油区水体污染相对较轻,主要原因是油田采出水采用了集中脱水处理回注工艺。陕北大规模石油开发以来,石油类一直是该区地表水体的主要污染因子<sup>[12]</sup>。地表水体石油污染危害大、影响范围广,石油废水威胁当地群众饮水安全的情况也时有发生<sup>[4]</sup>,因此,加强清洁文明井场建设,特别是对未集中脱水的原地方油田加强环境保护管理,确保采油废水集中处理并回注地层,从而有效控制油区地表水的石油污染,对严重缺乏水资源的陕北地区尤为重要。

参考文献:

[1] 夏永明,孙良康.石油储运过程环境污染控制[M].北京:中国石化出版,1992.

[2] Ogric O R. A review of the Nigerian petroleum industry and the associated environmental problems[J]. The Environmentalist, 2001, 21: 11221.

[3] 中国科学院黄土高原综合考察队.黄土高原地区工矿和城市发展的环境影响及其对策[M].北京:科学出版

社,1991.

[4] 孙宁生,周军.延安市石油开采污染治理调查及其防治对策[J].陕西环境,2001,8(1):11212.

[5] 史红星,黄廷林.石油类污染物在黄土高原地区环境中迁移转化规律的研究[D].西安:西安建筑科技大学,2001.

[6] 吕桂芬,赵吉,赵利,等.应用土壤酶活性评价草原石油污染的初步研究[J].内蒙古大学学报:自然科学版,1997,28(5):6872691.

[7] 谢重阁.环境中石油污染物的分析技术[M].北京:中国环境科学出版社,1987.

[8] 秦芳玲,宋绍富,周娟.采油及炼油厂废水的可生化性研究[J].西安石油大学学报:自然科学版,2007,22(5):5860.

[9] 杨永哲,王志盈.延河流域石油污染特征及采油废水处理技术研究[D].西安:西安建筑科技大学,2000.

[10] Alsarawi M, Massoud M S, Wahba S A. Physical properties as indicators of oil penetration in soils contaminated with oil lakes in the greater burgan oil fields, Kuwait[J]. Water Air and Soil Pollution, 1998, 102: 215.

[11] 赵桂芳,吴晓磊,向仁军,等.石油污染土壤的微生物修复技术进展[J].环境污染与防治,2007(6):126.

[12] 任磊,黄廷林.黄土高原地区石油类污染物非点源污染特征及实验研究[D].西安:西安建筑科技大学,2000.

(上接第 144 页)

[3] 唐家友,施章仁.金沙江水电开发思路研究[J].中国水利,2004(16):3234.

[4] 纪中华,潘志贤,沙毓论,等.金沙江干热河谷生态恢复的典型模式[J].农业环境科学学报,2006,25(7):716720.

[5] 刁承泰,黄京鸿.三峡水库水位涨落带土地资源的初步研究[J].长江流域资源与环境,1999,8(1):7280.

[6] 黄川,谢红勇,龙良碧.三峡湖岸消落带生态系统重建模式的研究[J].重庆教育学院学报,2003,16(3):63266.

[7] 穆军,李占斌,李鹏,等.金沙江干热河谷水电站库区消落带的生态重建技术初探[J].水土保持通报,2008,28(6):172176.

[8] 李昌晓,钟章成.池杉幼苗对不同土壤水分水平的光合生理响应[J].林业科学研究,2006,19(1):54260.

[9] 戴方喜,许文年,陈芳清.对三峡水库消落区生态系统与其生态修复的思考[J].中国水土保持,2006(12):628.

[10] 徐高福,洪利兴,陈小勇,等.千岛湖区消落带植被恢复初探[J].林业调查规划,2006,31(6):1062108.

[11] 任雪梅,杨达源,徐永辉,等.三峡库区消落带的植被生态工程[J].水土保持通报,2006,26(1):4243.

[12] 陈芳清,郭成圆,王传华,等.水淹对秋华柳幼苗生理生态特征的影响[J].应用生态学报,2008,19(6):

122921233.

[13] 冯大兰,刘芸,钟章成,等.三峡库区消落带现状与对策研究[J].中国农学通报,2006,22(4):372381.

[14] 吴江涛,许文年,陈芳清,等.库区消落带植被生境构筑技术初探[J].中国水土保持,2007(1):2230.

[15] 张光富,王剑伟.三峡库区开县前置库植物多样性及其消落带的生态恢复原则[J].南京师大学报,2007,30(3):87292.

[16] 裴得道,许文年,郑江英,等.水库消落带植被混凝土抗侵蚀性能研究[J].三峡大学学报:自然科学版,2008,30(6):45247.

[17] 杨振寅,苏建荣,罗栋,等.干热河谷植被恢复研究进展与展望[J].林业科学研究,2007,20(4):562568.

[18] 张信宝.一项新的罐渗技术:砖罐罐渗技术[J].山地研究,1994,12(3):1912192.

[19] 张尚云,高洁,傅美芬,等.金沙江干热河谷恢复植被与造林技术研究[J].西南林学院学报,2007,17(2):27.

[20] 杨忠,庄泽,秦定鼓,等.元谋干热河谷水土保持林营造技术研究[J].水土保持通报,1999,19(1):38242.

[21] 甘肃省水利水电勘测设计研究院.甘肃省民勤县红崖山灌区续建配套与节水改造规划[R].1999.