

文章编号:1000-4734(2008)04-0426-13

# 乌兰图嘎超大型锆矿床含锆煤的矿物学

张琦<sup>1,2</sup>, 戚华文<sup>1</sup>, 胡瑞忠<sup>1</sup>, 王小飞<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 1000039)

**摘要:**内蒙古乌兰图嘎锆矿是我国近年来发现的产在煤层中的超大型锆矿床, 锆金属储量达 1600 t。以乌兰图嘎超大型锆矿床的含锆煤为研究对象, 利用 X 射线衍射 (XRD)、带能谱的扫描电镜 (SEM-EDX) 和电子探针 (EPMA) 详细研究了乌兰图嘎含锆煤及其同时代的红旗煤矿无矿煤的矿物学特征。分析结果表明, 乌兰图嘎含锆煤中的主要矿物包括石英、蒙脱石; 次要矿物包括长石、高岭石、伊利石; 另含少量三水铝石、角闪石、叶蜡石、石膏、绿泥石、锐钛矿、黄铁矿、方解石、白云石和草酸钙石; 微量的锆石、闪锌矿、白钨矿、重晶石、黄铜矿、卤化物、磷酸盐以及含 Pb、Bi、Cr、As 和 Sb 矿物。未发现含锆矿物。推测含锆煤中的锆可能主要呈有机结合, 而 Ba、Zn、Ti、W、Pb、Bi、Cr、Fe、As、Zr、Sb、Cu 和 REE 可能主要与矿物相结合。此外, 首次在乌兰图嘎含锆煤及红旗煤矿无矿煤中发现含银颗粒或自然银, 推测胜利煤田的褐煤可能有相当规模的 Ag 矿化。

**关键词:** 乌兰图嘎锆矿; 含锆煤; 矿物学; 草酸钙石; 自然银

**中图分类号:** P571; P618. 11; P618. 75 **文献标识码:** A

**作者简介:** 张琦, 女, 生于 1980 年 11 月, 硕士研究生, 从事矿床地球化学研究。

内蒙古煤田地质局 1998 年在锡林浩特发现了乌兰图嘎锆矿<sup>[1]</sup>。该矿是一个锆、煤共生的矿床, 在某些文献中也称“胜利煤田共生的锆矿床”<sup>[24]</sup>。该矿床目前已探明的锆储量约 1600 t, 约占中国锆储量的 30%<sup>[5]</sup>。王兰明<sup>[1]</sup>和秦胜利<sup>[2]</sup>介绍了该矿的地质特征及勘探。杜刚等<sup>[3-4]</sup>探讨了 6-1 号煤层中采自不同钻孔的褐煤样品中锆含量的变化规律, 以及锆含量与挥发分、灰分产率和硫含量的关系。Zhuang 等<sup>[6]</sup>初步研究了该矿 12 件样品的地球化学和矿物学特征。Qi 等<sup>[7-8]</sup>系统研究了该矿含锆煤的微量元素和稀土元素地球化学特征。从目前的资料看, 乌兰图嘎锆矿的成矿条件和成矿模式明显不同于临沧锆矿<sup>[9-17]</sup>或俄罗斯远东地区的锆矿<sup>[18-19]</sup>。

除明显呈有机结合的元素外, 煤中大多数微量元素主要赋存在矿物中。例如, 与粘土矿物有关的元素有 B、Be、Rb、Cs、Li 和 Ga 等; 与碳酸盐矿物有关的元素有 Mn、Sr、Zn、Co 和 Ba; 与硫化物有关的元素有 Cu、Pb、Zn、Co、As 和 Hg 等; 与硫酸盐矿物有关的元素有 Sr、Ba 和 Ca; 与磷酸盐矿物

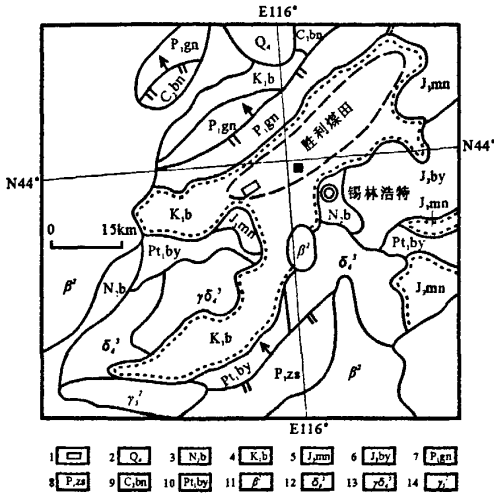
有关的元素有 F、REE、Th 和 Ca 等; 煤中大多数有害元素主要与硫化物有关<sup>[20]</sup>。因此, 煤的矿物学组成, 不仅直接影响煤的工业利用途径, 也可以反映某些微量元素的赋存状态以及煤中微量元素可能的来源。本文以乌兰图嘎超大型锆矿床的含锆煤为研究对象, 利用 X 射线衍射 (XRD)、带能谱的扫描电镜 (SEM-EDX) 和电子探针 (EPMA) 详细研究了乌兰图嘎含锆煤及其同时代的红旗煤矿无矿煤的矿物学特征。

## 1 地质背景

内蒙古锡林郭勒盟乌兰图嘎锆矿位于锡林浩特市西偏北方向 13 km 处, 大地构造位置处在胜利煤田西南边缘 (图 1)<sup>[1]</sup>。胜利煤田属早白垩世陆相断陷盆地, 位于大兴安岭西麓、二连盆地群东端乌尼特断裂拗陷, 东西长约 45 km, 南北宽约 76 km, 面积 342 km<sup>2</sup>。煤田为一宽缓向斜, 构造轴线总体为 NE-SW 向, 地层平缓, 起伏不大<sup>[3]</sup>。胜利煤田外围出露的岩浆岩主要是海西期的闪长岩、花岗岩闪长岩, 晚侏罗纪的花岗岩, 以及第四纪玄武岩<sup>[1]</sup>。

收稿日期: 2008-04-21

基金项目: 国家自然科学基金项目 (批准号: 40302018; 40634020)



1. 乌兰图嘎锗矿 2. 第四系全新统 3. 上第三系宝格达乌拉组 4. 下白垩统巴彦花组 5. 上侏罗统玛尼吐组 6. 上侏罗统白音高老组 7. 下二叠统格根敖包组, 8. 下二叠统哲斯组 9. 上石炭统本巴图组 10. 下元古界宝音图群 11. 第四系玄武岩 12. 海西期闪长岩 13. 海西期花岗岩 14. 燕山早期花岗岩; 黑色方框表示红旗煤矿  
图1 乌兰图嘎锗矿区域地质简图(据文献[1]修改)

Fig. 1. Regionally geological sketch map of the Wulantuga germanium deposit.

乌兰图嘎锗矿位于胜利煤田西南边缘,面积约0.72 km<sup>2</sup>。矿区地层主要为白垩系下统白彦花组。锗矿化发生在6-1号煤层,并与6-1号煤层共生。6-1号煤层呈北西向缓倾(0°~5°)的厚层产出,煤层厚度为0.82~16.66 m,平均9.74 m,自南部露头向北部逐渐增厚。6-1号煤层上部主要为灰-深灰色泥岩、细砂岩及灰白色粗砂岩和含砾砂岩。6-1号煤层以下4~5 m见6-2号煤层,其厚度变化大,一般0~4.93 m,仅局部可采。6-2号煤层下部为灰-灰绿色泥岩、砂质泥岩及粉砂岩<sup>[1]</sup>。

6-1号煤层的顶板主要为粗砂岩,局部为泥岩和细砂岩,二者呈突变关系,局部见冲刷现象。6-1号煤层底板主要是泥岩,接触界线清晰平整,二者为连续沉积。6-1号煤层结构非常简单,有时可见一层(0.15~0.30 m)碳质泥岩夹矸和5层薄(<5 cm)的粘土夹层分别分布于煤层的下部和上部<sup>[1,7]</sup>。该煤层的褐煤以较高的灰分(平均21%, n=12)、相对低的发热量(平均23.85 MJ/kg, n=12)、低硫(平均1%, n=12)为特征,并含较多的腐殖体(54%~98%),以及少量的惰

