钻井泥浆和钻屑对海洋环境的影响及管理对策研究

刘　选[1]，张永强[2]

（1. 中国石化集团石油勘探开发研究院　北京　100083；2. 国家海洋局第一海洋研究所　青岛　266061）

摘　　要：文章对海洋石油钻井泥浆和钻屑的分类、其中的污染源及其对海洋环境的影响进行了分析探讨，梳理了我国及世界其他国家对海上钻井泥浆和钻屑的管理规定，针对我国海洋石油平台及邻近水域污染现状，从技术及管理角度提出几点对策建议，以期改善或恢复海洋石油开发海域的海洋环境。

关　键　词：钻井泥浆和钻屑；海洋环境影响；管理对策

钻井泥浆和钻屑是油田建设阶段主要的污染物，我国海上石油开采量和输运量逐年递增，每年向海洋排放大量的钻井废弃物。据统计，北部湾油田自投产建设至 2006 年，共排放钻屑 12 261.2 t（其中含油钻屑 1 781.4 t），泥浆 18 037.7 t[1]；涠洲油田 2006－2009 年共向海排放 8.5×10^3 m^3 的泥浆和 2.4×10^3 m^3 的钻屑[2]；胜利油田每年新钻井近 2 000 口[3]，产生的排海泥浆和钻屑量巨大。钻井泥浆和钻屑中含有多种污染物，排海后不可避免对海洋环境造成污染，目前我国油田及外围海域的环境污染问题已引起了广泛重视，并逐渐加大了管理力度。每年大量钻井废弃物排海无疑是油田水域海洋环境变差的主要原因之一，本研究对海洋石油平台钻井液和钻屑的污染源及产生环节等进行了分析，对其之于海洋环境的影响进行了探讨，同时对相关法律法规进行了梳理，在此基础上从技术和管理角度对其排放及管理提出几点建议，以期切实改善海上油田及邻近海域的海洋环境。

1　钻井液和钻屑

1.1　钻井液

1.1.1　钻井液的类型

钻井液是钻探过程中的循环冲洗介质，具有润滑和冷却钻头、携带钻屑、稳定井壁等重要作用。钻井液按连续相的成分分为水基钻井液、油基钻井液和合成基钻井液，其中后两者又统称为非水基钻井液[4]。

钻井液由连续相分散介质以及各种化学添加剂组成，其中往往含有钠、钙、钾等盐离子及一些聚合物。水基钻井液以水为分散介质，混合乳化（水包油）的水基钻井液，则含有 3%～40%乳化油类。油基钻井液以油（主要是柴油或原油）为分散介质，目前多是以柴油（或原油）为连续相，以水为分散相呈小水滴分散在油中。合成基钻井液系以人工合成化学品（如酯类、醚类、合成烃类）为基液取代柴油和矿物油作为连续相，盐水为分散相，加入普通油基钻井液中使用的添加剂组成的钻井完井液体系[3－5]。

1.1.2　各类钻井液的技术和环保性能比较

水基钻井液、油基钻井液及合成基钻井液各有优缺点，在实际应用中多视具体条件而选用，谁也不能被取代[5]。水基钻井液的优点是其经济性，因而也是最常用的钻井液，从环保角度而言可以就地排放。但是水基钻井液稳定井眼的能力较差、对储层的损害较高，其高温稳定性也有待于提高；油基钻井液的特点是润滑性好、抑制性强、热稳定性高，适合钻探大斜度井、水平井或复杂地层，当使用水基钻井液有技术缺陷时通常使用油基钻井液。但油基钻井液对环境污染严重，不能就地排放，环境处理费用相对较高。合成基钻井液既拥有油基钻井液优越的作业性能又拥有水基钻井液污染低的特点。合成基钻井液具有井眼稳定，钻速高，润滑性强，利于排屑等优点，所产生的钻屑污

