

# 黔西南煤层中铈、铀、钒和锂元素富集与潜在资源评价\*

杨瑞东<sup>1</sup>,程伟<sup>2</sup>,高军波<sup>1</sup>,陈军<sup>1</sup>,陶振鹏<sup>1</sup>,魏怀瑞<sup>1</sup>,沈明联<sup>1</sup>,李士彬<sup>3</sup>

(1. 贵州大学资源与环境工程学院,贵州 贵阳 550025;2. 贵州大学矿业学院,贵州 贵阳 550025;  
3. 贵州省国土资源勘测规划院,贵州 贵阳 550004)

**[摘要]**通过对普安、晴隆一带煤矿主采煤层元素测试分析,发现煤层中U、Li、Nb和V金属元素高度富集,其燃烧后的煤灰中U、Li、Nb和V金属元素基本达到工业品位,表明该区煤矿具有潜在的伴生资源利用前景。

**[关键词]**资源评价;金属元素;煤层;黔西南

**[中图分类号]**P618.79;P619.14 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1000-5943(2017)02-0077-05

煤层独特的还原障和吸附障性能,使其在特定的地质条件下会富集某些元素。黔西南是贵州省重要的产煤区,煤炭资源十分丰富,而且黔西南地处我国最大的低温成矿域,富集Au、Hg、Sb、As、P、Pb-Zn、Ag和Ti等低温成矿元素(胡瑞忠等,2007;Hu and Zhou,2012)。此外,黔西南低温成矿作用时间跨度晚加里东期至燕山期,不仅形成了多元素富集的低温热液矿床,同时也影响了区域地层中的微量元素富集,尤其是对煤层中的金属元素特征产生显著影响(沈明联等,2016)。我们课题组近年来对黔西南主要煤矿进行调查研究,发现普安、晴隆一带煤层中富集Li、Ge、Ga、U、Nb、V等金属元素(Yang et al.,2011;程伟,2015;陶振鹏等,2017)。本文主要介绍普安、晴隆煤层中的伴生元素含量,并初步对铈、铀、钒、锂等进行资源潜力评价,认为该区域煤层中具有较好的伴生资源前景。

## 1 地质背景

普安、晴隆煤矿区位于贵州省西南部,处于我国主要的黔西南低温热液成矿域。研究区煤系地层主要为上二叠统地层,与区内金、锑、汞等矿床赋矿层位和热液蚀变地层大体一致,例如在晴隆锑矿床范围内,位于锑矿体顶部的龙潭组含煤碎屑岩存在强烈的硅质蚀变。此外,在中晚二叠世,

峨眉地幔柱活动引发大规模的峨眉山玄武岩喷发,在研究区沉积了大量的(拉斑)玄武岩、火山角砾岩和凝灰岩组成。上二叠统龙潭组为黔西南主要的含煤岩系组,区域厚度变化于230 m~452 m,由北西向南东逐渐变薄,沉积环境属于三角洲—潮坪沉积体系、海陆过渡相沉积。本次样品取自普安、晴隆一带的主要产煤区(图1)。



图1 采样点位置图

Fig. 1 The sampling locations in Puan and Qinglong coalfield, Southwestern Guizhou, China

## 2 样品采集与测试

本次研究煤样来自普安宏发煤矿17号、26号煤层以及晴隆沙子镇煤矿22号煤层和全力煤矿19号煤层,以井口运输皮带或采煤硐口的原煤为主,样品新鲜无风化,每件样品的平均重量为3

[收稿日期]2017-04-10

[基金项目]贵州省国土厅公益性、基础性项目和贵州大学学科建设项目的成果。

[作者简介]杨瑞东(1963—),男,云南大理人,博士、教授、博士生导师,从事沉积矿床研究工作。

kg ~ 5 kg。运用 ICP-MS、ICP-AES 对煤及煤灰进行微量、稀土元素含量测试,其中煤灰样是通过缓慢灰分法制得,即在马弗炉中先缓慢升温至 500℃,然后在此温度下恒温燃烧 4h 后冷却所得。

