



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105089653 A

(43) 申请公布日 2015. 11. 25

(21) 申请号 201410222731. 0

(22) 申请日 2014. 05. 23

(71) 申请人 中国石油化工股份有限公司

地址 100728 北京市朝阳区朝阳门北大街
22 号

申请人 中国石油化工股份有限公司石油勘
探开发研究院

(72) 发明人 史云清 郑荣臣 严谨 王树平

(74) 专利代理机构 北京聿宏知识产权代理有限
公司 11372

代理人 吴大建 刘华联

(51) Int. Cl.

E21B 49/00(2006. 01)

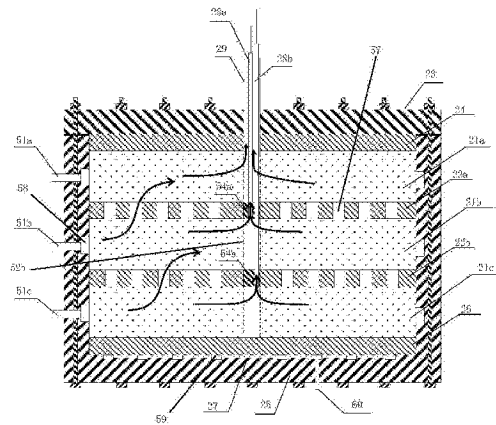
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

测量多层合采气井层间窜流量的实验装置和
方法

(57) 摘要

本发明涉及测量多层合采气井层间窜流量的
实验装置和方法。该装置包括：地层模拟器，在其
内部叠置有多层岩芯，在相邻的岩芯之间设置有
气体透过性的隔层，在地层模拟器的顶壁和底壁
与相应的岩芯之间均设置有能变形的密封垫从而
在顶壁和 / 或底壁与相应的密封垫之间形成覆压
流体室，在地层模拟器的壳体侧壁上设置有多个
分别与相应的岩芯连通的测量气入口，在地层模
拟器的壳体底壁上设置有与覆压流体室连通的覆
压流体入口，延伸穿过地层模拟器的顶壁并且下
端开口延伸到待测岩芯中的用于引出测量气的模
拟油管，待测岩芯的测量气的进气量和出气量的
差值为层间窜流量。



1. 一种测量多层合采气井层间窜流量的实验装置,包括:

地层模拟器,在其内部叠置有多层岩芯,在相邻的岩芯之间设置有气体透过性的隔层,在所述地层模拟器的顶壁和底壁与相应的岩芯之间均设置有能变形的密封垫从而在所述顶壁和 / 或底壁与相应的密封垫之间形成覆压流体室,

在所述地层模拟器的壳体侧壁上设置有多个分别与相应的岩芯连通的测量气入口,在所述地层模拟器的壳体底壁上设置有与所述覆压流体室连通的覆压流体入口,延伸穿过所述地层模拟器的顶壁并且下端开口延伸到待测岩芯中的用于引出测量气的模拟油管,

其中,所述待测岩芯的测量气的进气量和出气量的差值为层间窜流量。

2. 根据权利要求 1 所述的实验装置,其特征在于,所述多个测量气入口各自通过相应的测量气管路与气源相连,在每根测量气管路上均设置有调压阀。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的实验装置,其特征在于,还包括从所述顶壁到最底层岩芯贯穿延伸的模拟井筒,所述模拟井筒与所述岩芯接触的部分形成测量段,所述模拟井筒与所述隔层接触的部分形成密封段,

所述测量段与相应的岩芯相连通,在所述密封段内设置有密封件,所述模拟油管延伸穿过所述密封件而竖直设置在所述模拟井筒内。

4. 根据权利要求 3 所述的实验装置,其特征在于,在所述测量段上设置有多个通孔。

5. 根据权利要求 3 或 4 所述的实验装置,其特征在于,所述模拟油管的数量为多个,并且在所述模拟井筒内并行延伸到不同层的岩芯处。

6. 根据权利要求 1 到 5 中任一项所述的实验装置,其特征在于,在所述模拟油管的出口均设置有出气压力调节器。

7. 根据权利要求 1 到 6 中任一项所述的实验装置,其特征在于,在所述隔层上设置有所述模拟井筒延伸穿过的中央通孔,和围绕所述中央通孔分布的多个通气孔。

8. 根据权利要求 1 到 7 中任一项所述的实验装置,其特征在于,在所述地层模拟器的壳体侧壁内表面的相应于岩芯的区域上设置有多个与所述相应的测量气入口连通环形槽,优选地,所述环形槽的高度与相应岩芯的高度之比为到 1 : 1 到 1 : 1.1。

