



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114008723 B

(45) 授权公告日 2024. 11. 19

(21) 申请号 202080044198.7

(22) 申请日 2020.05.19

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114008723 A

(43) 申请公布日 2022.02.01

(30) 优先权数据
62/851,888 2019.05.23 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2021.12.16

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2020/033613 2020.05.19

(87) PCT国际申请的公布数据
W02020/236823 EN 2020.11.26

(73) 专利权人 西屋电气有限责任公司

地址 美国宾夕法尼亚州

(72) 发明人 马丁·杰拉德·普赖斯

(74) 专利代理机构 北京弘权知识产权代理有限公司 11363

专利代理师 王建国 李琳

(51) Int.Cl.
G21C 13/02 (2006.01)
G21F 5/12 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 207213450 U, 2018.04.10

审查员 张伟康

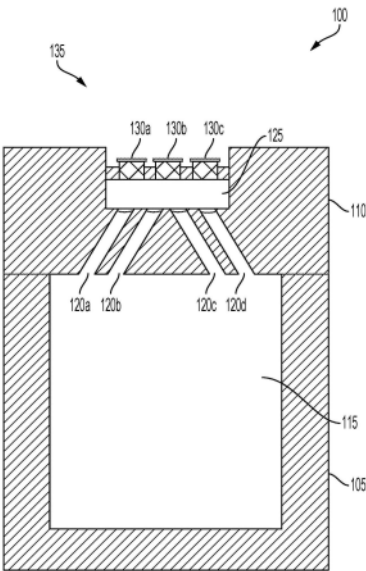
权利要求书2页 说明书9页 附图4页

(54) 发明名称

屏蔽容器中产生的化学计量氢气和氧气的
被动排气装置

(57) 摘要

一种用于排出由放射性材料产生的气体的
被动排气装置包括：源气体区域，其用于接收由
放射性材料产生的气体；过滤器余量区域，其设
置在源气体区域上方并且除多个钻孔之外均与
源气体区域分离，多个钻孔各自在源气体区域和
过滤器余量区域之间延伸并且流体联接源气体
区域和过滤器余量区域；以及多个过滤器，其设
置为与过滤器余量区域接触，其中每个过滤器都
构造成供气体自过滤器余量区域通过该过滤器
与周围环境进行交换。



1. 一种用于排出由放射性材料产生的气体的被动排气装置,所述排气装置包括:
源气体区域,其构造成接收由所述放射性材料产生的气体;
过滤器余量区域,其设置在所述源气体区域上方并且除多个钻孔之外均与所述源气体区域分离,所述多个钻孔各自在所述源气体区域和所述过滤器余量区域之间延伸并且流体联接所述源气体区域和所述过滤器余量区域;和
多个过滤器,其设置为与所述过滤器余量区域接触,其中每个所述过滤器都构造成供气自所述过滤器余量区域通过所述过滤器与周围环境进行交换,
其中,所述过滤器余量区域和所述多个钻孔限定于一可移除盖中。
2. 根据权利要求1所述的被动排气装置,其中,所述多个钻孔包括至少三个钻孔。
3. 根据权利要求1所述的被动排气装置,其中,所述源气体区域构造成容纳所述放射性材料。
4. 根据权利要求1所述的被动排气装置,其中,所述源气体区域构造成接收由包含在与所述源气体区域分离的源气体位置中的所述放射性材料产生的气体。
5. 根据权利要求4所述的被动排气装置,还包括排气管,所述排气管构造成流体联接所述源气体区域和所述源气体位置。
6. 根据权利要求5所述的被动排气装置,其中,所述源气体区域部分地由围绕所述排气管通向所述源气体区域的开口的圆锥形区域限定。
7. 一种用于储放放射性材料的安全壳,所述安全壳包括:
本体,在其中限定构造成容纳所述放射性材料的源气体区域;
过滤器余量区域,其在所述本体中限定于所述源气体区域上方并且除限定于所述本体中的多个钻孔之外均与所述源气体区域分离,所述多个钻孔各自在所述源气体区域和所述过滤器余量区域之间延伸并且流体联接所述源气体区域和所述过滤器余量区域;和
多个过滤器,其设置为与所述过滤器余量区域接触,其中每个所述过滤器构造成供气自所述过滤器余量区域通过所述过滤器与周围环境进行交换,
其中,所述本体包括联接至所述本体的可移除盖,并且其中,所述过滤器余量区域和所述多个钻孔限定于所述可移除盖中。
8. 根据权利要求7所述的安全壳,其中,所述多个钻孔包括至少三个钻孔。
9. 一种用于储放放射性材料的安全壳,所述安全壳包括:
本体,在其中限定构造成容纳所述放射性材料的源气体区域;
第一过滤器余量区域,其在所述本体中限定于所述源气体区域上方并且除限定于所述本体中的第一多个钻孔之外均与所述源气体区域分离,所述第一多个钻孔各自在所述源气体区域和所述第一过滤器余量区域之间延伸并且流体联接所述源气体区域和所述第一过滤器余量区域;
多个第一过滤器,其设置为与所述第一过滤器余量区域接触,其中每个所述第一过滤器都构造成供气自所述第一过滤器余量区域通过所述第一过滤器与周围环境进行交换;
第二过滤器余量区域,其独立于所述第一过滤器余量区域,所述第二过滤器余量区域在所述本体中限定于所述源气体区域上方并且除限定于所述本体中的第二多个钻孔之外均与所述源气体区域分离,所述第二多个钻孔各自在所述源气体区域和所述第二过滤器余量区域之间延伸并且流体联接所述源气体区域和所述第二过滤器余量区域;和

多个第二过滤器,其设置为与所述第二过滤器余量区域接触,其中每个所述第二过滤器都构造成供气体自所述第二过滤器余量区域通过所述第二过滤器与周围环境进行交换,其中,所述本体包括联接至所述本体的可移除盖,并且其中,所述第一过滤器余量区域、所述第二过滤器余量区域、所述第一多个钻孔、和所述第二多个钻孔限定于所述可移除盖中。

屏蔽容器中产生的化学计量氢气和氧气的被动排气装置

[0001] 优先权声明

[0002] 本申请要求于2019年5月23日提交的申请号为62/851,888、发明名称为“屏蔽容器中产生的化学计量氢气和氧气的被动排气装置 (PASSIVE VENTING ARRANGEMENT OF STOICHIOMETRIC HYDROGEN PLUS OXYGEN GASES GENERATED IN ASHIELDED CONTAINER)”的美国临时申请的优先权,其全部内容通过引用结合在本文中,并用于所有目的。

