

文章编号:1001-6112(2012)03-0309-05

渤海湾盆地黄骅坳陷齐家务地区 沙一下亚段湖相碳酸盐岩储层地球化学特征

高胜利^{1,2}, 王连敏³, 武玺³, 高鹏鹏²

(1. 西北大学地质学博士后流动站, 西安 710069; 2. 陕西延长石油集团研究院, 西安 710069;
3. 大港油田第六采油厂, 河北黄骅 061100)

摘要:黄骅坳陷齐家务地区沙一下亚段主要以碳酸盐岩储层为主。通过该段10余口钻井岩心的岩石化学组分、碳氧同位素及微量元素分析,认为该区沙一下亚段碳酸盐岩的岩石化学组分的SiO₂、Al₂O₃、CaO等含量相对较高,而MgO含量则随岩性不同而变化,同时, SiO₂与Al₂O₃、K₂O+Na₂O均具有正相关性,而与MgO则呈负相关。SiO₂富集显示出该区碳酸盐岩的湖相沉积环境特征;碳、氧同位素测定结果表明,δ¹⁸O_{PDB}值在-4.73‰~ -9.46‰,δ¹³C_{PDB}值则在-0.08‰~ 7.71‰,具有局限湖盆碳、氧同位素变化特征,反映研究区碳酸盐岩具有湖水咸化与淡化的沉积环境;微量元素测试结果表明,微量元素组合及含量变化复杂,以石灰岩为主的碳酸盐岩,其Sr含量大都高于1 000×10⁻⁶,而含泥砂较高的碳酸盐岩,其Sr含量大都低于1 000×10⁻⁶。B的含量大多分布在(7.77~122)×10⁻⁶,泥质样的B/Ga比值均大于4, Sr/Ba比值均大于1;碳酸盐岩样的Sr/Ba主要分布在2.3~20.33之间,最高为33.98, B/Ga比值均小于10,主要分布在2~5之间,总体反映出淡水与半咸水之间变化的沉积环境。

关键词:微量元素;碳氧同位素;湖相碳酸盐岩;沙一段;齐家务地区;渤海湾盆地

中图分类号:TE122.2⁺2

文献标识码:A

Geochemical characteristics of lacustrine carbonate rocks in lower part of first member of Shahejie Formation in Qijiawu area of Huanghua Depression, Bohai Bay Basin

Gao Shengli^{1,2}, Wang Lianmin³, Wu Xi³, Gao Pengpeng²

(1. Mobile Station for Post-Doctors on Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;
2. Institute of Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co. Ltd, Xi'an, Shaanxi 710069, China;
3. No. 6 Oil Recovery Factory of Dagang Oilfield, Huanghua, Hebei 061100, China)

Abstract: Carbonate reservoirs dominate in the lower part of the first member of the Shahejie Formation in Qijiawu area of the Huanghua Depression, the Bohai Bay Basin. Through analyzing the chemical composition of rock, carbon and oxygen isotope and trace element of the core samples from over 10 wells, the results show that the contents of SiO₂, Al₂O₃ and CaO are relatively higher, while that of MgO varies with the differences of lithology. Meanwhile, SiO₂ is positively correlated with Al₂O₃ and K₂O + Na₂O. SiO₂ is negatively associated with MgO. The enrichment of SiO₂ shows that the sedimentary environment in the study area is lake carbonate facies. Carbon and oxygen isotope tests show that δ¹⁸O_{PDB} varies from -4.73‰ to -9.46‰ and δ¹³C_{PDB} varies from -0.08‰ to 7.71‰, which is in line with the carbon and oxygen isotope characteristics of limited lake, reflecting the salinization and dilution effects happened in the study area. Trace tests show that the composition and content of trace element are so complex, that is to say, the content of Sr is higher than 1 000×10⁻⁶ in the limestone-based rock, but the content of Sr is less than 1 000×10⁻⁶ in the limestone with higher argillaceous. The content of B mostly distributes in (7.77~122)×10⁻⁶. For mud samples, the B/Ga ratio is greater than 4, and the Sr/Ba ratio is greater than 1. For carbonate samples, the Sr/Ba ratio ranges from 2.3 to 20.33, up to 33.98, and the B/Ga ratio is less than 10, mainly from 2 to 5, reflecting the alteration between freshwater and brackish sedimentary environments.

