

基于 ICA 的遥感蚀变信息提取方法的研究^①

李明明^{1,2}, 周可法¹, 孙 莉¹, 秦艳芳^{1,2}, 孙雷刚^{1,2}, 王桂钢^{1,2}

(1 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 在研究比较了 ICA(独立成分分析)和 PCA(主成分分析)方法的差异后, 借鉴 PCA 提取遥感蚀变信息的应用方法, 应用 ICA 的原理, 提出了一种基于 ICA 的遥感蚀变信息提取方法。以 ICA 方法替代传统的 PCA 方法, 进行遥感矿物蚀变信息提取实验。并以哈图金矿矿区为例, 分别用 ICA 和 PCA 方法对 ETM+ 影像提取羟基蚀变信息和铁染蚀变信息进行了对比研究。通过实地考察和地质资料对蚀变结果进行了验证, 并进行了蚀变信息的结果评价, 结果表明: 应用 ICA 提取的蚀变信息能更好的反映矿区的蚀变状况, 可以为找矿提供了更为准确的信息, 减少找矿成本。同时也证明了独立成分分析方法的有效性。

关 键 词: 独立成分分析; 主成分分析; 蚀变信息; 遥感

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6060(2011)02-0309-08(308~316)

遥感蚀变异常信息提取的方法有多种, 常用或较常用的有比值法、主成分分析法、光谱角法、归一化植被指数法、混合像元分解法以及它们的混合法^[1]。每种方法都有其针对性和适用的范围。其中主成分分析法提取蚀变信息是相对最为广泛的。主成分分析(PCA, Principal Component Analysis)是基于信号二阶统计特性的分析方法, 由于所获各主成分之间不相关, 主成分之间信息没有重复或冗余。PCA 的这一基本性质在蚀变异常信息提取中被充分利用。多光谱遥感数据通过 PCA 所获每一主成分常常代表一定的地质意义, 且互不重复, 即各主成分的地质意义有其独特性。但是由于蚀变矿物形成的影像特征在遥感图像上往往表现得很微弱或不明显, 甚至“淹没”在主体色调中。而且很多弱信息包含在高阶统计量中^[2]。若仅仅采用 PCA 算法, 对图像进行处理可能会忽略很多关键信息^[3]。因此, 若有一种数据处理方法能够有效地消除影像间的各种相关信息, 特别是高阶相关信息, 则对于矿物蚀变信息的提取具有非常重要的意义。

针对上述局限性, 本文针对遥感影像在提取矿物蚀变信息的过程中引进独立成分分析(ICA, Independent Component Analysis)以消除数据之间的高阶

冗余性。ICA 算法是一种基于高阶统计量的去相关多元数据处理方法, 不仅能够消除多变量数据中的二阶相关关系, 而且能够消除数据间的高阶相关。此算法已成功地应用于语音信号处理、通信、人脸识别、图像特征提取、神经计算和医学信号处理等众多领域。并且已经将其用于遥感图像的数据变换与分析, 如对超光谱图像进行波段选择和压缩^[4-5]、遥感图像的分类^[6]、变化检测^[3]等。鉴于 ICA 方法的特点及其在应用领域取得的成果, 本文在利用多光谱影像提取矿物蚀变信息的过程中引入 ICA 方法, 使得随机变量之间相互独立, 更简洁有效地表达数据并有利于后续的信息分割等处理, 最终取得了较好的效果。

1 研究方法

1.1 ICA 原理

目前在信号处理领域有一种 ICA 的方法, 它从观测信号出发, 估计出已知信息量很少的源信号, 而所获得的源信号是互相独立的^[7]。用数学语言描述, 即, 通过独立成分分析, 从一组观察信号 $x =$

① 收稿日期: 2010-07-18 修订日期: 2010-09-11
基金项目: 国家自然科学基金(40871204, 40871028); 国家自然科学基金青年基金项目(40601103)联合资助
作者简介: 李明明(1983-)男, 湖北潜江人, 硕士研究生, 主要从事 GIS 和遥感信息提取技术与应用研究。E-mail: lumingming@foxmail.com
通讯作者: 周可法(1972-)男, 河南南阳人, 研究员, 主要从事 3S 技术及应用研究。E-mail: zhoukf@ms.xj.ac.cn
©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ 分离出一组统计独立的信号源 $s = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 的估计值, y 也是统计独立的。

假定第 i 个观测信号由 n 个独立成分线性混合而成:

$$x_i = a_{i1}s_1 + a_{i2}s_2 + \dots + a_{in}s_n, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (1)$$

