

## SHB5-1X 三开井壁失稳机理分析

龚伟 杨世超 周晓轩 郭辉

中国石化集团胜利石油工程有限公司钻井液技术服务中心, 山东 东营 257100

**[摘要]** 针对顺北油田 SHB5-1X 井三开下部地层泥页岩井段常见起下钻遇阻、卡钻等复杂情况, 通过 X 射线衍射、扫描电镜、膨胀实验、页岩分散实验以及比亲水量测试等实验手段, 测试了复杂地层泥页岩样的组构和理化性能, 综合分析了其井壁化学失稳主要机理。

**[关键词]** 深井; 井壁稳定; 硬脆性泥页岩; 失稳机理

DOI: 10.33142/aem.v3i6.4343

中图分类号: TE254

文献标识码: A

### Mechanism Analysis of SHB5-1X Third Spud Shaft Wall Instability

GONG Wei, YANG Shichao, ZHOU Xiaoxuan, GUO Hui

Drilling Fluid Technical Service Center of Sinopec Shengli Petroleum Engineering Co., Ltd., Dongying, Shandong, 257100, China

**Abstract:** In view of the complex situations of common tripping resistance and sticking in the shale section of the lower formation of the third spud in SHB5-1X well in Shunbei Oilfield, the fabric and physicochemical properties of shale samples in complex formation were tested by means of X-ray diffraction, scanning electron microscope, expansion experiment, shale dispersion experiment and specific water affinity test, and the main mechanism of wellbore chemical instability was comprehensively analyzed.

**Keywords:** deep well; wellbore stability; hard brittle shale; instability mechanism

#### 1 SHB5-1X 井概况

##### 1.1 SHB5-1X 井基础数据

SHB5-1X 井位于新疆维吾尔自治区沙雅县境内, 地处塔克拉玛干沙漠北缘的戈壁荒漠地区, 地表主要为沙漠和浮土, 地面海拔一般在 950~990m 之间。目前钻探揭示顺北井区发育第四系、新近系、古近系、白垩系、三叠系、二叠系、石炭系、泥盆系、志留系、奥陶系。

#### 2 SHB5-1X 井井壁易失稳地层物理化学机理研究

##### 2.1 SHB5-1X 井三开复杂地层岩样组构分析

针对 SHB5-1X 井三开井壁不稳定的桑塔木组和柯坪塔柯组, 各选取两组不同井深的岩样, 利用 X-射线衍射仪进行矿物含量分析, 确定所取不同井深岩样的粘土矿物相对含量和全岩矿物组成, 并且采用扫描电镜 (SEM) 分析, 观察和描述两组不同井深岩样的微观结构特征。

##### 2.1.1 X-射线衍射矿物分析

选取 SHB5-1X 井复杂地层的层位岩样, 进行了两组不同井深岩样的粘土矿物相对含量分析和全岩矿物分析。

表 1 SHB5-1X 井复杂地层岩屑全岩矿物分析结果

序号	层位	井深	石英	钾长石	斜长石	方解石	白云石	铁白云石	菱铁矿	黄铁矿	重晶石	石盐	赤铁矿	粘土矿物
1	O <sub>3s</sub>	6896-6900	34	4	3	24	14	-	-	-	2	5	2	25
2	O <sub>3s</sub>	6980-7000	36	4	2	24	-	11	-	-	2	-	-	25
3	S <sub>1k</sub>	6454-6465	47	3	-	34	-	4	-	2	2	-	-	27
4	S <sub>1k</sub>	6610-6639	38	4	6	13	6	-	1	-	-	-	4	28

注: O<sub>3s</sub> 是桑塔木组, S<sub>1k</sub> 是柯坪塔柯组

从表 1 看出, SHB5-1X 井复杂地层岩屑含有不等量的粘土矿物 (15%~28%), 其它矿物中以石英为主, 其次为方解石。

表 2 SHB5-1X 井复杂地层岩屑粘土矿物相对含量分析结果 (%)

