

◀ 钻井完井 ▶

doi:10.3969/j.issn.1001-0890.2011.05.005

# 浅层稠油 SAGD 水平井与直井联合钻完井技术

杨明合<sup>1</sup>, 张文波<sup>2</sup>, 李积风<sup>3</sup>, 王朝飞<sup>2</sup>, 夏宏南<sup>1</sup>

(1. 中国石油钻井工程重点实验室长江大学研究室, 湖北荆州 434023; 2. 中国石油新疆油田公司勘探开发研究院, 新疆克拉玛依 834000; 3. 青海油田路桥建设有限责任公司, 青海西宁 810007)

**摘 要:** 目前国内外浅层(超)稠油开发技术还存在一定的局限性。浅层稠油 SAGD 水平井与采油直井联合开采技术方案, 能有效解决水平井开采中沉没度不够、油井维护困难等诸多问题。针对该方案实施中存在水平井钻井难度大、两井连通风险高等一系列技术难题, 借助最新的 MGT 磁导航钻井技术, 实现了水平井井眼轨迹的精确控制, 满足了 SAGD 水平井轨迹控制的要求。结合 MGT 磁导航技术, 采用研制的特殊大直径套管段铣和扩眼造穴工具, 保证了水平井和直井的成功连通。SAGD 水平井与直井采用砾石充填完井方式, 合理制定两井联合完井工艺流程, 形成了完整的适合 SAGD 水平井与直井联合作业的砾石充填完井工艺。

**关键词:** 稠油开采 水平井 直井 井眼轨迹 钻井 完井

中图分类号: TE24; TE257<sup>+</sup>. 3 文献标识码: A 文章编号: 1001-0890(2011)05-0023-04

## Shallow Heavy Oil Reservoir SAGD Horizontal Well and Vertical Well Joint Operation Drilling & Completion Technology

Yang Minghe<sup>1</sup>, Zhang Wenbo<sup>2</sup>, Li Jifeng<sup>3</sup>, Wang Chaofei<sup>2</sup>, Xia Hongnan<sup>1</sup>

(1. Yangtze University Laboratory of CNPC Key Drilling Laboratory, Jingzhou, Hubei, 434023, China; 2. Research Institute of Exploration and Development, Xinjiang Oilfield Company, Karamay, Xinjiang, 834000, China; 3. Qinghai Oilfield Road and Bridge Construction Company, Xining, Qinghai, 810007, China)

**Abstract:** At present, the technology in developing shallow heavy oil reservoirs still has some limitations. Reservoir development of joint operation of SAGD horizontal well and vertical well in shallow heavy oil can effectively solve these problems of insufficient submersion and well maintenance. In order to solve the drilling & completion technical difficulties of SAGD horizontal well and vertical well joint operation, the MGT magnetic navigation technique was used to meet the requirement of SAGD horizontal well trajectory control. Combined with this technique, large diameter casing forging and milling tools, and borehole enlarging tools ensure the connection between horizontal and vertical wells. Gravel pack completion was selected for SAGD horizontal and vertical wells. A suite of gravel pack completion technologies for SAGD horizontal well and vertical well joint operation is developed.

**Key words:** viscous oil recovery; horizontal well; straight well; hole trajectory; drilling; well completion

目前, 国内外浅层(超)稠油油田开发主要采用水平井注蒸汽吞吐或蒸汽辅助重力泄油(steam assisted gravity drainage, SAGD)的开发方式, 这 2 种开发方式都存在一定的局限性<sup>[1-4]</sup>: 前者由于浅层水平井曲率大, 采油井所需要的沉没度不够, 采油测试困难, 注汽压力不好控制, 油田开发速度低, 整体开发效益不佳;

收稿日期: 2010-02-03; 改回日期: 2011-09-07。

作者简介: 杨明合(1976—), 男, 河南潢川人, 1999 年毕业于江汉石油学院石油工程专业, 2008 年获中国石油大学(北京)油气井工程专业博士学位, 副教授, 主要从事油气井钻井工艺、防漏堵漏技术方面的研究。

