

煤系共伴生资源利用现状及两淮煤田前景分析

陈健,陈萍,刘文中,胡友彪

(安徽理工大学 地球与环境学院,安徽淮南 232001)

摘要:为对煤炭资源的可持续利用提供参考,基于文献调研,系统介绍了我国煤系共伴生资源的开发利用现状,并结合部分测试数据,展望了安徽两淮煤田煤系共伴生资源的勘探及利用前景。结果表明:煤中部分稀有元素(Ga、Ge、Li、Nb、Ta、Zr和REEs等)可能富集成矿,具有开发利用价值,我国已从煤及煤灰中提取Ga和Ge。两淮煤田煤系地层中铝质泥岩层(铝土岩)、受岩浆侵入影响的煤层及石炭系太原组灰岩等均为稀有元素勘探的目标层,可能具有潜在开发利用前景。

关键词:稀有元素;伴生资源;煤;两淮煤田

中图分类号:TD97 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2015)06-0105-04

Utilization of associated resources occurred in Chinese coal-bearing series and its prospects in Huainan and Huaibei coalfields

CHEN Jian, CHEN Ping, LIU Wenzhong, HU Youbiao

(School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: To provide information for the sustainable utilization of coal, the use of associated resources occurred in Chinese coal-bearing series was reviewed based on the document study, and the prospects of Huainan and Huaibei coalfields were discussed. The results indicated that rare elements, such as Ga, Ge, Li, Nb, Ta, Zr, and REEs, concentrated in coal beds as ore deposit, could be extracted from coal and coal ash. Ga and Ge have been exploited from coal. The aluminous mudstone (or bauxite), coal beds influenced by igneous intrusion, and limestone in the Carboniferous Taiyuan Formation were of significant potential for rare elements in Huainan and Huaibei coalfields.

Key words: rare element; associated resources; coal; Huainan and Huaibei coalfields

0 引言

煤是一种具有高度还原障和吸附障性能的有机岩,在特定地质条件下,可富集一些有益金属元素,达到成矿规模^[1]。许多含煤盆地存在产金属煤,泥炭堆积、成岩及后生过程均可发生成矿作用,煤灰应作为可经济回收的附产物,元素含量高于世界煤丰度10倍的煤便视为产金属煤,俄罗斯和乌兹别克斯坦目前正利用煤中Ge^[2]。煤是重要的Ge源,世界一半以上Ge的消费量由煤供应^[3]。此外,含煤

沉积(煤或采矿附产物)还被视为回收REEs和Y的目标,若煤层厚度大于5m,REEs的品位可为800~900mg/kg,或煤灰中稀土元素氧化物含量高于1000mg/kg,便适合选择性开采^[4]。煤系地层或煤层中蚀变黏土岩对勘探稀有金属(Nb、REEs和Ga)矿产极具价值^[5],天然放射性是确定蚀变黏土岩和稀有多金属矿床沉积的重要标志^[6]。我国正从煤(灰)中提取利用Ge和Ga,如:从云南省临江市大寨煤矿新近系中新统帮卖组褐煤和内蒙古锡林郭勒白垩系褐煤中提取Ge;从内蒙古鄂尔多斯准格尔煤

收稿日期:2015-06-17;责任编辑:孙淑君 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.06.025

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2014CB238901);国家自然科学基金资助项目(41402139);安徽理工大学青年教师科学研究重点资助项目(QN201408)

作者简介:陈健(1984—),男,四川仪陇人,讲师,博士,从事煤中微量元素地球化学及矿区环境保护相关研究与教学工作。E-mail: cscchenjian@163.com

引用格式:陈健,陈萍,刘文中,等.煤系共伴生资源利用现状及两淮煤田前景分析[J].洁净煤技术,2015,21(6):105-108.

CHEN Jian, CHEN Ping, LIU Wenzhong, et al. Utilization of associated resources occurred in Chinese coal-bearing series and its prospects in Huainan and Huaibei coalfields[J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(6): 105-108.

