

元素地球化学特征在 识别碳酸盐岩层序界面中的应用 ——以冀北坳陷中元古界高于庄组为例

罗顺社^{1,2} 汪凯明^{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:元素是组成岩石矿物的基本单元,它们对环境的变化极为敏感。地层中元素的分配及比值变化、组合都在一定程度上记录着古沉积环境的演化历程,这些对恢复古沉积环境,研究海相碳酸盐古盐度、海平面相对变化具有重要的指示意义。利用元素地球化学特征对冀北坳陷中元古界高于庄组层序地层单元进行研究,发现在古气候的影响下,古盐度、相对海平面变化与碳酸盐中的元素含量及有关元素比值呈现明显的旋回变化特征。其中 Sr/Ba 比值法与硼法判别精度相对较高,可以作为识别和划分碳酸盐岩层序界面的有效标志。

关键词:元素地球化学;古盐度;碳酸盐岩;层序界面;高于庄组;中元古界;冀北坳陷

中图分类号:P595, P539.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2010)02-0430-08

元素地球化学方法已经在研究地质过程、构造背景以及岩石物源等方面得到应用,最初成功地被应用于火山岩研究。后来,应用元素地球化学判别沉积环境扩展到了沉积岩^[1]。元素在地层中的结合、迁移、富集和分散规律,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、古环境等外部条件的影响。通过对现代海洋水体研究证明^[2],海洋直接与大气相通,陆地相连,表面开阔,所以海相碳酸盐岩自然会详细而准确地纪录大量过去古温度、古降水、古盐度以及古生产力等多方面环境要素的变化历史。古环境研究中一直把碳酸盐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的基本单元,碳酸盐岩中元素地球化学特征与海平面变化有一定的响应关系,因此可以利用碳酸盐岩中元素地球化学的变化规律来识别和划分层序地层界面。

本文是在燕山冀北坳陷中元古界高于庄组地层野外露头沉积特征和层序地层学详细研究的基础上,对碳酸盐岩样品进行了系统的采集和元素地球化学分析,试图寻找元素的地球化学特征与沉积层序界面的关系。

1 地质背景

冀北坳陷位于渤海湾盆地北部,在内蒙古地轴以南、山海关隆起以西、密怀隆起以东,面积约 7000 km²(图 1),是中国目前勘探的最古老含油气构造单元^[3]。中新元古代—古生代,冀北坳陷为华北台内沉降盆地的一部分,构造活动基本上以简单的升降为主^[4],沉积了一套巨厚而横向上稳定的以碳酸盐岩为主夹碎屑岩地层,总厚度约 8000 m,自下而上分别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,根据岩

收稿日期:2009-06-30;改回日期:2009-11-18

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(GO800-06-ZS-350)资助。

作者简介:罗顺社,男,1961年生,博士,教授,硕士生导师,主要从事沉积学教学及科研工作;E-mail:kaiming214@126.com。

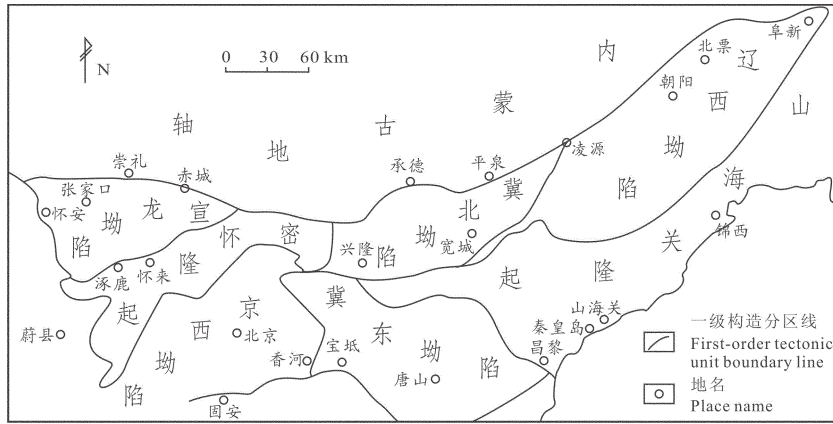


图 1 燕山地区构造划分和研究区位置图(据文献[3],有修改)
 Fig.1 Tectonic units of Yanshan region and location of the study area
 (modified from reference [3])

性特征自下而上可细分为 4 个亚组 10 个段(表 1)。高于庄期为长城纪最大海侵期，是大红峪期海侵的继续和发展，此期间燕山裂谷盆地的海域面积大大扩展。主要为一套滨海潮坪相含砂含藻灰质白云岩及浅海较深水台盆相页岩、泥质白云岩、白云质灰岩、瘤状灰岩沉积，颜色以灰—深灰色为主。富含有机质，有机碳含量甚高，总体上可以作为较好的生油层，具有较大的勘探潜力^[3-7]。

