

温度计量技术在航空发动机试车台健康管理中的应用

郑志清, 余 鹏, 庞 莉, 段文玲
(成都国营锦江机器厂计量理化中心, 成都 610043)

摘要:分析了航空发动机试车台温度配置参数传统离线校准方法,针对其存在的反复拆装耗时长且易引发故障、缺少系统综合误差的判定方法等不足,开展发动机试车台静态状态下的整机在线校准方法研究。通过给被校准参数传感器提供标准热源的方式,开展温度传感器及温度通道(温度仪表)在线整机校准。通过对发动机试车台系统模拟仪表显示结果与标准器读数进行比较,确认在线校准的有效性,实现了试车台系统综合误差校准,为试车台健康管理提供支撑。

关键词:发动机试车台;温度通道;整机校准;综合误差

中图分类号: TB942, V263.4+7

文献标识码: A

Application of Temperature Measurement Technology in Health Management of Aero Engine Test Bed

ZHENG Zhi-qing, YU Peng, PANG Li, DUAN Wen-ling

(Chengdu Stateowned Jinjiang Machine Factory, Measurement and Physicochemical Center, Chengdu 610043, China)

Abstract: The traditional off-line calibration method of temperature configuration parameters of aero-engine test stand was analyzed. In view of its shortcomings such as time-consuming and frequent disassembly, failure and lack of judgment method of system comprehensive error, the online calibration method of engine test stand under static state was studied. By providing standard heat source for calibrated parameter sensor, the on-line calibration of temperature sensor and temperature channel (temperature instrument) is carried out. By comparing the results of simulation instrument of engine test stand system with the readings of standard, the effectiveness of on-line calibration is confirmed, and the comprehensive error calibration of test stand system is realized, which provides support for the health management of test stand.

Key words: Engine test stand; Temperature channel; The whole machine calibration; Comprehensive error

1 引言

航空发动机试车台是用于测试发动机工作性能是否满足预期使用要求的测试设备。其主要功

能是为发动机测试提供一个控制环境,使测试结果与被测发动机一致,但不影响发动机运行,并设置有多种形式的危险情况报警。工作人员通过试车台电气系统控制整个试车过程,保证试车过程的精

收稿日期:2021-08-20,修回日期:2021-12-23

作者简介:郑志清(1985-),女,工程师,学士,主要研究方向:热学计量技术及管理。

确性和连贯性,将试车过程中测得的数据与原始的标准设备测试出的数据进行比较,从而判断出所试发动机的性能状态。

在各型发动机试车工艺中,涉及的计量参数主要包括:压力、温度、振动、流量、转速、测功等信号,本文主要对温度计量参数的应用进行分析和描述。常见的温度计量参数包括进气温度、滑油进油温度、滑油回油温度、轴承温度、壳体温度、燃气温度,以及各类油箱温度等。其中,进气温度、滑油进油温度、滑油回油温度、燃气温度等参数,均是航空发动机性能测试过程中的关键参数,它们的准确性将直接影响整台航空发动机的性能测试结果。

传统的计量校准方法,是对上述温度参数涉及

到的需要进行计量确认的项目单独进行校准,无法对发动机试车台整机健康状态开展判定。我们将从发动机试车台温度参数配置出发,对静态状态下的发动机试车台传统校准方法,以及改进后的整机校准方法进行分析,研究温度计量技术在航空发动机试车台健康管理中的应用。

2 温度参数的配置及计量校准方法

2.1 温度参数的配置

各型航空发动机试车台需要进行校准的温度参数和技术指标均存在差异,下面我们以某型发动机试车台为例,了解其温度参数配置要求,如表 1 所示。

表 1 某型发动机试车台温度参数配置
Tab.1 Temperature parameter configuration of a certain engine test stand

