# 矿产资源调查评价的现代化技术方法*

## ——以 $ETM^+$蚀变遥感异常为主导的多元信息矿产评价方法

## Application for Technigue in Abstracting: Remote Alteration Anomalies from $ETM^+$(TM) Data in Eastern Tianshan, Xinjiang, China

杨建民[1] 张玉君[2] 陈 薇[2] 毛景文[1] 王志良[1]
姜立丰[3] 姬厚贵[3] 傅旭杰[1] 郭月敏[1]

（1 中国地质科学院矿产资源研究所，北京 100037；2 中国国土资源航空物探遥感中心，北京 100083；
3 新疆地调院第二调查所，新疆 乌鲁木齐 830000)

Yang Jianmin[1], Zhang Yujun[2], Chen Wei[2], Mao jingwen[1], Wang Zhiliang[1], Jiang Lifeng[3], Ji Hougui[3], Fu Xujie[1] and Guo Yuemin[1]

(1 China Aero-Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China; 2 Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3 No. 2 Division, Xinjiang Institute of Geological Survey, Urumchi 83000, Xinjiang, China)

摘 要 本文将蚀变遥感异常作为矿产资源综合评价与定位预测的一个新的独立参数，论述了矿产资源调查评价的新时代正在向我们走来：这是一个 RS（遥感）、GIS、GPS、VS（可视化）、CS（卫星通讯）等技术集成的数字化信息矿产资源调查评价的新时代。还论述了东天山地区成矿地质背景以及在东天山戈壁地区的石英滩至赤湖地区 3.3 万余平方千米的范围内开展了 $ETM^+$(TM)遥感蚀变异常提取、矿产资源快速评价与定位预测及部分异常点的实地查证成果。研究区内已知矿床、矿(化)点 122 个，遥感异常与其中 105 个互洽，吻合率 86.1%，与已知矿床的吻合率为 100%。经首批地面查证扩大了一处已知金矿点的找矿范围。

关键词 矿产资源调查评价的新时代 $ETM^+$(TM)蚀变遥感异常 矿产资源快速评价与定位预测 东天山戈壁地区 新疆

目前，我国的矿产资源调查评价工作基本上还是传统的技术手段，不仅效率低，而且精度差，满足不了为国民经济和社会发展提供实时的、准确的信息的需要。本文将蚀变遥感异常作为矿产资源综合评价与定位预测的一个新的独立参数，论述了矿产资源调查评价的新时代正在向我们走来：这是一个 RS（遥感）、GIS（地理信息系统）、GPS（全球卫星定位系统）、VS（可视化系统）、CS（卫星通讯系统）等技术集成的数字化信息矿产资源调查评价的新时代。

## 1 矿产勘查的历史阶段

按照在找矿工作中起主导作用的方法的不同，人类的矿产勘查活动可以划分为以下 4 个阶段：

（1）直接找矿阶段

在人类探矿活动的早期，前人凭着经验用肉眼去观察矿化露头或矿化引起的岩石蚀变标志进行找矿，

*本文为地质大调查项目（DKD9902001）和国家重点基础发展规划项目（G1999043216）的部分研究成果
第一作者简介 杨建民，男，1958 出生，研究员，主要从事矿物学和矿床地质研究。

这是一种直接的经验找矿时期。据Baily（1972）的统计，截至1972年之前，全世界矿石总量的90%以上是来自于这一直接找矿成就。

（2）科学（理论）找矿阶段

20世纪30—70年代，是建立和利用找矿模型进行科学找矿的时代，科学找矿最成功的实例有南非西兰得金矿、美国Homestake金矿、世界许多斑岩铜矿和块状硫化物矿床的发现。

（3）地球化学为主导的找矿阶段

20世纪70年代起,地球化学方法在矿产资源评价中发挥了重要的主导作用。在我国进行大规模的区域化探扫面工作之后，过去近20年全国六百多个金矿床的发现得利于区域化探扫面提供的线索或者直接由地球化学异常圈定。全国区域化探扫面资料成为各省找矿的看家本领，这一时期，地球化学方法在矿产资源评价中发挥了重要的主导作用。

（4）蚀变遥感信息为主导的找矿阶段

目前，矿产资源综合评价已经进入一个基于以蚀变遥感信息提取为主导，结合野外地质调查GPS定位技术，在GIS平台上进行矿产地质、地球物理、地球化学、蚀变遥感异常等多元信息综合，图形可视化处理技术的高效率、高精度、信息化与低成本的新时代。蚀变遥感异常作为矿产资源综合评价与定位预测的一个新的独立参数，它是遥感信息、计算机技术与成矿理论相结合的产物，与矿产地质、地球物理、地球化学等参数共同在矿产勘查中起着重要作用。

## 2 蚀变遥感异常提取技术的基础

### 2.1 蚀变遥感异常提取的地质基础

近矿围岩蚀变现象作为找矿标志已有数百年历史，文献记载也可追索到约 200 年前；根据围岩蚀变发现的大型金属、非金属矿床更是不胜枚举：北美、俄罗斯的大部分斑岩铜矿、我国的铜官山铜矿、犹他州的大铝矿、西澳大利亚的大型金矿、墨西哥的大铂矿、美国许多白钨矿、世界大多数锡矿、哈萨克斯坦的刚玉矿等。

