



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107740688 A

(43)申请公布日 2018.02.27

(21)申请号 201710735940.9

(22)申请日 2017.08.24

(71)申请人 中国石油大学(北京)

地址 102200 北京市昌平区府学路18号

(72)发明人 于海洋 汪洋 程时清

(74)专利代理机构 北京驰纳智财知识产权代理

事务所(普通合伙) 11367

代理人 单品

(51)Int.Cl.

E21B 49/00(2006.01)

E21B 43/26(2006.01)

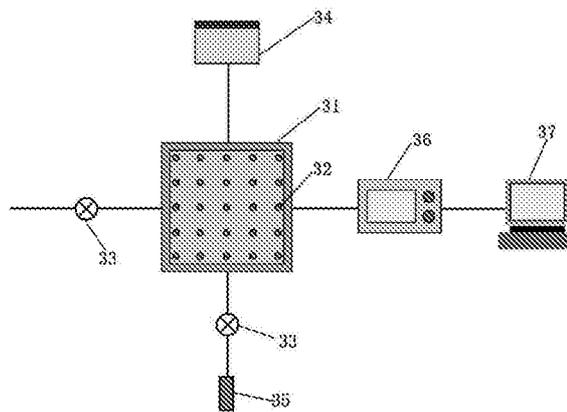
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

注水诱发微裂缝二维扩展的物理模拟实验方法

(57)摘要

本发明提供了一种注水诱发微裂缝二维扩展的物理模拟实验方法,首先制作用于实验的平板露头模型,然后通过开展不同注水压力下注水模拟实验,分析不同方向上渗透率的变化特征,通过给予不同的围压条件,模拟不同围压对渗透率的影响,通过模拟储层非均质情况下,不同方向渗透率对裂缝扩展的影响。本发明的方法可以系统地模拟注入压力及储层非均质性的裂缝扩展规律,有利于研究实验研究裂缝分布对渗流的影响和注水时裂缝延伸的方向性及扩展机理。



1. 一种注水诱发微裂缝二维扩展的物理模拟实验方法,包括以下步骤:

①选取平面露头岩心,确定模型尺寸,对平面露头岩心进行切割、清洗后放入恒温箱中烘干;

②将平面露头岩心从恒温箱取出,在空气中静置2~3小时,让其自然冷却,在岩心上钻封闭孔并将传感器粘贴在钻孔处,组装模型封装用模具,采用具有较强的耐温耐压性能的封装材料对平板露头岩心进行整体浇注;

③将模具拆解,将模型放入恒温箱中进行固化处理,关闭恒温箱电源,冷却至室温,得到试验用平板模型;

④对模型进行抽真空、饱和油处理,将处理好的封装露头模型(31)放置于高温高压模拟实验装置下;

⑤在封装好的模型测压点(32)处连接高精度压力传感器,将压力传感器连接到压力巡检仪(36)上,并将压力巡检仪(36)的信号线连接到计算机(37)上,以实现数据点的自动采集;

⑥保持围压不变,逐渐增加注入压力,使用计算机(37)记录模型上各点的压力变化,待各点压力值曲线趋于稳定后,测量流量,并记录不同测压点(32)的压力值;

⑦重复步骤①~⑤,然后增加注入压力到某一特定值后保持不变,逐渐增加围压,使用计算机(37)记录模型上各点的压力变化,待各点压力值曲线趋于稳定后,测量流量,并记录不同测压点(32)的压力值;

⑧选取微裂缝发育程度不一的平面露头岩心,先用核磁方法进行扫描,观察裂缝发育程度,然后重复步骤①~⑤,给不同的岩心给定相同的注入压力和围压,使用计算机(37)记录模型上各点的压力变化,待各点压力值曲线趋于稳定后,测量流量,并记录不同测压点(32)的压力值;

