

# 高温高压小井眼尾管固井技术应用

林 强<sup>1,2</sup>, 郑力会<sup>2</sup>, 崔小勃<sup>2</sup>, 毛 丹<sup>1</sup>, 袁小兵<sup>1</sup>, 仵 伟<sup>3</sup>

(1. 川西钻探公司, 四川 成都 610051; 2. 中国石油大学石油天然气工程学院, 北京 昌平 102249; 3. 中国石化集团河南石油勘探局, 河南 南阳 473132)

**摘要:** 高温、高压、深井、小井眼尾管固井是固井技术的一个难点, 龙 16 井在各项配套工程技术措施综合应用的情况下施工成功, 为高温、高压、深井固井作业积累了经验。龙 16 井是川北低平褶皱带九龙山构造上的一口预探井, 原设计  $\varnothing 215.9$  mm 井眼钻至下二叠系完钻。由于地质条件复杂, 纵向上分布多套产层并具有超高压特点, 地层裂缝发育, 多次出现涌漏同存复杂情况, 被迫提前下入  $\varnothing 177.8$  mm 套管固井以封隔上部复杂井段。采用  $\varnothing 149.2$  mm 钻头钻至 5988.00 m 完钻并进行了尾管固井作业。固井作业前钻井液密度  $2.34$  g/cm<sup>3</sup> 时油气显示强烈, 井温  $139.6$  °C。

**关键词:** 深井; 高温高压; 尾管固井

**中图分类号:** TE256<sup>+</sup>.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2008)11-0024-03

**Application of Liner Cementing Technology in HTHP Slim-hole/LIN Qiang<sup>1,2</sup>, ZHENG Li-hui<sup>2</sup>, CUI Xiao-bo<sup>2</sup>, MAO Dan<sup>1</sup>, YUAN Xiao-bing<sup>1</sup>, WU Wei<sup>3</sup>** (1. West Sichuan Drilling Company, Chengdu Sichuan 610051, China; 2. MOE Key Laboratory of Petroleum Engineering in China University of Petroleum, Changping Beijing 102249, China; 3. Sinopec Henan Petroleum Exploration Bureau, Nanyang Henan 473132, China)

**Abstract:** The liner cementing under high temperature and high pressure in slim-hole is difficult. Well Long-16 is an important preliminary prospecting well in Chuanbei low and flat fold belt of Jiulongshan structure. The original 215.9mm hole was designed to complete in Permian, but as well kick and circulation loss happened frequently, 177.8mm casing was put down to cement the upper well section ahead of schedule. In this case, 149.2mm bit was used to 5988.00m, and liner cementing was completed. Before cementing, oil gas showed strongly with drilling fluid density of  $2.34$ g/cm<sup>3</sup> and well temperature of  $139.6$ °C.

**Key words:** deep well; HTHP well; liner cementing

九龙山构造位于四川盆地北部山区, 油气勘探开发历时 30 余年, 钻井 10 余口, 目的层以须家河组为主, 钻至下二叠统茅口组的井仅有 2 口。因此, 在钻飞仙关以下地层时, 可借鉴的资料不足, 经验也不丰富。该井段地层压力系数  $1.95 \sim 2.02$ , 纵向裂缝发育, 井漏频繁, 钻井液密度安全窗口窄, “漏喷同存” 极易出现。龙 16 井位于九龙山构造上二叠统底界构造主高点西南翼, 钻探目的是了解二叠系及以上层系含流体情况, 主探二叠系栖霞组、茅口组和吴家坪组, 兼探飞仙关组。因井下十分复杂而提前下入  $\varnothing 177.8$  mm 油层套管固井, 再用  $\varnothing 149.2$  mm 钻头钻穿主要目的层, 下  $\varnothing 127$  mm 套管固井, 然后做进一步勘探工作。因此,  $\varnothing 127$  mm 套管固井技术成为关键技术。

## 1 龙 16 井井身结构

龙 16 井  $\varnothing 311.2$  mm 井眼以上, 实际井身结构

与设计井身结构一致,  $\varnothing 660.4$  mm  $\times$  102 m ( $\varnothing 508$  mm  $\times$  100.25 m) +  $\varnothing 444.5$  mm  $\times$  1700 m ( $\varnothing 339.7$  mm  $\times$  1688.19 m) +  $\varnothing 311.2$  mm  $\times$  4752 m ( $\varnothing 244.5$  mm  $\times$  4749.66 m),  $\varnothing 244.5$  mm 套管采用分级固井。 $\varnothing 311.2$  mm 井眼以下,  $\varnothing 215.9$  mm 井眼原设计钻 6250 m, 下  $\varnothing 177.8$  mm 尾管至 6248 m,  $\varnothing 244.5$  mm 套管内采用  $\varnothing 193.7$  mm 套管回接。实际  $\varnothing 177.8$  mm 下深 5775.16 m,  $\varnothing 177.8$  mm 套管采用悬挂,  $\varnothing 193.7$  mm 回接固井。因此, 只有采用  $\varnothing 149.2$  mm 钻头钻达井深 5988 m, 下入  $\varnothing 127$  mm 套管, 在  $\varnothing 149.2$  mm 井眼中完成  $\varnothing 127$  mm 固井工作。