表 1 冀北拗陷高于庄组地层划分简表
 Table 1 Stratigraphic division of Gaoyuzhuang Formation in northern Hebei depression

地层					实测厚度/m
界	系	组	亚组	段	
中元古界	蓟县系	杨庄组	环秀寺亚组	第十段	64.26
				第九段	44.36
	长城系	高于庄组	张家峪亚组	第八段	105.28
				第七段	49.91
				第六段	93.76
				第五段	96.58
			桑树鞍山亚组	第四段	104.16
				第三段	124.37
				官地亚组	第二段
	第一段	131.29			
			大红峪组		

2 样品

碳酸盐岩的元素地球化学特征在研究古海平面变化、古沉积环境以及地层的划分和对比等方面取得了丰富的成果^[8,9]，然而在漫长的地质历史演变中，地质作用和成岩作用等多方面的因素不可避免的在一定程度上破坏原始沉积物的元素组成，因此对碳酸盐岩样元素组成的原始性研究显得至关重要。本次用于分析的碳酸盐岩样品均采自河北省宽城崖门子尖山子实测剖面，该剖面中元古界高于庄组地层出露良好，分布广泛，是一套未经变质的沉积岩系。采样密度约为 10 m 间距，所取样品新鲜，均未经蚀变、矿化或次生风化作用，符合地质实验要求。

3 元素地球化学

元素一般分为常量元素和微量元素，常量元素是指岩石中质量分数大于 1.0% 的化学元素，而微量元素则小于 1.0%^[10]。常量元素和微量元素的分配及比值的变化的组合和古盐度的分布，都在一定程度上指示着古气候环境的演化历程。这是因为，元素在岩层中的分配一方面取决于元素本身的物理化学性质，另一方面又受到古气候、古环境等外部条件的极大影响。对于冀北拗陷来说，中元古代构造活动基本上以简单的升降为主，故沉积环境和古气候的变化则对元素的分布起着主要的控制作用，并且表现出元素分布的规律性。而气候作为气温、降雨量、大气圈湿度和风的度衡，它决定着水的盐度和水的循环，

当气候变动时,自然导致沉积环境的改变,即控制元素分配的主因是古气候,因此利用元素的分布特征可以反演古气候的变化。与此同时,古气候还决定着沉积层序和沉积物类型,而且也反映了海平面的相对变化,在这种情况下,气候的变化对层序的发育起着决定性的作用。而古盐度是指示地质历史时期中古气候变化的一个重要标志,因此根据古盐度的变化可以识别和划分碳酸盐层序界面。

3.1 锶/钡

Sr/Ba 比值常作为古盐度判断的灵敏标志^[11,12],是依据溶液中锶的迁移能力及其硫酸盐化合物溶解度远大于钡的地球化学性质。锶和钡的化学性质较相似,但它们在沉积环境中由于地球化学行为的差异而发生分离,在自然界水体中,Sr 迁移能力比 Ba 迁移能力强,水介质矿化度即盐度很低时,Sr、Ba 均以重碳酸盐的形式出现,当水体矿化度即盐度逐渐加大时,钡以 BaSO₄ 的形式首先沉淀,留在水体中的 Sr 相对 Ba 趋于富集,当水体的盐度增大到一定程度时 Sr 亦以 SrSO₄ 的形式递增沉淀。因而记录在沉积物中的 Sr 丰度和 Sr/Ba 比值与古盐度呈明显正相关性,可作为定量确定水体盐度的有效地球化学指标。

利用 64 件碳酸盐样品的微量元素测试数据,计算并作出 Sr/Ba 对应取样位置在剖面上的变化曲线,由于 Sr/Ba 与古盐度具有正相关对应关系,因此可以根据基准面变化原理来划分层序地层单元(图 2),从图中可以看出,在 480 m 处,Sr/Ba 出现最大值 2.2,之下呈现逐渐变大的趋势,反映了一种水体缓慢加深的较深水沉积环境;之上则由 2.2 渐变为 1.0 左右,反映了一种水体逐渐向上变浅的变化趋势。根据上述古盐度变化规律,将高于庄组划分为 2 个准层序组,480 m 之下为一退积式准层序组,480 m 之上为一进积式准层序组,根据这 2 个准层序组的组合关系,还可以确定 480 m 附近为最大海泛面,其下为海侵体系域(TST)沉积,其上为海退体系域(HST)沉积,整个高于庄组构成一个完整的海侵—海退层序。同时,在各层序组内部又可识别出多个古盐度突变面,据此这 2 个层序组进一步细化为 14 个准层序。利用该方法划分的结果与宏观实测剖面观察进行对比,表明具有很好的一致性,在利用古盐度曲线识别出的 480 m 层序界面处,在剖面上对应为张家峪亚组(第五段)的瘤状灰岩段,为海水最

