

论有机质与金属成矿和勘查

陈远荣¹ 贾国相¹ 戴塔根²

(1. 桂林矿产地质研究院, 广西 桂林 541004 2. 中南大学地质研究所, 湖南 长沙 410083)

提要:有机质与金属成矿是一个处于初级研究阶段的地球化学领域。本文对其研究历史进行了回顾, 指出了有机质在金属成矿中的主要作用以及有机烃气测量在金属矿产勘查中的初步应用成果。认为该领域的深入研究, 可促进成矿作用、成矿过程、成矿规律、气体运移规律和成矿预测的全面认识, 对有机地球化学和无机地球化学、固体地球化学与气体地球化学、勘查地球化学与矿床学等不同学科之间的连接和相互渗透将起重要的纽带作用。

关键词:有机质; 金属成矿; 勘查方法

中图分类号: P593 文献标识码: A 文章编号: 1000-3657(2002)03-0257-06

1 有机质与金属成矿关系研究的历史与现状

1.1 20世纪30~60年代, 有机质与金属元素富集关系研究初始阶段

有机质与金属成矿关系的研究始于20世纪30年代。这一时期, 主要开展有机质与某个或某些金属元素富集关系研究。如Goldschmidt等^[1]1933年对德国、英国煤中锗的含量进行了系统研究; 叶连俊^[2]于1963年研究了有机质的海解作用; 汪本善^[3]于1963年对煤中锗的形成机理进行了研究; Манская и Дроздова^[4]于1964年出版的《有机质的地球化学》一书中, 着重讨论了沉积岩有机质对U、V、Cu、Mn、Co、Ni、Au、Ag、Zn等元素的富集作用……。这些研究, 初步揭示了有机质对金属元素的富集具有重要作用, 并逐步掀开了有机质与金属成矿关系系统研究的序幕。

1.2 20世纪70~80年代初, 有机质与层控矿床成矿关系研究和模拟实验阶段

这一时期, 世界各国地质、地球化学工作者就“有机质对金属成矿的影响”给予了极大的关注, 除了进一步研究有机质对各类金属元素的初始富集作

用外, 开始研究有机质及其演化物在各类层控矿床成矿中的作用。如Dozy^[5]于1970年以密西西比河谷型铅-锌矿床为例, 系统论述了卤水-石油-金属的关系; Richard^[6]1975年报道了瑞典莱斯瓦尔(Laisvall)铅锌矿伴生有烃类, 证明其成矿溶液含有石油烃类; Saxby^[7]1976年在“有机质在矿床成因中的重要意义”一文中指出, 由于有机质的热稳定性低, 尽管许多变质程度较高的层状金属矿床中有机质含量低, 但有机质在金属沉淀、成岩、成矿过程中的作用可能比我们通常认识的大得多; 1980年在华盛顿“金属矿床中有机质的地球化学”讨论会上, 在讨论有机质与成矿溶液问题时, 从地球化学角度也论述了油田与金属矿床间的关系; 杨蔚华等^[8]1983年研究了干酪根热降解产生的CH₄与层控铜矿床浅色层的形成; 傅家谟等^[9]1983年进行了有机质演化与汞、水晶等层控矿床的成矿研究。

为了了解有机物参与金属成矿的过程和作用, 这一时期人们还从实验角度对有机质与金属元素的作用机理进行了大量研究, 为推动有机质与金属成矿的关系研究起到了巨大的推动作用。如桂林矿产地质研究院(1981~1985)做了有机质对Pb²⁺、Zn²⁺的吸附沉淀, 金属有机络合物生成硫化物, 矿源层中铅

收稿日期: 2001-10-08; 改回日期: 2002-02-26

基金项目: 国家公益基金项目部分研究成果。

作者简介: 陈远荣, 男, 1963年生, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事基础地球化学和地球化学勘查新方法新技术研究。

