

渭河盆地古近系细屑岩的古盐度分析^①

李智超¹ 李文厚¹ 赖绍聪¹ 李永项¹ 李玉宏² 尚 婷³

(1.大陆动力学国家重点实验室 西北大学地质学系 西安 710069;2.西安地质矿产研究所 西安 710054;
3.陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院 西安 710069)

摘 要 渭河盆地位于鄂尔多斯地块与秦岭造山带之间,古近纪主要出露地层为红河组及白鹿塬组,由于近些年在盆地新生界地层中发现氦气前景,有必要对其沉积环境进行研究,本文通过野外样品的主量元素、微量元素的测定,运用 Adams 法、Walker 相当硼法、B/Ga、Sr/Ba 比值法定量—半定量地分析了渭河古近系沉积时的盐度特征,同时结合化学蚀变指数 CIA 值的变化特征,对古近系沉积环境进行了综合分析,结果表明渭河盆地古近系红河组、白鹿塬组盐度为 2.2‰~11.7‰,为一内陆淡水湖泊,整体气候温暖湿润,局部地区干旱,并出现咸水沉积环境;同时发现蚀变指数 CIA 与盐度值成负相关关系,由红河组湖相环境至白鹿塬组河流及三角洲相为主的沉积环境,风化指数升高,而 B/Ga 比值所反映的盐度值降低。CIA 值在一定程度上反映了盐度特征,由于生物富集作用导致样品出现高 Sr 值,使得 Sr/Ba 比值在反映盐度时出现异常点。

关键词 渭河盆地 古近系 古盐度 CIA

第一作者简介 李智超 男 1988 年出生 博士研究生 沉积环境与沉积相研究 E-mail:lzc_369@126.com

通讯作者 李文厚 男 教授 E-mail:liwenhou@263.net

中图分类号 P534.61 P588.2 **文献标识码** A

内陆干旱—半干旱地区,湖泊作为重要沉积区,其流域的降水、径流以及蒸发平衡,不但影响着湖泊水位变化,同时影响着沉积环境中盐度变化。关于湖泊古盐度反演,随着实验技术手段的不断进步,研究领域的不扩展,生物壳体同位素、碳酸盐同位素、碎屑岩地球化学等,均可用来指示沉积环境^[1-4]。Adams(1965)和 Couch(1971)将 Walker 古盐度算法进一步校验,提出经验公式,得出了现今普遍接受的算法^[5-6]。这一方面的研究国内起步虽较晚,但发展迅速,从早期证实微量元素与古盐度之间的线性关系,到古盐度与沉积相之间的耦合,古盐度与湖岸线的分布及古盐度与储存空隙、成岩作用之间的关系^[7]、古盐度的确定都显示出作为基础地质研究中必不可缺的部分。同时古盐度的变化,对于水体升降旋回的重建可提供一定的指标,通过砂岩与伴生泥岩的地球化学分析,可半定量地确定湖泊水平面变化,进一步为沉积相及层序确定提供更多的依据^[8-9]。

1 区域地质背景

渭河盆地位于鄂尔多斯地块南缘、秦岭褶皱系以

北,处在两大构造单元结合部位,呈东西走向,是在中生代不同构造背景下形成于新生代晚期的一种扭转滑动地块。盆地内充填为新生代地层,前新生界是盆地的基底层系,故渭河盆地所在地域地层具二元结构。其沉积发展演化受鄂尔多斯南缘及秦岭造山带影响显著^[10-11],古近纪地层主要出露于骊山附近,呈扇形分布于骊山西南—东南各冲沟中,出露地层为上始新统红河组及下渐新统白鹿塬组。红河组以棕红色泥岩与灰黄色砂岩互层为主,白鹿塬组以灰白色砂岩及棕红色泥岩互层为主。盆地内石油钻井资料较少,多为上世纪 70 年代钻取,无岩芯样品,仅三原 WC3 井打穿古近系,厚度约 500 m,而野外地层最厚约 700 m,因此本文选取了骊山支家沟及营背后两条古近系出露完整的剖面进行了采样分析(图 1)。通过野外采集古近纪地层中的泥岩、粉砂质泥岩、砂质泥岩样品,进行系统的地球化学分析,从而确定渭河盆地古近系古盐度特征。样品的测试分析均在西安地质矿产研究所实验测试中心完成,仪器主要为 Xios4.0KwX 荧光光谱仪和等离子体质谱仪 ICP-MS。

