



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112432889 B

(45) 授权公告日 2022. 02. 22

(21) 申请号 202011411907.9

(22) 申请日 2020.12.03

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112432889 A

(43) 申请公布日 2021.03.02

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所
地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72) 发明人 江文滨 林緬 曹高辉 姬莉莉
徐志朋 周羈

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理
事务所(普通合伙) 11390
代理人 焦海峰

(51) Int. Cl.
G01N 15/08 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 1053295 A, 1991.07.24

CN 209673605 U, 2019.11.22

CN 101430270 A, 2009.05.13

US 2019331826 A1, 2019.10.31

CN 111650108 A, 2020.09.11

李桂梅. 液体饱和法岩心孔隙度测量不确定度评定.《计量与测试技术》.2012,

程文胜. 陶瓷结合剂金刚石磨具的研究与应用.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 工程技术I辑》.2014, (第2期),

杨明杰 等. 低渗透致密岩自动加压及恒压孔隙度测试装置的研制.《石油仪器》.2010, 第24卷(第6期),

刘广峰 等. 卡尺丈量法和波义尔定律双室法孔隙度测量不确定度评定.《测量与设备》.2017, 第8卷

审查员 褚为静

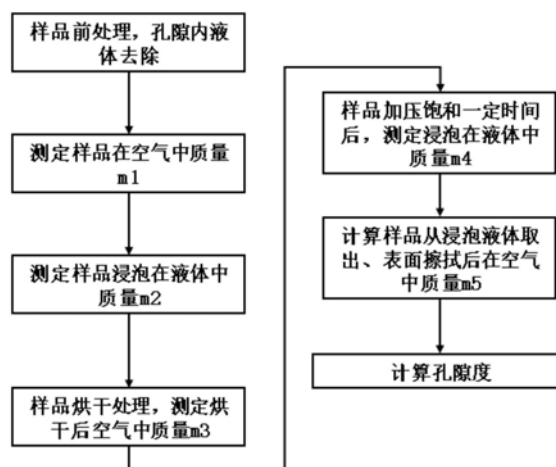
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种液体饱和法测岩石孔隙度的方法及校正方法

(57) 摘要

本发明属于石油科研技术领域, 涉及岩石孔隙度的测试技术, 针对当前液体饱和法测非常规岩石存在的由于饱和液体挥发或表面附着饱和液体擦除不完全等人为难以稳定控制、进而影响测试结果可靠性的问题, 本发明的目的在于提供一种液体饱和法测岩石孔隙度的方法及校正方法, 针对未测试液体饱和法孔隙度和块体密度的样品, 和已经测试获得液体饱和法孔隙度与块体密度的样品, 对样品进行烘干, 测定样品在空气中的质量, 测定样品浸泡在已知密度为的液体中的质量, 计算样品总体积, 计算样品的块体密度再计算校正后的孔隙度。本发明通过增加测试环节及提出校正方法, 对上述因素导致的液体饱和法测岩石孔隙度测试偏差进行校正, 提高液体饱和法测孔隙度的可靠性。



CN 112432889 B

1. 一种液体饱和法测岩石孔隙度的校正方法,其特征在于,针对已经测试获得液体饱和法孔隙度 ϕ_i 与块体密度 ρ_{bulk_i} 的样品,采用下述环节测定样品的块体密度后,再进行校正孔隙度,具体包括如下步骤:

(1) 对样品置入一定温度的环境中进行一定时间的烘干,测定样品在空气中的质量,记录为 m_6 ;

(2) 测定样品浸泡在已知密度为 ρ_1 的液体中的质量,记录为 m_7 ,计算样品总体积 $V_{\text{bulk}} = (m_6 - m_7) / \rho_1$,计算样品的块体密度 $\rho_{\text{bulk}} = m_6 / V_{\text{bulk}}$;

(3) 计算校正后的孔隙度 $\phi_f = \left(\phi_i - 1 + \frac{\rho_{\text{bulk}_i}}{\rho_{\text{bulk}}} \right) \frac{\rho_{\text{bulk}}}{\rho_{\text{bulk}_i}}$ 。

2. 根据权利要求1所述一种液体饱和法测岩石孔隙度的校正方法,其特征在于,所述步骤(1)中对样品置入100-150℃的环境中进行12小时以上的烘干,采用万分之一天平测定样品在空气中的质量,记录为 m_6 。

