

# 泥、页岩的水敏性与井壁的稳定性

李健鹰

(华东石油学院)

为了解决井壁稳定问题,国内外很多学者探讨了井壁不稳定的各种原因,以及从事防止井塌的研究。

井壁不稳定的原因是复杂的和综合的。归纳为三方面:泥、页岩的水敏性;由构造应力造成破碎的地层岩石和存在于泥、页岩中异常高压的地质因素;井筒内压力激动、泥浆呈紊流型、起钻时不按规定灌泥浆、泥浆比重过低等工程因素。在很多情况下,能否有效地控制住泥、页岩的水敏性将是稳定井壁的一个重要因素。因而本文重点阐述泥、页岩的水敏性与井壁稳定性的关系及高聚合物与无机盐对泥、页岩水敏性的抑制作用<sup>[1]</sup>。

## 泥、页岩的水敏性

泥、页岩的强亲水性是泥、页岩水敏性的根本原因,泥、页岩吸水的结果引起体积膨胀、颗粒分散和强度下降,影响泥、页岩水敏性的因素有:

### 一、粘土矿物种类与水敏性的关系

近几年来,辽河、胜利、华北、玉门、吉林等油气田对易塌地层粘土矿物组成进行过调查分析,1500~2000米以上的泥、页岩地层的粘土矿物组分中,大多以蒙脱石为主,在钻井过程中常常发生膨胀和井眼缩径。2000米以下的泥、页岩地层,胜利油田井塌最厉害的沙河街组的井段,其岩心经X射线分析,粘土的主要矿物成分是伊利石、绿泥石和伊利石-蒙脱石或蒙脱石-绿泥石混层粘土矿物而不是蒙脱石。这些粘土矿物属

非膨胀型粘土矿物,但是它们的吸水膨胀仍很明显。实验结果表明:以蒙脱石为主的泥、页岩,每克干土可吸水0.45~0.61克,体积平均增加一倍多。以伊利石为主的泥、页岩每克干土也能吸水0.32~0.38克,体积增加80%<sup>[2]</sup>。

胜利油田沙河街组下部的红层是水敏性很强的泥、页岩。经北京石油勘探开发研究院中心实验室X光组和大庆油田设计院中心实验室X射线衍射分析及我院差热分析,均表明红层的粘土矿物以伊利石为主,其次为绿泥石。东风5号井沙河街组3177.53~3186米的红层岩心,含伊利石94.7%,含绿泥石5.3%。这些红层粘土矿物的水敏性主要特点是遇水后强度急剧下降,体积膨胀仅次于搬运土(图1、图2)。而且遇水后高度分散,用

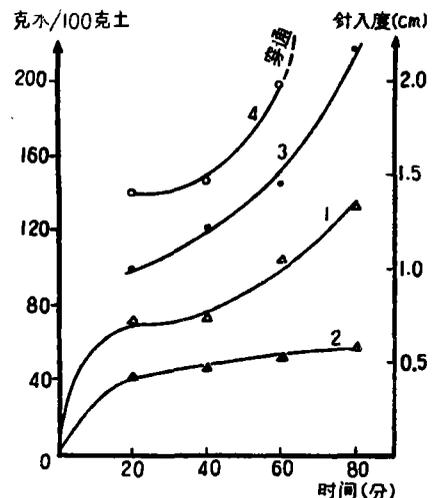


图1 红层泥、页岩与高阳搬运土的吸水性、针入度比较

1——高阳搬运土吸水量; 2——红层吸水量;  
3——高阳搬运土针入度; 4——红层针入度。

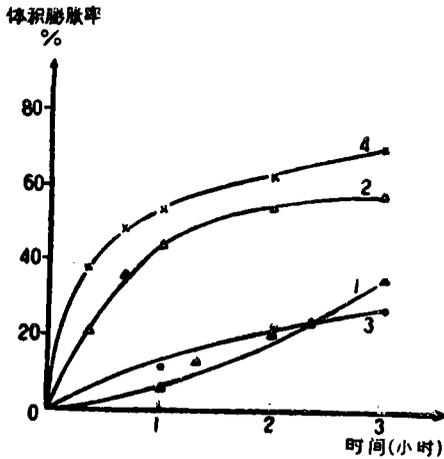


图2 红层粘土与其它粘土膨胀率比较

- 1——高岭土；2——红层粘土；
- 3——伊利石；
- 4——高阳嫩土。

2~5毫米的岩屑在室温下滚动8小时以后，大于0.5毫米的筛余量仅为39.7%<sup>[3]</sup>。这些结果与E. A. Roehl的实验结果相符<sup>[4]</sup>。