^①中国地质调查局矿产资源调查评价项目(编号:12120113040300)资助
收稿日期:2014-04-23;收修改稿日期:2014-07-07

2 古盐度恢复

2.1 硼元素法

在目前应用最为广泛的恢复古盐度的方法中,以微量元素法最为常用,而硼元素是对沉积介质反应最为敏感的元素之一,也是目前最为广泛应用的一种方法来源^[12-13]。沉积介质中的硼浓度是水体盐度的函数,因此可通过测定硼含量来推断沉积介质的盐度。黏土矿物中,以伊利石对硼的吸收最强。针对以伊利石为主的泥岩,Walker(1968)提出公式^[14]: $B = 8.5 \times B_{\text{样品}} / K_2O_{\text{样品}}$ 。式中,“B”为“校正硼”质量百分含量,“校正硼”为样品中相当于 K_2O 含量在5%时的硼含量。根据Walker(1968)所列 K_2O 与校正硼含量曲线,可以查得Walker相当硼含量,根据相当硼含量也可以反映盐度特征。同时Adams(1965)在Walker(1963)基础上提出伊利石泥岩古盐度计算公式: $Y = 0.0977X - 7.043$ 。式中,Y为古盐度,X为“相当硼”值。由于本研究区泥岩主要以方解石胶结为主,黏土矿物以伊利石为主,所以应用Adams公式计算古盐度来反应盆地内盐度特征。

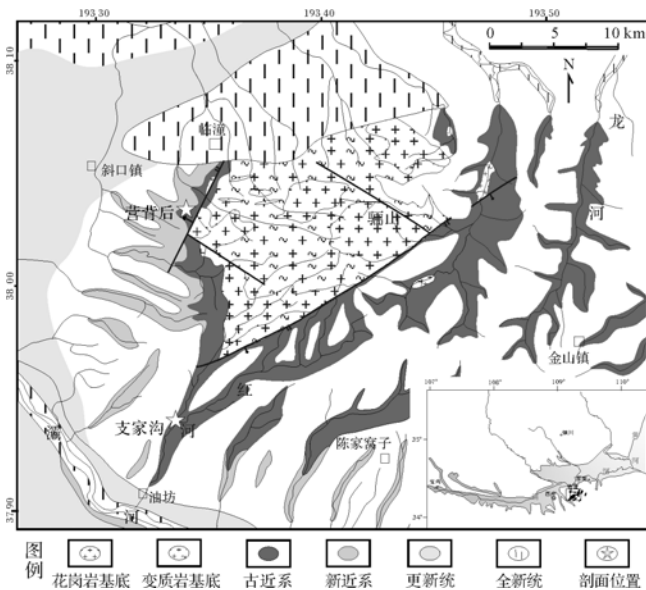


图1 渭河盆地地质简图和采样剖面位置

Fig.1 Sketch geological map of Weihe Basin and location of sampling section

2.2 Sr/Ba 比值法

Sr/Ba 值对古盐度的变化也比较敏感^[15-16],随着水体矿化度增加,盐度不断升高。首先Ba以 $BaSO_4$ 的形式析出,水体咸化到一定程度时,Sr才会

以 $SrSO_4$ 的形成析出,其Sr的含量及 Sr/Ba 比值与古盐度有很好的相关性,可根据沉积物中 Sr/Ba 比值来反映水体古盐度情况。

2.3 B/Ga 比值法

B与Ga的化学性质区别较大。B为不稳定元素,活性性强,可在水体中发生长距离迁移,Ga活性性差,迁移能力要低的多。Ga的氢氧化物主要在 $pH=5$ 的弱酸性介质中沉淀,其在淡水中比在海洋条件形成岩石中富集。这种B、Ga的差别,导致B/Ga比值可以作为盐度的指标^[17-18]。

3 古盐度特征

Adams法和Couch法二者在不同地区环境应用计算出的古盐度基本一致,相关性均较好^[12, 19],仅个别样品由于粒度大,黏土矿物组成复杂,偏差较大。Couch法使用盐度广,排除黏土影响因素,被认为是最有效的方法。但王昌勇等^[13]对鄂尔多斯陇东地区长9油层组古盐度分析发现,Couch法计算出的古盐度对伊/蒙混层地区不适用,说明了利用Couch法也存在一定的局限性,需要结合其他方法共同确定。

