

# 塔里木盆地北部油气田水文地质及 水文地球化学特征

张建林 陶一川 陈荣书

张忠先

(石油地质系, 武汉 430074)

(西北石油地质局, 乌鲁木齐 830011)

**摘 要** 以实测的流体资料为基础, 初步揭示了塔北地区油田水文地质和水文地球化学特征。塔北地区存在两股地下水流, 南部生油区为压实水流, 由南向北流动, 北部为重力水流, 由北向南流动。这两股水流交汇于雅克拉和轮南地区, 向上封闭式内泄。无论重力水流或压实水流, 皆为非海相成因、非浓缩成因溶滤水。表明: 油气藏的形成绝大部分是寒武—奥陶纪生油层二次成油的结果。

**关键词** 塔北, 地下水流, 泄水区, 油气聚集。

**中图法分类号** P618.130, P641.462, P641.3

**第一作者简介** 张建林, 男, 讲师, 1963年生, 1985年毕业于武汉地质学院矿床地质专业, 1988年毕业于中国地质大学研究生院, 获硕士学位, 现从事油气运移、盆地模拟及石油勘探数据库工作。

塔里木盆地经历了古生代海相地层及中生代陆相地层发育时期。在研究区内, 寒武—奥陶系主要是浅海台地相碳酸盐岩沉积夹泥页岩。奥陶纪末的加里东运动使本区遭受广泛的剥蚀。之后发育了志留—泥盆纪海退环境下浅海台地相的砂岩、泥岩夹泥灰岩。石炭系是区内第二次广泛海侵下的堆积, 下石炭统为滨海相灰岩、砂岩、泥质岩夹膏盐岩, 上石炭统为碳酸盐岩; 下二叠统为陆相杂色砂泥岩互层, 上二叠统缺失。海西末期的构造运动结束了塔里木盆地海相地台发育阶段, 拉开了陆盆发育的序幕。下三叠统为一套洪积—河流相的砾岩、砂砾岩、砂岩夹泥质岩, 上三叠统为湖沼相及河流相的泥质岩、砂岩夹煤, 其角度不整合于石炭—二叠系之上。下侏罗统为湖沼相及河流相的砂岩、泥页岩夹煤, 中上侏罗统为河湖相砂岩、泥岩。下白垩统为洪积—河流相的棕褐色砂砾岩, 局部为砂质泥岩, 上白垩统为河流相棕红色砂岩, 砂砾岩夹泥质岩。下第三系为浅湖—河流相砂岩、泥岩、含膏盐, 上第

三系覆盖于所有地层之上, 厚度巨大, 一般为4000m左右, 最大可达12000m, 为一套河流—浅湖相砂泥岩沉积夹膏盐。

经地化资料证实, 本区主要油源层是寒武—奥陶系海相碳酸盐岩, 在震旦、寒武、奥陶、石炭—二叠、三叠、侏罗、白垩及第三系8个层位中发现了油气藏, 主要油气藏集中于雅克拉、轮南及达里亚地区。

## 1 塔北地区地面及浅层水文地质

塔北地区地形呈北高南低、西高东低, 自西北向东南倾斜, 西北部 and 北部是天山山系, 南侧至塔里木河流域分布着广阔的山前平原, 海拔1000m左右, 自西向东分布有阿克苏河、渭干河、库车河、迪那河等, 仅阿克苏河直接进入塔里木河, 其他终止于山前平原(图1)。

