

便携式短波红外矿物分析仪(PIMA) 在西藏墨竹工卡县驱龙铜矿区矿物填图中的应用

章 革¹, 连长云², 王润生^{1,3}

ZHANG Ge¹, LIAN Changyun², WANG Runsheng^{1,3}

1. 中国地质大学, 北京 100083;

2. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037;

3. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083

1. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

2. *Development and Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China;*

3. *China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China*

摘要:介绍了应用国内近两年新引进的便携式短波红外矿物分析仪(Portable Infrared Mineral Analyser, 简称PIMA)在西藏驱龙铜矿区所做的矿物填图的工作情况, 以及依据PIMA测试所获得的光谱数据进行矿物识别的初步研究成果。通过野外对探槽TC0701和TC1101系统采样和对应的光谱测试分析, 识别出了与矿化和矿体有直接关系的蚀变指示矿物硬石膏(anhydrite)。在矿物识别过程中, 提取到了可以作为矿区标准光谱的白云母等矿物的纯光谱曲线, 并且在野外验证过程中确认了航天图像(Hyperion)上解译的零星分布的蚀变矿物绿泥石的存在。

关键词:便携式短波红外矿物分析仪(PIMA); 西藏驱龙铜矿; 矿物填图

中图分类号:P631

文献标识码:A

文章编号:1671-2552(2005)05-0480-05

Zhang G, Lian C Y, Wang R S. Application of the portable infrared mineral analyser (PIMA) in mineral mapping in the Qulong copper prospect, Mozhuogongka County, Tibet. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24 (5):480-484

Abstract: The portable infrared mineral analyser (PIMA) introduced from abroad two years ago was used in mineral mapping in the Qulong copper prospect, Tibet, and minerals were recognized based on the spectral data obtained by PIMA analysis. In this study, two trenches, TC0701 and TC1101, were systemically sampled. The tested spectral data were processed by the PIMA VIEW 3.1, and comparison of the results of mineral discrimination with the field investigation information indicates that anhydrite is an alteration indicator mineral directly related to copper mineralization and orebodies. In addition, in the process of mineral discrimination, pure spectra of minerals such as muscovite that may be used as the standard spectra in the copper prospect were obtained. The existence of the scattered alteration mineral chlorite which is interpreted from the Hyperion data has been confirmed in the course of field checks.

Key words: portable infrared mineral analyser (PIMA); Qulong copper prospect in Tibet; mineral mapping

高光谱分辨率遥感(Hyperspectral Remote Sensing)^[1]自20世纪80年代初起步, 至90年代后期进入应用阶段。常用的高光谱探测波长区间一般为0.4~2.5 μm , 包括了整个可见光

区(0.4~0.7 μm)、近红外区(0.7~1.1 μm)和短波红外区(1.1~2.5 μm)。矿物填图(Mineral Mapping)是在高光谱遥感基础上发展起来的一种光谱填图技术, 其目的是确定某一或某些

收稿日期:2004-09-09; 修订日期:2005-02-01

基金项目:中国地质调查局重点项目《成像光谱和便携式近红外光谱矿物填图应用试验研究》(200210000006)、国家863-103项目(2001AA136020-4)和国土资源部“十五”重点科研项目(2002206)资助。

作者简介:章革(1966-), 男, 在读博士, 高级工程师, 从事高光谱技术方面的应用研究工作。E-mail:zhangge18@yahoo.com.cn

矿物在地表的分布和相对含量的变化。目前已经实用的是短波红外区,主要观测含水或含OH的矿物和某些硫酸盐、碳酸盐类矿物。这些矿物大多见于与金属矿床有关的热液蚀变带,故可用于指示热液成矿体系的环境参数,提供找矿线索并指导找矿^①。