锌活化迁移,细菌在层控铅锌矿床形成中的作用等一系列实验;中国科学院贵阳地球化学研究所涂光炽等(1985~1988)做了在含腐植酸水溶液中胶体 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 对多金属元素的吸附沉淀作用,铁溶解度与腐植酸含量的关系,不同来源腐植酸对金属元素的络合量以及有机-金属络合物的红外光谱特征,溶解的腐植酸和Fe、Cu、Pb、Cd、Mn的凝聚作用与pH值、电解质浓度的关系,有机-金属络合物的热稳定性研究,有机物的差热、失重分析等系列实验。

1.3 20世纪80年代中期至90年代初,有机质在各类矿床成矿中的作用研究及有机烃类在找矿勘查中的初步试验阶段

在本阶段,人们一方面总结有机质在金属成矿中的作用,如涂光炽等^[10]1988年在《中国层控矿床地球化学》(第三卷)一书中,系统地论述了有机质在层控矿床成矿中的作用,并明确指出有机质的热演化及其产物对层控矿床的形成有着各种直接或间接的成因联系。另一方面,通过对各类金属矿物包裹体进行成分分析,表明有机质不但参与了层控矿床的成矿作用,而且参与了许多岩浆热液矿床的成矿。如B. В. Левичкий和Б. Г. Демин^[11]对贝加尔地区金和硫化物的单矿物包体成分研究中,发现存在大量的碳氢化合物,并认为金在迁移中有机物起着重要作用; G. B. Naumov^[12]通过对大量内生流体的性状研究后指出,大部分包体含有有机酸到甲烷等大量碳化物; Roedder^[13]指出,密西西比型铅锌矿床中存在与盐水共存的石油包裹体;王秀璋等^[14]对黔西板其金矿方解石包裹体成分分析后发现, CH_4 达 5×10^{-6} ; 於崇文等^[15]1988年对个旧锡矿研究后指出,无论是岩浆作用阶段形成的各类夕卡岩,还是云英岩-锡石阶段形成的各类岩脉和硫化物-锡石阶段形成的矿石矿物,其气液包体中均不同程度地含有 CH_4 ,其含量达 $0.25 \times 10^{-6} \sim 17 \times 10^{-6}$ 。

为此,许多有识之士都曾提出过将有机烃气测量应用于金属矿床勘查的设想,国内外有关勘探公司和研究院还开展了初步的有机物找矿勘查试验研究。如在国外,美国的Petrex Minerals公司1983年曾开发出一种包括多项无机、有机指标的地球化学勘查技术(称为指纹法),在埃尔·普洛莫金矿、斯坦里-赫基尔金银矿等若干已知贵金属矿床上做过试验,并清晰地圈出了矿体的位置^[16]。在国内,李生郁等^[17]在1987~1989年期间,对轻烃、汞及二氧化碳气

体综合测量找矿进行过专题试验,初步表明了轻烃气体是找金属矿的有效指标。

1.4 20世纪90年代中期至今,有机烃类在金属矿床勘查中应用的全面试验研究阶段

随着找矿工作的深入,金属矿产勘查已由过去找地表矿为主阶段进入目前找隐伏矿床阶段,那些异常飘移远、干扰因素多、反映深度浅的传统地球化学方法越来越难以适应新勘查目标的需要。因而具有挥发性强、运移距离远、运移通道受限于裂隙构造、异常范围局限而集中、衬度值高等优点的烃类气体测量,越来越为人们所重视,在开展各类典型已知矿方法有效性试验的基础上,已逐渐被利用于地质找矿,尤其是隐伏矿床的找矿预测评价中。如1995~1996年,祁士华等^[18]在山东招远玲珑金矿、福建建瓯小坑金矿进行轻烃测量研究后指出,烃类异常与金矿吻合性非常好,对该区金矿床化探工作具有重要指导意义。李生郁等^[19]于20世纪90年代中后期进行试验后指出,该方法可用于寻找盖层厚度几米到400多米的运积物覆盖区隐伏矿,并可用于基岩面下埋藏400多米盲矿的地表土壤、岩石测量以及岩体评价找矿工作。1996年以来,贾国相、陈远荣等通过对十几个典型矿床进行试验,发现无论是金矿、锡矿、铜矿、铅锌矿,还是铜钼矿、铜镍矿,均不同程度地存在烃类异常反映。

