

doi:10.19509/j.cnki.dzkq.2019.0505

胡晨钰, 胡光明, 何幼斌, 等. 放射性元素钍测井在物源分析中的应用[J]. 地质科技情报, 2019, 38(5): 54-63.

放射性元素钍测井在物源分析中的应用

胡晨钰¹, 胡光明^{1,2}, 何幼斌¹, 李积永³, 李汉阳³, 许玛丽¹, 李 军¹

(1. 长江大学地球科学学院, 武汉 430100; 2. 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249;

3. 中国石油青海油田分公司勘探开发研究院, 甘肃 敦煌, 736202)

摘要: 用传统的重矿物方法分析物源, 其分析结果容易受到取样点的限制, 而且成本较高。以柴达木盆地扎 X 井区为例, 分别通过测井中钍元素质量分数和岩心锆石及其他重矿物质量分数分析了扎 X 井区物源方向, 并研究了二者之间的相关性。研究表明, 在独居石较少、锆石较丰富的沉积地层中, 可以用放射性测井中的钍测井取代重矿物锆石来研究物源。将这一认识应用到鄂尔多斯盆地西南部山西组的物源分析中, 分析结果与该区的沉积体系展布相吻合, 表明该项研究对于改进用重矿物锆石分析物源的方法有重要意义。

关键词: 重矿物; 钍元素; 物源分析; 柴达木盆地; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: P631.6

文献标志码: A

文章编号: 1000-7849(2019)05-0054-10

Application of Radioactive Thorium Logging in Provenance Analysis

Hu Chenyu¹, Hu Guangming^{1,2}, He Youbin¹, Li Jiyong³, Li Hanyang³, Xu Mali¹, Li Jun¹

(1. School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan 430100, China;

2. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of

Petroleum(Beijing), Beijing 102249; 3. Exploration and Development Research Institute of Qinghai Oilfield Company, PetroChina, Dunhuang Gansu 736202, China)

Abstract: The traditional heavy mineral method to analyze provenance is liable to be limited by sampling points, and the cost is high. This paper analyzes the provenance direction of the Well Zha X area, Qaidam Basin respectively by thorium element content from well logging data and by zircon and other heavy mineral content from cores, and studies their correlation. The results show that the thorium logging applicable instead of heavy minerals to analyze provenance in sedimentary strata with few monazite and abundant zircon. The application of this method in analyzing the provenance of Shanxi Formation in southwestern Ordos Basin produces the result consistent with that of the previous understanding. This study is significant to improve the method of provenance analysis by heavy mineral zircon.

Key words: heavy mineral; thorium element; provenance analysis; Qaidam Basin; Ordos Basin

物源分析对判断物源位置、沉积体系的展布方向有着重要的作用。传统的物源分析方法主要有 4 类: 重矿物分析法、碎屑岩类分析法、沉积法、裂变径迹法^[1]。近年来, 碎屑锆石 U-Pb 年代学方法也成

为应用最广泛的物源分析方法之一^[2-4]。最常用的重矿物分析法需在岩心、露头中采集样品进行处理, 鉴定和统计各种重矿物的含量, 绘制重矿物及其组合的平面分布图, 解释重矿物的分布规律及其控制

收稿日期: 2019-04-08

编辑: 禹华珍

基金项目: 国家自然科学基金项目(41472097); 油气资源与探测国家重点实验室开放课题(PRP/open-1608); 中国石油重大科技专项(2016E01)

作者简介: 胡晨钰(1995—), 女, 现正攻读地质工程专业硕士学位, 主要从事沉积学方面研究工作。E-mail: hcy8155772@126.com

通信作者: 胡光明(1977—), 男, 副教授, 主要从事沉积储层方面的研究工作。E-mail: hugm1214@163.com

因素等^[1,3],据此判断物源,但是其结果容易受到取样点位置、样品数量的限制,而且耗时耗力,成本较高。

已有研究表明,钍主要来自砂和粉砂级的某些重矿物中,如独居石、锆石等^[2]。钍的相对含量可以根据探井和评价井中放射性测井数据取得,而且不受取样点位置、样品数量的限制。重矿物中锆石是较为常见的稳定重矿物,常用来判断物源,而独居石通常含量很低,甚至常常不在统计范围之内。综合来看,锆石可能是钍的主要贡献者,那么锆石与钍存在怎样的关系?钍能否作为锆石在物源分析中的替

代指标?为此,笔者将结合柴达木盆地扎X井区和鄂尔多斯盆地西南部地区物源分析,对这些问题进行探讨。

1 柴达木盆地西南部区域地质特征

新近纪,柴达木盆地西南部是该盆地沉积最为活跃的地区,区域上沉积物搬运方向为自北西向南东、自西向东,向沉积区汇聚^[5-7](图1),形成了中新统上干柴沟组(N_1)和上新统下油砂山组(N_2^1)、上油砂山组(N_2^2)、狮子沟组(N_2^3)等地层(表1)。

