

稳定剂水泥浆流变机理研究

齐伟军¹, 夏 春²

(1. 黑龙江科技学院, 黑龙江 哈尔滨 150027; 2. 莱阳农学院, 山东 莱阳 265200)



齐伟军

[摘要] 对聚合物稳定剂水泥浆和膨润土稳定剂水泥浆进行了流变性试验研究,按宾汉流变模型对其流变参数进行了理论计算;研究结果表明,聚合物稳定剂水泥浆动切应力较膨润土稳定剂水泥浆低,其浆液的可灌性和扩展半径要优于膨润土稳定剂水泥浆,可成为GIN灌浆法中优良的稳定水泥浆液,该项研究具有很强的工程实用价值。

[关键词] 稳定浆液; 水泥浆; 流变性; 宾汉流体

[中图分类号] TU528.042 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1002-3550(2005)09-0006-06

Rheological mechanism of stabilizer cement paste

QI Weijun¹, XIA Chun²

(1. College of Architecture and Civil Engineering, Heilongjiang Institute of Science & Technology, Harbin 150027, Heilongjiang, China;
2. Laiyang Institute of Agriculture, Laiyang 265200, Shandong, China)

Abstract: The test study on the rheological property of polymer-stabilizer cement paste and expansive soil-stabilizer cement paste is carried out, and the theoretical calculation of the rheological coefficient is performed based on the Bingham Fluid Model. The research results demonstrate that the dynamic tangential stress of the polymer-stabilizer cement paste is smaller than that of the expansive soil-stabilizer cement paste. The groutability and extending radius of the former are better than those of the later. The polymer-stabilizer cement paste can be used as an excellent stable grouting liquid in GIN grouting method. This polymer-stabilizer cement paste is potential in engineering practice in future.

Key words: stable grouting liquid; cement paste; rheological property; Bingham Fluid

0 前言

灌浆强度值法又称GIN灌浆法,其核心是采用稳定性水泥浆液,是国际近年发展的一种先进灌浆法^[1]。以往人们对普通水泥和细水泥配制的普通浆液研究较多^[2~3],这些普通灌浆材料的最大弊端是费时,浪费浆材。因此,许多国家正积极发展水泥稳定浆材的研究,并致力于对GIN法灌浆技术的发展与推广,近年GIN灌浆法在我国小浪底水利工程中已得到成功的应用。

1 水泥浆的流变性基本流型种类

水泥浆在外力作用下流动时,各层间流速是不同的^[4]。如图1所示,用dx表示层间距离,dv表示流层间流速增量,则dv/dx为流速梯度(剪切速率),层间流速不同导致流层间产生内摩擦力,以阻碍流层间的相对运动,此时流体具有粘滞性,其中内摩擦力F与流体性质有关,并与剪切速率dv/dx及流层间接触面积S成正比,用公式可推导出剪切应力与粘度的关系式:

$$F = \eta S \frac{dv}{dx} \quad (1)$$

令 $\tau = \frac{F}{S}$, 则有:

$$\tau = \eta \frac{dv}{dx} \quad (2)$$

式中 η ——粘性系数,也称为粘度;

τ ——单位面积上的内摩擦力,即剪变应力。

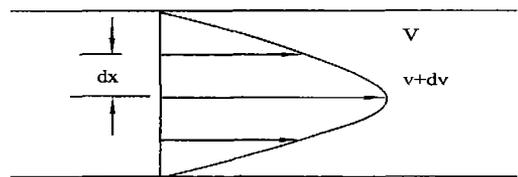


图1 流体流速分布

根据流变体的不同流变性能,流变体的基本流型可分为牛顿流体和非牛顿流体。其中牛顿型是研究问题的基础。多年来,人们用塑型,即宾汉流体来描述水泥浆^[5],但也有少数用假塑型及膨胀型流体来研究水泥浆流变性的^[6]。

[收稿日期] 2005-04-25

牛顿型流体: 牛顿流体是一种具有常粘度的流体, 这种流体的本构方程为:

$$\tau = \eta_0 D \quad (3)$$

式中 D ——切变速率;
 η_0 ——粘度系数。

其中 $D = \frac{dv}{dx}$, 则(3)式得:

$$\tau = \eta_0 \frac{dv}{dx} \quad (4)$$

凡是流动性不能用本构方程式(3)或(4)来描述的流体, 被称之为非牛顿流体。非牛顿型流体动切应力 τ 和切变速率 D 之间的关系, 可能是非线性的, 也可能具有记忆(即弹性)特性的。

