

# Long Well Segment Sealed Freezing Shape Preserving Continuous Coring for Quality Reservoir Prediction in Chunhui Oilfield\*

Xuezhong Wang, Chuanhu Liu

Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying  
Email: wxzlywlt@sina.com, ag@hanspub.org

Received: Oct. 17<sup>th</sup>, 2013; revised: Nov. 10<sup>th</sup>, 2013; accepted: Nov. 20<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2013 Xuezhong Wang, Chuanhu Liu. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2013 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Xuezhong Wang, Chuanhu Liu. All Copyright © 2013 are guarded by law and by Hans as a guardian

**Abstract:** Chunhui Oilfield belongs to new exploration area in the Northern Edge of Junggar Basin, and is stratigraphic oil reservoir with thin-shallow super heavy oil. Both vertical well and horizontal well only with steam stimulation most have low producing. For implementing reserve scale and single well production, taking reservoir description and fluid prediction as resolution of key technology, Haqian 1-1 well has successful long well segment shape of preserving continuous coring with sealed freezing. By core description on lithology, physical properties, and oiliness, it provides important technical parameter for analysis of reservoir characteristic and determining development mode, at the same time, it finds that its reservoir is shale cementation pebbled sandstone; multistrip thin gray dissection is developed; oiliness becomes poor with the increasing of gravel content; the interaction thickness of gravel, sand and gray in I sand group is 33 m; the rich oil thickness is 5.5 m; the immersion thickness is 10.8 m; and corresponding four oil-bearing segments are the relatively high-quality reservoir. The result provides effective proof for finally making steam-assisted gravity drainage development project, and it has important significance in the production for development of thin-shallow super heavy oil.

**Keywords:** Quality Reservoir Prediction; Shape Preserving Continuous Coring; Sealed Freezing; Nuclear Magnetic Resonance Logging; Haqian 1-1 Well; Thin-Shallow Super Heavy Oil

## 长井段保形连续取心在春晖油田优质储层预测中的应用\*

王学忠, 刘传虎

中国石化股份有限公司胜利油田分公司, 东营  
Email: wxzlywlt@sina.com, ag@hanspub.org

收稿日期: 2013年10月17日; 修回日期: 2013年11月10日; 录用日期: 2013年11月20日

**摘要:** 准噶尔盆地北缘春晖油田属于勘探新区, 为薄浅层超稠油地层型油藏, 直井或水平井蒸汽吞吐只获得低产油流。为落实储量规模和单井产能, 以储层描述和流体预测为攻关重点, 哈浅 1-1 井成功进行了长井段密闭冷冻保形连续取心。通过对岩心的岩性、物性和含油性等特征的描述, 为分析油藏特征和确定开发模式提供了重要的技术参数, 同时发现储层为泥质胶结含砾砂岩, 发育多条薄灰质夹层, 含油性随砾石含量增大而变差, I 砂组砾、砂、泥交互厚度 33 m, 富含油 5.5 m, 油浸 10.8 m, 相应的 4 个含油层段为相对优质储层。本文的研究成果为最终蒸汽辅助重力泄油开发方案制定提供了有效依据, 对薄浅层超稠油开发具有重要生产意义。

**关键词:** 优质储层预测; 保形连续取心; 密闭冷冻; 核磁共振测井; 哈浅 1-1 井; 薄浅层超稠油

\*基金项目: 国家科技重大专项“准噶尔盆地碎屑岩层系大中型油气田形成规律与勘探方向”(2011ZX05002-002); 中国石化股份有限公司重大开发先导试验项目“春晖油田哈浅 1 块特超稠油 SAGD 先导试验”(201205)。

## 1. 引言

春晖油田位于准噶尔盆地北缘哈山地区, 2011 年以来上报薄浅层特超稠油控制地质储量  $3261 \times 10^4$  t, 油藏埋深 333~384 m, 油层温度  $21^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ , 油层厚度 4 m 左右,  $50^{\circ}\text{C}$  脱气原油黏度为  $300,000 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ <sup>[1,2]</sup>, 胶质与沥青质之和大于 63%, 凝固点平均  $33.1^{\circ}\text{C}$ , 原油流动性差。采用水平井或直井蒸汽吞吐, 累计油汽比仅 0.05, 无法实现有效动用。最先进的稠油热采方法对油层条件要求也比较高, 例如水平井蒸汽辅助重力泄油开发(SAGD)要求储层连续厚度大于 50 m, 而且有效厚度大于 35 m。针对春晖油田储量规模不落实的情况, 以储层描述和流体预测为重点, 首次在该工区进行了密闭冷冻保形连续取心, 为探索合适开发方式提供第一手的资料。春晖油田通过保形连续取心技术对岩心的岩性、物性和含油性等特征的描述, 为分析油藏特征和确定开发模式提供了重要的技术参数, 并为最终蒸汽辅助重力泄油开发方案制定提供了有效依据, 对薄浅层超稠油开发具有重要生产意义。

