

# 石油类污染物对土壤、地下水环境影响模拟分析<sup>\*</sup>

刘宇程 周左龙 陈菊 耿华

(西南石油大学化学化工学院)

**摘 要** 某油田利用干化池蒸发处理联合站排放的含油污水,部分干化池存在轻微渗漏,下渗的污水会对地下水产生污染。为掌握污染物在地下水中的迁移转化规律,建立含油废水的一维竖向迁移模型,并利用 Hydrus-1D 计算程序对地下水中污染物浓度随时间、运移距离衰减的情况进行模拟分析。分析结果对于控制干化池含油废水中石油类污染物对地下水环境的污染具有一定的参考价值。

**关键词** 干化池;土壤;地下水;石油类污染;模拟分析

中图分类号: X820.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3158(2013)04-0032-02

## 0 引 言

油气田开发过程中产生的污染物除了对地表环境造成污染,也可能渗透到地下,引起地下水污染。以某油田作为研究对象,分析油气生产的污染物来源和污染途径。其中,引起地下水污染的来源主要有:落地油、钻井泥浆、干化池中的含油废水等。污染途径主要有:地表径流携带污染物随水入渗,干化池中含油废水直接下渗。经过调研发现,造成地下水污染的最主要的来源为干化池中含油废水的渗漏。为掌握石油类污染物对地下水污染的迁移转化规律,建立含油废水在地下水中的一维竖向迁移、转化模型,对控制石油类污染物对地下水造成的污染具有一定的参考价值。

## 1 油田自然环境概况

该油田位于天山南麓,主体区占地面积约为 6 200 km<sup>2</sup>。区内人烟稀少,降水稀少,蒸发强烈,平均降水量为 70.9 mm,平均蒸发量可达 1 632.0 mm。勘探区相对湿度较低,平均为 42.8%。导致区内土地以大面积残丘荒漠为主,零星分布片状或带状胡杨林、红柳及草地<sup>[1]</sup>。

油田所在区域内最上部为第四系潜水,其潜水埋深大于 5 m,含水层厚度一般大于 12 m。该区水文地质条件受渭干河和库车河冲洪积扇水文地质条件控制,地层岩性从上至下分别为:粉砂、亚砂土、黏土、细砂,其中岩性为砂的厚度比较大,含水层岩性为细砂。地下水补给包括扇缘地带和区内暂时性洪流所形成

的集水低洼地带,排泄主要包括侧向径流排泄和潜水蒸发。第四系潜水由于埋深较浅较易遭到污染,而该层水源为生活和生产的主要用水源。

## 2 污染物来源和污染途径分析

油田污水主要来源为油田采出水,其次是钻井废水。原油在联合站经脱水分离后外输,产生的废水主要外排至干化池经自然蒸发消解,部分废水处理达标后回注。钻井污水排放至钻井废泥浆池,上层清液回收至污水处理厂进行集中处理。

油田外排废水中对地下水影响最大的是含油废水经干化池自然蒸发这一过程。该部分含油废水主要来源于联合站原油脱水,据相关资料统计,联合一站 3 个干化池平均排入总废水量 49.56 万 m<sup>3</sup>/a,联合二号站 1 个干化池排水 28.80 万 m<sup>3</sup>/a, S61 污水处理场干化池平均排入废水 12.15 万 m<sup>3</sup>/a,集输站 3 个干化池平均排入总废水量 20.46 万 m<sup>3</sup>/a。虽然干化池池底及四周为土工布+塑料膜防渗,但是由于干化池中废水量大,导致排入干化池的含油废水可能渗降进入地下潜水层,造成地下水污染。干化池含油废水中的污染物主要为石油类污染物<sup>[2]</sup>,所以在研究含油废水下渗中主要研究其中石油类污染物随水下渗对地下水造成的污染。

## 3 含油废水石油类污染物下渗的模型与分析

### 3.1 建立模型

联合二站干化池尺寸为 300 m×120 m×2.5 m,

<sup>\*</sup> 基金项目:国家自然科学基金项目“废弃油基钻井液旋流分离机理及脱出油循环利用研究”(编号:51104126)。

刘宇程,1999 年毕业于西南石油大学,副教授,现在西南石油大学环境工程教研室从事教学和科研工作,主要研究方向为油气田污染治理。通信地址:四川省成都市新都区西南石油大学化学化工学院,610500

池底及四周为土工布+塑料膜防渗。由监测知排入干化池的石油类污染物浓度为 32 mg/L, 假设池内废水始终为 1.5 m, 无降水补给, 稳定下渗; 假设土壤为均质且各向同性的多孔介质; 地下潜水水位埋深为 5 m。建立污染物一维竖向迁移的数学模型<sup>[3-4]</sup>。

非饱和水运动模型:

$$C(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K(h) \frac{\partial h}{\partial z} \right) + \frac{\partial K(h)}{\partial z} \quad (1)$$

污染物迁移模型:

$$Rd \frac{\partial C}{\partial t} = D_c \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - u \frac{\partial C}{\partial z} - \lambda C \quad (2)$$

