

中国地质调查局地质调查技术标准

DD2013—12

多光谱遥感数据处理技术规程

中国地质调查局

2014年7月

目 次

前言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 总则.....	2
4.1 目的.....	2
4.2 任务.....	2
4.3 工作程序.....	2
5 数据处理前的准备.....	2
5.1 遥感数据源选择.....	2
5.2 辅助数据收集.....	3
6 遥感数据处理.....	3
6.1 辐射校正.....	3
6.2 影像几何校正与数字镶嵌.....	4
6.3 图像增强处理.....	5
6.4 图像融合.....	8
6.5 空间滤波.....	9
6.6 遥感蚀变异常信息提取.....	9
7 结果图像输出.....	12
8 遥感数据处理结果质量检查.....	12
8.1 质量检查内容及方法.....	13
8.2 增强图像检查.....	13
8.3 融合图像检查.....	13
8.4 空间滤波图像检查.....	14
8.5 遥感蚀变异常信息图像检查.....	14
9 成果提交.....	14
9.1 成果图像.....	14
9.2 数据处理总结文档.....	14
附录 A (资料性附录) 参考资料与一些技术方法模型.....	15
附录 B (资料性附录) 不同光谱范围岩石反射波谱分类.....	19
附录 C (资料性附录) 400~2500nm 范围主要光谱段的矿物蚀变信息的诊断谱.....	20
附录 D (资料性附录) 不同干扰或蚀变异常在二维散点图中的形态与定位原则.....	21
附录 E (资料性附录) 野外测试光谱数据分析示例.....	22
附录 F (资料性附录) 成果图像输出文件存储及命名规则.....	23
附录 G (资料性附录) 多光谱遥感数据处理技术报告编写提纲.....	24
参考文献.....	25

前 言

本标准依据GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则编写。

本标准是在多年遥感地质调查工作中多光谱遥感数据处理技术应用的基础上，根据我国现阶段和今后一定时期内遥感地质应用中多光谱遥感数据处理所能达到的实际技术水平，以及有关专业部门对遥感地质多光谱遥感数据处理与使用的要求而制定的。本标准主要面向1：50000到1：250000遥感地质调查中的多光谱遥感数据处理工作，其内容是多光谱遥感数据处理工作的普遍性、一般性技术要求。

本标准由中国地质调查局提出和归口管理。

本标准起草单位：有色金属矿产地质调查中心。

本标准主要起草人：张远飞、朱谷昌、杨自安、李领军、吴德文、张云峰、石菲菲。

本标准由中国地质调查局负责解释。

多光谱遥感数据处理技术规程

1 范围

本标准规定了遥感地质应用中多光谱遥感数据处理的工作程序、工作内容、技术方法、成果表达和质量检查等的技术要求。

本标准主要适用于1: 50000到1: 250000比例尺遥感地质应用中的多光谱遥感数据处理工作。其他比例尺的同类工作可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

DZ/T 0151 区域地质调查中遥感技术规定（1: 50000）

DD2011-04 区域地质调查中遥感技术规定（1: 250000）

DD2011-05 矿产资源遥感调查技术要求（1: 50000、1: 250000）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1 多光谱数据 multispectral data

从近紫外、可见光、近红外、短波红外到热红外波段，波长范围主要在350~20000nm光谱区间，光谱分辨率一般为 $10^{-1} \lambda$ 量级，波段数在20个以内的遥感数据。

3.2 二维散点图 two-dimensional scatter plot

指两幅图像联合概率密度分布的几何表达，反映了二维变量数据的空间结构。

3.3 聚类与点群 clustered point and discrete point

在二维散点图上具有规则几何形态（大多为椭圆体）的点集称聚类；形态上呈不规则状且较离散的点集称点群。聚类和点群常是背景、干扰与蚀变异常的点集基本形态。

3.4 波段序偶 ordered couples of bands

从统计意义而言，波段序偶是一组波段中两个低相关的波段；在地物光谱特征上，波段序偶是指由地物光谱的诊断性光谱的吸收与反射谱带所造成的反射峰与吸收峰所对应的两个波段。

3.5 干扰 interference

指遥感影像上影响专题信息获取的不利因素。干扰可分大干扰与小干扰，在一维直方图上能引起明显偏度或在二维散点图上构成自身聚类结构的称为大干扰；而在一维直方图上未能引起明显偏度或在二维散点图上仅为点群而无明显聚类结构的称为小干扰。

3.6 蚀变异常 alteration anomaly

指由蚀变矿物引起的遥感异常信息。一般具备以下特征：在波谱曲线上具有蚀变矿物谱带特征；在二维散点图上点群所在的位置具有物理意义；在遥感图像空间上呈一定规则形态分布且具有地质意义。

4 总则

4.1 目的

根据遥感地质应用的不同要求，通过多光谱遥感数据处理，从遥感图像上最大限度地增强与提取相关信息，为遥感地质应用提供满足需求的遥感图像和目标地物信息。

4.2 任务

4.2.1 通过对遥感数据的几何校正、数字镶嵌、图像一般性增强、图像融合等处理，提供地质应用所需的遥感基础图像。

4.2.2 通过图像特征信息增强技术方法，从遥感图像中最大限度地增强和提取与岩石、构造等有关的地质信息，提供遥感专题信息图像。

4.2.3 通过辐射校正、遥感蚀变信息提取等技术方法，获取与成矿有关的矿化蚀变异常信息，提供遥感蚀变异常信息图像。

4.3 工作程序

多光谱遥感数据处理技术的一般工作程序包括数据处理前的准备、数据处理、成果图像输出、数据处理结果质量检查及成果提交等。

5 数据处理前的准备

5.1 遥感数据源选择

5.1.1 遥感数据覆盖范围必需保证工作地区遥感图像数据的完整性，一般应略大于实际工作区。

5.1.2 依据相关的遥感地质技术规范要求(参见DZ/T 0151、DD2011-04、DD2011-05的规定)与测区工作比例尺，确定选用相应空间分辨率的遥感数据。如1:250000比例尺矿产资源遥感调查应选用中等空间分辨率($\geq 15\text{m}$)的遥感数据，1:50000比例尺应选用中高空间分辨率($\geq 2.5\text{m}$)的遥感数据；若无相关遥感地质技术标准可依，则可按工作比例尺参考附录A的A.1来选择相应空间分辨率的遥感数据。

5.1.3 在保证遥感数据空间分辨率的前提下，应选择具有更多波段的遥感数据，以满足遥感综合应用的需求。

5.1.4 用于制作遥感基础图像的遥感数据应选用0~2级数据产品。非特殊情况下不能选用3~4级数据产品(遥感数据产品分级参见附录A的A.2)。

5.1.5 用于提取遥感蚀变异常信息的遥感数据应选择0~1级数据产品，且为光谱覆盖可见光至短波红外波段的多光谱数据；数据的空间分辨率可根据数据源情况与应用要求予以适当放宽尺度。

5.1.6 所选用的遥感数据影像中，云、雪分布面积应小于工作区的5%，特殊情况下可放宽到10%；或选用目标地物未被云、雪覆盖的遥感数据影像。影像的噪声、条带应尽可能少。

5.1.7 中国北方地区图像数据的时相宜选择植被不发育的春秋季节，南方无雪或少雪地区宜选择冬季；岩石裸露的高寒地区宜选择雪线最高的夏季。

5.1.8 用于遥感蚀变异常信息提取，还应选择植被等干扰尽可能少的遥感数据。

5.2 辅助数据收集

5.1.1 地形数据

5.2.1.1 收集具有测绘资质单位出版或制作符合精度要求的线划（或数字）地形图或具有地理参考信息的航天（航空）影像地图，以及数字高程模型（DEM）。

5.2.1.2 地形图的比例尺应比工作比例尺大一级次，至少为同一级次。

5.1.2 其他数据

5.2.2.1 收集与工作区相关的地质、矿产等资料；根据需要收集地球化学与地球物理勘查等方面的资料。

5.2.2.2 收集工作地区的野外岩石（矿物）测试光谱数据或标准光谱库数据资料。

6 遥感数据处理

6.1 辐射校正

6.1.1 大气校正

6.1.1.1 应根据应用需求或处理方法的要求确定是否需要辐射校正。

6.1.1.2 根据实际情况采用如下几种方法之一进行辐射校正（具体方法模型参见附录 A 的 A.3）。

a) 直方图调整法。任何地质地貌条件地区均可以采用该方法。为了确保校正精度，最好针对每个波段的全景影像数据进行直方图统计获取有关参数。

b) 回归方程调整法。在水体、植被覆盖小于 15%的地区可采用此方法。

c) 平均场定标。在处理的遥感影像中存在分布均匀、面积较大的高亮度纯净地物的情况可采用此方法。

d) 内部平均相对反射率定标。在裸岩地区或植被稀少地区可采用此方法。

6.1.1.3 目视判别辐射校正后影像地物的识别效果以及影像反差与对比度是否有所增强；其次，可选几类典型地物对比辐射校正前后的光谱曲线变化，以检查辐射校正的效果。

