

石油开发对黄土高原地区生态环境的影响研究

穆 从 如

(中国科学院
国家计划委员会 地理研究所)

提 要: 陕北油田每年将排放上千吨废弃物, 本文选取八项生态环境影响因素进行评价。研究结果为恢复和改善黄土高原油田的生态环境建设提供依据。

主题词: 油田开发 生态环境 环境影响

分 类: (中图法) P95. R15 (科图法) 57. 1251

在我国陕北黄土高原的安塞和志丹两县境内近期探明的油田, 将有力地促进西部能源工业的发展。该油田位于海拔 1100—1500m 的黄土高原上, 脆弱的生态环境的保护是随着油田开发而来的极需重视的问题。本文仅就石油开发对生态环境的影响探讨以下几个问题。

1 陕北油田的自然环境概况

陕北油田位于黄河中游右岸几条支流的上游(图1), 属华北陆台的鄂尔多斯地台, 为陕北构造盆地的一部分, 构造基底为前震旦系, 第三纪岩层呈不(假)整合于中生代岩层之上, 第四纪黄土广泛覆盖其上, 厚度可达 150—180m, 黄土受多种外力作用, 形成梁峁连绵、沟壑纵横的复杂地貌, 水土流失极为严重^[1], 沟壑面积占总面积的 60%以上, 沟谷密度达到 4.7km/km², 土壤侵蚀模数大于 8000t/a。

油区属于暖温带大陆季风地区^[2], 降雨量年际(内)分布很不均匀, 且多暴雨冲刷着疏松的黄土地面, 泥沙俱下, 径流混浊, 河水平均含沙量为 23.4%。植被类型为温带草原地区, 有森林草原, 灌丛草原和典型草原三种植被类型, 植物种类在百种以上, 随着干燥度由东南向西北增加, 植被由森林草原向灌丛和典型草原过渡, 植被覆盖度 30—35%, 一般均为稳定的生态群系, 在油田地区只有零星的乔木, 灌丛草原是主要的生态类型, 它的生存和发展关系到黄土高原的水土流失和生态环境的发展前途。

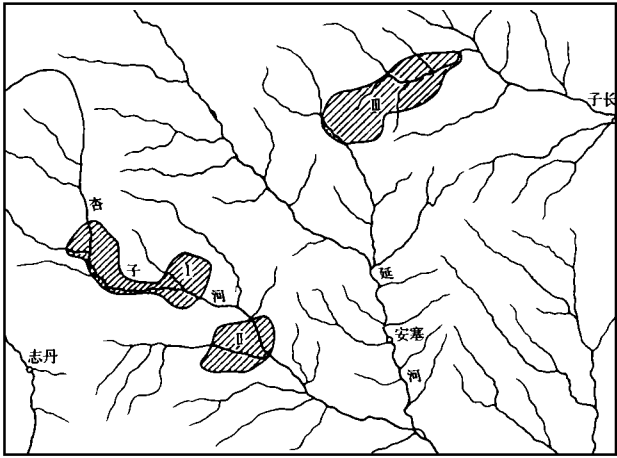


图 1 油区地理位置图
Location map of the oil field

2 油田工程概况和污染因素分析

陕北油田探明地质储量大^[3]，分布面积广，但含油地层致密，物性差，原油具有低相对密度，低粘度，较高凝固点，高含腊量的特点。采油工艺选用丛式钻井法，集输采用二级布站，全密闭流程，但在勘探钻井过程中设备的跑冒滴漏和含烃废气废水的排放都构成污染来源：

(1) **污水排放** 随着油田开采时间的增加，由于注水原油含水由 6—7% 增加到 60—70%，经油水分离回注后外排污水量达 2.5 万 t/a，另外还有洗井废水、作业废水和事故排放等。

(2) **废气排放** 油田废气主要来自井口、油罐漏失和呼吸孔排放的含烃废气，另外还有窑炉、锅炉等生活废气，总计全年废气排放量为 $3293 \times 10^4 \text{m}^3$ ，其中烃类排放量是 1155.2t，SO₂ 是 3.53t，NO_x 是 3.78t，CO 是 1.1t，烟尘是 3.35t。

