

# 盐下复杂压力系统超深井的非常规井身结构设计

——以四川盆地五探 1 井为例

邹灵战<sup>1</sup> 毛蕴才<sup>2</sup> 刘文忠<sup>3</sup> 汪海阁<sup>1</sup> 郭建华<sup>3</sup> 邓传光<sup>3</sup> 郑有成<sup>3</sup>  
黄洪春<sup>1</sup> 李杰<sup>3</sup> 乐宏<sup>3</sup> 陈刚<sup>3</sup>

1. 中国石油集团工程技术研究院有限公司 2. 中国石油勘探与生产分公司 3. 中国石油西南油气田公司

**摘 要** 五探 1 井是部署在四川盆地东部达州—开江古隆起上的一口风险探井，主探寒武系、震旦系，设计井深 7 570 m。该井志留系以下地层的地质不确定性强、风险度高，寒武系可能钻遇大段膏盐层、纵向上压力系统复杂、预测井底温度达到 175 ℃、井底液柱压力超过 140 MPa 并含有硫化氢等，给井身结构设计带来了很大的挑战。为此，借鉴国内外盐下超深井钻井的成功经验，在分析钻井工程面临的难点和风险的基础上，结合该井的压力系统特点、膏盐层蠕变特性，优化设计井身结构，并进行了现场应用。结果表明：①基于裸眼段防漏、防喷和防压差卡钻等约束条件，确定井身结构必封点 5 个、套管层次 6 层；②压力衰竭的石炭系岩性致密，压差卡钻和漏失的风险低，可以不做为必封点；③为寒武系膏盐层专门设计一层套管，以实现盐层专打，套管抗挤强度 160 MPa 预防挤毁；④五探 1 井安全钻达设计地层，完钻井深为 8 060 m。结论认为，为实现川东地区盐下安全钻井而确定 5 个必封点、六开非常规井身结构是合理的，该井的成功完钻为上述古隆起后续深层天然气钻探提供了经验和借鉴。

**关键词** 超深井 复杂压力系统 膏盐层 含硫化氢 井身结构 四川盆地 川东地区 达州—开江古隆起 五探 1 井  
DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2018.07.010

## Unconventional casing programs for subsalt ultra-deep wells with a complex pressure system: A case study on Well Wutan 1 in the Sichuan Basin

Zou Lingzhan<sup>1</sup>, Mao Yuncai<sup>2</sup>, Liu Wenzhong<sup>3</sup>, Wang Haige<sup>1</sup>, Guo Jianhua<sup>3</sup>, Deng Chuanguang<sup>3</sup>,  
Zheng Youcheng<sup>3</sup>, Huang Hongchun<sup>1</sup>, Li Jie<sup>3</sup>, Yue Hong<sup>3</sup> & Chen Gang<sup>3</sup>

(1. CNPC Engineering Technology Research Institute Co., Ltd., Beijing 102206, China; 2. PetroChina Exploration & Production Company, Beijing 100083, China; 3. PetroChina Southwest Oil & Gasfield Company, Chengdu, Sichuan 610051, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 38, ISSUE 7, pp.73-79, 7/25/2018. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

**Abstract:** Well Wutan 1 is a wildcat well deployed in the Dazhou–Kaijiang paleo-uplift, eastern Sichuan Basin and its design depth is 7 570 m. The Cambrian and Sinian strata are its main exploration targets, and the strata below the Sinian in this well are geologically uncertain with a high risk. A large section of gypsum-salt layer may be encountered in the Cambrian and the longitudinal pressure system is complex. It is predicted that the bottomhole temperature is up to 175 ℃, and the bottomhole liquid column pressure exceeds 140 MPa, and there is hydrogen sulfide. As a result, the casing program design is confronted with great challenges. In this paper, the difficulties and risks of drilling engineering were analyzed. Then, a casing program was designed and optimized referring to the successful drilling experience of subsalt ultra-deep wells at home and abroad, combined with the pressure system characteristics of Well Wutan 1 and the creep performance of gypsum-salt layers. Finally, the casing program was applied on site. And the following research results were obtained. First, in order to prevent leakage, blowout and pressure difference induced pipe sticking in the open hole section, it is determined that the casing program shall be in the pattern of six-section casing with 5 setting positions. Second, no setting position is needed in the Carboniferous pressure depleted reservoir for it is lithologically tight and pressure difference induced pipe sticking and leakage is less risky. Third, for achieving salt layer specialization, one section of casing is specially designed for the Cambrian gypsum-salt layer and its collapse strength is 160 MPa to prevent collapse by salt creep. Fourth, Well Wutan 1 is drilled successfully to the expected strata and its total depth is 8 060 m. In conclusion, the unconventional six-section casing program with 5 setting points to ensure the subsalt drilling safety in the eastern Sichuan Basin is rational. The successful drilling of Well Wutan 1 provides experiences and references for the follow-up deep-seated gas exploration in the Dazhou–Kaijiang paleo-uplift.

