

# 吐哈盆地西南缘水西沟群沉积地球化学特征

王正海, 焦养泉 (中国地质大学, 湖北武汉 430074)

**摘要:** 对吐哈盆地西南缘区勘探孔不同层位的泥岩元素地球化学特征进行了研究。结果表明: 不同沉积环境中形成的泥岩, 其常量、微量元素质量分数及分布不同。利用泥质岩中常、微量元素质量分数及组合特征, 采用聚类分析能很好地识别出不同的沉积环境, 特别是 100% 识别出湖泊环境和河流环境; 泥质岩中常、微量元素质量分数及组合特征, 显示吐哈盆地西南缘水西沟群形成时古环境为温暖潮湿、富氧氧化的淡水湖泊环境。但是, 从层序 I 一层序 III, 水体有从半咸水到淡水, 古气候由半干热到温暖潮湿的变化特点。

**关键词:** 沉积地球化学; 层序地层; 水西沟群; 吐哈盆地

中图分类号: P622<sup>+</sup>.3 P 595 文献标识码: A

## 1 引言

利用泥岩中常量及微量元素的统计特征, 探讨沉积物形成时的沉积环境及水介质的物理化学条件, 前人已做了大量研究工作, 并取得很好效果<sup>[1~5]</sup>。本次研究系统采取了十红滩地区 3 勘探孔不同层位的泥岩样品 36 件。每件样品测试 Ni、Co、Cu、Zn、U、Th、V、B、Mo、Sr、P、Zr、Cd、Ti、Sb、Ba、Cr、Mn、K、Na、Ca、Mg、Fe、Al 等 24 个常量、微量元素。希望能解决两个方面问题: a. 利用泥岩中微量及常量元素的组合特征, 判别不同沉积环境的可能性; b. 通过一些典型元素的分布及质量分数特征探讨沉积时水体的物理化学条件, 如古盐度、古气候、氧化还原条件等。之所以选取泥质岩作为研究对象, 其原因有三: 一是其岩石地球化学性质相对较为均一; 二是泥质岩中各类金属元素的质量分数相对其他岩石要高得多; 三是为了尽可能消除由于岩性、岩相不同所造成的地球化学差异, 确保不同沉积环境中元素地球化学对比的统一性和可靠性。

## 2 水西沟群层序构成与分级

根据识别出的层序界面可以在研究区划分出 3 个构造层序、3 个三级层序和 3 个体系域。自印支运动之后到早燕山运动之前, 吐哈盆地具有相似的古构造和古气候背景, 所以可以将由 SB<sub>1</sub> 和 SB<sub>4</sub> 限定的水西沟群划归为一个构造层序——构造层序 II。将前侏罗系(石炭系褶皱基底)划为构造层序

I, 将新生界划为构造层序 III。

在构造层序 II—水西沟群内部以 SB<sub>2</sub> 和 SB<sub>3</sub> 为界可以划分出层序 I、层序 II 和层序 III 3 个三级层序。层序 I 即八道湾组(J<sub>1b</sub>)下部含煤岩系, 具有从滨浅湖向泥炭沼泽演化的沉积序列, 顶部为 M<sub>1</sub> 煤层组标志层。层序 II 即三工河组(J<sub>1s</sub>), 为泛湖沉积——区域一级标志层。层序 II 即西山窑组(J<sub>2x</sub>), 为上部含煤岩系。

在层序 II 内部应用初始湖泛面和最大湖泛面将西山窑组(J<sub>2x</sub>)细分为低位体系域(LST)、湖泊扩展体系域(EST)和高位体系域(HST)。低位体系域介于 SB<sub>3</sub> 与初始湖泛面之间, 为一套具有辫状河性质的深切谷及其废弃后的泥炭沼泽沉积, 该体系域顶部为 M<sub>2</sub> 煤层组。湖泊扩展体系域介于初始湖泛面与最大湖泛面之间, 为一套湖泊—辫状三角洲沉积。高位体系域介于最大湖泛面与 SB<sub>4</sub> 界面之间, 为一套辫状河及其废弃后的泥炭沼泽沉积, 该体系域顶部为 M<sub>4</sub> 煤组(图 1)。