(3) **固体废弃物** 在油田建设的各个时期及采输和处理中均有固体废弃物排放，其种类和数量估算如下：岩屑单井排放 30t，年排放总量为 $2 \times 10^4 \text{t}$ ，油砂单井排放量 0.5t，总量为 240—250t，落地油全油田年排放量可达 97.8—100t。

(4) **非点污染源排放** 油田污染物除来自点污染源之外，非点（即面源或扩散源）污染源的侵蚀和冲刷也是污染因素之一。利用公式 (1)^[4] 对油田非点污染石油侵蚀量进行计算，结果列入表 1。

$$Y_1 = C_b \cdot Q_b \cdot A_1 \tag{1}$$

式中 Y_1 为非点污染源油类侵蚀量 (t/a)； C_b 为单位面积石油负荷 (mg/L · m²)； Q_b 为年平均径流深 (cm)； A_1 为非点污染源产生面积 (km²) 来自各类非点污染源的油类排放量计算值为 1.298t/a，约占全部落地原油总量的 1.3%。

表 1 各非点污染源石油侵蚀量
The annual oil erosion of nonpoint sources

项 目 类 型	单位面积石油负荷 (mg/l/m ²)	面 积 (10 ⁶ m ²)	石油侵蚀量 (t/a)
钻井现场：岩屑、泥浆、落地油	0.95	0.245	0.037
作业现场：落地油、压裂残液	0.81	0.245	0.032
井台地：修井、检泵外泄油	0.85	0.23	0.37
计量站：废油砂、污水、雨水	0.40	0.39	0.026
接转站：污水含油	0.39	0.40	0.026
黄土梁峁：落地油迁移	0.50	48.8	1.098
公路：车辆运油溅洒	0.90	0.27	0.042
总计			1.298

3 油田开发对生态环境的影响

在石油开发和原油生产过程中，不同时期和建设类型，对生态环境的影响有直接和间接影响的区别，有可恢复和不可恢复的影响因素，还有有害物质污染影响等，可用下列框图^[5]表示（图 2），影响因素分述于后。

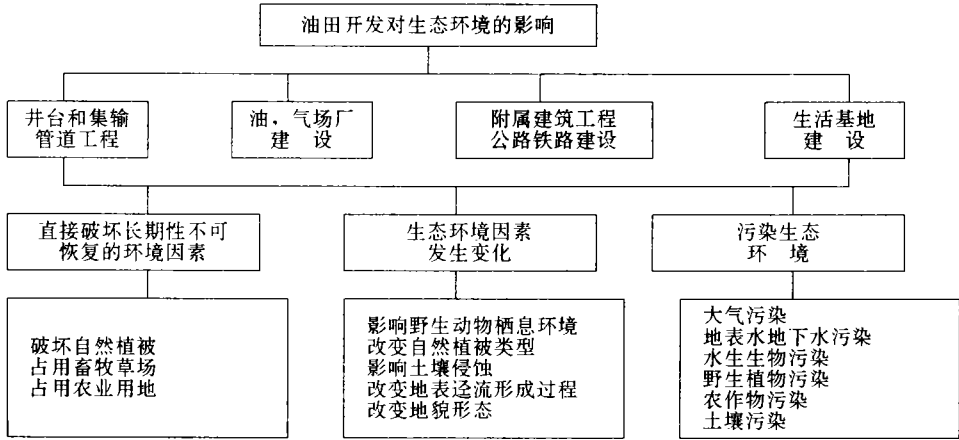


图 2：油田开发对生态环境影响框图
Sketch of the oil Field exploration Impacts to eco-environment

3.1 对土壤环境污染的影响

油田地区土壤以发育在黄土母质上的黄绵土为主，油区北部与干草原栗钙土相接，南部和褐色土毗邻。该区梁峁坡地上分布的是黄绵土，在河流上游黄土塬顶部小面积的分布着地带性古土壤——黑垆土；潮土常常出现在河谷川地上；绵砂土分布面积不大，出现在北部沙漠边缘和砂性基岩出露的地方。

