

适用于油气工业钻井工作者
及健康管理专业人员的指南

钻井液与健康风险管理

杜德林 高圣平 邱少林 胡月亭 编



石油工业出版社



钻井液与 健康风险管理

适用于油气工业钻井工作者
及健康管理专业人员的指南

杜德林 高圣平 编
邱少林 胡月亭

石油工业出版社



内 容 提 要

本书介绍了钻井液的有关基础知识、各种类型的钻井液体系及目前在用的各种添加剂。概括了与这些化学物质相关联的健康风险,分析了在钻井作业中员工可能接触到危险品的时机,提供了风险管理方法和监控程序,旨在降低作业中的健康风险。本书适合于钻井作业者和钻井公司的有关员工、管理人员、HSE 专职经理、钻井液技术人员、井场医务人员、职业健康与卫生从业人员使用。

本书采用中文和英文两种文字编排,读者在学习 HSE 知识的同时,还可丰富自己的专业词汇,提高英文水平。

图书在版编目(CIP)数据

钻井液与健康风险管理 / 杜德林等编.
北京:石油工业出版社,2010.11
ISBN 978-7-5021-8043-0

- I . 钻…
- II . 杜…
- III . ① 钻井液 - 基本知识
② 油气钻井 - 劳动卫生 - 卫生管理
- IV . ① TE254 ② TE28

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 184548 号

出版发行:石油工业出版社
(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)
网 址:www.petropub.com.cn
编辑部:(010) 64523538 发行部:(010) 64523620
经 销:全国新华书店
印 刷:石油工业出版社印刷厂

2010 年 11 月第 1 版 2010 年 11 月第 1 次印刷
880×1230 毫米 开本:1/16 印张:7.5
字数:220 千字 印数:1—2000 册

定价:45.00 元
(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)
版权所有,翻印必究

以人为本、关爱生命、关注健康，是当今社会普遍关注的一大课题，也是当代安全文化的精髓。注重职业健康管理，保护人的身心健康、尊重人的生命、与自然和谐相处，促进人与社会全面发展的文化，体现着强烈的人文关怀；也是全面落实科学发展观，以人为本、构建和谐必然选择，更是企业寻求发展，构建和谐企业的必然要求。对于石油工业这个高风险行业来说，加强健康安全环境管理则是一个永恒的主题，表征着一个企业的安全文化水平和综合管理水平的高低。

今天，人们对安全生产的认识已经进入了“以人为本、超前预防”的本质安全论阶段。这种新的安全思想和方法论推进了传统产业和技术领域安全手段的进步，也促使企业安全管理工作由粗放型向集约型的转化，变“事故处理、事后防范”为“本质安全、超前预防”管理。这是从安全思想到安全方法一个质的飞跃，也是转变经济发展方式、走新型工业化道路的必然选择。“以人为本”的安全管理就是以尊重员工、爱护员工、维护员工的人身安全为出发点，以消灭生产过程中的潜在隐患为主要目的。油气钻井作业相关人员可能会接触钻井液中的有害成分，危害人身健康。因此，必须强化健康安全环境管理体系的风险管理，了解钻井液的成分及其健康危害，了解接触途径和影响因素，识别风险所在，从而采取切实有效的风险削减措施和控制手段，减轻对有害物质的职业性接触程度，防止对人身造成伤害。

《钻井液与健康风险管理》一书，是国际油气生产商协会（OGP）和国际石油工业环境保护协会（IPIECA）联合编写的一本健康安全手册。该手册吸收了诸多国际知名油公司在世界各地作业中积累的实践经验，以及美国政府工业卫生学家会议、（美国）国立职业安全与健康研究所等权威职业安全与健康研究机构的研究结论，对油气钻井作业健康安全管理工作有切实的指导意义。为便于非油田化学背景的技术人员使用，本书还对钻井液的功用、钻井液的历史沿革、水基与非水基钻井液的成分、所含有害化学物质等基础知识进行了概括性、系统性阐述，是本领域难得一见的指南性读物。除了钻井液技术人员之外，本书还特别适合于钻井工作者、HSE 管理人员、医务人员等使用。对于在这方面有深度兴趣的研究工作者来说，该书还可以作为进一步研究工作的参考资料。石油工业标准化研究所组织钻井液和国际标准化方面的专家将该书翻译出版，可以说是对钻井作业 HSE 管理的一项贡献。本书采用中文和英文两种文字编排，读者在学习 HSE 知识的同时，还可以丰富自己的专业词汇，提高自己的英文水平。这正是推荐大家阅读这本书的原因。