一种液体饱和法测岩石孔隙度的方法及校正方法

技术领域

[0001] 本发明属于石油科研技术领域,涉及岩石孔隙度的测试技术,尤其涉及一种液体饱和法测岩石孔隙度的方法及校正方法。

背景技术

[0002] 含油气储层岩石是一种典型的多孔介质,油气赋存于其内部的孔隙中,孔隙度定义为岩石内的孔隙体积与岩石块体体积之比,与岩石内油气含量直接相关。孔隙度测量结果的可靠性直接关系储量评价的准确程度。

[0003] 孔隙度一般采用符号 Φ 表示,等于孔隙体积 V_{pore} 和总体积 V_{bulk} 之比。孔隙度测试时需要测得上述两个物理量值。对于总体积 V_{bulk} ,一般采用阿基米德浮力法进行测试,该方法的原理和一种操作过程如图1所示,分别测定样品在空气中和浸泡在一种已知密度液体中的质量,根据浮力定律,两者之差除以液体的密度即为样品的总体积。由样品质量除以总体积即可得到样品的块体密度 ρ_{bulk} 。

[0004] 在此基础上,孔隙度的测试一般有两类方法,即液体饱和法和氦气法。液体饱和法(如图2所示)的原理是对经过前处理的岩石样品放入腔体中,注入已知密度的液体(常用无水酒精等),并加压,使其进入样品的孔隙中;通过称量加压饱和前后的样品质量差,除以液体密度即可得到样品的孔隙体积,进而计算孔隙度。

[0005] 氦气法测定孔隙度采用的是间接法(如图3所示),通过测定岩石的骨架体积 V_{sample} ,采用总体积减去后得到孔隙体积 V_{pore} 。其中,骨架体积的测试依据的是波义尔定律,即一定温度下气体的压强和体积成反比。两个腔体中的基准腔体积 V_{base} 已知。测试前两个腔体及连接管路抽真空,首先关闭中间阀门,向基准腔内注入一定量的气体,记录压力 P_1 ,接着打开阀门,等待平衡后记录压力 P_2 ,根据波义尔定律,打开阀门前后的体积比等于压力比(下图中的 Z 为真实体积的压缩因子,理想气体的 Z 为1),进而确定样品腔的体积。分别对样品腔内无样品和有样品情况采用上述方法进行测试,两者之差即为样品的骨架体积。

[0006] 两种方法在工程实际中均有应用,具有各自的优势与不足。液体饱和法可一次性进行大量样品的测试,具有测试效率高的特点;但是其要求所采用的液体不会与岩石骨架发生化学反应。氦气法采用氦气分子小,可进入较小的孔隙且,且氦气为惰性气体,基本无吸附,不会与样品发生反应且测试后容易去除。但是该方法每个测试位每次仅能测试一个样品,尤其对于十分致密样品,气体进入孔隙所需的时间较常规样品显著增长,测试效率相对较低。当前,从效率角度出发,生产单位尽可能采用的还是液体饱和法测孔隙度。

[0007] 相关国家标准——GB/T 29172-2012岩心分析方法——中规定的液体饱和法的测试步骤为先测定样品的孔隙体积,再测定样品的块体密度(如图4所示)。氦孔法的测试块体密度时,则先测定样品在空气中的质量,再测定样品浸泡在饱和液体中的质量,根据质量差与饱和液体密度确定总体积及块体密度(如图1所示)。

[0008] 两种方法的测试步骤看似十分接近,但在实际实施过程中存在较大的差异。液体饱和法采用块体密度后置的方式有其内在原因,现有方法浸泡在饱和液体中称重环节可直

接与加压饱和环节衔接,减少测试环节,提高效率。如果采用氦气法的先测块体密度的方法——即样品在完成前处理、测试空气中称重后再进行浸泡在液体称重以确定总体积和块体密度后,仍需要再次进行抽真空处理以尽可能去除样品内的残余气体,降低其对饱和液体进入的限制导致孔隙体积结果偏低。这种方案将导致测试环节的显著增加而未被采纳。

