

保山盆地湖相泥岩微量元素分布与古盐度定量评价*

赵永胜 宋振亚 温景萍[†] 孙庭金[†]

(成都理工学院油气藏地质及开发工程国家重点实验室 成都 610059)

[†](滇黔桂石油勘探局石油天然气勘探公司 昆明 650200)

提要 于1994—1995年间,在云南保山盆地第三系地层采集泥岩样品,用中子活化分析方法和化学分析方法测定了泥岩的微量元素和氧化物含量;用X-射线衍射(XRD)分析和扫描电镜(SEM)分析方法测试了泥岩的粘土矿物成分和含量;应用科奇和亚当斯理论计算了湖盆古盐度。结果表明,该湖盆羊四段盐度最高达15.70,羊三段盐度为12.79,羊一段盐度为13.35,南林组盐度为13.26。随着沉积介质盐度的增大,微量元素硼(B)、相当硼含量逐渐增大,Sr/Ba、B/Ga比值也逐渐增加,它们之间呈线性正相关关系。

关键词 古盐度 定量评价 微量元素 泥岩 保山湖盆

学科分类号 P588.212.1

在泥岩微量元素研究中,根据硼和粘土矿物含量计算古盐度方法相对较为完善,Walker等(1963)建立了定量计算的基础;Adams等(1965)和Couch(1971)提出了古盐度的计算方法,该方法由于考虑到多种因素,使古盐度的计算精度得到提高,被用于解决地质问题,并在保山盆地沉积环境古水介质盐度和控气因素研究中,取得了良好的效果。

保山盆地位于云南怒江大断裂以东,澜沧江大断裂以西,为一西断东超的箕状断陷湖盆。西侧主断裂控制了盆地的形成,盆内发育的第三系地层是天然气产层,现已投入生产。为探讨天然气的成因及形成环境,作者试图对烃源岩形成时的古盐度作定量研究,为进一步评价该盆地的油气资源提供新的勘探依据。

1 研究方法

采集了保参1井、2井和露头剖面的不同深度(层位)的泥岩样品共20件,其中地表5件,井下岩芯15件。对样品浸泡、提纯,用双氧水(H₂O₂)除去有机质,所提取的小于0.002mm的粘土矿物供分析之用。部分样品用化学分析法和中子活化法测定泥岩微量元素及氧化物含量,剩余样品用X射线衍射分析和扫描电镜分析测定粘土矿物成分和含量变化。

2 结果与讨论

2.1 湖盆古盐度定量评价

2.1.1 硼含量、相当硼含量变化

* 国家自然科学基金资助项目,49372120号。赵永胜,男,出生于1963年1月,教授,Fax:0086-028-4079077

收稿日期:1996-08-13,收修改稿日期:1998-02-26

已有研究表明 (Potter *et al*, 1963; Harder, 1970; Couch, 1971), 水中硼含量与盐度间存在线性关系。因此, 用沉积物中的硼含量可求得水体的含盐量, 但沉积物中硼含量受沉积物类型和矿物成分的影响, 泥质沉积物的硼含量最高; 不同粘土矿物从水中吸附硼的能力不同, 伊利石吸附硼最多, 故粘土矿物中伊利石的硼含量能够较好地反映古盐度。

对于研究层段泥岩用化学分析测得硼含量, 根据泥岩中硼含量和 K_2O 含量及粘土矿物成分的变化, 可以计算相当硼含量和湖盆古盐度。通过中子活化和化学分析测定, 硼含量的变化介于 40.1×10^{-6} — 113.0×10^{-6} 之间 (表 1)。

伊利石中硼含量与 K_2O 含量有关, 为了在同等条件下对比, 需计算相当于 K_2O 含量为 5% 时硼含量 (称为“相当硼含量”)。为此, Walker 等 (1963) 根据硼、钾含量作出一系列换算曲线 (图 1), 根据泥岩的 K_2O 含量 (%) 和校正硼含量, 即可在该曲线上可查得相当硼含量, 其结果见表 1。根据 Walker 等 (1963) 的资料认为: 相当硼含量在 300×10^{-6} — 400×10^{-6} 之间为海相沉积; 200×10^{-6} — 300×10^{-6} 之间为半咸水相沉积; 小于 200×10^{-6} 为淡水沉积; 表明羊邑组和南林组以淡水沉积为主, 间有咸水的侵入 (表 1)。

