

后续作业对固井声波测井的影响及对策^{*}

刘世彬 徐 峰 乐尚文 黄 云 聂世均
川庆钻探工程公司井下作业公司

刘世彬等.后续作业对固井声波测井的影响及对策.天然气工业,2009,29(4):54-57.

摘 要 针对固井质量优良的井因后续作业后出现套管环空带压的问题,提出采用固井质量综合评价、改进现有水泥浆体系、固井施工工艺和后续作业等方法来解决问题的技术思路。具体包括:运用预应力固井技术,克服水泥浆(石)的体积收缩;使用适当的旋转管柱和增大前置液的使用量来提高顶替效率;利用膨胀剂、纤维,稠化时间可调的柔性水泥浆体系来满足后续作业对固井质量的要求。试验表明,所采取的固井技术措施行之有效,能够保证固井质量,满足后续作业的需要。

关键词 深井固井 套管 测井 后续作业 水泥浆体系
DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2009.04.016

四川油气田 84.5% 的均属高含硫气田,其气窜现象比一般气井要多得多,危险性也大的多。固井后部分气井环空气窜,严重影响了酸化、压裂、注水等各项增产措施的有效实施,给正常投产带来较大的影响。传统观念认为,只要产生窜气通道其根源就属固井质量不合格,而实际上固井后声波测井评价固井质量优良的井,在后续作业中后期也出现套管环空带压的问题。为了检验后续作业对声波测井的影响,在川渝地区进行了现场试验(表 1、2)。

1 固井声波测井现状

目前,川渝油气田主要采用声波变密度(CBL/VDL)测井法检查固井质量,评价水泥与地层的胶结程度。但是在套管测井中,声波变密度的测井受到许多因素(如微环隙、快速地层)的影响,测井资料易出现多解,常造成对固井质量的误判。其中一些影响是由于测井过程中仪器本身的原因引起的,而另一些影响则是由于固井Ⅰ、Ⅱ界面各声波传播介质

表 1 试验井声波测井表

井号	施工类型	测井条件	测井评价 优(%)	测井评价 中(%)	合格率 (%)
LG8	Ø244.5 mm 套管固井	试压 15 MPa 前	83.18	7.43	90.61
		试压 15 MPa 后	37.53	27.34	64.87
LG11	Ø177.8 mm 套管回接固井	试压 15 MPa 前	99.32	0.10	99.41
		试压 15 MPa 后	73.16	6.97	80.13
		射孔后	40.30	29.17	69.47
磨溪 1	Ø244.5 mm 套管固井(水泥浆密度为 2.09 g/cm ³)	清水条件下测井			24.97
		钻井液密度为 1.72 g/cm ³ 条件下测井	47.28	34.33	81.61
LG9	Ø177.8 mm 套管回接固井	24 h 后测井	12.79	18.72	34.51
		60 h 后测井	76.01	15.55	91.56
LG11	Ø177.8 mm 套管回接固井	24 h 后测井	73.16	6.97	80.13
		60 h 后测井	99.32	0.10	99.41

^{*} 本文受到中国石油天然气集团公司“LG 地区安全快速钻井现场试验”重点科技攻关项目(编号:07G2030205)的资助。
作者简介:刘世彬,1973 年生,高级工程师,从事固井科研和现场服务工作。地址:(610051)四川省成都市二环路北四段瑞丰巷 6 号井下作业公司研发中心。电话:(028)86019027,13880783272。E-mail:lsbwwlnx@163.com

表 2 LG1、2、3 井电测固井质量与环空带压情况表

井号	施工类型	测井评价 好(%)	测井评价 中(%)	测井评价 差(%)	环间压力(MPa)
LG1	Ø339.7 mm 套管固井	17.40	28.01	54.59	Ø177.8~244.5 mm 套管为 23.2
	Ø244.5 mm 套管固井	6.33	42.66	51.01	
	Ø177.8 mm 套管回接固井	50.10	46.82	3.08	
LG2	Ø339.7 mm 套管固井	43.78	49.16	7.06	Ø244.5~339.7 mm 套管为 0.3 Ø177.8~244.5 mm 套管为 10
	Ø244.5 mm 套管固井	97.91	1.59	0.50	
	Ø177.8 mm 套管回接固井	45.29	35.21	19.50	
LG3	Ø339.7 mm 套管固井	82.18	14.26	3.56	Ø244.5~339.7 mm 套管为 1.8 Ø177.8~244.5 mm 套管为 12
	Ø244.5 mm 套管固井	38.36	54.51	7.13	
	Ø177.8 mm 套管回接固井	45.02	41.25	13.74	

的特殊性质造成的。前者在测井资料中有一定的反映,可以根据测井所得到的资料进行识别,进而在固井质量评价中对其影响进行一定程度的校正;而后者多是由于井身特殊情况造成的,不易识别。要准确评价固井质量,这些影响因素必须予以考虑。根据每口井的资料对常见固井质量的影响因素,从固井工艺和解释评价方法上进行分析是十分必要的。

