

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.04.004

轮毂轴承单体密封试验中管道泥浆沉积量实验研究^{*}

翁 聪¹, 翁泽宇^{1*}, 桂元坤¹, 黄德杰², 汪 峰²

(1. 浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310014; 2. 浙江万向精工有限公司, 浙江 杭州 311202)

摘要:针对轮毂轴承单体密封试验环境中泥浆配比的准确性问题,对轮毂轴承单体密封试验机泥浆输入管道内泥浆颗粒沉积量进行了实验研究。提出了试验机泥浆输送系统中泥浆输入管道内泥浆颗粒沉积量的测量方法,测量了试验机泥浆输送系统管道内的泥浆流量和不同流量下泥浆输入管道内的泥浆颗粒沉积量,通过拟合的方法得到了泥浆沉积量与流量之间的关系。研究结果表明:随着泥浆流量的增加,泥浆输入管道内的泥浆颗粒沉积量总体呈减少趋势,当泥浆流量达到一定量时,减小的趋势变缓;确保轮毂轴承单体密封试验泥浆配比准确性的试验机最小泥浆流量为425.8 ml/s。

关键词:泥浆颗粒;沉积量;管道;轮毂轴承

中图分类号:TH133.31;U467.3

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2019)04-0363-05

Experimental study on pipe slurry deposition in single bearing seal test of hub bearing

WENG Cong¹, WENG Ze-yu¹, GUI Yuan-kun¹, HUANG De-jie², WANG Feng²

(1. College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;

2. Zhejiang Wanxiang Precision Industry Co., Ltd., Hangzhou 311202, China)

Abstract: Aiming at the accuracy of the slurry ratio in the single-sealed test environment of the hub bearing, the experimental research on the slurry particle deposition amount in the slurry input pipe of the hub bearing single seal test machine was carried out. The measurement method of slurry particle deposition amount in the slurry input pipeline of the test machine slurry conveying system was proposed. The slurry flow in the pipeline of the test machine slurry conveying system and the slurry particle deposition amount in the slurry input pipeline under different flow rates were measured. The method obtained the relationship between the amount of slurry deposited and the flow rate. The results show that with the increase of slurry flow, the sediment concentration of slurry particles in the slurry input pipeline generally decreases. When the slurry flow reaches a certain amount, the decreasing trend becomes slower. Finally, the minimum slurry flow rate of the test machine with the accuracy of ensuring the matching ratio of the single bearing seal test mud of the hub bearing is 425.8 ml/s.

Key words: slurry particle; deposition amount; pipeline; hub bearing

0 引言

作为影响汽车安全性能的重要零部件之一,汽车轮毂轴承单元一直受到国内外专业人士的关注。轮毂

轴承单元的密封性能对其使用寿命和稳定性起到重要的作用,绝大部分轮毂轴承的失效都与其密封性能失效有关^[1-2]。

目前,评定轮毂轴承单元密封圈的可靠性需要对

收稿日期:2018-11-02

基金项目:浙江省自然科学基金资助项目(Y200909905)

作者简介:翁聪(1992-),男,浙江杭州人,硕士研究生,主要从事机械动力学及汽车零部件试验技术与装备方面的研究。E-mail: 1054350399@

qq.com

通信联系人:翁泽宇,男,教授,博士生导师。E-mail: wengzy8888@163.com

密封结构进行密封性能试验^[3]。轮毂轴承密封圈单体密封试验是设计模拟工装,将密封圈装入其中进行模拟试验^[4]。轮毂轴承密封圈单体密封试验机泥浆输送系统由大泥浆池、泵、泥浆输入管道、小泥浆池、多节管、泥浆输出管道组成。

泥浆是密封试验中一种十分重要的环境介质,为模拟汽车在真实环境下的运行情况,试验对所用泥浆有着严格的配比要求。在密封试验过程中,泥浆在试验机泥浆输送系统管道中的沉积,将导致密封试验时泥浆配比达不到试验要求,从而影响轮毂轴承单体密封试验的实验结果。本文将对不同流量下泥浆输入管道内泥浆颗粒的沉积情况进行研究。

泥浆沉积问题属于固-液两相流问题,固-液两相流问题在国内外已经有较多的研究,主要的研究手段是数值模拟和实验研究。从保证试验过程中泥浆配比的准确性来看,泥浆沉积问题研究的重点是研究泥浆颗粒的沉积量。国内外有关于沉积问题的研究,主要集中在障碍物对颗粒沉积的影响^[5]、粒径对颗粒沉积的影响^[6-7]、管道几何参数对颗粒沉积的影响等方面^[8-9],也有学者对轮毂轴承单体密封试验机的泥浆搅拌过程进行了研究^[10]。但迄今为止,尚无关于管道内泥浆颗粒沉积量问题研究的文献报道。

