

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G21C 1/32

G21C 15/243 G21C 15/26



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 97180981.X

[45] 授权公告日 2004 年 8 月 11 日

[11] 授权公告号 CN 1161792C

[22] 申请日 1997. 12. 23 [21] 申请号 97180981.X

[30] 优先权

[32] 1996. 12. 24 [33] IT [31] TO96A001081

[86] 国际申请 PCT/IT1997/000315 1997. 12. 23

[87] 国际公布 WO1998/028754 英 1998. 7. 2

[85] 进入国家阶段日期 1999. 6. 24

[71] 专利权人 安萨尔多能源公开有限公司

地址 意大利热那亚

[72] 发明人 卢恰诺·齐诺蒂

审查员 许国宽

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责
任公司

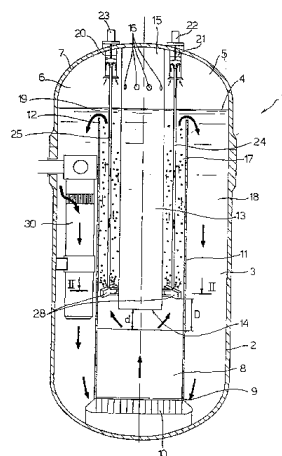
代理人 顾红霞 朱登河

权利要求书 4 页 说明书 12 页 附图 4 页

[54] 发明名称 改进的冷却剂自然循环的核反应堆

[57] 摘要

其内有诸如高压水、液态金属或熔融金属盐等冷却剂(3)的反应堆(1)可自然循环,包括一内设堆芯(8)的容器(2),至少一个热交换器(30),以及用于液压式连通堆芯(8)和交换器(30)的装置。辅助循环装置可增加冷却剂的循环速度,从而由至少一个鼓风机(20、21)及其各自的散布系统(24, 25, 28)把容器(2)顶部气体(5)的气体流束射入位于堆芯(8)之上且终止于气体(5)层之下的管道(11)。管道(11)可以是形成堆芯(8)的容器(9)的延伸部的圆柱形管道,也可以由另一内圆柱形装置(13)内部限定,管道(11)底部与堆芯(8)有一预定距离设置,以使冷却剂(3)循环,管道(11)顶部延伸到冷却剂(3)的自由面(4)之下,可防止冷却剂在管道(11)内向下再循环。



ISSN 1008-4274

1. 一种改进的冷却剂自然循环的核反应堆（1、1a），包括一容器（2），所述容器（2）底部内设一反应堆堆芯（8）；至少一个第一热交换器（30）设置在容器（2）的内部；以及在所述堆芯（8）和所述至少一个第一热交换器（30）之间循环所述冷却剂（3）的液压循环装置（11、18）；其特征在于还包括把一第一气体（5）流束均匀输送到所述冷却剂（3）的辅助循环装置；所述辅助循环装置把第一气体流束输送到位于所述堆芯（8）之上并与堆芯有一预定距离（D）的所述液压循环装置（11、18），从而提高所述液压循环装置（11、18）之内所述冷却剂（3）的循环速度。

2. 如权利要求 1 所述的核反应堆，其特征在于所述液压循环装置（11、18）的设置应能把所述气体（5）从在所述容器（2）顶部的所述冷却剂（3）分离出来。

3. 如权利要求 2 所述的核反应堆，其特征在于所述容器（2）盛有预定量的所述冷却剂（3）和所述气体（5）；所述冷却剂（3）限定了一液槽，该液槽由有一预定液面的自由面（4）在其顶部限定；所述气体（5）充满所述容器（2）的腔室（6），所述腔室（6）在所述自由面（4）和所述容器（2）的顶部盖体（7）之间延伸。

4. 如权利要求 3 所述的核反应堆，其特征在于所述液压循环装置包括至少一个与所述容器（2）同轴的第一立式管道（11）；所述第一立式管道（11）与所述容器（2）一起限定一第一环形通道（18）。

5. 如权利要求 4 所述的核反应堆，其特征在于所述堆芯（8）的外部由一容器（9）限定，与所述容器（2）同轴的所述第一立式管道（11）设于所述堆芯（8）之上，组成所述容器（9）的延伸部，并终止于冷却剂（3）的所述自由面（4）之下。

5 6. 如权利要求 5 所述的核反应堆,其特征在于所述液压循环装置还包括至少一个与所述第一立式管道(11)同轴的内装置(13);所述
5 所述第一立式管道(11)和所述内装置(13)限定一相对于所述第一环
形通道(18)径向向内的第二环形通道(17)。

10 7. 如权利要求 6 所述的核反应堆,其特征在于与所述第一立式管
道(11)同轴的内装置(13)从与所述堆芯(8)有一预定距离(d)
处垂直延伸,并突出到冷却剂(3)的所述自由面(4)进入所述腔室
10 (6);所述内装置(13)的内部与所述腔室(6)液压连通;所述内
装置(13)固定到容器(2)的所述盖体(7)上,并具有数个制作在
位于所述自由面(4)之上的内装置侧面中的第一贯通孔(16)。

15 8. 如权利要求 7 所述的核反应堆,其特征在于所述第一立式管
道(11)以一预定高度终止于冷却剂(3)的自由面(4)之下,一环
形通道(19)由所述第一立式管道(11)的顶部边缘(12)与所述冷
却剂(3)的自由面(4)之间的预定距离形成,用于形成所述第一环
形通道(18)与所述第二环形通道(17)之间的流体连通;所述第一
20 环形通道(18)的流动截面大于所述第二环形通道(17)的流动截面;
从而在所述环形通道(19)处,降低所述冷却剂的循环速度至一预定
值,并允许所述气体(5)从所述冷却剂(3)分离出来。

