

文章编号 1001-8166(2002)01-0053-10

煤中微量元素研究进展

刘桂建¹, 彭子成¹, 王桂梁², 杨萍月¹, Chou Chenglin³

(1. 中国科学技术大学地球与空间科学系, 安徽 合肥 230026;

2. 中国矿业大学资源与环境科学学院, 江苏 徐州 221008;

3. Illinois Department of Natural Resources, Illinois State Geological Survey, USA 61820)

摘 要 煤炭是我国的主要能源, 在煤炭开采、运输、洗选、淋溶(滤)、燃烧等其它加工利用过程中, 煤中的微量元素要发生迁移、析出, 并入侵到大气、水、土壤和生态环境中, 最终影响人类生存和生活环境。煤中微量元素十分重要, 是因为它们与环境问题、动、植物及人类健康密切相关。在研究微量元素时必须考虑微量元素的性质及毒性, 它们主要依靠其含量、种类、存在形式、pH 值、氧化—还原条件及其它因素。在全面综合国内外研究文献的基础上, 分析了煤中微量元素的发现、分布规律、赋存状态、成因机理及微量元素的应用等方面研究的历史、现状, 并对今后研究的重点内容和发展方向进行了较为详细的论述和分析, 并指出在进一步深入研究煤中微量元素地球化学的基础上, 加强微量元素环境学方面的研究是今后煤中微量元素环境地球化学研究的重要内容。

关 键 词 微量元素; 煤; 环境地球化学

中图分类号 P59

文献标识码 A

煤炭是我国的主要能源, 在我国一次性能源消费中占 75% 以上, 而且近期内这种比例不会改变。煤炭工业的发展, 推动了其它行业的发展, 同时也产生了一些环境问题。煤中微量元素或其中的有害元素是煤炭开采出地表以后的主要污染物, 煤炭的储备、运输、洗选、燃烧及其它加工利用过程中, 煤中的微量元素都要发生迁移变化, 有的入渗进入土壤和含水层, 降低土壤功能, 污染水质; 有的以气体及粉、飘尘的形式释放到大气中, 影响空气环境质量, 进而影响人们的身体健康和生态环境。

从环境地球化学角度讲, 研究微量元素在煤中的种类、分布、赋存状态及沉积时的富集规律是煤中微量元素环境地球化学研究的基础, 而煤在燃烧、淋溶、洗选等加工利用过程中微量元素的析出机理及环境效应是煤环境地球化学研究的重要目的。开展

这两方面的研究不仅能为正确评价微量元素的可利用性、有毒有害微量元素的可剔除性奠定理论基础; 预防煤中有毒有害元素对环境的影响、保护生态和人类生存环境等方面都具有理论指导意义和现实意义。因此, 对煤中微量元素的环境地球化学研究将成为能源与环境科学的热点和前沿。

1 煤中微量元素概念

根据对煤中微量元素的含量界限划分和研究的实际需要, 笔者把组成煤中的元素按照含量的多少分为常量元素(含量 >1%, 如 C、H、O、N 等); 次要元素(0.5% ~1%, 如 K、Mg、Na) 和少量元素(< 0.5%, 如 As、Hg、F、Cl、Gd)。鉴于不同煤中同一种元素或同种煤中不同种元素含量范围变化, 以及目前术语的采用情况和便于叙述等因素, 把煤中除常量

收稿日期 2001-02-22, 修改日期 2001-04-26。

* 基金项目: 国家自然科学基金重点项目“中国煤平均化学成分及煤中有害微量元素有机物地球化学”(编号: 4133010); 王宽诚博士后工作奖励基金“燃煤过程中微量元素迁移变化研究”(编号: 20000512); 中国博士后科学基金“燃煤过程中微量元素的环境影响及控制研究”(编号: 2000-31)资助。

作者简介: 刘桂建(1966-), 男, 安徽涡阳县人, 副教授, 主要从事环境地球化学方面的教学和研究工作。E-mail: igj@uste.edu.cn

元素以外,含量 <1%的所有元素统称为微量元素。

2 国外研究历史与现状

煤炭的利用历史源远流长,但对煤中微量元素的发现只是近百年的事,而对煤中微量元素研究是20世纪才开始,我国在近几年才进入研究的高潮,综观对煤中微量元素研究的历史及其发展,按对其研究的内容,大致可分为三个阶段,见表1。

表1 煤中微量元素研究内容的进展情况
Table 1 Development of research contents of trace elements in coal

阶段	主要内容	时间	
		中国	世界
发现阶段	以发现煤中微量元素为主	50年代中期至80年代中期	30年代前
	在煤田、煤系和煤层中分布		40年代
理论阶段	在煤层中成因、富集与迁移	80年代中期开始	初期以来
	在煤中的存在形式		
应用阶段	地质学上的应用	60年代开始	30年代起
	环境学上的应用	80年代中期开始	70年代末
	回收利用方面的应用	80年代开始	60年代起

国外研究煤中微量元素起步早,研究也比较深入。自19世纪中叶开始至20世纪30年代,国外学者在煤中发现微量元素80多种,大约从20世纪40年代开始,国外学者逐渐转向对煤中微量元素的存在状态和其成因方面的研究。60年代以来,由于电子工业的迅速发展和资源危机的日趋严重,美国、前苏联、英国、澳大利亚和加拿大等一些主要产煤国家都先后系统地调查了本国煤中的微量元素资源情况,一些国家还建立了从煤中提取Ge、Ga、U、V等元素的工厂。与之相应的是各国学者开始对不同时代和不同地区的煤和含煤建造中的微量元素进行研究。主要研究元素的分布规律和成矿作用,探讨元素的赋存状态及其与物质的联系特征。同时,一些学者已意识到煤中有害元素对环境的影响和危害,并且开始探讨某些有害元素和放射性元素的存在状态对环境的影响。但是,煤中伴生元素对环境的危害真正得到重视还是从70年代后期开始的。

2.1 微量元素的发现阶段

国外对煤中元素的研究开展较早,1848年Richardson在苏格兰的烟煤煤灰中发现了2%的Zn和1.2%的Cd,1875年,Percy^[1]在英国约克郡煤中发现了以方铅矿形式存在的Pb, Daubree在各种烟

