

# 硅酸盐聚乙烯醇冲洗液在新疆 砂岩性铀矿钻探中的应用

刘维鹏, 许青海, 白宝云

(青海省核工业地质局第一地质矿产勘查大队, 青海 西宁 810016)

**摘要:**分析并研究了硅酸盐聚合物冲洗液体系的作用机理, 配制了一套专门针对砂岩性铀矿岩心钻探中复杂地层孔段长、极易引发多种孔内事故的冲洗液体系。生产实践证明, 该冲洗液体系完全能够满足绳索取心钻进工艺各项性能要求, 并在对付砂岩性复杂地层方面具有良好的效果。

**关键词:**砂岩性铀矿; 复杂地层; 硅酸盐聚合醇冲洗液; 防坍; 堵漏

**中图分类号:**P634.6 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2012)07-0021-03

**Application of Silicate Polyvinyl Alcohol Washing Fluid in Sandstone Uranium Deposit Drilling in Xinjiang/LIU Wei-peng, XU Qing-hai, BAI Bao-yun (No. 1 Geology and Mines Investigation Brigade of Qinghai Geology Survey of Nuclear Industry, Xining Qinghai 810016, China)**

**Abstract:** Analysis was made on the mechanism of silicate polymer washing fluid system, a set of washing fluids especially for long borehole section with hidden downhole accidents in core drilling of sandstone uranium deposit. The practice shows that this washing fluid system can satisfy all requirements of wire-line coring drilling technologies and has good effects in dealing with complex sandstone formations.

**Key words:** sandstone uranium deposit; complex formation; silicate polyvinyl alcohol washing fluid; collapsing prevention; sealing

## 0 引言

20 世纪 30 年代初, 在钻遇极不稳定的泥页岩地层时就会用水溶性硅酸盐作为冲洗液处理剂, 对粘土具有显著的抑制性。但是, 由于对其流变性难以用常规降粘剂来控制, 多年来一直未能推广应用。直到 80 年代后期, 美国杜邦公司在 Texas 油田应用硅酸盐聚合物泥浆成功地钻成一批石油钻井, 较好地解决了该油田裂缝性地层泥浆漏失问题, 而且储层保护效果良好。此后美孚公司、苏格兰 BW 泥浆公司等一些公司重新对硅酸盐基冲洗液体系进行研究和应用, 并在石油钻井过程中解决了大段泥岩垮塌和卡钻等钻探问题。我国从 1998 年开始研究和应用该冲洗液体系, 从现场应用表明, 该冲洗液体系性能稳定、成本低, 解决了钻探中存在的井壁垮塌和微裂缝漏失等问题。

我队在 2010 年承接了新疆某砂岩型铀矿区的钻探施工任务, 根据以往的施工情况分析, 该地区的地质条件复杂, 钻遇的地层主要以泥质胶结砂岩、松散砂岩、砂砾岩、泥岩、煤等组成。由于该区地层松

散, 套管无法稳定地“坐”在岩层上, 加上钻孔裸眼孔段较长, 以及局部地层的破裂压力低, 因此导致了在钻孔中出现多层负压性孔隙漏失事故, 并次生地因漏失事故而引发大坍塌事故, 导致频频的卡钻、埋钻等事故, 以至钻孔成孔率低、报废孔占整个矿区施工钻孔的 50% 以上, 从而严重影响了该矿区的铀矿勘探工作。

## 1 矿区地质条件及难点分析

### 1.1 地质条件及其分析

矿区内总体构造线近东西向, 以断裂构造为主, 褶皱不发育。勘探区位于盆地向斜构造北翼, 地层倒转北倾, 地层产状一般为  $340^{\circ} \sim 10^{\circ} \angle 55^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 。断裂构造主要表现两组斜向平移断层, 一组为北北东向, 另一组为北西西向, 形成时代为喜山晚期, 对铀矿体有一定破坏作用。整个矿区内共有 10 个铀矿化层, 其中 7 个工业铀矿层, 3 个可采煤层。钻孔主要穿越第四系、第三系科尔亚群、白垩系孤尔克苏群、侏罗系克拉苏群、三叠系小泉沟群。矿层主要分

