

Production from Shallow Reservoir of Deep Oil of Ultra-Deep Ultra-Low Permeable Hydrocarbon Transport System*

Xuezhong Wang

Xinchun Oil Production Plant, Shengli Oilfield Company, Sinopec, Dongying
Email: wxzlywlt@sina.com

Received: Mar. 21st, 2012; revised: Apr. 12th, 2012; accepted: Apr. 23rd, 2012

Abstract: According to the problem of production test with poor benefit such as ultra-deep and ultra-low permeable of Yongjin Oilfield, application oil hydrocarbon transport system latest achievements, put “production from shallow reservoir of deep oil”. Use hydrocarbon transport systems such as active fault-skeleton sandstone-unconformity, communicate fault, asphalt wall, unconformity, skeleton sand, put crude oil in deeper reservoir gradually transport shallow sandbody, put produce ultra-deep oil field transformed into produce shallow high permeability oilfield. On production production practical system, appeared communication fault in injecting process, injection water exudation ground, make this conception more feasible. Suggest develop pilot test, this is a attempt of guidance development by exploration theory.

Keywords: Ultra-Deep; Ultra-Low Permeable; Hydrocarbon Transport System; Thin Oil; Active Fault

用油气输导体系实现超深超低渗透油田“深油浅采”*

王学忠

中石化胜利油田分公司新春采油厂, 东营
Email: wxzlywlt@sina.com

收稿日期: 2012年3月21日; 修回日期: 2012年4月12日; 录用日期: 2012年4月23日

摘要: 针对永进油田超深超低渗透稀油油藏采用直井、水平井试采效益较差的难题, 应用石油输导体系最新成果, 提出“深油浅采”的技术构想。利用活动断层-骨架砂岩(不整合面)等各类输导体系, 沟通断层、沥青墙、不整合面、骨架砂, 将深层原油逐步运聚到浅层砂体中, 将开采超深油田转化为开采浅层高渗透油田。在生产实际中, 出现过注水过程中沟通断层, 注入水渗出地面的情况, 使本构想变得更加可行。建议在有利区块开展先导试验。这是利用勘探理论指导开发的一次尝试。

关键词: 超深; 超低渗透; 油气输导体系; 稀油; 活动断层

1. 引言

目前, 越来越强调开发技术对于上报探明储量的重要性, 鲜有应用勘探技术指导开发的报道, 一个例外是老区四维地震勘探确实有助于剩余油挖潜。另外, 笔者希冀通过实用勘探技术解放一部分难动用储

量, 譬如使深层稀油二次运聚到浅层, 一方面突破产能关, 为人类奉献石油, 另一方面实现经济开采, 为石油企业创造经济效益。诚然, 近年来, 国内外深层油气勘探开发取得重要进展, 多为优质稀油, 如塔里木油田在埋深 8100 m 处获工业油流, 拓展了勘探空间, 此外, 在美洲墨西哥湾盆地等地发现多个大型-巨型超深大油田, 其中部分油田碳酸盐溶洞或次生裂缝、高渗透条带非常发育, 高温高压, 既不缺乏地层

*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); 国家“973”项目“中国西部典型叠合盆地油气成藏机制与分布规律”(2006CB202306)。

驱油能量，原油粘度非常小，开发难度很小。另一部分油田惟一的优点是稀油，其它油藏条件很差，储层超深、超低渗透、地层能量低，开发难度极大，如准噶尔盆地发现的永进油田，在极其艰难的地质环境下勘探成功率很高，部署钻探的9口探井均在6000 m左右发现油层，6口井获得5~72 t/d工业油流，均为稀油，控制+预测储量7000万吨，但由于井筒套变、不供液等原因，目前仅永1-平1井生产，自喷，日产油3 t/d，规模开发还并有提上日程。究其原因，主要是：超低渗透造成供液能力很差。为此，受近年来蓬勃发展的油气输导理论启发，提出利用油气输导体系将深层原油引导到浅层(本文简称为“深油浅采”)，降低超深低渗透油田开发难度的技术构想。