序号	层位	井深	高岭石(K)	绿泥石(Ch)	伊利石(I)	伊/蒙间层(I/S)	伊/蒙间层比(%S)
1	O <sub>3s</sub>	6896-6900	8	6	42	44	25
2	O <sub>3s</sub>	6980-7000	7	9	47	38	25
3	S <sub>1k</sub>	6454-6465	20	6	32	42	25
4	S <sub>1k</sub>	6610-6639	21	5	33	41	25

从表 2 看出, SHB5-1X 井复杂地层岩屑的粘土矿物含量以伊利石为主, 伊利石含量在 32~47%, 伊/蒙混层含量在 38~44%, 高岭石含量在 7~21%, 绿泥石含量在 5~9%, 伊/蒙混层中间层比多数为 25%。

综合 SHB5-1X 井复杂地层岩屑及岩心 X-射线分析结果知, 桑塔木组岩样中粘土矿物含量超过 25%, 粘土矿物以伊/蒙混层为主(相对含量平均超过 40%), 其次为伊利石、绿泥石和高岭石, 属硬脆性泥岩。柯坪塔柯组岩样中岩样中粘土矿物含量超过 27%, 粘土矿物以伊/蒙混层为主(相对含量平均超过 41%), 伊利石相对含量在 33%~47%、绿泥石相对含量在 5%~6%, 高岭石含量相对含量在 20~21%之间, 属于中硬到硬脆性泥岩。

通过对 SHB5-1X 井复杂地层的 X-射线衍射矿物分析, 总结 SHB5-1X 井壁失稳的原因如下:

(1) SHB5-1X 井复杂地层的粘土矿物含量高, 并且其中的伊/蒙混层、伊利石矿物含量较高, 非均匀性明显。桑塔木组和柯坪塔柯组地层泥页岩中的粘土矿物含量较高, 伊/蒙混层矿物含量也较高。桑塔木组和柯坪塔柯组地层泥页岩中粘土矿物组成的非均匀性和多样性, 使泥页岩在水化后表现为内部水化程度的不均匀性, 特别是微缝隙和层间局部水化散裂, 容易导致剥落掉块。

(2) SHB5-1X 井复杂地层的岩样是由多种粘土矿物组成的, 不同种类粘土矿物遇水后的吸水膨胀速率相差很大, 由此产生的膨胀压力也相差很大, 当膨胀压力大于地层水化后的强度时, 地层就会沿裂缝、层理的断面发生剥落坍塌。

## 2.2 SHB5-1X 复杂地层岩样理化性能分析

针对 SHB5-1X 井井壁不稳定地层, 测试了代表性岩样的水化膨胀特性、水化分散特性、阳离子交换容量、比表面积和比亲水量等理化性能。

### 2.2.1 泥页岩水化膨胀性能测试

#### (1) 桑塔木组泥页岩水化膨胀性能测试

测试结果见表 3 所示。

表 3 桑塔木组岩样的水化膨胀性能测试结果

序号	井深/m	初始高度/mm	膨胀量/mm	膨胀率/%
1	6480-6500	8.11	0.36	3.56
2	6980-7000	8.59	0.41	3.55

由测试结果看出, 桑塔木组地层泥页岩的膨胀性比较接近, 膨胀率在 3.55%~3.56%之间。

#### (2) 柯坪塔柯组泥页岩水化膨胀性能测试

测试结果见表 4 所示。

表 4 柯坪塔柯组泥页岩的水化膨胀性能测试结果

序号	井深/m	初始高度/mm	膨胀量/mm	膨胀率/%
1	6454-6465	8.41	0.33	3.82
2	6610-6639	8.56	0.36	3.79

