

DOI: 10.3969/j.issn.1001-5620.2019.04.013

黄土区废弃钻井液对苜蓿产量和品质的影响

翟文晰¹, 郝明德^{1, 2}, 王哲², 张荣耀³, 任鹏⁴

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100;
3. 长庆油田分公司第二采气厂, 西安 710200; 4. 长庆油田分公司油气工艺研究院, 西安 710200)

翟文晰, 郝明德, 王哲, 等. 黄土区废弃钻井液对苜蓿产量和品质的影响 [J]. 钻井液与完井液, 2019, 36(4): 468-472.

ZHAI Wenxi, HAO Mingde, WANG Zhe, et al. Influence of waste drilling fluids in loess area on yield and quality of alfalfa [J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2019, 36(4): 468-472.

摘要 以长庆油田废弃钻井液回填法处理后井场生长的苜蓿为研究对象, 研究了废弃钻井液对苜蓿的产量、重金属含量、品质和氨基酸的影响。结果表明, 废弃钻井液处理场生长的苜蓿 Pb、Cd、Cr、As、Hg 和 Cu 等重金属含量均在 GB13078—2017 安全范围内, 重金属未超标; 废弃钻井液对苜蓿有明显的增产作用, 苜蓿产量增加了 730.20 kg/hm², 增长了 21.6%。苜蓿品质也得到明显提升, 其中粗蛋白总量增加 24.87 kg/hm², 粗脂肪总量增加 3.34 kg/hm², 淀粉总量增加 9.61 kg/hm², 还原性糖总量增加 45.92 kg/hm², 粗纤维含量有所降低。氨基酸总量增加 3.6%, 必需氨基酸和非必需氨基酸含量分别增长了 1.2% 和 2.3%。

关键词 废弃钻井液; 作物品质; 作物产量; 苜蓿; 氨基酸; 重金属; 生态环境

中图分类号: TE254.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-5620(2019)04-0468-05

Influence of Waste Drilling Fluids in Loess Area on Yield and Quality of Alfalfa

ZHAI Wenxi¹, HAO Mingde^{1, 2}, WANG Zhe², ZHANG Rongyao³, REN Peng⁴

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling County, Shaanxi 712100;

2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100;

3. The Second Gas Production Plant, PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi 710200;

4. Oil & Gas Technology Research Institute of PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi 710200)

Abstract Taking the alfalfa grown on the wellsites with backfilled waste drilling fluids in Changqing Oilfield as the research object, the waste drilling fluids were studied for their influences on the yield, content of heavy metals, quality and amino acids of alfalfa. It is concluded that the contents of Pb, Cd, Cr, As, Hg and Cu in the alfalfa all meet the requirements as set in the standard of GB13078-2017. The waste drilling fluids have obvious effect in increasing the yield of the alfalfa which was increased by 730.20 kg/hm², or 21.6%. The quality of the alfalfa also was also improved, the gross content of crude protein was increased by 24.87 kg/hm², the gross content of crude fat increased by 3.34 kg/hm², the gross content of starch increased by 9.61 kg/hm², and the gross content of reducing sugar increased by 45.92 kg/hm². The content of crude fiber, on the other hand, decreased a little bit. The gross content of amino acids was increased by 3.6%, the essential and the non-essential amino acids were increased by 1.2% and 2.3%, respectively.

Key words Waste drilling fluid; Quality of crop; Alfalfa; Amino acid; Heavy metal; Ecosystem

基金项目: 中国石油长庆油田分公司第二采气厂委托项目“废弃水基钻井泥浆岩屑环境影响专项分析及再利用评价”(2019CQ1F126); 西安市农业科技创新工程项目“多功能腐殖酸速溶多元微肥在智慧农业中关键技术应用研究”(201806116YF04NC12(6)); 西安市未央农业科技创新计划项目“超临界撞击制备多功能腐殖酸微胶囊关键技术及其产业化培育示范研究”(201829)

第一作者简介: 翟文晰, 1995年生, 硕士研究生, 现在主要进行废弃物资源化的研究。电话 17762242609; E-mail: wenzizhai@nwafu.edu.cn

