塔河油田奥陶系油田水特征离子及意义

刘建伟, 张哨楠
(成都理工大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都 610059)

摘 要: 塔河油田奥陶系油田水的可溶物质主要成分与海水一致, 表明其主要为海相成因。油田水中不同的离子组成、浓度及离子参数指示特定的地质意义: 塔河 7 号区块与其他区块处于不同的水文系统; 塔河油田奥陶系碳酸盐岩层中存在着大量的粘土矿物和胶结物, 造成溶液具有相对高钙和低钠现象; 钠氯系数、碳酸盐平衡系数、脱硫系数等在井间分布具有一定的规律性, 总体上从南东向北西方向变化, 反映了油气从满加尔坳陷向塔北地区运移的趋势。

关键词: 油田水; 特征离子; 地质意义; 奥陶系; 塔河油田
中图分类号: P592; P618.13 文献标识码: A 文章编号: 1001-1412(2005)01-0040-07

油田水是指在储集层中与油气伴生的地下水, 是烃类运移、聚集、形成油气藏的动力和载体[1]。它和油气之间存在着经常性的物质成分交换, 而且, 油田水化学成分及含量的变化与地层的成因、储集性能和油气性质密切相关[2]。塔河油田经过长期的油气勘探, 积累了丰富的油田水资料。在该区, 奥陶系是油田水的主要产层。不同油田的油田水特征差异明显, 利用这些区别, 可以解决一些地质疑点。

1 油田水成分

塔河油田奥陶系油田水以 $CaCl_2$ 水型为主, 偶见 Na_2SO_4 水型, 矿化度约为 200×10^3 mg/L。由表 1 可以看出, 塔河油田 2~6 号区块油田水总矿化度以及其他主要离子参数较为接近, 而与 7 号油田水有较大的差异。7 号区块油田水中总矿化度、氯离子质量浓度、钠+钾离子质量浓度、钙离子及镁离子质量浓度均远小于其他区块的油田水, 而硫酸根与重碳酸根质量浓度则相反。因此, 塔河 7 号与其他油田可能处于不同的水文系统。

另外, 塔河油田奥陶系油田水离子组成及含量与现代海水具有较好的可比性(表 2), 因此, 它们可能源自同一海相成因的地表水。

表 1 塔河油田不同区块奥陶系油田水主要离子质量浓度

Table 1 Average value of major ionic contents of Ordovician oilfield water in different areas of the Tahe oil field

ρ_B/mg·L^{-1}

区 块	总矿化度	Cl^-	$Na^+ + K^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Br^-	I^-
塔河 2 号	235828.4	197484.1	61385.4	25987.1	872.6	516.8	517.1	74.5	5.72
塔河 3 号	203628.4	124755.6	46981.8	27590.3	1558.3	806.2	965.2	139.3	7.57
塔河 4 号	208322.2	127754.9	53859.6	22053.9	1767.7	579.3	673	161.2	7.65
塔河 5 号	188114.2	111002.3	55336.2	14770.2	1467.2	532.3	368	170.6	11.7
塔河 6 号	197555.1	124616.3	41901.23	28496.1	3243.3	512.6	762.1	81.01	7.48
塔河 7 号	123362.2	75431.5	26275.1	15521.1	1598.9	1127	1242.2	35	4.9

收稿日期: 2004-03-22; 修订日期: 2004-07-16
基金项目: 文章为科技项目《塔河地区西南部古生界碎屑岩地层圈闭及成藏模式》(编号 XBJKT 2003-04) 部分研究成果。
作者简介: 刘建伟(1979-), 男, 河北省任丘人, 硕士研究生, 从事地球化学研究工作。

表 2　塔河油田奥陶系油田水与现代海水离子质量浓度对比

Table 2　Comparison of ion concentration between Ordovician oilfield water in Tahe oil field and the sea water

ρ_B/mg·L^{-1}

类　　型	Cl^-	SO_2^{2-}	HCO_3^-	$Na^+ + K^+$	Mg^{2+}	Ca^{2+}
现代海水	55.04	7.68	0.41	30.62	3.69	1.15
油田水	61.29	0.0216	0.084	33.3	0.53	4.78
河水	2.8	11.2	58.5	15	4.1	6.3