⑨分析测得的测压点(32)数据,根据不同测压点(32)压力分布特征,反推裂缝的扩展规律。

2. 根据权利要求1所述的注水诱发微裂缝二维扩展的物理模拟实验方法,其特征在于:步骤①中,所述岩心为微裂缝发育的大型露头岩心。

3. 根据权利要求1所述的注水诱发微裂缝二维扩展的物理模拟实验方法,其特征在于:步骤②中,所述传感器包括森纳士压力传感器,承压范围为0-10MPa。

4. 根据权利要求1所述的注水诱发微裂缝二维扩展的物理模拟实验方法,其特征在于:步骤②中,所述封装材料包括环氧树脂。

5. 根据权利要求1所述的注水诱发微裂缝二维扩展的物理模拟实验方法,其特征在于:步骤③中,所述恒温箱温度设定为80℃。

6. 根据权利要求1所述的注水诱发微裂缝二维扩展的物理模拟实验方法,其特征在于:步骤③中,所述固化处理时间为6小时。

7. 根据权利要求1所述的注水诱发微裂缝二维扩展的物理模拟实验方法,其特征在于:步骤④所述高温高压模拟实验系统包括耐高压的封装露头模型(31)、高压夹持器、环压系统、高压仓压力保护系统、注入系统、控制采集系统和出口测量系统。

8. 根据权利要求7所述的注水诱发微裂缝二维扩展的物理模拟实验方法,其特征在于:所述封装露头模型(31)放置在高压夹持器中,高压夹持器入口端管路上连接阀门(33)。

9. 根据权利要求8所述的注水诱发微裂缝二维扩展的物理模拟实验方法,其特征在于:所述封装露头模型(31)上设置测压点(32),所述测压点(32)为露头岩心钻孔处粘贴传感器的部位。

10. 根据权利要求8所述的注水诱发微裂缝二维扩展的物理模拟实验方法,其特征在于:所述高压夹持器的出口端通过管路与压力巡检仪(36)连接,所述压力巡检仪(36)与计算机(37)连接。

注水诱发微裂缝二维扩展的物理模拟实验方法

技术领域

[0001] 本发明涉及低渗透油田注水开发领域,尤其涉及注水诱发微裂缝二维扩展的物理模拟实验领域。

背景技术

[0002] 低渗透油田注水开发过程中,注水井和采油井的压力变化方式差异很大,注水井虽然没有进行压裂或只进行了小型压裂,但注水量大;而油井虽然进行了大规模压裂,但产液量仍然很低,注采井间难于建立有效驱替系统。目前注水井设计的井底压力低于岩石破裂压力,然而多数油田的测试资料表明,注水井试井解释的渗透率远远高于油井渗透率,也高于岩心分析渗透率,这是注水诱发裂缝的体现。此外油井见水具有单向性,这些现象与注水诱发微细裂缝形成水淹通道密切相关。

[0003] 申请号为CN201610533262.3的中国专利提供了岩心中微裂缝的造缝方法、微裂缝密度的测量方法和模型建立方法及微裂缝岩心的制备方法,所述造缝方法包括:获取岩心;筛选所述岩心,以确保所述岩心无明显的天然微裂缝;清洗、烘干所述岩心,获取所述岩心的孔隙体积 V_p ;所述岩心饱和蒸馏水,获取所述岩心的第一核磁共振 T_2 谱;烘干所述岩心;将所述岩心置于高温电阻炉中,以一预设加热速度对所述岩心加热至一预设温度 T ,并在所述预设温度下持续1-3小时;关闭高温电阻炉,将所述岩心在所述高温电阻炉中自然冷却至室温;或,将所述岩心置入室温蒸馏水中急速冷却至室温;所述岩心饱和蒸馏水,获取所述岩心的第二核磁共振 T_2 谱。该专利实现了微裂缝的可视化,但是无法实现从定量的角度计算不同时刻岩心渗透率的变化。

[0004] 鉴于目前关于低于破裂压力注水条件下诱发微裂缝的机理及规律认识不清,尚无有效的注水微裂缝物理模拟方法,极大影响了水驱开发的优化调整措施的针对性。

发明内容

[0005] 为了克服现有技术中问题,本发明所采用的技术方案是:一种注水诱发微裂缝二维扩展的物理模拟实验方法,包括以下步骤:

[0006] ①选取平面露头岩心,确定模型尺寸,对平面露头岩心进行切割、清洗后放入恒温箱中烘干;

[0007] ②将平面露头岩心从恒温箱取出,在空气中静置2~3小时,让其自然冷却,在岩心上钻封闭孔并将传感器粘贴在钻孔处,组装模型封装用模具,采用具有较强的耐温耐压性能的封装材料对平板露头岩心进行整体浇注;

[0008] ③将模具拆解,将模型放入恒温箱中进行固化处理,关闭恒温箱电源,冷却至室温,得到试验用平板模型;

