

A Review of Advances in Research on Coal Geochemistry in Guizhou Province

Qiong Liang

Institute of Geology and Mineral Resources Exploration of Guizhou Non-Ferrous Metals and Nuclear Industry Geological Exploration Bureau, Guiyang Guizhou
Email: 71313369@qq.com

Received: Jun. 8th, 2016; accepted: Jun. 27th, 2016; published: Jun. 30th, 2016

Copyright © 2016 by author 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

Through reviewing the research history of coal geochemistry in Guizhou Province, this paper mainly discussed the history and present situation of major elements and trace elements of coal in Guizhou, analyzed the existing problems of coal geochemistry research, and pointed out the research tendency in the future.

Keywords

Coal Geochemistry, Advances in Research, Review, Guizhou

贵州煤地球化学研究进展综述

梁琼

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
Email: 71313369@qq.com

收稿日期: 2016年6月8日; 录用日期: 2016年6月27日; 发布日期: 2016年6月30日

摘要

回顾贵州煤地球化学研究历史, 主要论述了贵州煤的常量元素及微量元素研究的历史与现状, 分析了贵州煤地球化学研究现存问题, 并指出了今后的研究趋势。

关键词

煤地球化学, 研究进展, 综述, 贵州

1. 引言

中国煤炭资源丰富, 保有储量居世界第三[1], 距 1999 中国煤炭地质总局所做的第三次煤炭资源预测, 我国煤炭资源总量 5.57 万亿吨, 截至 2002 年底, 全国查明煤炭储量为 10,190.59 亿吨[2]。我国各省、市、自治区, 除上海、香港、澳门特别行政区外, 都有煤炭产出, 但分布不均, 贵州是我国煤炭资源蕴藏极为丰富的省份, 素有“江南煤海”之誉。其煤炭资源种类、牌号齐全, 既有炼焦用的烟煤, 又有冶金、化工等都多种用途的无烟煤。煤层出露广泛, 几乎遍布全省各地, 贵州 17.6 万平方公里面积中, 有 40% 有煤, 在全省 86 个县(市)中, 有 74 个产煤。含煤地层分布面积达 7 万 Km^2 。深埋 2000 m 以浅煤炭资源量达 2419 亿吨, 居全国第五位[3]。

煤是一种组成比较复杂的固体可燃有机岩, 它是由植物残核经过复杂的生物化学、物理化学及地球化学变化转化而来的。煤地球化学是以化学的观点和方法深入研究煤的物质组成和性质, 探讨元素的富集和分布规律, 研究煤中矿物成分、数量和性质, 对煤的合理利用和环境保护均有重要影响。因此, 对贵州煤的地球化学研究进展进行全面的回顾及展望, 有助于贵州煤炭资源的合理开发利用, 将会对贵州的经济做出巨大的贡献。

把对煤的研究作为一个科学问题来对待, 大约可以追溯到煤开始用于工业的工业革命时期, 至今已有 220 多年的历史[4]国外的煤地球化学研究起步较早, 研究也比较深入。对贵州煤地球化学的研究起步较晚, 在二十世纪初期及中期阶段, 对贵州煤的研究主要集中在煤的普查勘探、区域地层划分、煤与瓦斯突出、聚煤规律、沉积相及岩相古地理等方面, 直到二十世纪八十年代末, 煤的地球化学研究才真正开始。

2. 贵州煤基础研究阶段

在二十世纪初期, 对贵州煤的研究主要集中在地层划分上。1914 年[5], 丁文江先生对威宁一带的煤矿进行调查。1927 年, 乐森璋等研究郎岱茅口剖面, 将该地一套含蜓灰岩命名为“茅口灰岩”。然后, 罗绳武、蒋蓉等也对本区本地层进行了研究。1932 年, 黄汲清对中国南部的二叠系进行了比较系统的研究, 自上而下划分为乐平统、阳新统、船山统, 并划分了组、段和生物带。1947 年, 黄汲清将原属栖霞组的五十三梯段划归茅口组, 一改过去“黑栖霞、白茅口”的概念, 也改变了对这两期的古地理环境认识。这一成果对贵州地区正确划分和对比栖霞组和茅口组地层有着指导意义。解放后, 随着国民经济建设大发展, 煤的普查勘探工作在全国范围内大量展开, 特别是六十年代中期的“西南三线建设”, 使贵州煤的普查勘探工作有了很大的发展。1959 年王钰、盛金章等研究了黔南晴隆边塘及子允紫松镇两条二叠系剖面, 对两地二叠系地层做了新的分段和生物分带[6]。