Key words: trace element; carbon and oxygen isotope; lacustrine carbonate rock; first member of Shahejie Formation; Qijiawu area; Bohai Bay Basin

收稿日期:2011-06-17;修订日期:2012-04-16。

作者简介:高胜利(1974—),男,高级工程师,含油气盆地分析专业。E-mail: 001gsl@163.com。

基金项目:国家重大专项项目(2008ZX05005-004-007HZ)资助。

1 区域地质概况

黄骅拗陷位于渤海湾盆地中北部^[1],齐家务油田构造位置处于黄骅拗陷的中西部、北大港潜山构造带西南倾末端的西部,西邻沧东断裂,东南接孔西潜山构造带,北面为沈青庄构造,面积约 180 km²。

黄骅拗陷为中生代形成的陆相沉积盆地,中生代地层分布广泛,沉积厚度达千米以上,主要为一套快速堆积的红色粗碎屑岩、火山岩、火山碎屑岩等。进入新生代,古新世时,地层整体抬升造成沉积间断;始新世和渐新世又一次扩张沉降,导致湖盆由小变大、由分割到统一,依次发育了孔店组、沙河街组及东营组。研究区孔店组之上的沙河街组,自上而下可分为 3 段。但由于受继承性断裂构造的影响,往往在隆断块体顶部,沙一下亚段地层沉积较薄,而在较深断陷区沙一下亚段地层沉积充填厚度相对较大。目前,全区钻及沙一下亚段的钻井已有 43 口,但涉及沙一下亚段碳酸盐岩的取心井则仅有 10 口。据钻井、录井、测井和地震资料,齐家务地区沙一段厚度一般在 400 ~ 1 200 m,而沙一下亚段厚度变化在 29.5 ~ 870 m 之间,主要为湖相砂泥岩及部分碳酸盐岩和少量硫酸盐岩。其中,研究区 Es^{1x-4}小层碳酸盐岩较多,主要有生物灰岩、颗粒灰岩和白云质灰岩,局部尚有少量硫酸盐岩及碎屑岩;Es^{1x-3}小层碳酸盐岩有生物灰岩、白云质灰岩、白云岩、钙质页岩、泥岩等;Es^{1x-2}小层与 Es^{1x-1}小层则以泥岩、灰质泥岩、页岩夹薄层云质灰岩为主(图 1)。

2 碳酸盐岩化学组分

对于近海湖泊而言,由于周期性海侵的影响,使湖水所含主要离子与海水近似,但湖水的盐度因蒸发和补给受气候因素控制而变化较大,并且使湖水成分在干旱与降雨期则有所不同。而有利于碳酸盐岩沉积的湖水,通常是高盐度的碱性水体。因此湖相碳酸盐岩的地球化学特征,可通过常量化学组分反映出来^[2-3]。研究区沙一下亚段主要岩石类型有泥晶白云岩、介屑砂质泥晶灰岩与含泥砂质泥晶灰岩、泥晶生物鲕粒灰岩与泥/亮晶砂屑生物灰岩及亮晶鲕粒灰岩等,其主要岩石化学组分因岩性的不同而有差异(表 1)。

本区沙一下亚段岩石化学组分,主要以 SiO₂、Al₂O₃、CaO 等含量相对较高为特征,而 MgO 含量则随岩性不同而变化。通过 SiO₂ 与 Al₂O₃、MgO 及 K₂O+Na₂O 分别进行相关分析,结果为:SiO₂ 与 Al₂O₃、K₂O+Na₂O 均具有正相关性,而与 MgO 则呈

