海洋石油工程清洁生产及管理对策*

兰圣迎 石荣贵 吴玲玲 周俊杰 连忠廉

（国家海洋局南海环境监测中心）

摘 要 海洋石油工程清洁生产着眼于污染预防，全面考虑开发生产周期过程对海洋环境的影响，最大限度地减少原料和能源消耗，提高能源利用率，使开发过程对海洋环境的影响降到最低。从水资源利用、钻屑泥浆处置、伴生气回收、新能源新试剂和新技术利用、污染物末端处理、作业者管理水平等 6 个方面介绍了海洋石油工程清洁生产措施，并提出了清洁生产管理对策，为今后的海洋石油工程清洁生产工作提供参考。

关键词 海洋石油工程；清洁生产；管理对策

DOI：10.3969/j.issn.1005-3158.2015.02.001 **文章编号：** 1005-3158(2015)02-0001-04

0 引 言

根据第三次石油资源评估结果，我国海洋石油资源量为 246 亿 t，占全国石油资源总量的 23%，探明程度仅为 12%，远低于世界平均水平[1]。海洋石油潜力巨大，是未来我国能源产业发展的重点领域。如何在开发海洋石油的同时，做到节能减排，保护好海洋环境，是亟需解决的问题。通过开展清洁生产，可以减少污染，保护海洋环境；还能减少能耗，节约成本，提高经济效益。

海洋石油工程清洁生产通过不断采取改进设计、使用清洁能源和原料、采用先进的工艺技术与设备、改善管理、综合利用等措施，从源头削减污染，提高资源利用率，减少或者避免生产过程中污染物的产生和排放，以减轻或者消除对人类健康和海洋环境的危害。

由于海洋石油工程点多、面广、线长，建设开发和陆地石油有较大区别，加上推行清洁生产起步较晚，致使海洋石油工程没有成熟可靠的清洁生产模式和标准，研究探索海洋石油工程清洁生产工作已迫在眉睫而意义重大。

1 海洋石油工程清洁生产措施

1.1 多渠道开发利用水资源

海洋石油工程水资源利用包括海水直接使用、海水淡化、生产污水回注利用等 3 个方面。

海洋石油工程距离陆地较远，淡水资源珍贵，海水资源却非常充裕，最大比例的使用海水，能降低水资源成本，是清洁生产的具体体现。海水直接使用和海水淡化是利用海水的两个主要途径。在海洋石油平台、浮式生产储油装置上，使用海水直接冲厕、使用海水进行甲板面和有关设施冲洗可以节约大量淡水资源，淡化海水可以用于淋浴等方面，稀缺的淡水资源仅用于饮食。

含油污水是海洋石油工程排放量最大、最主要的污染源，仅 2012 年我国海洋石油开发排放生产污水达 13 344 万 m^3[2]，生产污水回注能最大限度地减少污染物排放，减轻石油开发对海洋环境的影响程度。陆地石油开采生产污水回注技术较为成熟，国外大公司在生产污水回注方面技术比较先进[3-4]；国内大庆油田经过多年建设，建成了适应普通污水、含聚污水、地面污水等不同种类的污水处理与回注系统，实现和保证了采油污水全部回注油层[5]；渤海部分油田、北部湾涠洲油田也已开始尝试利用生产污水回注技术，提高污水回注率[6-8]。

生产污水也可以用于补充钻井液循环利用用水[9]。生产污水中含有丰富的矿物质，有的油田生产污水含盐量甚至高于海水，并含有一定量的贵重金属。利用生产污水发展盐化工回收其中的贵重金属，是一个资源综合利用的好途径[10]。

1.2 高效处置钻井泥浆

钻井泥浆是由水、油、黏土、化学处理剂及一些惰性物质组成，在石油勘探开发钻井过程中用其来润滑和冷却钻头、携带钻屑、平衡地层压力和稳定井壁等，钻屑是钻井过程中钻头将地层研磨、切削破碎后，由泥浆从井内带至地面的岩石碎块[11]。泥浆和钻屑是

* 基金项目：国家海洋局公益性行业科研专项(201005012)。

兰圣迎，2002 年毕业于中国海洋大学海洋管理专业，硕士，高级工程师，现在国家海洋局南海环境监测中心主要从事海洋环境监测与评价工作。通信地址：广东省广州市新港西路 155 号南海环境监测中心，510300

