

文章编号: 1672-8785(2017)03-0037-04

热像仪在机舱蒸汽管路 巡检中的应用

王星宇¹ 杨 立^{2*}

(1.92692 部队, 湛江 524064;

2. 海军工程大学动力工程学院, 武汉 430033)

摘 要: 舰船机舱蒸汽管破损是常见的故障, 使用热像仪进行蒸汽管破损监测具有重要的应用价值。阐述了日常工作中用热像仪对蒸汽管路进行巡检时的判定标准、监测流程、舱内环境因素对监测的影响及应对措施。日常工作中主要采用直接比较法进行定性判别。监测时, 热像仪与被测目标的距离、角度和舱室环境温度对结果判定的影响较小; 而其他热源和物体的发射率对结果判定的影响较大。

关键词: 蒸汽管; 热像仪; 监测

中图分类号: TP274.52 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2017.03.007

Application of Thermal Imager in Patrol Inspection of Cabin Steam Pipes

WANG Xing-yu¹, YANG Li^{2*}

(1. The 92692 Unit, Zhanjiang 524005, China;

2. College of Power Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: The damage of steam pipes in ship engine rooms is a common fault. The use of thermal imagers is of important value to steam pipe breakage monitoring. The judgment, the monitoring process, the influence of inner environment on monitoring and the corresponding measures when using infrared imagers to monitor steam pipes in daily work are presented. In our daily work, the qualitative judgment is mainly implemented by using a direct-comparison method. During monitoring, the distance between the thermal imager and the target to be measured, the angle of the thermal imager and the ambient temperature in engine compartments have less influences on measurement result judgment. Instead, the emissivity of other heat sources and objects has a great influence on measurement result judgment.

Key words: steam pipe; infrared thermal imager; monitoring

0 引言

对舰船机舱开展各项监测与检测, 是保证航行安全的重要手段。随着人们对监测诊断的逐步重视, 红外热像仪因非接触方式、测量迅速

准确、采集数据丰富、结果易于判断和便于携带等特点, 在船上得到了迅速的推广。

机舱蒸汽管是船上最易破损的管路之一, 在机电专业的维修工程中占有相当大的比例, 具体数据详见表 1。机舱同时也是船上的重点

收稿日期: 2017-02-13

作者简介: 王星宇 (1987-), 男, 湖南长沙人, 硕士, 研究方向为传热传质热流体学及其应用。 E-mail: sywxygz@126.com

***通讯作者:** 杨立 (1962-), 男, 教授, 博导, 研究方向为传热传质热流体学及其应用。 E-mail: lyang39@hotmail.com

巡查区域。由于机舱内管路复杂、管路的温度高、管路外部有包裹等限制条件,使用传统手段对机舱巡检的效率不高,管路破损位置不易被准确快速地确定。而且由于需靠近蒸汽管路,巡检人员有较高的烫伤风险。使用热像仪作为巡检工具,能够极大地提高巡检效率,同时降低巡检人员受伤的风险。

表 1 某保障点机电类工程统计

工程类别	工程数量 / 项	所占比例 %
蒸汽管路破损	32	7.4
泵类震动漏水	32	7.4
钢 / 铜结构断裂	58	13.5
其他类别	310	71.7
总计	432	100

注:该表统计时间区间为 2016 年 3 月~2016 年 12 月

然而,目前热像仪的应用主要集中在以配电箱为主的电气设备上,在船上等其他地方均少有应用。近年来,学者在输热管道的红外检测方面取得了一定进展,范春利^[1]等从理论上证实了红外热像仪应用于船上输热管道漏泄及保温层缺陷检测的可行性。金光熙^[2]等提出了评价热力设备保温效果的办法。刘辉等^[3-5]讨论了热像仪在热力管道上的实际应用。石宏臣^[6]等详细分析了保温层受潮对保温性能的影响。上述学者的研究多偏重于理论分析和实验结果,在实际监测方面的总结较少。

本文在前人研究的基础上,结合作者日常积累的工作经验,重点介绍了热像仪在实际使用时遇到的具体情况,阐述了判定标准、监测流程、舱内环境因素对热像仪的影响及采取的应对措施。

1 热像仪的工作原理

根据斯特藩—玻耳兹曼定律

$$M_b = \int_0^\infty M_{\lambda b}(T)d\lambda = \sigma_b T^4 \quad (1)$$

式中, σ_b 为斯蒂芬—玻耳兹曼常数, $\sigma_b = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ 。由此式可知,处于绝对零度之上的物体均会向外发出辐射。

对 M_b 在一定波段范围内积分,可得到该波段范围内的物体辐射能^[7]:

$$M_b(\lambda_1 - \lambda_2)(T) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M_{\lambda b}(T)d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{C_2/(\lambda T)} - 1} d\lambda \quad (2)$$

式中, λ_1 、 λ_2 为该波段范围的下限、上限。

对于一般物体,有

$$M_{(\lambda_1 - \lambda_2)}(T) = \varepsilon \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{C_2/(\lambda T)} - 1} d\lambda \quad (3)$$

