

煤层气勘查中绿色钻探技术应用

闫占胜¹, 刘叶青², 孙鹏杰³, 黄勇¹, 刘福胜¹

(1. 中煤地质集团有限公司, 北京 100040; 2. 上海中煤物探测量有限公司, 上海 200136;
3. 北京大地高科煤层气工程技术研究院, 北京 100073)

摘要:随着煤系矿产勘探开发的不断深入, 尤其国家提出“碳达峰、碳中和”目标以来, 在勘查过程中推行绿色勘查技术势在必行。本文在绿色勘查概念的基础上, 结合煤层气钻探生产工艺流程, 根据煤系气储层特征及致害因子, 分析了保护储层及周边环境的钻探技术。通过分析钻探施工对地下水污染的特点、污染物的主要成分及污染途径, 提出了对应的污染防治措施及处理技术。介绍了两种煤系气开发时提高钻探效率的工艺, 同时可降低作业过程中产生的污染物总量和污染影响时间。并针对绿色钻探设备配置、钻井液配比、废弃物回收处理等相关技术进行了探讨。

关键词:绿色钻探; 煤层气; 污染物; 地下水

中图分类号: P634.5 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2021)S1-0286-04

Application of green drilling technology in coalbed methane exploration

YAN Zhansheng¹, LIU Yeqing², SUN Pengjie³, HUANG Yong¹, LIU Fusheng¹

(1. China Coal Geology Group Co., Ltd., Beijing 100040, China;

2. Shanghai China Coal Detection Co., Ltd., Shanghai 200136, China;

3. Beijing Dadi Hi-Tech CBM Engineering Technology Research Institute, Beijing 100073, China)

Abstract: With the continuous progress in the development of coal-based minerals and the initiative of “carbon peak and carbon neutralization” raised by China, it is inevitable to enforce the implementation of green exploration technology. Based on the concept of green exploration and combined with the drilling process of coal bed methane, this paper focuses on the drilling technology for protection of the surrounding environment and the coalbeds. By analyzing the characteristics of the groundwater pollution, the main components of the pollutants and the main pollution pathway which are caused by drilling operations, pollution prevention and treatment measures and technologies are proposed. Two drilling technologies are recommended for the development of CBM as they can improve the drilling efficiency, and reduce the total amount of pollution and the pollution time during drilling. The paper also discusses green drilling equipment, drilling fluid technology and waste recycling technology.

Key words: green drilling; coalbed methane; pollutants; groundwater

0 引言

在煤系矿产的勘探和开发过程中, 传统井型多以直井为主, 然而煤层气钻井施工更加多样, 工艺也更加复杂, 采用的井型包含了水平井、丛式井、直井、U型井等。钻井施工过程中会出现大量的固体

废弃物、钻井破坏土地影响复垦、成井过程中采用不当的钻井液对钻遇的含水层造成污染、矿产开采过程中或开采结束后形成地下采空区和地表塌陷区等一系列“非绿色”的环境问题^[1]。

在“山水林湖田草”绿色协调发展和“碳达峰、碳

收稿日期: 2021-05-31 DOI: 10.12143/j.ztgc.2021.S1.048

作者简介: 闫占胜, 男, 汉族, 1968年生, 工程师, 钻探工程专业, 从事煤炭地质钻探、水文地质钻探、大口径施工钻探相关工作, 北京市石景山区玉泉路59号院3号楼, 416214789@qq.com。

引用格式: 闫占胜, 刘叶青, 孙鹏杰, 等. 煤层气勘查中绿色钻探技术应用[J]. 钻探工程, 2021, 48(S1): 286-289.

YAN Zhansheng, LIU Yeqing, SUN Pengjie, et al. Application of green drilling technology in coalbed methane exploration[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(S1): 286-289.

中和”大背景下,煤系矿产开发推行绿色勘查势在必行。在煤层气井实施过程中除了需要考虑如何减少钻探施工对环境造成污染外,还需要考虑施工中所钻遇的其他资源的保护,降低因人类活动而消耗和破坏自然资源。这就要求我们需要对钻前、钻中、钻后的全过程进行系统的、科学的设计,选择最合理、最节约、最高效的技术手段和工艺工法,开展煤系多矿种的协同勘查与综合评价,在取得尽可能多的地质信息与成果的同时要大幅度减少资源消耗和降低对环境的影响,从而实现资源的绿色高效开发利用。

1 储层保护方面的绿色钻探技术

1.1 煤储层损害因素

与常规砂岩、碳酸盐岩储层相比,煤层气储集层具有高吸附性、低渗透性,且易受压缩、破碎等特性^[1]。储集层的这些特性决定了在煤层气钻井施工过程中,煤层受到的影响比常规储层大得多,煤层气的解吸、扩散、运移及后期排采都会受这些因素的影响。煤层的主要损害因素概括起来不外乎以下几点:

(1)煤层中天然发育的孔隙和裂隙,为外来流体中固相和液相侵入煤层提供了基本条件;

(2)煤中的孔隙—裂隙体系和大分子有机物结构,将吸附外来流体中的水和高分子聚合物,进而影响了煤层的渗透性;

(3)外来流体与煤层中的水很容易发生化学反应,反应后产生化合物形成沉淀,这些化合物可以堵塞煤层裂隙;

(4)一般来说在欠压实状态的煤储层中易发生井漏情况,使煤层气储层严重损害;

(5)由于煤层的应力敏感性,钻井过程中受多方面因素的影响会降低储层渗透率^[2];

(6)煤及煤系岩石强度较低,钻井施工过程中形成的岩石粉末将堵塞储层的孔隙和裂隙。

1.2 煤层气储层的损害

(1)钻井液对储层的损害:钻井液滤液进入煤层后,其中的固相颗粒会随滤液沿裂隙移动,部分固相会残留在孔隙裂隙中,这种对储层的损害是永久性的;储层中的粘土矿物遇水发生膨胀,进一步发生分散及絮凝,也会产生沉淀,降低了储层渗透率;储层流体中的无机离子与进入储层的碱液结合发生反应形成的盐垢,也会对储层造成损害。

(2)钻井压力对储层的损害:钻井过程中压力

随时变化,围压增加,煤岩渗透率会降低,反之当围压降低后,渗透率不能够完全恢复到之前的状态,这种情况造成储层渗透率的降低幅度还比较大。

1.3 保护煤层气储层的钻井技术

(1)钻井方式选择。煤岩对应力敏感性强,而且煤层中微裂缝发育,在这种条件下,地层压力与环空压力的压差越大,泥浆就越容易侵入储层,影响深度也越大,自然对储层的损害就越严重。当采用过平衡压力钻井时,由于地层压力低于环空压力,静滤失量较大,侵入储层的钻井液量就多,而且侵入深度也大,对储层的损害也大;当采用平衡压力钻井时,虽然对储层损害最小,但压力不好控制,压力波动时造成的短时间内过平衡会对储层造成一定的损害;当采用欠平衡压力钻井时,地层压力比环空压力高,泥浆不容易侵入储层,这种工艺避免和降低了对储层的损害^[2]。

在实际的煤层气钻井中,应根据煤层物性特征和压力特性合理选择钻井方式,在地层条件和施工设备允许的情况下,采用泡沫钻井、气体钻井等欠平衡钻井方式是不错的选择。

(2)钻井参数优化。煤层气开发多采用分支水平井进行施工,一般设计井深在500~1200 m之间,常规采用泥浆钻井或清水钻井,偶尔也会采用气体钻井与泡沫钻井^[1]。具体钻井施工参数应考虑煤层气井的施工地层地质条件、钻井工具和周围情况等因素综合确定。以山西沁水盆地煤层气多分支水平井钻井为例,不同井段的钻井参数选择如表1。

表1 钻井参数

不同井段	钻压/ kN	转速/ (r·min ⁻¹)	排量/ (L·s ⁻¹)	泵压/ MPa
直井段	50~100	60~80	30~50	6~9
造斜段	20~80	40~50	15~30	6~10
水平段	10~50	30~35	15~18	8~15
分支段	10~50	30~50	16~18	6~7

2 保护地下水的绿色钻探技术

2.1 钻井作业对地下水污染的特点

钻井过程中钻井液漏失不可避免,如果地层与含水层之间的断裂和裂隙较为发育,那么漏失的钻井液就有可能沿着岩层裂隙进入含水层,从而污染含水层中的地下水。由于储层的特殊性和水的流动性,一旦地下水被污染,治理和恢复的难度非常大。

同时周围的岩石颗粒吸附钻井液中的添加剂和油性物质,通过吸附—解吸物理化学反应,会出现油敏、酸敏、水敏、盐碱敏等现象,也会给周围的生态环境造成不可逆的影响^[3]。

地下水在含水层中的径流速度都很慢,一般来说浅层地下水的流速在1~10 m/d之间,沙层和砾石层中流速更慢,在0.1~3 m/d之间,经过几十年到几百年的时间,地下水才会依靠径流循环自然修复,如果靠人工修复,治理成本和难度很高,而且效果也不明显。