## 2. 密闭连续取心与研究方法

### 2.1. 国内外密闭连续取心技术现状及应用情况

密闭连续取心是探究地球奥秘的最前沿技术, 在国际大陆科考钻探(ICDP)、美国新泽西州大陆架、San Andreas 断裂带地质研究以及了解致密油、页岩油特征中应用广泛<sup>[3-6]</sup>, 其特点是精准度高但费用高昂。大庆油田利用 75 口密闭取心井资料建立了薄差油层水淹识别图版<sup>[7]</sup>, 显著改善了薄差油层开发效果。大庆油田应用杏 22 检试 1 井密闭取心资料检验了三元复合驱试验效果<sup>[8]</sup>。克拉玛依油田利用岩心资料分析了砂砾岩油藏裂缝发育特征<sup>[9]</sup>。吉林油田通过岩心数据分析实现了低渗透砂岩油藏单砂体内部相对高渗透段定量识别<sup>[10]</sup>。取心分析提高了地震预测储层的精度<sup>[11,12]</sup>。取心分析明显提高了测井解释精度<sup>[13,14]</sup>。胜利油田在聚合物驱实践过程中钻打过密闭取心井以验证开发效果, 同时, 在不同开发阶段钻打过密闭取心井以定量描述剩余油分布状况, 累积钻探密闭取心井 95 口(90 口用于老区剩余油评价)。从钻井过程中的井壁取心到某个目的层段的取心、再到大井段的密闭冷冻保形连续取心, 技术上日趋成熟。但未见在勘探

新区密闭冷冻连续取心 60 m 的先例。

### 2.2. 春晖油田长井段保形连续取心的重要意义

春晖油田亟需通过储层描述和流体预测进一步落实储量规模。春晖油田 17 口探井均钻遇侏罗系八道湾组储层, 测井解释单井砂层厚度 22~42 m, 平均 29 m; 平均孔隙度为 28.3%, 平均渗透率为  $550 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 为高孔高渗油藏, 但蒸汽吞吐仅获低产油流, 制约了落实储量和规模开发。哈浅 1 井 2011 年 7 月射开 438~445 m, 注入氮气  $10,998 \text{ m}^3$ , 蒸汽 1125 t, 降黏剂 20 t, 平均日产油 4.8 t, 累产油 60 t, 累积油汽比 0.05。哈浅 2 等 4 口直井蒸汽吞吐见低产油流; 哈浅 1-平 1 井注降黏剂 20 t, 注氮气  $40,005 \text{ m}^3$ , 注蒸汽 1511 t, 峰值产量 16 t/d, 仅正常生产了 8 d, 累产油 94 t; 哈浅 1-平 3 井(397~599 m)2012 年 8 月注入柴油 20 t, 注氮气  $40,045 \text{ m}^3$ , 注蒸汽 2030 t, 峰值产量 14 t/d, 仅正常生产了 6 d, 累产油 58 t; 哈浅 1-平 3 井 2013 年 3 月注降黏剂 200 t, 注蒸汽 1008 t, 峰值产量 6 t/d, 累产油 234 t, 可见采用水平井、氮气及降黏剂辅助蒸汽吞吐技术(HDNS)有峰值产量<sup>[15]</sup>, 但地层温度下降很快, 周期生产时间很短、周期产油量不足 100 t。由于注汽热采过程中地层热损失严重(表 1)。哈浅 1 井 443.8 m 岩性为棕褐色油浸长石细砂岩(图 1), 为不等粒砂岩, 粒度测试, 最大粒径为 0.60 mm, 粒度中值为 0.26 mm, 分选系数为 1.42。测井解释含油饱和度 51.0%, 核磁共振岩心分析含油饱和度 9.3%。亟需通过储层描述和流体预测进一步落实储量规模。

