

勘探实例

文章编号:1672-9854(2010)-01-0073-06

中国海相油气田勘探实例之十三

塔里木盆地东河塘海相砂岩油田勘探与发现

周新源,杨海军,胡剑凤,朱永峰

(中国石油塔里木油田分公司)



周新源

摘要 东河塘油田位于新疆库车县,构造上隶属于塔里木盆地塔北隆起轮台凸起东河塘断裂构造带,是我国发现的第一个高产高丰度海相砂岩油田,它的发现是中国海相砂岩油气勘探理论和实践的一次重大突破。油田发现于1990年7月,至1994年探明石油地质储量 $3\,323.13\times 10^4\text{t}$,天然气地质储量 $15.5\times 10^8\text{m}^3$,至2009年底累计产原油 $825.75\times 10^4\text{t}$ 。石炭系东河砂岩油藏是东河塘油田的主体,其储层东河砂岩段是一套滨岸相砂体,具有厚度巨大、埋深大、储集性能好的特点;其油藏类型为块状底水背斜油藏,产能高,储量丰度高。论述了东河塘油田勘探与发现的历程,剖析了取得勘探成功的实践认识与意义。

关键词 塔里木盆地;东河塘油田;石炭系;东河砂岩;海相地层;砂岩油藏;油气藏特征;勘探启示

中图分类号:TE122.14 **文献标识码**:A

周新源 1963年生,教授级高级工程师,现任中国石油塔里木油田公司总经理。长期从事塔里木盆地油气勘探、研究与生产管理工作。通讯地址:841000 新疆库尔勒塔里木油田分公司

东河塘油田是塔里木盆地的乃至国内的第一个高产高丰度海相砂岩油田。它的发现,是中国海相砂岩油气勘探理论和实践的一次重大突破,拉开了塔里木盆地海相砂岩,特别是东河砂岩油气勘探的序幕,对塔里木油田油气勘探开发事业的发展具有十分重大的意义。

1 油田概况

东河塘油田位于新疆维吾尔自治区库车县东河塘乡境内,其构造隶属于塔里木盆地塔北隆起轮台凸起东河塘断裂构造带(图1),包括DH1、DH4、DH6、DH14井区石炭系东河砂岩(CⅢ)、以及DH20井区侏罗系(JⅢ)等5个油气藏,至1994年,累计探明石油地质储量 $3\,323.13\times 10^4\text{t}$ 、天然气地质储量 $15.5\times 10^8\text{m}^3$ 。DH1井区东河砂岩油藏是该油田的主力区块,探明石油地质储量 $2\,398\times 10^4\text{t}$,具有储层厚度大、埋深大、储量丰度高、单井产量高的特点。

1990年11月发现井DH1井开始投入试采以来,东河塘油田2009年产原油 $35.45\times 10^4\text{t}$,至2009

年底累计产原油 $825.75\times 10^4\text{t}$,是塔里木油田原油生产的重要基地。东河塘油田石炭系东河砂岩油藏的基本参数归纳于表1。

2 油田发现历程

2.1 发现井部署背景与思路

东河塘地区的油气勘探始于1983年。随着塔北地区沙参2井(1984)、轮南1井(1988)和英买1井(1989)奥陶系碳酸盐岩相继发现高产油气流,塔北隆起东段、中段、西段奥陶系碳酸盐岩构造勘探全面开花,奥陶系碳酸盐岩成为塔北隆起油气勘探最重要的领域之一。1989年6月,研究人员利用二维地震资料在塔北隆起中段哈拉哈塘凹陷北侧、轮台和沙雅两条断裂之间,发现了一个奥陶系潜山小背斜(即东河1号背斜),其构造圈闭面积仅 3km^2 ,幅度仅20m,埋深却达5940m,研究认为其上缺失志留系和三叠系,推测泥盆系发育不完整,未意识到石炭系可发现油气藏的可能性;中生界底构造面积 42km^2 ,幅度100m。尽