## 3 水西沟群沉积地球化学特征

### 3.1 元素的质量分数与变化

据分析, 样品中相对较为富集的元素有 Zr、Ti; 相对亏损的元素有 Mn、B、Sr、P。向湖盆方向 Ni、Cr、Ba 丰度逐渐降低, 而 Zr、P、Sr、Mn、Ti 向湖盆方向丰度逐渐增加。不同层序、同一层序不同体系域中元素的富集与亏损程度不同。总体上水西沟群泥质岩中大多数元素质量分数接近沉积岩中各元素的平均值(表 I)。

收稿日期: 2003-09-26

基金项目: 国土资源大调查地质调查 20001010174003 项目专题

作者简介: 王正海(1972—), 男, 安徽怀宁人, 中国地质大学博士生, 从事资源勘查与评价研究。

表 1 不同层序和不同体系域元素平均质量分数(36 个样品平均)

样号	Ni	Co	V	Cr	Sr	Mn	P	Zr	Ti	Ba	CaO	w(Ni)/w(Ba)	w(Ni)/w(Co)	w(V)/w(Cr)	w(V)/w(V+Ni)
J <sub>2</sub> x—HST	40.30	19.05	138.25	89.38	82.55	369.75	296.00	153.25	5174.50	646.00	0.42	0.13	2.12	1.55	0.77
J <sub>2</sub> x—EST	37.53	19.60	131.00	87.80	79.17	362.33	363.67	242.00	5641.30	615.33	0.59	0.13	1.91	1.49	0.78
J <sub>2</sub> x—LST	50.40	23.45	140.50	85.40	99.30	321.00	336.50	172.00	5550.50	576.00	0.51	0.17	2.15	1.65	0.74
J <sub>1</sub> s	33.40	22.45	139.50	60.75	116.60	515.00	381.00	199.50	5974.50	440.50	0.63	0.26	1.49	2.30	0.81
J <sub>1</sub> b	26.67	12.17	144.33	72.17	113.17	544.67	681.33	208.67	5760.30	387.00	0.68	0.29	2.19	2.00	0.84