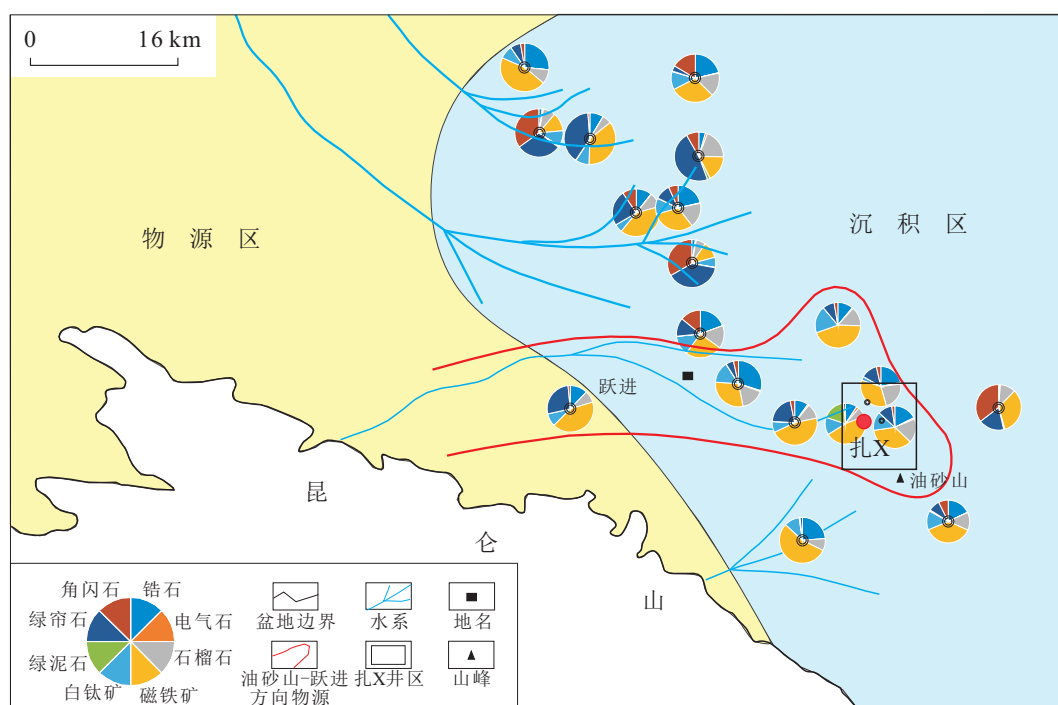


图1 柴西南新近系重矿物分布图

Fig.1 Distribution map of heavy minerals in Neogene in southwestern Qaidam Basin

来自西部昆仑山的物源在油砂山、跃进等地区沉积,重矿物组合以磁铁矿+白钛矿+绿帘石+锆石+石榴石为主,以贫角闪石为特征区别于其他物源(图1)。该物源进入湖区以后开始分叉,在扎X井区表现为北西—南东向,以下用下油砂山组第IV油层组的重矿物和测井钍元素分别进行分析。

2 扎X井区物源分析

2.1 重矿物分析物源

2.1.1 重矿物组合特征

锆石属于超稳定重矿物,石榴石、白钛矿的稳定性次之,为稳定重矿物,绿帘石的稳定性再次之,为较稳定重矿物^[8]。在沉积体系中,越远离母岩区,稳

定重矿物含量越来越高,不稳定重矿物含量越来越低。在扎X井区内选取区内8口取心井为示例井,从下油砂山组第IV油层组中重矿物含量检测结果(表2)和分布(图2)来看,沿NW—SE方向,超稳定的锆石质量分数增加,稳定性次之的白钛矿质量分数减少,较稳定的绿帘石消失,代表了碎屑物质的搬运方向,说明沉积物物源来自西北。

2.1.2 锆石/白钛矿比值分布特征

根据重矿物的稳定性,选择锆石/白钛矿比值(超稳定重矿物与稳定重矿物之比)进行再次分析,结果表明锆石/白钛矿比值也有向东南增加的趋势(图3),与重矿物分布(图2)所反映的趋势一致,同样也说明该区沉积物物源主要来自于西北方向。

表 1 柴达木盆地西南部新近系地层层序表

Table 1 Neogene stratigraphic sequence in southwestern Qaidam Basin

地 层		厚度/ m	岩性岩相
系 统	组	油层组	
上新统	下油砂山组(N_2^3)	狮子沟组(N_2^3)	100~
		上油砂山组(N_2^2)	1 900
		I	
		II	以棕黄色砂质泥岩、泥岩、泥质粉砂岩互层为主,夹少量灰白色细砂岩、细砾岩
		III	
		IV	800~
		V	900
		VI	
		VII	
		VIII	
中新统	上干柴沟组(N_1)		以棕灰色、棕褐色、灰色泥岩、砂质泥岩、棕灰色、灰色泥质粉砂岩为主,夹棕灰色、灰白色细砂岩、棕褐色粉砂岩
		500~ 700	

表 2 扎 X 井区第 IV 油层组重矿物平均质量分数统计

Table 2 Statistics of average content of heavy minerals in No. IV reservoir group of Well Zha X area

井号	锆石	白钛矿	石榴石	绿帘石	榍石
	$w_B/\%$				
Z1	1.50	7.20	1.50	0.46	0.20
Z2	4.34	13.68	13.76	0.12	0.00
Z3	5.35	8.08	4.57	0.92	0.00
Z4	6.76	16.17	7.04	0.31	0.00
Z5	10.10	8.70	11.40	0.00	0.00
Z6	7.02	8.32	1.47	0.12	0.00
Z7	14.85	18.47	12.92	0.20	0.00
Z8	7.80	6.50	6.50	0.00	0.00

2.2 钍元素含量变化分析物源

钍(Th)是一种放射性金属元素。根据前人的研究^[9-11],钍元素主要以氧化物的形式见于砂级和粉砂级的独居石、锆石等重矿物中,而本区重矿物测

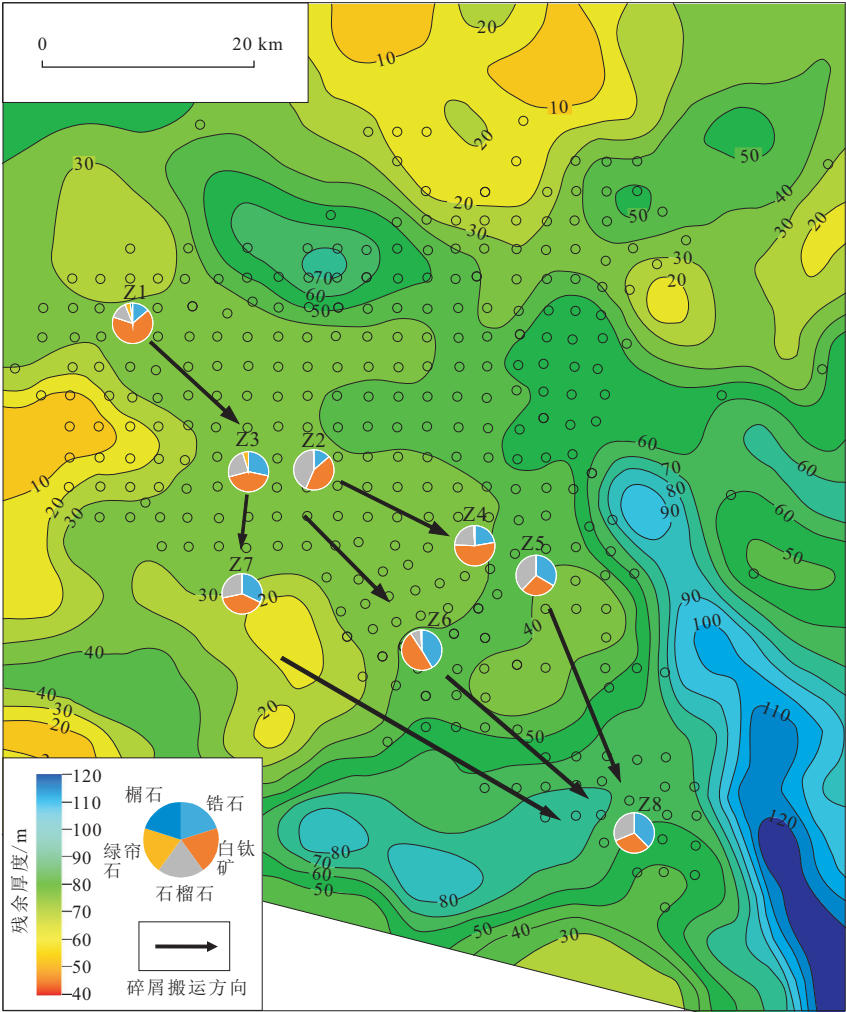


图 2 扎 X 井区第 IV 油层组重矿物分布图(底图为 N_2^1 时期古地貌图,数据为残余厚度值,单位为 m)
Fig.2 Distribution of heavy minerals in No. IV reservoir group of Well Zha X area