质组(<1~30%)和壳质组(2~17.5%)<sup>[6]</sup>。

目前工程控制的锗矿体长约1000 m,宽度大于500 m。勘探资料表明,6-1号煤层含锗 $135 \times 10^{-6} \sim 820 \times 10^{-6}$ ,平均 $244 \times 10^{-6}$ 。研究区内,从横向看,6-1号煤层的南部矿头部位和北部延伸部分锗的含量较高,而东、西部较低(图2)<sup>[1]</sup>。从垂向看,取决于钻孔的位置,锗可同时富集在6-1号煤层的上部、底部和(或)中部,大部分钻孔数据表明,锗在6-1号煤层中部明显富集<sup>[4]</sup>。6-1号煤层下部炭质泥岩夹矸中含锗 $17 \times 10^{-6} \sim 173 \times 10^{-6}$ ,平均 $87 \times 10^{-6}$ 。6-2号煤层含锗 $10 \times 10^{-6} \sim 110 \times 10^{-6}$ ,平均 $26.8 \times 10^{-6}$ ,局部有较高品位锗的富集。顶板和底板岩石含锗仅 $2.1 \times 10^{-6} \sim 13 \times 10^{-6}$ ,平均 $7 \times 10^{-6}$ <sup>[1]</sup>。

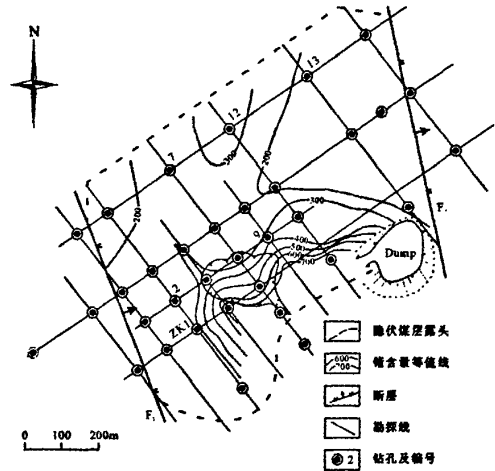


图2 乌兰图嘎锗矿锗品位等值线图(据文献[1])

Fig. 2. Isopach map of Ge contents in lignite from the Wulantuga germanium deposit

## 2 样品与分析

乌兰图嘎锗矿埋藏较浅,目前正进行大规模露天开采。含锗煤样品均采自乌兰图嘎锗矿6-1号煤层,另自与乌兰图嘎锗矿形成时代相同的红旗煤矿中取两件无矿煤以便对比。利用3种不同的分析方法,详细研究了这些褐煤样品的矿物学特征:①利用D/Max-2200型X射线衍射仪确定含锗煤和无矿煤及其低温灰(500℃灰化)主要的矿物组分;②用中国科学院环境地球化学国家重点实验室的JSM 6460 LV型带能谱的扫描电镜

(SEM-EDX)研究了粉末样品中的金属矿物成分及某些元素的存在形式;③用1600型EPMA研究了少数含锆煤(光片)的矿物组成。

### 3 XRD 研究

乌兰图嘎锆矿含锆煤、红旗煤矿无矿煤的原煤及其低温灰(500℃灰化)的X射线粉晶衍射分析结果分别列在表1和表2中。代表性样品的X射线衍射图谱见图3。这些结果表明,乌兰图

嘎锆矿含矿煤中主要的矿物包括石英、蒙脱石;次要矿物包括长石、高岭石、伊利石;另含少量三水铝石、角闪石、叶蜡石、石膏、绿泥石、锐钛矿、黄铁矿、方解石、白云石和草酸钙石。经过低温灰化后,含锆煤煤灰的矿物组成则以石英、方解石、硬石膏、蒙脱石和长石为主。红旗煤矿无矿煤的矿物组成与乌兰图嘎含锆煤的矿物组成基本类似,无明显的差别。

表1 胜利煤田褐煤(原煤)矿物组成的X射线衍射分析结果

Table 1. The mineral composition of lignites from the Shenli Coalfield as deduced from XRD analysis

样号	$w(\text{Ce})/10^{-6}$	矿物组合
WL-1	133	非晶质+石英+蒙脱石+伊利石+高岭石+钾长石+铁矿物
WL-3	53.4	非晶质+石英+蒙脱石+长石+草酸钙石+石膏
WL-5	179	非晶质+石英+蒙脱石+高岭石+钾长石+白云石?
WL-13	1424	非晶质+石英+蒙脱石+角闪石+草酸钙石+锐钛矿
WL-17	23.3	非晶质+石英+蒙脱石+伊利石+高岭石+三水铝石+长石
WL-25	325	非晶质+石英+蒙脱石+伊利石+叶蜡石+角闪石+石膏+长石+铁矿物
WL-27	133	非晶质+石英+蒙脱石+角闪石+绿泥石+高岭石+长石+铁矿物
WL-30	517	非晶质+石英+叶蜡石+三水铝石+方解石+白云石?
WL-31	432	非晶质+石英+蒙脱石+伊利石+高岭石+锐钛矿
WL-33	254	非晶质+石英+蒙脱石+绿泥石+角闪石+石膏+高岭石+三水铝石+锐钛矿+黄铁矿
WL-36	97.3	非晶质+石英+蒙脱石+长石
WL-43	923	非晶质+石英+蒙脱石+伊利石+叶蜡石+草酸钙石+锐钛矿+钾长石+斜长石+白云石?
HQ-6	0.85	非晶质+石英+蒙脱石+高岭石+锐钛矿+钾长石+黄铁矿+方解石
HQ-7	1.03	非晶质+石英+蒙脱石+伊利石+角闪石+高岭石+三水铝石+锐钛矿+草酸钙石

注: HQ-6和HQ-7为红旗煤矿褐煤,其余为乌兰图嘎含锆煤;锆含量数据引自文献[7]。

表2 胜利煤田褐煤的低温灰的X射线衍射半定量分析结果

Table 2. Semi-quantitative mineral composition (%) of low temperature ashes of lignites from the Shenli