在春晖油田采取保形连续取心的理由。之所以在春晖油田采取保形连续取心是因为之前的 6 口常规岩心松散不成形、落实孔渗饱参数难度很大。春晖油田

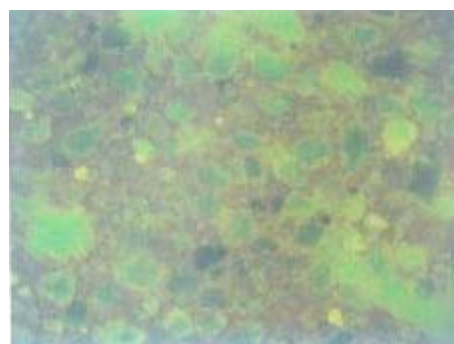


Figure 1. Haqian 1-1 well core slice photo (amplification 5 times) (443.8 m)

图 1. 哈浅 1 井 443.8 m 岩心薄片照片(放大 5 倍)

Table 1. Haqian 1 well area production test  
表 1. 哈浅 1 井区试采情况表

井号	周期	周期生产时间(d)	峰值产油量(t/d)	累计产油(t)	累积油汽比
哈浅 1	1	12	14.9	60.4	0.05
哈浅 2	1	25	14.2	142.8	0.05
哈浅 4	1	16	2	11.7	0.006
哈浅 5	1	20	1.9	14.4	0.007
哈浅 1-平 1	1	11	25.3	64.8	0.036
	1	5	21.3	58.6	0.058
哈浅 1-平 3	2	21	13.7	135.4	0.07
	3	22	27.4	208.4	0.17
平均		17	15	87	0.05

Table 2. Haqian 1-1 well core nmr logging result table  
表 2. 哈浅 1 井岩心核磁共振录井成果表

井深	岩性	孔隙度/%	渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	可动流体饱和度/%	含油饱和度/%
443.46		18.74	4.52	27.23	11.18
443.53	棕褐色油浸粉细砂岩	14.84	0.49	17.78	6.89
443.75		18.32	6.59	34.59	9.33
444.31		17.24	8.42	40.49	9.54
446.62		7.67	0.19	19.67	24.36
447.45	灰褐色富油斑细砂岩	17.92	2.26	25	7.94
448.97		27.82	13.58	29.01	3.57
450.18	灰色细砾岩	4.60	0	23.82	0
451.85		7.34	0.03	23.79	0

取心收获率只有 40%左右,而且越是油层段,取心收获率越低,给油藏评价工作带来很大挑战。单井取心井段只有 2~6 m,没有一口井的取心资料可以证实春晖油田发育厚油层,而且能够清楚落实其中隔夹层发育状况。简言之,之前的研究工作既不能说明春晖油田不发育厚油层,也不能说明该油田不发育厚油层。

### 2.3. 春晖油田采取保形连续取心情况

针对春晖油田储层胶结疏松、6 口井常规岩心松散、不成形的情况,成功进行了哈浅 1-1 井密闭连续取心。哈浅 1-1 井位于哈浅 1 和哈浅 6 井连线中点(图 2)。哈浅 1 和哈浅 6 井均钻遇较厚储层。哈浅 1-1 井 2012 年 6 月完钻,完钻井深 369 m,取心进尺 61.0 m(258.0~315.8 m),总心长 55.7 m,总收获率 91.5%,

有油气显示的岩心长度 41.5 m,钻穿了油层顶、底和八道湾组一段全部油层。

### 2.4. 应用核磁共振岩心技术分析含油性

岩心分析包括常规观察化验和特殊分析,已经形成一个完整的技术系列。其中,应用核磁共振岩心技术能够获得精准的储层物性参数<sup>[16,17]</sup>。哈浅 1 井八道湾组 430.4~452.7 m 见棕褐色油浸细砂岩 1 m/1 层、油斑 11.5 m/4 层,测井解释油层 12.9 m/2 层。430.4~433.3 m 测井解释油层 2.9 m/1 层,孔隙度 26.5%,渗透率  $228 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,原始含油饱和度 48%。443~453 m 测井解释油层 10.0 m/1 层,孔隙度 22%,渗透率  $131 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,原始含油饱和度 37%。该段岩心核磁共振录井成果与测井解释存在差异(表 2),达不到油层标