收稿日期: 2012-04-20

作者简介: 刘维鹏(1973-), 男(汉族), 青海互助人, 青海省核工业地质局第一地质矿产勘查大队副队长, 探矿工程专业, 从事矿产勘查和开发工作, 青海省西宁市生物园区经三路 38 号, qh65203@163.com。

布在侏罗系克拉苏群铁米尔苏含铀含煤组。岩层岩性主要是砂质粘土、粘土砂质砾岩、石子质砾岩、泥岩、粉砂岩、细砂岩、煤层组成。矿层段主要分布在侏罗系克拉苏群,岩性为灰白色及灰黑色砾岩、砂岩、泥岩与煤的不等韵律互层,灰绿与深灰色砾岩、泥岩及细砂~粉砂岩不等厚韵律互层。矿区内地层普遍存在着孔隙渗透性漏失,地层多破碎、易坍塌。钻探的目的层是铀矿化层和煤层,煤层节理、微裂缝发育,胶结疏松,脆性大,容易发生破裂造成坍塌。矿层段地层水剪性强,毛细效应突出,容易吸附水。地层中的粘土、泥岩等遇水后极易产生吸水膨胀、崩塌,常造成钻孔坍塌、埋钻等事故。

## 1.2 施工难点及冲洗液要求分析

### 1.2.1 施工难点

(1)整个地层岩性松软,套管无法“坐实”在岩层上,以及裸孔段较长;

(2)钻孔钻遇的地层以砂质泥岩、泥质胶结的砂岩和砾岩为主,在冲洗液的冲刷和浸泡作用下,地层中泥质部分的水化膨胀造成地层破裂压力下降,从而引发漏失和孔壁坍塌等现象;

(3)由于裸眼孔段的增长,致使其被浸泡时间增长,起下钻次数增多,对孔壁碰撞、抽吸的机率增多,造成井壁垮塌的因素增多;

(4)由于地质构造破坏影响,导致孔斜度的控制难度大,孔内极易形成“大肚子”和局部岩屑堆集(岩屑床),容易引发卡钻、埋钻等孔内事故;

(5)裸眼孔段的增长,致使地层渗透性漏失量加大,冲洗液消耗量剧增,导致冲洗液成本与钻井综合效益最大化之间存在矛盾。

### 1.2.2 对冲洗液的要求

基于上述客观因素,要想快速安全地钻进,这给冲洗液技术提出了更高的要求。要求冲洗液具有良好的排粉、低滤失量,更主要的是具有对孔壁的固结性能,拓宽钻孔孔壁的承压能力。因此冲洗液需要从以下几个方面进行考虑:

(1)冲洗液具有很强的抑制、防塌能力,保证长裸孔段多套岩性地层的孔壁稳定;

(2)要求冲洗液具有良好的流变性能,具有很强的携砂、悬浮能力,保证孔内干净以及避免“岩屑床”的形成,避免卡钻、埋钻事故的发生;

(3)冲洗液具有良好的造壁性能、润滑性,提高地层的破裂压力,减少非正常漏失和坍塌;

(4)冲洗液具有尽可能低的粘度和切力,以利于绳索取心钻具提高机械转速,缩短单个钻孔施工

周期。

## 2 冲洗液技术解决方案及其分析

通过以上难点分析,为满足钻孔施工的要求,冲洗液设计时,要从体系优选到处理剂复配、参数优化、成本控制等诸方面考虑,进行科学分析,做到“速度-安全-效益”一体化。

为了稳定松散弱胶结地层,通常的处理方法是要求冲洗液液柱压力过平衡以提供有效径向应力支撑。但是,冲洗液液柱的过平衡会导致冲洗液滤液的侵入,侵入地层的滤液引起胶结物(泥质)水化,产生水化膨胀作用,引起岩石强度的降低;另一方面,滤液侵入使接近孔壁内孔隙压力的提高,从而消除泥浆柱的有效应力支撑,只要原地应力超过岩石强度,就会导致岩层的塑性变形和孔壁失衡。根据以上分析可知,增加滤液粘度、降低岩层的渗透率,用有效渗透压力产生的反向流动抵消压差产生的滤液侵入等途径均可以减少滤液侵入,从而达到孔壁稳定。通过分析研究,硅酸盐聚合物冲洗液体系能较好地满足长裸孔段、不同岩性对泥浆性能的要求,同时能够增加孔壁承载压力,拓宽整体钻孔稳定性。

