doi:10.6046/gtzyyg.2012.01.25

斑岩型铜矿找矿预测中环形构造的示矿作用
——以玉龙—马拉松多子区为研究区

张廷斌[1,2],别小娟[2],吴 华[3],胡紫豪[2],李建力[2],杨 雪[2]
(1.西南交通大学土木工程学院,成都 610031; 2.成都理工大学地球科学学院,成都 610059;
3.西藏自治区地质调查院,拉萨 850000)

摘要:在斑岩型铜矿资源潜力评价中,斑岩体是圈定铜矿最小找矿预测区的重要依据。研究表明,遥感图像上的许多环形影像与岩浆活动(包括斑岩体)有关。为了快速进行斑岩型铜矿成矿预测,利用遥感技术在西藏玉龙—马拉松多斑岩型铜矿周边地区开展了找矿预测。首先建立了环形构造的遥感解译标志;然后开展了环形构造的解译工作,研究了该区环形构造的展布特征;最后总结了由环形构造推断斑岩体的标志。结果表明,遥感解译的环形构造为该区斑岩型铜矿最小找矿预测区的圈定提供了重要依据。

关键词:玉龙;斑岩型铜矿;环形构造;斑岩体;最小找矿预测区
中图法分类号:TP 79　**文献标志码**:A　**文章编号**:1001-070X(2012)01-0143-07

0 引言

遥感图像客观地记录了各种构造行迹,环形构造就是其中比较典型的影像型式之一。20世纪50年代以来,遥感地质工作者对环形构造的成因、分类及其与成矿的关系开展了大量的研究工作。刘登忠将环形构造归纳为隐伏岩体型等10种类别,并总结了环形构造成矿的区域地质背景、成因类型、环体结构、规模及影像异常等标志[1];秦小光等通过对桂西北地区遥感环形构造的研究,将该区的环形构造分为岩体型、地块型、热液晕型和断裂交汇型,通过对环形构造与成矿关系的统计分析后认为,环形构造是该区寻找金矿的有利标志[2];何国金等开展了德兴地区遥感环形构造的分形分维研究,利用分维值对不同成因的环形构造进行了归类,进而圈定了成矿远景区[3]。据统计,几乎所有的斑岩型铜矿都与环块构造(环形构造)有关,环形构造控制了斑岩铜矿的定位[4],但并不是所以的环形构造都控制着矿床的形成。李廷祺应用数学物理的方法对"岩浆期后矿床"的成矿原理和环形构造的控矿机制进行了研究,认为只有那些与早期气态物质上升高度相当的截面并由早期气态物质爆破形成的环形构造才有可能控制"岩浆期后矿床"的形成[5]。关于环形构造与成矿关系的研究,涉及金矿[2]、铅(锌、银)矿[6-7]、铜矿[3-4,8-9]以及锡矿[10]和铀矿[11]等,其中又以对铜矿的研究居多。铜矿是西藏自治区的优势矿种,自20世纪60年代以来,相继在西藏发现了以玉龙、驱龙(甲马)及多龙为代表的"三江"、冈底斯和班公湖—怒江等重要的斑岩型铜矿带。在这些铜矿带寻找斑岩型铜矿的潜力巨大。

在本次西藏自治区矿产资源潜力评价工作中,铜是一个重要的预测矿种,而斑岩型铜矿床更是重中之重。斑岩在斑岩型铜矿床资源潜力评价过程中,不仅仅是一个成矿要素,更是一个必不可少的预测要素。但是,用于潜力预测的工作底图是1∶25万比例尺地质图,斑岩在图上寥寥可数,且多为大型斑岩体,这为斑岩型铜矿床的资源潜力评价,特别是资源量估算带来了很大困难。关于环形构造与斑岩型铜矿的关系,前人在研究范围方面主要侧重于矿床或矿区的研究,在环形构造的解译方面也缺乏针对性。本文拟通过解译与斑岩体可能有关的环形构造,建立斑岩体的遥感解译标志,为斑岩型铜矿床"最小找矿预测区"的圈定提供遥感依据。

1 研究区地质概况与数据源

1.1 研究区地质概况

玉龙斑岩铜矿带位于西藏自治区东部边缘,金沙江古缝合带西侧,喜马拉雅成矿带北部。铜矿带长约300 km,宽15~30 km,带内现已发现1个超大型斑岩铜矿床(玉龙)、2个大型斑岩铜矿床(马拉松