### 二、各种粘土特性与水敏性的关系

粘土水化的程度取决于其表面和阳离子交换容量，而不取决于其表面电荷密度。粘土吸水量与其比表面的关系见图3。从图中可见，随粘土比表面的增加，吸入液体量直线上升。

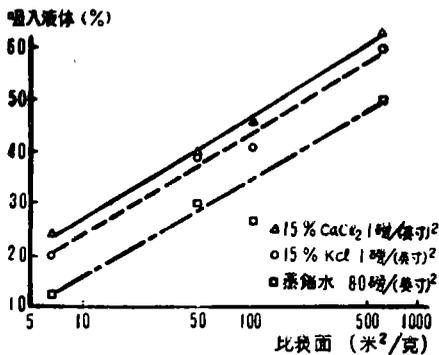


图3 液体吸入量与粘土比表面关系

(资料引自E. A. Roehl 1984年)

我们采集了渤海湾地区沙河街组岩心7块，测定了它们的吸水量与阳离子交换容量，并作相关性分析。分析结果，泥、页岩的吸水量与其阳离子交换容量的相关系数r为0.93，它们之间的关系是一条直线回归方程（图4），其方程式为<sup>[2]</sup>：

$$S = 0.302 + 0.0076E$$

式中 S——每克干泥、页岩的吸水量，E——阳离子交换容量，毫克当量/100克土（用草酸铵-氯化铵平衡法测定）。

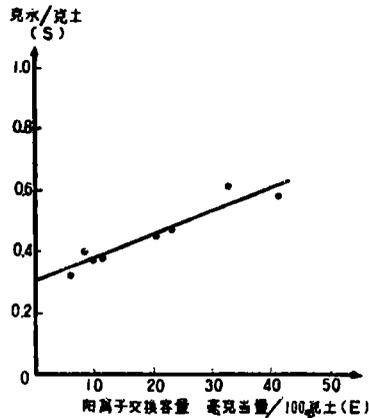


图4 泥、页吸水量与阳离子交换容量的相关性

### 三、泥、页岩中无机盐含量与水敏性的关系

泥、页岩中含有无机盐会使它吸水量增加。胜利油田的红层含有大量的氯化钠，我们用水洗去它的盐分，然后测定其等温吸附水含量，并与未洗去盐分的样品进行比较（图5）。从图中可见，未去盐分的红层等温吸附水含量明显地高于洗去盐分的样品<sup>[3]</sup>。

### 粘土水化机理

粘土所表现于外形的总膨胀量是由于粘土微观内容的各种相互作用力及其和外力之间的吸力与斥力平衡的结果<sup>[4]</sup>。

斥力使层状的粘土片分开，吸力使层状

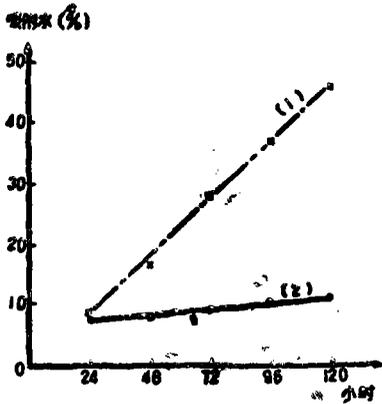


图5 红层岩心吸附水等温线(36℃, 湿度80%)

- 1.未洗去盐分的样品(颗粒直径为0.5mm);
- 2.去盐分样品(颗粒直径为0.5mm)。

的粘土片结合。斥力大于吸力，粘土便吸水膨胀、分散。

粘土片之间的斥力包括：表面水化作用；离子水化作用；双电层斥力（渗透水化作用）；粘土晶格的静电斥力。粘土片之间的吸力包括：范德华引力；晶层之间的阳离子和晶格负电位之间的静电引力；外部机械负荷。