用矢量 x 表示观测变量 $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}^T$, 矢量 s 表示源变量 $\{s_1, s_2, \dots, s_n\}^T$ ($m \geq n$), $A(m \times n)$ 表示混合矩阵 a 式 (1) 可表示成:

$$x = \sum_{j=1}^n a_j s_j = As, \quad (2)$$

统计模型式 (2) 称为独立成分分析模型。该模型描述了观测数据是如何由信息源混合生成的。源变量 s 是隐藏变量, 不能直接观测到, 而且混合矩阵 A 也是未知。所有能观测到的数据只有随机变量 x , 所以必须估计出混合矩阵 A 和 s 。

独立成分分析模型的求解基于一个简单的假设: 源变量 s 是统计独立的, 同时非高斯分布。在估计出混合矩阵 A 后, 可以进一步计算混合矩阵 A 的逆, 也即分离矩阵 $W = A^{-1}$, 从而得到独立成分 s 的估计 y 。

$$y = Wx, \quad (3)$$

ICA的目的就是估计出分离矩阵 W 。目前独立成分分析的实现方法有很多: 信息最大化法、基于极大似然估计的 ICA 算法、最小化互信息 (负熵最大化) 法、FastICA 算法等^[8]。本文采用的是 FastICA 算法来做独立成分分析。

遥感影像所表现的信息是不同地物对某个波段反射率的一种反映, 多光谱遥感影像的各波段可以认为是相互独立的的各种地物的光谱信息按一定的规律混合的结果^[9]。将 ICA 作用于多光谱影像, 得到的每个独立成分可集中体现某些地物的信息, 使得不同地物间的分离度增大^[10-11]。

1.2 ICA与PCA的差异分析

PCA是基于变量之间的相互关系的, 即在信息总量守恒的前提下, 利用线性变换的方法来实现去相关性。由于所获各主成分之间不相关, 故各主成分之间信息没有重复或冗余。PCA在均方误差意义上是对输入数据的最优逼近, 其优势在于数据压缩 (降维), 但这种表示往往不能很有意义地反映输

入数据的特性。而且 PCA变换后的数据间仍有可能存在高阶冗余信息^[12]。从统计观点来看, 实际信号的大部分重要信息往往包含在高阶统计特性当中, 因此只有当多变量观测数据是由高斯分布的源信号构成时, PCA方法才能用来实现信号的分离^[13]。然而在多光谱图像中, 真正满足高斯分布的随机变量很少, 尤其是包含弱信息的大部分随机变量都是非高斯的。因此, ICA能更加全面揭示多光谱数据间的本质结构^[14-15]。正是因为这一点, 本文将用 ICA来替换 PCA做蚀变信息的提取。

1.3 方法与技术

本文采用 ICA方法提取波段信息中的高阶信息和独立成分, 以独立成分替代主成分提取铁染和羟基的蚀变信息。经 ICA处理后的各成分相对于 PCA的各成分来说是独立的而且包含了一些基于高阶统计的信息。从统计分析的角度看, 简单 ICA和 PCA一样, 同属多变量数据分析的线性方法。因此可以按照 PCA提取蚀变信息的准则来处理经 ICA处理的成分。以 TM数据为例, 通过 CROS方法^[16]说明其准则, 通过 TM₁、TM₃、TM₄、TM₅和 TM₁、TM₄、TM₅、TM₇的波段组合分别进行主成分分析提取铁染蚀变和羟基蚀变信息^[17]。由 TM₁、TM₃、TM₄、TM₅作为输入波段组合进行正交线性变换, 变换后的某个新的组分图像可能集中了铁染蚀变信息。对代表铁染蚀变的主成分的判断准则是: TM₃的系数应与 TM₁、TM₄的系数相反。由 TM₁、TM₄、TM₅、TM₇作为输入波段进行主成分分析。对代表羟基和碳酸根离子主成分的判断准则是: TM₅系数应与 TM₇、TM₄的系数符号相反, TM₁一般与 TM₅系数符号相同。依有关地物的波谱特征, 羟基和碳酸根离子信息包含于符合这判断准则的主成分内。铁染蚀变和羟基蚀变存在于绝大多数成矿岩体中, 提取这两种蚀变信息基本可以确定研究区成矿岩石的分布情况^[18]。

所以, 本文的研究方法就是通过 ETM+1、ETM+3、ETM+4、ETM+5和 ETM+1、ETM+4、ETM+5、ETM+7波段组合分别进行 ICA提取铁染蚀变和羟基蚀变信息。为了显示 ICA提取结果的优越性, 同时也进行 PCA处理的对比试验。

基于 ICA提取矿物蚀变信息的方法主要包括: 图像预处理、ICA分析、选择有效成分、异常切割、蚀

变信息处理等步骤, 技术路线见图 1。原始数据经过一系列的图像预处理, 包括几何纠正, 大气校正, 掩膜去背景等; 再选择波段分别进行 ICA 和 PCA 处理, 根据上述的原则进行成分的选择; 将选择的成分用相同的异常切割标准处理, 突出蚀变信息; 并与已知的矿点资料进行叠加分析, 比较 ICA 和 PCA 方法提取的蚀变结果。

