



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117854793 A

(43) 申请公布日 2024. 04. 09

(21) 申请号 202311825654.3

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2017.09.20

G21G 1/00 (2006.01)

(30) 优先权数据

A61K 51/12 (2006.01)

62/397,022 2016.09.20 US

G21F 5/015 (2006.01)

62/397,025 2016.09.20 US

G21H 5/02 (2006.01)

62/397,026 2016.09.20 US

G21G 4/08 (2006.01)

G01T 1/14 (2006.01)

(62) 分案原申请数据

201780069633.X 2017.09.20

(71) 申请人 布拉科诊断公司

地址 美国新泽西

(72) 发明人 C·莫耶斯 艾德里安·纳恩

A·施默勒 B·切伦多洛

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

专利代理师 王丽军

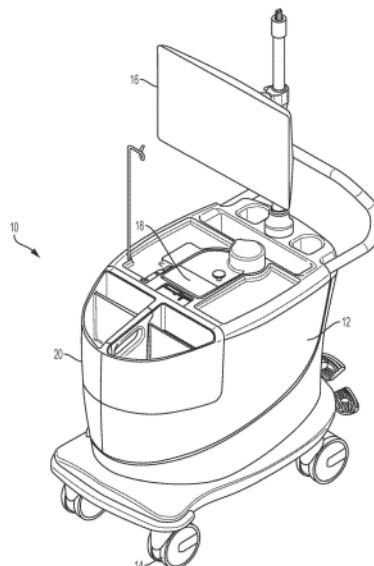
权利要求书1页 说明书54页 附图21页

(54) 发明名称

具有检测 γ 和 β 发射的多检测器的放射性同位素递送系统

(57) 摘要

核医学输注系统 (10) 可用于产生放射性液体并将其注入经历诊断成像程序的患者体内。在一些实例中,输注系统包括携带放射性同位素发生器 (52) 的框架 (30), 该放射性同位素发生器通过洗脱产生放射性洗出液。框架还可以携带 β 检测器 (58) 和 γ 检测器 (60)。可以定位 β 检测器以测量由发生器提供的放射性洗出液发射的 β 发射。可以定位 γ 检测器以测量从一部分放射性洗出液发射的 γ 发射, 以评估由输注系统递送的放射性洗出液的安全性。



1. 一种输注系统,其包括:

框架,所述框架携带 β 检测器和 γ 检测器并且被进一步配置成接收放射性同位素发生器,所述发生器经由洗脱产生放射性洗出液,

其中所述 β 检测器定位成测量所述放射性洗出液发射的 β 发射,和

所述 γ 检测器定位成测量从所述放射性洗出液的一部分发射的 γ 发射,以评估由所述输注系统递送的所述放射性洗出液的安全性。

2. 根据本文任一权利要求所述的输注系统,其中所述 γ 检测器被定位成评估所述放射性洗出液的安全性,以确保由所述放射性同位素发生器产生的放射性洗出液对患者输注是安全的。

3. 根据本文任一权利要求所述的输注系统,还包括被配置为当所述放射性同位素发生器被接收在所述框架中时直接或间接地从所述放射性同位素发生器接收所述放射性洗出液的输注管线。

4. 根据本文任一权利要求所述的输注系统,还包括与所述输注管线流体连通的洗出液接收容器以接收所述放射性洗出液的部分,从而提供放射性液体的静态部分用于由所述 γ 检测器评估。

5. 根据本文任一权利要求所述的输注系统,

其中所述 β 检测器定位成测量从流过所述输注管线的放射性洗出液发出的 β 发射;和

所述 γ 检测器定位成测量由所述洗出液接收容器接收的所述放射性洗出液的部分发射的 γ 发射。

6. 根据本文任一权利要求所述的输注系统,其中所述洗出液接收容器包括小瓶,所述输注管线包括在其端部的针,并且在所述输注管线上的所述针插入所述小瓶中。

7. 根据本文任一权利要求所述的输注系统,还包括废物容器。

8. 根据本文任一权利要求所述的输注系统,其中

输注管线是输注管道回路的一部分,所述输注管道回路包括洗出液管线、废物管线和多路分流阀,

当所述框架接收所述放射性同位素发生器时,所述输注管线通过所述多路分流阀与所述洗出液管线流体连通,并且所述废物管线通过所述多路分流阀与所述洗出液管线流体连通,

所述输注管线连接到所述洗出液接收容器,并且

所述废物管线连接到所述废物容器。

9. 根据本文任一权利要求所述的输注系统,进一步包括机柜结构,其至少容纳所述放射性同位素发生器、所述输注管道回路、所述洗出液接收容器、所述 β 检测器和所述 γ 检测器。

10. 根据本文任一权利要求所述的输注系统,其中所述机柜结构具有顶表面,所述顶表面具有形成在其中的开口,所述洗出液接收容器配置成通过所述开口被移除和插入。

具有检测 γ 和 β 发射的多检测器的放射性同位素递送系统

[0001] 本申请是于2017年9月20日提交的发明名称为“具有检测 γ 和 β 发射的多检测器的放射性同位素递送系统”的中国发明专利申请CN 201780069633.X (国际申请号PCT/US2017/052535)的分案申请。

[0002] 交叉引用

[0003] 本申请要求美国临时专利申请62/397,022、美国临时专利申请62/397,025和美国临时专利申请62/397,026的权益,其每个申请均于2016年9月20日提交。这些申请的全部内容通过引用并入本文。

技术领域

[0004] 本公开涉及用于核医学的放射性药物,更具体地,涉及用于产生和递送放射性药物的系统和技术。

背景技术

[0005] 核医学使用放射性物质进行治疗和诊断成像。正电子发射断层扫描 (PET) 是一种诊断成像,其利用放射性药物剂量。放射性药物剂量可以在PET扫描程序之前或期间注射或输注到患者体内。注入剂量的放射性药物可以被患者的目标器官的细胞吸收并发射辐射。PET扫描仪可以检测发射的辐射,以便产生器官的图像。例如,为了使身体组织如心肌成像,患者可以被注入或输注铷-82 (^{82}Rb)。铷-82可以表现出与钾相似的生理摄取,因此可以在钾途径后进入心肌。

[0006] 使用锶-铷发生器 ($^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ 发生器) 可以为核医学程序生成铷-82。铷-82是锶-82的放射性衰变产物。通常,锶-铷发生器含有与发生器柱结合的锶,在操作过程中通过该发生器柱冲洗洗脱液。当锶-82衰变成铷-82时,铷-82可从发生器柱中释放并进入洗脱液。得到的流称为洗出液,可以被注射或输注到患者体内。

发明内容

[0007] 一般地,本公开涉及用于产生和/或递送放射性液体的装置、系统、部件和技术。放射性液体可以在诊断成像程序期间产生并输注到患者体内,诊断成像程序例如正电子发射断层扫描 (PET) / 计算机断层扫描 (CT) 或正电子发射断层扫描 (PET) / 磁共振成像 (MRI) 程序。在特定诊断成像程序之前、期间和/或之后,可以测量由输注系统产生的放射性液体的辐射水平,以确定放射性液体中一种或多种放射性同位素的活性水平(例如辐射发射的大小)。可以测量一种或多种放射性同位素的活性水平,以确定在成像过程中用于输注到患者体内的放射性同位素处于用于正在进行的特定程序的适当水平。附加地或替代地,可以测量一种或多种放射性同位素的活性水平以确定具有比用于输注的放射性同位素更长的半衰期的放射性同位素是否存在于放射性液体中的阈值浓度之上。这种相对持久的放射性同位素可以是理想地被排除在输注到患者体内之外的污染物。

[0008] 例如,在锶-铷放射性同位素发生器的应用中,通过使洗脱液通过含有结合的锶-

82(也称为⁸²Sr和Sr-82)的基底,可以产生含有放射性同位素铷-82(也称为⁸²Rb和Rb-82)的放射性洗出液。当Sr-82衰变成Rb-82时,Rb-82可从基底释放,导致Rb-82释放到洗脱液中,从而通过洗脱产生放射性洗出液。随着放射性同位素发生器接近其使用寿命的终点,除了其衰变产物Rb-82之外,锶本身也可以开始释放到由发生器产生的洗出液中。可监测洗出液中锶的活性水平,以帮助确保含有过多锶(或其他污染放射性同位素)的洗出液未注入患者体内。这是因为Sr-82的半衰期(25.5天)比Rb-82的半衰期(76秒)长得多,并且如果注射到患者体内,会比Rb-82在患者体内产生更长时间期间的放射性发射。

[0009] 在根据本发明的一些实例中,描述了一种输注系统,其包括多个检测器,所述多个检测器定位成评估由放射性同位素发生器产生的放射性洗出液的安全性。多个检测器可各自用于确定放射性洗出液中相同或不同放射性同位素的活性。每个检测器可以检测从放射性洗出液发射的放射性发射,并且可以由此确定放射性洗出液中可能存在的一种或多种放射性同位素的活性水平或浓度。在一些配置中,使用β检测器和γ检测器来实现多个检测器。

[0010] β检测器可以测量放射性β衰变引起的β发射。在β衰变期间,从原子核发射为电子或正电子的β粒子。β检测器可以检测从放射性洗出液中发射的β粒子,从而允许确定认为与那些β粒子相关的放射性同位素的活性水平。相比之下,γ检测器可以测量由放射性γ衰变引起的γ发射或光子。在γ衰变期间,可以从原子核发射高能光子流,从而提供可检测的γ射线。γ射线的能量水平可以根据发射射线的特定放射性同位素而变化。γ检测器可以检测γ发射,例如通过测量全部或部分γ谱,允许确定一种或多种放射性同位素的活性水平。与剂量校准器不同,γ检测器可以区分具有不同能量水平的光子。

[0011] 由β检测器和γ检测器进行的活性测量可与剂量校准器进行的活性测量区分开。剂量校准器是用于在临床使用之前测定放射性物质活性的仪器。该测定的目的是确保患者接受用于诊断或治疗目的的处方剂量。剂量校准器包括静电计,用于测量宽范围的电离电流,从用于β发射器的毫微微安培(fA)至用于高能量高产量的光子发射器的高达数十皮安(pA)。一些高活性测定甚至可能涉及微安(μA)电流。静电计的精度取决于静电计的类型和质量以及用于校准静电计的标准参考源的精度。剂量校准器没有固有的光子能量辨别能力。剂量校准器不包括光谱仪,并且不将对γ检测器能够执行的特定光子能量的测量限于排除其他。

[0012] 虽然放射性同位素发生器系统的配置可以如本文所述变化,但在一些实例中,该系统包括β检测器,其定位成测量流过位于β检测器附近的管道的洗出液的放射性。γ检测器也可以定位成测量流过管道的洗出液的放射性,或者代之以可以定位成测量位于γ检测器附近的放射性洗出液的静态(非流动)部分的放射性。例如,放射性同位素发生器系统可包括与输注管流体连通并在输注管下游的洗出液接收容器,该输注管与放射性同位素发生器的出口流体连通。由放射性同位素发生器产生的放射性洗出液可以流过管道并经过β检测器,然后发射到位于邻近γ检测器的洗出液接收容器中。

[0013] 放射性同位素发生器系统可以以进行来自β检测器和/或γ检测器的测量的不同模式的操作。例如,在质量控制程序期间,与放射性同位素发生器的出口流体连通的输注管线可以连接到洗出液接收容器而不是患者导管。在该质量控制程序期间,放射性同位素发生器可产生放射性洗出液,其流过管线,经过β检测器,并进入洗出液接收容器。β检测器可

测量放射性洗出液在流过输注管时的 β 发射,例如,以确定洗出液中Rb-82的活性水平。 γ 检测器可以从洗出液接收容器中的洗出液接收 γ 发射,例如,以确定洗出液中Sr-82、锶-85(也称为 ^{85}Sr 或Sr-85)和/或其他污染物的活性水平。

[0014] 在实践中,流过输注管线的洗出液中Rb-82的活性水平可以比洗出液中任何污染物的活性水平高一个数量级或更多。因此,由 β 检测器测量的所有 β 发射(包括从Rb-82和任何潜在的污染物如锶发出的那些)可以假定是从洗出液中存在的Rb-82发出,而不解决任何污染同位素发射的那些发射。为了确定任何这种污染同位素的活性,可以测量洗出液接收容器中洗出液的静态部分的 γ 发射。在一些应用中,将洗出液保持在洗出液接收容器中一段时间,该时间足以使洗出液中的Rb-82基本上衰变。这可以减少由 γ 检测器测量的干扰 γ 辐射(来自Rb-82)的量,并且允许 γ 检测器更好地检测从污染放射性同位素(例如锶)发射的 γ 辐射。可以基于测量的 γ 发射确定一种或多种这种污染放射性同位素的活性水平。如果一种或多种这样的污染放射性同位素的活性超过允许极限,则放射性同位素发生器系统可以禁止随后的患者输注程序。

[0015] 除了在质量控制模式下操作之外,放射性同位素还可以在患者输注模式下操作以执行患者输注程序。在患者输注程序期间,与放射性同位素发生器的出口流体连通的输注管线可以连接到患者导管。由放射性同位素发生器产生的放射性洗出液可以流过管道并经过 β 检测器。放射性同位素发生器系统可以基于 β 检测器测量的 β 发射水平确定放射性同位素发生器产生的洗出液中Rb-82的活性。放射性同位素发生器系统可以将最初由发生器产生的洗出液转移到废物容器中,直到在洗出液中检测到阈值量的Rb-82活性。在通过 β 检测器检测到阈值量的Rb-82活性后,发生器系统可以将洗出液从废物容器转移到患者导管,从而向患者注射或输注含有放射性Rb-82的洗出液。

[0016] 通过配置具有 β 检测器和 γ 检测器的放射性同位素发生器系统,放射性同位素发生器系统可以提供集成系统以帮助确保由系统产生的放射性洗出液的安全性和准确性。检测器的组合可用于执行各种不同的放射性同位素测量并基于那些放射性同位素测量实施相应的控制方案和/或质量分析。因此,配置具有多个检测器的系统(例如,测量不同类型的放射性发射)可以在不同的放射性同位素之间提供更准确的分辨率和/或允许交叉检查使用多个检测器确定的活性以提高准确度。

[0017] 在一些实例中,根据本公开的放射性同位素发生器系统被配置为携带 β 检测器、 γ 检测器、放射性同位素发生器、控制器以及相关硬件和软件的移动推车,以执行本文描述的技术。放射性同位素发生器系统还可以包括屏蔽组件,该屏蔽组件提供对放射性辐射的屏障。屏蔽组件可以安装在移动推车上,并且推车上携带的一个或多个其他部件可以安装在屏蔽组件中。

[0018] 在一些配置中,屏蔽组件包括由一个或多个屏蔽材料壁隔开的多个隔室。例如,屏蔽组件可包括一个包含放射性同位素发生器的隔室和另一个包含 γ 检测器的隔室。屏蔽组件的隔室可以布置成相对于包含放射性同位素发生器的隔室定位包含 γ 检测器的隔室,以便减少放射性同位素发生器发射的背景辐射被 γ 检测器检测到。如果 γ 检测器暴露于太多的背景辐射(例如,由发生器柱的内容物发射的辐射),则 γ 检测器可能饱和和/或在评估洗出液的安全性时不能适当地检测由位于检测器前面的洗出液样品发射的辐射水平。因此,确保 γ 检测器适当地屏蔽放射性同位素发生器可以帮助确保整个放射性同位素发生器系

统的安全和有效操作。

[0019] 在一个实例中,描述了输注系统,其包括框架,该框架携带 β 检测器和 γ 检测器并且被进一步配置成接收放射性同位素发生器,该发生器经由洗脱产生放射性洗出液。 β 检测器定位成测量放射性洗出液发射的 β 发射。 γ 检测器定位成测量从放射性洗出液的一部分发射的 γ 发射,以例如除了执行诸如剂量恒定性(也可以称为恒定性评估或恒定性检查)之类的其他功能之外还评估由输注系统递送的放射性洗出液的安全性。

[0020] 在另一个实例中,描述了输注系统,其包括 β 检测器、 γ 检测器、放射性同位素发生器、废物容器、洗出液接收容器和输注管线。 β 检测器定位成测量由放射性同位素发生器提供并流过输注管线的放射性液体发射的 β 发射。 γ 检测器定位成测量由洗出液接收容器接收的静态体积的放射性液体发射的 γ 发射。

[0021] 在另一个实例中,描述了一种输注系统,其包括可移动框架、洗脱液储存器、泵和通过泵连接到洗脱液储存器的放射性同位素发生器。放射性同位素发生器配置成通过洗脱含有Sr-82的柱产生含有Rb-82的放射性洗出液。该实例规定,输注系统还包括废物容器、洗出液接收容器和输注管道回路。输注管道回路包括输注管线、洗出液管线和废物管线。洗出液管线连接到放射性同位素发生器的出口,输注管线定位成在洗出液管线和洗出液接收容器之间提供流体连通,并且废物管线定位成提供洗出液管线和废物容器之间的流体连通。该实例还包括 β 检测器和 γ 检测器。 β 检测器定位成测量由放射性同位素发生器产生并流过洗出液管线的放射性洗出液发射的 β 发射。 γ 检测器定位成测量由放射性同位素发生器产生并由洗出液接收容器接收的放射性洗出液发射的 γ 发射。

[0022] 在另一个实例中,描述了一种输注系统,其包括可移动框架、洗脱液储存器、泵和通过泵连接到洗脱液储存器的放射性同位素发生器。放射性同位素发生器配置成通过洗脱含有Sr-82的柱产生含有Rb-82的放射性洗出液。该实例规定,系统还包括废物容器、洗出液接收容器和输注管道回路。输注管道回路包括输注管线、洗出液管线和废物管线。洗出液管线连接到放射性同位素发生器的出口,输注管线定位成在洗出液管线和洗出液接收容器之间提供流体连通,并且废物管线定位成提供洗出液管线和废物容器之间的流体连通。该实例系统还包括放射性屏蔽、 β 检测器和 γ 检测器。放射性屏蔽至少包围输注管道回路的一部分、 β 检测器和 γ 检测器。 β 检测器定位成测量由放射性同位素发生器产生并流过洗出液管线的放射性洗出液发射的 β 发射。 γ 检测器定位成测量由放射性同位素发生器产生并由洗出液接收容器接收的放射性洗出液发射的 γ 发射。该系统还包括与 β 检测器和 γ 检测器进行电子通信的控制器。控制器配置成基于 β 检测器测量的 β 发射确定放射性洗出液中Rb-82的活性,并基于由 γ 检测器测量的 γ 发射(例如,通过测量来自Sr-82、Rb-82的衰变产物的 γ 发射)确定放射性洗出液中Sr-82和/或Sr-85的活性。控制器还被配置成控制输注系统以在患者输注程序期间向患者输送放射性洗出液的剂量。

[0023] 在另一个实例中,描述了一种系统,其包括屏蔽组件,该屏蔽组件具有多个隔室,每个隔室提供对放射性辐射的屏障。该系统包括第一隔室、第二隔室和第三隔室,第一隔室配置成接收通过洗脱产生放射性洗出液的放射性同位素发生器,第二隔室配置成接收 β 检测器,第三隔室配置成接收 γ 检测器。

[0024] 在另一个实例中,描述了一种系统,其包括屏蔽组件,该屏蔽组件包括多个隔室,每个隔室提供对放射性辐射的屏障。该系统包括第一隔室和第二隔室,第一隔室被配置为

接收和保持放射性同位素发生器,该放射性同位素发生器通过洗脱产生放射性洗出液,第二隔室被配置为接收 β 检测器和至少一部分与放射性同位素发生器流体连通的输注管道回路。该实例指定 β 检测器定位成测量由放射性同位素发生器产生并流过输注管道回路的一部分的放射性洗出液发射的 β 发射。该系统还包括第三隔室,其配置成接收洗出液接收容器和 γ 检测器。 γ 检测器定位成测量由洗出液接收容器接收的放射性洗出液的静态部分发射的 γ 发射。另外,该实例表明该系统包括配置成接收废物容器的第四隔室。

[0025] 在另一个实例中,描述了一种输注系统,其包括框架,框架携带 β 检测器、 γ 检测器以及通信地耦合到 β 检测器和 γ 检测器的控制器。框架还被配置为接收铯-钷放射性同位素发生器,其通过洗脱产生放射性洗出液。该实例规定 β 检测器定位成测量放射性洗出液发射的 β 发射, γ 检测器定位成测量放射性洗出液发射的 γ 发射。该实例还规定控制器配置成基于 β 检测器测量的 β 发射确定放射性洗出液中铯的活性,并基于 γ 检测器测量的 γ 发射确定放射性洗出液中铯的活性。

[0026] 在另一个实例中,描述了一种方法,其包括将洗脱液泵送通过铯-钷放射性同位素发生器,从而通过洗脱产生放射性洗出液。该方法包括将放射性洗脱液输送通过 β 检测器并测量由放射性同位素发生器产生的放射性洗出液发出的 β 发射,以及流过洗出液管线并由此确定放射性洗出液的活性。该方法还涉及在位于与 γ 检测器相邻的洗出液接收容器中接收输送通过 β 检测器的放射性洗出液。另外,该方法包括测量由洗出液接收容器接收的放射性洗出液发射的 γ 发射,并由此确定洗出液接收容器中放射性洗出液中铯的活性。

[0027] 附图和以下描述中阐述了一个或多个实例的细节。其它特征、目标和优势将从描述和图式以及权利要求书而显而易见。

附图说明

[0028] 图1和2分别是可用于产生和输注放射性液体的示例输注系统的透视图和俯视图。

[0029] 图3是图1和2中所示系统的后视图,示出了可以包括在系统中的附加示例特征。

[0030] 图4和5分别是图1-3的系统的透视图和俯视图,示出为机柜结构为了说明的目的被移除并且示出了示例屏蔽组件布置。

[0031] 图6是示出可以包括在图1-5的系统中的部件的示例布置的框图,以产生放射性洗出液并检测放射性发射。

[0032] 图7A和7B是图4和图5的屏蔽组件的示例配置的透视图,为了说明的目的,显示为从推车框架上移除。

[0033] 图7C是来自图7A和7B的示例屏蔽组件的透视图,显示为沿图7A中A-A剖面线剖开。

[0034] 图7D是来自图7A和7B的示例屏蔽组件的侧视图,显示为沿图7A中B-B剖面线剖开。

[0035] 图7E是来自图7A和7B的示例屏蔽组件的俯视图,示出了隔室的示例布置,其中辐射路径穿过限定隔室的一个或多个侧壁部分。

[0036] 图7F是图7D的示例屏蔽组件的一部分的分解图,示出了相对于 γ 检测器的洗出液接收容器的示例布置。

[0037] 图8是可用于执行患者输注程序以将放射性液体注入患者体内的示例技术的流程图。

[0038] 图9是可用于执行质量控制程序的示例技术的流程图。

[0039] 图10-16描述了可以根据本公开在输注系统上周期性地执行的示例性校准和质量控制测试。

具体实施方式

[0040] 一般而言,本公开涉及系统、部件和技术,其用于产生放射性液体、输注放射性液体到患者体内,并确保安全性、准确性及因此产生的放射性液体的质量。可以执行所描述的系统、部件和技术以检测和量化多个不同的放射性同位素。在一些实例中,系统包括多个检测器,所述多个检测器沿着来自放射性同位素源的流体路径定位在不同位置处,以测量由放射性同位素源提供的流体中存在的一种或多种放射性同位素。由多个检测器单独或组合检测和测量的放射性发射可用于确定系统中存在的一种或多种放射性同位素的活性。如果系统确定一种或多种放射性同位素的活性在允许的限度内,则系统可以允许和控制放射性液体从放射性同位素源向患者的递送。相反,如果系统确定一种或多种放射性同位素的活性在可允许的限度之外,例如在质量控制程序期间,则系统可以防止在随后的患者输注程序期间输注到患者中直到问题得到解决。

[0041] 在本文所述的一些实例中,放射性同位素发生器系统包括位于通过洗脱产生放射性洗出液的放射性同位素发生器的下游的 β 检测器和 γ 检测器。在患者输注程序期间,输注管道回路可以将放射性同位素发生器的出口连接到患者导管。输注管道回路可以定位在 β 检测器附近,使得当洗出液流过输注管道回路时,洗出液通过 β 检测器。可以通过 β 检测器检测洗出液发射的 β 发射,并确定与那些 β 发射相关的放射性同位素的活性。

[0042] 为了执行质量控制程序,输注管道回路可以连接到洗出液接收容器而不是患者导管。洗出液接收容器可以是与 γ 检测器相邻定位的容器,使得由接收在容器中的洗出液发出的 γ 发射可以由 γ 检测器检测。在操作过程中,可以产生足以部分或完全填充洗出液接收容器的洗出液量并将其提供给洗出液接收容器。然后, γ 检测器可以测量在接收容器中的洗出液发射的 γ 发射,例如,以确定洗出液中存在的一种或多种放射性同位素的活性。在一些应用中,通过 β 检测器测量的 β 发射被用于确定在洗出液中的Rb-82的活性,而由 γ 检测器测量的 γ 发射被用于确定洗出液中污染物如锶的活性。

[0043] 便于从同一放射性液体样品中测量不同类型放射性衰变产物的多检测器系统可与产生如此测量的放射性液体的放射性同位素发生器集成。这可以提供用于在不同临床位置方便使用和部署的集成系统。例如,可以是或者可以不是移动的集成系统可以包括框架,该框架携带 β 检测器和 γ 检测器并且被进一步配置成接收放射性同位素发生器,该发生器经由洗脱产生放射性洗出液。 β 检测器可以直接或间接地支撑在框架上,例如通过放射性屏蔽材料。类似地, γ 检测器可以直接或间接地支撑在框架上,例如也可以通过放射性屏蔽材料。可以定位 β 检测器和 γ 检测器以分别测量从放射性同位素发生器排出的放射性洗出液的 β 和 γ 发射。例如,可以定位 γ 检测器以测量来自放射性洗出液的一部分的 γ 发射,其允许评估由整个输注系统递送的放射性洗出液的安全性。输注系统可具有如本文所述的各种特征、功能和部件。

[0044] 图1和2分别是可用于产生和输注放射性药物液体的示例输注系统10的透视图和俯视图。在所示的实例中,系统10包括安装在轮子14上以便可移动的机柜结构12。系统10还包括用户界面16,其可以电子地和/或通信地耦合到控制输入系统的操作的控制器。如下面

更详细描述,机柜结构12可以容纳放射性同位素发生器和多个检测器,多个检测器配置成检测放射性衰变产物,例如 β 发射和 γ 发射。在操作中,放射性同位素发生器可以通过用洗脱液洗脱产生放射性洗出液。洗出液可以在 β 检测器附近递送,以测量从洗出液发出的 β 发射和/或在 γ 检测器附近递送,以测量从洗出液发出的 γ 发射。与系统10相关联的控制器可以基于测量的 β 发射和/或测量的 γ 发射来控制系统的操作。

[0045] 机柜结构12可以是壳或壳体,其限定内部空间,该内部空间构造成容纳系统10的各种部件。例如,机柜结构12可以被配置(例如,设定尺寸和/或形状)以包含其中包含系统10的放射性材料的屏蔽组件、用于泵送液体通过机柜结构中的放射性同位素发生器的泵、控制系统10和/或系统的其他组件的操作的控制器。机柜结构12可由耐用的聚合材料、轻质金属或其他合适的材料制成。在一些实例中,机柜结构由抗辐射或浸渍的聚合物材料制成,以在放射性液体无意中溢出到机柜结构上的情况下防止机柜结构的退化。

[0046] 机柜结构12可包括一个或多个开口、门和/或可移除部分,以接近机柜结构的内部和容纳在其中的部件。在所示的实例中,机柜结构12包括形成在结构的上表面中的开口18,屏蔽组件的一部分通过该开口延伸并且可接近。如下面将更详细讨论的,屏蔽组件的延伸通过开口18的部分可包括进入接收输注管道回路的一部分的隔室的门和/或进入其中插入洗出液接收容器的隔室的门。如进一步所示,机柜结构12可包括可移除部分20,其可从机柜结构的其余部分移除以进入结构的内部。在一些实例中,可移除部分20提供通向包含放射性同位素发生器的屏蔽组件隔室的门的入口。

[0047] 在图1和图2的实例中,机柜结构12安装在轮子14上。轮子14可用于允许系统10容易地从一个位置移动到另一个位置,例如,以在不同位置执行患者输注程序或执行维护或修理任务。为了防止系统10在定位在期望位置之后无意地移动,系统可以包括制动系统,其在接合时防止系统移动。如图2所示,系统10包括制动系统,该制动系统包括安装在机柜结构后端的至少一个踏板(peddle),其示出为包括用于接合制动系统的第一踏板20A和用于使制动系统脱离的第二踏板20B。踏板20A和20B可以可操作地连接到机械互锁件、摩擦垫或其他结构,一旦接合,其就会阻止系统10的运动。相对于重力向下推动第一踏板20A可以接合制动系统,而相对于重力向下推动第二踏板20B可以使制动系统脱离。在其他配置中,系统10可以仅具有单个制动踏板,其被按压以接合和脱离制动系统;用于接合和脱离制动系统的手控制器;或者还有其他接合特征。当配置有多个制动踏板时,如图2所示,踏板可以被颜色索引以指示接合(例如红色用于停止)和脱离(例如绿色用于前进)。

[0048] 如上所述,系统10还包括用户界面16。用户界面16可以包括如图所示的显示屏或其他输出媒介,以及用户输入媒介。例如,用户界面可以包括键盘、鼠标、可按压按钮、开关和/或触摸屏界面。在一些实例中,用户界面16可以被配置为向用户提供视觉、听觉和/或触觉反馈。用户界面16可以通信地耦合(例如,经由有线或无线连接)到操作控制系统10的控制器。临床医生或其他用户可以通过用户界面16与系统10交互,例如,改变或建立患者输注过程的参数,改变或建立质量控制过程的参数,查看历史或维护信息,或以其他方式与系统10交互。在一个实例中,用户界面16被实现为具有用户可以物理触摸以与系统10通信的屏幕的触摸屏。

[0049] 在所示的实例中,用户界面16被示出为安装在从机柜结构12垂直延伸的杆上的显示器或触摸屏。当如此配置时,用户界面16可以可旋转地连接到安装杆,以便旋转 to 用户期

望的任何旋转位置和/或平移到不同的垂直位置。虽然用户界面16被示出为物理地附接到机柜结构12,但是在其他应用中,用户界面16可以与机柜结构物理地分离。例如,用户界面16可以通过移动通信设备(例如,智能电话、平板电脑)提供,或者以其他方式与机柜结构12物理分离并且可通信地耦合到包含在其中的部件。

[0050] 系统10可包括各种其他特征和功能。图3是图1和2中所示系统10的后视图,示出了可以包括在系统上的附加示例特征。在该实例中,系统10包括从机柜结构12向外延伸的手柄22,以提供操作者可以抓握的表面,以将系统从一个位置移动到另一个位置。系统10还包括电力连接24。在不同的实例中,系统10可以经由到墙壁或主电源的有线连接、经由可充电电池或通过电源的组合来供电。电力连接24可以是电缆可以连接到的插座,或者可以是电缆,例如可以在机柜结构12内部缩回的电缆,以便能够连接到外部电源。经由电力连接24输送到系统10的电力可以用于直接为系统的各种电气部件供电,例如控制器和/或泵,或者可以向包含在机柜结构12内的电池提供电力,然后为系统的各种部件供电。

[0051] 在一些实例中,系统10还可以包括打印机26,其可以提供与系统10有关的打印摘要、报告或其他打印介质。例如,打印机26可用于生成包含与所进行的特定患者输注过程相关的数据的患者报告。患者报告可以被合并到患者的档案中,与护理人员共享,或以其他方式用于记录使用输注系统递送的护理。作为另一个例子,打印机26可用于生成指示系统10内的一个或多个部件的状态的维护报告,在系统上进行的文档维护,或以其他方式记录在系统上采取的动作。打印机26可通信地耦合到控制系统10的整体操作的控制器。在一些实例中,操作员可以与用户界面16交互以请求使用打印机26生成一个或多个报告或其他打印输出。

[0052] 尽管手柄22、电力连接24和打印机26被示出为位于图3的配置中的机柜结构12的后侧,但应当理解,该特征可以定位在系统10上的其他位置,同时仍然提供本文描述的功能。

[0053] 如上面简要讨论的,系统10可以包括屏蔽组件,其阻挡由系统内的放射性材料发射的放射性辐射。图4和5分别是图1-3的系统10的透视图和俯视图,示出为机柜结构12为了说明的目的被移除并且示出了示例屏蔽组件布置。如该实例所示,系统10包括由框架30承载的屏蔽组件28。特别地,在所示的配置中,屏蔽组件28安装到屏蔽组件框架32,屏蔽组件框架32又安装到推车框架30。

[0054] 通常,框架30可以是任何刚性结构,其限定被配置(例如,设定尺寸和/或形状)以接收和保持屏蔽组件28的表面。框架30可具有一个或多个水平定向构件34,当屏蔽组件插入框架时,屏蔽组件28的底表面搁置在该构件上。在一些实例中,框架30还包括一个或多个垂直延伸构件,当屏蔽组件安装在框架中时,所述垂直延伸构件沿着屏蔽组件28的侧壁延伸。例如,如图4的配置中所示,屏蔽组件28包括第一垂直壁表面36A、第二垂直壁表面36B和后垂直壁表面36C,它们共同限定开口,该开口构造成接收并围绕屏蔽组件28的至少一部分。配置具有框架30的系统10可用于提供支撑屏蔽组件28和/或帮助保护屏蔽组件免受损坏或无意的物理接触的结构。在所示的配置中,轮子14可操作地(例如,机械地)连接到框架30,更具体地,到框架的水平定向的构件34。在如上所述的其他实例中,系统10不包括轮子14。

