

文章编号: 1005-5630(2020)02-0014-06

DOI: 10.3969/j.issn.1005-5630.2020.02.003

基于激光测距的节温器检测

张兆海, 高洪波, 周先鹏, 张银峰, 王 鑫

(空军预警学院, 湖北 武汉 430000)

摘要: 节温器作为发动机冷却系统中的自动调温装置, 其工作稳定程度直接影响着发动机的工作性能。目前针对机械式节温器的性能检测方法存在着测量数据不完备、测量精度较低、安全隐患大及操作不便的问题。为解决这些问题, 利用激光测距技术以非接触的方式实时测量节温器升程值, 同时通过温度传感器获取对应的实时温度, 从而获取反映节温器性能的完备数据。该方法是一种准确、安全、便捷的非接触式检测方法, 温度测量精度达 0.1 °C, 升程测量精度为 1 mm。通过构建的检测系统对解放 J6 节温器进行了实验验证, 结果表明该系统能够准确高效地实现节温器性能检测, 包括温度稳定性、性能一致性、故障判断标准等, 适用于发动机日常维修及教学实践工作。

关键词: 节温器; 激光测距; 性能检测; 非接触检测

中图分类号: U 464.138 **文献标志码:** A

Thermostat detection based on laser ranging technology

ZHANG Zhaohai, GAO Hongbo, ZHOU Xianpeng, ZHANG Yinfeng, WANG Xin

(Air Force Early Warning Academy, Wuhan 430000, China)

Abstract: Thermostat, as the automatic temperature control device of the cooling system of the engine, has an important effect on the engine. In order to solve the problems in traditional mechanical thermostat performance detection, such as data deficiency, low measuring accuracy, high security risk, and inconvenience to operate. We find a non-contact way to get the real time lift of the thermostat based on laser ranging technology, and get the synchronous temperature by the temperature sensor. In this way, we can obtain the complete data of the thermostat. This method is an accurate, safe, convenient, and non-contact way, temperature measurement accuracy is 0.1 °C, and lift measurement accuracy is 1 mm. We setup a thermostat detection system and verify it by experiments with the Jiefang J6 thermostat. The result shows this system can detect the performance of thermostat accurately and efficiently, such as temperature stability, performance consistency, and fault diagnosis criterion. It is applicable to ordinary engine maintenance as well as educational practices.

Keywords: thermostat; laser ranging ; performance detection; non-contact detection

收稿日期: 2019-06-18

作者简介: 张兆海(1985—), 男, 硕士, 讲师, 研究方向为激光测量及数字全息。E-mail: tommyzzh@163.com

引言

节温器是汽车发动机冷却系统中的温控装置, 是一种自动控制冷却液是否流过散热器、调节冷却强度的热力阀。感温组件根据当前冷却液温度调节阀门的开启与关闭, 控制进入散热器的水量, 从而调节冷却系统的散热能力, 令水温保持在最佳状态, 使发动机在适宜的温度范围内工作。节温器必须保持良好的技术状态, 否则会严重影响发动机的正常工作^[1]。

现在普遍使用的石蜡机械式节温器的安全寿命为 50 000 km^[2], 为确保发动机冷却系统的正常运行, 需要定期对节温器进行性能检测。目前, 常用的节温器检测方法有两种。一种是将节温器拆下放入盛有水的器皿中加热, 使用温度计测量开始开启和完全打开时的温度, 使用游标卡尺测量节温器全开时的阀门升程(形变量)^[3]。该测量方法需要目测判断节温器是否处于开始开启和完全开启状态, 由于引入人为判断的因素, 测量稳定性较差; 测量数据仅包括节温器最大升程及对应的温度, 无法测量节温器在各温度下的对应升程值, 性能检测数据不完备, 检测结果不可靠; 使用游标卡尺测量时需将节温器从水中捞出, 操作不便, 特别是在发动机实习教学工作中, 学员操作不熟练, 存在一定的烫伤安全隐患; 测量过程中节温器离开水面使得温度存在一定下降, 导致阀门因温度降低而回缩, 测量不准确, 精度较低。另一种方法是就机检测, 在启动发动机的情况下通过观察冷却水温度变化判断节温器性能^[4]。该方法优点是无需拆装节温器, 实施较为简便; 缺点是只能定性判断节温器对发动机工作温度的影响, 无法进行定量测量并准确检测节温器性能, 而且容易导致误判断, 不能完全确定故障原因是由节温器导致。

