

# 屈服应力与矿山尾矿可泵性的关联性

Jan Philip Plog, Thermo Fisher Scientific, Material Characterization, Karlsruhe, Germany

## 关键词

流变性, 屈服应力, 矿山, 尾矿

## 简介

尾矿即为从矿石的非经济成分（脉石）中分离有价值的成分之后余留的物质。尾矿与覆盖层不同，覆盖层是在采矿期间未加处理就从矿石或矿体表层挪走的废石或废料 [1]。

可采用两种方法从矿石中提取矿物质：砂矿开采，即利用水和重力提取有价值的矿物质；或硬岩开采，即先粉碎岩石，再粉碎化学物质。在后一种方法中，从矿石中提取矿物质时，要求将矿石研磨成细微颗粒，这样，尾矿通常较小，尺寸从沙粒尺寸到几微米不等 [2]。矿山尾矿通常从浆体状的矿屑（细微矿物颗粒和水的混合物）中得到 [2]。

尾矿成分直接取决于矿石组分和施加在矿石上的采矿过程 [1]。

通常，多数尾矿产品由岩石组成，此类岩石被研磨成精细颗粒，大至粗砂，小至尺寸一致的粉末。

许多尾矿中也含有少量在容矿中发现的不同金属颗粒以及提取过程中所用的添加成分。

通常，尾矿堆放在尾矿池中。尾矿池即为水性废料泵入池中的区域，在那里，固体颗粒从水中沉降。据估计，2000年，全世界共存有约 3,500 处活跃尾矿池 [3]。尾矿池有助于堆放从岩石中分离矿物质时产生的废料或焦油砂开采过程中产生的浆料。通常，尾矿会与其它物质（如膨润土）混合，减缓受影响的水释放到环境中的速率 [1]。然而，无论尾矿含有何种成分，均需要从矿山泵送到尾矿池中。为了了解是否能够利用现有泵送设备泵送（改性）尾矿，不仅需要测定粘度，还需要测定屈服应力  $\tau_0$ 。屈服应力用于描述克服给定流体弹性特性及输入可持续流量所需的能量。



图 1: Thermo Scientific™ HAAKE™ Viscotester™ iQ 流变仪（带适于夹持大型容器的实验室台架）。

随后可知，屈服应力值在很大程度上取决于浆料的固体含量。只需使用 HAAKE Viscotester iQ 流变仪进行简单测量，即可轻易获取屈服应力值。

**Thermo**  
SCIENTIFIC

由于使用旋转流变仪所带的传统平行板或同轴圆筒转子时，若将样品加载到窄隙中，则可能出现壁滑移及样品过度受损，导致软质固体和料浆（如尾矿）难以处理，所以，推荐使用桨叶转子。

当桨叶转子完全浸入样品中时，屈服应力本身可依照 Boger 公式 [4] 进行计算：

$$\tau_0 = \frac{M_{\max}}{K} \quad [a]$$

其中，M 为扭矩，K 为取决于桨叶高度（H）和直径（D）的桨叶参数，其表达式如下：

$$K = \frac{\pi \cdot D^3}{2} \left[ \frac{H}{D} + \frac{1}{3} \right] \quad [b]$$

因此，为确定屈服应力，则需要将扭矩（或相应剪切应力）作为时间的函数进行追踪。然后，将最大值代入屈服应力公式进行计算。

### 实验结果与讨论

为防止发生壁滑移，我们推荐使用桨叶转子对尾矿进行流变测试。图 1 所示为带有桨叶结构及开式台架（便于在大型容器中测试样品）的 HAAKE Viscotester iQ 流变仪。