收稿日期:2009-02-03;改回日期:2009-11-11

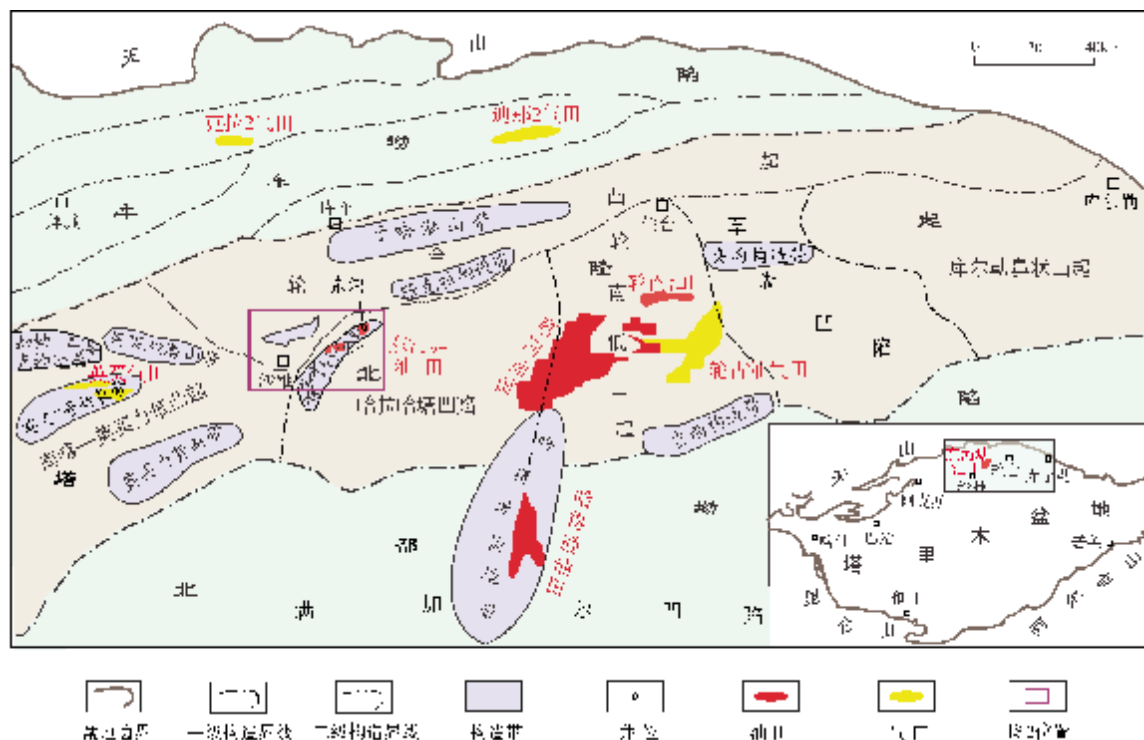


图1 东河塘油田地理与构造位置图

管奥陶系潜山背斜面积很小、幅度很低,但考虑到东面的轮台断裂上盘的雅克拉潜山和西面的英买1号背斜都在奥陶系获得了高产油气流,因此,认为位于二者之间的东河塘构造奥陶系的含油气可能性很大,决定钻探DH1井,设计的主要目的层是奥陶系^[1]。

1989年9月,即DH1井开钻前3个多月,新完成的研究报告《东河塘背斜的圈闭评价与预测》提出了与6月份完成的DH1井井位设计书不同的观点:

(1)认为东河塘构造上的石炭系岩性与同处轮台断裂带上的,相距32 km的沙5井具有可对比性,预测石炭系在薄层白云岩以下发育一套厚约260 m的砂砾岩好储集层。沙5井因缺失盖层,测试只返出了180 L软沥青;而DH1井石炭系中下部发育泥岩盖层,保存条件好得多,因而含油气希望很大。

(2)认为东河1号构造石炭系发育构造圈闭,且圈闭资源量最大(为 $5880 \times 10^4 \text{ t}$),侏罗系次之(为 $770 \times 10^4 \text{ t}$),奥陶系最小(为 $580 \times 10^4 \text{ t}$);分析了这三个层系的主要地质风险,认为奥陶系最大的风险是缺少良好盖层,并建议将设计的主要目的层调整为石炭系。

(3)编制出油藏剖面预测图,该图对石炭系和侏罗系油气藏的预测,与后来的实钻结果基本相符^[1]。

这份圈闭评价报告充分应用邻区资料,进行了认真对比和分析,从而在DH1井实施钻探前就作出了比较符合实际的预测,修正了井位设计书的评价结论,及时有效地指导了钻探,为东河塘油田东河砂岩油藏的发现提供了地质依据。

