

1.1 计算方法

硼元素在地球化学分析中容易被确定,对于沉积环境及盐度的反应比较敏感,因此,硼元素可作为反映盐度的指标^[7]。自然界水体中硼的浓度是盐度的线性函数,而黏土从水体中吸附的硼含量与水体盐度呈双对数关系式,即佛伦德奇吸收方程^[8]:

$$\lg B = C_1 \lg S + C_2$$

式中 B 为吸附硼含量 ($\mu\text{g/g}$), S 为盐度 (‰), C_1 和 C_2 是常数,此方程为利用 B 元素和黏土矿物定量计算古盐度的理论基础,在此方程基础上建立的 Adams 公式和 Couch 公式是计算古盐度常用的两个公式:

(1) Adams(亚当斯)公式^[9],其表达式为:

$$S_p = 0.0977x - 7.043 \quad (\text{式①})$$

式①中 S_p 为古盐度 (‰), x 为“相当硼”含量(单位: ‰ , 计算古盐度时需换算成 $\mu\text{g/g}$)。对于以伊利石为主的泥岩样品,式中的“相当硼”含量可由沃克校正公式^[10]计算得出:

$$x = 8.5 \times B_{\text{样品}} / K_2O_{\text{样品}} \quad (\text{式②})$$

式②中 8.5 为纯伊利石中的理论 K_2O 浓度, $B_{\text{样品}}$ 和 $K_2O_{\text{样品}}$ 指样品的实测结果。

本次研究选取了 30 件泥岩样品进行微量元素分析,并首先对其中 20 件样品进行了矿物 X 衍射分析,分析结果表明:长 9 油层组泥岩主要由黏土矿物组成,其含量介于 55.1% ~ 88.8% 之间,其次为石英、钠长石以及少量钾长石和方解石(表 1)。长 9 泥岩中除黏土矿物以外,只有钾长石对微量元素分析中的 K 元素有影响,而样品中钾长石含量一般不超过 1%,最高不超过 6.5%(表 1),因此由钾长石带来的 K 元素可以忽略不计,微量元素分析测得的 K 元素含量可视为黏土矿物中的 K。

通过微量元素分析分别测得了 B 和 K 元素的百分含量用于古盐度定量计算,原始分析数据及盐度计算结果见表 2。计算结果表明:陇东地区长 9 油层组古盐度范围介于 0.4‰ ~ 22.3‰,平均为 8.6‰;长 9₁ 平均盐度 8.1‰,长 9₂ 平均盐度 10.3‰,长 9₁ 盐度低于长 9₂。

(2) Couch(科奇)公式^[11],其表达式为:

$$\lg S_p = (\lg B^* - 0.11) / 1.28 \quad (\text{式③})$$

式③中 B^* 为“校正硼”含量(单位: ‰ , 计算古盐度时需换算成 $\mu\text{g/g}$),可由 Couch 校正公式换算:

$$B^* = B_{\text{样品}} / (4x_i + 2x_m + x_k) \quad (\text{式④})$$

式④中 x_i 、 x_m 、 x_k 分别代表样品中实测伊利石、蒙

脱石和高岭石的质量分数,系数代表各类黏土矿物对硼的吸收强度,以系数越大为吸收强度越大,该公式适用于复杂黏土矿物成分的泥岩样品,但受成岩作用影响较大。

表 1 陇东地区长 9 油层组泥岩矿物 X 衍射分析结果
Table 1 X-ray diffraction data of mudstone in the Chang9 oil-bearing of Yanchang Formation in Longdong area

井名	深度/m	岩性	矿物种类和含量/%				黏土矿物总量/%
			石英	钾长石	钠长石	方解石白云石	
白 143	2 188.9	泥岩	29.8	—	10.1	—	60.1
高 116	1 742.55	泥岩	30.4	0.7	10.3	—	58.6
高 116	1 753.1	泥岩	33.7	—	7.7	—	58.6
环 55	2 802.8	泥岩	24.8	1.1	10.7	—	63.4
罗 29	2 417.3	泥岩	26.8	0.9	10.8	—	61.5
罗 34	2 523.1	泥岩	1.6	—	9.6	—	88.8
木 23	2 514.7	泥岩	28.4	0.7	10.4	—	60.5
宁 24	1 763.3	泥岩	27.0	1	13	—	59.0
宁 27	1 722.5	泥岩	24.0	0.4	10.1	—	65.5
宁 50	1 481.7	泥岩	14.9	6.5	22.5	0.2	55.9
山 126	2 093.6	泥岩	25.5	1.6	12.9	—	60.0
午 67	2 247.1	泥岩	23.7	0.8	6.5	—	69.0
午 82	2 189.7	泥岩	17.5	5.2	12.6	—	64.7
西 63	1 931.4	泥岩	26.1	0.6	9.5	—	63.8
演 46	2 379.2	泥岩	29.7	2	12.8	0.4	55.1
元 428	2 206	泥岩	28.9	0.4	10.2	—	60.5
蔡 103	2 021.3	泥岩	27.7	0.5	7.9	—	63.9
镇 42	2 362.1	泥岩	28.9	0.7	12.9	—	57.5
镇 86	2 553.3	泥岩	28.2	0.8	8.3	—	62.7
庄 81	2 004.7	泥岩	18.1	3.2	14.9	—	63.8