技术领域

[0003] 所公开的构思总体上涉及用于储存废核燃料的容器,具体涉及用于从该容器排出气体的排气装置。所公开的构思进一步涉及包括这种排气装置的容器。

背景技术

[0004] 将废核燃料、废离子交换树脂和特殊核材料储存于闭合容器中能够导致产生氢气和氧气的混合物,其最坏的情况是化学计量比例。产生的气体需要经由过滤排气路径去除,以防止容器加压且同时含有污染物。化学计量混合物是非常危险的,因为它的燃烧会产生能够破坏容器和相关联的限制边界的超音速冲击波,从而不仅对附近的任何事物造成巨大损坏,而且还会导致放射性物质意外释放到环境中。在气体积聚的情况下,这种气体混合物已导致运行中的核电站发生爆炸。

[0005] 关键的挑战是容器的壁较厚以提供对其内容物的屏蔽。穿过屏蔽的排气路径对于去除可燃气体具有不可接受的阻力,因为与过滤器阻力相比,排气路径阻力非常大。

发明内容

[0006] 本发明的实施例提供了一种通过过滤排气路径从屏蔽容器中安全且被动地去除化学计量的可燃源气体的构件,使得该容器中的实际气体混合物甚至不可燃。

[0007] 作为所公开构思的一个方面,提供了一种用于排出由放射性材料产生的气体的被动排气装置。所述排气装置包括:源气体区域,其构造成接收由放射性材料产生的气体;过滤器余量区域,其设置在所述源气体区域上方并且除多个钻孔之外均与所述源气体区域分离,多个钻孔各自在所述源气体区域和所述过滤器余量区域之间延伸并且流体联接所述源气体区域和所述过滤器余量区域;以及多个过滤器,其设置为与所述过滤器余量区域接触,其中每个过滤器都构造成供气体自所述过滤器余量区域通过该过滤器与周围环境进行交换。

[0008] 所述多个钻孔可以包括至少三个钻孔。

[0009] 所述源气体区域可以构造成容纳放射性材料。

[0010] 所述源气体区域可以构造成接收由包含在与源气体区域分离的源气体位置中的放射性材料产生的气体。

[0011] 所述被动排气装置还包括排气管,该排气管构造成流体联接源气体区域和源气体位置。

[0012] 所述源气体区域可以部分地由围绕所述排气管通向该源气体区域的开口的圆锥形区域限定。

[0013] 作为所公开构思的另一方面,提供了一种用于储放放射性材料的安全壳。该安全壳包括:本体,在其中限定构造成容纳放射性材料的源气体区域;过滤器余量区域,其在所述本体中限定于所述源气体区域上方并且除限定于所述本体中的多个钻孔之外均与所述源气体区域分离,多个钻孔各自在所述源气体区域和所述过滤器余量区域之间延伸并且流体联接所述源气体区域和所述过滤器余量区域;和多个过滤器,其设置为与所述过滤器余量区域接触,其中每个过滤器都构造成供气体自所述过滤器余量区域通过该过滤器与周围环境进行交换。

[0014] 所述多个钻孔包括至少三个钻孔。

[0015] 所述本体可以包括联接至所述本体的可移除盖,其中所述过滤器余量区域和所述多个钻孔限定于该盖中。

[0016] 作为所公开构思的又另一方面,提供了另一种用于储放放射性材料的安全壳。所述安全壳包括:本体,在其中限定构造成容纳放射性材料的源气体区域;第一过滤器余量区域,其在所述本体中限定于所述源气体区域上方并且除限定于所述本体中的第一多个钻孔之外均与所述源气体区域分离,所述第一多个钻孔各自在所述源气体区域和所述第一过滤器余量区域之间延伸并且流体联接所述源气体区域和所述第一过滤器余量区域;多个第一过滤器,其设置为与所述第一过滤器余量区域接触,其中每个所述第一过滤器构造成供气体自所述第一过滤器余量区域通过该第一过滤器与周围环境进行交换;第二过滤器余量区域,其独立于所述第一过滤器余量区域,所述第二过滤器余量区域在所述本体中限定于所述源气体区域上方并且除限定于所述本体中的第二多个钻孔之外均与所述源气体区域分离,所述第二多个钻孔各自在所述源气体区域和所述第二过滤器余量区域之间延伸并且流体联接所述源气体区域和所述第二过滤器余量区域;和多个第二过滤器,其设置为与所述第二过滤器余量区域接触,其中每个所述第二过滤器构造成供气体自所述第二过滤器余量区域通过该第二过滤器与周围环境进行交换。

[0017] 本发明的这些和其他目的、特征和特性以及操作方法、结构的相关元件的功能、部件的组合和制造经济性将在参考附图考虑以下描述和所附权利要求之后变得更加明显,所有附图构成本说明书的一部分,其中相同的附图标记表示各个图中的相应部件。然而,应当明确地理解,附图仅用于说明和描述的目的,并不旨在作为对本发明的限制的限定。

附图说明

[0018] 当结合附图阅读以下优选实施例的描述时,可以进一步理解本发明。在附图中:

[0019] 图1是用作根据所公开构思的一个示例性实施例的闭合容器的一部分的根据所公开构思的一个示例性实施例的被动排气设计的示意图;

[0020] 图2是用作根据所公开构思的一个示例性实施例的远端气体收集单元的一部分的根据所公开构思的一个示例性实施例的被动排气设计的示意图;

[0021] 图3是示出了根据所公开构思的一个示例性实施例的排气装置的性能结果的图表;

[0022] 图4是示出了氢气去除实例性能对图3的实例的氧气去除系数的敏感性的图表;并

且

[0023] 图5是示出了过量氧气去除实例性能对图3的实例的氧气去除系数的敏感性的图表。

具体实施方式

[0024] 在以下描述中,相同的附图标记表示附图的若干视图中的相同或对应部分。此外,在以下描述中,应当理解,诸如“向前”、“向后”、“左”、“右”、“向上”、“向下”等术语是方便用语,且不应解释为限制性术语。