2002年9月,中国地质调查局发展研究中心(简称发展中心)从澳大利亚引进2台便携式短波红外矿物分析仪(Portable Infrared Mineral Analyser,简称PIMA),首先在新疆哈密土屋铜矿区开展了短波红外光谱矿物填图试验研究。2003年7月下旬至8月上旬,中国国土资源航空物探遥感中心(简称航遥中心)和发展中心PIMA项目组成员同澳大利亚联邦科学与工业组织(CSIRO)勘探与采矿研究所的杨凯博士一起,对2002年10月航遥中心在新疆东天山飞行区(一区)所获得的航空成像光谱HyMap数据的矿物填图成果,应用PIMA仪进行了野外验证工作。2003年8月下旬至9月上旬,航遥中心项目组对应用美国EO-1卫星的航天成像光谱数据Hyperion在西藏驱龙铜矿进行矿物识别所获得的成果^②进行了野外验证工作。本文主要介绍应用PIMA在西藏驱龙铜矿区所做的野外验证工作情况和依据PIMA测试所获得的光谱数据进行矿物填图的初步研究成果。

1 PIMA简介

PIMA是由澳大利亚Integrated Spectronics Pty有限公司^③生产的一种短波红外反射光谱分析仪。

(1)主要技术指标

波长范围:1300~2500 nm;光谱分辨率:7~10 nm;光谱取样间距:2 nm;信噪比:通常是2500:1;测量速度:标准测试是37 s,可选择不同速度13 s~6 min^④。

(2)PIMA的优点

①仪器轻便:总重量(含电池)只有4 kg,由于供电使用交流电源或充电电池,十分便于野外使用。②测试速度快:可在一分钟之内识别出粘土矿物和碳酸盐矿物。③无须制样:一般情况下,测试样品时均不需要制备样品。④测量样品类型多样:岩石、土壤、水等样品均可测量。⑤不需要单独光源:由于仪器有内置光源,野外测试时不必考虑光线的因素,可以在室内和井下进行测试工作。⑥可以在野外勘探现场快速获得测试结果,帮助技术人员现场快速决策。⑦可以区分同一种矿物的不同晶型。⑧成本低廉:同其他的分析仪器相比较,具有明显的成本低廉特点。⑨对测试环境要求不高。

(3)在矿产勘查领域的应用

在矿产勘查领域,PIMA仪已得到广泛应用。主要包括圈定蚀变带、了解蚀变与矿化的关系、圈定有意义的靶区、识别相互覆盖岩层的边界和识别矿物类型、丰度、成分等。此外,在品位

控制和采矿工程研究方面,PIMA仪也能发挥独特的作用。

2 驱龙铜矿区概况和前人的研究成果

2.1 矿区基本情况

驱龙铜矿位于西藏墨竹工卡县西南的甲马乡。矿区位于甲马铜多金属矿床的西侧,成矿地质条件与甲马矿区类同,尤以斑岩成矿条件优越^⑤。区内出露地层为中侏罗统叶巴组中酸性熔岩和火山碎屑岩夹碳酸盐岩、砂岩和砂板岩,以及第三系丁拉组流纹质英安岩、粗面岩等^⑥。矿区内斑岩剥蚀浅,主要岩石类型为二长花岗斑岩和花岗闪长斑岩。I号斑岩体地表出露面积约5 km²,矿化范围约3 km²,主要矿化有黄铜矿化和辉钼矿化,呈脉状或浸染状产出。区内岩层硅化、绢云母化、高岭石化、青盘岩化等蚀变强烈,空间上显示了“中心式”面型蚀变分带特征。含矿斑岩体由内向外大体可分为:石英绢云母化带、高岭石硅化绢云母化带、青盘岩化带(局部矽卡岩化)。其中石英绢云母化带分布于斑岩体内,带内矿化明显,矿石以细脉浸染状为主^⑦。矿区的构造为近东西向的构造格架,岩体等呈近东西向展布。目前已经发现了CuI、CuII、CuIII、CuIV、CuV等矿化体,其中CuII、CuIII矿化体是主要的矿化体^⑧。CuI矿(化)体位于I号斑岩体的外接触带附近,主矿体隐伏深度98 m,长约500 m,厚10~50 m,为斑岩体全岩矿化^⑨。Cu目估品位0.2%~1%,Mo含量较低。含矿岩石为含黄铁矿的中细粒黑云母二长花岗岩,有高岭土化、青盘岩化、黄铁绢英岩化蚀变^⑩。近SN走向的探槽TC0701(图1)就穿过CuI矿化体。

