

准噶尔盆地北部石炭系富火山物质 烃源岩地球化学特征

曲彦胜

中国石化胜利油田勘探开发研究院

摘要 准噶尔盆地北部乌伦古地区石炭系发育一套巨厚的混杂有火山物质、岩性复杂的暗色岩系。笔者以乌参1井为例,通过系统的薄片鉴定,依据火山物质、碎屑物质的含量把石炭系暗色岩系划分为4类岩性组合,自下而上凝灰质含量逐渐增加。综合应用薄片观察、地球化学测试等资料分析了富火山物质烃源岩的形成环境,认为石炭纪乌伦古地区为多岛弧的构造环境,受火山活动旋回期次的影响,沉积物中火山物质含量发生规律性变化。提出火山喷发初期混杂有火山物质的泥岩(凝灰质泥岩)形成于还原、水体分层、偏酸性的环境中,有机质丰度高,有机质类型以混合型为主,具有较高的生烃潜力。

关键词 火山灰;凝灰岩;烃源岩;地球化学特征;沉积环境;石炭纪;准噶尔盆地

中图分类号: TE122.1 **文献标识码**: A

0 前言

从近年来对准噶尔盆地北部乌伦古地区周缘山系地表露头的考察以及钻井揭示地层来看,该区下石炭统发育一套海相—海陆过渡相碎屑岩沉积。该套地层厚度大、分布广,岩性复杂,以凝灰岩、凝灰质泥岩、粉砂质泥岩以及沉凝灰岩为主,普遍富含由长石、石英、橄榄石等矿物组成的火山物质。前人通过对准东地区克拉美丽、五彩湾等气田的油气源对比研究,认为下石炭统富火山物质泥岩为该地区的潜在烃源岩^[1]。乌伦古地区发育的这套富火山物质碎屑岩,厚度达数千米,岩性变化复杂,其沉积相序变化、凝灰质含量对烃源岩质量的影响及优质烃源岩发育的层段尚不清楚。由于乌伦古地区缺少准噶尔盆地重要的生油层系二叠系,因此针对该地区石炭系烃源岩资源潜力、成因以及分布的研究意义重大。笔者以准噶尔盆地北部乌伦古地区重点探井乌参1井为基础,结合部分野外露地层,利用显微镜观察、地球化学分析等多种手段对下石炭统富火山物质地层开展岩石类型、沉积环境以及构造背景研究,进而对烃源岩的不同类型层段进行划分,并尝试建

立其成因模式,以期对乌伦古地区石炭系有利烃源层段的预测起到指导作用。

1 区域地质概况

乌伦古拗陷位于准噶尔盆地东北部(图1),处在哈萨克斯坦板块、西伯利亚板块和塔里木板块的交会处,属于准噶尔—吐哈微板块的一部分。石炭纪,乌伦古地区处于洋壳与陆壳转换期;早石炭世准噶尔盆地还未形成,自晚古生代开始扩张的洋壳在早石炭世未开始闭合,在新疆北部发育岛弧构造带(图1)。这一时期北疆大部分处于古亚洲洋,洋盆俯冲导致火山活动频繁,在乌伦古地区沉积了一套以海相、海陆过渡相为主的混杂火山喷发物质的暗色岩系^[2-3]。

通过对野外露头 and 钻井岩心观察,发现这套岩系类似于一套巨厚的凝灰岩沉积,进一步通过岩石学研究认为,它实际上为一套包含火山碎屑岩、正常碎屑岩及沉凝灰岩的复杂沉积物组合。乌伦古拗陷内石炭系厚度大,乌参1井(位置见图1)钻探揭示下石炭统姜巴斯套组厚达1400余米,以富火山物质暗色地层为主,岩心具有黑色、致密、块状、裂缝少等特征。这套暗色地层有机质丰度较高(有机碳含量

收稿日期: 2019-04-08; 改回日期: 2019-09-04

本文受国家科技重大专项课题“准噶尔盆地碎屑岩层系油气富集规律与勘探评价”(编号: 2016ZX05002-002)和中国石化科学技术研究开发项目“石炭系领域油气成藏规律及目标评价”(编号: P17001-4)联合资助

第一作者: 曲彦胜, 2011年毕业于中国石油大学(北京), 副研究员, 主要从事准噶尔盆地油气勘探研究工作。通信地址: 257061 山东省东营市东营区聊城路2号胜利油田勘探开发研究院; E-mail: 362446385@qq.com

