第2卷 第1期
1990年6月

湖 泊 科 学
SCIENTIA LIMNOLOGICA SINICA

Vol.2, No.1
Jun., 1990

中国东部若干封闭含油气盆地泥质岩地球化学的研究

李建仁 王苏民
（中国科学院南京地理与湖泊研究所）

提要 中国东部沿北东、北北东向断裂发育了一系列早第三纪含油气断陷盆地。受干旱气候的影响，这些盆地常为封闭或半封闭的咸水湖泊环境。本文通过对其中若干盆地泥质岩的化学分析，确认泥质岩主要由粘土矿物组成，并含少量碳酸盐。将盆地的沉积环境，尤其是盐度与一些地球化学参数关系作了探讨后认为，低盐度时Sr/Ba、Ca、Mg 总量、Ca/Mg、V/Ni和Mn/Fe能反映湖泊在时空上的盐度变化。高盐度时，Sr/Ba、$CaCO_3$、B与盐度正相关已不复成立，并对其原因作了讨论。

中国东部沿北东、北北东向断裂发育了一系列早第三纪含油气断陷盆地。当时该区位居北亚热带、中亚热带干旱—半干旱气候带内[1]，相应地这些盆地常为封闭或半封闭的咸水湖泊环境，局部层段甚至发育了相当规模的蒸发岩沉积。为了深入研究这些盆地沉积环境的时空分布规律，重建古地理演化历史，建立不同演化阶段的沉积模式，在分析与解剖碎屑岩储层的沉积特征和展布规律的同时，对与之相伴生的泥质岩的地球化学特征也进行了研究，以便较全面准确地判断沉积环境。笔者近年来对东濮、高邮和泌阳（其中包括四个油田，即井楼，下二门、王集和赵凹）盆地的沉积相作了研究，基于这些盆地的沉积骨架和相模式内部结构具有不少异同之点，本文力图对盆地中不同性质泥质岩的地球化学特点作出归纳和总结。近年来根据泥质岩的地球化学参数，如Sr/Ba、Mn/Fe、V/Ni、Ca、Mg总量、Ca/Mg等，再结合孢粉、化学、矿物和粘土矿物恢复湖泊的古环境越来越受到人们的重视。当然，由于涉及的因素较多，尤其不同古盐度咸水环境下元素的分布更为复杂，揭示它们的内在规律，尚需付出极大的努力。

作者共分析了325块样品，主要是泥岩、含碳酸盐泥岩和粉砂质泥岩。用等离子光谱仪（ICP）分析了其中167块样品的18种常量和微量元素，包括Al、Fe、Mg、Ca K、Na、Mn、Sr、Ba、V、Ni、B、Co、Cu、Zn、Li、Cr和Pb，其余样品则用原子吸收光谱法、ICP和化学法分析了Sr、Ba、B和$CaCO_3$含量。在数据统计、分析过程中对个别离群值据Grubbs法作了剔除[2]。

应指出，古代湖泊沉积地球化学是十分复杂的，元素的分布是多种因素复合的结果。如成岩作用有时能使元素发生迁移，本文暂不作考虑。另外取样的代表性和连续性也是极其重要的，但实际上往往难以保证。一则由于油田常分段取芯，无法系统采样；二则由于封闭内陆盆地环境变化非常迅速，可以在很短时段内发生湖水深-浅和淡-咸的剧烈变化，相应沉积物的特性变化也很快。上述原因给探索元素的时空分布规律带来了困难，只有增加样品数量

本文承蒙余源盛、韩晓钟同志提供东濮盆地的部分资料，倪华、吴瑞金、冯敏、王云飞等同志对文章提出了宝贵意见，谨致谢忱。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

才能克服采样的随机性。

一、中国东部封闭盆地沉积环境的演化

本文讨论的泌阳盆地核桃园组二段、三段(H_2、H_3)、东濮盆地的沙河街组三段（S_3）以及高邮盆地的戴南组一、二段（D_1、D_2）都属于盆地构造演化深陷时期的沉积。

