

中原油田耕地污染分析

刘文霞¹, 孟祥远¹, 冯建灿¹, 王文亮¹, 闫文灿²

(1. 河南农业大学环境系, 河南 郑州 450002; 2. 中原石油勘探局油田化学技术研究所)

摘要: 通过对中原油田污染耕地的现场调查和几种污染因素的比较, 发现油田高矿化度产出水腐蚀穿孔是造成弃耕地土壤污染的主要原因。污染土壤含盐量为 $7.07 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、可溶性 Na^+ 和 Cl^- 为 9.39 和 $11.56 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, 是未污染土壤的 6.0 、 7.8 和 18.1 倍。由于土壤盐分和可溶性 Na^+ 含量高, 造成了土壤板结、紧实, 使土壤生态环境退化和恶化。

关键词: 中原油田; 耕地污染; 产出水; 污染原因

中图分类号: X53 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0267(2002)01-0056-04

Pollution of Farmland Soil by Petroleum Industry in the Central Plains Oil Field

LIU Wen-xia¹, MENG Xiang-yuan¹, FENG Jian-can¹, WANG Wen-liang¹, YAN Wen-can²

(Department of Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou, 450002, P. R. China)

Abstract: A survey was conducted to show the origin of pollution resulting in farmland and abandoned in the Central Plains Oil Field. It has been found that the main pollution causing abandoned farmland was wastewater with high concentration of dissolved salts from corroded pipeline of the oil field. The contents of total salts from the polluted soil were $7.07 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Of them, Na^+ and Cl^- were 9.39 and $11.56 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. The contents of them were 6.0 , 7.8 and 18.1 times as much as that of unpolluted soil. The high contents of total salt, Na^+ and Cl^- caused compaction of the soil association with degradation and deterioration of soil ecological environment.

Keywords: the Central Plains Oil Field; polluted soil; water from oil field; pollution cause

1 油田生产概况

中原油田位于华北平原腹地, 油气开发生产区主要分布于河南的濮阳、山东的菏泽和聊城 3 个地区。濮阳东部凹陷区是中原油田勘探的主要地带, 该地区成土母质主要是黄河冲积物。中原油田属暖温带半湿润季风气候区, 水资源丰富, 灌溉条件较好, 农业开垦历史悠久。

中原油田自从 1980 年投入开发以来, 现已钻井 2 944 口, 水井 1 754 口, 建成了 7 个采油厂、10 座联合站和 10 余座污水处理站, 年产原油达 410 万 t, 取得了很大的经济效益, 但同时也对环境造成了很大污染。据不完全统计, 因中原油田各采油厂的污染而弃耕的土地达 1 747 hm^2 , 为此, 中原油田每年向农民支付高达数千万元的补偿金, 这使油田蒙受巨大的经济损失, 同时又造成不良的社会影响。我国人多地少, 尤其是河南省人均耕地面积为 0.0884 hm^2 , 尚不

到世界人均的一半, 比全国人均水平少 0.0173 hm^2 , 而中原油田耕地大面积弃耕, 更加剧了耕地的短缺。为此, 作者对中原油田污染耕地的原因进行了调查研究, 为污染耕地的复耕提供科学依据。