二十世纪中期, 随着煤炭的开采, 煤与瓦斯突出开始受到人们的关注。贵州省的煤矿, 煤与瓦斯突出比较严重, 1964~1984, 各矿共突出 396 次[7]。煤炭科学研究院重庆研究所及六枝矿务局对贵州省六枝、水城、盘县和林东四个矿务局所属的 25 个生产矿井煤与瓦斯突出的综合防治进行了近 3 年的研究, 研究中采用点面结合的方式, 对无解放层条件下的几种主要防突措施, 包括水利冲孔、深孔松动爆破及煤层预抽瓦斯等措施在几个矿井进行了试验[8], 通过实验完善了工艺、确定了参数, 明确了作用效果和使用条件, 还编制了实施细则。并对其他矿井的防突工作经验进行了总结。达到了预期的要求, 为煤与

瓦斯的突出防治确立了途经。

进入 20 世纪 80 年代,对贵州煤的研究主要集中在区域性地层研究及聚煤规律方面。陈学敏[9]对贵州晚二叠世含煤地层沉积特征及其成煤规律进行了探讨。马忠魏[10]对贵州早二叠世栖霞早期聚煤环境及找煤方向进行了研究,初步认为该聚煤期的聚煤盆地古构造类型属构造成因,古地理为滨海平原环境,贵州早二叠世栖霞早期煤矿的找矿方向主要应在湘黔桂古陆两侧和“黔中水下隆起”周围,黔北碎屑坪沼泽相内进行。金晓华[11]对贵州煤的变质规律与古生界油气远景进行研究,指出贵州大部分地区古生界有机质演化程度相当高,有机质中的可溶性组分含量低,在研究中就要测定反射率,研究表明,贵州不同层系煤层的反射率值随埋深的增加而明显递增,但不同地区递增的程度不同;由于贵州古生界有机质演变程度普遍较高,而且含油层系暴漏严重,在贵州寻找石油的领域比较有限,而找气前景,包括煤成气则较为广阔。向英福、陈宗富[12]对贵州晚二叠世沉积相及其演变规律进行了研究,认为贵州晚二叠世沉积盆地总体为内陆表海环境,西部为温暖型单陆屑含煤建造,东部为温暖浅水碳酸盐建造。王钟堂[13]对贵州西部晚二叠世玄武岩含煤段与龙潭组的关系进行了研究,认为它们之间是穿插交替的同期异相沉积,同时分析了玄武岩含煤段的成煤环境与聚煤规律进行了研究。马维俊[14]对贵州纳雍地区含煤地层龙潭组中上段三角洲沉积体系进行了研究。彭怀珍[15]对漩涡流在贵州西部异地成煤环境中的作用进行了研究,指出漩涡流在贵州西部异地成煤环境中占主导地位。

以上地质学家们对贵州的地层划分、煤的成煤环境及聚煤规律、岩相及古地理、煤与瓦斯突出等研究,取得了许多成果,为贵州煤的地球化学研究工作积累了丰富的资料。

3. 二十世纪九十年代至今——煤地球化学研究阶段

20 世纪 90 年代早期,对贵州煤的研究仍停留在聚煤规律研究上。杨瑞东[16] [17]等对贵州晚二叠世地层的形成环境进行了大量的探讨,认为其形成环境主要是三角洲和潮坪环境。马维俊[18]对贵州纳雍地区含煤地层中一种新型分流河道沉积进行研究,认为这种网结型分流河道存在于三角洲平原环境中。黄道香[19]对晚二叠世煤层层数、累积厚度、含煤率时空分布特点及规律进行了研究,研究表明富煤带在沿海岸线上线下的过渡相区内随着时间的推移而逐渐向西移动。

进入 20 世纪 90 年代中期,随着人类、资源与环境可持续发展的要求,煤的地球化学研究更趋向与环境相结合。煤及燃烧产物微量元素对环境、人体健康的影响日益受到人们的关注。近年来随着先进的分析仪器和分析方法的大量引入,贵州煤地球化学的研究也迅速发展起来。