2 有机物与金属成矿作用

有机物在金属成矿过程中的贡献主要包括以下几个方面。

2.1 有机体对金属元素具有富集作用,并且对形成初始矿源层具重要作用

研究表明,生物在生长期间,生物有机体通过器官吸收、表面吸附及形成有机络合物等形式富集大量金属元素,如据Bowen^[20]1966年统计,藻类和细菌可使金属浓集几十至几十万倍。美国学者D. H. Davis^[20]1977年在研究密苏里东南部铅矿床成因后指出,蓝绿藻对铅锌具富集作用,其中它能在低浓度溶液中对铅富集高达5 000倍。生物死亡后,在有机体因氧化而分解的过程中常会将吸收在有机体内的金属元素重新释放出来,但是,大量有机体的分解,尤其是海生动物富含蛋白质的软体组织的分解可产生大量氨基酸、富里酸和腐植酸等各种有机酸,首先这些有机酸对金属元素具有很强的络合作用或螯合作用,

再次将各种金属元素富集起来,形成具活动性状的金属有机络合物或螯合物。如M.A拉希德^[20]曾实验,平均每克腐植酸捕获二价金属离子的能力为97~150 mg,在碳酸盐中每克腐植酸能溶解54~250 mg金属;其作用原理是:有机酸中含有大量羧基(-COOH)和羟基(OH)等游离基,这些游离基的氢原子能被金属离子取代,使沉积物和水介质中的金属离子与金属氢氧化物等能很快与羧酸反应,形成易溶解的羧酸盐而使金属元素富集^[21]。另一方面,有机酸具有很强的还原能力,又是许多还原细菌极好的天然培养基,当沉积物或岩层中富含有机质时,因大量还原菌的繁殖以及有机质热降解而释放出烃类,使海(或湖)底、沉积物、岩层保持处于还原环境,各种成矿金属元素才不因有机质分解而重新返回海洋,仍保存在底积物或岩层中,并经成岩作用形成富含各种金属成矿元素的初始矿源层。在我国北方的元古代、南方的上震旦统、下寒武统、秦岭地区的志留系均发育有大量富含有机质和金属元素的黑色矿源层,其中的金属元素与同类岩石相比含量常高出数倍至几十倍。据涂光炽等^[10],我国南方下寒武统黑色页岩中,除Co普遍小于页岩平均值外,Pb在桂北、云南超出页岩平均值5~30倍,Zn在桂北、云南超出页岩平均值5~30倍,Zn在皖南、桂北、云南和湖南高出2~5倍,Mo、Cu和Ag普遍高出1.5~110倍,Ba除浙江外高出2~27倍。

2.2 有机物是金属元素活化、迁移和富集成矿的重要介质和催化剂,有机-金属络合物是金属元素迁移的重要形式

①不管是原生沉积或后期富集,甚至在成岩或变质作用中,有机物都能起到很大的作用。前已述及,只要有大量有机物的存在,由于其中的羧基、羟基、羰基、胺基等能直接与各种金属元素作用形成溶解度、热稳定性较大的有机络合物或螯合物,如氨基乙酸铜 $\text{Cu}(\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COO})_n$ 、醋酸铅 $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 、乳酸-Zn、苯醌-Zn、氨基酸-Zn等络合物,因而有利于各种金属元素的活化与迁移。

