文章编号:1001-2060(2004)03-0260-05

水煤膏管内层流和过渡区的阻力特性

卢 平1,章名耀2

(1.南京师范大学动力工程学院,江苏南京 210042;2.东南大学 洁净煤燃烧与发电技术教育部重点实验室,江苏 南京 210096)

摘 要: 在分析非牛顿流体管内滑移流动机理的基础上,提 出了通过计算水煤膏管内流动广义雷诺数 Re_g 来确定其阻 力损失的方法。分析结果表明: 广义雷诺数不仅适用于管内 存在滑移的非牛顿流体流动, 同样适用于无滑移的非牛顿和 牛顿流体流动。试验结果表明: 水煤膏管内定常流动的临界 雷诺数约为 2 100; 层流区采用 广义雷诺数的沿程阻力系数 的计算公式类似于牛顿流体的简单形式, 即 $\lambda = 64$ Re_g ; 过 渡区的阻力损失近似满足布拉休斯方程, $\lambda = 0.316 Re_g^{-0.25}$.

关键 词:水煤膏;广义雷诺数;滑移现象;阻力特性
 中图分类号:TO534.4 文献标识码:A

1 引 言

增压流化床燃烧用的水煤膏(Coal-Water Paste) 是由宽筛分的煤粒(通常为0~6mm)、水和一定量 的脱硫剂(有时不添加)直接混合而成的高浓度多级 分散悬浮体系,不含化学添加剂,它与传统的水煤浆 (Coal-Water Slurry)有很大不同。这种由粗颗粒和细 颗粒形成的悬浮液,随着固相颗粒粒度的减小和浓 度的提高,浆体均质性增强,稳定性增加,通常表现 出很强的非牛顿流体特性。Elliot 等人最早研究了 粗颗粒煤粒的管道输送,他们实验的最大煤粒为13 mm^[1]。Duckworth 等人对粗颗粒输送进行广泛的研 究,他们所配制的煤水混合物的最大重量浓度达 67%,其中小于 200 µm 的细粉为总重量的 33 %^[4]。 除了煤的输送以外,粗颗粒物料的输送技术还广泛 应用干采矿工业的矿山回填及重介输送等领域。由 于其组成的复杂性,粗颗粒物料的管道输送作为一 个世界性的难题,一直没有得到很好的解决^[3~4]。 最近的研究表明,这种高浓度悬浮体管内流动存在 一种特殊的流动现象,即管内壁面处存在一层浓度 很低、粘度显著下降的"滑移层"^[5]。滑移现象的存 在使得水煤膏的管内流动规律的研究更加复杂,很 难从理论上确定其阻力特性,文献[6]~[8] 曾对层 流区的水煤膏阻力特性进行实验研究,但关于过渡 区和紊流区阻力特性的研究还不多见。 Mannheimer^[9]不同流变测量仪器,在较宽的雷诺数 范围内,对水泥浆体的实验研究表明,如不对滑移现 象做出修正将会对阻力损失的确定造成极大的误差 采用。

本文采用理论分析和实验研究相结合的方法, 分析了水煤膏管内滑移流动机理,并针对不同的流 变模型给出了广义雷诺数 *Reg* 的分析,提出了水煤 膏管内流动沿程阻力计算的实用方法,并通过实验 确定了水煤膏管内流动的临界雷诺数。

2 理论分析

高浓度悬浮体作为一种均匀的非牛顿流体,其 本构关系一般可视为广义宾汉体,即:

 $\tau = \tau_{\rm y} + K \gamma^n \tag{1}$

当其在管内作定常层流流动时,存在明显的滑移现象,此时任意有效截面上的实际速度分布为^[10]:

$$u(r) = \frac{KR}{\tau_{w}} \left(\frac{n}{n+1}\right) \left[\left(\frac{\tau_{w}}{K} - \frac{\tau_{y}}{K}\right)^{\frac{n+1}{n}} - \left(\frac{\tau_{w}}{KR} - \frac{\tau_{y}}{K}\right)^{\frac{n+1}{n}} + U_{s}\right]$$

$$r \ge r_{b} \qquad (2)$$

$$u(r) = \frac{KR}{\tau_{w}} \left(\frac{n}{n+1}\right) \left(\frac{\tau_{w}}{K} - \frac{\tau_{y}}{K}\right)^{\frac{n+1}{n}} + U_{s}$$

$$r \ge r_{b} \qquad (3)$$

式中: $r_b = R\tau_y / \tau_w$,为管内柱塞流区的半径; U_s 为滑移速度。

此时管内定常流动时的体积流量 Q 为:

收稿日期: 2003-08-11

$$Q = \int_{0}^{R} 2\pi r u(r) dr = \pi [u(r)r^{2} - \int r^{2} du(r)]_{0}^{R}$$
(4)

将式(2)、(3)代入式(4),完成积分可得:

$$Q = \pi R^{3} \frac{n}{n+1} \left(\frac{\tau_{w}}{K} \right)^{\frac{1}{n}} \left(1 - \frac{\tau_{y}}{\tau_{w}} \right)^{\frac{n+1}{n}} \times \left[1 - \frac{2n}{2n+1} \left(1 - \frac{\tau_{y}}{\tau_{w}} \right) + \frac{2n^{2}}{(2n+1)(3n+1)} \times \left(1 - \frac{\tau_{y}}{\tau_{w}} \right)^{2} \right] + \pi R^{2} U_{s}$$

$$(5)$$

如不考虑管内壁面存在滑移流动的条件,即 $U_s = 0$,则式(5)可简化为:

$$Q = \pi R^{3} \frac{n}{n+1} \left(\frac{\tau_{w}}{R} \right)^{\frac{1}{n}} \left(1 - \frac{\tau_{y}}{\tau_{w}} \right)^{\frac{n+1}{n}} \times \left[1 - \frac{2n}{2n+1} \left(1 - \frac{\tau_{y}}{\tau_{w}} \right) + \frac{2n^{2}}{(2n+1)(3n+1)} \times \left(1 - \frac{\tau_{y}}{\tau_{w}} \right)^{2} \right]$$

$$(6)$$

由式(6) 可知, 对于流变模型给定的悬浮体(即流变 参数 $n_x K_x \tau_y$ 一定), 只要知道圆管管径 R, 在给定 流量 Q 的条件下, 就可以求得相应的管内壁面处的 剪切应力 τ_w , 管内的沿程阻力系数 λ 或单位管长对 应的压降 ΔP 分别由下式求得, 即:

$$\lambda = 8 \tau_{\rm w} / \rho V^2 \tag{7}$$

$$\Delta P/L = 2\tau_{\rm w}/R \tag{8}$$

对于具有宾汉体特征的流体,对比式 (1) 可知: n = 1, $\tau_y = \tau_b$, $K = \eta$, 对于具有幂律流体特征的流体, 则 n = n, K = K, $\tau_y = 0$ 。于是,式(6) 可以分别简化为:

$$Q_{\rm c} = \frac{\pi R^3}{4} \frac{\tau_{\rm y}}{\eta} \left[1 - \frac{4}{3} \left(\frac{\tau_{\rm y}}{\tau_{\rm w}} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{\tau_{\rm y}}{\tau_{\rm w}} \right)^4 \right] \qquad (9)$$

$$Q_{\rm c} = \frac{4n}{3n+1} \frac{\kappa_{\rm K}}{4} \left(\frac{z_{\rm w}}{K} \right) \tag{10}$$

对于存在滑移现象的水煤膏而言,要计算其管 内流动阻力,应首先通过实验确定其滑移速度 Us, 再根据其流变模型参数、管径和流量,采用上述方 法,计算其管内流动相应的沿程阻力系数 \或单位 管长对应的压降 \P。由上述分析可知,对于存在滑 移流动现象的非牛顿流体而言,要完全从理论上计 算其管内阻力是困难的,即使对于流变模型给定的 水煤膏管内定常层流流动,采用式(5)来计算其管 内压降和阻力损失也是比较复杂的。因此,有必要寻 找一种确定其管内定常流动阻力损失的实用计算方 3 实用方法