3.1. 煤地球化学研究方法及手段

研究煤的地球化学离不开最新理论和方法。在煤地球化学的实验和测试方法上,主要以中子活化、逐级化学提取方法以及电感耦合等离子质谱仪等为主。

代世峰[20]等运用仪器中子活化分析(INAA)、电感耦合等离子体原子发射光谱(ICP-AES)、射线衍射(XRD)、带能谱仪的扫描电镜(SEM-EDX)及光学显微镜等手段,对黔西晚二叠世煤地球化学性质变异及其特殊组构的火山灰成因进行了研究。杨建业[21]:运用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)、X 射线荧光光谱(XRF)、冷原子吸收光谱(CV-AAS)、原子荧光光谱(AFS)、离子选择性电极法(ISF)、带能谱仪的扫描电镜(SEM-EDX)和逐级化学提取技术(SCET)对贵州普安矿区晚二叠世煤中微量元素的质量分数、赋存状态和成矿机理进行了研究。

3.2. 煤中常量元素研究

人们将煤中 C、H、O、N、Na、Mg、Al、Si、S、K、Ca、Ti 和 Fe 13 种元素称为常量元素,它们在煤中含量一般超过 0.1%;其他元素在大多数煤中的含量低于 0.1%,称之为微量元素[22]。

倪建宇[23]、洪业汤对贵州晚二叠世煤中硫同位素的组成特征进行了研究得出,贵州省主要煤矿的含硫量在 0.34%~9.16%之间变化,平均为 1.86%,除盘江煤田以含硫量小于 1%的低硫煤为主外,其余各煤田均以含硫量大于 1%的高硫煤为主,对于不同成煤环境中所形成的煤层,其硫含量及其同位素组成也明显不同,形成于海水影响较小环境中的煤层以低的硫含量,偏正的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为特点;而形成于海相或受海水影响较大的环境中的煤层,则具有高的硫含量和偏负的 $\delta^{34}\text{S}$ 值;在高硫含量的煤中,有机硫和无机硫具有弱的相关性,它们可能具有一致的来源。曹志德[24]对贵州金沙安洛勘探区北段煤中硫及其控制因素进行研究表明,该区形成与以潮坪为主的过渡相环境,煤中硫的质量分数总体偏高。但演化到一定阶段,海水失去可对沼泽的影响,且煤层形成后,上部覆盖了较厚的沼泽相泥质沉积物,完全或基本屏蔽了海水对煤层的影响。也可形成硫质量分数较低的煤层甚至特低硫煤层;另外,含煤地层沉积环境控制了煤层中硫的变化趋势,各煤层中硫的质量分数高低和变化与煤层顶底板的古地理环境变化有关。唐云,代文治[25]等对贵州高硫煤的洗选性研究表明,煤中硫化物大部分是以黄铁矿硫的形式存在,大多数硫化物硫以颗粒大、比重高为特点分布于煤中,可以通过矿物分选方法降低煤中硫的含量。赵福平、舒万柏[26]对贵州大方背斜南东翼可采煤层煤中硫的特征及其成因进行了分析,结果表明:该区可采煤层从特低硫煤—高硫煤均有,中上部煤中硫的质量分数较高,一般为中高硫煤,中下部以低中硫煤为主,底部煤中硫的质量分数变化大,从特低硫煤可到高硫煤;龙潭组中上部煤层煤中硫主要与硫的来源和沉积环境有关,而下部煤层煤中硫与其来源有关,与沉积基底中岩性发育也有一定关系,凝灰岩、玄武岩发育地段,煤中硫的质量分数低,反之则高。

任德贻[22]等对煤中个中常量元素的赋存状态进行研究,得出:在贵州织金矿区晚二叠世 9 号煤层, Si 在主要赋存在由火山喷发形成的高温石英、火山物质和有机质经过高度混杂组成的特殊物质中,在黔西织金地区,煤中的后生成因的脉状石英相当发育,也是该地区煤中 Si 的主要载体,贵州织金矿区 30 号煤层中的脉状石英中 Cu (356 $\mu\text{g/g}$)和铂族元素(Pd = 2.1 $\mu\text{g/g}$, Pt = 2.43 $\mu\text{g/g}$, Ir = 0.006 $\mu\text{g/g}$)富集。织金矿区 9 号煤层中发现有由山物质和有机质经过高度混杂组成的特殊物质(Fe 在该物质中含量均值为 18.04%),是 Fe 在该煤层中的主要存在形式。

