



[12] 发明专利申请公开说明书

[21]申请号 94102935.2

[51]Int.Cl⁵

G21C 17/028

[43]公开日 1995 年 3 月 29 日

[22]申请日 94.3.16

[30]优先权

[32]93.3.17 [33]US[31]032,579

[71]申请人 西屋电气公司

地址 美国宾夕法尼亚

[72]发明人 金斯利·F·格雷厄姆

[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商
标事务所

代理人 杨国旭

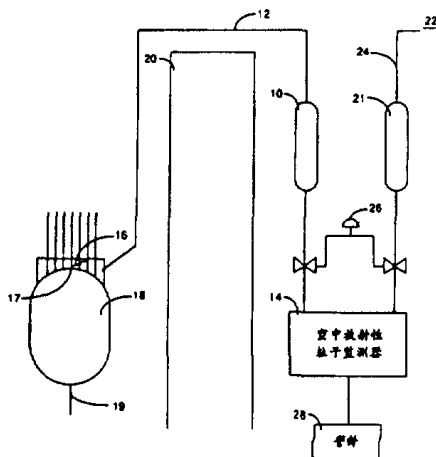
说明书页数:

附图页数:

[54]发明名称 反应堆冷却剂泄漏的空中放射性监测系统灵敏度的提高

[57]摘要

用于测量与核反应堆 (18) 的冷却剂泄漏 (16) 相关的放射性的方法与设备。该方法包括在气体取样线 (12) 上离开辐射粒子监测器 (14) 的上游装置设延时箱 (10), 该延时箱 (10) 可使来自泄漏处 (16) 的放射性惰性气体蜕变为放射性子系粒子, 这些放射性子系粒子放射性粒子监测器 (14) 监测。该装置包括延时箱 (10) 和基础延时箱 (21) 以及用于比较与延时箱 (10) 相关的辐射同与基础延时箱 (21) 的辐射的阀门定序器 (26)。



权 利 要 求 书

1. 检测核反应堆放射性气体泄漏的方法,包括以下步骤:

a. 提供取样线(12),用于对来自核反应堆(18)的放射性气体泄漏(16)取样1;

b. 在上述取样线(12)上离开核反应堆(18)的下游侧提供第一延时箱(10),该第一延时箱(10)的尺寸能够保留该放射性气体充分的驻留时间以使该放射性气体能够蜕变为放射性核素粒子;

c. 在上述取样线上离开上述第一延时箱的下游侧提供一个空中放射性粒子监测器(14),

d. 利用该空中放射性粒子监测器(14)测量与上述放射性核素粒子相关的放射性。

2. 权利要求1的方法,还包括以下步骤:

e. 将(d)步中所测得的放射性与可接受放射性比较,如果该被测放射性显著超过该可接受放射性,则启动报警装置。

3. 权利要求2的方法,其中上述的比较是通过应用具有装在该粒子监测器(14)上游的基础辐射延时箱(21)的基础辐射取样线(24)来完成的,该基础辐射延时箱(21)与该第一延时箱(10)尺寸基本相同,并且基中上述可接受的放射性包括由上述粒子监测器(14)所检测的与上述基础延时箱(21)相关联的放射性

4. 权利要求 1 的方法,其中上述放射性气体至少包括 ^{88}Kr , ^{89}Kr 与 ^{138}Xe 之一。

5. 权利要求 4 的方法,其中上述放射性核素粒子至少包括 ^{88}Rb , ^{89}Rb 与 ^{138}Cs 之一。

6. 权利要求 1 的方法,其中上述第一延时箱的尺寸的气流率约为 1—5cfm(立方英尺分钟)时能保持层流通过该第一延时箱(10)。

7. 权利要求的方法,其中上述驻留时间选择得与由上述空中放射性粒子监测器(14)所测到的总计放射性核素粒子浓度的峰值相吻合。

8. 在具有用于对来自反应堆(18)的放射性气体的泄漏(16)进行取样和传送的取样线(12)的核反应堆放射性监测系统中,改进之处包括:在上述取样线(12)上离开上述核反应堆(18)的下游侧有第一延时箱(10),用于保持上述放射性气体充分的驻留时间以使上述放射性气体可蜕变为适宜作放射性测量的空中放射性核素粒子;还包括串联在上述第一延时箱(10)下游的空中放射性粒子监测器(14)。

