中国地质调查局
地质调查专报E0001号

1:25万
遥感地质填图方法和技术

方洪宾　赵福岳　等著



地质出版社

1:25 万

遥感地质填图方法和技术

1:25 WAN YAOGAN DIZHI TIANTU FANGFA HE JISHU

ISBN 7-116-03667-9

9 787116 036673 >

ISBN 7-116-03667-9

P-2296 定价：30.00 元

中国地质调查局
地质调查专报 E0001 号

1:25 万遥感地质填图方法和技术

方洪宾　赵福岳　和正民　刘　刚
张瑞江　张幼莹　党福星　张新生　著
段　鹏　李建存　杨清华　黄诗峰

地质出版社
·北　京·

内 容 提 要

本书以航天遥感技术为手段，以新疆阿尔金山、内蒙古得尔布干地区为试验样本，从1:25万遥感地质填图应用角度，系统地介绍了遥感地质填图过程中基础卫星数据源的选取、影像图的制作方法和规范、填图单元建立的划分方法、成果的表达形式、GIS支持下的信息集成方法技术，为1:25万区域遥感地质填图提供了具有推广应用价值的工具。

图书在版编目（CIP）数据

1:25万遥感地质填图方法和技术/方洪宾等著.-北京：地质出版社，2002.10
ISBN 7-116-03667-9

Ⅰ.1… Ⅱ.方… Ⅲ.遥感地质调查-地质填图 Ⅳ.P623.2

中国版本图书馆CIP数据核字（2002）第065185号

责任编辑：赵俊磊 陈军中
责任校对：李 玫
出版发行：地质出版社
社址邮编：北京海淀区学院路31号，100083
电 话：(010) 82324508（邮购部）
网 址：http://www.gph.com.cn
电子邮箱：zbs@gph.com.cn
传 真：(010) 82310759
印 刷：北京中科印刷有限公司
开 本：787×1092 1/16
印 张：10.25 图版：18页
字 数：230千字
印 数：1—800册
版 次：2002年10月北京第一版·第一次印刷
定 价：30.00元
ISBN 7-116-03667-9/P·2296

（凡购买地质出版社的图书，如有缺页、倒页、脱页者，本社发行处负责调换）

前　言

区域地质填图是国民经济建设的基础工作。为了全面提高区调质量、加快区调步伐，尤其是空白地区的1:25万区域地质填图，选择高新技术应用，探索和研制全新的填图方法显得十分重要。为此中国地质调查局1999年10月下达了“1:25万基础调查中遥感方法技术”研究项目，目的是通过遥感技术在1:25万遥感地质填图中的应用研究，探索总结裸露区、植被覆盖区的1:25万遥感地质填图方法和工作程序。

研究工作中选择新疆阿尔金山中段裸露区、内蒙古得尔布干植被覆盖区并各选4个1:25万国际标准图幅作为1:25万遥感地质填图方法研究的试验区和示范图幅。

在研究工作中，以1:25万遥感地质填图方法探究为目标，通过两地区1:50万、1:25万、1:10万、1:5万系列卫星影像图的制作，阿尔金山中段地区1:50万区域遥感地质解译编图和瓦石峡幅、苏吾什杰幅、且末县一级电站幅、奥依亚依拉克幅1:25万遥感地质填图应用，内蒙古得尔布干地区1:100万区域遥感地质解译编图和阿龙山镇幅、莫尔道嘎幅、海拉尔市幅、额尔古纳右旗幅1:25万遥感地质填图应用，从可行性、实用性和应用推广性角度出发，详细分析研究和探讨了不同填图景观区遥感数据种类选择、最佳波段组合选取、基础卫星影像地图的制作方法、遥感地质填图单元解译的建立方法、成果图件表达方式和GIS支持下的1:25万遥感地质填图集成，实现了1:25万遥感地质填图卫星影像图制作标准化、遥感地质填图方法系列化、成果图件表达方式规范化和填图过程中数据输入、输出、格式转换、图像增强处理、信息提取、机助解译、制图等系统集成。建立起1:25万遥感地质填图全工作过程的方法技术体系、工作流程。这一研究项目于2001年12月完成，并于2002年4月通过了中国地质调查局所组织的专家组评审。本书是在上述研究成果的基础上，全面系统地介绍了1:25万遥感地质填图所涉及的方法技术、应用原则和标准，以及相应的技术规则。

本书第一章由方洪宾、张幼莹、杨清华编写；第二章由赵福岳、刘刚、党福星、张新生编写；第三章由和正民、李建存、黄诗峰编写；第四章由赵福岳、刘刚、李建存编写；第五章由赵福岳、方洪宾编写；第六章由张瑞江、段鹏编写；前言、结论由赵福岳、方洪宾编写；全书最后由赵福岳、方洪宾统撰定稿。研究工作自始至终得到中国地质调查局、中国国土资源航空物探遥感中心等各级领导的大力支持，以及广西地调院、湖南地调院、黑龙江地调院、陕西地调院和河北地调院的密切配合，在此一并表示感谢。

作者

2002.7

目　录

前　言
第一章　基础遥感影像图制作方法及应用评价 …… (1)
第一节　遥感数据类型选择 …… (1)
一、遥感数据种类 …… (1)
二、1:25 万遥感地质填图应用数据选择 …… (4)
三、数据类型确定 …… (4)
第二节　卫星数据预处理 …… (4)
一、多光谱数据预处理 …… (5)
二、微波遥感数据预处理 …… (5)
第三节　卫星数据纠正方法 …… (7)
一、多光谱数据几何纠正 …… (7)
二、微波遥感数据几何纠正与配准 …… (10)
三、中巴资源卫星数据处理 …… (11)
第四节　多源数据融合技术 …… (13)
一、图像色度空间变换原理 …… (13)
二、不同分辨率图像的融合 …… (14)
第五节　系列影像图制作 …… (16)
一、波段组合选择 …… (17)
二、数字镶嵌 …… (17)
三、数据分层管理 …… (20)
四、计算机自动图件整饰方法 …… (20)
五、精度评价 …… (24)
第六节　系列影像图应用目的评价 …… (26)
一、裸露区系列影像图应用目的评价 …… (26)
二、覆盖区系列影像图应用目的评价 …… (27)
第七节　1:25 万遥感基础影像图制图标准 …… (28)
一、适用范围和引用标准 …… (28)
二、基本技术要求 …… (28)
三、原始资料的准备 …… (29)
四、数字图像处理 …… (29)
五、整饰与注记 …… (30)
六、检查与验收 …… (31)

第二章　1:25 万遥感填图方法技术系列 …… (32)
第一节　传统地质填图方法概述 …… (32)
一、岩石地层填图方法 …… (32)
二、岩石谱系单位填图方法 …… (32)
三、生物地层填图方法 …… (33)
四、年代地层填图方法 …… (33)
五、磁性地层填图方法 …… (33)
六、化学地层填图方法 …… (34)
第二节　遥感影像信息提取方法研究 …… (34)
一、影像单元法 …… (34)
二、信息增强处理方法 …… (39)
三、航磁资料相关信息提取处理 …… (55)
第三节　遥感填图单位建立划分方法 …… (58)
一、影像岩石单元法 …… (58)
二、综合分析方法 …… (63)
第四节　遥感地质填图野外调查方法及遥感解译精度评价 …… (71)
一、影像单元-剖面法 …… (71)
二、影像岩石单元-剖面法 …… (74)
三、遥感地质解译精度评价 …… (75)
第三章　1:25 万遥感地质填图集成系统 …… (78)
第一节　集成系统概述 …… (78)
一、集成系统的方法论 …… (78)
二、集成系统的多维整体视图 …… (78)
三、集成系统的层次结构 …… (79)
四、集成系统的动态交互 …… (79)
五、地理信息系统集成的现状 …… (79)
第二节　1:25 万遥感地质填图集成 …… (81)
一、集成系统结构 …… (81)
二、集成系统软件平台的选择及开发方案 …… (81)
三、集成系统的功能 …… (83)
第三节　1:25 万遥感地质填图集成应用 …… (85)
一、数据库建设 …… (85)
二、遥感信息处理分析交互解译流程 …… (90)
三、集成系统支持下的信息提取 …… (94)
四、专题制图、结果输出 …… (104)
第四章　遥感地质成果图件系列编制及标准化研究 …… (105)
第一节　遥感影像单元图的编制 …… (105)
一、编图技术流程 …… (105)
二、编图应用 …… (105)

三、编图方法技术及精度要求 …… (108)
四、影像单元图在遥感地质解译编图和区域地质调查中的指导作用 …… (109)
第二节 遥感初步解译地质图编制 …… (109)
一、编图技术流程 …… (110)
二、编图应用 …… (110)
三、编图方法技术及精度要求 …… (114)
第三节 遥感地质图的编制 …… (114)
一、编图技术流程 …… (114)
二、野外地质调查 …… (114)
三、填图单元的修订 …… (117)
四、综合分析整理 …… (118)
五、图画编辑 …… (118)
六、遥感地质图的成图 …… (118)
七、填图系统技术及精度要求 …… (118)
第四节 数字图件制作 …… (119)
一、地理底图数字化与编绘要求 …… (119)
二、影像单元、遥感地质解译图层数字化与编绘要求 …… (120)
三、系列遥感影像地图制作 …… (121)
四、成果图件整图编辑与输出表达 …… (121)
五、1:25 万遥感地质图件整饰规定 …… (122)
六、图件的出版印制与数字化光盘制作 …… (122)
第五章 遥感地质填图作用评价与工作流程 …… (123)
第一节 1:25 万遥感地质填图作用评价 …… (123)
一、解决基础地质问题的能力和作用 …… (123)
二、遥感填（编）图质量与速度评价 …… (125)
第二节 遥感地质填图基本工作流程 …… (128)
一、前期工作准备 …… (128)
二、野外地质踏勘 …… (129)
三、遥感初步解译地质图编制 …… (130)
四、野外地质调查 …… (131)
五、室内综合分析整理 …… (132)
第三节 1:25 万遥感地质填图方法技术体系结构及路线 …… (133)
一、体系结构 …… (133)
二、方法技术路线流程 …… (133)
第六章 1:25 万遥感地质填图应用 …… (136)
第一节 1:25 万苏吾什杰幅遥感地质填图 …… (136)
一、交通位置和自然地理概况 …… (136)
二、地层单元解译划分 …… (136)
三、侵入岩解译与单元划分 …… (140)

四、构造 …… (145)
五、矿产 …… (146)
第二节 莫尔道嘎镇幅 1:25 万遥感地质填图 …… (147)
一、概述 …… (147)
二、地层单元解译划分 …… (148)
三、侵入岩填图单位划分 …… (150)
四、构造 …… (151)
五、地质构造发展简史 …… (152)
结论 …… (155)
参考文献 …… (156)

第一章　基础遥感影像图制作方法及应用评价

遥感信息所具有的宏观性、综合性、周期性、翔实性、客观性和时空变化多层性，使其不仅成为地学研究的重要工具，也是地学图件编制的重要信息源。遥感影像地图被各种专业人员广泛地接受，并成为重要的信息载体和成果表达方式之一。我们选择了内蒙古得尔布干植被分布茂密区和新疆阿尔金山干旱裸露区为试验区，着重介绍基础遥感影像图的制作方法、技术要求及应用评价，旨在为1:25万遥感地质填图总结、规范卫星影像图的制作方法、技术流程和相应的技术规范。

第一节　遥感数据类型选择

一、遥感数据种类

在区域地质调查中，应用遥感技术经历了从黑白航空相片目视解译到广泛应用多平台多传感器航空航天遥感各种信息的过程。目前随着传感器系统的探测能力、质量、品种和分辨率的大大提高，可供遥感地质应用的航空航天遥感数据越来越多，其应用领域也不断扩大，遥感数据处理、解译、成果和交流也正在逐渐向数字化和自动化方向发展。在中小比例尺的区域遥感地质调查中，已形成了以航天遥感数据为主，地面分辨率高的航空遥感为重要补充的技术格局；同时，遥感技术与地质、物化探等地学学科，以及其他领域的某些新技术、新方法（如GIS、GPS等）紧密融合，使区域地质调查中的遥感应用成为多学科、多技术互相渗透的综合应用体系。

目前国内使用的星载多光谱遥感系统主要为表1-1所列。

表1-1　目前常用的星载遥感技术系统

系统	LANDSAT4，5（TM）	LANDSAT7（ETM）	SPOT（多光谱）	SPOT（全色）	CBERS-1
光谱覆盖范围/nm	450～2350，1050～12500	450～2350，520～900	500～890	510～730	450～730，630～890，500～12500
波段数	7	8	3	1	11
地面覆盖范围/km	185	170	60	60	113，890，119.5
空间分辨率/m	30，120	30，15，60	20	10	19 5，256，77 8～156
覆盖周期	16d	16d	3～5次/26d	3～5次/26d	26d

从表 1-1 可以看出，TM 数据的光谱覆盖范围 0.45～2.35 μm，划分 7 个波段，最小的光谱间隔达 6 nm，除一个热红外波段分辨率为 120 m 外，其余分辨率均为 30 m，幅宽 185 km 整个波谱范围包括地球表面的各种再生资源与不可再生资源反映出的反射光谱及热辐射特性。由于 TM 探测器波段设置合理，多波段优化组合图像可满足不同类地质信息解译提取，且效果明显，价格适中，适用于 1:25 万区域地质填图应用。

ETM 数据的光谱覆盖范围，除全色波段外，与 TM 完全一致，其地质应用效果相同。由于 ETM 增设了 0.5～0.95 μm 的全色波段，分辨率为 15 m，这样就为最佳波段融合处理提供了方便，且使图像解像率提高，地质信息更加丰富，细节更加清晰，价格适中，是 1:25万遥感地质填图的理想数据。

SPOT 数据的光谱范围 0.5～0.89 μm，划分 4 个波段，其中 3 个多光谱波段分辨率为 20 m，全色波段分辨率为 10 m。由于其空间分辨率高，故图像信息丰富。因地面覆盖范围仅为 60 km，相当于 TM 的 1/3，单位成本高，故虽然是 1:25 万遥感填图的理想数据源，但受价格影响，实际应用难度较大。

CBERS-1 数据的光谱范围为 0.45～12.5 μm，划分为 11 个波段，其中 CCD 为 5 个，分辨率为 19.5 m；红外光谱扫描仪为 4 个，分辨率为 78～156 m；宽视场成像仪为 2 个，分辨率为 258 m。尽管 CBERS-1CCD 相机各波段的空间分辨率较高，但为用户提供的数据波段数较少。因此，给波段组合选择带来困难，无法完成最佳波段组合的选择。在遥感填图的实际应用过程中，可作为一种数据源使用。

合成孔径雷达成像技术可产生高分辨率目标图像，能直接显示目标物电磁波辐射特性的几何分布的成像雷达技术及其应用取得了重要进展。起初对 SAR 的应用研究是在机载条件下进行的。随着 1978 年 L 波段 Seasat SAR 的发射、1981 年 SIR-A 的上天及 1984 年数字记录的 SIR-B 的升空，特别是进入 20 世纪 90 年代，原苏联的 Almaz SAR、欧洲空间局的 ERS-1、ERS-2 SAR、日本的 JERS-1 SAR、加拿大的 Radarsat-1 SAR 和美国航天飞机成像雷达 SIR-C/X-SAR 的成功发射与运行，更是将微波遥感技术的应用与研究推向了高潮（表 1-2）。

表 1-2 主要在天星载合成孔径雷达系统特征

特 征	Almaz-1	ERS-1	ERS-2	JERS-1	Radarsat-1
发射日期	1991-03-31	1991-07-17	1995-04-21	1992-04-11	1995-11 28
设计寿命/a	2	3	3	2	5
轨道高度/km	300 或 360	785	785	568	798
波长 cm	S-波段 7 5～15	C-波段 3 75～7 5	C-波段 3 75～7 5	L-波段 15～30	C-波段 3 75～7 5
极化方式	HH	VV	VV	HH	HH
侧视角/（°）	20～70	23	23	35	10～60
幅宽/km	350	100	100	75	45～500
分辨率/m	10～30	30	30	18	6 25～100

RADARSAT-1 SAR 数据来自加拿大 1995 年发射的雷达卫星。该卫星具有不同的成像技术参数（表 1-3）。

从表 1-3 可以看出，RADRASAT-1 SAR 有 7 种不同的成像方式，每种方式对应着不同的分辨率、侧视角等参数。

在实际应用中，所采用的数据为 WIDE 模式成像，侧视角为 20°～49°，幅宽 150 km × 150 km，主要技术参数见表 1-4。

表 1-3 Radarsat-1 SAR 数据主要技术参数

波束方式	波束状态数	幅宽/km	侧视角/（°）	分辨率/m	视数/次
STANDARD	7	100	20～49	25	4
WIDE	3	150～165	20～39	30	4
FINE	5	45	37～48	6.25	1
EXTENTED HIGH	6	75	50～60	25	4
EXTENTED LOW	1	170	10～23	35	4
SCANSAR NARROW	1	305	20～46	50	2～4
SCANSAR WIDE	1	510	20～49	100	4～8

表 1-4 阿龙山地区 RADARSAT-1 SAR 数据主要技术参数

数据获取时间	图像大小	像元大小	波束模式	产品类型	极化方式	工作频率
2000-05-10	12849 × 12850	12.5 m	WIDE2	SGF 轨道图像	HH	5.3GHz

Radarsat-1 SAR 数据不仅仅提供了原始数据，而且提供了原始数据单个记录格式的描述、数据记录数、数据质量、数字信号直方图、处理后数据直方图、数据处理参数、卫星平台参数、姿态数据、辐射数据等，利用这些数据可以进行 Radarsat-1 SAR 数据的各种预处理。

机载遥感技术系统包括航空摄影（黑白、彩色、彩色红外）、光谱扫描（多光谱、热红外、成像光谱）、雷达等。目前区域地质调查中使用最多的航片是彩色红外航片，由于其空间分辨率和地面分辨率高，可满足区调填图各类地质体信息提取，但由于受数据形式、相片尺寸及价格限制，故在实际应用中难度较大；而成像光谱技术是 20 世纪 90 年代以来发展较快、应用前景巨大的遥感技术，已进入实用化的机载成像光谱系统为 NASA 的 AVIRIS、美国 GER 公司的 DAIS、澳大利亚的 HYMAP 成像光谱仪，我国 863-308 主题研制的 OMIS 模块化成像光谱仪也正在试运行中。成像光谱主要技术参数如表 1-5 所列，随着星载成像光谱系统的发射，成像光谱技术必将对区域地质与矿产勘查产生重大的影响。

表 1-5 目前常用的机载成像光谱技术系统

系统	AVIRIS	DAIS21115	HYMAP
光谱覆盖范围/nm	400～2500	400～12000	450～12000
波段数	224	211	130
行像元数	614	512～1024	512
总视场（FOV）/（°）	33	39	30
瞬时视场（IFOV）/mrad	1.0	3.3，2.2，1.1	5

二、1:25 万遥感地质填图应用数据选择

遥感地质应用的第一步是选择合适的遥感数据以满足从图像上识别地质体的需要，图像类型的选择依据为地面分辨率、光谱分辨率和时相分辨率，其中地面分辨率、光谱分辨率为图像优选的主要依据。在选择了合适的图像类型后，时相分辨率在特殊景观条件下具有重要意义。地面分辨率是传感器能分辨可显示地物的最小面积，线状大于 0.2 mm、面状大于 0.5 mm × 0.5 mm 的可显示地物，人眼均能识别。由于地质调查内容包括线状地物和面状地物，因此地面分辨率的选择应以最小面状地物的识别为准，选择图像理论上的最佳比例尺为：$B \leqslant L/P$，其中 B 为最佳比例尺，L 为可显示的最小线度，P 为像元点的边长。考虑到面状地物最小识别能力，L 取 0.5 mm 为宜，计算可知，目前常用的 TM、ETM、SPOT、CBERS-1 及 RADARSAT 卫星数据及航空遥感资料均可满足 1:25 万地质调查对遥感地面分辨率的需要。目前区域地质调查中应用的光谱主要为 0.38 ~ 2.5 μm 的可见光—短波红外段和 7.0 ~ 15.0 μm 热红外光谱段，各种岩石矿物在不同谱段具有不同的特征光谱，谱段的宽窄、范围对目标地质体的识别作用不同，通过选取合理的波段及图像处理方法能够有效地提取地质目标。从现有卫星数据看，TM/ETM、SPOT、CBERS 光谱范围均可不同程度地识别地质目标，其中尤以 TM/ETM 为最佳，RADARSAT 对云雪、植被等有一定的穿透能力，也是一种可选择的数据源。

三、数据类型确定

无论是航天遥感数据，还是航空遥感数据，均可作为 1:25 万区域地质调查的基础信息源。由于不同数据种类的光谱分辨率、空间分辨率以及地面覆盖范围、数据形式、地质应用效果和单位价格不同，同时结合 1:25 万遥感地质填图应用结果，在数据选择上得出如下结论：

（1）Landsat 类数据适合于中小比例尺区域地质调查，其优势为地面覆盖范围宽，光谱分辨率、空间分辨率满足地质信息提取要求，数据形式易于增强处理，图像信息丰富。尤其是 ETM 融合数据，极大地提高了空间分辨率，所以优于其他卫星数据。因此，ETM→TM→SPOT→CBERS-1 数据类型系列是遥感地质填图数据选取的最佳类型顺序。

（2）航空遥感数据地面分辨率高于卫星数据，反映出的地质信息丰富，微细信息清晰，适合于大比例尺区域地质填图。彩色红外→彩色→黑白相片是大比例尺区域地质填图数据源选取的最佳类型顺序。

第二节　卫星数据预处理

原始的遥感图像通常有少量的条带、噪声和云层覆盖，数字图像中的噪声和条带表现为灰度级记录错误或数据丢失，以及来自传感器接收或发射信号时的故障。用这样的图像制作影像地图会影响图像解译的清晰度和可靠性，必须对其进行处理，以提高信息的可识别性。

一、多光谱数据预处理

（一）多光谱图像的去噪声处理

实际上，噪声是一种高频信号，是以其灰度级与周围像元明显不同造成。不同图像产生噪声的强度及频率不同，因此，不可能有一种适合于所有图像的噪声消除算法。为此，我们选择了新疆阿尔金山地区一景有噪声的 TM 数据，并设计了专门的程序来检测消除斑点噪声。具体算法是将一个像元的灰度值与周围像元进行比较，差值明显高于周围邻接像元，该像元就被定义为噪声，它的灰度值用邻近像元灰度值来替代或取周围与它距离最小的数个像元的算术平均值，且这数个像元灰度值不存在灰度突变。用这种方法可以消除单像元的孤立噪声点，且不会改变图像的信息量和清晰度（彩图 1-1b）。对于面积分布较大的斑点噪声处理，可选择现有的几种主要方法进行，但利弊不同。其中，采用低通滤波可以有地效消除噪声，但同时也减少了其他有用的高频信息，为此对低通图像再进行高频滤波可以恢复部分高频信息。使用常规图像处理软件中的自适应滤波方法，如 Frost 自适应滤波（彩图 1-1c）、Lee 自适应滤波、Gamma Map 滤波等也有一定的效果，但图像的清晰度和信息量都有不同程度的降低。

（二）多光谱图像去条带处理

在 TM 图像上，条带的主要表现形式为：①图像数据行有若干相邻像元及整行丢失，图像上呈现白色条带。我们消除条带的具体做法是用“整行替代”算法，即用相邻行直接替代或用相邻两行的算术平均值去替代条带行（彩图 1-2b）；②图像数据行有若干相邻像元及整行与周围行明显不同，其消除条带做法除了用“整行替代”的方法去消除之外，还可以采利用傅里叶变换提取水平条带，如在阿尔金山干旱裸露地区的实验中也取得了一定的效果（彩图 1-2c）。具体方法是建立分解图像的傅里叶谱，穿过傅氏谱的垂直线表示水平条带，去掉这种垂直分量，然后再进行逆变换就可消除条带。

二、微波遥感数据预处理

微波遥感作为一种获取地球表面信息的重要技术手段，已经在国内外得到了广泛的应用和发展。随着人们对遥感应用中定位精度要求的提高，对遥感数据的处理技术也提出了更高、更细的要求，这种要求就是图像数据反映地物辐射特性的真实性和对地球表面几何位置的准确性，它们直接影响遥感技术应用的精度和广度。

（一）辐射标定

原始的 SAR 数据没有经过严格的辐射标定，因而数据所反映的地物辐射特性与实际地物本身的辐射特性之间存在一定程度的差异。这类 SAR 图像虽然能够满足一般的定性分析的精度要求，但是在很多实际应用中，往往要对图像进行定量分析，如模式识别、目标分类等。因此为了使 SAR 数据能够满足定量分析精度的要求，就必须要对其进行辐射标定工作。有关原始 SAR 图像辐射标定的算法较多，常用的算法是：

$$\sigma^{\circ} = I - K + 10\lg[|R_n^3/R_0^3||\sin\alpha_n/\sin\alpha_0||G_{sys0}/G_{sys}|]$$

式中：$I = 10\lg(DN_{ij})$；

σ°—— 反射系数；

DN_{ij}—— 像元(i,j)的灰度值；

K——辐射标定常数；

R_n——像元(i,j)的斜距；

R_0——参考斜距；

a_n——像元(i,j)的入射角；

a_0——参考入射角；

G_{sys}——被标定SAR图像的系统雷达天线增益；

G_{sys0}——确定K时的系统雷达天线增益。

辐射标定所需参数都可以直接从原始图像数据头文件中直接或间接获取，标定后的图像将原始图像灰度转换成后向散射系数。利用PCI软件可以完成对雷达数据的辐射标定的处理。

（二）微波图像噪声与斑点的弱化处理

当成像雷达发射的是纯相干波照射到目标时，目标上的随机散射面的散射信号与发射的相干信号之间的干涉作用会使图像产生相干斑点噪声。这种斑点噪声严重干扰了地物信息的提取与SAR图像的应用效果，噪声严重时，甚至可导致地物特征的消失。在图像信息提取时，这一现象往往产生假信息。因此，弱化斑点噪声对SAR图像的应用有着重要意义。

噪声平滑与弱化的最好方法是利用同一地区的不同探测方向的两幅或多幅雷达图像进行振幅或密度的配准和辐射纠正，计算其差值图像，就可以消除雷达数据本身固有的斑点噪声。其他方法还有：

1. 主成分分析法

RADARSAT-1 SAR数据的噪声由于其固有性质，在通过主成分变换后噪声往往分布在其中的某一个分量上。通过计算各分量的均值和方差就可以判断哪个分量是以噪声信息为主，而其他分量则为地物的微波散射信息。通常情况下，主成分分析具有以下特征：

（1）主成分分析的数据变换前后的方差总和不变，只是把原来的方差不等量地再分配到新的主成分波段影像中。

（2）第一主成分包含了多波段影像信息的绝大部分，其余主成分信息含量依次减少。

（3）各主成分的相关系数为零，即各主成分所含的信息内容不同。

（4）第一主成分相当于原来各波段的加权和，反映了地物总的反射或辐射强度；其余各主成分相当于不同波段组合的加权差值影像。

（5）第一主成分降低了噪声，有利于细部特征的增强和分析。

（6）对于有些特殊异常的专题信息，往往通过主成分分析后在第二以上主成分影像上得到增强。

对微波遥感数据的主成分分析可以采用不同时相的SAR数据、不同参数的SAR数据或不同方法处理后的同一SAR数据进行主成分变换，可以起到弱化噪声的目的。为不同方法处理后的同一SAR数据进行主成分变换后的SAR数据。

2. 中值滤波技术

中值滤波技术由于其原理是建立在像元及其领域的统计特征的基础上，因而也广泛地应用于雷达数据的噪声处理中。对$n \times n$大小的滤波核，处理后的中心点的像元值为该滤

波核处理前所有像元值的中间值（彩图 1-3b）。中值滤波算子的数学公式如下：

$$Y_{ij} = M(X_{ij}), i = 1,2,\cdots,n; j = 1,2,\cdots,n。$$

式中：X_{ij}——$n \times n$ 窗口中的第(i,j)像元的灰度值；

$M(X_{ij})$——$n \times n$ 窗口中所有像元值的中间值。

3. 滤波增强处理

由于散射信号产生的 SAR 图像，受大量“斑点”噪声影响，必须经过滤波预处理。针对雷达数据的固有的倍增噪声特征，设计的滤波算子是基于局部统计及噪声模型信息的，主要包括 Lee 滤波、Frost 滤波、Kuan 滤波、Gamma Map 滤波和 Average 滤波。许多在多光谱数据处理中使用的滤波算子如高通滤波、低通滤波、纹理滤波应用于雷达数据分析往往带入大量的人工信息，针对上述问题，工作中使用以下一些滤波算子。这些算子不仅能较好地滤去高频噪声，而且能较好地保持影像边缘和纹理信息；同时，处理后的图像相对于原始图像具有更好的对比性。尤以 Frost（彩图 1-3c）、Lee 及其增强滤波算子为佳。

目前常用的滤波有：①Frost 自适应滤波；②Lee 滤波；③Gamma Map 斑点滤波；④Frost 自适应增强滤波；⑤Lee 增强滤波；⑥Kuan 斑点滤波。

第三节　卫星数据纠正方法

利用卫星数据制作影像地图，由于轨道高，传感器扫描角较小，由地面高差引起的像点平面位移一般不大，可不做投影误差改正。需要考虑由于内部、外部误差所带来的点位平面位置的位移。若将误差控制在两个像元左右，就可以满足 1:25 万及以下比例尺成图的精度要求。

卫星地面接收站发送的数据一般都经过系统校正，由于 TM/ETM、SPOT 等多光谱遥感数据卫星数据比起早期的卫星图像有较好的几何精度，经系统校正后可以消除大部分误差的影响，存在的主要误差是点位的平面位移，可达 7～8 个像元，相当于实地 240～250 m（TM/ETM 数据）。误差主要由 NASA 星载数据发送的非连续性所引起的。所以可以采用控制点-多项式拟合校正方法加以校正。

控制点-多项式拟合校正方法是以若干控制点为已知点，采用最小二乘拟合法，建立图像坐标与大地坐标（一般以现有地形图为依据）的拟合方程，将图像配准到大地坐标系下，其实质就是图像与地形图的匹配问题，一般采用非直接匹配方法，它是根据变换后像元的坐标值用匹配方程反算回该像元在原图的位置，然后用重采样的方法确定变换后像元的值。匹配的精度主要取决于控制点集的精度和匹配方程的精度。对 TM/ETM 图像采用二次多项式拟合已能满足中小比例尺的精度要求，因此纠正控制点的分布和准确性决定纠正的精度。

一、多光谱数据几何纠正

（一）几何精纠正变换函数

TM/ETM 图像是卫星沿轨道运行，传感器来回扫描形成的多中心投影的二维图像，其构像方成为：

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_P = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{ST} + \lambda A_t R_e \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -f \end{pmatrix}$$

式中：$(X \quad Y \quad Z)_P^T$—— 图像的物点大地坐标；

$(X \quad Y \quad Z)_{ST}^T$—— 投影中心大地坐标；

A_t—— 姿态角旋转矩阵；

R_e—— 扫描角旋转矩阵；

λ—— 成像比例尺；

f—— 焦距。

采用多项式作为变换函数，消除非线性畸变。

$$X = A_0 + A_1 x + A_2 y + A_3 xy + A_4 x^2 + A_5 y^2 + \cdots$$

$$Y = B_0 + B_1 x + B_2 y + B_3 xy + B_4 x^2 + B_5 y^2 + \cdots$$

式中：X, Y—— 控制点的大地坐标；

x, y—— 图像上同名点的坐标；

A_i, B_i—— 多项式的变换参数。

消除非线性畸变，根据预先选择的控制点集，进行最小二乘法平差运算。误差方程为：

$$V_x = KA - L_x$$

$$V_y = KB - L_y$$

式中：$A = [A_0 \quad A_1 \quad A_2 \quad A_3 \quad A_4 \quad \cdots]^T$；

$B = [B_0 \quad B_1 \quad B_2 \quad B_3 \quad B_4 \quad \cdots]^T$；

$L_x = [X_1 \quad X_2 \quad \cdots \quad X_N]^T$；

$L_y = [Y_1 \quad Y_2 \quad \cdots \quad Y_N]^T$；

$$K = \begin{bmatrix} 1 & X_1 & Y_1 & X_1Y_1 & X_1^2 & Y_1^2 & \cdots \\ 1 & X_2 & Y_2 & X_2Y_2 & X_2^2 & Y_2^2 & \cdots \\ \vdots & & & & & & \\ \vdots & & & & & & \\ 1 & X_N & Y_N & X_NY_N & X_N^2 & Y_N^2 & \cdots \end{bmatrix};$$

N—— 控制点个数。

法方程式解求变换系数：

$$A = (K^TK)^{-1}(K^TL_x)$$

$$B = (K^TK)^{-1}(K^TL_y)$$

对于卫星图像来说，选择二次多项式作为变换函数已足以保证纠正的几何精度，又能减少运算量。

（二）重采样

采用非直接匹配方法进行几何变换，反算回像元的几何位置往往并不与原图像完全重合，因而，必须要用重采样方法通过插值确定输出像元的值。常采用的重采样方法有：邻

元法、双线性内插法和立方卷积法三种。

1. 邻元法

取与输出像元最近的输入像元值作为输出像元值。该方法保持原有的亮度值不变，计算工作量小，速度快，但输出图像连续性差，容易产生重复像元效应。

2. 双线性内插法

用输入图像上待定点附近4个最邻近像元值进行二维线性内插（图1-1），表达式为：

$$f(u,v) = (1-x)(1-y)f(i,j) + (1-x)yf(i,j+1) + x(1-y)f(i+1,j) + xyf(i+1,j+1)$$

如图1-1所示，未待定点的位置：

$$x = u - i$$

$$y = v - j$$

双线性内插法计算量比邻元法要大，图像连续性好，但易造成高频信息的损失，使图像变得模糊。

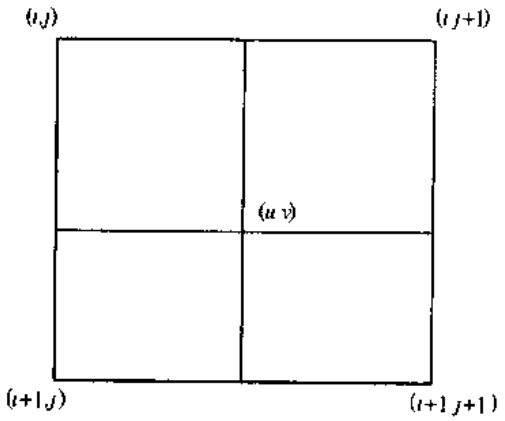


图1-1 双线性内插法示意图

3. 立方卷积法

用输入图像上待定点邻域4×4像元亮度值进行卷积内插运算，公式为：

$$I_p = I * W$$

式中：I_p—— 内插像元亮度值；

I—— 内插点邻域4×4像元亮度值矩阵；

W—— 权矩阵；

$*$—— 卷积运算符。

权矩阵 W 用 sinc 函数解求：

$$\text{sinc } x = \frac{\sin(\pi x/\Delta)}{\pi x/\Delta}$$

通常 $\Delta = 1$，则权函数为：

$$f_1(x) = |x|^3 - 2|x|^2 + 1 \qquad 0 \leqslant x < 1$$

$$f_2(x) = -|x|^3 - 5|x|^2 - 8|x| + 4 \qquad 1 \leqslant x < 2$$

$$f_3(x) = 0 \qquad x \geqslant 2$$

立方卷积法突出的优点是高频信息损失小，但计算量大。

（三）几何纠正

为了消除图像的几何畸变，我们分别选择植被茂密区和干旱裸露区各一景TM图像为样本进行几何纠正。其精度高低受控制点的选择数量、精度、分布，以及纠正函数确定等因素控制。

通常情况下，植被茂密区森林覆盖严重，干旱裸露区地物稀少，这样都会给控制点的选取带来一定困难。由于控制点-多项式的纠正方法属于最小二乘意义上的曲面拟合问题，所以，选择的控制点需要均匀分布，即图像的中心和8个象限上均有控制点。另外，还要有一定的多余观测点。如果选择的点数太少无法拟合出精度高的曲面，而点数太多又会增加无谓的冗余工作量，精度并不会有多少改善。针对这种情况，采用了以1:10万地形图

作为控制用图，纠正函数选择一次或二次（9 个点时选一次函数），点位分布基本均匀的处理原则。卫星数据及精度（单位：像元）情况如表 1-6、1-7

表 1-6　卫星数据情况如表

景　号	时　相	地貌特征
142/33	1999-08 23	干旱裸露区
122/24	1995-10-11	植被茂密区

表 1-7　试验区点位分布表

点数 / 景号	9 点	12 点	16 点	20 点	24 点	30 点
142/33	4 23	1 31	1 25	1 28	1 19	1 24
122/24	4 98	1 22	1 20	1 30	1 21	1 26

表 1-7 的结果表明：在点位分布均匀的前提下，选择 12 ~ 30 个控制点几何精度变化不大，因此认为控制点数目在 12 ~ 16 个点为宜，如纠正函数选择三次多项式，为了保证足够的多余观测，点数至少应为 14 个点。为了避免高频震荡，不宜选择四次以上的多项式。重采样选择立方卷积的方法，这样既保持了图像的连续性，又保留了高频信息。

二、微波遥感数据几何纠正与配准

（一）微波遥感数据几何纠正

几何纠正的目的是为了消除图像的几何畸变，保证 RADARSAT-1 SAR 数据的应用精度和与其他遥感数据、地质数据信息精确匹配，提高微波遥感数据对地质信息的分析能力。

合成孔径雷达遥感的成像方式完全不同于光学遥感的成像方式，它是靠接收地面目标后向散射回来的电磁波信号经相关合成处理而成像的主动式遥感。目标点成像的几何位置是由回波信号传输的时间和相位两个因素来决定的。因此，在成像几何关系上通常称 SAR 影像为距离投影。由于地形起伏的影响，距离投影的特点导致地面目标在 SAR 影像上产生前坡压缩，后坡拉伸、叠掩（坡顶返回的雷达电磁信号先于坡底被接收）和阴影（反向坡不被雷达透视等几何畸变）（图 1-2）。

通常，由于成像过程中存在上述几何畸变，因此对高差起伏较大的地区必须利用

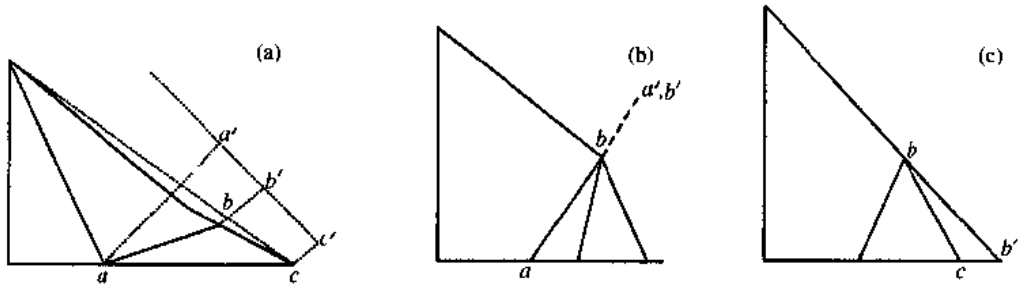


图 1-2　SAR 影像的几何畸变

（a）前坡压缩；（b）叠掩；（c）阴影

DEM 数据来纠正前坡压缩、叠掩、阴影等变形。实际工作中由于 DEM 数据获取的困难性，往往采用 1:5 万地形图选取控制点，来对微波遥感数据进行几何纠正。控制点的选择是在微波遥感图像上与地形图上选取容易确定的明显的固定同名地物点作为控制点，如道路交叉点、河流交叉点、河流拐弯点、山脊拐点、永久地物的交叉点、端点等。对微波数据纠正注意的问题主要为：