为克服上述检测方法的缺陷, 本文提出一种基于激光测距技术的非接触式温度同步实时检测方法, 通过温度传感器实时检测节温器温度, 通过激光测距方法实时测量距离变化, 获取节温器在各个温度值下对应的阀门升程值, 同时自动获取节温器开启和闭合温度, 可以准确、安全、便捷地对节温器性能进行检测, 适用于发动机日常

维修及教学实践工作。

1 节温器工作原理

当冷却液温度低于设定值时, 节温器感温体内的石蜡呈固态, 主阀在回位弹簧的作用下关闭发动机与散热器间的通道, 副阀开启, 冷却液经水泵返回发动机, 进行小循环。当冷却液温度达到设定值后, 石蜡开始融化、膨胀, 迫使胶管收缩对推杆产生向上的推力。由于推杆上端固定, 因此, 推杆对胶管和感温体产生向下的反推力使主阀门开启, 副阀关闭。这时冷却液经节温器主阀进入散热器, 并由散热器经水泵流回发动机, 进行大循环^[5], 其工作原理如图 1 所示。一般节温器主阀正常开始开启温度是 68~85 °C, 完全打开时温度比开始开启温度高 8~12 °C。全开时升程为 8~12 mm, 最小不低于 7 mm。如果节温器不能在设定温度值正常开启, 或者处于常开状态无法关闭, 都会对发动机工作性能产生极大影响。

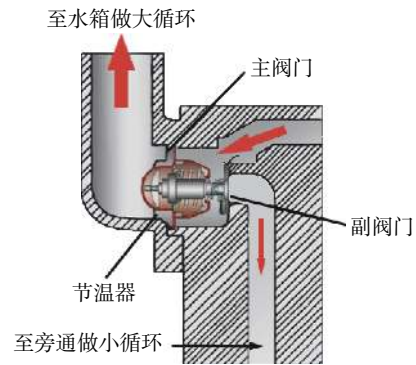


图 1 发动机节温器工作原理

Fig. 1 Working principle of engine thermostat

2 检测原理

2.1 激光测距原理

相位法激光测距的原理是半导体激光器从发射端发射某一频率周期变化的调制光波, 发出的光波到达被测目标后入射光波反射回去, 在接收端处接收光波的回波, 通过相位鉴相器比较接收信号与发射信号的相位差来求出相位延迟数值,

利用已知的调制信号频率间接测量出激光飞行所需要的时间，从而换算得到目标物的距离^[6]。相位激光测距法在非合作目标时测距较短，通常为几十米范围，但其使用固定连续的调制信号，功率小，测量精度高达 1 mm^[7]。节温器检测实际测量距离为 0.5 m 左右，对测量距离要求较低，阀升程为 8~12 mm，测量精度要求达到毫米量级，因此采用相位法激光测距符合检测要求。

2.2 节温器阀升程测量原理

将节温器垂直放置于专用镂空支架上，阀座与支架接触并固定，副阀朝上，并连同支架一起整体放置于盛有冷水的量杯中加热，随着水温变化，节温器主、副阀可自由上下伸缩。激光测距模块通过专用支架，垂直倒置悬挂于离地面约 0.8 m 处，激光由上向下发射并照射在副阀平整处，从而测得激光器与副阀之间的距离，测量原理如图 2 所示。

