

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G01N 23/04 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810104271.6

[43] 公开日 2009 年 10 月 21 日

[11] 公开号 CN 101561405A

[22] 申请日 2008.4.17

[21] 申请号 200810104271.6

[71] 申请人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区清华大学

共同申请人 同方威视技术股份有限公司

[72] 发明人 张丽 刘以农 陈志强 李元景
高河伟 邢宇翔 赵自然 肖永顺

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 李亚非 刘宗杰

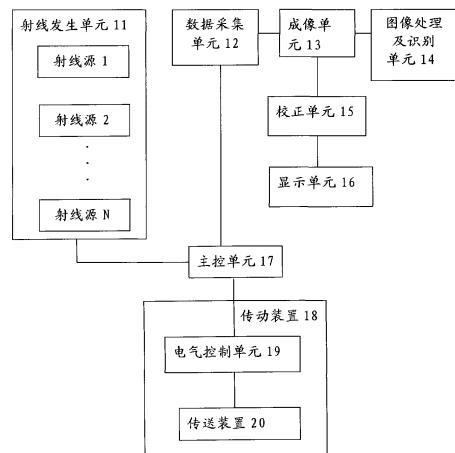
权利要求书 3 页 说明书 11 页 附图 8 页

[54] 发明名称

一种直线轨迹扫描成像系统和方法

[57] 摘要

一种直线轨迹扫描成像系统和方法，该成像系统包括：射线发生单元，包含多个射线源，所述多个射线源交替出束，在同一时间只有一个射线源出束；传动装置，用于使检查对象与所述直线轨迹扫描系统沿直线轨迹相对运动，从而使检查对象穿过所述直线轨迹扫描成像系统的扫描区域；数据采集单元，对于每个射线源，分别采集检查对象的投影数据；成像单元，根据对于每个射线源采集的投影数据，重建所述检查对象的图像；显示单元，用于显示重建的图像。通过采用多个按照一定的空间分布排列，并以一定的时间顺序交替出束的射线源，可以以较短的探测器长度获得较大的扫描视角，从而减少系统所需探测器单元数量并缩小被检物体的总扫描距离。



1. 一种直线轨迹扫描成像系统，包括：

射线发生单元，包含多个射线源，所述多个射线源交替出来，在同一时间只有一个射线源出来；

传动装置，用于使检查对象与所述直线轨迹扫描系统沿直线轨迹作相对运动，从而使检查对象穿过所述直线轨迹扫描成像系统的扫描区域；

数据采集单元，对于每个射线源，分别采集检查对象的投影数据；

成像单元，根据对于每个射线源所采集的投影数据，重建所述检查对象的图像；

显示单元，用于显示重建的图像。

2. 根据权利要求 1 的直线轨迹扫描成像系统，所述多个射线源采用脉冲工作方式交替出来。

3. 根据权利要求 2 的直线轨迹扫描成像系统，还包括一个触发脉冲发生器，分别为所述多个射线源中每一个产生一个触发脉冲序列来控制所述多个射线源交替出来。

4. 根据权利要求 3 的直线轨迹扫描成像系统，所述触发脉冲发生器产生的触发脉冲还发送给所述数据采集单元，用来控制采集数据的时序。

5. 根据权利要求 1 的直线轨迹扫描成像系统，还包括一个主控单元，用于控制和协调所述直线轨迹扫描成像系统的各个部件的操作。

6. 根据权利要求 1 的直线轨迹扫描成像系统，其中，所述多个射线源位于与检查对象运行轨迹平行的一个平面上。

7. 根据权利要求 4 的直线轨迹扫描成像系统，其中，所述多个射线源位于与检查对象运行轨迹平行的一条直线上。

8. 根据权利要求 1-7 中任何一个的直线轨迹扫描成像系统，其中，所述多个射线源中每一个的射线扫描视角范围连续，从而构成一个连续的扫描视角范围。

9. 根据权利要求 8 的直线轨迹扫描成像系统，其中，所述多个射线源中每一个的射线扫描视角范围相互之间部分重叠。

10. 根据权利要求 1-7 中任何一个的直线轨迹扫描成像系统，进一步包括一个校正单元，用于在显示所述重建的图像之前，对图像进行校

正。

11. 根据权利要求 1-7 中任何一个的直线轨迹扫描成像系统，进一步包括一个图像处理及识别单元，用于对重建的图像进行处理和识别。

12. 根据权利要求 1-7 中任何一个的直线轨迹扫描成像系统，所述检查对象相对于所述直线轨迹扫描系统作匀速运动。

13. 根据权利要求 1-7 中任何一个的直线轨迹扫描成像系统，其中，所述传动装置包括一个电气控制单元，用于控制所述传动装置从而控制所述检查对象与所述直线轨迹扫描系统之间的相对运动。

14. 根据权利要求 1-7 中任何一个的直线轨迹扫描成像系统，其中，所述成像单元通过生成所述检查对象的透视图像、断层图像来重建所述检查对象的立体图像。

15. 根据权利要求 1-7 中任何一个的直线轨迹扫描成像系统，其中，所述数据采集单元采集投影数据与所述多个射线源中每一个射线源的出束同步。

16. 根据权利要求 1-7 中任何一个的直线轨迹扫描成像系统，其中，所述数据采集单元是一个线阵探测器或者面阵探测器。

17. 一种直线轨迹扫描成像方法，包括如下步骤：

检查对象相对于扫描成像系统移动进入该扫描成像系统的扫描区域；

控制多个射线源交替出束，确保在同一时间只有一个射线源出束；对于每个射线源，由一个探测器阵列分别采集相应的投影数据；

根据对于每个射线源采集的投影数据，重建所述检查对象的图像；以及显示重建的图像。

18. 根据权利要求 17 的方法，其中，所述多个射线源采用脉冲工作方式交替出束。

19. 根据权利要求 18 的方法，还包括如下步骤：

分别为所述多个射线源中每一个产生一个触发脉冲序列来控制所述多个射线源交替出束。

20. 根据权利要求 19 的方法，还包括如下步骤：

将所述产生的触发脉冲发送给所述数据采集单元，用来控制采集数据的时序。

21. 根据权利要求 17 的方法，其中，所述多个射线源位于与检查对象运行轨迹平行的一个平面上。

-
22. 根据权利要求 21 的方法，其中，所述多个射线源位于与检查对象运行轨迹平行的一条直线上。
 23. 根据权利要求 17-22 中任何一个的方法，其中，所述多个射线源中每一个的射线扫描视角范围连续，从而构成一个连续的扫描视角范围。
 24. 根据权利要求 23 的方法，其中，所述多个射线源中每一个的射线扫描视角范围相互之间部分重叠。
 25. 根据权利要求 17-22 中任何一个的方法，进一步包括：在显示所述重建的图像之前，对图像进行校正。
 26. 根据权利要求 17-22 中任何一个的方法，进一步包括对重建的图像进行处理和识别的步骤。
 27. 根据权利要求 17-22 中任何一个的方法，其中，所述检查对象相对于所述直线轨迹扫描系统作匀速运动。
 28. 根据权利要求 17-22 中任何一个的方法，其中，通过生成所述检查对象的透视图像、断层图像来重建所述检查对象的立体图像。
 29. 根据权利要求 17-22 中任何一个的方法，其中，投影数据采集与所述多个射线源中每一个射线源的出束同步。
 30. 根据权利要求 17-22 中任何一个的方法，其中，通过一个线阵探测器或者面阵探测器来采集所述投影数据。

