

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2019.02.09

# 圆柱齿轮流量计变压修正方法研究

张永胜, 张毅治

(航空工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

**摘要:** 为研究液压油介质的圆柱齿轮流量计在变压工况下仪表系数修正方法, 利用变压体积管流量标准装置对齿轮流量计在多个压力点下进行了校准试验, 通过解耦曲线拟合和二元曲面拟合两种方法对校准结果进行了拟合计算。经两种方法拟合计算, 各工况下齿轮流量计仪表系数与校准结果误差均小于 0.4%, 证明两种拟合修正方法的有效性。

**关键词:** 液压油; 变压工况; 圆柱齿轮流量计; 仪表系数

**中图分类号:** TB9

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-5795(2019)02-0040-04

## Study on Correction Method of Cylindrical Gear Meter under Variable Pressure Condition

ZHANG Yongsheng, ZHANG Yizhi

(Changcheng Institute of Metrology &amp; Measurement, Beijing 100095, China)

**Abstract:** In order to study the correction method of instrument coefficient of cylindrical gear meter that works in hydraulic oil under variable pressure conditions, the gear flowmeter is calibrated at different pressure conditions with the flow standard facility which works with hydraulic Oil. Two methods of fitting with binary surfaces are used to fit the calibration results, and the error of the meter coefficient after corrected by two methods at each condition is less than 0.4% by the fitting correction, and it's confirmed that the correction methods are useful.

**Key words:** the hydraulic oil; variable pressure; cylindrical gear meter; instrument coefficient

## 0 引言

圆柱齿轮流量计<sup>[1-3]</sup>属于液体容积式流量计, 具有重复性好、量程范围宽、准确度高、耐高压、安装无需直管段等优点, 在中高粘度下具有良好计量性能。齿轮流量计具有的耐高压特点, 使其广泛应用于液压行业各类试验台内。液压试验台工况复杂, 系统内介质压力变化范围较大, 流体介质压力改变一方面将导致端面间隙和齿顶圆间隙改变, 而影响间隙泄漏量改变; 另一方面会导致流量计标准计量室容积改变。间隙泄漏和计量室容积变化导致仪表系数改变, 采用固定仪表系数计算流量会引起较大的测量误差<sup>[4-5]</sup>。

以体积管液压油流量标准装置为试验平台, 对圆柱齿轮流量计在不同压力条件下进行校准试验, 对仪表系数随压力和转速变化关系进行分析, 通过二元二次函数进行拟合计算, 获得仪表系数  $K$  与频率  $f$ 、压力  $p$  的函数关系, 验证两种拟合修正方法的有效性。

## 1 试验设备

### 1.1 流量标准装置

流量标准装置以磷酸酯航空液压油(俗称蓝油)为介质, 采用柱塞泵产生流量, 蓝油介质流经比例调速阀、标准流量计、被校流量计、比例溢流阀、标准体积管回到油箱。采用变频调速技术和主路调节阀配合实现对系统流量的连续调节, 标准装置通过比例溢流阀调节被校流量计输出压力。标准流量计提供流量调节时的指示流量, 以体积管作为主标准器进行标准流量测量, 通过比较被校流量计示值与体积管标准流量实现流量计的校准。标准装置技术指标: 流量范围为 0.15 ~ 80 L/min; 扩展不确定度为 0.05% ( $k=2$ ); 最高压力为 28 MPa。

### 1.2 圆柱齿轮流量计

图 1 是圆柱齿轮流量计结构图(拆除上盖板)。流量计利用一对啮合的齿轮把流体介质分割成单个的体积, 通过单个体积累积进行流量测量。互相啮合的测量齿轮在流体的推动下, 在测量腔内无接触的转动, 齿轮转过一个齿, 对应一个标准计量室容积(齿容量), 由位于流量计上盖板内的传感器检测, 每转过一个齿即发出一个脉冲, 通过前置放大器将脉冲信号转换成方波信号, 通过统计脉冲数或脉冲频率即可获得流体

的累积流量或瞬时流量<sup>[6]</sup>。



图1 圆柱齿轮流量计结构图

文中试验用流量计为某型圆柱齿轮流量计，流量计最大流量是 80 L/min，齿容量约为 1 cm<sup>3</sup>。在 16 : 1 的流量范围内，流量计在常压下准确度等级达到 0.5 级的要求。

## 2 校准试验结果

试验流量计在常压、5, 8, 10, 12, 15, 18, 20, 24, 28 MPa 共 10 个工况下对仪表系数进行校准，依据 JJG 667 - 2010《液体容积式流量计检定规程》计算流量计示值误差<sup>[7]</sup>。各压力点下流量计示值误差分别为 0.47%, 0.26%, 0.49%, 0.36%, 0.52%, 0.51%, 0.74%, 0.89%, 0.83% 和 1.28%；在 15 MPa 以下，被试流量计示值误差无明显变化，基本满足 0.5 级的要求；工作压力在 18 MPa 以上，流量计示值误差增大，无法满足其常压下 0.5 级准确度等级的要求。随着压力升高，端面间隙、齿顶间隙和齿容量增大，导致仪表系数减小，固定压力下仪表系数与压力关系曲线如图 2 所示。