由Cox(1995)提出的ICV(成分变异指数)被广泛应用于估计细屑岩的原始成分变化^[20]。 $ICV = [x(Fe_2O_3) + x(K_2O) + x(Na_2O) + x(CaO^*) + x(MgO) + x(MnO) + x(TiO_2)] / x(Al_2O_3)$,其中 CaO^* 代表硅酸盐中CaO, Fe_2O_3 代表全铁含量。ICV大于1,说明细屑岩含很少的黏土矿物,为活动带首次沉积;而含大量黏土矿物的细屑岩ICV值小于1,说明强烈风化条件下的初次沉积。由此计算出样品ICV值在3.3~13.4之间,平均值7.8,远大于1,这说明黏土矿物含量少。同时结合 K_2O/Al_2O_3 比值(0.18~0.29),平均为0.25,小于0.3的情况,说明钾元素主要受黏土矿物影响而钾长石等碎屑矿物含量很少。通过薄片分析可知,本研究区细屑岩以方解石胶结为主,黏土矿物以伊利石为主,因此我们仅通过Adams古盐度算法,结果就足以反映本区古盐度特征。

通过计算骊山地区红河组、白鹿塬组泥岩盐度,可以看出盐度值在2.2‰~11.7‰(去除两个误差较大样品)之间(见表1),平均值为5.8‰。根据古盐度大于35‰为超咸水,25‰~35‰为咸水,10‰~25‰为半咸水,小于10‰为微咸水—淡水的划分标准,可以看出大部分样品处于微咸水—淡水

环境,部分样品达到了半咸水环境。古盐度平均值显示,渭河古近系整体沉积环境为微咸水—淡水湖泊环境。

表1 渭河盆地古近系细屑岩B含量、CIA值、B/Ga比值及Sr/Ba比值数据

Table 1 The data of "equivalent boron" concentration, CIA index, boron-gallium ratio, strontium-barium ratio and Palaeosalinity from Paleogene lutite in Weihe Basin

样号	岩性	时代	相当 B/ 10^{-6}	CIA %	B/Ga	Sr/Ba	古盐度 Sp‰
13YBH-1	泥岩	红河组	132	68.1	3.8	0.6	5.9
13YBH-2	泥岩	红河组	139	63.5	4.9	2.0	6.5
13YBH-3	泥岩	红河组	118	59.8	4.5	1.5	4.5
13YBH-4	泥岩	红河组	134	74.8	3.6	0.7	6.0
13YBH-5	泥岩	红河组	151	62.5	4.6	0.8	7.7
13YBH-6	泥岩	白鹿塬组	158	67.1	4.7	0.7	8.4
13YBH-7	泥岩	白鹿塬组	141	66.1	4.0	0.7	6.7
13YBH-8	砂质泥岩	白鹿塬组	192	65.5	5.4	1.8	11.7
13ZJG-1	砂质泥岩	红河组	189	77.1	4.5	0.4	11.4
13ZJG-2	砂质泥岩	红河组	115	73.0	3.5	0.2	4.2
13ZJG-3	砂质泥岩	红河组	125	72.3	3.7	1.2	5.2
13ZJG-4	砂质泥岩	红河组	118	71.5	3.3	0.5	4.5
13ZJG-5	泥岩	红河组	126	74.7	3.5	0.3	5.3
13ZJG-6	泥岩	红河组	124	69.9	3.1	0.7	5.1
13ZJG-7	砂质泥岩	红河组	123	62.9	4.5	0.5	5.0
13ZJG-8	泥岩	红河组	142	77.0	3.1	1.4	6.8
13ZJG-9	粉砂质泥岩	红河组	130	69.5	3.7	0.7	5.7
13ZJG-10	粉砂质泥岩	红河组	134	64.8	4.9	0.4	6.0
13ZJG-11	泥岩	白鹿塬组	48	77.3	1.0	1.9	—
13ZJG-12	粉砂质泥岩	白鹿塬组	100	64.0	2.3	0.3	2.7
13ZJG-13	泥岩	白鹿塬组	95	80.8	2.1	0.3	2.2
13ZJG-147	泥岩	白鹿塬组	107	80.0	2.4	0.3	3.4
13ZJG-15	泥岩	白鹿塬组	108	80.7	2.5	0.3	3.5
13ZJG-16	泥岩	白鹿塬组	111	81.6	2.3	0.5	3.8
13ZJG-17	泥岩	白鹿塬组	52	75.2	1.1	0.5	—