盆地地下径流, 沿着水面坡度方向从冲积扇顶部向其外缘流动, 亦即从山麓向着盆地内部方向最后汇集于盆地中心。潜水的汇集中心与地表水是一

1994年12月22日收稿。

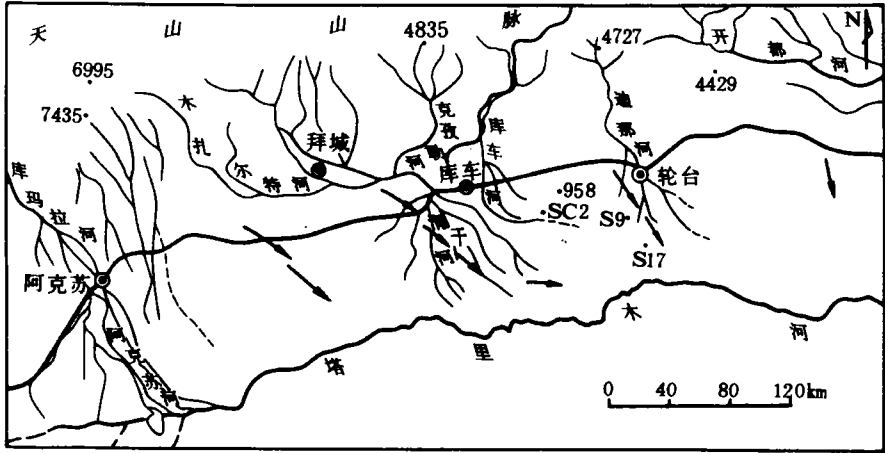


图 1 塔北地区地面及潜水水流态势图  
Fig.1 Surface and phreatic flow in the Northern Tarim basin  
箭头表示潜水运动方向(据文献[1]修改)

致的,塔里木盆地是以罗布泊—台特玛湖为中心的湖泊洼地.塔北地区地下径流总方向由西北向东南、由西向东,最后汇聚于罗布泊—台特玛湖盆洼地<sup>[1]</sup>(图 1).

盆地潜水化学特征变化较大.冲积扇中矿化度较小,而冲积扇间洼地矿化度较大,一般为 10 ~ 50 g/L,轮台库车地区,最小矿化度为 0.34 g/L,最大为 89 g/L.矿化度大小取决于补给水源的水化学性质、蒸发作用及岩层的岩性<sup>[1]</sup>.

2 古生界地层水形成条件

工区内主要地层是震旦—寒武—奥陶系碳酸盐岩,志留—石炭系仅存在于工区南端,向北呈楔形体尖灭.前者在盆地边部即天山广泛出露于地表,柯坪剖面可见裂缝发育良好的寒武—奥陶系大面积出露于地表.在盆地内,它为中生代地层所覆盖,埋深最大的位于库车坳陷的新生代沉积中心,近 1 万米,工区内一般埋深 5 000 多米.大气降水在天山裸露区入渗补给此套地层形成重力水流系统.

2.1 古生界地层的水动力水化学特征

古生界地层在盆地内外埋藏条件的差别,自然构成了西北部裸露的半封闭形水文地质构造系统.天山成为这套地层幅员广大的补给源,天山与盆地近 4 000 m 高差构成了强大的重力水流系统

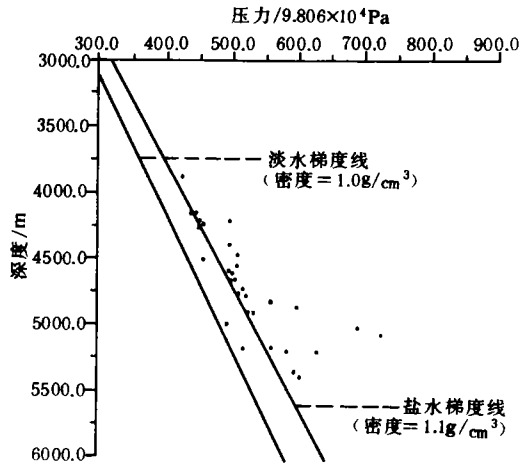


图 2 塔北地区南部压力与深度关系图  
Fig.2 Plot of the pressure and depth of the formation in the south part of Northern Tarim

(图 1),大气降水进入地层向盆地内部运移.另外,南部阿—满坳陷在沉积埋藏过程中由于石炭—二叠系膏盐的存在,形成一个较好的封闭系统,阻滞水的运移,并且古生界地层有大量油气生成,形成了异常高压(图 2).这股压实水流由高压中心向四周形成强大的势梯度,在研究区是由南向北运移.根据钻井实测压力资料,我们作出了古生界地层水的等势面图(图 3).可以看出,在北部,地层水由北往南运移,在南部,由南往北运移,在沙参 2 井和沙 9 井一带,两股水交汇,而且南部水流势梯度大于北部.