联系方式: (0716)8060457, yymh@sohu.com。

采用 SAGD 技术开采超浅层稠油时,耐高温的电潜泵在恶劣条件下的问题较多,有杆泵杆柱断落问题不能彻底解决,存在地层出砂埋生产管柱的风险和双管作业工艺复杂等问题。为了加快勘探开发步伐,有效开发浅层(超)稠油油藏,中国石油新疆油田公司针对性地提出了“SAGD 水平井”与“采油直井”联合运用的钻采技术方案,通过技术攻关和现场实践,形成了一套较为成熟的钻完井配套技术。

### 1 SAGD 水平井与直井联合作业方案

浅层超稠油“SAGD 水平井”与“采油直井”联合开采依据的是仿真坑道泄油原理,其具体的钻井方案是:在 SAGD 生产(或泄油)水平井末端钻一口直井,泄油水平井和直井形成有效连通,利用 SAGD 上水平井注汽、下水平井渗流产油,原油流入直井,在直井中抽油。其原理如图 1 所示。

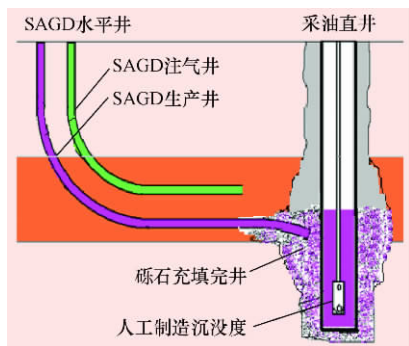


图 1 SAGD 水平井与直井联合采油原理示意

Fig 1 The recovery principle of the joint operation of SAGD horizontal wells and vertical wells in shallow heavy oil reservoirs

直井抽油工艺成熟、易维护,常规 SAGD 水平井与直井联合采油工艺可有效解决沉没度不够、油井维护等诸多问题,并提高开发效率。与稠油油藏其他开发方式相比,该开发方式优势明显:1)直井采油可提供所需要的沉没度,在油层以下口袋内抽油;2)可以集中采油,便于管理;3)便于控制注汽腔压力;4)采油井为直井,便于完井作业与后期维护;5)减小水平井眼尺寸,降低钻井难度;6)泄油水平井末端可以通过钻井循环或扩孔造成空洞,有利于井眼连通泄油;7)采用砾石充填完井可以提高防砂效果,延长有效期。

### 2 钻井技术难点

1) 浅层水平井钻井难度大。如新疆风城油田油

藏埋深较浅,平均埋深 200 m,水平段长 350~500 m,水平段要求采用激光割缝防砂筛管完井,钻压有效传递和套管柱下入存在一定难度。SAGD 双水平井垂直距离设计上仅 5 m,井眼之间会产生磁干扰,井眼井斜角、方位角难以精确控制;SAGD 泄油井水平段要求距离油层底部 1 m,对井眼轨迹控制提出了较高要求。

2) 泄油水平井和采油直井连通难度大。长距离水平段的水平井与直井实现完全连通,需要对井眼轨迹进行精确控制,方可保证两井连通。

3) 扩孔和套管段铣施工难度大。施工中需要对采油直井下部与泄油水平生产井末端对应井段套管段进行段铣,扩孔段井眼直径设计达到 1 m,扩孔段中部井眼直径达到 2 m,施工难度大。

4) “砂桥”和沉砂清理困难。段铣套管过程中形成的铁屑容易形成“砂桥”,对钻井作业的后期作业影响很大。而扩眼导致井眼直径增大,钻井液循环携岩能力大幅下降,有可能引发各种井下故障。

### 3 钻完井关键技术

#### 3.1 井眼轨迹精细控制技术<sup>[5-6]</sup>

1993 年 SperrySun 钻井服务公司在加拿大第一次尝试使用磁导向系统工具钻 SAGD 双水平井。磁导向系统工具由一个 MGT 磁场发射源和一个磁场接收传感器组成,当其开始工作时,位于第 1 口井中的 MGT 磁场源产生一个已知强度和方位的磁场,在第 2 口井中通过一个经过改装的特殊 MWD 传感器来检测这个电磁场的强度和方位,进而确定 MGT 磁场源和 MWD 接收传感器之间的相对位置(工作原理如图 2 所示)。利用磁导航技术可以实现精确定位,但是由于测量等方面的误差,精度只能控制在 0.5 m 内,要实现两井眼完全连通仍然具有很大的难度。为了减小井眼轨迹控制方面的误差,采