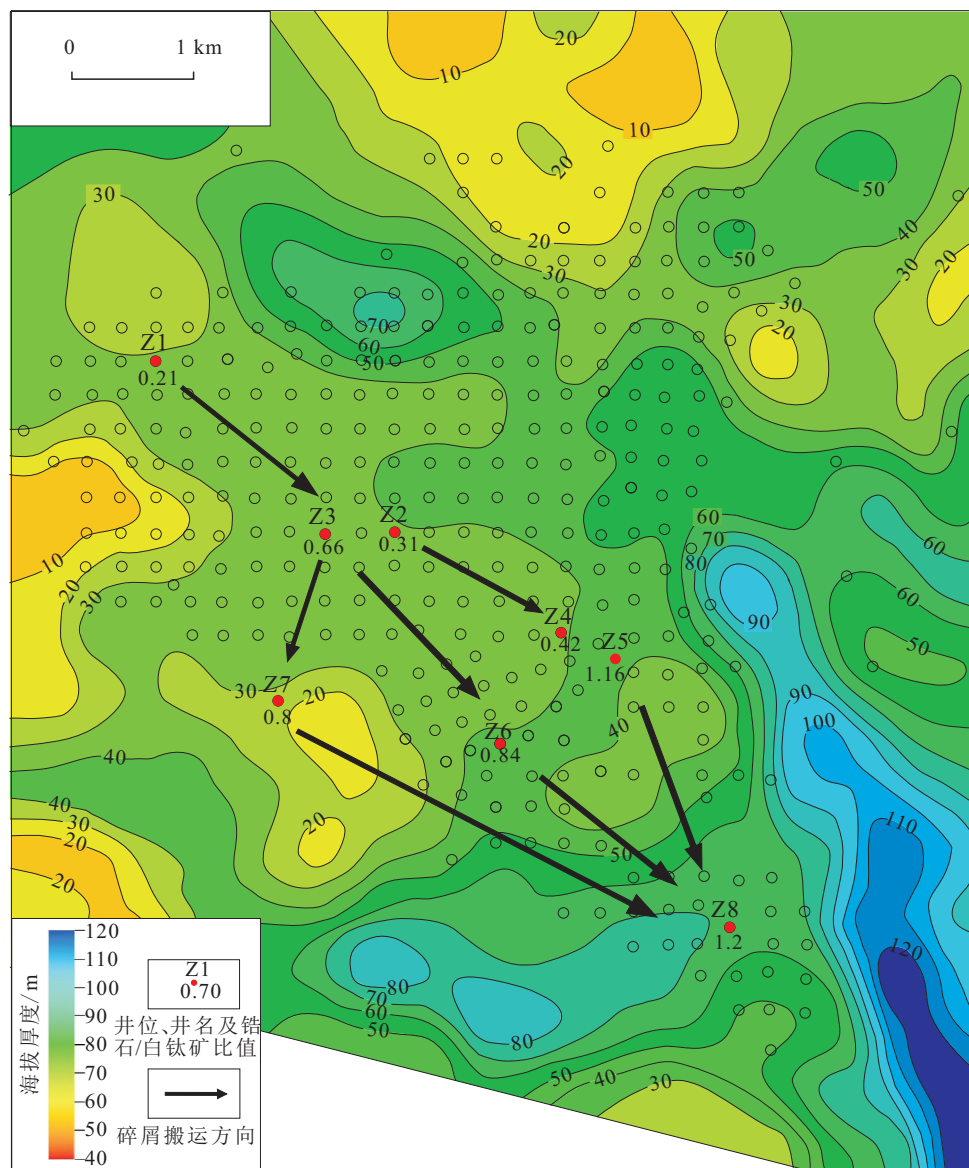


图3 扎X井区第IV油层组锆石/白钛矿比值分布图(底图为 N_2 时期古地貌图,数据为残余厚度值,单位为m)

Fig.3 Zircon/perovskite distribution in No.IV reservoir group of Well Zha X area

试分析中基本未见独居石,也就是说本区的钍主要来自于锆石,钍的质量分数与锆石有较密切的关系。锆石是超稳定矿物,向沉积体系的下游,锆石的相对质量分数增加,相应的钍质量分数也应该是增加的,照此推理,用钍元素替代锆石来指示物源是有可能的。

放射性测井中,自然伽马数据是由铀系、钍系和 ^{40}K 等放射性元素所产生的伽马射线的总和^[12],因此钍的数据可根据自然伽马能谱测井直接获取,无须取心,获取途径相对于重矿物更为容易,这是用钍元素替代锆石研究物源的一大优势。

选取研究区内的10口探井中下油砂山组第IV油层组进行分析,从测井数据中获取钍元素质量分数,计算目的层中每一层砂岩的平均钍元素质量分数,然后利用加权平均计算出整个目的层中的钍元

素平均质量分数(表3)。其计算公式如下:

$$w = \frac{a_1 b_1 + a_2 b_2 + \cdots + a_n b_n}{a_1 + a_2 + \cdots + a_n}$$

式中: w 为探井目的层中的钍元素平均质量分数; $a_1, a_2, \cdots, a_n$ 为目的层中每一段砂岩的厚度; $b_1, b_2, \cdots, b_n$ 为目的层中每一段砂岩的平均钍元素质量分数。

从平面图(图4)中 $w(\text{Th})$ 的变化趋势来看,沿NW—SE方向, $w(\text{Th})$ 有增大的趋势,与锆石质量分数增加的趋势一致。

根据对物源方向的分析结果可以看出,研究区内物源主要来自西北,沿东南方向展布,说明锆石等重矿物分析和钍元素质量分数变化分析所得出的结论基本一致,证明采用钍元素质量分数变化分析物源具有可行性。

