

曾旭, 陈远荣, 林立保, 等. 烃汞综合气体测量法在冲洪积覆盖区找矿的可行性探讨[J]. 中国地质, 2016, 43(2): 607-616.

Zeng Xu, Chen Yuanrong, Lin Libao, et al. The feasibility of applying integrated hydrocarbon and mercury method to ore prospecting in alluvial coverage area[J]. Geology in China, 2016, 43(2): 607-616(in Chinese with English abstract).

烃汞综合气体测量法在冲洪积覆盖区找矿的可行性探讨

曾 旭¹ 陈远荣¹ 林立保² 段 炼¹ 洪文帅¹ 徐建东¹ 吴 二³ 祝 涛⁴

(1. 桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林 541006; 2. 桂林国达矿产勘探有限公司, 广西 桂林 541004; 3. 桂林理工大学博文管理学院, 广西 桂林 541006; 4. 中南大学地球科学与信息物理学院, 湖南 长沙 410083)

摘要:长江中下游地区矿产丰富,不少矿区为冲洪积物所覆盖。基于烃汞气体挥发性、穿透性强以及迁移距离远的特点,文章利用烃汞综合气体测量法针对冲洪积物覆盖的特殊景观区开展了探索性的找矿试验研究。通过对长江中下游地区烃汞背景值和不同矿床类型烃汞异常场的研究,以及典型矿床烃汞测量找矿的有效性试验,结合烃类组分微观结构对比分析等方面的研究,发现长江中下游地区大部分矿床在成矿过程中伴随形成烃类气体原生异常场,同时,地表冲洪积物中含有与深部矿床同源的烃类异常信息,初步显示了烃汞测量法在冲洪积物覆盖区应用于找矿是可行的。

关键词:长江中下游地区;烃汞综合气体;冲洪积覆盖区;有效性试验

中图分类号: P 632^{+.5} 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2016)02-0607-10

The feasibility of applying integrated hydrocarbon and mercury method to ore prospecting in alluvial coverage area

ZENG Xu¹, CHEN Yuan-rong¹, LIN Li-bao², DUAN Lian¹,
HONG Wen-shuai¹, XU Jian-dong¹, WU Er³, ZHU Tao⁴

(1. College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin 541004, Guangxi, China; 2. Guilin Guoda Mineral Exploration Co., Ltd., Guilin 541004, Guangxi, China; 3. Bowen College of Management, Guilin University of Technology, Guilin 541006, Guangxi, China; 4. College of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China)

Abstract: The region in middle and lower reaches of the Yangtze River is rich in minerals, and many mining areas in this region are

收稿日期: 2015-12-07; 改回日期: 2016-01-12

基金项目: 国家科学支撑项目(2014BAB05B00)、广西高校科学技术研究项目“三维地质模型应用研究——以广西某铅锌矿为例”(KY2015YB506)联合资助。

作者简介: 曾旭, 男, 1990年生, 硕士生, 主要研究方向为勘查地球化学; E-mail: 294441746@qq.com。

通讯作者: 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研究; E-mail: chenyre@mail@163.com。

covered by the alluvium. In consideration of the characteristics of hydrocarbon and mercury such as strong volatile, penetrability and faraway migration distance, the authors conducted an ore prospecting test research on the special landscape of alluvium cover area by using the integrated hydrocarbon and mercury method. In this paper, based on the study of the background of hydrocarbon and mercury and their primary anomaly halos in different types of deposits in middle and lower reaches of the Yangtze River, the effectiveness test of hydrocarbon and mercury method for ore-prospecting, and the contrastive analysis of the microstructures of hydrocarbon component, the authors revealed that primary anomaly halos of hydrocarbon and mercury were formed during mineralization in most deposits of this region. Meanwhile, the alluvial materials contain the anomaly information of hydrocarbon similar to the information in deep deposits. The results obtained by the authors preliminarily indicated that integrated hydrocarbon and mercury method is suitable for ore-prospecting in alluvium landscape.

Key words: the middle and lower reaches of the Yangtze River region; hydrocarbon and mercury; alluvial coverage area; feasibility test

About the first author: ZENG Xu, male, born in 1990, master candidate, majors in exploration geochemistry; E-mail: 294441746@qq.com.

About the corresponding author: CHEN Yuan-rong, born in 1963, senior engineer, engages mainly in the study of basic geochemistry and new geochemical exploration methods; E-mail: chenyre@mail@163.com.

Fund support: Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 2014BAB05B00), and the Program for Science and Technology Research of Guangxi University (No. KY2015YB506).

据有关部门统计,中国为冲洪积物、戈壁荒漠、黄土等外来物覆盖的区域约 $200 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。在这些广袤的地区无疑具有极大的找矿潜力,然而由于这些地区的覆盖物往往都是外来搬运物,传统的地球化学勘查技术无法获取深部矿体的成矿信息,无法满足找矿的需求。因此,在此类地区必须引入新的找矿思路和新的地球化学勘查技术。其中,气体测量技术无疑是试验研究的方向之一。

据陈远荣等人多年的研究表明^[1-14]:如果金属矿床在成矿过程中存在有机质的参与,常常会在矿体周围形成保留至今的伴生烃类气体异常场,并在长期的地质历程中不断向地表散发,从而有可能以吸附、次生包裹等方式在洪冲积物、黄土等外来搬运物中留下深部矿化信息。这一化探新思路在部分矿山进行了验证,结果表明效果良好,初步证实了烃汞气体测量技术在一些特殊地球化学景观区找矿的可能性。为了进一步确认该项技术针对特殊景观区的找矿应用前景,本文选择长江中下游部分冲洪积物覆盖的矿区作为研究对象,以期完善烃汞气体测量技术找矿的理论体系和工作体系,并为长江中下游冲洪积物覆盖区以及类似地区找到有效的找矿新方法提供了契机。