随着我国油气生产 HSE 管理体系建设的深入推进，以职业安全健康为前提的高速度、高效益发展理念逐步被广大石油人所接受，赢得了广大石油员工的拥护。做好做实危险点源的辨识和控制，注重危险、有害因素的识别，加强对有毒有害作业场所毒害物质的源头预防和过程控制，正是 HSE 管理体系的核心，也是职业健康管理活动中比较重要的一个组成部分。希望这本书能够对推进我国油气生产职业健康管理乃至 HSE 管理体系建设有所帮助。

目 录

引言.....	1
一、钻井液的功用.....	2
二、钻井液的一般组成.....	3
1. 水基钻井液	3
2. 非水基钻井液	4
3. 水基钻井液和非水基钻井液中 常用的添加剂	6
4. 钻井液的污染	6
三、接触有害化学物质.....	7
1. 与钻井液有关的健康危害	7
2. 作为影响因素之一的颗粒尺寸	10
四、接触钻井液的潜在途径.....	11
五、可能的接触场景及影响因素.....	13
1. 振动筛遮阳棚	13
2. 加料斗	13
3. 泥浆罐区域	13
4. 袋装材料存放	14
5. 钻台	14
6. 平台甲板作业	14
7. 实验室	14
8. 接触状况监测	18
9. 工作场所健康监测	19
10. 健康记录	19

六、风险管理.....	20
1. 风险控制措施的优先性排序	20
2. 行政管理措施	22
3. 个人防护用具	24
七、结论与建议归纳.....	25
参考文献.....	26
缩略语.....	28
术语集.....	29
OGP/IPIECA 成员公司	30
附录 1：钻井液配方设计历史沿革	31
附录 2：钻井液的功用	32
附录 3：非水基钻井液技术数据	34
附录 4：非水基钻井液添加剂的特性	37
附录 5：非水基液技术性能参数定义	39
附录 6：水基与非水基钻井液常用添加剂举例	41
附录 7：颗粒尺寸对呼吸系统的影响	43
附录 8：有关钻井液成分健康危害的详细信息	44
附录 9：监测方法（补充）	53
附录 10：接触钻井液时的健康监测	55
附录 11：接触钻井液组分后可能产生 的潜在健康危害	56
英文部分.....	59

引言

钻井液在石油天然气工业上游领域的应用十分广泛，对于安全、高效地钻出一口油气井来说是至关重要的。在钻井作业中，大量钻井液在一个敞开或半密闭系统中循环，而且处于高温和搅拌状态之下，这就带来了接触化学剂的高度风险以及可能的健康危害。在选择将要使用的钻井液体系类型时，作业者的钻井设计人员需要对各种钻井液体系进行全面风险评估，除了环境 and 安全方面的问题外，还要慎重考虑员工健康问题，在各种可能彼此冲突的需求之间，找到合适的平衡点。这种风险评估的结果，要对各个相关的承包商公开，因为它们的员工会接触到钻井液体系。

本书介绍了钻井液的基础知识、各种类型的钻井液体系以及目前在用的各种添加剂。本书概括了与这些化学物质相关联的健康风险，分析了在钻井作业中员工可能接触到危险品的时机，提供了风险管理办法和监控程序，旨在降低作业中的健康风险。

本书是在经验和证据的基础上编写的，其目的是探讨、制定最佳作法，通过基于风险的管理程序来降低接触程度和健康危害。

本书可为下列人员使用：作业者和钻井公司的有关员工、管理人员、HSE 专职经理、钻井液技术人员、井场医务人员、职业健康与卫生从业人员。

一、钻井液的功用

在绝大多数钻井作业中，钻井液都是必不可少的。钻井液循环系统如图 1 所示。钻井液所发挥的功用如下：

- 作为井控的一道屏障；
- 从井眼中清除钻进中所产生的钻屑；
- 停止循环时保持钻屑处于悬浮状态；
- 将液压力传递给钻头；
- 维持地层稳定；
- 维持对井壁所施加的压力；
- 控制流体漏失进入地层；
- 冷却、润滑钻头和钻柱；
- 便于数据测井——需要控制钻井液的性能，以便测井仪器能够提供有关井眼和地层的准确信息。

在大多数最原始的钻井液体系中只使用水，但也有使用其他材料来改进钻井作业的，如使用黏土作为降滤失剂，并作为控制流变性的增黏剂和分散剂。随着钻井作业的工况变得越来越复杂，尤其是当井段太长、井底温度太高、地层活性太强时，使用的添加剂种类和复杂程度都迅速增加。到 20 世纪 80 年代，配制乳化钻井液的基液从水过渡到碳氢化合物类，钻井液领域使用的化学剂达到了几千种。有关水基和非水基钻井液发展历史的更多资料，请参见附录 1。

