doi：10.11823/j.issn.1674－5795.2018.04.08

变温润滑油涡轮流量计修正技术研究

张永胜，蒋文强
（航空工业北京长城计量测试技术研究所，北京 100095）

摘　要：为研究以变温航空润滑油为工作介质的涡轮流量计仪表系数修正方法，利用变温航空润滑油流量标准装置对4支涡轮流量计在多个温度点下进行了校准试验，通过双指数衰减函数对校准结果进行拟合修正。结果表明，各温度点和流量点涡轮流量计仪表系数与校准结果误差小于1%，修正方法具有较好的通用性。

关键词：航空润滑油；涡轮流量计；仪表系数
中图分类号：TB937　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674－5795(2018)04－0035－04

Study on Correction Method of Turbine Flowmeter with Variable Temperature Lubricating Oil

ZHANG Yongsheng，JIANG Wenqiang
(Changcheng Institute of Metrology & Measurement，Beijing 100095，China)

Abstract：In order to study the correction method of instrument coefficient of turbine flowmeter that works in aviation lubricating oil with variable temperature，in the study，four turbine flowmeters are calibrated at different temperature points with the flow standard facility which works with aviation lubricating oil and the temperature can be regulated. The double exponential decay function is used to fit the calibration result，and the error of the meter coefficient after corrected at each temperature and flowrate is less than 1% by the fitting correction，and it′s sure that the correction method is universal.

Key words：the aviation lubricating oil；turbine flowmeter；instrument coefficient

0　引言

涡轮流量计[1]因具有重复性好、量程范围宽、适应性强、精度高及体积小等特点，被广泛应用于流量试验、石油计量、工业生产及航空发动机研制试验等领域。目前，在低粘度工作介质(如航空煤油)流量测量中，涡轮流量计具有良好性能表现；而在粘温特性较差的航空润滑油流量测量中，因其粘度随温度变化较大(40 ℃时运动粘度约为17 cSt，100 ℃时粘度约为5 cSt)且涡轮流量计对介质粘度较为敏感，直接使用涡轮流量计校准结果尚无法满足试验要求。

本文以航空润滑油流量标准装置为试验平台，对4支涡轮流量计在不同温度点进行校准试验，对仪表系数随粘度和流量变化关系进行分析，并通过双指数衰减函数对仪表系数(K)和频率与粘度之商(F/υ)进行曲线拟合。

1　试验设备

1.1　标准装置

航空润滑油流量校准装置如图1所示。该装置采用电机驱动标准计量油缸的结构形式，主要由计量油缸、电机及控制器、滚珠丝杠、直线导轨、校准管路、切换阀门、油箱、控温机组、温度压力传感器、测量光栅尺、数据采集系统、测量控制计算机等部件构成。装置采用伺服电机驱动标准计量油缸产生标准流量源，计量油缸同时作为容积标准，与光栅配合构成流量测量系统。标准装置技术指标为：流量范围为0.5～160 L/min；扩展不确定度为0.05%($k=2$)；温度范围为20～120 ℃。