1 区域地质概况

长江中下游是中国重要的成矿带^[15-18],大地构造

位置属于扬子陆块,北接华北陆块,并且与大别造山带交汇。依板块理论分区,黄梅西段以襄樊—广济断裂为界,黄梅东段以宿松—响水口断裂为界,南北分别以扬子陆块北缘、秦岭—大别造山带的大别地体为界(图1)。地层分别经历了3个演化阶段:①前震旦纪变质基底发育阶段;②震旦纪—早三叠世海相沉积阶段;③中晚三叠世—白垩纪陆源碎屑岩和火山岩阶段。断裂带发育,最早形成于新元古代,在印支期和燕山期主要发育大中型断裂和褶皱,形成了多个隆起区和洼陷盆地。其后,受到太平洋板块的俯冲作用,在侏罗纪—白垩纪形成了火山断陷盆地。区域内岩浆活动强烈,分布范围广,形成的岩浆岩种类多样化。岩浆岩产物在各时代都有产出,而对成矿有重要影响的岩浆岩主要形成于印支期和燕山期。

2 烃汞背景值、异常场特征

2.1 背景值特征

要探讨长江中下游地区在矿区中的烃汞异常场特点,首先要弄清远离矿区的岩石背景场特征,而采集反映岩石背景场的样品需要遵循如下原则:(1)有岩石出露的地区;(2)尽量远离矿区,没有矿化作用的干扰;(3)尽量采集到代表整个长江中下游地区不同区域的岩石背景样;(4)尽量涵盖本区成矿前不同时代的地层。依据上述原则,在长江中下游地

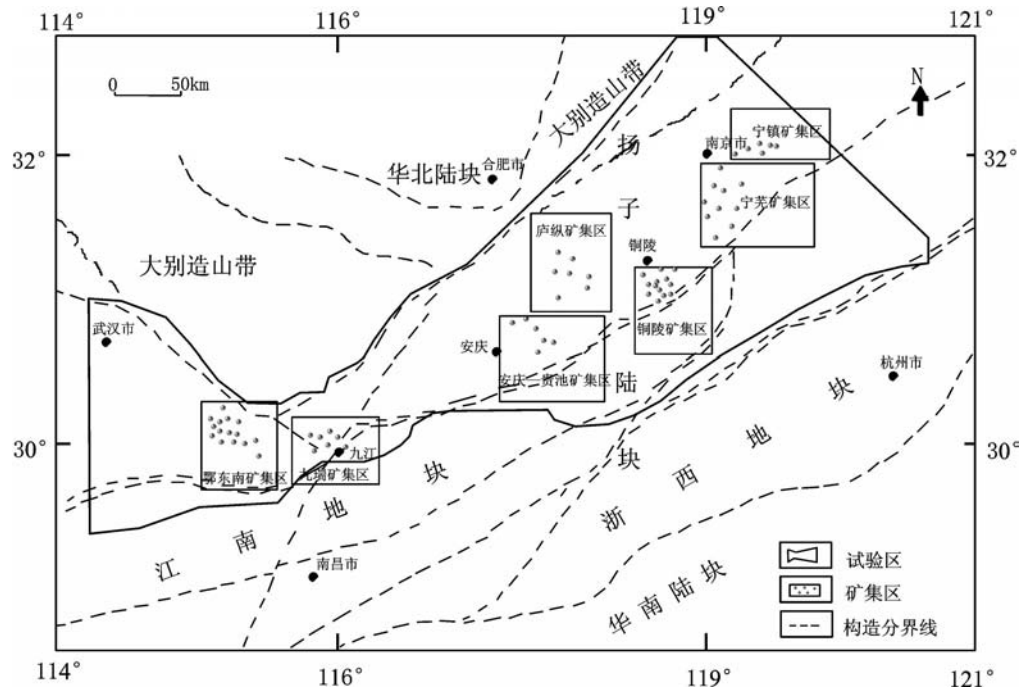


图1 长江中下游成矿带构造分区和主要矿集区示意图(据文献[16]修改)

Fig. 1 Tectonic divisions and main ore concentration areas in the middle and lower reaches of the Yangtze River metallogenic belt (modified after reference [16])

区采集了岩石背景样品 94 件(图 2)。采集的样品几乎涵盖了从早古生代到中生代的地层(除了震旦纪、侏罗纪),以海相沉积的碳酸盐岩为主,以及部分碎屑岩、火山岩等。本文采用直方图的方法求解长江中下游地区的背景含量值。直方图求解背景值要求数据大致符合正态分布(或者对数正态分布),对于不符合正态分布的部分异常数据进行剔除。统计结果(表 1)显示:

(1)从轻烃甲烷到乙烷、丙烷、丁烷、戊烷等重烃组分的构成比例来看,它们在含量值上的变化特征由大逐步变小,符合有机物正常的热裂解变化规律。甲烷在所有烃类中背景值最高,达到 $1563 \mu\text{L}/\text{kg}$,其他烷烃背景值均小于 $200 \mu\text{L}/\text{kg}$ 。

(2)烃类组分的变异系数除了甲烷为 0.58 外,大多处于 1 左右。正常情况下变异系数小于 0.5 说明离散程度较小,而 1 左右说明离散程度偏大。但是通过对所有的岩石背景样品进行比较后发现,整个背景样的取样范围很大,涵盖了不同时代的地层,其岩性也存在差别,以致背景场存在一定的波动性;而整体上,区域背景场中各样品的烃类组分含量明显低于矿区异常场中的烃类组分含量,所以这

种波动对于矿区的高异常场不会产生太大的影响。

(3)在所采集的各类背景岩石样品中,确实存在少量样品的烃类组分含量明显偏高的现象,以甲烷为例,部分样品的含量值高达上万 $\mu\text{L}/\text{kg}$,经仔细查对各个样品的岩性,结果发现,高含量者大多分布于灰黑色的生物灰岩及其附近的碎屑岩中,这是由于生物碎屑灰岩可能存在较高的残留烃类组分,导致这部分样品的烃类组分含量明显偏高。为此,在统计区内区域背景场过程中,将这部分高含量的样品予以剔除。

