

# 煤层顶部砂岩显微结构及地球化学特征：以东欢坨矿区古冶组为例

柴佳兴, 宋土顺\*, 孙欣宇, 杜一平, 刘 辉, 张庆利

华北理工大学, 矿业工程学院, 河北 唐山  
Email: \*songtushun@ncst.edu.cn

收稿日期: 2021年5月10日; 录用日期: 2021年6月22日; 发布日期: 2021年6月29日

## 摘 要

煤层顶部砂岩易于遭受风化作用, 对生产和环境造成严重影响, 在煤矿开采过程中, 顶板砂岩的强蚀变影响着煤层开采、导水通道设置和瓦斯排逸。以东欢坨古冶组煤层顶板砂岩为研究对象, 通过岩石学和地球化学研究的方法, 开展煤层顶部砂岩显微结构及地球化学特征研究, 取得以下认识: 砂岩的岩石类型主要为中-细粒岩屑长石砂岩, 主要颗粒粒度在0.25~0.5 mm之间, 碎屑颗粒分选中等, 磨圆中等, 发育孔隙式胶结, 颗粒支撑。样品中SiO<sub>2</sub>含量较高, 在66.33%~74.63%之间, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>的值在0.156~0.256之间, 表现出较高的成分成熟度。K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O的值均大于1, 样品中碱性长石的含量要高于斜长石。稀土元素指示轻稀土分异明显, Ce以及Eu元素均有轻微的负异常。顶部砂岩物源区为活动大陆边缘以及大陆岛弧构造环境, 沉积环境主要为富氧的淡水环境, 古气候为干热的气候环境。

## 关键词

地球化学, 显微结构, 东欢坨, 古冶组

# Microstructure and Geochemical Characteristics of Sandstone at the Top of Coal Seam: Taking the Guye Formation in Donghuantuo Mining Area as an Example

Jiaying Chai, Tushun Song\*, Xinyu Sun, Yiping Du, Hui Liu, Qingli Zhang

\*通讯作者。

文章引用: 柴佳兴, 宋土顺, 孙欣宇, 杜一平, 刘辉, 张庆利. 煤层顶部砂岩显微结构及地球化学特征: 以东欢坨矿区古冶组为例[J]. 地球科学前沿, 2021, 11(6): 903-912. DOI: 10.12677/ag.2021.116085

## Abstract

The sandstone on the top of the coal seam is prone to weathering, which has a serious impact on production and the environment. In the process of coal mining, the strong alteration of the sandstone on the roof affects the mining of the coal seam, the setting of water channels and the escape of gas. Taking Donghuantuo Guye Formation coal roof sandstone as the research object, through petrological and geochemical research methods, the microstructure and geochemical characteristics of the sandstone on the top of the coal seam were studied, and the following understanding was obtained: The rock types of sandstone are mainly medium-fine Granular detrital feldspar sandstone, the main particle size is between 0.25 and 0.5 mm, the sorting of detrital particles is well rounded, with developed pore-type cementation and particle support. The SiO<sub>2</sub> content in the sample is relatively high, ranging from 66.33% to 74.63%, and the value of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> is ranged from 0.156 to 0.256, showing a high degree of maturity. The values of K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O are all greater than 1, and the content of alkaline feldspar in the sample is higher than that of plagioclase. Rare earth elements indicate obvious differentiation of light rare earth elements, and both Ce and Eu elements have slight negative anomalies. The source area of the top sandstone is the active continental margin and the continental island arc structure environment, the sedimentary environment is mainly oxygen-rich freshwater environment, and the paleo-climate is a dry and hot climate environment.

