

砼可泵性的流变分析

卫 军

(土建系)

提 要: 本文运用流变学的原理, 对新拌砼在泵送状态下所表现出的特性——可泵性进行了流变学分析, 从而确定影响了新拌砼可泵性的流变参数。

关键词: 砼, 可泵性, 流变学, 分析

随砼施工机械的发展, 泵送砼的应用愈加广泛。但由于砼构成的复杂性, 目前对砼可泵性的认识仍不深刻。本文试图从流变学角度对泵送砼过程进行分析, 由此探讨并确定影响砼可泵性的主要因素。

1 流变模型

所谓泵送砼, 主要指新拌砼在泵压作用下, 沿输送管产生运动而言。换言之, 即泵送砼状态, 可用砼在压力作用下的管道运动来描述。

根据实际观察, 砼在输送管的流动属于“塞流”(plug flow)状态, 其形式如图1所示。其中央部分是由砼中粗、细骨料、水泥和水等组成的“塞栓”部分, 它们之间不产生相对运动。边缘是由从砼中挤出的水泥砂浆形成的润滑层, 砼的运动则发生于此部分中。

设砼“塞栓”部分半径为 r_0 , 输送管内任意一点的位置用 r 来表示(原点为管的轴线)。由以上描述知, 当 $r < r_0$ 时, 砼不产生相对运动。仅当 $r > r_0$ 时, 砼才有相对运动。这就是说, 只有 $r > r_0$ 时, 砼内部的剪应力才会超过其本身的屈服应力, 使它内部产生相对运动。由此可知, 砼在泵送时所表现出的性质可用流变学中的Bingham模型(图2a)来描述。

根据实际情况, 我们有充分的理由假定, 新拌砼本身不可压缩。故新拌砼的弹性部分可以忽略, 所以图2a所示之模型可简化为图2b。其流变方程为:

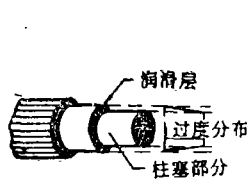


图 1

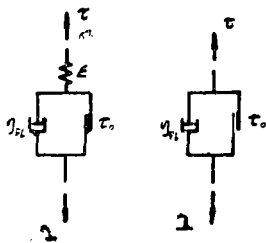


图 2



图 3

收到日期: 1988.10.20.

$$\begin{cases} \dot{\gamma} = 0 & (\tau < \tau_0) \\ \dot{\gamma} = (\tau - \tau_0) / \eta_{PL} & (\tau \geq \tau_0) \end{cases}$$

式中 τ 为砗的剪应力, τ_0 为砗的屈服应力, η_{PL} 是砗材料的塑性粘度系数; $\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} = \frac{dv}{dr}$

为剪切应变相对于时间的变化率或砗的流速相对于管的半径坐标的变化率。

2 砗泵送状态的流变分析

从砗输送管中取出一微圆柱体, 砗的受力状态如图3所示。

根据砗不可压缩之假定, 砗的平衡方程为:

$$\pi r^2 dp = 2\pi r \cdot \tau dx \quad (1)$$

$$\text{即} \quad \tau = \frac{r}{2} \frac{dp}{dx} \quad (2)$$

式中 $\frac{dp}{dx}$ 为泵压沿管轴线的压力梯度。

(2)式表明, 泵送砗时, 砗的剪应力与所处位置有关。

令 $\frac{dp}{dx} = k$, (2)式变为

$$\tau = \frac{r}{2} k \quad (2')$$

设输送管半径为 R , 砗最外围部分开始流动时的压力梯度为 k_0 , 由(2')式可得砗材料的屈服应力 τ_0 为:

$$\tau_0 = \frac{1}{2} k_0 R \quad (3)$$

$$\text{或} \quad \tau_0 = \frac{1}{2} k r_0 \quad (3')$$

随砗开始流动的区域增大, $\tau > \tau_0$, $r < R$, 所以(2')-(3)式及应用(1)式有:

$$\tau - \tau_0 = \frac{1}{2} (kr - k_0 R) = \eta_{PL} \frac{dv}{dr} \quad (\tau \geq \tau_0) \quad (4)$$

假定砗流动时边缘部分不产生滑动, 则 $r = R$ 时, $v = 0$ 。对(4)式积分得:

$$v = \frac{1}{2\eta_{PL}} \left[\frac{1}{2} k (R^2 - r^2) - k_0 R (R - r) \right] \quad (r_0 \leq r \leq R) \quad (5)$$

砗的流量

$$Q = \pi r_0^2 v_{r=r_0} + \int_{r_0}^R 2\pi r v dr, \quad (6)$$

同时注意到: $\frac{k_0}{k} = \frac{r_0}{R}$ 。所以

$$\begin{aligned} Q &= \frac{\pi R^4}{8\eta_{PL}} k \left[1 - \frac{4}{3} \left(\frac{k_0}{k} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{k_0}{k} \right)^4 \right] \\ &= \frac{\pi R^4}{8\eta_{PL}} k \left[1 - \frac{4}{3} \left(\frac{r_0}{R} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{r_0}{R} \right)^4 \right] \end{aligned} \quad (7)$$

