

玉门市老君庙油田土壤石油污染状况调查

田 侠^{1,2}, 张松林¹, 郑庆柱², 赵首彩¹

1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070

2. 青岛农业大学资源与环境学院, 山东青岛 266109

摘要 为探明老君庙油田土壤石油污染情况, 采用索氏抽提-重量法分别测定了该油田 4 个采样区 3 个土层(表层、下层及底层)土壤的含油量, 并对其在土壤中的迁移规律进行了初步研究。结果表明, 老君庙油田土壤石油污染非常严重, 且土壤含油量随土壤粒径减小而增大, 最高可达 83 601 mg/kg。尽管石油污染物在土壤中存在下渗现象, 但是由于黄土对其吸附能力较强, 使其主要集中在土壤浅层。

关键词 老君庙油田; 土壤; 石油污染; 迁移规律; 土壤粒径

中图分类号 X131.3

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)12-0071-04

The Petroleum Pollution in the Soil of Laojunmiao Oilfield of Yumen City

TIAN Xia^{1,2}, ZHANG Songlin¹, ZHENG Qingzhu², ZHAO Shoucai¹

1. College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

2. Department of Resource and Environment, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, Shandong Province, China

Abstract In order to study the petroleum pollution in the soil of Laojunmiao oilfield, the oil concentrations of the soil samples from three layers (surface, substrate and understratum) in four sample districts in Laojunmiao oilfield were analyzed by Soxhlet Extraction-Gravimetric method, and then the transferring of oil pollutant in soil was studied. It is shown that the petroleum pollution in the soil of Laojunmiao oilfield is serious with a maximum oil concentration of 83601 mg/kg. Moreover, because of the strong adsorption of oil pollutant by ocher, the oil pollutant is mainly distributed in the surface layer of soil and the oil concentration of soil increases with

the decrease of the diameter of soil granule.

Keywords Laojunmiao oilfield; soil; petroleum pollution; transferring law; diameter of soil granule

甘肃省玉门市出产石油在史籍中早有记载^[1], 是中国最早的石油基地。作为玉门油矿主力的老君庙油田位于甘肃省酒西盆地南部隆起带, 气候为温带大陆性干旱气候, 四季不明显, 冬季长达 7 个月, 年平均气温 5℃左右, 年平均降雨量 110.2 mm, 石油储量丰富。老君庙油田平均海拔 2 481 m, 是中国历史上第一个投入开发的大中型背斜油藏, 含油层系为第三系白杨河组, 1939 年投产至 2003 年 6 月底, 在册油井 727 口, 已累计产出原油 2 063.7 万 t, 早已进入低产后期开发阶段^[2]。

在老君庙油田近 70 年的开采过程中, 由于采油、储存、运输和装卸泄漏以及含油废水排放, 对矿区土壤产生了污染。落地原油是油田土壤重要的污染物, 据测算单井落地原油高达 2 t/a^[3]。落地原油进入土壤后, 由于黏度大, 短时间内形成小范围、高浓度的污染区, 对当地的土壤、水体和动植物等都造成了较大的危害。因此, 进行油田土壤石油污染情况调查及含油污染物在土壤中迁移规律的研究, 可以为治理与修复石油污染的土壤及河流, 保护未被污染的土壤及水资源提供科学依据。本文主要调查、研究老君庙油田储油池旁侧、石油渗聚出露区、豆腐台油井储油罐旁侧和豆腐台水库岸边 4 个

收稿日期: 2009-03-23

基金项目: 甘肃省自然科学基金项目(ZS011-A25-063-Y, 2007GS03614)

作者简介: 田侠, 助教, 研究方向为土壤石油污染治理及土壤植物修复等, 电子信箱: tianxia516615@126.com; 张松林(通信作者), 教授, 研究方向为环境地球化学和退化生态环境恢复, 电子信箱: zhangsonglin65@163.com