2　特征离子

2.1　Cl^-

在油田水中,Cl^- 通常是主要的阴离子。塔河油田奥陶系油田水总矿化度-氯离子散点图(图 1)显示,油田水总矿化度与氯离子之间存在着很强的正比关系,相关系数可达 0.6083。这说明该区油田水是蒸发浓缩的产物[3]。

2.2　Na^+, Ca^{2+}

塔河油田奥陶系油田水在总矿化度为 160 000—270 000 mg/L 的区间明显具有富钙和贫钠的现象,在其他矿化度范围则呈现出很好线性关系;而且,钙离子与钠离子具有明显的负相关性(图 2)。出现这种情况的原因是由于在水溶液中,质量浓度大的离子更容易被岩石颗粒所吸附,如钠离子质量浓度相当大时,则吸附综合体中的一部分钙离子也会被吸附能力小的钠离子所交替[4]。其关系式为:

$2NaCl$(水中) + Ca^{2+} (吸附) ⇔$CaCl_2$(水中) + $2Na^{2+}$ (吸附)

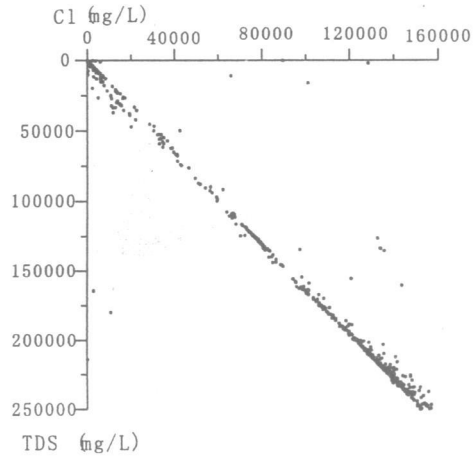

图 1　塔河油田奥陶系油田水矿化度与氯离子关系

Fig. 1　Cl^- vs TDS plot of Ordovician oil water of Tahe oil field

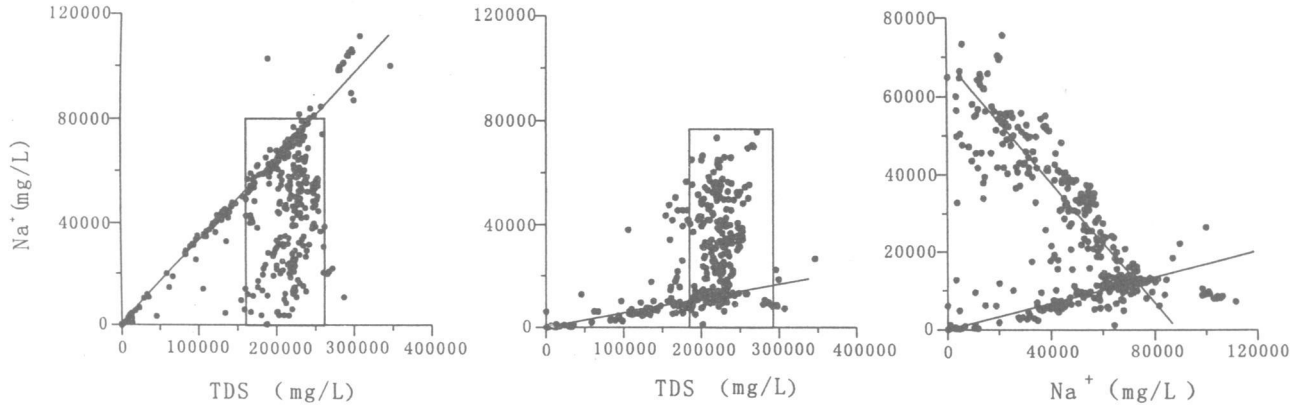

图 2　塔河油田奥陶系钠离子-总矿化度,钙离子-总矿化度,钠-钙离子关系图

Fig. 2　Na^+ vs TDS, Ca^+ vs TDS and Na^+ plot of Ordovician oil water in Tahe oil field

