

Distribution Characteristics and Influence Factors of Trace Elements in Western Guizhou Permian Coal Measure Strata

Ling Liu¹, Xi Xie¹, Huairui Wei²

¹Institute of Geology and Mineral Resources Exploration of Guizhou Non-Ferrous Metals and Nuclear Industry Geological Exploration Bureau, Guiyang Guizhou

²Guizhou University, Guiyang Guizhou

Email: 71313369@qq.com

Received: May 25th, 2015; accepted: Jun. 10th, 2015; published: Jun. 17th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

Abstract

Guizhou has abundant coal resources, but little research has been done on the element geochemistry of coal measure strata in Guizhou Province, and the effective utilization of coal resources in Guizhou is a serious defect. Based on element geochemical studies of the main Permian exploitable coal measure strata in western Guizhou, the element geochemical distribution characteristics of the different coal seam and different mining area have been revealed, contrasting with the trace element content in Dafang, Hezhang, etc. The element contents are mainly affected by terrestrial material supply. Coal measures formed in the delta plain environment where sufficient terrestrial materials are supplied contain relatively abundant trace elements, whereas those formed in the tidal-flat environment influenced greatly by seawater have relatively low contents of trace elements, mainly controlled by the geological fact that basalts—the parent rocks of source regions contain high trace elements. The content of Tl and Pb in coal seam is higher, and it is the result of the late hydrothermal activity and the effect of the fracture structure.

Keywords

Trace Element, Sedimentary Environment, Major Exploitable Coal Measure, Permian, Western Guizhou

贵州省黔西县二叠系龙潭组主采煤层微量元素分布特征及制约因素探讨

刘玲¹, 谢樾¹, 魏怀瑞²

¹贵州省有色金属和核工业地质勘查局地质矿产勘查院, 贵州 贵阳

²贵州大学, 贵州 贵阳

Email: 71313369@qq.com

收稿日期: 2015年5月25日; 录用日期: 2015年6月10日; 发布日期: 2015年6月17日

摘要

黔西县是贵州主要的产煤县之一, 煤炭资源丰富, 煤层主要产于二叠系上统龙潭组(P₃l)地层中, 属于织纳煤田。通过对主要矿区主采煤层系统取样分析, 研究了不同煤层、不同矿区微量元素空间分布特征; 与相邻的大方、赫章等区域煤层中微量元素含量对比发现, 在陆源供给多的三角洲平原环境形成的煤层中微量元素含量相对高, 在受海水影响较大的潮坪环境煤层中微量元素相对含量低, 揭示了研究区陆源物质供给母岩——玄武岩具有较高的微量元素地球化学背景是其主要制约因素。个别煤层中有害元素Pb、Tl等含量高, 是后期热液活动和断裂构造影响的结果。

关键词

微量元素, 沉积环境, 主采煤层, 二叠系龙潭组, 贵州省黔西县

1. 引言

贵州素有“江南煤海”之誉, 已探明煤炭资源储量约 542 亿 t [1], 列全国第五, 是中国重要的煤炭生产基地。黔西县位于贵州西部的织纳煤田内, 煤炭资源储量大, 质量好, 煤炭开发是县域经济发展的重要支柱, 但煤层中元素地球化学分布规律研究程度低, 成煤环境与微量元素的富集、贫化机理不清, 是否能合理利用煤炭中稀有、有益元素无科学资料支撑, 相关方面的研究严重滞后。在实施“西电东送”的煤转电工程中, 大量的粉煤灰形成, 为煤层中稀有元素综合利用研究创造了条件, 同时, 对整个贵州全省煤炭资源的合理利用、环境保护、煤炭中潜在的共伴生资源开发具有重要的理论及示范指导意义。

2. 黔西地区二叠系含煤地层特征

贵州主要含煤地层为上二叠统, 形成时代为晚二叠世, 自东向西因沉积环境不同分为吴家坪组(海相沉积)、龙潭组(海陆交互相沉积)和宣威组(陆相沉积)。黔西地区大地构造单元位于上扬子地台南缘被动边缘褶皱冲带的黔中隆起区, 含煤地层为海陆交互相和三角洲相沉积龙潭组(P₃l), 由泥岩、炭质泥岩、粉砂岩、岩屑砂岩及煤层等组成[2], 厚度 67.4~264 m, 与上覆下三叠统飞仙关组呈整合接触, 与下伏峨眉山玄武岩组呈假整合接触。根据其含煤特征、岩性组合, 以标三项为界龙潭组可划分上下两段。上段(P₂l²)以细砂岩、粉砂岩为主, 含煤 6~19 层, 可采煤层较多(M2、M4、M5、M6、M7、M9), 且稳定性较好, 煤层结构较单一, 一般不夹矸, 厚度 37~131 m。下段(P₂l¹)以深灰色粉砂岩、泥岩为主夹煤线和煤层, 含

大量黄铁矿, 由上而下逐渐增多。其含煤性较上段差, 可采煤层数较少(M12、M13、M14、M15 局部可采), 且稳定性较差, 煤层结构一般较复杂, 厚度 31~128 m(图 1)。

3. 微量元素分布规律

通过对贵州西部大方、黔西等地主采煤层取样, 在中国科学院地球化学研究所进行碎样加工, 并在 ICP-MS 上分析测试微量元素, 获得主采煤层中微量元素分布情况。笔者以黔西矿区中相对富集的元素 Tl、B、Th、Pb、Hg、Ge、As、F、Sb、Se 及 Ga、Sc、V、U 为重点研究对象, 对黔西矿区可采煤层 4 号、5 号、6 号、7 号及 9 号煤层中有益元素和有害元素进行研究, 了解上述元素在黔西县中部、东部、西北部分布情况。

3.1. 微量元素在不同煤层间的垂向分布特征

由图 1 可知, 5、6 及 7 号煤层中 As 含量大小相当, 在 0.25~0.47 $\mu\text{g/g}$ 之间, 变化不大。9 号煤层中 As 含量在 0.26~20.629 $\mu\text{g/g}$ 之间, 变化幅度较大, 主要是南部龙场荣辉煤矿(M9-5)样品含量达 20.629 $\mu\text{g/g}$ 。F 元素含量变化不大, 在 217 $\mu\text{g/g}$ ~259 $\mu\text{g/g}$ 之间。7 号煤层中 B 及 Hg 元素含量稍高于 9 号煤层。

