

塔河地区奥陶系油田水分布与运动学特征研究

张金川¹⁾, 唐玄¹⁾, 边瑞康¹⁾, 云露²⁾, 王敏¹⁾, 王艳芳¹⁾, 杨振恒¹⁾, 刘丽芳³⁾

1) 中国地质大学能源学院, 北京, 100083

2) 中石化西北分公司勘探开发规划设计研究院, 乌鲁木齐, 830011

3) 中海石油研究中心, 北京, 100027

内容提要:塔河油田是我国最大的陆上整装碳酸盐岩油田,其油田水分布与运动特征反映了油气运移规律。该区奥陶系油田水现今总体矿化度高,南北向存在从低到高再到低的 3 个矿化带,各带内平面分割性强,纵向层间差异大。塔河油田奥陶系的流体经历了多期次活动,奥陶系储层共捕获了 4~5 期盐水包裹体,其均一温度范围集中在 60~80℃, 90~105℃, 110~140℃ 和 145~170℃, 盐度集中在 0.5%~4%、5%~10%、10%~13%、14%~18%、>18%, 反映出奥陶系储层曾经历了 4~5 期热流体活动,对照埋藏史与油气运移史,高盐度流体活动与油气运移具有良好的匹配关系,油田水化学指标(油田水变质系数、碳酸盐岩平衡系数等)反映出塔河油区现今保存条件良好。井剖面包裹体纵向温度、盐度纵向不规则变化表明流体的活动以侧向运移为主。流体势分析说明运移方向不仅包括塔河东、南面是烃源岩方向,而且具有高流体势的西面也可能是油气来源方向。

关键词:塔河油田; 油田水; 油气聚集; 均一温度; 古盐度

1 塔河油田概况

塔河油田是塔里木盆地北部阿克库勒凸起西南边缘的一个深层为海相碳酸盐岩、浅层为陆相碎屑岩的大型叠合型油田,其主要油气产层是埋深超过 5000 m 的早古生代(奥陶纪)地层。受加里东晚期和海西期构造活动影响,奥陶系遭受到不同程度的剥蚀,其中下奥陶统岩溶发育段为塔河油田的主要含油气层段,可细分为 4 个层 6 个岩性段,油气显示良好。含油气层主要位于该套地层风化面以下 200 m 或 250 m 以内的古地表岩溶带—渗流岩溶带的上部,其中风化壳以下 200 m 为油气的主要产层(林忠民, 2002)。与世界大型海相碳酸盐岩油田相比,塔河碳酸盐岩油田有着迥然不同的特点,表现为地层时代老,储层埋藏深,岩石物性差,流体改造强,多次大气淡水的注入及深部流体活动对储层的改造,形成了复杂的油气分布特点。塔河油田分为 11 个勘探开发区块,其中 4、6、7 区发现早,油气产量大,构成了塔河奥陶系油藏的主力产油区块。

2 奥陶系油田水特征

前人已对塔河油区油田水特征及分布开展过研究(钱一雄等, 2005a, 2005b)。结合新井资料和新增加的油田水样品,分析和统计了塔河油田主要范围内(指塔河 1~10 区)奥陶系 159 口井 290 个油田水样品资料。考虑到油田水在取样和分析测试中的误差,对于出现的个别畸高和畸低值,在分析时进行了舍弃。塔河油田水表现为典型的高矿化度特征,主要集中在 160~280 g/L 区间,其中 200~240 g/L 的样品约占总体样品的 50%(图 1),油田水密度分布在 1.1~1.18 g/cm³ 之间。离子组分中宏量组分为 Na⁺、Cl⁻, 其中氯离子浓度总体分布在 50~200 mg/L 之间, Cl⁻/TDS > 50% 的地下水化学样品超过 75% 以上(图 2)。全区宏量组分除了 Cl⁻、Na⁺+K⁺ 以外,主要是 Ca²⁺ 离子,集中分布在 400~800 mg/L, 而 HCO₃⁻ 每升只有数毫克,其他组分含量均较低,油田水离子的构成符合典型的 CaCl₂ 型水特征,其宏量组分、水密度与总矿化度之间具有良好的对应关系(图 3)。

注:本文为国家重点基础研究计划“973”项目(编号 2005CB422106, G199043309)资助的部分成果。

收稿日期:2007-04-30; 改回日期:2007-06-14; 责任编辑:周健。

作者简介:张金川,男,1964 年生。中国地质大学(北京)能源学院教授,博士生导师,研究方向为非常规油气资源评价,油气成藏与分布规律、盆地流体分析。通讯地址:100083,北京海淀区学院路 29 号;电话:010-82320848。