另外,出现这种阳离子交替吸附作用的首要条件必须是岩石具有一定的吸附阳离子的能力[4]。塔河油田奥陶系碳酸盐岩层中存在着大量的粘土矿物和胶结物,满足了所需的条件。由此,可看出在碳酸盐岩储层中存在着钠钙离子交换,而使得溶液具有相对高钙和低钠现象。

2.3 HCO_3^-、SO_4^{2-}、CO_3^{2-}

塔河油田奥陶系中硫酸根和重碳酸根的质量浓度值都较低,大部分均小于 2 000 mg/L(图 3)。奥陶系产气层中多见硫化氢气体,因此硫酸根离子发生了还原反应而与水结合形成硫化氢,因而减少了硫酸根的质量分数。重碳酸根则为 CO_2 气体溶解而形成,因具有高钙而使得该产层油田水中碳酸根几乎全部为零。塔河油田奥陶系油田水的 pH 值为 5 ~ 6.5,偏酸性。在这个酸度条件下,有利于 HCO_3^- 的存在。

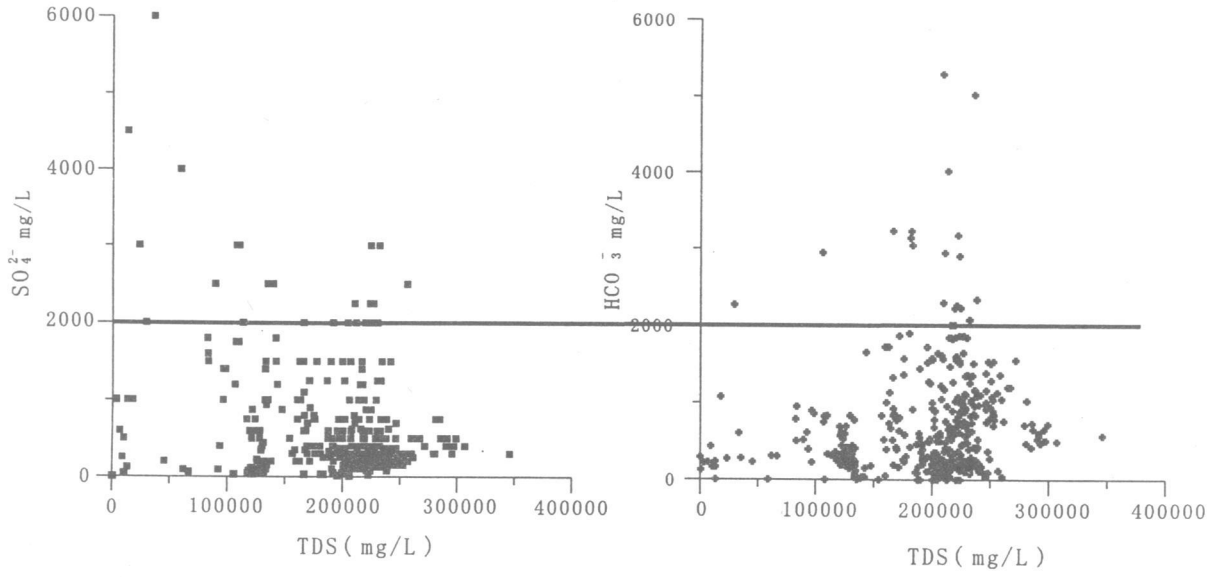

图 3 塔河油田奥陶系硫酸根、重碳酸根离子-总矿化度关系图

Fig. 3 SO_4^{2-}, HCO_3^- vs TDS plot of Ordovician oil water in Tahe oil field

2.4 Br^-, I^-

地层水中溴的富集与否与原始沉积环境有关,海相地层水溴的质量浓度高于陆相地层水,因此溴的质量浓度可作为区别海相与陆相沉积封存水的一个重要指标。同时,溴的质量浓度随地层变老、蒸发浓缩作用的增强而具有增大的趋势,所以溴的质量浓度受沉积环境和蒸发浓缩程度控制[5]。塔河油田奥陶系地层水中溴的质量浓度很高,平均为 147.67 mg/L,可作为海相地层水的一个特征。