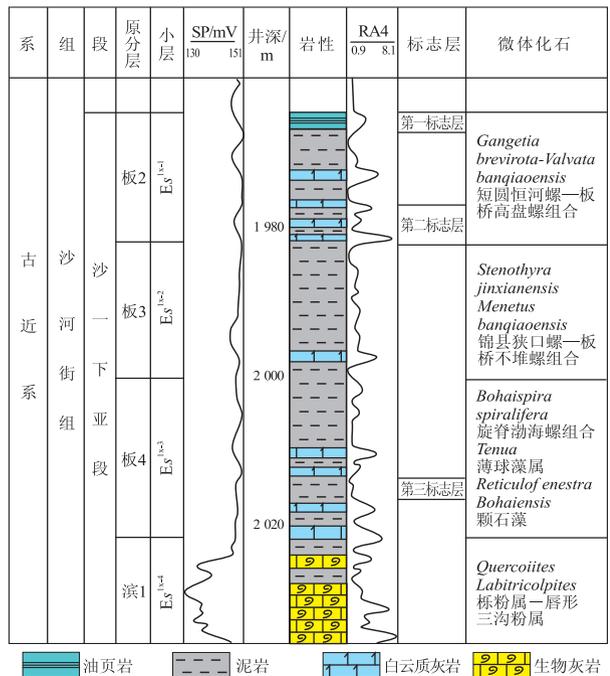


图 1 黄骅拗陷齐家务地区沙一下亚段综合柱状图

Fig. 1 Integrated histogram of lower part of first member of Shahejie Formation in Qijiawu area, Huanghua Depression

负相关,显示出 SiO₂ 的富集是湖相沉积不同于海相的重要特点,不仅与陆源物质和成壤作用有关,而且受湖盆水体 pH 值的变化范围所控制(图 2)。

3 碳酸盐岩碳氧同位素特征

在沉积环境研究中,碎屑岩胶结物和碳酸盐岩组分的碳、氧同位素变化,是反映其沉积成岩环境的重要标志^[4-8]。一般认为,海水中¹⁸O/¹⁶O 很稳定, $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值为零左右,不超过 1‰,但随着海水盐度增高而增高。大气降水成因的淡水 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值低于零,最低达 -50‰。现代大洋中 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 为 -1‰ ~ 2‰,淡水中 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 为 -5‰ ~ -11‰。可见 $\delta^{18}\text{O}$ 与 $\delta^{13}\text{C}$ 值都与水体的盐度有关,其变化趋势都是盐度越高, δ 值越高。因此把 $\delta^{18}\text{O}$ 与 $\delta^{13}\text{C}$ 值结合起来用以指示古盐度,并推导出水体盐度判别式,用以区分海相石灰岩和淡水石灰岩^[9],其中,Z 值表达式为: $Z = 2.048(\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} + 50) + 0.498(\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} + 50)$ 。式中:Z 值为盐度指示值,其大小与盐度直接相关。当 Z > 120 时被认为是海水成因的,当 Z < 120 时则是淡水成因。

研究区各小层不同岩类碳、氧同位素 Z 值计算结果大都在 120 以上,唯有旺 38 井 4 个样品的 Z 值低于 120(表 2)。可见本区沙一下亚段碳酸盐岩沉积期,受海侵海退影响较大,从而使湖相碳酸盐岩沉积的水体盐度指数显示了咸化的性质。

表1 黄骅坳陷齐家务地区沙一下亚段碳酸盐岩样品化学组分检测结果

Table 1 Chemical composition of carbonate samples of lower part of first member of Shahejie Formation in Qijiawu area, Huanghua Depression