注:分析单位为中石油勘探开发研究院,检测仪器为 D/MAX-2500-TTR X 射线衍射仪。

本次研究选取了陇东地区长 9 油层组 20 件泥岩样同时进行 B 元素分析和 X 射线衍射定量分析,其计算结果表明:陇东地区长 9 油层组古盐度介于 2.7‰ ~ 7.7‰,平均为 5.0‰;长 9₁ 平均盐度为 4.9‰,长 9₂ 平均盐度略高于长 9₁,为 5.2‰(表 3)。

Sr/Ba 比值及 B/Ga 比值常作为古盐度判别的一个标志,沉积物中记录的 Sr/Ba 比值及 B/Ga 比值与古盐度呈明显的正相关关系^[6,12]。研究区 Sr/Ba 比值介于 0.21 ~ 0.42, B/Ga 比值介于 0.90 ~ 2.22,利用 Couch 公式和 Adams 公式对陇东地区长 9 油层组古盐度的定量计算结果与对应样品 Sr/Ba 比值趋势基本一致,而与 B/Ga 比值趋势极为一致(图 2),说明 Couch 公式和 Adams 公式计算结果总体反映了湖泊水体盐度特征,具有较高的可信度。

有机地球化学分析结果也印证了 Adams 公式和 Couch 公式计算结果的可靠性。一般说来,高含量

的伽马蜡烷常被视为沉积水体高盐度的环境标志^[13,14]。陇东地区长 9 油层组暗色泥岩具有较高的 γ 蜡烷含量(图 3)。2 件长 9 泥岩样品按照峰面积计算出 γ 蜡烷和藿烷 ($\alpha\beta + \beta\alpha$) 的比值分别为 0.16 和 0.18,这一数值甚至与东濮凹陷卫 20 井沙三段顶部蒸发岩中的 γ 蜡烷和藿烷 ($\alpha\beta + \beta\alpha$) 比值(0.13 ~ 0.33)^[15]相当,说明其沉积水体具有较高的盐度。

表 2 陇东地区长 9 油层组硼、钾分析数据和折算 K_2O 、相当硼及 Adams 公式古盐度计算数据

Table 2 The data of B, K and the calculated data of K_2O , equivalent boron and paleosalinity of Adams method, Chang9 oil-bearing of Yanchang Formation in Longdong area

样号	井号	层位	样品 B	K 样品	折算 K_2O	相当 B	Sp
			$I(\mu g/g)$	$I\%$	$I\%$	$I(\mu g/g)$	
1	白 143	长 9 ₁	40.2	2.68	1.34	255	17.9
2	高 116	长 9 ₁	31.5	2.2	1.1	243.4	16.7
4	环 55	长 9 ₁	24.5	2.93	1.465	142.2	6.8
5	罗 29	长 9 ₁	20	2.64	1.32	128.8	5.5
6	罗 34	长 9 ₁	38.4	4.15	2.075	157.3	8.3
7	木 23	长 9 ₁	22.5	2.92	1.46	131	5.8
9	宁 27	长 9 ₁	14.8	3.31	1.655	76	0.4
10	宁 50	长 9 ₁	26.4	2.52	1.26	178.1	10.4
12	午 67	长 9 ₁	24.3	2.78	1.39	148.6	7.5
13	午 82	长 9 ₁	49.6	2.74	1.37	307.7	23
14	西 63	长 9 ₁	23.1	2.92	1.46	134.5	6.1
16	元 428	长 9 ₁	28.9	2.54	1.27	193.4	11.9
17	蔡 103	长 9 ₁	31.9	2.52	1.26	215.2	14
19	镇 86	长 9 ₁	27.5	2.59	1.295	180.5	10.6
21	白 487	长 9 ₁	21	2.92	1.46	122.3	4.9
22	蔡 103	长 9 ₁	19.8	2.81	1.405	119.8	4.7
23	宁 33	长 9 ₁	22.1	2.96	1.48	126.9	5.4
24	宁 45	长 9 ₁	20.7	2.9	1.45	121.3	4.8
26	元 427	长 9 ₁	23.4	3.82	1.91	104.1	3.1
27	镇 36	长 9 ₁	16.8	3.19	1.595	89.5	1.7
28	镇 73	长 9 ₁	17.1	2.54	1.27	114.4	4.1
29	午 72	长 9 ₁	15.8	2.47	1.235	108.7	3.6
3	高 116	长 9 ₂	30.6	2.3	1.15	226.2	15.1
8	宁 24	长 9 ₂	17.1	2.52	1.26	115.4	4.2
11	山 126	长 9 ₂	50.1	2.84	1.42	299.9	22.3
15	演 46	长 9 ₂	30.5	2.4	1.2	216	14.1
18	镇 42	长 9 ₂	28.5	2.58	1.29	187.8	11.3
20	庄 81	长 9 ₂	20.8	3.26	1.63	108.5	3.6
25	午 66	长 9 ₂	26.2	3	1.5	148.5	7.5
30	演 25	长 9 ₂	24.6	3.66	1.83	114.3	4.1
	长 9 ₁ 平均值		25.5	2.87	1.4	154.5	8.1
	长 9 ₂ 平均值		28.6	2.82	1.4	177.1	10.3
	长 9 平均值		26.3	2.9	1.4	26.3	8.6

