

Application of Element Geochemistry in the Research of Zhundong Deposit Palaeoenvironment

Zhongchun Li, Cairu Wei, Yanjun Wang

Research Institute of Petroleum Exploration & Development-Northwest, PetroChina, Lanzhou Gansu
Email: li_zc@petrochina.com.cn

Received: Aug. 6th, 2019; accepted: Aug. 20th, 2019; published: Aug. 28th, 2019

Abstract

The application of element geochemistry is efficient in classifying marine and land facies, analyzing rock components in provenance, recovering palaeoclimatic condition where deposit occurred and correlating intrastratigraphy which didn't contain fossil organism by using trace element, especially in identifying geochemical environment of sedimentary water medium. Lithology of hydrocarbon source rock, rock facies and deposit characteristic are used to reflect sedimentary palaeoclimate, element geochemistry characteristic of hydrocarbon source rock is applied to reflect sedimentary condition of water medium, and biomarker of source rock is studied to reflect sedimentary condition of water medium, which ensured the accuracy of the conclusion.

Keywords

Palaeoclimate, Trace Element, Biomarker, Zhungeer Basin, Middle Permian

元素地球化学在准东沉积古环境研究中的应用

李忠春, 魏彩茹, 王彦君

中国石油勘探开发研究院西北分院, 甘肃 兰州
Email: li_zc@petrochina.com.cn

收稿日期: 2019年8月6日; 录用日期: 2019年8月20日; 发布日期: 2019年8月28日

摘 要

元素地球化学在划分海陆相地层、分析物源区岩石成分、恢复沉积的古气候条件, 以及利用微量元素对

不含生物化石的“亚地层”进行地层对比，特别是确定沉积水介质地球化学环境、划分地球化学相上取得了较满意的效果。运用烃源岩岩性、岩相、沉积特征反映沉积古环境，烃源岩元素地球化学特征反映的水介质沉积环境，烃源岩生物标记化合物反映的水介质沉积环境，几方面相互印证提高研究的可信度。

关键词

古环境，微量元素，生物标志化合物，准噶尔盆地，中二叠统

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 研究区概况

元素地球化学方法被广泛应用于沉积学研究，保存的古环境、古生态信息可通过多种指标进行释读。实践证明，地球化学方法是从早期的油气资源勘探阶段到后期的生产、开发和利用阶段必不可少的研究手段之一，相比较地球物理勘探和利用钻探进行地下调查方法，其费用较低，经济、快速和有效。邓宏文等收集了1991年以前国内外有关化学作用存在于一切沉积环境及相关沉积过程的文献资料[1]，对元素在各种沉积环境中的迁移、聚集分布和演化规律，以及元素在判断沉积地域，认识海洋动力学，盆地大地构造属性上都做了大量的研究，取得了较满意的效果。成都地质学院沉积地质科学研究所(1987年)运用某些元素、元素含量及比值如Fe、Mn、Sr、Ba、B、Ga、Rb、Co、Ni、V及Sr/Ba, Fe/Mn, Ni/V, Fe^{3+}/Fe^{2+} 等判断海相与陆相、氧化与还原、水盆深度、盐度及离岸距离等沉积条件更是做了定量的说明，为后人在沉积环境的研究提供了便利[1]。

准噶尔盆地东部地区(见图1)二叠系是准噶尔盆地最主要的烃源岩，目前已发现石油90%以上均来自6大富烃凹陷二叠系烃源岩(玛湖凹陷、盆1井西凹陷、东道海子凹陷、沙湾凹陷、阜康凹陷和吉木萨尔凹陷)。前人对准噶尔盆地二叠系沉积环境做了大量研究。

张义杰[2] [3]、彭雪峰[4]、张逊[5]等对南缘芦草沟组、东部帐篷沟地区中二叠统平地泉组及盆地二叠纪沉积环境的研究，其中就运用了大量的古生物化石、沉积特征，结合微量元素、特征矿物、黏土矿物等资料，但利用微量元素和生物标记化合物特征进行沉积环境分析的系统研究较少。由于二叠系作为盆地主要的烃源岩，地化分析数据较全，微量元素分析数据较多，所以对分析沉积环境非常有利。

