

# 岩芯多参数信息提取与应用研究： 以西藏甲玛铜多金属矿为例

史维鑫，孙东洵，张海兰，魏雪芳

(国土资源实物地质资料中心，河北 三河 065201)

**摘 要：**随着科技的发展，在不破坏岩芯的前提下，采用无损扫描分析等手段，也能获取岩芯内部蕴含的定性、半定量甚至定量数据，为解决成因矿物学、矿物蚀变填图、热液成矿体系环境判定、矿床成矿模式建立等问题提供证据支持。本文以西藏甲玛铜多金属矿岩芯为例，采用白光扫描、高光谱扫描、XRF 扫描和 CT 扫描等技术手段提取岩芯的图像、矿物组成、元素浓度和内部结构构造等多参数信息，研究岩芯多参数信息提取在找矿勘查过程中的应用价值，为珍贵岩芯的保管与利用提供范例，为今后提高岩芯在地质找矿、科研等工作中的利用价值提供参考和建议。

**关键词：**白光扫描；高光谱扫描；XRF 元素浓度扫描；CT 扫描

**中图分类号：**TP3;P632 **文献标识码：**A **文章编号：**1004-4051(2017)S1-0227-06

## Multi-parameter information extraction and application of cores: a case study of Jiama copper polymetallic deposit, Tibet

SHI Weixin, SUN Dongxun, ZHANG Hailan, WEI Xuefang

(Cores and Samples Center of Land and Resources, Sanhe 065201, China)

**Abstract:** New technology makes it possible for us to acquire core's internal qualitative, half-quantitative and even quantitative data without any core destruction. These data can further provide new proof on the genetic mineralogy, mineral alteration mapping, hydrothermal mineralization assessment and metallogenic model establishment and so on. This paper mainly focuses on the cores from the Jiama copper polymetallic deposit. We use white light scanning, high spectral scanning, XRF scanning and CT scanning ways to extract multi-parameter data like core digital image, mineral composition, element concentration and internal structure and so on. We also give some further study on these data application value, like indication on mineral exploration, valuable core custody and utilization. This paper can also provide more indication of core application value improvement on mineral exploration and scientific research.

**Keywords:** white light scanning; high spectral scanning; XRF scanning; CT scanning

### 0 引 言

岩芯多参数信息提取是指将地质工作中形成的岩芯，通过仪器扫描、数码照相等方法，转化成计算机可存储处理的文字、图像、数据等信息，对信息进行处理，以数据库的形式进行存储，利用输出设备和系统进行信息展示的过程。与传统的实验室

测试分析相比，实物地质资料信息提取具有快速、不破坏实物、可最大限度的挖掘提取实物表面及内部蕴含的各种信息等特点。

据高鹏鑫等<sup>[1]</sup>研究，目前应用成熟的岩芯扫描信息采集技术方法种类很多，大体可分为三类：一是获取实物表面图像信息，如岩芯白光扫描、荧光扫描等；二是获取岩芯表面的各类化学参数信息，如利用高光谱扫描技术获取中低温热液蚀变矿物组成信息、利用 XRF 扫描技术获取元素浓度信息；三是获取实物内部的物理参数信息，利用 CT 扫描技术，获取岩芯内部结构构造信息、利用磁化率扫描技术，获取岩芯内部磁化率信息等。

收稿日期：2017-05-06 责任编辑：刘硕

基金项目：地质调查二级项目“全国实物地质资料汇聚整理与服务”资助(编号:121201013000150002)

第一作者简介：史维鑫(1984-)，女，硕士，工程师，主要从事实物地质资料扫描数字化技术方法研究，E-mail:121644155@qq.com。

本文在分析西藏甲玛铜多金属矿床的地质特征的基础上,选择控制齐全的代表性钻孔的关键岩芯段,采用岩芯白光扫描、高光谱扫描、XRF 扫描和 CT 扫描对实物地质资料进行多参数信息提取,通过获取岩芯的表面图像、蚀变矿物组成、元素浓度、内部结构构造等信息,研究岩芯多参数信息提取在找矿勘查过程中的应用价值,为珍贵岩芯的保管与利用提供范例。