25 9. 如权利要求 8 所述的核反应堆,其特征在于所述第一立式管道
(11)侧壁上部具有数个第二贯通孔(39),即便在冷却剂(3)的所
述自由面(4)的液面下降的情况下,也可用于确保所述第一立式管道
(11)和所述第一环形通道(18)之间的液压式连通。

30 10. 如权利要求 6 所述的核反应堆,其特征在于所述辅助循环装
置包括至少一个鼓风机(20、21)和至少一个与其对应 的分布系统
(24、25、28),所述分布系统与所述鼓风机相连,用于散布气体(5)。

11. 如权利要求 10 所述的核反应堆，其特征在于所述散布气体
(5) 的分布系统包括用于每一鼓风机 (20、21) 的至少一个扩散器
(28)，所述扩散器设于所述第一立式管道 (11) 内部，并位于所述
5 内装置 (13) 底部之上；而所述分布系统 (24、25) 用于所述至少一个
鼓风机 (20、21) 和所述扩散器 (28) 之间的液压连通。

12. 如权利要求 11 所述的核反应堆，其特征在于至少一个扩散器
(28) 包括数个分布在所述第二环形通道 (17) 之内一圆周上的弯头
10 (29)。

13. 如权利要求 1 所述的核反应堆，其特征在于所述冷却剂 (3)
是加压水。

14. 如权利要求 1 所述的核反应堆，其特征在于所述冷却剂 (3)
15 是一种液态金属。

15. 如权利要求 14 所述的核反应堆，其特征在于包括一邻近所述
容器 (2) 侧壁上部的内壁 (44)；所述内壁 (44) 延伸到冷却剂 (3)
20 所述自由面 (4) 之上，并与容器 (2) 的所述侧壁一起限定一环形空
隙 (45)；所述环形空隙 (45) 在其顶部与所述腔室 (6) 液压式连通，
在其底部与所述冷却剂 (3) 液压式连通。

16. 如权利要求 15 所述的核反应堆，其特征在于还包括至少一个
25 邻近所述容器 (2) 所述侧壁的管道 (50)，所述管道 (50) 从所述容
器 (2) 底部且低于所述堆芯 (8) 处延伸到冷却剂 (3) 的所述自由面
(4) 附近；以及用于以一预定高度把一第二气体束射入所述管道 (50)
内的装置。

17. 如权利要求 10-16 之一所述的核反应堆，其特征在于所述至
30

少一个鼓风机（20、21）设在位于所述容器（2）的内部，浸入了位于冷却剂（3）的所述自由面（4）之上的所述容器（6）之内的气体（5），并由设于所述容器（2）之外的马达（22、23）驱动。

5 18. 如权利要求 10—16 之一所述的核反应堆，其特征在于所述至少一个鼓风机（61）设于所述容器（2）之外；而所述辅助循环装置包括至少一个在所述腔室（6）和所述鼓风机（61）之间，以及所述鼓风机（61）及其各自的所述分布系统之间的液压连通回路（60）。

10 19. 如权利要求 18 所述的核反应堆，其特征在于所述液压连通回路（60）包括至少一个热交换器（62）和/或至少一个蒸汽冷凝器（63），用于排出所述反应堆产生的部分热量。

15 20. 如权利要求 18 所述的核反应堆，其特征在于所述用于连通回路（60）包括至少一个与所述鼓风机（61）串联、并位于其上游的第二热交换器（64）。

20 21. 一种改进的核反应堆（1、1a）内部冷却剂自然循环的方法，该核反应堆（1、1a）包括一容器（2），所述容器底部内设一核反应堆堆芯（8）；设置在容器（2）内部的至少一个热交换器（30）；以及用于在所述堆芯（8）和所述至少一个热交换器（30）之间循环所述冷却剂（3）的液压循环装置（11、18）；其特征在于把气体（5）的气体束均匀送入所述冷却剂（3）；所述气体（5）的流束被输送到所述液压循环装置（11、18）内部的所述冷却剂（3）的一给定部分，所述液压循环装置在所述堆芯（8）之上并与其有一预定距离（D），从而可增加所述液压循环装置（11、18）之内所述冷却剂（3）的循环速度。

25

改进的冷却剂自然循环的核反应堆

5 技术领域

本发明涉及一种改进的冷却剂自然循环的核反应堆。

背景技术

10 用于产生电能的核反应堆的结构有多种形式，就冷却剂循环方式而言，大致可分为冷却剂强制循环和自然循环的反应堆。

大家知道，强制循环的反应堆其冷却剂，一般是水，穿过其发生核反应的堆芯进行循环，从该堆芯带走热量，通过管路流到反应堆容器的外部，把热量释放到专用的热交换器内，然后再用水泵抽回堆芯。

15

公知的所谓“集中式”反应堆没有外部管路，热交换器设在内设堆芯的容器内。但是，这种类型的反应堆仍包括循环泵，用于以几个巴（bar）的压力向堆芯和交换器输送冷却剂。

20

冷却剂强制循环反应堆的一个主要缺陷是需要容器内设置复杂的冷却管路，这样设置主要是为了在交换器的输出口向泵输送冷却剂，然后再输送到堆芯。另外的不足之处是，内设这样复杂的冷却管路需要大直径的反应堆，因此需通过冷却剂高速循环来减小反应堆的体积。

25

为简化冷却管路，公知的方案是，在核反应堆内部仅仅依靠冷却剂自然循环来实现。

30

在一公知的用水作冷却剂方案中，反应堆的堆芯设在加压容器的底部；从堆芯流出的热水通过一上导管（通常所说的立管）流到反应

堆的顶部，该上导管与反应堆容器同轴，其开口端在冷却水自由面之下的上端。管道内设各种装置，通过这些装置控制核反应（比如控制杆或者质子束）和部分堆芯仪器。水从容器顶部穿过设于上导管和容器壁之间的环形区内的热交换器向下部流到堆芯的输入口。