9. 权利要求 8 的核反应堆放射性监测系统,其中上述取样线(12)至少对核反应堆的控制棒驱动穿杆(17)与堆芯设备穿杆(19)之一附近的气体取样。

10. 权利要求 9 的核反应堆放射性监测系统,其中上述第一

延时箱(10)的尺寸使得放射性气体的驻留时间与由上述空中放射性粒子监测器(14)测得的总计放射性核素粒子浓度峰值相吻合。

11. 权利要求(9)的核反应堆放射性监测系统,其中上述第一延时箱(10)具有垂直的方向。

12. 权利要求(8)的核反应堆放射性监测系统,还包括接收来自延伸到核反应堆密封壳(18)的基础源(22)的空气中的基础取样线(24),在该取样线(24)的下游离开该基础源的一侧具有基础延时箱(21),该基础延时箱(21)与上述第一延时箱(10)尺寸基本相同,该基础延时箱(21)在上述粒子监测器(14)的上游并与之连接,以及该粒子监测器(14)适于对与上述基础延时箱(21)相关的辐射同与上述第一延时箱(10)相关的辐射进行比较。

13. 权利要求12的核反应堆放射性监测系统,其中上述第一延时箱(10)与上述第二延时箱(21)在它们的出口由阀门定序器(26)连接,以便使该粒子监测器(14)对与上述第一延时箱(10)及上述基础延时箱(21)相关的辐射进行取样和比较。

14. 权利要求13的核反应堆放射性监测系统,还包括报警装置(26),对上述第一延时箱(10)相关的放射性显著超过上述基础延时箱(21)相关的放射性时的失常情况报警。

说明书

反应堆冷却剂泄漏的空中放射性监测系统灵敏度的提高

本发明涉及用以检测核反应堆冷却剂泄漏的系统。本发明特别涉及应用灵敏度提高装置使得空中粒子监测器较易于测定反应堆冷却剂的泄漏。

空中粒子放射性监测器可用于通过测量由泄漏所产生的空中粒子放射性而检测核反应堆冷却剂的泄漏。但是,这些先有技术检测器的问题在于:不论在泄漏位置还是在泄漏位置与监测位置之间的取样线中作为沉积损耗的结果而发生放射性粒子的损耗都难于计量。

从核反应堆冷却剂泄漏的气态放射性核素几乎 100%地泄漏到空气中,在取样线中沉积损耗极小。但是,气体空中放射性监测器的灵敏度比较于空中放射性监测器的灵敏度要低得多,因为气体监测器仅仅对取样室中检测器观测到的气体量作出响应。另一方面,粒子监测器则对于一段延续的时间周期中滤子上所收集到的放射性粒子作出响应。粒子监测器对气态监测器灵敏度的比率的数量级为 10,000。

总之,不论粒子监测器还是气体监测器在用于核反应堆冷却剂泄漏的检测时都有严重的缺陷。粒子监测器难于对泄漏位置粒子放

放射性损耗及取样线壁上靶板所造成的损耗计量。而气体监测器与粒子监测器比较其灵敏度又非常之低。

美国专利 No. 4,820,925 公开了用于放射性气悬粒的室内空气监测器，该监测器应用过滤器系统收集系统通过进入监测器的空气流所携带的悬浮粒子，并对这些粒子的放射性通过该装置的检测予放大器进行探测和检验。这一装置本身并不能检验由核电厂泄漏的气态放射性核素的放射性。

尽管有上述装置，在技术上仍然需要一种测量由于核反应堆冷却剂泄漏的结果所造成的气态放射性的可靠方法。

本发明的一个目的是提供一种与放射性惰性气体蜕变为放射性核素粒子产物相关的辐射的测量方法。

本发明的又一目的是应用辐射粒子监测器进行这种测量。

本发明还有一个目的是将任何被测辐射与基础辐射相比较。

本发明的另一目的是提供一种装置，该装置允许放射性惰性气体充分长的时间蜕变为放射性核素子元素，以便粒子监测器得到有效利用。

根据本发明的一个实施例所提供的检测核反应堆放射性气体泄漏的方法包括以下步骤：提供取样线以便对来自核反应堆的放射性气体泄漏进行取样；在离开核反应堆的取样线的下游提供一个延时箱，该延时箱的尺寸要能保留放射性气体充分的驻留时间，使得放射性气体能够蜕变为组成入射性惰性气体的碱性元素产物。该方法

