doi:10.3969/j.issn.1009－4210.2012.06.014

多源遥感分析技术在西藏唐嘎幅找矿中的应用

郭 娜[1,2]，郭 科[1,2]，胡敬仁[3]，常 娟[4]，张廷斌[2]

（1. 成都理工大学 数学地质四川省重点实验室，四川 成都 610059；2. 成都理工大学 管理科学学院，四川 成都 610059；3. 西藏工程勘查施工（集团）有限公司，西藏 拉萨 851400；4. 兰州大学 资源环境学院，甘肃 兰州 730000）

摘 要：采用 ETM^+、ASTER、Geoeye 数据在西藏唐嘎幅开展遥感找矿工作，通过矿物光谱匹配分析，利用 ETM^+ 数据提取铁染、羟基等基本蚀变信息从而确定找矿方向，利用 ASTER 数据提取绿泥石化、泥化等蚀变信息进而确定重点找矿区域。在 ETM^+、ASTER 数据确定的重点找矿区域内实施 0.5 m 像元的高空间分辨率遥感观察，提取各种线、环构造信息，并结合目视解译成果及构造、蚀变综合信息，确定重点找矿范围及点区位。研究结果表明，该区域中部蚀变分布与典型的斑岩铜矿模型极其相符，找矿重点区域处于线－环构造的集中交汇区域，野外验证已发现铜、钼矿化及石榴子石矽卡岩。

关键词：多源遥感技术；蚀变；构造；找矿方向；西藏唐嘎

中图分类号：P627(275) **文献标识码**：A **文章编号**：1009－4210(2012)06－070－05

鉴于地质找矿的困难程度，尤其在西藏这种地质地貌都比较复杂的地区，采用遥感技术圈定找矿远景区可以节省大量的人力、物力和财力。本次遥感调查采用 ETM^+、ASTER 与 Geoeye 0.5 m 空间分辨率的遥感数据相结合，利用 ETM^+ 解译铁染和羟基蚀变、构造信息，利用 ASTER 的短波红外波段解译绿泥石、高岭石、明矾石等泥化信息，利用 Geoeye 数据解译研究区微构造等相关信息，对遥感解译多源数据进行深入分析与实地考证，从而确定在唐嘎幅范围的找矿远景区。

1 地质背景

研究区位于东经 91°30′～91°45′，北纬 29°50′～30°00′，属于 1∶5 万林周地区地质矿产调查的唐嘎幅范围。地处冈－念陆块与喜马拉雅陆块的结合部位。火山活动频繁，规模不等，形成的岩石广泛分布。岩浆侵入活动强烈、频繁，形成的岩石类型多样，从超基性—基性—中性—酸性岩均有。地跨冈底斯－念青唐古拉陆块、雅鲁藏布江结合带、喜马拉雅陆块，经历了冈瓦纳古陆北缘自泛非运动以来长

收稿日期：2012－09－12；改回日期：2012－11－03

基金项目：国家自然科学基金(41272363)；西藏工程勘查施工（集团）有限公司横向合作项目(2008452)；西藏自治区矿产资源潜力评价项目(1212010813025)

作者简介：郭 娜(1979—)，女，讲师，从事地球探测信息技术及 3S 找矿预测研究。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

期的沉积－构造演变，特别是受三叠纪以来特提斯洋盆的扩张，消减闭合以及喜马拉雅陆块与冈底斯陆块的强烈碰撞造山和大规模的隆升、伸展拆离、旋扭走滑作用，造成了本区沉积作用类型复杂，岩浆活动、变质作用强烈，构造层次、构造变形相、构造样式、构造组合复杂多样，区域火山岩的时空分布明显受板块构造制约，分带性十分明显[1]。