煤和褐煤中发现了Sb、As和Cu, Berthoud^[2]在美国科罗拉多州丹佛附近的Leyden矿第三纪褐煤中发现了U和Ag。1894年Robinson发现煤中有V存在,同年,Wait^[3]在5个煤灰样中分析出了Ti。1896年,Jorissen^[4]在比利时列日(Liege)煤中发现了Mo、Se等元素。1899年Chance^[5]在煤中发现了Au。1908年,Campbell^[6]在美国煤中首先分析出了P; Parr等^[7]在49个伊利诺宜州煤样中32个样品里检查出了0.03%~0.56%的Cl, 1913年,Lloyd等^[8]在分析阿拉巴马的一些煤灰时检测到了微量Ra,发现煤中Ra的平均含量为 0.166×10^{-12} 。在1914—1927年间,还分别在煤中发现了以针硫镍矿形式出现的Ni和以辰砂形式产出的Hg,同时Ramage^[9]在研究英国Nowich煤气工厂的烟尘时,首先将发射光谱用于煤的研究,除鉴定出V、Ti、Cl、P等元素外,还发现了Li、Rb、Cs、Sr、In、Bi、Ga、Tl等8种元素。并且报导了某些烟尘中Ga的含量可达到2%,而Zn的含量更高。这一研究表明,煤及其加工产物有可能作为有色金属和稀有金属的工业来源。1928年,Howarth^[10]在研究澳大利亚南威尔士煤时,发现Co以硫钴矿的形式存在于煤中。1930年,Goldschmidt^[11]研究了西德烟煤及其加工产物的Ge,他认为,按照Ge的地球化学性质及其氧化物和硫化物的挥发性,煤中的Ge应当在煤尘中富集。在1933年,他还在煤中新发现了Be、Sc、Y,所有的La系元素及Zr、Hf、W、Rh、Pd、Pt等,Lessny^[12]在1934年在煤中发现了F。

由上可见,20世纪30年代以前,国外对煤中微量元素的研究主要是表现在微量元素的发现上。与主体元素和常量元素算在一起,煤中已发现元素达80多种。

2.2 理论研究阶段

随着煤中微量元素的发现,从20世纪30年代以后,国外逐渐开始对煤中少数微量元素分布规律进行研究,随着科学技术的发展,实验设备的更新换代,许多学者逐步探索微量元素在煤中的含量分布、赋存形式,并对煤中微量元素的富集、迁移进行了深入探讨。该阶段主要表现在以下几个方面:

2.2.1 煤中微量元素的分布

20世纪30年代到第二次世界大战期间,西方学者主要对煤中少数元素的分布规律及其成因进行了研究。较早开展这方面研究的是前苏联学者,并将顿巴斯煤中Ge含量增高归因于构造活动增强,并且发现褐煤和炭质包体中Ge的含量增高,还发

现富V的煤。50年代末至80年代,国外主要对微量元素在煤盆地、煤层中的含量分布进行较为详细地分析。具有代表性的是Zubovic等^[13-15]曾先后研究了美国东部煤田,阿巴拉契亚煤田,西部和西南部煤田煤中的微量元素在盆地水平、垂直方向上的分布变化规律,并为后来者提供了研究思路。此后美国、印度、加拿大、澳大利亚、保加利亚等国都进行了这方面的研究。此外,一些发达国家和主要产煤国作了大区域或全国性的煤中微量元素含量与分布的调查,如美国在70年代就系统地调查了各大煤田主要煤层中微量元素的分布规律^[16],前苏联在80年代就颁布了地质勘探中调查煤中微量元素的规范,英国、澳大利亚和加拿大等也都先后对本国煤中微量元素的资源情况作了系统调查^[17]。

除研究宏观分布外,近年来利用组分分离和探针技术研究微量元素在不同煤岩类型、宏观煤岩成分、显微煤岩组分中分布特点。如Eskenezzi^[18,19]曾详细研究了保加利亚276个煤岩组分样品,并与原煤比较发现,木质结构体中主要富集V、Mn、Sr、Ba,其次为Ge、Ni、As、Cr、Y、Yb;镜质体中主要富集Pb、Ni,其次为Mo、Co、Sn、Ge;凝胶体中主要富集Co、Ag、Mo、As、Ge、Sn,其次为Zn、Pb;丝质体中主要富集Y、Yb、Be,其次为Sc、Cu、Ba、Mn,在研究保加利亚Elhovo盆地褐煤煤岩类型样品,他认为可将其中的微量元素分布特征划分为:强烈受煤岩组成影响的元素(Co、Ge、Mo、V、Y),受煤岩组成影响而均匀分布的元素(As、Cr、Cu、Mn、Ni、Pb、P、Sc、Ta、Th、Ti、U、W)和不受煤岩组成影响而均匀分布的元素(Ba、Ga、Hf、Sb、Sr、Zn、Zr)。另有许多学者^[17,20-22]使用质子探针研究某些煤显微组分中微量元素分布,并发现镜质组微量元素含的种类多,浓度高,并使用电子探针研究Mg、Si、Ca、Fe、Sr、Al、S等元素在煤岩组分中的分布情况,还将煤中微量元素分为与镜质体、丝质体、半丝质体、粗粒体有关的(34种元素)和与孢子体、微粒体有关的(As、Ge、Hg)两组。

2.2.2 煤中微量元素的迁移聚集机制

自煤中微量元素被发现不久,地球化学家们就对其成因、聚集机制发生了浓厚的兴趣并进行了不断的探索。著名的挪威地球化学家Goldschmidt^[11]认为煤中有化学性质完全不同的元素共生在一起,如Zr、Ti和Ba、Li、Y、Au和Pt;以及Cu、P、Zn和Be、Sc等。他还将煤中微量元素的聚集归结为3个主要途径:植物在生命活动过程中吸收聚集;有机质在沼泽中腐烂分解时聚集;泥炭被其它沉积物

埋覆以后与地下水溶液发生反应而聚集。但随着研究的深入,如Bouska^[23]、Valkovic^[24]、Swaine^[17]等学者均对煤中微量元素的成因和聚集机制进行了论述,并将Goldschmidt的理论进行了修正、完善和发展。

2.2.3 微量元素的赋存状态

对煤中微量元素的赋存状态研究,始于60年代初。煤中微量元素的赋存状态多种多样,既可以参与到煤结构中去,也可以呈吸附状态或单矿物出现。许多研究者认为,微量元素与煤中有机质结合的形式是金属有机化合物、络合物、螯合物或呈吸附状态等形式。如Swaine^[25]认为微量元素可能与煤中各种官能团(如羧基、羟基、硫基和氨基等)结合。Dack^[26]认为B、Ba、Cu、Mn、Sr和Zn可以交换-COOH和-OH中的氢。还有一些学者认为许多微量元素(如Ge、V、Be、Ti、Ga、B、Ni、Cr、Co、Y、Mo、Cu、Sn、La、Zn)与煤中有机质可形成络合物。