注: B, K, Na 含量由中国地质科学院矿产综合利用研究所分析测试中心分析, 测试仪器为 2000DV。

1.2 计算结果讨论

对比运用 Adams 公式和 Couch 公式两种方法定量计算出的长 9 油层组古盐度值, 不难发现二者无论是盐度变化范围还是盐度平均值均存在较大差异(表 2 和表 3), 产生这一差异的原因, 部分缘于公式的适用条件的差异, 更主要归咎于黏土矿物成岩后生作用的影响。

陇东地区长 9 油层组泥岩黏土矿物中伊/蒙混层含量较高, 一般 >50%, 平均值可达 65%(表 3), 而伊/蒙混层在成岩过程中蒙皂石层将逐渐向伊利石转化, 导致“校正硼”“B*”含量比原始沉积物换算值偏小, 从而导致计算的古盐度低于真实值。同时, 研究区长 9 油层组泥岩黏土矿物中伊利石的校正含量一般 >53%, 平均为 61%, 属于以伊利石为主的黏土岩, 满足 Adams 公式的运用条件, 其定量计算古盐度跨越了微咸水、半咸水和咸水 3 个盐度带, 符合河流入湖后对湖水盐度的稀释规律, 因此, 认为利用 Adams 公式对陇东长 9 油层组古盐度的恢复更为可靠。

2 古盐度平面分布与变化规律

运用 Adams 公式和运用 Couch 公式恢复的古盐度平面分布与变化规律极为相似, 有如下几个特点: ①研究区北西、北东和西南部均为盐度相对低值区, 而环县—太白梁—华池所在的三角形区域及马家砭—太白一带为高盐度区域(图 4); ②古盐度分别自西南、北西和北东 3 个方向往湖盆中央呈逐渐升高的趋势, 分别代表了 3 个河流入湖的方向(或者三角洲的延伸方向), 其中西南部湖泊水体盐度最低, 应该代表了河流/淡水作用最强的方向(图 4), 亦即主物源方向; ③可以确定, 长 9 沉积时期, 研究区湖泊水体至少具有半咸水的性质, 这一水体性质有利于有机质的保存。

通过对研究区长 9 油层组古盐度恢复发现盐度高值区域与岩芯观察所确定的前三三角洲或湖湾区分布位置高度一致。本次研究共计观察陇东地区长 9 油层组取芯井 37 口, 其中 16 口井岩芯中发育典型的浪成交错层理(图 5), 指示主要受波浪作用控制的河口坝或远砂坝等水下沉积环境。浪成交错层理分布的浪成带位置与 Couch 公式恢复得出的古盐度 $\geq 4\%$ 区域(或 Adams 公式恢复得出的古盐度 $\geq 5\%$ 区域)吻合(图 5), 说明河流作用急剧减弱的前三角洲或湖湾区已经具有半咸水性质。

表3 陇东地区长9油层组B和黏土矿物分析数据及“相当硼”含量和古盐度计算数据

Table 3 The data of B and clay minerals and the calculated data of “equivalent boron” content and paleosalinity in Chang9 oil-bearing of Yanchang Formation in Longdong area