### 3 煤及煤灰中主要伴生元素含量及富集特征

普安、晴隆煤矿区主采煤层中伴生元素的含量及其与贵州煤、中国煤及地壳克拉克值进行比较(表 1),计算煤中各元素的富集系数(Dai *et al.*, 2012; 刘汇东等, 2015; 沈明联等, 2016)。从

表 1 可知,普安、晴隆煤层中伴生元素含量分布有以下特点:

普安、晴隆煤矿各主采煤层明显富集 Li、Sc、V、Cr、Co、Ge、As、Nb、Mo、W 和 U 等元素,其中 Li、V、Ge、Nb、Mo 和 U 等伴生元素的含量接近或高于贵州煤、中国煤的均值含量,具有富集特征,其中 Li、Ge、Ag、As、Mo、W 和 U 等元素的富集系数均大于 5,为强富集元素,而 Mo、U、As 的富集系数达到 20 以上,其中 Mo 元素的 EF 值最高,为 95.84,表明其在煤中异常富集。此外,伴生元素含量在不同煤层中的分布具有不均匀性,表现为 17 号和 22 号煤层中伴生元素含量较高,元素更富集。

表 1 普安、晴隆一带主采煤层中主要伴生元素的含量及其富集特征(μg/g)

Table 1 Concentrations of some elements in mineable coals from Pu'an and Qinglong, Guizhou Province

样品编号	Li	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Ga	Ge	
普	HFC17-1	54.55	14.00	208.00	76.00	35.00	46.00	75.00	23.82	8.054
	HFC17-2	33.49	9.00	85.00	24.00	6.00	10.00	22.00	6.33	1.236
安	HFC26-1	13.57	2.00	54.00	20.00	1.00	7.00	12.00	2.95	6.68
	HFC26-2	34.10	8.00	199.00	49.00	27.00	47.00	82.00	10.00	2.71
晴	QLC19-1	41.88	7.00	457.00	214.00	16.00	91.00	95.00	5.89	2.04
	QLC19-2	26.65	3.00	32.00	17.00	1.00	4.00	10.00	9.00	0.96
隆	SZC22-1	65.41	3.00	272.00	25.00	0.63	8.00	13.00	5.84	0.58
	SZC22-2	122.00	12.00	180.00	47.00	23.00	29.00	101.00	19.91	4.064
矿区/μg·g <sup>-1</sup>	48.96	7.25	185.88	59.00	13.70	30.25	51.25	10.47	3.29	
贵州煤/μg·g <sup>-1</sup>	49.81	6.80	123.42	31.91	13.59	36.74	61.12	13.05	nd	
中国煤/μg·g <sup>-1</sup>	31.80	4.72	34.97	15.35	7.07	13.72	18.40	2.96	2.96	
地壳丰度/μg·g <sup>-1</sup>	20.00	22	135.00	100.00	25.00	75.00	55.00	15.00	1.60	
富集系数 EF	7.43	1.00	4.18	1.79	1.66	1.22	2.83	2.12	6.24	
样品编号	Ag	As	Zr	Nb	Mo	Pb	W	Th	U	
普	HFC17-1	0.84	30.00	309.47	48.48	30.00	14.00	8.76	20.00	20.00
	HFC17-2	0.34	7.28	106.84	18.02	8.00	9.00	6.38	7.93	5.00
安	HFC26-1	0.05	8.00	27.03	3.55	31.00	4.23	3.87	1.18	10.00
	HFC26-2	0.13	15.44	64.75	7.86	74.00	18.00	1.13	2.21	50.00
晴	QLC19-1	0.14	14.00	55.16	6.19	164.00	8.00	2.08	2.01	140.00
	QLC19-2	0.21	19.39	112.24	4.68	6.00	2.00	3.01	4.36	10.00
隆	SZC22-1	0.22	8.21	83.73	10.84	55.00	3.00	2.19	3.22	20.00
	SZC22-2	0.70	12.00	305.21	42.86	11.00	7.00	9.30	10.94	10.00
研究区/μg·g <sup>-1</sup>	0.33	14.29	133.05	17.81	47.38	8.15	4.59	6.48	33.13	
贵州煤/μg·g <sup>-1</sup>	nd	3.90	223.96	14.34	8.24	14.73	0.93	6.52	13.65	
中国煤/μg·g <sup>-1</sup>	nd	3.79	67.00	9.47	3.19	15.41	1.04	5.84	2.41	
地壳丰度/μg·g <sup>-1</sup>	0.08	1.80	165.00	20.00	1.50	12.50	1.50	9.60	2.70	
富集系数 EF	12.47	24.09	2.45	2.70	95.84	1.98	9.28	2.05	37.23	