对稳定性水泥浆及多数乳状或悬浮状流体都属于非牛顿流体。据动切应力和切变速率的关系, 流变体可能表现出的几种流型, 见图2。由图2可知牛顿型流体流变曲线呈直线型, 即动切应力与切变速率 D 成正比。

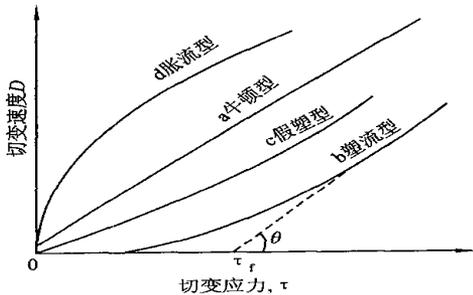


图2 流变曲线类型

塑型流体: 也称为宾汉流体, 水泥浆一般属于塑型流体, 其内部摩擦相当复杂。在塑性流体中只有动切应力达到屈服值 τ_r 后, 流体才会流动。这时流体结构完全破坏, 经过一小段弯曲后成直线, 见图2。直线斜率倒数为塑性粘性系数 $\eta_{塑}$ 。塑型流体的流变公式为:

$$\tau = \tau_r + \eta_{塑} D \quad (5)$$

稳定性水泥浆液及新拌水泥浆一般都具有此种流动性。塑型流体流动与分散相中粒子的相互接触有关, 在一定的动切应力作用下, 粒子间的拆散与重组速度处于某种平衡状态, 此时呈稳定流动。当动切应力增加后, 又达到另一平衡点。动切应力超过某数值(τ_r)后, 其拆散速度大于重组速度, D 与 τ 即呈直线关系。动切应力移出之后, 粒子又重新组合, 又恢复原来状态。

假塑型流体: 该流体的特点体系没有屈服值, 流变曲线从原点开始, 动切应力与切变速率之比(即粘性系数)随切变速率的增加而减小, 所以粘性系数 η 不是常数, 是切变速率的函数。见图2中曲线c。

若以粘性系数的对数值与切变速度的对数值作图, 可得一条直线, 其斜率在0~1之间。因此可以用

指数关系来描述假塑型流体的流变性能。

$$\tau^n = KD \quad (6)$$

式中 n ——是常数;

K ——是液体稠度的量度。

K 值愈大则液体愈粘, 流性指数 $n < 1$ 。当 $n = 1$ 时为牛顿型流体。

假塑型流体中粘性系数 η_a , 即动切应力与切变速率之比, 与切变速率的关系为:

$$\eta_a = \frac{d\tau}{dD} = \frac{K}{n} \tau^{1-n} \quad (7)$$

膨胀型流体: 也称胀流型流体, 该流型与假塑型相反, 表现粘度随切变速率的增加而升高, 见图2中d; 粘性系数与切变速率数值在对数坐标图中, 其结果也是直线关系, 所以式(6)也适用于膨胀型流体, 但 $n < 1$ 。产生膨胀的原因是体系中粒子间排列很密, 静止时粒子间液体占有空隙体积最小, 搅动时粒子发生重排, 使空隙体积增加, 所以体系的总体积有所膨胀。由于空隙增大, 粒子接触处的液层量减少, 液层间原有的润滑作用相应减少, 于是增加了流动阻力。

2 水泥浆流变参数的测定与计算方法

浆体的流变参数一般采用粘度仪来测定, 目前常用的有旋转式和毛管式粘度仪。这两种仪器均能较方便地测出浆体受剪时的动切应力和切变速率, 由此可算出浆体的流变参数值。

本试验采用的是D6-ZNN型六速旋转粘度仪, 该粘度仪为外筒旋转的同轴圆筒式粘度仪, 它是由装试料浆的旋转外筒及悬于试料浆体中的内筒组成, 内外筒同轴, 当外筒旋转时, 由于试验浆料的粘性, 在内筒壁上产生旋转力矩, 粘度仪结构原理见图3。

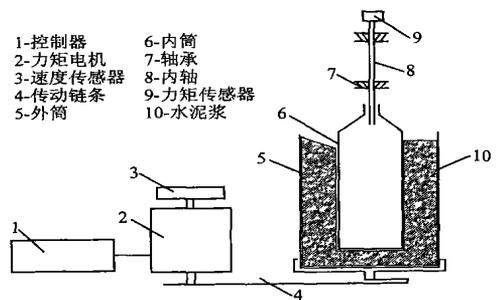


图3 粘度仪结构原理图

根据流变学原理, 用稠度系数 K 可以反映水泥浆稀稠程度, 它与水泥浆固相含量及分散相有关; 用流性指数 n 可以反映水泥浆非牛顿性质的强弱。所谓非牛顿性质是指浆液的粘度不服从牛顿流体内摩擦定律, 粘度随流速增大而减小(即剪切稀释)的性质。