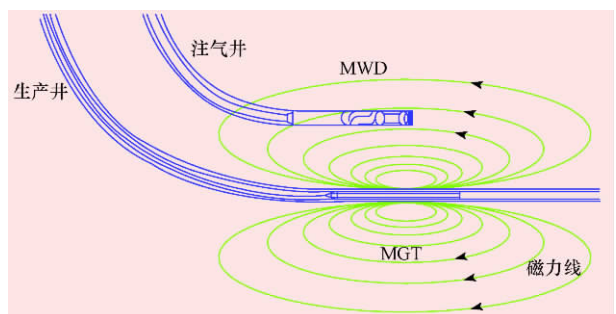


图 2 MGT 磁性导向工具的测量原理

Fig 2 The measurement principle of MGT-oriented tools

用扩孔技术来增大两井连通的概率。

### 3.2 泄油水平井与直井连通技术

SAGD 水平井与直井连通中,套管的段铣工具和扩眼造穴工具设计及应用是保证连通的重要环节。施工中,在采油直井中对根据电测数据确定的特定套管段进行段铣,然后对该井段进行造穴扩孔,为了保证连通的成功率,扩孔段中部井眼直径设计为 2 m。采油直井下部留足口袋,以便扩孔后更好沉砂和为采油提供更大沉没度。

SAGD 连通井组主要施工步骤:1)直井钻至设计井深固井,同时注汽水平井完成造斜井中完固井;搬迁至泄油水平井完成造斜,中完固井后等待连通直井施工;2)连通直井完成套管段铣施工和段铣井段扩孔施工;3)采用磁导向轨迹控制技术进行泄油水平井和采油直井连通;4)泄油水平井先下入筛管完井,然后采油直井下入筛管完井;5)完成注汽水平井水平段施工;6)对连通采油直井进行砾

石充填完井。

### 3.3 SAGD 水平井与直井联合完井技术

SAGD 水平井与直井联合完井采用砾石充填完井方式,图 3 所示为完井流程,工艺主要包括 3 部分:

1) 对于采油直井,完井工序主要包括将扩孔以下部分清洗干净,然后下入筛管、套管及热力补偿器等完井管串,最后下入充填工具。

2) 对于 SAGD 泄油水平井,完井工艺包括通井、刮管和洗井,对悬挂器部位进行刮管以利于悬挂器坐挂,下入筛管及悬挂封隔器等完井管串,坐封尾管悬挂器及顶部封隔器,下入充填工具。

3) 两井联合砾石充填工艺。首先在采油直井中下入防砂完井管柱,再下入防砂服务管柱;然后对泄油水平井进行通井,在泄油水平井中下入防砂服务管柱,之后再起出循环充填防砂服务管柱,最后冲砂,直井下泵完井。

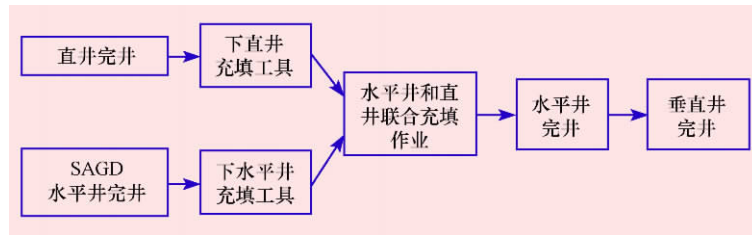


图 3 SAGD 水平井与直井联合完井流程

Fig 3 Well completion process of SAGD horizontal wells and vertical well

## 4 现场应用

新疆风城油田某 SAGD 水平井与采油直井联合井组施工中,采油直井井身结构:一开为  $\phi 604.4$  mm 井眼, $\phi 508.0$  mm 表层套管下深 30 m;二开为  $\phi 444.5$

mm 井眼, $\phi 339.7$  mm 油层套管下深 450 m。SAGD 水平井井身结构:一开为  $\phi 444.5$  mm 井眼, $\phi 339.7$  mm 表层套管下深 40 m;二开为  $\phi 311.1$  mm 井眼, $\phi 244.5$  mm 技术套管下至靶点 A;三开为  $\phi 215.9$  mm 井眼, $\phi 177.8$  mm 筛管下至完钻井深。表 1 为该井组的实钻技术指标。