粘土片之间吸力与斥力的代数和(图6)。

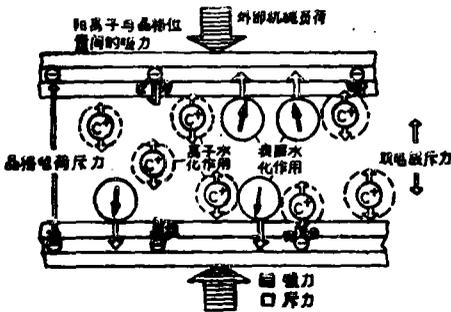


图6 粘土片之间吸力与斥力的示意图

表面水化作用是由水分子与粘土片表面上的氧原子之间形成的氢键引起的。离子水化作用是由于粘土片表面上补偿的阳离子，在其周围形成水化壳。

渗透水化指某些粘土，当它们完成了离子水化和表面水化后才进行的。这种情况发生在100%的相对湿度条件下，当粘土暴露至自由水的界面后，均匀溶液内部的水分子向粘土表面阳离子浓度高的部位扩散，形成了扩散双电层，这便是渗透水化(图7)。由于渗透水化，粘土片之间产生斥力。

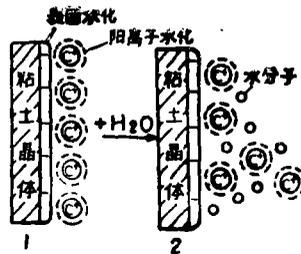


图7 粘土渗透水化示意图

- 1.风干土;
- 2.形成扩散双电层。

粘土表面具有同样电荷，因而，彼此相斥。

当相互对着的粘土片被同样的层间阳离子吸引时，出现静电引力。

范德华引力与颗粒半径的6次方成反比，因而它只有在粘土片相隔很近时才起作用。E·A·Roehl的实验结果表明<sup>[4]</sup>，蒙脱石、伊利石、高岭石与绿泥石四种粘土的膨胀，都是在40磅/英寸<sup>2</sup>以前对外部机械负荷敏感，超过此数值，直到120磅/英寸<sup>2</sup>，粘土膨胀百分率基本上无变化。

所有粘土都存在表面水化。只有伊利石和蒙脱石才表现出离子水化，因为它们具有可观的晶格取代作用，因而有大量补偿的阳离子。只有阳离子交换容量大的粘土，如蒙脱石才发生渗透水化作用。因为蒙脱石晶层之间靠弱分子间连接力连结，水分子容易进入晶层间，而使晶层间容易形成扩散双电层。

## 高聚物对泥、页岩水敏性的抑制作用

文献资料提出,某些高聚物能够很好的抑制泥、页岩的水敏性<sup>[6]</sup>。我们对红层的实验结果也表明,磺化沥青SA、磺甲基酚醛树脂SP、磺化木质素磺甲基酚醛树脂SLSP、部分水解聚丙烯酰胺PHP、生物聚合物XC均能较好的抑制红层吸水、膨胀、软化。其中以SA最好,可使红层的体积膨胀由65%降低至6%,吸水量由45.4%降至17.0%,针入度由穿通降至0.2毫米;而PHP与聚丙烯酸钙CPA具有良好的抑制红层分散作用(见图8)。

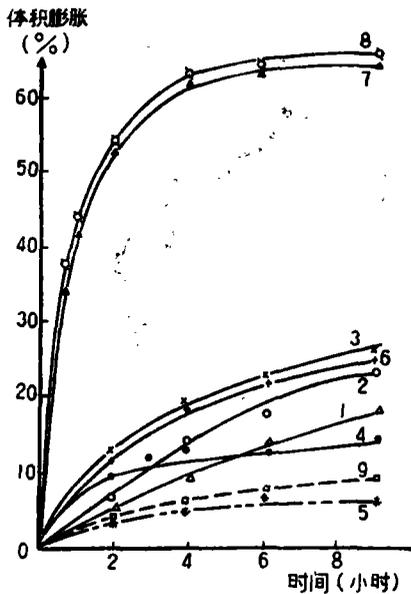


图8 各种有机高聚物对红层水化膨胀的抑制作用 (30℃)

1—低PHP (分子量=112万); 2—中PHP (分子量=350万); 3—高PHP (分子量=1090万); 4—SP; 5—SA; 6—XC; 7—EL-4; 8—蒸馏水; 9—SLSP。(用各处理剂最佳浓度描点)