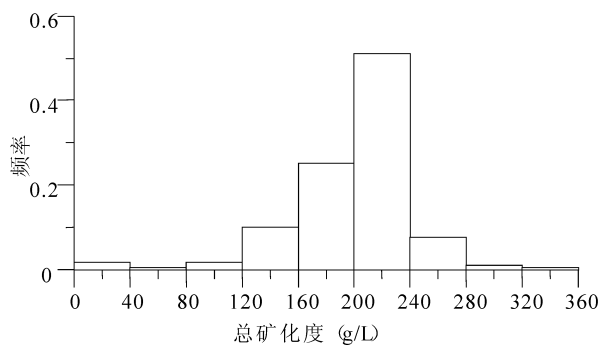


图1 塔河油田矿化度分布频率图

Fig. 1 TDS distribution frequency diagram in Tahe Oilfield

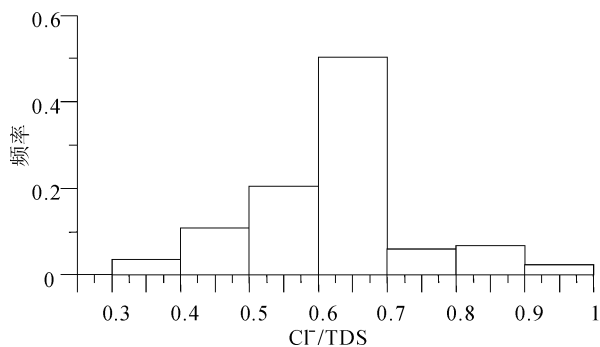


图2 塔河油田氯离子与矿化度关系图

Fig. 2 Cl^-/TDS distribution frequency diagram in Tahe Oilfield

油田水总矿化度在平面上的分布如图4,塔河主体油区矿化度几乎都在 $>190\text{ g/L}$ 的等值线包络

范围内,但分布不均一,具有很强的分区性。其中塔河6区形成了以Tk614为中心的矿化度高值区,矿化度可达 240 g/L ;塔河4区北部形成了以T416、T402、Tk466为中心的东北走向“长垣”形的矿化度高值带,平均矿化度在 $260\sim 270\text{ g/L}$;7区及以西地区分别形成以S91和T710为中心的两个矿化度分布带,最高值在 $210\sim 220\text{ g/L}$;9区有东西两个油田水浓度分隔带,东边以S101井为中心,高值为 260 g/L 。西边以S60井为中心,最高值达到 300 g/L ,并与1区和3区连成一片;3区西部形成以Tk310、Tk320为高值的矿化度中心,向南过渡到2区,一直延伸到7区,该范围内矿化度较其他区矿化度要低,最高值 230 g/L ;其中5区以T502为中心是矿化度异常低的区域,平均值不到 150 g/L 。因而整体上塔河油田水矿化度南北可分成3带:1区—2区—7区以南区域和9区—5区—8区—10区以北区域为两个矿化度低值带,中部塔河油区为矿化度高值带。

3 奥陶系油田水活动历史

3.1 流体活动的阶段性

利用塔河地区10口井125块岩脉或溶蚀孔洞中方解石样品,测试了1560组原生盐水包裹体数据。样品均一温度数据分布范围宽泛,从 $10^\circ\text{C}\sim 240^\circ\text{C}$ 都有分布(图5a)。 60°C 以下低温常常被认为是大气渗入水影响出现的异常值,大于 $>170^\circ\text{C}$ 的包裹体被认为是受到上部层系发育的火成岩加热所形