（1）控制点在影像范围内均匀分布。首先选取 4 个角的控制点，然后均匀加密。

（2）控制点在影像上有明显的识别标志，尽可能选在固定的地形地物交叉点上。

（3）控制点的数量一般在 20～30 个。

几何纠正误差一般不大于 15 m。

纠正方法为一次多项式，重采样方法采用三次卷积算法进行重采样。微波遥感数据纠正过程见技术框图（图 1-3）。

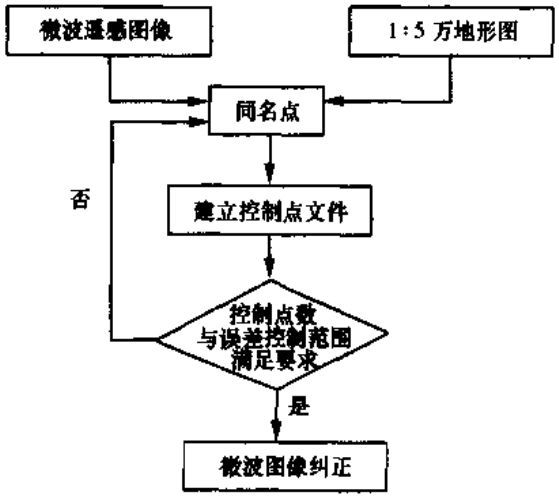


图 1-3　微波遥感数据纠正技术框图

（二）微波数据的配准方法

数据配准就是实现同一区域、不同时相、不同类型数据的地理坐标和像元分辨率的统一。工作中采用了将 TM 数据与 RADARSAT-1 SAR 数据进行配准的方法。即以 2000 年 5 月 10 日的经地形图纠正后的雷达图像为基准图像，对 TM 图像进行配准。配准的主要原则为：

（1）控制点在影像范围内均匀分布；

（2）控制点在影像上有明显的识别标志；

（3）控制点的数量一般在 30～40 个，山区、丘陵地区控制点适当加密；

（4）重采样方法采用三次卷积算法进行重采样；

（5）将配准后的影像进行分层叠加，检查其配准精度。

三、中巴资源卫星数据处理

利用 2000 年 9 月 15 日～2001 年 3 月 19 日获取的 6 景中巴资源卫星进行了 1:25 万影

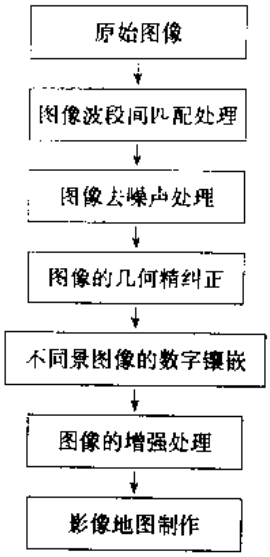


图 1-4　中巴卫星图像处理流程图

像地图（苏吾什杰幅 J45C002004）制作方法研究。由于受获取的中巴资源卫星数据波段限制，影像图制作采用的波段组合为 B4（0.77 ~ 0.89 μm）、B3（0.63 ~ 0.69 μm）、B2（0.52 ~ 0.59 μm）。中巴卫星图像数据与 TM/ETM、SPOT 数据相比存在着不可小视的噪声、纵横条带、波段间的匹配差，图像模糊等问题。针对这些问题选择的处理方法流程图如下（图 1-4）：

（一）图像波段间的几何配准

由于图像波段间存在着不匹配，需要进行波段间的配准处理。具体有两种做法：

（1）如果波段间的像元错位是一个固定值，可以直接通过图像的上下左右平移来达到配准的目的。

（2）如果波段间的像元错位不是固定值，可以通过在两个波段的图像上分别选取同名点作为控制点，一个波段对另一个波段进行配准，拟合多项式一般选择一次。

（二）图像去噪声处理

中巴卫星的噪声有时是难以忽略不计的，若用传统的去噪声方法进行处理，容易将图像变得模糊，很大地降低其清晰度，丢失其纹理信息。可先将原始图像利用卷积滤波的方法提取其纹理信息，卷积算子的设定是很灵活的，可根据不同的应用目的设定不同的卷积算子及其大小。将卷积滤波的结果（彩图 1-4b）与平滑滤波（彩图 1-4c）的结果图像相加，得到的图像其清晰度会很好地保持（彩图 1-4d）。

（三）图像的几何纠正和镶嵌

根据 1∶10 万地形图所获取的控制点，选择一次多项式为拟合函数时，控制点拟合误差多为实地 60 m 以上，而且纠正结果精度在整个图像上分布不均匀，说明图像存在非线性扭曲，拟合多项式需选择二次。用控制点-多项式的方法，分别对制图区域所涉及的六景中巴卫星图像进行几何配准，其最大的控制点拟合误差为 1.5 个像元（1 个像元为 19.5 m），可以满足 1∶25 万比例尺的制图平面精度要求。

将六景纠正图像进行数字镶嵌，在相邻两景图像重叠区域中选择同名点为控制点，用一次多项式配准，进一步消除几何纠正后的几何参差，拟合误差均在一个像元之内。镶嵌线选择折线，并用直方图匹配的方法进行灰度匹配。所生成的图像色调协调，几何精度高。

（四）图像的增强处理

图像的增强主要选择经常用的线性、非线性拉伸；直方图均衡化等方法。有时根据不同的应用目的，可采取光谱增强的方法，其主要算法包括：HIS 变换、去相关分析、主成分分析。

第四节　多源数据融合技术

多源数据融合的目的，就是通过图像处理技术来实现对多传感器不同分辨率的遥感图像进行综合处理，以期增强卫星图像的应用潜力。

一、图像色度空间变换原理

将 RGB 空间转换成 HIS 空间，亮度（I）表示颜色的明亮程度，它取决于地物辐射的强度；色调（H）是某一波长的光线引起人们视觉的反映，取决于光线的光谱组成和地物反射辐射的主波长；饱和度（S）是颜色的纯度，取决于地物反射辐射的光谱选择程度。RGB 系统三分量是相关的，牵其一而动其全局，而 HIS 系统三分量相互独立，可以在不改变两个分量的前提下，而改变第三个分量的取值范围或任意的用其他因子来取而代之。由于所采用的坐标系统不同，色度空间变换有不同的模型，常用的主要有：

同一坐标系统：

$$I = \frac{\sqrt{3}}{3}(r + g + b)$$

$$S = \frac{\sqrt{6}D}{3I}$$

$$H = \cos^{-1}\frac{2b - g - r}{2D}$$

式中：$D = \sqrt{r^2 + g^2 + b^2 - (rg + rb + gb)}$

$$r = \frac{R}{R + G + B}$$

$$g = \frac{G}{R + G + B}$$

$$b = \frac{B}{R + G + B}$$

R, G, B——红、绿、蓝亮度值。

还有一种坐标系统是利用球坐标建立 RGB 系统与 HIS 系统的关系，变换方程式为：

$$\begin{cases} I = (B + G + R)\rho_m^{-2}(B, G, R) \\ S = \cos^{-1}\left(\sqrt{G'}/\sqrt{(B + G + R)}\right)\phi_m^{-1}(H) \\ H = \tan^{-1}\left(\sqrt{R''}/-\sqrt{B''}\right) + n\pi \\ \phi \neq 0, n = \begin{cases} 2, z \leqslant 0 \\ 1, z > 0 \end{cases} \end{cases} \qquad B + G + R > 0$$

式中：

$$\begin{pmatrix} R'' \\ G'' \\ B'' \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{1}{2}} & 0 & -\sqrt{\frac{1}{2}} \\ \sqrt{\frac{1}{3}} & \sqrt{\frac{1}{3}} & \sqrt{\frac{1}{3}} \\ \sqrt{\frac{1}{6}} & \sqrt{\frac{1}{3}} & \sqrt{\frac{1}{6}} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

$$\rho_m = \begin{cases} \sqrt{B+G+R} \cdot W/R & \pi/3 \leqslant H < \pi \\ \sqrt{B+G+R} \cdot W/G & -\pi/3 \leqslant H < \pi/3 \\ \sqrt{B+G+R} \cdot W/B & \pi \leqslant H < \dfrac{5}{3}\pi \end{cases}$$

$$\phi_m = \begin{cases} \cos^{-1}\dfrac{\sqrt{3}}{3} \cdot \dfrac{-2B+G+R}{\sqrt{(B-G)^2+(B-R)^2}} & 0 \leqslant H < \dfrac{2}{3}\pi \\ \cos^{-1}\dfrac{\sqrt{3}}{3} \cdot \dfrac{B-2G+R}{\sqrt{(G-B)^2+(G-R)^2}} & \dfrac{2}{3}\pi \leqslant H < \dfrac{4}{3}\pi \\ \cos^{-1}\dfrac{\sqrt{3}}{3} \cdot \dfrac{B+G-2R}{\sqrt{(R-B)^2+(R-G)^2}} & \dfrac{4}{3}\pi \leqslant H < 2\pi \end{cases}$$

二、不同分辨率图像的融合

遥感数据的融合是指采用一种复合模型结构，将不同传感器遥感影像数据源所提供的信息加以综合，以获取高质量的影像信息，同时消除各传感器信息间的信息冗余和矛盾，加以互补，降低其不确定性，减少模糊度，以增强影像中信息清晰度，提高解译精度、可靠性和使用率，以形成对目标相对完整一致的信息描述。

对地质矿产勘查而言，数据的融合目的主要是：①可以明显地改善目标的显示效果，将原始图像中灰色调转化为彩色调；②融合后图像噪声可以很好地被抑制，肉眼对地物判译更加容易；③地物边缘轮廓因彩色更加突出，地物纹理更加清晰。这些很明显可以起到增强岩体、构造的可解性。

目前融合方法有：Lab 变换、HIS 变换、BROVEY 变换、线形复合与乘积运算以及近几年发展起来的小波变换等。这些融合方法在影像的处理上存在有不同偏向，因此要根据不同地物在影像的光谱表现上存在差异，采取不同的处理方法。

（一）微波遥感数据与 TM 数据融合处理

此次工作所采用的方法为可视化三维动态变换方法。

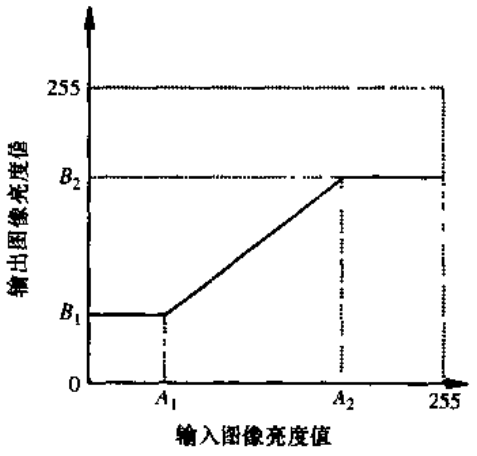


图 1-5　SAR 图像灰度拉伸关系图

1. 融合前的 SAR 数据特征增强处理

为了突出 SAR 数据（彩图 1-5a）较高分辨率的优势，在融合前有必要对 SAR 进行灰度拉伸、纹理增强和细化处理减少噪声等预处理。

（1）灰度线性拉伸

融合之前的拉伸方法不采用非线性拉伸，原因在于经过非线性拉伸后的图像数据，原始灰度值的大小关系会发生变化，产生的灰度扭曲带来了一些含义不明确的伪信息，影响解译。因此，特别强调在增强局部灰度反差时保持原灰度关系的重要性。实验表明，运用直观而简单的线性拉伸方法就可以达到反差增强的效果。其原理如图 1-5。

设 A_1、A_2 为输入图像的嵌位控制值，B_1、B_2 为拉伸后图像的最低和最高亮度值。

其输入的图像亮度值 A_1—A_2 被拉伸为 B_1—B_2 范围，其中输入亮度 0—A_1 及 A_2—25 分别被变换为 B_1、B_2，如果 $B_1=0$、$B_2=255$ 则拉大了输入图像的动态范围，从而反差得到增强。这是嵌位控制的结果，从而保持了输入图像亮度的线性关系，即没有改变 A_1 到 A_2 之间亮度值的大小关系，只是拉开了直方图的动态范围，从而加大了灰度间的差距，增强了影像的细微和突变结构。

（2）纹理能量增强

相邻像元之间亮度值的差异（梯度）可作为纹理的测度。当差异大于一个阈值时，则认为该处存在着要考虑的纹理特征；将此类特征累积统计，则为纹理能量；当局部纹理特征丰富时，则纹理能量大而表现为亮度值高。

SAR 图像主要提供的是空间信息，为了使融合后的图像具有较高的空间分辨能力，对 SAR 图像进行纹理增强及提取是必不可少的。为了突出地貌、线性构造等信息，采用直方图偏度值法。其公式如下：

$$U=\sum_{i=1}^{l}\left|(z(i)-m)3p(i)\right|$$

式中：$z(i)$—— 原始图像第 i 级像元的灰度值；

m—— 第 i 级原始图像像元灰度值的均值；

$p(i)$—— 与 $z(i)$ 对应的直方图值，即灰度值同为 $z(i)$ 的像元数；

l—— 原始图像所有灰度值不同的灰度级数。

则最终的纹理计算值为：

$$l=\begin{cases}\max(0,128-\text{Roundc}(n)) & \text{当 } u\leqslant 0\text{ 时}\\ \min(255,128+\text{Roundc}(n)) & \text{当 } u>0\text{ 时}\end{cases}$$

$c(n)$是对 u 进行压缩或拉伸后的值。

利用此纹理值作为权重，对 SAR 进行高通滤波，可以突出纹理信息。

目前纹理能量增强主要靠模板（3×3、5×5、7×7 等）实现，模板推移扫描对每个像元进行增强处理，考虑到增强纹理会带来不必要的噪声，模板的尺寸不易过大，试验表明使用 3×3、5×5 两个模板的增强效果显著。

2. 参与融合的非 SAR 数据的处理

在融合图像中，参与融合的非 SAR 数据的贡献就是它们的光谱信息。融合前对它们的处理以彩色增强为主，调整其亮度、色度、饱和度，拉开不同地物之间的色彩反差。对局部纹理的要求不高，有时为了保证光谱色彩，还允许牺牲部分纹理信息来确保融合图像的总体效果。

通常所说的图像增强是一维图像增强，即先在单波段上进行反差增强，然后把增强后的三个波段合成在一起。这种方法在有些地区，由于地表信息接近，波段间的相关性强，合成的图像反差小，色彩不鲜艳。因此，我们在反复试验的实践中，摸索出三维反差增强方法，获得了色彩鲜艳且保留原始影像信息的彩色图像（彩图 1-5b）。

三维反差增强技术的实质是，扩大同名点像元在合成的三个波段上的灰度差异，使该同名点合成的色彩鲜艳，达到彩色增强的目的；使图像上不同地物间的微小的灰度差异也能增强成明显的色彩差异，从而达到增强图像信息的效果。这是一种用颜色来突出地质、

地理信息的方法，这种方法比单纯用灰度差异突出地质、地理信息更加有效。

实现三维反差增强技术有两个约束条件：其一，增强后的图像同名点像元的灰度值在三个波段上的灰度值仍然保持原来大小的相对关系，也就是说原来灰度值小的增强以后还是小的，原来灰度值大的增强以后还是大的；其二，增强后的图像同名点像元在三个波段上的灰度值之和保持不变，只是同名点像元在三个波段上的灰度值的差异扩大，使彩色合成后的色彩鲜艳、信息丰富并保持原来标准假彩色合成的特点。

为了扩大不同地质体的光谱信息的差异，还可采用波段特征差异光谱加权方法，其算法如下：

设 R,G,B 为经过三维反差增强后的红、绿、蓝三个彩色分量；R_0,G_0,B_0 为输出图像的三个分量；G_b,B_g 为波段特征差异；α,β 为两个常数。

$G_b = G - B$；$B_g = B - G$；$\alpha,\beta \in (0,1)$；则

$$R_0 = R$$

$$G_0 = (1-\alpha)\cdot G + \alpha \cdot G_b$$

$$B_0 = (1-\beta)\cdot B + \beta \cdot B_g$$

将生成的三个新分量再进行彩色合成，扩大了地物间的色彩差异，减少了相关性。上述融合方法的最大优点是可以对隔合图像的锐度、灰度、色彩等空间信息分离并进行动态跟踪处理，直到获取满意的结果为止。

（二）不同分辨率多光谱数据融合处理

在干旱裸露地区，利用 Landsat TM L7 卫星影像制作影像图，与 L5 不同，L7 有一个全色波段 B8，它的空间分辨率为 15 m，为了提高图像解译的可识别性，在提高空间分辨率的同时，又充分利用多光谱波段的波谱信息，将 L7 自身所有的 30 m 空间分辨率的多光谱波段（彩图 1-6a）与 15 m 分辨率的全色波段进行信息融合，可得到高分辨率的彩色图像（彩图 1-6b）。同时我们在植被覆盖试验区，利用高分辨率 SPOT 卫星图像（彩图 1-6c）与 TM 图像的多光谱波段进行融合（彩图 1-6d），进而提高遥感解译的可靠性，得到 TM 图像和 SPOT 图像的彩色模拟，它的原理是：

首先将两种分辨率的图像进行配准，配准精度应在一个像元以内，我们在干旱裸露试验区进行的四景 L7 图像配准，最大拟合误差为 0.85 像元；SPOT 图像 16 景与 TM 图像的配准误差最大为 0.95 像元。L7 自身配准时纠正函数选择一次多项式，不同传感器图像配准时选择二次多项式。

然后选择的三个波段（干旱裸露试验区：7，4，1；植被覆盖试验区：5，3，2 作 HIS 变换得到三个分量，用高分辨率的图像替代 I 分量，在进行反变换，重新得到 RGB 图像。这个模拟图像既有高分辨率图像的较高空间分辨率，又具有彩色图像的光谱信息。

第五节　系列影像图制作

遥感系列影像图制作系指为遥感地质填图提供地质信息解译提取的基础遥感影像图件。其比例尺包括：1:100 万、1:50 万、1:25 万、1:10 万、1:5 万，前两者为区域性影像图件，后三者为标准国际分幅图件。

一、波段组合选择

经过图像的纠正、镶嵌后，我们得到的影像底图是标准分幅的外接四边形，其中 TM 和 ETM 多光谱数据包含 1～5 和 7 六个波段。要制作影像地图，需选择三个波段，波段选择应根据影像地图应用的目的、制图区地物的情况和图像的信息量大小等因素决定；ETM/SPOT 中的全色波段主要是取其较高的空间分辨率；SAR 数据主要在高植被地区利用其较强的穿透性能；CEBRS-1 数据目前只有可见光和近红外数据，通常是 B2，B3 和 B4，受数据源的限制波段无法进行选择。

对 TM 和 ETM 多光谱数据，在干旱裸露区选择 B7，B4，B1 波段组合，这是由于这三个波段之间相关系数最小，能够具有最大的信息量，对解译大的构造信息有利。在植被覆盖区，首先选择冬季低植被季节的图像，尽量降低植被的影响。我们选择 B5，B3，B2 波段组合，在这三个波段植被影响比较低，且又具有较好的图像质量。

二、数字镶嵌

当影像地图包含两景以上的卫星图像时，必须对图像进行数字镶嵌处理，以获取制图范围内完整的图像。图像的数字镶嵌实质上就是图像间的几何匹配和色调匹配的问题。按照影像地图制作的要求，镶嵌后的图像应达到：

（1）保证足够的几何精度，没有明显的几何错位现象。

（2）整个图面色调均匀，同类地物色调尽可能地接近，信息丰富。

（3）接缝不明显。

由于不同景图像成像时间往往不同，光照条件和地面景观的变化可能引起各景图像间有较大的色调差异，需采用几何匹配、亮度匹配等一系列的技术措施，以确保镶嵌的质量。

（一）数字镶嵌的技术流程（图 1-6）

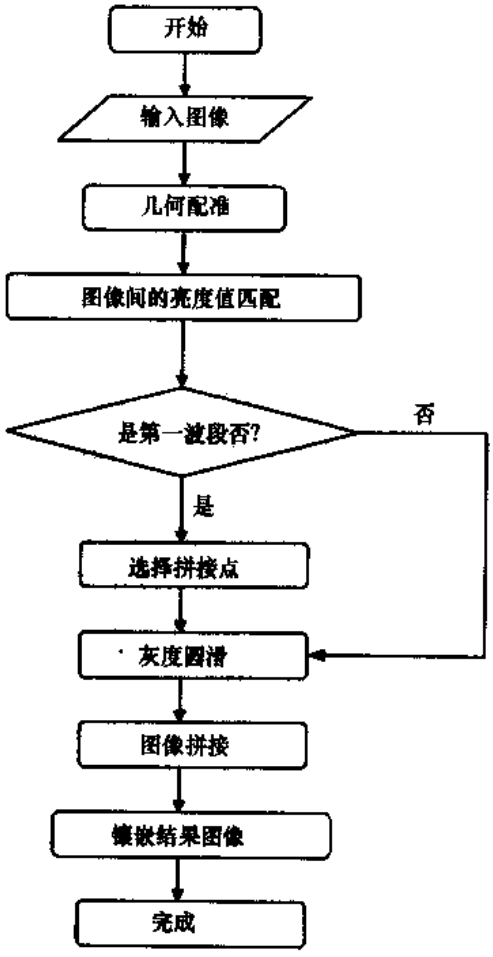


图 1-6　数字镶嵌技术流程图

（二）镶嵌方法

1. 几何配准

单景图像经过几何校正后，图像的几何畸变被限制在一定的范围内，但就待镶嵌图像而言，仍然存在着不容忽视的几何上的不匹配，影响着镶嵌的质量。因此，需要在几何纠正的基础上对两幅图像重叠区进行更准确的几何配准处理。

为了使镶嵌图像几何损失降低到最低，可采用以下两种方法：

（1）在重叠区上选取若干控制点，以标准

图像或图件为基准，对被镶嵌的图像分别进行与基准图件的几何配准。

（2）在两幅待镶嵌图像上选取同名点，以一图像为基准，使另一幅图像从几何上与之配准（彩图 1-7a，7b），这样处理后，两幅图像重叠部位几何上将更趋于一致。

2. 图像间的亮度值匹配

由于各景镶嵌图像间的灰度分布相差较大，即使同一地物也存在着亮度值的差异，所以要对各景图像进行亮度匹配。

亮度值匹配是通过对图像的均值和方差进行调整，使图像间的灰度分布趋于一致从而达到消除图像亮度值差异的目的。具体做法是：首先找出图像的重叠区，分别求出各自的均值和方差，然后选出参考图像，对另一幅图像进行变换，使均值和方差与参考图像一致（彩图 1-8a）。计算公式如下：

$$I'_b = \frac{\sigma_a}{\sigma_b}(I_b - \overline{I_b}) + \overline{I_a}$$

式中：I'_b—— 变换后 b 图像的灰度值；

I_b、I_a—— 图像 b、a 变换前的灰度值；

$\overline{I_b}$、$\overline{I_a}$ 和 σ_b、σ_a—— 分别为图像 b、a 的均值和方差。

$$\overline{I_a} = \sum \frac{I_a}{n}$$

$$\overline{I_b} = \sum \frac{I_b}{n}$$

$$\sigma_a = \sum \frac{(I_a - \overline{I_a})^2}{n}$$

$$\sigma_b = \sum \frac{(I_b - \overline{I_b})^2}{n}$$

3. 镶嵌拼接点的选取

镶嵌图像拼接点的选取一般采用折线镶嵌，为了将镶嵌的接缝效应减小到最低限度，采取人-机交互方式，在图像上寻找拼接点，尽量避开亮度差异明显的部位，消除接缝现象。

此外，也可以由计算机自动识别拼接点，主要是遵循最小亮度差的原则，使两幅图像在接边处亮度差异为最小。设在宽度为 n 的重叠区中，第一幅图像某扫描行的亮度值为 $G_1, G_2, \cdots, G_n$，第二幅图像相应的亮度值为 $G'_1, G'_2, \cdots, G'_n$。在图像的重叠区内取一窗口，宽度为 w，定义第 j 个像元点在 w 宽的窗口邻域内，左右图像上亮度差值总和为：

$$D_j = \sum_{i=-\frac{w}{2}}^{\frac{w}{2}} | G(j+i) - G'(j+i) |$$

若 D_j 为最小值，则选择 j 点为拼接点。

多波段图像的镶嵌需逐个波段进行，若每个波段选择一次拼接线，势必造成各个波段都不一样，从而合成后造成拼接色调的不一致，每个波段需用相同的接边方案进行处理，以避免彩色合成图像的接缝。

4. 亮度圆滑

重叠区上各扫描线拼接点选定后，相邻图像仍可能存在亮度差别，需进一步做亮度圆

滑。在拼接点两侧的某一邻域内，取两幅图像亮度的加权平均值作为新的亮度值，权系数在两幅图像间成反向线性变化，公式为：

$$I = \frac{1}{W}[iI_2 + (W + i)I_1] \qquad 0 \leqslant i \leqslant W - 1$$

式中：I—— 经亮度圆滑后得到的像元亮度值；

W—— 亮度圆滑区的宽度；

I_1—— 第一幅图像像元亮度值；

I_2—— 第二幅图像像元亮度值。

经过亮度圆滑后，进一步消除了拼接点附近的亮度差异，提高了图像的镶嵌质量（彩图 1-8b）。

（三）大区域数字影像镶嵌图制作

1. 制作方法

（1）地图投影方法的选择

制作大区域自由分幅的数字影像图，地图投影方法一般选择双标准纬线等角圆锥投影；也可以选择高斯-克吕格投影。不同投影带实施换带计算，这会带来精度损失。也可以根据不同的应用和精度要求，选择其他的地图投影方式。

（2）卫星资料的选择

根据不同的应用需求，应选择季节、时间尽量接近，云层覆盖度小的卫星数据，从而避免太大的色调、地物的差别。同时还要注重卫星资料的质量，尽量选择无条带、噪声的数据。

（3）卫星图像的预处理

卫星资料如有较多的条带和噪声，需要进行去除条带和噪声的处理，具体方法同前所述。

（4）单景图像的几何纠正

图像的几何纠正采用与地形图匹配时，需选择比例尺至少大一个级次的地形资料，以保证影像图制图的精度。当制图比例尺为 1:50 万时，几何纠正用的地形资料为 1:25 万以上的地形图或数据库。

图像分辨率的选择：如分辨率太高，造成太多的冗余工作量；如太低则无法保证影像图的制图精度和图面质量。通常选择输出分辨率为 100～200dpi。

用地形资料进行纠正控制时，如纠正结果的地图投影方式与预先选择的方式不同，需进行地图投影转换。

（5）大图像的数字镶嵌

将若干单景的纠正图像进行数字镶嵌，制作成区域性的图像时，为了确保精度满足应用的要求，镶嵌的顺序应先将每一列拼接在一起，再逐行拼接。

（6）制图

将地图的数学基础（比例尺、坐标注记等）、图廓线整饰、地理要素（道路、居民地、河流、湖泊、山脉等）、人文要素（行政区划等），按照一定的制图的图式、图例要求叠加到图像上。

2. 实例范围

大兴安岭植被茂密区：经度：114°07′02″～126°14′25″

纬度：53°19′36″～47°09′56″

经差约为12°；纬差约为6°10′

阿尔金山干旱裸露区：经度：83°～92°

纬度：35°30′～40°

经差约为9°；纬差约为4°30′

3. 投影方式

大兴安岭地区采用双标准纬线等角圆锥投影，参数为：

$$\lambda_0 = 120°$$

$$\varphi_1 = 52°$$

$$\varphi_2 = 48°$$

阿尔金山地区采用宽带高斯-克吕格投影，中央经线为87°（彩图1-9）。

三、数据分层管理

影像地图包括栅格数据、矢量数据和名称注记等，将这些要素分层管理，以便于以后更新和修测。分层的原则是：将同一类地理要素放在一层，修编任何一层不会影响其他层的数据。栅格数据包括：TM（ETM），SPOT，SAR，CBERS全波段的原始图像，数据存储格式为FAST格式、TIFF格式；经几何纠正、融合、镶嵌处理等制作的标准分幅影像地图，数据存储格式为*.pix格式；经扫描几何仿射纠正的1:5万—1:10万地形图数据，数据存储格式为*.img格式；几何控制点数据，数据存储格式为*.pts格式。影像地图数据包括：名称注记主要为地名、道路、河流山系、经纬和公里网格数据等，数据存储格式为*.psd格式。

四、计算机自动图件整饰方法

（一）地图分幅与编号

按照国家标准1:100万—1:1万比例尺地图是按经纬度分幅的，经纬度分幅每幅图都有明确的地理位置，但由于图廓边是曲线，且在不同的投影带中，曲线形状各异，曲率不等，给图幅拼接带来了困难；随着纬度升高，图幅面积不等，相同纬差所包含的图幅面积越来越小，为了克服这个不足，高纬度地区采用合幅的办法，这又破坏了分幅的系统性。

我国基本比例尺地图分幅与编号系统如图1-7所示。以1:100万为基础，延伸出1:50万、1:25万、1:10万，后又延伸出第一支1:5万、1:2.5万，第二支1:1万。

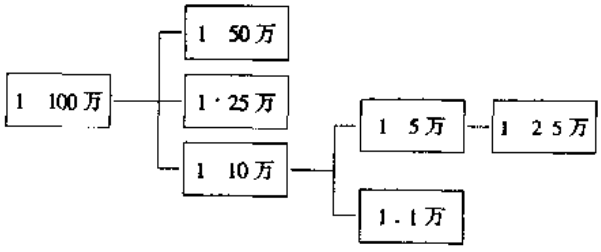


图1-7 我国基本比例尺地分幅系统

我国1:100万地图分幅，经差6°，纬差4°，编号用“列号—行号”来表示，列号从赤道算起，每4°为一列，向南北各为22列。列号用A，B，…，V冠以N或S表示，国内使用可省去N。行从180°经线算起，自西向东每6°为一行，全球分为60行。用1～60表示。对于东半球任一点 P（Ψ，λ）纬度为 Ψ，

$$\text{列号} = \text{entire}\left(\frac{\Psi}{4}\right) + 1$$

经度为 λ，所在图幅编号为：

$$\text{行号} = \text{entire}\left(\frac{\lambda}{6}\right) + 31$$

1:50万地图由一幅1:100万图直接按经差3°、纬差2°，划分成2行2列形成，如J50b001002（第一行，第二列）。

1:25万地图由一幅1:100万图直接按经差1.5°、纬差1°，划分成4行4列形成，如J50c001002（第一行，第二列）。

1:10万地图由一幅1:100万图直接按经差30′、纬差20′，划分成12行12列形成，如J50d001002（第一行，第二列）。

（二）图廓点地理坐标计算

设南图廓纬度为 ϕ_1，北图廓纬度为 ϕ_2，东图廓经度为 λ_1，西图廓经度为 λ_2。则1:100万—1:10万比例尺地图的图廓坐标计算如表1-8。

表1-8 北半球东经范围内图廓坐标计算表

比例尺 \ 经纬度	纬　度	经　度
1 100万	$\phi_1 = a \times 4° - 4°$ $\phi_2 = \phi_1 + 4°$	$\lambda_1 = (b-31) \times 6°$ $\lambda_2 = \lambda_1 + 6°$
1 50万	$\phi_1 = (a-1) \times 4° + (d-1) \times 2°$ $\phi_2 = \phi_1 + 2$	$\lambda_1 = (b-31) \times 6° + (e-1) \times 3°$ $\lambda_2 = \lambda_1 + 3°$
1 25万	$\phi_1 = (a-1) \times 4° + (d-1) \times 1°$ $\phi_2 = \phi_1 + 1°$	$\lambda_1 = (b-1) \times 6° + (e-1) \times 1.5°$ $\lambda_2 = \lambda_1 + 1.5°$
1 10万	$\phi_1 = (a-1) \times 4° + (d-1) \times 20'$ $\phi_2 = \phi_1 + 20'$	$\lambda_1 = (b-1) \times 6° + (e-1) \times 30'$ $\lambda_2 = \lambda_1 + 30'$

图幅编号为abcde（其中：c为比例尺代号；d为行号；e为列号；a，b为1:100万图幅编号）

（三）地图投影

我国规定1:50万以上比例尺地图均采用高斯-克吕格投影，即等角割圆柱投影。设想一个椭圆形筒套在地球体上，并与一子午线相切（该子午线为中央子午线），将圆柱展开为平面，即获投影后的图形。

投影要满足的基本条件：

（1）中央子午线与赤道投影后互为垂直线，且为投影的对称轴；

(2) 投影后角度无变形，即任意两个方向夹角保持不变，为等角投影；

(3) 中央子午线投影后无长度变形。

根据上述三个条件推导出高斯-克吕格投影的数学公式为：

$$\left.\begin{aligned} x &= S + \frac{\lambda''^2 N}{2\rho''^2}\sin\phi\cos\phi + \frac{\lambda''^4 N}{24\rho''^4}\sin\phi\cos^3\phi(5 - \tan^2\phi + 9\eta^2 + 4\eta^4) + \cdots \\ y &= \frac{\lambda''}{\rho''}N\cos\phi + \frac{\lambda''^3}{6\rho''^3}N\cos^3\phi(1 - \tan^2\phi + \eta^2) + \frac{\lambda''^5}{120\rho''^5}N\cos\phi(5 - 18\tan^2\phi + \tan^4\phi) + \cdots \end{aligned}\right\}$$

式中：S—— 由赤道到该纬度的经线长度；

ϕ—— 地球纬度；

λ''—— 经线于中央子午线的经差；

x, y—— 平面直角坐标；

N—— 某点上卯酉圈曲率半径；

$\eta^2 = e'^2\cos^2\phi$（e' 为第二扁率，$e' = \frac{a^2 + b^2}{b^2}$，式中 a 为地球椭球体长半径，b 为短半径）；

$\rho'' = 206264\ 81$。

计算子午线收敛角的公式为：

$$\gamma = \frac{\lambda''}{\rho''}\sin\phi + \frac{\lambda''^3}{3\rho''^2}\sin\phi\cos^2\phi(1 + 3\eta^2) + \cdots$$

长度比的公式为：

$$\mu = 1 + \frac{\lambda''^2}{2\rho''^2}\cos^2\phi(1 + \eta^2)\lambda''^2 + \frac{\lambda''^4}{24\rho''^4}\cos^4\phi(5 - 4\tan^2\phi) + \cdots$$

从上式可见，高斯-克吕格投影有以下特点：

(1) 当 $\lambda = 0$ 时，$\mu = 1$，说明中央经线长度无变形；

(2) λ 是以偶次方出现，所以出了中央子午线外，其他任何点长度比均大于 1；

(3) 同一条纬线上离中央子午线越远，变形越大；

(4) 同一条经线上，纬度越低，变形越大；

(5) 等角投影无角度变形，面积比是长度比的平方；

(6) 长度比的等变形线平行于中央子午线。

为了控制变形，高斯-克吕格投影采用分带的方法。1∶2.5 万—1∶50 万采用 6°分带，1∶1万以上采用 3°带分带。

分带从格林威治零度经线起算，每 6°分成一个投影带，全球有 60 带。东半球 30 个投影带中央经线位置如下：

$$L_0 = (6n - 3)°$$

式中：n——投影带带号，用阿拉伯数字表示。

我国疆土位于东经 72°～136°之间，共包括 11 个投影带，即 13～23 带。

(四) 图廓线展绘

按经纬线分幅的地图，图廓线和经纬线应是曲线，展绘时将曲线分成若干个弧段，以弦长代替弧长，以逼近曲线的形状，弧段的节点设置在矢长小于图上 0.1 mm 处。我国境内经线的矢长都在图上 0.1 mm 以内，所以经线可以绘制成直线。纬线需分段表示成折线。

经过纠正镶嵌的图像是矩形的，我们展绘的图廓线是不规则的多边形图廓，不仅需要

将图廓线叠加到图像上，还需根据图论原理，在矩形图像上取出一个多边形子区，以多边形为准对图像进行切割，以剔除图廓线以外的点。

（五）影像图图廓自动整饰软件开发

影像图和线画图一样，为了易读、易看都需要进行图廓整饰。但是，图廓整饰是一件非常精确、繁杂、枯燥的工作，而且有很强的规律性。用计算机通过软件编程解放图廓整饰劳动是非常有效和准确的。

1. 目的

影像图图廓整饰可以套用线画图的图廓整饰，获得美观的装饰效果。为了提高工作效率，使影像图产品符合国家标准，必须研制一套影像图图廓自动装饰系统软件。经过该软件整饰后的影像图符合国标1:1万、1:5万、1:10万、1:25万、1:50万图式规定。要求图廓曲线精度（矢长）为0.5像元、图廓整饰完全符合国标图式规范、图像、矢量数据套合精度符合国家相应规范。

2. 硬件、软件平台和开发环境

硬件平台：PC计算机。

系统软件：Windows 98/Windows NT/Windows 2000。

软件平台：AutoCAD R2000。

开发环境：Microsoft Visual C++和ObjectARX2000。

3. 软件功能

（1）读取、处理RAW或TIF格式图像文件，按照图廓线进行剪切。

（2）自动绘制内外图廓线、公里格网、图幅结合表、比例尺、图例等。

（3）自动标注图廓文字。

（4）图像和图廓套合显示。少量文字注记的位置调整。

（5）输出RAW和TIF格式图像文件。

（6）输出RAW，DWG，DXF格式矢量和文字注记文件。

4. 输入、输出头文件格式

（7）输入文件名——*．bil，*．bsq，*．tif，*．hrd（输入头文件）。

（8）输出文件名——*0．bil，*0．bsq，*0．tif，*0．hrd（输出头文件）。

5. 编程过程中解决的问题

（9）经纬度与大地坐标转换。

（10）画经纬线。

（11）大数据量影像切割、画线和文字注记。

（12）影像和矢量叠加。

（13）TIFF文件的读写。

6. 操作方法和步骤

（14）运行AUTOCAD。

（15）调入装饰程序MAP10000．ARX。

（16）执行命令之前需准备两个文件分别记录各图信息和一批图的公共信息。*．hrd文件，记录各图的信息。格式为：

第1行　影像列数。

第 2 行　影像行数。
第 3 行　波段数。
第 4 行　实地分辨率。
第 5 行　影像左上角像素大地横坐标。
第 6 行　影像左上角像素大地纵坐标。
第 7 行　本图左上角图廓点纬度 dd' ff" mm。
第 8 行　本图左上角图廓点经度 dd' ff" mm。
第 9 行　本图右下角图廓点纬度 dd' ff" mm。
第 10 行　本图右下角图廓点经度 dd' ff" mm。
第 11 行　成图比例尺分母。