许多学者的研究结果^[17,23-29]均表明泥炭和褐煤中的有机质,特别是腐殖酸和黄腐酸在富集微量元素过程中起了很大的作用。但是随着煤化程度的增高,原来存在于泥炭和褐煤中的腐殖酸,各种官能团会逐渐减弱,原来与腐殖酸结合的微量元素,部分可能变为矿物保留在煤内,部分可能被运移出煤层;还有部分可能进入煤的内部结构,并与煤的有机质形成最牢固的结合形式。由于研究微量元素赋存状态的难度也不断增大,一些学者利用沉浮实验来评价微量元素的亲有机性。如美国学者曾对伊利诺斯盆地的样品进行沉浮试验,计算出元素的“亲有机”指数(Organic Affinity Index,简称OAI)间接地表征微量元素与煤有机质的结合状态;有些学者则用另外的方式来表征煤中有机质、各种硫分与微量元素的关系,如将煤灰中元素的最高含量与夹矸中该元素的含量之比作为富集系数(Enrichment Coefficient,简称EC)来衡量微量元素与煤中有机质的结合状况,根据燃煤过程微量元素的变化迁移,定量研究了微量元素的亲硫性^[30,31]。还有一些学者运用数理统计的方法计算出微量元素与灰分产率的相互关系来评价元素与煤中有机质及矿物间的关系,如前苏联学者等研究了钦斯克—阿钦斯克煤中微量元素与灰分的关系后得出如下结果:Ga和V与灰分呈正相关,相关系数分别为0.99和0.83,而Ba和B与灰分呈负相关分别为-0.94和-1.00。这些关系表明Ga和V与煤中矿物有关,而Ba和B则主要与煤中的有机质有关。

2.3 微量元素的应用

不同学者研究目的各不相同,地质地球化学家研究的目的在于解决地质问题,环境科学家则主要探讨煤中某些有害微量元素所引起的污染及其防治,而另外一些科学家则考虑如何回收煤中某些高品位的有益元素。

2.3.1 地学方面的应用

多数地质学家都曾根据煤中微量元素共生组合特点和在某些层位的富集情况,进行地层和煤层对比。但地学应用与探索比较多的是利用煤中某些微量元素或者其比值作为沉积环境指标,如 Swaine^[17]在研究了澳大利亚新南威尔士石炭纪煤时认为,砷含量在 40×10^{-6} 以下与淡水沼泽有关,在 40×10^{-6} ~ 120×10^{-6} 之间与半咸水有关,大于 120×10^{-6} 则与海水有关。一般认为反映环境比较敏感的元素主要有 B、Ga、Sr、Ba、U、Th、S,其次是 Ni、Co、Ge、V、Zn、K、Na、Ca、Cl 等^[23,24]。此外,还有学者还探索用煤中微量元素来划分煤相,研究煤中硫的起源和煤的变质作用类型等内容。

2.3.2 环境保护方面

煤中微量元素的浓度与资源和环境的关系研究在国外是近 20 年的事情,尤其在 80 年代以来引起较高的重视。

70 年代后期,各国燃煤量剧增,排放到大气环境中的有害元素逐年增加,燃煤造成的环境污染越来越严重。因此,这就促使学者将注意力转移到燃煤与环境的关系上,并且多集中研究 Hg、Pb、As、Be、Cd、Cl、U 等有害微量元素或放射性元素在煤和煤灰中的分布规律、存在状态,在煤燃烧、转化等过程中的去向和对生态环境的影响。但煤中 Ge、U 等元素的资源价值依然受到不少学者的关注。

煤是供热、发电和动力的最主要能源。在煤的开采、洗选、贮藏、运输过程中均会对环境产生影响,首先燃烧造成的影响最为严重,煤燃烧除产生大量的 SO_x、NO_x 等有害气体污染环境外,煤中微量元素会发生再分配、迁移转化和入侵环境。这一问题已为各国学者所关注。1980 年,美国国家地球化学委员会^[16]组织编写的《与环境质量和健康相关的煤炭资源开发利用过程中微量元素的地球化学》一书和 Valkovic^[24]均比较系统地介绍了煤炭开发利用的各个环节,特别是煤在燃烧过程中微量元素的迁移、转化规律及其对环境的污染与影响。Davison^[32]在研究天空中不同粒级飞灰中的微量元素分布时,较早发现有些元素如 Pb、Se、Cd、As、Ni、Zn、Cr 等含量随

粒度减小而增加,颗粒越细,在大气中停留的时间越长,也越易被人 and 动物呼吸入体内,因而对健康的影响也就越严重。近几年,许多学者开始注意到在燃煤过程中有害微量元素的释放对环境的影响,并积极研究控制释放的原理和方法。

2.3.3 资源利用研究方面

1921 年美国曾报导过有人从煤中小规模地提取 Au 和 Ag。50 ~ 80 年代末,把煤中微量元素资源化的报导较多,如 Swaine^[17]评述了从煤中回收各种有益元素的可能性和方法,Headlee^[33]建议只要煤灰中 Ag、As、B、Bi、Ga、Ge、Hg、La、Pb、Sb、Zn 和 Zr 相对地壳克拉克值富集达 10 倍以上,即可作为资源加以回收利用。截止目前,关于回收利用方面的报导多为 Ge、Ga 两种元素,其次为 U、V。

3 国内研究现状

50 年代以前,由于国内动荡不安,加之实验设备条件和研究环境限制,学者们还没有对煤中微量元素进行过研究。

我国于 1956 年才开始煤中伴生元素的调查和研究,少数学者对煤中微量元素的分布规律进行了探讨,而且仅限于 Ga、Ge、U 和极个别样品中的 V、Ni、Mo,并开始注意煤中微量元素的成因研究。但与国外相比,我国仍处于研究的初期阶段。

60 年代早期,我国主要对煤中 Ge 的分布情况进行了较多的分析。通过对煤中 Ge 的研究,促进了对煤中 Ge 及其它元素研究工作的开展。1968 年以后,在煤田地质普查和精查勘探工作的基础上,我国对煤中某些伴生元素(如 Ge、Ga、U、V、Th)的分布及含量范围有了初步了解。其结果表明 Ga、Ge、U、Sc、Y、Zr、La、Ce 等元素在一些矿区的煤层中富集到工业品位或综合利用品位,Fe 和 Zr 等元素的含量比其它国家公布的数据高,同时,对 Ge 等少量元素进行了回收利用方面的初步研究。