6.1.1.4 若所选择的辐射校正方法不能明显改变影像的地物识别效果，建议改用其他方法重新校正；若采用多种方法辐射校正后的影像地质体识别效果均不如原始影像，则可考虑放弃辐射校正处理。

6.1.2 噪声去除

6.1.2.1 视噪声的影响程度与遥感地质应用的目的任务来决定是否去除噪声。

6.1.2.2 采用低通滤波消除噪声，一般选用平滑滤波、中值滤波、Frost 自适应滤波、Lee 自适应滤波、Gamma Map 滤波等。

6.1.2.3 对噪声去除后的影像，一方面需要检查噪声是否已经去除到满足应用目的；另一方面要求检查滤波造成的影像平滑是否过度。最佳状态是适度滤波去除噪声后的影像质量能达到应用要求。

6.1.3 坏行（列）替换

坏行（列）在影像上呈现为明显的黑线。通过对坏行（列）扫描进行灰度插值可以近似地替换坏行（列）。

6.1.4 去条带

通过计算各个行（列）的平均值或者中值，找到发生畸变的行或者列，而后将这些行（或列）的直方图与正常行（或列）的直方图进行匹配，完成条带的去除。

6.1.5 坏行（列）替换与影像去条带处理后应保证影像上不再出现坏行（列）或条带，且修复处的影像亮度变化自然。

6.2 影像几何校正与数字镶嵌

6.2.1 多项式校正

6.2.1.1 当选用未经地面控制点校正的遥感数据时，应进行影像几何校正。在地形起伏不大、地形高差引起的遥感影像投影差较小的地区，如平原、丘陵地区，可以使用多项式模型校正方法，消除原始影像的空间几何畸变，并将影像转换到地图投影系统。

6.2.1.2 选择大一个级次比例尺或同比例尺的线划地形图、数字地形图或航天（航空）影像地图，作为影像多项式校正的基础地形资料；选择经过卫星系统校正处理的遥感影像，作为多项式校正处理的基础遥感影像数据。

6.2.1.3 多项式拟合的次数一般选择二次或三次。为了避免高频振荡，不宜选择四次以上的多项式。

6.2.1.4 以基础地形资料为基础，在基础遥感影像上找出与其地物相匹配的、能正确识别和准确定位的明显地物作为控制点；控制点的分布要求均匀，即影像的中心和 8 个象限上均有控制点，并在影像边缘区域应有一定数量的控制点。校正控制点的个数取决于多项式的次数，剔除粗差后至少应保留 2 个以上的多余控制点，以便于平差计算。当多项式为二次时，控制点应有 9~12 个；当多项式为三次时，控制点数应选 14~16 个。要求控制点拟合平均误差在平地 and 丘陵地区不超过 1 个像元，在山区不超过 2 个像元。

6.2.1.5 影像重采样方法一般选择双线性内插或立方卷积方法。

6.2.2 正射校正

6.2.2.1 在地形高差较大的山区，1:50000 以上比例尺的遥感数据处理，应对遥感影像进行正射校正，消除原始影像的空间几何畸变，改正高差引起的影像投影差，形成正射影像。

6.2.2.2 选择预备正射标准产品遥感影像，作为正射处理的基础遥感影像数据；选择大一个级次比例尺或同比例尺的线划地形图、数字地形图或航天（空）影像地图，作为影像多项式校正的基础地形资料；选择大一个级次比例尺或同比例尺的数字高程模型（DEM），作为影像正射处理的基础数字高程资料。如果数字高程模型与基础地形资料的数学基础不同，应通过投影转换使其一致。

6.2.2.3 以基础地形资料为基础，在基础遥感影像上找出与其地物相匹配的、能正确识别和准确定位的明显地物作为控制点；控制点的分布要求均匀，并在影像边缘区域应有一定数量的控制点；同时要考虑控制点在不同高程范围分布；采用几何多项式模型时，控制点个数与多项式阶项（ n ）及地形情况相关，控制点个数最少应大于 $(n+1)(n+2)/2+2$ ；当阶项 $n=2$ 或更高时，一般要求每景控制点在 20 个以上；要求控制点拟合误差 ≤ 1.5 个像元。

6.2.2.4 影像重采样一般选择立方卷积或双线性内插方法。

6.2.3 影像数字镶嵌

6.2.3.1 当工作区涉及多景遥感影像时，一般需在影像几何校正或影像正射处理之后进行影像数字镶嵌处理；若某些遥感图像处理分析需要保证不同分幅遥感影像数据的物理特征、统计参数的统一性与可比性，比如遥感图像矿化蚀变信息提取，可以考虑分幅（分区）对图像数据进行相应的技术方法处理后再进行影像数字镶嵌工作。

6.2.3.2 待镶嵌的影像应选择时相相近或不同年份但季节相同的遥感影像，或者不同时相但相同波段的亮度值范围或直方图特征相近，色调比较统一的遥感影像。

6.2.3.3 采用几何校正后的影像直接进行数字镶嵌，重叠区域同名像元的位置差异能够满足误差要求时，仅需要完成镶嵌线的选择和色调匹配；若重叠区域同名像元的位置差异不能满足误差要求或者使

用未校正的影像进行数字镶嵌时，需要在重叠区域选择同名点进行几何配准，镶嵌完成后仍需再实施几何校正过程。

6.2.3.4 在几何校正的基础上对相邻影像重叠区若需进行更准确的几何配准处理，可采用以下两种方法之一进行几何配准。

- a) 在重叠区上选取若干控制点，以一幅标准影像或图件为基准图件，对被镶嵌的影像分别进行与基准图件的几何配准。
- b) 在相邻待镶嵌影像上选取同名点，以一幅影像为基准，使另一幅影像从几何上与之配准，实现两幅影像重叠部位几何上更趋于一致。要求同名像元几何位置相对误差不大于1个像元。

6.2.3.5 当镶嵌影像之间存在显著色差时，应进行色调匹配处理。通过对影像的均值和方差进行调整，使影像间的灰度分布趋于一致从而达到消除影像色差的目的。（具体方法模型参见附录A的A.4.1）

6.2.3.6 镶嵌拼线应选择弯曲折线，以影像色彩变化较小处为镶嵌拼接线位置；为进一步提高影像镶嵌的质量，可以在镶嵌线两侧进行图像“羽化”处理。（具体方法模型参见附录A的A.4.2）

6.2.3.7 要求镶嵌后的影像之间灰度过渡平缓、自然，接缝处灰度无突变痕迹，整幅影像灰度反差适中，有良好的视觉效果。

6.3 图像增强处理

6.3.1 图像反差增强

6.3.1.1 概述

依据地质应用中的相关要求，在保持图像灰度值关系不能过于失真的前提下，可通过调整单波段整体图像灰度值范围的反差与对比度，提高图像上地物类别的目视判读效果。图像反射增强主要用于遥感影像地图、遥感影像底图等基础影像图件的前期增强处理，也可以用于其他目的的遥感信息增强。

6.3.1.2 单波段图像反差增强

6.3.1.2.1 基于直方图形态的反差增强

可根据具体图像的灰度直方图与主要目标地质体的灰度值范围来选择图像反差增强处理方法。图1给出了单波段图像反差增强处理的流程图。

- a) 无论图像灰度直方图形态如何，在要求灰度反差适中的情况下，均可选用截频线性拉伸增强；对于灰度范围图像较窄的则可选用线性拉伸增强。
- b) 直方图为高斯分布或准高斯分布图像，首选方法是均方根增强，其次是截频线性拉伸增强。
- c) 超高斯分布图像。左偏超高斯分布，首选方法是对数增强；右偏超高斯分布，首选方法是指数增强。其次均可选择截频线性拉伸增强或直方图正态化。
- d) 亚高斯分布图像，首选截频线性拉伸增强，其次是均方根增强。

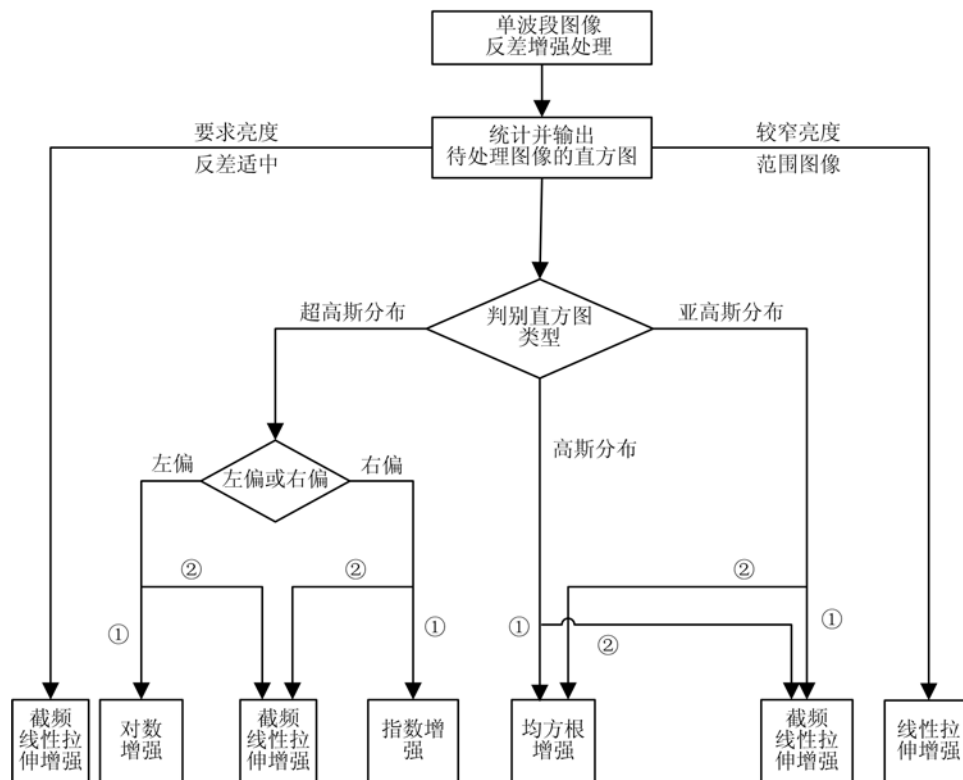


图1 基于直方图形态的反差增强处理流程图

(标号①、②表示方法选择的顺序)

