

浅析某油田地下水石油类污染途径

刘荣芳¹ 陈鸿汉¹ 王延亮² 刘 菲¹

(1. 中国地质大学(北京)水资源与环境工程北京市重点实验室,北京 100083;

2. 吉林省地质环境监测总站,吉林 长春 130021)

摘要:研究区处于东北某油田区,该油田已有近 50 年的开发历史。随着对石油需求的不断增加,大量的石油被开采了出来。但是在开采过程中由于对落地原油及开采过程中油田废水的处置不当,致使地下水遭受了污染。因此保护地下水免受进一步污染对当地居民的身体健康和人身安全都是非常必要的。笔者基于研究区水样测试的结果石油类污染物浓度等值线图,发现地下水中石油类污染小范围内呈面状分布外,主要呈点状分布于研究区。通过结合对研究区地质环境、构造背景、地表水流和污染源的大量调查研究,分析得出石油类污染物主要是通过由过量开采地下水引起的地裂缝和新构造断裂引发的地裂缝以及事故性污染到达地下水的。研究区的 ZK6 号井附近由于长期的超量开采地下水从而改变了地下水流向,在地表则形成了地面沉降并引发了此处的地裂缝,致使此地下水油类的污染非常严重。另外,新构造断裂在北西向、北北东向及东西向 3 组壳断裂带的基础上继承性运动,致使下伏含油层油气沿裂缝上窜污染上覆含水层,同时在油田地表发育大量的地沟、地裂缝,地表洒落的原油及其他污染物通过这些地裂缝污染含水层。

关键词:油田;地下水;石油类污染物;地裂缝;地面沉降;新构造断裂

中图分类号: x143

文献标志码: A

文章编号: 1000-3657(2007)01-0153-07

研究区位于东北某油田内,该油田的开发历史近 50 年。因早期对环境认识的不足,在其开采过程中对落地原油及开采过程中油田废水的处置不当,且在当地特殊的地质环境下,使地下水遭受了污染。以往,人们对油田地下水的污染问题的研究大多侧重于对其污染物的成分分析^[1-3]以及对其迁移和转化进行模型预测的分析^[5-11]。笔者试图在已知石油类污染物分布特征的基础上,对其进入地下水的途径进行分析,以便为油田地下水污染的治理与防治工作服务。

1 研究区地质背景

研究区位于东北地区的东南隆起区西南边缘处,因处于和中央凹陷区的分界处(图 1),故区内构造活动非常发育,尤其是新构造活动发育样式多。新构造活动包括构造活动(如地裂、断裂和褶皱活动)、岩浆活动、水热活动、地震活动等^[2],在研究区内新构造活动存在形式较多,本文主要从新构造断裂方面探讨其与该区地下水遭受污染的关系。研究区隆起带从

白垩纪到第四纪处于振荡性的升降运动,沉积了一套 2 000 m 厚的下白垩统泥页岩,储油层处于白垩系顶部。油田基底构造为穹隆构造和断裂构造,新构造运动以穹隆构造的隆起和断裂构造的继承性活动为特征,使油田区缺失古近系和新近系,第四系超覆于白垩系之上,地下水主要存在于第四系中。新构造在北西向、北北东向及东西向 3 组壳断裂带基础上继承性的运动构筑了本油田特定的新的构造格局(图 1)。其中, F₂ 壳断裂带由数条平行分布的古生代北西向压性断裂组成,中、新生代继续活动,并表现为张性特征,切割了白垩纪地层并影响到第四系白土山和大青沟组松散层,全新世仍在活动,构造形迹表现为北西向地裂缝、地沟。且该断裂成为控震构造,多期发生过地震活动,沿该组断裂发生过 3 次 6~7 级破坏性地震,构成明显的北西向浅源地震带。F₃、F₄、F₅ 3 条北北东向平行分布的壳断裂切割白垩纪地层,该断裂在新生代继续活动,切割了第四系白土山组和大青沟组松散层,全新世构造形迹表现为地沟、地裂。

收稿日期:2006-09-28;改回日期:2006-11-01

基金项目:北京市教育委员会共建计划产学研合作项(ZH104910540)资助。

作者简介:刘荣芳,女,1980 年生,博士研究生,主要研究方向为环境地质。

通讯作者简介:陈鸿汉,男,1956 年生,教授,博士生导师,主要从事地下水科学与工程方面的教学与研究;E-mail:chenhh@cugb.edu.cn。

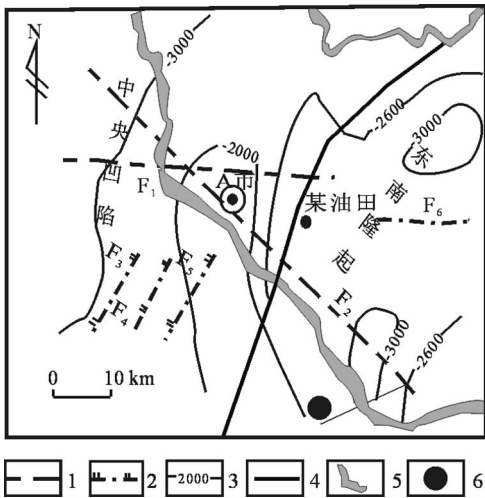


图1 研究区构造略图

1—壳断裂;2—正断层 3—等高线;4—构造单元界线;
5—水流;6—浅源地震 6.0~7.5 级

Fig.1 Tectonic sketch map of the study area

1—Crustal fracture;2—Normal fault; 3—Contour line;
4—Tectonic unit boundary; 5—Water flow;
6—Shallow-focus earthquake of magnitude 6.0~7.5

