

文章编号: 0253-9985(2009)03-0343-07

碳酸盐岩地球化学特征与沉积环境判别意义 ——以冀北拗陷长城系高于庄组为例

汪凯明^{1,2}, 罗顺社^{1,2}

(1 长江大学 油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 湖北 荆州 434023 2 长江大学 地球科学学院, 湖北 荆州 434023)

摘要:冀北拗陷长城系高于庄组碳酸盐岩沉积发育, 可分为浅水台地和深水台盆两大相区以及 5 种不同类型的相带。在对碳酸盐岩样品测试结果分析的基础上, 利用相关性分析对其元素和组分的富集规律及环境意义进行了探讨。分析表明, 该区地球化学特征与原始沉积环境有着极为密切的关系: Ca/Mg 比值在以白云岩为主的潮上蒸发环境最低, 从潮间带到斜坡相逐渐升高, 在以灰质白云岩为主的深水盆地相最高; Na 在潮上带含量最高, 潮上带超盐环境有利于白云岩化作用的发生和 Na 的保存; Mn 和 Fe 在潮间带含量最高, 在台盆环境较低; Al、K、V、P 和 Ti 的含量从浅水到深水环境总体呈增加趋势, 可以指示古水深及海平面的变化; Sr 主要赋存于方解石矿物中, 从浅水台地到深水台盆, Sr 的含量和 1 000 Sr/Ca 比值呈增加趋势, 潮上带和潮间带较高的 Sr 和 1 000 Sr/Ca 比值主要是因为潮上带和潮间带叠层石白云岩较潮下带发育, 而该类岩石的主要造岩生物蓝绿藻对 Sr 具有相当的浓缩作用, 以致 Sr 含量出现高值。上述特征表明碳酸盐岩的地球化学特征可作为沉积环境判别的有效标志。

关键词: 沉积环境; 地球化学特征; 碳酸盐岩; 高于庄组; 长城系; 冀北拗陷

中图分类号: TE121.3 文献标识码: A

Geochemical characters of carbonates and indicative significance of sedimentary environment — an example from the Gaoyuzhuang Formation of the Changcheng System in the northern Hebei Depression

Wang Kaiping^{1,2}, Luo Shunshi^{1,2}

(1 Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources Ministry of Education, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434023 China; 2 College of Geosciences, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434023 China)

Abstract The Gaoyuzhuang Formation of the Changcheng System in northern Hebei Depression is dominated by carbonates and can be roughly divided into shallow water platform and deep water platform-basin facies zones and further divided into five different facies tracts. Based on the correlation analysis of carbonate rock sample testing results, the authors of the paper discuss the enrichment mechanisms of their elements and components and environmental significance. The analysis shows that geochemical characters are closely related to the initial sedimentary environment in the study area. The Ca/Mg ratio is the lowest in supralittoral zone where dolomite is predominant, gradually increases from intertidal zone to slope zone, and reaches its highest value in deep water basin where calcite dolomite is predominant. The average Na content is the highest in supralittoral zone where it is beneficial to dolomitization and preservation of Na. The contents of Mn and Fe are the highest in intertidal zone but relatively low in the platform-basin. The contents of trace elements as Al, K, V, P and Ti tend to increase from shallow to deep water sedimentary environment, thus could be used to indicate relatively changes of ancient water depth and

收稿日期: 2008-11-26。

第一作者简介: 汪凯明 (1982-), 男, 硕士研究生, 沉积学与石油地质。

基金项目: 中国石油化工股份有限公司海相油气勘探前瞻性项目 (G0800-06-ZS-350)。

sea level Sr is mainly hosted in calcite. The average Sr content and 1 000 Sr/Ca ratio tend to increase from shallow water platform to deep water platform-basin. The blue green microalgae rich in Sr is the main rock-forming organism for stromatolite dolomite, and the stromatolite dolomite is more highly developed in the supralittoral zone and intertidal zone than in subtidal zone. Thus the average Sr content and 1 000 Sr/Ca ratio are relatively high in the supralittoral zone and intertidal zone. All of these indicate that geochemical characters of carbonates can be regarded as an effective indicator of sedimentary facies.

