

# 基于红外热成像技术气密检测仪的研制

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2017.06.008

万旺军<sup>1</sup> 高翔<sup>2</sup>  
王琛<sup>1</sup> 王广宇<sup>1</sup>  
张坤远<sup>1</sup>

1. 浙江出入境检验检疫局  
浙江 杭州 311215
2. 常州出入境检验检疫局  
江苏 常州 213022

**摘要:**为解决传统危险货物包装气密检测中存在的准确性低、易漏检、程序繁琐等问题,利用红外成像和控制技术,首次研制了一种新型红外热成像气密检测仪。介绍了检测仪的结构与工作原理,硬、软件的特征及性能指标,并设计了相应的检测方法和流程。测试结果表明:该设备具有响应速度快、温度分辨率高、非接触式测量的优点;能满足现行检测标准要求,检测过程的数字化水平和安全防护性能得到了较大提高;同时能对泄漏点进行准确定位,有利于对缺陷产品质量和生产工艺进行改进。

**关键词:** 红外热成像;气密检测仪;泄漏定位

**中图分类号:** TB487

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2017)06-0056-07

## 0 引言

危险货物包装质量不但影响所装货物的安全,还可能在运输、装卸等过程中造成对运输工具、环境设施的损害和污染,以及人员伤亡和财产毁损。因此,危险货物的良好包装是保护产品、保障运输安全的重要手段。目前,对于危险货物包装性能检验主要包括跌落试验、气密试验、液压试验、堆码试验、渗透性试验及封口试验等,这些测试对于保障危险货物运输安全十分重要。

我国现有危险货物包装气密检测标准,包括 GB 19270—2009《水路运输危险货物包装检验安全规范》、GB/T 21585—2008《危险品中型散装容器防渗漏试验方法》、SN/T 0370.2—2009《出口危险货物包装检验规程性能检验》等,均来源于联合国《关于危险货物运输的建议书规章范本》<sup>[1]</sup>中相关测试方法,对于密闭容器的气密检测方法是对试验样品施加一定压力后,选择以下3种方法之一进行检测:1)

将其置于水面以下保持规定的时间;2)用肥皂水涂抹试验样品的焊缝及连接部位;3)使用气压差试验法等以检测其渗漏性。这些测试方法一方面存在准确性低、易漏检、程序繁琐等缺陷;另外对于容量为50 L及以上中型散装容器和大型密闭容器进行气密检测时,则存在检测难度高、试验量大等问题,因此急需开发一种性价比高、高效、简便、智能的新型检测设备,对危险货物包装密闭容器泄漏情况进行检测。

红外成像技术又称红外热成像技术,它是用来测量物体表面温度分布状态的一种现代技术,即通过光学机械扫描系统,将物体发出的红外线辐射汇聚在红外探测器上,通过重新排列来自探测器的与景物辐射分布相对应的信号,形成红外热图像<sup>[2-4]</sup>。由于红外成像技术具有响应速度快、测量范围宽、无损、非接触测量等特点,已被广泛应用于许多领域<sup>[5-7]</sup>。在对危险货物包装密闭容器的气密性能进行检测时,

收稿日期:2017-10-07

基金项目:国家质量监督检验检疫总局科技计划基金资助项目(2016IK285),浙江出入境检验检疫局科技计划基金资助重点项目(2015-ZKZ-10)

作者简介:万旺军(1979-),男,江西南昌人,浙江出入境检验检疫局高级工程师,主要研究方向为危险货物包装与测试, E-mail: wwjie@sina.com

先向密闭容器内充入一定压力的气体, 利用气体在泄漏点泄露时与周围环境形成的温差, 借助热成像检测技术, 采集被测件充气前后的红外图像, 通过对图像处理和图像进行算法分析, 判定是否存在泄漏点, 并定位出泄漏点的位置。同时红外测温不接触被测物体, 不破坏温度场, 并以热图像的形式反映被测物体的二维温度场, 能够实现对不同规格危险货物包装密闭容器的准确检测, 而且红外成像软件系统还具有拍照和录像等功能, 检测结果直观, 有利于对检测结果的追溯和不合格产品工艺的改进。

