

钻孔灌注桩泥浆流变特性及水力参数研究分析

郑秀华¹, 张新明¹, 于进洋¹, 陈曦², 刘选朋¹, 刘翠娜¹, 梁楠¹

(1. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 2. 中航勘察设计研究院有限公司, 北京 100098)

[摘 要] 钻孔灌注桩泥浆主要功能是稳定孔壁、悬浮和携带钻渣, 其泥浆流变特性和水力参数对泥浆作用至关重要。本文首先实验研究了钻孔灌注桩泥浆的流变特性; 然后推导出了钻孔灌注桩泥浆流变参数的计算公式; 最后分析了钻孔灌注桩泥浆稳定孔壁、携带和悬浮钻渣的特性, 对评价和优化钻孔灌注桩泥浆具有重要理论和实践意义。

[关键词] 钻孔灌注桩 泥浆 流变性 水力参数

[中图分类号] TU473.1+4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2013)05-0958-6

Zheng Xiu-hua, Zhang Xin-ming, Yu Jin-yang, Chen Xi, Liu Xuan-peng, Liu Cui-na, Liang Nan.
Rheological behavior and hydraulic parameters of bored-pile mud[J]. *Geology and Exploration*, 2013,
49(5):0958-0963.

1 前言

钻孔灌注桩施工地层常是覆盖层较厚或软弱的冲积层, 而且很少由单一土质构成, 大多数是由粘土、粉土、砂和砾石等互层构成。对于这样的复合地基, 一般是不良地质体, 最容易坍塌。钻孔灌注桩泥浆主要功能是稳定孔壁、悬浮和携带钻渣(Giu, 1980; 李月良, 1987; 荆和平, 1990; 徐奋强等, 2004)。钻孔灌注桩泥浆性能主要包括密度、粘度、静切力、失水量、泥皮质量、含砂量、胶体率和 pH 值。其中, 密度提供液柱压力平衡地层压力, 正循环泥浆粘度和切力对于稳定孔壁、悬浮和携带钻渣具有重要意义。

泥浆的流变特性和水力参数在石油钻井和地质勘探中已经有比较深入的研究。与石油钻井和地质勘探相比, 钻孔灌注桩具有自身特点, 如孔径大, 孔深小、要求泥浆成分简单、环保且成本低廉(Zomora *et al.*, 1997; 荆和平等, 2001; 刘睦峰等, 2010; 占样烈等, 2010)。钻孔灌注桩泥浆的流变特性评价和水力参数分析有自己的特点。本文实验研究表明, 钻孔灌注桩泥浆流变特性可用宾汉塑性流变模式描述。由于其钻孔灌注桩循环速度低, 孔径大, 其剪切速率低, 用低剪速率下的数据评价其流变参数更科学。

2 流变特性分析

2.1 钻孔灌注桩泥浆流变性能实验研究

钻孔灌注桩泥浆根据所钻地层不同可以采用膨润土配制; 也可以用清水钻井, 利用地层粘性土自造浆(地层粘土质量不好时需要掺加膨润土); 对于复杂地层, 需要添加一些处理剂配制优质泥浆(DZ/T 0155-95, 1995)。用 ZNN-D₆S 型六速旋转粘度计, 对几种典型钻孔灌注桩泥浆进行了实验, 实验数据见表 1。

表 1 流变性能测试

Table 1 Test results of rheological properties of mud with varied components

泥浆配方	θ_{600}	θ_{300}	θ_{200}	θ_{100}	θ_6	θ_3
3% 膨润土	11	7	6	4	2	2
3% 膨润土 + 10% 粘土	20	16	14	12	8	8
5% 膨润土 + 11% 砂土	23	18	16	14	11	10
5% 膨润土 + 0.1CMC + 0.25% 纯碱	33	24	20	17	11	10
4% 膨润土 + 0.1CMC + 0.2% 纯碱 + 10% 粘性土	35	23	19	13	6	5

注: 砂土为取自北京管庄的粉砂, 粘土为取自北京顺义的粉质粘土。

由公式(1)、(2)和表 1 数据计算出常用钻孔灌

[收稿日期] 2011-03-11; [修订日期] 2013-02-15; [责任编辑] 郝情情。

[第一作者] 郑秀华(1965 年-), 1990 年毕业于原长春地质学院, 获工学硕士学位, 中国地质大学(北京)教授, 从事钻井液和地热能研究与教学工作。E-mail: xiuhuazh@cugb.edu.cn。