根据指数方程和牛顿内摩擦定律可得:

$$K = \left[\frac{\tau}{\frac{dv}{dx}} \right]^n \quad (8)$$

式: $\left(\frac{dv}{dx}\right)$ 为流速梯度 D , 代入上式即可求出流性指数 n :

$$n = \frac{\lg \tau - \lg K}{\lg D} \quad (9)$$

流变学中还有一重要参数是表观粘度。它的定义是: 在某一流速梯度下, 用流速梯度去除相应的切应力所得的商。即:

$$\eta_i = \tau_i / \left(\frac{dv}{dx}\right) = \frac{\tau_i}{D_i} \quad (10)$$

只要测出一组切应力 τ 和流速梯度 D 的读数, 即可算出该流速梯度下的表观粘度。同一水泥浆在不同的流速梯度下的表观粘度是不同的, 见图 4 中 oa 、 ob 、 oc 线段的斜率是不同的。水泥浆一般在 600 转/分下进行测定, 即此时表观粘度这项指标是指在流速梯度约 1000 秒^{-1} 下的表观粘度值。

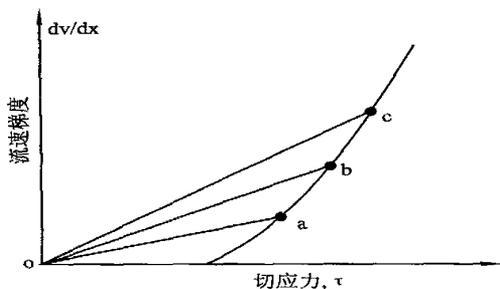


图 4 水泥浆不同流速梯度下的表观粘度

对于宾汉流体: $\tau = \tau_f + \eta_{\text{塑}} D$ (11)

其表观粘度为: $\eta' = \tau / D = \tau_f / D + \eta_{\text{塑}}$ (12)

由式(11)可看出, 宾汉流体的表观粘度等于塑性粘度与由屈服值和流速梯度决定的这部分粘度之和, 它反映两者总的粘滞作用, 是总粘度的意思。

用旋转粘度仪测定表观粘度时, 对不同稠度的水泥浆, 一律在固定的流速梯度(600 转/分) 下进行测定, 这样在比较不同水泥浆的表观粘度时就有了一个共同的基础。因此, 用旋转粘度仪测得的表观粘度能较好地表征和比较水泥浆的稠度。

旋转粘度仪中, 设半径为 R_2 的外筒以恒定的角速度 Ω 旋转, 半径为 R_1 的内筒旋转一定角度后不再旋转。位于两筒之间的水泥浆则以同心圆筒层形式旋转, 见图 5。紧贴外筒的液层具有与外筒相同的角速度 Ω ; 紧贴内筒的角速度为 0。用 ω 表示半径为 r 的中间任一液层的角速度。显然, 此液层的角速度梯度为 $\frac{d\omega}{dr}$, 相应的线速度是 $\frac{rd\omega}{dr}$ 。设圆筒的高度为 h , 则此液层的侧面积为 $S = 2\pi rh$ 。因此, 可算出维持外筒恒速旋转的转动动力矩为:

$$M = r\eta \frac{rd\omega}{dr} 2\pi rh = 2\pi hr^3 \frac{d\omega}{dr} \quad (13)$$

或 $M \frac{dr}{r^3} = 2\pi\eta h d\omega$ (14)

式(14)就是旋转粘度仪的基本方程。

当 $r = R_1$ 时, $\omega = 0$; $r = R_2$ 时, $\omega = \Omega$ 。积分式(14)可得:

$$-\frac{M}{2R_2^2} + \frac{M}{2R_1^2} = 2\pi\eta h \Omega \quad (15)$$

M 可看为常数, 于是可得表观粘度为:

$$\eta = \frac{M(R_2^2 - R_1^2)}{4\pi h R_1^2 R_2^2 \Omega} \quad (16)$$

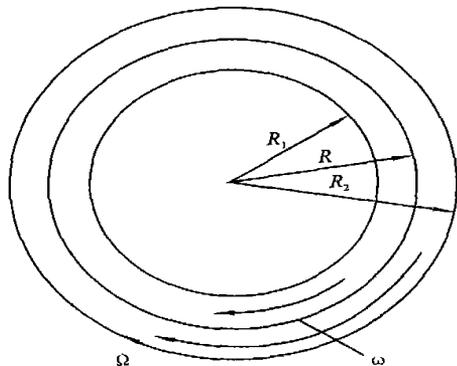


图 5 液体在同轴圆筒间的层流

当外筒恒速旋转时, 作用在外筒上的转矩等于扭力弹簧反转矩, 即 $M = \phi \epsilon$, ϕ 为扭转格读数, ϵ 为每格读数代表的转矩(达因-厘米)。 $\Omega = \frac{2\pi}{60}$ (弧度/秒), 将 Ω 代入式(16)得:

$$\eta = \frac{M(R_2^2 - R_1^2)}{4\pi h R_1^2 R_2^2 \frac{2\pi}{60}} = \frac{15\phi \epsilon (R_2^2 - R_1^2)}{2\pi^2 h R_1^2 R_2^2} \quad (17)$$

为了确定水泥浆的流变参数和绘制流变曲线, 要求出不同转速下的流速梯度和剪切应力。旋转粘度仪通过测量转筒扭矩 M , 推算出作用在内筒单位面积上的力, 即为剪切应力:

$$\tau = \frac{M}{2\pi R_1^2 h} = \frac{\phi \epsilon}{2\pi R_1^2 h} \quad (18)$$

将式(18)、(19)代入式(10)中, 即可算出流速梯度:

$$D = \frac{\pi R_2^2}{15(R_2^2 - R_1^2)} \quad (19)$$

此流速梯度是靠近内筒表面处的液体的流速梯度, 是最大流速梯度。

按宾汉公式求塑性粘度 $\eta_{\text{塑}}$ 和动切应力 τ_f , 需在流变曲线的直线段任意测出两组流速梯度和动切应力 ($\tau_1, D_1; \tau_2, D_2$), 见图 6。可得下列方程组:

$$\begin{cases} \tau_1 = \tau_f + \eta_{\text{塑}} D_1 \\ \tau_2 = \tau_f + \eta_{\text{塑}} D_2 \end{cases}$$

解此方程组得:

$$\eta_{\text{塑}} = \frac{\tau_2 - \tau_1}{D_2 - D_1} = 100 \frac{\tau_2 - \tau_1}{D_2 - D_1} \quad (20)$$

$$\tau_f = \frac{\tau_1 D_2 - \tau_2 D_1}{D_2 - D_1} \quad (21)$$

关于流性指数和稠度系数,可近似按假塑性流体确定。对于假塑性流体 $\tau = KD^n$, 两边取对数得:

$$\lg \tau = \lg K + n \lg D \quad (22)$$

以 $\lg \tau$ 与 $\lg D$ 作图即得一直线, 斜率就是流性指数 n 。也可任取两 ($\lg \tau_1, \lg \tau_2, \lg D_1, \lg D_2$), 代入上式, 解其联立方程可得:

$$n = \frac{\lg \tau_2 - \lg \tau_1}{\lg D_2 - \lg D_1} \quad (23)$$

$$K = 10^{\left[\frac{\lg D_2 \lg \tau_1 - \lg D_1 \lg \tau_2}{\lg D_2 - \lg D_1} \right]} \quad (24)$$

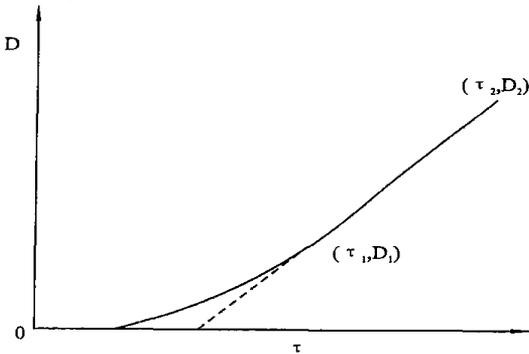


图6 取两组流速梯度和切应力的值

表观粘度可按式(17)计算, 代入相应于该转速下的扭转格读数, 即可求出该转速下的表观粘度。如果分别按式(18)、(19)算出切应力 τ 和流速梯度 D , 代入式(10)即可求出该流速梯度下的表观粘度。

上述基本公式是基于理论上的, 在实际应用中为了便于应用, 往往将旋转粘度仪设计成直读的。例如, D6-ZNN型六速旋转粘度仪只需读取二个数值, 即转数(转/分)和扭转格数(ϕ), 便可按下列推导的公式算出塑性粘度、动切应力、表观粘度(600转/分时)、流性指数和稠度系数。