本研究通过应用红外成像技术对危险货物包装密闭容器的气密性能进行检测, 设计了相应的检测方法和流程, 克服了传统危险包装气密检测方法的缺陷, 探索泄漏点定位效果最好的测试条件和方法, 实现了危险货物包装密闭容器的气密检测的准确定位和检测过程自动化、智能化, 检测结果更为科学、准确, 这对于提升我国出口包装产业整体水平、保障危险货物包装运输安全具有十分重要的现实意义。

## 1 仪器设计原理与结构

本文研制的红外热成像气密检测仪的设计原理是: 利用气体在泄漏点泄露时与周围环境形成的温差, 借助热成像检测技术, 通过红外相机采集密闭容器表面图像, 然后对图像进行算法分析, 判定是否存在泄漏点, 并定位出泄漏点的位置。

整个系统由运动与连接模块、控制模块、热成像模块、数据处理模块和试验仪框架等部分组成。该检测仪能够利用红外热成像技术, 采集被测件充气前后的红外图像, 通过对图像处理和分析并且持续监测及存储试验结果, 判断待测容器的实时情况。同时在该检测仪的左、右两侧分别安装了封板, 避免外界环境对检测过程的干扰。另外, 为保证检测气流的稳定, 选用氮气作为检测载气, 以确保检测气流的稳定和均一性。在控制模块的插头上串联紧急控制开关, 能在危急时刻进行紧急停止, 以保障操作人员的安全。红外热成像气密检测仪的设计原理如图 1 所示, 总体结构如图 2 所示。

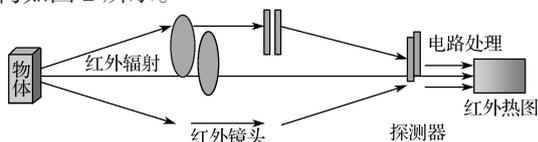


图 1 红外成像技术原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the infrared imaging technique

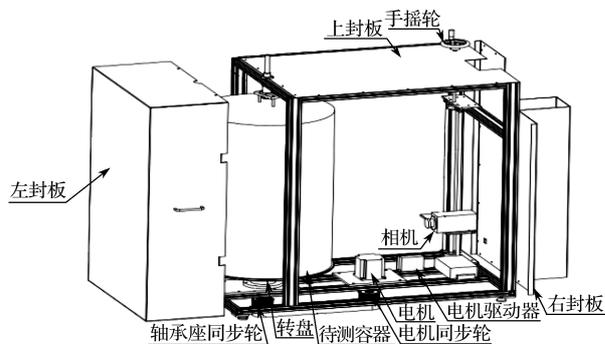


图 2 红外成像气密检测仪总体结构图

Fig. 2 The overall structure diagram of the infrared thermal imaging airtight detector

## 2 仪器部件的特征及性能指标

### 2.1 硬件部分

#### 2.1.1 运动与连接模块

该仪器试验模块包括待测容器、转盘、轴承座、按压转轴。根据目前危险货物包装检测样品情况, 选择了 200 L 闭口塑料桶作为待测容器。该待测容器上端与按压转轴固定连接, 按压转轴固定在试验仪框架的上封板上, 待测容器的下端通过转盘连接轴承座, 其中转盘主要用于支撑待测容器, 同时能够保证通气顺畅。对待测容器充入检测气体 (氮气) 进行试验测试, 从而保持气流的稳定和均一性<sup>[8]</sup>。在按压转轴、转盘与待测容器上设置密封圈, 防止气体意外泄漏, 密封圈材料为橡胶。

运动模块与热成像模块进行连接, 所述运动模块包括光轴、丝杆、手摇轮和固定板。其中光轴、丝杆分别通过光轴导向支座、丝杆轴承座固定在固定板上, 手摇轮嵌入在上封板上, 通过手动控制手摇轮来带动光轴和丝杆的运动, 从而调节相机的位置距离, 便于对待测容器的上中下位置进行检测。

