

doi: 10.16104/j.issn.1673-1891.2023.03.010

淮南煤田口孜东矿太原组灰岩微量元素特征

史书森¹, 冯松宝¹, 汪宏志², 胥翔², 尹雪贞¹

(1. 宿州学院资源与土木工程学院, 安徽 宿州 234000; 2. 安徽省煤田地质局第三勘探队, 安徽 宿州 234000)

摘要:以淮南煤田口孜东矿太原组灰岩(一灰、二灰、三灰、四灰)为研究对象,对其微量元素进行地球化学特征分析,并对稀土元素的来源进行研究,通过相关的微量元素丰度比值反演其古沉积环境。结果表明:研究区一灰与二灰中 Zr、Th 和 Sc 丰度远高于上地壳元素丰度,这表明沉积过程中主要受陆源碎屑物影响。 $\omega(\text{Sr})/\omega(\text{Ba}) < 1$, 总体指示为陆相沉积。三灰与四灰中具有重稀土元素的富集、Y 的正异常和 Gd 的正异常,表现出与海相灰岩相似的稀土元素特征。 $\omega(\text{Sr})/\omega(\text{Ba}) > 1$, 总体指示为海相沉积。通过 $\omega(\text{Sr})/\omega(\text{Cu}) < 1$ 确定为干旱炎热的古气候,通过 $\omega(\text{V})/\omega(\text{Cr})$ 和 $\omega(\text{V})/\omega(\text{V}+\text{Ni})$ 结合 δCe 与 δEu 确定沉积环境为滨海的干热氧化环境。

关键词:淮南煤田; 口孜东矿; 太原组; 微量元素特征; 沉积环境

中图分类号: P618.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-1891(2023)03-0055-06

Characteristics of the Trace Elements in Limestone of Taiyuan Formation in Kouzidong Coalmine of Huainan Coalfield

SHI Shusen¹, FENG Songbao¹, WANG Hongzhi², XU Xiang², YIN Xuezheng¹

(1. School of Resources and Civil Engineering, Suzhou University, Suzhou, Anhui 234000, China;

2. No.3 Exploration Team of Anhui Bureau of Coal Geology, Suzhou, Anhui 234000, China)

Abstract: With the limestone of Taiyuan formation (1~4 limestone) of Kouzidong Coalmine in Huainan coalfield as the research object, the geochemical characteristics of the trace elements, the sources of rare earth elements, and its ancient sedimentary environment by the relative ratio of trace elements were analyzed. The results show that the content of Zr, Th and Sc in the first and second limestone is much higher than that in the upper crust, which indicates that the sedimentary process is mainly influenced by terrigenous detrital materials. At the same time, the ratio of $\omega(\text{Sr})/\omega(\text{Ba})$ is less than 1, indicating the continental deposition. The enrichment of HREE, positive anomaly of Y and positive anomaly of Gd are found in the three and four limestone, which are similar to the characteristics of rare earth elements in Marine limestone. The ratio of $\omega(\text{Sr})/\omega(\text{Ba})$ is greater than 1, which indicates the marine deposition. $\omega(\text{Sr})/\omega(\text{Cu})$ reflects the dry and hot paleoclimate, and the combination of $\omega(\text{V})/\omega(\text{Cr})$ and $\omega(\text{V})/\omega(\text{V}+\text{Ni})$ with δCe and δEu indicates that the sedimentary environment is coastal dry and hot oxidation environment.

Keywords: Huainan coalfield; Kouzidong coalmine; Taiyuan formation; characteristics of trace elements; sedimentary environment

0 引言

沉积物中元素的相关特征参数可以在一定程度上反应古沉积环境^[1]。沉积物中元素地球化学特征不仅受自身元素特征性质的影响还受到沉积过程中风化、搬运、固结成岩作用等外部因素影响,因

此研究沉积物中元素的组成与分配规律对反演古沉积环境有重要的研究价值。稀土元素具有相似与稳定的地球化学性质,同时分配模式在沉积作用与变质作用中保持不变,可以较好地反应沉积物的物源区性质与沉积环境^[2]。稀土元素的相关特定比值,在研究古气候与古地理方面同时具有重要意

收稿日期: 2022-12-20

基金项目: 安徽省煤田地质局重点科技项目(2022jzd-2); 安徽省教育厅优秀人才项目(gxbjZD2022075); 国家级大学生创新创业项目(202310379031); 安徽省大学生创新创业项目(S202310379190、202310379031)。