由于水泥浆按宾汉流变体进行计算, 依据塑性粘度定义, 按式(20)得:

$$\eta_{\text{塑}} = \frac{\tau_{600} - \tau_{300}}{D_{600} - D_{300}} = \frac{5(\tau_{600} - \tau_{300})}{1000 - 500} = \frac{1}{100}(\phi_{600} - \phi_{300})$$

$$\text{或: } \eta_{\text{塑}} = \phi_{600} - \phi_{300} (\text{MPa} \cdot \text{s}) \quad (25)$$

$$\tau_f = \tau - \eta_{\text{塑}} D \text{ 或 } \tau_f = \tau_{600} - \eta_{\text{塑}} D_{600}$$

$$\begin{aligned} \tau_f &= \tau_{600} - \eta_{\text{塑}} D_{600} = \varepsilon \phi_{600} - \frac{\varepsilon(\phi_{600} - \phi_{300})}{1000 - 500} 1000 \\ &= 0.5(\phi_{300} - \eta_{\text{塑}}) (\text{Pa}) \end{aligned} \quad (26)$$

式中: ϕ_{600}, ϕ_{300} 分别为转速为 600 转/分及 300 转/分时, 旋转粘度仪扭转格读数; D_{600}, D_{300} 分别为转速为 600 转/分及 300 转/分时, 旋转粘度仪流速梯度值, 其 $D_{600} = 1000 \text{ 秒}^{-1}, D_{300} = 500 \text{ 秒}^{-1}$; ε 为旋转粘度仪刻度盘每旋转一小格所代表作用在内筒表面上的剪切应力值。

由于塑性流体的表观粘度是在某一流速梯度下用流速梯度去除相应的切应力所得的商。那么, 600 转/分时的表观粘度为:

$$\eta_{\text{表现}} = \frac{\tau_{600}}{D_{600}} = \frac{5\phi_{600}}{1000} = \frac{1}{200}\phi_{600}$$

$$\text{或: } \eta_{\text{表现}} = \frac{1}{2}\phi_{600} (\text{MPa} \cdot \text{s}) \quad (27)$$

根据式(3-22)可求出流性指数:

$$n = \frac{\lg \phi_{600} - \lg \phi_{300}}{\lg D_{600} - \lg D_{300}} = \frac{1}{\lg 2} \lg \frac{\phi_{600}}{\phi_{300}} = 3.322 \lg \frac{\phi_{600}}{\phi_{300}}$$

$$\text{即: } n = 3.322 \lg \frac{\phi_{600}}{\phi_{300}} \quad (28)$$

由假塑性液体的指数公式 $\tau = KD^n$ 可得:

$$K = \frac{\tau}{D^n} = \frac{\varepsilon \phi}{D^n} \quad (29)$$

式中: ε —旋转粘度仪刻度盘每旋转一小格所代表作用在内筒表面上的剪切应力值(达因/厘米²/格)。将 300 转/分的数据代入后得:

$$K = 0.5 \frac{\phi_{300}}{500^n} (\text{N} \cdot \text{s}^n / \text{mm}^2) \quad (30)$$

由以上公式可知, 只要在旋转粘度仪读取在某一转速下刻度格的读数 ϕ , 即可利用式(24)~(30)计算出各流变参数值。

3 对稳定水泥浆流变性的机理分析

本项研究中分别配制了聚合物稳定剂水泥浆和膨润土稳定剂水泥浆。采用 D6-ZNN 型六速旋转粘度仪测其流变数据。并绘制出各浆体在不同搅拌时间下所测的旋转粘度仪转速(n/min)与旋转粘度仪刻度格读数的直角坐标图曲线, 见图 7~图 9。

图中: 1T 为水灰比 0.8 的膨润土水泥浆, 2T 为水灰比 1.0 的膨润土水泥浆; 1G 为水灰比 0.8 的聚合物水泥浆, 2G 为水灰比 1.0 的聚合物水泥浆。在坐标图中纵轴刻度格读数越大, 水泥浆粘性就越大; 横轴转速越大, 剪切速率亦越大。因此, 采用转速与刻度格读数坐标图, 可以反映出浆体随旋转速度或剪切速率的增加, 其粘性的变化情况。

在图 7 至图 9 中, 发现膨润土稳定剂水泥浆和聚合物稳定剂水泥浆随旋转速度的加快, 流变仪刻盘的读数也在增加, 这表明随剪切速率的加快浆体粘度也在逐渐提高。从图中可看出聚合物稳定剂水泥浆斜率比膨润土稳定剂水泥浆体的曲线要大; 另一方面, 聚合物稳定剂水泥浆随搅拌时间的延长, 其刻度格的读数或粘度逐渐减低, 这表明随搅拌时间的延长聚合物水泥浆粘度呈下降趋势。

