

油气开采过程的环境监测与管理

林加恩, 苏泽中, 薛帅帅, 刘瑞

西安石油大学, 西部低渗-特低渗油藏开发与治理教育部工程研究中心, 西安 710065

摘要 当前随着石油、天然气等开发的不断深入,对地下水、土壤、大气等自然环境的监管和保护越来越重要。本文介绍了目前国内外套后窜漏监测、输油管线泄漏监测和大气污染监测的主要方法,其中套后窜流监测的包括测井法、试井法、机械法;输油管线泄漏监测包括输差检漏法、负压波法等常规方法和实时监测系统;大气污染监测包括生物监测法、光谱分析法等常规方法和综合性监测系统。简述了该领域国内外最新进展,其中套后窜流监测包括核监测技术和实时监测技术等;输油管线泄漏监测包括模型法、漏磁监测、腐蚀理论等;大气污染监测为综合性监测系统。分析表明,井下实时监测技术、管线泄漏实时监测系统、智能化气体集成监测系统将成为未来油田开采过程中主要的发展方向 and 热点。

关键词 油气开采;套后窜漏监测;管线泄漏监测;大气污染监测

石油作为不可再生资源,在中国国民经济发展中占据着极其重要的位置,同时也是各国之间争夺的重要战略资源^[1-2]。然而,石油的勘探、钻井、开采、油气集输等产生的废弃钻井液、钻井泥浆、含油污水、含油污泥以及集输过程中的管线泄漏原油会对地下水、土壤、大气造成持久、不可逆的污染。原油中含有的苯、并、茈、多环芳烃等有机物不仅会对生态环境产生破坏,同时也会对人体产生极大的危害。因此做好油气开采过程中的环境监测,最大程度降低石油污染对生态环境的危害显得十分重要。

环境监测是油田环境保护的基石。提高监测质量,改进监测技术,加强监测管理,有助于进一步保障油田环境,为建设绿色油田,实现油田环境的可持续发展奠定坚实基础^[3]。

油气开发过程中,油水井窜漏、集输管线泄漏以及废气排放,会对地下水、土壤、大气造成非常严重的污染。本文总结了目前国内外油水井窜漏监测、输油管线泄漏监测和油气开采过程中大气污染监测的主要方法、最新进展

及未来发展方向,提出了油气开采过程中环境监测的综合管理方案。对建设绿色油田、生态环境的可持续发展具有实际意义。

1 套后窜漏监测技术

油气开采过程中因油水井窜漏造成的原油对地下水的污染主要包括:钻井和固井过程中因套管破裂造成的钻井液、钻井泥浆、固井液漏失,采油和注水过程中油水井套管损坏产生的油气水窜漏进入地下水层,以及含油污水回注过程中水井套管损坏造成的注入水窜漏进入地下水层造成的污染。目前矿场油气开发过程中,对于此类原因引起的地下水污染监测,通过监测油水井的套损情况来实现,主要监测方法包括测井法、试井法和机械法等^[4]。

1.1 测井法

姜文达等^[5]通

过同位素示踪剂测井法监测水井套管发生窜漏来判断是否发生污染(图1)。同位素示踪剂的原理首先将吸附有放射性同位素的示踪剂注入井内,形成混合均匀的活化悬浮液。如果射孔层与邻近地层间发生窜流时,活化悬浮液将会进入窜槽层段,在窜槽通道和窜槽层留下同位素示踪剂的踪迹。通过测定施工前后自然伽马曲线之间的面积差判断是否发生地下水污染。

王晓华^[6]利用流量计测取流量变化,根据流量的变化差异,判断地层是否发生窜漏。集流伞涡轮流量计利用

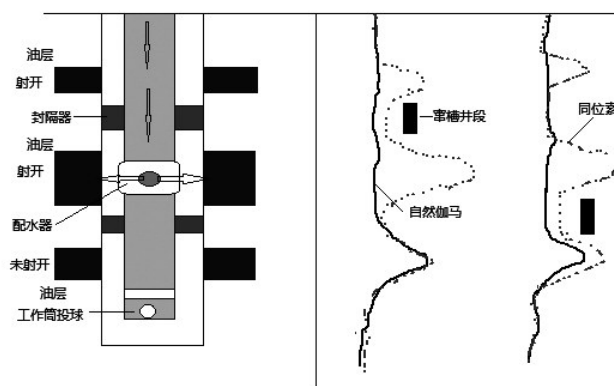


图1 同位素测井法原理及测井曲线示意^[5]

收稿日期:2016-08-15;修回日期:2016-09-05

基金项目:陕西省国际科技合作与交流计划项目(2015KW-029)

作者简介:林加恩,教授,研究方向为油气藏工程、油气藏监测与管理等,电子信箱:jn5000@126.com

引用格式:林加恩,苏泽中,薛帅帅,等. 油气开采过程的环境监测与管理[J]. 科技导报, 2016, 34(17): 48-55; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2016.17.007

停点测的方法测取流量值,如果出现流量变化较大层段则可判定为发生窜漏;电磁流量计,超声波流量计和连续涡轮流量计在匀速连续测量过程中,会出现明显的流量值变化台阶,以此判断是否发生窜漏。

黎昌华等^[7]利用注入水和地层水的温度差异判断地层是否发生窜漏。注水井中,由于注水层长期受低温注入水温度场的影响,注水层段与非注水层段有着明显的温度差异。正常的生产条件下,当套管外存在窜漏形成层间窜流时,由于窜流的流体与原地层流体之间的温度差异。

