



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105911604 A

(43)申请公布日 2016.08.31

(21)申请号 201610371858.8

(22)申请日 2016.05.30

(71)申请人 公安部第一研究所

地址 100048 北京市海淀区首体南路1号

申请人 北京中盾安民分析技术有限公司

(72)发明人 李保磊 李斌 陈学亮 李蒙
张耀军 郭双茂 莫阳 陈力
李永清 张萍宇 王海鹏 刘斌
孟博 张福 曹琴琴

(74)专利代理机构 北京中海智圣知识产权代理
有限公司 11282

代理人 罗建平

(51)Int.Cl.

G01V 5/00(2006.01)

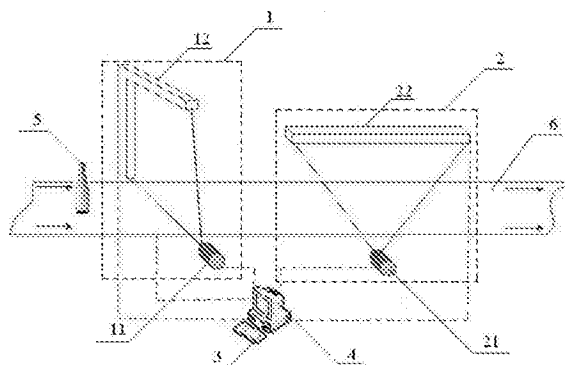
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

一种通道式危险液体检测装置与方法

(57)摘要

本发明涉及一种通道式危险液体检测装置与方法。所述装置包括透视扫描探测装置、直线断层扫描探测装置和处理与控制单元。由透视扫描探测装置获取传送带上的容器内液体的透视图，由直线断层扫描探测装置获取容器内液体的断层扫描数据，由处理与控制单元对所述直线断层扫描数据进行数据重排和数据补偿获得容器内液体的投影数据，采用双能重建算法重建液体某一位置的断层图像，并计算高、低能衰减系数、有效原子序数和电子密度，通过将这四个指标与阈值进行比较判断容器内液体是否为危险液体。本发明检测装置能够进行连续探测，探测器成本低，通过对缺失的投影数据进行补偿，并根据四个指标判断液体是否为危险液体，提高了危险液体的识别精度。



1. 一种通道式危险液体检测装置,其特征在于,包括透视扫描探测装置、直线断层扫描探测装置和处理与控制单元;所述透视扫描探测装置包括透视扫描X射线源和透视扫描探测器,用于获取传送带上容器内液体的透视图;所述直线断层扫描探测装置包括直线断层扫描X射线源和直线断层扫描探测器,用于获取所述容器内液体的直线断层扫描数据;所述处理与控制单元对所述直线断层扫描数据进行数据重排和数据补偿获得容器内液体的投影数据,重建液体某一位置的断层图像从而实现危险液体的识别;所述处理与控制单元还输出控制信号控制所述透视扫描探测装置、直线断层扫描探测装置和传送带的运行;

所述透视扫描探测器是由多个探测单元无间隙排列而成的线阵;所述直线断层扫描探测器是由多个探测单元排列成的间距大于1厘米的线阵。

2. 根据权利要求1所述的通道式危险液体检测装置,其特征在于,所述透视扫描探测器为直线型、L型、U型或弧形线阵探测器。

3. 根据权利要求1所述的通道式危险液体检测装置,其特征在于,所述透视扫描探测器的探测单元的排列方向与所述直线断层扫描探测器的探测单元的排列方向在空间上成90度角。

4. 根据权利要求1所述的通道式危险液体检测装置,其特征在于,所述透视扫描探测器为单能探测器或双能夹层探测器。

5. 根据权利要求1所述的通道式危险液体检测装置,其特征在于,所述直线断层扫描探测器为双能夹层探测器或光子计数探测器。

6. 根据权利要求1~5任意一项所述的通道式危险液体检测装置,其特征在于,所述检测装置还包括与所述处理与控制单元相连的用于显示透视图和断层图像的显示单元。

7. 一种识别危险液体的方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1,由透视扫描探测装置获取传送带上容器内液体的透视图,从而获得容器内液体的整体轮廓结构信息;