在水泥浆体系中, 在搅拌初期水泥胶粒由于搅拌被分散, 使水泥胶粒密度增加, 导致粘度略有上升。水泥浆体系中掺入聚合物稳定剂后, 浆体的流变性质变得更为复杂。因为聚合物大分子以松散线团存在, 聚合物分子链中存在活性基团, 在水泥浆中吸附水泥胶粒形成一定的空间网络结构, 使体系的粘度增加; 当在搅拌剪切应力作用下, 大分子长链被拉开, 使无

机盐导致聚合物分子链收缩作用减弱,随搅拌时间的持续作用,会阻止或破坏水泥浆中形成的空间网络结构。因此,随搅拌时间的进行,体系中的粘度和内聚力都有一定的下降趋势。

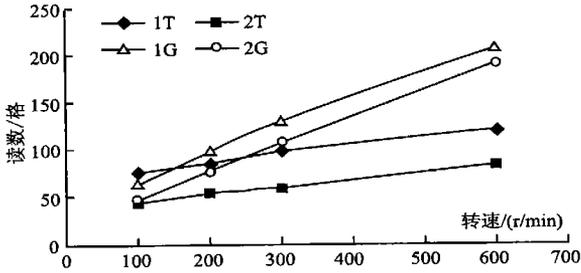


图7 搅拌30min 转速与读格关系曲线

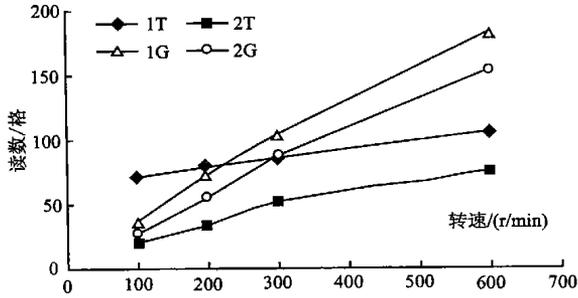


图8 搅拌90min 转速与读格关系曲线

现以膨润土稳定剂水泥浆,水灰比为0.8的搅拌1T_{230min}后的流变参数计算为例:

$$\eta_{\text{表现}} = \frac{1}{2}\phi_{600} = \frac{1}{2} \times 120 = 60 (\text{MPa}\cdot\text{s})$$

$$\eta_{\text{塑}} = \phi_{600} - \phi_{300} = 120 - 98 = 22 (\text{MPa}\cdot\text{s})$$

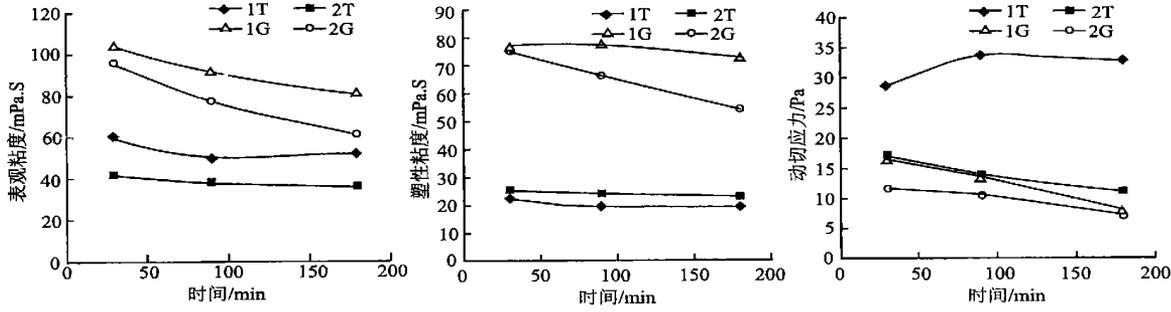


图10 膨润土(T)、聚合物(G)水泥浆表观粘度、塑性粘度、动切应力与搅拌时间的关系

水泥浆的粘度随搅拌时间延长而降低,可由水泥水化机理得到解释。搅拌时水泥水化结晶过程与搅拌时晶体被破坏过程同时进行。搅拌初期晶体形成速度大于破坏速度,总趋势是结晶的晶体逐渐密集,由于水化时间短,形成速度较快;另外未水化的颗粒由于表面形成水化物膜层,膜层的膨胀使得相互间的空隙减小,反映在粘度上是粘度增加较快。随搅拌时间的延续,由于水泥胶粒表面的静电作用,同性相吸,异性相斥,互相形成边一边或面一面,边一面的凝聚,由水泥浆的触变性的研究知道以边一边结构存在比例最大^[7],这种结构经搅拌,其破坏成为边一面和面一面结构,使粘度下降或增长速度减慢,转换过程参

