

文章编号: 1000-7393(2007)06-0102-03

复合射孔与 DST 联作技术在海上探井测试中的应用^{*}

吴 木 旺

(中海石油(中国)有限公司湛江分公司勘探开发部, 广东湛江 524057)

摘要: 对于污染带半径大的油气层,在测试中用常规射孔枪射孔无法消除近井污染带的影响,影响了测试资料的质量。通过对射孔器材的改进、复合固体推进剂火药的合理配置和测试管串的优化,将复合射孔枪与 DST 测试工具联合起来作业,实现一趟管串完成严重污染储层的射孔和测试。复合火药燃烧产生瞬时压力会引起测试管柱剧烈震动,影响封隔器和电子压力温度计的正常工作,为此引进高效减震器,并对复合火药用量进行了安全设计。在海上油田进行了 3 口探井的测试使用,结果表明,该技术安全可靠、效果良好,表征污染影响的表皮系数小于或接近于 0 有效地消除或减少了污染带对测试资料的影响,具有广阔的应用前景。

关键词: 海上油田; 探井测试; 复合射孔与 DST 联作; 复合火药

中图分类号: TE257 TE27 **文献标识码:** A

在海上探井建井过程中,居于安全考虑,常常采用正压钻进,并下套管封隔后才进行测试,这样,钻井液、水泥浆对油气层的近井带造成污染在所难免。在以往探井地层测试中,通常使用射孔与 DST 联作技术,在负压条件下射开油气层,来克服油气层污染对测试资料的影响,受射孔枪孔密、穿深以及射孔造成的孔道壁压实带等的影响,最终近井带污染很难被完全解除。复合射孔增强了射孔威力,通过在孔道壁上造微裂缝,提高穿深,清除孔道壁压实带,以彻底消除近井带污染,但复合射孔威力大,很容易损伤射孔管串的元件,因此在其他地区地层测试中,通常用一趟管串专门进行复合射孔,然后再下 DST 管串进行测试,如此作业,不但射孔液又会对油气层造成第二次污染,而且施工时间也长。通过对射孔器材的改进、复合固体推进剂火药(以下简称复合火药)的合理配置和测试管串的优化,将复合射孔与 DST 测试工具联合起来作业,实现一趟管串完成射孔和测试,在安全的条件下,有效地消除或减少了污染对测试资料的影响。

1 基本原理

1.1 复合射孔枪的组成

复合射孔枪由传爆管、导爆索、弹架、射孔弹、复

合火药、枪身、上接头、下接头等组成,其特点是根据所选射孔枪的枪身、弹架的尺寸和结构,将复合火药制成具有留空位置与弹架的装弹位置相匹配的筒状,套装在弹架上。

1.2 复合射孔原理

在加强型射孔枪内,装配作用性质不同的射孔弹和复合火药 2 种能量介质,射孔弹被导爆索引爆,在 0.05~0.1 ms 内爆轰并穿孔,复合火药被爆轰波或射流引燃,在射孔枪内压力、温度的不断变化下,以破碎、端面形式和每秒几米至几百米的速度燃烧 25~50 ms 释放大量的高温高压气体,高温高压气体穿过射孔枪孔眼,进入到射孔孔道中,以脉冲加载形式作用于地层,对孔道壁压实层和地层产生压裂作用,使地层流体的流动通道得到改善,达到造缝、清除污染,最终增产的目的。

复合射孔是聚能射孔技术与复合(固体推进剂)火药技术的有机结合,它将 2 种性质完全不同的高能量火药和炸药作为能源作用于地层。

1.3 复合射孔与 DST 联作原理

将复合射孔枪与 DST 测试工具组合成串,用钻杆输送一次下井,通过投棒或液压,在负压条件下引爆复合射孔枪射开地层,然后进行测试,从而完成负压射孔和地层测试 2 项作业。

^{*}作者简介: 吴木旺, 1964 年生。1988 年毕业于西南石油学院油藏工程专业, 中国石油大学在读硕士研究生, 现从事海上探井测试工作, 高级工程师。电话 0759-3900280 E-mail wmw@cnooc.com.cn

2 工艺难点

复合射孔中,伴随复合火药燃烧,射孔的瞬间(50 ms内)在枪体内产生脉冲型高温高压气体,引起测试管串的剧烈震动,部分高温高压气体的能量通过测试液沿井筒向上传递,又使测试管串上的封隔器受到很大的向上推力,因此复合射孔很容易使测试管串上的封隔器和电子压力温度计等遭受损坏,导致测试失败或无法取得井下压力温度资料。

