

青海野马泉矿区地层破碎程度评价及钻井液体系研究

刘鹏¹, 王道宽², 乌效鸣², 赵珊珊²

(1. 青海省第二地质矿产勘查院, 青海 西宁 810001; 2. 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:为了评价和分析青海野马泉矿区地层的破碎情况,提出了破碎比表面、破碎块度、岩石空隙率、岩石崩解率、岩石完整性系数、岩石抗压强度6个破碎程度的评价指标,运用模糊数学评价体系并结合岩石破碎程度指标建立了破碎地层的分类标准,结合野马泉矿区钻探现场,将破碎地层分为了5类。对于破碎地层研究出具有针对性的钻井液体系。

关键词:破碎地层;破碎程度;评价体系;钻井液;野马泉矿区

中图分类号:P634 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2013)11-0005-05

Evaluation on Stratum Fragmentized Degree and Study on Drilling Fluid System for Yemaquan Mining Area of Qinghai/LIU Peng¹, WANG Dao-kuan², WU Xiao-ming², ZHAO Shan-shan² (1. No.2 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources of Qinghai Province, Xining Qinghai 810001, China; 2. Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: In order to evaluate and analyze the stratum fragmentizing situation in Yemaquan mining area of Qinghai, 6 evaluation indexes are put forward: broken specific surface, broken block, porosity of rocks, rock disintegration rate, coefficient of rock integrity, compressive strength of rock. The fragmentized stratum classification standard is established by using fuzzy mathematical evaluation system and combining with rock fragmentized degree index; and combined with the drilling site situation of Yemaquan mining area, the fragmentized stratum is divided into 5 categories. A targeted drilling fluid system is studied out for fragmentizing stratum.

Key words: stratum fragmentation; fragmentized degree; evaluation system; drilling fluid; Yemaquan mining area

0 引言

近年来,随着地质找矿的深入,在青海野马泉矿区深孔钻遇的复杂地层越来越多,其主要特征是普遍存在巨厚的砂砾石覆盖层、氧化蚀变强烈的破碎带、碎屑岩化的构造岩,以及泥炭质软弱夹层等松散或水敏强烈的地层。野马泉矿区是青海省整装勘查矿区重点勘查区之一。该区的复杂地层在青海海西地区具有很好的代表性,研究这类地层在钻探生产过程中的稳定性对于海西地区的地质找矿目标实现具有重要意义。

调查表明,在野马泉整装勘查矿区进行钻探施工的单位,普遍存在由于钻井液的使用不当,致使部分水敏性地层变得松散破碎,进而导致钻进难以继续。在该类地层中钻进,突出问题之一是钻孔井壁遇水松散、掉块,甚至垮孔。因此,为预防孔壁坍塌、维护孔壁稳定,需对该区的地层松散破碎程度进行评价,并研究出相应的钻井液体系是解决这一问题的前提。采用模糊评价体系评价地层的破碎程度,

对高粘泥浆护壁机理进行分析,建立临界模型,然后得出适应该地区的钻井液体系。

1 野马泉矿区地层破碎程度评价

青海野马泉矿区松散破碎地层是受构造动力作用形成的。在钻进过程中,地层失去了原有的压力平衡,使地层内部的压应力向破碎、脆弱的位置集中,地层内应力和钻进过程中的动力作用使地层发生蠕变和疲劳破坏。同时,钻洗液中的自由水向地层内部渗透,在水化膨胀和降低软弱结构面摩擦阻力作用下,破碎地层极易向孔内垮塌。

1.1 破碎程度模糊评价体系建立

岩体破碎程度的影响因素很多,但是最基本的因素有岩体单轴抗压强度、岩体结构面、裂隙面充填和胶结情况、岩石质量、水的作用及其他综合因素。目前破碎地层的破碎程度分类方法还研究的很少,而且大部分是定性分类。本文在考虑破碎地层存在的大量不确定性和模糊因数的基础上,将模糊数

收稿日期:2013-05-18; 修回日期:2013-10-03

基金项目:青海省地质勘查基金项目“青海省地质找矿复杂地层中的钻探技术研究”

作者简介:刘鹏(1972-)男(汉族),青海人,青海省第二地质矿产勘查院院长兼青海省岩心钻探工程技术研究中心主任、工程师、注册安全工程师,探矿工程专业,从事探矿工程技术管理与服务工作,青海省西宁市朝阳西路43号,1975235388@qq.com。