田二叠系太原组烟煤的煤灰中提取 Al 和 Ga。当前,煤炭行业进入低迷期,开发和利用煤系地层的伴生资源,可增加采煤的附加值,对煤炭资源的可持续利用和煤炭企业的长足发展均具有重要意义。本文介绍了我国煤系地层伴生资源的开发利用现状,并基于部分测试数据展望安徽两淮煤田煤系地层资源的勘探利用前景。

1 煤系地层伴生资源的开发利用现状

1998年内蒙古煤炭地质勘查院于内蒙古锡林郭勒盟乌兰图嘎煤矿 II 采区发现一处大型锆矿,面积约 0.72 km²,与 6-1 煤层共生,煤层是锆矿的载体^[7],其储量达 1600 余 t^[7-9],是我国最主要的含煤锆矿床之一^[10],也是世界第三大含煤锆沉积^[8]。此外,黄文辉等^[11]评估认为乌兰图嘎煤锆矿床资源面积为 1.0975 km²,资源量 1805 t。目前,锡林郭勒通力锆业有限责任公司已从煤灰中提取 Ge,年产高纯二氧化锆 20 t。

云南临沧褐煤锆沉积的 Ge 储量约 1000 t,Ge 赋存于热水成因硅质岩夹层的 N₁₁₂ 煤层中,通过有机结合在煤层顶底部与硅质岩接触处富集^[12]。云南临沧鑫圆锆业股份有限公司开采该煤层,并从煤灰中提取 Ge。

我国石炭-二叠纪煤中 Ga 均值为 15.5 mg/kg,煤中 Ga 的工业品位为 30 mg/kg,内蒙古准格尔煤田 6 煤层和河北邢台煤田 5 煤层为煤伴生 Ga 矿床^[13]。准格尔煤田主采煤层 6 煤层煤中 Ga 含量为 30.1 ~ 76.0 mg/kg,平均 51.9 mg/kg,远高于 Ga 的工业品位,赋存于勃姆石中,且其飞灰中 Ga 高达 99.1 mg/kg^[14],其中,黑岱沟煤矿 6 煤为一超大型 Ga 矿床沉积^[15],哈尔乌素露天矿 6 煤富集 Al 和 Ga,能作为金属资源从煤飞灰中提取^[16]。神华准能集团有限公司于 2011 年建成提炼煤灰中 Al 和 Ga 的中试工厂^[3]。

中国煤中 Li 丰度为 30.7 mg/kg,山西安太堡矿煤中 Li 含量已达到煤伴生矿床工业品位,且同兴矿煤层底板 Li 含量达独立 Li 矿床工业品位^[17]。Sun 等^[18]建议将 80 和 120 mg/kg 分别作为我国煤伴生 Li 沉积的最低采矿品位和工业品位。内蒙古官板乌素矿 6 煤层 Li 含量平均 264 mg/kg,为一煤伴生 Li 沉积,其储量达 24288 t,主要被高岭石、勃姆石和绿泥石吸附^[19]。

重庆松藻矿区 11 煤中 Nb 和 Ga 已超过伴生矿

床工业品位^[20],天府矿区磨心坡矿 K2 煤层中富集的 REEs 和 Y 为潜在可利用的稀有金属资源^[21]。云南东晚二叠世含煤地层发现有火山源的 Nb (Ta)-Zr (Hf)-REE-Ga 多金属沉积,富集 (Nb, Ta)₂O₅、(Zr, Hf) O₂、REE (稀土元素) 和 Ga,其中 (Nb, Ta)₂O₅ 远高于风化壳和河床沉积矿的边界和工业品位,(Zr, Hf) O₂、REO (稀土元素氧化物) 和 Ga 也达到矿化和工业利用品位^[22]。

2 两淮煤田煤系地层伴生资源的勘探利用前景分析

安徽省两淮煤田位于华北聚煤盆地南缘,主要成煤环境为滨海三角洲^[23],离陆源区较远,且含煤地层底部为石炭系本溪组泥岩,泥炭堆积环境并无异常的稀有元素来源,因此,Chen 等^[24]、Sun 等^[25]、黄文辉等^[26]均认为淮南煤田煤中绝大多数元素含量正常,因此,两淮煤田的煤及燃煤副产物中稀有元素的可利用前景不容乐观。

尽管如此,部分稀有元素可能在煤系地层中其他岩层中富集,基于 Chen 等^[27]研究成果及部分铝质泥岩的元素测试数据(表 1),发现两淮煤田煤系地层中铝质泥岩(铝土岩)和受岩浆侵入体影响的煤层或灰岩中部分稀有元素可能富集,具有潜在利用前景,值得深入研究。