表 3 扎 X 井区第Ⅳ油层组砂岩段钍元素质量分数
Table 3 Thorium element content in the sandstone segment
of No.Ⅳ reservoir group

井名	起始深度/m	结束深度/m	砂岩厚度/m	砂岩段平均值	井平均值
				$w(\text{Th})/10^{-6}$	
Z9	2 427.84	2 430.60	2.76	4.60	5.11
	2 441.40	2 442.90	1.50	3.99	
	2 454.20	2 459.90	5.70	4.46	
	2 463.90	2 464.90	1.00	4.84	
	2 470.30	2 470.94	0.64	9.13	
	2 480.40	2 482.80	2.40	4.85	
	2 493.20	2 494.30	1.10	5.33	
	2 504.30	2 505.70	1.40	6.43	
	2 506.80	2 508.50	1.70	6.89	
Z10	2 385.10	2 387.90	2.80	6.14	6.54
	2 392.40	2 394.80	2.40	4.24	
	2 403.80	2 412.30	8.50	7.06	
	2 420.40	2 423.20	2.80	7.32	
Z3	2 484.90	2 488.00	3.10	8.06	8.13
	2 503.90	2 506.40	2.50	8.38	
	2 507.60	2 510.20	2.60	5.61	
	2 545.70	2 550.00	4.30	8.65	
	2 563.90	2 569.90	6.00	8.79	
Z15	2 446.20	2 447.70	1.50	12.31	11.06
	2 482.70	2 484.60	1.90	10.20	
	2 493.20	2 495.80	2.60	11.58	
	2 513.10	2 515.00	1.90	10.23	
Z11	2 397.10	2 399.80	2.70	6.81	8.22
	2 417.70	2 423.20	5.50	6.43	
	2 442.90	2 444.70	1.80	6.69	
	2 448.90	2 451.20	2.30	10.54	
	2 465.40	2 466.90	1.50	8.33	
	2 472.40	2 473.80	1.40	8.32	
	2 474.80	2 479.00	4.20	9.41	
	2 480.30	2 481.90	1.60	10.23	
	2 485.10	2 487.20	2.10	9.44	
Z12	2 390.50	2 394.80	4.30	7.66	8.12
	2 398.10	2 399.90	1.80	7.51	
	2 412.30	2 416.00	3.70	5.62	
	2 455.20	2 458.90	3.70	8.02	
	2 466.70	2 469.30	2.60	10.04	
	2 470.50	2 473.90	3.40	10.41	
	2 678.70	2 681.20	2.50	7.76	
Z16	2 684.90	2 687.10	2.20	8.71	10.23
	2 688.50	2 691.40	2.90	10.87	
	2 695.00	2 697.20	2.20	12.27	
	2 716.30	2 718.50	2.20	13.81	
	2 742.80	2 747.10	4.30	8.98	
	2 751.30	2 755.80	4.50	10.36	

续表 3

井名	起始深度/m	结束深度/m	砂岩厚度/m	砂岩段平均值	井平均值
				$w(\text{Th})/10^{-6}$	
Z14	2 455.00	2 458.30	3.30	8.32	9.17
	2 477.70	2 479.20	1.50	9.45	
	2 499.40	2 501.30	1.90	9.53	
	2 507.30	2 508.40	1.10	10.04	
	2 528.60	2 530.10	1.50	9.67	
Z17	2 442.00	2 444.50	2.50	14.02	12.60
	2 445.30	2 446.80	1.50	13.29	
	2 449.60	2 453.30	3.70	12.11	
	2 459.00	2 465.10	6.10	13.29	
	2 470.20	2 472.10	1.90	14.43	
	2 477.10	2 479.60	2.50	10.05	
	2 489.80	2 493.60	3.80	12.25	
	2 493.70	2 497.70	4.00	13.26	
	2 502.10	2 503.90	1.80	11.67	
	2 506.00	2 508.40	2.40	11.51	
	2 518.10	2 520.00	1.90	10.95	
	2 520.60	2 521.60	1.00	11.02	
	2 521.90	2 522.90	1.00	10.27	
	2 524.20	2 524.90	0.70	10.78	
	2 530.00	2 532.90	2.90	15.32	
Z13	2 536.20	2 539.80	3.60	12.01	10.13
	2 543.60	2 545.10	1.50	11.26	
	2 547.72	2 549.84	2.12	14.26	
	2 431.70	2 433.20	1.50	9.16	
	2 442.60	2 445.50	2.90	11.02	
	2 467.30	2 468.20	0.90	9.87	
	2 477.20	2 479.20	2.00	10.22	
	2 481.30	2 485.10	3.80	12.31	
	2 501.50	2 503.40	1.90	7.32	
	2 530.70	2 532.80	2.10	8.23	

3 讨论与分析

3.1 锆石质量分数与钍质量分数的相关性

选取扎 X 井区的 Z3 井为研究对象,比较重矿物锆石质量分数与对应井段砂岩层中钍元素质量分数,定量分析锆石质量分数与钍元素质量分数的关系。

选取 Z3 井取心段的锆石质量分数和与取心段对应的钍元素测井段的钍元素平均质量分数进行分析(表 4,图 5),可以看出,随着锆石质量分数的增加,钍元素质量分数也在增加,二者呈线性相关, R^2 为 0.82,说明锆石质量分数与钍元素质量分数的相关性强。

