

表皮系数分解应用效果分析

徐 建¹ 张绍礼² 严玉华¹

(1. 江苏石油勘探局井下作业处 江苏江都 225265; 2. 中石油勘探与生产分公司 北京 100011)

摘要 测试获得的表皮系数是各种因素产生的表皮效应的总和,对总表皮系数的分解,可以获得真实伤害表皮系数,计算污染半径,分析伤害原因,提高效果预测精度,指导储层保护和措施改造。

关键词 表皮系数 分解 预测 措施 效果分析

表皮系数是评价油气藏伤害程度的一个重要参数,在评价油气藏完善程度方面占据着十分重要的地位。地层测试获得的表皮系数是真实伤害表皮系数与钻井、完井过程中各种因素引起的各类拟表皮系数的总和,能通过措施消除的仅是真实伤害表皮系数。如果在储层伤害程度评价过程中,用总表皮系数作为评价依据,必然会使储层真实伤害程度评价出现偏差,导致增产措施针对性不强,从而影响措施效果。

表皮系数分解理论

表皮系数分解就是将总表皮系数分解成多种效应产生的拟表皮系数,在排除非储层伤害拟表皮效应的前提下,获得储层的真实伤害表皮系数。测试或生产试井求出的总表皮系数,除真实伤害表皮系数外,还包括由射孔完井、井斜、井筒附近非达西流、储层非均质、油井所处构造复杂等因素产生的拟表皮系数。

$$\text{即 } S_t = S_d + \sum S'$$

其中

$$\sum S' = S_{PT} + S_{PF} + S_\theta + S_b + S_{iu} + S_A$$

式中: S_t ——总表皮系数;

S_d ——由钻井、完井等对地层的损害所引起的真实伤害表皮系数;

$\sum S'$ ——由各种因素产生的拟表皮系数;

S_{PT} ——储层部分打开拟表皮系数;

S_{PF} ——射孔完井拟表皮系数;

S_θ ——井斜拟表皮系数;

S_b ——流度变化拟表皮系数;

S_{iu} ——非达西流(高速流)拟表皮系数;

S_A ——泄油面积形状拟表皮系数。

应用效果分析

1. 表皮系数细分解使各环节产生的表皮效应更加清晰

表 1 实例中,瓦 2-3 井解释总表皮系数为 0.83,分解计算储层真实伤害表皮系数 1.694,是什么原因使总表皮系数小于真实伤害表皮系数的呢?由表 1 可知,井斜拟表皮系数 -1.144,流度变化表皮系数 -0.271,射孔拟表皮系数为 0.433,由此可知井斜、流度变化是主因。高 6-60 解释总表皮系数为 8.90,而真实伤害表皮系数 4.944,表皮系数分解表明导致高表皮的主要环节是射孔,其拟表皮系数高达 4.24,而导致射孔拟表皮系数大的原因又是因射孔压实,其拟表皮系数为 9.088。沙 X34 井,总表皮系数高达 20.81,而厚 7.4m 的测试层段仅射开其顶部的 2.0m,分解局部射开拟表皮系数 7.359,射孔拟表皮系数 2.125,而真实伤害表皮系数为 11.36,远小于总表皮系数,由分解可知,总表皮系数的超表皮效应是来自射孔不完全。联 X33 解释的总表皮是 2.28,而真实伤害表皮却为 5.704,表皮系数分解后可知,射孔拟表皮为 -2.563 是产生该情况的主

【作者简介】 徐建,男,高级工程师,1963 年出生,1982 年毕业于江苏石油学校采油工程专业,1990 年毕业于石油大学(函授)采油工程专业,现从事井下作业技术管理工作。

要原因。

表 1 实例井表皮系数细分解

井号	井段 /m	局部射开 表皮系数	射孔拟表皮系数				流量变化 表皮系数	总表皮 系数	真实表 皮系数
			并斜表 皮系数	射孔孔眼 表皮系数	压实带 表皮系数	射孔拟 表皮系数			
瓦 2-3	2615.8~2621.1		-1.144	-0.961	1.595	0.433	-0.271	0.83	1.694
高 6-60	1967.8~2033.6		-0.401	-1.050	9.088	4.240		8.90	4.944
沙 X34	2255.4~2262.8	7.359	-0.255	-1.521	9.481	2.125		20.81	11.36
许 27	2289.1~2315.1		-0.011	-1.220	1.557	-1.929	-1.21	-0.76	2.273
联 X33	2514.4~2521.7		-0.061	-0.420	1.321	-2.563	-0.916	2.28	5.704

