

文章编号: 1672-8785(2015)10-0022-05

基于红外图像处理技术的柴油机 故障诊断研究

张 林

(商洛学院电子信息与电气工程学院, 陕西 商洛 726000)

摘 要: 通过实验分析了各种红外检测因素对红外图像拍摄的影响程度, 并在红外图像采集点的位置控制图的基础上, 采用温度补偿算法对拍摄到的红外图像进行了校正; 然后结合柴油机的实际工作特点对采集到的红外图像进行了分割; 最后基于分割后的红外图像, 采用分区域比对的方法对柴油机的故障进行了判别和诊断。实验结果表明, 通过调整红外图像的比例/参数, 可以满足对柴油机的大部分发热故障进行诊断的要求。

关键词: 故障诊断; 柴油机; 红外图像

中图分类号: O432.1 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2015.10.006

Research on Diesel Engine Fault Diagnosis Based on Infrared Image Processing

ZHANG Lin

(School of Electronic Information and Electrical Engineering,
Shangluo University, Shangluo 726000, China)

Abstract: By analyzing the influence of various infrared detection factors on infrared image taking experimentally, a temperature compensation method is used to correct infrared images on the basis of the position control chart of infrared image collecting points. Then, the collected infrared images are segmented according to the actual operation characteristics of diesel engines. Finally, an area comparison method is used to discriminate and diagnose the faults in the diesel engine on the basis of the segmented infrared images. The experimental result shows that by adjusting the proportion and parameters of infrared images, the requirement of diagnosing most heating faults in diesel engines can be satisfied.

Key words: fault diagnosis; diesel engine; infrared image

0 引言

作为一种无损检测方法, 红外热成像技术可以在不接触、无损伤的情况下对物体的内部品质进行间接预测。另外, 由于在对大面积设备的检测中具有更加明显的优势, 该技术已在大型电气设备和大型机械设备的故障诊断领域得

到了非常广泛的应用。红外图像诊断技术是一种以获取的被测设备数据作为依据, 采用红外热图像数据分析方法对机械设备的工作状态是否处于正常状态进行定性判别, 然后对故障点存在的位置进行预测与定位, 并对设备出现故障的严重程度进行判别的新方法。

收稿日期: 2015-09-15

作者简介: 张林(1986-), 男, 黑龙江讷河人, 助教, 硕士, 主要从事红外图像处理技术研究。

E-mail: 759013520@qq.com

由于物体的红外热辐射信号具有传播距离小、易受环境因素干扰以及穿透力差等缺点,在利用红外热成像仪对机械设备的工作状态进行诊断时,经多次采集到的红外图像的准确性难以保持一致。另外,柴油机的工作空间相对较小,且噪声大,这就大大增加了采用红外图像处理技术对柴油机故障进行预测和定位的难度。

本文结合实际柴油机的工作特点,通过研究被测柴油机的各种因素对红外热辐射图像的影响程度,提出了一种能够简单、便捷地获取被测柴油机数据,然后利用红外热辐射图像处理技术对故障进行诊断和定位的方法。实验中,采用日本 NEC-Avio 公司生产的 InfReC R500 型红外热像仪(见图 1)对目标的红外图像进行采集。

1 红外热辐射图像检测的误差因素分析

由于物体的红外热辐射图像受到多种环境因素的干扰,后续利用红外图像进行检测分析的准确性和可靠性难以得到保证。因此,研究各个干扰因素对红外热辐射图像拍摄的准确性的影响程度,对于改善利用红外图像处理技术对机械设备故障进行诊断和定位的准确性尤为重要。



图 1 InfReC R500 型红外热像仪

1.1 被测物的辐射能量大小对检测的影响

我们通常将被测物相对于黑体红外辐射能量大小的物理量称为发射率。由于各种物体自身材质的不同,它们的发射率之间存在一定的差异,导致其红外热辐射信号具有不同的表现形式。本文以柴油机的曲轴轴承盖作为研究对象,得到了因对设备的红外热辐射发射率判断失偏而产生预测误差的数据,并由此来判断被测物体的发射率对预测结果的影响程度。被测目标采用钢性材质,其标准发射率为 0.88,同时测得轴承盖处的温度为 31℃。实验结果表明,若对材质发射率判断失误,则会对测量结果造成较大误差。因此,在用红外热像仪采集热数据之前,首先应该根据被测对象的热发射率设定适当的测量参数配置。表 1 列出了基于不同的发射率参数得到的测试误差数据。