[0009] 然而,当前液体饱和法测块体体积以及孔隙体积均容易存在较大的不确定性。液体饱和法测试过程中,将饱和样品从饱和液体取出时,应擦除表面附着的饱和液体以免干扰,但是由于饱和液体可能易挥发或者人为操作的不稳定性,难免存在表面附着饱和液体挥发或未去除干净,不容易控制,相对来说可靠性差。这种影响对于具有低孔隙度特征的非常规储层来说更为显著。相对来说,氦气法操作中不存在上述问题,过程容易控制,结果比较稳定。我们对不同批次的页岩样品进行测试发现,不同时间的页岩采用无水酒精饱和法测试的块体密度要小于氦气法测试的块体密度,测偏差的幅度各不相同,证实了上述问题的存在。

发明内容

[0010] 针对当前液体饱和法测非常规岩石存在的由于饱和液体挥发或表面附着饱和液体擦除不完全等人为难以稳定控制、进而影响测试结果可靠性的问题,本发明的目的在于提供一种液体饱和法测岩石孔隙度的方法及校正方法,本发明通过提出新的测试方法及校正方法,对上述因素导致的液体饱和法测岩石孔隙度测试偏差进行校正。

[0011] 本发明采取的技术方案为:

[0012] 一种液体饱和法测岩石孔隙度的方法,针对未测试液体饱和法孔隙度和块体密度的样品,具体包括如下步骤:

[0013] (1) 对样品进行前处理,以去除孔隙中原生残留的液态物质,以排除其对样品块体密度和孔隙度测试的影响;

[0014] (2) 采用万分之一天平测定样品在空气中的质量,记录为 m_1 ;

[0015] (3) 采用带比重架的万分之一天平测定样品浸泡在已知密度为 ρ_1 的液体中的质量,记录为 m_2 ,计算样品总体积 $V_{\text{bulk}} = (m_1 - m_2) / \rho_1$;采用先测空气中质量再测试浸泡在液体中质量的顺序测定样品的总体积,不存在擦拭表面附着浸泡液体环节,稳定可控;

[0016] (4) 对样品置入一定温度的环境中进行一定时间的烘干,采用万分之一天平测定样品在空气中的质量,记录为 m_3 ,计算样品的块体密度 $\rho_{\text{bulk}} = m_3 / V_{\text{bulk}}$;采用去除样品孔隙内自由水和束缚水的质量计算块体密度,排除水分对块体密度的干扰;

[0017] (5) 对样品采用已知密度为 ρ_1 的液体进行抽真空加压饱和一定时间后,测定样品浸泡在饱和液体中的质量 m_4 ;通过抽真空加压饱和使得饱和液体进入到样品孔隙中;

[0018] (6) 计算含饱和液体样品在空气中的质量 $m_5 = m_4 + \frac{m_3 \rho_1}{\rho_{\text{bulk}}}$;根据阿基米德浮力定律,饱和液体样品在空气和饱和液体中的质量差等于饱和液体密度与块体体积的乘积;

[0019] (7) 计算孔隙度 $\phi = \frac{\frac{m_5 - m_3}{\rho_1}}{\frac{m_5 - m_4}{\rho_{\text{bulk}}}} = \frac{m_5 - m_3}{m_5 - m_4}$;根据饱和液体前后质量差于饱和液体密度

确定饱和液体体积即为孔隙体积,除以块体体积可得孔隙度。

[0020] 进一步的,所述步骤(4)中对样品置入100-150℃的环境中进行12小时以上的烘干,采用万分之一天平测定样品在空气中的质量,记录为m3。

[0021] 进一步的,所述步骤(5)中对样品采用已知密度为 ρ_1 的液体进行抽真空加压13.8-20.7MPa饱和至少4小时后,测定样品浸泡在饱和液体中的质量m4。

[0022] 一种液体饱和法测岩石孔隙度的方法,针对已经测试获得液体饱和法孔隙度 ϕ_i 与块体密度 ρ_{bulk_i} 的样品,采用下述环节测定样品的块体密度后,再进行校正孔隙度,具体包括如下步骤:

[0023] (1)对样品置入一定温度的环境中进行一定时间的烘干,采用万分之一天平测定样品在空气中的质量,记录为m6;