2.2 异常场特征

为了弄清长江中下游地区各类矿床在成矿过程中有机物参与成矿的程度,以及矿体周围是否存在异常场,分别对区内各类典型矿床的不同地质体进行了烃汞组分分析,并且与背景值进行了对比。

笔者以甲烷、乙烷、丙烷、汞为例,统计了各类矿床不同地质体的有关地球化学参数。从表 2~表 5 的对比数据可见:

(1)在长江中下游地区各类型矿床,明显存在烃汞异常场,只是有强弱的区别。反映了有机质和汞或多或少参与成矿,证明烃汞组分可作为这一地区

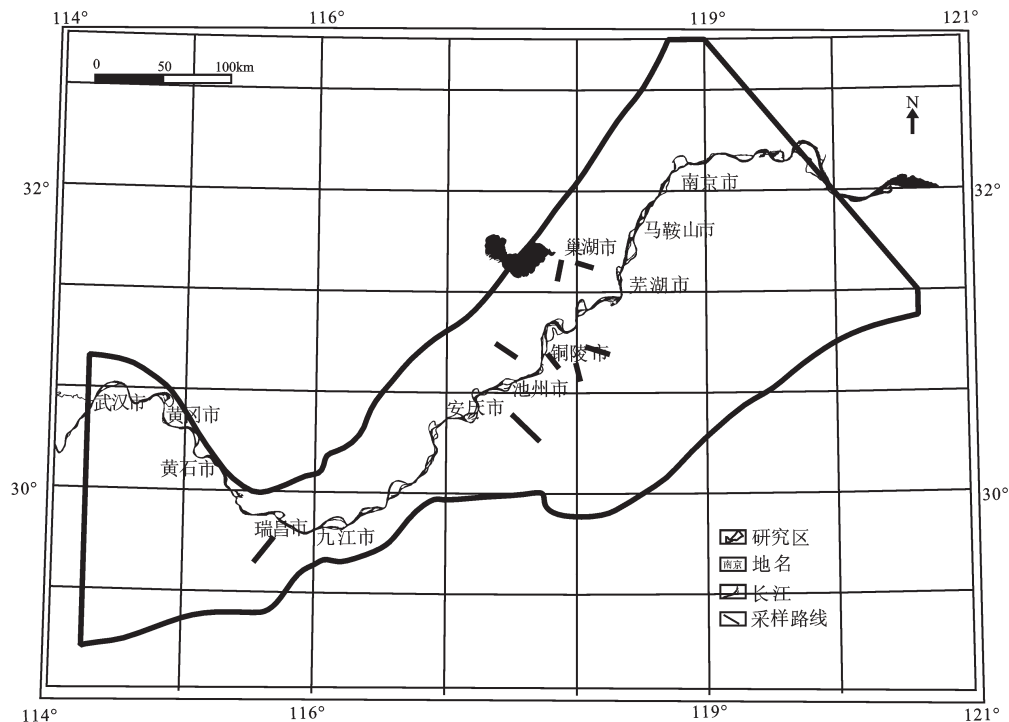


图2长江中下游地区背景样采集线分布图

Fig. 2 Collection line distribution of background samples in the middle and lower reaches of the Yangtze River

表1 长江中下游地区烃汞组分背景值统计结果

Table 1 Statistical results of hydrocarbon compositions background in the middle and lower reaches of the Yangtze River

组分	最大值 (Max)	最小值 (Min)	背景值 (Mo)	标准差 (σ)	变异系数 (V)
甲烷	12121	36.6	1563	910	0.58
乙烷	1443	2.11	160	162	1.01
丙烷	592	1.31	119	132	1.11
异丁烷	115	0.18	17	18.1	1.06
正丁烷	168	0.28	58	64.3	1.11
异戊烷	99	0.11	13.4	14	1.04
正戊烷	109	0.20	17.5	15.4	0.88
乙烯	704	1.40	302	427	1.41
丙烯	522	0.91	212	290	1.37
汞	23.2	0.61	3.24	2.78	0.86

注:烃类组分单位为 $\mu\text{L}/\text{kg}$, Hg单位为 10° 。参加统计的样品共94件;样品各烃类组分均由惠普公司Agilent6820型气相色谱仪分析,测试单位:桂林矿产地质研究院,2014。

找矿的重要评价指标。

(2)烃类组分异常场总体上形成以矿体为中心的空心晕圈异常场(图3),异常浓集中心不在矿体内部,而是存在于矿体外围的蚀变围岩中,具有从矿体到强蚀变围岩异常迅速增高,再向外到弱蚀变围岩逐步降低的特点。

(3)各个矿区的烃类异常都集中在强蚀变围岩区,与此相对的汞组分异常几乎都位于矿石区,烃汞组分形成一个较好的镶嵌结构。

(4)在所统计的典型矿床中,部分矿山(如安徽庐江县罗河铁矿)地表为冲洪积物覆盖区,这为下文在冲洪积物覆盖的已知隐伏矿床上方开展土壤剖面测量提供了研究对象。

3 冲洪积物覆盖区已知矿上方次生晕烃汞异常特征

检验一种新方法的可行性,在已知典型矿床上方进行试验,是最直接、直观的途径。本文在对安徽庐江县罗河铁矿原生晕研究的基础上,增加安徽省和县金龙铁矿(以上2个矿区都位于冲洪积覆盖区,矿体埋深较大),在这2个冲洪积覆盖区的矿体上方开展剖面土壤地球化学测量,分析烃汞组分异常特征,并以为未知区的找矿评价提供标尺和依据。

3.1 安徽庐江县罗河铁矿

罗河铁矿属于玢岩型铁矿,深部隐伏矿体埋深较大,一般在400~800 m。运用烃汞综合气体测量技术在该矿区开展了试验,结果(图4)表明:

表2 各个矿区不同地质体甲烷异常平均含量与背景场对比统计(μL/kg)

