

“新冠肺炎”背景下废弃医用口罩在钻井液中的性能研究



张航¹, 张丽², 张义婷^{3,*}

¹ 西安石油大学石油工程学院, 陕西西安 710065

² 成都市龙泉驿区农产品质量安全监督检验检测站, 四川成都 610100

³ 陕西亿德丰达检测技术服务有限公司, 陕西宝鸡 721013

摘要: 自 2019 年新型冠状病毒肺炎爆发以来, 一次性医用口罩的需求量极大且对环境的污染日益严重。目前的口罩处理方式并不能有效解决其对环境的污染问题, 如何处理废弃口罩成为热点话题。近年来, 井漏已成为深井与非常规油气水平井钻探的重大“卡脖子”难题, 引起国内外学者的广泛关注。本工作基于聚丙烯材料特性对废弃医用口罩进行简单物理处理, 研制出一种适合海洋钻井的深水钻井液配方并对其进行了初步的性能研究, 结果发现: 废弃医用口罩对钻井液的常规性能影响不大, 但是明显提高了钻井液的堵漏性能, 尤其是可将钻井液的承压能力提高至 8MPa。本次工作证明了废弃医用口罩在油田堵漏中具有应用可行性, 对医用口罩废弃物的再次资源化利用和可持续发展、减轻能源与环境的压力、助力中国实现“碳中和”的目标具有促进作用, 同时对钻井液堵漏技术的研发有一定的启发。

关键词: 新型冠状病毒肺炎; 废弃口罩; 环境污染; PP 纤维; 钻井液

DOI: [10.57237/j.jest.2023.03.003](https://doi.org/10.57237/j.jest.2023.03.003)

Study on the Performance of Abandoned Medical Masks in Drilling Fluid Under the Background of "COVID-19"

Zhang Hang¹, Zhang Li², Zhang Yiting^{3,*}

¹School of Petroleum Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China

²Chengdu Longquanyi District Agricultural Product Quality and Safety Supervision and Inspection Station, Chengdu 610100, China

³Shaanxi Yide Fengda Testing Technology Service Co., Ltd., Baoji 721013, China

Abstract: Since the outbreak of novel coronavirus pneumonia in 2019, the demand for disposable medical masks has been enormous and the environmental pollution has become increasingly serious. The current disposal methods for masks cannot effectively solve their environmental pollution problem, and how to dispose of discarded masks has become a hot topic. In recent years, lost circulation has become a major "bottleneck" problem in drilling deep and unconventional oil and gas horizontal wells, attracting widespread attention from scholars both domestically and

*通信作者: 张义婷, 513764713@qq.com

internationally. This work is based on the properties of polypropylene material to perform simple physical treatment on discarded medical masks, and develops a deep-water drilling fluid formula suitable for ocean drilling. Preliminary performance studies have been conducted on it. The results show that discarded medical masks have little impact on the conventional performance of the drilling fluid, but significantly improve the plugging performance of the drilling fluid, especially by increasing the pressure bearing capacity of the drilling fluid to 8MPa. This work has proven the feasibility of using discarded medical masks in oil field leak stoppage, promoting the rational resource utilization and sustainable development of medical mask waste, reducing energy and environmental pressure, and helping China achieve the goal of "carbon neutrality". At the same time, it has some inspiration for the research and development of drilling fluid leak stoppage technology.

Keywords: Novel Coronavirus Pneumonia; Discard Mask; Environmental Pollution; PP Fiber; Drilling Fluid

1 引言

随着 2019 新型冠状病毒 (Novel coronavirus pneumonia, 2019-nCoV) 在全球大范围的传播, 一次性医用口罩 (Disposable Medical Masks, DMMs) 成为了人们出行的必需品, 即使是在后“新冠肺炎”时代, 人们对其的恐慌心理使得 DMMs 的消费量仍然呈现出不断攀升的态势, 导致 DMMs 资源对环境的污染问题也日益突出[1-2]。统计表明: 截至 2022 年 12 月, 中国 DMMs 的日均消费量从 2019 年前的 800 万只迅速提升至 5.16 亿只。按每只约重 5 克来计算, 意味着每天将产生约 2600 吨废弃 DMMs。日前, 人们大多会将 DMMs 丢弃至垃圾桶、焚烧或者填埋, 如此的处理方式不仅造成了大量资源的浪费, 而且会引起土地资源的污染[3, 4]。由此可见, 废弃 DMMs 的处置及回收利用体系仍不够完善, 因此, 如何合理处理大量废弃 DMMs 成为了国内外学者开始着手研究的课题。