[0055] 在一些实例中,泵送液体通过系统10的泵由机柜结构12内部的框架30承载(在其

中系统10包括另外的外部机柜结构的实例中)。例如,参考图5,框架30限定了从屏蔽组件28偏移的空间38,该空间38构造成接收泵40。特别地,在所示的实例中,当屏蔽组件安装在框架上时,空间38定位在框架30的第二垂直壁表面36B和屏蔽组件28之间。空间38可以被配置(例如,设定尺寸和/或形状)以接收泵40和/或系统10的其他部件,例如控制器;一个或多个伺服电动机以控制阀;或其他操作硬件,以使系统10能够提供这里描述的功能。这种布置可用于共同定位系统10的硬件部件不与包含在屏蔽组件28中的其他部件一起与放射性材料直接接触,所述其他部件与使用该系统产生的放射性液体发射的放射性发射直接接触。

[0056] 在图4和5中,屏蔽组件28安装在屏蔽组件框架32上,屏蔽组件框架32又可以安装在限定移动推车框架的框架30上。例如,屏蔽组件28可以物理地和/或机械地连接到屏蔽组件框架32,使得屏蔽组件与屏蔽组件框架直接物理接触。进而,屏蔽组件框架32可以容纳在由水平定向构件34和垂直定向侧壁36A-C限定的空间中,例如,使得屏蔽组件框架32与框架30物理接触。类似于框架30的屏蔽组件框架32可以是围绕和/或包围屏蔽组件28的侧壁的至少一部分的刚性结构。例如,屏蔽组件框架32可以为屏蔽组件28提供机械刚性和/或支撑,以允许屏蔽组件被输送到系统10外部。

[0057] 为了能够将屏蔽组件28有效地安装到框架30上,屏蔽组件框架32可以包括围绕屏蔽组件的周边定位的多个钩子42,其可以通过提升装置接合以提升屏蔽组件框架32,并且屏蔽组件28承载在其上,用于安装到推车框架30上。在组装或维护期间,操作者可以将诸如起重机或滑轮组的提升机构附接到钩子42,以使得屏蔽组件28能够被提升并安装在推车框架30上。泵40和由框架30承载在屏蔽组件28外部的系统10的其他部件可以或不物理地附接到屏蔽组件框架32。在一些实例中,屏蔽组件框架32仅承载屏蔽组件28,并且不承载与屏蔽组件28相邻的框架30上接收的其他组件,例如泵40、控制系统10的操作的控制器以及其他相关硬件或软件。

[0058] 当系统10包括框架30和/或屏蔽组件框架32时,每个框架通常可以由刚性材料制成,例如刚性金属或塑料,其为整个系统提供结构完整性。虽然图4和5示出了可以接收系统10的各种硬件部件的相应框架的一个示例布置,但应当理解,在其他配置中,系统10不包括单独的屏蔽组件框架和推车框架,或者可以具有不同于所示的框架构件的构造或布置。

[0059] 屏蔽组件28和框架30可以接收并保持系统10的各种部件,这使得系统能够执行本文赋予其的功能。例如,如上简述,系统10可包括放射性同位素发生器,其通过洗脱液的洗脱产生放射性洗出液。该系统可包括放射性同位素发生器,其含有放射性物质以通过洗脱产生放射性洗出液。该系统还可以包括多个检测器,例如 β 检测器和 γ 检测器,其位于放射性同位素发生器的下游,以测量由使用该发生器产生的放射性洗出液发射的放射性发射。

[0060] 图6是示出可以包括在图10的系统中的部件的示例布置的框图,以产生放射性洗出液并检测放射性发射。在该实例中,系统10包括洗脱液储存器50、先前描述的泵40、放射性同位素发生器52、废物容器54、洗出液接收容器56、 β 检测器58和 γ 检测器60。一个或多个流体管线可以将系统10的各种部件连接在一起。

[0061] 例如,在图6的配置中,泵40从洗脱液贮存器50接收洗脱液,对洗脱液加压,并将加压洗脱液发射到洗脱液管线62中。第一分流阀64控制洗脱液到放射性同位素发生器入口管线66和放射性同位素发生器旁通管线68中的一个的流动。流过放射性同位素发生器旁路管线68的洗脱液绕过放射性同位素发生器52并且可以直接流入输注管线70。输注管线70可以

与洗出液接收容器56(例如,在质量控制程序期间)或患者导管72(例如,在患者输注过程期间)流体连通。第二多路阀74控制由放射性同位素发生器52内的洗脱产生并从放射性同位素发生器排出管线75接收的洗出液到输注管线70或废物管线76的流动。废物管线76可以连接到废物容器54。

[0062] 在操作期间,放射性同位素发生器52可以通过洗脱产生放射性洗出液。例如,放射性同位素发生器52可以是含有结合在载体材料上的Sr-82的锶-铷发生器,例如二氧化锡或氧化锡。Rb-82是Sr-82的子衰变产物,并且与锶的结合强度低于载体材料。当来自洗脱液储存器50的加压洗脱液通过放射性同位素发生器时,洗脱液可释放Rb-82以产生放射性洗出液。例如,当洗脱液是盐水(NaCl)溶液时,盐水中的钠离子可以置换发生器中的Rb-82,从而洗脱Rb-82氯化物溶液。

[0063] 在其他实例中,放射性同位素发生器52除了Rb-82之外还可以产生不同类型的衰变产物。放射性同位素发生器52产生的子衰变产物的类型可以通过选择加载到发生器载体材料上的放射性同位素的类型来控制。可以用作放射性同位素发生器52的示例性类型的放射性同位素发生器包括但不限于 $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ (结合在载体材料上的母体钼-99以产生子衰变产物锝-99m);

[0064] $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ (结合在载体材料上的母体锶-90以产生子衰变产物钇-90); $^{188}\text{W}/^{188}\text{Re}$ (结合在载体材料上的母体钨-188以产生子衰变产物铼-188);和 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ (结合在载体材料上的母体锗-68以产生子衰变产物镓-68)。可用作放射性同位素发生器52的其他类型的放射性同位素发生器包括: $^{42}\text{Ar}/^{42}\text{K}$; $^{44}\text{Ti}/^{44}\text{Sc}$; $^{52}\text{Fe}/^{52\text{m}}\text{Mn}$;

[0065] $^{72}\text{Se}/^{72}\text{As}$; $^{83}\text{Rb}/^{83\text{m}}\text{Kr}$; $^{103}\text{Pd}/^{103\text{m}}\text{Rh}$; $^{109}\text{Cd}/^{109\text{m}}\text{Ag}$; $^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$; $^{118}\text{Te}/^{118}\text{Sb}$;

[0066] $^{132}\text{Te}/^{132}\text{I}$; $^{137}\text{Cs}/^{137\text{m}}\text{Ba}$; $^{140}\text{Ba}/^{140}\text{La}$; $^{134}\text{Ce}/^{134}\text{La}$; $^{144}\text{Ce}/^{144}\text{Pr}$; $^{140}\text{Nd}/^{140}\text{Pr}$;

[0067] $^{166}\text{Dy}/^{166}\text{Ho}$; $^{167}\text{Tm}/^{167\text{m}}\text{Er}$; $^{172}\text{Hf}/^{172}\text{Lu}$; $^{178}\text{W}/^{178}\text{Ta}$; $^{191}\text{Os}/^{191\text{m}}\text{Ir}$; $^{194}\text{Os}/^{194}\text{Ir}$;

[0068] $^{226}\text{Ra}/^{222}\text{Rn}$;和 $^{225}\text{Ac}/^{213}\text{Bi}$ 。

[0069] 为了测量通过系统10中的洗脱产生的放射性洗出液中的一种或多种放射性同位素的放射性,该系统可以包括多个检测器,其配置成接收和测量由放射性洗出液产生的不同放射性发射。例如,如图6的实例中所示,系统10可包括 β 检测器58和 γ 检测器60。 β 检测器58可以位于放射性同位素发生器52的下游,以测量由发生器产生的放射性洗出液发射的 β 发射。 γ -检测器60也可以位于放射性同位素发生器52的下游,以测量由发生器产生的放射性洗出液发射的 γ 发射。

[0070] β 检测器58和 γ 检测器60的具体位置可以变化。然而,在图6的实例中, β 检测器58位于放射性同位素发生器52的出口和第二多路阀74之间,第二多路阀74沿着来自放射性同位素发生器的流体通路位于废物容器54和输注管70的上游。相反, γ 检测器60位于放射性同位素发生器52的出口和 β 检测器58的下游。例如, γ 检测器60可以沿着输注管70的流体路径定位在第二多路阀74的下游。

[0071] 在操作中, β 检测器58可以测量由放射性同位素发生器52产生和从放射性同位素发生器52排出的放射性洗出液发射的 β 发射。在一些实例中, β 检测器58定位在放射性同位素发生器排出管线75附近,使得 β 检测器可以检测从排出管线中存在的放射性洗出液发射的 β 发射。放射性洗出液可以流过放射性同位素发生器排出管线75,朝向输注管70和/或废物管线76。或者,放射性洗出液可以供给至放射性同位素发生器排出管线75并保持静止(不

流动),而 β 检测器58测量放射性洗出液发出的 β 发射。在其他配置中,洗出液接收容器可以设置成与放射性同位素发生器排出管线75流体连通,例如通过另外的多路阀,并且 β 检测器58定位成测量来自提供给洗出液接收储存器的放射性洗出液的 β 发射。在任何配置中, β 检测器58可以测量由发生器产生的放射性洗出液的 β 发射,以便检测和/或量化放射性洗出液中存在的一种或多种放射性同位素。

[0072] 系统10还包括 γ 检测器60。在操作中, γ 检测器60可以测量由放射性同位素发生器52产生和从放射性同位素发生器52排出的放射性洗出液发射的 γ 发射。例如,放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液可以通过放射性同位素发生器排出管线75、分流阀74、输注管70排出,并供给洗脱液接收容器56。 γ 检测器60可以定位在洗出液接收容器56附近,以便检测由输送到接收容器的放射性洗出液的部分发出的 γ 发射。例如,临床医生可以将输注管70的出口连接到洗出液接收容器56的入口,以便将放射性洗出液供应到接收容器。在随后控制泵40以产生供应给洗出液接收容器56的放射性洗出液时, γ 检测器60可以测量由放射性洗出液发射的 γ 发射。

[0073] 虽然图6示出了 γ 检测器60的一个示例位置,但可以使用其他位置。例如, γ 检测器60可以定位在放射性同位素发生器52下游的管线附近,例如放射性同位素发生器排出管线75和/或输注管70。在这些实例中, γ 检测器可以测量由流过管线的放射性洗出液或保持在管线内的放射性洗出液的静态(非流动)部分发射的 γ 发射。与系统10中的 γ 检测器的特定位置无关, γ 检测器60可以测量由放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液的 γ 发射,以便检测和/或量化放射性洗出液中存在的一种或多种放射性同位素。

[0074] 例如,由 γ 检测器60测量的 γ 发射可以用于检测和/或量化放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液中的一种或多种污染放射性同位素,而 β 检测器58测量的 β 发射可以用于检测和/或量化用于患者输注的放射性洗出液中的一种或多种放射性同位素。在一些实例中, β 检测器58测量从放射性同位素发生器排出管线75流向洗出液接收容器56的放射性洗出液的 β 发射。一旦放射性洗出液已部分或完全通过 β 检测器58和填充洗出液接收容器56, γ 检测器60可测量来自供应给接收容器的那部分放射性洗出液的 γ 发射。在这些应用中, γ 检测器60可测量来自放射性洗出液的一部分的 γ 发射,所述部分的放射性洗出液也发射 β 发射,当放射性洗出液流向洗出液接收容器56时, β 发射被 β 检测器58检测到。在其他操作配置中, β 检测器58和 γ 检测器60可以不测量来自相同部分或体积的放射性洗出液的放射性发射,但可以测量来自放射性洗出液的不同部分的放射性发射。

[0075] 图6的实例中的放射性同位素发生器系统10还包括控制器80。控制器80可以通信地耦合(例如,经由有线或无线连接)到系统10的各种泵、阀和其他部件,包括 β 检测器58和 γ 检测器60,以便在控制器80和通信耦合的部件之间发送和接收电子控制信号和信息。例如,控制器80可以接收由 β 检测器58生成的数据,该数据指示检测器检测到的 β 发射的大小。控制器80还可以接收由 γ 检测器60产生的数据,该数据指示由检测器检测到的 γ 发射的量和类型(例如光谱分布)。控制器80可以进一步处理数据以确定 β 检测器58和 γ 检测器60分别从中检测 β 发射和 γ 发射的洗出液中不同同位素的活性。控制器80还可以管理放射性同位素发生器系统10的整体操作,包括启动和控制患者给药程序,控制系统中的各种阀和泵,接收和处理来自 β 检测器58和 γ 检测器60的信号,等等。

[0076] 在操作中, β 检测器58可以检测从位于检测器前面的放射性洗出液发出的 β 发射。 β

检测器58可包括多个部件以检测和处理 β 发射信号。在一些配置中, β 检测器58使用诸如PIN光电二极管的固态检测器元件来实现。在这些配置中,固态检测器元件可以直接将入射的放射性能量转换成检测器的半导体材料中的电子。然后可以将电子放大为可用信号(例如,由控制器80接收)。在一些实例中, β 检测器58包括闪烁器,其将入射的放射性能量转换成光脉冲,然后由附接的光子-电子转换器(例如光电倍增管或雪崩光电二极管)捕获。闪烁器的选择可以确定灵敏度和计数(count rate)性能。例如,当需要高灵敏度和高计数性能时,可以使用塑料闪烁器实现 β 检测器58。

[0077] 在操作期间, γ 检测器60可以检测从位于(例如,静态地定位在洗出液接收容器56中的)检测器附近的洗出液的一部分发出的 γ 射线发射。 γ 检测器60可包括各种不同的部件以检测和处理 γ 射线辐射信号,例如脉冲分选器(例如,多通道分析器)、放大器、速率计、峰值位置稳定器等。在一个实例中, γ 检测器包括闪烁检测器。在另一个实例中, γ 检测器包括固态半导体检测器。

[0078] 选择用于检测器60的特定类型的 γ 检测器可以基于多种因素而变化,例如,检测器所需的分辨率、在系统中实际实施检测器的物理要求(例如冷却要求)、预期的操作检测器的人员的复杂程度等。在一些应用中, γ 检测器60是闪烁器型检测器,例如相对低分辨率的碱金属卤化物(例如,NaI、CsI)或锗酸铋(例如,Bi₄Ge₃O₁₂或BGO)。在其他应用中, γ 检测器60包含更高Z的金属物质。一个例子是氧正硅酸镧Lu₂(SiO₄)₀(Ce)或LSO,虽然其分辨率略好于BGO,但由于其相对高的固有辐射,其适用性可能有限。作为另一个例子, γ 检测器60可以是铈掺杂的镧,例如LaCl₃(Ce)或LaBr₃(Ce)。

[0079] 在其他应用中, γ 检测器60是固态半导体型检测器,例如平面锗检测器。例如,作为另一个例子, γ 检测器60可以是固态半导体型碲化物检测器,例如碲化镉或镉-锌-碲化物半导体检测器。 γ 检测器60可以在室温(环境)下操作,或者可以冷却到室温以下(例如,通过结合到放射性同位素发生器系统10中的冷却装置)以增加检测器的分辨率。

[0080] γ 检测器60可以生成 γ 射线光谱数据。例如,检测器可以包括等待在检测器体积中发生 γ 相互作用的无源材料。示例相互作用可以是光电效应、康普顿效应和对产生。例如,当 γ 射线经历康普顿相互作用或对产生时,一部分能量可以从检测器体积逸出而不被吸收,使得光谱中的背景速率增加一个计数。该计数可以出现在对应于 γ 射线的全部能量的通道下方的通道中。

[0081] 由 γ 检测器60产生的电压脉冲可以由与检测器相关联的多通道分析器成形。多通道分析器可以获取由检测器产生的小电压信号,将其重新成形为高斯或梯形形状,并将信号转换为数字信号。多通道分析器提供的通道数可以变化,但在一些实例中,选自512、1024、2048、4096、8192或16384个通道中的一种。通道数量的选择可取决于系统的分辨率、所研究的能量范围以及系统的处理能力。

[0082] 由 γ 检测器60响应于检测到 γ 射线发射而生成的数据可以是包括峰值的 γ 射线谱的形式。峰可以对应于在分析的洗出液样品中由相同或不同同位素发射的不同能量水平。这些峰也可以通过类似于光谱学的方式称为线。峰的宽度可以由检测器的分辨率确定,峰的水平位置是 γ 射线的能量,峰的面积由 γ 射线的强度和/或检测器的效率确定。

[0083] 在操作(患者输注程序、质量控制程序、校准程序或其他操作程序)期间,控制器80可以接收由 β 检测器58和/或 γ 检测器60产生的指示由各自检测器检测到的 β 发射和 γ 发射

的数据。控制器80可以处理数据以确定 β 检测器58和/或 γ 检测器60分别从其检测 β 发射和/或 γ 发射的放射性洗出液中的一种或多种放射性同位素的活性。控制器80可以基于所确定的一种或多种放射性同位素的活性来管理系统10的操作。

[0084] 例如,当使用铯-铷放射性同位素发生器实施放射性同位素发生器52时,控制器80可以从 β 检测器58接收指示从流过放射性同位素发生器发射管线75的放射性洗出液测量的 β 发射的数据。控制器80可能无法从 β 检测器58测量的 β 发射中解析不同的放射性同位素,而是可以编程为假设所有这样的 β 发射都可归因于放射性洗出液中存在的放射性Rb-82,因为Rb-82可预期是存在的主要的放射性物质。因此,参考存储在存储器中的数据,控制器80可以基于由 β 检测器58测量的 β 发射的累积量来确定放射性同位素发生器52提供的放射性洗出液中存在的Rb-82的活性。

[0085] 在这样的实例中,控制器80还可以从 γ 检测器60接收指示从提供给洗出液接收容器56的放射性洗出液的一部分测量的 γ 发射的数据。控制器80可以基于从 γ 检测器接收的数据确定放射性洗出液中存在一种或多种其他放射性同位素的种类和/或那些种类的活性水平。例如,控制器80可以基于由 γ 检测器60检测到的 γ 发射的量和类型(例如,光谱分布)来确定放射性洗出液中存在哪种放射性同位素和/或那些放射性同位素的活性。例如,控制器80可以确定存在于放射性洗出液中的Sr-82和/或Sr-85的活性(如果有的话),其可以是用于患者输注程序的Rb-82放射性同位素的污染物。

[0086] 控制器80可以基于测量的用于患者输注的放射性同位素(例如Rb-82)的活性和/或基于作为这种放射性同位素的污染物的一种或多种放射性同位素种类(例如,Sr-82和/或Sr-85)的测量的活性来控制系统10的操作。控制器80可以将一个或多个个体同位素的活性与存储在存储器中的一个或多个阈值进行比较,并基于该比较控制系统10的操作。当超过阈值时,控制器80可以采取各种动作。作为一个实例,控制器80可以例如通过控制用户界面16以发送警报来发起用户警报(例如视觉、文本、机械(例如振动)、听觉用户警报)。作为另一个实例,控制器80可以关闭泵40以便停止产生洗出液。作为又一个实例,控制器80可以控制第二多路阀74以将洗出液从输注管70转移到废物管线76。

[0087] 如上所述,系统10可包括废物容器54和洗出液接收容器56。废物容器54和洗出液接收容器56可各自为构造成接收和保持从上游管道接收的液体的结构。在不同的实例中,废物容器54和/或洗出液接收容器56可以是永久形成在屏蔽组件28(图4和5)中的储存器,或者可以从屏蔽组件中移除。例如,废物容器54和/或洗出液接收容器56可以是配置成接收放射性洗出液的容器(例如,瓶子、小瓶、罐或其他容器),其每个可从屏蔽组件28移除。

[0088] 通常,随着泵40将洗脱液泵送通过放射性同位素发生器52朝向废物容器54,废物容器54用于接收在系统10启动时产生的放射性洗出液。例如,在操作中,泵40可以泵送洗脱液通过放射性同位素发生器52,而控制器80控制第二多路阀74以将放射性洗出液引向废物容器54。在确定放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液达到阈值活性水平后,控制器80可以控制第二多路阀74以将放射性洗出液引导至输注管70(并且导向患者导管72或与之连接的洗出液接收容器56),而不是朝向废物容器54。控制器80可以基于例如 β 检测器58测量的 β 发射和存储在与控制相关联的存储器中的阈值信息确定放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液具有阈值活性水平。在不同的实例中,废物容器54的尺寸可以设定成使从放射性同位素发生器52接收的液体体积保持至少100mL,例如至少250mL,或大于或等于

500mL。作为一个实例,废物容器54的尺寸可以设定为容纳250mL至1L。

[0089] 与旨在接收放射性同位素发生器52产生的被称为废物的放射性洗出液的废物容器54相比,洗出液接收容器56可以接收放射性同位素发生器产生的患者可输注的放射性洗出液。洗出液接收容器56可以接收并保持由放射性同位素发生器产生的放射性洗出液的一部分(例如,在控制器80已经致动多路阀74以将从废物管线76产生的放射性洗出液重定向到输注管70之后)。当洗出液接收容器56充满放射性洗出液和/或在洗出液接收容器已填充后, γ 检测器60可测量从放射性洗出液发出的 γ 射线。在一些实例中, β 检测器58测量当洗出液流到洗出液接收容器56时流过放射性同位素发生器排出管线75的放射性洗出液的 β 发射,而 γ 检测器60测量来自其 β 发射先前已由 β 检测器测量的洗出液的相同部分的 γ 泄漏。

[0090] 控制器80可以基于由 γ 检测器60测量的 γ 发射确定由洗出液接收容器56接收的放射性洗出液中存在的一种或多种放射性同位素的活性。如果控制器80确定放射性洗出液中存在的一种或多种放射性同位素的活性超过允许极限(例如,参考存储在与控制器相关联的存储器中的阈值),则控制器可以例如经由用户界面16警告用户。附加地或替代地,控制器80可以防止随后的患者输注过程,直到确定放射性同位素发生器52(或其替代品)可以产生不含有一种或多种超过允许极限的放射性同位素的放射性洗出液。以这种方式,可以定位 γ 检测器60以评估放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液的质量,并帮助确保放射性同位素发生器产生的放射性洗出液(例如,随后将在发生器的一次或多次后续洗脱过程中产生的洗出液)对于患者输注是安全的。

[0091] 尽管洗出液接收容器56可具有许多不同的构造,但在一些实例中,洗出液接收容器的尺寸小于废物容器54。例如,洗出液接收容器56的尺寸可以设计成接收和保持小于500mL的液体体积,例如小于250mL或小于100mL。在一个实例中,洗出液接收容器的尺寸设定为保持10mL至100mL。此外,虽然洗出液接收容器56可以使用各种不同类型的容器来实现,但在一些实例中,洗出液接收容器由玻璃或塑料制成,例如玻璃小瓶或瓶子,或塑料注射器或容器。这种结构可能是有用的,因为玻璃小瓶可以限制 γ 发射被洗出液接收容器阻塞或减弱的程度,或者可以更均匀,允许 γ 检测器60充分地检测输送到容器的放射性洗出液发射的 γ 发射。

[0092] 在实践中,洗出液接收容器56可以重复用于多个质量控制程序,或者可以在每个质量控制程序之后是一次性的。例如,在一些应用中,操作者可以选择新的、先前未使用的洗出液接收容器并将容器插入屏蔽组件28的适当隔室中。在执行质量控制程序之后,操作者可以移除洗出液接收容器,适当地丢弃容器的内容物,然后丢弃容器本身。通常,废物容器54是可重复使用的结构,例如由金属玻璃或其他相容材料制成,其可以周期性地从屏蔽组件28移除和清空,但在使用后不丢弃。

[0093] 如上面关于图4和5所讨论的,系统10可包括屏蔽组件28。屏蔽组件28可以容纳暴露于放射性洗出液和/或与放射性洗出液接触的系统10的各种部件。图7A和7B是图4和图5的屏蔽组件28的示例配置的透视图,为了说明的目的,显示为从推车框架30上移除。图7A示出了附接有门的屏蔽组件28,而图7B示出了移除门的屏蔽组件,以示出内部特征的示例布置。

[0094] 通常,屏蔽组件28可以由一种或多种材料形成,这些材料提供对放射性辐射的屏障。用于制造屏蔽组件的一种或多种材料的类型以及这些材料的厚度可以变化,例如,取决

于系统中使用的放射性同位素发生器52的类型和尺寸以及相应地所需的辐射屏蔽量。通常,用于形成屏蔽组件28的辐射屏蔽材料的厚度和/或构造可以有效地将从屏蔽组件内部发出的辐射衰减到对在系统10周围工作的操作人员安全的水平。例如,当新的铯-铷发生器安装在屏蔽组件28中时,它可以包含200毫居里的辐射。屏蔽组件28可以阻挡该辐射,因此屏蔽组件外部的辐射水平不会超过屏蔽组件周围的操作人员所允许的辐射水平。

[0095] 在一些实例中,屏蔽组件28由铅或铅合金或其他高密度材料制成。屏蔽组件28可具有大于25毫米的壁厚,例如大于50毫米。例如,屏蔽组件28的壁厚可以为50毫米至250毫米,例如65毫米至150毫米。此外,如下面更详细地讨论的,屏蔽组件28可以包括相对于彼此特别布置的不同隔室,以有效地屏蔽来自辐射敏感部件的辐射源。

[0096] 参考图7A和7B,屏蔽组件28可以具有至少一个侧壁100,该侧壁100提供对放射性辐射的屏障并且限定了配置成接收系统10的一个或多个部件的隔室。在一些实例中,屏蔽组件28仅限定单个隔室,例如至少包含放射性同位素发生器52(图6)。在其他实例中,包括图7A和7B中所示的实例,屏蔽组件28具有多个隔室,每个隔室通过至少一个辐射屏蔽材料壁彼此分开。例如,屏蔽组件28可包括配置成接收放射性同位素发生器52的第一隔室102、配置成接收 β 检测器58的第二隔室104以及配置成接收 γ 检测器60的第三隔室106。屏蔽组件28可包括一个或多个另外的隔室,例如构造成接收废物容器54的第四隔室108和/或构造成接收一个或多个流体管线的侧壁隔室110。

[0097] 通常,屏蔽组件28的不同隔室可以配置成将接收在每个相应隔室中的不同部件定位在相对于彼此的期望位置。例如,配置成接收放射性同位素发生器52的第一隔室102可以定位在第二隔室104和第三隔室106上游的位置。结果,放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液可以向下游流到 β 检测器58和/或 γ 检测器60,以便测量可能存在于放射性洗出液中的一种或多种放射性物质的活性。作为另一实例,当 γ 检测器60位于 β 检测器58的下游时,配置成接收 β 检测器的第二隔室104可以定位在被配置为接收 γ 检测器60的第三隔室106的上游的位置。

[0098] 通过屏蔽组件28相对于 β 检测器58和/或 γ 检测器60定位放射性同位素发生器52可用于帮助适当地屏蔽检测器免受发生器发射的放射性辐射。如上所述,放射性同位素发生器52可含有放射性物质,例如铯-82,其发射放射性辐射。放射性同位素发生器52中包含的放射性物质的核衰变可以产生衰变产物或同位素,其被释放到泵送通过发生器的洗脱液中以注射到经历诊断成像过程的患者体内。由于放射性同位素发生器52为整个放射性同位素发生器系统提供核材料源,因此发生器发射的放射性入射的量级,更具体地说,包含在发生器上和/或发生器中的放射性物质,可以提供系统中最强的放射性入射信号。结果,如果放射性同位素发生器52没有与 β 检测器58和/或 γ 检测器60适当地屏蔽,则检测器可能被检测从发生器本身发射的放射性发射而不是来自可以期望测量的发生器产生的放射性洗出液的放射性发射而不堪重负。因此,屏蔽组件28可以配置成帮助屏蔽 β 检测器58和 γ 检测器60免受放射性同位素发生器52的影响,同时仍然允许由发生器产生的放射性洗出液从一个隔室流到另一个隔室,例如,以允许 β 检测器和 γ 检测器检测来自洗出液的发射。

[0099] 在一些实例中,放射性同位素发生器52、 β 检测器58和 γ 检测器60各自水平和垂直地定位在不同的平面中。例如,屏蔽组件28可以被分成无数个无穷小地厚的平面,这些平面在图7A和7B中所示的X-Y方向上延伸并且位于图中所示的Z方向(水平面)上的不同垂直高

度上。类似地,屏蔽组件28可以被分成无数个无限小地厚的平面,这些平面在图7A和7B中所示的Z-X方向上延伸并且沿着组件的长度在图中所示的Y方向(垂直平面)上定位在不同的位置。放射性同位素发生器52、 β 检测器58和 γ 检测器60可以相对于彼此布置,使得它们各自处于不同的水平面和/或不同的垂直面。当如此布置时,可以存在至少一个水平面和/或至少一个垂直面,其与放射性同位素发生器52、 β 检测器58和 γ 检测器60中的相应一个相交,但是不与其他两个部件相交。这样的布置可以帮助最大化放射性同位素发生器52和 β 检测器58和/或 γ 检测器60之间的距离,例如,以增加放射性同位素发生器和一个或两个检测器之间存在的屏蔽量。

[0100] 在一些配置中, γ 检测器60定位在比放射性同位素发生器52定位的高度更高的高度(例如,在图7A和7B中指示的正Z方向上)。附加地或替代地, γ 检测器60可以定位在相对于放射性同位素发生器52横向偏移的位置(例如,在图7A和7B中指示的X方向和/或Y方向上)。相对于放射性同位素发生器52垂直和横向偏移 γ 检测器60可用于帮助最大化 γ 检测器和放射性同位素发生器之间存在的屏蔽材料的量。

[0101] 屏蔽组件28的每个隔室可以限定腔,该腔部分地或完全地围绕容纳在隔室中的相应部件,例如,以使用放射性屏蔽材料部分地或完全地围绕部件。在图7A和7B的实例中,第一隔室102由侧壁102A和基底或底壁102B限定。侧壁102A可以从底壁102B垂直向上(在图7A和7B所示的正Z方向上)延伸,并且限定开口102C(在图7B上),放射性同位素发生器52可以通过该开口102C插入。

[0102] 第二隔室104还可包括侧壁104A和基底或底壁104B。侧壁104A可以从底壁104B垂直向上(在图中指示的正Z方向上)延伸,以形成由侧壁104A和底壁104B共同约束的腔。在一些实例中,侧壁104A也可以从底壁104B垂直向下(在图中指示的负Z方向上)延伸,以在底壁的底侧上形成由侧壁104A以及在顶侧由底壁104B限定的附加腔。不管侧壁104A是否在底壁104B的上方和/或下方垂直延伸,在第二隔室104包括底壁104B的构造中,可以穿过底壁104B形成开口112。开口可以是延伸穿过底壁104B的厚度的区域,该区域没有辐射屏蔽材料。当如此配置时, β 检测器58可以在开口112处定位在底壁104B的一侧上和/或延伸穿过开口。例如, β 检测器58可以定位在底壁104B下方,并且由从底壁垂直向下延伸的侧壁104A的一部分围绕。

[0103] 在 β 检测器58定位在底壁104B的一侧上(例如,如上所述在底壁的下侧)的情况下,管线可以定位在底壁的相对侧上。例如,作为输注管道回路的一部分的管线可以定位在第二隔室104中,例如管线位于开口112上方。在图7A和7B的配置中,侧壁104A限定开口104C(在图7B上),管线(例如,其可以是输注管道回路的一部分)可以通过该开口安装在隔室中。将管线安装在第二隔室104中可以将管线定位成在开口112上方延伸,并且 β 检测器58定位在开口下方和/或向上延伸穿过开口。结果,当放射性洗出液被供应到和/或通过管线时,放射性洗出液可以定位在和/或穿过在开口112上延伸的管线部分。 β 检测器58可以检测从位于开口112上方的管道部分中的放射性洗出液发出的 β 发射,例如,当通过开口穿过底壁104B时。

[0104] 当第二隔室104用于接收包括如关于图6所讨论的那样布置的一个或多个管线的输注管道回路时,位于隔室中的输注管道回路的部分可包括放射性同位素发生器排出管线75的一部分、废液管线76的一部分、第二多路阀74、和输注管70的一部分。为了使第二多路

阀74能够穿过屏蔽组件28可操作地连接到控制装置(例如,电动机),第二隔室104还可以包括穿过底壁104B形成的第二开口114(例如,如图7B所示)。第二开口114的尺寸和位置可以使第二多路阀74可操作地连接到位于屏蔽组件外部的控制装置。在使用期间,操作者可以通过开口104C将输注管道回路的一部分安装到第二隔室104中,使得侧壁104A和底壁104B共同地将插入的输注管道回路的一部分与提供放射性辐射的屏障的材料结合。第二多路阀74可以通过第二开口114与控制装置可操作地连接,并且输注管道回路的一部分,例如放射性同位素发生器排出管线75,可以定位成在开口112上方延伸,以使 β 检测器58能够通过开口和位于其上的管道部分检测 β 发射。

[0105] 如上所述,图7A和7B的实例中的屏蔽组件28还包括第三隔室106。第三隔室106可以由形成开口106B的侧壁106A限定。第三隔室106可以被配置(例如,设定尺寸和/或形状)以接收 γ 检测器60。另外,当输注管安装在屏蔽组件28中时,第三隔室106可以配置成与输注管70流体连通。在操作例如质量控制程序期间,由放置在第一隔室102中的放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液可以通过输注管道回路的一个或多个管线流到第三隔室106中的 γ 检测器60。如此输送到第三隔室106的放射性洗出液可以发射可以由隔室中的 γ 检测器60检测的 γ 发射。