Table 2 Comparison of average content and background of methane anomaly in different geological bodies(μL/kg)

矿区	矿种	矿石 平均值	强蚀变 平均值	弱蚀变 平均值	异常 高值区	背景值	异常高值区/ 背景
江西武山铜(ZK192)	斑岩型铜矿	2088	17601	266	强蚀变围岩	1563	11.26
铜陵凤凰山(ZK9101)	矽卡岩型铜矿	147	14540	3807	强蚀变围岩	1563	9.30
湖北大冶铜山口铜矿	矽卡岩-斑岩复 合型铜(钼)矿	3383	10735	1862	强蚀变围岩	1563	6.87
安徽庐江县罗河铁矿	玢岩型铁矿	487	3114	537	强蚀变围岩	1563	1.99

表3 各个矿区不同地质体乙烷异常平均含量与背景场对比统计(μL/kg)

Table 3 Comparison of average content and background of ethane anomaly in different geological bodies(μL/kg)

矿区	矿种	矿石 平均值	强蚀变 平均值	弱蚀变 平均值	异常 高值区	背景值	异常高值区/ 背景
江西武山铜(ZK192)	斑岩型铜矿	471	3373	42	强蚀变围岩	160	21.08
铜陵凤凰山(ZK9101)	矽卡岩型铜矿	36	2512	744	强蚀变围岩	160	15.70
湖北大冶铜山口铜矿	矽卡岩-斑岩复 合型铜(钼)矿	626	1970	356	强蚀变围岩	160	12.31
安徽庐江县罗河铁矿	玢岩型铁矿	122	667	176	强蚀变围岩	160	4.17

表4 各个矿区不同地质体丙烷异常平均含量与背景场对比统计(μL/kg)

Table 4 Comparison of average content and background of propane anomaly in different geological bodies(μL/kg)

矿区	矿种	矿石 平均值	强蚀变 平均值	弱蚀变平 均值	异常 高值区	背景值	异常高值区/ 背景
江西武山铜矿(ZK192)	斑岩型铜矿	129.25	800.69	14.34	强蚀变围岩	119	6.73
铜陵凤凰山(ZK9101)	矽卡岩型铜矿	633.84	199.12	11.25	矿石	119	5.33
湖北大冶铜山口铜矿	矽卡岩-斑岩复 合型铜(钼)矿	138.45	443.53	84.15	强蚀变围岩	119	3.73
安徽庐江县罗河铁矿	玢岩型铁矿	51.43	189	106	强蚀变围岩	119	1.59

表5 各个矿区不同地质体汞异常平均含量与背景场对比统计(10⁻⁹)

Table 5 Comparison of average content and background of mercury anomaly in different geological bodies(10⁻⁹)

矿区	矿种	矿石 平均值	强蚀变 平均值	弱蚀变 平均值	异常 高值区	背景值	异常高值区/ 背景
江西武山铜矿(ZK192)	斑岩型铜矿	7.90	4.28	4.36	矿石	3.24	2.44
铜陵凤凰山(ZK9101)	矽卡岩型铜矿	3.64	2.61	3.07	矿石	3.24	1.12
湖北大冶铜山口铜矿	矽卡岩-斑岩复 合型铜(钼)矿	1.37	1.39	1.12	矿石	3.24	0.42
安徽庐江县罗河铁矿	玢岩型铁矿	1.32	5.11	5.09	强蚀变围岩	3.24	1.58

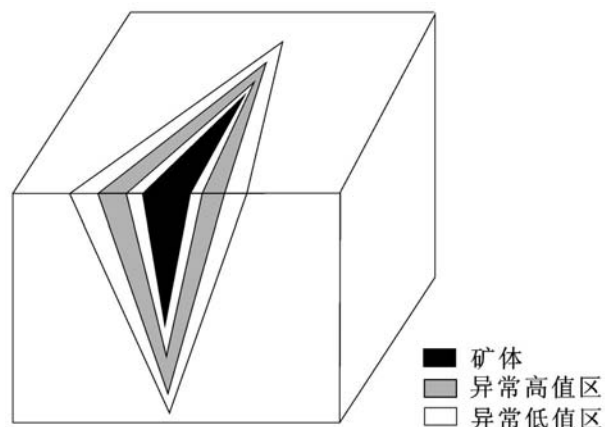


图3 矿体空心晕异常示意图

Fig.3 Sketch map of ore body hollow halo anomalies

(1)各烃类组分、吸附相态汞在矿体上方均有明显的异常反映,异常峰值与背景值含量相差较大。

(2)甲烷、乙烷等分子量较小的轻烃在矿体东部埋藏较浅的外围(采样点43)形成高值异常,轻烃分子量较小,穿透较强,主要分布在外围。

(3)分子量相对较大的丙烷、正丁烷、丙烯等除了在整个矿带两侧(采样点2、3、37、41、43)出现高值异常外,在矿体上方地段(采样点11、12、22、30)也出现了高值异常。

(4)分子量更大的异丁烷、戊烷等异常主要分布于埋藏较浅的东部矿化体上方(采样点25、27、35、37、44)。

(5)吸附相态汞主体上在西部矿体(采样点13、15、17)投影上方形成一个高值连片的多峰异常,它与该区主要矿化富集地段对应。

(6)整体上,各组分之间存在明显的水平分带,从矿体上方向外依次为Hg→正戊烷、异戊烷→异丁烷、乙烷→正丁烷、丙烯、丙烷→乙烷、甲烷。

3.2 安徽省和县金龙铁矿

该矿床试验设立于35号勘探线,在该剖面上,矿体埋深200~500 m,烃汞测量结果(图5)表明:

(1)整体上,各烃类组分和吸附相态汞在矿体上方形成一个较为明显的“镶嵌结构”^[2],即吸附相态汞的高值异常区位于烃类异常的低值区。

(2)甲烷、乙烷、丙烷、异戊烷、正丁烷、异丁烷6个组分的异常具有明显的相似性,其主要高值异常出现在东南部矿体较浅的扬起端(采样点11、14、20),以及埋藏较深的西北部矿段的外围(采样点