目前常见的作法是，在钻同一口井的不同井段时，既使用水基钻井液（water-based drilling fluid，简称 WBF），又使用非水基钻井液（non-aqueous drilling fluid，简称 NAF）。通常在上部井段使用 WBF，而在下部技术要求较高的井段使用 NAF。

有关钻井液功用的更多资料，请参见附录 2。

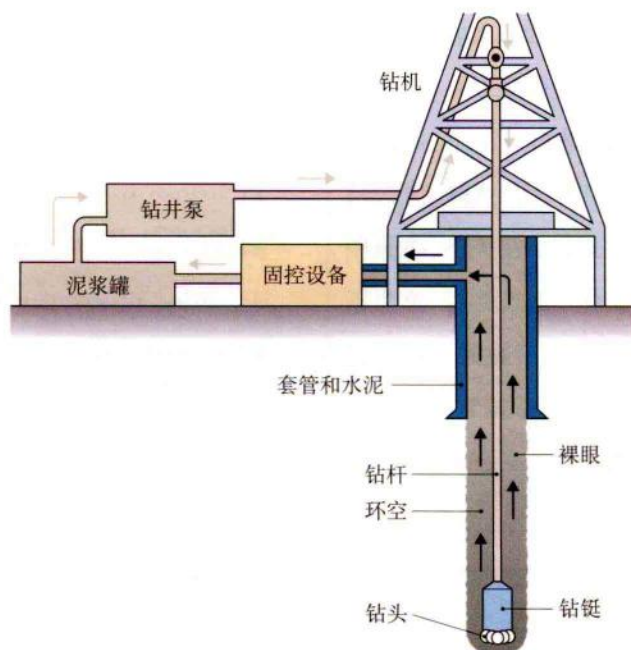


图 1 钻井液循环系统

二、钻井液的一般组成

钻井液具有一个连续的液相，并使用液态和固态化学添加剂进行调整，使其性能符合钻井工况的需要。但所有钻井液类型都必须拥有共同的特性，介绍如下。

(1) 密度：

钻井液的密度随着所钻遇地层的压力而变化。对于井眼稳定来说，用钻井液来正确地平衡地层压力是十分重要的，既要防止地层流体进入井眼，又要防止高压地层造成井喷。

(2) 黏度：

钻井液必须能够在各种工况下悬浮钻屑、加重材料（如重晶石粉）和其他化学添加剂。钻井液的黏度还不得妨碍固控设备的钻井液净化效果。

(3) 滤失量控制：

可能需要使用某些添加剂来协助在井壁上形成韧而非渗透性的泥饼，以便限制泥浆滤液在所钻渗透性地层中的滤失。这样就可以改进井眼的稳定性，避免钻井作业中及以后的采油作业中的许多问题。

(4) 页岩抑制：

在使用水基钻井液（WBF）时，需要加入页岩抑制剂来防止地层黏土的膨胀和黏附现象，因为膨胀和黏附会造成严重的钻井问题。非水基钻井液（NAF）不让地层黏土暴露在水中，所以这类钻井液天生就具有抑制性。

选择 WBF 还是 NAF 取决于待钻地层及成功钻井所需克服的具体条件，如温度、压力和页岩水化活性。另外，当地的环保法规和废物处置问题也可能会决定使用什么样的钻井液体系，此外还应考虑经济因素。

在钻井作业中使用的钻井液体系有很多类型。随着井眼越来越深、井眼温度和 / 或压力越来越高，常常把基本的钻井液体系转化为较为复杂的钻井液体系。对于一口特定的井来说，有几个关键因素会影响钻井液类型的选择。

随着对钻井液性能要求的提升，可能需要加入多种专用的添加剂，以保证钻井液具有一系列令人满意的性能，如润滑性、防卡钻能力、防泥包能力、防扩径能力、页岩 / 黏土抑制性、高温稳定性、防油层伤害能力。为了维持井眼和钻井液体系的完整性还可能加入其他化学剂，如杀菌剂、除氧剂和防腐剂。

1. 水基钻井液

在同一口井的钻进中，通常要使用两种或两种以上 WBF 体系，这是由于为了针对性地满足同一井眼各个井段所需要的物理化学特性，就需要使用不同的钻井液配方。即使在同一井段的钻进中，也需要不断地调整钻井液的成分，如图 2 所示。