近年来, 井漏已成为深井与非常规油气水平井钻探的重大“卡脖子”难题和首要难题。当前, 全球钻井井漏发生率约占钻井总数的 20% - 25% [5]。井漏是在钻井施工过程中, 钻至裂缝/缝洞型储层时钻井液大量漏入地层的现象, 也是钻井过程中最常见且危险系数极高的井下复杂事故之一[6, 7]。墨西哥湾-探井作业时曾发生了严重的井漏和井喷, 持续近 90 天, 造成了数人死亡的同时, 也造成了近 1500 公里的海滩受到了原油污染, 至少 2500 平方公里的海水被石油覆盖[8]。因此, 井漏不仅耗费钻井时间, 损失大量钻井液, 造成重大经济损失。

在 DMMs 生产工艺中, 聚丙烯 (Polypropylene, PP) 发挥着不可或缺的密封、过滤和阻挡病毒的作用[2, 9, 10]。魏欢等[11]发现 PP 纤维、口罩纤维和口罩碎片在

沥青混合料中以点状或条状分布, 并通过实验得出了 PP 纤维沥青混合料的水稳定性、耐高温、强度性能优良的结论。Kilmartin-Lynch 等[12]将废弃一次性口罩制成纤维加入混凝土中, 发现废弃 DMMs 可以显著改变混凝土的压缩强度和间接拉伸强度。Wang Peng 等[13]通过化学加工废弃 DMMs 并使用差示扫描量热法 (DSC) 和蜡晶形貌分析得出 DMMs 可以降低国内不同油田各原油样品的粘度和倾点, 为解决新冠肺炎疫情下的环境问题提供了一种新思路。可见 PP 材料资源化回收利用具有广阔的前景和初步的研究先例, 但截止目前, 尚未有 PP 材料在钻井液中, 尤其是钻井堵漏中的应用报道。

基于上述文献调研和理论分析, 通过设计实验, 本次工作将废弃 DMMs 简单处理后制成 PP 纤维材料, 首次在钻井液中进行初步性能研究, 并研制出一种适合海洋钻井的深水钻井液配方, 室内评价了添加 PP 材料后钻井液体系的耐温性、抗盐性、堵漏性能、流变性和降失水性。本次工作证明了废弃医用口罩在油田堵漏中具有应用可行性, 验证了其在油田堵漏中应用的可行性, 对 DMMs 废弃物的再次合理资源化利用和可持续发展、减轻能源与环境的压力、助力实现“双碳”战略的目标具有促进作用, 同时对钻井液堵漏技术的研发有一定的启发作用。

2 实验材料和方法

2.1 实验材料及仪器

主要实验材料包括: KCl、MgCl₂、CaCl₂、NaCl、

NaHCO₃、Na₂SO₄、NaOH、Na₂CO₃，成都科龙化工试剂厂；增粘包被剂（PF-PLUS），聚阴离子纤维素（PF-PAC-LV），磺化酚醛树脂（SMP-2），低荧光沥青防塌剂（PF-TEX），抗高温润滑剂（PF-Lube），成膜剂（PF-CMJ），生物聚合物增粘剂（PF-XC），固体聚合醇（PF-GJC），润滑抑制剂（PF-JLX-B），中海油田服务股份有限公司提供；重晶石 BaSO₄，安康东香矿业公司；DMMs，河南博晨医疗器械有限公司。

主要实验仪器有：API 静滤失仪；ZNS-2 型，青岛恒泰达机电设备有限公司；高速搅拌机：JJ-20H 型，济南力领试验机有限公司；滚子加热炉：GW300-PLC 型，青岛同春石油仪器有限公司；旋转黏度计：ZNND-6 型，上海肯测仪器有限公司；钻井液极压润滑仪：CLRH-II 型，北京同德创业科技有限公司；不锈钢剪刀；实验室专用冰箱。

