

乍得油区环保钻井液的水生生态毒性评价

张 聪^{1,2} 陈聚法¹ 赵 俊^{1*} 马绍赛¹

(¹农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

(²上海海洋大学水产与生命学院, 201306)

摘 要 以国际标准组织(ISO)规定的淡水污染指示生物斑马鱼 *Brachydanio rerio* 和乍得湖区优势种泥鳅 *Misgurnus anguillicaudatus* 为实验对象, 采用 96h 急性毒性试验, 以 96h 半致死效应浓度(96h LC₅₀)和毒性单位(TUa)为指标, 对乍得油区石油勘探开发所用钻井液进行水生环境生态毒性评价及分级。实验结果表明, 1 号钻井液样品对斑马鱼和泥鳅基本无毒害作用, 2 号钻井液对斑马鱼和泥鳅均具有低水平毒性效应。2 号钻井液对斑马鱼和泥鳅的 96h LC₅₀ 分别为 42 362 mg/L、50 861 mg/L, TUa 分别为 2.36、1.97。对比发现, 由于 2 号钻井液比 1 号钻井液多了一种添加剂——低荧光白沥青(JHBA-2), 生态毒性即由无毒激变为低毒性, 因此该添加剂具有明显的环境生物毒性, 可在今后的研究开发中弃用或寻求低毒及无毒替代品。

关键词 乍得油区 斑马鱼 泥鳅 钻井液 生态毒性 毒性单位

中图分类号 X171.5 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2011)06-0128-07

Assessment on aquatic eco-toxicity of environment friendly drilling fluid in Chad Lake oildom

ZHANG Cong^{1,2} CHEN Ju-fa¹ ZHAO Jun^{1*} MA Shao-sai¹

(¹Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resources, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

(²College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, 201306)

ABSTRACT Aquatic eco-toxicity of drilling fluid for petroleum exploration in Chad Lake oildom was evaluated and graded using *Brachydanio rerio* as the common biomarker in aquatic toxicology and the *Misgurnus anguillicaudatus* as the dominant species, by the methods of 96h acute toxicity test for aquatic organism and toxicity unit (TUa). The results showed that Sample 1 had no acute toxicity effects on *B. rerio* and *M. anguillicaudatus*, in contrast, Sample 2 had a low-level toxicity to both of them. The 96h LC₅₀ of *B. rerio* and *M. anguillicaudatus* stressed by Sample 2 were 42,362mg/L and 50,861mg/L with the TUa 2.36 and 1.97 respectively. The comparison of the components of two samples showed that by the addition of an ad-

中国石油长城钻探公司工程技术研究院委托项目资助

* 通讯作者。E-mail: zhaojun@ysfri. ac. cn

收稿日期: 2011-06-29; 接受日期: 2011-09-05

作者简介: 张 聪(1988-), 男, 硕士研究生, 主要从事渔业生态环境研究。E-mail: zhangcong880206@126. com, Tel: (0532)85836341

ditive named JHBA-2 (a kind of hypo-fluorescent white asphalt), the toxicity of Sample 2 was many times higher than Sample 1. This indicates that JHBA-2 has a severe eco-toxicity, thus it should be abandoned or substituted by something low toxic or nonpoisonous in research and development.

KEY WORDS Chad Lake *Brachydanio rerio* *Misgurnus anguillicaudatus*
Drilling fluid Ecological toxicity TUa

钻井液是一种由水以及各种化学处理剂组成的极其复杂的多相稳定胶态悬浮体,在钻探过程中对钻孔进行循环冲洗,其各组分包括各种添加剂如重金属、难降解的有机物如沥青等,都具有不同的生物毒性(黄雪静等 2006)。2004~2005年,中国石油天然气集团公司在乍得 Bongor 盆地进行石油开发的勘探活动并取得重要发现。该石油勘探区域均在乍得湖周边,而乍得湖地区是世界湿地公约重点关注地区,湖水是周边地区群众生活用水来源,因此环保要求非常高。为此,中国石油长城钻探工程公司钻井液分公司研发了一种以有机硅做稳定剂、聚合醇为主处理剂,主要成分均为高分子聚合物的新型环保型无固相聚合醇钻井液 Bio-Pro(张金波等 2009)。本研究中采用 96 h 急性毒性试验法,以 96 h 半致死效应浓度(96 h LC₅₀)和毒性单位(TUa)为指标对这种钻井液的水生生态毒性进行评价。