通讯作者: 郝明德, 1957年生, 研究方向为废弃物资源化。E-mail: mdhao@ms.iswc.ac.cn

油气田在钻井过程中产生大量废弃物，其不合理的处理将对井场周边生态环境造成巨大影响。国内外对废弃钻井液的处置技术较多，其中包括固化技术、干化技术、物化分离技术、焚烧技术、高温裂解技术、生物处理技术、萃取技术、回注技术以及回填技术等处理技术方法。我国对废弃钻井液处理多采用固化掩埋、固液分离和土地利用等处理方式，一般在对淡水基钻井液处理时，可以采用回填的方式，相比其他处理方式更经济。国外有研究显示，在温室下利用钻井液和土壤混合，植物在其上生长情况良好^[1-8]。国内也有利用植物对废弃钻井液进行改良，以及废弃钻井液对农作物生长的研究，认为一定程度上废弃钻井液能增加作物的生物量和改善营养品质^[9-12]。我国对于钻井液废弃钻井液的处理，多集中在钻井液固化处理研究方面^[13-15]，但缺少对井场钻井液实地处置后对周边作物品质、产量的研究。苜蓿作为一种多年生优质饲草，在我国西北地区种植历史悠久，分布广泛^[16]，在钻井液埋设处理地点种植较普遍。本文通过对长庆油田钻井液埋设处理 13 年后，井场上生长的苜蓿进行研究，以为废弃钻井液埋设场地利用、生态恢复与重建提供科学依据。

1 材料方法

1.1 采样地概况

2018 年 10 月对长庆油田气井榆 38-15 井场生长的第二茬苜蓿进行调查并取样，该井位于陕西省榆林市榆阳区保安堡附近，2005 年完成钻井，使用淡水基钻井液。井区属于典型黄土区，气候为典型中温带半干旱大陆性季风气候，年均气温为 8.1~10.0 ℃，年平均无霜期为 155 d，年平均降水量为 423.9 mm，年平均日照时数为 2879 h。钻井采用覆土填埋的方式对废弃钻井液集中处理，废弃钻井液下部和四周铺设防渗布，上部覆盖 1.4 m 的土层。种植苜蓿在自然条件下生长，无施肥和灌溉。苜蓿第一茬产量占年产量为 70% 左右，第二茬占 30% 左右。

1.2 研究方法

选取废弃钻井液覆土处理和同一地块（非泥浆池）上生长的苜蓿，采用 1 m² 的样方框在采样点设置样方采样，每个区域重复 3 次，收割苜蓿地上

部分，测定植株鲜重，带回实验室在 105 ℃ 下杀青 30 min，75 ℃ 烘至恒重后称重，计算生物量。

植物中重金属铅、镉均采用石墨炉原子吸收光谱法；总砷采用氢化物发生原子荧光光谱法；总汞采用原子荧光光谱分析法；植物中全铜用火焰原子吸收光谱法测定；粗蛋白用凯氏定氮法；粗脂肪用索氏抽提法；淀粉用酸水解法测定；还原性糖用直接滴定法测定；粗纤维采用酸性洗涤剂法测定；使用全自动氨基酸分析仪（日立 L-8800）测定 16 种氨基酸含量。

2 结果分析和讨论

2.1 废弃钻井液对苜蓿重金属含量的影响

在废弃钻井液处理场上和非泥浆池上生长的苜蓿，重金属含量均在 GB13078—2017 范围内，两者相比没有明显差异，可供家畜做饲料使用。有研究表明，苜蓿在重金属浓度含量较低时，苜蓿的生长不会受到重金属胁迫作用，反而对生长有刺激作用^[17]，这也印证了废弃钻井液对苜蓿产量具有增加的作用（见表 1）。

表 1 废弃钻井液对苜蓿地上部重金属含量的影响

重金属种类	泥浆池内含量 / mg · kg ⁻¹	泥浆池外含量 / mg · kg ⁻¹	GB13078—2017 限值 / (mg · kg ⁻¹)
Pb	<0.040	0.300	30
Cd	<0.003	<0.003	1.0
Cr	0.550	0.540	5.0
As	0.100	0.100	2.0
Hg	0.011	0.004	0.1
Cu	13.900	11.300	