作者简介: 史书森(2002—), 男, 河南安阳人, 本科, 主要研究方向: 岩石地球化学, e-mail: 2941747095@qq.com。

义^[3]。沉积环境研究工作一直以来广受关注,陈琰等^[4]通过岩石薄片、X射线衍射、全岩分析化验、地震反射等资料对柴西咸水泉地区下油砂山组湖相沉积特征研究,黄清华等^[5]通过碳氧同位素法等方式对灰岩古环境古地理进行反演,陈松等^[6]通过分析寒武纪猴家山组灰岩岩石中的微量元素并对灰岩的沉积环境与古海水进行了研究。在这些研究方法中,地球化学方法使用最为广泛快捷,对微量元素的特征研究更是广泛应用于矿区水体溯源^[7-8]、区域沉积环境分析^[9]、油气资源勘探^[10]等领域。本文以淮南煤田口孜东矿太原组灰岩(一灰、二灰、三灰、四灰)为研究对象,旨在通过研究口孜东矿太原组灰岩的微量元素丰度与特征比值、稀土配分模式等研究不同层位的灰岩特征并探讨其与沉积环境之间的内在联系。

1 研究区概况

淮南煤田是我国重要的产煤基地,位于华北板块东南部,处于石炭-二叠纪聚煤盆地之中,北部与蚌埠隆起相邻,南部与合肥拗陷相接,西部以阜阳断层为边界,东部至郟庐断裂带^[11]。淮南煤田

东西走向约为 180 km,南北走向约 20~25 km,面积约为 3 500 km²,构造方式为复式向斜,在煤炭的开发过程中主要的突水含水层为石炭系太原组灰岩岩溶裂隙含水层(太灰含水层)、二叠系煤系砂岩裂隙含水层(煤系含水层)和新生界松散层孔隙含水层(新生界含水层)。淮南煤田中含煤地层主要为石炭世太原组,早二叠世山西组与石河子组,太原组因含煤性差不具有开采价值,主要开采煤层为上石盒子组 11、13 煤层,下石盒子组 4、5、6、7、8、9 煤层,山西组 1、3 煤层。

口孜东矿位于淮南煤田西南方向安徽省阜阳市颍东区境内,基本构造如图 1 所示。井田范围:东起 F₁₂ 断层,西至 DF₃ 断层,北起太原组第一层灰岩顶面露头线,南至 F₁ 断层。井田走向长 7.4 km,倾向宽 3.0~7.3 km,面积约 33.6 km²。本区总体为一宽缓不完整向斜构造,南翼被 F₁ 断层切割。向斜总体轴向为北西向,向斜南翼地层倾角平缓,一般为 5°~10°,向斜北翼地层倾角稍陡,一般为 20°左右。区域内影响开采的断层,大部分为正断层。断层展布方向以北东向横切断层为主,北西向和近东西向为辅^[12]。