目前国际上流行的钻井液生物毒性评价方法有 96h 糠虾生物评价法和 Microtox 微生物毒性法,前者试验生物较难获得,试验程序繁琐、操作复杂,评价结果准确性和重现性一般,后者因其快速、简便、准确而廉价的特性正获得越来越广泛的应用(易绍金等 2001;黄雪静等 2006;李秀珍等 2004)。国内学者在对钻井液、钻井泥浆等油田伴生污染物的生物毒性进行探索研究时,根据研究和实际需要选用了不同的试验生物,如巴西拟糠虾 *Myxidopsis bahia* 的替代本地种黑褐新糠虾 *Neomysis awatschensis* (周名江等 2001),发光细菌 *Imminescent bacteris* *Iuminousbacteria* 的替代种发光海藻 *Pyrocystis lunula* (黄晓东 1997),其他如大型蚤类、斑马鱼 *Brachydanio rerio*、合浦珠母贝 *Pinctada fucata* 及稚贝、斑节对虾 *Penaeus monodon* 和罗氏沼虾 *Macrobrachium rosenbergii* 的仔虾(杨晓霞等 2008;杨丰华等 2000、1998;邓岳文等 2000)。可见,试验生物涵盖了微生物、浮游生物、甲壳类、双壳类、鱼类等不同物种且在生境中各具代表性,同时也对试验方法进行了相应的调整和改进;同时由于各试验生物的对不同种类及不同成分的油田化学剂及污染物反应具有特异性,多个研究者均根据毒性试验结果尝试提出了相应的毒性分级表(Walsh *et al.* 1980;易绍金等 1996;Scholten *et al.* 2000;李秀珍等 2004;杨晓霞等 2008)。然而国内尚无相应的、统一的毒性分级标准。

本研究以国际标准组织(ISO)规定的淡水污染指示生物斑马鱼和乍得湖区优势种泥鳅 *Misgurnus anguillicaudatus* 为毒性实验生物,对油区所用钻井液的水生生态毒性进行分析和评价,为进一步研究开发更低毒性甚至无毒的环境友好型优质钻井液提供理论依据,同时也为我国建立起统一的油田化学剂包括钻井液生物毒性的测试方法标准与分级标准提供参考。

1 材料与方 法

中国水产科学研究院黄海水产研究所于 2010 年 10~11 月对取自乍得油区的钻井液体系进行了生物毒性实验,同时依据国内外相关标准,确定了钻井液体系的生物毒性等级并对钻井液体系的水生生态毒性做了初步评价。

1.1 钻井液成分

实验所用 1、2 号钻井液样品由负责乍得油田勘探项目的中国长城钻探工程有限公司提供,二者为人工配制,其配方均包括 2% 膨润土、0.1% 纯碱、0.2% PAC-LV、0.2% KPAM、0.2% XC、0.1% XY-27、2% 聚合醇、1% 有机硅;2 号钻井液样品比 1 号样品增加了 2% JHBA-2 的添加剂(表 1)。

表 1 钻井液体系样品中各添加剂的主要成分
Table 1 Main components of additives in drilling fluids

添加剂名称 Name of additives	主要成分 Main components
聚合醇 Polymeric alcohol	/
有机硅 Silicone	该产品主要由有机硅单体等化工原料多次分段聚合反应而成
KPAM	聚丙烯酸钾,由丙烯酸钾和丙烯酰胺引发共聚而成,分子量 300 万以上,水解度 30%~40%,白色或淡黄色粉末。抑制泥页岩和钻屑分散
XY-27	乙烯基单体多元共聚物,两性离子聚合物降粘剂,由多种阴离子、非离子官能团和有机阳离子单体共聚而成的复合离子型低分子水溶性聚合物
XC	黄原胶
PAC-LV	改性的纤维素产品,化学结构同 CMC,只是取代度较高,取代基分布均匀
JHBA-2	一种低荧光白沥青