[0024] (2)采用带比重架的万分之一天平测定样品浸泡在已知密度为 ρ_1 的液体中的质量,记录为m7,计算样品总体积 $V_{bulk} = (m6 - m7) / \rho_1$,计算样品的块体密度 $\rho_{bulk} = m6 / V_{bulk}$;

[0025] (3)计算校正后的孔隙度 $\phi_f = \left(\phi_i - 1 + \frac{\rho_{bulk_i}}{\rho_{bulk}} \right) \frac{\rho_{bulk}}{\rho_{bulk_i}}$ 。

[0026] 详细推导如下:单位质量(1g)样品,采用液体饱和法测块体密度 ρ_{bulk_i} 和孔隙度 ϕ_i 计算总体积为 $1/\rho_{bulk_i}$,孔隙体积为 ϕ_i/ρ_{bulk_i} ;采用块体密度 ρ_{bulk} 计算总体积为 $1/\rho_{bulk}$,该值与液体饱和法的总体积之差即为不合理擦拭表面液体导致的误差。如果擦拭不充分,表面仍有附着液体,将导致浸没液体与空气中样品质量之差较真实值偏小,总体积偏大,块体密度偏小;如果擦拭过度或挥发,导致孔隙中的部分饱和液体减少,将导致浸没液体与空气中样品质量之差较真实值偏大,总体积偏小,块体密度偏大。该误差对孔隙体积有相同的影响,浸没液体和饱和液体为同一种液体,孔隙体积的偏差值与总体积的偏差值相等。

[0027] 由此,可以推导得到

$$\begin{aligned} \phi_f &= \frac{V_{pore}}{V_{bulk}} \\ &= \frac{V_{pore_i} + (V_{bulk} - V_{bulk_i})}{V_{bulk}} \\ [0028] \quad &= \frac{\phi_i / \rho_{bulk_i} + (1 / \rho_{bulk} - 1 / \rho_{bulk_i})}{1 / \rho_{bulk}} \\ &= \left(\phi_i - 1 + \frac{\rho_{bulk_i}}{\rho_{bulk}} \right) \frac{\rho_{bulk}}{\rho_{bulk_i}} \end{aligned}$$

[0029] 进一步的,所述步骤(1)中对样品置入100-150℃的环境中进行12小时以上的烘干,采用万分之一天平测定样品在空气中的质量,记录为m6。

[0030] 本发明的有益效果为:

[0031] 对于未采用当前液体饱和法测试孔隙度的样品,采用本发明方法可避免当前液体饱和法潜在的因不合理擦拭可能导致的孔隙体积和块体密度的误差,提高结果的稳定性,降低人为因素影响;同时对于已采用现有方法测试的样品,通过本发明方法,可对孔隙度结果进行校正,明确现有方法测试结果的偏差。

[0032] 采用本发明提出的方法,可对现有的液体饱和法由于饱和后表面附着饱和液体擦拭不完全或挥发导致的测块体密度及孔隙度结果存在不确定性的问题进行校正,提高液体饱和法测孔隙度的可靠性,为储层岩石的含油气性评价提供更为高效且可靠的技术支撑。

附图说明

[0033] 图1为现有技术中岩石总体积和块体密度测试原理示意图;

[0034] 图2为现有技术中液体饱和法测孔隙度原理示意图;

[0035] 图3为现有技术中氦孔法测孔隙度原理示意图;

[0036] 图4为现有技术中液体饱和法测块体密度步骤及原理示意图;

[0037] 图5为本发明中针对未测试液体饱和法孔隙度和块体密度的样品采用的方法流程示意图;

[0038] 图6为本发明中针对已经测试获得液体饱和法孔隙度 ϕ_i 与块体密度 ρ_{bulk_i} 的样品采用的校正方法流程示意图。

具体实施方式

[0039] 下面结合附图进一步说明本发明。

[0040] 在中国科学院力学研究所开展的页岩和致密砂岩孔隙度测试过程中,发现现有的液体饱和法测试块体密度与氦孔法结果存在显著差异,采用本发明方法对已有的液体饱和法测试结果进行校正。

[0041] 实施例1

[0042] 如图5所示,一种液体饱和法测岩石孔隙度的方法,对于未测试液体饱和法孔隙度和块体密度的样品,饱和液体采用酒精,本方法包括如下的测试过程及计算步骤:

[0043] (1) 对样品进行前处理,去除孔隙中原生残留的液体(液态烃、石油);

[0044] (2) 采用万分之一天平测定样品在空气中的质量,记录为 m_1 ;

[0045] (3) 采用带比重架的万分之一天平测定样品浸泡在已知密度为 ρ_1 的液体中的质量,记录为 m_2 ,计算样品总体积 $V_{\text{bulk}} = (m_1 - m_2) / \rho_1$;

[0046] (4) 对样品置入一定温度(110℃)的环境中进行一定时间(12小时)的烘干,采用万分之一天平测定样品在空气中的质量,记录为 m_3 ,计算样品的块体密度 $\rho_{\text{bulk}} = m_3 / V_{\text{bulk}}$;

[0047] (5) 对样品采用已知密度为 ρ_1 的液体进行抽真空加压(20MPa)饱和一定时间(24小时)后,测定样品浸泡在饱和液体(酒精)中的质量 m_4 ;

[0048] (6) 计算含饱和液体样品在空气中的质量 $m_5 = m_4 + \frac{m_3 \rho_1}{\rho_{\text{bulk}}}$;

[0049] (7) 计算孔隙度 $\phi = \frac{\frac{m_5 - m_3}{\rho_1}}{m_5 - m_4} = \frac{m_5 - m_3}{m_5 - m_4}$ 。

[0050] 有3个样品,采用实施方案1,测试过程数据记录如下:

样品编号	饱和液体密度 (g/cm ³)	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	块体密度 (g/cm ³)	m4 (g)	m5 计算 (g)	孔隙度 (%)
[0051] 1	0.7872	32.2089	22.1380	32.0247	2.503	22.4468	32.5177	4.90
2	0.7872	46.7742	32.5887	46.5629	2.584	32.5793	46.7648	1.42
3	0.7875	67.0305	46.5529	66.7265	2.566	46.5828	67.0604	1.63

[0052] 上述3个样品,间隔一段时间(9个月),再次采用发明1-3的步骤进行视密度测试,所得视密度与前次测试结果十分接近。

样品编号	饱和液体密度 (g/cm ³)	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	块体密度 (g/cm ³)
[0053] 1	0.7865	32.1303	22.0714	32.0482	2.506
2	0.7865	46.7738	32.5973	46.5906	2.585
3	0.7865	66.8935	46.4438	66.7458	2.567

[0054] 实施例2

[0055] 在实施例1的基础上,如图6所示,一种液体饱和法测岩石孔隙度的校正方法,对于已经测试获得液体饱和法孔隙度 ϕ_i 与块体密度 ρ_{bulk_i} 的样品,饱和液体采用酒精,可采用下述环节测定样品的块体密度后,再进行校正孔隙度。

[0056] (1) 对样品置入一定温度(110℃)的环境中进行一定时间(12小时)的烘干,采用万分之一天平测定样品在空气中的质量,记录为m6;

[0057] (2) 采用带比重架的万分之一天平测定样品浸泡在已知密度为 ρ_1 的液体中的质量,记录为m7,计算样品总体积 $V_{bulk} = (m6 - m7) / \rho_1$, 计算样品的块体密度 $\rho_{bulk} = m6 / V_{bulk}$;

[0058] (3) 计算校正后的孔隙度 $\phi_f = \left(\phi_i - 1 + \frac{\rho_{bulk_i}}{\rho_{bulk}} \right) \frac{\rho_{bulk}}{\rho_{bulk_i}}$ 。

[0059] 与实施例1中相同的3个样品,采用液体饱和法测块体密度与实施例1中方法存在不同程度偏差(既有偏大,也有偏小),相应的孔隙度也与实施例1中测试孔隙度存在偏差,采用实施例1中的视密度进行校正后,所得孔隙度与实施例1结果接近。

样品编号	液体饱和法块体密度 (g/cm ³)	液体饱和法孔隙度 (%)	校正孔隙度 (%)
[0060] 1	2.532	3.82	4.91
2	2.569	1.98	1.41
3	2.502	4.10	1.64

[0061] 以上所述并非是对本发明的限制,应当指出:对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明实质范围的前提下,还可以做出若干变化、改型、添加或替换,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