表 1 材质发射率对红外辐射测量值的影响

材质发射率	0.97	0.94	0.88	0.71	0.29	0.26	0.24
最高温度/℃	32.5	2.1	33.8	39.9	72.5	75.6	81.4
平均温度/℃	32.1	30.7	33.1	38.4	69.3	72.4	78.7
最低温度/℃	31.7	29.3	32.4	36.8	66.1	69.1	75.9

1.2 红外热辐射图像拍摄的相对位置对误差的影响

在实际检测工作中,目标的一部分红外热辐射能量会被周围环境吸收,导致所检测到的红外热辐射量存在一定的衰减。一般而言,物体的红外热辐射量的衰减与距离成正比,即物体红外热辐射的传播距离越远,能量衰减越大;当

目标的红外热辐射量一定时,红外探测器接收到的辐射能量与探测器和目标之间的距离成反比。另外,红外热成像仪与目标之间的相对位置也会对检测结果造成一定的影响。在红外热辐射测量仪与被测目标的垂直距离保持在 2 m 的前提下,测得了不同角度下的红外热辐射数据(见图 2)。通过对该数据进行分析,可以得到水

平偏角 α 的计算方法:

$$\alpha = \arctan \frac{l}{r} \quad (1)$$

式中, l 为红外热成像仪向左或者向右偏移的距离; r 为红外热检测设备与被测目标的垂直距离。此时可以计算出最大偏角:

$$\alpha = \arctan \frac{300}{200} \approx 56^\circ$$

因此, 通过对拍摄的相对位置进行对比研究, 可以发现当红外热成像仪与目标设备的垂直距离一定时, 只要保证拍摄角度小于 56° , 最终获取的红外热辐射数据的误差就可以忽略不计。考虑到设备在实际工作环境中的变化, 我们把拍摄偏移角度设定在 45° 以内进行实验。

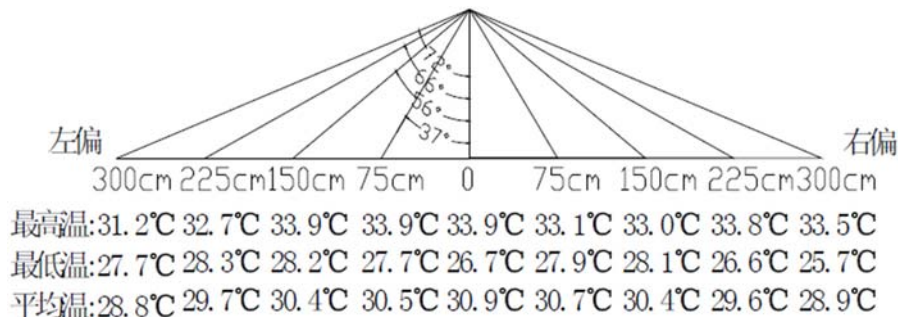


图 2 不同检测角度下被测柴油机轴承盖的红外热辐射数据

1.3 环境温度对检测结果的影响

由于柴油机工作时温度变化较大, 且一般都处于温度较高的工作环境下, 因此在进行红外热辐射检测时, 被测部位的红外热辐射信号受周围环境温度的影响较大, 即红外热辐射背景噪声的增大容易导致检测结果不准确, 从而

难以定位故障点, 且会出现数据漂移现象。在轴承盖的温度低于 40°C 的条件下, 分别对柴油机的轴承盖进行了多次测温实验 (结果见表 2)。测试结果表明, 当温度低于 40°C 时, 轴承盖温度受环境温度的影响较大, 而且随着环境温度的不断升高, 这种影响越加明显。

表 2 环境温度对检测结果的影响

测试编号	1	2	3	4	5	6	7	8
环境温度/ $^\circ\text{C}$	10	12	12.4	12.6	12.8	16.4	17.8	21.8
最高温度/ $^\circ\text{C}$	32.7	33.9	33.2	34.4	34.9	35.3	36.2	37.5
最低温度/ $^\circ\text{C}$	26.5	26.4	28.2	28.7	29.3	29.9	30.8	31.2

由于环境温度对热红外辐射成像具有较大影响, 我们针对在实验中得到的测试设备在不同环境温度下的热辐射图像数据之间的差异, 研究了一种温度补偿方法, 使得补偿后的数据更加接近设备故障点的实际温度。