Key words sedimentary environment; geochemical character; carbonate rock; Gaoyuzhuang Formation; Changcheng System; northern Hebei Depression

利用地球化学特征判别沉积环境是沉积学中一个重要的研究领域。早期元素地球化学方法成功的应用于火山岩研究。后来,应用元素地球化学判别沉积环境扩展到了沉积岩^[1]。元素在地层中迁移富集规律,一方面取决于元素自身的物理化学性质,另一方面又受到古气候、古环境等外界条件的极大影响^[2]。地层中元素的分配及比值变化、组合都在一定程度上指示着古气候环境的演化历程,古环境研究中一直把沉积岩矿物作为提取古环境信息的主要研究载体,而元素又是组成矿物岩石的基本单元,因此,可以利用元素地球化学特征来分析沉积环境。

近年来,元素地球化学在理论和应用方面取得了迅速发展,成为近代地球化学研究不可缺少的一部分^[3]。目前沉积物地球化学元素的研究主要从其特征元素的含量及其元素对的比值分析、微量元素异常分析、稀土模式分析、同位素分布特征等几个方面着手研究,力图找到元素的变化规律,并应用于实践^[4~7]。笔者在研究燕山冀北坳陷中、新元古界地层沉积特征的同时,对区内长城系高于庄组中不同层位、不同相带的碳酸盐岩样品进行了系统的采集和地球化学分析,试图寻找元素的富集机制与沉积环境的关系。

1 区域地质背景

研究区位于河北省承德市宽城县崖门子尖山子村附近,该区中、新元古界地层出露良好,分布广泛(图 1)^[8],是一套未经变质的沉积岩系。构造上位于华北地台燕山褶皱带的中段,中、晚元古代在太古界变质岩基底之上,沉积了一套巨厚而横向上稳定的中、新元古界海相碳酸盐岩夹碎屑岩地层,总厚度约 8 000 m,自下而上划分为中元

古界的长城系、蓟县系和新元古界的青白口系。高于庄组属中元古界长城系上部地层,中、晚元古代华北地台进入了拗拉谷发展阶段,高于庄期为长城纪最大海侵期,此期间燕山裂谷盆地的海域面积大大扩展^[9]。初期基本上继承了大红峪期的浅水环境,为发育范围广泛的碳酸盐潮坪;中期受区域海平面上升的影响,兴隆—宽城(研究区)一带水深达到最大,形成局限性的深水碳酸盐岩台盆相沉积;晚期水体相对变浅,研究区主要发育深灰色中厚层状泥晶灰质白云岩、藻席白云岩、含燧石条带含结核白云岩,属碳酸盐潮坪沉积。



图 1 研究区位置及地层分布

Fig. 1 Map showing the location and stratigraphic distribution of formations in the study area

2 地球化学特征

18个碳酸盐岩样品采自宽城崖门子尖山子实测剖面,所取样品均未经蚀变、矿化或次生风化作用,岩性丰富,覆盖研究区发育的5种微相类型,由国土资源部天津地质矿产研究所采用PW 4400/40 X射线荧光光谱仪测定,检测的元素包括:Ca、Mg、Si、Al、Na、K、P、Ti、Fe、V、Mn、Sr等(表1)。根据分析结果可以得出各元素的富集机制及相互依存关系(表2)。

1) Sr与CaO呈正相关,说明Sr主要赋存于方解石矿物中。最初Sr多保存于文石矿物中,因为与高镁方解石和低镁方解石相比,文石矿物晶体结构中的 Ca^{2+} 易被离子半径较大的 Sr^{2+} 替代,但经过成岩作用以后,文石向低镁方解石转变过程中,Sr多被保存下来,所以现在见到的Sr多是保存在低镁方解石中的^[10-11];Sr与MgO呈明显负相关,说明在白云化过程中,Sr含量逐渐减少。