MrgInfo. txt 文件记录了本批图信息格式为：
第 1 行　成图比例尺分母。
第 2 行　成图单位名称。
第 3 行　密级（NONE）。
第 4 行　成图左下角的成图信息第 1 行（NONE）。
第 5 行　成图左下角的成图信息第 2 行（NONE）。
第 6 行　成图左下角的成图信息第 3 行（NONE）。
第 7 行　成图左下角的成图信息第 4 行（NONE）。
第 8 行　成图左下角的成图信息第 5 行（NONE）。
第 9 行　成图左下角的成图信息第 6 行（NONE）。
第 10 行　成图右下角的成图信息第 1 行（NONE）。
第 11 行　成图右下角的成图信息注记第 2 行（NONE）。
第 12 行　成图右下角的成图信息注记第 3 行（NONE）。

第 12 行开始是各图关键字，每行有 9 个字符串组成由空格字符隔字符串分别是：地图左上角纬度（dd' ff" mm）、地图左上角经度（dd' ff" mm）、图名、图号、行政区范围、影像接图 1、影像接图 2、影像接图 3、影像接图（某一要素缺时，用 NONE 补齐）。

（17）整饰命令

第 1 步：运行画图廓和图廓注记命令 MKMRG，将原图像用图廓切割。

第 2 步：运行将图廓线和文字注记写入图像命令 WRTMRG。

第 3 步：运行将图像写入文件命令 WRTIMAGE。

第 4 步：SHOWIMAGE 命令可以将影像和图廓在 AutoCAD 环境下套合示。在第 2 步运行前，可以编辑文字和矢量线。如果不运行第 2 步就运行第 3 步，得到的图像不包含图廓线和文字。在处理过程中会写出一个和对应图的 *. HRD 相对应的输出文件 *0. HRD，两文件格式相同。

五、精度评价

为了评价影像地图的制图精度，我们以随机取样的方式对干旱裸露区的瓦石峡幅（J45c002003）和森林覆盖区阿龙山幅（M51c001002）分别均匀抽取 23 个点和 24 个点，在 1∶10 万图上读取同名点的坐标作为真值，进行了精度检验。计算中误差的公式为：

$$m = \pm\sqrt{\frac{\sum(\Delta x^2 + \Delta y^2)}{n}}$$

式中：m——点位中误差，mm；

Δx、Δy——随机取样点坐标差，mm；

n——随机取样点点数。

要求随机抽样点的平面中误差在实地 125 m 之内，图上 0.5 mm。

两幅影像图的精度分别为：瓦石峡幅（表 1-9），23.72 m，合 0.79 像元。

阿龙山幅（表 1-10）：47.47 m，合 1.58 像元。

表 1-9　瓦石峡幅随机取样点的精度

观测值 X 像元	观测值 Y 像元	真值 X m	真值 Y m	误差 X m	误差 Y m
2036	2164.5	561076 74	4254718.02	-3 26	2.02
3012	1567	590357.5	4272654.93	-2.5	13.93
1460	2634	543795.52	4240623.79	-4 48	-7.21
360 5	3274.5	510817.4	4221442.22	2.4	26 22
2518.5	2827.5	575553.07	4234820.4	-1.93	-5 6
3934	879	618044.58	4293259.23	24.58	-21.77
4295.5	2096.5	628859.17	4256744.33	-5.83	-11.67
3499.5	2375.5	605011.95	4248406.64	26.95	20.64
1242.5	3521.5	537283.89	4213994.91	8.89	-11.09
2407	3548	572191.32	4213194.5	-18.68	-16.5
3459	1004	603765.12	4289566.5	-4.88	35.5
1484	3297	544545.49	4220741.17	25.49	0 17
3363	1812	600917.1	4265303.21	27.1	12.21
235	3495	507048.79	4214799.06	-1.21	-1.94
4241.5	2194.5	627209.23	4253803.27	-35.77	-12.73
1028	1208.5	530866.95	4283396.65	26.95	0.65
2800	793	583999.62	4295868.51	-0.38	7.51
3410	230	602265.18	4312751.97	-34.82	0.97
2595	3436	577865.88	4216545.97	15.88	-25.03
1492	122	544750.43	4316000.23	-9.57	9.23
1657.5	153.5	549713.21	4315032.37	-11.79	-13.63
2923	3388	587702.81	4218008.93	12.81	-2.07
1664	3462.5	549936.76	4215800.68	16.76	24.68

表 1-10　阿龙山幅随机取样点的精度

观测值 X 像元	观测值 Y 像元	真值 X m	真值 Y m	误差 X m	误差 Y m
3450 5	270	498203 39	5756378 09	- 15 61	- 28 91
953	1315	423105 76	5725065 89	- 188 24	8 89
1340 5	50.5	434920 07	5763038 3	1 07	46 3
281	3535.5	403100 35	5658454 37	- 33 65	12 37
3285 5	3358.5	493298 1	5663718 06	29 1	- 33 94
2192	64	460503 69	5762614 65	39 69	27 65
3450	1110	498199 64	5731216 23	- 4 36	9 23
1839 5	964.5	449898 36	5735580 14	9 36	8 14
139	2573	398858 59	5687318 42	- 15 41	1 42
635.5	1368	413805.01	5723480 03	36 01	13 03
503.5	1853.5	409820 05	5708916 79	11 05	14 79
1144	3668	429014 79	5654496 29	- 9 21	29 29
2670	3640	474795 95	5655293 91	- 8 05	- 13 09
2729	3691	476565 37	5653758 67	- 8.63	- 18 33
1348 5	1835 5	435145	5709454 78	- 14	12 78
2264.5	2134 5	462661 11	5700473 89	22.11	1 89
996	2180	424560.29	5699079 24	- 23 71	- 27 76
2105	3425	457819.55	5661766 67	- 34 45	9 67
2798	1118	478647.83	5730944 42	3.83	- 22 58
1388.5	940.5	436376.48	5736313 09	17.48	21 09
588.5	2685.5	412339.24	5683946.14	- 19 76	4 14
687	2040	415299.3	5703290	- 14 7	- 17
528	1760	410538.88	5711708.65	- 5.12	1 65
1318	2413	434255 67	5692115.98	11 67	- 1 02

这两幅图像精度评价结果表明，可以满足 1:25 万比例尺制图精度要求。

第六节　系列影像图应用目的评价

一、裸露区系列影像图应用目的评价

裸露区应用 TM、ETM 数据制作的 1:25 万标准分幅影像地图，采用全空间分辨率、全波段数据，经图像镶嵌、纠正、地理要素叠加处理，形成标准分幅影像地图，实现了任意

波段的组合处理。ETM 利用了全色波段数据，即 15 m 空间分辨率进行了数据融合处理，控制点从 1:10 万地形图上选取，对 1:25 万影像地图分幅切割放大成 1:5 万、1:10 万影像地图，通过对不同比例尺遥感影像图地质解译效果分析认为：

（1）适合裸露区遥感地质解译的影像图比例尺应为 1:50 万、1:25 万、1:10 万和 1:5 万。

（2）1:50 万比例尺影像图适合于区域构造信息提取、构造规律分析和系、群或序列级填图单元的建立划分。

（3）1:25 万比例尺影像图是 1:25 万遥感地质填图的基本图件，可作为地质信息提取和填图单元建立划分的主体图像，与地形图可匹配使用，减少转绘误差。

（4）1:10 万比例尺影像图适合于组、段、单元级填图单位的解译提取及边界的修订，可作为野外地质调查的工作手图。

（5）1:5 万遥感影像地图是从 1:25 万遥感影像地图上裁剪放大而成，可用于局部地段影像模糊的地质信息的解译提取，如部分小规模的侵入体、岩性段界线和不整合界线的圈定，从而提高解译精度，同时也可作为野外地质调查的工作手图。尤其是 ETM 融合图像效果更佳。

（6）裸露区 TM、ETM 卫星数据以 7 ~ 10 月份、常年积雪线最高且无临时降雪季节的图像为最佳时相。

（7）裸露区 TM、ETM 以 7，4，1 为最佳组合，其覆盖了可见光、近红外到中红外的各个波段，地质信息最为丰富。

（8）CBERS-1 卫星遥感数据可制作标准 1:25 万影像地图，是 1:25 万遥感地质调查的重要遥感数据资料之一，但由于受波段（仅 2，3，4 波段可用）和信息量（多光谱空间分辨率虽为 20 m，但清晰度略差）所限，其遥感地质应用效果不如 TM 或 ETM 数据。因此 ETM 数据将是今后裸露区 1:25 万遥感地质填图的基本数据源。

二、覆盖区系列影像图应用目的评价

覆盖区 TM、ETM 1:25 万标准分幅影像图制作方法、应用目的同裸露区。

由于特殊的自然地理条件的限制，在 1:25 万遥感地质填图中，波段组合选择与时相选择应予以充分考虑。覆盖区 TM/ETM 卫星数据以 11 ~ 12 月份，无雪和植被枯萎期为最佳，使用的夏季高植被 SPOT 全色波段图像具有空间分辨率高，地物影纹特征明显，立体感强的特点，因此其时相应不受限制。

覆盖区以 TM5，TM4，TM2 为最佳组合，该组合受植被影响最小，地质解译效果最佳。

（一）不同种类遥感影像图应用评价

由于 TM 影像图层次多、色彩丰富、信息量大，不同岩性在光谱特征和地形地貌上的差异在图像上有较好的反映，因此 TM 影像图是地质信息解译提取的基础遥感资料。

Radar 图像是地质体表面介电常数及粗糙度的反映，由于覆盖区地表具有植被和厚 1 m 左右的坡积物，其介电常数及粗糙度与下部的地质体有很大的差别。另外受其斑点噪声及研究深度的影响，在填图单元划分方面未达到预期效果。但雷达波后方反射所形成的良好的立体效果对解译线性构造有独到的作用。

SPOT与TM融合图像，由于分辨率高、立体感强，对火山机构的解译作用突出，但其色调没有TM图像丰富而且阴影偏大，所以在岩性划分方面只能起辅助作用。

Radar与TM融合图像在色调层次方面没有TM图像丰富，与Radar图像相比在立体效果和影纹方面没有更大的优势，所以该片种不是1:25万遥感填图的优选图像。

因此，在覆盖区进行遥感地质填图，美国陆地卫星1:25万TM/ETM影像图用途最广，其他片种的遥感资料只对某些地质要素的解译起辅助作用。

（二）不同比例尺遥感影像图应用评价

由于覆盖区森林茂密，残坡积厚度大，大部分山体呈浑圆形，不同性质地质体影像差异较小，因此，图像单位面积内遥感信息量减少。考虑到不同比例尺图像对地质信息的压缩和放大的作用，中比例尺1:25万图像突出地质信息优于1:10万和1:5万图像。但是1:10万遥感图像在火山机构及断裂构造解译方面优于前者。

总之，考虑到数据的可获取性、综合应用效果和解决地质问题的能力，1:25万区域遥感地质调查中数据首选类型顺序为ETM、TM、SPOT、CBERS等；遥感影像图系列为1:50万、1:25万、1:10万和1:5万。尤其是TM、ETM影像图应形成单波段镶嵌数据，有利于不同波段合成选取；1:50万影像地图适合于区域性地质规律分析提取；1:25万影像地图是填图单元解译提取的主图；1:10万影像地图适合于填图单元的细划，可作为野外地质调查工作手图；1:5万影像地图适合于细部信息分析提取，有利于部分填图单元细划、提取、边界修订和不整合界线的厘定，同时也可作为野外地质调查工作手图使用。上述4种比例尺影像图的纠正点应以1:25万影像地图为基础。

第七节　1:25万遥感基础影像图制图标准

一、适用范围和引用标准

1. 适用范围

本规则规定了1:25万遥感影像地图制图的规格、精度、制图的基本要求，适用于国际分幅1:25万遥感影像地图的制作。自由分幅影像地图也可参照执行。

2. 引用标准

本规则的制定参照下列标准的有关条文。

（1）GB/T 13989-92，国家基本比例尺地形图分幅和编号。

（2）GB 15968-1995，遥感影像平面图制作规范。

二、基本技术要求

1. 遥感影像必须层次丰富、反差适中、清晰、不偏色。

2. 影像地图上的随机抽取地物点的平面位置中误差绝对值不大于0.50 mm，特殊情况下不大于0.75 mm。也可以根据用户的不同要求及专题影像地图的不同专业应用需求，另行制定这项标准。

3. 图廓线的实际尺寸与理论尺寸之差的绝对值不应超过表1-11的规定。

表 1-11　图廓线误差表

项　目	边长/mm	对角线长/mm
展点图	0.15	0 20
影像原图（镶嵌图）	0 20	0.30

4. 数学基础

（1）平面坐标系采用 1954 年北京坐标系；

（2）高程系统采用 1956 年黄海高程基准；

（3）影像地图的投影采用高斯-克吕格投影。

5. 地图分幅与编号

执行 GB/T 13989-92 的规定。

6. 遥感影像地图可以采用单色或彩色。

三、原始资料的准备

（一）图像的选择

1. 制作黑白影像地图选择全色影像或根据需要选择一个波段的影像；制作彩色影像地图根据专业需求选择 3 个或 3 个以上的多光谱波段图像，波段之间配准误差应在 0.20 mm 以下。

2. 制图区内图像云层覆盖应少于 5%，特殊地区可根据需要适当放宽。

3. 相邻景图像之间应有不小于图像宽度 4% 的重叠。

4. 为了保持整幅图像色调的一致和协调，应尽量选用图像获取季节相近的图像，且图像信息丰富、影像清晰、反差适中、色调均匀。

5. 为了保证影像地图图面的清晰，且为了保证一定的几何精度，原始图像的分辨率应在 80 m 以上，特殊的专业应用应按照不同的要求决定这个参数。

（二）其他资料的选择

1. 制作 1:25 万影像地图的控制点应来源于 1:10 万或以上比例尺的线划地形图、数字地图。特殊的专业要求应视具体情况而定。

2. 专题信息和地理要素信息应来源于相应时相的线划图件、矢量数据库或其他相关文字资料。比例尺应大于或等于 1:10 万。

四、数字图像处理

（一）图像预处理

在保持足够信息量和清晰度的前提下，对噪声和条带较多的图像，需进行去条带和滤波处理，对辐射度畸变较大的图像进行辐射度纠正处理。

（二）几何纠正

1. 控制点的选择取决于拟和多项式的次数，图像纠正一般应在 8 个象限内都有控制点，控制区域应选在最大的范围内（即控制点尽量靠近图像边缘）。控制点应有 9 个，即 8 个象限点加上图像中心 1 点。多项式选择二次多项式。

2. 适用纠正公式对图像逐点进行纠正，要求纠正误差不大于图上 0.5 mm（实地

125 m)。只要保证控制区域足够大，控制点拟合精度控制在 0.3 mm 以内，可以满足上述要求。

3. 点位选择应在地形图和图像上均能正确识别和准确定位的明显地物点上，重采样一般选择立方卷积的方法。

（三）数字镶嵌

1. 在相邻图像重叠区内选择同名点作为镶嵌控制点，要求两景同名地物严格对准，拟和中误差在一个像元左右。

2. 两景图像间需进行亮度匹配，以降低灰度差异。

3. 镶嵌拼接线的选择无论是采用交互法还是自动选择，均需是一条折线或曲线。

4. 在拼接点两旁需选用“加权平均值方法”进行灰度圆滑，进一步提高图像镶嵌的质量。

（四）图像增强

选择适当的数字增强或处理方法，进行图像增强处理。

五、整饰与注记

（一）图廓整饰

1. 图廓整饰内容包括：内图廓、外图廓、坐标注记。

2. 内图廓线应是曲线，东西图廓可以绘成直线，南北图廓为弧线，可以分段表示成直线。图廓线宽度为图上一个像元。

3. 外图廓线平行于图内图廓线，与内图廓线间隔为 10 mm，主图廓线宽度为 1 mm，副图廓线宽度为一个像元，两者相互平行，距离为 2 mm。

4. 坐标注记

（1）图廓线坐标注记内容是经纬度和公里网，在外图廓上以经差 15′、纬差 10′间隔注记经纬度坐标，注记 2 mm 长、一个像元宽的短线在主图廓与副图廓之间。贯通图面的公里网间隔为 10 km。

（2）图廓四角的经纬度注记标于内图廓四角的延长线两侧，字头朝上。经度注记跨经线的左右，左注“度”，右注“分”“秒”；纬度注记跨纬线上下，上注“度”，下注“分”、“秒”。

（3）公里网注记要求每条方格线在图廓间注出其坐标值的两位公里数，首末方里线及百公里数方里线注记应注出完全的公里数，在南、北图廓间的两位公里数注在方里线的右侧，百位以上数字注在方里线的左侧，东、西图廓间的两位公里数注在方里线上方。

（4）坐标注记采用宋体。注记整十公里字高为 3 mm，带号与整千公里字高为 2 mm。

（二）图面整饰与注记

1. 图面整饰要求标注图名、图幅接合表、数字比例尺和线比例尺、密级等。

（1）图名用横列注记在北图廓外居中位置。图名下方注记图幅编号。字体采用黑体，大小见附图。

（2）比例尺标注于南图廓外正中位置。应同时绘制数字比例尺和直线比例尺。

（3）图例内容包括地理要素和专业要素。一般配置在东图廓外侧，沿外图廓线从上而下排列，上方与北内图廓线持平。

（4）图幅接合表配置在北图廓外西面。

（5）图件密级划分机密、秘密、内部用图三种。密级标注在北图廓外东面，最后一个字对直东内图廓线。字体用宋体、字高为 5 mm。

（6）南图廓外西面注记包括所采用的遥感资料种类、时相和波段组合，控制资料等。字体用宋体、字高为 5mm。

（7）南图廓外东面注记作业单位。字体用宋体、字高为 8 mm。

2. 按照应用的要求注记地理名称、矢量要素、专题要素等信息。名称注记字体用宋体，字高为线划地形图的 2 倍。

六、检查与验收

（1）影像地图需严格符合技术设计和任务书的要求，满足应用的需要。

（2）影像地图图面要求影像清晰、反差适中、色调不偏色、信息丰富、层次突出。

（3）图廓线尺寸、公里网、经纬度、图幅内外整饰、注记符合要求。

（4）数学精度的检查，在每幅图内随机抽取 25 个以上均匀分布点位，在 1∶10 万或以上比例尺的线划地形图、数字地图或影像地图上读取同名地物点的坐标作为真值，计算随机取样点的中误差。

$$m = \pm\sqrt{\frac{\sum(\Delta x^2 + \Delta y^2)}{n}}$$

式中：m——点位中误差，mm；

Δx、Δy——随机取样点坐标差，mm；

n——随机取样点点数。

按上述标准制作的新疆阿尔金山地区 1∶25 万苏吾什杰幅影像地图（彩图 1-10）和内蒙古德尔布干地区 1∶25 万莫尔道嘎镇幅影像地图（彩图 1-11），符合有关技术规范要求。图像色彩明快、层次清晰、信息丰富、可解性强。

1∶10 万遥感影像地图制作，可参考 1∶25 万幅影像地图制作标准执行，但在纠正点选择时，地形图比例尺应选择大于一级制图比例尺（彩图 1-12）。

1∶5 万遥感影像地图制作，可通过从 1∶10 万影像地图上裁剪，经差值放大而成（彩图 1-13）。

第二章　1:25万遥感填图方法技术系列

遥感填图方法系列主要是解决1:25万遥感地质填图过程中所使用的方法技术，具体包括：遥感信息解译提取方法、填图单位建立划分方法和野外调查方法三部分：

- 遥感地质填图方法系列
  - 1. 遥感信息提取
    - 影像单元法
    - 信息增强处理法
  - 2. 填图单元建立划分
    - 影像岩石单元法
    - 综合分析研究法
  - 3. 野外调查：单元-剖面法
    - 影像单元-剖面法
    - 影像岩石单元-剖面法

第一节　传统地质填图方法概述

区域地质调查和填图是一项具有战略意义的综合性极强、服务面很广的基础地质工作。开展该项工作的实际意义在于为矿产、水文、工程环境、地质勘查和预测、地质科学研究等方面提供基础地质资料，而且也为国民经济建设，如自然资源开发、交通、基本建设，城市规划以及国防建设提供区域地质依据。其填图方法随着科学技术的进步和国民经济建设需求而发展。

当前，在地质填图工作中，对岩石地层的划分有诸多方法，主要有岩石地层学、生物地层学、年代地层学，以及磁性地层学、地震地层学、矿物地层学、化学地层学等方法。它们从不同角度出发，按地层固有的某种性质研究并划分地层，以探索由地层组成的地壳按照某种固有的特性所显示出来的演化规律。

一、岩石地层填图方法

岩石地层划分的目的在于根据宏观岩性特征变化系统地将地层组织成单位，使地壳岩层的物理图像可视化，以便进一步研究其岩石组成、结构、时空存在状况，解释其形成年代、环境和地质发展史，确定区域地质构造，开发自然资源，最大限度地挖掘岩石地层中蕴藏的各种地质信息，为国民经济建设服务。它的填图单位建立是根据宏观岩性特征和相对地层位置划分的岩石地层体。对沉积岩、沉积-火山岩、保留原岩结构构造的浅变质岩，采用岩石地层单位划分方案，其单位种类有群、组、段；对于构造改造强烈，无法恢复层序的变质岩，采用岩石构造地层划分方案，单位种类有岩群、岩组、岩段，其间为构造界面所围限。

二、岩石谱系单位填图方法

该方法是针对花岗岩类填图单位划分所采用的一种方法。它主要是以花岗岩类岩浆同

源性及其演化序列为划分基础，实现不同等级的岩石谱系单位的建立，进而揭示出区域岩浆演化的规律。

岩浆同源性或同源关系实质上就是所有岩石构成单位具有一定的空间和时间关系、矿物成分之间的关系，同时保持着相似的结构特点。也就是说，一定空间和时间范围内所形成的花岗岩岩类来自于一个公共母岩浆。而同源岩浆序列则是一次熔融事件演化所形成的一套岩石组合，它们是由于岩浆离开了一个公共的母岩浆房之后分异演化形成。

在一定的空间范围内，岩浆的同源性及其演化序列有其固定的模式，可以表现岩类从基性至酸性的完整序列，也可以表现倒序列或不完整序列。为此，岩石谱系单位包括：单元、独立侵入体、超单元和超单元组合。

使用该方法的最大优点是岩石类型划分详细，有利于限定成矿条件。但也存在极大的不足，如相邻图幅或区域性对比难度较大，对复杂的地质现象解释显得简单化，主要表现在某些单元划分的复合性和不纯性。无论如何该方法具有一定的可应用性。

总之，采用上述填图单位的划分方案，是以岩石学特征为主的填图方法。优点为无论是地层还是岩体，其填图单位建立划分是以宏观岩性特征变化规律为证据，充分体现出组成地壳岩石、地层的自然规律的变化。该方法直观，也易于运作。

三、生物地层填图方法

生物地层划分的目的是根据化石内容和特征把地层序列系统地组织成为命名的单位，以便为进一步研究生物演化、迁移、沉积环境、地质年代、地质发展史等提供依据。生物地层单位建立是根据化石类型、分布和化石的某些特征来划分，并区别于相邻地层的客观的物质实体。某一生物地层单位是否存在，只能根据其特殊生物地层特征的有无而加以鉴别。

生物地层单位划分为组合带（群集带）、顶峰带和延限带。

该种填图单位划分的主要不足是生物地层划分只能在地层层序中有限的部分进行，局限性大。

四、年代地层填图方法

年代地层划分研究的主要目的是为了解释地层序列的年代关系，将测区地层精确地归入区域性“阶”，为进一步研究沉积地层的时空分布特征和各种地质作用的速率、强度等提供依据。

其地层单位划分为界、系、统、阶，阶为年代地层的基本单位。

五、磁性地层填图方法

磁性地层的研究目的是根据地层磁性特征变化，将岩层系统地划分成单位，并进行填制。其填图单位为磁性极性单位，即极性带。极性带划分是以地磁场的极性改变所引起的岩层天然剩余磁性方向变化为基础。磁极性渐变转换的地层间隔带称“极性转换带”；标志磁极性改变的面或薄层称“极性倒转面”。在应用中根据极性带的变化范围和重要性分为不同级别，包括：“极性超带”、“极性带”和“极性亚带”。与之对应的地质年代术语是“极性超时”，“极性时”和“极性亚时”。

六、化学地层填图方法

化学地层划分是按岩层的地球化学变化特征，将岩层分割为不同的层位或单元称为化学地层划分法。单元界线为岩石中地球化学特征变化面。并根据化学成分或元素特征变化的多少、大小和明显程度来实现。化学地层界面可分为高、中、低类次等不同的级别。高类次变化面常与组级单位界面接近；而某个或局部地化特征变化面主要与段或某些旋回性沉积有关。

第二节　遥感影像信息提取方法研究

利用遥感图像进行影像信息提取是遥感地质填图的基础工作。为了将遥感图像所显示出的丰富地质信息准确地提取出，解译方法选择十分重要。为此结合1:25万遥感填图应用结果及遥感地质专家们常用的方法，总结提出了遥感信息解译提取的两种方法，即影像单元法和遥感信息增强处理法。

一、影像单元法

影像单元法是以遥感图像信息为目标进行解译、分类命名、编制遥感影像单元解译图的一种方法。它属于目视解译范畴。

影像单元定义：以特征色彩组合或影像结构图形、地形地貌单元、水系类型、几何图形等影像特征展示出的可分影像标志体为影像单元。其边界明显，每个单元以某种影像特征显示为主，具有一定的规模。

影像单元法定义：以影像单元为基本单位进行遥感影像单元图解译编制的方法称之为影像单元法。

（一）影像单元建立原则及方法

影像单元解译是根据工作图幅内卫星影像图总体影像特征变化规律进行的，其单元的解译建立必须遵循下列原则和方法。

1. 影像单元解译建立原则

（1）影像单元必须是一个特征影像标志体。

（2）单元特征以一种解译标志为主体显示。

（3）不同单元之间边界清晰，具可解和可分性。

（4）边界特征可以是色变线，也可以是地貌单元分界线，还可以是不同影纹结构体变化线及其他形式。

（5）影像单元需具有一定的规模和延伸。

（6）影像特征相同的影像体可作为同一个影像单元解译建立。

（7）影像单元应具有等级概念。

2. 影像单元解译程度分区

解译程度系指影像单元解译建立过程中的可区分能力。它严格地受地质体的性质、空间组合形式和地质作用类型等多因素控制。一般可划分为三级。

A级：为高等解译程度区。不同性质地质体影像单元特征明显、清晰、可解性和可分

性强（彩图 2-1a）。

B 级：为中等解译程度。不同性质地质体影像单元特征比较明显，具有一定的可解性和可分性（彩图 2-1b）。

C 级：为低等解译程度区。不同性质地质体建立划分影像单元比较困难，为一种混合影像单元区（彩图 2-1c）。

应当指出的是，对于高植被覆盖地区解译程度应以中、低等区为主体。

3. 影像单元解译分级

影像单元解译分级的目的是通过单元特征变化进行等级划分，使其与地质填图单位相对应，其解译分级方法有两种：

1）影像单元等级解译法

影像单元等级解译法是依据宏观影像特征变化差异，从大到小进行单元等级划分。单元等级之间具有一定的内在联系，是地质体形成规律的影像表现形式。应用中可采取三分法。

（1）一级影像单元。该单元为宏观影像特征分区，多以规模较大的色带状（彩图 2-2a）、团块状（彩图 2-2b）、条形状、板状、透镜状、不规则边缘形态体和特征地貌形态（彩图 2-2c）等标志显示。不同的标志特征具有特定的地质含意。

一般情况下，一级色带状、条形状、板状影像单元多反映的是沉积地层、浅变质岩地层的空间分布，是系、统或群级地层单位建立划分的基础；而一级团块状、不规则边缘形态体等影像单元多反映的是侵入岩带、杂岩体的空间分布，是超单元或序列级填图单位建立划分的基础。另外，有个别一级影像单元也是组级地层单位划分的基础。

（2）二级影像单元。它属于一级影像单元内影像特征差异分区。间接地代表着岩石类型、岩石类型组合的存在与变化。多以单一色彩、色带组合、独特地形地貌、影纹结构体、环形信息体等标志特征显示（彩图 2-3）。它是地层填制组级单位和侵入岩体单元级单位建立划分的基础。

（3）三级影像单元。该单元为最小级别的影像单元，是二级影像单元的细划分。间接地反映某种岩性的规律性变化，是地层填制段级单位建立划分的基础。

应加以强调的是，三级影像单元与二级影像单元区别不大，建立时着重注意二级影像单元内部影像特征的微小变化。

2）影像单元等级归并解译法

影像单元等级归并解译法是指依据遥感图像显示出的特征影像单元体，直接进行单元建立与划分，然后再根据相邻单元之间的特征分析、对比，将空间分布关系密切、特征相似或相同，并具有成因联系的单元归并成一级或二级影像单元的方法。

应用该方法具有下列优点：①影像单元建立不具约束性，可直接通过影像特征差异建立单元。②所建立的影像单元对填图单位建立具有组、段、单元级划分的参考价值。③采用由小至大的单元归并使其感性认识增强，归并依据相对充足，结果更为可靠。

应加以指出的是，上述两种方法均具实用性，但在应用中相互结合时影像单元解译划分更为准确，对填图单位建立划分意义更大，吻合性会更好。

另外，在影像单元建立过程中，应加强标准影像单元的建立，选择那些影像特征清晰、延伸稳定，可解性和可分性强，具重现性的单元建立成标准影像单元，有利于单元归

并和序列分析。

（二）影像单元分类

影像单元分类是在影像单元建立划分的基础上实施的，根据影像单元特征的表现形式和粗略的地质属性分析判断，划分为定性类、半定性类和非定性类三种影像单元。

1. 定性类影像单元

所谓定性类影像单元是指通过已建立的影像单元直接实现地质体属性的定性判断。特指断裂和褶皱构造。有两种标志类型。

（1）线性影像单元

它是由单线或线带信息直接显示断裂或断裂破碎带、韧性剪切带存在的一种标志（彩图 2-4a），其延伸代表走向。

单元直接特征：直线性水系、线性负地形、串荚状沟谷、带状脉体，蠕虫状带体、菱形带体、透镜状带体、直线体、弧线体等。

另外，根据线性影像单元周围信息变化，起到间接判断作用，具体内容如下。

色彩组合信息：单一色彩体或组合色彩体的斜交、位移、突变与消失（彩图 2-4b）。

影像结构信息：不同或相同影像结构信息整体不协调分布，呈斜交、位移、叠置等关系（彩图 2-4c）。

地貌单元信息：主要指地貌单元的陡然变化（彩图 2-4d）。

几何图形信息：三角面、陡坎、透镜体（彩图 2-4e）。

地理景观信息：水系直角拐弯、串珠状泉点等。

（2）对称性影像单元

它是以组合色彩信息、地形地貌信息、影像结构信息等对称分布、转折或圈闭特征显示（彩图 2-4f），指示褶皱构造的存在。

2. 半定性类影像单元

该类单元特指通过影像特征分析、对比，可基本判定单元地质属性的一类影像单元。结合实际应用结果，初步归纳出三种标志类型。

（1）层型影像单元

单元地质属性为地层类。它以多种影像形式显示，其中包括显示走向延伸特征的条纹、条带、板条、板块状影像结构信息（彩图 2-5a）和显示岩性组合特征变化的色彩、地形地貌信息等。其中不同影纹结构和岩性信息的变化是层型影像单元进一步详细解译划分单元的标志，它们间接地反映了岩石类型或岩石组合类型的变化规律。尤其是纵向标志形式的规律性变化有利于单元的建立。

（2）非层型影像单元

该类单元地质属性比较复杂，主体代表的是花岗岩类侵入体，但也包含了地层类的一部分。

花岗岩类侵入体影像单元特征：总体特征集中表现在形态、色彩、地形地貌和影像结构四个方面。①常见的形态有不规则的“饼”状（彩图 2-5b）、“鞋底”状、“椭圆”状和“哑铃”状体等，其表面平滑、微地形起伏差异较少。②以浅色彩、褐红色彩和浅黄色彩的色团、色块显示，与围岩色彩形成明显的反差，间接地反映出侵入岩体的岩石类型的不同和性质变化。③地形地貌以区域性的团块山、透镜山体和庞大山体显示。④在影像结构

方面，受岩浆侵入固结收缩作用和后期构造改作用影响，由于岩体表面节理、裂隙发育，显示出格子状影像结构，易于判别。

地层类影像单元特征：总体特征是层纹信息不发育，块状、爪状地貌类型，出露规模大，边界清楚，宏观呈带、片展布。与花岗岩类的主要区别在于缺少显示岩浆侵入作用的色团信息和突出的地貌特征。

（3）环形影像单元

它的地质属性分别归属于花岗岩类侵入体（彩图 2-5c）、火山机构（彩图 2-5d）和环形断裂。

代表花岗岩类侵入体的环形影像单元，主要特征表现为环形影像多集中分布，分散分布少许，环形边界明显，形态多样，有圆形、半圆形、椭圆形之分。空间组合表现为相切或同心关系，尤其是后者，间接地反映出岩浆侵入作用的多期次性特点，是侵入岩单元解译划分的依据之一。

代表火山机构的环形影像单元，主要特征表现为以地貌特征显示为主，并沿某一层位成群出现，其环形边界明显，环内分布有小的环形影像，指示火山口或破火山口的存在，并伴生有放射状水系。

反映断裂存在的环形影像，多以单环形式显示，环线局部为负地形。

3. 非定性影像单元

该类单元是一种通过影像单元特征难以进行地质属性归类的影像体。总结归纳出三种类型。

（1）非层型影像单元

它是一种影像单元特征明显，边界清晰，而无法判定地质属性的单元（彩图 2-6a）。它属于一种前人资料无任何记述的地质体，也称为解译新增地质体。

（2）环形影像单元

其环形影像单元特征同半定性环形影像单元（彩图 2-6b），只是没有任何地质现象加以佐证其地质属性，也很有可能属于那种没有地质意义的环形影像，但在实际解译中确实存在，因此将其作为一种类型提出。

（3）模糊影像单元

它是一种解译程度最低的影像体（彩图 2-6c）。它可能代表地层体，也有可能代表地层与花岗岩类侵入体的交织体，但从影像特征上无法进行单元解译和属性归类。

（三）影像单元命名与编码

影像单元命名与编码采取解译程度加地质属性，再加上下角标方式表示。

例 1：瓦石峡幅 AS_1^2 单元

A——A 级解译程度区；

S——地层类；

下角标——单元类型序数；

上角标——单元类型个数。

例 2：瓦石峡幅 AG_1^2 单元

A——A 级解译程度区；

G——花岗岩类；

下角标——单元类型序数；

上角标——单元类型个数。

例 3：瓦石峡幅 AN_1 单元

A——A 级解译程度区；

N——不明地质类；

下角标——单元类型序数。

（四）影像单元精度控制评价指标

遥感地质解译一般采用目视与人机交互的方式进行，其解译结果受图像种类、图像质量、图像精度、图像比例尺、解译程度分级，以及解译人员的技术水平、工作经验、应用能力等多因素控制，因此影像单元解译精度控制评价指标应主要从重现性、可分性、稳定性和标准性四方面进行控制。

1. 重现性

指遥感解译的各种地质界线能否在同等技术条件下的重复解译中再现。影像单元解译建立的重现性依据解译程度分区不同而变化，一般情况下影像标志清晰，具有一定延伸规模的影像单元重现性较好，可达到 100%（彩图 2-7a）。影像特征模糊的影像单元，依解译者的水平、经验不同，重现性不同，对中等程度区影像单元解译重现性可达到 60%左右（彩图 2-7b）。1:25 万遥感地质解译控制影像单元解译重现性的方法如下。

（1）利用制作的全分辨率或全色波段（ETM 15 m 分辨率）融合的 1:25 万标准分幅影像地图生成 1:25 万、1:10 万、局部地段 1:5 万影像图，进行不同比例尺的交互解译。

（2）利用不同种类遥感数据形成的 1:25 万标准分幅影像图（如 TM/ETM + SPOT 融合图像、TM + SAR 融合图像、SAR 图像、CBERS 及局部地段彩色红外航片等）进行不同比例尺影像地图的交互解译。

（3）进行同比例尺、同种影像、不同技术人员的复合解译。

（4）对上述方法解译中不确定具有重现性的影像单元进行多种方法的图像信息增强处理与人机交互解译。

（5）解译过程中应对解译单元进行登记记录（卡片格式）。

2. 可分性

指遥感解译的各种地质界线能否在同等技术条件下完全可分。由于遥感影像受获取数据类型、质量、图像处理方法、混合像元等各种因素影响，影像单元间存在一定的模糊性。可分性与解译程度分区有直接关系，解译程度中、高等区影像单元可分性高，解译程度底等区影像单元可分性差。提高解译单元可分性的主要方法是对遥感信息的增强处理和多源数据的综合分析，其中 GIS 支持下的信息增强处理是今后技术发展方向。

3. 稳定性

指遥感解译的各种地质界线在各种影像图上均可稳定存在。影像单元稳定性取决于影像标志类型，通常情况下，由不同岩性组合地层形成的层型影像单元稳定性较好，但对于厚度较薄的顺层侵入岩体则很难判别。对非层型影像单元，依据其边界的清晰程度及色彩、地形地貌的变化特征，其稳定性通常较好，解译率可达到 60% ~ 70%。线带、环形影像单元稳定性最佳，解译率可达到 90% ~ 95%。影像单元的稳定性是遥感解译重现性与影像可分性的基础，遥感解译标志的建立应建立在稳定的影像单元上。

4. 标准性

是指所建立的影像单元具有明确的地质意义，对地质体解译及填图单位划分可起到标志层作用的单元。其总体特征是影像特征清晰，延伸稳定，具很好的稳定性、可分性与重现性。

二、信息增强处理方法

对遥感影像进行信息增强处理，是增强与提取遥感地质信息的前提，也是遥感技术编（填）图的基本方法和手段之一。遥感地质信息增强的目的在于加大解译图像的信息量，起到提高解译精度、准确区分地质体的作用。遥感信息增强的方法有很多，具体采用哪种方法，要根据遥感影像的类型、感兴趣的信息以及研究区的具体情况而定。采用计算机对遥感信息增强处理的目的是突出图像中的有用信息，扩大不同图像特征之间的差别，以便提高对图像的解译和分析能力，为基础地质调查提供丰富的地质信息。

本章节所要研究的信息增强与信息提取方法技术是在 GIS 技术支持下针对不同景观区的遥感数据源、不同信息的增强目的而进行。

（一）裸露区图像增强处理方法

1. 波段组合方法

裸露区波段组合处理方法是根据图像的统计数据或岩石的波谱特征，得出信息量最为丰富的波段组合方法，来达到图像增强的目的。主要方法如下。

（1）图像数据特征分析方法

根据研究子区内各波段亮度值分布范围、均值和标准差特征及各波段间的相关系数大小进行波段组合。通过对瓦石峡地区的子区 TM 数据特征进行分析，确定子区最佳波段组合为 TM7、TM4、TM1，突出了白云岩岩性特征信息（彩图 2-8a），该波段组合作为裸露区基础遥感影像地图的基本波段组合。

（2）波谱分析方法

裸露区波谱反射率是由地表最上层物质所决定的，这些物质是由植被、土壤和岩石形成的，岩石的波谱特征是裸露区波段组合的重要依据之一。根据研究区的岩石波谱特征，选择 TM5、TM4、TM3 波段彩色合成图像来增强研究区内地层岩性之间的分布特征（彩图 2-8b），虽然白云岩地层仍可解译，但不如 TM7、TM4、TM1 组合解译效果更佳。