注: 元素质量分数数据由湖北地矿局岩矿测试中心测定, 单位: Ni~Ba ( $\mu\text{g/g}$ ); CaO (%)。

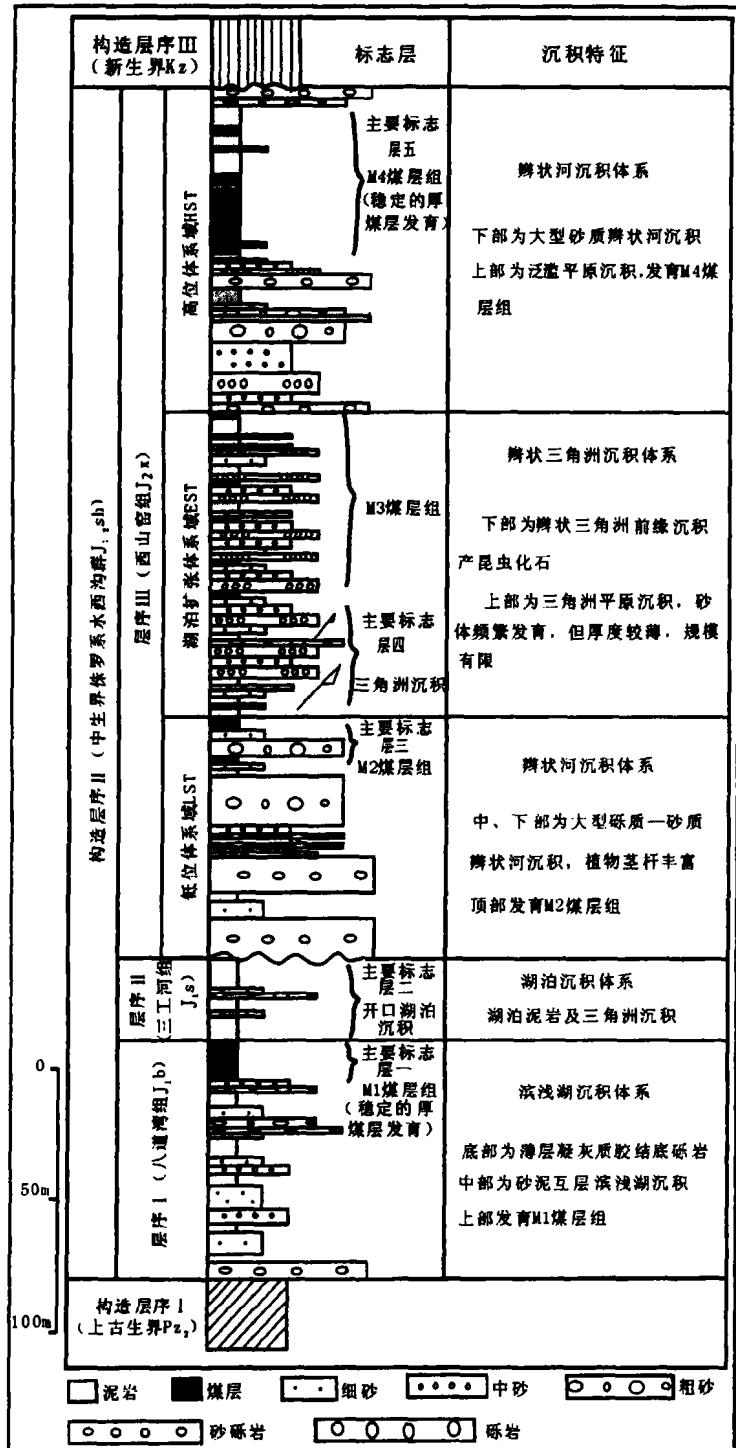


图 1 叶—哈盆地西南缘水西沟群层序构成与分级

### 3.2 元素组合特征

选取 36 件样品中的 19 个较纯的灰色泥岩样品进行 Q 型聚

类, 以尽可能减少成岩期后的影响。这 19 个样品分别属于 31—3、31—6、31—7 井的不同层位。从 Q 型聚类结果看, 本区水西沟群泥岩样品可以分为两大群, 每一群均由两群组成(图 2)。第 1 群(I)由样品: W12、W13、W14、W28、W31、W23、W24、W22、W26、W27 组成。其中 I 1 群包括样品 W26、W13、W23、W24、W27; I 2 群由样品 W14、W12、W22、W28、W31 组成; 第 2 群(II)由样品 W5、W6、W15、W29、W30、W32、W33、W34、W35 组成, 其中 II 1 群包括样品 W5、W6、W32、W33、W34; II 2 群为样品 W15、W29、W30、W35。根据沉积学研究表明, 样品 W35、W15、W29、W30 为辨状河沉积体系; 样品 W5、W6、W32、W33、W34 为三角洲沉积体系; 样品 W14、W23、W24、W26、W27 为开阔湖沉积环境; W31、W28、W12、W13、W22 为湖泊及三角洲泥岩。对比泥岩中常量及微量元素 Q 型聚类分析结果与沉积学的环境划分看, 泥岩样品聚类能很好的区分湖沉积环境与河流环境。在湖沉积环境与河流环境内 Q 型聚类分析也能较好的区分出辨状河和辨状三角洲环境; 滨浅湖与开阔湖环境。除样品 W13 有误判外, 其他样品聚类结果与沉积学划分一致。这说明了利用泥岩中常量及微量元素的组合特征, 识别其不同沉积环境的可行性, 也为本区水西沟群的层序划分提供另一种手段。

### 4 元素质量分数及比值的环境意义

在沉积过程中, 沉积物与水介质之间有着复杂的地球化学平衡, 如沉积物与水介质之间的元素交换以及沉积物对某些元素的吸附, 等等。这种交换作用和吸附作用除与元素本身性质有关外, 还受到沉积介质的物理化学条件的影响, 而不同的沉积环境的水介质有不同的物理化学条件, 这就为利用沉积物微量元素及其质量分数进行古环境分析提