2) SD_2 与CaO呈明显负相关,与MgO呈弱负相关关系,说明沉积环境中陆源物质会抑制碳酸盐岩矿物的沉淀。

3) Al_2O_3 与 K_2O 、 TD_2 呈明显的正相关,它们主要赋存于陆源泥质中,K是伊利石粘土的主要组分,Al易被吸附于粘土矿物中,也是粘土矿物的主要组分。这些代表陆源泥质的组分与CaO呈负相关,这说明沉积环境中陆源泥质会抑制碳酸盐矿物的沉淀。

4) P_2O_5 与 Al_2O_3 、 Na_2O 、 K_2O 、 TD_2 之间呈正相关,与CaO负相关。地球化学和海洋化学的大量测定表明海水中的磷是不饱和的,浓度很低,不能从海水中以无机方式直接大规模地沉淀出来,海水中P的直接物源是含磷的陆源碎屑和富含磷质的海洋生物^[12],说明P主要来自于陆源组分。

5) V与 Al_2O_3 、 P_2O_5 、 TD_2 之间也存在正相关性,V在泥岩、粘土岩中质量分数最高,平均达 130×10^{-6} ,这是因为粘土矿物对V的吸附作用^[12]。

6) Mn除与Fe、MgO有弱正相关关系外,与其他组分均无线性相关性,碳酸盐岩中Mn和Fe的分布受多种因素的控制,因此仅从一元线性相关

分析还不能确定Mn和Fe的赋存机制。

3 沉积环境意义

冀北拗陷长城系高于庄组地层系燕山褶皱带中段巨厚海相沉积的一部分。当时,燕山褶皱带的西、北和东南3面分别被五台古陆、内蒙古古陆、山海关古陆环绕,局部地区与外海连同,海相沉积环境基本具有陆表海性质。如高于庄初期发育范围广泛的碳酸盐潮坪,反映出以潮汐和波浪作用为主的浅水沉积环境特点;但在另一方面,盆地中部又发育黑色页岩——泥晶碳酸盐岩及瘤状灰岩等盆地相沉积。这种浅水环境与深水碳酸盐环境在同期小范围内共存的情况,难以用单一的克拉通陆表海环境模式全部概括。因此,在具体划相时,考虑到研究区高于庄组下部和上部地层基本上是以潮汐带沉积为主的特点,采用了按潮汐作用将浅水碳酸盐岩台地相分为潮上、潮间和潮下3个沉积相带;中部地层在深水台盆环境中沉积,根据岩石类型、沉积构造等特征划分为碳酸盐岩斜坡相和盆地相。

为研究区内碳酸盐岩地球化学参数的环境意义,将代表不同相带样品的地球化学数据进行加权平均,分别计算出Ca/Mg、1000Sr/Ca、CaO、 SD_2 、 Al_2O_3 、 TD_2 、TFe、V、Sr等在不同相带的平均值,并以此作出它们的环境分布图(图2)。

1) Ca/Mg比值在以白云岩为主的潮上带最低,潮上和潮间环境变化不大,高于庄初期、晚期主要是以潮汐波浪作用为主的浅水台地潮坪相,岩性、岩相没有十分明显的变化,主要发育大量的原生白云岩、叠层石白云岩,陆源物质供应贫乏;而到高于庄中期,研究区内发现大规模的海侵作用,水体不断加深,形成深水台盆相沉积,尤其是从斜坡相到盆地相,Ca/Mg比值急剧增大,岩性以灰质白云岩为主,局部发育瘤状灰岩,叠层石不发育。

2) Na是原始沉积介质古盐度标志,主要赋存于白云石晶格中。Na的含量在潮上带最高,说明潮上带为超盐环境,有利于白云岩化作用的发生和Na的保存。从台地向斜坡和盆地方向,随着水体的不断加深,水体盐度逐渐趋于正常。