2. 比值组合处理技术

比值法增强是通过比值图像来突出类别或目标信息的。比值图像由两个波段对应像元的亮度值之比或几个波段组合的对应像元亮度值之比获得，得到的结果可以扩大物体的色调差别，突出构造形态和岩性特征，消除地形阴影对地物图像特征的影响，区分某些在单波段图像上容易混淆的岩性和地层。

以阿尔金地区的 TM 数据为例，进行了不同比值组合处理技术的应用研究，主要方法如下。

（1）保持各波段图像间相关性的比值处理

为了使单波段图像的灰度差别不致于过大，采取了 TM4 + TM5 + TM7 为分母，分别以 TM4 × TM4，TM4 × TM5，TM4 × TM7 为分子的组合方式，所得假彩色比值图像，可起到消减地形起伏引起的阴阳坡亮度值差异，提高细部反差，增强不同岩性图像影纹之间的变化

关系的效果。彩图 2-9a 是从阿尔金瓦石峡幅中选取子区的处理图像，图像中突出了某一岩性段的特征。

（2）按特定典型光谱值求波段间的比值

由于与羟基有关的吸收作用控制了 2.2 μm 的波谱响应，但不影响 1.6 μm 波段，使用 $\frac{\text{TM}\ (1.6\ \mu\text{m})}{\text{TM}\ (2.2\ \mu\text{m})}$ 波段的比值，即 TM5/TM7 波段的比值会增强粘土和碳酸盐岩地区；由于 0.45 μm 波段位于强烈的铁离子电荷转移吸收波段，TM（1.6 μm）/TM（0.48 μm）TM5/TM1 波段比值可显示地面铁离子含量的变化情况，从而会增强含铁矿物，同时为了克服比值图像失去地物总反射强度信息的不足。根据 TM 波段的亮度值及比值数据，生成彩图 2-9b 和彩图 2-9c 所示的 5/1，4/2，5/7 和 5/7，3/1，5（分别赋红色、绿色和蓝色）比值彩色合成图像，它们分别增强了白云岩和某一岩段的地质界线。

（3）按特定物体的灰度比值处理

根据研究子区图像各波段的波谱特性及在处理过程中反复比较试验，用比值 TM5/TM1，（TM5 × TM7）/（TM1 × TM2），（TM7 − TM1）/（TM3 + TM4）生成如彩图 2-9d 所示的彩色合成图像，对提取地层、岩体的变化信息，以及区分主要岩石类型，突出环形构造起到明显的应用效果。

（4）比值组合的数学分析方法

比值之间的组合方式可通过最佳指数因子分析加以确定。最佳指数因子为：

$$f_{\text{OIF}} = \sum_{i=1}^{3} \sigma_{i,\text{SD}} / \sum_{j=1}^{3} |C_j|$$

式中：$\sigma_{i,\text{SD}}$——第 i 比值图像的标准偏差；

$|C_j|$——每三个比值中任意两个比值之间的相关系数的绝对值。

标准偏差反映离散程度，$\sigma_{i,\text{SD}}$越大，比值图像上不同地物的辐射强度差异越大；相关系数$|C_j|$越小，比值间的重复量越小。所以 f_{OIF}值越大，则比值合成图像所包含的信息量越大。通过计算某一研究子区比值图像的最佳指数因子，确定该子区的最佳比值合成方式为：TM3/TM2，TM4/TM2 和 TM7/TM3。彩图 2-9e 对不同岩性分区起到了明显的增强效果。

3. 主成分分析方法

由于岩石在各个波段的反射率相似，使得多波段图像的各个波段呈高度相关。改进分析数据的方法是把数据重新分布在多维空间中的另一坐标系，这一方法称为主成分分析。主成分分析方法是对原始多光谱或多向量图像作空间线性正交变换，产生一组新的成分图像，结果使高维图像降到低维的最佳波段组合，且这种降维处理不损失原图像的模式特征信息。新的图像各成分之间各自独立，互不相关，减小了原多光谱图像的相关性，突出了模式类别间的差异性。通过典型分析和分类特征组合可增强区分构造和岩性的技术能力。

为达到增强地质对象的目的，压制其他干扰因素的影响，本研究利用图像处理系统，对研究子区数据通过不同的方式进行了主成分分析处理。主要增强处理方法有：

（1）选择 TM1，TM2，TM3，TM4，TM5 和 TM7 等 6 个波段作主成分分析，根据特征向量矩阵分析，第一主成分图像包括的是地形、土壤和植被方面的信息，第二、第三主成分图像反映了 TM1，TM5 和 TM7 波段的信息，对识别岩性信息有利。彩图 2-10a 是用 PC3，PC2 和 PC1 主成分图像所作的假彩色合成图像。

（2）将 TM 多波段图像分成三组，这三组图像中，组合方式为 TM1，TM2，TM3；TM3，TM4，TM5；TM4，TM5，TM7。每一组的两个图像间都是高度相关的，对每一组图像进行主成分分析，第一个主成分含有相关的混淆信息，而第二主成分则是要提取的感兴趣的信息，将 3 个第二主成分图像合成便得到彩图 2-10b 所示的处理后图像。

（3）选择 4 个波段（TM3，TM4，TM5，TM7）作为输入数据，相关矩阵表明所选波段呈高度正相关。第一主成分图像（PC1）与原始数据相关性很高，第二、三、四主成分图像 PC2，PC3 和 PC4 的总方差很小，但这些图像最有助于识别岩性的变化。彩图 2-10c 是用这 3 个主成分图像所作的彩色合成。

（4）对 TM1，TM2，TM3 和 TM5，TM7 两个波段组进行主成分分析，然后用 TM4 和这两个波段组的第二主成分图像进行彩色合成处理。彩图 2-10d 是假彩色合成显示图像。

此外还可以进行多种组合变换分析，如彩图 2-10e 是选择 TM1—TM5 和 TM7 与 TM1，TM3，TM4，TM5 两个波段组进行主成分分析，然后用 TM2 与 TM1—TM5 和 TM7 主成分分析后的 PC1 和 TM1，TM3，TM4，TM5 主成分分析后达到 PC3 作彩色合成，彩图 2-10f 是选择 TM1—TM5 和 TM7 与 TM1，TM3，TM4，TM5 两个波段组合进行主成分分析，然后用 TM5/TM7 比值图像与主成分图像 PC1 和 PC3 作彩色合成。

（5）利用多波段的原始图像与比值图像进行组合作主成分分析。选择 TM7，TM4，TM2 和 TM4/TM1，TM3/TM1 比值图像进行主成分分析，根据特征向量矩阵选择 TM7 和 TM4/TM1，TM3/TM1（彩图 2-10g）各自的最高载荷因子所在的主成分图像作彩色合成。彩图 2-10h 是用 PC1，PC3 和 PC4 主成分图像所作的彩色合成图像。

从上述 8 组主成分分析组合图像对比分析，除了彩图 2-10e、h 主成分分析组合图像对岩体、地层信息有所增强之外，其他组合效果不明显。

（6）监督主成分分析方法

以上的主成分分析方法都是针对全图像的总体分布特征，即主成分轴的大小和取向取决于各波段图像的计算特征和特征向量的协方差矩阵。在实际应用中，有时为了达到增强地质对象的目的，压制其他干扰因素的影响，用图像中局部地区或感兴趣目标区域的特征向量矩阵应用于整个图像，对全图像进行主成分变换，以达到增强和提取主要研究对象信息的目的。

在本研究中，为达到突出超基性岩体的目的，从研究图像中选取超基性岩体训练区，然后把训练区的特征向量的协方差矩阵应用于整个研究图像作变换，是用研究区的 TM 图像数据的 TM1—TM5 和 TM7 进行监督主成分分析，由 PC1，PC2 和 PC3 三个主成分图像所作的彩色合成图像，增强了地层的分布特征。

4. HIS 彩色空间变换方法

多光谱遥感图像波段间都存在一定的相关性，较高的相关性导致假彩色合成图像的饱和度过窄，颜色层次少，不利于地质信息提取。HIS 彩色空间变换处理可以降低多光谱之间的相关性，有助于遥感图像对岩性的识别。

遥感图像的 RGB 空间是由任意的三个波段或者三个组分图像假彩色合成方法构成的，如果在 RGB 空间的三个波段或图像变量之间相关很高的情况下，假彩色合成难以取得良好的显示效果，通过变换关系把它们变换到 HIS 空间，对这三个新变量进行调整，来提高彩色显示效果。

在裸露区遥感数字图像处理中，HIS变换多用于彩色合成图像的饱和度和色调增强以及比值图像的增强处理。

（1）彩色合成图像的饱和度和色调增强

对于高相关的图像数据，强度（I）的动态范围很宽，而饱和度（S）和色调（H）的变化范围很窄。如果把 S 和 H 分别进行反差扩展，然后与 I 一起作假彩色显示，则由于 I、H、S 之间相关较低，可得到较好的效果。彩图 2-11a 是研究区的 HIS 变换彩色合成图像。

把经过适当反差扩展以后的 H、S 及 I 图像再变换到 RGB 空间去，使不同地物的色彩差别得到增强。如彩图 2-11b 所示，为研究区的 HIS 反变换彩色图像。上述处理图像，对研究区内的环性构造、岩体和地层都起到了一定的增强作用。

（2）对特定的波段比值作 HIS 变换，其目的是为了增强含某些特殊矿物的岩石。如利用能反映氧化铁矿物和粘土矿物的波谱特性的波段比值，再作 HIS 变换增强这两种蚀变矿物可能出现的岩石区。为检测与矿化有关的蚀变特征，用 TM5/TM7，TM3/TM4，TM3/TM2 比值赋以红、绿、蓝进行 HIS 变换，彩图 2-11c 为大平沟金矿区的太古宇变质岩分布区处理结果图像。富含粘土和三价铁氧化物的岩石区在 HIS 图像上呈现明显的黄色斑点色调异常。该方法对增强研究区内的矿化蚀变特征起到明显的突出效果。

5. 掩膜技术

在遥感信息增强处理中，目标信息往往会在处理中受到相邻地物的不利影响（如土壤、植被、戈壁沙漠和冰雪等），使得有用信息所占的灰度范围比较小或受干扰光谱影响很大，而这些不利影响很难通过数学物理模型进行校正。在这种情况下，利用所确定的干扰物区域图像，采用掩膜方法对待处理图像进行逻辑运算，得到一幅或若干幅去干扰物的图像，然后在此基础上，再对图像进行有关的增强处理。由于对不利因素进行人为压制，使原图像中的干扰物的亮度区间压缩至最小，使有用的地物可利用的亮度区间达到最大，从而可产生较好的图像增强效果。

选取瓦石峡幅子区遥感图像，通过人机交互方式对图像中戈壁滩进行掩膜处理，然后对原始图像和掩膜后的图像进行直方图均衡化增强处理，得到如彩图 2-12 所示的彩色效果，掩膜处理后的增强图像突出了阴影区的岩性特征。

6. 岩石地层单元建模技术

光谱信息是识别岩石地层单元最本质的特征。对于多波段遥感图像，把地物的像元灰度看成是波段函数，不同地物的函数曲线应该不一样。因此，对这些代表不同类别的曲线进行比较，不同的曲线就意味着不同类别。由于每类地物在各波段都有一定的亮度范围，同一类别在多维空间的某一空间区域内簇集靠近在一起，只有确定好各个类别的变差参数，才能利用计算机进行逐个像元扫描、比较和分析，实现自动识别岩石、地层类型的要求。

建立基于遥感图像亮度值区间的岩石地层单元模型，首先要确定和识别岩石、地层类别的均值和方差，作为识别参数。这时，每类别相应的识别模型为：

$$| DN_j - \overline{DN_j} | \leqslant \sigma_j$$

式中：$\overline{DN_j}$——要识别类别在第 j 波段的均值；

σ_j——要识别类别在第 j 波段的方差，均为输入的阈值参数。

表 2-1 是岩体训练区参数表，彩图 2-13 是根据本书建立的岩石地层单元建模技术，利

表 2-1 超基性岩体训练区不同波段亮度特征统计表

统计值波段	最小值	最大值	均值	方差	判别依据	
TM1	100	110	108	3	DN1-108	≤3
TM2	58	63	60	2	DN2-60	≤2
TM3	76	81	79	3	DN3-79	≤3
TM4	64	69	67	3	DN4-67	≤3
TM5	116	125	121	5	DN5-121	≤5
TM7	67	73	71	3	DN7-71	≤3

用多波段遥感数据提取的超基性岩体分布图像。

该方法在地形起伏变化较小的地区，利用根据图像的统计分析特征建立的岩石地层单元模型，可快速自动提取特定岩体和地层的分布信息。在本研究中，比较准确地提取了超基性岩体露头的分布特征信息。

7. 图像线性拉伸与直方图均衡化增强

图像增强处理是图像数字处理的基本方法之一，主要包括拉伸、直方图均衡化、比值、滤波等。通过增强可以突出图像中有用的信息，使其中感兴趣的特征得以加强，如岩性、线形构造和面状水体等，图像会变得清晰，解译性提高。增强处理按图像的信息内容可分为波谱特征增强（突出灰度信息）、空间特征增强（突出线、边缘、纹理结构特征）及时间信息增强（针对多时相而言）。从数学形式看，又可划分为点处理（如线性扩展、比值、直方图变换等）和邻域处理（如卷积运算、中值滤波、滑动平均等）。

为了突出特定的地物类型，需要做特定方式的增强处理。不同的处理方式，效果各有侧重，至于它们之间的最佳对应基本上不存在规律，视不同的情况而定，往往会“顾此失彼”，甲的增强也许要以乙的被压制为代价。在一定程度上，取决于反复的数学、物理分析与实验和总结前人积累的经验。

原始瓦石峡实验区 TM 图像灰度分布范围窄，对比度不强，亮度偏低，彩色合成后也非常模糊，影像整体发暗，无法辨认各种地物。对它做了线性拉伸，使各波段的灰度分布范围加宽，提高图像的对比度。线性拉伸方程为：

$$\frac{x_b - b_1}{b_2 - b_1} = \frac{x_a - a_1}{a_2 - a_1} \qquad (x_a \in [a_1, a_2], x_b \in [b_1, b_2])$$

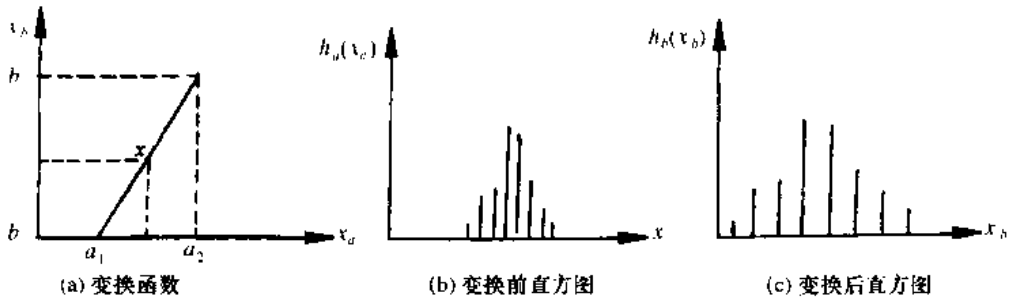
$$x_b = \frac{b_2 - b_1}{a_2 - a_1}(x_a - a_1) + b_1$$

式中：a_1，a_2——a 波段（x_a 轴）最小、最大灰度值（增强后表示在 x_b 轴上）；

b_1，b_2——最小、最大值。

通过这次拉伸变换，原图像较窄的值变宽（图 2-1）。

拉伸后做彩色合成，图像效果良好，一般的地物基本上能辨认出来，但不同的岩石类型还是有混淆。这是有原因的，从空间分布来说，这两种地物一般是紧密相连呈过渡关



(a) 变换函数　(b) 变换前直方图　(c) 变换后直方图

图 2-1　线性拉伸变换示意图

系；从光谱特征上来说，它们的光谱值最为接近。为了分开它们，又继续做了分段线性拉伸。这些拉伸只在图像显示时使用，并不会改变原数据。

同时，还对原始图像做了直方图均衡化（将原始图像各种灰度级在图像中所占的比例调至相等，使各部分的比例关系得以改善），效果有时好于拉伸，有时差。

8. 空间滤波

空间滤波是指在图像空间对输入图像应用若干滤波函数而获得改进输出图像的技术。其效果有噪声的消除，边缘及线的增强，图像的清晰化等。

遥感数字图像的空间域滤波是通过局部性的卷积运算而进行的，通常采用 $n \times n$ 的矩阵算子作为卷积函数。

$$g(i,j) = \sum_{K=i-w}^{i+w} \sum_{I=j-w}^{j+w} f(K,I) \times h(i-k, j-I)$$

式中：f——输入图像；

h——滤波函数；

g——滤波后的输出图像。

本次研究选择 3×3 典型算子如表 2-2 所示，彩图 2-14 是水平方向滤波图像，彩图 2-14 是主对角线方向滤波图像。

通过空间滤波图像处理，不同程度增强研究区内的空间结构特征，为研究区内岩浆侵入与地层之间的作用关系提供了依据。

9. 线性体自动提取方法

利用遥感图像提取线性体，进行构造分析，研究区域与局部构造控矿规律一直是矿产勘查中遥感技术应用的重点。即通过遥感图像线体分布模式来推断断裂力学性质和对线性体进行定量分析确定区域应力场，以此来逐步寻找成矿构造部位。而研究大区域线性体自动化提取技术对提高传统的工作方法效率和线性体的定量化分析程度都具有重要的意义。线性体自动提取包含了许多十分复杂的技术难点，由于时间和研究条件有限，本研究的目的是利用 ERDAS IMAGENE 系统的图像处理方法及栅格与矢量数据转换的功能，发展了遥感图像线性体自动提取技术。通过定量分析，提取图像上边缘点，进行栅格向矢量的转换及叠加成图，实现图像线性边缘点的计算机自动识别和提取。

处理过程如图 2-2 所示，以研究区应用为例，具体说明相应的处理方法。

表 2-2　3×3 空间滤波算子一览表

空间滤波	3×3 算子	效　　果
平均值滤波	1/9　1/9　1/9 1/9　1/9　1/9 1/9　1/9　1/9	平滑化
中值滤波	用 3×3 的直方图的中间值置换	噪声消除
Laplalian 算子	0　1　0 1　-4　1 0　1　0	微分，增强 SN，EW 向线性特征
Sobel 水平算子	-1　-2　-1 0　0　0 1　2　1	梯度（差分），增强 EW 向线性特征
Sobel 垂直算子	-1　0　1 -2　0　2 -1　0　1	垂直梯度（差分），增强 SN 向线性特征
Sobel 对角线算子	0　1　2 -1　0　1 -2　-1　0	对角线梯度（差分），增强 SE 向线性特征
Sobel 边缘增强	2　1　0 1　0　-1 0　-1　-2	梯度（差分），增强 NW 向线性特征
高通滤波	0　-1　0 -1　5　-1 0　-1　0	边缘增强
水平方向滤波	-1　-1　-1 2　2　2 -1　-1　-1	增强 EW 走向的线性体
垂直方向滤波	-1　2　-1 -1　2　-1 -1　2　-1	增强 SN 走向线性体
对角线边界滤波	-1　-1　2 -1　2　-1 2　-1　-1	增强 NE—SW 走向线性体
对角线边界滤波	2　-1　-1 -1　2　-1 -1　-1　2	增强 NW—SE 走向线性体

（1）预处理

主要使用高斯扩展和直方图均衡处理，对研究区图像进行边缘增强处理。用中值滤波消除干扰噪声。

（2）方向卷积滤波

用方向滤波算子：

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

和 $\begin{bmatrix} 0 & -1 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & 1 & 0 \end{bmatrix}$

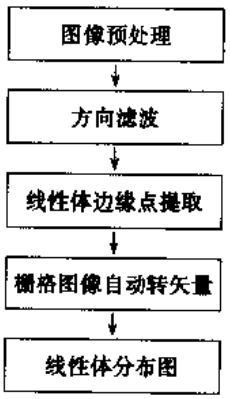


图 2-2　线性体自动提取流程图

用于边缘增强。用中值滤波压制由于方向滤波所引入的一些附加噪声。

(3) 线性特征提取

在边缘增强图像上，边界、线段与周围的像元具有高反差，对滤波图像进行二值化处理，二值化阈值由下式确定：

$$T = 255 - Z$$

选择 Z 使其满足：

$$S = \sum_{i=0}^{i} H(255 - i) \leqslant 20\%$$

式中：H——滤波图像的直方图函数。

一般一幅图像的边缘密度在 20% 以下，本研究区以试验选择 15% 最佳；求得 T 后，使滤波图像二值化，得到研究区线性体边缘点图像。

(4) 栅格数据自动矢量转换

为了使计算机提取的线性体更加直观，通过栅格数据的矢量自动转换，去掉那些不必要干扰和孤立的边缘点，使其更接近实际地质意义。利用 ERDAS IMAGINE 软件进行栅格到矢量的转换，可通过参数设置确定线性特征的最大宽度，边缘点栅格弧段上两个点间的最小距离等，获取供进一步处理的线性体信息。彩图 2-15 是利用计算机自动提取的 NW 方向的线性体与 TM5 波段图像的叠加图像。

通过线性体自动提取方法初步应用研究，实现了图像线性边缘点的自动识别和提取。由于生成的线性体图像包含了亮度界线、断裂和层纹信息，在实际应用过程中还需要进行计算机自动跟踪和人机交互分析等编辑处理，删除与地质构造无关的线性体。如何将提取的线性体通过细化、计算机自动跟踪和人机交互分析相结合，进行线性体的连接、编辑和综合，是今后实际应用中需要解决的技术难题。

10. 多源数据融合

多源数据的融合目前已逐渐在遥感应用研究中占领一席之地。现在能得到的遥感数据种类很多，有不同光谱波段、不同空间分辨率、不同光谱分辨率及不同时相的。不同类型的数据各有千秋，不可能一种数据在各个指标方面都达到最好。这时，需要各种数据组合使用，优势互补，即数据的融合。准确地说，数据融合是处理多源数据以获取更多的信息服务于决策的过程（Hall，1992），即运用一定的算法合并多幅影像而形成一幅新的影像（Genderen 和 Pohl，1994）。目的是吸收各种数据源的优点，从中提取更加丰富的信息，也可以称之为“1 + 1 = 3”。遥感影像融合能富集同一地区不同数据源的信息，大跨度波谱特性影像数据的融合（如光学和雷达影像），提供了有关各单个传感器的互补信息，使分类更精确；大跨度空间分辨率影像（如全色航片与 TM）的融合有利于改善多光谱影像的锐度，增强特征提取和目视判读能力，有效用于变化监测。它是解决多源海量数据富集表示的有效途径之一，有利于增强多重数据分析和环境动态监测能力，改善遥感信息提取的及时性和可靠性，有效提高数据的使用效率，为大规模的遥感应用研究提供一个良好的基础，使花费大量经费的遥感数据得到充分利用。

图像的融合需考虑多方面因素，如：你的用途，原数据的选择，融合前的预处理（如空间配准，波段选择等），融合的方法，后处理等。

目前，图像融合有三种基本方法：基于像元的融合、基于特征的融合、基于判决水平

的融合。较为广泛的融合方法有：算术运算（加、减、乘、除或混合运算），主成分分析（PCA），高通滤波（HPF），HIS 变换，小波变换（wavelet）等。至于哪种方法好用，依具体情况而言，也并非越复杂的算法越好，一些加、减、乘、除的算法简单、运算量小，有时效果也不差。HPF 与 wavelet 较为相似，都是保留了高频成分与低频成分，HPF 的难点在于滤波器的选择，且易丢失重要的纹理信息；wavelet 是目前比较流行的算法，它能在光谱与空间两方面同时取得较好的融合效果。

从瓦石峡 TM 影像上取一 512 × 512 像元的子区，选择几种方法对多光谱波段（TM1，TM2，TM3，TM4，TM5，TM7）与全色波段（PAN）进行融合，多光谱波段分辨率为 30 m，全色波段为 15 m。

（1）算术运算法

加法：TM1′ = TM1 + PAN，TM4′ = TM4 + PAN，TM7′ = TM7 + PAN（见彩图 2-16c）

乘法：TM1′ = TM1 × PAN，TM4′ = TM4 × PAN，TM7′ = TM7 × PAN

混合：$TM1' = \dfrac{TM1}{TM1 + TM4 + TM7} \times PAN$　$TM4' = \dfrac{TM4}{TM1 + TM4 + TM7} \times PAN$

$$TM7' = \frac{TM7}{TM1 + TM4 + TM7} \times PAN$$

见彩图 2-16d

（2）HIS 变换法（见彩图 2-16f）

对 TM1，TM4，TM7 做 R，G，B 到 I，H，S 的变换：

$$\begin{pmatrix} I \\ V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{2}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \qquad H = \tan^{-1}\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \qquad S = \sqrt{V_1^2 + V_2^2}$$

即：将空间信息 I 与光谱信息（H，S）分离，V_1、V_2 是两个中间变量。然后拉伸 PAN 的直方图，使之与 I 的直方图匹配，产生一个查找表，将查找表代入 PAN，使 PAN 与 I 有相同的直方图形态，再以 PAN 替代 I，记为 I'，做 I'、H、S 到 R、G、B 的反变换：

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{2}{\sqrt{6}} & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I' \\ V_1 \\ V_2 \end{pmatrix}$$

（3）PCA 变换融合（见彩图 2-16e）

主成分分析大大地压缩了数据量，对波段较多的 TM 影像很有用。融合时，将 TM 的所有多光谱波段一起做主成分变换，一般前三个主成分就包含整幅影像信息量的 90% 以上，以第一、第二、第三主成分来替换 7 个波段，PAN 与第一主分量进行直方图匹配后将其替代，再与另外两个主分量合并做反变换即可。融合后的影像集成了多光谱波段较高的光谱分辨率与全色波段较高的空间分辨率二者的优点，图像清晰度提高，目视效果明显增

强，不同岩性间的反差增大，有利于影像的解译。几种方法融合的结果经对比发现后两种效果更好。

11. 多层次信息分解

主成分分析是遥感地质信息增强与专题地质信息提取中常用的一种方法，下面以主成分分析为例探讨多层次信息分解技术在遥感影像地质弱信息增强中的应用。

1）主成分分析的数学原理

基于主成分变换的主成分分析是遥感图像处理中常用的图像增强和信息提取方法。主成分变换是建立在图像统计特征基础上的多维线性变换，又称 K-L 变换，实质上是一种线性变换，是就均方误差最小来说的最佳正交变换，图像的线性变换是遥感图像处理与分析的一个重要手段。

K-L 变换是在统计特征基础上的多维（遥感图像处理中即为多波段）正交线性变换。多波段图像通过这种变换后产生出一组新的组分图像，组分图像可以等于或少于原来图像的波段数目。对于一幅多波段图像，波段之间往往存在很大的相关性，从直观上看，不同波段图像之间很相似，从提取有用信息的角度看，有相当大的数据量是多余的、重复的。K-L 变换的主要特性之一就是能够把原来多个波段中的有用信息尽量集中到数目尽可能少的新的组分图像中。

K-L 变换的另一个重要特性是不仅能够对图像信息进行归并处理使图像数据量得到有效的压缩，而且还能够使新的组分图像中的组分之间互不相关，也就是说各个组分包含的信息内容是不重叠的。总之，在遥感图像处理中进行 K-L 变换的目的有二：一是压缩数据量，节省计算机内存，加快图像处理速度；二是除去相关和图像增强。例如 SPOT 的多波段图像只有 3 个波段，从彩色合成图像增强处理的角度看，对 3 个波段的 SPOT 图像进行 K-L 变换本来是必要的，但实际上 SPOT 图像的 3 个波段的信息内容存在很大重叠，波段与波段之间的相关性较大，从而影响了视觉效果与目视解译，对 SPOT 图像进行 K-L 变换，可以达到去相关的作用，从而改善图像的视觉效果和可解译性。

K-L 变换的主要特点是：①变换前后方差总和不变，而是把原来方差等量地再分配到新的组分图像中；②第一组分取得方差的绝大部分（一般占 80% 以上），也就是说 K-L 变换的结果使得第一主成分几乎包含了原来多个波段信息的绝大部分内容，其他组分图像的方差依次减少，包含的信息量也剧减；③各组分之间相关系数为 0 或近于 0，也就是说各组分图像所包含的信息内容是不同的；④第一主成分相当于原来各波段的加权和，而权值又与该波段的方差大小成正比（方差大，则图像所包含的信息量大），反映了地物总的反射强度。其余组分相当于不同组分的加权差值图像；⑤对第一组分进行高通滤波，有利于细部特征的增强和分析；⑥多数情况下第一主组分主要包含的是地形和植被方面的信息。

由于 TM 图像具有分组特征，TM1、TM2、TM3 为一组，TM4 为一组，TM5、TM7 为一组，TM6 为一组，利用 K-L 变换组分图像进行彩色合成处理时，可以首先分别对 TM1、TM2、TM3 和 TM5、TM7 两个波段组进行 K-L 变换，然后用 TM4 和这两个波段组经 K-L 变换后的组分图像进行彩色合成处理。

K-L 变换一般分 3 步进行：

（1）多波段图像的统计特征分析。对多波段图像数据进行统计特征分析，计算波谱图像的灰度动态范围、均值与中值、波段图像的相关系数矩阵、波段图像的协方差阵。

（2）形成 K-L 变化的系数矩阵 A。求出多波段图像的协方差阵的特征值与特征向量，用特征向量构成 K-L 变换的系数矩阵 A。

（3）K-L 变换的后处理。这主要是根据专题研究目的，选择包含专题信息的组分图像、包含专题信息组分图像的增强处理、组分图像的彩色合成处理以及组分图像与其他处理结果或波段图像的信息复合分析。

2）主成分变换

对实验子区 TM 图像进行主成分变换，特征向量矩阵如表 2-3。各主成分图像见彩图 2-17。

表 2-3　实验区 TM 影像特征向量矩阵

波段 / 主成分	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
PC1	0.241832	0.327635	0.464329	0 372747	0 506252	0 472588
PC2	-0.42929	-0.35533	-0.37492	-0 24047	0 475054	0 515158
PC3	-0.5242	-0.16572	0.214458	0 40466	0 398576	-0 57371
PC4	0 556119	0.046124	-0.35992	-0 22554	0 583276	-0 40986
PC5	-0.23647	0 28195	0 503993	-0.76015	0.137631	-0 11753
PC6	0.342427	-0.81075	0.462916	-0 10388	-0 00404	0.018284

3）主分量分析

分析各主分量与特征向量间的关系，可以得出如下结论：

（1）第一主成分 PC1 的 6 个向量全为正值，是原来各波段的加权和，各波段的权值与其标准差成正比，其中以第 5 波段贡献率最大，其次是第 7 波段和第 3 波段。总体上来说，PC1 主成分反映的是图像 6 个波段的加信息，反映在 PC1 图像上，主要表现的是亮度信息和地形信息。这意味着该分量是各波段亮度值之和的函数，它反映了地物总的辐射水准，据此可称其为“亮度分量”。

（2）第二主成分 PC2 是波段 5 和 7 的和减去前四个波段的和的线性变换，其中第 7 波段和第 5 波段与 PC2 呈明显的正相关，而这两个波段正好是水的强吸收带，对湿度敏感，水在这两个波段的影像上呈黑色，这样，这幅影像的主分量 PC2 主要反映了水及湿度的信息。从 PC2 与原始影像上对比也可以看出，PC2 中呈黑色的地方正好是原影像中有雪覆盖的地方。

（3）第三主成分 PC3 是第 3，4，5 波段的和与第 1，4，7 波段的和之差的线性变换，其中第 7 波段与 PC3 呈最大的负相关，对 PC3 的贡献率最大。TM7 是专为地质信息设置的波段，它对岩石信息反映敏感，所以 PC3 主要包含了地质信息，从 PC3 的图像上也可以看出，它反映的不同岩性界线非常明显。

（4）第四主成分 PC4 是第 1，2，5 波段的和与 3，4，7 波段的和之差的线性组合，其中第 5 波段和第 1 波段的系数最大且与 PC4 正相关。

（5）第五主成分 PC5 是第 2，3，5 波段之和与第 1，4，7 波段的和之差的线性组合，

其中，第 4 波段的贡献率最大。

(6) 第六主成分 PC6 是第 1，3，7 波段的和减去第 2，4，5 波段和的线性组合，其中 TM2 的贡献率最大。

从上面对各主分量的分析结果以及各主分量的图像上可以确定其中的 PC3，2，4 主分量较好地反映了实验区的岩性信息，选取它们做假彩色合成，在很大程度上增强了影像上的地质岩性信息。将其与影像目视解译单元结果对照，基本吻合（彩图 2-17h），说明通过主成分分析的方法进行地质弱信息增强是非常有效的。

(二) 覆盖区遥感信息增强处理方法

在遥感影像获取地质信息的过程中，植被覆盖是一个非常重要的影响因素。对于没有植被覆盖或是覆盖率非常低的情况下，采用一般的信息增强方法基本能达到直接增强地质信息的目的，但是，对于有植被覆盖的地方，直接进行简单的增强只能更加有效地反映地表的情况，因为目前的传感器获得的遥感数据还缺乏一定的穿透力，遥感影像主要是对地表信息的反映，要想获取植被下面的地质信息，首先必须消除植被的影响，因此，信息增强方法在不同程度的植被覆盖区要有特殊的用法。在信息增强的基本方法与原则的基础上，要结合采用一些别的手段才能更好地获得所需要的地质信息。以内蒙古得尔布干地区的部分影像为例，探讨信息增强方法在植被覆盖区获取地质信息方面的应用。

内蒙古得尔布干地区森林茂密，次生林发育森林植被覆盖率达 75%，岩石露头极少。研究区的 TM 图像的光谱信息是一个多元结构，它包含着许多信息，主要集中体现了亮度、绿度、温度、蚀变、构造等信息。自从 Landsat4，5 升空以来，TM 影像专题信息提取得到广泛应用，并取得不少成果。但是，植被覆盖特别是中、高等植被覆盖严重影响 TM 影像识别和专题信息提取。因此，国内外不少学者对消除或降低植被影响进行了广泛的研究。植被覆盖区遥感信息处理目的在于增强并提取与地质信息有关的地质构造信息、地层岩性信息、蚀变信息及植被异常信息等，使得处理后的图像能够更清晰地突出这些特征信息。本项研究主要通过采用多时相图像对比选择、比值分析、波段组合、数学变换和纹理信息增强等方法技术，利用光谱信息和纹理结构差别显示植被异常，通过分析植被异常与地质信息的相关性，来突出和提取地质信息。

1. 波段组合

覆盖区波段组合方式选择的依据是研究区图像的统计特征和植被覆盖区 TM 图像的光谱特征。主要选择方法有：

(1) 图像统计特征分析方法

根据研究子区内各波段亮度值分布范围、均值和标准差统计值及各波段间的相关系数大小确定覆盖区 TM 图像的最佳波段组合方式。

通过对阿龙山地区研究子区的 TM 数据的统计特征进行分析，确定该研究区的最佳波段组合为 TM4，TM3，TM2（彩图 2-18a）。

(2) 波谱分析方法

植被覆盖区 TM 各波段中 TM1、TM2、TM3 主要反映的是亮度，TM4 反映绿度，TM5、TM7 反映温度，TM6 反映热度。在 TM 光谱信息中，TM4 和 TM3 包含了植被地球化学效应异常的主要敏感信息，TM5 和 TM7 对土壤和植物水分较为敏感和有强烈的吸收，能有效地提取构造蚀变信息。因此，根据研究子区的自然景观和地质背景以及 TM 的光谱特征，

选用 TM7、TM4、TM2 波段组合显示植被异常现象（彩图 2-18b）

2. 比值组合分析

植被覆盖区比值处理对土壤富水性差异、植被地球化学效应异常等引起的光谱特征的微小变化有较好的显示效果。本项目在试验研究中所选择的比值分析方法主要有：

（1）比值最佳指数分析方法

根据研究区 TM 多波段数据比值的最佳指数因子计算值，确定该区最佳比值合成方式为 TM2/TM1，TM4/TM3，TM7/TM5。彩图 2-19a 是通过最佳指数因子选定的比值彩色合成图像。

（2）利用植被分布的变化和微小差别的比值处理。

植被在近红外波段的反射率与有机体的数量正相关，而有机体又与可见光（尤其是红波段）中的反射率负相关，因此由 IR（近红外）、IR/R 和（IR－R）/（IR＋R）彩色合成，增强与某些矿床有关的植被特征，识别构造和含矿岩性。彩图 2-19b 是用 TM3 和 TM4 波段代替红波段 R 和近红外波段 IR 而生成的彩色合成图像。

（3）抑制植被影响的比值复合处理

TM5/TM7 可用于增强干旱地区的富含粘土矿物的蚀变岩石区，TM5/TM7 比值越高，表明存在蚀变岩石的可能性越大。但在稠密植被的地区，TM5/TM7 受到植被叶子中水分的影响，消除这一影响的方法是合成三个比值图像：TM5/TM7，TM4/TM3，TM3/TM4。TM4/TM3 为植被指数，TM3/TM4 为植被指数倒数。这种合成方式可抑制植被影响，突出蚀变现象。彩图 2-19c 是研究区的 TM5/TM7，TM4/TM3 和 TM4/TM3 比值合成图像，增强了研究区第四系特征。

3. 主成分分析方法

（1）基于主成分图像与 TM 图像的分析方法

对研究区的 TM1～5 波段和 TM7 波段图像进行主成分变换，通过分析特征向量矩阵，可知第二主成分图像体现了植被的绿度信息，它反映了叶绿素对红光的吸收和近红外的反射，第三主成分图像体现了温度信息，它反映了 TM 各波段对土壤和植被水分的敏感性。用 PC2 和 PC3 与 TM7 波段进行彩色合成，增强植被异常信息，彩图 2-20a 是它们的彩色合成图像，突出了覆盖区地层与岩性的结构特征。

（2）基于主成分图像与 TM 纹理和灰度图像的分析方法

用 TM 六个波段经主成分分析提取第二主成分图像，用 TM5 波段图像提取纹理特征信息，与 TM7 波段图像进行彩色合成，经直方图均衡化处理后，用于增强生物地化效应植被异常。

（3）基于比值图像的主成分分析方法

选用 TM7/TM5（R）、[（TM4－TM3）/（TM4＋TM3）]（G）、TM3/TM2（B）比值合成，进行主成分分析，增强与生物地球化学效应有关的遥感异常信息，提取构造蚀变信息。彩图 2-20b 是比值主成分分析合成图像，突出了不同岩石组合信息。

4. HIS 变换方法

选用 TM5/TM7（R）、TM5/TM4（G）和 TM4/TM3（B）比值图像合成，进行 HIS 变换，提取构造蚀变信息，彩图 2-21 为比值合成图像经过 HIS 变换后，生成的彩色合成图像，突出了研究区第四系特征。

5 纹理增强方法

纹理增强分析是通过在一定的窗口内进行二次变异分析或三次非对称分析，使遥感图像上某些地物类型的纹理结构得到增强。彩图 2-22 是研究区 TM 图像的二次变异分析图像，其纹理结构信息无规律可循。

6 多时相图像分析方法

覆盖区多时相遥感图像分析是指根据同一地区的两个时相的遥感图像的光谱亮度值变化，应用图像处理方法，增强某类地物类型的变化、位置的移动或轮廓的变化。进行多时相图像分析，首先要对不同时相遥感图像进行位置配准。主要分析方法有：