总体积 $V_{\text{bulk}} = (m_2 - m_1) / \rho_{\text{酒精}}$ (阿基米德浮力法)

块体密度 $\rho_{\text{bulk}} = m_d / V_{\text{bulk}}$

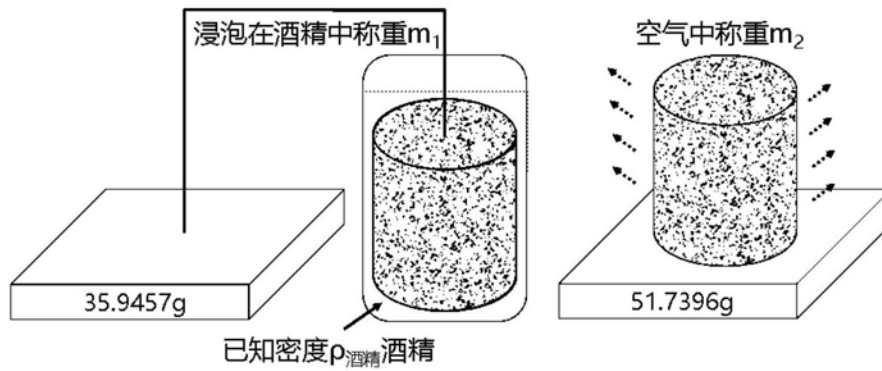


图1

孔隙度 $\Phi = \frac{\text{孔隙体积 } V_{\text{pore}}}{\text{总体积 } V_{\text{bulk}}} \longrightarrow = (m_2 - m_3) / \rho_{\text{酒精}}$
 (阿基米德浮力法)