考虑到用数值模拟的方法来研究管道沉积量还缺乏借鉴的实例,本文将采用实验的方法来研究泥浆管道内泥浆颗粒的沉积问题,研究轮毂轴承单体密封试验中管道泥浆流量对泥浆颗粒沉积量的影响,进而从确保轮毂轴承单体密封试验泥浆配比准确性的角度,给出轮毂轴承单体密封试验机的泥浆流量控制策略。

1 管道内泥浆颗粒沉积量实验方案

1.1 实验测量方法

为了研究不同流量下管道内泥浆颗粒沉积量,实验需要测量两个量,一个量为试验机管道内的泥浆流量;另一个量为在该泥浆流量下的泥浆颗粒沉积量。

1.1.1 泥浆流量的测量方法

管道内泥浆流量为单位时间内流经管道的流体量。管道内泥浆流量 Q 可以表达为:

$$Q = \frac{V}{\Delta t} \quad (1)$$

式中: V —流经管道的泥浆体积; Δt —测量流经管道泥浆体积所需的时间。

实验由秒表及量筒测量一段时间内流经管道的泥浆体积,再通过式(1),可求出管道内的泥浆流量。

1.1.2 泥浆颗粒沉积量的测量方法

在泥浆输送过程中,若泥浆在管道内有沉积,泥浆输送系统中的泥浆密度将发生改变。泥浆颗粒沉积量 Δm 与泥浆密度的关系为:

$$\Delta m = (\rho_1 - \rho_2)V \quad (2)$$

式中: ρ_1 —输送前无沉积时的初始泥浆密度; ρ_2 —输送过程中有沉积时的泥浆密度; V —整个系统中泥浆的体积。

实验使用密度计测量出泥浆在输送过程中,泥浆系统中泥浆密度的变化,通过式(2)可计算出泥浆管道内的沉积。

1.2 实验准备及实验过程

1.2.1 实验准备

进行实验的某轮毂轴承密封圈单体密封试验机如图 1 所示。



图 1 汽车轮毂轴承密封圈单体密封试验机

试验机泥浆输入管道的内径为 32 mm。所输送的泥浆密度为 1.060 0 g/cm³,整个泥浆系统中的泥浆体积为 32 L。

实验前需对试验机泥浆输入管道进行清洗,出泥浆管路及泵内管路不予清洗,可保证实验测得的沉积量为进泥浆管道中的沉积量。

实验前小泥浆池内多节管的摆放位置如图 2 所示。

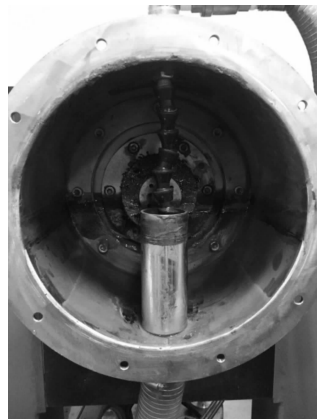


图 2 小泥浆池内多节管的摆放位置

多节管直接与出水管相连,泥浆不流经小泥浆池,所以不会在小泥浆池内产生沉积。

1.2.2 实验过程

(1) 泥浆颗粒沉积量测量实验过程。

启动试验机,每隔 2 min 从大泥浆池中取一杯泥浆(为了消除读数造成的误差,每次对取出的泥浆测量 10 次密度,取 10 次读数的平均值作为该次取出的泥浆密度),当连续 3 次取出的泥浆密度平均值不变时,认为大泥浆池中泥浆密度已经达到稳定状态,泥浆在进泥浆管道中的沉积已经达到最大值,此时关闭试验机,结束测量;

(2) 泥浆流量测量实验过程。

由于泥浆输送系统中各管道内的泥浆流量相同,为了操作方便,本研究选择测量多节管出口处的泥浆流量;启动试验机,待小泥浆池出水口泥浆稳定流出时,将量筒放到出水口下方取泥浆,同时启动秒表,待泥浆即将充满量筒时,迅速撤走量筒同时关闭秒表,然后关闭试验机,记录数据。