准。

### 3. 岩心实验结果与分析

#### 3.1. 岩心岩性分析

哈浅 1-1 井 259.8~312.5 m 共 52.7 m 取到 284 个

岩心样品，每 0.2 m 就有一个岩心样品。岩性以细砂岩为主，但历经 60 次岩性变化，平均一种岩性厚度仅为 0.8 m(图 3)。哈浅 1-1 井 290~303 m 热试获油流，该段测井解释孔隙度为 22.1%，渗透率为  $103 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，原始含油饱和度为 58.7%。据取心资料(93

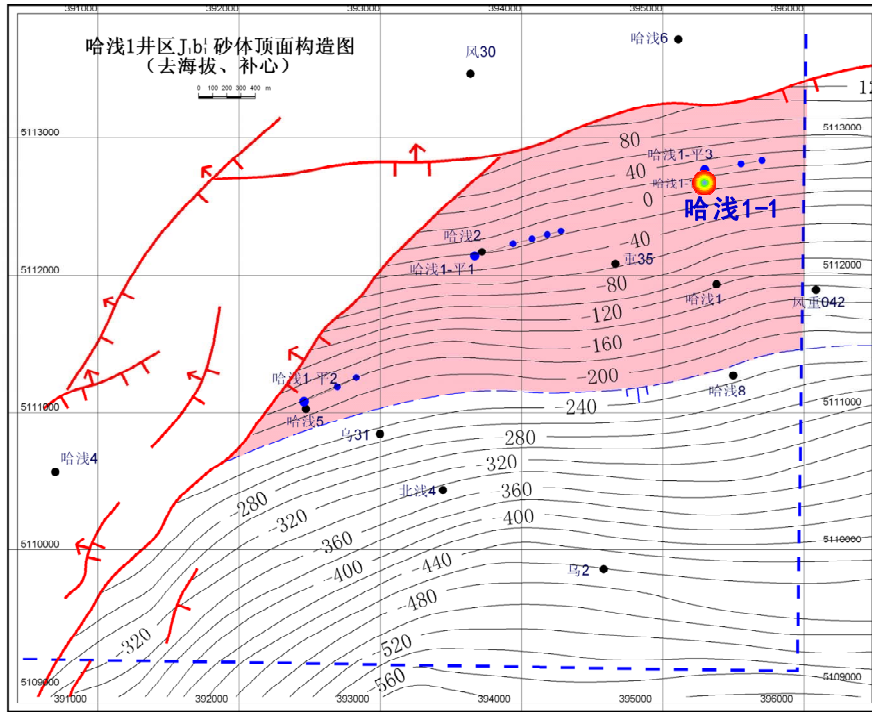


Figure 2. Haqian 1-1 well geographical position  
图 2. 哈浅 1-1 井地理位置图

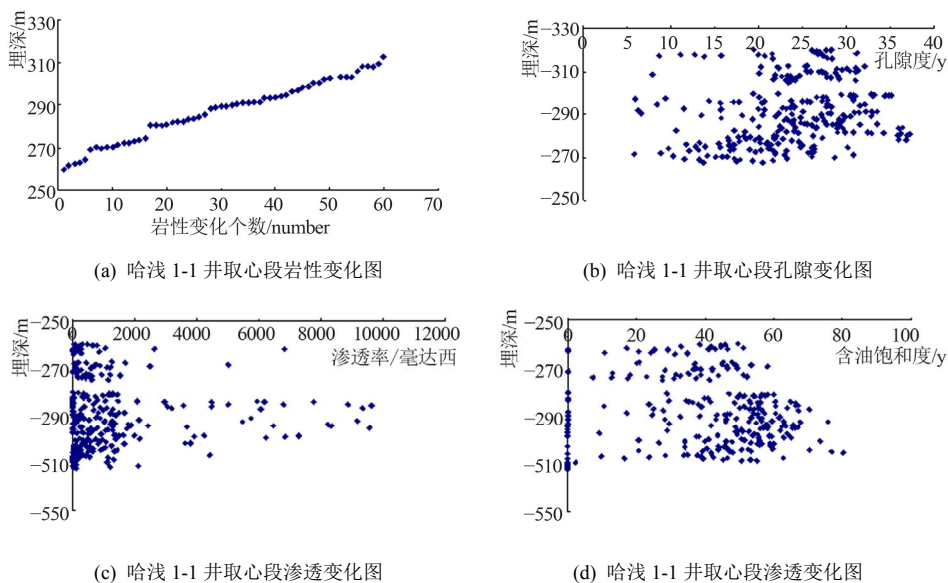


Figure 3. Haqian 1-1 well lithology change maps  
图 3. 哈浅 1-1 井岩性变化图

个样品), 岩性以褐灰色油浸细砾岩为主, 孔隙度为 25.3%, 渗透率为  $1135 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 原始含油饱和度为 50.5%, 与测井解释结果有差异。