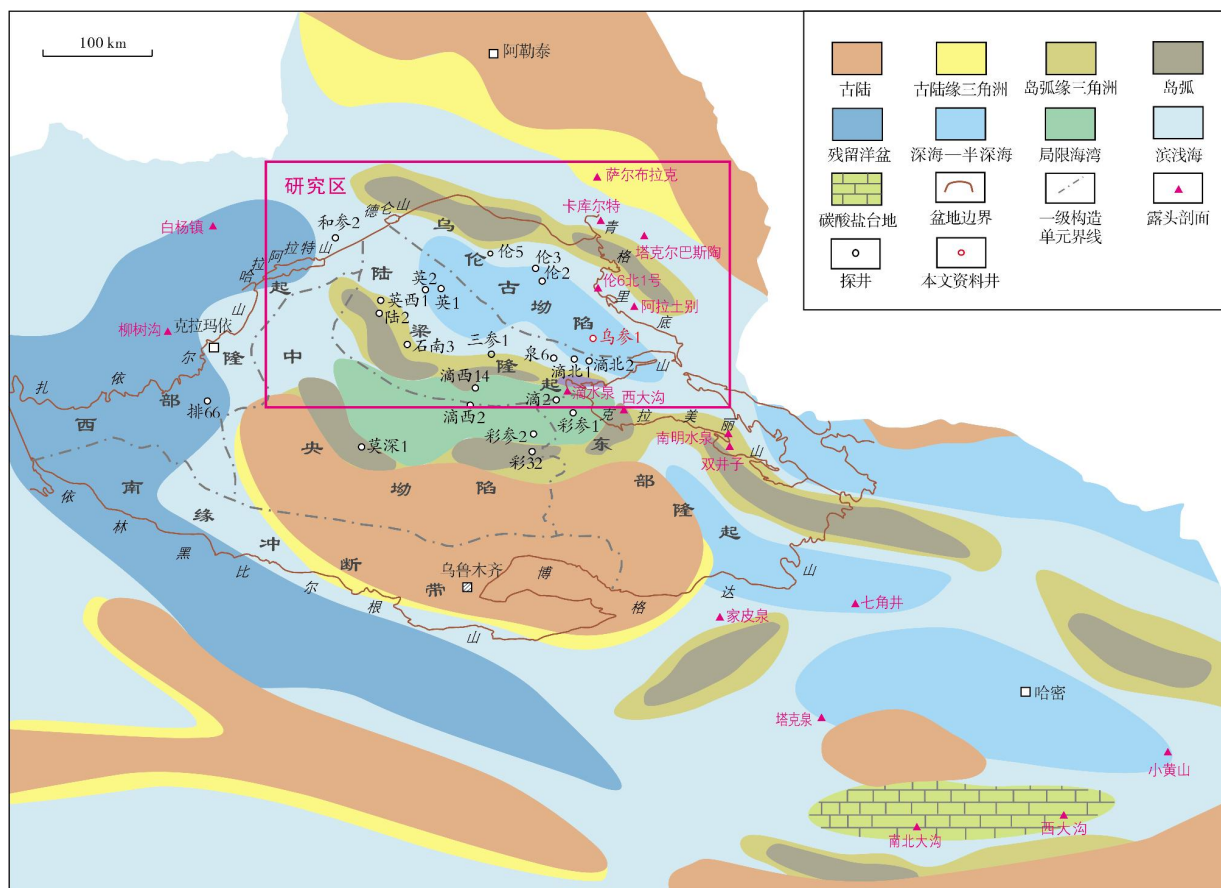


图 1 新疆北部早石炭世晚期岩相古地理及研究区位置图

Fig. 1 Lithofacies palaeogeography of late Early Carboniferous in Northern Xinjiang and location of study area

平均值为 0.8%, 氯仿沥青“A”平均值为 0.08 mg/g), 有机质类型以 I—II 型为主, 有机质热演化程度高 (镜质组反射率为 1.3%~2.2%), 烃源岩处于高一过成熟阶段。王绪龙^[2]、张义杰等^[3]认为火山爆发期大量火山灰飘落到水体中与富含有机质的泥质沉积物混合, 再次沉积可以形成一种与火山活动密切相关的烃源岩, 这类烃源岩可能具有一定的生烃能力。