[0025] 以下描述包含根据本发明的排气装置的实例应用,随后是共用相同的共同关键特征的替代应用。图1示出了实例排气装置。

[0026] 参考图1,考虑厚壁(屏蔽)容器100,其包括容器本体105和顶盖110,其内容物是以化学计量比例产生的氢气和氧气源或具有比化学计量比例少的氧气,其中化学计量是最坏的情况。容器内部115称为源气体区域,其中源气体从源气体位置散发出,源气体位置在本实例中也位于容器内部115之内。源气体区域115的气氛由空气加上源气体氢气和氧气组成,其中各个气体的比例由如下所述的本发明的适当设计控制。

[0027] 在此实例中,源气体区域/位置115中的厚壁容器100的内容物可以是废核燃料、受损废核燃料、高度受损燃料碎屑、特殊核材料、载有放射性核素的离子交换树脂或其他放射性废料。这些内容物的放射性导致也在容器中的液态水和烃类材料分解成氢气、氧气和可能的其他烃类气体。

[0028] 在容器的顶盖110中,有多个钻孔120a-d,优选至少三个钻孔(实例中示出了四个),这些钻孔将源气体区域115接合至被称为过滤器余量区域125的第二气体区域。过滤器余量区域125是位于比源气体区域115更高的高度处的非常小的区域,原因在下面进一步讨论。因此,钻孔120a-d和过滤器余量区域125位于容器顶盖110内。过滤器余量区域125的目的是接收来自源气体区域115的气体,并允许这些气体接触过滤器130a-c,这些过滤器定位为与周围环境135相接触。然后气体可以从过滤器余量区域125通过过滤器130a-c扩散到周围环境135中。因此,一组两个、三个或更多个(实例中示出了三个)烧结金属过滤器130a-c连接到过滤器余量区域125的顶部。这些过滤器130a-c可以是商用过滤器(比如共同装配到薄壁圆筒的螺纹封塞孔)或任何其他合适的过滤器。气体通过过滤器130a-c在周围环境135和过滤器余量区域125之间交换。过滤器130a-c的目的是提供屏障以防止污染物从容器100释放。容器的顶盖110可以具有设置在其中的一个以上这样的排气装置。

[0029] 当排气装置设计适当时,气体源区域115中的气体混合物的密度比过滤器余量区域125中的气体混合物的密度低。这导致密度较低的气体从气体源区域115向上经过一个或多个钻孔120a-d流到过滤器余量区域125,也导致密度较高的气体从过滤器余量区域125向下经过剩余的钻孔120a-d流到气体源区域115。因为过滤器余量区域125中的氢气和氧气的浓度大于它们各自在过滤器130a-c外部的周围环境135中的浓度,所以氢气和氧气通过过滤器130a-c从过滤器余量区域125扩散到周围环境135中。这是最终氢气和氧气源气体离开厚壁容器100的方式。

[0030] 这种排气装置的适当设计需要适当地选择:(1) 钻孔120a-d的个数,(2) 钻孔120a-d的直径,(3) 过滤器130a-c的个数,(4) 钻孔/过滤器余量/过滤器组的组数,以及(5) 过滤器

130a-c传递氢气和氧气的固有能力。当设计适当时,源气体区域115中的氢气浓度按体积计算低于4%,这保证气体混合物不可燃。

[0031] 在如图2示意性地示出的替代应用中,其与图1具有若干类似的方面。因此,参考图2,考虑厚壁(屏蔽)容器200,其包括容器本体205和顶盖210,其内容物是以化学计量比例产生的氢气和氧气源或具有比化学计量比例少的氧气,其中化学计量是最坏的情况。容器内部215被称为源气体区域,其中源气体从源气体位置255散发出。例如,源气体区域215实际上是排气管250的上端,该排气管从气体源区域215向下行进通过水池260到达盛有厚壁容器200的上述任何内容物的浸没容器(未示出)。在此实例中,浸没容器和排气管250填充有被放射性核素污染的水,该放射性核素的来源是容器的内容物。系统的水位线存在于气体源区域255内。在一些方面,水位线可以被控制为保持在高水位265和低水位270之间。为了保护工作人员免受气体源区域内和排气管250内的放射源的影响,在气体源区域255的顶部存在屏蔽。在一些方面,容器本体205连接到排气管250的部分可以具有圆锥形横截面。圆锥形横截面在其下限处的直径可以约为排气管250的直径的大小。而且,圆锥形横截面在其上限处的直径可以约为容器本体205的直径的大小。源气体区域215的气氛由空气加上源气体氢气和氧气组成,其中各个气体的比例由如下所述的本发明的适当设计控制。

[0032] 在此实例中,源气体位置255中的厚壁容器200的内容物可以是废核燃料、受损废核燃料、高度受损燃料碎屑、特殊核材料、载有放射性核素的离子交换树脂或其他放射性废料。这些内容物的放射性导致也在容器中的液态水和烃类材料分解成氢气、氧气和可能的其他烃类气体。

[0033] 在容器的顶盖210中,有多个钻孔220a-d,优选至少三个钻孔(实例中示出了四个),这些钻孔将源气体区域215接合至称为过滤器余量区域225的第二气体区域。过滤器余量区域225是位于比源气体区域215更高的高度处的非常小的区域,原因在下面进一步讨论。因此,钻孔220a-d和过滤器余量区域225位于容器顶盖210内。过滤器余量区域225的目的是接收来自源气体区域215的气体,并允许这些气体接触过滤器230a-c,这些过滤器定位为与周围环境235相接触。然后气体可以从过滤器余量区域225通过过滤器230a-c扩散到周围环境235中。因此,一组两个、三个或更多个(实例中示出了三个)烧结金属过滤器230a-c连接到过滤器余量区域225的顶部。这些过滤器230a-c可以是商用过滤器(比如共同装配到薄壁圆筒的螺纹封塞孔)或任何其他合适的过滤器。气体通过过滤器230a-c在周围环境235和过滤器余量区域225之间交换。过滤器230a-c的目的是提供屏障以防止污染物从容器200释放。容器的顶盖210可以具有设置在其中的一个以上这样的排气装置。

[0034] 当排气装置设计适当时,气体源区域215中的气体混合物的密度比过滤器余量区域225中的气体混合物的密度低。这导致密度较低的气体向上经过一个或多个钻孔220a-d从气体源区域215流向过滤器余量区域225,也导致密度较高的气体向下经过剩余的钻孔220a-d从过滤器余量区域225流向气体源区域215。因为过滤器余量区域225中的氢气和氧气的浓度大于它们各自在过滤器230a-c外部的周围环境235中的浓度,所以氢气和氧气通过过滤器230a-c从过滤器余量区域225扩散到周围环境235中。这是最终氢气和氧气源气体离开厚壁容器200的方式。

