



移动扫码阅读

覃 轩.大同煤田煤中微量元素富集特征及共生关系成因研究[J]. 煤炭科学技术,2019,47(11):189-195.

doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.11.027

TAN Xuan.Study on enrichment characteristics of trace elements and genesis of symbiotic relationship of coal in Datong Coalfield[J].Coal Science and Technology,2019,47(11):189-195.doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.11.027

大同煤田煤中微量元素富集特征及共生关系成因研究

覃 轩

(山西省煤炭地质勘查研究院,山西 太原 030006)

摘 要:山西是煤炭资源大省,但在煤中共伴生矿产资源的开发上却处于落后地位,为摸清山西省大同煤田煤中微量元素的赋存情况,实现“一矿变多矿”,采用了收集钻孔资料和煤矿井下采样测试相结合的手段,对获得的煤样中微量元素的含量数据进行了聚类分析和相关性分析,分别从沉积物源性质、沉积古地理环境、岩浆活动和构造运动 4 个方面对煤中微量元素的成因进行了分析。研究结果表明:大同煤田侏罗系煤层中轻度富集元素为 Rb,山 4 号煤层中轻度富集元素为 Ga、Th、U,3-5 号煤层中轻度富集元素为 Li、Ga 和 Th,8 号煤层中轻度富集元素为 Li、Ga、Th、U;煤中 Li、Ga、V、Rb、Cs、Sc 和稀土 REE 类质同相存在黏土矿物中,U 和 Th 主要赋存于无机矿物锆石和磷灰石中,Ge 主要赋存在煤有机质中,V 主要赋存在太原组 8 号煤层中;煤中 Al、Li、Ga、Rb、Cs、Sc 和 REE 主要是以细颗粒黏土矿物的形式带被到泥炭沼泽沉积到煤中,U 和 Th 的成因与岩浆的侵入活动有关,Ge 的成因则和腐植酸的吸附有关。

关键词:大同煤田;煤中微量元素;富集特征;共生关系

中图分类号:P618.6;TQ533.1

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2019)11-0189-07

Study on enrichment characteristics of trace elements and genesis of symbiotic relationship of coal in Datong Coalfield

TAN Xuan

(Shanxi Provincial Coal Geological Exploration Research Institute,Taiyuan 030006,China)

Abstract: Shanxi is a major province of coal resources, but it is lagging behind in the development of coal-related mineral resources. In order to find out the occurrence of trace elements from coal in Datong Coalfield of Shanxi Province, and realize “one mine to multiple mines”, and provide theoretical support for the next exploration and development of associated mineral resources in coal of Shanxi Province, this paper adopts the method of collecting borehole data and coal mine sampling test was used to obtain trace elements in the coal sample. The content data were analyzed by cluster analysis and correlation analysis. on the content data of trace elements in 134 coal samples of the mine. The genesis of trace elements in coal were analyzed from four aspects: sediment source properties, sedimentary Paleogeography environment, magmatic activity and tectonic movement. The results show that light enrichment element in the Jurassic coal seam of Datong Coalfield is Rb, the light enrichment elements in the No. 4 coal seam are Ga, Th, U and the light enrichment element in No. 3-5 coal seam is Li, Ga and Th, the light enrichment elements in No. 8 coal seam are Li, Ga, Th, U; Li, Ga, V, Rb, Cs, Sc and rare earth REE are homogeneously present in clay minerals. Among them, U and Th are mainly in the inorganic mineral zircon and apatite, Ge is mainly distributed in coal organic matter, V is mainly distributed in the No. 8 coal seam of Taiyuan formation, Al, Li, Ga, Rb, Cs, Sc and REE in coal are mainly deposited in peat swamp in the form of fine clay minerals, and the genesis of U and Th is related to the intrusion of magma, and the genesis of Ge is related to the adsorption of humic acid.

Key words: Datong Coalfield; trace elements in coal; enrichment characteristics; symbiotic relationship

收稿日期:2019-08-28;责任编辑:曾康生

基金项目:山西省地质勘查基金资助项目(SXZDF2016029)