4 号煤层及 9 号煤层中均出现局部 Pb 含量异常高(M4-5、M9-6、M9-7)。一般认为, 煤中异常高含量的有害元素与断裂带运移的热液及挥发物质有关[3]。研究区南部、东部发育断裂带, 且 9 号煤层中含大量黄铜矿, 这可能是煤受到低温热液作用的影响。与张军营[4]对黔西南断陷区晚二叠世煤的研究以及程伟[5]对毕节地区晚二叠世煤的研究是一致的, 认为黔西南煤中有害元素的富集主要受大断裂及其衍生的断裂所控制, 多期次的低温热液流体成为有害元素的主要载体, 通过断裂带进入煤层。4 号煤层中 Tl 元素含量在 0.023~0.7 $\mu\text{g/g}$ 之间, 变化幅度较大, Tl 元素在 5、6、及 7 号煤层中含量在 0.5~1.4 $\mu\text{g/g}$ 之间, 变化不大

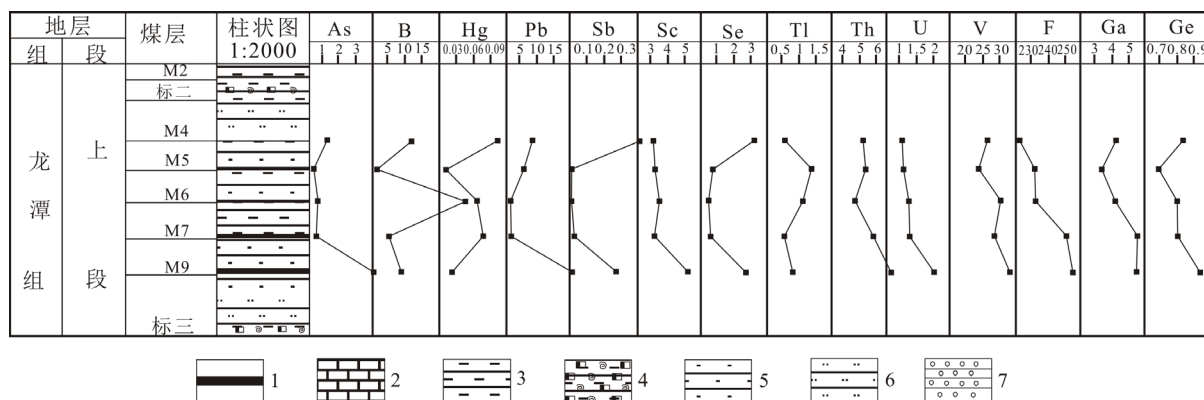
大关一带 9 号煤底板中含有大量黄铜矿, 9 号煤层煤矸石中含有大量方解石脉, 这说明在 9 号煤层形成中有热液活动的参与, 从而造成了煤中有害元素(Pb、Tl 等)的异常高。Th 在煤层中的浓度一般在 3.02~12.6 $\mu\text{g/g}$ 之间, U 在 0.992~6.887 $\mu\text{g/g}$ 之间变化。Th、U 元素在矿区的浓度分布规律性明显。

从图 2 可以得出研究区不同煤层中 As、Pb、Sc、Th、U、V、F 元素在底部煤层(9 号煤)中相对富集; As 在 4 号及 9 号煤层中含量相对较高, 9 号煤层中含量最高为 4.02 $\mu\text{g/g}$, 在 5、6、7 号煤层中含量较低; Pb 在 4 号、5 号及 9 号煤层中含量较高, 在 9 号煤中高达 20.784 $\mu\text{g/g}$, 在 6 号及 7 号煤层中含量低; Sc、Th、U、V、F 在 4、5、6、7、9 号煤层中含量相差不大, F 在 9 号煤层中含量最高达 256.93 $\mu\text{g/g}$ 。9 号煤层总体含量较低, 但是由于煤样 9-1, 9-7 具有较高的含量, 使整体平均后含量显著增加。9-7 具有非常高的 As, 其与红林煤矿处于断裂附近有关。通过这一研究表明, 贵州高 As 煤往往是后期热液改造造成的。

由图 3 得出, B 在 4、6、9 号煤中含量较高, 在 5 号煤层中含量相对较低; Hg 在 4 号、6 号、7 号煤中含量较高, 在 5 号及 9 号煤层中含量低; Sb 在 4 号、9 号煤中含量较高, 在 5 号及 6 号煤层中含量很低; Se 在 4 号及 9 号煤中含量较高, 在 5 号、6 号、7 号煤层中含量相当。

3.2. 微量元素在矿区横向分布特征

As 元素在 4 号煤层中含量在 1.02~6.714 $\mu\text{g/g}$ 之间, 变化范围较大。中部谷里一带含量较低, 东部含量最高, 西北部次之。9 号煤层中 As 含量南部最高, 西北部次之, 东部最小。整体上 As 元素在黔西南部最高(平均 11.154 $\mu\text{g/g}$)(图 4), 西北次之(平均 3.986 $\mu\text{g/g}$), 中部(平均 0.945 $\mu\text{g/g}$)及东部(平均 1.928 $\mu\text{g/g}$)低。



1-煤层, 2-灰岩, 3-泥岩, 4-泥岩夹动物化石, 5-细砂岩, 6-粉砂岩

Figure 1. Sedimentary sequence in Late Permian coal-bearing strata of Qianxi Coal mine, and vertical variability curve of sulphur content in coal

图 1. 黔西地区晚二叠世龙潭组含煤地层柱状示意及煤中微量元素纵向变化曲线

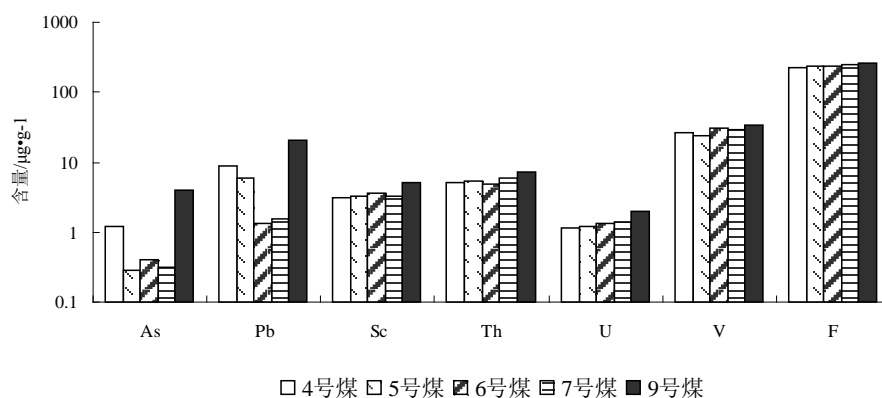


Figure 2. The distribution of As, Pb, Sc, Th, U, V, F content in different coal seam