断陷盆地的充填过程受构造运动的控制，常表现为从盆地张裂开始，经过深陷阶段，最后回返收缩而消亡。这一过程构成了大的构造沉积旋回，旋回的底部和顶部常被区域性的不整合所隔开。在深陷阶段由于盆地的急剧沉降，通常伴生大而深的湖泊。但是，在该阶段内断裂活动的强度和幅度是有变化的，加上古气候的波动，在封闭盆地内湖泊的水位发生大幅度升降，形成多个由湖进和湖退旋回组成的沉积层序。在湖进时期形成深盆深水环境，在湖退时构成深盆浅水环境，在一些盆地甚至出现干化深盆的环境。因此，在盆地内形成多套生、储、盖组合，成为油气勘探的主要目的层系。

湖泊演化的不同阶段，由于水深、盐度和陆源碎屑供应丰度的不同，水介质的物理和化学特性的差异，造成不同时期和部位泥岩的地化特征具有明显的差别。在湖泊深水时期，湖泊常是分层的，有利于沉积物中有机质的保存，泥岩中有机质丰度较高，通常沉积灰黑色泥岩，在浅水地带受到陆源物质的影响，氧化-还原条件也有所变化，沉积灰绿色泥岩或粉砂质泥岩。由于湖水盐度偏低，它们的碳酸盐含量较低。在湖泊浅水时期，情况较复杂，尤其在断裂活动活跃的盆地，其中有的次级盆地仍然保持半深水环境，有的可以发育巨厚的石膏、岩盐沉积，呈现较复杂的沉积格局。既有半深水的深灰色泥岩，也有具大量出露标志的紫红色泥岩，后者的碳酸盐含量明显增高。在干化深盆的时段，盆地普遍沉淀超盐度卤水蒸发岩，诸如石盐、天然碱和苏打等。这些蒸发岩的四周被泥坪或碳酸盐泥坪包围，它们表现为钙质泥岩、白云质泥岩、钙片页岩和白云岩。泥岩的颜色以灰绿、紫红、棕黄和杂色为主，并不时间夹藻席沉积的隐藻纹层岩，伴生大量的干裂，表明湖水位的频繁波动。由此可见，研究泥岩中地化参数的特点对探求环境的变化是有意义的。

二、低盐度环境中泥质岩的地球化学特点

所谓低盐度环境在这里是指淡水至碳酸盐沉淀阶段的盐度范围。虽然泌阳凹陷赵凹油田核三段Ⅰ油组（H_3Ⅰ）时曾一度出现了苏打、天然碱及少量石膏层，但所采样品均属位于碳酸盐泥坪环境的钙质泥岩、白云质泥岩，故将这些样品归入本范畴讨论。

泌阳盆地四个油田分别位于该凹陷的不同构造部位。王集处于箕状凹陷北侧缓坡带上，发育三角洲沉积。由于研究区偏倚湖心，随着气候的干湿交替，沉积环境变化于三角洲前缘和浅湖之间，沉积物较细，缺乏出露标志。赵凹、下二门则位于箕状凹陷的南侧陡坡带上，碎屑岩为扇三角洲类型，沉积物具有牵引流和重力流双重特征，颗粒粗，成分混杂。由于气候变干，湖退时原先扇三角洲环境大面积出露，加之地表径流不发育，在这里变成泥坪环境，频繁出现红色泥岩和代表滨湖相的藻席沉积——隐藻纹层岩。井楼油田位于盆地西端的收敛部位，北侧在盆地缓坡带上，南侧在盆地的陡坡带上。北部发育小型三角洲沉积，南部发育扇三角洲沉积。其沉积特点介于上述三个油田之间，具过渡性。但井楼西侧紧邻唐县低凸起，对湖水位波动的敏感度高，湖退过程中将首先受到影响。

为了便于反映地化参数在时空上的变化，对不同油田进行比较，将泌阳盆地四个油田的

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表1　泌阳盆地各油田泥质岩地化参数

Tab.1 Geochemical Parameters of Mudstones in Several Oilfields, Biyang Basin

层段	井楼*							下二门						
	沉积环境	样品数	Sr/Ba	V/Ni	Mn/Fe	Ca+Mg (%)	Ca/Mg	沉积环境	样品数	Sr/Ba	V/Ni	Mn/Fe	Ca+Mg (%)	Ca/Mg
H_2								气候干旱，泥坪，小波动频繁	21	1.41	5.65	0.019	10.32	2.50
H_3 I								湖退，上部泥坪，中、下部较湿润	31	1.27	5.19	0.015	7.71	1.75
H_3 II								水深较大	2	1.77	2.31	0.019	9.98	2.33
H_3 III								浅湖	1	0.575	/	0.010	3.77	0.473
H_3 IV	滨浅湖、泥坪、浅湖	27	1.35	3.50	0.024	11.27	2.93	上部滨湖、浅水，下部水深较大	2	0.685	4.75	0.015	6.85	2.45
H_3 V	半深湖、波动浅湖	15	1.08	4.06	0.014	8.17	1.98							