3) 微量元素Mn和Fe在潮间带含量最高,其中Mn的含量在盆地相最低,Fe从斜坡相到盆地

表 1 高干庄组碳酸盐岩样品常量、微量元素分析结果
Table 1 Results of major and trace elements analysis of carbonate rock samples from the Gaoyuzhuang Formation

沉积相带	样品号	岩性	化合物含量, %								元素含量, 10 ⁻⁶				Ca/Mg	1 000Sr/Ca
			CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	TFe	V	Mn	Sr		
潮上带	Chg32	硅质白云岩	19.23	12.78	36.37	0.66	0.11	0.40	0.061	0.032	0.67	11.99	1 116.0	28.54	1.50	0.21
潮上带	Chg42	叠层石白云岩	18.41	12.35	31.78	0.47	0.14	0.28	0.053	0.022	0.71	16.47	1 121.0	54.70	1.49	0.42
潮上带	Chg49	泥晶白云岩	24.26	15.78	21.12	0.44	0.05	0.24	0.016	0.017	0.70	15.66	3 178.0	34.09	1.54	0.20
潮间带	Chg59	硅质白云岩	19.70	12.12	37.40	0.50	0.07	0.15	0.052	0.019	0.65	16.47	1 794.0	47.34	1.62	0.34
潮间带	Chg89	叠层石白云岩	22.97	14.97	25.34	0.13	0.04	0.07	0.013	0.010	0.82	12.07	14 380.0	65.01	1.53	0.40
潮下带	Chg97	细晶白云岩	28.24	18.54	7.33	1.04	0.03	0.43	0.028	0.050	0.59	13.85	10 600.0	22.65	1.52	0.11
潮下带	Chg98	含锰细晶白云岩	28.45	18.69	7.49	0.59	0.04	0.38	0.014	0.024	0.40	13.96	7 951.0	26.53	1.52	0.13
潮下带	Chg104	泥质白云岩	23.66	15.68	20.75	1.89	0.03	1.03	0.026	0.069	0.36	19.89	2 671.0	26.13	1.51	0.15
潮下带	Chg112	含锰白云岩	30.44	17.03	6.82	1.18	0.04	0.56	0.021	0.053	0.44	21.63	8 762.0	41.60	1.79	0.19
斜坡相	Chg147	灰质白云岩	26.56	17.79	13.02	0.98	0.05	0.54	0.021	0.047	0.32	17.03	387.5	26.50	1.49	0.14
斜坡相	Chg150	灰质白云岩	27.76	13.21	17.91	2.20	0.08	0.72	0.068	0.087	0.29	29.58	108.4	73.62	2.10	0.37
斜坡相	Chg159	灰质白云岩	27.55	13.53	19.90	1.35	0.05	0.26	0.058	0.055	0.30	32.47	93.5	91.32	2.04	0.46
斜坡相	Chg161	角砾白云岩	30.80	11.80	18.62	1.13	0.07	0.27	0.032	0.049	0.24	23.30	97.4	100.80	2.61	0.46
盆地相	Chg141	白云岩	18.30	10.96	36.74	3.26	0.06	1.58	0.099	0.173	1.19	38.23	254.7	50.57	1.67	0.39
盆地相	Chg141	瘤状灰岩	40.20	4.37	16.30	1.26	0.07	0.86	0.054	0.061	0.57	16.96	284.1	60.94	9.20	0.21
盆地相	Chg163	灰质白云岩	26.32	11.49	25.35	2.03	0.06	0.48	0.059	0.085	0.35	27.63	142.3	120.50	2.29	0.64
盆地相	Chg165	灰质白云岩	29.87	9.91	23.41	1.11	0.05	0.24	0.043	0.052	0.17	17.38	81.6	154.50	3.01	0.72
盆地相	Chg168	灰质结核白云岩	41.14	6.77	11.88	0.21	0.05	0.05	0.017	0.014	0.01	11.48	51.5	145.30	6.08	0.49

注: TFe 代表全铁。

表 2 碳酸盐岩中各组分及元素质量分数相关系数

Table 2 The correlation coefficients of mass fraction of each composition and element in carbonate rocks