图 2. As、Pb、Sc、Th、U、V、F 在不同煤层中的分布

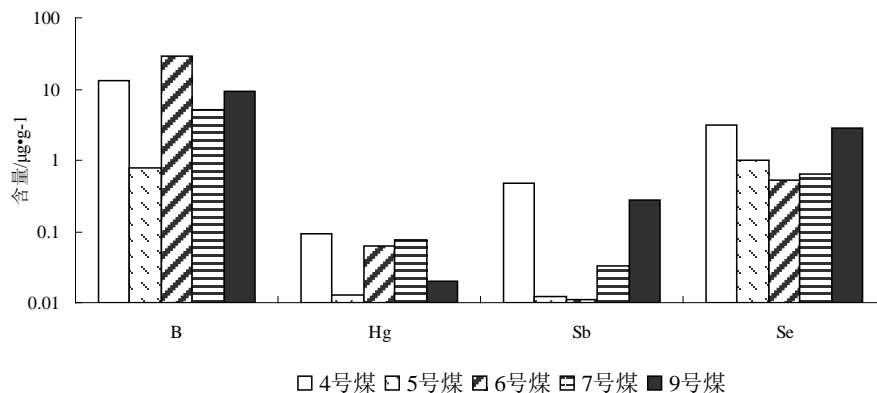


Figure 3. The distribution of B, Hg, Sb, Se content in different coal seam

图 3. B、Hg、Sb、Se 在不同煤层中的分布

F 元素在黔西中部、东部及西北部变化不大(图 4), Hg 元素含量由中部、东部向西北部呈现下降趋势。B 元素矿区中中部谷里一带含量高, 西北部金坡一带次之, 东部含量最低。黔西矿区中 Pb、Sb 含量变化趋势基本相似, 呈现中部→东部→西北部→南部逐渐增大(图 5)。

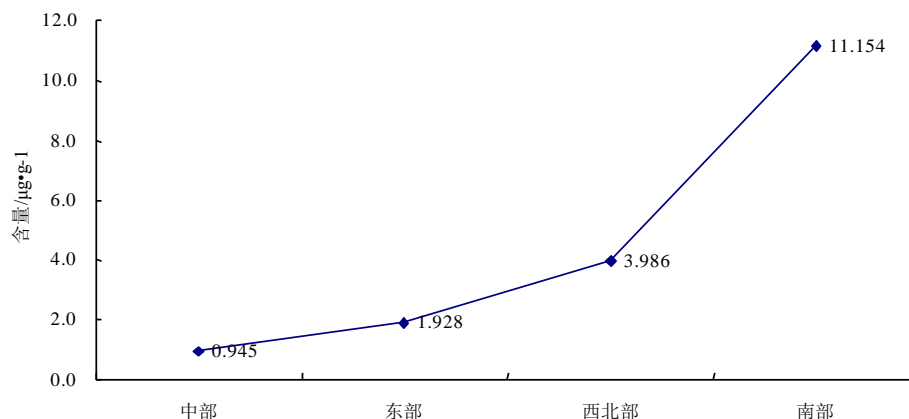


Figure 4. The content of As in coal seam No. 9 of the Qianxi Coal Filed

图 4. 9 号煤层中 As 在矿区中的分布

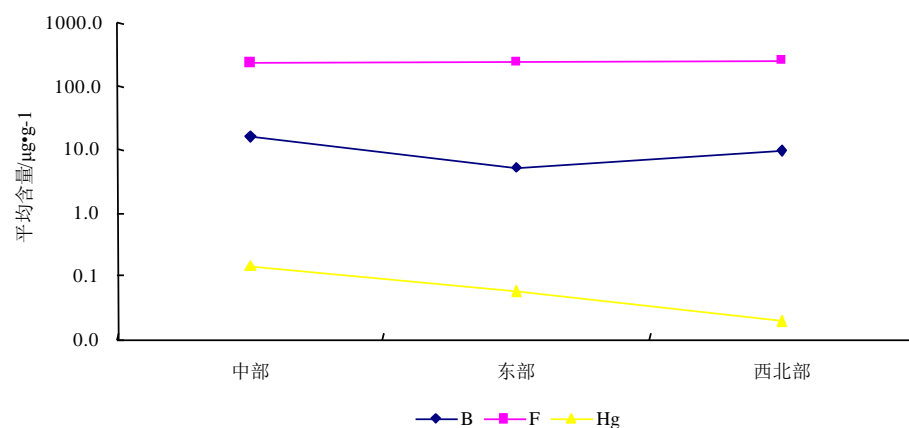


Figure 5. The content of B, F, Hg in Qianxi Coal Filed

图 5. B、F、Hg 在黔西矿区中的分布

煤层中 Pb 变化趋势大体一致，即从煤田东部向南部及西北部呈现变大的趋势。Sb 元素含量呈现南部高，东部和西北部低。总体上，黔西矿区中 Pb、Sb 含量变化趋势基本相似，呈现中部→东部→西北部→南部逐渐增大(图 6)。

Tl 元素在黔西矿区内的浓度变化有一定的规律性(图 7)，中部谷里红砖、江丰、青龙煤矿含量最高，东部泰来及西北部金坡一带含量较低。Tl 元素在 9 号煤层中在矿区中规律性不明显，西北部红林一带含量最高，东部次之，局部含量较高，M9-7 中含量高达 $1.4 \mu\text{g/g}$ 。Tl 一般属于深部来源，陆壳中 Tl 的丰度仅为 $0.52 \mu\text{g/g}$ [6]，Tl 元素在黔西矿区分布呈现由中部→东部→西北部→南部含量依次降低(图 7) Tl 元素表现出这种变化趋势，可能与后期改造热流体具有低含量的 Tl 有关，结果煤层受到热流体改造后，含量降低。