序号	测量参数	指示仪表类型	测量范围/℃	信号类型	技术指标/℃
1	进气温度 1	计算机模拟仪表	0~50	Pt100	± 2
2	进气温度 2	数字温度指示仪表	0~50	Pt100	± 2
3	滑油进油温度	计算机模拟仪表	0~150	Pt100	± 2
4	滑油回油温度	计算机模拟仪表	0~150	Pt100	± 2
5	滑油油箱温度	计算机模拟仪表	0~50	Pt100	± 2
6	前轴承温度	计算机模拟仪表	0~150	Pt100	± 2
7	后轴承温度	计算机模拟仪表	0~150	Pt100	± 2
8	燃气温度 1	计算机模拟仪表	500~110 0	K	±0.5% <i>t</i>
9	燃气温度 2	数字温度指示仪表	500~110 0	K	±0.5% <i>t</i>
注: <i>t</i> ——实测温度值。					

2.2 计量校准方法

2.2.1 传统计量校准方法

2.2.1.1 校准方法描述

传统的计量校准方法,是对上述温度参数涉及到的需要进行计量确认的项目单独进行校准。校准项目包括:工业热电阻、工业热电偶、配热电阻用温度仪表、配热电偶用温度仪表以及发动机试车台温度通道(计算机模拟仪表)。其中,工业热电阻、工业热电偶、配热电阻用温度仪表、配热电偶用温度仪表均是采用离线的方式进行计量确认。实验室依据国家计量检定规程或校准规范,实施相应的检定或校准工作。

对于发动机试车台系统温度通道的校准,计量

人员是参照自编校准规范实施相应的校准工作。其具体实施过程为:找到需要进行校准的温度通道,断开相应的传感器(热电阻或热电偶),将标准器通过专用导线连接到通道的信号输入端,通过标准器输入对应的标称电量值或模拟信号,从发动机试车台控制系统的工作界面读取对应参数(计算机模拟仪表)的显示值,通过数据比较得出温度通道的校准结果。

不同的标准器对应的校准接线方式存在差异,其校准原理分别如图 1、图 2 和图 3 所示。

计量人员通过单独对温度传感器、温度仪表及温度通道的合格判定,来确认发动机试车台温度系统当前技术状态。

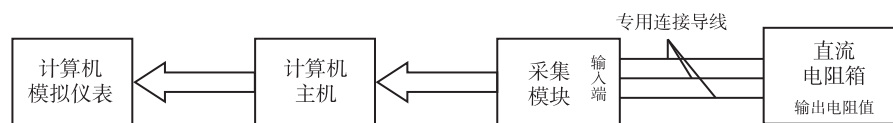


图 1 配热电阻的温度通道校准原理框图

Fig. 1 Temperature channel calibration principle block diagram of heat distribution resistor

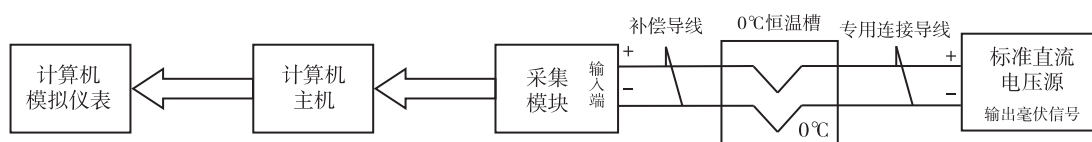


图 2 配热电偶的温度通道校准原理框图

Fig. 2 Calibration principle block diagram of temperature channel with thermocouple

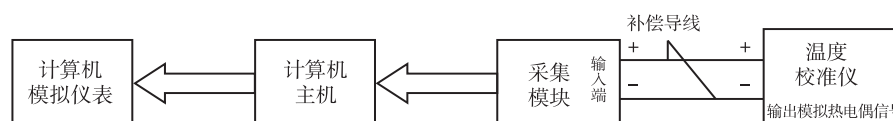


图 3 配热电偶的温度通道标准器用温度校准仪的校准原理框图

Fig. 3 Calibration principle block diagram of temperature calibrator for standard instrument with thermocouple temperature channel

2.2.1.2 传统方法存在的不足

(1)反复拆装导致故障率高。该方法需要反复拆装被校传感器和仪表,而在反复拆装的过程中,会提高计量器具的故障率,影响试车台的正常运行;

(2)耗时长,影响生产。因采用离线校准,被校传感器和仪表均需拆卸、安装,部分被校项目拆装非常耗时,在试车任务较重的情况,该方式会影响生产任务的进度;