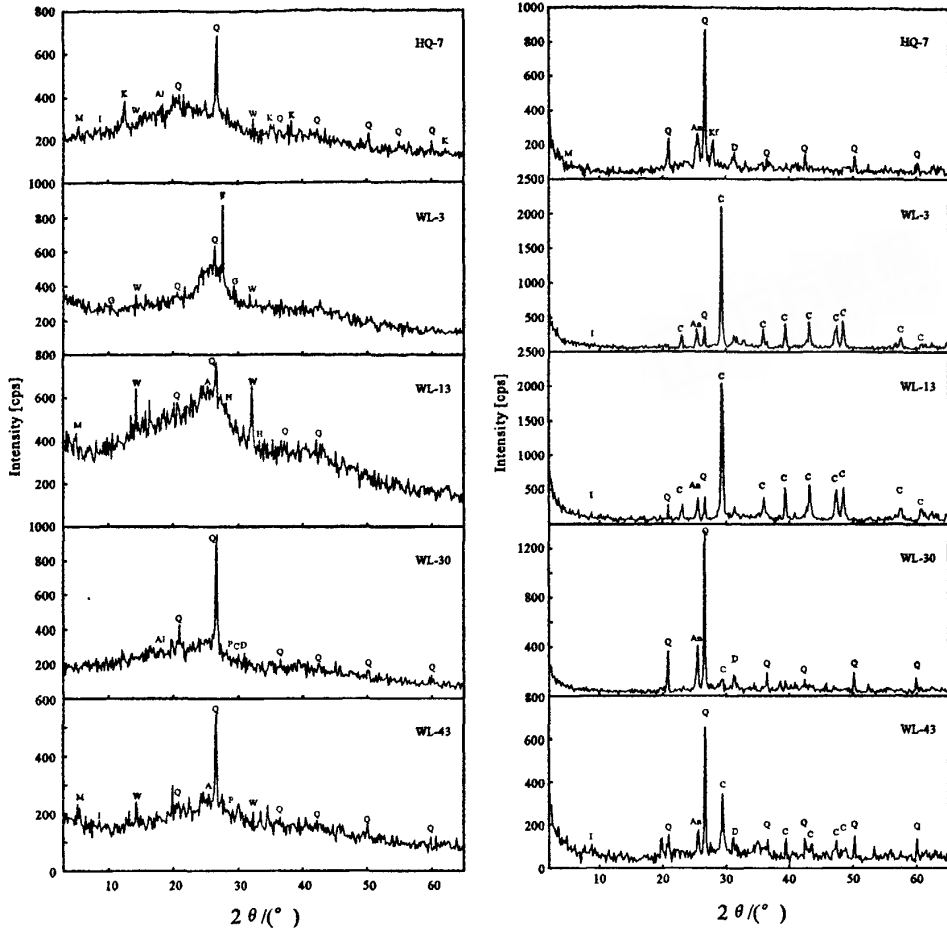
Coalfield as deduced from XRD analysis

样品	石英	方解石	硬石膏	蒙脱石	钾长石	伊利石	斜长石	铁矿物	白云石	赤铁矿	绿泥石	高岭石	角闪石	石膏
WL-1	28.6	53.1	3.7	4.5		7.5			-			2.7		
WL-3	4.4	86.3	6.3	2.5		0.6								
WL-5	54.5	28	6.1	4.6	6.9									
WL-13	7.5	85	7.5											
WL-17	8.4	78.3	9.4	3.8			-							
WL-25	25.1		16.9	10	8.4	27.8	5	6.9						
WL-27	45.4	41.3		2.6	2.6			4.3	3.9					
WL-30	53.3	6.7	18	2.4	10.8		-		6.3					2.4
WL-31	39.1	6.9	43.4	4.7	6									
WL-33	26.3	2.9	15.8	4.9	4.6					-	40.1	5.7		
WL-36	40.3	41	2.2			5.6		9.7						1.2
WL-43	30.4	25.1	10.5		6.3	6.6	4.3	5.3	11.5					
HQ-6b	27.2		27.2	6.4	9.6		8	17.5				4.2		
HQ-7b	40		11.6	6.6	3.8		19.4	9.1	7.6					

注:“-”表示痕量。

乌兰图嘎含锆煤以含有草酸钙石(图3)为特征,明显区别于临沧锆矿或俄罗斯远东地区的含锆煤<sup>[19-19]</sup>。Zhuang等<sup>[6]</sup>最早发现该区含锆煤中存

在草酸钙石,并认为草酸钙石是含锆煤层经历强烈的热液蚀变的产物。草酸钙石通常认为是有机质释放的腐殖酸与其他有机或无机化合物释放的



a. 褐煤

b. 低温灰

M. 蒙脱石 L 伊利石 K. 高岭石 G. 石膏 W. 草酸钙石 A. 锐钛矿 Q. 石英 AL. 三水铝石 P. 叶蜡石  
 C. 方解石 D. 白云石 F. 长石 An. 硬石膏.

图 3 乌兰图嘎锗矿区褐煤及其低温灰的 X 射线衍射图谱  
 Fig. 3. XRD spectra of lignite samples and their low temperature ashes from the Wulantuga germanium deposit. 图

钙离子相互作用的产物<sup>[21-22]</sup>。草酸盐广泛分布在蔬菜及高等和低等植物的细胞腔,甚至哺乳动物的尿结石中<sup>[21, 23]</sup>。草酸钙石可以产在土壤、泥炭、褐煤、富含机的沉积物、街道沉积物、灰岩及人工建筑表面等多种不同的环境中<sup>[21-31]</sup>。因此,乌兰图嘎含锗煤中的草酸钙石似乎没有特定的、能有效揭示成煤环境变化的指示含义。此外, X 射线衍射分析结果表明,红旗煤矿的无矿煤(HQ-7)同样存在草酸钙石。草酸钙石与乌兰图嘎含锗煤锗矿化之间的成因联系尚需开展更多研究。

#### 4 扫描电镜研究

利用带能谱的扫描电镜对部分具有代表性的乌兰图嘎含锗煤和红旗煤矿褐煤样品的矿物组成进行了详细的研究。在这些样品中识别出微量但种类繁多的矿物,主要包括氧化物、硅酸盐、硫酸盐、硫化物、钨酸盐、磷酸盐、卤化物、自然元素等。对无法确定名称的微粒,以其含有的主要元素命名为含某元素的矿物。

在乌兰图嘎含锗煤和红旗煤矿无矿煤中识别出的氧化物主要是石英、锐钛矿、含 Mn 矿物、含 Al 矿物和含 Fe 矿物(图 4);硅酸盐矿物主要是长

石、粘土矿物和锆石;硫化物主要为黄铁矿、闪锌矿和含 As 矿物(图 5 和图 6),红旗煤矿无矿煤中含较多草莓状黄铁矿,乌兰图嘎含锆煤中的黄铁

矿以自形粒状为主(图 5);硫酸盐矿物包括(含 Sr)重晶石和石膏(图 6);大多数的含 W 矿物粒度较小,一般为 1~2 μm,可能为白钨矿(图 7);

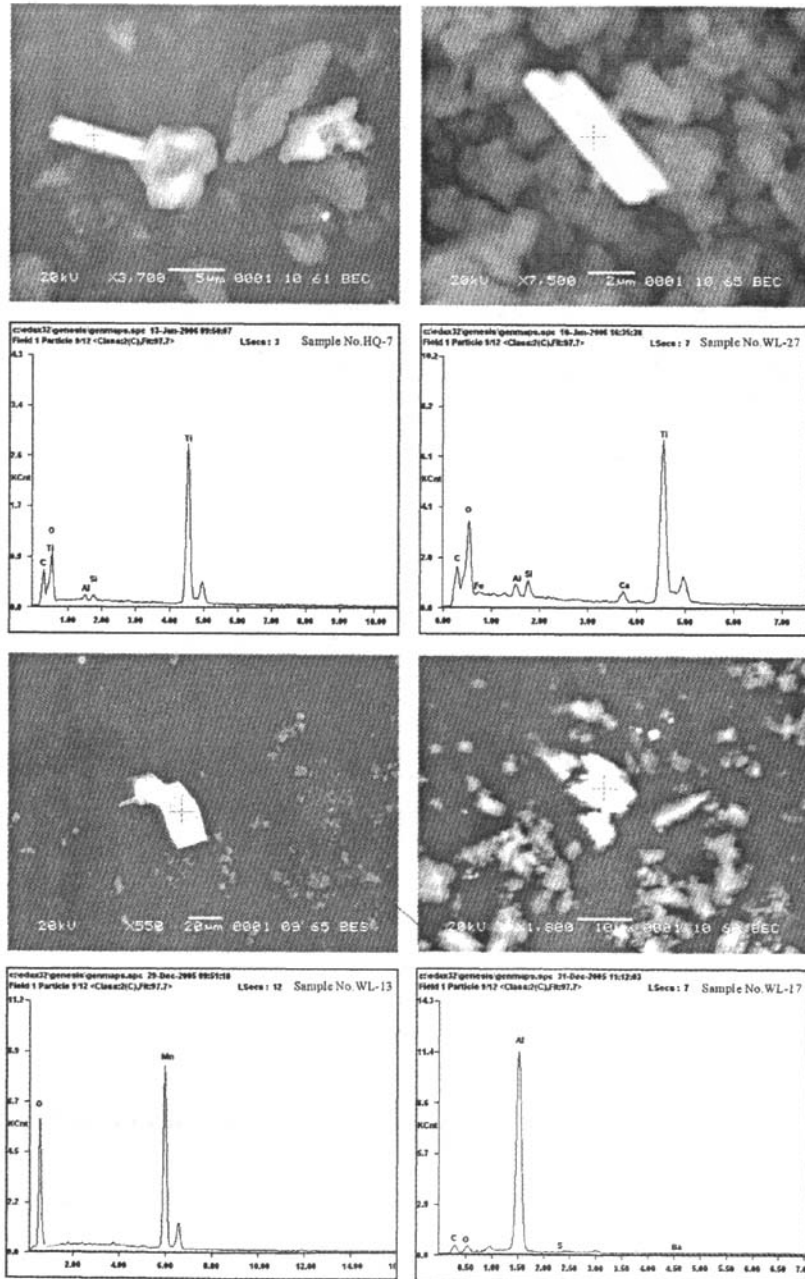


图 4 胜利煤田褐煤中的氧化物扫描电镜照片及其能谱图  
 Fig. 4. SEM microphotographs and EDX spectra of oxides in lignites.