注:贵州煤均值据陶振鹏等, 2017; 中国煤均值据唐修义等, 2004; 地壳丰度据黎彤, 1976。

值得注意的是,由于煤具有很高的固定碳含量,燃烧后粉煤灰中上述元素更加富集,它们的含量将达到或接近工业利用要求。晴隆、普安煤层

中 Li、V、Nb、Zr、Mo 和 U 等含量较高(表 1),同理,在普安、晴隆主采煤层煤灰中伴生元素含量较煤中明显得到进一步的富集(表 2),特别是 Li(98

$\mu\text{g/g} \sim 798 \mu\text{g/g}$ )、V ( $287 \sim 1\ 850 \mu\text{g/g}$ )、Nb ( $53.9 \sim 1\ 530 \mu\text{g/g}$ ) 和 U ( $31.6 \sim 796 \mu\text{g/g}$ ) 等 ( $17.6 \sim 158.2 \mu\text{g/g}$ )、Zr ( $134 \sim 1\ 010 \mu\text{g/g}$ )、Mo 元素在煤灰中超常富集。

表 2 普安、晴隆一带煤层的煤灰中主要伴生元素含量分布( $\mu\text{g/g}$ )

Table 2 Concentrations of some elements in the coal ash from Pu'an and Qinglong, Guizhou Province

样品号		Li	Be	V	Cr	Co	Ni	Cu	Ga	Ge
普	HFC17-1	98.00	3.05	360.00	119.00	73.70	96.60	153.00	42.80	3.25
	HFC17-2	294.00	12.20	603.00	184.00	40.70	52.60	128.00	55.60	3.32
安	HFC26-1	67.30	9.25	287.00	65.80	12.80	48.10	61.50	14.60	3.71
	HFC26-2	464.00	12.50	739.00	153.00	82.40	78.00	265.00	63.90	3.46
晴隆	QLC19-1	495.00	7.57	1850.00	371.00	176.00	527.00	488.00	69.70	6.02
	SZC22-1	789.00	11.70	1490.00	184.00	31.30	79.70	117.00	70.40	5.84
	SZC22-2	261.00	5.36	390.00	87.20	79.90	88.10	234.00	42.60	2.24

样品号		As	Zr	Nb	Mo	Ag	Pb	W	Th	U
普	HFC17-1	31.00	556.00	87.10	53.90	1.51	37.50	33.70	23.30	55.10
	HFC17-2	17.40	938.00	158.20	56.60	2.96	69.60	56.00	69.60	69.10
安	HFC26-1	7.85	134.00	17.60	108.00	0.26	24.40	19.20	5.84	68.40
	HFC26-2	7.75	881.00	107.00	119.00	1.79	100.00	15.40	30.00	222.00
晴隆	QLC19-1	15.90	652.00	73.20	1530.00	1.62	170.00	24.60	23.70	796.00
	SZC22-1	5.38	1010.00	130.70	401.00	2.69	63.10	26.40	38.90	247.00
	SZC22-2	6.48	653.00	91.70	57.80	1.50	32.60	19.90	23.40	31.60