Th、U 元素在矿区中含量变化大，Th、U 元素在矿区的浓度分布规律性明显，同一煤层中变化规律相似，4 号煤层中由谷里红砖矿井→谷里江丰→谷里青龙及东部泰来→西北部金坡一带，呈现含量降低→相等→升高的趋势。9 号煤层中 Th、U 在雨朵龙场一带含量较高，Th 元素含量为 $13.4 \mu\text{g/g}$ ，U 元素含量为 $6.887 \mu\text{g/g}$ ；在东部协和、泰来、大关阳河及西北部金坡含量相当。在黔西矿区中 Th、U 元素浓度变化由中部→东部→西北部→南部呈现逐渐变大的趋势(图 8)。

Sc 元素在矿区的含量变化小，一般在 $1.62\sim 6.29 \mu\text{g/g}$ 之间。V 元素含量在矿区中的变化较大，含量在 $15.8\sim 74.9 \mu\text{g/g}$ 之间变化，局部较高，如中部谷里红砖矿井中 V 含量达 $74.9 \mu\text{g/g}$ 。Sc、V 元素在矿区

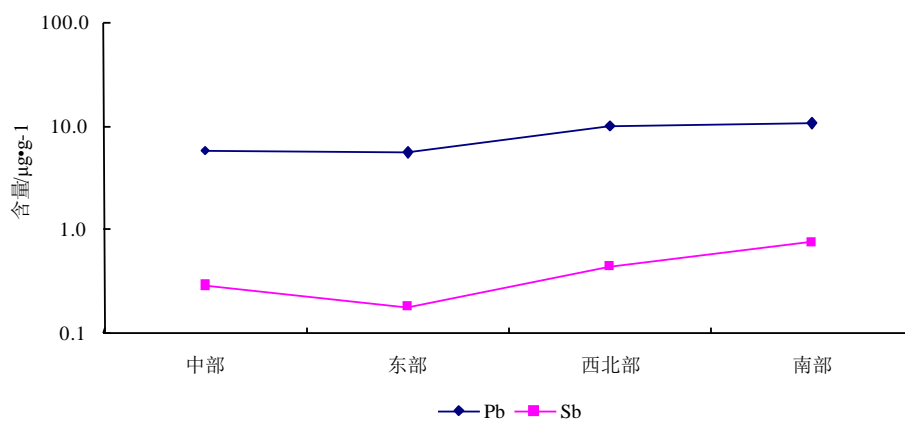


Figure 6. The content of Pb, Sb in Qianxi Coal Filed

图 6. Pb、Sb 在黔西矿区中的分布

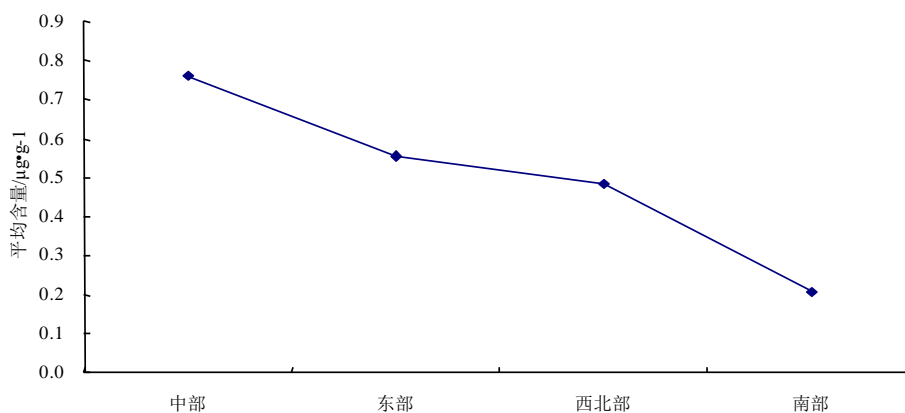


Figure 7. The content of Tl in the Qianxi Coal Filed

图 7. Tl 在黔西矿区中的分布

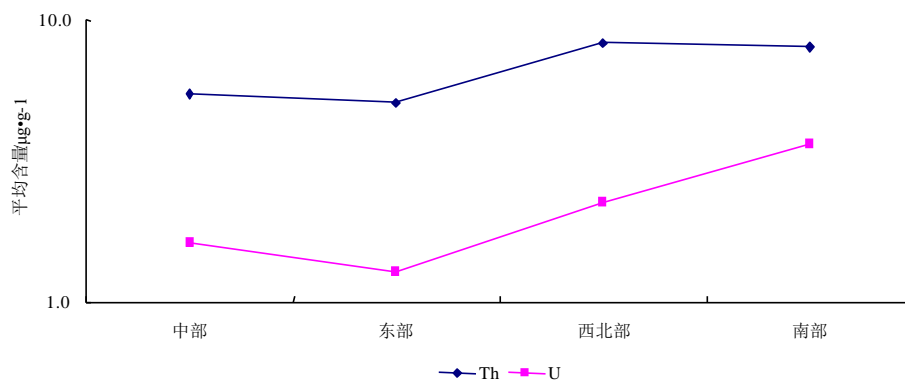


Figure 8. The distribution of Th and U content in Qianxi Coal Filed

图 8. Th、U 在黔西矿区中的分布

的浓度分布规律性明显，4号煤层中 Sc、V 的浓度在中部谷里红砖矿井含量最高(6.29 μg/g, 74.9 μg/g)，从谷里江丰青龙一带至中部泰来及西北部金坡呈现上升趋势；9号煤层中 Sc、V 由东部→南部→西北部红林一带逐渐增大。总体上，Sc 及 V 元素在矿区中分布规律大体一致，由中部→东部→西北部→南部，呈现大→小→大→小的趋势(图 9)。