2. 超深低渗透油田开发现状

2.1. 开发规模

从目前勘探开发实践看，超深石油资源比较丰富，而且，随着超深层难采储量关键开发技术突破，其勘探规模会有一个数量级的飞跃。例如美国墨西哥湾盆地1998年~2004年，陆续发现了Atlantis等6个深水大油田，水深1005~2827 m，油层埋深7600~10,700 m，油层被2100~6100 m厚的盐层覆盖，探明石油可采储量 4.1×10^8 t^[1]。Jack油田发现井完钻井深8588 m，日产油稳定在820 t/d。中国新疆塔里木油田和塔河油田积累了丰富的开采超深油藏的经验，探明石油地质储量 40×10^8 t，年产原油 2000×10^4 t。2011年，冀中拗陷发现的牛东超深潜山油气田油藏底部深度达6027 m，温度达201℃，测试获高产油气流。塔里木油田的塔深1井，完井深度8408 m^[2]。2011年，中国第六代深水半潜式钻井平台“海洋石油981”制造完成，设计钻井深度10,000 m。

2.2. 核心技术

目前开发超深低渗透油田的主要技术手段：利用分支井钻井技术、水平井分段压裂、“层内爆炸”提高油藏泄油面积^[3,4]；利用旋转导向系统钻大位移水平井提高油层裸露面积；利用欠平衡钻井、气体钻井技术加强钻完井过程中的油气层保护；采用大型压裂作业或酸化提高有效泄油面积。比较成功的做法：一是，超深天然气田，经过酸化改造后能够持续高产，且不

需要人工举升，具有开发价值，如塔里木盆地的克拉2大气田，年产天然气100亿立方米；二是塔河油田古生界碳酸盐酸化压裂，深度为7300多米，成功并获得高产油气流。三是次生裂缝发育的砂岩油田，水平井注采开发取的较好效果，如塔里木盆地多个油田。四是，胜利油田高89-1区块二氧化碳驱油取得成功，往油层中注入高纯度二氧化碳气体，在地层高压作用下，与原油多次接触形成“混相”，从而提升原油流动能力。

2.3. 开发对策

永1井2004年10月6日完钻，完钻井深6400 m，钻遇油层20.5 m/3层，在西山窑组5875~5888 m中途测试，7.49 mm油嘴放喷，折算日产油72.0 m³，天然气10,562 m³，从而发现了永进油田^[5]。2007年5月22日开始实施永1-平1井的钻探，并于2009年2月2日完钻，完钻井深6172.48 m，在侏罗系西山窑组钻遇水平段430.22 m，2010年1月1日投产，3 mm油嘴自喷投产，初期套压15 MPa日产油21 t/d，含水6%。2011年12月，套压4.5 MPa，自喷生产，日产油4.2 t/d，不含水，气油比88 m³/t，累产油2083 t，累产水50 m³，累产气 11.29×10^4 m³。永进油田多口预探井和永1-平1井的钻探成功，表明储层描述技术整体可以满足开发需要，而且采用水平井开发超深低渗透油藏切实可行。永进地区侏罗系目的层埋深大，砂岩成分成熟度低，以长石岩屑砂岩为主，非均质性强，受成岩压实影响明显，普遍较致密，孔渗性差，影响了目的层高产油气流的获得。

永进油田水平井设计施工均面临难题：一是地质目标精度相对较低，可能造成部分井段远离有效层位。工区面积大(300 km²)，完钻井少，相距较远(5~12 km)，勘探程度低情况下开展沉积有利相带的研究困难；二是深层、特低渗储层控制因素研究困难，相对高孔渗的富集带及发育方向不明朗^[6,7]。储层可能存在水平节理面及水平裂缝，不利于水平井开发。由于水平井单打一，砂体内夹层较多，非均质严重，可动用有效厚度较低。相对高渗区，裂缝发育带及发育方向目前尚不十分清楚，给水平井设计带来困难；三是根据现有的工艺、现有的开发技术手段，储集层有效性下限的确定困难；四是能量集中在10~70 Hz，主频大

约在 35 Hz 左右, 储层速度以 4500~5000 m/s, 若要描述出埋深 6000 m 左右目的层薄砂体(4~5 m), 地震资料主频要达到 100 Hz 以上, 按照目前地震资料处理水平来讲, 这样深度条件下, 属世界级难题。井距大, 砂体层薄、变化大, 地震难以追踪薄砂体情况下, 水平井轨迹难以控制。油层的空间展布不明确, 需要从速度谱出发, 分析其速度, 结合声波测井等资料进一步提高变速成图的精度; 五是滑动钻进钻压传递困难, 需不断活动钻具保证井下安全, 造斜率不稳定; 目的层埋深大、泥浆比重高, MWD 信号衰减迅速, 地面检波难度大; 超深井大斜度井段钻井液携砂困难; 机械钻速低, 靶前位移较长, 钻井周期长, 套管防磨问题突出; 六是水平井钻井过程中出现多次卡钻和套变, 钻井施工困难。