[0106] 在一些实例中,第三隔室106被配置(例如,设定尺寸和/或形状)成通过开口106B接收洗出液接收容器。例如,在将 γ 检测器60安装在第三隔室106中之后,洗出液接收容器可以定位在与 γ 检测器相邻和/或上方的隔室中。然后可以将输注管线70放置成与洗出液接收容器流体连通,使得当洗脱液被泵送通过放射性同位素发生器时,由发生器产生的洗出液可以流向洗出液接收容器并部分或完全填充容器。一旦适当填充,静态(非流动)部分的放射性洗出液可以与 γ 检测器60一起定位在第三隔室106中。放射性洗出液的静态部分可以发射可以由 γ 检测器60检测的 γ 发射,例如以确定放射性洗出液中存在的一种或多种放射性同位素的活性。

[0107] 在一些实例中,包括图7A和7B中所示的实例,除了第一隔室102、第二隔室104和第三隔室106之外,屏蔽组件28还包括一个或多个另外的隔室。例如,屏蔽组件28可包括第四隔室108,其构造成接收并保持废物容器(例如,图6中的废物容器54)。第四隔室108可包括侧壁108A和底壁108B。第四隔室的侧壁108A可以从底壁108B垂直延伸,以限定开口108C,废物容器54可以通过该开口108C插入隔室中。侧壁108A和底壁108B可以共同限定被配置为接收和保持废物容器的空间。当废物容器54安装在第四隔室108中时,废物管线76可以放置成与废物容器流体连通。

[0108] 为了使放射性同位素发生器系统的各种管线能够从一个隔室延伸到相邻的隔室,屏蔽组件28可以包括另外的管道路径和/或管道隔室,以便于管线的布线。在图7A和7B的实例中,屏蔽组件28包括侧壁隔室110。在该实例中的侧壁隔室110由形成在第四隔室108的侧壁108A中的凹腔限定。特别地,在所示的布置中,侧壁隔室110沿着侧壁108A的外表面垂直地(沿图7B中所示的Z方向)延伸,限定了构造成接收废物容器54的第四隔室108。侧壁隔室110可构造成接收管道的一个或多个部分,例如输注管道70的至少一部分和废物管线76的至少一部分。

[0109] 当安装时,废物管线76可以从位于第二隔室104中的开口114上方的第二多路阀74延伸穿过侧壁隔室110至第四隔室108。类似地,输注管70可以从位于第二隔室104中的开口

114上方的第二多路阀74延伸穿过侧壁隔室110,并且随后从侧壁隔室中延伸出来。在不同的配置中,通过使输注管70的出口定位在第三隔室106中,例如与位于第三隔室中的洗出液接收容器流体连通,输注管70在返回到屏蔽组件之前可以或可以不离开屏蔽组件28。

[0110] 屏蔽组件28可包括形成在一个或多个侧壁中或穿过其的另外的管道路径,以找到组件的隔室,以便于在相邻隔室之间布置管道。例如,限定第二隔室104的侧壁104A可包括穿过侧壁形成的洗脱液管道路径116。作为另一个例子,限定第一隔室102的侧壁102A可包括洗出液管道路径118A和发生器排出管道路径(其也可称为洗出液管道路径)118B。当如此配置时,洗脱液管线62(图6)可以经由洗脱液管道路径116进入屏蔽组件28,并且还经由洗脱液管道路径118A从第二隔室104延伸到第一隔室102中。洗脱液管线62可以在一端与泵40连接(例如,在泵位于屏蔽组件外部的构造中,在屏蔽组件28的外部),并且在相对的一端与第一隔室102中的放射性同位素发生器52连接。通过发生器产生的放射性洗出液可以通过放射性同位素发生器排出管线75排出,并且可以通过位于洗出液管道路径118B中的放射性同位素发生器排出管线75流出第一隔室102。

[0111] 为了将洗脱液管道路径118A中的洗脱液管线62和洗脱液管道路径118B中的放射性同位素发生器排出管线75分别固定,屏蔽组件28可包括管锁件120。管锁件120可以是可在洗脱液管道路径118A和洗脱液管道路径118B上移动的结构,以将每个管固定或锁定在相应的路径中。这可以防止一个或多个管无意中从其相应的路径中脱出以及在封闭第一隔室102或第二隔室104的门被关闭时被压碎。

[0112] 如上面简要讨论的,当屏蔽组件28配置有多个隔室时,隔室可以相对于彼此布置,以帮助屏蔽 β 检测器58和/或 γ 检测器60免受放射性同位素发生器52本身发出的放射性发射。这可以允许一个或两个检测器检测与发生器产生的放射性洗出液相关的放射性发射,而不是与发生器本身相关的放射性发射。在放射性同位素发生器系统包括 β 检测器和 γ 检测器的应用中, γ 检测器可能对来自放射性同位素发生器的背景辐射比对 β 检测器的更敏感。也就是说, γ 检测器可能更容易因暴露于放射性同位素发生器本身而不是 β 检测器发出的 γ 发射而饱和。由于这些和其他原因, γ 检测器可以相对于放射性同位素发生器以这样的方式定位,以便尝试并最小化对放射性同位素发生器的 γ 辐射的暴露,例如,通过最大化位于 γ 检测器和放射性同位素发生器之间的屏蔽材料的量。

[0113] 通常,通过将屏蔽组件28的一个或多个隔室定位在第一隔室102和第三隔室106之间而不是将隔室直接定位在彼此附近,可以增加位于 γ 检测器60和放射性同位素发生器52之间的屏蔽材料的量。在一些实例中,屏蔽组件28被配置成使得至少一个隔室定位在第一隔室102和第三隔室106之间(例如,沿着图7A和7B所示的Y方向上的屏蔽组件的长度和/或垂直地在图中指示的Z方向上)。例如,第二隔室104可以定位在第一隔室102和第三隔室106之间,第一隔室102被配置为接收放射性同位素发生器52,第三隔室106被配置为容纳 γ 检测器60。结果,限定第一隔室102的侧壁102A、限定第二隔室104的侧壁104A和限定第三隔室的侧壁106A(在每种情况下由提供放射性辐射的屏障的材料形成)在安装在屏蔽组件28中时可位于放射性同位素发生器52和 γ 检测器60之间。因此,放射性同位素发生器52和 γ 检测器60之间存在的屏蔽材料的量可以是侧壁的组合厚度。

[0114] 在屏蔽组件28包括多于三个隔室的配置中,例如图7A和7B的实例中所示,一个或多个其他隔室也可以定位在第一隔室102和第三隔室106之间。在所示实例中,第四隔室108

也定位在第一隔室102和第三隔室106之间。在该布置中,第二隔室104和第四隔室108(以及侧壁隔室110)都位于第一隔室102和第三隔室106之间。结果,限定第一隔室102的侧壁102A、限定第二隔室104的侧壁104A、限定第四隔室108的侧壁108A和限定第三隔室的侧壁106A(在每种情况下由提供放射性辐射的屏障的材料形成)在安装于屏蔽组件28中时可位于放射性同位素发生器52和 γ 检测器60之间。同样,放射性同位素发生器52和 γ 检测器60之间存在的屏蔽材料的量可以是侧壁的组合厚度,提供增加的屏蔽保护,而不是在部件之间设置较少的侧壁或较小厚度的侧壁材料。

[0115] 与屏蔽组件28是否包括第一隔室102和第三隔室106之间的一个或多个隔室无关,使第三隔室106中的 γ 检测器60的位置相对于第一隔室102中的放射性同位素发生器52的位置偏移(例如,水平和/或垂直地)可以用于增加 γ 检测器和放射性同位素发生器之间存在的屏蔽材料的量。在三维空间中使两个部件相对于彼此偏移可以增加位于部件之间的屏蔽材料的量,从而增加被屏蔽材料阻挡的辐射量。

[0116] 实际上,当组件安装在屏蔽组件28中时,可以从放射性同位素发生器52到 γ 检测器60限定辐射路径。辐射路径可以是由放射性同位素发生器发射的那部分放射性发射(例如, β 粒子和/或 γ 射线)所采取的线性路径或路线,其行进到 γ 检测器(例如,如果没有另外阻挡,可以由 γ 检测器检测到)。辐射路径可以是放射性同位素发生器52和 γ 检测器60之间的最短线性距离(例如,检测 γ 射线的 γ 检测器的有效表面)。取决于放射性同位素发生器系统的配置,最短线性距离可以从放射性同位素发生器52的顶部到 γ 检测器60的顶部, γ 检测器60被配置成检测从第三隔室106中接收的放射性洗出液发出的放射性发射。

[0117] 形成屏蔽组件28的一个或多个侧壁100的屏蔽材料可以阻挡沿着从放射性同位素发生器到 γ 检测器的辐射路径的辐射,例如以防止 γ 检测器60检测来自放射性同位素发生器52的高于期望水平的背景辐射。这有助于确保 γ 检测器60准确地测量由发生器产生并输送到第三隔室106的放射性洗出液的放射性,并且不会错误地测量由发生器本身发射的放射性有源发射,因为其可归因于放射性洗出液。

[0118] 图7C是图7A和7B的屏蔽组件28的透视图,沿图7A中A-A剖面线剖开显示,而图7D是图7A和7B的屏蔽组件28的侧视图,沿着图7A所示的B-B剖面线剖开显示。图7D示出了为了说明的目的而没有附接门的屏蔽组件28。如该实例所示,辐射路径130由第一隔室102中的放射性同位素发生器52到第三隔室106中的 γ 检测器60限定。辐射路径130穿过第一隔室102的至少一部分(例如,隔室的侧壁102A)和第三隔室106的至少一部分(例如,隔室的侧壁106A)。当屏蔽组件28包括位于第一隔室102和第三隔室106之间的一个或多个其他隔室时,辐射路径130可以或不穿过那些一个或多个其他隔室的部分。

[0119] 例如,在所示的配置中,辐射路径130在进入第三隔室106之前穿过第一隔室102、第二隔室104和第四隔室108。取决于不同隔室的布置,辐射路径130可以穿过限定每个隔室的侧壁和/或底壁。在图7C和7D的实例中,辐射路径130从第一隔室102中的放射性同位素发生器52延伸穿过侧壁102A、穿过与侧壁102A共享和共同延伸的侧壁104A、穿过侧壁108A、并最终穿过侧壁106A,然后到达检测 γ 射线的 γ 检测器60的有效表面。实际上,辐射路径130限定从放射性同位素发生器52和 γ 检测器60延伸和/或穿过它们延伸的轴,其在第一隔室102和第三隔室106之间横切(例如,切穿)第二隔室104和第四隔室108。因为从放射性同位素发生器52发射的 γ 辐射需要穿过在到达 γ 检测器60之前提供对放射性辐射的屏障的这

些表面中的每一个,因此与在放射性同位素发生器和 γ 检测器之间提供较少的屏蔽材料相比,到达检测器的 γ 辐射的量减少。进而,这减少了 γ 检测器60即使在没有向第三隔室106供应放射性洗出液时也可以检测到的背景辐射的量或环境辐射的量。

[0120] 在一些实例中,第三隔室106和/或位于隔室中的 γ 检测器60相对于地面定位在与第一隔室102和/或位于隔室中的放射性同位素发生器52不同的高度。这可以增加沿着辐射路径130定位的屏蔽材料的量,例如,通过延长路径的长度,与如果 γ 检测器60与放射性同位素发生器52处于相同的高度时不同。通过将第三隔室106和/或 γ 检测器60相对于第一隔室102和/或放射性同位素发生器52定位在不同的高度,可以增加辐射路径130的长度,而不需要增加放射性同位素发生器系统的总体占地面积,否则可能需要增加辐射路径的长度而不改变高度。

[0121] 在不同的实例中,第三隔室106和/或 γ 检测器60可相对于第一隔室102和/或放射性同位素发生器52相对于地面位于更高的高度或更低的高度。在所示的实例中,第三隔室106和包含在其中的 γ 检测器60都相对于地面位于比第一隔室102和包含在其中的放射性同位素发生器52更高的高度。将第三隔室106定位在比第一隔室102更高的高度处可用于提供符合人体工程学的有效布置。在实践中,放射性同位素发生器52可以是相对较重的部件,其更换相对不频繁。将放射性同位素发生器52定位成接近地面可能是有帮助的,因此操作者在更换时不需要将放射性同位素发生器52提升到高的高度。相反,位于第三隔室106中的洗出液接收容器可以相对频繁地更换,例如每天一次。此外,洗出液接收容器可以是容易提升的相对轻的部件。因此,将第三隔室106定位在比第一隔室102更高的高度处可能是有帮助的,例如使得操作者不需要弯腰或弯得太远而不能更换洗出液接收容器。另外,将第一隔室102定位在比第三隔室106低的高度处可以降低系统10的重心,使得系统更稳定。

[0122] 在一些实例中,辐射路径130相对于地面以非零度角132延伸,以将放射性同位素发生器52和 γ 检测器60定位在不同的高度。虽然角度132可以变化,但是在一些实例中,角度相对于地面在 30° 至 75° 的范围内。在其他实例中,角度范围从 30° 到 40° 、从 40° 到 45° 、从 45° 到 50° 、从 50° 到 60° 、或从 60° 到 75° 。在一个特定实例中,角度范围从 43° 到 47° 。如果 γ 检测器60处于比放射性同位素发生器52更高的高度,则角度可以是正的,或者如果 γ 检测器60处于放射性同位素发生器52的较低高度,则角度可以是负的。

[0123] 当第三隔室106相对于地面位于比第一隔室102更高的高度时,第三隔室的开口106C的顶表面(例如,隔室的边缘)可以高于第一隔室的开口102C的顶表面(例如,隔室的边缘)。在一些实例中,第三隔室的开口比第一隔室的开口高至少10厘米,例如高至少25厘米或高至少30厘米。例如,第三隔室的开口可以比第一隔室的开口高10厘米至100厘米,例如20厘米至50厘米。附加地或替代地,第三隔室的开口可以与第一隔室的开口水平地间隔开(例如,在图7C中指示的X和/或Y方向上),例如以增加隔室之间的间隔距离以及位于其间的屏蔽材料的数量。例如,第三隔室的开口106C可以与第一隔室的开口间隔开至少20厘米,例如至少35厘米。在一些实例中,第三隔室的开口106C与第一隔室的开口间隔20厘米至50厘米。在每种情况下,隔室开口之间的水平距离可以从一个隔室的中心到另一个隔室的中心测量。

[0124] 独立于第一隔室102和其中包含的放射性同位素发生器52相对于第三隔室106和包含在其中的 γ 检测器60布置的具体方式,屏蔽组件28可在放射性同位素发生器和 γ 检测

器之间提供足够量的辐射屏蔽材料。放射性同位素发生器52和 γ 检测器60之间存在的屏蔽材料的量可以有效地确保由放射性同位素发生器引起的第三隔室中的背景辐射足够低,以使 γ 检测器能够例如当放射性洗出液供应到隔室中的洗出液接收容器时检测第三隔室中放射性洗出液发射的所需辐射水平。在一些实例中,所需的辐射水平小于0.6微居里的Sr-82。例如,所需的辐射水平可小于0.5微居里的Sr-82,小于0.4微居里的Sr-82,小于0.3微居里的Sr-82,小于0.2微居里的Sr-82,或小于0.1微居里的Sr-82。在其他应用中,所需的辐射水平小于0.05微居里的Sr-82,小于0.02微居里的Sr-82,或小于0.01微居里的Sr-82。由于在洗出液接收容器中放射性洗出液的活性(例如,在最初存在的短寿命放射性同位素如Rb-82的衰变之后)可能预期小于该辐射水平,因此 γ 检测器60可以有利地检测低于此水平的辐射水平而不受背景辐射的干扰。虽然沿着辐射路径130定位的辐射屏蔽材料的总量可以变化,但是在一些实例中,屏蔽组件28具有至少20厘米的定位在路径上的屏蔽材料(例如,使得在到达 γ 检测器60之前辐射路径需要行进通过该长度的材料),例如至少30厘米的屏蔽材料。例如,屏蔽组件28可以配置成在路径上提供20厘米至50厘米的屏蔽材料,例如30厘米至40厘米的屏蔽材料。

[0125] 为了增加沿辐射路径130定位的屏蔽材料的量,隔室可以布置成使得辐射路径优先穿过限定隔室的侧壁而不是隔室自身的空隙空间。也就是说,代替配置隔室使得辐射路径130优先穿过隔室的开放区域,隔室可以相对于彼此布置成使得辐射路径穿过隔室的侧壁部分。

[0126] 图7E是来自图7A和7B的屏蔽组件28的俯视图(示出移除了门),示出了隔室的示例布置,其中辐射路径130穿过限定隔室的一个或多个侧壁部分。例如,在所示的配置中,第四隔室108从辐射路径130横向偏移(在图7E中指示的X方向上),使得辐射路径行进通过侧壁108A而不是在隔室中心的空隙空间。与第四隔室108围绕辐射路径居中相比,这可以帮助最大化由第四隔室提供的辐射屏蔽。由于辐射路径130可以由 γ 检测器60和放射性同位素发生器52的位置决定,因此通过控制第三隔室106(其包含 γ 检测器60)和第一隔室102(其包含放射性同位素发生器52)相对于第四隔室的位置,第四隔室108可以从辐射路径横向偏移。

[0127] 在一些实例中,第三隔室106相对于第四隔室108布置,使得平分第四隔室108的轴线134(例如,与图7E中指示的Y方向上的屏蔽组件28的长度平行)偏离平分第三隔室106的轴线136(例如,其也平行于屏蔽组件28的长度)。通过将隔室分成两个大小相等的两半,每个轴线可以将相应的隔室一分为二。平分第三隔室106的轴线136可以相对于第四隔室108偏移,使得该轴线与第四隔室的侧壁108A的一部分共线。在所示的配置中,第四隔室108包括为弓形形状的侧壁138的一部分和为平面或线性的侧壁140的一部分。侧壁138的弓形部分和侧壁140的线性部分可以彼此邻接,并且组合形成侧壁108A。通过这种布置,侧壁140的线性部分与将第三隔室106一分为二的轴线136同轴。结果,在所示配置中沿着辐射路径130行进的辐射发射必须在到达 γ 检测器60之前穿过侧壁140的线性部分的基本上整个长度,这可能增加辐射在到达 γ 检测器之前被阻挡的可能性。

[0128] 在一些实例中,屏蔽组件28的隔室相对于彼此布置,使得辐射路径130行进通过比空隙空间更大长度的屏蔽材料(例如,对于一些或所有的隔室)。例如,在图7E中,隔室布置成使得辐射路径130行进通过限定侧壁108A(例如,侧壁140的线性部分)的屏蔽材料的长度

大于辐射路径行进通过由侧壁108A形成的空隙空间或腔的长度。如所示,辐射路径130不穿过限定第四隔室108的任何长度的空隙空间。然而,如果移动第三隔室106使得轴线136更靠近轴线134,则辐射路径可穿过限定隔室108的空隙空间的一部分。在这方面,虽然将第三隔室106和/或第四隔室108相对于彼此布置以使辐射路径130与一个或多个侧壁部分对准可以有助于增加辐射屏蔽的量,但是应当理解,根据本公开内容的屏蔽组件不限于该示例性组件布置。在其他配置中,例如,第三隔室106和第四隔室108可以对齐,使得轴线134与轴线136同轴。

[0129] 在第三隔室106和第四隔室108彼此偏移的构造中,将第四隔室二等分的轴线134可以从将第三隔室二等分的轴线136偏移距离142。例如,隔室可以相对于彼此偏移至少2厘米的距离,例如至少4厘米、2厘米到10厘米的距离、或者4厘米到6厘米的距离。当第三隔室106和第四隔室108相对于彼此偏移时,辐射路径130可以穿过第四隔室的偏移侧而不是直接穿过隔室的中心。也就是说,辐射路径130可以不平分隔室(平分隔室可以使辐射路径穿过隔室的最大空隙空间),而是可以对于平分轴线优选地偏移至隔室的一侧或隔室的另一侧。在一些实例中,第四隔室相对于辐射路径130偏移,使得辐射路径穿过小于10厘米的没有屏蔽材料的容器内部,例如小于5厘米的没有屏蔽材料的容器内部。在辐射路径130穿过侧壁表面之间的第四隔室108的空隙空间的情况下,在辐射路径与两个侧壁表面相交的位置之间形成的弦的长度可以被认为辐射路径穿过的没有屏蔽材料的长度。

[0130] 虽然第三隔室106和第四隔室108可以具有如本文所述的不同位置和构造,但是在图7E图示的实例中,第三隔室106横向偏离第四隔室108并且与第四隔室108直接相邻。在该实例中,第三隔室106和第四隔室108共享侧壁144的邻接部分。在一些实例中,屏蔽组件28的一个或多个(例如,所有)隔室形成为物理上分离的结构,然后将它们连接在一起以形成整体屏蔽组件。例如,第三隔室106和第四隔室108可以作为单独的结构制造(例如,铸造、机械加工、模制),然后彼此直接接触以形成共用的侧壁144。在其他实例中,屏蔽组件28的一个或多个(例如,所有)隔室一起形成,以提供永久且物理连接的结构。例如,第三隔室106和第四隔室108可以一起制造为永久连接结构。

[0131] 虽然第一隔室102、第三隔室106和第四隔室108被示出为限定基本上圆形的隔室,而第二隔室104被示出为限定基本上矩形的隔室,但隔室可以限定其他形状。通常,每个隔室可以限定任何多边形(例如,正方形、六边形)或弓形(例如,圆形、椭圆形)形状,或甚至多边形和弓形形状的组合。因此,尽管在此将屏蔽组件28的每个隔室描述为由侧壁限定,但应当理解,侧壁可以是单个邻接侧壁,或者可以具有多个单独的侧壁部分,这些侧壁部分共同限定侧壁。每个隔室的具体形状可以根据要插入隔室的部件的部件尺寸和形状而变化。

[0132] 进一步参考图7D,第二隔室104的底壁104B可以限定顶表面144A和与顶表面相对的底表面144B。当 β 检测器58位于顶表面144A下方(并且可选地位于底表面144B下方)时,第二隔室104可包括从底壁102B向下延伸的延伸部分146,以沿着其长度保护 β 检测器58。延伸部分146可以被配置(例如,设定尺寸和/或形状)以接收 β 检测器58。延伸部分146可以具有大于 β 检测器58的长度的高度148(例如,在图7D中指示的Z方向上)。在一些实例中,延伸部分146具有大于或等于第一隔室102的高度的高度148,例如,使得延伸部分向下延伸到第一隔室102延伸到的相同位置或下方。

[0133] 为了便于安装和移除 β 检测器58以及 β 检测器和控制输注系统的控制器之间(例如

通过布线)的电子通信,可以在延伸部分146中形成开口。在一些实例中,延伸部分146的底端150是开放的或没有材料。当如此配置时, β 检测器58可以通过开口底端插入延伸部分和从延伸部分移除。另外, β 检测器58和通信地耦合到 β 检测器的控制器之间的电子通信可以经由一个或多个电缆提供,所述电缆从控制器通过开口底部和延伸部分146延伸到 β 检测器。

[0134] 继续参考图7D,第三隔室106可具有大于 β 检测器58的长度的高度152(例如,在图7D中指示的Z方向上)。在一些实例中,第三隔室106的高度152大于或等于第四隔室108的高度。在一些实例中,第三隔室106从与第二隔室104的底壁104B共面的位置垂直向上延伸。例如,第三隔室106可以垂直向上延伸到等于或高于第四隔室108的开口的高度。在其他配置中,第三隔室106可以在与底壁104B共面的位置下方延伸。

[0135] 独立于第三隔室106的特定高度,隔室可具有开口以便于安装和移除 γ 检测器60。该开口还可以提供用于 γ 检测器和控制输注系统(例如,布线)的控制器之间的电子通信的访问。在一些实例中,第三隔室106的底部和154是开放的或没有材料。当如此配置时, γ 检测器60可以通过开口底端插入第三隔室106和从第三隔室106移除。

[0136] 在其他配置中,第三隔室106可以在侧壁106A中具有开口,通过该开口可以插入和移除 γ 检测器60。在这些配置中,第三隔室106可包括侧袋或腔以接收 γ 检测器。在其他配置中, γ 检测器60可以插入穿过第三隔室106的开口顶端而不是通过单独的进入端口。然而,当 γ 检测器60包括开放底部和154时, γ 检测器60和通信地耦合到 γ 检测器的控制器之间的电子通信可以通过一个或多个电缆提供,所述电缆从控制器通过开放底部和第三隔室106延伸到 γ 检测器。

[0137] 屏蔽组件28的隔室的具体尺寸可以例如基于系统中使用的部件的尺寸和配置而变化。在一些实例中,侧壁102A的厚度在35毫米至100毫米的范围内,侧壁104A的厚度在80毫米至140毫米的范围内,并且侧壁106A和侧壁108A的组合厚度在125毫米至175毫米的范围内。提供前述尺寸是出于说明的目的,并且应当理解,根据本公开的屏蔽组件不必限于此方面。

[0138] 为了封闭由屏蔽组件28的隔室限定的开口,每个隔室可具有相应的门。每个门可以由操作者打开以插入和/或移除部件并且关闭以提供对放射性辐射和其中包含的部件的封闭屏障。每个门可以由用于形成屏蔽组件28的至少一个侧壁100的相同或不同的材料形成,并且可以提供对放射性辐射的屏障。参考图7A,屏蔽组件28的每个隔室被示出为包括门。

[0139] 具体地,在所示的配置中,第一隔室102由门102D关闭,第二隔室104由门104D关闭,第三隔室106由门106D关闭,第四隔室108由门108D关闭,以及侧壁隔室110由侧壁门110D关闭。每个门可以选择性地打开,以提供通向门所关闭的相应隔室的入口。每个门可以进一步选择性地关闭以覆盖提供通过辐射屏蔽材料进入相应隔室的入口的开口。

[0140] 在图7A的实例中,第一隔室102、第二隔室104、第三隔室106和第四隔室108各自限定相对于重力向上定向的开口(例如,限定XY平面中的开口,该开口可在图上指示的Z方向上进入)。在这样的实例中,第一门102D、第二门104D、第三门106D和第四门108D可以各自相对于重力向上打开,以进入由门封闭的相应隔室。这可以允许操作者通过在垂直方向上向上或向下移动门来从相应的一个隔室中插入和移除部件。然而,在其他配置中,由一个或多

个隔室限定的开口可能不会相对于重力向上打开。例如,一个或多个(例如,所有)隔室可以具有由辐射屏蔽材料形成的永久封闭的顶表面,并且可以限定穿过形成隔室的侧壁的开口。在这些实例中,用于提供对形成在侧壁中的开口的选择性通路的门可以相对于重力横向打开而不是向上打开。用于屏蔽组件28的其他开口布置和门配置也可以用在根据本公开的屏蔽组件中,并且本公开不必限于此方面。

[0141] 在一些实例中,屏蔽组件28的一个或多个门可包括互锁件或重叠的门段,以防止一个或多个门无意中打开。例如,一扇门可以具有与相邻门重叠的部分,防止相邻的门在首先打开提供重叠部分的门之前打开。作为一个实例布置,侧壁门110D可以与第二门104D重叠,第二门104D又可以与第一门102D重叠。结果,在侧壁门110D打开之前,第二门104D不能以这种配置打开。类似地,在第二门104D打开之前,第一门102D不能以这种配置打开。在一些配置中,第四门108D还与侧壁门110D重叠,使得在第四门打开之前侧壁门不能打开。通常,将一个或多个门布置成彼此重叠可有助于防止无意中打开屏蔽组件28的一个或多个隔室。例如,当放射性同位素发生器52安装在隔室中时,第一隔室102可包含最大的放射性辐射源。出于这个原因,屏蔽组件28可以布置成使得至少门102D与相邻的门重叠,有助于防止操作者无意中打开包含最大辐射源的隔室。

[0142] 包含 γ 检测器60和/或洗出液接收容器56的第三隔室106还可包括门106D。可以打开门106D以将洗出液接收容器56安装在 γ 检测器60上并关闭以将洗出液接收容器封闭在隔室中,用于接收来自放射性同位素发生器的放射性洗出液。为了使位于第三隔室106中的洗出液接收容器与放射性同位素发生器流体连通,输注管线可以延伸到隔室中并与洗出液接收容器流体连通。在一些实例中,第三隔室106的侧壁106A具有形成在其中的开口或通道,输注管70穿过该开口或通道以将洗出液接收容器56放置成与放射性同位素发生器流体连通。在其他实例中,门106D可以包括开口,输注管70可以通过该开口并且连接到洗出液接收容器。

[0143] 在图7A的实例中,第三门106D包括开口158,开口158被配置(例如,设定尺寸和/或形状)以接收输注管70。当组装时,输注管70可以伸出屏蔽组件28(例如,通过第四隔室108或侧壁隔室110的侧壁中的开口),然后通过开口158重新进入屏蔽组件。输注管70的远端或末端可以通过门106D中的开口158伸入第三隔室106中,并且与容纳在其中的洗出液接收容器56流体连通。

[0144] 洗出液接收容器56可以具有各种不同的构造,并且相对于第三隔室106中的 γ 检测器60以多种不同的方式布置。图7F是图7D的屏蔽组件28的一部分的分解图,示出了洗出液接收容器56到 γ 检测器60的示例性布置。如该实例中所示,洗出液接收容器56定位在第三隔室106中垂直位于 γ 检测器60上方的位置(例如,在图7E中指示的Z方向上)。特别地,在所示的布置中,洗出液接收容器56和 γ 检测器60沿着它们的长度围绕轴线160同轴地布置。

[0145] 通常,确保洗出液接收容器56相对于 γ 检测器60适当且可重复定位可有助于确保由 γ 检测器60测量的 γ 发射是准确且适当校准的。如果洗出液接收容器56定位得太靠近 γ 检测器60,则两个部件之间的分离距离的微小变化(例如,当洗出液接收容器56被移除并重新插入第三隔室106中时)可导致 γ 检测器测量不一致。相反,如果洗出液接收容器56定位得离 γ 检测器60太远,则 γ 检测器准确地检测低水平 γ 发射可能具有挑战性。

[0146] 在一些实例中,洗出液接收容器56容纳在第三隔室106中,使得容器的最底部表面

与 γ 检测器60的顶部隔开一定距离。例如,洗出液接收容器56的最底部表面可以定位在距离 γ 检测器的距离162处。分离距离162的范围可以是5毫米至100毫米,例如8毫米至65毫米,或10毫米至30毫米。在一些实例中,分离距离162相对于洗出液接收容器56的总长度来定义。例如,分离距离162可以是洗出液接收容器56的总长度的0.1至1.5倍,例如洗出液接收容器的总长度的0.2至0.5倍。例如,在洗出液接收容器56具有大约80毫米的长度并且分离距离是容器的总长度的0.25倍的实例中,分离距离162可以是大约20毫米。

[0147] 在一些实例中,洗出液接收容器56可定位在第三隔室106内部,而没有位于容器和 γ 检测器60之间的中间结构。第三隔室106可具有内部脊、边缘或其他支撑结构,洗出液接收容器56可定位或以其他方式支撑在其上以将容器保持在 γ 检测器60上方的隔室中。在其他实例中,插入件164可以定位在洗出液接收容器56和 γ 检测器60之间的第三隔室106中。插入件164可以用于不同的功能,例如作为无意中从洗出液接收容器56中溢出的放射性洗出液的液体收集屏障,和/或作为定位结构以将洗出液接收容器56定位在隔室106中相对于 γ 检测器60处于受控的位置处。

[0148] 当使用时,插入件164可以永久地安装在第三隔室106中,或者可以插入隔室中以及从隔室中移除。例如,插入件164可以是具有封闭的底端并且可从第三隔室106移除的结构(通过隔室的开放顶端)。插入件164可收集无意中溢出的放射性洗出液(或其衰变产物)并防止液体落在 γ 检测器60上。

[0149] 为了将插入件164保持在第三隔室106中,侧壁106A可以具有向内延伸的支撑装置(朝向隔室的中心延伸的支撑装置)。在不同的实例中,支撑装置可以是肩部、脊部和/或不同的向内突出的元件。在所示的实例中,侧壁106A具有向内延伸的脊部166,插入件164的底表面可以搁置在该脊部166上(或者,在不使用插入件164的情况下,洗出液接收容器56的底部可以搁置在其上)。附加地或替代地,插入件164可具有从其主体向外延伸的套环168,该套环168构造成搁置在限定第三隔室106的开口的边缘上。与用于将插入件164保持在第三隔室106中的特定特征无关,插入物可以在插入其中时将洗出液接收容器56保持在相对于 γ 检测器60的固定位置和取向。这可以帮助确保使用 γ 检测器60的可重复测量。

[0150] 如上面关于图6所讨论的,系统10可用于产生放射性洗出液,其被输注(注射)入患者,例如,在诊断成像过程期间。在实践中,系统10可以以多种操作模式操作,其中一种操作模式是患者输注模式。系统10可以在患者输注模式期间向患者递送放射性洗出液。系统10还可以以一种或多种其他模式产生放射性洗出液,其中洗出液不被递送至患者,例如,以帮助确保在随后的患者输注期间供应的放射性洗出液的安全性、质量和/或准确性。

[0151] 作为一个实例,系统10可以经受定期质量控制(QC)检查,其中系统在没有将输注管70连接到患者管线72的情况下操作。在质量控制操作模式期间,可以分析由系统10产生的放射性洗出液以确定放射性洗出液中存在的一种或多种放射性同位素种类的放射性。如果一种或多种放射性同位素的活性水平超过预定/阈值限制,则系统10可以停止服务以阻止随后的患者输注程序,直到使用该系统产生的放射性洗出液中的一种或多种放射性同位素的活性水平恢复在允许的范围内为止。

[0152] 例如,当放射性同位素发生器52实施为铯-铷放射性同位素发生器时,可评估使用发生器产生的放射性洗出液,以确定当洗出液流过和/或通过发生器时放射性铯是否从发生器释放。由于铯具有比Rb-82更长的半衰期,因此通常将放射性洗出液输注到患者体内的