区域构造研究表明，中二叠世早期盆地湖泊面积较小，东北缘克拉美丽山前的五彩湾凹陷[6]以冲积扇、河流环境为主，湖盆主要在阜康以西，为浅湖-半深湖体系。中二叠世中期(芦草沟组主要分布在博格达山前凹陷[7])，海水再次影响该区，在盆地的东部形成了广阔的陆缘近海湖泊环境，南缘芦草沟组受海水影响最大，水域广、水体深，盐度最高，东北缘地区次之。中二叠世晚期，由于地壳抬升，海水开始东退，对本区影响逐渐减弱或者不再影响，区内水体逐渐淡化变浅，湖泊范围缩小，局部地区隆起遭受剥蚀[2] [8]。因此二叠系烃源岩及沉积古环境的研究对指导二叠系的油气勘探显得尤为重要。

2. 烃源岩岩性、岩相、沉积特征反映的沉积环境

阜康凹陷平地泉组烃源岩属于深湖~半深湖相沉积，在准东大部分地区都有分布，厚度由西南向东北减薄，一般厚500 m左右。岩性为灰绿色、深灰色泥岩、粉砂质泥岩、黑灰色油页岩夹泥灰岩、鲕粒灰岩、叠锥灰岩及灰色、灰绿色砂岩，底部发育黄绿色砾岩、含砾粗砂岩，上部或顶部夹薄煤层或煤线，

厚度在 100 m 左右。暗色泥岩和油页岩具水平层理、微细水平纹理、季节性纹层等。粉砂岩、粉砂质泥岩具微细波状水平层理。砂、砾岩具有中~大型交错层理及冲刷构造。可以看出平地泉组以浅湖沉积环境为主，凹陷中心有半深湖~深湖相沉积。中上部煤层或煤线，反映了湖泊~沼泽交替互换的沉积环境。

总体上平地泉组为水进~水退沉积序列。早期水体浅，大部分地区河流发育；中期湖域广，出现半深湖环境；晚期开始水退，局部形成沼泽，沉积物总体以暗色泥岩为主，含原生黄铁矿晶体，属还原性较强的沉积环境。北 88 井平二段黄铁矿含量由深至浅的减小反映水体有强还原环境到弱还原环境的变化(见表 1)。