9. 根据权利要求 1 到 8 中任一项所述的实验装置,其特征在于,在所述地层模拟器的壳体顶壁和 / 或底壁内表面上设置有多个与所述覆压流体入口连通的覆压流体槽,所述多个覆压流体槽彼此连通。

10. 一种使用根据权利要求 1 到 9 中任一项所述的实验装置测量层间窜流量的方法,所述多个测量气入口各自通过相应的测量气管路与恒压气源相连,在所述模拟油管的出口设置有出气压力调节器,所述方法包括以下步骤,

步骤一:向所述覆压流体室内充入覆压流体到预定压力;

步骤二:向岩芯中充入测量气,调节待测岩芯的进气压力和 / 或出气压力,并调节相邻岩芯的进气压力和 / 或出气压力,使得所述待测岩芯内的气体表观压力与相邻岩芯内的气体表观压力不同;

步骤三:保持所述步骤二中的进气压力和出气压力,待所有岩芯的进气量和出气量稳定后,计算所述待测岩芯的进气量和出气量差值;所述差值为待测岩芯与相邻岩芯之间的层间窜流量。

11. 根据权利要求 10 所述的方法,其特征在于,所述覆压流体室内的压力比所述进气

压力高至少 10%。

测量多层合采气井层间窜流量的实验装置和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及油气井工程,特别是涉及测量多层合采气井层间窜流量的实验装置。本发明还涉及使用这种实验装置测量层间窜流量的方法。

背景技术

[0002] 致密低渗透气藏大多数发育多套储层,为提高单井产量,气井往往同时开采多个储层。地下多个储层的气体同时产出,在地面表现为一个井口产出量,但是无法知道由于层间压力不同且隔层不能完全封闭而造成的层间窜流量的多少。层间窜流降低气田采出程度,测量层间窜流多少,可以指导气田科学合理高效开发。

[0003] 目前,大多情况下,只能通过数值模拟软件建立多层合采气井层间隔层不完全封闭的模型来模拟和计算窜流情况,但是这种方法受到所建立的气井储层模型的准确性的制约。

[0004] 因此,需要一种能在实验室精确计算多层合采气井层间窜流量的装置。

发明内容

[0005] 针对上述问题,本发明提出了一种测量多层合采气井层间窜流量的实验装置。通过这种实验装置,能够在实验室准确地模拟实际工况而精确地测出采气井层间窜流量。

[0006] 根据本发明的第一方面,提出了一种测量多层合采气井层间窜流量的实验装置,包括:地层模拟器,在其内部叠置有多层岩芯,在相邻的岩芯之间设置有气体透过性的隔层,在地层模拟器的顶壁和底壁与相应的岩芯之间均设置有能变形的密封垫从而在顶壁和/或底壁与相应的密封垫之间形成覆压流体室,在地层模拟器的壳体侧壁上设置有多个分别与相应的岩芯连通的测量气入口,在地层模拟器的壳体底壁上设置有与覆压流体室连通的覆压流体入口,延伸穿过地层模拟器的顶壁并且下端开口延伸到待测岩芯中的用于引出测量气的模拟油管其中,待测岩芯的测量气的进气量和出气量的差值为层间窜流量。

[0007] 通过本发明的实验装置,向待测岩芯和与待测岩芯相邻的岩芯充入压力不同的待测气体,气体由于岩芯内的表观压力差值而会穿过隔层在不同的岩芯层之间发生流动,这表现为待测岩芯进气量与出气量之间的差值,即层间窜流量。这种实验原理与实际地层中发生的层间窜流完全相同,因此本实验装置能够准确地模拟实际地层中的层间窜流,实验结果也就能更准确地反映实际情况,实验成本也较低。