70 年代早期,国际学术界对煤中微量元素或其中有害元素及其对环境的影响研究时,我国国内形势发生了变化,此研究却显得异常冷清。只有少数学者对煤中微量元素的分布及 Ge 等元素的成因进行了探讨。70 年代末期到 80 年代中期,多数学者仍集中在对煤中微量元素的分布规律、成因方面的研究,如 1984 年我国从环境保护角度调查了 107 个煤矿中微量元素的浓度分布趋势^[34]。在此期间,我国对煤中的微量元素研究范围有所扩展,并注意到了煤和煤系中的微量元素与沉积环境之间的关系,

用微量元素的含量及其之间的比值(如 Sr/Ba 等)可以反应沉积环境^[35],并取得了丰硕的成果。

80年代末至90年代中期,随着电子工业和科学技术的飞速发展,研究领域生产出一些精度高、用途广泛的先进的仪器设备,从而推动了对这项科研的深入开展,加之我国学者认识到研究煤中微量元素的重要性,从而使我国对煤中微量元素的研究处于历史高峰。

随着信息、网络系统的发展,资料获取较为方便,国内外学术交流日趋增加,促进了我国煤环境地球化学、煤地球化学等领域的研究进程。近几年,我国对煤中微量元素在煤层、聚煤盆地中的分布规律^[34,36-47]、与煤中显微组分、硫的关系及其赋存方式^[47-55]、富集成因机理^[55,56]等方面取得了较为显著的成果,同时对在煤燃烧^[57-65]、淋溶过程中^[66,67]微量元素的迁移析出、释放控制及其对环境的影响^[47,68-72]等方面都进行了较为深入的研究。

4 国内外研究对比

由以上可知,我国已对煤中微量元素的研究取得了较为丰富的成果和研究经验,为以后的工作奠定了坚实的基础。由于我国煤炭资源与国外相比具有:资源极为丰富。目前煤炭资源预测量45.521亿t;煤质变化大,品种多样。各种显微组分和煤类在全国各煤田都有发育,其中褐煤约5%、烟煤约85%、无烟煤约10%;成煤时代长。从中古生代至早古生代的石煤,中泥盆世到第四纪均有煤层形成,其中最具有工业价值的重要成煤有早、晚石炭世,早、晚二叠世,晚三叠世,早、晚侏罗世,早白垩世和第三纪;成煤植物门类繁多。从低等菌藻类植物到高等被子植物都是煤形成的物质基础,成煤环境复杂;成煤环境和控煤因素多。有海相、陆相和海陆交互相环境沉积,并且所有煤田和聚煤盆地内构造、水文地质、岩浆活动都有较大的差别。

鉴于我国煤炭与国外煤炭形成环境等方面的差异,同国外相比,我们研究时间较短,研究经验还不丰富,研究设备及手段偏低,具体表现在以下方面:

研究区域少。主要集中在云南、贵州三叠纪煤层、鲁西南石炭二叠系主采煤层、东北受岩浆影响的煤层、山西局部矿区和一些小的矿井正在开采的煤层。对许多大型聚煤盆地(四川、河南等)内的煤层中微量元素的研究还是空白,远不能代表我国所有聚煤盆地内煤微量元素的含量与分布特征;研究的微量元素少。在80年代中期以前,我国主要集中于

Ge、Ga、As、U等元素的研究,只是近些年才扩大了研究的范围,但对具有环境意义的微量元素(Hg、Se)研究偏少,不能满足煤利用过程中环境方面的需要;样品随机性大。多数研究者采取的样品较少,而且仅限于研究者所在位置附近的矿区,随机性较大;研究内容不全面。截止目前主要集中在对微量元素在煤层垂直、水平方向上的分布研究上,对不同煤类、不同的显微组分中微量元素的含量、分布特点研究还处萌芽阶段,这不利于对多煤种(质)在利用过程中微量元素释放、迁移变化研究的要求;研究手段少,误差大。过去的研究大部分采用传统的原子吸收法、化学分离法,到近些年大多数元素都是采用中子活化法,只有少数采用了ICP-MS等其它先进方法。由于元素在煤中含量较低,用这些方法测定时,可能会与实际值产生较大的误差,从而会降低了研究的可信度;与国外对比少。只有少数学者对个别研究区的煤中微量元素含量与国外进行了对比,由于对比少,这不利于我国煤炭资源的国际化利用。总之,我国在煤质分析化验时对微量元素检测的种类和测点数量极少,除Ge、Ga、As、V等以外的其它各微量元素检测更少,袁三畏^[73]认为近几年我国对煤中微量元素的分布研究和评价是一个良好的开端,但与国外相比仍处于初级阶段,对一些具有环境意义的微量元素的检测和研究几乎是空白。因此,在我国开展煤中微量元素分布的研究不仅具有重要的理论意义,而且具有重要的环境意义和社会经济意义。

5 今后研究的方向

煤中微量元素十分重要,是因为它们与环境问题、植物及人类健康密切相关(Dalway, 2000)。在研究微量元素时必须考虑微量元素的性质及毒性,分析它们的含量、种类、存在形式、pH值、氧化-还原条件及其它因素。综合上述及国内外研究情况,今后主要在以下方面开展工作:

(1) 深入对煤中微量元素的赋存规律研究。以前人们很重视煤中元素浓度和含量多少,随着研究的深入,逐渐认识到元素赋存状态对环境的影响有时比浓度更为重要,因为赋存形式决定元素从煤中释放的难易程度和毒性。弄清元素在煤中的存在状态,对于准确评价元素的工艺性能、对环境的影响、作为副产品的可能性以及在地质上的意义都是十分重要的^[27]。但对于我国来说,全国煤炭资源中微量元素的含量分布并没有进行大规模调查,这方面的

基础研究仍不可忽视。

(2) 重视对煤中微量元素的环境地球化学研究。煤中微量元素从开采、贮存到加工利用各个过程中,有害微量元素都会从煤中析出并对表生环境产生影响。因此,在今后相当长的时间内,微量元素从煤中析出的机理、影响因素、煤燃烧过程中的分配、释放和迁移机理、与温度的关系及其环境效应等方面要加大研究深度,同时要在微量元素释放控制机理与方法上进行探索,加强对煤的燃烧产物中有毒、有害元素的分异与去除方法的研究与试验,并找出去除煤中有毒、有害元素的有效方法,以便为燃煤过程中(特别是发电厂)对有害微量元素的释放控制和污染防治、大量粉煤灰的利用提供科学的理论依据。