1.2 受试生物

选择国际标准化组织(ISO)规定的淡水污染指示生物斑马鱼(ISO 07346)和乍得钻井所在湖区优势种泥鳅为受试生物,均购自青岛南山市场。实验前驯养 7d,实验历时 96h,每 24h 投饵 1 次,定时换水和清污。驯养容器为 100L 玻璃缸,驯养期间斑马鱼和泥鳅生长正常,反应灵敏,死亡率 < 1.0%。试验前 1d 停止投喂,实验期间不喂食,试验用斑马鱼平均体长 28 ± 4 mm、体重 0.22 ± 0.05 g;泥鳅平均体长 85 ± 10 mm、体重 3.81 ± 0.94 g。

1.3 实验方法

1.3.1 实验稀释用水

自来水以充氧泵充分曝气逸散余氯 48 h 以上后作为实验用水,确保溶解氧(DO) ≥ 5.5 mg/L,水温控制在 21 ± 1 °C, pH 为 6.7 ± 0.2 。

1.3.2 实验贮备液的制备

实验贮备液的制备方法:根据美国石油学会(API)推荐的钻井液毒性评价方法(易绍金等 2001;黄雪静等 2006),称取一定量的样品原液,用蒸馏水稀释到浓度为 100 g/L。然后将混合液在 3 000 r/min 下搅拌 1h,以保证钻井液中的悬浮颗粒充分分散,搅拌混合后让混合液静置沉降 1 h,用虹吸法吸出中间分散体即为测试所需的悬浮颗粒相(SPP),用作实验用贮备液。

1.3.3 实验溶液的配制

参照国家标准《水质物质对淡水鱼类(斑马鱼)毒性测定方法》(GB/T 13267-91),采用半静止实验的方法。参照预备试验所得结果,在致斑马鱼全部死亡的最低浓度(96 h LC₀)和全部存活的最大浓度(96 h LC₁₀₀)之间选择实验浓度,分别设立 8 个浓度组和 1 个对照组。各试验组浓度分别为 1 000、2 000、5 000、10 000、20 000、30 000、40 000、50 000 mg/L,每组设 3 个平行组。

1.4 实验步骤

斑马鱼试验容器为 1 000 ml 烧杯,配比实验溶液体积为 1 000 ml,每个烧杯投放斑马鱼 10 尾。泥鳅实验容器为容积 5 000 ml 的长方体塑料箱,配比实验溶液体积为 2 000 ml,每箱投放泥鳅 10 尾。

试验光照周期为 12 h : 12 h(L : D),光照强度为 450lx。试验持续 96 h,试验期间不间断充氧,使 DO 维持在 5.0 mg/L 以上,每 24 h 更换 1 次试验溶液,试验开始后 3~6 h 内随时观察并记录受试鱼的中毒症状及死亡率,其后于 24、48、72、96、120、144 h 观察并记录受试鱼的中毒症状、死亡率及 DO、水温和 pH 变化情况,及时清除死鱼。死鱼的判断标准为用玻璃棒轻触鱼的尾部,没有反应即认为死亡。

1.5 数据处理

实验数据采用统计软件 SPSS 17.0 for Windows 软件中的 Probit 模块(概率单位回归)求出 LC_{50} 值,然后通过 Microsoft Excel 2003 处理换算成毒性单位(TUa),进一步量化对比样品毒性。依据美国环境保护署(USEPA)对稀释废水的毒性单位之计算方式(USEPA NPDES Permit Writers' Manual 2010),使用 100 除以稀释倍率即是毒性单位 TUa,如 96h 半致死浓度为实验稀释液浓度的 50%,则其 TUa 为 2.0(100/50)。USEPA 以急性单位(TUa)表示废水毒性的大小,并规定 $TUa < 0.3$ 时,排放废水对接纳水体的水生生物无急性毒性影响。根据毒性单位 TUa 的计算方式,可知 TUa 值代表了半致死浓度相对于实验使用液浓度的稀释倍数,因此, TUa 值越大就意味着达到半致死浓度所需要的稀释倍数越大,毒性越强。杨晓霞等(2008)在研究海上石油生产水对大型蚤 *Daphnia magma* 和斑马鱼的水生生态毒性时使用了急性毒性单位 TUa,并通过不同水样间 TUa 的比值将毒性强弱的差异量化,从而作为比较不同水样间毒性强弱的依据。