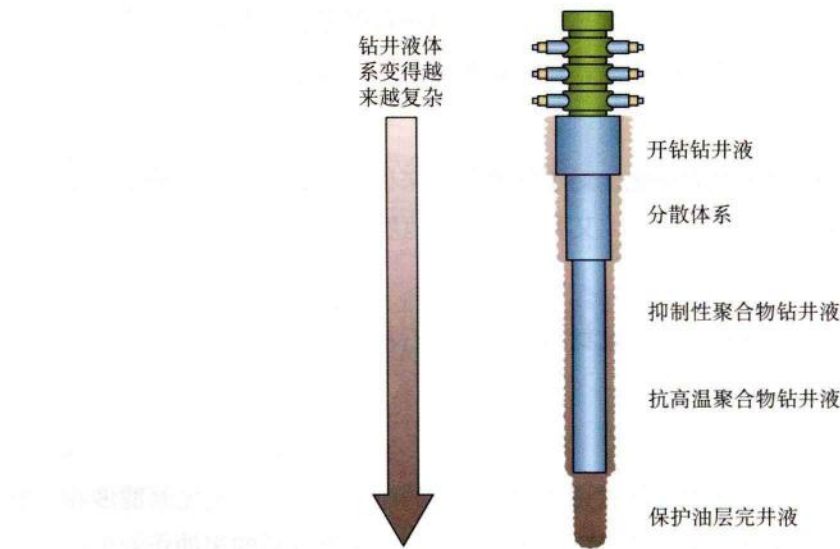


图2 水基钻井液——配方要求

水基钻井液（WBF）以水为主要成分，可以是淡水、海水或盐水。可以将不同的盐混合使用，以便提供特定的盐水相性能。

图3中的饼图显示了各种类型水基钻井液中液相和化学物质的一般比例，以质量分数表示。该数据是根据全球的材料销售量和所用钻井液类型统计资料计算出的平均值。

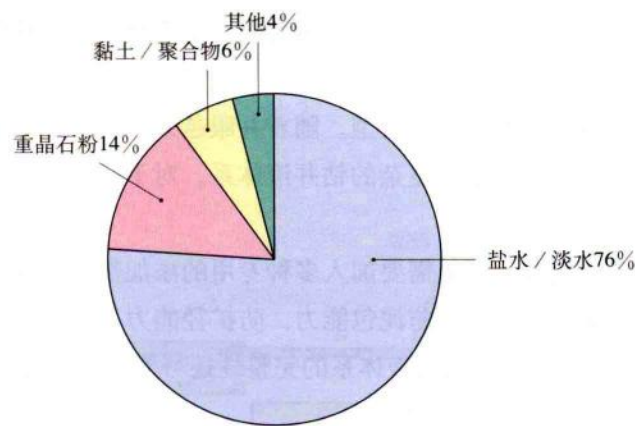


图3 水基钻井液——化学成分（质量分数，%）

2. 非水基钻井液

根据其芳香烃含量，可以将非水基钻井液（NAF）分为三类（见表1）¹。

第Ⅰ类：高芳烃含量钻井液。该类包括原油、柴油和普通的矿物油。这些流体都来自于原油，经过或未经过冶炼，总芳烃含量为5%～35%。

第Ⅱ类：中芳烃含量钻井液。该类包括从原油加工获得的产品，总芳烃含量为0.5%～5%，经常称为“低毒矿物油”。

第Ⅲ类：低 / 可忽略芳烃含量钻井液。该类包括由化学反应制得的流体和精炼的矿物油，按照 OGP（国际油气生产商协会）的定义，总芳烃含量低于 0.5%，多环芳烃（PAH）含量低于 0.001%。

表 1 非水基钻井液分类 ¹		
非水基钻井液类型	成 分	芳烃含量
第 I 类：高芳烃含量钻井液	原油、柴油、普通矿物油	>5% ~ 35%
第 II 类：中芳烃含量钻井液	低毒矿物油	0.5% ~ 5%
第 III 类：低 / 可忽略芳烃含量钻井液	酯、LAO, IO, PAO、线型石蜡烃、 精炼的矿物油	< 0.5% PAH 含量低于 0.001%

1) 非水基钻井液的成分

图 4 中的饼图显示了各种类型非水基钻井液中液相和化学物质的一般比例，以质量分数表示。该数据是根据全球的材料销售量和所用钻井液类型统计资料计算出的平均值。

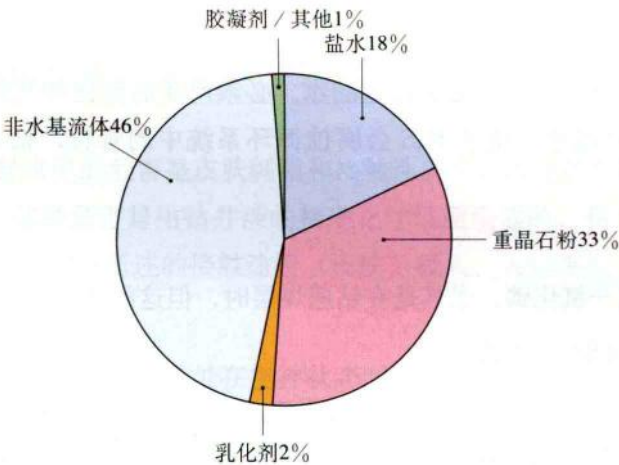


图 4 非水基钻井液——化学成分（质量分数，%）

2) 非水基钻井液的选择

在选择非水基钻井液时，有几种物理性能需要考虑，涉及技术、健康、安全和环保等方面的问题。附录 3 列出了在选择过程中通常考虑的最主要的物理性能。两个关键的参数是基液的蒸汽压和沸点，尤其是在高温条件下。