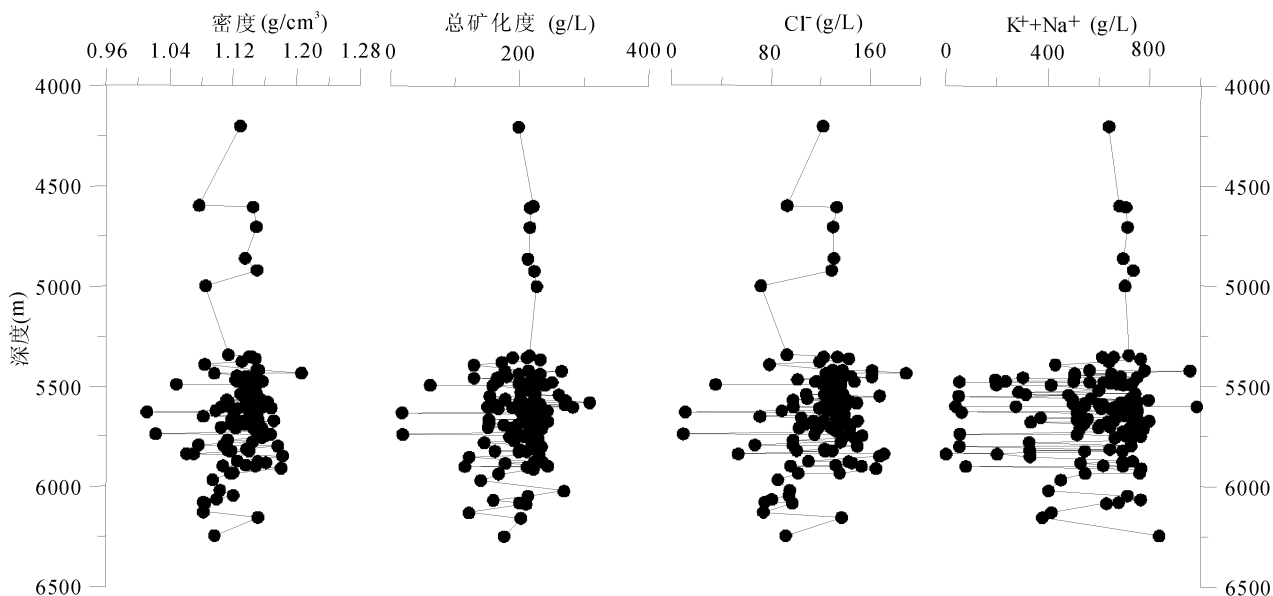


图3 塔河油田水参数纵向分布图

Fig. 3 The vertical distribution of underground water parameter in Tahe Oilfield

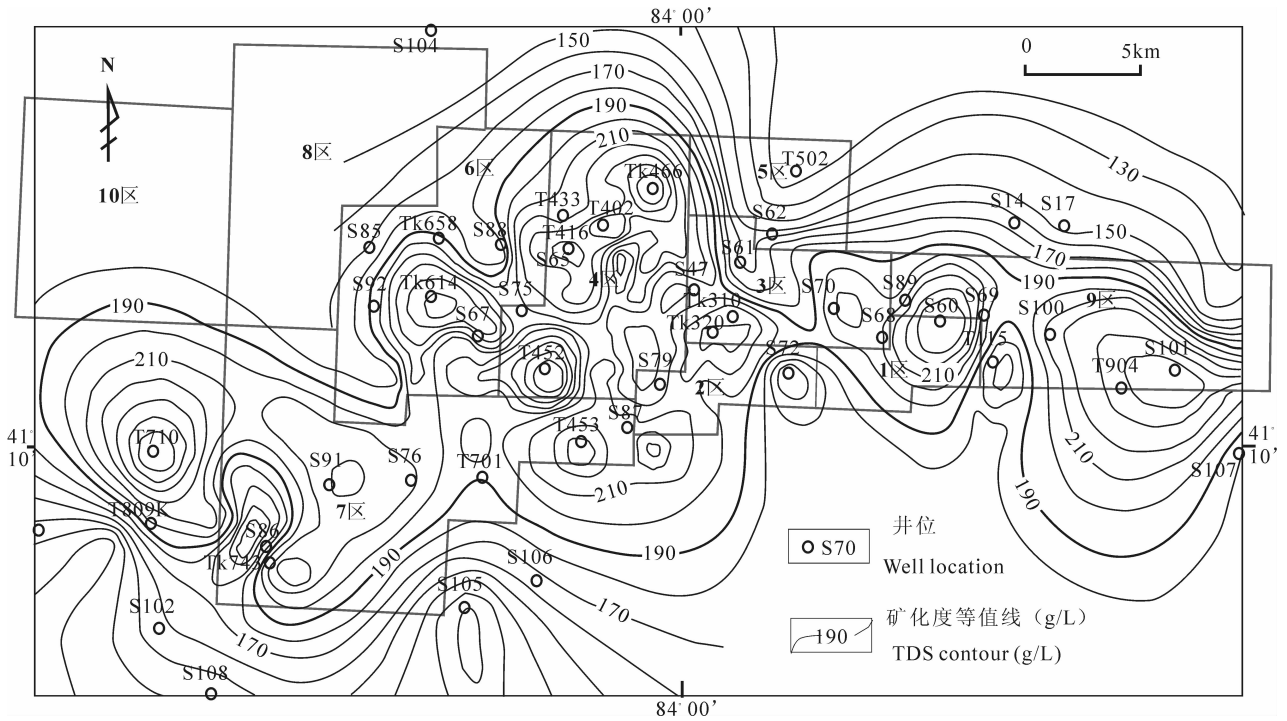


图 4 塔河油田水总矿化度分布图

Fig. 4 TDS distribution map in Tahe Oilfield

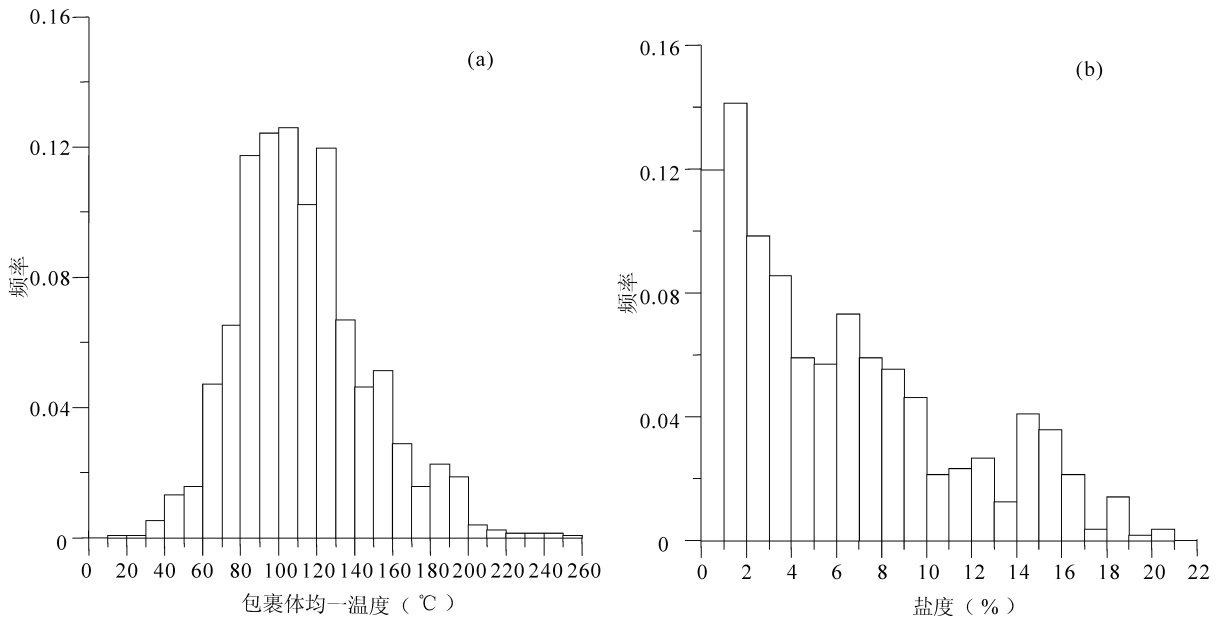


图 5 包裹体均一温度频率分布图(a)和包裹体盐度频率分布图(b)

