

[引著格式] 龚文强, 张永生, 唐友军, 等. 陕北奥陶纪盐盆绥钾 1 井马五 6 亚段地球化学特征及古气候意义 [J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2015, 37 (3+4): 1~5.

# 陕北奥陶纪盐盆绥钾 1 井马五 6 亚段地球化学特征及古气候意义

**龚文强** (中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 武警黄金第五支队, 陕西 西安 710100)  
**张永生** (中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)  
**唐友军** (长江大学地球环境与水资源学院, 湖北 武汉 430100)  
**张玉银** (中石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)  
**高伟** (中石油长庆油田分公司油气工艺研究院, 陕西 西安 710018)  
**韩甲胜** (中石油新疆油田分公司第二采油厂, 新疆 克拉玛依 834008)

[摘要] 根据绥钾 1 井泥岩夹层样品的 X-衍射、微量及常量元素测试结果, 研究区的黏土矿物组合为伊利石和绿泥石, 两者在成分上互补; 垂向上 P、Mn、Sr、Cu 等元素质量分数及 Rb/Sr, Sr/Cu, Fe/Mn, (Fe+Al) / (Ca+Mg), V / (V+Ni), Cu/Zn 等元素质量分数之比呈现一定的规律性变化。上部和中部分别可以识别出 5 个和 4 个次级旋回。黏土矿物和化学元素测试数据揭示了马家沟组五段 6 亚段为半干旱-干旱气候下的较深水还原性沉积环境; 上部旋回气候比中部干旱, 但是次级干湿变化频率较低。

[关键词] 陕北盐盆; 马家沟组五段 6 亚段; 黏土矿物; 元素分析; 古气候

[中图分类号] TE121.3 [文献标志码] A [文章编号] 1000-9752 (2015) 03+04-0001-05

鄂尔多斯盆地位于华北地台西部, 富集石油、天然气、煤炭、铀矿等多种资源, 同时也是一个巨型的含盐盆地。陕北奥陶纪盐盆 (图 1) 位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡东部, 是一个受北部伊盟隆起、西南部庆阳隆起、东南部渭北隆起、东部吕梁隆起围陷, 并受东部离石断裂边界控制的大型克拉通内坳陷型盐盆。其面积约  $5.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 是目前中国发现的最大海相古盐盆之一<sup>[1]</sup>。陕北地区奥陶系只发育马家沟组, 与下伏寒武系凤山组和上覆石炭系本溪组均呈平行不整合接触。

前人对鄂尔多斯盆地的古气候研究开展较早, 采用方法也较丰富, 既有古生物方面<sup>[2~4]</sup>的又有地球化学<sup>[5,6]</sup>的, 还有采用黏土矿物资料进行研究的<sup>[7]</sup>。笔者综合运用全岩和黏土矿物定量 X-衍射分析以及常量、微量元素分析来研究绥钾 1 井主要成盐成钾时期——马家沟组五段 6 亚段 ( $\text{Om}_5^6$ ) 沉积时期的古气候特征并探讨其指