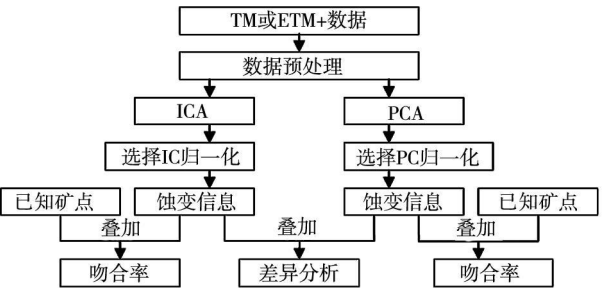


图 1 本文提取遥感蚀变信息的技术路线图
Fig 1 Technical flow chart of extracting remote sensing alteration information

在做异常切割时, 利用 $(X + k\sigma)$ 确定异常下限和划分异常强度等级^[17]。X 是某一成分的统计均值代表区域背景, σ 是该成分的标准差。k 取值一般是 (1~3) 有了这一标准, 切割异常时可以减少主观任意性, 并使操作较为规范化^[17]。经 ICA 处理后得到的各成分是相互独立的, 每一成分可以看成是单一的地物。但是由于大气, 传感器等影响, 各成分并不只是单一的地物, 所以在提取异常时还是利用了阈值切割法。

将提取的蚀变结果图与已知的地质资料进行叠加分析, 计算出在一定区域内提取蚀变信息量的大小, 用吻合率来表示。吻合率越大证明提取的有效信息量越大, 伪异常信息量越小。

2 应用实例

以新疆哈图金矿矿区为研究区域, 以 ETM+ 影像作为数据源, 展示 ICA 方法提取蚀变信息的效果。采用的是 2002 年 9 月 21 日的 ETM+ 影像, 行号为 145 列号为 028。哈图金矿是位于准噶尔盆地西缘的大型石英脉型金矿床。该金矿主要由石英脉型和蚀变岩型矿体组成^[19]。脉岩主要有花岗斑岩脉和石英脉。花岗斑岩脉具黄铁矿化, 呈自形粒状, 裂隙面上的黄铁矿大多已氧化为褐铁矿, 呈浸染状

分布在岩石中。蚀变岩型矿体的矿化蚀变主要包括钠长石化、黄铁矿化、毒砂化、碳酸盐化和绢云母化, 其中黄铁矿化、毒砂化和碳酸盐化与成矿作用密切相关^[20]。哈图金矿区内发育 NEE—EW 向、NW 向、NNE 向、SN 向 4 组断裂, 区内有上百条由断裂控制的矿脉^[21]。本文所选择的研究区, 具有较强的黄铁矿化和泥化蚀变。

2.1 羟基蚀变信息提取

本区泥化蚀变较强, 含羟基的蚀变矿物主要有绢云母、绿泥石、黑云母等。这些蚀变含有 OH^- 、 CO_3^{2-} 离子或离子基团, 它们在 ETM+5 波段均具有高反射, 而在 ETM+7 波段具有强吸收的特征^[13]。因此采用独立成分分析法, 对 ETM+1、4、5、7 波段做 ICA 处理来提取 OH^- 和 CO_3^{2-} 泥化信息, 各特征向量见表 1。为了比较 ICA 和 PCA 提取蚀变信息的区别, 对 ETM+1、4、5、7 波段也做 PCA 处理 (表 2)。

表 1 ETM+1、ETM+4、ETM+5、ETM+7 独立成分分析特征向量载荷表

Tab 1 Eigenvector load of ETM+1、ETM+4、ETM+5、ETM+7 independent analysis

ICs	ETM+1	ETM+4	ETM+5	ETM+7	特征值
IC1	0.181 040	0.555 320	0.614 100	0.530 776	169.407 182
IC2	0.251 918	0.744 266	-0.263 684	-0.559 530	18.574 503
IC3	0.917 859	-0.236 736	-0.238 788	0.210 887	5.970 723
IC4	-0.247 382	0.285 732	-0.704 509	0.600 608	0.898 884

表 2 ETM+1、ETM+4、ETM+5、ETM+7 主成分分析特征向量载荷表

Tab 2 Eigenvector load of ETM+1、ETM+4、ETM+5、ETM+7 main component analysis

PCs	ETM+1	ETM+4	ETM+5	ETM+7	特征值
PC1	0.181 041	0.555 321	0.614 100	0.530 777	169.407 183
PC2	0.251 919	0.744 267	-0.263 685	-0.559 530	18.574 504
PC3	0.917 859	-0.236 735	-0.238 787	0.210 886	5.970 722
PC4	-0.247 382	0.285 731	-0.704 508	0.600 607	0.898 883