3.2 锆石、钍质量分数与搬运距离的相关性

沉积物被搬运的距离越远,稳定矿物的质量分数越高,说明稳定矿物质量分数和被搬运的距离之间具有相关性,这种相关性越明显,指示物源的效果就越好。

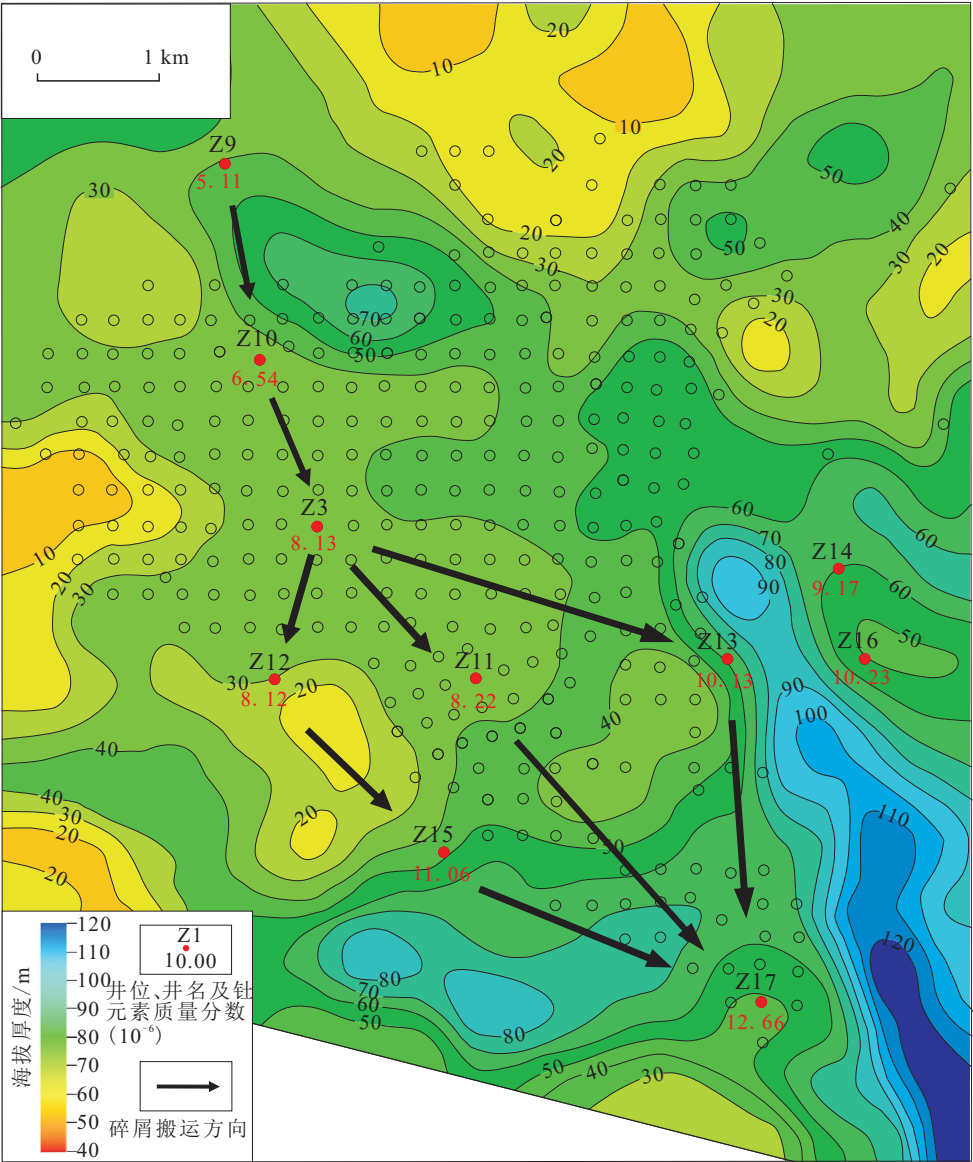


图 4 扎 X 井区第Ⅳ油层组中钍质量分数分布(底图为 N₂ 时期古地貌图,数据为残余厚度值,单位为 m)

Fig.4 Thorium content distribution in No.Ⅳ reservoir group of Zha X well area

表 4 Z3 井取芯段锆石质量分数与钍元素质量分数对比

Table 4 Comparison of zircon content and thorium content in the core section of Well Z3

取芯段长度/m	锆石 $w_B/\%$	钍元素 $w(\text{Th})/10^{-6}$
2 453~2 459	6.30	8.67
2 566~2 570	20.00	10.28
2 592~2 595	27.80	10.01
2 631~2 633	10.00	7.43
2 678~2 681	30.00	12.16
2 717~2 720	17.60	10.01
2 745~2 748	30.80	12.98
2 756~2 762	40.00	13.02

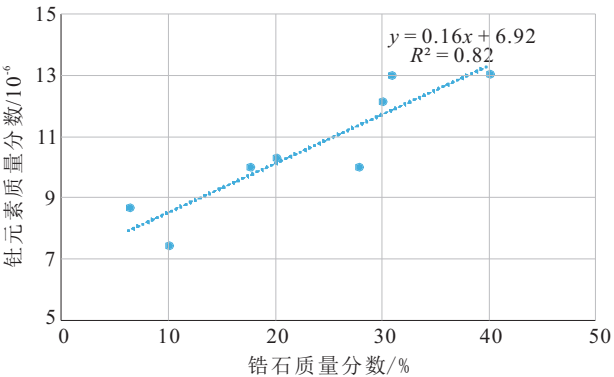


图 5 Z3 井取芯段锆石质量分数与钍元素质量分数关系图

Fig.5 Relationship between zircon content and thorium content in the core section of Well Z3

在分析锆石质量分数与搬运距离之间关系时, 设定研究区西北角的 Z1 井为起始井, 在 GeoMap 软件中测量出每一口井与起始井之间的距离定义为相对搬运距离, 分别研究锆石质量分数、锆石/白钛矿比值与相对搬运距离的关系(表 5, 图 6, 7)。

分析钍元素质量分数与搬运距离之间关系时, 设定 Z9 井为起始井, 研究钍质量分数与相对搬运距离的相关性(表 6, 图 8)。

表 5 扎 X 井区各井锆石质量分数、锆石/白钛矿比值与相对搬运距离

Table 5 Zircon content, zircon/perovskite and relative carrying distance in Well Zha X area

井名	距离/km	锆石 $w_B/\%$	锆石/白钛矿比值
Z1	0.00	0.14	0.21
Z2	2.20	0.14	0.32
Z3	1.90	0.28	0.66
Z4	4.10	0.22	0.42
Z5	4.30	0.33	1.16
Z6	4.20	0.41	0.84
Z7	2.90	0.32	0.80
Z8	6.70	0.38	1.20

表 6 扎 X 井区各井钍元素质量分数与相对搬运距离

Table 6 Contents of thorium and relative carrying distance in Well Zha X area

井名	距离/km	钍元素 $w(\text{Th})/\times 10^{-6}$
Z9	0.00	5.11
Z10	1.80	6.54
Z3	3.20	8.13
Z11	4.80	8.22
Z12	4.40	8.12
Z13	5.90	10.13
Z14	6.10	9.17
Z15	6.10	11.06
Z16	6.70	10.23
Z17	7.60	12.60