磷酸盐矿物根据其形状和稀土元素含量可分为 2 类:①一类呈自形程度较高的磷酸盐,不含稀土元

素;②不规则粒状,通常含有较高的稀土元素,可能主要是独居石(图 8)。在某些 X 射线衍射未发

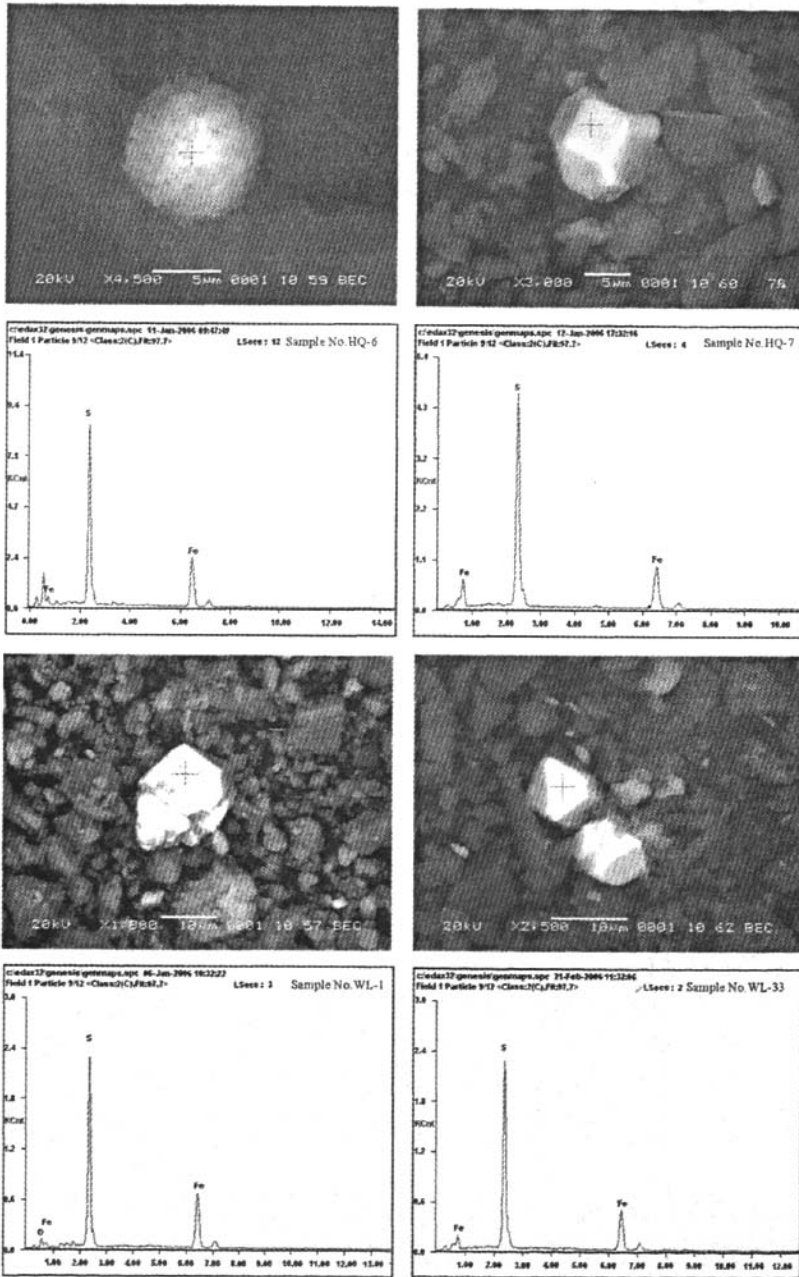


图 5 胜利煤田褐煤中的黄铁矿扫描电镜照片及其能谱图

Fig. 5. SEM microphotographs and EDX spectra of pyrites in lignites from the Shengli Coalfield.

现方解石的样品(WL-43或WL-13)中,识别出的含Ca矿物可能为草酸钙石(图8)。此外,还包括

少量的含Pb、Bi、Cr和Zr矿物(图9)。未发现任何含Ge矿物。

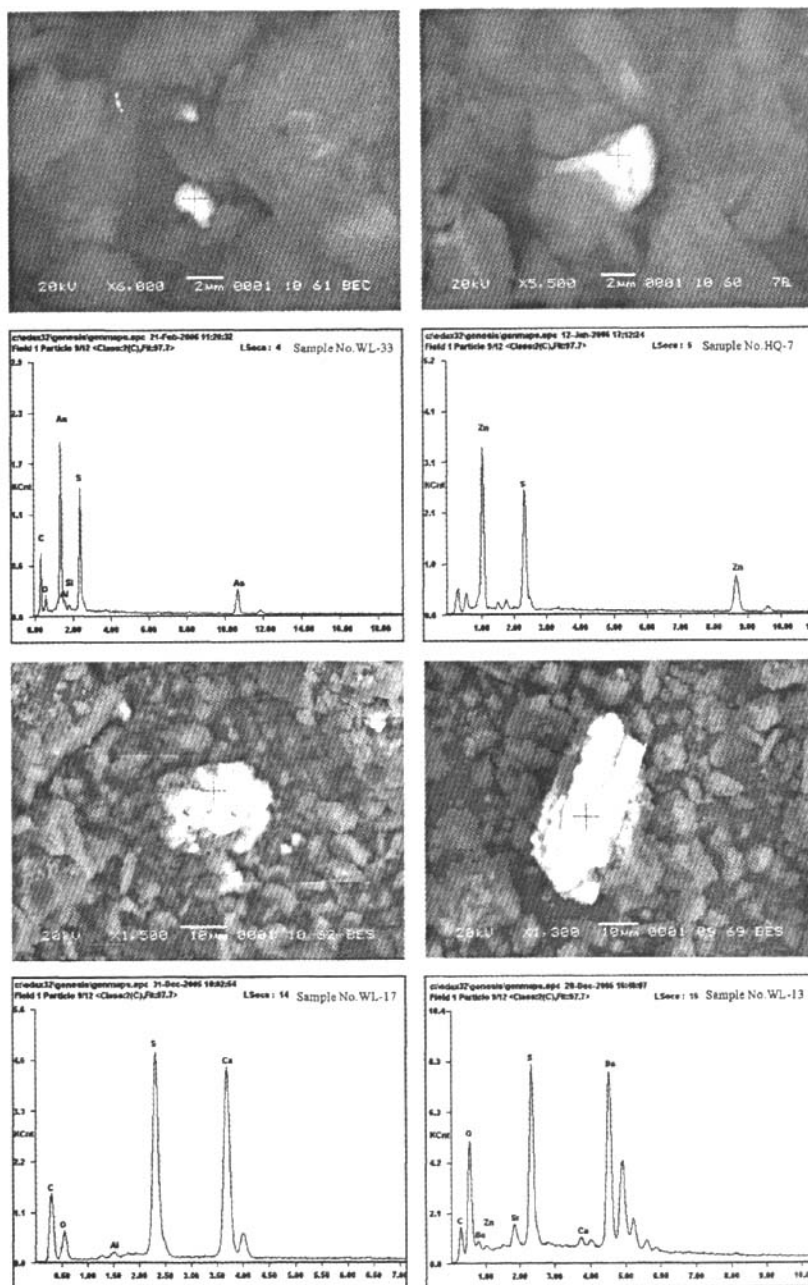


图6 胜利煤田褐煤中的硫化物和硫酸盐扫描电镜照片及其能谱图

Fig. 6. SEM microphotographs and EDX spectra of sulfides and sulfates in lignites.

