

(19) 中华人民共和国国家知识产权局



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103983761 A

(43) 申请公布日 2014. 08. 13

(21) 申请号 201410255273. 0

(22) 申请日 2014. 06. 10

(71) 申请人 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 李明 刘萌 郭小阳 李早元
程小伟 刘健 杨雨佳 崇涛
黄盛 邓杨

(74) 专利代理机构 成都市辅君专利代理有限公
司 51120

代理人 杨海燕

(51) Int. Cl.

G01N 33/38 (2006. 01)

权利要求书1页 说明书5页

(54) 发明名称

以水泥石渗透率评价固井水泥环自修复性能
的方法

(57) 摘要

本发明公开了以水泥石渗透率评价固井水泥
环自修复性能的方法，包括：(1) 制备固井用自修
复水泥浆，养护成水泥石；(2) 在水泥石上取多个
相同的岩心，编号 S、S₁、S₂、…、S_n；(3) 以岩心 S
的抗压强度为基准，将岩心 S₁、S₂、…、S_n 分别进
行不同程度的预损伤；(4) 将预损伤后的岩心烘干
24h，分别测试其气体渗透率 K_{前1}、K_{前2}、…、K_{前n}；(5)
将岩心连续通入地层流体或模拟地层流体
8～12h，测试其渗透率变化；(6) 再次将岩心烘干
24h，分别测试其气体渗透率 K_{后1}、K_{后2}、…、K_{后n}；
(7) 判定修复情况；(8) 计算自修复率。本发明操
作简单，对固井水泥环微裂缝进行有效模拟，从而
量化评价固井水泥环的自修复性能。

1. 以水泥石渗透率评价固井水泥环自修复性能的方法,依次包括以下步骤:

(1) 制备固井用自修复水泥浆,然后将其灌入模具中,在设定的温度、压力条件下养护一定时间使其凝固成水泥石;

(2) 在水泥石上取多个相同的岩心,编号 S, S_1, S_2, \dots, S_n , 其中 $n = 1 \sim 5$, 选取岩心 S 为标准件, 测试其完全压裂时的抗压强度;

(3) 以标准件岩心 S 的抗压强度为基准, 将岩心 S_1, S_2, \dots, S_n 分别进行不同程度的预损伤;

(4) 将预损伤后的岩心 S_1, S_2, \dots, S_n 烘干 24h, 分别测试岩心 S_1, S_2, \dots, S_n 的气体渗透率 $K_{前1}, K_{前2}, \dots, K_{前n}$;

(5) 设定测试温度、压力, 将岩心 S_1, S_2, \dots, S_n 放入渗透率测试仪器中, 连续通入地层流体或模拟地层流体 8 ~ 12h, 测试其渗透率变化, 观察自修复材料的响应时间和裂缝的修复时间;

(6) 再次将岩心 S_1, S_2, \dots, S_n 烘干 24h, 分别测试通入流体后的岩心 S_1, S_2, \dots, S_n 的气体渗透率 $K_{后1}, K_{后2}, \dots, K_{后n}$;

(7) 判定修复情况, 若 $K_{后n} < K_{前n}$, 认为该水泥石具有自修复微裂缝的功能, 若 $K_{后n} \geq K_{前n}$, 则认为该水泥石无自修复微裂缝的功能;

(8) 计算自修复率, 自修复率 = $[(K_{前n} - K_{后n}) / K_{前n}] \times 100\%$ 。

2. 如权利要求 1 所述的以水泥石渗透率评价固井水泥环自修复性能的方法, 其特征在于, 当 $n = 3$ 时, 以标准件岩心 S 抗压强度为基准, 将岩心 S_1, S_2, S_3 分别进行 30%、50%、70% 的预损伤。

3. 如权利要求 1 所述的以水泥石渗透率评价固井水泥环自修复性能的方法, 其特征在于, 所述岩心的气体渗透率均为氦气渗透率。

以水泥石渗透率评价固井水泥环自修复性能的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及油气田勘探开发领域固井过程中以水泥石渗透率评价固井水泥环自修复性能的方法。

背景技术

[0002] 随着石油工业的发展,固井作业所面临的井况越来越复杂:油气井越来越深,井身结构越来越复杂,环空浆柱结构设计更为困难;井底温度、压力越来越高。套管试压对水泥石的自身能力提出了特殊要求,需要保证地层-套管-水泥环自身能力的协调性;特别是大规模使用强化开采措施,水泥环微裂缝问题严重制约水泥环的长期密封性能及油气井的建设发展。为保证水泥环的长期密封完整性,单纯追求水泥环力学强度性能已经远不能满足现代固井工艺的要求,自修复水泥浆是解决水泥环微裂缝的一项新技术,该技术对改善水泥环密封完整性有重要作用。因此,赋予水泥环以微裂缝自修复性能势在必行。

