

# 粉煤灰对砼的可泵性的影响分析

卫军 聂建国

(土建系)

**提要:** 本文通过分析砼的可泵性, 将砼的可泵性分解为砼的泵送流变性和稳定性两个方面。通过试验, 就粉煤灰对砼的上述两个方面的影响进行了研究。由此进一步证实了粉煤灰对砼的可泵性的改善作用。

**关键词:** 粉煤灰; 砼; 可泵性。

粉煤灰作为砼的混合材料, 其作用已获充分肯定。然而, 粉煤灰对砼可泵性的影响机理, 无论国内国外, 多是根据实际观察以及从粉煤灰的基本性质来拟断的, 实验根据甚少。事实上, 准确地把握粉煤灰对砼可泵性的影响机理, 对理论研究和工程应用, 意义极大。本文就是在分析砼可泵性实质的基础上, 通过实验对粉煤灰影响砼的可泵性的机理进行了分析研究。

## 1 砼的可泵性分析

### 1.1 砼可泵性的概念

众多的国内外专家如Ball、Gray、黄蕴元等都对这个问题进行过探讨。综合他们的观点, 砼的可泵性这个概念, 主要指在压力作用下, 砼拌和物作为多相分散体系, 在管道中作整体流动的性能以及体系内各相在运动中保持相对静止的稳定性能。它主要包含这样二重意思:

1.1.1 砼在压力作用下, 作管道流动时所表现出的流变性(砼材料的泵送阻力)。

1.1.2 砼拌和物在压力作用下的抗解体稳定性。

砼的可泵性即砼的流变性和稳定性在砼作管道流动这个指定状况下的综合表现。

### 1.2 砼的泵送流变性分析

理论和实践都证明, 砼在泵送的流变性可用Bingham模型来表示。且由观察知, 实际砼是以“塞流”(plug flow)形式进行流动的。考虑砼的塞流状况和它本身不是均

本文1987年9月15日收到

匀的Bingham体, 通过流变分析, 得到砵在这种情况下流量公式为:

$$Q = \frac{\pi R^2}{\eta_{PL}^m} \varepsilon (\tau^m - \tau_0^m)$$

式中,

$Q$ —泵送砵的流量;

$R$ —输送管半径;

$\eta_{PL}^m$ —管内壁边缘水泥砂浆的塑性粘度系数;

$\tau_0^m$ —砵开始流动时, 管内壁处水泥砂浆的应力;

$\tau^m$ —泵送砵时, 管内壁对砵的阻力;

$\varepsilon$ —管内壁水泥砂浆的厚度(极薄)

由上式知, 泵送砵时, 砵中水泥砂浆的流变性对砵的可泵性起决定性作用。

### 1.3 砵的泵送稳定性分析

泵送砵所要求的砵拌和料在运动中各相保持相对静止, 从材料复合的角度看主要包括:

**1.3.1** 将砵看作水与粒状固体材料的复合。因水是砵中唯一具有流动能力的组分, 水的流失会导致水与固相材料之间的相对静止性破坏。所以, 泵送稳定性好的砵应具备较好的保水性。

**1.3.2** 将砵看作粗骨料与水泥砂浆的复合。因为粗骨料是水泥砂浆的悬浮体, 在泵送过程中, 若悬浮体的分散相——水泥砂浆与悬浮体之间的相对静止遭到破坏, 也会使砵丧失泵送稳定性。这意味着泵送稳定性要求砵具有好的粘聚性。

综上所述, 砵的泵送稳定性取决于它的保水性和粘聚性。

## 2 试验方法简介

根据上述分析推断, 粉煤灰也必然从这些方面对砵可泵性产生影响。因此, 为了弄清粉煤灰对砵可泵性的影响, 必须首先弄清粉煤灰对砵保水性、粘聚性和砵中水泥砂浆的流变性的影响。由此才能确定粉煤灰对砵可泵性的影响。为此, 笔者主要进行以下三种试验。