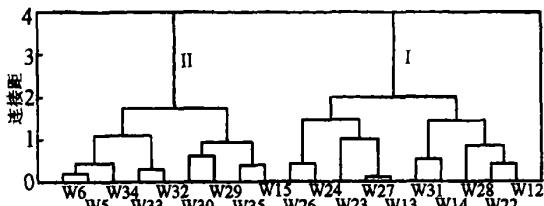


图 2 Q 型聚类分析结果图

供了理论依据。笔者选取了 B、Sr、Ba、P、Ni、Co 等对沉积环境反映最为敏感的几种常、微量元素, 分析其在不同层序、不同体系域的变化特征, 讨论其环境意义。

#### 4.1 B、Sr 质量分数及 Sr 与 Ba 和 Sr 与 Ca 的质量比与古盐度

海水中硼的质量分数与盐度呈线性关系 (Couch, 1971), 而沉积物中的硼质量分数与水介质中的硼质量分数有关, 正常情况下海相泥岩沉积物中硼质量分数高于淡水相沉积物中的 B 质量分数, 这是硼可以作为古盐度标志的依据 (周仰康等 1984)。尽管用以区分海相、陆相的硼质量分数界限不尽一致, 但硼质量分数随水介质盐度增大而增高这一基本事实则无庸置疑。一般情况下海相样品中硼质量分数在  $80 \times 10^{-6} \sim 125 \times 10^{-6}$  之间, 淡水样品硼质量分数则多小于  $60 \times 10^{-6}$  (张鹏飞等, 1992)。水西沟群泥质岩中硼质量分数在  $30 \times 10^{-6} \sim 60 \times 10^{-6}$  之间变化, 反映了这些泥质岩形成于淡水环境。但从单井分析看水西沟群泥质岩中硼质量分数也有较高的, 例如, 31—6 井、31—3 井的 W24、W28、W29、W36 样品的硼质量分数均大于  $60 \times 10^{-6}$ , 反映当时也有微咸水存在。

淡水与海水相混时, 淡水中的  $\text{Ba}^{2+}$  与海水中的  $\text{SO}_4^{2-}$  结合生成  $\text{BaSO}_4$  沉淀, 而  $\text{SrSO}_4$  溶解度大, 可以继续迁移到远海, 通过生物途径沉淀下来。因为 Sr 与 Ba 质量比是随着远离海岸而逐渐增大的, 所以 Sr 与 Ba 质量比能定性的反映介质古盐度。一般来说淡水沉积物中 Sr 与 Ba 质量比小于 1, 而海相沉积物中 Sr 与 Ba 质量比大于 1。Sr 元素在咸水中质量分数一般为  $800 \times 10^{-6} \sim 1000 \times 10^{-6}$ , 在淡水中的质量分数一般为  $100 \times 10^{-6} \sim 300 \times 10^{-6}$ 。研究区水西沟群 B 值为  $40 \times 10^{-6} \sim 60 \times 10^{-6}$ , Sr 值约为  $100 \times 10^{-6}$ , Sr 与 Ba 质量比  $< 0.3$ , 也反映了当时的淡水介质环境。

#### 4.2 Ni 与 Co、V 与 V+Ni、V 与 Cr 质量比的环境意义

利用在黑色页岩中趋于富集对氧化还原条件较为敏感的痕量元素质量分数或其比值的变化特征, 研究沉积时水介质氧化还原条件, 前人已取得了很好的成果<sup>[6~8]</sup>。

表 2 古氧相地球化学指标[据 Jones, 1994]

环境	$w(\text{Ni}) / w(\text{Co})$	$w(\text{V}) / w(\text{Cr})$	$w(\text{V}) / w(\text{V} + \text{Ni})$
缺氧	$> 7.00$	$> 4.25$	$> 1.50$
贫氧	$5.00 \sim 7.00$	$2.00 \sim 4.25$	$1.00 \sim 1.50$
富氧	$< 5.00$	$< 2.00$	$< 1.00$