对于埋深超过 6000 m, 天然裂缝不发育的超低渗透油田, 常规思路采取的主要对策: 长井段分支水平井技术, 多井段分段压裂, 一般适用于埋深 3500~4500 m 油藏, 对于埋藏更深的油层实在有些勉为其难。譬如永进油田采取高压注水和水力压裂的难度相当大。在渗透率很低的油气藏, 只有在水力压裂形成的主裂缝邻域的油气可以通过岩石中原有微小孔隙流入主裂缝产出, 而离主裂缝较远的油气仍难采出。深层难动用石油资源主要开发难点: 低渗透, 供液差, 举升能力差, 经济效益差, 但原油粘度小, 油品好。地层条件下, 高温高压, 降解程度低。

永进油田资源量丰富、当前的储层描述精度基本满足开发需要, 水平井开发超深、超高压、低渗透油藏技术上可行, 但经济效益比较差, 主要是缺乏有效补充地层能量的手段, 难以实现持续稳产, 考虑到钻探投资巨大, 暂无开发效益。为此, 笔者提出用油气输导体系开发超深低渗透油田技术构想。

3. 油气输导体系实例

油气输导体系是客观存在的, 没有输导体系就没有油气藏。由于油气是流动矿产, 因此输导体系在油气成藏中占有重要地位。主要的输导体系: 断裂输导体系——控制盆地、凹陷形成的边界大断裂和次级断裂; 骨架砂输导体系——既是油气运移的通道, 又是油气聚集的主要场所; 不整合面输导体系——影响油气侧向运移。2005 年以来, 在准噶尔盆地西缘车排子地区发现了浅层稀油的春光油田、浅层稠油的春风油田, 已经探明石油地质储量 6061 万吨。其油气输导体系为^[8-14]: 红车断裂带起主要输导作用, 它与其连通的骨架砂体联合作用, 以大规模垂向运移和横向运移为主, 主要形成构造油藏或岩性—构造油藏(见图 1)。地层超剥带不整合起主要输导作用, 主要输导层为其上下的渗透性地层(孔隙或裂缝系统), 以横向运移为主, 主要形成地层或构造—地层油藏。下切谷体系作为油气横向运移的又一通道, 在河谷砂的高部位或被断层切割形成河谷充填型岩性油气藏。

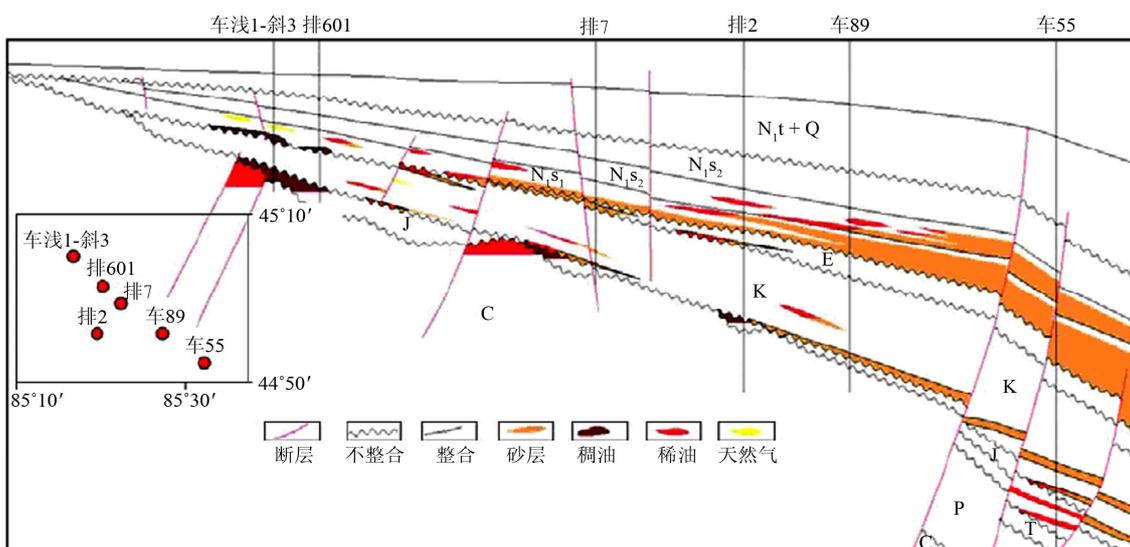


Figure 1. Hydrocarbon transport system configuration in Chepaizi area of Zhunggar Basin
图 1. 准噶尔盆地车排子地区输导体系配置