### 2.1 硅酸盐聚乙稀醇冲洗液作用机理研究

#### 2.1.1 硅酸盐基冲洗液作用机理

当硅酸盐钻井液渗入泥页岩地层时,就会和泥岩、砂岩孔隙流体迅速作用,发生聚合和沉淀反应。硅酸盐冲洗液体系中带负电的硅酸盐聚集体很小,足以因扩散和水力流动而进入岩层孔隙中,当这些聚集体进入孔隙水 pH 值接近中性的岩层后,会克服凝聚而形成三维网状凝胶结构,同时地层水中的多价金属离子( $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ )会快速与这些聚集体反应生成不溶沉淀物:(1)它们可提供进一步阻止滤液侵入和压力传递的物理屏障,胶凝(沉淀)过程发生非常迅速并在显著的滤失和压力侵入发生前就可完成;(2)它们可提高泥页岩膜的效能,便可以通过控制钻孔内液柱压力和冲洗液的活度来控制地层的水向钻孔内流动,防止泥岩水化、膨胀和分散,有利于孔壁稳定。同时据相关文献报道,高岭石与 5% 的硅酸钠在 80℃ 下反应 50 天,高岭土大部分消失,有沸石等新矿生成。将高岭石浸泡于模数为 2.83、浓度为 3% 和 5% 的硅酸钾溶液中一周时间,维持温度为 150℃,X-射线衍射分析结果表明,高岭石和石英含量减少了一半左右,生成了一种非晶质的连接非常致密的新矿物,这种新矿物的剪切强度达 6 MPa。这就类似于水泥浆体凝固过程中其矿物成分

先溶解、析出胶体沉淀、再慢慢结合成大块水泥石的作用。

### 2.1.2 防塌和封堵作用机理

硅酸盐能够与粘土表面以及岩层孔隙中流体的钙镁离子发生胶凝反应,在一定冲洗液压力差作用下,形成沉淀并牢固地覆盖在井壁上,从而堵塞地层孔隙,阻止冲洗液滤液进入地层,起到防塌作用。同时,这种作用还解决了由地层微裂缝或高渗透造成的冲洗液漏失问题。有的文献还认为,硅酸盐胶体沉淀还对地层起到半透膜的作用,可以降低孔壁周围地层水的活性和孔隙压力,从而有效地解决泥页岩垮塌问题。

### 2.1.3 无机盐的协同稳定井壁作用

在硅酸盐冲洗液体系配合加入高浓度氯化钠或氯化钾,这些无机盐本身具有抑制泥岩或泥质中粘土矿物渗透水化的作用。冲洗液中加入的 NaCl、KCl 是形成硅酸盐沉淀的催化剂,因为 NaCl、KCl 中的  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  离子可以置换页岩表面上的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  离子,促进硅酸盐沉淀的生成,从而协同硅酸盐稳定孔壁。

### 2.1.4 聚乙稀醇作用机理理论研究

聚乙烯醇(PVA)是一种低聚合度的聚合物,其侧链上含有大量的羟基,容易与水分子形成氢键,并且没有明显的选择性。PVA 聚合度较低,分子量在 2.5~3.5 万之间,分子链较短,向界面上的吸附点多,表现为链的吸附,吸附牢固,吸附形态是平躺式的。这种形态的吸附成膜速度快,能形成强韧耐撕裂的透明塑料膜,表面活性大,分散能力强。同时当 PVA 与无机盐交联后所形成的交联物可以进入岩石的孔隙后进行渗析胶结,从而堵塞渗漏通道。

硅酸盐聚乙稀醇冲洗液液中的两种主要处理剂(硅酸盐和聚乙稀醇)能够分别进行作用,二者相互作用的不利影响小,硅酸钾聚乙稀醇形成的泥皮结构较硅酸钾钻井液和聚乙稀醇钻井液相比均有差异,是硅酸钾钻井液和聚合物冲洗液泥皮结构的复合,主要表现在硅酸钾聚乙稀醇冲洗液泥饼表面片状膜结构伸展性好且连接性紧密,断面较紧凑且均匀。