从测试结果看出, 柯坪塔柯组地层泥页岩的膨胀性比较接近, 膨胀率在 3.79%~3.82%之间。

膨胀率一般与膨胀性粘土矿物含量密切相关, 通过泥页岩水化膨胀实验, 发现该地区泥页岩线性膨胀率在 3.55%~3.82%之间, 且随着井深的增加而呈降低趋势, 还可以看出 SHB5-1X 井复杂地层两组泥页岩在 120min 内趋于平衡, 随着时间的增加膨胀量几乎不变; 由此得出 SHB5-1X 井复杂地层各组泥页岩吸水快, 但膨胀慢, 最终膨胀能力也不

大,说明所吸附的水是沿着微裂缝进入地层的,但地层中膨胀性粘土矿物含量少,所以膨胀量不大,总的趋势与膨胀性粘土矿物含量的分布规律一致,与该地区粘土矿物相对含量分析结果相符合,属于弱膨胀泥页岩。

### 2.2.2 泥页岩水化分散性能测试

#### (1) 桑塔木组泥页岩水化分散性能测试

测试结果见表5。

**表5 桑塔木组岩样的分散实验结果**

序号	层位	深度范围(m)	分散前质量(g)	分散后质量(g)	回收率(%)
1	O <sub>3</sub> S	6480-6500	30.05	28.82	95.68
2	O <sub>3</sub> S	6980-7000	30.01	28.23	94.07

测试结果表明,桑塔木组地层泥页岩的水化分散回收率在94.07%-95.68%之间

#### (2) 柯坪塔柯组泥页岩水化分散性能测试

测试结果见表6。

**表6 柯坪塔柯组岩样的分散实验结果**

序号	层位	深度范围(m)	分散前质量(g)	分散后质量(g)	回收率(%)
1	S <sub>1</sub> k	6454-6465	30.0	6.15	20.50
2	S <sub>1</sub> k	6610-6639	30.0	6.91	23.03

测试结果表明,柯坪塔柯组地层泥页岩的水化分散性能差异相对于桑塔木组较小,回收率在20.50-23.03%之间,均在30%以下,具有较强的水化分散性能。

### 2.2.3 泥页岩阳离子交换容量测试

通过采用亚甲基蓝方法测试SHB5-1X井复杂地层岩样的阳离子交换容量,进一步分析桑塔木组和柯坪塔柯组地层的水化性质。

**表7 四种粘土矿物的阳离子交换容量性质的特点**

粘土矿物名称	绿泥石	高岭石	蒙脱石	伊利石
CEC/mm <sup>ol</sup> /100g	5	3-15	70-130	20-40

#### (1) 桑塔木组泥页岩比表面积测试结果

测试结果见表8所示。

**表8 桑塔木组岩样的阳离子交换容量测试结果**

序号	深度(m)	CEC当量(mm <sup>ol</sup> /100g)	MBT(g/kg)
1	6896-6900	22.23	42.87
2	6980-7000	26.65	57.13

注:CEC<sub>当量</sub>是用所测的CEC除以该岩样中粘土矿物含量所得的值,反映了岩样中所含粘土矿物的阳离子交换容量。

测试结果表明,桑塔木组泥页岩阳离子交换容量在22.23mm<sup>ol</sup>/100g-26.65mm<sup>ol</sup>/100g,对应的膨润土相当量在42.87g/kg-57.13g/kg之间,并且桑塔木组泥页岩CEC当量数据与伊利石CEC接近,这和伊/蒙混层的相对高含量有直接关系,验证了矿物分析的实验结果。此外,泥页岩的阳离子交换容量越高,表明粘土矿物水化膨胀越剧烈,而膨润率和回收率正是反映粘土矿物水化膨胀程度的,通过与水化分散性能测试结果对比,验证了水化分散性能测试的结果。

#### (2) 柯坪塔柯组泥页岩比表面积测试结果

测试结果见表9所示。

表9 柯坪塔柯组岩样的阳离子交换容量测试结果

序号	深度(m)	CEC 当量(mmol/100g)	MBT (g/kg)
1	6454-6465	37.5	42.87
2	6610-6639	37.5	42.87