附录 4 给出了非水基钻井液中所用主要添加剂的化学特性，概括了下列信息：

- 在钻井液体系中的功用；
- 使用的普遍性；
- 危险性分级举例；
- 特殊危险性，如二氧化硅（SiO₂）含量。

对于相关定义，请参见附录 5。

3. 水基钻井液和非水基钻井液中常用的添加剂

许多化学产品既可用于水基钻井液，又可用于非水基钻井液，以获得必要的技术性能。为了说明这些产品的涵盖范围和多样性，附录 6 给出了一些主要产品的信息，包括它们的基本功能。该表并非包罗万象，之所以在本书中给出，是为了说明所需产品的多样性和复杂性。

4. 钻井液的污染

在钻进的地层中可能会出现潜在性的有害物质，有时这是难以预测的。本节介绍一些比较常见的污染物。

(1) 烃类污染物：

由于钻井的目的是开采烃类物质，一种已知的烃类污染源就是油气藏。然而在钻穿的上部地层中常常也含有少量的烃类，但达不到商业可开采量。这类地层可以对钻井液造成原油、凝析油和天然气污染。地层中的天然气基本上是由甲烷组成的。

(2) 非烃类气体：

地层中可能含有硫化氢 (H_2S) 及含 H_2S 的水。必须严密监测这种气体的出现，并加以处理，避免人员暴露在硫化氢环境中。由于 H_2S 会腐蚀循环系统中的管材，钻井液中的 H_2S 气体和含 H_2S 的水都必须处理掉。

(3) 其他气体：

井眼中有可能出现一氧化碳，尤其是在钻遇煤层时，但这种情况极为罕见。

(4) 低放射性比度 (LSA) 垢的污染：

在垢的清除作业中，或者在油气井报废的过程中，会发生循环流体的 LSA 垢污染。作业者应意识到这种风险，合适地控制人员接触。关于这一点应参阅 OGP 第 412 号报告《油气工业中天然存在的放射性物质 (NORM) 管理指南》⁴⁰。

人们通常将这些污染物从钻井液中清除出去或加以处理。即使人们接触到这些污染物的机会很有限，但风险的识别及在第一时间采取补救措施都是十分重要的。

三、接触有害化学物质

钻井液造成的健康危害取决于其中的有害成分，以及人员与这些有害成分的接触（见图 5）。本章分析钻井液和添加剂中的有害成分，及与其相关的健康危害。

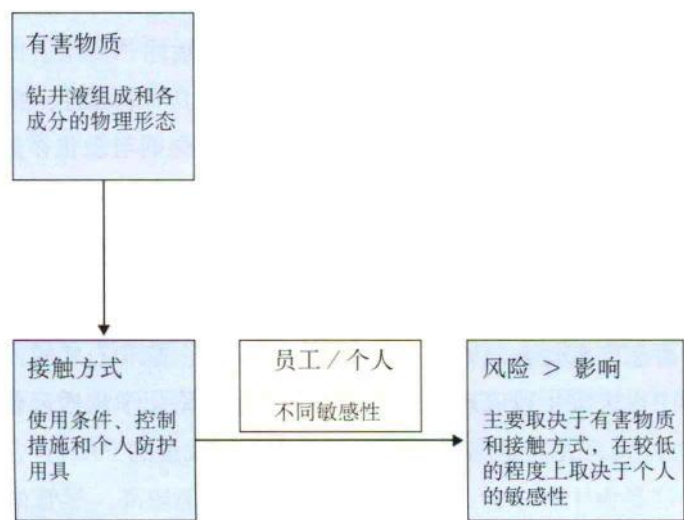


图 5 有害物质、接触方式、风险三者之间的关系

1. 与钻井液有关的健康危害

钻井液对人类健康最常见的危害是皮肤刺激和接触性皮炎，出现频率较低的危害还有头痛、恶心、眼睛刺激和咳嗽⁴。这种危害是由钻井液的物理化学性质引起的，钻井液添加剂的固有性质也有很大关系，而且还取决于如下所述的接触途径（皮肤、吸入、入口等）。