井号	井深/m	岩性	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O
旺22	2 544.00	角砾状泥晶白云岩	35.42	2.13	2.87	19.41	7.74	0.10	0.25	0.20
旺22	2 544.27	泥晶白云岩	34.31	4.20	2.75	18.85	8.07	0.20	0.61	0.38
旺30	2 192.93	介屑泥晶砂质灰云岩	33.07	9.01	5.43	22.22	2.36	0.36	1.25	0.25
旺35	1 784.45	含泥砂质泥晶灰岩	30.73	8.24	3.10	19.64	7.18	0.33	1.45	0.58
旺35	1 790.18	泥晶生物鲕粒灰岩	5.84	1.23	1.21	32.81	14.28	0.05	0.12	0.19
旺35	1 797.76	含钙伊利石泥岩	36.13	10.22	3.76	16.61	2.98	0.47	1.83	0.62
旺36	1 583.64	含介形虫泥晶灰岩	26.57	7.62	4.37	9.39	8.39	0.32	1.52	0.63
旺36	1 587.97	泥—亮晶砂屑灰岩	3.26	0.78	0.70	35.68	13.47	0.05	0.08	0.15
旺36	1 589.40	泥微晶生物云灰岩	10.06	2.54	1.34	31.04	11.98	0.15	0.39	0.24
旺38	1 962.00	灰质油页岩	26.97	7.53	3.35	25.97	1.94	0.36	1.21	0.27
旺38	1 987.14	泥微晶介屑灰岩	7.75	2.13	1.92	32.88	11.77	0.10	0.26	0.22
旺38	1 988.88	含砂钙质伊利石泥岩	51.22	13.45	2.87	9.72	2.66	0.66	3.17	0.30
旺38	1 996.45	亮晶鲕粒灰岩	19.52	4.23	3.19	27.49	8.63	0.20	0.69	0.22
旺38	1 999.17	含生物泥质白云岩	42.10	11.97	1.98	12.57	5.32	0.60	1.58	0.23
旺1102	1 968.40	粉砂质伊利石泥岩	55.55	14.58	3.03	5.23	2.29	0.73	3.78	0.94
旺1104	2 001.81	泥砂质泥晶灰岩	32.16	8.71	2.68	17.57	7.78	0.43	1.65	0.52
旺1104	2 002.90	细晶鲕粒灰岩	8.86	2.30	2.62	34.60	9.03	0.07	0.35	0.21
旺1104	2 011.00	灰质长石砂岩	29.78	8.33	3.03	23.45	3.03	0.32	1.36	0.46
旺1105	2 011.97	泥晶泥灰岩	17.11	3.78	4.06	23.83	11.21	0.28	0.62	0.30
旺1105	2 020.16	灰质云岩	33.21	8.64	3.03	21.88	1.40	0.40	1.68	0.54
旺1105	2 036.71	泥晶含泥白云岩	15.54	4.16	2.08	29.44	8.74	0.18	0.64	0.33

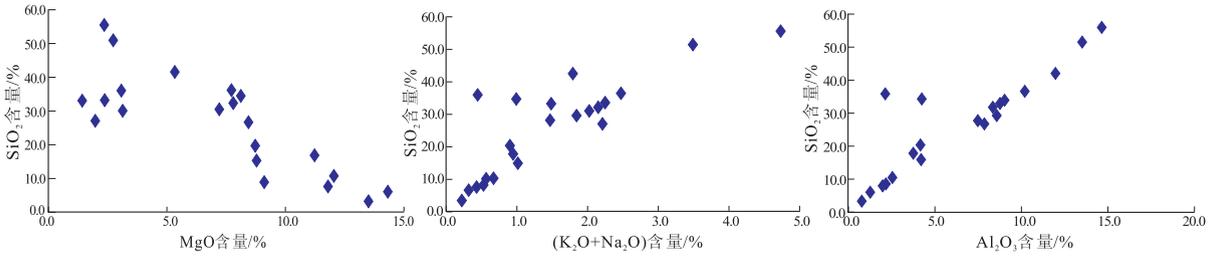


图2 黄骅坳陷齐家务地区沙一下亚段碳酸盐岩样品 SiO₂ 与 Al₂O₃, MgO 及 K₂O+Na₂O 相关分析

Fig. 2 Correlation diagram of SiO₂-Al₂O₃ and MgO-K₂O+Na₂O of carbonate samples of lower part of first member of Shahejie Formation in Qijiawu area, Huanghua Depression