据调查，油田勘探开采以来，对土壤有一定的影响，土壤重金属元素含量比背景值高出

10%—50%^[6]，但含量范围仍处于全国土壤化学元素平均含量之内^[6]，矿物油含量超出背景值较多，主要是石油开发所引起（见表2）。

表 2 油田土壤中微量元素含量表（mg/kg）

The contents of trace elements of soil in the oil field

元素 土类	铜		锌		铬		汞		矿物油	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
黑垆土	19.6	22.3	54.8	93.4	58.9	—	0.004	0.030	88.0	—
黄绵土	16.5	26.1	61.5	67.6	59.4	73.3	0.008	0.011	51.0	78.5
绵砂土	17.2	21.8	42.2	81.9	65.3	44.5	0.008	0.021	67.2	63.0
潮土	—	23.4	—	64.5	—	48.0	0.007	—	59.8	90.0

注：表中 A 为背景值^[6]，B 为现状监测值。

在勘探和采油各个生产过程中，原油不可避免的溅撒外溢到地表，经观察研究对土壤的污染只限于表层。据试验室的吸附试验表明：黄土母质发育的土壤对矿物油的吸附残留率达 89.4%，按每年排放到土壤环境中的落地原油 100—110t 计算，油区土壤耕作层在原来油含量基础上将会增加 7.7mg/kg 的污染物，按干旱地区土壤石油衰减率 80%^[7]，可预测出不同开采区土壤含油量，计算公式如下：

$$C_n = C_B + (C_{n-1} - C_B) \cdot K + Y \tag{2}$$

式中 C_n 为 n 年土壤表层油含量； C_B 为土壤油背景值； K 为土壤矿物油衰减率； Y 为 n 年污染物排放量

按照公式（2）列出表 3，可以看出，随着开采年代的增加，土壤含油量将不断升高，但增加量有限，对农作物生长也不会产生严重的影响。

表 3 土壤含油量预测（mg/kg）

The prediction of oil contents in soil

区域	现状含量	1993 年	1995 年	1998 年	2000 年
I	77.0	94.9	104.3	115.8	121.9
II	72.1	90.6	103.5	114.2	120.7
III	65.0	85.2	93.3	107.2	115.0

3.2 对土壤侵蚀的影响

油田的开发和建设，将引起地貌形态的改变，例如井场的修建，必须挖坡填沟修成平台，也会改变地表径流方向和系统，影响到土壤侵蚀强度的变化，按照油田建设方案修建井场（场、站）的数量，计算出了地面坡度的变化（表 4）。结果说明石油开发将减少 15°以上的坡地面积，扩大 5°以下的平地，对保持水土减轻土壤侵蚀有利。随着石油工业的发展和交通条件改善，为水平梯田的修筑提供了较好的条件，一般在井台修建的同时水平梯田也同时建成，因而可明显减缓土壤侵蚀。

3.3 对土地面积的影响

按照油田建设方案要求占用土地的工程有：钻井井台、抽油机及井口装置，计量站址，转运站址，注水站及污水处理站，通讯、供电及公路，还有办公及生活基地等。初期有部分暂

时用地，工程正常生产后占地面积将有所减少。该油田的地面建设绝大多数均建在黄土地区，钻井竖立在黄土梁峁上，抽油机分布在黄土坡上，设计单井用地是 $14\times 14\text{m}^2$ ，而在黄土梁峁区单井井台所占土地面积是井台设计边长平方的二倍与地面坡度余弦值之比，按公式（3）可计算出不同坡地井台所占的土地面积。

表 4 油田建设对地面坡度的影响 （%）
Exploitation of oil field and related to slope area

评价区	相对面积	坡度				动用面积
		<5°	5°-15°	15°-35°	>35°	
Ⅰ	现状	14.2	22.1	27.5	36.2	20.0Km ²
	油田建设	14.9	22.0	27.1	36.0	
Ⅱ	现状	4.9	17.1	47.1	29.9	20.3Km ²
	油田建设	4.3	17.0	46.7	29.8	
Ⅲ	现状	3.5	27.0	51.8	17.7	10.2Km ²
	油田建设	4.0	27.0	51.44	17.6	

$$h=\frac{2a^2}{\cos\alpha}$$

(3)