2 富火山物质烃源岩岩石类型及成因分析

乌伦古地区下石炭统富火山物质岩石, 无论在成分上还是结构上都受到火山作用和沉积作用的双重控制, 且二者对岩石组成的控制强度呈现出此消彼长的特点。碎屑物质主要来源是火山爆发降落的火山灰以及陆源碎屑, 二者以不同的比例混合^[4]。根据火山碎屑物质的含量, 将岩石划分为沉凝灰岩以及凝灰质碎屑岩: 沉凝灰岩火山碎屑物质占 50%~

90%, 形成于火山喷发活动剧烈的环境, 经压实和胶结作用成岩, 常具层理构造^[5]; 凝灰质碎屑岩成分以正常碎屑沉积物为主, 火山碎屑占 10%~50%, 火山作用影响相对较弱, 属于火山喷发形成的火山碎屑经外力地质作用 (如风、水流等搬运和再沉积) 而形成的岩石。

乌参1井揭示石炭系厚达 1 453 m, 岩性组合多样 (图2), 代表性较强。通过系统取样和薄片鉴定, 按照火山物质、碎屑物质的含量把石炭系自下而上划分为 4 种岩性组合。

岩性组合 I 一套以泥岩、凝灰质泥岩夹泥质粉砂岩为主的沉积岩组合, 厚约 300 m, 火山碎屑含量小于 50%。矿物组成主要包括黏土矿物和石英、长石等碎屑矿物; 黏土含量不足 10%, 成分以绿泥石为主; 石英碎屑清晰可见 (图3a), 磨圆度中等, 分选较好; 含一定量的细粒岩屑, 可能为泥质和凝灰质蚀变的产物。沉积相以半深海相为主。

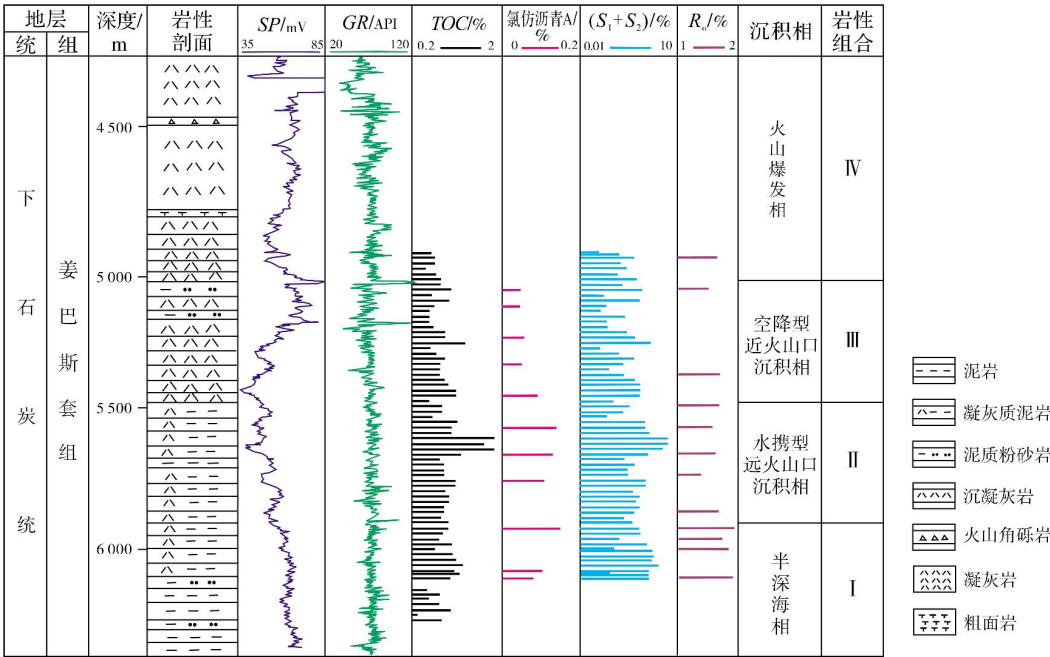


图 2 准噶尔盆地乌伦古坳陷乌参 1 井下石炭统地球化学综合柱状图
Fig. 2 Comprehensive geochemical column of Lower Carboniferous of Well Wucan 1 in Wulungu Depression, Junggar Basin