2.2 前人研究成果

甘甫平等^⑪应用EO-1卫星的成像光谱Hyperion的视反射数据,对西藏驱龙地区的蚀变矿物进行了初步识别,识别出高Al和低Al绢云母化矿物、高岭石矿物和绿泥石、孔雀石化矿物组合。张玉君等^⑫利用主分量分析和光谱角法从ETM⁺数据中提取了上述成像光谱Hyperion数据识别成果中,除绿泥石和孔雀石化矿物组合没有对应显示以外的蚀变矿物的集合体异常。此前,杨凯也对驱龙地区Hyperion数据进行了初步的处理工作(内部交流,未发表),识别了短波白云母(short λ muscovite)、长波白云母(long λ muscovite)、绿泥石(chlorite)和铁氧化物(iron oxide)、干旱植物(dry vegetation)、绿色植物(green vegetation),同时采用自动处理软件填出了含Al-OH、铁氧化物和干燥植物几大类。上述工作均是利用航天数据资料直接进行处理和解译,在没有进行实测地面光谱数据的情况下进行的。

3 本次研究成果

本次研究工作的主要目的之一就是通过PIMA的地面实

① 杨凯.高光谱遥感在地质调查与矿产勘探上的应用.见:矿产资源调查与方法技术论文集.中国地质调查局,2001.

② 王润生,王青华,张宗贵,等.矿产资源调查评价中遥感新技术新方法应用研究.2002.

③ 西藏地质勘查院第2分院.西藏墨竹工卡县驱龙铜矿1:10000地质草测工作小结.2002.

测对Hyperion的识别结果进行验证,并且获得相应的地面光谱数据资料。在此基础上,结合野外的观察和有关资料,进行矿物识别和矿物填图方面的研究工作,研究具体矿化的光谱特征,在短波红外光谱范围内提取直接与矿化有关的蚀变矿物。

3.1 野外工作

野外工作包括2个方面的内容:一是对利用航天Hyperion数据的矿物识别结果进行验证工作;二是在此基础上系统地在地表的探槽进行采样和光谱测试,以期获得地面的光谱数据,并对其解译结果与地表矿化之间的关系进行探讨。前者,针对需要验证的内容,共采集样品点35个,测试光谱数据106条;这些采样点比较广泛地分布在矿区及其外围地区。后者,对探槽TC0701和TC1101进行了系统的采样,其中TC0701为76个采样点,测试光谱曲线359条;TC1101为40个采样点,测试光谱曲线201条。采样间距一般3~4 m,局部矿化蚀变地方为2 m。为了进行对比分析,在上述2个探槽样品的采集过程中,尽可能同时采集相应位置的地表样品,每个采样点均采集2块或者2块以上样品。考虑到测试的工作效率,样品的光谱测试除少数在现场测试外,绝大多数是在拉萨驻地完成的;每个样品点都测试了4条或者4条以上的光谱曲线。为进一步分析研究光谱识别结果,光谱测试过程中对每块样品尽可能都测试其风化面和新鲜面,并对测试样品的位置特征进行了详细的记录。

3.2 矿物识别

利用PIMA SP自带的软件PIMA VIEW 3.1对测试的光谱曲线进行矿物自动识别,获得测试探槽识别的主要矿物按照多少的顺序排列结果如下:探槽TC0701——白云母、伊利石、硬石膏、水、多水高岭石、蒙脱石、绿脱石和石膏等;探槽TC1101——水、伊利石、硬石膏、多水高岭石、白云母、蒙脱石、绿脱石和黄钾铁矾等。TC0701和TC1101详细的矿物识别情况见表1。

例如,在TC0701中,共测试359条光谱曲线,白云母出现的次数248次,频率是用248除以359的结果。TC1101也如此。这一结果可以反映出上述探槽中通过PIMA识别出的矿物的主次程度。这里需要说明的是,在不同的探槽采样,所采集的