(3)缺少对系统综合误差的判定方法。通过该方法实施的校准,可能会出现传感器、仪表、通道三者单独校准的结果都符合要求,但在其误差出现同为正或同为负的情况下,三者误差叠加后极易出现系统误差过大的情况,影响试车结果。且系统误差影响因素较多,也并非简单的叠加关系。

2.2.2 在线整机校准方法

如何将上述传统方法的风险降到最低呢?首先需要避免或减少对温度传感器及温度仪表的拆装,其次需要一个标准源来实现对温度传感器及温度仪表的在线整机校准。我们从这两方面出发,对发动机试车台的在线校准方法进行研究。

2.2.2.1 校准方法描述

温度传感器从现场拆下来送实验室检定或校准时,利用恒温槽或卧式检定炉来提供相应的恒定温场实现检定或校准。为避免传感器的反复拆装,首

先要考虑的就是将恒定温场从实验室转移到生产现场,实施现场校准。但恒温槽或卧式检定炉的缺点都是体积庞大,不便于移动,且升降温消耗的时间较长,不适用于生产现场的在线校准使用。经过研究分析,目前便携式恒温槽或干体式计量炉,因其体积小,便于携带,升降温快等特点,可作为恒温源适用于生产现场的在线校准。便携式恒温槽可覆盖的温度范围一般为 $(-30\sim 200)^{\circ}\text{C}$,干体式计量炉可覆盖的温度范围一般为 $(-30\sim 700)^{\circ}\text{C}$,其最大允许误差一般在 $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ 左右,温场的稳定性和均匀性均能满足传感器的日常校准需求。所以我们可以根据不同的校准需求选择不同规格的便携式恒温源作为标准热源,来实现试车台温度传感器及温度通道(温度仪表)的在线整机校准,即发动机试车台系统综合误差的校准。

利用便携式恒温源开展在线整机校准工作时,其校准原理如图4所示。便携式恒温源作为标准热源提供一个恒定温场(其温度设定值与工艺要求的测量范围相符),将需要校准的温度参数对应的温度传感器及主标准器(二等标准铂电阻温度计或一等标准铂铑10-铂热电偶)一起放置于恒温源的有效温区中。通过数据采集器读取主标准器示值(可以作为恒温源内部的实际温度)与发动机试车台试车系统读取温度参数(模拟指示仪表)示值比对,直观地判断出发动机试车台系统的综合误差。

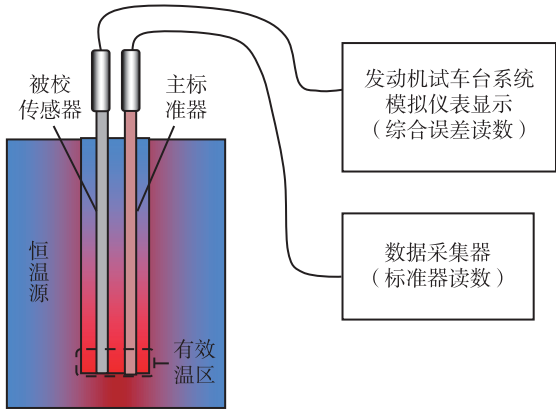


图 4 利用便携式恒温源进行试车台系统综合误差的校准原理(比较法)

Fig.4 Calibration principle of comprehensive error of test-stand system using portable constant temperature source (comparison method)

2.2.2.2 校准结果有效性确认

针对某型发动机试车台进行在线整机校准,其

校准结果如表 2 所示。

通过该校准方式,有利于消除因仪表和传感器分开校准得到的同相偏差叠加而导致系统误差增大的不匹配现象,提高发动机试车台系统综合误差校准结果的准确性,确保发动机试车台的健康状态。

2.2.2.3 在线校准方法中存在的问题

(1)对于上述“燃气温度”的在线校准,缺乏 700℃ 以上的校准手段(其他发动机试车台也存在类似情况);

(2)对于异型温度传感器,无法通过该方式进行校准;