采样区土壤的石油污染状况,并对其在土壤中的迁移规律进行初步研究。

1 材料与方法

1.1 土样的采集与处理

老君庙油田为砾质荒漠,植被属于河西走廊西部灌木、半灌木荒漠植被区,地势低洼处地下水位较高,形成许多星罗棋布的沼泽、草甸。测试土样采自老君庙油田的储油池旁侧、石油渗聚出露区、豆腐台油井储油罐旁侧和豆腐台水库岸边4个采样区,采样点的具体位置如图1所示。每个采样区采用棋盘式布点,每个采样点分别采集表层(0~10 cm)、下层(10~20 cm)和底层(30~40 cm)3个层面土壤,各采样区在同一个层面上多点采样,混匀、风干,将土样筛分成<0.25 mm,0.25~0.5 mm,0.5~1.0 mm和>1.0 mm的4个粒级备用。

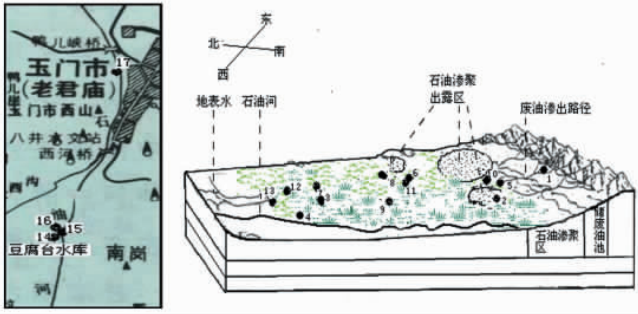


图1 老君庙油田试验区采样点位示意图

Fig. 1 Sketch map of sample districts in Laojunmiao oilfield

1.2 试验药品与仪器

本试验药品采用的丙酮和二氯甲烷(DCM)均为分析纯并经过二次蒸馏纯化,无水Na₂SO₄为分析纯。所用仪器主要包括索氏抽提仪、减压旋转蒸发仪、万分之一电子天平和电热恒温振荡水槽等。

1.3 污染物含量测定方法

土壤中石油污染物总量采用索氏抽提法提取,重量法测定^[4-7]。将10 g筛分后的土样与等体积的无水Na₂SO₄混匀,用100 mL的DCM与丙酮混合溶剂(混合比为1:1)索氏抽提72 h,再将抽提液在减压旋转蒸发仪上减压蒸馏至衡重,称量抽提物质量,计算出各土样的总含油量(mg/kg)。

2 结果与讨论

2.1 储油池旁侧土壤的石油污染

老君庙油田储油池旁侧采样区3个层面土样的含油量检测结果如表1所示,3个层面中土壤含油量从低到高依次为表层土、底层土和下层土。

储油池旁侧采样区表层土含油量最低,主要与油田长时间废弃、表层土中落地原油经雨水冲刷、石油污染物不断挥发、自然光解及好氧微生物降解等有关。下层土含油量最高,可能是因为老君庙油田长时间开采,使落地石油不断掺混进入下层土壤,而由于石油污染物密度小、黏着力强且乳化力

表1 储油池旁侧土壤中石油污染物含量(单位:mg/kg)

Table 1 Petroleum pollutant concentration in soil around oil tank (unit: mg/kg)

土壤层	总量	<0.25 mm	0.25~0.5 mm	0.5~1.0 mm	>1.0 mm
表层土	897	1 054	875	481	325
下层土	83 601	137 161	80 345	60 189	49 615
底层土	2 098	3 209	2 724	2 474	1 099

低,所以大部分难以在干旱土壤中上下迁移而滞留在下层土中^[8]。底层土含油量居中,主要是由于土壤石油污染强度过大导致其迁移强度也随之增大,但由于下层黄土对其截留能力较强^[9],所以下渗量有限,不超过2.5%。

另外,土壤含油量与土壤颗粒直径大小有关,3个层面土样的石油含量均随土壤颗粒直径的增大而减小,原因在于细颗粒土壤通常黏粒和有机物含量较多,比表面积大,对石油污染物的吸附能力较强^[10]。