一种直线轨迹扫描成像系统和方法

技术领域

本发明涉及辐射成像领域，更具体地，本发明涉及一种直线轨迹扫描成像系统和方法。

背景技术

安全检查在反恐、打击贩毒走私等领域具有十分重要的意义。在美国911之后，世界各国对安全检查越来越重视，尤其在机场、车站、海关和码头等公共场所，采取了一系列安全检查措施对旅客行李物品、货物集装箱等进行严格检查。

目前，广泛使用的安全检查系统所采用的主流成像技术为辐射成像技术。辐射成像技术根据射线的指数衰减原理，采用射线源在检查对象的一侧照射检查对象，射线透过检查对象后被射线采集装置接收，射线采集装置将接收的射线转换为数字信号并输出给用于成像的计算机，计算机处理采集数据，合成或重建图像并显示出来。采用辐射成像技术的安全检查系统能够进行断层成像或透视成像。断层成像显示的是检查对象的断层图像，并可将多层的断层图像组合成为三维立体图像；而透视成像显示的是检查对象的二维透视图像。

由于断层成像要求射线采集装置接收对检查对象进行的全方位照射，以获得射线束的透射投影数据，所以断层成像安全检查系统一般需要利用检查对象和射线源二者至少有一个应能够进行旋转的计算机断层成像(Computed Tomography, CT)设备。在实际应用中，安全检查系统一般需要在线实时检查，要求安全检查系统成像速度非常快，例如民航物品检查，由于要求通关率是0.5米/秒，即使是大螺距的螺旋CT设备也很难达到这个要求。另外，对于大型物体，比如海关集装箱，无论是集装箱旋转还是射线源旋转都非常困难。再加上CT设备成本很高，以上诸多因素使利用CT设备进行立体成像的安全检查系统未能广泛应用。

与断层成像安全检查系统相比，透视成像安全检查系统广泛应用于机场、车站、海关和码头等公共场所。但是，透视成像安全检查系统无法避免射线方向上物体的重叠效应，无法解决射线方向上物体的重叠问题，导致透视成像安全检查系统检查能力严重不足。

在本申请申请人已提交的申请号为200510123587.6、200510123588.0和200610076573.8(公开号分别为CN1971414、CN1971620、CN101071109)的专利申请中提出了一种单段及多段直线轨迹

扫描成像模式，在扫描过程中使位于射线源和探测器阵列之间的待检查对象与射线源和探测器阵列做相对直线运动（射线源与探测器阵列构成的张角为成像时的扫描视角），射线源和探测器与物体不发生相对旋转，基本可以满足安全检查系统快速成像的要求，解决大型物体旋转困难及透视成像安全检查系统射线方向上物体重叠的问题。在多段直线轨迹扫描成像中，检查对象的行进轨迹包括相互成角度的至少两段直线轨迹；且检查对象在该至少两段直线轨迹上仅作平移运动而没有任何旋转。多段直线轨迹扫描成像模式通过采用安排在多段直线轨迹上的多个探测器阵列，用同一个射线源对检查对象进行多次照射，可以将系统的扫描视角扩大多倍（取决于直线轨迹的段数和探测器阵列的数目），从而可以解决单段直线实际应用中存在的有限角度投影问题。但上述成像系统均有一个共同的不足：为了使探测器与射线源构成足够大的扫描视角以得到高质量的成像图像，探测器在物体运动方向上必须覆盖足够长的范围，因而造成成像系统中探测器成本高且被检物体扫描距离长。

发明内容

本发明的目的是提供一种直线轨迹扫描成像系统，它可以满足安全检查系统快速成像的要求，解决大型物体旋转困难及透视成像安全检查系统在射线方向上物体重叠的问题，并且能够以较短的探测器实现较大的扫描视角。

上述目的通过根据本发明的一种直线轨迹扫描成像系统来实现。所述直线轨迹扫描成像系统包括：包括：射线发生单元，包含多个射线源，所述多个射线源交替出来，在同一时间只有一个射线源出来；传动装置，用于使检查对象与所述直线轨迹扫描系统沿直线轨迹作相对运动，从而使检查对象穿过所述直线轨迹扫描成像系统的扫描区域；数据采集单元，对于每个射线源，分别采集检查对象的投影数据；成像单元，根据对于每个射线源所采集的投影数据，重建所述检查对象的图像；显示单元，用于显示重建的图像。

本发明的另一个目的是提供一种直线轨迹扫描成像方法，包括如下步骤：检查对象相对于扫描成像系统移动进入该扫描成像系统的扫描区域；控制多个射线源交替出来，确保在同一时间只有一个射线源出来；对于每个射线源，由一个探测器阵列分别采集相应的投影数据；根据对于每个射线源采集的投影数据，重建所述检查对象的图像；以及显示重

建的图像。

由于本发明采用多个按照一定的空间分布排列，并以一定的时间顺序交替出来的射线源，可以以较短的探测器长度获得较大的扫描视角，从而减少系统所需探测器单元数量并缩小被检物体的总扫描距离。

由于本发明采用直线轨迹扫描代替圆轨迹或螺旋轨迹扫描，检查对象基本上作直线运动，不必考虑圆或螺旋运动中的离心力问题，所以能够对检查对象进行快速成像，大大提高检查对象成像的速度，减少检查对象成像的时间，进而可以很好的满足物品检查通关率的要求，并有助于进一步提高物品检查的通关率，这对于要求较高通关率的检查系统是非常有利的。

由于本发明采用直线轨迹扫描代替圆轨迹或螺旋轨迹扫描，检查对象是直线运动，大型物体不必再进行旋转，解决了大型物体旋转困难的问题，这对于要求检查大型物体的检查系统是非常有利的。

由于本发明可以得到检查对象的断层图像和立体图像，所以本发明很好的解决了传统透射成像安全检查系统成像时存在的物体重叠问题。而且，本发明还可以得到常规的单个或多个视角的透视图像，这样，本发明的系统可通过先得到检查对象的透视图像对其进行初检，当发现有可能的嫌疑区域时才对其进行断层成像，从而进一步对该嫌疑区域进行检查。