2 中原油田耕地污染原因分析

中原油田生产开发工艺流程见图 1, 土壤污染主要工艺来源有 3 个方面: 钻井、采油和井下作业, 污染物主要有钻井岩屑、落地原油和油气井产出污水等。

2.1 落地原油污染

通过调查, 了解到原油污染物的来源主要有井喷事故、油井作业、输油管线腐蚀穿孔等, 中原油田原油

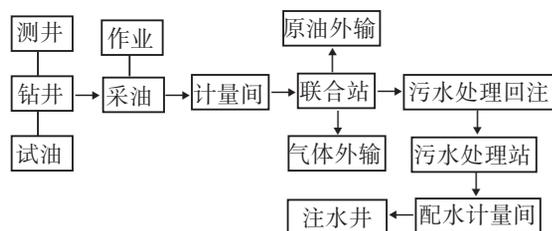


图 1 油田开发生产工艺流程示意图

Figure 1 Technological process diagram of the oil field

收稿日期: 2001-01-03

作者简介: 刘文霞(1967—), 女, 河南安阳人, 河南农业大学讲师,

硕士。

污染主要发生在井场周围及集油管线区域,一般新井投产、油井大修时,平均每口井残留地面的原油约0.5—1 t,还有因泄漏而落地的原油等。原油的化学组成非常复杂,但主要由烃类和非烃类化合物组成,其中烃类占95%—99.5% (碳、氢元素),其它元素(硫、氮、氧)仅占0.5%—5%^[1]。原油进入土壤后,影响土壤的通透性,常粘着在植物根系上,形成一种粘膜,阻碍根系的呼吸与吸收。原油中不同组分对植物的危害不同,低分子烃主要能渗透到植物的组织内部,破坏植物正常的生理机能,而高分子烃虽因分子较大穿透能力差,但易在植物表面形成一层薄膜,阻塞植物气孔,影响植物的蒸腾和呼吸作用。原油中的芳烃,特别是多环芳烃如苯并(a)芘具有致癌活性,毒性最强,已引起广泛关注。因此,作者就单纯原油污染对小麦生长影响及小麦籽粒中有害物质苯并(a)芘含量进行了跟踪监测,监测方法见文献[1],用紫外荧光法。结果见表1和表2。

表1 12口油井与对照点小麦性状比较(平均值)

Table 1 Comparison of wheat quality around twelve oil wells with control (mean value)

地点	有效分蘖数	株高/cm	穗长/cm	千粒重/g
对照点	1.53	59.1	6.13	38.06
20 m	1.74	57.0	7.10	38.00
50 m	1.97	57.0	7.30	36.30
100 m	1.85	58.9	7.40	36.10

表2 采油二厂小麦苯并芘含量($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 2 Contents of organic compound Benzo - [a] - pyrene in wheat from 2th oil recovery factory ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

井号	20 m	50 m	100 m
1—143	0.040 0	0.522 6	0.963
2—26	0.857 0	0.178 7	
3—121	0.448 6	1.749 5	0.028 0
3—184	0.246 7	0.336 4	
3—246	0.225 7	0.493 4	

从表1和表2可以看出,一定程度的油污染对小麦生长有影响,但影响不大。油污染可使小麦籽粒中含有苯并(a)芘有害物质,但含量较低,不超过卫生部1994年9月1日发布实施的《食品中苯并(a)芘含量卫生标准》中规定的 $5 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。究其原因,低浓度的原油可被土壤中的微生物所降解^[2],因此,单纯原油污染对作物生长影响不大,不是造成土壤弃耕的主要原因。

2.2 油气井产出水污染

中原油田是一个多层次、多油藏类型的复杂断块

油气田,具有深(平均井深达3 100 m)、碎(油田分布零碎,每个油田平均由40—100个断块构成)、低(渗透率低、孔隙度低、原油密度低)、高(矿化度高)等特点,使油田产出污水具有很强的腐蚀性。从中原油田投入开发到1993年的十多年间,腐蚀给中原油田造成的直接经济损失超过3亿元。腐蚀穿孔多发生在油、水输送管道及联合站贮油(水)罐^[2]。

经现场调查,90%以上的污染土壤集中分布在油水集输干线附近,污染物是含少量原油的油田产出水和不含原油的回注水,二者统称为产出水。因此,作者对产出水的性质进行了分析,同时采集油田浅层地下水作对照,采样方法和分析方法参照文献[3]。

2.2.1 产出水矿化度

中原油田产出水矿化度极高,矿化度50 000—150 000 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的占72%,矿化度高于150 000 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的占9.3%,而浅层地下水矿化度81.25%在1 000—2 000 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,油田产出水矿化度高出浅层地下水50倍以上,为卤水。