**Keywords:** Ultra-deep well; Complex pressure system; Gypsum-salt layer; Hydrogen sulfide bearing; Casing program; Sichuan Basin; Eastern Sichuan Basin; Dazhou–Kaijiang paleo-uplift; Well Wutan 1

**基金项目：**中国石油天然气股份有限公司重大科技专项“西南油气田上产 300 亿立方米勘探开发关键技术研究与应用”（编号：2016E-0608）、中国石油西南油气田公司重大科技专项“川东地区天然气勘探开发关键技术研究与应用”（编号：2016ZD01）。

**作者简介：**邹灵战，1972 年生，高级工程师，博士；主要从事油气井工程方面的研究工作；地址（102206）：北京市昌平区黄河街 5 号院 1 号楼。ORCID: 0000-0001-9146-9362。E-mail: zoulingzhan@cnpc.com.cn

## 0 引言

近期的勘探成果<sup>[1-5]</sup>表明,四川盆地东部的达州—开江古隆起区具备良好的油气成藏条件,是天然气勘探重要的领域和方向<sup>[5-6]</sup>。

近年来,四川盆地深井和超深井钻井技术取得显著进步,井身结构设计持续优化<sup>[7-9]</sup>,普光气田完钻井深接近6 000 m,采用常规四开井身结构。元坝气田完钻井深7 000 m,采用非标五开井身结构<sup>[10-12]</sup>。龙岗西采用六开非标井身结构,完钻井深达到7 793 m<sup>[13-15]</sup>。井身结构的优化和拓展,以及控压钻井技术的应用<sup>[16-17]</sup>,安全钻井得到了基本保障。

但在川东地区的寒武系膏盐层钻井面临着严重挑战。太和1井在膏盐层发生3次卡钻无法继续钻进;建深1井在盐层发生多次卡钻而中止;座3井在盐层发生套管挤毁而无法继续钻进;池7井、五科1井钻至膏盐层顶部完钻,马深1井未钻遇寒武系这套膏盐层<sup>[18-19]</sup>。

国际上,墨西哥湾深水钻井面临着5 000 m的巨厚盐层的挑战,2000年之后采用的是随钻扩眼技术拓展套管层次,井身结构主体为 $\varnothing 914.4\text{ mm} \times \varnothing 711.2\text{ mm} \times \varnothing 558.8\text{ mm} \times \varnothing 457.2\text{ mm} \times \varnothing 406.4\text{ mm} \times \varnothing 355.6\text{ mm} \times \varnothing 301.6\text{ mm} \times \varnothing 250.8\text{ mm} \times \varnothing 196.85\text{ mm}$ ,盐层安全钻井的主要措施有:①盐层用2~3层套管封隔不同压力系统;②盐层设计厚壁高抗挤套管;③采用油基钻井液。这些技术保障了该地区复杂压力体系、巨厚盐层、超深井钻井安全的需要,完钻井深超过10 000 m,代表着国际领先的盐下超深井钻井水平<sup>[20-23]</sup>。

国内库车山前钻井也面临着巨厚膏盐层挑战,安全钻井的成功经验包括:①盐层专打;②高钢级、厚壁套管,抗挤强度达到150 MPa以上;③油基钻井液技术。采用非标五开井身结构,套管层次为 $\varnothing 508.00\text{ mm} \times \varnothing 365.10\text{ mm} \times \varnothing 273.05\text{ mm} \times \varnothing 206.40\text{ mm} \times \varnothing 139.70\text{ mm}$ ,盐顶下入 $\varnothing 273.05\text{ mm}$ 技术套管,盐层下入 $\varnothing 206.40\text{ mm}$ 厚壁、高抗挤套管。库车山前代表着国内巨厚盐层钻井的领先水平,完钻井深达到8 023 m<sup>[24-27]</sup>。

本研究借鉴墨西哥湾盐下和库车山前井身结构设计和安全钻井的经验,按照“低压漏失层与高压显示气层尽量分隔、复杂层段尽量不下延、膏盐层专打、套管层次留有余地”的原则,依据压力系统和复杂地层特点,优化设计了五探1井的井身结构。

## 1 地质层序与压力系统

四川盆地东部地质层序较为完整,由浅及深一般分布有侏罗系、三叠系、二叠系、石炭系、志留系、奥陶系、寒武系、震旦系、南华系。

川东地区纵向上高低压交错、压力系统非常复杂。凉高山组—须家河组岩性以泥岩、页岩、砂岩为主,须家河夹煤层,易发生水敏垮塌与应力垮塌,压力系数一般小于1.0,漏失和垮塌矛盾比较突出;嘉陵江组的嘉四段可能钻遇石膏或盐层,有井径扩大、缩径的风险;飞仙关组、长兴组为四川盆地勘探鲕滩和生物礁储层的主要对象,有钻遇高含硫气藏的可能,一般压力系数1.2~1.3,储层发育的井段易发生压差卡钻;龙潭组、茅口组可能钻遇裂缝性异常高压层和漏失复杂层;石炭系为川东主要开发气层,地层原始压力系数为1.1~1.2,与五探1井相邻构造的石炭系一般埋深5 000 m,厚度60 m左右,为一套较为致密的云岩<sup>[27]</sup>,储层开发后压力系数已经降低至0.5左右,但在钻井液封堵性能比较好的情况,漏失压力系数达到1.70左右。这是川东多年钻探中,对石炭系及以上地层得出地质压力系统与复杂情况的认识。