②富有机物的地层在埋藏成岩热变过程中,有机物因热解作用产生大量的烷烃及其游离基。随着成岩和改造作用的进行,封存孔隙水中的卤族元素(Cl、I等)浓度不断增大,化学性质非常活泼的烃类及其游离基便可与这些卤族元素发生卤化反应形成卤代烷,如 $\text{CH}_3\text{CH}_3 + \text{Cl}^- \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2 - \text{Cl}$ (氯乙烷)+

H^+ 。烃类的卤化是链锁反应,多数金属元素(Pb、Zn、Cu、Sn、Au、Sb、Hg等)都能与卤代烷反应,生成易溶的金属有机化合物和金属卤化物,如 $2\text{Zn}^{2+} + 2\text{CH}_3\text{Cl} \rightarrow \text{Zn}(\text{CH}_3)_2 + \text{ZnCl}_2$,因此从沉积物(地层)中不断萃取其中的金属元素汇集到成岩孔隙水中或成矿热液中,为金属元素的大规模迁移和富集成矿创造了有利基础,虽然不同的有机-金属络合物的热稳定性有差别,但根据周中毅等人对“海藻的热变过程实验”结果推测,只要含有机质沉积层的成岩演化温度不超过300℃,上述演化过程便能持续进行。这对于大部分中低温矿床来说,已能满足成矿要求,如广东凡口铅锌矿床的形成温度为110~210℃^[21];密西西比铅锌矿床的形成温度为75~220℃^[21];招远金矿的成矿温度包括3个区段,280~360℃、220~270℃和180~200℃^[15];日本南萨型金矿床的形成温度为120~275℃^[21]。

③大量实验资料表明,在相同或相似条件下,各种金属矿物在有机质存在的介质中获得的溶解度比在单纯NaCl溶液中的要大几倍到十几倍,显然有机物对于金属元素的活化、迁移极有帮助。

④大量有机物的存在,使硫酸盐还原菌得以大量繁殖、滋生,而这些还原细菌能将沉积物中及封存于沉积物孔隙海水里的硫酸盐还原,形成大量的 H_2S ,这为许多金属硫化物矿床的形成提供了储存的地质环境及硫源。

2.3 有机物热降解气体能为矿源层的成矿元素排出和汇聚提供通道和动力

人们在长期研究成矿模式与机制中发现,许多赋存于古生界、中新生界的地层中的矿床(包括Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Sn、Hg、Sb等矿产),尤其是层控型、中低温热液型、叠加改造型和喷流沉积型矿床,其成矿物质主要来自前古生界古老基底一些富含成矿物质和有机质的矿源层。由于古老基底埋深大,所受的地层压力也很大,再加上历受多次构造运动(如加里东、海西、燕山等),这些基底矿源层的孔隙度和渗透率都已很小,据李明城^[22]的研究,2000 m深处页岩孔隙直径约为 $50 \times 10^{-10} \sim 100 \times 10^{-10} \text{m}$,4500 m深处则仅为 $8 \times 10^{-10} \sim 16 \times 10^{-10} \text{m}$,这几乎与许多气体分子的直径相差无几,在正常情况下,已萃取于孔隙水或热液中的成矿元素的排出可谓“寸步难行”,然而,由于这些矿源层富含有机质,且其干酪根多属I型(即无定形的类脂组)和II型(即无定形—草本—木质组),当

其埋藏处地温达到50~90℃时(埋深1 500~2 500 m),这些干酪根会因热降解作用开始生成大量的烃类(CH_4 、 C_2H_6 、 C_3H_8 等)和 CO_2 气体,而当地温大于100℃时(埋深3 000~4 000 m),烃类和 CO_2 等气体的数量会急剧增加。据格里戈里也夫^[23],即使是母质以木质组干酪根(Ⅲ型)为主体的无烟煤,生成每吨无烟煤平均放出>700 kg的 H_2O 、>500 kg的 CO_2 和>200 kg的 CH_4 。另据Momper^[24]的研究,有机质在生油高峰向液体或气体转化过程中,它的纯体积超过原来有机质体积的25%,大量气体、气泡的产生,会堵塞孔隙通道,逐步增加孔隙内的流体压力。当孔隙压力大于周围静水压力1.42~2.40倍时便超过岩石力学强度,产生微裂隙或使原已存在的裂隙再度张开,这样,含矿质的流体便可从这些微裂隙中排出。成矿流体排出后,压力下降,微裂隙闭合;气体再度产出引起压力升高时,微裂隙再次张开,成矿流体再排出,通过这种气体产生→引起高压→微裂隙形成和张开→成矿流体排出的反复作用,矿源层中的成矿物质得以随成矿流体间歇性地排出并汇聚,继而进一步共同运移到有利的空间沉淀、富集成矿。

