

# TIMS 图像处理中去相关扩展的 解析及其应用

丑晓伟 傅碧宏

(中国科学院兰州地质研究所 730000)

**提 要** 本文基于数学分析和几何解析,结合 TIMS 图像的信息特征,对去相关扩展图像处理方法的机理进行了综合分析。分析结果表明,去相关扩展增强了原始图像中相关程度较低的那部分信息,增大了地物的光谱反差,提高了图像的地质解译效果。笔者结合局部地区的研究成果,说明经去相关扩展处理后的 TIMS 图像可提供详细、准确的岩石地层单元信息,是当前大比例尺遥感地质填图和区域找矿的一种有效新手段。

**关键词** TIMS 图像 去相关扩展 几何解析

**第一作者简介** 丑晓伟 男 25岁 硕士 资源遥感与环境遥感

## 0 前 言

去相关扩展(Decorrelation Stretch)是由 Soha 和 Schwartz 1978 年提出,被 Gillespie 等人完善并发展起来的一种用于相关程度较高的多波段图像数据的反差扩展增强方法。对于相关程度较高的多波段图像数据来说,波段间相关程度较低的那部分信息对图像色彩(色调、饱和度和明度)的贡献最大,特别是对饱和度的贡献最为突出。常规的线性扩展和基本函数非线性扩展在很大程度上只扩展了图像的明度动态分布范围,而去相关扩展不但能提高图像色彩的饱和度,同时又能保持原始彩色合成图像的色调特征,便于应用分析人员根据地物光谱数据对增强图像进行合理的解释。笔者结合对局部地区的 TIMS 图像处理工作,试图对去相关扩展图像处理方法作一分析,并探讨其应用效果。

## 1 去相关扩展的数学定义与几何解析

去相关扩展的数学涵义是一种在统计特征基础上的多维正交线性变换的逆变换。在图像处理技术中定义为以下两个步骤:

第一步:正交线性变换,表示为  $Y=TX$ 。其中  $X$  为原始多波段图像的像元值向量; $Y$  为变换后产生的多个组份图像的像元值向量; $T$  是由各个变量(波段)之间的协方差矩阵所产生的特征向量组成的变换矩阵。

第二步:正交线性变换的逆变换,表示为  $X=T^{-1}Y$ 。其中  $T^{-1}$  是  $T$  的逆矩阵,由于  $T$  是

正交矩阵,  $T^{-1}=T'$  ( $T'$  为  $T$  的转置矩阵), 则第二步可进一步表示为  $X=T'Y$ 。

从几何意义上来讲, 去相关扩展的实质是一个坐标轴的旋转和平移的问题。以二维向量 (两个波段) 用图解方式可将其实现过程表述如下:

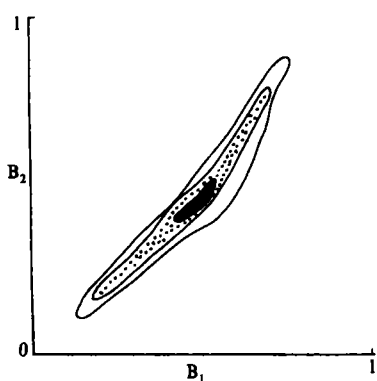


图 1 高相关图像数据在亮度值空间坐标系中的分布 (据 Gillespie 等, 1986 改编)  
 Fig. 1 Distribution of the highly correlated image data in the brightness coordinate system (modified after Gillespie et al., 1986)

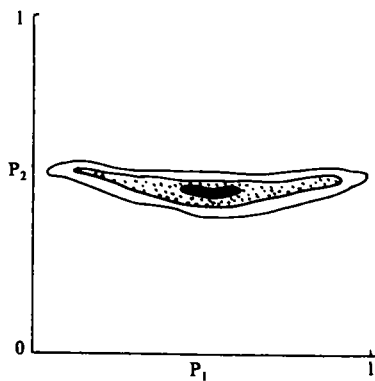


图 2 高相关图像数据在主成份空间坐标系中的分布 (据 Gillespie 等, 1986 改编)  
 Fig. 2 Distribution of the highly correlated image data in the principal coordinate system (modified after Gillespie et al., 1986)

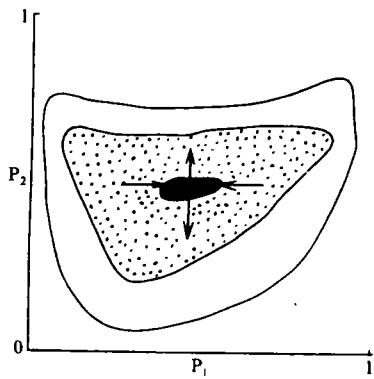


图 3 对主成份图像有选择性地反差扩展 (据 Gillespie 等, 1986 改编)  
 Fig. 3 Selectively stretching the contrast of principal image (modified after Gillespie et al., 1986)