2.2 油田的发现

DH1井是东河塘油田的发现井,开钻于1989年12月30日。1990年5月中旬,在侏罗系底部井段5450~5490 m钻遇了含油砂岩;井深5565 m进入石炭系,钻至井深5671 m发现气测异常,槽面布满原油和气泡,测井解释为生物碎屑灰岩油层13.5 m/3层;继续钻进至井深5726 m,钻遇了一套滨岸相石英砂岩。由于后效十分活跃,进入砂岩顶部时并未取心,加重钻井液钻至井深5758 m,下完177.8 mm套管后,7月7日,在井段5763.00~5765.60 m槽面油气面积已达70%,随即取心2筒,取获含油砂岩15.63 m。1990年7月11日,对DH1井石炭系东河砂岩段5755.4~5782.8 m井段进行中途裸眼测试,用11.11 mm油嘴获得了日产原油389 m³的高产油流(原油密度0.854 7 g/cm³)。

表 1 东河塘油田基本参数表

油气田名称		东河塘油田
油气田位置		新疆维吾尔自治区库车县
区域构造位置		塔里木盆地塔北隆起轮台凸起东河塘断裂构造带
发现井(时间)		DH1 井(1990-07)
发现井流量		石油 389 m³/d; 天然气 700 m³/d(中途测试)
首次产油时间		1990-07(DH1 井)
探明储量(年份)		石油 2980×10⁴t (1994)
可采储量(年份)		909.85×10⁴t (2006)
储量丰度		平均 180.6×10⁴ t/km²; DH1 井区: 292.4×10⁴ t/km²
发现依据		雅克拉潜山和英买 1 号奥陶系背斜相继发现高产油气流后, 钻探东河 1 号奥陶系潜山发现石炭系东河砂岩油藏
油藏特征	圈闭类型	背斜圈闭
	圈闭形成时间	晚海西期—印支期
	圈闭面积	16.92 km²
	圈闭高度	18.0~135.0 m
	油藏中部埋深	东河 1 油藏: 5760.0 m; 其他油藏: 6000.0~6130.0 m
	油柱高度	东河 1 油藏: 135.0m;其他油藏: 18.0~50.0m
	含油面积(年份)	16.92 km²(2006)
	油气来源	寒武系—奥陶系海相烃源岩
	原油物性	密度: 0.8547~0.8778g/cm³(20℃); 黏度: 5.23~12.47mPa·s; 凝固点: -20.0~-24.5℃; 含硫量: 0.54%~0.89%; 含蜡量: 3.58%~ 7.61%
	地层压力	DH1 井: 62.23 MPa; 其他: 65.70~67.50 MPa
压力系数	1.10~1.12	
盖层时代与岩性		石炭系角砾岩段(C⁸)+中泥岩段(C⁷)
储集层	层 位	石炭系东河砂岩段(CIII/C⁹)
	主要岩性	中—细粒石英砂岩
	沉积环境	滨岸相
	总厚度	DH1 井: 257.0 m(钻穿); 其他井: >200.0 m(未穿)
	有效厚度	DH1 井: 平均 230.0m; 其他井未钻穿
	孔隙类型	原生粒间孔隙为主,少量次生粒间溶蚀孔隙
	孔隙度	12.94%~13.50%
	渗透率	(12.48~80.50)×10⁻³ μm²
	含油饱和度	58.0%~74.8%

DH1 井石炭系东河砂岩段试获高产油流,发现了东河塘海相砂岩高产高丰度油田,这是塔里木盆地、乃至国内海相砂岩油气勘探的重大突破,具有十分重要的理论与实践意义。

DH1 井中途测试后继续钻进,于井深 5983m 钻穿该套滨岸相石英砂岩。该砂岩层总厚度达 257m,

因如此巨厚的优质海相砂岩储层在我国首次发现于库车县东河塘乡,因而后来被命名该段地层为“东河砂岩”。

DH1 井发现东河砂岩高产油层后,原中国石油天然气总公司和原塔里木石油勘探开发指挥部都十分重视,1990 年 9 月在新疆维吾尔自治区库尔勒市召开了加快塔里木盆地油气勘探会议,会上决定要打好以石炭系东河砂岩为重点的区域勘探仗。此后,一方面加快了 DH1 井区东河砂岩油藏的评价步伐,从而于 1992 年探明含油面积 8.2 km²,上交探明石油地质储量 2 398×10⁴t;同时继续搜索与钻探东河塘断裂构造带的其他圈闭,不断扩大东河砂岩勘探战果;另一方面,于 1991 年 4 月召开了“东河塘油田开发讨论会”,加快东河塘海相砂岩高产油田的开发步伐。