6.3.1.2.2 基于亮度反差要求的反差增强

可根据下述需要选择增强：

- a) 若需要得到很大反差的图像，可选择直方图均衡化增强处理。
- b) 需要增强图像低端亮度反差，可选用对数增强或均方根增强。
- c) 需要增强图像高端亮度反差，可选用指数增强。
- d) 灰度值动态分布很宽的亚高斯分布图像可选用分段线性拉伸增强。

6.3.1.2.3 分段线性拉伸

需要更好地调节图像的对比度，或者要求增强某一灰度范围内的地质体信息，可以采用分段线性变换的方法。

在图像的亮度值范围内取几个间断点，每相邻的两间断点之间采用线性变换，每段的直线方程不同，可以拉伸，也可以压缩。

断点的位置可由用户根据处理的需要确定。一般通过图像分析所需增强的某类地质体与背景的灰度值范围或统计参数来确定拉伸的间断点。

6.3.1.3 多波段合成图像反差增强

6.3.1.3.1 HIS 色度空间变换

HIS色度空间变换处理可以降低多光谱波段之间的相关性，有助于增强遥感图像的岩性信息。

- a) 多波段彩色合成图像的饱和度和色调增强。为降低裸露区遥感图像波段数据的高相关性，由三个波段的RGB空间变换成HIS空间后，把S图像和H图像分别进行反差扩展，而后与I图像一起做假彩色合成显示，可得到良好的效果。

- b) 特定波段比值的 HIS 变换增强。为增强含某些特殊矿物的岩石，可参照附录 C 的表 C. 1 与附录 E 的表 E. 1 选择合适的三组波段数据做比值运算，再作 HIS 变换，增强这些蚀变矿物可能出现的岩石区信息。

6.3.1.3.2 去相关拉伸

去相关拉伸能够消除遥感多波段数据中的高度相关性，生成一幅色彩亮丽的彩色合成图像，达到影像彩色均衡的目的。

当工作区岩性比较接近、岩石光谱差别较小时，去相关拉伸可以增强相关信息。

6.3.2 图像彩色增强

6.3.2.1 概述

彩色图像比灰度图像包含更多的信息，无论是对人们的视觉感受，还是后续的图像理解与分析，彩色图像都具有灰度图像无可比拟的优越性。

6.3.2.2 彩色图像合成

6.3.2.2.1 彩色图像合成三个波段组合选择的通用性原则：

- a) 各个波段的标准方差要尽可能的大；
- b) 波段间的相关系数要尽可能的小；
- c) 各波段的均值大小不要相差太悬殊；
- d) 三个波段最好分别来自可见光、近红外和短波红外等不同波谱范围，具体波段的选择可参考最佳指数 OIF（见附录 A 的公式 A. 7）；
- e) 选用含有目标地质体特征谱带的波段（参考附录 B 的表 B. 1 和附录 C 的表 C. 1）。

6.3.2.2.2 彩色图像合成三个波段组合选择的经验方法：

- a) $R_{2.20}$ （或 $R_{1.65}$ ）、 $R_{0.83}$ 与 $R_{0.46}$ ：这三个波段相关系数相对小，合成出的图像总体而言色彩丰富，地质解译效果好。适用于制作遥感地形地貌影像地图。
- b) $R_{2.20}$ 、 $R_{1.65}$ 与 $R_{0.83}$ ：这三个波段中 $R_{2.20}$ 和 $R_{1.65}$ 标准方差相对比较大，信息量丰富；且 $R_{2.20}$ 和 $R_{0.83}$ 波段包含了蚀变矿物的光谱吸收特征。它们合成出来的彩色图像，大部分岩性差别明显，构造形迹清晰，蚀变带和蚀变岩显示效果佳，是可解度很高的图像。缺点是 $R_{2.20}$ 与 $R_{1.65}$ 这两个波段相关性太高，使图像出现偏色，减少了颜色层次。
- c) $R_{2.20}$ 、 $R_{1.65}$ 与 $R_{0.66}$ （或 $R_{0.46}$ ）：这三个波段标准方差比较大，且相关系数比较小，突出遥感蚀变异常信息效果比较好。

6.3.2.2.3 由上述原则或经验选用三个合适的波段分别赋予红（R）、绿（G）、蓝（B）三种基本色合成彩色图像。

6.3.2.3 伪彩色图像分割

选用含有目标地质体特征谱带的波段（参考附录 B 的表 B. 1 和附录 C 的表 C. 1）采用自动线性（或人工）彩色分割。对感兴趣的目标谱带区可以赋予易于目视识别的色彩。

一般根据波段直方图形态分布、均值与标准方差等来确定分割的段数和分割的间断点。

6.3.3 遥感图像特征信息增强

6.3.3.1 概述

依据地质应用中的一些特殊要求，为了突出某一类目标地质体而有意地压抑其他一些背景地物应根据专题所提取的主要目标地质体的灰度值范围或特征信息，需结合遥感图像数据的直方图、二维散

点图与数据统计参数来选择图像增强方法。不同岩石、矿物的光谱特征可分别参照附录B的表B.1与附录C的表C.1。

6.3.3.2 主成分分析 (PCA)

6.3.3.2.1 提取较大方差的几个主成分生成合成彩色图像，可增强较大目标地质体的岩性或构造信息；根据附录B的表B.1各类岩石的光谱特征，参考特征向量矩阵的分量值，选择相关的主成分，可提取相应类别的岩石信息。

6.3.3.2.2 波段组合选择：

- a) 若遥感图像数据波段数不多（指10个波段以下）的情况，可考虑选择所有波段参与运算；
- b) 采用相关矩阵来选择组合波段，结合遥感地质分析，考虑各主要光谱谱带区间都有波段参与的前提下，选择一组相关系数比较低的波段；
- c) 参考附录B的表B.1，选择含有对目标岩石具有很好可分性的波段为波段组合；
- d) 若遥感图像数据波段数多于10个波段，可参考附录A的A.5选择最佳波段组合。

6.3.3.1.3 主成分信息内涵：

- a) 第一主成分反映了地质地貌背景信息，通常是包含几个统计方差比较大的波段数据信息；
- b) 第二主成分代表了主要干扰地物（如植被、云团、积雪等），或者与背景光谱特征差异较大的大类目标地质体；
- c) 从第三主成分开始，其包含的信息需要根据特征向量分量值的大小与正负号来做出正确的解释。包含一些矿化蚀变信息的都是排序在后面的较小方差主成分（贡献率一般小于1%）。

6.3.3.3 最小噪声分离变换 (MNF)

最小噪声分离变换 (MNF) 类似PCA方法，在分离图像数据噪声方面比PCA更优越，并且对岩性与蚀变矿物信息增强具有良好的效果。MNF变换的波段选择及特征向量值解释也与PCA类同，可以参考6.3.3.2条款。

6.3.3.4 比值运算

6.3.3.4.1 比值运算需要在分析工作区岩石（矿物）基本光谱特征的基础上，用于突出遥感图像某类或某些地质体。

6.3.3.4.2 根据附录B的表B.1岩石的光谱特征选择合适的两个波段比值增强某些目标岩石信息。

6.3.3.4.3 采用主成分分析的特征向量指导比值波段选择。在主成分分析特征矩阵的行向量中，分别找到分量值为正号的最大值（或极大值）与负号的最大值（或极大值），它们可组成不同的波段序偶。采用波段序偶，以其正号分量波段为分子，负号分量波段为分母进行运算得到比值图像。参考附录B的表B.1判读不同波段序偶比值图像所包含的地质岩性信息。

6.3.3.4.4 波段序偶若来自特征值大（贡献率一般大于1%）的特征向量，其比值图像所增强的主要是“大类”的目标地质信息；反之，选择来自特征值小的波段序偶则，其比值图像增强的主要是“小类”的目标地质信息。

6.3.3.4.5 比值图像的彩色增强。可把单比值图像生成伪彩色分割图像；三个通道比值图像生成彩色合成图像；还可通过对比值图像反差增强后再进行彩色增强处理。

6.3.4 图像增强方法的综合应用

6.3.4.1 在不同岩性的接触带、矿化蚀变带、火山岩区、高级变质区等地质情况复杂区段，或其他图像增强方法效果不佳情况下，可选择综合方法增强岩石、构造等地质信息。