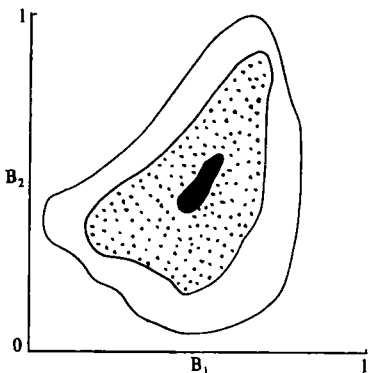


图 4 扩展后图像数据在亮度值空间坐标系中的分布 (据 Gillespie 等, 1986 改编)  
 Fig. 4 Distribution of the image data after stretch in the brightness coordinate system (modified after Gillespie et al., 1986)

相关程度较高的图像数据在以像元亮度值为坐标轴的空间坐标系中往往分布成一个狭长的区域 (图 1); 利用坐标轴的旋转和平移将原始图像从亮度值空间坐标系 ( $B_1, B_2$ ) 变换到主成份空间坐标系 ( $P_1, P_2$ ) 可达到去相关的目的 (图 2); 变换后的第一主成份图像主要反映

地物总的辐射强度信息和地形信息,第二主成份图像主要反映两个原始波段图像数据之间的差异信息(即相关程度较低的那部分信息),因此,有选择性地对主成份图像进行反差扩展(一般采用线性扩展),可提高图像色彩的饱和度(图3);将扩展后的主成份图像数据从主成份空间坐标系再变换回到亮度值空间坐标系,不但可保留上述增强效果,同时又便于应用分析人员根据地物的光谱数据对增强图像做出合理的解释(图4)。

由于去相关扩展基于主成份变换,可推广到多维向量(多波段),因此它是细分光谱特别是TIMS图像数据增强处理的有效方法。

## 2 TIMS 图像去相关扩展的理论基础

自然界中任何物体只要其温度高于绝对零度( $0\text{ K} = -273.16^\circ\text{C}$ ),都会不断向外界发射电磁波(热辐射),其辐射强度的大小取决于物体的发射率和分子运动温度(即表面温度)。TIMS图像就是这种辐射能量变化的一种视频显示。

物体辐射强度( $F$ )与其发射率( $\epsilon$ )和表面温度( $T$ )的函数关系为:

$$F = \sigma \epsilon T^4$$

式中 $\sigma$ 为斯忒藩——玻尔兹曼常数。上式表明,物体的辐射强度与其发射率成正比,与其表面温度的四次方成正比。

对不同岩石来说,其发射率和表面温度的变化多是岩性差异的表现。岩石的发射率主要取决于其矿物成份和物理性质(Gupta, R. P., 1991)。岩石的表面温度与其热学性质有关,包括热传导率、热扩散率、热容量和热惯量等,其中,热惯量是影响岩石表面温度的决定性因素(Sabins, F. F., 1990)。

上述分析表明,TIMS图像的信息内容主要包括不同地物的表面温度和发射率两个方面的信息。对不同岩石来说,其发射率变化不大,表面温度是控制其辐射能量变化的主导因素。由于岩石在地表的温度通常都在 $30^\circ\text{C}$ 以内,从而导致TIMS图像诸波段间的相关程度很高,不利于岩石地层单元信息的提取。近年来对岩石热红外发射光谱特征的研究表明,岩石的物理性质和热学性质只影响其发射光谱的强度,并不影响其特征谱带的中心波长位置。岩石在热红外发射光谱域的谱带特征均是由造岩矿物的原子振动激发产生的(地质部情报研究所编,1980),其发射率的变化是波长的函数,是主要由于其矿物成份的变化引起的(Kahle, A. B. and Goetz, A. F. H., 1983)。因此,增强不同岩石的发射光谱反差信息,压抑温度信息,便成为TIMS图像岩石地层信息提取和地质应用分析的基本前提和关键所在。去相关扩展图像处理方法以主成份分析为基础,它可以使TIMS图像数据中其它主成份图像的岩石发射率差异信息相对于第一主成份图像中岩石的表面温度信息得到大大增强,从而提高图像的色彩饱和度和地质解像力。