染环境程度低，在国外可就地排放；但其价格远高于水基钻井液和油基钻井液，因而目前仅在海上油田钻探中加以应用。

1.2 钻屑

钻屑是钻井过程中被钻头破坏、经泥浆循环系统携带回地面的地层岩屑，是钻井过程中主要的废弃物。钻屑的产生伴随着废弃钻井液，因而其成分包括钻井液和岩层组分。根据所使用的泥浆类型不同，钻屑分为水基钻屑、油基钻屑以及合成基钻屑，根据岩层组分则可分为油层钻屑和非油层钻屑[4]。

2 钻井废弃物中的环境污染源

废弃钻井液多对环境有一定的影响。油基钻井液矿物油含量较高，对环境危害较大；水基钻井液和合成基钻井液，因为化学添加剂的存在也含有多种有毒有害物质。各检测数据和研究结果表明，钻井液和钻屑中的污染物主要为重金属、有机物、石油类以及生物毒性。

石油类物质是钻井液中不可避免的组分。油基钻井泥浆中油类作为主要成分其浓度一般为 50%～100%[6]。水基钻井液油类来源于人工添加的防塌封堵剂和润滑剂等，此外钻至油层时原油进入到钻井液中引起油量增大。在定向井的施工中，润滑剂的加量通常可达到 2%以上，当井下情况比较复杂时，可能达到 8%～10% [7]。检测结果表明，胜利油田海上钻井常用的水基钻井液和油基钻井液中废矿物油含量为 3%～10%[3]。

钻井废弃物中的有机物、重金属主要来自于加重剂（重晶石等）、降粘剂及其他人工合成物质。油田废弃钻井液中有机物含量较高，不同钻井液化学需氧量（COD）、生化需氧量（BOD）、油类等含量差别较大，海上油田钻井液中化学需氧量（COD）、生化需氧量（BOD）和油类含量约为 439.5～2 742 mg/L，107 mg/L 和 118 mg/L，较陆地钻井液略低（表 1）[3,8]。但废弃钻井泥浆中重金属含量并不高[4,8]，基本不超出《海洋沉积物质量》（GB18668－2002）、疏浚物海洋倾倒分类标准等相关国家标准。

表 1 钻井废弃泥浆中有机污染物的分析结果

地区	井号	有机物种类						
		化学需氧量（COD）	生化需氧量（BOD）	石油类	挥发酚	硫化物	色度	pH 值
东北	SN76 井	40 100	1 670	9 200	0.058	0.22	2 100	8.4
松南	SN100 井	23 900	142	48 200	0.056	0.087	290	8.1
四川	CX170 井	225	38	63.2	K	K	50	8.1
川西	XQ62－3 井	15 300	586	83 400	0.005 2	0.009 3	130	8.1
辽河	静 41－49 井	439.5	D	D	D	D	D	D
	安 27－31 井	2 316.8	D	D	D	D	D	D
胜利	营 11－47 井	2 742	107.0	118.0	D	D	D	D
国家标准		150	30	10	0.5	1.0	80	6－9

注：K 为未检出；D 为未测定；国家标准：GB8978－1996《污水综合排放标准》二级标准；据杜丰才（2011）修改.

钻井液和钻屑具有生物毒性主要源于其中的添加剂。常用的很多处理剂属生物难降解物质[9]。王蓉沙等[7]对使用频率较高的 19 种钻井液添加剂进行了分析，其中 3 种重金属含量不合格，两种具有生物毒性，15 种为生物难降解的，只有 4 种是环境可接受的。闫学平等研究了胜利油田水基钻井液的毒性效应，发现 7 个组分中 1 个为有毒组分，一个为微毒组分，均对藻类的生长具有抑制作用[10]。