1992—1993 年,在精细二维地震测网和三维地震资料解释的基础上,继东河 1 油藏之后,又相继发现了东河 4、东河 6、东河 14 等东河砂岩油藏,但储量规模都较小,累计探明石油地质储量仅 582×10⁴t。至 1994 年底,东河塘油田东河砂岩油藏累计探明石油地质储量达到 2 980×10⁴t。

1994 年 6 月,东河塘油田正式投产。油井投产初期均自喷生产,日产原油 35~334t,不含水。1995 年 8 月开始采用边缘底部注水方式注水。2006 年开始应用水平井实施以细分开发层系为主的综合调整。目前油田地质储量采出程度为 26.6%,可采储量采出程度为 80.1%,综合含水 50.3%。

3 油田地质特征

东河塘油田位于塔北隆起轮台凸起东河塘断裂构造带(图 1),其东河砂岩油藏包括东河 1、东河 4、东河 6、东河 14 等四个油藏(图 2)。东河塘断裂构造带地层较全,除东河 1 构造高部位缺失三叠系和二叠系外,从上到下钻遇了第四系、第三系、白垩系、石炭系和志留系。侏罗系直接覆盖于石炭系之上,石炭系自下而上发育巴楚组、卡拉沙依组,可划分为五个岩性段,即中泥岩段(C⁵)、生物碎屑灰岩段(C⁶)、下泥岩段(C⁷)、含砾砂岩段(C⁸)和东河砂岩段(C⁹)(图 3),其中东河砂岩段为含油层段,其上覆致密的角砾岩段+中泥岩段,总厚度大于 100 m,二者构成了一个优质的区域性储盖组合,是塔里木盆地油气勘探最重要的成藏组合之一。