由于淡水和海水中的 I^- 质量浓度都很低,因此,作为油田水中的特征离子的 I^- 被认为主要来源于海藻和其他海相有机物(Fisher 和 Boles, 1990)。地层水中 I^- 的高低反映了该地层中古代海水中海藻和其他海相有机物的丰度[2]。对塔河奥陶系油田水来说,由于油气运移的路径不同,I^- 含量相差较大。塔河

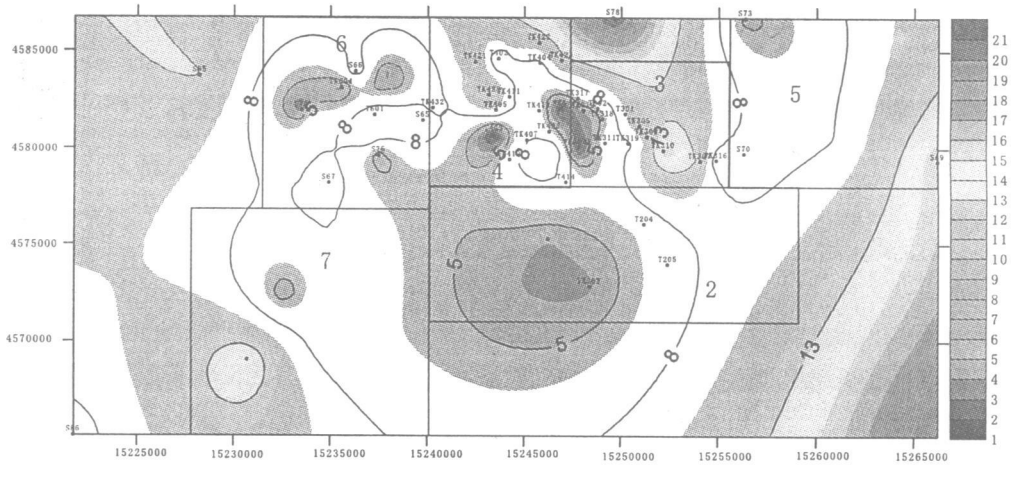

图 4 塔河油田奥陶系碘离子浓度平面分布图

Fig. 4 I^- Ion concentration distributing ichnography of Ordovician oil field water in Tahe oil field

奥陶系油田水中 ρ(I⁻) = 4~ 16 mg/L, 平均为8.24 mg/L。碘离子浓度变化从东南向北西方向递减, 指向塔河 2 号油田, 而北部则从 S78 井处向南东方向指向 Tk310 井处递减, 向南西方向穿过塔河 4 号油田北部指向塔河 6 号油田东南部(图 4)。

3　塔河油田奥陶系油田水研究参数及意义

水和烃类两者在地壳中是普遍存在的, 且与大多数物理、化学反应有关系。其不但对烃的母质影响很深, 而且也影响烃类的产生、运移、聚集和变质。因此, 在油田水化学研究中, 对这些化学成分的研究是十分重要的。研究中常用到的研究参数有钠氯系数(rNa / rCl)、脱硫系数(100 × rSO_4/rCl)、碳酸盐平衡常数($rHCO_3$ + rCO_3/rCa)、钙镁系数(rCa / rMg)和钠钙系数(rNa / rCa)等[6]。研究这些系数的变化对研究油气的生成、运聚有很大的帮助。

3.1　总矿化度特征

塔河油田奥陶系水样平均矿化度为 185.4×10^3 mg/L, 远高于海水的盐度 35×10^3 mg/L, 为卤水级。塔河油田奥陶系地层水的总矿化度从 20 000 ~ 240 000 mg/L, 变化范围很大, 然而在区域上变化则很小, 矿化度低于 160 000 mg/L 的集中于 T302、Tk304X 和 T403 等井附近, 其他地区均在160 000~ 230 000 mg/L 之间, 矿化程度普遍较高(图 5)。具体表现为塔河 2 号、塔河 6 号、塔河 4 号(除 T403 井外)的矿化度, 明显高于其他区块, 且呈现从塔河 2 号油田向北西方向和塔河 7 号油田向北东方向逐渐过渡的现象(图 5)。