2　ETM$^+$数据处理

ETM$^+$数据已经被广泛应用到中小比例尺的地质找矿中，近几十年中，遥感对找矿工作具有突出贡献[2]。根据矿物的吸收谱段特征，ETM$^+$数据对于Fe^{3+}和OH^-的识别具有明显优势。在蚀变信息的提取中主要采用主成分＋比值的分析方法[3]，利用Fe^{3+}波谱曲线上的两个明显的吸收带：0.4～0.5 μm(相当于 TM1 波段)处，0.8～1.0 μm(相当于 TM4 波段)处，而在 0.63～0.69 μm(相当于 TM3 波段)附近还具有一个比较高的反射峰。利用该反射曲线的特点，通常采用 PCA1345 的主成分变换提取铁染蚀变信息；而羟基类蚀变矿物在2.08～2.35 μm(相当于 TM7 波段)附近有一个较强的光谱吸收带，在1.55～1.75 μm(相当于 TM5 波段)附近存在较高的反射率，因此，通常采用 PCA1457 提取羟基类蚀变信息[4]。同时，利用波段 3/1，5/7 等比值分析方法可增强蚀变矿物的反射信息，从而达到信息提取的目的。

在唐嘎幅的数据处理中，仍然采用传统的比值分析＋主成分分析，可看到区域内铁染和羟基类蚀变的分布情况(图 1)。信息提取结果显示：铁染蚀变信息主要集中于区域的 NW 方向至区域的中部，呈 45°的对角线分布，而羟基类蚀变则主要集中于区域的 NW 方向，另外，在研究区的 NE 方向也有比较强的铁染蚀变信息。区域内主要构造分布为 NW－SE 向，这对控制矿床的形成与发育具有十分重要的意义[5]。环形构造可反映区域的火山机构或侵入岩、含矿地质体的团块状构造等等[6]，研究区沿 NW－45°方向呈现出连续分布的 4 个环形体，环形体特征的解译通常被认为是容矿的构造，在线－环交错、环形体的边缘、内部均有成矿的可能性。按照 ETM$^+$蚀变信息提取结果和构造的分布，可确定唐嘎幅找矿方向主要为 NW－45°的呈对角线分布的条带状区域。

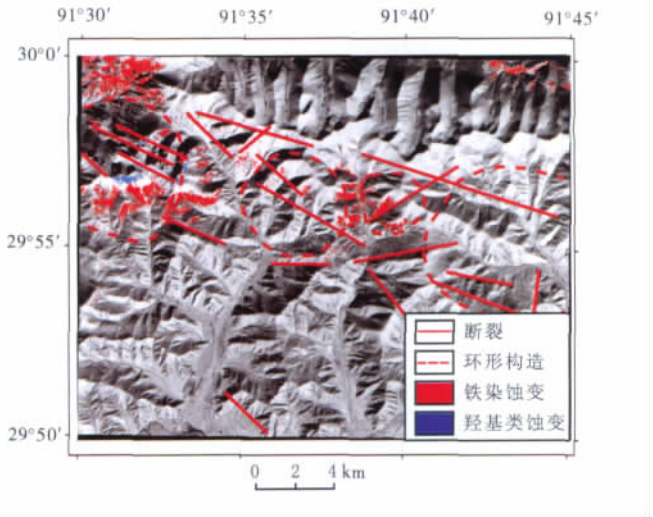


图 1　ETM$^+$遥感蚀变信息提取

3　ASTER 数据处理

ASTER 数据在短波红外波段的波谱分辨率较高，能够识别更多的铁染和羟基类蚀变矿物。按照区域成矿潜力分析，该研究区主要以铜多金属矿和铅锌矿为主。根据绿泥石蚀变的光谱吸收特征：2 260～2 350 nm 主要为富铁绿泥石，对应 ASTER8 波段；2 250 nm 和 2 250～2 260 nm 的富镁绿泥石，对应 ASTER7 波段。采用主成分变换[7] PCA1468 提取(表 1)，可以看出，第四主成分主要表现第 6 和第 8 波段的信息，由于富铁绿泥石在第 8 波段的强吸收特性与第 6 波段出现的反射峰特征与特征向量值吻合，因此选用第四主成分进行密度分割提取绿泥石化信息；高岭石在 2 200 nm 处有一明显的吸收峰，对应 ASTER 6 波段。采用主成分变换 PCA1467 提取(表 2)，可以看出第四主成分在第 6 波段为正值，取负则与高岭石的吸收、反射特性吻