[0035] 这种排气装置的适当设计需要适当地选择:(1) 钻孔220a-d的个数,(2) 钻孔220a-d的直径,(3) 过滤器230a-c的个数,(4) 钻孔/过滤器余量/过滤器组的组数,以及(5) 过滤器

230a-c传递氢气和氧气的固有能能力。

[0036] 实例应用

[0037] 实例1-废核燃料的水下储存-该实例应用涉及已失效的废核燃料的水下储存,因此失效的燃料被隔离在水池内的闭合储存容器中。这可以防止污染物释放到整个水池中,从而允许水池上方的人员进行正常操作。

[0038] 如果燃料在闭合容器中,则源自水的辐射分解的气体(H_2 和 O_2)会对容器加压,因此容器必须排气。然而,要排出的气体是高度可燃的,受到明显的氢气和氧气的化学计量比的限制。该问题的解决方案涉及被动捕集式气体释放设计或者主动排气设计,该被动捕集式气体释放设计可以在允许系统体积自然变化的同时积聚和排出化学计量混合物,该主动排气设计以适当的速率引入惰性气体以防止可燃混合物。捕集式设计考虑到了爆炸的可能性,而后一种选择需要连续操作和监测。

[0039] 实例2-受损燃料和燃料碎屑的临时屏蔽储存-在该实例中,受损燃料和燃料碎屑放置在用于临时储存的屏蔽容器中,并且出于实际原因,希望能够容忍容器中的任意含水量,以便通过辐射分解产生化学计量气体。因此容器必须排气。

[0040] 很明显,在这两种情况下,防止易燃混合物的积聚的可能性的被动解决方案是较优的解决方案。

[0041] 图1和图2中示意性地示出了可用于此类实例的被动排气设计的实例。对应于实例应用1的设计的基本要素如下:

[0042] -燃料容器位于燃料池中的正常位置,通常浸没深度约为4m。它附接有一个垂直的排气管,允许内部产生的气体离开容器。除了辐射分解气体的气泡外,该排气管充有水。垂直排气管是在容器和水池表面下方一小段距离之间的单管。

[0043] -管道终止于圆锥体,其体积等于容器的收缩体积,圆锥体的顶部水平是正常的水池水位线。由于正常运行,水池的温度会发生很大的变化,因此闭合容器内的水温水量也会发生变化。选择圆锥体的体积以容纳最小体积的容器水(当它处于最低温度时)。换言之,水位永远不会低于圆锥体的底部(参见图2中附图标记270),并位于垂直排气管内。

[0044] -上面提到的圆锥体接合至圆柱形区段(大直径管),其体积可以容纳闭合容器水的膨胀,但仍保持气体顶隙。圆锥形区段加上前面提到的圆柱形区段是储存在下方的废燃料上方的余量空间。它们的大小由指定必需膨胀体积加偶然性的应用决定。圆锥形的部分加上由气体占据的圆柱形体积将被称为下气体体积。有时,受污染的水会在水池水位线下方,在其他时间,其可能会位于水池水位线上方。所需体积的设计只包括圆锥形和圆柱形元件的组合,以保持具有可论证的良好混合的敞开的下余量空间。

[0045] -在下气体体积上方是辐射屏蔽体。这是必要的,因为下气体体积内的液体可能与闭合燃料容器内的液体相同,因此需要屏蔽。(燃料容器由其浸没被屏蔽,但这个液体体积位于水位处,因此靠近人员)。就本文的目的而言,主要辐射源是由 ^{137}Ba (^{137}Cs 的子体)产生的0.662MeV伽马射线。在不锈钢中,这种伽马射线完全衰减的半距离约为1.5厘米。例如,通过使用15cm的不锈钢,来自下气体体积中的液体的剂量将衰减1000倍。

[0046] -潜在的化学计量气体将积聚在下气体体积中,并且它们通过在辐射屏蔽体中钻出的小钻孔去除。至关重要的是,至少有两个这样的钻孔,并且钻孔的个数由气体去除需要决定。此外,钻孔以一定角度钻入,使得屏蔽体起作用并且孔的入口/出口防止从源体积直

接流动。

[0047] -在辐射屏蔽体上方有出口气体室(即过滤器余量区域)。自下气体体积开始的钻孔在此终止。气体室的高度较小,且仅用作混合区。

[0048] -几个过滤器附接到出口气体室的顶部。过滤器的个数由气体去除速率要求决定。

[0049] (a) 屏蔽体中的孔数, (b) 屏蔽体中的孔直径, (c) 屏蔽体的厚度, (d) 过滤器的个数和 (e) 过滤器性能规范的组合对于系统的可接受性能至关重要。具体地, 已知过滤器的性能取决于它的实际应用, 且它与制造商的规格给出的不一样。

[0050] 性能模型。源气体是化学计量的最差情况速率的氢气加上氧气, 但模型可以改变比例。该模型的关键是表示过量的氧气, 因此被跟踪的变量是空气中超过正常比例的氧气的摩尔分数。该模型将向上和向下流动的气体的密度视为过量氢气和氧气的组合。该模型被扩展为包括两种气体种类的连续性。过滤器实验和制造商的规格提供了重要输入, 即从过滤器中去除氢气的速率, 其是整个过滤器中氢摩尔分数差异的函数。至关重要的是, 氧气的相同值是未知的。在没有数据的情况下, 可以假定, 氧气去除与氢气去除基于空气中它们各自的二元扩散系数之比成比例。

[0051] 该模型的关键假设是:

[0052] -每个钻孔中的流动是单向的, 因此钻孔中密度驱动的逆流可以忽略不计,

[0053] -在下气体体积和出口气体室中假设氢气和过量氧气浓度的单一混合值,

[0054] -每种气体的过滤器性能可以用恒定的过滤器系数表示, 该系数与过滤器下方的气体浓度差异和总气体流量无关, 以及

[0055] -可以使用整个钻孔长度的完全展开层流摩擦系数来充分评估摩擦且可以通过参考常数来量化形状损失。为简单起见, 假设形状损失在钻孔之间均分。

[0056] 气体密度 ρ 由氢气“x”和过量氧气“y”的摩尔分数定义:

$$[0057] \quad \rho = \rho_a \frac{\omega}{\omega_a}$$

$$[0058] \quad \omega = \omega_a (1-x-y) + \omega_{H_2}x + \omega_{O_2}y$$

[0059] 其中 ω 是分子量, 而下标“a”是指空气, 并且下标H2和O2分别是指氢气和氧气。

[0060] 由浮力引起的钻孔流动的驱动压力为:

$$[0061] \quad \Delta P = \rho_a g H [\beta_{H_2} (x_1 - x_f) + \beta_{O_2} (y_1 - y_f)]$$

$$[0062] \quad \beta_{H_2} = \frac{\omega_a - \omega_{H_2}}{\omega_a} ; \quad \beta_{O_2} = \frac{\omega_a - \omega_{O_2}}{\omega_a}$$

[0063] 其中H是屏蔽体厚度, 而下标“1”代表下气体体积, 并且“f”代表过滤器气体室。摩擦和形状损失压降为:

$$[0064] \quad \Delta P = \left(\frac{1}{2} \rho_l u_l^2 \right) \left(\frac{K_{TOT}}{2} + \frac{64}{Re(u_l)} \frac{L}{d} \right) + \left(\frac{1}{2} \rho_f u_f^2 \right) \left(\frac{K_{TOT}}{2} + \frac{64}{Re(u_f)} \frac{L}{d} \right)$$

[0065] 其中L是钻孔长度, 而d是钻孔直径, 并且 K_{TOT} 是形状损失。第一项代表从下气体体积向上流至过滤器室, 而第二项代表向下回流。两个压降当然是相等的, 并且方程的无量纲版本是:

$$\beta_{H_2}(x_1 - x_f) + \beta_{O_2}(y_1 - y_f) =$$

$$[0066] \quad \left(\frac{\rho_1 u_1^2}{2\rho_a g H} \right) \left(\frac{K_{TOT}}{2} + \frac{64}{Re(u_1)} \frac{L}{d} \right) + \left(\frac{\rho_f u_f^2}{2\rho_a g H} \right) \left(\frac{K_{TOT}}{2} + \frac{64}{Re(u_f)} \frac{L}{d} \right)$$

[0067] 平衡中总气流的连续性是：

$$[0068] \quad Q_1 - Q_f = Q_{H_2} + Q_{O_2}$$

[0069] 其中 Q_1 是从下气体体积向上的体积流量， Q_f 是回流的体积流量，而 Q_{H_2} 和 Q_{O_2} 是氢气和氧气的气体源速率。压降方程中使用的速度从体积流量项中找到：

$$[0070] \quad u_1 = \frac{Q_1}{N_1 \left(\frac{\pi}{4} \right) d^2} ; \quad u_f = \frac{Q_f}{N_f \left(\frac{\pi}{4} \right) d^2}$$

[0071] 其中 N_1 个钻孔携带向上流动和 N_f 个钻孔携带向下流动。

[0072] 氢气和过量氧气的连续性由下式给出：

$$[0073] \quad Q_{H_2} = Q_1 x_1 - Q_f x_f$$

$$[0074] \quad Q_{O_2} = Q_1 y_1 - Q_f y_f$$

[0075] 最后，由过滤器性能规范的定义得出：

$$[0076] \quad Q_{H_2} = N_f K_{H_2} x_f ; Q_{O_2} = N_f K_{O_2} y_f$$

[0077] 其中过滤器的个数是 N_f ，并且过滤器性能常数的单位是每摩尔分数的体积流量。

[0078] 给定气体源速率 Q_{H_2} 和 Q_{O_2} ，即直接定义过滤器室中的摩尔分数 x_f 和 y_f 。三个连续性方程加上压降方程提供了四个方程来找到向上和向下体积流量 Q_1 和 Q_f 和下气体体积气体浓度 x_1 和 y_1 的值。

[0079] 预测：成功设计的示范。考虑需要去除源气体的客户应用，该源气体以高达约1.0L/hr的氢气的速率供应且具有以化学计量比例供应的氧气（因此高达约0.50L/hr的氧气）。设计的目标是将源气体区域的氢气浓度保持在约4%以下，这是空气中氢气的可燃性下限（LFL）。这也是含过量氧气的空气中氢气的LFL。

[0080] 该模型已应用以产生以下成功的设计值：

[0081] -屏蔽体厚度15cm

[0082] -直径为20mm的四个钻孔

[0083] -三个过滤器，氢气系数15.9L/hr，氧气系数3.96L/hr。氢气性能值基于已经测试过的过滤器。氧气性能值保守地假设为约氢气值的1/4，对应于空气中它们各自的二元扩散系数之比。

[0084] 性能结果如图3所示。图中“上”是指气体在钻孔内从气体源区域向上流到过滤器余量区域，而“下”是指向下回流。

[0085] 在模拟的参数下，该设计似乎可以处理略高于约1.0L/hr的氢气（具有化学计量的氧气）并将下气体体积中的氢气摩尔分数保持在低于4%（可燃性下限）。这表示能够通过钻孔向上扩散的氢气的摩尔分数。过滤器室中的氢气摩尔分数（即能够向下扩散的氢气）略小于下气体体积中的值的一半。至关重要的是，应注意源气体摩尔比约为2:1（氢气:氧气），而气体源区域摩尔比约为5:4（氢气:氧气）。由于氧气在源区域积聚，并且氧气比空气重，因此该设计是否会起作用并不是很明显，但该模型证明该设计将起作用。

[0086] 计算假设一个钻孔携带向上流动和三个钻孔携带向下流动,因为与具有相同个数的向上和向下钻孔的结果相比,这产生略高的氢摩尔分数。敏感性分析表明,钻孔直径不应减小到约15毫米以下,因此20毫米的值是一个很好的选择,以允许任何可能的闭塞。结果对屏蔽体厚度不敏感。

[0087] 用于氧气去除的过滤器系数的值悲观地被假设为氢系数的值的大约1/4,因为这是空气中两种气体的二元扩散系数之比。然而,众所周知,质量转移应支配实际的气体去除性能,使得去除过量氧气的实际速率应更大。