[0003] 目前,许多国内外企业都在积极开发研制自修复水泥浆,如斯伦贝谢公司的FUTUR活性固化水泥,哈里伯顿公司的LifeCem或LifeSeal水泥,天津中油渤海星工程科技有限公司的刺激响应型聚合物技术,南京工业大学开发的油井水泥油气触发自修复材料等。

[0004] 但通过对自修复技术在其他领域的研究发现,关于对自修复水泥的微裂缝自修复性能的评价,一般以抗压强度恢复率来评价自修复性能,而抗压强度并不能够反映地层流体在水泥环微裂缝中的渗流情况,而渗透率可以反映地层流体在水泥环微裂缝中的渗流情况。目前,还没有基于渗透率的量化方法来有效判定和评价固井水泥石(环)是否具有自修复性能。由于缺失一套完整的评价方法和行业标准,自修复水泥浆技术的发展受到严重的制约。

[0005] 为克服上述现有技术的不足,通过总结分析现有的自修复性能评价方法,对比材料领域、混凝土领域、固井领域的特点与不同,本发明提供的一种以水泥石渗透率评价固井水泥环自修复性能的方法,具有重大的理论和现实意义。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供以水泥石渗透率评价固井水泥环自修复性能的方法,该方法将连续不间断水泥石渗透率测试和气体(氦气)渗透率测试相结合,所需要用到的岩心驱替装置等仪器已广泛应用于油田及室内实验,操作简单方便,切实可行,可在不同压力、温度环境下工作,并对固井水泥环微裂缝进行有效模拟,从而量化评价固井水泥环的自修复性能。

[0007] 为达到以上技术目的,本发明提供以下技术方案。

[0008] 以水泥石渗透率评价固井水泥环自修复性能的方法,依次包括以下步骤:

[0009] (1) 制备固井用自修复水泥浆,然后将其灌入模具中,在设定的温度、压力条件下养护一定时间使其凝固成水泥石;

[0010] (2) 在水泥石上取多个相同的岩心(岩心尺寸Φ25mm×50mm),编号S、S₁、S₂、…、

S_n , 其中 $n = 1 \sim 5$, 选取岩心 S 为标准件, 测试其完全压裂时的抗压强度;

[0011] (3) 以标准件岩心 S 的抗压强度为基准, 将岩心 S_1, S_2, \dots, S_n 分别进行不同程度的预损伤;

[0012] (4) 将预损伤后的岩心 S_1, S_2, \dots, S_n 烘干 24h, 分别测试岩心 S_1, S_2, \dots, S_n 的气体渗透率 $K_{前1}, K_{前2}, \dots, K_{前n}$;

[0013] (5) 设定测试温度、压力, 将岩心 S_1, S_2, \dots, S_n 放入渗透率测试仪器中, 连续通入地层流体或模拟地层流体 8 ~ 12h, 测试其渗透率变化, 观察自修复材料的响应时间和裂缝的修复时间;

[0014] (6) 再次将岩心 S_1, S_2, \dots, S_n 烘干 24h, 分别测试通入流体后的岩心 S_1, S_2, \dots, S_n 的气体渗透率 $K_{后1}, K_{后2}, \dots, K_{后n}$;

[0015] (7) 判定修复情况, 若 $K_{后n} < K_{前n}$, 认为该水泥石具有自修复微裂缝的功能, 若 $K_{后n} \geq K_{前n}$, 则认为该水泥石无自修复微裂缝的功能;

[0016] (8) 计算自修复率, 自修复率 = $[(K_{前n} - K_{后n}) / K_{前n}] \times 100\%$ 。

[0017] 当 $n = 3$ 时, 以标准件岩心 S 抗压强度为基准, 将岩心 S_1, S_2, S_3 分别进行 30%、50%、70% 的预损伤。

[0018] 所述岩心的气体渗透率均为氦气渗透率。

[0019] 与现有技术相比, 本发明具有以下优点:

[0020] 1) 对于致密程度、抗压强度相似的岩心 S, S_1, S_2, \dots, S_n , 通过造成不同程度损伤的方式进行微裂缝的模拟, 可以真实模拟固井水泥环微裂缝的产生和存在;

[0021] 2) 在同一块自修复水泥石上取得的多个岩心, 其致密程度相似, 抗压强度相似, 以岩心 S 作为标准件进行完全压裂记录强度值, 减小了计算误差;

[0022] 3) 测试岩心无需其他特别处理, 直接放入岩心驱替装置中进行渗透率测试, 岩心驱替装置已广泛应用于实验室及油田现场;

[0023] 4) 岩心气体渗透率测试采用氦气测试, 无吸附作用, 不影响水泥石原有结构和性能, 测试值准确;