2.2 豆腐台油井储油罐旁侧土壤的石油污染

豆腐台油井储油罐旁侧3个层面的土壤含油量检测结果见表2。由表2可知,表层土、下层土和底层土的含油量分别为481,230,111 mg/kg,随土层深度增加,石油污染物含量依次降低。这与豆腐台油井开采时间短、落地原油少,以及干旱缺水条件下黄土对石油污染物截留作用强,导致污染物向下淋滤、迁移强度弱有关^[10]。在同一个土层中,土壤粒径不同,其含油量也不同,3个层面的土壤含油量均随着土壤粒径的增大而减小;而且当土壤粒径大于0.5 mm时,土壤中石油污染物的含量下降更明显(图2)。原因也是由于细小颗粒比表面积大,对石油污染物的吸附能力强,且吸附更牢固,阻止了石油污染物的继续下渗。

表2 豆腐台油井储油罐旁侧土壤石油污染物含量(单位:mg/kg)

Table 2 Concentrations of petroleum pollutant in soils around oil tank of Doufutai oil well (unit: mg/kg)

土壤层	总量	<0.25 mm	0.25~0.5 mm	0.5~1.0 mm	>1.0 mm
表层土	481	849	830	413	129
下层土	230	428	364	208	80
底层土	111	247	252	83	37

2.3 石油渗聚出露区土壤的石油污染

石油渗聚出露区剖面中3层土壤的含油量检测结果见图3。与豆腐台油井储油罐旁侧3个层面土壤含油量的分布类似,表层土石油污染物含量最高,底层土石油污染物含量最低,随着剖面深度增加土壤中石油污染物的含量减小。原因在于石油类污染物属大分子疏水性物质,几乎不溶于水且密度比水小。当石油分子到达土壤表面时,易粘附于土粒表面,粘滞或堵塞土壤中的毛细孔,而土壤中的毛细水会对石油产生排斥和顶托作用。与此同时,随着时间延长,老化作用使土

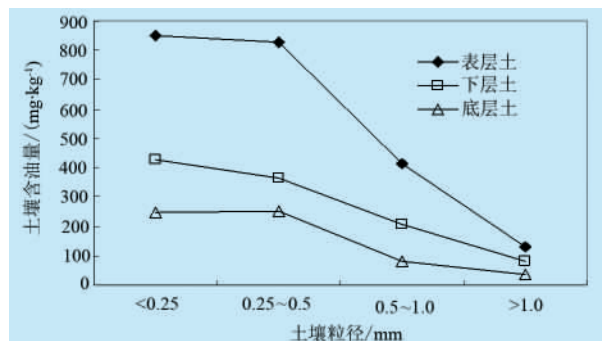


图2 豆腐台油井储油罐旁侧土壤含油量与土壤粒径的关系

Fig. 2 Relationship between the oil concentration and the diameter of soil granule in the soil around oil tank of Doufutai oil well

壤中可溶态油越来越少,使石油污染物向深层迁移受阻。同样,同一层面不同粒径的土壤含油量不同,含油量均随着土壤粒径的增大而降低(图4),原因同前所述。

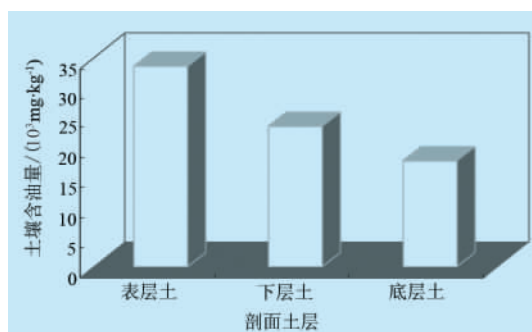


图3 石油渗聚出露区不同层面土壤含油量
Fig. 3 Oil concentration in soil of different layers in oil leakage area

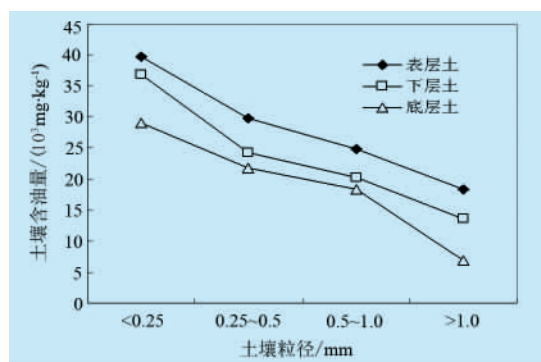


图4 石油渗聚出露区不同粒级土壤含油量
Fig. 4 Oil concentrations of soil with different granule diameters in oil leakage area