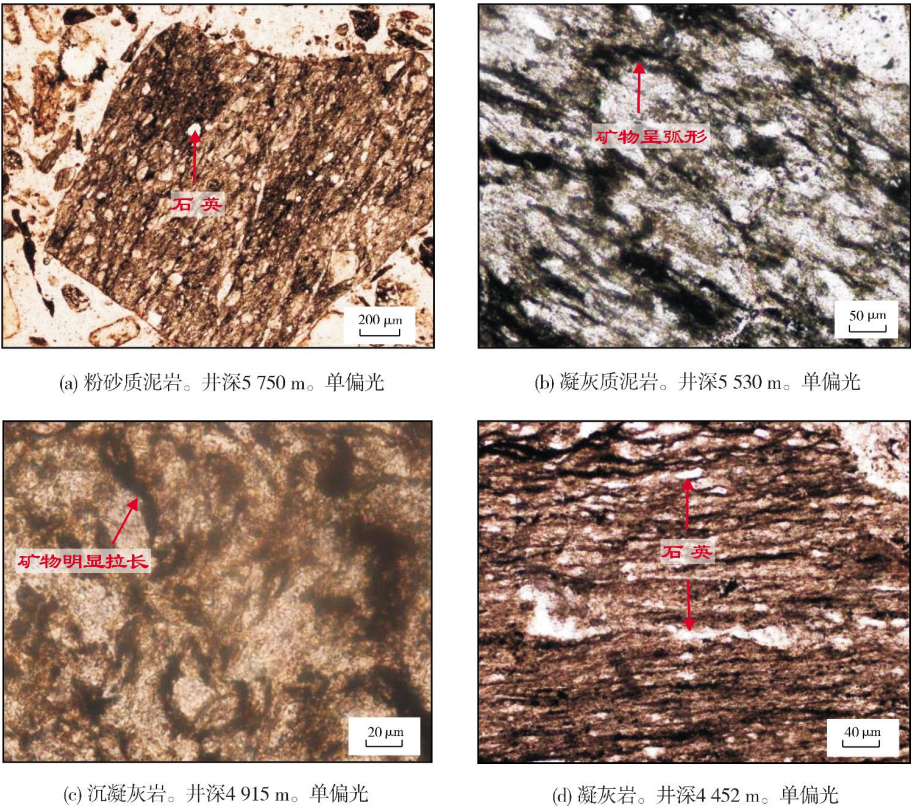


图 3 准噶尔盆地乌伦古坳陷乌参 1 井下石炭统富火山物质烃源岩显微照片(岩屑)
Fig. 3 Micrograph of Lower Carboniferous source rocks rich in volcanic materials (detritus) of Well Wucan 1 in Wulungu Depression, Junggar Basin

岩性组合Ⅱ 以凝灰质泥岩为主,凝灰质含量增加,泥质与凝灰质含量相当,在岩屑中可见次生加大或交代边(砂岩中常见),正常碎屑物占20%以上,夹少量粉砂质泥岩,厚约500 m。黏土矿物见明显的拉长现象(图3b)。于红梅^[6]通过对长白山天池火山喷发组分的显微构造研究认为:这种矿物拉长现象主要是由于碎屑粒径的减小导致,粒径越小,颗粒拉长现象越明显。砂岩结构中的石英、长石碎屑磨圆和分选中等,反映火山碎屑物可能经过流水搬运沉积于岸边,后被水体或重力作用带入深水中,搬运距离远,具有一定水携特征^[7-8],为水携型远火山口沉积相。

岩性组合Ⅲ 以沉凝灰岩为主,火山碎屑物质占80%以上,夹少量薄层泥岩、泥质粉砂岩和泥灰岩。岩石发生脆性破裂,碎裂成角砾,石英、方解石等沿着岩石裂隙灌入形成角砾状构造,矿物拉长现象明显(图3c)。火山喷发物质被火山喷出的气流带入高空,没有经过水流搬运作用,而是通过风等营力搬运,颗粒依重力不同而分离,最终降落在陆上或水中以及深海中^[9],导致沉积物分选差、磨圆差,为喷射空降型近火山口沉积相。

