



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110761756 B

(45) 授权公告日 2021.08.17

(21) 申请号 201911006354.6

(22) 申请日 2019.10.22

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110761756 A

(43) 申请公布日 2020.02.07

(73) 专利权人 西南石油大学
地址 610500 四川省成都市新都区新都大道8号

(72) 发明人 汪周华 廖浩奇 王聚锋 郭平
杜建芬 于家义 李丰辉 寇根
冯鑫 刘煌 余俊雄 鲁瑜

(74) 专利代理机构 成都金英专利代理事务所
(普通合伙) 51218
代理人 袁英

(51) Int. Cl.
E21B 43/20 (2006.01)
E21B 43/24 (2006.01)
E21B 47/00 (2012.01)
E21B 47/06 (2012.01)
G06Q 50/02 (2012.01)
G09B 25/04 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 110261571 A, 2019.09.20

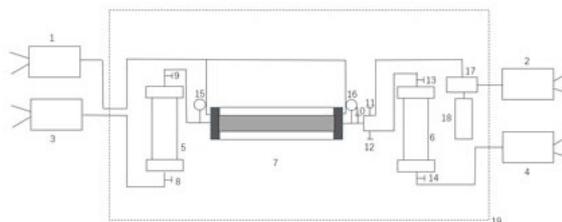
(54) 发明名称
一种低渗油藏考虑能量流动的注水吞吐采收率测试方法

(57) 摘要
本发明涉及一种低渗油藏考虑能量流动的注水吞吐采收率测试方法,依靠岩心驱替装置完成,该装置由围压泵、岩心夹持器、回压泵、模拟油中间容器、地层水中间容器等组成,该方法包括:(1)配制模拟油,测试其体积系数 B_0 ; (2)选取含裂缝柱塞岩心若干块,测试岩心直径 D_i 、长度 L_i 、质量 M_{i1} 、渗透率 K_i ; (3)建立岩心束缚水饱和度; (4)岩心饱和模拟油; (5)计算衰竭开发模拟油的采收率 R_0 ; (6)打开模拟油中间容器,模拟远

CN 102900408 A, 2013.01.30
CN 109113692 A, 2019.01.01
US 4543821 A, 1985.10.01
US 2018/0335374 A1, 2018.11.22
CN 103954731 A, 2014.07.30
CN 102900408 A, 2013.01.30
CN 102953717 A, 2013.03.06
马铨峥等.致密储层弹性采收率规律及影响因素研究.《科学技术与工程》.2016,
钟晓等.气水相渗特征与高温高压实验研究.《重庆科技学院学报(自然科学版)》.2013,
李兆敏等.泡沫油衰竭开采后续水驱提高采收率实验研究.《中国石油大学学报(自然科学版)》.2014,第38卷
赵文琪等.衰竭式开采条件下原油采收率的确定.《国外油田工程》.2010,
高涛等.延长油田致密油藏注水吞吐机理及应用.《特种油气藏》.2018,
杨磊等.塔里木盆地塔中地区衰竭废弃缝洞型.《天然气地球科学》.2015,
Guo Ping. technologies and countermeasures for gas recovery enhancement.《Natural Gas Industry》.2014,
审查员 张敏

权利要求书2页 说明书4页 附图1页

井区能量流动,得到第一轮次注水吞吐采收率 R_1 ; (7)重复步骤(6),得到第 i 轮次注水吞吐采收率 R_i 。本发明原理可靠、简单适用,可精确评价真实储层条件下注水吞吐采收率,具有广阔的市场应用前景。



CN 110761756 B

1. 一种低渗油藏考虑能量流动的注水吞吐采收率测试方法, 依靠岩心驱替装置完成, 该装置由围压泵(1)、岩心夹持器(7)、回压泵(2)、油水分离器(18)、模拟油中间容器(5)、驱替泵一(3)、地层水中间容器(6)、驱替泵二(4)组成, 所述岩心夹持器(7)连接围压泵(1), 其入口端连接模拟油中间容器(5)和驱替泵一(3), 出口端分别连接回压阀(17)、地层水中间容器(6), 地层水中间容器连接驱替泵二(4), 回压阀连接油水分离器(18)和回压泵(2), 所述岩心夹持器、模拟油中间容器、地层水中间容器和油水分离器均置于恒温箱中, 该方法依次包括以下步骤:

(1) 取得某油藏单井目前生产条件下的脱气原油, 根据实际油藏油水粘度比 μ_R 、地层水粘度 μ_w , 确定模拟油粘度 $\mu_o = \mu_w \times \mu_R$, 配制模拟油, 测试其体积系数 B_0 ;

(2) 选取含裂缝柱塞状岩心若干块, 清洗烘干后测试每块岩心直径 D_i 、长度 L_i 、质量 M_{i1} 、渗透率 K_i 、孔隙度 Φ_i ;

(3) 根据实际油藏的束缚水饱和度 S_w , 建立岩心束缚水饱和度;

(4) 将若干块岩心按照从入口至出口渗透率逐渐增高的顺序放入岩心夹持器中, 记录模拟油中间容器中的模拟油体积 V_0 ; 启动围压泵、回压泵和驱替泵一, 给岩心夹持器施加围压和回压, 通过驱替泵一向岩心夹持器中注入模拟油, 围压比驱替压力大4MPa, 回压比驱替压力大1MPa, 逐级升高驱替压力至原始地层压力 P_0 时, 将回压调至 P_0 , 压力稳定后, 关闭驱替泵一及模拟油端阀门, 记录岩心注入模拟油体积 V_{01} , 计算模拟油中间容器剩余油体积 $V_1 = V_0 - V_{01}$;

(5) 逐级降低回压至目前地层压力 P , 记录油水分离器产油量 $V_{油0}$, 计算衰竭开发模拟油的采收率 $R_0 = 100\% \times B_0 \times V_{油0} / V_{01}$;

(6) 第一轮次注水吞吐采油: 关闭回压阀, 驱替泵二以恒定压力1.25P从岩心夹持器出口端注入地层水, 直至入口端压力升高至1.25P, 关闭注水端阀门; 模拟油中间容器初始压力为 P_0 , 打开模拟油中间容器, 模拟远井区能量流动, 压力稳定后, 打开回压阀, 记录油水分离器采出油量 $V_{油1}$, 此时模拟油中间容器压力为 P_1 , 计算远井区向岩心补给油量 $V_{b1} = (P_0/P_1 - 1) \times V_1$, 得到第一轮次注水吞吐采油累计采收率 $R_1 = 100\% \times B_0 \times V_{油1} / (V_{01} + V_{b1}) + R_0$;

第二轮次注水吞吐采油: 关闭回压阀, 启动驱替泵二, 在恒定压力1.25P条件下向岩心夹持器出口端注入地层水, 直至入口端压力升高至1.25P, 关闭注水端阀门; 打开模拟油中间容器阀门, 模拟远井区能量流动, 压力稳定后, 打开回压阀, 记录油水分离器采出油量 $V_{油2}$, 此时入口端压力为 P_2 , 计算远井区向岩心补给油量 $V_{b2} = (P_1/P_2 - 1) \times (V_1 - V_{b1})$, 得到第二轮次注水吞吐采油累计采收率 $R_2 = 100\% \times B_0 \times V_{油2} / (V_0 + V_{b1} + V_{b2}) + R_1$;

第三轮次吞吐注水采油: 关闭回压阀, 启动驱替泵二, 在恒定压力1.25P条件下向岩心夹持器出口端注入地层水, 直至入口端压力升高至1.25P, 关闭注水端阀门; 打开模拟油中间容器阀门, 模拟远井区能量流动, 压力稳定后, 打开回压阀, 记录油水分离器采出油量 $V_{油3}$, 此时入口端压力为 P_3 , 计算远井区向岩心补给油量 $V_{b3} = (P_2/P_3 - 1) \times (V_1 - V_{b1} - V_{b2})$, 得到第三轮次注水吞吐采油累计采收率 $R_3 = 100\% \times B_0 \times V_{油3} / (V_0 + V_{b1} + V_{b2} + V_{b3}) + R_2$;

(7) 第 i 轮次注水吞吐采油: 计算远井区向岩心补给油量 $V_{bi} = (P_{i-1}/P_i - 1) \times (V_1 - V_{b1} - V_{b2} - \dots - V_{bi-1})$, 得到第 i 轮次注水吞吐采油累计采收率 $R_i = 100\% \times B_0 \times V_{油i} / (V_{01} + V_{b1} + V_{b2} + \dots + V_{bi}) + R_{i-1}$ 。