学方法引入青海野马泉矿区破碎地层破碎程度分类中,实现松散地层的破碎程度的定量评价。

1.2 模糊综合评判原理

自从1965年Zadeh提出模糊集合概念以来,模糊数学被广泛的应用于社会科学和自然科学的各个领域。模糊数学以隶属函数形式,表现了事物具有某种属性的程度,从而使一些内涵不是很分明的概念得以表示。设定2个论域:

$$\begin{cases} U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\} \\ V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\} \end{cases} \quad (1)$$

式中: U ——综合评判的因素所组成的集合; V ——决策评语所组成的集合。

有 m 个考虑因素的评判就构成总的评判矩阵 R , R 是考虑因素论域 U 到决策论域 V 的一个模糊关系。在所考虑的因素之间,各个因素在决策中所起的作用是不同的,于是定义一个权重 ω' , ω' 称为 U 的因素重要度模糊子集。当模糊子集 ω' 和模糊矩阵 R 已知时,即可作模糊变换进行综合评判:

$$B = \omega' R = (b_1, b_2, \dots, b_n) \quad (2)$$

式中: $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ 称为决策评语集上 V 的等级模糊子集,则可根据最大隶属原则确定其类别。

确定模糊关系的一个关键环节是确定单因素的隶属度函数,建立隶属度函数既要反映客观实际情况,又要简便可行。一般而言,隶属度函数 $u_{ij}(x_j)$ 满足 $u_{ij}(x_j) = 1$,而当 x_i 远离 r_{ij} 时,函数值应变小。因此,岩体各评价因素对破碎程度级别隶属函数取正态模型时为:

$$u_x = e^{-((x-x_0)/c)^2} \quad (3)$$

如果给定 x 的划分区间,则 $x = x_0$, $u(x_0) = 1$, x_0 即为所属区间的平均值。

1.3 破碎程度评价指标

破碎性地层是由弱胶结,甚至无胶结的破碎体与结构面构成。破碎体的几何形态,如形状、大小、排列方式、胶结类型、胶结物性质等将影响破碎性地层的井壁稳定性。本文结合破碎性地层与井壁稳定性的相关性提出了6个评价指标,也就是模糊评价体系中影响破碎程度的指标,通过评价指标的分析,将有助于分析地层的破碎程度,有助于针对性地提出稳定井壁的技术措施,从而维护钻进的顺利进行。

这6个评价指标是:破碎比表面(S)、破碎块度(ρ_v)、岩石空隙率(n)、岩石崩解性(I_d)、岩体完整性系数(K_v)和岩石抗压强度(σ_c)

其中岩石的崩解性是指岩石被水浸泡后失去粘结性,变成完全失去强度的松散破碎的性能。这种

现象是由于水化过程削弱了岩石内部的结构连接引起的,常常见于松散破碎的地层,如氧化破碎带。岩石的崩解性一般用岩石的崩解性指数表示,这个指标可以通过岩石实验室内对岩石试件进行烘干、浸水循环试验确定。崩解性指数(I_d):

$$I_d = m_r / m_s \quad (4)$$

式中: m_r ——实验前岩块的烘干质量; m_s ——浸泡后岩石的残余烘干质量。

岩体完整性系数是指岩体声波速度与岩石声波速度的比值,反映了岩石的总体完整情况。岩体完整性系数 K_v :

$$K_v = v_l / v_s \quad (5)$$

式中: v_l ——岩体声波速度; v_s ——岩石声波速度。

1.4 松散破碎程度模糊评价

根据模糊数学相关理论和6个指标,可以得出松散破碎地层的破碎程度模数函数:

$$u = \{\rho_v, \sigma_c, K_v, I_d, F\} \quad (6)$$

式中: ρ_v ——岩石的破碎块度; σ_c ——岩体的单轴抗压强度; K_v ——岩体的完整性系数; I_d ——岩体的崩解性指数; F ——岩体的裂隙面发育程度。