从表 3 看, 哈浅 1-1 井 281.5~315.0 m 井段砂厚 33.5 m, 测井解释为油层, 有效厚度 18.2 m, 孔隙度 18.3%, 渗透率  $66 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。从岩心统计看, 哈浅 1-1 井八道湾组一段不是一个简单的厚油层。

### 3.2. 岩心含油性分析

#### 3.2.1. 富含油段含油性分析

哈浅 1-1 井 269.32~299.82 m 井段中含有 7 个富含油层段 4.42 m(表 4), 孔隙度 24.8%~37%, 渗透率  $(455\sim7290) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 含油饱和度 41.9%~65.1%。其中, 细砂岩 3.74 m, 中砂岩 0.56 m。显然, 以现有直井或水平井开发方式, 单独开发富含油层段并不现实。

#### 3.2.2. 油浸段含油性分析

哈浅 1-1 井 259.8~305.5 m 井段中含有 18 个油浸层段 14.0 m(表 5)。由于该块属于超稠油, 5 m 以下油层难以采用直井开发, 3 m 以下油层难以采用水平井开发, 单独开发油浸层段并不现实。

### 3.3. 优质储层界定研究

春晖油田多个测井解释为好油层的储层蒸汽吞吐后仅获得低产油流或油花(表 6), 表明该类储层达不

到油层标准, 经哈浅 1-1 井岩心分析证实, 该类储层发育较差。当前经济技术条件下, 开展富含油井段开发技术攻关是实现春晖油田规模开发的有效途径。

根据哈浅 1-1 井保形连续取心成果分析, 储层为泥质胶结含砾砂岩, 发育多条薄灰质夹层, 含油性随砾石含量增大而变差(图 4)。II 砂组砾、砂、泥交互厚度 16 m, 油浸 3.9 m。I 砂组砾、砂、泥交互厚度 33 m, 富含油 5.5 m, 油浸 10.8 m, 相应的 259.8~262.3 m(2.5 m)、268.7~270.9 m(2.2 m)、285.2~287.6 m(2.4 m)、293.3~296.4 m(3.1 m)为相对优质储层。

最终决定, 对哈浅 1-1 井 1 砂组周边富含油井段开展双水平井蒸汽辅助重力泄油开发先导试验(SAGD)<sup>[18]</sup>。动用含油面积 0.04 km<sup>2</sup>, 地质储量  $10.1 \times 10^4$  t, 油层厚度 16 m, SAGD-11 井距油层顶部 3 m、SAGD11 井与 SAGD12 井之间距离 5 m(图 5)。经过数值模拟优化, SAGD 预热阶段注采参数预热时间 120 d、注汽速度 70 t/d、水平井压差 0.2 MPa、水平井井底流压 3.4 MPa。SAGD 生产阶段上部水平井最大注汽速度 100 t/d, 下部水平井井底流压 3 MPa, 井口注汽干度 90%。目前已完钻 SAGD11、SAGD12 井, 完成注采参数优化, 准备矿场试验。

## 4. 结论

1) 哈浅 1-1 井通过保形连续取心技术对岩心的岩性、物性和含油性等特征的描述, 为分析油藏特征和确定开发模式提供了重要的技术参数, 并为最终蒸汽

Table 3. Core and logging interpretation results of Haqian 1-1 well Badaowan Formation  
表 3. 哈浅 1-1 井八道湾组岩心和测井解释成果表

序号	井段 m	厚度 m	有效厚度 m	岩性	岩心含油级别及长度 m	测井成果					
						井段 m	孔隙度%	渗透率 $10^{-3} \mu\text{m}^2$	厚度 m	有效厚度 m	测井解释
10	281.17~288.55	7.38	6.49	褐黑色富含油细砂岩	富含油1 油浸4.17 油斑1.32						
11	289.27~303.04	13.77		褐黑色富含油细砂岩、褐灰色油浸含砾细砂岩、灰色油斑细砾岩、褐灰色油浸细砾岩、褐黑色富含油含砾细砂岩、灰色油迹细砾岩、灰色油斑中砾岩	富含油2.39 油浸5.51 油斑5.49 油迹0.35	281.5~315.0	18.3	66	33.5	18.2	油层
12	303.04~314.79	11.75	6.49	灰色油斑细砾岩、灰色油斑中砾岩、灰色油迹细砾岩、灰色中砾岩、灰色细砾岩、浅灰色灰质粉砂岩	油浸0.22 油斑3.91 油迹1.87						