从表 1 和表 2 可以看出, 各独立成分和主成分的特征向量是趋于一致的, 这说明 ICA 和 PCA 在统计分析上是一致的, 由此选择了相同的切割标准对成分进行分割; 同时, 也表明 ICA 可以和 PCA 一样用于提取蚀变信息。在特征向量表 IC4/PC4 中, 由于 5 和 7 波段的贡献系数最大, 说明它们对 IC4/PC4 的贡献最大, 也就是说 IC4/PC4 的信息主要来源于 ETM+5、7 波段, 并且 ETM+5 为负值, ETM+

7为正值,具有相反的贡献标志。所以 IC₄/PC₄主要反映 5和 7波段信息,这与蚀变阴离子在 5波段具有高反射,在 7波段具有高吸收的特点相符合,同时符合判断准则。因此该成分可以作为泥化蚀变信息的指示分量。为了比较这两种方法提取蚀变信息的差异性,所以要保证两种方法提取的矿物蚀变异常信息的标准一致,将得到的 IC₄和 PC₄进行同一水平切割。根据研究区已有的矿点信息和蚀变带来确定阈值。本次试验采用 (X+2.5σ)对 IC₄和 PC₄进行切割,然后对切割后的二值图像进行窗口为 3×3的中值滤波,最终将提取的蚀变结果与已知的地质图进行叠加分析(图 2)并且在 ARCGIS软件中计算了提取的蚀变信息的吻合率(表 3)。图 2中的已知蚀变带是从中华人民共和国地质图克拉玛依幅(L-45-XK)地质图上提取的,作为验证资料。

从图 2可以看到 ICA和 PCA提取的部分蚀变

信息能很好的落在已知蚀变带的区域内;两种方法提取的大部分蚀变信息是交织在一起的,说明了两种方法的共性;但图中蓝色的点要比红色的点多,表 3中的吻合率与图 2中显示的信息是一致的。由表 3可以看出经 ICA提取的羟基蚀变信息的有效面积大于经 PCA提取的,而且吻合率达到 44.85%比 PCA法提高了近 21%。各个蚀变带经 ICA法提取异常信息的吻合率都要高于经 PCA法提取的。只有 7号蚀变带相反,但是经 ICA法提取的信息大都分布在该蚀变带附近而且该面积要比经 PCA法提取的面积要大。图 2中 2号、4号、5号蚀变带范围内,经 ICA提取的羟基蚀变信息明显多余经 PCA提取的信息。而且对图中左上角分布较集中的红点进行野外勘察,发现没有蚀变矿物,说明在同一标准下,说明 PCA提取更多的假异常信息。经 ICA法提取的有效羟基蚀变信息量要高于 PCA法,并且伪异

表 3 经 ICA和 PCA方法提取的羟基蚀变异常信息对比分析表 / m²
Tab 3 Comparative analysis of hydroxylate anomaly information extracted from ICA and PCA / m²

蚀变带号	ICA			PCA		
	对应异常面积	提取总面积	吻合率	对应异常面积	提取总面积	吻合率
1	7 200	317 700	2.27%	1 800	174 600	1.03%
2	84 600	137 700	61.44%	15 300	76 500	20.00%
3	54 000	90 000	60.00%	28 800	61 200	47.06%
4	238 500	371 700	64.16%	28 800	55 800	51.61%
5	81 900	85 500	95.79%	36 000	38 500	93.51%
6	27 900	82 800	33.70%	5 400	80 100	6.74%
7	0	16 200	0.00%	3 600	14 400	25.00%
总计	494 100	1 101 600	44.85%	119 700	501 100	23.89%

常信息要低于 PCA法。

2.2 铁染信息的提取

根据含铁离子矿物的特征波谱,对 ETM+1、3、4、5波段分别进行 ICA和 PCA处理,生成反映铁离子变化的蚀变信息。由于 ICA和 PCA的统计特征向量值是趋于一致的,所以只给出 ICA的特征向量的载荷表(表 4)。

从表 4可以看出 IC₄成分主要反映了 ETM+1和 ETM+3的信息,正符合铁染信息在 ETM+1波段具有强吸收,在 ETM+3具有强反射的特点。所以将 IC₄/PC₄作为反映铁染信息的成分。根据已知蚀变带和已知矿点的信息采用相同的切割标准