在该项研究中，已对不同固体质量分数的砂矿尾矿进行了测试，以便随后获得屈服应力与质量分数关系图。

图 2 所示为依照 Boger 模型确定屈服应力的示例。该项测试中所用的尾矿固体质量分数为 0.4。

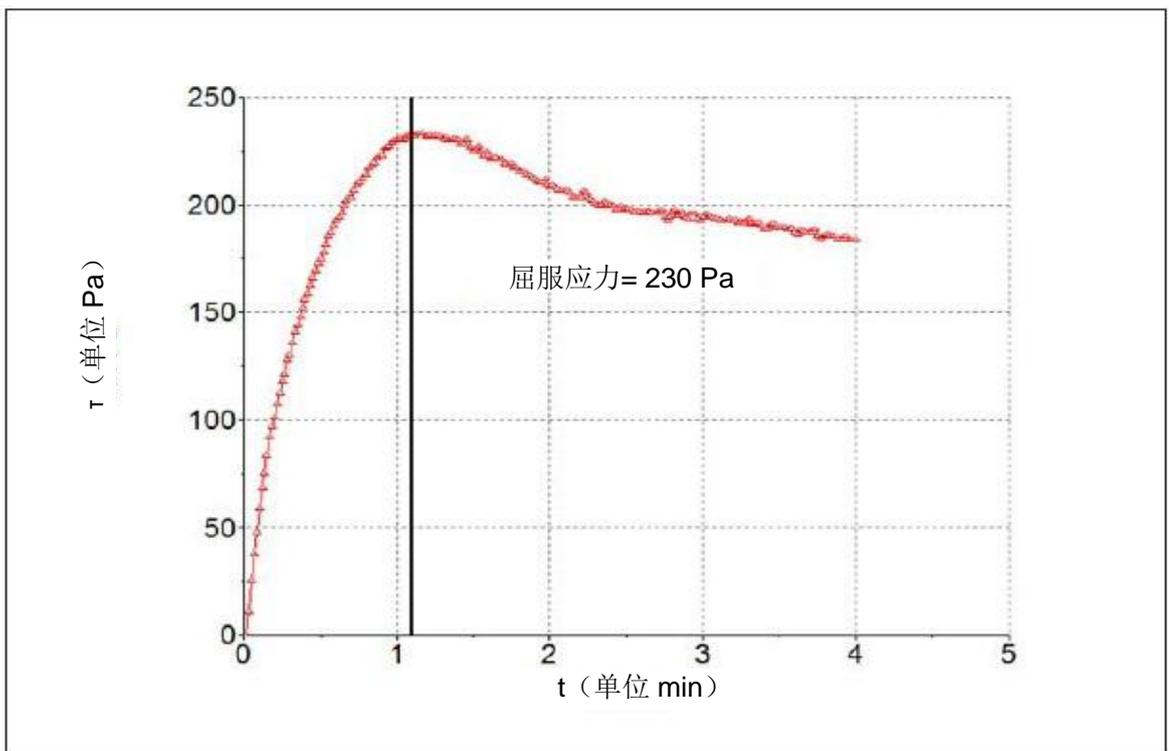


图 2: 室温（RT）条件下，尾矿固体质量分数为 0.4 时的流动曲线（依照 Boger 模型自动获取屈服应力）。

我们已采用这种简单快速的方法，对固体质量分数各不相同（介于 0.2~0.5 之间）的砂矿尾矿进行了测试。测试结果如图 3 所示，图 3 显示各屈服应力值与固体含量的关系曲线图。

使用图 3 所示的少量测试得出的数据，计算经由管道横截面所需的泵送压力（巴）和屈服应力，即可方便地预测特定尾矿的可泵性。

### 结论

HAAKE Viscotester iQ 流变仪中的桨叶转子方法是用于测定矿山尾矿屈服应力的快速、简便且准确的方法。我们可方便地将这些值与具有给定固体质量分数的特定尾矿成分的可泵性相关联。

### 参考文献

- [1] See Wikipedia, Tailings, <http://en.wikipedia/wiki/Tailings> (as of July 13, 2014, 16:50 CET)
- [2] US EPA. (1994). Technical Report: Design and Evaluation of Tailings Dams.
- [3] Martin T.E., Davies M.P. (2000). Trends in the stewardship of tailings dams. 1996, Essen
- [4] Dzuy N.Q., Boger D.V. (1985). Direct yield stress measurement with the vane method. J Rheol 29:335-47.