志留系纵向上依次为韩家店组、小河坝组和龙马溪组,小河坝组是川东地区的区域产层。五科1井试油获气 $1.09 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,压力75.8 MPa,折算压力系数1.60;建深1井获气 $5.13 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,压力61.44 MPa,折算压力系数1.62。川东地区的志留系普遍存在高压,地层压力系数在1.65左右<sup>[28]</sup>。

寒武系的高台组中下部与龙王庙组上部可能钻遇大段膏盐层,有缩径、垮塌形成“大肚子”井眼的风险,对安全钻井挑战很大。

五探1井预测井底温度175℃,井底液柱压力超过140 MPa,而且雷口坡以下地层,大多含有硫化氢,个别为高含硫气藏。

## 2 钻井工程面临的难点和风险分析

### 2.1 石炭系及以上地层的钻井难点与风险

距离五探1井在几千米范围内可以参考的有檀木场构造的七里50、七里13、七里53、七里28、七里49井和安仁构造的天西1井。钻井复杂情况主要是:浅表地层水丰富,嘉二<sup>3</sup>亚段以上地层渗透性漏失多发;嘉一段到石炭系顶属高压低渗井段,气层多、显示频繁,并伴有裂缝性漏失,钻井中喷漏矛盾突出,

井控风险较高。

## 2.2 志留系及寒武系的钻井难点与风险

川东地区石炭系以深勘探程度低, 自上世纪 80 年代以来仅完成 7 口井, 多数因钻遇寒武系盐膏层等井下复杂, 套管强度、钻机能力与井身结构受限等问题, 未能实现地质目的。

以五探 1 井为圆心, 最近的五科 1 井 (相距 25 km) 进入高台组 51.5 m 见白色石膏层完钻, 未进入龙王庙组; 最远的太和 1 井 (相距 171 km), 在盐膏层发生了三次卡钻而被迫提前完钻; 建深 1 井膏盐岩累计厚达 622.5 m, 其中纯石膏共计 9 层、厚度 56.5 m, 含膏盐岩、膏质盐岩和盐岩累计厚达 120 m; 座 3 井在高台组钻遇 60 m 的膏盐岩, 抗挤强度为 90 MPa 的  $\text{O}177.8 \text{ mm}$  套管被挤毁。

五探 1 井预测寒武系盐层的埋深介于 6 600 ~ 6 800 m, 安全钻井风险大。

## 2.3 寒武系下统一震旦系钻井

马深 1 井距离五探 1 井 135 km, 完钻井深 8 418 m、完钻层位震旦系灯影组二段, 未钻遇寒武系的膏盐层。该井钻至 7 354.61 m (龙王庙组) 溢流 1.6 m<sup>3</sup> 钻井液, 钻井液密度 1.73 g/m<sup>3</sup>, 采用 1.95 ~ 2.00 g/m<sup>3</sup> 压井液压井发生井漏, 在寒武系累计漏失钻井液近 1 000 m<sup>3</sup>。

综合以上所述, 川东寒武系盐下勘探的井身结构设计有以下难点与风险: ①压力系统复杂, 纵向上高低压交错, 漏失层位和高压气层交错发育; ②石炭系储层经过多年开采, 地层压力系数在 0.5 左右; ③寒武系中统可能钻遇大段膏盐层; ④完钻井深超过 7 500 m, 井底温度达到 175 °C, 井底压力超过 140 MPa; ⑤雷口坡组以下地层普遍含硫化氢。

## 3 五探 1 井井身结构方案设计

### 3.1 井身结构必封点分析

合理的井身结构设计要依据地层压力系统来确定套管层次和各层套管的合理下深。研究和分析纵向上孔隙压力、坍塌压力 (包括盐层蠕变压力)、漏失压力和破裂压力的分布特点, 并结合实钻工况条件分析和确定井身结构设计需要的 6 个基础参数, 包括抽吸压力允值、激动压力允值、井涌条件允值、正常压力地层黏卡压差临界值、异常压力地层黏卡压差临界值以及压裂地层安全附加值, 按照裸眼段防漏、防喷和防压差卡钻等约束要求, 精细划分套管层次, 确定套管的下深<sup>[15,29]</sup>。

依据五探 1 井的压力系统和地层特点, 确定其井身结构必封点共有 5 个, 套管层次为 6 层, 各开次的套管下深位置和封隔目的分析如表 1 所示。

必封点分析中比较复杂的是对石炭系低压储层的处理。由于多年来的开采, 相邻构造的石炭系压力系数下降到 0.5 左右, 五探 1 井石炭系压力系数为 1.0, 理论上存在压差卡钻和漏失的风险, 但考虑到其岩性为致密云岩, 厚度仅为 60 m, 发生压差卡钻的风险很低; 尽管储层压力系数低, 但经过承压后其漏失压力系数 1.75, 综合考虑, 石炭系不作为必封点。