(X+2.0σ)进行切割,利用和提取羟基蚀变信息一样的方法得到蚀变异常结果(图 3)和蚀变信息对比分析表(表 5)。

表 4 ETM+1、ETM+3、ETM+4、ETM+5独立成分分析特征向量载荷表

Tab 3 Eigenvector load of ETM+1、ETM+3、ETM+4、ETM+5 independent analysis

ICs	ETM+1	ETM+3	ETM+4	ETM+5	特征值
IC ₁	0.212 241	0.434 418	0.618 793	0.619 137	151.925 56
IC ₂	0.466 278	0.464 007	0.231 453	-0.716 737	13.681 28
IC ₃	0.437 465	0.404 980	-0.741 769	0.307 238	7.303 49
IC ₄	0.739 028	-0.657 244	0.115 345	0.092 536	1.099 60

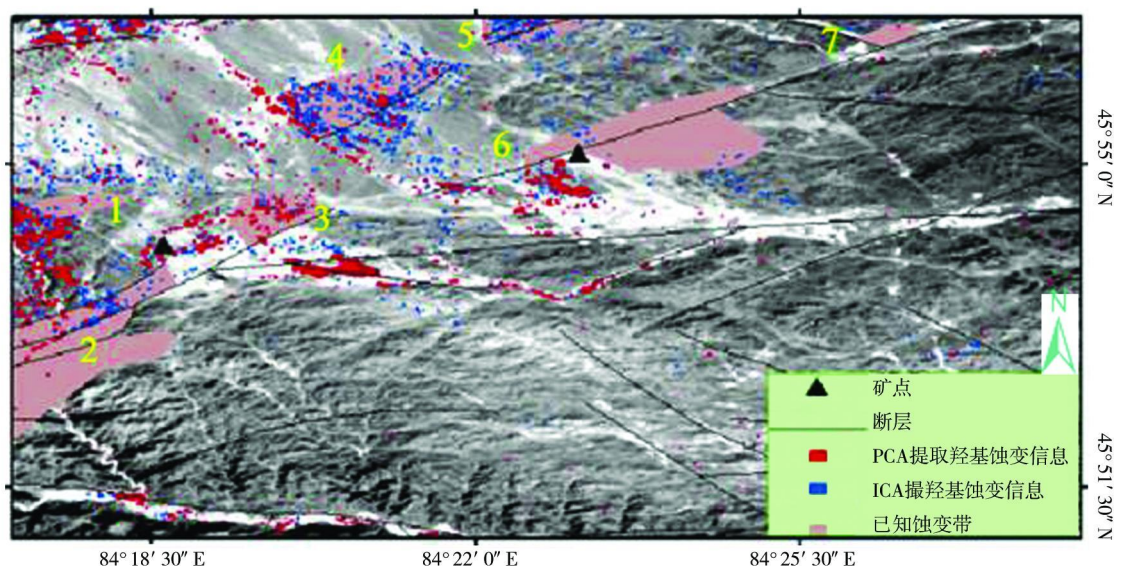


图 2 经 ICA 和 PCA 提取的羟基蚀变信息图

Fig 2 Hydroxylate anomaly information extracted from ICA and PCA

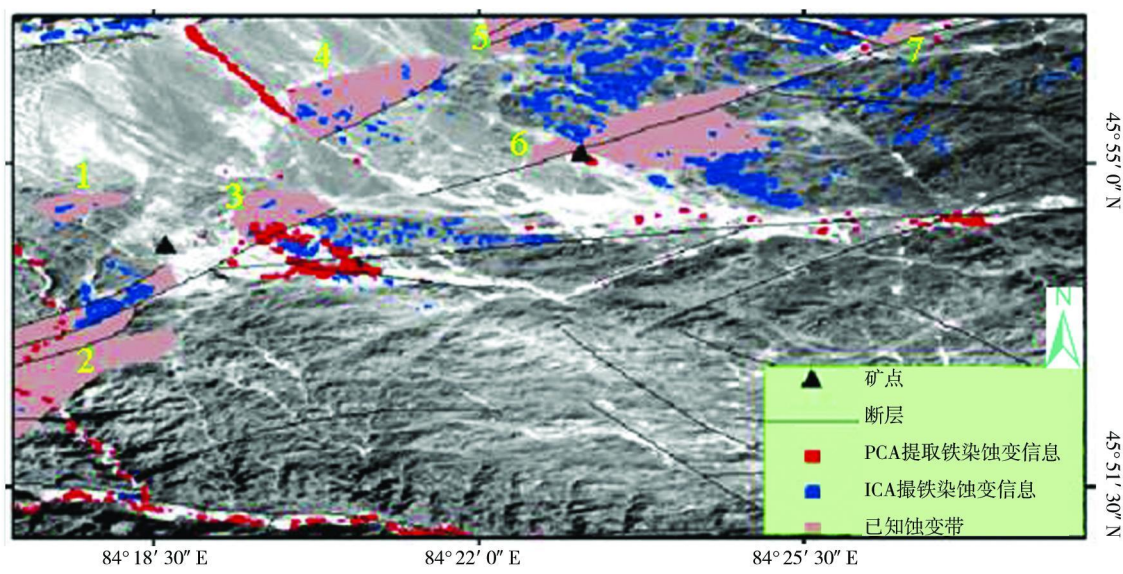


图 3 经 ICA PCA 提取的铁染蚀变信息图

Fig 3 Ferric contamination information extracted from ICA and PCA

表 5 经 ICA 与 PCA 方法提取的铁染异常信息对比分析表 / m²

Tab 5 Comparative analysis of ferric contamination information extracted from ICA and PCA / m²