要实现复合射孔与 DST 联作,关键是消除或缓解测试管串的震动,使其低于封隔器和压力温度计等的抗震指标,另外要设法减少对封隔器向上的作用力,使封隔器上下压差低于其承载压差指标。

3 关键技术

3.1 高效减震器

在测试管串上,封隔器与复合射孔枪之间连接高效减震器,减震器上有增大受力面积的挡环,挡环周边与 $\varnothing 177.8\text{ mm}$ 套管的间距为 1.5 mm ,挡环上有斜开的沟槽和小导角,便于起下测试管串,挡环上部有液压减震装置。复合射孔产生的部分高温高压气体的能量通过测试液沿井筒向上传递时,大部分作用于挡环上,对管串产生向上的推力通过液压减震作用后大大减弱;减震器挡环与套管的间距小,复合射孔引起管串的横向震动,通过减震器,也得到有效地削弱。

3.2 测试管串优化组合

在测试管串的复合射孔枪与封隔器间安装高效减震器组,一般使用 3 个高效减震器,减震器间用 1 根油管连接,减震器组的上部和下部均连接有沟通测试管串内外的流动通道;封隔器与复合射孔枪顶部第 1 发弹间距离约 50 m 。

3.3 合理设计复合火药量

(1) 保证射孔枪安全,应满足

$$p_1 \leq p + p_0 \tag{1}$$

$$p_1 = \frac{Mf \times 10^{-6}}{V_0 - \frac{M(1-\phi)}{\rho} - \alpha M \times 10^{-3}} \tag{2}$$

$$p = \frac{\sigma_s(r_1^2 - r_2^2)}{r_1^2 + r_2^2} \tag{3}$$

式中, p_1 为复合火药燃烧时射孔枪内增压, MPa; p 为射孔枪可承受压力, MPa; p_0 为井筒内静液柱压力, MPa; M 为复合火药已燃烧质量, $M = mt/0.05$

kg ; t 为复合火药燃烧时间 ($t = 0 \sim 0.05\text{ s}$), 取最大值 0.05 s ; m 为复合火药每米装药量, kg ; f 为复合火药力, $f = 1.8 \times 10^6\text{ N} \cdot \text{m/g}$; ϕ 为达到峰值时复合火药燃烧百分比, $\phi = 0.55$; V_0 为射孔枪内容积, $V_0 = \pi r_2^2/4$ (按 1 m 枪计算); r_2 为射孔枪体内径, m ; α 为复合火药比容, $\alpha = 0.8\text{ m}^3/\text{kg}$; ρ 为复合火药密度, $\rho = 1.2 \times 10^3\text{ kg/m}^3$; r_1 为射孔枪体外径, m ; σ_s 为射孔枪体材料屈服强度, MPa。

(2) 保证套管安全,应满足

$$p_1 - \Delta p < p^* + p_f \tag{4}$$

$$q = \frac{m\alpha}{0.05} \tag{5}$$

$$\Delta p = \frac{1.2654 \times 10^9 \rho q^2}{n^2 d^4} \tag{6}$$

式中, Δp 为复合火药产生的高温高压气体通过射孔枪的孔眼到达环空时的压降, MPa; p^* 为套管极限耐压强度, MPa; p_f 为地层压力, MPa; q 为单位时间燃烧产物气体的流量, m^3/s ; ρ 为燃烧产物气体密度, $\rho = 1.0\text{ kg/m}^3$; n 为射孔孔眼数, 个; d 为射孔孔眼直径, mm 。

(3) 保证压裂造缝,应满足

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \tag{7}$$

$$W = 1.89 \left[\frac{(1-\nu)q^2 l}{GH} \right]^{\frac{1}{5}} t^{\frac{4}{5}} \tag{8}$$

$$L = 0.45 \left[\frac{Gq^3}{(1-\nu)lH^4} \right]^{\frac{1}{5}} t^{\frac{4}{5}} \tag{9}$$

式中, G 为岩石剪切模量, kPa; E 为岩石弹性模量, kPa; ν 为岩石泊松比; W 为裂缝宽度, m ; H 为裂缝高度, $H = 0.8\text{ m}$; t 为时间, $t = 0.833 \times 10^{-3}\text{ min}$; μ 为动力黏性系数, $\mu = 1.356 \times 10^{-6}\text{ kPa} \cdot \text{min}$; L 为裂缝长度, m 。