2 红外热辐射图像的获取及诊断方法研究

通过前面的实验分析可知, 引起红外热辐射图像故障诊断的误差因素主要包括被测目标的发射率差异、测试环境温度以及红外热辐射

图像的拍摄位置。下面分别对由环境温度和图像拍摄位置引起的误差进行研究。

2.1 环境温度补偿算法设计

由于柴油机的工作环境相对比较封闭, 其环境温度主要受柴油机的工作时间、工作负荷、外界温度和散热系统等方面的影响。在对红外图像数据实施温度补偿算法时, 根据被测设备所在环境的实际温度对所得到的红外热辐射图像数据进行归一化处理, 使得红外热辐射数据更加接近设备的真实温度, 然后将其与同一设备在不同工作环境中的红外图像数据进行对比。

通过文献 [6] 提供的理论数据和验证测试, 可以由式 (2) 获得检测目标的红外热辐射图像数据的归一化公式:

$$T_0 = \left[\frac{T_r^n - (1 - \xi)T_u^n}{\xi} \right]^{1/n} \quad (2)$$

式中, T_0 为检测对象的真实温度值; T_r 为通过红外热成像仪获得的被测设备的温度值; T_u 为测试环境的温度; n 为常数; 对于工作波长为 $7 \sim 14 \mu\text{m}$ 的探测器, 通常取 $n=4$ 。

针对同一被测对象, 在不同的工作时间段分别进行了 5 组实验, 并记录了实验过程中的汞柱温度计值、环境温度值以及红外热像仪的平均温度值。根据式 (2) 计算出了设备数据经归一化处理后的温度值。通过对比计算结果可以发现, 设备的归一化温度值更加接近真实温度值。由此可见, 这种温度补偿算法能够在一定程度上减小环境温度对检测结果的影响。表 3 列出了温度补偿验证结果。

表 3 温度补偿验证结果

实验次数	1	2	3	4	5
汞柱温度计值/℃	12.7	21.6	38.9	45.7	54.9
环境温度值/℃	21.3	32.6	29.8	41.7	46.9
红外热像仪温度/℃	16.2	25.7	37.6	43.8	52.8
归一化温度/℃	14.9	21.6	37.8	42.6	53.7

2.2 设备热故障诊断方法研究

利用热红外图像数据对设备的故障定位及等级程度进行判别, 是基于红外热辐射图像的故障诊断技术的发展方向。本文采用的故障诊断方法是对红外热图像数据进行区域分割和分析计算, 然后将其与标准的红外热辐射图像进行对比来实现的。

严格按照相关规范采集标准的红外热辐射图像数据, 然后对获得的红外热辐射图像数据进行温度补偿, 并以被测对象正常运行且温度最高时的红外热辐射图像作为基准图像; 接着在故障多发区调整水平跨度, 以使采集到的图像颜色呈现梯度分布; 最后通过计算机将其与参考图像进行比较和判别。

目前图像分割识别方法比较多, 但它们大多是基于目标的数学建模, 然后通过分析目标的特点来对图像特征进行精准分割的。由于柴油机的种类和构造各式各样, 如果直接采用现有的分割方法, 则需要对每个被测对象都进行建模。这样会导致计算复杂, 误差较大, 工程实现起来也更为困难。我们通过研究红外热像拍摄行为以及对象的传导规律, 提出了一种以红外图像的中心区域为重点, 就其外围逐级分割的区域划分方法 (见图 3)。图 3 中, S 为目标红

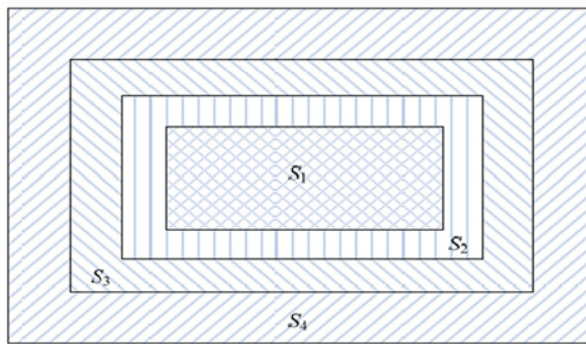


图 3 红外热图像分割的示意图 ($n=4$)

外热像图的总面积, 其中心为 S_1 。根据被测对象的结构特点, 可以将整幅热辐射图像分为 n 级 (n 可取 $3 \sim 6$)。

实验结果表明, 本文方法能够满足柴油机故障诊断的实际工作需要。图 4 所示为通过软件实现红外热辐射图像数据处理和故障对比的界面。

3 结果与讨论

作为一种简洁、高效的在线检测方法, 红外热辐射图像处理技术不仅能够及时发现设备存在的故障隐患, 而且还能够实现故障定位以及故障等级预测, 因此可为机械设备的高效、安全运行提供技术保障。本文根据柴油机的实际工