### 1 甲玛铜多金属矿成矿地质特征

甲玛铜多金属矿是近年来取得找矿突破的超大型矿床,位于西藏特提斯-喜马拉雅构造域二级构造单元达克拉-冈底斯弧盆系中段的拉萨弧背盆地,叶巴残留弧的北缘<sup>[2-3]</sup>。前人研究认为,矿床属于典型的与斑岩有关的矽卡岩型-角岩型矿床,矽卡岩型矿体分布于晚侏罗世多底沟组与早白垩世林布宗组的层间扩容空间中,角岩型矿体赋存于角岩中,探明矽卡岩型矿体铜铅锌金银均达到大型,初步探明角岩型矿体铜钼金属量也达到大型规模<sup>[4]</sup>。

甲玛铜多金属矿的矿石结构按照成因分为结晶结构、交代结构、固溶体分离结构和表生结构四大类,矿石构造以浸染状和细脉网脉状为主,团块状构造和角砾状构造次之;侵入岩浆矿石构造可见斑杂状构造、角砾状构造和脉状构造;表生矿石构造可见胶状构造等。矿石矿物以黄铜矿、斑铜矿、方铅矿、闪锌矿、黝铜矿、辉钼矿等为主,次为斜长石、钾长石、石膏、绿泥石、萤石、方解石等。

在地层与构造控矿方面,矿区出露地层主要为一套被动陆缘期的碎屑-碳酸盐岩系,包括上侏罗统多底沟组,下白垩统林布宗组以及少量第四系<sup>[5]</sup>。

矿区构造以推覆、滑覆构造及由此形成的层间构造为主,层间扩容构造为矽卡岩矿体的主要赋存空间<sup>[4-5]</sup>。

在蚀变控矿方面,矿区蚀变发育,有热接触围岩蚀变和热液交代围岩蚀变,以矽卡岩化、角岩化、绢云母化、硅化、大理岩化为主,碳酸盐化和泥化为后期蚀变;硅化与成矿有直接关系,是控制成矿的主导因素。同时,矿化中心泥化特别强烈,ZK1616 钻孔斑岩型矿石中发育强烈的泥化,是斑岩型铜矿常见的蚀变。

根据前人对矿区的侵入体类型、矿石组构、热液蚀变特征及其分带及初步的同位素定年研究等,已经确立了矽卡岩为铜、钼、铅、锌矿体最主要的赋矿岩体,石榴子石、硅灰石等矽卡岩矿物与矿床含铜矿物之间具有密切的空间和成因联系<sup>[3,6-8]</sup>。郑文宝等<sup>[9]</sup>、姚晓峰等<sup>[10]</sup>通过对矽卡岩、矽卡岩顶底板围岩和花岗岩类的主量元素、微量元素和稀土元素地球化学进行了研究,大量的成矿年代学,岩石、矿物地球化学和地质事实共同指示甲玛矿床属于矽卡岩-角岩-斑岩型矿床,其成矿与矽卡岩后热液期的成矿作用有关。

### 2 岩芯多参数信息提取

在分析西藏甲玛铜多金属矿床的成矿地质特征的基础上,根据甲玛铜多金属矿床中矿体的不同类型,选择 16 号勘探线 ZK1616 钻孔全孔岩芯(图 1),此钻孔控制了矿床发育的矽卡岩型矿体、角岩型矿体和规模不大的黄铁绢云岩化花岗斑岩型矿体,较为全面地反映了矿体的地质特征,代表性强,且岩芯保存完好。

