

# 固相浓度对水煤浆流动特性及沉降速率的影响

Kenechukwu Emmanuel Ugwu\*, Anthony Chibuzo Ofomatah, Samson Ifeanyi Eze  
尼日利亚 纳苏卡 尼日利亚大学国家能源研究与发展中心

**摘要:**以亚烟煤为原料,以阴离子液体皂为表面活性剂,在不同煤水比下制备水煤浆。测定了浆料的性能、粘度和稳定性。研究了浆料的流变性能,以确定浆料的特性。结果表明,随着煤(固)浓度的增加,矿浆的密度增大。密度越高,泥浆越粘稠。在较高的固体浓度下,浆料的行为由牛顿性变为非牛顿性。固相浓度低的浆体沉降速度快于固相浓度高的浆体。

**关键词:**煤; 浓度; 流量; 粘度; 泥浆; 沉降率

## Influence of solid concentration on the flow characteristics and settling rate of coal-water slurries

Kenechukwu Emmanuel Ugwu\*, Anthony Chibuzo Ofomatah, Samson Ifeanyi Eze  
National Centre for Energy Research and Development, University of Nigeria, Nsukka, Nigeria

**Abstract:** Coal-water slurries were prepared with a sub-bituminous coal at varying coal and water ratios using an anionic liquid soap as a surfactant. The slurry properties, viscosity and stability were determined. The rheological properties of the slurries were investigated to ascertain the characteristics of the slurries. The results showed that increasing coal (solid) concentration increased the density of the slurries. Higher density gave rise to more viscous slurries. The behaviour of the slurries changed from Newtonian to non-Newtonian at higher solid concentrations. The slurries with lower solid concentration settled faster than the higher solid concentration slurries.

**Keywords:** Coal; Concentration; Flow; Viscosity; Slurries; Settling rate

### 1. 简介

煤是一种非均质物质,由有机组分和无机组分<sup>[1]</sup>两相体系组成。它是一种主要燃料,多年来一直以固体形式用于家庭和工业发电和供热。在金属、化工等行业也有应用。与液体燃料相比,固体形式的煤的使用限制了它的应用和可用性。以煤为原料,通过加氢直接液化和采用费托法(fisher-tropsch)煤气化法<sup>[2]</sup>成功地生产了液体燃料。美国、俄罗斯和中国等国家已经开发并应用了在石油、有机溶剂和水等溶剂中进行煤液化的更简单、更便宜的方法<sup>[3,4]</sup>。

水煤浆是由煤和水混合而成的燃料。通常加入添加剂以提高混合物[5]的稳定性、均匀性和分散性。煤液混合物的主要目的是使固体煤本质上成为一种液体燃料,可以以类似于重油的方式运输、储存和燃烧。水煤浆已在发电、化工、冶金等行业的各种锅炉中成功测试和运行<sup>[7]</sup>。

浆料的重要特性是稳定性、泵送性、雾化性和燃烧特性<sup>[8]</sup>。为了获得可接受的流动性,同时保持足够的稳定性,防止煤颗粒沉降,人们对煤水泥浆的流变性进行了大量研究。研究了粒径分布和填料特性<sup>[10]</sup>以及添加剂的使用对水煤浆制备的影响<sup>[5]</sup>。在水中使用煤作为燃

料是可能的,因为煤含有高能量含量的碳,这取决于煤的类型。用不同分类的煤制备了浆料燃料<sup>[11]</sup>。流体的粘度是一项重要的流变性能,它影响着燃料的可泵性,也影响着燃料在燃烧室中的雾化<sup>[12,13]</sup>。

本次调查的主要目的是研究尼日利亚煤的泥浆、流变学(流动特性)和稳定性特性。通过对不同条件下浆料粘度的研究,研究了浆料的流变性。通过沉降速率实验确定了稳定性。

### 2. 实验

本次调查使用的煤炭是来自尼日利亚科吉州 Okobo Enjema 的亚烟煤,由 Zuma-828 煤炭有限公司提供,该公司是一家开发 Zuma 煤矿的煤炭开采公司。煤是原样使用的,没有任何修改。将煤块粉碎后,通过 250 微米筛进行研磨和筛分。将尺寸不足的煤收集起来,用塑料袋包装以防止氧化。

根据 ASTM 标准<sup>[14]</sup>对煤样进行了近似分析。

#### 2.1. 物理化学性质测定

用密度瓶测定浆液的密度。闪点测定采用 Pemsy Martin 半自动多闪点闭口杯闪点测试仪(日本产)。使用 nj-5s 数字粘度计(英国 SearchTech 仪器公司)测量粘