[0024] 5) 自修复率计算简便、真实, 能够有效评价水泥石的自修复性能。

具体实施方式

[0025] 首先制备具有自修复性能的固井自修复水泥浆, 然后分别将其灌入内径为 120mm × 60mm × 60mm 模具中, 按需求设定养护的时间和压力, 待其凝固成水泥石后进行取心、编号。

[0026] 每组分别选取标准件进行完全压裂, 记录抗压强度值。以标准件的抗压强度值为基准, 其他试件分别进行不同程度的压裂预损伤, 各组试件的损伤程度相对应。将这些预损伤后的试件烘干 24h 后逐一测试其气体(氦气)渗透率 $K_{前n}$, 然后持续通入流体 8h, 测试观察渗透率的连续变化趋势、自修复材料响应时间和修复时间, 最后再次烘干 24h, 测试试件的气体(氦气)渗透率 $K_{后n}$, 并将两次渗透率值 $K_{前n}$ 和 $K_{后n}$ 进行对比分析, 评价水泥石的自修复效果。最后计算自修复率, 自修复率 = $[(K_{前n} - K_{后n}) / K_{前n}] \times 100\%$ 。

[0027] 下面根据实施例进一步说明本发明。

[0028] 实施例 1

[0029] 试样制备:100 份 G 级油井水泥,0.3 份分散剂,2 份降失水剂,0.1 份消泡剂,1 份自修复剂,45.5 份水。

[0030] 将各个组分干粉按比例配置混合,将水溶液放在混合容器中,搅拌器以低速(4000±200 转 / 分)转动,并在 15 秒内加完称取的干粉混合物,盖上搅拌器的盖子,高速(12000±500 转 / 分)下继续搅拌 35 秒,制成稳定性能好的固井自修复水泥浆体系。然后将水泥浆灌入预先准备好的模具中,放入高温高压养护釜中养护,模拟井下的工况条件,设置温度 110℃,压力 20MPa。养护 48h,待水泥浆形成水泥石块,取岩心编号 S₁、S₁₁、S₁₂、S₁₃,并选取标准件 S₁ 进行完全压裂,记录抗压强度值。S₁₁、S₁₂、S₁₃ 分别进行 30%、50%、70% 的预损伤。

[0031] 烘干已经损伤的岩心 S₁₁、S₁₂、S₁₃ 24h 后,测试氦气渗透率 K_{前 11}、K_{前 12} 和 K_{前 13};然后将待测岩心 S₁₁、S₁₂、S₁₃ 放入岩心夹持器中,8h 不间断通入流体,测试岩心的连续渗透率变化;最后再次烘干 24h,测试通入流体后岩心 S₁₁、S₁₂、S₁₃ 的氦气渗透率 K_{后 11}、K_{后 12} 和 K_{后 13},并分别与 K_{前 11}、K_{前 12} 和 K_{前 13} 进行对比。若 K_{后 1n} < K_{前 1n} (n = 1, 2, 3), 则认为该自修复水泥石具有自修复微裂缝的功能;若 K_{后 1n} ≥ K_{前 1n} (n = 1, 2, 3), 则认为该自修复水泥石无自动修复微裂缝的功能。

[0032] 整理计算数据,分析评价水泥石的自修复效果,最后计算自修复率。固井水泥石自修复情况见表 1。

[0033] 表 1 实施例 1 制备的固井水泥石自修复情况

[0034]	试样	损伤程度, %	修复前气体 渗透率 K _{前 ln} , mD	修复后气体 渗透率 K _{后 ln} , mD	自修复率, %	自修复效果
	S ₁₁	30	35.23	16.78	52.37	有
	S ₁₂	50	57.34	19.54	65.92	有
	S ₁₃	70	62.87	38.21	39.22	有

[0035]

[0036] 综合三种不同损伤程度的水泥石自修复效果,认为该固井自修复水泥石的自修复性能较好。

[0037] 实施例 2

[0038] 试样制备:100 份 G 级油井水泥,0.3 份分散剂,2 份降失水剂,0.1 份消泡剂,5 份自修复剂,47.5 份水(空白水泥浆即无自修复组分)。

[0039] 将各个组分干粉按比例配置混合,将水溶液放在混合容器中,搅拌器以低速(4000±200 转 / 分)转动,并在 15 秒内加完称取的干粉混合物,盖上搅拌器的盖子,高速(12000±500 转 / 分)下继续搅拌 35 秒,制成稳定性能好的固井自修复水泥浆体系。然后将水泥浆灌入预先准备好的模具中,放入高温高压养护釜中养护,模拟井下的工况条件,设置温度 110℃,压力 20MPa。养护 48h,待水泥浆形成水泥石块,取岩心编号 S₂、S₂₁、S₂₂、S₂₃,并选取标准件 S₂ 进行完全压裂,记录抗压强度值。S₂₁、S₂₂、S₂₃ 分别进行 30%、50%、70% 的预损伤。

