



5943343

04130  
0001

;\$



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111524146 A

(43)申请公布日 2020.08.11

(21)申请号 202010287693.2

G06T 5/00(2006.01)

(22)申请日 2020.04.13

G01J 5/00(2006.01)

(71)申请人 同济大学

地址 200092 上海市杨浦区四平路1239号

(72)发明人 罗为 许鹏

(74)专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限公司 31225

代理人 蔡彭君

(51)Int.Cl.

G06T 7/11(2017.01)

G06T 7/13(2017.01)

G06T 7/136(2017.01)

G06T 7/187(2017.01)

G06T 7/90(2017.01)

G06T 7/00(2017.01)

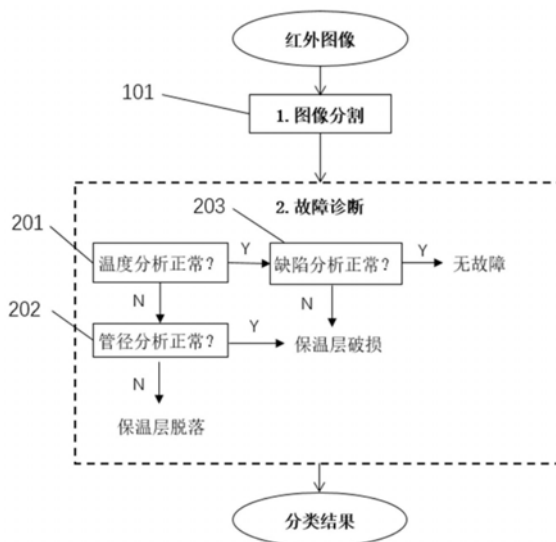
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

基于红外图像的暖通空调热水管道故障诊断方法及系统

(57)摘要

本发明涉及一种基于红外图像的暖通空调热水管道故障诊断方法及系统,其中方法包括:获取指定红外摄像头采集的原始红外图像;对原始红外图像进行阈值处理得到二值化图像,保留经阈值处理后的图像中的最大连通域;对保留最大连通域的经阈值处理后的二值化图像进行除噪,得到新的图像中的最大连通域作为水管区域二值图像;建立水管区域二值图像和原始红外图像的对应关系,并将原始红外图像中除水管区域以外的部分所有像素颜色均修改为黑色,得到目标红外图像;基于目标红外图像进行故障诊断。与现有技术相比,本发明通过水管区域二值图像对原始红外图像进行处理,并基于目标红外图像进行诊断,可以基于红外传感器实现暖通空调热水管道的监控及诊断。



1. 一种基于红外图像的暖通空调热水管道故障诊断方法,其特征在于,包括:
  - 获取指定设备采集的原始红外图像;
  - 对原始红外图像进行阈值处理得到二值化图像,保留经阈值处理后的图像中的最大连通域;
  - 对保留最大连通域的经阈值处理后的二值化图像进行除噪,得到新的图像中的最大连通域作为水管区域二值图像;
  - 建立水管区域二值图像和原始红外图像的对应关系,并将原始红外图像中除水管区域以外的部分所有像素颜色均修改为黑色,得到目标红外图像;
  - 基于目标红外图像进行故障诊断。
2. 根据权利要求1所述的一种基于红外图像的暖通空调热水管道故障诊断方法,其特征在于,所述除噪的过程能具体为对图像中的像素先进行闭操作、再进行开操作。
3. 根据权利要求1所述的一种基于红外图像的暖通空调热水管道故障诊断方法,其特征在于,所述故障诊断包括温度分析:
  - 建立原始红外图像中颜色与温度的对应关系;
  - 获取目标红外图像中水管区域的温度值,计算得到水管区域温度的最大值 $t_m$ 、平均值 $\mu$ 和标准差 $\sigma$ ;
  - 判断 $t_m > \mu + 3\sigma$ 是否成立,若为是,则温度存在异常,反之,温度正常。
4. 根据权利要求3所述的一种基于红外图像的暖通空调热水管道故障诊断方法,其特征在于,所述故障诊断还包括管径分析:
  - 当温度分析的结果为温度存在异常时,旋转水管区域二值图像为使水管为水平/竖直;
  - 统计旋转后的列/行方向像素值为1的坐标点个数,将其作为列/行方向的管径;
  - 从第1列/行开始,计算第j列/行管径与第j+p列/行管径的差值,其中,p为设定的步长;
  - 将差值最大值记为 $D_m$ ,其所在列/行数为m,将差值最小值记为 $D_n$ ,其所在列/行数为n;
  - 判断 $D_m > k$ ,  $||D_m| - |D_n|| < a$ 且 $m < n$ 是否成立,其中k和a为设定的阈值,若为是,则输出保温层脱落故障。
5. 根据权利要求3所述的一种基于红外图像的暖通空调热水管道故障诊断方法,其特征在于,所述故障诊断还包括缺陷分析:
  - 当温度分析的结果为温度正常时,基于水管区域二值图像提取水管外部边缘,并进行膨胀操作,将处理结果记为H;
  - 提取目标红外图像的蓝色分量 $I_s$ ,采用边缘提取算法提取水管外部和内部边缘,将处理结果记为I;
  - 计算得到水管内部边缘 $K = I - H$ ;
  - 连接水管内部边缘中的断裂部分,填充闭合边缘形成的孔洞,减去K获得填充区域;
  - 计算填充区域面积S和最高温度 $t_s$ ,判断填充区域面积是否大于0,且 $t_m$ 与 $t_s$ 的差值是否小于设定的阈值,若均为是,输出管道保温层破损故障。
6. 一种基于红外图像的暖通空调热水管道故障诊断系统,其特征在于,包括红外摄像头和电子设备,所述红外摄像头和与电子设备连接,所述电子设备执行程序时实现以下步骤:
  - 获取指定红外摄像头采集的原始红外图像;