[0088] 如图4所示,氧气去除系数的变化不会显著地影响氢气去除性能。可以观察到,约25%、约50%和约90%的氧气相对于氢气的去除系数在图4中在氢气源产生速率的整个范围内全部对齐。当然,如图5所示,下气体体积中的过量氧气中存在变化。如图5所示,当相对于氢气的相对氧气去除系数从约25%增加到约90%时,再次跨越氢气源生产速率的值的整个范围,下体积过量氧气浓度的百分比降低。

[0089] 虽然已经详细描述了本发明的特定实施例,但是本领域技术人员应理解,在不偏离所公开的构思的范围的情况下,可以根据本公开的总体教导来研发对那些细节的各种修改和替代,并且一个或多个示例性实施例中选定的元件可以与其他实施例的一个或多个元件组合。因此,所公开的特定实施例仅是说明性的,而不是限制本发明的范围,本发明的范围将被赋予所附权利要求及其任何和所有等同物的全部范围。

[0090] 本文描述的主题的各个方面在以下编号的实例中阐述:

[0091] 实例1.一种用于排出由放射性材料产生的气体的被动排气装置,所述排气装置包括:

[0092] 源气体区域,其构造成接收由所述放射性材料产生的气体;

[0093] 过滤器余量区域,其设置在所述源气体区域上方并且除多个钻孔之外均与所述源气体区域分离,所述多个钻孔各自在所述源气体区域和所述过滤器余量区域之间延伸并且流体联接所述源气体区域和所述过滤器余量区域;和

[0094] 多个过滤器,其设置为与所述过滤器余量区域接触,其中每个所述过滤器都构造成供气体自所述过滤器余量区域通过该过滤器与周围环境进行交换。

[0095] 实例2.如实例1所述的被动排气装置,其中所述多个钻孔包括至少三个钻孔。

[0096] 实例3.如实例1至2中任一个或多个所述的被动排气装置,其中所述源气体区域构造成容纳所述放射性材料。

[0097] 实例4.如实例1至3中任一个或多个所述的被动排气装置,其中所述源气体区域构造成接收由包含在与所述源气体区域分离的源气体位置中的所述放射性材料产生的气体。

[0098] 实例5.如实例4所述的被动通风装置,进一步包括排气管,所述排气管构造成流体联接所述源气体区域和所述源气体位置。

[0099] 实例6.如实例5所述的被动排气装置,其中所述源气体区域部分由围绕所述排气管通向所述源气体区域的开口的圆锥形区域限定。

[0100] 实例7.一种用于储放放射性材料的安全壳(containment vessel),所述安全壳包括:

[0101] 本体,在其中限定构造成容纳所述放射性材料的源气体区域;

[0102] 过滤器余量区域,其在所述本体中限定于所述源气体区域上方并且除限定于所述

本体中的多个钻孔之外均与所述源气体区域分离,所述多个钻孔各自在所述源气体区域和所述过滤器余量区域之间延伸并且流体联接所述源气体区域和所述过滤器余量区域;和

[0103] 多个过滤器,其设置为与所述过滤器余量区域接触,其中每个所述过滤器都构造成供气体自所述过滤器余量区域通过该过滤器与周围环境进行交换。

[0104] 实例8.如实例7所述的安全壳,其中所述多个钻孔包括至少三个钻孔。

[0105] 实例9.如实例6所述的安全壳,其中所述本体包括联接至所述本体的可移除盖,并且其中,所述过滤器余量区域和所述多个钻孔限定于所述盖中。

[0106] 实施例10.一种用于储存放射性材料的安全壳,所述安全壳包括:

[0107] 本体,在其中限定构造成容纳所述放射性材料的源气体区域;

[0108] 第一过滤器余量区域,其在所述本体中限定于所述源气体区域上方并且除限定于所述本体中的第一多个钻孔之外均与所述源气体区域分离,所述第一多个钻孔各自在所述源气体区域和所述第一过滤器余量区域之间延伸并且流体联接所述源气体区域和所述第一过滤器余量区域;

[0109] 多个第一过滤器,其设置为与所述第一过滤器余量区域接触,其中每个所述第一过滤器都构造成供气体自所述第一过滤器余量区域通过该第一过滤器与周围环境进行交换;

[0110] 第二过滤器余量区域,其独立于所述第一过滤器余量区域,所述第二过滤器余量区域在所述本体中限定于所述源气体区域上方并且除限定于所述本体中的第二多个钻孔之外均与所述源气体区域分离,所述第二多个钻孔各自在所述源气体区域和所述第二过滤器余量区域之间延伸并且流体联接所述源气体区域和所述第二过滤器余量区域;和

[0111] 多个第二过滤器,其设置为与所述第二过滤器余量区域接触,其中每个所述第二过滤器都构造成供气体自所述第二过滤器余量区域通过该第二过滤器与周围环境进行交换。