注：饲料卫生标准 GB13078—2017

在废弃钻井液对苜蓿重金属含量影响中，泥浆池内苜蓿 Pb 含量未达到 0.04 mg/kg 检出限含量，泥浆池外苜蓿 Pb 含量为 0.30 mg/kg，两者远低于饲料卫生国家标准要求中的 30 mg/kg。泥浆池内和泥浆池外苜蓿 Cd 的含量没有明显差异，苜蓿 Cd 含量均未达到 0.003 mg/kg 检出限含量，两者远低于饲料卫生标准中的 1 mg/kg。泥浆池内苜蓿 Cr 含量为 0.55 mg/kg、泥浆池外苜蓿 Cr 含量为 0.54 mg/kg，二者远低于饲料卫生国家标准中的 5 mg/kg。泥浆池内和泥浆池外苜蓿 As 含量均为 0.1 mg/kg，均远低于饲料卫生国家标准中的 2 mg/kg。泥浆

池内和泥浆池外苜蓿 Hg 含量分别为 0.011 mg/kg、0.004 mg/kg, 两者远低于饲料卫生标准中的 0.1 mg/kg。泥浆池内苜蓿 Cu 含量为 13.9 mg/kg, 泥浆池外苜蓿 Cu 含量为 11.3 mg/kg, 均未达到 Cu 胁迫的水平。对于一般作物来说, Cu 含量大于 20 mg/kg 干重时, 会表现出中毒的情况^[18]。

2.2 废弃钻井液对苜蓿产量的影响

废弃钻井液可以明显提高苜蓿产量, 废弃钻井液处理场上生长苜蓿产量增加了 730.20 kg/hm², 增长了 21.6% (见表 2)。单位面积上的株丛数、每株苜蓿的枝条数和枝条重量等是苜蓿产量的主要影响因素^[19]。废弃钻井液对苜蓿株高和分枝数的影响无明显差异, 处理场内和处理场外苜蓿株高均无明显增加。废弃钻井液能够增加其上生长作物的生物量, 这和籍国东^[9]利用封闭式芦苇湿地处理钻井液研究结果基本一致。

表 2 废弃钻井液对苜蓿产量的影响

项目	产量 / (kg·hm ⁻²)	株高 / cm	分枝数
泥浆池内	4111.8	23	6
泥浆池外	3381.6	21	6
增加量	730.2	2	0

增产的原因是钻井液中含有大量的无机盐、有机物, 以及无机聚合物、合成高分子量聚合物和表面活性剂等^[20], 能够影响植物的生理活动, 包括植物的生长、营养物质的吸收、蛋白质的合成、呼吸作用以及酶的活性, 改善土壤微生物群落结构等。钻井液添加剂中有大量的腐植酸、膨润土、羧甲基纤维素, 有助于提高土壤有机物质及大量元素氮、磷、钾含量, 有助于提高土壤锌、硼、锰、铁、钙等中微量元素含量, 提高土壤保水、保肥能力, 提高水分利用率, 能够起到改良土壤结构和培肥土壤的作用。

2.3 废弃钻井液对苜蓿品质的影响

废弃钻井液明显改善苜蓿品质, 增加了粗蛋白、粗脂肪、淀粉、还原性糖含量, 降低了粗纤维含量和总量 (见图 1 和图 2)。

苜蓿是一种高蛋白豆科牧草, 粗蛋白是反应饲草营养价值的重要指标, 是家畜必不可少的营养物质, 一般粗蛋白含量越高, 饲草的营养品质越好。

废弃钻井液提高了苜蓿粗蛋白含量和总量。苜蓿粗蛋白含量增加了 3.9%, 粗蛋白总量增加了 24.87 kg/hm², 增长了 60.8%。

粗脂肪是组成生物体的重要成分, 是植物维持生命活动必需的储藏物质, 具有芳香气味, 是牧草适口性一个重要指标。饲草中粗脂肪含量越高, 其营养价值越高。废弃钻井液对苜蓿粗脂肪含量和总量均有提高。苜蓿粗脂肪含量增加了 0.6%; 苜蓿粗脂肪总量增加了 3.34 kg/hm², 增长了 82.4%。