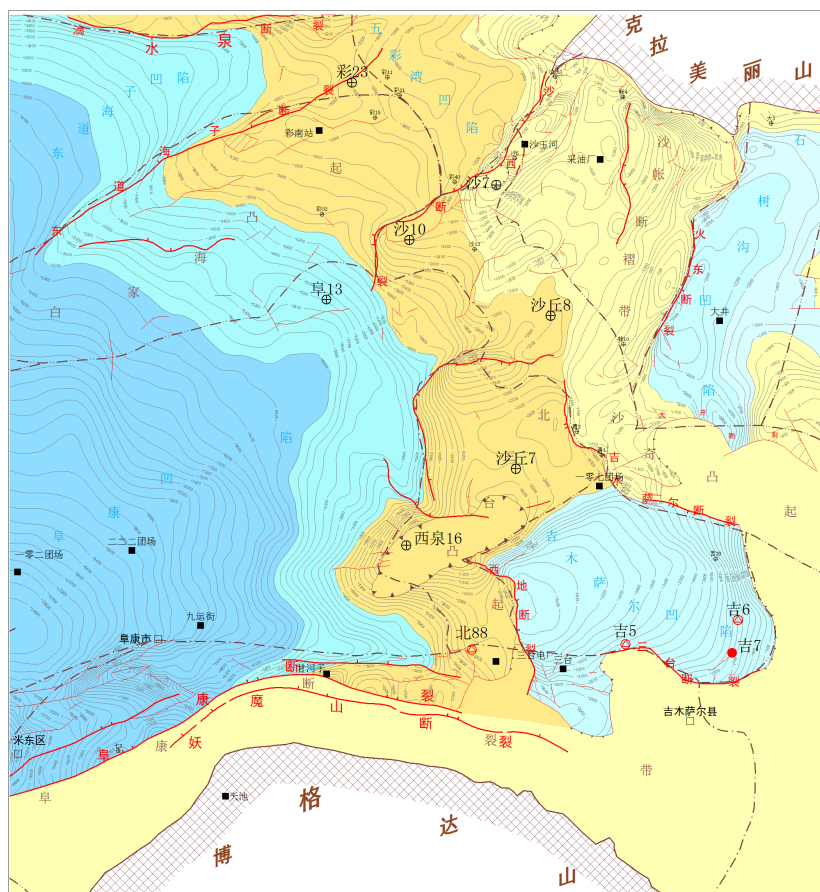


Figure 1. Location map of work area
图 1. 工区位置图

Table 1. Variation of pyrite content in ping2 section of bei88 well
表 1. 北 88 井平二段黄铁矿含量变化

深度(m)	3007.5	3008.4	3039.8	3115.2	3116.2	3116.8	3117.5	3128.7
黄铁矿含量(%)	4.1	7.5	7.7	21	67.6	84.3	89.8	95.8

3. 烃源岩某些元素分布与水介质环境的关系

3.1. 乌鲁木齐地区(以井井子沟剖面为代表)

井井子沟剖面位于盆地南缘乌鲁木齐以东，剖面有塔什库拉组(P1t)、乌拉泊组(P2u)、芦苇沟组(P2l)

和红雁池组(P2h)四套地层,其中中二叠统共有微量元素分析样品 37 个,岩性有白云岩、泥岩、凝灰岩、灰岩等。剖面下部泥岩段的硼含量整体较高,基本大于 100 ppm,向上硼含量大于 100 ppm 和小于 100 ppm 出现交替变化(见图 2),表明水体盐度也出现交替变化,即咸淡交替。剖面上 B/Ga 中二叠统平均 6.1, Sr/Ba 多数小于 1, 整体是咸化的陆相沉积环境。中二叠统 V/Ni 值在剖面下段的泥岩段较低,剖面上段白云岩、灰岩增多层段值也变大,反映白云岩、灰岩段有机质丰度高,这与水体盐度的周期性变化,可造成不同生物群落的周期性繁殖和死亡,提供丰富的有机质沉积有关。Sr/Cu 值在剖面泥岩段整体较低 < 3, 反映温润潮湿的气候变化,剖面上段值有增大趋势,气候整体向炎热干旱变化趋势,但剖面上有两次跳跃变化,最大值分别达 26.7、42.9,是间歇性的炎热气候的标志,最显著的标志是沉积了多层段的油页岩、页岩。Zr/Sr 值多数 < 1, 整体反映一种浅湖相、半深湖相,水动力作用相对较弱[1]。