6.3.4.2 增强岩性信息

第一步，在原始图像选取目标岩性地物，采用光谱匹配法计算得到岩性地物的相似度图像，并将其作为岩性信息波段加入到原始图像数据中去；

第二步，进行波段归一化处理；

第三步，进行最小噪声分离变换（MNF）；

第四步，对选择的波段进行彩色合成增强。

方法在突出目标岩性的同时压制了非目标地物，可统一同一地物的色调、区分出更多岩石类型。

6.3.4.3 增强构造信息

第一步，对原始图像数据分别进行主成分分析和最小噪声分离变换（MNF）；

第二步，对变换结果与原始图像数据进行归一化处理，以减少波段数据的量纲或数量级的影响；

第三步，对归一化处理后的数据进行波段选择；

第四步，对选择的波段进行彩色合成增强。

方法可丰富图像的彩色，拉大不岩性间的色彩差异、增强构造信息。

6.4 图像融合

6.4.1 图像融合通常是将高空间分辨率全色图像与低空间分辨率多光谱图像进行合成，可以使结果图像既具有细腻的空间分辨率又具有丰富的色彩效果，有利于各类地质体的解译。

6.4.2 图像融合处理过程中多光谱图像的空间分辨率应满足工作区比例尺要求，而高空间分辨率全色图像与多光谱图像的空间分辨率比例一般不应低于 1:4。

6.4.3 图像融合一般采用色度空间变换（HIS）、主成分变换（PCA）、最小噪声分离变换（MNF）、小波变换和Brovey变换等方法，不同工作区可根据效果采用不同的处理方法。

6.4.4 融合处理时，应先对参与融合的两种图像进行图像配准。以高空间分辨率图像为参考图像，通过选取同名地物点，将多光谱图像投影到高空间分辨率图像上，使这两种遥感图像在地理位置上精确对准。图像控制点应分布均匀，图像的边缘部分要有控制点。配准误差在平原和丘陵地区不超过 1 个像元，在山区适当放宽到 1.5 个像元。配准过程图像重采样应用立方卷积或双线性内插方法。

6.4.5 采用 PCA、MNF 与 HIS 三种方法融合，若这两个图像的直方图形状差异较大，则需要参考原始主成分图像的直方图对替代成分图像的直方图进行参考拉伸，以补偿提高它们之间的差异性。

6.4.6 图像融合后应检查图像是否出现重影、错位等现象，检查影像纹理细节与色彩，判断融合前的图像处理是否合适。

6.5 空间滤波

6.5.1 通过去除高频噪声与干扰，及影像边缘增强、线性增强以及去模糊等来改善图像质量。空间滤波主要包括方向滤波与平滑滤波。

6.5.2 方向滤波：包含全方向滤波与定向滤波。拉普拉斯模板实现全方向滤波，而用方向差分算子实现 0° 、 45° 、 90° 、 135° 等不同方向的定向滤波。

a) 全方向滤波（拉普拉斯模板）：用以增强岩性的纹理特征，以便更多地判读与区分不同的地质岩性。拉普拉斯模板一般是 3×3 。

b) 定向滤波（方向差分算子）：用以增强不同方向的遥感线性构造。不同尺度的目标信息可选用不同尺度的模板窗口进行滤波。大目标信息可选用 11×11 、 13×13 与 15×15 栅格数的窗口；小目标信息则选用 3×3 、 5×5 与 7×7 栅格数的窗口。

c) 梯度滤波：用于检测地质体或其他地物的物理分界，属于边缘检测。常用的滤波器有 Roberts、Sobel 与 Prewitt 梯度滤波器。

6.5.3 平滑滤波：用以抑制细节信息和噪声，降低局部像元间的对比度。在遥感数据处理上应用最多的是对蚀变异常信息图像的平滑处理。平滑处理一般有两种方法：平均值法和中值法。前者其平滑的效果比后者更显著些。窗口大小一般取 3×3 与 5×5 栅格数，少数可取到 7×7 至 11×11 栅格数的范围。

6.6 遥感蚀变异常信息提取

6.6.1 数据要求与处理步骤

6.6.1.1 用于遥感蚀变异常信息提取的遥感数据应包含可见光至短波红外光谱范围6个以上波段，一般应作辐射校正处理；视情况可考虑先进行遥感蚀变异常信息提取处理，后进行图像几何校正与数字镶嵌处理。

6.6.1.2 遥感蚀变异常信息提取一般包括干扰信息剔除、提取蚀变异常信息和蚀变异常信息图像后处理等三个步骤。

6.6.2 干扰信息剔除

6.6.2.1 大干扰地物的确定与剔除

6.6.2.1.1 采用遥感图像所有波段数据进行主成分分析计算，输出特征值及主成分贡献率和累计贡献率，同时输出特征向量矩阵。

6.6.2.1.2 背景信息在第一主成分，若有大干扰地物信息，一般会集中在第二、三主成分，如植被、水体、云团或积雪等。

6.6.2.1.3 在特征向量矩阵中，根据第二、三主成分对应的特征分量值的大小与正负号，选择出一组或多组波段序偶（具体做法参考6.3.3.3.3），以正号分量值波段为纵轴，负号分量值波段为横轴生成二维散点图。

6.6.2.1.4 对二维散点图进行光谱数据空间结构分析，若某组二维散点图表现为明显的双椭圆分布形态，则表明存在某种类型的大干扰地物信息，且与之对应的是相对低频密度的椭圆散点部分。否则，属于小干扰地物信息。

6.6.2.1.5 当某类大干扰信息与某些（或某类）蚀变异常信息在二维散点图上处于同侧位置时，则需要选用合适的原始波段或某个主成分图像，采用图像阈值分割方法来剔除该类干扰信息。否则，无需剔除。

6.6.2.1.6 除了上述方法外，也可以通过遥感地质地貌分析，确定大干扰地物信息，并视情况进行剔除。

6.6.2.2 小干扰地物的确定与剔除

6.6.2.2.1 小干扰地物信息与矿化蚀变异常信息一样，一般都包含在小特征值（即小方差）的主成分中。

6.6.2.2.2 结合地质资料与一些遥感彩色合成图像，分析小方差主成分图像，基本确定出小干扰地物的种类，以及它们的在图像上的空间分布；或者根据特征向量矩阵中波段序偶的光谱特征来判别小干扰地物的大致类型。

6.6.2.2.3 依据不同类型干扰在图像上中的空间分布形态与基本光谱特征，结合定位原则（见附录D的表D.1）来定位出它们在相应波段序偶二维散点图上的空间位置（二维散点图生成参考6.6.2.1.3）。一般需把蚀变异常信息与小干扰信息一同定位。

6.6.2.2.4 根据对蚀变异常与小干扰地物的分析与确定，判别是否需要剔除干扰信息。当干扰信息与蚀变异常信息在二维散点图上处于同侧位置时，则需要选用合适的原始波段或某个主成分图像，应用图像阈值分割方法来剔除干扰信息；当干扰信息与蚀变异常信息在二维散点图上处于异侧位置时，则无需剔除干扰信息。

6.6.2.2.5 若在特征向量矩阵或二维散点图上无法定位出干扰信息与蚀变异常信息时，可改用其他时相或其他数据源的遥感数据重新分析。

6.6.3 提取蚀变异常信息

6.6.3.1 波段比值

6.6.3.1.1 采用波段比值提取蚀变异常信息的前提条件是所选择的两个波段的二维散点图,其一元线性回归方程的回归系数 a 要尽可能地接近或大于 1.0, 回归常数 b 要尽量接近于 0 或负值。

6.6.3.1.2 蚀变矿物提取的经验波段比值:

- a) 比值 $R_{0.7}/R_{0.4}$, 用于识别褐铁矿化信息, 它使褐铁矿化在图像上呈亮色调, 而赤铁矿化在图像上一般呈暗色调。
- b) 比值 $R_{1.65}/R_{0.9}$, 区分植被与无植被覆盖的土壤和岩石, 植被发育区呈暗色调; 区分不同种类的特征矿物: 云母和黄铁矿的 $R_{1.65}/R_{0.9} \geq 1.0$, 明矾石和石膏 $R_{1.65}/R_{0.9} \leq 1.0$, 方解石和粘土矿物的 $R_{1.65}/R_{0.9}$ 近似于 1.0。
- c) 比值 $R_{2.20}/R_{0.4}$ 。云母 $R_{2.20}/R_{0.4} > 1.0$, 石膏和明矾石 $R_{2.20}/R_{0.4} \leq 1.0$ 。
- d) 比值 $R_{0.9}/R_{0.7}$, 用于识别植被和褐铁矿化岩石, 植被发育区呈亮色调, 褐铁矿化岩石呈暗色调。
- e) 比值 $R_{1.65}/R_{2.20}$ 用以识别含羟基矿物、含水硫酸盐和碳酸盐矿物。
- f) 常用 $R_{1.65}/R_{2.20}$ (红)、 $R_{0.7}/R_{0.4}$ (绿)、 $R_{0.7}/R_{0.9}$ (蓝) 生成比值彩色合成图像。 $R_{1.65}/R_{2.20}$ 用以识别含羟基矿物、含水硫酸盐和碳酸盐矿物; $R_{0.7}/R_{0.4}$ 用以识别褐铁矿化; $R_{0.7}/R_{0.9}$ 用以区分植被与热液蚀变异常。在这种合成图像上, 赤铁矿和针铁矿化呈绿至青色, 黄钾铁矾呈白色, 含羟基矿物、水和硫酸盐和碳酸盐化岩石呈品红色, 植被呈红色。