2.1.2 古盐度定量评价

表1 保山盆地湖相泥岩硼含量和古盐度变化

Tab.1 Comparison of paleosalinity changes and boron contents in the lacustrine mudstone of Baoshan Basin

层位	K_2O ¹⁾ (%)	B (硼) ¹⁾ ($\times 10^{-6}$)	校正硼 ²⁾ 含量 ($\times 10^{-6}$)	相当硼含量 ($\times 10^{-6}$)	古盐度	
					公式 (1)	公式 (2)
羊 四 段 (N_{2y})	3.50	101	245.29	210	13.474	14.38
	3.50	113	274.43	235	15.92	15.70
	3.50	99.1	240.68	208	13.28	14.17
羊 三 段 (N_{3y})	3.16	93.8	252.31	205	12.99	12.79
	3.30	40.1	103.29	46	/	6.57
	3.30	90.3	232.59	190	11.52	12.41
羊 一 段 (N_{1y})	4.12	96.8	199.71	180	10.54	12.53
	3.57	104	247.62	220	14.45	13.25
	4.12	105	216.63	200	12.50	13.35
南林组 (N_{1n})	3.28	95.4	247.22	210	13.47	13.26

1) K_2O , B 含量由成都理工学院测试中心测定; 2) 校正硼含量 = $8.5 \times$ 吸附硼含量 / $K_2O\%$, 常数 8.5 是指岩石中没有其它含钾矿物时, 纯伊利石中 K_2O 的理论值, 即纯伊利石中硼含量称为“校正硼含量”(Walker *et al*, 1963)

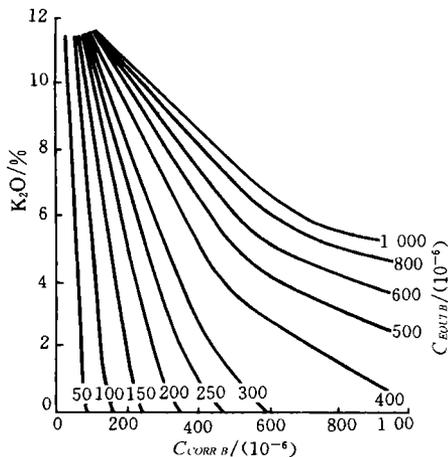


图 1 计算相当硼含量的偏离曲线

[据 Walker *et al*, 1963] $C_{CORR B}$ 为校正硼含量;
 $C_{EQUI B}$ 为相当硼含量]

Fig.1 Departure curves for computed equivalent boron

根据 $Y=C_1\log S+C_2$ 原理, Adams 等 (1965) 提出定量计算古盐度的经验公式为:

$$Y=0.0977X-7.043 \quad (1)$$

式中, Y 为盐度; X 相当硼含量。Couch (1971) 计算公式为:

$$\log B_K = 1.28\log S_p + 0.11 \quad (2)$$

$$\log S_p = \frac{\log B_K - 0.11}{1.28} \quad (3)$$

$$B_K = \frac{B}{4X_i + 2X_m + X_k} \quad (4)$$

表2 保山盆地湖相泥岩粘土矿物含量变化 (%) ¹⁾

Tab.2 Variations in clay mineral content (%) in the lacustrine mudstone of Baoshan Basin

层位	伊利石	蒙脱石	高岭石	绿泥石
羊四段 (N_{2y}^4)	39	52	4	3
	35	53	7	4
羊三段 (N_{2y}^3)	44	40	8	4
	65	10	14	9
羊一段 (N_{2y}^1)	68	0	21	10
	71	0	18	10
南林组 (N_{1n})	70	0	18	11

1) 样品由成都理工学院“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室X光室测定

式中, S_p 为古盐度; B_K 为高岭石吸附的硼含量; B 为粘土矿物吸取硼总量; X_i, X_m, X_k 分别为伊利石、蒙脱石、高岭石百分数。该方法适合于粘土矿物成分复杂、盐度范围变化大的古盐度计算。