3.2　钠氯系数特征

奥陶系地层水中(rCl- rNa) / rMg ≫1, 因此属苏林分类中 $CaCl_2$水型, rNa/rCl= 0.1~ 1.25, 平均值为 0.457(图 6 和图 7)。在塔河油田北部钠氯系数值主要集中于 0.5~ 0.85 和小于 0.5, 形成两个不同的区域。这与矿化度平面分布具有一定的相关性, 在矿化度最低的区域也是 rNa/rCl 系数最高的区域。

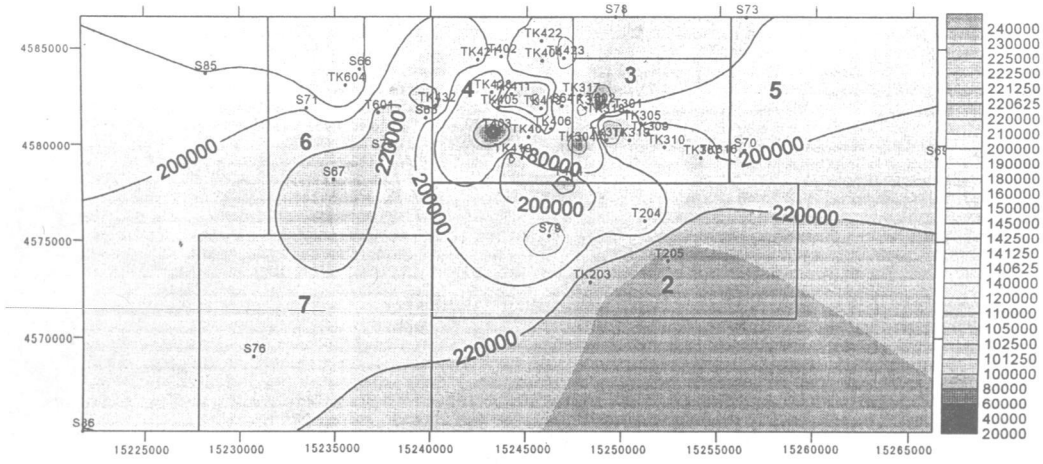

图 5　塔河油田奥陶系油田水总矿化度分布图

Fig. 5　TDS distributing ichnography of Ordovician oil water in Tahe oil field

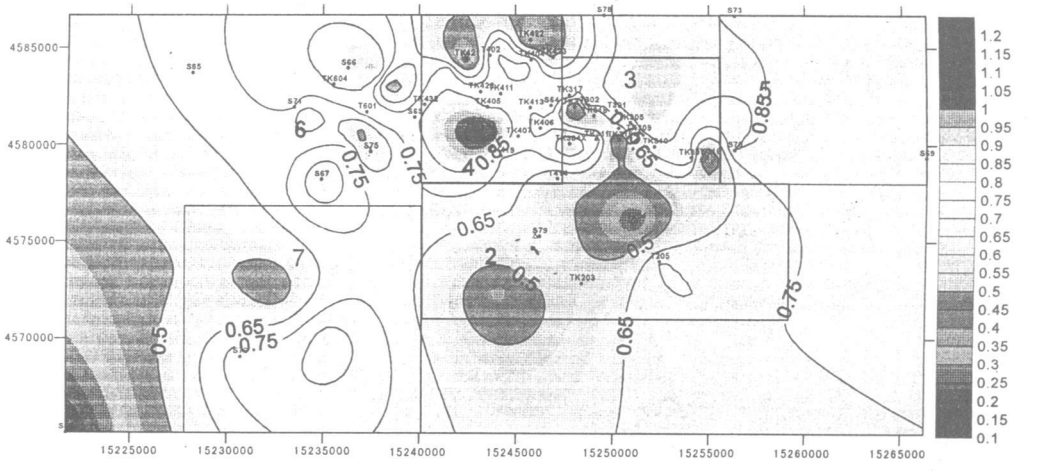

图 6　塔河油田奥陶系油田水钠氯系数平面分布

Fig. 6　Ratio of natrium and chlorine distributing ichnography of Ordovician oil field water in Tahe oil field