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

合;明矾石在 2 165 nm 和 2 175 nm 处有明显的吸收双峰,对应 ASTER 5 波段。采用主成分变换 PCA1345 提取(表 3)。可以看出,第四主成分集中体现了第 5 波段的信息,与明矾石在第 5 波段的强吸收特性吻合。对第四主成分进行密度分割,进而提取明矾石的泥化蚀变特征信息。

表 1　PCA1468 提取绿泥石化信息主成分分析特征向量矩阵

主成分	第一波段	第四波段	第六波段	第八波段
第一主成分	−0.945 220	−0.312 719	0.053 107	0.077 109
第二主成分	−0.326 409	0.901 887	−0.161 972	−0.231 996
第三主成分	−0.004 077	0.296 477	0.626 084	0.721 182
第四主成分	−0.000 155	−0.030 137	0.760 897	−0.648 173

表 2　PCA1467 提取高岭土信息主成分分析特征向量矩阵

主成分	第一波段	第四波段	第六波段	第七波段
第一主成分	−0.946 202	−0.312 931	0.053 136	0.062 869
第二主成分	−0.323 552	0.911 891	−0.162 780	−0.193 057
第三主成分	−0.003 951	0.265 32	0.654 296	0.708 158
第四主成分	0.000 265	−0.011 583	0.736 598	−0.676 232

表 3　PCA1345 提取明矾石信息主成分分析特征向量矩阵

主成分	第一波段	第三波段	第四波段	第五波段
第一主成分	−0.182 014	−0.980 880	−0.067 886	0.011 669
第二主成分	−0.980 425	0.175 766	0.084 286	−0.027 740
第三主成分	−0.064 679	0.077 307	−0.976 412	−0.190 947
第四主成分	0.038 143	−0.031 680	0.186 836	−0.981 139

利用 ASTER 数据提取泥化信息的提取结果(图 2)显示:区域内蚀变由西向东主要分为 3 个区域,Ⅰ区域主要以高岭石为主,可以认为该区域属于以高岭石为主要矿物类型的中度泥化区域。Ⅱ区域和Ⅲ区域均呈现出“白菜式”的蚀变特征,内部为高岭石,其次是明矾石,最外层是绿泥石蚀变,该蚀变模式(图 3)与斑岩铜矿模型(图 4)极其相符。Ⅱ区域和Ⅲ区域的“白菜式”结构受研究区域的限制,没有完整展现出来,但推测其“白菜的根部”向南延伸,因此向北追索可能找到斑岩体。结合 ETM^{+} 蚀变

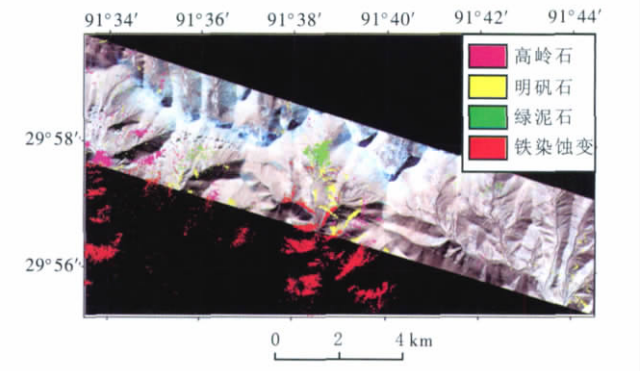


图 2　研究区 ASTER 泥化蚀变信息解译
(底图为 Geoeye 数据)