作者简介:覃 轩(1986—),男,山西交城人,工程师。E-mail:tanxuangirl@163.com

0 引 言

根据代世峰等^[1]提出的煤型稀有金属矿床的概念,煤型稀有金属矿床是一种新型稀有金属矿床,此类矿床资源量储量大(往往为大型或超大型矿床),层位稳定、勘探难度和成本低,具有良好的开发利用前景。目前,我国正在开发的一些大型煤系伴生矿产(煤锗矿、煤镓矿等),主要分布在我国内蒙古、山西和云贵地区,其中我国山西大同煤田的煤炭资源丰富,煤系共伴生矿产资源量大,有着很大的开发利用前景,很多学者也对其富集规律、成矿机理、资源量及可采性评价进行了大量的研究工作。代世峰等^[1]对锗、镓、铀、钽、稀土元素等煤型稀有金属矿床的地质成因、赋存状态和利用评价方法进行了研究;刘桂建等^[2]对煤在形成的过程中影响微量元素迁移、富集的因素进行了研究,刘东娜^[5-6]对大同煤田 8 号原煤及及风化煤中常量元素和稀土元素地球化学特征、七峰山煤矿 2 号煤层若干微量元素地球化学特征进行了研究,邹雨^[7]对大同煤田太原组 5 号煤层化学元素赋存特征进行了研究,张星星^[8]对大同煤田石炭二叠系主采煤中锗元素分布赋存特征及成矿前景进行了预测。虽然目前关于大同煤田煤中微量元素的研究资料不少,但大都仅限于锗(Ge)、镓(Ga)、铀(U)、钍(Th)、钒(V)等少数几种元素,对于锂(Li)、铊(Tl)、铷(Rb)、铯(Cs)、钪(Sc)、稀土元素(REE)等其他微量元素的研究成果少之又少,因此,对于大同煤田煤中微量元素仍需开展深入的研究工作。笔者通过收集现有钻孔资料和煤矿井下采样测试,获得大同煤田煤中微量元素(Ge、Ga、U、Th、V、Li、Tl、Rb、Cs、Sc、REE 等)的含量数据,通过使用质心聚类法对这些数据进行聚类分析和相关性分析,得出煤中微量元素的共生组合关系,而后尝试从沉积物源性质、沉积古地理环境、岩浆活动和构造运动 4 个方面对煤中微量元素的成因进行了分析,为下一步勘查开发大同煤田煤中共伴生矿产资源提供理论依据,对煤炭经济循环发展也具有十分重要的经济意义。

1 大同煤田地质条件

1.1 大同煤田地层

山西大同煤田是山西省 6 大煤田之一,位于山西省北部,主要地层见表 1,其中含煤地层有侏罗系中统云岗组、大同组;二叠系上统下石盒子组(夹煤线)、山西组;石炭系上统太原组。

表 1 大同煤田地层简图

Table 1 Stratigraphic of Datong Coalfield				
系	统	组	代号	含煤情况
侏罗系	中统	云岗组	J ₂ y	局部夹 2 层可采煤层
		大同组	J ₂ d	可采煤层达 21 层
	下统	永定庄组	J ₁ y	—
二叠系	上统	石千峰组	P ₂ sh	—
		上石盒子组	P ₂ s	—
	下统	下石盒子组	P ₁ x	夹煤线
		山西组	P ₁ s	含煤层 4 层
石炭系	上统	太原组	C ₃ t	含煤 11 层
	中统	本溪组	C ₂ b	—

1.2 大同煤田构造

大同煤田为一裂陷盆地,总体为一复向斜,展布呈北东向,向斜轴部赋存有侏罗纪和石炭—二叠纪双纪煤田。其北部为青磁窑逆断层,东部有大同—山阴山前断裂带和口泉—鹅毛口断裂,南部为洪涛山背斜,西部则断层较少。

1.3 大同煤田岩浆岩情况

根据文献[9]知,大同煤田范围内已发现的岩浆岩主要包括玄武质安山岩、煌斑岩和辉绿岩。其中玄武质安山岩出露于大同煤田西北部,累计厚度 5.20~29.14 m;煌斑岩的出露位置邻近区内大型断层,侵入层位为太原组 2 煤、3~5 煤和 8 煤以及山西组的山 4 煤;辉绿岩出露于煤田中部和北部地区,以断层为通道侵入煤层,岩体规模大小不一。

2 大同煤田煤中微量元素富集特征

2.1 煤中微量元素富集指标

按照代世峰等^[1]提出的富集系数理论,煤中微量元素含量 C 可以为下述 6 档(表 2),中国煤中微量元素含量的背景值见表 3。

表 2 煤中元素含量水平分级指标

Table 2 Classification index of element content in coal					
微量元素含量/(μg·g ⁻¹)					
亏损	正常	轻度	富集	高度	异常
C<0.5	0.5≤C≤2	2<C≤5	5<C≤10	10<C≤100	C>100

2.2 煤中微量元素富集特征

通过本次收集的钻孔资料和采样测试数据,对大同煤田主采煤层煤中微量元素平均值统计如下:

表 3 中国煤中微量元素平均含量
Table 3 Average content of trace elements from Chinese Coal

元素	REE	Li	Ga	Rb	Sc	Cs	Tl	Th	U	Ge	V
含量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	135.89	31.8	6.55	9.25	4.38	1.13	0.47	5.84	2.43	2.78	35.1

表 4 大同煤田主采煤层煤中微量元素含量平均值
Table 4 Average content of trace elements in main coal seam in Datong Coalfield

地层与煤层	微量元素含量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)										
	REE	Li	Ga	Rb	Sc	Cs	Tl	Th	U	Ge	V
侏罗系	105.78	13.38	7.58	26.40	4.90	1.92	0.57	4.19	1.40	3.16	17.39
山 4	93.82	13.23	22.92	4.57	6.65	0.39	0.16	14.81	4.97	4.09	32.58
3-5	155.07	77.65	20.74	4.69	6.29	0.53	0.34	14.10	4.76	2.75	40.25
8	54.35	74.61	20.88	1.39	2.92	0.20	0.28	12.35	7.40	3.72	47.64

通过与中国煤中微量元素平均值比较,得到大同煤田侏罗系煤层、山 4 号、3-5 号和 8 号煤层的元素富集系数(CC 值)侏罗系煤层中 Rb 属于轻度富集元素(表 5),REE、Ga、Sc、Cs、Tl、Th、U、Ge 和 V 属于正常元素,Li 表现有一定程度的亏损;山 4 号煤层中 Ga、Th、U 属于轻度富集元素,REE、Sc、Ge 和

V 属于正常元素,Li、Rb、Cs、Tl 均表现有一定程度的亏损;3-5 号煤层煤中 Li、Ga 和 Th 属于轻度富集元素,REE、Sc、U、V、Tl、Ge、Rb 属于正常元素,Cs 表现有一定程度的亏损;8 号煤层煤中 Li、Ga、Th、U 属于轻度富集元素,Sc、Tl、Ge 和 V 属于正常元素,REE、Rb、Cs 表现有一定程度的亏损。

表 5 大同煤田主采煤层煤中微量元素富集系数
Table 5 Concentration coefficient of trace elements in main coal seam of Datong Coalfield

地层或煤层	富集系数										
	REE	Li	Ga	Rb	Sc	Cs	Tl	Th	U	Ge	V
侏罗系	0.78	0.42	1.16	2.85	1.12	1.70	1.21	0.72	0.58	1.13	0.50
山 4	0.69	0.42	3.50	0.49	1.52	0.35	0.34	2.54	2.05	1.47	0.93
3-5	1.14	2.44	3.17	0.51	1.44	0.47	0.72	2.41	1.96	0.99	1.15
8	0.40	2.35	3.19	0.15	0.67	0.18	0.60	2.11	3.05	1.34	1.36

3 大同煤田煤中微量元素共生关系

本次研究煤中微量元素的赋存情况主要通过聚类分析和相关性分析进行,通过分析煤中微量元素的赋存特征,从而得出煤中微量元素的共生组合关系。

3.1 聚类分析

使用 Excel 和 SPSS 对山西大同煤田 22 个矿井的 134 个煤样品中的伴生元素进行相关性分析和聚类分析,分析结果分别见表 6 及如图 1 所示。聚类分析的统计量为相似性矩阵、聚类方法为质心聚类法、区间的相关性按照 Pearson 相关性进行计算,标准化值为 1 的最大值,共得到 3 个大的组群。

1)组群 I :包括的元素及矿物有 Nb、Ta、Bi、Th、W、U、Cu、Pb、Sc、In、Cd、Ad、Ga、Li、V_{daf}、Al₂O₃、TiO₂、SiO₂,煤的工业分析计算有 A_d 和 V_{daf},组群 I

主要是亲石性元素及一些亲疏性元素,Ad 与 Al₂O₃、SiO₂ 聚类距离较近,表明煤中矿物以黏土矿物为主,组群中的微量元素以亲石性元素为主,这些微量元素与 Ad、Al₂O₃、SiO₂ 位于一个组群,揭示这些元素主要赋存在黏土矿物中。Nb、Ta、Bi、W 为亲石性元素,而且这些元素与 Al₂O₃、SiO₂ 位于一个组群,说明主要赋存在黏土矿物中,Th 与 U 一般赋存在钛铁矿、锐钛矿或者黏土矿物中,该组群中的常量元素包括 Al、Si 和 Ti,表明 Th 和 U 的赋存方式比较多样化,Cu、Pb、Sc、In、Cd 为亲疏性元素,但是并未与全硫位于一个组群,说明 Cu、Pb、Sc、In、Cd 不是以硫化物矿物为主要的赋存形式,此外,Ga、Li 和 V_{daf} 位于一个小的亚群,表明 Ga 和 Li 除了赋存在无机矿物中,也赋存在有机质中。