注桩泥浆的剪切应力和剪切速率并绘制流变曲线(见图1)。

$$\tau = 0.511\theta_N$$

(1)

式中, τ 为剪切应力,Pa; θ_N 为转速为 Nr/min 时的读数,无量纲。

$$\gamma = 1.703N$$

(2)

式中, γ 为剪切速率, s^{-1} ; N 为转速, r/min 。

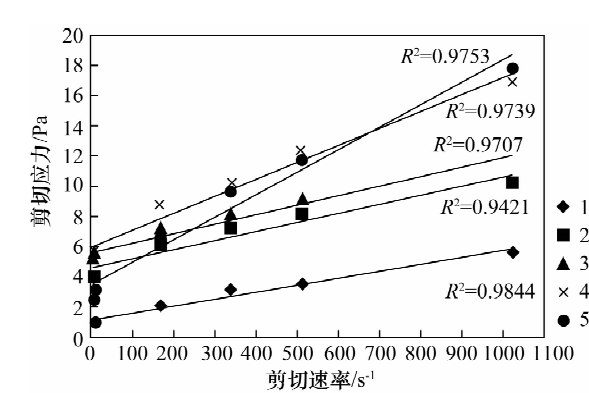


图1 钻孔灌注桩泥浆实验流变曲线

Fig.1 Curves of rheological experiments for bored-pile mud

1-3% 膨润土;2-3% 膨润土+10% 粘土;3-5% 膨润土+11% 砂土;4-5% 膨润土+0.1% CMC+0.25% 纯碱;5-4% 膨润土+0.1% CMC+0.2% 纯碱+10% 粘性土
1-3% bentonite;2-3% bentonite+10% clay;3-5% bentonite+11% sand;4-5% bentonite+0.1% CMC+0.25% Na₂CO₃;5-4% bentonite+0.1% CMC+0.2% Na₂CO₃+10% clay

由图1可以看出,决定系数 R^2 均接近1,钻孔灌注桩泥浆的剪切速率与剪切应力呈线性关系,基本满足宾汉流体模式的流变方程 $\tau = \tau_d + \mu_p \gamma$,因此可以判定钻孔灌注桩泥浆为宾汉塑性流体(乌效鸣等,2002;鄢捷年,2006)。

2.2 正循环钻孔灌注桩泥浆流动特性

在施工中常因为泵量不足影响钻进速度,使孔底岩屑增多,回转阻力增大,松散地层也会因泵量过大而冲垮孔壁甚至造成事故。根据有关资料经验(林宗元,1993),在非固结地层钻进时泥浆上返速度不宜超过 0.17m/s ;而如稳定地层采用牙轮或钢粒钻进时,泥浆上返速度一般取 $0.25 \sim 0.5\text{m/s}$ 。由于环空内泥浆上返速度低,其剪切速率大多数在 $0 \sim 30\text{s}^{-1}$ 范围内(见表2)。

2.3 钻孔灌注桩泥浆流变参数计算分析

钻孔灌注桩泥浆属于宾汉塑性流体,流变参数包括塑性粘度(μ_p)、动切力(τ_d)、动塑比、有效粘度(μ_e)和静切力(τ_s)。用六速粘度计测试,其流变参

数计算如下:

表2 正循环环空内剪切速率

Table 2 Share rate in annular space

钻孔直径 (mm)	内径 (mm)	外径 (mm)	上返速度 (m/s)			正循环环空剪切速率 (s^{-1})		
150	62	73	0.17	0.25	0.5	8.83	12.98	25.97
	74.9	89	0.17	0.25	0.5	11.14	16.39	32.78
600	100.3	114	0.17	0.25	0.5	1.76	2.59	5.18
800	100.3	114	0.17	0.25	0.5	1.11	1.63	3.27
1000	74.9	89	0.17	0.25	0.5	0.67	0.98	1.97
	100.3	114	0.17	0.25	0.5	0.68	1.01	2.02

$$\mu_p = \frac{300(\theta_{N_2} - \theta_{N_1})}{(N_2 - N_1)}$$

(3)

$$\tau_d = 0.511 \times \theta_{N_2} - \frac{5.11(\theta_{N_2} - \theta_{N_1}) \times N_2}{10(N_2 - N_1)}$$