夏竹君等^[8]利用脉冲中子氧活化测井仪监测地层的窜漏情况。脉冲中子和氧元素发生反应释放出特征伽马射线,根据测量的伽马射线时间谱反映出油管内、油(套)环形空间和管外的含氧物质尤其是水的流动状况,根据水流速度变化判断套管漏失和管外窜槽。

吴鹏程等^[9]等多臂井径成像测井系统探测套管径的变化及其成像图判断套管的损坏情况,以此判断地层是否发生漏液现象。通过井径曲线认

识套管损伤情况,探头可以通过对井内流体温度的测量辅助判断管柱损坏漏液情况。

谢荣华^[10]、关莉^[11]等通过电磁探伤仪探测套管是否发生变形、损坏,监测地层是否发生窜漏。电磁探伤测井仪理论基础为法拉第电磁感应定律。给发射线圈提供直流脉冲,接收线圈记录产生的感生电动势,感生电动势对于厚度发生变化或存在缺陷的套管能够做出反应,通过套管的壁厚变化检测套管的腐蚀和破损情况。如对比分析了各种测井方法的优点、缺点及适用范围,如表1所示。

利用自然伽马测井^[12]也可监测地层是否发生窜漏。当井下出现窜槽时,随时间推移,窜槽部位会出现放射性物质积垢,表现为在自然伽马测井资料中该部位曲线幅度偏高,通过对比分析测得的自然伽马测井资料与完井时的自然伽马测井资料,即可判断出窜槽。

1.2 试井法

高承泰^[13]研究了三层油藏的串漏垂向干扰试井解释模型,绘制了试井解释模型的理论双对数曲线图。该模型

考虑分层储容和表皮因子、井筒储存效应、层间越流、套管后的串漏及变产量生产等因素,即使固井质量差的井也可进行垂向干扰试井。

Kremenetskiy等^[14]利用数值模型结合试井解释理论诊断套管外窜流。Aadnoy等^[15]建立了井筒压裂后漏失的试井解释模型和地应力解释模型,评估了常规漏失、裂缝漏失和循环漏失。Gasbarr S^[16]等利用多相流量计进行脉冲试井,通过油藏数值模拟得到样板曲线对层状地层的水窜、井筒完整性、水锥、油水界面推进等问题进行了研究。

Gandomkar等^[17]建立基于线性弹性同心圆筒理论的考虑井眼和近井地带岩石力学性能的漏失测试模型,根据内外边界的压力分布,模拟了复合套管、水泥环和近井地层的径向位移。Rahman^[18]等建立了具有窜流的层状地层试井解析模型,分析监测层间窜流。通过建立油藏的试井解释模型及理论图版曲线,根据所出现的压力动态特征有效诊断窜流,即便是存在外在干扰的情况下,试井技术也可用于监测套管外窜流是否发生。

1.3 机械法

封隔器找窜的工作原理:将封隔器和相关配套工具下入井内适当位置,对于判断出的可能漏失的层段利用封隔器卡住,根据所测得的资料分析管外是否发生窜漏。

通常根据目标层位的具体情况可分为双水力扩张式封隔器找窜和单水力扩张式封隔器找窜两种。双水力扩张式封隔器找窜,在第一组封隔器的节流器下部再接一组封隔器,两封隔器卡在下部层位射孔的两端,从油管内注入高压水,观察油层间是否发生窜漏。单水力扩张式封隔器找窜,将封隔器下至欲找两层之间的夹层中部,其下部接节流器,最下部接单流凡尔,同样从油管内注入高压水,用来观察油层间是否有窜通现象。

根据测试环境和测试管柱可将油水井井下管柱分为油管 and 套管两种情况,结合各种方法的原理及优缺点,重新评价各方法的适用性,如表2所示。

表1 各种测井方法的优缺点比较以及适用范围

方法	优点	缺点	适用范围
同位素示踪剂法	示踪剂释放简单,连续测量示踪剂走向,确定水流方向	对于井筒污染明显的井无法判断	日注入量大,且井筒无污染的井
流量计法	不限制测量井段的长度	接触式测量,无法测量油管中套管的损失	测量套管中套管的漏失
井温测井法	成本低、测速快	漏点位置判断误差较大	漏失量较大的井
脉冲中子氧活化测井	无放射性污染、能定量给出配水器的进液量,测量目的层吸液状况、不受注入流体黏度影响	不适合在井口使用	同位素污染严重的注入井、聚合物驱、三元复合驱的井
多臂井径成像测井	能够定量判断套管的损坏情况、成像图能直观反映油水井生产状况	对于测量臂无法接触的地方无法检测	套损情况较严重的井
电磁探伤测井	能够减少套损检测的起下油管的时间、降低作业费用	在测量范围外的套损情况无法检测	单套管井和双套管井均适用,单套管井更加精确

表2 不同管柱中找漏方法的适用性

测试环境	测试管柱	找漏方法							
		同位素	流量计	井温	脉冲中子氧活化	多臂井径	电磁探伤	封隔器	试井法
油管	套管	√	×	√	√	×	√	√	√
套管	套管	√	√	√	√	√	√	√	√

注:√表示测井方法对该管柱工艺适用;×表示测井方法对该管柱工艺不适用。

1.4 最新技术进展

除上述测井法、试井法、机械法等常规方法外,国外新的技术也已经应用在窜漏监测领域。Hu^[19]采用声学+核技术评估钻井完成后环形空间内水泥的完整性,监测套管是否损坏,以及评价发生窜漏的可能性。Zaini等^[20]结合了小井眼超声井眼成像工具和电磁成像工具两种方法,利用超声井眼成像进行金属损失评估,电磁工具测量总金属厚度,根据测量前后总金属厚度的差值,评价油套管的损坏情况对套管窜漏进行预测。Vipulanandan等^[21]利用压阻式智能水泥混合物凝胶实时监测固井过程中套管的相关情况,通过探针测量水泥混合物的电阻率,检测是否发生套管损坏。环绕套管的分布式光纤实时监测套损和固井水泥环形变等破坏作用是目前最新技术发展方向。