2)组群 II :包括的元素及矿物主要包括 K₂O、Ba、Rb、Cs、V、Cr、Sr、 $\sum$ REY、P₂O₅。其中 Rb 和 Cs

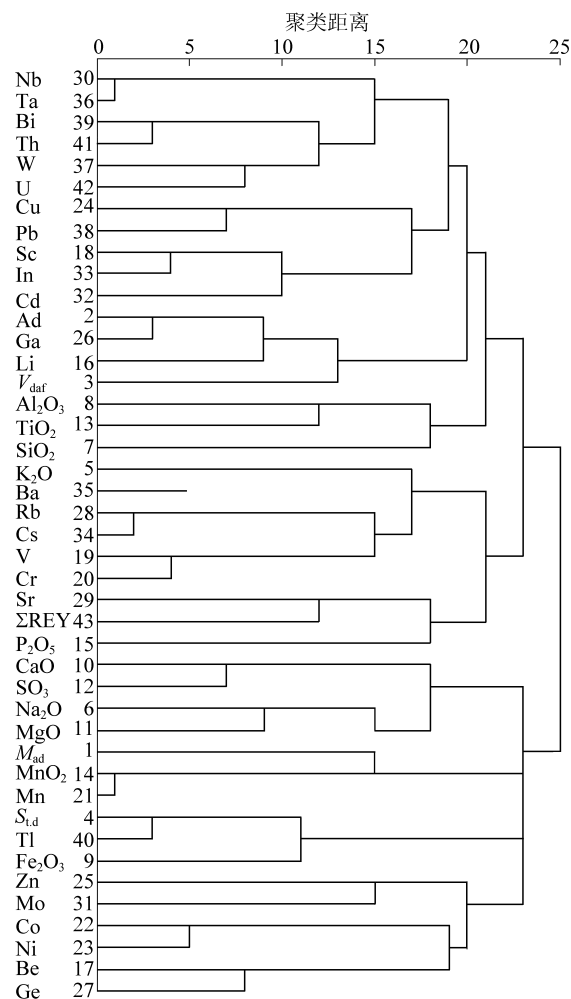


图1 大同煤田煤中元素聚类分析

Fig.1 Cluster analysis of elements from coal in Datong Coalfield

元素可以与水发生剧烈反应,一般存在于含有较多矿物的水中,Ba、V、Cr和Sr与Rb和Cs位于一个组群,说明这些元素部分以水溶态赋存;V与Cr同属于Fe族元素,但是并未与 Fe_2O_3 位于一个组群,而是与 K_2O 位于一个族群,说明V与Cr元素可能赋存在伊利石中。稀土元素多赋存与黏土矿物中,但是 ΣREY 与 K_2O 和 P_2O_5 位于一个组群,说明稀土元素可能主要赋存在磷灰石中。

3) 组群Ⅲ:包括的元素为 CaO 、 SO_3 、 Na_2O 、 MgO 、 MnO_2 、Mn、Tl、 Fe_2O_3 、Zn、Mo、Co、Ni、Be、Ge。煤的工业分析指标有 M_{ad} 和 $S_{\text{t,d}}$,组群Ⅱ主要是一些造岩元素和亲硫性、亲铁性元素,Zn、Co、Ni为亲硫性元素,与 $S_{\text{t,d}}$ 、 Fe_2O_3 位于一个族群,表明Tl、Zn、Co和Ni主要赋存在黄铁矿中,Be、Ge为亲石性元素,Be、Mo一般赋存在有机质中,但是这3种元素并未与挥发分位于一个组群,说明Be和Mo赋存在矿物中,而不是有机质中,Ge通常赋存在铝土矿中,Ge与全硫位于一个族群,说明Ge元素可能赋存在硫

化物矿物中, M_{ad} 也位于这一组群中,说明这些微量元素可能以水溶态的形式存在

3.2 相关性分析

1) M_{ad} 和 V_{daf} 与煤中微量元素只有Be、Co、Ni和Ge元素与水分呈正相关,说明这些元素有可能一部分赋存在含有较多水的矿物中,或者以离子态和水溶态赋存。Li、Ga、Cs、In、Nb、Mo、Cd、Cs与 V_{daf} 的相关性相对较强,表明这些元素除了赋存在矿物中,也有一部分以有机质的形式存在。