## 4 煤主要伴生金属元素资源评价

由表 1 和表 2 可看出,普安、晴隆一带煤层中 Li、V、Nb、Zr、Ag 和 U 等有益伴生金属元素均出

现不同程度富集,部分出现异常富集。据此,分别统计各煤矿原煤和煤灰中 Li、V、Nb、Zr、Ag、U 等伴生元素的含量,换算成相应含矿品位,并与各矿种的边界品位和最低工业品位对比(表 3),探讨其综合利用价值。

表 3 普安、晴隆各煤矿煤及煤灰中伴生金属元素均值含量及其与相应边界品位和最低工业品位对比(%)

Table 3 Concentration of some elements in coal and coal ash and comparison with their marginal and the lowest industrial grade in the main coal mines from Pu'an and Qinglong, Guizhou Province

		Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Li <sub>2</sub> O	Ag	U	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
边界品位	风化壳类型	0.008-0.001	风化壳类型	0.3	花岗伟晶岩类矿床	0.4-0.6	0.004-0.005	0.03
	河流类砂矿型	0.004-0.006	滨海砂矿型	0.04-0.06	碱性长石花岗岩类矿床	0.5-0.7		0.1-0.5
最低工业品位	风化壳类型	0.016-0.02	风化壳类型	0.8	花岗伟晶岩类矿床	0.8-1.1	0.008-0.01	0.05
	河流类砂矿型	0.01-0.012	滨海砂矿型	0.16-0.24	碱性长石花岗岩类矿床	0.9-1.2		
普安宏发煤矿	原煤 Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.001 9	ZrO <sub>2</sub>	0.012 7	0.003 4	0.000 03	0.002 1	0.013 6
	煤灰 Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.013 2	ZrO <sub>2</sub>	0.084 8	0.049 5	0.000 2	0.010 3	0.088 7
晴隆沙子镇煤矿	原煤 Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.002 7	ZrO <sub>2</sub>	0.019 4	0.009 4	0.000 05	0.001 5	0.022 6
	煤灰 Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.015 9	ZrO <sub>2</sub>	0.112 3	0.112 5	0.000 2	0.013 9	0.167 7
晴隆全力煤矿	原煤 Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.000 6	ZrO <sub>2</sub>	0.005 5	0.004 2	0.000 01	0.014 0	0.045 7
	煤灰 Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.010 5	ZrO <sub>2</sub>	0.088 1	0.106 1	0.000 2	0.079 6	0.330 1

从表3看出,普安、晴隆一带各煤层的原煤U、Li、Nb和V等伴生金属元素的含量均低于边界品位,但煤灰中 $Nb_2O_5$ 的含量最高达到0.0159%,最低为0.0105%,均超过风化壳类型和河流类砂矿型的边界品位以及河流类砂矿型的最低工业品位。 $ZrO_2$ 含量亦都超过了滨海砂矿型的边界品位,最高可达0.1124%。全力煤矿U元素含量达

到0.0796%,超过了铀矿的最低工业品位, $V_2O_5$ 的含量超过或接近钒矿的边界品位,最高可达0.3301%。Li、Ag等元素的含量相对较低,均未达到相应边界品位,但具有较高的含量。结合各煤矿的煤炭储量,估算得出了U、Li、Nb和V等元素的含量(表4)。

表4 煤中U、 $Li_2O$ 、 $Nb_2O_5$ 及 $V_2O_5$ 的含量估算  
Table 4 Resource reserves of U、 $Li_2O$ 、 $Nb_2O_5$  and  $V_2O_5$

煤矿	煤炭储量/万吨	元素及氧化物	品位/%	含量/吨
普安 宏发 煤矿	841	U	0.0021	178.71
		$Li_2O$	0.0034	285.35
		$Nb_2O_5$	0.0019	163.83
		$V_2O_5$	0.0137	1147.96
晴隆 沙子镇 煤矿	4059	U	0.0015	608.85
		$Li_2O$	0.0094	3803.68
		$Nb_2O_5$	0.0027	1089.84
		$V_2O_5$	0.0226	9173.34
晴隆 全力 煤矿	2035	U	0.014	2849.00
		$Li_2O$	0.0042	852.25
		$Nb_2O_5$	0.0006	125.96
		$V_2O_5$	0.0457	9299.95