6.6.3.2 主成分分析法

6.6.3.2.1 对于在短波红外 (SWIR) 范围只有 2 个波段的多光谱遥感数据可以采用主成分分析法提取蚀变异常信息。

6.6.3.2.2 选用 $R_{0.4}$ 、 $R_{0.7}$ 、 $R_{0.9}$ 与 $R_{1.65}$ 四个波段提取铁化因子 PCA_{Fe} 。在选择 PCA_{Fe} 时要求特征向量矩阵的 $R_{0.7}$ 对应的分量值与 $R_{1.65}$ 同号, 与 $R_{0.4}$ 及 $R_{0.9}$ 反号, 且它们具有较大的绝对值, 特别 $R_{0.7}$ 对应的分量绝对值一定要大。

6.6.3.2.3 选用 $R_{0.7}$ 、 $R_{0.9}$ 、 $R_{1.65}$ 与 $R_{2.20}$ (或 $R_{2.30}$) 四个波段提取羟基因子 PCA_{OH} 。在选择 PCA_{OH} 时要求特征向量矩阵的 $R_{1.65}$ 对应的分量值与 $R_{2.20}$ (或 $R_{2.30}$) 反号, 且具有较大的绝对值。

6.6.3.3 广义的主成分分析法

6.6.3.3.1 对于在短波红外 (SWIR) 范围具有 3 个以上波段的多光谱遥感数据可以采用广义的主成分分析法提取蚀变异常信息。

6.6.3.3.2 提取铁化因子 PCA_{Fe} 。相同于上面的主成分分析法。

6.6.3.3.3 提取 OH^- 与 CO_3^{2-} 离子团因子。方法为:

- a) 波段选择与分组。选用遥感图像短波红外 (SWIR) 范围的所有 N 个波段参与主成分分析计算得到特征向量矩阵。观察特征向量矩阵的每个行向量, 若该行向量具有正负反号的分量值, 则可选择其分量绝对值大于 0.3 的那些波段, 再加上 $R_{0.7}$ 、 $R_{0.9}$ 两个 VNIR 区的波段作为一组波段。这样可以获得 M 组波段 (这里 M 一般小于 N), 每个组至少应包含 4 个波段, 且短波红外区至少有一个波段必须是负分量。
- b) 提取羟基因子 PCA_{OH} 。 OH^- 离子团的 $Al - OH$ 标准吸收峰在 $2.2 \mu m$, $Mg - OH$ 的标准吸收峰在 $2.3 \mu m$ 附近, 选用含有该谱带吸收峰的波段组, 再采用主成分分析法的步骤提取 PCA_{OH} 因子。

- c) 提取碳酸根因子 $PCA_{CO_3^{2-}}$ 。 CO_3^{2-} 离子团的标准吸收峰在 $2.33\sim 2.37\ \mu\text{m}$ 内最强，选用含有该谱带吸收峰的波段组，再采用主成分分析法的步骤提取 $PCA_{CO_3^{2-}}$ 因子。

6.6.4 岩石（矿物）波谱分析下的蚀变信息提取

6.6.4.1 概述

若收集有工作区岩石（矿物）波谱数据（也可包括土壤、植被等波谱数据），根据地质应用工作要求，可基于岩石（矿物）波谱数据分析进行遥感蚀变信息提取。

6.6.4.2 岩石（矿物）波谱数据分析

6.6.4.2.1 把岩石（矿物）波谱数据生成光谱曲线图，对比标准库光谱曲线，或参考附录 C 的表 C.1 有关蚀变矿物谱带分析光谱曲线的波谱特征，结合地质资料分析，大致梳理出工作区具有那些主要蚀变矿物类型。

6.6.4.2.2 把岩石（矿物）等多地物波谱数据转化成相应的多光谱数据，并生成多波段光谱曲线图、比值数据直方图与二维散点图（参见附录 E 的示例），通过分析选择提取不同蚀变矿物信息的最佳波段，组成多组波段序偶（2 个波段）和几组多波段组合（3 波段以上）。

6.6.4.3 蚀变异常信息提取

6.6.4.3.1 不同的波段序偶进行遥感图像比值运算，提取相应类型的遥感图像蚀变异常信息。

6.6.4.3.2 多波段组合进行主成分分析，依据主成分分析方法提取遥感图像蚀变异常信息。

6.6.4.3.3 需要确保所提取的蚀变异常信息的物理意义与统计意义。

6.6.5 蚀变异常信息图像后处理

6.6.5.1 分析蚀变异常信息图像，若图像对比度不够，可采用指数增强处理。

6.6.5.2 根据需要对蚀变异常信息图像进行适当的平滑滤波，窗口大小一般不超过 7×7 。

6.6.5.3 对蚀变异常信息图像进行线性彩色分割处理（或者最优彩色分割）来分割蚀变异常信息；也可采用高于均值加 n （ n 一般取 $2\sim 3$ ）倍标准方差的像元值作为蚀变异常信息。异常一般可分为 3 个彩色级。

7 成果图像输出

7.1 根据工作要求输出基础图像、遥感专题信息图像和遥感蚀变异常信息图像等三类图像中的一类或多类。采用数字图像文件的方式提交结果。

7.2 输出遥感基础图像，可以是单波段增强图像，或多个波段彩色合成图像。

7.3 输出遥感专题信息图像，可以是单波段专题信息增强图像，或多个波段专题信息增强彩色合成图像。

7.4 输出遥感蚀变异常信息图像，可以是单波段蚀变信息增强图像，彩色分级异常图像，或多个波段蚀变信息增强彩色合成图像。

7.5 图像输出文件的存储方法及命名规则参见附录 F。

7.6 图像输出文件一般采用国际标准的 TIFF 图像格式；或者根据要求输出其他相应的图像格式文件。

8 遥感数据处理结果质量检查

8.1 质量检查内容及方法

8.1.1 遥感数据处理结果要求进行图像基本质量、技术方法和地质特征效果等三个方面进行检查，明显不合格的处理结果图像应返工重新处理。

8.1.2 遥感数据处理结果的图像基本质量，如几何误差、灰度或色彩效果、融合图像的参数统计值等，应进行100%的自检和互检；技术方法的使用是否合理、正确，也应进行100%的自检与互检；地质特征效果，如目标地质信息、蚀变异常信息是否被增强或提取出来等，应对地质特征信息或异常信息目标区进行20~30%的抽样检查。

8.2 增强图像检查

8.2.1 基础图像检查

8.2.1.1 检查增强图像是否清晰、反差适中、信息丰富、层次分明。

8.2.1.2 检查增强图像的是否过饱和或过于偏色。

8.2.2 特征信息图像检查

8.2.2.1 检查增强图像是否清晰，专题目标地质信息是否凸显，与背景影像具有明显反差。

8.2.2.2 检查是否突出了图像中的有用信息，扩大不同图像特征之间的差别，提高图像的地貌地质解译和分析能力。

8.3 融合图像检查

8.3.1 融合图像目视检查

8.3.1.1 检查融合图像的空间分辨率是否得到显著提高和多光谱特征是否被充分保持。

8.3.1.2 检查是否明显地改善目标地质体的显示效果，原始图像中的灰色调是否转化为彩色调。

8.3.1.3 检查地质体边缘轮廓是否因彩色而更加突出，岩石、构造纹理更加清晰。

8.3.1.4 检查融合后的图像是否很好地抑制了原始图像中的噪声，使地质体判译更加容易。

8.3.2 融合图像的统计参数检验

8.3.2.1 均值与标准方差检查

对融合图像进行均值与标准方差统计。

检查均值是否在众数附近，以保证视觉效果良好；方差是否足够大，以保证灰度值分布范围较宽，使灰度级出现概率趋于相等，信息量趋于最大。

均值与标准方差的结果可以通过融合前的高、低两种不同分辨率图像的这两个统计参数进行对比检查。

8.3.2.2 方差之差检查

融合图像的波段平均方差 σ_F^2 与原多光谱图像的波段平均方差 σ_M^2 之差，即

$$D = \sigma_F^2 - \sigma_M^2 \dots\dots\dots (1)$$

式中：一般 $D \geq 0$ ， D 表示融合图像空间分辨率增强时增加的信息程度，能反映信息量的增加与否。

8.3.2.3 相关系数检查

设 $M(x, y)$ 为原多光谱某波段图像， $F(x, y)$ 为融合后某相应波段图像时，可计算它们的相关系数 r 如下：

$$r = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n (M(x, y) - \bar{M}(x, y))(F(x, y) - \bar{F}(x, y))}{\sqrt{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n (M(x, y) - \bar{M}(x, y))^2 \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n (F(x, y) - \bar{F}(x, y))^2}} \dots\dots\dots (2)$$