3.1 滑移现象机理分析

许多研究者相继通过实验证实大分子溶液、高 固体浓度以及气固二相流悬浮体在多种几何通道内 的流动过程中存在滑移流动现象^[11~12]。由于液固 两相悬浮液流动的复杂性,关于滑移现象产生的机 理,目前从理论上尚无定论。吴文渊等人研究了颗粒 一流体两相流中颗粒团聚存在的临界条件,指出颗 粒一流体两相流中主要存在着流体与颗粒和颗粒 与颗粒间两种相互作用,当两种力相互平衡时,团聚 不会存在,两相流体处于一种均匀状态,即颗粒浓度 处处均匀,不会产生滑移现象^[13]。当流体一颗粒的 作用远远超过颗粒一颗粒间的相互作用时,如果颗 粒浓度很小,颗粒也不能形成聚团,如果颗粒浓度较 大,则可能在近壁面处出现颗粒浓度很低的薄层,从 而导致滑移现象的出现。

根据上述分析可知, 滑移流动现象的本质是管 内颗粒径向迁移。当剪切发生时, 壁面处的剪切速率 较大, 导致颗粒向剪切速率较小的方向迁移, 从而造 成近壁处悬浮液的浓度明显较中心区低, 形成近壁 面处浓度很低的薄层(滑移层), 导致表观滑移的产 生。由于壁面滑移效应, 导致小于屈服应力值的流体 的流动。因此, 阻力特性研究所要解决的主要问题就 是如何确定滑移层内流体流动特征。

由滑移流动机理分析,对于高浓度悬浮体管内 定常层流流动,可作如下假设^[6~8]:

(1)在管内壁面处存在滑移层,滑移层厚度很薄,层内颗粒浓度很低;

(2) 滑移层内悬浮体以滑移速度 U_s 流动;

(3) 滑移层内流体可视为沿管内壁面作层流的 "牛顿流体",并认为该薄层内任意处的剪切应力处 处相等,即: $\tau = \tau_w = \tau_c$,其管内流动结构如图 1 所 示。

3.2 广义雷诺数 Reg 及其分析

对于与时间无关的非牛顿流体, 其本构方程为: $\gamma = f(\tau) = - du/dy$, 依据上述滑移流动机理分析 和假设可以导出存在滑移条件下的管内层流流动的 广义雷诺数 $Re_g^{[9]}$:

$$Re_{g} = \frac{Re_{\mu}}{1 - U_{g}/V} = \frac{\rho VD}{\mu_{e}(1 - U_{g}/V)}$$
(11)

法_{?1994-2018} China Academic Journal Electronic Publishing Flouse. All Tights reserved. Alttp://www.enki.net





图1 水煤膏管内流动示意图

$$\lambda = 64/Re_{\rm g} \tag{12}$$

由式(11)可知,广义雷诺数的实质是基于非牛顿流体有效粘度的通用雷诺数 Re_{t_a} 和滑移速度比率 $U_s/V($ 或滑移流量贡献比率 $Q_s/Q)$ 的函数,即:

 $Re_{g} = f(Re_{\mu_{e}}, U_{s}/V) = f(Re_{\mu_{e}}, Q_{s}/Q)$ (13) 因此, 要确定广义雷诺数, 即要确定有效粘度 μ_{e} 和 管内滑移层外边界的速度 U_{s} (或滑移流量 Q_{s}), 有效 粘度是无滑移条件下管壁切应力与虚剪切速率的 商^[14], 由下式确定:

$$\mu_{e} = \frac{\tau_{w}}{8V_{c}/D} = \frac{\tau_{w}^{4}}{4\int_{0}^{\tau_{w}} \tau^{2} f(\tau) d\tau}$$
(14)

因此,对于层流区的非牛顿流体,其摩阻系数的 求法与层流区牛顿流体的摩阻系数的计算方法相 同,只要用 *Reg* 代替牛顿流体雷诺数 *Re* 即可,它综 合考虑了非牛顿流体特性和滑移效应的影响。

3.2.1 滑移对Reg的影响

管内滑移流动的实质是由于固体颗粒向中心主 流区域内迁移,致使管内壁面处形成一层颗粒浓度 很低,粘度显著下降而剪切速率很大的薄层,其结果 必然导致管内流动的流量较无滑移存在时的流量增 大,此是实际流量应为滑移流量与无滑移流量之和, 滑移流量 *Q*。和滑移速度 *U*。分别由下式确定^{[7,13}].