本区在沙一下亚段沉积早期因处于蒸发环境, δ¹³C 的变化范围相对较大, 显示了湖水咸化与淡化的程度, 并与沉积相直接相关。典型局限湖盆的特点是 δ¹³C 值较非局限湖相碳酸盐岩的 δ¹³C 值偏重, 而 δ¹⁸O 值则变轻, 由表 2 可见, 研究区具有局限湖盆碳、氧同位素变化特征。

4 碳酸盐岩微量元素特征

碳酸盐岩中含有多种微量元素或痕量元素。这些元素以类质同像方式存在于碳酸盐矿物与粘土岩矿物的晶格中, 或以吸附的方式存在于粘土矿物的有机组分中。但在不同地区、不同层位或岩石中, 各类微量元素的含量与组合各有差异, 并且在

时空上往往反映出特定的分布特征和变化规律, 因此常常用以分析沉积环境及沉积物源, 并进行地层的微观对比。湖相碳酸盐岩中微量元素的类型较多, 其组合面貌及特征元素与海相碳酸盐岩相比有很大不同。湖相碳酸盐岩因地表水补给的不同及古气候的影响, 湖水盐度的变化、陆源物质的不断介入等因素, 使岩石中的微量元素组合及含量变化, 远比海相碳酸盐岩复杂。因此, 湖相碳酸盐岩因其地球化学不稳定性所导致的各种指示性元素的大幅度变化, 为分析沉积环境、物源及古气候提供了标志^[10-13]。根据研究区主要岩石类型, 本次选择分析了 Cu、Pb、Zn、Cr、Ni、Ga、Sr、Ba、B、Mn 等 10 个与湖相环境关系密切的指示性元素(表 3)。

表2 黄骅拗陷齐家务地区,沙一下亚段碳酸盐岩样品碳氧同位素分析结果

Table 2 Carbon and oxygen isotopes of carbonate samples of lower part of first member of Shahejie Formation in Qijiawu area, Huanghua Depression

井名	序号	深度/m	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}/\text{‰}$	Z 值
旺 22 井	1	2 544.00	6.19	-9.46	135.27
	2	2 544.27	6.00	-6.15	136.53
旺 30 井	3	2 192.93	-0.26	-7.21	123.18
	4	1 784.45	3.28	-5.78	131.14
旺 35 井	5	1 786.96	-1.70	-7.35	120.16
	6	1 786.96	-0.08	-7.14	123.58
	7	1 790.18	3.00	-6.06	130.43
	8	1 794.47	3.11	-5.99	130.69
	9	1 797.76	3.77	-5.48	132.29
	10	1 583.64	3.59	-5.66	131.83
	11	1 584.25	-0.81	-5.04	123.13
旺 36 井	12	1 585.01	4.29	-4.73	133.73
	13	1 585.01	4.19	-4.82	133.48
	14	1 587.97	2.87	-4.52	130.93
	15	1 587.97	3.13	-6.34	130.55
	16	1 589.40	-1.67	-5.49	121.15
旺 38 井	17	1 951.00	1.27	-6.79	126.52
	18	1 962.00	1.62	-9.38	125.95
	19	1 987.14	5.85	-7.34	135.63
	20	1 988.88	-5.50	-8.64	111.73
	21	1 993.08	-2.39	-7.76	118.54
	22	1 993.08	-2.39	-8.46	118.19
	23	1 996.45	4.51	-5.64	133.73
	24	1 999.17	-5.18	-6.01	113.70
旺 1102 井	25	1 968.40	-1.81	-7.01	120.10
	26	2 001.81	-0.73	-6.22	122.71
旺 1104 井	27	2 002.90	2.96	-6.75	130.00
	28	2 011.00	3.05	-9.54	128.80
	29	1 996.87	2.70	-8.33	128.68
旺 1105 井	30	1 996.87	2.46	-8.25	128.23
	31	2 011.97	7.71	-5.56	140.32
	32	2 020.16	1.74	-8.91	126.43
	33	2 036.71	4.64	-7.56	133.04