(1) 图像差值法

图像差值法就是将一个时相的某一波段光谱亮度值减去另一时相的对应像元的光谱亮度值。其结果仍是一幅连续色调的图像。采用图像合成的办法可以直观地反映两时相间的变化结果。彩图 2-23a 是利用差值图像的 4，3，2 波段彩色合成图像，彩图 2-23b 是差值图像的 7，4，2 波段图像合成的彩色图像。

(2) 图像比值法

图像比值法是对两个时相多波段数据中同名像元的光谱亮度值进行除法运算，对部分消除阴影影响，突出某些地物间的反差，具有一定的增强作用；用比值图像可直接检测明显变化的环境要素，提取其中的专题信息。彩图 2-24a 是利用比值图像的 TM4，TM3，TM2 波段合成的彩色图像，彩图 2-24b 是 TM7，TM4，TM2 波段图像合成的彩色图像。

通过覆盖区多时相遥感图像的差值法和比值法处理，较好地突出了覆盖区内岩性与某类地层的结构特征。

(3) 主成分分析法

分别对由同一地区的两个时相的遥感图像生成的差值图像和比值图像进行主成分分析变换，利用主组分图像或主组分图像合成来增强和提取变化的环境要素。彩图 2-25a、b 是分别对差值图像和比值图像进行主成分分析变换，利用第二、三主组分图像与第 7 波段图像生成的彩色合成图像，用来增强植被的变化信息。

7. 掩膜技术和分离技术

常用的两类降低植被影响的技术——掩膜技术和分离技术。分类的根据如下：植被对地面有用信息的干扰归纳起来可以分为两种情况：第一种情况是信息与植被不组成混合像元。在这种情况下，可以通过消去 TM 影像中包含植被信息的像元而保留其余的像元以达到消除植被影响，本书把这类方法归为掩膜技术。然而这只是一种理想状态，现实中更多的是第二种情况，即混合像元现象。由混合像元产生的混合光谱会由于成分混合比例的不同而变得非常复杂，解决这类问题的方法也比较多，本书称这类方法为分离技术。

1) 掩膜方法

掩膜技术中最突出的方法即植被掩膜法，其原理为：首先在对 TM 数字图像进行预处理的基础上，再进行比值处理、主成分分析等，然后选择一定的阈值圈定图像中的植被部分并置这部分像元灰度值为 0，其余的像元灰度值为 1，即形成所谓的二值图像。该图像与专题信息增强图像相乘，并进行模式滤波（去除孤立点）以达到消除植被光谱干扰，同时突出专题信息之目的。

由于植被未与专题信息组成混合像元，直接消除图像中的植被部分不会影响专题信息

的丢失。在这种情况下,掩膜技术不失为一种有效的方法。但由于 TM 影像波段较宽,空间分辨率相对较低,组成混合像元是必然的,因此仅仅运用此技术将或多或少丢失一些有用信息　其他一些掩膜方法原理上基本与此相似,不同之处仅在于形成二值图像的处理方法上。

2）分离技术

分离技术是基于混合像元上的降低植被影响的一种技术，它主要通过分离混合像元中的植被部分信息来降低植被影响的目的。这类技术主要包括直接主成分分析、基于主成分变换的去相关拉伸、混合像元分解技术以及逻辑取与方法等。从原理上来说，分离技术不会造成专题信息的丢失。

（1）直接主成分分析（DPCA）

通过选择两个比值图像，其中一个表征植被信息（如植被指数 TM4/TM3），另一个则突出专题信息（如突出粘土蚀变信息的 TM5/TM7 或突出铁蚀变信息的 TM5/TM1）。在比值运算中应尽量使参与运算的各光谱数据的变化范围基本一致。因此需首先对参与运算的各波谱数据进行比例拉伸（SCALE），同样进行了比值后的图像也需进行比例拉伸。由于主成分分析将输入的各波段归并到几个信息相互独立的分量中，因而所有分量的轴都是互相垂直的。

变换后的第一主成分（PCI）图像中的高亮度区与植被指数图（TM4/TM3 比值图像）上高亮度区基本一致，表明它主要反映着植被信息；第二主成分（PC2）图像则突出了有用的专题信息，植被信息很好地被压抑了，在图像中呈现暗色调。

（2）基于主成分变换的去相关拉伸（decorrelation stretching based on PCA）

在通常情况之下，运用可见光和近红外波段对包含部分植被的地区作主成分分析，植被信息集中于第二主成分。因此如果我们在逆变换之前去除第二主成分就能降低图像中的植被影响。

（3）混合像元分解

TM 影像像元灰度值实际上是几种地物光谱信息的综合反映。混合像元分解方法通过解方程的方式计算出各个像元中每种地物的相对份额，比如得出所含植被的百分比，我们可以调整该像元的亮度值就能达到降低植被影响。具体分解方法可分线性和非线性两种。

线性混合像元分解法一般依据以下步骤：

a. 掩膜水体和云的阴影。

b. 大气纠正。目的是为了获得端元组分光谱曲线，以便与实验室光谱曲线定性比较。

c. 光谱端元组分提取。在缺少地面光谱测量阶情况下，端元组分只能从影像本身获取。

为了避免丰度值超出 100%或 -100%，必须选择合适的端元。

d. 光谱端元丰度图像的产生。可以依据如下公式：

$$\sum_{n=1}^{M} R_{n,\mathrm{RP}} = \sum_{n=1}^{M}\sum_{i=1}^{N} F_i R_{in,\mathrm{RP}} + E_n \qquad 0 \leqslant \sum_{i=1}^{N} F_i \leqslant 1$$

式中：$R_{n,\mathrm{RP}}$——波段 n 像元平面反射的模糊纠正；

F_i——端元 i 的丰度百分比；

$R_{in,\mathrm{RP}}$——波段图像端元 i 平面反射的模糊纠正；

M——波段数；

N——端元数；

E_n——波段 n 拟合误差。

e. 光谱端元丰度图像的几何纠正。

f. 掩膜较高根均方值 RMS。

g. 对岩体露头丰度图像进行低通滤波。

h. 回归分析和校准。

最后，根据像元中植被光谱所占反射光谱的百分含量调整像元的灰度值，植被的影响得以消除。

(4) 逻辑取与

TM 图像经过预处理之后，我们可以得到两幅专题信息图像 G_1 和 G_2，它们分别包含专题信息（如蚀变信息）和某些干扰信息（如植被和地形、水体等），即

$G_1 = (T, a_i) \quad i = 1, 2, \cdots l \quad G_2 = (T, b_j) \quad j = 1, 2, \cdots m$

然后通过逻辑取与运算就能把感兴趣的专题信息提取出来：

$$T = G_1 \cap G_2$$

以上降低植被影响方法是比较常见与实用的，但必须根据实际情况选择不同的处理方法。植被掩膜方法适合于植被稀疏或空间分辨率较高的影像，直接主成分分析与基于主成分变换的去相关拉伸方法原理相似，前者的结果图像为单色，仅凭像元亮度值进行图像识别，后者的结果图像为彩色合成图像，可凭亮度和色度双重识别，两者适合不同比例植被覆盖区。混合像元分解方法求解复杂，它要求获取各种地物的波谱数据，客观上受到一定限制，适合植被群落结构单一地区。逻辑取与方法简便，但效果与直接主成分分析相似。

8. 微波遥感地质特征信息提取

在雷达图像的地质矿产应用中，单纯依靠原始图像的灰度特征往往很难取得比较高的判读精度，这主要由于不同地物的散射强度不同，造成某些地物信息弱化，而相对较弱的信息有时恰恰是重要信息。此外，特征相似的信息在原始特征空间差异不显著，如果将原始特征空间进行变换，就有可能增加信息间的差异，提高识别精度。

20 世纪末，面对数字地球和数据爆炸的挑战，数据挖掘成为人们从海量数据中提取模式和知识的重要手段。数据是事物原始信息的载体，数据挖掘与知识发现是从海量数据中分离出有效信息，并形成能被理解的知识模式的多阶段高级处理过程。

通过前述对 RADARSAT-1 SAR 数据的一系列处理和与 TM 数据的融合处理，可以获取地层、构造、侵入岩体等信息。彩图 2-26 突出了与矿产有关的 NE 向线性信息。

1) 地层信息的提取与解释

研究区植被覆盖严重，因而微波后向散射主要来自植被的叶面和基岩及其相互作用的结果，通过纹理与灰度的差异可区分不同的地层。

2) 构造信息的提取

RADARSAT-1 SAR 图像显示了丰富的构造信息。这些构造信息有的在 TM 图像上反映不清晰或没有反映。RADARSAT-1 SAR 图像地质构造信息具有以下特征：

(1) 构造两侧地层纹理差异较大，往往为不同岩性的分界线。

(2) 早期断裂，遭受后期构造活动破坏较大，在地表往往不易被识别，但在

RADARSAT-1 SAR 图像上却清晰地显示出来。

（3）断裂延续性、性质、空间分布与规模反映清楚是 RADARSAT-1 SAR 图像的另一特征，极大地丰富了植被覆盖区的地质构造信息。

3）侵入岩体的识别与类型的确定

众所周知，岩体往往与矿床的形成有密切的关系，但不同的岩体由于所处的构造部位、组成成分、与围岩的接触关系的不同常常产生较大的差异，因而识别这种高植被覆盖地区的侵入岩的分布、类型，对于找矿具有十分重要的意义。RADARSAT-1 SAR 图像及其处理图像可以识别大部分岩体，岩体形态特征、规模大小及其与围岩接触关系是从 RADARSAT-1 SAR 数据提取的主要信息。岩体往往形成特殊的地形地貌、特殊的纹理形态、特殊的接触带形态特征和与周围围岩粗糙度的差异，使其在 RADARSAT-1 SAR 图像反映十分清楚。

总之，通过对上述两区的图像增强处理研究，得出如下结论：

1. 本研究利用裸露区多个试验区的 TM 图像，除进行了波段组合、比值、HIS 变换、主成分分析等常规图像增强处理方法应用实践外，还通过空间滤波、监督主成分分析、掩膜技术、线性体自动提取和岩石地层单元建模等多种方法技术研究，对增强研究区内的岩石地层、环形构造与线性断裂等地质信息有较好的应用效果。其中波段组合、比值组合、主成分分析、HIS 变换与岩石地层建模等技术对岩性地层的空间特征具有突出作用。其中特定物体灰度比值组合方法对研究区内岩体与地层分区的增强效果最佳。此外该方法与 HIS 变换、空间滤波和线性体自动提取等方法，可增强研究区内的环形构造与线性断裂特征，揭示了岩浆侵入与地层之间的作用关系。岩石地层建模方法可对某类特定岩石或地层进行快速自动提取与填图。线性体自动提取技术可初步实现图像线性边缘点的计算机自动识别与提取功能。在实践应用中，还需进行计算机自动跟踪、细化和人机交互等系列处理、编辑和综合等，删除与地质断裂无关的线性体信息。

2. 在覆盖区，为了突出岩性、地层、构造和侵入岩等地质信息，我们选择了多个典型试验区，采取了多时相分析处理、波段组合、比值组合、HIS 变换、纹理分析、SAR 数据与 TM 数据融合处理等方法的试验研究，除个别方法对划分不同岩性和第四系有一定增强效果外，总体对地质信息增强处理结果不甚理想。其中，利用主成分分析图像与波段图像的合成方法及多时相图像的差值和比值分析方法，对研究区某类地层岩性具有明显的增强效果；利用比值图像的主成分分析图像和 HIS 变换图像，可有效地突出第四系的结构特征；利用 SAR 数据与 TM 数据融合处理可突出与矿产有关的线性信息。

三、航磁资料相关信息提取处理

在 1:25 万遥感基础地质调查中，选用航空磁测技术进行地质填图方法应用的主要目的是通过对航磁数据选择、处理与分析、地质解释，寻求遥感与航空物探两种技术的结合点，弥补遥感技术解决基底构造、部分隐伏断裂、隐伏岩体、火山岩相等地质体方面的不足，通过相互验证，提高遥感解译的准确性，实现遥感填图方法技术研究的更加系统化和地质填图的立体化。由于所选研究区航磁资料精度不同，在阿尔金中段、内蒙古得尔布干所采用的研究方法不尽相同。

（一）地球物理数据处理方法

1. 内蒙古得尔布干地区重、磁数据处理方法

1）布格重力资料数据处理及图件编制

试验区位于大兴安岭—太行山布格重力线性梯度带西侧，其布格重力异常特征反映为区域性重力场低值区，区域重力背景场值变化范围在（－50～－90）$\times 10^{-5}$ m/s^2，分布在区域重力背景场中的局部重力异常比较弱，重力异常的幅值变化一般在（1.0～2.5）$\times 10^{-5}$ m/s^2，由于区域重力背景场值的强度较大，使得局部重力异常的形态变化特征反映得很不清楚。为了把反映地表浅层岩石密度差异变化的局部重力异常从区域重力背景场中分离出来，对该地区布格重力数据做了垂向一次导数处理，处理结果表明该处理方法在消除区域重力背景场干扰及突出局部重力异常方面效果较好，编制出的布格重力垂向一次导数异常图，清晰地反映出了局部重力异常的形态变化及分布特征。

2）航磁资料数据处理方法及图件编制

阿龙山工区磁场主要特征表现为不同形态及强度的局部磁异常非常发育，它们叠加分布在背景磁（场）异常之中，对背景磁（场）异常造成了不同程度的干扰。因此，分别提取出局部磁异常及背景磁（场）异常信息，是阿龙山工区进行数据处理的目的之一。由于该地区植被覆盖严重，森林茂密、沼泽发育，造成天然岩石露头很少，野外查证工作难度很大，这就需要通过数据处理工作为磁场推断解释提供磁性参数信息。所以，该地区航磁资料数据处理方法应包括视磁化率计算，以及消除斜磁化影响等项处理方法。

（1）航磁资料化极(或称换算到地磁极)处理。处理目的是将斜磁化条件下的磁(场)异常换算为垂直磁化条件下的磁(场)异常。使经过化极处理后不但可以消除或减弱斜磁化所造成的影响,而且还可以起到消除及减小磁异常之间因相互叠加所引起的干扰。

（2）航磁数据向上延拓处理。该处理方法的目的在于压制局部磁异常的干扰影响，突出背景磁（场）异常。

（3）航磁资料视磁化率参数计算。需要指出的是，该处理方法计算出的磁化率并不代表岩石的真实磁化率，故称为视磁化率。计算出的视磁化率代表了某一平面空间（如地表）的岩石磁性强弱变化特点。结合岩石标本及部分野外岩石露头实测磁化率对比分析，可以为未知区的磁异常解释提供重要的参考依据。

研究区航磁数据处理后编制的磁场图件有：

（1）阿龙山地区航磁化极 $\Delta T_{\perp}$ 磁场等值线图。用于解释编制磁性分区图，划分岩石大类，圈定火山盆地、火山机构，为1:25万填图单元划分提供参考。

（2）阿龙山地区航磁化极上延磁场等值线图。包括上延1.0 km、3.0 km和5.0 km三种图件，主要用于了解磁性与非磁性基岩的分布范围，辅助 ΔT 等值线图的解释。

（3）阿龙山地区航磁视磁化率图。主要用于了解某一层面岩石磁性的强弱变化状况。

2. 新疆阿尔金地区航磁数据处理

阿尔金试验区航磁资料测量比例尺小，飞行高度大，磁场变化特征比较平缓单调，局部磁异常强度一般比较弱。因此，该地区航磁资料常规数据处理主要是以突出局部磁异常和消除斜磁化影响为主。

（1）航磁资料化极处理。瓦石峡工区位于中纬度地区，地质体复斜磁化的影响较大，为消除斜磁化干扰影响，对瓦石峡工区的航磁资料做了化极处理，经过与已知地质资料进

行对比分析证明处理效果较好。

（2）航磁资料化极垂向一次导数处理。该项数据处理方法在消除斜磁化干扰影响，以及压制背景磁（场）异常、突出次级局部叠加磁异常等方面的效果明显，是进行局部磁异常信息提取时经常使用的数据处理方法之一，其主要优点是分离局部异常信息效果好，对局部异常的畸变影响小，信息可靠程度高。

（3）航磁异常深度计算。利用航磁异常计算出磁性地质体的顶面埋藏深度是航磁技术方法的优势之一，本次磁异常深度计算采用手工完成，使用的计算方法为带系数切线法和外奎尔法，深度计算误差一般在10‰～20‰，根据计算结果勾出瓦石峡I区塔里木盆地部分范围的磁性体埋藏深度图。

（二）遥感与航磁技术相关性信息分析处理

遥感与航磁技术分属于不同的学科领域，它们在方法原理及理论机制等方面所存在的差别，长期以来一直制约着两者在地学领域中的有机结合。因此，研究、探讨遥感与航磁技术在地学领域中的相关机理，不仅对两者在地质研究和矿产资源调查评价中的有机结合具有重要的实际与理论意义，同时对进一步发挥遥感和航磁技术方法优势，拓展它们在基础地质和矿产资源调查中的应用范围及提高工作效果都具有十分重要的意义。

遥感与航磁技术方法的原理虽然不尽相同，但是它们基本共同点都是通过探测地质体的场信息来描述被观测物体的属性及特征。遥感技术是通过探测地质体（岩石、矿物）的光谱特征，并以影像图的形式描述出被观测物体的色调和外貌形态特征；航磁技术则是通过探测地质体磁场强度变化及空间分布特征，来描述出被观测地质体的磁性强弱、空间位置及形态（包括地质体的形状、产状及规模大小）特征。因此，开展遥感与航磁相关机理及信息应用研究，关键是寻找出一种在自然状态下存在的物质，该物质必须同时具备以下的性质及特征：

（1）该物质在自然界中的分布具有普遍性与代表性，与各种岩石、矿物特征、地质构造活动及矿产资源的关系十分密切；

（2）该物质必须具有特定的光谱特征谱带；

（3）该物质必须具有明显的磁性，并且其磁性比较稳定。

试验及分析结果表明，自然界中的铁及其化合物完全具备上述条件。

（1）铁元素在地壳中具有较高的丰度值，但在自然界中几乎不存在纯铁物质，而是以铁的氧化物（FeO、Fe_2O_3）或硫化物（FeS）赋存在岩石及矿物中。自然界中的三大岩类无论是沉积岩、岩浆岩及变质岩中都不同程度地含有铁氧化物或者硫化物，尤其是在基性—超基性岩浆岩和部分中性—酸性岩浆岩类中，以及一些变质岩中的铁氧化物含量甚至可以达到很高的程度。另外，自然界中的很多造岩矿物也都不同程度地含有一定的铁氧化物或硫化物。说明铁氧化合物在自然界中的分布极其广泛，具备了普遍性与代表性条件。

（2）光谱测试及研究结果证明，含有铁氧化物（FeO、Fe_2O_3）的岩石、矿物在可见光和近红外波段存在着清晰、稳定的光谱及吸收特征谱带，该特征谱带是由岩石、矿物中的Fe^{3+}和Fe^{2+}离子产生。其形态特征一般呈现为宽缓吸收谷。同时含有Fe^{3+}和Fe^{2+}离子的岩石、矿物在近红外波段产生的光谱吸收谱带，因所含铁离子组分之间的差异可导致其光谱吸收特征谱带谷峰所处的频率位置产生迁移，即当含Fe^{3+}离子为主的岩石、矿物（谷峰位于0.85～0.88 μm）中混有少量Fe^{2+}离子时，其光谱吸收谱带之谷峰位置会向长波段

方向移动；反之，含 Fe^{2+} 离子为主的岩石、矿物（谷峰位于 1.0～1.05 μm）中有少量 Fe^{3+} 离子，光谱吸收谱带之谷峰位置则向短波段方向移动；当岩石中 FeO 和 Fe_2O_3 的含量都超过 1.0%时，Fe^{3+} 离子与 Fe^{2+} 离子在近红外波段产生的光谱吸收特征谱带则会发生叠加、复合，形成一个清晰、稳定的复合光谱吸收谱带，该复合光谱吸收谱带的谷峰所处频率位置一般在 0.95 μm 附近。因此，由 Fe^{3+} 和 Fe^{2+} 离子在近红外波段产生的复合光谱吸收特征谱带能够客观地反映出岩石、矿物中 FeO 和 Fe_2O_3 的含量信息。

（3）铁是一种强磁性物质，但是在自然界中并不存在纯铁磁性矿物，通常在岩石中所见到的铁磁性物质主要是铁淦氧磁质，即铁的氧化物或硫化物。自然界中的铁淦氧磁质不但具有较强的磁性，并且磁性也很稳定。例如，在岩石中常见的磁铁矿（$FeO \cdot Fe_2O_3$）、磁黄铁矿及钛磁铁矿等，都是典型的铁淦氧磁质。岩石标本和野外岩石露头的磁性测定结果与它们的铁氧化物含量资料对比分析表明，岩石、矿物中的铁氧化物（FeO、Fe_2O_3）含量与磁性强弱变化呈明显的正相关关系。当岩石中 FeO 或 Fe_2O_3 含量在 1.0%～1.5%，另外一种铁氧化物含量不超过 1.0%，岩石一般表现出微弱磁性特征，磁化率值一般在 50×10^{-5}SI；当岩石中 FeO 和 Fe_2O_3 含量值均在 1.0%～1.5%之间，岩石一般具有中等磁性，其磁化率在 $\kappa = (200 \sim 500) \times 10^{-5}$SI；当岩石中的 FeO 和 Fe_2O_3 含量都超过 1.5%之后，其磁性明显增强，并且随着含量增加磁性也会变的越来越大。例如，某闪长岩体的 FeO 含量为 7.15%、Fe_2O_3 含量为 6.84%，测量的磁化率均值为 $\kappa = 2100 \times 10^{-5}$SI。

通过前述对自然界岩石、矿物中的铁氧化合物之光谱吸收特征谱带与磁性特征分析，证明了遥感与航磁技术方法在地质研究领域存在着相关性机理的基础条件。广泛赋存于岩石、矿物中的铁氧化合物既是构成自然界中岩石的强磁性物质——铁淦氧磁质的基本物质成分，同时又具有稳定的光谱吸收特征谱带。岩石、矿物中的铁氧化物和铁硫化物（FeO、Fe_2O_3、FeS 等）含量及组分的变化，是引起岩石（地层）产生磁性差异和光谱特征谱带发生变化的主要原因，以上差异的存在则是遥感和航磁技术进行地质研究工作必须具备的地质、地球物理前提条件，同时又是遥感与航磁技术方法呈现出相关性机理的基础条件。

依据我们提出的遥感与航磁技术方法相关性机理的观点，对遥感资料进行了提取相关信息的试验，编制了瓦石峡幅的铁氧化物含量变化等值线图。

第三节　遥感填图单位建立划分方法

遥感填图单位建立划分方法是填（编）制遥感初步解译地质图、遥感地质图确定填图单位的一种方法。结合试验区瓦石峡、阿龙山等图幅 1:25 万应用研究成果，总结归纳出符合遥感技术特点的影像岩石单元法和综合分析研究法为遥感地质填图单位建立划分的主体方法。

一、影像岩石单元法

影像岩石单元法是以影像岩石单元为基本填图单位，进行遥感初步解译地质图、遥感地质图填制的方法。影像岩石单元建立是通过影像单元反映出的岩性特点、岩石类型、岩石类型组合特征分析对比，同时结合野外踏勘、剖面测试、野外地质调查及前人资料等综

合分析而确定。确定的标准必须与新填图理论的岩石地层、岩石构造地层、岩石谱系单位、构造岩石单位建立、划分的填图种类相一致或基本吻合。

从理论上讲，遥感技术填图以影像岩石单元作为基本填图单位是完全可行的，具一定的可操作性和实用价值，而且与新填图理论具有相似性或一致性特点。因为，影像岩石单元建立与划分是以岩石反射光谱特征为物理基础，以反射光谱特征的规律性变化差异为理论依据进行。而这种光谱的差异与变化恰好是因地质体的性质不同而不同，并表现出一定的规律性。通常而言，性质相同或相似的地质体光谱反射特征保持相同或相似性，性质不同的地质体光谱反射特征截然不同，这主要取决于岩石的结构构造、矿物成分的变化和物理性质及化学性质的不同。这些不同反映在影像特征上则是色彩（调），影纹结构、地形地貌，以及水系类型等不同标志的变化。

虽然地质作用错综复杂，地质现象千差万别，但地质体的空间分布组合，产出状态受其成因、地质作用类型等因素控制表现出规律性，即沉积地层具有互层、夹层、韵律、建造等组合特点；变质岩地层具有变形变质、构造改造、变质程度不同等特点；火山岩具有喷发旋回、火山机构等特点；而侵入岩则具有形态结构，不协调的侵入关系，多变的岩石类型等特点。实际上，这些特点反映在卫星图像上，则是影像单元特征的变化。也正是由于不同的岩石类型、岩石类型组合与影像之间存在着明显的因果关系，为遥感填图以影像岩石单元为填图单位建立划分提供了可行性和依据。

（一）影像岩石单元的填图含义

影像岩石单元是一种以影像形式反映单一岩石、岩石类型、岩石类型组合特征，并具有填图单位建立、划分意义的影像岩石体。

在实际应用中，影像岩石单元是遥感地质填图单位建立的一种划分方案，对沉积地层、火山地层、变质地层、侵入岩类具有等同填图效应。但依据不同岩类填图区别，遥感地质填图单位划分方案有所不同，具体包括影像岩石地层单位（特指沉积岩、浅变质岩、变质表壳岩地层）、影像构造岩石地层单位（特指变形变质、构造改造强烈的变质岩地层）、影像岩石谱系单位（特指花岗岩类）、影像构造岩石单位（特指变质强烈的深成侵入岩体）。既然影像岩石单元是遥感填图单位划分方案，也是一种填图实体或称之为填图单位，那么它的填图单位种类也是不同的，也就是说，对于不同遥感填图单位划分方案，填图单种类划分和含义有所不同。

1. 影像岩石地层单位

影像岩石地层单位是针对层型影像单元，实施的一种填图单位划分方案。其划分的目的在于根据遥感影像特征的变化，系统地将它们建立、划分为影像岩石单元，即填图单位，并加以组织，展示出岩石组成、结构、时空存在状况，以及它们相对于地层的位置。

影像岩石地层单位，可以是一种或数种岩石类型的联合，整体岩性一致。根据影像岩石单元特征变化及所代表的岩石组合的一致性和差异性，影像岩石地层单位种类采用群、组、段三级划分方式。

（1）群

群是层型影像岩性单元的宏观影像分区（彩图 2-27a）。在岩性上，一般反映沿纵向相邻的两个或两个以上具某种共同岩性特征的岩石组合合并而成，群内不允许有重要的间断或不整合存在。

（2）组

它属于群级宏观影像岩石单元分区内部具有相同或不同特征的影像岩石单元细划。划分结果为组级单位（彩图 2-27b、c）。

在岩性特征上，表现总体岩性一致。它可以由一种岩石构成，也可以由一种主要岩石为主，夹有重复出现的夹层或由两三种岩石交替出现构成，甚至由很复杂的岩石组分组成，但应以清楚、稳定的特殊岩性变化面或特殊的结构标志层为界线，易于鉴定，并应有一定的延展范围。

（3）段

在影像岩石单元中，应属于组级影像岩石单元的细划。反映的是相邻岩层不同岩性特征的变化。建立中应以组级影像岩石单元内部影像岩石特征变化为依据。

2. 影像岩石构造地层单位

影像岩石构造地层单位是针对经受强烈的构造改造或构造作用，使其原来沉积叠置关系遭受破坏的变质岩石地层进行填图单位建立、划分的一种方案。

实际应用中，仍以影像岩石单元为基本划分单位，采用岩群、岩组、岩段划分方式。

（1）岩群

它是一种以宏观影像岩石单元反映遭受构造改造的区域性变质岩带，并被构造界面所围限的多个二级影像岩石单元组成的一个填图单位。其围限边界以线性单元显示（彩图 2-28a）。岩群常常以其反映不同大地构造环境、区域性地质事件区别于相邻的变质地体。不同岩群可以产出于相同构造带的不同位置，也可产出于不同的构造改造环境。

（2）岩组

它是一种产出于岩群之内，由次级线性单元所围限的一种二级影像岩石单元。它由单一岩性层组成。在同一变形变质带中具有一致的构造样式和变质程度（彩图 2-28b、c）。

（3）岩段

它是一种产出于岩组之内，由于岩性变化而产生的次级影像岩石单元体。

3. 影像岩石谱系单位

影像岩石谱系单位是对花岗岩类实施遥感地质填图，划分和厘定填图单位的一种划分方案。它是以不同花岗岩区显示出的影像单元特征等级变化为依据，进行同源岩浆熔融事件演化所形成的岩石系列或组合的区分。区分的基本原则为：

（1）同源岩浆演化序列形成于特定的构造环境和构造位置。宏观影像岩石单元具有空间分带和局部集中特点。

（2）同源岩浆演化序列具有明显成分演化和结构演化特征。影像岩石单元特征差异明显。

（3）同源岩浆演化序列所形成的不同岩石类型影像单元特征不同。通常表现为相同岩石类型，影像单元特征一致，不同岩石类型影像单元特征不同。

在实际应用中，影像岩石谱系单位划分采用单元、独立侵入体、序列和杂岩体分类方式：

（1）序列。序列为单元归并之结果，是比单元高一级的岩石谱系单元（彩图 2-29a）。它以一种特征的、空间具密切联系的影像岩石单元复合体显示。其内部影像岩石单元特征差异，反映的是同源岩浆熔融事件所形成的岩石类型差别。

从岩性上讲，凡在时间上和空间上紧密相关，并且在岩石特征上具有某些相似特征，以及在成分和结构上表现出清楚的亲缘和演化关系，并且未被其他地质事件中断的两个或两个以上单元的归并。把单元归并为序列的重要标志是序列内部各单元岩石成分和结构演化的有序性和单向性。也就是说序列内部从早至晚单元的岩石之间在成分上有从比较基性向较酸性演化的趋势，在结构上是从细粒向粗粒演化的趋势。

（2）单元。单元是岩石谱系单位的基本单位。它是同源岩浆一次侵入活动的结果，岩石的矿物成分、结构构造、矿物形态基本一致（彩图 2-29b、c）。而且相对的侵入时代一致，单元影像特征相同或一致。

（3）独立侵入体。以特定影像岩石单元显示一个独立岩体的存在，且无法划归单元的侵入体为独立岩体。

（4）杂岩体。杂岩体是以宏观影像岩石单元反映同源岩浆演化所形成的多种岩石组合，且无法进行单元划分的侵入岩为杂岩体。

4. 影像构造岩石单位

特指对构造变形复杂、变质程度较高的深成侵入体进行填单位建立、划分的一种方案。该类岩体原岩结构已基本消失，无法进行谱系单位划分或归并。其填图单位种类采用片麻岩体、片麻岩套二分法。

（1）片麻岩体。大致相当于影像岩石谱系单位的单元或独立侵入体（彩图 2-30）。

（2）片麻岩套。是由两种以上具有演化关系的片麻岩体所组成，它们的时空分布关系密切。

从影像岩石单元特征分析，在不同地区它们除了具有宏观影像单元分区特征之外，比较典型的特征是环形构造信息显示丰富。其形态、空间组合形式的变化关系，间接地反映出原侵入体形成过程中岩浆侵入作用的单一性和复杂性。也就是说独立存在环形影像单元，基本反映的是同源岩浆一次涌动或脉动侵入的结果；而组合环形构造信息的叠加、相切关系，反映了同源或异源岩浆多期次侵入结果。这种环形构造或影像信息属一种变质残留信息，它之所以能够保留，主要取决于原始侵入体的性质和后期变质改造的不彻底性。

（二）影像岩石单元转化

实际上，影像岩石单元转化是影像单元向填图单元转化的过程。根据影像岩石单元定义，它必须是一个特征的影像岩石体。它可以由一个独立的影像单元体构成，也可以由两个或两个以上的影像单元体归并而成。当这些影像单元体在晋升为影像岩石单元（填图单位）时，其构成影像单元体的岩石组合特点，必须是单一岩石类型或岩石组合类型（夹层、互层、韵律、旋回等）。影像岩石单元边界应清楚，延伸稳定，具有一定的规模性。边界性质包括：断层、整合、角度不整合、平行不整合等。而影像岩石单元转化总体岩性特点应与常规区调填图相一致或基本吻合，但不应过分强调与区调的完全一致，要充分体现和保留影像岩石单元的独立性、稳定性和可分性。对于影像特征清晰、延伸稳定、边界明显、具有重现性的影像单元可直接确定为影像岩石单元作为遥感填图单位加以建立。影像特征清晰、延伸稳定、边界略不明显的影像，可通过野外调查确定其边界位置后再作为填图单位加以确定。影像特征、延伸、边界不甚明显的影像单元，可通过野外地质调查直接建立填图单位。

（三）填图单位命名

对于影像岩石地层、影像构造岩石地层单位命名主要参考前人资料进行。如某某组、某某段或群。

对于影像岩石谱系单位命名采用地名加岩性加时代。如：库如克萨依单元用 Kγ_oO 表示。

K——地名第一个字母大写；

γ_o——斜长花岗岩；

O——奥陶纪。

对于影像构造岩石单位命名，采用地名加片麻岩代号构成。如：喀拉乔喀片麻岩体，用 Kgn 表示。

（四）影像单元与遥感填图单元的精度控制方法

遥感填图单元是在影像单元解译与分析基础上进行的岩石、地层、构造的再定性与定位，影像单元是影像岩石单元建立的基础，影像单元与影像岩石单元在区调与遥感地质调查的不同阶段可发挥不同的作用，在区调与遥感地质调查设计阶段以影像单元的解译为主，在区调与遥感调查进行与成果提交阶段应以影像岩石单元的解译为主，两者紧密联系、互相促进，共同提高遥感地质解译的准确性。

1. 影像岩石单元的岩性特点

无论是影像岩石地层单位还是影像岩石谱系单位，或影像构造岩石地层单位、影像构造岩石单位，其单位种类划分必须遵循群、组、段，岩群、岩组、岩段，序列（超单元）、单元、独立侵入体、混杂岩体，片麻岩体、片麻岩套建立划分的岩性特点。通常情况下，由特征相近的影像单元组成的大的影像体代表的是群、岩群、序列；大的影像体内的影像单元为组、段级和单元级填图单位建立划分的标准。应用中只要符合上述岩性特点的影像岩石单元均可作为填图单位。

2. 影像岩石单元边界性质厘定

影像岩石单元的边界性质取决于不同影像岩石单元间的接触关系。具体表现形式有代表断裂性质接触的线带影像单元；代表渐变过渡接触，即整合接触的色调变化线影像单元；代表逆冲接触的不协调地带影像单元；不整合接触关系影像单元特征比较复杂，可通过影像岩石单元的缺失、层型单元的不协调性等加以判别。

3. 影像岩石单元边界位置厘定

影像岩石单元的边界位置是由影像单元的边界位置确定的，一般情况下，以线带影像单元（如断裂、环形构造等）显示的边界为填图单位的边界，以色调变化线显示的边界应依据岩石组合特征是否符合不同填图单位种类建立划分标准加以厘定。

4. 影像岩石单元的可填图性控制

影像岩石单元对于不同种类的填图单位具有通用性的填图特点，只是依据不同填图单位划分方案，其填图单位的岩性构成有所不同。影像特征、边界清晰，岩性特征符合填图单位建立划分的影像岩石单元可直接作为遥感填图单位建立，并填制。对于影像特征比较清晰，边界不甚清楚的影像岩石单元，可通过安排少量的野外控制路线，经实地调查后加以厘定。对于模糊影像岩石单元则必须通过野外调查加以确定。

二、综合分析方法

综合分析方法是以遥感填图方法为主，同时结合地球物理、岩石同位素资料进行综合分析，建立划分填图单元的一种方法。其应用的目的在于使填图单元建立划分的更加准确，地质信息提取的更加丰富，并从不同角度解决填图问题。

（一）遥感填图方法

影像单元法、影像岩石单元和单元-剖面法是贯穿遥感填图全过程的方法技术。运用这些方法是从遥感技术角度解决1:25万填图的技术问题，使填图成果精度符合相应的技术规范要求。其解决填图问题的实质是通过研究、分析不同性质地质体的宏观影像分区及微观影像变化规律，进行地质体性质判定和填图单位种类划分及构造信息的提取与类型划分。它们所能够解决的地质问题或地质现象均属于地球表面的直接显示出的信息，即表层信息提取。但对于大量的隐伏地质信息的提取，受其方法技术自身限制难以全面实现，如隐伏断裂和隐伏岩体及花岗岩类侵入体的时代等等。因此，结合其他技术方法的应用，从不同角度，取长补短，丰富地质填图成果，使其更加符合地质作用规律。

（二）地球物理技术方法

该方法是遥感地质填图综合分析研究的首选技术方法。主要通过地球物理资料如航磁、重力处理数据的分析、解释，并根据地质体的磁性特征、密度特征变化规律，着重解决隐伏断裂、隐伏岩体和火山机构的圈定。解决遥感技术和物探技术在1:25万遥感地质填图应用中解释地质问题的层次和深度。现以内蒙古得尔布干覆盖地区和新疆阿尔金裸露地区为例加以叙述。

1. 内蒙古得尔布干地区重磁场特征分析

1）岩石磁性特征分析

通过2000年6～9月，对阿龙山地区进行的岩石磁性测量工作，其中实地测量了岩石露头27处，获得磁化率数据327个；测量岩石标本712块，获得磁化率数据2872个。区内岩石（地层）的磁性特征如下。

（1）变质岩类磁性特征

区内出露的元古宇变质岩岩性为花岗岩片麻岩、黑云斜长变粒岩、片岩及千枚岩、大理岩等。磁测定结果反映出元古宇地层的磁性普遍很弱，磁化率值变化范围在（0～380）$\times 10^{-5}$SI，平均值仅为60×10^{-5}SI。

（2）盖层磁性特征

阿龙山地区的盖层主要为一套中生界火山岩地层，该套地层的磁性特征如下。

火山碎屑岩类一般为弱磁性或具有中等磁性。其中凝灰砂岩、层凝灰岩及含角砾凝灰岩的磁性普遍很弱，磁化率的平均值多在（30～65）$\times 10^{-5}$SI之间变化；熔结凝灰岩和英安质、粗安质及安山质凝灰岩的磁性多具有中等磁性，磁化率变化范围在（11～1661）$\times 10^{-5}$SI之间，最大可达到3890×10^{-5}SI，平均磁化率值为570×10^{-5}SI。

中性—基性火山熔岩一般具有很强的磁性，其中粗安岩的磁化率在（15～3390）$\times 10^{-5}$SI之间，平均值为886×10^{-5}SI；英安岩的磁化率变化范围在（0～4000）$\times 10^{-5}$SI之间，平均值在（590～3000）$\times 10^{-5}$SI之间；安山岩的磁化率值范围在（1228～3360）$\times 10^{-5}$SI之间，平均值为3012×10^{-5}SI；玄武岩磁化率变化范围在（394～10000）$\times 10^{-5}$SI