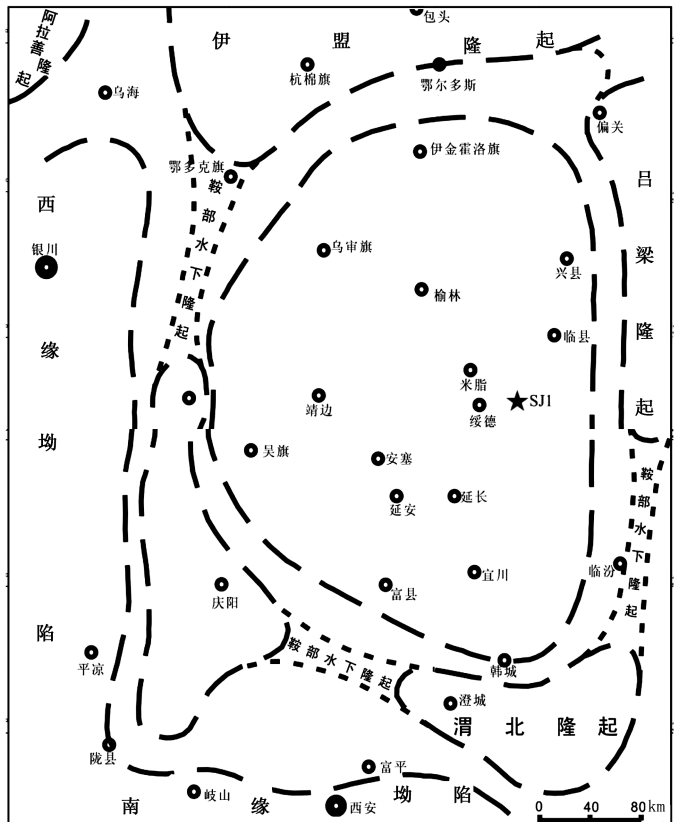


图 1 陕北奥陶纪盐盆古构造<sup>[1]</sup>

[收稿日期] 2014-11-21

[基金项目] 中国地质调查局项目 (1212011085516); 国家“973”计划项目 (2011CB403001)。

[作者简介] 龚文强 (1984-), 男, 工程师, 现主要从事区域地质矿产调查方面的研究工作, 95693267@qq.com。

示意图。

绥钾1井位于盐盆东部(图1),完钻井深2600.60m,完钻层位为马家沟组四段,主力盐层Om<sub>5</sub><sup>6</sup>厚度118.17m,其中盐岩厚度为100.38m。根据岩心编录资料,结合前人研究成果将Om<sub>5</sub><sup>6</sup>划分为上、中、下3个旋回,以中部发育的2套厚层白云岩或泥质白云岩为标志层,自下向上分别为下盐段、下淡化段、中盐段、上淡化段、上盐段。下部旋回为褐红色与烟灰色石盐韵律互层,中厚层,中-粗晶结构,半透明,夹有薄层泥岩和硬石膏;中部旋回以褐色石盐为主,少量烟灰色石盐,中-细晶结构,夹多层泥质岩夹层,泥质岩夹层大多厚度少于1cm,岩心整体较破碎;上部旋回以中厚层烟灰色石盐为主,夹中薄层褐色石盐,褐色石盐中有多层厘米级的泥质薄层或条带(图2)。笔者研究层位是上部和中部旋回。

样品采自盐系地层中的泥质夹层。地球化学元素分析采用日本理学电机公司X-射线荧光光谱仪(3080E<sub>3</sub>),检测温度25℃,湿度45%。X-衍射分析采用日本理学电机公司生产的D/MAX 2500型X射线衍射仪,试验条件为:Cu靶,40kV、100mA,扫描速度为4°/min,扫描范围为2.6~45°(全岩分析),2.6~15°(黏土分析)。

### 1 矿物特征

X-射线衍射分析结果(表1)表明,绥钾1井Om<sub>5</sub><sup>6</sup>中矿物组合为石盐、黏土矿物、硬石膏、白云石、石英以及少量钾长石、方解石、黄铁矿,其中石盐含量最多,平均质量分数为28.05%;黏土矿物其次,平均质量分数为24.4%。黏土矿物组合为伊利石和绿泥石,以伊利石为主,绿泥石含量与其呈现此消彼长的特点。上部旋回伊利石平均质量分数为56.7%,其含量曲线自下而上的特征是总体上增长的趋势中包含次级的旋回变化。中部旋回伊利石平均质量分数为52.25%,略低于上部,特征为多期快速旋回变化。