淮南煤田二叠系下石盒子组 4 煤层下 10 ~ 15 m 处赋存有浅灰色铝质泥岩层,厚 3 ~ 5 m,层位稳定,全区发育,是 4 煤层对比的标志层,采集到的一个铝质泥岩样品的元素分析见表 1。与上地壳相应元素的丰度对比表明:铝质泥岩中 TiO₂(2.07)、Al₂O₃(2.24)、B(3.47)、Ga(2.56)、Zr(2.49)、Nb(2.70)、La(2.58)、Pr(2.56)、Nd(2.25)、Gd(2.15)、Tm(2.03)、Yb(2.13)和 Lu(2.10)的富集系数介于 2 和 5 之间,稍富集,而 Cd 的富集系数为 6.11,显著富集;该层中 Ga 和部分稀土元素的富集值得关注,或具备勘探及利用前景。

两淮煤田煤系地层受晚白垩世燕山期岩浆侵入的影响,淮北煤田尤甚。淮南煤田潘三煤矿 7 个侵入岩样品的元素含量均值见表 1,与上地壳元素丰度的比值表明:侵入岩中 Ga(3.72)、Zr(3.94)、Nb(3.58)、Sm(3.84)、Eu(2.87)、Gd(4.21)、Tb(2.20)、Dy(2.20)、Er(2.27)、Tm(2.37)、Yb(2.25)和 Lu(2.28)稍富集,而 Cd(11.0)、La(7.76)、Ce(5.85)、Pr(5.92)和 Nd(5.10)显著富

表1 淮南煤田铝质泥岩和侵入岩样品中元素含量及相对上地壳的富集系数

元素/ 氧化物	铝质 泥岩	侵入 岩 ^[27]	上地 壳 ^[28]	铝质泥岩/ 上地壳	侵入岩/ 上地壳	元素/ 氧化物	铝质 泥岩	侵入 岩 ^[27]	上地 壳 ^[28]	铝质泥岩/ 上地壳	侵入岩/ 上地壳
Fe ₂ O ₃	7.88	4.45	5.04	1.56	0.88	Zr	481	761	193	2.49	3.94
MnO	0.04	0.12	0.1	0.35	1.18	Nb	32.4	43	12	2.7	3.58
TiO ₂	1.33	0.4	0.64	2.07	0.62	Cd	0.55	0.99	0.09	6.11	11
CaO	0.11	1.82	3.59	0.03	0.51	Ba	176	1176	624	0.28	1.89
K ₂ O	0.66	2.9	2.8	0.24	1.04	Pb	2.13	8.01	17	0.13	0.47
P ₂ O ₅	0.08	0.09	0.15	0.5	0.62	La	80	241	31	2.58	7.76
SiO ₂	41.4	64.5	66.6	0.62	0.97	Ce	114	368	63	1.81	5.85
Al ₂ O ₃	34.5	14.5	15.4	2.24	0.94	Pr	18.2	42.1	7.1	2.56	5.92
Na ₂ O	0.19	0.74	3.27	0.06	0.23	Nd	60.7	138	27	2.25	5.1
MgO	0.3	0.95	2.48	0.12	0.38	Sm	9.1	18	4.7	1.94	3.84
B	59	27.6	17	3.47	1.62	Eu	1.58	2.87	1	1.58	2.87
Sc	22.9	14.5	14	1.64	1.04	Gd	8.61	16.9	4	2.15	4.21
V	155	19.6	97	1.6	0.2	Tb	1	1.54	0.7	1.43	2.2
Cr	77.9	15.2	92	0.85	0.17	Dy	6.27	8.58	3.9	1.61	2.2
Co	8.23	1.15	17.3	0.48	0.07	Ho	1.29	1.61	0.83	1.55	1.94
Ni	14.6	1.43	47	0.31	0.03	Y	26	34.1	21	1.24	1.62
Cu	11.8	9.07	28	0.42	0.32	Er	4.28	5.21	2.3	1.86	2.27
Zn	21.5	56.7	67	0.32	0.85	Tm	0.61	0.71	0.3	2.03	2.37
Ga	44.7	65.2	17.5	2.56	3.72	Yb	4.25	4.51	2	2.13	2.25
Ge	1.13	1.61	1.4	0.81	1.15	Lu	0.65	0.71	0.31	2.1	2.28
Sr	240	165	320	0.75	0.52						

注:主量元素氧化物单位为%,采用XRF测试;微量元素单位为mg/kg,采用ICP-MS测试。

集。侵入岩本身及岩浆活动伴随的热液可能为稀有元素的重要物源,而煤及煤系地层富含有机质,为一重要的还原地球化学障,受岩浆侵入影响的煤中部分稀有元素富集,潘三煤矿煤中Fe、Ca、S、Si、Mg、Zn、Cd和Pb源于岩浆热液流体^[28]。此外,两淮煤田石炭系上统太原组灰岩伏于主要煤层下部,富含稀有元素的岩浆及热液流体与灰岩相互作用,其接触交代变质作用有在灰岩中形成具有价值的矿产资源的潜力。