对原始红外图像进行阈值处理得到二值化图像,保留经阈值处理后的图像中的最大连通域;

对保留最大连通域经阈值处理后的二值化图像进行除噪,得到新的图像中的最大连通域作为水管区域二值图像;

建立水管区域二值图像和原始红外图像的对应关系,并将原始红外图像中除水管区域以外的部分所有像素颜色均修改为黑色,得到目标红外图像;

基于目标红外图像进行故障诊断。

7. 根据权利要求6所述的一种基于红外图像的暖通空调热水管道故障诊断系统,其特征在于,所述除噪的过程能具体为对图像中的像素先进行闭操作、再进行开操作。

8. 根据权利要求6所述的一种基于红外图像的暖通空调热水管道故障诊断系统,其特征在于,所述故障诊断包括温度分析:

建立原始红外图像中颜色与温度的对应关系;

获取目标红外图像中水管区域的温度值,计算得到水管区域温度的最大值 $t_m$ 、平均值 $\mu$ 和标准差 $\sigma$ ;

判断 $t_m > \mu + 3\sigma$ 是否成立,若为是,则温度存在异常,反之,温度正常。

9. 根据权利要求8所述的一种基于红外图像的暖通空调热水管道故障诊断系统,其特征在于,所述故障诊断包括管径分析:

当温度分析的结果为温度存在异常时,旋转水管区域二值图像为使水管为水平/竖直;

统计旋转后的列/行方向像素值为1的坐标点个数,将其作为列/行方向的管径;

从第1列/行开始,计算第j列/行管径与第j+p列/行管径的差值,其中,p为设定的步长;

将差值最大值记为 $D_m$ ,其所在列/行数为m,将差值最小值记为 $D_n$ ,其所在列/行数为n;

判断 $D_m > k$ ,  $||D_m| - |D_n|| < a$ 且 $m < n$ 是否成立,其中k和a为设定的阈值,若为是,则输出保温层脱落故障。

10. 根据权利要求8所述的一种基于红外图像的暖通空调热水管道故障诊断系统,其特征在于,所述故障诊断还包括缺陷分析:

当温度分析的结果为温度正常时,基于水管区域二值图像提取水管外部边缘,并进行膨胀操作,将处理结果记为H;

提取目标红外图像的蓝色分量 $I_s$ ,采用边缘提取算法提取水管外部和内部边缘,将处理结果记为I;

计算得到水管内部边缘 $K = I - H$ ;

连接水管内部边缘中的断裂部分,填充闭合边缘形成的孔洞,减去K获得填充区域;

计算填充区域面积S和最高温度 $t_s$ ,判断填充区域面积是否大于0,且 $t_m$ 与 $t_s$ 的差值是否小于设定的阈值,若均为是,输出管道保温层破损故障。