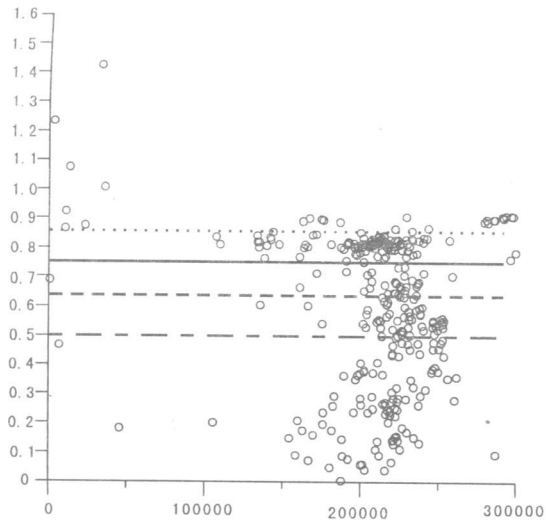

图 7 塔河油田奥陶系油田水钠氯系数图

Fig. 7 Na^+/Cl^- ratio distributing ichnography of Ordovician oil field water in Tahe oil field

3.3 脱硫系数特征

在油田中, 硫酸盐还原的现象很广泛, 脱硫作用的结果不仅是除去水中的硫酸盐, 还包括生成硫化氢气体并进入到天然气中。脱硫作用主要发生在还原环境下, 这种环境对保存油气很有利, 故脱硫作用作为一种环境指标, 封闭性越好, 其值越小。但是脱硫系数为 0 仅说明封闭好, 而不代表其他含义。塔河油田奥陶系脱硫系数($100 \times rSO_4/rCl$) 在 0.1~2.3 之间, 平均为 0.921, 在 T403 和 Tk304x 井处值很高, 在其他地区则很快地降低, 整体上是由南向北增大的趋势, 收敛于 T403、Tk304x 、Tk428 和 Tk427 井附近(图 8)。从图中可见脱硫系数从东南向北西方向和南西向北东方向增大, 这与前面所述的钠氯系数呈现同一变化趋势。

3.4 碳酸盐平衡系数特征

在计算碳酸盐平衡系数($rHCO_3 + rCO_3/rCa$) 时, CO_3^{2-} 的质量浓度作为 0 处理。碳酸盐平衡系数是一个指示地层封闭程度和含油气方向的指标, 越靠近油气藏, 油气性质越轻, 那么碳酸盐平衡系数的值就越小。从碳酸盐平衡系数平面分布图(图 9) 可看出, 在 T403 和 Tk304x 以及 Tk404 附近值很高, 其余地区的值均在 0.15 以下, 其变化趋势与上述变化具有相关性。

但由于奥陶系为碳酸盐岩储层, 本身存在着均一性, 因此, 钙离子的分布并不是很均一, 而且此区存在过暴露剥蚀, 但暴露点并不均衡, 因而大气中的 CO_2 的加入也是不均匀的, 因而总体规律并不太明显, 但还是具有从南向北的变化趋势。

3.5 钙镁系数特征

钙镁系数(rCa/rMg) 反映了地层水的变质程度, 时间越长, 封闭性越好, 则变质程度就越高, 值就越高。塔河油田钙镁系数为 2~100, 平均 25.475, 变质程度高, 其变化趋势同其他几个参量一样集中于 T403、Tk304x 以及 Tk404 井, 此外塔河 7 号油田的值较为独立, 而塔河 2 号区块西部和塔河 4 号东北部分均具有高钙镁系数(图 10)。