[0009] ④对模型进行抽真空、饱和油处理,将处理好的封装露头模型放置于高温高压模拟实验装置下;

[0010] ⑤在封装好的模型测压点处连接高精度压力传感器,将压力传感器连接到压力巡

检测仪上,并将压力巡检仪的信号线连接到计算机上,以实现数据点的自动采集;

[0011] ⑥保持围压不变,逐渐增加注入压力,使用计算机记录模型上各点的压力变化,待各点压力值曲线趋于稳定后,测量流量,并记录不同测压点的压力值;

[0012] ⑦重复步骤①~⑤,然后增加注入压力到某一特定值后保持不变,逐渐增加围压,使用计算机记录模型上各点的压力变化,待各点压力值曲线趋于稳定后,测量流量,并记录不同测压点的压力值;

[0013] ⑧选取微裂缝发育程度不一的平面露头岩心,先用核磁方法进行扫描,观察裂缝发育程度,然后重复步骤①~⑤,给不同的岩心给定相同的注入压力和围压,使用计算机记录模型上各点的压力变化,待各点压力值曲线趋于稳定后,测量流量,并记录不同测压点的压力值;

[0014] ⑨分析测得的测压点数据,根据不同测压点压力分布特征,反推裂缝的扩展规律。

[0015] 优选的是,步骤①中,所述岩心为微裂缝发育的大型露头岩心。

[0016] 上述任一方案优选的是,步骤②中,所述传感器包括森纳士压力传感器,承压范围为0-10MPa。

[0017] 上述任一方案优选的是,步骤②中,所述封装材料包括环氧树脂。

[0018] 上述任一方案优选的是,步骤③中,所述恒温箱温度设定为80℃。

[0019] 上述任一方案优选的是,步骤③中,所述固化处理时间为6小时。

[0020] 上述任一方案优选的是,步骤④所述高温高压模拟实验系统包括耐高压的封装露头模型、高压夹持器、环压系统、高压仓压力保护系统、注入系统、控制采集系统和出口测量系统。

[0021] 上述任一方案优选的是,所述封装露头模型放置在高压夹持器中,高压夹持器入口端管路上连接阀门。

[0022] 上述任一方案优选的是,所述封装露头模型上设置测压点,所述测压点为露头岩心钻孔处粘贴传感器的部位。

[0023] 上述任一方案优选的是,所述高压夹持器的出口端通过管路与压力巡检仪连接,所述压力巡检仪与计算机连接。

[0024] 上述任一方案优选的是,所述高压夹持器一侧与电阻率测量仪连接。

[0025] 上述任一方案优选的是,所述高压夹持器另一侧通过管路连接阀门,阀门后端管路延长至试管口。

[0026] 上述任一方案优选的是,所述压力巡检仪用于采集压力数据,将压力传感器的电信号转换为数字信号,传输给计算机。

[0027] 上述任一方案优选的是,压力巡检仪精度为0.0001Mpa。

[0028] 上述任一方案优选的是,所述计算机利用数据采集管理软件记录并显示各测压点的压力值,实现压力数据的自动采集和记录。

[0029] 上述任一方案优选的是,所述高温高压模拟实验系统可对50cm×50cm×3cm的露头岩样模型进行物理模拟实验。

[0030] 上述任一方案优选的是,所述高温高压模拟实验系统最高压力为25MPa。

[0031] 本发明采用大型露头平面物理模拟实验装置,可以系统地模拟注入压力及储层非均质性的裂缝扩展规律,有利于研究实验研究裂缝分布对渗流的影响和注水时裂缝延伸的

方向性及扩展机理,通过开展不同注水压力下注水模拟实验,分析不同方向上渗透率的变化特征,通过给予不同的围压条件,模拟不同围压对渗透率的影响,通过模拟储层非均质情况下,不同方向渗透率对裂缝扩展的影响。

附图说明

[0032] 图1为本发明的一种注水诱发微裂缝二维扩展的物理模拟实验方法的高温高压模拟实验系统的一优选实施例示意图。

[0033] 图2为本发明的一种注水诱发微裂缝二维扩展的物理模拟实验方法的一优选实施例的低渗透平板模型测压点分布示意图。

[0034] 图3为本发明的一种注水诱发微裂缝二维扩展的物理模拟实验方法的一优选实施例的8MPa注入压力下平板模型压力分布图。

[0035] 图4为本发明的一种注水诱发微裂缝二维扩展的物理模拟实验方法的图2所示实施例的10MPa注入压力下平板模型压力分布图。

[0036] 图5为本发明的一种注水诱发微裂缝二维扩展的物理模拟实验方法的图2所示实施例的12MPa注入压力下平板模型压力分布图。

[0037] 图示说明:

[0038] 1~25-测压点编号;31-封装露头模型;32-测压点;33-阀门;34-电阻率测量仪;35-试管;36-压力巡检仪;37-计算机。

具体实施方式

[0039] 为了更进一步了解本发明的发明内容,下面将结合具体实施例对本发明作更为详细的描述,实施例只对本发明具有示例性作用,而不具有任何限制性的作用;任何本领域技术人员在本发明的基础上作出的非实质性修改,都应属于本发明保护的范围。

[0040] 实施例1

[0041] 一种注水诱发微裂缝二维扩展的物理模拟实验方法,包括以下步骤:

[0042] ①选取平板露头岩心A、岩心B、岩心C,确定三块岩心模型尺寸均为 $50\text{cm} \times 50\text{cm} \times 3\text{cm}$,如图2所示,分别对三块平板露头岩心进行切割、清洗后放入恒温箱中烘干;为了模拟不同注入压力和不同围压对裂缝二维扩展的影响,本实施例选用裂缝发育程度较为相似的实验样品,即从同一块大的岩心露头上进行切割两块 $50\text{cm} \times 50\text{cm} \times 3\text{cm}$ 的岩心,形成岩心A和岩心B;为了模拟微裂缝发育程度对裂缝二维扩展的影响,本实施例中选取了微裂缝发育程度不同于上述岩心的另一大块平面露头岩心,并在该岩心上切割出 $50\text{cm} \times 50\text{cm} \times 3\text{cm}$ 的岩心C;

[0043] ②将三块平板露头岩心从恒温箱取出,在空气中静置2~3小时,让其自然冷却,分别在岩心上钻封闭孔并将传感器粘贴在钻孔处,组装模型封装用模具,采用具有较强的耐高温耐压性能的封装材料对平板露头进行整体浇注;

[0044] ③分别将三个模具拆解,将模型放入恒温箱中进行固化处理,关闭恒温箱电源,冷却至室温,得到试验用平板模型;

[0045] ④对三个模型进行抽真空、饱和油处理,将处理好的封装露头模型31放置于高温高压模拟实验装置下;

[0046] ⑤分别在封装好的三个模型测压点32处连接高精度压力传感器,将压力传感器连接到压力巡检仪36上,并将压力巡检仪36的信号线连接到计算机37上,以实现数据点的自动采集;

[0047] ⑥对岩心A,保持围压15MPa不变,首先注入压力为1MPa,待各点压力值曲线趋于稳定后,记录不同测压点32的压力值,逐渐增加注入压力,分别使注入压力为2MPa,5MPa,8MPa,10MPa,12Mpa,使用计算机37记录岩心A上各测压点32的压力变化,待各点压力值曲线趋于稳定后,测量流量,并记录不同测压点32的压力值,如表1所示;

[0048] ⑦对岩心B进行步骤①-⑤的处理后,将围压保持在20MPa,注入压力为1MPa,待各点压力值曲线趋于稳定后,记录不同测压点32的压力值,逐渐增加注入压力,分别使注入压力为2MPa,5MPa,8MPa,10MPa,12Mpa,使用计算机37记录岩心B上各测压点32的压力变化,待各点压力值曲线趋于稳定后,测量流量,并记录不同测压点32的压力值;

[0049] ⑧对于实验前的岩心A和岩心C,先用核磁方法分别进行扫描,观察两个岩心的裂缝发育程度,然后对岩心A和岩心C进行步骤①-⑤的处理后,对岩心A和岩心C分别进行步骤⑥,给不同的岩心给定相同的注入压力和围压,使用计算机37记录模型上各点的压力变化,待各点压力值曲线趋于稳定后,测量流量,并记录不同测压点32的压力值;

[0050] ⑨分析测得的测压点32数据,根据不同测压点32压力分布特征,反推裂缝的扩展规律。

[0051] 在本实施例中,步骤②中,所述传感器包括森纳士压力传感器,承压范围为0-10MPa所述封装材料为环氧树脂。

[0052] 在本实施例中,步骤③中,所述恒温箱温度设定为80℃。

[0053] 在本实施例中,步骤③中,所述固化处理时间为6小时。

[0054] 在本实施例中,步骤④所述高温高压模拟实验系统包括耐高压的封装露头模型31、高压夹持器、环压系统、高压仓压力保护系统、注入系统、控制采集系统和出口测量系统。

