

坯体挤出成型中的流变学问题(二)

邹 基 李密芳 (西安墙体材料研究设计院)

陈振涛 (辽宁省营口市建筑设计院)

3 布郎公司对泥料流变学基本原理的描述

连续挤出泥条的显著特征是泥料具有高的可成型性和延展性。当坯料上所受的外加力作用超过坯料内部凝聚力的这个极限时,产生永久性变形,这种特性概括为可塑性。而坯体尺寸的稳定性,即在静荷载下不出现形状上的变化,相当于在纯剪切流动情况下存在有称之为流动极限的最小应力。

为了说明坯体流变特性,应用了纯剪切试验模型,通过试验还可将材料分类,如泥料、松散材料及悬浮物,显然适合挤出的材料为泥料类。在试验中,均匀挤出的坯体受简单的剪切力的作用,如图 10 所示。泥料两平板之间假设为无限延伸。在平板上施加剪切力 F_S 及恒定压力 F_N ,使平板彼此相对有恒定的速度 U 。 H_S 表示两平板相互间的距离,惯性力可被忽略,因此在整个两板的区间形成一个恒定的正应力 σ 和一恒定的剪应力 τ 。如果板的表面积用 A 表示,那么对正应力 σ 及剪应力 τ 则可表示如下:

$$\sigma = \frac{F_N}{A} \quad \tau = \frac{F_S}{A}$$

剪切应变 γ 用角度表示, $\dot{\gamma}$ 表示剪切变形的速率。剪切变形的速率是剪切变形角度随时间的变化率,并定义如下:

$$\dot{\gamma} = \frac{\partial \gamma}{\partial t} = \frac{\partial u}{\partial y}$$

因为剪切力 τ 值是恒定的,因此在两板之间泥料各点速度呈线性分布。这样在 X - 方向上的 y 点速度 u 可由下式计算:

$$u = U \frac{y}{H_S}$$

那么就得到了下列重要的应用关系式:

$$\dot{\gamma} = \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{U}{H_S}$$

上式说明,当忽略了惯性力后,两板之间多孔泥料的剪切变形呈线性变化,而剪切变形的速率则为一常量。已知平板相对速度及挤出泥条的厚度就可计算出剪切变形速率。

在简单的剪切条件下,坯体的挤出特征可由剪应力 τ (或是剪切力 F_S)、正应力 σ (或是正压力 F_N) 及剪切变形速率 $\dot{\gamma}$ 或是平板的相对速率 u 的关系式表示。

下面介绍一下材料的特性。

根据库伦摩擦定律摩擦系数 μ 定义为剪切应力与正应力的比。摩擦系数取决于相互摩擦材料与摩擦介质的属性,公式如下:

$$\mu = \frac{\tau}{\sigma}$$

摩擦系数的微分方程式为:

$$\mu^* = \frac{\partial \mu}{\partial \sigma}$$

μ 及 μ^* 的值取决于压力以及剪切变形速率。

粘度 η 及微分粘度 η^* 被定义为横截面上的应力与剪切变形速率的比率:

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad \eta^* = \frac{\partial \tau}{\partial \dot{\gamma}}$$

对牛顿流体两种粘度是相同的,即 $\eta = \eta^*$,并且称之为牛顿流体的动力粘度。如果介质呈现出非牛顿流体的特性, η 及 η^* 值则取决于剪切变形速率,也很可能与压力有关。

屈服应力 τ_F 即 $\tau_F = \lim_{\dot{\gamma} \rightarrow 0} \tau$,表示正应力 σ 的作用下使得材料出现永久变形所需要的最小剪切应力。对速度 u 讲,可使 $u = \dot{\gamma} = 0$ 。屈服应力并不取决于剪切速率 $\dot{\gamma}$,而仅是正应力 σ 的函数。当正应力趋于零点时,那么屈服应力就意味着内聚力 τ_C ,即 $\tau_C = \lim_{\sigma \rightarrow 0} \tau_F$ 。