2.2 实验方法

2.2.1 PP 纤维的制备

为了避免回收的废弃 DMMs 带来的安全风险，本研究一次性购置了 500 余只 DMMs（符合 YY0469-2011 标准要求）作为基本原料。通过人工分拣医用口罩的鼻梁条和耳带后，将中层熔喷无纺布部分用剪刀剪碎成边长为 5mm 的矩形，进一步用高速搅拌机粉碎制成大约 3 mm 的 PP 纤维（图 1）。



图 1 PP 纤维的制备

2.2.2 海水基浆的制备

为尽可能接近海洋钻井现场，本研究所用基浆采

用模拟海水配制：在自来水中加入 8.7g/L MgCl₂、1.1g/L CaCl₂、27.2g/L NaCl、0.1g/L KCl、0.2g/L NaHCO₃、0.6g/L Na₂SO₄，混合均匀，然后准确量取 3L 上述混合液，加入 3g NaOH 和 6g Na₂CO₃ 后搅拌 10~15min，加入 1L 已充分预水化的 10% 土浆，搅拌 20~30min 后放置陈化 24h 后使用。

2.2.3 钻井液体系配制

幸弋曜等[14]研究提出单独的堵漏材料不能达到较好的堵漏效果，从简单的由单一桥接堵漏材料向复配型堵漏材料进行转化，可以提高地层承压能力、堵漏材料的适应性和防漏堵漏成功率，助力实现钻井液的最优堵漏性能。因此本研究在实验过程中将多种堵漏材料与 PP 纤维混合，可通过多种处理剂之间的协同作用在漏层表面或内表面形成堵漏层，阻止钻井液及其滤液向地层渗透，以满足不同地层漏失的特点。本研究室内钻井液基本配方如表 1 所示。

表 1 室内试验水基钻井液配方

序号	浓度	原料名称	标准代号
1	2.5%	海水土浆	/
2	0.2%	烧碱	/
3	0.2%	纯碱	/
4	0.5%	增粘包被剂	PF-PLUS
5	0.5%	聚阴离子纤维素	PF-PAC-LV
6	2.0%	磺化酚醛树脂	SMP-2
7	2.0%	低荧光沥青防塌剂	PF-TEX
8	1.0%	抗高温润滑剂	PF-Lube
9	0.1%	生物聚合物增粘剂	PF-XC
10	1.5%	聚丙烯纤维	PP 纤维

注：BaSO₄ 加重至密度 1.1g/cm³。（下同）

2.2.4 钻井液体系抗温性能评价

随着常规能源的深度勘探开发，现在的勘探开发活动很大一部分已经转向了高温高压井，为了保证钻井工程的顺利进行，就要求钻井液要有一定的抗温能力。室内实验设计以 4 个热滚温度点测定不同室温下钻井液体系粘度、初切力以及在 API 标准下的滤失量来考察钻井液体系的抗温能力。

2.2.5 钻井液体系抗盐性能评价

地层中含有大量钠盐和钙盐，如果盐水渗入钻

井液将会降低酸碱度因而损害钻井液性能[15]。因此在钻井过程中经常遇到盐侵、钙侵和钻屑等无用固相的入侵，本研究对钻井液体系的抗盐能力进行评价，分别在不同 NaCl 含量下对钻井液滤失量进行测定。

2.2.6 钻井液润滑性能评价

钻井液极压润滑仪可以测量钻井液的润滑性能和评价润滑剂降低扭矩的效果。室内试验钻井液摩阻系数的测定在钢环运动速度 60r/min; 作用力 444.8N(API 标准) 条件下进行:

①对于蒸馏水的摩阻系数为 0.34，但是这一理想情况不存在，因此必须测定校正因子:

$$\rightarrow CF = \frac{0.34}{\text{实测摩阻系数}}$$

实测摩阻系数应在 0.32~0.36，否则应重新磨合。

②测出校正因子后，依据样品摩阻系数的计算公式，就可以测出摩阻系数。样品摩阻系数的计算公式为:

$$\rightarrow \mu = \frac{f(CF)}{P}$$

式中 f——摩擦力，N;