层段	赵凹							王集						
	沉积环境	样品数	Sr/Ba	V/Ni	Mn/Fe	Ca+Mg (%)	Ca/Mg	沉积环境	样品数	Sr/Ba	V/Ni	Mn/Fe	Ca+Mg (%)	Ca/Mg
H_2	气候干旱	1	1.95	0.659	0.020	12.10	1.94							
H_3 I	盐度最高，大量碳酸盐	7	1.12	0.861	0.056	17.44	9.97	较下进一步退缩，多韵律	1	1.47	2.50	0.016	1.82	1.86
H_3 II	盐度次低、泥岩、碳酸盐	3	0.895	4.25	0.017	8.39	2.30	上部滩地，下部湿润，三角洲前缘	2	2.97	2.89	0.014	12.0	5.44
H_3 III	盐度次高，碳酸盐、泥岩	7	0.909	4.21	0.022	8.50	3.47	较干旱，收缩扩张频繁	9	1.19	3.87	0.024	10.7	2.71
H_3 IV	盐度最低，但自下向上明显咸化	17	0.925	2.29	0.030	9.65	3.15	较湿润	2	0.876	3.63	0.017	6.17	1.24
H_3 V	湿润	1	0.618	3.38	0.018	5.47	0.823	湿润	3	1.26	12.2	0.018	8.96	1.28

* 井楼油田的H_3 III、H_3 IV在层位上与下二门等的H_3 IV、H_3 V相当，故归入H_3 IV、H_3 V以便于区域对比。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表2　高邮盆地联盟庄地区泥质岩地化参数

Tab. 2　Geochemical Parameters of Mudstones in Lianmengzhuang Area, Gaoyou Basin

层段	沉积环境	样品数	Sr/Ba	V/Ni	Mn/Fe	Ca+Mg(%)	Ca/Mg
D_2	湖退，为三角洲和滨湖泥坪	9	1.06	2.72	0.018	7.80	2.01
D_1	湖侵，半咸水—淡水，三角洲前缘	6	0.954	2.94	0.019	5.92	1.60

样品分析结果按油田、层段顺序分别进行统计。计算各油田每一油组各参数的算术平均值，并列入相应的沉积环境，见表1。由表反映，从老到新（H_3Ⅴ—H_2）Sr/Ba、V/Ni、Mn/Fe、Ca、Mg总量和Ca/Mg的数值总趋势是增加的。如赵凹H_3Ⅴ、H_3Ⅳ、H_3Ⅲ、H_3Ⅱ、H_3Ⅰ、H_2的Sr/Ba分别为0.618、0.925、0.909、0.895、1.12、1.95，Ca、Mg总量分别为5.47、9.65、8.50、8.39、17.44、12.10。又如井楼H_3Ⅴ—H_3Ⅳ Sr/Ba分别为1.08、1.35，Ca、Mg总量分别为8.17、11.27。由此推测湖水盐度有所提高。据沉积相研究，结合孢粉等资料，认为处于泌阳凹陷不同构造部位的四个油田，从H_2Ⅵ—H_2经历了一次大的湖退过程，当然其中还包含许多小的波动。赵凹油田在这些层段的取芯较完整，较具代表性。其中H_3Ⅴ、H_3Ⅳ盐度最低，主要岩性为暗色泥岩，页岩、劣质油页岩、白云质泥岩和泥质白云岩，上部略为咸化。H_3Ⅲ盐度次高，主要为白云质泥岩、暗色泥岩、页岩、泥质白云岩、钙片页岩和少量白云岩。H_3Ⅱ度盐次低，主要为暗色泥岩、页岩、劣质油页岩、白云质泥岩、泥质白云岩和钙片页岩，少量白云岩、H_3Ⅰ盐度最高，包括灰色泥质白云岩、白云质泥岩，少量灰白色钙片页岩，暗色泥岩和油页岩，还发育了厚层隐藻纹层岩，局部甚至出现了石膏、苏打和天然碱。麻黄属孢粉含量的变动也反映出同样的气候变化趋势。由此可见，地球化学参数所反映的总趋势与沉积相研究的结论是一致的，这些参数在一定程度上反映了沉积环境垂向上的变化。需要指出，上述二者有不完全一致处，如赵凹的H_3Ⅱ、H_3Ⅲ，其Sr/Ba分别为0.895、0.909，略小于H_3Ⅳ（0.925），这与沉积相结论有出入，可能与个别层段样品数太少有关。表1中样品数多的层段没有出现上述的矛盾情况，如井楼的H_3Ⅴ—H_3Ⅳ，下二门的H_3Ⅰ—H_2等，它们的地球化学参数良好地反映出环境的变化。