图 11 给出了典型材料在纯剪切流动中剪切应力与剪切变形速率的关系。

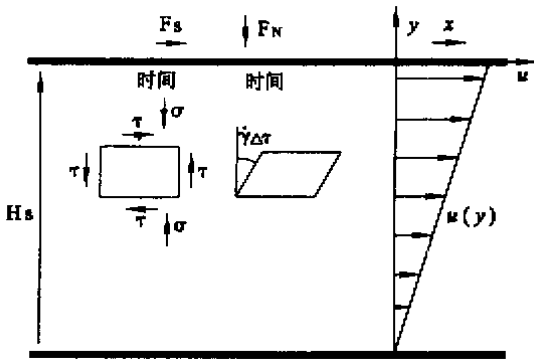


图 10 简单的静态剪切试验

离开金属壁。为了进一步说明其特征,假设一个双层模型,即存在低粘度的壁粘附性滑动膜,而这一滑动膜主要是由液相组成的。在这种情况下,其速度值在泥料内分界处为 0,而在层厚 H_C 金属壁处速度增加到最大值 U_C 。在厚度范围速度 u_C (壁滑动)可以当作线性变化,因此,剪切变形速率为 $\dot{\gamma} = \frac{U_C}{H_C}$

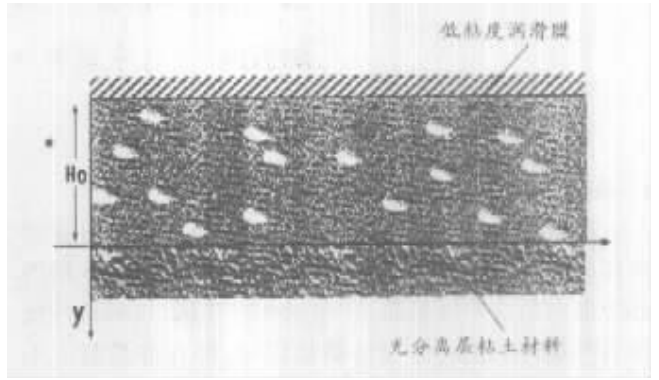


图 12 壁滑动的微观示意图

滑动速度 u_C 作为壁剪切应力 τ_w 的函数,布郎公司总结出壁滑动关系式表示如下:

$$u_C = K |\tau_w| \tau_C$$

描述壁滑动还需另外一个参数。即 K 系数,它是与壁滑动层厚度有关的粘性系数。用以上的参数 τ_F 屈服应力、 τ_C 滑动应力、 η_B 宾汉粘度、K 系数,就可对挤出坯体分类。

4 扩大流动流变仪

为了确定上述几个参数由布郎公司与 Karlsruhe 大学联合开发了扩大流动流变仪,这种流变仪是由一个圆锥形的挤出口与带有活塞式的压力头组成,通过试验能为挤出机设计提供参数。如图 13 所示,沿着流变仪顶部的外壳可测量其压力,由此就可得到在壁上的压力 ΔP_w 的下降的距离与稳定的体积流量 V_S 间的关系,而且容易得到出口处泥条的速度 V_{str} 。