(1) 皮肤：

当钻井液在敞开式体系中循环、并处在搅拌状态时，发生皮肤接触的可能性很大。皮肤接触不只是局限于两手和前臂，而是可以延伸到身体的各个部位。实际的接触程度取决于钻井液体系和个人防护用具（PPE）的使用情况。

(2) 皮肤刺激和皮炎：

皮肤接触到钻井液之后，最经常出现的后果是皮肤刺激和接触性皮炎¹⁴（图 6）。接触性皮炎是最常见的化学因素诱发的职业病之一，大约占有职业病的 10% ~ 15%。发病的症状和严重程度各不相同，取决于接触钻井液的类型和持续时间，还取决于个人的敏感性。

石油烃类会除去皮肤中的天然脂肪，导致皮肤干燥和开裂。皮肤开裂之后就允许化学物质渗透到皮肤内部，造成皮肤刺激和皮炎。有些个人可能会对这种作用尤其敏感。



图 6 反复接触矿物油引起的接触性皮炎

皮肤刺激可以归因于石油烃类，尤其是芳香烃和 $C_8 \sim C_{14}$ 石蜡烃²⁵。含有这些化合物的石油产品，如煤油和柴油（粗柴油），已明白无误地表明对皮肤有刺激性²⁶。人们认为这是由石蜡烃引起的，石蜡烃不易渗透到皮肤中，但可以被皮肤吸收，进而造成皮肤刺激²⁷。钻井液中常用的线型- α 烯烃和酯类对皮肤仅有轻微的刺激，而线型内烯烃完全没有刺激性^{28, 29, 30}。

除了钻井液中烃类成分的刺激之外，其他一些添加剂可能具有刺激性、腐蚀性或敏化作用^{14, 31}。例如氯化钙具有刺激性，溴化锌具有腐蚀性^{30, 32, 33}，而多胺乳化剂与敏化作用有关^{13, 34}。尽管水基钻井液不是以烃类为基液配制的，但其中的添加剂仍可引起刺激和皮炎。

在个人卫生习惯较差时，过分的接触可能会导致油脂性粉刺和毛囊炎。

(3) 致癌作用（皮肤接触）：

钻井液（第Ⅲ类，可忽略芳烃含量钻井液）中常用的烯烃、酯和石蜡烃不含具有特定致癌作用的化合物，在动物实验中也未发生致癌现象。因而皮肤接触这些化学物质后也不会出现肿瘤。然而第Ⅰ类（高芳烃含量钻井液），尤其是燃料柴油，可能会含有大量的 PAH。含有裂解组分的燃料柴油可能具有遗传毒性，这是由于其中的 3 ~ 7 个环的 PAH 比例较高。尽管尚未出现柴油使人类致癌的流行病学方面的证据，但在用老鼠进行的研究（在其皮肤上涂抹柴油）中，已经发现皮肤长期接触柴油，可以引发皮肤肿瘤，而且与柴油的 PAH 含量无关。出现这种现象的原因是慢性皮肤刺激³⁴。对人类来说，慢性刺激可以造成小块皮肤增厚，最终形成粗糙的疣状肿块，而这种肿块有可能会转化为恶性。

(4) 吸入：

钻井液通常在一个敞开系统中循环，而且处于高温和搅拌状态之下，这就会在泥浆罐上方形成蒸气、气溶胶和 / 或尘埃的混合物。在水基钻井液的情况下，蒸气中包含水蒸气和溶在其中的添加剂。在非水基钻井液的情况下，蒸气中可能含有烃类中的低沸点馏分（石蜡烃、烯烃、环烷烃和芳香烃），而在形成的雾中含有烃类的小液滴。这些烃类馏分中可能含有添加剂、硫、单环芳烃和 / 或多环芳烃，但关于悬浮液滴的详细成分和尺寸知之甚少。值得注意的是，尽管烃类中含有的 BTEX（见缩略语）等低沸点有害物质的量可以忽略，但这些物质能够以相当高的速率蒸发，有可能导致在蒸气相中的浓度高于预期。在某些职业安全与健康方面的法规中可能规定了一些化合物的接触上限，在作业中接触程度不应超过该限制。



(5) 气味：

钻井液的气味是一个与健康没有直接关系的话题，但与工作环境有直接关系。某些钻井液具有令人讨厌的气味，可能是由其成分引起的，也可能是由某种特定的添加剂引起的。在钻井作业中钻井液可能会被原油和钻屑污染，而这类污染可能会改变钻井液的气味。在作业过程中进行的液上气体^a挥发物测量表明，在液面上存在二甲基硫醚、异丁醛及其他一些化合物。前两种化合物都有一种刺激性气味，会导致工作环境令人不愉快⁵。