从表3可以看出,本区不同岩类所分析的21个样品的微量元素丰度普遍偏高,多数元素含量远超过克拉克值。特别是Cu、Pb、Zn、Cr、Ni等一组关联性很强的亲硫元素,它们各具有共同消长的变化规律,并明显地受区域地球化学及岩性控制。Cu、Pb、Zn、Cr、Ni等微量元素,其含量偏高的原因,与区内陆源物质中的基性组分或内源热流体作用有关。一般在海相沉积物中,Cu、Pb、Zn、Cr、Ni等微量元素普遍高于陆相沉积物。其中Ni的变化以 40×10^{-6} 为界,研究区21个样品,低于 40×10^{-6} 的仅有8个样品,并以介壳泥晶灰岩与灰质油页岩为主,而大多数样品则以Ni含量偏高为特征,说明沉

积环境不仅受海侵影响明显,而且与埋藏期的热液活动有关。这种热流体的长期活动,有利于有机质成熟及次生孔隙的发育。

Ga、Sr、Ba、B等亲碱性元素的变化,受古气候条件影响较大。特别是Sr、Ba元素随岩石中的Ca含量高低而变化,当岩石中钙含量高时,往往会引起Sr富集而Ba降低。研究区以石灰岩为主的碳酸盐岩,其Sr含量大都高于 $1\,000 \times 10^{-6}$,而以含泥砂较高的碳酸盐岩,其Sr含量大都低于 $1\,000 \times 10^{-6}$;伊利石泥岩的Ga、Sr、Ba、B等亲碱性元素含量普遍较低,但随钙含量的增加,Sr含量也达到 $1\,000 \times 10^{-6}$ 以上。B元素在环境分析中应用较广,水体中B元素含量与盐度呈线性关系。一般在海水中B含量变化在 $(20 \sim 980) \times 10^{-6}$,淡水中为 $(0.15 \sim 1) \times 10^{-6}$ 。研究区沙一下亚段B的含量低于 1×10^{-6} 的仅有6个样品,其它样品分布在 $(7.77 \sim 122) \times 10^{-6}$,反映出淡水与半咸水之间的变化甚为复杂。

微量元素中Sr/Ba比值与B/Ga比值,通常被认为具有较好的指相意义。对泥岩来说, $\text{Sr}/\text{Ba} < 1$, $\text{B}/\text{Ga} < 4$;海相沉积则 $\text{Sr}/\text{Ba} > 1$, $\text{B}/\text{Ga} > 10$ 。研究区沙一下亚段的3个泥质岩样品Sr/Ba比值均大于1,B/Ga比值均大于4;而18个碳酸盐岩样品Sr/Ba比值均大于1,主要分布在2.3~20.33,最高为33.98,B/Ga比值均小于10,主要分布在2~5(表3)。由此可见无论是泥质岩还是碳酸盐岩,Sr/Ba比值高是因蒸发作用导致Ca含量增加的结果,而B/Ga比值变化小,指示了水体的咸化程度,显然与海侵的规模有关。总之,湖相碳酸盐岩中微量元素组合及丰度与沉积环境关系密切,虽然滨湖与深湖相岩石中富含砂泥而使微量元素组合比较复杂、含量也变化较大,但其在时空上的变化规律仍可作为重建岩相古地理的重要标志。

5 结论

1)本区沙一下亚段岩石化学组分,主要以 SiO_2 、 Al_2O_3 、CaO等含量相对较高为特征,而MgO含量则随岩性不同而变化。 SiO_2 与 Al_2O_3 、 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 均具有正相关性,而与MgO则呈负相关,显示出 SiO_2 的富集不仅与陆源物质有关,受水体的盐度影响也较明显。