## 基于红外图像的暖通空调热水管道故障诊断及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及暖通空调热水管道维保领域,尤其是涉及一种基于红外图像的暖通空调热水管道故障诊断及系统。

### 背景技术

[0002] 随着城市面积和人口的逐渐增加,暖通空调系统作为建筑节能中重要的一环,变得越来越不容忽视。在暖通空调系统的长时间运行后,其热水管道难免会出现漏水、保温层破损、保温层脱落等故障。如果发生故障后维护检修不及时,将带来大量的能源浪费,并导致室内舒适度下降等不良后果。由此可见,暖通空调热水管道的故障检测与诊断是降低建筑能耗,保证室内舒适度的重要手段。

[0003] 红外热成像技术具有无接触、部署简单的优点,已被应用于一些气体泄漏测量,例如中国专利CN 107121238 A公开了一种用于高温气体管道的高处气体泄漏检测方法,所述方法包括下列步骤:通过携带热成像仪的飞行器对高温气体管道进行拍摄;根据热成像仪拍摄的图片确定高温气体的泄漏位置和泄漏面积,并确定高温气体管道所处的环境温度;根据泄漏位置、泄漏面积和环境温度,进行模拟试验,确定高温气体管道的泄漏热量。理论上若将其应用于热水管道的故障检测也是可行的,可以在热水管道发生故障时,捕捉其表面温度分布的异常,成为检测此类故障的有效手段。但是不同于泄漏检测,对于暖通空调热水管道的故障诊断要求更高,需要在一些管道未破损的情况下也发生故障,传统的处理过程在计算机处理过程中效率较低。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的就是为了解决上述现有技术存在的缺陷而提供一种基于红外图像的暖通空调热水管道故障诊断及系统,通过程序和红外传感器实现对于暖通空调热水管道的保温层故障进行监控及诊断,克服了传统故障诊断方法所需数据难以获得的难题。

[0005] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0006] 一种基于红外图像的暖通空调热水管道故障诊断方法,包括:

[0007] 获取指定设备采集的原始红外图像;

[0008] 对原始红外图像进行阈值处理得到二值化图像,保留经阈值处理后的图像中的最大连通域;

[0009] 对保留最大连通域的经阈值处理后的二值化图像进行除噪/,得到新的图像中的最大连通域作为水管区域二值图像;

[0010] 建立水管区域二值图像和原始红外图像的对应关系,并将原始红外图像中除水管区域以外的部分所有像素颜色均修改为黑色,得到目标红外图像;

[0011] 基于目标红外图像进行故障诊断。

[0012] 所述除噪的过程能具体为对图像中的像素先进行闭操作、再进行开操作。

[0013] 所述故障诊断包括温度分析:

- [0014] 建立原始红外图像中颜色与温度的对应关系;
- [0015] 获取目标红外图像中水管区域的温度值,计算得到水管区域温度的最大值 $t_m$ 、平均值 $\mu$ 和标准差 $\sigma$ ;
- [0016] 判断 $t_m > \mu + 3\sigma$ 是否成立,若为是,则温度存在异常,反之,温度正常。
- [0017] 所述故障诊断还包括管径分析:
- [0018] 当温度分析的结果为温度存在异常时,旋转水管区域二值图像为使水管为水平 / 竖直;
- [0019] 统计旋转后的列/行方向像素值为1的坐标点个数,将其作为列/行方向的管径;
- [0020] 从第1列/行开始,计算第j列/行管径与第j+p列/行管径的差值,其中,p为设定的步长;
- [0021] 将差值最大值记为 $D_m$ ,其所在列/行数为m,将差值最小值记为 $D_n$ ,其所在列 / 行数为n;
- [0022] 判断 $D_m > k$ ,  $||D_m| - |D_n|| < a$ 且 $m < n$ 是否成立,其中k和a为设定的阈值,若为是,则输出保温层脱落故障。
- [0023] 所述故障诊断还包括缺陷分析:
- [0024] 当温度分析的结果为温度正常时,基于水管区域二值图像提取水管外部边缘,并进行膨胀操作,将处理结果记为H;
- [0025] 提取目标红外图像的蓝色分量 $I_s$ ,采用边缘提取算法提取水管外部和内部边缘,将处理结果记为I;
- [0026] 计算得到水管内部边缘 $K = I - H$ ;
- [0027] 连接水管内部边缘中的断裂部分,填充闭合边缘形成的孔洞,减去K获得填充区域;
- [0028] 计算填充区域面积S和最高温度 $t_s$ ,判断填充区域面积是否大于0,且 $t_m$ 与 $t_s$ 的差值是否小于设定的阈值,若均为是,输出管道保温层破损故障。
- [0029] 一种基于红外图像的暖通空调热水管道故障诊断系统,包括红外摄像头和电子设备,所述红外摄像头和与电子设备连接,所述电子设备执行程序时实现以下步骤:
- [0030] 获取指定红外摄像头采集的原始红外图像;
- [0031] 对原始红外图像进行阈值处理得到二值化图像,保留经阈值处理后的图像中的最大连通域;
- [0032] 对保留最大连通域的二值化图像进行除噪,得到新的图像中的最大连通域作为水管区域二值图像;
- [0033] 建立水管区域二值图像和原始红外图像的对应关系,并将原始红外图像中除水管区域以外的部分所有像素颜色均修改为黑色,得到目标红外图像;
- [0034] 基于目标红外图像进行故障诊断。
- [0035] 与现有技术相比,本发明具有以下有益效果:
- [0036] 1、通过水管区域二值图像对原始红外图像进行处理,并基于目标红外图像进行诊断,可以实现对于暖通空调热水管道的保温层故障进行监控及诊断,克服了传统故障诊断方法所需数据难以获得的难题。
- [0037] 2、诊断数据仅为红外图像数据,种类单一且较易获得。

