

轮毂轴承实验中泥浆管道沉积问题研究^①

胡世鸣^{②*} 翁泽宇^{③*} 翁 聪* 金晓航* 周 旭** 黄德杰**

(* 浙江工业大学机械工程学院 杭州 310014)

(** 浙江万向精工有限公司 杭州 311202)

摘 要 泥浆管道沉积导致泥浆的配比和泥浆中不同粒径颗粒的占比的变化,是影响轮毂轴承泥水实验有效性的重要因素。本文将泥浆颗粒简化为 9 种不同粒径颗粒,采用欧拉-欧拉模型对实验机管道泥浆输送过程进行多相流数值模拟,提出泥浆沉积量计算方法,研究了管道内泥浆颗粒浓度分布及其颗粒沉积达到稳定状态的时间、流量对泥浆的配比和泥浆中不同粒径颗粒的占比的影响。结果表明,在泥浆管道输送过程中,受重力的作用,泥浆颗粒主要集中于管道底部,在管道横截面上,泥浆颗粒浓度呈梯度变化;不同粒径的泥浆颗粒沉积达到稳定状态的时间接近一致,并随着泥浆流量的增大而有适量的缩短;随着流量增大,泥浆输入管道内的泥浆颗粒沉积量总体呈减少趋势,当流量较大时,减小趋势变缓;大粒径颗粒更易产生沉积,且受流量的影响较大。最后,通过泥浆沉积量实验实测,对数值模拟结果进行了验证。研究成果可以针对影响实验结果有效性的泥浆的配比和泥浆中不同粒径颗粒的占比,以泥浆的流量控制为手段,给出定量控制策略。

关键词 泥浆; 沉积量; 轮毂轴承; 数值模拟

0 引 言

汽车轮毂轴承作为汽车底盘系统关键部件,起着承载及导向的双重作用,对汽车的安全行驶具有重要影响。国内外各整车厂和轮毂轴承生产商都非常重视轮毂轴承各项性能实验,而一些实验需要模拟汽车在泥水环境下的行驶情况。为了确保实验结果的一致性,对所用的泥浆有着严格的配比(主要是指水与泥浆颗粒的配比)要求,由于对配制泥浆用的粉体颗粒有特别的指定,意味着对粉体颗粒的粒径分布(即不同粒径颗粒的占比)也有严格的要求。但是,对配制后投入实验的泥浆中不同粒径颗粒的占比状况,目前却未受到关注。泥浆在实验机管道输送过程中难以避免产生颗粒沉积现象,不仅会使实验过程中泥浆的配比偏离规定的要求,还会

由于不同粒径颗粒的沉积情况不同,导致泥浆中不同粒径颗粒的占比偏离既定的期望,从而影响轮毂轴承泥水实验的有效性。

实验机泥浆管道沉积对泥浆的配比的影响,由于易于检测发现,国内外各整车厂和轮毂轴承生产商已经充分地意识到;但对实验机泥浆管道沉积对泥浆中不同粒径颗粒的占比的影响,尚缺乏考虑。在轮毂轴承泥水实验中,如何减小或控制这 2 种影响尚缺乏相关的研究(目前尚无公开的文献报道)。对泥浆的配比的影响,业内人士只能给出一些定性的建议;对泥浆中不同粒径颗粒的占比的影响,完全是被忽视的。因此,展开轮毂轴承实验过程泥浆管道沉积问题研究具有重要的现实意义。

实验机管道泥浆沉积问题从本质上来说属于两相流输送问题,而数值模拟作为一种较成熟的研究

① 国家自然科学基金(51505424)资助项目。

② 男,1994 年生,硕士;研究方向:汽车零部件实验技术与装备;E-mail: hu5555ming@126.com

③ 通信作者,E-mail: wengzy8888@163.com
(收稿日期:2019-04-08)

手段已经应用于两相流输送所涉及的有关领域并取得了较多的成果^[1,2]。从保证轮毂轴承泥水实验中泥浆的配比和泥浆中不同粒径颗粒的占比的准确性来看,泥浆颗粒沉积问题研究的重点是泥浆颗粒的沉积量,也包括不同粒径泥浆颗粒的沉积量。国内外关于管道沉积问题的研究主要在沉积位置^[3-6]和沉积速度^[7,8]等方面,现有研究尚未涉及管道沉积量的定量计算。且现有管道泥浆数值模拟的研究都是将固相当作是单一粒径的颗粒,这种近似无法对泥浆中不同粒径颗粒的占比问题开展研究。

本文将管道泥浆颗粒-水两相流输送问题演变为管道多种粒径颗粒-水的多相流输送问题,采用欧拉-欧拉模型对泥浆管道输送过程进行数值模拟。并提出一种管道内泥浆颗粒沉积量的计算方法,实现对不同流量下管道内泥浆颗粒沉积问题的研究。最后,通过泥浆沉积量实验实测,验证数值模拟结果的正确性。