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

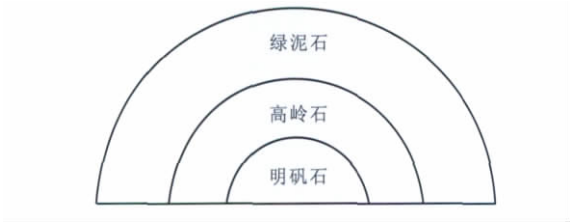


图 3　研究区蚀变分带模式

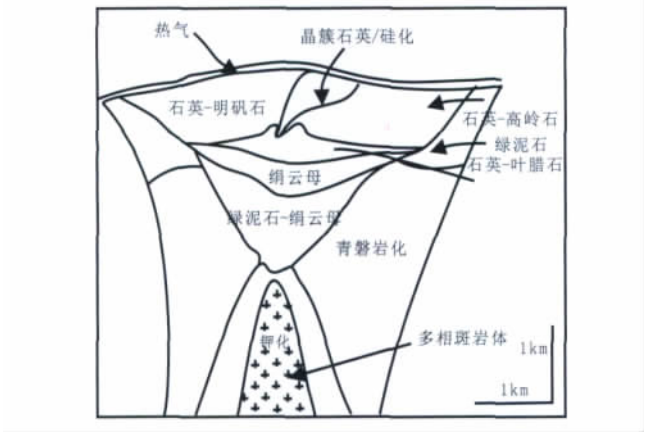


图 4　典型斑岩铜矿模型

信息解译结果，可看到Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ 3 个区域的蚀变特征都在向南延伸，并有同为一体的趋势。同时，从Ⅰ号区域向西可看到受线－环构造控制并蚀变很强的区域；Ⅱ、Ⅲ区域在双环形构造的控制下，线－环交错[7]，蚀变向南继续延伸。目前，野外调查在Ⅰ区域发现铅锌矿化，在Ⅱ、Ⅲ区域发现铜、钼矿化及石榴子石矽卡岩。

4　Geoeye 数据处理

Geoeye 数据是当今世界上能力最强、分辨率和精度最高的商业成像卫星。研究区的数据地面分辨率达到 0.5 m，区域内探槽、平硐都清晰可见，因此，可利用该数据解译微构造信息，从而精确地掌握地面的构造控矿能力。通过目视解译，对 ETM$^+$ 解译的构造进行进一步的补充和更正（图 5）。可以看出，在区域内除 4 个环形构造控制外，在缩小的研究靶区内另有沿 NW 走向的一系列环形构造进行控制，这对区域的容矿起到了很好的作用。区域中除沿 NW 走向的大断裂构造外，另有近 NW 走向的微断裂控制。可以断定，该区域内可能存在矿床的走向也为近 NW 向。在 Geoeye 影像为背景的区域内，可看到除蚀变比较强的Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ 3 个区域外，有Ⅳ号远景区在大的环形构造内，另有小环形构造的控制，并且线－环交错，该点已发现铜矿化。

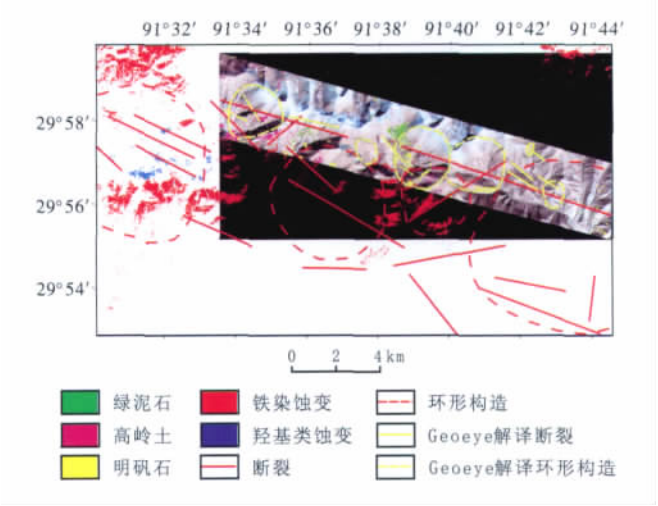


图 5　唐嘎幅找矿远景区及综合信息解译

5　结论

西藏唐嘎幅范围的找矿潜力巨大，其区位处于与甲玛铜多金属矿的一条拉萨河之隔，通过对唐嘎幅范围的多源遥感信息提取确定了找矿远景区，并就目前找矿远景区进行实地勘查都已发现矿化。