为了研究管道内泥浆流量与沉积量的关系,本研究通过阀门调节管道内的泥浆流量,重复测量 4 组进泥浆管道内的沉积量以及管道内的泥浆流量。每组实验中测得的数据包含了大泥浆池内的泥浆密度达到稳定时的值与管道泥浆流量。每测完一组泥浆流量与泥浆颗粒沉积量,需对进泥浆管道内沉积的泥浆进行清洗,然后将大泥浆池内的泥浆密度调回至 1.060 0 g/cm³,泥浆体积调回至 32 L。

2 实验测量结果及分析

2.1 实验测量结果

2.1.1 第 1 组实验测量结果

每隔 2 min 测量大泥浆池中的密度,第 1 组实验测量结果如表 1 所示。

表 1 第 1 组实验大泥浆池中泥浆密度测量数据

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)
1.032 5	1.021 8	1.021 8	1.021 8
1.032 7	1.021 9	1.021 6	1.022 0
1.032 9	1.021 9	1.021 9	1.021 8
1.032 9	1.022 1	1.021 9	1.021 8
1.032 7	1.021 5	1.021 7	1.022 0
1.032 2	1.022 0	1.021 7	1.021 7
1.032 8	1.022 2	1.021 7	1.022 0
1.032 6	1.021 9	1.021 9	1.021 6
1.032 8	1.022 0	1.022 1	1.021 7
1.033 1	1.021 8	1.021 8	1.021 8

第 1 组实验大泥浆池中泥浆密度测量平均值如表 2 所示。

表 2 第 1 组实验 4 次泥浆密度测量的平均值

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)
1.032 7	1.021 9	1.021 7	1.021 8

从表 2 可以看出:

第 1 次从大泥浆池中取出的泥浆密度较大,第 2、3、4 次从大泥浆池中取出的泥浆密度已经趋于不变,这表明大泥浆池内泥浆密度在第 4 min 已达到稳定状态,取 1.021 8 g/cm³ 为第 1 组实验的泥浆密度。

根据实验测得的大泥浆池内泥浆密度达到稳定状态下的值与实验前大泥浆池内的泥浆密度及体积,通过式(2)可计算得出以此流量运行试验机时,泥浆输送系统中的泥浆颗粒沉积量为 1 222.4 g。

再次启动试验机,在 5.37 s 内测得流经管道泥浆的体积为 472.5 ml,通过式(1)可计算出泥浆输送系统管道内的泥浆流量,计算结果为 87.99 ml/s。

2.1.2 第 2 组实验测量结果

每隔 2 min 测量大泥浆池中的密度,第 2 组实验测量结果如表 3 所示。

表 3 第 2 组实验大泥浆池中泥浆密度测量数据

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)
1.047 2	1.038 2	1.038 1	1.038 0
1.046 8	1.037 9	1.037 9	1.038 1
1.047 1	1.037 9	1.037 8	1.037 7
1.047 2	1.038 0	1.038 3	1.038 2
1.047 0	1.038 3	1.038 3	1.038 4
1.046 9	1.038 2	1.037 8	1.037 9
1.047 1	1.038 3	1.037 9	1.037 8
1.047 2	1.038 1	1.037 6	1.037 6
1.047 1	1.037 8	1.037 4	1.037 9
1.047 1	1.038 0	1.038 1	1.038 3

第 2 组实验大泥浆池中泥浆密度测量平均值如表 4 所示。

表 4 第 2 组实验 4 次泥浆密度测量的平均值

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)
1.047 1	1.037 9	1.038 0	1.038 1

从表 4 可以看出:

第 1 次从大泥浆池中取出的泥浆密度较大,第 2、3、4 次从大泥浆池中取出的泥浆密度已经趋于不变,这表明大泥浆池内泥浆密度在第 4 min 已达到稳定状态,取 1.038 0 g/cm³ 为第 2 组实验的泥浆密度。

根据实验测得的大泥浆池内泥浆密度达到稳定状态下的值与实验前大泥浆池内的泥浆密度及体积,通过(2)可计算得出以此流量运行试验机时,泥浆输送系统中的泥浆颗粒沉积量为 934.4 g。