锶量最小化。确定放射性洗出液中存在的锶量的过程可以称为突破测试 (breakthrough testing), 因为它可以测量锶突破到放射性洗出液中的程度。

[0153] 作为另一个例子, 系统10可以进行周期性的恒定性检查, 其中系统再次操作而没有输注管70连接到患者管线72。在恒定性评估操作模式期间, 可以评估使用 β 检测器58进行的活性测量, 例如交叉检查, 以确定系统是否正在产生准确和精确的测量。如果使用 β 检测器58进行的活性测量偏离使用验证设备进行的测量, 例如超过预定/阈值量, 则系统被重新校准以帮助确保系统10的有效和准确操作。

[0154] 图8是可用于执行患者输注程序以将放射性液体注入患者体内的示例技术的流程图, 例如, 在诊断成像过程期间。例如, 系统10可以使用图8的技术产生放射性洗出液并将放射性洗出液注入患者体内。为了说明的目的, 图8的技术将关于系统10描述, 并且更具体地, 关于上面图6描述的示例性部件的布置描述。然而, 应当理解, 该技术可以由具有其他部件布置和配置的系统来执行, 如本文所述。

[0155] 为了启动患者输注程序, 操作员可以与系统10交互以设置输注的参数并启动输注程序。系统10可以经由用户接口16、经由通信地耦合到系统10的远程计算设备、或通过其他通信接口接收用于输注的参数。可以设定的示例参数包括但不限于待给予患者的总活性、待给予患者的放射性洗出液的流速、和/或待给予患者的放射性洗出液的体积。一旦编程和存储了建立输注过程特征的适当参数, 系统10就可以开始产生注入患者体内的放射性洗出液。

[0156] 如图8的实例中所示, 患者输注程序可以通过控制第二多路阀74开始, 以使放射性同位素发生器排出管线75经由废物管线76与废物容器54流体连通 (200)。如果第二多路阀74最初定位使得放射性同位素发生器排出管线75与废物容器54流体连通, 则控制器80可以控制系统10继续进行输注过程而无需首先致动所述阀。然而, 如果定位第二多路阀74使得放射性同位素发生器排出管线75与输注管道70流体连通, 则控制器80可以控制第二多路阀74 (例如, 通过控制与阀门相关联的致动器) 来放置放射性同位素发生器排出管线与废物容器流体连通。在一些实例中, 控制器80接收来自与第二多路阀74相关联的传感器或开关的信号, 该信号指示阀的位置以及相应地放射性同位素发生器排出管线75通过阀与哪条管线流体连通。

[0157] 除了控制第二多路阀74之外或代替控制第二多路阀74, 控制器80可以在进行患者输注程序之前检查第一多路阀64的位置和/或控制阀以改变阀的位置。例如, 如果第一多路阀64定位成通过旁通管线68引导洗脱液, 则控制器80可以控制阀 (例如, 通过控制连接到阀的致动器) 以使洗脱液管线62与放射性同位素发生器入口管线66流体连通。在一些实例中, 控制器接收来自与第一多路阀64相关联的传感器或开关的信号, 该信号指示阀的位置以及相应地洗脱液管线62通过阀与哪条管线流体连通。

[0158] 第一多路阀64定位成引导洗脱液通过放射性同位素发生器入口管线66,

[0159] 第二多路阀74定位成将放射性洗出液从放射性同位素发生器排出管线75引导至废物容器54, 控制器80可以控制泵40从洗脱液储存器50中泵出洗脱液。在控制器80的操作下, 泵40可以通过放射性同位素发生器52从洗脱液贮存器50泵出洗脱液, 从而通过发生器的洗脱产生放射性洗出液。在不同的实例中, 泵40可以以恒定的流速或随时间变化的流速泵送洗出液。在一些实例中, 泵40以10毫升/分钟至100毫升/分钟的速率泵送洗脱液, 例如

25毫升/分钟至75毫升/分钟的速率。产生的放射性洗出液通常以与泵40泵送洗脱液的速率相同的速率流动。

[0160] 当洗脱液流过放射性同位素发生器52时,结合在发生器中的母体放射性同位素的放射性衰变产物可释放并进入流动的洗脱液,从而产生放射性洗出液。可以基于母体放射性同位素和用于放射性同位素发生器52的载体材料的特性来选择所用洗脱液的类型。可以使用的实例洗脱液包括水基液体,例如盐水(例如0.1-1M NaCl)。例如,在锶-铷放射性同位素发生器的情况下,可以使用正常(等渗)盐水作为洗脱剂以洗脱从结合在载体材料上的Sr-82衰变的Rb-82。

[0161] 放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液可以被输送到β检测器58,允许基于β检测器进行的测量来确定洗出液的放射性水平(也称为活性)(204)。在一些配置中,放射性洗出液被供应到位于β检测器58附近的管道或储存器,允许β检测器测量从位于检测器前方的停止和静态体积的流体发出的β发射。在其他配置中,β检测器58可以检测从流过位于检测器附近的管道的放射性洗出液发出的β发射。例如,当洗出液流过放射性同位素发生器排出管线75到废物容器54时,β检测器58可以检测从放射性洗出液发出的β发射。控制器80可以从β检测器58接收指示由β检测器测量的β发射的信号。

[0162] 控制器80可以基于β检测器58测量的β发射来确定放射性洗出液的活性。例如,控制器80可以将由β检测器58测量的β发射的大小与存储在存储器中的校准信息进行比较,该校准信息将不同的β发射水平与不同的放射性洗出液活性水平相关联。然后,控制器80可以参考校准信息以及通过β检测器58测量的流过放射性同位素发生器排出管线75的当前放射性洗出液的β发射,确定放射性洗出液的活性。利用系统10进行的所有测量,控制器80可以解释当放射性洗出液行进通过一个或多个管线时放射性同位素发生器和相应检测器之间的放射性衰变。

[0163] 因为来自不同放射性同位素的β发射不容易彼此区分,所以控制器80可能无法解析所测量的活性的哪个部分可归因于一个放射性同位素,而不是可能存在于放射性洗出液中的一个或多个其他放射性同位素。在放射性洗出液中存在的放射性衰变产物被认为是主要的放射性同位素种类的情况下,控制器80可以将测量的放射性洗出液的活性设定为对应于放射性衰变产物的活性。例如,在锶铷放射性同位素发生器的情况下,可以假定使用β检测器58测定的放射性洗出液的活性是放射性洗出液中存在的Rb-82的活性。这是因为可以假设放射性洗出液中存在的任何其他放射性同位素的活性显著(例如,数量级)小于放射性洗出液中存在的Rb-82的活性。

[0164] 在一些实例中,泵40连续地将洗脱液泵送通过放射性同位素发生器,并且放射性洗出液被输送到废物容器54,直到放射性洗出液的活性水平达到阈值水平。放射性同位素发生器52在发生器失活一段时间后产生的放射性洗出液最初可能比在发生器持续洗脱期间产生的放射性洗出液具有更低的活性。例如,使用发生器52产生的推注式放射性洗出液的活性可以遵循活性曲线,该活性曲线基于通过发生器的洗脱液的体积和自洗脱开始的时间而变化。随着额外的洗脱液流过放射性同位素发生器和时间的进展,活性可以从峰值活性降低到平衡。

[0165] 在一些实例中,放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液被供应到废物容器54,直到放射性洗出液达到最小阈值活性值。最小阈值活性值可以存储在与控制器80相关

联的存储器中。在操作中,控制器80可以将使用发生器52产生的放射性洗出液的当前活性与存储在存储器中的活性进行比较(206)。基于比较,控制器80可以确定何时致动第二多路阀74以将放射性洗出液从废物容器54引导至输注管70和相应的患者管线72(208)。

[0166] 由于放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液的峰值活性可以在发生器的使用寿命内变化,因此可以相对于放射性同位素发生器系统执行的一个或多个先前的洗脱/输注程序设定最小活性阈值。例如,对于由系统10执行的每次洗脱,控制器80可以在与控制器相关联的存储器中存储在该洗脱期间检测到的峰值放射性,例如,通过 β 检测器58测量的。在随后的洗脱期间,控制器80可以参考在先前洗脱期间测量的峰值放射性,其也可以被认为是最大放射性。控制器80可以使用来自先前运行的最大放射性作为用于在后续运行期间控制放射性同位素发生器的阈值。在一些实例中,阈值是在先前洗脱运行例如立即的先前洗脱运行期间测量的最大放射性的百分比。立即的先前洗脱运行可以是在控制当前洗脱运行之前进行的洗脱运行,而在两次洗脱之间没有进行任何中间的洗脱。例如,阈值可以是落在先前洗脱运行期间检测到的最大放射性量值的5%至15%范围内的活性值,例如最大活性量值的8%至12%,或者大约为最大活性量值的10%。在其他实例中,阈值可以不基于使用系统10测量的先前放射性测量来确定,而是可以替代地是存储在与控制器80相关联的存储器中的值。该值可以由负责系统10的设施、系统10的制造商或者控制系统10的其他方来设置。

[0167] 在图8的实例中,控制器80控制第二多路阀74以通过输注管70和连接到输注管的患者管线72将放射性洗出液从废物容器54转移到患者(210)。在确定经由 β 检测器58流过放射性同位素发生器排出管线75的放射性洗出液的活性已经达到阈值(例如,等于或超过阈值)后,控制器80可以控制第二多路阀74(例如,通过控制与阀相关联的致动器)以将放射性洗出液递送给患者。泵40可以继续泵送洗脱液通过放射性同位素发生器52,从而将放射性洗出液输送给患者,直到已经将所需量的放射性洗出液递送给患者。

[0168] 在一些实例中,所需量的放射性洗出液是设定体积的洗出液,其被编程以递送至患者。控制器80可以确定输送给患者的放射性洗出液的体积,例如,基于对泵40泵送速率和泵已泵送放射性洗出液的持续时间的了解。附加地或替代地,系统10可以包括一个或多个流量传感器,其向控制器80提供关于流过系统的一个或多个管线的洗脱液体积和/或放射性洗出液体积的测量值。

[0169] 在一些实例中,控制器80跟踪由放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液的累积体积,例如,从发生器安装在系统10中的时间开始。控制器80可以跟踪在患者输注过程以及其中产生放射性洗出液但不提供给患者的其他操作模式期间例如在QC测试期间产生的放射性洗出液的体积。在一些实例中,控制器80将放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液的累积体积与允许极限进行比较,并且当确定累积体积超过(例如等于或大于)允许极限时,使用发生器防止放射性洗出液的至少任何进一步的患者输注。在这些配置中,放射性同位素发生器输送的累积体积可以充当用于确定何时应该停止使用发射器的控制点。虽然允许极限可以根据各种因素而变化,例如放射性同位素发生器的尺寸和容量,但在一些实例中,允许极限小于250L,例如小于150L、小于100L、小于50L、或小于25L。例如,允许极限可以在5L至100L的范围内,例如10L至60L、15L至40L、或17L至30L。在特定实例中,允许极限是17L。在另一个特定实例中,允许极限是30L。系统10可以具有硬件和/或软件锁,一旦达

到允许极限其就接合以防止随后的患者输注过程。例如,一旦超过允许极限,控制器80可以防止泵40泵送洗脱液。

[0170] 除了或代替基于递送至患者的洗出液的体积控制所需量的放射性洗出液,控制器80还可基于递送至患者的累积放射性量来控制所需量的放射性洗出液(例如在递送期间调节放射性衰变)。控制器80可以控制泵40以将洗脱液输送到放射性同位素发生器52,从而将放射性洗出液输送给患者,直到递送给患者的累积放射性量达到设定极限。控制器80可以通过在向患者输送放射性洗出液期间通过 β 检测器58测量放射性洗出液的活性来确定递送给患者的累积放射性量。当控制器80确定已经将设定量的放射性传递给患者时,控制器80可以控制泵40停止泵送洗脱液和/或控制系统10中的一个或多个阀以重新引导流过系统。

[0171] 在一些实例中,控制器80控制第一多路阀64以将流过系统10的洗脱液从放射性同位素发生器入口管线66重定向到旁路管线68。控制器80可以控制或不控制第二多路阀74以将放射性同位素发生器发射管线75放置成与废物管线76而不是输注管线70流体连通。控制器80可以控制泵40以将洗脱液泵送通过旁路管线68进入输注管70和患者管线72。控制器80可以控制泵以通过管线泵送一定体积的洗脱液,以足以将存在于管线中的残余放射性洗出液从管线冲洗到患者体内。这可以帮助从患者周围的环境中去除残余的放射性源,否则其可能在随后的诊断成像期间充当干扰。与控制器80是否控制系统10以在向患者输送放射性洗出液后提供洗脱液冲洗无关,控制器80可以终止泵40的操作以终止患者输注过程(212)。

[0172] 如上所述,系统10可用于在输注管70未连接到患者的其他应用中产生和输送放射性洗出液。作为一个实例,系统10可以产生在质量控制操作模式期间经受质量控制评估的放射性洗出液。在质量控制操作模式期间,可以分析由系统10产生的放射性洗出液以确定放射性洗出液中存在的一种或多种放射性同位素种类的放射性。实际上,当洗脱液通过含有结合在载体材料上的母体放射性同位素的放射性同位素发生器时,比起与母体放射性同位素结合较不紧密地与载体材料结合的子衰变产物放射性同位素可以释放到洗脱液中以形成放射性洗脱液。除了旨在洗脱到洗脱液中的子衰变产物之外的一种或多种其他放射性同位素也可以进入液体。可以进行放射性洗出液的定期质量控制评估以确定这些一种或多种其他放射性同位素的活性水平,以帮助确保活性水平不超过确定限度。

[0173] 例如,在锶-铷放射性同位素发生器的情况下,当洗脱液通过发生器时,Rb-82可以作为放射性同位素发生器中包含的Sr-82的放射性衰变产物产生,从而产生放射性洗出液。洗出液可以含有除了Rb-82之外的放射性同位素,放射性同位素的数量和大小例如基于发生器的操作性能而变化。例如,当发生器用于产生Rb-82剂量时,Sr-82和/或Sr-85可从发生器释放并进入洗出液。作为另一个例子,铯-131可以痕量进入洗出液。因此,从放射性洗出液测量的放射性总量可能不能归因于一种特定的放射性同位素,而是由洗出液中存在的每种不同放射性同位素发射的放射性的总量。

[0174] 在质量控制评估期间,可以确定放射性洗出液中存在的一种或多种放射性同位素(例如,除了放射性同位素发生器产生的衰变产物之外或代替放射性同位素产生的衰变产物)的活性,并将其与一个或多个允许阈值进行比较。图9是可用于执行质量控制程序的示例技术的流程图。例如,系统10可以使用图9的技术来帮助确保由放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液满足为患者输注设定的标准。与图8一样,将关于系统10描述图9的技术,

并且更具体地,关于上面图6描述的示例性部件的布置描述。然而,应当理解,该技术可以由具有其他部件布置和配置的系统来执行,如本文所述。

[0175] 在图9的技术中,控制器80可以控制系统10将放射性洗出液输送到位于 γ 检测器60附近的洗出液接收容器56(220)。为了启动该过程,操作者可将洗出液接收容器56插入屏蔽组件28的第三隔室106中并关闭第三门106D以将容器封闭在隔室中。在将第三门106D定位在第三隔室106的开口上之前或之后,操作者可以将输注管70的端部插入洗出液接收容器56中,以使输注管与洗出液接收容器流体连通。例如,操作者可将洗出液接收容器56插入屏蔽组件28的第三隔室106中,将第三门106D定位在隔室的开口上,洗出液接收容器通过该开口插入,然后穿过门的开口158插入输注管线70的末端。在一些配置中,输注管线70的末端包括针,使得通过第三门中的开口插入输注管线70涉及将针插入穿过开口。洗出液接收容器56可以包括或不包括隔膜,该隔膜被在输注管线70的末端的针刺穿,以使输注管与洗出液接收容器流体连通。或者,输注管线70中的洗出液接收容器56可以使用各种不同的机械连接特征连接,例如螺纹连接器、鲁尔锁连接器或其他类型的机械连接特征。

[0176] 与输注管线70如何放置成与洗出液接收容器56流体连通无关,所得到的布置可使放射性同位素发生器52经由第二多路阀74与洗出液接收容器流体连通。也就是说,当布置成执行质量控制洗脱时,输注管70的出口可以放置成与洗出液接收容器56连通,并且不与患者管线72或连接到患者管线的任何患者连通。当如此布置时,放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液可以被供应到洗出液接收容器56,用于由 γ 检测器60评估,而不是在患者输注过程期间被递送到患者。

[0177] 一旦系统10被适当地布置成允许洗出液接收容器56接收来自放射性同位素发生器52的放射性洗出液,控制器80就可以控制系统产生放射性洗脱液,该放射性洗脱液被供应到洗出液接收容器。在一些实例中,控制器80响应于操作者通过用户界面16接收的指令来启动质量控制洗脱,以执行质量控制洗脱。例如,控制器80可以执行软件,该软件引导操作者通过一个或多个步骤来适当地布置系统10的组件以用于质量控制洗脱并且接收反馈(例如,经由传感器和/或操作者经由用户界面),确认在产生放射性洗出液之前适当地布置部件。控制器80可以控制系统10以在布置系统10的部件以执行洗脱之后立即,或者在部件已经被布置用于质量控制洗脱之后的延迟时间,执行质量控制洗脱。

[0178] 例如,在质量控制程序花费相对长的时间来执行的情况下,操作员可以设置系统10以在系统通常不用于患者输注程序时执行质量控制洗脱。例如,系统10可以被设置为在一天中的预设时间执行质量控制过程,例如在午夜时段或在晚上。作为实例,可以将系统设置为在系统所在时区的晚上5点到第二天早上7点之间的时间执行质量控制洗脱,例如在晚上8点到第二天早上6点之间,或者在下午12点到第二天早上4点之间。操作者可以将洗出液接收容器56和/或管道安装在适当的位置,洗出液接收容器在使系统无人看管之前与管道流体连通。此后,在控制器80的控制下操作的系统10可以在随后的预编程时间执行质量控制过程。然后,当操作员返回系统时,可以获得质量控制结果。

[0179] 无论系统10执行质量控制洗脱的时间如何,控制器80都可以控制泵40以泵送洗脱液通过放射性同位素发生器52,从而产生供应给洗出液接收容器的放射性洗出液。在一些实例中,放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液经由输注管70直接供应到洗出液接收容器56,而不将初始部分的放射性洗出液转移到废物容器54。在其他实例中,放射性同位素

发生器52产生的放射性洗出液最初被引导至废物容器54,直到达到阈值活性水平,如通过 β 检测器58所确定的。在确定由放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液达到阈值活性水平后,控制器80可以控制第二多路阀74以引导放射性洗出液从放射性同位素发生器排出管线75流到输注管70(和与之连接的洗出液接收容器56)而不是到废弃容器54。

[0180] 例如,在质量控制洗脱过程中,控制器80可以遵循以上关于图8讨论的步骤200-208,将放射性洗出液供给洗出液接收容器56。控制器80可以将最初由放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液转移到废物容器54,直到通过 β 检测器58测量的 β 发射确定的放射性洗出液的活性达到阈值。在放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液的活性达到阈值后,控制器80可以控制多路阀74以将放射性洗出液引导至洗出液接收容器56。

[0181] 泵40可以继续向放射性同位素发生器52供应洗脱液,从而将放射性洗出液供应到洗出液接收容器56,直到向容器供应了所需量的放射性洗出液。在一些实例中,所需量的放射性洗出液是预先确定的放射性洗脱液体积,例如,基于洗出液接收容器56的大小确定。控制器80可以控制泵40向洗出液接收容器56供应一定量的放射性洗出液,其足以至少部分地并且在一些情况下完全地用放射性洗出液填充洗出液接收容器。在一些实施方案中,洗出液接收容器56可以用放射性洗出液填充至其最大体积的50%以上,例如其最大体积的50%至100%,其最大体积的75%以上,或者其最大体积的60%到90%。在质量控制程序期间填充洗出液接收容器56的总体积(可称为质量控制(QC)阈值体积)可大于5mL,例如5mL至100mL或5mL至50mL。例如,QC阈值体积可以为10mL至20mL、20mL至30mL、30mL至40mL、40mL至50mL、50mL至75mL、或75mL至100mL。例如,在一种规格应用中,QC阈值体积约为50mL。

[0182] 除了或代替基于体积控制提供给洗出液接收容器56的放射性洗出液的量之外,控制器80可以基于 β 检测器58进行的活性测量来控制供应到容器的放射性洗出液的量。当放射性洗出液流过 β 检测器58到洗出液接收容器56时, β 检测器可以测量放射性洗出液发出的 β 发射。控制器80可以从 β 检测器58接收指示由 β 检测器58测量的 β 发射的信号,并且可以将由 β 检测器测量的 β 发射的大小与存储在存储器中的校准信息进行比较,该校准信息将不同的 β 发射水平与不同的放射性洗出液活性水平相关联。控制器80可以基于由 β 检测器测量的放射性洗出液的活性和/或放射性洗出液的流速(例如,在递送期间调节放射性衰变)来确定递送至洗出液接收容器56的累积活性量。控制器80可以将递送到洗出液接收容器56的累积活性量(其可以被称为供应到容器的累积放射性剂量)与存储在与控制相关联的存储器中的一个或多个阈值进行比较。

[0183] 例如,控制器80可以将提供给洗出液接收容器56的累积活性量与存储在与控制相关联的存储器中的质量控制(QC)阈值水平进行比较。QC阈值水平可以例如由系统10的操作者或制造商编程。在一些实例中,QC阈值水平大于5mCi,例如大于15mCi。例如,QC阈值水平可以在5mCi至75mCi的范围内,例如从10mCi至60mCi、从15mCi至50mCi、或从20mCi至40mCi。在一个特定实例中,阈值QC水平约为30mCi。阈值QC水平可以通过 β 检测器58测量的并且基于时间和半衰期针对递送期间的放射性衰变校正的供应给洗出液接收容器56的放射性洗出液的总活性。在假设单个放射性同位素是放射性的主要来源的情况下,可以假设阈值水平对应于该放射性同位素。在铯-铷放射性同位素发生器的实例中,其中Rb-82预期是流过 β 检测器58的放射性洗出液中的主要活性来源,阈值QC水平活性可被指定为Rb-82的阈值QC水平。

[0184] 在确定供应给洗出液接收容器56的放射性洗出液的累积放射性剂量已达到QC阈值水平时,控制器80可控制泵40以停止泵送洗脱液通过放射性同位素发生器52。因此,在这些实例中,递送至洗出液接收容器56的活性量可以作为用于确定将多少体积的放射性洗出液递送至容器的控制点。控制器80还可监测输送到洗出液接收容器56的放射性洗脱液的体积,并且如果洗出液接收容器将超过其最大容量,则控制泵40以停止泵送,即使尚未达到QC阈值水平。在这些情况下,控制器80可以通过用户界面16发出用户警报,指示质量控制测试的问题。

[0185] 在图9的技术中, γ 检测器60测量由提供给洗出液接收容器56的放射性洗出液发射的 γ 发射(220)。 γ 检测器60可以连续测量 γ 发射,例如,在洗出液接收容器56的填充期间和/或在洗出液接收容器适当地填充放射性洗出液之后。或者, γ 检测器60可以周期性地对 γ 发射进行采样,例如,在洗出液接收容器56已经适当地填充放射性洗出液之后进行一次或多次。

[0186] 在一些实例中,当泵停止将放射性洗出液泵送到容器时,至少在容器被初始填充时, γ 检测器60测量从洗出液接收容器56中的放射性洗出液发出的 γ 发射。除了或代替测量初始填充容器时的 γ 发射, γ 检测器60可以在容器充满放射性洗出液之后一次或多次测量从洗出液接收容器中的放射性洗出液发出的 γ 发射。例如,在足以使放射性洗出液中的基本上所有初始子放射性同位素(例如,Rb-82)衰变的一段时间之后, γ 检测器60可以测量从洗出液接收容器56中的放射性洗出液发出的 γ 发射。

[0187] 在一些实例中,足以使基本上所有初始子放射性同位素衰变的时间段是子放射性同位素的至少3个半衰期,例如子放射性同位素的至少5个半衰期。在Rb-82的半衰期为约76秒的情况下,该时间段可以大于15分钟,例如大于20分钟,或大于30分钟。例如,该时间段可以是15分钟至1小时,例如25分钟至45分钟。控制器80可以控制 γ 检测器60,以在从洗出液接收容器的填充经过一段时间之后测量从洗出液接收容器56中的放射性洗出液发出的 γ 发射。如上所述, γ 检测器60可以或不连续地测量在经过一段时间之前和之后从放射性洗出液发出的 γ 发射。

[0188] 由 γ 检测器60测量的 γ 发射能量可以根据用于放射性同位素发生器52的放射性同位素发生器的类型以及相应地由发生器产生的特定放射性同位素的 γ 发射能量而变化。在一些实例中, γ 检测器60被实现为检测大 γ 谱的宽范围检测器。在其他实例中, γ 检测器被实现为窄范围检测器或被加窗以检测相对较窄的 γ 谱。

[0189] 在一些应用中,例如当放射性同位素发生器52被实施为铯-钷放射性同位素发生器时, γ 检测器60可以被配置为测量至少在400千电子伏特(keV)至600keV范围内的 γ 发射,例如从450keV到550keV、从465keV到537keV、或从511keV到514keV。在一些实例中, γ 检测器60测量至少在511keV和/或514keV的 γ 发射能量的 γ 发射。通常,可以根据用于测量的一个或多个感兴趣的放射性同位素的 γ 发射能量来设置由 γ 检测器60检测的 γ 发射能量范围。

[0190] γ 检测器60可以发送指示由 γ 检测器测量的 γ 发射的信号,并且控制器80可以接收该信号。在图9的技术中,控制器80基于测量的 γ 发射确定放射性洗出液中存在的一种或多种放射性同位素的存在和/或活性(224)。控制器80可以确定与特定放射性同位素对应的 γ 谱的特定能量线相关联的活性量,从而确定该放射性同位素的活性。

[0191] 通常,活性可以以贝克勒尔 (Bq) 或居里 (Ci) 报告,并且是特定放射性同位素的组成和放射性洗出液中放射性同位素的量的函数。为了确定与特定放射性同位素相关的活性量,控制器80可以识别包含对应于该放射性同位素的能量线的 γ 谱的感兴趣区域,并积分该能量线的峰下面积。感兴趣区域可以是在两个不同能量线之间限定的区域,其包括感兴趣的峰并且界定了峰区域被积分的区域以确定相应的活性。

[0192] 在锶-铷放射性同位素发生器的情况下,控制器80可以确定Sr-82和/或Sr-85的活性和/或任何其他期望的感兴趣放射性同位素。在一些实例中,控制器80可以通过确定与 γ 谱的511keV线相关联的活性来确定Sr-82的活性。一般来说,Sr-82的活性可能无法通过 γ 发射直接测量,但可以通过测量是Sr-82的衰变产物并且可以在511keV能量线处发射 γ 发射的Rb-82的活性来测量。在足以使放射性同位素发生器52提供的放射性洗出液中存在的基本上所有初始Rb-82衰减一段时间之后测量 γ 谱的情况下,可以假设在511keV能量线处测量的Rb-82发射是从放射性洗出液中存在的Sr-82衰变的Rb-82,从而提供Sr-82活性的测量。控制器80可以确定包含511keV线的感兴趣区域中的净峰积分计数,以确定Sr-82的活性。然后,控制器80可以将所确定的Sr-82的活性存储在与控制器相关联的存储器中。

[0193] 作为另一个例子,控制器80可以通过确定与 γ 谱的514keV线相关联的活性来确定Sr-85的活性。控制器80可以确定包含514keV线的感兴趣区域中的净峰积分计数,以确定Sr-85的活性。然后,控制器80可以将所确定的Sr-85的活性存储在与控制器相关联的存储器中。

[0194] 在确定Sr-82和Sr-85的活性的应用中,控制器可以通过如上所述的 γ 谱分析确定每个放射性同位素的相应活性。或者,控制器80可以通过如上所述的 γ 谱分析确定Sr-82或Sr-85中一个的活性,并参考存储在存储器中的将Sr-82的活性与Sr-85的活性相关的比率来确定另一个锶放射性同位素的活性。Sr-82的活性可以通过已知的放射性同位素比与锶-85的活性相关,已知的放射性同位素比可以存储在与控制器80相关的存储器中。控制器80可以通过将所确定的另一放射性同位素的活性乘以所存储的比率来确定一个放射性同位素的活性。在一些实例中,控制器80将确定的Sr-82活性和确定的Sr-85活性相加以鉴定放射性洗出液中的总锶活性。

[0195] 如果需要,控制器80可以基于从 γ 检测器60接收的 γ 发射数据识别与放射性洗出液中的其他放射性同位素相关的活性量。控制器80可以识别包含对应于放射性同位素的其他 γ 发射能量线的感兴趣区域,并确定每个能量线的净峰积分计数。每条能量线可以对应于特定的放射性同位素,并且不同能量线和不同放射性同位素之间的对应关系可以存储在与控制器相关联的存储器中。关于 γ 检测器布置和 γ 发射处理的其他细节可以在名称为“实时核同位素检测”的美国专利公开US2015/0260855中找到,其全部内容通过引用并入本文。

[0196] 对放射性洗出液中的一种或多种放射性同位素进行的活性测量可以在放射性同位素发生器系统10中存储和/或用于各种目的。在图9的实例中,控制器80确定一种或多种放射性同位素是否超过允许极限 (226)。控制器80可以将所确定的特定放射性同位素的活性与存储在与控制器相关联的存储器中的阈值进行比较。例如,控制器80可以将确定的Sr-82的活性与存储在存储器中的Sr-82的允许极限进行比较。例如,Sr-82的允许极限可以是每毫居里Rb-82,Sr-82水平小于 $0.05\mu\text{Ci}$,例如每毫居里Rb-82小于 $0.02\mu\text{Ci}$,每毫居里Rb-82

约 $0.02\mu\text{Ci}$,每毫居里Rb-82小于 $0.01\mu\text{Ci}$,或每毫居里Rb-82约 $0.01\mu\text{Ci}$ 。作为另一个例子,控制器80可以将确定的Sr-85活性与存储在存储器中的Sr-85的允许极限进行比较。例如,Sr-85的允许极限可以是每毫居里Rb-82,Sr-85水平小于 $0.5\mu\text{Ci}$,例如每毫居里Rb-82小于 $0.2\mu\text{Ci}$,每毫居里Rb-82约 $0.2\mu\text{Ci}$,每毫居里Rb-82小于 $0.1\mu\text{Ci}$,或每毫居里Rb-82约 $0.1\mu\text{Ci}$ 。

[0197] 用于评估确定的Sr-82和/或Sr-85活性是否超过允许限度的Rb-82活性水平可以通过 β 检测器58或 γ 检测器60测定的Rb-82活性(例如,最大或最小Rb-82活性水平)。在一种应用中,用于评估所确定的Sr-82和/或Sr-85的活性是否超过允许极限的Rb-82活性水平是固定值,例如约10毫居里。在其他实例中,Rb-82的固定值在10毫居里Rb-82至100毫居里Rb-82的范围内,例如20毫居里、30毫居里、40毫居里、50毫居里、60毫居里、70毫居里、80毫居里、或90毫居里。在一个实施方案中,在每毫居里Rb-82的Sr-82为 $0.01\mu\text{Ci}$ 下,控制器80以Sr-82(以 μCi 计)与Rb-82(以 mCi 计)的比率确定锶水平,具有至少95%的真阳性率、95%的置信水平。在另一个实施方案中,在每毫居里Rb-82的Sr-85为 $0.1\mu\text{Ci}$ 下,控制器80以Sr-85(以 μCi 计)与Rb-82(以 mCi 计)的比率确定检测锶水平,具有至少95%的真阳性率、95%的置信水平。

[0198] 如果确定在质量控制过程期间确定的一种或多种放射性同位素的活性超过允许限度,则系统10可以采取各种不同的动作。在一些实例中,控制器80可以例如经由用户界面16发起用户警报(例如,视觉、文本、机械(例如振动)、听觉用户警报),指示使用放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液中的测量的放射性同位素已超过允许极限。附加地或替代地,如果确定放射性洗出液中的放射性同位素已经超过允许极限,则控制器80可以控制系统10以防止随后的患者输注过程。系统10可以具有硬件和/或软件锁,一旦达到允许限度其就接合以防止随后的患者输注过程。例如,一旦超过允许极限,控制器80可以防止泵40泵送洗脱液。在一些实例中,控制器80电子地发送指示放射性洗出液中的放射性同位素已经超过允许极限的消息至非现场位置,例如,用于监测和/或评估放射性同位素发生器的操作。

[0199] 系统10可以用于在输注管线70未连接到患者的其他应用中产生和输送放射性洗出液,例如,以帮助维持由系统产生的放射性洗出液的质量和准确度。作为又一个例子,系统10可以产生放射性洗出液作为恒定性评估的一部分,以评估由 β 检测器58进行的活性测量的准确度和/或精度。由于 β 检测器58可用于控制在患者输注过程期间递送给患者的累积活性量,因此确保检测器被适当校准可有助于确保放射性洗出液的准确给予。

[0200] 图10-16描述了可以在输注系统上周期性地执行的示例性校准和质量控制(“QC”)测试,例如使用 β 检测器58的剂量校准和/或 γ 检测器60的校准,以帮助确保输液系统使用一个或两个检测器进行的测量的可靠性。每种性能测试可用于评估由进行测试的检测器进行的活性测量的准确度和/或精度。如果发现测试超出可接受的限度,则可以采取纠正措施,例如重新校准或系统锁定。可以使用 β 检测器58、 γ 检测器60或者 β 检测器58和 γ 检测器60两者来执行所描述的任何测试或测试组合,作为质量控制和/或校准方案的一部分。

[0201] 例如,使用 β 检测器58执行的QC测试可以包括剂量校准测试、剂量线性度测试、剂量重复性测试、剂量恒定性测试及其组合。使用 γ 检测器60执行的QC测试可以包括 γ 检测器校准测试、 γ 检测器重复性测试、 γ 检测器线性度测试及其组合。在一些实例中,在执行QC测试或一系列QC测试之前,在放射性同位素发生器52上执行柱洗。柱洗可以包括通过放射性同位素发生器52泵送固定体积的洗脱液并将得到的洗出液导向废物容器54。固定体积