2) $S_{\text{t,d}}$ 。Co、Ni、Pb和Tl与全硫的相关性较强,而Co、Ni、Pb和Tl与 Fe_2O_3 的相关性也较强,说明这些元素主要赋存在黄铁矿中。煤中一些亲硫性元素Sc、Cu、Zn与硫分的相关性很差或者为负值,但是这些元素与灰分的相关性较好,说明这些元素在煤中主要赋存在矿物中,但是不是以硫化物的形式存在。

3) A_{d} 。煤中大部分元素与灰分的相关性都相对较强,说明大部分微量元素都赋存在矿物中,Li、Sc、V、Cr、Cu、Ga、Rb、Cd、Nb、In、Cs、Ta、Bi、W、Th和U元素与灰分呈较强的相关性,说明大部分微量元素主要赋存在无机矿物中,而且Li、Sc、Ga、Rb、Cd、Nb、In、Cs、Ta、W和U元素与挥发分也呈现一定的相关性,说明这些元素除了赋存在无机矿物中,也有可能与有机质结合。

4) 元素之间的相关性。研究的重点是讨论相关性比较高的伴生元素,对于负相关或者不相关的元素则不予讨论。

Li与Ga的相关性较强,另外, Al_2O_3 与Li的相关性也较强,Li元素一般是赋存在黏土矿物中,说明Ga与Li元素伴生,赋存在黏土矿物中。Ge与Th、U和稀土元素的相关性也较强,说明了这些元素也有部分赋存在黏土矿物中。

Co与Ni和Ge的相关性较强,而Ni和Co为亲硫性元素,张军营^[20]研究认为煤中Ni主要赋存在硫化物中,Co和Fe的性质相似,说明Co可以以类质同相的方式进入黄铁矿或者磁铁矿中,Ge元素可能有部分赋存在硫化物中。

Pb与Sc、Ga、Cd、In、V、Cr的相关性较强,这些元素为亲铁矿或者亲硫性元素,Pb元素一般赋存在硫化物中,说明Pb与Sc、Ga、Cd、In、V、Cr元素伴生,赋存与硫铁矿中。

4 大同煤田煤中各微量元素含量特征

1) 锆(Ge)。从本次煤矿采样测试数据来看,大同煤田煤中锆含量水平在 $0.05 \sim 33.20 \mu\text{g/g}$,平均 $2.11 \mu\text{g/g}$ 。侏罗系和山西组山4号煤层的Ge含量

煤样最高,其次为夹矸样,最小为顶底板样;3-5 号和 8 号煤层 Ge 含量在不同类型样品中恰好相反,在顶底板中含量最高,在煤样中含量最低。

2) 镓(Ga)。从本次煤矿采样测试数据来看,大同煤田煤中镓含量水平在 0.74~70.20 $\mu\text{g/g}$,平均 17.06 $\mu\text{g/g}$ 。在不同煤层中,夹矸样和顶底板样的 Ga 含量高于煤中 Ga 含量。

3) 铀(U)。从本次煤矿采样测试数据来看,大同煤田煤中铀含量水平在 0.18~9.62 $\mu\text{g/g}$,平均 2.89 $\mu\text{g/g}$ 。各煤层铀富集区位于构造断层和岩浆岩分布地区,表明铀的富集和构造岩浆活动有关。

4) 钍(Th)。从本次煤矿采样测试数据来看,大同煤田煤中钍含量水平在 0.55~32.90 $\mu\text{g/g}$,平均 11.91 $\mu\text{g/g}$,其中煤层夹矸和顶底板样品中钍的含量高于煤样。

5) 钒(V)。从本次煤矿采样测试数据来看,大同煤田煤中钒含量水平在 0~138 $\mu\text{g/g}$,平均 21.01 $\mu\text{g/g}$,煤层顶底板和夹矸样品中含量高于煤样。

6) 锂(Li)。从本次煤矿采样测试数据来看,大同煤田煤中锂含量水平在 1.98~577.95 $\mu\text{g/g}$,平均 72.13 $\mu\text{g/g}$ 。夹矸样品中 Li 含量较高,最大值可达 577.95 $\mu\text{g/g}$ 。

7) 铊(Tl)。从本次煤矿采样测试数据来看,大同煤田煤中铊含量水平在 0.03~6.66 $\mu\text{g/g}$,平均 0.43 $\mu\text{g/g}$ 。铊平均含量在顶底板最高,其次是夹矸,在煤层中最低。

8) 铷(Rb)。从本次煤矿采样测试数据来看,大同煤田煤中铷含量水平在 0.11~158.78 $\mu\text{g/g}$,平均 9.36 $\mu\text{g/g}$ 。铷在煤层夹矸及顶底板中的含量较高。