[0038] 3、独立于现有的暖通空调自控系统,无须对其进行改造即可实施,部署简单,易于实施;

[0039] 4、基于图像数据,采用图像处理的算法,实现暖通空调系统热水管道保温层的自动化诊断,可大幅提升工作效率和节省人力成本,且具有一定的通用性;

[0040] 5、红外热成像技术具有无接触的特点,在数据采集和诊断过程中不会对暖通空调系统运行产生影响,可实现安全可靠的监测与故障诊断。

[0041] 6、针对水管保温层故障,该算法可以实现保温层破损及保温层脱落故障的检测,并区分两种故障。

## 附图说明

[0042] 图1为本发明的流程图;

[0043] 图2为本发明的图像分割流程图;

[0044] 图3为本发明实施例的图像分割处理结果图;

[0045] 图4为本发明的温度分析流程图;

[0046] 图5为本发明的管径分析流程图;

[0047] 图6为本发明的缺陷分析流程图。

## 具体实施方式

[0048] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。本实施例以本发明技术方案为前提进行实施,给出了详细的实施方式和具体的操作过程,但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

[0049] 本申请是基于计算机程序实现,依赖于具有计算能力的电子设备和红外摄像头,电子设备和红外摄像头的对应关系可以是一对一也可以是一对多。

[0050] 图1所示为本发明基于红外图像的暖通空调热水管道故障诊断方法流程,下面以一张实际采集到的原始红外图像(图3(a))为例,进行详细描述:

[0051] 在步骤101中,由于采集到的原始红外图像中包含了除水管外的背景部分,因此首先对采集到的热水管道红外图像进行图像分割,得到水管区域二值图像,结合原始红外图像,然后执行步骤201;

[0052] 在步骤201中,利用水管区域的红外图像对水管区域的温度进行分析,利用  $3\sigma$  准则判断水管区域的温度是否存在异常,若存在异常,则执行步骤202;否则,执行步骤203;

[0053] 在步骤202中,利用水管区域的二值图像对水管的管径进行分析,若水管管径变化特点符合保温层脱落管道管径变化特点,则管径分析存在异常,将水管运行状态归类为保温层脱落;否则,将水管运行状态归类为保温层破损;

[0054] 在步骤203中,利用水管区域的二值图像和红外图像,对其进行缺陷分析,若水管区域存在闭合的局部高温区域,则认为缺陷分析存在异常,并将水管的运行状态归类为保温层破损;否则,将水管运行状态归类为无故障。

[0055] 图3所示为步骤101图像分割的详细流程图,下面以一张实际采集到的原始红外图像(图3中的(a)部分)为例,进行详细描述:

[0056] 在步骤1011中,裁剪原始红外图像以去掉温度标尺和左下角logo部分,并提取其



红色分量,如图3中的(b),然后执行步骤1012;

[0057] 在步骤1012中,然后进行阈值处理得到二值化图像,如图3中的(c),然后执行步骤1013。在实施例中,采用了Ostu法进行阈值处理。Otsu法是一种最常用的全局自适应阈值分割方法,它通过最大化类间方差和最小化类内方差来确定灰度图像分割的最佳阈值;