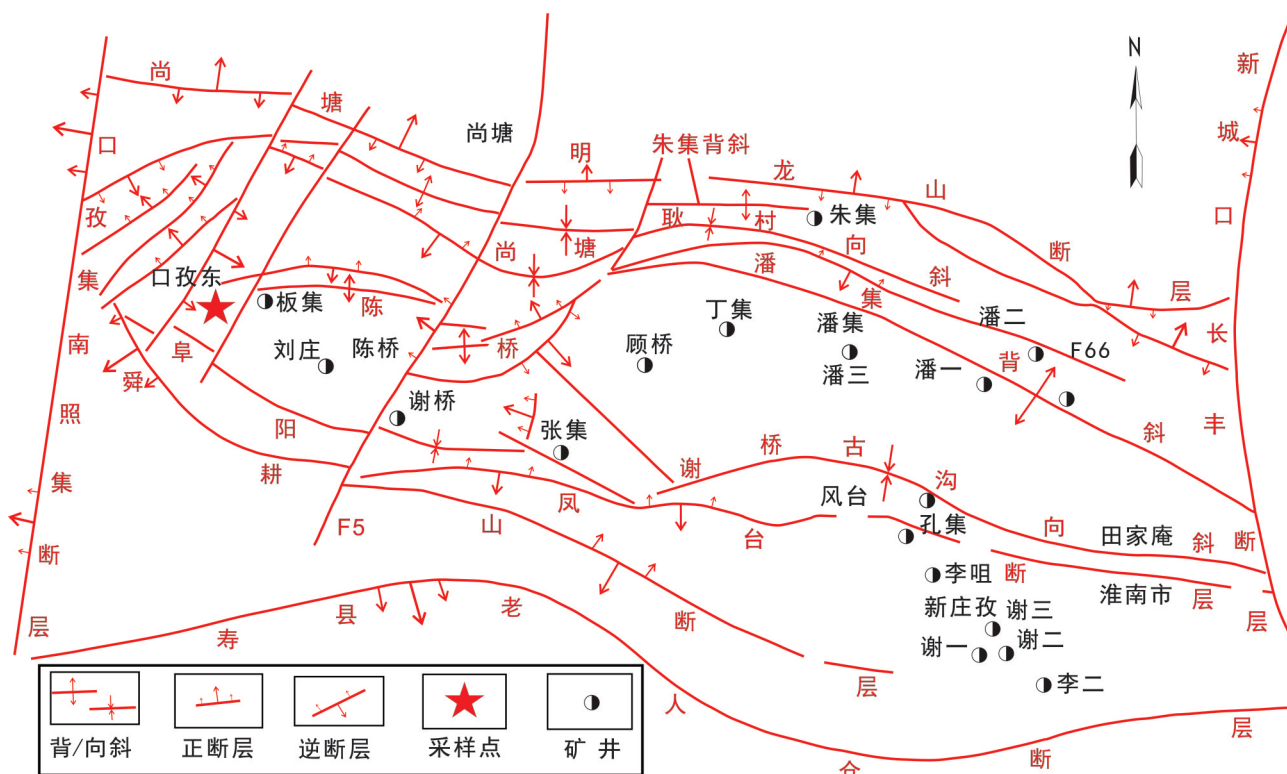


图 1 淮南煤田构造纲要(据胡宝林等^[13]修改)

2 样品采集与实验

2.1 样品采集

采集了淮南煤田口孜东矿 F₁₂ 断层,上盘样品 4 个,分别来自一灰、二灰、三灰、四灰,编号分别为 KZ-1、KZ-2、KZ-3、KZ-4,文中使用 L₁、L₂、L₃、L₄ 分别代替一灰、二灰、三灰、四灰,KZ-1、KZ-2、KZ-3、KZ-4 采样点深度分别为:1 170、1 202、1 239、1 319 m。

2.2 实验方法

2.2.1 样品预处理

将采集的样品避光放置,先进行预处理,使用清水清洗自然风干,随后切除样品的外表面,使用超纯水进行清理,放入烘干箱烘干,随后在无污染的环境下使用玛瑙研钵研磨至 200 目,送至实验室进行分析。

2.2.2 样品测试

使用 ELEMNT II 型电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS 美国赛默飞)测试微量元素的质量分数,实验在安徽省煤矿勘探工程技术研究中心完成。各个微量元素含量的相对标准偏差控制在 5% 以内。

3 实验结果与讨论

3.1 稀土元素含量特征

淮南口孜东矿太原组灰岩测试结果与所计算比值如表 1 所示,ΣREE(不含 Y 元素)为稀土元素的总量,稀土元素采用 PASS(后太古宙澳大利亚页岩)^[14]进行标准化,所成稀土元素配分如图 2 所示。稀土总量(ΣREE)的变化范围为 35.73~373.67 μg/g,平均值为 187.14 μg/g,北美页岩 REE 的平均值(1.732×10⁻⁴)^[15],本文中 L₁~L₂ 稀土总量 REE 值明显大于北美页岩的平均值,L₃~L₄ 稀土总量 REE 值明显低于北美页岩的平均值。轻稀土(LREE:La~Eu)的变化范围为 31.25~336.03 μg/g,平均值为 168.54 μg/g。重稀土(HREE:Gd~Lu)的变化范围为 4.48~37.64 μg/g,平均值为 18.60 μg/g。Nd_{SN}/Yb_{SN}(SN 表示使用 PASS 后太古宙澳大利亚页岩所进行的标准化的)表示轻重稀土的富集程度,样品中 Nd_{SN}/Yb_{SN} 的比值范围为 0.85~1.21,L₁~L₂ 表现为轻稀土富集、重稀土亏损,L₃~L₄ 表现为轻稀土亏损、重稀土富集,总体上轻重稀土分异程度不大,标准化后的灰岩样品的配分模式呈平坦形分布,配分形式趋于一致。δCe 的比值范围为 0.80~1.15,平均值为 0.95,表现为 Ce 的负异常。样品中 δEu 的范围为 0.71~0.88,平均值为 0.82,总体表现为 Eu 的负异常。样品 δY 的