值得注意的是, 在乌兰图嘎钨矿及红旗煤矿的褐煤中, 利用带能谱的扫描电镜经常可识别出含银颗粒或自然银矿物。这些矿物通常呈不规则

片状, 宽度可达 10  $\mu\text{m}$  (图 10)。含银颗粒的存在表明胜利煤田的褐煤中可能具有相当多的银矿化。

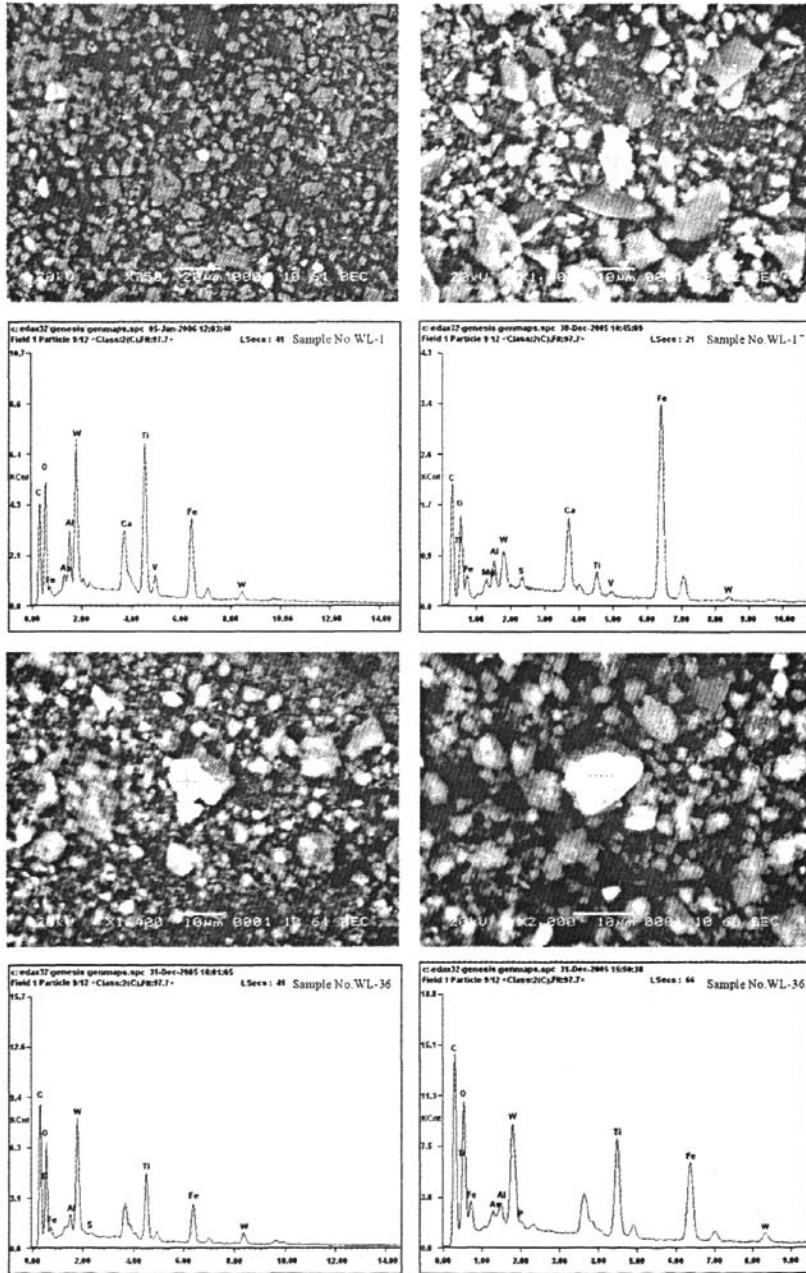


图 7 胜利煤田褐煤中的含 W 矿物扫描电镜照片及其能谱图

Fig. 7. SEM microphotographs and EDX spectra of W-bearing minerals in lignites from the Shengli Coalfield.



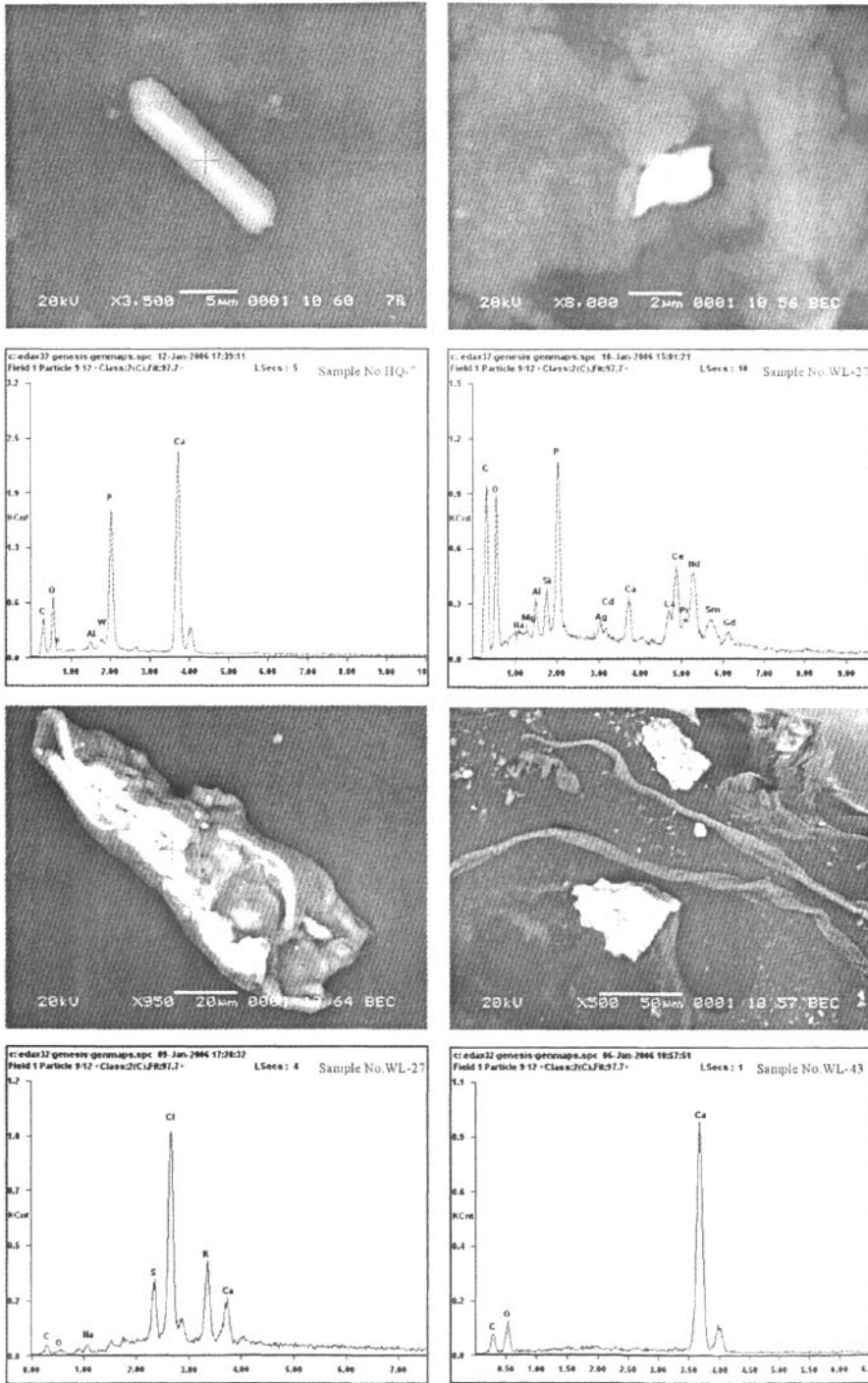


图 8 胜利煤田褐煤中的磷酸盐、卤化物和草酸盐扫描电镜照片及其能谱图  
 Fig. 8. SEM microphotographs and EDX spectra of phosphates, halogenides, and oxalates in lignites from the Shengli Coalfield.