4 结论

(1) 塔河油田奥陶系碳酸盐层油田水具有很高的矿化度, 一般高于 160 000 mg/L。这一方面与其为海相高盐度水的富存有关, 另一方面与埋藏时间长, 油田水浓缩有关。另外, 在长时间的埋藏过程中与各种矿物及岩石发生反应或进行交换作用有关, 特别表现在碳酸盐岩的溶解和再成岩中钙离子进入

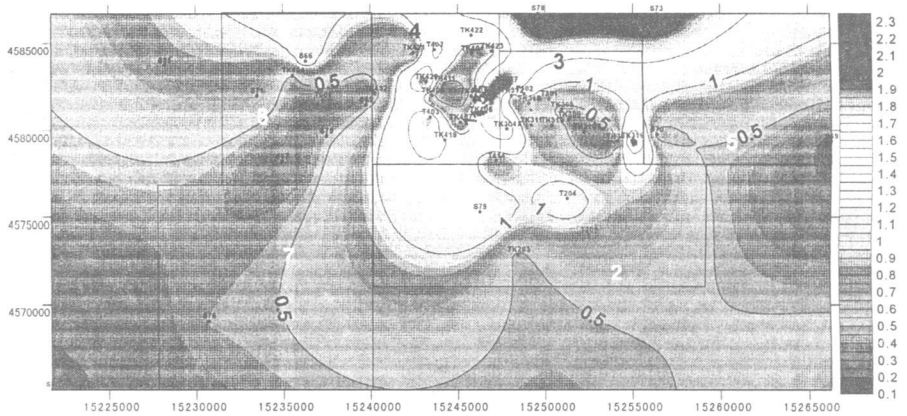

图 8 塔河油田奥陶系脱硫系数平面分布图

Fig. 8 Desulphurization coefficient distributing ichnography of Ordovician oil field water in Tahe oil field

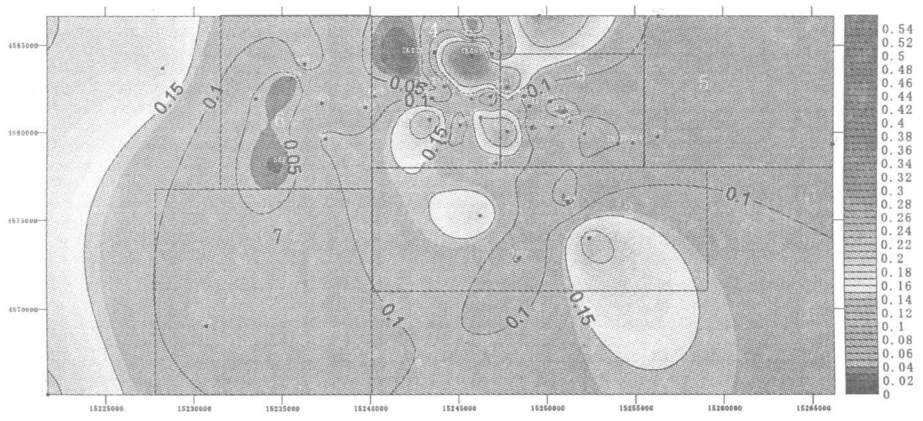

图 **9**　塔河油田奥陶系碳酸盐平衡系数平面分布图

Fig. 9　Carbonate equilibrium ratio distributing ichnography of Ordovician oil field water in Tahe oil field