### 2.1 加压泌水试验

加压泌水试验主要用来测定砵在压力状态下的保水能力。该方法在国内外影响较大, 其试验装置简图示于图1。

试验程序是将砵试样处于3.0 MPa的压力下, 分别测出它在1.0秒和1.40秒钟的泌水量 $V_{1.0}$ 和 $V_{1.40}$ , 并以绝对泌水量

$$\Delta V = V_{1.40} - V_{1.0}$$

来表征砵拌和料在压力作用下的保水能力。

若砧在压力作用下的泌水速度越快,  $V_{10}$  就越大。试验结果表明,  $V_{140}$  基本不变。这样  $\Delta V$  越小, 表明砧的压力保水性越差, 反之则越好。

## 2.2 跳桌筛分法 (跳筛法)

此试验方法系笔者为测定动态的砧拌和料中的粗骨料和水泥砂浆间的粘结力而提出来的。实验结果它反映了砧的粘聚性。

其主要试验装置为: 砂筛分试验用的 5 mm 方孔筛及集料盘; 测定水泥砂浆流动度的跳桌。

试验时将筛中充满砧, 置于跳桌上, 用每秒 1 次的频率跳动来筛分砧中的水泥浆。然后测出 30 秒和 170 秒钟的砂浆振落量。

根据理论分析, 笔者提出用

$$\Delta f = \frac{10^4}{K} \sqrt{\frac{2h}{g}} \left( \frac{W_{30}}{W} - \frac{W_{170} - W_{30}}{W - W_{30}} \right)$$

来表征砧的粘聚力。

式中,  $K = \frac{\text{单位体积砧中水泥砂浆的体积}}{\text{砧的单位体积}}$ ;  $W_{30}$ 、 $W_{170}$  分别为 30 秒和 170

秒时砧中水泥砂浆的振落量;  $W$  为砧试样总重;  $h$  为跳桌凸轮高度。

$\Delta f$  越小, 表明砧的粘聚性越好; 反之则越差。

## 2.3 竖管流动试验

这是笔者专为测定砧中水泥砂浆的流变性而提出的试验方法。

试验时, 将一根长 1000 mm 的 1 1/2" 镀锌水管, 用从砧中滤出的水泥砂浆充满, 测出水泥砂浆自管内全部流出的时间; 由下式推算出水泥砂浆的平均流动阻力

$$\tau = \frac{1}{4} \gamma d \left[ 1 - \left( \frac{t_0}{t} \right)^2 \right],$$

作为其流变性的相对度量。图 2 为试验装置示意图。

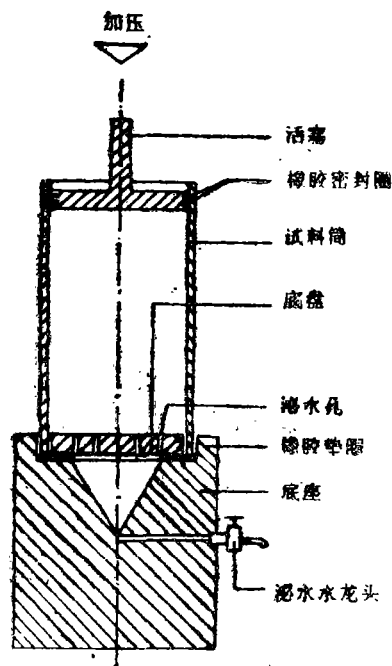
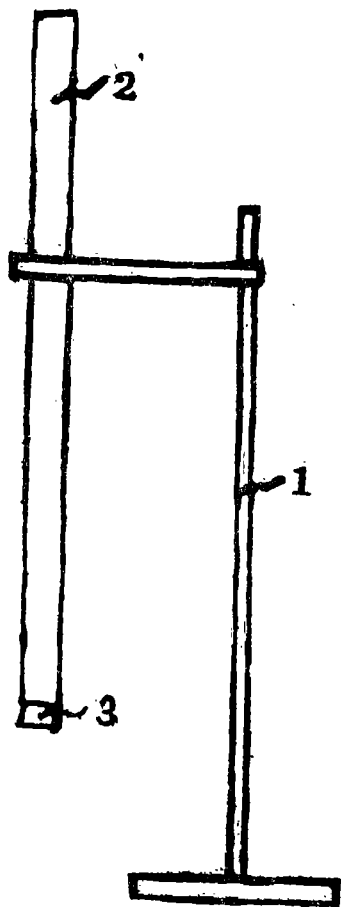