步骤2,由直线断层扫描探测装置获取容器内液体的直线断层扫描数据,采用双能重建算法,利用经数据重排和数据补偿获得的容器内液体的投影数据,重建液体某一位置的断层图像,包括高、低能衰减系数图像、有效原子序数图像和电子密度图像;并根据所述图像的数值计算高、低能衰减系数、有效原子序数和电子密度;

步骤3,将高、低能衰减系数、有效原子序数和电子密度与设定的阈值分别进行比较,根据比较结果判断容器内液体是否为危险液体。

8. 根据权利要求7所述的识别危险液体的方法,其特征在于,所述步骤2采用双能重建算法重建液体某一位置的断层图像的方法包括以下步骤:

步骤2.1,获取直线断层高、低能投影数据 $ProjH$ 、 $ProjL$,通过数据重排获得平行束投影数据 $SinoH$ 、 $SinoL$,对 $SinoH$ 、 $SinoL$ 进行数据补偿得到 $SinoH-C$ 、 $SinoL-C$;

步骤2.2,根据基材料模型,利用 $SinoH-C$ 、 $SinoL-C$ 进行双能投影分解获得基材料 $SinoA$ 、 $SinoB$;或根据基效应模型,利用 $SinoH-C$ 、 $SinoL-C$ 进行双能投影分解获得基效应投影 $SinoA$ 、 $SinoB$;

步骤2.3,对 $SinoA$ 、 $SinoB$ 进行重建,获得断层图像 $B1$ 和 $B2$;对 $SinoH$ 、 $SinoL$ 进行重建,获得 $SliceH$ 和 $SliceL$;如果所述容器为对称容器,采取滤波反投影重建算法;如果所述容器为非对称容器,采取迭代重建算法;

步骤2.4,利用断层图像B1和B2,计算液体的有效原子序数断层图像和电子密度断层图像。

9.根据权利要求8所述的识别危险液体的方法,其特征在于,步骤2.1所述数据重排的方法包括以下步骤:

(1)根据由直线断层扫描探测装置获取的容器内液体的直线断层扫描数据linogram的起始位置和结束位置,确定数据重排时选择的旋转中心的横坐标 x_0 ;

(2)根据linogram中各个视角的投影数据的重心及投影方向确定数据重排时选择的旋转中心的纵坐标 y_0 ;

(3)以 (x_0, y_0) 为旋转中心对linogram进行投影空间变换,得到平行束投影数据正弦图sinogram。

10.根据权利要求8所述的识别危险液体的方法,其特征在于,步骤2.1所述数据补偿是对sinogram中缺失的数据进行数据补偿,具体方法包括以下步骤:

(1)对sinogram进行二值化处理;

(2)计算sinogram中行数据的宽度;

(3)计算行数据宽度的标准差以及最大宽度和最小宽度的比值;

(4)将所述标准差和所述比值分别与设定的阈值进行比较,如果所述标准差和所述比值均小于设定的阈值,所述容器为对称容器,用缺失数据点的对称点的数据对缺失数据进行补偿;否则,所述容器为非对称容器,维持原数据。

一种通道式危险液体检测装置与方法

技术领域

[0001] 本发明属于危险品安全检查技术领域,涉及一种通道式危险液体检测装置与方法。

背景技术

[0002] 危险液体探测技术包括X射线探测技术、中子探测技术、电磁探测技术和蒸汽痕迹探测技术等。但是,由于液体的独有特性使其探测具有更高的难度和复杂性,如许多危险液体的物理属性和日常安全液体很接近,这必然增加液体探测的难度。

[0003] 常见液体通常包装在一个密封容器中,液体分子难以挥发至包装之外,采用蒸汽痕迹探测技术探测液体时,通常需要开瓶检测,增加了检测的操作难度。因此蒸汽痕迹探测技术并不适用于密封液体的检测。而中子探测技术又由于设备造价、中子防护等原因目前很少在公共场所实际应用。电磁探测技术是目前市场上的液体探测设备常用的技术,如通过介电断层技术探测液体的电子特性(介电常数和传导性);通过微波探测液体的传导性、分子极性;通过近红外技术来探测常用液体炸药原料过氧化氢的含量等。不过通常上述设备只能探测塑料容器包装的液体,对于高密度容器包装的液体探测往往无能为力。