表 1 风城油田某 SAGD 水平井与采油直井井组实钻技术指标

Table 1 The actual drilling technology indicators of a SAGD horizontal and vertical well in Fengcheng Oilfield

油气井类型	垂深/m	水平段长/m	平均造斜率/ (°) · (30m) <sup>-1</sup>	最大造斜率/ (°) · (30m) <sup>-1</sup>	段铣长度/m	扩孔长度/m
生产/泄油水平井	256.12	497.5	10.23	15.68		
注气井水平井	250.63	490.0	10.67	14.59	13.4	11.1
采油直井	406.00					

该井组 SAGD 水平井水平段后期钻进过程中利用磁导向技术,实现 SAGD 水平井与采油直井的顺利连通。泄油水平井与直井连通后,为了保持扩孔连通井段井壁的稳定性和起到防砂的作

用,对直井进行了砾石充填,充填砂粒直径 0.6~1.2 mm。SAGD 双水平井水平段两井间距为 4.4~5.8 m,满足 SAGD 水平井设计要求,整个井组施工顺利。

## 5 结 论

1) 针对新疆风城油田稠油油藏的地质与开采特征,首次提出了超浅层稠油开采 SAGD 水平井与直井联合开采的钻井技术方案。

2) 利用 MGT 磁导航钻井技术,水平井井眼轨迹精度在 0.5 m 内,较好地满足了 SAGD 水平井井眼轨迹控制及水平井和直井连通的施工要求。

3) 在采油直井特定井段进行套管段铣,井眼直径造穴扩孔到 2 m,这是保证泄油水平井和采油直井连通成功的关键。

### 参 考 文 献

- [1] Albahlani A M, Babadagli T. A critical review of the status of SAGD: where are we and what is next? [R]. SPE 113283, 2008.
- [2] Grills T L. Magnetic ranging technologies for drilling steam assisted gravity drainage well pairs and unique well geometries: a comparison of technologies[R]. SPE 79005, 2002.
- [3] 吴晓东,张玉丰,刘彦辉. 蒸汽吞吐井注汽工艺参数正交优化设计[J]. 石油钻探技术, 2007, 35(3): 1-4.  
Wu Xiaodong, Zhang Yufeng, Liu Yanhui. Steam stimulated wells gas injection orthogonal optimization design[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2007, 35(3): 1-4.
- [4] 张宇,常金荣,张伟,等. 浅层稠油热坑道内开采技术[J]. 石油钻探技术, 2007, 35(2): 73-75.  
Zhang Yu, Chang Jinrong, Zhang Wei, et al. Underground test facility technique for shallow heavy oil reservoirs[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2007, 35(2): 73-75.
- [5] Pratt C K, Hartmann R A. A magnetostatic well tracking technique for drilling of horizontal parallel wells[R]. SPE 28319, 1994.
- [6] Kuckes A F, Hay R T, Nord A G, et al. New electromagnetic surveying/ranging method for drilling parallel horizontal twin wells[J]. SPE Drilling & Completion, 1996, 11(2): 85-90.

## 2012 年《石油钻采工艺》征订启事

《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(中国科技论文统计源期刊),被中国科学引文数据库(CSCD)、中国期刊全文数据库(CJFD)、中国学术期刊(光盘版)、中国核心期刊(遴选)数据库(万方数据)、中文科技期刊数据库(维普资讯)、台湾华艺数据库、《中国石油文摘》、中国学术期刊文摘(中英文版)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)、美国《化学文摘》(CA)、美国《剑桥科学文摘》(CSA)、美国《石油文摘》(PA)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。

《石油钻采工艺》设有钻井完井、油气开采、探讨争鸣、交流园地、要闻简讯等栏目。主要报道国内石油钻井、采油方面的新工艺、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。

《石油钻采工艺》每期 128 页,双月刊,大 16 开,全刊彩色印刷。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。广告经营许可证号:1309035000025。国内总发行:河北省廊坊市邮政局。国外总发行:中国图书进出口总公司(北京市 88 号信箱)。邮发代号:18-121(全国各地邮局均可订阅,如您错过邮局订阅期限,可与编辑部联系补订),2012 年国内每册定价 24.00 元,全年定价 144.00 元。

联系人:吕志典;电话:0317-2723370;E-mail:cyy\_lvzd@petrochina.com.cn;网址:www.syzcgy.cn。