$$Q_{\rm s} = \pi R^2 U_{\rm s} = \pi R \beta_{\rm c} \, \tau_{\rm w} \tag{15}$$

$$U_{\rm s} = \beta_{\rm c} \, \tau_{\rm w} / R \tag{16}$$

其中:滑移修正系数 β。是壁面剪切应力 τw 的函数, 与管径无关,该值根据试验参数由下式确定:

$$\frac{4Q}{\pi R^{3}\tau_{w}} = \frac{4\beta_{c}}{R^{2}} + \frac{4}{\tau_{w}^{4}} \int_{0}^{\tau_{w}} \tau^{2} f(\tau) \mathrm{d}\tau \qquad (17)$$

在给定的 τ_w 下,用 4 $Q/\pi R^3 \tau_w$ 对 4/ R^2 作图,所得直 线斜率是 β_e ,其截距的倒数为 $\mu_e^{[3]}$ 。

因此,对于流变模型确定的非牛顿流体,可先应 用式(14)积分计算求得其相应的有效粘度 Per,表1 给出了几种常见流变模型的有效粘度计算公式。若 无滑移流动现象,即 $U_s = 0$,由式(11)可知 $Re_g = Re_{P_e}$,此时广义雷诺数就转化为非牛顿流体通用雷 诺数。



对于流变模型不确定的流体,首先通过实验确 定其滑移修正系数 β_e 和有效粘度 μ_e ,再由式(16)求 得相应的滑移速度 U_s ,最后由式(11)和(12)分别求 得相应的广义雷诺数 Re_g 和沿程阻力系数 λ_e

3.2.2 广义雷诺数 Reg 分析

在浓度较低的条件下,水煤膏常表现为宾汉体, 由式(11)和表1可得:

$$Re_{g} = \frac{\rho VD}{\mu_{e}(1 - U_{s}/V)} = \frac{\rho VD(1 - 4a/3 + a^{4}/3)}{\eta(1 - U_{s}/V)}$$
(18)

其中: $a = \tau_y / \tau_w = r_b / R$, 表示柱塞流区域半径 r_b 与 管半径 R 的比值。若无滑移存在, 即 $U_s = 0$, 结合式 (14), 式(18) 可简化为:

$$\frac{8V_{\rm c}}{D} = \frac{\tau_{\rm w}}{\mu_e} = \frac{\tau_{\rm w}}{\eta} \left(1 - \frac{4a}{3} + \frac{a^4}{3} \right) \tag{19}$$

式中: η 为 Bingham 塑性粘度。高流量条件下, $a^4 = (\tau_y / \tau_w)^4$ 较小,常略去,则式(19)简化为:

$$Re_{\rm g} = Re_{\rm b} / \left(1 - \frac{4\tau_{\rm y}}{3\tau_{\rm w}} \right) = Re_{\rm b} / \left(1 + \frac{\tau_{\rm y}D}{6\eta V} \right) = Re_{\rm b} / \left(1 + \frac{He_{\rm b}}{6Re_{\rm b}} \right)$$
(20)

式中: $Re_b = \rho D/\eta$ 称为宾汉雷诺数, $He_b = \rho \tau_y D^2/\eta^2$ 称为宾汉 Hedstorm 准数, 它是宾汉雷诺数与屈服准数的乘积。

对于幂律流体,由式(11)和表1可得:

$$Re_{g} = \frac{\rho W}{K(8V_{c}/D)^{n-1}(1-U_{s}/V)} \left(\frac{4n}{3n+1}\right)'$$

147、147、伝石に昇水(存共相)2017(2017) 1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net 式(21)即为文献中常见的无滑移条件下宾汉 体的综合雷诺数,它是式(11)在一定条件下的特殊 形式。

在无滑移流动条件下,即 $U_s = 0, V_c = V$,则式 (21)可以简化为:

$$Re_{g} = \frac{\rho VD}{K \left(8 V_{c}/D\right)^{n-1}} \left(\frac{4n}{3n+1}\right)^{n} = \frac{\rho V^{2-n} D^{n}}{K' 8^{n-1}}$$
(22)