2.4 有机质对壳源岩浆作用、分异、成矿亦有重要影响

①壳源重溶岩浆形成前,原岩中有机质的多少对成矿元素的富集已有重要影响。

②在重熔形成岩浆及其分异演化过程中,如果物源富含有机质,那么有机物分解可形成大量的 CO_2 、 CO 、 H_2 、 N_2 、 CH_4 、 H_2O 等气体组分,这对岩浆分异和矿化均有重要作用。如Л·В·塔尔松^[25]指出,挥发分是硅酸盐熔体的强改造剂,由于挥发分可以降低熔融体的结晶温度,并且减缓成矿溶液的过早分散,因而挥发分起着促进岩体分异和成矿物质活动聚积的作用。从某种意义上说,有机质能极大地增加挥发分含量,而挥发分含量的增加则提高了岩浆热液成矿的可能性。

③在大多数情况下,岩浆热液矿床的成矿物质和热液除部分直接源于岩浆的分异产物外,还有部分来源于围岩和地下水,而大量有机质的存在,可促进围岩中的成矿元素大量活化、迁移、富集,从而有利于一些大型、超大型富矿的形成。著名的广西大厂特大型 Sn-Pb-Zn-Sb 矿床即是在富有机质条件下,各种成矿作用共同叠加的结果。

当然,由于岩浆重熔过程中,经历了1 000℃以

上的高温作用,来源于物源的有机质已几乎全部裂解为甲烷气,甚至进一步裂解为碳质、 H_2 和 CO_2 。据杨天宇等对原油和干酪根热演化的模拟实验,热解温度600℃时 CH_4 含量达最大值,占热解气体组分的80%以上,随着温度的升高,由于 $\text{CH}_4 \xrightarrow{\Delta} \text{C} + 2\text{H}_2$ 的反应,甲烷逐步裂解为 H_2 和残余碳,当温度达到1 100℃时,甲烷含量仅存百分之几,而氢气却在85%以上(值得指出,该实验是在隔氧条件下进行的,其中的碳质因没有氧源而无法大量转化为二氧化碳,与岩浆形成时的实际情况有出入)。因此,在这类矿床形成过程中,有机质及其演化物曾参与成矿作用被人们忽视了。

3 有机烃气与金属矿产勘查

前已指出,基于有机物在金属成矿过程中的广泛性和有机烃气是许多金属矿床重要伴生气体组分之一,早在20世纪80年代,许多有识之士便提出了利用有机烃气进行金属矿产勘查评价的设想,随后部分科研院所开展了方法有效性试验。然而,一方面,长期以来人们认为油气矿床主要是有机成因的,是外生的,而金属矿床是无机成因的,其成矿作用主要是内生的,两者之间毫不相干,没有联系的必要。另一方面,气体测量的方法技术比较复杂,而且该技术的应用还必需依赖于相应高灵敏度的分析仪器和较低的分析成本。所以,该方法技术还长期处于初级研究阶段,未能在全国广泛应用。近几年来,为了完善该方法的技术,使其由试验研究阶段上升到推广应用阶段,桂林矿产地质研究院、中国地质大学、国土资源部航空物探遥感中心等单位开展了一系列方法有效性与应用研究,从不同侧面指出了将有机烃气测量法应用于大多数金属矿床勘查是可行和有效的。下面以某些典型矿床的试验实例说明之。

