

土壤中污染物迁移模型 在油田环境影响评价中的应用

张鹏新 Per Aagaard

(挪威奥斯陆大学)

摘要 在石油的生产、运输、贮存以及炼制等过程中都存在泄油、漏油风险,各生产过程中的废弃物,如油类、重金属等各种化学物质也会危害水土环境,进而危及当地地下水源。文章分析了油田企业污染物对土壤及地下水的主要污染途径,提出了将污染物在土壤中的迁移模型用于预测污染物浓度的方法。建立了污染物由土壤迁至室内空气、地下水、农作物及由地下水转移到地表水的迁移数学模型,该模型可以运用于油田环境影响评价。

关键词 污染物 迁移规律 环境影响评价 数学模型

0 引言

我国的环境影响评价制度始于1979年颁布的《中华人民共和国环境保护法(试行)》。主要指在新建、改建、扩建工程时,必须提出环境影响报告书,经环境保护主管部门和其他有关部门审查批准后才能进行设计,即通常所说的建设项目环境影响评价(EIA)。经过近三十年的实践,项目环评无疑为我国的经济建设和环境保护发挥了重要作用。

新出台的《环境影响评价法》要求涉及土地利用的有关规划,区域、流域、海域的建设开发利用规划,及工业、能源、交通等十个专项规划都要做环境影响评价,改变了过去单一的项目环评,上升到战略环评层次。规划环评(即国际上通常说的战略环评)指对拟议中的人类重要决策和开发建设活动,可能将产生的物理性、化学性或生物性的作用及其造成的环境变化和对人类健康和生活的可能影响,进行系统地分析和评估,并提出减少这些影响的对策措施,是环境影响评价在政策、计划和规划等战略层次上的应用。

对项目环评,我们已经有近30年的经验,无论是技术还是管理都已经比较成熟,但对规划环评经验还很少,尤其是规划环评中的风险评价,种类繁多,还没有一种通行的方法,因此是环境影响评价研究领域的重点研究内容。

石油企业的污染有其自身的特殊性,有效预测污染物和污染物的扩散、运移,以及对人类、环境、生态造成的影响,并将这些可能性科学地计算出来。本文根据油田企业污染的特点,运用污染物在土壤中的传递规律,计算出污染物浓度,为规划环境影响评价提供依据。

1 油田环境污染的特点

石油工业是国民经济发展的重要能源基础产业,其生产过程对生态环境造成了严重破坏,尤其在我国,石油企业对环境的破坏除了传统的“三废”外,还有其他特点。

1.1 破坏地表环境

我国大部分油田均处于生态脆弱区,其开发建设会对当地的自然环境造成伤害。以大庆油田为例,油田开发以前,该地区营养丰富的盐碱草原是重要的自然资源,广袤的草甸子对涵养水源、调节气候有重要作用。有关资料表明,经过40多年的开发,目前大庆地区地下水资源不足,已经形成5500 km²区域的地下水位降落漏斗,草原沙化、退化、盐碱化面积达84%,植被破坏面积达到95%。

1.2 危害地下水

我国大多数油田已进入开采中后期,主要采取注水采油方式。大庆油田40多年来累计生产原油18

张鹏新,1990年毕业于石油大学炼制系应用化学专业,获学士学位;1993年获同一专业硕士学位。先后在中国石油天然气总公司华油服务总公司、中国石油化学公司工作。现在奥斯陆大学攻读博士学位。通讯地址: Department of Geosciences, University of Oslo PO box 1047, Blindern 0316 Oslo, Norway. E-mail: zhpx4788@yahoo.com.cn; Pengxin.zhang@geo.uio.no

亿多吨,向地下注水达70多亿吨。油田需大量提取地下水进行注水开发,大约平均每采一吨原油需注4吨水,因而形成我国第二大地下水降落漏斗区^[2]。

油田的开发不仅影响了地下水量,同时对地下水质也有一定影响。在油田区域有的矿区一年之内发生输油管穿孔漏油事故多达300多次,几十吨至上百吨原油被泄漏,这些泄漏的原油多数都进入地下水系统^[5],地下水一旦污染,治理成本高,且难于治理。