## Keywords

Geochemistry, Microfabrication, Donghuantuo, Guye Formation

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

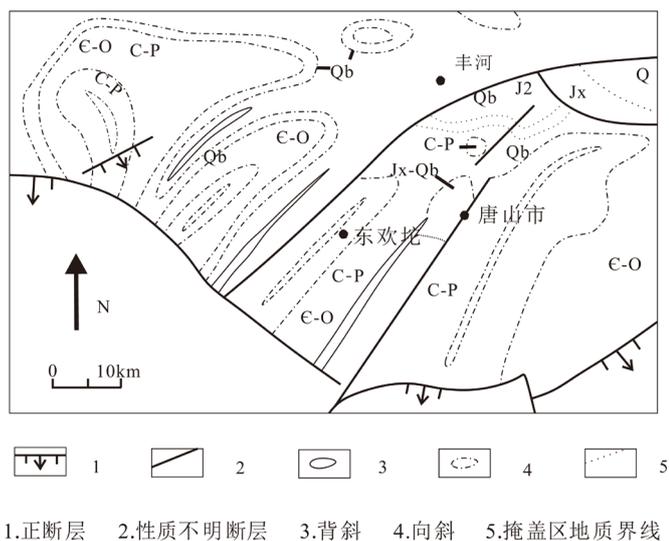
## 1. 引言

煤层顶部砂岩易于遭受风化作用,对生产和环境造成严重影响,在煤矿开采过程中,顶板砂岩的强蚀变影响着煤层开采、导水通道设置和瓦斯排逸。目前国内外学者采用岩相学及地球化学的方法对我国东北地区[1][2]以及美国西部地区[3][4][5]的顶板砂岩进行了大量的研究,均对当地矿区的环境治理以及灾害防治做出了较大的贡献,国内东欢坨地区虽同属漂白砂岩问题区,但该地区与上述地区相比,其顶板砂岩的地球化学特征研究程度不高。目前,对于东欢坨古冶组地区顶板砂岩的研究仅涉及到水文、瓦斯量以及岩性方面,少有学者对该地的地球化学特征进行深入研究。武强等[6]采用构造场、渗流场等物理场对东欢坨顶板涌水条件进行了评价并提出了安全性分区方案。马亚杰等[7]利用当地地质构造特征结合水文地质有关数据及信息,对该地区顶板突水的控制因素进行了研究,之后又结合钻孔水量规律[8],帮助了该矿区水害防治工作的进行。马丛林等[9]对东欢坨地区煤层顶板与瓦斯涌出量之间的关系进行了研究,得出瓦斯涌出量与顶板含泥量相关的结论。在矿区生产过程中,水害问题直接影响矿井安全生产,煤层顶部砂岩对瓦斯涌出和涌水的制约关系尚未明确,因此,开展显微结

构及地球化学特征研究可以大大提升该地的地球化学理论研究程度, 进而进一步促进该地煤矿区的安全生产。

## 2. 地质背景

东欢坨煤矿位于唐山市中心西侧, 煤矿区主体位于华北地台东南侧, 车轴山向斜内, 属燕山南麓煤田。煤矿区经历海西 - 印支期、燕山早中期以及燕山晚期三个应力活化期[10], 矿体走向与车轴山向斜形际线方向一致(图 1)。煤矿区在太古代变质杂岩、元古界变质岩系和花岗岩系基底之上, 发育奥陶系、石炭系、二叠系和地表第四系沉积地层, 为一套典型的华北型地层[11], 煤矿位于石炭系的唐山组、开平组及二叠系地层中的赵各庄组[12], 上部古冶组含少量煤线, 矿区内煤的类型主要为气煤, 共有 14 层[13]。



**Figure 1.** Simplified geological structure diagram of Donghuantuo coal mine area  
**图 1.** 东欢坨煤矿区地质构造简图

## 3. 研究方法

以东欢坨古冶组煤层顶板砂岩为研究对象, 首先在矿区岩心取样的基础上, 通过岩石学研究的方法, 在显微镜下对样品的矿物含量及结构进行观察, 并对其有关特征进行记录, 最后根据记录结果对其进行定名, 为下一步的研究做铺垫。之后再采集到的岩心粉样利用 X-荧光光谱仪等设备对其元素含量进行测试, 得出样品的常量、微量及稀土元素的含量特征, 对其特征进行分析, 并在此基础上, 利用 Bhatia 的地球化学物源构造特征理论及有关沉积环境特征理论对样品的物源区构造特征及其在沉积过程中沉积环境的古盐度、古气候及氧化 - 还原特征进行进一步分析, 从而达成对该地区进行地球化学特征研究的目的。

