

SM 植物胶冲洗液的流变性分析与探讨

占样烈^{1,2}, 徐力生², 李月良³

(1. 铁道第三勘察设计院集团有限公司地路处, 天津 300251; 2. 中南大学地质与环境工程学院, 长沙 410083; 3. 水电顾问集团成都勘测设计研究院, 成都 610072)

[摘要] 文章介绍了冲洗液的几种常见流变模式, 并对这几种流变模式的流变曲线及其特点作了简单分析总结。通过多次室内试验测得 SM 植物胶冲洗液的各项流变参数, 并根据这些参数作出它的流变曲线, 通过与传统流变曲线作对比总结出 SM 植物胶冲洗液的流变方程表达模式为幂律模式; 结合实践中常见的一些现象并通过两组不同的特征试验证明 SM 植物胶冲洗液为粘弹性流体而非传统观念上的假塑性流体; 与传统泥浆对比试验证明 SM 植物胶冲洗液的流变性能优越; 文章结尾对 SM 植物胶冲洗液的流变参数作了简单的分析讨论。

[关键词] SM 植物胶冲洗液 流变方程 幂律模式 粘弹性流体

[中图分类号] P642 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2010)02-0343-05

ZhanYang-lie, Xu Li-sheng, Li Yue-liang. Analysis and discussion on the rheology of SM vegetable gum drilling fluid[J]. *Geology and Exploration*, 2010, 46(2): 0343-0347.

0 引言

大量工程实践证明, 在松散破碎地层、砂卵石地层、第四系覆盖层等复杂地层钻进中, 特别是对于提高岩心采取率、护壁、安全快速钻进提高钻进效率等地质钻探要求, 采用植物胶冲洗液能取得比普通泥浆冲洗液更好的钻探效果(李月良等, 1987; 康军刚, 1992; 王勳 1998; 牛文林 2006)。植物胶冲洗液能取得这么好钻探效果, 在实际应用中性能表现的这么好, 这些与它本身的流变特性有紧密的联系(水利电力部成都勘测设计院, 1985)。多年来人们在关于植物胶冲洗液流变特性方面的研究中普遍认为植物胶冲洗液为假塑性流体(吴隆杰 1982 年; 曾祥熙等, 1986; 谭愈荣, 1994), 这是因为通过试验数据作出的植物胶冲洗液的流变曲线与典型假塑性流体的流变曲线吻合(牛文林 2006)。但是在实际应用及试验中, 植物胶冲洗液所表现出来的许多特殊现象表面这一观点有其片面的方面。本文在大量室内及室外试验的基础上, 对 SM 植物胶冲洗液的流变特性作进一步的分析与探讨。

1 冲洗液的几种常见流变模式

在多年的研究中, 人们将流体大致分为两大类即: ①牛顿型; ②非牛顿型(曾祥熙等, 1986)。以下对冲洗液常见的几种流体类型(见图 1)作简单的介绍。

1.1 牛顿流体

牛顿流体的特点是: 其流变曲线(图 1 中曲线 3 为牛顿流体的流变曲线)为通过原点 O 的一根直线。它表示在一定温度、压力条件下, 牛顿粘度(动力粘度)为一常数。这种流体可以牛顿流变方程来表示:

$$\tau = \eta \cdot \gamma \quad (1)$$

上式中: τ —剪切应力, Pa;

η —牛顿粘度, Pa·s;

γ —剪切速率, s⁻¹

常见的牛顿流体有: 低速流动的气体、水、硅油、低分子化合物等。

1.2 塑性流体(宾汉流体)

塑性流体又称宾汉流体, 它的流变曲线(图 1 中曲线 1 为塑性流体的流变曲线)为一条不通过原

[收稿日期] 2009-03-05; [修订日期] 2010-03-20; [责任编辑] 陈喜峰。

[基金项目] “十一五”国家科技攻关项目“新型植物胶冲洗液开发研究”(编号: 06-221-01-03-02)。

[作者简介] 占样烈(1982 年-), 男, 铁三院地路处, 中南大学地质工程硕士研究生毕业, E-mail: zhangyangli@163.com。

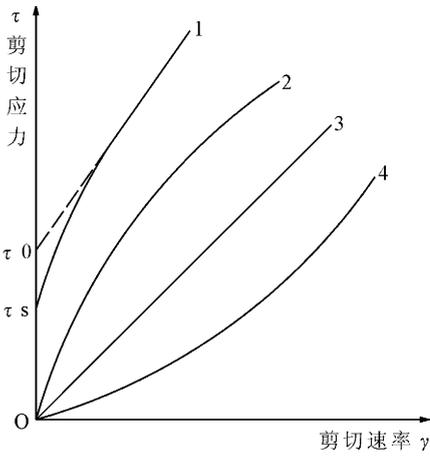


图 1 常见流变曲线

Fig. 1 Common rheological curves

1-宾汉流体;2-假塑性流体;3-牛顿流体;4-膨胀性流体
 1-plastic fluid;2-pseudoplastic fluid;3-newton fluid;4-dilatant fluid