2.2 地下水污染物的主要成分

钻井液分为水基钻井液、油基钻井液和合成基钻井液^[4]。地下水污染多是由钻井工程中洒落的油污、钻井液和固体废弃物引起的。水基钻井液的有害成分以添加剂为主,添加剂中含有重金属、有害有机物和无机化合物,重金属污染以铜、铬、镍、镉、铅、汞、锡等元素为主,有机物来自沥青处理剂、乳化剂、起泡剂(或消泡剂)、降滤失剂、表面活性剂、防腐剂等,无机化合物主要以氯化物、溴化物、氨氮、钾盐、硫化物、亚硝酸盐为主^[1]。油基钻井液中的污染物主要是原油胶体、抑制剂、润湿剂、乳化剂、聚合物材料、加重材料等^[5]。人工合成的有机物钻井液为合成基钻井液,它具有油基钻井液的性能,但易生物富集、生物降解难,对环境影响大。

2.3 地下水污染途径

(1)地面污染物对地下水的污染。地面污染物主要通过大气降雨、融雪对钻井岩屑、废弃钻井液、井喷污物、地面散落油类的冲刷和溶滤作用污染土壤和水体,同时还会使散发到大气中的有害气体、蒸发物降落到地面,伴随泥浆池、排污沟、泥浆槽、处理池的渗漏和溢流等方式污染土壤和水体。

(2)钻进引起的地下水污染。钻井过程中污染物会通过钻井液自地层的自然裂隙渗透到含水层中,从而污染地下水^[6]。正常钻进时钻井液以滤失为主,少量的漏失,钻井液的滤失量与地层的压差,钻井液的浸泡时间,泥饼的压实作用、渗透性、厚度,岩石的渗透性、钻井液的粘度、固相含量等因素有关。

(3)作业事故引起的地下水污染。发生溢流井喷事故后,如果压井作业操作不当,地层产生裂缝,钻井液会通过新裂缝进入含水层污染地下水。

(4)固井作业引起的地下水污染。固井作业时,因水泥浆的硬化速度不一致在候凝过程中套管和井壁形成窜槽通道,地下深处流体通过窜槽通道进入

含水层污染地下水。

(5)套管腐蚀引发的地下水污染。井中的套管腐蚀损坏后,流体通过腐蚀孔进入含水层污染地下水。

(6)油料管理不严对地下水的污染。钻井作业现场人员的误操作或处理不当,致使储油罐和输油管线的泄漏,导致油料洒落或溢到地面入渗含水层造成对地下水污染。

2.4 污染防治措施及处理技术

2.4.1 地下水污染的预防措施

(1)在对井场进行设计时,应根据地形、地貌、地质构造、水文地质特征等综合因素确定井位,避免污染源和地下水。井场地面做好压实、排污沟、处理池工作,防止污水溢流和下渗,也可以培育优良微生物菌种,洒在钻场周边,从而降低地面洒落油污的污染。

(2)搞好钻井设计,选择合理的井身结构、井眼尺寸及钻井工艺,同时提高钻井泥浆抑制能力和固相控制效率,避免井下事故发生,减少因在处理井下事故时钻井废液的排放量。

(3)加强对设备周围洒落油污的管理,及时清理干净钻井事故洒落的污染物,防止被雨水淋滤冲刷^[7]。同时防止泥浆槽和泥浆池的溢出和渗漏,循环利用废弃钻井液,固化处理和回注不渗透的地层。加强对钻屑的管理,防止冲刷和下渗,要安全填埋或固化处理钻屑等固体废物。

2.4.2 污染物处理技术

(1)氧化还原处理技术。二氧化氯是一种常用水处理剂,其具有安全、高效、经济的特点,二氧化氯的去污能力达到70%左右,二氧化氯的投放量应达到污染物量的1.5倍,并且当pH值在6~7时效果为最佳^[7]。水处理中氧化能力最强的氧化剂是臭氧,臭氧分解会产生氧气,地层中的微生物可以得到足够的氧气,可以促进微生物的生长和分解污染物的效率。

(2)气体抽取处理技术。通过连续或间歇地向受污染的含水层注入高压空气,让介质中的吸附态和残余液态的石油烃与高压空气直接接触,并融合在一起,气体的能量将易挥发的烃类物质带出地层。

(3)环境生物处理技术。微生物可以将有机污染物分解为二氧化碳和水,随着微生物的数量增加,污染物将不断减少,最终微生物因养分缺乏而逐渐恢复到正常水平。

(4)SRB处理技术。SRB可以解决重金属和有机物的污染问题,硫酸盐还原菌(SRB)可以将有机

物分解为二氧化碳和水,在这个过程中产生碳酸根与金属离子难溶物,这样可以将金属离子去除。但在这个过程中会产生对钢铁有强烈腐蚀作用的硫化氢、碳酸及硫化氢的氧化产物,因此,虽然SRB可用于钻屑、废弃钻井液及浅层土壤污染的处理,但为了防止进入井筒和储层,在井场周围要慎用^[1]。