（1）从 ETM$^+$ 的处理数据分析，应该将远景区进一步扩大，对 Geoeye 影像 NW 方向的线－环交错及蚀变比较强的Ⅴ、Ⅵ区域进行野外的勘查与验证，查明是否有矿化的存在。作者推断，Ⅴ区域与Ⅰ区域为同一矿床的向南延伸，Ⅵ区域的找矿潜力比较弱，但可野外进行验证。

（2）从 ETM$^+$、ASTER、Geoeye 数据综合处理结果来看，Ⅲ号远景区的找矿潜力巨大，参照“甲玛式”勘查模式分析，Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅴ可能为同一斑岩型铜多金属矿床，可通过平硐、天然溶洞、探槽中的采样进行年龄测定，从而确定矿床的形成。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

(3)Ⅳ号远景区在遥感解译时未发现蚀变信息，但就区域构造分析，该远景区处于线－环交错部位，同时，在野外已经发现铜矿化。作者推断该区域的矿床规模较小，很可能是研究区中部的斑岩体向东延伸的岩脉沿断裂发育，从而形成的小型矿床，走向与构造方向一致。

(4)唐嘎幅的找矿模式受光谱分辨率的限制，由于无法细致的对矿物及蚀变进行划分而使得勘查模型比较粗糙，建议勘查方开展高光谱立体填图工作，从而精确的确定蚀变强度及含量，准确掌握区域内矿床模型，结合地、化、物等其他工作成果，在多源信息的综合分析成果上再开展大量的地质工作[8]，以达到人力、物力和财力的集约化效应。

参考文献：

[1]郭娜，郭科，胡敬仁，等. 多元信息分析技术在西藏林周地区找矿中的应用[J]. 成都理工大学学报：自然科学版，2011，38(4)：463－470.

[2]吴加敏，张守林，孟方. 宁夏卫宁北山地区遥感地质找矿模式研究[J]. 宁夏工程技术，2007，6(3)：259－262.

[3] Loughin W P. Principal component analysis for alteration mapping[C]. Proccedings of 8th Thermatic Conference on Geologic Remote Sensing，Denver，USA，1991.

[4]郭娜，陈建平，唐菊兴，等. 基于 RS 技术的西藏甲玛铜多金属矿外围成矿预测研究[J]. 地学前缘，2010，17(4)：280－289.

[5]Kaufmann H. Mineral exploration along the Aqaba－levant structure by use of TM data [J]. International Journal of Remote Sensing，1988，(9)：1 639－1 685.

[6]杨世瑜，王瑞雪. 矿床遥感地质问题[M]. 昆明：云南大学出版社，2003.

[7]李建国，毛德宝. 基于 ETM^+ 与 ASTER 数据的矿化蚀变信息提取方法研究——以满都拉地区为例[J]. 地质调查与研究，2007，30(3)：234－240.

[8]Bao Anming. The exploration model of remote sensing on prospecting gold deposits[J]. Geochemica，1995，24(S1)：134－140.

Application of Integrated Remote Sensing Techniques to Mineral Exploration in Tangga，Tibet

GUO Na[1,2]，*GUO Ke*[1,2]，*HU Jing-ren*[3]，*CHANG Juan*[4]，*ZHANG Ting-bin*[2]

(1. Geomathematics Key Laboratory of Sichuan Province，Chengdu University of Technology，Chengdu 610059，China；2. College of Management Science，Chengdu University of Technology，Chengdu 610059，China；3. Tibet Engineering Exploration Construction (Group) Co.，LTD，Lhasa 851400，China；4. College of Resources and Environment，Lanzhou University，Lanzhou 730000，China)

Abstract：Data derived from multiple remote sensing techniques are used for exploration in Tangga，Tibet，with ETM for extracting information on alteration minerals involving Fe^{3+} and OH^- and ASTER for identifying chloritisation and argillisation，in order to locate anomalies for further examination with Geoeye data. The result of the research shows that the distribution of hydrothermal alteration in that area resembles typical porphyry mineralization model and that the key exploration areas are along the linear and ring structures. Several sites of Cu and Mo mineralization and garnet-bearing skarn have been discovered.

Key words：multi-RS analysis；alteration；construction；orientation for exploration；Tangga，Tibet

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net