1 泥浆输送系统与泥浆颗粒组成

1.1 泥浆输送系统

图 1 为轮毂轴承密封圈单体密封实验机的泥浆输送系统简图,泥浆在离心泵的作用下从大泥浆池被吸入进泥浆管 I,然后流经进泥浆管 II 和钢管段,

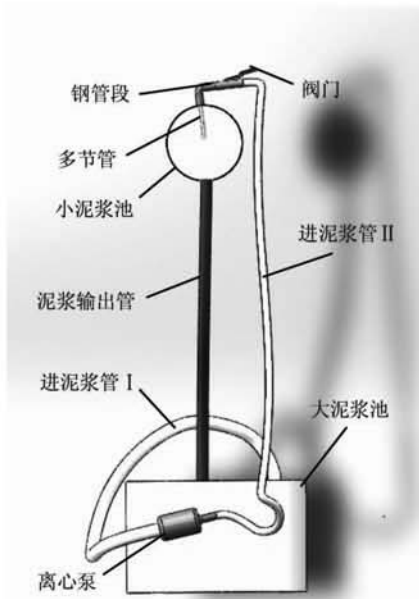


图 1 实验机泥浆输送系统

通过多节管进入小泥浆池,形成轮毂轴承密封圈实验所需的泥浆环境,然后泥浆经过泥浆输出管道流回大泥浆池。

由于系统中泥浆输出管管径较大,且该段管道近似垂直布置,泥浆是从上往下回流到大泥浆池中,泥浆不易在出水管道中沉积;泥浆流经离心泵的流场较为复杂,且泥浆在泵内的流速相对较高,不易沉积。因此,讨论输送管道沉积问题时可以忽略泥浆输出管的泥浆颗粒沉积问题,仅对泥浆输入管道开展分析研究;对于离心泵,可以看成是泥浆输送速度达到临界沉积速度之上的细管道。图 2 为泥浆输入管道简化后的 3 维模型。

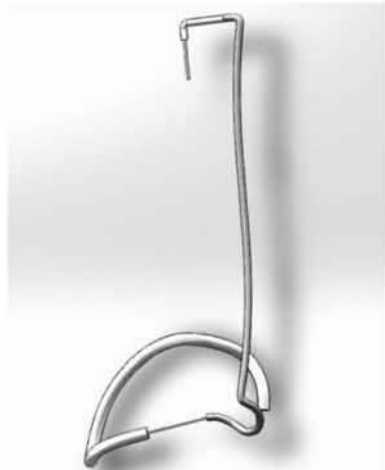


图 2 泥浆输入管道的 3 维模型

表 1 给出的是实验机泥浆输送系统的各部分管路的内径大小,其中多节管段为非均匀内径管道,进口处的内径为 10 mm,出口处的内径为 8 mm,长度为 10 mm。

表 1 泥浆输送系统各部分管道的管径大小

管道	内径 (mm)
进泥浆管 I	32
进泥浆管 II	20
钢管段	16
多节管进口	10
多节管出口	8

1.2 泥浆颗粒组成

本文所研究的轮毂轴承性能实验泥浆为亚利桑

那粉-水两相体系,质量分数为 10%,其中水作为主相,密度为 996 kg/m^3 ,粘度为 $1 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$;固体颗粒为次相,固相密度为 2650 kg/m^3 。根据亚利桑那粉的颗粒粒径分布特性,本文将亚利桑那粉颗粒(不同粒径颗粒的占比依据粉体供应商的检测结果)简化为 9 种不同粒径的颗粒,9 种粒径的颗粒组成情况见表 2,9 种粒径的颗粒在泥浆中的占比分布如图 3。

表 2 泥浆颗粒组成情况

颗粒	粒径(μm)	占比(%)
颗粒 1	0.345	1.75
颗粒 2	1.035	7.49
颗粒 3	2.065	12.74
颗粒 4	4.125	18.45
颗粒 5	8.25	18.72
颗粒 6	16.5	16.68
颗粒 7	33	14.93
颗粒 8	66	7.18
颗粒 9	132	2.06

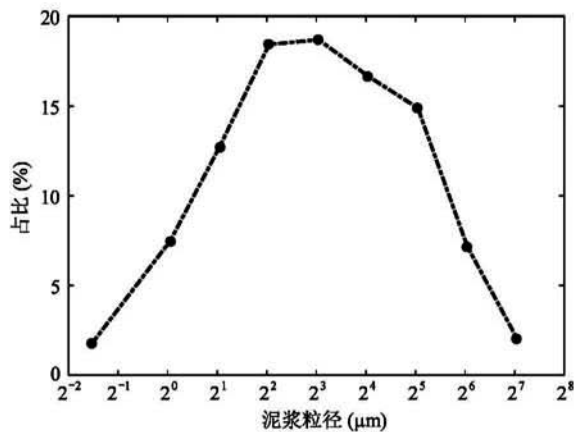


图 3 9 种粒径颗粒在泥浆颗粒中的占比

2 数值模拟方法和沉积量计算方法

2.1 两相流模型

泥浆管道输送过程的数值模拟,通常可以采用基于欧拉-欧拉方法的 3 种模型^[9,10],即 Eulerian 模型、混合模型和 VOF 模型。本文采用精度较高的 Eulerian 模型。