[0004] 利用X射线CT技术进行液体探测可以对被探测材料的几何形状进行判断,结合X射线衰减理论可以对被探测物质的线性衰减系数、等效原子序数、电子密度等参数进行探测。同方威视公司和公安部第一研究所都已经有了产品样机并分别申报了各自的专利。但是这类设备均为基于工业CT的三代CT扫描模式,系统操作需要人工将液体放入检测仓,检测完毕后还需要人工从检测仓取出液体,操作复杂,不能连续检测,效率低下。

发明内容

[0005] 为了解决现有技术中存在的上述问题,本发明提出一种用于识别容器中危险液体的通道式危险液体检测装置与方法,利用容器的对称信息对液体的断层扫描数据进行补偿,然后重建断层图像,从而实现危险液体的识别。

[0006] 为达到上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0007] 一种通道式危险液体检测装置,包括透视扫描探测装置、直线断层扫描探测装置和处理与控制单元。所述透视扫描探测装置包括透视扫描X射线源和透视扫描探测器,用于获取传送带上容器内液体的透视图;所述直线断层扫描探测装置包括直线断层扫描X射线源和直线断层扫描探测器,用于获取所述容器内液体的直线断层扫描数据。所述处理与控制单元对所述直线断层扫描数据进行数据重排和数据补偿获得容器内液体的投影数据,重建液体某一位置的断层图像从而实现危险液体的识别。所述处理与控制单元还输出控制信号控制所述透视扫描探测装置、直线断层扫描探测装置和传送带的运行。

[0008] 所述透视扫描探测器是由多个探测单元无间隙排列而成的线阵;所述直线断层扫描探测器是由多个探测单元排列成的间距大于1厘米的线阵。

[0009] 进一步地,所述透视扫描探测器为直线型、L型、U型或弧形线阵探测器。

[0010] 进一步地,所述透视扫描探测器的探测单元的排列方向与所述直线断层扫描探测器的探测单元的排列方向在空间上成90度角。

[0011] 进一步地,所述透视扫描探测器为单能探测器或双能夹层探测器;

[0012] 进一步地,所述直线断层扫描探测器为双能夹层探测器或光子计数探测器。

[0013] 进一步地,所述检测装置还包括与所述处理与控制单元相连的用于显示透视图像和断层图像的显示单元。

[0014] 一种识别危险液体的方法,包括以下步骤:

[0015] 步骤1,由透视扫描探测装置获取传送带上容器内液体的透视图像,从而获得容器内液体的整体轮廓结构信息。

[0016] 步骤2,由直线断层扫描探测装置获取容器内液体的直线断层扫描数据,采用双能重建算法,利用经数据重排和数据补偿获得的容器内液体的投影数据,重建液体某一位置的断层图像,包括高、低能衰减系数图像、有效原子序数图像和电子密度图像。并根据所述图像的数值计算高、低能衰减系数、有效原子序数和电子密度。

[0017] 步骤3,将高、低能衰减系数、有效原子序数和电子密度与设定的阈值分别进行比较,根据比较结果判断容器内液体是否为危险液体。

[0018] 进一步地,步骤2采用双能重建算法重建液体某一位置的断层图像的方法包括以下步骤:

[0019] 步骤2.1,获取直线断层高、低能投影数据 $ProjH$ 、 $ProjL$,通过数据重排获得平行束投影数据 $SinoH$ 、 $SinoL$,对 $SinoH$ 、 $SinoL$ 进行数据补偿得到 $SinoH-C$ 、 $SinoL-C$;

[0020] 步骤2.2,根据基材料模型,利用 $SinoH-C$ 、 $SinoL-C$ 进行双能投影分解获得基材料 $SinoA$ 、 $SinoB$;或根据基效应模型,利用 $SinoH-C$ 、 $SinoL-C$ 进行双能投影分解获得基效应投影 $SinoA$ 、 $SinoB$;