可以为10ml至100ml,例如25ml至75ml、或35ml至65ml。柱洗可以使随时间在放射性同位素发生器52中保持静止的洗出液离开发生器并将发生器化学移出平衡状态并进入稳定状态。也可以在任何患者输注程序之前进行柱洗。

[0202] 当校准 γ 检测器60时,可以利用(例如,在之前)要在检测器上执行的任何其他QC测试来执行检测器能量窗口校准QC测试。具有与放射性同位素发生器52中包含的母体放射性同位素(例如锶)相同或相似的 γ 发射能量的放射性同位素源可以定位用于 γ 检测器60以读取从源发射的 γ 辐射。放射性同位素源可以具有 γ 发射能量,其在放射性同位素发生器52中包含的母体放射性同位素的 γ 发射能量的 $\pm 30\%$ 之内,例如正或负20%之内、正负10%之内、正负15%之内、正负5%之内、正负1%之内、或正负0.5%。可以使用的放射性同位素的示例源包括Sr-82、Sr-85、钠-22和铯-137。

[0203] 可以将放射性同位素源引入第三隔室106中。在控制器80的控制下操作, γ 检测器60可以读取校准源发射的 γ 光谱。控制器80可以计算 γ 谱中计算的峰值信道与预期峰值信道之间的差值。控制器80可以确定所确定的差值是否偏离超过容许范围。在各种实例中,容许范围可以是正或负20%,例如正或负10%,或正负5%。控制器80可以确定差异是否超过容许范围。如果确定的差异超过容许范围,则控制器80可以采取各种动作。例如,控制器80可以发出用户警报(例如,用户界面16),通知操作员峰值信道是否超过预期峰值信道的容许范围。附加地或替代地,控制器80可以启动重新校准(例如,通过调节电压使得峰值信道与预期的峰值信道对准)。

[0204] 作为校准 γ 检测器60的另一个例子,在没有将特定放射性同位素源引入第三隔室106的情况下,可以通过 γ 检测器测量背景辐射。可以在执行检测器能量窗口校准之后但在执行任何其他QC测试之前或在QC方案期间的其他时间测量背景辐射。例如,每日QC方案期间,背景辐射可以在不执行检测器能量窗口校准的情况下执行其它QC测试之前测量。背景辐射测量可以确保系统10外部没有 γ 发射源以在QC测试期间引起 γ 检测器60进行的 γ 测量的失真或误差的水平发射。如果检测到过多的背景 γ 辐射,则控制器80可以采取各种动作,包括这里描述的那些动作。

[0205] 可以使用 β 检测器58和/或 γ 检测器60以适当的频率执行QC测试,以维持系统10的高质量操作。在一些实例中,在对系统执行大修(例如,由系统10制造商的代表执行的)之后安装或替换部件(例如,管线、放射性同位素发生器、检测器)之后,和/或每年作为预防性维护计划的一部分,执行完整的QC方案。这样的完整方案可以涉及执行 γ 检测器能量窗口校准QC测试、背景辐射测试、柱洗、 γ 检测器校准测试、重复性测试、 γ 检测器线性度测试、 γ 检测器恒定性测试、剂量恒定性测试、剂量线性度测试和/或剂量重复性测试。

[0206] 可以更频繁地执行较小的QC方案。这样的方案可以包括用 γ 检测器进行背景辐射测试、柱洗、使用 β 检测器的剂量恒定性测试以及使用 γ 检测器的母体放射性同位素(例如锶)水平测试,以及 γ 检测器恒定性测试。独立于特定的QC测试或所执行的测试方案组,测试可以以任何期望的频率执行,例如QC时段范围从每天到每50天,例如4到45天、4到10天、11至17天、18至24天、25至31天、32至38天、或39至45天、或大约每天、每7天、每14天、每21天、每28天、每35天或每42天。当进行本文所述的洗脱液通过管道的任何QC测试时,可以以一种或多种流速进行测试(在这种情况下,可以以多种流速重复测试)。流速可以在10毫升/分钟至60毫升/分钟的范围内,例如20毫升/分钟、35毫升/分钟或50毫升/分钟,但是根据系

统的配置和/或用户的愿望可以使用其他流速。

[0207] 图10是可用于执行恒定性检查过程的示例技术的流程图。例如,系统10可以使用图10的技术,使用 β 检测器58评估剂量恒定性。

[0208] 为了执行剂量恒定,控制器80可以控制系统10将放射性洗出液输送到 γ 检测器60附近的洗出液接收容器56(230)。启动恒定性评估并将放射性洗出液输送到洗出液接收容器56的过程可以遵循上面关于图9结合质量控制评估程序所述的过程。例如,为了启动该过程,操作者可以将洗出液接收容器56插入到屏蔽组件28的第三隔室106中,并将输注管70与洗出液接收容器流体连通,如上所述。

[0209] 一旦系统10被适当地布置成允许洗出液接收容器56接收来自放射性同位素发生器52的放射性洗出液,控制器80就可以控制系统产生放射性洗脱液,该放射性洗脱液被供应到洗出液接收容器。在一些实例中,控制器80响应于操作者通过用户界面16接收的指令启动恒定洗脱,以执行恒定洗脱。例如,控制器80可以执行软件,该软件引导操作者通过一个或多个步骤来适当地布置系统10的组件以用于恒定洗脱并且接收反馈(例如,经由传感器和/或操作者经由用户界面),确认在产生放射性洗出液之前适当地布置部件。控制器80可以控制系统10在布置系统10的部件以执行洗脱之后立即执行恒定洗脱,或者在部件已经布置用于恒定洗出液之后的延迟时间执行恒定洗脱,如上面关于质量控制程序结合图9所讨论的。

[0210] 在质量控制洗脱过程中,控制器80可以遵循以上关于图8讨论的步骤200-208,将放射性洗出液供给洗出液接收容器56。控制器80可以将最初由放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液转移到废物容器54,直到通过 β 检测器58测量的 β 发射确定的放射性洗出液的活性达到阈值。在放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液的活性达到阈值后,控制器80可以控制多路阀74以将放射性洗出液引导至洗出液接收容器56。

[0211] 泵40可以继续向放射性同位素发生器52供应洗脱液,从而将放射性洗出液供应到洗出液接收容器56,直到向容器供应了所需量的放射性洗出液。当控制器80控制泵40将放射性洗出液供应到洗出液接收容器56,直到向容器供应了所需量的放射性洗出液时,控制器可以通过在放射性洗出液输送到容器期间通过 β 检测器58测量放射性洗出液活性来确定输送到洗出液接收容器的累积放射性量。控制器80还可以解释 β 检测器58和洗出液接收容器56之间的放射性衰变(例如,在 β 检测器58测量活性的时间和 γ 检测器60测量活性的时间之间)。或者,所需量的放射性洗脱液可以是预先确定的放射性洗脱液体积和/或递送至洗出液接收容器56的累积活性量(例如,对应于QC阈值),也如上文关于图9讨论的。

[0212] 当放射性洗出液流过 β 检测器58到洗出液接收容器56时, β 检测器可以测量放射性洗出液发射的 β 发射(232)。控制器80可以从 β 检测器58接收指示由 β 检测器58测量的 β 发射的信号,并且可以将由 β 检测器测量的 β 发射的大小与存储在存储器中的校准信息进行比较,该校准信息将不同的 β 发射水平与不同的放射性洗出液活性水平相关联。控制器80可基于由 β 检测器测量的放射性洗出液的活性和/或放射性洗出液的流量来确定递送至洗出液接收容器56的累积活性量,其可被称为供应至容器的累积放射性剂量。

[0213] 在确定已向洗出液接收容器56供应适当量的放射性洗出液时,例如,供应给洗出液接收容器的累积放射性剂量已达到阈值水平,控制器80可控制泵40停止泵送洗脱液通过放射性同位素发生器52。当放射性洗出液停止引入洗出液接收容器56时,可以称为容器的

填充是完成的。这可以建立利用的填充时间的结束,后续活性可以以此为基准。

[0214] 在图10的技术中, γ 检测器60测量由提供给洗出液接收容器56的放射性洗出液发射的 γ 发射(234)。 γ 检测器60可以连续测量 γ 发射,例如,在洗出液接收容器56的填充期间和/或在洗出液接收容器适当地填充放射性洗出液之后。或者, γ 检测器60可以周期性地对 γ 发射进行采样,例如,在洗出液接收容器56已经适当地填充放射性洗出液之后进行一次或多次。

[0215] 在一些实例中, γ 检测器60测量在恒定窗口内从洗出液接收容器56中的放射性洗出液发出的 γ 发射,该恒定窗口可以是洗出液接收容器56的填充结束测量的时间窗口。例如, γ 检测器60可以在从洗出液接收容器的填充结束的0秒到填充结束后的1800秒的恒定时间窗内测量从洗出液接收容器56中的放射性洗出液发出的 γ 发射,例如,从洗出液接收容器填充结束起500秒至1500秒,从填充结束起700秒至1000秒,或从填充结束起793秒至807秒。 γ 恒定检测器60可以在恒定时间窗的持续时间期间或在恒定时间窗内一次或多次连续地测量从洗出液接收容器中的放射性洗出液发出的 γ 发射。

[0216] γ 检测器60可以发送指示由 γ 检测器测量的 γ 发射的信号,并且控制器80可以接收该信号。控制器80可以进一步基于由 γ 检测器60测量的 γ 发射确定Rb-82在洗出液接收容器中的活性,从而提供累积的恒定 γ 活性测量。控制器80可以确定与对应于Rb-82的 γ 谱的511keV能量线和/或776keV能量线相关联的活性量。例如,控制器80可以确定包含511keV线和/或776keV线的 γ 谱区域中的净峰积分计数,以确定Rb-82的活性。然后,控制器80可以将所确定的Rb-82的活性存储在与控制器相关联的存储器中。

[0217] 在图10的技术中,控制器80将使用 β 检测器58确定的Rb-82的活性与使用 γ 检测器60例如通过计算恒定比确定的Rb-82的活性进行比较(236)。例如,控制器80可以基于由 β 检测器58测量并提供给洗出液接收容器56的累积放射性剂量(或 β 发射计数)和由 γ 检测器60测量的累积恒定 γ 活性(或 γ 发射计数)来计算恒定比。可以至少通过将累积的放射性剂量除以累积的恒定 γ 活性来计算恒定比。

[0218] 在一些实例中,控制器80还将所确定的恒定比与存储在与控制器相关联的存储器中的一个或多个阈值进行比较。例如,控制器80可以将所确定的恒定比与存储在存储器中的参考恒定比进行比较。控制器80可以确定所确定的恒定比是否偏离参考比率超过可容许范围。在各种实例中,可容许范围可以是参考恒定比的 $\pm 20\%$,例如参考恒定比的 $\pm 10\%$,或参考恒定比的 $\pm 5\%$ 。控制器80可以确定恒定比是否超过参考恒定比的容许范围。如果确定的恒定比超过参考恒定比的可容许范围,则控制器80可以采取各种动作。

[0219] 在一些实例中,控制器80发出用户警报(例如,用户界面16),通知操作员确定的恒定比是否超过容许范围和/或参考恒定比。附加地或替代地,控制器80可以启动系统的校准检查和/或剂量重新校准(238)。在一些实例中,控制器80通过执行软件以自动执行这种检查或校准或通过引导操作员执行这样的检查或校准的步骤来启动校准检查和/或剂量校准。为了执行剂量校准,与系统10相关联的控制器可以在存储器中生成并存储一个或多个系数或其他校准信息,系统随后使用该系数或其他校准信息来处理由 β 检测器58生成的对应于由该检测器测量的活性量的数据。

[0220] 在一些实例中,使用在系统10外部和与系统10分离的剂量校准器来执行剂量重新校准。剂量校准器本身可以使用主要标准进行校准。控制器80可以通过向操作者提供用于

产生放射性洗出液样品的指令来经由用户界面16引导操作者。然后可以将放射性洗出液样品运输到单独的剂量校准器,并使用剂量校准器确定样品中Rb-82的活性。控制器80可以从剂量校准器接收所确定的Rb-82的活性(例如,通过有线或无线连接到剂量校准器和/或通过用户界面16的操作员输入信息)。控制器80可以将来自剂量校准器的所确定的Rb-82的活性存储在存储器中和/或使用该信息来修改系统10用来处理由 β 检测器58产生的数据的校准设置,该数据对应于流过系统10的放射性洗出液的活性。

[0221] 作为另一个例子,控制器80可以使用 γ 检测器60确定的Rb-82的活性来修改系统10用来处理由 β 检测器58生成的数据的校准设置。例如,控制器80可以将使用 γ 检测器60确定的Rb-82的活性存储在存储器中和/或使用该信息来修改系统10用来处理由 β 检测器58产生的数据的校准设置,该数据对应于流过系统10的放射性洗出液的活性。

[0222] 图11是可用于检查由 γ 检测器60进行的活性测量的准确性的示例技术的流程图。例如,系统10可以使用图11的技术评估 γ 检测器60是否正在提供由放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液的准确和/或精确的活性测量值。

[0223] 为了对 γ 检测器60执行校准和精度测试, γ 检测器可以暴露于具有已知(或其他预期的)活性水平的校准源(250)。校准源可以放置在第三隔室106中与 γ 检测器60相邻,并静态地保持在第三隔室中一段时间,该时间足以使 γ 检测器测量校准源的活性。例如,当校准源是固体材料时,洗出液接收容器56可以从第三隔室106移除,并且校准源可以放置在隔室中。或者,如果校准材料处于液态,则可以将校准材料泵送到放置在第三隔室中的洗出液接收容器56中。

[0224] 可用于评估 γ 检测器60的准确度的典型校准源是NIST(美国国家标准与技术研究院)可追踪放射性同位素标准。可以选择校准源以具有与系统10的典型操作期间由 γ 检测器60观察到的活性水平类似的活性水平。例如,校准源可具有0.01 μ Ci至2mCi的活性水平,例如0.05至1mCi,0.1 μ Ci至100 μ Ci,1 μ Ci至75 μ Ci,25 μ Ci至65 μ Ci,0.1 μ Ci至30 μ Ci,1 μ Ci至15 μ Ci,或8 μ Ci至12 μ Ci。校准源可以具有已知的(或以其他方式预期的)活性水平, γ 检测器60检测到的活性水平可以与该活性水平进行比较。

[0225] 可用作校准源以评估 γ 检测器60的准确度的示例同位素包括但不限于Na-22、Cs-131、Ga-68和Ge-68。校准源可以存储在与屏蔽组件28分开的屏蔽孔或运输容器中。校准源可以存储在系统10上或附近的屏蔽外壳中,并从其屏蔽外壳中取出并插入第三隔室106中以进行精度测试。或者,校准源可以从外部位置带入,例如在屏蔽外壳中,用于定期校准测试。

[0226] 控制器80可以执行软件,该软件引导操作者通过一个或多个步骤以将校准源适当地布置在系统10的第三隔室106中以进行精度测试。控制器80可以进一步控制 γ 检测器60以测量在第三隔室106中接收的校准源的活性水平(252)。控制器80可以控制 γ 检测器60以在将校准源插入隔室中的同时或之后立即测量校准源的活性水平,或者在将源放置在隔室中之后的延迟时间测量校准源的活性水平,如上面关于质量控制程序结合图9讨论的。

[0227] 在检测到从具有已知活性的校准源发出的 γ 辐射之后,控制器80可以识别感兴趣的 γ 辐射光谱区域,从该区域确定样品的活性。在Na-22校准源的情况下,感兴趣区域可以包含从样品产生的 γ 射线光谱中的511keV峰。控制器80可以确定感兴趣区域的净峰积分计数,以确定 γ 检测器60在能量线处测量的活性量。

[0228] 在图11的技术中,控制器80将校准源的测量活性与校准样品的已知活性进行比较(254)。可以例如通过经由用户界面16输入已知活性来向系统10通知校准源的已知活性。然后,控制器80接收的校准源的活性可以存储在与控制器相关联的存储器中。控制器80可以使用放射性核素的已知半衰期来解释校准源的活性的衰减。控制器80可以将由 γ 检测器60测量的所确定的校准源的活性与存储在存储器中的已知活性进行比较。控制器80可以确定所确定的活性是否偏离已知活性超过可接受的阈值。在一些实例中,可接受的阈值可以在已知活性的正负10%之内,例如在已知活性的正负5%内,在已知活性的正负3%内,在已知活性的正负2%内,或已知活性的正负1%。

[0229] 如果由 γ 检测器60测量的校准源的确定的活性超过校准源的已知活性的可接受阈值,则控制器80可以采取各种动作。在一些实例中,控制器80发出用户警报(例如,经由用户界面16),通知操作员所确定的活性超过可接受的阈值。附加地或替代地,控制器80可以计算和/或存储校准数据(例如,校准比率),该校准数据将使用 γ 检测器60测量的校准源的测量活性与校准源的已知活性相关联。控制器80随后可以在操作期间使用该校准信息来调整使用 γ 检测器60进行的活性测量。

[0230] 图12是可用于评估由 γ 检测器60进行的活性测量的可重复性或精度的另一示例技术的流程图。系统10可以使用图12的技术来评估 γ 检测器60是否在相同活性水平的样品的多个样品采集之间提供一致且可重复的活性测量。

[0231] 在图12的技术中,通过将 γ 检测器重复暴露于具有已知活性水平的相同校准源,可以对 γ 检测器60执行重复性测试(256)。用于执行重复性测试的校准源可以从以上关于结合图11描述的精度测试所讨论的任何校准源中选择。校准源可以放置在 γ 检测器60附近(例如,附近和/或前面),例如,通过将校准源插入屏蔽组件28的第三隔室106中。校准源可以静态地保持在 γ 检测器60的前面一段时间,该时间段足以使 γ 检测器测量校准源的活性。

[0232] 在检测到从具有已知活性的校准源发出的 γ 辐射之后,控制器80可以如上所述确定校准源的活性(258)。校准源可以从第三隔室106移除,保持在隔室外部一段时间,并且重新插入到隔室中(260)。也就是说,校准源可以多次插入第三隔室和从第三隔室移除。或者,校准源可以留在第三隔室106中,并且多次测量校准源的活性。在控制器80的控制下操作,可以测量由校准源发射的 γ 发射并确定校准源的活性。例如,每当校准源插入第三隔室106时和/或多次校准源保持在第三隔室中时,可以测量校准源发射的 γ 发射。结果,可以重复确定校准源的活性以评估 γ 检测器60在相同活性水平下测量样品的一致性。

[0233] 在图12的技术中,校准源的活性可以测量至少两次,例如至少3次、至少5次或至少10次。例如,校准源的活性可以测量2次至20次,例如5次至15次。

[0234] 在重复测量校准源的活性所需的次数之后,图12的技术包括将每个测量的活性与多个测量的校准活性的平均值进行比较(262)。在一些实例中,控制器80基于在测试期间进行的所有测量来确定校准样品的平均(例如,均值、中值)测量的活性。控制器80可以进一步将在测试期间确定的每个单独测量的活性与平均测量的活性进行比较,并确定任何一个测量的活性是否偏离平均测量的活性超过可接受的阈值。在一些实例中,可接受的阈值可以在平均测量活性的正负10%之内,例如在平均测量活性的正负5%内,或在平均测量活性的正负2%之内。

[0235] 如果控制器80确定多个测量活性中的任何一个超过平均测量活性超过可接受阈值,则控制器可以采取行动以指示 γ 检测器60没有产生足够可重复的结果。在一些实例中,控制器80发出用户警报(例如,经由用户界面16),通知操作员 γ 检测器60没有产生足够可重复的结果。

[0236] 图13是可用于评估由 γ 检测器60进行的活性测量的线性度的示例技术的流程图。检测器线性度的评估可以确定 γ 检测器60是否提供在操作期间预期由 γ 检测器60观察到的活性范围内与被测样品的活性线性相关的响应。

[0237] 为了评估 γ 检测器60的线性度,可以将每个具有已知活性的一个或多个(例如,多个)校准源放置在 γ 检测器60的前面。可以选择每个单独的校准源(或如果仅使用一个校准源,单个校准源),使半衰期有效,以在测量的时间跨度内提供足够的可测量的衰减。如果使用多个校准源,则可以选择多个源,使得每个特定校准源具有与每个其他校准源不同的活性水平,从而提供 γ 检测器60测量 γ 发射的一系列活性。可以评估由 γ 检测器60测量的活性的线性度,以确定检测器的线性度。

[0238] 可以选择用于评估 γ 检测器60的线性度的校准源的特定活性,以覆盖在正常操作期间预期由 γ 检测器观察到的活性范围。例如,在实施系统10使得 γ 检测器60测量相对高水平的子放射性同位素并且还测量评估中的样品中相对低水平的母体放射性同位素的情况下,可以选择校准源以覆盖从高放射性同位素活性水平至低放射性同位素水平的范围。在一些实例中,用于测量 γ 检测器60的线性度的校准源的活性可以在 $0.01\mu\text{Ci}$ 到 2mCi 的范围内,例如 0.05 到 1mCi 、 $0.1\mu\text{Ci}$ 到 $100\mu\text{Ci}$ 、 $0.05\mu\text{Ci}$ 到 $50\mu\text{Ci}$ 、或 $0.1\mu\text{Ci}$ 至 $30\mu\text{Ci}$ 。

[0239] 用于执行 γ 检测器线性度测试的校准源可以从以上关于结合图11描述的精度测试所讨论的任何校准源中选择。在一些实例中,使用处于不同活性水平的相同类型的校准源(例如,Na-22)来测试 γ 检测器60的线性度。在其他实例中,使用处于不同活性水平的多种不同类型的校准源来测试 γ 检测器60的线性度。例如,可以使用不同活性水平的一种类型的校准源来测试活性范围的相对低端,并且可以使用不同活性水平的另一种类型的校准源来测试活性范围的相对高端。例如,可以使用固体校准源(例如,Na-22)来评估线性范围的低端,并且可以使用液体校准源(例如,由发生器52生成的诸如Rb-82的子放射性同位素)来评估线性范围的高端。

[0240] 在图13的实例中,具有第一活性水平的校准源可以放置在 γ 检测器60的前面,例如,通过将校准源插入屏蔽组件28的第三隔室106中(270)。校准源可以静态地保持在 γ 检测器60附近一段时间,该时间段足以使 γ 检测器测量校准源的活性。在检测到从具有第一活性水平的校准源发出的 γ 辐射之后,控制器80可以如上所述测量校准源的活性水平(272)并将测量的活性存储在与控制器相关联的存储器中。

[0241] 具有不同于第一活性的第二活性水平的校准源可以放置在 γ 检测器60的前面,例如,通过将校准源插入屏蔽组件28的第三隔室106中(274)。同样,校准源可以静态地保持在 γ 检测器60的前面一段时间,该时间段足以使 γ 检测器测量校准源的活性。在检测到从具有第二活性水平的校准源发出的 γ 辐射之后,控制器80可以如上所述测量校准源的活性水平(274)并将测量的活性存储在与控制器相关联的存储器中。

[0242] 每个具有彼此不同的以及与已经由 γ 检测器60测量的第一和第二校准源不同的活性水平的一个或多个附加校准源也可以放置在 γ 检测器的前面(278)。 γ 检测器60可以

测量附加校准源的活性并将测量的活性存储在与控制器相关联的存储器中。在一些实例中,使用至少三个校准源,其具有与预期 γ 检测器60在操作期间测量的预期活性范围不同的活性水平。在一些其他实例中,使用具有不同活性水平的至少五个校准源。

[0243] 在测量适当数量的校准源的活性水平之后,图13的技术涉及线性回归数据并确定测量活性值的R平方值。R平方是数据与拟合回归线的接近程度的统计量度。控制器80可以确定不同校准源的测量活性值的R平方值。控制器80还可以将确定的R平方值与存储在存储器中的阈值进行比较。在一些实例中,阈值可要求R平方值大于80%,例如大于90%、大于95%或大于98%。如果控制器80确定R平方值低于所需阈值,则控制器可采取行动以指示 γ 检测器60未产生足够线性的结果。在一些实例中,控制器80发出用户警报(例如,通过用户界面16),通知操作员 γ 检测器60没有产生足够线性的结果。

[0244] 如上所述,用于测量 γ 检测器60的线性度的校准源可以在活性水平范围内,其从与子放射性同位素(例如Rb-82)相关的相对高的活性水平到与母放射性同位素和/或污染物放射性同位素(例如,Sr-82、Sr-85)相关的相对低的活性水平。在一些实例中,在控制器80的控制下操作的系统10被配置为执行多个 γ 检测器线性度测试,包括覆盖预期由 γ 检测器60观察到的高范围活性水平的测试,以及覆盖预期由 γ 检测器观察的低活性水平范围的测试。

[0245] 在如此配置的一些应用中,控制器80可以控制系统10通过放射性同位素发生器52产生放射性洗出液,以提供放射性同位素源,用于测试线性度范围之一(例如,相对高的活性范围)。在质量控制洗脱过程中,控制器80可以遵循以上关于图8讨论的步骤200-208,将放射性洗出液供给洗出液接收容器56。控制器80可以将最初由放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液转移到废物容器54,直到通过 β 检测器58测量的 β 发射确定的放射性洗出液的活性达到阈值。在放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液的活性达到阈值后,控制器80可以控制多路阀74以将放射性洗出液引导至洗出液接收容器56。

[0246] γ 检测器60可以测量由提供给洗出液接收容器56的放射性洗出液发射的 γ 发射。 γ 检测器60可以连续测量 γ 发射,例如,在洗出液接收容器56的填充期间和/或在洗出液接收容器适当地填充放射性洗出液之后。 γ 检测器60可以周期性地对 γ 发射进行采样,例如,在洗出液接收容器56已经适当地填充放射性洗出液之后进行一次或多次。

[0247] 可以在与提供给洗出液接收容器的放射性洗出液中的子放射性同位素相关的一系列活性水平上测试 γ 检测器60的线性度,例如,当子放射性同位素衰减以逐渐降低活性水平时。为了在该范围内执行 γ 检测器线性度测试,可以使用 γ 检测器60在洗脱结束后的多个预定时间段内测量的活性水平来评估线性度。在本发明的一些实施方案中,多个预定时段的范围可以是500秒至1600秒、600秒至1300秒、700秒至1200秒、或750秒至1100秒。例如, γ 检测器60可以在洗脱结束后600至950秒的时间范围内,例如700至800秒、725至775秒或大约750秒,进行第一活性测量。 γ 射线检测器60可以在洗脱结束后650至1000秒的范围内,例如750至850秒、775至825秒或大约800秒,进行第二次活性测量。 γ 射线检测器60可以在洗脱结束后950至1250秒的范围内,例如1050至1150秒、1075至1125秒、或大约1100秒,进行第三次活性测量。可以进行包括较早或较晚时间的不同时间段的活性测量(和/或总时间内的附加测量),并且根据需要将其包括作为线性度计算的一部分。

[0248] 在任一情况下,可以评估由 γ 检测器60进行的洗出液接收容器56中的放射性洗出

液的所得测量活性水平的线性度。控制器80可以对数据进行线性回归并确定在不同时间测量的活性值的R平方值。如上所述,控制器80还可以将确定的R平方值与存储在存储器中的阈值进行比较。

[0249] 为了测量 γ 检测器60在与递送至洗出液接收容器的放射性洗脱液中的母体放射性同位素和/或污染物相关的较低活性水平范围的线性度,可以插入外部校准源(例如,Na-22)进入第三隔室106中。外部校准源的活性水平范围可以从约0.1 μ Ci到约10 μ Ci,这可以对应于 γ 检测器60在操作期间可以观察到的母放射性同位素活性水平的范围。如上所述,可以回归使用外部校准源进行的活性测量的线性度并计算R平方值。控制器80可以进一步比较所确定的R平方值与存储在存储器中的阈值,如上面进一步讨论的。

[0250] 图14是可用于使用 β 检测器58执行剂量校准的示例技术的流程图。为了根据示例技术执行校准,输注管线70的出口可以附接到洗出液收集容器。在校准期间,洗出液接收容器56可以用作洗出液收集容器,或者可以使用具有不同构造的洗出液收集容器。例如,连接到输注管线70的洗出液收集容器可以配置成插入到屏蔽组件28的第三隔室106中,插入另一个屏蔽容器中,和/或直接插入配置成测量其中内容物活性的剂量校准器中。

[0251] 为了进行校准,控制器80可以控制系统10将放射性洗出液输送到洗出液收集容器(292)。启动校准并将放射性洗出液输送到洗出液收集容器的过程可以遵循上面参考图9结合质量控制评估程序所述的过程。例如,为了启动该过程,操作者可将输注管线70附接到洗出液收集容器并与系统10交互(例如,通过用户界面16)以将放射性Rb-82样品洗脱到容器中。在开始洗脱之前,洗出液收集容器可以或不插入剂量校准器中。

[0252] 在一些实例中,输注管线70从系统10延伸到位于离开移动推车(例如,在与推车相邻的柜台或桌子上)的剂量校准器中的洗出液收集容器。在其他配置中,系统10可以包括机载剂量校准器,其包含在移动推车上并且可随其移动。在任一种情况下,控制器80可以通过与剂量校准器的有线或无线通信和/或通过使用用户界面16的用户输入来接收由剂量校准器生成的数据。在一些实例中,洗出液收集容器定位在屏蔽组件28的第三隔室106中,并且 γ 检测器60用于生成用于剂量校准的数据。

[0253] 一旦系统10被适当地布置成允许洗出液收集容器接收来自放射性同位素发生器52的放射性洗出液,控制器80就可以控制系统产生放射性洗脱液,该放射性洗脱液被供应到洗出液收集容器。在一些实例中,控制器80响应于操作者通过用户界面16接收的指令启动校准洗脱,以执行校准洗脱。例如,控制器80可以执行软件,该软件引导操作者通过一个或多个步骤来适当地布置系统10的组件以用于校准洗脱并且接收反馈(例如,经由传感器和/或操作者经由用户界面),确认在产生放射性洗出液之前适当地布置部件。控制器80可以控制系统10在布置系统10的部件以执行洗脱之后立即执行校准洗脱,或者在部件已经布置用于校准洗脱之后的延迟时间执行校准洗脱,如上面关于质量控制程序结合图9所讨论的。

[0254] 在质量控制洗脱过程中,控制器80可以遵循以上关于图8讨论的步骤200-208,将放射性洗出液供给洗出液收集容器。控制器80可以将最初由放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液转移到废物容器54,直到通过 β 检测器58测量的 β 发射确定的放射性洗出液的活性达到阈值。在放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液的活性达到阈值后,控制器80可以控制多路阀74以将放射性洗出液引导至洗出液收集容器。或者,控制器80可将初始

洗脱体积的洗出液递送至洗出液收集容器,而无需首先递送至废物容器54。

[0255] 泵40可以继续向放射性同位素发生器52供应洗脱液,从而将放射性洗出液供应到洗出液收集容器,直到向容器供应了所需量的放射性洗出液。当放射性洗出液流过 β 检测器58到洗出液收集容器时, β 检测器可以测量放射性洗出液发出的 β 发射。控制器80可以确定洗出液的活性(294),例如通过从 β 检测器58接收指示由 β 检测器58测量的 β 发射的信号,并且可以将由 β 检测器测量的 β 发射的大小与存储在存储器中的校准信息进行比较,该校准信息将不同的 β 发射水平与不同的放射性洗出液活性水平相关联。控制器80可以基于由 β 检测器测量的放射性洗出液的活性和/或放射性洗出液的流速来确定递送至洗出液收集容器的累积活性量。

[0256] 在图14的技术中,还通过剂量校准器测量递送至洗出液收集容器的洗出液的活性。由收集容器接收的洗出液的活性可以通过完成校准测量或在校准期间的一个或多个离散时间段从容器的填充连续测量。例如,可以在洗脱结束后,当泵40停止泵送洗脱液通过放射性同位素发生器52产生洗出液或控制器80控制多路阀74以将放射性洗出液引导至废物容器54而不是洗出液收集容器时,测量容器中洗出液的活性。在一些实例中,洗出液收集容器中洗出液的活性在洗脱结束后1分钟和洗脱结束后10分钟之间,例如在洗脱结束后2分钟和洗脱结束后7分钟之间,至少测量一次。在不同的实例中,洗出液的活性可以在洗脱结束后2:30、3:45或5:00分钟测量。

[0257] 系统10的控制器80(或另一个控制器)可以基于由 β 检测器58测量的提供给洗出液收集容器的洗出液的累积活性和由剂量校准器测量的相应活性(例如,随着时间测量活性)计算校准比率。控制器可以通过将由外部剂量校准器测量的活性除以由 β 检测器58测量的累积活性来计算比率。控制器可以调节由剂量校准器测量的活性,以考虑洗脱时间和使用指示在洗脱结束和进行活性测量之间经过的时间量的信息进行活性测量之间的放射性衰减。控制器可以将校准比存储在与控制器相关联的存储器中,以便在后续使用期间参考和调整由 β 检测器58进行的活性测量。

[0258] 在一些实例中,控制器80将计算的校准比率与存储在存储器中的先前计算的校准比率进行比较(300)。先前的校准比率可以是在当前执行校准之前立即执行的校准测试期间产生的校准比率。控制器80可以确定新计算的校准比率是否偏离先前计算的校准比率超过可接受的阈值。在一些实例中,系统10要求新计算的校准比率在先前计算的校准比率的 $\pm 10\%$ 之内,例如在先前计算的校准比率的 $\pm 5\%$ 之内,在先前计算的校准比率的 $\pm 2\%$ 之内,或在先前计算的校准比率的 $\pm 1\%$ 之内。

