

# 工程钻探中煤泥岩地层防塌技术探究

展嘉佳

(银川科技学院 宁夏 银川 750011)

**摘要:** 在宁夏、陕北等地区的工程勘察钻进过程中,常常会遇到钻穿煤层或泥岩层等软弱地层的情况,一旦发生坍塌就会引发严重的井下事故。本文从钻井实际入手,提出应控制钻井液达到合适的密度、极低的失水、强抑制性、强封堵性、良好的润滑性等,并归纳总结了相关的工程技术措施,由此验证强抑制性复合盐钻井液体系完全可以保证煤泥岩地层井壁稳定,确保钻井施工的顺利进行。

**关键词:** 煤泥岩地层;强抑制性;强封堵性;润滑性;复合盐钻井液体系

宁夏及陕北等西北地区地层富含大量地下地质资源,如煤炭、石油、天然气等均有不同程度的勘探开发,再加上西北地区地层特有的湿陷性黄土大面积分布,使得在工程勘察过程中,会遇到需要钻穿多套煤层和炭质泥岩地层的情况。煤泥岩地层强度低、脆性大、裂缝发育、胶结疏松,在钻进过程中被钻头挤压、研磨、破碎,以及钻井液冲刷和浸泡的作用下,极易发生坍塌,造成起下钻受阻、蹩钻、卡钻等恶性事故的发生。

## 1. 煤泥岩地层易坍塌机理

### 1.1 煤岩本身的特性

煤岩的物理力学性质较复杂,一方面由于沉积环境的影响,其微观结构各有不同;另一方面在沉积过程中,大小不同、性状各异的块状颗粒层层叠压形成了煤岩层,使得其宏观结构存在较大差别,空洞、微裂隙较发育,颗粒间胶结物丰富。煤岩的抗拉强度和弹性模量都较小,具有非均质性和各向异性,节理及裂缝的发育,使得其在形成并眼时容易造成解理裂开、引发坍塌。

### 1.2 不稳定炭质泥岩的影响

炭质泥岩是指含有炭质成分的特殊泥岩,一般有机碳含量在10%~30%左右,主要成分为粘土矿物。外观一般呈现黑色、灰黑色块状结构,泥质结构和薄层状构造,岩性较脆、质地松软、强度较低。煤层下的泥岩发生坍塌,会造成煤层失去支撑而使坍塌加剧;同样,煤层的坍塌也会造成上部泥岩的坍塌,从而形成恶性循环。

### 1.3 钻井液中水的影响

#### (1) 毛细管效应

煤泥岩地层中的大量细小裂缝可产生毛细管作用。一方面,水在毛细管力作用下,会沿着毛细管道上升到很高的位置,在流动过程中润滑裂缝、软化岩层,引起煤泥岩内部的内聚力和内摩擦力的降低,进一步降低岩层的强度;另一方面,毛细水在压力作用下进入裂隙时,表面张力产生的附加压力会将裂隙撑开,使煤泥岩进一步遭受破坏,不同类型的钻井液都会使煤泥岩的抗拉强度和抗压强度降低。

#### (2) 水化膨胀作用

煤泥岩中的粘土矿物以亲水性高岭石、伊利石和蒙脱石等矿物为主,这些矿物的晶胞之间连接较弱,水分子容易进入。遇水作用具有显著的溶胀和微膨胀特性,非均质性增强,水化膨胀作用明显,导致局部应力集中,容易引起坍塌掉块。

#### (3) 煤岩层中胶结物的溶解

煤岩层中的胶结物包括可溶性无机盐和粘土矿物,主要分布在裂缝和孔洞中起胶结作用。粘土矿物的遇水溶解机理如上文所述。可溶性无机盐包括岩盐(NaCl)、钾盐(KCl)、石膏(CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O)、方解石(CaCO<sub>3</sub>)等,这些可溶性盐遇水多时发生溶解,土的联结被破坏,造成煤泥岩地层强度的降低,引起坍塌事故。

## 2. 稳定煤泥岩地层的钻井液技术措施

在钻进过程中随着钻孔的加深,一方面岩层连续暴露形成新的孔壁,失去了原始地层的平衡状态;另一方面随着钻具在孔内的不断回转、升降,与孔壁摩擦和碰撞,都会使煤泥岩软弱地层加速垮塌。在保护孔壁的措施中,最常用且有效的方式是采用钻井液护壁。