分析融合图像与相应的多光谱图像计算得到的相关系数，检查融合图像与原多光谱图像光谱特征的相似程度 r 值是否达到 0.90 以上，以确保融合图像的光谱特性保持能力良好。

式 (2) 的相关系数 r 有 m 个， m 为参与图像融合的多光谱图像的波段数。

8.4 空间滤波图像检查

根据目的要求检查是否突出了图像上的某些地质体特征，如突出某个方向线性构造信息；或者检查是否去除或抑制了某些干扰信息，如消除图像上的随机噪声。

8.5 遥感蚀变异常信息图像检查

8.5.1 选取约 25% 的蚀变异常信息图斑区绘出图像灰度值的光谱曲线，检查这些光谱曲线是否具有物理意义。要求所选取的光谱曲线 80% 以上必须具有可解释的蚀变矿物光谱特征或其他地质体同谱异物的物理特征。

8.5.2 检查提取的蚀变异常信息是否成与围岩蚀变、构造作用、地层岩性和地球化学作用等因素存在一定的关联性，出现的点群状、碎片状、带状、线状、环状等是否具有有一定规律的形态分布，确保蚀变异常信息具有比较明确的地质与找矿意义。

9 成果提交

9.1 成果图像

根据工作任务应提交：

- a) 工作区遥感基本信息增强图像。
- b) 工作区遥感专题信息图像。
- c) 工作区遥感蚀变异常信息图像。

9.2 数据处理总结文档

应提交：

多光谱遥感数据处理技术报告。内容主要包括遥感数据源、数据处理流程、应用的技术方法、数据处理结果检查等，报告具体编写格式参见附录 G。

附录 A
(资料性附录)
参考资料与一些技术方法模型

A.1 不同工作比例尺遥感数据空间分辨率的参考计算方法

可以根据遥感数据不同空间分辨率确定出最大工作比例尺，其经验公式为

$$P = M / (2500R) \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

M ——最大工作比例尺分母；

R ——1mm单位人眼能够分辨的像元素（通常情况下，人眼分辨率一般在0.25~0.3mm左右，即1mm单位距离内人眼能分辨3~4个像元）；

P ——像元的大小，单位是m。

由（A.1）式，可以得到不同工作比例尺所需的遥感数据空间分辨率参考表A.1。

表A.1 不同工作比例尺的遥感数据空间分辨率参考表

比例尺	1: 1万	1: 2.5万	1: 5万	1: 10万	1: 25万
像元大小	1.25~1.5m	2.5~3.0m	5.0~6.0m	10.0~12.0m	25~30.0m

A.2 遥感数据产品分级

遥感数据产品一般分成0~4级，具体分级见表A.2。

表A.2 遥感数据产品分级表

产品分级	产品名称	产品说明
0级 (Level 0)	原始数据产品	未经任何处理的数据产品。
1级 (Level 1)	辐射校正数据产品	经过辐射校正处理的数据产品。
2级 (Level 2)	系统几何校正数据产品	经过了辐射校正，并利用卫星所提供的轨道和姿态等参数、以及地面系统中的有关处理参数对原始数据进行了几何粗校正。
3级 (Level 3)	几何精校正数据产品	经过了辐射校正，且在几何校正过程中利用地面控制点对系统几何校正模型进行修正，使之更精确地描述卫星与地面位置之间的关系。产品的几何精度在亚像元量级上。
4级 (Level 4)	正射校正数据产品	在3级产品基础上采用DEM数据做了正射投影。

A.3 辐射校正几种方法

A.3.1 回归方程调整法

由于大气对波长大的散射率小，波长小的散射率大。相比于可见光波段，大气对近红外波段，尤其是短波红外波段的影响近似于0。而遥感数据的波段之间有很强的线性相关关系。故可以通过短波红外波段（若无此波段，可选近红外波段）与其他波长小的波段数据建立回归方程

$$L_i = AL_s + B_i \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

L_s ——短波红外波段；

L_i ——待校正的波长小的波段；

A ——回归方程的斜率；

B_i ——截距，是 L_i 波段影像的大气修正值。这样将 L_i 波段影像上的所有像元灰度值都减去 B_i ，即可修正其大气噪声。

A.3.2 直方图调整法

对影像所有波段数据统计直方图并求出最小、最大值。短波红外波段数据的最小值应该为 0，近红外波段数据最小值会接近于 0，而其他波段数据的最小值即为大气噪声值。相应波段影像所有像元亮度值减去其大气噪声值即可。为了确保精确，要求直方图统计针对每个波段的全景影像数据。

A.3.3 平均场定标

在高亮度纯净地物区域选择一个样区，并求出样区中像元的灰平均值。然后对影像中每一个像元都除以该灰度平均值，计算公式：

$$\rho(\lambda)_i = D_i / Average_i \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

$\rho(\lambda)_i$ ——该像元校正后在波段 i 上计算得到的反射率值；

D_i ——在波段 i 上像元的灰度值；

$Average_i$ ——选取样区在波段 i 上的像元灰度平均值。

A.3.4 内部平均相对反射率定标

对整个影像的灰度值进行平均，得到整幅影像的平均参考光谱，对影像中每一像元的灰度值都除以该平均参考光谱，便得到定标后的光谱遥感影像。计算公式：

$$\rho(\lambda)_i = D_i / Average_i \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

$\rho(\lambda)_i$ ——该像元校正后在波段 i 上计算得到的反射率值；

D_i ——在波段 i 上像元的灰度值

$Average_i$ ——波段 i 上所有像元的灰度平均值。

A. 4 遥感影像数字镶嵌的色调匹配与拼接线处理

A. 4.1 色调匹配

不同时相或者成像条件存在差异的影像，由于要镶嵌的影像辐射水平不一样，影像的灰度差异较大，即使同一地物也存在灰度值的差异，所以要对各景（幅）影像进行灰度匹配。灰度值匹配是通过调整影像的均值和方差，使影像间的灰度分布趋于一致从而达到消除影像灰度值差异的目的。具体做法是：首先在影像重叠区，分别求出各自的均值和方差，然后选出一幅参考影像，对另一幅影像进行变换，使均值和方差与参考影像一致。计算公式如下：

$$I'_b = \frac{\sigma_a}{\sigma_b} (I_b - \bar{I}_b) + \bar{I}_a \dots\dots\dots (A. 5)$$

式中：

I'_b ——变换后b影像的灰度值；

I_a 、 I_b 分别为a影像（参考影像）与b影像变换前的灰度值；

\bar{I}_a 、 \bar{I}_b 和 σ_a 、 σ_b 分别为影像a、b的均值和方差。

A. 4.2 拼接线处理

这个工作可分为重叠区拼接线（由多个拼接点组成）的寻找以及拼接缝的消除。

影像一般是采用折线镶嵌的，为了将拼接线效应减少到最低限度，需采用人-机交互方式，在影像上寻找拼接点，尽量避开灰度差异明显的部位，消除接线现象。多波段影像的镶嵌，为了保证彩色合成图像拼接色调的一致性，每个波段必须用相同的接边方案进行处理。

选好拼接点后，若发现两相邻影像接缝处存在灰度差别，就需进一步做灰度平滑处理，以消除拼接缝。在每个拼接点两侧的某个邻域内，取两幅影像灰度的加权值作为新的灰度值，权系数在两幅影像间成反向线性变化，公式为：

$$I = \frac{1}{W} [iI_2 + (W - i)I_1] \quad 0 \leq i \leq W - 1 \dots\dots\dots (A. 6)$$

式中：

I ——经亮度平滑后得到的像元灰度值；

W ——亮度平滑区的宽度；

I_1 、 I_2 ——两幅影像像元灰度值。

A. 5 主成分分析最佳波段组合选择

A. 5.1 由遥感图像所有波段数据计算相关矩阵，并对每个单波段计算方差；

A. 5.2 按照方差大，且波段间的相关系数小的原则把所有波段进行初步分组；

A. 5.3 对初步分组的波段组合求取 *OIF* 指数，选取那些 *OIF* 指数较大的波段组合作为预选波段组合。*OIF* 的计算公式如下：

$$OIF = \sum_{i=1}^m S_i / \sum_{i=2}^m \sum_{j=1}^{i-1} |R_{ij}| \dots\dots\dots (A. 7)$$

式中：

S_i ——第 i 个波段的标准差；

R_{ij} —— i 、 j 两个波段的相关系数；

m ——波段数；

A. 5. 4 根据附录B的表B. 1和附录E的表E. 1，结合地质资料，检查每组预选波段组合是否含有区分某类（或某些）岩石（矿物）的波段序偶；

A. 5. 5 把含有能区分某类（或某些）岩石（矿物）波段序偶的波段组合选择为最佳波段组合；这样的波段组合可以是多组。

附 录 B
(资料性附录)