收稿日期:2011-02-23;修订日期:2011-12-06
基金项目:中国地质调查局全国矿产资源潜力评价西藏自治区矿产资源潜力评价项目(编号:1212010813025)及成都理工大学"青年科学基金项目"(编号:2010QJ19)共同资助。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

多、多霞松多) 和 2 个中小型斑岩铜矿床及 20 多个矿化岩体[12-15]。为了探索利用遥感技术手段推断斑岩体的可行性,选择了已知矿床(点) 分布相对集中的玉龙—马拉松多子区作为研究区。

研究区位于玉龙斑岩铜矿带内,工作范围地理坐标为 E 97°35′~98°10′,N 30°50′~31°35′范围内。区内典型斑岩铜矿床主要有玉龙、莽总、多霞松多、马拉松多、恒星错及扎那尕等,其中玉龙斑岩铜矿床是研究区内规模最大的。玉龙斑岩铜矿带内含矿斑岩主要为黑云母二长花岗斑岩,次为黑云母正长花岗斑岩和正长斑岩,集中侵位于三叠系(特别是三叠系甲丕拉组) 及其下伏地层中,围岩主要为碎屑岩、火山杂岩和碳酸盐岩等[16]。

在玉龙斑岩铜矿带内,含矿斑岩体多呈小岩株、岩筒、岩瘤产出,其平面形态多呈不规则的似圆形[16-17]。研究区内的含矿斑岩体出露面积很小,多在 0.1~1 km^2 范围内,如玉龙岩体为 0.63 km^2,扎那尕岩体为 0.43 km^2,莽总岩体为 0.34 km^2,多霞松多岩体为 0.3 km^2,马拉松多岩体为 0.1 km^2[18-19]。斑岩体周围常出现围岩蚀变,围岩蚀变宽度达几百米至几公里,而且具有明显的水平分带特征,如玉龙岩体自中心向外,可依次划分出钾长石-黑云母化带、石英-绢云母化带、粘土化带和绿泥石-绿帘石-碳酸盐化带[20]。

1.2 遥感数据源

本次研究采用的遥感数据为 ETM^+ 13338(2002-01-04),13339(2001-11-17) 和 13438(2002-01-11) 3 景图像。这些图像受云、雪及植被干扰小,色彩层次感强,影像纹理清楚,能满足遥感地质解译和蚀变信息提取的要求。

2 研究方法

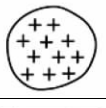
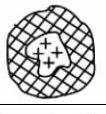
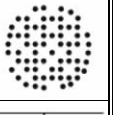
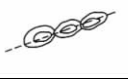
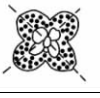
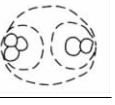
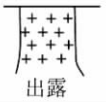
2.1 环形构造的解译

在遥感图像上,以纹理、结构、色调等显示的实心圆形、空心圆形,准圆形、准环形以及未封闭的弧形影像统称为环形影像,反映地质现象和地质构造内容的环形影像称之为环形构造。环形构造的成因较复杂,主要有与侵入岩体有关的环形构造,与火山口、火山机构有关的环形构造,与铁帽、矽卡岩化、硅化等蚀变作用有关的环形构造,以及与变质作用(如混合岩化等) 和构造作用(如穹窿构造等) 有关的环形构造等。

本研究的目的是为研究区进行斑岩型铜矿资源预测提供遥感信息,因此重点研究和解译与侵入岩体有关的环形构造和由岩浆热液蚀变作用形成的环形构造。由侵入岩体引起的环形构造主要与不同深度就位的侵入岩体有关,是侵入过程中的热液蚀变作用以及爆破作用、构造作用的产物[21],按岩体的侵入深度可分为出露、半出露、浅隐伏和深隐伏等型式岩体,按岩体的组合型式可分为单岩体式和复杂岩体式,其中复杂岩体式的平面组合型式有蘑菇群式、串珠式及母子式等多种型式。各种型式的影像特征如表 1 所示。

表 1 侵入岩体形成环形构造的理想模式①

Tab. 1 The ideal model of circular structure caused by intrusive rocks

		影像极清楚	影像较清楚	影像清楚	影像模糊			影像极清楚	影像较清楚	影像清楚	影像模糊
简单岩体	环形构造					复杂岩体	环形构造				
	埋藏深度	 出露	 半出露	 浅隐伏	 深隐伏		产状类型	 串株式	 中心式	 母子式	 宝塔式

① (据文献[21],经修改)