[0040] 烘干已经损伤的岩心 S_{21} 、 S_{22} 、 S_{23} 24h 后, 测试氦气渗透率 $K_{前21}$ 、 $K_{前22}$ 和 $K_{前23}$; 然后将待测岩心 S_{21} 、 S_{22} 、 S_{23} 放入岩心夹持器中, 8h 不间断通入流体, 测试岩心的连续渗透率变化; 最后再次烘干 24h, 测试通入流体后岩心 S_{21} 、 S_{22} 、 S_{23} 的氦气渗透率 $K_{后21}$ 、 $K_{后22}$ 和 $K_{后23}$, 并分别与 $K_{前21}$ 、 $K_{前22}$ 和 $K_{前23}$ 进行对比。若 $K_{后2n} < K_{前2n}$ ($n = 1, 2, 3$), 则认为该自修复水泥石具有自修复微裂缝的功能; 若 $K_{后2n} \geq K_{前2n}$ ($n = 1, 2, 3$), 则认为该自修复水泥石无自动修复微裂缝的功能。

[0041] 整理计算数据, 分析评价水泥石的自修复效果, 最后计算自修复率。固井水泥石自修复情况见表 2。

[0042] 表 2 实施例 2 制备的固井水泥石自修复情况

试样	损伤程度, %	修复前气体 渗透率 $K_{前2n}$, mD	修复后气体 渗透率 $K_{后2n}$, mD	自修复率, %	自修复效果
S_{21}	30	38.45	2.31	93.99	有
S_{22}	50	59.81	5.58	90.67	有
S_{23}	70	67.12	9.31	86.13	有

[0044] 综合三种不同损伤程度的水泥石自修复效果, 认为该固井自修复水泥石的自修复性能良好。

[0045] 实施例 3

[0046] 试样制备: 100 份 G 级油井水泥, 0.3 份分散剂, 2 份降失水剂, 0.1 份消泡剂, 10 份自修复剂, 49.5 份水 (空白水泥浆即无自修复组分)。

[0047] 将各个组分干粉按比例配置混合, 将水溶液放在混合容器中, 搅拌器以低速 (4000±200 转 / 分) 转动, 并在 15 秒内加完称取的干粉混合物, 盖上搅拌器的盖子, 高速 (12000±500 转 / 分) 下继续搅拌 35 秒, 制成稳定性能好的固井自修复水泥浆体系。然后将水泥浆灌入预先准备好的模具中, 放入高温高压养护釜中养护, 模拟井下的工况条件, 设置温度 110℃, 压力 20MPa。养护 48h, 待水泥浆形成水泥石块, 取岩心编号 S_3 、 S_{31} 、 S_{32} 、 S_{33} , 并选取标准件 S_3 进行完全压裂, 记录抗压强度值。 S_{31} 、 S_{32} 、 S_{33} 分别进行 30%、50%、70% 的预损伤。

[0048] 烘干已经损伤的岩心 S_{31} 、 S_{32} 、 S_{33} 24h 后, 测试氦气渗透率 $K_{前31}$ 、 $K_{前32}$ 和 $K_{前33}$; 然后将待测岩心 S_{31} 、 S_{32} 、 S_{33} 放入岩心夹持器中, 8h 不间断通入流体, 测试岩心的连续渗透率变化; 最后再次烘干 24h, 测试通入流体后岩心 S_{31} 、 S_{32} 、 S_{33} 的氦气渗透率 $K_{后31}$ 、 $K_{后32}$ 和 $K_{后33}$, 并分别与 $K_{前31}$ 、 $K_{前32}$ 和 $K_{前33}$ 进行对比。若 $K_{后3n} < K_{前3n}$ ($n = 1, 2, 3$), 则认为该自修复水泥石具有自修复微裂缝的功能; 若 $K_{后3n} \geq K_{前3n}$ ($n = 1, 2, 3$), 则认为该自修复水泥石无自动修复微裂缝的功能。

[0049] 整理计算数据, 分析评价水泥石的自修复效果, 最后计算自修复率。固井水泥石自修复情况见表 3。

[0050] 表 3 实施例 3 制备的固井水泥石自修复情况

[0051]

试样	损伤程度, %	修复前气体 渗透率 $K_{\text{前3h}}$, mD	修复后气体 渗透率 $K_{\text{后3h}}$, mD	自修复率, %	自修复效果
S ₃₁	30	33.16	1.45	95.63	有
S ₃₂	50	52.87	1.98	96.25	有
S ₃₃	70	60.99	3.76	93.84	有

[0052] 综合三种不同损伤程度的水泥石自修复效果,认为该固井自修复水泥石的自修复性能优异。

[0053] 通过以上三个实例可清晰地看出,本发明能够有效模拟固井水泥环的微裂缝程度,并可以通过水泥石渗透率的比较和计算,能够真实、简便、有效地评价固井水泥石的自修复效果。