还包括在离开延时箱的取样线下游侧提供一个空中放射性粒子监测器,并与放射性粒子监测器一同测量与放射性核素粒子相关的放射性。

本发明的另一实施例构成了一种核反应堆气体泄漏监测系统,该系统具有用于传送来自反应堆的放射性气体泄漏的取样线,并包括在离开反应堆的取样线下游侧的一个延时箱,以便有充分的驻留时间使得放射性气体能够蜕变为对于放射性测量敏感的空中放射性核素粒子,该装置还包括串接在该延时箱下游的空中放射性粒子监测器。

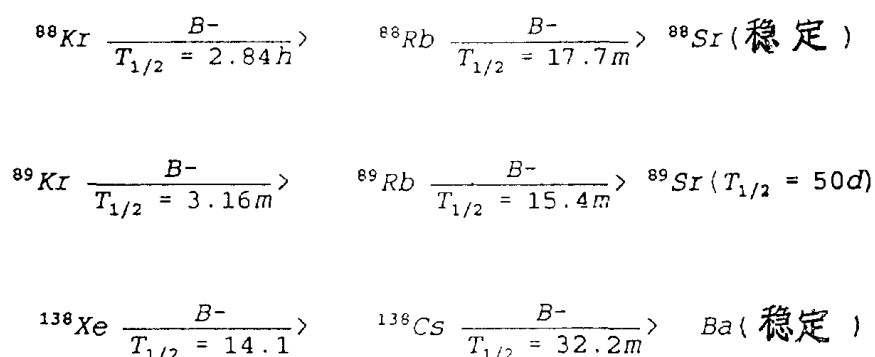
本发明着眼于此目标旨在提供一种反应堆放射性气体泄漏检测方法,该方法包括以下步骤:a. 提供取样线(12)对来自核反应堆(18)的放射性气体泄漏(16)取样;b. 在离开核反应堆(18)的上述取样线(12)的下游提供第一延时箱(10),该第一延时箱(10)的尺寸能够保留该放射性气体充分的驻留时间以使该放射性气体能够蜕变为放射性核素粒子;c. 在离开上述第一延时箱的上述取样线的下游侧提供一个空中放射性粒子监测器(14)d. 用该空中放射性粒子监测器(14)测量与上述放射性核素粒子相关的放射性。

图 1 是假定来自核反应堆放射性气体逃逸点的 100% 粒子损耗下空中粒子监测器处放射性对于时延的图示。

图 2 是假定 75% 粒子损耗或 25% 的放射性粒子从泄漏点传送到监测装置时空中粒子监测器处放射性对于时延的图示。

图 3 是根据本发明的一个较佳实施例的一个核反应堆的原理图,包括取样线、延时箱和基础取样箱以及空中放射性粒子监测器。

在运行的核反应堆中,如 ^{88}Kr 、 ^{89}Kr 与 ^{138}Xe 等放射性惰性气体裂变产物易于从核燃料缺陷逃逸并形成反应堆冷却剂放射性的重要成分。在反应堆的冷却剂泄漏中,例如从控制棒驱动顶盖密封以及控制棒驱动反应堆头贯穿区域和在反应堆堆芯压力容器的底部的堆芯内部装置的泄漏,这些气态放射物在泄漏区域以将近 100% 泄漏率(0% 损耗率)泄漏到空气中。这些惰性气体蜕变为例如 ^{88}Rb , ^{89}Rb 及 ^{138}Cs 等碱性放射性核素。该过程为:



还有其他气态放射性核素蜕变为碱性元素。然而,它们一般或是半衰期太长或是子系核素为稳定的。

稳定状态下在反应堆冷却剂中,子系碱性放射性核素的放射性水平通常就每单位体积的贝克雷尔(B_q)(每秒每单位体积的蜕变)而言与父系惰性气体的放射性核素是相同的,因为以上放射性核素的半衰期与由软化器移动或通过向体积控制箱的气体区域逃逸的时间