玉龙典型铜矿床由斑岩体引起的环形构造在 ETM^+ 7(R),4(G),1(B) 假彩色合成图像上(图 1) 具有的特征:①具负地形地貌特征;②环内发育多条一级水系或干沟,一二级水系交汇点亦位于环形构造内部;③环形构造内部具有树枝状纹理;④环外具蓝紫色色调影像,是岩体侵入过程中围岩受热发生热变质的反映;⑤该环形构造北部呈北西向长条状展布的红褐色色调异常为褐铁矿化围岩蚀变的显示。

根据侵入岩体形成环形构造的理想模式(表 1) 以及玉龙典型铜矿床斑岩体引起环形构造的影像特征(图 1),本次工作建立了环形构造的形态、色调、纹理以及水系等解译标志,采用人机交互解译和矿化蚀变异常信息提取等方法开展了研究区环形构造的遥感地质解译工作。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

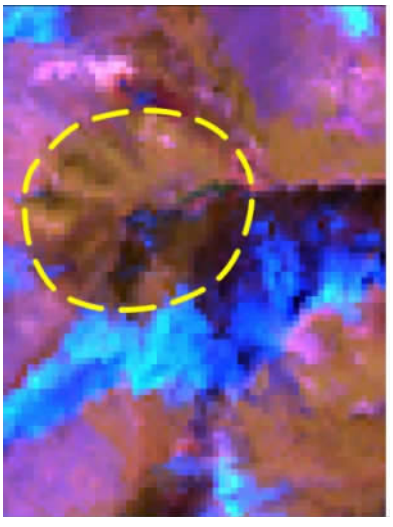


图 1　玉龙典型铜矿床及由斑岩体形成的环形构造
(ETM + 7(R) 4(G) 1(B) 假彩色合成图像)

Fig. 1　The circular structure caused by porphyry in Yulong typical copper deposit

2.2　矿化蚀变信息的提取

研究表明,矿化蚀变与斑岩铜矿具有密切的关系[22]。矿化蚀变信息的提取方法有很多[23-25],本研究采用文献[25]提出的"去干扰异常主分量门限化技术"进行矿化蚀变异常信息提取: 对 ETM + 1,4,5,7 波段图像进行主成分分析提取羟基异常信息; 对 ETM + 1,3,4,5 进行主成分分析提取铁染异常信息。其中,羟基异常和铁染异常信息分别反映了研究区绿泥石化、绢云母化等围岩热液蚀变信息,以及高岭土化和褐铁矿化、赤铁矿化、黄钾铁矾等地表蚀变信息。

2.3　斑岩体的推断及最小预测区的圈定

根据遥感、地质和化探等标志,推断出上述解译的环形构造为斑岩体。"西藏自治区矿产资源潜力评价铜矿种组"按照相关预测要求,结合成矿建造和化探、物探、自然重砂异常,对遥感解译的环形构造进行了甄别筛选,将位于化探异常浓集中心且面积小于 3 km^2 的环形构造视为有利的成矿地段,将其作为圈定最小找矿预测区的参考依据,并最终圈定了最小找矿预测区。需要说明的是,这里的"最小找矿预测区"是全国矿产资源潜力评价项目组提出的新概念,指在地质、矿产、物探、化探及遥感等多学科资料综合研究基础上圈定的具有良好找矿前景、并可以在当前技术条件下用于估算矿产资源量的最小区域。

3　环形构造分布特征与斑岩体标志

3.1　环形构造分布特征

在研究区共解译出环形构造 138 个,其中面积最小的环形构造为 0.04 km^2,面积最大的为 2.78 km^2; 次大的环形构造面积为 1.37 km^2,环形构造平均面积为 0.3 km^2。研究区内的恒星错、玉龙、扎那尕、莽总、多霞松多及马拉松多等已知斑岩型铜矿(点)上都有许多环形构造分布(图 2)。