根据表4的计算结果,普安、晴隆矿区原煤中异常富集的元素如U、Li、Nb和V等的资源总量分别高达3636.56t、4941.28t、1379.63t、19621.25t,其中 $V_2O_5$ 的资源总量最高,接近2万吨。原煤中U、 $Li_2O$ 、 $Nb_2O_5$ 及 $V_2O_5$ 的资源总量也十分可观,可进行开发利用。

综上所述,普安、晴隆一带各煤矿主采煤层煤灰中Nb、Zr、V和U等元素的含量基本达到或超过了边界品位或最低工业品位,考虑到煤炭储量大,从粉煤灰中提取上述元素不仅能节省很多勘探开采成本,也能实现粉煤灰资源的综合利用,理论上已具备进行工业利用的初步条件。另外,尽管Li、Ag等元素的含量未达到相应边界品位,但与贵州、中国煤均值相比,其在煤与煤灰中都相对富集,故有必要对其进行深入研究,探讨其分布与富集规律,随着选矿技术的进步,它们极有可能成为潜在可利用资源。

## 5 煤中主要伴生元素富集成因分析

元素富集特征对比发现,V、Cu、Zr等元素在两者之间呈正相关性,即峨眉山玄武岩中V、Cu、Zr含量较高,同样在普安、晴隆煤中含量也较高。据此推测峨眉山玄武岩的喷发和火山期后热液对普安—晴隆一带的晚二叠世煤中部分微量元素的分布与富集提供部分物质来源。

近些年黔西南低温成矿作用大量的研究证明,从加里东期至晚燕山期存在多期大规模低温热液作用,在形成众多低温热液矿床(锑矿、金矿、萤石、汞矿、铀矿等)的同时,无疑也形成了大面的低温蚀变,如晴隆—普安一带龙潭组底部的硅化。上二叠统龙潭组是贵州西南部的重要含煤岩系,其丰富的有机碳亦对微量元素存在富集作用。普安、晴隆一带煤层中普遍发育大量热液黄铁矿及黄铁矿脉体、方解石脉和大量的节理构造(图2),均表明煤层受到低温热液和构造改造。另外,煤中W、Mo元素的异常富集亦反映发生构造活动和后期低温热液活动。以上特征表明,低温热液作用是普安、晴隆一带煤层中微量元素异常偏高的重要原因。