[0058] 在步骤1013中,保留图像中面积最大的连通域,得到图3中的(d),然后执行步骤1014。其目的是为了消除阈值处理后图像中的小面积背景区域;

[0059] 在步骤1014中,对图像进行闭操作,得到图3中的(e),然后执行步骤1015。闭操作的目的是填充水管区域内部的区域,其结构元素取决于图像中待填充孔洞的大小,在实施例中,采用的是 $15 \times 15$ 的结构元素;

[0060] 在步骤1015中,对图像进行开操作,得到图3中的(f),然后执行步骤1016。开操作的目的是断开图像中的细小连接,减小背景区域如其他支路管道和机房灯管的影响。同样地,开操作结构元素的选取与背景噪声的大小有关,在实施例中,采用的是 $20 \times 20$ 的结构元素;

[0061] 在步骤1016中,保留图像中面积最大的连通域,得到水管区域的二值图像(图3中的(g)),然后执行步骤1017。由于开操作会断开细小的连接,处理后的图像可能存在多个连通域,所以在开操作结束后,还需清除小面积的连通域;

[0062] 在步骤1017中,水管区域二值图像中像素值为1的像素点组成的区域为水管区域,因此,结合水管区域的二值图像和采集到的原始红外图像,建立水管区域二值图像和原始红外图像的对应关系,保留原始红外图像中相应区域的像素点的颜色,将其他像素点的颜色设置为黑色,得到水管区域的红外图像,也就是目标红外图像,如图3中的(h)。具体地,在实施例中,是将原始红外图像红色、黄色和蓝色三个分量图像分别乘以水管区域二值图像,再将其合成彩色图像,得到水管区域的红外图像。

[0063] 图4所示为步骤201温度分析流程图,下面以一张本实施例为例,进行详细描述:

[0064] 在步骤2011中,建立原始红外图像温度与颜色的关系,然后执行步骤2012。在实施例中,根据原始红外图像右侧温度标尺及其上下标建立了红外图像温度与颜色的线性关系,其中颜色为黑色的像素点其温度值为零;

[0065] 在步骤2012中,建立原始红外图像中颜色与温度的对应关系,从而可以得到目标红外图像中温度与颜色的关系,从而获取水管区域的温度值,计算得到水管区域温度的最大值 $t_m$ ,平均值 $\mu$ ,和标准差 $\sigma$ ,然后执行步骤2013。在实施例中,在获取温度与颜色的线性关系后,可将水管区域红外图像转换为温度矩阵。由于黑色像素点为背景,其温度值为零,因此需先剔除温度值为零的点,然后计算剩余温度值的最大值、平均值和标准差。为了能正确反映温度特性,实施例中的温度最大值为水管区域前1%最高温度值的平均值。

[0066] 在步骤2013中,若 $t_m > \mu + 3\sigma$ ,则认为温度分析存在异常,否则,认为温度分析不存在异常。

[0067] 图5所示为步骤202管径分析流程图,下面以本实施例为例进行详细描述:

[0068] 在步骤2021中,判断水管走向,并将水管区域二值图像调整为水平管道,具体方法为首先获取水管区域二值图像的最大行值与最小行值,计算水管区域高度,若水管区域高度等于图像高度,则管道为竖向管道,将图像逆时针旋转 $90^\circ$ ,然后执行步骤2022;

[0069] 在步骤2022中,统计列方向像素值为1的坐标点个数,将其作为列方向的管径,执

行步骤2023;

[0070] 在步骤2023中,从第1列开始,计算第j列管径与第j+p列管径的差值(p为设定的步长),执行步骤2024。 $p$ 的取值与图像的大小有关,在实际应用中,应根据红外成像仪所生成的图像大小进行调整。在实施例中, $p$ 的取值为60;

[0071] 在步骤2024中,将差值最大值记为 $D_m$ ,其所在列数为 $m$ ;将差值最小值记为 $D_n$ ,其所在列数为 $n$ ,执行步骤2025;

[0072] 在步骤2025中,若 $D_m > k$ , $||D_m| - |D_n|| < a$ 且 $m < n$ (其中 $k$ 和 $a$ 为设定的阈值),则认为管径变化特点符合保温层脱落管道,管径分析存在异常;否则,管径分析不存在异常。 $D_m$ 大于阈值可以说明管道管径发生了明显的变化, $D_m$ 与 $D_n$ 绝对值的差值小于阈值且 $m < n$ 可以说明管径发生了先缩小后增大的变化,且缩小和增大的管径差值接近;在实施例中, $k$ 的取值为16, $a$ 的取值为10。