样品号	井号	层位	I	I/S	K	C	I/S(% S)	I*	S*	B	B*	Sp
1	白143	长9 ₁	0.15	0.63	0.06	0.16	0.2	0.654	0.126	0.004 02	13.73	6.4
2	高116	长9 ₁	0.07	0.63	0.17	0.13	0.25	0.542 5	0.157 5	0.003 15	11.86	5.7
4	环55	长9 ₁	0.12	0.71	0.06	0.11	0.25	0.652 5	0.177 5	0.002 45	8.1	4.2
5	罗29	长9 ₁	0.13	0.73	0.05	0.09	0.2	0.714	0.146	0.002	6.25	3.4
6	罗34	长9 ₁	0.15	0.65	0.07	0.13	0.1	0.735	0.065	0.003 84	12.23	5.8
7	木23	长9 ₁	0.17	0.63	0.05	0.15	0.2	0.674	0.126	0.002 25	7.51	4.0
9	宁27	长9 ₁	0.12	0.74	0.05	0.09	0.2	0.712	0.148	0.001 48	4.63	2.7
10	宁50	长9 ₁	0.12	0.62	0.09	0.17	0.3	0.554	0.186	0.002 64	9.86	4.9
12	午67	长9 ₁	0.1	0.75	0.06	0.09	0.2	0.7	0.15	0.002 43	7.69	4.0
13	午82	长9 ₁	0.13	0.7	0.06	0.11	0.3	0.62	0.21	0.004 96	16.76	7.4
14	西63	长9 ₁	0.11	0.71	0.06	0.12	0.3	0.607	0.213	0.002 31	7.93	4.1
16	元428	长9 ₁	0.12	0.63	0.08	0.17	0.3	0.561	0.189	0.002 89	10.7	5.2
17	蔡103	长9 ₁	0.11	0.6	0.1	0.19	0.3	0.53	0.18	0.003 19	12.36	5.9
19	镇86	长9 ₁	0.14	0.56	0.11	0.19	0.3	0.532	0.168	0.002 75	10.68	5.2
3	高116	长9 ₂	0.11	0.67	0.07	0.15	0.25	0.6125	0.167 5	0.003 06	10.72	5.2
8	宁24	长9 ₂	0.11	0.64	0.08	0.17	0.25	0.59	0.16	0.001 71	6.2	3.4
11	山126	长9 ₂	0.12	0.68	0.07	0.13	0.3	0.596	0.204	0.005 01	17.51	7.7
15	演46	长9 ₂	0.11	0.65	0.09	0.15	0.3	0.565	0.195	0.003 05	11.13	5.4
18	镇42	长9 ₂	0.12	0.57	0.1	0.21	0.3	0.519	0.171	0.002 85	11.32	5.5
20	庄81	长9 ₂	0.16	0.49	0.12	0.23	0.2	0.552	0.098	0.002 08	8.24	4.3
	长9 ₁ 平均值		0.12	0.66	0.08	0.14	0.24	0.63	0.16	0.002 88	10.02	4.9
	长9 ₂ 平均值		0.12	0.62	0.09	0.17	0.27	0.57	0.17	0.002 96	10.85	5.2
	长9 平均值		0.12	0.65	0.08	0.15	0.25	0.61	0.16	0.002 91	10.27	5.0

注: I-伊利石含量/%; I/S-伊/蒙混层含量/%; K-高岭石含量/%; C-绿泥石含量/%; I/S(% S) -伊/蒙混层中蒙皂石含量/%; I* -校正后的伊利石含量/%; S* -校正后的蒙皂石含量/%; B-样品硼 B 含量/%; B* -校正硼含量/%; Sp-古盐度/‰。