2 管道泄漏监测技术

油气集输过程中,由于输油管线的

腐蚀、断裂及人为破坏造成的原油泄漏是油气开发过程中土壤污染的主要原因。因此矿场油气开发中,通过监测输油管线的泄漏,可以极大程度上减少原油对土壤的污染。管线监测方法包括:输差检漏法、负压波法、声学检测法、光学检测法、卫星监测、实时在线监测,以及模型监测、漏磁监测、腐蚀理论等众多方法,目前管线监测方法众多且原理各不相同,无法进行常规分类,因此基于监测方法的难易程度,进行了简要分类,如图2所示。

2.1 常规监测方法

王振堂等^[22]利用输差检漏法在官一联一枣一联 325×26.8 km 输油管线进行泄漏监测,准确率达98%。该技术的主要原理为:油气集输过程中管线的输入量和输出量相等,当输入量和输出量出现差值时,就可判断输油管线是否发生泄漏。周勇等^[23]利用负压波理论监测深石输油管道泄漏状况。负压波定位原理为:根据管线泄漏产生的瞬

态的压力波传播到管线上下游的时间差和压力波的传播速度计算泄漏点位置。利用输差法和负压波法结合可以对管线进行泄漏和定点监测。

李明等^[24]利用超声波探测技术进行输油管道检漏和定位。油气集输过程中,输油管道在没有破损的情况下,流体在管道内做稳定流动,当管道出现泄漏时,在管道内做稳定流动的流体会产生波动,接收换能器的电压将发生变化,根据电压的变化判断管道的泄漏,利用方程式计算管道泄漏的位置。Bernasconi等^[25]利用多点声学数据进行管道泄漏检测。多点传感技术是利用沿管线离散布置的水听传感器监测管线泄漏。Mabily等^[26]利用PipeLIDS(管道泄漏监测系统)进行泄漏监测。该技术利用撞击或泄露产生的噪声,通过声学传感器和带有GPS同步的智能灯塔,测量噪声声波的幅度和相位时移,通过PipeLIDS检测声音的来源和位置,发出警报。

有机污染物(PAHs)是造成油气开采中土壤污染主要原因。利用光谱分许法对石油污染土壤中多环芳烃的含量进行检测,确定土壤是否污染。王忠东等^[27]通过荧光光谱测量分析方法测量原油的荧光特性,确定荧光光谱分析可以对石油污染土壤进行监测。魏玲^[28]对石油污染土壤中多环芳烃进行荧光光谱分析,监测石油污染土壤。刘庆生等^[29]利用少量野外石油污染土壤样品,结合野外光谱测量的方法进行石油污染土壤监测。

2.2 实时监测系统

陈悦等^[30]研发基于SCADA(数据采集与监视控制系统)的输油管线泄漏监测系统,用于监测长距离输油管道泄漏。通过连续的采集流量、管线压力、温度等相关参数,通过网络进行数据传送,利用软件对管线状态进行监控。对于突发的原油泄漏,及时、准确地检测并定位泄漏点。此外,西安石油大学王寿喜等研发的PIPELEAK(智能油田管线防漏监测系统)泄漏检测系统,也是基于SCADA的管道检测系统。

王延年等^[31]提出利用分布式光纤

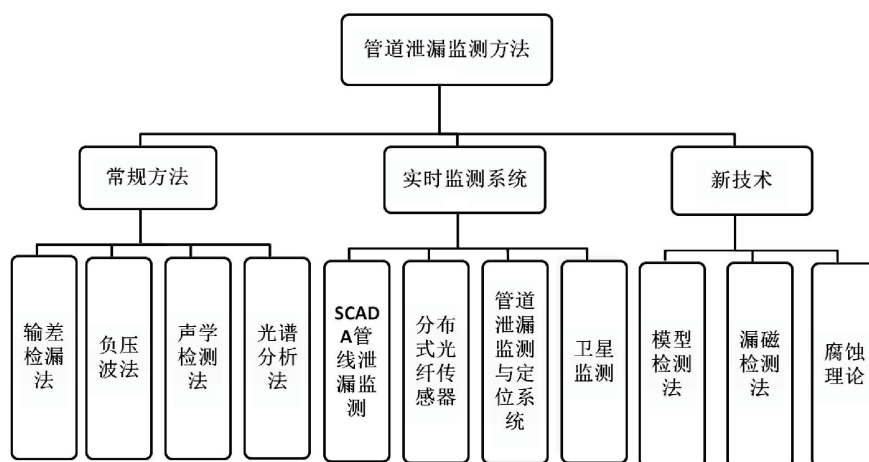


图2 管道泄漏监测方法分类

传感器对输送管道泄漏进行实时监测的技术。油气集输过程中,因管线泄漏、管道周围施工及人为破坏等产生的变化信号作用于光纤时,会产生不同的信息特征。分布式光纤传感器通过采集损耗的随时间的变化和空间分布,定位和测量光纤上不同点的损耗,通过计算机的数据分析,根据产生的信号特征判断和定位管道泄漏的发生。Strong等^[32]开发了管道和管线完整性监控系统,该系统通过分布式光纤传感器提供温度、应变和振动监测,可用于连续测量、分布式测量和第三方干扰(TPI)。Hares等^[33]研发了基于分布式光纤传感器的管道检测系统,能够同时对管线进行温度、应变、和振动监测,确定管线的泄漏位置。Eisler Ben^[34]介绍了位于北极地区的近海管道工程,该系统是基于光纤电缆系统的管线泄漏检测系统,由单级和二级监测系统组成,单级系统用于大的泄漏监测,二级系统用于海洋冰面破裂前的长期泄漏监测。