[0259] 如果新计算的校准比率偏离先前计算的校准比率大于可接受的阈值,则控制器80可采取措施来指示差异。在一些实例中,控制器80发出用户警报(例如,经由用户界面16),指示用户重复校准过程。如果在执行多轮校准过程之后,新计算的校准比率继续偏离先前计算的校准比率(系统最后接受的比率),则控制器80可以发出指示用户联系维护人员例如制造商代表的用户警报。控制器80可以进一步禁止继续使用系统和/或患者输注程序,直到系统已经由授权代表评估。控制器80可以在至少两轮尝试校准之后提供这样的响应,例如从2轮到8轮,或从3轮到5轮。

[0260] 在一些实例中,在不同的流速下多次执行图14的校准技术,并且对应于每个流速的不同校准比存储在与控制器相关联的存储器中。例如,校准技术可以以相对低的流速进

行一次,例如5ml/min至35ml/min,例如15ml/min至25ml/min,或20ml/min。校准技术也可以以相对高的流速进行,例如25ml/min至100ml/min,例如40ml/min至60ml/min,或50ml/min。控制器80可以执行引导用户执行多次校准的软件,并进一步控制泵40在校准期间以不同的流速泵送。

[0261] 图15是可用于使用β检测器58评估剂量线性度的示例技术的流程图。剂量线性的评估可以确定β检测器58是否提供与在操作期间预期由β检测器58观察到的活性范围内所测量的样品的活性线性相关的响应。

[0262] 一个实施方案涉及评估β检测器线性度,其中每个具有已知活性的多个校准源被放置在β检测器58上。可以选择多个校准源,使得每个特定校准源具有与每个其他校准源不同的活性水平,从而提供β检测器58测量β发射的一系列活性。可以评估由β检测器58测量的活性的线性度以确定β检测器58的线性度。

[0263] 可以选择用于使用β检测器58评估剂量线性度的校准源的特定活性,以覆盖β检测器在正常操作期间预期观察到的活性范围。例如,在实施系统10使得β检测器58测量相对高水平的子放射性同位素的情况下,可以选择校准源以覆盖预期在操作期间观察到的子放射性同位素活性水平的范围。在一些实例中,用于使用β检测器58测量剂量线性度的校准源的活性的范围可从5mCi至100mCi,诸如从10mCi至50mCi,或15mCi至30mCi。

[0264] 另一个实施方案涉及使用β检测器58评估剂量线性度,其中通过使液体校准源流过位于β检测器58附近的管线来使用液体校准源。例如,控制器80可以控制系统10通过放射性同位素发生器52产生放射性洗出液,以提供放射性同位素源,用于使用β检测器58测试剂量线性度(310)。应当理解,剂量线性度涵盖了比β检测器线性度更多的系统部件的贡献。

[0265] 控制器80可以遵循类似于上面关于图8讨论的在质量控制洗脱过程中的步骤200-208,以将放射性洗出液供给洗出液接收容器56。控制器80可以将放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液转移并在剂量线性度测试期间流过β检测器58到废物容器54。β检测器58可以测量流过位于β检测器附近的管线的放射性洗出液发射的β发射(312)。

[0266] 控制器80可以控制系统10以产生具有不同活性水平的子放射性同位素的放射性洗出液,以进行剂量线性度测试(314)。由系统10产生的洗出液的活性可在洗脱过程中变化,因为活性斜升至峰值推注,然后衰减至平衡状态。在一些实例中,在剂量线性度测试期间,通过β检测器58测量洗出液的三种不同活性水平。一种活性水平的范围可以从10mCi至20mCi,例如15mCi。第一种活性水平可以在20mCi至40mCi的范围内,例如30mCi。第三种活性水平可以在50mCi至100mCi的范围内,例如60mCi。额外的或不同的活性水平可用于剂量线性度测试。

[0267] β检测器58可以测量校准源和/或以不同活性水平的洗出液样品的活性,并且测量的活性可以存储在与控制器80相关联的存储器中。在测量适当数量的校准源和/或样品的活性水平之后,图15的技术涉及线性回归所述数据并确定测量的活性值的R平方值(316)。R平方是数据与拟合回归线的接近程度的统计量度。控制器80可以确定不同校准源的测量活性值的R平方值。控制器80还可以将确定的R平方值与存储在存储器中的阈值进行比较。在一些实例中,阈值可要求R平方值大于80%,例如大于90%、大于95%或大于98%。如果控制器80确定R平方值低于所需阈值,则控制器可采取行动以指示β检测器58未产生足够线性的结果。在一些实例中,控制器80发出用户警报(例如,经由用户界面16),通知操作者β检测器

58没有产生足够线性的结果。

[0268] 在其中具有不同活性水平的洗出液样品用于剂量线性度测试的一些实例中,测试过程可以以不同的流速进行多次。例如,剂量线性度测试技术可以以相对低的流速进行一次,例如5ml/min至35ml/min,例如15ml/min至25ml/min,或20ml/min。剂量线性度测试技术也可以以相对高的流速进行,例如25ml/min至100ml/min,例如40ml/min至60ml/min,或50ml/min。控制器80可以执行引导用户执行多次剂量线性度测试的软件,并进一步控制泵40在测试期间以不同的流速泵送。

[0269] 图16是可用于评估由β检测器58进行的活性测量的可重复性或精度的示例技术的流程图。系统10可以使用图16的技术来评估β检测器58是否在相同活性水平的样品的多个样品采集之间提供一致且可重复的活性测量。

[0270] 在图16的技术中,可以使用β检测器58通过将β检测器重复暴露于具有已知活性水平的相同校准源来执行剂量重复性测试。液体校准源可以通过位于β检测器58附近的管线。例如,控制器80可以控制系统10通过放射性同位素发生器52产生放射性洗出液,以提供放射性同位素源,用于测试β检测器58的恒定性(320)。

[0271] 控制器80可以遵循类似于上面关于图8讨论的在质量控制洗脱过程中的步骤200-208,以将放射性洗出液供给洗出液接收容器56。控制器80可以将放射性同位素发生器52产生的放射性洗出液转移并在恒定性测试期间流过β检测器58到废物容器54。β检测器58可以测量流过位于β检测器附近的管线的放射性洗出液发射的β发射(322)。

[0272] 流过管线的放射性洗出液的目标活性可以是10mCi至100mCi,例如20mCi至50mCi,或25mCi至35mCi。例如,目标活性水平可以是30mCi,但是可以使用其他活性水平。放射性洗出液可以以约5ml/min至100ml/min的流速供应,例如20ml/min至50ml/min,但也可以使用其它流速。

[0273] 在检测到从流过管线的洗出液发出的β发射后,控制器80可以确定校准洗出液的活性(322)。控制器80可以停止产生放射性洗出液并等待足以允许放射性同位素发生器52恢复的一段时间(324)。此后,控制器80可以再次控制系统10以产生具有与在恒定性测试期间最初产生的目标活性相同的目标活性的放射性洗出液(326)。系统10可以产生,并且β检测器58可以测量具有目标活性的洗出液的至少两个样品,例如至少5个,或至少10个。例如,系统10可以生成,并且β检测器58可以测量2到20个样品,例如5到15个样品。

[0274] 在测量重复样品的活性所需的次数之后,图16的技术包括将每个测量的活性与多个测量的校准活性的平均值进行比较(328)。在一些实例中,控制器80基于在测试期间进行的所有测量来确定校准样品的平均(例如,均值、中值)测量的活性。控制器80可以进一步将在测试期间确定的每个单独测量的活性与平均测量的活性进行比较,并确定任何一个测量的活性是否偏离平均测量的活性超过可接受的阈值。在一些实例中,可接受的阈值可以在平均测量活性的正负10%之内,例如在平均测量活性的正负5%内,或在平均测量活性的正负2%之内。

[0275] 如果控制器80确定多个测量活性中的任何一个超过平均测量活性超过可接受阈值,则控制器可以采取行动以指示β检测器58没有产生足够可重复的结果。在一些实例中,控制器80发出用户警报(例如,经由用户界面16),通知操作者β检测器58没有产生足够重复的结果。

[0276] 在本公开中描述的技术可以至少部分地在硬件、软件、固件或它们的任意组合中实现。例如,所描述的技术的各个方面可以在一个或多个处理器内实现,包括一个或多个微处理器、数字信号处理器 (DSP)、专用集成电路 (ASIC)、现场可编程门阵列 (FPGA) 或任何其他等效的集成或离散逻辑电路,以及这些组件的任何组合。术语“处理器”通常可以指任何前述逻辑电路,单独或与其他逻辑电路或任何其他等效电路组合。包括硬件的控制单元还可以执行本公开的一种或多种技术。

[0277] 这样的硬件、软件和固件可以在同一设备或独立的设备内实现,以支持本发明中描述的各种操作和功能。此外,任何所述单元、模块或部件可以被一起实现或单独实施为离散但可互操作的逻辑装置。将不同特征描述为模块或单元旨在突出不同的功能方面,并且不一定暗示这些模块或单元必须由单独的硬件或软件组件实现。而是,与一个或多个模块或单元相关联的功能可以由单独的硬件或软件组件执行,或者集成在公共或单独的硬件或软件组件中。

[0278] 本发明中所描述的技术还可在包含指令的非暂时性计算机可读介质(例如计算机可读存储介质)中实施或编码。嵌入或编码在计算机可读存储介质中的指令可以使可编程处理器或其他处理器执行该方法,例如,当执行指令时。非暂时性计算机可读存储介质可以包括易失性和/或非易失性存储器形式,包括例如随机存取存储器 (RAM)、磁阻式随机存取存储器 (MRAM)、只读存储器 (ROM)、可编程只读存储器 (PROM)、可擦除可编程只读存储器 (EPROM)、电子可擦除可编程只读存储器 (EEPROM)、闪存、硬盘、CD-ROM、软盘、盒式磁带、磁介质、光学介质或其他计算机可读介质。

[0279] 以下实施例可提供关于根据本公开的放射性同位素递送系统的额外细节。

[0280] 实施例1

[0281] 使用三种示例性测量系统:CZT γ 检测器、剂量校准器和高纯度锗 γ 检测器 (HPGe),比较涵盖在锶-铷放射性同位素发生器操作期间可观察到的活性水平范围的Sr-82和Sr-85样品。在每个检测器的活性水平范围内进行了10次活性读数。结果列于下表1中。

[0282] 表1:三种检测器系统的测量结果比较

[0283]

ID	HPGe 检测器				Sr-82 水平# R μCi /mCi Rb-82 比率	CZTγ 检测器				剂量校准器			
	Sr-82		Sr-85			Sr-82			SR- 85 μCi	读数 μCi	Sr-82		Sr- 85 μCi
	μCi	% CV**	μCi	% CV		μCi	误差 %*	% CV**			μCi	%误 差*	
1	7.04 88	0.5	10.40 61	0.1	0.2350	6.21 1	11.89	0.31	9.080	11.19	6.5 8	6.71	9.61
2	3.42 97	0.7	5.083 6	0.2	0.1143	3.09 8	9.67	0.44	4.529	5.63	3.3 1	3.54	4.84
3	0.76 45	1.5	1.125 8	0.4	0.0255	0.70 9	7.26	0.93	1.037	1.25	0.7 3	3.92	1.07
4	0.42 85	2.0	0.621 9	0.5	0.0143	0.39	8.98	1.25	0.570	0.74	0.4 3	-1.48	0.64
5	0.24 50	2.6	0.350 6	0.7	0.0082	0.22 3	8.98	1.64	0.326	0.38	0.2 2	8.86	0.33
6	0.14 20	3.4	0.208 5	0.8	0.0047	0.13 1	7.75	2.14	0.192	0.24	0.1 4	0.68	0.21
7	0.07 91	4.6	0.114 2	1.1	0.0026	0.06 9	12.77	2.91	0.101	0.11	0.0 6	18.28	0.09
8	0.05 01	5.8	0.073 5	1.4	0.0017	0.04 4	12.18	3.62	0.064	0.06	0.0 4	29.63	0.05
9	0.02 80	5.9	0.042 1	1.4	0.0009	0.02 7	3.50	4.51	0.039	0.03	0.0 2	37.00	0.03
10	0.01 52	5.7	0.024 0	1.3	0.0005	0.01 5	1.48	5.87	0.022	0.03	0.0 2	- 15.78	0.03
11	0.01 10	5.5	0.016 0	1.3	0.0004	0.00 9	18.43	6.97	0.013	0.01	0.0 1	46.74	0.01
12	0.01 04	4.9	0.010 4	1.4	0.0003	0.00 6	42.21	8.25	0.009	0.04	0.0 2	- 126.3 8	0.03

[0284] ** CV = $(\frac{\sqrt{\text{净计数}}}{\text{净计数}}) \times 100$, #基于30 mCi Rb-82, *%误差 = $\frac{(HPGe-DC \text{ 或 } CZT)}{HPGe} \times 100$

[0285] 表1中的数据相对于三种示例性比率或限度解释,指定为警报限度、到期限度和法定限度。对于Sr-82,对于实验目的,对应于这些限度的值分别为每mCi Rb-82 0.002、0.01和0.02μCi Sr-82。对于Sr-85,对于实验目的,对应于这些限度的值分别比Sr-82限度高10倍,或者每mCi Rb-82分别为0.02、0.1和0.2μCi Sr-85。十倍的增加对应于Sr-85/Sr-82的最大比率为10。

[0286] 使用600秒采集用CZT检测器测量样品。在样品之前测量背景辐射并且通过输注系统自动校正每个锶活性计算。CZT检测器数据(Sr-82/85)的%CV根据净计数确定,并且<4%,下至并包括警报限值(0.002)或者总Sr-82/85含量为0.1μCi,并且在几乎低10倍的比率0.0003,仍然只有约8%。

[0287] 调整HPGe检测器的计数时间以获得良好的计数统计,最大CV约为6%。Sr85/82比率为1.462,大约相当于用于实验的示例Sr/Rb发生器从初始比率<1开始在42天寿命结束时的比率。Sr-85的比例越高导致Sr-82的计数越多,表1中的CV越低。

[0288] 对于剂量校准器,在记录结果之前,允许每个样品的读数稳定约30秒。

[0289] 数据显示,剂量校准器和CZT检测器都能够精确测量Sr82/85放射性水平,低至到期限度(比率0.01)。然而,在使用的实验条件下,CZT检测器仍然表现出可接受的误差,低至比率为0.0004,而剂量校准器在0.0017处显示出不可接受的误差,这刚好低于警报极限。由CZT检测器提供的读数中的任何明显误差是均匀的,直至下至第二低样品,但均为正,这表明具有良好的精度但由于校准不充分而不准确。剂量校准器的误差在较低水平和正负两方面都较大,表明准确度较高,但较低水平缺乏精确度。

[0290] 数据显示,CZT检测器在放射性水平下进行了精确测量,远低于在警报限值处遇到的放射性水平,而剂量校准器在放射性水平在或低于警报限值时缺乏精确度。这与计数统计一致(表明正在记录足够的计数以达到所需的精度)。剂量校准器可具有仅0.01 μ Ci的有限测量分辨率。这通常是由显示器的分辨率引起的,这会导致舍入或截断误差。与测量中任何固有的不确定性无关并且除其之外,对30mCi Rb-82的警报限值,对于0.06+0.01 μ Ci的总Sr-82/85剂量具有这样的精确度的用剂量校准器可以记录的最小变化是正负17%。

[0291] 数据显示,在靠近警报极限遇到的Sr-82/85水平下,在实施例中使用的CZT比剂量校准器更精确。

[0292] 示例性条款

[0293] 条款1:一种输注系统,其包括:

[0294] 框架,所述框架携带 β 检测器和 γ 检测器并且被进一步配置成接收放射性同位素发生器,所述发生器经由洗脱产生放射性洗出液,

[0295] 其中所述 β 检测器定位成测量所述放射性洗出液发射的 β 发射,和

[0296] 所述 γ 检测器定位成测量从所述放射性洗出液的一部分发射的 γ 发射,以评估由所述输注系统递送的所述放射性洗出液的安全性。

[0297] 条款2:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述 γ 检测器被定位成评估所述放射性洗出液的安全性,以确保由所述放射性同位素发生器产生的放射性洗出液对患者输注是安全的。

[0298] 条款3:根据本文任一条款所述的输注系统,还包括被配置为当所述放射性同位素发生器被接收在所述框架中时直接或间接地从所述放射性同位素发生器接收所述放射性洗出液的输注管线。

[0299] 条款4:根据本文任一条款所述的输注系统,还包括与所述输注管线流体连通的洗出液接收容器以接收所述放射性洗出液的部分,从而提供放射性液体的静态部分用于由所述 γ 检测器评估。

[0300] 条款5:根据本文任一条款所述的输注系统,

[0301] 其中所述 β 检测器定位成测量从流过所述输注管线的放射性洗出液发出的 β 发射;
和

[0302] 所述 γ 检测器定位成测量由所述洗出液接收容器接收的所述放射性洗出液的部分发射的 γ 发射。

[0303] 条款6:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述洗出液接收容器包括小瓶,所述输注管线包括在其端部的针,并且在所述输注管线上的所述针插入所述小瓶中。

[0304] 条款7:根据本文任一条款所述的输注系统,还包括废物容器。

[0305] 条款8:根据本文任一条款所述的输注系统,其中

[0306] 输注管线是输注管道回路的一部分,所述输注管道回路包括洗出液管线、废物管线和多路分流阀,

[0307] 当所述框架接收所述放射性同位素发生器时,所述输注管线通过所述多路分流阀与所述洗出液管线流体连通,并且所述废物管线通过所述多路分流阀与所述洗出液管线流体连通,

[0308] 所述输注管线连接到所述洗出液接收容器,并且

[0309] 所述废物管线连接到所述废物容器。

[0310] 条款9:根据本文任一条款所述的输注系统,进一步包括机柜结构,其至少容纳所述放射性同位素发生器、所述输液管道回路、所述洗出液接收容器、所述 β 检测器和所述 γ 检测器。

[0311] 条款10:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述机柜结构具有顶表面,所述顶表面具有形成在其中的开口,所述洗出液接收容器配置成通过所述开口被移除和插入。

[0312] 条款11:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述机柜结构具有门,其被配置为选择性地打开和关闭以提供所述洗出液接收容器的通路。

[0313] 条款12:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述门被构造成相对于重力向上打开。

[0314] 条款13:根据本文任一条款所述的输注系统,还包括由所述框架接收的所述放射性同位素发生器。

[0315] 条款14:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述放射性同位素发生器是被配置成通过含铯-82的柱的洗脱生成含铷-82的放射性洗出液的铯-铷放射性同位素发生器。

[0316] 条款15:根据本文任一条款所述的输注系统,还包括与所述 γ 检测器电子通信的控制器,其中所述控制器被配置为基于从所述放射性洗出液的部分测量的 γ 发射测定在所述放射性洗出液的部分中的铯的活性。

[0317] 条款16:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述控制器被配置成测定所述放射性洗出液的部分中铯-82和铯-85的至少一个的活性并且基于测定的活性评价所述放射性洗出液的安全性。

[0318] 条款17:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述控制器被配置为如果铯-82和铯-85的至少一个的测定的活性超过允许极限,则阻止患者输注程序。

[0319] 条款18:根据本文任一条款所述的输注系统,还包括与所述控制器通信的触摸屏。

[0320] 条款19:根据本文任一条款所述的输注系统,还包括围绕所述 β 检测器、所述 γ 检测器和所述放射性同位素发生器的放射性屏蔽,当所述放射性同位素发生器被所述框架接收时,所述放射性屏蔽提供有效减少由所述放射性同位素发生器和所述放射性洗出液发射的辐射至操作人员允许极限以下的屏障。

[0321] 条款20:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述放射性屏蔽包括屏蔽组件,其具有多个隔室,包括包含所述 β 检测器的隔室、包含所述 γ 检测器的隔室以及包含所述放射性同位素发生器的隔室。

[0322] 条款21:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述框架通过支撑依次被配置为包含所述 β 检测器、所述 γ 检测器和所述放射性同位素发生器的所述屏蔽组件,携带所述

β 检测器和所述 γ 检测器并且还接收所述放射性同位素发生器。

[0323] 条款22:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述放射性同位素发生器、所述 β 检测器和所述 γ 检测器不垂直或水平地位于同一平面内,以最大化所述放射性同位素发生器和所述 γ 检测器之间的距离。

[0324] 条款23:根据本文任一条款所述的输注系统,其中当所述放射性同位素发生器由所述框架接收时,所述 γ 检测器被定位在比所述放射性同位素发生器更高的高度和所述 β 检测器被定位在所述放射性同位素发生器和所述 γ 检测器之间。

[0325] 条款24:根据本文任一条款所述的输注系统,还包括定位在所述 γ 检测器上方的洗出液接收容器。

[0326] 条款25:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述洗出液接收容器具有的容量为10毫升至100毫升。

[0327] 条款26:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述洗出液接收容器的底表面与所述 γ 检测器间隔开10至30毫米的距离。

[0328] 条款27:根据本文任一条款所述的输注系统,还包括可定位在所述 γ 检测器和所述洗出液接收容器之间的具有封闭的底部表面的可移除的插入件。

[0329] 条款28:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述 γ 检测器包括耦合到多通道分析器的固态 γ 检测器并且所述 β 检测器包括闪烁器和光电倍增器。

[0330] 条款29:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述框架被安装在轮子上,以便可移动。

[0331] 条款30:一种输注系统,其包括:

[0332] β 检测器;

[0333] γ 检测器;

[0334] 放射性同位素发生器;

[0335] 废物容器;

[0336] 洗出液接收容器;和

[0337] 输注管线,

[0338] 其中所述 β 检测器定位成测量由所述放射性同位素发生器提供并流过所述输注管线的放射性液体发射的 β 发射;并且

[0339] 所述 γ 检测器定位成测量由所述洗出液接收容器接收的静态体积的放射性液体发射的 γ 发射。

[0340] 条款31:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述放射性同位素发生器是被配置成通过含铈-82的柱的洗脱生成含铷-82的放射性洗出液的铈-铷放射性同位素发生器。

[0341] 条款32:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述 γ 检测器被定位成评估所述洗出液接收容器中的所述放射性洗出液的安全性,以确保由所述放射性同位素发生器产生的放射性洗出液对患者输注是安全的。

[0342] 条款33:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述输注管是输注管道回路的一部分,所述输注管道回路包括连接到所述放射性同位素发生器的洗出液管线、在所述洗出液管线的下游并连接到所述洗出液接收容器的输注管线以及在所述洗出液管线的下游

并与所述废物容器连接的废物管线。

[0343] 条款34:根据本文任一条款所述的输注系统,还包括:

[0344] 洗脱液储存器;

[0345] 通过洗脱液管线连接到所述洗脱液储存器的泵,所述泵配置成从所述洗脱液储存器泵送洗脱液通过所述放射性同位素发生器,从而通过洗脱产生所述放射性液体。

[0346] 条款35:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述 β 检测器被定位成测量从朝向所述洗出液接收容器流过所述洗出液管线和填充所述洗出液接收容器的放射性液体的 β 发射,以提供放射性液体的静态体积用于所述 γ 检测器的评估。

[0347] 条款36:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述洗出液接收容器包括小瓶,所述洗出液管线包括针并且在所述洗出液管线上的针被插入所述小瓶中。

[0348] 条款37:根据本文任一条款所述的输注系统,还包括与所述 γ 检测器电子通信的控制器,其中所述控制器被配置为基于从所述放射性洗出液的部分测量的 γ 发射测定在所述放射性洗出液的部分中的锶的活性。

[0349] 条款38:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述控制器被配置成测定所述放射性洗出液的部分中锶-82和锶-85的至少一个的活性并且基于测定的活性评价所述放射性洗出液的安全性。

[0350] 条款39:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述控制器被配置为如果锶-82和锶85的至少一个的测定的活性超过允许极限,则阻止患者输注程序。

[0351] 条款40:根据本文任一条款所述的输注系统,还包括至少围绕所述 β 检测器、所述 γ 检测器、所述放射性同位素发生器、所述废物容器和所述洗出液接收容器的放射性屏蔽,所述放射性屏蔽提供有效减少由所述放射性同位素发生器和所述放射性洗出液发射的辐射至操作人员允许极限以下的屏障。

[0352] 条款41:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述放射性屏蔽包括至少一个开口,所述洗出液接收容器配置成通过所述开口被移除和插入。

[0353] 条款42:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述屏蔽组件还包括至少一个门,其被配置为选择性地打开和关闭以提供所述洗出液接收容器的通路。

[0354] 条款43:根据本文任一条款所述的输注系统,其中当所述放射性同位素发生器由所述框架接收时,所述 γ 检测器被定位在比所述放射性同位素发生器更高的高度和所述 β 检测器被定位在所述放射性同位素发生器和所述 γ 检测器之间。

[0355] 条款44:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述洗出液接收容器的底表面与所述 γ 检测器间隔开10至30毫米的距离。

[0356] 条款45:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述洗出液接收容器具有的容量为10毫升至100毫升。

[0357] 条款46:根据本文任一条款所述的输注系统,还包括可定位在所述 γ 检测器和所述洗出液接收容器之间的具有封闭的底部表面的可移除的插入件。

[0358] 条款47:根据本文任一条款所述的输注系统,还包括安装在轮子上以便可移动的框架,其中所述框架支撑所述 β 检测器、所述 γ 检测器、所述放射性同位素发生器、所述废物容器、所述洗出液接收容器和所述输注管线。

[0359] 条款48:一种输注系统,其包括:

- [0360] 可移动框架；
- [0361] 洗脱液储存器；
- [0362] 泵；
- [0363] 放射性同位素发生器，其通过所述泵与所述洗脱液储存器连接，所述放射性同位素发生器配置成通过洗脱含有锶-82的柱产生含有铷-82的放射性洗出液；
- [0364] 废物容器；
- [0365] 洗出液接收容器；
- [0366] 输注管道回路，其包括输注管线、洗出液管线和废物管线，所述洗出液管线连接到所述放射性同位素发生器的出口，所述输注管线定位成在所述洗出液管线和所述洗出液接收容器之间提供流体连通，并且所述废物管线定位成提供所述洗出液管线和所述废物容器之间的流体连通；
- [0367] β 检测器，其定位成测量由放射性同位素发生器产生并流过洗出液管线的放射性洗出液发射的 β 发射；和
- [0368] γ 检测器，其定位成测量由放射性同位素发生器产生并由洗出液接收容器接收的放射性洗出液发射的 γ 发射。
- [0369] 条款49：根据本文任一条款所述的输注系统，还包括放射性屏蔽，其至少包围所述输注管道回路的一部分、所述 β 检测器和所述 γ 检测器。
- [0370] 条款50：根据本文任一条款所述的输注系统，其中所述放射性屏蔽还包围所述洗出液接收容器和所述废物容器。
- [0371] 条款51：根据本文任一条款所述的输注系统，其中所述洗出液接收容器与所述 γ 检测器同轴地并且垂直地在其上方定位。
- [0372] 条款52：根据本文任一条款所述的输注系统，其中所述洗出液接收容器的底表面位于所述 γ 检测器上方10至30毫米的距离，并且所述洗出液接收容器具有的容量为10毫升至100毫升。
- [0373] 条款53：根据本文任一条款所述的输注系统，其中所述洗出液接收容器包括小瓶，所述洗出液管线包括在其端部的针，并且在所述洗出液管线上所述针插入所述小瓶中。
- [0374] 条款54：根据本文任一条款所述的输注系统，还包括可定位在所述 γ 检测器和所述洗出液接收容器之间的具有封闭的底部表面的可移除的插入件，以相对于所述 γ 检测器将所述洗出液接收容器保持在固定方向。
- [0375] 条款55：根据本文任一条款所述的输注系统，还包括与所述 β 检测器和所述 γ 检测器电子通信的控制器，其中所述控制器被配置为基于由所述 β 检测器测量的发射确定所述放射性洗出液中的铷-82的活性和基于由所述 γ 检测器测量的 γ 发射确定所述放射性洗出液中的锶-82的活性。
- [0376] 条款56：根据本文任一条款所述的输注系统，其中所述控制器被配置成控制所述输注系统以在患者输注程序期间向患者输送所述放射性洗出液的剂量。
- [0377] 条款57：根据本文任一条款所述的输注系统，其中所述控制器被配置为如果锶-82的测定的活性超过允许极限，则控制所述输注系统以阻止患者输注程序。
- [0378] 条款58：根据本文任一条款所述的输注系统，其中所述控制器、所述泵、所述放射性同位素发生器、所述废物容器、所述洗出液接收容器、所述输注管道回路、所述 β 检测器和

所述 γ 检测器每个都支撑在可移动的框架上并可随其移动。

[0379] 条款59:根据本文任一条款所述的输注系统,还包括无把手的制动系统。

[0380] 条款60:根据本文任一条款所述的输注系统,其进一步包括支撑在所述可移动框架上且与可随其移动的触摸屏,所述触摸屏与所述控制器电子通信。

[0381] 条款61:根据本文任一条款所述的输注系统,还包括连接到所述输注管线、废物管线和洗出液管线的多路分流阀,其中所述洗出液管线从所述放射性同位素发生器延伸到所述多路分流阀,所述输注管线从所述多路分流阀延伸到所述洗出液接收容器,以及所述废物管线从所述多路分流阀延伸到所述废物容器。

[0382] 条款62:根据本文任一条款所述的输注系统,还进一步包括旁路阀,其通过旁路管线与所述泵和所述洗出液管线流体连通,所述旁路管线被构造成允许洗脱液绕过所述放射性同位素发生器并直接流进入所述洗出液管线。

[0383] 条款63:一种输注系统,其包括:

[0384] 可移动框架;

[0385] 洗脱液储存器;

[0386] 泵;

[0387] 放射性同位素发生器,其通过所述泵与所述洗脱液储存器连接,所述放射性同位素发生器配置成通过洗脱含有锶-82的柱产生含有铷-82的放射性洗出液;

[0388] 废物容器;

[0389] 洗出液接收容器;

[0390] 输注管道回路,其包括输注管线、洗出液管线和废物管线,所述洗出液管线连接到所述放射性同位素发生器的出口,所述输注管线定位成在所述洗出液管线和所述洗出液接收容器之间提供流体连通,并且所述废物管线定位成提供所述洗出液管线和所述废物容器之间的流体连通;

[0391] 放射性屏蔽,其包围所述输注管道回路的至少一部分、所述 β 检测器和所述 γ 检测器;

[0392] β 检测器,其定位成测量由所述放射性同位素发生器产生并流过所述洗出液管线的放射性洗出液发射的 β 发射;

[0393] γ 检测器,其定位成测量由所述放射性同位素发生器产生并由所述洗出液接收容器接收的放射性洗出液发射的 γ 发射;和

[0394] 控制器,其与所述 β 检测器和所述 γ 检测器电子通信,

[0395] 其中所述控制器配置成基于所述 β 检测器测量的 β 发射确定所述放射性洗出液中铷-82的活性,并基于所述 γ 检测器测量的 γ 发射确定所述放射性洗出液中锶-82的活性,并且

[0396] 所述控制器被配置成控制所述输注系统以在患者输注程序期间向患者输送所述放射性洗出液的剂量。

[0397] 条款64:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述控制器被配置为如果锶-82的测定的活性超过允许极限,则控制所述输注系统以阻止患者输注程序。

[0398] 条款65:根据本文任一条款所述的输注系统,其中所述洗出液接收容器与所述 γ 检测器同轴地并且垂直地在其上方定位。

[0399] 条款66:根据本文任一条款所述的输注系统,还包括:

[0400] 连接到所述输注管线、废物管线和洗出液管线的多路分流阀,其中所述洗出液管线从所述放射性同位素发生器延伸到所述多路分流阀,所述输注管线从所述多路分流阀延伸到所述洗出液接收容器,以及所述废物管线从所述多路分流阀延伸到所述废物容器,和