统(简称下部含水层)和中、上更新统大青沟组、顾乡屯组孔隙微承压含水系统(简称上部含水层)。

2.1 下、中更新统白土山组、大青沟组孔隙承压含水系统

含水层由白土山组中粗砂和大青沟组下部砂砾石组成。两层之间有的地段缺失隔水层,成为统一含水层,含水层累积厚度 15~25 m,为本区主要含水层。上覆隔水层为大青沟组淤泥质亚粘土层,厚度 6~10 m。下伏隔水层为白垩系泥岩、粉砂质泥岩(图 2)。含水层顶板埋藏深度为 25~40 m,2005 年 4 月枯水期水位埋深 14~24 m,部分地段水位埋深 > 30 m。地下水补给来自东南和西南部区域径流,由于大量开采地下水,形成了以 ZK6 为中心的油田开采漏斗,使地下水流向发生改变,由四周流向漏斗中心。水层渗透系数为 15~42 m/d,导水系数 228~680 m²/d,单井涌水量 1 000~3 000 m³/d,影响半径 200~600 m。地下水化学类型为重碳酸钙及钙钠型,矿化度为 0.37~0.5 g/l,F 含量超过 1.0 mg/l,铁含量 3~5 mg/l,为中性水。

2.2 中、上更新统大青沟组、顾乡屯组孔隙微承压水含水系统

本区上部含水层的地下水埋深为 5~15 m,地下水化学类型为重碳酸氯化物钙钠型水,由于埋藏浅矿化度一般在 0.5~1.0 g/l,F 含量超过 1.0 mg/l,铁含量高达 5~7 mg/l,为中性水。该含水系统由上更新统大青沟组中细砂层和顾乡屯组细砂层组成的,故含水层颗粒细,透水性差,单井涌水量一般小于 100 m³/d,其厚度为 3.4~16.95 m,两含水层之间的隔水层较薄,常形成统一含水结构。但由于大青沟组砂层有承压性,上覆黄土状亚砂土亦具有弱隔水性能,混合后的地下水具有微承压性,当地居民常将此组混合开采。此层地下水的排泄为一部分流向西南河谷,一部分流向 ZK6 的位置,以补偿人工开采。

3 地下水污染特征描述

油田区动用含油面积 85.9 km²,因首次对该油田地下水水质进行研究,故先选择污染特征明显,居民反应较强烈的地区作为研究区。该研究区位于油田的西北部,东西宽 3.7 km,南北长 6.8 km,面积 25.1 km²,占整个油田面积的 1/4,且重点勘察区面积 15.1 km²。研究思路为通过重点区的勘察,结合面上的调查研究,查明地下水水质状况,以第四系承压水为勘察重点,根据勘察区地下水分布状况,采用重点解剖和随机抽样相结合的布点方式,共采集各类水质分析样 91 个,在两个含水系统中分别采集,其中上段微承压地下水水样 27 个,下段承压水水样 64 个。水样检测分析结果如下:石油类污染物在上部含水层中其重点污染分布在 ZK6 周围及其西南地区,面积 1.063 km²,占勘察区面积的 2.4%,其余地区散状分布;下部含水层中石油类在 ZK6 及其北东地区呈面状分布外,面积为 2.587 km²,占勘察区面积的 5.8%,其他石油类分散于全区。两段地下水中的石油类的分布区域非常一致,主要是重度污染点和中度污染点,但是下部含水层中的

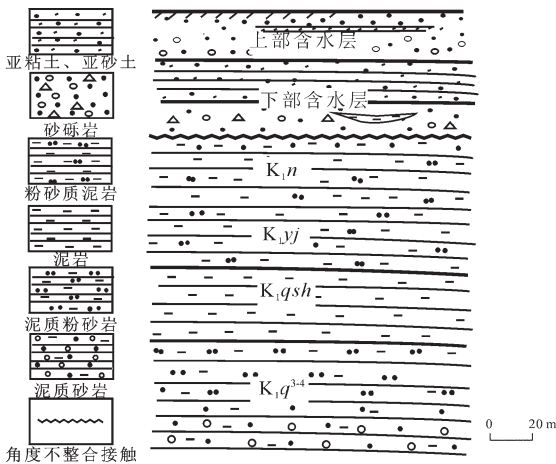


图2 研究区地层柱状示意图

K_{1n}—早白垩系嫩江组; K_{1yj}—早白垩系姚家组;
K_{1qsh}—早白垩系青山口组; K_{1q³⁻⁴}—早白垩系泉头组三、四段

Fig.2 Stratigraphic column in the study area

K_{1n}—Lower Cretaceous Nenjiang Formation;
K_{1yj}—Lower Cretaceous Yaojia Formation;
K_{1qsh}—Lower Cretaceous Qingshankou Formation;
K_{1q³⁻⁴}—Third and Fourth Members of the Lower Cretaceous Quantou Formation