	CaO	MgO	SD ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	TD ₂	TFe	V	Mn	Sr
CaO	1.000	-0.424	-0.704	-0.147	-0.296	-0.163	-0.348	-0.155	-0.650	-0.182	-0.089	0.466
MgO		1.000	-0.326	-0.106	-0.369	-0.069	-0.436	-0.157	0.099	-0.105	0.585	-0.630
SD ₂			1.000	0.159	0.543	0.134	0.641	0.204	0.560	0.207	-0.346	0.023
Al ₂ O ₃				1.000	-0.081	0.860	0.695	0.975	0.192	0.864	-0.359	0.024
Na ₂ O					1.000	-0.067	0.484	-0.072	0.171	0.008	-0.464	0.017
K ₂ O						1.000	0.559	0.879	0.418	0.602	-0.213	-0.320
P ₂ O ₅							1.000	0.726	0.399	0.700	-0.550	0.111
TD ₂								1.000	0.311	0.839	-0.327	0.024
TFe									1.000	0.147	0.281	-0.546
V										1.000	-0.403	0.163
Mn											1.000	-0.401
Sr												1.000

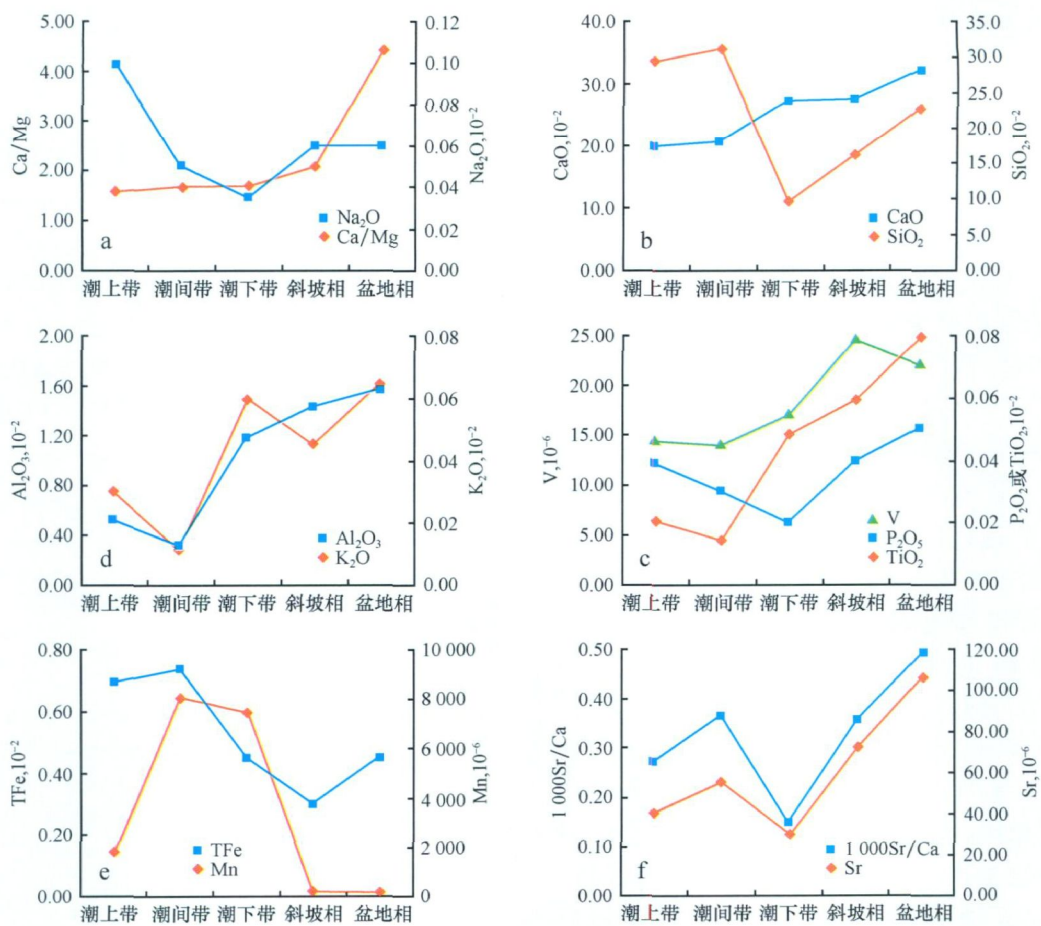


图 2 高于庄组不同相带碳酸盐岩样品地球化学分析数据与沉积环境的关系

Fig. 2 Relationships between the geochemical data of the carbonate rock samples from different facies tracts of the Gaoyuzhuang Formation and the sedimentary environment

方向又有所增高, 这种变化趋势与陆源泥质含量有关。而在潮间带较高的 Mn 和 Fe 可能与地表淋滤作用形成的原地富集有关。