(6) 神经中毒：

吸入高浓度的碳氢化合物可能会导致烃诱发性神经中毒，其症状有多种形式，包括头痛、恶心、头晕、疲劳、身体协调性变差、注意力和记忆力减退、步态失稳、甚至昏迷。这些症状都是暂时性的，仅在极高浓度下才会出现^b。长时间接触高浓度的正己烷可能会导致末梢神经伤害¹⁶（在实验研究中，让大鼠重复摄入含有最高达 5% 正己烷的轻质石脑油，结果并未出现神经中毒现象¹⁷）。

(7) 肺部伤害：

对于接触 NAF 和水基流体气溶胶的员工来说，最常见的症状是咳嗽和多痰^{18,19}。针对接触矿物油产生的雾和蒸气的员工所进行的流行病学研究，表明肺纤维化病例增多⁶。较新的吸入毒理学研究表明，接触矿物油类产生的高浓度气溶胶^c，主要导致了肺泡巨噬细胞在肺部的聚积，这种聚积伴有油滴，其程度与气溶胶浓度相关²⁰。气溶胶浓度较高时观察到了炎症细胞，这与一些涉及大量接触气溶胶的员工的临床文献报道一致。这些肺部变化似乎并不是气溶胶在肺部沉积的特有反应，和接触蒸气也没有关系。以上这些有关不同矿物油的研究结果，支持 ACGIH® 对矿物油产生的雾所规定的 5mg/m³TLV 值。应当注意的是极高浓度的低黏碳氢化合物气溶胶既可被呼出，也可以液滴的形式沉积在肺中，引起化学性肺炎，有可能会进一步导致肺水肿、肺纤维化，偶尔也会出现死亡病例^{22, 23}。

在某些情况下，职业性接触钻井液会引起呼吸系统感染²，很可能是由钻井液中的添加剂和 / 或钻井液的物理化学性质所致，这是因为水基钻井液的 pH 值通常为 8.0 ~ 10.5^d。

(8) 致癌作用（吸入）：

钻井液（第Ⅲ类：可忽略芳烃含量钻井液）中常用的烯烃、酯和石蜡烃不含有苯或 PAH 等致癌性化合物^e。

第Ⅱ类（中芳烃含量）、尤其是第Ⅰ类（高芳烃含量）钻井液可能含有少量的苯。

请注意所有钻井液都可能被油藏中的原油污染，其中含有少量的苯，这点不一定能够预见到。由于苯的沸点较低，其在蒸气相中的浓度可能会高于预测值。当苯的浓度远高于现行的 OEL 值 0.5 ×

a “液上气体”是指在规定条件下，与某种物质或几种物质的混合物（液体和 / 或固体）相关联、并与之处于平衡状态的蒸气相。

b 在动物实验研究中发现，长时间接触高浓度碳氢化合物，有些芳香烃，例如三甲苯和二甲苯，与某些特定的神经中毒现象有关；然而流行病学研究并未发现接触高浓度芳烃含量的石油之后对神经有什么危害。另外，在用大鼠进行的实验研究中，接触高浓度芳烃含量的石油之后，大鼠也未出现神经中毒现象¹⁵。

c 气溶胶吸入研究表明，吸入烯烃（聚丁烯）气溶胶后，肺泡巨噬细胞数目增加，巨噬细胞的形成速度加快。此外，接触高浓度（700mg/m³）聚丁烯后，由于导致肺水肿，而使四种动物中的三种致命²¹。

d 在感官刺激实验室研究中，让动物暴露在矿物油环境中，结果表明只有当气溶胶的浓度极高时才可能产生不良影响。

e 试验表明实验室动物吸入第Ⅲ类物质不会产生遗传毒性和致癌作用。

10^{-6} （质量分数）时，与其接触就会导致急性白血病²⁴。目前的统计数据表明，通常情况下接触浓度的时间加权平均值远低于 0.5×10^{-6} （质量分数）。

（9）入口：

人人皆知钻井液是不能食用的，因而与其他接触途径比较，入口的可能性很小而几乎可以忽略。然而如果用被污染的手拿取食物或抽烟，入口的风险就不应被忽视。应当遵守良好的卫生习惯。

（10）其他接触途径或不同途径的组合：

一种更可能发生的情况是眼睛接触到钻井液。第Ⅰ类、第Ⅱ类、第Ⅲ类钻井液中的碳氢化合物对眼睛没有或只有轻微的刺激。然而，水基和非水基钻井液中的一些专用添加剂可能对眼睛有刺激或腐蚀作用。