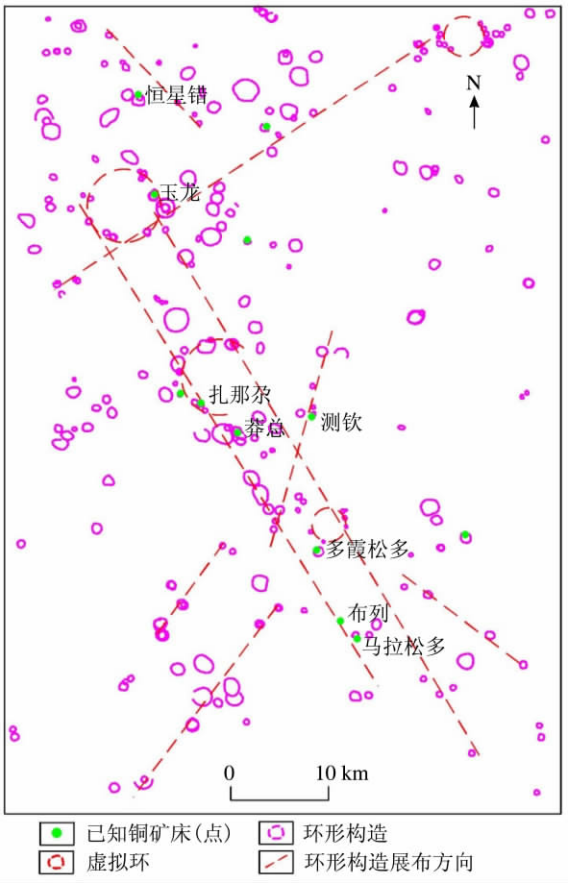


图 2　研究区环形构造分布

Fig. 2　Distributing map of circular structures in study area

具体特征如下:

1) 成带分布。在玉龙—马拉松多一带,环形构造呈 2 条近乎平行的北西(NW)向带状分布; 在恒星错斑岩铜矿床周围呈北北西(NNW)向分布; 在玉龙斑岩铜矿床的北东部呈北东东(NEE)向分布; 在测钦斑岩铜矿床的南北侧呈北北东(NNE)向分布; 环形构造呈北东(NE)、北西(NW)向成带分布的格局明显受区域构造的控制,其中有些与已知斑岩体吻合。

2) "虚拟环"型分布。解译出的环形构造,在空间上除呈"带"状分布以外,往往呈"环"状分布,笔者将环形构造的这种分布型式称之为"虚拟环"。在玉龙、扎那尕、多霞松多等典型斑岩铜矿床周围,虚拟环呈环状、半环状展布,其边部往往有矿床(点)分布。推测这种"虚拟环"可能与岩浆隆起有关。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3) 呈现“小水系环”。在遥感色调异常区内,往往存在由一级或一二级水系构成的环形影像。形成这种环形影像的理论模式为: 岩浆在侵位过程中,顶部盖层较厚,边部盖层较薄; 边部由于岩浆侵位时遭受较强的围岩蚀变作用,抗侵蚀能力弱而形成负地形,顶部因盖层较厚而遭受较弱的围岩蚀变作用,抗侵蚀能力强于边部而形成正地形。据此,作者将其推断为由隐伏岩体引起的环形构造,并将其称之为环形构造的“小水系环”模式(图 3)。

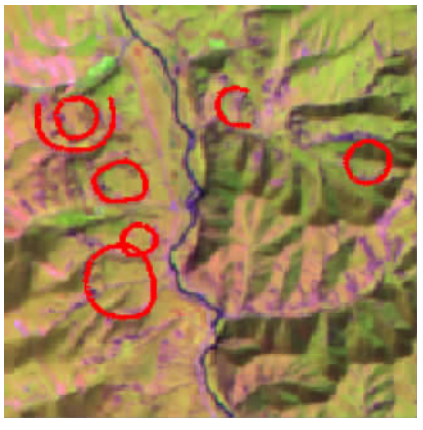


图 3 字呷乡南斑岩体解译
(ETM⁺ 7(R) 4(G) 1(B) 假彩色合成图像)
Fig. 3 Interpreting porphyries in south of Ziga town

3.2 斑岩体标志

3.2.1 遥感标志

1) 色调。研究区内的含矿斑岩主要为黑云母二长花岗斑岩、黑云母正长斑岩和正长斑岩,在地表通常呈褐红色。在蚀变、矿化过程中和成矿后的地表氧化淋滤作用下,原岩大多产生了染色或褪色现象(图 4),在 ETM⁺7(R) 4(G) 1(B) 假彩色合成图像上,主要呈蓝紫色调。因此,蓝紫色调异常及其所围限的区域是推断斑岩体的重要标志之一。