按照 Walker 相当硼含量, $300 \times 10^{-6} \sim 400 \times 10^{-6}$ 为正常海咸水环境, $200 \times 10^{-6} \sim 300 \times 10^{-6}$ 为半咸水, 小于 200×10^{-6} 为微咸水—淡水沉积^[14]。本次共对 25 个渭河盆地古近系泥岩、粉砂质泥岩及砂质泥岩样品进行了测试分析, 红河组 15 件, 白鹿塬组 10 件, 有两个样品风化严重, 受污染较大, 测试结果误差大, 去除后算出整体相当硼含量在 $95 \times 10^{-6} \sim 192 \times 10^{-6}$ 之间, 平均值为 131×10^{-6} , 属于微咸水—淡水沉积环境。对比计算出的古盐度, 可以看出大部分样品保持良好的一致性, 仅个别样品存在差异。

利用 B/Ga 比值来判断古盐度, 可以看出, 样品的 B/Ga 值在 1.3~5.4 之间, 平均值为 3.7。根据硼/镓比值小于 4 代表淡水, 大于 7 或 20 为海水^[21], 可

以看出, B/Ga 值反映出淡水沉积环境。部分样品 B/Ga 值超过 4, 反映出半咸水环境。

Sr/Ba 比值反映的沉积环境为: 小于 0.5 为淡水, 0.5~0.8 为半咸水, 大于 0.8 为咸水沉积^[15]。样品的 Sr/Ba 比值在 0.18~2.0, 平均值 0.73, 反映整体为半咸水, 部分样品达到了咸水沉积环境, 与其他算法存在差异。

4 讨论

泥岩沉积时的古盐度作为沉积环境的判别标志之一, 对研究渭河盆地古近系沉积时的水体环境提供了很好的依据。古近系红河组、白鹿塬组泥岩段以湖相沉积及三角洲沉积为主, 通过上述计算可知, 渭河盆地古近系为一内陆淡水湖泊, 古盐度属于淡水—半咸水, 与膏岩、白云岩发育的内陆湖盆所反映的咸水—干旱环境明显不同。

Adams 法测出的古盐度与相当硼含量所反映环境一致, 均为淡水—半咸水环境, 而相当硼含量未有超过 200×10^{-6} , 并不能完全说明水体一直处于淡水条件。列别捷夫 (1967) 提出了硼含量变化范围划分: 44×10^{-6} 为淡水相, 70×10^{-6} 为半咸水相, 102×10^{-6} 为咸水相 (海相)^[22]。由于不同研究区地质条件存在差异, 对于这些划分范围仅具参考意义。所以推测上述硼含量接近 200×10^{-6} 的样品为半咸水环境, 代表了局部层位干旱的环境特征。

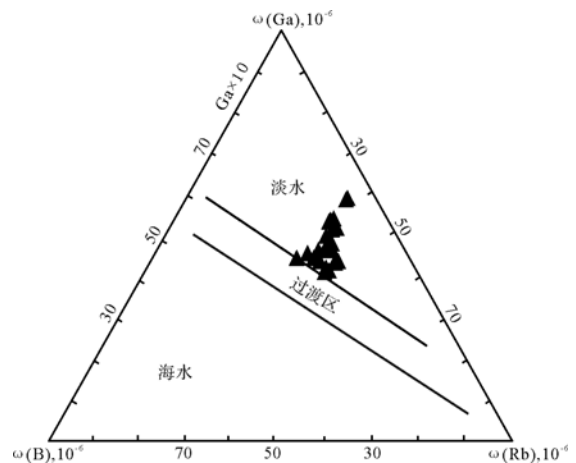


图2 Ga-B-Rb 含量关系图解

Fig.2 Triangle of gallium, boron, rubidium content

通过 Ga-B-Rb 微量元素三角图^[23] (图 2), 从大环境上来看, 渭河盆地古近系为一内陆淡水湖泊, 局部层位水体盐度值较高, 与上述所计算出的盐度环境保持了良好的一致性。Adams 古盐度计算结果与