再次启动试验机,在 2.35 s 内测得流经管道泥浆的体积为 629.8 ml,通过式(1)可计算出泥浆输送系统管道内的泥浆流量,计算结果为 268 ml/s。

2.1.3 第 3 组实验测量结果

每隔 2 min 测量大泥浆池中的密度,第 3 组实验的测量结果如表 5 所示。

表 5 第 3 组实验大泥浆池中泥浆密度测量数据

第 1 次取浆 $/(g \cdot cm^{-3})$	第 2 次取浆 $/(g \cdot cm^{-3})$	第 3 次取浆 $/(g \cdot cm^{-3})$	第 4 次取浆 $/(g \cdot cm^{-3})$
1.052 8	1.051 1	1.050 9	1.051 1
1.052 6	1.051 0	1.050 8	1.050 6
1.052 4	1.050 9	1.050 8	1.050 7
1.052 4	1.051 0	1.050 8	1.051 1
1.052 6	1.050 7	1.051 2	1.051 0
1.052 5	1.050 8	1.050 9	1.050 8
1.052 6	1.050 9	1.050 8	1.050 9
1.052 5	1.050 9	1.051 2	1.051 1
1.052 6	1.050 9	1.050 8	1.050 9
1.052 5	1.050 8	1.050 9	1.050 8

第 3 组实验大泥浆池中泥浆密度测量平均值如表 6 所示。

表 6 第 3 组实验 4 次泥浆密度测量的平均值

第 1 次取浆 $/(g \cdot cm^{-3})$	第 2 次取浆 $/(g \cdot cm^{-3})$	第 3 次取浆 $/(g \cdot cm^{-3})$	第 4 次取浆 $/(g \cdot cm^{-3})$
1.052 6	1.050 9	1.051 0	1.050 9

从表 6 可以看出:

第 1 次从大泥浆池中取出的泥浆密度较大,第 2、3、4 次从大泥浆池中取出的泥浆密度已经趋于不变,这表明大泥浆池内泥浆密度在第 4 min 已达到稳定状态,取 $1.050 9 g/cm^3$ 为第 3 组实验的稳态密度。

根据实验测得的大泥浆池内泥浆密度达到稳定状态下的值与实验前大泥浆池内的泥浆密度及体积,通过式(2)可计算得出以此流量运行试验机时,泥浆输送系统中泥浆颗粒沉积量为 291.2 g。

再次启动试验机,在 1.17 s 内测得流经管道泥浆的体积为 541.3 ml,通过式(1)可计算出泥浆输送系统管道内的泥浆流量,计算结果为 464 ml/s。

2.1.4 第 4 组实验测量结果

每隔 2 min 测量大泥浆池中的密度,第 4 组实验测量结果如表 7 所示。

表 7 第 4 组实验大泥浆池中泥浆密度测量数据

第 1 次取浆 $/(g \cdot cm^{-3})$	第 2 次取浆 $/(g \cdot cm^{-3})$	第 3 次取浆 $/(g \cdot cm^{-3})$	第 4 次取浆 $/(g \cdot cm^{-3})$
1.054 8	1.053 2	1.053 0	1.053 2
1.054 6	1.053 1	1.052 9	1.053 0
1.054 7	1.052 9	1.052 9	1.053 0
1.054 8	1.053 3	1.053 4	1.053 1
1.054 8	1.052 7	1.052 9	1.052 9
1.054 8	1.053 0	1.052 7	1.052 7
1.054 7	1.052 7	1.053 0	1.052 9
1.054 6	1.052 8	1.052 7	1.053 1
1.054 8	1.053 0	1.053 2	1.053 0
1.054 8	1.053 1	1.053 3	1.053 3

第 4 组实验大泥浆池中泥浆密度测量平均值如表 8 所示。

表 8 第 4 组实验 4 次泥浆密度测量的平均值

第 1 次取浆 $/(g \cdot cm^{-3})$	第 2 次取浆 $/(g \cdot cm^{-3})$	第 3 次取浆 $/(g \cdot cm^{-3})$	第 4 次取浆 $/(g \cdot cm^{-3})$
1.054 7	1.052 9	1.053 0	1.053 0

从表 8 可以看出:

第 1 次从大泥浆池中取出的泥浆密度较大,第 2、3、4 次从大泥浆池中取出的泥浆密度已经趋于不变,这表明大泥浆池内泥浆密度在第 4 min 已达到稳定状态,取 $1.053 0 g/cm^3$ 第 4 组实验的泥浆密度。

根据实验测得的大泥浆池内泥浆密度达到稳定状态下的值与实验前大泥浆池内的泥浆密度及体积,通过式(2)可计算得出以此流量运行试验机时,泥浆输送系统中泥浆颗粒沉积量为 224 g。

再次启动试验机,在 1.18 s 内测得流经管道泥浆的体积为 693.8 ml,通过式(1)可计算出泥浆输送系统管道内的泥浆流量,计算结果为 587.96 ml/s。