2 结果

2.1 钻井液对斑马鱼的生态毒性

两种钻井液对斑马鱼的生态毒性表现出较大差异。1 号钻井液各实验组斑马鱼在试验期间摄食正常,游泳迅速,未表现出中毒症状。2 号钻井液则表现出对斑马鱼的毒害作用,其主要表现为:低浓度实验组中斑马鱼躁动不安,围绕缸壁不停快速游动,摄食不积极;在较高浓度组中,斑马鱼首先表现为急躁地在缸内游动,随着时间的推移行动逐渐变得迟缓,对外界刺激反应不敏感,各个体逐渐死亡。斑马鱼对各钻井液样品的毒性实验结果见表 2。

表 2 钻井液对斑马鱼 96 h 急性毒性实验结果
Table 2 Toxic responses of *B. rerio* to the drilling fluids

钻井液样品编号 Sample of drilling fluid	实验液浓度 (mg/L) Liquid concentration	初始存活数量(尾) Initial alive number	48h 存活数量(尾) Alive number at 48h	死亡率(%) Mortality rate	96h 存活数量(尾) Alive number at 96h	死亡率(%) Mortality rate
1	0	10	10(0)	0	10(0)	0
	0	10	10(0)	0	10(0)	0
	2 000	10	10(0)	0	10(0)	0
	5 000	10	10(0)	0	10(0)	0
	10 000	10	10(0)	0	10(0)	0
	20 000	10	10(0)	0	10(0)	0
	30 000	10	10(0)	0	10(0)	0
	40 000	10	10	0	10	0
	50 000	10	9.67(0.47)	3.33	9.67(0.47)	3.33
	2	0	10	10(0)	0	10(0)
1 000		10	10(0)	0	10(0)	0
2 000		10	10(0)	0	10(0)	0
5 000		10	10(0)	0	10(0)	0
10 000		10	10(0)	0	10(0)	0
20 000		10	10(0)	0	10(0)	0
30 000		10	8.67(0.47)	13.3	8(0.82)	20
40 000		10	8.67(0.47)	13.3	7(1.41)	30
50 000	10	4(1.41)	60	2(0.82)	80	

注:(括号里的值)表示 \pm 标准偏差

Note: Value in brackets means \pm Standard Deviation

1号钻井液和2号钻井液对斑马鱼的96h LC₅₀分别大于10⁶、4 500mg/L; TU_a分别为0.082、2.36,后者为前者的28.7倍(表3)。对比两种钻井液的配方不难发现,2号钻井液仅比1号多了1种添加剂JHBA-2,其毒性增大了近30倍,推测该沥青类物质具有较强的毒性,对乍得钻井液的毒性强度有着重要影响。

表3 钻井液对斑马鱼的生态毒性

Table 3 The ecological toxicity of the drilling fluids to *B. rerio*

样品 Sample	LC ₅₀ (48 h)	置信区间(95%) Confidence interval (95%)	LC ₅₀ (96 h)	置信区间(95%) Confidence interval (95%)	TU _a
1	1.22E+06	/	1.22E+06	/	0.082
2	5.66E+04	4.65E+04~9.26E+04	4.24E+04	3.81E+04~4.91E+04	2.36

2.2 钻井液对泥鳅的生态毒性

两种钻井液对泥鳅的生态毒性也表现出较大差异。1号钻井液各实验组泥鳅在实验期间摄食正常,对外界声音、震动等刺激反应迅速,未表现出中毒症状。2号钻井液则表现出对泥鳅的毒害作用,其主要表现为:低浓度实验中泥鳅躁动不安,摄食不积极,少数急游至水面吞咽空气;在较高浓度组中,泥鳅首先表现为大部分时间静卧水底,遇轻微外界刺激即急躁游动,常急游至水面吞咽空气,高浓度组个体体质逐渐虚弱,对身体平衡的控制能力下降,从个体失去平衡至死亡这一过程一般持续3~4 h。泥鳅对各钻井液样品的毒性试验结果见表4。