点 O 的曲线。这种流体具有一定颗粒浓度,在静止状态下形成颗粒之间的内部结构,加外力进行剪切时,要破坏结构才能开始流动。由其流变曲线图可以理解:对塑性流体施加的外力要达到一定的值(即 $\tau > \tau_s$)时流体才开始流动,当剪切应力达到一定程度(即 $\tau > \tau_0$)之后,塑性粘度 η_p 不再随剪切速率增大而改变。所以说塑性粘度 η_p 和动切力 τ_0 是塑性流体的两个重要流变参数。这种流体可以用宾汉方程来表示:

$$\tau = \tau_0 + \eta_p \cdot \gamma \quad (2)$$

上式中: τ_0 - 动切力, Pa;

η_p - 塑性粘度, Pa · s

常见的塑性流体主要有:高粘土含量的冲洗液、高含蜡原油和油漆等。

1.3 幂律流体

幂律流体的流变曲线(图 1 中曲线 2、4 为幂律流体的流变曲线)是通过原点 O 的曲线。它们都可以用幂律函数来表示:

$$\tau = K \cdot \gamma^n \quad (3)$$

上式中: K - 稠度系数, Pa · sⁿ;

n - 流性指数(幂律指数), 为常数

公式中,当 $n < 1$ 时为假塑性流体;当 $n = 1$ 时为牛顿流体;当 $n > 1$ 时为膨胀流体。因此幂律流体一般分为假塑性流体和膨胀流体两种,最常见的为假塑性流体。

(1) 假塑性流体

假塑性流体的流变曲线为凹向 γ 轴的曲线(如

图 1 中的曲线 2),且通过原点 O,当剪切速率逐渐增大时曲线接近于直线。它的特点是:施加极小的剪切应力就能产生流动,不存在静切力 τ_s ,它的粘度随着剪切速率 γ 的不断提高而降低,即剪切稀释作用。

常见的假塑性流体主要有:大多数的聚合物熔体和浓溶液等(赵长福,2007)。

(2) 膨胀流体

膨胀流体的流变曲线为通过原点 O 而凹向 τ 轴的曲线(如图 1 中的曲线 4)。它的特点是:随着剪切速率的提高,它的粘度不断的增加,即剪切稠化作用。

常见的膨胀流体主要有:浓的淀粉糊、一些矿浆、高固相含量的涂料等。

1.4 其他常见模式

随着人们对冲洗液研究的不断深入,研究者不断提出其他一些新的流变模式(G. V 奇林格雷等,1987)。

赫切尔-巴尔克莱(Herschel-Bulkley)1926 年提出了赫-巴模式:

$$\tau = \tau_\gamma + K \cdot \gamma^n \quad (4)$$

罗伯逊-斯蒂夫(R. E. Robertson & H. A. Stiff)于 1976 年提出了一个新的模式:

$$\tau = A(\gamma + C)^B \quad (5)$$

1979 年, R. V 罗森(Lauzon)和 I. G. 里德(Leed)提出将应用于油漆、油墨、涂料等行业中的卡森模式用于冲洗液中。其方程为:

$$\tau^{1/2} = \tau_c^{1/2} + \eta_\infty^{1/2} \cdot \gamma^{-1/2} \quad (6)$$

2 SM 植物胶冲洗液的流变模式

2.1 SM 植物胶冲洗液的流变曲线

室内试验中应用青岛照相厂生产的 ZNN-D6 六速旋转粘度计测得 SM 植物胶冲洗液(2% SM + 5% Na₂CO₃)的流变特性的各个参数,如表 1 所示:

表 1 SM 植物胶冲洗液测量数据表

Table 1 Measured data of SM evegetable gum drilling fluid

转速(r/min)	3	6	100	200	300	600
剪切速率 $\gamma(s^{-1})$	5.11	10.22	170.33	340.66	511	1022
读数	2	9	43	57	69	103
剪切应力 $\tau(Pa)$	1.02	4.60	21.97	29.13	35.26	52.63

根据表 1 中的数据可以作出 SM 植物胶冲洗液的流变曲线,如图 2 所示:

由图 2 与图 1 进行比较可以看出:SM 植物胶冲

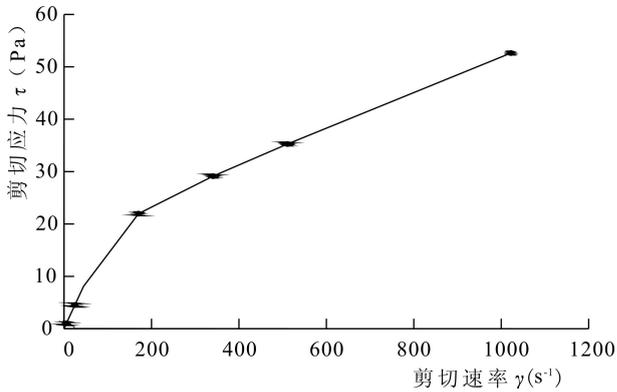


图 2 SM 植物胶冲洗液流变曲线

Fig.2 The consistency curve of SM vegetable gum drilling fluid

洗液的流变曲线与幂律流体中的假塑性流体的流变曲线相吻合;SM 植物胶冲洗液的静切力很小(几乎为 0),这是因为植物胶冲洗液中不含固相颗粒,因而不需破坏固相颗粒絮凝而形成的连续网架结构,这有利于开钻(谭愈荣,1994;荆和平,1990)。

通过 SM 植物胶冲洗液的流变曲线可以确定它的流变方程可以用幂律模式来表示,但是单凭流变曲线不能确定 SM 植物胶冲洗液就是假塑性流体。

2.2 SM 植物胶冲洗液流变性相关试验

工程实践中应用植物胶冲洗液的时候经常会出现以下现象:用水瓢去舀泥浆池中植物胶溶液,当我们把盛满植物胶溶液的水瓢取出泥浆池时,水瓢中的植物胶溶液不会像平时舀水那样自动断开,水瓢中的植物胶溶液的大部分在其自身某种特性的作用下会自动流回泥浆池中。这一现象与高分子溶液的无管虹吸现象相类似,因此可以设计一个试验验证植物胶冲洗液是否会有无管虹吸现象发生。

(1) 虹吸试验

试验的简单示意图如图 3 所示,当试验器材及植物胶溶液准备好后,将烧杯中的 SM 植物胶溶液侧向倾倒从虹吸管中流出,而后使烧杯的位置恢复水平,当虹吸管升离 SM 植物胶溶液液面后,杯中的液体仍能源源不断地从虹吸管中流出,这是典型的无管虹吸效应。这一实验证明 SM 植物胶冲洗液也具有无管虹吸效应,化工界的研究人员早已确定无管虹吸效应为粘弹性流体所特有的一种现象(吴其晔等,2002)。

(2) 爬杆现象

爬杆现象即“Weissenberg 效应”是粘弹性流体的另一种常见的特殊现象(RS. 伦克,1983;吴其晔

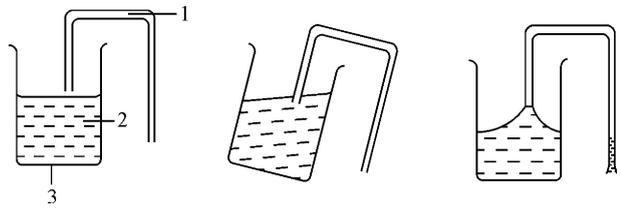


图 3 无管虹吸效应示意图

Fig.3 The sketch map of tubeless siphon experimentation

1-虹吸管;2-SM 植物胶冲洗液;3-烧杯

1-siphon pipe;2-SM vegetable gum drilling fluid;3-beaker

等,2002),SM 植物胶冲洗液的爬杆现象试验如图 4 所示,图中搪瓷缸中的溶液为 SM 植物胶的溶液,图中可以清晰的观察到 SM 植物胶冲洗液的爬杆现象非常明显。通过该试验可以进一步确定 SM 植物胶冲洗液为粘弹性流体。



图 4 SM 植物胶冲洗液爬杆现象实物图

Fig.4 The climbing pole experimentation of SM vegetable gum drilling fluid

2.3 SM 植物胶冲洗液适用的流变模式

由 2.1 中通过作出 SM 植物胶冲洗液的流变曲线与几种典型流变模式的流变曲线对比可以确定 SM 植物胶冲洗液的流变方程可以用幂律模式来表达,但它的流变参数与典型假塑性流体的流变参数是有所不同的;通过 2.2 中的两个分析试验可以确定 SM 植物胶冲洗液具有无管虹吸效应及爬杆现象(Weissenberg 效应),而这两个现象都是粘弹性流体所特有的,因此可以确定 SM 植物胶冲洗属于粘弹性流体。