蚀变带号	ICA			PCA		
	对应异常面积	提取总面积	吻合率	对应异常面积	提取总面积	吻合率
1	27 000	32 400	83.33%	0	0	0.00%
2	287 100	330 300	86.92%	132 300	178 200	74.24%
3	29 700	184 500	16.10%	302 400	966 600	31.28%
4	113 400	185 400	61.17%	4 500	4 454 500	0.10%
5	232 200	814 500	28.51%	0	0	0.00%
6	1 136 700	1 539 900	73.82%	0	30 600	0.00%
7	530 100	2 022 300	26.21%	0	18 900	0.00%
总计	2 356 200	5 109 300	46.12%	439 200	5 648 800	7.78%

从图 3 可以看出 ICA 和 PCA 提取的部分铁染蚀变信息与矿区的已知蚀变带很好的重合。很明显的看到经 ICA 提取的铁染蚀变信息大部分落在已知蚀变带内及该蚀变带附近, 也有部分信息落在非蚀变带区域附近, 这部分信息经实地验证证明是伪蚀变信息, 但是相对于 PCA 法其提取的信息量和吻合率都有很大的提升, 吻合率提升了近 39% (表 5); 而经 PCA 提取的蚀变信息只有部分落在 2 号、3 号蚀变带附近。其中 1 号、5 号蚀变带周边完全没有 PCA 提取的信息, 6 号、7 号蚀变带内没有信息, 周边区域虽然有一些, 但是仍然不及 ICA 法提取的信息量大 (表 5)。表 5 的结果正符合图 3 所显示的结果。从表 5 可以看出总体上经 ICA 提取的铁染蚀变信息的吻合率大于 PCA 法, 但是 3 号蚀变带相反, 这说明了针对不同的区域 ICA 法的适应性有限。经实地验证 4 号蚀变带附近和图 3 中左下角红色蚀变区是河流及植被, 没有矿化信息, 证实为假异常。对经 ICA 提取的 7 号蚀变带南边的蚀变信息进行了验证, 该区有较强的铁染矿化信息, 符合该区域的地质特征, 说明 ICA 能提取 PCA 不能提取的异常信息。在同一切割标准下, PCA 方法提取的蚀变信息中包含很多的伪异常。

2.3 蚀变信息的结果评价

矿物蚀变信息的提取不同于某一研究区域的地质填图工作, 提取的目标信息是具有一定分布范围的蚀变矿物信息。信息提取结果很难在室内进行验证, 也缺少相对应的信息比较。只能通过已知的蚀变岩和矿点分布情况, 结合区域地质资料进行分析验证, 或是实地验证。将此次经 ICA 提取蚀变信息的结果和经 PCA 提取蚀变信息的结果分别与该区矿产资料进行叠加分析, 得到以下结果:

在同一分割标准下, 经 ICA 提取的蚀变信息与已知矿化点吻合良好, 发现区内已知的矿点和矿化蚀变带均在所提取的蚀变信息异常内; 经 PCA 提取的蚀变信息只有部分落在已知蚀变带的范围内, 而且存在明显的假异常信息。

在羟基异常的提取中, ICA 提取的信息量高于 PCA 方法, 通过野外实地调查, 证实了大部分 PCA 提取的蚀变信息是假异常。

在铁染蚀变的提取中, ICA 提取的信息量明显高于 PCA 方法, 所提取的蚀变信息均分布在已知蚀

变带周围和断层周边。经野外实地调查, 证实了经 ICA 提取的信息是有效的。

结果表明应用 ICA 方法所提取的遥感蚀变信息比常规的 PCA 方法来的有效、可靠。

3 结论与讨论

独立成分分析利用了较主成分分析更高的高阶统计信息, 获得了独立的成分, 因而能更加全面揭示多光谱数据间的本质结构。

本文引进 ICA 方法提取矿物蚀变信息, 经实验取得了较好的效果, 在统一标准下比传统的 PCA 方法效果要好。经 ICA 提取羟基蚀变信息的吻合率相比 PCA 法提高了近 21%; 经 ICA 提取铁染蚀变信息的吻合率相比 PCA 法提高了近 39%。这也充分说明了相比 PCA 法 ICA 法能提取更多的信息。这一方法在类似区域开展遥感蚀变信息提取工作具有一定的指导意义。