范围为 1.05~1.36,平均值为 1.17,总体表现为 Y 的正异常。δGd 的范围为 1.31~1.42,平均值为 1.36,表现为 Gd 的正异常。

表 1 口孜东矿太原组灰岩稀土元素质量分数 μg/g

类别	KZ-1	KZ-2	KZ-3	KZ-4
La	109.47	62.41	20.09	7.91
Ce	139.75	100.34	44.15	14.08
Pr	14.94	10.13	3.92	1.54
Nd	59.56	39.04	15.30	6.35
Sm	10.16	6.74	2.84	1.18
Eu	2.16	1.31	0.58	0.20
Gd	12.99	8.10	3.60	1.44
Tb	1.75	1.01	0.49	0.20
Dy	8.79	4.88	2.43	1.07
Ho	1.85	0.98	0.54	0.26
Er	5.76	3.17	1.56	0.64
Tm	0.76	0.44	0.24	0.12
Yb	4.97	2.68	1.50	0.62
Lu	0.77	0.43	0.23	0.12
Y	68.60	29.75	16.96	7.02
LREE	336.03	219.97	86.89	31.25
HREE	37.64	21.69	10.59	4.48
REE	373.67	241.66	97.48	35.73
Zr	492.94	448.22	199.67	36.01
Th	14.84	14.08	4.82	1.78
Sc	12.74	10.11	5.21	1.79
V	87.79	79.55	43.18	16.44
Cr	55.76	60.51	77.26	46.52
Ba	384.66	518.74	273.55	92.12
Cu	23.04	15.57	10.15	5.34
Sr	208.72	316.93	513.08	869.44
Ni	32.73	33.56	36.10	34.93
Nd _{SN} /Yb _{SN}	1.00	1.21	0.85	0.85
δEu	0.88	0.84	0.86	0.71
δCe	0.80	0.92	1.15	0.93
δPr	0.96	0.95	0.89	0.96
δGd	1.31	1.38	1.32	1.42
δY	1.36	1.08	1.18	1.05

注: δEu=ω(Eu)/ω(Eu*)=Eu_{SN}/SQRT(Sm_{SN}×Gd_{SN}); δCe=ω(Ce)/ω(Ce*)=Ce_{SN}/SQRT(La_{SN}×Pr_{SN}); δPr=ω(Pr)/ω(Pr*)=Pr_{SN}/SQRT(Ce_{SN}×Nd_{SN}); δGd=ω(Gd)/ω(Gd*)=Gd_{SN}/SQRT(Eu_{SN}×Tb_{SN}); δY=ω(Y)/ω(Y*)=Y_{SN}/SQRT(Dy_{SN}×Ho_{SN})。

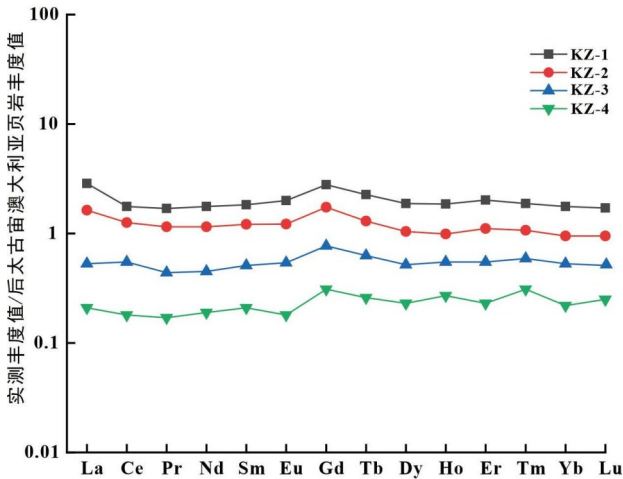


图2 口孜东矿太原组灰岩PAAS标准化的稀土元素配分

根据BAU等^[16]的研究,根据 δCe 与 δPr 的相关性可以判断La元素的异常情况。由图3可知, L_3 中La呈负异常, L_3 之外所有样品中La呈正异常,样品中La总体呈La的正异常。