图 1

$\tau$ 越大, 反映出水泥砂浆的流动性愈差, 反之则愈好。



1、支架 2、竖管 3、橡皮塞

图2

## 2.4 试验用材料

水泥系425\*普通硅酸盐水泥。比重2.94, 比表面积4380 cm<sup>2</sup>/g。

粉煤灰为郑州火电厂的原状粉煤灰(干排法)。其比重2.11, 比表面积1680 cm<sup>2</sup>/g, 三氧化硫及烧失量分别为0.46%和2.82%。

骨料分别为河砂和卵石。砂的细度模量 $M_x=2.35$ , 为中砂, 级配属三区。石子的最大粒径为40 mm, 连续级配。

砼的拌和用水为洁净的自来水。

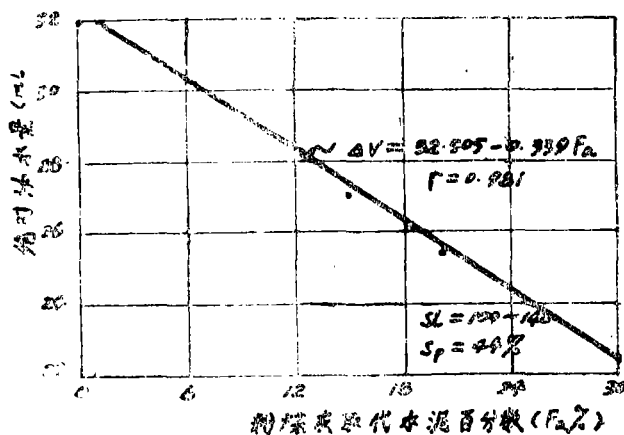


图3

## 3 试验结果分析

### 3.1 试验概况

试验旨在分析粉煤灰对砼可泵性的影响。我们在了解国内外常用泵送砼的配合比和试样的基础上, 选定水泥用量350 kg/m<sup>3</sup>, 用水量210 kg/m<sup>3</sup>和砂率为44%的砼配合比作为基准配合比。粉煤灰以等重取代水泥的方式掺入。

### 3.2 加压泌水试验结果分析

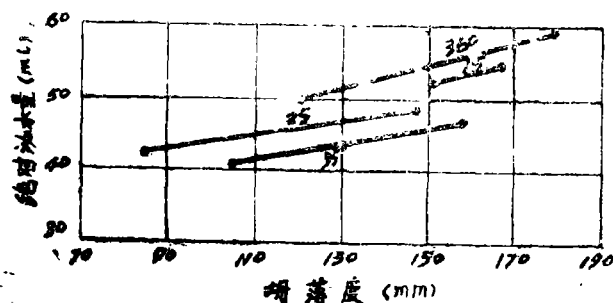
进行加压泌水试验时, 我们共作了取代百分数为0、10%、15%、20%、

30%五种粉煤灰掺量的砼试验。试验结果示于图3。

可见随着粉煤灰取代水泥的数量增加,  $\Delta V$ 逐渐减小, 反映出砼的压力保水性逐渐下降。

究其原因,笔者认为,粉煤灰与水泥相比,一是水化能力差;二是其颗粒表面结构致密、光滑。这些特点决定了粉煤灰的标准稠度需水量比水泥小。再加上粉煤灰与水泥的比表面积不同(本试验两者之比为2.61,水泥远远大于粉煤灰),这些因素导致砼的压力保水性遭到削弱。