(4) 满足桥塞、封隔器和电子压力温度计使用安全。

复合火药燃烧时作用于桥塞、封隔器的压力应小于封隔器和桥塞的坐封力, 作用于电子压力温度计的压力应小于其工作压力。

4 施工要求

4.1 对测试储层要求

(1) 测试储层使用套管封隔完井; (2) 测试储层被钻开时钻井液密度较大, 可能受到严重污染; (3) 测试储层胶结良好。

4.2 对井况要求

(1)测试储层与上、下相邻的油、气、水层相隔大于5 m; (2)测试储层顶、底部的套管与地层有5 m以上的良好胶结水泥环; (3)测试储层与其他已测试层有良好的层间封隔(水泥塞封隔或桥塞+水泥塞封隔)。

4 3 其他要求

(1)复合射孔枪与封隔器间所用油管最好为N80管材; (2)负压值选用满足诱流的最小值(参照区域经验值); (3)测试液选用海水或清水。

5 现场应用

探井WB6-8-3井、WB11-8-2井、WB11-7-2井,位于南海北部湾盆地,测试储层属古近系流沙港组砂岩油层,油层物性较差,孔隙度低,胶结良好。邻井构造资料显示,测试油层水敏性强,易受污染;物性相近油层,使用射孔与DST联作进行测试,无法完全消除污染,导致原油产能很低或原油不能流到地面。

鉴于油层物性较差,钻开时钻井液密度较大,封

隔套管的固井水泥浆密度高,油层可能受到严重污染,如果测试中不能有效地清除污染,原油可能无法顺利流入井筒而产出地面,从而无法求准油层的产能,严重影响其评价及开发。因此在这3口探井3个油层的测试中,采用复合射孔与DST测试工具联合作业,其中WB6-8-3井是第1次作业,测试管串简图见图1,复合射孔和管串主要数据见表1。

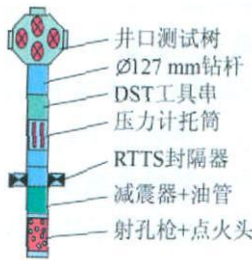


图1 复合射孔与DST联作测试管串

3个油层的测试均获得成功,不但有效地消除污染对测试资料的影响(表皮系数小于或接近0),取得准确的各项测试资料,而且测试过程安全、顺利。测试结果见表2。

表1 复合射孔与DST联作测试数据

井号	枪身外径 /mm	孔密 /孔·m ⁻¹	装复合 火药量	设计缝宽 /mm	设计缝长 /mm	负压值 /MPa	DST工具 类型	压力计 类型	封隔器 与枪顶 距离 /m	压力计 与枪顶 距离 /m	射孔压力 增值 /MPa	测压 频率 /s
WB6-8-3	127	30	6 6m×500g	2.38	1.81	6.95	APR	石英晶体	50.24	52.76	1.91	1
WB11-8-2	127	30	28 2m×500g	2.68	2.10	8.50	APR	石英晶体	60.83	82.38	-6.93	5
WB11-7-2	127	30	9 9m×500g	2.68	2.10	10.37	APR	石英晶体	49.33	59.41	0.74	1

注:3口井安装减震器均为3个,测试液为海水,液垫为柴油。

表2 复合射孔与DST联作测试结果

井号	求产 方式	油嘴 /mm	流量 /m ³ ·d ⁻¹ 油 水 气	原油密度 /g·cm ⁻³	流动压差 /MPa	储层压力 /MPa	压力系数	表皮系数
WB6-8-3	螺杆泵	9.53	33.8 微量 0	0.881	14.336	28.247	1.124	0.08
WB11-8-2	自喷	6.35	4.9 少量 0	0.813	21.499	31.441	1.120	-0.99
WB11-7-2	自喷	9.53	72.0 9063 0	0.813	16.061	25.346	1.016	1.32

6 结论

- (1)在探井测试中使用复合射孔与DST联作技术,可有效地消除污染,提高测试资料质量。
- (2)采用复合射孔与DST联作进行测试,一趟管串完成射孔和测试作业,既可避免射孔液对油气层二次污染,又可提高测试效率。
- (3)优化的测试管串抗震能力强,使得复合射孔与DST联合作业安全、顺利。
- (4)采用弹架装药方式的复合射孔枪,复合火

药产生的能量在垂向上散失少(压力计处监测的压力增加值低)。

- (5)复合射孔与DST联作技术可推广应用。

参考文献:

[1] 聂锺, 闫成民, 朱洪梅, 等. 新型水力泵排液工艺[J]. 石油钻采工艺, 2006, 26(6): 55-57.
[2] 李根生, 熊伟, 宋剑, 等. 高压水射流深穿透射孔产能影响因素[J]. 石油钻采工艺, 2006, 26(4): 60-62

(收稿日期 2007-08-03)
[编辑 朱伟]

mentation and little gapping and shot open holes. They were used in more than 10 gassed out wells of high danger in western South China Sea zone, and the cement job quality is quite fine. The system should be further popularized and applied.