整个热成像模块安装连接在光轴、丝杆上, 并可根据待测容器的大小进行距离调节, 保证了检测图像的清晰度。各相关部件透视图如图 3 所示。

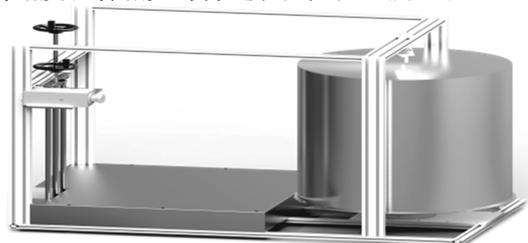


图 3 红外成像气密检测仪运动部件透视图

Fig. 3 Perspective of moving parts in the infrared thermal imaging airtight detector

### 2.1.2 控制模块

控制模块包括电源、电机、电机驱动器、电机同步轮、同步带及轴承座同步轮。其中电机同步轮和轴承座同步轮通过同步带连接，通过固定件固定在底板的下方。另外电源、电机、电机驱动器采用螺栓或铆钉固定在底板的上方。通过这种紧凑设计，能减小仪器占用的空间，尽量缩小仪器实际体积。上述轴承座同步轮与轴承座连接，电机与电机驱动器连接并接受其控制<sup>[9]</sup>。设备电源用于给整个系统供电，电机驱动器用于控制电机的运动，电机通过同步带带动电机同步轮和轴承座同步轮进行转动，从而带动待测容器进行旋转。在靠近电源一侧的支撑架上设置插头，插头与外部电源进行电性连接。控制模块的插头上串联紧急控制开关，能在危急时刻进行紧急停止，以保护操作人员安全<sup>[10]</sup>。控制模块还包括用于控制整个试验仪工作的主机和显示控制屏，选用华北工控 ATX 系列工控主板，配合 10.1 寸电容式液晶显示屏，安装 Windows7 操作系统。

### 2.1.3 热成像模块

红外成像系统是红外热成像气密检测仪开发的关键所在。任何物体只要其温度在绝对零度以上，都会辐射红外线，利用探测仪测定目标的本身和背景之间的温度差，就可以得到红外图像。红外热成像是通过红外辐射原理，利用检测目标物体表面的红外线能，将被测物体表面温度分布转为形象直观的热图像。红外成像系统是利用景物的红外辐射强度分布获取景物的图像信息，将人眼看不到的红外光线转换成可视图像。由于红外成像工作波段为长波段，比可见光的光辐射具有更强的穿透性，因此红外成像系统的作用距离更远，抗干扰能力更强<sup>[11]</sup>。

本检测仪热成像模块通过固定件固定在试验仪的右侧，在待测容器靠近热成像模块的一侧设置上、中、下 3 个泄漏点，热成像模块实时监测这 3 个泄漏点。所述热成像模块采用浙江大立科技股份有限公司生产的 DM63-F 热像相机。DM63-F 在线式前端测温型红外热成像相机是 384 × 288 像素非制冷焦平面在线式红外热像仪，检测波段为 8~14 μm，空间分辨率为 2.78 mrad，视场角为 51° × 38°，最小焦距 0.1 m，热灵敏度 ≤ 0.06 °C @ 30 °C，测温范围为 -20~650 °C（精度 ± 2 °C），环境工作温度为 -15~50 °C，图像存储为单帧图像格式。该产品结构紧凑、体积小、质量轻，具有灵敏度高、图像清晰、测温准确、控制

灵活等特点，能够保证本检测仪检测的灵敏度和准确性。红外热像相机部件说明如图 4 所示。

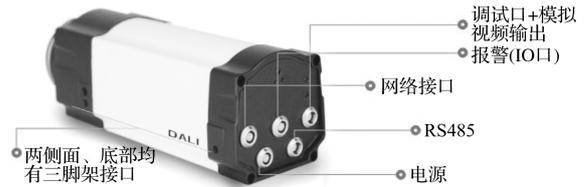
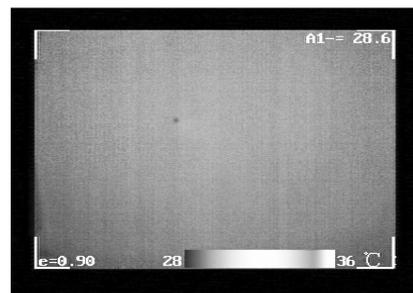