4) Al_2O_3 , K_2O , V, TD_2 和 P_2O_5 这些代表陆源泥质的组分含量总体上是随着水深和离岸距离的增大而增高。平均高潮面与波基面之间的潮坪环

境,水位变化频繁、潮汐作用明显,海水具有较高的能量,淘洗作用强烈,因此泥质含量较安静的低能台盆环境少得多。其次高于庄中期广泛的海侵作用携带大量的陆源碎屑物质也是后者含量较高的一个主要原因。 Al_2O_3 主要来自陆源物,在碳酸盐岩-陆源碎屑-粘土过渡沉积系列中, Al_2O_3 主要代表粘土的含量,而粘土广泛分布在各种环境中,所以其也可作为陆源组分的代表^[13];Ti是一种较稳定的元素,很难形成可溶性化合物,所以海水中Ti的含量很低,沉积物中Ti主要源于陆源碎屑物质,碳酸盐岩中Ti的含量也与碎屑矿物含量有关^[13];由于粘土矿物对V的吸附作用,以致V在泥岩、粘土岩中质量分数最高。区内高于庄组台盆环境中Ti和V的含量远远高于潮坪环境。因此,这些元素的含量变化可以揭示古水深及海平面的变化。

5) Sr是碳酸盐岩中重要的微量元素之一,许多研究表明^[10, 11, 14~16],从浅水碳酸盐岩到深水碳酸盐岩,Sr的绝对含量有增加的趋势,碳酸盐岩中1 000Sr/Ca比值也呈现类似的规律。这主要是因为:最初浅水地带的文石中Sr的含量最高,高镁方解石次之,较深水地带的低镁方解石最低。Veizer等^[11]通过大量实验数据证实,在早期成岩过程中,不稳定的文石和高镁方解石向低镁方解石转变时,只有少量Sr会保存下来,而原始低镁方解石在成岩过程中大部分Sr会保存下来,因此造成原始矿物为文石和高镁方解石的浅水地带Sr含量反而低,而以低镁方解石为主的较深水地带Sr含量反而偏高。从图2中可以看出,在不同沉积相中,从浅水台地到深水台盆,研究区内Sr的含量和1 000Sr/Ca比值变化极为特征,总体呈增大趋势,与前人研究相符。但在台地环境中,较浅水的潮上带和潮间带Sr含量反而比潮下带高,这似乎与前人的研究相悖,笔者认为这主要是因为:区内潮上带和潮间带叠层石白云岩较潮下带发育,而以蓝绿藻为主的藻类是这类岩石主要的造岩生物^[8]。中元古时期,以蓝绿藻为主的藻类是海洋中最主要的生命形式。这种生命体具有十分惊人的繁殖能力,它适应各种水介质条件,在海洋中广泛分布,而海洋藻类对Sr具有相当的浓集作用。据统计^[12],海洋绿藻中Sr的含量为 $(60\sim 220)\times 10^{-6}$ 。样品Chg42和Chg89为叠层石白云岩,其中Sr含量明显高于同相带其他岩性样品的含量,