冯健等^[35]利用 Visual C++ 软件开发平台,研发了输油管道泄漏监测与定位系统,该系统的监测和定位原理为输差检漏法和负压波定位原理。

支焕等^[36]介绍了利用卫星技术监测输油管道泄漏技术。该技术原理基于红外遥感探测技术^[37]、GIS 和 GPS 全球定位技术^[38]。通过红外遥感探测器测量管线上方地表的温度效应,根据温度场遥感分布成像图判断管线是否发生泄漏,利用 GIS 平台查询泄漏管详细信息,最后利用 GPS 定位技术对管道的泄漏位置准确定位。

Sadovnychiy^[39]介绍了远程监测技术在管道泄漏早期检测系统中的应用。该系统由红外摄像机、摄像机、激光光谱仪和全球定位系统四种信息传

感器组成,通过接收各种传感器在不同工作频率范围产生的数据,进行联合处理以确定泄漏的存在和位置。Umeadi等^[40]研发了半连续性压电振动发射传感器监测系统对管道性能监测。该设备能够检测管道内流体的流动特性变化信号,对产生的信号进行频谱分析与理论频谱对比,确定管道的缺陷位置。

2.3 最新技术进展

Espen等^[41]建立模型进行油气管道泄漏检测。通过测量监测管线出口和入口处的速度、压力、温度利用计算流体动力学仿真器 OLGA 建立的底层流模型进行估算。Cenegy等^[42]从管道腐蚀角度出发,建立管道动态流模型和建立腐蚀预测模型,开发高分辨率金属损失探针和高灵敏度超声波壁厚换能器,从腐蚀的角度判断管线是否发生泄漏。漏磁(MFL)检测技术也运用到了管线监测领域,El Sherbeny等^[43]利用 MFL 监测大口径输油管道。该技术使用永久性磁铁在管道内部产生磁场,当管线存在金属损失区域时,磁通量将从该区域漏出,均匀分布在管线外表面上,通过场外传感器测量磁通量泄漏,判断管道是否发生测量。此外,对于天然气输送管线,Abbasi^[44]利用内部腐蚀监测的方法进行监测,该技术将电阻探针和失重试片装在管线腐蚀的特定点,利用采集到的数据评价管线内部腐蚀过程。实时在线监测管道腐蚀、破损、变形和泄漏是目前最新技术发展方向。

3 大气污染监测技术

油气开采过程中对大气造成的污染主要来自:钻井和油气开采过程中产生的废气、轻烃挥发、二氧化碳排放和伴生气体排放。其中废气中含有的气体污染物包括:伴生气、氮氧化物、二氧

化硫、一氧化碳、硫醇、硫化氢、烟尘等有害物。目前用于大气污染监测的方法包括:气相色谱法、电化学法、光谱分析法、生物监测法、集成监测系统、在线实时监测系统等方法,按照其原理进行了简单归类,如表3所示。

3.1 常规监测法

气相色谱法通过气相色谱测定大气中气体污染物的色谱图,与标准气体色谱图进行比对,判定空气中污染物的种类。中国医学科学院卫生研究所环境卫生研究室大气卫生组^[45]基于气相色谱法原理研发的氢火焰离子化鉴定器能够有效的监测大气中一氧化碳和有机污染物。该设备在原有氢火焰离子化鉴定器中设计增加镍反应器和测总碳氢化合物含量的进样器,将一氧化碳转化成甲烷,通过气相色谱法测量一氧化碳、甲烷、乙炔、乙烯等气体污染物。

红外吸收光谱法是通过红外光束照射气体分子,气体分子有选择性的吸收不同频率的光子,通过产生的红外吸收光谱测量气体浓度和识别不同气体分子的结构。张帆等^[46]基于红外吸收光谱原理研发红外气体检测仪用于监测大气中甲烷的浓度。该检测仪由光学系统和单片机系统两部分组成,红外光源进入气室,通过检测器得到两束单色光,利用红外探测器将光信号转换成电信号,输出电压信号,通过放大、滤波转换成数字量,读入单片机,利用相应程序计算气体浓度(图3)。

生物监测^[47-48](植物、动物、微生物)作为新兴技术近年来也被应用于大气污染监测领域。Cesare等利用苔藓和地衣监测石油和天然气开采区域的大气污染状况。顾朝光^[49]、郝卓莉^[50]等利用相关指示植物的器官、形态特征、组织化学成分在受到大气污染物危害

表3 大气污染监测方法分类

常规监测方法	综合监测系统	新技术
气相色谱法	突发性大气污染监测与预报技术集成(IMF)移动平台	
电化学法	突发性大气污染事故应急监测系统	甲烷泄漏综合监测系统
生物监测法	矿场气体安全排放系统	智能 CO ₂ 泄漏监测系统
光谱分析法	集成式环境监测系统	
	卫星遥感监测系统	

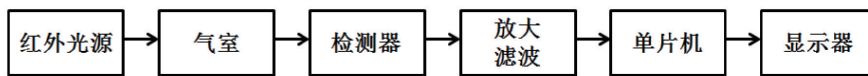


图3 红外气体检测仪监测原理示意^[46]