由于本发明不需要旋转检查对象或射线源，并利用现有安全检查系统中检查对象直线传动的特点，所以本发明机械设计非常简单，实现成本也很低。

附图说明

图 1 示意性示出了根据本发明的多源直线轨迹扫描成像系统一个实施例的框图。

图 2 示意性示出了根据本发明的双源直线轨迹扫描成像系统的平面示意图。

图 3 示意性示出了根据本发明的多源 ($N > 2$) 直线轨迹扫描成像系统的平面示意图。

图 4 示意性示出了根据本发明的成像系统中单个射线源出来时的扫描立体示意图。

图 5 示意性示出了根据本发明的直线轨迹成像系统中的扫描几何参数定义。

图 6 示意性示出了根据本发明的多源直线轨迹扫描成像方法一个实施例的流程图。

图 7 示意性示出了根据本发明的成像系统在射线源不同水平张角的情况下获得的模拟图像 (x-y 平面) 的效果比较。

图 8 示意性示出了根据本发明的成像系统重建的断层图像 (x-z 平面, y-z 平面) 与透视图像的效果比较。

具体实施方式

以下对实施例的具体描述仅仅用于说明本发明，而不是不用来限制本发明的保护范围。

根据本发明的多源直线轨迹扫描成像系统利用多源直线轨迹扫描得到投影数据，并使用 CT 图像重建和数据处理技术获得断层图像，实现立体成像。本发明的基本思想是：检查对象的行进轨迹为直线轨迹；探测器阵列的接收平面设置成平行于其对应的直线轨迹，至少两个射线源布置于探测器阵列的同一侧，优选地，分布在一条平行于检查对象运行轨迹的直线上；各射线源分别与探测器阵列构成独立的扫描视角，但允许部分重叠；在工作过程中，射线发生单元和数据采集单元保持静止不动，所述检查对象沿其行进轨迹运行，当检查对象快进入第一个射线源的扫描范围时（可用一位置触发装置检测），系统开始采集数据。射线源采用脉冲工作方式交替出来（如图 2 所示），这样，本发明的系统能以较短长度的探测器阵列实现更大范围的扫描视角，从而能够对该检查对象进行更高质量的断层成像，同时还能够以不同角度对该检查对象进行常规的透视成像。

图 1 示意性示出了根据本发明的多源直线轨迹扫描成像系统一个实施例的框图。根据本发明的多源直线轨迹扫描成像系统包括射线发生单元 11、传动装置 18、数据采集单元 12 和显示单元 16。在一个优选实施例中，所述多源直线轨迹扫描成像系统包括成像单元 13、图像处理及识别单元 14、校正单元 15 和主控单元 17 中的一个或多个。

射线发生单元 11 包括多个射线源 1……N，用于产生透射检查对象的射线束。包括 X 射线加速器、X 光机或者放射性同位素，以及相应的辅助设备。总的射线源个数大于或等于两个，所有射线源应安装在探测器的同一侧，优选地，在同一条直线或同一平面上。各射线源分别与探测器阵列构成独立的扫描视角，但允许部分重叠。射线源可以采用脉冲工作方式，各射线源按一定时间间隔交替出来，最好能保证同一时间只有一个射线源

在出来。

传动装置 18 可以是一个机械传动装置，用于承载并传送所述检查对象（或者射线源和探测器），并限定了所述检查对象在所述系统内的行进轨迹。优选地，该传动装置 18 可以包括传送装置 20 和电气控制单元 19，该传送装置 20 用于支撑并传送所述检查对象（或者射线源和探测器）；该电气控制单元 19 用于控制传送装置 20 从而控制所述检查对象沿所述行进路径的运动，物体运动与源和探测器运动属于相对运动，是等价的，以下以物体运动来描述，但应该明确射线源和探测器运动具有相同的意义。在多源直线轨迹扫描成像中，检查对象随传送装置做直线平移，优选地，检查对象在多源直线轨迹扫描成像系统中作匀速直线运动。

数据采集单元 12 用于采集透射过检查对象的射线并转换成数字信号。数据采集单元 12 包括一个探测器阵列，该探测器阵列可以是线阵探测器或面阵探测器，探测器阵列中的探测器一般是等距排列，也可以是等角排列，用于获取锥形束射线穿过被检物体后而衰减的射线强度信息。探测器可以是固体探测器，也可以是气体探测器或半导体探测器。探测器不需要紧密排列，但在 X 轴方向（被检查物体运动方向）需要覆盖一定范围，从而与各射线源形成一定的扫描视角。此外还包括信号转换电路，用于将所述探测器阵列接收到的射线束信号转换成透射数据；数据处理电路，用于将来自信号转换电路的透射数据组合成投影数据；和，逻辑控制电路，用于控制探测器阵列接收射线束信号与数据处理电路传输投影数据同步进行。优选地，数据采集时在检查对象沿直线轨迹平移运动过程中做等间距采样。数据采集触发需要与射线源出来触发同步，以便后续数据处理。

可选的主控单元 17 负责整个成像系统运行过程的主控制，包括机械控制、电气控制、数据采集控制以及安全连锁控制等。本领域技术人员清楚，所述主控单元 17 执行的这些控制操作也可以以分布式方式实现，也就是通过成像系统的各个组件自身的控制装置来执行。优选地，该主控单元 17 包括一个触发脉冲发生器，用于分别为每个射线源产生各自的触发脉冲序列，该触发脉冲序列用于控制各个射线源以脉冲方式交替出来。需要注意的是，该触发脉冲发生器也可以位于其它位置，在所述主控单元 17 的控制下产生触发脉冲序列。可替换地，也可以没有该主控单元 17，该触发脉冲发生器与射线发生单元 11 和数据采集单元 12 等元件交互，然后根据该交互来产生触发脉冲序列。

成像单元 13 负责处理和重建数据采集单元将所采集的投影数据，从

而生成检查对象的透视图像、断层图像以及立体图像。由于重建过程涉及到多个射线源产生的投影数据，需要利用已知的数据采集触发与各射线源出束触发之间的同步关系，提取出各射线源单独出束时的投影数据。各射线源产生的投影数据对重建图像的贡献，可以在图像重建前也可以在重建后进行重组。

显示单元 16 用于显示由所述成像单元 13 重建的图像。透视图像可以抽取面阵探测器某列在时间序列上的输出数据组合而成。

优选地，根据本发明的多源直线轨迹扫描成像系统还包括一个校正单元 15，用于在显示单元 16 显示重建图像之前对重建图形进行校正，以便优化重建的图像。所述校正包括检测不一致性、硬化校正、散射校正，金属伪影校正等等。

优选地，根据本发明的多源直线轨迹扫描成像系统还包括一图像处理及识别单元 14，用于图像处理与模式识别等。在图像处理与模式识别中，通常会用到图像增强，边缘检测，危险品智能识别等技术。

优选地，根据本发明的多源直线轨迹扫描成像系统可以首先得到常规的单个或多个视角的透视图像，这样，本发明的系统可通过先得到检查对象的透视图像对其进行初检，当发现有可能的嫌疑区域时才对其进行断层成像，从而进一步对该嫌疑区域进行检查。

图 2 示意性示出了根据本发明的双源直线轨迹扫描成像系统平面示意图，示出了采用本发明搭建立体成像安全检查系统的一种典型实施例。在图 2 中，射线源的数目为两个，分别安装在探测器阵列的两端，它们之间的连线与检查对象直线运动轨迹平行。每个射线源扇角（检查对象运动方向上的张角）为 60 度，第一射线源的有效扫描视角范围为 90 – 150 度，有效扫描视角范围是指射线源所发出射线中能够到达探测器阵列的所有射线在检查对象运动方向上的入射角范围，第二射线源的扫描视角范围为 30 – 90 度，这样这两个扇角组合在一起正好能得到完整的 120 度的扫描视角范围：30 – 150 度，即整个成像系统的扫描视角为 120 度。需要注意的是，虽然在本实施例中两个射线源的扇角相等为 60 度，但是它们也可以是其它角度，并且可以互不相等。而且，两个射线源的扫描视角范围也可以有部分重叠，例如第一射线源的有效扫描视角范围为 80 – 140 度，第二射线源的扫描视角范围为 40 – 100 度，这样得到的整个系统的扫描视角为 100 度的扫描视角范围：40 – 140 度。当然，第一和第二射线源也可以取其它的扫描视角。