岩石样品不同,识别出的矿物的统计排序情况也不同,如TC0701和TC1101。

3.3 与矿化有关的直接指示矿物

对探槽TC0701和TC1101进行了系统采样,对每个采样点的具体位置都拍摄了照片,对每个样品的测试点都细致描述,具体测试时详细记录肉眼识别的矿化情况。在此基础上对比PIMA的矿物识别分析结果表,从中可以得出结论:在驱龙铜矿区,硬石膏(anhydrite)是对矿化直接有指示意义的矿物。通过进一步与探槽的品位对应分析验证工作,该种矿物也可以用于利用PIMA光谱数据对钻孔的品位控制的测试研究工作。

这里所谈的光谱指示矿物是地表的指示矿物,其分布可以指示和反映地表矿化的存在,并且它是具有平面分布规律的蚀变矿物。同样,可以把这一概念延伸到钻孔中的指示矿物,即在垂直剖面上的指示矿物。笔者认为,确定地表指示矿物的意义十分重要,在进一步利用成像光谱数据,如航天的Hyperion和航空的HyMap等成像光谱数据或者其他遥感数据,提取和发现未知矿床的找矿信息时,就可以利用PIMA测试研究获得的指示矿物直接进行提取工作。而不是也不应该采用目前的一些常规的做法:根据已知矿床特征从矿床学角度对具体蚀变的描述,来选择或者确定利用成像光谱数据提取蚀变矿物的矿物种类;或者根据目前一般的利用成像光谱进行矿物填图时对于一般区域性的蚀变矿物的理解,来提取矿区的蚀变矿物的分布特征。通过笔者的研究,上述2种做法均有明显的不足之处,而且与实际通过地表系统采样和对具体矿床详细研究的结果对比来看是有偏差的。

3.4 从识别矿物中选择可能存在的标准光谱

通过对TC0701和TC1101大量测试的光谱曲线进行矿物识别的结果分析,从中发现了白云母(muscovite)、伊利石(illite)、多水高岭石(halloysite)、硬石膏(anhydrite)等几种识别矿物的个别结果是100%。具体测试点包括:TC0701中,白云母TC0701-01A等20条(图2);伊利石TC0701-08C, TC0701-23B1;硬石膏TC0701-72B;多水高岭石TC0701-36C。TC1101中,伊利石TC1101-12A,TC1101-23A;白云

表1 驱龙铜矿探槽TC0701和TC1101矿物识别情况统计
Table 1 Statistics of Recognized minerals in trenches TC0701 and TC1101 in the Qulong copper prospect, Tibet

位置	矿物测试	白云母	伊利石	硬石膏	水	多水高岭石	蒙脱石	绿脱石	石膏	黄钾铁矾	高岭石
TC0701	次数	248	129	116	116	101	69	53	33	12	8
(359条)	频率	0.691	0.359	0.323	0.323	0.281	0.192	0.148	0.092	0.033	0.022
TC1101	次数	63	99	87	128	87	42	28	1	11	7
(201条)	频率	0.313	0.493	0.433	0.637	0.433	0.209	0.139	0.005	0.055	0.035

