

◀ 页岩气工程技术专题 ▶

doi:10.11911/syztjs.201405008

# 川南探区页岩气水平井钻井技术

唐嘉贵

(中石化西南石油工程有限公司,四川成都 610041)

**摘要:**川南探区存在地层古老、可钻性差、机械钻速慢、钻井成本高及投资收益低等问题,为实现该探区页岩气高效勘探开发,在分析探区工程地质及钻井工程技术难点的基础上,结合页岩气储层改造技术要求,开展了井身结构方案优化、优快钻井技术以及经济成本分析,形成了以Φ139.7 mm 套管完井的三开钻井技术方案,指导完成了WY1 井、YY1 井等探井的设计,为川南探区第一轮页岩气勘探提供了技术指导。

**关键词:**页岩气 水平井 钻井 川南探区

中图分类号:TE243<sup>+</sup>.1 文献标识码:A 文章编号:1001-0890(2014)05-0047-05

## Discussion on Shale Gas Horizontal Drilling Technology in Southern Sichuan

Tang Jiagui

(Sinopec Xinan Oilfield Service Corporation, Chengdu, Sichuan, 610041, China)

**Abstract:** The exploration area in Southern Sichuan is present in ancient strata, where difficulties such as poor drillability, slow penetration rate, high drilling cost and low investment return exist. To achieve an efficient shale gas exploration in this exploration area, we carried out activities including well structure optimization, optimal and fast drilling technology and economic cost analysis on the basis of analyses on drilling technical difficulties in the exploration area and shale gas reservoir stimulation technology requirements. As a result, a drilling program based on three times of spudding and completion with Φ139.7 mm casings was developed, which guided the design of WY1 and YY1 exploratory wells successfully and provided technical guidance for the first round shale gas exploration in Southern Sichuan.

**Key words:** shale gas; horizontal well; drilling; Southern Sichuan

川南探区主要包括井研-犍为、威远-荣县、荣昌-永川、荣县-宜宾、赤水等区块,勘探层位为筇竹寺组和龙马溪组,与邻区的长宁-威远、富顺-永川等页岩气开发区块的沉积特征相似,均位于深水陆棚有利沉积相带,预测页岩气地质资源量  $15.4 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ,具有良好的页岩气勘探开发潜力<sup>[1-4]</sup>。

川南探区页岩气藏属于低品位油气藏,成藏地质条件复杂,自上而下发育有侏罗系沙溪庙组、凉高山组、自流井组,三叠系须家河组、雷口坡组、嘉陵江组、飞仙关组,二叠系长兴组、龙潭组、茅口组、栖霞组、梁山组,志留系韩家店组、石牛栏组、龙马溪组和奥陶系五峰组地层,地层古老、可钻性差、各向异性大,探井钻井过程中存在易发生井下故障、机械钻速慢、钻井周期长、钻井成本高及投资收益低等问题。为实现探区内页岩气高效勘探,在分析邻区页岩气

井实钻资料的基础上,结合探区工程地质及技术难点,开展了井身结构优化、优快钻井技术以及经济性分析,形成了以Φ139.7 mm 套管完井的三开井身结构优化方案,并配套了相应的优快钻井技术。

## 1 钻井工程技术难点

川南探区龙马溪组地层埋深 2 800.00 ~ 4 200.00 m,结合邻区实钻情况分析工程地质特征,

收稿日期:2014-07-25;改回日期:2014-09-08。

作者简介:唐嘉贵(1956—),男,云南昭通人,1978 年毕业于西南石油学院钻井工程专业,高级工程师,长期从事石油天然气钻井研究及管理工作。

联系方式:5972410@qq.com。

基金项目:国家科技重大专项课题“低渗气藏复杂地层高效钻井关键技术”(编号:2011ZX05022-005)部分研究成果。

认为主要存在以下钻井技术难点:

1) 上部地层溶孔洞、煤层、断层、裂缝发育,存在井漏风险。邻区威远、焦石坝等区块在钻井中普遍存在井漏问题,W79 井、W201 井和 W116 井等在须家河组—嘉陵江组地层发生失返性漏失<sup>[5-6]</sup>,JY3HF 井和 JY4HF 井等在嘉陵江组、龙马溪组地层发生裂缝性漏失。