1.3 危害地表水

油田区域水污染比较严重,影响到当地群众的生产生活。以陇东油田为例,环境监测数据显示,庆阳油田区域马莲河、蒲河水质均为劣V类水质,污染类型属有机污染和盐类污染。马莲河环江段由于污染物严重超标,河流自净能力已完全丧失。其他地区的调查也显示,许多油田区域水质严重下降,影响了当地居民的身体健康^[1]。

1.4 危害土壤

石油开发生产中的落地原油、废弃钻井液都对土壤产生极大危害。如钻井液中含有大量NaCl、NaOH、Na₂CO₃以及KCl、Na₂SO₄等,因Na⁺的存在,能交换土壤粒子上的Ca²⁺、Mg²⁺,使土壤物理性质变差,土壤变硬进而板结失去种植能力。另外,钻井液碱性强(pH值为11~12),对含粘土的碱性土壤危害极大,碱性远远超过植物的耐受范围(pH值为5.5~8.5),使植物无法生长^[3]。

2 对环境的污染途径

2.1 落地原油、输油管线泄漏

从输油管线、井管破裂及各种作业泄漏的原油通过渗漏等途径进入地下水。有的矿区一年内发生输油管穿孔漏油事故多达300多次,泄漏的原油多数都进入地下水系统中^[4]。

2.2 废钻井液

大多数油田使用水基钻井液钻井,完井后废钻井液大都存放在泥浆池中(底部和四壁衬有水泥防渗漏),让其自然风干填埋退耕。因钻井液中含有多种处理剂,如氯化钠、碱、木质素铁铬盐、重晶石、柴油以及Hg、Cd、Pb、Zn、As等可溶性盐,对土壤、农作物和地下水可能造成危害^[3]。

2.3 井下作业废液

酸化压裂作为一种有效的增产措施,在井下作业工程中得到广泛的应用。我国目前对残酸主要采取贮存方式处置,长期保留的残酸池,不但破坏地貌和植被,减少耕地,加剧生态平衡的破坏,且如果下大雨或暴发洪水,废液一旦流入农田,会毁坏农作物,流入地表水会对水生生物的生长造成威胁,同时还会通过渗漏等方式进入地下水^[3]。

2.4 污水回注

我国多数油田开发目前已进入中后期,原油含水率相当高,经分离后,污水回注到废弃油井中。这种油井一般深2000~3000m,与上覆含水层成隔绝状态,理论上该深度应该是安全的,但实际上在污水回注过程中一旦回注井管破裂,巨大的回注压力使污水很容易被压入上部含水层,从而对地下水造成污染,直接影响到饮用水源的水质^[5]。

2.5 污染物在土壤中的迁移途径^[5]

从管线及贮罐泄漏的石油或石油产品会严重污染附近的土壤和地下水。这些油品以自由态油溶解于空隙水中,或以挥发状态存在于周围环境中。污染物在土壤中的扩散、迁移以及对室内空气、地表水、地下水和农作物的影响主要有以下途径。

- ◆ 污染物由土壤挥发迁至室内空气;
- ◆ 污染物由土壤通过迁移、扩散以及雨水冲淋进入地下水;
- ◆ 污染物由土壤经地下水进入地表水(江、河、湖、泊);
- ◆ 污染物由土壤进入植物体内;
- ◆ 污染物在气、液、固相之间分配。

3 污染物潜在浓度计算^[5]

3.1 污染物的相间分配

假设污染物在土壤中的固相(土壤)、水相(空隙水)及其气相(蒸汽空间)中处于平衡态,污染物没有自由相。

3.1.1 土壤-水相分配

化学物质在土壤中各具特点,油水分配系数是有机物的主要参数,随时间而变化,因此,为简化起见,可按照最初污染的浓度进行计算预测。

$$C_w = C_s \cdot \left[K_d + \frac{\theta_w + \theta_a \cdot H}{\rho_s} \right]^{-1}$$

式中 C_s : 污染地孔隙水中污染物浓度, mg/L
 C_s : 污染物在土壤中的浓度, mg/kg
 θ_w : 土壤水含量 (soil water content) (L water/ L soil)