2.2.2 油田产出水 Cl^{-} 含量

油田产出水 Cl^{-} 含量较高, Cl^{-} 含量大于40 000 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 占74%,而浅层地下水 Cl^{-} 含量约在80—330 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,可见油田产出水 Cl^{-} 含量高出浅层地下水100多倍。

2.2.3 油田产出水 $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$ 含量

油田产出水 $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$ 含量大于2 000 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的占79.2%,而浅层地下水 $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$ 含量在107.64—362.48 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的范围内,可见,油田产出水 $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$ 含量高出浅层地下水十几倍。

2.2.4 油田产出水pH值及腐蚀性性能

油田产出水pH大部分为6.0和6.5,浅层地下水pH值约在7.66—8.50范围内。产出水pH较低,酸度较大。据采油二厂1997年第四季度的腐蚀监测(毛彦一,于志健.中原油田生产系统腐蚀监测公报.中原油田勘探局油田化学技术研究所,1997.),97个试片、试棒腐蚀数据中,高于部颁标准 $0.076 3 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 26个,最高试棒腐蚀速度为 $1.076 3 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$,最高试片腐蚀速度为 $0.850 2 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

总之,通过分析,油田产出水具有矿化度高, Cl^{-} 、 $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$ 含量高,腐蚀性强等特点。由于油田开采初期,没有建立较为配套的环保和生产系统防腐措施,出现了大量农田污染事件。针对中原油田具体情况,对油田污染耕地进行了调查。

3 污染土壤调查分析

在对污染地踏查的基础上,按污染时间及污染程度选择有代表性地块,用对角线法采样,自然风干,四分法取舍,过20目、60目和100目筛。分析方法见文献[4]。

3.1 污染土壤全盐量

污染土壤中全盐量3—5 g · kg⁻¹的占26.1%, 5—7 g · kg⁻¹的占13%,大于7 g · kg⁻¹的占34.8%,平均含盐量为7.07 g · kg⁻¹,而未污染土壤全盐量在

1.1—1.4 g · kg⁻¹范围内,平均为1.18 g · kg⁻¹,污染土壤的是未污染土壤的6倍。可见,污染土壤的全盐量大幅度增加。

3.2 污染土壤可溶性盐分离子组成

污染土壤和未污染土壤中可溶性盐分离子组成见表3和表4。表3可以看出,污染土壤可溶性阳离子中Na⁺含量较高,平均为9.39 cmol · kg⁻¹,而Ca²⁺、Mg²⁺分别为1.00、1.25 cmol · kg⁻¹,K⁺含量很低。Na⁺占有所有阳离子的摩尔百分数平均为77.05%,可溶性Na⁺50%以上的占92.3%,80%以上的占