3 钻屑和钻井泥浆对海洋环境的影响

钻井废弃物进入到海洋环境中主要对海底沉积物造成污染，其次钻井液和钻屑中的污染物在海水中扩散将污染水体，进而对海洋生物

和海洋生态环境造成危害。

3.1　钻井废弃物导致海水中营养盐超标，水体富营养化

由于钻井液中常含有磷酸盐及其他各种添加剂，钻井废弃物中化学需氧量（COD）和生化需氧量（BOD）等有机物含量高，排放到海洋中将造成海水的有机污染。研究表明我国浅海油田钻井平台及邻近海域超标较为严重的水质项目为化学需氧量、溶解氧、无机氮和磷酸盐，如北部湾油田外围溶解氧超标率为88%[1]；埕岛油田几乎全部测站的无机氮含量都超标，磷酸盐平均含量为 13.7 μg/L，部分测站含量超标，油田海域水体有富营养化趋势，有机污染指数平均值为 1.78[11]。钻井平台周围水体有机污染一方面可能与平台污水未达标排放有关，但是大量钻井废弃物排海，其中有机污染物不断向海水中扩散无疑更为重要的原因。

3.2　钻井废弃物导致海底沉积物中重金属累积富集

钻井废弃物中的重金属是伴随添加剂进入体系的，也可能随钻屑由地层中携带而来，主要包括汞、铬、镉、铅、砷等几种。如前所述，钻井废弃物中的重金属含量其实并不高，一般不超过相关标准，但是重金属在海底具有累积富集效应，因而导致油田水域海底沉积物重金属含量增高，超过背景值甚至超标。调查结果表明，埕北油田海底沉积物铜污染明显，1996 年其浓度从最初的背景值上升至 15.05×10^{-6}，上升了近 3 倍，2003 年其浓度与 1996 年相比又上升了 3 倍，且已超过海洋沉积物一类标准[12]。埕岛油田海底沉积物中重金属的累积增加效应主要表现为镉、砷、铜、铅等重金属含量在平台附近出现高值区，距平台越远含量越低；表层沉积物中铜、铅、铬、锌的含量具有明显升高的历史变化趋势，且已高于背景值；锌、铬、铜含量的整体变化趋势与采油量趋势一致等[11]。在北部湾油田 W12－1 平台混合区 500 m 范围内总汞、砷和铅等多项重金属含量高于一类沉积物标准值，出现超标现象[1]。

3.3　废弃钻井液和钻屑中石油类物质导致海底沉积物、水体污染

由于人为添加的润滑剂以及钻至油层时原油会进入到钻井液中，钻井废弃物的油类污染是必然存在的，只是轻重程度不同，含油排海钻屑和泥浆是海洋油类污染长期稳定的重要污染源。多项海上油田环境研究表明，石油平台开采区水体中油类浓度较开采前上升[12]，较非石油开采区普遍增高[2]，平台混合区（距平台 500 m）水体石油类含量高于混合区外围[11]，部分水域出现石油类单项超标现象[1]。相对于水体而言，海上油田海底沉积物中石油类污染则更为严重。在埕北油田，1996—2003 年，海底沉积物受到石油类和重金属等的污染，其中油类 2003 年时较背景值升高了 20 余倍，污染最为严重（图 1）[12]；北部湾涠洲油田海底沉积物中的油类较背景值升高了 2～3 倍[2]；埕岛油田 2009 年海底沉积物中石油类超标现象严重，其含量平均值为 1 295 mg/kg，已超出二类沉积物标准；最高值达 2 640 mg/kg，已超出三类沉积物标准，平台附近海域沉积物中的石油类含量明显高于外围参考海域平均值 96.68 mg/kg[11]。

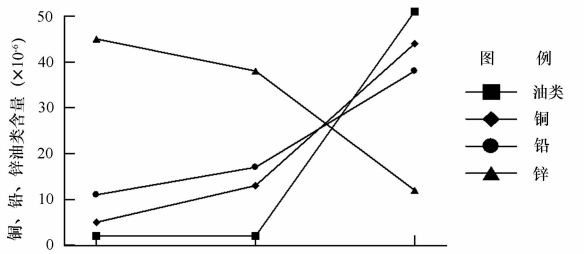

图 1　海底表层沉积物中重金属、油类和有机碳的变化[12]

3.4　钻井废弃物对海洋生物和生态环境的危害

钻井废弃物对水质和海底沉积物造成污染，导致海洋生态环境恶化。在平台或排污源附近，生物体受影响的程度比较严重，表现在生理代谢异常、组织生化改变等，从而扰乱物种的生物繁殖，改变生物群落的生活特性和生态结构，石油污染则对海洋生物具有很强的杀伤力[13]。