相比是短的。很少有来自核燃料泄漏短半衰期碱性放射性核素的直接释放。

在冷却剂泄漏处，惰性气体与碱性放射性核素都释放到该泄漏区。几乎 100% 的放射性惰性气体被释放到泄漏处周围的空气中。这些碱性放射性核素的潜在地难于量化的部分形成了可迁移的空中粒子，而其余的则沉积在泄漏位置附近。在泄漏区域中画出了空气取样的取样线将把基本是 100% 的惰性气体传送到监测器，而粒子中碱性放射性核素的主要的难于计量的部分却丢失在取样线的壁上而不能到达监测器。

如前所述，气体监测器的灵敏度比粒子监测器低得多，并且粒子有大量的难于计量的损耗。

根据本发明，在取样线 12 的末端，就在空中放射性粒子监测器 14 之前设有一延时箱 10。见图 3，在泄漏点几乎没有受到损耗的惰性气体放射性核素被允许蜕变为碱性放射性核素，这些核素起始作为带电离子将易于附着在空气中任何已有的粒子上。然后这些粒子上的碱性放射性核素可用高灵敏度来测量。每一放射性核素的量可被计算，并且可计算出最佳时延。

^{85}Kr 蜕变为 ^{88}Rb 的方程为：

$$\frac{dN_{88\text{Kr}}}{dt} = -\lambda_{88\text{Kr}} N_{88\text{Kr}}$$

$$\frac{dN_{88\text{Rb}}}{dt} = \lambda_{88\text{Kr}} N_{88\text{Kr}} - \lambda_{88\text{Rb}} N_{88\text{Rb}}$$

其中：

$$\frac{dN_{^{88}\text{Kr}}}{dt} = ^{88}\text{Kr} \text{ 的浓度变化率}$$

$$N_{^{88}\text{Kr}} = ^{88}\text{Kr} \text{ 的浓度}$$

$$\lambda_{^{88}\text{Kr}} = \text{对于 } ^{88}\text{Kr} = \ln(2) / ^{88}\text{Kr} \text{ 的半衰期的蜕变常数}$$

$$\frac{dN_{^{88}\text{Rb}}}{dt} = ^{88}\text{Rb} \text{ 的浓度变化率}$$

$$N_{^{88}\text{Rb}} = ^{88}\text{Rb} \text{ 的浓度}$$

$$\lambda_{^{88}\text{Rb}} = \text{对于 } ^{88}\text{Rb} = \ln(2) / ^{88}\text{Rb} \text{ 的半衰期的蜕变常数}$$

具有不同系数的相同的方程适用于 ^{88}Kr 蜕变为 ^{89}Rb 以及 ^{138}Xe 蜕变为 ^{138}Cs 。

^{88}Rb 的蜕变率为蜕变常数乘以 ^{88}Rb 的浓度：

$$\frac{\text{Bq}}{\text{单位体积}} = \frac{\text{蜕变量/秒}}{\text{单位体积}} = \lambda_{^{88}\text{Rb}} (\text{1/秒}) \times \frac{N_{^{88}\text{Rb}} \text{ 原子数}}{\text{单位体积}}$$

如果对每一放射性核素在零时刻初始浓度已知，则这些方程是可解的。

稳态的反应堆冷却剂中父系惰性气体 ^{88}Kr 的放射性(B_q /单位体积)和子系 ^{88}Rb 基本是相等的。如果不使用本发明，那么在泄漏处和取样线中大部分的 ^{88}Rb 在进入延时箱或粒子监测器之前就损耗了。