式中 h 为各种坡地单井井台占用土地（ m^2 ）； a 为井台设计边长（14m）； α 为井场用地地面坡度

各种坡地建造油井占地面积计算结果和全油田各种建筑物占用土地面积列入表 5 和表 6。

表 5 不同坡度井台占用土地面积（ m^2 ）
The occupied area for simple oil well
on the different slope Land

地面坡度	单井占地面积（ m^2 ）
0°	196.0
5°	393.5
10°	398.1
15°	405.8
20°	417.2
25°	432.5
30°	452.7
35°	470.5

表 6 油田建设占用土地面积表（ Km^2 ）
Used land for exploitation of oil field

项目	建设初期（ km^2 ）	建设完成（ km^2 ）
井场	1.008	1.301
道路	0.09	0.18
场站	0.158	0.316
其他建筑	0.09	0.18

3.4 对地表植被的影响

油区分布着三种自然植被，从工程布设看很少占用成片林地，建筑集中在灌丛草原和农业区。植被破坏强度高，个别种群被铲除消灭，但面积小、干扰频率低，对整个生态环境效应并不突出。植被暂时受影响的广大草原地区，在 1—2 个生长季节内种群将受到摧残，生物失去地上部分，当干扰停止后可逐渐恢复。经调查在油田建设过程中植被覆盖度由 30—35% 下降 10% 左右，当建设完成进入原油生产时期，因种草植树等保护生态环境的技术措施的加强，可使植被覆盖度增加到 40%。

3.5 对生物栖息环境的影响

本油田的动植物区系具有森林向草原过渡的特点^[8],野生动物资源属古北界种类,有鸟类 77 种,兽类 29 种,名贵的动物品种有大鹏、金钱豹、马鹿、大天鹅、大白鹭等,但无珍贵濒危动物生存。油田的开发建设将对野生动物起到惊吓驱赶作用,对小型动物也将会产生乱捕滥猎的现象,但油井很少占用茂密的森林,永久性占地面积也不大,对生物栖息环境的影响是暂时的可恢复的。在提高保护生态环境意识的前提下,广泛宣传保护生态环境的意义和作用,可以减少对生物栖息环境的影响。

3.6 油田开发与自然灾害关系分析

该油田处于脆弱的生态环境中,自然灾害种类多,发生频率高,危害严重,在工程建设中要实现开发与治理并举,努力减少灾害对油田的影响。

暴雨和洪水 油区内降水时空分配很不均匀,据统计每 10 年常发生 6—8 次暴雨,暴雨多为局地型,范围小、历时短、强度大,汇流造峰突如其来,危害严重。如 1917 年、1977 年曾发生过百年罕见特大暴雨,对城镇居民建设和耕地造成很大破坏,1993 年 8 月 3 日在延安地区杏子河流域内 18 个小时降雨 101mm,此特大暴雨形式给油田工程带来很大的损失。因此,从历来暴雨洪水破坏程度和范围分析,油田工程和民用建筑决不可修建在一级阶地及其以下的河滩上,并要配以完备的防洪堤坝工程

大风 油田靠近毛乌素沙漠,是大风和风暴多发地区。每年八级以上大风日为 10—16 天,尤其是春日表层土干燥而疏松,缺少植被和农作物的保护,大风骤起,沙土飞扬,可造成不同程度的危害。有时暴雨和冰雹常伴大风,灾害叠加破坏性更大。在石油开发区大风和沙暴带有含油尘的微粒,对采油机械和设施有直接损害。应该增加植被覆盖率,防止就地起沙和降低土壤侵蚀强度。

冰冻 采油区属于大陆性寒温带气候,寒暑明显,夏短冬长,一月均温在零下 10℃,极端最低温 -23.1—-24.5℃,结冰期自 11 月中至次年 2 月,计 80 余天,多年平均季节性冻土层厚度达 80cm。因此,在铺设输油、气、水管线时,埋深要达到 1.1—1.2m 才能防冻以确保畅通。此外,冬季积冰雪时间较长,会对交通运输带来困难。