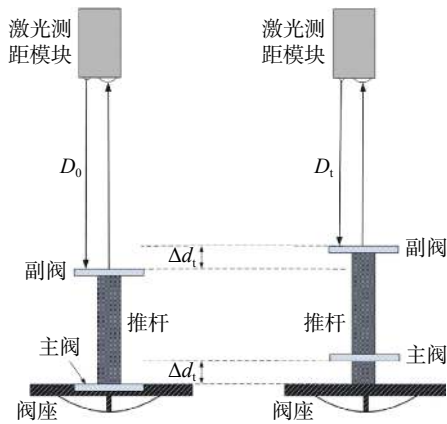


图 2 节温器阀升程测量原理

Fig. 2 Measurement principle of thermostat valve lift

以 Arduino 单片机为控制单元，通过加入防水测温模块实时获取测量距离及水温值。在温度低于开启温度时选取某一温度 T_0 作为起始温度，同时测得当前激光器与副阀距离 D_0 。随着水温逐渐升高，节温器阀向上移动，激光器与副阀间距离值减小。因主、副阀相对距离始终保持不变，副阀升高距离值即为主阀升程，实时测量获取各温度值 T_t 及对应距离 D_t ，则任一温度 T_t 下节温器阀的升程为

$$\Delta d_t = D_0 - D_t \quad (1)$$

由此可见，通过激光测距及同步温度测量不但可以获得节温器阀开始开启时的温度值以及完全开启状态时的温度值和升程，还可以获得任一温度下节温器阀的升程值。距离测量过程为非接触式测量，无需从水中取出节温器，因此该检测方法具有测量精度高，操作过程安全、便捷的优点。

需要注意的是，相位法激光测距是通过比较接收信号与发射信号的相位差(实际光程差^[8])来求出相位延迟数值，从而换算出目标距离值。由于水的折射率约为 1.33，空气折射率约为 1.0，光在水中传播速度减慢，光程增大^[9]。因此在测量过程中应当确保节温器副阀高于水面，否则会因为光在水中传播的光程比实际距离偏大而引入测量误差。假设水面高出副阀距离为 d_h ，光线往返 d_h 的光程为 S_h ，空气折射率为 n_0 ，水的折射率为 n_1 ，测量误差为 ϵ ，则有

$$S_h = 2d_h \cdot n_1 \quad (2)$$

$$\epsilon = 2d_h \cdot (n_1 - n_0) \quad (3)$$

由式(3)可知，测量误差 ϵ 与 d_h 成正比，约为 $2d_h/3$ ，因此在测量过程中应当确保副阀略高于水面，避免引入测量误差。

3 检测系统

依据上述检测原理，以 Arduino 开发板为主控制器开发制作节温器检测系统，并制作专用节温器支架以及检测装置专用支架。检测系统主要由 Arduino 开发板、激光测距模块、温度测量模块、OLED 显示屏模块、按键控制模块、触摸开关传感器、电源模块组成，如图 3 所示。

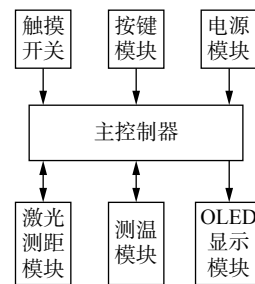


图 3 节温器检测系统结构示意图

Fig. 3 Structure diagram of thermostat testing system

激光测距模块负责获取距离信息, 精度为 1 mm, 温度测量模块用于获取水温值, 精度为 0.1 °C, OLED 显示屏模块用于同步显示距离值、温度值及对应温度下的升程值(图 4)。按键控制模块用于切换装置工作状态, 在开始测量前需要使用激光器找准副阀平整处位置, 因此需要通过按键开关开启激光器用于瞄准, 测量过程中需要在主阀开始开启前选定初始温度值 T_0 及对应初始距离值 D_0 , 添加触摸开关用于触发初始



图 4 节温器检测系统实物图

Fig. 4 Photo of thermostat testing system

值、升程值记录程序, 将初始值与升程值于显示屏实时显示。使用触摸开关是为保证测量精度, 若使用按键开关, 在初始值记录时可能会导致仪器抖动, 使得记录的初始值与真实初始值之间出现偏差, 从而引入测量误差。为更加直观地观测测量结果, 可以通过 USB-TTL 模块将检测仪与计算机进行串口通信, 通过上位机显示实时测量数据并绘制曲线。