[0021] 步骤2.3,对 $SinoA$ 、 $SinoB$ 进行重建,获得断层图像 $B1$ 和 $B2$;对 $SinoH$ 、 $SinoL$ 进行重建,获得 $SliceH$ 和 $SliceL$;如果所述容器为对称容器,采取滤波反投影重建算法;如果所述容器为非对称容器,采取迭代重建算法;

[0022] 步骤2.4,利用断层图像 $B1$ 和 $B2$,计算液体的有效原子序数断层图像和电子密度断层图像。

[0023] 进一步地,步骤2.1所述数据重排的方法包括以下步骤:

[0024] (1)根据由直线断层扫描探测装置获取的容器内液体的直线断层扫描数据 $linogram$ 的起始位置和结束位置,确定数据重排时选择的旋转中心的横坐标 x_0 ;

[0025] (2)根据 $linogram$ 中各个视角的投影数据的重心及投影方向确定数据重排时选择的旋转中心的纵坐标 y_0 ;

[0026] (3)以 (x_0, y_0) 为旋转中心对 $linogram$ 进行投影空间变换,得到平行束投影数据正弦图 $sinogram$ 。

[0027] 进一步地,步骤2.1所述数据补偿是对 $sinogram$ 中缺失的数据(即在容器投影死角缺失的投影数据)进行数据补偿,具体方法包括以下步骤:

[0028] (1)对 $sinogram$ 进行二值化处理;

[0029] (2)计算 $sinogram$ 中行数据的宽度;

[0030] (3)计算行数据宽度的标准差以及最大宽度和最小宽度的比值;

[0031] (4)将所述标准差和所述比值分别与设定的阈值进行比较,如果所述标准差和所述比值均小于设定的阈值,所述容器为对称容器,用缺失数据点的对称点的数据对缺失数据进行补偿;否则,所述容器为非对称容器,维持原数据。

[0032] 与现有技术相比,本发明具有以下有益效果:

[0033] 本发明提出的通道式危险液体检测装置包括透视扫描探测装置、直线断层扫描探测装置和处理与控制单元。由透视扫描探测装置获取传送带上的容器内液体的透视图,由直线断层扫描探测装置获取容器内液体的断层扫描数据,由处理与控制单元对所述直线断层扫描数据进行数据重排和数据补偿获得容器内液体的投影数据,采用双能重建算法重建液体某一位置的断层图像,根据图像的数值计算高低能衰减系数、有效原子序数和电子密度,通过将这四个指标与设定的阈值进行比较判断容器内液体是否为危险液体。该检测装置能够进行高效率的连续探测;由于直线断层扫描探测装置的探测器采用稀疏排列的线阵探测器组,因此本发明能够有效降低探测器成本;本发明采用透视扫描探测装置,便于观察容器内液体的内部结构信息;另外,本发明通过对对称容器内液体缺失的投影数据进行补偿,而且根据高、低能衰减系数、有效原子序数和电子密度四个指标判断液体是否为危险液体,大大提高了危险液体的识别精度。

附图说明

[0034] 图1为本发明实施例涉及的所述检测装置的结构示意图;

[0035] 图2为直线断层扫描探测器中探测单元的排列示意图。

[0036] 图中:1-透视扫描探测装置,11-透视扫描X射线源,12-透视扫描探测器,2-直线断层扫描探测装置,21-直线断层扫描X射线源,22-直线断层扫描探测器,3-处理与控制单元,4-显示单元,5-容器,6-传送带。