36、37、39)。

(3)乙烯、正戊烷异常也具有相似性。主要分布在东南部矿段的正上方(采样点8、11、14)和埋藏较深的西北部矿段外围(采样点34、37、38、39)。

(4)吸附相态汞异常主要是在埋藏较深的西北部矿段上方(采样点22、24、27、29、31)。

(5)总体上,各组分之间也存在水平分带,从矿体上方向外依次为Hg→正戊烷、乙烷→异戊烷、正丁烷、异丁烷、→丙烷→乙烷、甲烷。

针对以上2个异常模式各组分的空间分布与矿体之间的空间分布差异性并产生水平分带的原因可能是与各组分的有效分子直径和牵引能力有关。有效分子小,牵引能力更强趋向分布于矿体外围与两侧。而有效分子直径比较大,牵引能力较弱的组分更趋向于分布在矿体正上方或近矿上方。

4 异常成因探讨

4.1 不同地质体烃类组分组构特征与分析

上述的试验结果表明,即使矿体埋深深达700~800 m,在其上方地表的冲洪积物中仍然存在烃汞异常,为了查明这些地表次生晕异常到底是否由深部矿体所引起?需要对其成因进行分析。

正常情况下,甲烷的异常来源可以分为2种:一种是由原始干酪根经热催化作用形成,另一种是有有机质在地表经细菌降解作用形成。而重烃(乙烷、丙烷等除甲烷之外的大分子烃类)都是由原始干酪根经热催化作用形成。真正来源于深部矿体的烃类组分,从形成经初次迁移、二次运移进入储矿空间,再从矿体散失向上运移到地表构成化探异常,它们必然共同经历了热裂解过程和相同的迁移、赋存、再迁移、再赋存历程,所以各组分在不同演化阶段地质体之中含量值可能有变化,但组成结构必然有着良好的传承关系或比例关系。因此,本文将甲烷、重烃和总烃在不同地质体(地表冲洪积物、矿体、强蚀变和弱蚀变围岩)中的组构特征进行对比,分析它们的变化结构是否一致,以期判断地表冲洪积物的异常信息与深部矿体是否有联系。

图6为安徽庐江县罗河铁矿甲烷、重烃和总烃的三角图解,从图中可见不同地质体之间的对应分布点仅仅具有很小的差别,矿体和强蚀变几乎叠加在一起,弱蚀变与地表也相距很近。它们都集中在

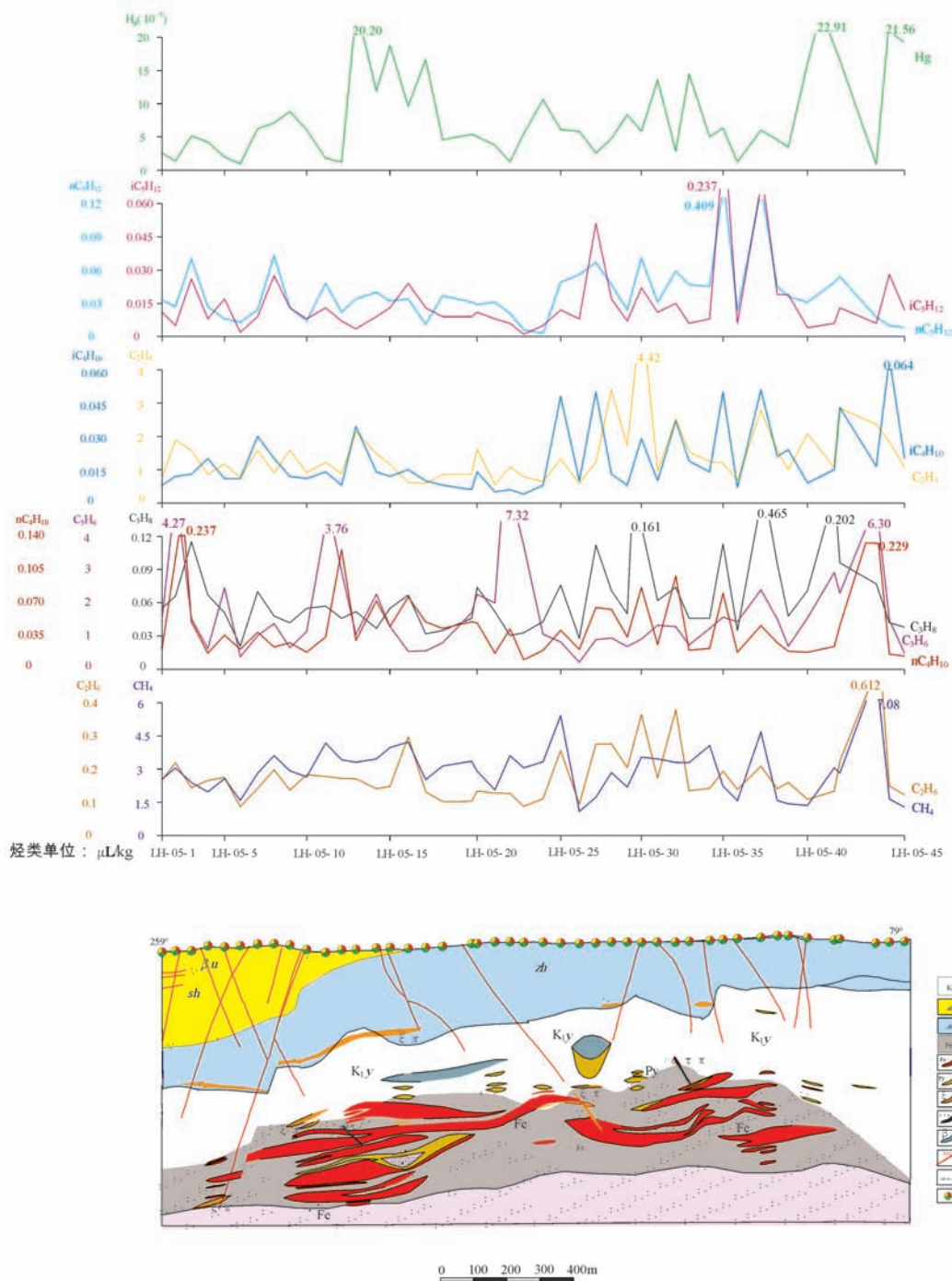


图4 安徽省庐江县罗河铁矿床05线地质、化探剖面图
 Fig.4 Geological and geochemical section along Line 05 in the Luohe iron deposit, Lujiang County, Anhui Province