式中, ε 为物体的发射率。

既然处于绝对零度之上的物体都会自发地向外发射热辐射,处于红外大气窗口内的热辐射就可能被热像仪捕捉到。经过处理和换算,在热像仪中即可形成温度分布图像。

目前使用的热像仪 (Fluke Ti-25 等) 多工作于 $8 \sim 14 \mu\text{m}$ 的长波波段,在该波段下,近似可得到^[8]

$$M_{(\lambda_1 - \lambda_2)}(T) \approx CT^n \quad (4)$$

式中, $n=3.9889$ 。该波段下,物体的辐射能随温度变化近似满足 4 次方关系,因此辐射能量的大小受温度的影响非常大,温度的变化很容易捕捉到。

2 蒸汽管路的监测分析

2.1 判定标准与使用设备

不同于已有的 DL/T 907-2004、DL/T 664-2008 等判定管道保温层和电气设备的红外监测标准,由于舱内的蒸汽管路的形状千变万化,运行参数又各不相同,对蒸汽管路泄漏的监测还没有一个普遍适用的定量判定标准。目前,对蒸汽管路的监测主要用于判断该管路各部位有无液体渗漏,因此在实际工作中主要采用直接比较法进行定性判别,仅在必要时用相对温差法和定量分析进行辅助判定。

工作中使用的热像仪的种类较多,目前最常用的热像仪为 FLUKE Ti25,其防磕碰设计、较小体积等特点特别适用于船上的工作环境,主要的性能参数见表 2。

表 2 Ti25 热像仪的参数

项目	参数及取值
温度量程	-20 ℃ ~ 350 ℃
视场角度	23 ° × 17 °
探测器类型	160×120 焦平面阵列, 非制冷微测辐射热计
红外镜头类型	20 mm F=0.8 镜头
红外频带	7.5 μm ~ 14 μm
可见光照相机	640×480 分辨率
文件格式	非辐射 (.bmp) 或全辐射 (.is2)
精确度	±2 ℃ 或 2%
空间分辨率	2.5 mRad
最小焦距距离	红外 15 cm, 可见光 46 cm
热灵敏度	≤0.1 mK at 30 ℃ (100 mK)
像频	9 Hz 刷新率
配套分析软件	SmartView TM
语音注释	≤60 s/ 图像
外观	

注: 表中数据取自 FLUKE 官网

2.2 使用热像仪进行蒸汽管路巡检的主要流程

对机舱的巡检分为定期巡检和专项巡检。定期巡检即按照计划、按固定路线每日、每周、每月进行巡检, 对重要设备进行大面积的状态监测。专项巡检则是根据已有的反馈情况 (如其他监测手段获得的结果), 对特定对象进行有针对性的排查和监测。两种监测方法的具体流程如图 1 所示。

定期巡检有相对固定和充裕的巡检时间, 相应的监测设备放在船上。巡检的关键是确定巡检线路, 提高巡检效率。定期巡检主要给出定性的巡检结论。

专项巡检则首先要确定需被巡检的设备, 然后进行相应的人员配置和必要的仪器配置。若为突发请求的专项巡检, 则所有监测仪器都需自行携带, 以保证监测的准确性和实效性。船上的监测设备受条件限制, 在标定精度和仪器性能等方面均有较大的下降, 因而不能过度依赖。专项巡检的目的单一, 时效性强, 精度要求高, 巡检人员应少而精, 一般不要求其他人参

与。专项巡检出具的结论虽仍以定性为主, 但一般会给出定量数据以辅助判断。

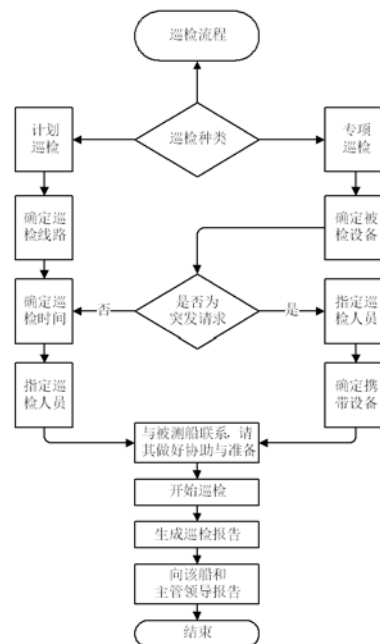


图 1 热像监测的工作流程

2.3 舱内环境因素对监测结果的影响

用热像仪在舱室仓内进行监测时经常会遇到下列情况:

- (1) 由于设备的阻挡、空间的限制, 测量的距离和角度会受限;
- (2) 舱室内温度高, 环境温度明显高于正常值;
- (3) 舱内的热源众多;
- (4) 舱内设备的管路多数表面涂有油漆, 混有油污, 不同设备表面的发射率变化较大, 许多设备还存在较强反射。