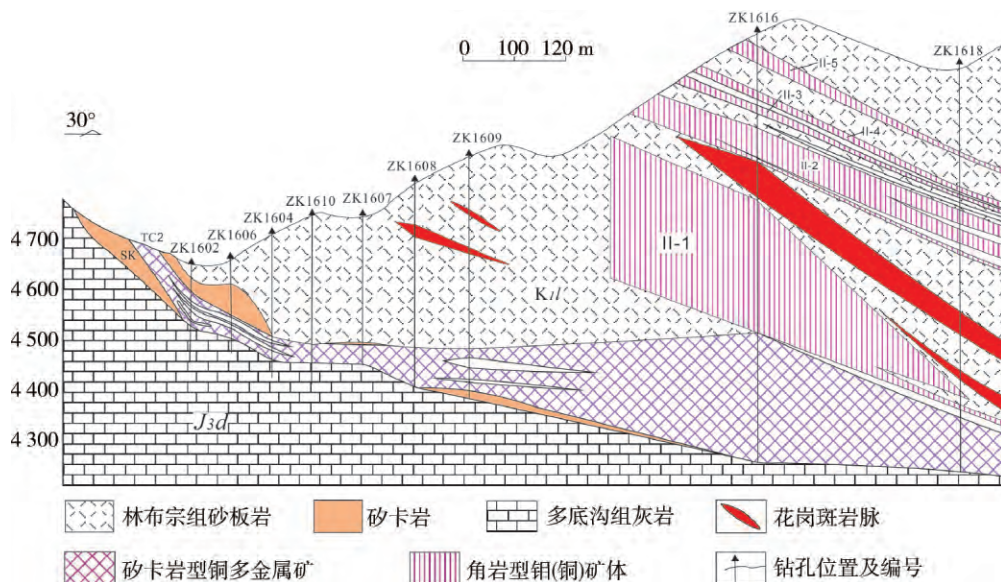


图 1 甲玛铜多金属矿 16 勘探线地质剖面图

(数据来源:文献[4])

在 ZK1616 钻孔岩芯中,对整孔岩芯进行白光扫描,获取表面图像信息,选择岩芯 91.0~92.0 m 的硅化角岩、323.5~325.59 m 的花岗斑岩和 658.0~660 m 的矿化砂卡岩,对岩芯进行岩芯高光扫描和 XRF 元素浓度扫描,掌握蚀变矿物的发育

与分布特征,获取元素浓度信息,掌握元素浓度的富集规律;选择岩芯 90.8~91.8 m 的强硅化角岩、323.56~325.6 m 的花岗斑岩和 658.86~659.76 m 的矿化砂卡岩,进行 CT 扫描,掌握岩芯内部结构构造,尤其是裂隙度的发育情况(表 1)。

表 1 ZK1616 钻孔多参数提取方案

钻孔编号	深度范围(m)	岩性	提取参数信息
ZK1616	0~839.36	花岗斑岩、角岩、砂卡岩	白光扫描
	91.0~92.0	硅化角岩	
	323.5~325.59	花岗斑岩	高光扫描、XRF 扫描
	658.0~660	矿化砂卡岩	
	90.8~91.8	强硅化角岩	CT 扫描
	323.56~325.6	花岗斑岩	
658.86~659.76	矿化砂卡岩		

### 3 岩芯多参数信息分析

#### 3.1 岩芯白光扫描

通过岩芯扫描,可以较为清晰地获取岩芯表面图像信息,大致判断岩芯的颜色、结构、构造和矿物组成,对岩芯有一个初步的判断。如:通过对 90.69~96.20 m 岩芯扫描图像的观察,可见硅化角岩矿体部分,灰白-灰黑色,角岩结构,块状构造。矿物主要为石英、长石,金属硫化物及其它矿物,矿化主要见辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿、自然铜;320.5~325.6 m 为花岗斑岩矿体部分,岩石呈灰白-灰色,斑状结构、块状构造,斑晶约占 40%,基质主要由长石、石英组成,约占 40%,矿化主要为黄铜矿、黄铁矿;587.3~836.86 m 为砂卡岩矿体,黄绿-棕黄色,中-细粒结构,块状构造。矿石矿物有辉钼矿、黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿等,部分岩芯泥化强烈(图 2)。

#### 3.2 岩芯高光扫描

高光扫描分析可以识别出与成矿作用密切相关的蚀变矿物,用以分析成矿成岩作用的温压条件、热动力过程和热液运移的时空演化,恢复成岩成矿历史,建立不同矿床的成矿模型和找矿模型<sup>[11]</sup>。高光扫描结果清晰的显示了蚀变矿物的分布特征,角岩型矿体部分,蚀变矿物主要有白云母、黑云母、电气石、绿泥石,含少量高岭土、碳酸盐(图 3,表 2)。斑岩型矿体部分,蚀变矿物主要为高岭土、白云母、蒙脱石、黑云母和碳酸盐等,在 324.98~325.11 m 处,蚀变矿物主要是高岭石和蒙脱石,表明此处泥化强烈(图 4,表 3)。砂卡岩矿体部分,主要发育的蚀变为碳酸盐、蒙脱石、其他氢氧化物,包括少量的白云母、绿泥石和角闪石(图 5,表 4)。分