2.2 湍流模型

泥浆管道输送过程中液固两相均为湍流状态且都处于均匀混合状态,因此本文湍流模型采用标准 $k-\varepsilon$ 模型,其中湍流动能 k 和耗散率 ε 可表示为

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (1)$$

$$\rho \frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (2)$$

$$G_k = -\rho \overline{\mu'_i \mu'_j} \frac{\partial \mu_i}{\partial x_j} \quad (3)$$

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4)$$

式中, ρ 是密度, G_k 是湍流动能项, $-\rho \overline{\mu'_i \mu'_j}$ 为雷诺应力, μ_t 为湍流黏度因数, $C_{1\varepsilon}$ 、 $C_{2\varepsilon}$ 与 C_μ 为常数项, σ_k 与 σ_ε 为 k 与 ε 对应的 Prandtl 数。按王福军^[11]推荐的数据 $C_{1\varepsilon} = 1.44$, $C_{2\varepsilon} = 1.92$, $C_\mu = 0.09$, $\sigma_k = 1.0$, $\sigma_\varepsilon = 1.3$ 。

2.3 曳力模型

对管道内液-固两相流输送问题,需要考虑连续相作用于颗粒上的曳力,计算采用 Wen-Yu 模型^[12],液-固两相动量交换系数 K_{st} 可表示为

$$K_{st} = \frac{3}{4} C_D \frac{\alpha_s \alpha_l |v_s - v_l|}{d_s} \alpha_l^{-2.65} \quad (5)$$

$$C_D = \frac{24}{\alpha_l \text{Re}_s} [1 + 0.15 (\alpha_l \text{Re}_s)^{0.687}] \quad (6)$$

$$\text{Re}_s = \frac{\rho_l d_s |v_s - v_l|}{\mu_l} \quad (7)$$

式中, d_s 为颗粒的直径, v_s 与 v_l 为固相和液相的流速, α_s 与 α_l 为固相和液相的体积分数, ρ_l 为液相密度, μ_l 为液相黏度。

2.4 沉积量计算方法

泥浆在管道中的沉积量可以认为是某时间段内流入管道的泥浆颗粒与流出管道的泥浆颗粒的质量差。对泥浆输送过程进行数值模拟,监测管道进、出口颗粒的质量流量,通过对质量流量关于时间的积分,就可以得到在某段时间内流入和流出管道的颗粒质量,因此管道中泥浆的沉积量为

$$m = \int_0^t Q_M dt - \int_0^t Q_m dt \quad (8)$$

式中, m 为管道内颗粒的沉积量, t 为泥浆在管道内

输送达到非定常稳定状态所需的时间, Q_M 为颗粒在管道进口处颗粒的质量流量, Q_m 为颗粒管道出口处颗粒的质量流量。

当管道中有多种颗粒时,需对管道进出口每种颗粒的质量流量进行监测,此时管道中泥浆的沉积量为

$$m = \sum_{i=1}^n \int_0^t Q_{Mi} dt - \sum_{i=1}^n \int_0^t Q_{mi} dt \quad (9)$$

式中, n 为管道内颗粒种类数量, Q_{Mi} 为第 i 种颗粒在管道进口处颗粒的质量流量, Q_{mi} 为第 i 种颗粒在管道出口处颗粒的质量流量。

3 管道输送泥浆颗粒沉积问题数值模拟研究

本文将泥浆输送系统进、出口分别设置为速度入口、压力出口,壁面为非滑移壁面。泥浆固-液两相耦合迭代求解,采用 SIMPLE 算法,计算时监控管道出口浆体质量流量,趋于稳定时认为计算收敛。

3.1 泥浆颗粒浓度分布模拟及其颗粒沉积达到稳定状态的时间

通过泥浆中水的体积分数可以直观地观察泥浆颗粒在输入管道内的浓度分布情况,水的体积分数越大,反映的是泥浆颗粒浓度越小。图 4 为在泥浆流量 588 ml/s 下,泥浆颗粒沉积达到稳定状态时,实验机泥浆输入管道液相体积分数云图。由图 4 可以看出,细管道和多节管处水的体积分数比较均匀,说明泥浆颗粒浓度比较均匀,这是因为这两段管道管径较小,在相同流量下流速相对较大,因此不易产生沉积。