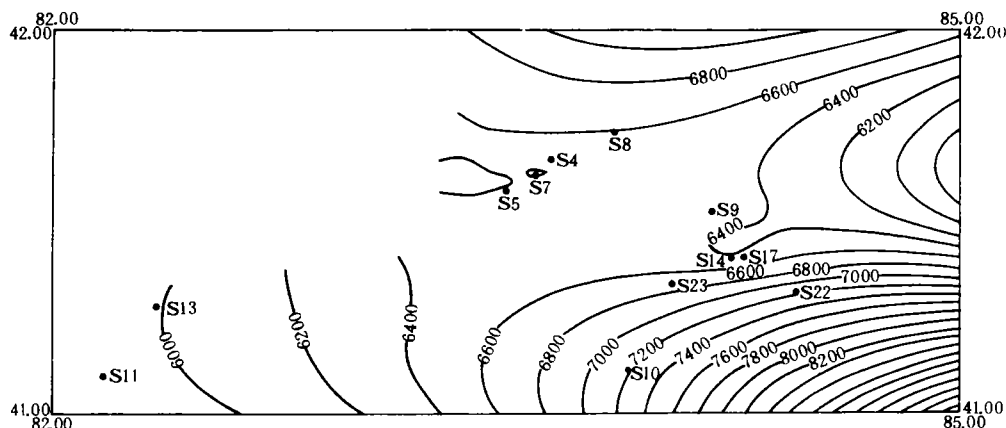


图3 塔北地区古生界地层流体等势线图

Fig.3 Equipotential surface for Paleozoic formation water in the Northern Tarim basin

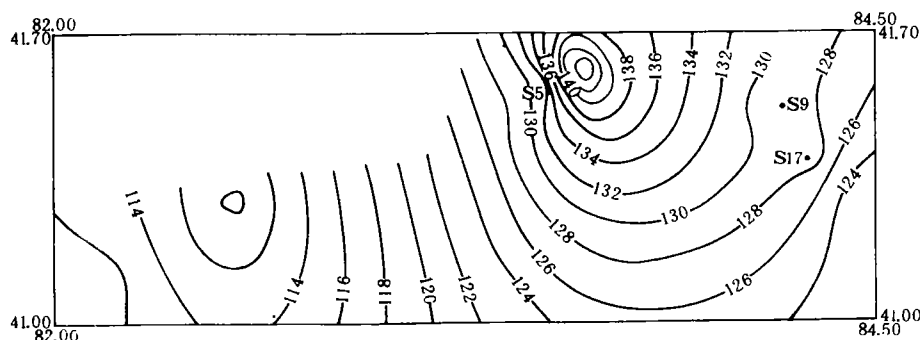


图4 塔北地区古生界地层 5500 m 地温等值线图(单位℃)

Fig.4 Isothermal surface for the Paleozoic formation at 5500 m in the Northern Tarim basin

地层水  $\text{Cl}^-/\text{Br}^-$  平均在 1000 以上,  $r_{\text{Na}^+}/r_{\text{Cl}^-}$  小于 0.87, 表明地层水已不是原生海相沉积水。因为国内外大量实验表明, 海水浓度达到 360 g/L 之前, 即氯化钠发生沉积前, 这两对离子比值是恒定的, 其值依次为 298 和 0.87<sup>[2]</sup>。尤其重要的是, 沙参 2 井奥陶系灰岩中地层水的  $\delta\text{D} = -47.4\text{‰}$ , 与库车河地面水的  $\delta\text{D}(-50.5\text{‰})$  极为相近, 反映了地层水是典型渗入起源的溶滤水。

## 2.2 古生界地层地温场

古生界地层地温梯度偏低, 平均为  $2.2^\circ\text{C}/100\text{m}$ 。根据这个值及实测的不同深度的地温资料, 换算成 5500 m 地温, 我们画出了有井区地温等值线图(图 4)。可以看出, 南部地温低, 北部地温高, 沙参 2 井附近地温达到最大, 反映了由南往北水流汇集的特点。

## 3 三叠—侏罗系地层水形成条件

晚期海西构造运动致使海水全部退出本区, 天山崛起, 进入前陆盆地发展阶段。本区总体呈现为一隆两拗的构造格局, 北侧为库车拗陷, 南侧为阿满拗陷, 中部为沙雅隆起。

### 3.1 三叠—侏罗系地层水动力、水化学特点

三叠—侏罗系地层在盆地北部边界天山南麓广泛出露, 库车河剖面见三叠系不整合于古生代地层之上, 与古生代地层相同, 天山构成了重力水流系统的补给源, 天水入渗进入地层向南部运移。根据实测钻井压力资料, 我们作出了三叠—侏罗系地层水等势线图, 可以看出, 在工区范围内, 地层水由南往北运移, 高压源仍然在南部(图 2), 因而这股水