(5)废弃钻井液固化技术。为了防止环境污染,将一定量的粉煤灰、无定形硅粉、高炉矿渣、硅酸钠、磷酸盐等固化剂加入废弃钻井液中,使其发生一系列复杂的物理化学反应,从而使钻井液中的重金属离子、油类被转移、高分子聚合物转移和固定,使它们之间形成稳定的空间网状结构,并失去迁移能力^[7]。

(6)钻井液转换为水泥浆(MTC)的固井技术。利用钻井液的失水性和悬浮性,将有潜在生物活性的粉煤灰、高炉水淬矿渣、分散剂和促凝剂加入钻井液中,使之转化为有胶凝特性的水泥浆。该技术将钻井液与固井液合二为一,既节约了废弃钻井液的处理和固井水泥浆成本,又提高了固井质量,防止了废弃钻井液、固井液对土壤、地下水的污染。

3 钻井装备方面的绿色钻探技术应用

3.1 煤系气钻井技术难题

(1)煤岩储层节理、裂隙发育,胶结差,强度低,容易造成井壁失稳,随着技术和工艺的发展,目前多采用清水作为钻井液,由于清水滤失量大、黏度低、携带岩粉能力差,会导致井下事故多发、处理事故难度增大。

(2)煤层及煤系地层中敏感矿物多,钻井液与这些地层中敏感性矿物发生化学反应,会引起煤层速敏、水敏伤害以及固体侵入损害,造成甲烷气体解吸、扩散的困难。

(3)煤系气产量低,清水钻井液不仅使井壁强度降低,稳定性差,同时井径不规则的、井壁坍塌、掉块经常发生,而且裸眼完井井壁得不到筛管和套管的有效支撑,这些因素都降低了煤系气井的采气寿命。

3.2 快速钻进技术优选

PDC钻头配合螺杆的复合钻进和空气潜孔锤钻进是目前较为成熟的2种快速钻进技术。

3.2.1 PDC+螺杆复合钻进

复合钻进技术的有3个优点:(1)与牙轮钻头相

比PDC钻头对付某些特殊地层要更高效^[8];(2)随着近年来螺杆钻具质量的不断提高,其使用寿命大大加长,如果跟PDC钻头匹配,PDC钻头的效能可充分发挥;(3)在常规钻井中深井、小井眼的动力损耗很大,还容易出现钻杆疲劳破坏和套管磨损,相比较复合钻进技术只是利用井底马达直接驱动钻头转动,动力损耗更小,大大改善了钻具的工况,钻井的安全性得到了提高。

3.2.2 空气潜孔锤钻进

以压缩空气作为循环介质的空气潜孔锤钻井,洗井、冷却钻头、携带岩粉都依靠空气^[8],这种方法适用于地层完全干枯不含水,也可以用于孔内有少量水流的地层。其优点是钻井效率高、施工周期短、施工用水量少等,钻井速度比常规钻井可提高5~10倍,也不存在废液侵入,因此,对煤储层的污染大大降低,煤系气开采的效率也得到提高。

4 结语

通过调整场地建设、钻井液体系、成井工艺、储层及地下水保护措施等,优化钻探施工的全过程,完全可以实现节能减排、降本增效、提高资源开采效率的目的。在环保理念逐渐强化的今天,在未来“碳达峰、碳中和”的框架下,绿色钻探技术的全面应用也将发展成为一种新型的地质勘查工作模式,从而使经济、社会、环境的可持续协调发展。

参考文献:

- [1] 刘福胜,黄勇,朱宝存,等.煤系矿产绿色钻探技术研究[R].中煤地质集团有限公司,2019.
- [2] 黄志强,蒋光忠,郑双进,等.煤层气储层保护钻井关键技术研究[J].石油天然气学报,2010,32(6):116-118.
- [3] 崔崇斌,南峰.府谷煤层气井钻井液体系的选择[C]//探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):233-234.
- [4] 赵芙蓉.基于ST油的新型钻井液体系研制与应用研究[D].大庆:东北石油大学,2016.
- [5] 可点.环保型气制油合成基钻井液体系研究[D].北京:中国石油大学(北京),2017.
- [6] 邓昌松,练章华,周进,等.油气钻井作业对地下水污染治理研究[J].油气田环境保护,2011,21(3):21-24.
- [7] 蒋庆鑫.适用于煤层气钻探的环保钻井液体系研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2017.
- [8] 兰海波,于清军.地质钻探工作中钻进因素的合理选择[C]//全国金属矿山采矿新技术学术研讨与技术交流会论文集,2007.