析结果表明,钻孔 1616 矿体分带明显,矿化和矿物存在密切关系,矿体的存在与泥化存在着直接的相关关系,泥化程度越高,矿体越好,钻孔中部和底部具有泥化蚀变矿物,矿体主要集中在砂卡岩矿体里。从蚀变矿物组合可看出甲玛铜多金属矿由浅到深具有高温→中低温成矿演化的特点。

#### 3.3 XRF 元素浓度扫描

通过 XRF 元素扫描可以了解元素的连续性变化特征,也可通过元素变化及元素之间比率的变化,分析地球化学特征,研究其形成环境;也可结合高光扫描蚀变矿物资料,研究蚀变矿物与矿体之间的关系。对甲玛多金属矿钻孔 ZK1616 部分岩芯进行了 XRF 元素扫描,样品扫描参数设置为扫描间隔为 0.5 cm,每个样品点的扫描时间为 10 s。一次性得到了岩芯剖面的有效元素多达 18 种,包括 Cu、Pb、Zn、Mo、Mn、Ni 等主要矿物。测试结果表明,角岩矿体主要赋存铜、钼、镍金属矿物,斑岩矿体主要赋存铜、锰、镍等金属矿物;砂卡岩矿体中赋存铜、钼、铅、锌等金属矿物,且金属元素含量最高(图 6)。

#### 3.4 全直径岩芯 CT 扫描

在岩芯无损的情况下获取岩芯的三维空间图像,观察岩芯内部层理、裂缝等物理特征的空间展布状况、岩相变化等。通过 CT 扫描,可以看到岩芯的三维灰度图像,通过数据处理可以把岩石密度和有效原子序数展示出来,成像结果可以用来连续评估岩芯的裂缝、岩性及其细微变化,岩石视密度(RHOB)及光电吸收指数(PEF)计算结果见图 7。岩芯的扫描数据反映出矿脉走向及分布以及高密度矿物在空间的分布情况,对后期岩芯整体认识具有一定的指导意义。



图2 ZK1616 岩芯白光扫描钻孔柱状图

4 结论与展望

1)通过运用不同的信息提取方法,获取了西藏甲玛铜多金属矿大量的实物表面的图像信息及内部矿物成分等信息,丰富了数据种类,提高了实物

表2 西藏甲玛铜多金属矿 90.7~91.7 m 处角岩矿体高光谱扫描数据汇总表

深度(m)	高岭土 (%)	白云母 (%)	绿泥石 (%)	黑云母 (%)	电气石 (%)	碳酸盐 (%)
90.72	0.227	0.773	0	0	0	0
90.74	0	1	0	0	0	0
90.76	0	1	0	0	0	0
90.78	0	0.777	0.223	0	0	0
90.80	0	0.723	0	0.277	0	0
90.82	0	0.733	0	0.267	0	0
90.84	0	0.73	0.27	0	0	0
90.86	0	1	0	0	0	0
90.88	0.374	0	0	0	0.626	0
90.90	0.364	0	0	0	0.636	0
90.92	0.336	0	0	0	0.664	0
90.94	0.343	0	0	0	0.657	0
90.96	0	0.474	0.526	0	0	0
90.98	0	0	0	0	0	0
91.02	0	1	0	0	0	0
91.04	0	0.828	0.172	0	0	0
91.06	0	1	0	0	0	0
91.08	0	1	0	0	0	0
91.10	0	0.787	0.213	0	0	0
91.12	0	1	0	0	0	0
91.14	0	0.721	0	0	0.279	0
91.16	0	0.632	0	0	0.368	0
91.18	0	0.645	0.355	0	0	0
91.20	0	1	0	0	0	0
91.22	0	0.756	0.244	0	0	0
91.24	0	1	0	0	0	0
91.26	0	1	0	0	0	0
91.28	0	1	0	0	0	0
91.30	0	1	0	0	0	0
91.32	0	1	0	0	0	0
91.34	0	1	0	0	0	0
91.36	0	0	0	0	0	0
91.38	0	0	0	0	0	0
91.40	0	0	0	0	0	0
91.42	0	1	0	0	0	0
91.44	0	0.686	0	0	0	0.314
91.46	0	0.506	0	0	0	0.494
91.48	0	1	0	0	0	0
91.50	0	1	0	0	0	0
91.52	0	1	0	0	0	0
91.54	0	1	0	0	0	0
91.56	0	1	0	0	0	0
91.58	0	1	0	0	0	0
91.60	0	1	0	0	0	0
91.62	0	1	0	0	0	0
91.64	0	1	0	0	0	0
91.66	0	1	0	0	0	0
91.68	0	1	0	0	0	0
91.70	0	1	0	0	0	0
91.72	0.212	0.788	0	0	0	0
91.74	0	1	0	0	0	0