将 ICA 方法用于提取遥感蚀变信息, 可能存在以下问题:

(1) 计算独立成分的方法不同及选择迭代次数不同, 所获取的蚀变信息量可能不同。在下一步的工作中, 利用不同计算独立成分的方法来比较所提取信息量的大小。针对不同的区域选择不同的计算方法来获取适应该区域的最佳计算独立成分的方法。

(2) 在对选择的成分进行分割时, 阈值的选择具有一定的局限性, 根据已知的地质资料并不能完全满足要求, 而且阈值的确定对提取的结果有很大的影响, 如何实现快速确定阈值有待进一步的研究。

(3) 表 5 中的 3 号蚀变带 PCA 法提取信息的吻合率要高于 ICA 法, 说明了 ICA 方法也有一定的适用范围, 并不是所有经 ICA 提取的蚀变信息就一定比 PCA 法提取的有效信息量大, 这可能与阈值的选择有关。

(4) 遥感蚀变信息的提取, 要尽可能的采用多种不同的方法进行对比研究, 找到一种适合该区域的方法或几种方法的组合来提高蚀变信息提取结果的可信度。将 ICA 方法与其它方法组合可能会取得更好的应用效果。

以上的这些问题需要进一步的研究改进。

参考文献 (References)

- [1] 荆凤, 陈建平. 矿化蚀变信息的遥感提取方法综述 [J]. 遥感信息, 2005 (2): 62—65 57. [JIN Feng CHEN Jianping MODIS remote sensing data processing and acquisition of atmosphere products [J]. Remote Sensing Information 2005 (2): 62—65 57]
- [2] 万宁, 吴飞. 基于 ICA 的全色影像和多光谱影像融合算法 [J]. 计算机工程, 2006 32 (7): 218—220 [WAN Ning WU Fei Fusion of panchromatic and multi-spectral images based on independent component analysis [J]. Computer Engineering, 2006 32 (7): 218—220]
- [3] 钟家强, 王润生. 基于独立成分分析的多时相遥感图像变化检测 [J]. 电子与信息学报, 2006 28 (6): 994—998 [ZHONG Jiaqiang WANG Runsheng Multi temporal remote sensing images change detection based on ICA [J]. Journal of Electronics & Information Technology 2006 28 (6): 994—998]
- [4] CHANG C, I CHANG S S, SMITH J A et al. Linear spectral unmixing for hyperspectral imagery [J]. IEEE Trans on Geosci Remote Sensing 2002 40 (2): 375—392.
- [5] 冯燕, 何明一, 宋江红, 等. 基于独立成分分析的高光谱图像数据降维及压缩 [J]. 电子与信息学报, 2007 29 (12): 2871—2875 [FENG Yan HE Mingyi SONG Jianghong et al. ICA-based dimensionality reduction and compression of hyperspectral images [J]. Journal of Electronics & Information Technology 2007 29 (12): 2871—2875.]
- [6] 曾生根, 王小敏, 范瑞彬, 等. 基于独立分量分析的遥感图像分类技术 [J]. 遥感学报, 2004 8 (2): 150—157 [ZENG Shenggen WANG Xiaomin FAN Ruibin et al. Remote image classification based on independent component analysis [J]. Journal of Remote Sensing 2004 8 (2): 150—157]
- [7] JUTTEN C, HERAUD J. Independent component analysis versus Principal component analysis [C] // Proc Europ Signal Processing Conf EUSPQ88 1988: 643—646.
- [8] HYVRINEN A. Fast and robust fixed-point algorithms for independent component analysis [J]. IEEE Trans on Neural Networks 1999 10 (3): 626—634.
- [9] 姜小光, 李召良, 习晓环, 等. 遥感真实性检验系统框架初步构想 [J]. 干旱区地理, 2008 31 (4): 567—571 [JIANG Xiaoguang LI Zhaojiang XI Xiaohuan et al. Basic frame of remote sensing validation system [J]. Arid Land Geography 2008 31 (4): 567—571.]
- [10] 边境, 周庆利. 一种多光谱图像和全色图像融合算法 [J]. 微电子学与计算机, 2005 22 (6): 5—7 11 [BIAN Jing ZHOU Qingli A fusion algorithm of multi-spectral images and panchromatic [J]. Microelectronics and Computer 2005 22 (6): 5—7 11]
- [11] QIAN Di, KOPRIVA J. Independent component analysis for hyperspectral remote sensing imagery classification [J]. Optical Engineering 2006 45 (1): 135—140.
- [12] 苏志成, 吕宏伟. 基于独立分量分析的遥感影像分类方法 [J]. 科学技术与工程, 2007 7 (23): 6244—6247 [SU Zhizheng LY Hongwei Remote image classification based on independent component analysis [J]. Science Technology and Engineering 2007 7 (23): 6244—6247]
- [13] 王宏漫, 欧宗瑛. 采用 PCA/ICA 特征和 SVM 分类的人脸识别 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003 15 (4): 416—420 431. [WANG Hongman OU Zongying Face recognition based on features by PCA/ICA and classification with SVM [J]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics 2003 15 (4): 416—420 431]
- [14] CHEN C H, ZHANG X. Independent component analysis for remote sensing study [J]. SPIE 1999 3874: 150—155.
- [15] NAKO KOSAKA KUNAKI U P et al. ICA-aided mixed-pixel analysis of hyperspectral data in agricultural land [J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters 2005 2 (2): 428—431.
- [16] TANGESTANIM H, MOORE F. Iron oxide and hydroxyl enhancement using the cross method: a case study from the Jazmouh Basin, Iran [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 2000 2 (2): 140—146.
- [17] 张玉君, 曾朝铭, 陈薇. EIM+ (TM) 蚀变遥感异常提取方法研究与应用——方法选择和技术流程 [J]. 国土资源遥感, 2003 (2): 44—49 [ZHANG Yujun ZENG Chaoming CHENG Wei The methods for extraction of alteration anomalies from the EIM+ (TM) data and their application: method selection and technological flow chart [J]. Remote Sensing For Land & Resources 2003 (2): 44—49.]
- [18] 张飞, 塔西甫拉提·特依拜, 丁建丽, 等. 基于不同窗口纹理特征的 SVM 土壤盐渍化信息提取方法与精度分析研究 [J]. 干旱区地理, 2009 32 (1): 57—66 [ZHANG Fei TAYIP Tashpolat DING Jianli Extracting of soil salinization by SVM and accuracy evaluation based on texture characteristic [J]. Arid Land Geography 2009 32 (1): 57—66]
- [19] 杨向荣, 张晓帆, 吴兆宁, 等. 新疆表壳元素地球化学特征 [J]. 干旱区地理, 2009 32 (3): 340—345. [YANG Xiangrong ZHANG Xiaofan WU Zhaoning et al. Elemental geochemistry characteristics of the supra-crust Xinjiang China [J]. Arid Land Geography 2009 32 (3): 340—345.]
- [20] 安芳, 朱永峰. 新疆哈图金矿蚀变岩型矿体地质和地球化学研究 [J]. 矿床地质, 2007 26 (6): 621—633 [AN Fang ZHU Yongfeng Studies in geology and geochemistry of alteration type ore in Hatu gold deposit western Junggar, Xinjiang NW China [J]. Mineral Deposits 2007 26 (6): 621—633]
- [21] 张凤军. 哈图金矿金的伴生矿物与金矿脉地质特征的探讨 [J]. 新疆有色金属, 2003 (3): 5—6 [ZHANG Fengjun Discussions on the ore bearing structure of the associated minerals and the geology of mineral veins in Xinjiang Hatu gold ore [J]. Xinjiang Nonferrous Metals 2003 (3): 5—6.]

