

陕北油气田开发中水资源综合利用

高云文¹, 曹海东¹, 常 铮¹, 张荣甫², 高文冰¹

(1. 长安大学 地球科学与国土资源学院, 西安 710054; 2. 中国石化华北石油局 第三普查大队, 陕西 咸阳 712000)

[摘要] 通过对陕北工业用水短缺、大量污水无序排放的调查, 研究了造成陕北严重缺水的原因, 发现化工废水难以净化后供人们生活使用, 但通过去重金属离子后可用于油田注水开发。炼油厂废水与油田产出水按不同比例混合处理后, 根据不同油田储层物性进行回注采油。结果表明, 处理后的污水适应于不同地质特征的产层, 这即解决陕北特低渗油层注水的水敏性问题, 同时也使大量污水得到充分利用, 具有明显的经济效益和社会效益。

[关键词] 陕北; 油田开发; 工业废水; 污水回注; 水资源综合利用

[中图分类号] P641.25 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2005)04-0075-04

[作者简介] 高云文(1976-), 男, 内蒙古赤峰人, 硕士研究生, 从事石油天然气开发研究。

0 引言

陕北地处中国西北地区, 是国家新兴的能源化工生产基地, 在陕西国民经济建设中占有极其重要的地位。但是陕北地区水生态环境极其脆弱, 水资源严重缺乏。陕北的油气田开发可追溯到20世纪10年代, 新中国成立后得到长足发展。60年代, 中国开始在陕甘宁区域展开石油大会战, 真正拉开陕北石油大开发的序幕^[1]。长庆油田和陕西省延长油矿管理局长期以来在陕北进行大规模的油气勘探与开发。1986年, 作为对老区扶贫的措施, 国家做出决定, 把陕北地区浅油层交给地方开采。但是地方上经济财力有限, 采取招商引资的办法, 于是形成了国有、地方、私人混合开采的局面。2003年, 地方政府开始有偿收回私人开采的油井, 使得陕北油气田开采逐步走向规范化管理。由于长期的半无序开采与陕北油气田产层低渗和埋藏浅等地质特征等因素的影响, 陕北油气田在开采过程中存在严重污染地表水和地下水, 造成了环境状况恶化, 进一步加剧了水资源极度缺乏的状况。

1 油气田开发对水资源的破坏

陕北油气田开发过程中产生的污水主要有随油采出的地层水和生产与生活污水, 主要污染地表水和地下水。陕北油田总体特征为“一浅、四低、一高、一快、一差”, 即油层埋藏浅、油层压力低、渗透率低、自然产能低、含油饱和度低、产水率高(70%~80%)、产能下降快、油水重力分异差。没有明显的统一油水界面, 具有油水混储的特征^[2]。这种地质特征就决定了采油工艺复杂, 施工难度大, 容易造成地下水和地表水污染。陕北地区大多数浅层地下水矿化度高, 有些地下水混有微量原油, 造成该地区生活饮用水匮乏。同时大部分油田污水和化工污水排入河道, 严重污染了地表水, 影响了当地生态环境。

1.1 污水来源

1.1.1 随油采出水

采油废水主要为油田采出的地层水, 主要污染物为石油类, 矿化度高。陕北油田开采中这部分废水的量较大, 据统计, 该地区每年随油采出水多达 $3\,000\times 10^4\text{ m}^3$, 若直接外排将对环境造成很大影响, 因此, 必须对这部分废水进行净化处理。长庆油田和延长油矿管理局虽然都建有污水处理厂, 但还有大量的污水被直接排放, 造成土壤、植被、地表

[收稿日期] 2004 11 02

[基金项目] 国家重大基础研究项目(20030214605)

水和地下水污染。

1.1.2 生产、化工、生活污水

石油开发初期,污水来源于钻井过程中的排放,钻井泥浆中含有大量的有害化学物质,废泥浆一般都被就地掩埋,平均每口新钻油井产生的废泥浆都在 100 m^3 以上,这样算来每年陕北地区废泥浆多达 $10 \times 10^4\text{ m}^3$ 。随着自然降雨,泥浆污水就会渗入到浅层地下水中,造成浅层地下水污染。一个炼化能力在 $100 \times 10^4\text{ t/a}$ 的化工厂,每天产生各种废水 $4\,000\text{ m}^3$,陕北每年化工废水多达 $900 \times 10^4\text{ m}^3$ 。另外,工作在油田及其相关行业,数万人每天的生活污水数量也很大,这些污水直接排放对脆弱的陕北生态环境如同雪上加霜。