深的盆地相沉积,也印证了前人研究^[13,14]:高于庄组张家峪亚组下部的瘤状灰岩——凝缩段(CS)为最大海泛期沉积物。张家峪亚组上部(第七段、第八段)为高水位体系域(HST),由灰质白云岩、泥晶灰岩和白云质灰岩组成,HST 早期由灰质白云岩与泥晶灰岩构成,垂向序列准层序呈加积—进积准层序组;HST 晚期则由泥晶灰岩与白云质灰岩构成准层序组成,泥晶灰岩与白云质灰岩由多个层对构成,向上组成准层序变薄,单个准层序厚度减小,反映出向上白云岩化增强的特点,HST 晚期以进积准层序组为特征,属相对海平面下降过程的沉积产物。对应的古盐度曲线震荡变化明显,Sr/Ba 比值整体呈向上变小趋势。同时,在组内各亚组岩石地层界限附近,Sr/Ba 比值曲线响应较为明显,这主要是因为沉积环境的差异导致沉积岩石类型的不同,而不同岩石对于 Sr、Ba 等微量元素富集程度的差异,这也表明利用元素地球化学特征可以对沉积地层进行划分或对已划分的地层界线进行优选。

3.2 硼

自然界中硼是微量轻元素,与其他元素具有明显不协调的分布关系,硼又是易溶元素,主要赋存于地球表层的各类岩石和水中,而在下地壳、地幔岩石中含量较低^[15,16]。由于硼对于沉积环境及各种地质作用具有明显的指示意义,引起人们对探索硼及硼同位素的测试技术及其分配理论的广泛兴趣^[15]。Couch 认为,水体中 B 的含量与盐度存在线性关系,即水体盐度越高,B 含量就越大,沉积物吸附的 B 离子就越多。故常用硼作为古盐度恢复的重要指标^[17,18]。

利用 69 件碳酸盐样品的微量元素测试结果,作出 B 对应取样位置在剖面上的变化特征曲线(图 3),从图中可以看出,0~510 m 地层段,B 质量分数从 13.5×10^{-6} 逐渐增大至 120.0×10^{-6} ,平均含量为 52.1×10^{-6} ,变化特征明显,指示沉积受海相影响较大;510~950 m 地层段,B 质量分数基本维持在 $17 \times 10^{-6} \sim 22 \times 10^{-6}$,变化幅度较小,根据上述 B 含量变化规律,将高于庄组划分为 2 个准层序组,510 m 之下为一退积式准层序组,510 m 之上为一进积式准层序组。同时,在这 2 个层序组内部又可识别出多个古盐度突变面,据此这 2 个层序组进一步细化为 13 个准层序。与前文 Sr/Ba 比值法划分的结果对比,两者整体上一致性较好,所确定的界面在大多数准层序