5

另一种众所周知的用液态金属，例如铅，作冷却剂的方案中，冷却剂充满部分容器，容器顶部充满一种惰性气体。在此情况下，液态金属也会因为堆芯上部的热冷却剂柱和堆芯外部环形区域的冷却剂柱之间的重量差自然循环，并受一与反应堆容器同轴的圆柱形管道限制。该圆柱形管道在设于惰性气体层下部与反应堆顶部断开，促进液态金属循环。

10

由液态金属核反应堆造成的技术问题也有目共睹：首先，为防止容器壁过热，必须保持压力容器壁相当低的温度，接近从热交换器来的液态金属的温度；再者，为防止液态金属固化，还必须保证有一定量的液态金属在反应堆的底部循环。

15

鉴于以上原因，已知的方案中，在热液态金属流入交换器的管路段和反应堆容器壁之间插入分立机构。

20

在强制循环状态下，已知的方案是，反应堆底部与以一较高的压力进入堆芯的液态金属搭接，使液态金属溢出，靠近反应堆容器的侧壁，反应堆的底部高于液态金属池的正常液面，以防止损失的热量加热滞留在该区域的液态金属。然而，这种方案有可能导致其它缺陷，例如，液体感应振动。

25

另一方面，上述方案对于自然循环反应堆甚至不能适用。

最后，上述所有自然循环的反应堆，驱动冷却剂循环的可利用的驱动力至多只有几万帕，使冷却剂循环的速度很低，因此需要大截面

30

的管路。

于是，尽管在自然循环系统的容器内部设计了非常简单的结构，由于需要大截面的管路，容器体积仍然很大，而且，为促进自然循环，热交换器和堆芯液面之间要有落差。

发明内容

本发明的目的之一就是提供一种核反应堆设计方案，克服特别涉及已知反应堆的上述缺陷。更具体地，本发明的目的之一就是提供冷却剂自然循环的核反应堆，该反应堆的设计相当简单，同时还能得到相当高的冷却剂循环速度，从而减小容器体积，减少内部装置。

根据本发明，提供一种改进的冷却剂自然循环的核反应堆，包括一容器，所述容器底部内设一反应堆堆芯；至少一个第一热交换器设置在容器的内部；以及在所述堆芯和所述至少一个第一热交换器之间循环所述冷却剂的液压循环装置；其特征在于还包括把一第一气体流束均匀输送到所述冷却剂的辅助循环装置；所述辅助循环装置把第一气体流束输送到位于所述堆芯之上并与堆芯有一预定距离的所述液压循环装置，从而提高所述液压循环装置之内所述冷却剂的循环速度。

20

本发明还提供一种改进的核反应堆内部冷却剂自然循环的方法，该核反应堆包括一容器，所述容器底部内设一核反应堆堆芯；设置在容器内部的至少一个热交换器；以及用于在所述堆芯和所述至少一个热交换器之间循环所述冷却剂的液压循环装置；其特征在于把气体的气体束均匀送入所述冷却剂；所述气体的流束被输送到所述液压循环装置内部的所述冷却剂的一给定部分，所述液压循环装置在所述堆芯之上并与其有一预定距离，从而可增加所述液压循环装置之内所述冷却剂的循环速度。

25

在保持传统的冷却剂自然循环的反应堆简单结构形式的同时，按

30

照本发明所述的反应堆还具有由气体流束进一步减重的“热”柱，从而能加快冷却剂的循环，减小所有内部装置的体积，换句话说，减小了反应堆本身的体积。

5 附图说明

参照附图，通过实例可对本发明进行描述，但本发明的实施例个数并不限于此。

10 图 1 表示按照本发明所述用水作冷却剂的核反应堆的纵向剖视示意图；

图 2 表示沿图 1 中 II—II线的截面图；

图 3 表示按照本发明所述用液态金属作冷却剂的核反应堆的一种变化结构的纵向剖视示意图；

15 图 4 表示图 3 所示反应堆的放大示意图，但并不是成比例放大的详细视图；

图 5 表示图 1 所示反应堆的一种结构变化示意图；

图 6 表示图 2 所示反应堆的一种结构变化示意图。

具体实施方式

20 参照图 1 和图 2，该冷却剂自然循环的核反应堆 1 包括：一大致呈圆柱形的外壳或者称作容器 2，该容器内含一预定量的冷却剂 3（此实例中示出的是水），并在容器 2 内部有一预定液面或者称作“自由面” 4。

25 反应堆 1 还包括填充于容器 2 的腔室 6 内的一预定量的惰性气体 5，该气体充满冷却剂 3 的自由面 4 和密闭容器 2 顶部的盖体 7 之间的空间。

30 容器 2 底部内设基本公知的所谓反应堆堆芯 8，堆芯 8 的外部由一容器 9 限定。堆芯 8 由一公知的栅格 10 支撑，栅格 10 把冷却剂 3

输送到堆芯 8 内部。容器 9 顶部与一立式圆柱形管道 11 整体连接，管道 11 直径与容器 9 直径大致相同，实际上也限制了容器 9 的延伸。立式管道 11 与容器 2 同轴，并低于冷却剂 3 的液面 4 一预定高度且终止于一环形外缘 12。

5

管道 11 内设另一直径预定的圆柱形装置 13，装置 13 的设置与堆芯 8 有一预定距离，并垂直延伸到冷却剂 3 的液面 4 上部。在示出的实施例中，装置 13 与盖体 7 固定，也可固定到管道 11 的内壁上。圆柱形装置 13 的底端 14 距离堆芯 8 顶部一间距 d ，并设置在堆芯 8 上方，同时其相对端 15 高出冷却剂 3 的液面 4，装置 13 设有许多在其侧壁上形成的贯通孔 16，通过这些贯通孔与腔室 6 连通。