不同光谱范围岩石反射波谱分类

不同光谱范围岩石反射波谱分类见表B.1。

表 B.1 不同光谱范围岩石反射波谱分类

类别	亚类	岩石名称
第 I 类 0.4~1.0 μm 有强吸收带的岩石	I-1 以 Fe ³⁺ 吸收带 为主的岩石	红色砂岩、长石砂岩、含铁砂岩、紫色砾岩、红色流纹岩、褐色黑曜岩、淡红色凝灰岩、玄武质火山渣、红色石英岩、红色板岩、粉红色粗面岩、粗面斑岩、红色钾长花岗岩
	I-2 以 Fe ²⁺ 吸收带为主, 兼有 Fe ³⁺ 吸收 带的岩石	橄榄岩、纯橄榄岩、辉岩、苏长辉长岩、苏长斑岩、黑色黑曜岩、珍珠岩、绿色凝灰岩、绿泥石片岩、角闪石片岩、绿色石英岩、灰绿色板岩、海绿石砂岩
第 II 类 2.08~2.35 μm 有强吸收带的 岩石	II-1 以 CO ₃ ²⁻ 吸 收带为主	灰岩、白云质灰岩、白云岩、大理岩、菱镁矿大理岩、透闪石大理岩、方柱石大理岩、钙质页岩、钙质片岩、白云质片岩
	II-2 以 OH ¹⁻ 吸 收带为主	含绢云母、粘土、透闪石、滑石较多的浅色片岩类,绢云母化、云英岩化、泥化的酸性-中酸性火成岩及浅粒岩、绢英岩、次生石英岩、绢云母千枚岩
第 III 类 0.4~1.0(1.65) μm 及 2.08~2.35 μm 均有强吸收带 的岩石	III-1 有 Fe ²⁺ 、Fe ³⁺ 、Mn ²⁺ 和 CO ₃ ²⁻ 的强吸收带	含铁灰岩、白云岩、钙质砂岩、磁铁大理岩、粉红色大理岩、含锰灰岩、大理岩、矽卡岩化大理岩、蛇纹石大理岩
	III-2 有 Fe ²⁺ 、Fe ³⁺ 、Mn ²⁺ 、 OH ¹⁻ 、Cr ³⁺ 的强吸收带	蛇纹石化橄榄岩、蚀变的中性-中基性火成岩、珍珠岩、绿色板岩、石英岩、含绿泥石或次闪石的绿色片岩、蚀变或退变质的含角闪石或黑云母的片岩、片麻岩、绿泥石或次闪钠长片麻岩、角闪石片岩、角闪石岩、角闪岩、铁质胶结的碎屑岩、伊利石页岩
	III-3 在 2.08~2.35 μm 有 吸收带的岩石	绿帘石千枚岩、片岩、绿帘石钠长石片麻岩、黝帘石角闪岩、绿帘石化、钠黝帘石化中性、中基性火成岩类
第 IV 类 在 0.4~2.5 μm 均 无强吸收带的岩石		花岗岩、二长岩、石英二长岩、花岗闪长岩、正长岩、粗面岩、响岩、英安岩、安粗岩、浅色流纹岩、石英砂岩、石英岩、浅粒岩
第 V 类 在 0.4~2.5 μm 有 强吸收特征的岩石		玄武岩、橄榄石玄武岩、安山玄武岩、黑曜岩、玻斑岩、辉石岩、辉长岩类、辉绿岩类、闪长玢岩、角闪安山岩、含炭泥质灰岩、炭质页岩、板岩、千枚岩、石墨片岩、磁铁石英片岩

附 录 C
(资料性附录)

400~2500nm 范围主要光谱段的矿物蚀变信息的诊断谱带

400~2500nm范围主要光谱段的矿物蚀变信息的诊断谱带见表C. 1。

表 C. 1 400~2500nm 范围主要光谱段的矿物蚀变信息的诊断谱带

光谱段序号	波长 (nm)	矿物蚀变信息含义
1	440~460	Fe ²⁺ 及 Fe ³⁺ 的矿物吸收
2	460~480	地植物制图的叶绿素吸收
3	500~520	Fe ²⁺ 的矿物吸收
4	540~560	Fe ²⁺ 的矿物吸收
5	660~680	地植物制图的叶绿素吸收
6	680~700	光谱“蓝移”的红边, Fe ²⁺ 的矿物吸收
7	860~880	Fe ³⁺ 的矿物吸收
8	900~1000	Fe ²⁺ 的矿物吸收
9	1892~1924	H ₂ O 吸收
10	2082~2114	NH ₄ ⁺ 矿物吸收 (水铵长石等)
11	2146~2178	OH 矿物吸收 (叶腊石等)
12	2178~2210	Al-OH 矿物吸收 (高岭石、明矾石等)
13	2274~2305	Mg-OH 矿物吸收 (滑石等)
14	2303~2336	CO ₃ ²⁻ 矿物吸收 (方解石、白云石等)

附 录 D
(资料性附录)

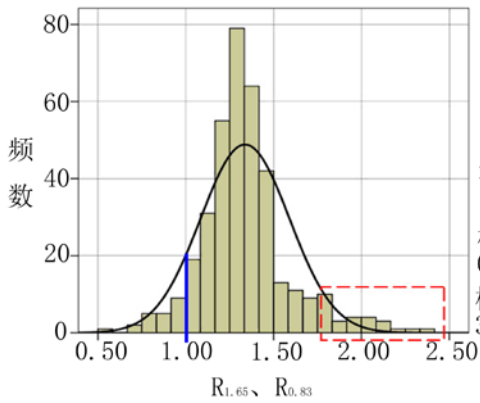
不同干扰或蚀变异常在二维散点图中的形态与定位原则

不同干扰或蚀变异常在二维散点图中的形态与定位原则见表D. 1。

表 D. 1 不同干扰或蚀变异常在二维散点图中的形态与定位原则

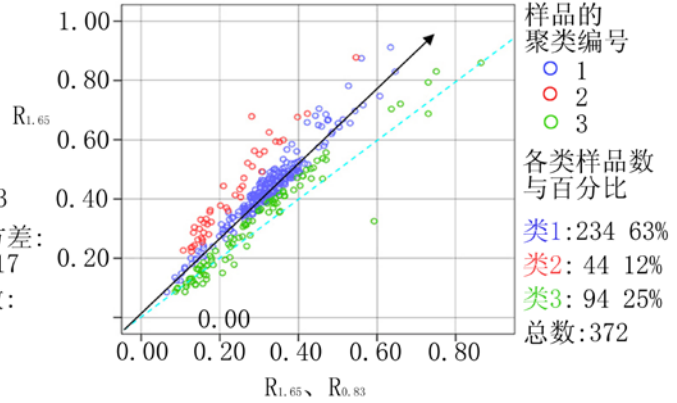
干扰或蚀变特征		分散型分布		聚集型分布		
		弱谱带	中强谱带	弱谱带	中强谱带	强谱带
干扰椭圆	是否出现		植被类会出现干扰椭圆；其它地类不一定出现干扰椭圆		会出现干扰椭圆	会出现干扰椭圆
	所处位置		枝生于背景椭圆一侧		枝生于背景椭圆一侧	枝生于背景椭圆一侧
干扰或蚀变聚类	是否出现		出现干扰或蚀变聚类	当分布面较大时，会出现干扰或蚀变聚类	出现干扰或蚀变聚类	
	所处位置		位于背景椭圆短轴方向两侧边界上	枝生于背景椭圆一侧	枝生于背景椭圆一侧	
干扰或蚀变点群	是否出现		出现干扰或蚀变点群	出现干扰或蚀变点群		
	所处位置		位于背景椭圆长轴方向的两端	位于背景椭圆短轴方向两侧边界上		
混入背景		大多情况下混入背景椭圆的低值端	当分布很散且累计面积很少时则混入背景椭圆的高值端			
<p>注1：干扰椭圆、干扰聚类、干扰点群的定义参见术语和定义。</p> <p>注2：分散式分布的干扰或蚀变异常，由于受背景光谱混合的影响，除植被之外，大多数情况下只会在背景椭圆长轴方向两端上的出现干扰（或蚀变）点群；只有少数会在背景椭圆短轴一侧出现干扰（或蚀变）聚类。</p> <p>注3：表格中的蚀变是指蚀变异常。蚀变异常特征同干扰特征类似，唯一不同的是几乎不会出现类似于干扰椭圆的蚀变异常椭圆，最多出现蚀变异常聚类。这是因为蚀变异常很少具有有些干扰地物那么强的特征谱带。</p>						

附录 E
(资料性附录)
野外测试光谱数据分析示例



a) $R_{1.65}$ 、 $R_{0.83}$ 比值的直方图

(蓝色线是比值为 1.0 的分界线, 红色虚线框为蚀变异常类)

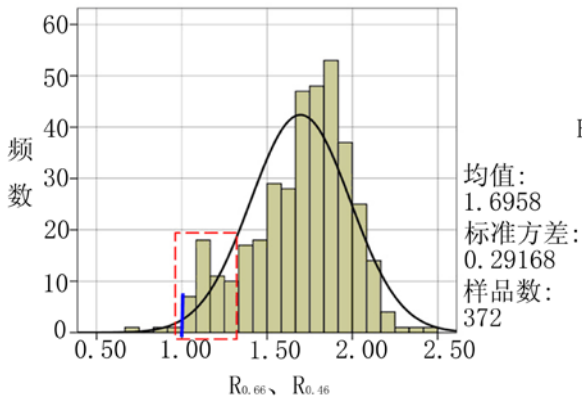


b) $R_{1.65}$ 、 $R_{0.83}$ 的二维散点图

($R_{1.65}=1.30R_{0.83}+0.02$, $R^2=0.94$)