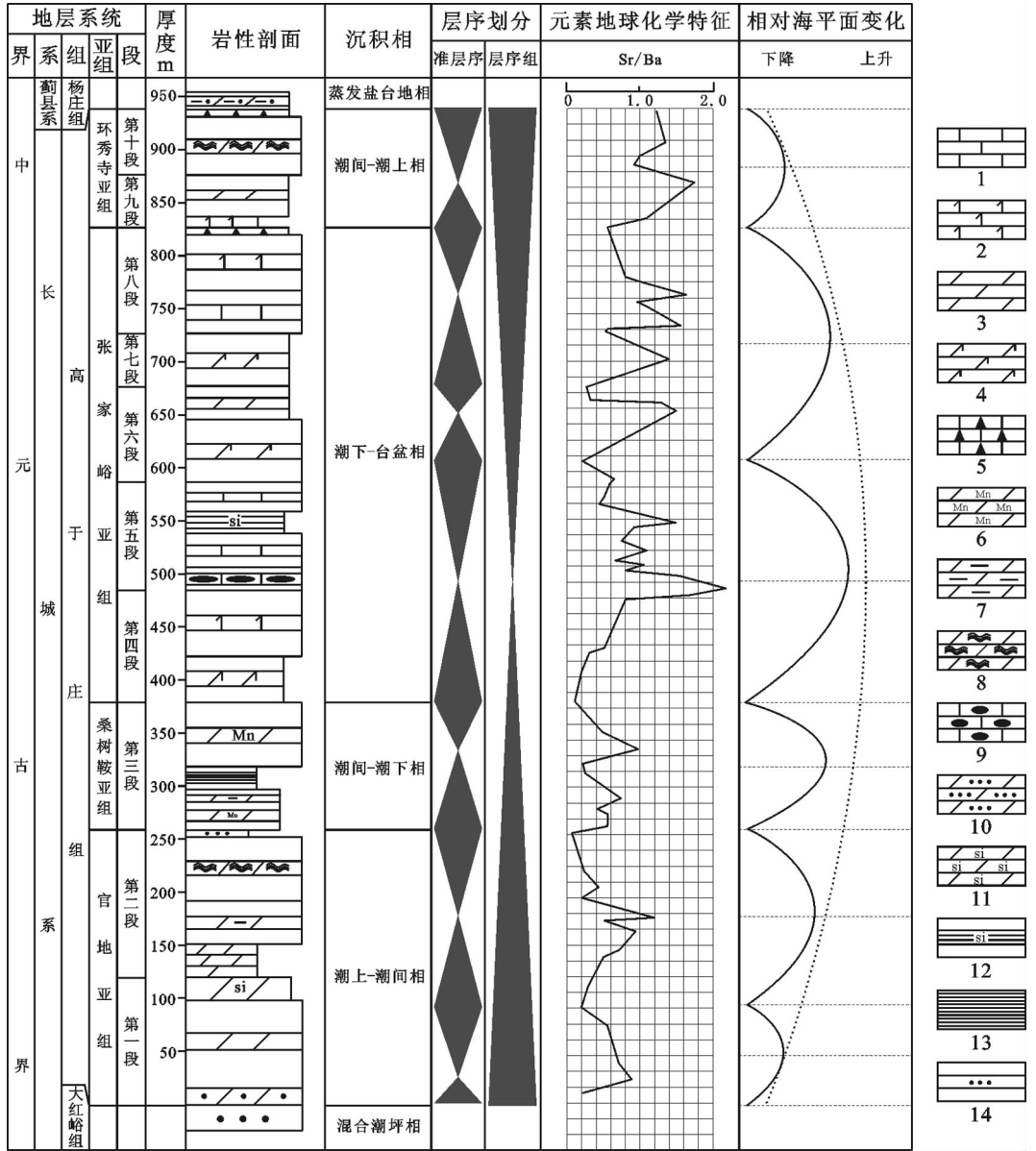


图 2 高于庄组 Sr/Ba 比值法层序单元划分模式图

1—石灰岩;2—白云质灰岩;3—白云岩;4—灰质白云岩;5—角砾灰岩;6—含锰白云岩;7—泥质白云岩;8—叠层石白云岩;9—瘤状灰岩;10—砂质白云岩;11—硅质白云岩;12—硅质岩;13—页岩;14—砂岩

Fig.2 Model for division of sequence units by ratio of Sr content to Ba content of Gaoyuzhuang Formation

1—Limestone; 2—Dolomitic limestone; 3—Dolomite; 4—Calcite dolomite; 5—Breccia limestone; 6—Manganese-bearing dolomite; 7—Argillaceous dolomite; 8—Stromatolite dolomite; 9—Nodular limestone; 10—Sandy dolomite; 11—Siliceous dolomite; 12— Siliceous rock; 13—Shale; 14—Sandstone

中符合很好,但也略有不同,前者划分的层序组界面在 480 m 左右,准层序多达 14 个,造成这种现象的原因,可能与取样的密度有关,取样密度越大,则层序界面识别的精度就越高;反之,则精度降低。利用该方法划分的结果与宏观实测剖面观察进行对比,也表现出较好的一致性,在官地亚组(第二段)

上部和环秀寺亚组(第十段)中部发育大量的叠层石白云岩,叠层石白云岩是一种生物化学成因的岩石,它是非钙质的丝状或球状蓝绿藻主要在潮坪浅水地带通过生物化学作用引起的碳酸盐颗粒围绕蓝绿藻沉淀,形成的藻席并粘结沉积物(主要是碳酸盐沉积物)而形成的,叠层石类型由柱状、锥状→