(4)

$$\mu_e = \frac{300\theta_{N_2}}{N_2}$$

(5)

式中, μ_p 为塑性粘度, $\text{mPa} \cdot \text{s}$; N_1 、 N_2 为六速旋转粘度计的转速, r/min ; θ_{N_1} 、 θ_{N_2} 为转速分别为 N_1 、 $N_2\text{r}/\text{min}$ 时的读数,无量纲。 τ_d 为动切力,Pa; μ_e 为有效粘度, $\text{mPa} \cdot \text{s}$ 。

在石油钻井和地质勘探泥浆中, N_2 和 N_1 分别取 $600\text{r}/\text{min}$ 和 $300\text{r}/\text{min}$,计算公式分别为 $\mu_p = \theta_{600} - \theta_{300}$, $\tau_d = 0.511(2\theta_{300} - \theta_{600})$, $\mu_e = 0.5\theta_{600}$ 。由于钻孔灌注桩孔径大,泥浆在循环过程中处于低减速率范围内,需要重新推导计算公式。由公式(3)、(4)和表1实验数据,分别计算各转速段内的塑性粘度和动切力(见表3),并由公式(5)和表1实验数据,分别计算不同转速对应的有效粘度(见表4)。

表3 不同转速段的塑性粘度和动切力
Table 3 Plastic viscosity and yield values in different rotationspeed ranges

泥浆配方	600 ~ 300 r/min		200 ~ 100 r/min		100 ~ 6 r/min		6 ~ 3 r/min	
	μ_p	τ_d	μ_p	τ_d	μ_p	τ_d	μ_p	τ_d
3% 膨润土	4	1.5	6	1.0	6	1.0	0	1.0
5% 膨润土	4	6.1	6	5.1	13	4.0	0	4.1
5% 膨润土+11% 砂土	5	6.6	6	6.1	13	5.0	100	4.6
5% 膨润土+0.1% CMC+0.25% 纯碱	9	7.7	9	7.2	22	4.9	100	4.6
4% 膨润土+0.1% CMC+0.2% 纯碱+10% 粘土	12	5.6	18	3.6	26	2.3	100	2.0

表 4 不同转速下的有效粘度

Table 4 Effective viscosity at different rotation speeds

泥浆配方	μ_e (mPa · s)					
	600 r/min	300 r/min	200 r/min	100 r/min	6 r/min	3 r/min
3% 膨润土	5.5	7	9	12	100	200
5% 膨润土	10	16	21	36	400	800
5% 膨润土 + 11% 砂土	11.5	18	24	42	550	1000
5% 膨润土 + 0.1% CMC + 0.25% 纯碱	16.5	24	30	51	550	1000
4% 膨润土 + 0.1% CMC + 0.2% 纯碱 + 10% 粘土	17.5	23	28.5	39	300	500

由表 3、4 中数据可以看出,不同的转速段所得到的塑性粘度和动切力是不同的,不同转速对应的有效粘度之间差距很大。钻孔灌注桩桩径大,上返速度低,剪切速率低,因此可采用 100 ~ 6r/min 和 6 ~ 3r/min 两个分段来计算塑性粘度和动切力。但是从表 3 中 6 ~ 3r/min 分段的计算结果可以看出由于六速粘度计仪器本身的精度问题会出现异常值,因此采用 100 ~ 6r/min 计算塑性粘度和动切力。根据钻孔灌注桩泥浆的低剪切速率范围(0 ~ 30s⁻¹),采用 3r/min 计算有效粘度。