注: CEC<sub>当量</sub>是用所测的 CEC 除以该岩样中粘土矿物含量所得的值,反映了岩样中所含粘土矿物的阳离子交换容量。

测试结果表明,柯坪塔柯组泥页岩阳离子交换容量普遍不高于 37.5mmol/100g,对应的膨润土相当量不高于 45 g/kg,并且柯坪塔柯组岩样的 CEC 当量数据与伊利石 CEC 接近,这和伊/蒙混层的相对高含量有直接关系,验证了矿物分析的结果。此外,泥页岩的阳离子交换容量越高,表明粘土矿物水化膨胀越剧烈,而膨胀率和回收率正是反映粘土矿物水化膨胀程度的,通过与水化分散性能测试结果对比,验证了水化分散性能测试的结果。

以上的理化性能实验结果表明,SHB5-1X 复杂地层岩样膨胀率低,说明 SHB5-1X 复杂地层属于典型的硬脆性泥页岩,井壁失稳是由裂缝及其表面水化,引起剥落掉块所造成的,这是 SHB5-1X 复杂地层失稳的本质原因。

### 3 结论

(1) X 衍射实验和扫描电镜综合分析表明,SHB5-1X 复杂地层泥页岩样发育有微裂缝和孔隙,粘土矿物以伊利石、伊/蒙混层为主,其次为绿泥石;桑塔木组岩样中粘土矿物含量超过 25%,粘土矿物以伊/蒙混层为主(相对含量平均超过 40%),其次为伊利石、绿泥石和高岭石,属硬脆性泥岩。柯坪塔柯组岩样中岩样中粘土矿物含量超过 27%,粘土矿物以伊/蒙混层为主(相对含量平均超过 41%),伊利石相对含量在 33%~47%、绿泥石相对含量在 5%~6%,高岭石含量相对含量在 20~21%之间,属于中硬到硬脆性泥岩。

(2) 理化性能分析表明,SHB5-1X 复杂地层泥页岩样的水化膨胀性能较低,但分散性能较大,具有较强水化效应;比表面积和阳离子交换容量普遍不高,比亲水量均较高,说明 SHB5-1X 复杂地层属于典型的硬脆性泥页岩,井壁失稳是由裂缝及其表面水化,引起剥落掉块所造成的,这是 SHB5-1X 复杂地层失稳的本质原因。

(3) SHB5-1X 桑塔木组和柯坪塔柯组地层失稳的物理化学机理为:复杂地层均为以伊/蒙混层或伊利石为主的硬脆性泥页岩,微缝较发育,部分地层水化效应较强,钻井液滤液沿地层微裂隙侵入地层深部时,泥页岩水化作用一方面削弱颗粒间的胶结力,另一方面水化产生强大的膨胀压力,使泥岩井壁水化失稳,导致掉块坍塌。

#### [参考文献]

- [1]徐同台.井塌原因与防塌措施探讨[J].钻井液与完井液,1988,17(1):13-21.
  - [2]唐林,罗平亚.泥页岩井壁稳定性的化学与力学耦合研究现状[J].西南石油学院学报,1997,19(2):85-88.
  - [3]邓虎,孟英峰.泥页岩稳定性的化学与力学耦合研究[J].石油钻探技术,2003,31(1):32-35.
  - [4]杨振杰.井壁失稳机理和几种新型防塌泥浆的防塌机理—文献综述[J].油田化学,1999,16(2):179-184.
  - [5]邱正松,李健鹰,沈忠厚.泥页岩水敏性评价新方法—比亲水量法研究[J].石油钻采工艺,1999,21(2):2-6.
- 作者简介: 龚伟(1987-),男,毕业于陕西理工大学,工程师,现主要从事钻井液现场技术服务及室内研究工作。