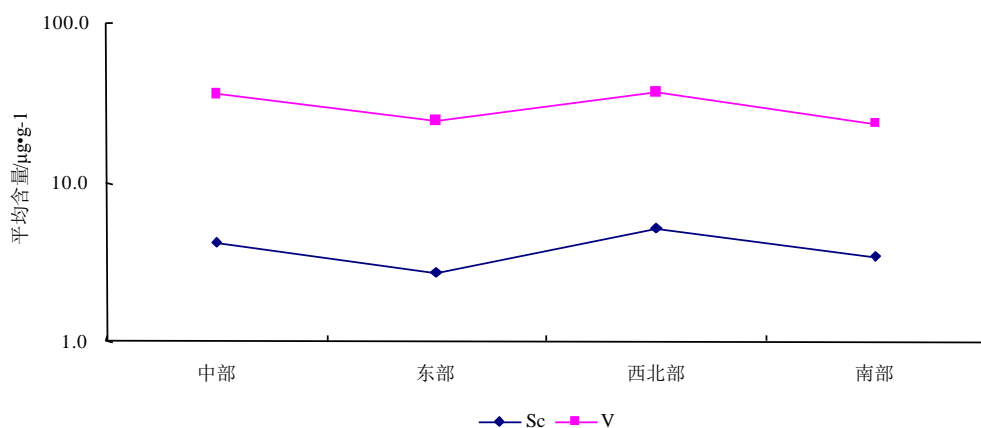


Figure 9. The distribution of Sc and V content in Qianxi Coal Filed
图 9. Sc、V 在黔西矿区中的分布

3.3. 与相邻区对比

通过对贵州纳雍、大方、龙里、天柱、织金、威宁、赫章等地晚二叠世龙潭组 48 件煤样地球化学测试分析。根据各地区的煤层元素含量情况统计其平均值(表 1)，从分析数据可以看到，黔西煤层中 As、Co、Cd、F、Ga、Hg、Ni、Sb、Sn、Sr、Ba、Th、U、V 元素均低于织金、大方、纳雍地区，而 B、Ge、Pb Se 元素含量低于大方地区，高于纳雍地区；黔西地区煤层中 Sc、Tl 元素含量高于织金、大方、纳雍地区。

与威宁 - 赫章一带比较，黔西地区煤中 Ga、Sc、Ba、Th、U 元素含量高于威宁 - 赫章一带；Co、Ni、Pb、Sn、V 元素含量在威宁矿区最高，赫章地区最低；黔西地区 Sr 元素含量低于威宁 - 赫章一带地区(图 10)。黔西地区煤层 As、Co、Cd、F、Ga、Ge、Ni、Pb、Sb、Sc、Sn、Th、U、V 元素含量低于天柱、龙里一带；Pb、Tl 元素在龙里矿区含量最高，黔西地区次之，天柱最低；黔西地区 Ba 元素含量最高。总体上，F、As、Tl、V 等比全国高[3] [7]。

形成上述元素含量的差异主要原因是：1) 贵州龙潭组岩相分区十分明显，自西向东由陆相→海陆交互相→海相。在晚二叠世期间，海相沉积范围随海侵逐渐扩大，由东向西迁移，主要煤层的聚集亦随之向西迁移和抬升，成为典型的海进型成煤[2]。2) 可能是由于威宁 - 赫章一带靠近康滇古陆，受到高富集 Ga、Sc、Ba、Th、U、Co、Ni、Pb、Sn、V 元素的峨眉山玄武岩[8]风化陆源沉积物质影响更大所致。3) 可能是由于后期热液改造引起，如龙里煤中高富集 Pb、Tl 元素表明后期热液改造明显。4) 物源风化母岩区别，如天柱风化母岩是新元古代下江群变质岩，其相对富集 As、Co、Cd、F、Ga、Ge、Ni、Pb、Sb、Sc、Sn、Th、U、V 元素，同时，其属于潮坪沉积环境，形成煤层应该具有高 Sr 含量特征。

4. 微量元素富集成因探讨

陆源区母岩性质决定了泥炭沼泽古土壤中微量元素的含量，在相当的程度上也决定了成煤植物和泥炭沼泽介质中微量元素的数量以及煤中微量元素的含量[3]。贵州西部自中二叠世之后隆起成陆，长期遭受风化剥蚀，晚二叠世大量玄武岩喷溢，之后地壳下沉海水入侵而成为滨海环境。在侵蚀盆地的基础上，接受了一套二叠系海陆交互相含煤沉积——龙潭组。陆源区母岩中微量元素的高含量为煤中微量元素相应的高含量的形成提供了物质基础[9]。贵州晚二叠世含煤盆地以西部康滇古陆的峨眉山玄武岩为母岩，富含 Cr、Ni、Co、Sb、Se 等元素，导致贵州西部煤层中上述微量元素含量也高。

黔西地区煤中微量元素含量显示，南部及中部受海水影响大的潮坪环境中富集微量元素 B、S 等，

Table 1. Comparison of the average concentrations of 20 selected trace elements in coals from Tianzhu, Longli, Weining, Hezhang, Zhijin, Nayong and Dafang areas**表 1.** 研究区可采煤层与省内不同区域煤中 20 种微量元素的含量对比(单位: $\mu\text{g/g}$)