之间，磁化率均值为 2281×10^{-5}SI。

（3）侵入岩磁性特征

区内花岗岩类的磁性差异较大，其中花岗岩的磁性可分为无磁性花岗岩、弱磁性花岗岩及中等磁性花岗岩。无磁性花岗岩磁化率平均值为 40×10^{-5}SI；弱磁性花岗岩平均磁化率为 230×10^{-5}SI；中等磁性花岗岩的磁化率变化在（11～1177）$\times10^{-5}$SI 之间，磁化率均值为 695×10^{-5}SI。花岗斑岩类一般具有中等磁性，磁化率变化范围一般在（19～1311）$\times10^{-5}$SI 之间，磁化率均值为 545×10^{-5}SI　二长花岗岩和钾长花岗岩的磁化率在（13～3000）$\times10^{-5}$SI 之间，磁化率均值为 630×10^{-5}SI。因此，除了无磁性的花岗岩外，其他类型的花岗岩类引起的磁异常较难区分。

区内闪长岩类的磁性一般比花岗岩类强度大，其中花岗闪长岩、石英闪长岩的磁化率值范围在（126～3500）$\times10^{-5}$SI 之间，平均值为 950×10^{-5}SI；闪长玢岩的平均磁化率达 1286×10^{-5}SI；闪长岩的磁化率值范围在（614～6300）$\times10^{-5}$SI 之间，磁化率平均值可达 1900×10^{-5}SI。

2）岩石密度特征分析

阿龙山地区岩石及地层密度变化具有以下特征：

（1）随着地层的时代由新至老岩石的密度值逐渐增大；

（2）中生界侏罗系火山熔岩地层的岩石密度值比正常碎屑岩类的岩石密度值大；

（3）下古生界与元古宇的岩石密度值基本相同，中性、酸性侵入岩体的岩石密度则介于侏罗系火山熔岩地层与前中生界（包括下古生界和元古宇）之间，其密度差值约在 ±0.15 g/cm^3 左右。因此，该地区区域性密度界面是前中生界和中、酸性侵入岩构成的岩石界面，该区域性密度界面与上覆盖层之间存在着 0.2～0.7 g/cm^3 密度差；侏罗系火山熔岩与正常碎屑岩是区内的局部密度界面。其间存在 0.5 g/cm^3 密度差（表 2-4）。

表 2-4　阿龙山及周边地区岩石密度统计表

时　　代	岩石、地层特征	密度/（g·cm^{-3}）	备　　注
中生界	砂砾岩、砂岩泥岩夹煤线	1 9	伊敏组　大磨拐河组
	中、基性火山熔岩	2.4	伊列克得组　塔木兰沟组
古生界	浅变质岩	2 6～2 7	
元古宇	片岩、片麻岩	2 68	
γ_4、γ_5	花岗岩类	2 55	

3）重磁场特征及解释

阿龙山地区的航磁资料测量比例尺大，飞行高度低，测量精度高，编绘出的 ΔT 磁场图件包含的各类地质信息非常丰富。

根据已知地质资料与岩石物性资料对比分析结果，得出如下结论：

（1）阿龙山地区海西期花岗岩与下古生界和元古宇构成了该地区重要的区性岩石磁性界面及岩石密度界面。中元古界和下古生界磁性很弱，仅海西期花岗斑岩和二长花岗岩及花岗闪长岩、闪长岩具有中等与较强的磁性。

（2）阿龙山地区区域背景磁场的特征及分布，主要反映区域磁性界面强弱变化与分布

特点，降低的负磁场区为下古生界、元古宇及弱磁性的海西期花岗岩分布区；升高的正背景磁异常区则为具磁性的海西期中、酸性侵入岩分布区。

（3）航磁局部磁异常一般是花岗闪长岩、闪长岩和中、基性火山熔岩及浅成次火山岩，如安山玢岩、闪长玢岩、英安岩等引起。其中花岗闪长岩和闪长岩等引起的局部磁异常形态清晰并且强度较大，比较容易辨认。

（4）由于火山岩（主要是熔结凝灰岩和中、基性火山熔岩）和浅成次火山岩很不均匀，它们所引起的磁异常在形态和强度变化方面都较大，其分布特点一般呈带状、环状及片状分布。

（5）不同时代岩石、地层的密度变化具有十分明显的规律性，构成该地区区域性密度界面的元古宇、下古生界及海西期侵入岩体与中生界地层之间存在着 0.2～0.7 g/cm^3 密度差。因此，阿龙山地区布格重力图中局部重力异常场的高、低变化应是主密度界面起伏变化或侏罗纪中、基性火山岩的客观反映。

4）磁场特征及分区

阿龙山地区的磁场特征及变化十分复杂，为了便于对磁场和磁异常的分类及研究，依据该地区的区域背景磁场及磁异常的性质、形态、强度及梯度变化，以及它们之间的组合分布特点等，划分为三类：

（1）独立正磁异常及编号

HA-Ⅰ：该类磁异常的形态呈等轴状或似等轴状，有些异常具有一定的延伸及走向。异常形态规整，强度一般大于 500 nT，面积一般大于 2.0 km^2。

HA-Ⅱ：该类磁异常的形态特征与前述磁异常相同，但磁异常的强度比前者弱，异常的强度一般在 200～500 nT 之间。

推断上述磁异常主要是由具磁性的中、酸性侵入岩体引起，对岩体范围的圈定起参考作用。

（2）正背景磁场的分区及编号

a.HB 类磁场区特征及编号

该类磁异常的明显特点是强度较大，一般在 200～500 nT 之间。依据磁异常的形态特征、发育程度及组合分布特点，划分出 3 个磁场小区：

HB-Ⅰ：小区内磁异常发育，磁异常的形态以似二度异常为主，即单个磁异常具有明显的延伸及走向，并且没有明显的负值伴生。

HB-Ⅱ：小区内磁异常的形态及强度特征与前述小区相类似，主要差别仅仅是局部磁异常的发育程度比前者差一些。

HB-Ⅲ：小区内磁异常的形态与强度变化比较复杂，既存在着等轴状及似等轴状异常，同时也发育有二度及似二度异常，并且局部磁异常存在着明显的伴生负值。

b.HC 类磁场区特征及编号

该类磁场小区内磁异常形态特征与 HB 类小区基本相同，它们之间的显著差异主要反映在磁异常的强度方面，该类磁场小区内的磁异常强度变化在 100～250 nT 之间。

HC-Ⅰ：区内磁异常形态以二度和似二度异常为主，异常发育，强度在 100～250 nT 之间。

HC-Ⅱ：小区内磁异常形态多以等轴状和似等轴状异常为主，并存在着明显的伴生负

值，异常强度一般在 100～250 nT 之间。

HC-Ⅲ：小区内局部异常较发育，但磁异常的强度比 HC-Ⅱ磁场小区磁异常弱，磁异常强度变化在 50～100 nT 之间。

HC-Ⅳ：小区内局部磁异常不发育，区内正磁场变化平缓单调，强度在 50～100 nT 左右。

该类磁场小区主要反映的是中、基性火山熔岩及次火山岩类的变化与分布特点，可对填图单位组、段划分对比起到参考作用。

（3）负背景磁场分区及编号

a.LA 类磁场小区特征及编号

该类磁场小区内局部磁异常发育程度及变化较大，负背景磁场变化平缓，磁场值在 －50～－150 nT 之间。

LA-Ⅰ：小区内的局部磁异常不发育，负背景磁变化平缓、单调，磁场强度在 0～－100 nT之间。

LA-Ⅱ：小区的负背景磁场强度变化在 0～－100 nT 之间，局部磁异常较前磁场小区发育，但局部异常强度较弱，异常幅值变化在 50～100 nT 之间。

LA-Ⅲ：小区内背景磁场变化在－50～－150 nT 之间，局部异常发育，异常的幅值变化一般在 50～200 nT 之间。

LA-Ⅳ：小区内背景磁场强度变化在－100～－150 nT 之间，局部磁异常发育且强度较大，异常幅值变化一般在 200～500 nT 之间。

b.LB 类磁场小区特征及编号

与 LA 类磁场小区相比较，LB 类磁场小区的主要特点是背景磁场强度明显偏弱，背景磁场强度值一般在－200 nT 以上。结合该类磁场区内局部异常发育程度及特征，可分为如下次级小区。

LB-Ⅰ：小区内的背景磁场强度在－200～－250 nT 之间，其变化特征平缓、单调，区内局部异常不发育。

LB-Ⅱ：小区内背景磁场强度可达－300 nT 以上，局部磁异常较发育，异常幅值变化在 50～150 nT 之间变化。

LB-Ⅲ：小区内背景磁场强度变化在－150～－250 nT 之间。局部磁异常发育，其幅值变化在 100～250 nT 之间，并存在着明显的伴生负值。

该类磁场小区主要反映的是火山碎屑岩类夹沉积岩分布特点。其中小区内不同强度的局部异常则反映了次火山岩的存在及发育状况，可为填图单位、岩石大类划分提供参考作用。

5）断裂构造及重、磁异常特征

断裂构造在重、磁场图中反映出的标志特征十分明显，它们反映出的重、磁场标志特征主要有：不同性质重、磁场区及不同特征重、磁异常区之分界线；重、磁场线性梯度带；线性重、磁异常带或串珠状线性重、磁异常带；串珠状线性重、磁异常带和重、磁异常带之错动或扭动线等。

6）侏罗系地层厚度及分布特征

通过前面岩石、矿物的磁性特征分析可知，阿龙山地区的前中生界是该地区的区域性

岩石密度界面，它与上覆侏罗系之间存在着 0.2～0.7 g/cm^3 的密度差。因此，局部重力场的变化主要反映了区域性密度界面起伏及侏罗系地厚的厚度变化等信息，局部重力高一般是基岩隆起或凸起的反映，局部重力低则反映出基岩凹陷的分布特点。据此，通过对重力局部异常进行深度计算并结合已知地质资料，编制出阿龙山地区侏罗系地层厚度分布图。由于使用的重力资料比例尺小、精度低，深度计算误差可能在 ±20.0%左右。

阿龙山地区侏罗系的厚度变化及分布特点反映基岩起伏变化呈现出凹隆相间分布的构造格局，其宏观走向呈北东向展布。即阿南-阿北林场凹陷，秀山-汗马基站隆起，乌力依特林场-防火站凹陷。阿南-阿北林场凹陷的沉积中心位于阿北林场附近，侏罗系地层厚度可达 1.5 km，向南有逐渐减薄的趋势；乌力依特林场-防火站凹陷存在着两个沉积中心，即乌力依特林场沉积中心和防火站沉积中心，沉积中心内侏罗系地层的厚度可达 2.0 km，在两沉积中心之间被一个次级基岩凸起隔开。此外，在约安里林场和源江林场等处，还分别存在着两个侏罗系地层厚度达 2.0 km 和 1.5 km 的沉积中心。

7）火山机构群及分布特征

阿龙山地区侏罗系火山岩地层分布广、厚度大，说明该地区在中生代时期曾发生过强烈的岩浆喷溢活动，火山机构广泛发育。我们知道，在岩浆喷溢过程中靠近火山口处不但堆积了巨厚的火山熔岩，而且也是次火山岩比较集中发育的地段，这就为利用航磁圈定火山机构提供了可靠的地质前提条件。岩石磁性测定结果证明，阿龙山地区的火山熔岩和次火山岩一般都具有较强的磁性，具备了利用航磁圈定火山机构的地球物理前提条件。航磁资料结合已知地质资料分析对比结果表明，火山机构在磁场上具有明显的磁异常反映，一般中心喷发式的火山机构引起的磁异常形态呈等轴状或似等轴状，既有正磁异常也有（因近体磁化原因引起的）负磁异常；裂隙溢出式的火山机构引起的磁异常形态多呈二度磁异常及磁异常带。磁异常的强度及大小主要与火山熔岩及次火山岩的磁性强弱及规模大小有关，一般中、基性火山熔岩及安山玢岩、辉长、辉绿玢岩、闪长玢岩等引起的磁异常强度较大，中、酸性火山熔岩及英安岩引起的磁异常相对较弱。上述与火山机构有关的磁异常在阿龙山地区一般呈带状或片状群出现，为我们研究分析该地区火山机构群类型及分布提供了重要依据。

依据火山机构群表现出的磁场特征在阿龙山工区共圈定出火山机构群 22 处。区内火山机构群的规模大小及分布具有以下特点：以内蒙古得尔布干断裂为界其北侧的火山机构群规模一般较小，并且具有明显的延伸及走向，反映出火山机构明显地受断裂所控制。另外，各火山机构群内单个火山机构反映出的磁异常形态主要是以等轴状或似等轴状异常为主，说明得尔布干断裂西北侧的火山活动主要是以中心喷发式为主。分布在得尔布干断裂东南侧的火山机构群规模一般较大，其形态多为片状，各火山机构群内单个火山机构的磁异常形态变化比较复杂，既存在着等轴状及似等轴状磁异常，也存在着具有一定延伸和走向的二度磁异常及磁异常带，反映出得尔布干断裂东南侧火山活动形式既存在着中心喷发式，同时也存在着裂隙溢出式的岩浆活动，而且次火山岩比较发育。说明在得尔布干断裂东南侧火山机构非常发育，岩浆的喷、溢活动强烈。

重力资料反映，区内的火山机构群主要分布在重力高异常（或异常带）与重力低异常（或异常带）的转换部位，上述部位恰是基底断裂所通过的位置。

2. 新疆阿尔金地区磁场特征分析

由于阿尔金山地区只有1:50万航磁资料，受其精度所限，对该地区的研究，设想从区域性航磁磁场分区、区域磁场和局部异常分析三个方面入手，解决沉积岩地层，沉积-火成岩地层、变质岩地层、花岗岩类侵入体的空间分布与宏观影像岩石单元间的关系；解决构造轮廓及区域构造格架，以及隐伏岩体与单元的关系。具体分析内容及方法如下：

1）岩石磁性特征

区内基性、超基性侵入体具有很强的磁性，因此该类侵入体一般可以引起较强的磁异常。经过与已知地质资料分析对比，阿尔金山地区不同时代的基性或超基性岩体均有明显的磁异常反映。如出露在研究区内的石棉矿（东经88°30′、北纬38°20′）超基性岩体、辉长岩体（东经87°10′、北纬38°05′；东经88°25′、北纬38°10′）都存在着明显的局部磁异常与之对应。受基性、超基性岩体规模的限制，该类岩体所引起的磁异常规模及强度变化较大，其形态一般呈等轴状或似轴状，强度一般在150～200 nT，最大可达500 nT以上（茫崖镇岩体）。

中、酸性侵入体引起的磁异常一般呈等轴状或似等轴状，异常的规模一般比基性、超基性岩体引起的磁异常规模大，强度一般在100～200 nT。

由火山岩引起的磁异常形态一般具有二度异常及线状异常带特征，说明区内火山分布受断裂控制。

2）磁场分区及地质解析

依据瓦石峡幅航磁ΔT磁场图中区域磁场表现出的（正、负）外貌特征及强度、梯度变化，以及次级叠加磁异常的形态特征与发育程度，将该区划分为如下4个次级磁场小区。

Ⅰ宽缓变化负磁场区；

Ⅱ宽缓变化正、负磁场区；

Ⅲ叠加局部磁异常的负磁场区；

Ⅳ条带状正、负变化磁场区。

岩石磁性资料结合地质资料分析结果表明，阿尔金山地区存在着两个十分明显的磁性界面。其中区内的太古宇—元古宇变质基底构成了该地区的区域性磁性界面，该磁性界面所引起的区域背景磁场具有较好的稳定性和连续性。区内另外一个磁性界面则是由不同时期的岩浆侵入体或火山岩等所构成的局部磁性界面，由于该磁性界面的稳定性与连续性都很差，因此它们所引起的磁（场）异常一般表现出很大的差异与离散性。上述局部磁性界面所产生的形态各异和强度多变的磁异常叠加分布在区域背景磁场中，这样就使得磁场的形态及外貌特征变得复杂起来。

阿尔金山地区太古宙中的强磁性变质岩主要是由正变质岩构成，其原岩主要为中、基性的岩浆岩类；太古宙副变质岩一般具有弱磁性或不具磁性。阿尔金山地区元古宇地层中也分布有具有磁性的变质岩系，但其磁性强度要比太古宇中的强磁性变质岩弱很多，说明以上两类变质岩在原岩性质及物质成分上存在着较大差别，推断具有中等磁性的元古宇变质岩类其原岩多为中、酸性岩浆岩，或者是在变质过程中混入了中、酸性岩浆岩成分。因此，阿尔金山（瓦石峡地区区域背景磁场特征及分布主要是揭示出了该地区结晶基底的岩性，即基底岩相变化。升高的正磁场和强度很大的正背景磁异常分布区反映为强磁性正变质岩分布区；降低的负磁场区则为副变质岩（Ⅰ：宽缓变化负磁场区，Ⅲ：叠加局部磁异

常的负磁场区）分布区；在降低的负磁场中所显示出的升高磁场区（Ⅳ：条带状正、负变化磁场区）为中等磁性变质岩分布区。叠加在区域背景磁场中的局部磁异常或磁异常带主要是不同时期的岩浆侵入体和火山岩的反映，它们的分布特点及发育程度揭示出了瓦石峡地区在断裂及岩浆活动方面存在的差异。例如在Ⅰ、Ⅱ号磁场小区内的局部磁异常很不发育，说明瓦石峡幅西北部的岩浆活动特别是海西运动以来的岩浆活动对该地区的影响甚微；在Ⅲ磁场小区可以看到局部异常较发育，局部异常的形态一般为等轴状或似等轴状，磁异常的强度一般也比较弱。推断该磁场小区内的局部异常主要为中、酸性侵入体引起，反映出Ⅲ号磁场小区的岩浆活动方式是以侵入活动为主；Ⅳ号磁场小区内的局部异常非常发育，并且异常的强度及形态变化也表现得十分复杂，揭示出该小区的岩浆活动比较强烈、频繁，不同时期的岩浆成分及性质差异较大，并且岩浆活动方式也十分复杂，既存在着岩浆侵入活动，同时也存在着规模较大的岩浆喷溢活动。所以，瓦石峡研究区的磁场特征及分布，深刻地揭示出了该地区的基底结构与岩相分布特征，以及岩浆活动特点等情况。

3）基底断裂及特征

研究结果证明，断裂在磁场上一般具有以下几种标志特征：

（1）不同性质（正、负）磁场区及不同形态磁异常区分界线；

（2）磁场线性梯度带；

（3）线性正（或负）磁异常带及串珠状线性磁异常带；

（4）磁场与磁异常带的错（或扭）动带。

断裂在磁场上所表现出的上述特征标志对我们分析、判断断裂规模及性质具有十分重要的意义。其标志特征表现为不同性质磁场区或不同形态磁异常区分界线的断裂，不但对基底结构及岩相分布具有控制作用，而且反映断裂两侧的岩浆活动也具有较大差异，说明断裂的规模大并对区域地质发展及构造演化起到控制作用；反映为线性磁异常带或串珠状线性异常带等磁场标志特征的断裂，则说明沿着断裂有岩浆侵入体和火山岩分布，揭示出该类断裂一般切割的深度大，对岩浆活动具有控制作用；表现出磁场或线性磁异常带的错动带标志特征的断裂，则为我们提供了断裂两侧曾发生过相对运动的有关信息。

总之，断裂在磁场上所表现出的特征标志是比较复杂的，它可以表现出一种磁场标志特征，也可以同时反映出两种或两种以上的标志特征。

3. 遥感与航磁成果吻合性影响因素分析

遥感地质解译与航磁解释成果经常表现出诸多的不一致性，主要表现在同一地质体的形态、位态的不同。究其原因表现在以下几个方面：

1）遥感和航磁资料的多解性

地质体在特定条件下会存在异物同（光）谱（或同谱异物）和位场等效效应现象，这是造成遥感及航磁解译（释）结果呈现出非惟一性，即多解性的原因。多解性现象的存在不但增大了资料解释的工作量与难度，而且还可能会造成解释结果中某些不确定因素同时增多。遥感和航磁成果中存在着的不确定因素往往会对两者成果之间的对比分析造成困难，并对成果的吻合性产生明显的影响，因此，遥感与航磁技术方法本身及成果中所存在的多解性问题，往往是引起两者的解释成果在吻合性（一致性）方面存在差别的主要影响因素之一。

2）成果解译（释）理论、方法方面存在的差异

遥感与航磁的成果解译（释）理论和方法方面存在的差别及其对成果吻合性影响包括两个方面：

（1）研究及实践结果证明，依据解译（释）理论及方法所获得的遥感与航磁成果在没有得到野外检查验证之前都是推断性成果。因此，解译（释）成果本身与实际情况之间所存在的不确定性，将会影响到遥感与航磁成果的吻合性（一致性）。

（2）目前正在广泛使用的遥感与航磁的成果解译（释）理论和方法是一套各自完全独立的工作系统，两者之间不存在任何的内在联系。遥感技术具有直观性和可视性等特点，有利于资料的对比分析，这样就使得遥感解译成果中的推断性成分较少。相比之下，航磁资料解释，特别是在对磁异常进行定量解释过程中，必须给出磁化强度的大小、方向及磁性体的形状等参数，而上述参数在一般情况下都是通过试验及分析对比或是逻辑推理方法确定的，造成航磁成果中的推断分析成分所占的比重相对较大。因此，遥感与航磁的成果解译（释）方法之间存在的差异，是影响遥感与航磁成果吻合性的主要因素之一。

3）地质体的复杂性

地表所保留的地质体是长期、复杂地质作用的结果。它们对遥感与航磁成果吻合性的影响及其产生的原因主要与技术方法本身的特点有关。研究及分析结果表明，对于复杂的地质及构造现象，不同的技术方法一般只能够揭示出它们的某一个侧面。例如，对一条深大断裂，遥感资料可以依据断裂显示的地形、地貌特征、色调和影纹等的差异，可以很直观地揭示出该断裂在地表的位置及延伸方向。而航磁则是依据断裂磁场特点（多反映为线性磁异常带或串珠状线性磁异常带）来判断出断裂的延深及展布。由于受断裂控制的磁性体（一般为岩浆岩类）的分布情况比较复杂，它们的宏观展布方向虽然与断裂的走向一致，但它们并不一定在断裂之中，而是往往沿着断裂带及其两侧排列分布，说明航磁资料中还包含有反映断裂的深部信息的成分。从而造成遥感资料反映出的断裂和航磁资料圈定出的断裂在平面位置上存在着一定的偏离现象。因此，宏观地质体的复杂性也是影响遥感与航磁成果吻合性的重要因素之一。

（三）同位素测年资料

同位素测年资料是确定地质体形成时代或年龄的依据。它可通过收集前人资料获取，也可通过同位素样品采集分析获取。无论采用哪种方式收集，均有利于花岗岩类侵入体填图单元年龄和断裂形成年龄的判定。测年方法比较多，有 U/Pb 法、Rb/Sr 法、K/Ar 法、$^{40}Ar/^{39}Ar$ 法、^{14}C 法、电子自旋共振（ESR）法等。

铀-铅法根据 $^{238}U/^{206}Pb$ 和 $^{235}U/^{207}Pb$ 衰变进行测年，其样品一般采用晶质铀矿或沥青铀矿、锆石、独居石等。

铷-锶法根据 $^{87}Rb/^{87}Sr$ 的 β 衰变进行测年。这种方法可广泛地利用全岩进行测定，除富含铷的矿物外，还可以利用钾长石、云母类矿物和铷含量为 $10^{-2}\% \sim 10^{-3}\%$ 的酸性岩。

钾-氩法和氩-氩法测年可以采用的矿物较多。包括钾长石类、云母类、角闪石类、辉石类和海绿石等。

^{14}C 法利用炭质粘土岩类和植物等样品进行测年。

在使用上述不同方法测年数据时，应注意数据适用性。

总之，遥感地质解译与航磁地质解释资料的综合分析利用是遥感地质填图成果的丰

富、补充与相互验证，由于这两种方法技术揭示地质体层次不同，即遥感以表层地质现象为主，航磁以深部地质结构为主，所以在解释结果利用过程中应视具体情况具体分析。一般情况下，对第四纪覆盖区的隐伏断裂解译及利用局部异常圈定隐伏侵入岩体，航磁解释优于遥感解译结果，图面地质内容应以航磁解译结果为主体。但对于填图单元解译划分，裸露区断裂解译，应以遥感技术为主体，充分发挥其直观、宏观技术特性。而航磁 ΔT 异常分区分析与遥感宏观影像单元分区具有相应的结合性，可通过磁场分区强度判定岩类范围。对同位测年数据主要与影像岩石单元结合，采用定位对比或直接使用以确保单元建立划分合理，序列归并准确。

第四节　遥感地质填图野外调查方法及遥感解译精度评价

众所周知，无论是常规区域地质填图，还是遥感地质填图，工作的最终目的均是很好地解决基础地质问题，使复杂的地质现象清晰、明朗、有序地表达在图面上，真实地反映出地质作用的全过程。虽然，运用遥感技术进行 1:25 万填图，具有优于其他填图方法的宏观性强、直观性明显的技术特点，但就影像解影像、说影像的工作方式，是不能全面了解和解决错综复杂的地质作用现象，为此，必须选择科学、合理的野外地质调查方法，起到事半功倍的作用。尤其是新一轮空白区 1:25 万区域地质填图，野外地质调查工作受自然地理条件限制，难以实现和满足区调规范要求所实施的路线布置密度。然而运用遥感技术进行 1:25 万区域地质填图，可通过影像单元、影像岩石单元的建立和单元延伸稳定性、变化规律性分析，实施适量的实测剖面和野外踏勘路线、野外地质调查路线控制及相应的薄片、岩石化学样品采集，进而达到填图单位建立划分的准确性，满足填图规范有关的技术要求。根据遥感地质填图方法技术特点，提出了单元-剖面法这一野外地质调查方法。

该方法按野外地质踏勘和野外地质调查的工作内容不同分解为影像单元-剖面法和影像岩石单元-剖面法。

一、影像单元-剖面法

该方法是以影像单元为调查单位，实施野外踏勘剖面选取、测制和踏勘路线布置、调查的一种方法。

（一）野外地质踏勘内容及路线部署原则

1. 野外地质踏勘内容

野外地质踏勘是在前人资料分析研究和遥感影像单元图编制的基础上，对调查区进行全面的野外踏勘。

（1）初步认识调查区地层分布情况，各主要地层单位特征、划分依据和可填性；侵入岩活动期次、岩石类型、空间分布规律、侵入关系；变质岩的变质程度、变质相带分析、特征变质矿物、变形特征、构造改造特征；火山岩的空间分布状态、喷发旋回特点、喷发类型、岩石类型组合、喷发活动期次与层位；深大断裂空间分布规律、主要地质特征、构造类型；矿化种类、蚀变特征、成矿规律。

（2）影像单元地质特征。岩石类型、岩石类型组合特征、物质组成、结构构造、边界

性质。

（3）影像单元与地层单位、岩体单位的吻合关系、差异规律及填图单位划分意义。

（4）宏观影像单元与沉积岩、变质岩、沉积-火山岩、侵入岩带（体）之间的对应关系及规律。

（5）标准影像单元的地质特征、填图意义。

（6）线带影像单元的构造特征、类型及地质依据。

（7）区域矿产特征。矿产种类、蚀变特征、成矿规律。

2. 野外地质踏勘路线布置原则

（1）踏勘路线尽量安排在影像单元发育齐全地段。如若交通不便或无法到达，可分段选线进行单元控制。

（2）要求每个影像单元均需有1条踏勘路线的控制。

（3）对模糊影像单元安排2条踏勘路线的控制。

（4）主要线带影像单元均需有点或线的控制。

（5）区域重要地质问题地段加密点线的控制。

（二）实测主干剖面部署原则及内容

1. 实测主干剖面部署原则

（1）实测主干剖面线部署尽量选择影像单元齐全的地区进行，应遵循构造简单、地层发育齐全的原则。

（2）要求每个影像单元均需有1条剖面的控制。

（3）对于高度覆盖区，每个影像单元分界部位应有点槽控制，露头较好的单元执行第（2）条原则。

2. 实测主干剖面调查要点

实测主干剖面的目的是以影像单元为基础，结合地质特征建立影像岩石单元，即填图单位。根据遥感影像单元种类分别测制剖面，其每种剖面测制的要点不同。

1）层型影像单元实测主干剖面

指沉积岩地层、浅变质岩地层和沉积-火山岩地层剖面测量。

（1）沉积岩地层、浅变质岩地层剖面测量

A. 分层：实测主干剖面以“层”作为基本描述单位，它可以是单一岩石，也可以是岩石复合层（夹层型、互层型、韵律型、旋回型、建造型），其内部基本连续，与上下相邻层宏观可分，垂向上岩性的任何差异都可以作为分层的标志，但应加以注意的是分层一定要与影像标志相结合，层的归并符合影像岩石单元建立标准。

B. 岩性：分层的岩性可用颜色、结构、成分综合命名方式予以概括。尤其是颜色，除描述新鲜面之外，风化面颜色真实记录很重要，对影像岩石单元以色彩（调）信息作为建立、划分标志意义较大；结构描述应注意不同岩性的差别和变化，这样对分析岩性的形成环境和成因有利；矿物成分描述含量比例很重要，有利于源区性质分析。

C. 沉积-成岩构造：注意层的形态、层理类型、单层厚度、各种交错层理、层顶面波痕、冲蚀痕、干裂、层底面的各种印痕、印模等现象观察与描述，有利于层序建立。

D. 原岩建造观察：针对浅变质岩而言，注意产状、形态、岩层组合（成因标志明显的特征性岩层）、结构构造的描述，有利于原岩类型、原岩建造类型和形成环境恢复。

E. 化石：实体化石和遗迹化石不仅是生物地层学研究的主要对象，而且还是沉积环境最灵敏的指示物。重点描述化石门类组合、个体形态、保存状况、分布状态等特征，以及与岩性、沉积构造的关系，排列的优选方位。

F. 正常层序的识别：识别岩层的顶、底方位是确定其新老顺序的关键。而许多沉积构造能够指示岩层的原始顶、底方向。如斜层理、冲蚀痕、干裂、遗迹化石等。

G. 接触关系：岩层间的接触关系可分为连续接触和不连续接触两种。对连续沉积的岩层，应注意岩性的渐变过渡特征，对不连续沉积界面，要注意其形态的平整、起伏，上、下岩层是否交切，有无底砾岩或古风化壳的存在，是否存在不同的构造样式变化及变质作用差异，并查明不连续沉积的原因。另外对于不整合应注意在临近界面的上下寻找地层时代的依据。

H. 样品采集：系统采集样品是剖面测制的主要工作内容。采样的种类和数量要根据地质情况和填图需要来定，通常需要采集岩矿、岩石化学、同位素样品等。

I. 野外记录和作图：野外记录包括丈量记录和剖面描述两部分。丈量记录包括导线号、长度、方位、坡度角；剖面描述包括厚度、岩性、结构构造、倾向、倾角、取样位置、样品种类及编号等。

实测剖面图，由室内整理完成。

2）非层型影像单元实测主干剖面

该类实测剖面主要指中—深变质岩地层和侵入岩类的剖面测量。

（1）中—深变质岩地层剖面测量

该种剖面测量的目的是通过非层型影像单元剖面上的地质现象的深入观察，查明影像单元的岩石类型、变质结构、接触关系、变形变质特征、区域构造轮廓、构造样式和变质程度。

A. 岩石类型：查明影像单元的岩性特征，岩石类型组合特点。

B. 变质结构：主要指变余结构、变晶结构和变形结构。应注意残存的原岩的矿物成分、结构构造和变质岩石矿物的自形程度、粒度和形状的观察与描述，有利于变质强度分析。

C. 变质构造：注意块状构造与定向构造观察。尤其要注意定向构造中的千枚理、片理、片麻理、变质分异条带和矿物拉伸线优选方位的关系描述。有利于多期构造作用的判定。

D. 矿物成分：注意变质岩石的矿物组合及特征矿物观察与描述，有利于变质相带的划分。

E. 接触关系：注意不同级别影像岩石单元间的接触关系及同一单元内不同岩石类型间的接触关系的性质、特征以及接触界面两侧地质条件特征观察。

F. 样品采集：采集相应的样品进行显微结构构造研究，有利于原岩恢复、变质变形期次的划分。

G. 野外记录：丈量记录和剖面记录。

（2）花岗岩类侵入体实测主干剖面

该类剖面测制的目的在于了解花岗岩类侵入体的岩石类型，不同岩石类型的矿物成分、结构构造特征、岩体之间的接触关系，以及影像单元与岩体或岩石类型的对应关系和

吻合性，为单元划分和序列归并提供依据。测制的主要内容为：

A 影像单元岩石类型。

B. 岩石矿物成分、结构、构造特征。

C. 不同类型侵入体与围岩的接触关系。

D. 侵入岩体形成的先后顺序。

E. 接触变质晕的宽度、变质类型、蚀变类型。

F. 划分侵入体单元，序列归并特点及变化规律。

G. 侵入体单元与影像单元的关系，查明吻合性和产生差异的原因。

H. 脉岩类型与单元或序列之间的因果关系。

I. 样品采集：采集样品应目的明确，以解决问题为宜。所采样品力求新鲜，分布均匀。其原则为：

a. 每个影像单元或侵入体单元采集 1～2 块薄片标本，对不能准确命名的岩石均须采集薄片样品。

b. 光谱样：以单元为区间按一定间距采样，一般为 250 m 间距。

c. 硅酸盐分析：一个单元取 1 个样品。

d. 同位素年龄样：一个序列取 1 个样品。

J. 野外记录：力求真实，对岩石颜色、矿物成分，含量、结构构造应详细描述。

二、影像岩石单元-剖面法

该方法是以遥感初步解译地质图为工作手图，以其影像岩石单元为调查单位，实施野外地质填图单元建立、修订和野外调查路线布置的一种野外测量方法。

1. 野外地质调查路线部署原则

（1）对延伸稳定，符合填图单位确定原则的影像岩石单元仅布置 1 条野外调查控制路线。

（2）对遥感地质特征明显，边界不甚清楚的影像岩石单元布置 2 条野外地质调查路线控制。

（3）对定性困难的影像岩石单元布置 3 条野外地质调查路线控制。

（4）对复杂地质问题地段增加路线布置密度，以解决实际问题为宜。

（5）对区域性主干断裂均应有点线控制。

2. 野外地质调查内容（见第四章第三节）

另外，对覆盖区遥感地质调查除按上述方法进行野外调查外，由于其特殊的景观条件，在进行野外遥感地质调查前首先根据影像特征判定工作区植被的疏密程度和坡度，检查路线应选在植被稀少、坡度较大的地区，这类地区一般覆盖较浅，容易见到天然露头或转石。由于不同的影像单元可能代表了不同的岩石组合，所以原则上每个影像单元都应进行野外检查。

由于覆盖区森林茂密、残坡积厚度大难以见到天然露头，所以野外检查路线尽量安排在视野开阔、人工露头连续的公路沿线，仔细记录下每个影像单元的岩性组合、地层产状、岩石的结构构造及每种岩石的地貌特征。

对于没有公路穿越的影像单元，应进行人工探槽验证。

在火山岩区应对典型的火山机构进行“十”字形横穿剖面验证，观察不同火山岩相的岩石组合特点及其形成的地貌影像特征、放射状和环形断裂特征、在可能情况下描述火山的喷发旋回。对于遥感解译出的断裂，由于沟谷的第四系厚度巨大，所以应尽量选择断裂经过的鞍部地形进行探槽揭露。

三、遥感地质解译精度评价

（一）裸露区遥感地质解译精度

影像单元是编制遥感影像单元图的基本单位。其划分建立的标准是以特征影像体存在为依据。它主体显示的是特征岩石类型或岩石组合类型的存在。因此，影像单元建立划分的精度评价指标，主要是指所划分出的影像单元的岩性特点是否代表某一岩石类型或岩石组合类型，且并与野外地质调查结果相一致。现以1:25万瓦石峡幅为例加以评价。

1.A类影像单元解译精度

在1:25万瓦石峡幅共建立A级影像单元40个，野外地质调查点55个，实际涉及A级单元19个，经对比统计分析解译精度由影像单元划分精度和影像单元分类属性两方面加以体现。

（1）影像单元划分精度。系指所建立的影像单元与野外地质调查实际岩性特征变化的吻合程度。在统计的19个影像单元中，有16个单元划分达到吻合或基本吻合，吻合率均为83%，有3个单元存在划分误差，约占17%。

（2）影像单元属性分类精度。系指影像分类属性与野外地质调查实际地质属性的吻合程度。在进行统计的19个影像单元中，属性分类完全或基本正确的单元为17个，吻合率约为89%，误差为11%。

2.B类影像单元解译精度

在1:25万瓦石峡幅共建立B级影像单元3个，野外调查点3个，其地质解译精度仍以单元划分精度和划分属性精度加以评价。

（1）影像单元划分精度。评价标准同A级单元。在统计的3个影像单元中，有2个单元划分完全正确，吻合率约为67%，1个单元有划分误差，约占33%。

（2）影像单元分类属性精度。评价标准同A级单元。

在统计的3个单元中，属性完全吻合单元有1个，吻合性约占33%，其余2个单元有局部图斑属性归属错误，约占67%。

分析认为产生错划、误划的主要影响因素有4点：

（1）影像单元等级分类不够严谨，主要表现为A、B、C三级定位标准性不够。

（2）在高海拔、强烈切割地区，野外地质调查路线多沿沟谷布置，但由于垂直高度的变化，顶部与下部岩性的变化差异易于忽视。尤其是产生在侵入岩中的残留地层划分误差较大。

（3）对于规模较小，影像特征显示不甚清楚或与围岩影像相似的地质体，尤其是顺层侵入的岩脉、岩株往往产生漏划。

（4）地质体解译标志建立得不准确。

3. 定性类影像单元解译精度

主要指断裂构造解译精度评价，该类构造的评价指数分为解译标志建立的准确性和野

外验证结果两项：

（1）解译标志建立的准确性。线带影像单元是断裂构造信息提取的主要标志。解译中除运用该类标志外，其线带两侧不协调地质信息，是厘定断裂存在的又一定性结构标志，运用两者相结合的方式，所圈定断裂构造的精度达到100%，其位置准确。同时，还可依据影像标志规模进行深断裂、大断裂和一般断裂3个级别的划分。

（2）野外验证结果。在图幅只有一个验证点控制解译断裂，验证与解译结果相吻合。但有些调查点内发现剪切带构造存在，而遥感未能解出，说明遥感技术对断裂构造的解译仍有不足之处。

分析认为，对断裂构造产生漏划的主要原因为：①解译标志的隐形性；②层型单元信息与线带单元的混着性；③标志类型的不完全性。

4. 环形构造精度评价

（1）成因划分精度

1:25万瓦石峡幅共解译环形构造4个，其中有3个环形构造有野外调查资料控制，其中2个由岩体引起与解译分类相吻合，分类精度达66%。

（2）解译重现性精度

从不同比例尺图像解译对比分析，4个环形构造标志显示清晰，重现性可达100%。

5. 影像岩石单元划分精度

影像岩石单元是遥感初步解译地质图，遥感地质图编制的实体或基本填图单位。它是在影像单元划分的基础上，结合野外地质调查资料，依据其岩性特征是否符合填图单位建立划分的标准，经修改、补充、影像单元归并而成。其划分精度依影像单元划分精度变化而变化。

一般情况下，A级影像单元达到73%、B级影像单元达到67%，可直接转换为影像岩石单元，且边界准确。

6. 遥感初步解译地质图编制精度

遥感初步解译地质图是在影像单元划分的基础上，经单元属性野外调查，结合其他资料而确定，其填图单位精度与影像单元解译精度相类似。

应加以说明的是A、B级影像单元划分与填图单位，也就是影像岩石单元建立吻合性较好。其中仍有少量的单元需进行影像单元归并、修改和补充。A级影像单元有83%直接确定为填图单元，即影像岩石单元，剩余的17%需要进行影像单元归并、修改和补充，尤其是需要归并的单元，虽然它所显示的岩性特点可以满足影像单元划分标准，但与填图单元划分标准相比，岩性组合缺乏完整性、划分性、对比性和稳定性。