一个很小的区域内,几乎重合在一起,体现了在不同地质体中具有相同的烃类组构变化特征。说明了地表冲洪积物中的烃气与深部矿体的烃气源有着密切的成因联系。由此可见,深部矿体的烃类组分经过长期散发,上升到地表后,可以被外来成因

的土壤吸附并保存下来,最终形成异常,这为在冲洪积物覆盖区进行地球化学找矿提供了新的线索。

4.2 异常模式成因机制探讨

关于烃汞气体组分在深埋隐伏金属矿床上方形成不同异常模式的主要决定因素有2个:一是运

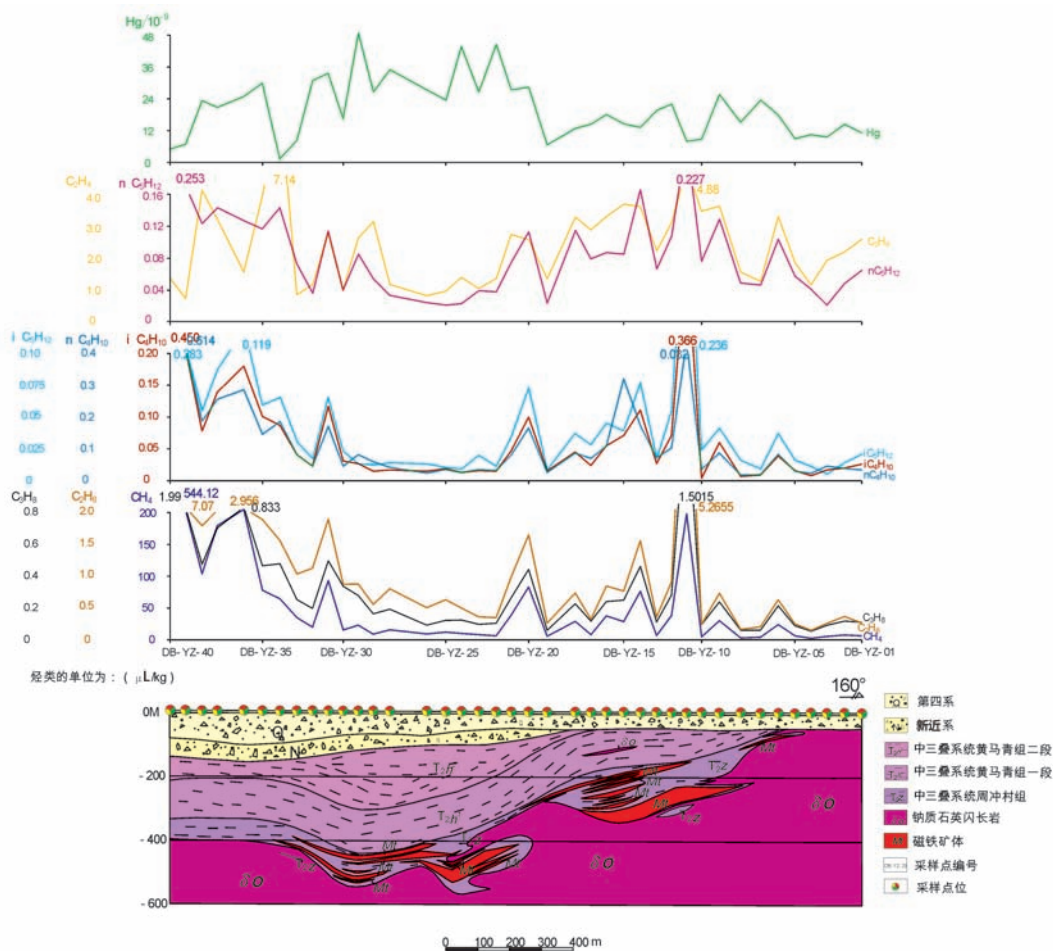


图5 安徽省和县金龙铁矿地质、化探剖面图

Fig.5 Geological and geochemical section of the Jinlong iron deposit, Hexian County, Anhui Province

移通道,二是成矿期的热差效应^[1]。

(1)运移通道包括断层、节理、各类微裂隙。在金属矿床成矿热液进入容矿空间就位成矿的过程中,由容矿空间及其上覆围岩所构成的赋矿系统,虽然没有石油天然气形成时储盖组合中要求较好的封闭条件,但也必须是一个相对封闭的体系,使得成矿物质得以在容矿空间中大量富集而成矿。另一方面,与主成矿元素伴生的各类微量元素、矿化剂组分和气体组分势必以渗滤和扩散等方式通过各类裂隙系统与粒间孔隙向外迁移^[19],构成原生晕。无疑,由断层与裂隙构成的运移通道的空间分布和发育程度,是决定烃类气体组分在矿体上方形成怎样的异常场结构和异常模式的因素之一。前人的研究表明,无论是近似水平的容矿空间,还是倾斜的容矿空间,通常在其两侧或上下两端部位,微裂隙最为发育(油气田则发育于油气藏的油水界