表4 钻井液对泥鳅96 h急性毒性试验结果

Table 4 Toxic responses of *M. anguillicaudatus* to the drilling fluids

钻井液样品编号 Sample of drilling fluid	实验液浓度 (mg/L) Liquid concentration	初始存活数量(尾) Initial alive number	48 h 存活数量(尾) Alive number at 48 h	死亡率(%) Mortality rate	96 h 存活数量(尾) Alive number at 96 h	死亡率(%) Mortality rate
1	0	10	10(0)	0	10(0)	0
	1 000	10	10(0)	0	10(0)	0
	2 000	10	10(0)	0	10(0)	0
	5 000	10	10(0)	0	10(0)	0
	10 000	10	10(0)	0	10(0)	0
	20 000	10	10(0)	0	10(0)	0
	30 000	10	10(0)	0	10(0)	0
	40 000	10	10(0)	0	10(0)	0
	50 000	10	10(0)	0	9.67(0.47)	3.33
2	0	10	10(0)	0	10(0)	0
	1 000	10	10(0)	0	10(0)	0
	2 000	10	10(0)	0	10(0)	0
	5 000	10	10(0)	0	10(0)	0
	10 000	10	10(0)	0	10(0)	0
	20 000	10	10(0)	0	10(0)	0
	30 000	10	8(0.82)	20	8(0.82)	20
	40 000	10	8(0)	20	7(0.82)	30
	50 000	10	6.67(0.47)	33.33	6(1.41)	40

注:(括号里的值)表示±标准偏差

Notes: Value in brackets means ± Standard Deviation

1号钻井液对泥鳅的96h LC₅₀大于10⁶ mg/L,2号钻井液对泥鳅的96h LC₅₀大于45 000mg/L,1号钻井液与2号钻井液的TU_a分别为1.97、0.082,二者相差24倍(表5)。这一结果与斑马鱼毒性试验结果相吻合,进一步证明添加剂JHBA-2对该钻井液的生物毒性具有决定性的影响。

表 5 钻井液对泥鳅的生态毒性

Table 5 The ecological toxicity of the drilling fluids to *M. anguillicaudatus*

样品 Sample of drilling fluid	LC ₅₀ (48 h)	置信区间(95%) Confidence interval (95%)	LC ₅₀ (96 h)	置信区间(95%) Confidence interval (95%)	TU _a
1	>1.00E+06	/	1.22E+06	/	0.082
2	5.53E+04	4.86E+04~6.83E+04	5.09E+04	4.56E+04~5.99E+04	1.97

2.3 钻井液的生态毒性分级

对于钻井液体系及添加剂的毒性评价,人们一般参考由美国石油学会(API)制定的、由美国环保局(EPA)批准的 96 h 生物鉴定试验法,且该标准方法已被广泛应用于钻井液体系及添加剂的评价中。该方法是选用糠虾(*Mysid shrimp*)作为钻井液液相和悬浮相的标准试验生物,以钻井液对糠虾的 LC₅₀ 值表达对环境的危害程度。美国 Ayers 等人对钻井液的生物毒性进行了分级,本研究将 96h LC₅₀ 换算为 TU_a 后如表 6 所示。

表 6 EPA 钻井液及其添加剂生态毒性分级

Table 6 Classification of the ecological toxicity of drilling fluids and additives by EPA(USA)

毒性级别 Toxic level	允许排放 Discharge allowed	无毒 Nontoxic	微毒 Low-toxic	中等毒性 Moderately toxic	高毒 Highly toxic	剧毒 Extremely toxic
96h LC ₅₀ (mg/L)	>30 000	>10 000	1 000~10 000	100~1 000	1~100	<1
TU _a	<3.33	<10	10~100	100~1 000	1 000~10 ⁵	>10 ⁵

本研究中所采用的实验生物斑马鱼和泥鳅相对于 EPA 标准中采用的糠虾在个体上有较大差异,所以该标准并不能直接适用于本实验结果的分析。国内学者根据不同的试验样品、试验生物和毒性试验结果各自提出了适用于各自研究项目的毒性分级表(易绍金等 1996;杨晓霞等 2008;李秀珍等 2004)。目前,国内外尚未形成统一的钻井液生物毒性分级标准。根据国内外现有研究(Walsh *et al.* 1980;易绍金等 1996;Scholten *et al.* 2000;李秀珍等 2004;杨晓霞等 2008),结合本实验所取得的毒性实验结果,尝试对钻井液及其添加剂生物毒性进行分级(表 7)。