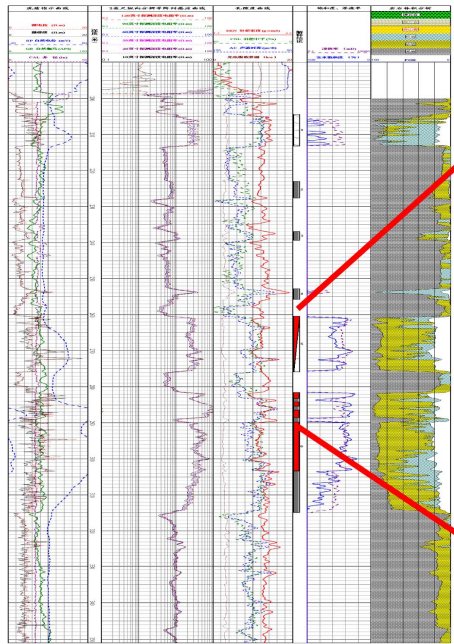
**Table 4. Haqian 1-1 well oil-bearing property data of enriched in hydrocarbon well section**  
**表 4. 哈浅 1-1 井富含油井段常规岩心分析含油性数据**

井深	岩性	厚度/m	孔隙度/%	渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	含油饱和度/%
269.32			29.5	2500	58.2
269.64	褐黑色富含油含砾细砾岩	0.95	30.4	1100	46.6
269.79			31.4	1240	49.3
269.94			25.4	127	37.3
280.84			32.9	1280	56.4
280.94			33.2	1180	58.2
281.04			30.8	1140	60.0
281.14			35.1	1440	54.0
281.24	褐黑色富含油细砂岩	0.94	34.9	1240	56.4
281.33			34.5	1190	57.5
281.45			31.0	467	50.8
281.55			30.5	455	51.5
281.66			33.1	952	54.6
288.68			32.9	1490	60.4
288.77			33.5	1670	54.1
288.87	褐灰色富含油细砂岩	0.65	32.2	833	57.3
289.02			31.5	1230	47.3
289.14			33.0	1290	55.3
289.22			30.9	1220	46.5
290.76	褐灰色富含油细砂岩	0.12	32.9	775	49.0
293.63			29.2	1370	57.6
293.70	褐黑色富含油含砾中砂岩	0.25	29.3	1780	58.3
294.09			24.8	58.6	41.9
294.24	褐黑色富含油含砾中砂岩	0.31	33.5	1320	63.7
298.73			24.6	1490	37.7
298.88			34.3	7290	59.7
298.95			36.2	4240	55.8
299.05	褐黑色富含油含砾细砂岩	1.20	37.3	6860	63.1
299.18			36.2	3920	65.1
299.68			35.9	6230	51.8
299.82			37.0	2170	50.9



Table 5. Haqian 1-1 well oil-bearing property data of immersion section  
表 5. 哈浅 1-1 井油浸段含油性数据