1.2 受污染水体

1.2.1 地下水

石油污染物在土壤中的迁移途径为:污染源→表层土壤→犁底层土壤→下包气带土壤→地下含水层。污染物在非饱和区主要存在 3 个物理形态的迁移:残留流体污染物(液相油类)、污染物蒸汽及在孔隙水中溶解了的污染物^[3-4]。土壤表面上的石油类污染物质向土壤中入渗,并在土壤中残留。由于土壤中存在大量的有机和无机胶体、微生物和土壤中的生物,使进入土壤中的污染物通过土壤的物理、化学和生物等过程,不断地被吸附、分解、迁移和转化。石油一般在土壤中的迁移能力很弱,使石油污染区的表层土聚集许多原油。在土壤中,石油类污染物质可以被土壤所吸附,且土壤中的微生物对石油类污染物质也有一定的降解作用。土壤表面的石油还可通过挥发进行自净。当污染强度较大且小分子烃类含量较高时,则可以迁移进入地下水含水层中。陕北某油田在环境评价时做过试验,把含油污水排到地表,含油污水到达地下水层后,其污染物的浓度随污水排放时间的增加而增大(图 1)。污染物峰值达到的时间随位置发生变化。例如,注入中心点在停排时(1 年)达到峰值,而下游方向 100 m 处峰值出现在停排 2 年以后。

陕北地下水长期受到石油类污染物的污染,含油污水外排将造成非饱和带土壤的严重污染。污水排放后 2 个月入渗地下 2 m,在 5 个月达到埋深 6 m 的潜水面。约在 1 年时间进入地下水的污水浓度将接近或达到原水浓度。含油污水外排结束后,土壤中的石油污染物还将长时间存在。在停止排放后 4 年末,石油类污染物的最大浓度仍有

$300 \sim 400\text{ mg/L}$; 8 年时为 $10 \sim 100\text{ mg/L}$, 依然污染严重^[9]。

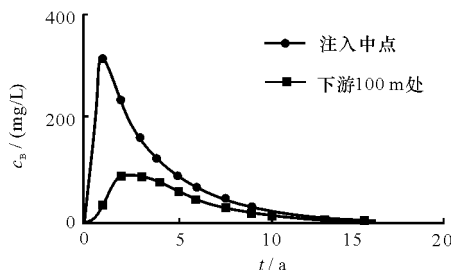


图 1 石油类污染物浓度随时间的变化曲线

Fig. 1 Variety Curve of the Petroleum Pollutant Density with Time

1.2.2 地表水

陕北地表水的污染主要是石油生产和炼化中排放的油层污水、散落油、生活污水、化工污水和固体废弃物。生产中产生的污水大多排放到河道,固体废弃物排放在沟壑或低洼处,降雨时被冲到河里,污染地表水。

2 油气田开发对水资源的需求

油田钻井、洗井、压裂、注水、生活及石油炼化等等都需要大量的水,有些工艺对水质要求很高,如注水和生活用水。

2.1 开发用水

陕北油田每年钻井用水多达 $500 \times 10^4\text{ m}^3$,洗井、压裂、注水、生活等用水达 $400 \times 10^4\text{ m}^3$,炼化用水最多,达 $900 \times 10^4\text{ m}^3$,而且用水量每年都在不断增加,这对极为缺水的陕北来说,面临着越来越大的压力。从图 2 可以看出,工业用水最多,油田注水增长速度最快。针对陕北油田产层低渗的特点,有些新区油田未开发之前进行注水,地层能量储集到一定程度后再进行开采,这样,油田注水需求越来越大。

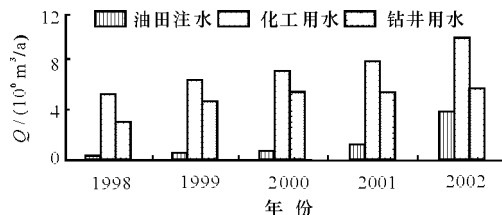


图 2 陕北油田开发及化工行业对水量的需求

Fig. 2 Water Demands in Oilfield Development and the Chemical Engineering in Northern Shaanxi

2.2 油井注水的水质要求

工业用水中有些对水质要求较低,但油井注水

对水质有特殊要求, 中国石油天然气总公司制定的注水国家标准 SY 5329 94 中, 对于低渗透油层注入水的主要标准是: 悬浮物含量 $\leq 3\text{ mg/L}$; 固体颗粒直径 $\leq 2\text{ }\mu\text{m}$; 硫酸盐还原菌 $< 25\text{ 个/mL}$; 膜滤系数 ≥ 10 ; 总铁含量 $\leq 0.05\text{ mg/L}$; 平均腐蚀率 $\leq 0.076\text{ mm/a}$; 游离二氧化碳含量 $\leq 1.0\text{ mg/L}$; 硫化物(二价硫)含量 $\leq 2.0\text{ mg/L}$ (污水); 含油量 $\leq 8\text{ mg/L}$ 。