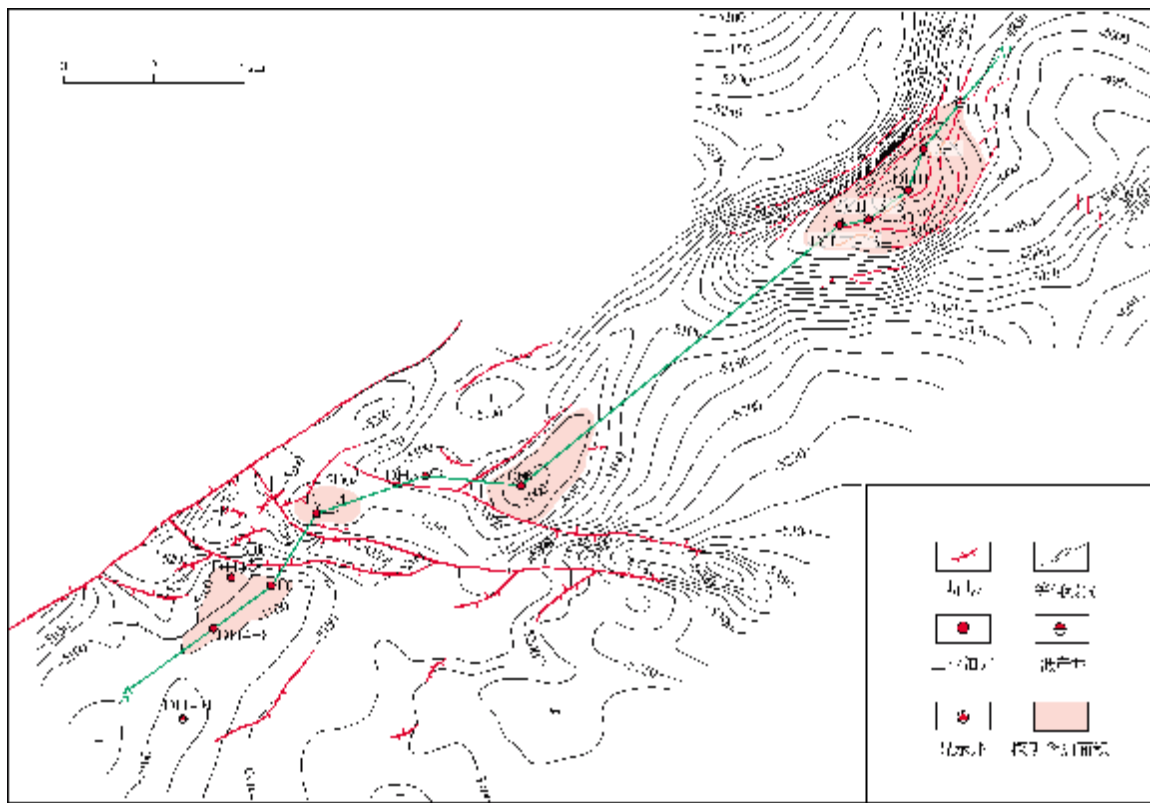


图2 东河塘油田东河砂岩油藏含油面积叠合图

3.1 巨厚的深埋优质海相砂岩储集层

东河砂岩段是东河塘油田的主力产层,也是国内首次发现的巨厚的优质海相砂岩储层。钻穿该岩性段的4口探井(DH1、DH2、DH3、DH20井)的实钻厚度都大于200m,其中在发现井DH1井的厚度达257.0m。东河砂岩段是一套滨岸相砂岩储集体,埋深虽达6000m左右,但储集性能依然优良,为东河塘高产高丰度油田的形成提供了有利的储集条件。

东河塘油田东河砂岩段主要为原生孔隙型储层。原生孔隙可分为两大类,一是未经胶结或弱胶结充填的原生孔隙,其特点是分布集中,孔径为0.01~0.06mm,一般连通性较好,形态不规则;二是由于石英加大使原生孔隙减小而形成的残余原生孔隙,其特点是孔径相对较小,一般为0.01~0.04mm,连通性较差,形态规则,多为三角形或四边形,边缘平直。

东河塘地区东河砂岩段储层物性中等。孔隙度最大25.3%,主要分布范围为16%~22%;渗透率最大为 $1915 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,主要分布范围为 $(1 \sim 200) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。DH1井和DH11井平均孔隙度分别为14.64%和

15.3%,平均渗透率分别为 $68.37 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和 $80.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

东河塘油田东河砂岩段储层物性纵向变化大,基本特点是两头差,中间好。东河砂岩顶部物性较差,平均孔隙度13.08%,渗透率 $11.12 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;中部主要产油层物性相对较好,孔隙度为15%~17%,渗透率约 $(60 \sim 137) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,下部水层物性逐渐变差。

3.2 典型的海相成因油藏

东河塘油田是国内第一个海相成因的原油储集在海相砂岩中的海相工业油田^[1],与同处哈拉哈塘凹陷周缘的轮古、塔河、哈得逊、英买1等油田(藏)的原油均源自于寒武系—奥陶系海相烃源岩^[5]。

东河砂岩油藏具有饱和压力低(3.85 MPa)、地饱压差大(55.38 MPa)的特点,其原油性质中等,具有低黏度(5.23~12.47 mPa·s)、低凝固点(-20~-24.5℃)、低含硫(0.54%~0.89%)和中密度(0.854 7~0.8 778 g/cm³, 20℃时)、中含蜡(3.58%~7.61%)的特点,原始气油比低,为13.8~15.2 m³/m³。