2 后续作业对声波值影响分析

从表 1 可以看出:试压、不同循环流体、测井时间均严重影响固井声波测井结果。从表 2 可以看出固井质量合格的井,而在试油气中后期却出现环间压力。其声波值变化的原因分析如下:

1)水泥石强度衰退影响。地层流体对水泥石产生腐蚀,造成体积收缩或发生强度衰退,可能会导致第二次声波测井声波值明显增大。为此,在室内将非渗透水泥浆体系的常规密度和低密度水泥石放入酸性较强的地层流体中养护 2 个月,不但后期强度未出现衰退,而且后期强度有一定的增大。这就说明了地层流体未对水泥石产生侵蚀、破坏,水泥石具有较强的抗地层流体侵蚀能力。因此,水泥石强度衰退不是造成声波值增长的原因。

2)套管试压、射孔及增产作业影响声波值。套管试压、射孔及增产作业时,套管受内压力的作用,向外产生微膨胀;泄压后由于套管和水泥石的弹性变形不同,会在水泥环和套管间(I 界面)形成微间隙。如试压Ø177.8 mm 套管 15~20 MPa 将产生 0.02 mm 形变,试压 70 MPa 将产生 0.10 mm 形变。微间隙虽然不能给地层流体提供通道,但对声波值产生较大的影响。特别是为满足酸化压裂增产作业的需要,对全井套管试高压,套管自由度增大,加剧了微间隙的形成及进一步增大。这说明造成声波测井差异较大的原因之一是套管试压、射孔及增产作业。

3)环空压差影响固井声波值。在固井水泥浆候凝期间,地下油气层承受着水泥浆、隔离液和洗井液 3 种流体的液柱压力。当井筒液柱压力高于油气层孔隙压力时,地层孔隙中的流体被压住,但液柱压力过高又会加重对油气层的污染,甚至影响低压层的固井质量;液柱压力低于地层孔隙压力时,地层中的流体就很可能窜出,破坏水泥环。所以,环空压差的大小直接影响固井声波值。通过对调整井的测压资料与声波变密度测井资料的统计与分析,当环空压差值小于-4.0 MPa 时,声波变密度小于 0.4;而当环空压差值大于 1.0 MPa 时,声波变密度指数(BI)大于 0.8,固井质量良好。

4)测井时间影响固井声波值。候凝时间不足就进行测井,造成对固井质量的评价失真。从总的规律来看,候凝时间越短,固井声波值越高。

3 应对措施

3.1 综合评价方法

通常情况下,一般利用套管波与地层波的幅度强弱进行 I、II 界面胶结质量评价。但是在实际情况中,I 界面有时存在微环隙,微环隙是指套管外壁与水泥之间存在极小的环形空隙(一般只有 0.1 mm 左右),在声波测井中,微环井段与窜槽井段的曲线特征相似,均表现为胶结不好,难以区分。然而微环隙既不影响液封,也不影响固井质量,而窜槽不能实现液封,影响生产。因此,必须将两者区分开来。开展多种测井方法组合进行综合评价的新方法刻不容缓。目前,I 界面胶结质量评价的困难主要在于对微环隙的识别。现场区别微环隙和窜槽的方法是在套管加压条件下再进行一次声波测井,与未加压的声波测井曲线进行比较,如果套管波幅度变小,说明环形空间存在微环隙;如果套管波幅度变化不大或者无变化,说明存在窜槽。在利用地层波信号分析

Ⅱ界面胶结状况时,应考虑地层中泥质含量的影响,考虑地层对地层波的衰减影响,利用自然伽马测井(GR)曲线和声波时差(AC)测井曲线定性确定地层岩性,同时利用声波—变密度测井(CBL/VDL)来进行综合评价。

3.2 固井技术措施

- 1)水泥浆体系和浆柱设计。根据气层的压力、
- 2)预应力固井技术。由于水泥材料固有的“高

气体的上窜速度和井内钻井液性能,评估气窜程度,调节水泥浆性能和浆柱结构,如使用多凝、多密度水泥、纤维水泥、膨胀水泥、防气窜水泥浆体系,减轻水泥浆失重,增大水泥石孔隙压力等^[1-7]。

从表 3、4 可看出,采用纤维微膨胀防窜水泥浆能较好地保持固井质量的延续性。

表 3 LG9 井∅127.0 mm 尾管纤维微膨胀防窜水泥浆试验情况表

基本情况	水泥为嘉华 G 级+托阳硅粉=700+300		水样为井场水,电测温度为 6 391 m×143 ℃	
项目	缓凝大样		快干大样	
使用添加剂及加量(%)	SD10×5.0%+SDP-1×3.0%+FS-31 L×3.0%+SD66×1.5%+XP-1×0.2%		SD10×5.0%+SDP-1×3.0%+FS-31 L×1.6%+SD66×1.5%+XP-1×0.2%	
试验条件	1.90 g/cm ³ ;124 ℃;75 MPa		1.90 g/cm ³ ;124 ℃;75 MPa	
基本性能	流动度 22 cm;自由水含量为零,失水量 30 mL;初始稠度为 11.8 Bc		流动度 22.5 cm;自由水含量为零,失水量 30 mL;初始稠度 10.5 Bc	
稠化时间	410 min/40 Bc;412 min/100 Bc		154 min/40 Bc;155 min/100 Bc	
24 h 强度(MPa)	16		16	