### 5 电子探针分析

由于制样比较困难(含锆煤光片中含大量次生裂隙和水分,致使进样后电子探针设备无法抽

真空;干燥过后,光片自然碎裂),仅对少数较小的含锆煤样品的光片进行了电子探针微区能谱分析。分析结果与扫描电镜的分析结果基本一致。图 11 显示,含锆煤中可能还存在黄铜矿和含 Sb 矿物。

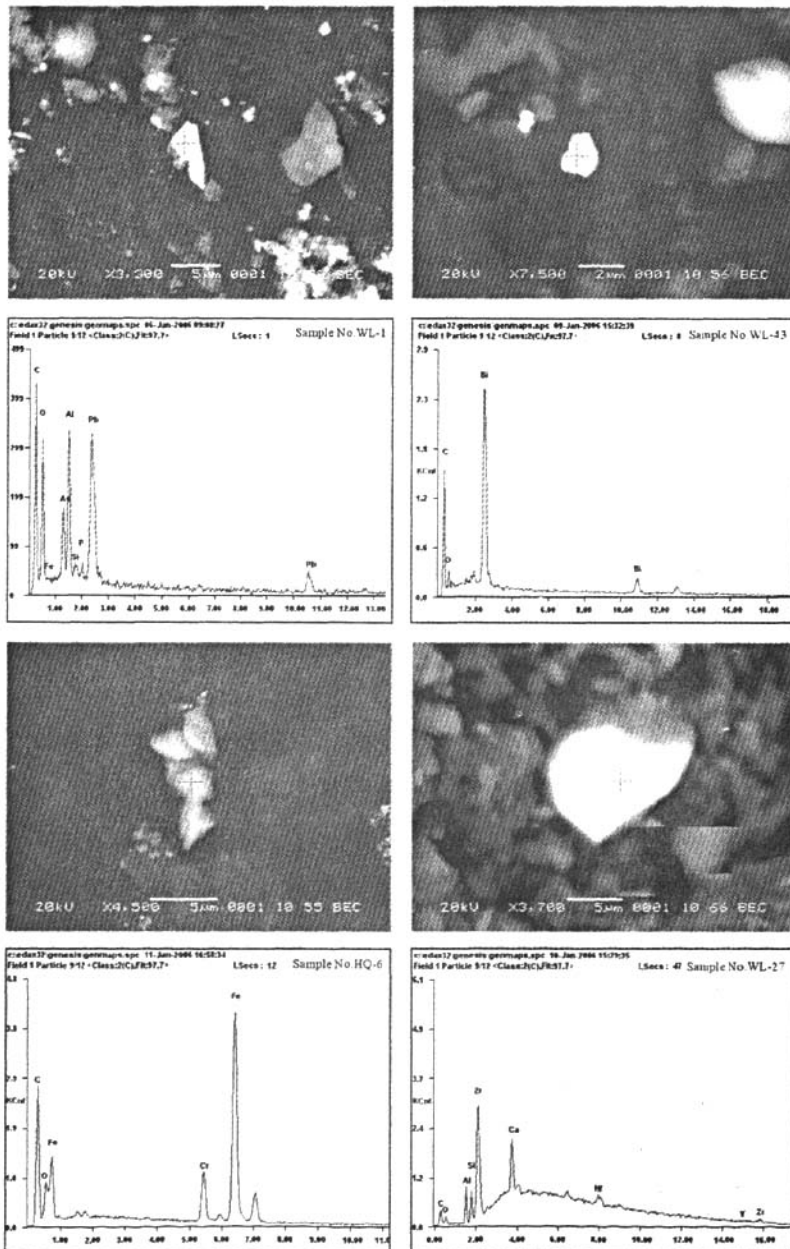


图 9 胜利煤田褐煤中含 Pb、Bi、Cr 和 Zr 矿物扫描电镜照片及其能谱图  
Fig. 9. SEM microphotographs and EDX spectra of Pb, Bi, Cr, and Zr-bearing minerals in lignites from Shengli Coalfield.

### 6 小结

乌兰图嘎含锆煤中的主要矿物包括石英、蒙

脱石;次要矿物包括长石、高岭石、伊利石;另含少量三水铝石、角闪石、叶蜡石、石膏、绿泥石、锐钛矿、黄铁矿、方解石、白云石和草酸钙石。扫描电

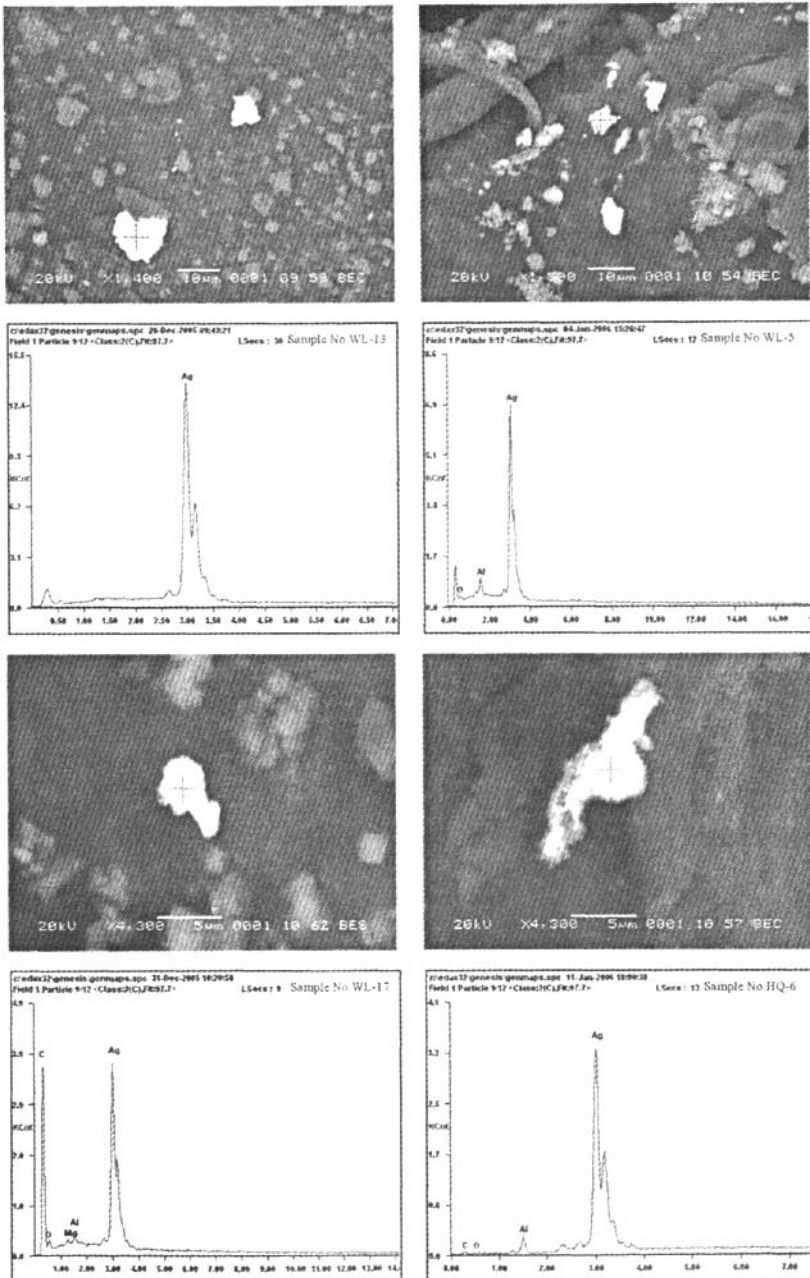


图 10 胜利煤田褐煤中的含 Ag 矿物扫描电镜照片及其能谱图

Fig. 10. SEM microphotographs and EDX spectra of Ag-bearing minerals in lignites from Shengli Coalfield.

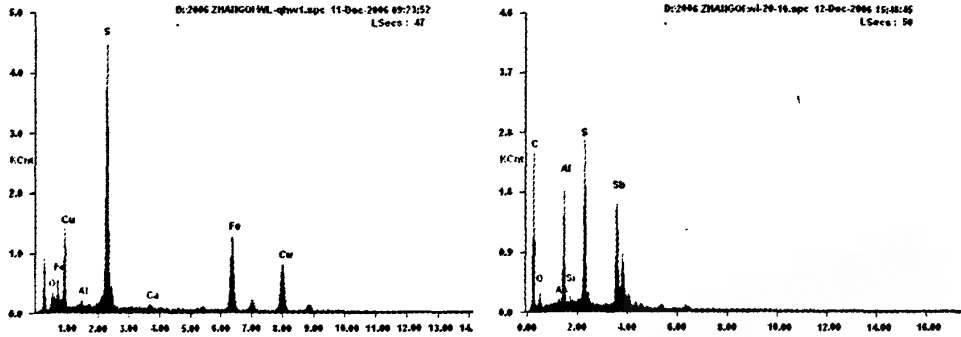


图 11 乌兰图嘎锗矿含矿煤中黄铜矿(左)和含 Sb 矿物(右)能谱图

Fig. 11. EDX spectra of chalcopyrite and Sb-bearing minerals in Ge-bearing lignites from Wulantuga.