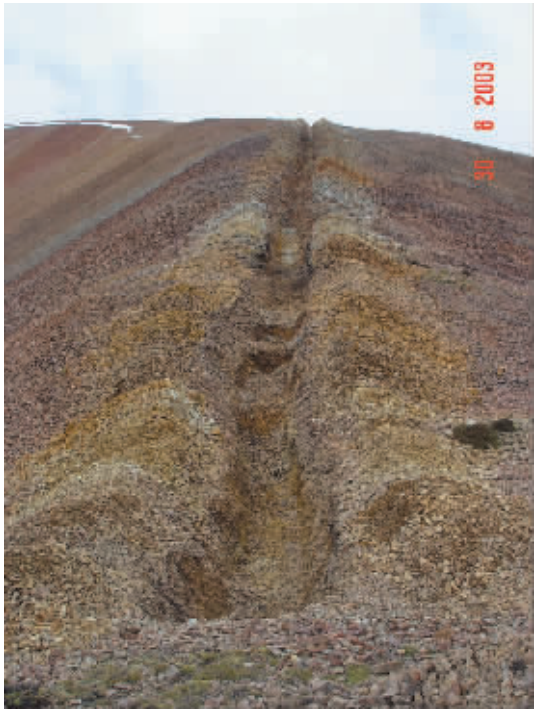


图1 西藏驱龙铜矿探槽TC0701照片

Fig.1 Photo of trench TC0701

母 TC1101-33B,TC1101-33B1; 硬石膏 TC1101-17B, TC1101-28B。

这为我们提供了一种获得矿区部分矿物的标准光谱曲线的可能途径。通常的做法是,从岩石中选择单矿物,然后经过复杂的测试过程确立标准光谱曲线。这一过程相对费时和复杂,分析成本也高,对于广泛地应用PIMA进行实际工作,应该说是比较难以推广应用的。另外,依据笔者的看法,按照上述方法由PIMA所获得的具体矿区单矿物的标准光谱可能更为接近实际问题的研究,因为所测试的对象是岩石标本,而不是经过人为分离的单个矿物。

确立矿区标准光谱的意义,前人的研究是在没有地表实测光谱的情况下进行的,因此在利用航天成像光谱资料

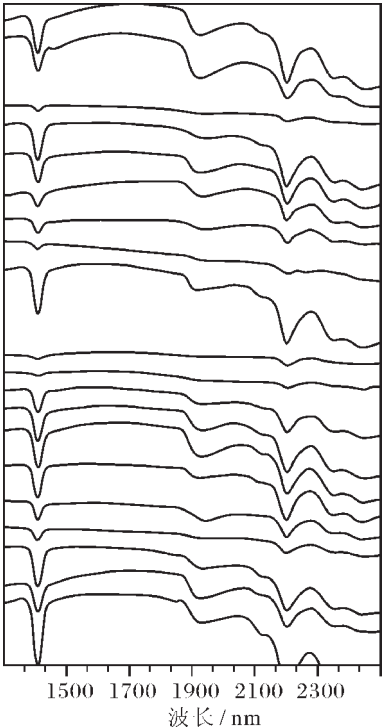


图2 探槽TC0701中识别出的白云母纯光谱曲线

Fig.2 Pure spectrum of muscovite recognized in trench 0701

(Hyperion)的过程中,选择的是光谱库里面的标准光谱。在经过地面实测以后,可以通过实测光谱的标准光谱来进行对比研究,对比和分析采用标准光谱曲线进行矿物识别所获得的结果。当然,PIMA的波长范围是1300~2500 nm,而Hyperion的波长范围是400~2500 nm,这在应用研究过程中只要截取对应部分进行研究对比即可。同时,还应该考虑和进一步研究地面实测光谱与空中光谱的相互关系。

3.5 验证的成果

通过PIMA野外验证工作,对前人利用Hyperion识别矿物的地表岩石进行了样品采集和光谱测试。PIMA测试分析表

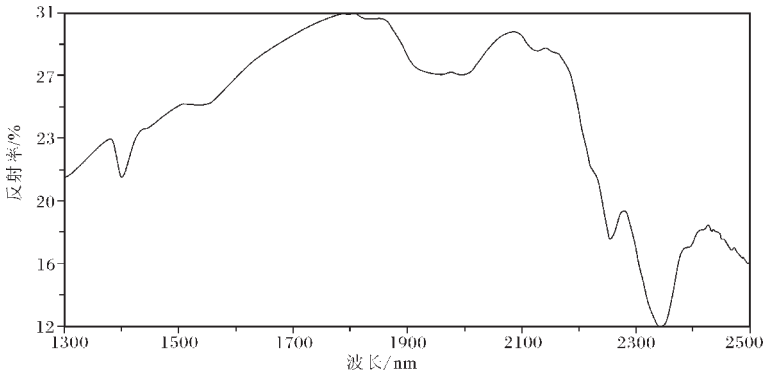


图3 绿泥石的识别环境(左)和PIMA光谱曲线(右)

Fig.3 Discrimination environment of chlorite (left) and PIMA spectrum (right)