必封点分析的另一个关键是对寒武系膏盐层的处理。借鉴国内外盐下超深井钻井的成功经验, 需要在寒武系膏盐层顶部下入技术套管, 实现膏盐层专打, 钻至震旦系顶部再次下入套管, 确保寒武系膏盐层和震旦系钻井安全。

### 3.2 井身结构方案设计

按照 5 个必封点、6 层套管封隔的分析, 优化设

表 1 五探 1 井井身结构方案的必封点分析表

必封点	孔隙压力系数	坍塌压力系数或抑制蠕变压力系数	漏失压力系数	套管鞋下入地层位置	封隔目的	备注
第一点	0.95 ~ 1.05	0.8 ~ 1.00	1.25 ~ 1.35	沙溪庙组	封隔表层易漏疏松层	无风险
第二点	0.90 ~ 1.10	1.0 ~ 1.15	1.35 ~ 1.45	嘉二 <sup>3</sup> 亚段	封隔嘉二 <sup>3</sup> 亚段以上常压地层	无风险
第三点	1.05 ~ 1.55	1.0 ~ 1.45	1.65 ~ 1.75	石炭系顶部	封隔易漏失、易气侵复杂层位	存在地质风险, 实钻中动态优化
第四点	1.30 ~ 1.60	1.0 ~ 1.35	1.75 ~ 1.80	寒武系膏盐层顶部	封隔盐上地层, 实现盐层专打	不确定性风险高
第五点	1.55 ~ 1.65	1.85 ~ 2.00	2.15 ~ 2.30	震旦系顶部	封隔寒武系高压及盐层	盐层专打, 确保钻井安全

计的五探 1 井井身结构方案如图 1 所示，具体各开次设计如下：

1) 一开：Ø660.40 mm 钻头钻至 500 m 左右下 Ø508.00 mm 套管，封隔易漏失表层，为二开钻进提供一定的井控能力。

2) 二开：Ø444.50 mm 钻头钻至嘉二<sup>3</sup>亚段中部(3 480 m)下 Ø365.10 mm 套管，封隔上部低压层，为三开高压气层安全钻井提供井控能力。

3) 三开：Ø333.38 mm 钻头钻至石炭系顶部(5 165 m)下 Ø273.05 mm 套管，封隔上部飞仙关组、长兴组、茅口组的活跃气层，以及茅口组的易漏层、龙潭组和梁山组易垮塌层，为四开安全钻进创造条件。

实钻中 Ø273.05 mm 套管下深可以动态优化，第一个下深位置在石炭系顶部，第二个下深位置在志

留系韩家店组。如果二叠系安全钻进时钻井液密度低于 1.70 g/cm<sup>3</sup>，则钻穿石炭系，在志留系的韩家店组中上部入 Ø273.05 mm 套管中完。

4) 四开：Ø241.30 mm 钻头钻至寒武系膏盐层顶部(预计位置在 6 515 m)，下入 Ø219.08 mm 尾管中完，封隔上部志留系、奥陶系及盐上寒武系地层，为膏盐层段安全钻进创造条件。

5) 五开：Ø190.50 mm 钻头钻穿膏盐层、龙王庙组后，继续钻至震旦系灯影组顶部(预计位置在 7 185 m)，下入 Ø168.28 mm 厚壁高抗挤尾管中完，保障膏盐层套管安全。