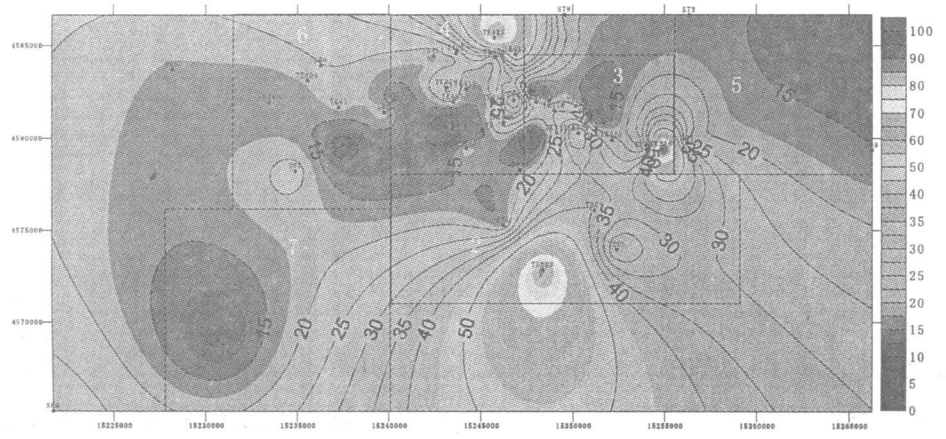

图 **10**　塔河油田奥陶系钙镁系数平面分布图

Fig. 10　Calcium and magnesium ratio distributing ichnography of Ordovician oil field water in Tahe oil field

到油田水溶液中。因而,高矿化度,高钙离子含量以及矿化度与氯离子的高相关性可作为海相碳酸盐岩油田水的特征。

(2)塔河油田水的各种研究参数,如钠氯系数、碳酸盐平衡系数、脱硫系数等在井间分布具有一定的规律性。总体上从南东向北西方向迁移,反映了油气从满加尔坳陷向塔北地区运移的趋势,间接提供了油气来源的证据。

参考文献:

[1]　李贤庆,候读杰,张爱云. 油田水地球化学研究进展[J]. 地质科技情报, 2001, 20(2): 51-54.

[2]　周晓芬,塔里木盆地北部油田水特征离子及意义[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(4): 372-374.

[3]　柯林斯 A. G(林文庄,王秉忱,译). 油田水地球化学[M]. 北京:石油工业出版社, 1984.

[4]　邸世祥. 油田水文地质学[M]. 西安:西北大学出版社, 1991.

[5]　周晓芬. 塔河油田水化学特征与地层之间的关系探讨[M]. 蒋炳南,张希明,陈惠超,等. 塔里木盆地北部油气勘探与开发论文集[C]. 北京:石油工业出版社, 2000.

[6]　张敏,张俊. 塔里木盆地轮台断隆油田水组成特征及其意义[J]. 新疆石油地质, 1998, 19(3): 210-212.

CHARACTERISTIC IONS OF ORDOVICIAN OIL FIELD WATER IN TAHE OILFIELD AND ITS SIGNIFICATIONS

LIU Jian-wei, ZHANG Shao-nan

(Energy College of Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: The principal compositions of soluble materials of the Ordovician oil field water in Tahe oilfield are consistent with sea water, suggesting its marine origin. The different ionic compositions, concentration and ionic parameter indicate different geological features. No. 7 area of Tahe oilfield is in a different hydrology system from others. There are abundant clay minerals and cements in the Ordovician carbonate reservoir, resulting in relatively high concentration of calcium and low concentration of natrium in the solution. The ratio of natrium and chlorine, carbonate equilibrium ratios and the ratios of desulphurization have a change pattern from southeast to northwest, indicating that petroleum was migrated from Manjiaer to Northern Tarim Basin.

Key words: oilfield water; characteristic ion; geological significance; Ordovician; Tahe oilfield

---

(上接第 25 页)

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF Pb-Zn ORE DISTRICT IN THE WEST OF DAYAOSHAN OF GUANGXI PROVINCE AND THE ORE PROSPECT DIRECTIONS

ZHANG Ke[1], HU Ming-an[2], CAO Xin-zhi[2], XU Bo-jun[2]

(1. Graduate school of China university of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. Faculty of Earth Resources of China university of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Dayaoshan and the area in the west of Dayaoshan are the major Pb-Zn ore areas in Guangxi Province. The ore deposits occur mainly as the reworked sedimentary-hot brine type and the contact replacement (skarn) type. We detail the ore-control factors in the paper, such as horizon, lithology, rock facies, fracture and fold on the basis of analyzing ore-bearing formations and structures and point out the marks and directions for further ore exploration in the area.

Key words: Ore-bearing formation; Ore-control structure; Prospecting direction; Dayaoshan