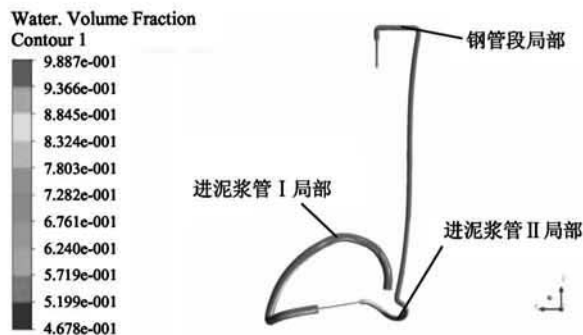


图 4 稳定状态下泥浆液相体积分数云图

由图 4 可见,泥浆输入管道最易产生沉积的位置是进泥浆管 I、进泥浆管 II 的弯曲部分和钢管段。为了表示更清晰,图 5 给出此 3 段管道局部的液相体积分数云图,图 5(a)、(b)和(c)分别对应图 4 进泥浆管 I、进泥浆管 II 弯曲部分和钢管段的局部。由图 5(a)可知,进泥浆管 I 上层泥浆颗粒浓度较小,底部泥浆颗粒浓度较大,从上层到底部,泥浆颗粒浓度呈现梯度变化,这是由于泥浆颗粒的密度比水大,在重力的作用下泥浆颗粒主要集中于管道底部。由图 5(b)可知,进泥浆管 II 前段弯曲部分在重力作用下泥浆颗粒浓度会有一定梯度变化,竖直段泥浆颗粒浓度比较均匀。由图 5(c)可知,钢管段部分泥浆颗粒浓度有一定梯度变化,泥浆颗粒在管道底部略有集中。

为了研究泥浆颗粒沉积达到稳定状态的时间,对实验机泥浆管道输送过程进行数值模拟时,监测管道进、出口的不同粒径颗粒的质量流量,当进出口质量流量之比为 1 时,泥浆输送颗粒沉积达到稳定状态,泥浆颗粒在管道中将不会继续产生沉积。



图 5 局部管道液相体积分数云图

图 6 为在不同泥浆流量下,颗粒 1 至颗粒 9 等 9 种颗粒在实验机泥浆输入管道进出口质量流量之比随时间的变化曲线,总体上最小粒径颗粒的曲线在

最上面,较大粒径颗粒的曲线依次往下排。

从图 6(a)可以看出,当泥浆流量为 213 ml/s 时,颗粒 1、颗粒 2、颗粒 3、颗粒 4 和颗粒 5 等 5 种小

粒径颗粒沉积更接近稳定状态;颗粒6、颗粒7、颗粒8和颗粒9等4种大粒径颗粒沉积接近稳定状态的速度较快,且粒径越大,颗粒沉积偏离稳定状态越大,但接近稳定状态的速度越快;不同粒径颗粒沉积达到稳定状态的时间接近一致,约为220 s。

从图6(b)、(c)和(d)可以看出,粒径越大,颗粒沉积偏离稳定状态越大,但接近稳定状态的速度

越快;不同粒径颗粒沉积达到稳定状态的时间接近一致。泥浆流量分别为338 ml/s、464 ml/s和588 ml/s时,泥浆颗粒沉积达到稳定状态的时间分别为208 s、192 s和175 s。