3 SM 植物胶冲洗液的流变性能

3.1 SM 植物胶冲洗液与泥浆流变性能的对比试验

冲洗液的流变性能直接影响到钻进过程中的钻速、泵压、排量以及岩屑的悬浮与排除(荆和平

1990;乌效鸣等,2002)。植物胶冲洗液作为一种新型的钻井冲洗液,由于其不含固相颗粒,具有较好的携带岩屑和剪切稀释等性能,它的流变性能与常规的泥浆的流变性能有很大的不同。表 2 SM 为植物胶冲洗液(2% SM+5% Na₂CO₃)与典型泥浆(水:膨润土=100:15)(蔡记华,2006)流变参数的比较,由表中数据可以看出 SM 植物胶冲洗液的流变性能比泥浆的要优越。

3.2 SM 植物胶冲洗液流变参数的讨论

根据前文分析可以知道 SM 植物胶冲洗液的流变方程可以用幂律模式表示,这样 SM 植物胶冲洗液的流变参数主要由由流性指数 n 和稠度系数 k 来控制。流性指数 n 表示植物胶冲洗液在一定剪切速率范围内所表现出的非牛顿性的程度和剪切稀释性的强弱, n 值越小,流体的非顿性越强,剪切稀释性也越强,表 2 的试验数据表明 SM 植物胶冲洗液的流性指数 n 与泥浆的很接近,但更接近于 0.5,这对冲洗液在环行空间产生较好的流核(曾祥熙等 1986;鄢泰宁,2001;吴飞等,2003),形成平板层流是十分有利的,保证了冲洗液能有效地携带岩屑和保持井眼清洁;稠度系数 K 值与冲洗液的粘度、切力有关, K 值越大,粘度越高,可有效包裹岩心,提高岩心采取率及取心质量。由表 2 比较结果可知,SM 植物胶冲洗液的稠度系数要比钻井泥浆高很多,所以其维持孔壁稳定能力与包裹岩心的能力比钻井泥浆要高一些。

表 2 SM 植物胶冲洗液与泥浆流变性能比较

Table2 The rheological properties of SM vegetable gum drilling fluid comparing with mud

流变参数 冲洗液类别	表观粘 度 η _A (mPa·s)	塑性粘 度 η _p (mPa·s)	稠度 系数 k (Pa·s ⁿ)	流性指 数 n	流性指 动切力 τ ₀ (Pa)	动塑比 τ ₀ /η _p (Pa/mPa·s)
SM 植物胶冲洗液	48.5	26	2.16	0.45	23.0	0.88
钻井泥浆	19	10	0.92	0.44	9.2	0.92

4 结语

综上所述,可以得到这样的结论:(1) SM 植物胶冲洗液属于粘弹性流体,其流变方程可以通过幂律模式描述;(2) 由于 SM 植物胶冲洗液的粘弹性,与传统泥浆冲洗液相比较,SM 植物胶冲洗液的流变性能更好,有更好的护壁和包裹岩心的能力。

目前关于植物胶冲洗液在性能作用方面与它的流变性即其粘弹性之间关系研究的工作还非常少,应作为以后研究工作的主要方向。

[References]

Cai Ji-hua, Wu Xiao-ming. 2006. The analysis and application of LG Treatment agent for vegetable gum drilling fluid [J]. Oil Drilling Technology, 28(6):31-35

Hydroelectric Investigation & Design Institute. 1985. The report of SM vegetable gum drilling fluid [M]. Chengdu

Chinese Intermediary Field Geology Bureau. 1994. Drilling Fluid [M]. Beijing: Petroleum Industry Press :132-157

G. V-Qilingray. 1987. Drilling and drilling fluid [M]. Beijing: Petroleum Industry Press

Huang Han-ren. 1981. The Principle of drilling [M]. Beijing: Petroleum Industry Press

Jin he-pin. 1990. The cleaning action of foam liquid for rock powder [J]. Geology and Exploration, 12:45-47

Kang Jun-gang. 1992. Engineering geolo-gical drilling in loess region [J]. Geology and Exploration, 11:56-58

Li Yue-liang. 1987. SM vegetable gum drilling fluid which is use for drilling in cobblestone [J]. Geology and Exploration, 5:69-73

Niu Wen-lin. 2006. The analysis on rheology of vegetable gum drilling fluid [J]. Prospecting Work, 1:44-46

R. S-Lunk. 1983. The rheology of polymer [M]. National Defense Industrial Press

Tan Yu-ron. 1994. Clay-free drilling fluid of colloidal complex and Breast wall [M]. Beijing: Geosciences Press

