

油田生态环境修复技术研究综述

杨静云 刘晓艳 戴春雷 初磊

(大庆石油学院)

摘要 随着油田的持续开发,油气开采总量逐年增加,导致生态环境恶化加剧。文章综述了油田开发对油田生态环境的影响,并针对油田开发对水环境、土壤环境的污染,重点介绍了国内外油田生态环境污染的修复技术。

关键词 油田开发 生态环境 修复技术

0 引言

当今石油工业蓬勃发展,油气开采总量逐年增加,仅 2006 年全球原油及凝析油产量就达到 $36.24 \times 10^8 \text{t}$,2006 年我国原油年产量达到 $1.84 \times 10^8 \text{t}$ 。虽然保证了油气产量的高速增长,但油气开发整体的科学技术水平还很低,油田开发往往是在无足够工程、技术和经济准备的条件下进行的。这种强化开采的政策,导致了石油储量的极度衰竭和生态环境的极大破坏。近年来,石油开采已进入高成本阶段,我国乃至世界石油企业均面临资金短缺,后备储量不足,生态环境加剧恶化的局面。人们越来越清楚地认识到,当前所面临的重大问题不仅仅是油田开发的技术问题,而是如何更有效、合理地开发和利用资源,以保证石油工业乃至整个国民经济的持续、稳定发展。

1 油田开发对生态环境的影响

1.1 油田开发对水环境的污染

落地原油通过径流污染地表水、海水等。地表水是农业生产的主要灌溉水源,一旦受污染会直接造成土壤及农作物污染,作物的污染又导致家畜、家禽和人体内有毒物质的富集,在整个食物链中最终危及人体健康。

地下水是饮用水主要来源之一。我国部分油田区周围居民掘井取用地下水为饮用水。如果石油废物通过各种途径污染了地下水源,它对人体危害虽然不如细菌或病毒那样明显,但在潜移默化地发生作用,所以应引起足够的重视。石油对水色、水味和溶解氧有较大的影响,不同国家对饮用水中的含油允许浓度一

般限定在 $0.1 \sim 1.00 \text{mg/kg}$ 之间^[1]。

1.2 油田开发对土壤的污染

石油对土壤的污染主要是在勘探、开采、运输以及储存过程中引起的,如石油运输、加工过程中的偶然事件、不合理的储油罐以及地下油罐的泄漏等。油田周围大面积土壤一般都会受到严重污染,石油对土壤的污染主要集中在 20 cm 左右的表层,石油进入土壤之后,所产生的危害主要体现在以下几个方面^[2]。

- ◆ 影响土壤的通透性,降低土壤质量。
- ◆ 阻碍植物根系的呼吸与吸收,引起根系腐烂,影响农作物的根系生长。
- ◆ 使土壤有效磷、氮的含量减少,影响作物的营养吸收。
- ◆ 石油中的多环芳烃具有致癌、致畸、致突变等作用,能通过食物链在动植物体内逐级富集,危害人类健康。
- ◆ 石油烃中不易被土壤吸收的部分能渗入地下并污染地下水。

2 油田生态环境的修复技术

2.1 水环境的修复技术

2.1.1 物理修复法

物理方法主要包括利用清污船清油、围油、吸油和磁性分离等技术。目前利用物理方法去除水体表面的油污效果较好,但对于厚度小于 0.3 cm 的薄油层和乳化油效果较差。

目前已发展了几百种机械除油装置,通常用于回收厚度为 5 mm 以上的油层。利用吸油材料除油是目前

经常采用的一种简单有效的方法。磁性分离法是利用一种溶于石油而不溶于水的含有粉末状 Fe_3O_4 磁性物质的特殊磁性“液体”，磁性微粒直径约是头发直径的1/1000。目前，美国已经研制出亲油憎水的磁性微粒，当将它撒播在被污染的海域，迅速溶解于油中，从而使油呈磁性并被磁性回收装置清除^[3]。

物理法除油的缺点是成本高，除油不彻底，操作条件要求高，而处理效果只停留在降低表观色度的水平上。

2.1.2 化学修复法

化学方法主要包括燃烧法和投加药剂法。燃烧法可以在较短时间内清除大量油组份，处理时也不需要复杂的处理装置。使用该方法时需满足三个条件：及时，油膜厚度至少有3mm，位置处于远海地区。燃烧法在实际应用中的不足为：当大量的油被燃烧后，容易造成大气污染，有时还会发生火灾，该方法不能大面积使用。