Fig. 5 Homogeneous temperature (a) and salinity frequency distribution of aqueous inclusions in Tahe Oilfield (b)

成(马红强等, 2003), 也有人认为是近地表非均匀捕获的结果(李纯泉等, 2005a)。异常高温和低温包裹体在本次测试中数量较少, 都低于 2%, 扣除之后主体均一温度分布约有 4 期: 60~80℃, 90~105℃, 110~140℃ 和 145~170℃, 且主要集中在 80~140℃ 温度段, 这一温度段的样品在总样品中超过

58%, 其它温度段样品分布零散且丰度低, 据此推测 80~140℃ 可能代表了大规模流体活动时期的流体温度。包裹体冰点测试结果换算成盐度, 盐度分布广泛, 介于 0.18%~22% 之间, 大致可以划分出 0.5%~4%、5%~10%、10%~13%、14%~18%、>18% 5 个盐度段, 主要分布在两个低盐度段

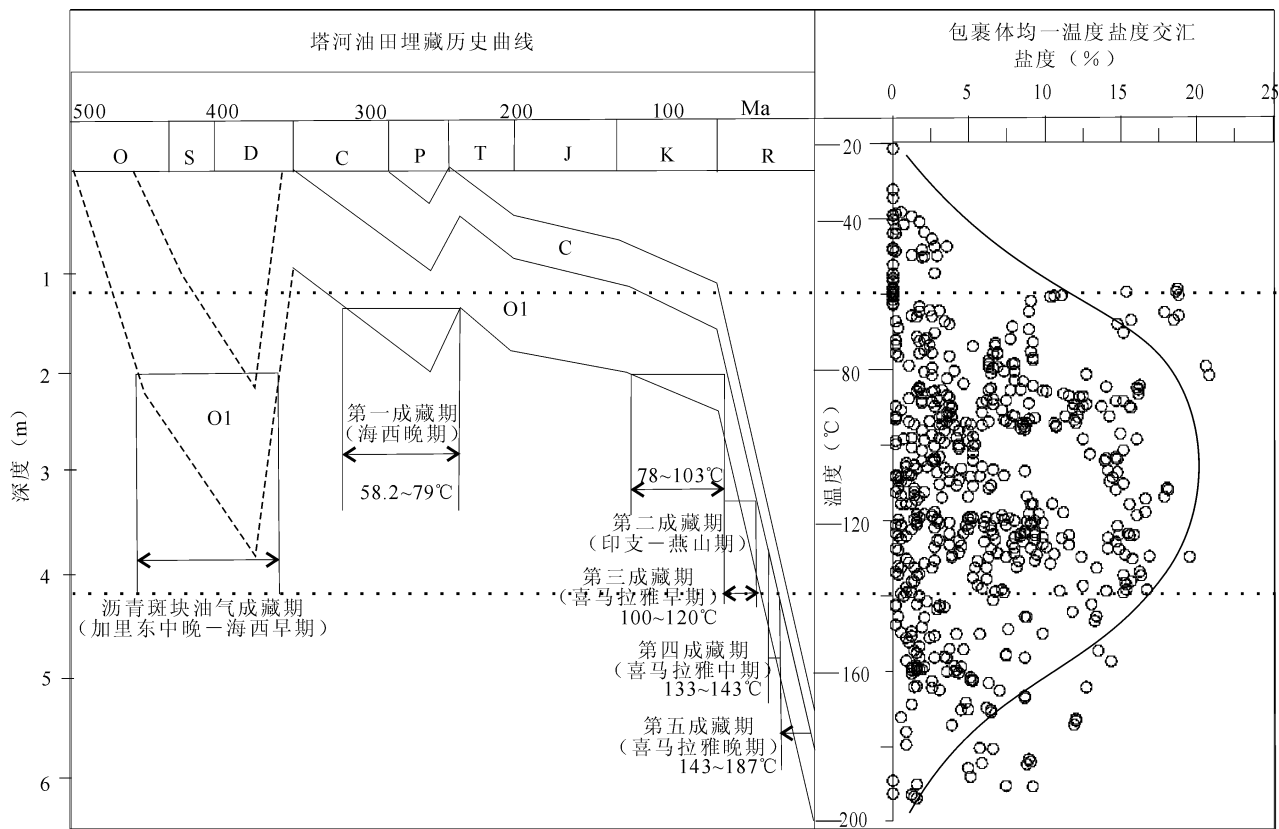


图6 埋藏史曲线与包裹体均一温度-盐度交汇对比图(埋藏曲线据叶德胜等,2000)

Fig. 6 Correlation between burial history and cross plot of homogeneous temperature and salinity of aqueous inclusions in Tahe Oilfield

0.5%~4%、5%~10%(图5b),分别约占总体样品的45%、25%。塔河油田水4个均一温度集中段和5个盐度集中段反映塔河流体经历了4~5期次的活动。

马红强等(2003),李纯泉等(2005b)曾对塔河奥陶系有机包裹体的均一温度测定后发现存在着4期的油气运移,油气包裹体均一温度分布在55~80°C、80~105°C、105~120°C、120~140°C。叶德胜等(2000)划分的油气成藏时期均一温度分布大致也与此相同,但认为高温段(143~187°C)反映了最晚一期的天然气的运移(图6)。油气大规模成藏时期(盐水包裹体均一温度70~140°C),高盐度盐水包裹体也大量出现,说明油气运移时期,伴随着高盐度流体的活动。盐水包裹体盐度变化反映出古流体盐度随埋深时间和深度变化而变化。古流体盐度早期低,中期高,晚期又降低。当塔河地区在喜马拉雅期后进入稳定沉降,油田水也进入保存和进一步矿化的过程,逐渐形成现在的高矿化度分布格局。