比较图6(a)、(b)、(c)和(d)可知,随着泥浆流量的增加,颗粒沉积达到稳定状态的时间也相对缩短,但缩短的时间并不显著。

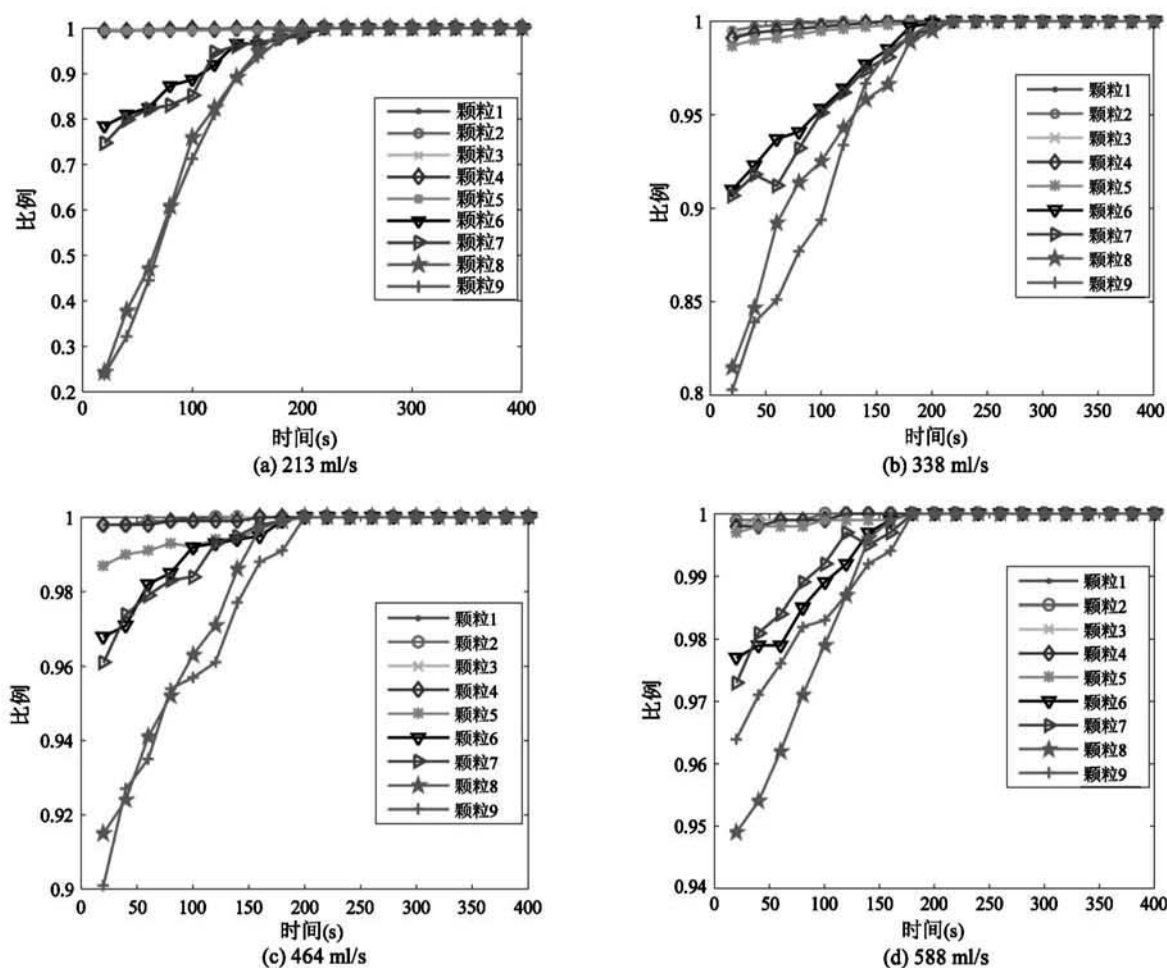


图6 4种泥浆流量下9种颗粒进出口质量流量之比随时间的变化

3.2 流量对泥浆的配比和泥浆中不同粒径颗粒占比的影响

监测不同流量下泥浆颗粒沉积达到稳定状态所需时间内管道进、出口的质量流量,可以计算出管道中泥浆颗粒沉积量,计算结果和拟合曲线如图7所示。

从图7可以看出,泥浆流量较低时,随着流量增大,管道内的泥浆颗粒沉积量总体呈减少趋势;当流量较大时,减小趋势变缓。当泥浆流量最低时,沉积

量最大约为462 g。

对于某轮毂轴承密封圈单体密封实验机,泥浆总量约为32 L,在88 ml/s、213 ml/s、338 ml/s、464 ml/s、588 ml/s 5种流量下,泥浆沉积达到稳定状态后的质量分数分别为8.7%、9.0%、9.5%、9.7%、9.8%。根据泥水实验规范的要求,泥浆颗粒在泥浆中的质量分数下限为9.5%,由图7给出的拟合曲线可知,泥浆流量在大于338 ml/s时,泥浆管道沉积导致泥浆的配比变化不会超出实验规范的

要求。因此,在该实验机的实验设计时,为满足既定的泥浆的配比要求,泥浆的流量需要大于 338 ml/s。

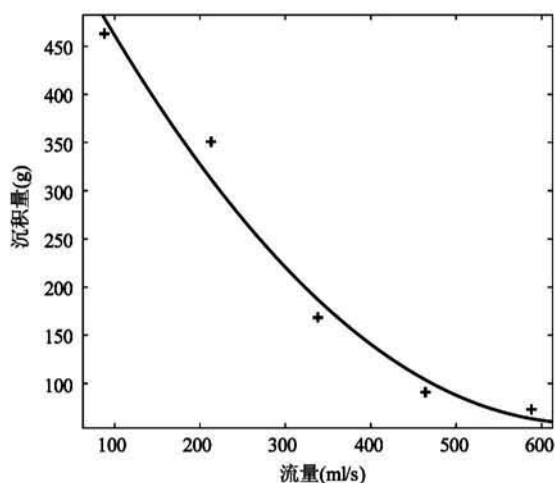


图 7 管道内泥浆流量与沉积量关系

图 8 为不同粒径颗粒在不同泥浆流量下的沉积量。从图 8 可以看出,由于颗粒 1、颗粒 2、颗粒 3、颗粒 4 的粒径较小,在泥浆输送系统管道中的沉积量很少,并且随着管道中泥浆流量的增加,沉积量的变化不大。颗粒 5 在管道中已有一定的沉积,并且随着泥浆流量的增加,沉积量逐渐减少。颗粒 6、颗粒 7、颗粒 8、颗粒 9 在管道中沉积量较大,当泥浆流量增加时,沉积量会减少,流量达到一定大小后,沉积量减少趋势变缓。总之,大粒径颗粒更易产生沉积,且受流量的影响较大,沉积量随着流量增大而减小;小粒径颗粒则不易产生沉积,且受流量影响较小。