为了确定泥岩粘土矿物的组成和含量变化, 对所测得的样品作了 X-射线衍射 (XRD) 分析和扫描电镜 (SEM) 分析, 其粘土矿物成分主要为蒙脱石、伊利石、高岭石和绿泥石, 它们的含量变化见表 2。

根据泥岩粘土矿物成分含量变化, 利用公式 (1) 和 (2) 分别计算了湖盆的古盐度, 计算结果见表 1。从表 1 可知, 用公式 (1) 和公式 (2) 计算的古盐度变化范围相差不大。图 2 显示相当硼含量与古盐度之间的关系, 随着古盐度的增大, 沉积物中相当硼含量增加, 它更能真实地反映古盐度的变化, 表征在上第三系沉积过程中, 湖盆沉积介质保持淡水的特征, 但盐度发生明显的变化, 这从泥岩中含有微量石膏和不同时期泥岩中有机质含量变化得到了佐证 (赵永胜, 1996)。

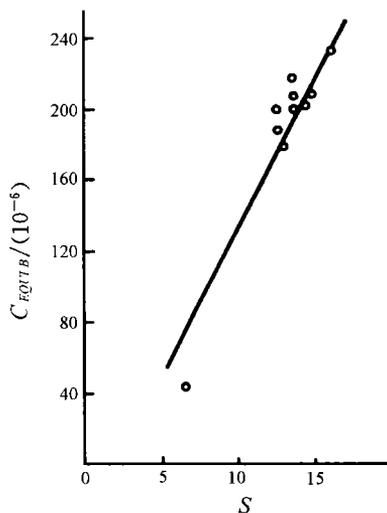


图2 保山盆地相当硼含量 (C_{EQUIB}) 与古盐度关系

Fig.2 Relationship between equivalent boron and paleosalinity for Baoshan Basin

2.2 古湖盆中微量元素的富集与分布

2.2.1 泥岩微量元素分布

微量元素是指岩石中含量低于 10^{-2} 的化学元素, 沉积盆地具有基本的地球化学环境, 对元素的分布起主要的控制作用, 并且表现出微量元素分布的规律性, 表 3 是保山盆地泥岩的微量元素含量变化和分布特征。

2.2.2 微量元素与古盐度关系

表3 保山盆地泥质岩微量元素含量($\times 10^{-6}$)统计表¹⁾

Tab.3 Statistics of trace element contents of the mudstone of Baoshan Basin

层 位		羊四段 (N_4^2)				羊三段 (N_3^2)				羊一段 (N_1^2)				南林组
样品号		(1)	(2)	(2)	平均	(1)	(2)	(2)	平均	(1)	(2)	(3)	平均	(N_{10})
		(1)												
微 量 元 素	B	101	113	99.1	104.3	93.8	40.1	90.3	74.7	96.8	104	105	101.9	95.4
	Sr	49.10	48.74	59.70	52.5	36.08	28.8	31.77	32.2	24.1	28.5	27	26.5	28.0
	Ga	22.1	19.9	21.5	21.2	17.3	11.9	17.2	15.5	18.8	20.1	23.2	20.7	17.6
	Ni	46.57	46.90	53.97	49.15	34.88	16.42	38.53	29.94	21.8	38.86	27.51	29.4	30.32
	V	110	108	129	115.7	106	81.4	90	92.5	63	88.2	90	80.4	85.3
	Ba	563	525	558	548.7	425	309	497	410.3	461	531	594	528.7	506
	Rb	146	150	150	148.7	112	58	138	102.7	116	158	166	146.7	128
元 素 比 值	V/Ni	2.36	2.30	2.39	2.35	3.03	4.95	2.33	3.10	2.89	2.26	3.27	2.74	2.81
	Rb/K($\times 10^{-3}$)	5.16	5.43	5.43	5.34	5.38	5.13	5.22	5.27	5.15	5.34	5.76	5.43	5.02
	Sr/Ba	0.09	0.09	0.12	0.10	0.08	0.09	0.064	0.09	0.05	0.054	0.045	0.05	0.06
	Fe ²⁺ /Fe ³⁺	1.35	1.23	1.07	1.22	8.85	13.56	3.76	8.59	0.34	1.57	1.96	1.29	2.07
	B/Ga	4.57	5.67	4.60	4.92	5.42	3.37	5.25	4.82	5.15	5.17	4.52	4.92	5.42