## 4. 研究结果

### 4.1. 砂岩显微结构特征

在野外和岩心观察基础上, 等距采集含煤线地层古冶组典型样品 10 件, 切制岩石薄片, 利用偏光显微镜观察和鉴定表明: 砂岩的岩石类型主要为中 - 细粒岩屑长石砂岩(图 2), 碎屑颗粒的粒度分布在 0.03~1.00 mm 之间, 主要颗粒粒度在 0.25~0.5 mm 之间, 碎屑颗粒的分选中等, 磨圆中等。填隙物中胶

结物为硅质(图 3, 图 4), 含量 1%~4%, 杂基主要为黏土(图 5~8), 含量 1%~9%, 发育孔隙式胶结, 颗粒支撑。矿物鉴定特征和含量(图 9)如下:

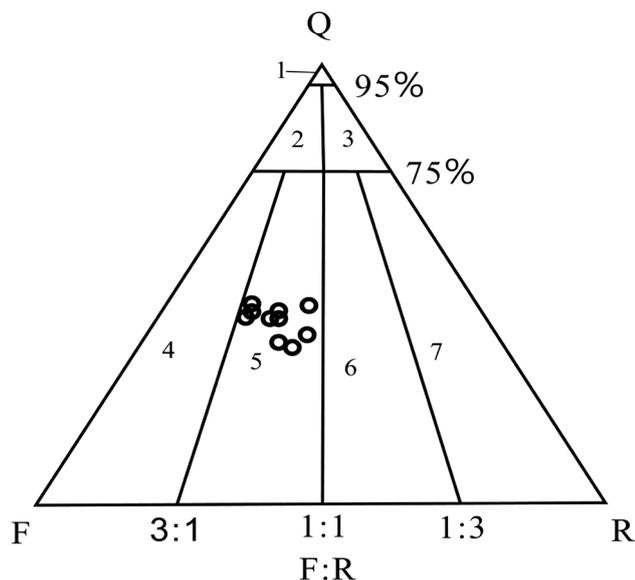


Figure 2. Sandstone naming diagram  
图 2. 砂岩命名图解

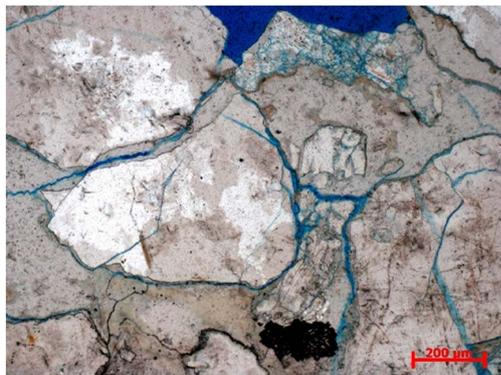
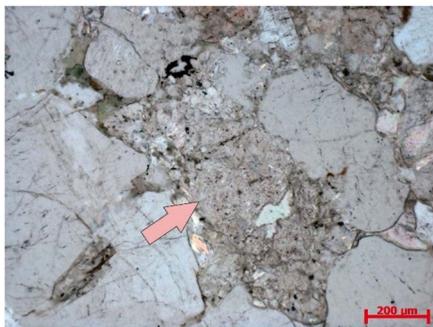


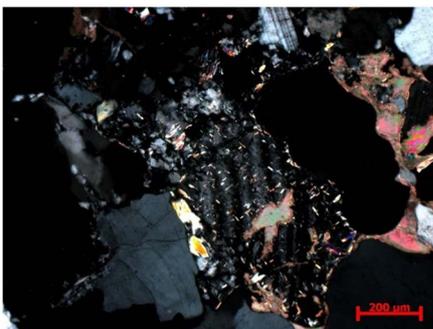
Figure 3. The secondary enlargement edge of Quartz and the feldspar alteration  
图 3. 石英次生加大边及部分长石的蚀变现象



Figure 4. Polycrystalline quartz (indicated by the arrow)  
图 4. 多晶石英(箭头所指位置)



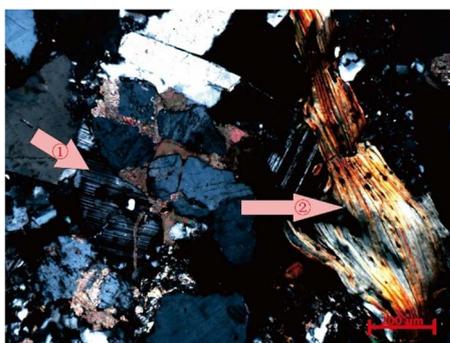
**Figure 5.** The phenomenon of feldspar alteration  
**图 5.** 长石的蚀变现象