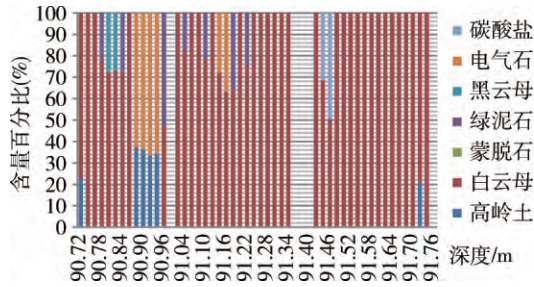


图 3 90.8~92m 处角岩型矿体蚀变矿物柱状图

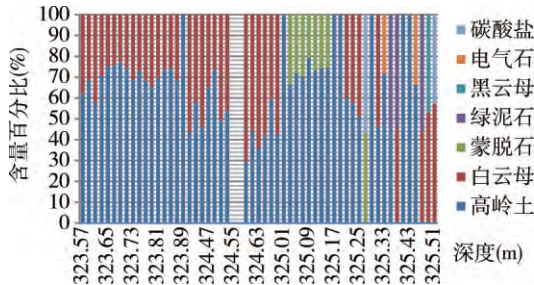


图 4 323.5~325.5 m 处斑岩矿体蚀变矿物柱状图

表 3 西藏甲玛铜多金属矿 323.57~325.51 m 处花岗岩矿体高光谱扫描数据汇总表

深度 (m)	高岭土 (%)	白云母 (%)	蒙脱石 (%)	绿泥石 (%)	黑云母 (%)	电气石 (%)	碳酸盐 (%)
323.57	0.623	0.377	0	0	0	0	0
323.59	0.685	0.315	0	0	0	0	0
323.61	0.578	0.422	0	0	0	0	0
323.63	0.705	0.295	0	0	0	0	0
323.65	0.752	0.248	0	0	0	0	0
323.67	0.761	0.239	0	0	0	0	0
323.69	0.773	0.227	0	0	0	0	0
323.71	0.741	0.259	0	0	0	0	0
323.73	0.689	0.311	0	0	0	0	0
323.75	0.732	0.268	0	0	0	0	0
323.77	0.684	0.316	0	0	0	0	0
323.79	0.653	0.347	0	0	0	0	0
323.81	0.697	0.303	0	0	0	0	0
323.83	0.739	0.261	0	0	0	0	0
323.85	0.744	0.256	0	0	0	0	0
323.87	0.684	0.316	0	0	0	0	0
323.89	1	0	0	0	0	0	0
324.41	0.437	0.563	0	0	0	0	0
324.43	0.577	0.423	0	0	0	0	0
324.45	0.461	0.539	0	0	0	0	0
324.47	0.653	0.347	0	0	0	0	0
324.49	0.739	0.261	0	0	0	0	0
324.51	0.492	0.508	0	0	0	0	0