3.2 塔河油田水活动后期的保存条件

油田水的保存和封闭状况常常用油田水变质系

数、钙镁系数、钠氯系数、脱硫系数和碳酸盐平衡系数等几种环境指标来揭示反映地下流体保存条件的基本信息(杨绪充,1993)。这5种参数中保存条件越好,变质系数和钙镁系数越大,而后三种参数数值越小。以塔河现今油田水变质系数分布为例,变质系数在全区呈现分带性,从南向北为低-高-低的特点,油区内变质系数大,油区周缘及塔河8区、10区变质系数低,数值都在15以下,1~9油区内变质系数分布分隔性强,难以连片(图7);碳酸盐平衡系数的分布与变质系数分布相似,但趋势正好相反,从南到北系数变化服从高一低-高的特点,也表现为整体分带性和内部分隔性强的特点(图8)。其余指标如钙镁系数的分布与变质系数的分布相似,向油区方向变大,钠氯系数的分布与碳酸盐岩平衡系数相似,向油区方向系数变小,都说明现今油区内油田水具有良好的封闭性,且平面分隔性强烈,反映出井间非均质性强烈,储层整体连通性较差。

4 油田水活动方向

油田水的活动方向的研究有很多方法。单井内

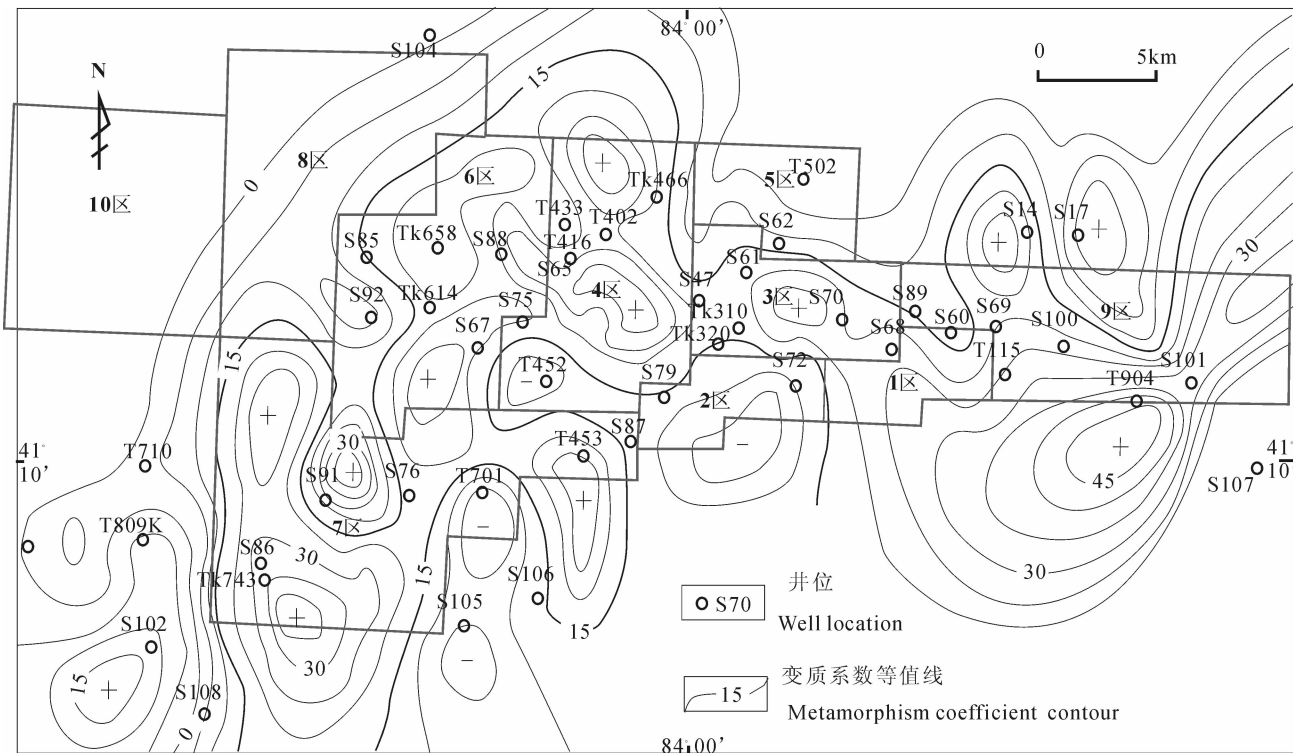


图 7 塔河油田水变质系数分布图

Fig. 7 Metamorphism coefficient distribution in Tahe Oilfield