$$\tau_r = 0.5(\phi_{300} - \eta_{\text{塑}}) = 0.5(79 - 22) = 28.5 (\text{Pa})$$

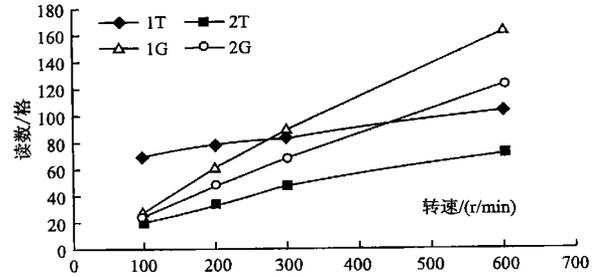


图9 搅拌180min 转速与读格关系曲线

根据试验绘制出膨润土、聚合物稳定剂水泥浆表观粘度、塑性粘度、动切应力等流变参数,在不同水灰比下与搅拌时间的关系,见图10。从图可知:膨润土稳定剂水泥浆和聚合物稳定剂水泥浆的流变参数与水灰比密切相关,随着水灰比的加大,表观粘度 $\eta_{\text{表现}}$ 及塑性粘度 $\eta_{\text{塑}}$ 均变小;动切应力(屈服值) τ_r 则随水灰比的减小而显著加大;说明动切应力(屈服值) τ_r 对水灰比很敏感。

从图10中还可看出,无论是表观粘度 $\eta_{\text{表现}}$ 还是塑性粘度 $\eta_{\text{塑}}$,聚合物稳定剂水泥浆液都要高于膨润土稳定剂水泥浆液;但聚合物稳定剂水泥浆液水灰比为0.8时的动切应力,却明显低于膨润土稳定剂水泥浆液。聚合物稳定剂水泥浆液的表观粘度 $\eta_{\text{表现}}$ 、塑性粘度 $\eta_{\text{塑}}$ 及动切应力(屈服应力) τ_r 都随搅拌时间延长而降低。

见图11。

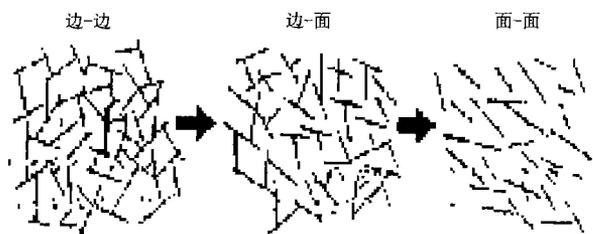


图11 颗粒结构转换图

由于膨润土稳定剂水泥浆液是目前国内外普遍采用的,因此,以此作对比来研究聚合物稳定剂水泥浆液的流变性。试验表明,水灰比较低时按宾汉流

• 下转第17页 •

7 展望

对于磁化水的研究是一个系统的过程, 以下的课题我们今后将做进一步研究: (1) 磁化水对混凝土性能的影响; (2) 外加剂溶液的磁化对砂浆和混凝土性能的影响; (3) 磁化水对混凝土耐久性(抗冻性、孔径分布、渗透性、干燥收缩等)的影响; (4) 水质变化对磁化效果的影响; (5) 磁化器自动化控制问题。

[参考文献]

- [1] 杨乔宇. 探讨哈耳电压与水磁化变数之关系及其对水泥砂浆抗压强度之影响(硕士学位论文)[D]. 台湾: 国立中央大学, 2004.
- [2] Nan Su, Chea-Fang Wu. Effect of magnetic field treated water on mortar and concrete containing fly ash. *Cement and Concrete Research*, 2003, 25(2003): 681-688.
- [3] 董学校. 磁化水拌制混凝土研究(硕士学位论文)[D]. 大连: 大连理工大学, 2001.

• 上接第5页•

积放热量随着掺量的增加先减少而后回升, 从热学角度上表现出了加速水化的态势, 但是在电阻率曲线上, 则表现出结构弱化的发展趋势, 与强度发展趋势一致。

(3) 有机类缓凝剂对水泥水化历程的调控均存在双临界效应: 一、在相对较低掺量水平下, 表现为缓凝效果, 当掺量较大时, 则表现为促凝效果, 但是浆体长时间不硬化, 无强度发展; 二、缓凝效果存在临界掺量值, 低于临界值时, 缓凝效果随掺量增加而增加, 超过临界值时, 缓凝效果随掺量增加而下降。

[参考文献]