[0055] 在本实施例中,所述封装露头模型31放置在高压夹持器中,高压夹持器入口端管路上连接阀门33。

[0056] 在本实施例中,所述封装露头模型31上设置测压点32,所述测压点32为露头岩心钻孔处粘贴传感器的部位。

[0057] 在本实施例中,所述高压夹持器的出口端通过管路与压力巡检仪36连接,所述压力巡检仪36与计算机37连接。

[0058] 在本实施例中,所述高压夹持器一侧与电阻率测量仪34连接。

[0059] 在本实施例中,所述高压夹持器另一侧通过管路连接阀门33,阀门33后端管路延长至试管35口。

[0060] 在本实施例中,所述压力巡检仪36用于采集压力数据,将压力传感器的电信号转换为数字信号,传输给计算机37。

[0061] 在本实施例中,压力巡检仪36精度为0.0001Mpa。

[0062] 在本实施例中,所述计算机37利用数据采集管理软件记录并显示各测压点32的压力值,实现压力数据的自动采集和记录。

[0063] 在本实施例中,所述高温高压模拟实验系统可对50cm×50cm×3cm的露头岩样模

型进行物理模拟实验。

[0064] 在本实施例中,所述高温高压模拟实验系统最高压力为25MPa。

[0065] 表1岩心A不同注入压力下测点压力值

注入压力 测压点	1	2	5	8	10	12
1	1	2	5	8	10	12
2	0.9991	1.9979	4.9951	7.9928	9.9894	11.9894
3	0.9992	1.9983	4.9962	7.9941	9.9934	11.9904
4	0.9983	1.9966	4.9918	7.9864	9.9855	11.9771
5	0.9989	1.9975	4.9951	7.9911	9.9891	11.9868
6	0.9983	1.9965	4.9918	7.9864	9.9887	11.9796
7	0.9975	1.995	4.9881	7.9801	9.9812	11.9652
8	0.998	1.9962	4.9905	7.984	9.9829	11.976
9	0.9981	1.9962	4.9912	7.9848	9.9899	11.9882
10	0.9976	1.9951	4.9879	7.9809	9.9862	11.9742
11	0.9969	1.9938	4.9845	7.9752	9.973	11.9586
[0066] 12	0.998	1.996	4.9897	7.9841	9.9787	11.976
13	0.9979	1.9957	4.9895	7.9832	9.9828	11.9785
14	0.9981	1.9962	4.9907	7.9848	9.9827	11.9797
15	0.9967	1.9934	4.9835	7.9736	9.9794	11.9604
16	0.9964	1.9927	4.9817	7.9712	9.9681	11.9548
17	0.9968	1.9936	4.9839	7.9741	9.9684	11.9616
18	0.9968	1.9938	4.9842	7.9744	9.9817	11.9821
19	0.9963	1.9926	4.9846	7.9699	9.9716	11.9612
20	0.9958	1.9917	4.9795	7.9664	9.9574	11.9586
21	0.9962	1.9924	4.9811	7.9701	9.9575	11.9666
22	0.9959	1.9917	4.9796	7.9672	9.9581	11.9646
23	0.9958	1.9913	4.9784	7.9641	9.956	11.9496
24	0.9958	1.9919	4.9786	7.9662	9.9612	11.9757
25	0.9955	1.9911	4.9775	7.9642	9.9541	11.953

[0067] 以岩心A为例,绘制不同注入压力下,各测点的压力数据,得到平板模型压力分布图如图3~5所示。这里仅给出注入压力8MPa,10MPa和12MPa的压力分布。从图3~5可以看出:随着注入压力的增加,诱发之前闭合的缝重新张开,导致了压力场的变化。从初期注入压力为8MPa时压力场接近径向分布特征到注入压力为12MPa时,可明显看到有两条诱发裂缝产生,如图5所示,其中实线箭头指示的是主裂缝方向,虚线箭头指示的是次裂缝方向。