[0008] 在一个实施例中,该实验装置还包括从顶壁到最底层岩芯贯穿延伸的模拟井筒,模拟井筒与岩芯接触的部分形成测量段,模拟井筒与隔层接触的部分形成密封段,测量段与相应的岩芯相连通,在密封段内设置有密封件,模拟油管延伸穿过密封件而竖直设置在模拟井筒内。通过设置模拟井筒,可更方便地在地层模拟器中设置模拟油管。此外,由于在实际施工过程中,油管就是设置在井筒中,因此本实验装置也真实地模拟了实际工况,使得所测得的实验数据更真实地反应了实际工况。在一个优选的实施例中,模拟油管的数量为多个,并且在模拟井筒内并行延伸到不同层的岩芯处。从而本发明的实验装置能够同时测

量气井中多个层位之间的窜流量,提高了实验效率。

[0009] 在一个实施例中,在测量段上设置有多个通孔。这种结构的模拟井筒用于模拟气井底部射孔,使得本实验装置能够模拟射孔和裸眼生产。

[0010] 在一个实施例中,在隔层上设置有模拟井筒延伸穿过的中央通孔,和围绕中央通孔分布的多个通气孔。在使用本发明的实验装置中模拟层间窜流时,这种隔层使得窜流能在整个岩芯任意径向位置任意径向位置发生,较好地模拟了实际地层状况,提高了实验数据的可信度。

[0011] 在一个实施例中,在地层模拟器的壳体侧壁内表面的相应于岩芯的区域设置有多个与相应的测量气入口连通环形槽,优选地,环形槽的高度与相应岩芯的高度之比为 1 : 1 到 1 : 1.1。通过设置环形槽,当打开恒压气源时,气体会通过测量气入口迅速流入环形槽而到达岩芯周围,从而岩芯边缘处的气体压力相等。借助于岩芯边缘处的气体压力相等,在岩芯内的气体流动为沿着岩芯的径向流向模拟井筒底部并进入到模拟井筒内,即为径向渗流,这与实际工况中储层内的流体渗流模式一致,从而提高了实验数据的准确性。环形槽的高度与相应岩芯的高度大体相等,也有助于岩芯边缘处的气体压力快速达到平衡,提高了实验效率。

[0012] 在一个实施例中,在地层模拟器的壳体顶壁和 / 或底壁内表面上设置有多个与覆压流体入口连通的覆压流体槽,多个覆压流体槽彼此连通。通过这种结构,当通过覆压流体源向覆压流体室施加覆压流体时,这些覆压流体槽能够使覆压流体迅速充满整个覆压流体室,实现给岩芯压施加均匀的压力。

[0013] 在一个实施例中,多个测量气入口各自通过相应的测量气管路与气源相连,在每根测量气管路上均设置有调压阀。在模拟油管的出口均设置有出气压力调节器。通过设置调压阀和出气压力调节器,能方便地调节岩芯内的待测气体的表观压力,方便了使用者的使用。此外,这种设置还能够模拟压力不同的气藏,从而能够使用一套实验装置进行不同的实验,降低了实验成本。

[0014] 根据本发明的第二方面,提出了使用根据上文所述的装置来测量层间窜流量的方法,多个测量气入口各自通过相应的测量气管路与恒压气源相连,在模拟油管的出口设置有出气压力调节器,方法包括以下步骤,

[0015] 步骤一:向覆压流体室内充入覆压流体到预定压力;

[0016] 步骤二:向岩芯充入测量气,调节待测岩芯的进气压力和 / 或出气压力,并调节相邻岩芯的进气压力和 / 或出气压力,使得待测岩芯内的气体表观压力与相邻岩芯内的气体表观压力不同;

[0017] 步骤三:保持步骤二中的进气压力和出气压力,待所有岩芯的进气量和出气量稳定后,计算待测岩芯的进气量和出气量差值,该差值为待测岩芯与相邻岩芯之间的层间窜流量。

[0018] 在一个实施例中,覆压流体室内的压力比进气压力高至少 10%。这可避免测量气从隔层与待测岩芯的接触面之间流过,而影响测量结果的准确性。

[0019] 与现有技术相比,本发明的优点在于:(1) 本发明的实验装置在岩芯之间设置了气体透过性的隔层。由于岩芯层间压力不同,不同岩芯层内的气体可从某一层窜流到另外一层,从而本发明的装置可模拟层间窜流。(2) 本发明的实验装置设置有多个延伸到不同层