式中: $K' = K[(3n+1)/4n]^n$,式(22)即为幂律流体 在无滑移条件下广义雷诺数的简化形式。

对于屈服幂律流体,在层流区有效粘度如表1 所示,它是牛顿体、宾汉体和幂律流体的通式。由于 没有固定的粘度,无法给出较为简单的关系式。经过 简单推导可以得到与文献[16]完全相同的结果, 即:

$$Re_{g} = \frac{\rho ID[a^{n-1}(1-a)]^{1/n}}{K^{1/n}\tau_{y}^{1-1/n}(1-U_{s}/V)}f(a)$$
(23)
$$f(a) = \frac{4n}{3n+1} - \frac{4na}{(2n+1)(3n+1)} - \frac{8n^{2}a^{2}}{(n+1)(2n+1)(3n+1)} - \frac{8n^{3}a^{3}}{(n+1)(2n+1)(3n+1)} - \frac{(24)}{(24)}$$

对于牛顿流体,式(11)可以直接简化为牛顿流体的雷诺数,即, $Re = PVD/\mu$ 。

4 实验结果与分析

滑移现象的存在,不仅直接影响流变特性测量的结果,而且给水煤膏管内流动沿程阻力的 计算及放大计算带来困难。为验证上述分析,在水煤膏管道流动特性试验台上对煤颗粒配比 PB = 75 :25,60 : 40,40 :60,质量浓度 W_t = 21.9% ~ 35%的水煤膏, 分别在 4 种管径 D(\$425,\$432,\$440,\$462 mm)的管道内进行了沿程阻力的测量,实验中水煤膏管内流动的实际流量 Q 由电磁流量计测定,相应水平管段的沿程压降 ΔP 由隔膜差压计测量。详细的实验数据见文献 17]。

试验测得的水煤膏沿程阻力系数 λ 由下式给 出:

 $\lambda = 2D \circ \Delta P / \ell L V^2$ (25)

图 2 给出了试验所测得的沿程阻力系数 λ 和广 义雷诺数 Re_g 之间的关系。由图可知,在 $Re_g = 1 \sim 2100$ 的范围内,其阻力系数 λ 的实测值与式(12)的 计算值之间的相对误差较小,一般在 5 % 以内、最大 误差不超过10%。*Reg*>2100时,阻力系数实验点偏离直线,因此可以初步判定此时水煤膏进入过渡流状态,即水煤膏的管内流动临界雷诺数约为2100,这与牛顿流体和其它无滑移现象非牛顿流体的管内流动的临界雷诺数相一致。

在实验范围内,水煤膏管内过渡区流动的阻力 系数的试验值 略小于牛顿流体在光滑 管内流动的 Blasius 方程的预测值,这与 Mannheimer 水泥浆的试 验结果一致^{9]}。因此,从上述分析和是实验结果可 知,应用管流法的流变试验数据,采用基于广义雷诺 数 *Reg*,不仅可以预测水煤膏的层流流动的阻力系 数,而且还可以预测其层流一湍流过渡流的阻力系 数。



图2 水煤膏沿程阻力系数λ与Reg关系

5 结 论

(1)提出了包括滑移效应在内的非牛顿流体管 内流动的广义雷诺数 Re_{g} 。它是通用准数 $Re_{\mu_{e}}$ 和滑 移效应(U_{s}/V)的函数,即 $Re_{g} = f(Re_{\mu_{e}}, U_{s}/V)$ 。分 析结果表明,它不仅适用于有滑移的水煤膏类的液 固两相纯粘性非牛顿流体,而且适用于所有包含与 不包含滑移因素在内的定常流动的流体。

(2) 在层流流动条件下,采用式(11) 定义的广 义雷诺数,纯粘性非牛顿流体管内定常层流流动的 沿程阻力系数的计算公式与牛顿流体具有相同的形 式,即: $\lambda = 64/Re_{g}$,在 $Re_{g} \approx 1 \sim 2100$ 的实验范围 内,其最大误差不超过 10%。