以致潮下带Sr的含量和1 000Sr/Ca比值相对较低。由上述讨论可知,不论是受原始矿物成分的控制,还是受后来成岩作用影响,Sr的含量和1 000Sr/Ca值与沉积环境关系密切,可作为沉积环境判别的有效标志。

4 结论

1) Ca/Mg比值在以白云岩为主的潮上蒸发环境最低,潮间带、潮下带和斜坡相逐渐升高,在以灰质白云岩为主的深水盆地相最高。

2) Na是原始沉积介质古盐度标志,在潮上带含量最高,潮上带超盐环境有利于白云岩化作用的发生和Na的保存。

3) Mn和Fe在潮间带含量最高,而在台盆环境较低,潮间带较高的Mn和Fe可能与地表淋滤作用形成的原地富集有关。

4) Al、K、V、Ti和P的含量从浅水到深水总体呈增加趋势,因此可以用来指示古水深及海平面的变化。

5) Sr主要赋存于方解石矿物中,从浅水台地到深水台盆,Sr的含量和1 000Sr/Ca比值呈增加趋势。潮上带和潮间带较高的Sr和1 000Sr/Ca比值主要是因为潮上带和潮间带叠层石白云岩较潮下带发育,而该类岩石的主要造岩生物蓝绿藻对Sr具有相当的浓集作用,以致Sr含量出现高值。

致谢:衷心感谢本刊编辑与审稿专家对本文初稿提出的修改意见。

参 考 文 献

- 1 Worash Getaneh Geochemistry provenance and depositional tectonic setting of the Adigrat Sandstone northern Ethiopia [J]. Journal of African Earth Sciences 2002 35: 185-198
- 2 赵俊青,纪友亮,张善文.地球化学在高分辨率层序界面识别中的应用[J].石油与天然气地质,2003,24(3):264-268
- 3 赵振华.微量元素地球化学原理[M].北京:科学出版社,1997.125-129
- 4 张金亮,张鑫.塔里木盆地志留系古海洋沉积环境的元素地球化学特征[J].中国海洋大学学报,2006,36(2):200-208
- 5 张有瑜,Horst Zw ingmann,刘可禹,等.塔中隆起志留系沥青砂岩油气储层自生伊利石K-Ar同位素测年研究与成藏年代探讨[J].石油与天然气地质,2007,28(2):166-174
- 6 史忠生,陈开运,何胡军,等.锶同位素在沉积环境分析方面的应用[J].石油与天然气地质,2003,24(2):187-190
- 7 高长林,黄泽光,张玉箴.周口白垩系砂泥岩的化学特征及其

- 构造学意义 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 237~ 241
- 8 赵澄林, 李儒峰, 周劲松. 华北中新元古界油气地质与沉积学 [M]. 北京: 地质出版社, 1997. 29, 120~ 122
- 9 孟祥化, 葛铭. 中朝板块层序·事件·演化 [M]. 北京: 科学出版社, 2004. 60~ 100
- 10 Veizer J, Demovic R. Environmental and climatic controlled fractionation of elements in mesozoic carbonate sequences of the western Carpathians [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1973, 43(1): 258~ 271
- 11 Veizer J, Demovic R. Strontium as a tool for facies analysis [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1974, 44(1): 93~ 115
- 12 牟保磊. 元素地球化学 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1999. 30~ 34, 174~ 177, 205~ 210
- 13 谢建成, 杜建国, 许卫, 等. 安徽贵池地区含锰岩系地质地球化学特征 [J]. 地质论评, 2006, 52(3): 396~ 408
- 14 刘文均. 湖南泥盆系碳酸盐岩中锶的分布及其沉积环境 [J]. 沉积学报, 1989, 7(2): 15~ 19
- 15 胡明毅. 塔北柯坪奥陶系碳酸盐岩地球化学特征及环境意义 [J]. 石油与天然气地质, 1994, 15(2): 158~ 163
- 16 邵龙义. 湘中早石炭世沉积学和层序地层学 [M]. 北京: 中国矿业大学出版社, 1997. 79~ 87