学者们通过实测调查研究了我国海上油田污染对海洋生物的影响，发现大部分油田水域的生物群落受到轻微干扰，浮游植物、浮游动

物和底栖生物群落都有的变化。北部湾油田开发活动对底栖生物环境的影响主要体现在生物量和栖息密度分布不均匀，多样性指数小，与历史调查结果相比小个体生物多毛类梳鳃虫变为主要优势种，底栖生物环境稳定性较差[1]；涠洲油田鱼类和贝类体内铅和石油烃含量超标，特别是贝类，超标率100%[2]；埕岛油田浮游植物、浮游动物、底栖生物的物种数、浮游动物的生物量和生物数量均有所下降，浮游植物多样性指数和均匀度低于距平台较远的海域；生物环境整体水平下降，生物种类减少，生物量下降，群落多样性降低，浮游植物和底栖生物中耐污群种增加[11]。综合来看，由于海上石油勘探活动的影响，位于平台混合区内的底栖生物群落受到的干扰最为严重，对其影响最大的是表层沉积物中的石油类污染物，其次重金属的累积效应也可导致底栖生物体中重金属含量升高甚至超标。

4 钻井岩屑和泥浆排放的法律法规及控制依据

世界各国均十分重视钻井液及其废弃物对环境的影响与危害，纷纷制定相关法律法规控制钻井废弃物的排放以减轻其环境影响[3,6,14]。各国排海钻井废弃物主要控制项目为含油量，一般都要求必须低于10%，甚至5%。美国、加拿大、英国和荷兰等还要求对钻井液及钻屑进行生物毒性和生物可降解性试验，英国还禁止含有某些金属（如汞、镉、有机锡）和有机物（如有机卤素和氯酯类）的产品排放。

近一二十年来，我国十分重视海洋环境保护工作，对钻井液及钻屑的排放要求逐渐细化并趋于严格。1983 年 12 月实施的《海洋石油勘探开发环境保护管理条例》中规定：含油量超过10%的水基泥浆，禁止向海中排放。含油量低于10%的水基泥浆，回收确有困难、经海区主管部门批准，可以向海中排放，但应交纳排污费。需使用油基泥浆时，应使用低毒油基泥浆；采取有效的技术措施，使钻屑与泥浆得到充分的分离；油基泥浆必须回收，不得排入海中；钻屑中的油含量超过 15%时，禁止排放入海。含油量低于 15%的钻屑，回收确有困难、经海区主管部门批准，可以向海中排放，但应交纳排污费。1990 年 9 月我国首次对钻井液和钻屑的排海要求进行了具体限定：要求排海水基泥浆含油量不超过 10%，油基泥浆、钻屑中的含油量不超过 15%，且应缴纳排污费。2000 年实施的《中华人民共和国海洋环境保护法》规定油基泥浆和其他有毒复合泥浆不得排放入海，水基泥浆和无毒复合泥浆及废弃钻屑的排放，必须符合国家环保规定。2009 年 5 月《海洋石油勘探开发污染物排放浓度限值》对非水基钻井液和钻屑、水基钻井液和钻屑的排海限值按照不同海区做出了明确规定，将钻井废弃物的排海要求进一步细化。2011 年 3 月实施的《海洋石油勘探开发环境保护执法检查规范 HY/T 138－2011》的规定，对钻井泥浆和钻屑的排放按 GB4914－2008 的相关要求进行执法检查。