根据关系图(图 6~8)可以看出, 锆石质量分数

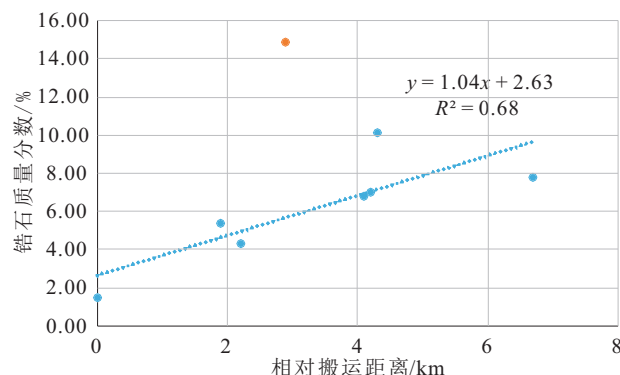


图 6 锆石质量分数与相对搬运距离关系图

Fig.6 Zircon content and relative carrying distance

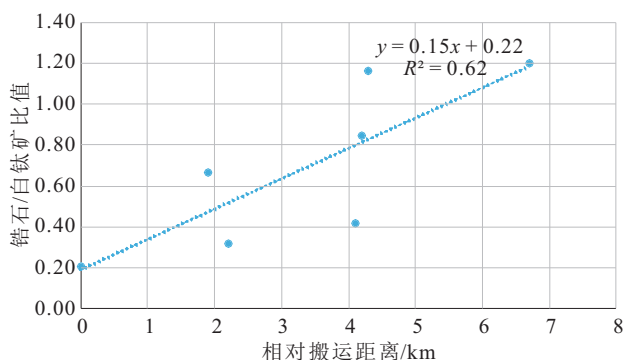


图 7 锆石/白钛矿与相对搬运距离关系图

Fig.7 Zircon/perovskite ratio and relative carrying distance diagram

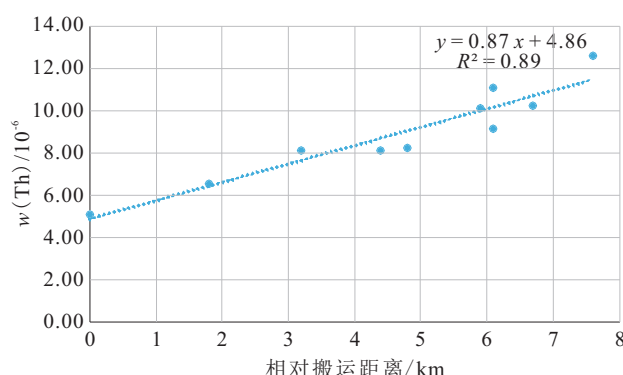


图 8 钍元素含量与相对搬运距离关系图

Fig.8 Thorium element content and relative carrying distance diagram

与相对搬运距离的相关性为 0.21, 但存在一个异常值, 除去异常值后相关性为 0.68; 锆石/白钛矿比值与相对搬运距离的相关性为 0.62, 相关性比较明显; 钍元素质量分数与相对搬运距离的相关性为 0.89, 相关性非常明显, 这说明钍元素的分异性明显优于锆石质量分数和锆石/白钛矿比值。

重矿物检测样品仅仅来自取心段中砂岩的一部分, 其质量分数与取心位置、取心段长度有关, 因此, 重矿物质量分数与整个层段实际的重矿物质量分数之间必然存在一定的偏差。但是钍元素质量分数取值于整个砂岩段的平均质量分数, 并通过加权平均的方法得到了最后钍元素质量分数, 所以, 钍元素质量分数比重矿物质量分数更加具有代表性, 分异性也更好, 以此为依据得到的物源分析结论更加准确。

4 在鄂尔多斯盆地西南部的应用

4.1 研究区概况

鄂尔多斯盆地西南部二叠系山西组地层厚度主要分布在 90~150 m 之间, 岩性主要为深灰色泥岩、粉砂岩及中细砂岩, 中下部常见厚层砂岩与煤层

的互层,依据其沉积特征将山西组分为山1段和山2段^[13]。砂岩中仅含有微量独居石,几乎可以忽略不计,而碎屑锆石质量分数相对丰富^[14-15],具备根据钍元素分析物源的条件。以山1段中山₁²小层为例,分析其中钍元素的质量分数变化趋势,并与已知的沉积体系进行对比,以便验证该方法是否有效。

前人的研究表明,鄂尔多斯盆地西南部二叠系山西组可划分出2个物源区,即西南部以及北部^[16-18]。西南部地区的物源主要是来自鄂尔多斯盆地西南缘的北祁连,北部地区的物源则主要来自于鄂尔多斯盆地北缘的阴山地区;在山1段沉积时期,西南部三角洲自西南向东北展布,北部三角洲自北向南展布。

4.2 物源分析

选取区域内的16口探井山₁²砂岩段的钍元素质量分数,计算每一砂岩段的平均钍元素质量分数,然后利用加权平均计算出整个山₁²中的钍元素平均质量分数(表6)。从钍元素质量分数分布(图9)来看,钍元素主要分布于西南部及北部2个区域。西南部钍元素质量分数最大值为 17.22×10^{-6} ,最小值为 2.70×10^{-6} ,平均值为 12.05×10^{-6} ,从西南部到东北部,钍元素质量分数逐渐变大;北部钍元素质量分数最大值为 18.54×10^{-6} ,最小值为 14.51×10^{-6} ,平均值为 15.60×10^{-6} ,从北至南,钍元素质量分数逐渐变大。2个区域内的钍元素质量分数类型完全不一致,可以判断出该区的沉积来自2个不同方向的物源。