Extraction of alteration information from remote
sensing data based on ICA

LIMingming², ZHOU Ke-fa, SUN Li, QIN Yan-fang²,
SUN Lei-gang², WANG Gui-gang²

(1 Xinjiang Institute of Ecology and Geography of Chinese Academy of Science, Urumqi 830011, Xinjiang, China

2 Graduate University of Chinese Academy of science, Beijing 100049, China)

Abstract: This paper analyses the algorithm of ICA (Independent Component Analysis) and compares its differences with PCA (Principal Component Analysis) algorithm, then presents a method to extract alteration information of miner from remote sensing data based on ICA. The method which is different from the traditional method used by PCA is used by ICA to extract alteration information. PCA, used widely in geological prospecting industry, is multivariate data processing method based on second order statistics methods on signal. The principal components obtained are unrelated and no duplication or redundant information among the components. So PCA is fully utilized of information extraction in the alteration exception. However, ICA algorithm is multivariate data processing method based on high order statistics, which can eliminate second order multivariable correlation between the data, also can eliminate the high order correlation among image data. So it may be more useful for extracting the alteration exception information. In order to test the ICA method, the paper took Hutu mineralization area in Xinjiang province as an example, the Hydroxylate anomaly information and Ferric contamination information was extracted from the ETM+ images by ICA and PCA algorithm respectively, and the results was validated by combining regional geological information with field confirmation. Finally, the results extracted by the two algorithms were compared, which indicated the information extracted from the ICA was more suitable to that research area, and the method based on ICA was effective. The accuracy of Hydroxylate anomaly information and Ferric contamination information extracted by ICA increased nearly 21% and 39%. As a result, the method based on ICA provides more exact information to reduce the cost of searching mine.

Key Words: independent component analysis, principal component analysis, alteration information extraction, remote sensing