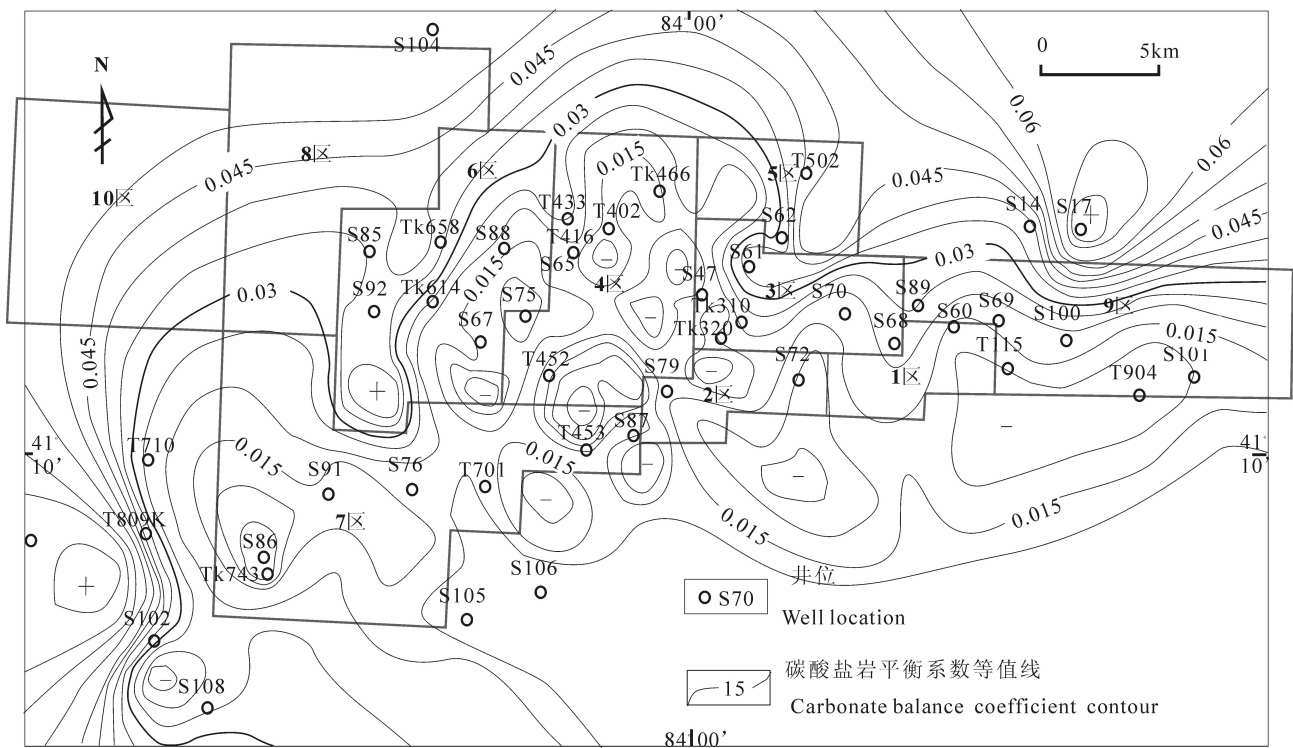


图 8 碳酸盐岩平衡系数分布图

Fig. 8 Carbonate balance coefficient distribution in Tahe Oilfield

油气包裹体均一温度和盐度对比可以确定流体纵向 活动方向。以塔河 6 区 S74 井为例,选取了 S74 井

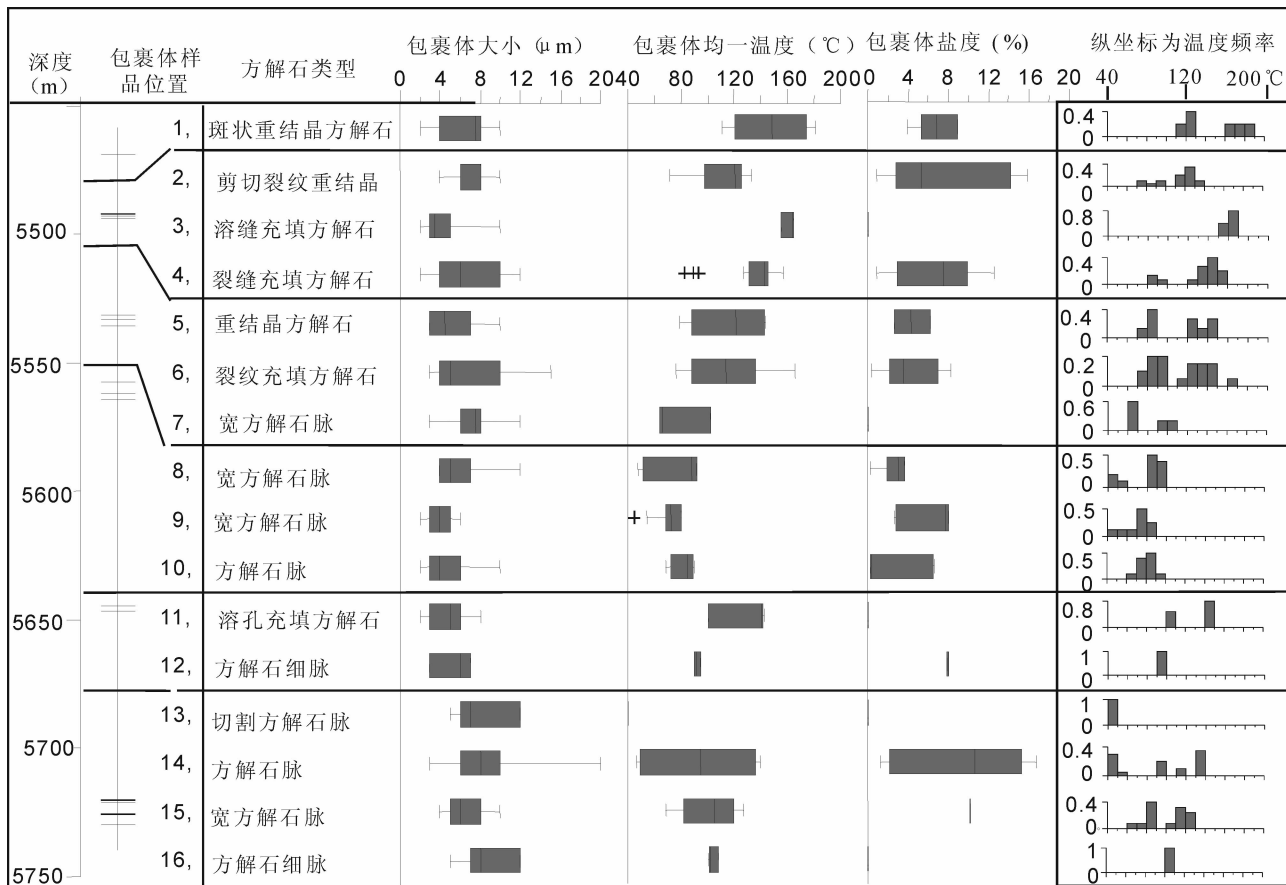


图9 S74井裂缝方解石中原生盐水包裹体分析结果

Fig. 9 The analysis result of primary salt aqueous inclusion in well S74

5450~5750 m 岩心段中的 16 块样品,对比样品裂缝方解石中原生盐水包裹体的大小、均一温度、盐度等指标发现,16 组数据中包裹体大小分布在 2~20 μm ,包裹体均一温度和盐度垂向各层段变化较大(图 9)。均一温度从深到浅呈 S 型变化,顶部高温段为 150~180 $^{\circ}\text{C}$,中间层段温度最低 40~60 $^{\circ}\text{C}$,而深部明显出现两个温度段的流体,低温度段 40~50 $^{\circ}\text{C}$,高温段分布在 90~140 $^{\circ}\text{C}$,温度介于上层和中间层之间。