2. 如权利要求1所述的一种低渗油藏考虑能量流动的注水吞吐采收率测试方法, 其特

征在于,所述步骤(3)建立岩心束缚水饱和度,过程如下:根据实际油藏的束缚水饱和度 S_w ,计算每块岩心应饱和束缚水体积 $V_{iw}=0.25\pi\times D_i^2\times L_i\times\Phi_i\times S_w$ 、束缚水质量 $M_{i2}=V_{iw}\times\rho_w$, ρ_w 为地层水密度,饱和束缚水后每块岩心质量 $M_{i3}=M_{i1}+M_{i2}$;将干燥岩心置于中间容器中,抽真空后向中间容器中注满地层水,加压至油藏原始地层压力 P_0 ,升温至原始地层温度 T_0 ,稳定48小时,取出岩心,置于烘箱内,每隔10分钟测试每块岩心质量,直至每块岩心质量为 M_{i3} 。

一种低渗油藏考虑能量流动的注水吞吐采收率测试方法

技术领域

[0001] 本发明涉及石油天然气勘探开发领域低渗透致密油藏考虑远井区能量流动的注水吞吐采收率测试方法。

背景技术

[0002] 低渗透致密油藏逐渐成为我国油气勘探开发领域的主要开采对象,该类油藏储层孔隙度小、渗透率差,衰竭开采采出程度低。体积压裂后注水吞吐开发是该类油藏目前广泛采用的开采方式之一,体积压裂后,储层缝网发育,在注水吞吐过程中,一方面可以有效补充地层能量,另一方面增加裂缝-孔隙储层中油水接触面积,提高了水油置换效率,提高了吞吐效果。

[0003] 目前国内外许多学者对注水吞吐机理及应用开展了大量研究,现有的实验测试方法大多在闷井时关闭出入口阀门,生产时打开出口阀门(王敦邦,杨胜来,吴润桐,等.致密油藏渗吸采油影响因素及作用机理[J].大庆石油地质与开发,2018,37(06):158-163),但是此方法没有考虑在真实地层情况下,远井区的地下原油会向近井区流动,进行能量补充。同时对于低渗岩心束缚水建立时,大多实验方法是抽真空后饱和水后用模拟油驱替(高涛,赵习森,党海龙,等.延长油田致密油藏注水吞吐机理及应用[J].特种油气藏,2018,25(04):134-137)或者是通用的方法定量饱和束缚水(杜建芬,汪周华,郭平,等.裂缝—孔隙(孔洞)型储层岩心束缚水的确定与建立方法[P].CN102608011A,2012-07-25),但是对于低渗致密油藏,用此类实验方法,岩心中束缚水分布不均,对实验精确性有较大影响。因此,精确建立束缚水,然后考虑远井区能量流动的注水吞吐驱油对于评价现场注水吞吐在低渗油藏中的应用具有重要的指导意义。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于在精确建立束缚水的条件下,提供一种低渗油藏考虑能量流动的注水吞吐采收率测试方法,该方法原理可靠、简单适用,可精确评价真实储层条件下注水吞吐采收率,具有广阔的市场应用前景。

[0005] 为达到以上技术目的,本发明采用以下技术方案。

[0006] 一种低渗油藏考虑能量流动的注水吞吐采收率测试方法,依靠岩心驱替装置完成,该装置由围压泵、岩心夹持器、回压泵、油水分离器、模拟油中间容器、驱替泵一、地层水中间容器、驱替泵二、恒温箱组成,所述岩心夹持器连接围压泵,其入口端连接模拟油中间容器和驱替泵一,出口端分别连接回压阀、地层水中间容器,地层水中间容器连接驱替泵二,回压阀连接油水分离器和回压泵,所述岩心夹持器、中间容器、油水分离器置于恒温箱中,该方法依次包括以下步骤:

[0007] (1) 取得某油藏单井目前生产条件下的脱气原油,根据实际油藏油水粘度比 μ_R 、地层水的粘度 μ_w (mPa·s),确定模拟油粘度 $\mu_o = \mu_w \times \mu_R$;按照行业标准《油气藏流体物性分析方法》(SY/T5542-2009)配制模拟油,测试其体积系数 B_0 (ml/ml);

[0008] (2) 选取含裂缝柱塞岩心若干块(不低于五块),清洗烘干后测试每块岩心直径 D_i (cm)、长度 L_i (cm)、质量 M_{i1} (g)、渗透率 K_i (mD)、孔隙度 Φ_i (%) ;