2 研究区地下水概况

本区地貌类型单一,为河流二级阶地,阶面波状起伏。第四纪地层中的地下水,自下而上分布两个主要含水层系统:第四系下、中更新统白土山组、大青沟组孔隙承压含水系

石油类污染物的浓度明显的高于上部含水层(图 3)。石油类的这种分布特征,有其特殊的地质环境,也有人类活动的原因。下面将从这些污染物进入地下水的主要途径方面,解释其在地下水中主要形成原因。

4 地下水污染途径分析

结合油田区特殊的地质环境以及人为活动对地下水影响的特征,发现污染物对地下水的污染途径主要有 3 种形式:渗透污染、穿透污染以及事故性污染。下面主要介绍前两种。

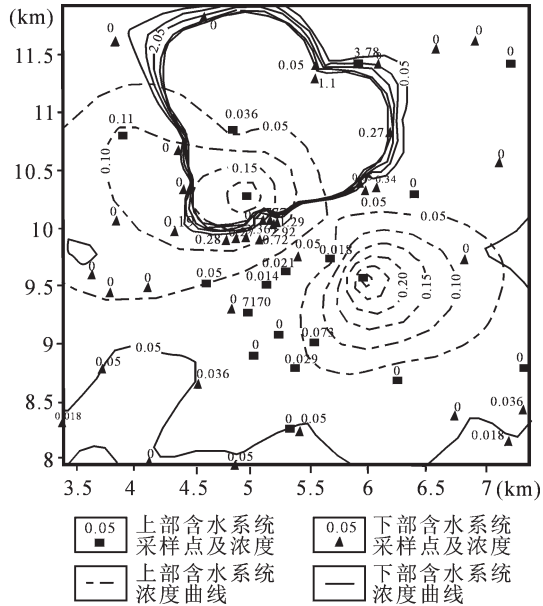


图 3 调查研究区地下水石油类浓度等值线图
Fig.3 Contours of oil pollutant concentrations (mg/l) in groundwater in the study area

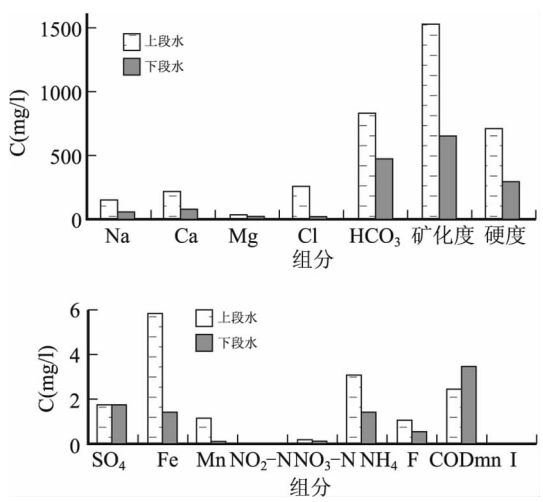


图 4 两段地下水非油类组分对比
Fig.4 Diagram of non-oil constituents of two aquifers

4.1 渗透污染方式

地面及包气带污染物沿着松散的孔隙下渗至含水层致使地下水污染的方式称渗透污染。经调查分析该油田区石油类渗透污染物的主要来源是渗坑和土油池及落地油。这些储存污水的渗坑主要有两种:一是钻井期间遗留的泥浆坑作为返水井含油污水的渗坑;二是砖厂取土坑作为石油储存和采油井、注水井返水渗坑。另外,修井、洗井废液存放于地形低洼处,甚至排向水泡,变为污水泡。这些渗坑的含油污水会直接进入含水层污染地下水,另外,在雨季尤其是洪水季节,因渗坑的管理不当,含油污水通过地表径流的作用使原油进入大的水域(如湖泊、河流),又会造成地表水体污染,当这些水体补给地下水时污染的范围就会扩大^[13]。以 ZK6 附近的区域为例,ZK6 附近的油井在做业时常有落地油,这些落地油一部分随降水可直接入渗地下,另有汇入地表水中的随地表水入渗至地下。另外 ZK6 东北向有一砖厂取土坑,原取土坑面积达 6 000~8 000 m²,坑深 5~6 m,坑边有两口采油-注水井,其洗井、修井废液仍排放于坑中,难免对浅层地下水产生渗透污染。有些研究报道,土壤中污染物数值模拟预测油的最大污染深度在 1.0~1.5 m^[14-16],本区地下水埋深为 5.0~15.0 m,所以洒落地表的原油通过直接渗透作用一般不会对上层含水层造成太大的影响。但当这些原油随降水进入水体时会污染地表水,当这些地表水补给地下水时造成地下水的污染。