Walker 相当硼含量所反映的环境基本一致,而 Walker 相当硼法提出的反应水体盐度的指标,在不同沉积环境,会有不同的差异。可以看出本研究区测出的相当硼值,未超过 200×10^{-6} ,全部样品为淡水环境。而在实际环境中存在有半咸水、干旱环境,因此 Walker 相当硼法所计算出的古盐度值仅具参考意义。

B/Ga、Sr/Ba 比值对于判断古盐度,具有良好的指示意义,而且消除了元素测试中的部分误差,它所反映的变化趋势,可以较好的反映水体盐度变化。通过野外实际观察,渭河新生代地层多为红色、棕红色,成岩松散,多遭受风化剥蚀,反映出干旱氧化环境^[24]。为此我们进行了风化指数计算,将风化指数(CIA)与古盐度进行对比,以确定其是否对盐度的计算产生影响。

$$CIA = \{ x(\text{Al}_2\text{O}_3) / [x(\text{Al}_2\text{O}_3) + x(\text{CaO}^*) + x(\text{Na}_2\text{O}) + x(\text{K}_2\text{O})] \} \times 100$$

式中, x 为氧化物的摩尔质量百分比, CaO^* 为硅酸盐中的 CaO 。化学蚀变指数 CIA 在一定程度上可以反映沉积物沉积时的背景环境^[25]。Nesbitt (1982) 研究认为, CIA 指数在 50~65 之间反应寒冷、干燥的气候条件下的风化,在 65~85 之间反应温暖、湿润条件下中等程度的化学风化, 85~100 之间反映炎热、潮湿的热带亚热带条件下强烈的化学风化。通过计算古近系泥岩的 CIA 值,发现其变化范围为 59.8~81.6,平均值为 71.6。可以看出,渭河盆地古近系时的环境为温暖潮湿,有一定程度的寒冷干燥间隙,整

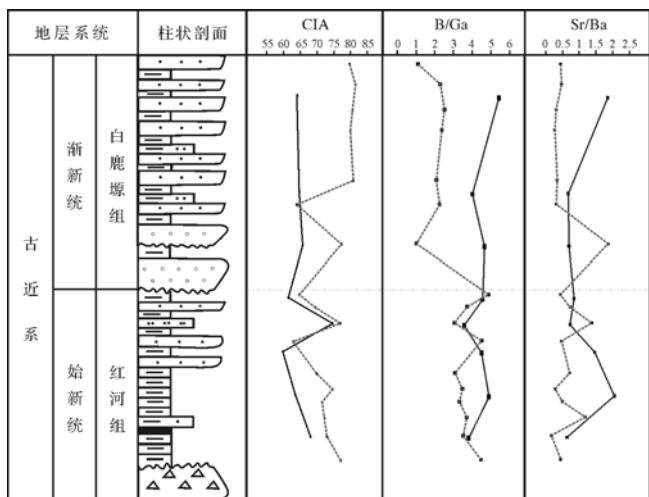


图 3 渭河盆地古近系泥岩 CIA、B/Ga、Sr/B 比值变化图 (实线:营背后剖面;虚线:支家沟剖面)

Fig.3 Distribution of CIA, B/Ga, Sr/Ba values from mud rock of Palaeogene in Weihe Basin (solid line:Yingbeihou section; hidden line:Zhijiagou section)