5 减轻和降低钻井废弃物对海洋环境影响的措施和建议

从现行的法律法规来看，我国对海洋石油平台钻井液和钻屑排放的环保要求较高，控制较为严格。但是从目前开发程度较高的胜利油田埕岛海区以及北部湾油田来看，油田水域水体和沉积物的污染切实存在，假设油田污水、跑冒滴漏等措施都控制得较好，单从钻井泥浆和钻屑的排放角度而言，认为造成海洋污染有以下两个原因：① 我国对钻井岩屑和泥浆的排放要求是逐渐增强的，2009 年 5 月 1 日《海洋石油勘探开发排放限值》开始实施以前，钻井液和钻屑含油量的排海限值还控制在水基泥浆不超过 10%，油基泥浆、钻屑中的含油量不超过 15%（《海洋石油勘探开发环境保护管理条例实施办法》）。《海洋石油勘探开发排放限值》实施后才将一级海区排海钻屑和水基钻井液的含油量控制在小于 1%，并增加了生物毒性以及重晶石中汞、镉的限值。因而可能以往由于法规控制不严，导致油田海域污染明显。② 环保检测技术的欠缺、法律法规不够完善或监管不严导致我国油田海域出现油类、重金属污染、水体富营养化等环境问题。根据废弃钻井液和钻屑的类型、性能、污染特征及其对海洋环境造成的实际影响，结合我国现行的法律法规，认

为还可以从以下几个技术和管理层面着手控制和减轻钻井废弃物对海洋环境的影响，并促进我国海洋石油开采业的可持续发展。

5.1　对合成基钻井液等的技术和环保性能进行进一步研究

为使油气资源得到有效的开发，降低钻井成本提高油气产量，我国新建的浅海油井多为定向井和水平井，钻井剖面为垂直段、倾斜段和水平段组合型。从技术角度而言，大斜度井、延伸井和水平井段使用水基钻井液是有缺陷的，通常使用性能更稳定的油基钻井液或合成基钻井液。从国外的应用来看，因合成基钻井液具有油基钻井液的技术性能而又有水基钻井液的环保性能，经测试合格后可以现场排放，所以虽然钻井液本身造价较高，但因大大节省环保处理的费用，目前国外已在海上水平井或大位移井中推广应用。在我国，目前对合成基钻井液的研究还比较少，特别是作用机理及现场应用缺乏，对其环保性能认识程度有限，在排放要求上将合成基钻井液等同于油基钻井液按非水基钻井液处理禁止排海。而我国浅海油田大斜度井和水平井比例较高，产生的油基/合成基钻屑的比例和钻屑量较大，由于海上输运距离远，回收处置的难度大，环保处理的成本高。合成基钻井液中有害物质的含量特别是油类远远低于油基钻井液，按非水基钻井液处置其环保优势难以体现，再加上成本较高，难以被海洋石油开采部门采用，从长远计，对我国海洋环境保护和海洋石油开采业的发展是不利的。由此认为，应加强合成基钻井液的技术及环保性能的研究，对合成基钻井液及钻屑的环境指标进行监测；寻求和改进合成基钻井液的基液、乳化剂和流型调节剂，进一步提高其技术稳定性，并在满足环境要求的前提下降低成本；完善相关技术法规，鼓励海上油田采用合成基钻井液，促进我国海上石油开采业的可持续发展。

此外，国内外目前研制出高性能水基钻井液，并已开始应用[15]。高性能水基钻井液是在基液中加入胺基聚醇（AP－1）、铝基聚合物、聚合物弹性微球等处理剂提高钻井液性能的新型钻井液，也是一种技术性能和环保性能都比较好的钻井液，但是造价比较高。目前在我国胜利油田及新疆油田累积 100 余口井中已加以应用，在技术上取得了较好的使用效果[16]，但关于其海洋环保指标及环保性能的研究成果目前较为缺乏，还应进一步研究作为技术推广及管理控制的依据。