续表 3

深度 (m)	高岭土 (%)	白云母 (%)	蒙脱石 (%)	绿泥石 (%)	黑云母 (%)	电气石 (%)	碳酸盐 (%)
324.53	0.54	0.46	0	0	0	0	0
324.55	0	0	0	0	0	0	0
324.57	0	0	0	0	0	0	0
324.59	0.294	0.706	0	0	0	0	0
324.61	0.442	0.558	0	0	0	0	0
324.63	0.36	0.64	0	0	0	0	0
324.65	0.42	0.58	0	0	0	0	0
324.67	0.594	0.406	0	0	0	0	0
324.69	0.429	0.571	0	0	0	0	0
325.01	1	0	0	0	0	0	0
325.03	0.666	0	0.334	0	0	0	0
325.05	0.719	0	0.281	0	0	0	0
325.07	0.705	0	0.295	0	0	0	0
325.09	0.79	0	0.21	0	0	0	0
325.11	0.731	0	0.269	0	0	0	0
325.13	0.741	0	0.259	0	0	0	0
325.15	0.745	0	0.255	0	0	0	0
325.17	1	0	0	0	0	0	0
325.19	1	0	0	0	0	0	0
325.21	0.599	0.401	0	0	0	0	0
325.23	0.576	0.424	0	0	0	0	0
325.25	0.512	0.488	0	0	0	0	0
325.27	0	0	0.432	0	0	0	0.568
325.29	0.84	0	0	0	0	0	0
325.31	0.46	0.54	0	0	0	0	0
325.33	0.72	0	0	0	0	0.28	0
325.35	0.461	0	0	0.539	0	0	0
325.37	0	0.452	0	0.548	0	0	0
325.41	1	0	0	0	0	0	0
325.43	1	0	0	0	0	0	0
325.45	0.663	0	0	0	0	0.337	0
325.47	0	0.447	0	0.553	0	0	0
325.49	0	0.53	0	0	0.47	0	0
325.51	0	0.574	0	0	0	0	0.426

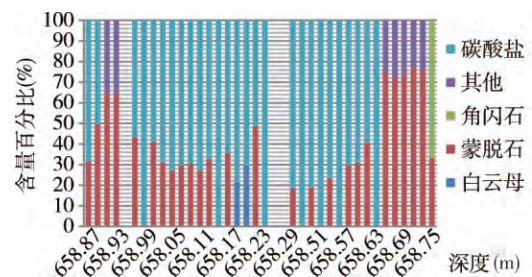


图 5 658.9~659.8 m 处砂卡岩矿体蚀变矿物柱状图

表 4 西藏甲玛铜多金属矿 658.9~659.8m  
处矽卡岩矿体高光谱扫描数据汇总表

深度 (m)	白云母 (%)	蒙脱石 (%)	角闪石 (%)	其他 (%)	碳酸盐 (%)
658.87	0	0.315	0	0	0.685
658.89	0	0.497	0	0	0.503
658.91	0	0.643	0	0.357	0
658.93	0	0.645	0	0.355	0
658.95	0	0	0	0	0
658.97	0	0.433	0	0	0.567
658.99	0	0	0	0	1
659.01	0	0.409	0	0	0.591
659.03	0	0.311	0	0	0.689
659.05	0	0.272	0	0	0.728
659.07	0	0.297	0	0	0.703
659.09	0	0.304	0	0	0.696
659.11	0	0.273	0	0	0.727
659.13	0	0.326	0	0	0.674
659.15	0	0	0	0	1
659.17	0	0.358	0	0	0.642
659.19	0.215	0	0	0	0.785
659.21	0.296	0	0	0	0.704
659.23	0	0.488	0	0	0.512
659.25	0	0	0	0	1
659.27	0	0	0	0	0
659.29	0	0	0	0	0
659.47	0	0.185	0	0	0.815
659.49	0	0	0	0	1
659.51	0	0.189	0	0	0.811
659.53	0	0	0	0	1
659.55	0	0.235	0	0	0.765
659.57	0	0	0	0	1
659.59	0	0.299	0	0	0.701
659.61	0	0.309	0	0	0.691
659.63	0	0.406	0	0	0.594
659.65	0	0	0	0	0.722
659.67	0	0.749	0	0.251	0
659.69	0	0.721	0	0.279	0
659.71	0	0.737	0	0.263	0
659.73	0	0.772	0	0.228	0
659.75	0	0.76	0	0.24	0
659.77	0	0.332	0.668	0	0