淀粉含量是决定苜蓿品质的重要指标。废弃钻井液提高了苜蓿淀粉的含量, 含量增加了 0.1%, 总量增加了 9.61 kg/hm², 增长了 40.3%。

还原性糖是植物光合、呼吸等能量活动的原料, 是一切物质代谢活动的基础^[24]。废弃钻井液提高了苜蓿还原性糖含量、总量, 苜蓿还原性糖增加了 8.7%, 总量增加了 45.92 kg/hm², 增长了 97.7%。

粗纤维是饲草的主要成分, 但其含量过高会影响饲草的适口性, 降低动物的采食率。废弃钻井液使粗纤维含量降低了 0.5%, 提高了苜蓿适口性。

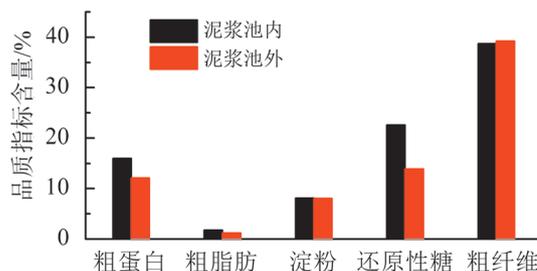


图 1 废弃钻井液对苜蓿品质指标含量的影响

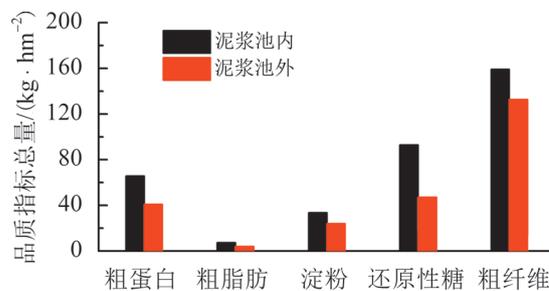


图 2 废弃钻井液对苜蓿品质指标总量的影响

2.4 废弃钻井液对苜蓿氨基酸含量的影响

苜蓿蛋白中含有多种氨基酸, 可分为必需氨基酸和非必需氨基酸。蛋白质的营养价值与氨基酸的组分密切相关, 特别是必需氨基酸的含量和比例, 并且蛋白质氨基酸组成越接近人体蛋白质组成, 其

营养价值越高。

2.4.1 苜蓿总氨基酸含量

所测定的16种氨基酸,有13种含量明显增加,其中非必需氨基酸中甲硫氨酸、组氨酸、脯氨酸含量变化不明显(见表3)。在氨基酸占用比例上,必需氨基酸和非必需氨基酸分别占总氨基酸的33.2%、63.5%,总氨基酸含量增加了3.6%。

表3 废弃钻井液对苜蓿氨基酸含量的影响 %

氨基酸种类	泥浆池内	泥浆池外	
必需氨基酸 EAA	异亮氨酸	0.43	0.30
	缬氨酸	0.72	0.53
	亮氨酸	0.82	0.55
	赖氨酸	0.85	0.59
	苯丙氨酸	0.63	0.45
	苏氨酸	0.65	0.46
非必需氨基酸 NEAA	天冬氨酸	2.01	1.23
	丝氨酸	0.72	0.54
	谷氨酸	1.40	0.96
	甘氨酸	0.69	0.48
	丙氨酸	0.67	0.46
	甲硫氨酸	0.05	0.04
	酪氨酸	0.56	0.45
	组氨酸	0.30	0.21
	精氨酸	0.49	0.31
	脯氨酸	0.96	0.87
总氨基酸	12.36	8.8	
EAA/TAA	0.332	0.327	
NEAA/TAA	0.635	0.631	

注: EAA为必需氨基酸; NEAA为非必需氨基酸; TAA为氨基酸总量

2.4.2 苜蓿必需氨基酸含量

苜蓿必需氨基酸含量增加了1.2%,其中异亮氨酸含量增加了0.1%,缬氨酸含量增加了0.2%,亮氨酸含量增加了0.3%,苯丙氨酸含量增加了0.2%,苏氨酸含量增加了0.2%。