9) 铯(Cs)。从本次煤矿采样测试数据来看,大同煤田煤中铯含量水平在 0.01~14.79 $\mu\text{g/g}$,平均 0.84 $\mu\text{g/g}$ 。顶底板样品平均值最大,夹矸样其次,其均值都未大于元素评价指标。

10) 钪(Sc)。从本次煤矿采样测试数据来看,大同煤田煤中钪含量水平在 0.58~19.59 $\mu\text{g/g}$,平均 6.31 $\mu\text{g/g}$ 。顶底板和夹矸样中钪的含量较煤样高。

11) 稀土元素(REE)。从本次煤矿采样测试数据来看,大同煤田煤中稀土元素(总量)含量水平在 9.97~855.83 $\mu\text{g/g}$,平均 150.16 $\mu\text{g/g}$ 。顶底板和夹矸样品中稀土元素含量较高,其顶底板样的均值接近元素评价指标。

5 大同煤田煤中微量元素成因分析

结合大同煤田基础地质资料 and 前人研究成果,通过上述微量元素分布规律和赋存特征分析可知,

大同煤田煤中伴生元素矿产受多方面因素影响,是多种地质条件叠加后综合作用的结果,主要有沉积物源性质、沉积古地理环境、构造活动和岩浆作用和有机质。

5.1 沉积物源性质

根据前人研究结果,在石炭二叠纪时期,华北地区为北高南低的古地理形态,北部的阴山和本溪组的风化壳为赋煤区提供物源,阴山南部山体主要为中酸性岩浆岩。

大同煤田煤为高铝高硅煤,二者主要以黏土矿物形式充填在成煤植物胞腔中,表明二者主要受同沉积时期的成煤碎屑物质影响,这从煤中 Al 的分布可以证明,大同煤田 3-5 煤中 Al 富集区主要分布在煤层厚度中心,即 Al 主要富集在沉积中心。

大同煤田煤中微量元素, Li、Ga、Rb、Cs、Sc 和 REE 具有较强的无机亲和性,主要赋存硅铝酸盐中,以黏土矿物为主,其富集区与沉积中心吻合,表明煤中这些元素主要由沉积物源提供,经水系搬运进入成煤沼泽。

5.2 沉积古地理环境

成煤沼泽水介质的 Eh、pH 值及盐度也是控制煤中微量元素富集水平的重要因素。根据刘桂建等^[2]提出的理论,沼泽水介质多呈酸性,大部分金属化合物在 pH 较低的情况下,其溶解度和迁移能力会大幅提高。酸性介质条件有利于 Ca、Sr、Ra、Cu、Zn、Cd、 Cr^{3+} 、 Mn^{2+} 、 Fe^{2+} 、Co、Ni 等元素的迁移,碱性条件则有利于 V、As、Se、Mo 等元素的迁移,B、Cr、Cu、Ga、Ni、Mo、S、U、V 等元素在碱性环境易于富集。

大同煤田煤中 Tl 表现亲硫性,主要赋存黄铁矿中,黄铁矿主要呈侵染状,表明在还原条件下,有利于 Tl 的富集。少量的 REE 元素赋存磷灰石中。综合表明受海水影响的煤层中有利于 REE 的富集。另外,煤中存在碳酸盐矿物,主要为方解石,以裂隙充填,也表明太原组成煤时期受海水影响。

5.3 岩浆活动

煤中微量元素的空间分布一般受大地构造和古地理环境等因素控制,而对微量元素影响最大的则是岩浆的热液作用。根据赵峰华等^[3]提出的理论,其表现形式一般为如下 3 种:岩浆作用引发的挥发分及其他元素一起进入煤层,使这些元素含量增加;岩浆使煤经受热解,从而使得其与有机质结合的元素散逸(如 Cl、Br),煤中矿物含量相对提高;岩浆活动造成许多热液脉侵入煤系,使与热液活动有关的某些元素含量增加。

在印支运动影响下,大同煤田发生岩浆活动,侵

入到太原组和山西组煤层中,其岩浆岩体主要为煌斑岩。煤中U和Th主要赋存在锆石中,锆石有可能为岩浆侵入产物。这和U的富集区主要分布在构造活动区是一致的。同时黄铁矿也有以裂隙充填形式存在,可能和岩浆活动的后期热液流体有关。

5.4 构造运动

受加里东和海西运动的区域构造影响,华北板块和北部的西部利亚板块拼接碰撞,华北板块北部发生隆起,造成了北高南低的地质形态。后期影响了成煤物源的来源。而大同煤田西部的逆冲推覆构造,造成了西高东低的盆地形态,影响了成煤时期古水流方向。印支期岩浆活动,主要发生在断裂构造处,断裂构造主要和整体挤压构造运动有关。