表2为高邮盆地从戴南组一段（D_1）到二段（D_2）的参数和环境变化情况，统计方法同表1。由表2可见，从D_1到D_2，Sr/Ba、V/Ni、Mn/Fe、Ca、Mg总量和Ca/Mg分别从0.954、2.94、0.019、5.92、1.60变为1.06、2.72、0.018、7.80、2.01，表明盐度增加。与此相应，据沉积相解剖，D_1气候较湿润，由于该区位于盆地缓坡背景上，发育河流三角洲—半深湖沉积体系；D_2气候变干，该区发展为滨湖泥坪和席状洪流沉积环境，可见厚层紫红色泥岩。因此高邮盆地的D_1和D_2地球化学与沉积相研究的结论也是吻合的。

Sr/Ba、V/Ni、Fe/Mn、Ca、Mg总量和Ca/Mg垂向上反映了盐度的变化，同样也能反映平面上的盐度差异。受构造部位决定，井楼发生湖退的时间先于其他油田，在H_3Ⅳ顶部即出现了泥坪相沉积，紫红色泥岩大量出现，粗碎屑岩不发育，盐度相应较高。与沉积相研究结论相一致，井楼的Sr/Ba等参数均高于同期的下二门、赵凹和王集。下二门直至H_3Ⅰ才出现了与井楼H_3Ⅳ相当的泥坪环境。事实上，H_3Ⅳ井楼的Sr/Ba、V/Ni、Mn/Fe、Ca、Mg总量和Ca/Mg分别为1.35、3.50、0.024、11.27、2.93，而下二门H_3Ⅰ分别为1.27、

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

5.19、0.015、7.71、1.75，两个层段的地化参数是接近的。

综上所述，Sr/Ba、V/Ni、Mn/Fe、Ca/Mg总量和Ca/Mg这些指标可用来指示中国东部封闭含油气盆地低盐度条件下盐度的时空变化。有文献报道，Sr/Ba可用来区分海陆相，Sr/Ba＞1为海相，而Sr/Ba＜1为陆相淡水沉积物[3]。许多资料反映，中国东部这些盆地早第三纪时与海是隔绝的，至少东濮、泌阳如此。在这些内陆封闭、半封闭盆地中Sr/Ba也同样可高于1，Sr/Ba的高低主要反映了盐度的变化。水体中Sr、Ba可替代Ca以碳酸盐形式沉淀，但$SrCO_3$溶解度大于$BaCO_3$，$BaCO_3$往往先于$SrCO_3$开始沉淀。随着盐度提高，$SrCO_3$沉淀量相对增加，故Sr/Ba增加。Ca、Mg总量和Ca/Mg的高低直接反映泥岩中碳酸盐含量的多寡，而后者则决定于湖水中碳酸盐的饱和程度，也即反映了盐度。但Mn/Fe直接反映的是湖底的氧化还原状态。Eh值低，沉积物中Fe、Mn还原成Fe^{2+}、Mn^{2+}并迁移，但Mn^{2+}迁移速度超过Fe^{2+}，而且Eh越低，相对于Fe迁出的Mn越多[4]，即Mn/Fe低；相反Eh越高，沉积物Mn/Fe也高。一般Eh值与水深有关，因此Mn/Fe也能间接反映封闭盆地盐度的变化。

三、高盐度环境中泥质岩的地球化学特点

东濮盆地在沙河街组第三段第三亚段（S_3^3）发育了一个完整的碎屑岩—蒸发岩序列，包含巨厚的石膏、岩盐蒸发岩沉积。以前许多研究是针对区分海陆相来进行的，盐度限于较低范围，现面临的却是一盐度极高（岩盐沉淀时一般盐度＞300‰）的内陆湖盆。这时地化参数与盐度环境的关系需要进行探索。