3.1 广西大厂锡矿

广西大厂锡矿是一个成矿物多来源、成矿期多阶段、控矿因素多样化和矿床类型多的超大型锡多金属矿床。矿田内各矿床均产于外接触带以及远离岩体垂直深度约2 km以内范围,空间上围绕岩体呈规律的带状分布,矿体的分布空间则受构造条件及岩石物理化学性质二者的综合制约。其成矿温度变化范围大,高、中、低温均有,其中以高、中温为主。在其多个成矿期中,锡石-硫化物多金属、银、锑、砷、

汞成矿期是大厂矿田的主要成矿期 ,形成了长坡、铜坑、巴力—龙头山、龙头山等多个大型锡石—硫化物多金属、锑矿床^[26]。试验区位于龙头山矿床(100号矿体) 54线 ,在该剖面上 ,100号矿体埋深300~500 m ,烃汞测量结果表明(图1) (1)在矿体上方 ,无论是烷烃

型。主矿体产于康家湾隐伏倒转背斜(Ⅲ级)与矿田 F₁推覆断层相切割的二叠系当冲组硅质岩、泥灰岩、栖霞组灰岩的层间硅化破碎带中 ,尤以下部含燧石硅化灰岩角砾岩与矿化最为密切 ,矿体多呈倾斜及缓倾斜展布^[27]。该矿床是一个典型的隐伏矿床 ,地表全部为白垩系及侏罗系砂、页岩覆盖 ,矿体埋深200~500 m。

该矿床的试验结果表明具有如下特征 (1)烃类的甲烷、乙烷、丙烷以及吸附相态汞均在矿体上方呈明显的对偶双峰异常带。其中烃类的异常重心位于矿体东侧 ,吸附相态汞异常重心位于矿体西侧。(2)各指标异常峰值高 ,异常清晰 ,甲烷、乙烷、丙烷的衬度分别达5.2、6.7、13.4。(3)各烃类异常峰的分布位置正好与矿体两侧的地表投影点相对应。

4 结 语

有机物参与金属成矿的作用极为广泛 ,从初始矿源层的形成 ,到矿质的活化、转移、聚集 ,直至矿体的形成 ,各个成矿阶段均不同程度地存在有机物的身影。有机质及其演化物不仅在层控型、改造型、沉积—变质—混合岩型、沉积—岩浆气液叠加型、热水淋滤型、喷流沉积型等类型矿床的形成中有着各种直接或间接的成因联系 ,而且在许多壳源重熔岩浆热液矿床的成矿中亦有一定的贡献。只是由于有机物在不同温度条件下的激烈相变 ,即在矿质初始富集阶段 ,温度低 ,有机物大多表现为原始有机碳 ;成矿元素活化、迁移和中低温热液阶段表现为残留有机质、烃气、有机络合物 ,岩浆和中高温热液阶段表现为烃类气体、残留碳质和沥青 ;超高温阶段(温度高达600℃以上) 时表现为纯甲烷气甚至碳质、H₂和CO₂。而气体类极易散失 ,难于捕捉 ,以致于人们很难相信 ,在金属矿床(尤其是中高温矿床)成矿中存在有机物的参与 ,对有机物与金属成矿的关系研究欠深入 ,利用有机烃气测量寻找金属矿的研究也因此长期未获重视 ,一直处于初级试验研究阶段。但笔者认为 ,有机物与金属矿关系以及有机烃气在金属矿产勘查中的应用等方面的深入研究 ,可促进成矿作用、成矿过程、成矿规律、气体运移规律和成矿预测的全面认识 ,对有机地球化学和无机地球化学、固体地球化学与气体地球化学、勘查地球化学与矿床学等不同学科之间的连接和相互渗透将起重要的纽带作用。