表3 污染土壤可溶性盐分离子组成

Table 3 The composition of dissolvable ions in the polluted soil

取样点	层次/cm	阳离子/cmol · kg ⁻¹				Na ⁺ /(Na ⁺ + K ⁺ + Ca ²⁺ + Mg ²⁺)	阴离子/cmol · kg ⁻¹				Cl ⁻ /(Cl ⁻ + SO ₄ ²⁻ + CO ₃ ²⁻ + HCO ₃ ⁻)
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	
文一联南	0—5	4.56	2.90	0.13	25.09	76.8	24.80	0.74	—	0.42	95.5
	5—20	3.71	2.74	0.07	4.04	38.3	81.46	0.11	—	0.29	99.5
文二联北	0—5	0.71	0.05	0.07	6.62	88.9	5.44	1.14	—	0.67	75.0
	5—20	0.42	0.34	0.04	5.02	86.3	3.78	1.08	—	0.48	70.8
文三联西	0—5	0.39	0.15	—	0.13	19.4	0.36	0.23	—	0.65	29.0
	5—20	0.42	0.15	—	0.84	59.6	0.32	0.18	—	0.78	25.0
2#站	0—5	0.32	0.08	0.06	7.33	94.1	25.52	0.71	—	0.27	96.3
	5—20	0.21	0.24	0.04	6.35	92.8	4.82	0.58	—	0.82	77.5
濮三联北	0—5	0.12	0.10	0.04	14.88	98.3	9.10	0.42	0.17	1.22	83.4
	5—20	—	—	—	5.55	—	3.12	—	0.08	2.10	—
26#站北	0—5	0.38	0.24	—	1.73	73.6	0.46	0.75	—	0.77	23.2
	5—20	—	—	—	2.18	—	0.42	—	—	1.45	—
卫汽1#	0—5	1.06	0.60	0.04	26.44	94.0	14.4	0.37	—	0.50	94.3
	5—20	1.00	0.84	0.04	6.09	76.4	7.02	0.97	—	0.44	83.3
	20—35	0.76	0.54	—	3.87	74.9	4.08	0.31	—	0.42	84.8
	> 35	0.78	0.24	0.04	4.58	81.2	4.96	0.41	—	0.63	82.7
杜村	0—5	0.84	1.98	—	4.67	62.3	1.04	2.53	0.04	2.52	17.0
	5—20	0.67	1.53	—	5.20	70.3	1.64	2.05	—	3.06	24.3
桥口东	0—5	1.72	7.10	0.10	17.55	66.3	18.18	1.55	—	0.40	90.3
	5—20	1.77	3.33	—	6.62	56.5	10.90	0.81	—	0.38	90.2
桥口南	0—5	2.87	2.33	0.13	24.20	81.9	23.52	0.65	—	0.38	95.8
	5—20	0.14	3.38	0.10	19.77	84.5	17.36	0.86	—	0.40	93.2
8#南	0—5	0.96	2.40	0.07	33.99	90.8	40.90	1.72	—	0.50	94.9
	5—20	0.35	0.44	—	14.45	94.8	10.48	1.39	—	0.61	84.0
马厂9#	0—5	0.96	0.35	—	3.24	71.2	1.18	0.27	—	0.38	64.5
	5—20	0.30	0.26	—	4.67	89.3	1.32	0.55	0.84	0.50	41.4
马厂11#	0—5	0.44	0.04	0.07	4.40	88.9	4.42	0.27	—	0.38	87.2
	5—20	0.21	0.07	—	3.42	92.4	2.54	0.55	—	0.29	75.1

表4 未污染土壤可溶性盐分离子组成

Table 4 The composition of dissolvable ions in unpolluted soil

取样点	层次/cm	离子组成/cmol · kg ⁻¹							
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻
卫汽1#	0—20	0.42	0.20	—	1.11	0.62	0.25	—	0.57
	> 20	0.38	0.12	—	1.38	0.64	0.39	—	1.01
杜村	0—20	0.27	0.41	0.006	1.20	0.50	0.12	—	0.94
	> 20	0.42	0.19	—	1.11	0.78	0.11	—	0.61

53.85%。未污染土壤中 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 分别是 1.2、0.37、0.23 $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，污染土壤中 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 是未污染土壤的 7.8、2.7、5.4 倍，可见，污染土壤中阳离子以 Na^+ 为主，且较未污染土壤增加较多，其次为 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} ， K^+ 含量很低。

污染土壤可溶性阴离子 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 平均为 11.56、0.82、0.78 $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ ， CO_3^{2-} 有 85.71% 未检出。可溶性 Cl^- 占有阴离子摩尔百分数平均为 72.24%，50% 以上的占 76.92%，80% 以上的占 57.69%。未污染土壤中 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 分别为 0.64、0.22、0.78 $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，污染土壤中 Cl^- 、 SO_4^{2-} 是未污染土壤的 18.06、3.73 倍， HCO_3^- 含量几乎没有变化，因此，污染土壤中可溶性阴离子中以 Cl^- 为主，且较未污染土壤增加很多。