总之，通过遥感初步解译地质图编制，影像单元、影像岩石单元、单元-剖面法的综合运用，使填图工作阶段划分清楚，工作的目标性和目的性更加明确，工作量布置更加合理，且可满足填图精度要求。

（二）覆盖区遥感地质解译精度

一个影像单元包括了若干图斑，评价解译精度的标准是：单元解译精度＝同一影像单元的属性相同的图斑数量/该单元图斑总数。

1. 影像单元划分精度

野外路线检查验证了阿龙山幅21个A级影像单元的40个图斑，有29个图斑单元属

性基本相同，吻合率72%，6个属于混合单元图斑，占检查图斑的15%，5个图斑属于错误，占检查图斑的12%。

B类影像单元验证了30个单元的43个图斑，其中25个图斑属性基本相同，吻合率58%，10个图斑为混合图斑占23%，8个图斑属性错误，占检查图斑的18%。

C类一股脑乡单元验证了15个图斑，其中5个图斑属性基本相同，吻合率为33%；6个合格图斑为混合图斑，占40%；4个图斑属性错误，占检查图斑的27%。

2. 线性构造解译精度

本区共解译出线性构造100多条，并根据线性影像的清晰程度划分了A、B、C三级，由于地表第四系覆盖严重，必需进行山地工程揭露才能验证线性的真伪。由于项目经费有限，不可能进行大范围的工程验证，根据少量探槽验证结果，8条线性构造均为断裂。

3. 环形及放射状构造解译精度

本区环形构造和放射状构造比较发育，绝大部分是与火山机构有关的环形断裂和放射状断裂（节理）。与线性构造相似，由于第四系严重覆盖，只能对少量环形构造和放射状构造进行工程验证，对5个环形构造和6个放射状线性影像检查结果为：4个环形构造是破碎带，6个放射状影像全部是断层或破碎带。

4. 影像岩石单位解译精度

影像岩石单位由一个或若干个影像单元组成，因此影像单元的解译精度直接影响了影像岩石单位的精度。本区岩浆岩类影像单元可解译程度最高，大部分A类影像单元与影像岩石单位相吻合，而火山岩地层的影像岩石单位由若干个影像单元构成，其中既包括A类影像单元，又包括B类和C类影像单元。由于不同类型的影像单元解译精度不同，所以火山岩地层的影像岩石单位解译精度难以进行评价。

第三章　1:25 万遥感地质填图集成系统

第一节　集成系统概述

一、集成系统的方法论

集成的方法论主要应解决两个问题，即为什么要集成？怎样集成？

对于第一个问题，集成可以带来明显的效益，这主要体现在以下几个方面：

（1）集成协调所具有的协调和反馈机制可以使整个系统形成一个有机的整体，完成单独部件不能完成的功能，从而增强系统的整体功能。在统一的集成平台的基础上，多种信息可以共享，信息融合和深层次挖掘可以产生大量新的有用信息。

（2）系统集成可以提高系统整体的使用效率。在集成系统下运行可以节省进入和退出各子系统的操作，节省时间和人力物力。在越来越多的分布式系统中，这种效益尤为明显。

（3）系统集成可以降低各部分连接的复杂性。各子系统仅仅要求知道如何与集成平台发生联系，而不必知道如何与其他 $N-1$ 个应用系统联系，其复杂性正比于 N，而不是 N 的平方。

（4）减少各子系统的重复部件，共享某些功能，提高系统的整体利用率，增强系统的性能/价格比。这同时也进一步降低了系统的复杂性，减少系统冗余，保持系统的一致性。

（5）系统集成可以增强系统的开放性和应变性。集成系统必须建立在标准化的基础上，这种标准化使得系统的修改和扩充都有章可循。

必须认识到，系统集成带来的效益是建立在正确的和成功的系统集成方案上；相反如果集成方案是错误的和失败的，则系统集成不仅不会带来正面效益还会对系统功能的正常发挥产生影响。

对于第二个问题，不同的系统千差万别，没有统一的解决方案，但各种系统集成还是有一些共同的特性。系统集成需要采用多维的分析方法，从多角度、多侧面去分析集成系统。

二、集成系统的多维整体视图

首先对集成系统要有一个整体视图。对于以信息获取、加工处理和应用为核心的系统集成而言，可以从以下几个方面去考虑：

1. 资源视图

不仅包括主要计算机软硬件和网络通信资源，还包括信息获取资源、信息利用所涉及到的资源。既包括“硬”的资源，如 CIMS 中的制造设备，GIS 中的数字化仪和扫描仪，

还包括“软”的资源，如 RS 信息获取中的光谱资源。

2. 信息视图

在统一的（分布式）数据库集成平台的基础上完成信息的获取、存储、分析、输出和应用。信息视图与功能视图饺相互联系又相互独立，集成化的信息不仅为已有分析模型服务，而且支持直接的信息检索和查询，支持建立新的模型。

3. 功能视图

系统的功能直接面向用户，对用户提出的要求提供支持。功能集成不仅应提供各子系统已经具有的功能，还应提供集成系统所具有的特殊整体功能。

4. 组织视图

任何复杂系统都离不开人在各个层次和环节上的参与。人机协调，充分发挥人的创造性和主观能动性才能充分利用集成系统提供的各种功能，并不断地改进和完善，以达到系统集成所要求的目标。从这个角度看，人员集成是系统集成的一个重要方面，而且会越来越重要。

三、集成系统的层次结构

以信息为中心的系统集成主要包括以下几个层次：硬件和网络平台集成—软件支撑平台集成—数据库和模型集成—应用集成。这几个层次是从面向工具到面向应用逐渐过渡的过程，每一个层次都屏蔽了上一个层次的许多具体技术细节，最终形成面向应用的集成系统。

（1）硬件和网络平台集成。大型实用系统一般都是异种机型、异种操作系统、异种网络环境，硬件和网络平台集成实现集成系统的物理连接。

（2）软件支撑平台集成。各种遥感，地理信息系统，关系数据库管理系统软件功能上各不相同，同一类型不同厂商的软件在内容上也有所侧重，需要对这些软件支撑平台功能进行组合和裁剪，并根据需要自行开发相应的模块，以完成集成系统功能的需要。

（3）数据库和模型集成。集成化的地理信息系统应将不同区域、不同时间、不同内容、不同格式的地理信息数据集成在一起，形成物理上分布、逻辑上集中的分布式数据库。模型集成平台完成应用模型与数据库集成平台的交互，并支持模型的二次开发和提供可视化构模工具。

（4）应用集成。在统一的数据库集成平台和模型集成平台的基础上，开发专业应用模型，完成系统要求的功能，提供最终面向用户的应用界面。

四、集成系统的动态交互

从集成系统动态的运行过程上看，围绕用户的功能需要，在系统实际运行过程中，对于每一功能的实现都有资源、信息和人员的交互，各视图之间存在动态的联系。集成系统的建立必须对这种动态联系进行深入分析。

五、地理信息系统集成的现状

GIS 是一种处理地理信息的特殊信息系统。地理信息与其他信息的差别在于它的数据既包含属性数据又包含空间数据，二者同等重要。地理信息系统一般被定义为用于采集、

存储、管理、分析和表达空间数据的信息系统。从这个角度看，GIS 包括空间数据的获取、处理加工和应用的全过程，从一开始就是一种集成系统。

GIS 集成狭义上指 GIS 自身的集成，广义上则包括与地理空间信息相关的数据采集系统、处理分析系统、应用系统的综合集成。在实际应用中根据用户的需要可能还包括办公自动化系统、通信系统、指挥调度系统等相关系统的集成。

GIS 本身的集成包括数据的集成、模型的集成和软件的集成。数据集成是指不同地域、不同时间、不同内容（属性）的地理信息数据如何形成一个统一的整体，并按照一定的规律对其进行适当的分割，形成一个物理上分布、逻辑上集中的实用、高效的分布式空间数据库系统。模型集成是指如何建立反映空间规律的模型，并将这些模型与数据库平台、支撑功能软件平台有机地结合在一起，实现模型库、方法库和知识库的管理，并在已有的模型、方法和知识的基础上建立新的模型。软件集成主要指 GIS 功能软件支撑平台的集成，包括同一种平台内部各模块之间的集成以及不同 GIS 平台功能模块之间的集成，同时还有可能包括与其他类型软件之间的集成。在集成的技术方面目前还存在一些问题，随着计算机硬件的进步和软件技术的发展，这里面的许多问题将逐步解决，但 GIS 集成的核心问题仍然存在，那就是时空统一的数据模型的建立，在这种数据模型基础上统一的时空体的逻辑和物理分割以及如何建立面向问题的空间分析模型。

近年来，一些学者和专家提出“3S 集成”或“5S 集成”。“3S 集成”即 GIS，RS，GPS 的集成，“5S 集成”还要加上数字摄影测量系统（DPS）和专家系统（ES）。RS 与 GIS 联系较为密切，RS 一直被看做 GIS 快速获取信息的重要来源，而 GIS 被认为是 RS 信息利用的深化，很早以前就有人提出 RS 和 GIS 集成的问题，提出分开的但是平行的结合、无缝的结合和整体结合等若干模式，但是在实际应用中进展甚微。“3S 集成”的一般模式是 RS 采集面状信息，GPS 采集实时点位数据，为 GIS 提供数据源，利用 GIS 进行空间数据管理和空间分析。DSS 和 ES 的引入目的在于深化空间数据的应用。DSS 主要处理半结构化和非结构化的问题，它的目的是辅助决策而不是代替人的作用。ES 则是模拟专家的分析和决策过程，代替人的作用。空间信息的获取、分析和应用是一个首尾相联、循环往复的过程。空间信息应用所产生的方案和决策作用于空间对象使之改变状态，使空间信息获取、分析和应用开始新的一轮循环。在这种模式中，“5S 集成”通过反馈和协调机制形成了一个有机的整体，代表了地理信息系统集成的新方向。

在实际应用中，以航空航天遥感信息、测绘信息和地面观测资料获取为数据源，用 GIS 空间分析功能建立专业评估分析模型来进行空间信息管理和决策的面向地理信息的集成系统在资源与环境动态监测、农作物估产、重大自然灾害监测评估、生态网络研究、城市规划与管理等领域发挥了重要作用，国内外已有许多成功的系统。

当前 GIS 系统集成存在方法上的问题，初步归纳有以下几个方面值得注意：

（1）信息集成理论基础薄弱。地理信息的类型、来源、表现和应用都越来越多样化。尽管 GIS 集成系统在分布式平面网络扩展（WEBGIS）、三维立体扩展（3D GIS）、时间扩展（TGIS）、属性扩展（多源数据融合）的实践方面取得了很大进展，但在 GIS 中目前还缺乏对地理统一时空体的有效表达。

（2）GIS 集成的方法论匮乏。对于地理信息集成的概念缺乏一致的认识，对于 GIS 如何集成、GIS 集成包含哪些内容、集成系统的体系结构缺乏深入的理论研究。

(3) 机械集成多，有机集成少。许多集成系统只是各子系统简单的堆砌，造成数据和功能的冗余和不一致，无法投入业务化运行。这主要是由于缺乏对系统集成的全面认识。从总体上讲，系统集成不仅仅是功能集成，还应包括资源集成、信息集成和人员集成。集成系统不仅应具备各子系统的功能，而且还应提供系统的反馈和协同功能，同时为将来加入新的功能并形成一个有机的整体提供可能。

(4) 集成的体系结构不合理。GIS 集成一般是多种硬件平台、多种操作协同、多种网络平台、多种支撑软件、多种应用集成的统一，单独一种或几种商用软件无法满足整体系统的需要，而且建立在商用支撑软件上的集中式系统，在系统扩充、升级和维护等方面都存在许多问题，所有的应用都无法脱离该系统。从集中系统转向以 C/S 结构为基础的分布式系统，把商用软件看做是提供特定功能的服务器，可以根据需要组合各种商用软件模块和自行开发的模块，并可以很方便地升级和替换。

(5) 灵活性差。GIS 应用一般都是宏观动态的复杂系统，但是目前的集成系统用户一般只能按照系统提供的菜单完成预制的功能，而无法根据实际需要迅速建立面向应用的分析模型。这主要是集成系统由于没有统一的信息视图，缺乏数据库集成平台和模型库集成平台，缺乏方便、灵活和可视化的构模工具。

(6) 缺乏标准。早期的 GIS 集成系统大都属于研究和试验系统，没有统一的标准。但是标准化是大型复杂系统成功的基本保证。随着越来越多的空间数据标准的制定，借鉴和融合 CIMS 标准、软硬件标准制定 GIS 集成的标准，是 GIS 集成系统从试验研究走向业务化运行的重要内容。

第二节　1:25 万遥感地质填图集成

一、集成系统结构

考虑到 1:25 万遥感地质填图的可应用性，按照集成系统的思想及系统任务目标的要求，构建了图像处理-交互解译、矢量编辑-空间分析与地质图制作三大体系（见图 3-1）和遥感图像处理、专题地图制作、空间分析工具、空间数据浏览四大功能模块（见图 3-2）。

二、集成系统软件平台的选择及开发方案

遥感地质填图，离不开遥感图像处理和矢量数据库管理与空间分析，如何将二者有机地结合起来，选择相互适宜的 GIS 软件和图像处理软件平台是集成系统成败的关键问题之一。

本项目选定 ARC/INFO 8.0 和 ERDAS 8.4 分别作为 GIS 和图像处理软件平台，其优势在于：

(1) ARC/INFO 和 ERDAS 分别是 GIS 和图像处理领域中经典的专业软件，技术先进、功能完备、系统稳定。

(2) 美国 ESRI 公司和 ERDAS 公司是合作伙伴关系，数据共享十分方便。ARC/INFO 系统中可以直接使用 ERDAS 的 IMG 格式影像文件；ERDAS 系统中也可以显示、编辑

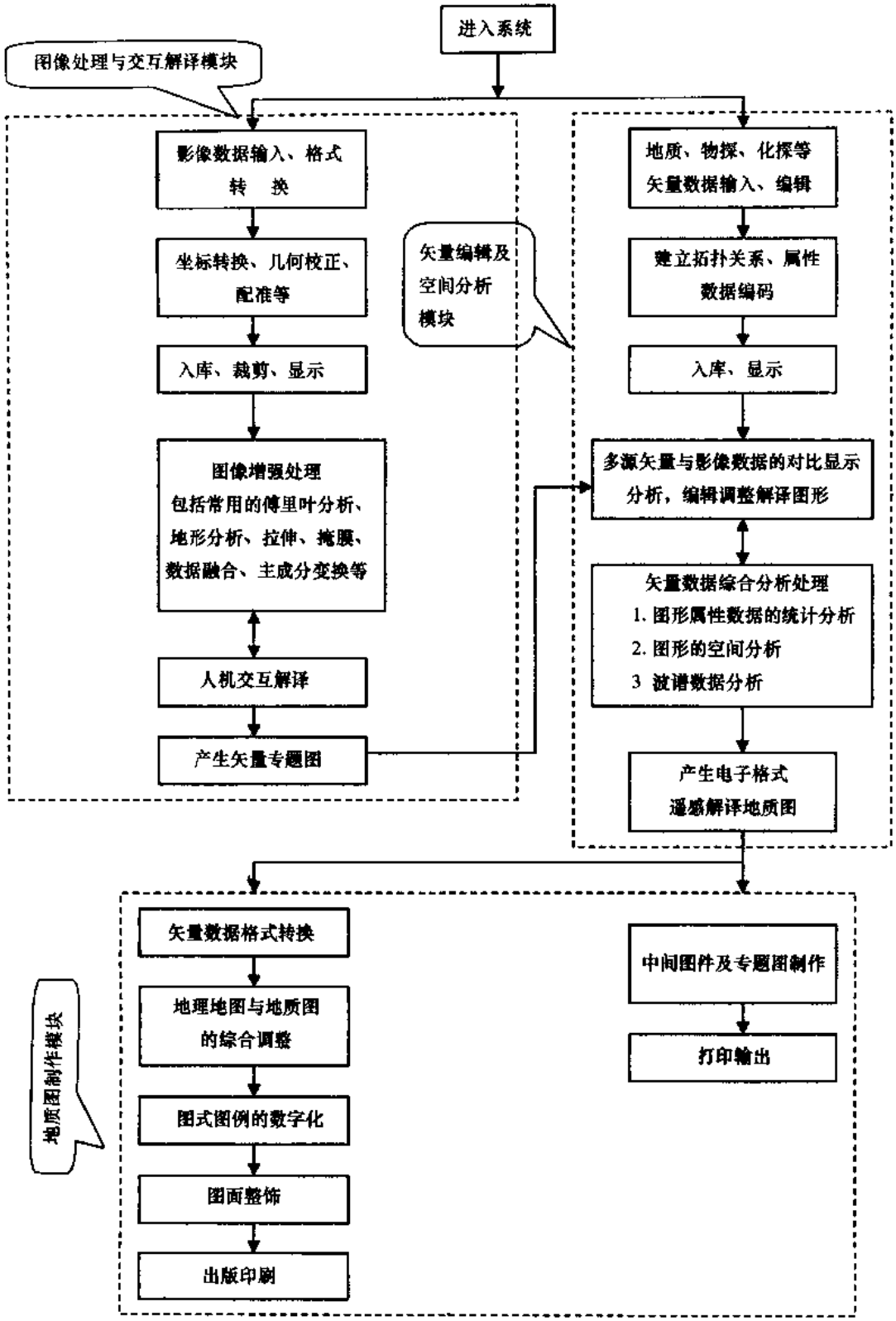

进入系统
图像处理与交互解译模块
影像数据输入、格式转 换
坐标转换、几何校正、配准等
入库、裁剪、显示
图像增强处理
包括常用的傅里叶分析、地形分析、拉伸、掩膜、数据融合、主成分变换等
人机交互解译
产生矢量专题图
矢量编辑及空间分析模块
地质、物探、化探等矢量数据输入、编辑
建立拓扑关系、属性数据编码
入库、显示
多源矢量与影像数据的对比显示分析，编辑调整解译图形
矢量数据综合分析处理
1. 图形属性数据的统计分析
2. 图形的空间分析
3 波谱数据分析
产生电子格式遥感解译地质图
地质图制作模块
矢量数据格式转换
地理地图与地质图的综合调整
图式图例的数字化
图面整饰
出版印刷
中间图件及专题图制作
打印输出

图 3-1 系统结构

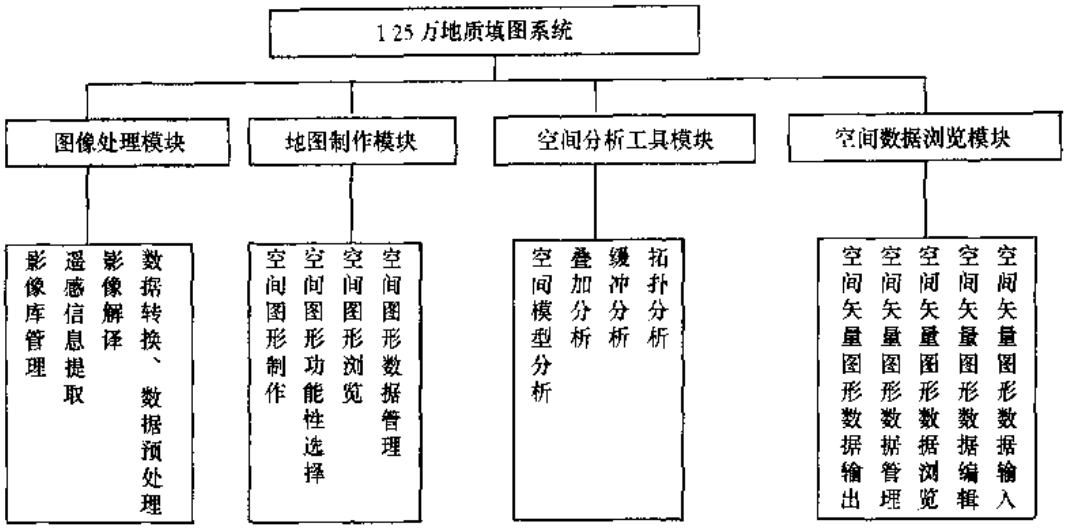


图 3-2　四大功能模块

ARC/INFO 的 Coverage 矢量文件及其属性表。这种良好的数据交换方式，是其他任何 GIS 和图像处理软件不能实现的。

（3）两家软件公司实力很强，ARC/INFO 和 ERDAS 产品在世界 GIS 和图像处理软件市场份额排名领先。系统更新升级及时，因此定制的应用系统生存期和扩展性可以得到有效保障。

（4）两个产品已经或将要推出 COM 组件的开发环境和基于 RDBMS 的数据管理体系结构，这对应用系统的可用性和产品化提供了良好的发展前景。虽然两个产品仍存在着一些数据管理、互操作之间的不便，但相对于其他软件在这方面的能力和应用的发展角度而言，目前选择 ARC/INFO 和 ERDAS 是比较恰当的。其集成系统开发方案如图 3-3。

三、集成系统的功能

“1:25 万遥感地质集成系统”是地理信息集成技术的应用。它采用的集成方法属于数据集成和软件集成，从数据方面来说，它集成的数据包括多种类型的影像数据和经统一投影、统一坐标后的各种矢量数据；从软件方面来说它集成了地理信息系统软件 ArcInfo 与图像处理软件 ERDAS 中的绝大部分功能。集成后的“1:25 万遥感地质集成系统”主界面如图 3-4 所示。各模块的基本功能分别是：

（1）遥感图像处理模块。遥感影像的输入输出、格式转换；影像数据预处理，包括影像二值化、分幅裁剪、拼接、投影变换及坐标校正与配准（包括影像间、影像与矢量图形间的相互校正）；影像库管理；影像处理与解译，包括对影像数据的各种增强变换与处理（空间增强、光谱增强、辐射增强）、地形分析、傅里叶分析、GIS 分析及数据层间的代数运算等实用功能；影像分类，包括非监督分类与监督分类的各种分类方法；空间建模，利用图形组合的直观方式建立影像处理模型，将一系列相关的图像处理过程有机地相连成一个完整的处理过程，执行模型，即可获取结果数据；矢量分析，包括对矢量图像数据的分析与处理。

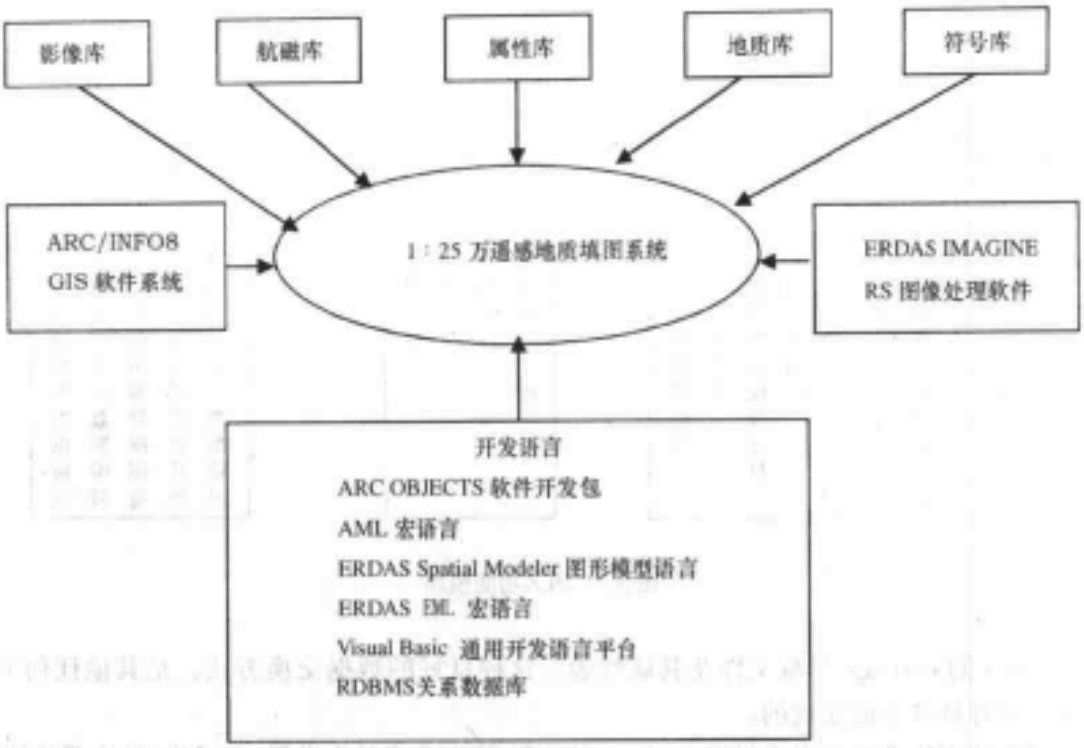


图 3-3　信息系统集成开发方案

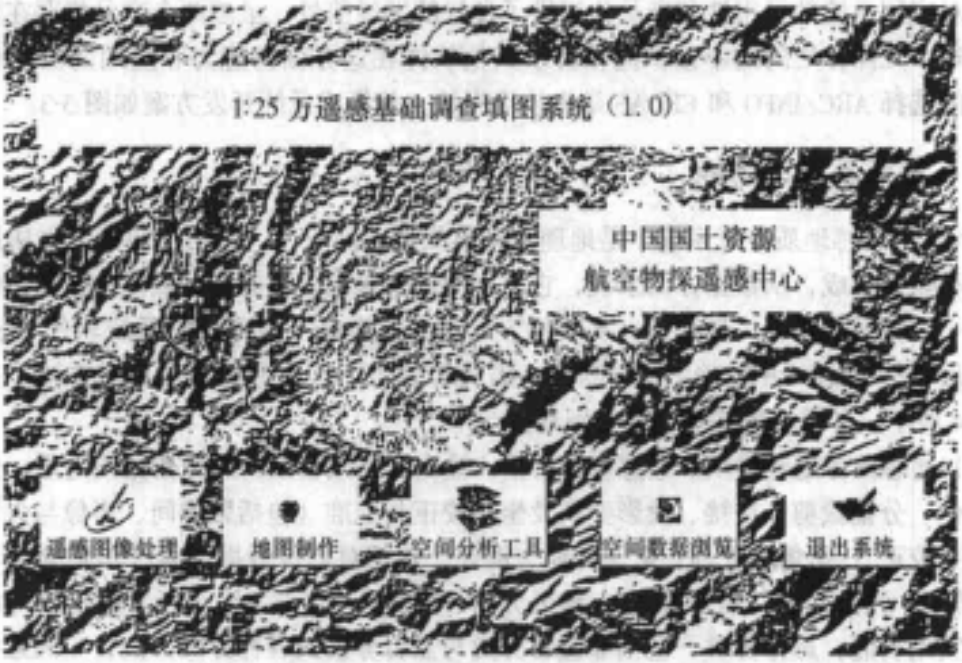


图 3-4　系统主界面

（2）地图制作模块。主要用来满足专题制图以体现与表达结果的需求，在专题地图的组成中可以添加遥感影像、与之配准的矢量图形、注释等数据层。

（3）空间分析工具模块。包含了 GIS 子系统的高级功能，是 GIS 系统最主要的组成部分。主要用来对空间矢量图形数据进行各种分析与处理，包括如拓扑分析、缓冲分析、叠加分析、空间模型分析等功能。

（4）空间数据浏览模块。包含了 GIS 子系统的基础功能，是 GIS 系统最基本的组成部分，主要用来对空间矢量图形数据进行输入、编辑、浏览、管理、输出等，为空间分析提供了数据准备。

以上几个模块并不是独立的，它们之间联系的纽带便是空间数据，它们能共享资源、协同工作。它们之间的合作是这样的：空间数据浏览模块提供的数据服务于空间分析工具模块与遥感影像处理模块，为它们提供数据准备；空间分析工具模块重在对矢量图形数据的分析与处理，分析与处理结果服务于遥感影像处理模块，而遥感影像处理模块重在对遥感影像数据的处理，其中又包含一些基础的空间分析功能；这三个模块又都服务于地图制作模块，地图制作是为表达最终的分析结果，其中用到的数据就来自于这三个模块。所以说，各个模块表面上相互独立，可以相互独立运行，有各自的界面与菜单程序，而模块间的集成主要通过数据的交换与传递来实现。

第三节　1:25 万遥感地质填图集成应用

集成后的系统在遥感基础调查填图实践中的应用主要包括：数据库建设、交互解译、信息提取、多元信息综合分析、数据预处理、图像处理、专题制图等。

一、数据库建设

（一）数据准备

1. 数据收集

1:25 万遥感地质填图数据包含影像数据和矢量数据两种格式，影像数据主要包括：TM 原始影像、SPOT 原始影像、SAR 原始影像、TM 与 SPOT 融合影像、TM 与 SAR 融合影像、信息增强分类处理后的整幅影像或影像子区；矢量数据主要包括：航磁等值线影像、1:25 万地形图、地质图、航磁解译地质图、遥感解译单元图、遥感解译地质图。现以新疆瓦石峡地区、内蒙古阿龙山地区为例，具体情况如下：

（1）瓦石峡地区

TM 卫星影像

SAR 卫星影像

航磁等值线（TIF）影像

航磁解译地质图

地质图

遥感解译影像单元图

遥感解译地质图

（2）阿龙山地区

TM 卫星影像

SPOT 卫星影像

航磁等值线（TIF）影像

地质图

航磁解译地质图

遥感解译地质图

2. 数据预处理

1）影像数据处理，主要针对原始影像数据

（1）将 TM 原始影像、SPOT 原始影像、SAR 原始影像、航磁等值线（.JPG）数据格式转换为 ERDAS 的 .IMG 格式。

（2）对转换后的 IMG 文件进行投影转换。投影系采用 6 度分带的横轴墨卡托（Transverse Mercator）投影，投影参数为：

Units：Meters

Scale Factor：1.0

Longitude Of Center：123 00 00

Latitude Of Center：0 00 00

False Easting：500 KM

False Northing：0 KM

Xshift：0

Yshift：0

椭球（spheroid）体采用克拉索夫（Krasovsky）椭球，参数为：

SemiMajor：6378245.0000 Meters

SemiMinor：6356863.0188 Meters

坐标系采用大地坐标，度量单位为米，这样可以在 GIS 系统中方便的量算特征的长度和面积。

（3）图像坐标纠正

参照地形图选择同名点，对影像数据进行坐标精校正。同名点的选择不少于 12 个。

2）矢量数据处理

工作主要针对地质图、航磁解译地质图、遥感解译单元图、遥感解译地质图。

（1）数据分层

根据图面特征信息内容和制图要求，每幅矢量图按特征类型划分为点、线、面（区）三个图层。划分的依据是遥感地质解译图件的信息不完全等同于其他地质调查图件，它表现的内容主要是：从影像图中判读出的地层、岩石影像单元及构造界线，但各种地质特征的单位、时代、分类、度量、结构、方向等的描述不是十分具体，因此在属性定义上比较一致，对一个图件不需要产生基于同一特征类型的专题图层，因此按矢量特征类型划分较为合理、简便。

（2）图件扫描矢量化

将地质、影像单元等图件扫描成 TIF 影像文件，按照分层要求，将每个图件数字化为点、线、面三个图层文件。处理的图件和产生的矢量图层文件见表 3-1 至 3-7。

表 3-1 矢量图层表

图件名称	特征类型	文件名称
地质图	点	DZD
	线	DZX
	面	DZM
航磁解译地质图	点	HCDZD
	线	HCDZX
	面	HCDZM
遥感解译单元图	点	YGDYD
	线	YGDYX
	面	YGDYM
遥感解译地质图	点	YGDZD
	线	YGDZX
	面	YGDZM

表 3-2 遥感影像单元图线特征编码结构表

第一位码		第二、三位码	
特 征 性 质	编 码	特 征 名 称	编 码
实测或已知	1	粗大断裂	01
推测	2	较大断裂	02
		一般断裂	03
		环形构造	04
		影像单元界线	05

表 3-3 遥感影像单元图性特征编码表

编 号	线性特征名称	线性特征编码
1	粗大断裂	101
2	推测粗大断裂	201
3	较大断裂	102
4	推测较大断裂	202
5	一般断裂	103
6	推测一般断裂	203
7	环形构造	104
8	推测环形构造	204
9	影像单元界线	105
10	推测影像单元界线	205

表 3-4 遥感影像单元图点特征编码结构表

第一位码		第二、三位码	
特征性质	编码	特征名称	编码
实测或已知	1	火山口或火山通道	01
推测	2		

表 3-5 遥感影像单元图点特征编码表

编号	线性特征名称	线性特征编码
1	火山口或火山通道	101
2	推测的火山口或火山通道	201

表 3-6 遥感影像单元图矢量文件属性字段定义表

编号	字段名称	字段类型及长度
1	CODE	N16
2	地质代号	C50
3	属性说明	C200

表 3-7 遥感影像单元图矢量文件属性字段使用说明表

编号	字段名称	字段使用方法
1	CODE	对应特征的编码，对应特征可按图件顺序编码
2	地质代号	特征的地质代号
3	属性说明	特征的具体描述

数字化后的矢量文件投影变换为 6 度分带的横轴墨卡托投影，坐标采用地理坐标，转换成 ARC/INFO 的交换格式 E00 文件，以便于使用。

(3) 数据编辑

数字化后的 E00 文件在 ARC/INFO 中转换为 Coverage 格式。建立拓扑关系，生成属性表，检查特征的正确性。编辑工作包括：

a. 面：多边形的闭合，多边形的拼合等。

b. 线：冗余线段的删除，平滑曲线等。

c. 点：悬挂点、伪节点的删除等。

特征的裁剪，使用图廓对每个图层进行切割，删除超出工作区范围的特征。

(4) 投影转换和坐标校正

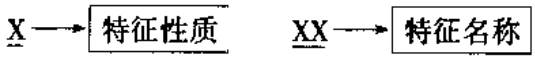
a. 投影转换：采用横轴墨卡托投影，投影参数与影像数据完全一致。

b. 坐标校正：由于图纸和扫描过程中的变形，数字化的矢量文件坐标会与实际坐标产生一定的误差，必须进行校正。本课题中使用的图纸纸张质量较差，保存时间长，又经过复制，所以误差产生因素更为复杂，误差比较大。由于这些都是解译图件，表现的内容与影像数据或地形数据基本上是不相关的，因此寻找同名点非常困难。鉴于上述种种原

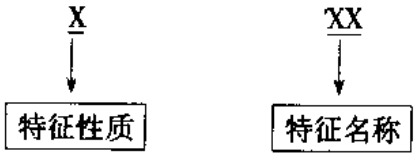
因，只能采用一次多项式，不少于4个坐标参数的校正方法，但校正后的文件不能准确的匹配每个特征。这也是传统手工绘图的缺陷之一，如采用计算机辅助解译、制图则会大大提高数据精度。

（5）地质特征编码

a. 线特征：编码采用三位数字码组成。



b. 点特征：编码采用三位数字码组成。



c. 面特征：由于影像单元图的面特征描述有其特殊之处，有时遵照地层、岩石的分类方法国家标准，但绝大部分是按照影像颜色、纹理等划分和称谓，因此进行分类编码十分困难，有待进一步研究解决。

以上编码方法是在每种特征类型组合最大值和预留一定的扩充余地的基础上编制的，编码方案参照国标：GB958—89区域地质图图例（1:5万）

（6）属性定义

说明：由于地质代号的组成方式极为复杂，使用了上下角标、希腊字符、拉丁字母等，而这些字符和格式在纯文本的属性字段中是不能完全或准确表达的，因此在录入时对地质代号进行了一些简化。

例如：Pt_2xh 简化为 Pt2xh

An_3^1 简化为 An1—3

（二）建立数据库

GIS空间数据库有两种存储形式：一是基于文件索引的传统空间数据库管理体系；二是采用商用关系数据库的解决方案，二者各有千秋。第一种结构是对应用的集成，而数据是松散的，虽不利于数据的集中管理，但对不同系统平台之间共享数据提供了很大方便，特别是数据较少的小型应用系统。这种结构的另外一个可取之处是方案简单，工作量小，不需要数据库方面的专业知识。第二种结构既是应用的集成，也是数据的集成，并且提供所有的RDBMS的数据和安全管理优势，但它需要专用的空间数据引擎，对其他软件使用数据是一个极大的限制，必须进行数据的导入导出和格式转换，并且要求使用者对RDBMS有一定的操作和管理经验。

由于本集成系统采用的是ARC/INFO和ERDAS软件，它们之间只能达到文件方式的数据共享，虽然ARC/INFO 8提供了GeoDataBase这种关系数据库管理模式，实现真正的空间数据集中管理和RDBMS所有的数据管理能力，但为了满足两个软件之间数据的交互处理，本系统采用文件索引形式的数据库。在数据完备的基础上，建库工作需以下两个步骤：

（1）首先创建基于项目的不同格式、不同类型的目录树工作区，把所有数据文件分类保存在这个工作区中，工作区框架以瓦石峡幅数据为例（图3-5）。

（2）然后在ARC/INFO的ARCMAP中新建一个MAP DOCUMENT（以下简称为文档），

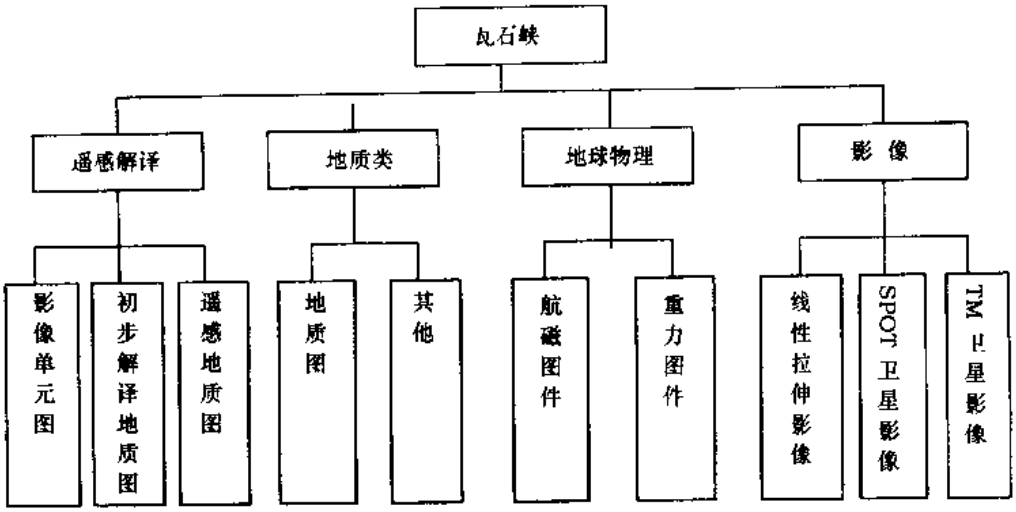


图 3-5 数据分层结构图

添加所有数据文件到文档中。文档中每个数据文件都被称为一个 LAYER（以下简称为层），每个矢量层可以有它自己的环境，文档可以保存环境的变化。使用者只需打开这个文档即可调用项目所有的数据文件，并且恢复到上一次工作时的状态。