1) 样品由成都理工学院测试中心分析

2.2.2.1 B, Ni, Sr 含量变化 据 Walker 等 (1963), 粘土矿物中硼含量大于 120×10^{-6} 的为咸水; 80×10^{-6} — 120×10^{-6} 的为半咸水; 小于 80×10^{-6} 的为淡水。羊三段的 B 含量平均

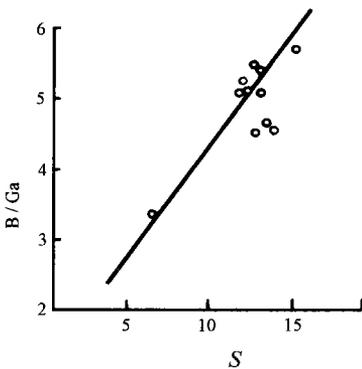


图3 保山盆地 B/Ga 比值与古盐度关系
Fig.3 Relationship between the B/Ga ratio and paleosalinity for Baoshan Basin

为 74.7×10^{-6} , 为淡水沉积; 羊一段和羊四段的 B 含量平均为 101.9×10^{-6} — 104.3×10^{-6} , 南林组 B 含量为 95.4×10^{-6} , 则显示有微咸水的成分。羊一段、羊二段和羊四段 Sr 含量平均为 26.5×10^{-6} — 52.5×10^{-6} , 小于淡水沉积标准 100×10^{-6} — 300×10^{-6} ; 其中羊四段 Ni 含量平均为 49.15×10^{-6} , 大于海相沉积的 40×10^{-6} , 显示有咸水的迹象。综合多种微量元素分析表明, 南林组和羊邑组沉积介质以淡水沉积为主, 但 B 和 Ni 微量元素显示有咸水的侵入特征。

2.2.2.2 B / Ga 比值 该比值是提供认识古盐度的一种证据 (Potter *et al*, 1963; Degens, 1957); B, Ga 是两种化学性质不同的元素, 硼酸盐溶解度大, 能迁移, 只有当水蒸发后才析出; Ga 的活动性低, 易于沉淀。本区的 B / Ga 比值随着盐度增加而有增大 (图 3), 因此利用 B / Ga 比值可指示古盐度。王益友等 (1979) 认为, B / Ga

比值小于 4 为淡水,大于 7 或 20 为海水。该区 B / Ga 比值为 4.82—5.42,均大于 4 而小于 7 或 20,因此有理由认为该区南林组和羊邑组湖盆有咸水的侵入,但总体沉积介质以陆相淡水沉积为主。

2.2.2.3 Sr / Ba 比值 Sr 的迁移能力比 Ba 的迁移能力强,在淡水湖泊介质中,水介质的酸性比较强,矿化度很低,Sr, Ba 均以重碳酸盐的形式保留在湖水中。当湖水不断咸化、矿化度逐渐增高时, Ba 首先以硫酸钡形式沉淀出现,而 Sr 只有当湖水或海水浓缩到一定程度后才能产生硫酸锶的沉淀,因此 Sr 的含量或 Sr / Ba 比值可以作为古盐度的标志(转引王益友等,1979)。王益友等(1979)对我国 13 个海底样品的统计 Sr / Ba 比值为 1—0.8,认为 Sr / Ba 比值大于 1.0 为海相沉积,小于 0.6 为陆相沉积。保山盆地湖相泥岩 Sr / Ba 比值与古盐度呈正相关关系(图 4),羊邑组和南林组泥岩的 Sr / Ba 比值为 0.05—0.1 之间, Sr / Ba 比值说明羊邑和南林组以陆相淡水沉积为主。