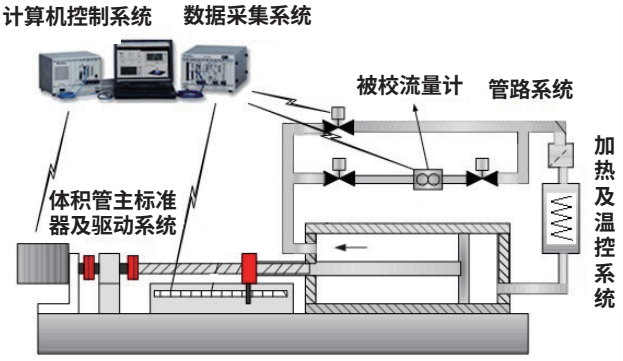


图1　航空润滑油流量标准装置示意图

1.2　被试流量计

试验所用流量计是上海某研究所 CL 型涡轮流量计，流量计信息如表 1 所示。

表 1　涡轮流量计信息

型号	编号	口径
CL－10	1744	DN10
CL－10	1747	DN10
CL－15	1655	DN15
CL－15	1658	DN15

2　校准试验结果

利用航空润滑油流量标准装置在 20，30，40，50，60，80 ℃下分别对 4 支涡轮流量计进行校准试验。CL－10 型流量计校准流量点分别为 6，17，28，39，50 L/min；CL－15 型流量计校准流量点分别为 12，24，36，48，60 L/min。图 2 和图 3 分别是 SN：1744 和 SN：1655 两支涡轮流量计在各温度点仪表系数 K 随流量 q 变化曲线，从中可以看出，不同温度点下流量计仪表系数差异很大。

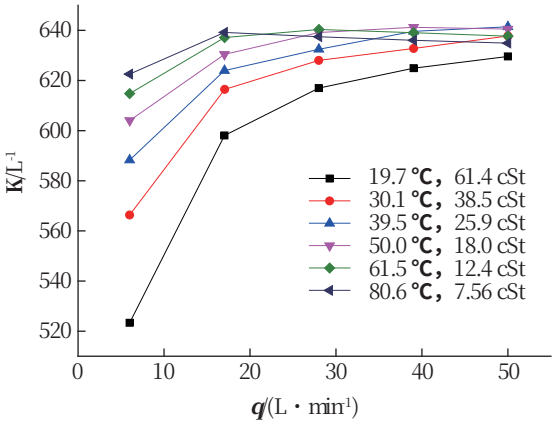


图 2　SN：1744 涡轮流量计仪表系数曲线

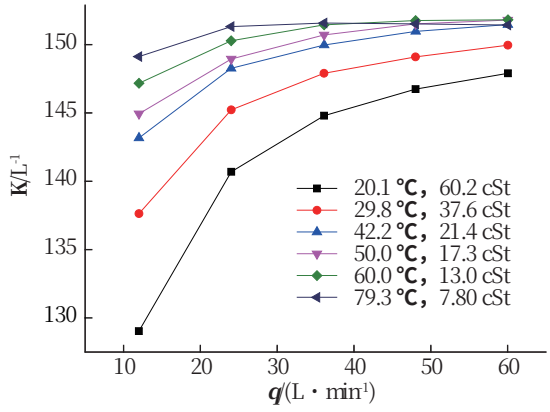


图 3　SN：1655 涡轮流量计仪表系数曲线

4 支流量计各流量点 q 下仪表系数误差 E_T 曲线如图 4 所示。

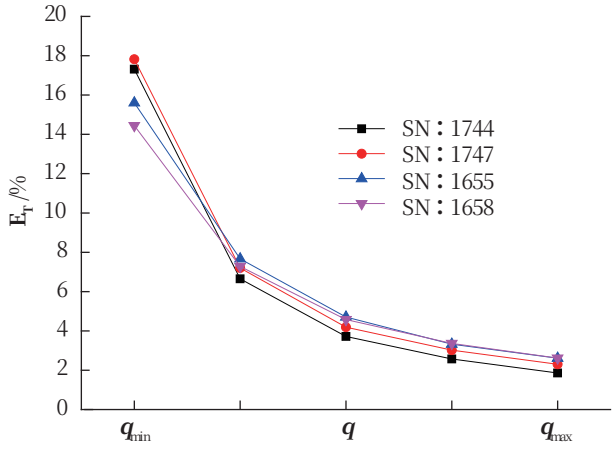


图 4　涡轮流量计仪表系数差异曲线

仪表系数差异 E_T 为

$$E_T = \frac{2(K_{80} - K_{20})}{K_{80} + K_{20}} \tag{1}$$

式中：K_{80} 为某流量点 80 ℃下仪表系数，L^{-1}；K_{20} 为某流量点 20 ℃下仪表系数，L^{-1}。

经计算可得，低流量点仪表系数最大相差 14% 以上，高流量点仪表系数最小相差约 2%。

3　修正方法研究

3.1　仪表系数与雷诺数关系

涡轮流量计不同温度点仪表系数差异很大，主要原因是温度改变导致航空润滑油粘度改变。校准结果中仪表系数随流量变化曲线未体现滑油粘度对涡轮流量计的影响，流量计仪表系数 K 随雷诺数的变化曲线如图 5 和图 6 所示。同一支流量计在雷诺数相近的情况下，其对应的仪表系数很接近，仪表系数是雷诺数的单值函数。雷诺数 Re 关系式为