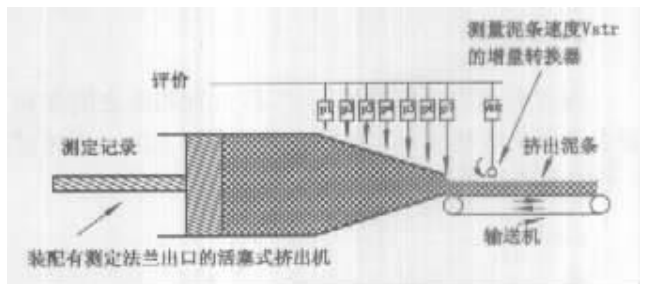


图 13 扩大流动流变仪示意图

测量的原理为 泥料受到活塞的压力平衡地进入圆锥体部分,最终由机口挤出。在不同倾斜角度的机口及

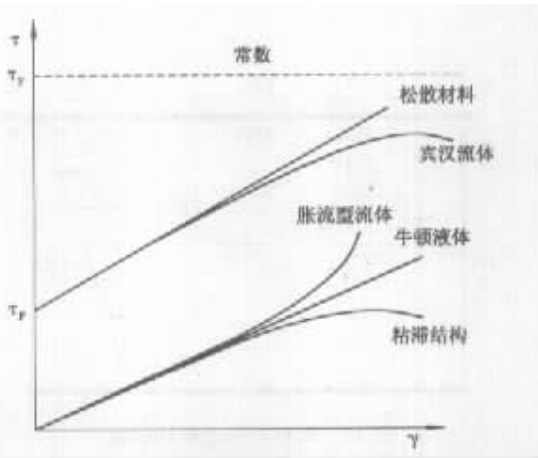


图 11 剪切应力与剪切速率的关系

含水率达到一定量且用适当的压力挤出时,泥料则显示出了粘塑性材料的特性,即流动极限与压力无关。这是关系式推导的重要的前提条件。这样,微分摩擦系数 $\mu^* = 0$,由此得到 $\tau_C = \tau_F = \text{常量}$ 。

如果微分粘度 η^* 是一常量,那么变形速率与摩擦应力的关系是线性的,并且挤出特性能够用宾汉模型来描述。剪切应力 $\tau > \tau_F$ 。剪切应力随着剪切变形速率的增长而线性增加,即 τ 与 $\dot{\gamma}$ 成正比。上述表示的比例因素称之为宾汉粘度 η_B 。宾汉体材料定律可这样理解:

$$\tau < \tau_F, \text{ 时 } \dot{\gamma} = 0$$

$$\tau \geq \tau_F, \text{ 时 } \tau = \tau_F + \eta_B \dot{\gamma}$$

挤出坯体的另外一个性能是与金属壁的滑动。由于泥料颗粒间以及颗粒与金属壁的相互的作用力,在金属固相附近极限范围泥料的显微结构与泥料内部的结构不同。在靠近金属壁的地方引起了更剧烈的颗粒聚集被破坏(断裂,即细颗粒富集的分层)并呈直线形开裂,如图 12 所示,在这一范围内泥料含水量会增加。挤出时在坯体棱边处产生了低粘度的界面层。泥料表现出了壁滑动的流变学特性。这层很薄的壁滑动层相对于坯体会出现高的速度梯度。并以壁滑动速度 u_C

不同泥料体积流量时测定壁压力差。除了测定出口处高度和壁的压力差外,还需要测定在挤出口的几何尺寸。圆锥形材料可以更换,以使测定的壁滑动更接近真实情况,得到正确的壁滑动系数。体积流量 V_s 能够通过活塞压力头的行程及通过泥条的速度 V_{str} 来测定。泥条速度 V_{str} 由一小型的轱辘和一个光学(电)增量变送器记录。同时在垂直于流动方向测定壁的压力差 P_w (测量点 $P_{wi}, i=1,2,\dots,7$)。测量的数据输入评价程序(软件),即可计算出材料四种参数。在不同情况下重复测量(例如:不同外加剂的混合料),可得到最佳的坯料配比。用挤出辅助模拟模型 PSM,利用测量的材料参数,就可能对更多种材料参数进行研究,例如在加入外加剂后混合料粘度上的变化。如图 14 所示,采用了一种标准程序。用扩大流动的流变仪测定。测定数据作为评价程序中的输入值,即 τ_F, τ_C, η_B 和 K 系数。这些参数依次输入模拟程序 PSM,并进行必要的模拟计算。为了确保计算与实际挤出的一致性,在上述参数作为输入值的计算中,测量的压力要求有很好的重现性。测量数据与计算的相吻合,从而确保在测量范围内的准确性,以此作为正