Jones 等通过对西北欧晚侏罗世暗色泥质岩的古氧相研究, 总结出一套古氧相地球化学指标(表 2)。对比该判别指标与水西沟群泥岩样品的 V 与 Cr、V 与 V+Ni 质量比, 结果表明: 本区水西沟群湖相泥岩沉积时环境为富氧氧化环境。

#### 4.3 Ti、Zr、P、Sr、Mn 质量分数与古气候

泥质岩中微量元素的分配及比值的变化、组合都在一定程度上指示着古气候环境的变化特征。这是因为, 沉积物中元素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、古环境的极大影响。因此, 选取一些泥质岩中对古气候环境反映比较敏感的微量元素及有关比值, 分析其含量、分布规律, 探讨泥质岩形成时的古气候环境成为可能。

研究表明<sup>[1, 3]</sup> Ti、Zr 等元素质量分数的变化反映的是陆源物加入的程度, 该值愈高则表明陆源物质量分数愈丰富, 也既是相对较大的地表径流搬运入湖的结果, 因此表明了一种温暖潮湿的气候背景。而 Sr 的低含量则指示潮湿的气候背景。与 Sr 类似, 沉积岩中 P 的高质量分数指示干旱炎热高盐度环境的气候背景, 低质量分数则指示潮湿的气候背景。研究区 Ti、Zr 为相对富集元素, P、Sr 为亏损元素, 因此, 总体上层序 I 一层序 II 沉积时为温暖潮湿的气候背景。层序 I 泥质岩中 P 较高质量分数可能是湖水咸度增大的反映。

总之, 根据 Ti、Zr、P、Sr 质量分数在不同层序、不同体系域中的变化规律可知, 总体上, 层序 I 一层序 II 沉积时为温暖潮湿的气候背景。但, 从层序 I 一层序 III 古气候背景有从半干热向温暖潮湿变化, 水体由微咸水变为淡水的趋势。

## 5 结论

研究表明, 利用泥质岩中常、微量元素质量分数及组合特征, 采用聚类分析能很好的识别出不同的沉积环境; 通过一些典型元素的分布及质量分数特征能初步确定沉积时水体的物理化学条件, 如古盐度、古气候、氧化还原条件等。研究中应注意的是要系统取样, 综合分析, 特别是要多元素, 不同分析方法对照分析才有可能得出可靠结论。

## 参考文献

- [1] 王保生. 元素地球化学[M]. 北京: 北京大学出版社, 1999, 10—66.

# 济阳坳陷石炭二叠系埋藏条件及煤型气源岩分布特征

李增学<sup>1</sup>,曹忠祥<sup>2</sup>,王明镇<sup>1</sup>,刘华<sup>2</sup>,余继峰<sup>1</sup>,王玉林<sup>2</sup>,李江涛<sup>1</sup>,姜慧超<sup>2</sup>

(1. 山东科技大学地科学院,山东 泰安 271019;  
2. 胜利油田公司地质科学研究院,山东 东营 257015)

**摘要:**山东地区经历了多次构造运动,含煤地层遭受严重破坏,因此各地煤系保存程度差异较大。济阳坳陷是石炭一二叠系的深陷区,但济阳坳陷构造十分复杂,煤系保存于坳陷中的一些次级凹陷中。石炭二叠系的埋深多在3 000~5 000 m范围内,次级凹陷局部出现较大的埋深变化,最大埋深可达上万米,最小埋深仅在千米左右。煤型气源岩主要为煤层和暗色泥质岩。泥质岩最厚为555.5 m(惠民凹陷),煤层最厚40.5 m(车镇凹陷),泥岩、煤层厚度分布与残留厚度的变化趋势大体一致。研究表明,济阳坳陷石炭二叠系煤层属较好的烃源岩,泥岩整体上为差一中等烃源岩,局部发育有好的烃源岩。

