

# 浅层稠油热坑道内开采技术

张 宇<sup>1,2</sup> 常金荣<sup>2</sup> 张 伟<sup>3</sup> 吴义发<sup>4</sup> 吴小平<sup>2</sup>

(1. 长江大学 石油与天然气工程学院, 湖北 荆州 434023; 2. 河南油田分公司 石油工程技术研究院, 河南 南阳 473132; 3. 河南油田分公司 第一采油厂, 河南 南阳 473132; 4. 河南石油勘探局 钻井工程公司, 河南 南阳 473132)

**摘 要:** 坑道采油技术是稠油开发的一项新技术, 主要利用蒸汽辅助重力泄油 (SAGD) 的原理, 通过油砂层下面的巷道系统向油砂层中钻水平井进行热力采油, 对开采特浅层、超稠油油藏和进一步提高稠油采收率 (可达 50% 以上) 有较好的应用前景。简要介绍了坑道采油技术在国外稠油油田的应用情况, 并重点介绍了加拿大阿尔伯达油砂技术研究局利用竖井和坑道进行的 UTF 采油工艺以及水平井蒸汽辅助重力泄油开采技术, 并介绍了与常规稠油开采方法不同的坑道内钻井施工, 为国内开发稠油油藏提供了技术借鉴。

**关键词:** 稠油油藏; 稠油开采; 采收率; 坑道; 竖井; 热采; 钻井

**中图分类号:** TE345 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-0890 (2007) 02-0073-03

坑道采油技术是稠油开发中的一项新技术, 主要利用蒸汽辅助重力泄油的原理, 通过油砂层下面的巷道系统向油砂层中钻水平井进行热力采油, 属于采矿法采油技术, 包括采矿工程、地下钻井、巷道工程技术、水平井层内采油技术。该技术对开采特浅层 (埋深小于 900 m)、超稠油油藏和进一步提高稠油采收率 (可达 50% 以上) 有较好的应用前景。

## 1 坑道采油技术的发展历史

最早的采矿法泄油试验是 19 世纪 60 年代在美国俄亥俄州和加利福尼亚州进行的<sup>[1]</sup>。20 世纪 20 年代, 这种方法在法国和德国的石油生产中起了积极作用, 重新引起美国对它的兴趣, 并在一些地区进行试验作业达 20 a 之久。美国和前苏联将采矿法与蒸汽处理结合起来开采稠油。前苏联在 Yarega 油田推广应用了这一方法, 现在该油田生产能力已超过  $1.59 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

为了提高采收率, 全苏科学研究所和伯朝拉石油科学研究设计所同科米石油联合公司的雅列卡石油坑道管理局在雅列卡油田上研制、试验和推广了一套热坑道稠油开发方法<sup>[2]</sup>, 可使稠油油藏采收率达到 58%~68%, 亦即相当于用一般方法 (如注水) 开采低粘度原油所达到的水平。

矿坑开采的方法有 3 种: 第一种是钻竖井至油层, 然后沿油层下坑道向油层中钻一些泄油孔, 而且矿坑掘进于致密岩层中, 有效将下部作业区与上部油藏隔开; 另外一种方法是沿倾斜油藏的走向掘

一个矿坑进口, 然后向油藏中钻水平或角度小的泄油孔, 对于倾斜角很大的浅油层来说, 这种方法比应用竖井便宜; 第三种方法是钻一个较大的洞穴, 然后向上向外沿各个方向钻长达 152.4~914.4 m 的泄油孔眼, 可以降低矿井的大小及费用。

加拿大艾伯特阿尔伯达油砂技术研究局<sup>[3]</sup> (AOSTRA) 在阿萨巴斯卡油田通过直径 3 m 的竖井, 在油层底部以下的底板层打坑道, 从坑道中向上部油层钻成对的水平井, 沿油层水平方向扩展, 生产井靠近油层底部, 注入井在生产井上方约 5 m 处。当向注入井注蒸汽时, 加热的原油靠重力作用流入生产井, 由地下集油系统泵至地面。

## 2 加拿大 UTF 坑道采油技术

Athabasca 油砂层地下试验设施 (UTF) 现场位于加拿大阿尔伯省 McMurray 堡附近, 是由阿尔伯达油砂技术研究局发起建设的。利用这套地下试验设施可从 Athabasca 油砂层中工业性采出原来大部分不可采或采收率很低 (小于 20%) 的沥青油。

通过试验, 提出了两个基本概念: 一是蒸汽辅助重力泄油 (SAGD) 的概念, 它由油砂层底部的一对水平井来实施, 上部为注蒸汽井, 下部为生产井, 两井相距 5 m。将蒸汽由地面沿蒸汽管线注入

收稿日期: 2006-09-26; 改回日期: 2006-12-05

作者简介: 张宇 (1970—), 男, 1994 年毕业于西南石油学院钻井工程专业, 在读硕士研究生, 高级工程师。

联系电话: (0377) 63833225

蒸汽井中,加热的重油依靠重力作用泄入生产井被抽汲至地面。二是竖井和巷道工程(SATAC)的概念,要求在油砂层底部以下15 m、离地面180 m的巷道中钻8口水平井。