具体实施方式

[0037] 下面结合附图和实施例对本发明做进一步说明。

[0038] 一种通道式危险液体检测装置,如图1、2所示,包括透视扫描探测装置1、直线断层扫描探测装置2和处理与控制单元3。所述透视扫描探测装置1包括透视扫描X射线源11和透视扫描探测器12,用于获取传送带6上容器5内液体的透视图;所述直线断层扫描探测装置2包括直线断层扫描X射线源21和直线断层扫描探测器22,用于获取所述容器5内液体的直线断层扫描数据。所述处理与控制单元3对所述直线断层扫描数据进行数据重排和数据补偿获得容器内液体的投影数据,重建液体某一位置的断层图像从而实现危险液体的识别。所述处理与控制单元3还输出控制信号控制所述透视扫描探测装置1、直线断层扫描探测装置2和传送带6的运行。所述透视扫描探测器12是由多个探测单元无间隙排列而成的线阵;所述直线断层扫描探测器22是由多个探测单元排列成的间距大于1厘米的线稀疏阵,如图2所示。采用稀疏排列的线阵,可以减少探测器的数量,从而有效降低探测器的能耗及装置的成本。

[0039] 所述透视扫描探测器12为直线型、L型、U型或弧形线阵探测器。图2中的透视扫描探测器12采用L型。

[0040] 所述透视扫描探测器12的探测单元的排列方向与所述直线断层扫描探测器22的

探测单元的行排列方向在空间上成90度角。如图2所示。

[0041] 所述透视扫描探测器12为单能探测器或双能夹层探测器。双能夹层探测器包括高能探测器和低能探测器,在高低能探测器之间设有一层金属片,一般为铜片,通过金属片的过滤使高低能探测器接收到不同能量的射线。

[0042] 所述直线断层扫描探测器22为双能夹层探测器或光子计数探测器。光子计数探测器通过对不同能量的光子计数实现成像,可以分辨不同能量段的光子并进行计数,具有很强的能量分辨能力。其不足是受计数率等参数制约信噪比难以保证。双能夹层探测器可以通过一次扫描实现双能成像,但能谱区分度不及光子技术探测器。

[0043] 所述检测装置还包括与所述处理与控制单元3相连的显示单元4。显示单元4用于显示透视图像和断层图像。

[0044] 一种识别危险液体的方法,包括以下步骤:

[0045] 步骤1,由透视扫描探测装置获取传送带上容器内液体的透视图像,从而获得容器内液体的整体轮廓结构信息;

[0046] 步骤2,由直线断层扫描探测装置获取容器内液体的直线断层扫描数据,采用双能重建算法,利用经数据重排和数据补偿获得的容器内液体的投影数据,重建液体某一位置的断层图像,包括高、低能衰减系数图像、有效原子序数图像和电子密度图像。并根据所述图像的数值计算高、低能衰减系数、有效原子序数和电子密度。

[0047] 步骤3,将高低能衰减系数、有效原子序数和电子密度与设定的阈值分别进行比较,根据比较结果判断容器内液体是否为危险液体。

[0048] 步骤2采用双能重建算法重建液体某一位置的断层图像的方法包括以下步骤:

[0049] 步骤2.1,获取直线断层高、低能投影数据 $ProjH$ 、 $ProjL$,通过数据重排获得平行束投影数据 $SinoH$ 、 $SinoL$,对 $SinoH$ 、 $SinoL$ 进行数据补偿得到 $SinoH-C$ 、 $SinoL-C$;

[0050] 步骤2.2,根据基材料模型,利用 $SinoH-C$ 、 $SinoL-C$ 进行双能投影分解获得基材料 $SinoA$ 、 $SinoB$;或根据基效应模型,利用 $SinoH-C$ 、 $SinoL-C$ 进行双能投影分解获得基效应投影 $SinoA$ 、 $SinoB$;

[0051] 基于双能成像原理由 $SinoH$ 、 $SinoL$ 获得 $SinoA$ 、 $SinoB$,方法如下:

[0052] 在200keV以内的射线能量范围内,射线与物质的相互作用遵循康普顿散射和光电效应。物质的线性衰减系数 $\mu(E)$ 满足如下模型:

$$[0053] \quad \mu(E) = a_c f_{KN}(E) + a_p f_p(E)$$

[0054] 其中, $f_p(E)$ 、 $f_{KN}(E)$ 为只与能量E有关而与材质无关的分解系数, a_p 、 a_c 是独立于能量只与材质有关的物理量, a_p 表示光电效应系数, a_c 为康普顿散射效应系数,且:

$$[0055] \quad f_p(E) = \frac{1}{E^3}$$

$$[0056] \quad f_{KN}(\alpha) = \frac{1+\alpha}{\alpha^2} \left[\frac{2(1+\alpha)}{1+2\alpha} - \frac{1}{\alpha} \ln(1+2\alpha) \right] + \frac{1}{2\alpha} \ln(1+2\alpha) - \frac{1+3\alpha}{(1+2\alpha)^2}$$

$$[0057] \quad a_p = l_1 \frac{\rho Z^n}{A}, \quad a_c = l_2 \frac{\rho Z}{A}, \quad n=4 \text{ 或 } 5$$

[0058] 其中, $\alpha = E/510.975 \text{ keV}$, l_1 、 l_2 为常数, ρ 为物质密度, Z 为原子序数, A 为原子量。该模型表示在一定的射线能量范围内,物质的衰减是光电效应和康普顿散射共同作用的结果

果。此模型通常称之为基效应模型(也可称双效应模型)。

[0059] 与基效应模型对应的还有一种关于物质衰减系数的物理模型,即基材料模型:

$$[0060] \quad \mu(E) = b_1\mu_1(E) + b_2\mu_2(E)$$

[0061] 其中, $\mu_1(E)$ 、 $\mu_2(E)$ 分别为两种基材料的线性衰减系数, b_1 、 b_2 分别为对应两种基材料的分解系数,对于某一固定的物质, b_1 、 b_2 是两个常数。基材料模型表示任何一种物质的线性衰减系数都可通过两种基材料的线性衰减系数线性叠加而成。

[0062] 令:

$$[0063] \quad A_c = \int a_c dl, A_p = \int a_p dl, B_1 = \int b_1 dl, B_2 = \int b_2 dl$$

[0064] A_c 、 A_p 、 B_1 、 B_2 为 a_c 、 a_p 、 b_1 、 b_2 的线积分投影值。根据宽能谱射线条件下的BEER定律:

$$[0065] \quad \begin{cases} P_L = -\ln[\int S_L(E) \exp[-A_c f_{KN}(E) - A_p f_p(E)] dE] + \ln \int S_L(E) dE \\ P_H = -\ln[\int S_H(E) \exp[-A_c f_{KN}(E) - A_p f_p(E)] dE] + \ln \int S_H(E) dE \end{cases} \quad (1)$$

$$[0066] \quad \begin{cases} P_L = -\ln[\int S_L(E) \exp[-B_1 \mu_1(E) - B_2 \mu_2(E)] dE] + \ln \int S_L(E) dE \\ P_H = -\ln[\int S_H(E) \exp[-B_1 \mu_1(E) - B_2 \mu_2(E)] dE] + \ln \int S_H(E) dE \end{cases} \quad (2)$$

[0067] 其中, $S_H(E)$ 、 $S_L(E)$ 分别为高低能系统能谱, P_H 、 P_L 分别为高低能投影(即 $SinoH$ 、 $SinoL$)。基于投影分解的双能CT预处理重建算法的核心为根据式(1)、式(2)求解 A_c 、 A_p 、 B_1 、 B_2 (即基材料投影 $SinoA$ 、 $SinoB$ 和基效应投影 $SinoA$ 、 $SinoB$),称这个求解过程为投影分解过程。然后根据CT重建的原理,利用滤波反投影图像重建算法计算 a_c 、 a_p 、 b_1 、 b_2 ,并由此计算材质的等效原子序数 Z_{eff} 和电子密度 ρ_e ,公式如下:

$$[0068] \quad Z_{eff} = K_1 \left[\frac{a_p}{a_c} \right]^{\frac{1}{n}} = \left[\frac{b_1 \rho_{e1} Z_1^n + b_2 \rho_{e2} Z_2^n}{b_1 \rho_{e1} + b_2 \rho_{e2}} \right]^{\frac{1}{n}}$$

$$[0069] \quad \rho_e = K_2 a_c = b_1 \rho_{e1} + b_2 \rho_{e2}$$

[0070] 其中, K_1 、 K_2 为常数, n 取3或4, Z_1 、 Z_2 分别为两种基材料的原子序数, ρ_{e1} 、 ρ_{e2} 分别为两种基材料的电子密度。