表 4 LG9 井∅127.0 mm 尾管射孔前后固井测井对比表

测井条件	评价段长(m)	测井评价好(m)	测井评价中(m)
射孔前	766.001	280.813	485.188
射孔后	527.001	523.063	3.938

收缩、高脆性、高滤失、高密度”缺陷和套管与水泥石本体之间存在一个胶结质量较差的过渡区,都会产生微间隙。固井设计中考虑到了这些影响因素,在水泥石收缩之前就给予套管一个受挤压的预应力,而待水泥石收缩后,根据作用力与反作用力的原理,套管就会产生膨胀力,该膨胀力迫使套管膨胀来弥补水泥环收缩时留下的微裂缝,从而得到好的固井质量,也使环间有好的封隔效果。施工现场可采用高密度的水泥浆、低密度的顶替液和环空憋压,使水泥浆柱对套管产生较大的外挤压力或称预应力的条件下候凝,以此来防止后期作业过程中水泥环整体密封性能受到破坏。现场应用效果显著(表 5)。

3)其他工艺技术措施。采取提高顶替效率注水泥工艺措施,如在水泥浆的顶替过程中,适当的旋转或上提管柱和增大前置液的使用量,可以改善第Ⅰ、第Ⅱ界面胶结状况,防止微环隙的存在,改善固井胶结状况。同时,应用高效能的注水泥混浆设备,确保注水泥施工连续、水泥浆密度均匀、排量符合设计,确保入井水泥浆形成高质量的水泥石。其次反憋压力也是油气井固井常用的技术,可使气体无法在快

表 5 LG 地区∅177.8 mm 套管回接采用预应力固井后电测声波值表

井号	评价段长(m)	测井评价好(%)	测井评价中(%)	测井评价差(%)	环间带压情况
LG6	2 104.05	90.15	9.21	0.64	
LG7	3 515.00	81.60	17.27	1.12	
LG8	3 750.00	96.04	3.26	0.17	
LG9	3 556.00	96.80	3.19	0	无
LG11	2 851.00	99.32	0.10	0.59	无
LG18	3 255.00	77.73	22.21	0.06	

凝水泥浆失重的阶段窜上来,提高固井质量,它宜在快凝段水泥初凝前 1 h 左右实施。特别是在 LG6 井、峰 003-2 井∅177.8 mm 旋转尾管中,分别取得了 49.56% 和 56.70% 的优质率。

3.3 改进后续作业方法

后续作业可能破坏水泥石,形成环空间隙,严重影响固井质量,造成环空后续作业中发生环空带压。因此,很有必要持续改进后续作业方法,如避免对全井筒试高压和采用封隔器进行压裂酸化增产作业等,减少对水泥石的破坏是保证固井质量永久性的有效手段。同时,严格按照水泥浆试验结果,结合井下实际情况进行测井,以便能正确反应固井质量。

4 结论与建议

1)套管试压、射孔及增产作业时管外水泥石与套管外壁间会产生微小间隙,造成试压后声波值明

显增大,用其评价固井质量会造成评价失真。

2)用后续作业后的声波值对固井质量进行评价,应根据水泥浆密度、封固段、地层等综合因素做出合理的判断,否则会造成评价失真。

3)改进现有水泥浆体系和固井施工工艺,运用预应力固井技术,克服水泥浆(石)的体积收缩;使用适当的旋转或提伸管柱和增大前置液的使用量来提高顶替效率;利用膨胀剂、纤维、抗压强度高、抗弯曲变形能力强、稠化曲线成直角、过渡时间短、稠化时间可调的柔性水泥浆体系来满足后续作业对固井质量的要求。

4)不能把环空带压一概的归结于固井作业的失败,应对后续作业产生的微间隙和油气通道作深入的研究,改进后续作业方法是保证固井质量永久性的有效手段。

5)修改现有固井评价标准,利用综合评价方法是正确评价一口井固井质量的关键。

参 考 文 献

- [1] 刘崇建,黄柏宗,徐同台,等.油气井注水泥理论与应用[M].北京:石油工业出版社,2001.
- [2] 陈志雄.固井后套管试压对声波测井影响规律的分析研究[J].石油钻探技术,2003,31(3):21-23.
- [3] 步玉环,王瑞和,穆海朋.纤维水泥改善固井质量研究[J].石油钻采工艺,2003,21(5):13-15.
- [4] 高伟勘,孙培恒.分区水泥胶结测井(SBT)的解释方法研究及应用[J].测井技术,2005(6):17-21.
- [5] 孙建孟.定量评价固井Ⅱ界面胶结质量的方法研究[J].测井技术,2004(6):31-33.
- [6] 高伟勘.用声波变密度测井识别微环的影响[J].河南石油,2004(6):67-71.
- [7] 张月敏,王俊芳,栗广科.盐膏层段高抗挤厚壁套管的开发与应用[J].西南石油学院学报,2004,26(3):79-81.

(收稿日期 2008-10-19 编辑 钟水清)