地质资料中心的服务利用水平。

2) 高光谱扫描结果清晰的显示了蚀变矿物的分布特征, 钻孔 1616 矿体分带明显, 矿化和矿物存在密切关系, 矿体的存在与泥化存在着直接的相关关系, 泥化程度越高, 矿体越好, 钻孔中部和底部具有泥化蚀变矿物, 矿体主要集中在矽卡岩矿体里。

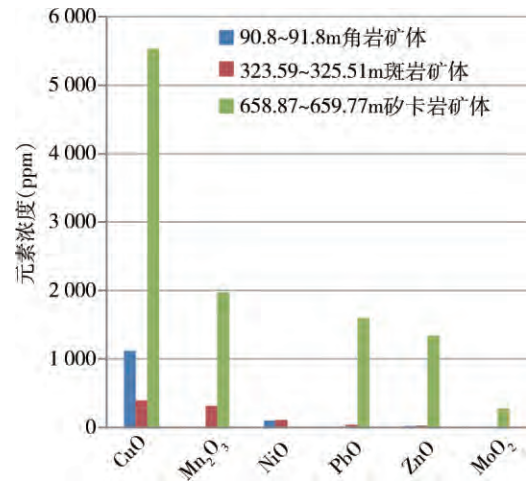


图 6 甲玛多金属矿主要金属矿物元素浓度分布图

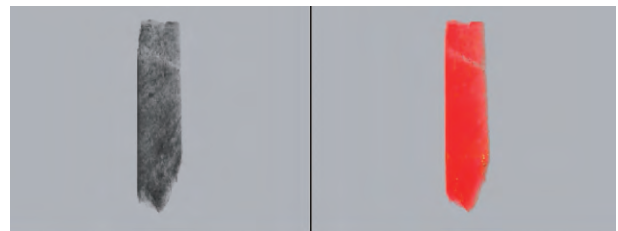


图 7 ZK1616 样品 CT 扫描试验图像

从蚀变矿物组合可看出甲玛铜多金属矿由浅到深具有高温→中低温成矿演化的特点。

3) XRF 元素测试结果表明, 角岩矿体主要赋存铜、钼、镍金属矿物, 斑岩矿体主要赋存铜、锰、镍等金属矿物; 矽卡岩矿体中赋存铜、钼、铅、锌等金属矿物, 且金属元素含量最高。

4) 科研人员可通过对提取的图像信息及数据的进行地质分析, 结合相应的地、物、化等其他数据进行综合研究, 对蚀变矿物与成矿环境的关系、矿床成矿模式的验证、外围找矿勘探研究等起到很好的参考借鉴作用。

5) 继续研究馆藏不同地区、不同成因类型的岩矿多参数信息提取, 获取大量丰富数据, 加强对矿物光谱的精细特征随成分及结构的变化规律、地质意义、鉴定特征和识别的方法研究, 为建立中国典型矿床岩矿数据库、建设数字实物地质资料馆提供支撑。

## 参考文献

- [1] 高鹏鑫, 王瑞红, 张慧军, 等. 岩芯扫描信息采集技术方法与应用分析[J]. 中国矿业, 2015, 24(S1): 441-446.
- [2] 应立娟, 唐菊兴, 黄勇. 西藏甲玛和雄村铜矿区角岩的对比研究[J]. 矿床地质, 2012, 31(2): 380-390.

(下转第 236 页)

提高找矿效果。

参考文献

[1] 毛景文,陈懋弘,袁顺达,等. 华南地区钦杭成矿带地质特征和矿床时空分布规律[J]. 地质学报, 2011, 85 (5): 636-658.

[2] 付伟,柴明春,杨启军,等. 广西佛子冲大型铅锌多金属矿床的成因: 流体包裹体和 H-O-S-Pb 同位素地球化学约束[J]. 岩石学报, 2013, 29(12): 4136-4150.

[3] Koike K, Nagano S, Ohmi M. Lineament Analysis of Satellite Images Using a Segment Tracing Algorithm (STA) [J]. Computers & Geosciences, 1995, 21 (9): 1091-1104.