[0071] 步骤2.3,对 $SinoA$ 、 $SinoB$ 进行重建,获得断层图像 $B1$ 和 $B2$;对 $SinoH$ 、 $SinoL$ 进行重建,获得 $SliceH$ 和 $SliceL$;如果所述容器为对称容器,采取滤波反投影重建算法;如果所述容器为非对称容器,采取迭代重建算法;

[0072] 步骤2.4,利用断层图像 $B1$ 和 $B2$,计算液体的有效原子序数断层图像和电子密度断层图像。

[0073] 步骤2.1所述数据重排的方法包括以下步骤:

[0074] (1)根据由直线断层扫描探测装置获取的容器内液体的直线断层扫描数据linogram的起始位置和结束位置,确定数据重排时选择的旋转中心的横坐标 x_0 ;

[0075] (2)根据linogram中各个视角的投影数据的重心及投影方向确定数据重排时选择的旋转中心的纵坐标 y_0 ;

[0076] (3)以 (x_0, y_0) 为旋转中心对linogram进行投影空间变换,得到平行束投影数据正弦图sinogram。

[0077] 步骤2.1所述数据补偿是对sinogram中缺失的数据进行数据补偿,具体方法包括以下步骤:

[0078] (1)对sinogram进行二值化处理;

[0079] 将每个像素点的sinogram值与设定的阈值进行比较,将小于所述阈值的sinogram值设为0,大于或等于所述阈值的sinogram值设为1。所述阈值稍大于空气背景的阈值。

[0080] (2)计算sinogram中行数据的宽度;

[0081] 某一视角下,sinogram值为1的最左边的点与最右边的点之间的距离(以像素点的个数表示)为行数据的宽度。

[0082] (3)计算行数据宽度的标准差以及最大宽度和最小宽度的比值;

[0083] (4)将所述标准差和所述比值分别与设定的阈值进行比较,如果所述标准差和所述比值均小于设定的阈值,所述容器为对称容器,用缺失数据点的对称点的数据对缺失数据进行补偿;否则,所述容器为非对称容器,不进行数据补充定,维持原数据。

[0084] 设待重建图像为 $f(x, y)$ 或 $\hat{f}(r, \theta)$ (柱面坐标), $f(x, y)$ 在不同视角 ϕ 下的投影为 $P_\phi(x_r)$,则平行束重建公式为:

$$[0085] \quad \hat{f}(r, \theta) = \int_0^\pi g[r \cos(\theta - \phi), \phi] d\phi$$

[0086] 迭代重建算法为基于全变分最小约束代数重建算法,是在代数重建算法的基础上增加一个全变分最小的约束,将重建问题转化为一个约束优化问题。

[0087] 可以采用多种方法解约束优化问题,本实施例采用最为常用的梯度下降法,首先计算全变差的梯度,然后沿着负梯度方向寻找优化结果。梯度 $v_{s,t}$ 的计算公式如下:

$$[0088] \quad v_{s,t} = \frac{\partial \|f_{s,t}\|_{TV}}{\partial f_{s,t}} = \frac{(f_{s,t} - f_{s-1,t}) - (f_{s,t} - f_{s,t-1})}{\sqrt{(f_{s,t} - f_{s-1,t})^2 + (f_{s,t} - f_{s,t-1})^2}} \\ - \frac{f_{s+1,t} - f_{s,t}}{\sqrt{(f_{s+1,t} - f_{s,t})^2 + (f_{s+1,t} - f_{s+1,t-1})^2}} - \frac{f_{s,t+1} - f_{s,t}}{\sqrt{(f_{s,t+1} - f_{s,t})^2 + (f_{s,t+1} - f_{s-1,t+1})^2}}$$