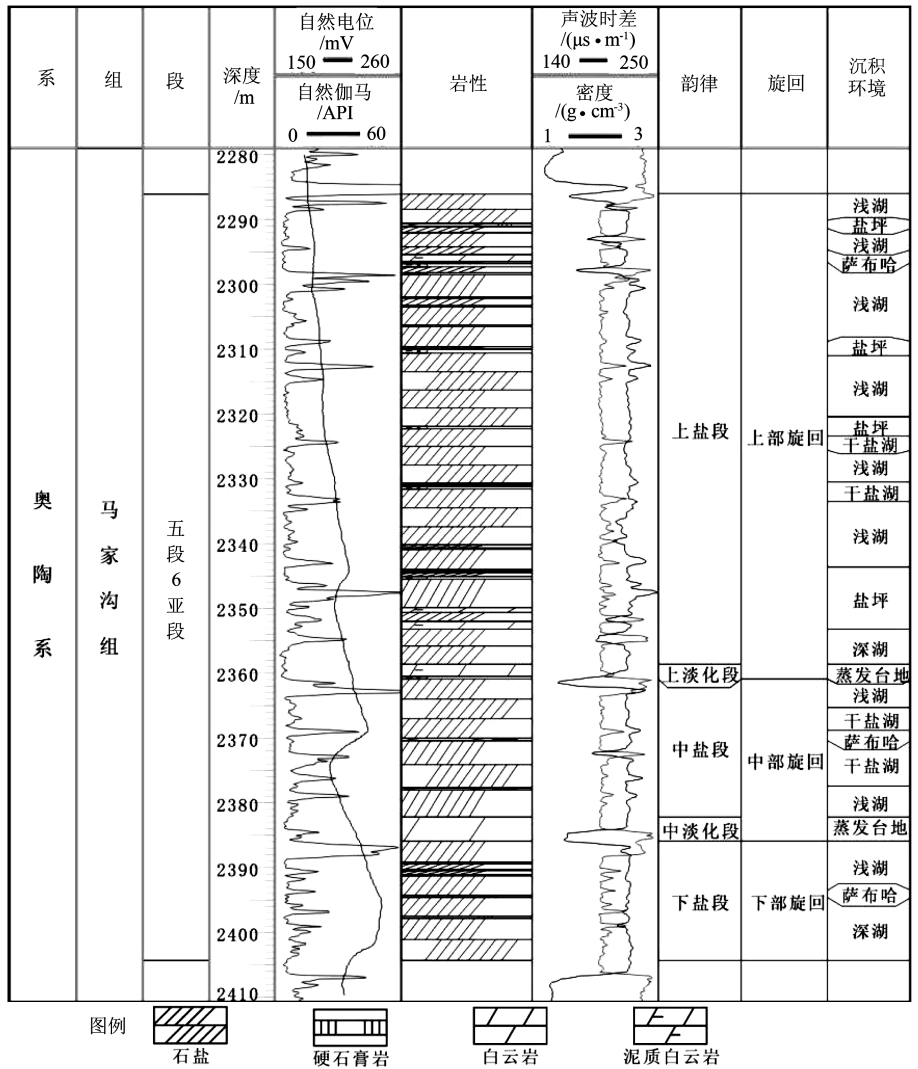


图2 绥钾1井Om<sub>5</sub><sup>6</sup>综合柱状图

表 1 绥钾 1 井矿物 X-衍射分析

样品号	井段 /m	质量分数/%						黏土矿物相对质量分数/%	
		石英	钾长石	白云石	石盐	硬石膏	黏土矿物	伊利石	绿泥石
SJ1-5-34	2299.58	14.5	—	11.2	46	2.7	25.6	33	67
SJ1-6-9	2310.9	10.2	—	21.9	14.1	39.5	14.3	52	48
SJ1-7-18	2328.39	12.4	0.3	24.5	7.3	28	27.5	48	52
SJ1-8-17	2342.6	4.9	—	—	56.3	1.1	37.7	91	9
SJ1-8-21	2343.1	13.4	—	30.4	4	35.6	16.6	51	49
SJ1-9-10	2356.85	14.3	—	29.7	2.3	30.4	23.3	65	35
SJ1-10-36	2366.3	10.8	—	15.9	25.1	16.9	31.3	28	72
SJ1-10-39	2366.7	7.9	—	—	46.6	5.6	39.9	93	7
SJ1-10-44	2367.4	10.5	—	5.7	60.3	5.9	17.6	37	63
SJ1-10-63-1	2370.37	6.3	—	20.9	18.5	44.3	10.0	51	49