钻井过程中, 直接发现油气显示层 37 个, 其中  $\varnothing 215.9$  mm 井眼采用钻井液密度  $2.14$  g/cm<sup>3</sup> 钻至井深 5826 ~ 5828 m 发生严重气侵、井漏, 后经复合桥浆及注水泥堵漏成功, 为防止再次出现上喷下漏、又喷又漏的复杂情况, 决定不钻开 5826 ~ 5828 m 主要涌漏层,  $\varnothing 177.8$  mm 套管下至井深 5775.16 m。

收稿日期: 2008-04-17; 改回日期: 2008-09-27

基金项目: 受教育部“长江学者和创新团队发展计划”资助(编号: IRT0411)

作者简介: 林强(1974-), 男(汉族), 四川成都人, 川西钻探公司工程师, 石油工程专业, 从事钻井技术管理工作, 四川省成都市成华区华油路 143 号, linqq09@163.com。

为科学评价九龙山构造二叠系深部主要目的层和为油气开发创造条件,  $\varnothing 177.8$  mm 套管固井后, 采用  $\varnothing 149.2$  mm 钻头继续钻进以探明主要目的层含油气情况。但此堵漏段也为以后固井增加了难度。

$\varnothing 149.2$  mm 井眼钻进时井下情况仍然十分复杂, 大隆组和吴家坪组 5809.50 ~ 5911.50 m 井段在钻井液密度  $2.12 \sim 2.32$  g/cm<sup>3</sup> 的情况下 7 次出现气侵、井涌、井漏。为提高地层承压能力, 采用光钻具组合打水水泥塞堵漏, 施工中由于井眼条件差、多次堵漏、钻井液固相含量高等多项井下复杂因素而发生“插旗杆”事故, 套铣 3 个月事故解除。恢复钻进至井深 5988.00 m 完钻, 完井电测时又发生测井仪器被液柱高压压碎掉落入井事故, 打捞多次无进展。鉴于井下实际情况, 主要勘探目的已基本实现, 决定下入  $\varnothing 127$  mm 尾管封固 5775.16 ~ 5988.00 m 异常复杂油气层井段, 为后续开发提供条件。至此井深完钻。

## 2 主要技术难点

龙 16 井  $\varnothing 127$  mm 尾管固井作业前井下条件十分复杂, 钻井液密度高达  $2.34$  g/cm<sup>3</sup> 仍有强烈的油气显示, 井底温度  $139.6$  °C。同时, 小井眼、小套管、小环空间隙、深井、超高钻井液密度条件下尾管固井, 其地层压力高, 井底温度高, 油气显示频繁强烈, 喷漏同存, 地质情况十分复杂。同时, 由于  $\varnothing 177.8$  mm 套管未能全部封固  $\varnothing 215.9$  mm 井眼, 人为留下了 53.66 m 大尺寸井眼段, 工程地质问题突出, 压稳、防漏十分困难, 固井质量很难得到保证。概括而言,  $\varnothing 127$  mm 尾管固井施工的主要难点有 4 点。

### 2.1 套管顺利下至预计井深难度大

尾管悬挂器入井后, 除不能转动套管外, 受送入钻具能力的影响, 送尾管遇阻卡后采用上下活动的范围也有局限。提前开泵易造成尾管中途坐挂。随着相对于井眼较大尺寸带双浮箍套管串的下入, 环空间隙进一步减小, 送尾管时若下放速度稍快, 可能引起过大激动压力而导致井漏, 从而诱发井下气侵、井漏复杂, 处理难度和风险均较大。

### 2.2 科学设计固井施工技术参数难

一方面, 钻井液密度高, 油气显示频繁且强烈, 目的层地层压力与破裂压力十分接近, 安全密度“窗口”窄, 加上碳酸岩地层对液柱压力较为敏感, 其承压恢复能力弱, 注、替水泥浆过程中易发生井漏; 另一方面, 深井小排量施工作业时间长, 尾管固井施工工序多, 水泥浆结构复杂, 施工技术参数要求严格, 施工中若发生井漏, 存在很大的井控风险并易