流是压实水流,它与重力水流的交汇锋面位于工区以北更远地区.这套地层水化学资料比较零散,南部地区矿化度较高,加沙18井为216 g/L,沙9井为204 g/L.而北部地区稍低,如沙5井为136 g/L,沙7井为118 g/L.反映了南部地区受到压实水流的影响,北部地区受到重力水流的影响.水的 $\delta D$ 值为 $-45\%$ ,与库车河( $-50\%$ )近似,反映整个地下水是典型溶滤热水成因.

### 3.2 三叠系地层地温场

三叠系地层地温以雅克拉断凸最高,约 $3\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ,阿克库勒凸起约 $2.2\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ,沙西最低,为 $1.9\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ .根据实测井点资料,作出了地温等值线图.可以看出,地温由南向北逐渐增高.这也同样反映了水流由南向北运动的特点.

## 4 下白垩统卡普沙良群及上白垩统一下第三系地层地下水形成条件

下白垩统卡普沙良群早期受燕山运动影响,一隆两拗的沉积格局消失,整个塔北地区开始了统一的、整体向南抬升的前陆盆地发展阶段.

### 4.1 下白垩统卡普沙良群地层水流及地温特点

下白垩统卡普沙良群在天山广泛出露,自然构成了强大的重力水流系统,大气降水渗入地层由北向南运移,根据实测压力资料,我们作出了下白垩统卡普沙良群单元的等势线图(图5).可以看出在工区范围内,存在有两股水流,南部是由南向北,北部是由北向南.一个明显的特点是南部压实水流的

高压源强度明显减小,势梯度趋缓,而北部重力水流势梯度增大,水流速度增大,反映重力水流往上有逐渐替代压实水流的趋势.这两股水流仍然在沙参2井、沙9井一带汇集.下白垩统卡普沙良群地层水化学性质变化较大,沙9井4266m的矿化度为130 g/L,在4781m却达到204 g/L.沙8井5279m及5305m两点,矿化度近60 g/L,稍浅的5127m处却高达190 g/L,沙参2井为110 g/L.如此剧烈变化的水化学性质,只能由两股不同水流的汇集来解释,交汇锋面变化导致矿化度的剧烈变化.库车区轮台北面60 km的依奇里克构造上,钻井揭露了白垩系和侏罗系中的高压自流水,水含盐量较高, $\text{Cl}^-$ 含量达 $8.7\sim 10.8\text{ g/L}^{[1]}$ .这进一步解释了北部重力水流是客观存在的.下白垩统卡普沙良群仍以沙参2井地温梯度最高,达 $3.2\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ,其他区约 $2.4\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ .根据实测资料,作出了下白垩统卡普沙良群等温线图,地温由南向北增高,反映水流在南部由南向北运移的特点.

### 4.2 上白垩统一下第三系水流特点

这套地层缺乏资料,从零星的资料点分析,上白垩统一下第三系与下白垩统卡普沙良群水文地质单元水流样式类似.沙3井,上白垩统一下第三系势为6557m,沙9井为6413m,但沙14井增高为6427m,沙9井这一带似乎为汇集区.下第三系压力资料几乎为空白,零星水化学资料显示整个塔北地区水流由北向南运动特点.沙5井下第三系土迪克组矿化度为257 g/L, $r_{\text{Na}^+}/r_{\text{Cl}^-}$ 为0.94,西南沙13井矿化度为275 g/L, $r_{\text{Na}^+}/r_{\text{Cl}^-}$ 为0.91.