时产生的受害症状,判断大气污染物的种类,进行大气污染监测。

此外,大气中二氧化硫也可利用电化学法进行监测。鲜跃忠等^[51]基于电化学法研发的传感装置如图4所示:A为化学修饰的Ag/AgCl参比电极,B为工作电极,C为选择性透过膜,D为固体电解质,E为氟聚合物材料。利用化学原理输出与气体浓度相关的电信号,通过对产生的电信号进行分析研究,测定大气中二氧化硫的浓度。

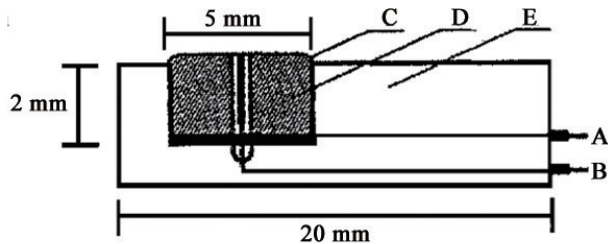


图4 二氧化硫气体电化学传感器^[51]

3.2 集成监测系统

安俊岭^[52]等研发了突发性大气污染监测与预报技术集成(IMF)移动平台。该系统主要由监测系统、预报系统和数据库系统三部分组成,其核心技术为傅里叶变换红外(FTIR)被动遥测分析仪EM27和模拟预报系统。FTIR被动遥测分析仪通过气体污染物的红外吸收特征谱与标准红外谱进行对比,确定气体污染物种类;利用突发性大气污染模拟预报系统(APOPS)进行实时在线预报。

陈文君等^[53]研发了突发性大气污染事故应急监测系统。该系统由基础信息模块、应急监测响应模块、现场应急监测模块和事故恢复监测模块4部分构成。以电子地图为载体对空间对象进行定位和查询,通过将事故发生区域进行地理空间离散化,利用污染扩散模型对突发性大气污染危险区的界定,

采集监测数据进行分析,确定大气污染范围。

Dashash^[54]等介绍了矿场气体安全排放系统。该系统自20世纪70年代起被广泛应用在沙特阿美石油公司的油气开采过程中,系统由相分离器、砂过滤器、旋风分离器、缓冲罐、高压泵、低压泵和压缩机等组成,通过增加必要的回流操作过程,确保实现油气生产过程中碳氢化合物的零排放。

Carnevale Paolo^[55]等介绍了意大利南部埃尼石油处理中心的综合环境监测项目。该项目是由网络、基站和监测系统组成的集成系统,可同时对空气质量、噪声污染、生态系统状况和生态多样性进行监测。气体排放监测网络通过电子鼻技术、人工测试和污染物浓度判断石油开采区域是否发生大气污染。

此外,卫星遥感监测系统也被用于大气污染监测领域。王雪梅^[56]、程立刚等^[57]通过识别大气污染物的光谱特征,利用卫星遥感中大气窗识别污染物的光谱特征进行大气污染监测。

3.3 最新技术进展

Waarum等^[58]在挪威北部靠近北冰洋冰盖地区设计和安装了海底甲烷泄漏监测综合环境监测系统,用于监测北冰洋地区的甲烷泄漏状况。CO₂作为产生温室效应的主要因素,目前碳捕获和储存(CCS)技术已经成为国外研究的热点,Eke^[59]通过研究提高CO₂在地质流体中的溶解度减轻气体泄漏而Haghigha等^[60]通过实时智能CO₂泄漏检测系统(RT-ILDS)检测CO₂泄漏情况。基于电化学法研发的传感器装置监测SO₂气体是相比于其他监测手段

优势明显,集成式传感器综合监测系统将成为后续研究的热点。智能化和集成化的大型综合监测系统是目前新的技术发展方向。

4 油气开采中环境监测综合管理

环境保护是中国的基本国策,保护环境就是保护人类赖以生存的条件。建设绿色油田,实现生态环境的可持续发展,是油田发展的重中之重,因此建立油田开过程中的综合管理机制显得尤为重要^[61-63]。

4.1 认真执行相关法律法规

目前中国已经颁布的环境保护方面的法律有《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国水污染防治法》《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》《中华人民共和国水法》《中华人民共和国大气污染防治法》等,环境保护作为中国基本国策,必须放在油气开采的首要位置。各级油田单位在油气开采过程中必须严格执行相关法律法规,细化实施方案,积极推行环境保护责任制,实行环境保护目标管理。同时,政府及相关部门应加大治理的力度,严格执法,不姑息,不懈怠,对环境污染企业及个人严惩不贷。

4.2 落实环境保护制度

落实环境保护制度就是要做到环境保护法制定的环境监测及环保措施与油气开采同时设计、同时施工、同时运行的“三同时”环保制度,防止环境污染的产生。对在油田开采中国可能会发生的环境污染问题,各级油田单位应该提前出台相应的解决方法,同时应该出台相关制度,确立环境监测在油田生产中的重要地位。实时关注国家、省、市等各级环保部门新的政策和制度,以保证现有污染问题得到及时有效的解决。

4.3 加强环境保护宣传和培训

加强环境保护宣传工作,各级油田单位和所在地政府各级部门,积极开展相关的环境宣传、警示和教育活动,重点突出油区环境污染的严重性和其环保工作的严峻形势,增强环境保护的自觉性。同积极开展环保知识培训,增强