上述分析不难看出,在不同的井层主导总表皮系数变化的原因各不相同,只有通过表皮系数的细分解,才能使各环节产生的表皮效应更加清晰,才可找到导致影响总表皮系数的主因和环节。

2.表皮系数的细分解,使储层保护和增产措施更具针对性

表 2 显示,高 6 断块的这几口井存在较严重的储层伤害,综合钻井、测录井及表皮系数分解资料分析,造成高 6 块伤害的主要原因:一是泥浆静液柱压力远高于地层压力,泥浆侵入导致伤害;二是射孔产生的拟表皮系数较大。因而储层保护的着眼点就是如何针对该区块储层压力低的特点,尽量选用低密度泥浆快速钻进,减小泥浆侵入和浸泡时间;射孔完井则应选择适应储层特征的射孔方式、弹型,从而降低射孔拟表皮效应,提高孔眼的流动效率。

表 2 表皮系数细分解的应用效果

井号	井 段 /m	井斜表 皮系数	射孔拟表皮系数			总表皮 系数	真实表 皮系数
			射孔孔眼 表皮系数	压实带 表皮系数	射孔拟 表皮系数		
高 6-44	2067.4~2097.0	-0.268	-0.549	1.607	0.712	9.5	8.938
高 6-46	1932.4~1948.4	/	-1.106	8.339	3.704	8.64	4.824
高 6-59	1998.0~2056.0	-0.262	-1.406	5.214	1.383	7.34	6.102
高 6-60	1967.8~2033.6	-0.401	-1.050	9.088	4.240	8.90	4.944

针对储层真实伤害较严重,认为只有采取较大型的增产措施才消除储层伤害。高 6-44、高 6-46、高 6-59 投产初期均进行酸化解堵。表 3 表明两口见效井增产率为 33.54%,未达到预期的产能,由此表明储层经酸化并没有完全解堵。

表 3 表皮系数细分解的应用效果

井号	措施前产量 /(m³/d)	措施后产量 /(m³/d)	措施增产率 /%	预测完全解堵产量 /(m³/d)
高 6-44	4.89	6.5	32.92	24.72
高 6-46	4.77	6.4	34.17	8.12
高 6-59	6.87	4.3	-37.41	9.47

此后部分投产井则采取压裂改造措施,表 4 表明增产效果明显,增产率达 251.68%,远高于酸化措施的增产率 33.54%,因而认为压裂措施对高 6 块中后期的调整井更有效,更具针对性。

表 4 表皮系数细分解的应用效果

井号	措施前产量 /(m³/d)	措施后产量 /(m³/d)	措施增产率 /%
高 6-45	0.9	8.8	877.78
高 6-47	2.8	5.3	89.29
高 6-43	2.9	8.3	186.21
高 6-52	2.4	7.2	200.00
高 6-60	2.09	4.0	91.39
高 6-68	0.5	8.4	1580.00
高 6-67	2.5	7.9	216.00
高 6-75	2.8	9.5	239.29

上述应用说明,表皮系数分解,能为储层保护和增产措施提供更有针对性的依据。

3.表皮系数细分解,使污染半径的确定更精确

储层污染程度,除可以利用表皮系数、流动效率、堵塞比衡量外,还可用污染半径来衡量其污染范围。

即
$$r_s = r_w \exp \left[\frac{S}{\frac{K}{K_s} - 1} \right]$$

式中: r_s ——污染半径, m;

S ——表皮系数;

K_s ——污染带渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$;

r_w ——井筒半径, m;

K ——有效渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

但以往储层的伤害半径是用总表皮系数来计算,而总的表皮系数又不能代表储层的真实伤害情况,因而计算出的伤害半径就会出现偏差,而表皮系数的细分解,可求得真实伤害表皮系数,从而计算出真实伤害半径。表 5 可以看出,用两种不同表皮系数计算出的污染半径存在较大的差异。