10

可拆除内壁装置 13，更换堆芯 8 内的燃料，还可内设核反应控制装置和部分堆芯仪器（公知的类型，图中未示出）。

15

圆柱形管道 11 和容器 2 的内壁限定一第一环形通道 18，就象后面将要解释的那样，工作时冷却剂 3 沿该管道 18 向下流动。同样，圆柱形管道 11 和同轴的圆柱形装置 13 限定一第二环形通道 17，该通道 17 相对于第一环形通道 18 径向向内，工作时冷却剂 3 沿该通道 17 向上流动。外环形通道 18 的流动截面比内环形通道 17 的流动截面大。

20

内、外环形通道 17、18 通过一环形通道 19 液压式连通，通道 19 由圆柱形管道 11 的顶部边缘 12 和冷却剂 3 的液面 4 之间的预定高度限定。

25

液面 4 之上，浸入了惰性气体 5，且有两个公知的鼓风机 20、21 固定在盖体 7 上，此两个鼓风机由设于容器 2 外部的马达 23、22 分别驱动。鼓风机 20、21 分别通过管道 25、24 连接数个扩散器 28，图 1 中示出了其中两个扩散器 28。

30

所使用的鼓风机的个数和扩散器的个数及分布情况根据需要显然不同。在图 2 特别示出的一最佳实施例中，鼓风机（且不管是多少个）为设在环形通道 17 内沿圆周分布的数个扩散器 28 供风，这些扩散器靠近圆柱形装置 13 的底端 14 且在该端部之上，与堆芯 8 端部的距离为 D，该 D 大于 d。

扩散器 28 具有多个取向合适的供气弯头 29。例如，弯头 29 可以朝上（如图 2 所示），或者提供水平的气体流束，或者设置一预定角度，比如 45° 。管道 24、25 通过密封接头与扩散器 28 连接。由于在管道 24、25 底部靠近弯头 29 的水平面密封，而且在对接面处，管道 24、25 的内外压差最小，不需要精确对接。此外，在冷却剂循环管道内，任何供气管路上都有可能发生各种泄漏。

反应堆 1 也包括至少一个设于外环形通道 18 内的公知热交换器 30，热交换器 30 可用于减少反应堆 1 内冷却剂 3 循环产生的热量。

实际应用中，鼓风机 20、21 抽出腔室 6 内的气体，并对这些气体进行压缩，以克服相当于弯头 29 水平面位置的冷却剂的静态密封力。这些气体沿管道 24、25 输送到扩散器 28，然后由弯头 29 均匀分布到沿通道 17 的整个环形延伸部位的大量冷却剂中。

由于轻于在通道 17 内碰到的冷却剂，这些气体减轻了环形通道 17 内的冷却剂柱的重量，并提高了这些冷却剂上升的速度。

由于圆柱形管道 11 的顶部环形边缘 12 和冷却剂液面 4 之间的预定高度形成的截面增加，冷却剂的速度在通道 17 的出口处有所降低，如上所述，该高度限定了一个环形通道 19，用于形成所述第一环形通道 18 与所述第二环形通道 17 之间的流体连通；所述第一环形通道 18 的流动截面大于所述第二环形通道 17 的流动截面；从而在所述环形通道 19 处，降低所述冷却剂的循环速度至一预定值，并允许所述气体

从所述冷却剂 3 分离出来。冷却剂和惰性气体沿内环形通道 17 向上流动，而只有冷却剂沿外环形通道 18 向下流动。

5 外环形通道 18 的截面大于内环形通道 17 的截面，冷却剂速度降低，然后在环形通道 19 出口处向下倒流。然而气体却继续向上漂浮，与冷却剂分离，冲入反应堆 1 顶部的腔室 6 内的气体 5。由于向下的不含气体的冷却剂柱重于向上的冷却剂柱，由此产生的牵引力改善了冷却剂的自然循环。

10 换句话说，沿环形通道 17 向上流动的气体改善了反应堆 1 内的冷却剂循环，在此回路中包括堆芯 8，上通道 17、热交换器 30 和流回堆芯 8 的通道 18。

15 在基本上保持自然循环方式的简单结构的同时，为提高原冷却剂的速度，所增加的循环装置也可以大幅度地减小反应堆容器的体积，减少一些内部元件。

20 内圆柱形装置 13 的功能是限定管道的体积，以确保冷却剂和气体的混合物以最佳方式向上流动。

实际上，相对于低速流动的冷却剂，圆柱形管道 11 的截面可以很大，而且，为了把所提供的大量气体注入管道，气体所占据的截面百分率将会很小，因为气体和冷却剂有相对向上的流动速度。

25 也就是说：

$$S_{\text{gas}} = \theta_{\text{gas}} / V_{\text{gas}} \quad S_{\text{liq}} = \theta_{\text{liq}} / V_{\text{liq}}$$

其中：

S_{liq} 为冷却剂占有截面

30 S_{gas} 为气体占有截面

θ_{liq} 为冷却剂柱的流量

θ_{gas} 为气体柱的流量

V_{liq} 为冷却剂的流速

V_{gas} 为气体的流速

5
$$V_{gas} = V_{liq} + V_R \quad \text{其中 } V_R = \text{气体和冷却剂的相对流速}$$

大体上说，在所讨论的应用中，如果保持 $\theta_{gas} < \theta_{liq}$ ， V_R 实际上可以认为是紧随 V_{liq} 变化的常数，从而有：

10
$$S_{gas}/S_{liq} = (\theta_{gas}/\theta_{liq}) \times (V_{liq}/(V_{liq} + V_R))$$