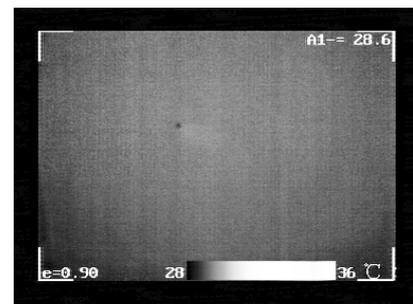
图 4 DM63-F 在线式前端测温型红外热像相机  
Fig. 4 The DM63-F on line front end temperature measuring infrared thermal camera

### 2.1.4 数据处理模块

数据处理模块设置在热成像模块内，通过处理热成像模块采集的图像信息，来判断待测容器的实时情况。数据处理模块即采用专门的数据采集卡内置于试验仪框架内，通过采集卡采集图像，借助热成像检测技术来判定待测容器是否泄漏，并准确定位出泄漏点的位置。图 5 为热成像图像处理前后对比。



a) 原图像



b) 处理后的图像

图 5 热成像图像处理前后对比

Fig. 5 Comparison of thermal imaging before and after image processing

## 2.2 软件部分

本检测仪的控制系统软件采用 LabVIEW<sup>[12]</sup> 编写，程序稳定性高。LabVIEW 被视为一个标准的数据采集和仪器控制软件，集成了满足 GPIB、VXI、RS-232 和 RS-485 协议的硬件及数据采集卡通讯的全部功能，被广泛应用于工业界、学术界和研究实验室。

同时它还内置了便于应用 TCP/IP、ActiveX 等软件标准的库函数, 是一款功能强大的开发工具, 能够实现对检测过程实时记录, 包括操作人员、测试环境、参数设置、结果计算和数据存储等, 其试验参数设置界面如图 6 所示。



图 6 参数设置界面

Fig. 6 The parameter setting interface

### 3 仪器部件的选用与装配

#### 3.1 电机与同步传动系统装配

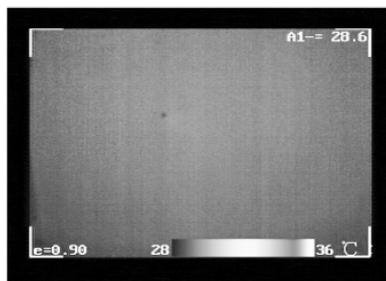
本检测仪选用德国西门子高速直流无刷电机及其同步轮, 其最高转速可达 2 000~3 000 r/min; 电机同步轮和轴承座同步轮都通过固定件固定在底板下, 并通过同步带相互连接; 电源、电机、电机驱动器固定在底板上, 并采用螺栓或铆钉将其固定。这样设置使仪器结构紧凑。轴承座同步轮与轴承座连接, 电机与电机驱动器连接, 并受其控制。设备电源用于给整个系统供电, 电机驱动器用于控制电机的运动, 电机通过同步带带动电机同步轮和轴承座同步轮进行转动, 从而带动待测包装件旋转。在靠近电源一侧的支撑架上设置插头, 与外部电源进行连接。同时在控制模块的插头上串联紧急控制开关, 能在危急时刻进行紧急停止, 以最大限度地保证操作人员安全。