东濮盆地S_3^3下部基本没有蒸发岩沉积，全盆地以碎屑沉积为主，是湖泊水深较大的时期，盐度相对较低。S_3^3中期沉积了岩盐，属于深盆浅水盐湖沉积环境。S_3^3上部除了局部地区沉积岩盐外，碎屑岩沉积范围迅速扩大，盐度低于S_3^3中期。

如表3所示，盐度较高的S_3^3中部$CaCO_3$、Sr/Ba和B三个参数低于盐度较低的S_3^3下部和S_3^3上部，与低盐度环境的情况不同。表4中粘土矿物硼采用提取＜2μ胶体，经HF溶样和ICP测定后，再计算校正硼的方法。统计结果发现，在样品量足够多的S_3^3上、中部同样存在B含量与盐呈反相关的情况。究其原因，低盐度时碳酸盐处于过饱和，发生沉淀，使沉积物中$CaCO_3$含量较高，而Sr与$CaCO_3$含量呈正相关，相应Sr/Ba也较大。高盐度时卤水中Ca^{2+}、Mg^{2+}已基本沉淀完毕，到了Na^+、Cl^-饱和阶段，故$CaCO_3$含量反而减少，Sr/Ba也相应减少。对于造成上述高盐度环境中硼与盐度的关系的机理尚不清楚。硼在水体中往往以

表3 东濮盆地S_3^3泥质岩$CaCO_3$、Sr/Ba、B含量

Tab.3 $CaCO_3$, B Content and Sr/Ba of Mudstones, S_3^3, in Dongpu Basin

层段	沉积环境	$CaCO_3$		Sr/Ba		B	
		样品数	平均值(%)	样品数	平均值	样品值	平均值(ppm)
S_3^3上	碎屑岩沉积为主，局部仍有岩盐	42	19.85	41	3.04	33	378.4
S_3^3中	沉淀岩盐，盐度最高	38	12.85	37	1.10	34	290.8
S_3^3下	碎屑岩沉积为主，盐度较低	29	16.22	34	1.27	36	388.3

注：Sr/Ba由余源盛测定，B、$CaCO_3$由韩晓钟测定。其中B经粘土矿物化学提纯，HF溶样和氟硼电极法测定。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表4　东濮盆地S_3^3粘土矿物硼含量
Tab.4　B Content of Clay Minerals, S^3_3, in Dongpu Basin

层　段	样品数	B(ppm)	B校正(ppm)
S_3^3上	30	253.9	527.7
S_3^3中	23	230.6	490.3
S_3^3下	3	215.6	414.0

注：提取<2μ粘土矿物胶体　经HF溶样，ICP测定。其中B校正=8.5B/K_2O。

H_3BO_4及其离解产物存在，其化合物在水中溶解度很大，海相蒸发岩环境中，甚至在水氯镁石沉淀后硼仍在浓缩。一般而言，封闭盆地中卤水浓缩时硼浓度是不断提高的。因此粘土矿物硼含量问题应更多地从粘土矿物本身的变化来解释。陆源带来的伊利石等粘土矿物在进入高盐度环境后转变成混层粘土，这时原来的晶格被破坏，硅氧四面体中代替Si的硼被释放出来[6]，这可能是东濮盆地S_3^3粘土矿物硼含量分布异常的原因。

四、封闭盆地中泥质岩元素的分布

将泌阳、高邮盆地中167个样品的元素含量进行平均，与页岩、碳酸盐元素丰度对比（表5），发现中国东部封闭含油气盆地泥质岩成份接近于5/6页岩和1/6碳酸盐，即主要由粘土矿物组成，但包含了少量碳酸盐成分，这与岩芯观察结果相符。当然具体样品由于沉积环境的差异，碳酸盐含量可有较大的变化，有些碳酸盐含量高的样品，其成分可接近灰岩。

表5　中国东部封闭盆地泥质岩与页岩、碳酸盐的成分对比[7]
Tab.5　A Comparison of Elemental Content between Mudstone in Closed Basins, East China With Average Shale, Carbonate

元素	封闭盆地泥质岩	页　岩	碳酸盐	5/6页岩+1/6碳酸盐
Al*	7.10	8.00	0.42	6.73
Ca*	6.82	2.20	30.2	6.88
Mg*	2.67	1.50	4.70	2.03
Fe*	4.58	4.70	0.38	3.98
K*	1.96	2.60	0.27	2.21
Na*	1.16	0.96	0.04	0.81
Mn	966	850	1100	892
Sr	681	300	610	352
Ba	570	580	10	485
V	128	130	20	112
Ni	37	68	20	60
B	71	100	20	87
Co	21	19	0.7	16
Cu	45	45	4	38
Zn	141	95	20	82
Li	50	60	5	51
Cr	93	90	11	77
Pb	21	20	9	18

*者单位为%，其余为ppm.