因此，对于给定的气体和冷却剂流量，相对于冷却剂所占的截面，气体所占的截面随冷却剂的流速 V_{liq} 的增加而增加，进而提高排出量。

15 但是， V_{liq} 的增加加大了空隙内冷却剂的负载损失，因此，必须通过插入内装置 13 合理优化冷却剂的截面积。

然而，也可以省略内部装置 13。事实上，在这一变化中，独立的管道 11 是以合适的尺寸制作的，可对冷却剂 3 的上导管进行限定。

20

本发明还特别适合于用液体金属作冷却剂的核反应堆。

25 参照图 3、4，图中所有与上述描述的内容相似或者相同部分都使用相同的标号体系，1a 表示按照本发明所述的整个液体金属核反应堆。

30 正如上面所述的加压水反应堆，核反应堆 1a 包括一基本上公知的在其底部内设堆芯 8 的容器 2；设于容器 2 外部的一第二容器 80 可容留所有由于容器 2 发生故障而溢出的冷却剂 3；以及一被限定在内容器 2 和外容器 80 之间的具有预定容积的空隙 81。

反应堆 1a 内含一预定量的冷却剂 3（此实例中示出的是液体金属，比如铅），该冷却剂直到液面（“自由面”）4；以及位于液态金属 3 的液面 4 之上和容器 2 顶部盖体 7 之下的腔室 6 内的一预定量的惰性气体 5。

反应堆 1a 还包括一立式圆柱形管道 11 和一内圆柱形装置 13，它们都与反应堆 1 所述的有关装置相同。

正如对反应堆 1 的描述，圆柱形管道 11 和圆柱形装置 13 同轴并限定一内环形通道 17，而容器 2 的内壁和圆柱形管道 11 限定一外环形通道 18。

内、外环形通道 17、18 经一环形通道 19 液压连通。此环形通道 19 被圆柱形管道 11 顶部边缘 12 和冷却剂 3 的液面 4 之间的一预定高度限定。数个设置在立式管道 11 侧壁上并且彼此间有一预定垂直距离的贯通孔 39 也可确保环形通道 17、18 间的液压式连通。在液面 4 发生故障时，比如由于容器 2 的故障和冷却剂 3 漏进空隙 81，贯通孔 39 可以维持反应堆 1a 内冷却剂 3 的循环，从而防止堆芯 8 过热。可根据与可能从内容器 2 漏出的冷却剂 3 的最大量相适应的空隙 81 的容积设计贯通孔 39 的分布情况。

反应堆 1a 还包括两个设在充满惰性气体 5 的腔室 6 之内的公知鼓风机 20、21。至于鼓风机及其各自的扩散器 28 的个数和分布情况，反应堆 1 有关部分描述同样用于此。反应堆 1a 还包括至少一个设于环形通道 18 之内的公知的热交换器 30。

反应堆 1a 还包括公知的上（“热”）支管 40，工作中，该支管 40 向交换器 30 输送热液态金属；以及一下（“冷”）支管 41，工作中，从交换器 30 向堆芯 8 输送冷液态金属。支管 40、41 被公知形状

的结构 42 分开，该结构具有一与容器 2 同轴的圆柱形上部 43。

与容器 2 同轴的圆柱形壁 44 距容器 2 的内侧壁一预定径向距离设置，并与容器 2 的内侧壁一起限定一组成部分冷支管 41 且内含液态金属的环形空隙 45，该液态金属为了对容器 2 起机械保护作用，必须保持非常低的温度，基本上等于换热器 30 输出的液态金属的温度。

另一方面，上支管 40 内含热液态金属，此液态金属由该支管 40 向换热器 30 输送。由于支管 40、41 中液态金属的温差，液态金属在结构 42 圆柱形部分 43 的两侧有两种不同的液面：在热支管 40 内是液面 4，而在冷支管 41 内是较低的液面 46。

如上所述，在液态金属反应堆中，需要防止容器 2 壁面过热，还要防止热支管 40 内的液态金属 3 通过导热过程加热靠近环形空隙 45 顶部的液态金属。

为解决液态金属方案中典型的技术问题，反应堆 1a 包括数个管道 50（图 3、图 4 中所示的实施例仅示出了其中一个），这些管道靠近容器 2 内壁设置，且彼此间有一预定距离。管道 50 从容器 2 底部延伸，终止于环形空隙 45 中的液态金属自由面 47 之下。

管道 50 的预定高度上部内插与其同轴的一内管道 52，该管道 52 从管道 50 顶部一直突出到充满气体 5 的腔室 6；在管道 52 顶部、冲有气体的区域设有由容器 2 的盖体 7 顶部之上的一马达 54 驱动的一鼓风机 53；而在鼓风机 53 的相对端，内管道 52 端接一带有弯头 56 的气体扩散器 55。

如图 4 箭头所指，在正常运行情况下，气体从腔室 6 被一鼓风机 53 排出，再通过内管道 52 和扩散器 55 射入管道 50，把液态金属冷却剂从容器 2 底部再循环至自由面 47，最后通过环形空隙 45 底部 48 流

-回支管 41。

5 由此，管道 50 可把反应堆 1a 底部的较冷的液态金属和其底顶部的较热的液态金属进行混合。通过鼓风机 53 从腔室 6 抽出气体束进入管道，可实现管道 50 内部的循环。

10 因此该循环不但可防止液态金属在反应堆 1a 底部固化，而且也能防止由于支管 40 内的热液态金属向外传热加热容器 2 的壁面；热液态金属的热量被从反应堆底部排出的冷液态金属流束带走，并从管道 50 流出，再通过环形空隙 45 向下流回。

在一变化中，反应堆 1a 没有结构 42，保持容器 2 壁面温度非常低的功能只有靠内壁 44 和管道 50 完成。

15 很显然，如果不考虑所使用的冷却剂类型，上述核反应堆结构可能有很多变化。

20 例如，与设于容器 2 之内并插入腔室 6 的气体 5 中相反，鼓风机（或者多个鼓风机）可以安装在反应堆外部，以便冷却循环气体，进而降低鼓风能耗，防止鼓风机在过高温下工作（特别是在使用液态金属的反应堆内），和/或回收热量。