现给出一例说明延时箱的益处。此例中，泄漏处周围空气中来自冷却剂泄漏处的惰性气体的浓度为：

$$^{88}\text{Kr} \ 66 \ \text{Bq/m}^3$$

$$^{89}\text{Kr} \ 66 \ \text{Bq/m}^3$$

$$^{138}\text{Xe} \ 198 \ \text{Bq/m}^3$$

$$\text{总计} \ 330 \ \text{Bq/m}^3$$

如果由于在泄漏处和取样线中的损耗而没有粒子放射性核素到达监测器的位置,则不采用本发明的粒子监测器处的粒子放射性为零。

图 1 表示了,如果应用了本发明,在延时箱之后粒子放射性的浓度。该图示出作为时延的函数以 Bq/m^3 为单位的放射性。标以 4 的曲线为 ^{88}Rb , ^{89}Rb 及 ^{138}Cs 的总计 Bq/m^3 。曲线 1 表示 ^{88}Rb , 曲线 2 表示 ^{89}Rb 以及曲线 3 表示 ^{138}Cs 。总计的粒子放射性在 30 分钟后由起始的零值升到 90Bq/m^3 。即使起始与逃逸气体保持平衡的有粒子都假设在延时箱 10 之前在泄漏处和/或在取样线中已损耗,但这是起始的气态放射性的重要部分。于是图 1 表示了一种最坏的情况。

较乐观的情况是,反应堆冷却剂碱性放射性核素的 50% 形成可迁移粒子(50% 在泄漏处附近损耗)并且这些粒子的 50% 到达取样线的监测器端(另外 50% 损耗)。如果碱性放射性核素在反应堆里与冷却剂中它们的惰性气体的父系是保持平衡的,则在无延时的监测器处粒子的浓度为:

$$330\text{Bq/m}^3 * .5 * .5 = 82.5 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$$

这比在附近采用较佳的延时箱的前一例子要小,而且 100% 的初始粒子被损耗。

图 2 表示如果带有延时箱 50% 乘 50% 的损耗的情形监测器处的粒子浓度。这种情形下大约经 20 分钟的延时总计粒子的浓度达到约为 $130B_q/m^3$ 峰值,这是很高的增益。

本发明的主要优点在于不依赖于泄漏处非气态碱性放射性核素的逃逸以形成可迁移离子而是根据这些粒子的没有显著损耗地向监测器的传送。图 1 表明与具有相当大的但不能确证的粒子损耗且没有延时箱相比具有延时箱并在延时箱之前 100% 粒子损耗的情形可得到较高的粒子水平。如果使用延时箱,则图 2 的例子中粒子的浓度增加。

以较短的时延即可获得显著的增益。图 1 中,如果粒子损耗为 100%,则 6 分钟的时延给出大于 $40B_q/m^3$ 浓度。

图 3 表示本发明用于反应堆冷却剂泄漏监测器。延时箱 10 加在取样线 12 核反应堆 18 的下游,燃料添加腔壁与防护层 20 的外侧,并恰在粒子监测器 14 之前。

操作中,来自核反应堆 18 的气态漏 16,例如来自堆芯贯穿设备 19 的控制棒驱动穿杆 17,其结果为例如 ^{88}Kr , ^{89}Kr 及 ^{138}Xe 等放射性惰性气体经取样线 12 被传送到延时箱 10。该延时的尺寸可使放射性气体驻留足够的时间以使得放射性气体能够蜕变为例如碱性元素子系 ^{88}Rb , ^{89}Rb 及 ^{138}Cs 等放射性核素粒子。在气态释放时,这些惰性气体是与其碱性子系平衡的,但几乎 100% 的气体被释放到取样线及延时箱,其间由于两个现象许多碱性子系以粒子的形式在泄

漏处被损耗；很多组成这些元素的尘粒在泄漏点落下并再也不能使它通过取样线到达粒子监测器，而其他放射性子系粒子沉积在取样线 12 的壁上，如上所述也不能使之再到达粒子监测器。

延时箱 10 的尺寸取决于各应用的特定情况，然而造成约为 30 分钟的滞留时间的箱尺寸，就这种尺寸的箱体制造成本以及其占空量而言实际上将需要延时箱 10 的尺寸最大。对于更实际的应用而言，具有 3 至 9 分钟滞留时间的箱体则更实用。如图 3 所示，箱体 10 应具有垂直的方向，以便使沉积的放射性粒子数量可减到最小。又如图 3 所示，延时箱 10 应位于测量设备 14 之上，以便使得粒子更易于被传送到并被粒子监测器 14 监测到。而且，延时箱 10 应设计成在箱 10 的入口处保持层流而尽量减少湍流，并应有足够的尺寸以减少在箱体 10 的内表面上的沉积损失。