镜和电子探针分析表明, 乌兰图嘎含锗煤中还存在锗石、闪锌矿、白钨矿、重晶石、黄铜矿、卤化物、磷酸盐以及含 Pb、Bi、Cr、As、Sb 和 Ag 矿物。未发现任何含 Ge 矿物。这些结果表明, 含锗煤中的锗可能主要呈有机结合, 而 Ba、Zn、Ti、W、Pb、Bi、Cr、Fe、As、Zr、Sb、Cu 和 REE 可能主要与矿物相结合。含银颗粒或自然银在乌兰图嘎含锗煤及红

旗煤矿无矿煤中的存在, 表明胜利煤田的褐煤可能具有相当规模的 Ag 矿化。

致谢: 非常感谢中国科学院地球化学研究所龚国洪副研究员、刘秀明副研究员、周国富副研究员、郑文勤实验师在 XRD、SEM-EDX 和 EPMA 实验中的大力支持和帮助!

#### 参 考 文 献:

- [1] 王兰明. 内蒙古锡林郭勒盟乌兰图嘎锗矿地质特征及勘查工作简介[J]. 内蒙古地质, 1999, 3: 15-20.
- [2] 秦胜利. 内蒙古胜利煤田锗矿床赋存规律及找矿方向[J]. 中国煤田地质, 2001, 13(3): 18-19.
- [3] 杜刚, 汤达祯, 武文, 孙培城, 白云来, 玄艳琴, 黄俊. 内蒙古胜利煤田共生锗矿的成因地球化学初探[J]. 现代地质, 2003, 17(4): 453-458.
- [4] 杜刚, 汤达祯, 武文, 孙培城, 白云来, 杨文彬, 玄艳琴, 张立成. 内蒙古胜利煤田共生锗矿品位纵向变化规律研究[J]. 煤田地质与勘探, 2004, 32(1): 1-4.
- [5] Brown R D. Germanium-2000[J]. *USGS Minerals Yearbook 2000*, 2001: 33. 1-33. 3.
- [6] Zhuang X C, Querol X, Alastuey A, Juan R, Plana F, Soler A L, Du G, Martynov V V. Geochemistry and mineralogy of the Cretaceous Wulantuga high-germanium coal deposit in Shengli Coal Field Inner Mongolia, Northeastern China[J]. *International Journal of Coal Geology*, 2006, 66: 119-136.
- [7] Qi H W, Hu R Z, Zhang Q. Concentration and distribution of trace elements in lignite from the Shengli Coalfield, Inner Mongolia, China: Implications on origin of the associated Wulantuga Germanium Deposit [J]. *International Journal of Coal Geology*, 2007, 71: 129-152.
- [8] Qi H W, Hu R Z, Zhang Q. REE Geochemistry of the Cretaceous lignite from Wulantuga Germanium Deposit, Inner Mongolia, Northeastern China [J]. *International Journal of Coal Geology*, 2007, 71: 329-344.
- [9] 胡瑞忠, 毕献武, 苏文超, 叶造军. 对煤中锗矿化若干问题的思考[J]. 矿物学报, 1997, 17(4): 364-368.
- [10] 胡瑞忠, 毕献武, 叶造军, 苏文超, 漆亮. 临沧锗矿成因初探[J]. 矿物学报, 1996, 16(2): 97-102.
- [11] 胡瑞忠, 苏文超, 戚华文, 毕献武. 锗的地球化学? 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.
- [12] 戚华文, 胡瑞忠. 临沧锗矿微量元素地球化学[J]. 煤田地质与勘探, 2002, 30(2): 1-2.
- [13] 戚华文, 胡瑞忠, 苏文超, 漆亮. 临沧锗矿含碳硅质灰岩的成因及其与锗成矿的关系[J]. 地球化学, 2002, 31: 161-168.
- [14] 戚华文, 胡瑞忠, 苏文超, 漆亮. 临沧锗矿褐煤的稀土元素地球化学[J]. 地球化学, 2002, 31: 300-308.
- [15] Qi H W, Hu R Z, Su W C, Qi L, Feng J Y. Continental hydrothermal sedimentary siliceous rock and genesis of superlarge germanium (Ge) deposit hosted in coal: A study from the Lincang Ge deposit, Yunnan, China [J]. *Sciences in China (D)*, 2004, 47: 973-984.
- [16] 庄汉平, 刘金钟, 傅家谟, 卢家烂. 临沧超大型锗矿床有机质与锗矿化的地球化学特征[J]. 地球化学, 1997, 26(4): 44-51.
- [17] 庄汉平, 卢家烂, 傅家谟, 刘金钟, 任焯刚, 邹德刚. 临沧超大型锗矿床锗赋存状态研究[J]. 中国科学(D辑), 1998, 28(S2): 37-42.
- [18] Seredin V V. Rare earth element-bearing coals from the Russian Far East Deposits [J]. *International Journal of Coal Geology*, 1996, 30:



101-129.

- [19] Seregin V V, Danilcheva J. Coal-hosted Ge deposits of the Russian Far East [A]. Piestrynsky A, et al. *Mineral Deposits at the Beginning of the 21st Century* [M]. Lisse, The Netherlands: Swets & Zeitlinger Publishers, 2001: 89-92.
- [20] 任德贻, 赵峰华, 代世峰, 张军营, 雒昆利. 煤的微量元素地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 197-203; 351-359.
- [21] Monte M D, Sabbionl C. Weddellite on limestone in the nice environment [J]. *Environmental Science and Technology*, 1983, 17, 518-522.
- [22] Beazley M J, Rickman R D, Ingram D K, Boutton T W, Russ J. Natural abundances of carbon isotopes ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ) in lichens and calcium oxalate pruina: implications for archaeological and Paleoenvironmental studies [J]. *Radiocarbon*, 2002, 44: 675-683.
- [23] Mandarino J A, Witt N V. Weddellite from Biggs, Oregon, USA [J]. *Canadian Mineralogist*, 1983, 21: 503-508.
- [24] Mandarino J A. Weddellite from Lutterworth Township, Haliburton County, Ontario [J]. *Canadian Mineralogist*, 1983, 21: 509-511.
- [25] Malainine M E, Dufresne A, Dupeyre D, Vignon M R, Mahrouz M. First evidence for the presence of weddellite crystallites in *Opuntia ficus indica* Parenchyma [J]. *Z Naturforsch*, 2003, 58c: 812-816.
- [26] Griffin G M, Sawyer R K, Melkote S R. Weddellite occurrence in peats and other organic-rich sediments of Florida [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1984, 54 (3): 861-868.
- [27] Kalaitzidis S, Christanis K, Georgakopoulos A, Fernandez-Turiel J L, Papazisimou S. Influence of geological conditions during peat accumulation on trace element affinities and their behavior during peat combustion [J]. *Energy & Fuels*, 2002, 16: 1476-1482.
- [28] Graustein W C, Graustein W C, Cromack K, Sollins P. Calcium oxalate: occurrence in soils and effect on nutrient and geochemical cycles [J]. *Science*, 1977, 198: 1252-1254.
- [29] Mcalister J J, Smith B J, Neto J A B. The presence of calcium oxalate dihydrate (weddellite) in street sediments from Niterói, Brazil and its health implications [J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2000, 22: 195-210.
- [30] Lowenstam H A. Weddellite in a marine gastropod and in antarctic sediments [J]. *Science*, 1968, 162: 1129-1130.
- [31] Monte M D, Sabbioni C, Zappia G. The origin of calcium oxalates on historical buildings, monuments and natural outcrops [J]. *Science of the Total Environment*, 1987, 67: 17-39.