而松散破碎性分类等级不失一般性,可分为5级:Ⅰ—完整;Ⅱ—较完整;Ⅲ—中等破碎;Ⅳ—破碎;Ⅴ—极破碎。

岩石松散破碎分类指标如表1所示。

表1 岩石松散破碎分类指标值划分

级别	ρ_v	σ_c	K_v	I_d
I	>0.90	>50	>0.90	>0.80
II	0.75~0.90	20~50	0.75~0.90	0.65~0.80
III	0.50~0.75	8~20	0.45~0.75	0.55~0.65
IV	0.25~0.50	1~8	0.20~0.45	0.40~0.55
V	0.00~0.25	<1	0.00~0.20	0.00~0.40

对于裂隙面的情况,只能通过模糊性的定性语言进行描述。根据岩体力学基本理论,岩体裂隙充填与发育情况,按照其与岩体的破碎程度的联系可分4种情况:裂隙不发育或裂隙虽然发育但是充填胶结较好;裂隙发育但大多数被充填胶结;裂隙发育但只有少数被充填;裂隙很发育且没有充填。

图1是青海野马泉矿区岩心样,代表着该孔5类不同破碎程度的主要类型,分别对应表中的Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ和Ⅴ型破碎地层。

野马泉复杂地层课题组在野马泉矿区所收集的岩样中,对筛选出符合测试要求的岩样(共3种),进行了力学特性测定试验。所选样品详细信息及编号如表2。

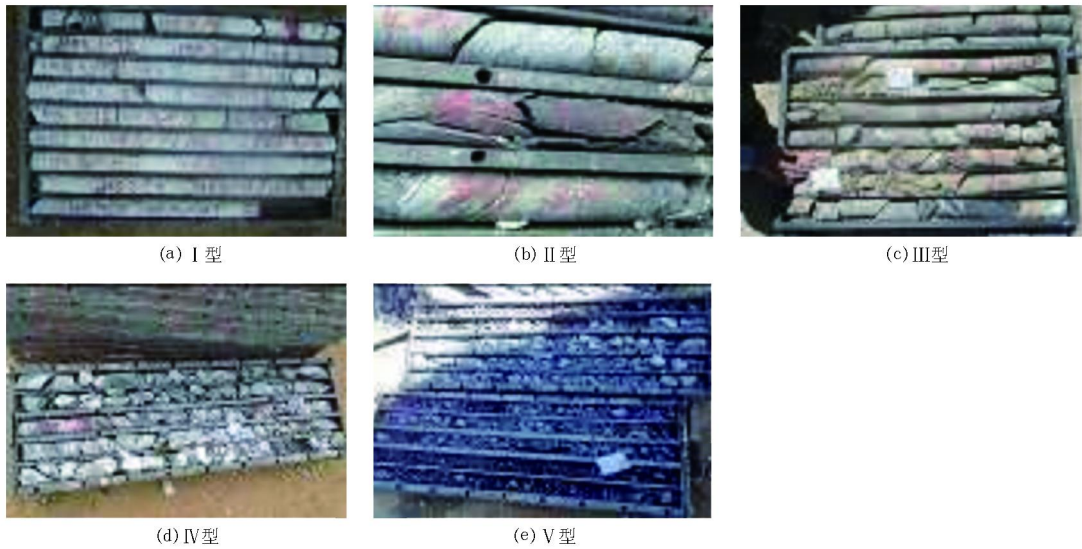


图1 青海野马泉矿区不同地层岩心

表2 力学特性实验岩石样品编号

孔号	岩性描述	深度/m
ZK5653	裂隙花岗岩	70
ZK10425	碳质灰岩	196
ZK6465	砂卡岩化大理岩	56

测试时,主要着重岩石的单轴抗压强度数据。实验测试方法:首先对岩样的尺寸进行测量,然后用微型压力试验机(其测力范围为0~4000 kgf)对岩样进行单轴抗压强度测试,数据如表3所示。

表3 岩样单轴抗压强度测试数据

测试项目	受力面积/cm ²	高度/cm	质量/g	抗压强度/MPa
1号	1.55	0.40	1.21	9.82
2号	1.56	0.50	1.50	8.93
3号	1.44	0.40	1.05	24.58

常规岩石的单轴抗压强度一般在20~200 MPa之间,而该区块的岩样强度仅有1~25 MPa,属于强度较低的岩类。同时通过锤击和手轻轻搓碾可发现岩样极易破碎,如图2所示。用锤轻轻敲击破碎后直接产生粒径在0.005~0.05 mm的一定量的细小颗粒,大颗粒基本可用手捏成粉末,这也从另一个角度说明岩石很不完整,完整系数很小。表明该层位岩石结构疏松,胶结差。