但是通过渗透方式污染地下水的非油类污染物反应较明显(图 4)。上层地下水中的常量组分均高于下层含水层总的含量,显示出污染物由上往下运移的趋势非常明了,因所采水样地处平坦且构造活动不发育地区,故推测为渗透污染所致。本区第四纪松散地层是由未固结的粘土土与砂砾石组成的。这些粘性土层与砂砾石层往往相互叠置或相互交叉。在砂砾石层中蕴含着丰富的承压地下水,承压含水层顶部或两个承压含水层之间的隔水层,大多由弱透水的、压缩性大的粘性土层组成。所以这些非油类物质容易下渗进入含水层。

4.2 穿透污染方式

污染物沿着裂隙到达含水层从而污染地下水的方式称为穿透污染。在自然界中,岩石和土层经常受到各种自然力量的作用。在这些自然营力作用下,岩石和土层可以发生变形,而当力的作用与积累超过岩石和土层内部的结合力时,就破坏它们的连续性而发生破裂,形成裂隙。这些裂隙在地下由于遭受周围岩石的限制和上部岩石的重压作用闭合比较紧密;而在地表则具有一定的自由空间和围压作用力比较小,裂隙一般比较开阔,称之为地裂缝^[17]。将本区对地下水产生影响的地裂缝依据其诱发因素和形成机理^[18],分为由强烈开采地下水产生不均匀地面沉降引起的地裂缝和地质构造活动引发的地裂缝。

5 地裂缝穿透污染方式

5.1 由强烈开采地下水引起的地裂缝污染

当从承压含水层中过量抽取地下水时,如果抽取量大于

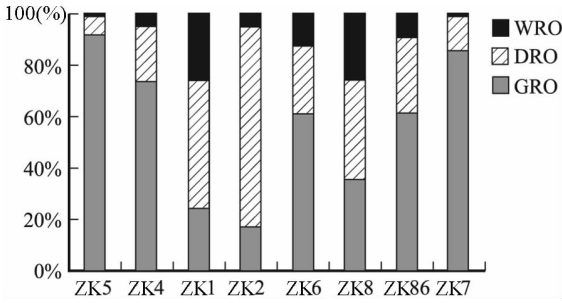


图5 沿地下水流向下层水中TPH各组分的变化
WRO—重油烃;DRO—柴油烃;GRO—汽油烃
Fig.5 Changes of TPH constituents along groundwater flows
WRO—Weight-oil range organics;DRO—Diesel range organics;
GRO—Gasoline range organics

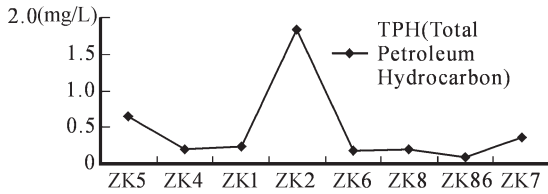


图6 沿地下水流向下层水中总石油烃的变化
Fig.6 Changes of TPH along groundwater flows

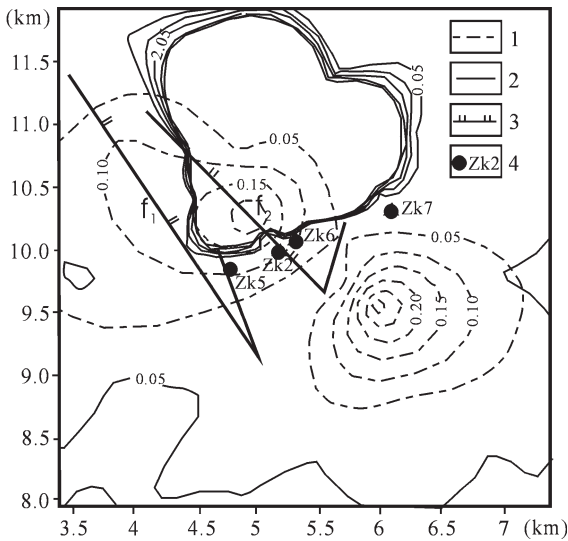


图7 调查研究区断层分布示意图
1—上部含水系统浓度(mg/l)曲线;2—下部含水系统浓度(mg/l)曲线;3—正断层;4—钻孔点
Fig7 Distribution of faults in the study area
1—Upper aquifer concentration curve;2—Lower aquifer concentration cruve;3—Normal fault;4—Water sample drill