**Figure 6.** The sericite alteration  
**图 6.** 绢云母化蚀变



**Figure 7.** The biotite's phenomenon of compression bending and iron removal  
**图 7.** 黑云母的压弯和脱铁现象



**Figure 8.** The poly-wafer twin crystals and mica under the orthogonal polarized light  
**图 8.** 正交偏光下的聚片双晶(①)及云母(②)

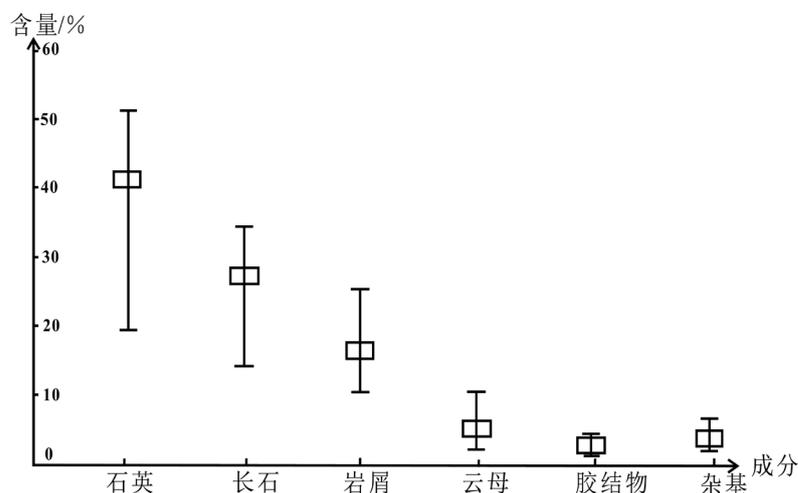


Figure 9. Detrital composition diagram of the sample  
图 9. 样品碎屑成分分布图

石英：单偏光下无色，表面干净，无解理，少量裂理发育，正低突起，发育石英次生加大边，正交偏光下干涉色一级灰白，以单晶石英为主，含量 37%~51% (图 4, 图 5)。

长石：单偏光下无色，发育绢云母化(图 5、图 6)，蚀变后呈黄褐色，碱性长石为负低突起，斜长石为正低突起，正交偏光下干涉色一级灰白，斜长石聚片双晶发育(图 8)，微斜长石格子双晶发育(图 10)，含量 14~34%。

云母：主要为黑云母(图 7、图 8)，单偏光下多色性明显，呈浅黄褐至暗褐色，部分脱铁导致颜色不均匀，一组完全解离，正低 - 正中突起，干涉色鲜艳达二级顶 - 三级顶，近平行消光，含量 2%~10%。

岩屑：主要为砂岩、硅质岩和变质岩岩屑，含量约 15%。

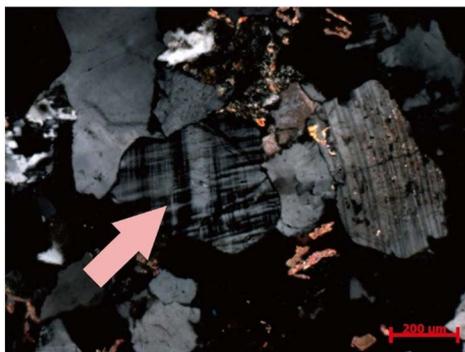


Figure 10. The cross hatched twin under the orthogonal polarized light  
图 10. DHB7-2 正交偏光下发育有明显的格子双晶

## 4.2. 地球化学特征

### 4.2.1. 常量元素

常量元素分析表明：样品中  $\text{SiO}_2$  含量较高，在 66.33%~74.63% 之间，平均为 71.68%； $\text{Al}_2\text{O}_3$  的含量在 11.53%~17.01% 之间，平均为 13.79%， $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  的值在 0.156~0.256 之间，主要是由于样品中石英含量较高，因而表现出较高的成熟度。 $\text{MnO}$  及  $\text{P}_2\text{O}_5$  含量极低，均值仅为 0.06% 及 0.05%。样品中  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  的值均大于 1，表明样品中碱性长石的含量要高于斜长石。