- [1] 林少鸿, 杨松涛. 中国水泥工业特征及走向[J]. 中国建材, 2004,

• 上接第10页•

变模型聚合物稳定剂水泥浆液动切应力低于膨润土稳定剂水泥浆液, 而动切应力是决定浆液可灌性关键参数, 该参数决定浆液在裂隙中的扩散半径; 但聚合物稳定剂水泥浆液的粘度 η 要高于膨润土稳定剂水泥浆液, 而粘度决定浆液在裂隙中的扩散时间。由于聚合物稳定剂水泥浆液具有剪切稀释效应, 在高速搅拌或持续搅拌作用下, 其粘度及动切应力都会进一步降低, 浆液可灌性还会进一步提高。

4 结语

综上所述, 无论聚合物稳定剂水泥浆还是膨润土稳定剂水泥浆都属非牛顿流变体, 都可按宾汉流变体来研究, 但二者有明显差异。试验表明低水灰比时按宾汉流变模型聚合物稳定剂水泥浆液动切应力低于膨润土稳定剂水泥浆液, 因此聚合物稳定剂水泥浆可灌性较好, 浆液在裂隙中的扩散半径要大; 但聚合物稳定剂水泥浆液的粘度 η 要高于膨润土稳定剂水泥浆,

- [4] Nan Su, Yeong-Hwa Wu, Chung-Yo Mar. Effect of magnetic water on engineering properties of concrete containing granulated blast-furnace slag, 2000, 30(2000): 599-605.
- [5] 郭松年, 张自太. 磁化水拌合混凝土提高强度试验[J]. 甘肃农业大学学报, 1995, 30(2): 162-172.
- [6] B. И. 克拉辛, 著. 王鲁, 译. 水系统得磁处理[M]. 北京: 宇航出版社, 1982.
- [7] 丁大钧. 现代混凝土结构学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
- [8] Horne RA. In: *Marine chemistry*. New York: Wiley Interscience: 1962. p568.
- [9] 蔡增基, 龙天渝. 流体力学泵与风机[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [10] 王立久, 李振荣. 建筑材料学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000. 40-43.

[作者简介] 王立久, 1945年生, 男, 教授, 博士生导师。

[单位地址] 大连理工大学土木水利学院建材研究所(116023)

[联系电话] 0411-84706297; 013841128276; E-mail: sam6655@126.com

(11): 33-36.

- [2] 席耀忠, 陈益民, 欧阳世翕. 水泥材料研究动向[J]. 材料导报, 2000, 14(2): 8-10.
- [3] 马保国, 李相国, 王信刚, 等. 低环境负荷型高性能水泥生产技术研究[J]. 环境科学与技术, 2005, 28(3): 87-89.
- [4] 陈益民. 加强基础性研究. 促进水泥高性能化[J]. 中国建材, 2002, (6): 7-9.
- [5] 陈益民, 郭随华, 管宗甫. 高胶凝性水泥熟料[J]. 硅酸盐学报, 2004, 32(7): 873-879.
- [6] 郭随华, 翁端, 陈益民. 我国水泥工业“生态化”的研究现状和发展趋势[J]. 硅酸盐学报, 2001, 29(2): 172-177.

[作者简介] 董荣珍, 1975年生, 女, 在站博士后, 华中科技大学土木工程与力学学院工作, 从事水泥水化及混凝土耐久性研究。

[单位地址] 武汉珞瑜路1037号(430074)

[联系电话] 027-87640064; E-mail: dongrongzhen@126.com dongrongzhen@sohu.com

聚合物稳定剂水泥浆较膨润土稳定剂水泥浆在裂缝中扩展的时间要长。

[参考文献]

- [1] G. Lombardi and Deer. Grouting design and, Control using the GIN principle, 1998.
- [2] Shroff A V and D L. Grouting Technology in Tunnel and Dam Construction. Balkema, Rotterdam, 1993.
- [3] Shroff A V, et al. Rheological properties of micro fine cement dust grouts. Grouting and Deep Mixing Balkema, 1996.
- [4] 郑永刚. 非牛顿流体在圆管中层流-紊流分层流动规律[J]. 四川大学学报, 2000(3).
- [5] 刘永建. Bingham 流体偏心环空轴向结构流流量和压降的计算[J]. 大庆石油学院学报, 1989(3).
- [6] 陈文芳. 非牛顿流体力学[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [7] 李方元. 爆炸冲击作用下混凝土触变性研究[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1998.

[作者简介] 齐伟军, 1961年生, 男, 河北蠡县人, 副教授, 副院长, 从事混凝土研究。

[单位地址] 黑龙江省哈尔滨市松北区糖厂街1号 黑龙江科技学院建筑工程学院(150027)

[联系电话] 0451-88036166(办); 88574618(小灵通); Email 信箱: Qiw eijun6166@163.com