[0089] 其中, f 表示断层图像, $f_{s,t}$ 表示坐标为 (s, t) 的像素点的图像值, $\|f_{s,t}\|_{TV}$ 表示断层图像的全变分,其表达式为:

$$[0090] \quad \|f_{s,t}\|_{TV} = \sum_{s,t} \sqrt{(f_{s,t} - f_{s-1,t})^2 + (f_{s,t} - f_{s,t-1})^2}$$

[0091] (4)利用断层图像B1和B2,计算液体的有效原子序数断层图像和电子密度断层图像。

[0092] 本发明不限于上述实施方式,本领域技术人员所做出的对上述实施方式任何显而易见的改进或变更,都不会超出本发明的构思和所附权利要求的保护范围。

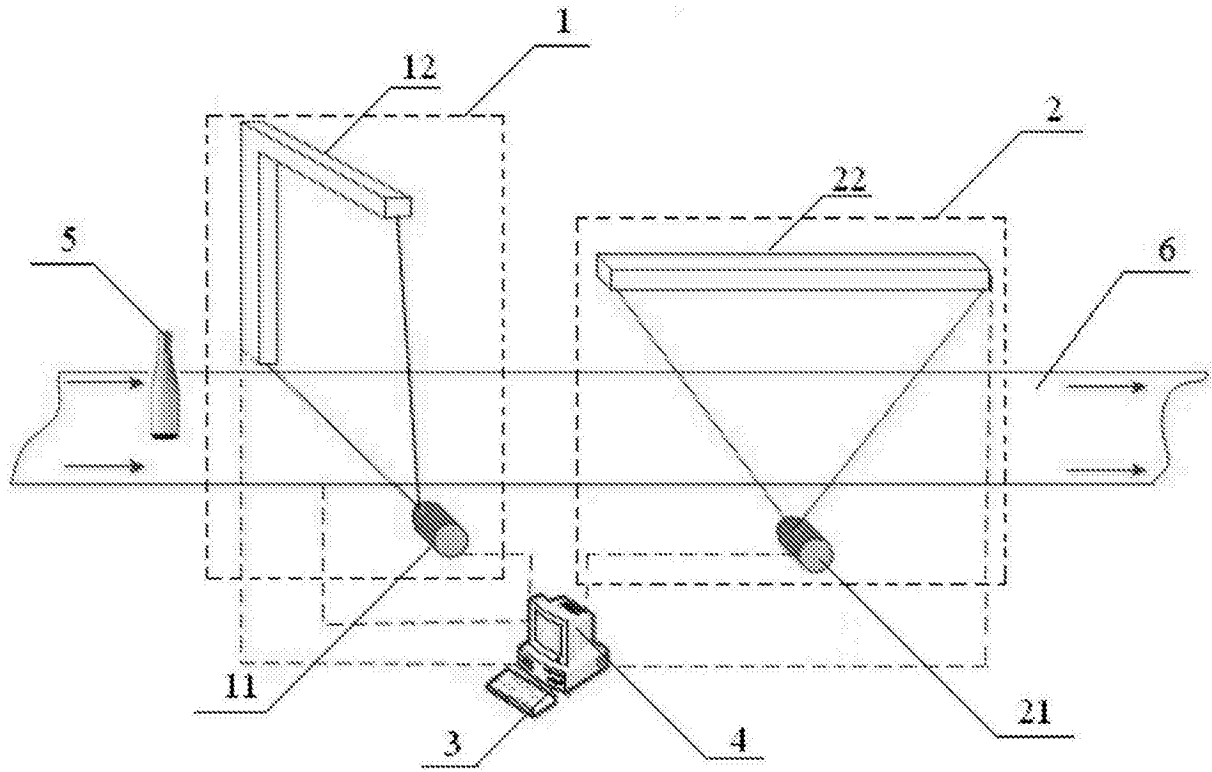


图1

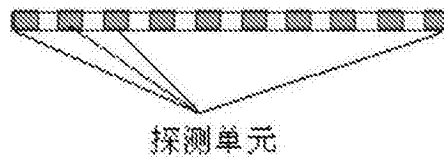


图2