3.3. 煤中微量元素的研究

郭英廷[27]等(1994)研究了贵州煤中 As、F、Hg、Pb 和 Cd 在灰化过程中的逸散规律。焦建伟[28]对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进行了研究,认为贵州西部晚二叠世主采煤层中 As、F、Hg、Pb 和 Cd 等微量元素主要赋存于煤中的无机矿物、尤其是黄铁矿、粘土矿物以及碳酸盐岩中,仅少量与煤的有机质相关。

赵峰华等[29]、丁振华[30] [31]等对黔西高砷煤中 As 的赋存状态进行了研究,研究发现高 As 煤砷赋存状态呈多元性和复杂性,且不同样品表现出较大的差异性,在有些样品中有机态 As 是主要的赋存状态,在有些样品中则呈铝硅酸盐结合态、硫化物结合态和硝酸盐结合态,但总体上 As 主要以非晶态的形式赋存在有机显微组分中,其中在基质镜质体中含量最高,其次是丝质体,再次是均质镜质体。丁振华[32]等对贵州燃煤型地方性砷中毒地区煤的矿物组成进行了研究,发现高 As 煤中的主要含 As 的矿物有黄铁矿、毒砂(含量很少)、Fe-As 的氧化物、少量的硝酸盐和含砷磷酸盐(纤砷钙铝石)。丁振华[33]等对黔西南高砷煤的分布规律及地球化学特征研究表明,高砷煤严格受构造、地层、沉积相的控制,分布于平行背斜长轴的断层两侧,愈靠近断层面砷的含量愈高。

聂爱国、龙江平[34]对黔西南高 As 煤的物质来源及所致砷中毒途径进行了研究,认为其主要来源于晚二叠世早期喷发的峨眉山玄武岩浆,高 As 煤所致砷中毒途径主要通过燃用高 As 煤所产生的含砷气体经呼吸道进入人体而产生慢性砷中毒,其次通过含砷的饮水和食物链经消化道进入人体。郑宝山等对贵

州燃煤造成的地方性砷中毒进行研究,表明地方性砷中毒并不是由于煤中砷的含量高造成的,而是通过燃煤熏烤的玉米、辣椒等食物引起的[35]。

张军营[36]等运用原子荧光光谱法(AFS)、电感耦合等离子质谱(ICP-MS)对贵州 144 个煤样中 As 的含量进行测定,得出 As 的含量在 0.3×10^{-6} 到 $3.2 \text{ wt}\%$,在大多数煤样中 As 的含量低于 30×10^{-6} ,42 个样品中高于 30×10^{-6} ,只有 19 个样品中 As 的含量高于 100×10^{-6} ,少数几个样品中 As 的含量高于 1000×10^{-6} ,并且作者又对高 As 煤燃烧过程中 As 的散发进行了研究。

冯新斌等[37] [38]对贵州煤中 Hg 及挥发性、半挥发性进行了研究。张军营[39]研究了黔西南煤中主要伴生矿物与 Hg 等微量元素的关系,

代世峰等[40]对贵州织金煤田晚二叠世煤低温热液流体进行了深入研究,结果表明,织金 9 煤层 Cu 和 U 等微量元素的富集与同沉积火山灰有关。

代世峰等[30] [41]对贵州地方流行病氟中毒的氟源提出了新认识,对贵州西部晚二叠世煤中潜在有害微量元素的含量及其环境危害等方面进行了评估。通过研究发现黔西地方病氟中毒不是起因于煤本身、饮用水和新鲜玉米,而是归因于用作煤燃烧添加剂和制作煤球黏合剂的粘土。刘家仁,王尚彦[42]以织金县荷花村为例,对贵州西部燃煤污染型地方性氟中毒病区氟源探讨得出,高氟煤炭和高氟粘土(岩)同为燃煤污染型地氟病的氟源,上二叠统龙潭组下部地层应为其重要产出层位。吴代赦等[43]、王尚彦[44]也指出,燃煤性氟中毒流行的省、市、自治区煤中 F 含量并非都很高,但拌煤粘土中含 F 量一般都很高,提出有必要重新审视、甄别燃煤型氟中毒地区 F 的主要来源。