度。

## 2.2. 煤浆制备

通过 60 目筛 (250 微米) 的煤颗粒用去离子水和阴离子液皂 (表面活性剂) 制备煤浆。煤在 105°C 的烤箱中干燥 2 小时, 然后在干燥器中冷却。在 250mL 容量烧杯中加入必要数量的去离子水和肥皂液。将水和液体肥皂混合物放入搅拌器的 500ml 塑料瓶中搅拌 2 分钟, 然后加入煤粉。将煤 / 水 / 液皂混合物在搅拌器中以 1200 转 / 分的速度搅拌 10 分钟, 以确保泥浆的均质性。制备了固体浓度为 30%、40%、50%、55% (v/v) 的煤浆。在所有实验中, 水煤浆在罐内的总体积保持恒定定为 250mL, 以规范搅拌。在干煤重量的基础上, 液皂的数量和种类保持不变, 为 1%。在混合结束时, 进行测量。

## 2.3. 粘度测量

用旋转粘度计研究了流变行为。在室温 (27°C) 下, 分别在转速为 6 rpm、12 rpm、30 rpm 和 60 rpm 时测定不同固含量的浆料的粘度, 以了解混合料是牛顿型还是非牛顿型; 剪切减薄或剪切增厚。这些都是用适当的纺锤完成的。同样, 在 30 转 / 分的恒定剪切速率下, 测量不同固相含量的浆料的粘度, 每隔 30 秒取一次结果。这些数据显示了流体的特性。另一项实验是在循环水浴中用 3 号主轴以 30 转 / 分钟的速度测量 40% 煤浓度浆料的粘度。

煤浆的稳定特性是通过在一个 50 毫升的刻度缸中进行沉降试验来确定的, 将特定浓度的煤浆倒入缸中, 搅拌后让其在重力作用下沉降。在 6 天的时间内测定上清液的高度。

这项研究是在国家能源研究与发展中心的实验室进行的尼日利亚, 恩苏卡, 2012 年 10 月至 2013 年 4 月。

## 3. 结果与讨论

所示值为每个样本数个读数和三次重复样本的平均值。

表 1 显示了对单一来源煤的近似分析结果。固定含碳量为 46.55%, 为亚次烟煤。

表 2 给出了浆料的一些性质的结果。随着矿浆中煤浓度的增加, 矿浆密度也随之增加。同样, 在 30 rpm 下进行室温测量时, 粘度随密度的增加而增加。

Proximate Analysis (As Received)	
Moisture (wt %)	8.17
Ash (wt %)	9.35
Volatile Matter (wt %)	35.93
Fixed Carbon (wt %)	46.55
Total	100.00

表 1. 尼日利亚奥科博煤样的初步分析。

CWF	Density	Flash Viscosity	Point (%Coal)
30%wt	0.4766	No Flash	29.84
40%wt	0.5344	No Flash	200.7
50%wt	0.6985	No Flash	724.6
55%wt	0.6213	No Flash	914.8

表 2. 水煤燃料 (CWF) 特性概述

### 3.1. 浆料的流变性能

粘度是水煤浆<sup>[15]</sup>最重要的流变特性。粘度分别被评价为剪切速率、时间和温度的函数。从浆料是牛顿流体还是非牛顿流体的角度确定了浆料的流变特性。图 1 为黏度与剪切速率的关系图, 证实了煤浓度大于 30% 时流体的非牛顿特性。流体粘度随剪切速率的变化而变化。这种现象可能是由于在低剪切速率下粒子间的相互作用更大。较高的剪切速率可能会破坏相互作用和紧密度, 从而降低粘度<sup>[16]</sup>。当煤浓度为 30%, 转速分别为 30 转 / 分钟和 60 转 / 分钟时, 流体为牛顿流体。

由图 2 可以看出, 在煤质质量大于 40% 时, 剪切应力随剪切速率的增大而减小。这被称为假塑性或剪切变薄行为。煤浆在 30% 及以下浓度时的行为可能类似宾厄姆流体。当煤的浓度超过 40% 时, 浆体特性发生变化。

从图 3 中可以看出, 在 30 转 / 分钟的恒定剪切速率下, 浆料在 40%wt 和 50%wt 时表现出触变行为。55%wt 的液体在 200s 后表现出流光特性。当煤浓度为 30% 时, 流体的粘度随着时间的推移保持不变。