春风油田沙湾组成藏模式为：二叠系烃源岩供烃、调整后再聚集、骨架砂岩与不整合面横向输导、断层纵向输导、前缘砂体上倾尖灭成藏。春风油田通过深大断裂与玛湖、昌吉坳陷沟通，海西期后持续隆升，为油气运移的长期指向区，具备源岩-活动断层-骨架砂岩(不整合面)-圈闭构成的“T”型输导体系。

4. “深油浅采”原理

油气藏中的油气来源主要为腐泥型、腐殖型有机质。油气藏主要为油气初次运移成藏，由于温度、压力的差异，油从生油层向储集层富集。构造及水文地质条件的变化也引起油气向隆起区、斜坡带运移并发生差异性聚集。油气藏形成以后可以在构造等因素作用下进行二次运移而转移到其它储集体中。利用各类输导体系将深层原油二次运移到浅层，将开采超深油田转化为开采浅层高渗透油田，简称为“深油浅采”。可以参考图 2、图 3。在生产实际中，出现过注水过程中沟通断层，注入水渗出地面的情况。古为今用，充分利用石油输导体系，人为沟通断层、沥青墙、不整合面、骨架砂，利用自然的力量，将深层原油逐步

运聚到浅层砂体中，这一过程可能需要几个月、几年或几十年，要有足够的耐心。如果实在找不到应用实例，难道不是开天下之先河吗？

胜利油田经过 50 年勘探，形成了以“断-坡控砂”、“复式输导”、“相-势控藏”等为主体的陆相断陷盆地隐蔽油气藏勘探理论和配套技术系列。建立了断层连通性定量评价数学模型、砂体输导能力量化评价模型、输导体输导能力量化评价方法，实现了油气优势运移路径的准确判断。“陆相断陷盆地油气成藏过程定量评价”获中国石化集团公司 2011 年度科技进步一等奖。该技术为“深油浅采”中输导体系识别提供了锐利武器。

本文提出的“深油浅采”原理与输导体系理论没有本质的区别，只是将漫长的地质年代缩短为几个月或 1 年左右的时间，否则毫无经济效益可言，毕竟，石油企业创造经济价值是其立身之本。“深油浅采”风险暨技术关键。一是如何部分激活地质年代上曾经活跃的输导体系；二是深油运聚到浅层后，资源量损失程度如何？三是深油运聚到浅层后，稀油轻组分损失几何？至于，在浅层找到较好的储层在技术上没有难度。

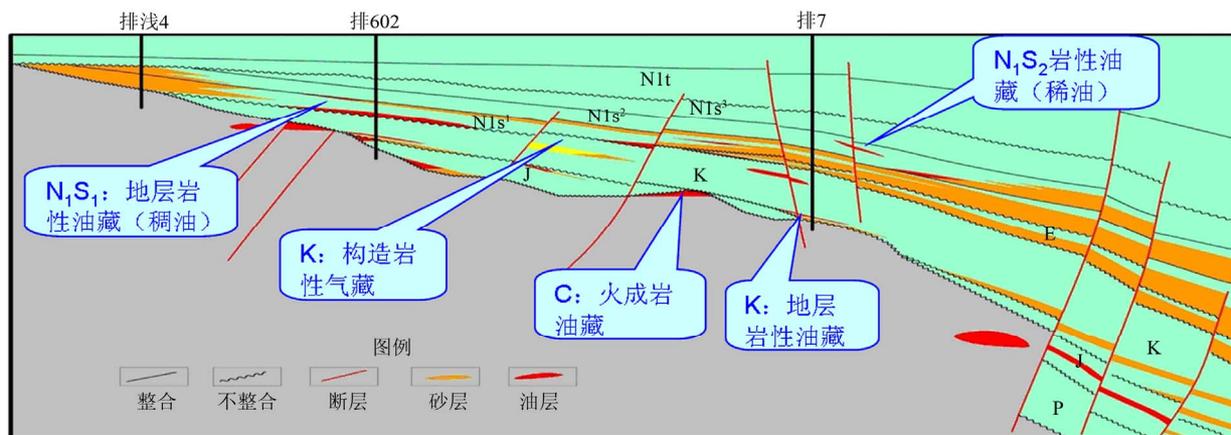


Figure 2. Fault system profile in Chepaizi area of Zhunggar Basin
图 2. 准噶尔盆地车排子地区断裂体系剖面图