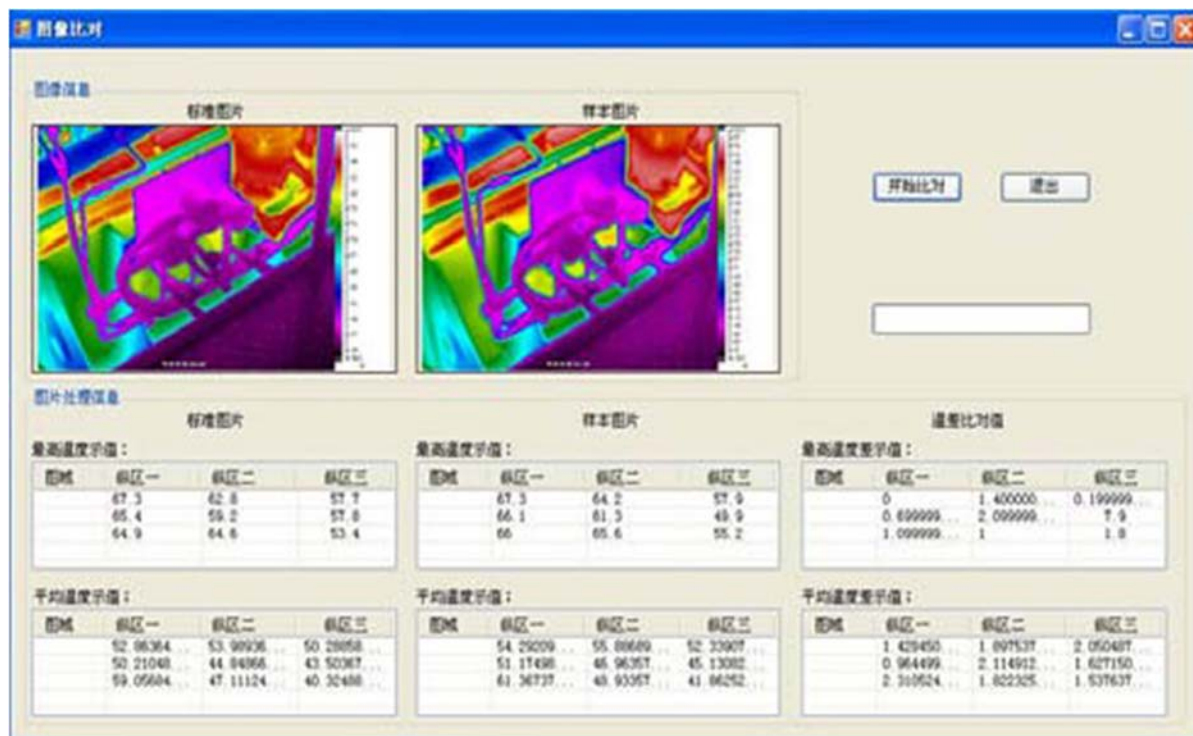


图4 红外热辐射图像的处理结果对比

作情况,设计了一种能够准确、快速定位故障点的方法。实验结果表明,这种柴油机故障诊断与定位方法能够在实际的工作环境中得到很好的运用,为柴油机的维护与保养提供了一种有效的检测手段。

另外,本文以柴油机作为研究对象,提出了一种新的适用于复杂环境的红外热图像故障诊断分割方法。与基于传统数学建模的经典分割方法相比,该方法在数据计算量和误差方面具有明显优势,因而是人们今后的研究重点。

参考文献

- [1] 韩金龙. 基于红外检测技术的输电接头故障诊断 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
- [2] 韩金龙, 齐超. 一种基于小波阈值去噪的输电接头热像局部均衡化增强算法 [J]. 红外与激光工程, 2010, 30(5): 4-8.
- [3] 杨立. 红外热像仪测温计算与误差分析 [J]. 红外技术, 1999, 21(4): 20-24.
- [4] 孙朝斌, 石明华, 马卫明, 等. 红外热像仪船用数据采集方法应用 [J]. 舰船科学技术, 2011, 33(9): 109-112.
- [5] 张树军, 魏汝祥, 范春丽. 电气设备红外故障诊断中的影响因素分析 [J]. 激光与红外, 2007, 37(2): 140-146.
- [6] 邓荣, 饶炯辉, 张晓晖. 环境辐射对红外辐射温差的影响 [J]. 红外技术, 2010, 32(7): 411-414.