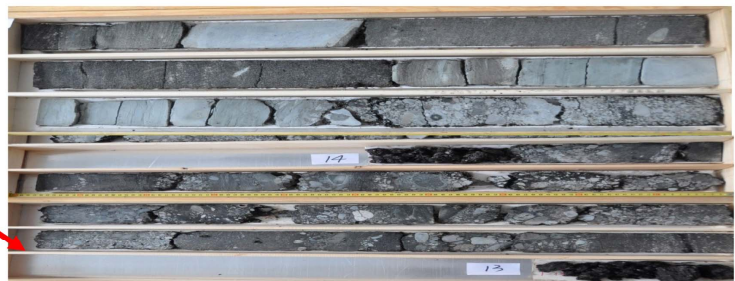
井段/m	岩性	岩心样品数	厚度/m	孔隙度/%	渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$	含油饱和度/%
259.82~261.52	灰色油浸含砾细砂岩	9	1.68	28.2	798	44.6
261.52~262.28	褐灰色油浸细砾岩	6	0.58	31.2	2640	46.4
268.72~270.10	褐灰色油浸含砾细砾岩	4	1.38	30.1	1100	46.6
270.21~270.92	褐灰色油浸细砾岩	5	0.71	27.4	140	38.7
272.77~273.13	褐灰色油浸含砾细砾岩	3	0.56	27.8	514	38.8
280.57~280.72	褐灰色油浸细砂岩	2	0.15	29.4	347	50.1
281.82~282.23	褐灰色油浸细砂岩	4	0.41	27.4	364	49.7
283.04~284.33	褐灰色油浸细砾岩	11	1.29	25.0	1050	41.6
285.20~287.64	褐灰色油浸细砾岩	19	2.44	27.7	864	55.5
289.35~289.59	褐灰色油浸细砂岩	3	0.24	27.9	288	43.4
289.99~290.19	褐灰色油浸含砾细砾岩	2	0.20	23.8	274	38.8
290.89~291.17	褐灰色油浸含砾细砾岩	2	0.28	24.8	345	46.3
291.89~292.86	褐灰色油浸细砾岩	9	0.97	19.3	2150	62.9
293.81~293.93	褐灰色油浸中砾岩	2	0.12	23.9	1200	65.7
294.09~296.39	褐灰色油浸细砾岩	16	2.30	28.5	1300	58.5
298.42~298.67	灰色油浸含砾细砂岩	3	0.25	32.5	1650	38.5
301.89~302.17	褐灰色油浸细砾岩	3	0.28	36.0	3810	59.4
305.31~305.51	褐灰色油浸细砾岩	3	0.20	24.8	510	48.2



(a) 测井曲线



(b) 2 砂组砾、砂、泥交互厚度 16 m，油浸 3.9 m。



(c) 1 砂组砾、砂、泥交互厚度 33 m，富含油 5.5 m，油浸 10.8 m。

Figure 4. Haqian 1-1 well oil distribution  
图 4. 哈浅 1-1 井储层发育状况

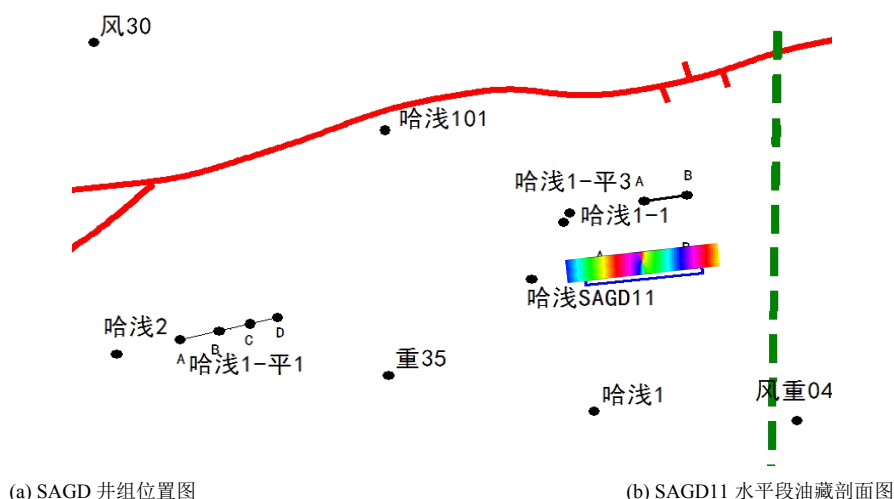


Figure 5. SAGD Development Pilot schematic diagram of Chunhui Oilfield  
图 5. 春晖油田 SAGD 开发先导试验示意图

Table 6. Oil-bearing analysis of Chunhui Oilfield  
表 6. 春晖油田含油性分析

井号	井深/m	岩性	含油饱和度/%		试油		
			测井解释	核磁共振解释	日产油	累产油	累积油汽比
哈浅 1	443~453	棕褐色油浸细砂岩	37	3~11	4.8	60	0.05
哈浅 2	333~356	黑灰色富含油细砂岩	44		5.7	143	0.05
哈浅 4	545~567	灰褐色油浸细砾岩		31	0.7	12	0.01
哈浅 5 井	575.3~597.8	褐灰色富油浸中砂岩	41	13	0.7	12	0.01
哈浅 8 井	578.9~582.8	灰色油迹含砾细砂岩	47	3-9			