1) 适合于 UTF 蒸汽辅助重力驱油工艺地区的选择。为了确定地下测试试验工艺对开采 Athabasca 油砂层内的剩余储量的适用性,建立了一套筛选标准<sup>[2]</sup>:产层连续厚度大于20 m;深度大于75 m;存在适于建造采矿巷道的下覆地层,储量为 $70 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2) 地下试验(UTF)设施简介。“地下试验设施”<sup>[4]</sup>是一个具有坑道采矿设施、工艺辅助设施的竖井及通道的系统工程。两个直径3 m的竖井,通道深213 m,作为采矿的通道,保证空气充分流通,提供竖井设备,并保证满足安全标准。通道之间的间距是182 m,通道顶部在油砂层15 m之下。

出入坑道在第一号竖井中,由高速绞车上下输送,绞车每小时输送量为100 t。第2号竖井作为通风排气用,井中有蒸汽管线、生产管线、钻井流体管线等,以及一个供紧急使用的笼型绞车系统。

通道宽5 m、高4 m,为重型设备的搬运和地下钻机安装提供了场地。在许多地方,通道更为宽一些,以便安装电器开关、油池及井口(宽7 m)等设备。

坑道内还设有紧急防护室,提供如火、可燃气体、蒸汽等紧急事故的安全保护。防护室可供15人使用24 h。

3) UTF 工艺。由于巷道空间有限,采用专门定制的紧凑型地下钻机钻水平井,水平井从坑道内向上钻过石灰岩和油砂层的分界面后,在油砂层中水平钻进<sup>[2]</sup>。井口安装在坑道墙壁上。采用防砂衬管管柱组合完井。所有的管材都是3 m一节的,所钻井与水平面约成 $16^\circ$ 的仰角。

a. 钻机。特定规格的地下钻机可以在高5 m、宽8 m的采矿巷道内工作<sup>[4]</sup>,可以在油砂层内钻成与采矿巷道垂直的水平井。

这种钻机是由电机驱动,装有自动推进轨道,质量达9 844 kg,能下入到长1.8 m、宽1.4 m和高4.5 m的巷道中。可在水平线至垂直线的弧线范围内钻斜井,可在油砂层中钻直径279.4 mm、长达700 m的水平井,并能在所钻井中下入 $\phi 244.5 \text{ mm}$ 套管,还能钻 $\phi 444.5 \text{ mm}$ 水平井,并在 $\phi 444.5 \text{ mm}$ 水平井开始的60 m内下入 $\phi 339.7 \text{ mm}$ 套管。在该钻机上能操作长3 m的钻具和测井

仪器。该钻机的规格为 $7.59 \text{ m} \times 2.59 \text{ m} \times 3.25 \text{ m}$ ;最大钻头 $\phi 444.5 \text{ mm}$ ;最大套管 $\phi 339.7 \text{ mm}$ ;最大轴向推力89 kN。

该钻机还配有管具操纵装置,这种装置能装卸井中所用的钻杆、钻具、套管和油管。

b. 防喷系统。防喷设备由两个改进型防喷器和一个封隔装置组成<sup>[4]</sup>。封隔装置能封隔井筒环形空间内的钻井液,使钻井液通过矿井管汇系统返到地面。现场测试表明,该防喷系统能承受6 MPa的压力,大于所钻井深处的地层静压力。

c. 钻井记录系统。钻井记录系统用于连续监测下列参数的变化情况:大钩载荷(汽缸力)、钻压、泵压、顶部驱动泵活塞的冲程扭矩、钻井液体积、环空压力和钻井液气监测仪(报警)的监测参数。

d. 循环系统。钻井过程中,钻井液从地面往下通过安装在采矿竖井和巷道中的 $\phi 102 \text{ mm}$ 钻井液管线泵入钻机<sup>[4]</sup>,再经水龙头、钻杆、钻头到达井底,经钻杆和井壁间的环形空间返出井口,再通过钻井液管线排至地面。

e. 固井系统。制造了一种专门设计的固井设备<sup>[4]</sup>,将其下入采矿巷道后安装。这种固井设备能搅拌和泵送密度很大、粘度很高的水泥浆,只有使用这样的水泥浆才能保证表层套管和石灰岩井壁之间的环形空间处于密封状态。为了达到这一目的,在水泥浆中掺入少量的水,添加一种膨胀剂,使其收缩率降到最低程度。并在承压条件下注入这种水泥浆,用泵将水泥浆挤入到表层套管和井壁之间的环形空间之后,再用井壁水泥封隔器封住表层套管外的水泥浆,使其候凝。

f. 完井设计。使用 $\phi 219.0 \text{ mm}$ 的衬管完井,用一节长3 m的滤砂管或滤砂器把这种衬管接至井口<sup>[4]</sup>。每节滤砂管或滤砂器的有效长度为2 m,在整个完井井段,滤砂管或滤砂器均用每节长2~3 m的光管来连接。在衬管的导端装有 $\phi 219.0 \text{ mm}$ 引鞋,将衬管的导端安装在井口套管打捞筒上。