盐度分布上下段较高,中间段低。流体均一温度和盐度在不同层段出现不同的集中段,说明各层段间流体活动期次不同,盐度差异较大,上下层间流体在温度和盐度上的非连续性变化表明层间垂向运移的可能性不大,流体主要以侧向运移为主。具体的运移方向可以通过流体势的变化来推测。喜马拉雅期以来的稳定沉降过程导致塔河地区晚期流体势的变化不可能太大,利用现今流体势分布大致来反映塔河晚期成藏时期的油田水流体势是可行的。根据流体势计算公式,得到塔河奥陶系现今流体势分布趋势(图 10)。塔河油田流体势在整体上

表现为南高北低,东西高中间低的特点,油田水的高势区主要出现在塔河南部、东部和西部,在 4 区、6 区、7 区形成连续分布的北东向低势区,在 9 区、3 区、1 区、2 区等构成东西向的低势区。因而塔河地区油田水的活动方向呈现由南向北,东部由东向西和西部由西向东的运移趋势。油田水的活动方向可以为油气运移方向研究提供一定的参考,因而油田水水势的分布显示塔河东、南、西三面都可能是流体的高势区。

南部和东北部是塔河油田重要的烃源方向,这已在前人的研究中得到证实(顾忆,2006),西部哈拉哈塘地区也可能是塔河的烃源岩方向,这对烃源岩研究工作者来说是一个新的提示。

5 结论

通过对塔河油田奥陶系现今与古油田水样品的总矿化度、保存系数和盐水包裹体均一温度和盐度的分析对比,可以得出如下结论:

(1)塔河油田水现今总体矿化度高,为 CaCl_2 型

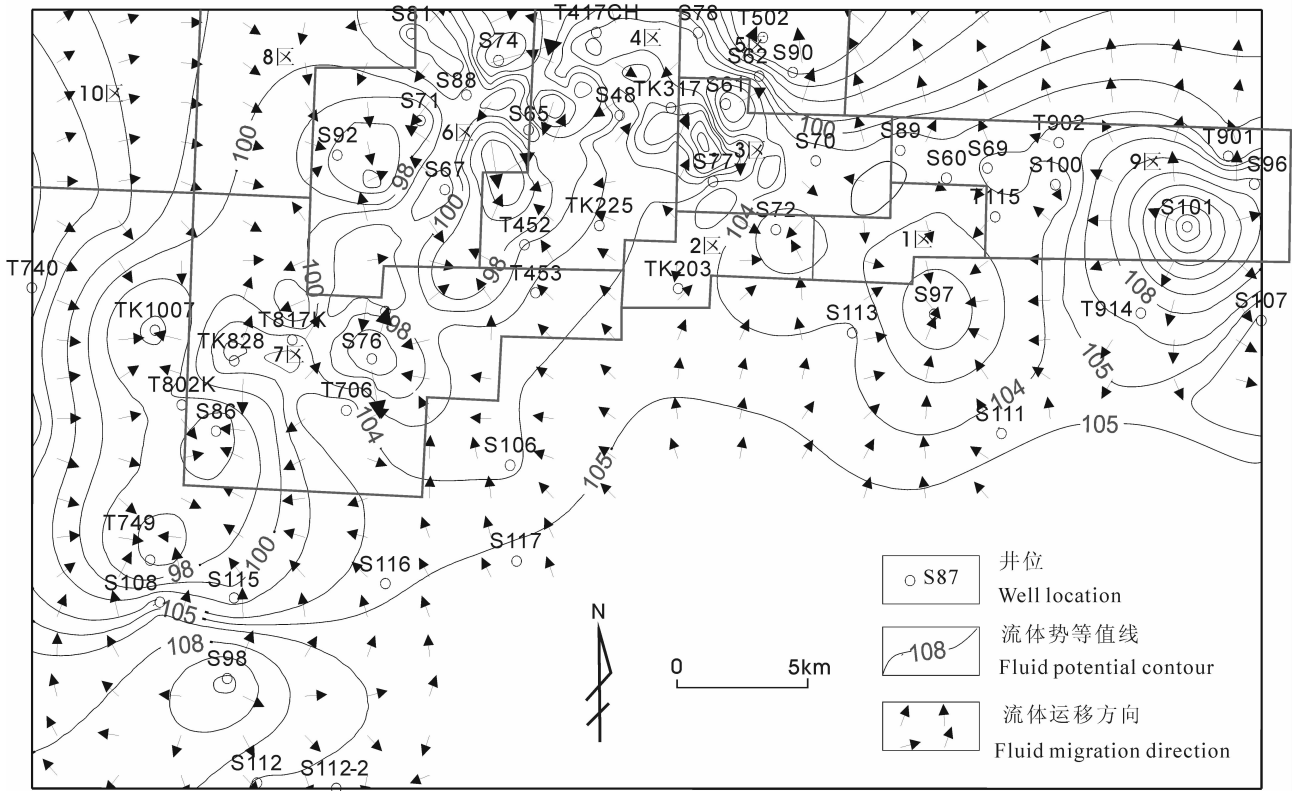


图 10 塔河油田奥陶系油田水流体势

Fig. 10 Fluid potential of Ordovician in Tahe Oilfield

水,在平面上和纵向上分布不均,总体表现出南北分带的特征,南北低、中间高,油区内分隔性显著。

(2)包裹体分析显示塔河具有 3~5 期油田水活动的迹象,油气运移与高盐度流体的出现具有较好的相关关系,流体活动晚期到现今具有较好的保存条件。

(3)古流体以侧向运移为主,喜马拉雅期以来的流体势分析显示,不仅东、南两个方向是塔河油田的供烃方向,塔河西面也可能为塔河油田提供了油源。

参 考 文 献

顾忆,黄继文,马红强. 2006. 塔河油区油气分布特点及其控制因素. 中国西部油气地质, 2(1): 19~25.
 李纯泉,陈红汉,陈汉林. 2005b. 塔河油田奥陶系热流体活动期次的流体包裹体证据. 浙江大学学报(理学版), 32(2): 231~236.

李纯泉,陈红汉,张希明等. 2005a. 塔河油田奥陶系储层流体包裹体研究. 石油学报, 26(1): 42~46.
 林忠民. 2002. 塔里木盆地塔河油田奥陶系大型油气藏形成条件. 地质论评, 48(4): 372~376.
 马红强,陈强路,陈红汉,等. 2003. 盐水包裹体在成岩作用研究中的应用——以塔河油田下奥陶统碳酸盐岩为例. 石油实验地质, 25(增刊): 601~606.
 钱一雄,蔡立国,顾忆. 2005a. 塔里木盆地塔河油田水离子组合及参数的平面分布与油气运移. 石油实验地质, 27(5): 751~757.
 钱一雄,蔡立国,顾忆. 2005b. 塔里木盆地塔河油区油田水元素组成与形成. 石油实验地质, 27(5): 502~507.
 杨绪充. 1993. 油气田水文地质学. 北京:石油大学出版社.
 叶德胜,王根长,林忠民,等. 2000. 塔里木盆地北部寒武—奥陶系碳酸盐岩特征及油气远景. 成都:四川大学出版社, 88~147.

Distribution and Kinetic Characteristics of Hydrothermal Fluid from Ordovician Oil Field in the Tahe Area

ZHANG Jinchuan¹⁾, TANG Xuan¹⁾, BIAN Ruikang¹⁾, YUN Lu²⁾,
WANG Min¹⁾, WANG Yanfang¹⁾, YANG Zhenheng¹⁾, LIU Lifang³⁾

1) *The School of Energy, China University of Geosciences, Beijing, 100083*

2) *The Institute of Exploration and Development, the Northwest Company, SINOPEC, Urumqi, 830011*

3) *the CNOOC Research Center, Beijing, 100027*

Abstract

Take Oilfield is one of the largest oilfields among the terrestrial carbonate reservoirs in China. The distribution and characteristics of hydrothermal fluid reflect the conditions and state of hydrocarbon migration and preservation. The present Ordovician Tahe Oilfield is highly mineralized and consists of three zones whose mineralization decreases gradually from south to north, and TDS is also distributed heterogeneously. The hydrothermal fluid in the Tahe Oilfield experienced multiphase activities. Inclusion study shows 4 to 5 kinds of inclusions found were trapped in the Ordovician reservoir with a wide range of homogeneous temperatures, namely 60~80°C, 90~105°C, 110~140°C and 145~170°C, and a wide range of salinity, 0.5%~4%, 5%~10%, 10%~13%, 14%~18%, >18%, correspondingly. Combined with depositing and migration history, high-salinity fluid activity has a good relation to oil migration. Vertical discontinuity of temperature and salinity may suggest a dominantly lateral migration. Analysis of the hydrothermal fluid potential shows hydrocarbon source was distributed around not only the south and east of the Tahe Oilfield but the west side with a high fluid potential.

Key words: Take Oilfield; oilfield water; hydrocarbon accumulation; homogenous temperature; paleo-salinity