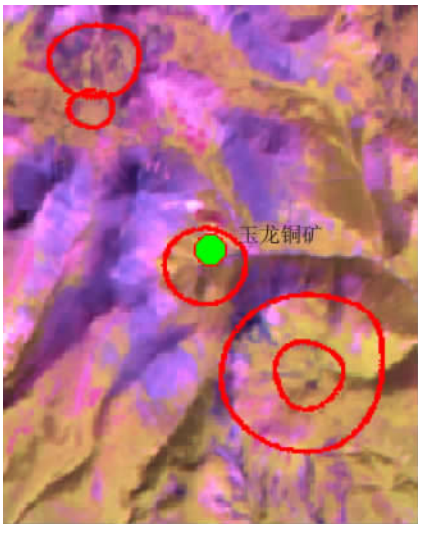
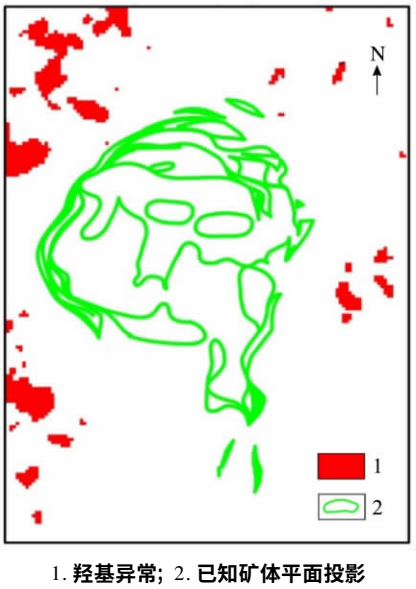
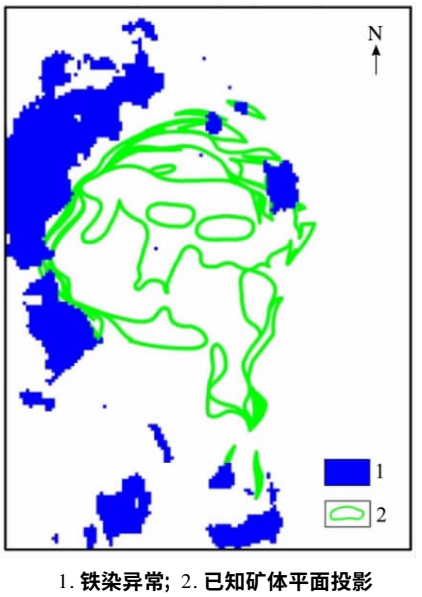


图 4 玉龙铜矿床及推断的斑岩体
(ETM⁺7(R) 4(G) 1(B) 假彩色合成)
Fig. 4 Interpreting porphyries of Yulong copper deposit

2) 矿化蚀变信息。实践表明,基于遥感矿化蚀变色调异常信息提取的羟基和铁染异常,通常分别反映了绿泥石化、粘土化和 Fe^{3+} 引起的蚀变异常信息; 玉龙斑岩型铜矿床矿化蚀变异常与已知矿体平面投影的关系如图 5,6 所示。矿化蚀变异常集中分布在已知矿体的周边。由此可见,有矿化蚀变异常信息围限的空心圆状、似圆状、环带状区域可作为推



1. 羟基异常; 2. 已知矿体平面投影
图 5 玉龙铜矿羟基异常与已知矿体关系
Fig. 5 Relationship between hydroxyl alteration anomalies and known ore body of Yulong porphyry copper deposit



1. 铁染异常; 2. 已知矿体平面投影
图 6 玉龙铜矿铁染异常与已知矿体关系
Fig. 6 Relationship between iron alteration anomalies and known ore body of Yulong porphyry copper deposit

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

断斑岩体位置的依据之一。

3) 环形构造组合型式。已有地质资料说明,玉龙铜矿带含矿斑岩体均为多阶段侵入的复式岩体,相应环形构造的平面形态多为串珠式、中心式、母子式、蘑菇群式及宝塔式等。

4) 地貌和水系。从研究区内已知斑岩型铜矿床与水系的空间关系来看,一二级水系的汇合处,往往有矿床(点)分布[16](图 7)。因蚀变斑岩体抗侵蚀能力弱,常形成负地形,根据区内已知典型矿床斑岩体的地貌特征认为,在大规模角岩化带(多形成正地形)内部的局部负地形区域,尤其是一二级水系的汇合处,是斑岩体产出的重点部位。

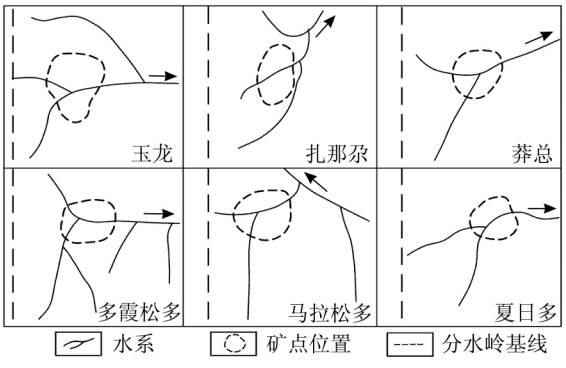


图 7　玉龙预测工作区内矿床(点)位置与水系关系示意图(据文献[16],经修改)