[0073] 在本申请的另一个实施例中,步骤2021环节,水管区域二值图像被调整为竖直方向,后续步骤也需要做适应性调整,由于原理相同,因此不再赘述。

[0074] 图6所示为步骤203缺陷分析的流程图,下面以一张终端采集到的本实施例为例进行详细描述:

[0075] 在步骤2031中,对水管区域二值图像使用边缘提取算法,提取水管外部边缘,并进行膨胀操作,将处理结果记为 $H$ ,然后执行步骤2032。其中 $H$ 为提取到的水管外部边缘;

[0076] 在步骤2032中,提取目标红外图像蓝色分量 $I_s$ ,采用边缘提取算法提取水管外部和内部边缘,将处理结果记为 $I$ ,然后执行步骤2033。 $I$ 包含了水管的内部边缘和外部边缘;

[0077] 在步骤2033中,计算 $K = I - H$ , $K$ 为水管内部边缘,然后执行步骤2034。目的是为了获取水管的内部边缘;

[0078] 在步骤2034中,连接内部边缘中的断裂部分,填充闭合边缘形成的孔洞,减去 $K$ 获得填充区域,执行步骤2035。此步是进行内部边缘的分析,在边缘提取过程中,会发生边缘的断裂,因此首先将断裂的边缘连接起来,并填充闭合边缘形成的孔洞,初步认为其是水管内部区域的缺陷部分;

[0079] 在步骤2035中,计算填充区域面积 $S$ 和最高温度 $t_s$ ,执行步骤2036;

[0080] 在步骤2036中,若 $S > 0$ 且 $t_m - t_s < q$ (其中 $q$ 为设定的阈值),则认为缺陷分析存在异常,管道存在局部异常高温,输出管道保温层破损故障;否则,缺陷分析不存在异常。在实施例中, $q$ 的取值为0.1。

[0081] 针对上述方法进行实验验证,在实验室条件下,我们共采集了208张水管红外图像,其中包括无故障水管图像64张、保温层破损水管图像101张、保温层脱落水管图像43张。利用所提出的算法的诊断结果如表1所示:

[0082] 表1实验结果混淆矩阵

	诊断值	实际值		
		无故障	保温层破损	保温层脱落
[0083]	无故障	61	3	0
	保温层破损	3	98	0
	保温层脱落	0	0	43

[0084] 相关评价指标如表2所示：

[0085] 表2实验结果评价指标

[0086]	类别	准确率 (%)	精确率 (%)	召回率 (%)	F1 (%)
	无故障	97.12	95.31	95.31	95.31
[0087]	保温层破损	97.12	97.03	97.03	97.03
	保温层脱落	100	100	100	100
	平均值	98.08	97.45	97.45	97.45

[0088] 由表2可以看出,该算法在实验条件下具有较高的准确率。

[0089] 在某文化中心暖通机房内,我们共采集了124张实际热水管道的红外图像,其中包括了无故障水管图像27张和保温层破损水管图像97张。该算法在实际楼宇采集到的图像中的表现如表3和表4所示：

[0090] 表3实际结果混淆矩阵

	诊断值	实际值	
		无故障	保温层破损
[0091]	无故障	23	5
	保温层破损	4	92

[0092] 表4实验结果评价指标

	类别	准确率 (%)	精确率 (%)	召回率 (%)	F1 (%)
[0093]	无故障	92.74	85.19	82.14	83.64
	保温层破损	92.74	94.85	95.83	95.34
	平均值	92.74	90.02	88.99	89.49