### 4.2.2. 稀土与微量元素

稀土与微量元素表明：各个样品间含量存在较大的变化，呈现较强的相关性，元素含量与上地壳微量元素成分类似或略有差异的现象。稀土元素总量位于  $63.49 \times 10^{-6} \sim 252.03 \times 10^{-6}$  之间，各样品之间体现出一定的变化性，均值为  $110.99 \times 10^{-6}$ ，低于 PAAS 中  $\sum\text{REE}$  的值  $184.77 \times 10^{-6}$ 。 $\sum\text{LREE}/\sum\text{HREE}$  值对于反应轻重稀土的分异程度较为直观，统计结果表明， $\sum\text{LREE}$  的值介于  $49.23 \times 10^{-6} \sim 222.63 \times 10^{-6}$  之间，而重稀土含量介于  $9.71 \times 10^{-6} \sim 26.96 \times 10^{-6}$ ， $\sum\text{LREE}/\sum\text{HREE}$  的平均值为 5.06，明显体现出轻稀土元素相对富集，重稀土元素亏损的特征。利用球粒陨石相关数据对研究对象进行球粒陨石标准化处理[14]，处理结果如图 11 所示，处理结果表明， $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$  均值为 4.07， $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$  均值为 1.86， $\delta\text{Eu}$  均值为 0.91， $\delta\text{Ce}$  的值平均为 0.89，说明该地区轻稀土分异明显，且 Ce 以及 Eu 元素均有轻微的负异常。