#### 3.2 红外热成像采集与处理

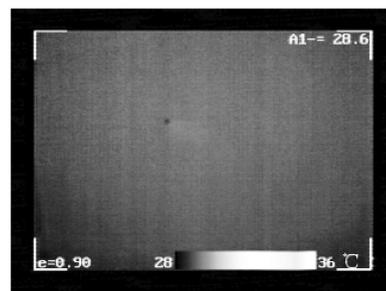
热成像模块通过固定件固定在本检测仪的右侧, 设置上、中、下 3 个泄漏点; 数据处理模块设置在热成像模块内; 数据采集卡内置于检测仪框架内。检测时通过红外相机采集被测密闭容器充气前后表面图像, 对图像进行算法分析处理并持续监测, 用于判定是否存在泄漏点。如发生泄漏能准确定位出泄漏点位置并存储检测结果。热成像模块采用浙江大立科技股份有限公司生产的 DM63-F 热像相机。

本红外热成像气密检测仪的软件系统采用 LabVIEW 编写, 用户可根据试验要求对参数进行设置。检测时利用红外热成像技术, 采集被测密闭容器

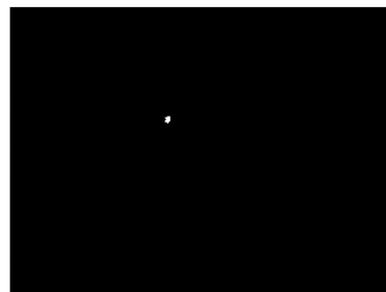
充气前后的红外图像, 实现持续监测。通过对图像处理和分析<sup>[13]</sup>, 找出泄漏位点, 同时将监测结果存储在硬盘中, 便于客户随时查阅。如有需要, 还可对数据进行一致性分析等。采集后的图像处理结果如图 7 所示。



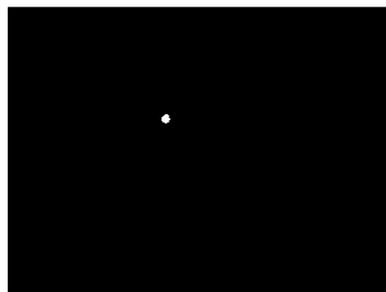
a) 原始图像



b) 灰度图像



c) 二值化图像



d) 处理后图像

图 7 红外成像图像的采集与处理结果

Fig. 7 The result of infrared image acquisition and processing

#### 3.3 安全防护措施

本检测仪框架包括底板、支撑架和上封板。其中

底板靠近地面的一侧设置垫脚，另一端设置橡胶垫起缓冲作用，以降低可能的外界震动对检测仪的影响。按压转轴、转盘与待测容器上设置密封圈，防止气体意外泄漏。控制模块的插头上串联紧急控制开关，能在危急时刻进行一键紧急停止。这些措施能有效保证检测过程中操作人员的安全。

#### 4 验证测试与分析

在红外热成像气密检测仪样机研制完成后，采用 200 L 闭口塑料桶对该样机进行测试验证，评估其检测的准确性和稳定性。具体测试操作按照以下流程进行：

- 1) 将试样放入样机中，并与充气接头相连接。同时根据 II 类危险货物包装检测要求设置试验参数，将氮气瓶压力调到 0.2~0.3 MPa，待充气结束后开启红外成像相机按钮；
- 2) 充气完成后关闭手动阀门，等待计时完毕后，点击操作软件进行图像采集、处理；
- 3) 如仪器未发现泄漏点，点击界面上“继续”按钮，由电机带动试样转到另一个方向，再次点击“采集图像”按钮进行图像采集；
- 4) 如仪器发现泄漏点，点击“确定”按钮，界面跳转到人工标定界面，可根据相机采集泄漏点的位置，对照标定界面中泄漏点状态寻找泄漏点，用记号笔在容器上标记泄漏点位置，标定结束后，点击“标定结束”按钮。然后可选择继续查找或结束试验。

由于危险货物包装气密测试只是作出合格与否判定，不涉及具体检测数值，按照以上流程通过 5 次测试，本红外成像气密检测仪均能发现试样泄漏点并准确定位，结果一致性较好。气密检测操作如图 8 所示，具体参数设置与图像采集如图 9 所示。