2.2 实验结果分析

管道内泥浆流量与沉积量关系的拟合结果如图 3 所示。

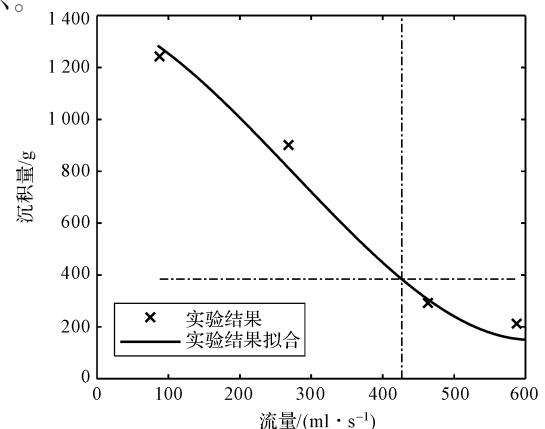


图 3 泥浆流量与沉积量关系的拟合结果

从图3曲线可以看出:

管道内泥浆流量对泥浆颗粒沉积量的影响较大,随着泥浆流量的增加,泥浆输送系统的泥浆输入管道内的泥浆颗粒沉积量总体上呈减小趋势;随着泥浆流量达到一定量时,泥浆流量对泥浆颗粒沉积量的影响减小,随着泥浆流量的增加,沉积量减小的趋势变得缓慢。

国内外汽车制造主机厂对试验环境中的泥浆密度有严格的要求,某主机厂规定轮毂轴承密封试验环境中的泥浆密度必须在 $1.048 \text{ g/cm}^3 \sim 1.059 \text{ g/cm}^3$,由此可知:该轮毂轴承单体密封试验机的泥浆输入管道内允许的泥浆颗粒沉积量最大不能超过 384 g。因此,轮毂轴承单体密封试验机管道内的泥浆流量不应低于 425.8 ml/s。

4 结束语

本文采用实验的方法来研究泥浆管道内泥浆颗粒的沉积问题,研究轮毂轴承单体密封试验中管道泥浆流量对泥浆颗粒沉积量的影响,给出了轮毂轴承单体密封试验机的泥浆流量控制策略。

研究结果如下:

(1)随着泥浆流量的增加,试验机泥浆输送系统的泥浆输入管道内泥浆颗粒沉积量总体呈减少趋势,当泥浆流量达到一定量时,减小的趋势变得缓慢;

(2)控制泥浆输入管道内泥浆颗粒沉积量,确保

轮毂轴承单体密封试验泥浆配比准确性的试验机最小泥浆流量,可以通过对实验结果分析处理得到,为 425.8 ml/s。

参考文献 (References):

- [1] 李 婉,吴振东. 汽车轮毂轴承密封结构现状及发展[J]. 轴承,2008(7):45-51.
- [2] 杨 林. 汽车轮毂轴承早期失效分析及试验研究[D]. 广州:华南理工大学机械与汽车工程学院,2012.
- [3] 付昌渝,宿 骁. 机械密封型式试验[J]. 机械,2018,45(2):54-57.
- [4] 王冰倩,余三成,孟祥铠,等. 高压星形密封圈的密封性能分析[J]. 流体机械,2017,45(8):37-34,63.
- [5] 霍霖霖. 湍流圆管中纳米颗粒运动及分布特性研究[D]. 杭州:中国计量大学测试工程学院,2016.
- [6] 张宏兵,陈露露. 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.
- [7] LIN J, GAN F. Simulation of the brownian coagulation of nanoparticles with initial bimodal size distribution via moment method [J]. *Acta Mechanica Sinica*, 2012, 28(5): 1227-1237.
- [8] 任 毅. 通风和空调管道局部构件内的粒子沉积规律[D]. 上海:华东大学环境科学与工程学院,2007.
- [9] YU M, LIN J. Nanoparticle coagulation in a planar jet via moment method[J]. *Applied Mathematics & Mechanics*, 2007, 28(11):1445-1453.
- [10] 翁泽宇,关慈明. 轮毂轴承性能试验中泥浆搅拌数值模拟及研究[J]. 浙江工业大学学报,2017,45(6):644-648.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

翁 聪,翁泽宇,桂元坤,等. 轮毂轴承单体密封试验中管道泥浆沉积量实验研究[J]. 机电工程,2019,36(4):363-367.

WENG Cong, WENG Ze-yu, GUI Yuan-kun, et al. Experimental study on pipe slurry deposition in single bearing seal test of hub bearing[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2019, 36(4):363-367.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>