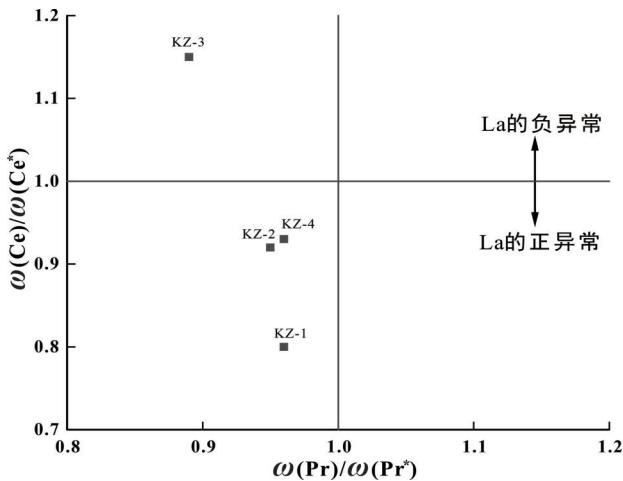


图3 口孜东矿太原组灰岩Ce/Ce*–Pr/Pr*图解

3.2 样品受陆源碎屑物与成岩作用影响程度分析

灰岩是由化学作用或生物化学作用而形成的产物,其中的稀土元素主要来源于古海水,但灰岩在沉积过程中可能被陆源碎屑物质所混染或可能在成岩过程中受到成岩作用的影响。根据黄虎等^[17]的研究,由于Ho与Y元素的原子半径和价态相似,所以地球化学性质也相似,但这2种元素在海水中沉降速率不同,Ho元素比Y元素沉降速度快导致海水中 $\omega(Y)/\omega(Ho)$ 的值偏高,所以通常用于判断水体的类型。灰岩中 $\omega(Y)/\omega(Ho)$ 的值一般为45左右,在矿物中或硅质碎屑岩中 $\omega(Y)/\omega(Ho)$ 的值通常保持为常数27,在本文灰岩中 $\omega(Y)/\omega(Ho)$ 的值为27~37.08,平均值为31.46,总体大于陆源碎屑岩的正常值。陈

松等^[18]指出,在海水中 $\omega(Er)/\omega(Nd)$ 的值一般在0.27左右,但由于Nd比Er更容易沉淀,在被陆源碎屑物质混染或者成岩作用时, $\omega(Er)/\omega(Nd)$ 的值会降低到小于0.1,样品中 $\omega(Er)/\omega(Nd)$ 的范围为0.081~0.102,平均值为0.095, $L_1\sim L_2$ 中 $\omega(Er)/\omega(Nd)$ 的值 <0.1 , $L_3\sim L_4$ 中 $\omega(Er)/\omega(Nd)$ 的值 >0.1 ,由图4可知 $\omega(Er)$ 与 $\omega(Nd)$ 为正相关($r^2=0.972$),表明灰岩在沉积过程中可能受到了陆源碎屑物的混染或成岩作用的影响。

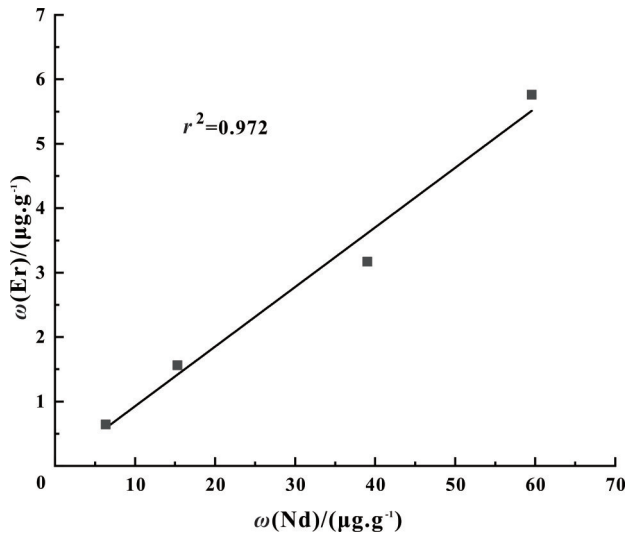


图4 口孜东矿太原组灰岩Er–Nd图解

根据吴斌等^[19]的研究,灰岩中Zr、Th、Sc等不溶元素可以用来判断陆源碎屑物对灰岩成分的影响。上地壳中这3种元素丰度分别为 2.4×10^{-4} 、 1.5×10^{-5} 、 2.3×10^{-6} 。 L_1 与 L_2 中Zr与Th元素含量大于上地壳中元素含量,Sc接近上地壳中元素含量, L_3 中这3种元素都接近上地壳元素含量, L_4 中这3种元素含量小于上地壳含量。如图5左上图所示,根据Zr与Th之间的相关关系,Zr与Th呈较好的正相关($r^2=0.974$);如图5右上图所示,根据Zr与REE之间的相关关系,Zr与REE也呈较好的正相关($r^2=0.861$);由于Zr与Th、REE都具有较好的相关性,由此推断出样品可能受到陆源碎屑物质的混染。根据李曼洁的研究^[20],当灰岩受到成岩作用影响时,会导致 $\omega(Ce)/\omega(Ce^*)$ 与 $\omega(Eu)/\omega(Eu^*)$ 的正相关, $\omega(Ce)/\omega(Ce^*)$ 与REE的正相关。图5左下图和右下图表明 $\omega(Ce)/\omega(Ce^*)$ 与 $\omega(Eu)/\omega(Eu^*)$ 和REE均无明显相关关系,表明灰岩受到后期成岩作用的影响较小。