2) 上部陆相地层可能含有水层,受地层出水和井壁垮塌影响,气体钻井应用井段和提速效果受限。邻区 ZS1 井在 756.00~760.00 m 井段钻遇水层;W201-H1 井应用空气锤钻至井深 193.20 m 时地层出水,出水量 120 m<sup>3</sup>/h;W201-H3 井充气钻进至井深 85.00 m 时地层出水,出水量 20 m<sup>3</sup>/h;LS2 井用泡沫钻至井深 280.50 m 时地层出水 3 000 m<sup>3</sup>,被迫转换钻井方式<sup>[6]</sup>。

3) 地层复杂,可钻性差,机械钻速低,钻井周期长<sup>[7-10]</sup>。陆相地层厚度大,砂泥岩互层、岩石软硬交错频繁,海相地层岩性复杂,嘉陵江组地层发育石膏层,龙潭组、茅口组—栖霞组、韩家店组地层可钻性差,机械钻速低,钻井周期长,邻区威远—长宁区块龙潭组—栖霞组地层钻速低(1.34~2.79 m/h),韩家店组—石牛栏组地层钻速低(1.57~2.29 m/h)。

4) 川南龙马溪组页岩气探区大都处于斜坡带上,容易发生井斜。邻区 W201-H1 井直井段钻至井深 1 135.00 m 时井斜角达 14.25°,DS1 井直井钻至井深 1 155.00 m 时井斜角达 11.15°。

5) 侧钻水平段安全施工风险大。龙马溪组地层岩性以黑色硅质页岩为主,岩石硬而脆,易掉块并出现破碎性垮塌;同时,黏土矿物含量高,以伊利石为主,对流体敏感性强,易剥蚀掉块,且地层微裂缝发育,钻井液滤液容易沿微裂缝进入地层内部,破坏泥页岩的胶结性和原有的力学平衡,导致岩石碎裂,引起井壁失稳。受井壁切向应力与层理面夹角、页岩在钻井液中浸泡时间等诸多因素影响,侧钻大斜度井段及水平段更易出现井壁失稳,邻区 W201-H1 井和 W203-H3 井的水平段均未钻至设计井深<sup>[11-14]</sup>。

## 2 井身结构优化设计

### 2.1 必封点设计

川南探区陆相须家河组以浅地层预测为常压地层;预测雷口坡以深地层油气水中含硫化氢;龙潭组

地层含铝土质泥岩,水敏性强;嘉陵江组石膏发育;龙潭组、茅口组—栖霞组和韩家店组地层可钻性差,预测发育多套气层,可能钻遇缝洞发育带并出现放空、井漏、井喷等强烈显示;斜井段及水平段穿越目的层龙马溪组,页岩发育,容易发生井壁失稳。

根据页岩探区内压力剖面和地质工程特点,参考邻区实钻三开井身结构特点,依据有利于安全、优质、高效钻井和油气层保护的原则,第一必封点设计在雷口坡组顶部,封隔须家河组上部不稳定、易漏地层,为二开钻井提供井控条件;第二必封点设计在石牛栏组顶部,封雷口坡组—韩家店组地层,为侧钻水平段提供安全钻进井筒条件。

### 2.2 井身结构优化

根据国内外页岩气勘探开发经验,井身结构设计的关键在于确定套管承压能力,以保证后期大规模压裂改造施工中井筒承压的要求。为此,基于安全建井及降本增效原则,参考邻区焦石坝、丁山和威远等页岩气区块的实钻资料,预测破裂压力梯度 2.7 MPa/100m,结合套管或泵送可钻式桥塞压裂改造工艺,选用  $\phi 177.8$  mm 套管才能满足 10 m<sup>3</sup>/min 以上大排量改造需要,并形成了“直导眼+水平井”三开井身结构设计方案:导眼,  $\phi 609.6$  mm 钻头  $\times$  102.00 m,  $\phi 508.0$  mm 导管  $\times$  100.00 m, 封隔上部易漏层及浅层水;一开,  $\phi 406.4$  mm 钻头  $\times$  1 202.00 m,  $\phi 339.7$  mm 表层套管  $\times$  1 200.00 m, 封隔须家河组及以浅地层;二开,  $\phi 311.1$  mm 钻头  $\times$  3 182.00 m,  $\phi 244.5$  mm 技术套管  $\times$  3 180.00 m, 封隔须家河组及以浅地层;三开,  $\phi 215.9$  mm 钻头  $\times$  5 018.00 m,  $\phi 177.8$  mm 油层套管  $\times$  5 016.00 m, 先悬挂后回接。