此式即著名的Backingham-Reiner公式。

事实上, 砗不是均匀体。它在运动中更难以保持匀质。所以, 从均匀体前提下推导出的(7)式并不能真正代表砗在管道中的流动。

如前所述, 实际砗运动主要发生于作润滑层的水泥砂浆之中(图1)。令水泥砂浆的流变参数为 τ_0^m 和 η_{PL}^m , 由(5)式知, 砗的实际流速应为:

$$v = \frac{1}{2\eta_{PL}^m} \left[\frac{1}{2} k (R^2 - r^2) - k_0 R (R - r) \right] \quad (r_0 \leq r \leq R) \quad (8)$$

润滑层厚度 ε 为

$$\varepsilon = R - r_0 \quad (9)$$

由实际观察知, ε 极小。在不影响精确性之同时, 为方便起见, 我们略去其二阶以上的量, 故当 $r = r_0$ 时, 就有

$$v_{r=r_0} = \frac{Rk}{2\eta_{PL}^m} \varepsilon \left(1 - \frac{k_0}{k} \right) \quad (10)$$

因为 $Q = \pi r_0^2 v_{r=r_0} + \int_{r_0}^R 2\pi r v dr$ (6)

$$\text{所以 } Q = \frac{\pi R^3}{2\eta_{PL}^m} k \varepsilon \left(1 - \frac{k_0}{k} \right) + \frac{\pi R^2}{2\eta_{PL}^m} k \varepsilon^2 \left(1 - \frac{k_0}{k} \right)$$

$$\begin{aligned} \text{即 } Q &= \frac{\pi R^3}{2\eta_{PL}^m} k \varepsilon \left(1 - \frac{k_0}{k} \right) \\ &= \frac{\pi R^3}{2\eta_{PL}^m} \varepsilon (k - k_0) \\ &= \frac{\pi R^3}{2\eta_{PL}^m} \varepsilon \left(\frac{2\tau^m}{R} - \frac{2\tau_0^m}{R} \right) \\ &= \frac{\pi R^2}{\eta_{PL}^m} \varepsilon (\tau^m - \tau_0^m) \end{aligned} \quad (11)$$

式中 τ^m 为管壁处水泥砂浆的应力。

显然, 砗的泵送效率 Q 主要取决于砗材料内部的水泥砂浆的流变性质。

因 ε 极小, 砼的平均流速 $\bar{v} = \frac{Q}{\pi R^2} \approx v_{r=r_0}$, 所以

$$\bar{v} = \frac{\varepsilon}{\eta_{PL}^m} (\tau^m - \tau_0^m) \quad (12)$$

从而 $\tau^m = \tau_0^m + \frac{\eta_{PL}^m \bar{v}}{\varepsilon} \quad (12')$

在此, (12') 式实质上反映了泵送砼时, 砼所受到的流动阻力。其形式与 Ede^[4], 森永繁等^[6] 等人根据实验结果获得的阻力经验公式 $R = A + BV$ 形式是一致的。由此说明 (11) 式的结果能够反映泵送砼的实际状态。

3 结 论

3.1 由 (11) 式知, 表征砼的泵送效率的量 Q 主要与砼中的水泥砂浆的流变参数 η_{PL}^m 、 τ_0^m 有关。由此断言, 砼的可泵性主要取决于其中水泥砂浆的流变性。

3.2 本文的结果与现有的实验结果相比是一致的。这说明本文取的流变模型正确, 由此得出的结果能够反映泵送砼的实际状态。

参 考 文 献

- [1] 王启宏, 材料流变学, 北京, 中国建筑工业出版社, 1985
- [2] 黄蕴元, 混凝土工艺理论的科学研究, “混凝土与水泥制品”, 1985年, No.5.
- [3] 黄大能, 新拌砼的结构和流变特征, 北京, 中国建筑工业出版社, 1980.
- [4] 村田二郎, 砼田清著, 最新砼技术选书1: 新拌砼的流变性, 砼的弹性及徐变, 东京, 山海堂, 1981 (日文)
- [5] A.N.Ede, The Resistance of Concrete Pumped through Pipeline, Magazine of Concrete Research, Vol.9, No.27, Nov.1957.
- [6] 森永繁 (S.Morinaga), Pumpability of Concrete and Pumping Pressure in Pipelines, RILEM Fresh Concrete: important properties and their measurements, Vol.3, 1973.

Rheological Analysis on Pumpability of Concrete

Wei Jun

(Dept. of Civil And Architecture ZhengZhou Institute of Technology)

Abstract On the basis of rheology, the pumpability of concrete, which behaved itself when fresh concrete was pumped through drpeline, was Analysed in this paper Factors affecting pumpability of concrete were determined and presented.

Keywords: rheology, analysis, pumpability, concrete