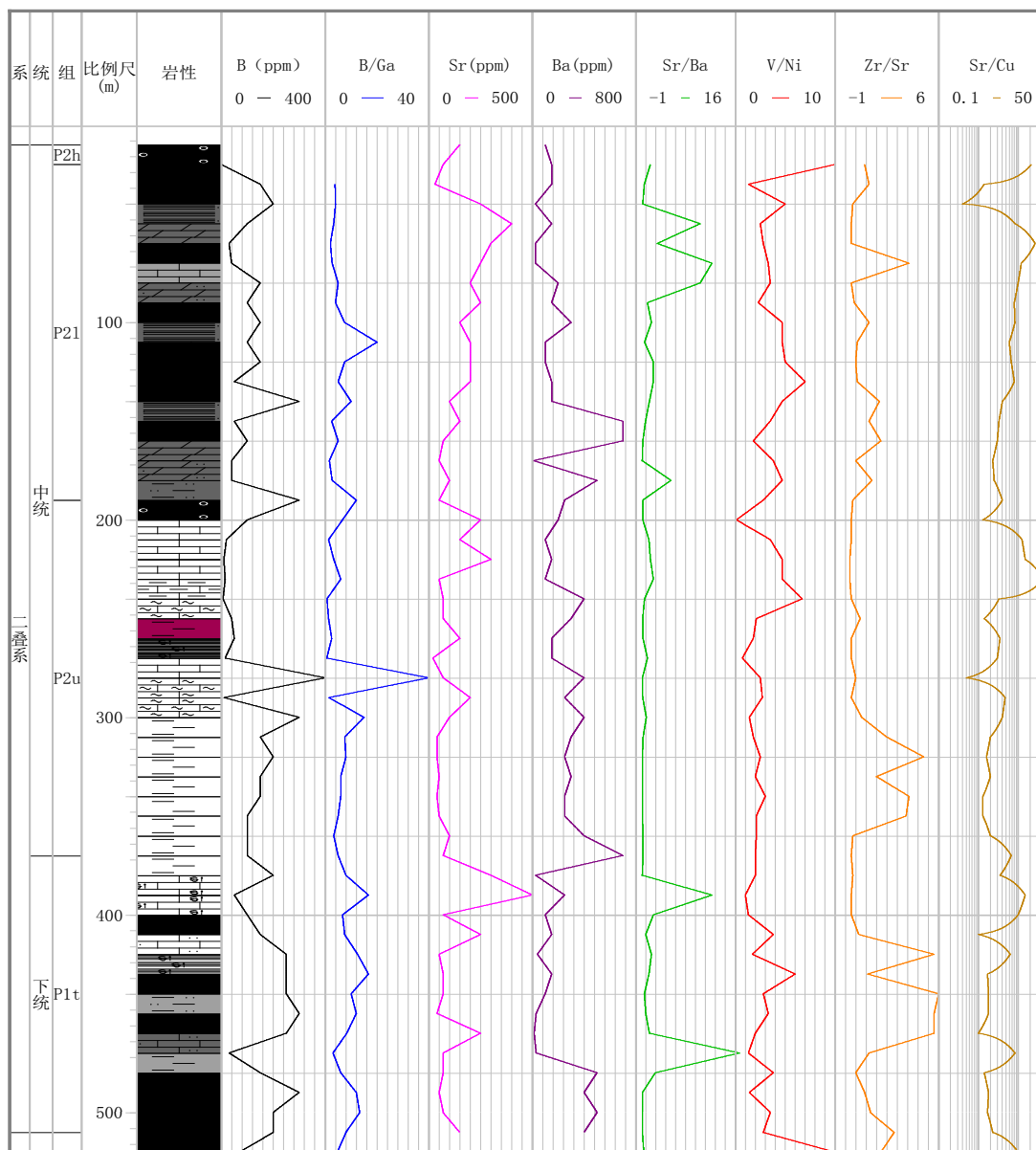


Figure 2. The change curve of the content and ratio of some trace elements in the section of Jingjingzigou
 图 2. 井井子沟剖面部分微量元素含量及比值变化曲线

3.2. 吉木萨尔凹陷

吉木萨尔凹陷吉 5、吉 6、吉 7 井都作了元素分析，只有吉 6 井分析样品多，层位全，作为讨论的重点。吉 6 井元素剖面的一个显著特点是元素锶钡含量极高，平二至平三段 Sr 平均 2321 ppm、Ba 平均 3708 ppm (见图 3)。