5.2　控制钻井液和钻屑中营养盐和重金属污染物的排放，制定相关排放标准和限值

从我国海上油田环境现状来看，除油类污染外，水体中的有机污染和富营养化程度也比较高，而海底沉积物中重金属累积效应明显，导致一些底栖生物体中重金属含量升高甚至超标。油田水体富营养化除了与排放的钻井液和钻屑中磷酸盐、化学需氧量和生化需氧量（COD 和 BOD）含量较高向水体扩散有关外，还与油田污水排放等因素有关。而海底沉积物和底栖生物中重金属污染则与废弃钻井液和钻屑的排放有直接关系。从目前的法律法规看，世界各国中只有英国禁止含有某些金属（如汞、镉、有机锡）和有机物（如有机卤素和氯酯类）的钻井液和钻屑排放，其他国家相关规定较少。我国《海洋石油勘探开发排放限值》中仅对钻井液中重晶石的汞和镉的含量进行了限定，对其他重金属和有机污染物均没有排海含量限制，这很可能是我国油田海洋环境重金属和营养盐污染的重要原因。而我国海上油田多为浅海油田，距离陆地较近，油田海域功能较多，除石油开发功能外，还可能兼容渔业、旅游、交通等功能，油田水域距离养殖区、旅游区以及海洋保护区等较近，有的油井还建设在自然保护区内，油田废弃物的排放更应从严控制。由此认为，为提高油田及邻近水域的海洋环境质量，应采取措施对废弃钻井液和钻屑中的有机物和营养盐以及重金属的含量加以限定。

5.3　将钻井岩屑和泥浆排放造成的环境影响纳入生态损失补偿机制

鉴于海洋开发项目对海洋生态环境所造成的永久或暂时的影响，我国海洋管理部门已在海洋生态损害补偿赔偿方面作出探索。2010 年山东省首次对海洋生态损害赔偿和损失补偿进行规范[17]，并提出了海洋生态损害赔偿和损失

补偿的具体评估办法。浙江、天津、广东等沿海地区也对此进行了尝试。2013 年 8 月国家海洋局发布了《海洋生态损害评估技术指南（试行）》[18]，对海洋生态损害补偿和赔偿的方法进行了规范。但在实际论证及管理过程中，对海洋石油钻井项目，往往只考虑钻井平台等构筑物造成的生态损失，钻井液排放造成的生态损失则往往被忽略。而实际上如前所述，废弃钻井液和钻屑中油类、营养盐、有机物以及重金属对海洋环境的影响是现实存在的，并影响了海洋生物的生长、发育、繁殖，导致生态结构发生变化。且大量钻井泥浆和钻屑的排放占据海底面积较大，局部钻井废弃物较厚，大量底栖生物来不及逃离而被掩埋，即使不含污染物质，钻井泥浆和钻屑排放区海底生态恢复也需要较长时间。因此，建议参照相关规范，并制定实施细则针对钻井泥浆和钻屑的排放进行海洋生态损害补偿，用于公共水域海洋生态环境的恢复和修复。

5.4 对钻井液和钻屑的排放加强监管并进行环境影响后评价

和陆地石油开发项目相比，海洋石油开采污染物达标排放监管难度较大，针对废弃钻井泥浆和钻屑而言，即使存在违规排放的情况，由于海水的掩盖，监管部门也很难发现，违规排放甚至可能成为海洋环境污染的主要原因，采取有效的监管措施是防止钻井泥浆和钻屑污染物违规入海，改善海洋环境的必要手段之一。完善的监管措施可以将海洋环境影响降至最低。针对海洋废弃钻井液和钻屑污染物的产生环节和污染特征，笔者认为可从以下几个方面加强监管。

5.4.1 从技术角度准确估算各类废弃钻井泥浆和钻屑源强，为监管提供科学依据

（1）核实不同钻井段采用的钻井液类型。不同的钻井剖面需采用不同的钻井液，在确定废弃钻井液和钻屑源强时，需根据钻采地层特征和钻井剖面类型按钻井倾斜程度以及地层复杂程度核实钻井液类型，重点核实需要采用油基钻井液或合成基钻井液的水平井、延伸井、大斜度井以及复杂地层及含油地层钻井段及钻采长度，准确估算污染较为严重的非水基钻井液及其钻屑的排放量，准确估算含又地层钻井液和钻屑的排放量。