[0009] (3) 建立岩心束缚水饱和度:根据实际油藏的束缚水饱和度 S_w ,计算每块岩心应饱和和束缚水体积 $V_{iw} = 0.25\pi \times D_i^2 \times L_i \times \Phi_i \times S_w$ 、束缚水质量 $M_{i2} = V_{iw} \times \rho_w$ (ρ_w 为地层水密度),饱和和束缚水后每块岩心质量 $M_{i3} = M_{i1} + M_{i2}$;将干燥岩心置于中间容器中,并抽真空后向中间容器中注满地层水,加压至油藏原始地层压力 P_0 (MPa),升温至原始地层温度 T_0 ($^{\circ}\text{C}$),稳定48小时,取出岩心,置于烘箱内,每隔10分钟测试每块岩心质量,直至每块岩心质量为 M_{i3} ;

[0010] (4) 岩心饱和模拟油:将岩心按照入口至出口渗透率逐渐增高的顺序放入岩心夹持器中,记录模拟油中间容器中的模拟油体积 V_0 ;启动围压泵、回压泵和驱替泵一,给岩心夹持器分别施加围压和回压,通过驱替泵一向岩心夹持器中注入模拟油,围压比驱替压力大4MPa,回压比驱替压力大1MPa,逐级升高驱替压力至原始地层压力 P_0 时,将回压调至 P_0 ,待压力稳定后,关闭驱替泵一及模拟油端阀门,记录岩心注入模拟油体积 V_{01} ,计算模拟油中间容器剩余油体积 $V_1 = V_0 - V_{01}$;

[0011] (5) 衰竭实验:逐级降低回压至目前地层压力 P (MPa),记录油水分离器产油量 $V_{油0}$ (ml),计算衰竭开发模拟油的采收率 $R_0 = 100\% \times B_0 \times V_{油0} / V_{01}$;

[0012] (6) 第一轮次注水吞吐采油:关闭回压阀,启动驱替泵二,将地层水中间容器压力升高至 $1.25P$,打开注水端阀门,驱替泵二以恒定压力 $1.25P$ 从岩心夹持器出口端注入地层水,直至入口端压力升高至 $1.25P$,关闭注水端阀门;模拟油中间容器初始压力为 P_0 ,打开模拟油中间容器阀门,模拟远井区能量流动,压力稳定后,打开回压阀,记录油水分离器采出油量 $V_{油1}$,此时模拟油中间容器压力为 P_1 ,计算远井区向岩心补给油量 $V_{b1} = (P_0/P_1 - 1) \times V_1$,得到第一轮次注水吞吐采油累计采收率 $R_1 = 100\% \times B_0 \times V_{油1} / (V_{01} + V_{b1}) + R_0$;

[0013] (7) 第 i 轮次注水吞吐采油:重复步骤(6),计算远井区向岩心补给油量 $V_{bi} = (P_{i-1}/P_i - 1) \times (V_1 - V_{b1} - V_{b2} - \dots - V_{b(i-1)})$,得到第 i 轮次注水吞吐采油累计采收率 $R_i = 100\% \times B_0 \times V_{油i} / (V_{01} + V_{b1} + V_{b2} + \dots + V_{bi}) + R_{i-1}$ 。

附图说明

[0014] 图1为高温高压注水吞吐实验测试装置。

[0015] 图中:1—围压泵;2—回压泵;3—驱替泵一;4—驱替泵二;5—模拟油中间容器;6—地层水中间容器;7—岩心夹持器;8、9、10、11、12、13、14—阀门;15、16—压力表;17—回压阀;18—油水分离器;19—烘箱。

具体实施方式

[0016] 下面根据附图和实施例进一步说明本发明。

[0017] 实施例1

[0018] 本实例中原始地层压力为15MPa,地层温度 50°C ,目前地层压力10MPa,模拟油粘度 $5.04\text{mPa} \cdot \text{s}$,模拟原油体积系数 1.197ml/ml 。

[0019] 一种低渗油藏考虑能量流动的注水吞吐采收率测试方法,依靠岩心驱替装置完成,该装置由围压泵1、岩心夹持器7、回压泵2、油水分离器18、模拟油中间容器5、驱替泵一3、地层水中间容器6、驱替泵二4、恒温箱19组成,所述岩心夹持器7连接围压泵1,其入口端

连接模拟油中间容器5和驱替泵一3,出口端分别连接回压阀17、地层水中间容器6,地层水中间容器6连接驱替泵二4,回压阀17连接油水分离器18和回压泵2,所述岩心夹持器7、模拟油中间容器5、地层水中间容器6和油水分离器18均置于恒温箱19中。