2.4 豆腐台水库岸边土壤的石油污染

与其他采样区土样相比,豆腐台水库岸边采样区3个层面的土壤含油量普遍较低;但与储油池旁侧采样区3个层面

土样的含油量分布类似,下层土较高、上层土最低、底层土较低(表3)。原因在于表层土壤中的有机质含量低,细小颗粒含量最少,而且土壤中的石油常年被地表径流洗刷,加上拦河建坝后丰水期岸边土壤被淹没,土壤中的含油物质由土壤中逐渐向水体迁移。下层土和底层土的含油量高,是由于采油期间落地石油下渗、集聚造成的。另外,下层土的含油量最高,是因为下层土系淤泥质,土壤有机质含量高、黏粒多;而底层土为沙土,有机质含量较低、黏粒较少、粗颗粒多,土壤颗粒对石油污染物的吸附能力差,石油污染物下渗较容易,故土壤含油量较低。同样,相同层面的土壤中,土壤粒径不同则含油量不同,3个层面的土样含油量均随土壤粒径增大而降低,原因如前所述。

表3 豆腐台水库岸边土壤石油污染物含量
(单位:mg/kg)

Table 3 Oil concentrations of soils from the bank of Doufutai reservoir (unit: mg/kg)

土壤层	总量	<0.25 mm	0.25~0.5 mm	0.5~1.0 mm	>1.0 mm
表层土	81	136	101	48	25
下层土	198	272	246	156	69
底层土	164	519	207	128	24

2.5 与其他石油污染区污染情况的对比分析

据文献报道^[10],沈抚石油污水灌区表层和底层土壤多环芳烃含量均超过600 mg/kg,造成农作物品质降低和地下水严重污染。延河上游及其主要支流的两岸分布了大量油井,干流河段沉积物的石油污染负荷一般为40~80 mg/kg,上游河段和污染支流汇入段负荷较高,平均为390 mg/kg,最高可达784 mg/kg;支流上的坪桥川和杏子河河段沉积物污染负荷为60~250 mg/kg。岸边油井所在典型污染断面沉积物的石油类含量很高,可达13 460 mg/kg,一般断面也在1 388 mg/kg以上^[11]。而老君庙油田储油池旁侧土壤含油量高达83 601 mg/kg以上,石油渗聚出露区土壤含油量达28 000 mg/kg以上。相比之下,老君庙油田的土壤石油污染更加严重。

3 结论

1) 老君庙油田土壤的石油污染非常严重,4个采样区土壤含油量从高到低依次为:储油池旁侧、石油渗聚出露区、豆腐台油井储油罐旁侧及豆腐台水库岸边,储油池旁侧土壤下层土含油量最高达83 601 mg/kg。

2) 石油污染物在土壤中存在下渗现象,但由于黄土对其吸附能力强,使其主要集中于土壤浅层。4个采样区3个层面的土壤含油量均不同,石油渗聚出露区及豆腐台油井储油罐旁侧土壤含油量随深度增加而降低;由于储油池长期废弃,经雨水冲刷、降解及挥发等作用,使其旁侧表层土壤含油量降低;豆腐台水库岸边土壤长期经地表径流洗刷,土壤中的含油物质由土壤中逐渐向水体迁移,因此表层土壤含油量较

低。4 个采样区 3 个层面的土壤含油量均随着土壤粒径的增大而减小。

参考文献 (References)

- [1] 贺书娟. 石油河玉门市段水质污染状况调查及防治措施初探[J]. 甘肃环境研究与监测, 1994, 7(4): 36-38.
He Shujuan. *Gansu Environmental Study and Monitoring*, 1994, 7(4): 36-38.
- [2] 王仰之. 我国的第一个石油工业基地——玉门油矿[J]. 中国科技史料, 1997, 18(2): 49-59.
Wang Yangzhi. *China Historical Materials of Science and Technology*, 1997, 18(2): 49-59.
- [3] 陆秀君, 郭书海, 孙清, 等. 石油污染土壤的修复技术研究现状及展望[J]. 沈阳农业大学学报, 2003, 34(1): 63-67.
Lu Xiujun, Guo Shuhai, Sun Qing, et al. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2003, 34(1): 63-67.
- [4] Sugiura K, Ishihara M, Harayama S T. Physicochemical properties and biodegradability of crude oil[J]. *Environ Sci Technol*, 1997, 31(1): 45-51.
- [5] 刘五星, 骆永明, 滕应, 等. 我国部分油田土壤及油泥的石油污染初步研究[J]. 土壤, 2007, 39(2): 247-251.
Liu Wuxing, Luo Yongming, Teng Ying, et al. *Soils*, 2007, 39(2): 247-251.
- [6] Mills M A, McDonald T J, Bonner J S, et al. Method for quantifying the