Fig. 7　Sketch map of relationship between deposit (occurrence) location and drainage system in study area

3.2.2　地质标志

1) 构造。已有矿床地质资料显示,NNW,NWW 向基底断裂构造与斑岩铜矿矿床的成岩成矿关系密切;玉龙斑岩型铜矿带已知的含矿斑岩体均产于次级背斜构造的轴部、近轴部和倾伏端,背斜构造是重点找矿区段。

2) 地层。玉龙矿带的含矿斑岩体均侵位于三叠系及其下伏地层中,尤以上三叠统甲丕拉组最为重要,常产出大中型矿床。

3) 围岩蚀变。在斑岩体外围常形成大面积(常为岩体面积的数 10 倍)的角岩化热变质区,在岩体及其接触带则常形成矽卡岩化、钾硅化、角岩化、青磐岩化、绿泥石化、绢英岩化及粘土化等热液蚀变。

3.2.3　化探标志

因 1∶25 万铜矿预测无大面积岩石地球化学、土壤地球化学和水化学数据,本文仅对水系沉积物地球化学异常标志进行阐述。在玉龙矿带已知铜矿床(点)水系沉积物中,均具有明显的 Cu,Mo,Pb,Zn 等元素异常。Cu 异常强度一般为 50 ~ 1000;Mo 异常强度为 30 ~ 60,且常为不连续的点异常;Pb,Zn 异常强度为 100 ~ 1000[16]。

与遥感工作开展的同时,西藏矿产资源潜力评价项目化探专题组开展了利用水系沉积物 Cu,Mo,Pb,Zn 等元素综合异常推断斑岩体的工作。研究区内地球化学方法推断的斑岩体展布方向与玉龙铜矿带相吻合,且已知斑岩型铜矿床(点)均分布于化探推断的斑岩体范围内。

4　环形构造在斑岩型铜矿资源潜力评价中的应用

本文利用斑岩体的综合推断标志,从 138 个遥感解译的环形构造中推断出 82 个与斑岩体有关的环形构造,提供给“铜矿种研究组”使用。从使用情况(表 2)可知,在本次西藏自治区斑岩型铜矿资源潜力评价中,铜矿种研究组将遥感解译的环形构造作为重要的预测要素,其权重优于地球化学异常因子。

表 2　斑岩型铜矿最小找矿预测区预测要素使用情况

Tab. 2　Using of prospecting elements in the smallest porphyry copper deposit prospecting area

序号	预测要素		性质	图层组合运算功能		
1	成矿建造	含矿的斑岩体为中酸性岩脉(ι,γι,λπ,λξ,γ,ξγ,π,ηγ 等)	面	并		交
2		环形构造(遥感推断的斑岩体)	面			
3	地球化学异常	地球化学综合异常	面	并	并	
4		Cu 地球化学异常	面			
5	自然重砂	Cu 自然重砂异常	面			

从研究区铜矿最小找矿预测区分布图(图 8)可以看出,在玉龙、马拉松多附近,遥感推断的斑岩体优选入了 I 类最小找矿预测区;在恒星错、莽总和扎那尕附近,遥感推断的斑岩体优选入了 II 类最小找矿预测区。此处 I,II,Ⅲ类最小找矿预测区为全国矿产资源潜力评价项目中提出的分类标准,其中,优选为 I 类最小找矿预测区的要求是在有利的含矿建造内,具良好的成矿地质条件和地理交通条件,已发现铜矿床、化探异常明显,而且工作程度较高;优选为 II 类最小找矿预测区的要求是在有利的含矿建造内,具成矿地质条件和较好的地理交通条件,已发现有铜矿点或铜矿化点,化探异常较明显;优选为Ⅲ类最小找矿预测区的要求则是在有利的含矿建造内,仅有弱化探、遥感异常显示,该找矿预测区虽具成矿地质条件,但尚未发现矿产地。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