要增大,这就必然造成粘土层的密度加大,两者叠加在一起,在地面上的反映就是地面沉降^[19-20]。显示出一定线性带状张性分布特征,并兼有缓变性、突发性和持续性特点^[21]。本地的ZK6处由于长期的大量开采地下水,从而使得此处的漏斗形成并改变了周围地下水的流向,使得周围水流向ZK6处以补充其开采。在地表则形成了地面沉降,这种连续的地面沉降累积严重化后受本区特定地质环境影响就产生了地裂缝,在雨季尤其是洪水季节,通过地沟把大量污染物携带到地裂附近,通过地裂涌入地下污染含水层。ZK6周围石油类污染物在两段含水层中均呈现一定的环带状分布(图3),应和石油类污染物沿地裂缝下渗有一定关系。

图5是ZK6周围地区在水文地质剖面上所作,从西往东沿地下水流向,也就是从ZK5到ZK2,汽油类组分(GRO)的百分含量逐渐减少,柴油类组分(DRO)和重油类组分(WRO)的百分含量逐渐增多,说明在ZK5之外有一个地表污染源。从东向西沿地下水流向,也就是从ZK7到ZK6附近,变化和前面一致,汽油类组分的百分含量逐渐减少,柴油类组分和重油类组分的百分含量逐渐增多,说明在ZK7之外也有一个污染源。ZK6处在两个污染源甚至是多个污染源的交汇处,属于特殊点。总石油烃(TPH)沿地下水流向的变化(图6),基本符合以上的分析规律,随地下水流动污染物浓度减小且汇聚于ZK6处,使得ZK6附近污染物浓度陡然增高(图6),这是非常明显系过量开采地下水所致。

5.2 由地质构造活动引发的地裂缝污染

研究区白垩纪地层上部由于长期遭受构造剥蚀,使上部地层结构疏松,隔水隔污能力差,其上直接覆盖为疏松结构的第四纪地层。由于新构造活动,在原有构造基础上继续活动,在地表产生明显的断裂—地裂缝的构造形迹,以北西向为主,北东向次之,并由此形成斜方格状和锯齿状地沟和地裂缝。ZK6附近就有北西向和北东向两组断裂出现(图7),而沿这两组断裂发育大量地裂缝,当降雨出现时,地表洒落原油和水体中的油类污染物通过地表径流和地沟把大量污染物携带到地裂缝—断层附近,通过地裂—断裂涌入地下进入含水层而污染地下水。另外,两断层之间的水样中污染物浓度比其外围的水样高许多,一些超常点也出现在周围,揭示了地表裂缝对地下水的影响非常之大。这种污染方式通过地下水化学类型及物质成分来源同样可以佐证,该区下段地下水主要为HCO₃-Ca型水,与周围(外围)HCO₃-Na型水有着明显的差异,即Ca含量相对高,Na含量相对低,表明本区地下水接受大气降水补给作用较强,除区域径流补给外,大量通过地沟—地裂缝的强烈灌入补给。从而从另一方面证实了地裂缝的存在。

此外,在地表之下研究区油田埋藏浅,由于古近系和新近系的缺失,新构造活动长期不断的对白垩系上部进行构造剥蚀,破坏原有的地质结构,多组NNE向断裂与NW向断裂及其低序次断裂在继承性活动中切割了白垩纪上部地层、甚至第四纪西部底层,成为该区地层结构和地质环境中的薄弱环节,易受能量转化影响,成为油田能量容纳体。在这种特

补给量,含水层的承压水位发生明显下降,向上作用的水头压力也明显减小,从而破坏原土层中的孔隙水大量向外流出,即粘土层中的孔隙水压力减小。而地层总压力是不变的,为了保持土层中的力的平衡状态,土层颗粒之间的压力必然

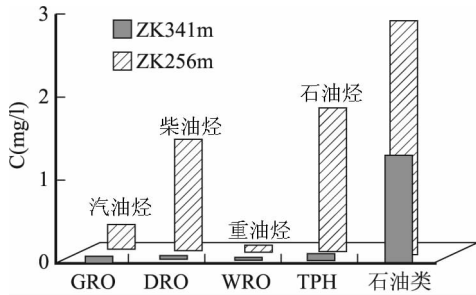


图 8 ZK2、ZK3 孔石油类浓度柱图

Fig.8 Columns of oil pollutant concentrations of holes ZK2 and ZK3

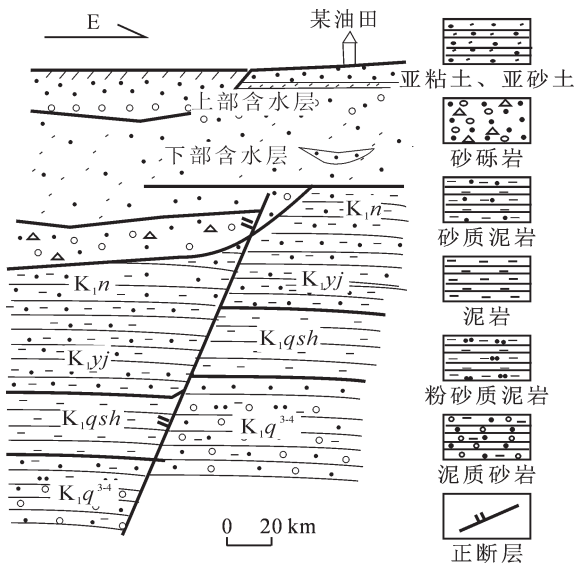


图 9 F5 断层剖面图

K_{1n} —早白垩系嫩江组; K_{1yj} —早白垩系姚家组;
 K_{1qsh} —早白垩系青山口组; K_{1q}^{3-4} —早白垩系泉头组三、四段