杨建业[45]对贵州普安矿区晚二叠世煤中微量元素的质量分数和赋存状态进行研究,结果表明,贵州普安矿区 2 号主采煤层的矿物组成主要为低温热液流体成因的黄铁矿和陆源碎屑成因的黏土矿物;与贵州煤、中国大部分煤和美国煤相比,该煤中 As ($36.9 \times 10^{-6} \mu\text{g/g}$)、Cd ($10.2 \times 10^{-6} \mu\text{g/g}$)、Cr ($167.3 \times 10^{-6} \mu\text{g/g}$)、Cu ($365.4 \times 10^{-6} \mu\text{g/g}$)、Hg ($2.82 \times 10^{-6} \mu\text{g/g}$)、Mo ($92.6 \times 10^{-6} \mu\text{g/g}$)、Ni ($82.6 \times 10^{-6} \mu\text{g/g}$)、Pb ($184.6 \times 10^{-6} \mu\text{g/g}$)、Se ($6.23 \times 10^{-6} \mu\text{g/g}$)、Zn ($242.3 \times 10^{-6} \mu\text{g/g}$)和 U ($132.7 \times 10^{-6} \mu\text{g/g}$)显著富集。而另外 4 个主采煤层(1 号、8 号、11 号和 18 号煤层)中微量元素的质量分数与贵州煤、中国大部分煤和美国煤中的相当。普安矿区 2 号煤层中的 As、Cd、Hg、Mo、Ni、Pb 和 Zn 等元素主要赋存在黄铁矿中,而 Cr、Cu 和 U 主要存在于高岭石中,表明低温热液流体和陆源碎屑对煤中微量元素的富集起了决定作用。

X. Feng [46]等利用连续化学浸取实验方法,对采自贵州省二叠纪龙潭组的 32 个煤样中的 10 种潜在毒害微量元素的化学活动性进行了研究。结果表明:煤中 Hg、As、Se、Cd、Cu、Pb 等元素具有极强的化学活动性,其中平均 86%的 Hg、95%的 As、79%的 Se、76%的 Cd、69%的 Cu 和 69%的 Pb 可以被带出煤中而进入表生环境;煤中 Zn 的化学活动性次之,只有平均 46%的 Zn 可能迁移进入环境中;Tl、Cr、Ni 的化学活动性最差,平均可浸取比例分别是 30%、20%和 29%。煤中潜在毒害微量元素的化学活动性取决于其在煤中的赋存状态。存在于硫酸盐、碳酸盐、硫化物和部分有机相中的元素在风化过程中很容易被带出,而存在于硅酸盐矿物相中的元素在表生条件下是非常稳定的。

王强,杨瑞东[47]等对毕节地区煤层稀土元素来源研究,得出:海洋来源对稀土元素的富集作用极其微弱;来自植物成因的物质来源小于 1%;煤样中 8Eu 负异常,而陆源岩具有 Eu 负异常的特点,认为毕节煤矿区晚二叠世煤层稀土元素的物质来源主要受陆源物质的影响和控制。

任德贻、赵峰华[40]等对贵州西部晚二叠世 71 个煤样刻槽样品的常量和微量元素的含量、赋存状态和地质成因进行了研究,并列出了黔西晚二叠世煤中微量元素的含量分布特征(表 1),研究得出,与地壳克拉克值相比,贵州西部晚二叠世煤中 As、B、Bi、Cd、Li、Mo、Sb、Se、Sn、U 和 Yb 这些元素偏高;影响黔西晚二叠世煤中元素富集的地质因素主要有:陆源碎屑供给、低温热液流体、火山灰、地下水和

Table 1. Content of oxides of macroelements and microelements in Late Permian coals of western Guizhou
表 1. 贵州西部晚二叠世煤中常量元素氧化物和微量元素含量分布