以下从钻井液的性能着手,分析提高其护壁能力的具体实施方案。

### 2.1 合理的密度窗口

针对煤泥岩地层在钻进过程中由于受力而造成的坍塌,从力学理论去抗衡是可行的方案。首先必须采取适当的钻井液密度,形成合适的液柱压力,这是稳定软弱易坍塌地层的有效措施。一般在进入井段前,维持钻井液密度在1.25g/cm<sup>3</sup>以上,用较高的液柱压力去平衡地层坍塌压力。加入重晶石、石灰石粉等加重材料是提高钻井液密度最常用的方法。在加重前,应调整好钻井液的各种性能,特别要严格控制低密度固相的含量。一般情况下,所需钻井液密度越高,则加重前钻井液的固相含量及粘度、切力应控制得越低。此外,加入可溶性无机盐NaCl等也是提高密度较常用的方法。

需要注意的是,增加钻井液密度有两重性,一方面提高钻井液密度有利于增加对井壁的支撑力,另一方面又会导致钻井液滤液进入地层,增大地层的孔隙压力,增大粘土的水化面积和水化作用,从而降低使其稳定的正应力。因此,需通过大量的实验,确定合理的钻井液配方,尤其是加重剂的含量要在恰当的范围,保证钻井液的密度值既能对地层有一定的支撑作用,又能保证其滤失量满足稳定地层的需要,不会对煤泥岩地层产生过大的浸润作用。

### 2.2 强抑制性

钻进严重吸水膨胀和剥落的水敏性地层时,维持井壁稳定主要考虑钻井液的抑制性。钻井液滤液的成分直接影响膨胀性粘土矿物的交换容量、分散作用、亲水性等特性。结合大量工程钻探的实例可以看出,煤层、炭质泥岩、泥岩是交替分布的,所以井壁的稳定应当综合考虑。提高钻井液的抑制性、防止泥页岩的水化,是保证煤泥岩地层不垮塌的前提。煤层中含有少量的泥岩和无机盐,通过提高钻井液的抑制性就可以防止泥岩的水化和无机盐的溶解。

钻井液中的水进入地层有两种方式,一是由于压差的作用渗透到地层中,即失水;二是由于渗透压的作用进入到地层中。研究表明,后者的影响比前者大得多。钻井液的抑制性强,则钻井液的活度小,化学势小,就会产生从煤层到钻井液的渗透压,避免钻井液中的水进入到煤层引起坍塌。因此,提高钻井液的抑制性对于防止煤泥岩地层垮塌来说,是十分必要的。

### 2.3 低失水性

对于煤泥岩层、湿陷性黄土等水敏性地层而言,在钻井液循环时,失水量过大会引起遇水膨胀、剥落坍塌等孔壁失稳的问题。使孔径扩大或缩小,进一步又会引起卡钻、钻杆折断等孔内事故。对于裂隙发育的破碎地层,滤液渗入岩层的裂隙面,减小了层面间的接触摩擦力,在钻杆的敲击下,碎岩块滑入孔内,会引起掉块卡钻等孔内事故。

由以上分析可知,水对煤泥岩地层的影响是较大的。因此,严格控制钻井液的失水,形成薄、密、韧的泥饼,最大限度的减少进入煤泥岩地层的水,是保证地层稳定的重要因素。对水敏性易垮塌地层来说,失水量一般应控制在5ml以下。常用的降失水剂种类很多,有纤维素类、淀粉类、丙烯酸衍生物类、腐殖酸类、聚糖类等,可在考虑防塌、携粉能力及经济等因素的基础上优化选用。

### 2.4 强封堵性

钻井液应具有强封堵性和优良的造壁性,良好的封堵能力可以使液柱压力有效支撑井壁,减小滤液进入煤层,防止漏失产生。在钻井液中加入适当的封堵剂材料,在井壁上形成密封带,提高泥浆的造壁性。封堵作用可降低钻井液滤失量,提高地层的承压能力,加上合理的钻井液密度,可以有效的防止煤泥岩地层的坍塌。