5.5 有机质

根据张星星^[8]对于大同煤田煤中锆的成因分析,大同煤田煤中锆的存在形式为有机质,而成煤过程中形成的腐植酸为大分子结构,吸附能力较强,有可能煤中锆是由于腐植酸的吸附作用而赋存在有机质中。

6 结 论

1)大同煤田侏罗系煤层中Rb属于轻度富集元素,REE、Ga、Sc、Cs、Tl、Th、U、Ge和V属于正常元素,Li表现有一定程度的亏损;山4号煤层中Ga、Th、U属于轻度富集元素,REE、Sc、Ge和V属于正常元素,Li、Rb、Cs、Tl均表现有一定程度的亏损;3-5煤中Li、Ga和Th属于轻度富集元素,REE、Sc、U、V、Tl、Ge、Rb属于正常元素,Cs表现有一定程度的亏损;8煤中Li、Ga、Th、U属于轻度富集元素,Sc、Tl、Ge和V属于正常元素,REE、Rb、Cs表现有一定程度的亏损。

2)大同煤田煤中亲石元素主要以黏土矿物存在,Li、Ga、V、Rb、Cs、Sc和REE类质同象存在黏土矿物中,U和Th主要赋存无机矿物锆石和磷灰石中,Ge主要赋存在煤有机质中,V表现为太原组8煤较为富集。

3)大同煤田煤沉积物源主要来自煤田北部阴山和部分本溪组风化壳,煤中亲石元素Li、Ga、Rb、Cs、Sc和REE主要是以细颗粒黏土矿物形式带到泥炭沼泽,富集区主要集中在成煤时期的沉积中心。U和Th的成因和岩浆的侵入活动有关,其富集区分布在构造向斜的轴部。Ge的成因则和腐植酸的吸附有关。

参考文献(References):

[1] 代世峰,任德贻,李生盛,等.煤型稀有金属矿床:成因类型、赋

存状态和利用评价[J].煤炭学报,2014,39(8):1707-1715.

DAI Shifeng, REN Deyi, LI Shengsheng, *et al.* Coal-hosted rare metal deposits: Genetic types, modes of occurrence, and utilization evaluation[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(8): 1707-1715.

[2] 刘桂建,彭子成,杨萍玥,等.煤中微量元素富集的主要因素分析[J].煤田地质与勘探,2001,29(4):1-4.

LIU Guijian, PENG Zicheng, YANG Pingyue, *et al.* Main factors controlling concentration of trace element in coal[J]. Coal Geology & Exploration, 2001, 29(4): 1-4.

[3] 赵峰华.煤中有害微量元素分布赋存机制及燃煤产物淋滤实验研究[D].北京:中国矿业大学(北京),1997:41-46.

[4] 袁 远.大同煤田构造控煤特征研究[J].中国煤炭地质,2011,23(8):63-65.

YUAN Yuan. Study on structural coal-control characteristics in Datong Coalfield[J]. Coal Geology of China, 2011, 23(8): 63-65.

[5] 刘东娜.大同煤田8号原煤及风化煤中常量元素和稀土元素地球化学特征[J].煤炭学报,2015,40(2):422-430.

LIU Dongna. Geochemistry characteristics of major and rare earth elements in No.8 raw and weathered coal from Taiyuan Formation of Datong coalfield[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(2): 422-430.

[6] 刘东娜.大同煤田七峰山矿2号煤层若干微量元素地球化学特征[J].煤炭学报,2013,38(S1):637-643.

LIU Dongna. The geochemistry of trace elements from No.2 coal seam of Qifengshan Coalmine in Datong Coalfield[J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(S1): 637-643.

[7] 邹 雨.大同煤田太原组5号煤层化学元素赋存特征[J].煤炭科学技术,2016,44(S1):167-172.

ZOU Yu. Occurrence characteristics of chemical elements of No.5 coal in Taiyuan Formation of Datong Coal Field[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(S1): 167-172.

[8] 张星星.山西省大同煤田石炭二叠系主采煤中锆元素分布赋存特征及成矿前景预测[J].中国煤炭地质,2018,30(9):5-11.

ZHANG Xingxing. Permo-Carboniferous main mineable coal seam germanium distribution, hosting features and metallogenic prospect prediction in Datong Coalfield, Shanxi Province[J]. Coal Geology of China, 2018, 30(9): 5-11.