[0094] 因此,本申请在实际数据中依旧具有较高的准确率。

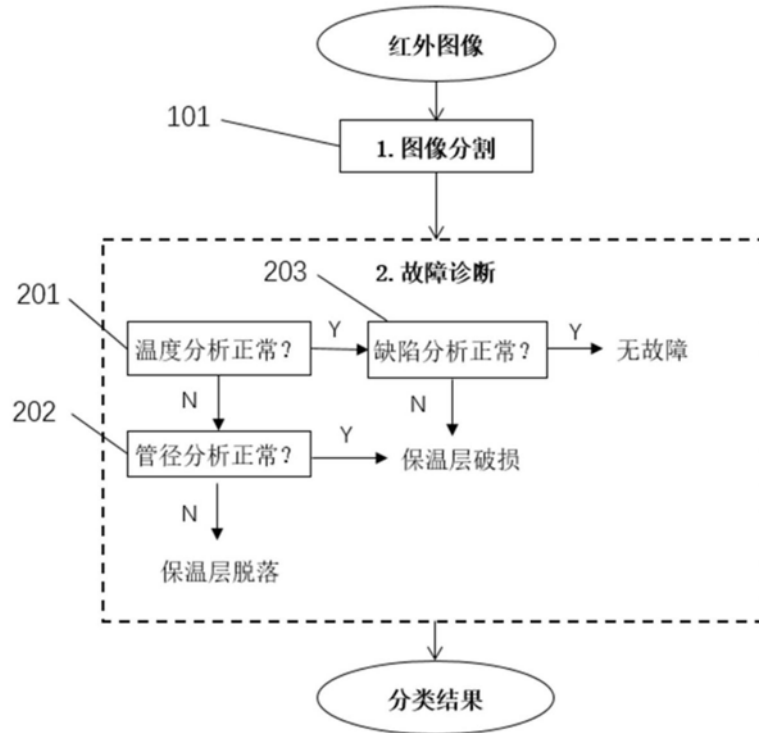


图1

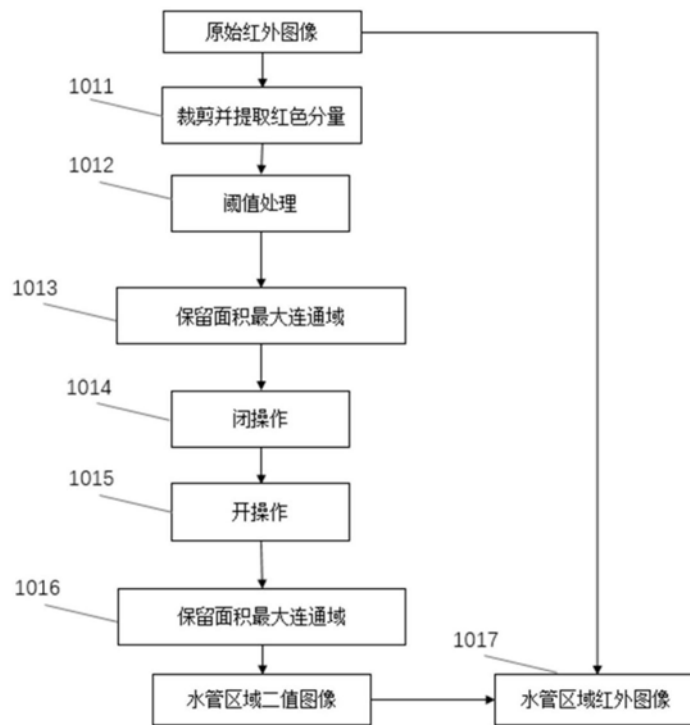


图2

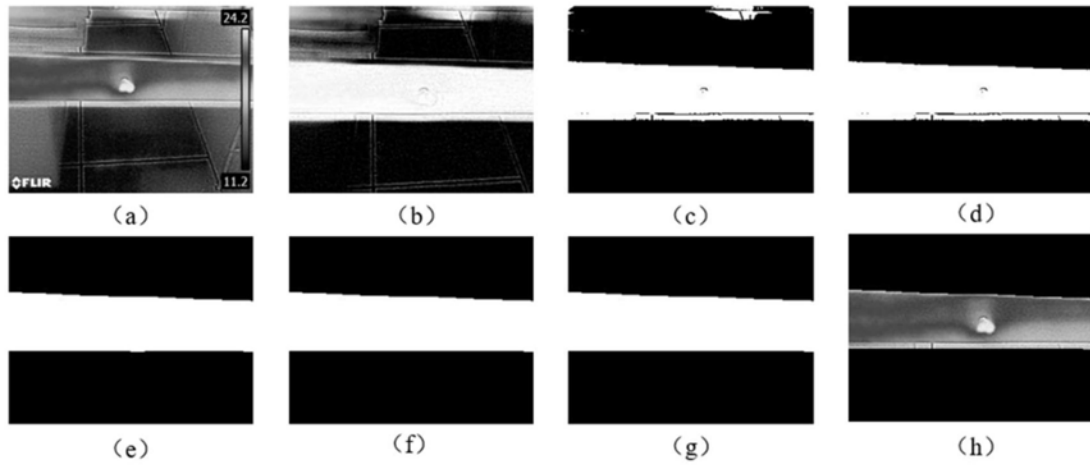