图 5 所示为核反应堆 100 的另一可能变化，它是按照在一水冷核反应堆中用一外接鼓风机的发明设计的。

25

反应堆 100 参照了图 1 所示的结构形式，但是包括一设于容器 2 外部的液压回路 60（除内部鼓风机之外，其内部装置与图 1 中所示的相同，因而没有画出）。回路 60 大致包括一鼓风机 61，最好但不是必须的还包括一交换器 62，该交换器 62 可冷凝部分冷却剂和惰性气体的混合物，从而降低鼓风机 61 能耗，带走由反应堆产生的部分热量。

30

很显然，可以使用不同数目的外接鼓风机和/或交换器。

5 如图 6 所示，采用外接鼓风机的方案也可用于液态金属核反应堆。

10 根据容器 2 内部装置，反应堆 101 与图 3 所述的反应堆 1a 大致相同，也包括一设于容器 2 外部的液压回路 60，而且同样包括至少一个鼓风机 61。回路 60 最好还包括两套在鼓风机上游的交换器 63、64。为降低鼓风机能耗，气体在进入鼓风机 61 之前，顺序穿过交换器 63、64，使其温度冷却至几乎和环境温度相同。在交换器 63 内，冷流体的流量由来自于鼓风机 61 的气体流量确定。

15 在涉及液态金属式反应堆的方案中，反应堆内的热交换器的功能实际上相当于蒸汽发生器，辅助的外部冷却回路，在内部热交换器管道发生故障的紧急情况下，通过冷凝排出的蒸汽，也可起到安全作用。