表 5 表皮系数细分解的应用效果

井号	井 段 /m	真实伤害 表皮系数	真实伤害计算 的污染半径 /m	总表皮 系数	总表皮计算 的污染半径 /m
高 6-44	2067.4~2097.0	8.938	8.7251	9.5	11.5
高 6-46	1932.4~1948.4	4.824	0.4898	8.64	1.62
高 6-59	1998.0~2056.0	6.102	3.7146	7.34	1.61
高 6-60	1967.8~2033.6	4.944	0.4237	8.90	1.26

污染半径对确定增产措施范围是一不可或缺的资料,如高 6-44 井,污染半径达 8.7251m,是一深度伤害储层,采用酸化措施很难完全消除污染,实际情况是酸化措施后产能远低于预测产能,增产率仅 32.92%,由此说明酸化增产措施对解放深度污染的

储层并不可行,针对这一情况,此后投产井大部分采用了压裂措施,措施增产率达到了 251.68%。

4. 表皮系数的细分解,使措施增产率和产量预测更加准确

地层测试最终的目的除获得储层渗流参数、地层压力、产量外,就是运用表皮系数判断储层伤害程度,预测措施增产率,为增产措施实施效果提供依据,从而提高增产措施的效益。同样因为总表皮系数反应的并非储层真实伤害特征,用它来预测增产率和措施后的产量,会出现较大的偏差(见表 6)。

表 6 表皮系数细分解的应用效果

井号	措施前产量 /(m ³ /d)	真实表皮 预测的产量 /(m ³ /d)	总表皮预 测的产量 /(m ³ /d)	措施后产量 /(m ³ /d)
联 X33	2.06	10.56	3.03	9.80
许 27	0.36	20.58	0.23	18.30
沙 X39	0.88	6.95	3.57	6.71
花 X11	3.79	14.32	5.99	15.80

表 6 可以看出,用真实伤害表皮系数预测的产量更接近措施后的实际产量,而用总表皮系数预测的产量则与措施后的产量相差较大,因而分析认为,通过表皮系数细分解,获得的真实伤害表皮系数可使措施增产率和产量预测更加准确。

5. 表皮系数细分解有效解释了“负表皮”现象

现场测试解释中,有相当一部分井在没有进行任何措施之前表皮系数就为负值,导致成果应用部门对测试解释成果的怀疑和思考,而表皮系数的分解,理清了各环节所产生的拟表皮系数,用有说服力的数据去解释了产生“负表皮”的原因(见表 7)。

表 7 表皮系数细分解的应用效果

井号	井段 /m	井斜表 皮系数	射孔拟表皮系数			流量变 化表皮 系数	总表皮 系数	真实表 皮系数
			射孔孔眼 表皮系数	压实带 表皮系数	射孔拟 表皮系数			
韦 8-6	1282.5~1304.2	-0.975	-1.992	-0.335	-0.161	/	-2.34	-0.973
马 X31	1932.3~1935.4	-0.128	-1.486	3.843	0.707		-2.42	-3.119
台 5	2910.6~2923.4	-0.278	-1.451	1.148	-0.020	-3.28	-1.35	2.111
许 27	2289.1~2315.1	-0.011	-1.220	1.557	-1.929	-1.21	-0.76	2.273

表 7 中的实例测试前均未采取增产措施,但测试解释结果均为负值,通过表皮系数的细分解,不难看出导致“负表皮”的原因:一是斜井,增加了测试层段的渗流面积,产生了负的井斜拟表皮,如韦 8-6 井;二是低渗层应用深穿透高孔密射孔弹,产生负的射孔拟表皮系数,如许 27 井;三是储层因近井地带流量高,外区流量减小,使外区储层流体进入井筒变得相对容易,由此产生负的流量变化拟表皮系数,如

台 5 井;四是储层的双孔隙或天然垂直裂缝特征,如马 X31 为双孔隙渗流特征、韦 8-6 为天然垂直裂缝特征。“负表皮”现象的解释,加深了人们对测试资料的认识,消除了人们对测试资料的疑虑,收到了较好的社会效益。

结 论

表皮系数分解应用效果分析表明,通过表皮系数的分解,可理清各种表皮效应产生的原因;可为储层保护和增产措施提供更确切的依据;可使污染半径的计算、措施增产率和产量的预测更精确;同时也能有理有据的解释“负表皮”现象。由此表明表皮系数分解技术在油藏工程中有着较实用的价值。

本文收稿日期:2005-12-12 编辑:刘振庆