**关键词:**济阳坳陷;石炭一二叠系;煤型气源岩

**中图分类号:**P618.11 TD712   **文献标识码:**A

## 1 济阳坳陷石炭二叠系发育概况

依据板块构造研究,山东分别属于华北板块及秦祁昆褶皱系两个构造分区,并进一步将华北板块部分划分为鲁西南坳陷区、鲁中隆起区、沂沐断裂带、鲁东隆起区、鲁西北坳陷区(包括济阳坳陷、埕宁隆起、临清坳陷)等5个构造单元。秦祁昆褶皱系部分只包括胶南隆起区。山东地区地层发育比较完整,自太古宇至新生界,除上奥陶统、志留系、泥盆系及下石炭统缺失外,其余地层均有分布<sup>[1]</sup>。石炭二叠系在沂沐断裂带以西普遍分布,沂沐断裂带内有零星分布(如莒县煤产地)。由于山东地区经历了多

次构造运动,含煤地层遭受破坏严重,因此各地煤系保存程度差异较大,特别是大部分地区的石炭二叠系上部地层(石盒子组以上地层)保存较少。总体看,鲁西及鲁西南地区煤系埋藏较浅,济阳地区煤系埋藏较深。

济阳坳陷与整个华北地区一样,在早古生代奥陶纪晚期,由于加里东运动的影响,整体上升为陆,缺失了上奥陶统、志留系、泥盆系和下石炭统。从晚石炭世开始,华北地台下沉重新接受沉积,至晚二叠世形成了一套含煤地层。其中有两套比较明显的沉积组合<sup>[2]</sup>:下部为陆表海盆地海陆交替型含煤沉积;上部为大型陆相坳陷盆地沉积,含煤性较差。主要

收稿日期:2003-10-12

基金项目:大型陆表海盆地东南缘沉积充填及侵成煤机制(49872057);国家重点基础研究发展计划项目:中国煤层气经济资源潜力及分布(2002CD211706)

作者简介:李增学(1954—),男,山东沾化人,博士,山东科技大学教授,博士生导师,从事盆地分析层序地层和煤层气地质·

- [2] 胡以铿·地球化学中的多元分析[M]. 武汉:中国地质出版社,1991,7—36.
- [3] 柴之芳,祝汉明·微量元素化学概论[M]. 北京:原子能出版社,1997,149—180.
- [4] 王随继,黄杏珍·泌阳凹陷核桃园组微量元素演化特征及其古气候意义[M]. 沉积学报,1997,15(2):65—70.
- [5] 邬金华,余素玉·一个湖泊——三角洲沉积总体中泥质岩成因地层研究的元素统计分析[J]. 沉积学报,1996,14(1):59—68.
- [6] Banners J L·Application of trace element and isotope geochemistry of

strontium of carbonate to studies of carbohate diagenesis[J]. Sedimentology, 1995, 42(5): 805—824.

- [7] Hendrix M S, Brassell S G, Carroll A R, et al· Sedimentology organic geochemistry and petroleum potential of Jurassic coal measures: Tarim Junggar and turpan basins, northwest China [J]. AAPG Bulletin, 1995, 79(7): 929—959.
- [8] Jones B J, Manning A C· Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones [J]. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 1994, 111(2): 111—129.

## Characteristics of element geochemistry of Shuixigou Group in north-eastern Tu-Ha Basin

WANG Zheng-hai, JIAO Yang-quan (China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

**Abstract:**The characteristics of trace element in mudstone of three wells in the northeastern of Tu-Ha Basin are researched. The results show that the characteristics of trace elements are different in different mudstones formed in different environment. Therefore, the study results can be used to completely recognize the difference between river environment and lake environment. As a result of synthetic study, the palaeo-environment of the Early and Middle Jurassic Shuixigou Group was inferred to be the temperate rainy climate and oxygen-rich fresh water lake. But, from sequence I to sequence III, the water body has a trend from brackish water environment to fresh water environment, the palaeoclimate has a trend from semi-arid climate to temperate rainy.

**Key words:**element geochemistry ; sequence stratigraphy ; Shuixigou Group; Tu-Ha Basin