岩芯的模拟油管,从而能够同时测量多个储层之间的窜流量。(3) 在地层模拟器的壳体侧壁相应于岩芯的内表面上设置有多个与相应的测量气入口连通环形槽。这些环形槽使得岩芯内的气流为径向渗流,这与实际工况中储层内的流体渗流模式一致,从而提高了实验数据的准确性。

附图说明

[0020] 在下文中将基于实施例并参考附图来对本发明进行更详细的描述。其中:

[0021] 图 1 是根据本发明的测量多层合采气井层间窜流量的实验装置;

[0022] 图 2 是根据本发明的地层模拟器;

[0023] 图 3 是根据本发明的模拟井筒的示意图;

[0024] 图 4 是根据本发明的隔层的示意图;

[0025] 图 5 是在根据本发明的地层模拟器中气体流动示意图。

[0026] 在附图中,相同的部件使用相同的附图标记。附图并未按照实际的比例。

具体实施方式

[0027] 下面将结合附图对本发明作进一步说明。

[0028] 图 1 示意性地显示了根据本发明的测量多层合采气井层间窜流量的实验装置 10(以下称之为实验装置 10)。如图 1 所示,实验装置 10 包括地层模拟器 20,通过测量气进气管 14a、14b 和 14c 与地层模拟器 20 的测量气入口相连的恒压气源 11,与地层模拟器 20 的覆压流体入口相连的覆压流体源 12,以及与地层模拟器 20 的出口相连的出气管 15a、15b 和 15c。在进气管 14a、14b 和 14c 上分别设置有进气流量计 17a、17b 和 17c,在出气管 15a、15b 和 15c 上分别设置有出气流量计 18a、18b 和 18c,进气流量计和出气流量计之间的差值就是相应岩芯之间的窜流量。这里所描述的两条进气管 14a、14b 和 14c 和两条出气管 15a、15b 和 15c 仅是为了与图 2 描述的地层模拟器 20 相对应,而不是限制本发明。

[0029] 恒压气源 11 用于向地层模拟器 20 内充入测量气,并保证实验过程中有充足的气源,来维持测量气通过岩芯,完成实验的数据测量。覆压流体源 12 用于向地层模拟器 20 内施加覆压力,以模拟实际地层压力。进气管 14a、14b 和 14c 上依次接有调压阀 16a、16b 和 16c,在出气管 15a、15b 和 15c 上设置有出气压力调节器 13a、13b 和 13c,以方便调节地层模拟器 20 内的气体压力。

[0030] 图 2 示意性地显示了地层模拟器 20 的结构。如图 2 所示,地层模拟器 20 为壳体结构。在壳体内部以层叠方式设置有多层岩芯,在壳体上设置有与岩芯相连通的测量气入口。图 2 仅示意性地显示了三层岩芯 21a、21b 和 21c,实际上岩芯的数量可为两层,也可以为三层及以上。仅以图 2 中的三层岩芯为例,对应于每层岩芯均设置有一个测量气入口 51a、51b 和 51c。相邻层岩芯之间设置有气体透过性的隔层 22a、22b,以使得相邻层的岩芯之间能够发生气体窜流。在地层模拟器 20 的顶壁 23 和最顶层岩芯 21a 之间设置有第一密封垫 24,在底壁 25 和最底层岩芯 21c 之间设置第二密封垫 26。第一密封垫 24 和第二密封垫 26 确保充入到岩芯内的气体不会从其他途径离开地层模拟器 20,保证了实验数据的准确性。第一密封垫 24 和第二密封垫 26 均能够变形,以使得在顶壁 23 与第一密封垫 24 之间和/或底壁 25 与第二密封垫 26 之间形成覆压流体室 27。在图 2 中仅示例性地显示了在

底壁 25 与第二密封垫 26 之间形成覆压流体室 27, 并且在底壁 25 上设置有与覆压流体室 27 连通的覆压流体入口 60, 当然也可将覆压流体室 27 和覆压流体入口 60 设在顶壁 23 上, 从而可以从顶壁 23 施加上覆压力。