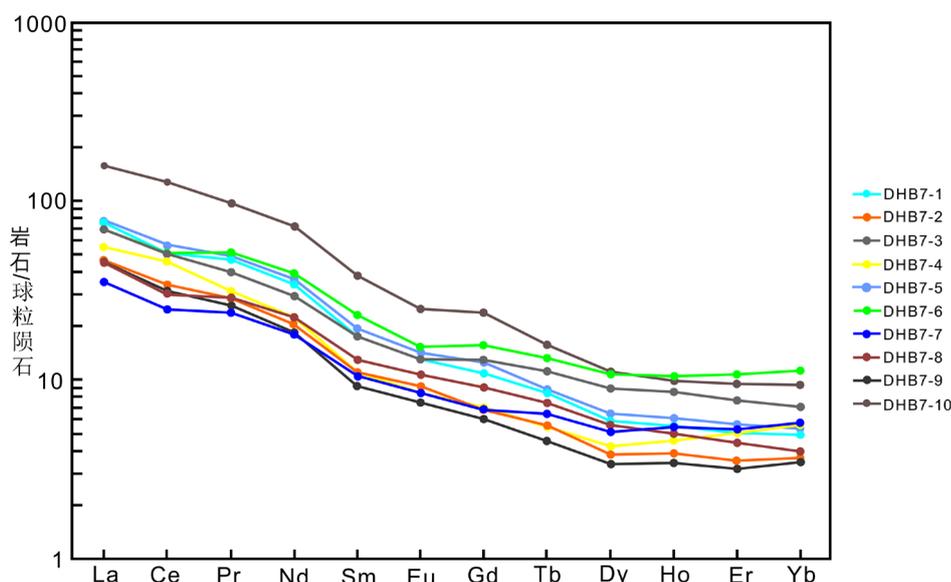


Figure 11. The REE patterns of sandstones from Donghuantuo area

图 11. 东欢坨地区砂岩稀土元素模式

### 4.3. 物源研究

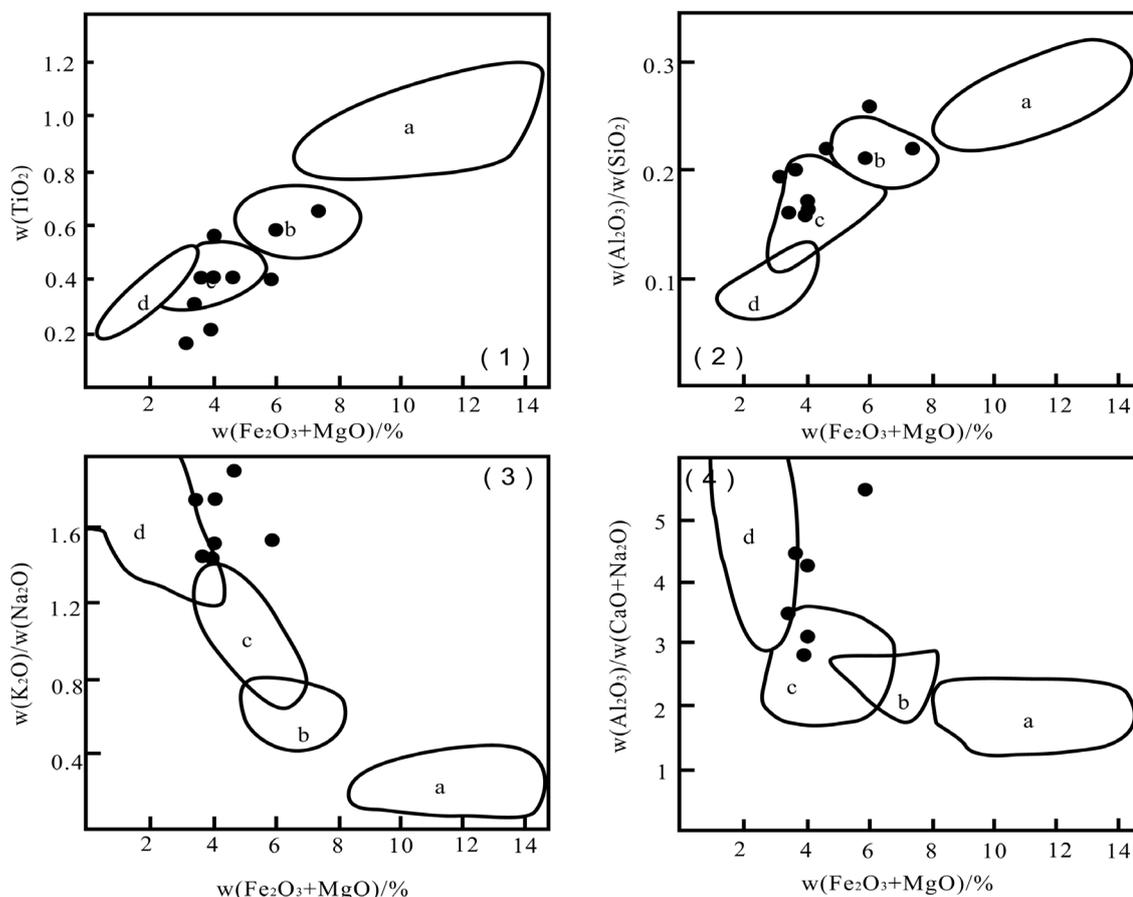
利用的是 Bhatia 的源区构造环境判别图开展物源区研究，将分析后的地球化学参数投入到常量元素构造环境判别图中，进而判断其物源构造特征。需注意的是在该图解中  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  即代表全铁含量(图 12)。从  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} - \text{TiO}_2$  及  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  投图结果中可以看出，样品的点位主要落在活动大陆边缘及大陆岛弧附近，而在  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} - \text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  图解及  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})$  图解中，由于样品具有较高的风化程度，导致其内部 Ca、Na 等元素流失。对球粒陨石标准化图解与 Bhatia 的不同大地构造背景下杂砂岩的稀土分布模式图进行比对，结果表明，多数样品的物源构造环境与标准图解中大陆岛弧曲线的拟合程度较高，部分样品符合活动大陆边缘的特征。综上所述，研究区物源区构造特征主要为活动大陆边缘以及大陆岛弧构造环境。

### 4.4. 沉积环境研究

#### 4.4.1. 古盐度

Sr/Ba 比值法目前应用最为广泛，自然界 Sr 与 Ba 常以硫酸盐的形式存在，当水体中的含盐量增加时， $\text{BaSO}_4$  优先沉淀，而  $\text{SrSO}_4$  沉淀晚于  $\text{BaSO}_4$ ，这就导致在不同盐度的水中 Sr/Ba 的比值具有一定的差异性。