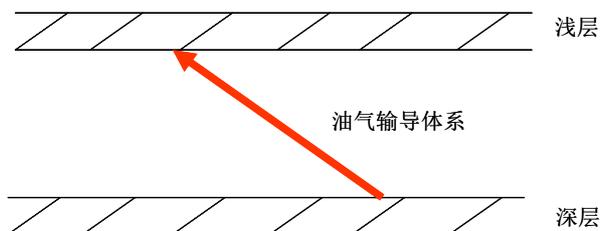


Figure 3. "Production from shallow reservoir of deep oil" schematic diagram
图 3. “深油浅采”示意图

大自然的能量非常巨大,且不说大地震,2010年美国墨西哥湾原油泄漏事件,充分表明地层能量的巨大^[15];2011年蓬莱19-3油田溢油污染事故很可能是采用笼统注水产生异常高压,破坏了断层封堵性,发生了溢油污染。破坏了因此,我们要善于利用自然的力量,因势利导,使其为人类发展做出正面的贡献。永进油田地层压力系数高达1.7,在成藏过程中发挥了积极作用,在促使现今垂向运移方面也有望发挥重要作用。

5. 结论与建议

1) 永进油田资源量丰富、当前的储层描述精度基本满足开发需要,水平井开发超深、超高压、低渗透油藏技术上可行,但经济效益比较差,主要是缺乏有效补充地层能量的手段,难以实现持续稳产,考虑到钻探投资巨大,暂无开发效益。在石油产量供不应求的年代,与其花大力气开采非常规油气资源,实在不如开采深层优质储量更为实际。

2) “深油浅采”是利用活动断层-骨架砂岩(不整合面)等各类输导体系,人为沟通断层、沥青墙、不整合面、骨架砂,借助自然的力量,将深层原油逐步运聚到浅层砂体中,将开采超深油田转化为开采浅层高渗透油田。在生产实际中,出现过注水过程中沟通断层,注入水渗出地面的情况,是本构想变得更加可行。建议在有利区块开展先导试验。这是利用勘探理论指导开发的一次尝试。

3) 在油气勘探和开采过程中引入风险投资,允许

个人、外商、非石油企业参与深层油田勘探开发,风险共担,利益共享,降低甲方风险。国家在贷款、税收等方面予以倾斜,作为对保障石油供应的支持。

参考文献 (References)

- [1] 瞿辉,郑民,李建忠. 国外被动陆缘深水油气勘探进展及启示[J]. 天然气地球化学, 2010, 21(2): 193-200.
- [2] 康玉柱. 创新石油与战略思考[J]. 中国工程科学, 2012, 14(3): 37-40.
- [3] 丁雁生,陈力,谢燮. 低渗透油气田“层内爆炸”增产技术研究[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(2): 90-96, 106.
- [4] 杨凯. 裂缝性低渗透油藏注水吞吐开发影响因素分析[J]. 特种油气藏, 2010, 17(2): 82-84.
- [5] 蔡希源,刘传虎. 准噶尔盆地腹部地区油气成藏的主控因素[J]. 石油学报, 2005, 26(5): 1-4.
- [6] 杨智,何生,何治亮. 准噶尔盆地腹部超压层分布与油气成藏[J]. 石油学报, 2008, 29(2): 199-209.
- [7] 史建南,邹华耀,李平平. 准噶尔盆地永进地区油气成藏主控因素分析[J]. 中国矿业大学学报, 2009, 38(4): 384-389.
- [8] L. B. Magoon, W. G. Dow. 含油气系统 - 从烃源岩到圈闭[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998: 3-25.
- [9] 陈欢庆,朱筱敏,张琴. 输导体系研究进展[J]. 地质论评, 2009, 55(2): 269-276.
- [10] 沈朴,张善文,林会喜,彭传圣,孙超,程付启. 油气输导体系研究综述[J]. 油气地质与采收率, 2010, 38(4): 5-10.
- [11] 吴智平,陈伟,薛雁. 断裂带的结构特征及其对油气的输导和封堵性[J]. 地质学报, 2010, 17(4): 570-578.
- [12] 姜素华,李涛,姜雨. 东营凹陷网毯式油气成藏体系油气运聚探讨[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2007, 31(5): 12-18.
- [13] 史建南,邹华耀. 准噶尔盆地油气输导体系类型与成藏规律研究[J]. 石油天然气学报, 2009, 31(3): 7-12.
- [14] 何登发,陈新发,况军. 准噶尔盆地石炭系油气成藏组合特征及勘探前景[J]. 石油学报, 2010, 31(1): 1-11.
- [15] 王学忠. 应用套管爆炸整形法治理墨西哥湾油井漏油[J]. 应用基础与工程科学学报, 2010, 18(s1): 101-110.