图 8 气密检测操作图

Fig. 8 The verification operation picture of the air tightness testing



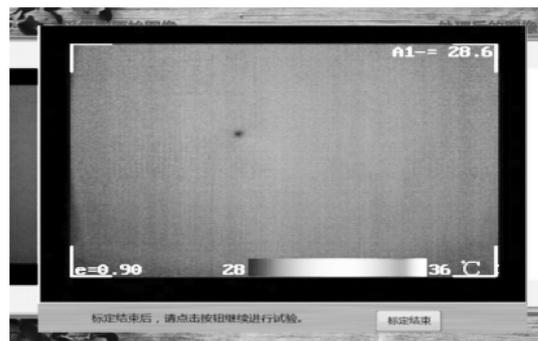
a) 设置试验参数



b) 设置红外成像时长



c) 图像采集



d) 泄漏点定位

图 9 气密检测参数设置及图像采集

Fig. 9 Parameter setting and image acquisition of the air tightness testing

## 5 结语

针对传统的密闭容器泄漏的检测方式无法满足检测定位泄漏点的技术要求, 本研究设计开发了一种精度高、易操作、使用安全的红外热成像气密检测仪。该仪器具有以下性能:

1) 选用的红外成像相机灵敏度高, 在日常测试温度范围(-15~50℃)内能持续满足检测精度的要求, 测试环境的温度变化不会对检测检测结果产生影响;

2) 设计的机械移动装置, 可手动也可自动控制, 便于对待测容器的上、中、下3个泄漏点位置进行检测, 保证红外成像相机能全方位实时监测密闭容器的封闭性;

3) 选用的数据采集卡内置于本检测仪框架内, 通过采集卡采集图像, 借助热成像检测技术来判定待测容器是否泄漏, 并定位出泄漏点的位置;

4) 本检测仪框架采用铝型材, 并加装橡胶垫, 能降低外界震动和环境干扰对检测结果的影响;

5) 以氮气为测试载气, 以保证测试过程气流稳定。同时在接口处设置橡胶密封圈, 可防止气体意外泄漏;

6) 设置一键急停按钮, 在检测出现意外的情况下可直接断电, 以保障测试人员的安全。

### 参考文献:

- [1] 联合国. 关于危险货物运输的建议书规章范本 [M]. 19 版. 纽约: 联合国出版社, 2015: 190-195.  
United Nations. Recommendations on the Transport of Dangerous Goods Model Regulations[M]. 19th ed. New York: United Nations Publication, 2015: 190-195.
- [2] 李家琨, 金伟其, 王霞, 等. 气体泄漏红外成像检测系统的性能测试方法研究 [J]. 北京理工大学学报, 2016, 36(6): 630-634.  
LI Jiakun, JIN Weiqi, WANG Xia, et al. Research on Performance Measurement Method of Gas Leak Infrared Imaging Detection System[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2016, 36(6): 630-634.
- [3] 李家琨. 气体泄漏被动式红外成像检测理论及方法研究 [D]. 北京: 北京理工大学, 2015.  
LI Jiakun. Research on the Theory and Method of Passive Gas Leak Infrared Imaging Detection[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2015.
- [4] 范晋祥, 杨建宇. 红外成像探测技术发展趋势分析 [J]. 红外与激光工程, 2012, 41(12): 3145-3153.  
FAN Jinxiang, YANG Jianyu. Development Trends of Infrared Imaging Detecting Technology[J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(12): 3145-3153.
- [5] 曹海洋, 王宏震, 李清川. 基于红外成像技术的电气设备外部热故障在线检测与诊断 [J]. 煤矿机械, 2014, 35(3): 224-226.  
CAO Haiyang, WANG Hongzhen, LI Qingchuan. On-Line Detection and Diagnosis of External Thermal Faults of Electrical Equipment Based on Infrared Imaging Technology[J]. Coal Mine Machinery, 2014, 35(3): 224-226.
- [6] 余曼丽, 潘伟, 朱若寒. 红外成像检测技术在工程中的应用及其发展 [J]. 建材世界, 2007, 28(3): 51-54.  
YU Manli, PAN Wei, ZHU Ruohan. Application of IR Thermograph and Its Development in Engineering[J]. The World of Building Materials, 2007, 28(3): 51-54.
- [7] 杨玥. 红外成像技术在 SF<sub>6</sub> 设备带电检漏中的应用研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2014.  
YANG Yue. Analysis on the Infrared Imaging Technology in the Leak Detection of SF<sub>6</sub> Charged Equipment[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2014.
- [8] 蔡茂林. 现代气动技术理论与实践第二讲: 固定容积的充放气 [J]. 液压气动与密封, 2007(3): 43-47.  
CAI Maolin. Modern Pneumatic Technology Theory and Practice Second Lecture: Fixed Volume Cavity Inflation and Deflation[J]. Hydraulics Pneumatics and Seals, 2007(3): 43-47.
- [9] 杨丽红, 叶骞, 刘成良. 等温容器放气法测定气动电磁阀流量特性的研究 [J]. 机械科学与技术, 2005, 24(10): 1169-1172.  
YANG Lihong, YE Qian, LIU Chengliang. Study on Measuring Flow Rate Characteristics of Pneumatic Solenoid Valves by Isothermal Chamber Discharge[J]. Mechanical Science and Technology, 2005, 24(10): 1169-1172.
- [10] 李心耀, 陈文颖, 赵宝忠. 离心场下电液伺服振动装置液压系统的关键技术 [J]. 液压与气动, 2016(9): 109-113.  
LI Xinyao, CHEN Wenyong, ZHAO Baozhong. Key Techniques of Hydraulic System for Electro-Hydraulic Servo Vibration Device in Centrifugal Field[J]. Hydraulic and Pneumatic, 2016(9): 109-113.
- [11] 李煜, 白丕绩, 陶禹, 等. 应用于红外成像导引头的非制冷焦平面探测器 [J]. 红外技术, 2016, 38(4): 280-289.