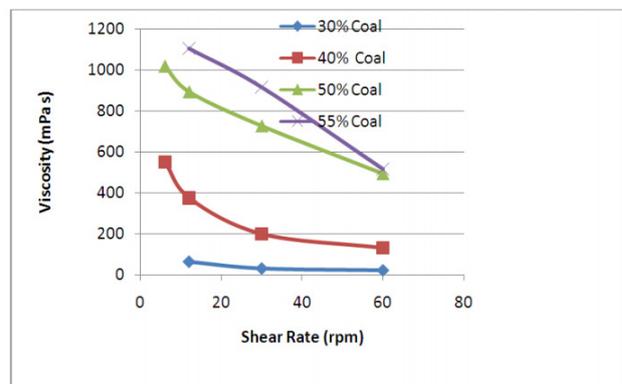


图 1. 室温 (27°C) 下煤浆黏度与剪切速率的函数关系。

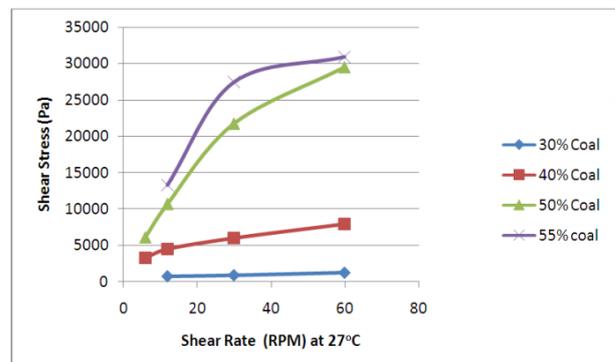


图 2. 剪切应力与剪切速率

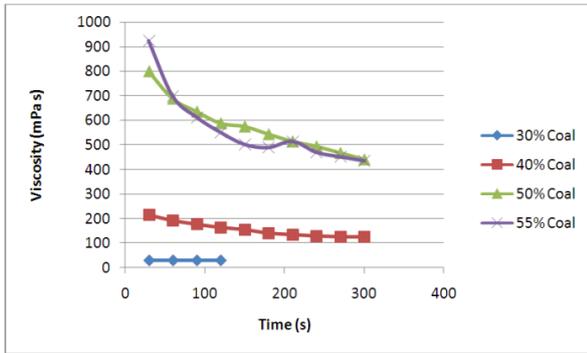


图 3. 图粘度与时间在 30 RPM

图 4 为 40% w/w 水煤浆的粘温关系。在该图中, 流体的粘度随着温度的升高而降低。当温度低于 333 K 时, 粘度随温度的升高而缓慢下降。在 333 K 以上, 粘度急剧下降, 表明絮凝。

界面高度与时间的关系如图 5 所示。随着贮存时间的增加, 煤粒开始沉降。30% 煤浓度沉降最快, 40% 煤浓度沉降次之, 50% 煤浓度沉降最晚。55% 的煤浓度是一种较厚的凝胶, 在室温下无法进行实验。这种行为可以解释为颗粒间的距离, 在较低浓度的泥浆中, 颗粒间的距离应该更远, 因此允许每个颗粒的运动更快, 因为它们移动不受阻碍。其含义是 30% 煤浓度的浆液更容易倾倒, 其次是 40% 煤浓度的浆液, 然后是 50% 煤浓度的浆液。

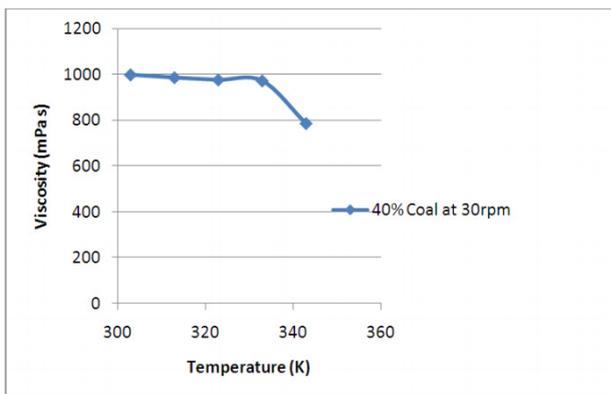


图 4. 水煤浆 (40% w/w) 的粘温关系

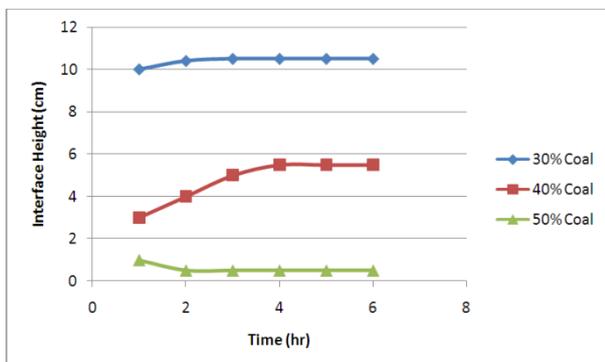


图 5. 界面高度与时间

研究结果对煤样水煤浆的流动特性和沉降速率提供

了重要的信息, 为水煤浆运输系统(泵送和管道)的设计、储运和能源利用提供了依据。水煤浆的稳定性对燃料的泵送和储存具有重要意义。

煤浓度低于 40% 的浆体粘度较低, 稳定性较好。这些泥浆可能更适合通过管道运输。浆料的粘度水平影响浆料的应用。其他因素如粒径分布和添加剂对获得满足特定要求的泥浆也很重要<sup>[18,19]</sup>。