岩石的交代蚀变主要是不同类型的热液与原生岩石相互作用的产物。最常见的蚀变为：硅化、绢云母化、绿泥石化、云英岩化、矽卡岩化、白云岩化、重晶石化及锰铁碳酸盐化。地质学家们断言绝大多数（所有岩浆生成）的矿床都伴随有围岩蚀变现象。在近矿蚀变围岩的基础上进行找矿可以指示找矿的空间范围，可以增加找到矿床的机会。地质学家还认为，围岩的剧烈而较大范围的蚀变常常与大矿床及富矿石的生成互为隶属，大型特大型内生矿床一般均有强烈且较大范围的围岩蚀变。这便是以找矿（首先是大矿、富矿）为最终目的提取遥感蚀变异常的地质依据。

### 2.2 蚀变遥感异常提取的物理学基础

近三十年来，许多国内外学者进行了岩石和矿物波谱特性的大量研究工作，这些研究涉及到晶体场理论的矿物学、固体物理学、量子力学、遥感岩石学等众多领域。Hunt G. R.和他领导的实验室在 20 世纪 60—70 年代系统地进行了近 300 个粒状矿物的波谱测试，并且归纳出提取蚀变遥感异常的波谱前提：

（1）主要造岩矿物的主要成分，即硅、铝、镁和氧，在可见—近红外（VNIR）区不产生具有诊断性的谱带；

（2）在可见及近红外区中，天然矿物和岩石最常见的光谱特征是由这样或那样形式存在的铁、水、$OH^-$基团或 $CO_3^{2-}$基团产生的；

（3）热液蚀变矿物在近红外波段具有诊断性强吸收特征，它们是矿物本身固有的特征。不同矿物混合在一起组成岩石并不能改变矿物的波谱特征。吸收特征的尖锐程度取决于矿物的结晶程度，结晶程度越好吸收特征越明显。

（4）绝对反射率和谱带的光谱对比度，对矿物颗粒大小非常敏感。

## 3　以 $ETM^+$蚀变遥感异常为主导的多元信息矿产评价技术方法

在20世纪50—70年代。地质工作者主要通过目视镜从黑白卫片、航片中定性地判别地质构造和成矿信息，为矿产资源调查评价提供有关成矿有利环境和条件的信息；由于计算机技术的飞速发展和软件处理功能的不断强大、ETM遥感数据分辨率的提高，从ETM遥感影像图中，根据其色、形、纹等的差异，我们可以直观地看出地质构造展布、不同地质体的大小和空间分布；遥感影像图在地质工作中应用变得越来越广泛，如在地质填图、构造地质、矿产地质、环境地质和灾害地质等领域的应用。而兼容卫星磁带波谱识读、地空反演对应分析、ETM蚀变遥感异常信息提取等新技术，能够从遥感数据中直接提取致矿信息。遥感技术应用于矿产资源调查评价经历了由定性到定量化，由矿产资源调查评价的配角到主角的演化。

在多年岩石和矿物波谱特性研究的基础上，发射于80年代初的陆地卫星Landsat Ⅴ特别增设了两个短波红外波段：TM5（1.55~1.75 μm）和TM7（2.08~2.35 μm），为找矿提供了可以提取具找矿标志意义的热液蚀变遥感信息。美国国家宇航局（NASA）1998年发射的主力遥感卫星Landsat Ⅶ号进一步将分辨率由Landsat Ⅴ卫星的30 m提高为15 m。

目前，提取 $ETM^+$蚀变遥感异常的方法有比值、主分量分析、光谱角，以及它们的混合等图像处理方法；近期新出现但较少被使用的还有小波分析、神经网络、分数维几何（分形或分几）等。笔者选择了以主分量分析为主、光谱角法为辅进行蚀变遥感异常提取的技术方法，在东天山 3.3 万余平方千米的范围内，进行了 $ETM^+$（TM）蚀变遥感异常提取，矿产资源快速综合评价与定位预测，以及部分 2 异常点的野外查证，取得了良好的效果。研究区内已知矿床、矿（化）点 122 个，遥感异常与其中 105 个互洽，吻合率 86.1%，且与已知矿床的吻合率为 100%。经首批地面查证扩大了一处已知金矿点的找矿范围。根据对以上 3.3 万余平方千米蚀变遥感异常工作的统计，矿化蚀变信息仅占全部 ETM（TM）遥感数据的 0.1%~0.7%。在蚀变遥感异常提取工作中，云、水域、盐碱地、植被、地形高差、图象空白等作为干扰因素而存在。

在矿产勘查史上风险最小、可靠性最大的是追索矿化露头找矿方法。ETM 蚀变遥感异常方法继承了这种直接找矿的传统。

以 $ETM^+$蚀变遥感异常为主导的多元信息矿产资源评价方法具有以下特点：

（1）遥感数据中提取蚀变遥感异常信息速度快，花钱少，处理面积大，人为干扰因素少，能够直接反映地表的矿化蚀变信息，是一种多快好省的技术方法；

（2）将蚀变遥感异常与地质、构造、化探、物探等多元信息进行综合分析，可以排除非矿化蚀变异常，有利于矿产资源评价的整体性、全方位和多目标的实现，促使矿产资源评价发生革命性变化；

（3）蚀变遥感异常与矿产地质、地球物理、地球化学等多元信息计算机综合分析和遥感与矿产地质、地球物理、地球化学等多种方法手段综合运用两大技术将成为矿产勘查的主流技术系列，将提高矿产资源评价的技术水平和成果质量。