岩性组合Ⅳ 一套以火山爆发相为主的凝灰岩沉积,夹少量薄层角砾岩、沉凝灰岩、凝灰质泥岩等,厚度超过500 m。镜下观察发现:凝灰结构明显(图3d),晶屑主要是石英、长石等,基质主要为微小长英化的火山灰,并且含少量正长斑岩。

总体上看,乌参1井岩性组合变化规律明显:自下而上凝灰质的含量逐渐增加,泥质含量、粉砂质含量逐渐降低,反映受火山活动的影响越来越强。

3 富火山物质烃源岩有机地球化学特征

乌参1井石炭系不同岩石类型烃源岩的有机碳含量(TOC)、热解参数 T_{max} 、镜质组反射率(R_o)及元素数据如表1所示。火山间歇期形成的泥岩(岩性组合Ⅰ)以及远火山口环境下形成的凝灰质泥岩(岩性组合Ⅱ),其有机质丰度明显高于近火山口相的沉凝灰岩(岩性组合Ⅲ)以及火山爆发相的凝灰岩(岩性组合Ⅳ)(图2,表1)。含碳质泥岩的正构烷烃主峰碳相对靠前(nC_{17}),代表生源可能以藻类等低等水生生物占优势;类异戊二烯烷烃Pr/Ph值明显大于1,指示一种氧化的水体环境。

表1 准噶尔盆地乌伦古坳陷乌参1井石炭系烃源岩地球化学特征表
Table 1 Geochemical characteristics of Carboniferous source rocks of Well Wucan 1 in Wulungu Depression, Junggar Basin

岩性组合	岩 性	火山物质 含量/ %	地 球 化 学 参 数									样 品 数
			TOC /%	氯仿沥青“A” /%	$S_1+S_2/(mg \cdot g^{-1})$	$T_{max}/^{\circ}C$	$R_o/%$	H/C	O/C	主峰碳	Pr/Ph	
Ⅳ	凝灰岩	>90	0.56	0.014	0.25	317	1.32	0.59	0.06	C ₂₀ —C ₂₃	0.46	9
Ⅲ	沉凝灰岩	80~90	0.60	0.058	0.28	429	1.54	0.62	0.07	C ₂₃	0.67	24
Ⅱ	凝灰质泥岩	50~80	1.03	0.127	0.85	382	1.58	0.75	0.09	C ₂₁	0.49	19
Ⅰ	含碳质泥岩	<50	0.92	0.110	0.67	367	1.83	0.52	0.08	C ₁₇	2.20	18

如图4所示,乌参1井石炭系烃源岩样品的三环萜烷相对含量较高(25.39%~41.37%),伽马蜡烷相对含量(峰面积)低(2.87%~6.08%),奥利烷指数非常低(0.039~0.042), Ts/Tm 值低(0.37~0.45),这反映母质来源以低等水生生物占优势。自下而上随着凝灰质含量增加,伽马蜡烷相对含量由2.87%增至6.08%,分析认为这可能是伴随火山灰的增加,水体含氧量降低,环境还原性增强,水体出现分层造成的。

4 富火山物质烃源岩构造-沉积环境

对于火山碎屑岩沉积物来说,由于遭受到强烈的水解,主要元素溶失过多,造成原始物质和结构残

留很少,而利用微量元素可以很好地识别其沉积-构造环境^[9]。笔者选取乌参1井不同岩石类型共25块样品开展了元素含量测定,并通过分析特定元素的含量及比值进行构造-沉积环境评价。

主要稀土元素指标如表2所示。乌参1井轻、重稀土元素分异显著,同时轻稀土元素(LREE)内部分异显著,重稀土元素(HREE)分异不显著。由于稀土元素常以悬浮物或与碎屑矿物结合等形式进入水体,因此其在水体中滞留时间的长短会影响稀土元素的分异程度。乌参1井稀土元素与有机质络合导致稀土元素分异显著,反映其沉积速率较慢,沉积水体为离岸较远、安静的深海环境。

营养型元素,可以与有机质形成金属络合物而被输入到沉积物中,高丰度的Cu可以指示高有机质通量和较还原的水体环境^[11]。相对于沉凝灰岩与凝灰岩,凝灰

质泥岩段Mn、Ba元素富集程度更高,这应该是由火山活动初期火山碎屑及风尘带来了大量无机微量元素,促进了水生生物的繁殖,使生产力得到提高。

表3 准噶尔盆地乌伦古坳陷石炭系微量元素Al标准化结果及全球对比

Table 3 Al standardized data of trace elements of the Carboniferous in Wulungu Depression, Junggar Basin and the global contrast