[9] 刘东娜.大同双纪含煤盆地煤变质作用与沉积构造岩浆活动的耦合关系[D].太原:太原理工大学,2015:25-36.

[10] 胡瑞忠,苏文超,戚华文,等.锆的地球化学、赋存状态和成矿作用[J].矿物岩石地球化学通报,2000,19(4):215-217.

HU Ruizhong, SU Wenchao, QI Huawen, *et al.* Geochemistry, occurrence and metallogenesis of germanium[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2000, 19(4): 215-217.

[11] 赵继尧,唐修义,黄文辉.中国煤中微量元素的丰度[J].中国煤田地质,2002,14(S1):5-17.

ZHAO Jiyao, TANG Xiuyi, HUANG Wenhui. Modes of occurrence of trace elements in coal[J]. Coal Geology of China, 2002, 14(S1): 5-17.

[12] 庄新国,曾荣树,徐文东.山西平朔安太堡露天矿9号煤层中的微量元素[J].地球科学,1998,23(6):583-588.

- ZHUANG Xinguo, ZENG Rongshu, XU Wendong. Trace elements in 9 coal from Antaibao Open Pit Mine, Pingshuo, Shanxi Province[J]. *Earth Science: Journal of China University of Geosciences*, 1998, 23 (6): 583-588.
- [13] 李太任, 张军营, 刘秀卿. 山西浑源藻煤、烛煤、腐植煤共生煤层成因分析[J]. *煤炭学报*, 1999, 18(3): 85-93.
- LI Tairen, ZHANG Junying, LIU Xiuqing. Genesis of No.7 coal seam, Hunyuan in Shanxi Province[J]. *Journal of China Coal Society*, 1999, 18 (3): 85-93.
- [14] 李 华, 许 霞, 杨 恺. 山西平朔矿区4号煤中锂、镓资源成矿地质特征研究[J]. *中国煤炭地质*, 2014, 21(12): 17-19.
- LI Hua, XU Xia, YANG Kai. Lithium and gallium resources metallogenic geological characteristics in coal No.4, Pingshuo Mining Area, Shanxi[J]. *Coal Geology of China*, 2014, 21(12): 17-19.
- [15] 刘帮军, 林明月. 宁武煤田平朔矿区9号煤中锂的富集机理[J]. *地质与勘探*, 2014, 50 (6): 1070-1075.
- LIU Bangjun, LIN Mingyue. Enrichment mechanism of lithium in No.9 coal seam of Pingshuo Mining District, Ningwu Coalfield [J]. *Geology and Exploration*, 2014, 50 (6): 1070-1075.
- [16] 孙玉壮, 赵存良, 李彦恒, 等. 煤中某些伴生金属元素的综合利用指标探讨[J]. *煤炭学报*, 2014, 39 (4): 744-748.
- SUN Yuzhuang, ZHAO Cunliang, LI Yanheng, *et al.* Minimum mining grade of the selected trace elements in Chinese coal[J]. *Journal of China Coal Society*, 2014, 39 (4): 744-748.
- [17] 任德貽, 赵峰华, 张军营, 等. 煤中有害微量元素富集的成因类型初探[J]. *地学前缘*, 1999, 6(S1): 17-27.
- REN Deyi, ZHAO Fenghua, ZHANG Junying, *et al.* A preliminary study on genetic type of enrichment for hazardous minor and trace elements in coal[J]. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6 (S1): 17-27.
- [18] 岳 梅, 赵峰华, 孙红福, 等. 煤系黄铁矿氧化溶解地球化学动力学研究[J]. *煤炭学报*, 2005, 30(1): 75-79.
- YUE Mei, ZHAO Fenghua, SUN Hongfu, *et al.* The kinetics of oxidation reaction of pyrites from coal-bearing measure [J]. *Journal of China Coal Society*, 2005, 30 (1): 75-79.
- [19] 赵峰华, 孙红福, 李文生. 煤矿酸性矿井水中有害元素的迁移特性[J]. *煤炭学报*, 2007, 32(3): 262-266.
- ZHAO Fenghua, SUN Hongfu, LI Wensheng. Migration of hazardous elements in acid coal mine drainage[J]. *Journal of China Coal Society*, 2007, 32(3): 262-266.
- [20] 张军营, 任德貽, 许得伟, 等. 黔西南煤层主要伴生矿物中汞的分布特征[J]. *地质论评*, 1999, 45(5): 399-342.
- ZHANG Junying, REN Deyi, XU Dewei, *et al.* The distribution of mercury in major associated minerals from coal beds in Southwestern Guizhou [J]. *Geological Review*, 1999, 45 (5): 399-342.