3.3 古气候环境与古盐度分析

微量元素中喜干的Cu元素与喜湿的Sr元素通常用来作为分析研究区古气候特征^[21],当 $\omega(Sr)/\omega(Cu)$ 在1.3~5时指示温湿环境, $\omega(Sr)/\omega(Cu)>5$ 时指

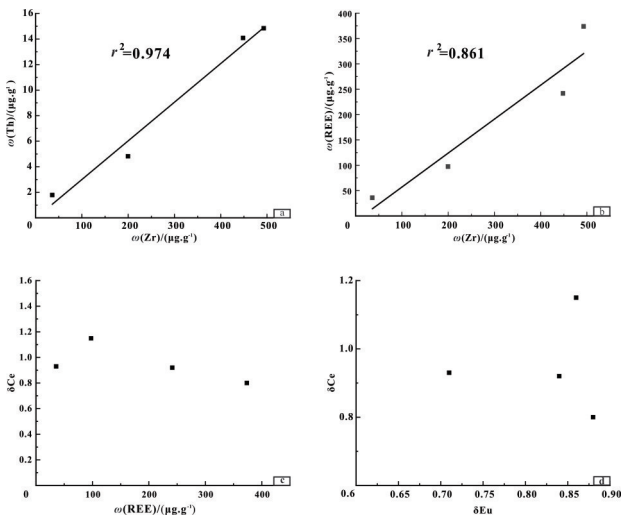


图 5 口孜东矿太原组灰岩 Zr-Th, Zr-REE, REE-δCe, δEu-δCe 图解

示干热环境,如图 6 左图所示,样品中 $\omega(\text{Sr})/\omega(\text{Cu})$ 的值为 9.06~162.82,平均值为 60.70,可以推断灰岩沉积过程处于干旱炎热的气候中。

在自然水体中,Sr 所形成的化合物溶解度高于 Ba 所形成的化合物的溶解度,当水中的矿化度增加时,先以 BaSO_4 的形式沉积,当矿化度增加到一定值时 Sr 才会以 SrSO_4 的形式沉积,所以 $\omega(\text{Sr})/\omega(\text{Ba})$ 是研究古盐度的一种标志^[22],当 $\omega(\text{Sr})/\omega(\text{Ba}) < 1$ 时指示陆相沉积,当 $\omega(\text{Sr})/\omega(\text{Ba}) > 1$ 时指示海相沉积,由图 6 右图可知样品 $L_1 \sim L_4$ 中 $\omega(\text{Sr})/\omega(\text{Ba})$ 的比值为 0.54~9.44,平均值为 3.12, L_1 与 L_2 中 $\omega(\text{Sr})/\omega(\text{Ba}) < 1$,为陆相沉积, L_3 与 L_4 中 $\omega(\text{Sr})/\omega(\text{Ba}) > 1$,为海相沉积。

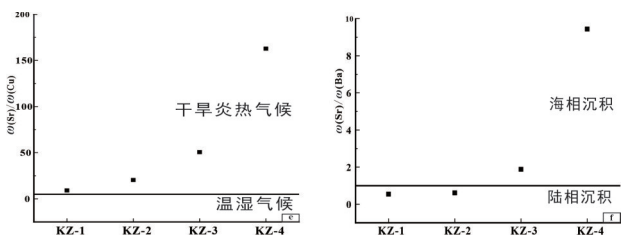


图 6 口孜东矿太原组灰岩 Sr/Cu 与 Sr/Ba 比值变化图

3.4 沉积环境特征讨论

稀土元素中 Ce 元素为对氧化还原环境敏感的元素,Ce 元素在正常状态下呈 +3 价,但在氧化环境中 Ce^{3+} 会被氧化成 Ce^{4+} ,而 Ce^{4+} 不溶于海水,从而被铁锰等氧化胶结物所吸附,造成海水中 Ce 的负异常,当在还原环境中铁锰等氧化胶结物会溶解释放 Ce 元素,同时 Ce^{4+} 被还原成 Ce^{3+} ,从而使沉积物中的 Ce 呈现正异常。 $\delta\text{Ce} < 0.95$ 时指示灰岩的沉积环境为氧化环境, $\delta\text{Ce} > 1$ 时指示灰岩的沉积环境为还原环境^[3],样品 L_3 中 $\delta\text{Ce} > 1$,其余 L_1, L_2, L_4 中 $\delta\text{Ce} < 0.95$,总

体表现为负异常,指示口孜东矿灰岩沉积环境为氧化环境。

在还原环境中 Eu^{3+} 易被还原成 Eu^{2+} ,而 Eu^{2+} 与 Ca^{2+} 的地球化学性质相似,容易发生类质同象替换,从而导致产生 Eu 的正异常^[23],淮南煤田口孜东矿 L_1, L_2, L_3, L_4 样品 δEu 的比值为 0.71~0.88,平均值为 0.82,本文中 Eu 元素表现出负异常,指示口孜东矿灰岩沉积环境为氧化环境。