元素	区域 天柱(2件) 最小值~最大值 (平均值)	龙里(2件)	威宁(7件)	赫章(2件)	织金(2件)	纳雍(6件)	大方(10件)	黔西(17件)
As	4.92~8.30 (6.61)	8.67~9.09 (8.88)	n.d.	n.d.	n.d.	0.84~2.37 (1.600)	0.56~8.97 (4.964)	0.25~20.63 (1.285)
B	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.2~5.03 (5.175)	1.02~14.7 (8.870)	0.72~28.7 (7.498)
Co	3.29~8.74 (6.015)	9.74~32 (20.870)	0.6~27.944 (13.869)	0.69~0.83 (0.759)	1.03~14.5 (7.755)	2.21~24.1 (7.990)	3.7~23.6 (11.302)	<1~12.3 (2.768)
Cd	0.25~0.497 (0.375)	0.43~0.6 (0.517)	n.d.	n.d.	n.d.	0.05~0.43 (0.162)	0.02~0.16 (0.240)	0.01~0.29 (0.030)
F	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	193~290 (229.000)	259~341 (298.000)	217~259 (226.259)
Ga	3.44~23.5 (13.470)	12~19.5 (15.750)	1.301~5.72 (2.413)	1.62~3.4 (2.510)	2.06~7.27 (4.668)	2.21~5.75 (4.059)	2.14~12.6 (8.522)	2.34~7.41 (3.320)
Ge	0.749~2.25 (1.500)	2.11~3.51 (2.813)	n.d.	n.d.	n.d.	0.4~1.5 (0.800)	0.61~1.91 (1.227)	0.6~3.02 (0.829)
Hg	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.03~0.21 (0.106)	0.03~0.26 (0.163)	0.01~0.35 (0.060)
Ni	22.4~41.3 (31.850)	17.6~40.6 (29.100)	3.06~45.51 (20.485)	1.9~3.14 (2.522)	3.71~24.4 (14.071)	5.1~16.8 (10.550)	3.79~42.2 (17.149)	1.5~31.3 (5.746)
Pb	2.68~12.48 (7.579)	0.34~38.4 (19.350)	0.99~26.68 (11.898)	2.92~5.31 (4.114)	10.34~1.7 (6.014)	1.2~10.6 (6.127)	3.73~45.4 (17.197)	<1~30.5 (8.913)
Sb	1.18~3.98 (2.577)	0.43~0.57 (0.500)	n.d.	n.d.	n.d.	0.01~0.83 (0.378)	0.01~1.08 (0.416)	0.01~0.86 (0.218)
Sc	2.93~6.57 (4.750)	8.03~14.6 (11.315)	1.084~4.38 (2.095)	1.6~1.8 (1.693)	2.96~5.53 (4.245)	1.46~4.42 (2.639)	1.82~7 (3.393)	1.62~6.92 (3.953)
Se	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.36~1.15 (0.748)	1.46~2.49 (1.750)	0.49~4.33 (1.481)
Sn	1.13~1.25 (1.194)	0.23~0.95 (0.589)	0.3~1.487 (0.685)	0.38~0.79 (0.583)	0.47~1.3 (0.869)	0.3~1.05 (0.531)	0.38~1.6 (0.701)	0.13~0.56 (0.312)
Sr	73.8~78.9 (76.350)	3.51~70 (36.757)	23.198~117.098 (59.494)	65.4~224.77 (145.090)	47.1~71.1 (59.083)	51.2~413 (150.400)	21.7~118 (63.730)	39.40~89.2 (57.985)
Ba	9.98~12.1 (11.040)	0.44~38 (19.218)	8.446~27.84 (13.313)	11.42~19.51 (15.462)	7.61~107.7 (57.655)	11.9~78.8 (48.779)	17.2~110 (49.463)	7.08~163 (31.89)
Tl	0.027~1.12 (0.574)	0.56~1.37 (0.963)	n.d.	n.d.	n.d.	0.4~0.7 (0.550)	0.007~1.7 (0.589)	0.02~1.4 (0.841)
Th	3.94~13.1 (8.520)	~ (8.770)	0.532~4.780 (1.689)	1.31~2.29 (1.799)	2~4.48 (3.239)	2.94~15.8 (5.585)	2.42~8.27 (5.483)	3.02~13.4 (5.034)
U	1.59~21.67 (11.630)	0.34~17.2 (9.077)	0.471~3.494 (1.221)	0.72~0.91 (0.812)	1.28~1.43 (1.357)	0.62~12.1 (2.872)	0.72~5.79 (2.866)	1.04~6.89 (1.261)
V	19.5~246 (132.750)	5.85~12.31 (55.150)	5.532~80.73 (26.470)	9.95~14.66 (12.305)	23.48~142.2 (82.845)	11.9~70.576 (31.046)	16.4~154 (63.291)	15.8~74.9 (22.368)

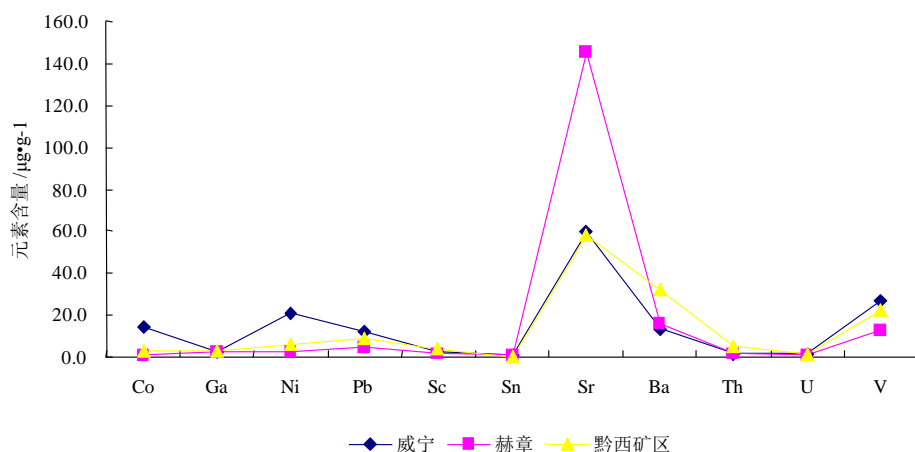


Figure 10. Comparison diagram of trace elements between Qianxi and Weining, Hezhang
图 10. 研究区与威宁、赫章煤层微量元素含量对比图

受海水影响相对较小的西部、西北部三角洲沉积环境的微量元素含量则较低。龙里煤层富集 As、Co、Cd、F、Ga、Ge、Ni、Pb、Sb、Sc、Sn、Th、U、V 元素，一方面其形成环境主要是潮坪环境，另外可能是煤层受到后期热液改造引起。天柱煤层富集 As、Co、Cd、F、Ga、Ge、Ni、Pb、Sb、Sc、Sn、Th、U、V 元素，一方面是其形成于潮坪环境，另外是物源为新元古界浅变质岩有关。贵州二叠系煤层具有较高 F 含量，一般为 193~341 µg/g，平均 251 µg/g (N = 31)，其他微量元素均低。低温热液流体是影响黔西晚二叠世煤中微量元素局部异常富集和赋存状态的主控地质因素[9]-[15]。