考虑采用  $\phi 177.8$  mm 套管完井的三开井身结构具有钻井成本高的缺点,在满足油层套管承压条件下,全井采用  $\phi 139.7$  mm 套管,在套管限压 90 MPa 下预测施工排量达 10 m<sup>3</sup>/min 以上,满足泵送桥塞分段压裂改造施工排量要求,为此将油层套管尺寸由  $\phi 177.8$  mm 优化为  $\phi 139.7$  mm 套管。优化后的井身结构为:导眼,  $\phi 609.6$  mm 钻头  $\times$  102.00 m,  $\phi 508.0$  mm 导管  $\times$  100.00 m, 封隔上部易漏层及浅层水;一开,  $\phi 406.4$  mm 钻头  $\times$  1 202.00 m,  $\phi 339.7$  mm 表层套管  $\times$  1 200.00 m, 封隔须家河组及以浅地层;二开,  $\phi 311.1$  mm 钻头  $\times$  3 182.00 m,  $\phi 244.5$  mm 技术套管  $\times$  3 180.00 m, 封隔须家河及以浅地层;三开,  $\phi 215.9$  mm 钻头  $\times$  5 018.00 m,  $\phi 139.7$  mm 技术套管  $\times$  5 016.00 m, 全管柱固井。

### 3 优快钻井技术

针对川南探区的钻井工程技术难点,借鉴威远—长宁、礁石坝等邻区完钻井的钻井提速成功经验,对现有优快钻井技术进行集成攻关,提出了配套的钻井技术方案。

#### 3.1 泡沫/气体钻井技术

导眼/一开井段钻遇的沙溪庙组至须家河组地层,具有砂泥岩软硬交错变化大,泥页岩或砂泥岩易水化剥蚀掉块、易塌,砂岩石英含量高,可钻性差等特点,存在常规钻井钻速慢、周期长等问题。邻区上部陆相地层采用泡沫/气体钻井提速防漏效果显著,其中 LS2 井导眼采用气体钻井,钻速 2.92 m/h,较常规钻井提高 4.72 倍,W201-3H 井导眼采用气体钻井,钻速 6.67 m/h,较常规钻井提高 3.25 倍(见图 1)。为实现川南探区页岩气井上部井段提速,导管/一开井段推荐采用泡沫/气体钻井技术,以达到防漏提速的目的。

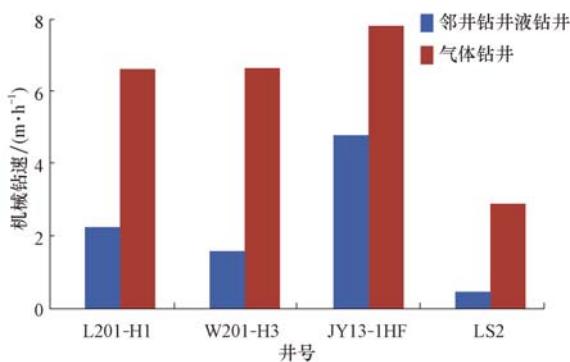


图 1 邻区泡沫/气体钻井提速效果对比

Fig. 1 The effect comparison of increasing foam/gas drilling speed in adjacent regions

#### 3.2 复合钻井技术

须家河组以深为海相地层,尤其是龙潭组—栖霞组、韩家店组—石牛栏组等地层古老、研磨性强、可钻性差,且普遍含硫化氢,为保证井控安全,不采用气体钻井提速。邻区探井在海相地层推广复合钻井技术后提速效果显著,其中 JY4HF 井韩家店组—龙马溪组采用复合钻井施工井段(1 668.07~2 496.94 m),机械钻速 10.8 m/h,较常规钻井提速 294%;DY1HF 井茅口组—石牛栏组(1 207.80~1 793.05 m 井段)采用复合钻井施工,机械钻速