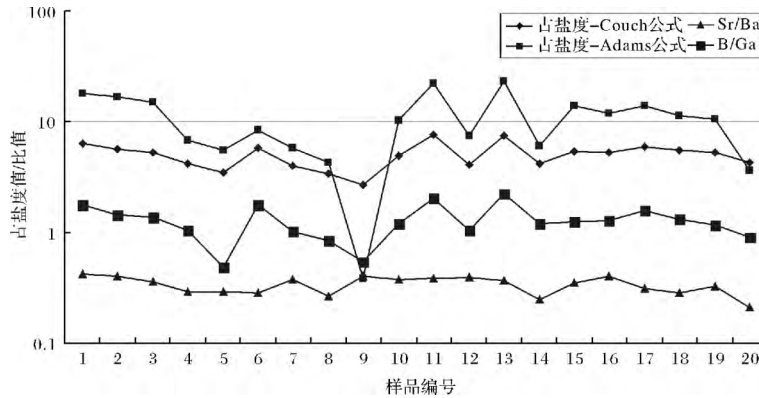


图2 不同古盐度恢复方法结果对比

Fig. 2 Comparison of different method of paleosalinity recovery

注: Sr、Ba、Ga 等微量元素由核工业北京地质研究院分析测试研究中心分析, 测试仪器为 HR-ICP-MS (Element I)。

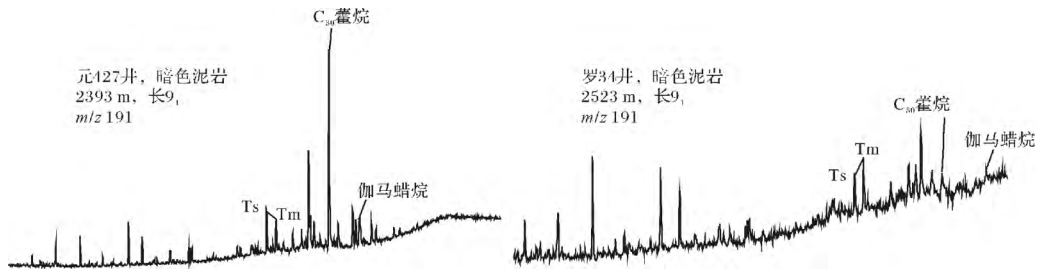


图3 陇东地区长9油层组暗色泥岩 GC-MS 质量色谱图

Fig. 3 GC-MS chromatogram of mudstone of Chang 9 oil-bearing Longdong area

注: 分析单位为长江大学地球化学实验室, 检测仪器为 GC-MS 气相质谱仪(US10615059)。

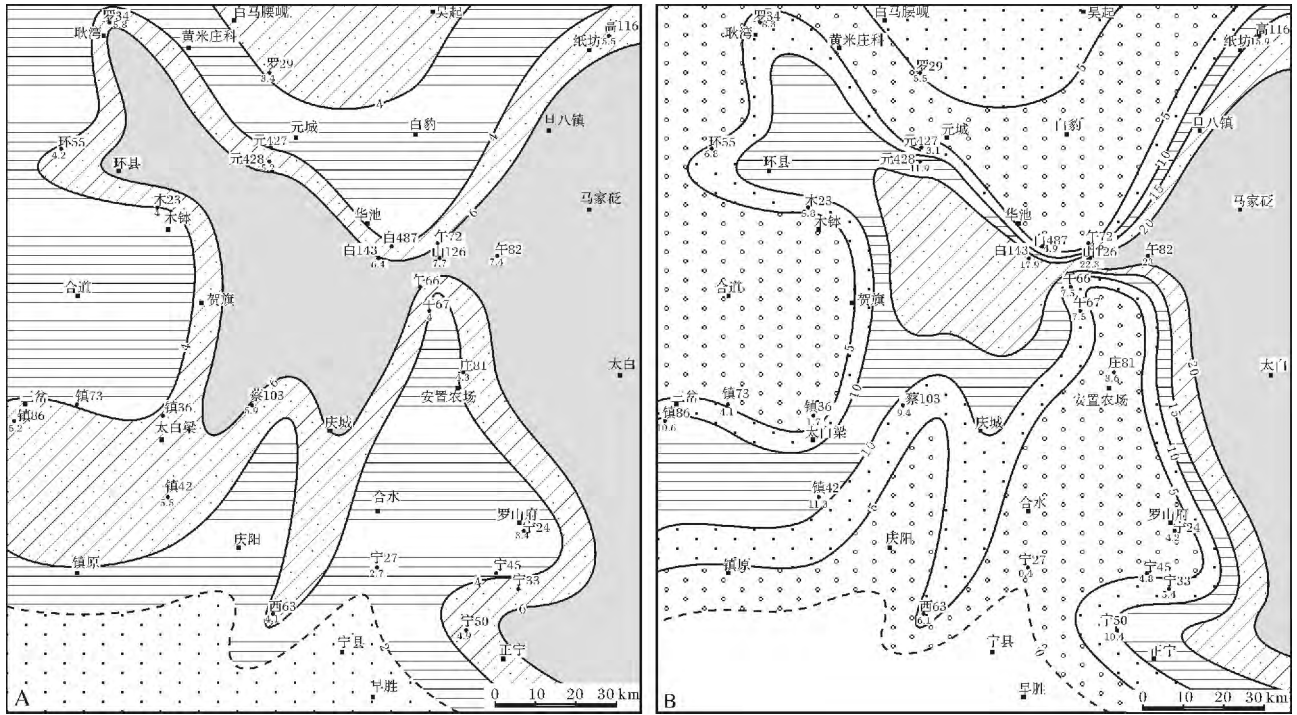


图 4 陇东地区长 9 油层组古盐度平面分布与变化图(A. 根据 Couch 公式恢复; B. 根据 Adams 公式恢复)

Fig. 4 The paleosalinity zone of the Chang 9 oil-bearing of Yanchang Formation in Longdong area (A. calculated by Couch formula; B. calculated by Adams formula)