油田员工环保知识,同时结合现场实际情况,促使油田员工了解现场操作不当导致的环境问题以及如何快速、高效的解决出现的环境问题。

4.4 实施环境友好型技术

大力发展环境友好型油气开采技术和监测技术。1) 在钻井过程中保护地下水环境即水泥封固含水层上部分的外用套管,阻止钻井液、钻井泥浆进入地下水层;2) 钻井、修井过程建立的污泥池和污油池都不宜过深,并且提前进行防渗处理,以免造成土壤污染;3) 回填已废弃的油池以及泥浆池,并采取相应的绿化措施;4) 及时用水泥进行废弃油水井封闭,避免对地下水污染;5) 加强3S技术^[69]在油气开采过程中环境监测的应用,建立实时动态监测预警机制,做到异常现象提前预警,以确保

及时有效采取相关措施。

5 结论与展望

从套后窜漏监测、管道泄漏监测技术、大气污染监测3个方面综合分析了目前油田开采过程中的环境监测技术。对于窜漏监测技术而言,常规监测方法包括测井法和机械法,同时也是国内油田矿场找窜最常用的方法;试井法国外学者研究较多,目前已经建立了相关试井解释模型,矿场应用具有良好的效果。此外,核监测技术、实时监测技术也以应用到窜漏监测领域,监测范围也已经从监测窜漏缝扩展到环空水泥环、金属和水泥混合物凝胶等多方面,目前对于窜漏的井下实时监测的研究较少,环绕套管的分布式光纤实时监测套损和固井水泥环形变等破坏作用是

目前最新技术发展方向。

对于管道监测技术而言,输差检漏法、负压波法、声学以及光学等常规监测方法,已经不能满足目前越来越复杂的管线泄漏情况;实时监测系统能够更加及时、准确的进行管线泄漏监测。模型法、漏磁监测法、腐蚀监测法等新技术的应用,更加丰富管线泄漏监测手段。实时在线监测管道腐蚀、破损、变形和泄漏是目前最新技术发展方向。

对于大气污染监测而言,常规的气相色谱法、电化学法、生物监测法、光谱分析法等只能满足极小范围内的空气污染监测;对于突发性的大面积大气污染以及持续性监控大气环境,综合性监测系统能够进行准确、高效的监测预报。智能化和集成化的大型综合监测系统是目前最新技术发展方向。

参考文献(References)

- [1] 许营. 石油勘探开发过程中的环境保护[J]. 化工管理, 2013(12): 26-27.
- [2] 张艳芳, 石琰宇. 浅析我国陆地石油勘探开发过程中的环境保护[J]. 中国国土资源经济, 2013(3): 53-55.
- [3] 王国柱, 宋婷婷. 浅谈环境监测在环境保护工作中的作用[J]. 青海石油, 2013, 31(3): 93-96.
- [4] 敬宪科. 石油资源开发中的环境污染[J]. 甘肃环境研究与检测, 1996, 9(2): 27-29.
- [5] 姜文达. 放射性同位素示踪注水剖面测井[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [6] 王晓华. 注入井套管找漏测井方法适用性分析[J]. 石油天然气学报, 2014, 36(12): 113-116.
- [7] 黎昌华, 白璐. 井温测井在油气田开发中的应用[J]. 钻采工艺, 2001, 24(5): 35-37.
- [8] 夏竹君, 曾敏梅, 庄玮, 等. 脉冲中子氧活化测井仪在工程找窜中的应用[J]. 天然气技术, 2008, 2(2): 41-44.
- [9] 吴鹏程, 陈一健, 杨琳, 等. 成像测井技术研究现状及应用[J]. 天然气勘探与开发, 2007, 30(2): 36-40.
- [10] 谢荣华, 刘继生, 张月秋, 等. 检查套管损坏的电磁探伤测井方法及应用[J]. 测井技术, 2003, 27(3): 242-245.
- [11] 关莉. 电磁探伤检测仪在江苏油田套管检测中的应用分析[J]. 石油仪器, 2009, 23(4): 61-63.
- [12] 李国庆, 李克香. 判断管外窜槽的方法[J]. 油气田地面工程, 2004, 23(1): 43-46.
- [13] 高成泰. 串漏垂向干扰试井的特征及解释方法[J]. 石油学报, 1994, 15(2): 65-75.
- [14] Kremenetskiy M I, Ipatov A I, Kokurina V. Well-test interpretation in case of behind-the-casing crossflow[C]//SPE Russian Oil and Gas Technical Conference and Exhibition. Moscow, Russia: Society of Petroleum Engineers, 2008: SPE-115323-MS.
- [15] Aadnoy B S, Mostafavi V, Hareland G. Fracture mechanics interpretation of leak-off tests[C]//The 2009 Kuwait International Petroleum Conference and Exhibition. Kuwait City, Kuwait: Society of Petroleum Engineers, 2009: SPE-126452-MS.
- [16] Gasbarri S, Basabe L, Fariña A, et al. Water-production diagnosis using transient test with multiphase flowmeter[C]//SPE Eastern Regional/AAPG Eastern Section Joint Meeting. Pennsylvania, USA: Society of Petroleum Engineers, 2008: SPE-117236-MS.
- [17] Gandomkar A, Fu J, Gray K. E. Leak-Off Test Model combining wellbore and near-wellbore mechanical behavior[C]//SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Houston, Texas, USA: Society of Petroleum Engineers, 2015: SPE-174876-MS.
- [18] Anisur Rahman N M, Bin Akresh S A, Al-Thawad F M. Diagnosis and characterization of cross flow behind casing from transient-pressure tests[C]//SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Houston, Texas: Society of Petroleum Engineers, 2015: SPE-174999-MS.
- [19] Hu Y, Guo W. Behind Casing Inspection Using Active gamma-gamma technique[C]//Offshore Technology Conference Asia. Kuala Lumpur, Malaysia: Offshore Technology Conference, 2016: OTC-26639-MS.
- [20] Zaini A B A, Ali A M, Razak M A, et al. Improved casing integrity evaluation enables multiple strings metal-loss profiling in aging wells[C]//Offshore Technology Conference Asia. Kuala Lumpur, Malaysia: Offshore Technology Conference, 2016: OTC-26719-MS.
- [21] Vipulanandan C, Ali M, Basirat B, et al. Field test for real time monitoring of piezoresistive smart cement to verify the cementing operations[C]//Offshore Technology Conference. Kuala Lumpur, Malaysia: Offshore Technology Conference, 2016: OTC-27060-MS.
- [22] 王振堂, 赵志勇, 周世刚, 等. 几种长输管道泄漏监测技术的分析[J]. 油气田地面工程, 2003, 22(10): 58.
- [23] 周勇, 马永忠, 罗毅, 等. 深石管道无线数据监测技术泄漏定位技术[J]. 油气储运, 2004, 23(4): 43-47.
- [24] 李明, 贾振安, 刘颖刚. 用超声波对输油管道进行检漏及定位[J]. 油气储运, 2002, 21(7): 25-27.
- [25] Bernasconi G, Del Giudice S, Giunta G, et al. Advanced pipeline monitoring using multipoint acoustic data[C]//Offshore Mediterranean Conference and