6) 六开：震旦系灯影组采用 Ø135.50 mm 钻头钻进，进入陡山沱组 20 m 完钻，悬挂 Ø114.30 mm 尾管固井完井。

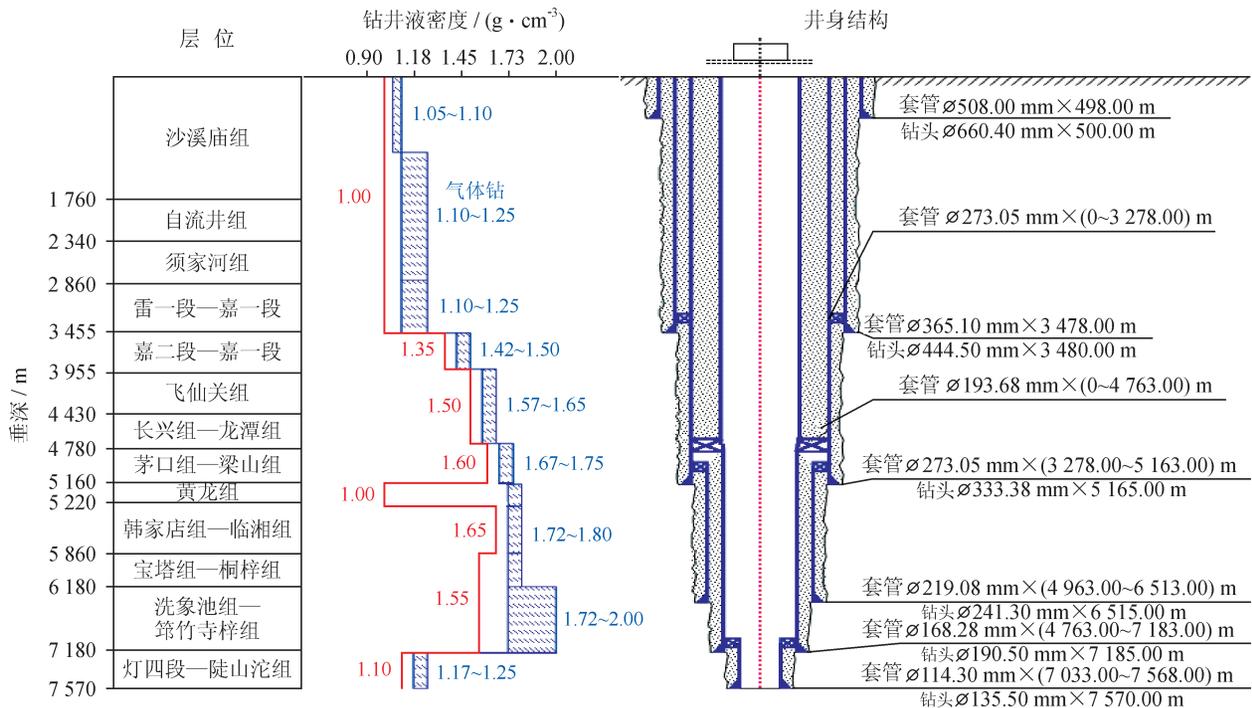


图 1 五探 1 井设计井身结构示意图

### 3.3 套管安全性设计

五探 1 井各开次套管安全性设计见表 2。针对寒武系膏盐层，通过盐层蠕变压力计算分析，要求套管抗挤强度达到 160 MPa 以上。

## 4 五探 1 井实钻情况

1) 五探 1 井于 2016 年 10 月 25 日开钻，一开 Ø660.40 mm 钻头钻至 323.00 m，下入 Ø508.00 mm 表层套管。

2) 二开 Ø444.50 mm 钻头钻至 3 550 m、嘉二<sup>3</sup>亚段，下入 Ø365.10 mm 技术套管，为了提高三开的关井能力，该套管采用气密封扣，抗内压强度 33.0 MPa，提高了复杂情况下的井控能力。

3) 三开 Ø333.38 mm 钻头开眼，在茅口组发生气侵、漏失复杂，关井的最高压力达到 20.0 MPa。钻至石炭系顶部，由于实钻钻井液密度为 1.67 g/cm<sup>3</sup>，考虑到石炭系较为致密、漏失压力系数 1.75，并且该地层致密、不会发生压差卡钻，决定继续钻穿石炭系，进入志留系的韩家店组上部、井深 5 331 m，

表2 五探1井各开次井眼和套管安全性设计表

开钻 次序	井眼尺寸 /mm	套管尺寸 /mm	套管下深 /m	套管 钢级	壁厚 /mm	扣型	抗外挤强度 /MPa	抗内压强度 /MPa	备注
一开	660.40	508.00	498	J55	11.13	偏梯形	3.6	14.5	
二开	444.50	365.10	3 478	110V	13.9	气密封	24.0	33.0	
三开	333.38	273.05	3 278 ~ 5 163	110TS	13.84	偏梯形	49.7	53.8	回接固井
四开	241.30	219.08	4 963 ~ 6 513	140V	12.7	直联扣	84.9	58.7	无接箍, 防硫, 悬挂固井
五开	190.50	168.28	6 455 ~ 7 083	155V	14.7	直联扣	168.1	109.0	盐层抗挤毁、回接至井口
六开	135.50	114.30	7 033 ~ 7 568	140C	8.56	气密封	130.7	127.0	尾管悬挂固井

下入  $\text{Ø}273.05$  mm 技术套管。三开实钻印证了石炭系虽然是低压层, 但由于其致密特性, 不作为必封点的分析是合理的。

4) 四开  $\text{Ø}241.30$  mm 钻头安全钻穿志留系、奥陶系以及寒武系上统洗象池组, 钻井液密度  $1.74 \text{ g/cm}^3$ , 进入寒武系中统高台组顶部、井深  $6\ 600$  m, 下入  $\text{Ø}219.08$  mm 无接箍套管。

5) 五开  $\text{Ø}190.50$  mm 钻头开眼, 为了保障高台组膏盐层的钻井安全, 按照设计, 把常规水基钻井液更换为油基钻井液, 钻井液密度提高至  $1.92 \text{ g/cm}^3$ , 钻穿了高台组、龙王庙组、沧浪铺组和筇竹寺组, 进入震旦系顶部、井深  $7\ 288$  m, 下入  $\text{Ø}168.28$  mm 无接箍套管。五开实钻在寒武系未钻遇地质设计的大段膏盐层, 该段钻进时为了应对漏失复杂情况, 逐步把钻井液密度降低至  $1.55 \text{ g/cm}^3$ 。中完时把设计的厚壁高抗挤套管更改为常规套管, 节约了套管成本。