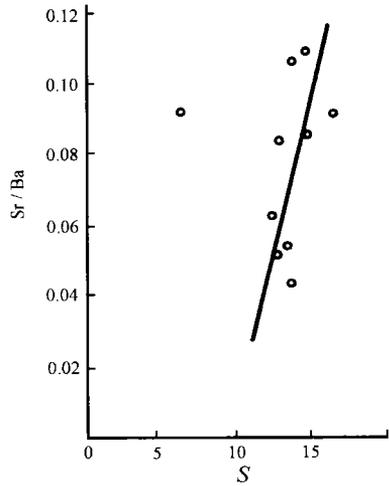


图 4 保山盆地 Sr/Ba 比值与古盐度关系

Fig.4 Relationship between the Sr/Ba ratio and paleosalinity for Bashan Basin

2.2.2.4 Fe²⁺/Fe³⁺ 比值 在湖泊沉积中,水体由浅变深,依次为氧化相—弱还原相—还原相;因此根据泥岩中 Fe²⁺、Fe³⁺ 的含量以及它们的比值来反映环境的还原程度(邓平,1993);在地球化学相分类,一般 Fe²⁺ / Fe³⁺ 比值 0—0.2 为氧化相,比值是 0.2—0.8 时为还原相,羊邑组泥岩的 Fe²⁺ / Fe³⁺ 比值为 1.22—8.59,为还原环境,这与泥岩的颜色所反映的盆地沉积环境一致(赵永胜等,1996)。

层位	B($\times 10^{-6}$)		Sr($\times 10^{-9}$)		Ga($\times 10^{-9}$)		Ni($\times 10^{-6}$)		B/Ga		Br/Ba			盐度		
	50	100	20	40	10	20	20	40	5	10	0.01	0.1	5	10	15	
N _{2y} ⁴	[Line graph showing B, Sr, Ga, Ni, B/Ga, Br/Ba, and Salinity trends for N _{2y} ⁴]															
N _{2y} ³	[Line graph showing B, Sr, Ga, Ni, B/Ga, Br/Ba, and Salinity trends for N _{2y} ³]															
N _{2y} ²	[Line graph showing B, Sr, Ga, Ni, B/Ga, Br/Ba, and Salinity trends for N _{2y} ²]															
N _{2y} ¹	[Line graph showing B, Sr, Ga, Ni, B/Ga, Br/Ba, and Salinity trends for N _{2y} ¹]															
N _{1n}	[Line graph showing B, Sr, Ga, Ni, B/Ga, Br/Ba, and Salinity trends for N _{1n}]															

图 5 保山盆地湖相泥岩微量元素及古盐度变化

Fig.5 Comparison of paleosalinity data and trace elements in the lacustrine mudstone of Baoshan Basin

2.2.2.5 Rb / K 比值 K 的含量与泥岩中碎屑矿物含量有密切关系,同时与粘土矿物中伊利石的含量有关,Rb 大部分呈悬浮胶体状态搬运,容易被粘土及有机质吸附,故含盐盆地中 Rb 有较高的含量。据研究,Rb/K 比值随含盐度而变,一般正常的海相页岩中 Rb / K

大于0.006,微咸水页岩的Rb/K大于0.004,河流沉积物的Rb/K比值为0.0028 (Campbell *et al*,1965),因此,Rb/K比值可以反映介质的变化。南林组和羊邑组泥岩的Rb/K比值在0.005 02—0.005 76之间,表征保山盆地沉积过程中有咸化的迹象,但总体保持淡水特征。图5反映不同时期沉积介质的变化,南林组和羊邑组均为淡水沉积,微量元素比值的变化反映介质盐度的变化。

3 结 论

3.1 无论是定性还是定量研究结果,都表明羊四段沉积时盐度最高,水质较咸,盐度最高达15.70,属半咸水环境;南林组和羊一段沉积时盐度相对较高,为13.35—13.26;羊三段沉积时盐度最低,为6.57—12.79。