单位: 10^{-4}

资料点	V/Al	Cr/Al	Mn/Al	Co/Al	Ni/Al	Cu/Al	Zn/Al	Ba/Al	Sr/Al	B/Al	U/Al
卡库尔特剖面(下石炭统)	15.95	5.45	54.43	1.29	2.88	6.21	10.36	53.68	27.21	5.46	0.31
塔克尔巴斯陶剖面(上石炭统)	17.21	7.57	39.42	1.50	4.00	5.79	11.55	42.20	30.63	5.16	0.42
岩屑凝灰岩	7.50	4.73	56.77	1.18	1.73	3.98	6.28	63.62	28.88	2.88	0.08
乌参1井 沉凝灰岩	8.20	3.40	58.26	0.86	1.62	3.72	5.63	42.84	23.73	1.81	0.09
(下石炭统) 凝灰质泥岩	7.37	6.83	57.45	0.85	1.60	3.42	5.89	112.76	29.20	1.84	0.07
碳质泥岩	8.06	6.24	53.52	0.94	1.72	3.25	5.77	47.50	23.06	1.78	0.06
全球上地壳页岩(UCC) ^[12]	11.9	11.3	0.01	2.1	5.8	3.5	8.2	77	39.25		
北美页岩 ^[13]	14.5	13.9	0.01	2.9	6.5	5.0	10.6	71			
纳米比亚页岩 ^[14]	126	72.0	28	2.9	41.0	3.0	29.0	298	181		
智利大陆边缘 ^[15]	38.0	24.2	52	1.2	20.2	11.6	24.0	69			

5 火山喷发旋回对烃源岩发育的影响

通过乌伦古地区石炭系岩性特征、地球化学特征等分析,认为石炭系发育一套有机质丰度高、偏腐泥型的泥岩,具有一定生烃潜力。早石炭世早期,乌伦古地区基本无火山活动,水体环境较安静^[16],生源以藻类等水生生物为主。随着布尔津以及克拉美丽等地区洋壳的俯冲,火山活动开始增强,初期火山作用以水下喷发为主,仅有少量的水上喷发,沉积物普遍经历了水流的搬运作用,分选好、磨圆度高,大量的火山碎屑及陆源碎屑物质被风、洋流搬运至距离岛弧较远的洋盆中。火山活动初期,凝灰质泥岩中Mn、Ba和Cu元素较富集,反映火山灰带来了大量的矿物和微量元素,这增加了水体中的营养成分,可促进生物的繁殖与生长,使得海洋古生产力增加。同时,大量火山物质的涌入也导致水体缺氧程度增加,水体出现分层,有机质处于较强的还原环境之中。这个时期形成的凝灰质泥岩有机质丰度高,有机质类型以混合型为主,生烃潜力较大。随着洋盆进一步缩减以及火山作用的增强,火山大量露出水面,以水上喷发为主,大量火山灰在风等营力作用下被搬运至远海中沉积下来。这个时期的沉积物主要以凝灰物质为主,形成一套以凝灰岩、沉凝灰岩为主的岩性组合,火山物质含量普遍较高。该套岩层有机质丰度低,有机质类型以混合型为主,生烃潜力小。

6 结 语

对于富火山物质烃源岩,既不能简单等同于泥质岩类,也不能笼统归于沉凝灰岩类。由于富含火山物质烃源岩形成于特殊的构造-沉积环境,在火山喷发旋回的不同阶段,大量的火山灰与泥质沉积物以不同的比例混合,因此应该进行火山旋回期次的划分以及岩性的识别。

本次研究通过对准噶尔盆地乌伦古坳陷乌参1井石炭系1400余米厚的富火山物质烃源岩的岩石类型、构造-沉积环境等的分析,将烃源岩划分为4类岩性组合。其中,形成于火山喷发初期的远火山口相沉积岩,以凝灰质泥岩为主,形成于水体较还原、生产力较高的水体环境,有机质丰度较高(TOC平均为1.03%),相对于其他火山旋回形成的沉凝灰岩具有更高的生烃潜力。结合火山沉积相的平面分布规律,可以很好地预测这套富火山物质烃源岩的分布。该项研究对于开展新疆北部石炭系普遍混有火山物质的烃源岩的生烃潜力评价,确定有利烃源岩分布及油气勘探方向具有指导作用。

参 考 文 献

- [1] 徐兴友. 准噶尔盆地东部克拉美丽地区石炭系烃源岩研究[J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(1): 39-41.
- [2] 王绪龙. 准噶尔盆地石炭系的生油问题[J]. 新疆石油地质, 1996, 17(3): 230-236.