6) 六开钻头直径从设计的  $135.50$  mm 增加到  $139.70$  mm, 钻井液密度降低至  $1.25 \text{ g/cm}^3$ , 钻穿震旦系至南华组。五探1井于2018年1月29日安全完钻, 完钻井深  $8\ 060$  m。

## 5 认识与建议

### 5.1 认识

1) 川东盐下钻井面临着复杂压力体系、寒武系可能钻遇大段膏盐层、地质不确定性和风险高等挑战, 前期盐下勘探各井均未能安全钻达设计井深、实现地质目标, 主要原因是井身结构设计存在不足之处, 不能满足安全钻井的需要。

2) 研究借鉴国内外盐下复杂超深井在井身结构设计成功经验, 依据五探1井的压力系统和地层特点, 论证了井身结构存在5个必封点, 优化设计

了六开非标的井身结构方案。该井设计井深  $7\ 570$  m, 实际完钻井深  $8\ 060$  m、完钻层位南华系, 实钻验证了设计的5个必封点和各开次套管下深原则的合理性, 为川东古隆起天然气勘探和安全钻井提供了成功借鉴。

### 5.2 建议

川东古隆起超深井设计六开非标井身结构是合理的, 但由于寒武系的膏盐层存在地质不确定性, 需要在实钻过程中动态优化  $\text{Ø}219.08$  mm 套管下深。

设计该层套管下至膏盐层的顶部, 建议实钻中见到连续  $3$  m 的石膏层, 才可以下入该层套管, 避免在盐层上部留下易漏失井段, 给膏盐层安全钻井留下隐患。如果实钻未遇到寒武系膏盐层, 则建议  $\text{Ø}219.08$  mm 套管下至龙王庙组顶部中完。

### 参 考 文 献

- [1] 马永生, 蔡勋育, 郭旭升, 郭彤楼, 赵培荣. 普光气田的发现[J]. 中国工程科学, 2010, 12(10): 14-23.  
Ma Yongsheng, Cai Xunyu, Guo Xusheng, Guo Tonglou & Zhao Peirong. The discovery of Puguang Gas Field[J]. Engineering Sciences, 2010, 12(10): 14-23.
- [2] 郭旭升, 郭彤楼, 黄仁春, 段金宝. 中国海相油气田勘探实例之十六: 四川盆地元坝大气田的发现与勘探[J]. 海相油气地质, 2014, 19(4): 57-64.  
Guo Xusheng, Guo Tonglou, Huang Renchun & Duan Jinbao. Cases of discovery and exploration of marine fields in China (Part 16): Yuanba Gas Field in Sichuan Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2014, 19(4): 57-64.
- [3] 黄福喜, 杨涛, 闫伟鹏, 郭彬程, 马洪. 四川盆地龙岗与元坝地区礁滩成藏对比分析[J]. 中国石油勘探, 2014, 19(3): 12-19.  
Huang Fuxi, Yang Tao, Yan Weipeng, Guo Bincheng & Ma Hong. Comparison and analysis of reef-bank gas reservoirs in Longgang and Yuanba areas in Sichuan Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2014, 19(3): 12-19.
- [4] 杜金虎, 邹才能, 徐春春, 何海清, 沈平, 杨跃明, 等. 川中古