再如图 3 所示，本发明是一个较佳实施例包括通过基础取样线 24 用于接受基础样品 22 的基础取样箱 21。该基础取样箱 21 通过阀门定序器 26 与延时箱 10 相连接，该定序器的设计要使得当由于来自延时箱 10 的辐射的放射性显著超过所测到的来自基础样品箱 21 的放射性时，监测器 14 能发出指示。该放射性水平在延时箱中必须显著地高使得能够以 4 西格玛(σ)统计量来测量。一般，与延时箱 10 相关的辐射相对于基础辐射约 10% 的增加就足以指示故障情况出现并应采取适当的排障措施。如本专业技术人员周知，这可应用适当的警铃 28 来实现，该警铃不构成本发明的任何部分。

以上对本发明的特定实施例进行了详述，但本专业技术人员当可明白，根据所公开的总的要点可在那些细节上作出各种变化和修改。因此，所公开的特定配置仅为示例性的而并不限定为本发明的范围，本发明的范围是由所附权利要求及其任何与所有等类物之全部涵盖给定的。

说明书附图

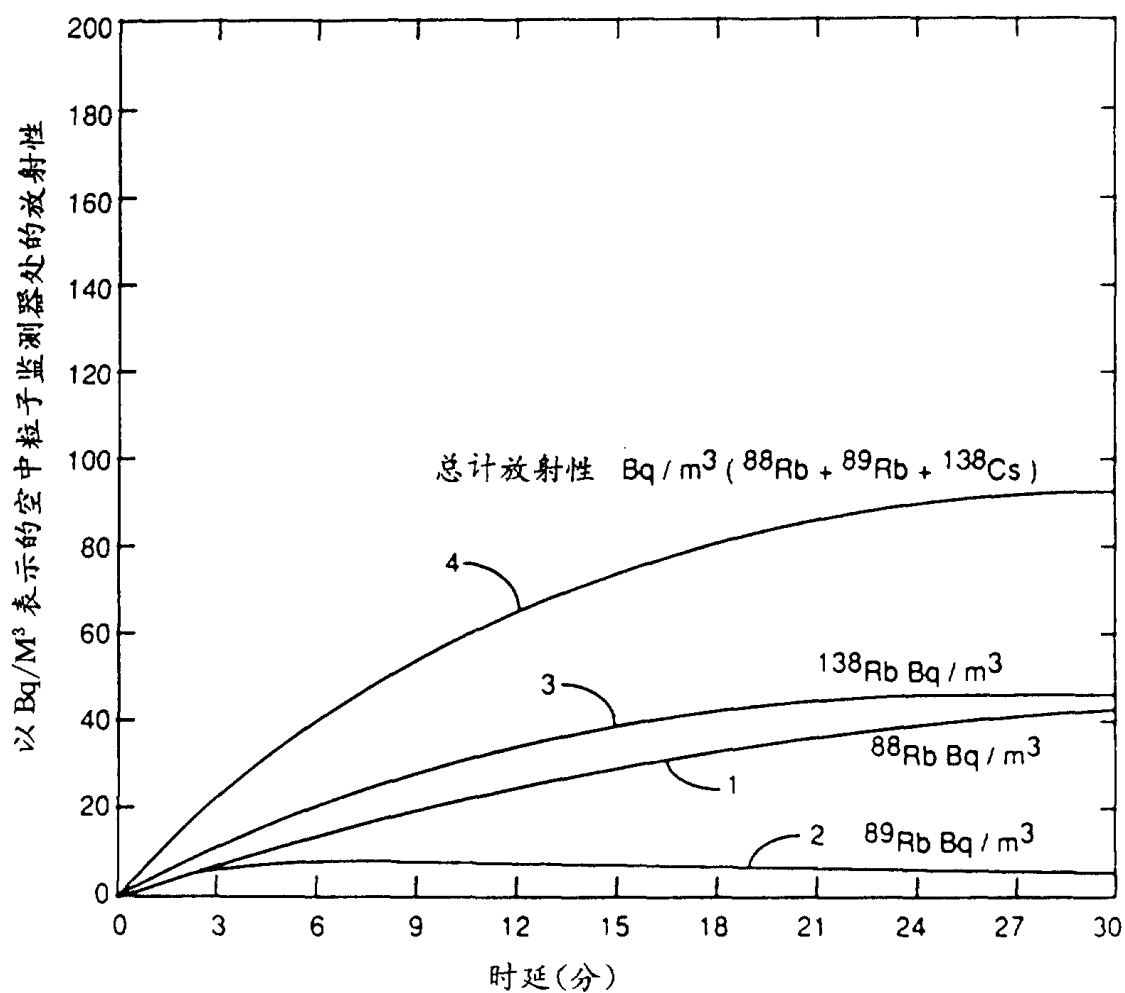


图 1

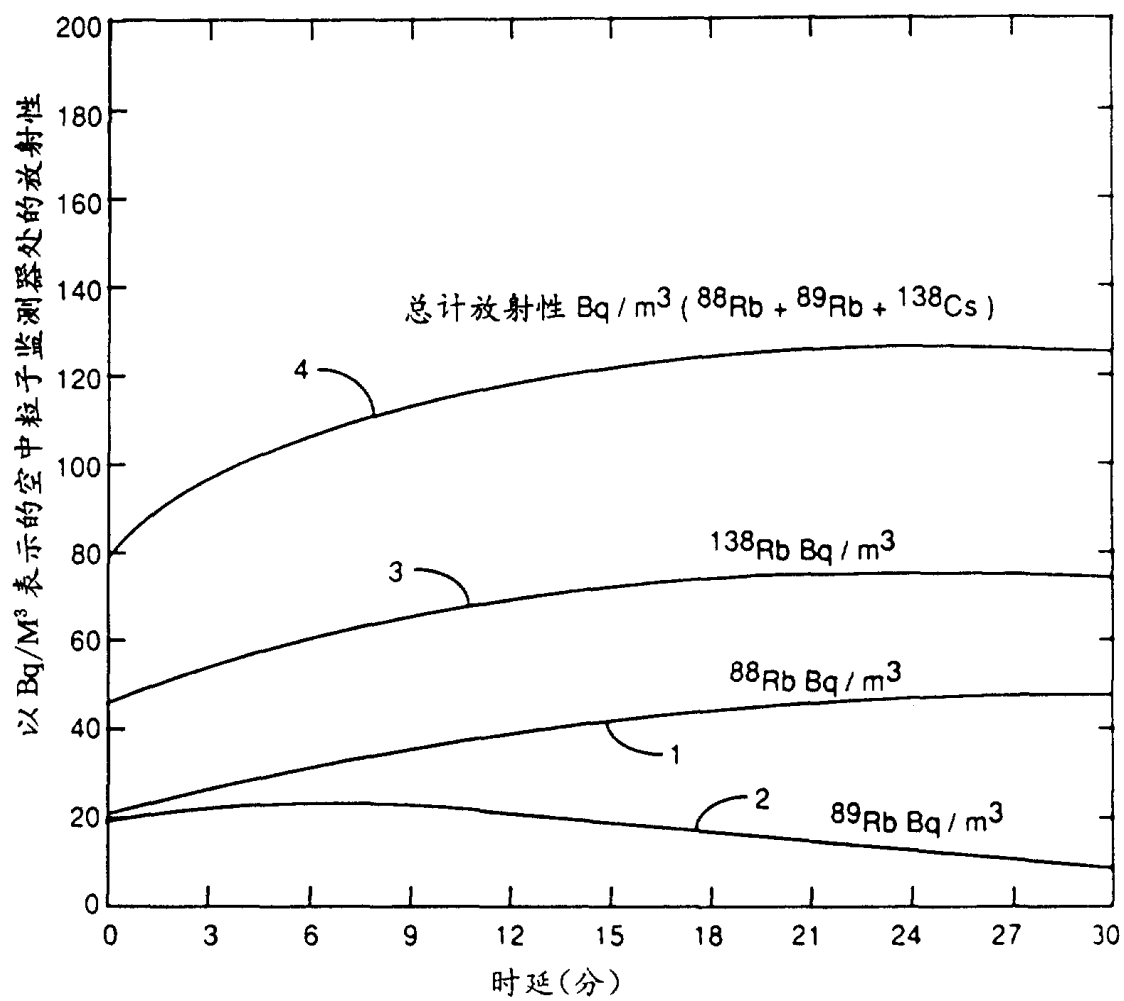


图 2

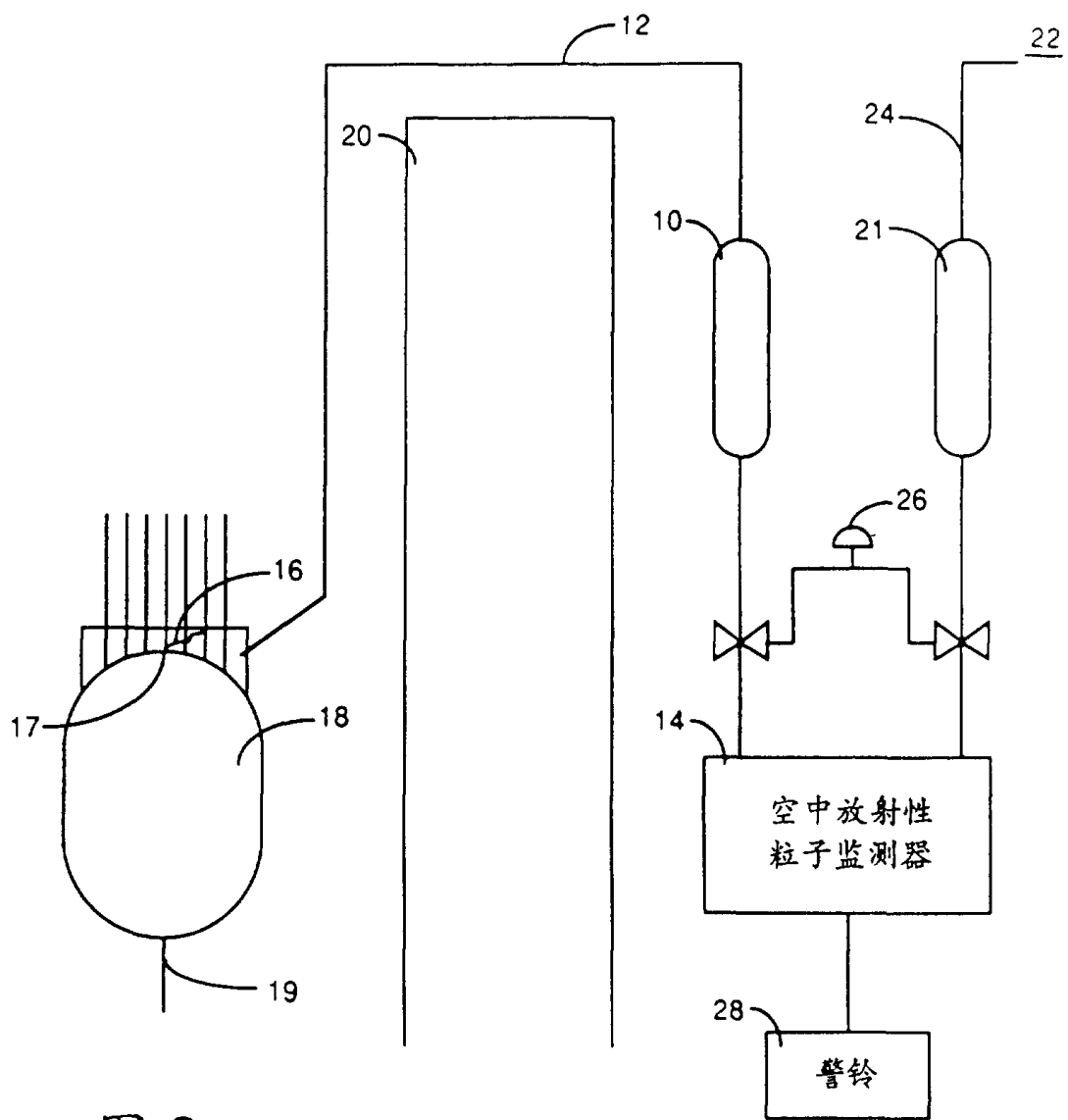


图 3