- Exhibition. Ravenna, Italy: Offshore Mediterranean Conference, 2013: OMC-2013-118.
- [26] Mabily D, Lehning V. Pipeline leak and impact detection system—pipeLIDS—monitoring product dedicated to onshore pipelines[C]//Offshore Technology Conference. Houston, Texas: Offshore Technology Conference, 2016: OTC-27026-MS.
- [27] 王忠东, 马庆万. 土壤中石油矿物油的荧光特性测量[J]. 光学精密工程, 2010, 18(4): 842-847.
- [28] 魏玲. 石油产品及其污染土壤中多环芳烃的荧光光谱特征[D]. 桂林: 广西师范大学, 2010.
- [29] 刘庆生, 刘高焕, 励惠国. 辽河三角洲土壤中石油类含量光谱分析初探[J]. 油气田环境保护, 2004, 14(2): 43-45.
- [30] 陈悦, 吕琛, 王桂增. 基于SCADA的输油管线泄漏监测系统[J]. 自动化仪表, 2003, 24(9): 5-8.
- [31] 王延年, 赵玉龙, 朱笠, 等. 分布式光纤传感器在管道泄漏监测中应用[J]. 郑州大学学报(理学版), 2003, 35(2): 5-8.
- [32] Strong A P, Lees G, Hartog A H, et al. An integrated system for pipeline condition monitoring[C]//International Petroleum Technology Conference. Doha, Qatar: International Petroleum Technology Conference, 2009: IPTC-13661-MS.
- [33] Hares Layla El, Strong Andrew, Stanc Patrick Le. Midstream & subsea pipeline condition monitoring[C]//Offshore Technology Conference. Houston, Texas, USA: Offshore Technology Conference, 2011: OTC-21767-MS-P.
- [34] Eisler Ben. Leak detection systems and challenges for arctic subsea pipelines[C]//Arctic Technology Conference. Houston, Texas, USA: Offshore Technology Conference, 2011: OTC-22134-MS.
- [35] 冯健, 张化光, 伦淑娟, 等. 输油管道泄漏监测与定位系统的研制[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2003, 24(8): 731-734.
- [36] 支焕, 蒋华义, 高志亮, 等. 卫星监测技术在输油管道泄漏中的应用[J]. 油气储运, 2011, 30(12): 957-959.
- [37] 王久龙. 基于红外成像技术的埋地管道泄漏定位实验研究[D]. 大庆: 大庆石油学院, 2008: 16-47.
- [38] 王庆峰, 李跃辉, 徐建庆, 等. GPS卫星定位技术在埋地管道腐蚀检测中的应用[J]. 油气田地面工程, 2003, 22(12): 32-32.
- [39] Sadovnychiy S, Bulgakov I, Valadez J. System for remote detection of pipeline leakage[C]//Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference. Rio de Janeiro, Brazil: Society of Petroleum Engineers, 2005: SPE-94958.
- [40] Umeadi B B N, Jones K G. The Development of an Intelligent Sensor for the Monitoring of Pipeline System Integrity [C]//SPE Russian Oil & Gas Technical Conference and Exhibition. Moscow, Russia: Society of Petroleum Engineers, 2008: SPE-115503-MS-P.
- [41] Hauge E, Aamo O M, Godhavn J M. Model-based monitoring and leak detection in oil and gas pipelines[J]. SPE Projects, Facilities & Construction, 2009, 4(3): 53-60.
- [42] Cenegy L M, McAfee C A, Engchanil R, et al. Sinphuhorm, thailand pipeline integrity management utilizing advanced monitoring techniques[C]//International Petroleum Technology Conference. Bangkok: International Petroleum Technology Conference, 2011: IPTC-14618-MS.
- [43] El Sherbeny W, Nuic I, Hasan G, et al. Magnetic flux leakage (MFL) technology provides the industry's most precise pipe integrity and corrosion evaluation, accurately characterizing casing and tubing strength—technology overview and case history[C]//SPE Saudi Arabia Section Annual Technical Symposium and Exhibition. Al-Khobar, Saudi Arabia: Society of Petroleum Engineers, 2015: SPE-177994-MS.
- [44] Abbasi T, Hults J E, Mesnage O, et al. LNG flexible integrated with fiber optic distributed leak system enhancing safety, integrity monitoring and life assessments[C]//Offshore Technology Conference Asia. Kuala Lumpur, Malaysia: Offshore Technology Conference, 2016: OTC-26645-MS.
- [45] 中国医学科学院卫生研究所环境卫生研究室大气卫生组. 气相色谱法在大气污染监测中的应用[J]. 卫生研究, 1974(4): 371-383.
- [46] 张帆, 张立萍. 红外吸收光谱法在气体检测中的应用[J]. 唐山师范学院学报, 2005(5): 62-64
- [47] 张美萍. 生物监测技术在环境监测中的应用[J]. 低碳世界, 2014(17): 8-9.
- [48] Bernd Markert, 王美娥, Simone Wünschmann, 等. 环境质量评价中的生物指示与生物监测[J]. 生态学报, 2013, 33(1): 33-44.
- [49] 顾朝光, 宋爽, 何志桥. 大气污染物的植物监测方法研究[J]. 浙江工业大学学报, 2005, 33(5): 566-569.
- [50] 郝卓莉, 黄晓华, 张光生, 等. 城市环境污染的植物监测[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(3): 1-4.
- [51] 鲜跃仲, 薛建, 张文, 等. 新型二氧化硫气体电化学传感器的研究[J]. 高等学校化学学报, 2000, 21(9): 1375-1376.
- [52] 安俊岭, 向伟玲, 韩志伟, 等. 突发性大气污染监测与预报技术集成移动平台[J]. 中国环境科学, 2011, 31(8): 1241-1247.
- [53] 陈文君, 陈锁忠, 都娥娥, 等. 突发性大气污染事故应急监测系统的设计和开发[J]. 地球信息科学学报, 2011, 13(1): 65-71.
- [54] Dashash Alaa, Mashabi Loay, Arnaout Ibrahim, et al. Saudi aramco's ambient air quality and source eEmission milestone: Achieving zero hydrocarbon discharge in on shore oil operations[C]//SPE Middle East Health, Safety, Security, and Environment Conference and Exhibition. Abu Dhabi, UAE: Society of Petroleum Engineers, 2015: SPE-154989-MS.
- [55] Carnevale Paolo, Croce Silvia Di. Innovative environmental monitoring for upstream onshore installation[C]//SPE/APPEA International Conference on Health, Safety, and Environment in Oil and Gas Exploration and Production. Perth, Australia: Society of Petroleum Engineers, 2012: SPE 156294.
- [56] 王雪梅, 邓孺孺, 何执谦. 遥感技术在大气监测中的应用[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2001, 6(40): 95-98.
- [57] 程立刚, 王艳姣, 王耀庭. 遥感技术在大气监测中的应用综述[J]. 中国环境监测, 2005, 21(5): 17-23.
- [58] Waarum I K, Sparrevik P, Kvistedal Y, et al. Innovative methods for methane leakage monitoring near oil and gas installations[C]//Offshore Technology Conference. Houston, Texas: Offshore Technology Conference, 2016: OTC-27036-MS.
- [59] Eke P E, Naylor M, Curtis A, et al. CO₂ leakage prevention technologies[C]//Offshore Europe. Aberdeen: Society of Petroleum Engineers, 2011: SPE-145263-MS.
- [60] Haghghat S A, Mohaghegh S D. Interpretation of real-time pressure measurements to detect CO₂ leakage[C]//SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Houston, Texas: Society of Petroleum Engineers, 2015: SPE-175020-MS.
- [61] 潘民. 油田环境保护的现状思考与对策[J]. 中国石油和化工, 2016(2): 56-57.
- [62] 宋顺琼. 建立安全健康环境管理体系 确保油田安全生产[J]. 中国海上油气: 地质, 2002, 16(6): 433-438.
- [63] 陆泗进, 何立环. 浅谈我国土壤环境质量监测[J]. 环境监测管理与技术, 2013, 25(3): 6-8.
- [64] 伍墨, 陈建平. 3S技术在环境监测中的应用[J]. 环境保护, 2011(19): 49-50.