目前使用的水基泥浆防塌处理剂多为阴离子型高聚物,通过红外光谱与X射线衍射分析证明<sup>[3]</sup>,阴离子型高聚物之所以能抑制粘土水敏性,是由于它们不能进入粘土晶层之间,而是多点吸附在粘土颗粒的外表面和边缘上,把粘土晶体包住,防止其分散,这就是所谓的高聚物“包被”作用。有些高聚物,在泥浆体系中具有护胶作用:有的高聚物本身可以堵塞泥饼或井壁孔隙,如SP与SLSP,降低失水量,起到防塌作用。有的高聚物如磺化沥青、有机硅带有较多的亲油基团,它吸附在粘土表面上,给页岩表面包上一层油膜,使粘土表面增水,也具有防塌效果。

## 无机盐对粘土水敏性的抑制作用

有的研究资料提到<sup>[4]</sup>,随溶液中无机盐如KCl和CaCl<sub>2</sub>浓度的增加,钠膨土的吸水量与体积膨胀猛烈地下降,而伊利石、高岭土与绿泥石的吸水量、体积膨胀却与溶液中无机盐浓度的关系不大。这种现象可解释为钠膨土有厚的扩散双电层,即有强的渗透水化作用。当有高浓度的无机电解质存在时,压缩双电层,消除粘土晶层间的补偿阳离子浓度梯度,从而抑制了粘土的吸水量与体积膨胀。伊利石、绿泥石和高岭石晶层间不能形成扩散双电层,不会发生渗透水化作用。因此,其吸水量与体积膨胀不受无机电解质浓度的影响。

实验结果证明<sup>[3]</sup>,KCl与抗盐性强的 高聚物,如SP配合使用,促进高聚物在粘土上的吸附可以明显地加强高聚物抑制以伊利石为主红层的吸水、膨胀作用,增强页岩的强度,如果KCl与抗盐性弱的高聚物配合使用时,则无机盐对高聚物的盐析作用会减弱高聚物的防塌效果。

# 桥塞剂堵漏工艺实践

张敬荣

(川东钻探公司)

川东碳酸盐气层缝洞发育, 钻井过程中井漏严重。1984年1~10月发生井漏213次, 损失22.21个钻机月, 占川东钻探公司钻井总时间的6.9%。漏失泥浆1.19万米<sup>3</sup>, 耗用水泥1281吨, 因井漏使川东钻井年进尺减少7000多米。

## 川东井漏特点

川东井漏特点为: 多数井都存在井漏, 平均每口井漏失泥浆300米<sup>3</sup>以上。漏失速度大, 多数井漏速>30米<sup>3</sup>/时。

井漏引起井塌或者气侵直至井喷, 迅即出现又漏又喷、又塌又卡的复杂情况。堵漏

往往与压井同时进行, 钻达高压层前的泥浆比重试压, 经常出现多个漏失层段, 裸眼长、漏失层位、压力系数不清, 堵漏几次才能奏效。

## 桥塞剂堵漏井例

1984年川东钻探公司先后对深部、浅部漏层, 又漏又喷的井和经多次挤水泥堵漏无效的井和试油井等17口井使用桥塞剂堵漏工艺, 取到前所未有的堵漏效果。

### 1. 浅层堵漏

大山1井12 $\frac{1}{4}$ 英寸钻头钻至1420米, 裸眼

## 结 束 语

除含有蒙脱石的页岩以外, 含有伊利石、绿泥石、混合层的粘土矿物也有明显的水敏性, 它是造成深部地层井塌的主要粘土矿物。粘土表现出来的总膨胀量是由于吸力和斥力平衡的结果。所有粘土都存在表面水化, 离子水化仅伊利石和蒙脱石才有; 渗透水化仅蒙脱石才有。采用聚丙烯酰胺、磺化沥青、SLSP等高聚物可有效地抑制粘土的水敏性。抗盐能力强的高聚物与钾盐配合, 可以获得提高高聚物对泥、页岩水敏性的抑制作用。

### 参 考 文 献

〔1〕黄汉仁、杨坤鹏 《泥浆工艺原理》石油工业出版社 1981年

〔2〕李健鹰 渤海湾地区油田沙河街地层易塌泥页岩粘土矿物组成及水化膨胀分散作用特点 《石油钻探技术》1984年4期

〔3〕李健鹰 高聚物与钾盐抑制红层吸水膨胀分散作用的探讨 《钻井泥浆》1984年1期

〔4〕E·A·Roehl, Limits of Inhibiting the Swelling of Hydratable Shales - What is the Minimum Swelling that can be Expected? Drilling Technology Conference Transactions. 1984.