(编辑 高 岩)

(上接第 336 页)

的相对集聚, 成为具有开采价值的“油藏”, 不过这类油藏的油气聚集丰度可能相对较低。这些区域分布应该是广泛的, 在中国东、西部许多盆地都应该存在, 是沉积盆地中除常规石油圈闭油藏以外的主要油藏类型, 也应该是今后研究的主体和勘探的重要目标。

参 考 文 献

- 1 邹才能, 陶士振, 谷志东. 中国低丰度大型岩性油气田形成条件和分布规律 [J]. 地质学报, 2006, 80(11): 1 739~ 1 751
- 2 刘自亮, 王峰, 李树, 等. 陕甘宁盆地西峰油田主要产层储油砂体沉积微相组合及特征 [J]. 沉积学报, 2005, 23(2): 248~ 254
- 3 周兴熙. 成藏要素的时空结构与油气富集——兼论近源富集成藏 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(6): 711~ 716
- 4 张克银. 鄂尔多斯盆地南部中生界成藏动力学系统分析 [J]. 地质力学学报, 2005, 11(1): 18~ 21
- 5 张哨楠, 胡江泰, 沙文武, 等. 鄂尔多斯盆地南部镇泾地区延长组的沉积特征 [J]. 矿物岩石, 2000, 20(10): 248~ 254
- 6 温爱琴, 范久霄. 鄂尔多斯盆地镇泾地区三叠系烃源岩地化特征及勘探前景 [J]. 河南石油, 2003, 17(2): 7~ 10
- 7 唐民安, 孙宝岭. 鄂尔多斯盆地泾川地区中生界油气富集受控因素及勘探方向 [J]. 河南石油, 2004, 14(4): 4~ 6
- 8 高帮飞, 邓军, 王庆飞, 等. 构造体制转换与成藏作用——以鄂尔多斯盆地为例 [J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(3): 9~ 12
- 9 周文, 黄辉, 王世泽, 等. 盖层及断层带的封堵作用评价 [M]. 四川成都: 四川科学技术出版, 2000. 56~ 76
- 10 周文, 刘飞, 戴建文, 等. 镇泾地区中生界油气成藏影响因素 [J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(2): 5~ 12
- 11 宋国奇. 成藏理论研究中的系统论——从“含油气系统”谈起 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(2): 111~ 115
- 12 丁晓琪, 张哨楠, 周文, 等. 鄂尔多斯盆地北部上古生界致密砂岩储层特征及其成因探讨 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(4): 491~ 496
- 13 宁宁, 陈孟晋, 孙粉锦, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系风化壳古油藏的确定及其意义 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 280~ 286

(编辑 高 岩)

(上接第 342 页)

- 14 North F K. Petroleum Geology [M]. London, UK: Chapman Hill, 1985
- 15 Ronov A B. Organic Carbon in sedimentary rocks [J]. Geochemistry, 1985, (5): 510~ 536
- 16 何自新. 鄂尔多斯盆地演化与油气 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2003
- 17 黄第藩, 李晋超, 张大江. 陆源有机质的演化和成烃机理 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1984
- 18 李贤庆, 候读杰, 胡国艺, 等. 鄂尔多斯盆地中部气田地层流体特征与天然气成藏 [M]. 北京: 地质出版社, 2005
- 19 夏新宇. 碳酸盐岩生烃与长庆气田气源 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2000
- 20 夏新宇, 洪峰, 赵林. 烃源岩生烃潜力的恢复探讨——以鄂尔多斯盆地奥陶统碳酸盐岩为例 [J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(4): 307~ 312
- 21 包建平, 王铁冠, 王金渝, 等. 下扬子地区海相中、古生界有机地球化学 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1996
- 22 邵建军, 李明宅. 我国海相碳酸盐岩的有机相及其生油气潜力 [A]. 石油与天然气文集 (第四集) [C]. 北京: 地质出版社, 1995. 65~ 77

(编辑 高 岩)