[4] 刘春学,倪春中,燕永锋,等. 基于遥感影像的线性构造自动提取[J]. 遥感技术与应用, 2014, 29 (2): 273-277.

[5] 孔凡臣,丁国瑜. 线性构造分数维值的含义[J]. 地震, 1991 (5): 33-37.

[6] 冯佐海,梁金城,张桂林,等. 平桂地区遥感线性构造的分形特征及其地质意义[J]. 地球学报, 2002, 23(6): 563-566.

\*\*\*\*\*

(上接第 202 页)

$\delta Ce$  反映稀土元素 Ce 异常价态变化。总体来说,稀土元素大都呈正三价状态,三价稀土元素在自然界发生变价的情况很有限,但在碱性介质和高氧化电位的表生作用带,  $Ce^{+3}$  氧化成  $Ce^{+4}$  而与三价稀土元素( $RE^{+3}$ )发生分离,致使在表生带出现亏损 Ce 的岩石和矿物。因此,如果  $\delta Ce$  低值迁移,则可做为碱性氧化流体环境的标志。在海水 pH、Eh 条件下,  $Ce^{+3}$  易于转化成  $Ce^{+4}$ , 造成 Ce 亏损。一般  $\delta Ce > 1.05$  为正异常,  $\delta Ce < 0.95$  为负异常。实测的 10 件油页岩样品都正常。

$\delta Eu$  指稀土元素 Eu 异常价态变化情况。在酸性介质中或强还原条件下,  $Eu^{+3}$  还原成  $Eu^{+2}$  而与其它三价稀土元素发生分离。因此,如果  $\delta Eu$  出现负异常,则可做为酸性还原环境的标志。陆源物质

一般继承 Ce 的亏损。而  $\delta Eu > 1.05$  为正异常,  $\delta Eu < 0.95$  为负异常。区内油页岩均呈明显的负异常,主要反映了沉积时,生物物质耗氧腐化,造成环境酸化还原。

5 结论

通过以上分析对比,芦草沟组沉积环境应处于半深湖-深湖区,油页岩系的形成主要为滨湖相及开阔湖相(滨外)环境。

参考文献

[1] (北京)玛维克能源有限公司. 华康市油页岩西区资源初步价值评估报告[R]. 2010.

[2] 赵师庆. 实用煤岩学[M]. 北京:地质出版社, 1991.

\*\*\*\*\*

(上接第 232 页)

[3] 彭惠娟,汪雄武, Müller Axel, 等. 西藏甲玛铜多金属矿区成矿斑岩的岩浆混合作用: 石英及长石斑晶新证据[J]. 矿床地质, 2011, 30(2): 249-265.

[4] 唐菊兴,王登红,汪雄武,等. 西藏甲玛铜多金属矿床地质特征及其矿床模型[J]. 地球学报, 2010, 31(4): 495-506.

[5] 王焕,唐菊兴,王立强,等. 西藏墨竹工卡地区甲玛铜多金属矿床砂卡岩矿物学特征及其地质意义[J]. 地质通报, 2011, 30 (5): 783-797.

[6] 李光明,芮宗瑶,林方成,等. 西藏甲玛和驱龙砂卡岩型铜多金属矿床的 Re-Os 年龄及意义[C]// 欧阳自远. 第二届全国成矿理论与找矿方法学术研讨会论文集. 2004: 32.

[7] 冯孝良,管仕评,牟传龙,等. 西藏甲玛铜多金属矿床的岩浆热液交代成因—地质与地球化学证据[J]. 地质地球化学, 2001, 29(4): 40-48.

[8] 王焕,唐菊兴,应立娟,等. 西藏甲玛铜多金属矿床主要矿石矿物特征[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2011, 38(1): 103-112.

[9] 郑文宝,唐菊兴,畅哲生,等. 西藏甲玛铜多金属矿床地质地球化学特征及成因浅析[J]. 地质与勘探, 2010, 46 (6): 985-992.

[10] 姚晓峰,王友,畅哲生,等. 西藏甲玛铜多金属矿砂卡岩基本特征及其成因意义[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2011, 38(6): 662-670.