- 隆起龙王庙组特大型气田战略发现与理论技术创新[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(3): 268-277.
- Du Jinhui, Zou Caineng, Xu Chunchun, He Haiqing, Shen Ping, Yang Yueming, et al. Theoretical and technical innovations in strategic discovery of a giant gas field in Cambrian Longwangmiao Formation of Central Sichuan paleo-uplift, Sichuan Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(3): 268-277.
- [5] 杨跃明, 文龙, 罗冰, 宋家荣, 陈骁, 王小娟, 等. 四川盆地达州一开江古隆起沉积构造演化及油气成藏条件分析[J]. 天然气工业, 2016, 36(8): 1-9.
- Yang Yueming, Wen Long, Luo Bing, Song Jiarong, Chen Xiao, Wang Xiaojuan, et al. Sedimentary tectonic evolution and reservoir-forming conditions of the Dazhou-Kaijiang paleo-uplift, Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2016, 36(8): 1-9.
- [6] 谷志东, 殷积峰, 袁苗, 薄冬梅, 梁东星, 张航. 四川盆地东部深层盐下震旦系一寒武系天然气成藏条件与勘探方向[J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(2): 137-147.
- Gu Zhidong, Yin Jifeng, Yuan Miao, Bo Dongmei, Liang Dongxing & Zhang Hang. Accumulation conditions and exploration directions of natural gas in deep subsalt Sinian-Cambrian System in the eastern Sichuan Basin, SW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2015, 42(2): 137-147.
- [7] 曾时田. 川渝高含硫气田钻完井主要难点及对策探讨[J]. 钻采工艺, 2008, 31(1): 1-6.
- Zeng Shitian. Main difficulties and countermeasures of drilling and completion in high sour gas field in Chuan-Yu area[J]. Drilling & Production Technology, 2008, 31(1): 1-6.
- [8] 伍贤柱. 川渝气田深井和超深井钻井技术[J]. 天然气工业, 2008, 28(4): 9-13.
- Wu Xianzhu. Drilling technology in deep and ultradeep gas wells in the Sichuan and Chongqing gas fields[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(4): 9-13.
- [9] 张克勤, 侯树刚. 提高川东北及普光气田钻井速度配套技术[J]. 钻采工艺, 2008, 31(6): 20-22.
- Zhang Keqin & Hou Shugang. Comprehensive technology of improving drilling speed in northeast Sichuan Puguang gas field[J]. Drilling & Production Technology, 2008, 31(6): 20-22.
- [10] 王剑波, 胡大梁. 元坝 12-1H 超深井开窗侧钻技术[J]. 石油钻采工艺, 2015, 37(6): 9-12.
- Wang Jianbo & Hu Daliang. Window sidetracking technology in Ultra-deep Well Yuanba 12-1H[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2015, 37(6): 9-12.
- [11] 高航献, 瞿佳, 曾鹏琿. 元坝地区钻井提速探索与实践[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(4): 26-29.
- Gao Hangxian, Qu Jia & Zeng Penghui. Research and practice to improve drilling speed in Yuanba area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(4): 26-29.
- [12] 何龙. 元坝气田钻井工程井筒完整性设计与施工[J]. 钻采工艺, 2016, 39(2): 6-8.
- He Long. Wellbore Integrity design and management during the development of Yuanba sour gas reservoir[J]. Drilling & Production Technology, 2016, 39(2): 6-8.
- [13] 郑有成, 钱浩东, 常洪渠. 关于采用非常规套管程序改进四川深井井身结构设计的探讨[J]. 钻采工艺, 2008, 31(1): 7-11.
- Zheng Youcheng, Qian Haodong & Chang Hongqu. Improving of hole structure design for deep well in Sichuan by using unconventional casing procedure[J]. Drilling & Production Technology, 2008, 31(1): 7-11.
- [14] 郑有成, 刘素君, 常洪渠. 再论采用非常规套管程序改进深井超深井井身结构设计[J]. 钻采工艺, 2010, 33(3): 1-3.
- Zheng Youcheng, Liu Sujun & Chang Hongqu. Using unconventional casing program to improve bore frame design of deep and ultra-deep well[J]. Drilling & Production Technology, 2010, 33(3): 1-3.
- [15] 邹灵战, 葛云华, 张军, 汪海阁, 黄建章. 龙岗地区复杂压力层系下非常规井身结构设计与应用[J]. 石油学报, 2012, 33(增刊2): 189-195.
- Zou Lingzhan, Ge Yunhua, Zhang Jun, Wang Haige & Huang Jianzhang. Design and application of unconventional casing program for complex pressure strata in Longgang area, Sichuan Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(S2): 189-195.
- [16] 刘伟, 周英操, 段永贤, 王金茹, 刘俊峰, 戴国松. 国产精细控压钻井技术与装备的研发及应用效果评价[J]. 石油钻采工艺, 2014, 36(4): 34-37.
- Liu Wei, Zhou Yingcao, Duan Yongxian, Wang Jinru, Liu Junfeng & Dai Guosong. Development of domestic fine controlled pressure drilling technology and equipment and evaluation on their application effect[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2014, 36(4): 34-37.
- [17] 李枝林, 薛秋来, 唐国军, 孙海芳, 韩烈祥, 左星, 等. 精细控压钻井系统控制策略设计及实践[J]. 钻采工艺, 2014, 37(1): 14-17.
- Li Zhilin, Xue Qiulai, Tang Guojun, Sun Haifang, Han Liexiang, Zuo Xing, et al. Controlling strategy design and practice of precise MPD system[J]. Drilling & Production Technology, 2014, 37(1): 14-17.
- [18] 康海涛, 白俊成, 蔡云平, 张涵池. 马深 1 井超深小钻孔井眼准备及套管下入技术[J]. 石油钻采工艺, 2016, 38(5): 583-584.
- Kang Haitao, Bai Juncheng, Cai Yunping & Zhang Hanchi. The preparing and running casing technology of super deep and slim hole in Well Mashen-1[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2016, 38(5): 583-584.
- [19] 樊相生, 马洪会, 冉兴秀. 马深 1 超深井四开钻井液技术[J]. 钻井液与完井液, 2017, 34(2): 57-63.
- Fan Xiangsheng, Ma Honghui & Ran Xingxiu. Application of KCl-amine polymer sulfonate drilling fluid in Well Mashen-1[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2017, 34(2): 57-63.
- [20] Williams K, Saleh ST & Rizvi AJ. The Gulf of Mexico subsalt wells atlas: A comprehensive review and lessons learned[C]//Offshore Technology Conference, 6-9 May 2013, Houston, Texas, USA. DOI: <https://doi.org/10.4043/24192-MS>.
- [21] Shaughnessy JM, Daugherty W & Graff RL. More ultra-deepwater drilling problems[C]//SPE/IADC Drilling Conference, 20-22 February 2007, Amsterdam, The Netherlands. DOI: <https://doi.org/10.2118/105792-MS>.