面附近)。因此,烃类等气体组分沿着这些矿体边部构造裂隙不断向上运移时,在剖面上主要形成对称或不对称的双峰异常,而在平面上则多表现为不对称的环带异常,如图4。

(2)成矿期的热差效应可能是决定烃类组分在矿体上方的异常结构的另一因素。在成矿期,由于含矿热液温度较高,而围岩的温度较低,在成矿热液进入容矿空间时,伴生的烃类组分会向温度较低的围岩运移,并富集。一般情况下,在容矿空间较宽阔处,集中的成矿溶液也较多,保持高温的时间较长,而在容矿空间的边部,集中的成矿热液较少,温度下降较快,整体上就会在矿体不同部位产生热差^[20],烃类气体受到热差效应的影响向外扩散时,总体上趋向于在温度较低的矿体边部聚集,导致主矿体分布地段的烃类异常相对较低,而矿体边部则相对富集,从而形成了如图5所示的矿体上方异常较



图6 安徽庐江县罗河铁矿烃类组分在不同地质体的三角图
Fig.6 Compositions and fabrics of hydrocarbon in the Luohe iron deposit, Lujiang County, Anhui Province

低,而边部异常相对较高的对偶双峰式异常。

(3) Hg^0 的分子有效直径为 $3.006 \times 10^{-10} m$,这比烃类中分子有效直径最小的甲烷 $3.8 \times 10^{-10} m$ 还要小,因此, Hg^0 在向上迁移时,可以通过粒间孔隙直接向上迁移,从而使汞常常在矿体正上方发育异常,并导致烃汞气体组分在矿体上方构成中间发育汞异常,两侧(剖面上)或周围(平面上)发育烃气异常的镶嵌结构异常模式。

5 结论

(1)通过对比背景值和烃汞异常特征可知,长江中下游地区大部分矿床形成的过程中,都或多或少伴随烃汞气体,并在矿体周围及上方构成烃汞异常场,表明烃汞综合气体测量方法适用于该地区大部分矿山深部及外围找矿预测评价。

(2)在长江中下游地区,各类矿床的烃汞异常模式较为一致。原生晕显示出烃类组分空心晕异常和吸附相态汞实心晕异常的镶嵌结构特征。次生晕异常也表现为明显的烃汞镶嵌结构模式,分子量较小的轻烃组分主要在矿体外围和两侧形成高值异常,而分子量较大的重烃组分和吸附相态汞的高值异常峰主要位于矿体上方或近矿上方。该异常模式可为该地区今后的评价提供标尺和依据。

(3)在长江中下游地区,尽管部分矿床的矿体埋

藏深度较大,地表还被冲洪积物所覆盖,但通过对比不同地质体烃类组分的微观三角图可知,深部成矿作用伴生的烃类组分能够迁移到地表,并在冲洪积物中留下与深部原生异常场一致的烃气异常信息,初步显示了烃气测量方法在冲洪积物覆盖区应用于找矿是有效的,值得今后加强试验与开发。

致谢:作者在野外工作期间得到了南京地调中心湛龙工程师的大力支持,在此表示衷心的感谢!同时,衷心感谢编辑部王学明老师、陈丽丽老师以及审稿专家为本文提出的宝贵意见!

参考文献(References):

- [1] 陈远荣,戴塔根,贾国相,等. 金属矿床有机烃气常见异常模式和成因机理研究[J]. 中国地质, 2001, 28(6): 32-37.
Chen Yuanrong, Dai Tagen, Jia Guoxiang, et al. The common anomaly pattern of Organic Hydrocarbon of metallic ore deposit and its mechanism study[J]. Geology in China, 2001, 28(6): 32-37 (in Chinese with English abstract).
- [2] 陈远荣,贾国相,徐庆鸿. 气体集成快速定位预测隐伏矿的新技术研究[M]. 北京:地质出版社, 2003: 58-63.
Chen Yuanrong, Jia Guoxiang, Xu Qinghong. New Technique Research on Concealed Ore Deposits' Quick Localization by Combined Gas Methods[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003: 58-63(in Chinese with English abstract).
- [3] 陈远荣,戴塔根,党玉涛,等. 有机烃气法在个旧锡矿松树脚矿田中的应用[J]. 物探与化探, 2001, 25(3): 180-184.
Chen Yuanrong, Dai Tagen, Dang Yutao, et al. The application of Organic Hydrocarbon Gas technique to the Songshujiao orefield in the Gejiu Tin mine, Yunnan Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2001, 25(3): 180-184(in Chinese with English abstract).
- [4] 徐庆鸿,陈远荣,贾国相,等. 烃类组分在金属矿床的成矿理论和矿产勘查研究中的应用[J]. 岩石学报, 2007, 23(10): 2623-2638.
Xu Qinghong, Chen Yuanrong, Jia Guoxiang, et al. Application of Hydrocarbons in metallogenic and mineral resource exploration research[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(10): 2623-2638(in Chinese with English abstract).
- [5] 吴二,陈远荣,刘巍,等. 烃气测量法在辽宁白云金矿找矿潜力评价中的运用[J]. 物探与化探, 2014, 38(2): 248-254.
Wu Er, Chen Yuanrong, Liu Wei, et al. Application of hydrocarbon determination method in Baiyun gold deposit prospecting potential evaluation in Liaoning Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2014, 38(2): 248-254(in Chinese with English abstract).
- [6] 卢月玲,陈远荣,廖德好,等. 烃气测量法在维拉斯托铜多金属矿区找矿预测中的应用[J]. 物探与化探, 2014, 38(2): 255-260.