2.4.3 苜蓿非必需氨基酸含量

苜蓿非必需氨基酸含量增加了2.3%,在非必需氨基酸中,天冬氨酸增长幅度最大,且含量增加最多,泥浆池内天冬氨酸含量达到2.0%,比泥浆池外含量增加了0.8%,增长了63.4%;其他非必需氨基酸含量增加了0.01%~0.40%不等,其中泥

浆池内苜蓿丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、组氨酸和精氨酸的含量分别为0.7%、1.4%、0.7%、0.7%、0.3%和0.5%,增长幅度分别为33.3%、45.8%、43.8%、45.7%、42.9%和58.1%,其他非必需氨基酸较以上所列举非必需氨基酸增长幅度较小,增长幅度也可达到10.3%~24.4%。

3 结论

1. 废弃钻井液明显增加苜蓿产量,苜蓿产量增加了730.20 kg/hm²,增长了21.6%,废弃钻井液提高土壤保水、保肥能力,增加土壤营养元素,有改良土壤结构和培肥土壤的作用。废弃钻井液上生长的苜蓿重金属含量不超标,可供作家禽饲料安全使用。

2. 在废弃钻井液上生长的苜蓿的品质明显提高。苜蓿粗蛋白总量增加了24.87 kg/hm²,粗脂肪总量增加了3.34 kg/hm²,淀粉总量增加了9.61 kg/hm²,还原性糖含量增加了8.7%,总量增加了45.92 kg/hm²,粗纤维含量降低了0.5%。

参考文献

- [1] MILLER RW, HONARVAR S, HUNSAKER B. Effects of drilling fluids on soils and plants: I. Individual fluid components[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1980, 9(4): 547-552.
- [2] 籍国东, 隋欣, 孙铁珩, 等. 封闭式芦苇湿地处理钻井泥浆的可行性研究[J]. *环境科学学报*, 2001(4): 426-430.
JI Guodong, SUI Xin, SUN Tiehang, et al. Feasibility study on drilling mud treatment with the confining reed wetland system[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2001(4): 426-430.
- [3] 王大卫, 李欣, 张江林. 废弃泥浆对农作物毒性影响研究[J]. *油气田环境保护*, 2000, 10(4): 16-8.
WANG Dawei, LI Xin, ZHANG Jianglin. Study on poison effect of waste mud on agricultural crop[J]. *Environmental Protection of Oil & Gas Fields*, 2000, 10(4): 16-18.
- [4] 冯志国, 王明仁, 慎镛健, 等. 大庆油田废弃钻井液对农作物的影响[J]. *油气田环境保护*, 1997(3): 19-22.
FENG Zhiguo, WANG Mingren, SHEN Yongjian, et al. The effect of waste drilling fluid upon crops in Daqing oil field[J]. *Environmental Protection of Oil & Gas Fields*, 1997(3): 19-22.