综上所述，污染土壤全盐量、 Cl^- 、 Na^+ 是未污染土壤的 6.0、18.1、7.8 倍，且可溶性阴阳离子以 Cl^- 、 Na^+ 为主，这与中原油田产出水矿化度 Cl^- 、 Na^+ 含量高有较好的相关性^[5]。因此，中原油田耕地污染的主要原因是中原油田产出水腐蚀穿孔造成的土壤污染。污染土地寸草不生，经数年自然恢复之后，只长怪柳、蒿类、灰灰菜等耐盐碱植物，农作物很难成活，土壤板结、紧实，造成了土壤生态环境的退化和恶化。

4 结论

(1) 落地原油低浓度时在土壤微生物的降解作

用下对小麦生长影响不大，粒籽中有害物质苯并(a)芘含量低于食品卫生标准，不是造成中原油田土壤弃耕的主要原因。

(2) 中原油田产出水矿化度高于 50 000 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的占 81.3%， Cl^- 高于 40 000 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的占 74%， Na^+ 大于 2 000 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的占 79.2%，远远高于浅层地下水，pH 值低、酸度大、腐蚀性强，是油田土壤污染的主要原因。

(3) 污染土壤全盐量为 7.07 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，可溶性 Na^+ 、 Cl^- 分别为 9.39、11.56 $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，较未污染土壤大幅度增加，分别是未污染土壤的 6.0、7.8、18.1 倍，这与中原油田产出水矿化度、 Cl^- 、 Na^+ 含量高有较好的相关性。

参考文献：

- [1] 谢重阁. 环境中石油与苯并(a)芘的分析技术研究[A]. 见高拯民. 土壤-植物系统污染生态研究[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1986. 400-427.
- [2] 金文标, 宋莉晖, 董晓利, 等. 油污土壤微生物治理的影响因素[J]. 环境保护, 1998, 10: 27-28.
- [3] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1997.
- [4] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [5] 袁宇明. 试论苏北海积平原盐渍土改良的先行途径[J]. 土壤通报, 1997, 28(4): 145-148.

本论文得到了河南农业大学李树人教授的指教, 特此感谢!

中英文摘要写作注意事项

中文摘要: 用第三人称撰写, 要着重反映新内容和作者特别强调的观点, 不要简单地重复题名中已有的信息, 结构要严谨, 表达要简明, 一般不分段。内容应包括目的、方法、(包括研究对象或主要材料)、结果(包括主要数据)、结论(结果的分析、研究、比较、建议等)4 部分。缩略语、略称、代号, 在首次出现处必须加以说明, 摘要中不标注引文, 对于动植物拉丁文名称必须严格注意拼写, 并使用斜线加以表达。

英文摘要: 为了便于国际检索机构收录, 本刊论文必须附英文摘要。英文摘要的内容应与中文一致或略详于中文, 且包括文题, 作者姓名(汉语拼音), 全部作者的单位名称及所在城市名(编辑和英文审校一般不修改此项内容)。对于英文题名, 少用冠词“the”及“study on”“research on”等中式英语表达方式, 一般不能使用缩写词语, 诸如: LAS, BOD 等。英文摘要中可不用 in this paper, It is reported that..., The author discusses..., This paper concerned with... 等, 摘要中, 可以对物理量单位及一些通用词适当简化, 尽量避免重复单元, 采用简化措施(如 at a temperature of 250°C to 300°C, 用 at 250—300°C, at a high pressure of 15.4MPa, 用 at 15.4MPa 等)。在时态上, 多采用一般现在时和过去时; 适当地用主动语态代替被动语态, 主语不能省略且多采用被动式; 应当用合适的短语代替子句, 用合适的单词代替短语。

如果写英文摘要有困难的作者, 请附加说明。编辑部可代写, 翻译费用将从稿酬中适当扣除。