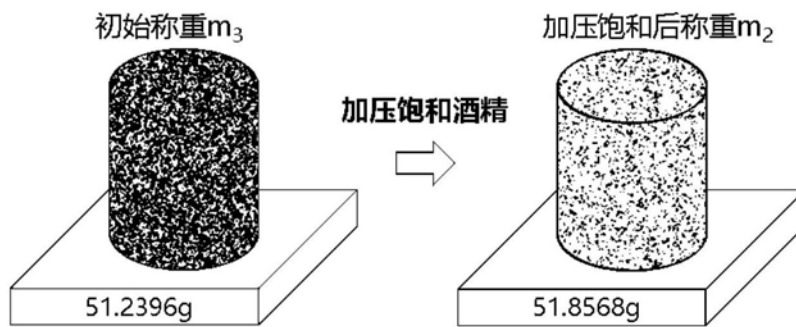


图2

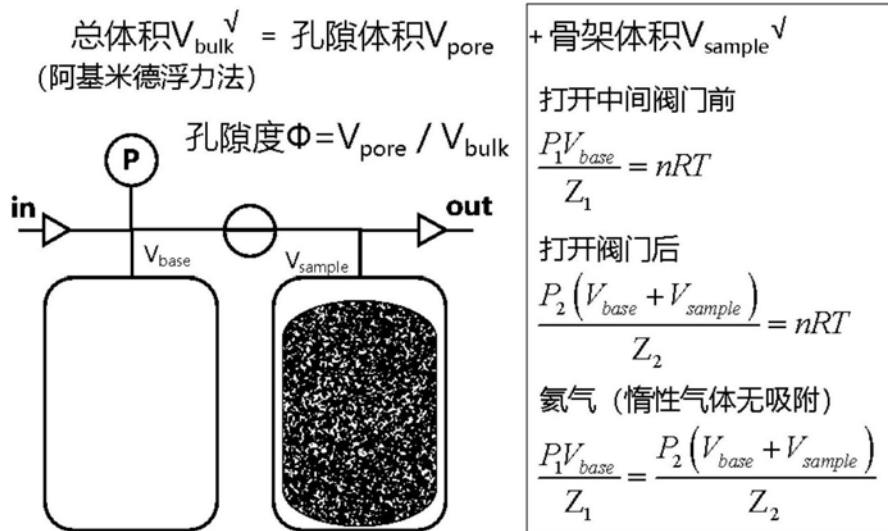


图3

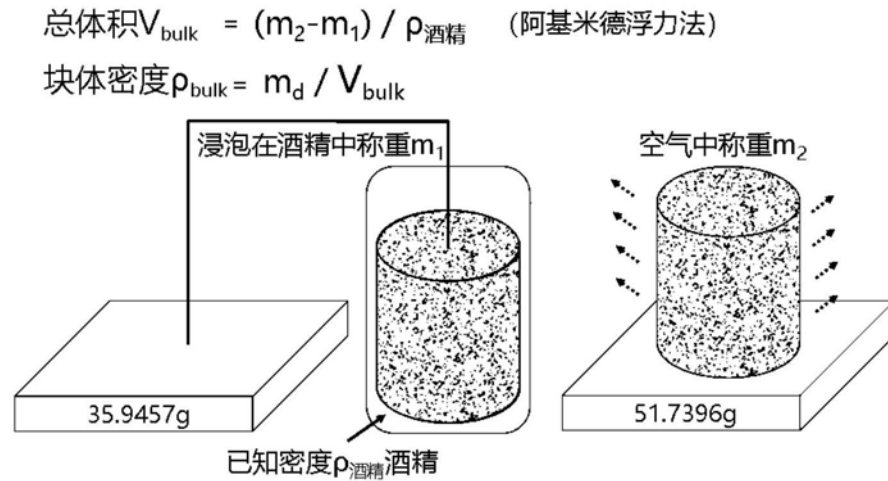


图4

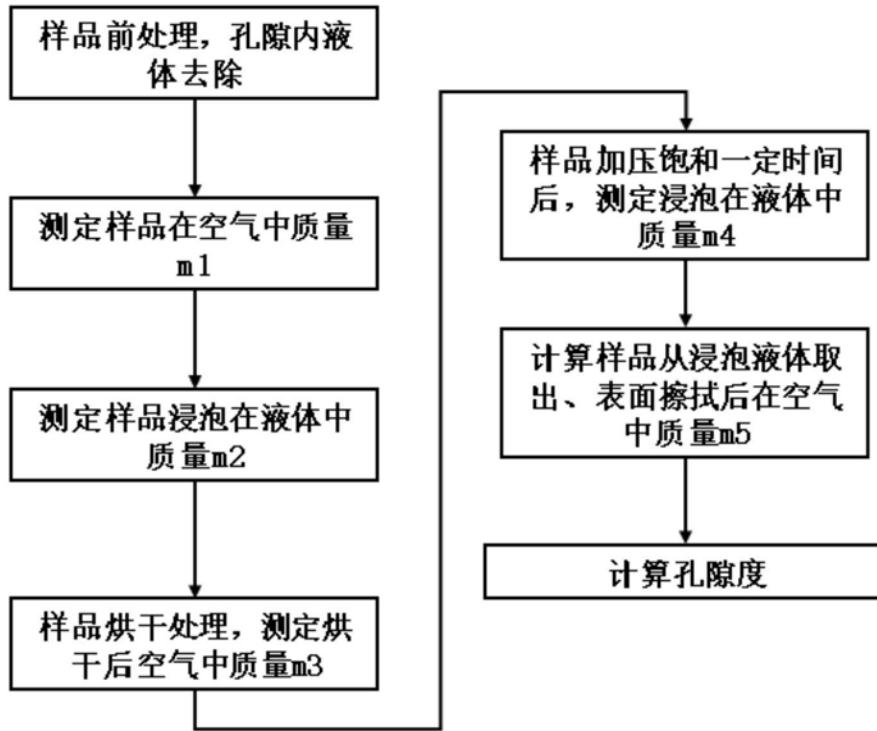


图5

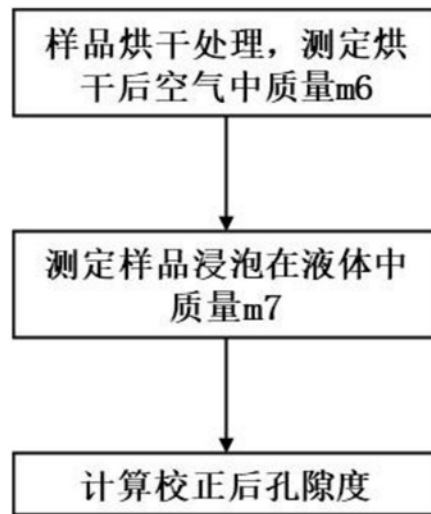


图6