[0020] 一种低渗油藏考虑能量流动的注水吞吐采收率测试方法,依次包括以下步骤:

[0021] (1) 取得某油藏单井目前生产条件下的脱气原油,根据实际油藏油水粘度比 $\mu_R = 8$ 、地层水的粘度 $\mu_w = 0.63 \text{ mPa} \cdot \text{s}$,确定模拟油粘度 $\mu_o = \mu_w \times \mu_R = 8 \times 0.63 = 5.04 \text{ mPa} \cdot \text{s}$;按照行业标准《油气藏流体物性分析方法》(SY/T5542-2009)配制模拟油,测试其体积系数 $B_o = 1.197 \text{ (ml/ml)}$;

[0022] (2) 选取含裂缝柱塞岩心若干块(不低于五块),清洗烘干后测试每块岩心直径 D_i (cm)、长度 L_i (cm)、质量 M_{i1} (g)、渗透率 K_i (mD)、孔隙度 Φ_i (小数)测试结果如表1;

[0023] 表1 柱塞岩心物性参数测试结果

岩心序号	L/cm	D/cm	$\Phi/\%$	K/mD	M_{i1}/g
1	5.172	2.53	12.75	105.68	62.1796
2	5.729	2.53	12.42	97.74	66.6921
3	4.444	2.53	9.57	93.47	54.4444

4	4.436	2.53	10.26	90.81	54.209
5	6.116	2.53	11.18	134.59	73.5356

[0026] (3) 建立岩心束缚水饱和度:根据实际油藏的束缚水饱和度 S_w ,计算每块岩心应饱和束缚水体积 $V_{iw} = 0.25\pi \times D_i^2 \times L_i \times \Phi_i \times S_w$ 、束缚水质量 $M_{i2} = V_{iw} \times \rho_w$,饱和束缚水后每块岩心质量 $M_{i3} = M_{i1} + M_{i2}$;将干燥岩心置于中间容器中,抽真空后向中间容器中注满地层水,加压至油藏原始地层压力 $P_0 = 15 \text{ MPa}$,升温至原始地层温度 $T_0 = 50^\circ \text{C}$,稳定48小时,取出岩心,置于烘箱内,每隔10分钟测试每块岩心质量,直至每块岩心质量均为 M_{i3} ,计算结果如表2;

[0027] 表2 束缚水数据计算结果

岩心序号	V_{iw}/cm^3	M_{i2}/g	M_{i3}/g
1	1.6567	1.6887	63.8683
2	1.7876	1.8221	68.5142
3	1.0685	1.0891	55.5335
4	1.1435	1.1655	55.3745
5	1.7179	1.7510	75.2866

[0029] (4) 岩心饱和模拟油:将岩心按照入口至出口渗透率逐渐增高的顺序放入岩心夹持器7中,记录模拟油中间容器5中的模拟油体积 $V_0 = 20 \text{ ml}$;启动围压泵1、回压泵2和驱替泵一3,给岩心夹持器7分别施加围压和回压,通过驱替泵一3向岩心夹持器7中注入模拟油,围压比驱替压力大4MPa,回压比驱替压力大1MPa,逐级升高驱替压力至原始地层压力 $P_0 = 15 \text{ MPa}$ 时,将回压调至 $P_0 = 15 \text{ MPa}$,待压力稳定后,关闭驱替泵一3及模拟油端阀门9,记录岩心注入模拟油体积 $V_{o1} = 7.374 \text{ ml}$,计算模拟油中间容器剩余油体积 $V_1 = V_0 - V_{o1} = 20 - 7.374 = 12.626 \text{ ml}$;

[0030] (5) 衰竭实验:逐级降低回压至目前地层压力 $P = 10 \text{ MPa}$,记录油水分离器产油量 $V_{油0} = 0.269 \text{ ml}$,计算衰竭开发模拟油的采收率 $R_o = 100\% \times B_o \times V_{油0} / V_{o1} = 100\% \times 1.197 \times$

$0.269/7.374=4.367\%$;