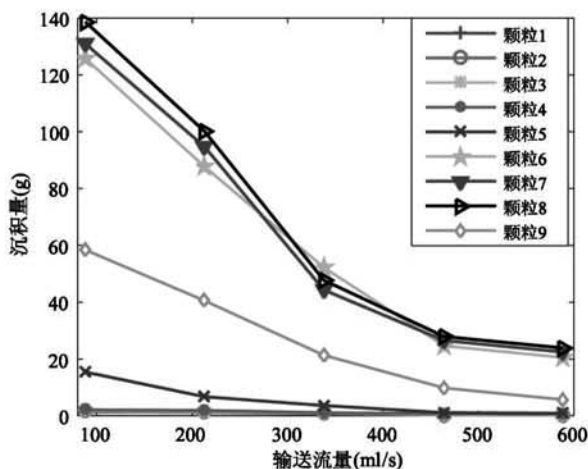


图 8 不同粒径颗粒在不同流量下的沉积量

受不同粒径颗粒的沉积量不同的影响,在不同泥浆流量下,针对 32 L 的泥浆总量,由不同粒径颗粒的沉积量可以计算出泥浆中的 9 种粒径颗粒在不同流量下的占比情况。将同一流量下的 9 种粒径颗粒的占比用折线连接,表示为图 9,对于小粒径颗粒范围(如颗粒 1、颗粒 2、颗粒 3、颗粒 4),6 条折线基本重合;在颗粒 5 处,6 条折线不再重合,但很接近;在颗粒 6、颗粒 7、颗粒 8、颗粒 9 四种粒径范围下,6 条折线有较大的差距。

图 9 中的 6 条折线中,占比处于最大的折线是发生沉积现象前(初始值)的 9 种粒径颗粒的占比折线,占比由上往下第 2 条开始到最小位置的 5 条折线分别是泥浆流量为 588 ml/s、464 ml/s、338 ml/s、213 ml/s、88 ml/s 5 种流量下的 9 种粒径颗粒的占比分布折线。

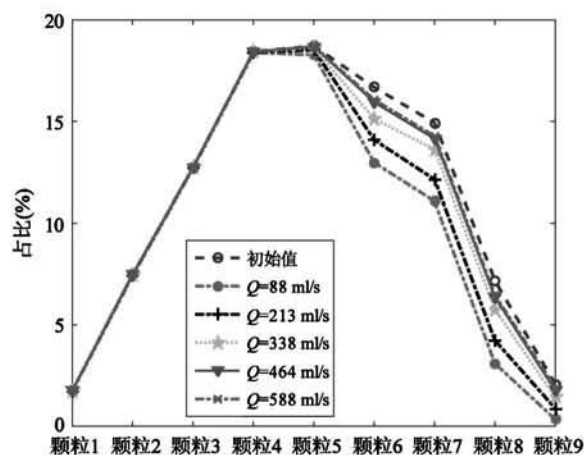


图 9 不同流量下 9 种粒径颗粒的占比

对于小粒径颗粒范围(如颗粒 1、颗粒 2、颗粒 3、颗粒 4),6 条折线基本重合,说明在所研究的 5 种流量下,占比基本不降低,也即这几种粒径的颗粒几乎不产生沉积;颗粒 5 位置 6 条折线不再重合,说明在所研究的 5 种流量下,占比较发生沉积现象前的占比略有下降,也即颗粒 5 产生沉积很小,且流量越大,占比下降越是微小,颗粒沉积几乎可以忽略;颗粒 6、颗粒 7、颗粒 8、颗粒 9 等 4 种粒径范围下,6 条折线分离,不再重合,说明在所研究的 5 种流量下,占比下降明显,且流量越小,占比下降越是明显,颗粒沉积更为严重。

显然,泥浆发生沉积,不仅会降低泥浆中颗粒的配比,还会改变泥浆中不同粒径颗粒的占比。泥浆流量越小,沉积量越大,对粒径占比影响越大。且流量对大粒径颗粒占比的影响大,对于大粒径颗粒,占比的初始值原来就比较低,发生沉积现象后,其占比的相对降低量就越大,即颗粒9的占比相对降低量在9种颗粒中是最大的。泥浆流量为88 ml/s、213 ml/s、338 ml/s、464 ml/s和588 ml/s 5种流量下,颗粒9的占比相对降低量分别为81.0%、56.1%、29.5%、13.6和7.9%。

所以,要控制泥浆颗粒沉积对泥浆中不同粒径颗粒占比的影响,重点应该控制最大粒径颗粒(即颗粒9)的占比降低情况。有效的控制手段就是选择较大的泥浆流量。对于本文所研究的实验机,其泥浆流量应该大于464 ml/s(泥浆颗粒占比相对降低量的最大值约为13.6%),若对泥浆颗粒占比有更高的要求(例如,占比相对降低量的最大值要控制在7.9%之内),泥浆流就应该大于588 ml/s。