图4为中国建筑科学研究院砼研究所李辽辽等人的试验结果。可见,在使用上海磨细粉煤灰(0.080mm方孔筛筛余量为7.35%)进行的试验中,仍反映出粉煤灰掺量增大,砼的保水性下降这种趋势。这也说明粉煤灰的细度对砼的保水性影响不显著。



——基准砼, 数字代表水泥用量砂率40%, 木钙0.25%。  
——粉煤灰砼, 数字代表粉煤灰代用量(基准为36 kg/m³)。

图4

由此看来,在砼中用等重法掺加粉煤灰取代水泥,与基准砼相比,的确会使砼的保水性受到削弱。

然而,因粉煤灰对砼的早期强度有影响。工程中是采用超量取代法(同时取代水泥和细骨料),或者干脆把粉煤灰作为改善砼和易性的附加混和材料掺加的,而不常用等量取代法掺加粉煤灰。这样基准砼与我们上述基准砼有所不同。图5为我们在等稠度、等砂率条件下,改变水泥用量所得的粉煤灰砼与不掺粉煤灰的砼的加压泌水试验结果。显然,在水泥用量相等时,掺粉煤灰的砼要比不掺粉煤灰的砼的压力保水性好。所以,在采用超量取代法或直接把粉煤灰作为混合材料掺入砼的情况下,将能改善砼的压力保水性。

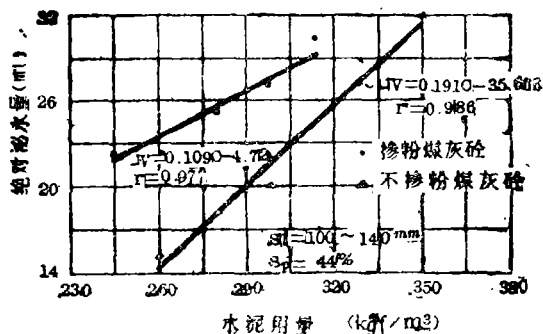


图5

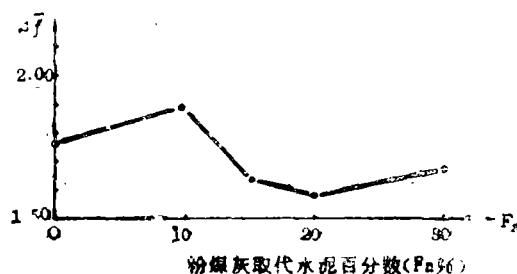


图6

### 3.3 跳筛试验结果分析

我们共进行了取代百分数为0、10%、15%、20%、30%五种粉煤灰掺量的砼试验。图6为试验结果。

图6指出,随着粉煤灰掺量的增加, $\Delta f$ 值呈下降趋势;当掺量超过15%以后, $\Delta f$

值基本处于稳定状态。说明用粉煤灰取代水泥可以增加砼中粗骨料与水泥砂浆之间的粘聚力。即提高砼的粘聚性。

因为粉煤灰的比重较水泥小,用等重取代法掺入砼中的粉煤灰与同重的水泥相比,粉煤灰的体积大。在用水量不变的情况下,掺入粉煤灰使砼中水泥砂浆的固态组分的体积浓度增大。同时,又因粉煤灰颗粒比水泥轻,砼中水泥砂浆的悬浮稳定性也获得改善,这无疑可对砼起到“增稠稳定”作用,使它本身的整体稳定性得到提高。这就是 $\Delta\bar{T}$ 值随粉煤灰掺量的增大而降低的原因。

正因为向砼中掺加粉煤灰可使细颗粒材料的总体积增加,所以向砼中掺加粉煤灰对提高砼的粘聚稳定性要比不掺粉煤灰更有利。

要指出的是,粉煤灰对砼粘聚性的作用,似乎存在一个临界掺量(在此约为15%)只有超过它之后,粉煤灰的作用才明显。在此之后,随粉煤灰掺量的增加,砼的粘聚性变化不大。由此推断,粉煤灰对砼的作用,存在一个最佳掺量。最佳掺量的具体数值,有待进一步研究。