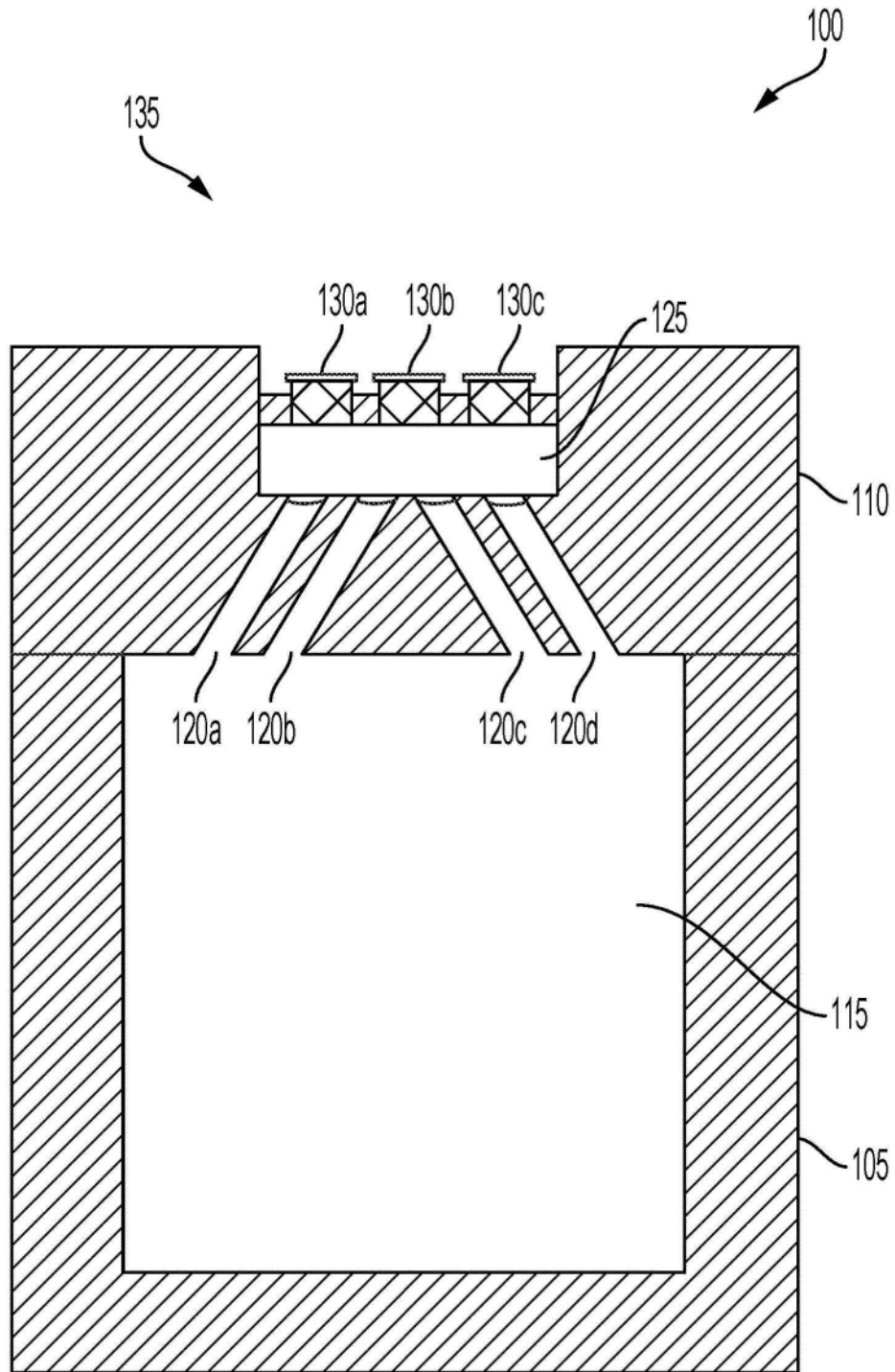


图1

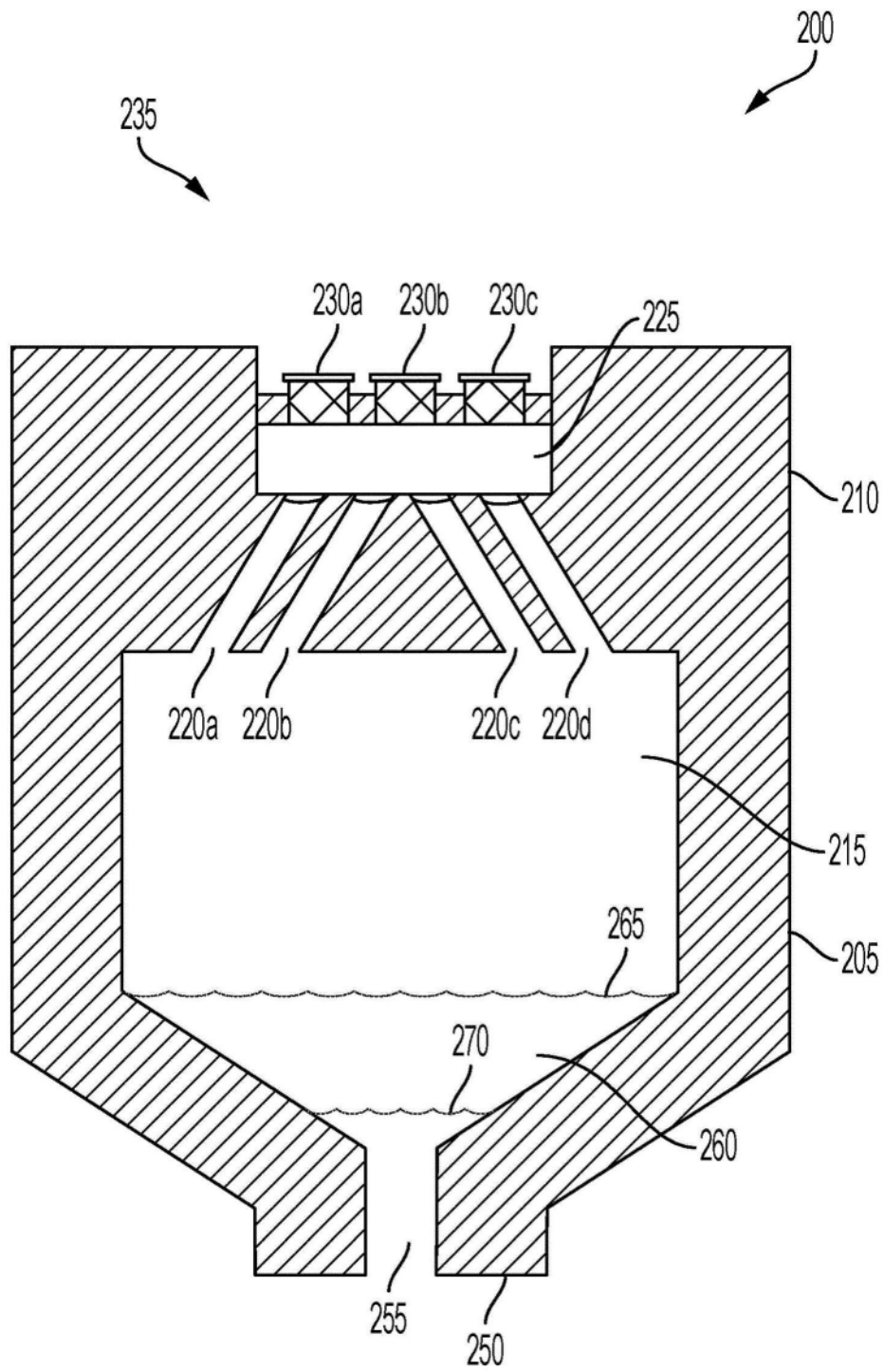


图2

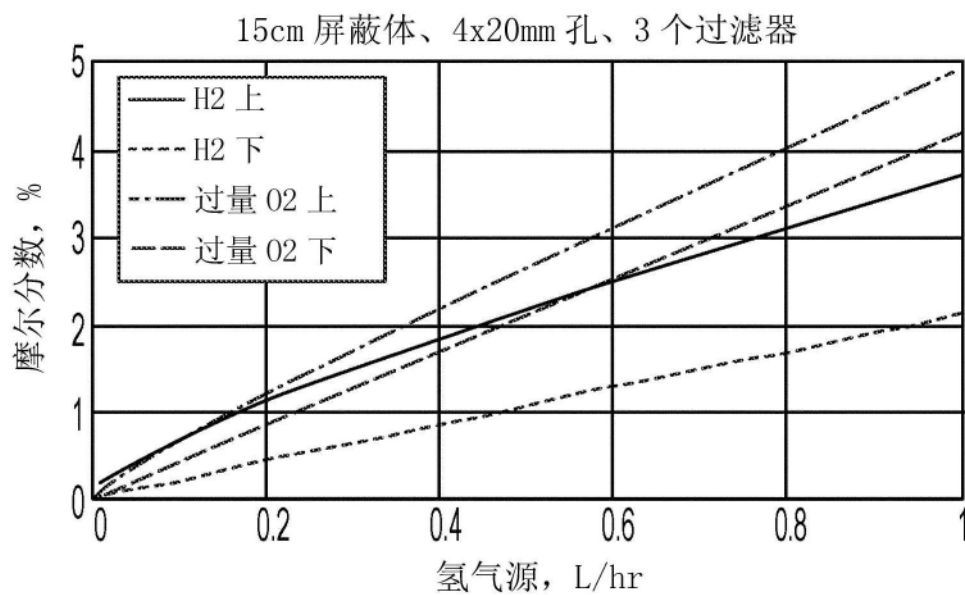