Fig.9 Section of fault F5

K_{1n} —Lower Cretaceous Nenjiang Formation; K_{1yj} —Lower Cretaceous Yaojia Formation; K_{1qsh} —Lower Cretaceous Qingshankou Formation;
 K_{1q}^{3-4} —Third and Fourth Members of the Lower Cretaceous Quantou Formation

定的地质环境条件下,油田压裂进一步加剧新构造运动产生的活动断裂及其低序次断裂、裂隙、破坏白垩纪上部和第四纪下部地层结构,或通过地裂发生能量转化,对环境产生不良影响。主要表现如下:(1)活动断裂——地裂在第四系砂层能量转换过程中,在地下最薄弱部位——水井中涌砂,涌砂量超过井筒液面,淹没含水层,致使水井废气。在 ZK6 东部的第四系承压水井,因井中涌砂而弃井。(2)在压裂作用下,油田的天然气沿活动断裂——地裂缝向第四系含水层转移,并在地下最薄弱部位——水井贮集、外溢,甚至在人为活动(合闸、断路等)条件下突然起火。例如 ZK6 西北部一村民家的水井,因上述原因,曾发生过着火,井盖被冲开。(3)在压裂

作用下,油田的原油沿活动断裂——地裂缝向第四系含水层转移,甚至在地下最薄弱部位——水井中冒油,这种情况在 ZK6 附近较多见。ZK6 西供水井由于东部 20 余米处采油井压裂后,供水井由于冒油而废弃。ZK6 处由于其东南约 80 m 处油井压裂,水井中均冒出很浓的原油,井壁挂很厚的油污,同时在油井西侧居民院内通过地裂冒出原油。为验证 ZK6 处有隐伏断层的存在,在其旁边设分层采样孔 ZK2、ZK3,经测定:地下水含水层中下部含水层 ZK2 的石油类、汽油烃(GRO)、柴油烃(DRO)、重油烃(WRO)和总石油烃(TPH)都比上部含水层 ZK3 的值高(图 3,图 8),说明石油污染来源于下部,反映出石油类污染物沿深部裂隙向上运移的特征。

新构造在三组壳断裂带基础上继承性的运动,使得北西向和北北东向两组断层均引起了基岩面的起伏变化。并有北北东向断层的再次活动,使得油田区下伏的白土山组地层抬起遭侵蚀切割,厚度较薄甚至缺失,而本区西部的白土山组地层因处于下降盘厚度较大且稳定(图 9)。有研究认为^[10]如果某一地区基岩埋深小于 80 m,且相对高差大于 20 m,对地裂缝的发生将起到显著的影响作用。下段含水系统含水层顶板埋藏深度为 25~40 m,其上部地下水的埋深更浅,加上本区新构造运动的影响不断,使得两盘相对高差不断加大,为此地地裂缝的产生创造了条件。由于本油田水平应力场差异性较大,油田油层上部构造裂缝非常普遍。故构造地裂缝成为地下水受污染的又一重要途径。

总之,地裂缝产生的原因复杂多变,往往是多因素成因。另外,还有工程建设引发的地裂缝以及东北地区特有的冻裂地裂缝均在地表有发育,但对地下水的影响如何,有待于进一步的研究与探讨。地裂缝的产生对于地下水的补给起到很大的作用,但对于人类活动频繁的此地却是使地下水遭受污染的巨大威胁。

6 结论

本区地下水遭受污染的途径分为渗透性污染和穿透性污染,但渗透污染对某油田地下水的威胁性相对来说较小,由构造活动、地下水开采引发的地裂缝及事故性污染是其地下水遭受污染的主要途径。对于其他新构造活动以及其他原因所致的地裂缝对地下水的影响作用有待于探讨研究。当石油污染已成事实,当务之急是控制污染范围继续扩大,及对已污染水进行达标处理。由于地表的原油及含油污水是地下水遭受污染的根本所在,因此建议油田管理部门做到以下 3 点:

(1)在开采过程中妥善处理落地油及油田污水,将油田污水处理达标后再回注或排放。

(2)对输油管线和油井做定期的检查维修,从本质上减轻地下水的污染。

(3)在因开采地下水引起地面沉降的地区,合理规划开采量,避免因开采过量使沉降区扩大。由于本油田南、西、北三面被江环绕,地表水可说很丰富,因此合理规划地表水和地下水的利用也可缓解该地区的环境地质问题。