海洋石油勘探阶段的主要污染物，2012 年我国海洋石油勘探开发泥浆排放量 53 074 m^3，钻屑排放量 43 861 m^3[2]。泥浆配制成本高达每立方米几百元甚至上千元，因此完井后对泥浆加工回收、重复利用十分必要，也减少了末端处理量[9,12]。单井钻屑产生量约为 180～250 m^3[13]，如果直接排放，会对海洋环境造成影响[14]。因此，要优化泥浆固体控制工艺，提高泥浆的循环利用率，研究钻屑回收再利用技术，减少排放量。

国外 BP、壳牌等公司已经不再外排泥浆和钻屑，而是回注或运回陆地集中处置或循环使用，首先泥浆钻屑实现油分离，回收其中的油，进一步实现液固分离，液体回注，固体处置[4]。国内海洋石油工程中，泥浆实现了循环利用，在完井阶段经处理后一次排放；钻屑经油分离合格后排放入海。虽然钻屑泥浆均是处理后排放，但仍然会对海洋环境产生影响[14-16]。

应该全面推广海洋石油工程泥浆钻屑循环利用和回收利用。泥浆钻屑混合物被带出井口后，首先对剩余的钻井液回收再利用，提高循环使用率；无回收价值的废钻井液实行固液分离，废水进入生产污水处理系统处理达标后排放，钻屑及废渣进一步处置[10]。钻屑及废渣等固体废物处理的方法有简单处理排放、深井回注、胶结固化填埋、微生物降解后土地耕作等方法[17-18]。比较环保的方法是送陆地处置，用于筑路、建筑材料、土工填方等[9,19]，可以借鉴海洋疏浚泥综合利用的模式，建立“成果-中试-产业化”发展链条，为废弃钻屑泥浆产业化做好技术储备[20-22]；首推的处置方法还是钻屑回注，所钻出的岩屑全部回注井中，做到零排放[23]。

1.3 回收利用伴生天然气

伴生天然气是海洋石油勘探开发污染物之一[11]，出于安全考虑，海上油田把不能利用或难以利用的伴生气通过火炬燃烧或放空处理。火炬燃烧排出浓烟，产生大量温室气体，特别是二氧化碳，对周围海域环境造成污染[24]。伴生气含有轻烃类，如能回收利用，可有效提高能源利用率。

伴生气的利用在国外已经应用多年，国内也有不少应用案例[24-27]。伴生气主要用于三个方面，一是作为燃料提供给油田发电机或热介炉提供燃料，节省燃油消耗，例如秦皇岛 32-6 油田利用伴生气发电后节约了大量原油，提高了原油产量，同时减少大量的温室气体排放[24]；二是轻烃回收，将这部分气体通过邻近平台及海管供给其它平台或陆上终端，使资源得到充分利用，减少烃类排放，比较有代表性的是渤海友谊号低压天然气的回收项目[27]和压入海底天然气管网外输的渤西南联网供气项目[24]；三是通过压缩机增压用作气举生产或者注气保持油藏压力，避免环境污染的同时提高油田采收率，为油田增产增效起到重要作用，旅大 10-1 油田就是利用天然气回注作为气举动力[24]。

1.4 加速推广新能源、新型试剂、新技术利用

海洋石油工程的地理位置特点决定了可以研究利用风能作为海上动力资源。风能是清洁能源，在海洋石油勘探开发过程中，利用风能提供能量，可以有效减少油气资源的消耗，降低污染物的排放，提高油气产量。

钻井废物的危害性主要取决于所用钻井液、泥浆添加剂的类型。因此选用低污染或无污染的钻井液及添加剂，是控制钻井污染的有效措施。常用的方法是开发新型低毒、无毒、易降解化学添加剂替代毒性大的化学添加剂。近年来国内已开发出多种添加剂替代烧碱、铁铬盐、红矾、重晶石等毒性大的化学添加剂，例如用无铬木质素类稀释剂替代铬木质素类稀释剂，采用胺类杀菌剂代替酚类和甲醛类等。此外，油基或混油钻井液对环境危害很大，若采用以植物油基为基础的合成基钻井液，除具有油基或混油钻井液的必备性能外，且不含矿物油，可生物降解，对环境危害小。合成基钻井液在环境敏感地区已被广泛采用[10,17]。