#### 4. 结论

研究发现, 煤浆表现出不同的流动特征, 从低固体煤浓度的牛顿流到高固体煤浓度的剪切减薄流。在 40%、50% 和 55% 煤浓度下, 煤浆的粘度随时间变化, 而在 30% 煤浓度时粘度没有变化。粘度随温度的升高而降低。30% 煤浓度的浆体沉降速度快于较高煤浓度的浆体。这一结果对煤浆输送泵的设计和煤浆在燃烧系统中的使用具有重要的指导意义。这一结果对煤浆储存的决策是有用的。

#### 致谢

作者特此感谢尼日利亚大学恩苏卡分校 NCERD 通过本项目对我们的支持。

#### 参考文献

- [1] H. H. Schobert, K.D. Bartle and L.J. Lynch, Coal Science, Symposium Series 461, Washington, DC: American Chemical Society, 1991.
- [2] A. Steynberg. and M. Dry (eds), Fischer-Tropsch Technology, Studies in Surface Science and Catalysis, Philadelphia: Elsevier, 2004.
- [3] Z. Aktas and E.T. Woodburn, "Effect of addition of surface active agent on the viscosity of a high concentration slurry of a low rank British coal in water", Fuel Processing Technology, vol. 62, pp.1-15, 2000.
- [4] G. O. Davies (eds), Coal Liquid Mixtures, Second European Conference on Coal Liquid Mixtures, London: The Institution of Chemical Engineers symposium series; No. 95, 1985.
- [5] J. Natoli, R.C. Mahar and R. Barret and B.R. Bosein." Polyacrylate thickeners for coal water slurries: Slurry formulation, stability and rheology", in: Coal Liquid Mixtures, G.O.Davies (eds.), Second European Conference on Coal Liquid Mixtures, London: The Institution of Chemical Engineers symposium series; No. 95, 1985, pp. 17-36.
- [6] A.P. Burdukov, V.I. Popov, V.G. Tomilov and V.D. Fedosenko, "The rheodynamics and combustion of coal-water mixtures," Fuel, vol.81, pp.927-933, 2002.
- [7] K. Thambimuthu, Developments in Coal-Liquid Mixtures, London: IEA Coal Research, 1994.

- [8] V. Kalpesh. And D. Shyam, “Review of Charcoal-Diesel slurry: An Alternative fuel for Compression Ignition Engine”, *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, vol. 1(111), pp.143-147, 2012.
- [9] G. Atesok, F. Boylu, A.A. Sirkeci and H. Dincer, “The effect of coal properties on the viscosity of coal-water slurries”, *Fuel*, vol. 81, pp.1855-1858, 2002.
- [10] P. Buranasrisak and M.H. Narasingha, “Effects of Particle Size Distribution and Packing Characteristics on the Preparation of Highly-Loaded Coal-Water Slurry,” *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, vol. 3(1), pp. 31-35, 2012.
- [11] Q.D. Nguyen, C. Logos and T. Semmler, “Rheological properties of South Australian Coal-Water Slurries, *Coal Preparation*,” vol. 18(3), pp.185-199, 1997.
- [12] C. Hicyilmaz, S. Ozun, and N.E. Altun, “Rheological Properties of Asphaltite-Water Slurries”, *Energy and Fuels*, vol. 20, pp.2037-2045, 2006.
- [13] Z. Wang, R. Zhang, Z. Jiang. and S. Jiang, “ 1993. Preparation of Coal-Water Fuels from Coal Preparation Plant Fines”, in J.J. Davis (ed.), *Proceedings of the Sixth Australian Coal Preparation Conference*, pp. 418-427, 1993
- [14] J.G. Speight, *Handbook of Coal Analysis*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [15] Y. Shin and Y. Shen, “Preparation of coal slurry with organic solvents”, *Chemosphere*, vol. 68, pp. 389-393, 2007.
- [16] G. A. Nunez, M. I. Briceno, D.J. Daniel and T. Asa, “Colloidal coal in water suspensions”, *Energy Environ. Sci.*, vol. 3, pp.629-640, 2010.
- [17] P. Li, D. Yang, H. Lou and X. Qiu, “Study on the stability of coal water slurry using dispersion-stability analyzer”, *J Fuel Chem Technol*, vol. 36(5), pp. 524–529, 2008.
- [18] R. Awang and C.Y. May, “Charcoal-Oil Mixtures as an Alternative Fuel: A Preliminary Study”, *American Journal of Applied Sciences*, vol. 6 (3), pp. 393-395, 2009.
- [19] R. Yavuz and S. Kucukbayrak, “Effect of particle size distribution on rheology of lignite-water slurry”, *Energy Sources*, vol. 20(9), pp.787-794, 1998.