很显然，不超出由所附的权利要求书限定的保护范围，本发明所述的核反应堆可进一步改进的。

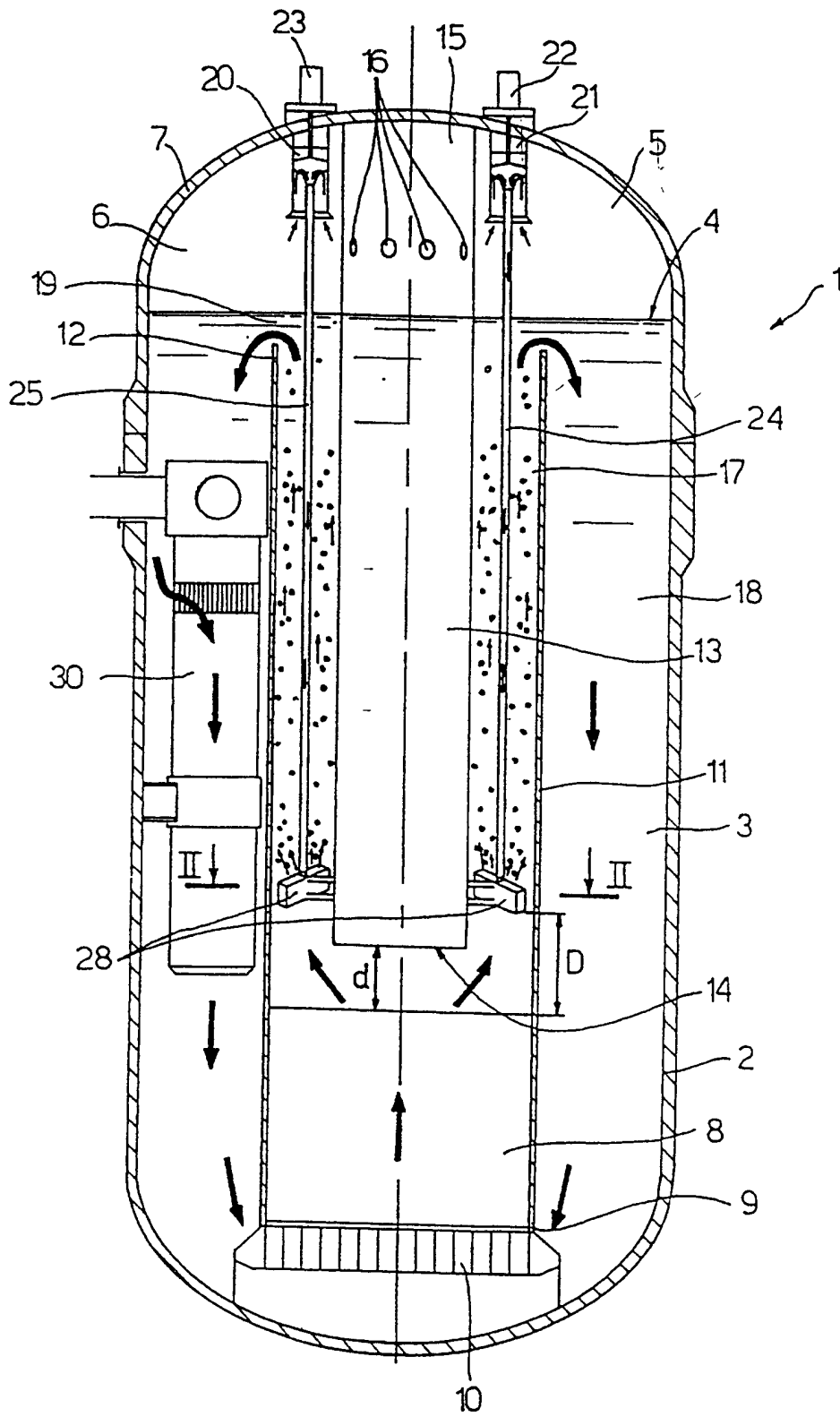


图 1

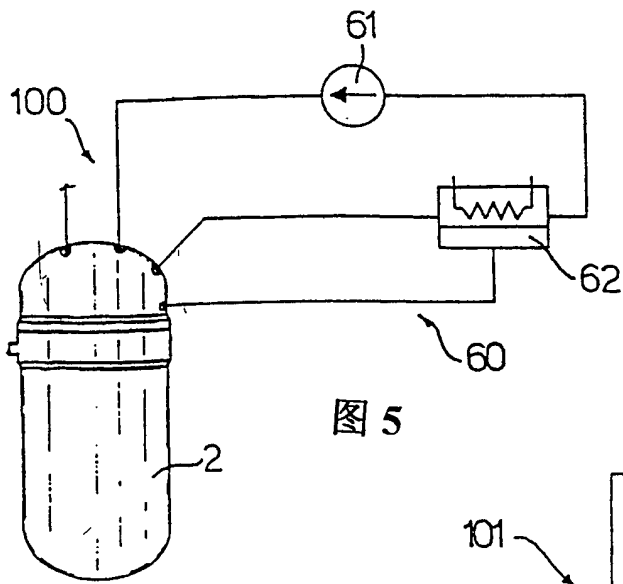


图 5

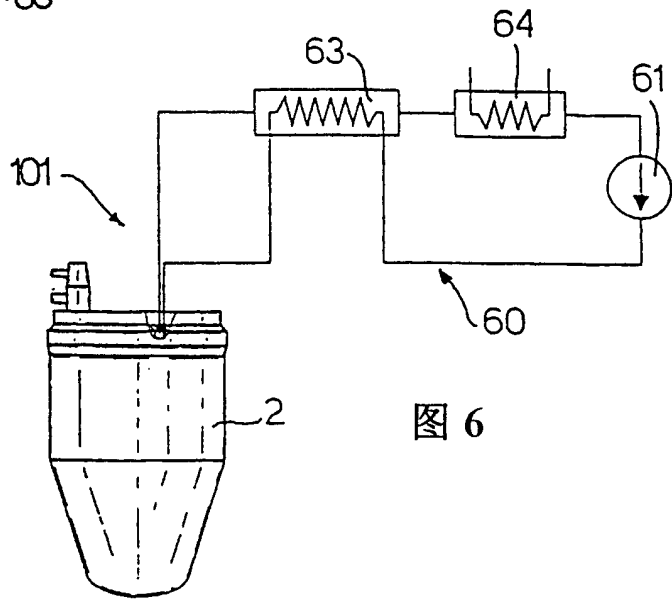