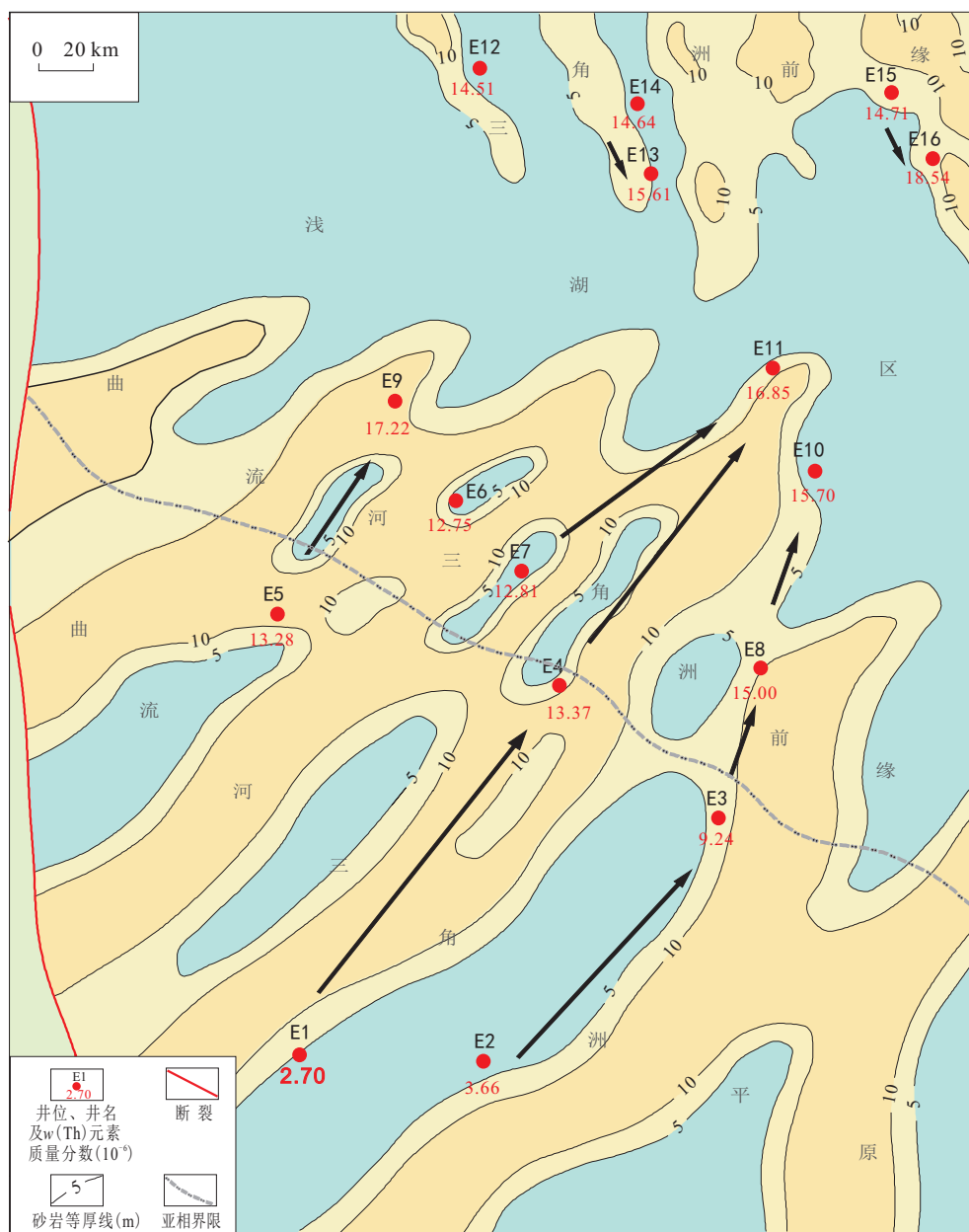


图9 鄂尔多斯盆地西南部山₁²钍元素质量分数分布图^[15]

Fig.9 Thorium content distribution of the Shan₁² in the southwestern part of the Ordos Basin

表 7 鄂尔多斯盆地西南部山₁² 砂岩的钍元素质量分数

Table 7 Thorium content in the sandstone segment of the Shan₁² in the southwestern part of the Ordos Basin

井名	起始深度/m	结束深度/m	砂岩厚度/m	砂岩段平均值	井平均值	井名	起始深度/m	结束深度/m	砂岩厚度/m	砂岩段平均值	井平均值
				$w(\text{Th})/10^{-6}$						$w(\text{Th})/10^{-6}$	
E1	3 710.50	3 711.70	1.20	2.63	2.70	E9	4 482.50	4 483.80	1.30	18.23	17.22
	3 720.70	3 722.40	1.70	2.41			4 485.30	4 487.80	2.50	17.21	
	3 724.20	3 725.80	1.60	3.06			4 489.20	4 492.10	2.90	17.41	
E2	3 648.10	3 649.10	1.00	2.26	3.66	E10	4 494.40	4 496.20	1.80	16.38	15.70
	3 655.30	3 657.20	1.90	3.89			4 503.60	4 505.50	1.90	17.03	
	3 657.90	3 659.60	1.70	4.23			3 768.20	3 769.50	1.30	15.52	
E3	3 732.40	3 734.50	2.10	8.31	9.24	E11	3 771.20	3 772.90	1.70	16.02	16.85
	3 738.20	3 739.80	1.60	9.42			3 782.50	3 783.80	1.30	15.46	
	3 741.20	3 743.30	2.10	8.57			4 103.50	4 105.10	1.60	16.78	
	3 752.40	3 754.90	2.50	10.46			4 106.30	4 107.20	0.90	17.02	
E4	4 162.70	4 164.20	1.50	11.23	13.37	E12	4 108.10	4 109.60	1.50	16.53	14.51
	4 165.20	4 166.50	1.30	12.78			4 114.70	4 115.30	0.60	16.98	
	4 168.60	4 169.20	0.60	13.45			4 122.30	4 123.80	1.50	17.11	
	4 171.30	4 174.70	3.40	13.87			4 081.60	4 083.20	1.60	15.03	
	4 178.60	4 180.20	1.60	14.76			4 095.70	4 098.10	2.40	14.53	
E5	5 064.50	5 065.80	1.30	14.56	13.28	E13	4 102.30	4 105.20	2.90	14.45	15.61
	5 067.20	5 069.20	2.00	15.78			4 122.10	4 123.50	1.40	14.01	
	5 070.30	5 072.40	2.10	11.32			4 071.20	4 073.10	1.90	15.87	
	5 075.30	5 077.90	2.60	12.14			4 084.30	4 086.90	2.60	15.42	
	5 089.70	5 092.40	2.70	13.45			4 050.80	4 053.00	2.20	14.74	
E6	4 345.40	4 346.70	1.30	11.89	12.75	E14	4 062.90	4 064.90	2.00	14.52	14.64
	4 350.90	4 352.00	1.10	13.78			3 755.80	3 758.90	3.10	14.34	
	4 352.70	4 354.10	1.40	12.74			3 765.70	3 767.10	1.40	14.11	
E7	4 332.80	4 334.00	1.20	13.11	12.81	E15	3 772.30	3 774.50	2.20	14.57	14.71
	4 349.10	4 350.40	1.30	12.87			3 777.40	3 779.20	1.80	15.98	
	4 355.60	4 357.30	1.70	12.56			3 688.60	3 690.50	1.90	19.61	
E8	3 666.10	3 668.30	2.20	14.92	15.00	E16	3 693.50	3 694.30	0.80	15.32	18.54
	3 669.60	3 672.10	2.50	15.14			3 796.10	3 798.20	2.10	17.21	
	3 677.30	3 678.80	1.50	14.88			3 705.70	3 708.20	2.50	19.87	