推广物探清洁生产技术，通过各种先进的技术，确定钻井井位，提高勘探的成功率，减少钻井数量，从而达到减少废弃物产生和排放的目的。推广定向井、水平井、小孔径井、侧钻井等技术，减少海域占用面积，节约钻井进尺、减少能源消耗、减少钻井岩屑产生量[6]。

1.5 不断提高末端处理技术水平

在污染物无法做到无害化直接排放或资源化时，末端处理就是必须的。海洋石油勘探开发主要污染源就是生产污水，主要污染物质是油类，如何最大深度的处理生产污水，降低含油浓度是海洋石油开发面临的末端处理难题。

目前，处理生产污水的主要设备是水力旋流器与气浮装置。水力旋流器已广泛应用于海上生产污水处理，以“水力旋流器＋撇油器”组合居多。该装置可减少 90%安装空间，重量轻，安装方便，维修及安装费用低，适合安装在海上油气开发设施上；处理效率高，不需要增压设备，可处理含油量高达 1 000 mg/L 的生产污水，不用添加化学药品，含油量可降低到 15 mg/L，最低可达 1 mg/L[28-29]。近年来，轻型水处理浮选装置(CFU)逐步得到应用。它是一种没有运动机件的多项(油/水/气)高效分离装置，通过气浮选同时结合

涡流高效去除水中含油，除油效率为 95%～98%，该装置可处理的生产污水含油量为 90～250 mg/L，处理后生产污水含油量在 10 mg/L 左右，且具有体积小，处理量大，操作方便等特点。

1.6 提升作业者环保意识和管理技术

海洋石油工程作业者要有环保危机意识，时刻紧记节能减排和海洋环境保护观念，强化“末端治理”到“源头控制”的理念。作业者应通过宣传，开展应急演练，加强环保培训和持证上岗等多种手段，不断提升技术人员的环境保护意识。

作业者要不断提高管理水平和技术，从管理环节减少内耗，从而达到节能减排、清洁生产的目的。作业者应逐步建立清洁生产指标体系，定期进行清洁生产内部审核[13]，不断提高清洁生产水平；在海洋石油工程现场，实施垃圾分类回收，食品废物粉碎后排海，工业垃圾定期送陆地处理；从细节入手减少“跑、冒滴、漏”；合理安排、调配供应船/守护船，提高运输效率；建造多功能海上环保船舶，提高海洋石油开发污染物处理能力和效率。目前，我国海上油田环保船已有两艘建成下水，该海洋工程船舶拥有接收与储运海上油田探井测试井液、海上油田溢油应急响应与回收等功能，配备有专用的溢油监测雷达，主动监测海面溢油，采用两侧内置式收油机，收油能力强，反应速度快，彻底解决了海上测试井液接收和运输问题，其正式投入使用实现了我国海上油田勘探开发“零排放”[30-31]。

2　清洁生产管理对策

2.1 开展清洁生产审核

清洁生产审核，也称为“污染预防审核或污染预防评价”，是推行清洁生产的一种管理思路和方法[32]。清洁生产审核的对象是企业，其目的有两个：一是判定出企业中不符合清洁生产的地方和做法；二是提出方案，解决这些问题，从而实现清洁生产[33]。近些年来，清洁生产审核在陆地石油开采行业得到广泛实施后，取得了明显的环境效益、经济效益和社会效益[13]。

建议推行海洋石油工程清洁生产审核制度，有效指导海洋石油工程清洁生产，全面评价生产全过程的运行管理现状，掌握原材料、能源与产品、废物和污染物的输入输出状况；识别影响资源、能源的有效利用和造成废物产生及制约生产效率的原因；掌握作业者从产品、原材料、技术工艺、生产运行管理以及废物循环利用情况；以此提高作业管理者与广大技术人员清洁生产意识，促进清洁生产在海洋石油工程的持续应用[13]。