$$Re = \frac{4q}{\pi d\nu} \tag{2}$$

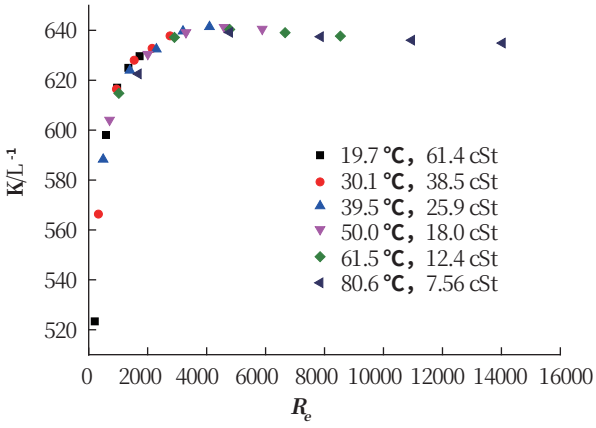
式中：q 为体积流量，m^3/s；d 为涡轮流量计内径，m；ν 为某温度点下滑油运动粘度，cSt；

多温度点下实际测量航空润滑油粘度，并拟合粘度 ν 与温度 T 函数关系，进而通过该函数关系计算校准试验各温度点下介质粘度。粘度与温度函数关系式为

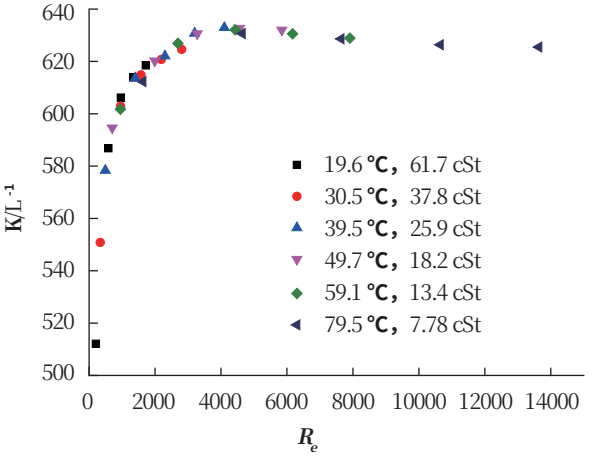
$$\nu = 149.4e^{-T/20.14} + 5.14 \tag{3}$$

3.2　仪表系数曲线拟合

仪表系数与雷诺数存在单值函数关系，而雷诺数



(a) SN：1744涡轮流量计的变化曲线



(b) SN：1747涡轮流量计的变化曲线

图 5　CL－10 涡轮流量计仪表系数随雷诺数变化曲线

可由平均流速和运动粘度计算得到，所以仪表系数 K 是流量计输出频率与运动粘度之商(F/v)的函数。研究最终确定采用双指数衰减函数进行拟合，双指数衰减函数 K_{fit} 表示为

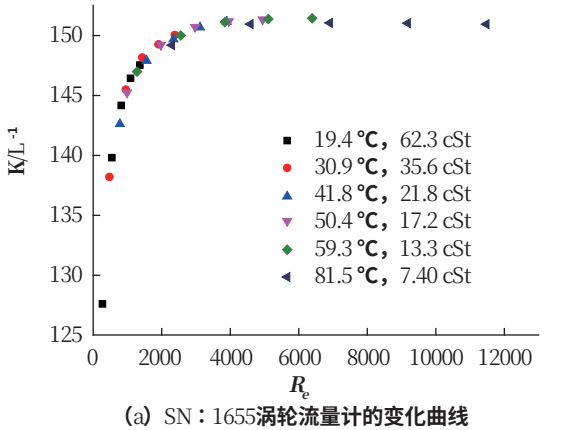
$$K_{\text{fit}} = A_1 e^{-\frac{F}{vt_1}} + A_2 e^{-\frac{F}{vt_2}} + K_0 \tag{4}$$