辅助重力泄油开发方案制定提供了有效依据，对薄浅层超稠油开发具有重要生产意义。

2) 根据哈浅 1-1 井保形连续取心成果分析，储层为泥质胶结含砾砂岩，发育多条薄灰质夹层，含油性随砾石含量增大而变差。II 砂组砾、砂、泥交互厚度 16 m，油浸 3.9 m。I 砂组砾、砂、泥交互厚度 33 m，富含油 5.5 m，油浸 10.8 m，相应的 259.8~262.3 m(2.5 m)、268.7~270.9 m(2.2 m)、285.2~287.6 m(2.4 m)、293.3~296.4 m(3.1 m)为相对优质储层。

3) 当前经济技术条件下，开展富含油井段开发技术攻关是实现春晖油田规模开发的最佳途径。用好弥足珍贵的形连续取心资料和开展好 SAGD 开发先导试验是近期工作的重点。

### 参考文献 (References)

[1] 张善文 (2013) 准噶尔盆地哈拉阿拉特山地区风城组烃源岩

的发现及石油地质意义. *石油与天然气地质*, **2**, 145-152.  
 [2] 刘传虎, 王学忠, 席伟军 (2012) 淮北春晖油田油气勘探快速突破的三点启示. *地球科学前沿*, **1**, 24-30.  
 [3] Litt, T., Krastel, S. and Sturm, M. (2009) "PALEOVAN", International Continental Scientific Drilling Program (ICDP): Site survey results and perspectives. *Quaternary Science Reviews*, **28**, 15-16.  
 [4] Debret, M., Chapron, E. and Desmet, M. (2010) North western Alps Holocene paleohydrology recorded by flooding activity in Lake Le Bourget, France. *Quaternary Science Reviews*, **29**, 17-18.  
 [5] Yang, Z., Clement, B.M. and Acton, G.D. (2001) Records of the Cobb Mountain Subchron from the Bermuda Rise (ODP LEG 172). *Earth and Planetary Science Letters*, **193**, 3-4.  
 [6] Guyard, H., St-Onge, G. and Pienitz, R. (2011) New insights into Late Pleistocene glacial and postglacial history of northernmost Ungava (Canada) from Pingualuit Crater Lake sediments. *Quaternary Science Reviews*, **30**, 27-28.  
 [7] 李忠江, 杜庆龙, 齐春艳等 (2005) 利用密闭取心井确定薄差油层水淹识别方法研究. *石油天然气学报*, **S5**, 747-748.  
 [8] 李士奎, 朱焱, 赵永胜等 (2005) 大庆油田三元复合驱试验效果评价研究. *石油学报*, **3**, 56-59.  
 [9] 申本科, 胡永乐, 田昌炳等 (2005) 陆相砂砾岩油藏裂缝发育特征分析——以克拉玛依油田八区乌尔禾组油藏为例. *石油勘探与开发*, **3**, 41-44.  
 [10] 高建, 马德胜, 杨思玉 (2012) 低渗透砂岩油藏单砂体内部相对高渗透段定量识别. *中国石油大学学报(自然科学版)*, **6**, 13-18.



- [11] 狄帮让, 裴正林, 夏吉庄等 (2009) 薄互层油藏模型黏弹性波方程正演模拟研究. *石油地球物理勘探*, **5**, 622-629.
- [12] 杨雪, 潘保芝, 张晓明等 (2010) 低孔低渗砂岩储层含水饱和度模型建立及在松南地区的应用. *石油地球物理勘探*, **S1**, 206-209.
- [13] 张冲, 毛志强, 孙中春等 (2010) 玛河气田盐水泥浆侵入条件下双侧向测井电阻率校正方法. *石油地球物理勘探*, **5**, 757-761.
- [14] 张丽华, 潘保芝, 李舟波等 (2010) 新三水导电模型及其在低孔低渗储层评价中的应用. *石油地球物理勘探*, **3**, 431-435.
- [15] 王学忠, 王金铸, 乔明全 (2013) 水平井、氮气及降黏剂辅助蒸汽吞吐技术——以准噶尔盆地春风油田浅薄层超稠油为例. *石油勘探与开发*, **1**, 97-102.
- [16] 付金华, 石玉江 (2002) 利用核磁测井精细评价低渗透砂岩气层. *天然气工业*, **6**, 39-42.
- [17] 袁祖贵 (2008) 核磁共振测井与核磁共振录井对比分析. *原子能科学技术*, **7**, 581-585.
- [18] 任芳祥, 周鹰, 孙洪安等 (2011) 深层巨厚稠油油藏立体井网蒸汽驱机理初探. *特种油气藏*, **6**, 61-65.