Key words well cementation; double action; gas block; cement milk; weight loss; air resistance; microdilancy

ZHAO Ying-zu, China University of Petroleum, Dongying 256701, Shandong, China; 2 Zhanjiang Branch of CNOOC Limited, Zhanjiang 524057, Guangdong, China

Research and application of drilling-in fluid in reservoir
XIE Ke-jiang, HU Wen-jun, FANG Man-zong, ODPT, 2007, 29 (6): 99-101

Abstract To solve the sand carrying problem of highly deviated well and horizontal well and avoid the pollution and damage for reservoirs better, China National Offshore Oilfield Service Company Limited researched and applied the PRD drilling-in fluid system and matching technology. By forming weak gel structure rapidly to obtain the special rheological property, the requirements of suspended sand carrying ability and borehole cleaning for horizontal well are met. Then the erosion of drilling fluid to the sidewall is reduced. Meanwhile, solid-liquid intruding into reservoirs is stopped effectively. Therefore, the role of stabilizing sidewall and protecting reservoirs are played. The PRD drilling-in fluid system and matching technology are applied successfully and widely in the development of marine and terrestrial oil and gas field. The application of PRD bentonite free and water based drilling-in fluid system for horizontal well in different area achieves downhole safety and meets the optimal and fast operation need. As a result, all the comminuting productivity reaches or exceeds the ODP distribution requirements, and the project operation time shortens 15%-20%. The field application proves that the PRD drilling-in fluid is an excellent drilling-in fluid for highly deviated well and horizontal well.

Key words drilling-in fluid; research and application; weak gel; rheological property; reservoir protection

XIE Ke-jiang, Oilfield Chemical Division of China Marine Oilfield Service Co., Ltd, Zhanjiang 524057, Guangdong, China

Application of complex perforation and DST combination technology in offshore exploration well testing WU Mu-wang, ODPT, 2007, 29 (6): 102-104

Abstract The conventional perforating gun can

not reduce pollution near the well-bore in well testing for some large pollution scale oil and gas zone. By improving the casing perforation equipment and optimizing testing string, the complex perforation gun and DST tools are combined to work. The compounded gunpowder was burned to create an instantaneous pressure which intensely shocked the testing string greatly and affected the normal working of packer and electronic pressure and temperature gauge. The introduction of high efficiency absorber were thus introduced and compounded gunpowder safely designed in testing operation with exploration wells in three offshore oil fields. Results indicate a safe and reliable result of an around 0 skin factor. This kind of technique can significantly reduce the pollution impact to test data and hence has a bright future.

Key words offshore oilfield; exploration well testing; combination of complex perforation gun and DST tools; compounded gunpowder

WU Mu-wang, Exploration and development department Zhanjiang Branch of CNOOC Limited, Zhanjiang 524057, Guangdong, China

Application of multiwell formation evaluation methodology in Yacheng13-1 gas field Economic Recoverable Reserves (ERR). WU Hong-shen, ZENG Shao-jun, HUANG Hong, ODPT, 2007, 29 (6): 105-109

Abstract Yacheng13-1 Gas Field has characters of long logging time intervals, slow replacement of logging devices and complex borehole environment. So there is great error in reservoir description when well log data used for example well quake mismatch. The single well evaluation method in ERR research often causes disagreement between interwell physical property distribution and sedimentary microfacies because of the manmade factors. Multiwell formation evaluation technique has been applied to petrophysical study of Economic Recoverable Reserve in Yacheng13-1 gas field. Strict workflow and Quality Control, such as log data environmental correction and normalization, key well evaluation model study and multiwell optimization processing, ensured the methodology and procedure to be correct. The study results show good accordance with core petrophysical parameters at the whole research region and provide higher accurate logging data for ERR evaluation.

Key words ERR; multiwell evaluation; double-peak marker bed; standardization; optimization processing; quality control

WU Hong-shen, Zhanjiang Branch of CNOOC Limited, Zhanjiang 524057, Guangdong, China