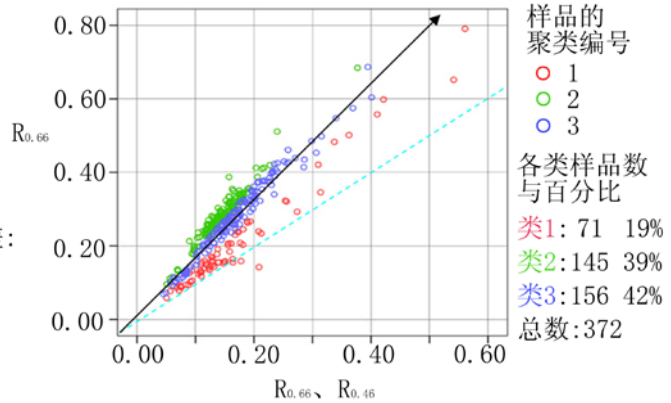
图 E.1 $R_{1.65}$ 、 $R_{0.83}$ 比值直方图与二维散点图

(散点图的红色点群同直方图的红色虚线框相对应)



a) $R_{0.66}$ 、 $R_{0.46}$ 比值的直方图

(蓝色线是比值为 1.0 的分界线, 红色虚线框为蚀变异常类)



b) $R_{0.66}$ 、 $R_{0.46}$ 的二维散点图

($R_{0.66}=1.63R_{0.46}+0.01$, $R^2=0.97$)

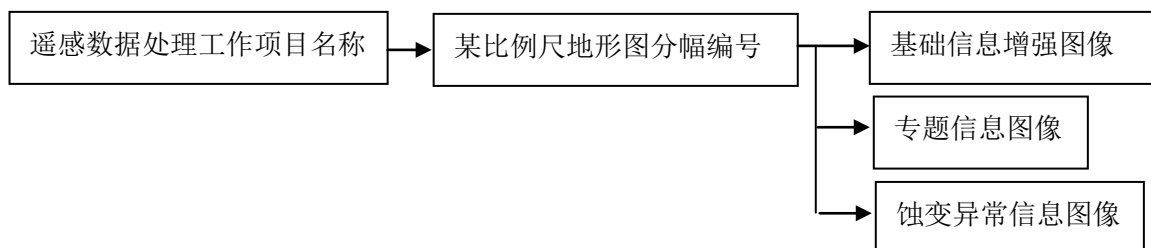
图 E.2 $R_{0.66}$ 、 $R_{0.46}$ 比值直方图与二维散点图

(散点图的红色点群同直方图的红色虚线框相对应)

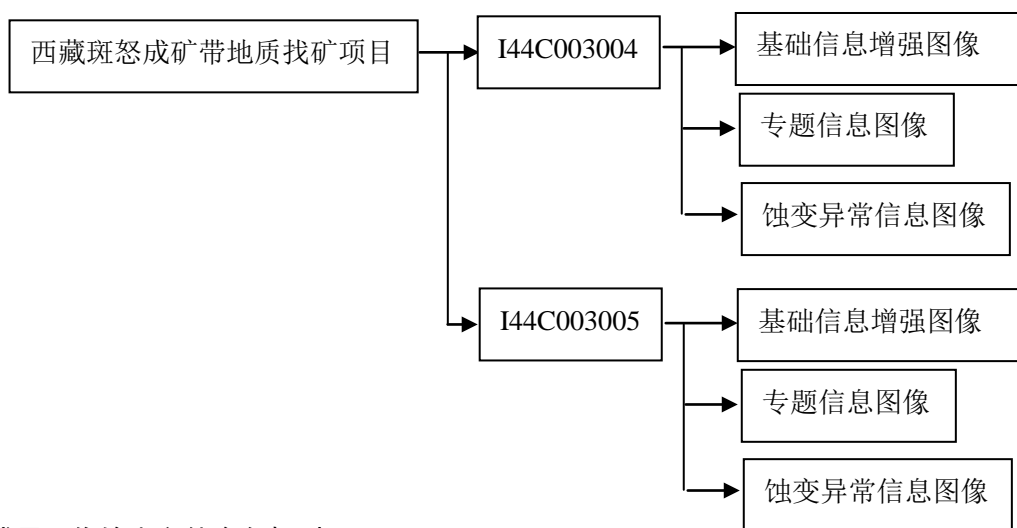
附录 F
(资料性附录)
成果图像输出文件存储及命名规则

F.1 成果图像输出文件的存储

成果图像以工作区所在同等比例尺地形图的分幅编号为存储单元，每幅图内的所有图像文件存储在一个文件夹内，文件夹使用该地形图分幅编号进行命名，该文件夹下包含基础信息增强图像、专题信息图像和蚀变异常信息图像三个子目录。文件存储的目录结构为：



如：西藏斑怒成矿带地质找矿项目遥感数据处理的目录结构为：



F.2 成果图像输出文件命名规则

每个成果图像输出文件名，以本幅地形图分幅编号、处理技术方法的汉字简称（或英文缩写）和参加运算的波段、参数说明等三部分组合而成，文件名称结构为：

地形分幅编号+处理技术方法的汉字简称或英文缩写（波段、参数等说明）

这里，“（）”为单字节括号；波段、参数等说明要求尽可能简洁。

如：TM5 与 TM7 比值运算增强成果图像，可命名为 I44C003004 比值（TM5 比 TM7）；遥感蚀变异常信息成果图像，可命名为 I44C003004 蚀变信息提取（由 TM3、TM4 提取的铁化）。

附录 G

(资料性附录)

多光谱遥感数据处理技术报告编写提纲

第一章 前言

- 第一节 工作来源
- 第二节 数据处理目的任务
- 第三节 遥感数据与辅助数据概况

第二章 多光谱遥感数据处理

- 第一节 数据处理基本流程
- 第二节 应用的主要技术方法
- 第三节 主要结果示例

第三章 多光谱遥感数据处理结果检查与成果图像提交

- 第一节 数据处理结果检查（检查与修改过程）
- 第二节 成果图像提交

第四章 结语

参 考 文 献

- [1] 陈述彭, 主编. 遥感大辞典[M]. 北京: 科学出版社, 1990
- [2] Kenneth R.Castleman[美国]著, 朱志刚, 林学阎, 石定机, 等译. 数字图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002
- [3] 方鸿宾, 赵福岳, 等著. 1:25万遥感地质填图方法和技术[M]. 北京: 地质出版社, 2002
- [4] 万余庆, 谭京龙, 周日平, 编著. 高光谱遥感应用研究[M]. 北京: 科学出版社, 2006
- [5] 郭华东, 等著. 感知天地—信息获取与处理技术[M]. 北京: 科学出版社, 2000
- [6] John R.Jensen 著, 陈晓玲, 田礼乔, 吴忠宜, 等中文导读. 遥感数字影像处理导论[M]. 北京: 科学出版社, 2007
- [7] 沈焕峰, 钟燕飞, 王毅, 等编. ENVI遥感影像处理方法[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2009
- [8] 梅安新, 彭望球, 秦其明, 等编著. 遥感导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005
- [9] 赵英时, 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003
- [10] Robert A.Schowengerdt[美国]著, 微波成像技术国家重点实验室, 译. 遥感图像处理模型与方法(第三版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010
- [11] 贾永红, 著. 多源遥感影像数据融合技术[M]. 北京: 测绘出版社, 2005
- [12] 徐青, 张艳, 耿则勋, 邢帅, 等编著. 遥感影像融合与分辨率增强技术[M]. 北京: 科学出版社, 2005
- [13] 曲家惠译, H·丹尼尔等, 陆地卫星数据用于热液蚀变填图[J], 遥感与地质, 1990, (1): 33~37
- [14] 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
- [15] 王润生, 杨苏明, 阎柏琨. 成像光谱矿物识别方法与识别模型评述[J]. 国土资源遥感, 2007, (1): 1~9
- [16] 张远飞, 吴德文, 朱谷昌, 等. 遥感蚀变信息检测中背景与干扰问题的研究[J]. 国土资源遥感, 2009, (2), 22~26
- [17] 张远飞, 吴德文, 张良中, 等. 高光谱数据的波段序结构分析与应用研究[J]. 国土资源遥感, 2010 (1): 30~38
- [18] 张远飞, 袁继明, 朱谷昌, 等. 遥感蚀变信息提取中的干扰因素研究与消除对策[J]. 遥感信息, 2010, (6), 19~25
- [19] 张玉君, 曾朝铭, 陈薇. ETM+(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
- [20] 丛丽娟, 况朱所, 丛立民, 等. 利用ASTER数据提取蚀变异常方法研究[J]. 河南理工大学学报(自然科学学报), 2007 (6): 652~658