通过对普安、晴隆地区煤层和峨眉山玄武岩

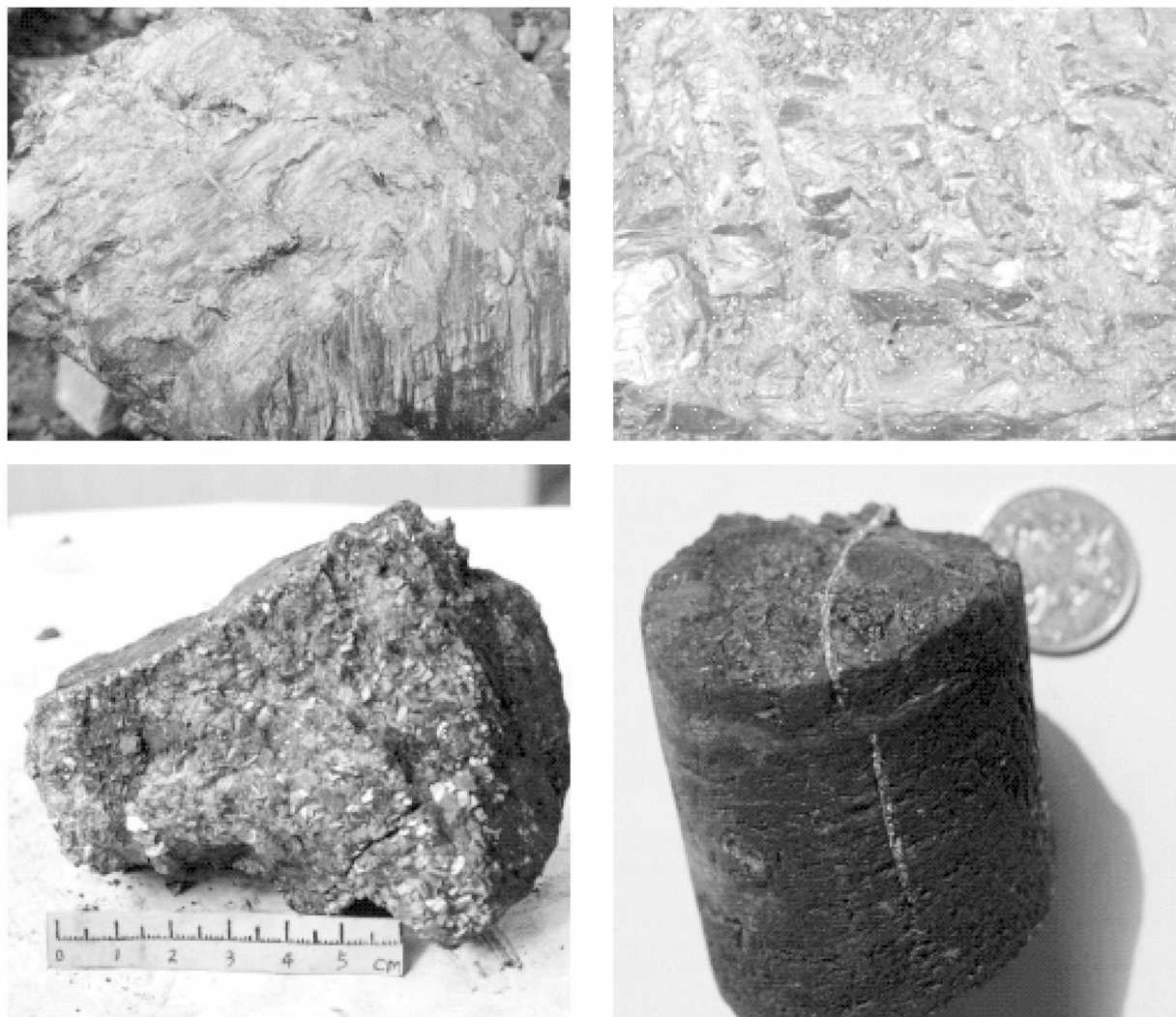


图2 煤层中热液成因方解石脉、黄铁矿晶体(脉)构造节理

Fig. 2 Pyrite crystal and veins in some coal samples collected from Pu'an and Qinglong, Guizhou Province

## 6 结论

(1) 普安、晴隆煤矿煤层中明显富集 Li、Sc、V、Cr、Co、Ge、As、Nb、Mo、W 和 U 等微量元素,其中 Li、Ge、Ag、As、Mo、W 和 U 等元素异常富集。

(2) 普安、晴隆煤矿煤灰中 Li、V、Nb、Zr、Ag 和 U 等有益伴生金属元素均呈现较高程度的富集,而与各自矿种的边界品位和最低工业品位对比,发现煤灰中 Nb、Zr、V 和 U 等元素的含量基本达到或超过了边界品位或最低工业品位,考虑到从粉煤灰中提取上述元素能节省很多勘探开采成本,故理论上已初步具备进行工业利用的条件。