图3

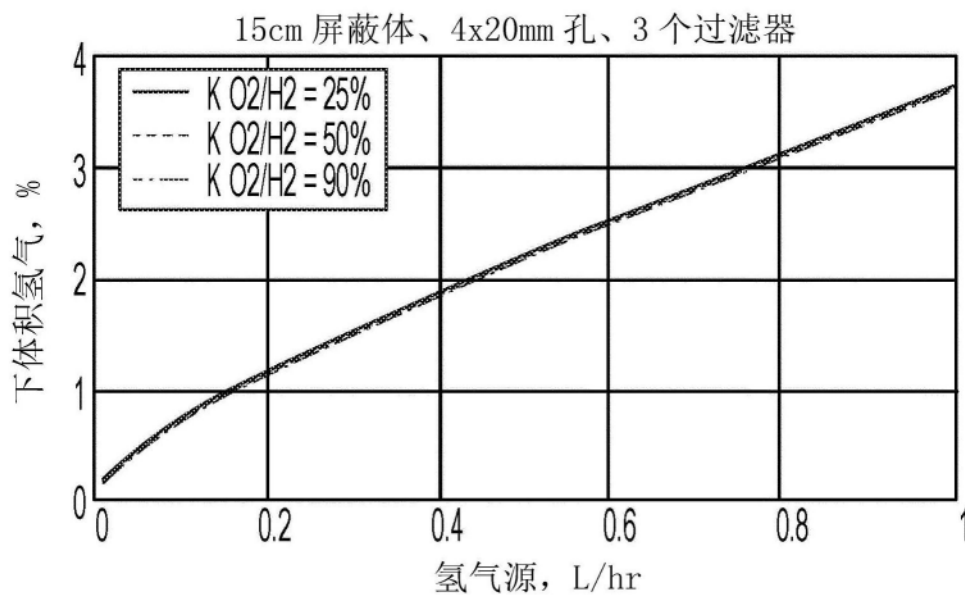


图4

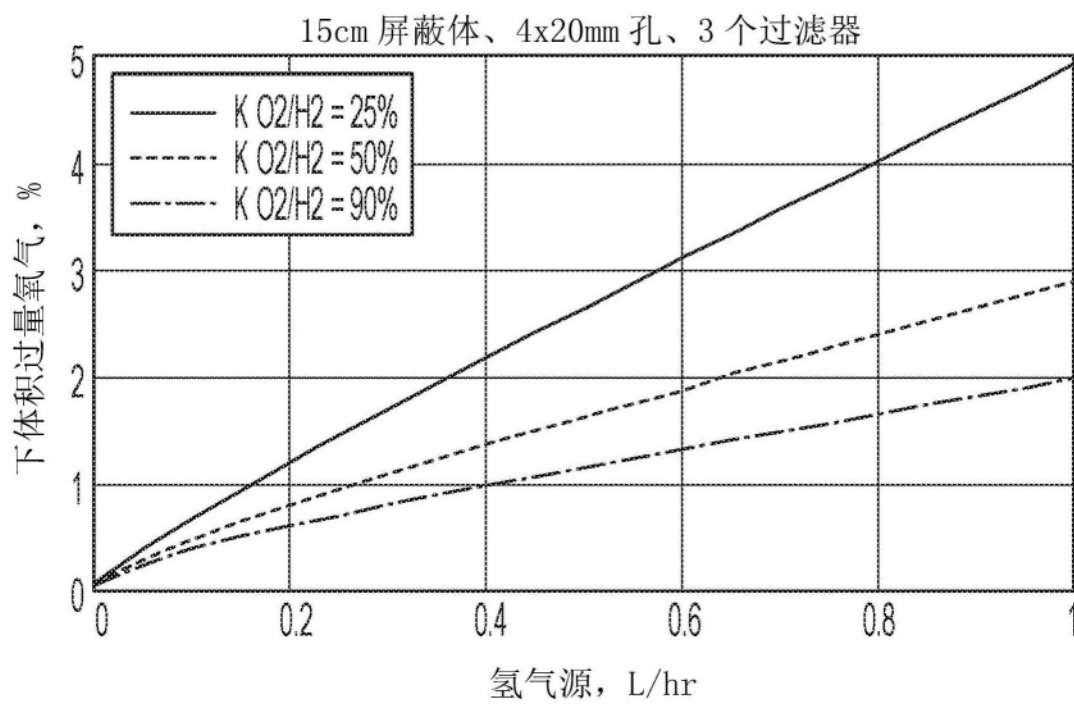


图5