[0031] 为了将通入到地层模拟器 20 的气体引出, 在地层模拟器 20 中设置了模拟井筒 29, 多个模拟油管例如模拟油管 28a、28b 和 28c 则竖直设置在模拟井筒 29 中, 并且模拟油管 28a 的出口与出气管 15b 相连通, 模拟油管 28b 的出口与出气管 15c 相连通和 28c, 模拟井筒 29 的出口与出气管 15a 相连通。

[0032] 如图 2 所示, 模拟井筒 29 穿过顶壁 23 并向下延伸穿过第一密封垫 24、三层岩芯 21a、21b 和 21c 以及隔层 22a、22b, 最终终止于第二密封垫 26。也就是说, 模拟井筒 29 贯穿了顶壁 23、第一密封垫 24、三层岩芯 21a、21b 和 21c 以及隔层 22a、22b, 但是没有贯穿第二密封垫 26 和底壁 25。井筒 29 还与第一密封垫 24 密封接触, 以避免气体泄漏。模拟井筒 29 与岩芯接触的部分形成测量段, 与隔层接触的部分形成密封段, 也就是说测量段和密封段为交替分布。测量段与相应的岩芯相连通; 在密封段内设置有密封件, 模拟油管延伸穿过密封件而设置。如图 3 所示, 模拟井筒 29 包括测量段 52a、52b 和 52c, 和密封段 53a 和 53b, 测量段混和密封段交替设置。

[0033] 以模拟油管 28a 为例, 模拟油管 28a 的下端开口延伸到待测岩芯 21b 的区域, 模拟油管 28a 的出口与出气管 15b 相连通, 使得通过测量气入口 51b 进入的气体流经岩芯 21b、模拟油管 28a 进入出气管 15b。模拟油管 28b 和模拟井筒 29 (模拟油管 28a、28b 以外的区域) 内的气体流动与模拟油管 28a 类似, 这里不再赘述。

[0034] 在装配状态中, 如图 2 所示, 模拟井筒 29 的测量段 52b 与岩芯 21b 连通, 在模拟井筒 29 内密封段 53a 和 53b 内设置有密封件 54a 和 54b, 模拟油管 28a 则延伸穿过密封件 54a。通过这种结构, 岩芯 21b 中的气体能够流入到测量段 52a 中, 并且由于密封件 54a 和 54b 的作用, 仅能够沿着模拟油管 28a 流出。在实际施工过程中, 油管就是设置在井筒中, 并且在井筒内设置有封隔器以将不同的储层分开, 因此实验装置 10 也真实地模拟了实际工况, 使得实验数据更真实地反应了实际工况。

[0035] 下面以测量对应于岩芯 21b 的窜流量为例来描述实验装置 10 的工作原理, 通过恒压气源 11 向岩芯 21a、21b 和 21c 通入的测量气, 并且记录向岩芯 21b 的进气量。记录模拟油管 28a (其与岩芯 21b 连通) 出口处的出气量。进气量和出气量之间的差异则来源于岩芯 21a 和 21c 与岩芯 21b 之间的层间窜流, 从而就测得了层间窜流量。

[0036] 为了更准确地模拟实际工况中储层内的流体渗流模式, 在地层模拟器 20 的壳体侧壁内表面上设置有环形槽, 每一个环形槽均与一个岩芯相对应并且与相应的测量气入口相连通。如图 2 所示, 以岩芯 21b 为例, 环形槽 58 与岩芯 21b 相对应, 并且与测量气入口 51b 连通。在一个实施例中, 环形槽 58 的高度与岩芯 21b 的高度之比为 1 : 1。在进行试验时, 打开恒压气源 11 后, 气体会通过测量气入口 51b 迅速流入环形槽 58 而到达岩芯 21b 周围, 从而岩芯 21b 边缘处的压力保持为相等, 因此在岩芯 21b 内的气体流动为从岩芯 21b 的周向边缘沿着岩芯 21b 的径向流向模拟井筒 29 并进入到模拟井筒 29 内, 即为径向渗流, 如图 5 所示。这中径向渗流与实际工况中储层内的流体渗流模式一致, 从而提高了实验数据的准确性。