(3) 峨眉山玄武岩风化元素迁移和后期低温热液活动是普安、晴隆煤层 Li、V、Nb、Zr、Ag 和 U

等金属元素富集提供部分物质来源。

### [参考文献]

- 程伟. 六盘水煤田晚二叠世煤中微量元素分布特征、富集规律及洁净潜势研究[D]. 博士学位论文. 贵阳:贵州大学,2013.
- 胡瑞忠,彭建堂,马东升,苏文超,施春华,毕献武,涂光焜. 扬子地块西南缘大面积低温成矿时代[J]. 矿床地质,2007,26(6): 583-596.
- 黎彤. 化学元素的地球丰度[J]. 地球化学,1976,5(3): 167-174.
- 刘江东,田和明,邹建华. 粉煤灰中稀有金属镓-铌-稀土的联合提取[J]. 科技导报,2015,11:39-43.
- 沈明联,杨瑞东,朱亚光,等. 贵州西部煤矸石中微量元素成矿潜力及富集影响因素分析[J]. 煤炭工程,2016,48(9):39-42.
- 陶振鹏,杨瑞东,程伟. 贵州普安—晴隆矿区晚二叠世煤及煤灰中伴生元素、稀土元素的含量分布及富集特征研究[J]. 煤田地质与勘探,2017,45(2):待刊.

neous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 143:602-622.

Hoskin P W O and Ireland T R. 2000. Rare earth element chemistry of zircon and its use as a provenance indicator. *Geology*, 7:627-630.

Li H B, Zhang Z C, Santosh M, Lu L, Han L, Liu W and Cheng Z G. 2016. Late Permian basalts in the northwestern margin of the Emeishan Large Igneous Province: Implications for the origin of the Songpan

-Ganzi terrane. *Lithos*, 256-257:75-87.

Ludwig K R. 2003. User's Manual for Isoplot 3. 0; A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Special publicationed Berkeley Geochronology Center. 1-71.

Liu Y S, Hu Z C and Gao S, 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard. *Chemical Geology*, 257(1-2):34-43.

## Zircon U-Pb Dating and Its significance of Intermediate Intrusive Rocks Within the Basic Sill in Luodian Nephrite Deposit, Guizhou province

HUANG Yong<sup>1,2</sup>, CHEN Neng-song<sup>1</sup>, DAI Chuan-gu<sup>2</sup>, HAN Ying-ping<sup>2</sup>,  
BAI Long<sup>2</sup>, DENG Xiao-jie<sup>2</sup>

(1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China;  
2. Geological Surveying Academy of Guizhou Province, Guiyang 550081, Guizhou, China)

[Abstract] No Paleozoic intermediate-acid intrusive rocks have been reported in Guizhou province in the past years. Recent work of the authors indentified some intermediate-acid dykes or porkets in Luodian nephrite deposit, southern Guizhou. U-Pb dating on zircons from one of the monzonitic diorites yielded 255.2±3.1 Ma, indicating the dyke formed in late Wujiaping period of the Late Permian. This age is consistent with the emplacement ages of the Luodian diabase and Emeishan Large Igneous Province, and therefore, suggests that the intermediate-acid intrusive rocks jointly formed in an extensional tectonic environment. The Intermediate-acid intrusive rocks might produc via differentiation crystallization of the basic magma.

[Key words] Intermediate-acid intrusive rocks; LA-ICP-MS zircon U-Pb dating; Luodian nephrite deposit; Guizhou province

(上接第 81 页)

## U, Li, Nb and V Element Enrichment of Coal Seams and Potential Resource Evaluation in Southwest Guizhou

YANG Rui-dong<sup>1</sup>, CHENG Wei<sup>2</sup>, GAO Jun-bo<sup>1</sup>, CHEN Jun<sup>1</sup>, TAO Zheng-peng<sup>1</sup>,  
WEI Huan-rui<sup>1</sup>, SHEN Ming-lian<sup>1</sup>, LI Shi-bin<sup>3</sup>

(1. College of Resources and Environmental Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025;  
2. Miner College, Guizhou University, Guiyang 550025;  
3. Guizhou Province Land and Resources Surveying, Guiyang 550004)

[Abstract] U, Li, Nb and V element enrichment of coal seam was fund by analysis element contents of main coal seam from Pu'an and Qinglong County, southwest Guizhou. The concentration of U, Li, Nb and V is to industrial grade in the coal ash. Therefore, we put forward to the coal has potential associated resource and utilization prospects in the region.

[Key words] Resource evaluation; Element enrichment; Coal seam; Southwest Guizhou