(3)当前研究成果只能在静态状态下对发动机试车台各项参数实施校准,能确保其静态状态下的健康状态。但试车台在试车时的动态状态下,因标准器输出的信号会受到极大的干扰,导致无法正常传输校准信号或系统采集到的信号出现异常,暂无法判别其动态下的健康状态。

表 2 整机校准结果(典型点)

Tab.2 Complete machine calibration result (typical points)

序号	测量参数	典型点 ℃	发动机试车台系统模拟 (指示)仪表显示结果 ℃	标准器读数 ℃	校准结果
1	进气温度 1	20	20.3	19.99	符合技术要求
		50	50.4	49.99	
2	进气温度 2	20	19.9	19.99	符合技术要求
		50	49.7	49.99	
3	滑油进油温度	50	50.3	49.99	符合技术要求
		100	100.7	99.99	
4	滑油回油温度	50	49.6	49.99	符合技术要求
		100	99.8	99.99	
5	滑油油箱温度	20	20.5	19.99	符合技术要求
		50	50.6	49.99	
6	前轴承温度	50	49.5	49.99	符合技术要求
		100	99.7	99.99	
7	后轴承温度	50	49.7	49.99	符合技术要求
		100	99.5	99.99	
8	燃气温度 1	500	498	499.98	符合技术要求
		700	798	799.97	
9	燃气温度 2	500	498	499.98	符合技术要求
		700	798	799.97	

3 结束语

综上所述,我们可以基于现有的方法和条件,通过给被校准参数传感器提供标准热源的方式,实现温度传感器及温度通道(温度仪表)的在线整机校准,对发动机试车台系统综合误差实施判定,确保其静态状态下的健康状态。但实际工作过程中又会面临一些目前无法解决的难题,需要通过

不断地分析和改进,以寻求更加有效的解决办法,使新的方法得到广泛应用。

参考文献

(上接第 71 页)

两方面加以解决。同时,针对使用现场由于绝缘问题而带来的信号串扰,设计了隔离变压器,实现电源、输入、输出三端隔离。试验表明,本文设计的温度变送器信号转换准确度优于 0.1%,通用性好,抗干扰能力强,具备良好的工业应用前景。

参考文献

- [1] 徐健,林皓琨,肖新帅. 基于 N 型热电偶的智能化多通道测温系统[J]. 电子测量技术, 2019, 42(08): 127-131.
- [2] 湛月,林洁. 低温铂电阻变送器设计[J]. 自动化与仪表, 2018, 33(07): 71-74+93.
- [3] 邱鹏程,李开宇,李磊,石玉. 基于多传感器融合的高精度温度监测系统设计[J]. 电子测量技术, 2020, 43(03): 92-96.

- [1] 国家质量监督检验检疫总局. JJF1664-2017 温度显示仪校准规范[S]. 北京:中国质检出版社, 2018.
- [2] 盛坚,金炜,庄大石. 航空发动机涡轮出口总温测控系统在线校准方法[J]. 计测技术, 2007, 27(增刊): 58-60.

- [4] 肖新帅,林晓焕,胡念祖,肖坚. 多类型高精度测温系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2019, 38(03): 75-79.
- [5] 朱诚,徐腾飞,金运昌,赵光锋,卢兆军. 一种高精度模拟信号隔离电路设计[J]. 现代电子技术, 2020, 43(06): 9-12+17.
- [6] 郑波祥. 输出可调 I/V 隔离转换电路设计及分析[J]. 工业控制计算机, 2017, 30(12): 153-154.
- [7] 姜祝,俞达,张猛. 一种具有高抗干扰能力测温信号隔离变送器的设计与实现[J]. 宇航计测技术, 2016, 36(02): 45-48.
- [8] 李建兵,郑锴,王妍. 一种全桥 LLC 谐振倍压变换器的电路特性分析[J]. 信息工程大学学报, 2017, 18(05): 566-571.
- [9] 雷三元. 基于 TL431 构成的自激式 Buck 变换器的分析与测试[J]. 电子技术, 2017, 46(03): 1-5.
- [10] 孙定浩. 三类自激变换器及其解析结果[J]. 空间控制技术与应用, 2010, 36(02): 55-57+62.