用聚类方法分析了这些元素之间的关系[8]。聚类结果将泥质岩中所分析元素聚成二大类。第一类，包括Al、K、Na、Li、B、Cu、Fe、Co、Ni、Cr、V、Ba、Zn；第二类包括Ca、Mg、Sr、Mn、Pb。第一类又可细分（1）Al、K、Na、Li、B、Cu；（2）Fe、Co、Ni、Cr、V；（3）Ba、Zn。其中（1）、（2）关系相对较密切。上述2个大类实际上区分了属铝硅酸盐的粘土和碳酸盐矿物。Al、K、Na等是粘土矿物的造岩元

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

素，其多寡代表陆源碎屑物质入湖的数量，含量高说明水源丰富，水体也相应较淡；Ca、Mg、Sr等元素反映碳酸盐沉淀的程度，含量高反映来水少，水体浓缩，二者呈互为消长关系，聚成二类是有其内涵的。泥岩中Fe的数量往往也与入湖水体丰富程度有关，含铁的胶体入湖后随即凝聚而发生沉淀。其余铁族元素常受粘土矿物吸附而沉淀[9]，这使铁族元素与Al、K、Na具较高的相关性。而Ca、Mg、Sr聚于一类是由于类质同象替代。聚类分析结果也证实作为盐度指标的Ca、Mg总量、Mn/Fe、Sr/Ba中Ca、Mg、Mn、Sr四个元素行为的一致性，因此利用这些元素指示盐度是可行的。

通过对中国东部若干封闭含油气盆地泥质岩的化学分析，确认泥质岩主要为粘土矿物，并含少量碳酸盐。将盆地的沉积环境，尤其是盐度与一些地球化学参数关系作了探讨后认为，低盐度时Sr/Ba、Ca、Mg总量、Ca/Mg、V/Ni、Mn/Fe能指示盐度，在时空上均能区分盐度的差异。高盐度时Sr/Ba、$CaCO_3$、B与盐度的正相关已不复成立。

参 考 文 献

[1] 中国科学院兰州地质研究所，中国陆相油气的形成和迁移，甘肃人民出版社，1981。

[2] 郑用照，分析化学中数理统计方法，科学出版社，1986。

[3] 南京大学地质学系编，地球化学（修订本），科学出版社，1979。

[4] Shoji Horie (Editor), Lake Biwa, Dr W. Junk Pulisher, 1984.

[5] E. L. Couch, Calculation of Paleosalinities from Boron and Clay Mineral Data, Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., 55(10), 1971.

[6] P. Sonnenfeld, Brines and Evaporites, Academic Press, 1984.

[7] K. K. Turekian and K. H. Wedepohl, Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust, Geol. Soc Amer. Bull., 72, 1961.

[8] 王学仁，地质数据的多变量统计分析，地质出版社，1986。

[9] K. B. Krauskopf, Introduction to Geochemistry, Second Edition, McGraw-Hill Book Company, 1979.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF MUDSTONES IN SEVERAL OIL AND GAS-BEARING CLOSED BASINS, EAST CHINA

Li Jianren Wang Sumin

(Nanjing Institute of Geography and Limnology, Academia Sinica)

Abstract

A number of oil and gas-bearing closed rift basins were formed at Early Tertiary along the great faults, stretching in a NE or NNE direction in East China. These basins were often evolved into closed or semi-closed saline lakes as a result of arid climate. The chemical content of mudstones in some of these basins indicates that mudstones are composed of clay minerals and a small amount of carbonates. The relationship between the sedimentary environments, especially salinity and some geochemical indexes, is studied and it is believed that Sr/Ba, total Ca, Mg, Ca/Mg, V/Ni and Mn/Fe can reveal the temporal and spatial changes in salinity of the lakes at the stage of low salinity. However, there exists no positive correlation among Sr/Ba, $CaCO_3$, B and salinity at supersaturated stage.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net