在少数情况下，如果钻井液或其基液处于高压状态，可能会通过皮肤注入体内。一般情况下对身体内部组织来说钻井液是低毒性的，因而可预见的主要危害还是皮肤刺激。

（11）生殖毒性：

与生殖毒性有关的化合物是正己烷^f和二甲苯^g。这两种化合物在第Ⅱ类钻井液中少量存在，而在第Ⅰ类钻井液中存在量较大。然而一项研究表明在所涉及的几种职业供职的男士们接触碳氢化合物后，对其妻子的怀孕时间和自然流产率并无多大影响³⁵，这项研究涉及 1269 位男士，其职业为海洋石油的机械师、操作人员和钻井人员。钻井液（第Ⅲ类：可忽略芳烃含量钻井液）中常用的烯烃、酯和石蜡烃不影响生育能力，对胎儿的发育也没有毒性。

2. 作为影响因素之一的颗粒尺寸

就健康危害性来说，颗粒尺寸是一个重要的影响因素。颗粒尺寸可以影响物质的空气动力学特性，致使其渗透程度不同，在呼吸系统中沉积的部位也不同。应参阅附录 7 以获取更进一步的信息。

^f 只有有限的证据表明会影响动物的繁殖力。

^g 只有有限的证据表明对胎儿的发育有毒性。

四、接触钻井液的潜在途径

员工可能会通过吸入气溶胶和蒸气、或皮肤接触的方式接触到钻井液。配制和使用钻井液的过程中，可能在工作场所产生空气悬浮污染物、灰尘、雾和蒸气。吸入灰尘的可能性主要与配制作业有关。最有可能吸入雾和蒸气的地点是沿着连接喇叭口和固控设备的出口管线附近，固控设备可能有振动筛、除砂器、除泥器、离心机和泥浆罐。振动筛本身经常要用高压枪冲洗，并使用碳氢化合物类的液体作为清洗介质，这种操作会在邻近的工作环境中产生雾。

已有报道在振动筛的遮阳棚内员工吸入了高浓度的雾和蒸气，尤其是在清洗和更换振动筛筛布的时候。这种场合既有可能吸入，也有可能皮肤接触。在已见诸报道的某些案例中²，气溶胶和蒸气的清除仅依赖于自然通风，使用的是非水基钻井液，当人员在振动筛处进行一些短暂的操作时，吸入的碳氢化合物总浓度最高达 $450\text{mg}/\text{m}^3$ 。对钻井液循环系统密封程度较高的钻井平台来说，所报道的吸入浓度远低于该值³。



有几种因素可能会影响工作环境中员工接触有害物质的程度，例如钻井液的温度、排量、井深、井段以及 NAF 的运动黏度，但这些因素的相对权重尚未见报道。关于含油气地层对钻井液处理环节所产生的烃类雾的具体成分的影响，人们知之甚少。尽管有人提出振动筛的振动和蒸气的凝结都可以产生小液滴，但尚没有研究工作支持这一论断^{4, 5}。

接触程度与接触频率和持续时间有关。当循环中的钻井液温度升高时，其中的轻烃组分就会蒸发，也就产生了蒸气。（有些矿物基油在 70°C 下每 10h 可以蒸发 1% 体积。）烃类蒸气冷却后就会凝结成雾。关于所产生的雾滴粒径尺寸，人们的认识有限，但估计应在 $1\mu\text{m}$ 以下。另外，振动筛也会以机械方式产生雾滴，这种雾滴既含有轻质的、也含有较重的烃类组分，而且这一现象随着温度升高而加强。

液上气体测量表明液体上方的蒸气相浓度随温度升高而上升，例如作为基液的柴油，在 20°C 下产生的蒸气浓度为 100×10^{-6} （质量分数），而 80°C 下为 1000×10^{-6} （质量分数）。

控制工作场所烃类蒸气的量是十分重要的。人们大多认为，工作场所的大多数蒸气都来自非水基液，因为基液是钻井液中最大的组分，一般体积含量超过 50%。但研究表明这种认识是不正确的³。非水基钻井液产生的烃类蒸气中也含有钻井液添加剂成分，因为有些添加剂挥发性很强；还可能含有所钻遇的含油气地层释放出来的烃类。因此，在筛选钻井液配方时，应尽可能减少有害成分的用

量，这点十分重要。通常情况下对员工危害最大的正是那些轻烃组分。降低空气中有机物蒸气的传统作法涉及改进非水基液的特性。然而现场研究表明，将纯净的基油上方的蒸气浓度从 100×10^{-6} (质量分数) 降到 10×10^{-6} (质量分数)，并不一定能将钻井液释放到工作环境中的蒸气按同样百分比降低³。为了评价当班员工的健康风险，必须对员工接触有害物质的可能性有一个清楚的认识。