表 2 是流量计拟合曲线系数。通过 R－square 值对拟合度进行评估，4 支流量计拟合优度值处于 0.992 ~ 0.997 之间，拟合结果非常好。

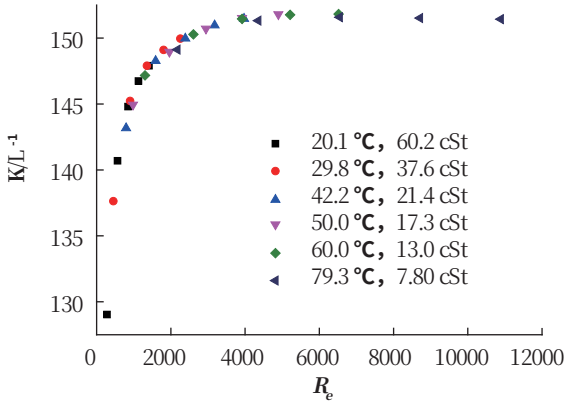
表 2　涡轮流量计拟合曲线系数

编号	A_1	t_1	A_2	t_2	K_0
1744	－196.45	0.69537	－70.367	4.3735	639.11
1747	－176.91	0.83328	－62.867	5.1722	630.47
1655	－43.612	0.30532	－15.587	1.6738	151.21
1658	－41.921	0.32853	－14.011	1.9691	151.75

SN：1744 和 SN：1655 两支流量计拟合曲线分别



(a) SN：1655涡轮流量计的变化曲线



(b) SN：1655涡轮流量计的变化曲线

图 6　CL－15 涡轮流量计仪表系数随雷诺数变化曲线

如图 7 与图 8 所示。通过拟合公式计算各温度和频率下的涡轮流量计仪表系数，再通过式(5)和式(6)计算对应体积流量[4]和拟合误差。4 支流量计拟合计算结果与标准流量最大误差分别是 0.94%，0.80%，0.62% 和 0.54%。