[0037] 还如图 2 所示, 在地层模拟器 20 的底壁 25 内表面上设置有多个彼此连通的覆压

流体槽 59。覆压流体槽 59 与覆压流体入口 60。通过这种结构,当通过覆压流体源 12 向覆压流体室 27 施加覆压流体时,这些覆压流体槽 59 能够使覆压流体迅速充满整个覆压流体室 27,实现给岩芯压施加均匀的压力,从而避免了上覆压力施加不够均匀的问题。在一个实施例中,覆压流体槽 59 通过“十”字通槽(未示出)彼此连通。

[0038] 图 3 示意性地显示了根据发明的模拟井筒 29。在模拟井筒 29 的测量段上设置有多个孔 55。这样,岩芯内的气体就会穿过孔 55 进入到模拟井筒 29 内。这种结构的模拟井筒 29 能够模拟气井底部射孔,使得实验装置 10 能够模拟射孔和裸眼生产。

[0039] 图 4 示意性地显示了根据本发明的隔层。以隔层 22a 为例,隔层 22a 为橡胶垫,在其上设置有中央通孔 56 和围绕中央通孔 56 分布的多个通气孔 57。在装配实验装置 10 时,模拟井筒 29 延伸穿过中央通孔 56,多个通气孔 57 则用于使相邻的岩芯内气体可以相通。在模拟层间窜流时,这种隔层使得窜流能在整个岩芯任意径向位置发生,较好地模拟了实际地层状况,提高了实验数据的可信度。在一个实施例中,通气孔 57 的尺寸可为岩心半径的 10/1 到 1/20。

[0040] 下面根据图 1 和 2 来描述使用这种实验装置 10 来测量层间窜流量的方法。

[0041] 以测量岩芯 21b 与 21a 和 21c 之间的窜流量为例。首先,向覆压流体室 27 内充入覆压流体到预定压力。这里预定的压力可为待测岩芯 21b 所处的地层压力,从而准确模拟岩芯 21b 与 21a 和 21c 之间的窜流量。

[0042] 接着,通过恒压气源 11 向岩芯 21a、21b 和 21c 中充入测量气。调节岩芯 21a、21b 和 21c 的进气压力和 / 或出气压力,使得待测岩芯 21b 内的气体表观压力与相邻岩芯 21a、21c 内的气体表观压力不同。在本申请中,用语“气体表观压力”是根据岩芯的进气压力和出气压力计算出来的,其整体反应了岩芯内部的气体压力水平。这种“气体表观压力”的计算是本领域的技术人员所熟知的,这里不再赘述。由于不同层内的气体表观压力不同,因此相邻层的岩芯内的测量气会在压差下发生窜流。优选地,覆压流体室 27 内的压力比进气压力高至少 10%,例如可以高 2MPa,这可避免测量气从隔层 22a 或 22b 与待测岩芯 21b 接触面之间流过,而影响测量结果的准确性。

[0043] 然后,保持进气压力和出气压力,也就是保持相邻层之间的压差不变,待岩芯 21a、21b 和 21c 的进气量和出气量稳定后,计算待测岩芯 21b 的进气量和出气量差值,该差值为待测岩芯 21b 与相邻岩芯 21a、21c 之间的层间窜流量。

[0044] 在实际采气过程中,随着开采的进行,储层的气压也会逐渐降低。这里,可重新设置调压阀 16a、16b 和 16c 以及出气压力调节器 13a、13b 和 13c,再次进行试验即可。因此,可以使用实验装置 10 对不同气压的储层进行模拟,降低了实验成本。

[0045] 虽然已经参考优选实施例对本发明进行了描述,但在不脱离本发明的范围的情况下,可以对其进行各种改进并且可以用等效物替换其中的部件。尤其是,只要不存在结构冲突,各个实施例中所提到的各项技术特征均可以任意方式组合起来。本发明并不局限于文中公开的特定实施例,而是包括落入权利要求的范围内的所有技术方案。