### 2.5 合理的流变参数

对于煤泥岩地层而言,循环过程中钻井液的流变性能应该与地层相适应。钻井液的粘度和切力低、排量大、返速高、呈紊流状态,利于携砂,但容易冲蚀地层,引起坍塌,特别是在煤泥岩互层的井段循环时,容易形成大井径;过高的粘度和切力,可以形成低失水钻井液,有助于煤泥岩地层防塌,也有利于携带岩屑,但容易发生井漏和粘吸卡钻。因此,采用合适的聚合物添加剂形成钻井液配方,能够使钻井液在具有较高粘度的同时,还具有良好的剪切稀释性和紊流减阻作用。高剪切速率时,钻井液粘度低,有利于破碎岩石;低剪切速率时,环空粘度高,有利于携带岩屑、减轻对煤泥岩地层的冲刷。

### 2.6 良好的润滑性

钻井液的润滑性对钻井工作的影响很大,尤其是井深越大、井斜越大时,这种影响越明显。针对煤泥岩地层,为了减轻在钻进过程中钻具对岩层的碰撞,可以在钻井液配方中加入适当的润滑性材料,降低钻井液对煤泥岩地层的冲击力,有利于地层的稳定。根据试验测试,在复合盐水钻井液体系中加入原油后,其摩擦系数可控制在0.05以下。在加入原油的同时配合使用乳化剂,使混入的原油具有良好的分散性和乳化稳定性,充分渗入泥饼,可改善泥饼质量,降低摩擦。另外,使用聚合醇也可以起到显著的润滑效果。聚合醇是一种具有多功能处理效果的多元醇,既可以防塌,又具有良好的润滑性,当其在混油钻井液中的加量达到3%时,用滑块式摩擦仪测量的摩擦系数可控制在0.03以下。除了在钻井液中加入必要的液体润滑处理剂,还可在部分体系中加入1.5%~2%的固体润滑剂石墨粉GD-2。石墨粉无毒、无腐蚀性,在高浓度下不会阻塞钻井液马达,即使在高剪切速率下,它也不会发生在钻井液中发生明显的分散。此外,石墨粉不会影响钻井液的切力,与各种纤维质和矿物混合物具有良好的配伍性,因此能够用于各种钻井液体系中。

## 3 稳定煤泥岩地层的工程措施

(1)合理的钻进工艺:钻头可选用小齿PDC钻头或者牙轮钻头钻进,钻进时,尽量减小岩屑的尺寸,可防止对煤泥岩地层造成过大的压力;钻进过程中通常采用高转速、低钻压、大泵量的参数配合,可根据具体勘察内容进行小范围调整;钻进过程中密切注意钻时、扭矩,若有异常情况,立即停止钻进,上提观察。

(2)工程要求:晚开泵,早停泵,禁止在煤泥岩地层段长时间定点循环;煤层段尽量减少测斜,完全钻穿煤层段后进入稳定地层且井下正常情况下再进行测斜;钻进期间泵压升高,不能停泵,尽量稳定钻压,将钻具起出煤层段。

(3)泥浆要求:煤泥岩地层打开之前泥浆比重尽量提高至 $1.30\text{g/cm}^3$ ,根据井下是否正常再决定是否进一步提高比重。若需要提高,必须缓慢提高,防止泥浆比重提得过猛压漏地层,每次以提高 $0.01\text{g/cm}^3$ 的幅度为原则。泥浆中应加入一定的堵漏材料,防止漏失。

(4)岩屑观察:钻进过程中需要随时观察岩屑返出情况,确保每15分钟捞一次沙子,捞出后按顺序放在指定位置进行观察,以便随时掌握煤屑的大小和形状。

(5)地质要求:钻进过程中应及时做好岩心记录,观察泥浆返出情况。对煤泥岩地层段岩心进行重点观察,查明是否有打漏等情况;通过观察泥浆返出情况可判断煤层是否被打丢等情况。

(6)加强联系:地质、钻台、泥浆任何一方发现检测异常,随时联系沟通并汇报,以便及时采取措施。

## 4. 现场应用情况

(1)M地区某油井的钻探过程中,斜井段需钻穿山西和太原组共计6套煤层,施工难度较大。现场使用钻井液配方为:

$3\%Na-CMC+4\%SFT-1+20\%NaCl+2\%SDS+0.6\%CWD-1+0.2\%XCD+0.3\%PAC+2\%DF-A+1\%SFT-1$ 。该井地层承压能力较低,密度提至 $1.25\text{g/cm}^3$ 时,泥浆消耗量达到1.5方/时。为进一步提高密度,防止煤层坍塌,现场通过定时定量的加入DF-A和FT-1的方法,最后逐步将密度提高至 $1.28\text{g/cm}^3$ 。在进入本溪组主力煤层之前,加入0.2%XCD,生物聚合物XCD具有较好的剪切稀释性和紊流减阻作用,既有利于提高钻速,又有利于减轻对煤层的冲刷。使用该配方钻进过程中,该井斜井段全段无遇阻,电测和下套管顺畅。

(2)某工程勘察钻井在钻进过程中发现该井煤层厚度大、煤岩密度低、硬度差、煤质疏松,极易发生垮塌。斜井段I发生卡钻事故,在进行斜井段II施工时,充分总结以前各井的成功经验,吸取斜井段I的失败教训,钻遇煤层之前保持钻井液低粘切、强抑制性,有效防止了PDC钻头的泥包现象,单个PDC钻头进尺达400米;进入煤层后除强化执行钻井液技术措施外,还加入2%预水化膨润土浆,并制定切实可行的工程措施与之相配合,有效避免了煤层的坍塌,斜井段钻进施工过程中全井段起下钻无遇阻,电测下套管顺畅。

(3)某勘察钻井在进行水平段钻进时采用无固相低伤害暂堵钻井液体系。该钻井液体系具有钻进中易维护、有效保护地层的特点。配方如下:

$0.2-0.3\%PAC-141+4-5\%QS-4+2-3\%CMC+0.1-0.2\%NaOH+0.1\%CWD-1+1\%XCS-3$

实测性能:密度 $1.06-1.08\text{g/cm}^3$ ,粘度50-60s,失水量小于6ml,PH=9-10,摩阻系数小于0.05。

钻进至泥岩段,为保证井下安全,满足防塌和携砂要求,必须加入工业盐、KCL等将密度逐步提高;加入黄原胶XCD改变泥浆的流变性;加入KPM提高泥浆的润滑性;加入CWD-1提高钻井液抑制性;当钻遇泥岩段超过30米,加入6-8%KCL,同时提高密度至 $1.25-1.30\text{g/cm}^3$ ;若钻遇泥岩段超过100米,则加入8-10%KCL,提高密度至 $1.30-1.40\text{g/cm}^3$ ,补充0.6%CWD-1,可有效抑制岩屑的分散。

## 5. 结论

(1)勘察钻进中钻遇煤泥岩地层要严格遵守煤层的安全防范措施,不可懈怠,保证设备正常、钻进参数合理、配套检测及时规范。

(2)钻遇煤泥岩地层时,以预防坍塌为主,钻头选用、参数配合、钻井液配方都要以防止坍塌为第一要务。一旦发生严重坍塌,应果断处理,争取使损失降到最低。

(3)要有相应的工程技术措施相配合,保证井下安全的前提下,尽量提高钻速,减少煤泥岩地层在钻井液中的浸泡时间。

## 参考文献:

- [1]鄢捷年.钻井液工艺学[M].山东:中国石油大学出版社,2006.
- [2]鄢泰宁.岩土钻掘工程学[M].武汉:中国地质大学出版社,2001.
- [3]王福印,王海涛,武少英,周健华,李贵云.煤层防塌钻井液技术[J].断块油气田,2002(05):66-69.
- [4]陈在君,刘顶运,李登前.煤层垮塌机理分析及钻井液防塌探讨[J].钻井液与完井液,2007(04):28-29.
- [5]刘彦妹,高丽娟等.有机盐与聚合醇的协同效应[J].钻井液与完井液,2010,27(2):31-33.
- [6]中瑞臣,屈平,杨恒林.煤层井壁稳定技术研究进展与发展趋势[J].石油钻探技术,2010,38(3):1-7.