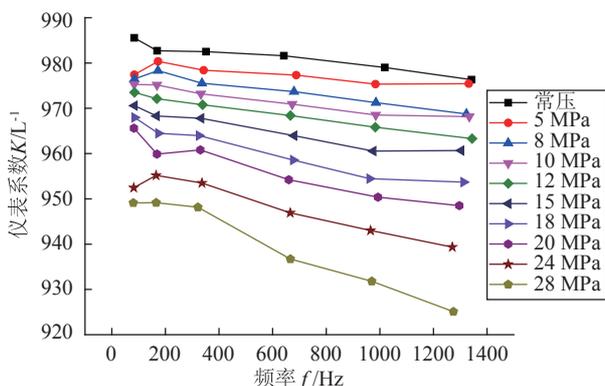


图2 固定压力下仪表系数与压力关系曲线

## 3 拟合修正方法研究

在实际工况下，频率  $f$ 、压力  $p$  和温度  $T$  三个参数互相耦合，共同影响圆柱齿轮流量计的仪表系数  $K$ 。

试验中流体介质温度变化较小，研究中忽略温度参数对仪表系数的影响，主要考虑频率和压力两参数的影响。

### 3.1 解耦曲线拟合

#### 3.1.1 固定频率拟合仪表系数与压力关系

图 3 是固定频率下仪表系数与压力的关系曲线。

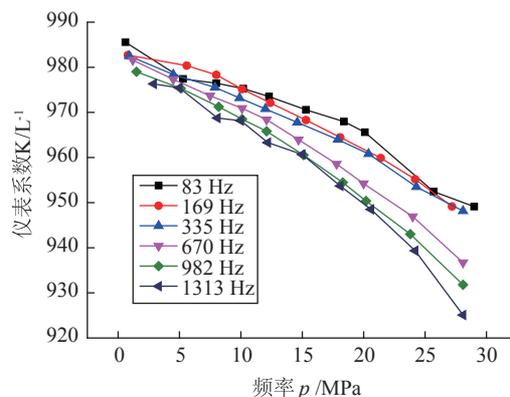


图3 固定频率下仪表系数与压力关系曲线

通过最小二乘法，利用二次函数对各频率点下仪表系数与压力函数关系进行拟合，拟合公式可用式 (1) 表示，式中  $K_p$ 、 $A_p$  和  $B_p$  三个系数通过 Origin 软件拟合获得。

$$K = K_p + A_p p + B_p p^2 \quad (1)$$

图 4 是各频率点仪表系数与压力的函数(简称  $K-p$  函数)曲线图，拟合曲线与试验点吻合程度非常高，各频率点函数拟合优度分别为 0.968, 0.997, 0.998, 0.999 和 0.993。表 1 是各频率点拟合曲线系数。

表 1 仪表系数与压力曲线拟合系数

频率/Hz	$K_p$	$A_p$	$B_p$
83	983.56	-0.530	-0.0230
169	983.82	-0.601	-0.0247
335	982.80	-0.796	-0.0156
670	982.12	-0.841	-0.0271
982	980.31	-0.832	-0.0316
1313	977.56	-0.444	-0.0490

#### 3.1.2 $K-p$ 函数系数与频率关系

不同频率下  $K-p$  函数三个系数差别较大，显然三个系数与频率之间存在相应函数关系。进一步通过 Origin 软件获得二次曲线三个系数与频率的函数关系。 $K_p$ 、 $A_p$  和  $B_p$  三个系数与频率  $f$  同样采用二次曲线进行