θ_a : 空气水含量, Lw/Ls

H : Henry 常数

P_s : 土壤密度, kg/L

K_d : 土壤-水分配系数, L/kg

K_d 值对无机物质(主要指重金属)主要取决于土壤类型;对有机物来说,主要取决于土壤有机碳含量及化合物的油水分配系数,可由下述公式求得:

$$K_d = K_{oc} \cdot f_{oc}$$

$$\log K_{oc} = 1.04 \log P_{ow} - 0.84$$

式中 K_{oc} : 有机碳-水分配系数, L/kg

f_{oc} : 土壤中有机碳系数

P_{ow} : 油/水分配系数

3.1.2 水-汽相间分配

假设挥发的化学物质在气态浓度与在土壤孔隙水中的浓度成线性关系,并符合亨利定律:

$$C_a = H \cdot C_w$$

式中 C_a : 污染地孔隙空气中污染物浓度, mg/L

H : 亨利系数

3.2 不同相之间的稀释与迁移

3.2.1 污染物蒸汽由土壤迁至室内空气

可用经验公式:

$$C_{ia} = DF_{ia} \cdot C_s$$

式中 C_{ia} : 室内空气中污染物浓度, mg/L

DF_{ia} : 从孔隙空气到室内空气的稀释因子

3.2.2 污染物由土壤迁移至地下水

为简单起见,不考虑有机物降解以及横向扩散稀释。当不考虑横向扩散时,在地下水流动方向污染地的宽度将不影响水中的浓度。因此,以下计算中不包含污染地的宽度。地下水污染浓度可由下式计算:

$$C_{gw} = DF_{gw} \cdot C_s$$

式中 C_{gw} : 污染物在地下水中的浓度, mg/L

C_s : 污染物在土壤孔隙水间的浓度, mg/L

DF_{gw} : 土壤孔隙空气与地下水稀释因子

3.2.3 污染物由地下水转移到地表水

假设地下水在给定的理论滞留时间内流向江、河、湖,则地表水的污染物浓度为:

$$C_{sw} = DF_{sw} \cdot C_{gw}$$

式中 C_{sw} : 地表水中污染物浓度, mg/L

DF_{sw} : 地下水对地表水的稀释因子

C_{gw} : 地下水中污染物的浓度, mg/L

3.2.4 污染物由土壤迁移至农作物

对有机污染物可采用下述模型:

$$BCF_{stem} = (10^{(0.95 \log Pow - 2.05)} + 0.82) \cdot 0.784 \times 10^{\left(\frac{-0.434 (\log Pow - 1.78)^2}{2.44} \right)}$$

式中 BCF_{stem} : 茎部占主体的植物的生物浓度因子(植物吸收因子), L/kg 湿重

$$BCF_{root} = 10^{(0.77 \log Pow - 1.52)} + 0.82$$

式中 BCF_{root} : 根部占主体的植物的生物浓度因子(植物吸收因子), L/kg 湿重

表示植物浓度和土壤浓度关系的总植物浓度因子 K_{pl} (mg/kg 植物) / (mg/kg 土壤) 可表示为:

$$K_{pl} = (BCF_{stem} \cdot f_{leaf} + BCF_{root} \cdot f_{root}) \cdot \left(\frac{\rho_s}{\theta_w + K_d \cdot \rho_s + H \cdot \theta_a} \right)$$

式中 f_{stem} : 叶/茎蔬菜在总蔬菜消耗量中所占比例

f_{root} : 根部蔬菜在总蔬菜消耗量中所占比例

$f_{stem} + f_{root} = 1$, 一般来说取消耗植物的叶/茎、根各占 50%。

4 结 论

据以上论述,通过理论计算,可找出污染物对当地土壤及地下水的污染途径,计算出污染物的浓度,将其提供给有关决策部门,用于环境评价,对保护当地环境、生态及居民身体健康有积极意义。

参 考 文 献

- [1] 高勇. 资源开发中谁该为生态欠账埋单. 人民之声报, 2005, 39
- [2] 冯建维. 地质灾害的逆转. 中国水利网, 2004-11-01
- [3] 胥尚湘. 气田开发对环境的影响. 油气田环境保护, 1995, 5 (1)
- [4] 王玉梅. 油气田地区的地下水污染分析. 地质灾害与环境保护, 2000, 11 (3)
- [5] Guidelines for the Risk Assessment of Contaminated Sites, Report 99: 06, TA-1691/1999
- [6] Schwille F. Migration of organic fluids immiscible with water in the unsaturated zone. Pollutants in Porous Media. Springer-Verlag, Berlin, 1984, pp. 27-48

(收稿日期 2005-10-10)

(编辑 李娟)