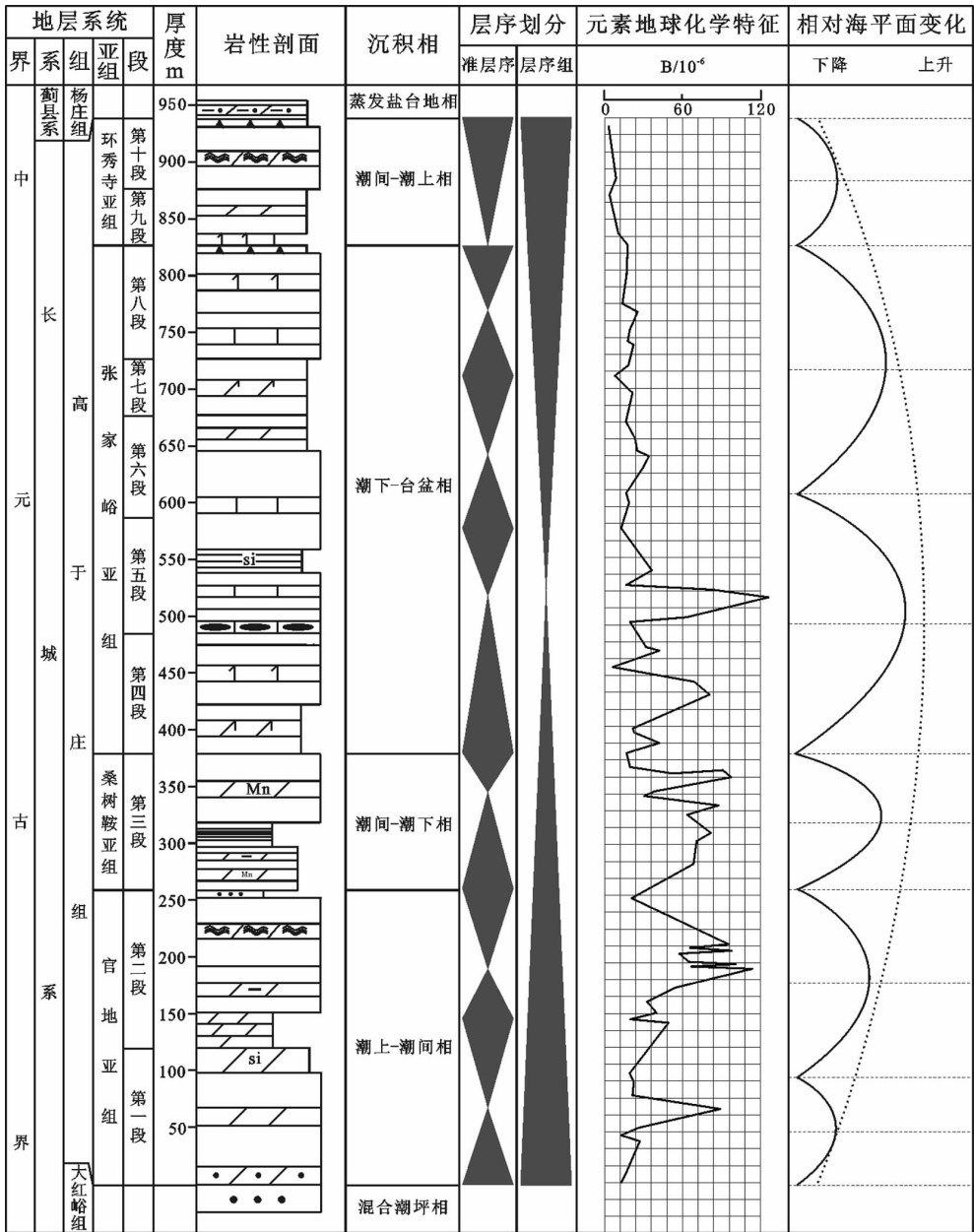


图 3 高于庄组硼值法层序单元划分模式图(图例参见图 2)

Fig.3 Model for division of sequence units by boron content of Gaoyuzhuang Formation (legend as for Fig. 2)

波状→层状,反映水体向上逐渐变浅,是海平面下降过程的沉积产物。而与之对应的古盐度硼曲线表现为向上由大变小,显示了水体向上变浅的进积序列,分别划分为一进积式准层序,两者呈现较好的一致性。环秀寺亚组(第十段)的顶部主要由藻席白云岩与泥质白云岩及白云质角砾岩(岩溶角砾岩)组成,反映环境由潮间带上部→潮上带→暴露相,且顶部发育古喀斯特、帐篷构造等,反映其是海水变浅、海

平面相对下降过程中的产物。从图 3 与之对应的古盐度硼曲线可以清楚的看出,古盐度逐渐变低,水体变浅,呈进积式准层序,两者也体现较好的一致性。桑树鞍亚组划分为海侵体系域(TST),下部由薄层含锰白云岩、泥质白云岩与灰黑色页岩组成一退积式准层序,上部由灰黑色页岩与厚层含锰白云岩组成一进积式准层序,整体上构成一个完整的沉积旋回,对应的古盐度硼曲线反映明显,整体上变化由小