μ ——摩阻系数;

CF——校正因子;

P——垂直作用力，N。

2.2.7 钻井液体系封堵性能评价

室内通常采用可视中压砂管实验来考察钻井液体系对井壁的堵漏能力，实验方法和步骤是:

①将 20~40 目的砂子水洗后烘干;

②在砂管实验装置中加入 20~40 目一定量的砂子铺成砂管;

③把 350 cm³ 钻井液慢慢加入砂管中，加压至 0.7MPa，时间为 30min，在常温下分别测试滤失量和钻井液侵入深度。

2.2.8 钻井液体系承压性能评价

室内钻井液配方的承压能力采用高温高压滤失仪进行测定。向滤失仪的柱体中加入直径约为 4mm 的石子，形成高度为 10mm 的砂床模拟漏层，再依次加入 100cm³ PP 样品和 100ml 钻井液加压进行承压能力测试。

3 结果与讨论

3.1 钻井液体系的抗温性能评价

从表 2 中可以看出，随着热滚温度的上升，钻井液体系的流变性能变化不大，尤其是在低温（5℃）下的黏度、初切力和悬浮能力都维持在一个较稳定的状态，可以满足深水钻井的需要。60℃ 热滚条件下的虑失量有点大，可能是由于热滚时 PP 纤维没有完全的伸展开来，没能很好的跟膨润土进行有效结合导致。

表 2 钻井液体系抗温性能

热滚条件	测试温度/℃	AV/mPa·s	PV/mPa·s	YP/Pa	Φ10s/Pa	Φ6/Φ3/Pa	YP/PV Pa/mPa·s	FL _{API} /ml
60℃×16h	25	34	23	11	4	5/4	0.48	4.8
	10	42.5	30	12.5	5	6/4	0.42	
	5	46	33	13	5	6/5	0.39	
80℃×16h	25	32.5	22	10.5	4	5/3	0.48	4.0
	10	41	25	16	6	7/5	0.64	
	5	48	34	14	6	7/5	0.41	
100℃×16h	25	36	24	12	5	6/5	0.50	4.4
	10	44	30	14	6	7/5	0.47	
	5	48	33	15	6	8/6	0.45	
120℃×16h	25	39	26	13	5	6/4	0.50	4.4
	10	49	33	16	6	7/5	0.48	
	5	52	36	16	6	7/5	0.44	

3.2 钻井液体系的抗盐（NaCl）性能

表 3 钻井液体系抗 NaCl 性能

NaCl 含量	热滚条件	测试温度/℃	AV/mPa·s	PV/mPa·s	YP/Pa	Φ10s/Pa	Φ6/Φ3/Pa	YP/PV Pa/mPa·s	FL _{API} /ml
2%	热滚前	25	35	23	12	5	6/4	0.52	4.0
		10	43	29	14	6	7/5	0.48	
		5	46.5	33	13.5	6	7/5	0.41	
	热滚后	25	36.5	24	12.5	5	6/4	0.52	
		10	45.5	30	15.5	6	8/6	0.52	
		5	49.5	34	15.5	7	8/6	0.46	
4%	热滚前	25	28	19	9	4	4/3	0.47	4.0
		10	38	28	10	4	5/4	0.36	
		5	42	31	11	5	6/4	0.35	
	热滚后	25	33.5	22	11.5	4	5/4	0.52	
		10	43	30	13	5	6/4	0.43	
		5	47	33	14	5	6/5	0.42	
6%	热滚前	25	28.5	21	7.5	3	4/3	0.36	4.4
		10	41.5	30	11.5	4	5/4	0.38	
		5	43.5	30	13.5	5	6/4	0.45	
	热滚后	25	34.5	25	9.5	4	5/3	0.38	
		10	45.5	31	14.5	5	6/4	0.47	
		5	52	36	16	6	7/6	0.44	
8%	热滚前	25	31.5	22	9.5	3	4/3	0.43	4.8
		10	43.5	31	12.5	5	6/5	0.40	
		5	47.5	35	12.5	6	7/5	0.36	
	热滚后	25	32	23	9	4	4/3	0.39	
		10	44.5	31	13.5	5	6/4	0.44	
		5	47	33	14	5	6/4	0.42	