## 2.2 硅酸盐聚合物冲洗液室内试验

依据冲洗液技术方案设计的要点,针对矿区的地质特点,结合施工的实际情况,在室内优选与硅酸盐配伍的处理剂,优化处理剂加量,调整冲洗液的性能参数。经过室内反复实验论证,最终确定适合该矿区的最优化冲洗液配方及性能参数。最优配方为(质量比):1% NaOH,3% SM-2 型植物胶,

10% 硅酸钠,7% KCl,3% 聚乙烯醇,1% K-PAM。性能参数为:密度  $1.02 \text{ g/cm}^3$ ,表观粘度  $30 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ ,动切力 6 Pa,API 漏失量  $6 \text{ mL}/30 \text{ min}$ ,pH 值 11,泥饼厚度 0.5 mm,胶体率 100%。

## 2.3 冲洗液配制及维护

在使用硅酸盐聚合物冲洗液体系时,应特别关注以下几个方面。

(1)冲洗液配制按配方严格进行,并按照各冲洗液添加剂的性能按顺序进行添加,并且进行充分搅拌。

(2)实际应用中,新配制的冲洗液具有相对较高的滤失量,但随着部分钻屑的进入,钻进一段进尺后其滤失量会降下来。

(3)由于硅酸基冲洗液的抑制性很强,钻屑对流动变性的影响似乎不大。钻井液的粘度几乎完全由所使用聚合物的浓度来获得。

(4)硅酸盐基冲洗液具有很强的抑制性使返出的钻屑可保持其完整性。这将导致产生较大的钻屑,因而需要比通常情况下更高的动切力和低剪速率粘度值,以确保孔内钻屑的及时排除。

(5)在钻进过程中,对冲洗液性能及时观察,及时调整冲洗液性能或补充新的冲洗液,以保证孔内冲洗液的性能稳定。

## 3 现场应用效果对比

2010 年度,我队在该矿区施工钻孔 30 个,完成工作量 10201.16 m,其中包含 1 个水文孔和 1 个物探参数孔,报废 1 个钻孔工作量为 226.65 m(因冲洗液原因造成孔内岩粉堆集,发生埋钻事故)。现场施工采用不同冲洗液体系,效果分析见表 1。

## 4 结论

(1)硅酸盐聚合醇冲洗液是一种新型冲洗液体系,它具有强抑制性、性能稳定、现场配制简便,容易维护等特点。

(2)该冲洗液体系可以满足强水化分散泥岩以及地层中泥质胶结钻孔的需要,同时能够增加钻孔孔壁的承载能力,使孔壁稳定性大大提高,其稳定孔壁的能力明显优于其它冲洗液体系。

(3)该体系在现场的成功应用,表明采用硅酸盐聚合醇冲洗液体系能够有效地解决砂岩性铀矿区遇到的长孔段松散砂岩,同时增加孔壁的地层破裂压力,预防了人为性渗漏现象。

(下转第 27 页)

至预定孔深后,返开提上钻杆,易出现钻杆不能从底部返开的情况。本孔采用在技术套管顶部大小头连接器上安置一根长8 m的 $\text{Ø}177.8$  mm石油套管,并在套管顶部安置一与钻杆丝扣连接的装置,待技术套管放置预定孔深后往孔内投适量小石子就能固定死下部技术套管,并轻松返开钻杆与技术套管的丝扣连接。

(4)固井止水质量好。下管、固井均严格按照程序实施,计算准确,保证了固井质量。

(5)洗井效果好。在钻进过程中注重基础工作,记录准确,洗井的前期工作细致、周密。该井除了进行了高压冲孔、大风力压风机振抽到水清砂尽并用热水泵振抽,在洗井过程中还采用大降深热水泵方法的联合洗井,达到很好的效果。水温、水量均达到了设计要求。

通过以上措施,该缩径软层地热深井施工各方面均达到了设计要求,工程质量优良。该井从开钻至终孔历时80 d,钻进1800.23 m,该井为曹妃甸第一口热水井,动水位32.44 m,静水位10.42 m,降深22.02 m,水量81.16  $\text{m}^3/\text{h}$ ,单位涌水量3.633  $\text{m}^3/$

h,水温71.5  $^{\circ}\text{C}$ ,属热水型低温地热资源。

## 7 结语

本眼地热井的成功最主要的是取决于科学合理的设计思路,钻探施工中遇到软缩岩土层与松散砂层情况是经常性的,在这样的地层中施工没有必要谈之色变,只要我们遵循科学的规律,分析借鉴制定科学的预案,加之施工流程中的严格控制,就会降低在此类地层中的施工风险,取得好的经济效益。