表 7 钻井液及其添加剂生态毒性分级

Table 7 Classification of the ecological toxicity of the drilling fluids based on our study

毒性级别 Toxicity level	斑马鱼 96h LC ₅₀ (mg/L)	TU _a	泥鳅 96h LC ₅₀ (mg/L)	TU _a
无毒 Nontoxic	100 000	<1.0	100 000	<1.0
低毒 Low-toxic	40 000~100 000	1.0~2.5	50 000~100 000	1.0~2.0
中毒 Moderately toxic	10 000~40 000	2.5~10	10 000~50 000	2.0~10
高毒 Highly toxic	1 000~10 000	10~100	1 000~10 000	10~100
剧毒 Extremely toxic	100~1 000	>100	100~1 000	>100

将实验结果与毒性分级表进行比对不难发现,两种实验生物对不同的钻井液的毒性反应趋势是相同的,1号钻井液对斑马鱼和泥鳅均不具有生态毒性作用,2号钻井液样品对斑马鱼和泥鳅具有低水平的毒性作用。且2号钻井液对斑马鱼的毒性稍大于泥鳅;1号钻井液虽对实验生物无急性毒性作用,但作为多种有机试剂和无机试剂的混合溶液,是否具有中长期毒性和对环境产生长期危害,还有待进一步研究。

3 结果与讨论

参考国内外相关标准及相关研究,对取自乍得油区的两种钻井液体系进行了急性毒性试验。经分析可知,1号钻井液样品及其稀释液对斑马鱼和泥鳅基本无毒性作用;2号钻井液样品及其稀释液对斑马鱼和泥鳅具低毒性至近中毒性作用;2号钻井液毒性强于1号钻井液,其对斑马鱼和泥鳅的生态毒性分别比1号钻井液增强了28.7和23.9倍。本研究中所使用的钻井液体系为聚合醇类钻井液,2号钻井液配方比1号钻井液多了一种

成分为低荧光白沥青的添加剂 JHBA-2, 而毒性发生了很大变化, 说明该添加剂对钻井液的毒性作用有很大影响, 可进一步探明其具体毒性等级。张妍等(2009)在其研究中使用校正后的发光杆菌法测试了包括聚合醇类、烷基糖苷类、有机盐类、无固相类在内多种钻井液体系及常用钻井液处理剂的生物毒性。其结果表明, 当前使用的钻井液体系中大多数是无毒或微毒的, 仅含重金属离子的处理剂和沥青类具有毒性, 且钻井液毒性与处理剂含量之间存在着显著的线性回归关系; 本研究结果可与之相印证, 进一步证明了添加剂对钻井液生态毒性具有重要影响甚至是决定作用。因此, 必须重视控制钻井液体系因添加剂种类各异而具有的生态毒性, 在对现有钻井液体系进行优化或者研发新型钻井液时应避免使用具毒性的各类添加剂或是寻求更加安全、高效、环保无公害的替代品。

国内对钻井液生态毒性的研究约起步于 20 世纪 90 年代, 在早期的生态毒性评价研究中使用较多的实验生物为发光细菌, 并直接采用 EPA 的毒性分级标准(易绍金等 1996、2001)。该标准最初是针对糠虾生物毒性评价法提出的, 由于发光细菌法 EC_{50} 与糠虾法 LC_{50} 间存在相关关系, 所以直到近年仍有人直接采用该标准(张妍等 2009); 李秀珍等(2004)在其研究中使用标准毒剂十二烷基硫酸钠(SDS)对糠虾和发光细菌作对比试验, 发现二者之间的确存在着相关关系, 其根据实验结果并参考美国发光细菌法及中国科学院南京土壤所的急性毒性分级方法, 提出了自己的毒性分级标准。经比对, 与 EPA 标准基本一致。这验证了发光细菌法可采用 EPA 毒性分级标准。现在已有很多研究尝试使用不同的实验生物来对钻井液进行急性毒性评价, 实验生物与糠虾差别较大, 因此对毒性的敏感度的变化较大, 不能直接采用前述的分类标准。杨晓霞等(2008)在对海上石油生产水进行生态毒性评价中采用了大型蚤和斑马鱼作为实验生物, 参考国内外相关研究结果, 结合其毒性试验的特点和结果, 分别以海上石油生产水对大型蚤和斑马鱼生态毒性进行分级。该研究对斑马鱼的毒性试验结果与本研究类似, 并提出即使一种实验生物比另一种更为敏感。但仅依赖一种生物的毒性研究结果对废水进行毒性分级和探讨其对水生生态系统的毒性影响是片面的。因此, 加大对环保型钻井液的研发投入, 注意对毒性数据的积累和统计分析, 建立统一的油田化学剂毒性分级标准, 将有利于我国油田及周边环境的保护及进一步完善我国油气田环境监测体系。