图3

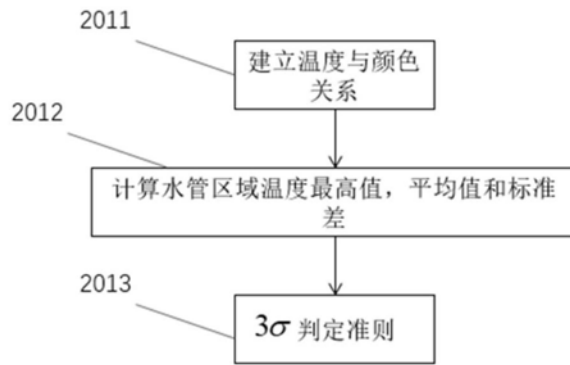


图4

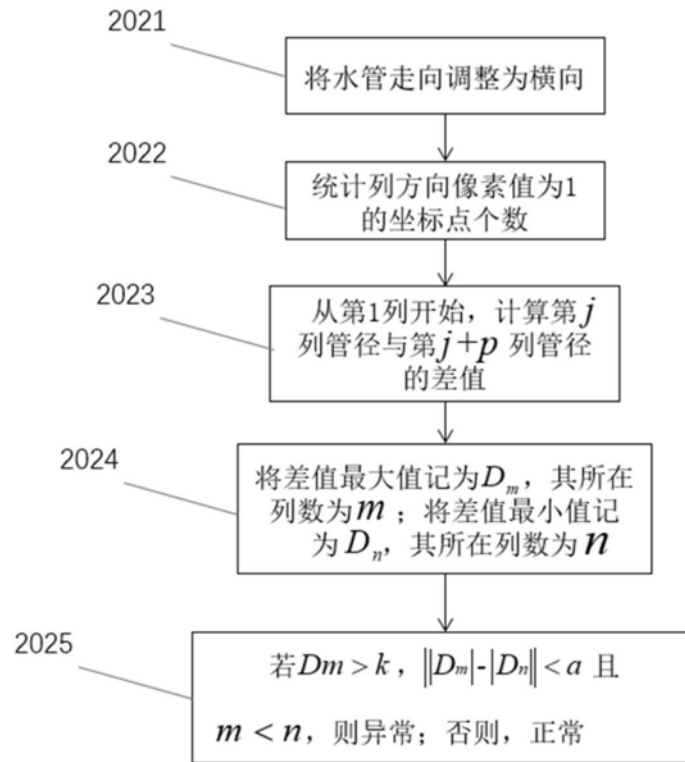


图5

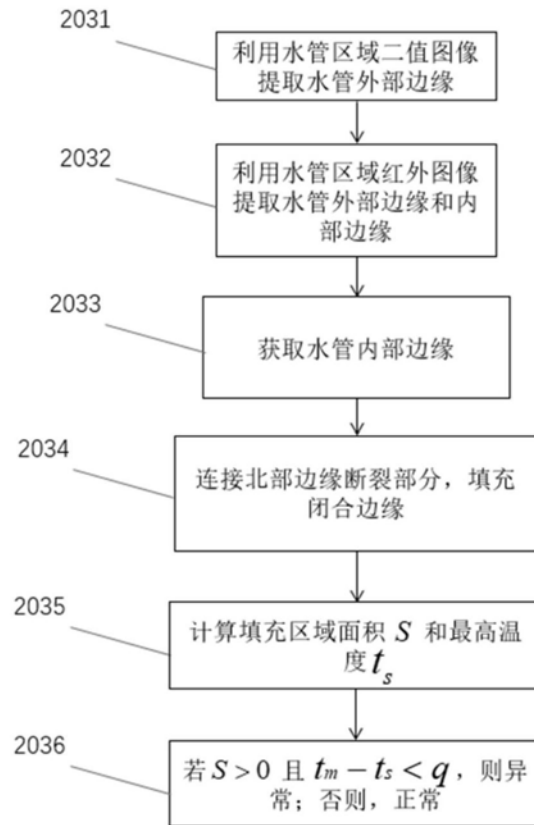


图6