依据 Sr/Ba 的环境指示意义，同一地区滨海沼泽相沉积物比陆相沉积物的 Sr/Ba 比值要明显地增高[16][17]，Sr/Ba 比值一般在海相沉积物中大于 1，而在陆相沉积物中小于 1；V/Ni 比值在海相沉积物中大于 3，Th/U 比值在海相沉积物中小于 7，在陆相沉积物中大于 7 [18]。威宁、赫章、织金、纳雍、大方、黔西、龙里、天柱 Sr/Ba 比值分别为 4.47、9.83、1.02、3.08、1.29、1.82、1.91、6.92，均大于 1，说明煤层的形成受海水影响，其中天柱 Sr/Ba 比值远大于 1，V/Ni 比值为 4.17，Th/U 比值为 0.73，远小于 7，S 含量为 6.89%，天柱地区属于海相沉积环境或受海水影响较大的咸水环境，属于典型的潮坪成煤环境；龙里地区与天柱相似。威宁及赫章位于陆相区与潮坪过渡位置，其 Sr/Ba 比值远大于 1，Th/U 比值分别为 1.38、2.22，V/Ni 比值分别为 1.29、4.88，水体为咸水，受海水影响大，属于潮坪沉积作用成煤为主，这与当时该地区岩相古地理相吻合[19][20] (图 11)。织金、纳雍、大方及黔西则反映为海陆交互沉积环境，受海水影响相对较小，属于三角洲成煤环境为主[21][22]。因而，煤中微量元素在天柱、龙里、威宁、赫章相对富集。

煤中元素富集的因素除了陆源碎屑供给及沉积环境以外，低温热液流体是影响黔西晚二叠世煤中微量元素局部异常富集和赋存状态的主控地质因素[5]。一般认为，煤中异常高含量的有害元素与断裂带运移的热液及挥发物质有关[3][23][24]。黔西 M4-1、M9-1 中稀土总量异常，高于母岩稀土含量，M4-1、M9-1 中 Tl、Pb、Sb、As 等含量也出现异常高，这是黔西南部发育穿切含煤岩系的断裂带，低温热液将深部微量元素带入含煤岩系中，从而造成了煤中有害元素(Pb、Tl 等)的异常高含量，其与前人认为黔西南煤中有害元素的富集主要受大断裂及其衍生的断裂所控制，多期次的低温热液流体成为有害元素的主要载体，通过断裂带进入煤层的结果一致[4][25]-[28]。

5. 结论

通过对贵州黔西地区主采煤层中微量元素分布的研究，结合威宁、赫章、织金、纳雍、大方、龙里、

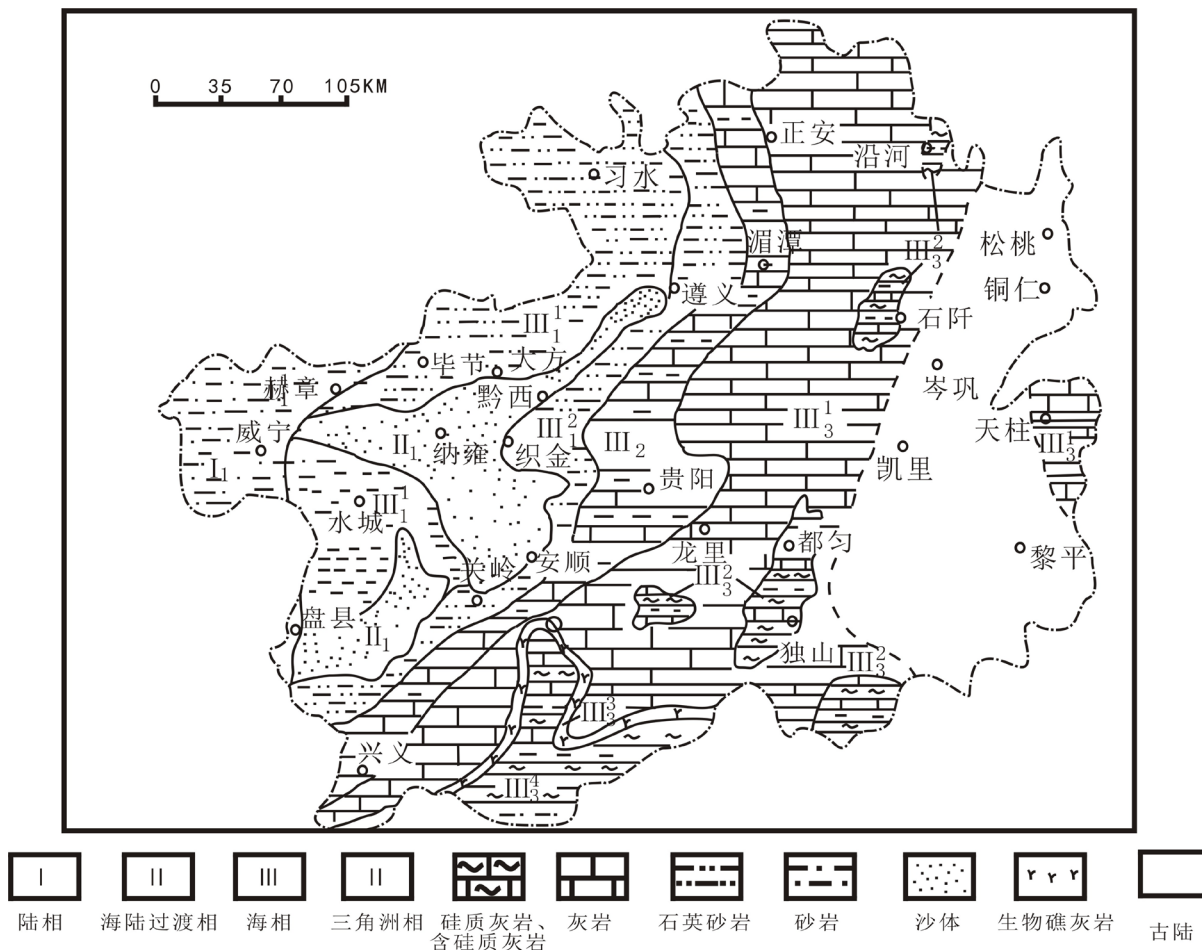


Figure 11. The lithofacies and palaeogeographical map of Longtang Stage, Permian, West Guizhou [19]
 图 11. 贵州西部二叠纪龙潭期岩相古地理图[19]