综上,两淮煤田煤系地层中的铝质泥岩(铝土岩)层、受岩浆侵入影响的煤层和太原组灰岩等均是稀有元素勘探的目标层,具有潜在的利用前景。

3 结 论

1)煤是一种特殊的有机岩,其中部分稀有元素(Ga、Ge、Li、Nb、Ta、Zr和REEs)可能富集成矿,具有开发利用价值。我国目前已经从煤及煤灰中提取Ga和Ge;

2)两淮煤田煤系地层中的铝质泥岩(铝土岩)层、受岩浆侵入影响的煤层和太原组灰岩等均为稀有元素勘探的目标层,具有潜在的利用前景。

参考文献:

- [1] 任德贻,代世峰.煤和含煤岩系中潜在的共生矿产资源——一个值得重视的问题[J].中国煤田地质,2009,21(10):1-4.
- [2] Seredin Vladimir V, Finkelman Robert B. Metalliferous coals; a review of the main genetic and geochemical types[J]. International Journal of Coal Geology, 2008, 76(4): 253-289.
- [3] Seredin Vladimir V. From coal science to metal production and environmental protection; a new story of success[J]. International Journal of Coal Geology, 2012, 90/91: 1-3.
- [4] Seredin Vladimir V, Dai Shifeng. Coal deposits as a potential alternative source for lanthanides and yttrium[J]. International Journal of Coal Geology, 2012, 94: 67-93.
- [5] Spears D A. The origin of tonsteins, an overview, and links with seatearths, fireclays and fragmental clay rocks[J]. International Journal of Coal Geology, 2012, 94: 22-31.
- [6] Dai Shifeng, Zhou Yiping, Ren Deyi, et al. Geochemistry and min-