[0401] 旁路阀,其通过旁路管线与所述泵和所述洗出液管线流体连通,所述旁路管线被构造成允许洗脱液绕过所述放射性同位素发生器并直接流进入所述洗出液管线。

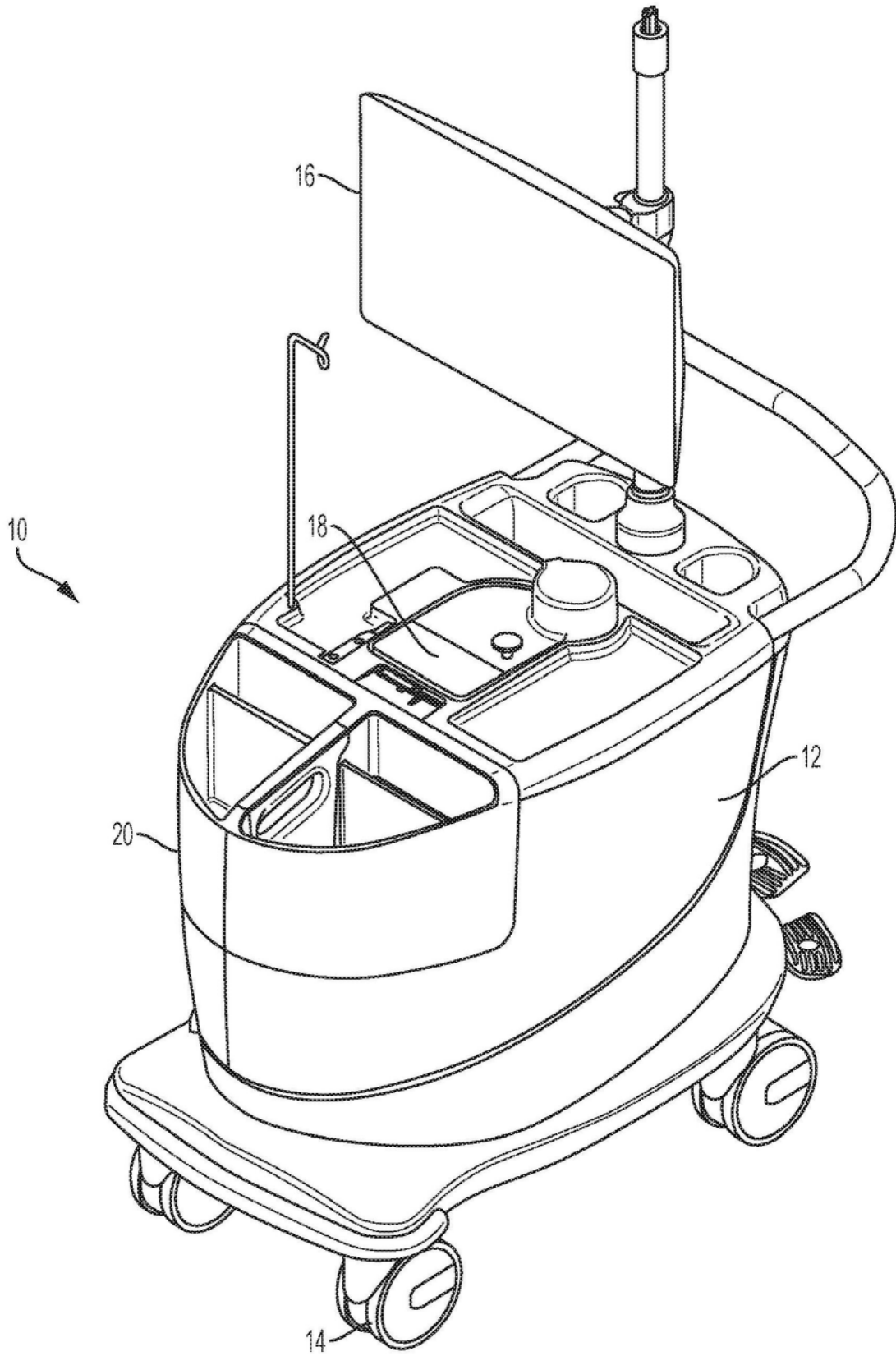


图1

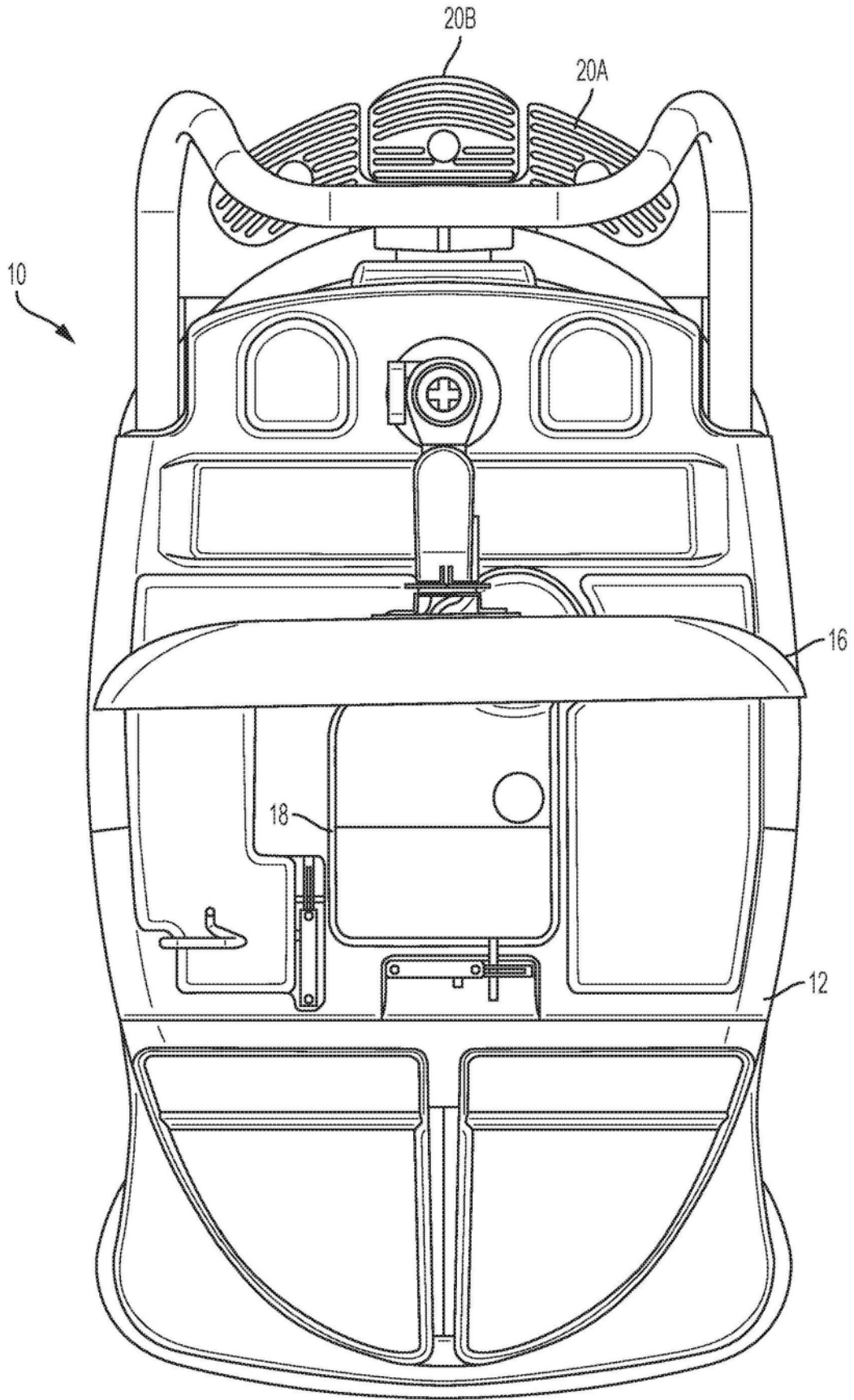


图2

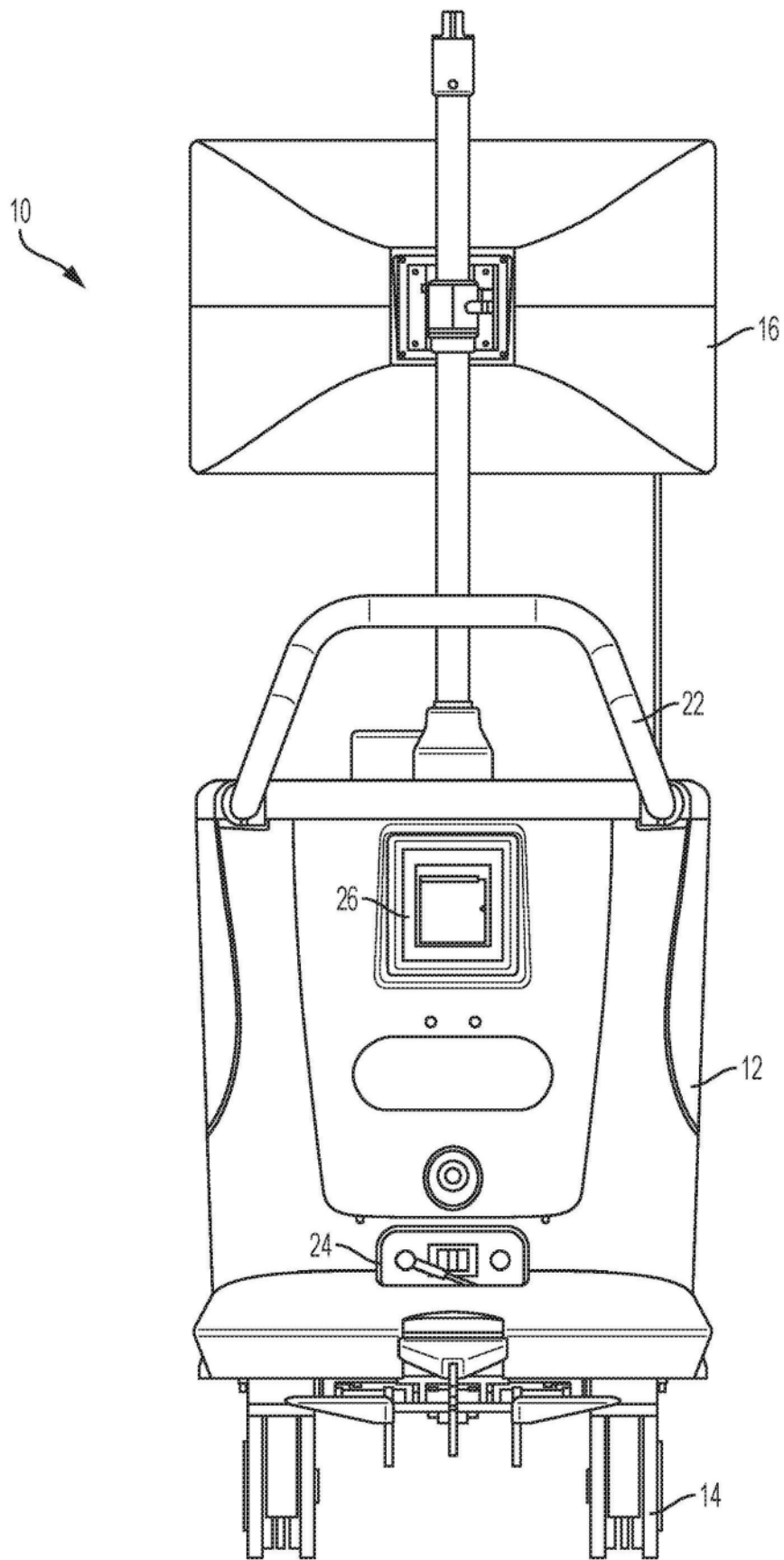


图3

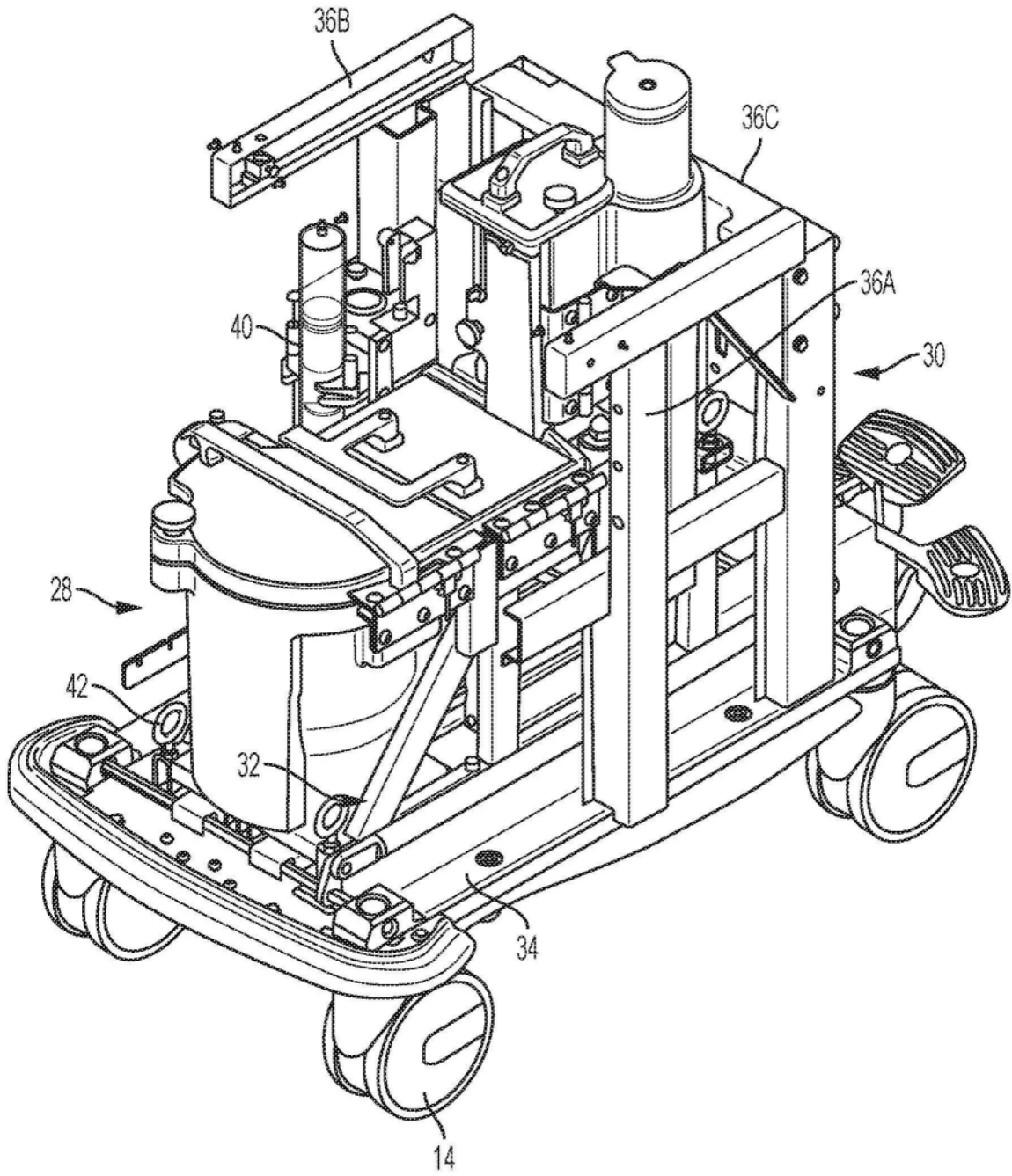


图4

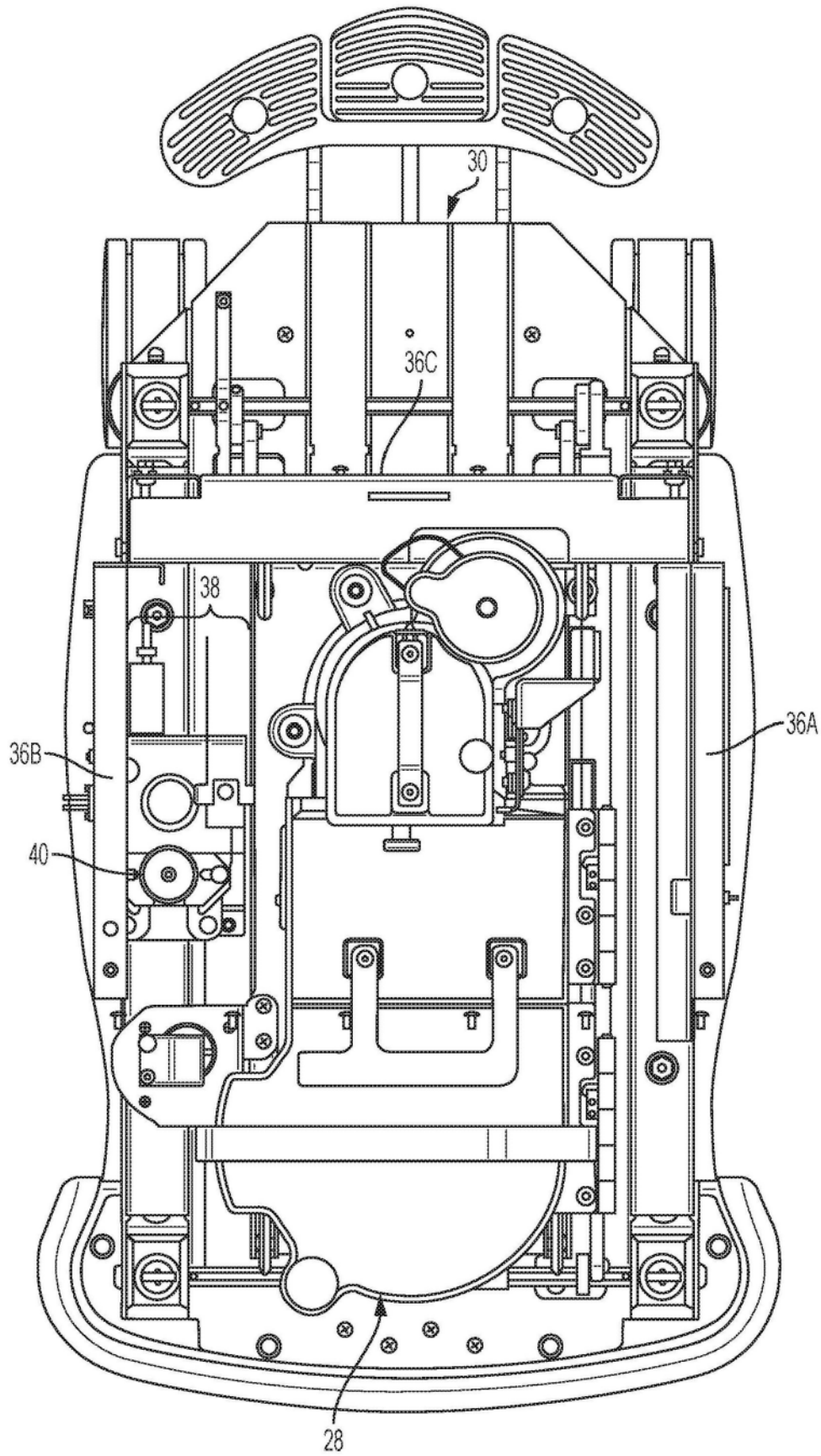


图5

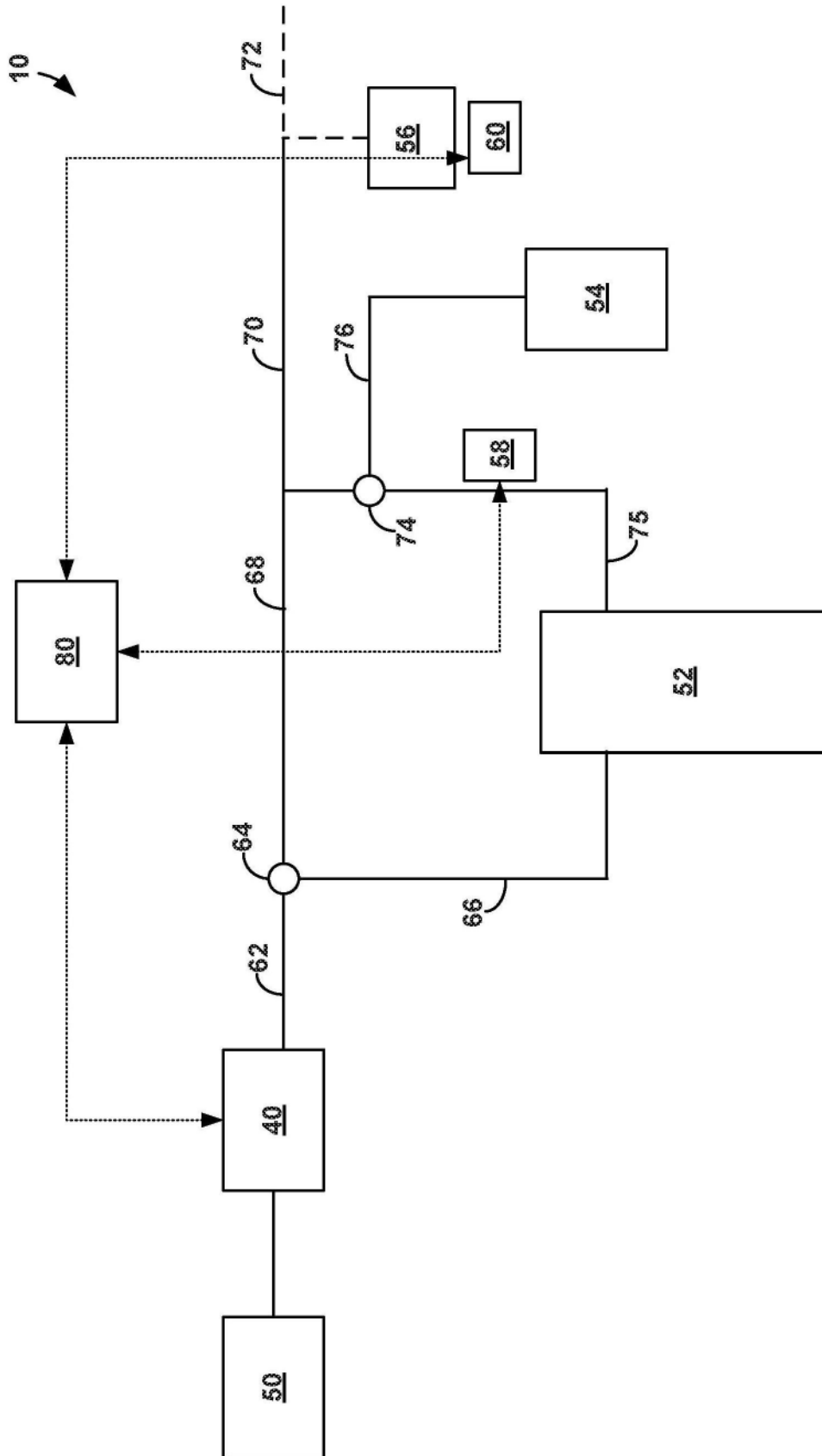


图6

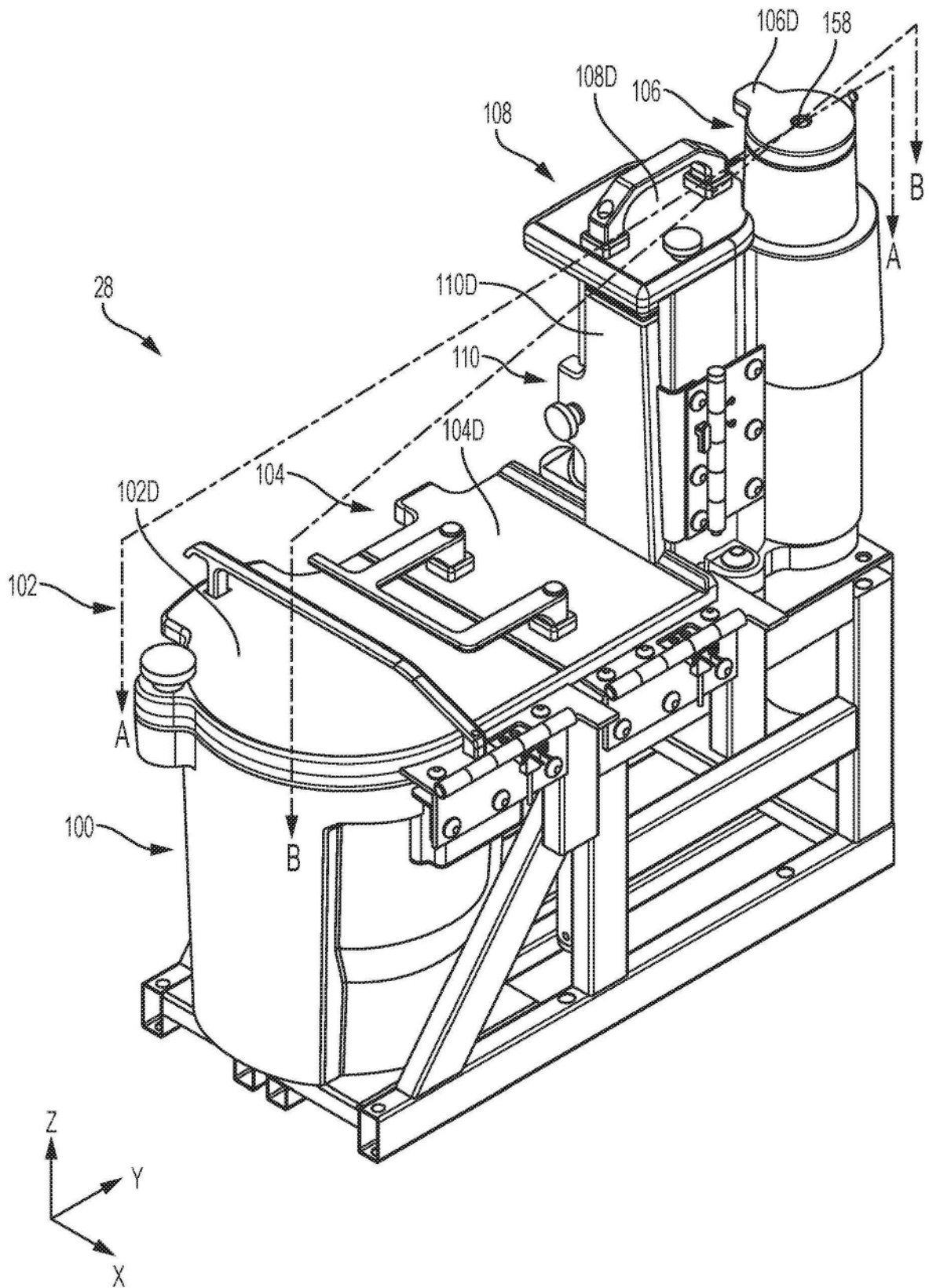


图7A

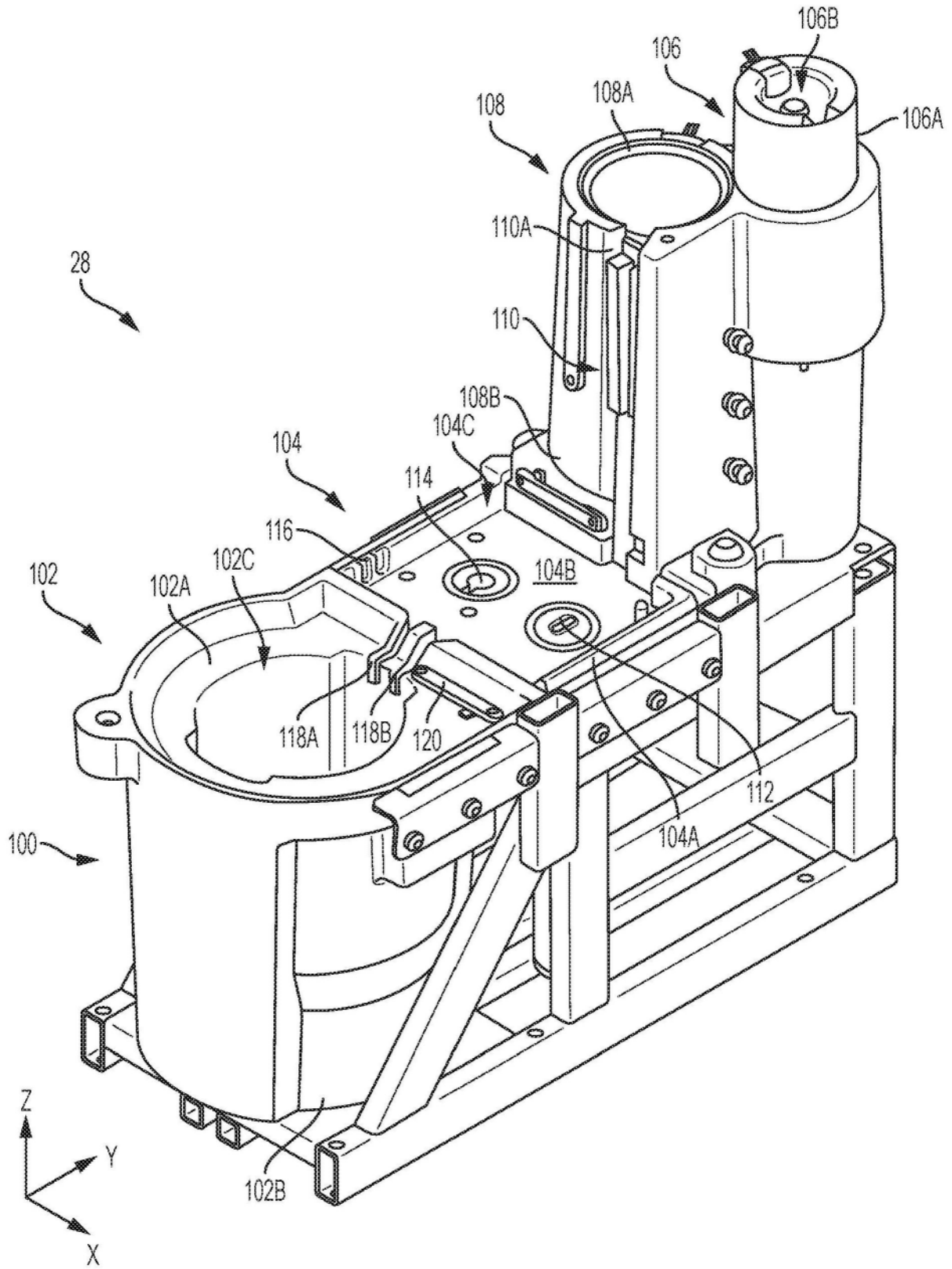


图7B

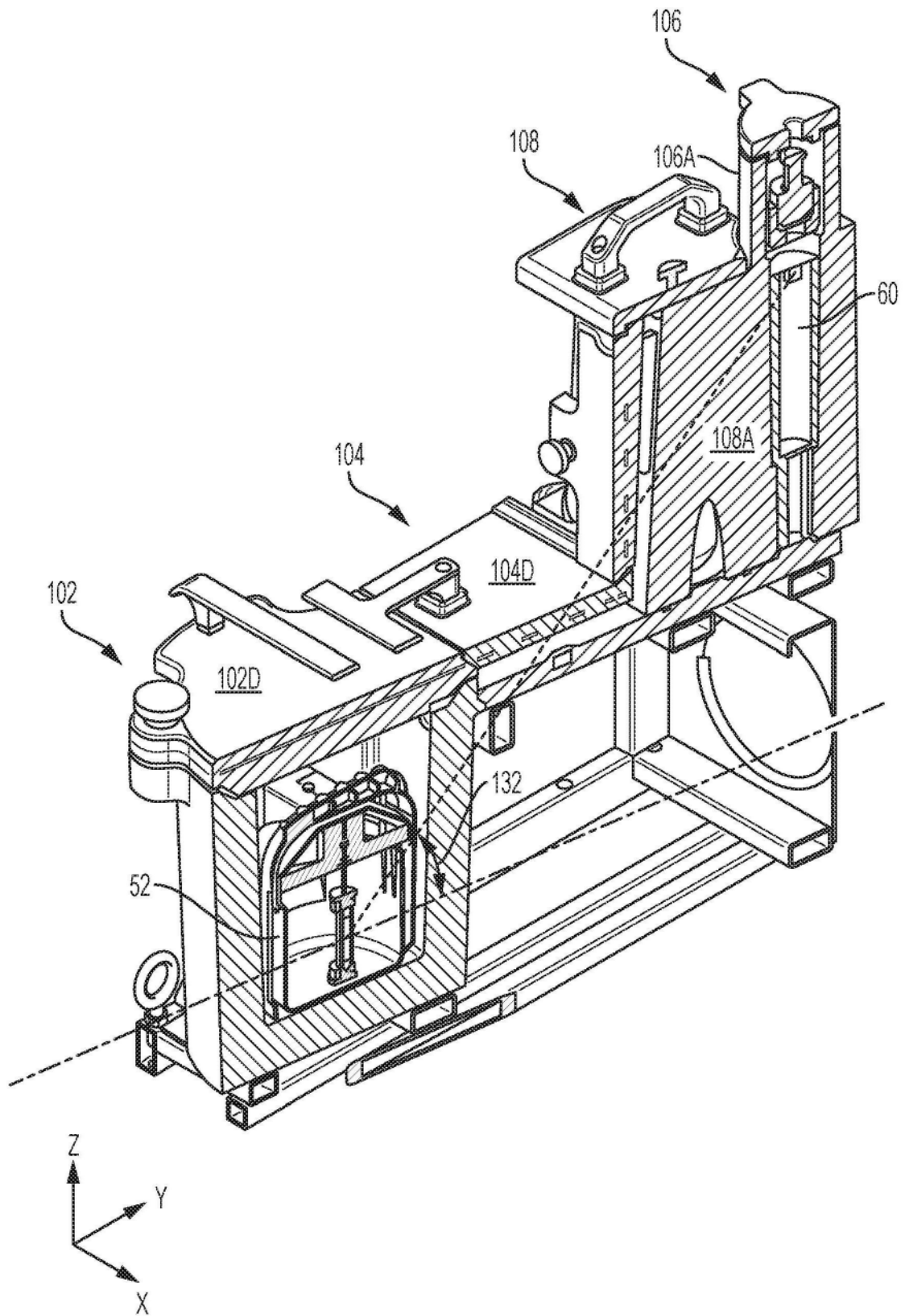


图7C

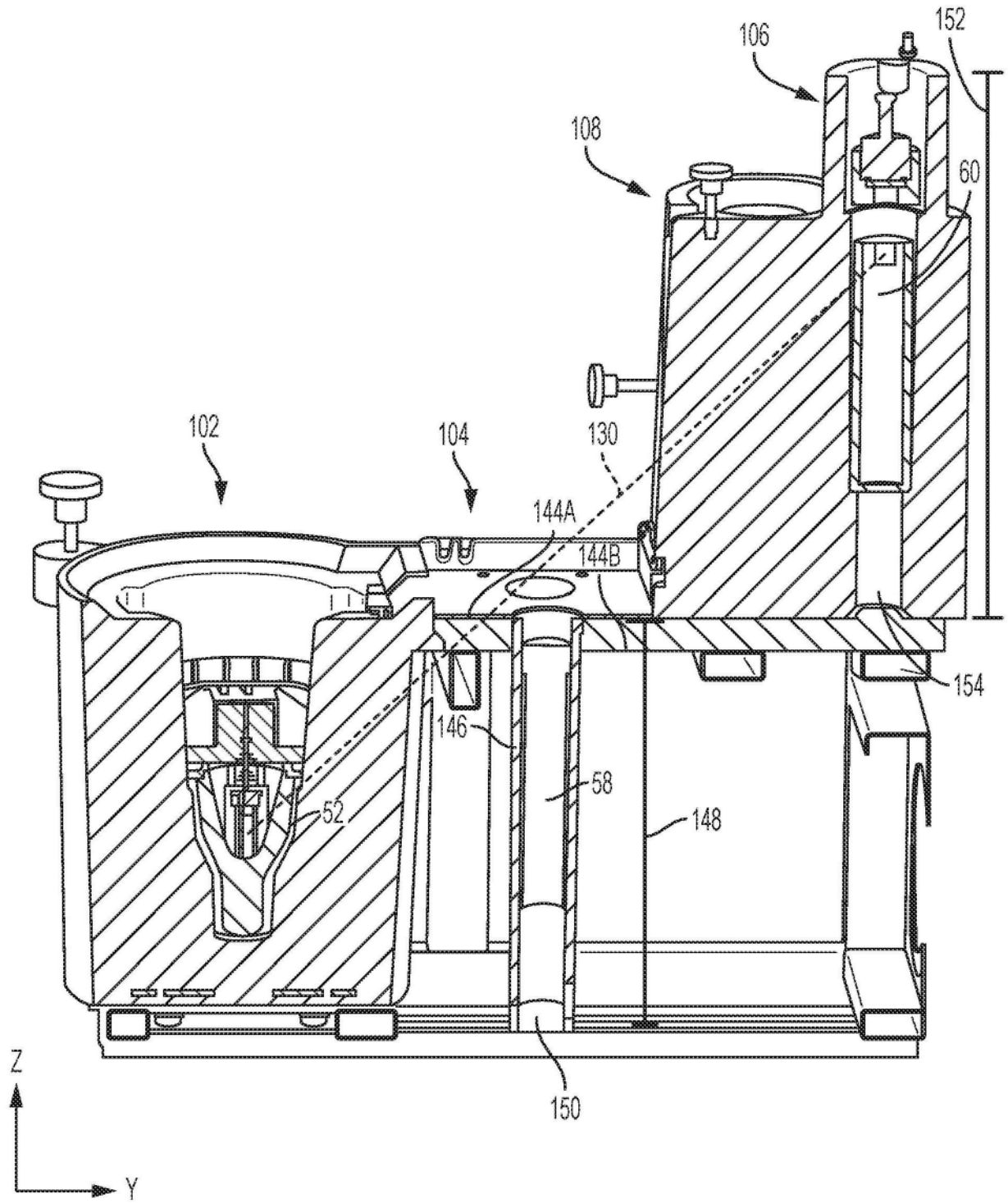