天然气相对密度较大,为0.9211~1.0664;甲烷

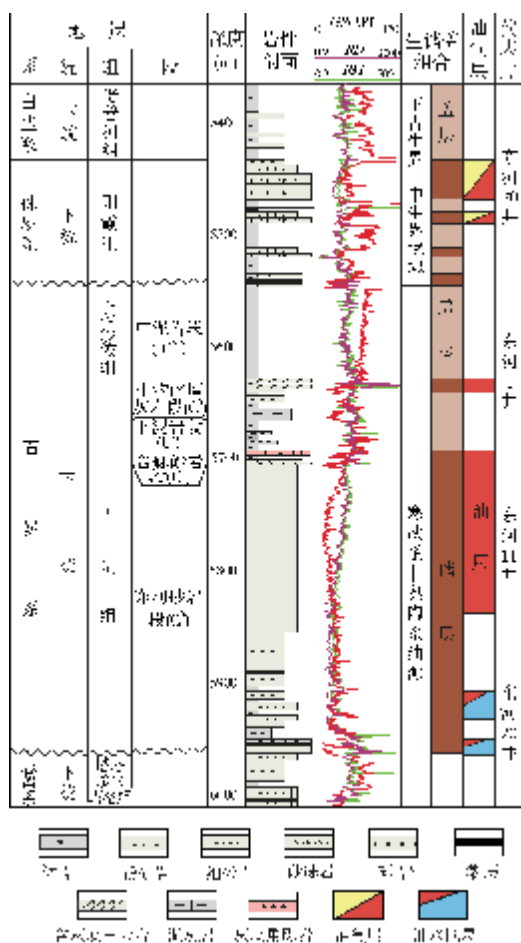


图3 东河塘油田石炭系—侏罗系综合柱状图

含量低,仅 39.87%~45.02%;非烃含量高,二氧化碳和氮气含量达 36.86%~47.42%,是典型的油田伴生气,属高成熟气。

3.3 “小而肥”的背斜油藏

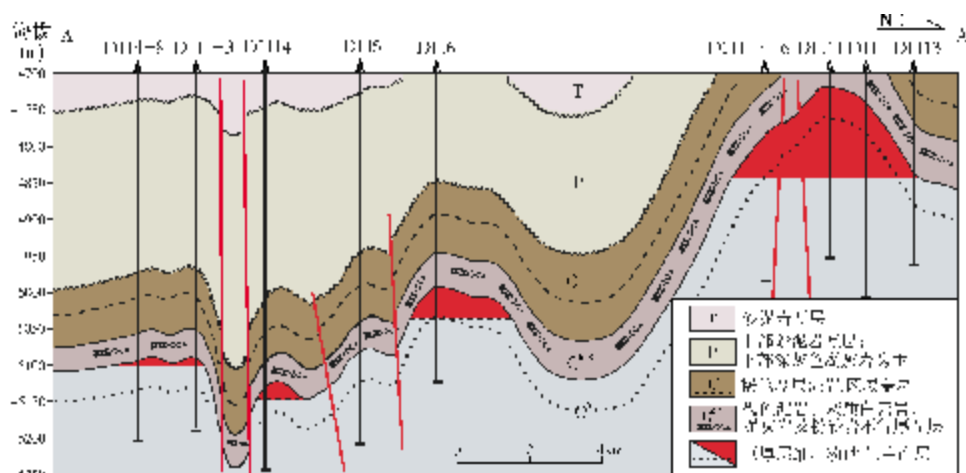
东河 1 砂岩油藏所在的东河 1 号背斜是东河塘断裂背斜带中面积和幅度最大的背斜,其东河砂岩顶面构造为北东走向短轴背斜,北界受东河塘逆断裂控制,构造顶部平缓,两翼平缓;长轴 5.5 km,短轴 2.1 km,闭合幅度达 135 m,圈闭面积为 8.2 km²。因此,东河 1 砂岩油藏是一个块状底水背斜油藏(图 4),构造虽小储量丰度却很高,是典型的“小而肥”的背斜油藏,其探明石油地质储量达 $2\,398 \times 10^4$ t,储量丰度达 292.4×10^4 t/km²。

4 勘探认识与启示

超深、高产、高丰度的东河塘海相砂岩油田的发现,是中国海相砂岩油气勘探理论和实践的一次重大突破,具有十分重要的理论意义和实践意义。

4.1 找准构造高点是勘探打井的重要条件

东河塘油田的发现井 DH1 井,原设计主要目的层是奥陶系碳酸盐岩,实钻结果却在上覆石炭系获得重大突破,这有点“歪打正着”的意思。从井位设计书也可看出,当时对过井地震剖面的解释,与 DH1 井钻后的重新解释结果大相径庭^[1]。设计书中石炭系底的预测深度(5 720 m)实际上仅相当于实钻的东河砂岩顶面深度。但是不论断层组合、层位预测和构造解释如何不准,有一点却是准的,即设计书中两条过井地震测线上石炭系底(T_g)和侏罗系底(T₈₋₃)的高点基本准确——这是 DH1 井取得突破的基本保证。

图4 东河塘油田石炭系油藏剖面图
A—A'剖面位置见图2

4.2 新区勘探一定要“有目的层而不唯目的层”

DH1 井设计的主要钻探目的层是奥陶系潜山灰岩,但是地质录井人员在侏罗系发现油砂后就立即建议中途测试,并没有将油气显示放过。在钻至石炭系生物碎屑灰岩段之后,槽面布满了油气,曾经掩盖了下伏东河砂岩的油气显示;但是在下完 177.8mm 套管后,槽面显示依然活跃,地质人员就敏感地立即取心,并及时测井,及时中途测试,从而发现了石炭系东河砂岩油层。由此说明,新区的勘探本着“有目的层而不唯目的层”^[1]策略,往往也可发现新的含油气层。