造成井下事故<sup>[1]</sup>。

### 2.3 水泥浆性能要求高, 体系选择难

为满足安全施工作业需要, 必须选择防窜、防漏、抗高温水泥浆体系, 因此可选择的范围小。同时还要求水泥浆高密度、低失水、零析水、沉降稳定性好、耐高压等综合性能良好。因此, 配制十分困难, 稠化时间和流动性能既要保证施工安全、保证环空水泥环质量与强度性能指标, 又要满足完井后试油作业的需要。

### 2.4 水泥浆量小, 易窜、易混, 顶替效率低

水泥浆量只有  $6$  m<sup>3</sup>, 且井深顶替时间长, 因此与其它流体接触时间长, 增大了污染机率。同时水泥浆携带岩屑能力强, 易在小间隙处形成砂堵; 在未封固的  $\varnothing 215.9$  mm 大环空井眼段, 与小间隙相比, 大大降低的施工排量极易造成水泥浆严重窜槽, 施工中顶替效率很难提高, 施工风险较大<sup>[2]</sup>。

## 3 固井综合配套技术措施及施工

针对存在的主要技术难点, 施工中采取了相应的技术措施。

### 3.1 下套管技术

#### 3.1.1 井眼准备

下套管前采用原钻具加 2 只  $\varnothing 145$  mm 专用扶正器模拟钻具组合通井至井底, 遇阻卡采用通、划技术措施解除, 通井到底后充分循环钻井液, 彻底排尽钻井液后效油气, 并利用振动筛清除大颗粒尺寸固相材料, 真正做到井眼清洁、通畅、无垮塌、无沉砂, 平衡压稳高压油气层, 为尾管顺利下入创造好的条件。

#### 3.1.2 下、送尾管技术措施

为降低套管下入摩阻, 设计下入无节箍厚壁高抗挤套管, 适当加  $\varnothing 145$  mm 腰鼓形螺旋刚性扶正器, 降低下入摩阻并提高尾管居中度; 采用预先进行了通径、称重、泵送过胶塞的钻具组合送尾管。除严格执行常规下套管作业规范外, 特别注意合理设计送尾管速度, 并严格把好操作关, 防止因下入速度过快压漏压力敏感性碳酸岩地层<sup>[3]</sup>。

### 3.2 优选水泥浆体系配方

首次采用了防窜、防漏、加重、加砂的高密度胶乳水泥浆体系和优质隔离液体系。认真做好模拟井底温度、压力条件下的胶乳水泥浆体系全套性能试验以及浆体相容性试验, 水泥浆性能指标达到设计要求; 优化浆体结构, 做好平衡压稳相关计算, 设计上水泥塞 100 m 并多返  $3$  m<sup>3</sup> 水泥浆, 增加水泥浆与井壁、套管的接触时间, 增强水泥浆抗漏失能力, 确

保水泥浆入井安全以及固井质量。

### 3.3 科学设计固井施工技术参数

套管下至设计井深后,先以最低排量替出加重钻井液,严密监测井下情况,特别是液面和气测值变化情况,逐步调整钻井液密度至钻进时密度值,并优化钻井液性能以满足固井施工技术要求,根据钻井不同排量情况下的实际循环摩阻并结合流变学理论,利用计算机软件模拟固井施工作业,合理优选适用于井下实际施工技术参数。在施工时采用地面批混工艺混配水泥浆以确保水泥浆混配质量,严格控制好施工车辆、泥浆泵注替参数。

### 3.4 现场施工工艺过程

#### 3.4.1 注水泥浆工艺

下送尾管至预计井深后,先小排量循环出加重钻井液。循环通畅后适当加大排量以弥补循环压耗减少值,清洁井眼并充分排尽油气侵后效后,悬挂器顺利坐挂,一次性脱扣分离成功。

正注预处理低粘切钻井液  $18.0 \text{ m}^3$ ,密度  $2.34 \text{ g/cm}^3$ ;注隔离液  $10.0 \text{ m}^3$ ,密度  $2.34 \text{ g/cm}^3$ ;地面批混水泥浆  $6.0 \text{ m}^3$ ,密度  $2.38 \text{ g/cm}^3$ ;注缓凝水泥浆  $4.0 \text{ m}^3$ ,快干水泥浆  $1.5 \text{ m}^3$ ;注快干水泥浆  $0.5 \text{ m}^3$  胶塞;注后隔离液  $5.3 \text{ m}^3$ ,密度  $2.34 \text{ g/cm}^3$ ,替钻井液  $17.7 \text{ m}^3$  碰压(其中替钻井液  $5.0 \text{ m}^3$  时见井漏),密度  $2.32 \text{ g/cm}^3$ 。泄压检查回流后,接方钻杆起出中心管,关井正反挤钻井液  $3 \text{ m}^3$  和  $10 \text{ m}^3$ ,以确保钻具安全和将油气侵钻井液推回地层,间断正反挤钻井液以保持漏失通道,做反打水水泥浆准备<sup>[4]</sup>。