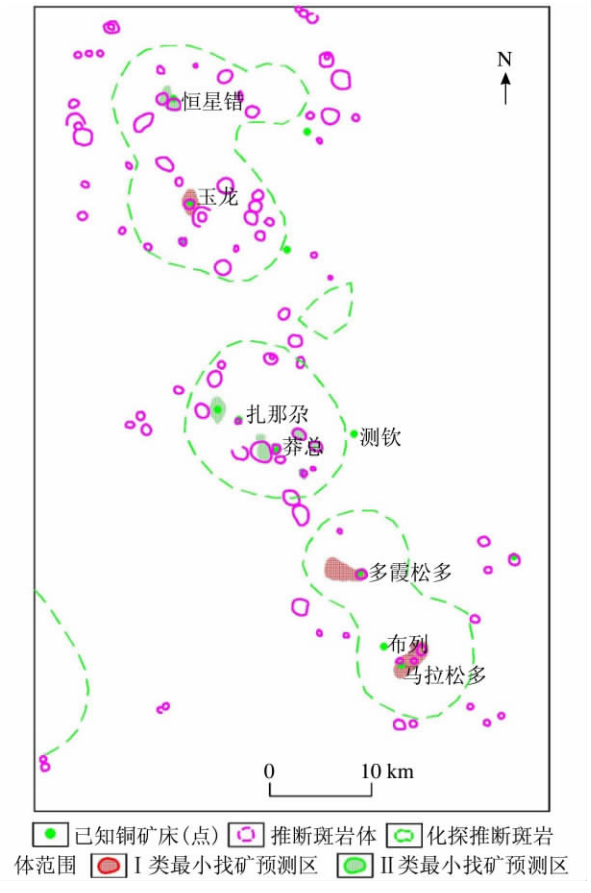


图 8 研究区遥感推断斑岩体及铜矿最小找矿预测区分布

Fig. 8 Distributing map of interpreting porphyries and the smallest prospecting area

经统计,铜矿种组在玉龙斑岩型铜矿预测区内共圈定了 10 个最小找矿预测区,其中有 8 个最小找矿预测区使用了遥感解译的环形构造作为预测要素。利用遥感技术解译的与侵入岩体有关的环形构造,为斑岩型铜矿最小找矿预测区的圈定提供了重要的遥感依据。

5 结论

1) 利用 TM/ETM$^+$ 遥感图像解译出环形构造的最小面积为 0.04 km^2; 斑岩体外围广泛发育的角岩化和青磐岩化,在遥感图像上形成了明显的色调异常,在异常区内外有许多环形构造分布; 裸露区,出露地表的斑岩体与色调异常、铁染异常信息存在较好的空间对应关系。

2) 遥感解译的环形构造是否与斑岩体有关,需根据斑岩体的地质地貌特征,建立相应的遥感、地质和地球化学推断标志进行判断; 必要时,需结合相应的地面验证工作,才可以确定是否为斑岩体或是否为含矿斑岩体。

3) 鉴于遥感解译的环形构造在斑岩型铜矿资源潜力评价中的作用,建议在西藏自治区矿产资源潜力评价的第二阶段,即进行斑岩型钼矿、锡矿的预测中,继续开展遥感研究工作; 同时建议在西藏自治区重要成矿区带开展高空间分辨率(10 m,5 m)的遥感解译研究工作。

志谢: 论文撰写中,西藏自治区地质矿产开发局李金高教授级高工、中国地质科学院矿产资源研究所唐菊兴教授、西藏自治区地质调查院潘凤雏教授级高工、成都理工大学地球科学学院钟康惠教授对本文提出了宝贵的建议。

参考文献:

[1] 刘登忠. 环形构造成矿标志 [J]. 成都地质学院学报: 自然科学版,1988,15(2):34 – 57.

[2] 秦小光,赵不亿,李甫安. 环形构造成矿预测定量分析——以桂西北地区金矿预测为例 [J]. 国土资源遥感,1993(2):54 – 60.

[3] 何国金,薛重生. 遥感地质学中若干问题的分形探讨 [J]. 国土资源遥感,1993(3):46 – 53.

[4] 周正武,张建枢,王卫东. 大型斑岩铜矿的遥感信息探讨 [J]. 国土资源遥感,1996(2):10 – 20.

[5] 李廷祺. "岩浆期后矿床"的成矿原理与环形构造成矿 [J]. 国土资源遥感,1998(4):54 – 58.

[6] 欧阳成甫. 云南澜沧老厂银铅矿床环形构造研究及其地质效果 [J]. 国土资源遥感,1994(1):23 – 28.

[7] 王瑞雪,高建国,杨世瑜. 澜沧老厂矿床线 – 环结构模式拟建及成矿预测 [J]. 国土资源遥感,2007(3) 51 – 55.

[8] 王品清,刘 刚,李邦良. 陆地卫星 TM 及 JERS – 1 卫星 SAR 数据用于西藏东部斑岩铜矿勘查 [J]. 国土资源遥感,1997(2):52 – 60.