### 3.4 竖管流动试验结果分析

为研究粉煤灰对砼的泵送流变性的影响,我们共进行了0、10%、15%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、100% 10种粉煤灰掺量的砼试验。

试验时,先用5mm方孔筛将水泥砂浆从上述各砼中滤出。然后对水泥砂浆进行竖管流动试验。结果见图7。

可见,随着粉煤灰掺量的增大, $\tau$ 值逐渐减小。而且二者之间有良好的线性相关关系。

由于粉煤灰微粒表面光滑、质地致密,粒度又较细,基本呈球状。这些形态特征决定它在砼中起着“润滑剂”的作用。所以,掺加粉煤灰可以显著地提高水泥砂浆乃至砼整体的流动性,使砼的泵送流变性也得以改善。

由图7知,粉煤灰对砼的泵送流变性的作用也存在着临界掺量,在此约为15%。

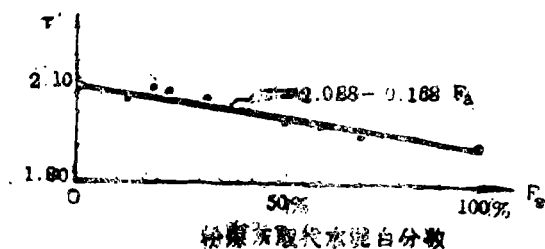


图7

## 4 结论

4.1 砼中掺加的粉煤灰,主要通过以下方面来产生影响。它们是:决定砼的泵送阻力的性质——砼中水泥砂浆的流变性;决定砼的泵送稳定性的性质——砼的粘聚性和压力保水性。

4.2 粉煤灰的“形态效应”可使砼中水泥砂浆的流动性提高,从而改善了砼的泵送流

变性,降低了泵送阻力。

4.3 砼中的粉煤灰可以增强砼拌合料的粘聚性,使砼的泵送稳定性得以改善。

4.4 采用等重取代水泥法掺加粉煤灰得到的砼与基准砼相比,其压力保水性变差。而且随粉煤灰取代水泥量的增大,保水性下降程度逐渐增大。

4.5 在水泥用量、砂率不变的情况下,向砼中掺加粉煤灰可以提高砼的压力保水性。

4.6 上述分析表明,在采用适当的掺加方式以后,粉煤灰对影响砼可泵性的诸方面均有改善作用。由此可以肯定,粉煤灰有助于改善砼的可泵性。所以,粉煤灰可起到“促泵剂”的作用。

### 参 考 文 献

- [1] ACI Committee 304, "Placing Concrete by Pumping Methods" ACI Journal Vol. 68, May 1971
- [2] 砼施工研究委员会泵送砼施工指南工作小组,“泵送砼施工指南”(草案),《土木学会论文集》,第354/V—2 1985年2月(日文)
- [3] 沈旦申主编,《粉煤灰水泥和砼的应用技术》,1983年10月
- [4] 卫军,《关于砼可泵性试验方法的研究》湖南大学建筑材料硕士研究生毕业论文,1986年9月
- [5] 李辽辽等,《砼在压力下的泌水》,中国建筑科学研究院砼研究所,1985年5月
- [6] 黄蕴元,“砼工艺理论的科学基础”,《砼与水泥制品》1985年5月

## ANALYSIS TO THE EFFECT OF FLYASH ON THE PUMPAIBILITY OF CONCRETE

Wei Jun                      Nie Jianguo

(Civil Engineering and Architecture Department)

**Abstract:** In the paper, according to the analysis of the pumpability of concrete, We divided the pumpability into two respects: the pumping rheology of concrete and the pumping stability of concrete. Therefore, the effect of flyash on the pumpability of concrete can be found by experimentally analysing the effect of flyash on the two respects. The test results have shown that flyash has a function on improving the pumpability of concrete. So it can be classified as a pumping aid.

**Keywords:** flyash, concrete, pumpability, effect