在海相环境及咸水环境中, Sr/Ba 的值多大于 1, 在淡水环境中, Sr/Ba 的值多小于 0.6, 若其值处于 0.6~1 之间, 则说明当时的环境为半咸水环境[15]。研究区样品的 Sr/Ba 的值在 0.14~0.24 之间, 平均为 0.18, 均小于 0.6, 说明样品为淡水环境沉积产物。此外, 样品的 Li 含量在 28.1~52.07 之间, Ni 含量在 13~36.95 之间, 平均为 19.10, Ga 含量在 10.53~16.85 之间, 反映出绝大多数样品均为淡水环境沉积的特点[16], 与上述研究具有较高的拟合性。因此, 古冶组地层的沉积环境主要为淡水沉积环境。



说明: a 代表大洋岛弧, b 代表大陆岛弧, c 代表活动大陆边缘, d 代表被动大陆边缘。

Figure 12. Major elements composition of sandstones for tectonic setting discrimination  
图 12. 砂岩源区大地构造背景主量元素判别

#### 4.4.2. 氧化 - 还原条件

$\delta Ce$  及  $Ce_{anom}$  的值对于指示研究区的氧化还原状态较为理想, 目前已被广泛应用。多数情况下, 当  $\delta Ce$  的值小于 1 时, 代表研究区处于一种富氧的沉积环境中, 而当其值大于 1 时, 表明研究样品所在环境近似于缺氧或贫氧的状态;  $Ce_{anom}$  的值大于 -0.1 时, 代表其沉积环境为一还原环境, 与之相反, 当  $Ce_{anom}$  的值小于 -0.1 时, 代表其沉积环境为一氧化环境[17]。经计算得知, 样品的  $\delta Ce$  的值在 0.80~1.05 之间, 平均为 0.89, 小于 1,  $Ce_{anom}$  的值介于 -0.27~-0.15 之间, 平均为 -0.227, 说明研究区所在环境为富氧的氧化环境。

#### 4.4.3. 古气候

古气候的差异可以造成沉积物物源及其沉积过程的差异, 从而会造成沉积物的某些元素特征的差异,

因此我们可以利用研究区样品的元素特征来实现对研究区古气候的判断。Sr 元素在古气候研究中为众多学者所用，其中关于 Sr 元素的且具有代表性的参数主要是 Sr/Cu 以及 Rb/Sr [18]。Sr 元素与风化作用关系紧密，而 Rb 元素较为稳定，因此在风化作用较强的温湿气候中，Rb/Sr 的值会明显增大，而在降水较少的干热气候中，其值便会降低。另一与 Sr 有关的参数 Sr/Cu 的值与之恰好相反，其值越高，则表示气候越干燥，当 Sr/Cu 值处于 1.3~5.0 之间时，表示研究区具有温暖湿润的气候特征，当 Sr/Cu 的值位于 5~10 之间时，表明沉积区气候为半潮湿 - 半干旱气候，当其值大于 10 时，则表明其气候整体上体现出一种干热的特征。经计算可知，研究区样品的 Rb/Sr 的值在 0.15~0.46 之间，平均值为 0.27，Sr/Cu 的值在 8.5~39.0 之间，平均值为 25.29，二者的值均表明，样品沉积区的气候环境为干热的气候环境。

## 5. 结论

以东欢坨古冶组煤层顶板砂岩为研究对象，通过岩石学和地球化学研究的方法，开展煤层顶部砂岩显微结构及地球化学特征研究，取得以下结论：

1) 砂岩的岩石类型主要为中 - 细粒岩屑长石砂岩，主要颗粒粒度在 0.25~0.5 mm 之间，碎屑颗粒分选中等，磨圆中等，发育孔隙式胶结，颗粒支撑。

2) 样品中 SiO<sub>2</sub> 含量较高，在 66.33%~74.63% 之间，Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> 的值在 0.156~0.256 之间，表现出较高的成分成熟度。K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 的值均大于 1，样品中碱性长石的含量要高于斜长石。稀土元素指示轻稀土分异明显，Ce 以及 Eu 元素均有轻微的负异常。