元素	最小值 ($\mu\text{g/g}$)	最大值 ($\mu\text{g/g}$)	算术 平均值($\mu\text{g/g}$)	富集 系数	元素	最小值 ($\mu\text{g/g}$)	最大值 ($\mu\text{g/g}$)	算术 平均值($\mu\text{g/g}$)	富集 系数
Al ₂ O ₃	2.44	25.9	4.92	0.27	Ho	0.18	2.55	0.67	0.56
SiO ₂	3.03	34.89	9.14	0.18	La	5.55	350	32.24	1.07
CaO	0.05	12.0	1.77	0.25	Li	0.1	151.6	49.81	2.49
K ₂ O	0.05	1.46	0.25	0.14	Lu	0.06	3.00	0.31	0.62
TiO ₂	0.14	0.78	0.36	0.47	Mo	0.10	76.58	8.24	5.50
Fe ₂ O ₃	0.16	6.65	1.88	0.33	Nb	2.97	79.9	14.34	0.72
MgO	0.04	1.01	0.21	0.05	Nd	1.91	169	23.28	0.83
Na ₂ O	0.05	1.13	0.21	0.07	Ni	4	160	36.74	0.49
MnO	bdl	0.121	0.027	1.69	Pb	1.26	184.7	14.73	1.18
P ₂ O ₅	0.01	0.166	0.036	1.91	Pr	1.24	44	7.87	0.96
As	0.30	10.45	3.9	2.15	Rb	1.12	78.2	13.03	0.14
B	42.91	72.66	54.64	19.51	Sb	0.05	6.06	0.97	4.87
Ba	10.6	813.2	119.38	0.28	Sc	1.8	22.74	6.84	0.31
Be	0.21	12.47	2.19	0.78	Se	0.10	6.02	1.65	33.04
Bi	0.15	2.05	0.47	2.78	Sm	1.21	27	4.35	0.72
Cd	0.02	8.19	0.40	1.98	Sn	0.05	25.93	5.92	2.96
Ce	10.65	459	59.58	0.99	Sr	22.12	895.7	134.7	0.36
Co	0.39	118.6	13.59	0.54	Ta	0.06	6.45	0.84	0.42
Cr	0.02	139.3	31.91	0.32	Tb	0.18	3.70	0.64	0.12
Cs	0.08	3.79	0.84	0.28	Th	1.99	47.5	6.52	0.68
Cu	7.23	369.9	61.12	1.11	Tl	0.01	0.51	0.11	0.25
Dy	0.99	12.1	3.36	1.12	Tm	0.07	1.01	0.26	0.05
Er	0.52	6.48	1.84	0.66	U	0.10	176.2	13.65	5.05
Eu	0.24	3.40	0.77	0.64	V	18.01	574.4	123.42	0.91
F	16.6	500	83.1	0.13	W	0.11	0.41	0.93	0.62
Ga	0.38	99.5	13.05	0.87	Y	6.0	97	24	0.73
Gd	1.27	20.30	4.66	0.86	Yb	0.43	17.2	1.98	2.20
Hf	0.51	55.2	4.25	1.42	Zn	2.01	561.4	55.1	0.79
Hg	0.031	0.217	0.09	1.11	Zr	23.93	1852	223.96	1.36

注：富集系数 = 煤中元素含量/地壳克拉克值；常量元素氧化物的单位是% (据任德贻等, 2005)。

岩浆热液，其中，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。

4. 贵州煤地球化学研究展望

贵州是我国重要的煤炭生产基地，煤炭资源储量大、种类全、煤质优良，但地质条件比较复杂，因煤炭开采及利用所造成的环境污染、地质灾害等问题比较严重，个别地区还是地方性流行病砷中毒和氟

中毒的高发区。与我国其他地区相比,贵州煤地球化学研究起步较晚,尽管近几十年来随着新技术和新方法的应用,以及社会发展和环境保护要求的推动,贵州煤地球化学的研究取得了迅速发展,但现有有限的煤聚集规律、煤污染组分赋存状况和变迁规律等的认识,还不足以在指导煤炭开采、利用等技术方面产生显著的作用,对贵州煤地球化学研究无论从环境保护还是资源利用角度,都有待于进一步发展。建议以后加强以下几方面的研究:1)与煤共生矿床的分布、聚集及赋存规律研究。2)应加强对燃煤型氟中毒地区F来源的研究,寻找和开发廉价的、适宜当地实际情况的固(降)氟技术。3)燃煤产物有害元素的种类及其引起的环境效应研究。4)加强煤中微量元素丰度和赋存状态的研究。