## 3 TIMS 去相关扩展图像的应用效果

笔者在参与完成中国科学院与日本国地球科学综合研究所联合进行的塔里木盆地油气资源遥感技术应用研究过程中,曾对新疆柯坪地区的TIMS航空遥感数据进行了去相关扩

展增强处理。研究区出露的地层以古生界为主,是一套滨海-浅海相的碳酸盐岩和陆源碎屑岩,岩石出露好,植被稀疏,气候炎热干燥,是进行航空遥感地质研究的理想地区。

研究中共获取了六个通道的 TIMS 图像数据,各通道的探测波长范围见表 1。对原始图像数据的统计分析结果表明,其诸波段间的相关程度很高,相关系数分布在 0.75~0.99 之间(表 2)。针对这一特点,笔者对原始图像数据进行了去相关扩展增强处理。

表 1 通道探测波长范围和中心位置

Table 1 Wavelength range and central location of tunnels

通道数	探测波长范围( $\mu\text{m}$ )	中心位置( $\mu\text{m}$ )
TIMS 1	7.65~7.95	7.80
TIMS 2	8.35~8.75	8.55
TIMS 3	8.75~9.15	8.95
TIMS 4	9.15~9.95	9.55
TIMS 5	9.95~10.75	10.35
TIMS 6	10.75~11.55	11.15

表 2 TIMS 图像数据的相关系数矩阵

Table 2 Correlation coefficient matrix of the TIMS image data

相 关 系 数 波 段	波 段	TIMS 1	TIMS 2	TIMS 3	TIMS 4	TIMS 5	TIMS 6
TIMS 1		1.00					
TIMS 2		0.88	1.00				
TIMS 3		0.89	0.99	1.00			
TIMS 4		0.92	0.98	0.99	1.00		
TIMS 5		0.92	0.75	0.77	0.82	1.00	
TIMS 6		0.92	0.93	0.94	0.96	0.86	1.00

对经去相关扩展增强处理后图像中不同岩石地层单元的发射光谱测试数据、化学分析数据、X 射线衍射分析数据、薄片鉴定结果、图像像元均值统计结果和图像表征的综合地质应用分析表明,TIMS 去相关扩展增强图像除对断裂构造有较好的反映外,可提供丰富的岩石地层信息,特别是以石英为主要组成矿物的碎屑岩的信息。这是因为,组成碎屑岩的主要矿物石英和长石,在可见-近红外和短波红外光谱域没有谱带特征,导致碎屑岩的反射光谱往往受作为杂质和胶结物成份存在的含铁矿物、碳酸盐矿物和粘土矿物等的制约,给其光谱遥感探测带来了一定困难,但在热红外光谱域,石英却在 8.1 $\mu\text{m}$  和 9.2 $\mu\text{m}$  附近存在二重低发射率谱带特征;同时,对沉积岩反射光谱干扰最大的含铁矿物在热红外光谱域却没有谱带特征;因含大量不透明碳质物质而导致其反射光谱曲线低而平直的黑色泥岩和页岩在热红外光谱域也具有典型的谱带特征;在可见-近红外和短波红外光谱域具有典型谱带特征的碳

酸盐矿物和粘土矿物在热红外光谱域亦分别在  $11.3\mu\text{m}$  和  $11.0\mu\text{m}$  附近存在低发射率谱带。这就是 TIMS 图像可提供丰富的岩石地层信息的理论依据。