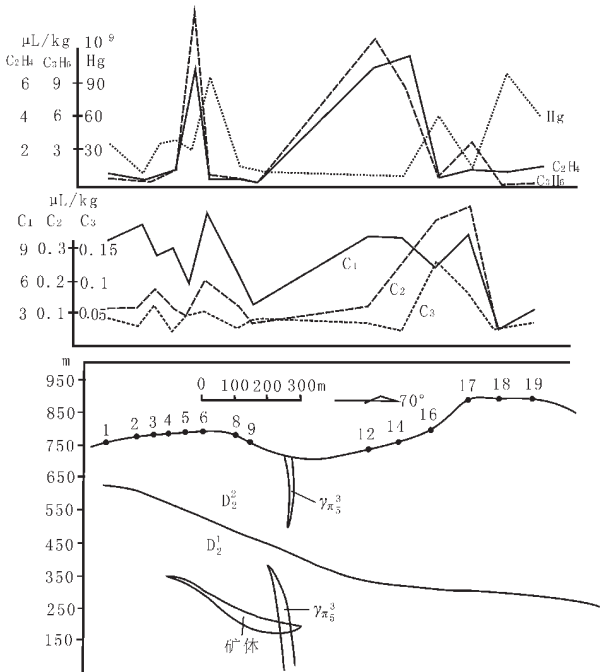


图1 广西大厂54线地质、化探剖面图

Fig. 1 Geological and geochemical profile No. 54 of Dachang , Guangxi

D₂²—马家坳组泥灰岩、页岩、硅质 D₂¹—马家坳组生物礁灰岩 γπ₃³—花岗岩斑岩脉

的甲烷、乙烷、丙烷 ,稀烃的乙烯和丙烯 ,还是吸附相态汞 ,均存在明显的对偶双峰异常 (2)在烷烃中 ,甲烷的对偶异常基本上对称 ,乙烷、丙烷则呈不对称的对偶双峰异常 ,靠矿体下倾方向一侧异常值较高 ,靠近矿体上倾方向一侧异常值则较低 (3)烯烃中的乙烯、丙烯对偶异常之异常值基本都具对称性 ,但异常范围不同 ,矿体下倾方向异常较宽 ,矿体上倾方向异常较窄 (4)Hg的对偶异常亦基本上具有对称性 ; (5)从水平方向看 ,汞的双峰异常距离最大 ,次为乙烷、丙烷、甲烷 ,而乙烯、丙烯的双峰异常距离最小。换言之 ,从矿体中心往外 ,具有丙烯、乙烯→甲烷、乙烷、丙烷→Hg的水平分带规律。