陕北的油田油层压力低、渗透率低、自然产能低、产能下降快, 这就需要注水来补充储层能量的亏损, 特别是近年来一些油田产量衰减迅速, 注水需求越来越大, 有些油田没有实施, 只是还没有找到合适于注水的水源。可以预见, 随着油田的进一步开采, 注水水量的需求要超过化工用水。

3 油气田开发中水的综合利用

陕北地区目前面临着缺水的巨大压力, 随着经济的不断增长, 工农业及生活用水远远达不到满足, 油田开发及石油炼化是用水大户, 同时也是污水排放大户, 用的越多, 排的越多。农业及生活用水必须达标, 用量远小于工业, 所以油田开发和工业用水是造成陕北水资源短缺的主要原因之一。政府一方面在治理环境污染, 使生产企业一定要达到排污标准后再排放, 另一方面也要找到一条利用污水的有效途径, 变污水为有用水, 合理利用水源, 可缓解目前缺水的现状。

通过注水井向油层注水补充能量, 保持和增加地层压力, 是目前国内外在提高采油速度和采收率方面应用得最广泛的一项措施。注水必须有充足的水源, 而且要保证注水质量。油田注水开发需要解决注入水与地层水的配伍问题。油田注入水与地层不配伍, 使油层结垢, 堵塞油层孔隙, 影响油田生产。另一方面注水还会导致水敏、速敏等伤害, 低渗、特低渗地层的水敏伤害尤为严重^[7]。陕北地层大多为低渗、特低渗地层, 对水质要求很高。随油采出水回注原地层, 由于它是从地下随原油一同采出, 水化学性质与地层水相近, 只要稍加处理即可, 一般不存在水敏性, 与一般注水水源相比, 随油采出的地层水更有利于注水驱油。化工厂污水因含有有机物和重金属离子, 一般存与地层水不配伍性, 有些油田采取了两种污水按不同比例混合, 取得很好的效果^[8]。研究结果表明, 炼油厂废水的引入对注入水滤膜因素(MF)影响较大。陕北炼油厂废水与油田产出污水

不同混合比例处理后的水质参见表 1。根据油田产层的物性, 选择相应混合比例。图 3 是炼油厂废水与油田产出水混合回注工艺流程。

表 1 炼油厂废水与油田产出水
不同混合比例处理后的水质参数

Table 1 Matter Parameter in the Water Which Produces in Different Admixture Compaion Processing from the Oil Refinery Waste Water and Oilfields					
混合比例	pH 值	$\Sigma\text{Fe}/(\text{mg/L})$	$\text{SS}/(\text{mg/L})$	油 $/(\text{mg/L})$	
1 : 2	8.5	0.5	3.0	7.1	
1 : 3	8.5	0.3	1.0	7.2	
1 : 4	8.5	0.4	1.0	8.6	
混和比例	MF	透光率/%			加热后 有无沉淀
		滤前	滤后	加热后	
1 : 2	20.0	75	97	97	无
1 : 3	25.4	76	97	98	无
1 : 4	33.3	75	97	97	无

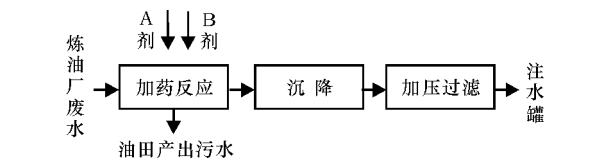


图 3 废水回注工艺流程

ig. 3 Waste Water Reinjection to Craft Process

污水回注既解决了注水水源问题, 同时也解决了大量污水外排造成的环境污染问题。近年来, 陕北地区石油开采规模大, 速度快, 但采油技术低下, 水源短缺突出, 造成的污染越来越严重。污水回注是陕北油田高效开发切实可行的方案。应坚持“增产不增污”的原则, 使污水消化在生产工艺之中。