[0068] 同理,分别记录岩心B和岩心C的压力数据,将岩心A和岩心B的两组实验结果进行对比,即可分析围压对裂缝二维扩展的影响,将岩心A和岩心C的两组实验结果进行对比,即可分析微裂缝发育对裂缝二维扩展的影响。对于微裂缝不太发育的露头岩心来说,基本呈现均衡驱替的效果。这是因为,实验模拟的注入压力还达不到破裂地层的效果。而对于微裂缝发育的露头岩心来说,当注入压力达到微裂缝开启压力时(小于岩石破裂压力),微裂缝开启,然后相互交错延伸。微裂缝越发育,呈现不均衡驱替的实验现象越早。

[0069] 通过裂缝二维扩展的物理模拟实验,我们可以发现,注入压力小于岩石破裂压力,仍然有诱发裂缝的产生,形成不均衡驱替。这就提醒我们再实际注水开发过程中,以压力破裂压力来界定注入压力的上限远远不够,还需加强诱发裂缝开启压力方面的研究。

[0070] 本发明采用大型露头平面物理模拟实验装置,可以系统地模拟注入压力及储层非

均质性的裂缝扩展规律,有利于研究实验研究裂缝分布对渗流的影响和注水时裂缝延伸的方向性及扩展机理,通过开展不同注水压力下注水模拟实验,分析不同方向上渗透率的变化特征,通过给予不同的围压条件,模拟不同围压对渗透率的影响,通过模拟储层非均质情况下,不同方向渗透率对裂缝扩展的影响。

[0071] 尽管具体地参考其优选实施例来示出并描述了本发明,但本领域的技术人员可以理解,可以作出形式和细节上的各种改变而不脱离所附权利要求书中所述的本发明的范围。以上结合本发明的具体实施例做了详细描述,但并非是对本发明的限制。凡是依据本发明的技术实质对以上实施例所做的任何简单修改,均仍属于本发明技术方案的范围。