体上与内陆的淡水环境相匹配。

为进一步分析这一时期环境的变化波动,分析了两个剖面的 CIA、B/Ga 及 Sr/Ba 演化曲线(图 3)。由于两个剖面均围绕骊山出露,沉积环境相同,岩性基本一致,而出露厚度相差较大,因此可将二者对比于同一简单的岩性柱上。从曲线图上可以看出实线(营背后剖面)样品点分散,且由于泥岩多含粉砂质,所以趋势线变化并不明显。虚线代表的支家沟剖面各趋势线变化明显,B/Ga 和 Sr/Ba 所反映的古盐度变化趋势相似,但都有异常点出现。B/Ga 比值显示存在半咸水区域环境,而 Sr/Ba 值所反映的整体环境却为半咸水,部分甚至达到咸水环境。野外实际观察发现,高 Sr 样品多出现在湖相沉积环境的泥岩中,其中存在大量虫孔、古生物化石,这说明当时曾经存在过大量的古生物。由于古生物壳体对锶有吸附作用,导致生物死亡后会对锶造成富集,推测这些高 Sr 样品是由于生物作用结果,最终导致 Sr/Ba 反映的盐度变化变化趋势存在一定异常点。因此选取 B/Ga 值变化作为盐度变化指标与 CIA 进行对比。通过对比(图 4)发现 B/Ga 值与 CIA 具有良好的负相关性,相似系数达到 0.82,仅有两个样品(13ZJG-1,13ZJG-13)值偏离较大。对比主量元素分析发现,这两个偏离较大的样品除二氧化硅含量超过 60%外,其氧化铁含量也很高,代表了强氧化环境,说明气候的干燥,风化指数对于强氧化环境下的古盐度值相关性较差。

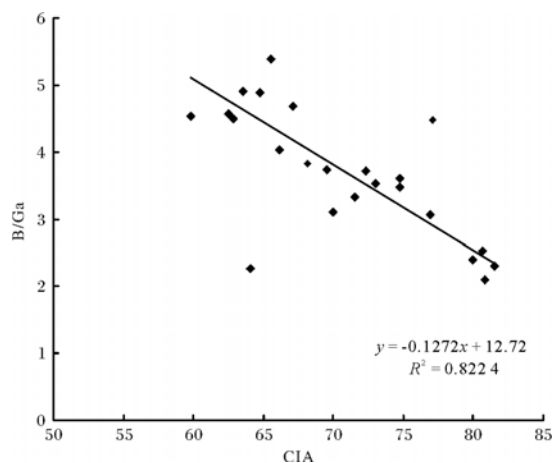


图 4 渭河盆地古近系 B/Ga 比值与 CIA 关系图

Fig.4 Relationship between the ration of B/Ga and CIA in Palaeogene, Weihe Basin

5 结论

(1) 通过硼元素法、Sr/Ba 比值、B/Ga 比值、Ga-B-Rb 等方法综合分析古盐度,确定渭河盆地古近系

整体处于一个内陆淡水湖泊,沉积水体古盐度较低,局部层位盐度达到半咸水甚至咸水环境。

(2) 实际野外观察地层多为红色、棕红色,风化强烈。通过风化指数 CIA 值确定红河组至白鹿塬组环境整体温暖湿润,同时存在寒冷干燥时段,风化强度并不是非常强烈。

(3) 风化指数 CIA 与古盐度之间存在良好的相关性,与所反映的温暖湿润变化相一致。风化指数升高,盐度降低,当风化指数降低时,盐度值升高,因此通过 CIA 值变化趋势也可以反映水体盐度变化。

(4) 从红河组至白鹿塬组,气候条件逐渐向温暖湿润转换,风化指数 CIA 值升高,相对应的沉积环境由湖泊相向河流三角洲相过渡,同时古盐度值降低。

(5) 局部样品的高 Sr/Ba 比值,是由于古生物富集造成 Sr 含量升高,导致 Sr/Ba 值在反映盐度变化时存在一定波动,而 B/Ga 值的变化则很好的反映了当时水体的盐度变化。

参考文献 (References)