〔5〕B·K·G·Theng Clay - Polymer Interactions Summary and Perspectives. Clays and clay Minerals 1982 No.1

(本文收到日期 1984年12月17日)

ucing gas wells is summarized and the advantage or drawback of various technology of water withdrawal in gas production is also appraised. It is pointed out that using the technique of intensifying water withdrawal is an efficient way for synthetically administering and well developing this gas pool.

NGI Vol.5 No.1 1985

### 平衡钻井中dc指数值的误差处理

李 小 泉

本文运用概率、数理统计方法,通过对川西北矿区80多口完井资料的分析,对dc指数值在预测地层压力中所出现的问题进行计算、研究,着重探讨了dc指数值的误差处理,以期对作准dc指数回归方程和预测高压地层的层段提供理论依据,供从事平衡钻井工作者参考。

《天然气工业》 第5卷 第1期 1985

Treatment of the Error in dc Exponent Value in Balanced Drilling

Li Xiaoquan

By applying the probability and mathematical statistics and analyzing the completion data of more than 80 wells of gas mining area in Northwestern Sichuan, this work makes a calculation and a study of the problems arised in forecasting the formation pressure by using the dc exponent value and emphatically discusses the treatment of the error in dc exponent value to expect to provide the theoretical basis for correctly making the dc exponent regression equation and forecasting the high pressure intervals and to give a reference to those who are engaging in balanced drilling.

NGI Vol.5 No.1 1985

### 泥、页岩的水敏性与井壁的稳定性

李 健 鹰

本文探讨了各类粘土矿物与水敏性的关系。粘土吸水后的总膨胀量是由于本身微观内容的相互作用力及外界吸力和斥力作用后达到新的平衡的结果。聚丙烯酰胺等高聚物可有效地抑制粘土的水敏性。抗盐能力强的高聚物与钾盐复配,可以提高高聚物对泥、页岩的水敏性的抑制作用。

《天然气工业》 第5卷 第1期 1985

Water Sensitivity of Mud Stone and Shale and Wall Stabilization

Li Jianying

This paper discusses the relationship between various clay minerals and water sensitivity. The total amount of expansion of water-absorbed clay is due to the result of new equilibrium established between the

interaction forces of its microcontent and the external faces. High polymers such as polyacrylamide etc. can effectively inhibit water sensitivity of clay. The recombination of high polymer with strong antisalt and sylvite can enhance its inhibitory action on water sensitivity of mud stone and shale.

NGI Vol.5 No.1 1985

### 桥塞剂堵漏工艺实践

张 敬 荣

在压力梯度悬殊的碳酸盐岩破碎地层中钻井,井漏是损失钻机月的重要因素。本文总结了川东矿区1984年应用桥塞剂堵漏的经验,简介了此项工艺堵漏的优点和施工要领,并列出了桥塞剂堵漏的典型井例。

《天然气工业》 第5卷 第1期 1985

Technology of Stopping Lost Circulation by Using the Bridging Plug Agent

Zhang Jingrong

Drilling a well in the broken carbonate strata where the pressure gradient is widely different, lost circulation is an important factor that makes the rig time lost.

This work sums up the experience of gas mining area in Eastern Sichuan about stopping the lost circulation by using bridging plug agent in 1984, briefly presents its advantage and main points in operation and enumerates some typical examples.

NGI Vol.5 No.1 1985

### 合理选择有水气井

#### 自喷管串数学模式的研究及应用

杨川东 张宗福

本文参考国内外有关文献,推导出了不同规格直径自喷管串连续排液所必需的临界流量、临界流速、对比流量、对比流速公式,以及当对比参数小于1时,所应选择的合理自喷管串公式并编制了TI-59计算机求解程序,设计绘制了数学模式诺模图,运用于优选川南气井管串排水采气实践和研究气水两相垂管流动特征,获得明显的经济效益。

《天然气工业》 第5卷 第1期 1985

A Study of Rational selection of Mathematical Mode of the Flow String in the Water-producing Gas Wells and Its Application

Yang Chuandong, Zhang Zongfu

Consulting the relevant documents at home and abroad, the author finished the derivation of equations