我国是产煤大国,也是燃煤大国,燃煤造成的环境污染问题正引起高度的重视。燃煤除产生大量 SO_x 、 NO_x 、 CO_x 等有害气体外^[74],煤中的有害微量元素会发生转化与迁移并入侵到表生环境中。从国内外近两年研究资料^[47, 69, 70, 72-85]表明,燃煤已成为国家环境污染的重要问题,是国民经济和人类生存环境可持续发展的一个主要影响因素。燃煤中有害微量元素对环境的影响已成为各国关注的热点。我国政府已非常重视燃煤带来的环境问题,将洁净煤技术和燃煤控制有害物质释放技术列为我国能源与环境协调发展的战略方向,并写入《中国 21 世纪议程》。燃煤释放的有害微量元素(F、Cl、Se、Hg、As等)在一些国家和地区已严重影响了动植物的生长和人类的身体健康。研究燃煤过程中有害微量元素的迁移、释放规律、灰成分特征及污染控制技术,是环境科学发展的迫切需要,也是国民经济与社会可持续发展战略的需要。

参考文献(References):

- [1] Percy J. Metallurgy[M]. London: Murray, 1875. 596.
- [2] Berthoud E L. On the uranium, silver, iron etc. in the tertiary formation of Colorado territory[A]. Proc Acad Nat Sci[C]. 1975. 27.
- [3] Wait C E. The occurrence of titanium[J]. J Am Chem Soc, 1894, 18. 402.
- [4] Jorissen A. Molybdenum, selenium etc in coal from Liege[J]. J Chem Soc Abstr, 1897. 72. 265.
- [5] Chance H M. The discovery of new gold districts[J]. Trans Am Inst Min Eng, 1899, 29. 224-230.
- [6] Campbell J R. Distribution of phosphorus[J]. Mines Mineral, 1908. 408.
- [7] Parr S W, Wheeler W F. Unit coal and the composition of coal ash[J]. Bulletin of University of Illinois Engineering Experiment Station, Urbana, 1908. 37. 68.
- [8] Lloyd S J, Cunningham J. The radium content of some Alabama coals[J]. Am Chem J, 1913, 50. 47-51.
- [9] Ramage H. Gallium in flue dust[J]. Nature, 1927, 119. 783.
- [10] Howarth W. On the occurrence of linnaeite in the coal measures of South Wales[J]. Geol Mag, 1928, 65. 517.
- [11] Goldschmidt V M. The Occurrence of Rare Elements in Coal Ashes[R]. Coal Research Scientific and Technol Reports of BCU-RA, 1944.
- [12] Lessing R. Fluorine in coal[J]. Nature, 1934, 134. 699.
- [13] Zubovic P, Stadnichenko T, Sheffey N B. Distribution of minor elements in coals of the Eastern Interior Region[J]. Geol Surv Bull, 1964, 1117. B. 41.
- [14] Zubovic P, Stadnichenko T, Sheffey N B. Distribution of minor elements in coals of the Appalachian region[J]. Geol Surv Bull, 1966. 37.
- [15] Zubovic P, Stadnichenko T, Sheffey N B. Distribution of minor elements in coals of the western and southwestern Regions[J]. Geol Surv Bull, 1967, 1117. D. 33.
- [16] US National Committee for Geochemistry, Panel on the Trace Elements Geochemistry of Coal Resource Development Related to Health. Trace Element Geochemistry of Coal Resource Development Related to Environmental Quality and Health[M]. Washington: National Academy Press, 1980. 10-68.
- [17] Swaine D J. Trace Elements in Coal[M]. Australia: Butterworths Sydney, 1990. 3-168.
- [18] Eskenazi G M. Adsorption of gallium on peat and humic acids[J]. Fuel, 1967, 46. 187-191.
- [19] Eskenazi G M, Mincheva E. On the geochemistry of strontium in Bulgarian coals[J]. International Journal of Coal Geology, 1989, 74. 265-276.
- [20] Minkin J A, Chao E C T, Thompson C L, et al. Proton microprobe determination of elemental concentrations in coal macerals[J]. Scanning Electron Microsc, 1982 (1). 175-184.
- [21] McIntyre N S. Studies of elemental distributions within discrete coal macerals. Use of secondary ion mass spectrometry and X-ray photoelectron spectroscopy[J]. Fuel, 1985, 64. 1705-1712.
- [22] Wert C A. Applications of transmission electron microscopy to coal chemistry[J]. Fuel, 1987, 66. 914-920.
- [23] Bouska V. Geochemistry of Coal[M]. Prague: Academia, 1981. 262.
- [24] Valkovic V. Trace Element in Coal[M]. Florida: CRC Press, 1983. 2-223.
- [25] Swaine D J. Trace elements in fly ash[A]. In: Ellis A J, ed: Geochemistry[C]. New Zealand: Department of Scientific Industrial Research Bull 218, New Zealand DSIR, Wellington, 1977. 127-218.
- [26] Dack S W. Study of Paramagnetic metal ions in Victorian brown coal[J]. Fuel, 1985, 64. 222-225.
- [27] Finkelman R B. What we don't know about the occurrence and distribution of trace elements in coals[J]. Journal of Coal Quali-