图7D

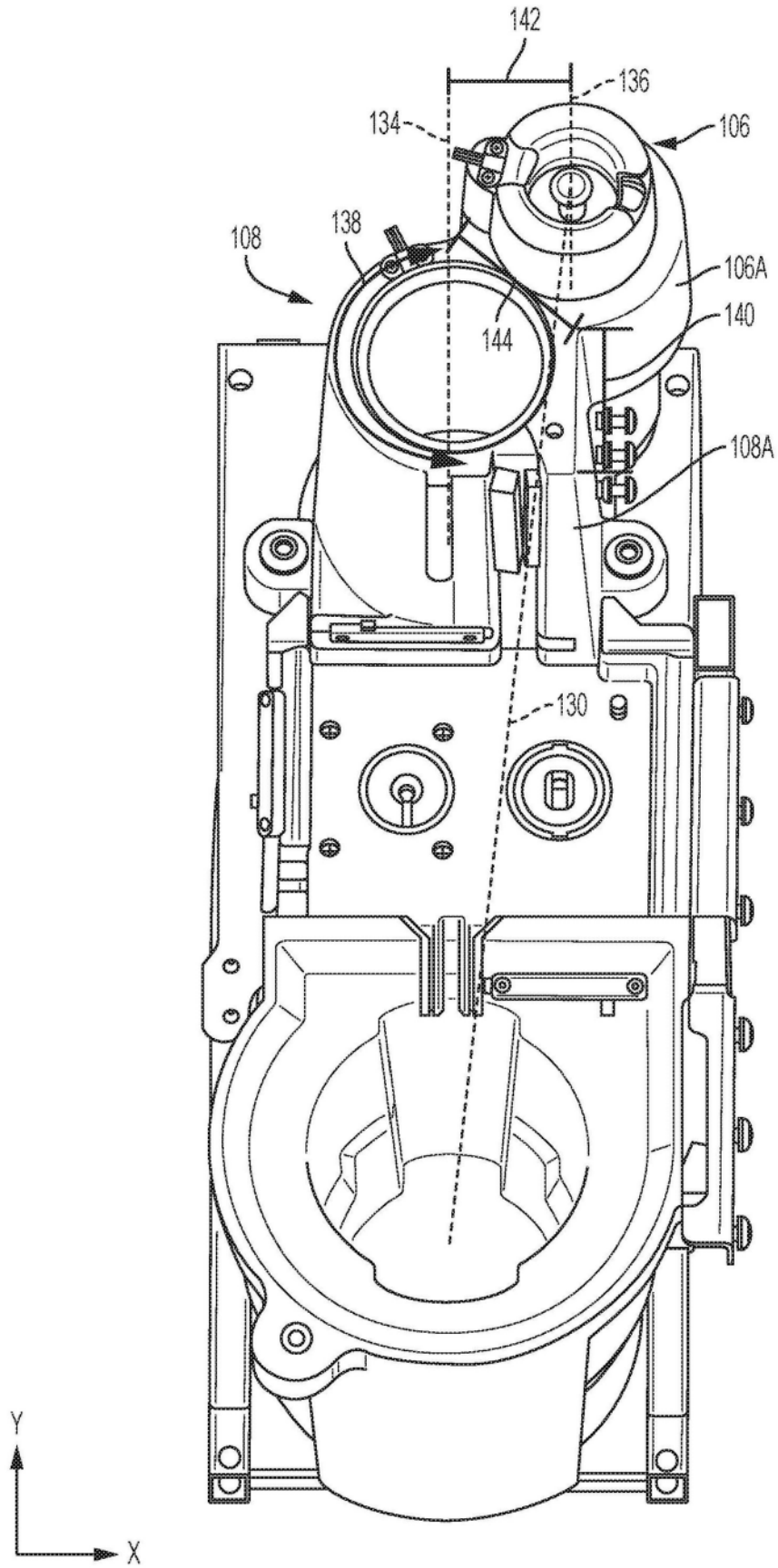


图7E

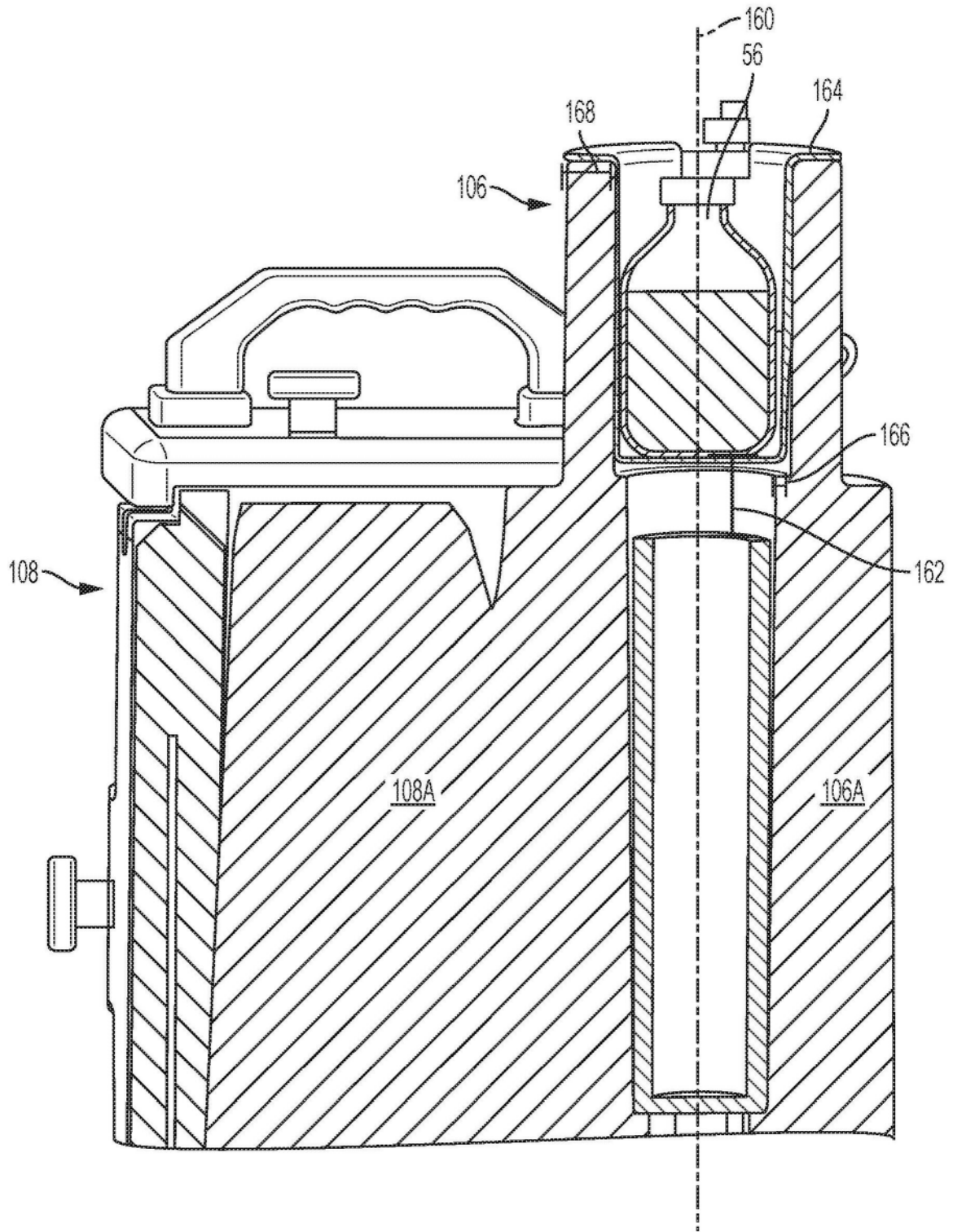


图7F

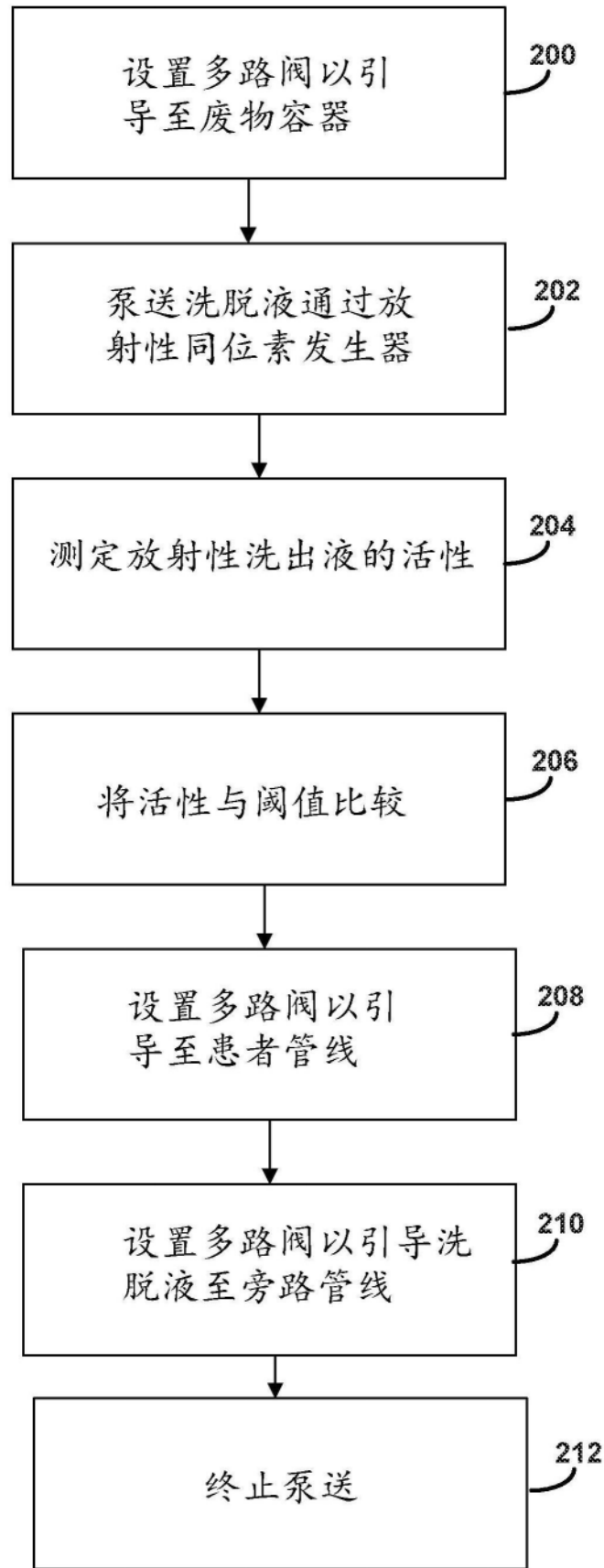


图8

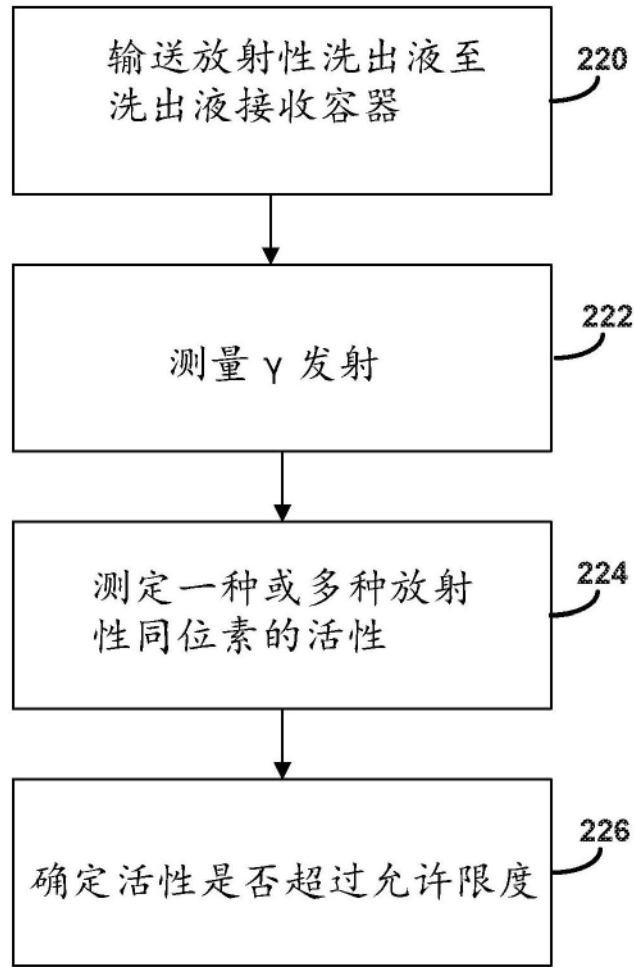


图9

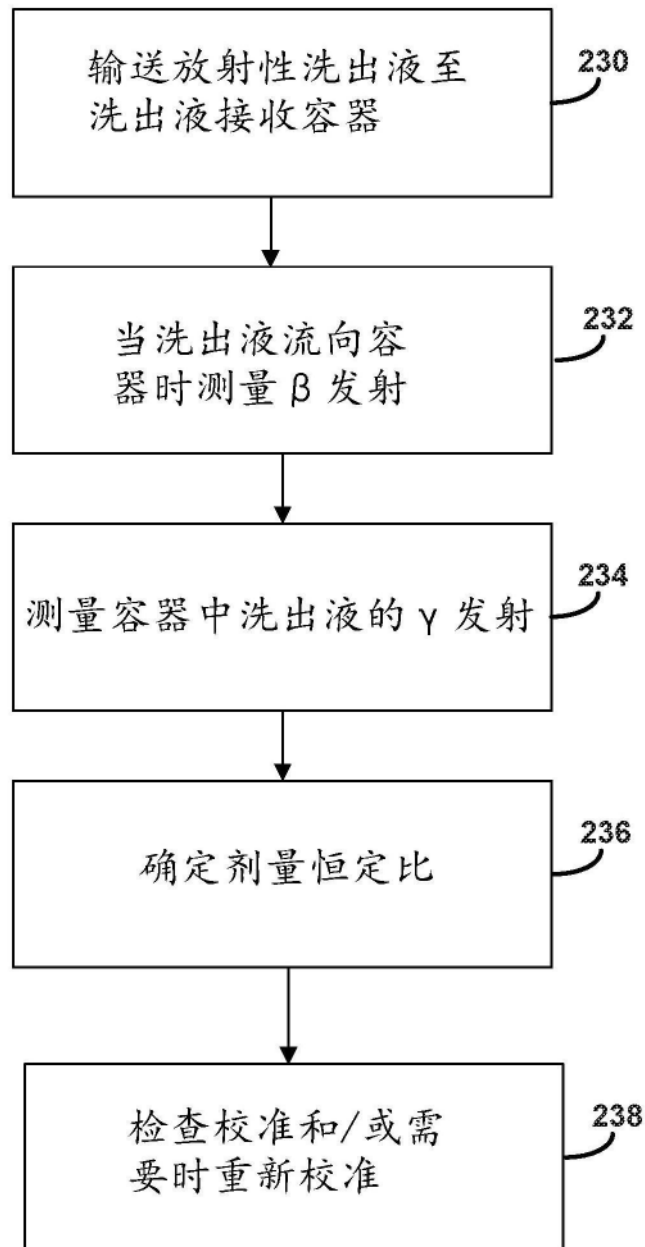


图10

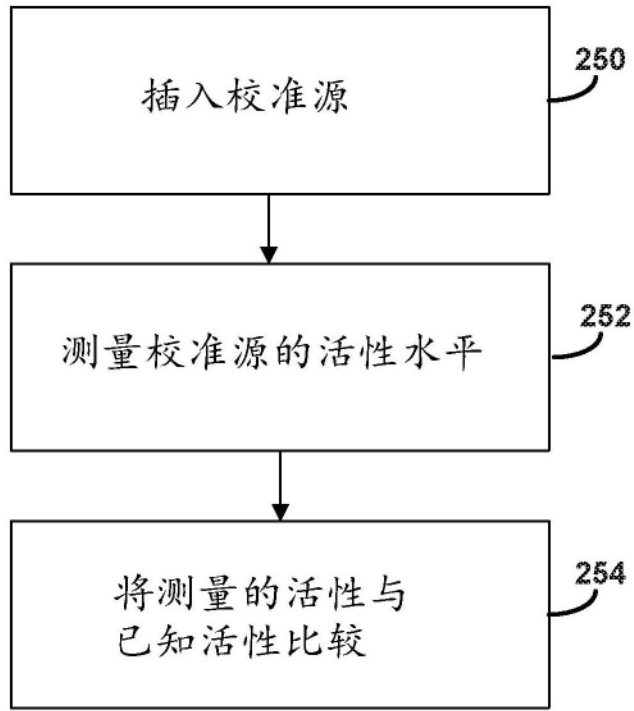


图11

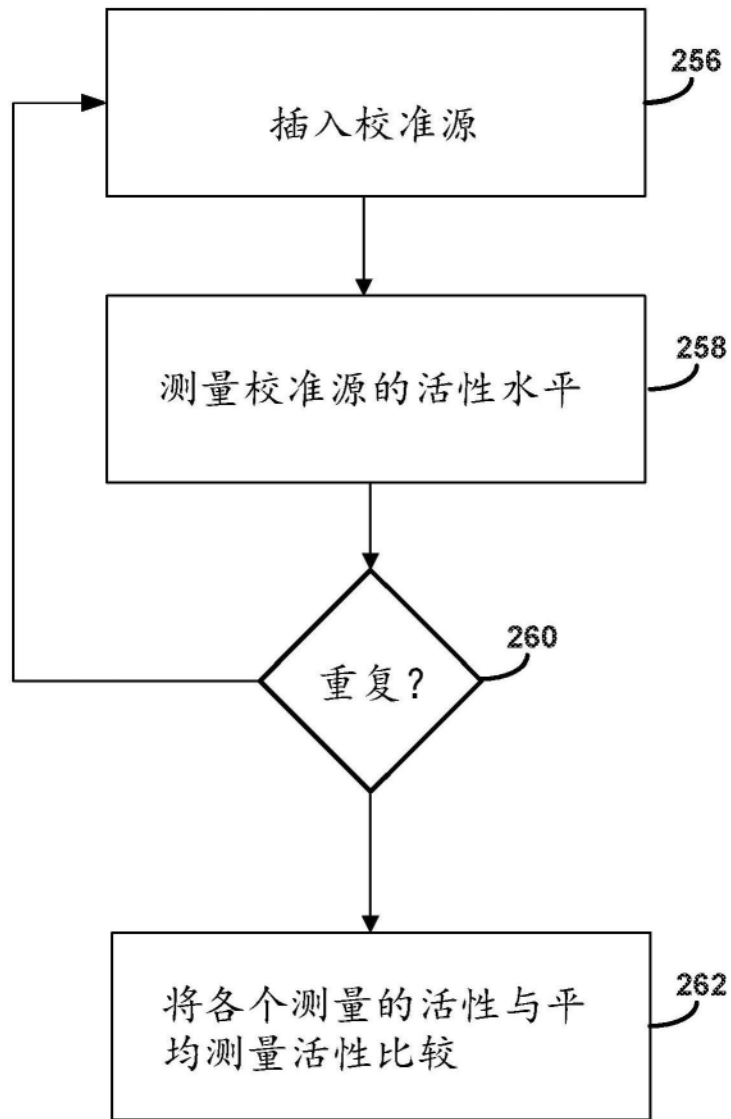


图12

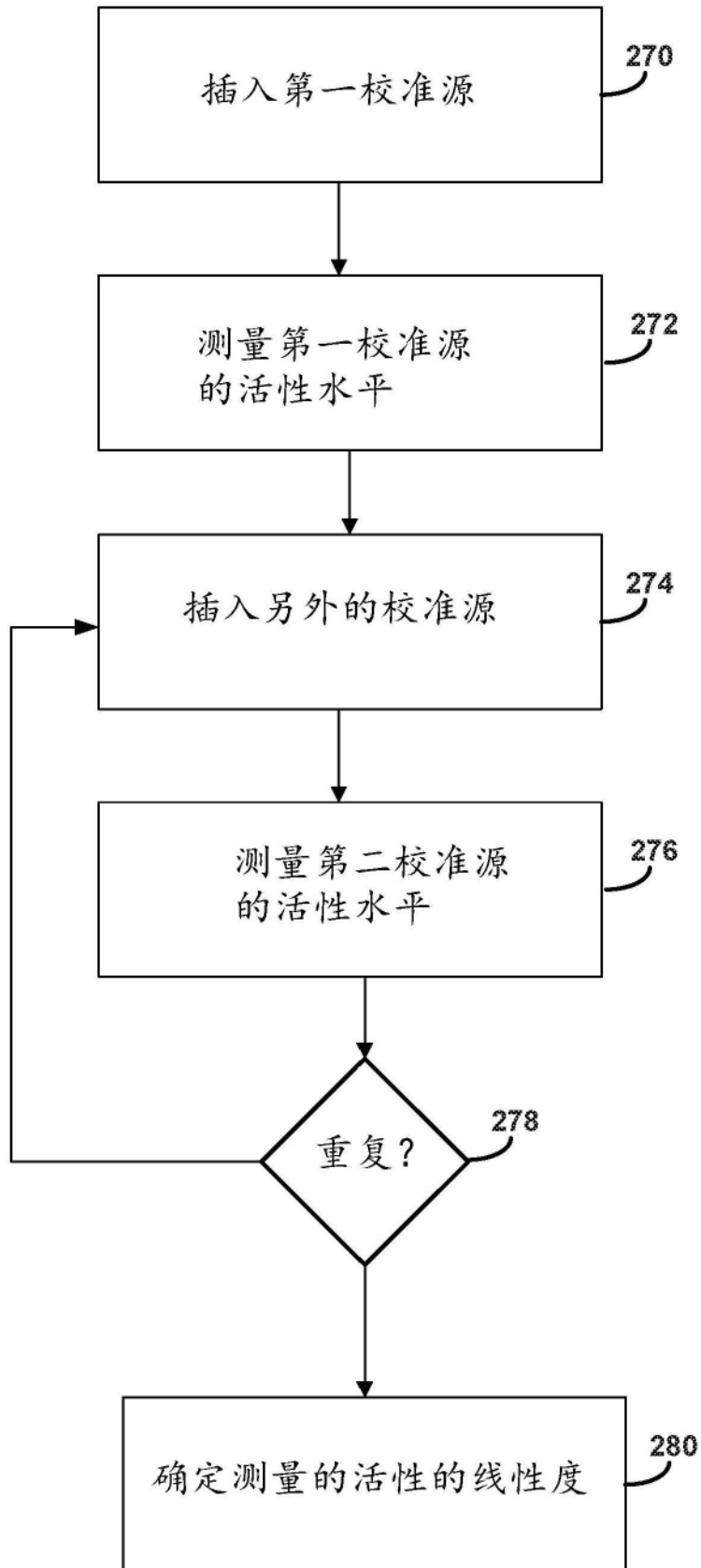


图13

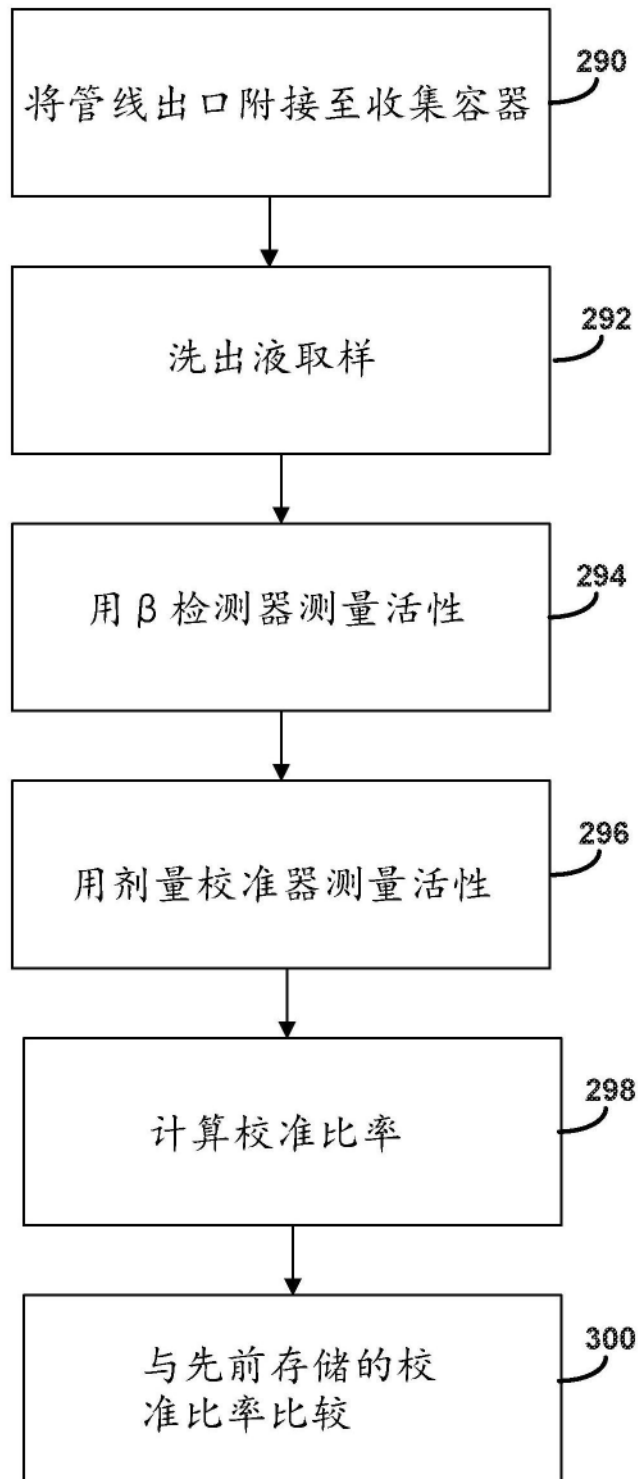


图14

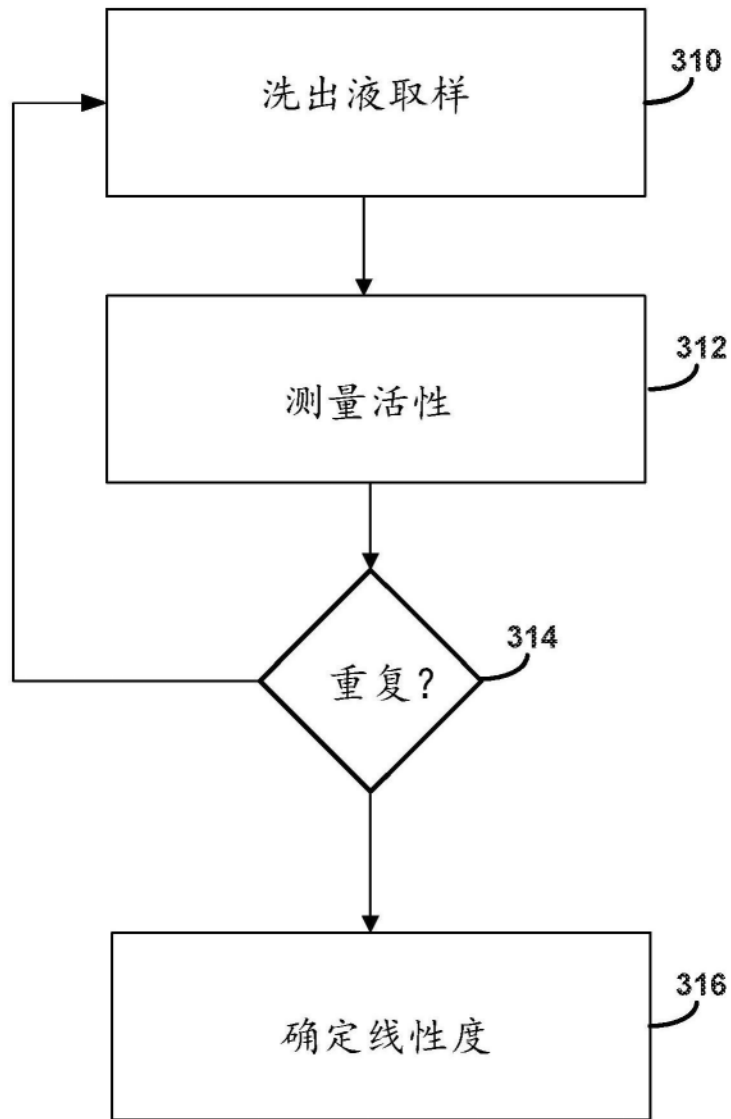


图15

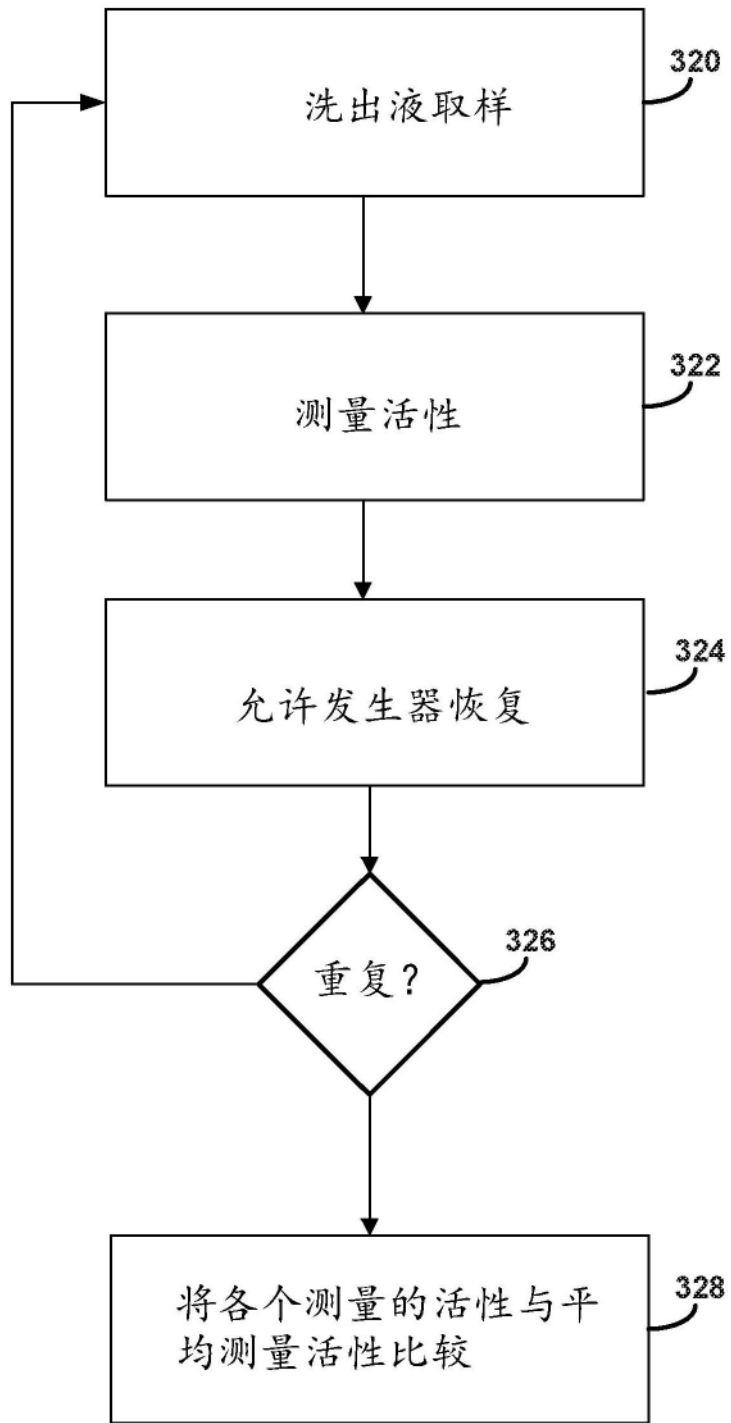


图16