3.2 羊邑组和南林组沉积介质均为淡水沉积,但有咸水的介入,从生气条件研究表明,该种水介质有利于生物的繁殖和生长,有利于生物成因气的形成。

3.3 微量元素B,Sr/Ba比值,B/Ga比值和“相当硼含量”随着沉积介质水盐度的增大,其含量或比值逐渐增大,它们均可作为古盐度的标志。

3.4 B,Sr,Ba,Ni微量元素及B/Ga和Sr/Ba比值不能作为判别海相和陆相沉积标志,它们的本质反映沉积介质盐度的变化,因此在利用它们区别海侵时应特别谨慎。

致谢 在研究中得到了杨宝星教授的指导,谨志谢忱

参 考 文 献

- 邓平,1993.微量元素在油气勘探中应用.石油勘探与开发,20(1):27—32
- 王益友,1979.几种地化标志在金湖凹陷阜宁群沉积环境中的应用.同济大学学报,2:51—60
- 赵永胜,1996.断陷湖盆比较沉积学与油气储层.成都:四川科学技术出版社.95—101
- Adams T D, Haynes J R, Walker C T, 1965. Boron in Holocene illites of the dovey estuary, wales, and its relationship to paleosalinity in cyclothem. *Sedimentology*, 4:189—195
- Campbell F A, Williams G D, 1965. Chemical composition of shales of Mannvill group (lower cretaceous) of central Alberta. *A A P G*, 49(1):29—56
- Couch E L, 1971. Calculation of paleosalinities from boron and clay mineral data. *A A P G*, 55(10):1829—1837
- Degens E T, Williams E G, Keith M L, 1957. Environmental studies of carboniferous sediments. Part I Geochemical criteria for differentiating marine and fresh-water shales. *A A P G*, 41:2 427—2 455
- Harder H, 1970. Boron content of sediments as a tool in facies analysis, *Sediment. Geol*, 4(1):153—175
- Potter P E, Shimp N F, Witters J, 1963. Trace element in marine and fresh-water argillaceous sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 27:669—694
- Walker C T, Price N B, 1963. Departure curves for computing paleosalinity from boron in illites and shales. *A A P G*, 47(5): 833—841

QUANTITATIVE EVALUATION OF PALEOSALINITES AND DISTRIBUTION OF TRACE ELEMENTS IN THE LACUSTRINE MUDSTONE OF BAOSHAN BASIN

ZHAO Yong-sheng, SONG Zhen-ya, WEN Jing-ping[†], SUN Ting-jin[†]

(State Key Laboratory of oil / gas Reservoir Geology and Exploration, Chengdu Institute of Technology, Chengdu, 610059)

[†](Yunnan-Guizhou-Guangxi Petroleum Exploration Bureau, Kunming, 650200)

Abstract In 1994—1995, mudstone samples were collected from the Baoshan Neogene basin, Yunnan. The content of trace elements and oxide in the mudstone was determined by chemical and neutron activation analyses. The content and composition of clay minerals in the mudstone were determined by X-ray diffraction analysis and scanning electron microscope analysis. Based on a comprehensive study on the contents of trace elements and clay minerals in the mudstone, equivalent boron was calculated using adjusted boron and departure curves. The equivalent boron can be used as a reliable criterion for the identification of water-body salinity. The content of equivalent boron in the fourth section of Yangyi Formation is 208×10^{-6} — 235×10^{-6} ; it is 46×10^{-6} — 205×10^{-6} in the third section and 180×10^{-6} — 220×10^{-6} in the first section of the Formation, and 210×10^{-6} in Nanlin Formation. The result shows that the third section of Yangyi Formation represents fresh water deposits; the remainder are fresh water deposits containing salt water.

Paleosalinities have been calculated with the equations proposed by Adams et al. (1965) and by Couch (1971), in accordance with the data of clay minerals and boron contents. The result shows that salinity in some strata of the fourth section of Yangyi Formation reaches as high as 15.70; it is 6.57—12.79 in the third section and 13.35 in the first section of Yangyi Formation, and 13.26 in Nanlin Formation. On the basis of relationships between salinity and trace element content, the trace element boron and equivalent boron, the ratio of B / Ga and Sr / Ba may be used as a reliable criterion for water body paleosalinity. They increase in response to an increase in the paleosalinity. However, although they indicate the changes in water-body salinity, they may not be used as geochemical criteria for differentiating marine and continental sedimentary facies.

Key words Paleosalinity Quantitative evaluation Trace element Mudstone Baoshan Basin

Subject classification number P588.212.1