- ty, 1989, 8: 3-4.
- [28] Finkelman R B. Trace and minor elements in coal [A]. In: Michael H, ed. Organic Geochemistry [M]. New York: Plenum Press, 1993. 593-607.
- [29] Finkelman R B. Models of occurrence of potentially hazardous elements in coal: levels of confidence [J]. Fuel Processing Technology, 1994, 39: 21-34.
- [30] Yan R, Gauthier D, Flamant G, et al. Thermodynamic study of the behavior of minor coal elements and their affinities to sulfur during coal combustion [J]. Fuel, 1999, 78: 817-829.
- [31] Marçal Pires, Haidi Fiedler, Elba Calessio Teixeira. Geochemical distribution of trace elements in coal: Modelling and environmental aspects [J]. Fuel, 1997, 76(14-15): 425-437.
- [32] Davison R L. Trace elements in fly ash—dependence of concentration on particle size [J]. Environ Sci Technol, 1974, 8(8): 1107.
- [33] Headlee A J W. Germanium and other elements in coal and the possibility of their recovery [J]. Mining Engineering, 1953, 6: 1011-1014.
- [34] Chen Rubin, Qian Qinfang, Yang Yinan, et al. The distribution of trace elements in coal from 107 coal-mines in China [J]. Chinese Science Bulletin, 1985, (1): 27-29. [陈如冰, 钱琴芳, 杨亦男, 等. 我国 107 个煤矿样中微量元素的浓度分布 [J]. 科学通报, 1985, (1): 27-29.]
- [35] Qu Xingwu, Wang Jincheng. Analysis on using Sr/Ba value to study sedimentary environments [J]. Coal Geology & Exploration, 1979, (1): 15-21. [曲星武, 王金城, 用锶钡比研究沉积环境的初步探讨 [J]. 煤田地质与勘探, 1979, (1): 15-21.]
- [36] Wang Yunquan, Ren Deyi, Lei Jiajin, et al. Distribution of Minor Elements in Chinese Coals [J]. Scientia Geological Sinica, 1997, 32(1): 65-73. [王运泉, 任德贻, 雷加锦, 等. 煤中微量元素分布特征初步研究 [J]. 地质科学, 1997, 32(1): 65-73.]
- [37] Deyi Ren, Fenghua Zhao, Yunquan Wang, et al. Distribution of minor and trace elements in Chinese coals [J]. International Journal of Coal Geology, 1999, 40: 109-118.
- [38] Ren Deyi, Xu Dewei, Zhang Junying, et al. Distribution of trace elements in coal from Shenbei coalfield [J]. Journal of China University of Mining and Technology, 1999, 28(1): 5-8. [任德贻, 许得伟, 张军营, 等. 沈北煤田煤中伴生元素分布特征 [J]. 中国矿业学院学报, 1999, 28(1): 5-8.]
- [39] Wang Qichao, Kang Shulian, Chen Chun, et al. Study on the contents and distribution laws of trace elements in coal in Northeast China and Eastern Inner Mongolia [J]. Environmental Chemistry, 1996, 15(1): 27-35. [王起超, 康淑莲, 陈春, 等. 东北、内蒙古东部地区煤炭中微量元素含量及分布规律 [J]. 环境化学, 1996, 15(1): 27-35.]
- [40] Zhuang Xinguo, Yang Shengke, Zeng Rongshu, et al. Characteristics of trace elements in coals from several main coal districts in China [J]. Geological Science and Technology Information, 1999, 18(3): 53-66. [庄新国, 杨生科, 曾荣树, 等. 中国几个主要煤产地煤中微量元素特征 [J]. 地质科技情报, 1999, 18(3): 53-66.]
- [41] Zhuang Xinguo, Xiang Caifu, Zeng Rongshu, et al. Comparative studies of trace elements in coals from three different types of basins [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 1999, 18(3): 254-264. [庄新国, 向才富, 曾荣树, 等. 三种不同类型盆地煤中微量元素对比研究 [J]. 岩石矿物学杂志, 1999, 18(3): 254-264.]
- [42] Liu Guojian, Yang Pingyue. The distribution characteristics of trace elements in the coal of Tangkou district [J]. Coal Geology & Exploration, 1999, 27(2): 13-15. [刘桂建, 杨萍月. 唐口区煤中微量元素的分布特征 [J]. 煤田地质与勘探, 1999, 27(2): 13-15.]
- [43] Zhou Yiping, Bruce F Bohor, Youliang Ren. Trace element geochemistry of altered volcanic ash layers (tombstones) in Late Permian coal-bearing formations of eastern Yunnan and western Guizhou Provinces, China [J]. International Journal of Coal Geology, 2000, 44: 305-324.
- [44] Huang Wenhui, Yang Qi, Tang Dazhen, et al. Rare earth element geochemistry of Late Palaeozoic coals in North China [J]. Acta Geological Sinica, 2000, 74(1): 74-83.
- [45] Huang Wenhui, Yang Qi, Tang Dazhen, et al. Trace elements geochemistry of the coals in the Taiyuan Formation from Zaozhuang coal field [J]. Geoscience, 2000, 14(1): 61-68. [黄文辉, 杨起, 汤达祯, 等. 枣庄煤田太原组煤中微量元素地球化学研究 [J]. 现代地质, 2000, 14(1): 61-68.]
- [46] Liu Guojian, Yang Pingyue. Geochemistry of trace elements in Jinning coalfield [J]. Geology Geochemistry, 1999, 27(4): 77-82. [刘桂建, 杨萍月. 济宁煤田煤中微量元素的地球化学研究 [J]. 地质地球化学, 1999, 27(4): 77-82.]
- [47] Liu Guojian, Wang Guilian, Zhang Wei. Study on environmental geochemistry of trace and minor elements in coal—Example for Yanzhou mining area [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1999. 1-117. [刘桂建, 王桂梁, 张威. 煤中微量元素的环境地球化学研究——以兖州矿区为例 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1999. 1-117.]
- [48] Zhang Zhengfu, Fan Jinchuan, Jin Jufang. The occurrence of As, Pb, Be, Cr in coal [J]. Journal of Fuel and Technology, 1992, 20(2): 206-211. [张振桴, 樊金串, 晋菊芳. 煤中砷、铅、铍、铬等元素的存在状态 [J]. 燃料化学学报, 1992, 20(2): 206-211.]
- [49] Lu Xiaohua, Zeng Hancai, Yan Rong, et al. Modeling of the relationship between trace elements and three species of sulfur in coal [J]. Environmental Chemistry, 1997, 16(4): 306-310. [陆晓华, 曾汉才, 晏蓉, 等. 煤中微量元素与三态硫的模型 [J]. 环境化学, 1997, 16(4): 306-310.]
- [50] Lu Baihe. Characteristics of occurrence of Cl and F in Chinese coal [J]. Coal Geology & Exploration, 1996, 24(1): 9-11. [鲁百合. 我国煤层中氟和氯的赋存特征 [J]. 煤田地质与勘探, 1996, 24(1): 9-11.]
- [51] Zhang Junying, Ren Deyi, Wang Yunquan, et al. The relationship between Organic trace elements in coal and coal rank [J]. Coal Geology & Exploration, 2000, 28(6): 11-13. [张军营, 任德贻, 王运泉, 等. 煤中有机态微量元素与煤级的关系 [J]. 煤田地质与勘探, 2000, 28(6): 11-13.]