## MINERALOGY OF Ge-BEARING COAL FROM WULANTUGA SUPERLARGE GERMANIUM DEPOSIT, INNER MONGOLIA, CHINA

ZHANG Qi<sup>1,2</sup>, QI Hua-wen<sup>1</sup>, HU Rui-zhong<sup>1</sup>, WANG Xiao-fei<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Graduate School of, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** The Wulantuga germanium deposit (WGD), with germanium (Ge) resources up to 1600 tons, is a super-large Ge deposit hosted in coal seams, which has been found in recent years. The mineralogical characteristics of Ge-bearing lignite from WGD, as well as the contemporary Ge-barren lignite from the Hongqi Coal Mine, were systematically studied by X-ray diffraction, scanning electron microscope with energy-dispersive X-ray spectrometer (SEM-EDX) and electron probe microanalyser (EPMA). Results showed that the primary minerals in the Ge-bearing lignite of WGD include quartz and montmorillonite, the secondary minerals include feldspar, kaolinite and illite, and minor gibbsite, hornblende, pyrophyllite, gypsum, chlorite, anatase, pyrite, calcite, dolomite and weddellite. SEM-EDX and EPMA analyses showed trace zircon, sphalerite, scheelite, chalcopyrite, halogenide, phosphate and Pb, Bi, Cr, As and Sb-bearing minerals exist in the Ge-bearing lignite of WGD. No Ge-bearing mineral has been detected. These results showed that Ge in Ge-bearing coal may be mainly associated with organic matter, while Ba, Zn, Ti, W, Pb, Bi, Cr, Fe, As, Zr, Sb, Cu, and REE may be mainly associated with mineral phases. Furthermore, silver-bearing particles or native Ag have been detected for the first time in Ge-bearing lignite from WGD, as well as in Ge-barren lignite from the Hongqi Coal Mine, indicating lignites from the Shengli Coalfield may contain considerable Ag mineralization.

**Key words:** Wulantuga germanium deposit; Ge-bearing lignite; mineralogy; weddellite, native Ag

作者: [张琦](#), [戚华文](#), [胡瑞忠](#), [王小飞](#), [ZHANG Qi](#), [QI Hua-wen](#), [HU Rui-zhong](#), [WANG Xiao-fei](#)

作者单位: [张琦, 王小飞, ZHANG Qi, WANG Xiao-fei \(中国科学院, 地球化学研究所, 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州, 贵阳, 550002; 中国科学院, 研究生院, 北京, 1000039\)](#), [戚华文, 胡瑞忠, QI Hua-wen, HU Rui-zhong \(中国科学院, 地球化学研究所, 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州, 贵阳, 550002\)](#)

刊名: [矿物学报](#) **ISTIC PKU**

英文刊名: [ACTA MINERALOGICA SINICA](#)

年, 卷(期): 2008, 28(4)

引用次数: 0次

## 参考文献(31条)

1. [王兰明](#) [内蒙古锡林郭勒盟乌兰图嘎锗矿地质特征及勘查工作简介](#) 1999(3)
2. [秦胜利](#) [内蒙古胜利煤田锗矿床赋存规律及找矿方向](#) [期刊论文]-[中国煤田地质](#) 2001(3)
3. [杜刚](#). [汤达祯](#). [武文](#). [孙培城](#). [白云来](#). [玄艳琴](#). [黄俊](#) [内蒙古胜利煤田共生锗矿的成因地球化学初探](#) [期刊论文]-[现代地质](#) 2003(4)
4. [杜刚](#). [汤达祯](#). [武文](#). [孙培城](#). [白云来](#). [杨文彬](#). [玄艳琴](#). [张立成](#) [内蒙古胜利煤田共生锗矿品位纵向变化规律研究](#) [期刊论文]-[煤田地质与勘探](#) 2004(1)
5. [Brown R D](#) [Germanium-2000](#) 2001
6. [Zhuang X G](#). [Querol X](#). [Alastuey A](#). [Juan R Plana F](#) [Soler A L](#) [Du G](#) [Martynov V V](#) [Geochemistry and mineralogy of the Cretaceous Wulantuga high-germanium coal deposit in Shengli Coal Field Inner Mongolia, Northeastern China](#) 2006
7. [Qi H W](#). [Hu R Z](#). [Zhang Q](#) [Concentration and distribution of trace elements in lignite from the Shengli Coalfield, Inner Mongolia, China: Implications on origin of the associated Wulantuga Germanium Deposit](#) 2007
8. [Qi H W](#). [Hu R Z](#). [Zhang Q](#) [REE Geochemistry of the Cretaceous lignite from Wulantuga Germanium Deposit, Inner Mongolia, Northeastern China](#) 2007
9. [胡瑞忠](#). [毕献武](#). [苏文超](#). [叶造军](#) [对煤中锗矿化若干问题的思考](#) [期刊论文]-[矿物学报](#) 1997(4)
10. [胡瑞忠](#). [毕献武](#). [叶造军](#). [苏文超](#). [漆亮](#) [临沧锗矿成因初探](#) [期刊论文]-[矿物学报](#) 1996(2)
11. [胡瑞忠](#). [苏文超](#). [戚华文](#). [毕献武](#) [锗的地球化学、赋存状态和成矿作用](#) [期刊论文]-[矿物岩石地球化学通报](#) 2000(4)
12. [戚华文](#). [胡瑞忠](#) [临沧锗矿床的微量元素地球化学](#) [期刊论文]-[煤田地质与勘探](#) 2002(2)
13. [戚华文](#). [胡瑞忠](#). [苏文超](#). [漆亮](#) [临沧锗矿含碳硅质灰岩的成因及其与锗成矿的关系](#) [期刊论文]-[地球化学](#) 2002(2)
14. [戚华文](#). [胡瑞忠](#). [苏文超](#). [漆亮](#) [临沧锗矿褐煤的稀土元素地球化学](#) [期刊论文]-[地球化学](#) 2002(3)
15. [Qi H W](#). [Hu R Z](#). [Su W C](#). [Qi L](#) [Feng J Y](#) [Continental hydrothermal sedimentary siliceous rock and genesis of superlarge germanium \(Ge\) deposit hosted in coal: A study from the Lineang Ge deposit, Yunnan, China](#) 2004
16. [庄汉平](#). [刘金钟](#). [傅家谟](#). [卢家烂](#) [临沧超大型锗矿床有机质与锗矿化的地球化学特征](#) [期刊论文]-[地球化学](#) 1997(4)
17. [庄汉平](#). [卢家烂](#). [傅家谟](#). [刘金钟](#). [任焯刚](#). [邹德刚](#) [临沧超大型锗矿床锗赋存状态研究](#) 1998(z2)

18. [Seredin V V Rare earth element-bearing coals from the Russian Far East Deposits](#) 1996
19. [Seredin V V, Danilcheva J Coal-hosted Ge deposits of the Russinn Far East](#) 2001
20. [任德贻, 赵峰华, 代世峰, 张军营, 雒昆利 煤的微量元素地球化学](#) 2006
21. [Monte M D, Sabblonl C Weddellite on limestone in the vnice environment](#) 1983
22. [Beazley M J, Rickman R D, Ingrain D K, Boutton T W Russ J Natural abundances of carbon isotopes \(14C, 13C\) in lichens and calcium oxalate pruina: implications for archaeological and Paleocenvironmental studies](#) 2002
23. [Mandarino J A, Witt N V Weddellite from Biggs, Oregon, USA](#) 1983
24. [Mandarino J A Weddellite from Lutterworth Township, Haliburton County, Ontario](#) 1983
25. [Malainine M E, Dufresne A, Dupeyre D, Vignon M R, Mahrouz M First evidence for the presence of weddellite crystallites in Opuntia ficus indica Parenchyma](#) 2003
26. [Griffin G M, Sawyer R K, Melkote S R Weddellite occurrence in peats and other organic-rich sediments of Florida](#) 1984(3)
27. [Kalaitzidis S, Christanis K, Georgakopoulos A, Femandez-Turiel J L, Papazisimou S Influence of geological conditions during peat accumulation on trace element affinities and their behavior during peat combustion](#) 2002
28. [Graustein W C, Cromack K, Cromack K, Sollins P Calcium oxalate: occurrence in soils and effect on nutrient and geochemical cycles](#) 1977
29. [Mcalister J J, Smith B J, Neto J A B The presence of calcium oxalate dihydrate \(weddellite\) in strcet sediments from Niteroi, Brazil and its health implications](#) 2000
30. [Lowenstsm H A Weddellite in a marine gastropod and in antarctic sediments](#) 1968
31. [Monte M D, Sabbioni C, Zappia G The origin of calcium oxalates on historical buildings, monuments and natural outcrops](#) 1987

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_kwxb200804015.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_kwxb200804015.aspx)

下载时间: 2009年12月3日