有更多射线源的情况可以依此类推(如图3所示)。射线源采用脉冲工作方式按一定时间间隔交替触发以保证同一时间只有一个射线源在出束。射线源可以是X射线管、加速器射线源或同位素源,视物体尺寸及应用背景而定。

图3示意性示出了根据本发明的多源($N > 2$)直线轨迹扫描成像系统平面示意图。与图2一样,图3中多源直线轨迹扫描成像系统的扫描视角也是通过将每个射线源的扇角组合得到。也就是说,所得到的系统扫描视角范围为N个射线源的有效扫描视角范围的并集,当每个射线源的扫描视角范围连续但不互相重叠时,所得到的系统扫描视角为N个射线源的有效扫描视角之和,而当某些射线源的扫描视角范围部分互相重叠时,所得到的系统扫描视角为N个射线源的有效扫描视角之和减去重叠的部分。

图4示意性示出了根据本发明的成像系统中单个射线源出束时的扫描立体示意图。

在图4中,检查对象被置于传动装置18的传送装置20的传动平台(在图中示出为传送带)上,在电气控制单元19的控制下被沿着直线轨迹在根据本发明的多源直线轨迹扫描成像系统中平稳传送。

在图4中,探测器阵列为面阵探测器,位于射线源对面,垂直于传动平台。探测器在竖直方向覆盖物体,在水平方向与两个射线源构成张角分别为60度,从而使得总的扫描视角在有两个射线源的情况下可以达到120度。数据采集过程中采集的触发需要与射线源出来的触发同步,以便后续数据处理中能够将两个60度扫描视角的数据重组为120度扫描视角的数据,或者将两个从60度扫描视角的数据重建后的图像组合为120度扫描视角的数据重建的图像。这将在后面进一步描述。

在本实施例中,整个成像系统的控制、数据传输、图像重建以及数据处理由计算机(工作站)完成,扫描控制信息、位置信息、投影数据等通过数据采集系统输入到计算机工作站中,由工作站完成物体的透射图像、断层图像以及三维立体图像的重建工作,最后在显示器上显示出来。也就是说,所述射线发生单元11、数据采集单元12、成像单元13、图像处理及识别单元14、校正单元15、显示单元16和主控单元17中的一个或多个可以实现在所述一个计算机工作站中。

为到达精确的图像重建,成像系统的应能够精确测量或标定以下系统参数:各射线源的位置,各射线源到探测器的距离T,各射线源到检查物体直线运动轨迹的距离D,传动装置直线运动速度v,阵列探测器采样间

隔 Δt （探测器阵列接收透射数据空间等效采样间隔为 $\Delta d = v\Delta t$ ），探测器物理尺寸，包括单个探测器物理尺寸和探测器阵列的物理尺寸等。

成像单元13从数据采集单元12接收多个射线源交替出束时的投影数据，并根据通过每个射线源所得到的投影数据重建出断层、立体图像。由于重建过程涉及到多个射线源产生的投影数据，需要利用已知的数据采集触发与各射线源出束触发之间的同步关系，提取出各射线源单独出束时的投影数据。各射线源产生的投影数据对重建图像的贡献，可以在图像重建前也可以在重建后进行重组。前者的处理思路是将多个源线源产生的投影数据等效为单源时的投影数据（单源，相应地扩大探测器阵列的覆盖范围即可），这种处理方式的好处在于可以很显式地处理各射线源中可能存在扫描视角有重叠的问题（即投影数据冗余，在图像重建中是非常普遍的现象，做一个简单加权即可消除），但这种方式要求各射线源至少需要在一个平行于探测器阵列的平面上（各射线源的 T 、 D 值）。后者的处理思路是先分别利用各射线源产生的投影数据重建子图像，再在考虑到数据冗余的情况下对重建的子图像按像素做加权叠加，即得到最终的重建图像。

下面，将参照图5的几何参数定义对本发明的成像原理用数学描述语言作进一步的解释说明。

虽然实际扫描中射线源和探测器固定而使被检查对象（待重建）物体至左向右平移，为了便于数学描述，根据运动的相对性原理，本文在做图像重建时均假设被检物体保持静止，而使射线源和探测器整体自右向左移动。事实上，根据本发明的多射线源直线轨迹扫描成像系统可以看作是多个独立的单源系统组合而成，不过，这个多单源系统共用同一个探测器阵列。所以，可以通过描述单源系统的操作原理来简化对多源系统的描述。

图5示意性示出了直线轨迹成像系统扫描几何参数定义，其相对应单个射线源出束时的直线轨迹扫描成像见图4。

包含射线源运动轨迹并且垂直于面阵探测器的平面设定为 $x-y$ 平面。令 O 为物体坐标系 (x, y, z) 的原点，由于为了便于数学描述假设检查物体静止不动，所以这个原点也是静止的，其在射线源运动轨迹上的正交投影点 O_s 定义为射线源位置零点。为了方便，这里使用了等效探测器的概念，即真实面阵探测器按照几何影射关系虚拟到坐标原点 O 所在的 $x-z$ 平面上。射线源 A 在等效探测器上的正交投影点 O_d 设置为等效探测器单元位置零点，两者距离用 D 表示。若射线源和探测器沿 x 轴反方向以速度 $c < 0$

移动，在某时刻，射线源位置索引值用 l 表示（其相对于 O_s 的偏移量），探测器单元位置索引值用 (t, v) 表示（其相对于 O_d 的水平和竖直偏移量），那么该探测器单元采集到的锥束投影可以表示为 $p(l, t, v)$ 。其中，对应射线源和等效探测器单元在物体坐标系中的坐标分别为 $(l, -D, 0)$ 和 $(l + t, 0, v)$ 。

单个射线源的图像重建可以使用直线滤波反投影算法进行。对投影数据 $p(l, t, v)$ ，被检查对象物体在柱坐标系中表示为 $f(r, \phi, z)$ ，从三维平面坐标系到所述柱坐标系的变换对于本领域技术人员而言是非常清楚的，因而在此次不再累述。在所述柱坐标系下，被检查对象物体 $f(r, \phi, z)$ 的一种近似估计 $\bar{f}(r, \phi, z)$ 为：

$$\bar{f}(r, \phi, z) = \int_{t_{m1}}^{t_{m2}} \frac{1}{\sqrt{D'^2 + t^2}} Q(l', t, z \frac{D}{D + r \sin \phi}) dt$$

其中，

$$Q(l', t, z) = \int q(l, t, z) h(l' - l) dl$$

$$q(l, t, z) = p(l - t, t, z)$$

$$l' = r \cos \phi - \frac{tr \sin \phi}{D}$$

$$D' = \sqrt{D^2 + \left(z \frac{D}{D + r \sin \phi}\right)^2}$$

这里， $[t_{m1}, t_{m2}]$ 表征探测器阵列在X轴方向覆盖范围。 h 为卷积核函数，理论值为 $h(l) = \int_{-\infty}^{\infty} |\omega| e^{j2\pi\omega l} d\omega$ ，离散化时一般采用RL或SL滤波器，SL滤波器的离散形式为：

$$h(n) = \frac{-2}{\pi^2 (4n^2 - 1)}, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