注：“—”表示未测试到相关数据。

## 2 元素地球化学特征

绥钾 1 井中 P、Mn、Sr、Cu 等元素质量分数及 Rb/Sr, Sr/Cu, Fe/Mn, (Fe+Al) / (Ca+Mg), V / (V+Ni), Cu/Zn 等元素质量分数之比表现出较好的规律性 (图 3)。如 P、Mn、Sr 的质量分数变化趋势一致, 都是上部旋回数值高, 波动较小, 呈现高-中-高-低-中的变化趋势; 中部旋回数值低, 波动频繁显著, 呈现高-中-低-高的特征; Cu 的质量分数变化趋势与之相反。

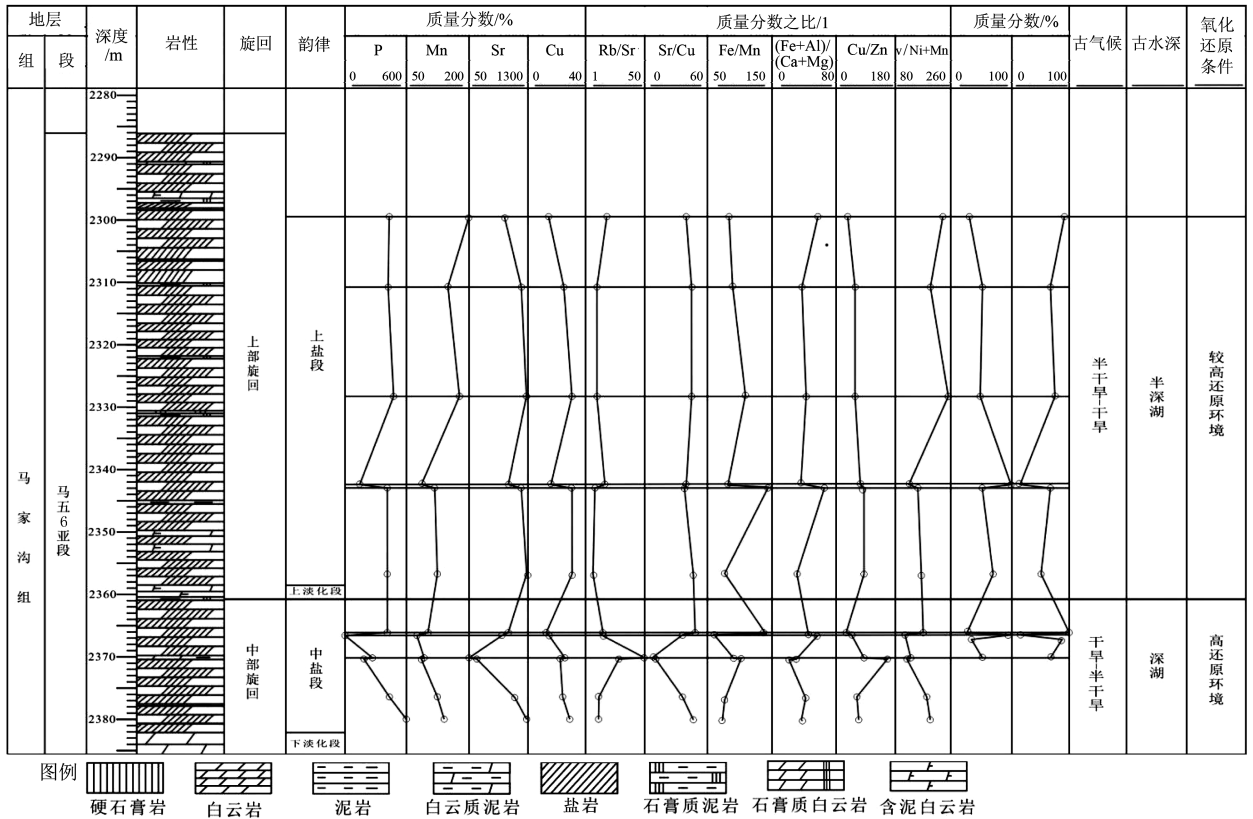


图 3 绥钾 1 井地球化学分析垂向分布特征

## 3 古气候探讨

### 3.1 黏土矿物对古气候的指示

在不同的古气候条件下, 由母岩风化蚀变形成的黏土矿物组合类型是不同的。绿泥石一般只能保存

在化学风化作用较弱的地区(如干旱的地表或冰川)<sup>[8]</sup>,黏土矿物中绿泥石占一定的比例反映当时气温较高、相对干旱的古气候环境<sup>[9]</sup>,即相对的热旱环境。伊利石则主要形成于干冷气候环境<sup>[10,11]</sup>,因此,一定量的绿泥石和伊利石组合代表干旱的气候条件<sup>[12~16]</sup>,而在此基础上以伊利石占优势的黏土矿物组合反映了干旱-半干旱气候环境<sup>[17]</sup>。

区内黏土矿物组合类型为I+C(伊利石+绿泥石)型,呈现高伊利石含量、较高绿泥石含量、缺少高岭石、极少见伊-蒙混层矿物的分布特点,反映出Om<sub>6</sub>沉积期沉积盆地总体处于干旱-半干旱气候环境,淋滤作用和化学风化作用较弱,而物理风化作用较强。黏土矿物含量的旋回变化性指示了古气候的旋回波动,可能是干旱与湿润交替变化所致。上部旋回伊利石含量高于中部旋回,含量变化频率低于中部旋回,指示上部旋回气候比中部旋回更干旱。