研究区出露的岩石类型主要包括白云岩、灰岩、泥灰岩、砂岩、粉砂岩和泥岩等,由于不同岩石具有不同的化学组成和矿物组成特征,导致其热红外发射光谱特征和 TIMS 图像像元均值统计特征不同,在 TIMS 去相关扩展后的彩色合成图像上表现为不同的色调单元特征。研究区内的碳酸盐岩(包括富含不透明碳质物质的灰黑色生物碎屑灰岩)岩石地层单元,因在  $11.3\mu\text{m}$  附近具有由其主要矿物成份方解石和白云石中  $\text{CO}_3^{2-}$  基团内部基谱振动引起的低发射率谱带,导致其第六波段像元统计均值相对较低,第三波段像元统计均值相对较高,在 TIMS 2(B)3(G)4(R)去相关扩展彩色合成图像上基色呈绿色;研究区内的砂岩和粉砂岩等岩石地层单元,因在  $8.1\mu\text{m}$  和  $9.2\mu\text{m}$  附近同时存在由其主要矿物成份石英中 Si—O 基团伸缩振动引起的二重低发射率谱带,导致其第二和第三波段的像元统计均值相对较低,第四和第六波段的像元统计均值相对较高,在 TMS 2(B) 3(G) 4(R)去相关扩展彩色合成图像上基色呈红色;研究区内的泥岩和页岩等粘土质岩石地层单元,因在  $9.0\sim 10.0\mu\text{m}$  之间(谱带中心波长位置多位于  $10.0\mu\text{m}$  附近)和  $11.0\mu\text{m}$  附近同时存在分别由其主要矿物成份粘土矿物中 Si—O 基团伸缩振动和 Al—O—H 基团弯曲振动产生的低发射率谱带,导致其第四和第六波段的像元统计均值相对较低,第二波段的像元统计均值相对较高,在 TIMS 2(B) 3(G) 4(R)去相关扩展彩色合成图像上基色呈蓝色。上述是研究区内碳酸盐岩、碎屑岩和粘土质岩三大主要沉积岩类的热红外发射光谱特征与 TIMS 去相关扩展彩色合成图像像元统计均值和色调特征的综合分析,虽然各大类岩石其图像基色相同,但正如不同沉积环境是彼此过渡的一样,各大类岩石中不同岩石的成份也是彼此过渡的,加之影响岩石发射光谱特征的因素除了其成份之外,还有其表面状况、粒度大小、密度、孔隙度和含水性等诸多因素,对不同岩石来说,这些因素也是彼此变化的,这种过渡与变化的关系最终均能够反映在不同岩石发射光谱谱带中心波长位置及其谱带强度的相对变化上,从而使其能够以不同的图像色彩饱和度被提取出来。

## 结 语

1)TIMS 图像主要反映地物的表面温度信息和光谱发射率信息,其中表面温度信息占主导地位。由于地物在地表的温度通常都在  $30^\circ\text{C}$  以内,导致 TIMS 图像诸波段间的相关程度较高,不利于地质专题信息的提取与分析。去相关扩展有选择性地扩展了原始图像中相关程度较低的那部分信息,提高了图像的饱和度,其实质就是增强了地物的光谱反差,突出了光谱信息,压抑了温度信息,提高了地质判读和应用分析效果。因此,去相关扩展是 TIMS 图像增强处理的有效方法。

2)TIMS 去相关扩展彩色合成图像可提供丰富、准确的岩石地层单元信息,特别是对碎屑岩石信息有较好地反映,可做为当前大比例尺地质填图和区域找矿的一种有效手段加以推广应用。但需说明的是,由于岩石本身同类异谱和异类同谱问题的存在,加之影响岩石热红外发射光谱的因素繁多,在实际应用中应注意对 TIMS 图像和可见-近红外与短波红外图像的配合使用,以便达到最佳的地质应用效果。

致谢 本文是在魏俊超研究员的指导下完成的,图像处理工作得到了童庆禧研究员和郑兰芬研究员的指导和帮助,郑建京、陈国俊和师铮等同志参加了野外工作,在此一并致谢。

### 参 考 文 献

- [1] Gillespie, A. R., Kahle, A. B. and Walker, R. E., 1986, Remote Sens. Environ., 20, 209~235.
- [2] Gupta, R. P., 1991, Remote Sensing Geology, Springer - Verlag, Berlin, 19~34 and 126~146.
- [3] Sabins, F. F., 1990, Remote Sensing Principles and Interpretation, W. H. Freeman and Company, N. Y., Second edition, 125~175.
- [4] Kahle, A. B. and Goetz, A. F. H., 1983, Science, 222, 24~27.
- [5] 地质部情报研究所编, 1980, 遥感专辑, 第 1 辑, 北京: 地质出版社, 208~345.

## The Analysis of Decorrelation Stretch of Thermal Infrared Multispectral Image Processing and Its Application

*Chou Xiaowei Fu Bihong*

(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences)

### Abstract

Based on the analysis of mathematical concept and geometric transformation, the author consider that the decorrelation stretch can selectively exaggerate the least correlated part of thermal multispectral image information, and enhance the spectral contrast of different ground materials. It is one of the effective methods to enhance the highly correlated images.

The information of a thermal infrared multispectral image mainly include two parts: surface temperature and emissivity. In principle, the surface temperature is the dominant information. For the temperature of terrestrial surface is commonly less than 30°C, the thermal infrared multispectral image data are always highly correlated from one channel to the next. It is unfavourable for the extraction and analysis of the thematically geological information. The decorrelation stretch, which tend to increase the saturation and affect the hues little, is useful in exaggerating the poorly correlated emissivity information of thermal infrared multispectral image data, rather than the highly correlated surface temperature information.

The paper presents the effectiveness of decorrelation stretch image with an example in extracting lithostratigraphical information by use of the information about the composition (i. e. emissivity), rather than the surface temperature.