- [52] Zhang Junying, Ren Deyi, Xu Dewei, et al. Advances in the studies of Selenium in coal[J]. Coal geology & Exploration, 1999, 27(1): 6-18. [张军营, 任德怡, 许德伟, 等. 煤中硒的研究进展[J]. 煤田地质与勘探, 1999, 27(1): 6-18.]
- [53] Fan Jinchuan, Fan Mingqiang. Cluster analysis of dependence relationship of trace element in coal[J]. Journal of Fuel and Technology, 2000, 28(2): 157-161. [樊金串, 樊民强. 煤中微量元素间依存关系的聚类分析[J]. 燃料化学学报, 2000, 28(2): 157-161.]
- [54] Qi Qingjie, Liu Jianzhong, Zhou Junhu, et al. Study on distribution and occurrence characteristic of fluorine in coal[J]. Journal of Fuel and Technology, 2000, 28(4): 376-378. [齐庆杰, 刘建忠, 周俊虎, 等. 煤中氟化物分布与赋存特征研究[J]. 燃料化学学报, 2000, 28(4): 376-378.]
- [55] Wang Yunquan, Ren Deyi, Wang Longguo. The occurrence of trace elements in coal[J]. Coal Geology & Exploration, 1996, 24(2): 9-11. [王运泉, 任德怡, 王隆国. 煤中微量元素的赋存状态[J]. 煤田地质与勘探, 1996, 24(2): 9-11.]
- [56] Ren Deyi, Zhao Fenghua, Zhang Junying, et al. Enrichment types of trace elements in coal[J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(Supplement): 17-21. [任德怡, 赵峰华, 张军营, 等. 煤中有害微量元素富集的成因类型初探[J]. 地学前缘, 1999, 6(增刊): 17-21.]
- [57] Liu Guijian, Peng Zicheng, Yang Pingyue, et al. Analysis of factors on concentration of minor elements in coal[J]. Coal Geology & Exploration, 2001, 29(3): 1-4. [刘桂建, 彭子成, 杨萍月, 等. 煤中微量元素富集因素分析[J]. 煤田地质与勘探, 2001, 29(3): 1-4.]
- [58] Liu Guijian, Peng Zicheng, Yang Pingyue, et al. On changes of trace elements in coal during combustion[J]. Journal of Fuel and Technology, 2001, 29(2): 119-123. [刘桂建, 彭子成, 杨萍月, 等. 煤中微量元素在燃烧过程中的变化[J]. 燃料化学学报, 2001, 29(2): 119-123.]
- [59] Liu Guijian, Yang Pingyue, Zhang Wei, et al. Research on separation of minor elements from coal during combustion[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2000, 1: 62-66.
- [60] Sun Jingxin, R E Jervis. The trace elements in coal and their characteristics of distribution during coal combustion[J]. Science in China (A), 1986, 12: 287-294. [孙景信, Jervis R E. 煤中微量元素及其在燃烧过程中的分布特征[J]. 中国科学(A), 1986, 12: 287-294.]
- [61] Lu Xiaohua, Ali A, Liu Hanzhen, et al. Study on the speciation distribution of heavy metals in particulates released from coal combustion[J]. Environmental Chemistry, 1996, 15(4): 337-342. [陆晓华, Ali A, 刘汉珍, 等. 燃煤电厂排放颗粒中重金属形态研究[J]. 环境化学, 1996, 15(4): 337-342.]
- [62] Lu Xiaohua, Zeng Hancui, Ouyang Zhonghua, et al. The distribution and enrichment of trace elements in particles released from coal combustion[J]. Environmental Chemistry, 1995, 14(6): 489-493. [陆晓华, 曾汉才, 欧阳中华, 等. 燃煤电厂排放细微灰粒中痕量元素的分布与富集规律[J]. 环境化学, 1995, 14(6): 489-493.]
- [63] Huang Wenhui, Yang Qi. Novel development of study on the transformation mechanism of hazard elements during coal combustion[J]. Geological Science and Technology Information, 1999, 1(1): 71-74. [黄文辉, 杨起. 燃煤过程中有害元素转化机理研究进展[J]. 地质科技情报, 1999, 1(1): 71-74.]
- [64] Liu Yinghui, Zheng Chuguang, Cheng Junfeng, et al. Speciation and analysis of mercury in coal combustion flue gas[J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology, 2000, 28(5): 463-467. [刘迎晖, 郑楚光, 程俊峰, 等. 燃煤烟气中汞的形态及其分析方法[J]. 燃料化学学报, 2000, 28(5): 463-467.]
- [65] Wang Yunquan, Ren Deyi, Xie Hongbo. Emission laws and distribution of trace elements during coal combustion[J]. Mine Environmental Protection, 1995, 9(6): 25-2. [王运泉, 任德怡, 谢洪波. 燃煤过程中微量元素的分布及逸散规律[J]. 煤矿环境保护, 1995, 9(6): 25-28.]
- [66] Liu Guijian. Experiment of coal leaching and study of the separation of trace elements[J]. Acta Geologica Sinica, 2000, 74(2): 386-390.
- [67] Yunquan Wang, Deyi Ren, Fenghua Zhao. Comparative leaching experiments for trace elements in raw coal, laboratory ash, fly ash and bottom ash[J]. International Journal of Coal Geology, 1999, 40: 103-108.
- [68] Baoshan Zheng, Zhenhua Ding, Ronggui Huang, et al. Issues of health and disease relating to coal use in south western China[J]. International Journal of Coal Geology, 1999, 40: 119-132.
- [69] Zhao Fenghua. Research development and environmental protection of hazard trace elements in coal[J]. Coal Mine Environmental Protection, 1998, 12(2): 20-23. [赵峰华. 煤中有害元素研究现状及其环境保护的意义[J]. 煤矿环境保护, 1998, 12(2): 20-23.]
- [70] Liu Guijian, Yang Pingyue. The Advance of Environmental Study on Trace and Minor Elements in Coal[J]. Coal Mine Environmental Protection, 1999, 13(5): 17-19. [刘桂建, 杨萍月. 简述煤中微量元素的环境学研究[J]. 煤矿环境保护, 1999, 13(5): 17-19.]
- [71] Liu Guijian, Yang Pingyue, Wang Guiliang. The migration of trace and minor elements of coal in the soil environments[J]. Acta Geosciencia Sinica, 2000, 21(4): 423-427. [刘桂建, 杨萍月, 王桂梁. 煤中微量元素在土壤环境中的迁移研究[J]. 地球学报, 2000, 21(4): 423-427.]
- [72] Feng Xinbin, Hong Bing, Ni Jianyu, et al. Chemical mobility of potentially toxic trace elements in coal at surface conditions[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1999, 19(4): 443-446. [冯新斌, 洪冰, 倪建宇, 等. 煤中部分潜在毒害微量元素在表生条件下的化学活性[J]. 环境科学学报, 1999, 19(4): 443-446.]
- [73] Yuan Sanwei. The Evaluation on Coal Quality in China[M]. Beijing: Coal Industry House, 1999. 92. 109. [袁三畏. 中国煤质论评[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1999. 92-109.]
- [74] Xu Chang Xu, Changhe Chen, Haiyin Qi, et al. Development of coal combustion pollution control for SO₂ and NO_x in China[J]. Fuel Processing Technology, 2000, 62: 153-160.
- [75] Swaine, D J. Why trace elements are important[J]. Fuel Pro-