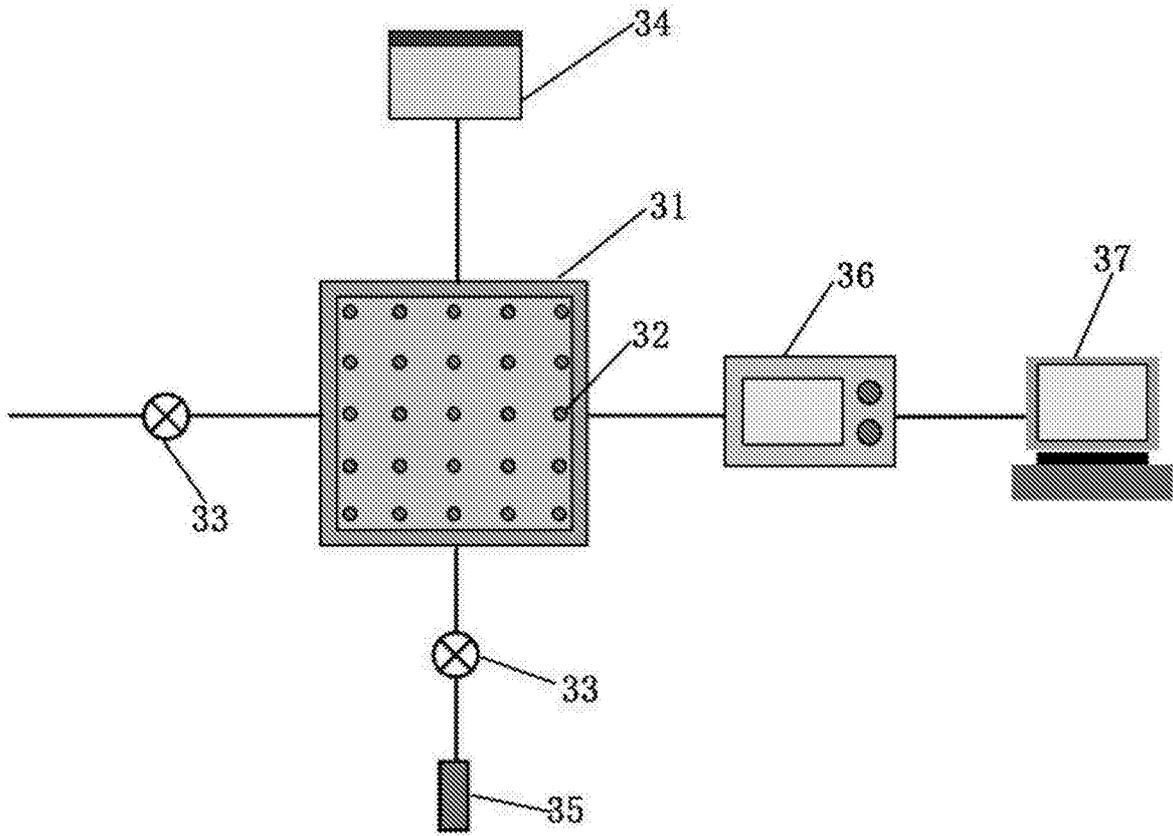


图1

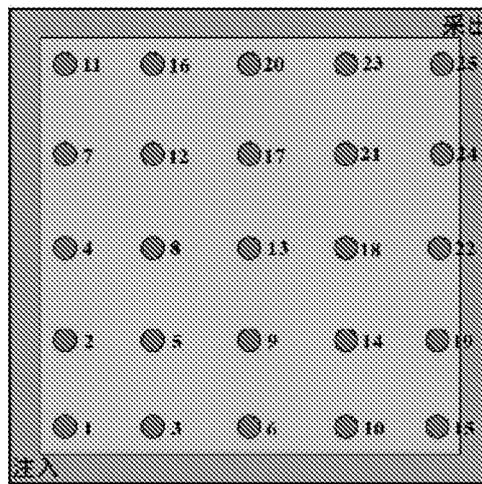


图2

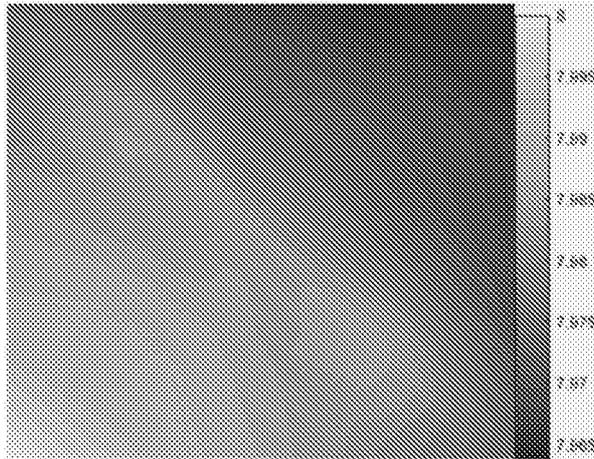


图3

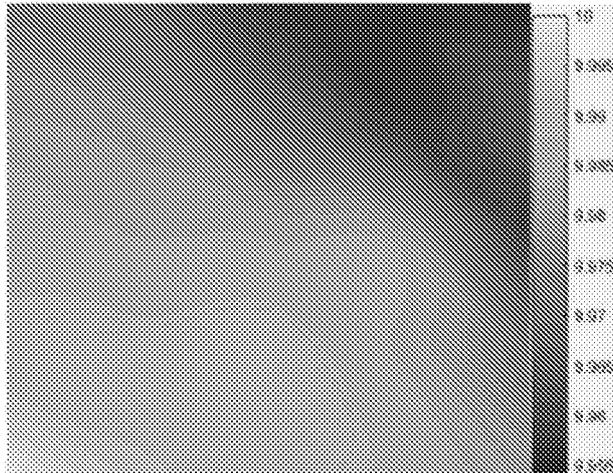


图4

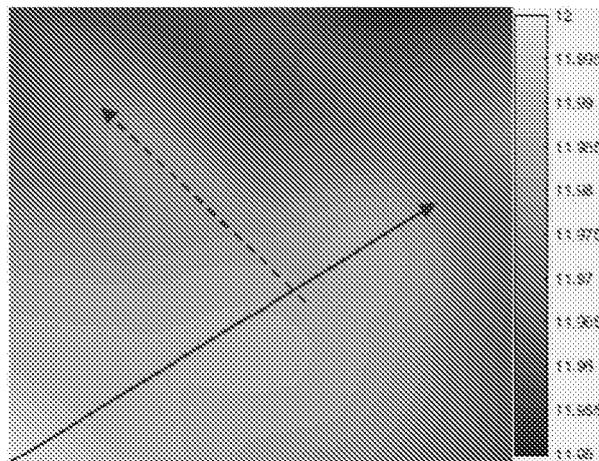


图5