2)碳酸盐岩 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 在 $-4.73 \text{‰} \sim 9.46 \text{‰}$ 之间, $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 在 $-0.08 \text{‰} \sim 7.71 \text{‰}$ 之间。 $\delta^{13}\text{C}$ 的变化范围相对较大,显示了湖水咸化与淡化的程度,并与沉积相直接相关。典型局限湖盆的特点是 $\delta^{13}\text{C}$ 值较非局限湖相碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏重,而 $\delta^{18}\text{O}$ 值则变轻,

表3 黄骅坳陷齐家务地区沙一下亚段样品微量元素分析结果
Table 3 Trace elements of samples of lower part of first member of Shahejie Formation in Qijiawu area, Huanghua Depression

井号	岩性	井深/m	检测结果/ 10^{-6}											
			Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Ga	Sr	Ba	B	Mn	Sr/Ba	B/Ga
旺22	泥晶白云岩	2 544.0	67.8	79.1	307.0	35.8	266.0	3.09	271	31.8	<1.00	769	8.52	
旺22	泥晶白云岩	2 544.3	79.5	43.0	266.0	46.8	180.0	6.63	338	45.5	18.90	620	7.43	2.85
旺30	介屑灰云岩	2 192.9	22.3	38.9	88.4	37.8	49.0	14.80	829	218.0	24.60	435	3.80	1.66
旺35	砂质泥晶灰岩	1 784.5	21.4	45.8	76.8	34.4	440.0	12.60	699	86.4	65.40	585	8.09	5.19
旺35	生物鲕粒灰岩	1 790.2	25.1	49.2	58.4	13.7	44.1	1.56	1 049	51.6	<1.00	276	20.33	
旺35	伊利石泥岩	1 797.8	54.8	366.0	840.0	50.8	51.1	17.00	1 336	127.0	69.90	353	10.52	4.11
旺36	介壳泥晶灰岩	1 583.6	20.9	40.4	46.4	40.3	32.0	11.80	779	201.0	30.80	1 053	3.88	2.61
旺36	砂屑生物灰岩	1 588.0	11.1	32.2	27.2	11.0	29.2	1.40	1 270	98.2	<1.00	281	12.93	
旺36	生物云灰岩	1 589.4	16.8	39.7	32.9	36.1	32.5	4.54	1 517	91.8	<1.00	396	16.53	
旺38	灰质油页岩	1 962.0	25.6	31.8	57.8	48.4	39.3	13.10	1 340	171.0	19.20	859	7.84	1.47
旺38	介屑灰岩	1 987.1	10.9	43.9	20.2	17.7	26.0	3.05	1 568	104.0	<1.00	538	15.08	
旺38	钙质泥岩	1 988.9	25.3	33.8	84.8	91.9	48.5	20.90	1 273	188.0	92.80	427	6.77	4.44
旺38	鲕粒灰岩	1 996.5	37.6	62.5	78.0	27.1	34.1	6.59	1 079	70.5	7.85	543	15.30	1.19
旺38	泥质白云岩	1 999.2	37.4	43.1	102.0	54.5	46.8	19.40	852	127.0	63.30	266	6.71	3.26
旺1102	砂质泥岩	1 968.4	49.2	21.5	75.0	162.0	50.1	24.30	280	250.0	122.00	187	1.12	5.02
旺1104	砂质灰岩	2 001.8	14.9	36.0	31.6	37.3	30.8	15.00	478	208.0	47.20	434	2.30	3.15
旺1104	细晶鲕粒灰岩	2 002.9	27.3	64.9	65.9	20.7	52.8	3.41	847	107.0	<1.00	463	7.92	
旺1104	长石砂岩	2 011.0	28.2	48.4	84.6	39.0	41.3	14.10	638	154.0	28.40	336	4.14	2.01
旺1105	泥晶泥灰岩	2 012.0	21.1	44.0	68.2	77.6	35.0	6.40	803	84.1	9.64	647	9.55	1.51
旺1105	灰质云岩	2 020.2	28.5	44.4	61.3	43.6	41.0	16.20	1 054	182.0	35.00	496	5.79	2.16
旺1105	含泥白云岩	2 036.7	42.7	774.0	1 962.0	28.4	41.3	5.71	1 441	42.4	7.55	314	33.98	1.32