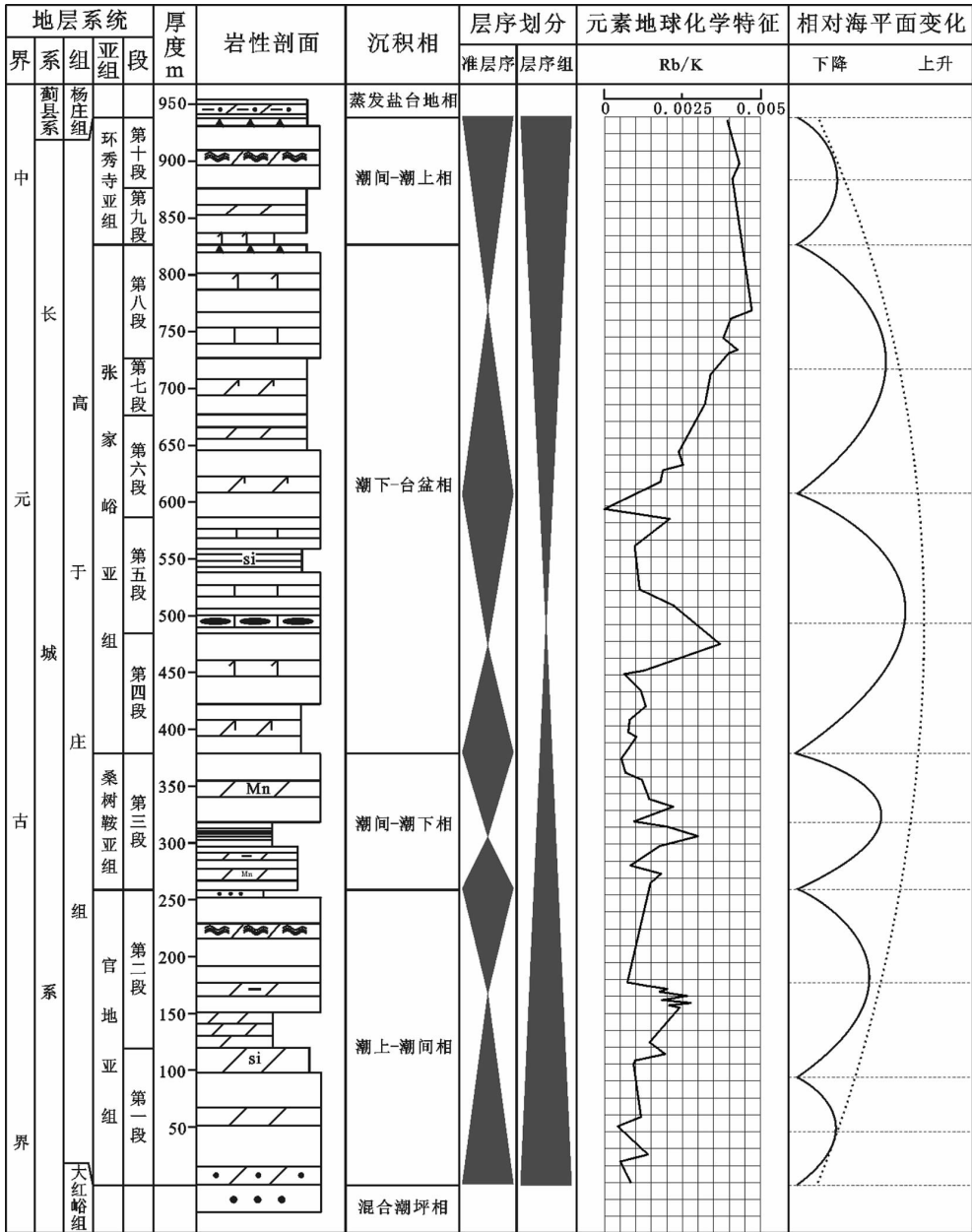


图 4 高于庄组铷/钾比值法层序单元划分模式图

Fig.4 Model for division of sequence units by ratio of Rb content to K content of Gaoyuzhuang Formation

到大,与上文 Sr/Ba 比值曲线划分结果吻合,两者呈现较好的一致性。

3.3 铷/钾

钾的含量与泥岩中碎屑矿物含量有着密切的关系,同时与粘土矿物中伊利石的含量有关,铷大部分呈悬浮胶体状态搬运,容易被粘土矿物及有机质吸附,故含盐盆地中铷有着较高的含量,据研究,铷/钾比值随盐度而变,一般正常的海相页岩中该比值大

于 0.006,微咸水页岩的该比值大于 0.004,河流沉积物的该比值为 0.0028,因此,铷/钾比值可以反映沉积介质的盐度变化^[19]。

利用铷/钾比值法计算得到的古盐度对高于庄组官地亚组的层序地层单元进行划分(图 4),从图中可以看出,在 480 m 处,Rb/K 比值发生突变,之下 Rb/K 比值由 0.0013 突变为 0.0042,之上则由 0.0042 突变为 0.0023;据此将高于庄组划分为 2 个

准层序组,480 m 之下为一退积式准层序组;之上为一进积式准层序组。在这 2 个层序组内部又可识别出多个古盐度突变面。整体上准层序组的划分与上文 Sr/Ba 比值法、硼法所表征的特点是一致的,但准层序的划分略有不同,Sr/Ba 比值法、B 法的识别精度分别可以达到 14 个和 13 个,而 Rb/K 比值法只有 8 个,且划分的准层序界面层位都有一定的差别,产生这种现象的原因与界面划分次级、取样密度以及样品测试精度有一定的关系。因此,应用元素地球化学特征划分层序界面时,需要选择具有代表性的样品进行古盐度分析,确保测试数据结果的可靠性,需要仔细分析数据来源,否则,会得出与地质现象相离甚至相悖的结论。