滑坍、崩塌和滑坡 由黄土的物理特性决定,当修建采油设置动用土方时,常常使土坡坡度远远超过黄土的内摩擦角($\leq 35^\circ$),形成不稳定坡面,极易产生破坏性土体移动或滑塌,必须采取相应措施截留或分散坡面径流,以减少径流入沟,对坡面要加固整实,对台面要因地制宜种草种灌丛,以防止因油田开发工程引起的滑塌灾害性事故。

湿陷 油田的各种设置大都建在具有强湿陷性马兰黄土层上,浸水后承载力小于相应的土体自重,侧向变形量大,不仅台面易变形,而且多出现陷穴或陷碟破坏台面,边坡也不稳定,所以黄土区修建采油建筑要求采取措施:为使地基稳定分层夯实压力必须要求达到 $4\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上。土坡一般均采取层层修梯田的措施,坡高在 20—40m 时,台阶可采用斜坡面,坡高小于 20m 时,直坡也可。管线工程一般要求沿坡脚布设,下线在洪水位以上,上坡尽量在顶面 20m 以下,以避免梁崩顶部的马兰黄土层。公路也要修在土质相对坚硬结构致密的离石黄土上,力求减少路面冲蚀和破坏程度。管道工程爬高时要避免长距离斜过坡面,可在无滑坡坡面自下而上直通平台,以防坡面变形使建筑工程受损。

4 油田开发生态环境评价

根据油区的地理位置、生态环境条件和开发时期的早晚,将陕北油田划分为 I、II、III 三个区进行环境评价(图 1)。

4.1 单项生态因子评价

油田开发对生态环境的影响分析,我们选取植被覆盖、土壤侵蚀、占用土地、农作物减产和土壤污染五项因子,用指标值和影响值进行评价。指标值即现状测定值。植被覆盖用覆盖度百分数的商表示;作物减产和土壤污染用单位产量和土壤含油量表示;土壤侵蚀从轻到重度侵蚀分为 10 级参加评价。影响值是指标值和最佳值(该项良好状态值)之比,评价结果显示在不同建设时期对五项因子影响的差别(表 7);在建设后期对土壤污染和农业产量影响较为突出。

表 7 五项生态因子评价结果
Impacted values of five ecologic factors

生态因素	评价区	开发前期		开发初期		开发后期		最佳值
		指标值	影响值	指标值	影响值	指标值	影响值	
植被覆盖	I	0.45	0.75	0.40	0.67	0.47	0.78	0.60
	II	0.40	0.67	0.30	0.50	0.45	0.75	
	III	0.35	0.58	0.35	0.53	0.40	0.67	
土壤侵蚀	I	0.6	1.50	0.5	1.25	0.2	0.5	0.4
	II	0.5	1.25	0.4	1.00	0.2	0.5	
	III	0.7	1.75	0.5	1.25	0.3	0.75	
占用土地	I	0		0.178	1.62	0.376	1.60	以占地最小为最佳
	II	0		0.178	1.62	0.376	1.62	
	III	0		0.089	0.54	0.188	1.54	
农业产量	I	0		1.01	0.79	2.37	1.84	以不减产为最佳
	II	0		1.41	1.08	2.28	2.54	
	III	0		0.63	0.49	2.22	1.72	
土壤污染	I	77	1.9	84	1.09	122.0	1.58	以土壤背景值为最佳值
	II	72	1.0	79	1.10	121.0	1.68	
	III	62	1.0	72	1.11	115.0	1.77	

4.2 油田开发对生态环境的综合影响

在生态系统中各因素的相对重要性不同,各因素之间也存在直接和间接的影响关系,为了反映各生态因素的地位和相互之间的影响,将各单项因子的影响值赋以权重加以积分,以此来反映不同地区 and 不同建设时期的综合评价价值,用专家评分法来决定权重^[9]。它们分别是:植被覆盖权重是 2.3,土壤侵蚀为 2.5,占用土地为 2.1,粮食减产为 1.6,土壤污染为 1.5。用公式(4)计算出生态环境综合评价价值,列入表 8。

$$B = \sum_{i=1}^n \frac{Ci}{Gi} Ki \tag{4}$$

式中 B 为生态环境综合评价价值; Ci 为 i 项生态因子指标值; Gi 为 i 项生态最佳值; Ki 为 i 项生态因子权系数。

油田开发生态环境综合评价结果说明:开发区内植被覆盖和土壤侵蚀在油田开发前已处于不良状态,影响评价价值高于最佳期。由于油田工程建设带动水平梯田的修筑,土壤侵蚀减弱,土壤侵蚀程度减轻,其他因子影响程度将随着开发规模扩大而增加。从分区综合评价看出:II 区综合评价价值较高,说明该区生态环境受到影响,III 区工程简单,综合影响程度弱。根据评价结果应加强 II 区的生态环境保护,减轻土壤污染,提高农作物产量,逐步恢复和改善