综上分析,将 100r/min 和 6r/min 代入公式(3)、(4),将 3r/min 代入公式(5),推导出塑性粘度、动切力和有效粘度的计算公式如下:

$$\mu_p = 3.2(\theta_{100} - \theta_6) \tag{6}$$

$$\tau_d = 0.511 \times \theta_{100} - 0.544(\theta_{100} - \theta_6) \tag{7}$$

$$\mu_e = 100\theta_3 \tag{8}$$

动塑比即宾汉塑性流体动切力和塑性粘度的比值,用来表征泥浆剪切稀释性的强弱。由表 2 中的计算结果,得到几种典型钻孔灌注桩泥浆的动塑比(见表 5)。

表 5 钻孔灌注桩泥浆的动塑比

Table 5 Ratios of dynamic stress to plastic viscosity of bored-pile mud

泥浆配方	塑性粘度 (mPa · s)	动切力 (Pa)	动塑比 (Pa/mPa · s)
3% 膨润土	6	1.0	0.17
5% 膨润土	13	4.0	0.31
5% 膨润土 + 11% 砂土	13	5.0	0.38
5% 膨润土 + 0.1% CMC + 0.25% 纯碱	22	4.9	0.22
4% 膨润土 + 0.1% CMC + 0.2% 纯碱 + 10% 粘土	26	2.3	0.09

根据现场经验和有关计算,提出动塑比控制在 0.36 ~ 0.48Pa/(mPa · s)是比较适宜的,有利于实现平板型层流,达到稳定井壁和有效携渣的目的。由表 3 中数据可以看出,几种典型钻孔灌注桩泥浆的动塑比一般小于要求值,可以适当加入黄原胶(XC)提高动塑比。

当泥浆停止循环时,泥浆能迅速形成空间网架结构,将钻渣悬浮起来,或以很慢的速度下沉;而开泵时,泵压又不能上升太高,以防憋漏地层。提供悬浮能力的决定因素是泥浆的静切力和触变性。

假设钻渣颗粒为球形(Concha,2009;刘永建等,1990;周凤石,1982),根据它们的重力与泥浆对它们的浮力和竖向切力相平衡的关系,可以得到悬浮钻渣所需要的静切力为:

$$\tau_s = \frac{1}{6}[D_s(\rho_s - \rho_m)g] \tag{9}$$

式中,D_s为钻渣或加重剂颗粒的直径,mm;ρ_s为钻渣的密度,g/cm³;ρ_m为泥浆的密度,g/cm³;τ_s为泥浆的静切力,Pa;g为重力加速度,取 g = 9.8m/s²。

由公式可以看出,有效悬浮钻渣的静切力与钻渣粒径、密度和泥浆密度有关(Chien,1994)。计算不同粒径钻渣在不同泥浆密度中所需静切力见表 6。

表 6 有效悬浮钻渣静切力表

Table 6 Static shear stress of effective suspend drilling residual

岩土类型	钻渣粒径 (mm)	泥浆密度 (g/cm ³)	砂粒密度 (g/cm ³)	静切力 (Pa)
碎石土	60	1.05	2.7	16.5
	20	1.05	2.7	5.5
	10	1.05	2.7	2.75
砂土	2	1.05	2.7	0.55
	0.25	1.05	2.7	0.06875
粉土/粘性土	0.075	1.05	2.7	0.020625
	60	1.1	2.7	16
	20	1.1	2.7	5.333333
碎石土	10	1.1	2.7	2.666667
	2	1.1	2.7	0.533333
	0.25	1.1	2.7	0.066667
粉土/粘性土	0.075	1.1	2.7	0.02
	60	1.15	2.7	15.5
碎石土	20	1.15	2.7	5.166667
	10	1.15	2.7	2.583333
	2	1.15	2.7	0.516667
砂土	0.25	1.15	2.7	0.064583
	0.075	1.15	2.7	0.019375

对于碎石土, 钻渣粒径达到 60mm 时, 有效悬浮钻渣静切力 >15Pa; 当钻渣粒径为 10mm 时, 有效悬浮钻渣静切力 3Pa; 对于砂土, 其粒径小于 2mm, 泥浆静切力达到 0.5Pa, 就可以被泥浆有效悬浮。由六速粘度计测得的实验数据计算出几种典型泥浆的静切力, 包括初切力和终切力(见表 7), 从表中数据可以看出通过选用不同的泥浆配方一般可以满足悬浮钻渣的要求。