- [5] 李明. 钻井废水对土壤及主要粮食作物的影响研究[J]. 天然气工业, 1996, 16(5): 72-77.
LI Ming. Effect of drilling wastewater on soil and main food crops[J]. *Natural Gas Industry*, 1996, 16(5): 72-77.
- [6] 董娅玮, 王文科, 杨胜科, 等. 黄土地区石油钻井废弃泥浆处置对策研究[J]. 环境工程学报, 2009, 3(9): 1673-1676.
DONG Yawei, WANG Wenke, YANG Shengke, et al. Disposal countermeasure of waste drilling fluids in loess region[J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2009, 3(9): 1673-1676.
- [7] 丁文成, 丁爱中, 王小松, 等. 含铬钻井泥浆固化及影响因素[J]. 环境工程学报, 2009, 3(8): 1524-1528.
DING Wencheng, DING Aizhong, WANG Xiaosong, et al. Solidification and its influencing factors for chromium-contaminated drilling mud treatment[J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2009, 3(8): 1524-1528.
- [8] 张淑侠. 钻井废弃泥浆固化处理工艺的研究与应用[J]. 安全与环境工程, 2007(2): 63-67.
ZHANG Shuxia. Study and application of solidification treatment technology of waste drilling mud[J]. *Safety and Environmental Engineering*, 2007(2): 63-67.
- [9] 李玉山. 苜蓿生产力动态及其水分生态环境效应[J]. 土壤学报, 2002(3): 404-411.
LI Yushan. Productivity dynamic of alfalfa and its effects on water eco-environment[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2002(3): 404-411.
- [10] 王新, 贾永锋. 紫花苜蓿对土壤重金属富集及污染修复的潜力[J]. 土壤通报, 2009, 40(4): 932-935.
WANG Xin, JIA Yongfeng. Heavy metals accumulation and phytoremediation of alfalfa in contaminated soil[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 40(4): 932-935.
- [11] 陆景陵. 植物营养学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003.
LU Jingling. Plant nutrition[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2003.
- [12] VOLENEC J J, CHERNEY J H, JOHNSON K D. Yield components, plant morphology, and forage quality of alfalfa as influenced by plant population 1[J]. *Crop Science*, 1987, 27(2): 321-326.
- [13] 何敏, 张思兰, 王丹, 等. 油基钻屑热解处理技术[J]. 环境科学导刊, 2017, 36(S1): 57-60.
HE Min, ZHANG Silan, WANG Dan, et al. Pyrolysis technology of oil-based drill cuttings[J]. *Environmental Science Survey*, 2017, 36(S1): 57-60.
- [14] 陈玉玲. 腐植酸对植物生理活动的影响[J]. 植物学通报, 2000(1): 64-72.
CHEN Yuling. Influence of humic acids on physiological activities of plants[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2000(1): 64-72.
- [15] 潘彦硕, 朱清禾, 李聪, 等. 纤维素、秸秆和木屑对农田土壤硝化作用及微生物的影响[J]. 河南农业大学学报, 2018, 52(5): 785-792.
PAN Yanshuo, ZHU Qinghe, LI Cong, et al. Effects of cellulose, straw and sawdust on soil nitrification and microorganisms in farmland[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2018, 52(5): 785-792.
- [16] 马斌, 刘景辉, 杨彦明, 等. 不同膨润土施用量对旱作农田土壤保水能力和燕麦产量的影响[J]. 西北农业学报, 2015, 24(8): 42-49.
MA Bin, LIU Jinghui, YANG Yanming, et al. Effect of different bentonite on soil capacity of water-holding and oats yield in rainfed field[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2015, 24(8): 42-49.
- [17] 李丽霞, 程小爱, 张海平. 水涝胁迫下欧李叶片内还原性糖的变化[J]. 天津农业科学, 2016, 22(6): 12-16.
LI Lixia, CHENG Xiaoi, ZHANG Haiping. Changes of the reducing sugar in prunus humilis leaves under waterlogging stress[J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2016, 22(6): 12-16.
- [18] 田春丽, 介晓磊, 刘斌, 等. 硒锌与富啡酸配施对紫花苜蓿产量、营养成分及氨基酸组成的影响[J]. 草业学报, 2014, 23(2): 66-75.
TIAN Chunli, JIE Xiaolei, LIU Yan, et al. Effects of se-zn and fulvic acid combined application on nutrient component and amino acid formation of alfalfa[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2014, 23(2): 66-75.
- [19] 谢水祥, 蒋官澄, 陈勉, 等. 废弃油基钻井液资源回收与无害化处置[J]. 环境科学研究, 2011, 24(5): 540-546.
XIE Shuixiang, JIANG Guancheng, CHEN Mian, et al. Resource recycling and harmless treatment for waste oil-based drilling fluid[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2011, 24(5): 540-546.
- [20] 李学庆, 杨金荣, 尹志亮, 等. 油基钻井液含油钻屑无害化处理工艺技术[J]. 钻井液与完井液, 2013, 30(4): 81-83.
LI Xueqing, YANG Jinrong, YIN Zhiliang, et al. Novel harmless treating technology of oily cuttings[J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2013, 30(4): 81-83.

(收稿日期2019-02-25; HGF=1903C3; 编辑 王超)