- 孙占东,姜加虎,王润. 岱海水盐变化原因及影响研究[J]. 干旱区研究,2006,23(2):264-268. [Sun Zhandong, Jiang Jiahu, Wang Run. Study on the causes and impacts of water-salt change of the Daihai Lake[J]. Arid Zone Research, 2006, 23(2): 264-268.]
- 张秀莲. 碳酸盐岩中氧、碳稳定同位素与古盐度、古水温的关系[J]. 沉积学报,1985,3(4):17-30. [Zhang Xiulian. Relationship between carbon and oxygen stable isotope in carbonate rocks and paleosalinity and paleotemperature of seawater[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1985, 3(4): 17-30.]
- 曹建廷,段学军,王苏民,等. 近 800a 来内蒙古岱海湖水的盐度定量及其气候意义[J]. 地学前缘,2002,9(1):187-192. [Cao Jianting, DuanXuejun, Wang Sumin, et al. An 800-year reconstruction of paleosalinity in Daihai Lake water and its implications of climate change [J]. Earth Science Frontiers, 2002, 9(1): 187-192.]
- 羊向东,王苏民,Kamenik C,等. 藏南沉错钻孔硅藻组合与湖水古盐度定量恢复[J]. 中国科学(D 辑):地球科学,2003,33(2):163-169. [Yang Xiangdong, Wang Sumin, Kamenik C, et al. The diatom combination and quantitative recuperation of lake water paleosalinity in the core of Chen Co, Southern Tibet[J]. Science China (Seri.D): Earth Sciences, 2003, 33(2): 163-169.]
- Couch E L. Calculation of paleosalinities from boron and clay mineral data[J]. AAPG Bulletin, 1971, 55(10): 1829-1837.
- Adams T D, Haynes J R, Walker C T, et al. Boron in Holocene illites of the Dovey Estuary, Wales, and its relationship to palaeosalinity in cyclothem[J]. Sedimentology, 1965, 4(3): 189-195.
- 文华国,郑荣才,唐飞,等. 鄂尔多斯盆地耿湾地区长 6 段古盐度恢复与古环境分析[J]. 矿物岩石,2008,28(1):114-120. [Wen Hua-guo, Zheng Rongcai, Tang Fei, et al. Reconstruction and analysis of paleosalinity and paleoenvironment of the Chang 6 Member in the Gengwan region, Ordos Basin [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2008, 28(1): 114-120.]
- 陈洪德,李洁,张成弓,等. 鄂尔多斯盆地山西组沉积环境讨论及其地质启示[J]. 岩石学报,2011,27(8):2213-2229. [Chen Hongde, Li Jie, Zhang Chenggong, et al. Discussion of sedimentary environment and its geological enlightenment of Shanxi Formation in Ordos Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(8): 2213-2229.]
- 伊海生,时志强,朱迎堂,等. 利用泥质岩硼含量重建过去湖泊古盐度和湖面变化历史[J]. 湖泊科学,2009,21(1):77-83. [Yi Haishen, Shi Zhiqiang, Zhu Yingtang, et al. Reconstruction of paleo-salinity and lake-level fluctuation history by using boron concentration in lacustrine mudstones[J]. Journal of Lake Sciences, 2009, 21(1): 77-83.]
- 韩恒悦,张逸,袁志祥. 渭河断陷盆地的形成演化及断块运动[J]. 地震研究,2002,25(4):362-368. [Han Hengyue, Zhang Yi, Yuan Zhixiang. The evolution of Weihe down-faulted basin and the movement of the fault blocks [J]. Journal of Seismological Research, 2002, 25(4): 362-368.]
- 邢作云,赵斌,涂美义,等. 汾渭裂谷系与造山带耦合关系及其形成机制研究[J]. 地学前缘,2005,12(2):247-262. [Xing Zuoyun, Zhao Bin, Tu Meiyi, et al. The formation of the Fenwei rift valley [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(2): 247-262.]
- 许璟,蒲仁海,杨林,等. 塔里木盆地石炭系泥岩沉积时的古盐度分析[J]. 沉积学报,2010,28(3):509-517. [Xu Jing, Pu Renhai, Yang Lin, et al. The palaeosalinity analysis of carboniferous mudstone, Tarim basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(3): 509-517.]
- 王昌勇,郑荣才,刘哲,等. 鄂尔多斯盆地陇东地区长 9 油层组古盐度特征及其地质意义[J]. 沉积学报,2014,32(1):159-165. [Wang Changyong, Zheng Rongcai, Liu Zhe, et al. Paleosalinity of Chang 9 reservoir in Longdong area, Ordos Basin and its geological significance [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2014, 32(1): 159-165.]
- Walker C T, Price N B. Departure curves for computing paleosalinity from boron in illites and shales [J]. AAPG Bulletin, 1963, 47(5): 837-841.
- 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.]
- Harder H. Boron content of sediments as a tool in facies analysis [J]. Sedimentary Geology, 1970, 4(1/2): 153-175.
- 程安进. 安徽巢县二叠纪地层的硼含量及硼镓比[J]. 地层学杂志,1994,18(4):299-300. [Cheng Anjin. The gallium and boron content and their ratios in Permian strata, Nest county, Anhui province [J]. Journal of Stratigraphy, 1994, 18(4): 299-300.]
- 严钦尚,张国栋,项立嵩,等. 苏北金湖凹陷阜宁群的海侵和沉积环境[J]. 地质学报,1979(1):74-83. [Yan Qinshang, Zhang Guodong, Xiang Lisong, et al. Marine inundation and related sedimentary environment of Funing Group (Lower Paleogene), in Jindu depression, North Jiangsu Plain [J]. Acta Geologica Sinica, 1979 (1): 74-