直线滤波反投影算法的特点是：沿数据采集方向 l 对接收的投影数据进行滤波处理，沿探测器方向 t 对接收的投影数据进行积分实现反投影处理。该特点是由直线扫描轨迹决定的。直线滤波反投影算法与将采集的数据重排为平行束的重排算法相比，能够更加充分的利用接收的每一个有效的投影数据，进而能够更好的保持重建图像的分辨率，对数据截断的敏感也远低于重排算法。

不难看出，不同射线源出束时的投影数据 $p(l, t, v)$ 的参数 (l, t, v) 是不完全相同的，即对应不同的扫描角度，如果相同则表示数据有冗余，需要相应地做加权处理。最简单的方法是取相同参数的投影数据做平均。如果各射线源到探测器的距离不同，则意味各个射线源对检查对象同一点的扫

描平面不同，可能造成图像最终的重建图像出现伪影。因此，为了得到高质量的图像，各射线源优选需要在同一平行于探测器阵列的平面内。更优选地，各射线源在一条平行于探测器阵列的直线上。

图 6 示意性示出了根据本发明的多源直线轨迹扫描成像方法一个实施例的流程图。根据本发明的多源直线轨迹扫描成像方法开始于步骤 S1。在步骤 S2，传动装置 18 使检查对象相对于扫描成像系统沿直线轨迹移动进入该扫描成像系统的扫描区域。在一个优选实施例中，射线发生单元 11 和数据采集单元 12 保持静止不动，所述传动装置 18 承载所述检查对象使其沿行进轨迹运行。在步骤 S3，主控单元 17 控制多个射线源交替出来，确保在同一时间只有一个射线源出来。优选地，所述多个射线源采用脉冲工作方式交替出来。在步骤 S4，对于每个射线源每次出来，由数据采集单元 12 分别采集检查对象的投影数据，所述射线源出来与数据采集单元的数据采集是同步的，可以通过相同的触发脉冲序列来控制所述同步。当检查对象快进入第一个射线源的扫描范围时（可用一位置触发装置检测），数据采集单元 12 开始采集数据。在步骤 S5，根据对于每个射线源分别采集的投影数据，成像单元 13 重建所述检查对象的图像。在步骤 S6，显示单元 16 显示重建的图像。优选地，在显示单元 16 显示重建的图像之前，对重建图象进行图像处理、识别，以便识别出危险物品。优选地，在显示单元 16 显示重建的图像之前，对重建图象进行校正，以优化重建的图像。优选地，可以重建并显示常规的单个或多个视角的透视图像，这样，就可以通过先得到检查对象的透视图像对其进行初检，当发现有可能的嫌疑区域时才对其进行断层成像，从而进一步对该嫌疑区域进行检查。最后，在步骤 S7，根据本发明的多源直线轨迹扫描成像方法结束。

图 7 示意性示出了成像系统在射线源不同水平张角的情况下获得的模拟图像（x-y 平面）的效果比较。图 7 示出了对某一行李模型进行的模拟实验结果。图 7 所示模拟试验中，采用了 2 个射线源、每个射线源的扫描视角范围分别为设置为 45、60 及 75 度。其中，图 a 是实验模型示意图、图 b 是总扫描视角为 90 度的重建结果、图 c 是总扫描视角为 120 度的重建结果、图 d 是总扫描视角为 150 度的重建结果。

图 8 示意性示出了成像系统重建的断层图像（x-z 平面，y-z 平面）与透视图像的效果比较。图 8 示出了是对与图 7 相同的行李模型进行的模拟实验结果。图 8 所示模拟试验中，采用了 2 个射线源、每个射线源的扫

描视角范围分别为 60 度。其中，图 a 是模型 x-z 平面中心层的示意图、图 b 是本系统模拟重建 x-z 平面中心层的效果图、图 c 是模型 y-z 平面中心层的示意图、图 d 是本系统模拟重建 y-z 平面中心层的效果图、图 e 是本系统获取透视图像 (x-z 平面) 的模拟效果。