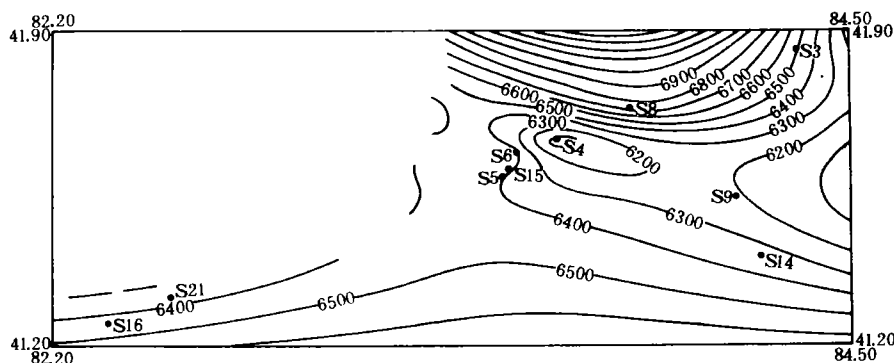


图5 塔北地区下白垩统卡普沙良群地层流体等势线图

Fig.5 Equipotential surface of Kapusaliang formation water of Lower Cretaceous in the Northern Tarim basin

## 5 塔北地区油田水成因

运用苏林分类方法对油田水进行了分类,几乎所有油田水皆有  $\text{CaCl}_2$  型,反映该区较为良好的油气保存条件。

### 5.1 油田水的同位素特点

国内外研究表明,利用地下水的氢氧同位素组成阐述地下水的起源、形成机制是有效的。图6表明,  $\delta\text{D}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值几乎位于同一条水平线上 ( $\delta\text{D} = 0.4414\delta^{18}\text{O} - 46.8623$ ), 此线与标准雨水线的交点则是实测库车河地面水的位置。 $\delta\text{D}$  最大值为  $-43.5\text{‰}$ , 最小值为  $-55.9\text{‰}$ 。 $\delta^{18}\text{O}$  最大值为  $3.33\text{‰}$ , 最小值为  $-8.84\text{‰}$ 。这是典型的非海相成因、非浓缩成因的溶滤成因热水。氧同位素的差异是由于地层水埋深及所处温度不同导致的同位素分馏效应差异所致。样品取自不同的层位,从奥陶系到三叠系、白垩系,埋深相差几千米,而  $\delta\text{D}$  如此相近,特别是与地面水相近,这意味着地下水具有统一的成因,即大气水入渗进入地层形成的溶滤水。

### 5.2 油田水化学成分形成

我们以汪蕴璞于1987年<sup>[2]</sup>所作的白洋淀水室内蒸发浓缩实验曲线图作标准,用这套曲线图与油田水进行比较,用以了解油田水在演变过程中是否为浓缩成因。比较发现,  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$  均偏离正常蒸发浓缩曲线,特别是  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$  几乎与矿化度无关,表明这些离子是非浓缩成因的。

### 5.3 油田水化学纵向分布特点

根据页岩渗滤的半透膜原理,阴离子中最容易通过的是  $\text{Cl}^-$ , 最难通过的是  $\text{HCO}_3^-$ <sup>[3]</sup>。为此我们还作出  $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$  比值与深度关系图(7)。其浅部比值大,深部比值小,反映了流体向上运动的特点。 $\text{HCO}_3^-$  下部含量高是否与下部碳酸盐地层存在有关?为此,作出了  $\text{Ca}^{2+}$  与  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  与  $\text{HCO}_3^-$  及  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  与  $\text{HCO}_3^-$  关系图,显示  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  含量与  $\text{HCO}_3^-$  含量之间不存在任何相关关系。换言之,  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  绝大部分不是由碳酸盐的溶解而形成的,是其他溶解成因的;这说明  $\text{HCO}_3^-$  大部分也不是碳酸盐溶解的,否则  $\text{Ca}^{2+}$  与  $\text{HCO}_3^-$  应具备良好的线性关系。

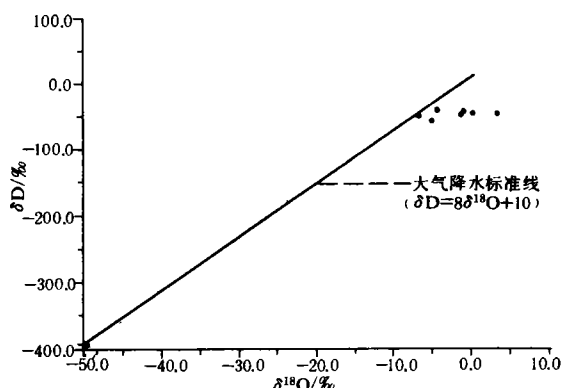


图6 塔北地层地层水  $\delta\text{D}$  与  $\delta^{18}\text{O}$  关系图

Fig. 6 Plot of  $\delta\text{D}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  of formation water in the Northern Tarim basin