从现场取的岩样实验测定其 K_v 在0.20~0.45之间,现场观察可以知道野马泉地区地层普遍裂隙发育,而且矿区内由于构造活动强烈,部分岩层严重破碎,构造带氧化蚀变强烈,较完整层段裂隙从较发育~很发育,裂隙中常见绿泥石、滑石、高岭土等填充物;部分泥炭质灰岩的碳泥质含量较高,遇水后易溶蚀、原结构易破坏并变得松散,岩心多数严重破碎;

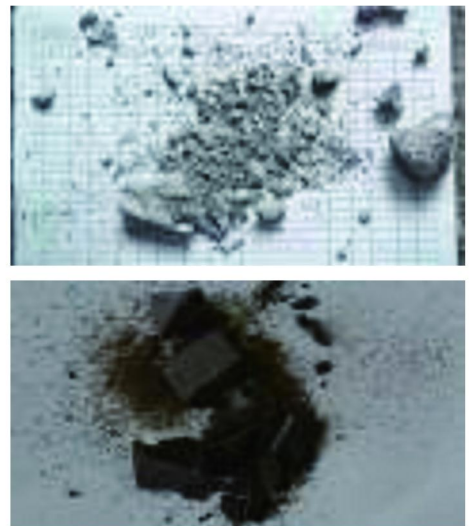


图2 锤击后的蚀变花岗岩岩石样品照片

此外,调查中也发现部分碳酸盐岩存在较大裂隙和溶洞现象。

从而我们可以评价野马泉矿区地层破碎程度大部分属于IV型,在严重的地方达到了V型,这也就要求在开始钻进时候就要严格的观察,同时对钻井液体系提出了更高的要求,现场也急需一种有效的钻井液体系,来保证钻进安全、质量和效率。

2 泥浆体系的建立和现场试验

对于野马泉矿区松散破碎地层的特点分析,该类地层失稳破坏的主要原因是:地层较破碎、岩石之间缺少胶结、岩石强度较低、地层压力较大等。因此钻井液在松散地层的护壁时要重点考虑泥浆的粘度和比重,采用“两高一低”的泥浆护壁原则,即采用

高粘度、高比重、低降失水的泥浆配方材料。

2.1 护壁泥浆临界模型

钻井液的粘性是防治松散破碎地层的重要性能之一。粘稠的浆液可以在一定范围内有效地将井壁散体加以粘结,提高井壁的强度和稳定性。由于地层易塌性不同,所需泥浆粘度也相应不同。高粘泥浆钻井液对于松散破碎地层的护壁机理主要表现为4个作用:(1)“包被”作用;(2)护胶作用;(3)封堵作用;(4)粘结作用。

对于有一定胶结程度的破碎岩石,根据实际工程经验数据统计和在井壁稳定方面的力学实验与分析可以认识到:所需泥浆的粘度(表观粘度)与该类地层样品的单轴抗压强度之间存在对应关系。由此建立经验关系模型如下:

$$\eta_A = 0.4\sigma^2 - 6.4\sigma + 40 \quad (8)$$

式中: η_A ——所需的泥浆表观粘度, $\text{mPa} \cdot \text{s}$; σ ——样品抗压强度, MPa 。假设泥浆压力与地层压力相近。

式8所反映的规律如图3所示。它表明钻进破碎地层的强度越小即易塌性越大,所需的泥浆粘度就要越高;反之当地层强度较高即易塌性较低时,很稀的钻井液甚至清水即能维持井壁稳定。

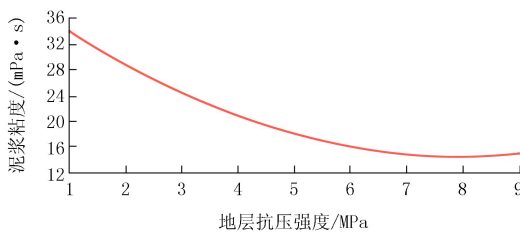


图3 泥浆粘度与地层抗压强度的关系

2.2 控失水抑制性低固相泥浆体系研制

根据对青海野马泉矿区地层破碎程度的评价,还有泥浆粘度和地层强度关系,对于青海野马泉地区泥浆一般需要的粘度在 $20 \sim 30 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 之间,在遇到很破碎的地层时泥浆粘度需要达到 $30 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 以上,失水量要小,泥浆悬浮钻屑能力好。