利用上述各种方法,通过古盐度的变化对研究区高于庄组地层准层序和层序组进行了识别和划分,与野外露头层序地层划分对比,整体上显示较好的一致性。露头层序地层划分的主要标志是地层存在明显的沉积间断或沉积相突变面,以此为原则,依据研究区地层发育特点,按照层序地层学的原理和工作方法,加以划分。而利用沉积物的元素地球化学特征进行层序的识别和划分主要是根据特征元素在地层纵向分布的演化规律,寻找突变面。沉积岩石类型和结构的不同必然导致其矿物成分的差异,而矿物成分又直接影响着其元素含量,由此看来,露头层序地层和元素地球化学特征对碳酸盐岩地层的识别存在一定的必然关系,因此两者的划分结果也体现出较好的一致性。

4 结 语

(1)利用元素地球化学特征与根据岩性剖面划分出的准层序和层序组的界面是一致的。因此,可以利用元素地球化学特征研究碳酸盐沉积层序界面。对比以上各种方法,发现 Sr/Ba 及硼法判别结果的可靠性相对较高,可以作为识别和划分碳酸盐沉积层序界面的更有效标志。

(2)影响和控制碳酸盐岩中各种元素含量的因素十分复杂,在应用元素地球化学特征识别层序界面时,由于单一方法的局限性,必须综合多项指标,相互验证,相互补充,才能更精准地划分碳酸盐沉积层序界面。同时合理增大取样密度,选择具有代表性的样品,保证测试结果的可靠性,使用合适的界面划分次级,也能有效的提高识别精度。

参考文献(References):

- [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] 谭红兵, 马海州, 张西营. 碳酸盐研究与其记录的环境变化[J]. 盐湖研究, 2003, 11(4): 20-27.
Tan Hongbing, Ma Haizhou, Zhang Xiyong. Study on carbonates and its record for environmental changes [J]. Journal of Salt Lake Research, 2003, 11(4): 20-27 (in Chinese with English abstract).
- [3] 王铁冠. 燕山地区震旦亚界油苗的原生性及其石油地质意义[J]. 石油勘探与开发, 1980, 7(2): 34-52.
Wang Tieguan. The Original nature and its petroleum geological significance of the oil seepage in Sinian Suberathem of the Yanshan area [J]. Petroleum Exploration and Development, 1980, 7(2): 34-52 (in Chinese).
- [4] 刘埃平, 郝石生, 钟子川. 冀北坳陷中上元古界—下古生界流体包裹体特征及其地质意义[J]. 沉积学报, 1997, 15(A12): 35-40.
Liu Aiping, Hao Shisheng, Zhong Zichuan. Characteristics of fluid Inclusion and its geological significance for Middle -Upper Proterozoic and Lower Palaeozoic sub-erathem of Jibei Depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(A12): 35-40 (in Chinese with English abstract).
- [5] 刘宝泉, 梁狄刚, 方杰, 等. 华北地区中上元古界—下古生界碳酸盐岩有机质成熟度与找油远景[J]. 地球化学, 1985(2): 150-162.
Liu Baoquan, Liang Digang, Fang Jie, et al. Organic matter maturity and oil-gas prospect in Middle -Upper Proterozoic and Lower Paleozoic carbonate rocks in Northern China [J]. Geochimica, 1985 (2): 150-162 (in Chinese with English abstract).
- [6] 郝石生, 高耀斌, 张有成. 华北北部中、上元古界石油地质学[M]. 东营: 石油大学出版社, 1990: 54-55.
Hao Shisheng, Gao Yaobin, Zhang Youcheng. Petroleum Geology of Middle -upper Proterozoic of North Area in Northern China [M]. Dongying: Petroleum University Press, 1990: 54-55 (in Chinese).
- [7] 刘宝泉, 秦建中, 李欣. 冀北坳陷中—上元古界烃源岩薄片及油苗、油源分析[J]. 海相油气地质, 2006, 5(1/2): 35-46.
Liu Baoquan, Qin Jianzhong, Li Xin. Study on the properties of source rock and the origin of oil in Middle -upper Proterozoic in Jibei depression [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2006, 5(1/2): 35-46 (in Chinese with English abstract).
- [8] 李国彪, 万晓樵, 其和日格, 等. 藏南岗巴—定日地区始新世化石碳酸盐岩微相与沉积环境[J]. 中国地质, 2002, 29(4): 401-406.
Li Guobiao, Wan Xiaojiao, Qihorige, et al. Eocene fossil carbonate microfacies and sedimentary environment in Gamba-Tingri, southern Tibet [J]. Geology in China, 2002, 29(4): 401-406 (in Chinese with English abstract).
- [9] 张玉修, 李勇, 张开均, 等. 西藏羌塘盆地依仓玛地区中上侏罗统碳酸盐岩特征及其环境意义[J]. 中国地质, 2006, 33(2): 393-400.
Zhang Yuxiu, Li Yong, Zhang Kaijun, et al. Characteristics of Mid -Upper Jurassic carbonate rocks in the Yichangma area,