### 3.2 地球化学特征对古气候的指示

Mn、Sr、P等易溶元素在气候干旱、炎热时多富集于湖泊沉积物中,而Cu等难溶元素则含量较低,利用这些元素对气候变化的敏感性<sup>[18]</sup>可以判断气候的干湿程度。绥钾1井中Mn、Sr、P等元素的平均含量在上部旋回高于中部旋回。Cu元素含量虽然还是上部旋回较高,但是其变化值明显小于易溶元素。4种元素在纵向上的含量分布特征,指示了上部旋回整体处于半干旱-干旱的气候,同时发育5期次级冷热变化;中部旋回是干旱-半干旱的气候,气候波动频繁,发育4期次级冷热变化,整体比上部旋回湿润。

Rb与Sr质量分数之比( $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ )同样对于古气候比较敏感。低的 $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 反映了不利于岩石风化的干旱和寒冷气候条件,反之在温暖期的沉积物则表现了高的 $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ <sup>[19,20]</sup>。绥钾1井的 $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 在中部旋回表现为较高值且呈现高频率旋回演化,在上部旋回表现为较低值且低频率旋回演化。

Sr与Cu质量分数之比( $w(\text{Sr})/w(\text{Cu})$ )对气候的变化也非常敏感。低 $w(\text{Sr})/w(\text{Cu})$ 反映了温暖潮湿的气候,随着比值增高所指示的气候越来越炎热干旱<sup>[21,22]</sup>。绥钾1井的 $w(\text{Sr})/w(\text{Cu})$ 在上部旋回高于中部旋回且平均值整体大于10,说明气候一直是干旱的,结合其纵向上含量变化和旋回性演化说明整体处于半干旱-干旱交替循环的气候。虽然绥钾1井的 $w(\text{Sr})/w(\text{Cu})$ 对于气候的响应值要偏高一些,但是反映的古气候变化与前述一致。