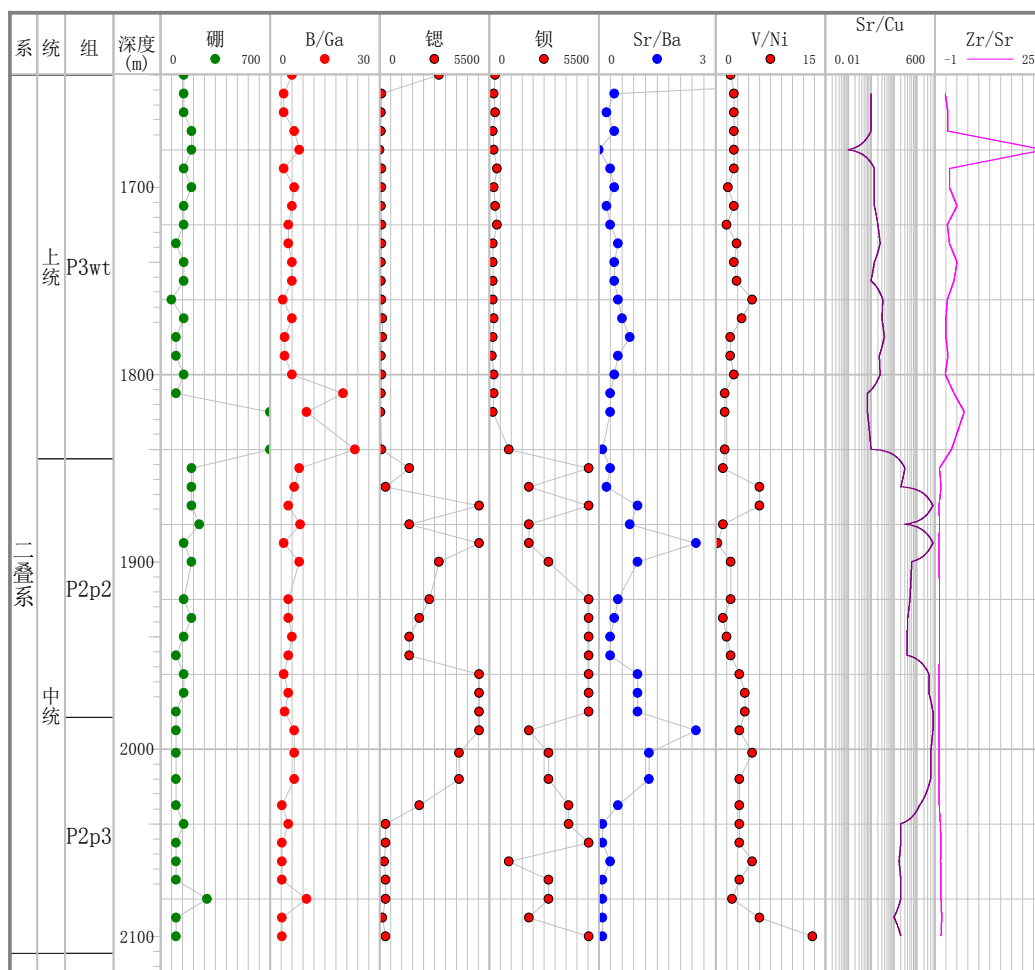


Figure 3. The change curve of the content and ratio of some trace elements in well 6
图 3. 吉 6 井部分微量元素含量及比值变化曲线

Sr 的含量与湖水化学性质(盐度、PH 值、Eh 值)密切相关，Sr 和 Ca 在沉积岩中常呈相关关系，Sr 的含量也明显与水体介质盐度有关，随盐度的增加而增高。研究已经发现淡水盆地(吐哈盆地)泥质岩类烃源岩的 Ca、Sr 平均含量与同类岩石克拉克值的差别较小；咸水盆地(伊犁盆地) Ca、Sr 平均含量则明显高于同类岩石的克拉克值。元素 Ba 在细粒沉积岩中(泥岩、粉砂岩)中含量高，碳酸盐岩中含量较低。泥质岩类烃源岩中 Ba 含量普遍低于泥(页)岩的克拉克值，而碳酸盐岩烃源岩的 Ba 含量，普遍高于碳酸盐岩的克拉克值。这里的高 Sr、Ba 与水体的碳酸盐岩有关，总之极高的锶钡含量有利于有机质富集。

吉 6 井平二段、平三段 B 含量平均 198 ppm，B/Ga 平均 10.4，属高度咸化的沉积环境，Sr/Ba 黑灰色碳质页岩 1.9、白云质条带灰岩 1.7，其它岩性小于 1，平均 0.7，属一种陆相沉积的特征。吉 6 井较高的 Sr/Cu 值，最大 500，反映一种干旱炎热的气候特征；而 Zr/Sr 平均 0.2，说明水体静滞，显示湖湾沉积。