- [22] Jellison MJ, R. Chandler RB, Langdon SP & Connor JK. Deepwater and critical drilling with new connection technology—case histories and lessons learned[C]// SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, 18–20 October 2010, Brisbane, Queensland, Australia. DOI: <https://doi.org/10.2118/133857-MS>.
- [23] Ho T, Alferez C, Cortez M, Nott I & McNary X. Optimal bit, reamer selection and operating procedures improve hole enlargement performance in deepwater Gulf of Mexico[C]// SPE/IADC Drilling Conference, 5–7 March 2013, Amsterdam, The Netherlands. DOI:<https://doi.org/10.2118/163425-MS>.
- [24] 汪新, 王招明, 谢会文, 李世琴, 唐鹏程, 尹宏伟, 等. 塔里木库车坳陷新生代盐构造解析及其变形模拟 [J]. 中国科学 (地球科学), 2010, 40(12): 1655-1668.  
Wang Xin, Wang Zhaoming, Xie Huiwen, Li Shiqin, Tang Pengcheng, Yin Hongwei, et al. Cenozoic salt tectonics and physical models in the Kuqa Depression of Tarim Basin, China[J]. SCIENTIA SINICA Terrae, 2010, 40(12): 1655-1668.
- [25] 滕学清, 陈勉, 杨沛, 李宁, 周波. 库车前陆盆地超深井全井筒提速技术 [J]. 中国石油勘探, 2016, 21(1): 76-88.  
Teng Xueqing, Chen Mian, Yang Pei, Li Ning & Zhou Bo. Whole well ROP enhancement technology for super-deep wells in Kuqa Foreland Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21(1): 76-88.
- [26] 周健, 贾红军, 刘永旺, 李卫东, 邓强, 杨艳明. 库车山前超深超高压盐土层安全钻井技术探索 [J]. 钻井液与完井液, 2017, 34(1): 54-58.  
Zhou Jian, Jia Hongjun, Liu Yongwang, Li Weidong, Deng Qiang & Yang Yanming. Research on safe drilling technology for ultra deep ultrahigh pressure saltwater zones in piedmont area, Kuche[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2017, 34(1): 54-58.
- [27] 周健, 刘永旺, 贾红军, 王攀, 冯伟雄. 库车山前巨厚盐膏层提速技术探索与应用 [J]. 钻采工艺, 2017, 40(1): 21-24.  
Zhou Jian, Liu Yongwang, Jia Hongjun, Wang Pan & Feng Weixiong. Study to improve ROP in thick salt-gypsum layers at Kuqa piedmont area[J]. Drilling & Production Technology, 2017, 40(1): 21-24.
- [28] 徐国盛, 赵异华. 川东开江古隆起区石炭系气藏成藏机理剖析 [J]. 石油实验地质, 2003, 25(2):158-163.  
Xu Guosheng & Zhao Yihua. Analysis on the forming mechanism of the carboniferous gas reservoirs in the Kaijiang paleohigh region of east Sichuan area[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(2):158-163.
- [29] 管志川, 柯珂, 路保平. 压力不确定条件下套管层次及下深确定方法 [J]. 中国石油大学学报 (自然科学版), 2009, 33(4): 71-75.  
Guan Zhichuan, Ke Ke & Lu Baoping. An approach to casing program design with formation pressure uncertainties[J] Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2009, 33(4): 71-75.

(修改回稿日期 2018-05-18 编辑 凌忠)

## 我国天然气市场交易首次引入招标模式

上海石油天然气交易中心(以下简称“交易中心”)2018年7月12日受中海石油气电集团广东销售分公司、珠海销售分公司委托,开展了国内首场LNG招标交易。这是交易中心继挂牌、竞价交易之后在推动国内天然气市场化交易中的又一项创新探索。

根据交易中心公告,本场交易招标量2000t,每家用户投标气量最小20t,最大1000t,投标底价为3950元/t,交收地点为中海油珠海金湾LNG接收站,交收日期为2018年7月16—31日。据了解,12日上午的交易过程中,参与投标用户的有效申报量达到5600t,最终2000t的LNG全部成交,加权成交均价为4088.5元/t。

交易中心自2016年11月26日正式上线以来,一直致力于发挥形成市场价格和稳定市场供应的作用。2018年4月,交易中心组织开展了中海油宁波LNG接收站2018年7月份、11月份的LNG保供预售交易,当时成交的7月份提货价格为3380元/t,目前华东区域成交价已超过4000元/t,终端用户通过该场交易锁定了货源和价格,规避了价格波动的风险,促进了上下游稳定、长期的合作关系。

(天工 摘编自《经济参考报》)