目前投加的化学药剂主要是消油剂、凝油剂和聚油剂。近年来研究更多的是微生物絮凝剂，即从微生物或其分泌物中提取、纯化而获得的新型化学药剂。实践表明，用化学法处理石油水体表面污染，药剂用量大，费用较高，会产生较多有毒有害物质，有时其副作用比石油污染的直接经济损失还要大。

2.1.3 生物修复法

根据修复实施的场所不同，水体生物修复被划分为原位生物修复、异位生物修复和原位-异位联合修复^[4]。目前应用较多的是原位生物修复技术。

人工复氧法是根据受污染水体的缺氧状况，采用人工方式向水体中注入空气或氧气，加速水体的复氧过程，以提高水体的溶解氧浓度，恢复和增强水体中好氧微生物的活力，使水体中的污染物得以净化的方法^[5]。

投加生物表面活性剂法就是往水体中投加生物表面活性剂，促进微生物对石油烃类物质的乳化效果，从而提高微生物对石油污染物降解的能力和效果。生物表面活性剂具有高效、无毒、抗菌、经济和无二次污染等优点^[6]。

植物修复是利用植物根系吸收、富集、降解或固定受污染水体中的污染物，以实现消除或降低污染物的污染强度，达到修复水体的目的。但是因为某些水生植物繁殖速度很快，容易引起水体的二次污染。

2.2 土壤的修复技术

2.2.1 物理修复

焚烧法适于小面积被石油烃类严重污染土壤的治理，要求温度在 $815^\circ\text{C}\sim 1200^\circ\text{C}$ 之间，而且对焚烧过程中可能产生的有毒物质要进行收集处理，进入焚烧炉的土壤颗粒直径不得大于25mm。由于该方法处理成本过高，而不适用于受大面积污染的土壤^[7]。

隔离法是采用粘土或其他人工合成的惰性材料，把被石油烃类污染的土壤和周围环境隔离开来，这种方法没有破坏石油烃类，只是防止了污染物向地下水、土壤的迁移。这一方法适用于任何石油烃类污染土壤的控制，尤其适用于渗透性差的地带。该方法运行费用较低，但对于毒性期长的石油烃类，只是暂时地防止了石油烃类迁移，不能作为永久的治理方法^[8]。

换土法是用新鲜未受污染的土壤替换或部分替换原污染土壤，以稀释原污染物浓度，增加土壤环境容量。换土法可分为翻土、换土和客土3种方法^[9]。

2.2.2 化学修复

萃取法是根据相似相溶原理，使用有机溶剂对被污染土壤中的原油进行萃取，然后对有机相进行分离，回收其中的原油，实现废物的资源化。此方法适于油污浓度较高的土壤。处理后的被石油污染的土壤污染物含量可低于5%。

土壤洗涤法是将被污染的土壤破碎，用足够的水和洗涤剂将脱除污染物的土壤从水相中分离出来，后将表面活性剂与水混合制成洗涤水（表面活性剂为8~15C的直链醇与2~8个环氧乙烷单元的加成物），用洗涤水洗涤污染的土壤，并除去土中的油，表面活性剂的量应少于0.5%（体积百分比）^[10]。

化学氧化法是向被石油烃类污染的土壤中喷撒或注入化学氧化剂，使其与污染物发生化学反应来实现净化的目的，化学氧化剂有臭氧、过氧化氢、高锰酸钾、二氧化氯等。化学氧化法适合于土壤和地下水同时被石油烃类污染的治理，化学氧化法不会对环境造成二次污染，但操作比较复杂^[11]。

2.2.3 原位生物修复

原位生物修复(In Situ Bioremediation)，即污染土壤不经搅动，在原位和易残留部位进行处理^[12]。原位生物修复包括投菌法、生物培养法、生物通气法等。

投菌法 (Bioaugmentation) 直接向遭受污染的土壤接入外源的污染降解菌, 同时提供这些微生物生长所需要的营养, 包括常量的营养元素和微量的营养元素。常量营养元素包括氮、磷、硫、钾、钙、镁、铁、锰等, 其中氮和磷是土壤微生物治理系统中最主要的营养元素, 微生物生长所需的碳、氮、磷质量比大约为 120 : 10 : 1^[13, 14]。

生物培养法 (Bioculture) 定期向污染土壤中加入营养、氧或 H_2O_2 作为微生物氧化的电子受体, 以满足污染环境已经存在的降解菌的需要, 提高土著微生物的代谢活性, 将污染物彻底地矿化为 CO_2 和 H_2O ^[15]。