- [3] 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.
- [4] 张慧, 周安朝, 郭敏泰, 等. 沉积环境对降落火山灰蚀变作用的影响: 以大青山晚古生代煤系为例[J]. 沉积学报, 2000, 18(4): 515-519.
- [5] 赵澄林. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 312-313.
- [6] 于红梅. 火山喷发物的显微构造研究及其地质意义[J]. 国际地震动态, 2012(9): 41-43.
- [7] 钟蓉, 孙善平, 陈芬, 等. 大青山、大同煤田太原组流纹质凝灰岩的发现及地层对比[J]. 地球学报, 1995(3): 291-301.
- [8] 程日辉, 刘万洙, 王璞珺, 等. 松辽盆地东缘下白垩统营城组二段火山碎屑沉积的过程、相和结构[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(6): 1167-1175.
- [9] 冯宝华, 董茹丽. 火—沉粘土岩微量元素地球化学和物源岩浆类型及化学分异机制探讨[J]. 中国区域地质, 1993(4): 349-355.
- [10] 孙镇城, 杨藩, 张枝焕, 等. 中国新生代咸化湖泊沉积环境与油气生成[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [11] HUERTA-DIAZ M A, MORSE J W. Pyritization of trace metals in anoxic marine sediments[J]. *Geochimica et cosmochimica acta*, 1992, 56(7): 2681-2702.
- [12] TAYLOR S R, MCLENNAN S M. The continental crust: its composition and evolution[M]. Oxford: Blackwell, 1985.
- [13] GROMET L P, DYMEK R F, HASKIN L A, et al. The "North American shale composite": its compilation, major and trace element characteristics[J]. *Geochimica et cosmochimica acta*, 1984, 48(12): 2469-2482.
- [14] BORCHERS S L, SCHNETGER B, BÖNING P, et al. Geochemical signatures of the Namibian diatom belt: perennial upwelling and intermittent anoxia[J]. *Geochemistry geophysics geosystems*, 2005, 6(6). Doi: 10.1029/2004GC000886.
- [15] BÖNING P, BRUMSACK H J, BOTTCHER M E, et al. Geochemistry of Peruvian near-surface sediments[J]. *Geochimica et cosmochimica acta*, 2004, 68(21): 4429-4451.
- [16] 余腾孝, 曹自成, 徐勤琪, 等. 准噶尔盆地北部古生代构造演化与石炭系烃源岩[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1): 92-97.

编辑: 董庸

Geochemical characteristics of source rocks rich in volcanic material of Carboniferous in northern Junggar Basin

QU Yansheng

Abstract: There developed a set of very thick dark rock series mixed with volcanic material in Carboniferous in Wulungu area, northern Junggar Basin. The abundance and type of organic matter indicate that the dark rock series have the potential to be source rocks. Taking Well Wucan 1 as an example, the dark rock series were divided into four types of lithological association according to the contents of volcanic and clastic materials through systematic thin section identification, and the content of tuffaceous matter gradually increases from the bottom to the top. Based on thin section observation and the data of geochemical analysis, the formation environment of the source rocks rich in volcanic materials is analyzed. It is considered that Wulungu area was located in a multi-island arc tectonic environment in Carboniferous, and the content of volcanic materials in the sediments changes regularly due to the influence of volcanic activity cycle. It is suggested that the tuffaceous mudstone which developed in the environment of reduction, water stratification, and acidity in the early stage of volcanic eruption, has high hydrocarbon generation potential with high TOC and kerogen type I - II.

Key words: volcanic ash; tuff; source rocks; geochemical characteristics; depositional environment; Carboniferous; Junggar Basin

QU Yansheng, First author: Associate Research Fellow, mainly engaged in oil and gas exploration in Junggar Basin.
Add: Exploration and Development Research Institute of Shengli Oilfield, SINOPEC, No. 2 Liaocheng Rd., Dongying, Shandong 257061, China