对于情况 (1), 若热像仪与被测目标过远, 受热像仪分辨率的限制, 即使有泄漏, 也依旧无法被捕捉到, 因此必须将热像仪靠近被测目标至标准测试距离; 若热像仪与被测目标过近, 虽然容易造成调焦困难, 成像模糊, 使冷背景中的热斑看起来变冷, 但监测的主要目的是发现管路有无泄漏, 至于泄漏点的大小则并不是首要关注因素; 同时, 管路内介质一般为高温介质, 与外界温度的差距明显, 即使看起来变冷, 也依然

容易被发现。因此,当测量距离不能满足理想的条件时,首选拉近距离观测。对于情况(2),文献[9]已经明确指出,对工作在 $8\sim 13\ \mu\text{m}$ 的热像仪,随着附近物体温度的增加,测温误差缓慢增大;当环境温度 $T_h=550\ \text{K}$ 时,测温误差为 6.2% 左右。锅炉仓的环境温度在多数情况下必然小于 $550\ \text{K}$,测温误差必然比上述数值小,而且即使在该误差情况下,对定性判断也并无决定性的影响。对于情况(3),其他热源的存在不仅会对测量结果造成严重干扰,甚至直接影响到对监测结果的定性判断。如图 2 所示,拍摄对象为机舱的舱底管路。从热像图来看,可得出法兰接头处蒸汽泄漏的结论,而实际情况是法兰右侧高温管路渗出的蒸汽不断对法兰加热的结果,法兰本身并无泄漏。由于右侧高温管路的干扰,导致得出了完全错误的监测结论。



图 2 某船机舱的舱底管路热像图

对于情况(4),发射率的剧烈变化和镜面反射均会对监测造成严重干扰(图 3)。图 3 所拍摄的阀门位于日用锅炉炉体的外壳上,外壳由钢板制成,并使用喷涂工艺喷涂了油漆。相对于长波波段而言,其表面已十分光滑。由于阀门直接连通炉体内部,其温度远高于处于隔热层外部的炉体外壳。阀门所发出的热辐射在外壳上形成了镜像反射,外壳表面出现了阀体的倒影,很容易使人产生疑惑,影响判断。对于管道上的油污,有条件的情况下应尽量先除去油污再进行观测。对于可能产生镜面反射的物体,有条件时也应尽量使用擦拭布等进行遮蔽。虽然文献[1]指出水的发射率和油漆接近,在实验中难以分辨

出表面涂有油漆的管道的泄漏点,但在实际监测中发现,管道及阀门油漆的发射率不能一概而论,油漆的种类、稀释剂、固化剂的种类和添加比例、油漆的喷涂工艺对发射率均有影响。与此同时,除非是新装管路,在使用一段时间后,机舱内管路泄漏的液体或多或少会携带少许铁锈,而非纯水。因此在一般情况下,从管道、阀门渗出的液体与管道阀门上涂的油漆的发射率并不相同,再考虑到蒸发所带来的温差变化,即使管道阀门涂有油漆,也依然容易从热像图中分辨出来,如图 4 所示。图 4 为日用锅炉蒸汽回气管上的一个阀门,使用一段时间之后,阀杆和阀体之间的间隙在液体冲击、振动等作用下,逐渐增大,导致阀内的液体流出,流出的液体为含少许铁锈的水;虽然阀体表面涂有防锈漆、面漆两道油漆,但从图中仍可清晰看到液体渗出的情况。

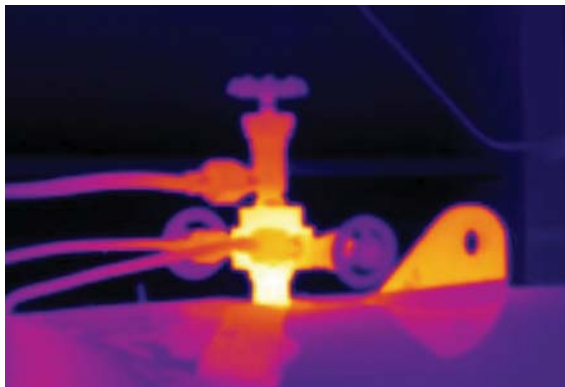


图 3 锅炉炉体表面的镜反射

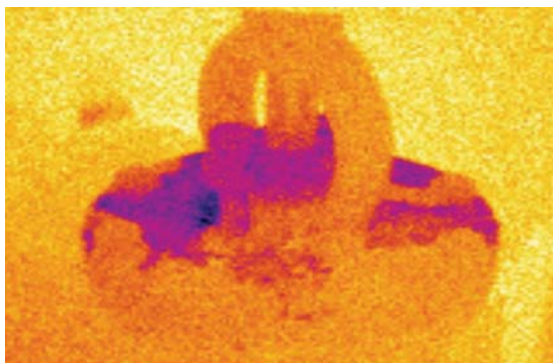


图 4 涂有油漆的阀门上渗出液体的热像图

(下转第 45 页)