生物通气法 (Bioventing) 是一种强迫氧化的微生物降解方法。该法生物修复系统的主要制约因素是土壤结构, 不适合的土壤结构会使氧气和营养元素在到达污染区域之前就被消耗掉, 而具有多孔结构的土壤污染可以采用生物通气法来处理^[16]。

2.2.4 异位生物修复

异位生物修复 (On Situ Bioremediation) 是将污染土壤挖出, 运至场外的专门场地进行处理的方法。主要方法有: 土壤耕作法、土壤堆腐法、预制床法、生物反应器法等^[17]。

土壤耕作法 (Land Farming) 是一种被广泛采用的处理土壤污染的方法, 此方法节约成本, 适于处理石油工业废物和污泥, 可在几个月时间内使石油浓度从 70000 mg/kg 降低到 100~200 mg/kg^[18]。这种方法的不足是: 挥发性有机物会造成空气污染, 难降解物质的缓慢累积会增加土壤的毒性^[19, 20]。

土壤堆腐法 (Composting Piles) 与土壤耕作法相似, 但是它加入了土壤调理剂以提供微生物生长和石油生物降解的能量。该过程对去除含高浓度不稳定固体的有机复合物最有效, 微生物既消耗土壤调理剂又消耗石油产品^[21]。

预制床法 (Prepared Bed) 是在不泄漏的平台上, 铺上石子和沙子, 将受到污染的土壤以 15~30 cm 的厚度平铺其上, 加入营养物和水, 必要时也可以加一些表面活性剂, 定期翻动土壤补充氧气供微生物生长。处理过程中流出的渗滤液, 回灌于该土层上, 以便彻底清除污染物。这一技术可保证理想的工艺条件与处理效果, 还可防止处理过程中污染物向环境转移, 被视为一项具有广阔应用前景的处理技术^[22]。

生物反应器 (Bioreactor) 是用于处理污染土壤的特殊反应器, 可建在污染现场或异地处理场地, 是最灵活的方法。泥浆生物反应器工作的典型流程是: 土壤挖出后进行预筛, 筛去大块部分, 然后将土壤分散于水中 (一般 20%~50% 重量浓度) 送入生物反应器, 生物反应器可在好氧或厌氧条件下运转。当需氧时, 经喷嘴导入氧气或压缩空气, 或通过加 H_2O_2 产生氧气, 达到处理目标后, 将土壤排出脱水^[23]。

2.2.5 植物修复

植物修复 (Phytoremediation) 是利用植物对环境污染物质进行处理的技术。它是利用植物及其微生物与环境之间的相互作用, 对环境污染物质进行清除、分解、吸收或吸附, 使土壤环境重新得到恢复^[24]。植物修复的方式有: ① 植物提取 (Phytoextraction), 植物吸收累积的污染物, 待收获后进行处理。收获后可以进行热处理、微生物处理和化学处理^[25]; ② 植物降解 (Phytodegradation), 植物及其相关微生物区系将污染物转化为无毒物质; ③ 植物稳定化 (Phytostabilization), 植物在同土壤的共同作用下, 将污染物固定, 以减少其对生物与环境的危害。植物修复技术的优点是: 成本低, 对环境影响小, 能使地表长期稳定, 可在清除土壤污染的同时, 清除污染土壤周围的大气和水体中的污染物, 有利于改善生态环境等^[26]。

3 结束语

随着石油工业的发展, 石油污染的土壤面积将会不断扩大。对油田生态环境进行治理, 使其在尽可能短的时间内恢复, 是油田生态环境治理过程中亟待解决的问题。选择污染物的处理方法时, 除了要考虑污染物所在地点、量的多少、处理效果的好坏、所需时间的长短和处理的难易程度等技术因素外, 处理费用也是一个十分重要的因素。应更多地采用低成本、无污染、高效率的生物治理技术。

总之, 在油田生态环境治理过程中, 一方面要进一步完善生物修复技术, 使其成熟化和系统化; 另一方面, 要注意传统方法与生物修复方法相结合, 发挥各自优点, 使环境修复过程成为一个有机的整体, 达到系统化和最优化, 同时要综合兼顾经济效益、社会效益和环境效益。