3.2 湖南水口山康家湾铅锌金银矿

水口山康家湾铅锌金银矿是一个层间破碎硅化角砾岩热液交代充填型铅锌金银矿床 ,规模为特大

参考文献：

- [1] Goldschmidt V M and Peters C L. Zur Geochemie des germanium[M] Nachr·Ges·Wiss. Cottingen. Math. Phys. Kl. ,1933.
- [2] 叶连俊. 外生矿床陆源汲取成矿论[J] 地质科学 ,1963(2) 57~87.
- [3] 汪本善. 我国某些煤中锗的成矿条件[J] 地质科学 ,1963(4) : 198~207.
- [4] Манская СМидроздово , ТВ , Геохимия Органического Вещества " Наука [M] Москва.1964.
- [5] Dozy J J. A geological model for the genesis of lead-zinc ores of the Mississippi Valley[J] USA ,Trans. Inst.Min. Metal. Sec. B ,1970.
- [6] Richard D T. Hydrocarbons associated with lead-zinc ores at Laiswell Sweden[J] Nature ,1975 225~227.
- [7] Saxby I D 著, 尚学军译. 有机质在矿床成因中的重要意义 [M] 层控矿床与层状矿床(第二卷) 北京 :地质出版社 ,1980.
- [8] 杨蔚华, 刘友梅. 滇中中生代层控铜矿床的地球化学[J] 中国科学(B辑) ,1983 (8) 833~841.
- [9] 傅家谟, 刘德汉. 有机质演化与沉积矿床成因(II) 煤成烃类与层控矿床[J] 沉积学报 ,1983 (4) :15~28.
- [10] 涂光炽, 卢焕章, 王秀璋, 等. 中国层控矿床地球化学(第三卷) [M] 北京 :科学出版社 ,1988.
- [11] Левичкий В В И Демин Б Г. Некоторые вопросы генезиса стратиформных свинцовоцинковых месторождений[J] Советская Геология. 1981 (3)
- [12] Naumov GB. 内生流体性状及其在热液成矿中的作用[J] 地质地球化学 ,1987 (4) :1~6.
- [13] Roedder E. Fluid inclusion[J] Reviews in Mineralogy , 1984 ,12 544.
- [14] 王秀璋, 程景平, 张宝贵, 等. 中国改造型金矿床地球化学[M] 北京 :科学出版社 ,1992.
- [15] 於崇文, 唐元骏, 石平方, 等. 云南个旧锡-多金属成矿区内生成矿作用的动力学体系[M] 武汉 :中国地质大学出版社 , 1988.
- [16] 吴传璧编译. 气测化探新方法——指纹法[J] 地质科技动态 , 1986 (19) 25~28.
- [17] 李生郁, 郑康乐, 徐丰孚. 微量轻烃气体快速分析方法及其在金属矿化探中的应用[J] 物探与化探 ,1990 (4) 303~311.
- [18] 祁士华, 阮天健. C₁金矿床上的轻烃异常研究[R] 中国地质大学(北京) ,1996.
- [19] 李生郁, 徐丰孚. 轻烃及硫化物气体测量寻找多金属隐伏矿方法试验[J] 物探与化探 ,1997 (2) :128~138.
- [20] K H. WOLF 主编. 层控矿床和层状矿床(第九卷) [M] 北京 :地质出版社 ,1981.
- [21] 郑庆年. 广东凡口铅锌矿[M] 北京 :冶金工业出版社 ,1996.
- [22] 李明诚. 石油与天然气运移(第二版) [M] 北京 :石油工业出版社 ,1994.
- [23] C M 格里戈里也夫著, 李树菁译. 可燃矿产形成过程及性质 [M] 北京 :地质出版社 ,1959.
- [24] Momper J A. Oil migration limitations suggested by geological and geochemical consideration[A] AAPG Continuing Education Course Note Ser. 8 [C] 1978.1~60.
- [25] Таусон Л В. Геохимия и геологические поиски Вост[J] АН СССР ,1976 (6)
- [26] 陈毓川, 黄民智, 等. 大厂锡矿地质[M] 北京 :地质出版社 , 1993.
- [27] 李能强, 彭超. 湖南水口山铅锌金银矿床[M] 北京 :地震出版社 ,1996.

The role of organic material in metallic mineralization and its application in metal exploration

CHEN Yuan-rong¹, JIA Guo-xiang¹, DAI Ta-gen²

(1. Guilin Research Institute of Geology for Mineral Resources , Guilin 541004 , Guangxi , China

2. Institute of Geology , Central-South University , Changsha 410083 , Hunan , China)

Abstract : Organic material and metallic mineralization belong to the geochemical field and their research is still in a primary stage. This paper reviews their research history and presents the main role of organic material in metallic mineralization and some primary results of application of organic hydrocarbon survey in metal exploration. An intensive study of this field will be conducive to having an overall understanding of mineralization , ore-forming processes , metallogeny , migration of hydrocarbon , and ore deposit forecast and to connection and interpenetration of organic geochemistry and inorganic geochemistry , solid geochemistry and gas geochemistry , exploration geochemistry and geology of mineral deposits.

Key words : organic material ; metallic mineralization ; exploration method