表 7 泥浆实验初切力、终切力表

Table 7 Initial and final shear stress of mud in tests

泥浆配方	θ_{3-1}	θ_{3-2}	静切力(Pa)
3% 膨润土	3	4	1.5/2
5% 膨润土	8	8	4/4
5% 膨润土 + 11% 砂土	10	12	5/6
5% 膨润土 + 0.1CMC + 0.25% 纯碱	11	25	5.5/12.5
4% 膨润土 + 0.1CMC + 0.2% 纯碱 + 10% 粘性土	5	20	2.5/10

3 水力参数分析

钻孔灌注桩泥浆的主要功用之一就是清洗井底并将钻渣携带到地面上来, 泥浆的清洗能力除取决

于泥浆的流变性能外, 还取决于循环系统的水力参数。泥浆流变参数直接用于水力学的有关计算, 二者缺一不可。与泥浆携带钻渣密切相关的两个水力学参数是携带比(LC)和雷诺系数(Re)。

3.1 钻孔灌注桩泥浆环空流型分析

紊流上返速度高, 携带土渣能力强, 但要求泵的排量大(柳宗仁等, 2000; 查显东, 2010)。同时, 由于上返速度高对岩土层冲刷容易导致地层失去稳定性, 高的上返速度不利于稳定孔/槽壁。因此, 钻孔灌注桩泥浆的环空流态应保证为层流。由公式(10)、(11)结合实验数据计算出钻孔灌注桩泥浆在环空中的雷诺系数(见表 8)。

$$\mu_{ea} = \frac{0.1336\tau_d(D - D_{p_2})}{v_a} + \mu_p$$

(10)

$$R_{ea} = \frac{1000(D - D_{p_2})v_a\rho_m}{\mu_{ea}}$$

(11)

式中, μ_{ea} 为有效粘度, $\text{mPa} \cdot \text{s}$; v_a 为上返速度, m/s ; D 为钻孔直径, mm ; D_{p_2} 为钻杆外径, mm ; ρ_m 为泥浆密度, g/cm^3 ; R_{ea} 为环空雷诺系数, 无量纲。

从表中数据可以看出, 钻孔灌注桩泥浆的环空雷诺系数 $Re < 2100$, 属于层流。

表 8 正循环钻孔灌注桩泥浆环空雷诺系数

Table 8 Reynolds coefficients of borehole – pile mud in annular space

钻孔直径(mm)	钻杆外径(mm)	泥浆密度(g/cm^3)	动切力(Pa)	塑性粘度($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	上返速度(m/s)	有效粘度($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	雷诺系数
150	73	1.05	5	13	0.17	316	44
150	89	1.05	5	13	0.17	253	43
600	114	1.1	4	10	0.25	1049	127
800	114	1.1	4	10	0.25	1476	128
1000	89	1.15	11	26	0.50	2704	194
1000	114	1.15	11	26	0.50	2630	194

表 9 正循环钻孔灌注桩泥浆携渣能力计算

Table 9 Carry ability of drilling residual of borehole – pile mud in annular space

钻孔直径(mm)	钻杆外径(mm)	泥浆密度(g/cm^3)	动切力(Pa)	塑性粘度($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	上返速度(m/s)	有效粘度($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	钻渣直径(mm)	钻渣密度(g/cm^3)	沉降速度(m/s)	携带比
150	73	1.05	4	10	0.17	252	0.075	2.2	0.000014	1.00
150	89	1.05	4	10	0.17	202	0.075	2.2	0.000017	1.00
600	114	1.1	5	13	0.25	1312	10	2.2	0.046	0.73
800	114	1.1	5	13	0.25	1846	10	2.2	0.032	0.81
1000	89	1.15	11	26	0.5	2704	10	2.2	0.021	0.88
1000	114	1.15	11	26	0.5	2630	60	2.2	0.78	– 3.60