参考文献

- [1] 李玉文, 王星元. 油气田开发对生态环境的污染及治理措施. 科技咨询导报, 2007, 22:78
- [2] 齐永强, 王红旗. 微生物处理土壤石油污染的研究进展[J]. 上海环境科学, 2002, 21(3):177~180
- [3] 陈尧. 中国近海石油污染现状及防治[J]. 工业安全与环境科学, 2000, 19(3):1~10
- [4] 陈燕, 李寅, 堵国成. 石油污染水体的生物修复[J]. 水处理技术, 2003, 29(5):249~252
- [5] 安淼, 周琪, 李辉. 土壤污染生物修复的影响因素[J]. 土壤与环境, 2002, 11(4):397~400
- [6] Rahman K S M, Rahman T J, Lakshmanaperumalsamy P, et al. The potential of bacterial isolates for emulsification with a range of hydrocarbons[J]. Acta Biotechnologica, 2003, 23(4):335~345
- [7] 姜昌亮. 石油污染土壤的物理化学处理-生物修复工艺与技术研究[D]. 沈阳: 中国科学院应用生态研究所, 2001:1~20
- [8] 李永涛, 吴启堂. 土壤污染治理方法研究[J]. 农业环境保护, 1997, 16(3):118~122
- [9] 钱暑强, 刘铮. 污染土壤修复技术介绍[J]. 化工进展, 2000, (4):10~12
- [10] 于晓丽. 落地原油对土壤污染及治理技术[J]. 农业环境与发展, 2000, (3):28~29
- [11] SA V HO. Intergarted in situ soil remediation technology: the Lasagna proceed[J]. Environment Science Technology, 1995, 29:2528~2534
- [12] HILBERTS, B. In site Technigues in Contaminated Soil[A]. Wilf K. Kluwer Aeddemic Publishers [C]. 1985. 679~693
- [13] HWANG H M. Interactions between subsurface microbial assemblages and mixed organic and inorganic contaminant systems [J]. Bull Environ Contam Toxicol, 1994, 53(5):771~778
- [14] MILLS S A. Evaluation of phosphorus sources promoting bioremediation of diesel fuel in soil [J]. Bull Environ. Contam. Toxicol. 1994, 53(2):280~284
- [15] 郭江峰, 孙锦荷. 污染土壤生物治理的研究方法[J]. 环境科学进展, 1995, 3(5):62~68
- [16] FRODRICKSON J K. In-situ and on-site bioreclamation [J]. Environ & Sci Technol, 1993, 27(9):1711~1716
- [17] MORGAN P, WATKINSON R J. Hydrocarbon degradation in soil and methods for soil biotreatment[J]. Biotechnology, 1989, 8:305~333
- [18] EDWARD J, CALABRESE. Principles and Practices for Petroleum contaminated Soils, 1993
- [19] ATLAS R M. Microbial hydrocarbon degradation-biodegradation of oil spills[J]. Chem Tech Biotechnol, 1991, 52:149~156
- [20] PRITCHARD P H, C F. EPA's Alaska oil spill biodegradation project[J]. Env Sci Tech, 1991, 25:372~379
- [21] 顾传辉, 陈桂珠. 石油污染土壤生物修复[J]. 重庆环境科学, 2001, 23(2):42~45
- [22] 张海荣, 李培军, 孙铁珩等. 四种石油污染土壤生物修复技术的研究[J]. 农业环境保护, 2001, 20(2):78~80
- [23] ZAPPI M E, ROGERS B A, TEETER C L, et al. Bioslurry treatment of a soil contaminated with low concentrations of total petroleum hydrocarbons [J]. Journal of Hazardous Materials, 1996, 46(1):1~12
- [24] FLATHMAN P E, LANZA G R. Phytoremediation, current views on an emerging green technology[J]. Journal of Soil Contamination, 1998, 7:415~432
- [25] CUNNINGHAM S D. Trend in Biotechnology, 1995, 13(9):393~397
- [26] 唐世荣. 利用植物修复污染土壤研究进展[J]. 环境科学进展, 1996, 4(6):10~17

(收稿日期 2008-03-26)

(编辑 黎英)

第39个“世界地球日”——认识地球，和谐发展

今年4月22日是第39个“世界地球日”。从20世纪90年代起，中国在每年的4月22日都举办“世界地球日”宣传活动，并根据当年的情况确定活动主题。今年，中国确定的“世界地球日”主题与“国际地球年”中国行动的宣传口号一样，即“认识地球，和谐发展”。

(摘编自新华网 2008-04-21)