研究区沙一下亚段沉积期具有海水不间断侵入的特征。

3) 本区 Cu、Pb、Zn、Cr、Ni 等微量元素,其含量偏高的原因,与区内陆源物质中的基性组分或内源热流体作用有关。而大多数样品则以 Ni 含量偏高为特征,说明研究区沙一下亚段在埋藏期受到深部热液流体的作用。这种热流体作用,对促进部分烃源岩的成熟与次生孔隙的发育具有建设性作用。

参考文献:

- [1] 周立宏,蒲秀刚,周建生,等. 黄骅坳陷歧口凹陷古近系坡折体系聚砂控藏机制分析[J]. 石油实验地质,2011,33(4):371-372.
- [2] 刘春莲,Franz T F,白雁,等. 三水盆地古近系湖相沉积岩的氧、碳同位素地球化学记录及其环境意义[J]. 沉积学报,2004,22(1):36-39.
- [3] Dean W E,Schwalb A. Holocene environmental and climatic change in the Northern Great Plains as recorded in the geochemistry of sediments in Pickrel Lake, South Dakota[J]. Quaternary International,2000,67(1):5-20.
- [4] 张秀莲. 碳酸盐岩中氧、碳同位素与古盐度、古水温的关系[J]. 沉积学报,1985,3(4):17-30.
- [5] 郭福生,潘家永,刘林清,等. 浙江江山石炭—二叠系碳酸盐岩碳氧同位素特征研究[J]. 地球化学,2004,33(1):1-6.
- [6] 郝松立,李文厚,刘建平,等. 鄂尔多斯南缘奥陶系生物礁相

碳酸盐岩碳氧同位素地球化学特征[J]. 地质科技情报,2011,30(2):52-55.

- [7] Aranovich L Ya,Dubinina E O,Avdeenko A S,et al. Oxygen isotopic composition of coexisting minerals of sillimanite - hypersthene rocks from the Por'ya bay area: Evidence of fluid involvement in granulite-facies metamorphism[J]. Geochemistry International,2010,48(8):739-751.
- [8] Kuleshov V N,Bych A F. Isotopic Composition ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) and Origin of Manganese Carbonate Ores of the Usa Deposit (Kuznetskii Alatau) [J]. Lithology and Mineral Resources,2002,37(4):330-343.
- [9] 薛叔浩,刘雯林,薛良清,等. 湖盆沉积地质与油气勘探[M]. 北京:石油工业出版社,2002:99-103.
- [10] 胡作维,黄思静,黄可可,等. 四川东部华蓥山三叠系海相碳酸盐岩对海水信息的保存性评估[J]. 中国地质,2010,37(5):1374-1380.
- [11] 刘金连,刘伟新,张庆珍,等. 电子探针与阴极荧光技术在碳酸盐矿物研究中的应用[J]. 石油实验地质,2010,32(4):393-395.
- [12] Osichkina R G. Regularities of trace element distribution in water-salt systems as indicators of the genesis of potassium salt rocks: An example from the Upper Jurassic halogen formation of Central Asia[J]. Geochemistry International,2006,44(2):164-174.
- [13] 徐立恒,陈践发,李玲,等. 普光气藏长兴—飞仙关组碳酸盐岩 C、O 同位素、微量元素分析及古环境意义[J]. 地球学报,2009,30(1):103-109.

(编辑 黄娟)