因此,对于泥浆总量为32 L的实验机而言,泥浆流量调整到338 ml/s以上,仅可以满足既定的泥浆的配比要求;如果进一步还要满足对泥浆中不同粒径颗粒的占比要求,泥浆流量必须调整到464 ml/s(或更高)以上。由此可知,在一般情况下,满足泥浆中不同粒径颗粒的占比要求,比满足泥浆的配比要求需要更高的泥浆流量。满足了泥浆中不同粒径颗粒的占比要求,一般就可以满足泥浆的配比要求。

4 实验

实验在轮毂轴承密封圈单体密封性能实验机上进行,为剔除小泥浆池对泥浆沉积的影响,将多节管出水口与泥浆输出管直接相接。

4.1 实验测量方法

为了验证管道内泥浆输送过程的数值模拟结果,需要测量实验机管道内的泥浆流量及在该泥浆流量下的泥浆颗粒沉积量,忽略泥浆输出管的影响,只对输入管道进行测量。

流量通过量筒和秒表测得,沉积量通过测量密度间接计算求得,泥浆颗粒沉积量 Δm 与泥浆密度的关系为

$$\Delta m = (\rho_1 - \rho_2) V \quad (10)$$

式中, ρ_1 为产生沉积前的初始泥浆密度, ρ_2 为产生沉积后的泥浆密度, V 为整个系统中泥浆的总体积。

4.2 实验结果与分析

为了得到管道内泥浆流量与沉积量的关系,通过阀门调节管道内的泥浆流量,流量在多节管出口处测得。初始泥浆密度取开机前大泥浆池内泥浆密度,产生沉积后的泥浆密度取开机后多节管出口处的泥浆密度,然后通过式(10)对沉积量进行计算。重复测量初始泥浆密度和产生沉积后泥浆密度,对88 ml/s、268 ml/s、464 ml/s、588 ml/s 4种流量各进行10次测量。每次测量在第2 min开始,隔2 min取1次多节管出口处的泥浆并测其密度,共取4次,然后对10次测量数据取平均值。每种流量下多节管出口处泥浆密度测量的平均值见表3。

从表3可以看出,每种流量下第1次取出的泥浆密度较大,第2、3、4次取出的泥浆密度较小且相互之间差距不大,这说明在第4 min后,管道中泥浆沉积量已基本趋于稳定,分别取1.0785 g/cm³、1.0821 g/cm³、1.0901 g/cm³、1.0909 g/cm³为88 ml/s、268 ml/s、464 ml/s、588 ml/s 4种流量下达到稳定状态后多节管出口处的泥浆密度。经过式(10)计算得出每种流量下泥浆颗粒沉积量分别为489 g、371.7 g、116.5 g、89.6 g,将由实验结果计算得出的

表3 不同流量下泥浆密度测量的平均值

流量	第1次取浆(g/cm ³)	第2次取浆(g/cm ³)	第3次取浆(g/cm ³)	第4次取浆(g/cm ³)
88 ml/s	1.0877	1.0784	1.0786	1.0785
268 ml/s	1.0881	1.0822	1.0821	1.0821
464 ml/s	1.0914	1.0901	1.0902	1.0900
588 ml/s	1.0920	1.0909	1.0908	1.0909

颗粒沉积量数据与数值模拟结果拟合的曲线用图 10 表示。

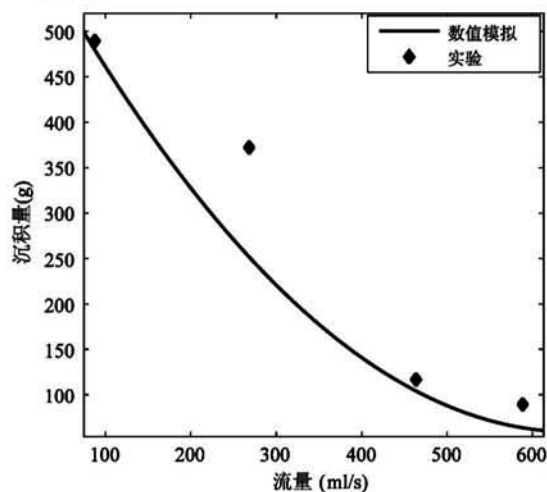


图 10 沉积量的数值模拟结果与实验结果对比

从图 10 中可以看出,除流量为 268 ml/s 的实验结果误差略大外,其余实验结果接近于由数值模拟结果得到的拟合曲线,说明管道内泥浆颗粒沉积量的数值模拟计算方法的可行性,模拟结果可信。

5 结 论

(1) 采用欧拉-欧拉模型对由不同粒径颗粒组成的泥浆进行多相流问题数值模拟,可用于研究泥浆输送管道内泥浆沉积过程,并得到了实验验证。

(2) 受重力的作用,泥浆颗粒主要集中于管道底部,在管道横截面上,泥浆颗粒浓度呈梯度变化。不同粒径的泥浆颗粒沉积达到稳定状态的时间接近一致,会随着泥浆流量的增大而缩短,但缩短的时间并不显著。