6.00 m/h,较常规钻井提速 152%。为此,川南探区页岩气井二开海相地层推荐采用复合钻井技术,以提高钻速、缩短钻井周期、降低钻井成本。

#### 3.3 高效 PDC 钻头选型技术

针对川南探区地层复杂、研磨性强、可钻性差等特点,以提速和提效为目的,兼顾进尺和使用寿命,综合考虑地层岩性和钻头破岩机理、钻头技术参数、钻齿形状及保径等因素,参考邻区威远区块、焦石坝区块等完钻井钻头的使用情况,进行了钻头优选。威远区块 W201-H1 井、W201-H3 井等的龙潭组、茅口组、栖霞组地层可钻性差,试验了 6 刀翼  $\varnothing 16.0$  mm 齿 PDC 个性化钻头,机械钻速分别为 9.60 和 3.57 m/h,与邻井 W201 井相比分别提高了 364% 和 71%,效果显著。为此,川南探区页岩气井长兴组以浅地层推荐采用 PDC 钻头,龙潭组以深地层直导眼采用个性化 PDC 钻头,备选牙轮钻头;侧钻段推荐采用牙轮钻头,造斜及水平段钻进采用 PDC 钻头。

#### 3.4 井眼轨迹控制技术

##### 3.4.1 直井段

川南页岩气探区大都处于斜坡带上,容易发生井斜,导眼开孔直径  $\varnothing 609.6$  mm,参考常规防斜打快技术,推荐采用塔式钻具组合,通过计算防斜打直与提速的钻井参数临界点,制定合理的钻井参数,配合使用减振器,达到防斜打快、减少钻具疲劳损伤导致的井下故障的目的。一开井眼直径 406.4 mm,裸眼段长 1 200 m 以上,推荐采用“弯螺杆+MWD”导向钻井技术,以有效控制易斜地层井斜角,提高机械钻速;可在钻具上安装欠尺寸稳定器修整井壁,确保  $\varnothing 406.4$  mm 井眼下入  $\varnothing 339.7$  mm 套管。

##### 3.4.2 斜井段

斜井段井眼轨迹控制主要采用常规导向、旋转导向和地质导向等技术。常规导向采用“螺杆+MWD”组合,以滑动和复合 2 种方式交替钻进,通过调整滑动和复合的段长来调整造斜率,通过摆放工具面来调整井斜变化率和方位变化率,但在水平段后期钻进时黏附、托压现象较为严重;旋转导向具有定向机械钻速高、摩阻扭矩小、安全性高等优点,但费用昂贵;地质导向是在常规导向钻具组合中加入地质参数测量短节进行实时监测,实时调整井眼轨迹的上下倾趋势,使井眼轨迹在储层中钻进,费用

较高。综合考虑 3 种导向钻井的优缺点及页岩储层平面展布广厚度大(大于 15 m)的特点,推荐采用常规导向技术,以复合钻进为主、滑动钻进为辅,通过倒装钻具、定点循环、短程起下钻等措施降低井眼摩阻,减少钻具托压现象,满足井眼轨迹控制要求。

### 3.5 油基钻井液技术

三开斜井段和水平段穿过目的层页岩层段,页岩地层裂缝和层理结构发育,采用水基钻井液易导致井壁失稳,影响水平井安全施工。油基钻井液具有密度可调范围大、滤失量低、封堵性强和良好的携砂能力等特点,邻区页岩气水平井在斜井段钻井中采用油基钻井液,有效解决了泥页岩井壁失稳问题。其中,W201-H3 井水平段采用油水比为 9:1 的柴油基钻井液,密度 1.82~1.83 kg/L,添加封堵和抑制材料,解决了井壁坍塌问题,测井未发生遇阻,套管顺利下至井深 3 643 m;焦石坝区块多轮试验水平段采用 8:2 柴油基钻井液并配合相应技术措施,基本解决了井壁失稳难题,实现了页岩气规模开发。为此,川南探区页岩气井三开侧钻段推荐采用 8:2 柴油基钻井液,控制高温高压滤失量,提高钻井液封堵性。

## 4 经济效益分析

在分析邻区页岩气井实钻资料的基础上,对川南探区页岩气水平井井身结构进行了优化,对配套钻井技术进行了研究,形成了以  $\phi 139.7$  mm 套管完井的三开井身结构方案,指导完成了 WY1 井、YY1 井等探井的钻井设计,为川南探区第一轮页岩气勘探提供了技术支持。