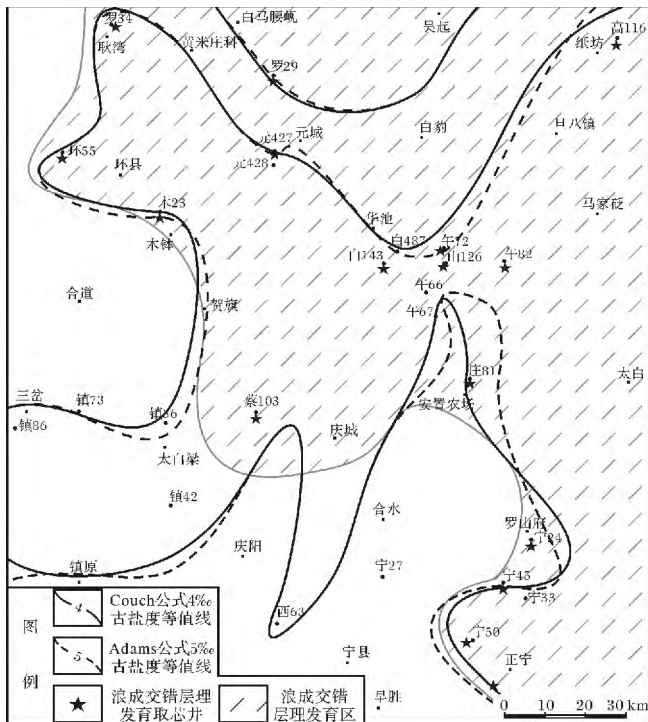


图 5 陇东地区长 9 油层组浪控带与等盐度关系

Fig. 5 The relationship between paleosalinity zone and wave active zone of the Chang 9 oil-bearing of Yanchang Formation in Longdong

3 研究意义

对陇东地区长 9 油层组古盐度平面分布和变化规律分析,对恢复沉积期岩相古地理和成岩期流体性质具有如下几个重要意义: ①确定主、次物源方向以及湖盆中心位置; ②定量确定湖岸线位置; ③长 9₁油层平均盐度较长 9₂油层降低,反映了长 9₂→长 9₁沉积期具有湖平面上升演化趋势; ④长 9 沉积期湖盆的半咸水—咸水性质,决定了成岩期流体具有盐水(或卤水)性质,不仅为砂岩早成岩阶段提供了富钠、偏碱性的孔隙水,有利于早期绿泥石环边和油沸石的胶结作用的形成而有利原生粒间孔隙保存^[16],而且油沸石容易在中成岩阶段被有机酸溶蚀,形成大量次生孔隙而提高储层的质量^[17,18],因此,较高古盐度沉积和成岩环境更有利于优质储层发育,如:元 428 井古盐度高达 11.9‰(Adams 公式,图 4),早期绿泥石环边胶结作用明显,大量原生粒间孔隙得以保存,次生溶孔也较为发育,并以中—大孔为主(图 6a);而庄 81 井古盐度仅为 3.6‰(Adams 公式,图 4),几乎不发育绿泥石环边胶结物,原生粒间孔隙保存少,溶蚀作用也较弱,仅发育少量次生溶孔,以发育小孔和微孔为主(图 6b),盐度高值区域可作为寻找优质储层