## 参考文献:

- [1] 黄汉仁,杨坤鹏,罗平亚. 泥浆工艺原理[M]. 北京:石油工业出版社,1984.
- [2] 鄢泰宁,孙友宏,彭振斌. 岩土钻掘工程学[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社,2001.
- [3] 吴隆杰,杨凤霞. 钻井液处理剂胶体化学原理[M]. 四川成都:成都科技大学出版社,1992.
- [4] 崔杰,赵金海,等. 井壁稳定性分析及应用[J]. 石油工业技术,2009,7(1):16-20.
- [5] 李炎军,萧林,等. 井壁稳定技术在涠洲11-1油田的应用[J]. 石油钻采工艺,1999,9(6):19-21.

(上接第23页)

表1 不同冲洗液体系效果分析

孔号	冲洗液配方(质量比)	性能参数	使用效果对比
ZK5810	1% NaOH + 0.3% SM-2型植物胶 + 10% 硅酸钠 + 7% KCl + 3% 聚乙烯醇	漏失量:6 mL/30 min; pH值:11;泥饼厚度: 0.5 mm	钻进至369.82 m处时发生一次轻微埋钻事故,在257.8、286.9、321 m处发生大漏失经堵漏处理后未发生漏失,终孔孔深422.78 m
ZK5809	0.5% SM-2型植物胶 + 1% 广谱护壁剂 + 0.1% 高粘防塌剂	漏失量:12 mL/30 min; 泥饼厚度:0.5 mm	全孔未见大的漏失,但是每班的冲洗液消耗量在2 $\text{m}^3$ 左右(主要是冲洗液性能变化过大的同时存在渗漏现象)。在86.23 m处发生埋钻事故经处理后正常钻进,终孔孔深418.73 m
ZK9202	0.8% 膨润土 + 0.5% SM-2型植物胶 + 1% 广谱护壁剂 + 0.1% PHP	密率:1.1 $\text{g}/\text{cm}^3$ ;漏失量:15 mL/30 min;泥饼厚度:1 mm	钻进过程中,经常出现轻微埋钻、回转阻力大等现象,在46.75 m处发生中等漏失,经处理后有少量渗漏,全孔泥浆消耗量大。钻进至226.65 m处发生严重埋钻现象,导致钻孔报废

(4)通过现场的使用,硅酸盐聚合醇冲洗液体系需要更进一步对处理剂配比及现场维护方法进行研究,使硅酸盐基冲洗液体系更加完善,得到推广应用。建议进一步从硅酸盐的微观结构入手研究其防塌机理,不同速度的剪切作用下、不同的组成成分、不同的温度和压力下硅酸盐的微观结构、粒径分布以及防塌效果,以便更好的应用到构造破碎、问题严重的泥页岩地层中。

## 参考文献:

- [1] 王荣杰. 硅酸钾聚合醇膜结构封堵型水基钻井液技术及作用机理研究[D]. 四川成都:西南石油大学,2006.

- [2] 梁大川,蒲晓林. 硅酸盐抑制性及稳定井壁机理探讨[J]. 钻采工艺,2005,(6).
- [3] 梁大川. 硅酸盐钻井液稳定井壁机理分析[J]. 西南石油学院学报,1998,(2).
- [4] 陈仲银. 对聚硅酸盐体系的认识及其在姬源油田水平井钻探中的应用[J]. 内蒙古石油化工,2010,(12).
- [5] 张海青. 硅酸盐钻井液防塌性能试验研究[D]. 吉林长春:吉林大学,2004.
- [6] 刘选朋,郑秀华,王志民,等. 硅酸盐防塌泥浆研究及其在碳质泥岩钻探中的应用[J]. 地质与勘探,2010,(5).
- [7] 万绪新,苏辉,王爱民,等. 硅酸盐聚合物泥浆在诸参1井中的应用[J]. 石油钻探技术,1999,(6).
- [8] 康少伟. 硅酸盐钻井液体系研究与应用[D]. 黑龙江大庆:东北石油大学,2010.