

文章编号:1005-0523(2012)01-0086-04

基于主动热成像技术的苹果表面缺陷分类方法

周建民,张瑞丰

(华东交通大学机电工程学院,江西 南昌 330013)

摘要:针对苹果在分级中缺陷检测及缺陷种类的判断,提出了苹果的擦伤、撞伤、虫孔及腐烂等缺陷检测方法,利用红外热像图中的线轮廓温度曲线来判断果梗、花萼;主动加热过程中虫孔处与果体外温差相对较小,擦伤、撞伤及腐烂处的导热系数不同,从而导致其在红外热像图中对应表面上的点的温度随时间的变化曲线也不相同,据此提出了利用温度变化曲线来区分不同缺陷种类的方法。

关键词:苹果;缺陷;分类;热成像

中图分类号:TP391.41;S126

文献标志码:A

苹果的分级技术一直以来都是农产品加工中的重要步骤之一。目前常用的是基于可见光检测技术^[1-2]和建立水果空间模型的技术^[3],这些检测技术可以检测比较严重的缺陷,但苹果的早期机械损伤、深度颜色的缺陷果以及水果表面斑所造成的干扰却很难识别^[4]。这些方法的局限性就在于苹果缺陷特征必须非常的明显,因此寻求一种能够减少水果表面其他因素的干扰,准确识别水果缺陷特征的方法就具有非常现实的意义。主动红外热成像技术具有高灵敏度、非接触式、实时与快速的检测特性。由于水果缺陷部位与正常部位的热传导率不同,在热激励的作用下这两个区域表面就会出现温度差异,这就为利用主动红外热成像技术检测苹果缺陷和实现苹果的缺陷分类提供了理论依据和可能。

1 检测原理

红外热成像技术是利用物体因自身各部分温度差异,其向外的红外热辐射存在不同,把物体不可见的热辐射情况转换为可视化热像图的技术^[5]。自然界中,凡高于绝对温度零度的任何物体都会不停地向外界辐射红外电磁波。对于均匀表面,如果物体内部温度相同,则理论上其向外辐射的电磁波(表现为红外辐射能量)就应相同。但如果物体表面或内部存在缺陷,则理论上其内部温度也会存在一定的差异,这种差异必然导致其表面温度场也存在差异,从而向外辐射的红外能量也会存在差异。红外热成像检测技术就是利用物体发射的红外波段对物体内的缺陷进行检测。

物体被周期或脉冲热源加热后,在趋于热平衡的过程中,其表面温度场的三维变化方式既与物体材料的性质有关,同时也与其内部结构和材质的不均匀性有关^[6]。根据热辐射理论,物体的材料特性、几何边界形状和边界条件决定了热波的传播方式。不同材料表面及表面下的物理特性以及相同材料的材质不均匀性将影响热波的传输。如图1

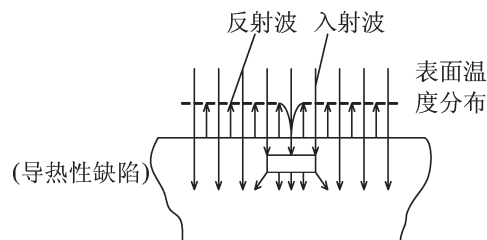


图1 物体内部缺陷的热传导过程示意图
Fig.1 Schematic diagram of thermal conduction in inner defect

收稿日期:2011-11-07

基金项目:江西省自然科学基金项目(2010GQS0040);江西省教育厅科技项目(GJJ11430);江西省科技支撑计划项目(2010BNA05500)

作者简介:周建民(1975—),男,副教授,博士,研究方向为电无损检测技术。

所示,大多数情况下,材料内部局部的缺陷将导致非均匀热传播,此时热波将会发生散射和反射等,这种散射和反射会造成红外辐射的差异,这种差异会在材料表面的温度场变化上反映出来,这种温度场变化载有材料的缺陷特征信息,利用红外热成像技术记录材料表面的温度图像,即可以达到检测和探伤目的^[6-9]。

由此可见,通过热像仪接收来自物体的辐射,从而测定物体表面的温度场分布,然后根据温度场的异常分布情况可以识别物体内部是否存在缺陷。

2 材料与实验设计

2.1 实验平台的构建

如图2所示,实验设计的检测装置包括1台红外热像仪,2个250 W的红外灯。红外热像仪为加拿大加创公司生产的IR970型,视场角 $20.4^{\circ} \times 15.4^{\circ}$,波长范围 $8 \sim 14 \mu\text{m}$,在 30°C 时热灵敏度为 0.1°C ,空间分辨率为 1.1 mrad 。为保证苹果受热的均匀性,2个红外灯对称放置,互成 90° 分布,离苹果表面为 0.8 m ,红外热像仪的镜头离苹果表面为 1 m 。为防止外界环境的热噪声干扰,将采集箱内壁涂黑以降低热反射,采集箱开有采集口以方便红外辐射、主动热激励及红外热像仪采集信息。