参 考 文 献

- 邓岳文, 杨丰华, 湛波, 杜晓东, 黄韧. 2000. 钻井泥浆和消油剂对合浦珠母贝稚贝的急性毒性试验. 湛江海洋大学学报, 20(4): 23~28
- 马文臣, 易绍金. 1998. 钻井液研究与使用应考虑的环境问题. 石油钻采工艺, 20(3): 37~40
- 李秀珍, 李斌莲, 范俊欣, 李巨峰. 2004. 油田化学剂和钻井液生物毒性检测新方法及毒性分级标准研究. 钻井液与完井液, 21(6): 44~46
- 杨丰华, 邓岳文, 杜晓东, 吴进孝, 黄韧. 2001. 钻井泥浆和消油剂对合浦珠母贝的急性毒性效应. 海洋环境科学, 20(2): 67~70
- 张妍, 周守菊, 马云谦, 杨景利, 薛玉志. 2009. 钻井液组分及体系生物毒性测试方法研究. 石油钻探技术, 37(1): 18~22
- 杨晓霞, 周启星, 王铁良. 2008. 海上石油生产水的水生生态毒性. 环境科学学报, 28(3): 544~549
- 张金波, 彭小红, 高峰, 薛照宏. 2009. 环保钻井液 Bio-Pro 体系在乍得的成功应用. 钻井液与完井液, 26(1): 67~68
- 杨丰华, 程树军, 魏社林, 薛成, 刘忠华. 1998. 石油开发污染物毒性监测的实验生物筛选 I: 钻井泥浆对水生动物的毒性比较. 湛江海洋大学学报, 18(3): 18~22
- 国家环保总局. 1991. 水质 物质对淡水鱼(斑马鱼)急性毒性测定方法(GB/T 13267-91). 北京: 中国标准出版社
- 易绍金, 向兴金, 肖稳发. 2001. 利用发光细菌法快速测定钻井液、完井液的生物毒性. 钻井液与完井液, 18(4): 1~2, 18
- 易绍金, 向兴金, 肖稳发, 戴向东, 徐绍威. 1996. 油田化学剂生物毒性的测定及其分级标准. 油气田环境保护, 6(3): 45~49
- 周名江, 颜天, 李钧, 谭志军, 于仁诚, 王云峰. 2001. 黑褐新糠虾的急性毒性测试方法及在钻井液毒性评价中的作用. 海洋环境科学, 20(3): 1~4
- 黄晓东. 1997. 利用发光海藻快速检测钻井液毒性. 油气田环境保护, 7(2): 48~51
- 黄雪静, 崔茂荣, 周长虹, 马勇, 白立业. 2006. 钻井液生物毒性评价方法对比. 油气田环境保护, 16(4): 25~27
- ISO(International Organization for Standardization). 1996. Water quality; Determination of the acute lethal toxicity of substances to a freshwater fish [*Brachdanio rerio* Hamilton-Buchanan, Teleostei, Cyprinidae] Part 3; Flow-through method. ISO/DIS 7346/3
- Scholten, M. C. Th., Karman, C. C., and Huwer, S. 2000. Ecotoxicological risk assessment related to chemicals and pollutants in off-shore oil production. Toxicology Letters, 112-113: 283~288
- U. S. Environmental Protection Agency. 2010. NPDES Permit Writers' Manual
- Walsh, G. E., Bahner, L. H., and Horning, W. B. 1980. Toxicity of textile mill effluents to freshwater and estuarine algae, crustaceans and fishes. Environmental Pollution(Series A, Ecological and Biological), 21(3): 169~179