参考文献 (References):

- [1] 郭华明, 王焰新, 陈艳玲, 等. 地下水有机污染的水文地球化学标志物探讨——以河南油田为例 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(3): 304-308.
Guo Huaming, Wang Yanxin, Chen Yanling, et al. Geochemical indicators of organic contamination in groundwater: a case study in Henan Oil Field [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(3): 304-308 (in Chinese with English abstract).
- [2] 李凌波, 林大泉, 籍伟, 等. 某石油化工厂有机污染物的表征 II. 地下水 [J]. 石油学报 (石油加工), 2001, 17(6): 84-90.
Li Lingbo, Lin Daquan, Ji Wei, et al. Characterization of organic contamination at a petrochemical site II. Groundwater [J]. Acta Petrolei Sinica (Petroleum Processing Section), 2001, 17(6): 84-90 (in Chinese with English abstract).
- [3] 王玉梅, 党俊芳. 油气田地区的地下水污染分析 [J]. 地质灾害与环境保护, 2000, 11(3): 271-273.
Wang Yumei, Dang Junfang. Analysis on groundwater pollution in oil and gas fields [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2000, 11(3): 271-273 (in Chinese with English abstract).
- [4] 陈余道, 朱学愚, 武三三. 淄博市临淄地区地下水源地石油烃污染特征 [J]. 中国岩溶, 1997, 16(1): 35-40.
Chen Yudao, Zhu Xueyu, Wu Sansan. Pollution of petroleum hydrocarbons in subsurface water sources of Linzi Area in Zibo City [J]. Carsologica Sinica, 1997, 16(1): 35-40 (in Chinese with English abstract).
- [5] 刘新华, 沈照理, 钟佐桑, 等. 淄博市地下水水源地石油化工型油类污染及其治理方案研究 [D]. 中国地质大学博士论文, 1994.
Liu Xinhua, Shen Zhaoli, Zhong Zuoshen, et al. Groundwater pollution by petrochemical industry and its remediation options in Zibo [D]. Doctoral Dissertation of China University of Geosciences (Beijing), 1994 (in Chinese with English abstract).
- [6] 王洪涛, 罗剑, 李光富. 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.
Wang Hongtao, Luo Jian, Li Guangfu. Numerical simulation of oily wastewater contamination of subsurface soil and phreatic aquifer [J]. Tsinghua Univ (Sci & Tech), 2000, 40(11): 109-113 (in Chinese with English abstract).
- [7] 吕华, 马振民. 某研究区地下水石油类污染的调查与预测 [J]. 有色金属, 2005, 57(2): 145-149.
Lü Hua, Ma Zhenmin. Investigation and prediction on groundwater oil pollutants of a target area [J]. Nonferrous Metals, 2005, 57(2): 145-149 (in Chinese with English abstract).
- [8] 陈余道, 蒋亚萍, 黄宗万, 等. 浅层地下水中石油烃污染研究的物理模型 [J]. 桂林工学院学报, 2004, 24(4): 492-497.
Chen Yudao, Jiang Yaping, Huang Zongwan, et al. Physical model for petroleum contaminated shallow groundwater system [J]. Journal of Guilin Institute of Technology, 2004, 24(4): 492-497 (in Chinese with English abstract).
- [9] 薛强, 梁冰, 冯夏庭, 等. 石油污染物在地下环境系统中运移的多相流数值模型 [J]. 化工学报, 2005, 56(5): 920-924.
Xue Qiang, Liang Bing, Feng Xiating, et al. Numerical modeling with multiphase flow model of petroleum pollutant transport in subsurface environment [J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2005, 56(5): 920-924 (in Chinese with English abstract).
- [10] 王洪涛, 周抚生, 宫辉力. 数值模拟在评价含油污水对地下水污染中的应用 [J]. 北京大学学报 (自然科学版), 2000, 36(6): 865-872.
Wang Hongtao, Zhou Fusheng, Gong Huili. Numerical approach in the assessment of oily wastewater contamination to groundwater in the oil field development [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2000, 36(6): 865-872 (in Chinese with English abstract).
- [11] 奚成刚, 陈家军, 许兆义. 油田开发过程中事故环境风险评价 [J]. 中国安全科学学报, 2002, 12(3): 35-38.
Xi Chenggang, Chen Jiajun, Xu Zhaoyi. Risk assessment of accidental environment in oil field exploitation [J]. China Safety Science Journal, 2002, 12(3): 35-38 (in Chinese with English abstract).
- [12] 易明初. 新构造活动与区域地壳稳定性 [M]. 北京: 地震出版社, 2003: 3-6.
Yi Mingchu. Neotectonic Activity and Regional Crustal Stability [M]. Beijing: Seismological Press, 2003: 3-6 (in Chinese).
- [13] 张兴儒, 张士权. 油气田的发展、建设及其环境影响 [M]. 北京石油工业出版社, 1998.
Zhang Xingru, Zhang Shiquan. Environmental Affection by Development and Construction of Oilfield [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998 (in Chinese).
- [14] Al-Sarawi M, Massoud MS, Al-Abolali F. Preliminary assessment of oil contamination levels in soils contaminated with oil lakes in the Greater Burgan Oil Fields, Kuwait [J]. Water, Air and Soil Pollution, 1998, 106: 493-504.
- [15] Al-Sarawi M, Massoud MS, Wahba SA. Physical properties as indicators of oil penetration in soils contaminated with oil lakes in the Greater Burgan Oil Fields, Kuwait [J]. Water, Air and Soil Pollution, 1998, 102: 1-15.
- [16] 郑西来, 荆静, 席临萍. 包气带原油的迁移和降解 [J]. 水文地质和工程地质, 1998, 25(1): 35-37.
Zheng Xilai, Jing Jing, Xi Linping. Transport and degradation of oil in unsaturated zone [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1998, 25(1): 35-37 (in Chinese with English abstract).
- [17] 谢广林. 地裂缝 [M]. 北京: 地震出版社, 1988.
Xie Guanglin. Geofracture [M]. Beijing: Seismological Press, 1998 (in Chinese).
- [18] 于军, 王晓梅, 苏小四, 等. 苏锡常地区地裂缝地质灾害形成机理分析 [J]. 吉林大学学报, 2004, 34(2): 236-241.
Yu Jun, Wang Xiaomei, Su Xiaosi, et al. The mechanism analysis on ground fissure disaster formation in Suzhou-Wuxi-Changzhou Area [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2004, 34(2): 236-241 (in Chinese with English abstract).
- [19] 黄成敏. 环境地学导论 [M]. 成都: 四川大学出版社, 2005: 61-62.