- Lu Yueling, Chen Yuanrong, Liao Dehao, et al. The application of Hydrocarbon measurement to the evaluation and prediction of mineralization in the Weilasituo Zinc and Copper polymetallic ore district[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2014, 38(2): 255–260(in Chinese with English abstract).
- [7] 陈晓雁, 陈远荣, 李昌明, 等. 烃气测量法在广西南丹县大厂镇更庄地区找矿潜力评价中的应用[J]. *地质通报*, 2012, 31(1): 120–125.
Chen Xiaoyan, Chen Yuanrong, Li Changming, et al. The application of Hydrocarbon measurement to forecasting mineralization potential of Gengzhuang area, Dachang Township, Nandan County, Guangxi[J]. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(1): 120–125(in Chinese with English abstract).
- [8] 谢桃园, 陈远荣, 张憬, 等. 烃气测量法在黑龙江乌拉嘎金矿区找矿预测评价中的应用[J]. *地质与勘探*, 2010, 46(3): 506–514.
Xie Taoyuan, Chen Yuanrong, Zhang Jing, et al. Application of Hydrocarbon measurement to evaluation and prediction of mineralization in the Wulaga gold deposit of Heilongjiang Province[J]. *Geology and Exploration*, 2010, 46(3): 506–514(in Chinese with English abstract).
- [9] 张璟, 陈远荣, 谢桃园, 等. 团结沟金矿床成因、构造控矿规律与找矿方向浅析[J]. *中国地质*, 2010, 37(6): 1710–1719.
Zhang Jing, Chen Yuanrong, Xie Taoyuan, et al. A tentative discussion on the genesis, ore-controlling regularity and prospecting direction of the Tuanjiogou gold deposit[J]. *Geology in China*, 2010, 37(6): 1710–1719(in Chinese with English abstract).
- [10] 林立保, 陈远荣, 卢月玲, 等. 河南杨砦峪金矿床地球化学分带模型[J]. *矿产与地质*, 2015, 29(1): 98–101.
Lin Libao, Chen Yuanrong, Lu Yueling, et al. Geochemical zoning model of Yangzhaiyu gold deposit in Henan Province[J]. *Mineral Resources and Geology*, 2015, 29(1): 98–101(in Chinese with English abstract).
- [11] 卢月玲, 陈远荣, 林立保, 等. 山东金亭岭金矿床地球化学异常分带模型[J]. *矿产与地质*, 2014, 28(1): 66–71.
Lu Yueling, Chen Yuanrong, Lin Libao, et al. Geochemical anomaly zoning model for Jintingling gold deposit in Shandong province[J]. *Mineral Resources and Geology*, 2014, 28(1): 66–71(in Chinese with English abstract).
- [12] 张苗苗, 陈远荣, 张志伟, 等. 气态烃在桦厂沟金矿找矿中的应用[J]. *中国地质*, 2008, 35(4): 738–745.
Zhang Miaomiao, Chen Yuanrong, Zhang Zhiwei, et al. Application of gaseous Hydrocarbon in gold exploration of the Huachanggou gold deposit[J]. *Geology in China*, 2008, 35(4): 738–745(in Chinese with English abstract).
- [13] 陈远荣, 邵世才, 徐庆鸿, 等. 马鞍山金矿的有机烃气结合原生晕测量找矿预测[J]. *物探与化探*, 2003, 27(6): 465–468.
Chen Yuanrong, Shao Shicai, Xu Qinghong, et al. The application of organic hydrocarbon gas combined with primary halo survey to ore prospecting and prognosis in the Maanqiao gold deposit[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2003, 27(6): 465–468(in Chinese with English abstract).
- [14] 刘奕志, 陈远荣, 刘巍, 等. 贵港龙头山金矿床地球化学异常分带理想模型与找矿预测标志[J]. *桂林理工大学学报*, 2014, 34(1): 23–29.
Liu Yizhi, Chen Yuanrong, Liu Wei, et al. Ideal models of geochemical anomaly zoning and predicting indications for Longtoushan gold deposit[J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 2014, 34(1): 23–29(in Chinese with English abstract).
- [15] 毛景文, 段超, 刘佳林, 等. 陆相火山-侵入岩有关的铁多金属矿成矿作用及矿床模型——以长江中下游为例[J]. *岩石学报*, 2012, 28(1): 1–11.
Mao Jingwen, Du Chao, Liu Jialin, et al. Metallogeny and corresponding mineral deposit model of the Cretaceous terrestrial volcanic-intrusive rocks-related polymetallic iron deposits in Middle-Lower Yangtze River Valley[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(1): 1–11(in Chinese with English abstract).
- [16] 周涛发, 范裕, 袁峰, 等. 长江中下游成矿带成岩成矿作用研究进展[J]. *岩石学报*, 2008, 24(8): 1665–1167.
Zhou Taofa, Fan Yu, Yuan Feng. Advances on petrogenesis and metallogeny study of the mineralization belt of the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River area[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(8): 1665–1167(in Chinese with English abstract).
- [17] 周涛发, 范裕, 袁峰, 等. 长江中下游成矿带地质与矿产研究进展[J]. *岩石学报*, 2012, 28(10): 3051–3056.
Zhou Taofa, Fan Yu, Yuan Feng, et al. Progress of geological study in the Middle-Lower Yangtze River Valley metallogenic belt[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(10): 3051–3056(in Chinese with English abstract).
- [18] 周涛发, 范裕, 袁峰, 等. 长江中下游成矿带火山岩盆地的成岩成矿作用[J]. *地质学报*, 2011, 85(5): 712–728.
Zhou Taofa, Fan Yu, Yuan Feng, et al. Diagenesis and mineralization of the Middle-Lower Yangtze River metallogenic belt of volcanic basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2011, 85(5): 712–728(in Chinese with English abstract).
- [19] 叶天竺, 薛建玲. 金属矿床深部找矿中的地质研究[J]. *中国地质*, 2007, 34(5): 855–869.
Ye Tianzhu, Xue Jianling. Geological study in search of metallic ore deposits at depth[J]. *Geology in China*, 2007, 34(5): 855–869(in Chinese with English abstract).
- [20] 陈衍景. 造山型矿床、成矿模型及找矿潜力[J]. *中国地质*, 2006, 33(6): 1181–1196.
Chen Yanjing. Orogenic-type deposits and their metallogenic model and exploration potential[J]. *Geology in China*, 2006, 33(6): 1181–1196(in Chinese with English abstract).