开展清洁生产审核，就要建立清洁生产指标体系。清洁生产指标体系要覆盖海洋石油开发的全过程，一般包括物探、钻井、井下作业（包括试油、酸化及酸压、压裂、修井）、采油及采气生产等[19]。指标系统要尽量做到多量化，少定性，指标体系要分不同等级。在目前没有专门的海洋石油工程清洁生产指标体系的情况下，可以参照陆地石油行业清洁生产指标体系[34]。

2.2 建立海洋石油动态管理信息系统

建立覆盖海洋石油工程信息、海洋环境状况信息、环境敏感目标信息的海洋石油动态管理信息系统，为海洋石油工程环境保护、清洁生产管理、溢油应急决策等提供技术支撑。

海洋石油工程信息应涵盖石油开发区作业者信息、井口信息、井口压力信息、输油管线压力信息、污染物排放信息等，并与石油工程现场实现互联互通。海洋环境状况信息应涵盖石油开发区海水、沉积物、生物、海洋大气环境现状，环境背景资料，水文动力状况，气象资料，实时接受重点油气区遥感数据、浮标监测数据等信息。环境敏感目标信息应涵盖海洋石油工程风险可能影响的海洋保护区、捕捞区、养殖区、旅游区等环境敏感目标及其位置信息、环境现状等，定期开展信息更新。

2.3 提高海洋环境监测技术水平

按照《海洋石油勘探开发污染物排放浓度限制》[11]规定，海洋石油勘探开发污染物除包括生产水、生活污水、钻井液和钻屑、机舱污水、固体垃圾外，还包括海洋石油工程伴生天然气，因此应全面开展放空气体、火炬燃烧及发动机、锅炉废气的监测，以实现节能减排和保护海洋大气。督促作业者安装气体流量计量和监测装置，选择合适的烟道监测仪器，例如固定式在线监测仪和便携式监测仪[35]。

根据监视监测区域、对象和目的的不同，在现有海洋环境监视监测体系的基础上，建立以卫星遥感、航空遥感、船舶监测、浮标、岸基平台、视频监控和志愿者监测为主要手段的立体化、实时化的海洋溢油监视监测系统，全面提高溢油的发现能力和响应速度，提高海洋溢油的监测能力和应急处置能力。

2.4 有效管理海洋溢油应急资源

海洋溢油应急资源目前主要分布在各石油作业公司和海事部门。在应对船舶碰撞而导致的溢油时，主要依靠海事部门的应急资源处置；在应对海洋石油开发导致的溢油时，主要依靠当事石油公司自身的力量处置。1994 年 6 月，南海东部区域各海洋石油作业公司曾达成“相互援助协议”，在任一方因溢油事故

的规模较大而无法依自身的能力予以控制时，可依协议的规定而借用彼此的溢油防治资源。南海东部地区作业者的互助协作联合的形式，适合我国的地区溢油应急需要。但这是一个小区域性的组织，虽然有区内的合作，仍不能满足大区域性的要求，因此应该有相应的组织机构和适当的配备[28]。

因此，有必要建立统一的海上溢油应急资源管理框架，在遇到海洋重大溢油时，可以调配分散在各部门的应急资源，提高处置效率。在此框架下，建立应急资源信息管理系统，有效管理和保养分散在各石油作业公司的应急资源；建立应急指挥系统，与各作业公司实现联网，在应急状态下能统一调配、协调分散的应急资源。

3 结束语

清洁生产是海洋石油工程污染防治的最佳模式，是实现可持续发展的重要措施。海洋石油工程清洁生产是海洋环境保护工作实现由末端控制转向全过程控制的必由之路，对提高能源资源利用率，减少污染物排放，缓解海洋环境压力至关重要。

参 考 文 献

[1] 姜在兴.海洋是未来油气开发重点[J].中国石油企业，2012(10):56.

[2] 国家海洋局.2012 年中国海洋环境状况公报[R].北京：国家海洋局，2013.

[3] 翟青，余薇，董艳丽，等.加拿大石油天然气工业的清洁生产(上)[J].节能与环保，2004(3):11-13.

[4] 赵晓宁，曾向东，王大卫.国外石油勘探开发工业的环境保护[J].石油化工环境保护，2001(2):54-58.

[5] 宋文成.清洁生产在石油天然气勘探开发行业的应用[J].油田节能，2004，15(4):50-52.

[6] 王丹昶.石油勘探开发过程中推行清洁生产初探[J].石油化工环境保护，2003，26(4):8-10.