- LI Yu, BAI Piji, TAO Yu, et al. Uncooled Focal Plane Arrays Detector Applied for Infrared Imaging Seeker[J]. Infrared Technology, 2016, 38(4): 280-289.
- [12] 李士钊. 基于 LabVIEW 的多通道数据采集分析系统设计分析 [J]. 通信电源技术, 2016, 33(3): 95-96.
- LI Shizhao. Design of Multi-Channel Data Acquisition and Analysis System Based on LabVIEW[J]. Telecom Power Technology, 2016, 33(3): 95-96.
- [13] 譙涵丹, 富容国, 王贵圆. 红外与微光融合图像的多尺度色彩传递算法 [J]. 红外技术, 2016, 38(2): 157-162.
- QIAO Handan, FU Rongguo, WANG Guiyuan. Multi-Resolution Color Transfer Algorithm for Fusion Image of Infrared and Low-Level Light[J]. Infrared Technology, 2016, 38(2): 157-162.

## Development of Airtight Detection Device Based on Infrared Imaging Technique

WAN Wangjun<sup>1</sup>, GAO Xiang<sup>2</sup>, WAN Chen<sup>1</sup>, WANG Guangyu<sup>1</sup>, ZHANG Kunyuan<sup>1</sup>

( 1. Zhejiang Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Hangzhou 311215, China;  
2. Changzhou Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Changzhou Jiangsu 213022, China )

**Abstract:** In order to solve the problems of low accuracy, leakiness and tedious processing existing in traditional airtight testing of dangerous goods packaging, a new type of infrared imaging airtight detector has been developed for the first time by using infrared imaging and controlling technology. The structure and working principle of the detector were introduced with the characteristics and performance indicators of its hardware and software described, while the corresponding detection method and process were established. The results showed that the device had the advantages of quick response speed, high temperature resolution and non-contact measurement, which could completely satisfy the requirement of the current testing standard, with the testing process of digital levels and safety performance improved. In the meanwhile, it could accurately locate the leak point of the packaging, which could help to improve the quality of defective products and process.

**Keywords:** infrared thermal imaging; airtight detector; leakage locating