用 Hydrus-1D 软件进行模拟分析时, 水分运移的边界条件采用上、下边界条件为定水头边界; 溶质运移的边界条件则采用上边界为定浓度边界为干化池内污染物浓度 0.032 kg/m<sup>3</sup>, 下边界条件零通量边界。依据油田水文地质参数, 设定模型的参数为, 黏土岩性, 孔隙度 0.38, 残余含水率 0.068, 饱和渗透系数 0.048 m/d,  $\alpha=0.8/\text{m}$ , 溶剂密度 1 670 kg/m<sup>3</sup>, 纵向扩散系数 0.5 m/d。

### 3.2 模型分析

利用 Hydrus-1D 软件对水分运动和溶质运移的耦合模型进行计算分析:

对于不同时间污染物的运移情况如图 1 所示, 水中自由扩散系数取 0.04<sup>[5]</sup>, 时间分别为 15、30、50、100、200 d。

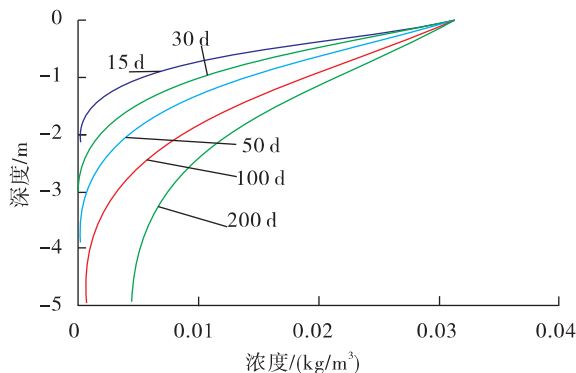


图 1 污染物随下渗深度和时间的浓度变化

5 条不同曲线的大致趋势都是随入渗时间的增加, 污染物入渗深度增加, 但是下渗至一定深度后, 污染物的变化幅度随时间变化较小。下渗刚开始时, 土壤含水率很低, 压力水头很小, 但压差较大, 含油污水在重力势和基质势的作用下, 向垂直和水平方向运

动, 逐渐湿润土壤, 土壤含水率随之增加, 如图 2 所示。而土壤的压力水头也不断增大, 如图 3 所示。使下渗的水头压差减小, 土壤对污水吸力减小, 根据 Van Genuchten 模型<sup>[6]</sup>中的当土壤含水达到饱和时, 土壤吸力等于零, 此时水分不能通过对流迁移下渗, 而是通过分子扩散形式不断的迁移, 而这种迁移方式比较缓慢, 所以使得污染物浓度随时间变化较小。

研究不同深度处土壤的含水率和压力水头时间的变化, 取观测点为 2.5、3.5、4.0、4.5 m。分析结果见图 2 和图 3。

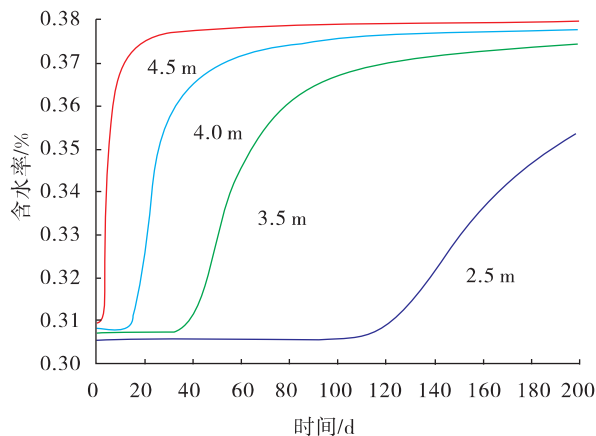


图 2 含水率在不同观测点处随时间变化

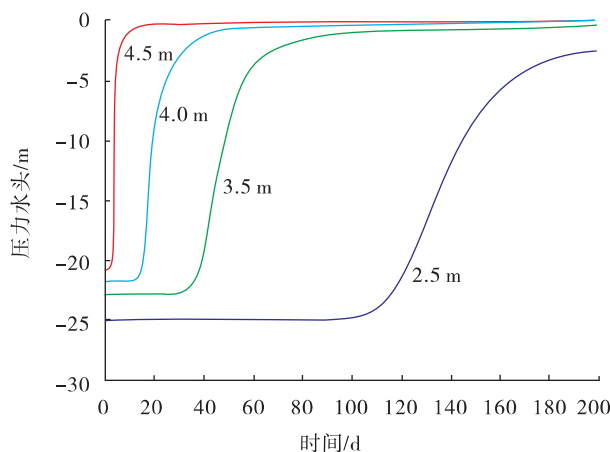


图 3 土壤压力水头在不同观测点处随时间变化曲线

在不同深度处土壤压力水头不同, 在压力水头的作用下使得污染物的迁移方式和下渗速度也不同。取土壤表层的压力水头为 -30 m, 潜水表层压力水头为 0 m, 在土壤中压力水头并不是线性分布, 在接近潜水层处会出现毛细作用, 使得在较小深度压力水头变化极大, 取毛细上升高度为 0.2 m。从表层到 4.8 m 处压力水头变化为 -30 ~ -20 m, 下层 0.2 m 为 -20 ~ 0 m。含水率随着含油废水下渗逐渐增大最终达到饱和。