2.2 实验方法

采用人工模拟的方法,将购买回来的苹果置于室内 26°C ,85%湿度24 h,将苹果从 0.5 m 高投到光滑的混凝土地面上形成早期的机械损伤。在苹果表面用直径为 2 mm 的铁丝制造出深度为 1 cm ,直径为 2 mm 的孔洞。用钥匙在苹果表面轻划模仿苹果擦伤的情况,然后放置于温度为 3°C 的环境中24 h,瘀伤发展。腐烂的苹果则由瘀伤发展到较长时间后形成。

在70%湿度, 26°C 的环境中,用红外灯加热60 s。停止加热,利用红外热像仪记录缺陷处的热图像,实验采集图像的速度为每30 s采集一张。

3 结果分析

如图3所示,从采集到的红外图像看,有缺陷的苹果部位与无缺陷部位的热传导系数不同,从而导致这两个地方的温度有差异。首先利用温度曲线来判断苹果是否有缺陷,有缺陷的地方温度比无缺陷地方的温度低,所以曲线存在下降。苹果由于其特殊的构造,在果梗和花萼地方也存在于类似的情况,可能造成误判,因此需要加以单独判断。

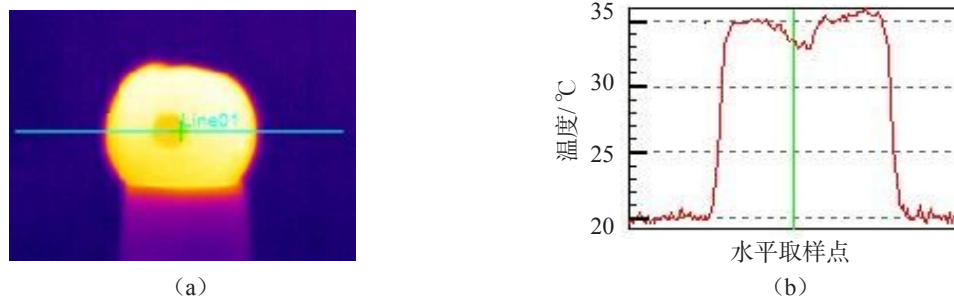


图3 苹果损伤水平轮廓温度曲线分布图
Fig.3 Distribution of temperature of horizontal contour of damage in apple

苹果果梗与花萼和苹果其他部位的材料不同,导热系数也就不同,所以在热像图中,果梗、花萼的温度要比果体低很多,在图4中可以看到直线从果体到“晕环”处,温度是一个下降的过程,而再往右时,温度出

现了急剧下降,再往右温度曲线与左边大致上是对称的。而缺陷部位的温度曲线没有像果梗和花萼部位的温度有一个二次下降的过程。由此,我们可以在热像图中配合温度曲线就可以分辨出缺陷的所在位置。

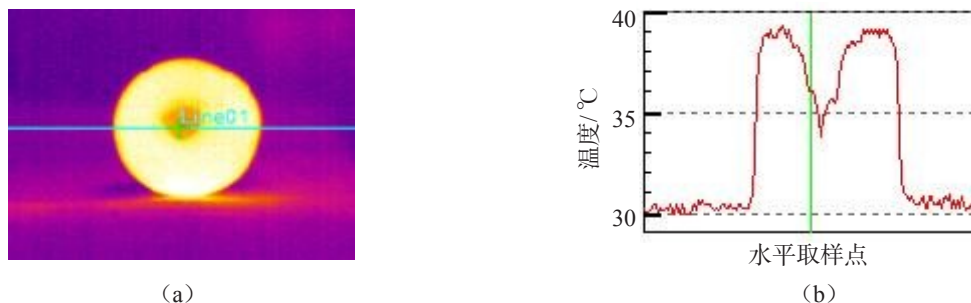


图4 苹果的水平轮廓温度曲线分布图

Fig.4 Distribution of temperature of horizontal contour of pedicle in apple

虫孔一般比较小,在加热的情况下,由于孔洞里是空气与果体的热传导率有很大的差别。虽然在果体上虫孔的温度曲线和果梗与花萼的差不多,但由于空气的热传导率为 $0.024 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{k})^{-1}$,而苹果组织的热传导率为 $0.55 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{k})^{-1}$ 。因此可以从温差方面来识别虫孔,如图5所示,可以看出温差大概在 $0 \sim 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内。

擦伤与撞伤、腐烂的区别就是擦伤的图像一般都是长而细,而撞伤、腐烂所呈现的往往是圆形或者是椭圆形,而且面积比擦伤的要大很多,在图像处理中很难辨别,只能看出缺陷的轮廓,不能辨别是那种缺陷。所以在这里可以利用缺陷处材料的导热系数不同,在升温 and 降温的过程中,不同的材料升温 and 降温的幅度肯定是不一样的,所以可以利用材料的升温降温曲线来定性的描述所对应的缺陷。在降温过程中,因为苹果的含水量是很高的,从而在降温过程中温度下降的幅度与材料的含水量有很大的关系,也和苹果的表皮厚度有很大的关系,苹果的表皮就相当于一层保护膜,所以综合两方面的因素。