(3) 随着流量增大,泥浆输入管道内的泥浆颗粒沉积量总体呈减少趋势,当流量较大时,减小趋势变缓。大粒径颗粒更易产生沉积,且受流量的影响较大;小粒径颗粒则不易产生沉积,且受流量影响较小。

(4) 轮毂轴承实验中泥浆管道沉积问题研究,可以针对影响实验结果有效性的泥浆的配比和泥浆中不同粒径颗粒的占比,以泥浆的流量控制为手段,给出定量控制策略。

通过泥浆颗粒沉积量的计算,求出泥浆颗粒在

泥浆中的质量分数,可以获得满足泥浆的配比要求的泥浆流量。

通过不同粒径颗粒的沉积量的计算,求出所关注的最大粒径颗粒的占比相对降低量,可以获得满足泥浆中不同粒径颗粒占比要求的泥浆流量。

参考文献

- [1] Keska J K. Progress in analysis of two-phase flow[J]. *Chemical Engineering Science*, 2008, 191: 398-409
- [2] Gräbel J, Zeidan D, Bähr P, et al. Progress on the simulation of a mixture two-phase flow model[C] // American Institute of Physics Conference Series, Rhodes, Greece, 2017: 1863
- [3] 张宏兵, 陈露露, 谢荣华, 等. 水平圆管固液两相稳态流动特性数值模拟[J]. *化工学报*, 2009, 60(5): 1162-1168
- [4] 陈良勇, 段钰锋, 刘猛, 等. 水平管入口段内水煤浆流动特性数值模拟[J]. *东南大学学报: 自然科学版*, 2010, 40(2): 402-408
- [5] Zhang F, Miska S, Yu M, et al. A unified transient solid-liquid two-phase flow model for cuttings transport-modelling[J]. *Journal of Petroleum Science & Engineering*, 2018, 166: 146-156
- [6] Pal Singh J, Kumar S, Mohapatra S K. Modelling of two phase solid-liquid flow in horizontal pipe using computational fluid dynamics technique[J]. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2017, 42: 20133-20137
- [7] 范玉. 水沙两相流理论及引水工程管道输沙问题的研究[D]. 天津: 天津大学建筑工程学院, 2014: 88-111
- [8] 黄世彪. 双层排水管道下层管道沉积物的变化特性实验研究[D]. 重庆: 重庆大学城市建设与环境工程学院, 2015: 33-80
- [9] 马银亮. 高浓度气固两相流的数值模拟研究[D]. 杭州: 浙江大学能源工程学院, 2001: 60-81
- [10] 翁泽宇, 关慈明, 黄德杰. 轮毂轴承性能实验中泥浆搅拌数值模拟及研究[J]. *浙江工业大学学报*, 2017(6): 644-648
- [11] 王福军. 计算流体力学分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 121-122
- [12] Wen C Y, Yu Y H. Mechanics of fluidization[J]. *Chemical Engineering Progress Symposium Series*, 1966, 62: 100-111

Research on mud pipeline deposition in hub bearing test

Hu Shiming^{*}, Weng Zeyu^{*}, Weng Cong^{*}, Jin Xiaohang^{*}, Zhou Xu^{**}, Huang Dejie^{**}

(^{*} College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014)

(^{**} Zhejiang Wanxiang Precision Industry Co. Ltd., Hangzhou 311202)

Abstract

The change of the proportion of mud and the proportion of particles with different diameters in the mud caused by the deposition of mud pipeline are important factors affecting the effectiveness of muddy water test of hub bearing. The mud particles are simplified into 9 kinds of particles with different diameters, the multi-phase flow numerical simulation of the pipeline mud transport process of the testing machine is carried out by using the Euler-Euler model, and the mud deposition calculation method is proposed. The concentration distribution of mud particles in the pipeline and the time for particle deposition to reach a stable state, as well as the influence of flow rate on the ratio of mud and the proportion of particles with different sizes in mud are studied. The results show that the mud particles are mainly concentrated in the bottom of the pipeline due to the action of gravity in the process of mud pipeline transportation, and the concentration of mud particles on the cross section of the pipe varies in a gradient. The deposition time of mud particles with different sizes is nearly the same, and is shortened with the increase of mud flow. The deposition amount of mud particles in the mud input pipeline shows a decreasing trend with the increase of flow rate, and the decreasing trend slows down when the flow rate is larger. Large size particles are more likely to deposit and are greatly affected by flow rate. Finally, the numerical simulation results are verified by the measurement of mud deposition. The results of this study can be used to give quantitative control strategies by means of mud flow control for the proportion of mud and the proportion of particles with different sizes in the mud which affects the effectiveness of test results.

Key words: mud, deposition amount, hub bearing, numerical simulation