fate of petroleum in the environment [J]. *Chemosphere*, 1999, 39(14): 2563-2582.

- [7] 刘晓艳, 毛国成, 戴春雷, 等. 土壤中石油类有机污染物检测方法研究进展[J]. 中国环境监测, 2006, 22(2): 75-80.
Liu Xiaoyan, Mao Guocheng, Dai Chunlei, et al. *Environmental Monitoring in China*, 2006, 22(2): 75-80.
- [8] 刘晓艳, 李兴伟, 纪学雁, 等. 油田城市地表土壤石油污染特点及其防治对策[J]. 国土与自然资源研究, 2004(4): 68-69.
Liu Xiaoyan, Li Xingwei, Ji Xueyan, et al. *Territory and Natural Resources Study*, 2004(4): 68-69.
- [9] 黄廷林, 史红星, 任磊. 石油类污染物在黄土地区土壤中竖向迁移特性试验研究[J]. 西安建筑科技大学学报, 2001, 33(2): 108-111.
Huang Tinglin, Shi Hongxing, Ren Lei. *J Xi'an Univ of Arch and Tech*, 2001, 33(2): 108-111.
- [10] 章明奎. 砂质土壤不同粒径颗粒中有机碳、养分和重金属状况[J]. 土壤学报, 2006, 43(4): 584-591.
Zhang Mingkui. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(4): 584-591.
- [11] 黄廷林, 解岳, 王晓昌, 等. 延河沉积物的石油污染调查与分析[J]. 环境工程, 2000, 18(4): 62-64.
Huang Tinglin, Xie Yue, Wang Xiaochang, et al. *Environmental Engineering*, 2000, 18(4): 62-64.

(责任编辑 岳臣)

·学术动态·



“中国地质学会 2009 年学术年会”征文

中国地质学会定于 2009 年 10 月在北京召开 2009 年学术年会。围绕主题“地质为经济社会发展服务”,交流近年来地质科研、生产领域的科技新成果,探讨如何增强地质勘查的资源保障能力和服务功能,更好地满足我国经济社会的可持续发展,为保持经济平稳快速发展服务。

学术年会主会场将邀请著名专家学者作大会特邀报告,各个分会场设立专题报告、专题讨论、讲座、座谈、培训、展示等。分别设置:水文地质理论与方法,油气勘探开发理论与技术进展,中国大陆及海域岩石圈三维结构演化与资源、环境效应,地学信息与新理论、新技术和新方法,海洋地质与环境研究,地质环境与地质灾害调查研究,资源环境勘查评价理论与方法技术,地质图件的编制与 GIS 技术,矿物学岩石学进展研究,地质科技期刊办刊经验交流会暨地质科技期刊专业委员会换届会议,北京大学百年校庆地质科技工作者座谈会,固体矿产勘查规范研讨会等分会场。

年会还将举行系列卫星会议:纪念李四光诞辰 120 周年暨李四光地质科学奖成立 20 周年学术研讨会;2009 北京国际地质勘探技术交流会;中国地质教育百年及其历史贡献研讨会;第 3 届全国岩土与工程大会;第 7 届亚洲工程地质会议;中国第 2 届铂业高层论坛。

会议论文正在征集中,摘要截稿日期:2009 年 8 月 20 日。会议网址:www.geosociety.org.cn

联系方式:北京市西城区百万庄大街 26 号中国地质学会(100037)郝梓国,禹启仁,华丽娟,孟庆伟;电话:010-68999023,68311539,68999018,68999021;传真:010-68995305;电子信箱:gsc2009meeting@126.com, gsc2009meeting@163.com