图 6

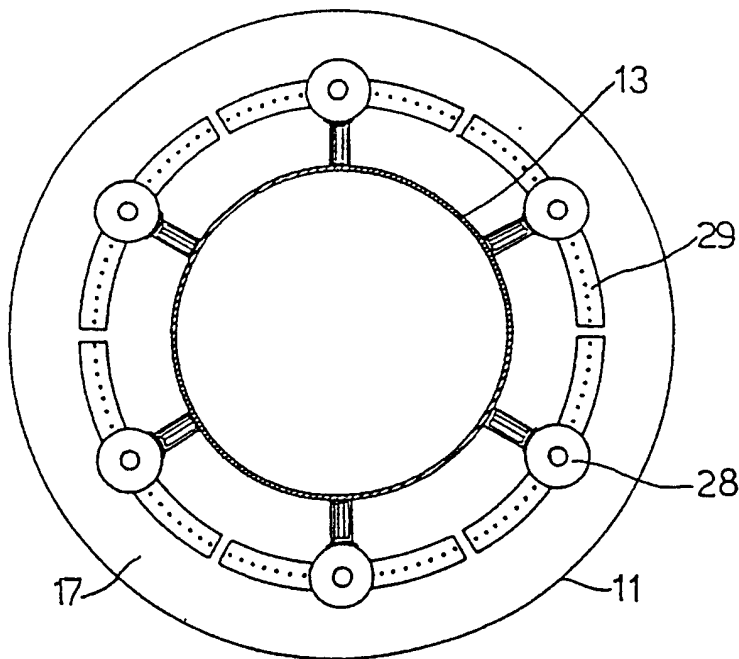


图 2

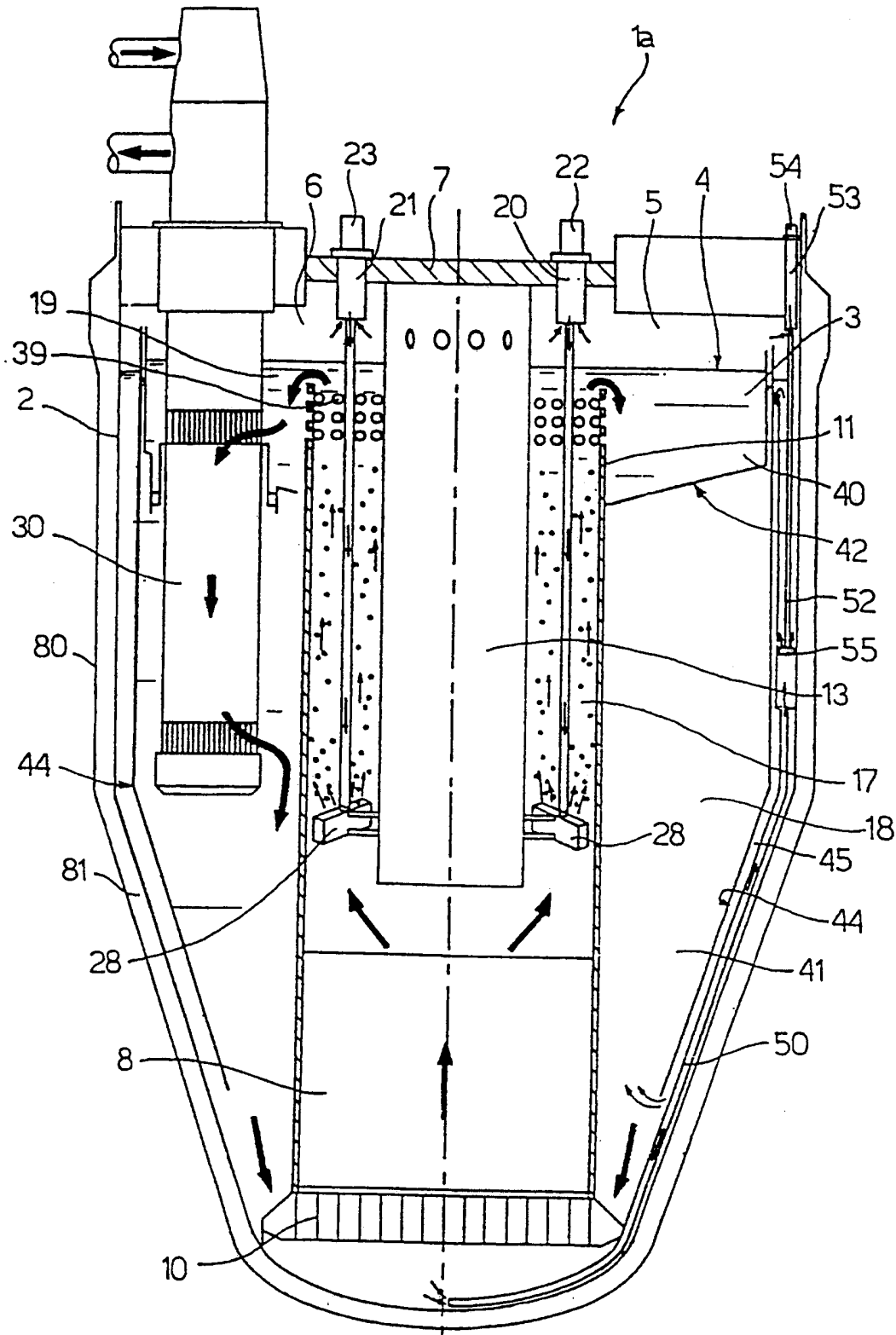


图 3

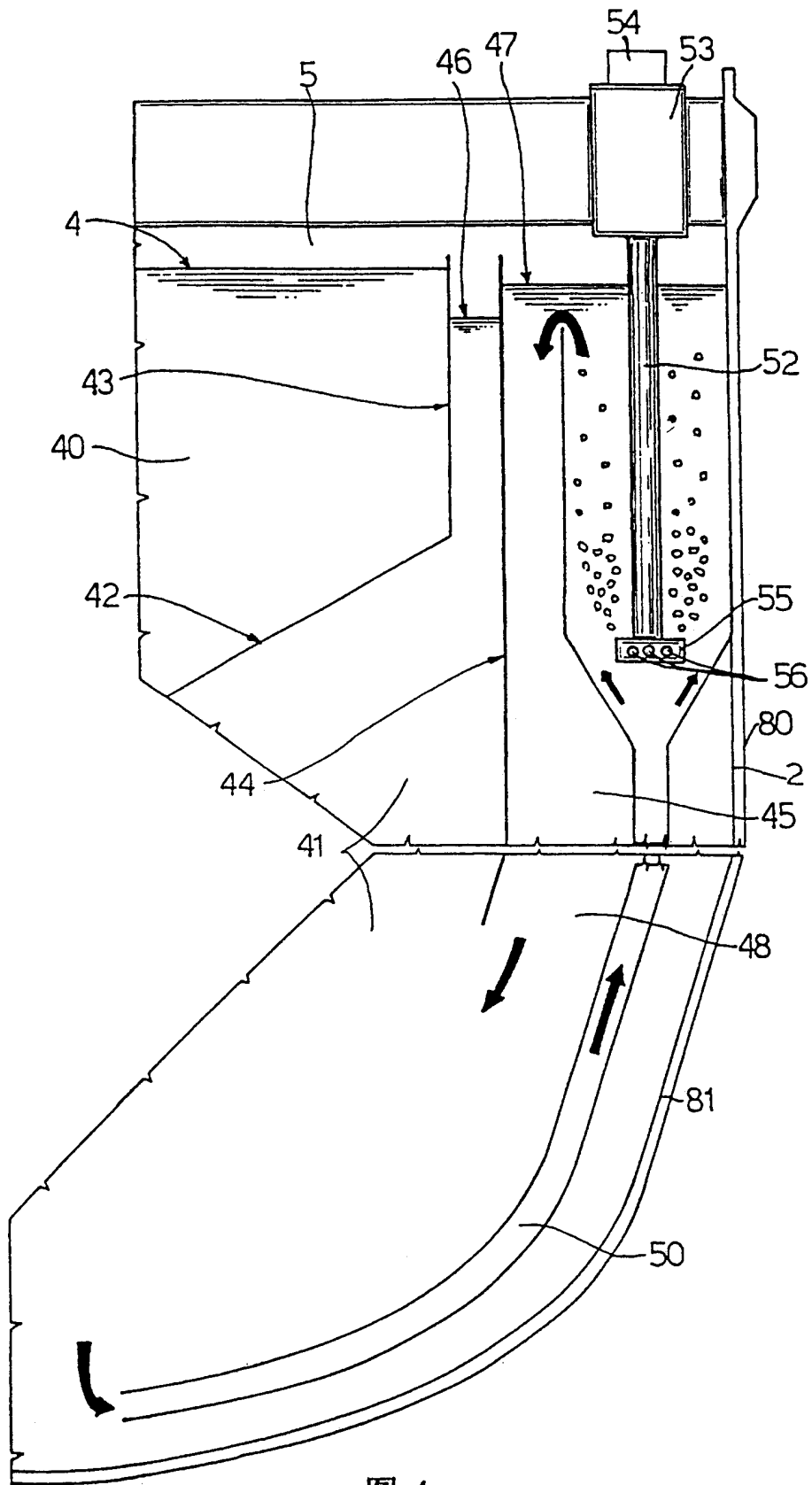


图 4