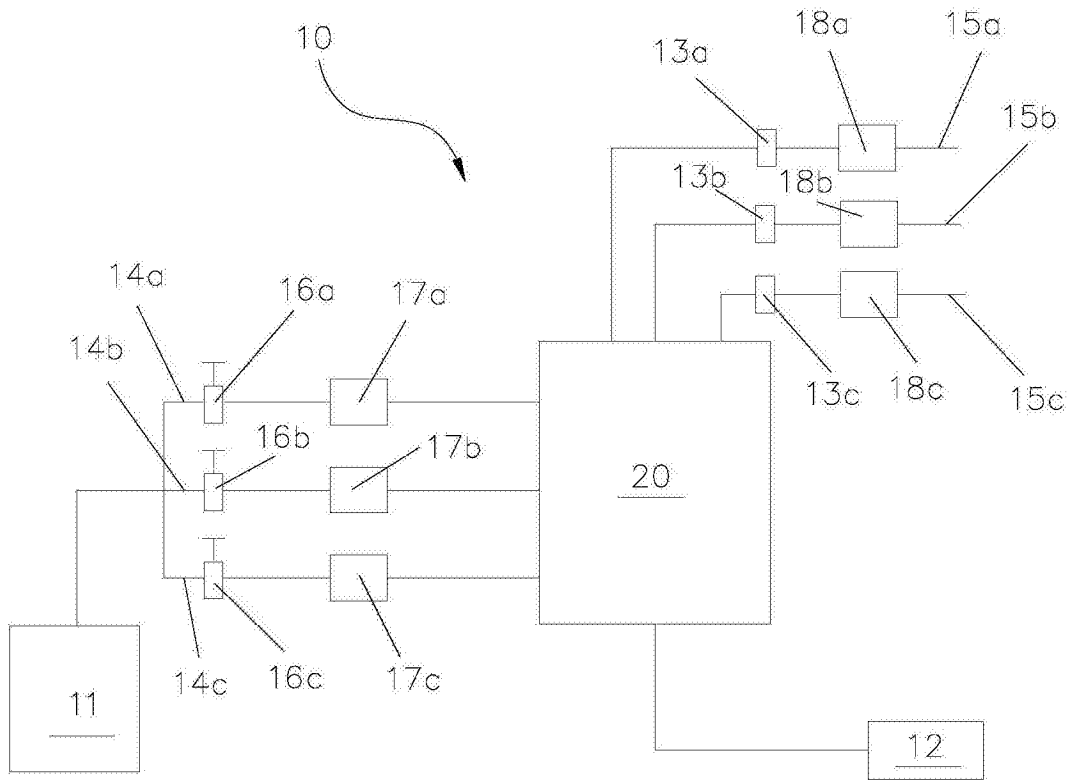


图 1

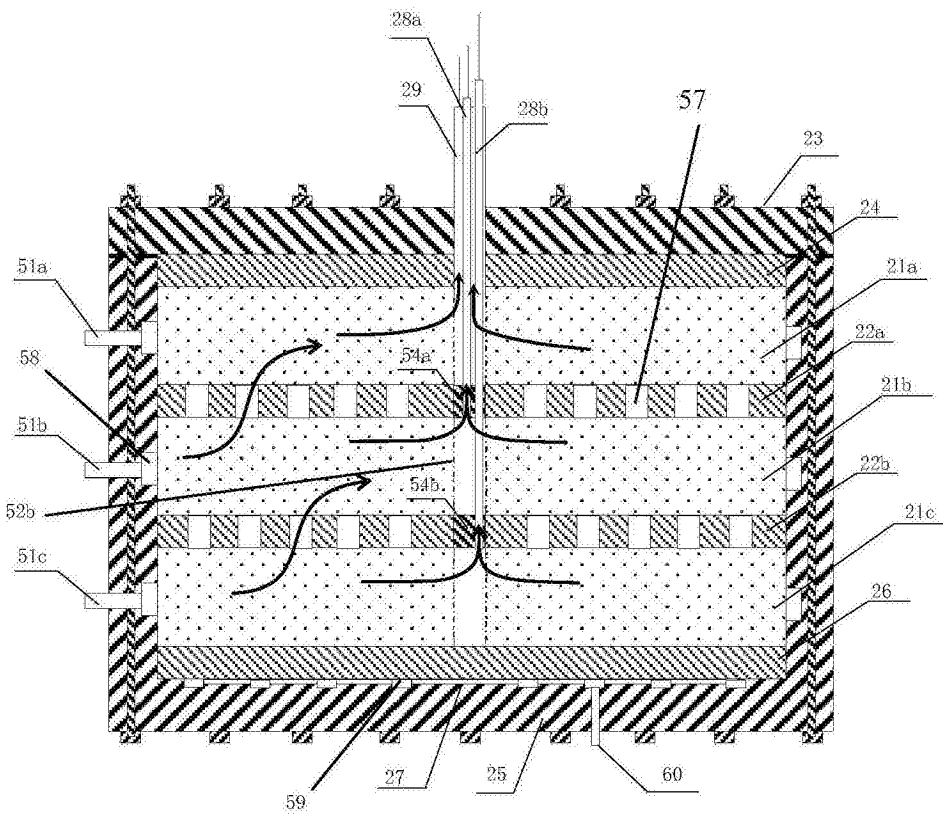


图 2

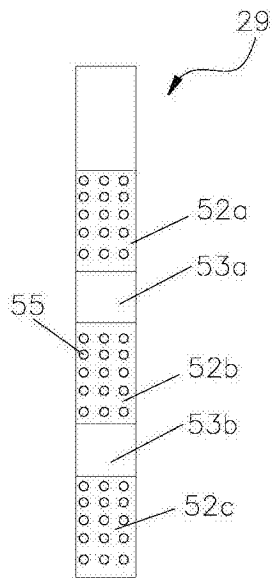