[0031] (6) 第一轮次注水吞吐采油:关闭回压阀17,启动驱替泵二4,将地层水中间容器6压力升高至12.5MPa,打开注水端阀门12,驱替泵二以恒定压力12.5MPa从岩心夹持器7出口端注入地层水,直至入口端压力表15升高至12.5MPa,关闭注水端阀门12;模拟油中间容器5初始压力为 $P_0=15\text{MPa}$,打开模拟油中间容器阀门9,模拟远井区能量流动,压力稳定后,打开回压阀17,记录分离器采出油量 $V_{\text{油}1}=0.323\text{ml}$,此时模拟油中间容器压力为 $P_1=13.8\text{MPa}$,计算远井区向岩心补给油量 $V_{b1}=(P_0/P_1-1)\times V_1=(15/13.8-1)\times 12.626=1.098\text{ml}$,得到第一轮次注水吞吐采油累计采收率 $R_1=100\%\times B_0\times V_{\text{油}1}/(V_{01}+V_{b1})+R_0=100\%\times 1.197\times 0.323/(7.374+1.098)+4.367\%=8.93\%$;

[0032] (7) 第二轮次注水吞吐采油:关闭回压阀17,启动驱替泵二4,按照步骤(6)在恒定压力12.5MPa条件下向岩心夹持器7出口端注入地层水,直至入口端压力表15升高至12.5MPa,关闭注水端阀门12;打开模拟油中间容器阀门9,模拟远井区能量流动,压力稳定后,打开回压阀17,记录分离器18采出油量 $V_{\text{油}2}=0.237\text{ml}$,记录此时压力表15压力读数 $P_2=12.9\text{MPa}$;计算远井区向岩心补给油量 $V_{b2}=(13.8/12.9-1)\times (12.626-1.098)=0.804\text{ml}$,得到第二轮次注水吞吐采油累计采收率 $R_2=100\%\times B_0\times V_{\text{油}2}/(V_0+V_{b1}+V_{b2})+R_1=100\%\times 1.197\times 0.237/(7.37+1.098+0.804)+8.93\%=11.99\%$;

[0033] (8) 第三轮次吞吐注水采油:关闭回压阀17,启动驱替泵二4,按照步骤(6)在恒定压力12.5MPa条件下向岩心夹持器7出口端注入地层水,直至入口端压力表15升高至12.5MPa,关闭注水端阀门12;打开模拟油中间容器阀门9,模拟远井区能量流动,压力稳定后,打开回压阀17,记录分离器18采出油量 $V_{\text{油}3}=0.115\text{ml}$,记录此时压力表15压力读数 $P_3=12.5\text{MPa}$;计算远井区向岩心补给油量 $V_{b3}=(12.9/12.5-1)\times (12.626-1.098-0.804)=0.343\text{ml}$,得到第三轮次注水吞吐采油累计采收率 $R_3=100\%\times B_0\times V_{\text{油}2}/(V_0+V_{b1}+V_{b2}+V_{b3})+R_2=100\%\times 1.197\times 0.115/(7.37+1.098+0.804+0.343)+11.99\%=13.422\%$ 。

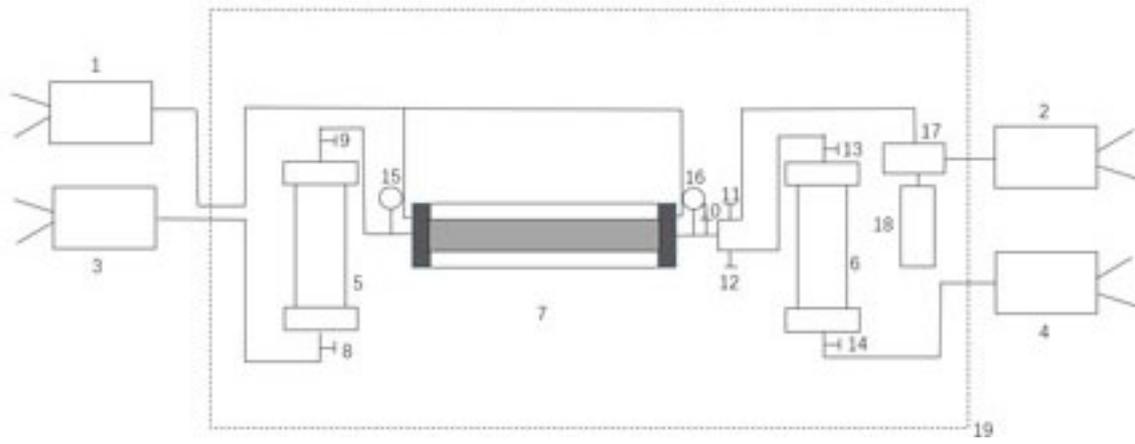


图1