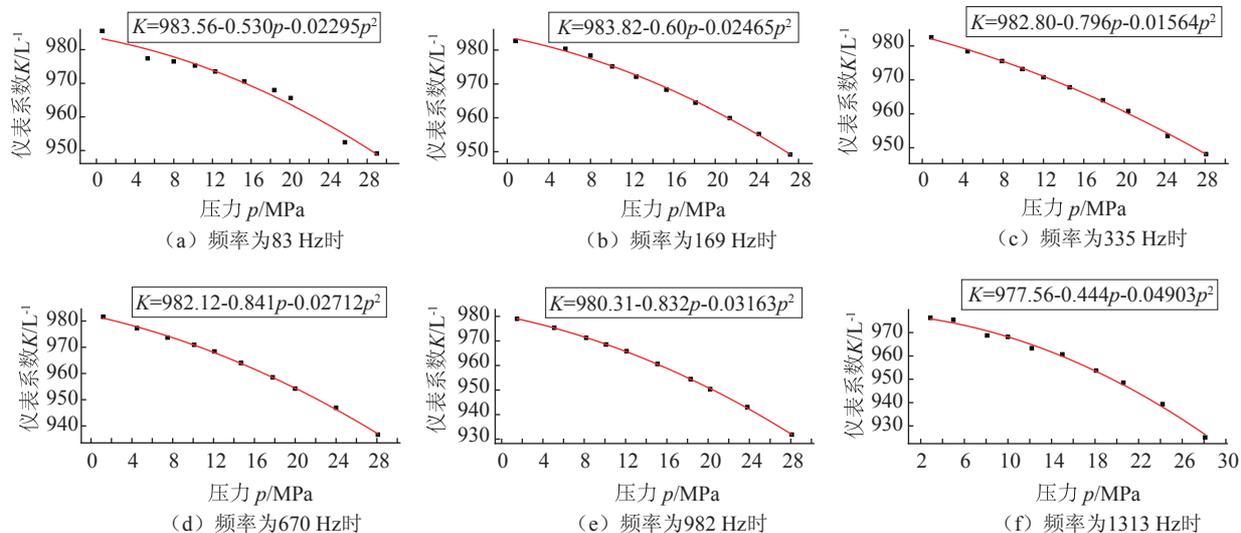


图 4 仪表系数与压力拟合曲线

拟合，拟合公式分别为式(2)、式(3)和式(4)；仪表系数与频率、压力两参数的函数关系可表达为式(5)。

$$K_p = K_0 + K_1 f + K_2 f^2 \quad (2)$$

$$A_p = A_0 + A_1 f + A_2 f^2 \quad (3)$$

$$B_p = B_0 + B_1 f + B_2 f^2 \quad (4)$$

$$K = K_0 + K_1 f + K_2 f^2 + (A_0 + A_1 f + A_2 f^2)p + (B_0 + B_1 f + B_2 f^2)p^2 \quad (5)$$

$K-p$  函数系数与频率拟合曲线图如图 5 所示。

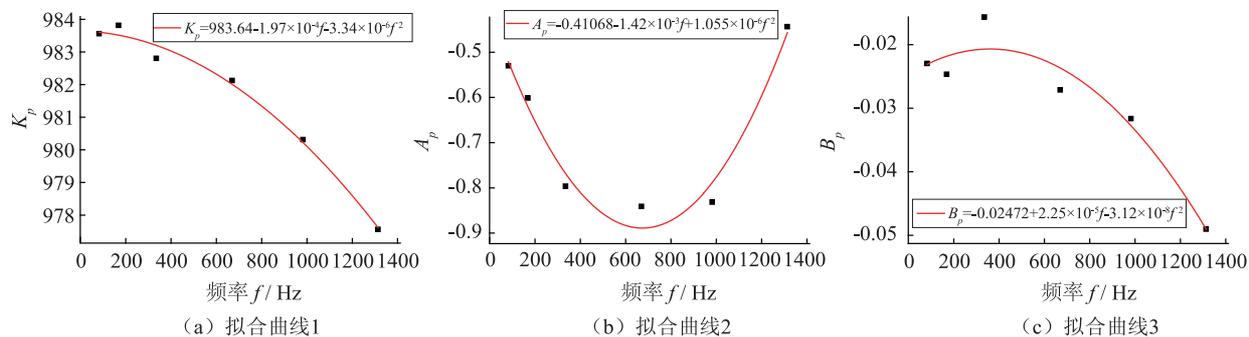


图 5 系数与频率拟合曲线

### 3.2 二元曲面拟合

基于仪表系数的曲线拟合，进一步通过二元二次函数对仪表系数、频率和压力三者之间关系进行曲面拟合<sup>[8-9]</sup>，拟合函数可由式(6)表示。式中  $K_0, A, B, C, D$  和  $E$  六个系数通过 Origin 软件拟合获得。

$$K = K_0 + Af + Bp + Cf^2 + Dp^2 + Efp \quad (6)$$

二元二次函数各系数拟合值分别为  $K_0 = 983.63$ ,  $A = -5.91 \times 10^{-3}$ ,  $B = -0.353$ ,  $C = 3.32 \times 10^{-6}$ ,  $D = -2.77 \times 10^{-2}$ ,  $E = -6.00 \times 10^{-4}$ 。图 6 为仪表系数曲面拟合图。