[7] 冯燕飞，崔雪瑾，向晓杰.石油天然气开采中的清洁生产指标及方法研究[J].中国化工贸易，2012(6):30.

[8] 黄振东，黎昵，朱懋斌.已建海洋石油平台污水回注地层研究与应用[J].广东化工，2012，39(18):95-96.

[9] 徐德安.浅谈石油钻井清洁生产[J].西部探矿工程，2002(增刊 1):465-466.

[10] 王大卫.石油工业污染防治技术回顾与展望(三)[J].油气田环境保护，2001，11(2):20-22.

[11] GB 4914—2008 海洋石油勘探开发污染物排放浓度限值[S].

[12] 陈志雄，孟文勇.浅析石油井下作业清洁生产措施[J].安全与环境工程，2003，10(2):40-42.

[13] 李伟.清洁生产审核在石油开采行业的应用[J].辽宁城乡环境科技，2005，25(5):51-52.

[14] 任叙合.钻井泥浆岩屑对海洋环境影响的研究概况[J].海洋环境科学，1989，8(1):41-49.

[15] 邵涛，龚莉娟，汪九新.钻井废泥浆中重金属化学形态及潜在生态效应评价[J].中国环境监测，2007，23(6):78-81.

[16] 邓岳文，杨丰华，湛波，等.钻井泥浆和消油剂对合浦珠母贝稚贝的急性毒性试验[J].湛江海洋大学学报，2000，20(4):23-28.

[17] 徐弘，倪昌.清洁生产在石油钻探行业中的应用[J].新疆环境保护，2009，31(1):25-27.

[18] 宋文成.清洁生产在石油天然气勘探开发行业的应用[J].油田节能，2004，15(4):50-52.

[19] 任磊.国外石油天然气开采行业清洁生产技术发展动态[J].油气田环境保护，2003，13(4):31-35.

[20] 何桂芳，谢健，田海涛，等.海洋疏浚泥综合利用产业化道路的探索[J].海洋开发与管理，2008(9):60-62.

[21] 尹平，宫晓波.疏浚泥综合利用现状[J].能源研究与管理，2011(4):17-20.

[22] 何桂芳，袁国明，谢健，等.推进海洋疏浚泥资源化综合利用的对策[J].中国国土资源经济，2009(8):18-19.

[23] 王彦昭.海洋石油钻井环境保护措施[J].企业导报，2010(4):244.

[24] 刘权，戴平.海洋石油伴生天然气回收利用技术的实践[J].科技资讯，2011(22):152-153.

[25] 翟青，余薇，董艳丽，等.加拿大石油天然气工业的清洁生产(下)[J].节能与环保，2004(4):7-10.

[26] 曾树兵，琚选择，周鹏.海上油气田开发工艺设计节能减排实践[J].中国海上平台，2011，26(5):50-52.

[27] 曹葛军，马国光，杨寨，等.轻烃回收技术在渤海友谊号FPSO 的研究和应用[J].石油与化工设备，2010(13):16-19.

[28] 徐卫东，汪家骝.海洋石油开发中含油污水处理与溢油防治技术[J].油气田环境保护，1999，9(2):26-29.

[29] 唐瑞友，卢盛光，熊阁毅，等.海洋石油平台污水处理系统设计初探[J].辽宁化工，2013，42(3):256-259.

[30] 陈庆华，杨章跃.我国首制海上油田环保船在同方江新建成启航[J].中国军转民，2010(6):74.

[31] 九新.海洋石油 253 号海上油田多功能环保船[J].军民两用技术与产品，2010(5):22.

[32] 刘生瑶，崔毓利，李玉梅.石油化工清洁生产审核方法探讨[J].油气田环境保护，2007，17(4):9-12.

[33] 王玉琦，芦连鑫.对石油企业实施清洁生产的策略和思考[J].陕西环境，2003，10(3):36-38.

[34] 李何.石油天然气开采业(稠油)清洁生产指标体系的研究[J].油气田环境保护，2003，13(1):16-18.

[35] 卓争辉，张玫.烟气分析监测仪在石油炼化企业中的应用[J].中国计量，2012(3):121-122.

(收稿日期 2014-05-29)

(编辑 李 娟)