Environmental surveillance and management in oil and gas exploration and production

LIN Jiaen, SU Zezhong, XUE Shuaishuai, LIU Rui

MOE Engineering Research Center of Development & Management of Western Low & Ultra-Low Permeability Oilfield,
Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China

Abstract Nowadays, the regulation and protection of natural environment, such as groundwater, soil and air etc. becomes increasingly important with greater exploitation of oil and natural gas. This paper introduces the main monitoring methods including cross flow monitoring behind casing, pipeline leakage monitoring and air pollution monitoring in China and abroad, presenting the integrated management programs of environment monitoring, which provides a new method for environment monitoring technology in oil and gas exploration and production. The cross flow monitoring methods behind casing consist of well logging method, well test method and mechanical method. The pipeline leakage monitoring methods include differential input leak test, negative pressure wave method and real-time monitoring system. Air pollution monitoring methods include biological monitoring, spectrum analysis and comprehensive monitoring system. It also outlines new technologies of the three monitoring, including: 1) nuclear monitoring and real-time monitoring in cross flow monitoring behind casing; 2) the model methods, MFL and Corrosion Theory in pipeline leakage monitoring; 3) and the comprehensive monitoring system in air pollution monitoring. Meanwhile, it was investigated that real-time down-hole monitoring, real-time pipeline leak monitoring system and intelligent integrated gas monitoring system will become the main development trend and focus in the future of oil and gas field.

Keywords oil and gas development and production; cross-flow monitoring behind casing; pipeline leak monitoring; air pollution monitoring

(责任编辑 刘志远)