复配钻井液体系的主要材料:LG 植物胶, Na - CMC;改性淀粉(DFD)。

根据现场试验和实验室的实验,实验优选了如下4种钻井液强抑制性钻井液配方:

(1)基浆 + 2.0% DFD + 2% LG + 0.5% CMC。

(2)基浆 + 2.0% DFD + 2% LG + 0.5% CMC + 2% FT - 342。

(3)基浆 + 1.0% DFD + 2% LG + 0.5% CMC + 1.0% SMP + 0.25% FIA - 368。

(4)基浆 + 2.0% DFD + 2% LG + 0.5% CMC + 1.0% SMP。

其中基浆是6%膨润土配制的泥浆, FT - 342是防塌润滑剂,沥青经发烟硫酸或三氧化硫进行磺化后,再水解制得的产品; FIA - 368是两性离子包被剂,是在分子中引入阳离子基团的线型大分子聚合物,主要起抑制岩屑分散和增加钻井液粘度的作用; SMP是磺甲基酚醛树脂,与磺化褐煤、腐植酸钾、铁铬盐等复配使用,效果尤为明显。

4种配方性能测试数据如表4所示。

表4 控失水抑制性钻井液优选配方测试数据

编号	pH 值	视粘度 η_A / ($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	塑性粘度 η_p / ($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	动塑比 τ_d/Pa	失水量 FL/mL
1	9	22.6	15.2	7.4	7.4
2	9.5	26.3	19.1	7.2	7.6
3	8.5	31	25	6	7.4
4	9	24	19	5	5.6

表4中的实验数据表明:该钻井液体系的失水量控制很好,该配方形成的钻井液动切力值在 $5 \sim 7.4 \text{ Pa}$ 之间可调,能够满足携带岩屑和沉淀岩屑的要求。

正常钻进时,可以采用配方1和配方2,其流动性好、携砂能力较强;当遇到较松散水敏性地层时,采用3配方,利用 FIA - 368的包被作用来抑制粘土分散。

2.3 现场试验

现场我们对某事故频发的钻孔进行了事故原因分析,钻孔事故原因如下。

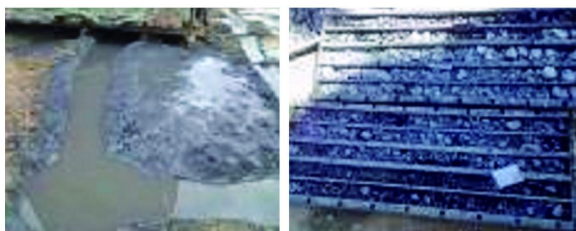
(1)地层复杂。覆盖层主要为第四系风积砂土,松散易塌;90 m以浅主要为砂砾石、卵砾石、漂石等,松散易塌;90.0 ~ 95.0 m整体表现不稳定,易掉块漏水,主要是风化基岩层,由花岗岩、花岗闪长岩、大理岩、矽卡岩等组成,裂隙发育,易漏失、掉块,透水性强;孔深140.0 ~ 170.0 m之间糜棱岩化碳质灰岩、碎屑构造破碎带;在298.0 ~ 357 m,主要岩石类型为泥碳质灰岩,断层碎屑、断层泥。由于之前使用泥浆粘度、失水量等性能指标不当,导致孔壁极易坍塌,卡钻、埋钻、孔内掉块频繁,下钻困难。钻进至410.0 m,由于孔内事故频发,无法继续向下钻进,孔位右偏3 ~ 4 m后,重新开孔。

(2)泥浆使用不当。60 m以浅采用泥浆配方:土基泥浆,12%膨润土 + 0.5% NaOH;孔内仍有轻微掉块、微坍塌现象;NQ钻进时采用泥浆配方:简单无固相,1% ~ 3% K21 防塌剂 + 0.5% PHP + 0.15%