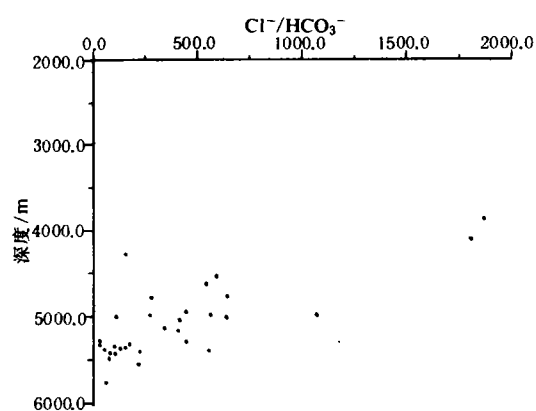


图7 塔北油田水  $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$  比值与深度关系

Fig. 7 Plot of  $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$  of oilfield water against depth in Northern Tarim basin

## 6 结论

(1)塔北地区存在两股水流。一股来自南部生油区的压实水流,向北运移,另一股来自北部天山的重力水流,向南运移。它们在雅克拉-阿克库勒附近交汇,向上排泄(图8)。水流交汇锋面位置随着地层、岩相、岩性条件变化,空间上呈犬牙交错,造成了错综复杂的水化学格局。水流在这一带相聚,造成了极为良好的油气运移聚集的指向位置,即水力圈闭区。上覆第三系巨厚盖层使之形成封闭式内泄,提供了良好油气保存条件。这两个条件的有利配合,使这一带成为塔北地区油气主要产区。

(2) 无论压实水流或重力水流系统, 地层水皆

为非海相成因、非浓缩成因的溶滤水, 表明该区寒武-奥陶系生油层的喜山期二次生油是最主要的成油期。

本文成文过程中得到沈继芳、张人权、王焰新等教授的帮助, 在此致谢。

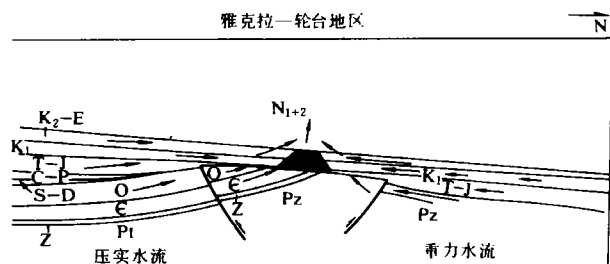


图 8 塔北地区水流系统与油气聚集关系示意剖面

Fig. 8 Schematic cross section showing the relationship between groundwater flow systems and hydrocarbon accumulations in the Northern Tarim basin

### 参 考 文 献

- 1 中科院综合科学考察队. 新疆地下水. 北京: 科学出版社, 1965. 50 ~ 53, 71 ~ 72
- 2 地矿部水文地质研究所等. 油田古水文地质及水文地球化学. 北京: 科学出版社, 1987. 151 ~ 153, 173 ~ 177
- 3 Brain Hitchcock. Hydrogeology, geopressure and hydrocarbon occurrence, Beaufort-Mackenzie Basin. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 1990, 38: 215 ~ 235

## HYDROGEOLOGY AND HYDROGEOCHEMISTRY OF OILFIELDS IN NORTHERN TARIM BASIN

Zhang Jianlin Tao Yichuan Chen Rongshu

(Department of Petroleum Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074)

Zhang Zhongxian

(Northwest Bureau of Petroleum Geology, Urumqi 830011)

**Abstract** Based on the measurements made for the pore fluid, a preliminary approach is carried out to the hydrogeology and hydrogeochemistry of oilfields in the Northern Tarim basin. There exist two flow systems, the gravity-driven flow system directed from south to north in the south where oil is generated and the compaction-driven flow system directed from north to south. These two flow systems converge in Yakela-Lunnan area and discharge upwards closely. All waters, whether they belong to the gravity-driven flow system or compaction-driven flow system, are formed by dissolution instead of concentration or marine origin. This indicates an overwhelming majority of hydrocarbon pools resulted from the second-crop of the Cambrian-Ordovician source formations.

**Key words** Northern Tarim, groundwater flow, discharge area, hydrocarbon accumulation.