4.3 得益于新区勘探的圈闭动态评价与预测

圈闭是勘探的灵魂,圈闭评价与预测是探井上钻的依据和基础。新区勘探由于资料缺乏,地质认识往往较肤浅,圈闭评价与预测常常出现偏差。东河塘 DH1 井、塔中 TZ4 井、以及哈得逊 HD4 井在钻前和钻探期间都进行了圈闭动态评价与预测,及时调整了钻探目的层,从而发现了东河砂岩油藏^[2,6]。因此,新区勘探非常有必要及时根据地质新认识,对圈闭(包括未上钻和正钻)进行动态评价与预测,以对该圈闭的钻探目的层进行及时调整。

4.4 深埋优质海相砂岩储层是盆地油气勘探的重要领域

东河塘油田是国内首次在 6 000 m 左右深度发现的高产海相砂岩油田,打破了当时超深层缺乏优

质砂岩储层的理论禁锢,推进了深埋优质储层形成机理研究,大大拓深了寻找高产砂岩油田的深度。

东河塘油田东河砂岩深埋优质储层形成的控制因素包括:高能砂质滨岸沉积环境、成分成熟度和结构成熟度较高、砂岩厚度巨大、地温梯度低、烃类早期侵位等^[3-4]。

东河塘高产高丰度海相砂岩油田的发现,拉开了塔里木盆地东河砂岩近二十年艰难曲折而又成果辉煌的油气勘探序幕。截止 2008 年底,塔里木油田共发现探明了东河塘、塔中 4、哈得逊等 8 个东河砂岩油气田(藏),累计探明石油地质储量约 1.49×10^8 t,天然气地质储量 258.55×10^8 m³;东河砂岩累产原油 3593.6×10^4 t,天然气 53.9×10^8 m³。东河砂岩油田(藏)探明石油地质储量占塔里木油田总探明石油地质储量不到 25%,却生产了塔里木油田约 50% 的原油总产量,为塔里木石油事业的发展壮大作出了十分突出的重要贡献。

参考文献

- [1] 梁狄刚. 塔里木盆地九年油气勘探历程与回顾(续)[J]. 勘探家, 1999, 4(2): 53-56.
- [2] 邱中建, 龚再升. 中国油气勘探 第二卷: 西部油气区[M]. 北京: 石油工业出版社/地质出版社, 1999: 394-399.
- [3] 顾家裕, 朱筱敏, 贾进华, 等. 塔里木盆地沉积与储层[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 29-31, 79-85.
- [4] 顾家裕, 朱筱敏, 贾进华, 等. 塔里木盆地重点层系储层组合评价[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 55-101.
- [5] 张水昌, 梁狄刚, 张宝民, 等. 塔里木盆地海相油气的生成[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 253-254.

编辑: 赵国宪

Cases of Discovery and Exploration of Marine Fields in China (Part 13):

Donghetang Sandstone Oil Field in Tarim Basin

Zhou Xinyuan, Yang Haijun, Hu Jianfeng, Zhu Yongfeng

Abstract: Donghetang Oil Field is located in the Donghetang Fracture Belt of Tabei Uplift, Tarim Basin. It is the first marine sandstone oil field that has been discovered in China. The field is discovered in June, 1990 as high yield oil was drilled out at the Carboniferous Donghe Sandstone in Well DH-1. It held the total proved oil and gas geologic reserves in-place of 33.2313×10^6 t and 1559×10^6 m³, respectively in 1994 and it has yielded 8.2575×10^6 t of crude oil in total till the end of 2009. The Carboniferous Donghe Sandstone Member is a thick set of good deep-buried anti-clinal littoral sand body reservoir with high abundance of reserves. The history and experience of exploration and exploitation as well as the technology, methods and theory that succeed in oil exploration are reviewed in detail.

Key words: Carboniferous; Marine facies; Donghe sandstone; Sandstone reservoir; Reservoir characteristics; Exploration technology; Exploration history; Donghetang Oil Field; Tarim Basin

Zhou Xinyuan; male, Doctor, Professorial geologist. Add: PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla, Xinjiang, 841000 China