4) 地下试验(UTF)情况。1987年12月—1990年底,进行了UTF第一期工程的试验,钻了3对水平井,每口井长160 m。所设计水平井的采收率和产量要比以最佳的汽油比开采时高2~4倍。

1990年4月—1994年3月进行了第二期工程的试验<sup>[4]</sup>,主要目的是用工业规模的井来论证UTF工艺在技术上的和经济上的可行性:a.以合理的投资在相距3~7 m的范围内钻成每口长600 m的对井;b.将第一期工程井的60 m有效长度的产

量按比例扩大到有效长度为 500 m 的工业性井的产量。

第二期工程由 3 对水平井组成, 每口井长 600 m, 对井相距 70 m。还要建成 550 m 长的新巷道, 及地面加工厂。

### 3 国外其它油田应用情况

1) 美国怀俄明 North Tisdale 油田坑道采油技术<sup>[5]</sup>。该油田于 1977 年 6 月完成了坑道的开凿, 依靠山势在油层深度位置向油层打水平坑道, 在坑道内钻了 6 口水平井, 采出的原油通过管线输到坑道内的集油池, 通过一口直井, 将集油池内的采出液抽到地面。

2) 前苏联 Yarega 油田坑道采油技术。从 1968 年开始, 前苏联在 Yarega 油田进行了热采法试验。从距油层底部 20~30 m 的上覆岩层内的地下钻井工作室钻定向注蒸汽井至油层底部, 从上覆岩层向油层底部掘双倾斜钻井面, 形成环形坑道, 从环形坑道向四周打仰角较小的长 100~200 m 的生产井, 控制面积为  $(10\sim 15) \times 10^4 \text{ m}^2$ 。

该油田共有 15 个区块生产, 采油井为 4 192 口, 热采区的面积达  $225 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。应用热采法生产了  $280 \times 10^4 \text{ t}$  原油, 正在开发区块的目前采收率达到了 27%, 有 2 个区块已生产了大约 8 a, 采收率达到了 50%。

### 4 结论与认识

1) 坑道采油技术主要利用蒸汽辅助重力泄油

的原理, 对开采特浅层、超稠油油藏和进一步提高稠油采收率有较好的应用前景。

2) 坑道内钻井必须使用特定的紧凑型钻机和采用特殊的钻井工艺。

3) 加拿大阿尔伯达油砂技术研究局根据 UTF 试验, 建立了适合坑道采油技术的稠油油藏筛选标准。

4) 坑道采油技术为国内进一步提高稠油、超稠油的采收率提供了新的思路。

### 参 考 文 献

- [1] Patrick M Collins. Design of the monitoring program for AOSTRA' s underground test facility, phase B pilot: The cim/aotra 1991 technical conference in Banff, Calgary, Alberta, Canada, April 21 - 24, 1991 [C]. Canada, Calgary: 1991.
- [2] Best D A, Cordell G M, Haston J A. Underground test facility: shaft/tunnel laboratory for horizontal well technology [J]. Journal of Petroleum Technology, 1987, 39 (5): 603-612.
- [3] Butler R M. Progress in the situ recovery of heavy oils and bitumen; The petroleum society' s canadian international petroleum conference 2000, Calgary, Alberta, Canada, June 4 - 8 [C]. Canada, Calgary: 2000.
- [4] O' Rourke J C, Begley A G, Boyle H A, et al. UTF project status update May 1997; The 48th annual technical meeting of the petroleum society in Calgary, Alberta, Canada, June 8 - 11 [C]. Canada, Calgary: 1997.
- [5] 凌建军, 黄 鹏. 国外水平井稠油热力开采技术 [J]. 石油钻探技术, 1996, 24 (4): 44-47.

[审稿 李相方]

## Underground Test Facility Technique for Shallow Heavy Oil Reservoirs

Zhang Yu<sup>1,2</sup> Chang Jinrong<sup>2</sup> Zhang Wei<sup>3</sup> Wu Yifa<sup>4</sup> Wu Xiaoping<sup>2</sup>

(1. School of Oil & Gas Engineering, Yangtze University, Jinzhou, Hubei, 434023, China; 2. Engineering Technology Research Institute, Henan Oilfield Corporation, Nanyang, Henan, 473132, China; 3. First Oil Production Plant, Henan Oilfield Company, Nanyang, Henan, 473132, China; 4. Drilling Engineering Company, Henan Petroleum Exploration Bureau, Henan, 473132, China)

**Abstract:** The Underground Test Facility (UTF), a new technique for producing heavy oil reservoirs, used the theory of SAGD. It used the tunnel under the sandstone to drill horizontal wells in the sandstone to recovery oil thermally. It has very good application prospects for the shallow and heavy oil reservoirs and improving the oil recovery which could be up to more than 50%. The paper describes the application of UTF in overseas oilfields with emphasizing on the UTF application by Alberta Oil Sands Technology & Research Authority (AOSTRA) and the SAGD technique. This paper introduces the tunnel drilling which is different with the traditional heavy oil reservoir and provides the technique guidelines for the development of heavy oil reservoirs.

**Key words:** viscous oil reservoir; viscous oil recovery; recovery factor; thermal recovery; drilling