3.2 层流携渣原理

钻孔灌注桩桩径大,泥浆上返速度低,环形空间内泥浆处于层流状态。泥浆循环过程中携带钻渣颗粒向上运动,钻渣颗粒由于重力作用向下滑落,钻渣颗粒向上运动的速度取决于泥浆的上返速度与颗粒自身滑落速度之差,即

$$v_p = v_a - v_s \quad (12)$$

式中, v_p - 岩屑的净上升速度, m/s; v_a - 泥浆的上返速度, m/s; v_s - 钻渣的沉降速度, m/s。

钻渣颗粒的沉降速度与钻渣颗粒的尺寸、钻渣的密度、泥浆密度和泥浆有效粘度有关(方国球, 1995; SY5234 - 2004, 2004), 计算公式如下,

$$v_s = \frac{(\rho_s - \rho_m) g D_s^2}{18 \mu_{ea}} \quad (13)$$

式中, 符号物理意义同前。

v_p/v_a 为泥浆的携带比, 携带比大于等于 0.5 时认为泥浆能够稳定有效携带钻渣。

从表 9 数据可以看出, 对于稳定地层(如粘土层), 上返速度在 0.17m/s 时即可满足携渣要求, 也可以在泵量允许范围内适当提高返速; 对于非固结地层返速在 0.25 ~ 0.5m/s 时一般也可以满足携渣要求, 但当钻渣颗粒尺寸特别大时无法靠提高返速将其携带到地面, 可以通过重复破碎将少量大块钻渣携带出地面。

4 结论

实验研究表明钻孔灌注桩泥浆基本属于宾汉塑性流体。推导出适合评价钻孔灌注桩泥浆的流变参数计算公式。指出钻孔灌注桩泥浆的层流特性, 并对其悬浮和携渣特性进行了定量分析。

[References]

- Chien S. F. 1994. Settling velocity of irregularly shaped particles [R]. SPE Drilling & Completion, 9(4): 281 - 289
- Concha F. 2009. Settling velocities of particulate systems [J]. KONA Powder and Particle Journal, 27: 18 - 36
- DZ/T 0155 - 95. 1995. Bored-pile construction practice [S]. Beijing: Geological Publishing Press: 25 - 28 (in Chinese)
- Fang Guo-qiu. 1995. An experimental study of free settlement of drilling cuttings in drilling fluid - Drag coefficient and settling velocity [J]. Exploration Engineering, 5: 41 - 43 (in Chinese with English abstract)
- Giu S A. 1980. Applications of slurry walls in civil engineering [J]. Journal of Construction Division, 106(6): 156 - 157
- Jing He-ping. 1990. The cleaning action of foam liquid for rock powder [J]. Geology and Prospecting, 12: 45 - 47 (in Chinese with English abstract)
- Jing He-ping, Jing Ming, Liu Ning-sheng. 2001. The alternative of large

diameter bored bit and drilling technology in the boulder bed [J]. Geology and Prospecting, 37(4): 79 - 80 (in Chinese with English abstract)

- Li Yue-liang. 1987. SM vegetable gum drilling fluid which is used for drilling in cobble stone [J]. Geology and Prospecting, 5: 69 - 73 (in Chinese with English abstract)
- Liu Yong-jian, Sun Wei-lin. 1990. Settling velocity of spherical drilling cuttings in Herschel-Bulkley fluid [J]. Oil Drilling and Production Engineering, 3: 15 - 18 (in Chinese)
- Lin Zong-yuan. 1993. Geotechnical processing manual [M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press: 453 - 455 (in Chinese)
- Liu Zong-ren, Wang Zhen-fu. 2000. The pumping rate optimization of pumping reverse-circulation under-reamed bored pile [J]. Geology of Shanxi, 18(2): 68 - 71 (in Chinese)
- Liu Mu-feng, Peng Zhen-bin, Wang Jian-jun, Peng Wen-xiang. 2010. Drilling technology of bored-pile in alternating layer of hard and soft rock [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 41(3): 1109 - 1115 (in Chinese with English abstract)
- SY/T5234 - 2004. 2004. Basic Methods for Optimized Drilling and Applications [S]. Beijing: Petroleum Industry Press: 28 - 41 (in Chinese)
- Wu Xiao-ming, Hu Yu-le, He Bing-xin, Cai Ji-hua. Drilling fluid and geotechnical mud [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press: 1 - 105 (in Chinese)
- Xu Fen-qiang, Wang Xu. 2004. Research on stability of hole wall of deep bore hole with mud dado and limit deepness of bore hole [J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University (Natural Science), 23(4), 9 - 12 (in Chinese with English abstract)
- Yan Jie-nian. 2006. Drilling Fluid Technology [M]. Dongying: China University of Petroleum Press: 57 - 88 (in Chinese)
- Zhou Feng-shi. 1982. Settling velocity calculation and application of drilling cuttings [J]. Oil Drilling and Production Engineering, 7: 14 - 29
- Zomora M, Bleier R. 1997. Prediction of drilling mud rheology using a simplified Herschel-Bulkley model [J]. Journal of Pressure Vessel Technology, 99(3), 485 - 490
- Zha Xian-dong. 2010. Settling velocity analysis of drilling cuttings [J]. Journal of Suzhou University, 25(8): 58 - 59 (in Chinese)
- Zhan Yang-lie, Xu Li-sheng, Li Yue-liang. 2010. Analysis and discussion on the rheology of SM vegetable gum drilling fluid [J]. Geology and Prospecting, 46(2): 343 - 347 (in Chinese with English abstract)