注：热滚条件为 100℃×16h，实验室所用盐为分析纯的 NaCl。

从表 3 中可以看到，随着盐含量的增加，钻井液体系的黏度稍微上升，但变化不大，体系的初切力和 Φ6/Φ3 值在受到盐侵时时有下降的趋势，并且常温常压失水量有所变大，由于盐的浸入，由于钠离子水化作用较强，与溶剂化水结合很牢固，钠离子与聚合物之间的作用不足以将溶剂化水带走，从而使粘土晶层间距加大，因此失水量也会有所升高。但是各种指标都在一个允许的范围之内，适合于深水钻井中作业中。

3.3 钻井液体系润滑性能评价

利用 E-P 极压润滑仪测定了钻井液体系的润滑系数为 0.0651，远远小于实验室 5#白油的润滑系数。而油基泥浆的润滑系数为 0.3-0.9，为可知体系的润滑性能良好。

3.4 钻井液体系的润封堵性能评价

室内试验采用可视中压砂管来考察钻井液体系对

井壁的封堵能力，按润封堵性能评价方法对钻井液体系进行测试，结果如图 2 所示。



图 2 实验泥浆侵入结果图

从图中可以看到 30min 后，泥浆的侵入深度仅为 4cm，可知该体系的封堵性能极强，因为该体系中除了加入封堵剂磺化沥青和磺化酚醛树脂外，还加有封堵剂 PP 纤维，三者的协同作用极大的增强了体系的封堵性能。

3.5 承压能力评价

实验结果表明,所加压力在 8Mpa 条件下每一滴滤液的滴落速度约为 2 秒,交联凝胶可承压 8 MPa。

3.6 PP 材料在钻井液体系中的堵漏机理分析

在钻井过程中,当钻井液压力过大时致使地层发生破裂形成缝隙,将会导致钻井液漏失。

当本文所配制的钻井液体系到达漏失通道时,其中 PP 纤维会展现三种封堵形态:一部分进入到缝隙中封堵微小缝隙;一部分被挂在缝隙上;一部分挡在缝口处。在与多种堵漏材料的协同作用下,PP 纤维在较短时间内就会布满缝口,形成层层网状结构,每层之间又相互牵连,在缝口上形成致密的 PP 纤维网,使钻井液漏失通道减小。

实验数据表明,钻井液具有较好的抗高温和抗盐性,其稠度系数不会发生太大变化,可以有效携带岩屑及泥浆颗粒。形成的纤维网状结构由于其孔隙微小,能够及时捕捉在钻井液体系携带的泥浆颗粒,迫使泥浆细颗粒的流速降低,在纤维网上停留住,逐渐在纤维网中堆积起来停止流动,造成漏失通道消失。

当 PP 纤维的长度小于缝隙孔径时会进入到裂缝中封堵微小裂缝,这时要堵住孔隙必须通过纤维的架桥来形成。当钻井液体系进入孔隙后,由于多数缝隙大致呈圆形,当整根纤维落挡在缝口时,会很容易地与缝边附着的纤维进行搭接,逐渐堆积成桥状。

PP 纤维会首先被缝隙的边缘拦截,附着在孔隙边缘上,在钻井液体系磺化沥青等其他封堵剂的作用下 PP 纤维从边缘逐渐向中心“织网”,后来的纤维迅速地铺在其上面,形成致密网状结构,进而使钻井液体系中携带地泥浆颗粒停留,最终实现封堵钻井液漏失通道的目的。