WY1 井在参考邻区的 JS1 井、JY1 井及 DY2HF 井等的实钻情况基础上,将井身结构中的  $\phi 177.8$  mm 套管优化为  $\phi 139.7$  mm 套管进行完井,按“直导眼段+侧钻水平段”总进尺 5 454.00 m 测算,预计钻井周期缩短 10 d 以上。按石油工程造价预算,钻井方案优化后预期可节约费用 500 万元以上。其中,ZJ70 钻机费用 150 万元,套管费用 80 万元,钻井液费用 92 万元,其他费用 178 万元等。

## 5 结 论

1) 根据川南探区地层压力剖面和工程地质特征,基于安全建井和降本增效原则,优化形成了以

$\phi 139.7$  mm 套管完井的“直导眼+水平井”三开井身结构方案,满足了页岩气大规模压裂的排量要求,与采用  $\phi 177.8$  mm 套管完井相比,预计节约钻井成本 500 万元以上。

2) 针对川南探区钻井面临的提速技术难题,通过分析邻区实钻资料,形成了直井段泡沫/气体钻井、高效 PDC 钻头复合钻井,斜井段“高效 PDC 钻头+弯螺杆+MWD”配合油基钻井液等优快钻井技术,满足了安全建井及提速提效目的。

3) 根据优化后的川南探区页岩气水平井三开钻井技术方案,指导完成了 WY1 井和 YY1 井钻井方案设计,方案合理性有待通过第一轮勘探井实钻来验证。

## 参 考 文 献

### References

- [1] 蒲泊伶,董大忠,耳闯,等.川南地区龙马溪组页岩有利储层发育特征及其影响因素[J].天然气工业,2013,33(12):41~47.  
Pu Boling,Dong Dazhong,Er Chuang,et al.Favorable reservoir characteristics of the Longmaxi shale in the Southern Sichuan Basin and their influencing factors[J].Natural Gas Industry,2013,33(12):41~47.
- [2] 能源工程编辑部.我国页岩气勘探开发取得重大进展[J].能源工程,2013,34(6):69.  
Editorial Office of Energy Engineering.Exploration and development of shale gas has made significant progress[J].Energy Engineering,2013,34(6):69.
- [3] 郭彤楼,张汉荣.四川盆地焦石坝页岩气田形成与富集高产模式[J].石油勘探与开发,2014,41(1):28~36.  
Guo Tonglou,Zhang Hanrong.Formation and enrichment mode of Jiaoshiba Shale Gas Field,Sichuan Basin[J].Petroleum Exploration and Development,2014,41(1):28~36.
- [4] 周贤海.涪陵焦石坝区块页岩气水平井钻井完井技术[J].石油钻探技术,2013,41(5):26~30.  
Zhou Xianhai.Drilling & completion techniques used in shale gas horizontal wells in Jiaoshiba Block of Fuling Area[J].Petroleum Drilling Techniques,2013,41(5):26~30.
- [5] 张锦宏.彭水区块页岩气水平井钻井关键技术[J].石油钻探技术,2013,41(5):9~15.  
Zhang Jinhong.Key drilling & completion techniques for shale gas horizontal wells in Pengshui Block[J].Petroleum Drilling Techniques,2013,41(5):9~15.
- [6] 聂靖霜,王华平,王富渝.长宁威远地区页岩气大斜度水平井钻井技术研究[J].钻采工艺,2013,36(3):118~120.  
Nie Jingshuang,Wang Huaping,Wang Fuyu.Research of drilling technology for shale gas high-angle horizontal wells in Weiyuan,Changning[J].Drilling & Production Technology,2013,36(3):118~120.