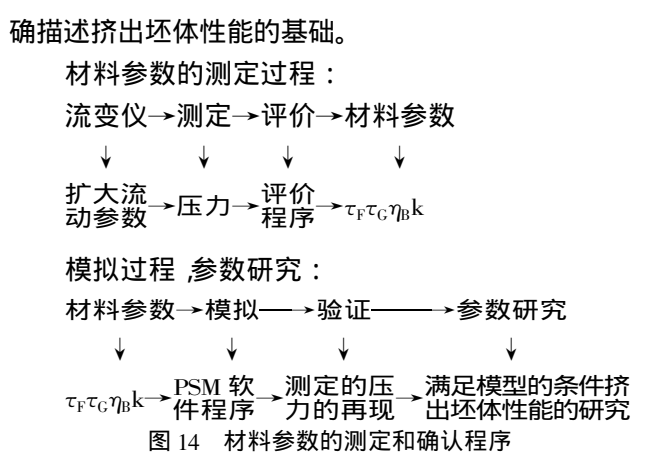


图 14 材料参数的测定和确认程序

5 结语

制砖成型过程是泥料的流变学过程,因此运用流变学原理指导实际生产有很重要的现实意义。本文介绍了流变学基本原理及国外扩大流动流变仪挤出坯体特征材料参数及其测定。这种流变仪与 PSM 模拟程序一起为研究砖瓦工业原材料的性能与新设备的开发提供了更广泛的前景。这里仅对其原理进行一般概念上的论述,希望对国内有关科技人员有所启迪。

国家建材工业墙体屋面材料质量监测中心 技术服务产业部产品介绍

- 1 高强度耐磨芯头**

由国家建材工业墙体屋面材料质量监测中心技术服务产业部最新研制的高强度耐磨芯头由高档耐磨材料瓷制成,机械强度高、硬度大。其性能比普通陶瓷或钢制芯头耐磨 2 倍以上,可供生产烧结多孔砖和烧结空心砖、空心砌块的企业生产选择使用。同时为各生产厂家设计、制造各种类型空心砖模具、芯架和机口,特别适用于满足新标准规范要求的矩形孔或矩形条孔粘土烧结空心制品生产。
- 2 窑炉密封涂料**

由国家建材工业墙体屋面材料质量监测中心技术服务产业部最新研制的新一代窑炉密封涂料主要用于轮窑、隧道窑等工业窑炉的补缝,修补破损和浆补窑拱、窑墙等,又可提高墙体保温隔热性能,降低能耗 10% ~ 30%,是延长窑炉寿命的理想材料,在 1150℃ 温度下反复烧结无裂纹而且不脱落,每个窑室用料 90 ~ 100kg 左右,每吨 3200 元。
- 3 回弹仪**

回弹仪适用于不具备 GB/T2542 - 92《砌墙砖试验方法》规定试验条件下,烧结普通砖检验批强度等级的评定,具有使用简单方便、快速的特点,特别适用于中、小规模砖瓦厂。

- 4 砖用卡尺**

砖用卡尺精度为 0.5mm,最大量程为 500mm,GB/T2542 - 92《砌墙砖试验方法》和 JC709 - 1998《烧结瓦》、JC746 - 1999《混凝土瓦》、JC446 - 2000《混凝土路面砖》新标准指定的专用量具,用于对砌墙砖、混凝土路面砖及瓦类产品的外型尺寸、弯曲、杂质凸出、平整度、垂直度项目检测,是生产企业日常生产控制的必备工具。
- 5 普氏塑性仪**

普氏塑性仪是依据粘土受外力作用变形与含水率相互关系来反映不同原料的可塑性能,适用于砖瓦厂控制成型水分,随时检查配比的变化情况及同一种泥料因加工或水分掺和差异所表现的可塑性好坏,这一方法操作简便,整套仪器包括普氏塑性仪和手工取样品两部分。
- 6 砖瓦企业易损件、耗品**

如砖瓦机械配件、耐磨焊条、高级蓖麻油脂酸、窑炉温度测试系统(表头、补偿器、热电偶)、试验室设备(蒸煮箱、压力机、泛霜用品)等。

价格合理 欢迎垂询

联系单位:国家建材工业墙体屋面材料质量监测中心技术服务产业部
 地址:西安市长安南路 6 号 邮编:710061
 联系人:任炳会 传真:029 - 5224662
 电话:029 - 5268467, 013909288834