(下转第 40 页)

原辅物料中没有加入铅、砷等有毒有害材料,并且也未从地层中带出相应成分。

◆ 由于采取了泥浆固化等人工恢复措施,加入了氧化钙等碱性物质,砷转化为亚砷酸钙、砷酸钙沉淀;铅离子与碳酸根形成碳酸盐沉淀,铅、砷难以从固化体中解析出来,离子态数量减少。因此,植物在生长过程中摄取的铅、砷含量与背景值相比分别下降了13%和18%,这表明钻井泥浆固化可以有效降低植被中的铅、砷含量,人工措施是有效的,铅、砷含量未受到勘探开发活动的影响。

## 4 结 论

◆ 勘探开发中的主要生态影响因素包括占地和污染物两大类,其中,永久占地影响严重,不可逆;临时占地影响较重,可逆;废水和固废两类污染物影响均较重,且可逆,但历时较长。

◆ 为有效恢复生态环境,应采取预防管理、工程治理、植被恢复和施工期治理措施等综合治理措施,并坚持工程与植物措施相结合,灌与草相结合,深根性与浅根性相结合,速效性和永久性相结合。

◆ 人工恢复状态下,植被丰富度、盖度、生物量的恢复效应随恢复年限增长明显,3~4 a 时可恢复至背景值,而自然恢复状态下,6 a 时与背景值尚有一定差距,人工恢复比自然恢复至少缩短3 a,因此,所采用的各项生态恢复措施是有效的。同时,由背景值变化趋势反映出当地整体环境状况有恶化倾向。

◆ 铅、砷含量自然恢复曲线与背景恢复曲线基本吻

合,证明所用原辅物料中没有加入铅、砷等有毒有害材料。

◆ 由于固化作用,植物难以摄取土壤中的铅、砷离子,与背景值相比分别下降了13%和18%,并且两者分别低于GB 14935—1994《食品中铅限量卫生标准》、GB 4810—1994《食品中砷限量卫生标准》的要求,这表明人工措施是有效的,植被中铅、砷含量未受到勘探开发活动的影响。

在内蒙古等荒漠化草原地区,推广应用上述生态恢复措施,可以在进行油气勘探开发时,避免对当地脆弱的生态环境造成不良影响。

## 参 考 文 献

- [1] 詹鲲. 油田企业环境保护[M]. 北京:石油工业出版社, 2004.
- [2] 冉新庆. 浅议库车草湖地区石油开发对周边自然生态环境造成的破坏及影响[J]. 科技信息(学术版), 2007(19): 252-253.
- [3] 潘红磊, 张士权. 油气田开发对湿地的影响及保护措施[J]. 油气田环境保护, 1997, 7(4): 36-39.
- [4] 刘东升, 曹云森. 油田环境保护技术综述[M]. 北京:石油工业出版社, 2006.
- [5] 任磊, 黄廷林. 土壤的石油污染[J]. 农业环境保护, 2000, 19(6): 360-363.
- [6] 呼格吉勒图, 宝音陶格涛, 包青海. 不同干扰对典型草原群落物种多样性和生物量的影响[J]. 草业学报, 2009, 18(3): 6-11.

(收稿日期 2013-04-18)

(编辑 王 薇)

(上接第33页)

## 4 结 论

采用一维数值计算程序 Hydrus-1D 对地下水中石油类污染物的迁移转化进行模拟,结果表明:污染物在足够长的时间(200 d)下渗至5 m,浓度为4 mg/L,污染物主要集中在地下2.5 m以内。因此,干化池的含油污水在自然蒸发、渗降的过程中对地下水不会造成较大污染。为避免渗漏的污水对土壤造成污染,需要经常检测干化池是否存在渗漏,消除污染源。

## 参 考 文 献

- [1] 胡江春, 龙建林, 王红芳, 等. 新疆塔河油田水文地质调

查研究[J]. 矿业研究与开发, 2007, 27(3): 33-34.

- [2] 陈家军, 王红旗, 奚成刚, 等. 龙南油田水环境中石油类污染物迁移数学模拟[J]. 水资源保护, 1999(4): 11-15.
- [3] 王洪涛, 罗剑, 李雨松, 等. 石油类污染物在土壤中运移的数值模拟初探[J]. 环境科学学报, 2000, 20(6): 755-760.
- [4] 王洪涛. 多孔介质污染物迁移动力学[M]. 北京:高等教育出版社, 2008.
- [5] 付宏渊, 严志伟, 李海. 土柱溶质运移试验的理论验证及影响因素敏感性分析[J]. 长沙理工大学学报:自然科学版, 2011, 8(4): 4-8.
- [6] 王俊, 黄岁樑. 土壤水分特征曲线模型对数值模拟非饱和渗流的影响[J]. 水动力学研究与发展, 2010, 25(1): 16-22.

(收稿日期 2013-03-08)

(编辑 张 爽)