$$q_{\text{fit}} = \frac{F}{K_{\text{fit}}} \tag{5}$$

$$E_{\text{fit}} = \frac{q_{\text{fit}} - q_s}{q_s} \tag{6}$$

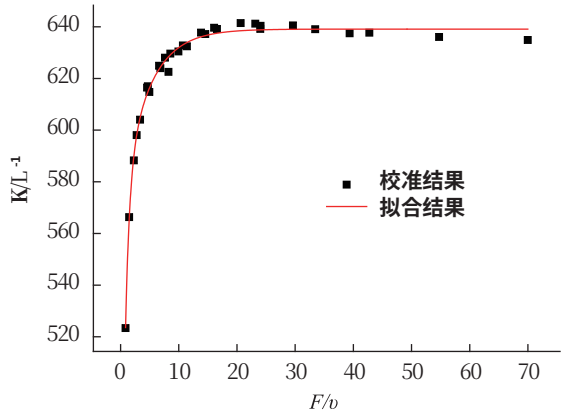


图 7　SN：1744 涡轮流量计拟合曲线

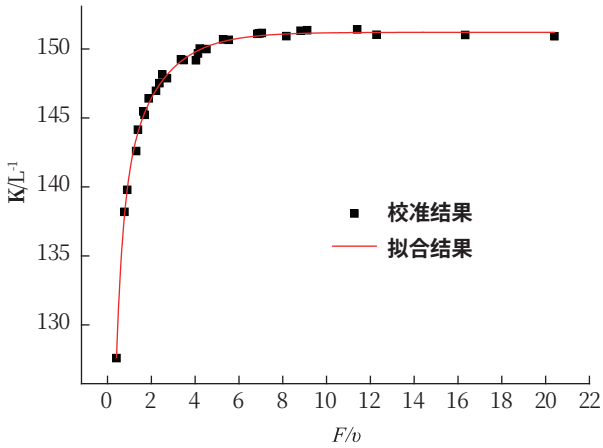


图 8　SN：1655 涡轮流量计拟合曲线

4　结论

利用航空润滑油流量标准装置对四支涡轮流量计进行了多个温度点实流校准试验，并利用双指数衰减函数进行了拟合修正，拟合优度可达 0.992 以上。通过拟合公式对各温度点和频率点进行流量计算，计算结果与标准装置给定值最大误差小于 1%。研究结果表明，将双指数衰减函数应用于变温工况滑油流量测量修正具有较强可行性与实用性。

参 考 文 献

[1] 苏彦勋，杨有涛．流量检测技术[M]．北京：中国质检出版社，2012.

[2] 孙冬梅，张贝，王燕霜，等．两种航空润滑油粘温特性研究[J]．液压气动与密封，2004(5)：12－13.

[3] 陈卫兵，王德岩．航空涡轮发动机润滑油的发展趋势[J]．黑龙江科技信息，2007(3)：1－3.

[4] JJG 1037－2008 涡轮流量计检定规程[S]．北京：中国计量出版社，2008.

收稿日期：2018－03－28

作 者 简 介

张永胜（1980－），男，硕士，高级工程师，从事流量校准及标准装置研发工作。

蒋文强（1989－），男，硕士，助理工程师，从事液体/气体流量计量检定工作。

2018 温度计量测试行业峰会顺利召开

本刊讯　2018 年 7 月 3 至 6 日，为促进行业内技术交流，探讨温度计量行业的热点问题，分享科研工作经验，由航空工业第 304 研究所(国防科技工业第一计量测试研究中心)、“计量与校准技术”重点实验室、“动态测试与校准技术”航空科技重点实验室联合主办，计测传媒(《计测技术》杂志社和中国计量测控网)承办的“2018 温度计量测试行业峰会”于广西桂林顺利召开。

多位专家莅临现场，就温度计量测试相关议题作专题报告。航空工业计量所综合管理部杨永军部长、中国计量科学研究院热工所金志军副研究员、清华大学能源与动力工程系符泰然副教授、航空工业计量所热学研究室吕国义副主任、沈阳飞机工业(集团)有限公司计量中心文丽松主任、工业和信息化部电子第五研究所热工室伍伟雄主任、航空工业计量所热学研究室辐射测温校准实验室蔡静主任、航空工业计量所热学研究室动态温度及流速校准实验室王毅主任、航空工业计量所热学研究室动态温度及流速校准实验室赵俭副主任分别就“科技创新与产业升级中温度计量测试需求与挑战”、“基于 CSSD 相关标准要求的灭菌设备物理参数检测方法”、“高温温度非接触测量方法与技术”、“热工温湿度标准能力验证与测量审核工作”、“热加工设备高温测量”、“气候环境实验设备检测方法及性能确认”、“辐射温度量传体系及发展趋势”、“航空发动机典型温度测量校准技术”、“动态温度测量与校准技术”展开严谨、专业、深入的分析讲解。

航空工业计量所韩义中副所长、广西壮族自治区计量检测研究院热电所宋洋所长、航空工业计量所计量与市场部刘世诚副部长和中国空空导弹研究院计量中心赵敏书记就“改革新时期，计量行业面对的机遇与挑战”、“高温计量测试需求与发展”主题展开热烈的讨论，并采用线上直播的方式进行资源共享，将高品质、专业化的内容实时呈现给广大温湿度计量从业者。

“2018 温度计量测试行业峰会”在诸位与会专家、参会代表的热烈掌声中圆满落幕。本次峰会成功促进了前沿技术交流，对推动温度计量领域的发展具有重要意义。