(3) 水煤膏的管内流动临界雷诺数约为 2 100. 过渡流状态,考虑滑移存在时的广义雷诺数和管内 流动沿程阻力系数的实验数据近似满足布拉休斯公 式, 即 $\lambda = 0.316 Regresserved.$ http://www.cnki.net (4)相同流量条件下,有滑移存在的水煤膏管内流动的广义雷诺数较不考虑滑移时大,而沿程阻力系数较不考虑滑移时小,滑移流动使管内流动增强。

参考文献:

- ELLIOTT D E, GLIDDON B J. Hydraulic transport of coal at high concentrations [A]. In: Proc 1st Inter Conf on Hydraulic Transport of solids in Pipes [C], Cranfield, B eds, U K, 1970; G2-25.
- [2] DUCKWORTH R A, PULLUM L. The hydraulic transport of coarse coal at high concentration[J]. J Pipeline, 1983, 3: 251-261.
- [3] 瓦普斯 E J. 固体物料的浆体管道输送[M]. 黄河水利委员会科 研所译. 北京: 水利出版社, 1980.
- [4] PANDA D, PARIDA A. Transportation of coarse coal in fine medium
 [J]. Inter Multiphase Flow, 1994, 20(1): 171-177.
- [5] 卢 平,章名耀,徐跃年.增压流化床用水煤膏管内流动滑移效应的研究 J. 热能动力工程,2002,17(1):31-33.
- [6] 卢 平,章名耀.水煤膏管内流动的相似准则和阻力特性的研究[J].燃烧科学与技术,2002,8(1):55-58.
- [7] LU PING, ZHANG MINGYAO. Resistance properties of coal-water paste flowing in pipes[J]. Fuel. 2002 81(7): 877-881.

- [8] 孟令杰,章名耀.增压流化床燃烧煤水混合物管内输送阻力特 性研究[J].热能动力工程,2000,15(3):213-214.
- [9] MANNHEIMER R J. Laminar and turbulent flow of cement slurries in large diameter pipe: a comparison with laboratory viscometer[J]. J Rheology, 1991, 35(1): 113–133.
- [10] 孟令杰,孔 珑.水煤浆在圆管内流动动能修正系数的确定方 法[J].工程热物理学报,1993,14(2):12-223.
- [11] KALGON D M. Rheological behavior of a concentrated suspension. A solid rocket fuel simulant[J]. J Rheology. 1993, 37(1): 35-53.
- [12] KHANA U, BRISCOE B J. Evaluation of slip in capillary extrusion of ceramic pastes[J]. J of the European Ceramic Society, 2001, 21: 483-491.
- [13] 吴文渊. 颗粒一流体两相流中颗粒团聚物存在的临界条件 [J]. 工程热物理学报, 1992, **13**(3): 324-328.
- [14] 张荣增. 水煤浆制浆技术[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [15] JASTRZEBSKI Z D. Entrance effects and wall effects in an extrusion rheometer during the flow of concentrated suspensions[J]. I E C. Fund. 1967, 6(3): 444-453.
- [16] 孟令杰,孔 珑,章名耀.水煤浆管内流动相似准数及其阻力 特性[J].化工学报,1995,46(3):298-303.
- [17] 卢 平.水煤膏输送持性和喷雾特性及其直接数值模拟的研究[D].南京:东南大学,2002.

新技术

冲压式燃气轮发电机组

据《Gas Turbine World》2002年9-10月号报道,先进的压缩技术有可能使紧凑的燃气轮机设计革命化,简单循环输出功率高达10MW,效率达到40%以上,销售价格将低于每千瓦500美元。

样机设计成在927 ℃涡轮转子进口温度下额定输出功率为485kW,效率为35%。在1149 ℃进口温度和第一级涡轮冷却的条件下,简单循环效率达到41%。

冲压式燃气轮机设计有两个被此完全相反的冲压喷气推力组件。工作时,每个推力组件形成一个完整的冲压喷气流道。燃料和空气的混合物是在进入推力组件时被压缩的,捕获旋涡的燃烧室技术在精确控制的贫预混条件下稳定燃烧过程,从而使NOx 排放减到最小。