油田的生态环境质量。

表 8 油田开发对生态环境综合评价

The comprehensive assessed values of eco-environment on oil field

生态因子	评价区	最佳值	开发前期	开发初期	开发后期
植被覆盖	I	1.38	1.73	1.54	1.79
	II		1.54	1.15	1.73
	III		1.33	1.22	1.54
土壤侵蚀	I	2.50	3.75	3.13	1.25
	II		3.13	2.50	1.25
	III		4.38	3.13	1.88
占用土地	I	2.1	0	3.40	3.40
	II		0	3.40	3.40
	III		0	1.13	1.13
农业产量	I	1.6	0	1.26	2.91
	II		0	1.73	4.06
	III		0	0.79	2.75
土壤污染	I	1.5	1.5	1.64	2.37
	II		1.5	1.655	2.52
	III		1.5	1.67	2.66
综合评价	I	9.08	6.98	10.97	10.74
	II		6.17	10.43	12.96
	III		7.21	7.93	9.36

参 考 文 献

[1] 中国科学院西北水土保持研究所主编,黄土高原杏子河流域自然资源与水土保持.陕西科学技术出版社,1986

[2] 陕西师范大学地理系主编,陕西省延安地区地理志.陕西人民出版社,1982.

[3] 中国科学院黄土高原综合科学考察队主编,黄土高原地区工矿和城市发展的环境影响及其对策.科学出版社,1991.

[4] [美] Vladimir Norvotny ph D E, Gordon Chesters Ph D Sc 著,珠江水资源保护办公室译,面污染源管理与控制手册.科学普及出版社广州分社,1987.

[5] 穆从如,油(气)田开发对环境影响的特点和评价.国家环境保护局自然保护司编,自然资源的合理利用与保护.中国环境科学出版社,1993,59--64.

[6] 李健,郑春江,环境背景值数据手册.中国环境科学出版社,1989.

[7] 夏增禄,土壤环境容量研究.气象出版社,1986年.

[8] 榆林地区计划委员会编,榆林国土资源.西安地图出版社,1988.

[9] 王景华,穆从如,油田开发环境影响评价文集.中国环境科学出版社,1989.

EFFECTS OF OIL EXPLORATION ON ECOLOGICAL ENVIRONMENT IN THE NORTHWESTERN LOESS PLATEAU

Mu Congru

(Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences and State Planning

Commission of the People's Republic of China)

Subject terms: oil exploration, ecological environment, environment impact

Abstract

In the North-western loess Plateau, a new oil field with an area of several hundred square kilometers has been found. It's exploitation will accelerate the rapid expansion of Chinese oil industry, yet its effects on ecological environment would be quite serious.

Above all, the technologies used are all pollution-free advanced technologies. But there are some polluting sources. This oil field can produce 2.5×10^4 tons of waste water per year, $3239 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ waste gases, 2×10^4 tons solid pollutants. The total of the oil falling upon the ground is 97.8-100 tons, the results are revealed in this paper. The oil field occupied land area is 1.3-2.0 Km^2 , the content of soil oil is increased to 77.2 mg/kg , and the agricultural output has been decreased by about 0.8-2.7%. The result of the exploitation related to slope area is that the area of slope land over 15 degrees is reduced and that below 5 degrees is increased. So it is beneficial to protecting the soil and water.

The assessed result shows that the effects of oil field exploitation on ecological environment were high in the region (Ⅱ), but low in region (Ⅲ). We shall strengthen the conservation of the eco-environment in region (Ⅱ) in order to reduce soil pollution of the oil field as well as to output of crops, and to improve the environmental quality of the improve the oil field.