- Qiangtang Basin, Tibet: Implications for the sedimentary environment [J]. *Geology in China*, 2006, 33 (2): 393–400 (in Chinese with English abstract).
- [10] 刘岫峰. 沉积岩实验室研究方法[M]. 北京:地质出版社, 1991: 198–199.
- Liu Xiufeng. Study Methods of Sedimentary Rocks in Laboratory [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991: 198–199 (in Chinese).
- [11] 王益友, 郭文莹, 张国栋. 几种地化标志在金湖凹陷阜宁群沉积环境中的应用[J]. 同济大学学报(自然科学版), 1979, 7(2): 51–60.
- Wang Yiyu, Guo Wenying, Zhang Guodong. Application of some geochemical indicators in determining of sedimentary environment of the funing group (Paleogene), Jin-Hu depression, Kiangsu province [J]. *Journal of Tongji University (Natural Science)*, 1979, 7(2): 51–60 (in Chinese with English abstract).
- [12] 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 (in Chinese with English abstract).
- [13] 黄学光. 燕山中段高于庄组桑树鞞沉积期岩相古地理演化特征 [J]. 中国地质科学院天津地质矿产研究所所刊, 1985, (13): 1–13.
- Huang Xueguang. The evolutionary characteristic of lithofacies palaeogeography of sangshuan period of the Gaoyuzhuang Formation in Middle Yanshan Range [J]. *Bulletin of Tianjin Institute of Geology*, 1985, (13): 1–13 (in Chinese with English abstract).
- [14] 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.
- Meng Xianghua, Ge Ming. Cyclic Sequences, Events and Evolution of the Sino-Korean Plate [M]. Beijing: Science Press, 2004: 60–100 (in Chinese).
- [15] 肖荣阁, 大井隆夫, 蔡克勤, 等. 硼及硼同位素地球化学在地质研究中的应用[J]. 地学前缘, 1996, 6(2): 361–368.
- Xiao Rongge, Takao Oi, Cai Keqin, et al. Application of boron and boron isotopic geochemistry in the study of geological process [J]. *Earth Science Frontiers*, 1996, 6(2): 361–368 (in Chinese with English abstract).
- [16] Chaussidon M, Jambon A. Boron content and isotopic composition of oceanic basalts: geochemical and cosmochemical implication [J]. *Earth Planet Sci. Lett.*, 1994, 121: 277–291.
- [17] Couch E L. Calculation of paleosalinities from boron and clay mineral data [J]. *AAPG Bull.*, 1971, 55(10): 1829–1837.
- [18] Hard H. Boron Content of sediment as a tool in facies analysis [J]. *Sedimentary Geology*, 1970, 4(1): 153–175.
- [19] 李进龙, 陈东敬. 古盐度定量研究方法综述[J]. 油气地质与采收率, 2003, 10(5): 1–3.
- Li Jinlong, Chen Dongjing. Summary of quantified research method on paleosalinity [J]. *Oil & Gas Recovery Technology*, 2003, 10(5): 1–3 (in Chinese with English abstract).

The application of element geochemical characteristics to the recognition of carbonate sedimentary sequence boundary: A case study of the Mesoproterozoic Gaoyuzhuang Formation in northern Hebei depression

LUO Shun-she^{1,2}, WANG Kai-ming^{1,2}

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

Abstract: Elements constitute the basic units of mineral rocks. They are sensitive to environmental changes. The characteristics of elements such as distribution, ratio and combination have recorded the information of environmental change during the evolution of sedimentary strata. These data are of important indicating significance in reconstructing sedimentary environment and studying the paleosalinity of marine carbonate rocks and the relative sea level change. The authors studied the sequence stratigraphic units of the Gaoyuzhuang Formation based on the element geochemical characteristics. The results show that, under the palaeoclimate influence, the paleosalinity, the relative sea level change and the element content in the carbonate as well as the related element ratios show obvious cyclic change characteristics. The methods of Sr/Ba and B have relatively high precision, which can serve as effective means for identifying and dividing the carbonate sequence boundary.

Key words: element geochemistry; paleosalinity; carbonate; sequence boundary; Gaoyuzhuang Formation; Mesoproterozoic; northern Hebei depression

About the first author: LUO Shun-she, male, born in 1961, doctor and professor, mainly engages in the study and teaching of sedimentology; E-mail: kaiming214@126.com.