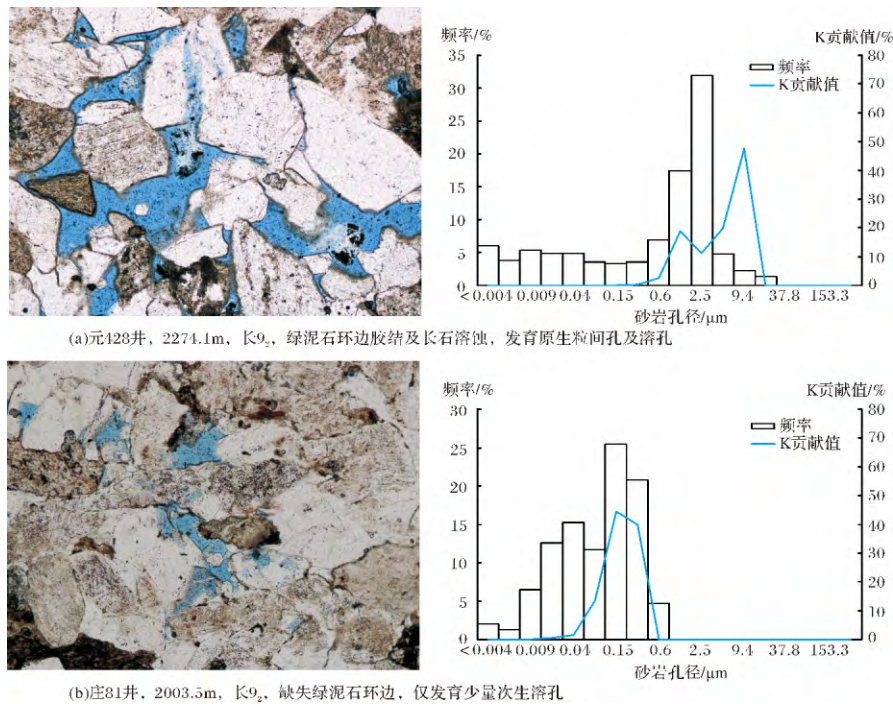


图 6 典型成岩相组合及其孔隙结构特征

Fig. 6 Typical diagenetic facies assemblage of sandbody and its pore structure features

的首选区;长9油层组沉积—成岩期较高—高盐度流体性质所决定的长9油层高盐度油田水化学特征,非常有利油藏保存。

同时通过对 Adams 公式和 Couch 公式分别计算出的古盐度进行分析,对 Couch 法的适用条件有了新认识,即:该方法不适用于伊/蒙混层特别发育的陆相地层,随着成岩阶段的加深会导致伊蒙混层逐渐向伊利石转化,最终导致 Couch 公式计算的古盐度失效。

4 结论

(1) 利用不同研究方法对陇东地区长9油层组古盐度进行恢复,结果表明:长9沉积期研究区湖泊水体具有微—半咸水性质;

(2) 陇东地区湖泊水体盐度具有自北东、北西及西南方向往中央逐渐增大的趋势,盐度平面上的变化规律反映了河流的注入方向或三角洲的延伸范围,盐度纵向上的变化则反映了湖平面的演化;

(3) 高盐度区域有利于早期绿泥石环边胶结作用的进行,从而有利于原生粒间孔隙的保存,为有利于优质储层发育的地区。

参考文献 (References)

1 李凤杰,王多云,张庆龙,等. 鄂尔多斯盆地陇东地区延长组沉积

相特征与层序地层分析[J]. 沉积学报, 2006, 24(4): 549-554 [Li Fengjie, Wang Duoyun, Zhang Qinglong, et al. Sedimentary facies characteristic and sequence stratigraphy analysis of Yanchang Formation in Longdong area, Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(4): 549-554]

2 李文厚,庞军刚,曹红霞,等. 鄂尔多斯盆地晚三叠世延长组沉积体系及岩相古地理演化[J]. 西北大学学报:自然科学版, 2009, 39(3): 501-506 [Li Wenhou, Pang Jungang, Cao Hongxia, et al. Depositional system and paleogeographic evolution of the Late Triassic Yanchang Stage in Ordos Basin[J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2009, 39(3): 501-506]

3 Muller G. Sedimentary phosphate method for estimating paleosalinities: Limited applicability[J]. Science, 1969, 163: 812

4 刘宝珺,曾允孚. 岩相古地理基础和工作方法[M]. 北京:地质出版社, 1985: 321-323 [Liu Baojun, Zeng Yunfu. Geographical Basis and Methods of Lithofacies [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985: 321-323]

5 Matthew C. Peros, Eduard G. Reinhardt, Henry P. Schwarcz, et al. High-resolution paleosalinity reconstruction from Laguna de Leche, north coastal Cuba, using Sr, O, and C isotopes[J]. Science Direct, 2007, 245: 535-550

6 郑荣才,柳梅青. 鄂尔多斯盆地长6油层组古盐度研究[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(1): 20-25 [Zheng Rongcai, Liu Meiqing. Study on palaeosalinity of Chang-6 oil reservoir set in Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(1): 20-25]

7 周仰康,何锦文,王子玉. 硼作为古盐度指标的应用[C]//沉积学和有机地球化学学术会议论文集. 北京:科学出版社, 1984:

- 55-57 [Zhou Yangkang , He Jinwen , Wang Ziyu. Application of B as an index for palaeosalinity [C] // Collected Papers of Sedimentology and Organic Geochemistry Academic Conference. Beijing: Science Press , 1984: 55-57]
- 8 Walker C T , Price N B. Departure curves for computing paleosalinity from boron in illites and shales [J]. AAPG Bulletin , 1963 47(5) : 833-841
- 9 Adams T D , Haynes J R , Walker C T. Boron in Holocene illites of the dovey estuary , wales , and its relationship to paleosalinity in cyclothem [J]. Sedimentology , 1965 4: 189-195
- 10 Walker C T. Evaluation of boron as a paleosalinity indicator and its application to offshore prospects [J]. AAPG Bulletin , 1968 52: 751-766
- 11 Couch E L. Calculation of paleosalinities from boron and clay mineral data [J]. AAPG Bulletin , 1971 55(10) : 1829-1837
- 12 殷科华 , 叶德书 , 沈大兴 , 等. 息烽—遵义早石炭世大塘期岩相古地理特征 [J]. 沉积学报 , 2009 27(4) : 606-613 [Yin Kehua , Ye Deshu , Shen Daxing , *et al.* Characteristics of lithofacies paleogeography during Datangian Age(Early Carboniferous) in Xifeng and Zunyi , Guizhou [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2009 27(4) : 606-613]
- 13 Hill I R , Whithead E V. An optically active triterpane gammacerane in Green River , Colorado , oil shale bitumen [J]. Chemical Communications , 1966 20: 752-754
- 14 Peters K E , Moldovan J M. The Biomarker Guide—interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments [M]. New Jersey: Prentice Hall , 1993: 363
- 15 李任伟. 伽马蜡烷的地质产状及古环境意义 [J]. 科学通报 , 1988 , 33(20) : 1574-1576 [Li Renwei. Geological occurrence and its paleo-environment significance of Gammacerane [J]. Chinese Science Bulletin , 1989 , 34(14) : 1208-1211]
- 16 王昌勇 , 王成玉 , 梁晓伟 , 等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区上三叠统延长组长 8 油层组成岩相 [J]. 石油学报 , 2011 , 32(4) : 597-604 [Wang Changyong , Wang Chengyu , Liang Xiaowei , *et al.* Diagenetic facies of the Chang 8 oil-bearing layer of the Upper Triassic Yanchang Formation in the Jiyuan area , Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica , 2011 32(4) : 597-604]
- 17 杨晓萍 , 袁恽楠. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组油沸石的形成机理、分布规律与油气关系 [J]. 沉积学报 , 2002 20(4) : 628-632 [Yang Xiaoping , Qiu Yanan. Formation process and distribution of laumontite cements in Yanchang Formation(Upper Triassic) of Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2002 20(4) : 628-632]
- 18 梁浩 , 罗权生 , 孔宏伟 , 等. 三塘湖盆地火山岩中沸石的成因及其储层意义 [J]. 沉积学报 , 2011 29(3) : 537-543 [Liang Hao , Luo Quansheng , Kong Hongwei , *et al.* Formation and distribution of zeolite in volcanic rock and its effect on reservoirs in Santanhu Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2011 29(3) : 537-543]

Paleosalinity of Chang 9 Reservoir in Longdong Area , Ordos Basin and Its Geological Significance

WANG Chang-yong¹ ZHENG Rong-cai¹ LIU Zhe² LIANG Xiao-wei³
LI Ting-yan³ ZHANG Jian-wu⁴ LI Ya-nan¹

(1. Institute of Sedimentary Geology , Chengdu University of Technology , Chengdu 610059;

2. Exploration Department of Changqing Oilfield Company , PetroChina , Xi'an 710021;

3. Exploration and Development Research Institution/National Engineering Laboratory for Exploration and Development of Low-Permeability Oil & Gas Fields , Changqing Oilfield Company , PetroChina , Xi'an 710021;

4. Research Center of Ultra-low Permeability Reservoir of Changqing Oilfield , CNPC , Xi'an 710018)

Abstract: On the basis of clay mineral X-ray diffraction analysis and trace element analysis , the lake basin paleosalinity of the deposition of Chang 9 reservoir in Longdong area , Ordos Basin has been recovered according to Couch formula and Adams formula. We discover that they are affected by diagenesis , the value of the paleosalinity which calculate by the Couch formula is lower than the actual value , and Adams formula calculation results reflect the nature of the ancient body of water salinity is more reliable. Studies have shown that , the lake water of Ordos Basin is brackish during the Chang 9 deposition period. Paleosalinity was gradually increased from northeast , northwest and southwest to the central lake basin. The salinity of the late Chang 9 deposition period is lower than the early that reflect the transgressive lake level rise. The salinity high value area was relatively isolated bays or lake centers which belongs half deep lake. The paleosalinity gradually decrease from the lake center to the river estuary direction. The variation of paleosalinity provides a foundation for restoring the ancient geography. The reservoir is closely to lake water salinity , and high salinity water is conducive to the formation of early diagenetic stage chlorite ring edge cement and laumontite. The chlorite ring edge cement formatted in early diagenetic stage is favourable for intergranular porosity preservation. The laumontite is more likely to be dissolved and formed abundant secondary dissolved pores.

Key words: Longdong area; Chang 9 reservoir; paleosalinity; chlorite ring edge cement; laumontite