微量元素 V 与 Cr 在氧化环境中溶于水,在还原环境中易在沉积物中发生富集,但 V 与 Cr 的还原分别发生在反硝化作用界线的下部和上部。V、Ni 同属铁族元素,V 在氧化环境中容易与沉积物结合形成沉淀,而 Ni 在还原条件下容易富集而发生沉淀。由于 V、Cr、Ni 特殊的地球化学性质差异,可以使用 $\omega(\text{V})/\omega(\text{Cr})$ 与 $\omega(\text{V})/\omega(\text{V}+\text{Ni})$ 进行沉积环境的判断^[24], $\omega(\text{V})/\omega(\text{Cr})$ 与 $\omega(\text{V})/\omega(\text{V}+\text{Ni})$ 比值变化如图 7 所示。分析可知, L_1, L_2, L_3, L_4 中 $\omega(\text{V})/\omega(\text{Cr})$ 的比值为 0.35~1.57 之间,平均值为 0.95,指示 4 层灰岩都处于氧化环境中沉积。 L_1, L_2, L_3 中 $\omega(\text{V})/\omega(\text{V}+\text{Ni})$ 的值处于 0.32~0.73 之间,平均值为 0.57,指示贫氧水体, L_4 中 $\omega(\text{V})/\omega(\text{V}+\text{Ni}) < 0.46$,指示氧化水体。经 $\omega(\text{V})/\omega(\text{Cr})$ 与 $\omega(\text{V})/\omega(\text{V}+\text{Ni})$ 比值综合分析得口孜东矿一灰、二灰、三灰、四灰沉积环境均为氧化环境。

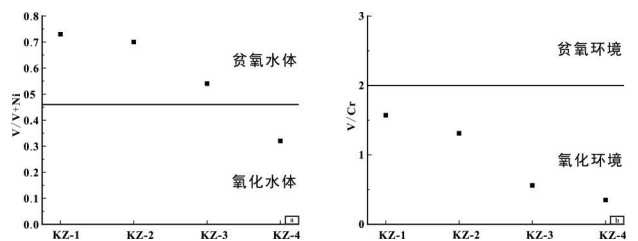


图 7 口孜东矿太原组灰岩 V/Cr 与 V/(V+Ni) 比值变化图

4 结论

1) 灰岩样品 L_1 与 L_2 中 Zr、Th、Sc 含量远高于上地壳元素含量,表明沉积过程中主要受陆源碎屑物影响。 $\omega(\text{Sr})/\omega(\text{Ba}) < 1$ 表现为陆相沉积。 L_3 与 L_4 中具有 HREE 的富集、La 的正异常、Y 的正异常、Gd 的正异常和 Ce 的负异常,表现出与海相灰岩具有相似的稀土元素特征,同时 $\omega(\text{Sr})/\omega(\text{Ba}) > 1$ 表现为海相沉积。

2) 灰岩样品中 $\omega(\text{Y})/\omega(\text{Ho})$ 的值为 27~37.08, $\omega(\text{Er})/\omega(\text{Nd})$ 的值为 0.081~0.102 平均值为 0.095, Zr 与 Th 和 REE 具有明显相关性, $\omega(\text{Ce})/\omega(\text{Ce}^*)$ 与 $\omega(\text{Eu})/\omega(\text{Eu}^*)$ 和 REE 均无明显相关。表明样品受到陆源碎屑物质影响,受后期成岩作用影响较小。

3)灰岩样品中 δCe 与 δEu 总体表现为负异常, $\omega(\text{V})/\omega(\text{Cr})$ 的比值为 0.35~1.57, 平均值为 0.95, $\omega(\text{V})/\omega(\text{V}+\text{Ni})$ 的比值为 0.32~0.73, 平均值为 0.57。 $\omega(\text{Sr})/\omega(\text{Cu})$ 的比值为 9.06~162.82, 平均值为 60.70。 $\omega(\text{Sr})/\omega(\text{Ba})$ 的比值为 0.54~9.44, 平均值为 3.12。综合判断淮南煤田口孜东矿太原组灰岩沉积环境为滨海干旱炎热的氧化环境。

参考文献:

- [1] 冀华丽,何中波,卫三元,等. 汤原断陷宝泉岭组微量元素地球化学特征及其对沉积环境的指示意义[J]. 世界核地质科学, 2022, 39(1): 27-38.
- [2] 张从伟,韩孝辉,龙根元,等. 三亚近岸海域表层沉积物稀土元素地球化学特征及物源分析[J]. 中国稀土学报, 2021(4): 633-643.
- [3] 王旭影,姜在兴. 苏北东台坳陷古新统阜宁组三段微量、稀土元素地球化学特征及其地质意义[J]. 地质论评, 2021, 67(2): 355-366.
- [4] 陈琰,夏晓敏,李雅楠,等. 柴西咸水泉地区下油砂山组湖相沉积特征——以咸东 1 井取心段为例[J/OL]. 沉积学报: (2022-08-05)[2023-10-10]. <https://doi.org/10.14027/j.issn.1000-0550.2022.076>.
- [5] 黄清华,席党鹏,王辉,等. 松辽盆地北部中二叠统碳酸盐岩元素和稳定同位素地球化学特征与古环境[J]. 现代地质, 2021, 35(5): 1282-1295.
- [6] 陈松,桂和荣,孙林华,等. 安徽宿州寒武纪猴家山组灰岩微量元素地球化学特征[J]. 矿物岩石, 2013, 33(1): 69-76.
- [7] 张泽源,许峰,王世东,等. 保德煤矿奥陶纪灰岩水化学特征及形成机理[J]. 煤田地质与勘探, 2020, 48(5): 81-88.
- [8] 孙龙,刘廷玺,段利民,等. 平朔矿区不同水体水化学特征及氟分布成因[J]. 环境科学, 2022, 43(12): 5547-5559.
- [9] 车青松,黄文辉,久博,等. 沁水盆地霍州矿区石炭-二叠纪煤中微量元素地球化学特征及沉积环境分析[J]. 煤炭科学技术, 2022, 50(9): 138-146.
- [10] 李双林,董贺平,赵青芳. 我国海洋油气地球化学探测形势与展望[J]. 海洋地质动态, 2007(11): 42-48.
- [11] 朱文伟,张品刚,张继坤,等. 安徽省两淮煤田控煤构造样式研究[J]. 中国煤炭地质, 2011, 23(8): 49-52.
- [12] 张广鹏. 口孜东矿 13-1 煤层瓦斯地质规律研究[J]. 中国设备工程, 2020(17): 227-229.
- [13] 胡宝林,王博文,徐宏杰. 淮南潘集矿区二叠系煤层瓦斯成因类型分析[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版), 2022, 42(1): 1-8.
- [14] TAYLOR S R, MCLENNAN S M. The continental crust: its composition and evolution [M]. London: Blackwell, 1985: 310-312.
- [15] GROMET L P, HASKIN L A, KOROTEV R L, et al. The "North American shale composite": its compilation, major and trace element characteristics[J]. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 1984, 48(12): 2469-2482.
- [16] BAU M, DULSKI P. Distribution of yttrium and rare-earth elements in the Penge and Kuruman iron-formations, Transvaal Supergroup, South Africa[J]. Precambrian Research, 1996, 79(1-2): 37-55.
- [17] 黄虎,杜远生,黄志强,等. 桂西晚古生代硅质岩地球化学特征及其对右江盆地构造演化的启示[J]. 中国科学:地球科学, 2013, 43(2): 304-316.
- [18] 陈松,傅雪海,桂和荣,等. 皖北新元古界望山组灰岩微量元素地球化学特征[J]. 古地理学报, 2012, 14(6): 813-820.
- [19] 吴斌,吴盾,万宗启,等. 淮南潘二矿太原组灰岩稀土元素特征及沉积环境的分析[J]. 中国科学技术大学学报, 2013, 43(5): 355-362.
- [20] 李曼洁,周瑶琪,周腾飞,等. 山东即墨地区下白垩统灰岩地球化学特征及沉积环境分析[J]. 地质与资源, 2020, 29(2): 126-134+125.
- [21] 翁茂芝,郭盼,吴波,等. 武汉市金水闸地区碳酸盐岩岩石学、元素地球化学特征及沉积环境[J]. 资源环境与工程, 2022, 36(5): 539-552.
- [22] 倪善芹,侯泉林,王安建,等. 碳酸盐岩中锆元素地球化学特征及其指示意义——以北京下古生界碳酸盐岩为例[J]. 地质学报, 2010, 84(10): 1510-1516.
- [23] 王庆同,王志军,王海根,等. 塔里木盆地西北缘二叠纪生物礁灰岩地球化学特征及其地质意义[J]. 西北地质, 2021, 54(4): 49-58.
- [24] 彭治超,李亚男,张孙玄琦,等. 主微量元素地球化学特征在沉积环境中的应用[J]. 西安文理学院学报(自然科学版), 2018, 21(3): 108-111.