Wu Xiao-ming, Hu Yu-dong. 2001. Drilling fluid and grout for geotechnical-Engineer [M]. WuHan: China University of Geosciences press: 187-201

Wu fei, Chen li-yi. 2003. The analysis and application of gum drilling without clay [J]. Coal field Geology and Exploration, 5: 57-59

Wang Meng. 1998. The application of SM vegetable gum drilling fluid with diamond method for engineering investigation [J]. West Exploration Engineering, 10(5): 45-47

Wu Qi-hua, Wu Jing-an. 2002. The rheology of high molecular mate-rial [M]. Beijing: Higher Education Press

Wu Rong-jie. 1982. The translation collection for drilling [M]. Beijing: Geosciences Press

Yan Tai-ning. 2001. The technology of drilling [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press

Zeng Xiang-xi, Chen Zhi-chao. 1986. The Principle of drilling and breast wall [M]. Beijing: Geosciences Press

Zhao Chang-fu, YueChui-ming. 2008. The choice of equipment and design of synchromed for air-foam drilling [J]. Geology and Exploration, 5:121-125

[附中文参考文献]

蔡记华,乌效鸣,杨倩云. 2006. LG 植物胶处理剂的研究及应用 [J]. 石油钻采工艺. 28(6):31-35

水利电力部成都勘测设计院. 1985. SM 植物胶冲洗液报告 [M]. 成都,

中国煤田地质总局. 1994. 钻井液 [M]. 北京:煤炭工业出版社:132-157

G. V 奇林格雷等著. 1987. 钻井和钻井液 [M]. 北京:石油工业出版社

- 黄汉仁. 1981. 泥浆工艺原理[M]. 北京:石油工业出版社
- 荆和平. 1990. 泡沫液对岩屑的携带作用[J]. 地质与勘探,2:45-47
- 康军刚. 1992. 黄土地区的工程地质钻探[J]. 地质与勘探,11:56-58
- 李月良. 1987. 一种用于砂卵石层钻进的 SM 植物胶[J]. 地质与勘探,5:69-73
- 牛文林. 2006. 植物胶无粘土冲洗液的流变性研究[J]. 探矿工程,1:44-46
- R. S. 伦克著. 1983. 聚物流变学[M]. 国防工业出版社
- 谭愈荣. 复合胶质无固相钻井液与胶凝固壁堵漏[M]. 北京:地质出版社,1994
- 乌效鸣,胡郁东. 2002. 钻井液与岩土工程浆液[M]. 武汉:中国地质大学出版社,187-201
- 吴 飞,陈礼仪. 2003. 新复合胶无粘土冲洗液研究与应用[J]. 煤田地质与勘探,5:57-59
- 王 勳. 1998. SM 植物胶护壁金刚石钻进方法在工程勘察中的应用[J]. 西部探矿,10(5)45-47
- 吴其晔,巫静安等著. 2002 高分子材料流变学[M]. 北京:高等教育出版社
- 吴隆杰. 1982 钻井液译文集[M]. 北京:地质出版社
- 鄢泰宁著. 2001. 岩土钻掘工程学[M]. 武汉:中国地质大学出版社
- 曾祥熹,陈志超等著. 1986. 钻孔护壁堵漏原理[M]. 北京:地质出版社
- 赵长福,岳翠鸣. 2007. 空气泡沫钻进的设备选择及灌注系统设计[J]. 地质与勘探,5:121-125

Analysis and Discussion on the Rheology of SM Vegetable Gum Drilling Fluid

ZHANYang-lie¹, XU Li-sheng¹, LI Yue-liang²

(1. School of Geosciences and Environmental Engineering, Central South University, Changsha 410083; 2. Chengdu Hydroelectric Investigation & Design Institute; China Hydropower Engineering Consulting Group Corporation, Chengdu 610072)

Abstract: This paper presents several common rheological models of drilling fluids and analyzes features and the consistency curves of these models. Through many experiments in laboratory, we obtain rheological parameters of SM vegetable gum drilling fluid. And the consistency curve of SM vegetable gum drilling fluid is drawn up based on these parameters. It is concluded that its rheology equation is power law model through comparing with common rheological models. Based on two different characteristic experiments, this study shows that SM vegetable gum drilling fluid is a viscoelastic fluid rather than pseudo-plastic fluid suggested in the past. Comparison with traditional slush indicates that the rheological properties of this fluid are better than mud. Finally this paper discusses rheological parameters of the SM vegetable gum drilling fluid.

Key words: SM vegetable gum drilling fluid; rheology equation; power law model; viscoelastic fluid