（2）定量计算废弃钻屑和泥浆的体积和质量。采用理论公式定量计算废弃干钻屑的体积：

$$V = \pi r^2 h/4$$

式中：r 为井径，也即钻头直径（m）；h 为井深（m）。

然后按照不同钻井液类型根据井眼扩大率（%），固相清除率（%），以及钻屑中基液质量滞留率（%）、钻屑密度等分别计算废弃钻屑和废弃钻井液的产生量[3]。

采用上述方法可较为准确地估算各类废弃钻井泥浆和钻屑源强，作为海洋管理部门的监管依据。

5.4.2 完善执法细则，加强施工监测和定期汇报，建立环境影响后评价制度

在世界各国，关于废弃钻井液和钻屑的排放不仅立法严格，而且执法也十分严格。在美国，有关法律规定，在钻井过程中，每月和完钻时必须提供钻井液生物毒性数据；钻井液及其废弃物达标方可排放；对于超标排放者，处以 100 美元/d 的罚款；对于蓄意或无视规定者处以 250～25 000 美元/d 的罚款，甚至处以监禁[14]。我国目前对钻井泥浆和钻屑的执法管理也逐渐完善，在相关细节上加强管理是进一步防止钻井液和钻屑违规排放的有效途径。首先，对钻井废弃物排放要进行现场监理，其次要定期检查：根据钻井进度和源强估算结果核实各类钻井泥浆和钻屑处置量，要求提供钻井液污染监测数据，对需要回收的钻井泥浆和钻屑查验接收公司证明，核实接收量。再者，建议管理部门组织进行钻井岩屑和泥浆海洋环境影响后评价，对其有机污染、重金属污染以及油类污染、占用海底以及生物影响情况进行综合评估，对其污染现状形成清晰的认识，以便采取措施减轻污染并逐步恢复油田及邻近水域特别是我国浅海石油开采区的海洋环境。

参考文献

[1] 邱戈冰．海洋石油开发工程环境影响后评价研究[D]. 青岛：中国海洋大学，2006.

[2] 何桂芳，袁国明，林端，等．海上油田开发对海洋环境的影响：以涠洲油田为例[J]．海洋环境科学，2009，25(2)：295－201.

[3] 杜丰才．废弃钻屑风险控制技术及研究[D]．青岛：中国石油大学(华东)，2011.

[4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会．GB4914－2008 海洋石油勘探开发污染物排放浓度限值[S]．2008.

[5] 何远信．钻井液技术展望[J]．探矿工程，1999(1)：24－25.

[6] 陈澈．论述含油钻屑处理技术[J]．科技创新与应用，2012(12).

[7] 王蓉沙，邓皓，谢水祥，等．油气田废弃钻井液对生态环境的影响评价研究[J]．石油天然气学报，2009，31(2)：152－156.

[8] 蔡利山．石油钻井废弃物环境污染特征的分析与评价[J]．西部探矿工程，2003(2)：54－57.

[9] 吕开河．钻井液有机添加剂在自然海水中的生物降解[J]．石油钻探技术，2001(27)：39－41.

[10] 闫学平，张前前，梁生康，等．钻井液及其组分对中肋骨条藻的毒性效应[J]．生态毒理学报，2010，5(3)：368－374.

[11] 卢芳．胜利埕岛油田海洋石油勘探开发生态环境影响研究[D]．青岛：中国海洋大学，2010.

[12] 马媛，高振会，杨应斌，等．海上石油开采导致生态环境变化实例研究[J]．海洋学报：中文版，2005，27(5)：54－59.

[13] 吴瑜端，王隆发，蔡阿根，等译．海洋污染和海洋生物资源[M]．北京：海洋出版社，1991：87－120.

[14] 向兴金，易绍全，戴向东，等．海上钻井废弃物排放的法规与对策[J]．油气田环境保护，1996，6(3)：31－35.

[15] 罗云凤．海洋无污染钻井液体系研究[D]．青岛：中国石油大学(华东)，2010.

[16] 吕开河．高性能水基钻井液应用与研究[R]．中国石油大学(华东)，2011.

[17] 山东省财政厅，山东省海洋与渔业厅．山东省海洋生态损害赔偿和损失补偿费管理暂行办法[Z]．2010.

[18] 国家海洋局．海洋生态损害评估技术指南(试行)[Z]．2013.