- 83.]
- 19 赵永胜,宋振亚,温景萍,等. 保山盆地湖相泥岩微量元素分布与古盐度定量评价[J]. 海洋与湖沼, 1998, 29(4): 409-415. [Zhao Yongsheng, Song Zhenya, Wen Jingping, et al. Quantitative evaluation of paleosalinities and distribution of trace elements in the lacustrine mudstone of Baoshan Basin[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1998, 29(4): 409-415.]
- 20 Cox R, Lowe D R, Cullers R L. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, 59(14): 2919-2940.
- 21 张国栋,王慧中. 中国东部早第三纪海侵和沉积环境:以苏北盆地为例[M]. 北京:地质出版社, 1987: 64. [Zhang Guodong, Wang Huizhong. Paleogene Transgression and Depositional Environment in Eastern China: Taking North Jiangsu Basin as a Case[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987: 64.]
- 22 李成凤,肖继风. 用微量元素研究胜利油田东营盆地沙河街组的古盐度[J]. 沉积学报, 1988, 6(4): 100-107. [Li Chengfeng, Xiao Jifeng. The application of trace element to the study on paleosalinities in Shahejie Formation of Dongying Basin in Shengli oilfield[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1988, 6(4): 100-107.]
- 23 大森昌卫,茂木昭夫,星野通. 浅海地质学[M]. 北京:科学出版社, 1980: 57. [Dasin Changwei, Maomu Shaofu, Xingye Tong. Marine Geology[M]. Beijing: Science Press, 1980: 57.]
- 24 张文防,戴霜,刘海娇,等. 六盘山地区下白垩统红色绿色泥岩地球化学特征及气候环境[J]. 地球科学进展, 2012, 27(11): 1236-1244. [Zhang Wenfang, Dai Shuang, Liu Haijiao, et al. The geochemistry of the early Cretaceous red and green mudstones, Liupanshan Group, Liupanshan area and its implications on the climate[J]. *Advances in Earth Science*, 2012, 27(11): 1236-1244.]
- 25 Nesbitt H W, Young G M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites[J]. *Nature*, 1982, 299(5885): 715-717.

The Palaeosalinity Analysis of Paleogene Lutite in Weihe Basin

LI ZhiChao¹ LI WenHou¹ LAI ShaoCong¹ LI YongXiang¹ LI YuHong² SHANG Ting³

(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069;

2. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054;

3. Research Institute of Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co., Ltd., Xi'an 710069)

Abstract: The main emergence stratum of Paleogene in the Weihe Basin, which hold in the Ordos block and Qinlingorogenic belt, include Honghe Formation and Bailuyuan Formation. In recent years, helium gas in the basin found in the Cenozoic strata has a prospect, it's necessary for us to research on sedimentary environment. Through the analysis of major and trace elements of field samples, the Paleogene sedimentary environment was revealed by quantitative semiquantitative analysis involving calculation using Adams formula, equivalent boron suggested by Walker, B/Ga ratio, Sr/Ba ratio methods and the variation characteristics of chemical index of alteration CIA. The results indicate the range of palaeosalinity of Honghe Formation and Bailuyuan Formation is 2.2‰~11.7‰, and display that Weihe basin belongs fresh water lake, which are warm, moist climate overall, regional drought and salt water sedimentary environment. At the same time, we find that chemical index of alteration have negative correlation with salinity value. By the lacustrine environment in Honghe Formation to river and delta facies environment in Bailuyuan Formation, CIA index increases, and the salinity of the B/Ga ratio is reduced, which show that CIA values, to some extent, reflect the characteristics of salinity. Because of bioconcentration the samples have high Sr values, which result in abnormal points when Sr/Ba ratio reflect salinity.

Key words: Weihe Basin; Paleogene; paleosalinity; chemical index of alteration