尽管这里参考具体的优选实施例对本发明进行了描述，但是本领域的技术人员可以理解，在不脱离本发明范围的情况下，本发明可以进行各种修改、增加、置换以及变型。

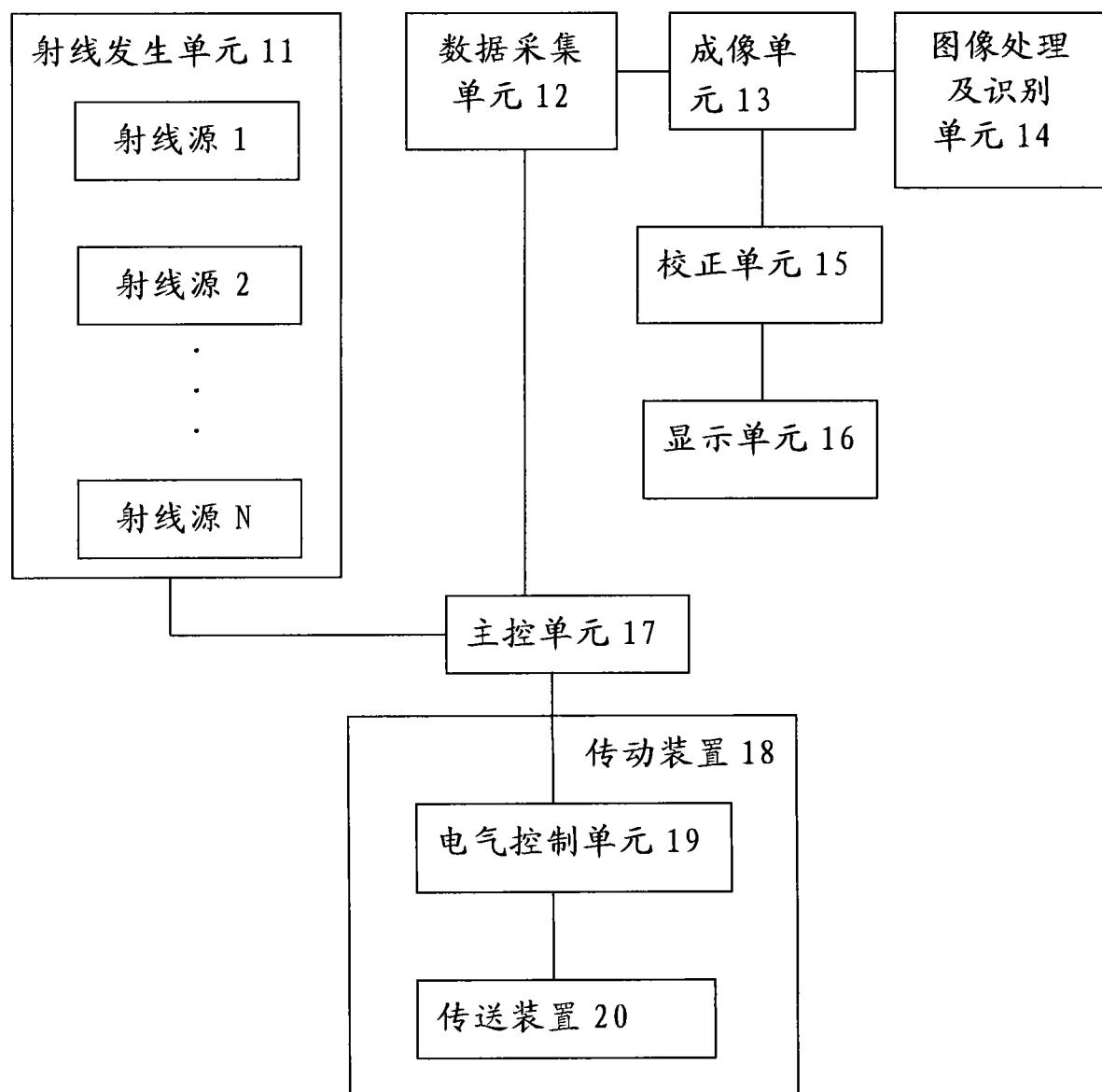


图 1

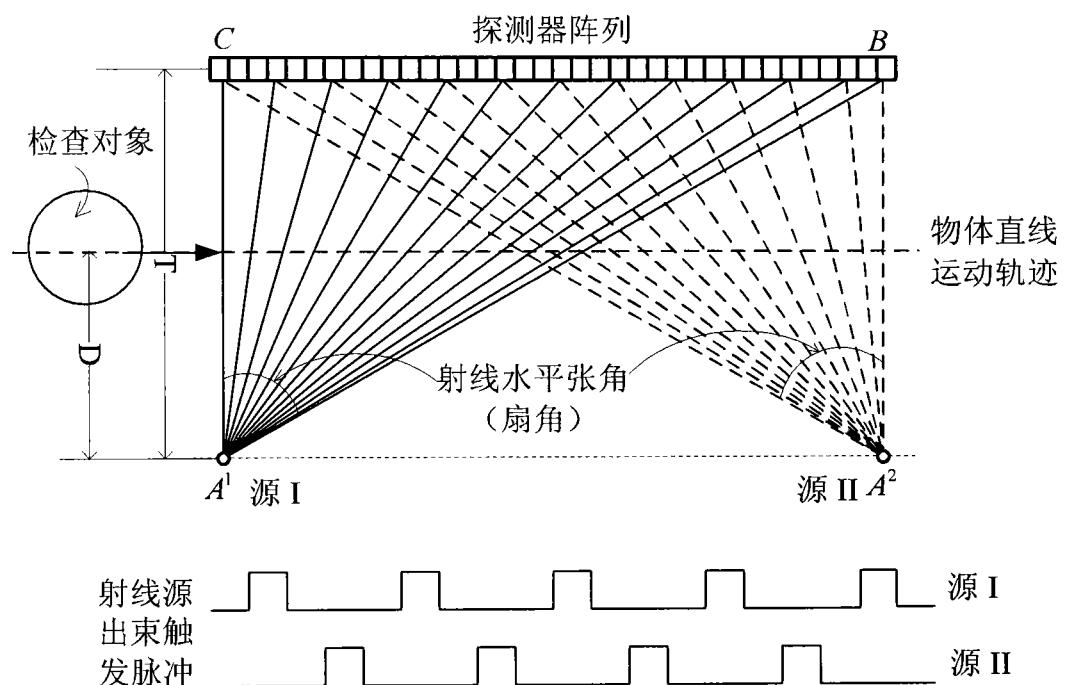


图 2

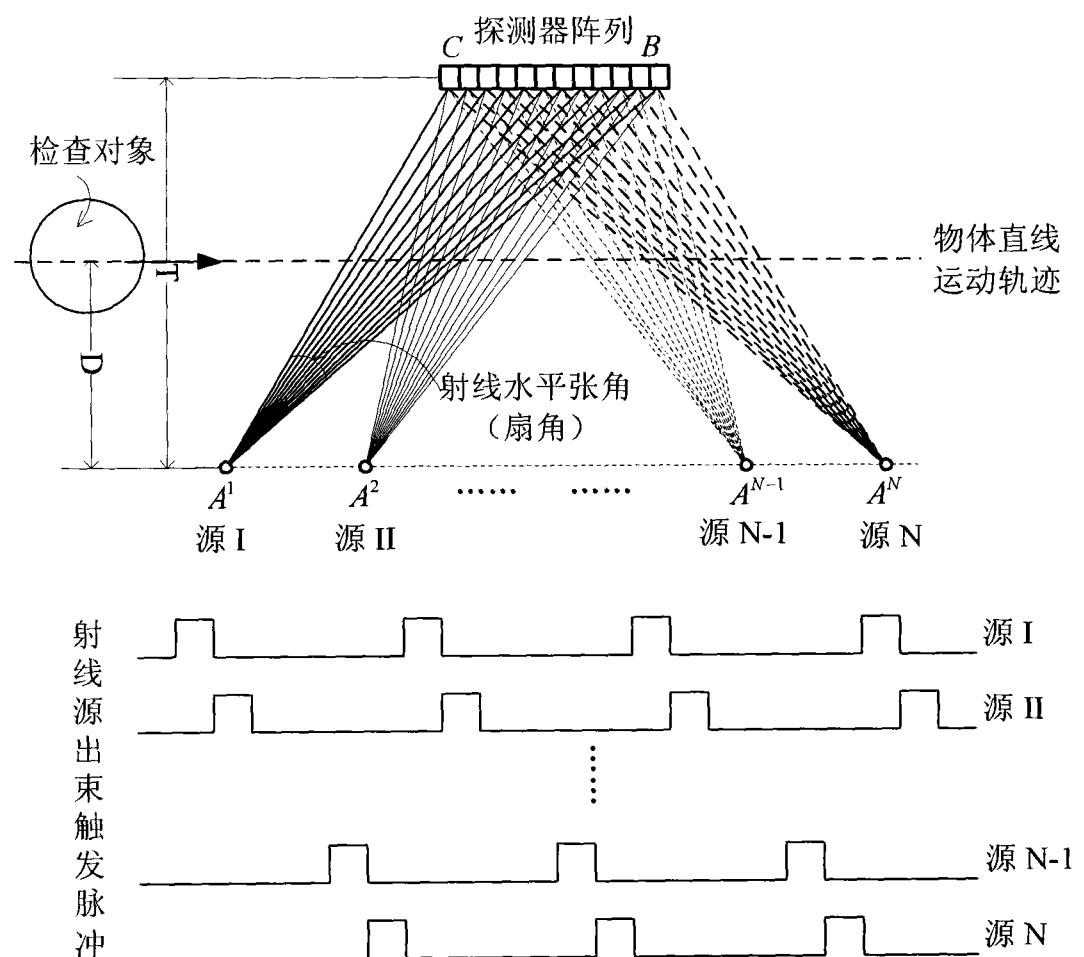


图 3

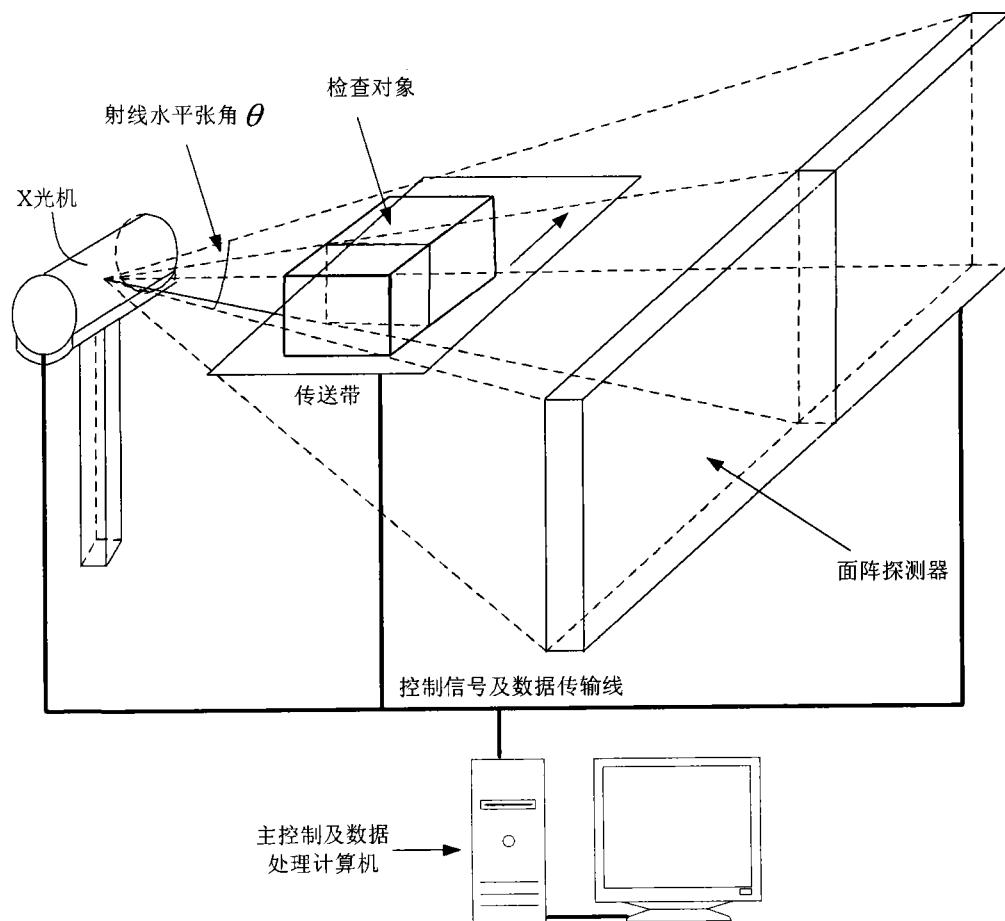