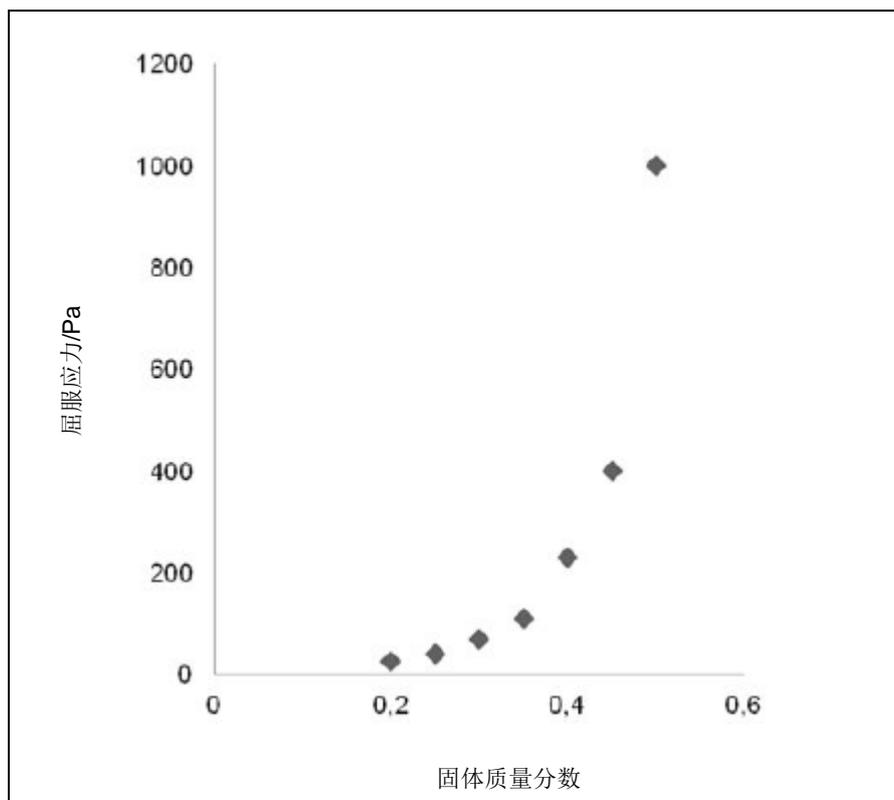


图 3: 屈服应力是室温条件下砂矿尾矿固体质量分数的函数。

[thermoscientific.com/mc](http://thermoscientific.com/mc)

©2014/11 Thermo Fisher Scientific Inc.。保留所有权利。所有仪器图片的版权均归 Thermo Fisher Scientific 所有。所有商标的所有权均归 Thermo Fisher Scientific 及其子公司所有。本文件信息仅供参考。产品规格、术语以及定价有可能随时变更。并非各个产品在所有国家均有售。详情请咨询当地销售代表。

**材料表征**

**比荷卢**

电话 +31 (0) 76 579 55 55  
info.mc.nl@thermofisher.com

**中国**

电话 +86 (21) 68 65 45 88  
info.mc.china@thermofisher.com

**法国**

电话 +33 (0) 1 60 92 48 00  
info.mc.fr@thermofisher.com

**印度**

电话 +91 (22) 27 78 11 01  
info.mc.in@thermofisher.com

**日本**

电话 +81 (45) 453-9167  
info.mc.jp@thermofisher.com

**英国**

电话 +44 (0) 1785 82 52 00  
info.mc.uk@thermofisher.com

**美国**

电话 +1 866 537 0811  
info.mc.us@thermofisher.com

**国际/德国**

Dieselstr.4  
76227 Karlsruhe  
电话 +49 (0) 721 4 0944 44  
info.mc.de@thermofisher.com