## 4 古湖泊分析

### 4.1 古湖泊水体深度

前人研究认为Fe与Mn质量分数之比( $w(\text{Fe})/w(\text{Mn})$ )<sup>[23,24]</sup>以及(Fe+Al)与(Ca+Mg)质量分数之比( $w(\text{Fe}+\text{Al})/w(\text{Ca}+\text{Mg})$ )<sup>[25,26]</sup>可以较好地判断沉积物的离岸距离和沉积水深。绥钾1井上部旋回的 $w(\text{Fe})/w(\text{Mn})$ 范围是97.5~145.6(均值112.1), $w(\text{Fe}+\text{Al})/w(\text{Ca}+\text{Mg})$ 均值0.414,属于半深湖为主的较深水沉积;中部旋回 $w(\text{Fe})/w(\text{Mn})$ 范围是85.6~141.1(均值106.6), $w(\text{Fe}+\text{Al})/w(\text{Ca}+\text{Mg})$ 均值0.361,属于深湖为主的较深水沉积。

### 4.2 古湖泊氧化还原条件

目前,利用微量元素及其质量分数比值恢复古湖泊的氧化还原条件越来越受到学者的推崇。其中,微量元素V与(V+Ni)质量分数之比( $w(\text{V})/w(\text{V}+\text{Ni})$ )和Cu/Zn质量分数之比( $w(\text{Cu})/w(\text{Zn})$ )已经广泛应用并且达到了定量分析的程度<sup>[27~29]</sup>。绥钾1井上部旋回的 $w(\text{V})/w(\text{V}+\text{Ni})$ 介于0.35~0.72之间,显示了贫氧-厌氧环境。 $w(\text{Cu})/w(\text{Zn})$ 介于0.385~1.534之间,且上部旋回高于中部旋回。因此绥钾1井上部旋回为较高还原程度,中部旋回是高还原程度。