- Huang Chengmin. Environmental Geology Instruction[M]. Sichuan University Press, 2005:61-62(in Chinese).
- [20] 刘明柱, 陈鸿汉, 胡丽琴. 北方某城市浅层地下水中有有机污染物迁移转化的数值模拟研究[J]. 中国地质, 2005,32(3):507-511.
- Liu Mingzhu, Chen Honghan, Hu Liqin. Numerical modeling of transport of organic pollutants in shallow groundwater in a certain city of northern China[J]. Geology in China, 2005, 32(3):507-511 (in Chinese with English abstract).
- [21] 何富荣. 油气田环境保护基础知识[M]. 北京:石油大学出版社, 1997:107-111.
- He Furong. Basic Knowledge of Environment Protection in Oilfield [M]. Petroleum University Press, 1997:107-111(in Chinese).

Ways of groundwater pollution by oil in an oilfield

LIU Rong-fang¹, CHEN Hong-han¹, WANG Yan-liang², LIU Fei¹

(1. Beijing Key Laboratory of Water Resources and Engineering, China University of Geosciences, Beijing 10083, China;

2. Jilin Geological Environment Monitoring Headquarters, Changchun 130021, Jilin, China)

Abstract: The study area belongs to an oilfield in Northeast China and the development of the oilfield has a history of nearly 50 years. With increasing demand for oil, vast amount of oil has been exploited. However, during exploitation, groundwater was polluted because of spilled oil and wastewater in this oilfield. Therefore, protecting groundwater from further pollution is essential to the health and safety of citizens in the oilfield. Based on an analysis of water samples, the authors have compiled a contour diagram of oil pollutant concentrations in groundwater in the study area and found that, except in a small scope where oil pollutants are distributed areally, most oil pollutants are distributed as patches in the study area. The contour diagram of oil pollutant concentrations, combined with substantial investigation and research on the geologic environment, structural setting, surface water flow and possible surface polluting source of the study, suggests that the oil pollutants mainly moved into groundwater by accidental pollution and ground cracks produced by over-development of groundwater and neotectonic fracturing. Due to long-continued over-pumping of groundwater near hole ZK6 in the study area, the direction of groundwater changed, and ground subsidence occurred and many ground cracks appeared at the surface; so groundwater pollution by oil is very serious. In addition, neotectonic faults inherited the NW, NNE and E-W sets of crustal faults, thus causing oil/gas in the underlying oil layers to move up along the fractures and pollute the overlying aquifers. Furthermore, large numbers of ground channels and ground cracks formed at the surface, and spilled oil and other pollutants polluted the aquifers through them.

Key words: oilfield; groundwater; oil pollutant; ground crack; ground subsidence; neotectonic fault

About the first author: LIU Rong-fang, female, born in 1980, Ph.D candidate, mainly engages in the study of environmental geology.

About the corresponding author: CHEN Hong-han, male, professor and doctor director, engages in teaching and study of environmental hydrology and groundwater Science and engineering; E-mail: chenhh@cugb.edu.cn.