参考文献 (References)

- [1] Zhang, K. and Wu, X.H. (2006) Progress in Coal Liquefaction Technologies. *Petroleum Science*, **3**, 90-94.
- [2] 周宏春,等. 中国矿产资源形势与对策研究[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 31-32.
- [3] 徐彬彬. 贵州煤田地质[M]. 北京: 中国矿业大学出版社, 2003: 1-28.
- [4] 袁泉. 能源化学进展[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 1-3.
- [5] 韦天蛟. 贵州煤田地质工作概况[J]. 贵州地质, 1986(1): 97-104.
- [6] 张正华,等. 黔南二叠纪地层[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1988: 1-5, 78-79.
- [7] 煤炭科学研究院重庆研究所, 六枝矿务局. 贵州地区综合防治煤与瓦斯突出的研究[J]. 矿业安全与环保, 1986, 1(1): 4-16.
- [8] 煤炭科学研究院重庆研究所, 六枝矿务局. 贵州地区综合防治煤与瓦斯突出的研究(二) [J]. 矿业安全与环保, 1986, 1(2): 1-10.
- [9] 陈学敏. 贵州晚二叠世含煤地层沉积特征及其成煤规律的探讨[J]. 煤田地质与勘探, 1982(1): 4-8.
- [10] 马忠魏. 贵州早二叠世栖霞早期聚煤环境及找煤方向[J]. 中国区域地质, 1983(7): 21-28.
- [11] 金晓华. 贵州煤的变质规律与古生界油气远景[J]. 石油与天然气地质, 1983(2): 141-148.
- [12] 向英福, 陈宗富. 贵州晚二叠世沉积相及其演变规律探讨[J]. 贵州地质, 1989, 6(3): 191-202.
- [13] 王钟堂. 贵州西部晚二叠世玄武岩含煤段浅析[J]. 中国煤田地质, 1989, 1(3): 9-11.
- [14] 马维俊. 贵州纳雍地区含煤地层龙潭组中上段三角洲沉积体系[J]. 现代地质, 1990, 4(1): 24-34.
- [15] 彭怀珍. 漩涡流在贵州西部异地成煤环境中的主导地位[J]. 贵州地质, 1987(2): 176-187.
- [16] 杨瑞东, 陈文一. 贵州晚二叠世龙潭期富煤区分布及控制因素[J]. 煤田地质与勘探, 1990(4): 2-5.
- [17] 杨瑞东,等. 贵州晚二叠世成煤环境及聚煤模式[J]. 贵州工学院学报, 1990, 19(4): 51-55.
- [18] 马维俊. 贵州纳雍地区含煤地层中一种新型分流河道沉积[J]. 科学通报, 1989, 34(6): 443-445.
- [19] 黄道香. 贵州西部晚二叠世煤层时空分布特点及变化规律探讨[J]. 贵州地质, 1990, 7(2): 149-154.
- [20] 代世峰, 任德贻,等. 黔西晚二叠世煤地球化学性质变异及特殊组构的火山灰成因[J]. 地球化学, 2003, 32(3): 239-247.
- [21] 杨建业. 贵州普安矿区晚二叠世煤中微量元素的质量分数和赋存状态[J]. 燃料化学学报, 2006, 34(2): 129-135.
- [22] 任德贻, 赵峰华, 代世峰,等. 煤的微量元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 61-77, 375-387.
- [23] 倪建宇, 洪业汤. 贵州晚二叠世煤中硫同位素的组成特征[J]. 地质地球化学, 1999, 27(2): 63-69.
- [24] 曹志德. 贵州金沙安洛勘探区北段煤中硫及其控制因素[J]. 煤田地质与勘探, 2006, 34(3): 13-16.
- [25] Tang, Y., Dai, W.-Z., Zhang, Q., et al. (2007) Washability Analysis of High Sulfur Coal Gangue from a Coal Mine in Guizhou. *Journal of Coal Science & Engineering*, **13**, 90-94.
- [26] 赵福平, 舒万柏. 贵州大方背斜南东翼煤中硫特征及成因分析[J]. 煤田地质与勘探, 2006, 34(5): 9-12.
- [27] 郭英廷, 侯慧敏, 李娟,等. 煤中砷、氟、汞、铅、镉在灰化过程中的逸散规律[J]. 中国煤田地质, 1994, 6(4): 54-56.
- [28] 焦建伟. 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[J]. 华北地质矿产杂志, 1998, 13(3): 236-242.
- [29] 赵峰华, 任德贻, 郑宝山,等. 高砷煤中砷赋存状态的扩展 X 射线吸收精细结构谱研究[J]. 科学通报, 1998, 43(14): 1549-1551.