图 4

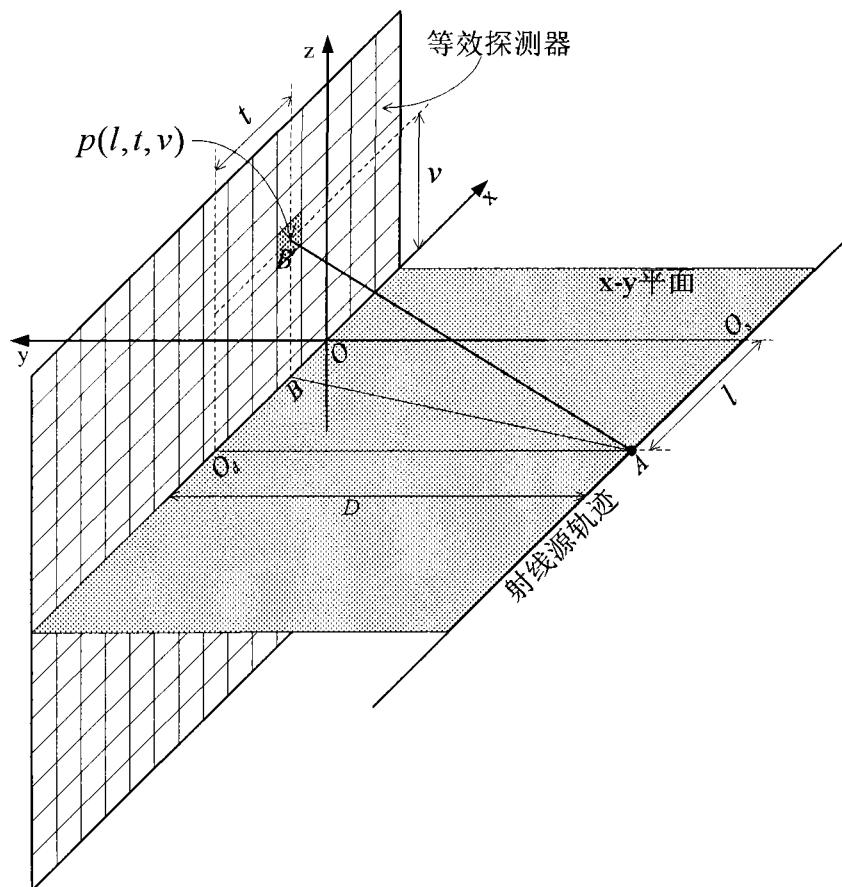


图 5

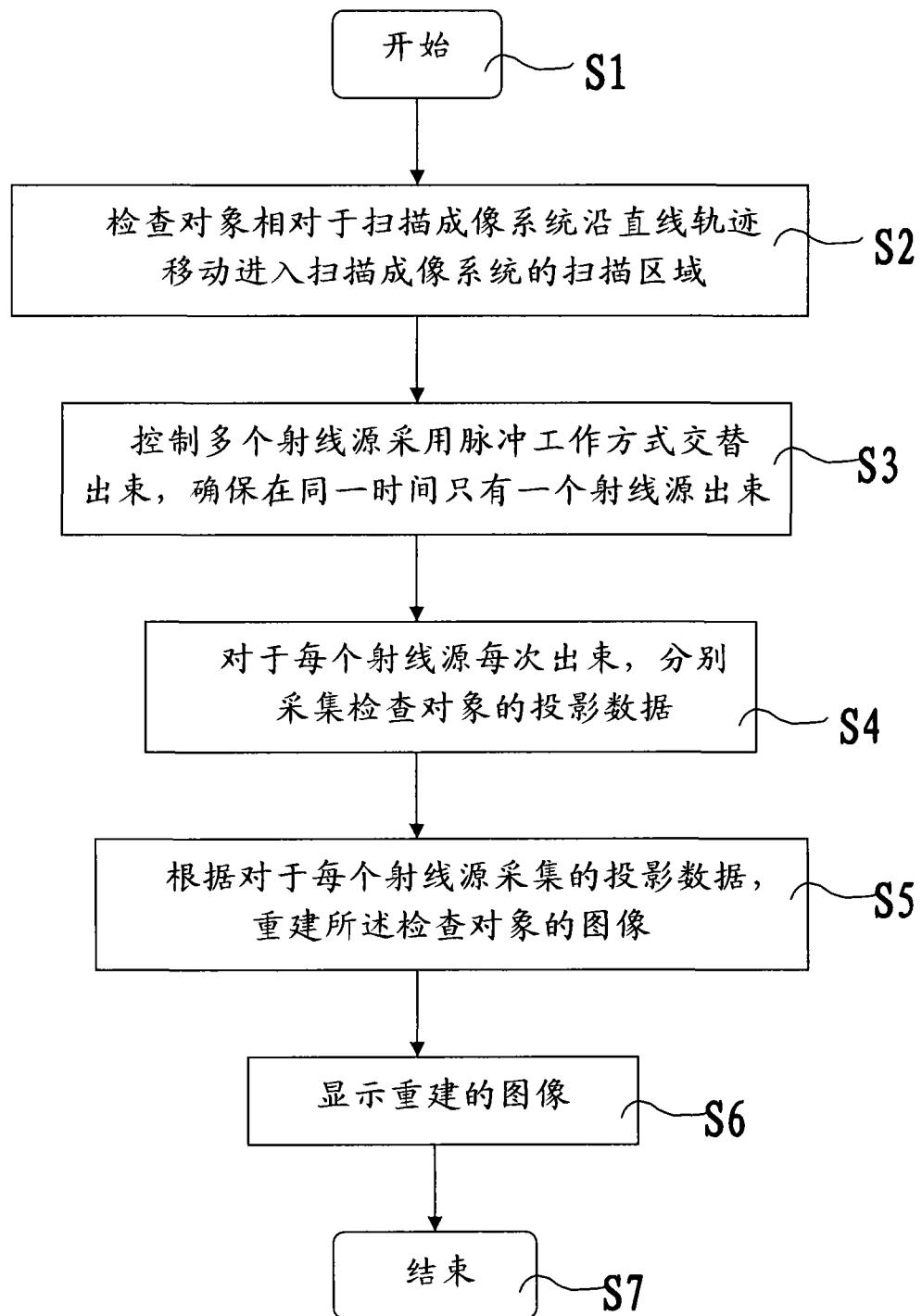


图 6

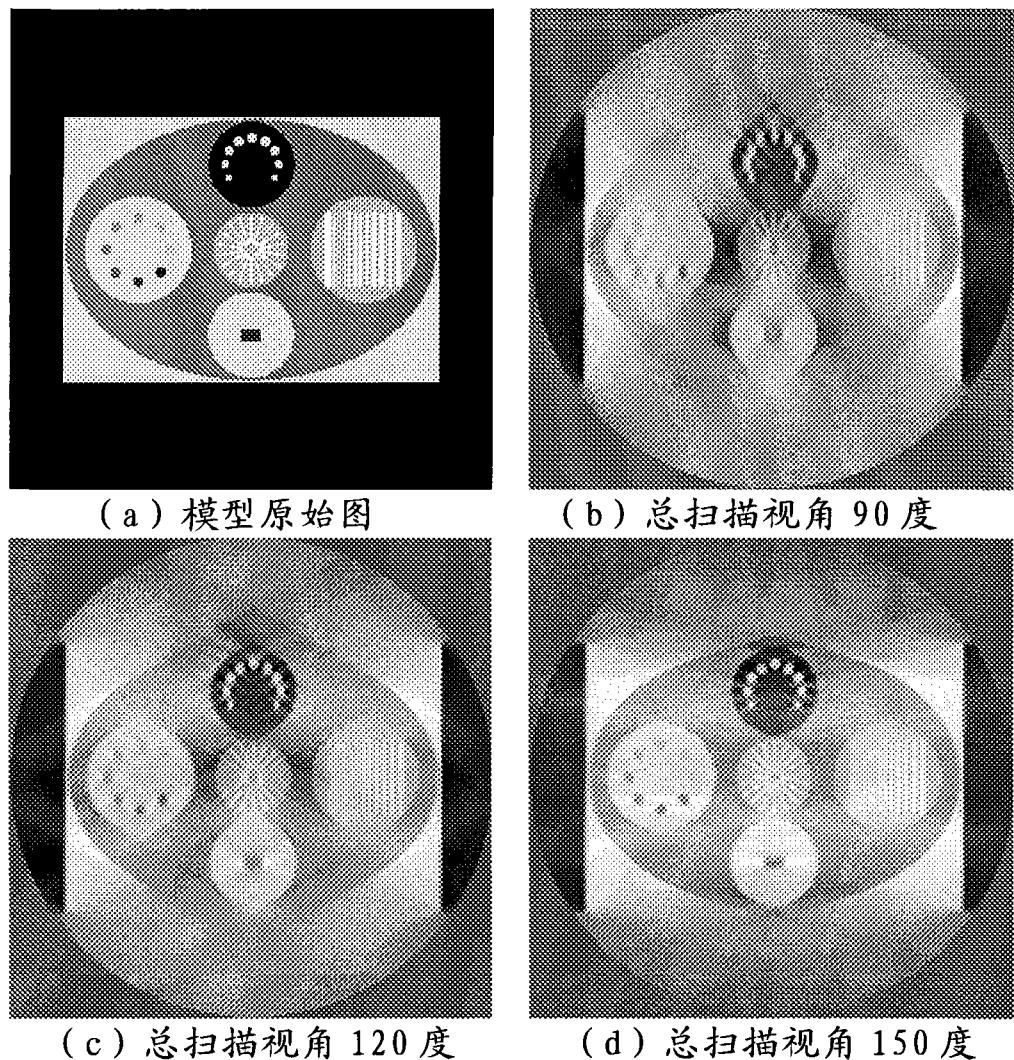
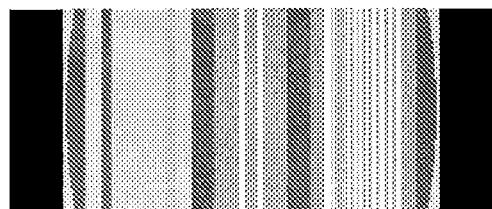
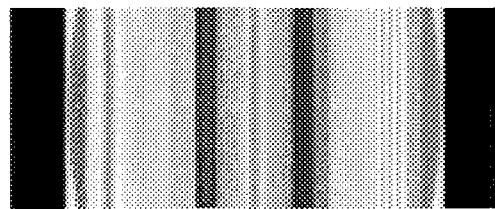