与井子沟剖面相比较, 吉 6 井剖面显示的除 Sr、Ba 含量高外, 还具有气候相对炎热干旱的特点。

4. 生物标记化合物与水介质环境的关系

4.1. 吉木萨尔凹陷

依据由吉木萨尔凹陷吉 5、吉 6、吉 7 和吉 15 组成的平地泉组剖面的生物标记化合物统计结果看(见表 2), 三环二萜烷系列以 C₂₁ 和 C₂₃ 为主峰, C₁₉ 含量最低, 属浅水~半深水的湖相沉积。吉 6 井的植烷大于正十八烷和姥鲛烷, 是水体盐度较高的标志, γ -蜡烷/C₃₀H 比值 0.16 也表明了这点, 同样地层中分布有灰黑色白云质泥岩与白云岩都证明了水体较咸, 这与微量元素所反映的水介质环境相一致[9] [10]。

Table 2. Summary table of biological standard compounds of Pingdiquan formation in Zhudong area

表 2. 准东地区平地泉组生物标化合物汇总表

地区	井号	样品描述	Pr/ Ph	Pr/ nC17	Ph/ nC18	三环二萜烷 分布	γ -蜡烷 /C ₃₀ H	β -胡萝卜烷	重排甾烷/ 规则甾烷
五彩湾	彩 25、27、11、 22、3、4、46、 5、7	黑色、深灰色泥岩、 碳质泥岩、白云质泥岩、 灰褐色灰岩	1.72	0.77	0.69	C ₂₁ > C ₂₀ > C ₂₃ > C ₁₉ C ₂₁ > C ₂₃ > C ₂₀ > C ₁₉	0.21	128128	0.13
三台	北 88、46、 台 11、29	黑色、深灰色、 灰黑色泥岩	1.39	0.5	0.45	C ₂₁ > C ₂₀ > C ₂₃ > C ₁₉ C ₂₁ > C ₂₃ > C ₂₀ > C ₂₀	0.23	25046	0.13
大井	大 1、2、5、 7、8	浅灰色、灰黑色、 黑色泥岩、云质泥岩、 深灰色粉砂质泥岩	1.57	0.83	0.66	C ₂₃ > C ₂₁ > C ₂₀ > C ₁₉ C ₂₁ > C ₂₃ > C ₂₀ > C ₁₉	0.09	26856.8	0.21
北三台	北 56	黑灰色、黑色泥岩	1.82	0.84	0.81	C ₂₁ > C ₂₃ > C ₂₀ > C ₁₉ C ₂₀ > C ₂₁ > C ₂₃ > C ₁₉	0.15	43821	0.04
滴水泉	滴 8、滴南 1	深灰色、灰黑色、 黑色泥岩、沉凝灰岩	2.48	1.28	0.37	C ₂₁ > C ₂₀ > C ₂₃ > C ₁₉	0.14	13725	0.16
阜东 斜坡区	阜 10	深灰色粉砂质泥岩、 泥岩	1.99	0.2	0.16	C ₂₁ > C ₂₀ > C ₂₃ > C ₁₉ C ₂₁ > C ₂₃ > C ₂₀ > C ₁₉	0.23		0.23
火烧山	火 1、11、12、8、 火北 1、火南 1、 2、7、沙东 1、 沙西 1、帐 4	灰黑色、深灰色、 黑色泥岩、 深灰色泥质粉砂岩	1.76	0.83	0.65	C ₂₀ > C ₂₁ > C ₂₃ > C ₁₉ C ₂₁ > C ₂₀ > C ₂₃ > C ₁₉	0.21	26111	0.08
吉木萨尔	吉 15、5、6、7	灰黑色、深灰色、 黑色泥岩、黑灰色砂质、 粉砂质泥岩、 灰黑色白云质泥岩	1.33	1.55	2.06	C ₂₁ > C ₂₀ > C ₂₃ > C ₁₉ C ₂₀ > C ₂₁ > C ₂₃ > C ₁₉	0.16	99456	0.06
白家海	彩 36	黑色泥岩	2.95	0.47	0.14	C ₁₉ > C ₂₁ > C ₂₃ > C ₂₀ C ₂₀ > C ₂₁ > C ₂₃ > C ₁₉	0.06	23069	0.13