- [30] 代世峰, 任德贻, 马施民. 黔西地方流行病——氟中毒起因新解[J]. 地质论评, 2005, 51(1): 42-45.
- [31] 丁振华, 郑宝山, 庄敏. 贵州燃煤型砷中毒地区煤的微量元素的赋存状态[J]. 矿物学报, 2005, 25(4): 358-361.
- [32] 丁振华, 等. 贵州燃煤型地方性砷中毒地区煤的矿物组成[J]. 煤田地质与勘探, 2003, 31(1): 14-16.
- [33] 丁振华, 等. 黔西南高砷煤的分布规律及地球化学特征研究[J]. 地球化学, 2000, 29(5): 490-494.
- [34] 聂爱国, 等. 贵州西南部高砷煤的砷(As)来源及其所致中毒途径研究[J]. 贵州环保科技, 1996, 3(4): 25-28.
- [35] Zheng, B.S., Wang, B.B., Ding, Z.H., Zhou, D.X., Zhou, Y.S., Zhou, C., Chen, C.C., and Finkelman, R.B. (2005) Endemic Arsenosis Caused by Indoor Combustion of High-As Coal in Guizhou Province, P.R. China. *Environmental Geochemistry and Health*, **27**, 521-528. <http://dx.doi.org/10.1007/s10653-005-8624-x>
- [36] Zhang, J.Y. (2006) Arsenic Emission of High-Arsenic Coal Combustion from Southwestern Guizhou, China. *Chinese Journal of Geochemistry*, **25**, 49-50. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02839830>
- [37] 冯新斌, 等. 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[J]. 环境化学, 1998, 17(2): 148-153.
- [38] Feng, X.B., Sommar, J., Lindqvist, O. and Hong, Y.T. (2002) Occurrence, Emissions and Deposition of Mercury during Coal Combustion in the Province Guizhou, China. *Water, Air, and Soil Pollution*, **139**, 311-324. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1015846605651>
- [39] 张军营, 任德贻, 等. 黔西南煤层主要伴生矿物中 Hg 的分布特征[J]. 地质评论, 1999, 45(5): 539-542.
- [40] 代世峰, 任德贻, 等. 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[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2005, 24(1): 39-49.
- [41] 代世峰, 等. 贵州地方病氟中毒的氟源、致病途径与预防措施[J]. 地质论评, 2006, 52(5): 650-655.
- [42] 刘家仁, 王尚彦. 贵州西部燃煤污染型地方性氟中毒病区氟源探讨——以织金县荷花村为例[J]. 贵州地质, 2005, 22(3): 192-195.
- [43] 吴代赦, 郑宝山, 唐修义. 中国煤中氟的含量及其分布[J]. 环境科学, 2005, 26(1): 7-11.
- [44] 王尚彦. 贵州西部氟中毒地区氟来源地质背景研究[J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 26(3): 72-76.
- [45] Yang, J.Y. (2006) Concentrations and Modes of Occurrence of Trace Elements in the Late Permian Coals from the Puan Coalfield, Southwestern Guizhou, China. *Environmental Geochemistry and Health*, **6**, 567-576. <http://dx.doi.org/10.1007/s10653-006-9055-z>
- [46] 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. <http://dx.doi.org/10.1007/s002540050016>
- [47] 王强, 杨瑞东, 鲍淼, 等. 毕节煤矿区晚二叠世煤层稀土元素的物质来源[J]. 贵州地质, 2006, 23(4): 292-295.

再次投稿您将享受以下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>