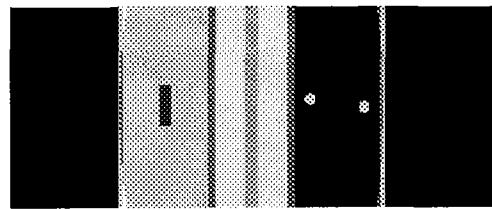
图 7



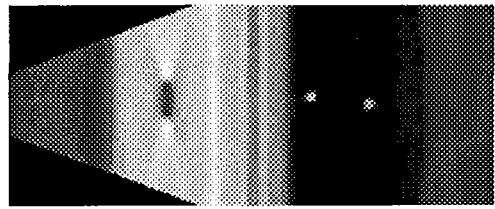
(a) 模型 x-z 平面中心层



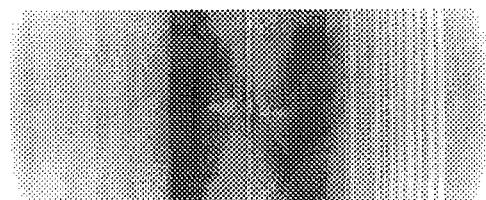
(b) 本系统模拟重建 x-z 平面中心层



(c) 模型 y-z 平面中心层



(d) 本系统模拟重建 y-z 平面中心层



(e) 本系统获取透视图像(x-z 平面)模拟效果

图 8