#### 3.4.2 固井候凝工作

为确保钻具安全和更有效地控制水泥浆量及其运移,泄压开井,循环基本正常后起钻  $10 \frac{1}{8}$  柱;同时,为有效防止气窜,大幅度缩短水泥浆稠化时间,严格控制好过渡时间。做好地面准备以后,试挤密

度  $2.32 \text{ g/cm}^3$  钻井液  $10.0 \text{ m}^3$  以检验漏失通道情况并为施工作业参数调整提供依据。注密度  $2.34 \text{ g/cm}^3$  隔离液  $4.0 \text{ m}^3$ ,注嘉华 G 级高抗加重油井水泥浆  $6.0 \text{ m}^3$ ,密度  $2.37 \text{ g/cm}^3$ ,替注配浆水及钻井液  $13.2 \text{ m}^3$  后停泵,关封井器。正挤密度  $2.32 \text{ g/cm}^3$  钻井液  $8.5 \text{ m}^3$ ,泵反挤密度  $2.32 \text{ g/cm}^3$  钻井液  $1.0 \text{ m}^3$ ,再次正挤密度  $2.32 \text{ g/cm}^3$  钻井液  $0.8 \text{ m}^3$ ,反挤密度  $2.32 \text{ g/cm}^3$  钻井液  $1.0 \text{ m}^3$  停泵关井候凝。

#### 3.4.3 固井质量

回接固井套管现场试压  $100 \text{ MPa}$ ,未见漏失。表明固井质量达到封固异常复杂油气层井段的目的,保证了后续进一步勘探开发。

## 4 结论与认识

龙 16 井高温高压小井眼尾管固井,是在工程地质问题十分突出、超高钻井液密度、碳酸岩地层水力尖劈效应十分明显、极易发生敏感性井漏的情况下完成的,是特殊条件下的固井技术。井漏预测、施工参数合理优化、施工过程精确控制、水泥浆体系与配方优选等技术措施综合配套使用,为固井施工作业成功提供了保证,堪称超高密度深井小井眼、小间隙尾管固井施工作业经典。为高温高压深井超深井的固井提供了范例和宝贵经验。

## 参考文献:

- [1] 李兆敏. 粘弹性流体在圆管中起流动规律的规律[J]. 石油大学学报, 1997, 21(6): 42-47.
- [2] 刘崇建,等. 提高小井眼水泥浆顶替效率的研究[J]. 天然气工业, 2003, 23(2): 46-49.
- [3] 李宪国. 高温高压小间隙固井摩擦阻力的分析计算[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2005, 27(4): 647-649.
- [4] Dowell Schlumberger. 注水泥技术[M]. 北京:石油工业出版社, 1987.

## 吉林大学建设工程学院举行“张祖培教授从教五十年座谈会”

本刊讯 “张祖培教授从教五十年座谈会”2008年10月20日在吉林大学举行。来自全国各地的张教授的弟子代表参加了座谈会,俄罗斯远东国立技术大学、俄罗斯圣彼得堡矿业大学、中国地质大学(武汉)、中国地质大学(北京)、成都理工大学、长春工程学院、中国地质调查局、中国地质科学院勘探技术研究所、北京探矿工程研究所等单位也派代表参加了座谈会。座谈会由吉林大学建设工程学院副院长孙友宏教授主持。

院长殷琨教授,党委书记王爱民,张教授的学生——中国地质科学院勘探技术研究所副所长刘三意教授、中国地质大学(武汉)工程学院院长蒋国盛教授、吉林大学勘察工程系

主任徐会文教授等分别在座谈会上讲话,对张祖培教授从教50年表示热烈祝贺,大家共同回顾了张教授从教50年来对我国探矿工程专业建设和人才培养做出的巨大贡献,并对他的道德风范、治学精神、学问人品和人生境界给予高度评价。

孙友宏详细介绍了张祖培教授从教50年的光辉历程。

张祖培教授在座谈会上发表感言,表示自己一生信奉“老老实实做人,踏踏实实工作,平平淡淡生活”的人生哲理,一生的最大财富就是培养了一大批探矿工程人才,从教50年无怨无悔。

座谈会上还举行了庆贺张祖培教授从教五十年《平凡而充实的一生》纪念册首发仪式。