将建成超音速激波压气机试验台,并准备于 2003 年第二季度投入试验。2004 年第四季度将在试验台上进行整体燃气轮机的运行试验。

发动机起动和停机与常规的燃气轮机相同,起动时间只需要5min。

(吉桂明 供稿)

jing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Theimal Energy & Power. — 2004, 19(3). — 256 ~ 259

As a byproduct of crude refining process petroleum coke features a low ash content, moderate volatility and a high heating value. It contains a sizable quantity of metallic elements, such as vanadium and nickel as well as sulfur and nitrogen. During the combustion of petroleum coke these elements can cause in-boiler corrosion and fouling. After a technical study it is found that the mixed combustion of petroleum coke and coal in a circulating fluidized bed represents an effective and environment-friendly approach for the utilization of and heat recovery from the petroleum coke. To verify the above fact a study concerning the temperature profile obtained in the course of mixed combustion of petroleum coke and coal was performed on a circulating fluidized bed hot-state test rig with a heat input of 0.5 MW. The impact of various factors and parameters on the temperature profile in a boiler furnace was investigated. They include the different blending ratios of petroleum coke and coal, different boiler operating parameters, such as primary-air flow rate, excess air factor, Ca/S ratio and coal feed rate, etc. **Key words:** circulating fluidized bed, petroleum coke, coal, combustion of blended fuels, temperature profile

水煤膏管内层流和过渡区的阻力特性=Resistance Characteristics of Coal-water Paste in a Pipe at the Laminar Flow and Transition Zones [刊,汉] / LU ping (College of Power Engineering under the Nanjing Normal University, Nanjing, China, Post Code: 210042), ZHANG Ming-yao (Research Institute of Thermal Energy Engineering under the Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2004, 19(3). - 260~264

Based on the analysis of slip flow mechanism in a non-Newtonian fluid pipe the authors have come up with a method for determining the resistance losses of coal water paste through the calculation of a generalized Reynolds number Reg for the in-pipe flow of coal water paste. The results of an analysis indicate that the generalized Reynolds number is suitable not only for non-Newtonian fluid flow with slip being present in a pipe, but also suited for non-Newtonian and Newtonian fluid flow without a slip. Test results show that the critical Reynolds number of the steady flow of coal water paste in the pipe is approximately 2100. The formula for calculating resistance factors for laminar flow zones with the use of a generalized Reynolds number is similar to the simplified form for Newtonian fluid, namely, $\lambda = 64/Reg$. The resistance loss at a transition zone can approximately satisfy Blasius equation, namely, $\lambda = 0.316 \text{Reg}^{-0.25}$. Key words: coal-water paste, generalized Reynolds number, resistance characteristics, slip phenomena

磁场抑制自然对流的能量涨落分析=Analysis of the Kinetic Energy Fluctuations of Magnetic Field-suppressed Natural Convection [刊,汉] / ZHAO Liang-ju (Power Engineering Institute under the Chongqing University, Chongqing, China, Post Code: 400044), Daniel Henry, Hamda Benhadid (Laboratoire de Mecanique des Fluides et de Acoustique, Ecole Central de Lyon, France) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(3). — 265~269

Bridgman method is often used for the fabrication of high-performance single crystals. During the melting of crystals the natural convection caused by a density difference will lead to a lowering of crystal quality. Through the use of an externally added magnetic field the natural convection was suppressed. By employing a spectral element method a numerical simulation was performed of the three-dimensional non-steady-state natural convection of a gallium melt. As a result, obtained was (when Pr = 0.019) a time-dependent variation of pulsating kinetic energy fluctuations caused by pulsating kinetic energy in the absence of an externally added magnetic field, transverse and longitudinal magnetic fields as well as by the convection, viscous dissipation and floating force action. Meanwhile, the various components representing energy fluctuations caused by the convection, which plays a major role in pulsation kinetic energy, while the horizontal speed gradient constitutes a main constituent part of the convection item. **Key words**: magnetic field, natural convection, spectral finite element simulation, pulsating kinetic energy fluctuations finite element simulation, pulsating kinetic energy fluctuations