- [7] 王华平, 张铎, 张德军, 等. 威远构造页岩气钻井技术探讨[J]. 钻采工艺, 2012, 35(2): 9-11.  
Wang Huaping, Zhang Duo, Zhang Dejun, et al. Exploration of shale gas drilling technology in Weiyuan Structure[J]. Drilling & Production Technology, 2012, 35(2): 9-11.
- [8] 马庆涛, 葛鹏飞, 王晓宇, 等. 涪页 HF-1 页岩气水平井钻井关键技术[J]. 石油机械, 2013, 41(8): 107-110.  
Ma Qingtao, Ge Pengfei, Wang Xiaoyu, et al. Key technology of shale gas horizontal drilling in Well HF-1 of Fuye[J]. China Petroleum Machinery, 2013, 41(8): 107-110.
- [9] 聂靖霜, 雷宗明, 王华平, 等. 威远构造页岩气水平井钻井井身结构优化探讨[J]. 重庆科技学院学报: 自然科学版, 2013, 15(2): 97-100.  
Nie Jingshuang, Lei Zongming, Wang Huaping, et al. Optimization of casing program for shale gas horizontal well in Weiyuan Structure[J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology: Natural Sciences Edition, 2013, 15(2): 97-100.
- [10] 姜政华, 童胜宝, 丁锦鹤. 彭页 HF-1 页岩气水平井钻井关键技术[J]. 石油钻探技术, 2012, 40(4): 28-31.  
Jiang Zhenghua, Tong Shengbao, Ding Jinhe. Key technologies adopted for shale gas horizontal Well Pengye HF-1[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 40(4): 28-31.
- [11] 刘洪, 刘庆, 陈乔, 等. 页岩气水平井井壁稳定影响因素与技术对策[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(32): 9598-9603.  
Liu Hong, Liu Qing, Chen Qiao, et al. Influence factors and technical countermeasures of shale gas horizontal well stability[J]. Science Technology and Engineering, 2013, 13 (32): 9598-9603.
- [12] 郭昊, 袁玲. 页岩气钻井关键技术及难点研究[J]. 石油化工应用, 2013, 32(6): 12-14, 19.  
Guo Hao, Yuan Ling. Key technologies and challenges research of shale gas drilling[J]. Petrochemical Industry Application, 2013, 32(6): 12-14, 19.
- [13] 刘伟, 伍贤柱, 韩烈祥, 等. 水平井钻井技术在四川长宁-威远页岩气井的应用[J]. 钻采工艺, 2013, 36(1): 114-115.  
Liu Wei, Wu Xianzhu, Han Liexiang, et al. Horizontal drilling technology applied to shale gas wells in Weiyuan, Changning, Sichuan[J]. Drilling & Production Technology, 2013, 36(1): 114-115.
- [14] 何涛, 李茂森, 杨兰平, 等. 油基钻井液在威远地区页岩气水平井中的应用[J]. 钻井液与完井液, 2012, 29(3): 1-5, 91.  
He Tao, Li Maosen, Yang Lanping, et al. Oil-based drilling fluids applied to shale gas horizontal wells in Weiyuan Area [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2012, 29(3): 1-5, 91.

[编辑 滕春鸣]

## 欢迎订阅 2015 年《石油钻采工艺》

《石油钻采工艺》创刊于 1979 年, 是由中国石油天然气集团公司主管、华北油田分公司和华北石油管理局主办的科技期刊, 是中文核心期刊、中国科技核心期刊, 由中国科学引文数据库(CSCD)、中国期刊全文数据库(CJFD)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)、美国《化学文摘》(CA)、美国《剑桥科学文摘》(CSA)等国内外著名检索机构收录, 多次荣获中国石油天然气集团公司和河北省优秀期刊称号。

本刊设有钻井完井、油气开采、新能源开发、交流园地、探讨争鸣、要闻简讯等栏目。主要报道国内石油钻井、采油的新工艺、新技术、科研成果和先进的生产管理经验, 并适当介绍与其有关的国外发展水平、综述和动态。

本刊为双月刊, 大 16 开, 公开发行。国际标准连续出版物号: ISSN 1000-7393, 国内统一连续出版物号: CN 13-1072/TE, 邮发代号: 18-121, 每期每册定价 30.00 元, 全年 180.00 元。欢迎广大读者订阅。联系人: 张冬梅; 电话: 0317-2723370; E-mail: syzc@vip. 163. com。

### 汇款方式:

- 银行电汇收款单位: 中国石油天然气股份有限公司华北油田分公司; 开户行: 工商银行华北石油支行; 账号: 040 800 400 922 100 9311; 电汇单上请注明“订 2015 年《石油钻采工艺》”。
- 邮局汇款地址: 河北省任丘市华北油田公司采研院; 邮政编码: 062552; 收款人: 《石油钻采工艺》杂志社; 汇款单附言请注明“订 2015 年《石油钻采工艺》”。