4 实验及分析

4.1 节温器升程-温度曲线及温度稳定性测量

实验使用解放 J6 重型卡车节温器, 选取一个可正常工作的节温器, 重复 10 次升温 and 降温过程并记录每次不同升程值对应的温度值, 以升程值为基准, 每个升程值对应的温度值为 10 组数据, 对获得的 10 组原始数据取平均值作为最终数据, 并通过求得 10 组数据的标准差反映节温器在不同升程下对应温度值的稳定性。实验选取初始记录水温 75 °C, 测量初始距离 531 mm。实验结果如表 1 所示, 均值拟合曲线如图 5 所示。

表 1 解放 J6 节温器温度稳定性测量

Tab. 1 Temperature stability test of Jiefang J6 thermostat

升温			降温		
升程/mm	温度/°C	标准差/°C	升程/mm	温度/°C	标准差/°C
0	79.0		0	78.0	
0	81.0		0	79.1	0.58
1	82.8	0.62	1	81.2	0.66
2	85.1	0.68	2	82.0	0.71
3	86.6	0.73	3	82.6	0.68
4	87.8	0.85	4	83.4	0.54
5	89.1	0.78	5	83.9	0.60
6	90.0	0.92	6	84.5	0.83
7	90.6	0.84	7	85.3	0.86
8	91.6	0.87	8	86.2	0.64
9	92.3	0.70	9	88.2	0.77
10	93.1	0.65	10	91.0	
10	95.0		10	93.0	

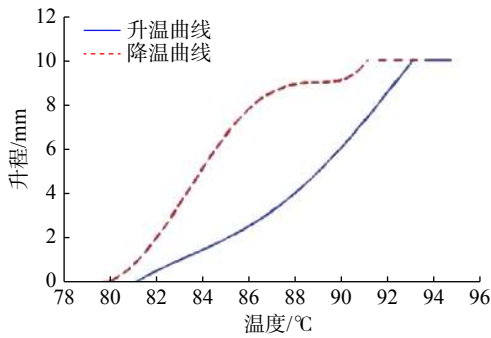


图 5 解放 J6 节温器升程-温度关系曲线
(单个节温器温度稳定性测量拟合)

Fig. 5 Relation curve between lift and temperature of Jiefang J6 thermostat (fitting from temperature stability test of single thermostat)

由实验结果可见，检测系统可准确检测节温器阀门开始开启温度及其在不同温度下的具体开启情况。实验使用的解放 J6 节温器升温过程中实际开启温度为 83.7 °C，于 93.6 °C 达到最大升程 10 mm。降温时阀门于 88.7 °C 开始回缩关闭，于 79.6 °C 完全闭合。节温器升温升程曲线

与降温升程曲线之间在同一升程时存在一定温度差，约为 2~5 °C，这是由于水温传导至节温器内部石蜡存在一定的迟滞效应^[10]。因此实验检测升温过程中开始开启温度略高于标称值，而降温过程中的完全闭合温度略低于标称值。由温度标准差可见，升温过程最大标准差为 0.92 °C，出现在升程值为 6 mm 处，降温过程最大标准差为 0.86 °C，出现在升程值为 7 mm 处，标准差值均在 1 °C 以下，说明节温器在连续工作时温度稳定性较好。

4.2 同一型号节温器性能一致性测量

为测量同一型号节温器性能的一致性，选取 8 个正常工作的解放 J6 重型卡车节温器进行测量，每个节温器测定 3 个升温降温过程，取 3 组温度的平均值作为温度数据。在获得 8 个节温器温度数据的情况下，计算每个升程值下 8 个节温器对应温度值的平均值和标准差。结果如表 2 所示，均值拟合曲线如图 6 所示。

表 2 解放 J6 节温器性能一致性检测结果

Tab. 2 Performance consistency test of Jiefang J6 thermostat

升程/mm	升温		降温		
	温度/°C	标准差/°C	升程/mm	温度/°C	标准差/°C
0	79.0		0	78.0	
0	81.0		0	79.7	0.95
1	83.5	1.02	1	81.7	0.94
2	85.9	1.15	2	82.3	0.86
3	87.5	1.18	3	83.0	0.99
4	88.6	1.30	4	83.8	1.03
5	89.9	1.26	5	84.2	1.10
6	90.8	1.19	6	85.0	1.14
7	91.3	1.10	7	85.7	1.03
8	92.2	1.22	8	86.5	0.97
9	92.8	1.07	9	88.6	1.01
10	93.7	0.98	10	91.0	
10	95.0		10	93.3	