4.2. 火烧山地区

火烧山地区的平地泉组的生物标志化合物特征也能反映当时沉积的水环境, 见表 2。在平地泉组二段分布有砂质白云岩、泥质白云岩和白云泥岩等, 表明水体有一定盐度。从重排甾烷含量低(重排甾烷/规则甾烷比值多小于 0.1)看到, 水体略偏向碱性。多数样品中都含有 β -胡萝卜烷, 表明水体深有机质保存比较好的还原环境。一些不含 β -胡萝卜烷的岩样, Pr/Ph 比值增大至 2.0 以上, 而且 Pr/nC₁₇ 和 Ph/nC₁₈ 比值都大于 1.0, 出现异构烷烃含量超过正构烷烃的反常现象, 这是有机质在未成岩时受到微生物降解作用, 使正构烷烃含量降低所造成。而且这种现象多与 Pr/Ph 比值 > 2.0 相对应。表明有机质沉积后, 水体一度变浅或有陆生有机质随水流入湖沉积, 前已遭受到微生物的降解作用, 入湖后沉积于还原环境之中。

从 γ -蜡烷/C₃₀H 比值都大于 0.10 看, 水体盐度较大。

5. 结论

1) 从微量元素分布的特征表明盆地东部平地泉组平二、平三段属淡水咸化并具高盐度湖相沉积的特点, 若以硼为 100 ppm 和锶/钡比值为 1 作为划分淡水和咸水的临界值, 它们均属咸化湖的特征。

2) 硼含量和 B/Ga 值的高低变化, 反映水体盐度出现交替变化, 即咸淡交替。水体盐度的周期性变化, 可造成不同生物群落的周期性繁殖和死亡, 提供丰富的有机质。剖面上元素 V/Ni 比值普遍较高说明中二叠世以咸化湖泊相为主的沉积、成岩环境, 近似于海相沉积、成岩环境, 对于水生生物的生长和生物遗体的保存和向油气转化是较为有利的。因此中二叠统平地泉组是准东地区最好的烃源岩。

3) 石炭期末至早二叠世, 伴随海退, 古气候逐渐干旱, 中二叠世早期气候炎热干旱, 至中二叠世晚期气候逐渐向温暖湿润发展。

4) 由于水体深浅和盐度的变化是在较大范围内进行, 而且这种变化具有旋回性, 这就决定了泥岩、灰岩中微量元素含量的变化也呈现一定的旋回性, 因此还能用作某一层段内的地层对比标志。这在勘探程度较低的准东地区, 具有一定的实用价值。

参考文献

- [1] 邓宏文, 钱凯. 沉积地球化学与环境分析[M]. 兰州: 甘肃科技出版社, 1993.
- [2] 张义杰, 齐雪峰, 程显胜, 等. 准噶尔盆地晚石炭世和二叠纪沉积环境[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(6): 673-675.
- [3] 张义杰, 齐雪峰, 程显胜, 等. 准噶尔盆地东部帐篷沟地区中二叠统平地泉组的沉积环境和对比问题[J]. 新疆石油地质, 1992, 13(3): 217-226.
- [4] 彭雪峰, 汪立今, 姜丽萍. 准噶尔盆地东南缘二叠系芦草沟组沉积环境分析[J]. 新疆大学学报(自然科学版), 2011, 28(4): 395-400.
- [5] 张逊, 庄新国, 涂其军, 等. 准噶尔盆地南缘芦草沟组页岩的沉积过程及有机质富集机理[J]. 地球科学, 2018, 43(2): 538-550.
- [6] 杨森, 李斌. 新疆北部中二叠统烃源岩地球化学特征与沉积环境研究分析[J]. 地球(技术与应用), 2016(6): 468-469.
- [7] 李自安, 司连收, 曾乔松, 等. 微量元素方法在油气地球化学勘探中的研究应用[J]. 地质论评, 2013, 59(1): 183-192.
- [8] 刘宝君, 曾允孚. 岩相古地理基础及工作方法[M]. 北京: 地质出版社, 1985.
- [9] 包建平, 刘玉瑞, 朱翠山, 等. 北部湾盆地迈陈凹陷徐闻 X1 井油气地球化学特征[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(3): 302-304.
- [10] 程克明. 吐哈盆地油气生成[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994: 131-147.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/> 顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ag@hanspub.org