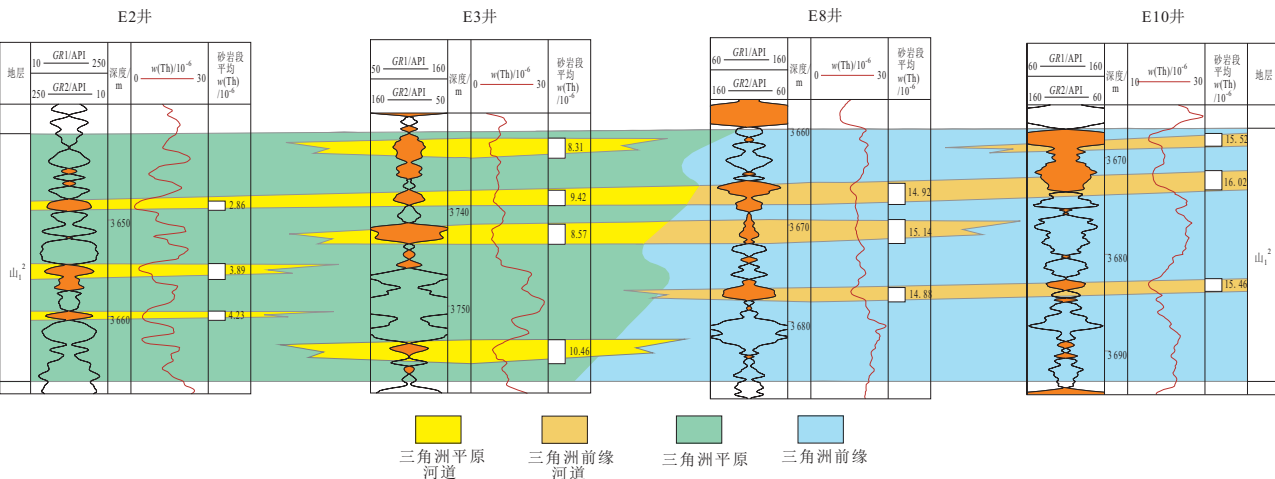


图 10 鄂尔多斯盆地西南部山₁² 连井剖面图

Fig.10 Profiles of connected wells of the Shan₁² in the southwestern part of the Ordos Basin

结合沉积相图,从西南部钍元素质量分数分布中可以看出,钍元素质量分数随着河流的流向,自西南向东北逐渐变大,在浅湖区达到最大值。

选取平面图中4口井做连井剖面图(图10),从剖面图中可以看出,同一期次的砂体由南到北,钍元素质量分数逐渐增大,从三角洲平原过渡到三角洲前缘,钍元素质量分数明显增大。

以上分析说明,该区物源主要来自西南方向,与前人的研究结果一致,证明此方法在该区域内是有效的。

5 结 论

(1)对扎X井区的物源研究表明,锆石重矿物质量分数和钍元素质量分数变化分析所得出的结论完全一致:物源主要来自于西北方向,证明采用钍元素质量分数变化分析在物源研究中具有可行性。

(2)选取Z3井中取心段的锆石质量分数与对应层段的钍元素质量分数进行比较分析,证明锆石质量分数与钍元素质量分数的相关性强。

(3)锆石重矿物质量分数和钍元素质量分数与相对搬运距离的相关性分析结果表明,钍元素质量分数与相对搬运距离的相关性最强,说明钍元素的分异性较好。

(4)在鄂尔多斯盆地西南部验证此方法,验证结果与前人研究结果一致,证明通过钍元素质量分数分析物源在该区具有适用性。

(5)通过钍元素质量分数分析物源方向,更加经济便利,且具有很强的可操作性,有望成为沉积物物源分析的新方法。

参考文献:

- [1] 赵红格,刘池洋.物源分析方法及研究进展[J].沉积学报,2003,21(3):409-415.
- [2] 王家林,李壮.碎屑锆石微量元素对物源区的指示:以辽东半岛

- 辽河群为例[J].地质科技情报,2017,36(2):36-50.
- [3] 徐亚军,杜远生,杨江海.沉积物物源分析研究进展[J].地质科技情报,2007,26(3):26-32.
- [4] Gehrels G. Detrital zircon U-Pb geochronology applied to tectonics[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2014,42(1):127-149.
- [5] 党玉琪,尹成明,赵东升.柴达木盆地西部地区古近纪与新近纪沉积相[J].古地理学报,2004,6(3):297-306.
- [6] 曹国强.柴达木盆地西部地区第三系沉积相研究[D].北京:中国科学院研究生院,2005:118-120.
- [7] 李颖莉,冯乔,姜文娟,等.柴达木盆地西部新近纪岩相古地理研究[J].沉积与特提斯地质,2012,32(2):31-36.
- [8] 付玲,关平,赵为永,等.柴达木盆地古近系路乐河组重矿物特征与物源分析[J].岩石学报,2013,29(8):2867-2875.
- [9] Hampson G J, Davies W, Davies S J, et al. Use of spectral gamma-ray data to refine subsurface fluvial stratigraphy: Late Cretaceous strata in the Book Cliffs, Utah, USA[J]. Journal of the Geological Society, 2005,162(4):603-621.
- [10] Rider M. Geological interpretation of well logs[M]. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1996.
- [11] 钟玉芳,马昌前,余振兵.锆石地球化学特征及地质应用研究综述[J].地质科技情报,2006,25(1):27-34,40.
- [12] 王贵文,郭荣坤.测井地质学[M].北京:石油工业出版社,2015.
- [13] 陈晓晶.鄂尔多斯盆地西南部盒8、山1段含气性检测试验[D].西安:西北大学,2014.
- [14] 罗顺社,潘志远,吕奇奇,等.鄂尔多斯盆地西南部上古生界碎屑锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J].中国地质,2017,44(3):556-574.
- [15] 陈岳龙,李大鹏,王忠,等.鄂尔多斯盆地周缘地壳形成与演化历史:来自锆石 U-Pb 年龄与 Hf 同位素组成的证据[J].地学前缘,2012,19(3):147-166.
- [16] 王璇,罗顺社,王睿,等.鄂尔多斯盆地三角洲沉积体系及演化规律:以西南部二叠系山1、盒8段为例[J].科学技术与工程,2014,14(31):25-31.
- [17] 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.
- [18] 肖建新,孙粉锦,何乃祥,等.鄂尔多斯盆地二叠系山西组及下石盒子组盒8段南北物源沉积汇水区与古地理[J].古地理学报,2008,10(4):341-354.