### 3.3 拟合误差评估计算

解耦曲线拟合和二元曲面拟合两种方法的第  $i$  个工况点拟合相对误差可通过式(7)计算。

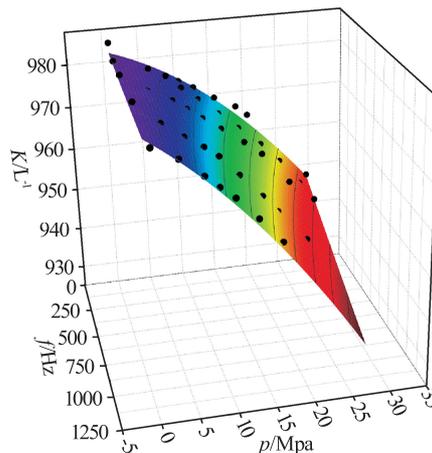


图 6 仪表系数曲面拟合图

$$e_i = \frac{F(f_i, p_i) - K_i}{K_i} \times 100\% \quad (7)$$

式中： $F(f_i, p_i)$  为两拟合函数，分别见式(5)和式(6)； $K_i$  为第  $i$  个工况点校准给定仪表系数。

图 7 是两种拟合方法拟合误差分布图。采用解耦曲线拟合方法各工况拟合误差分布在  $-0.27\% \sim 0.28\%$  之间；采用二元曲面拟合拟合误差分布在  $-0.35\% \sim 0.34\%$ 。通过两种拟合方法拟合计算之后，流量计在压力点下都可满足  $0.5\%$  允许误差的要求。

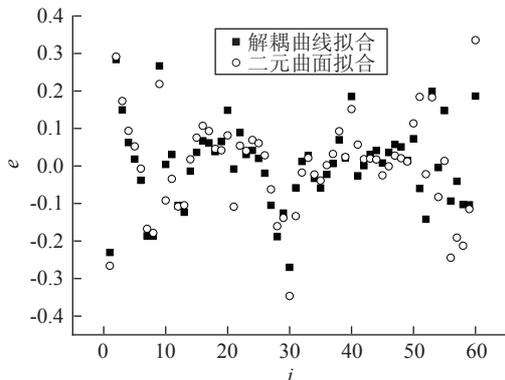


图 7 拟合误差分布图

#### 4 总结

利用体积管液压油流量标准装置，对圆柱齿轮流量计进行了多个压力点下的实流校准试验，分别利用解耦曲线拟合方法与二元曲面拟合方法对仪表系数与频率、压力的函数关系进行了拟合计算。经拟合计算，拟合结果相对误差绝对值都小于  $0.4\%$ 。研究结果表明，采用文中两种方法进行拟合计算，可有效降低变压工况下圆柱齿轮流量计测量误差，两种修正计算方

法具有较强推广应用价值。

#### 参考文献

- [1] 苏彦勋, 杨有涛. 流量检测技术[M]. 北京: 计量质检出版社, 2012: 108 - 122.
- [2] 王池, 王自和, 张宝珠. 流量测量技术全书[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012: 62 - 115.
- [3] 陈煜, 刘彦军, 韩义中, 等. 圆柱齿轮流量计设计方法研究[J]. 计测技术, 2008, 28(S1): 98 - 101.
- [4] 陈卫兵. 容积式流量计的选型和应用[J]. 煤气与热力, 2006, 26(7): 8 - 10.
- [5] 信彦峰, 贾正红, 桑培勇, 等. 圆柱齿轮流量计变压测试研究[J]. 计量技术, 2016, 12(12): 7 - 10.
- [6] 刘彦军, 韩义中, 张宝珠, 等. 圆柱齿轮流量计计量特性研究[J]. 计测技术, 2008, 28(S1): 92 - 95.
- [7] 全国流量容量计量技术委员会. JJG 667 - 2010 液体容积式流量计检定规程[S]. 2010.
- [8] 梁志国, 孙璟宇, 李滨, 等. 最小二乘独立线性的测量不确定度[J]. 计测技术, 2002, 22(4): 28 - 33.
- [9] 赵淑芳. 标准空间二次曲面拟合的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.

收稿日期: 2019 - 03 - 23

#### 作者简介

张永胜(1980 - )男, 工程师, 从事流量校准及标准装置研发工作。



### 2019 年认证机构管理工作会议在京召开

4月9日和11日, 认证机构管理工作会议分两期在北京召开, 市场监管总局认证监督管理司副司长李春江出席会议并讲话。中国合格评定国家认可中心、市场监管总局认证认可技术研究中心、中国认证认可协会以及100家认证机构的相关负责人参加了会议。

李春江副司长传达了全国认证认可检验检测会议精神以及总局领导的讲话要点, 通报了认证监管司今年的工作重点和改革举措, 并从十个方面指出了认证机构需关注的问题。

会上, 中国合格评定国家认可中心和中国认证认可协会相关负责人分别介绍了各自的工作开展情况, 10家认证机构代表围绕“市场化、国际化、专业化、集约化、规范化”发展目标做了经验交流发言。参会机构代表围绕“认证机构行政审批改革、规范认证活动”等主题进行了分组讨论, 提出了积极中肯的意见建议。

(摘自 计量测控)