[附中文参考文献]

- 方国球. 1995. 钻井岩粉在钻井液中自由沉降的实验研究 - 岩粉的沉降阻力系数及沉降速度 [J]. 探矿工程, 5: 41 - 43
- DZ/T 0155 - 95. 1995. 钻孔灌注桩施工规程 [S]. 北京: 地质出版社: 25 - 28
- 荆和平. 1990. 泡沫液对岩屑的携带作用 [J]. 地质与勘探, 12: 45 - 47
- 荆和平, 经明, 刘宁生. 2001. 卵漂石地层大口径钻头与钻进工艺的选择 [J]. 地质与勘探, 37(4): 79 - 80
- 李月良. 1987. 一种用于砂卵石钻进的 SM 植物胶 [J]. 地质与勘

探, 5: 69 – 73

刘永建, 孙维林. 1990. 球形岩屑在赫—巴流体中的沉降速度[J]. 石油钻采工艺, 3: 15 – 18

林宗元. 1993. 岩土工程治理手册[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社: 453 – 455

柳宗仁, 王振福. 2000. 泵吸反循环灌注桩钻进泵量选择的探讨[J]. 陕西地质, 18(2): 68 – 71

刘陆峰, 彭振斌, 王建军, 彭文祥. 2010. 一种软硬互叠岩层钻孔灌注桩钻进技术[J]. 中南大学学报(自然科学版), 41(3): 1109 – 1115

SY/T5234 – 2004. 2004. 优选参数钻井基本方法及应用[S]. 北京: 石油工业出版社: 28 – 41

乌效鸣, 胡郁乐, 贺冰新, 蔡记华. 2002. 钻井液与岩土工程浆液[M]. 武汉: 中国地质大学出版社: 1 – 105

徐奋强, 王 旭. 2004. 护壁泥浆与孔壁稳定性及极限孔深[J]. 兰州交通大学学报(自然科学版), 23(4): 9 – 12

鄢捷年. 2006. 钻井液工艺学[M]. 东营: 中国石油大学出版社: 57 – 88

周凤石. 1982. 岩屑沉降速度的理论计算及其在钻井中的应用[J]. 石油钻采工艺, 7: 14 – 29

查显东. 2010. 钻孔灌注桩沉渣分析及处理方法[J]. 宿州学院学报, 25(8): 58 – 59

占祥烈, 徐力生, 李月良. 2010. SM 植物胶冲洗液的流变性分析与探讨[J]. 地质与勘探, 46(2): 343 – 347

Rheological Behavior and Hydraulic Parameters of Bored-pile Mud

ZHENG Xiu-hua¹, ZHANG Xin-ming¹, YU Jin-yang¹, CHEN Xi², LIU Xuan-peng¹, LIU Cui-na¹, LIANG Nan¹

(1. China University of Geosciences(Beijing) , Beijing 100083 ;

2. Avic Geotechnical Engineering Institute Co. ,Ltd, Beijing 100098)

Abstract: Mud is used to stabilize the borehole wall, and suspend and remove drilling residuals, of which the rheological behavior and hydraulic parameters are very important. This work carried out an experimental study on the rheological behavior of bored-pile mud. Formulas of rheological parameters were deduced. Borehole-wall stabilization, drilling residual removal and suspension characters of bored-pile mud were analyzed. The results have theoretical and practical significance for evaluating and optimizing bored-pile mud.

Key words: bored-pil, mud, rheological behavior, hydraulic parameters