天柱等地煤层中微量元素分布情况，分析贵州二叠系煤层中微量元素分布的主要控制因素，并利用煤层中微量元素分布探讨成煤环境，获得以下认识：

1) 系统分析了黔西主采煤层的微量元素，认为煤层中微量元素含量主要受控于陆源碎屑供给情况，当时成煤环境陆源碎屑主要是峨眉山玄武岩，其具有高稀土和富集 Cr、Ni、Co、Sb、Se 等元素，直接影响煤层中微量元素的含量，陆源碎屑供给大的三角洲成煤环境，形成的煤层微量元素含量高，陆源碎屑供给少的潮坪成煤环境，形成的煤层微量元素含量低。

2) 贵州二叠系煤层具有较高的 F 含量，一般为 193~341 μg/g，平均 251 μg/g (N = 31)，其他微量元素均低。低温热液流体是影响黔西晚二叠世煤中微量元素局部异常富集和赋存状态的主控地质因素。煤中有害元素的富集主要受大断裂及其衍生的断裂所控制，多期次的低温热液流体成为有害元素的主要载体，通过断裂带进入煤层。因此，断裂带及附近的煤层由于后期热液改造，Tl、Pb、Sb、Zn 含量很高，再利用断裂带附近煤层时应该进行处理，以减少污染。

参考文献 (References)

[1] 贵州省国土资源厅 (2013) 贵州省国土资源公报.
 [2] 徐彬彬, 何明德 (2003) 贵州煤田地质. 中国矿业大学出版社, 北京, 1-28.

- [3] 任德貽, 赵峰华, 代世峰, 等 (2006) 煤的微量元素地球化学. 科学出版社, 北京, 61-77.
- [4] 张军营, 任德貽, 等 (1999) 黔西南煤层主要伴生矿物中 Hg 的分布特征. *地质评论*, **5**, 539-542.
- [5] 程伟, 杨瑞东, 崔玉朝, 张覃, 高军波 (2013) 贵州毕节地区晚二叠世煤的煤质特征和 11 种微量元素的分布赋存规律及控因分析. *煤炭学报*, **1**, 103-113.
- [6] Wedepohl, K.H. (1995) The composition of the continental crust. *Geochim et Cosmochim Acta*, **59**, 1217-1232.
- [7] 赵继尧, 等 (2002) 中国煤中微量元素的丰度. 中国煤田地质, **增刊**, 6-7.
- [8] 毛德明, 张启厚, 安树仁 (1992) 贵州西部峨眉山玄武岩及其矿产. 贵州科技出版社, 贵阳, 24-32.
- [9] Yang, R.D., Liu, L., Wei, H.R., Cui, Y.C. and Cheng, W. (2011) Geochemical characteristics of Guizhou Permian coal measure strata and analysis of control factors. *Journal of Coal Science and Engineering*, **17**, 55-68.
- [10] 冯新斌, 等 (1998) 贵州省煤中挥发性和半挥发性微量元素分布规律的初步研究. *环境化学*, **2**, 148-153.
- [11] Feng, X., Hong, Y., Hong, B. and Ni, J. (2000) Mobility of some potentially toxic trace elements in the coal of Guizhou, China. *Environmental Geology*, **39**, 372-377.
- [12] Dai, S.F., Ren, D.Y., Hou, X.Q. and Shao, L.Y. (2003) Geochemical and mineralogical anomalies of the Late Permian coal in the Zhijin coalfield of southwest China and their volcanic origin. *International Journal of Coal Geology*, **55**, 117-138.
- [13] Dai, S.F., Li, D.H., Ren, D.Y., Tang, Y.G., Shao, L.Y. and Song, H.B. (2004) Geochemistry of the Late Permian No.30 coal seam, Zhijin coalfield of southwest China: Influence of a siliceous low temperature hydrothermal fluid. *Applied Geochemistry*, **19**, 1315-1330.
- [14] Dai, S.F., Chou, C.-L., Yue, M., Luo, K.L. and Ren, D.Y. (2005) Mineralogy and geochemistry of a Late Permian coal in the Dafang coalfield, Guizhou, China: Influence from siliceous and iron-rich calcic hydrothermal fluids. *International Journal of Coal Geology*, **61**, 241-258.
- [15] 代世峰, 李薇薇, 唐跃刚, 张勇, 冯鹏 (2006) 贵州地方病氟中毒的氟源、致病途径与预防措施. *地质论评*, **5**, 650-655.
- [16] Gentzis, T. and Goodarzi, F. (1997) Trace element geochemistry of the Obed Mountain deposit coals, Alberta, Canada. *Fuel*, **76**, 1492-1501.
- [17] 王文祥 (1996) 煤中伴生元素的地球化学指相研究. *煤炭学报*, **1**, 12-17.
- [18] Bouska, V. (1981) Geochemistry of coal. Academia, Prague, 262.
- [19] 杨瑞东, 陈文一 (1990) 贵州晚二叠世龙潭期富煤区分布及控制因素. *煤田地质与勘探*, **4**, 2-5.
- [20] 熊孟辉, 秦勇, 易同生 (2006) 贵州晚二叠世含煤地层沉积格局及其构造控制. *矿业大学学报*, **6**, 778-782.
- [21] 马维俊 (1990) 贵州纳雍地区含煤地层龙潭组中上段三角洲沉积体系. *现代地质*, **1**, 24-34.
- [22] 陈名学 (2008) 官寨井田沉积环境与聚煤规律. *中国煤炭地质*, **4**, 24-26.
- [23] 代世峰, 任德貽, 李生盛, 宋建芳, 武朝晖 (2003) 华北地台晚古生代煤中微量元素及 As 的分布. *中国矿业大学学报*, **2**, 111-114.
- [24] 代世峰, 任德貽, 赵蕾, 李大华 (2005) 贵州织金煤矿区晚二叠世煤地球化学性质变异的硅质低温热液流体效应. *矿物岩石地球化学通报*, **1**, 39-49.
- [25] 焦建伟 (1998) 贵州西部煤层中若干有害微量元素的分布及迁移富集规律. *华北地质矿产杂志*, **3**, 236-242.
- [26] 丁振华, Fink, R. B. (2000) 黔西南高砷煤的分布规律及地球化学特征研究. *地球化学*, **5**, 490-494.
- [27] 聂爱国, 谢宏 (2004) 峨眉山玄武岩浆与贵州高砷煤成因研究. *煤田地质与勘探*, **1**, 8-10.
- [28] 曹志德 (2007) 黔北煤田花秋勘探区 9、16 号煤稀土元素地球化学特征. *矿物学报*, **12**, 500-504.