明高岭石矿物、白云母矿物和绿泥石矿物存在,从而验证了前人识别的云母类矿物、高岭石矿物和绿泥石的存在。特别是对绿泥石在原来识别图像^④上是相对零星分布的蚀变矿物的验证更具有特殊意义。图3是验证的绿泥石识别工作区植被环境和测试的光谱曲线,该点所识别的3种矿物的光谱含量为:绿泥石(chlorite)相对含量为61%,绿帘石(epidote)相对含量为22%,伊利石(illite)相对含量为17%。一般说来,对于任何一种矿物零星点式的出露都不一定有把握。从本次野外工作对绿泥石的验证结果来看,在一定的植被覆盖区,所识别出的为相对零星分布的蚀变矿物有可能是准确的。这为将来利用航天成像光谱数据在更广泛的工作区进行矿物识别和矿物填图工作提供了有意义的借鉴。

4 结 论

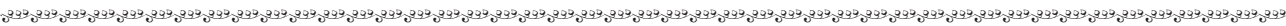
通过利用PIMA在西藏驱龙铜矿区进行工作,可以看到目前利用PIMA进行矿物填图所识别的矿物种类相对于利用航天成像谱资料(Hyperion)的结果明显要多,同时可以对航天和航空数据的识别结果进行验证。在对矿区大量光谱测试的过程中,注意到某些矿物的纯光谱现象,为利用航天数据资料的处理提供了新的思路,也为建立具体矿床的矿物光谱

库,进一步处理航天资料,提取和发现未知矿床的找矿信息,服务于同类矿床的寻找工作奠定了基础。

致谢:中国地质大学博士生闫柏琨、刘圣伟和航遥中心王青华高级工程师参加了样品采集和野外验证工作,先后得到西藏地勘局副总工程师陆彦、局第二地质大队总工程师魏保军和冯南平高级工程师、刘德华高级工程师、郑有业博士等的指导和大力帮助,在此一并表示感谢!

参考文献:

[1]浦瑞良,宫鹏.高光谱遥感及其应用[M].北京:高等教育出版社,2000.2-9.
[2]<http://www.intspec.com/>
[3]程力军,李志,刘鸿飞,等.冈底斯东段铜多金属成矿带的基本特征[J].西藏地质,2001,(1):43-53.
[4]郑有业,薛迎喜,程力军,等.西藏驱龙超大型斑岩铜(钼)矿床:发现、特征及意义[J].地球科学,2004,(1):103-108.
[5]甘甫平,王润生,杨苏明.西藏Hyperion数据蚀变矿物识别初步研究[J].国土资源遥感,2002,(4):44-50.
[6]张玉君,曾朝铭,陈薇.ETM+(TM)蚀变遥感异常提取方法研究与应用——方法选择与技术流程[J].国土资源遥感,2003,(2):44-49.



《地质通报》第24卷第6期要目预告

华南“南华系”研究新进展——论“南华系”地层划分与对比	王 剑
青海格尔木地区驼路沟钴(金)矿床石英钠长石岩锆石SHRIMP U-Pb定年——对“纳赤台群”时代的制约	丰成友等
南岭中段郴州一带中、晚侏罗世花岗岩浆的混合作用——来自镁铁质微粒包体的证据	马铁球等
湘北益阳古火山岩的成因及其地质意义	车勤建等
渤海湾西部声纳探测发现全新世埋藏槽谷	赵根模等
冀西北万全地区大麻坪地幔岩包体高温高压弹性波研究及其地质意义	韦延光等
太原西山七里沟晚古生代腕足动物群落及其古环境意义	高金汉等
西藏西部札达盆地早更新世香孜组沉积特征和时代——对青藏高原第四系底界的约束	孟宪刚等
拉萨北部旁多群坠石沉积的发现及其意义	纪占胜等
拉萨北部林周盆地林子宗火山岩层序新议	董国臣等
西藏措勤—申扎地层分区新建中—上侏罗统仁多组	赵 兵等
西藏西部日土县日松地区多仁组、日松组的建立及其地质意义	欧阳克贵等
中国西北地区各构造单元之间地层和生物古地理的亲缘关系——兼论西北地区构造格局	段吉业等
藏北羌塘盆地与西亚特提斯盆地构造比较及其油气远景	许 岩等
海岸带海洋地质环境综合调查方法	夏 真等
影响珠江三角洲可持续城市化发展的若干环境地质问题	支兵发