图 3

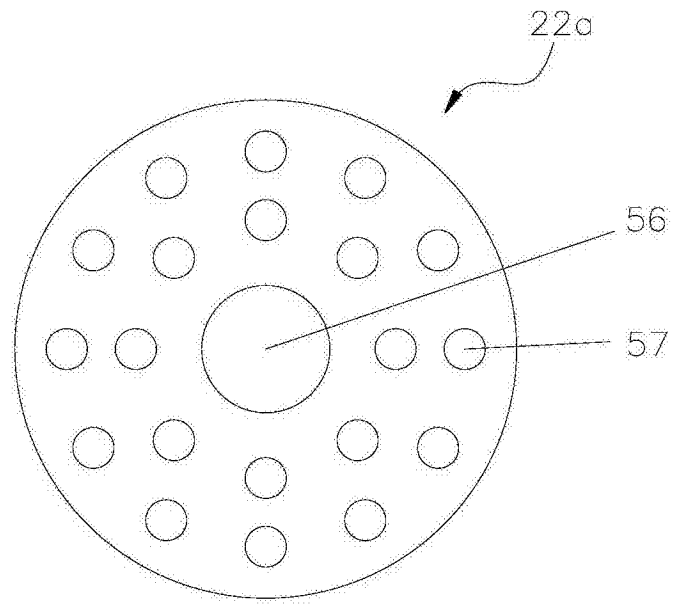


图 4

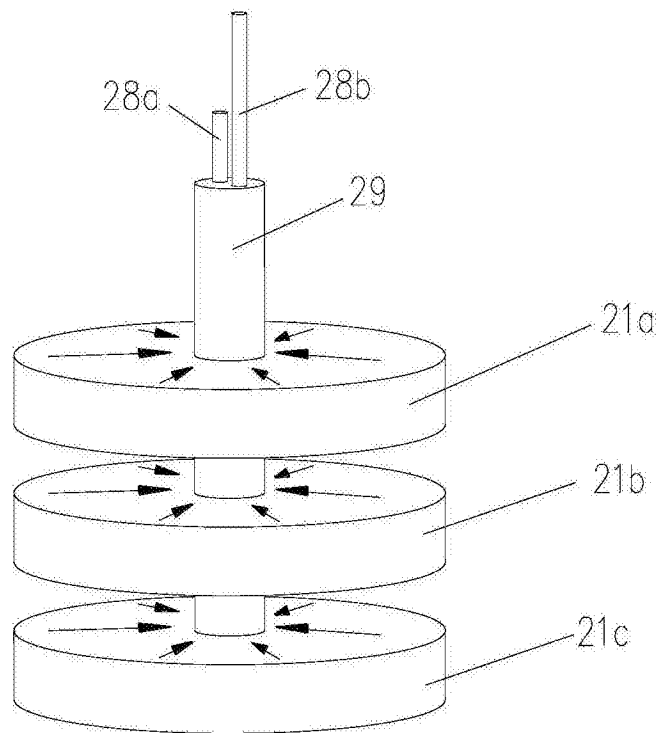


图 5