通过实验数据可以看出，8 个节温器的温度标准差在升温过程中最大为 1.31 °C，出现在升程值为 4 mm 处，在降温过程中最大为 1.14 °C，

出现在升程值为 6 mm 处。从同一型号不同节温器的温度标准差来看，最大值为 1.3 °C，说明该型号节温器的性能一致性较好。

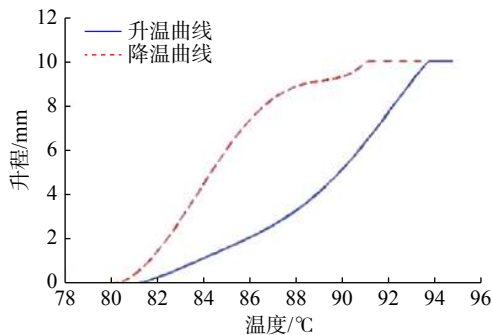


图6 解放J6节温器升程-温度关系曲线
(多个节温器性能一致性测量拟合)

Fig. 6 Relation curve between lift and temperature of Jiefang J6 thermostat (fitting from performance consistency test of multiple thermostats)

4.3 故障节温器的判断

通过测量节温器的升温降温曲线可以获得节温器性能的完备数据,并可依此判断节温器是否出现故障。以解放J6节温器为例,通过性能一致性实验测定,该节温器升温时的最大升程温度为93.7℃,降温时的开始闭合温度为88.6℃,最大升程为10mm,升温过程的开启温度为83.5℃,降温过程的闭合温度为79.7℃,从反映节温器一致性的标准差来看,最大温度标准差不超过1.30℃。因此,以总体样本符合正态分布计,若某节温器实测温度与一致性测量结果偏差在3.9℃(3倍标准误差,99.7%置信区间^[11])以下可视为正常工作,若偏差达到3.9℃以上可认为该节温器性能已不符合标准,可视为出现故障。

以上实验说明该检测系统可以准确获取节温器具体性能参数,快速、高效地检测节温器是否正常工作。

5 结论

本文提出一种基于相位法激光测距技术的节

温器性能检测方法,利用单片机构建了一套检测系统,分析了避免引入测量误差的方法,可实现对机械式节温器的非接触式温度同步实时检测,获取反映节温器性能的完备数据。检测系统的升程测量精度为1mm,温度测量精度为0.1℃,满足节温器性能检测要求,有效解决了以往测量方法中存在的测量数据不完备、精度低、烫伤安全隐患大及操作不便的问题,可应用于发动机日常维修及教学实践工作中。

参考文献:

- [1] 牟红雨,金研,郝世杨,等. 汽车发动机冷却系统检测与维修研究[J]. 时代汽车, 2018(7): 192-193.
- [2] 于增信. 汽车发动机构造、原理与维修[M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [3] 王佳. 发动机冷却系统节温器的原理与检修[J]. 时代农机, 2016, 43(8): 14, 16.
- [4] 聂永涛,张志伟,陈绍志. 汽车发动机节温器的检修[J]. 轻型汽车技术, 2016(1/2): 66-67.
- [5] 陈家瑞,马天飞. 汽车构造[M]. 北京: 人民交通出版社, 2006.
- [6] 谭晓瑞. 相位式激光测距系统设计[D]. 太原: 中北大学, 2016.
- [7] 郑大青,陈伟民,陈丽,等. 一种基于相位测量的快速高精度大范围的激光测距法[J]. 光电子·激光, 2015, 26(2): 303-308.
- [8] 郁道银,谈恒英. 工程光学[M]. 4版. 北京: 机械工业出版社, 2016.
- [9] 郑玉祥,陈良尧. 近代光学[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [10] ARICI O, JOHNSON J H, KULKARNI A J. The vehicle engine cooling system simulation part 1-model development[R]. Houghton: SAE, 1999.
- [11] 孟令宾,李二倩,田茂再. 基于鞍点逼近的二项抽样下优势比的置信区间构造[J]. 数理统计与管理, 2017, 36(1): 85-102.

(编辑:张磊)