[9] 楼性满. 在铜官山老矿区内进一步找矿的几点意见 [J]. 国土资源遥感,1993(3):56 – 58.

[10] 成永生,陈松龄. 基于遥感解译的环形构造研究及其找矿意义 [J]. 矿业研究与开发,2007,27(3):53 – 55.

[11] 刘德长,叶发旺,张杰林. 泊江海子油气环状构造的发现及其对铀成矿的重要作用 [J]. 国土资源遥感,2007(1):69 – 71.

[12] Hou Z Q,Ma H W,Khin Z,et al. The Himalayan Yulong Porphyry Copper Belt: Product of Largescale Strike – slip Faulting in Eastern Tibet [J]. Economic Geology,2003,98(1):125 – 145.

[13] 芮宗瑶,黄崇轲,齐国明. 中国斑岩铜(钼)矿床 [M]. 北京: 地质出版社,1984: 1 – 300.

[14] 马鸿文. 论藏东玉龙斑岩铜矿带岩浆侵入时代 [J]. 地球化学,1989(3):210 – 216.

[15] 梁华英,莫济海,孙卫东,等. 藏东玉龙超大型斑岩铜矿床成岩成矿系统时间跨度分析 [J]. 岩石学报,2008,24(10):2352 – 2358.

[16] 唐仁鲤,罗怀松. 西藏玉龙斑岩铜(钼)矿带地质 [M]. 北京: 地质出版社,1995: 1 – 310.

[17] 芮宗瑶,张洪涛,陈仁义,等. 斑岩铜矿研究中若干问题探讨 [J]. 矿床地质,2006,25(4):491 – 500.

[18] 西藏地质局第一地质大队. 西藏东部玉龙斑岩铜矿床和矿带

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的成矿规律与找矿方向［J］. 西藏地质，1987，1：25 – 57.
[19] 张玉泉，谢应雯，梁华英，等. 藏东玉龙铜矿带含矿斑岩及成岩系列［J］. 地球化学，1998，27(3)：236 – 243.
[20] 马鸿文. 西藏玉龙斑岩铜矿带花岗岩类与成矿［M］. 北京：中国地质大学出版社，1990：15.
[21] 楼性满，葛榜军. 遥感找矿预测方法［M］. 北京：地质出版社，1994，53 – 54.
[22] 张廷斌，别小娟，吴　华，等. 藏东地区遥感蚀变异常提取与分析［J］. 西藏地质，2010，(28，29)：120 – 124.
[23] 张廷斌，唐菊兴，黄丁发. 矿化蚀变信息提取的 TM/ETM⁺ 遥感影像模式［J］. 遥感信息，2009(2)：47 – 51.
[24] 张廷斌，钟康惠，易桂花，等. 东昆仑五龙沟金矿集中区遥感地质信息提取与找矿预测［J］. 地质与勘探，2009，45(4)：444 – 449.
[25] 张玉君，杨建民，姚佛军. 多光谱遥感技术预测矿产资源的潜能——以蒙古国欧玉陶勒盖铜金矿床为例［J］. 地学前缘，2007，14(5)：63 – 70.

Metallogenic Prognosis Significance of Circular Structures in Porphyry Copper Deposits: A Case Study of Yulong – Malasongduo Area

ZHANG Ting – bin[1,2], BIE Xiao – juan[2], WU Hua[3], HU Zi – hao[2], LI Jian – li[2], YANG Xue[2]
(1. *School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu* 610031, *China*; 2. *College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu* 610059, *China*; 3. *Tibet Institute of Geological Survey, Lhasa* 850000, *China*)

Abstract: Porphyry is an important basis for delineating the smallest prospecting area in resource potential evaluation of the porphyry copper deposit. Studies show that many remote sensing circular structures have a relationship with the magmatic activity (including porphyry). In order to evaluate ore potential of the porphyry copper deposit rapidly, the authors made ore prognosis in the Yulong – Malasongduo porphyry copper ore district by using remote sensing technique. Firstly, on the basis of ETM⁺ images, the circular structure indicators were established. Then, the circular structures in the study area were interpreted, the distribution characteristics of circular structures were summarized, and the deductive indicators of porphyry from circular structures were determined. The results show that circular structures can offer an important clue to delineating the smallest prospecting area of the porphyry copper deposit.

Key words: Yulong; porphyry copper deposit; circular structure; porphyry; the smallest prospecting area

第一作者简介：张廷斌(1978 –)，男，硕士，副教授，主要从事遥感教学与研究工作。E – mail: zhangtb@ cdut. edu. cn

（责任编辑：刁淑娟）

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net