~0.2% M - CMC, 上部轻微坍塌、掉块等事故现象在破碎带变得越发严重, 311.0 ~ 320.0 m 出现塌孔、下钻困难等钻进事故。现场泥浆性能测试(野马泉矿区 ZK10425 号失败孔) 实验数据为: 泥浆配方采用防塌剂 + 聚丙烯酰胺 + 纤维素, 密度 1.07 g/cm^3 , pH 值 8.0, $\theta_{600} = 14.5$, $\theta_{300} = 8.5$, 视粘度 $\eta_A = 7.25 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, 塑性粘度 $\eta_P = 6.00 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, 动塑比 $\tau_d = 1.28 \text{ Pa}$, 失水量 FL 全漏失。

该钻孔在 90 ~ 95、140 ~ 170、298 ~ 311 m 之间存在 3 层破碎带, 氧化蚀变强烈, 断层泥胶结强度不够, 排列疏松, 整体表现不稳定。使用聚丙烯酰胺 + 纤维素的无固相泥浆, 孔内一直存在掉块、轻微坍塌现象。事实和检测情况表明无固相泥浆不适合该地层, 且现场使用的泥浆粘度过低, 失水量太大, 悬渣能力不够。

在失败的钻孔右偏 3 ~ 4 m 重新钻了一个钻孔, 在该钻孔开始的时候就按提供的配方来使用泥浆, 该钻孔的地质条件基本和原来的一样, 原来的钻孔在前期为了效率一直没有认真使用泥浆, 导致最佳的预防机会被耽误, 在 90 m 以浅使用配方 2, 90 m 以深使用配方 3, 移孔前后泥浆和取岩心情况见图 4。



(a) 前期泥浆使用情况和岩心



(b) 移孔后泥浆使用情况和岩心

图 4 移孔前后泥浆使用情况和岩心取样对比

从表 4 和表 5 对比可以看出, 使用的新泥浆体

系的性能比前面失败孔使用的泥浆性能优越很多, 从图 4 可以清楚看到泥浆的差别, 前面失败的钻孔使用的泥浆流动性、悬渣、粘度、胶结、护壁性能都很差, 从实际使用的效果看, 新的泥浆体系很好地预防了在破碎水敏地层中钻孔的坍塌、掉块、垮孔等事故, 取得了比较好的效果。

3 结论

(1) 结合破碎性地层与井壁稳定性的相关性提出了 6 个评价指标, 在考虑破碎地层存在的大量的不确定性和模糊因数的基础上, 将模糊数学方法引入青海野马泉矿区松散地层松散破碎程度分类中, 实现松散地层的破碎程度的定量评价。

(2) 利用破碎程度的评价分析泥浆的作用, 了解高粘护壁机理, 根据现场情况和出现的问题提出新的泥浆体系, 研究出控失水抑制性低固相泥浆体系, 该钻井液体系的失水量控制好, 形成的钻井液动切力值在 5 ~ 7.4 Pa 之间可调, 能够满足携带岩屑和沉淀岩屑的要求。

(3) 具体分析了 ZK10425 钻孔 ZK10425 钻孔的事故问题根源, 在移孔重开后使用控失水抑制性低固相泥浆, 有效防止了事故的发生, 使勘探得以顺利进行。

参考文献:

- [1] 乌效鸣, 胡郁乐, 贺冰新, 等. 钻井液与岩土工程浆液[M]. 湖北武汉: 中国地质大学出版社, 2002.
- [2] 唐一元, 孙凯, 刘运荣, 等. 重新界定破碎性地层概念及其稳定性分析[J]. 内蒙古石油, 2008, (13), 146 - 148.
- [3] 蔡记华, 乌效鸣, 杨倩云, 等. LG 植物胶处理剂的研究及应用[J]. 石油钻采工艺, 2006, 28(6), 31 - 34.
- [4] 张晓静. 水敏 - 松散地层钻井泥浆的机理分析和应用研究[D]. 湖北武汉: 中国地质大学(武汉), 2007.
- [5] Xing Zhang, Nigel Last, Numerical Modeling of Wellbore Behavior in Fractured Rock Masses[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 1999, 23: 95 - 115.
- [6] 樊洪海, 刘希圣. 直井钻井液粘性产生的波动压力的理论分析[J]. 石油大学学报, 1990, 14(2): 8 - 15.
- [7] 唐林, 罗平亚. 破裂岩体中井壁稳定性分析[J]. 石油钻采工艺, 1997, 19(3), 1 - 5.

欢迎订阅, 欢迎投稿, 欢迎刊登广告!