堵漏机理如下图 3 所示。

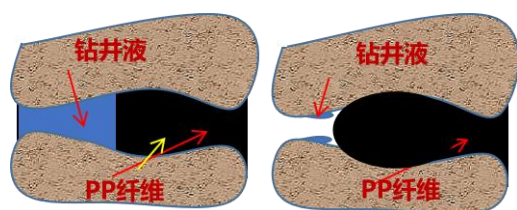


图 3 PP 纤维堵漏机理分析示意图

4 结论

- 1) 通过添加 DMMs 制备的 PP 纤维,配制出了适合海洋钻井的深水钻井液体系: 2.5% 海水土浆 (300ml) + 0.2% NaOH + 0.2% Na₂CO₃ + 0.5% PF-PLUS + 0.5% PF-PAC-LV + 2% SMP-2 + 2% PF-TEX + 1% PF-Lube + 0.1% PF-XC+1.5% PP(BaSO₄加重至密度 1.1g/cm³);
- 2) 对配制的钻井液体系分别进行了性能测试。结果发现废弃医用口罩制备的 PP 纤维对钻井液的常规性能影响不大。在低温条件下粘度、初切力,悬浮能力都维持在恒定范围内,在 60℃ 时钻井液滤失量增大可能是由于 PP 纤维在缝隙中没有展开导致;体系的抗盐性能、在 6 转和 3 转的条件下滤失量在可控范围测定钻井液体系的润滑系数为 0.0651;
- 3) PP 纤维明显提高了钻井液的堵漏性能。其堵漏机理是由于体系中封堵剂磺化沥青、磺化酚醛树脂和 PP 纤维三者的协同作用形成的结果,通过室内试验得到钻井液体系可承压至 8MPa,
- 4) 本次工作证明了废弃医用口罩在油田堵漏中具有应用可行性,验证了其在油田堵漏中应用的可行性。可为钻井液处理剂的研发提供新思路,使废弃 DMMs 在真正意义上变“废”为“宝”。

参考文献

- [1] 阿明 冯 伯格丹迪,佩德罗 A.维拉瑞尔,郭晓明. 世界卫生组织在 2019 新冠肺炎疫情危机、人权和变动世界秩序中的作用 [J]. 人权, 2020 (05): 164-188.
- [2] 马立纲,葛生深,赵增刚,王子鹏,吴少鹏,谢君,张玺,蒲坚. 一次性医用口罩改性沥青的流变性能研究 [J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2022, 46 (03): 519-522+527.
- [3] 魏聪,魏鹏举,周静,何孜翰,周小婷,李若丹,程佳露. 废弃医用口罩问题探讨 [J]. 环境卫生学杂志, 2022, 12 (07): 473-478.
- [4] 英世涛,本德萍,窦仁杰,肖永要,李慧菁. 废弃一次性医用口罩回收再利用研究进展 [J]. 纺织科技进展, 2022 (05): 1-4.
- [5] 李梅. 金声院士防漏堵漏攻关团队 潜心钻研钻井科学问题创新突破恶性井漏重大难题 [J]. 中国高新科技, 2022 (19): 5-8.

- [6] 陈平等. 钻井与完井工程 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2011.6: 47-101.
- [7] 任晓娟, 徐波. 石油工业概论 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2012.8: 83-84.
- [8] 孟伟. 石油工业史上的 911——墨西哥湾漏油事件 [J]. 石油知识, 2020,(03): 30-33.
- [9] 时钢印, 万罗佳. 基于专利数据的医用口罩聚丙烯熔喷布技术探析 [J]. 上海纺织科技, 2021, 49 (03): 60-63.
- [10] 陈海明, 董侠, 赵莹, 王笃金. 废弃一次性医用口罩的回收利用与化学升级改造 [J]. 高分子学报, 2020, 51 (12): 1295-1306.
- [11] 魏欢, 郑亮, 闫文俊, 赵增刚. 一次性医用口罩作纤维对沥青混合料路用性能的影响 [J]. 建材世界, 2022, 43 (03): 26-29.
- [12] S. Kilmartin-Lynch, M. Saberian, J. Li, R. Roychand, G. Zhang, Preliminary evaluation of the feasibility of using polypropylene fibres from COVID-19 single-use face masks to improve the mechanical properties of concrete [J], Journal of Cleaner Production, 2021, 296 126460.
- [13] Wang, Peng. Resource utilization of medical waste under COVID-19: waste mask used as crude oil fluidity improver [J], Journal of Cleaner Production, 2022, 7 (15): 358.
- [14] 幸弋曜. 固井注水泥用纤维及颗粒材料堵漏和增韧实验研究 [D]. 西南石油大学, 2011.
- [15] 马长栋. 钻井液常见污染问题及处理方法 [J]. 化工设计通讯, 2016, 42 (12): 123-124.