- eralogy of the Late Permian coals from the Songzao Coalfield, Chongqing, southwestern China [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2007, 50(5): 678-688.
- [7] 王兰明. 内蒙古锡林郭勒盟乌兰图嘎锆矿地质特征及勘查工作简介[J]. 内蒙古地质, 1999(3): 16-20.
- [8] Qi Huawen, Hu Ruizhong, Zhang Qi. REE geochemistry of the Cretaceous lignite from Wulantuga Germanium Deposit, Inner Mongolia, Northeastern China [J]. International Journal of Coal Geology, 2007, 71(2/3): 329-344.
- [9] Qi Huawen, Hu Ruizhong, Zhang Qi. Concentration and distribution of trace elements in lignite from the Shengli Coalfield, Inner Mongolia, China; implication on origin of the associated Wulantuga Germanium Deposit [J]. International Journal of Coal Geology, 2007, 71(2/3): 129-152.
- [10] Dai Shifeng, Wang Xibo, Seredin Vladimir V, et al. Petrology, mineralogy, and geochemistry of the Ge-rich coal from the Wulantuga Ge ore deposit, Inner Mongolia, China; new data and genetic implications [J]. International Journal of Coal Geology, 2012, 90/91: 72-99.
- [11] 黄文辉, 孙磊, 马延英, 等. 内蒙古自治区胜利煤田锆矿地质及分布规律[J]. 煤炭学报, 2007, 32(11): 1147-1151.
- [12] Hu Ruizhong, Qi Huawen, Bi Xianwu, et al. Geology and geochemistry of the Lincang superlarge Germanium deposit hosted in coal seams, Yunnan, China [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2006, 70(18): A269.
- [13] Zhao Cunliang, Qin Shenjun, Yang Yinchao, et al. Concentration of gallium in the Permo-Carboniferous coals of China [J]. Energy Exploration and Exploitation, 2009, 27(5): 333-343.
- [14] Dai Shifeng, Ren Deyi, Li Shengsheng. Discovery of the super-large gallium ore deposit in Jungar, Inner Mongolia, North China [J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(18): 2243-2252.
- [15] Dai Shifeng, Ren Deyi, Li Shengsheng, et al. Coal facies evolution of the main minable coal-bed in the Heidaigou Mine, Jungar Coalfield, Inner Mongolia, northern China [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2007, 50(2): 144-152.
- [16] Wang Xibo, Dai Shifeng, Sun Yingying, et al. Modes of occurrence of fluorine in the Late Paleozoic No. 6 coal from the Haerwusu Surface Mine, Inner Mongolia, China [J]. Fuel, 2011, 90(1): 248-254.
- [17] Sun Yuzhuang, Li Yanheng, Zhao Cunliang, et al. Concentrations of lithium in Chinese coals [J]. Energy Exploration and Exploitation, 2010, 28(2): 97-104.
- [18] Sun Yuzhuang, Yang Jingjing, Zhao Cunliang. Minimum mining grade of associated Li deposits in coal seams [J]. Energy Exploration and Exploitation, 2012, 30(2): 167-170.
- [19] Sun Yuzhuang, Zhao Cunliang, Li Yanheng, et al. Li distribution and mode of occurrences in Li-bearing coal seam # 6 from the Guanbanwusu Mine, Inner Mongolia, northern China [J]. Energy Exploration and Exploitation, 2012, 30(1): 109-130.
- [20] 代世峰, 周义平, 任德贻, 等. 重庆松藻矿区晚二叠世煤的地球化学和矿物学特征及其成因 [J]. 中国科学 D 辑, 2007, 37(3): 353-362.
- [21] Zou Jianhua, Liu Dong, Tian Heming, et al. Anomaly and geochemistry of rare earth elements and yttrium in the late Permian coal from the Moxinpo mine, Chongqing, southwestern China [J]. International Journal of Coal Science and Technology, 2014, 1(1): 23-30.
- [22] Dai Shifeng, Zhou Yiping, Zhang Mingquan, et al. A new type of Nb(Ta)-Zr(Hf)-REE-Ga polymetallic deposit in the late Permian coal-bearing strata, eastern Yunnan, southwestern China: possible economic significance and genetic implications [J]. International Journal of Coal Geology, 2010, 83(1): 55-63.
- [23] 兰昌益. 两淮煤田石炭二叠纪含煤岩系沉积特征及沉积环境 [J]. 安徽理工大学学报(自然科学版), 1989(3): 9-22.
- [24] Chen Jian, Liu Guijian, Jiang Mengmeng, et al. Geochemistry of environmentally sensitive trace elements in Permian coals from the Huainan coalfield, Anhui, China [J]. International Journal of Coal Geology, 2011, 88(1): 41-45.
- [25] Sun Ruoyu, Liu Guijian, Zheng Liugen, et al. Geochemistry of trace elements in coals from the Zhuji Mine, Huainan Coalfield, Anhui, China [J]. International Journal of Coal Geology, 2010, 81(2): 81-96.
- [26] 黄文辉, 杨起, 彭苏萍, 等. 淮南二叠纪煤及其燃烧产物地球化学特征 [J]. 中国地质大学学报(地球科学), 2001, 26(5): 501-507.
- [27] Chen Jian, Liu Guijian, Li Hui, et al. Mineralogical and geochemical responses of coal to igneous intrusion in the Pansan Coal Mine of the Huainan coalfield, Anhui, China [J]. International Journal of Coal Geology, 2014, 124: 11-35.
- [28] Rudnick R L, Gao S. Treatise on Geochemistry [M]. Amsterdam: Elsevier Science, 2003: 1-64.

(上接第 104 页)

- [2] North Dakota Department of Agriculture. Biennial report 2011-2013 [R]. Bismarck: North Dakota Department of Agriculture, 2014: 23-25.
- [3] Edward K Levy, Hugo S Caram, Zheng Yao, et al. Kinetics of coal drying in bubbling fluidized beds [C]//Proceedings fifth world congress on particle technology. Orlando: [s. n.], 2006: 1-3.
- [4] Edward K Levy, Hugo S Caram, Zheng Yao, et al. Use of coal drying to reduce water consumed in pulverized coal power plants [R]. Bethlehem: [s. n.], 2004: 2-6.
- [5] Great River Energy. Dryfining Fuel enhancement process [EB/OL], [2015-07-17]. <http://www.greatriverenergy.com>.
- [6] 内蒙古自治区统计局. 内蒙古自治区 2014 年国民经济和社会发展统计公报 [R]. 包头: 内蒙古自治区统计局, 2014: 6-8.
- [7] 新疆自治区统计局. 新疆维吾尔自治区 2014 年国民经济和社会发展统计公报 [R]. 乌鲁木齐: 新疆自治区统计局, 2014: 8-10.
- [8] 张玉卓. 能源耦合技术破解中国清洁能源产业化发展困局 [N]. 经济参考报, 2013-01-14(A10).