污水回注当前也面临一些困难^[7]: 首先是资金投入严重不足, 污水回注开发成本高, 各油田都不愿投入资金, 造成污水直接外排, 从眼前看, 虽然省了钱, 但从长远看却得不偿失, 国家和当地政府每年花去大量的资金去治理环境, 当地人们生活用水越来越少, 土地荒漠化严重, 治理环境耗去大量人力物力; 其次是技术上的困难, 污水回注要解决处理后的污水与地层水的配伍性问题^[8]、油层堵塞问题、注采管柱腐蚀性问题等, 这就要求引进先进设备和人才; 最后是观念问题^[9], 许多油田企业不了解污水回注的好处, 对注水采油新技术掌握不够, 仍然坚持依靠地层天然能量和用传统压裂技术来维持生产, 这无疑会造成地层能量衰减很快, 油田产量迅速下降, 经济效益低下。

4 结语

为了使陕北的有限水资源得到合理保护与利用, 又保证原油高产、稳产, 使环境质量保持基本稳定, 因此, 油气田开发中水资源必须得到综合利用。污水回注是水资源综合利用的最有效途径。坚持“增产不增污”的原则, 使污水消化在生产工艺之中。实现环境效益、经济效益、社会效益三者的统一。

[参 考 文 献]

- [1] 王大卫. 石油工业污染防治技术回顾与展望[J]. 油气田环境保护, 2000, 10(4): 6-10.
- [2] 王洪涛, 罗剑. 含油污水外排对土壤和潜水层污染的模拟分

- 析[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2000, 40(11): 109-113.
- [3] 刘刚, 胡文胜. 油气田污染物处理方法初探[J]. 天然气与石油, 2000, 18(2): 47-51.
- [4] 张德生, 沈冰. 土壤中溶质迁移的数学模型及其解析[J]. 西安工程学院学报, 2001, 23(4): 44-47.
- [5] 王洪涛, 罗剑, 李雨松, 等. 石油污染物在土壤中迁移的数值模拟初探[J]. 环境科学学报, 2000, 20(6): 755-760.
- [6] 尹先清, 周兰芳, 曾玉彬, 等. 炼油厂废水处理回注的研究[J]. 工业水处理, 1998, 18(2): 22-24.
- [7] 范高功. 陕北地区生态环境与水资源合理开发利用问题研究[J]. 西安工程学院学报, 2001, 23(2): 21-25.
- [8] 王永清, 李海涛, 蒋建勋. 油田注入水水质调控决策方法研究[J]. 石油学报, 2003, 24(3): 68-73.
- [9] 胡书勇, 陈军, 任德雄, 等. 注水过程中储层深部污染的试井诊断及应用[J]. 西南石油学院学报, 2002, 24(1): 67-71.

Comprehensive Exploitation of Water Resource When Developing Oil and Gas Field in Northern Shaanxi Province

GAO Yun wen¹, CAO Hai dong¹, CHANG Zheng¹, ZHANG Rong fu², GAO Wen bing¹

(1. School of Earth Sciences and Resources Management, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. The Third Geology Exploration Team, North China Bureau, SINOPEC, Xianyang 712000, Shaanxi, China)

Abstract The reason of water resource shortage in the North Shaanxi is studied by conducting an investigation into waste industrial water in the oilfield. And it is discovered that the contamination of the waste chemical water hardly provides the people to live, but it is serviceable to the oil field water injection development after it was passed the heavy metal ion, which not only can make up lack of the water resources of North Shaanxi, but also can raise the crude oil yield and exploit the waste water of oil field. The result indicates that waste water re injection obviously has the economic and social efficiency.

Key words: North Shaanxi; oilfield development; waste industrial water; waste water re injection; comprehensive exploitation of water resource

[英文审定: 苏生瑞]

(上接第 74 页)

Environmental Changes During Holocene Epoch in Loess Area in Tongwei County of Gansu Province

FU Shu qing^{1,2}, CHEN Shu e², WEI Ming jian³, LI Ying², LI Yong²

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou 510640, China; 2. School of Earth Sciences and Resources Management, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 3. Department of Geography, Capital Normal University, Beijing 100037, China)

Abstract A Holocene loess profile in Tongwei County, Gansu Province, was studied by field investigation and laboratory analysis of grain size (GZ) and measurement of magnetic susceptibility (MS). Meanwhile, based on the MS records, this paper estimated the mean annual temperature and rainfall since about 10 ka BP. These records indicate that the climatic environment of Holocene in Tongwei county is unstable, especially during the middle Megathermal period, a cold and arid event occurred in the studied area, which is represented by loess Lx lying between S₀¹ and S₀².

Key words: Grain size; magnetic susceptibility; change of climatic environment; Holocene; Tongwei County; Gansu Province

[英文审定: 苏生瑞]