3) 顶部砂岩物源区为活动大陆边缘以及大陆岛弧构造环境，沉积环境主要为富氧的淡水环境，古气候为干热的气候环境。

## 基金项目

华北理工大学创新创业训练项目(X2020108, X2019228)、华北理工大学教育教学改革研究与实践项目(L20110)、河北省高等教育教学改革研究项目(2018GJJG220)、华北理工大学混合式课程教改项目(H01CT077)、河北省专业学位研究生教学案例库建设项目(KCJSZ2018060)、河北省研究生示范课程建设项目(KCJSX2019095)、河北省专业学位研究生教学案例库建设项目(KCJSZ2021063)、河北省高等学校青年拔尖人才计划项目(BJ2017018)和国家文物保护利用示范区建设项目(QDLWHYJ0008)联合资助。

## 参考文献

- [1] 马艳萍, 刘池阳, 赵俊峰, 黄雷, 喻林, 桂小军, 等. 鄂尔多斯盆地东北部砂岩漂白现象与天然气逸散的关系[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2007, 37(S1): 127-138.
- [2] 庞雅庆, 向伟东, 李田港, 陈晓林, 夏毓亮. 钱家店组矿床漂白砂岩成因探讨[J]. 世界核地质科学, 2007, 24(3): 142-146, 171.
- [3] Moulton, G.F. (1922) Some Features of Redbed Bleaching. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, **10**, 304-311.
- [4] Parry, W.T. and Blamey, N.J.F. (2010) Fault Fluid Composition from Fluid Inclusion Measurements, Laramide Age Uinta Thrust Fault, Utah. *Chemical Geology*, **278**, 105-119. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2010.09.005>
- [5] Beitler, B., Parry, W.T. and Chan, M.A. (2005) Fingerprints of Fluid Flow: Chemical Diagenetic History of the Jurassic Navajo Sandstone, Southern Utah, USA. *Journal of Sedimentary Research*, **75**, 547-561. <https://doi.org/10.2110/jsr.2005.045>
- [6] 武强, 江中云, 孙东云, 钟亚平, 董东林, 殷作如, 李建民, 洪益清, 吴承梅, 张宏, 刘金韬. 东欢坨矿顶板涌水条件与工作面水量动态预测[J]. 煤田地质与勘探, 2000, 28(6): 32-35.
- [7] 马亚杰, 常江. 东欢坨北二采区 8 煤顶板水害危险性评价[J]. 河北联合大学学报(自然科学版), 2013, 35(3): 9-13.
- [8] 郑燕, 马亚杰, 张长江, 王东. 东欢坨矿 8 煤层顶板疏放水规律研究[J]. 煤炭工程, 2017, 49(1): 67-70.

- 
- [9] 马丛林. 东欢坨矿 8 煤层瓦斯涌出特征及其影响因素研究[J]. 华北科技学院学报, 2017, 14(2): 28-31, 37.
- [10] 李小明, 王强, 洪益清, 阎海珠, 刘德民. 区域构造对开滦矿区东欢坨矿煤系的控制作用[J]. 中国煤炭地质, 2008, 20(10): 42-44.
- [11] 田洪胜, 洪益清, 马亚杰. 开滦东欢坨矿水文地质特征及防治对策[J]. 地下水, 2009, 31(3): 110-113.
- [12] 吴金水, 刘景, 谢卫东, 李伍. 开滦矿区 14 煤煤厚特征及沉积环境分析[J]. 煤炭工程, 2019, 51(7): 129-133.
- [13] 王海生. 弛张筛在东欢坨选煤厂的应用[J]. 华北科技学院学报, 2014(11): 60-62.
- [14] Sun, S.-S. and McDonough, W.F. (1989) Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes. *Geological Society London Special Publications*, **42**, 313-345.  
<https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- [15] 余继峰, 曹慧涛, 付文钊, 张典栋, 胡晓珂, 王亚东. 胶莱盆地止凤庄组、红土崖组微量元素地球化学特征及古环境分析[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2021, 40(2): 1-11.
- [16] 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.
- [17] Elderfield, H. and Greaves, M.J. (1982) The Rare Earth Elements in Seawater. *Nature*, **296**, 214-219.  
<https://doi.org/10.1038/296214a0>
- [18] 杨涵菲, 赵艳, 崔巧玉, 任维鹤, 李泉. 基于 XRF 岩芯扫描的 Rb/Sr 比值的古气候意义探讨——以青藏高原东部若尔盖盆地为例[J]. 中国科学:地球科学, 2021, 51(1): 73-91.