- cessing Technology, 2000, 65: 21-23.
- [76] Finkelmann R B, Peggy M K Gross. The type of data needed for assessing the environmental and human health impacts of coal [J]. International Journal of Coal Geology, 1999, 40: 91-101.
- [77] Fyfe W S. Clean energy for 10 billion human in the 21st century: is it possible? [J]. International Journal of Coal Geology, 1999, 40: 85-90.
- [78] Gutta D C. Environmental aspects of selected trace elements associated with coal and natural waters of Pench valley coalfield of India and their impact on human health [J]. International Journal of Coal Geology, 1999, 140: 133-149.
- [79] Kizilshtein I K, Kholodkov Y K. Ecologically hazardous elements in coals of the Donets Basin [J]. International Journal of Coal Geology, 1999, 40: 189-197.
- [80] Zhong Tang, Yang Wang. Efficient and environment friendly use of coal [J]. Fuel Processing Technology, 2000, 62: 137-141.
- [81] Constance L Senior. Development of a mechanistic model for prediction of emission of trace elements from coal fired [J]. Fuel Processing Technology, 2000, 63: 75-77.
- [82] Mastral A M, Callen M S, Garcia T. Toxic organic emissions from coal combustion [J]. Fuel Processing Technology, 2000, 67: 1-10.
- [83] Edward Furimsky. Characterization of trace element emission from coal combustion by equilibrium calculations [J]. Fuel Processing Technology, 2000, 63: 29-44.
- [84] Kathy E Benfell, Basil Beamish, Peter J Crosdale, et al. Combustion behavior of Bowen basin coals [J]. Fuel Processing Technology, 1999, 60: 1-14.
- [85] Vassilev S V, Eskenazy G M, Vassileva C G. Contents, modes of occurrence and behavior of chlorine and Boron in combustion waste from coal fired power stations [J]. Fuel, 2000, 79: 923-937.

STUDY ON TRACE ELEMENTS IN COAL

LIU Gui-jian¹, PENG Zi-cheng¹, WANG Gui-liang²,
YANG Ping-yue¹, CHOU Chenlin³

(1. Department of Earth and Space Science, USTC, Hefei 230026, China;

2. Department of Resource and Environment Science, CUMT, Xuzhou 221008, China;

3. Illinois Department of Natural Resources, Illinois State Geological Survey, SA61820)

Abstract: Most of energy consumed in China, now and in the near future, is coal. China is the largest coal producer and consumer in the world. In China coal accounts for 75% of the total consumption of primary energy, it is estimated that coal will take about 67% in the primary energy in 2020, dropping from the present 76%. However, the total consumed coal will be increased to 2.3 billion tons from 1.2 billion tons per year at present. The capacity of the coal-fired power plants is 93% in the total thermal power plants. Increased coal consumption in large coal fired power plants and cities implies increased thermal pollution, particulate release (smog), sulfur emission, acid rain, greenhouse effect and hazardous trace elements emission.

When coals are mined and stored, most of hazardous trace elements in coal will be leached out and enter into water, soil environments. During beneficiation and the reduction in trace-element levels in the clean coal, there is an associated increase in trace-element contents in the reject material and washery water. The disposal of these washery rejects must be undertaken carefully because their increased contents of pyrite and others hazardous trace elements are a potential source of acidic solutions that could contaminate local waters with increased concentrations of trace elements.

During coal burning, the trace elements in coal will move or transform into following aspects: the first is that they volatilize out into air with smoking in forms of gas; the second is that they consist in fly ash or powder dust and other little matters and get into the air in forms of solid granule; the third is that parts of them still reserve in coal-ashes. So when coal is used as fuel, not only do CO_x, NO_x and SO_x give out into atmosphere and form acid rain, but also do many hazardous trace elements volatile out in the forms of aerosols and gaseous products of smoke and fine particles and migrate in air, at last they will get into soil and water under function of rainfall. Most of hazardous trace elements will be volatilized out from coal (coal gangue and ashes) when coal is burnt. They will volatile

into atmosphere in the forms of gas, aerosols and fine particles and into water with leaching solution, and recycle among air, water, soil and the living, at last, they do harm to human health.

Trace elements in coal are important because of their association with environmental issues and the health of plants, animals and humankind. Consideration must be given to essentiality, non-essentiality and toxicity that depend on concentrations, the form of the element, pH and oxidation-reduction conditions and other factors. During process of coal formation, which began from plants growing to peat swamp and to types of coal rank, there were many factors of influence upon migration and concentration of minor elements. The factors mainly include plant types, chemical conditions, climate conditions, sea water aggression, magma hydrotherm fluid effect during coalification and matter exchange between coal and rocks of roof and floor. So the formation and concentration of minor elements in coal is the synthesical results of many geological factors during coalification stages. The modes of occurrences of trace elements in coals control toxicity and giving off degree of difficulty of trace elements during coal utilizing and processing. It is very important to study on modes of occurrences of trace elements in coals for detailed evaluating artistic characters, affecting environment, regarding as productions and using in geology. In this paper, on the basis of the research on data in the world, the history and developments of the study on the found, occurrence, formation of trace elements in coal are analyzed in detail. The important content and direction is environmental geochemistry in the future.

Key words: Trace elements; Coal; Environmental geochemistry.

檠

《资源生态环境网络研究动态》 与《地球科学进展》杂志整合的通告

1988年,中国生态系统研究网络开始筹建。为了促进中国生态系统研究网络的建设与发展,《资源生态环境网络研究动态》(季刊)于1990年创刊。该刊由中国科学院中国生态系统研究网络(CERN)和中国科学院资源环境科学信息中心联合主办。十几年来,在CERN有关领导和科学委员会的支持下,该刊在加强CERN学术交流,扩大CERN在国内外的影响方面发挥了积极作用。

但是,由于该刊长期未能公开发行,影响了作者投稿的积极性,而作为中国最大的长期生态系统研究网络 and 在国际上具有一定影响的综合性生态研究网络,CERN在原有基础上保留一个学术交流的园地是十分必要的。经有关方面协商决定,原《资源生态环境网络研究动态》停办,在《地球科学进展》开辟“生态学研究”专栏(从2002年开始),继续报道CERN的进展和研究成果,介绍国内外生态环境监测和研究网络的动态和发展趋势,反映与CERN研究方向有关的生态学前沿领域。

《资源生态环境网络研究动态》编辑委员会

2002年1月6日