## 5 结论

1) 绥钾1井马Om<sub>6</sub>泥质夹层中矿物以石盐为主,黏土矿物次之。黏土矿物组合为伊利石和绿泥



石, 以伊利石为主。

2) 元素含量及其比值表现出较好的规律性, 上部旋回波动频率低于中部旋回。

3) 古气候为半干旱-干旱, 上部旋回比中部略干, 但变化频率低于中部。

4) 上部旋回为半深水、较高还原环境, 中部为深水、高还原环境。

### [参考文献]

- [1] 张永生, 郑绵平, 包洪平, 等. 陕北盐盆马家沟组五段六亚段沉积期构造分异对成钾凹陷的控制 [J]. 地质学报, 2013, 87 (1): 101~109.
- [2] 袁效奇, 耿国仓. 鄂尔多斯盆地西缘石炭纪古生态、古地理及古气候初步认识 [J]. 地层学杂志, 1987, 22 (3): 180~186.
- [3] 闫存凤, 袁剑英. 陕西榆林地区中侏罗统延安组孢粉组合及聚煤环境探讨 [J]. 沉积学报, 1993, 11 (3): 37~43.
- [4] 葛玉辉, 孙春林, 刘茂修. 鄂尔多斯盆地东北缘中侏罗统延安组植物群与古气候分析 [J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 2006, 36 (2): 164~168.
- [5] 张才利, 高阿龙, 刘哲, 等. 鄂尔多斯盆地长 7 油层组沉积水体及古气候特征研究 [J]. 天然气地球科学, 2011, 22 (4): 582~587.
- [6] 毛小妮, 周立发, 杨甫, 等. 鄂尔多斯盆地西南缘奥陶系地球化学特征与沉积环境分析 [J]. 地质科技情报, 2011, 30 (3): 98~102.
- [7] 谢渊, 王剑, 李令喜, 等. 鄂尔多斯盆地白垩系黏土矿物的分布特征及其沉积-成岩环境意义 [J]. 地质通报, 2010, 29 (1): 93~104.
- [8] 师育新, 戴雪荣, 李节通. 末次间冰期兰州黄土记录中的黏土矿物及其环境意义探讨 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1997, 7 (1): 87~93.
- [9] 袁鹤然, 也贞, 刘俊英, 等. 广西百色盆地古近系沉积特征及其古气候意义 [J]. 地质学报, 2007, 81 (12): 1692~1697.
- [10] 何良彪. 海洋沉积岩芯中黏土矿物变化与古气候变迁的关系 [J]. 科学通报, 1982, 27 (13): 809~812.
- [11] 杨作升. 黄河、长江、珠江沉积物中黏土的矿物组合、化学特征及其与物源气候环境的关系 [J]. 海洋与湖沼, 1988, 19 (4): 336~346.
- [12] Chamley H. Clay sedimentology [M]. Heidelberg: Springer-Verlag, 1989.
- [13] Perederij V I. Clay mineral composition and palaeoclimatic interpretation of the Pleistocene deposits of Ukraine [J]. Quaternary International, 2001, 76/77: 113~121.
- [14] 史兴民, 李有利, 钱麟. 新疆玛纳斯河兴农湖沉积物特征反映的古环境探讨 [J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21 (9): 62~67.
- [15] 冯启, 冯庆来, 于吉顺, 等. 广西东攀剖面二叠系顶部粘土矿物特征及古气候意义 [J]. 沉积学报, 2007, 25 (3): 365~371.
- [16] 刘光华. 粘土矿物特征与沉积环境关系的初步探讨 [J]. 沉积学报, 1987, 5 (1): 48~57.
- [17] 隆浩, 王晨华, 刘勇平, 等. 黏土矿物在过去环境变化研究中的应用 [J]. 盐湖研究, 2007, 15 (2): 21~25.
- [18] 胡晓峰, 刘招君, 柳蓉, 等. 桦甸盆地始新统桦甸组黏土矿物和无机地球化学特征及其古环境意义 [J]. 煤炭学报, 2012, 37 (3): 416~423.
- [19] 金章东, 张恩楼. 湖泊沉积物 Rb/Sr 比值的古气候含义 [J]. 科学技术与工程, 2002, 2 (3): 20~22.
- [20] 沈吉, 张恩楼, 夏威岚. 青海湖近千年来气候环境变化的湖泊沉积记录 [J]. 第四纪研究, 2001, 21 (6): 508~513.
- [21] 莱尔曼 A. 湖泊的化学地质学和物理学 [M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [22] 宋明水. 东营凹陷南斜坡沙四段沉积环境的地球化学特征 [J]. 矿物岩石, 2005, 25 (1): 67~73.
- [23] 王春连, 刘成林, 胡海兵, 等. 江汉盆地江陵凹陷南缘古新统沙市组四段含盐岩系沉积特征及其沉积环境意义 [J]. 古地理学报, 2012, 14 (2): 165~175.
- [24] 邓宏文, 钱凯. 沉积地球化学与环境分析 [M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1993.
- [25] 刘平略, 周厚清, 康桂云. 松辽盆地元素分布及其与沉积环境的关系 [J]. 大庆石油地质与开发, 1986, 5 (2): 11.
- [26] 张永生, 杨玉卿, 漆智先, 等. 江汉盆地潜江凹陷古近系潜江组含盐岩系沉积特征与沉积环境 [J]. 古地理学报, 2003, 4 (1): 29~35.
- [27] Jones B, Manning D A C. Comparison of geological indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mud-stones [J]. Chemical Geology, 1994, 111: 111~129.
- [28] Hatch J R, Leventhal J S. Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone, Wabaunsee County, Kansas, U. S. A [J]. Chemical Geology, 1992, 99 (1/3): 65~82.
- [29] Mongenot T, Tribouillard N P, Desprairies A, et al. Trace elements palaeoenvironmental markers in strongly mature hydrocarbon source rocks: The Cretaceous La Luna Formation of Venezuela [J]. Sedimentary Geology, 1996, 103: 23~37.