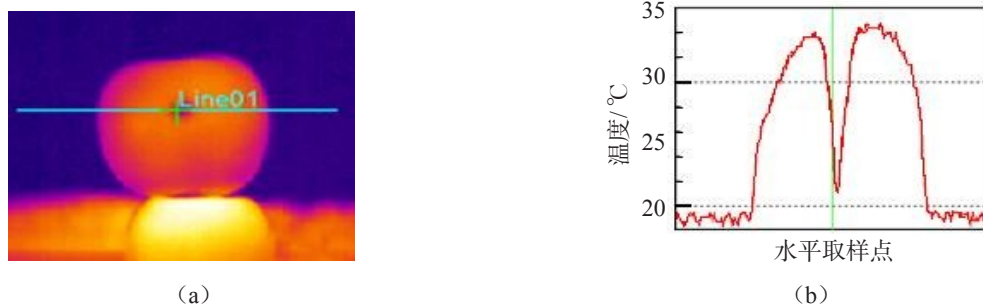


图5 苹果虫孔水平轮廓温度曲线分布图

Fig.5 Distribution of temperature of horizontal contour of wormhole in apple

由图6可以看出,对于不同的缺陷所对应的降温曲线是不同的。首先,无缺陷的苹果表面的在受热的过程中温度相比于缺陷处是最高的,而且在刚开始降温过程中,温度下降地很快,这是由于当撤掉热源时,苹果表面温度和室温的相差是最大的,所以冷却地比较快,而当表面温度和室温差别缩小时,降温的幅度减缓。其次,对于撞伤、擦伤、腐烂缺陷处在撤出热源后,温度都低于无缺陷的地方,由曲线的下降趋势来看,温度下降的快慢是腐烂处下降速率是最快的,其次是擦伤处,最慢的是撞伤处。

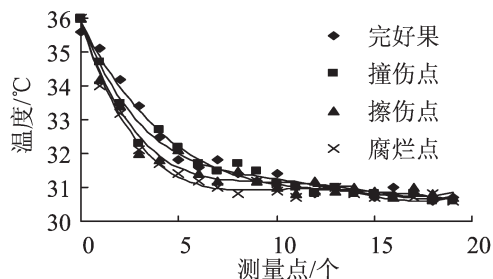


图6 不同缺陷温度下降曲线图

Fig.6 Descending curve of temperature of different defects

4 结论

利用红外热成像技术对苹果不同缺陷种类的研究,发现有缺陷部位所对应表面的温度与果体的温度有着明显的差别。可以通过热像图和温度曲线判别出果梗、花萼与缺陷。从各种缺陷不同的特征来判别出不同种类的缺陷。虫孔处的温度与空气的温度差别最小,利用温差范围就可以来判断。

红外热成像技术的原理就是利用不同材料在热激励的作用下由于材料的导热系数不同而导致所对应的温度不同,所以在判断表面所形成的缺陷轮廓差不多的情况下,可以利用温度曲线定性判断缺陷的类型。

参考文献:

- [1] 籍保平,吴文才. 计算机视觉苹果分级系统[J]. 农业机械学报,2000,31(6):118-121.
- [2] 刘禾,汪懋华. 基于数字图像处理的苹果表面缺陷分类方法[J]. 农业工程学报,2004,20(6):138-140.
- [3] 李甦,谭永龙,杨美英. 水果分级与表面缺陷检测研究[J]. 计算机工程与设计,2008,29(15):3594-3597.
- [4] 周建民,周其显. 基于主动热成像技术的苹果早期机械损伤检测[J]. 农机化研究,2010,32(8):162-165.
- [5] 宋玉伟,宋纯鹏. 红外成像技术在生命科学中的应用[J]. 生命科学研究,2004,8(2):121-125.
- [6] 赵石彬,赵佳,张存林,等. 红外热波无损检测中材料表面下缺陷类型识别的有限元模拟及分析[J]. 应用光学,2007,28(5):559-563.
- [7] BARANOWSKI P, LIPECKI J, MAZUREKW, et al. Detection of watercore in 'Gloster' apple using thermography [J]. Post-harvest Biol And Technol, 2008,47(3):358-366.
- [8] BARANOWSKI P, MAZUREK W. Detection of physiological disorders and mechanical defects in apples using thermography [J]. Int Agrophysics,2009(23):9-17.
- [9] BARANOWSKI P, MAZUREKW. Detection of early apple bruises using pulsed-phase thermography[J]. Postharvest Biology and Technology,2009(53):91-100.

Classification of Apple Surface Defect Based on Active Thermal Imaging Technology

Zhou Jianmin, Zhang Ruifeng

(School of Mechanical and Electrical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Aiming at defect detection and defect types judgment in the classification of apple, this paper proposes a method which can detect the defects of the apple including its bruise, scratch, wormholes and decay. The outline temperature curve in infrared thermogram is used to judge pedicle and calyx. Temperature difference between wormholes and apple body is relatively small in active heating process. Thermal conductivity coefficients of bruise, scratch and decay are different, which leads to different temperature corresponding points in infrared thermogram with changing time curve. Temperature change curve is used to distinguish different methods.

Key words: apple; defect; classification; thermal imaging