在 MAP DOCUMENT 这种集成的数据环境下，使用者可以采用 ARC/INFO 8 的 ARCEDITOR、ARCMAP 参照影像图层进行矢量化的解译工作，对已形成的图件直接进行图形和属性编辑，进行辅助解译的空间分析，对各种图件进行叠加比较，使用文字标签或属性字段标注特征，按照分类符号化特征，制作专题图，打印输出图件报表等，实现一系列与遥感解译有关的功能和操作。

由于 ARC/INFO 提供的地质图式图例和符号不能满足我国的地质成图要求，因此制图软件采用地质行业较为通用的 MAPGIS。通过 ARCTOOLS 工具将最终的解译成果矢量地质图转换为 ARC/INFO 的标准交换格式 E00，提交给 MAPGIS 形成绘图文件，出版印刷。具体的实施方案和技术流程见“成果图件制作方法研究”一节。

二、遥感信息处理分析交互解译流程

遥感信息处理分析交互解译流程是为广大的遥感地质人员和区域地质人员，在遥感地质填图过程中提供一种方便、快捷的软件应用系统。该系统可以实现从用户进入系统到遥感影像预处理或矢量数据处理—图像增强处理与分析—地质图制作直至地图输出等一体化功能。其工作流程如图 3-6。

（一）矢量数据准备

矢量数据是信息系统中重要的空间数据资源，它们的输入（包括图形输入如数字化及对应属性数据的录入）、编辑、显示、双向查询、管理、输出等基础工作都可以在空间数据浏览模块中完成。比如填图中用到的研究区地形图、地质图、水系图、交通图等数据的输入与编辑，影像解译结果的数字化图件的编辑与输出等。建立单独的工作空间，用来放置所有相关的图形数据，对这些空间数据进行完整的、统一的管理。另外，还能进行以矢

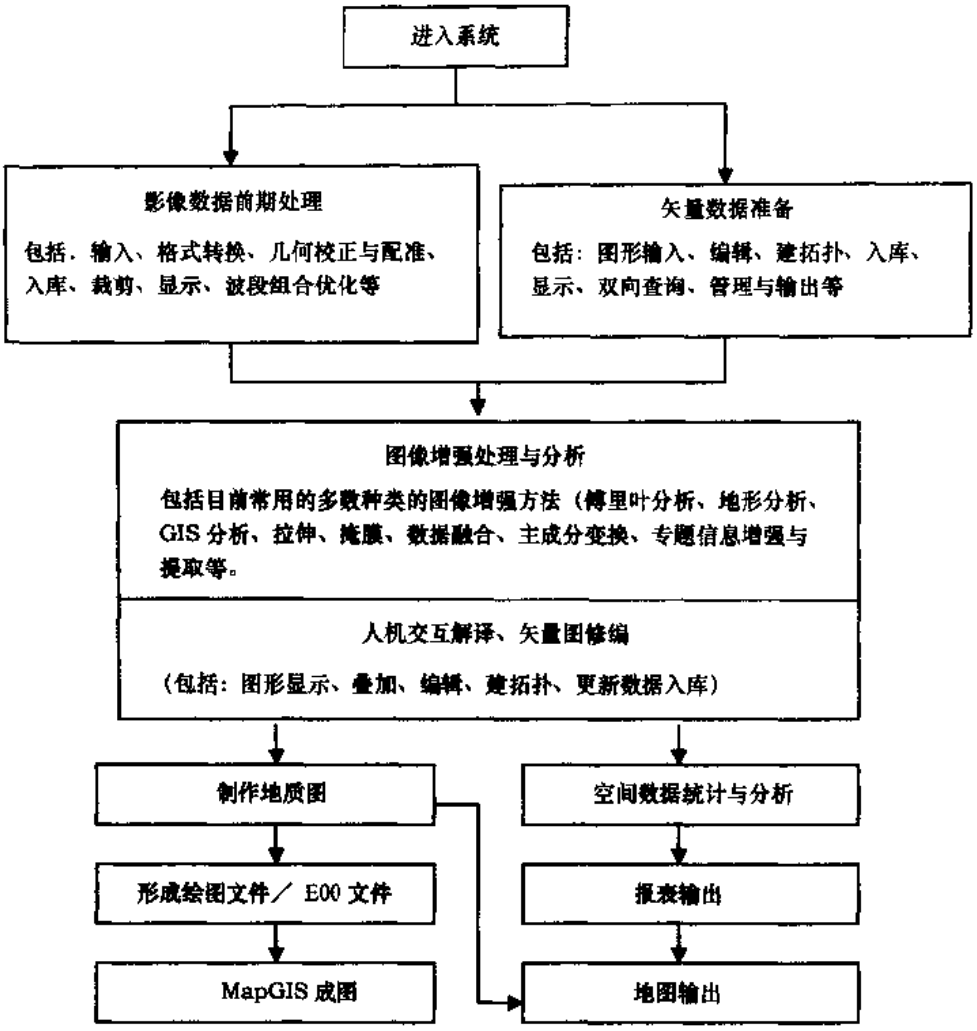


图 3-6　1:25 万遥感地质集成系统

量数据为主类型的专题制图、成果输出（包括文字报告、表格及图形图件）。

根据研究的需要，还要对空间数据进行必要的空间分析，比如缓冲区分析、拓扑关系建立、叠加、数据存储格式转换(包括矢量栅格化、栅格矢量化)等，这些工作要在空间数据分析工具模块中完成。比如研究区地形高程模型 DEM 的生成，航磁等值线图的影像化等。

（二）影像数据前期处理

具体包括输入、格式转换、几何校正与配准、入库、裁剪、显示、波段组合优化等。

首先从系统主界面启动遥感图像处理模块，在其中的输入输出（数据转换）功能模块中输入原始格式影像，保存为本系统的遥感图像标准格式，以便于下面的处理及其他操作。输入输出功能模块除了对不同的介质进行输入与输出本遥感图像处理系统本身格式的影像数据外，还可以利用它进行不同格式影像数据间的格式转换。因为此处提供了许多种数据格式，其中包含了绝大多数现有的遥感影像格式，可以进行本系统影像格式与其他系统影像格式间的转换，也可以进行其他格式间的相互转换，因此它可以作为一个强大的影像数据格式转换工具来用。

在遥感图像处理系统的视窗中打开并显示研究区的 TM 影像，这是未经过任何处理的原始影像。

在影像库管理工具中，建立研究区影像库，将有关的 TM 及其他影像全部输入该影像库中，在此可对这些影像进行统一的管理及影像信息显示。影像库中包含的信息主要有：库中的影像文件数、影像文件名、对应的存放路径、影像类型、大小（像元行数、列数）、波段数、像元大小、数据文件存储格式、文件投影方式、坐标范围等。从一个完整的影像库中可以清楚地看到该库中所有影像文件及各影像文件的具体信息，可以方便地对各文件进行查询、添加、删除等，如图 3-7。

Record	Filename	Layers	Rows	Cols	Type	Pixel	Projection	Ulx	Uly
1	pan.img	1	7473	8784	athematic	unsigned 8-bit	Transverse Mercator	87	
2	fuse.img	3	7473	8784	athematic	unsigned 8-bit			
3	b3_1.img	1	3737	4392	athematic	floating 32-bit	Transverse Mercator	87	
4	b45_7g.img	6	3737	4392	athematic	unsigned 8-bit	Transverse Mercator	87	
5	b4_3.img	1	3737	4392	athematic	unsigned 8-bit	Transverse Mercator	87	
6	pan.img	1	7473	8784	athematic	unsigned 8-bit	Transverse Mercator	87	

图 3-7　影像库管理

利用数据预处理中的影像地理校正功能，以研究区对应的地形图或地质图为准，对该影像进行几何校正，使之与其他数据一样具有正确的地理坐标。

利用数据预处理中的影像分幅裁剪功能，从研究区整幅影像中取出一块作为实验子区。在实际工作中，需要根据工作范围对原始图像进行分幅裁剪，按照 ERDAS 实现图像分幅裁剪的过程，可以将图像分幅裁剪分为两种类型：规则分幅裁剪和不规则分幅裁剪。

（1）规则分幅裁剪

规则分幅裁剪是指裁剪图像的边界范围是一个矩形，通过左上角和右下角两点的坐标，确定图像的裁剪位置。除此之外，ERDAS 图像分幅裁剪软件还提供查询框和感兴趣区域功能，用来进行图像分幅裁剪。

（2）不规则分幅裁剪

不规则分幅裁剪是指裁剪图像的边界范围是个任意多边形，无法通过左上角和右下角两点的坐标确定图像的裁剪位置，而必须事先生成一个完整的闭合多边形区域。ERDAS 图像分幅裁剪软件提供感兴趣多边形裁剪功能和 ARCINFOR 多边形裁剪功能，用来进行图像分幅裁剪。

一般来说，影像在视窗中缺省的显示效果不是最好的，因此必须先进行波段组合优化，达到较好的显示效果。在视窗中显示实验子区影像。没经过任何处理的原始影像在视窗中显示时，用的是缺省的 TM4，3，2 波段组合，显示效果不好。从波段最优组合角度来讲，TM4，3，2 不是最佳状态，这时，要进行显示波段的重新组合。波段组合调整的操作在视窗-栅格-波段组合这个菜单中完成。TM 的 7 个波段可以随意进行组合，观察显示效果。当然，正确的做法还是要进行理论上的分析，从研究目的出发，选择识别目标的特征波段进行组合，尽可能让该组合含有最大的信息量。从本研究的识别岩性的目的出发分析认为 TM7，4，1 将是最佳波段组合。事实上，该组合的显示效果也是最好的。

（三）图像增强处理与分析

图像增强的最终目的都是为了更好地识别与解译图像。前面的章节中讲到了目前常用的多数种类的图像增强方法，包括空间增强、光谱增强及辐射增强等，应根据具体需要选择合适的处理方法。这些图像处理功能都在遥感影像处理模块的“影像解译”菜单条中完成。此菜单中还包括了傅里叶分析、地形分析、GIS 分析等功能。具体过程为：

（1）显示信息处理图像与标准图幅图像；

（2）启动几何校正模块；

（3）启动控制点工具；

（4）采集图像间控制点；

（5）计算转换模型；

（6）图像重采样；

（7）保存配准图像。

在对实验子区影像的处理过程中，分别采用了拉伸、掩膜、数据融合、主成分变换、专题信息增强与提取、数据发掘等图像处理手段。

在波段最优组合进行彩色合成的基础上，如果进一步采取适当的图像处理方法，将会得到效果更好的影像。比如，实验区 TM 影像灰度分布范围窄，对比度不强，亮度偏低，彩色合成后也非常模糊，影像整体发暗，无法辨认各种地物。这种情况下对它分别做了线性拉伸与直方图均衡化，使各波段的灰度分布范围加宽，提高了图像的对比度，图像显示效果明显增强。视窗菜单中的“栅格”菜单条中提供了拉伸、对比度调整、滤波、锐化等一些简单的图像处理功能。这些功能执行简便，能快速目睹处理效果，简单实用，适合对图像进行初步的快速处理。

对于图像中有严重的阴影或积雪覆盖的地方，必须进行相应的处理，以消除它们的干扰。研究区的影像中就有这种情况，从中取出影响区域的影像，采取掩膜处理。经过掩膜处理（此功能位于：图像解译—实用分析功能—掩膜操作），去除了山体阴影和雪的干扰，可以看出掩膜分析可以有效地增强图像的反差和层次感。掩膜分析常常是针对水体和河道（谷）进行。另外常用的一种方法是比值处理（此功能位于：图像解译—实用分析功能—代数运算），对相关的波段间进行比值运算，也可能能消除这些影响。在本实验区，比值处理效果不如掩膜处理效果好。

如果具备拥有统一地区多源影像的条件，那么进行多源数据融合将是一种影像增强的非常有效的手段。一般最多类型的数据融合是 TM 多光谱数据与 SPOT PAN 之间的融合，融合后的图像既继承了 TM 的较高的光谱分辨率，又继承了 SPOT PAN 较高的空间分辨率。本项目的研究中，对 TM7、TM4、TM1 多光谱波段影像与 TM PAN 全色波段影像进行了几种方法的数据融合，融合后的影像比融合前的影像效果好。本系统本身提供了一些现成的融合方法（此功能位于：图像解译—空间增强—分辨率融合），但很有限并且不够灵活，某些情况下，不一定能取得较好的融合效果，所以其他许多种融合方法要根据具体步骤，分步进行，从图像处理模块的各个菜单条中寻找所需的功能。比如对实验区融合中采取的 HIS 变换融合方法，效果很好，它的具体步骤在前面有讲到（RGB—HIS 色彩变换、I 与 PAN 间的直方图匹配生成 I′、I′HS—RGB 色彩逆变换），其所需的各种功能函数在图像解译中都具备，分别位于：图像解译—光谱增强—RGB 到 HIS 色彩变换、图像解译—辐射增

强—直方图匹配、图像解译—光谱增强—HIS 到 RGB 色彩逆变换。

主成分变换也是一种常用的增强图像地质弱信息的有效方法。对本实验区影像的 6 个多光谱波段作主成分变换，变换后的 6 个主分量图像每个主分量分别突出了不同的地物特征。通过对各个主分量意义上的分析（主要通过对变换矩阵中参数的分析来实现），选择能突出岩性信息的几个波段进行重新的色彩合成。新生成的影像比原来的影像更能容易的识别岩性信息，可以直接对这幅影像进行屏幕数字化，获取地质单元解译结果图。

除了以上几种图像处理方法之外，本系统还提供了许多种别的处理手段也可以进行尝试，目的都是为了增强图像中地质弱信息的可识别性。

三、集成系统支持下的信息提取

（一）GIS 支持下的遥感图像处理

GIS 常常与遥感图像处理手段结合起来使用，更有效的增强与提取遥感信息。这主要表现在两个方面。

一方面是 GIS 作为重要的辅助手段用于遥感影像的目视解译，以提高解译精度。具体做法是将那些有助于图像解译的矢量专题图层（比如地质图、地形图、土地利用图及植被覆盖、水系发育等等）与待解译的影像叠加显示，前提是这些矢量图层必须先与影像进行过坐标配准，具有统一的坐标。这可以用于人机交互的影像解译，直接在屏幕上画出影像解译结果，还可用于在影像的监督分类前进行选取正确的训练样区以便提高分类精度。在这方面的应用中，同时还要注意这些专题图层与影像的时间差，比如植被覆盖与时相的相关性很大，另外如果时间相差较长，要充分考虑到一些客观条件上的变化，如土地利用类型、建筑物、道路等的变化。

GIS 与遥感图像处理结合应用的另一方面表现在：在 GIS 技术支持下，地学及其他知识直接参与遥感图像的处理中，比如遥感图像的分类中可以将 DEM、NDVI 等知识直接作为遥感影像的新增波段，与其他波段一起进行分类，这样分类结果中就将反映出这些专题信息的分布。还比如专家系统的应用也是 GIS 与遥感技术结合应用的成果。

（二）GIS 支持下的专题信息提取

1. 遥感专题信息提取方法研究的发展

遥感专题信息提取（thematic information extraction）是从遥感影像资料中获取某种特定地物特征的信息，其目的是区别图像中所含的专题目标。分类也是一种专题信息提取的方法，但专题信息提取和一般意义上的遥感图像分类有所不同，先定目标，然后有意识地专门面向对象进行识别，而分类是就图像中即有的像元给予类别的归属与划分。它的方法随着遥感技术的改进及遥感应用的深入也在不断地改进，经历了目视解译、自动分类、光谱特性的信息提取及光谱与空间特征的信息提取等多个阶段。

目视解译是最初的图像识别方式。现在的图像识别沿着两个方向发展，一是由计算机的出现带来的信息识别自动化，二是沿着遥感信息传输的本质而探寻信息识别的高精度。它们没有严格的界限，随着各自的发展而相互渗透。现有的计算机自动分类方法，都只是利用了图像数据，没有自动加入其他方面，如地学的知识，没有充分利用人脑在分析图像时所应用的知识，因此不会达到很高的精度。基于知识及专家系统的分类对分类的精度有所改善。同样，专题信息提取的最初是分析特定目标的光谱特征，形成规则，对图像进行

操作。计算机领域中人工智能的出现使基于知识或信息的专题信息提取成为可能。遥感成像是从多到少的映射，是个确定过程，影像解译是从少到多的映射，是个不确定过程。因此在遥感解译时，包含一个重要的地学处理过程，它包括两个方面，一是把遥感未带回的信息再补上去，即补充地学相关信息，二是根据影像信息进行地学分析，来推断出影像上未反映的信息，这都需要地学知识强有力的支持。如何把地学专家用于目视解译的知识定量化表达，让它来参与计算机处理，从根本上实现知识参与的自动提取，这是目前专题信息自动提取研究的焦点问题。

计算机自动分类前，先对训练区进行训练，实际上是一个统计的过程。这个统计过程只是就这幅图像而言。然后利用统计结果进行回归，建立一个基本适于该图像的类别确定模型。专题信息提取时，一般是先有一套遥感信息模型，而后根据具体图像的实际情况来不断地修改，实质是对模型参数的调整，最终使模型适用于该影像。遥感信息模型是在现有地面实验基础上提炼出来的地物的反演模型，而地物在卫星图像上的反映并非与地面实测数据一一对应，原因很多，使图像数据具有很大的随机性，这就又涉及到光谱辐射校正的问题。因此，需要把遥感信息理论和实际图幅影像有效地结合在一起来进行专题信息的提取。

2. 遥感地质专题信息提取

当今，遥感卫星“群星闪烁”，遥感数据空前丰富，然而，遥感信息被利用的比率却极低。其原因是我们缺少遥感专题信息提取的方法和模型。相对与土地利用/土地覆盖遥感信息提取来说，遥感地质信息提取的难度更大些。概括地说，遥感信息提取的方式主要有3种：目视判读提取、基于分类的信息提取和基于知识发现的遥感信息提取。遥感地质专题信息提取的方式也不外乎这三种。

(1) 目视判读提取

早期从遥感影像中提取信息的主要方法是目视判读提取。由于目视判读能综合利用地物的色调或色彩、形状、大小、阴影、纹理、图案、位置和布局等影像特征知识，以及有关地物的专家知识，并结合其他非遥感数据资料进行综合分析和逻辑推理，从而能达到较高的专题信息提取的精度，尤其是在提取具有较强纹理结构特征的地物时更是如此，它是目前业务化生产的一门技术，与非遥感的传统方法相比，具有明显的优势。尽管该方法较费工费时，但由于遥感地质信息计算机自动提取的难度，仍将在遥感地质信息提取中长期存在。

(2) 基于分类方法的遥感信息自动提取

在遥感信息自动提取方面，分类方法的研究历史最长久，其核心是对遥感图像的分割，其方法有无监督分类和有监督分类。就无监督分类而言，有K-MEANS法、动态聚类型法、模糊聚类法以及人工神经网络法；在有监督分类方面，有最小距离法、最大拟然法、模糊分类法以及人工神经网络法。最大拟然法需要各类型的先验知识及其概率，特别是需要假定各类型的分布属于正态分布，因而它是一种有参数的分类器，在具有先验性概率知识以及各类型满足正态分布的条件下，它具有较好的分类效果，该分类器具有分类速度快的优点。模糊分类是根据模糊数学所构建的一种分类器。它是建立在假设一个像元是由多个类型所组成的基础上，只是各类型的隶属度不同。在对分类器训练时，需要确定训练样本像元中各类型的隶属度，它不需要各类型的先验概率知识，也不要求各类型服从正态分布，它是一种无参数的分类器。但是对训练像元中各类型隶属度的确定比较困难。该方法适用于亚像元信息的提取。人工神经网络分类器是利用人工神经网络技术所构造的分

类器，人工神经网络是近几年得到迅速发展的一门非线性科学，它是模拟生物神经网络的人工智能技术，已广泛地用于趋势分析和模式识别以及遥感图像的分类等方面。人工神经网络器不需要各类型的先验性概率知识，也不要求各类型一定要服从正态分布，它是一种无参数的分类器。尽管利用分类器进行分类时所需要的时间很短，但是在对分类器进行训练时，所需要的时间却很长。

就无监督分类而言，其所分的结果，需要专家进行判读和类别的归并，并最终确定其所属的类型。就有监督分类而言，需要选取大量的训练样区，而训练样区的选取不仅费工、费时，训练样区选择的好坏还直接影响分类的效果；同时，分类是对整个图像进行分割，它所要求的是总体的精度最高，这样就不可能完全保证我们所需专题信息的精度一定最高。分类是建立在数理统计基础之上，而没有建立在对遥感信息机理分析的基础上，也没有建立在知识挖掘的基础上，这样就使得它难以实现遥感图像专题信息提取的全自动化。同时，基于光谱特征的分类难以解决异物同谱的问题。在分类中所获取到的知识通常既不可传递，也难以解释。这也是我们对所分结果知其然，而不知其所以然的原因。我们对在任何时候，任何地点的图像，都必须重复选取训练样区的工作。这样，显然就大大限制了遥感信息提取的自动化。为此，基于知识发现的遥感专题信息提取将成为另一个最有前途的方向。

3. 基于知识发现的遥感专题信息提取

基于知识发现的遥感专题信息提取是遥感专题信息提取的发展趋势之所在。其基本内容包括知识的发现、应用知识建立提取模型，利用遥感数据和模型提取遥感专题信息。在知识发现方面包括从单期遥感图像上发现有关地物的光谱特征知识、空间结构与形态知识、地物之间的空间关系知识。其中，空间结构与形态知识包括地物的空间纹理知识、形状知识以及地物边缘形状特征知识；从多期遥感图像中，除了可以发现以上知识外，还可以进一步发现地物的动态变化过程知识；从 GIS 数据库中可以发现各种相关知识。在利用知识建立模型方面，主要是利用所发现的某种知识、某些知识或所有知识建立相应的遥感专题信息提取模型，如图 3-8 所示。在利用遥感数据和模型提取遥感专题信息时，应从简单到复杂，从单知识、单模型的应用到多知识、多模型的集成应用。从单数据的使用到多数据的综合使用。

4. 基于光谱知识的遥感专题信息提取

地物的光谱知识是遥感专题信息提取中最重要的知识。对地物光谱特征的研究，长期以来都得到各国的高度重视。我国对地物光谱开展了深入的研究，并出版了《中国典型地物波谱及其特征分析》《遥感反射光谱测试与应用研究》等书。周成虎、杜云艳根据对水体光谱特征的分析，建立了有效的 NOAA AVHRR 水体提取模型。陈铭臻根据对水稻和背景的光谱特征分析，建立了水稻种植面积的提取模型（TM4/TM1，TM4/TM3，TM4/TM2）。Helmut Mayer Carsten Steger 通过对道路光谱知识的分析，探讨了从遥感图像上提取道路的方法，Jinfei Wang，Paul M. Treitz 和 Philip J. Howarth 探讨了利用梯度方向剖面分析法从 SPOT PAN 图像中提取新修道路，并将其用于更新城区 GIS 数据库中的道路网。V.Lacroix，M.Acheroy 利用了约束梯度法提取了房屋拐角。

R.M.Haralick，S.Wang，G.Shapiro，J.B.Campbell，探讨了利用一致性标记技术提取河网及其流向。Moller-Jenson 提出利用 NOAA AVHRR 的 CH4 < 45，CH5 < 35 建立水体提取模

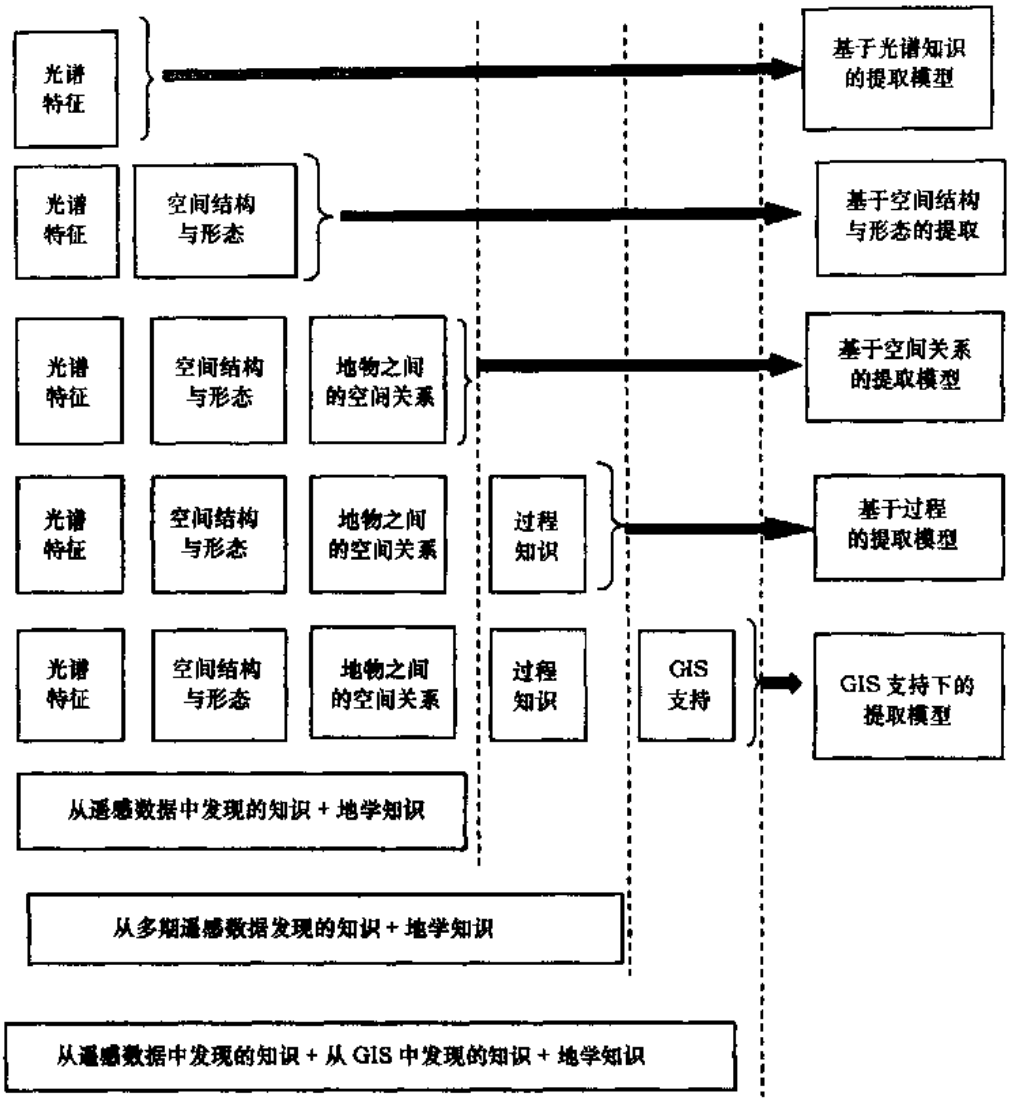


图 3-8　基于知识发现的遥感专题信息提取模型

（据周成虎）

型。Jupp 等曾提出利用 TM7 波段，通过阈值法可以将水体提取出来。

发现光谱知识的方法有典型采样法、光谱曲线法和光谱剖面线法。下面还以新疆瓦石峡地区的美国陆地卫星遥感影像为例，影像大小为 512 × 512 像元，主要典型地物有裸露岩石、雪、阴影等。为了利用这些地物的光谱知识，首先对这几种典型地物进行了光谱采样，光谱采样结果见图 3-9。从中可以发现这几种地物具有明显的光谱差。

我们通过对比可以发现，岩石裸露区、冰雪覆盖区及山体阴影的光谱特征明显不同：

（1）总体上看，岩石裸露区的反射率较高，阴影的反射率较低，雪盖区位于中间岩石裸露区在 TM1、TM2、TM3、TM4 波段上比雪盖区稍高或相近，但在 TM5、TM7 波段上远高于雪盖区。

（2）雪盖区在 TM1、TM2、TM3、TM4 波段上较阴影为高，在 TM5、TM7 波段上与阴

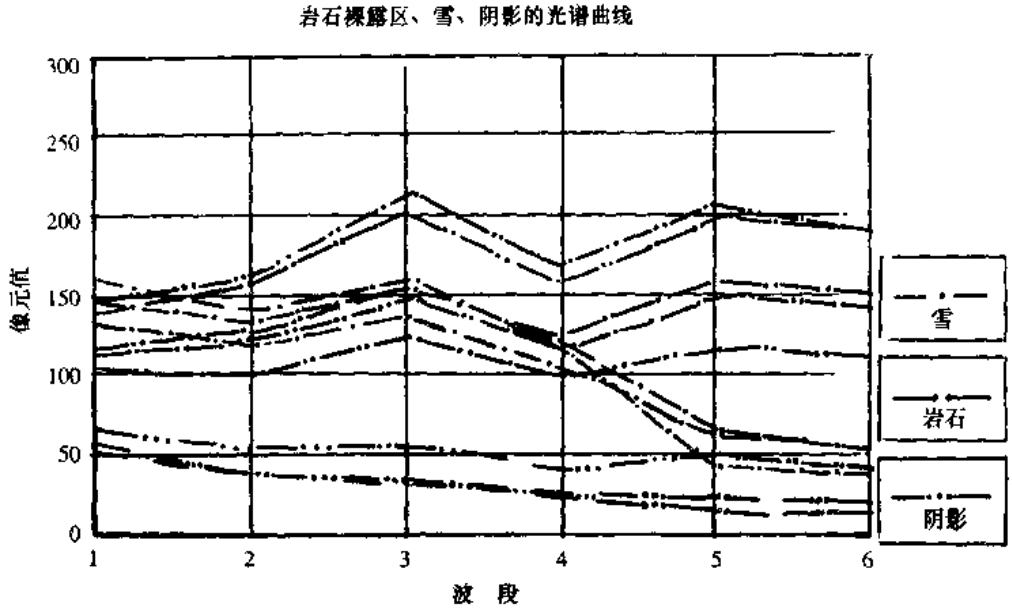


图 3-9 瓦石峡地区典型地物光谱采样曲线

影相近或稍高。

(3) 岩石裸露区在 TM1 ~ TM7 波段上都远高于阴影区。

(4) 从谱间关系上看，阴影区的反射率从 TM1 到 TM7 有逐渐降低的趋势，即 TM1 > TM2 > TM3 > TM4 > TM5 > TM6 > TM7。从谱间关系上看，岩石裸露区在 TM4 上是峰值，即 TM3 < TM4，TM4 > TM5；雪盖区的谱间关系也很明显，即由 TM4 到 TM5 有一个明显的下降趋势。

通过以上波谱分析，分别对裸露岩石、雪、阴影建立基于光谱知识的提取模型：

雪：

$$\begin{cases} b1 > b2 \\ b1 > K \\ b4 > b5 \end{cases}$$ (K 取 100，b 为波段)

阴影：

$$\begin{cases} b1 > b2 \\ b2 < K \end{cases}$$ (K 取 50)

岩石：

$$\begin{cases} b3 > b2 \\ b3 > b4 \\ b7 > K \end{cases}$$ (K 取 100)

按照上述模型可提取出雪、阴影和裸露岩石。

基于光谱知识的专题信息提取，需要地物与背景之间在光谱上是可分的，与背景之间存在着较少的同谱现象，并且地物内部的光谱最好要一致。当地物内部光谱不一致时，可以借助于地物内部的特征成分光谱进行提取。当地物内部成分的光谱与背景之间存在着较

多同谱现象时，得借助于地物的其他知识进行提取。

5. 基于地物纹理知识的专题信息提取

当地物组成复杂，且大于传感器的空间分辨率时，就可能遥感到地物的结构和组成。其影像就存在着明显的纹理特征。当存在着有别于背景地物的纹理结构特征时，当只靠基于光谱特征知识的提取难以完全解决专题信息的提取问题时，就必须将地物的光谱知识与纹理知识一起用来提取专题信息。纹理是指灰度值在空间上的变化，它是由一些纹理基元按照不同的空间配置形式所构成的一种图案。纹理基元的空间配置可以是随机的、确定的、概率的和函数的。纹理可分为结构性纹理和非结构性纹理，非结构性纹理又叫随机纹理。在目视判读中，纹理一般用粗细度、平滑性、颗粒性、随机性、方向性、直线性、周期性、重复性等术语来描述和表达。在通过纹理识别地物时，需要将某专题的纹理特征与周围地物的纹理特征进行比较分析。在 ERDAS IMAGINE 中主要有 4 种纹理识别的算法：平均欧氏距法（一阶）、方差法（二阶）、斜度（三阶）和峰度（四阶）。它们的计算方法如下：

（1）平均欧氏距法（一阶）

$$\text{平均欧氏距} = \frac{\Sigma[\Sigma_\lambda(x_{c\lambda} - x_{ij\lambda})^2]^{1/2}}{n-1}$$

式中：$x_{ij\lambda}$——多波段图像 λ 波段（i，j）像元的数字值；

$x_{c\lambda}$——活动窗口中心像元的 λ 波段数字值；

n——窗口中的像元数。

（2）方差法（二阶）

$$\text{方差} = \frac{\Sigma(x_{ij} - M)^2}{n-1}$$

式中：x_{ij}——像元（i，j）的数字值；

n——活动窗口的像元数；

M——活动窗口的平均值。

（3）斜度（三阶）

$$\text{斜度} = \frac{|\Sigma(x_{ij} - M)^3|}{(n-1)V^{3/2}}$$

式中：x_{ij}——像元（i，j）的数字值；

n——活动窗口的像元数；

M——活动窗口的平均值；

V——方差。

（4）峰度（四阶）

$$\text{峰度} = \frac{\Sigma(x_{ij} - M)^4}{(n-1)V^2}$$

式中：x_{ij}——像元（i，j）的数字值；

n——活动窗口的像元数；

M——活动窗口的平均值；

V——方差。

另外，常见的纹理探测方法还有共生矩阵法。

本项目主要利用 ERDAS IMAGEINE 软件二阶方差法来计算影像的纹理特征。计算时采用的移动窗口，为 5×5。从新疆瓦石峡地区 TM 影像的纹理图中可以发现，岩石裸露区纹理指数（二阶方差）较高，图像中显得较亮，而非岩石裸露区纹理指数较低，图像较暗。采用合适的阈值，提取岩石裸露区，可以发现结果大体符合实际情况。

6. 基于地物形状知识的专题信息提取

有时，地物与背景之间，不仅在光谱特征上相同或相近，而且在纹理特征上也比较相似。在这种情况下，就得依据地物的形状知识进行深一步的提取。对于地质岩性来说，不同的岩性常常具有不同的空间特征：

（1）侵入岩

侵入岩一般具有比较规则的平面几何形态，如：圆、椭圆、透镜状、脉状等，多数缺少层理影像特征。出露规模较大的侵入岩在图像上常具有环状、放射状等类型的水系、节理或岩脉群。

（2）沉积岩

平面形态为条状或带状，具有明显的层理影像特征。一组有序分布的沉积岩常构成颜色各异的层状影像特征。

（3）变质岩

变质岩的影像特征一般与原岩组分及变质过程新物质的加入和结构的变化有关。如果它是正变质岩，影像特征类似岩浆岩；如果它是负变质岩，其影像特征则与沉积岩的影像特征相类似。

发现地物的形态知识的方法有基于周长和面积的方法、基于面积的方法以及基于面积和区域长度的方法。

基于周长和面积的方法

形状指数

$$k = \sqrt{A}/P$$

对于圆形而言，k 大于 0.25，对于正方形而言，k 等于 0.25，对于长方形而言，k 小于 0.25。线形地物如道路、机场和河流，其 k 值很小。对于非规则物体而言，其形状越复杂，其 k 越小。

圆度：

$$C_3 = 4A/LP$$

$$C_2 = 4A/P^2$$

紧凑度：

$$K_1 = 2\sqrt{\pi A}/P$$

瘦度率：

$$K = P^2/4\pi A$$

基于面积的测度

紧凑度指数：

$$e_{TR} = 4\pi(A/P^2)$$

$$C_4 = \sqrt{A/A_C} \text{ 或 } C_4 = A/A_C$$

基于面积和区域长度

形状率

$$FR = A/L^2$$

椭圆指数

$$e_{EI} = [\pi(1/2L)]L/A$$

以上所有式中：

A——物体的面积；

A_C——最小外切圆面积；

P——地物周长；

L——长轴长度。

形状知识，可用于地物的定位或定性提取。在用于定位定性提取时，首先，增强地物之间的边界，提取出边界；然后，进行形状指数的测定，从而达到定性定位提取。在用于定性提取时，主要是对所提取的专题信息再进一步肯定其属性。

（三）GIS 支持下的多源信息综合分析

在遥感地质专题信息提取中，除了利用遥感数据外，一般还要利用大量的相关数据，如地质图件，物、化探数据等等。在对这些数据的利用方面，有两个步骤：第一步，需要挖掘知识；第二步，将这些知识用来将图形数据与遥感影像联系起来，以支持专题信息的提取。这些知识是一些正相关知识和反相关知识。对这两种知识而言都还可以进一步分为确定性知识和概率性知识。

21 世纪卫星遥感将以多光谱、多时相、多分辨率、多传感器以及全天候为地学研究提供对地观测数据，促进遥感应用更广泛、更深入。然而，纵观过去的二三十年，地学思维引导着遥感技术的发展方向；而同时遥感应用的水平却滞后于空间遥感技术的发展。突出表现在：卫星发回的遥感数据未能得到充分利用，而信息提取水平的滞后使遥感数据中隐藏着的丰富知识远远没有得到充分的发掘与利用，造成了遥感信息资源的巨大浪费及其应用价值的降低。因此，信息提取的能力与效率将成为未来遥感应用面临的突出问题之一。

出现于 20 世纪 80 年代末并在近年来得到迅速发展的数据开采（Data Mining——DM）与知识发现（Knowledge Discovery from Database——KDD）的技术理论是人工智能、机器学习与数据库技术相结合的产物。它区别于简单地从数据库管理系统检索和查询信息，而强调“从数据库中发现隐含的、先前不知道的潜在有用的信息”、“从数据中鉴别出高效模式的非平凡过程。该模式是新的、可能有用的和最终可理解的”，其目的是把大量的原始数据转换成有价值的知识。而这正是目前以及未来卫星遥感信息处理的瓶颈问题。借鉴数据开采与知识发现的理论和技术将有助于解决遥感数据急剧增长与人们对数据处理和理解困难之间的矛盾。

1. 空间数据挖掘与知识发现

KDD 和 DM 技术的产生与发展是基于这样一个事实：一方面，数据和数据库急剧膨胀；另一方面，现今数据库的应用仍然停留在查询、检索阶段，数据库中隐藏着的丰富知识远远没有得到充分的发掘和利用。数据库的海量增加与人们对数据库处理和理解困难之

间形成了强烈的反差。KDD 这个术语首先出现在 1989 年 8 月在美国底特律召开的第 11 届国际人工智能联合会议的专题讨论会上，1991 年、1993 年和 1994 年又接着继续举行 KDD 专题讨论会。随着参加会议人数的增多，从 1995 年开始，每年都要举办一次 KDD 国际会议。除了理论研究外，也出现了相当数量的 KDD 产品和应用系统，并在实际应用中获得了一定的成功。

按照 Fayyad 等的定义，KDD 是“从数据集中识别出有效的、新颖的、潜在有用的，以及最终可理解的模式的非平凡过程”。KDD 的一般过程（图 3-10）包括数据准备（data preparation）、数据挖掘（data mining），以及结果的解释评估（interpretation and evaluation）。

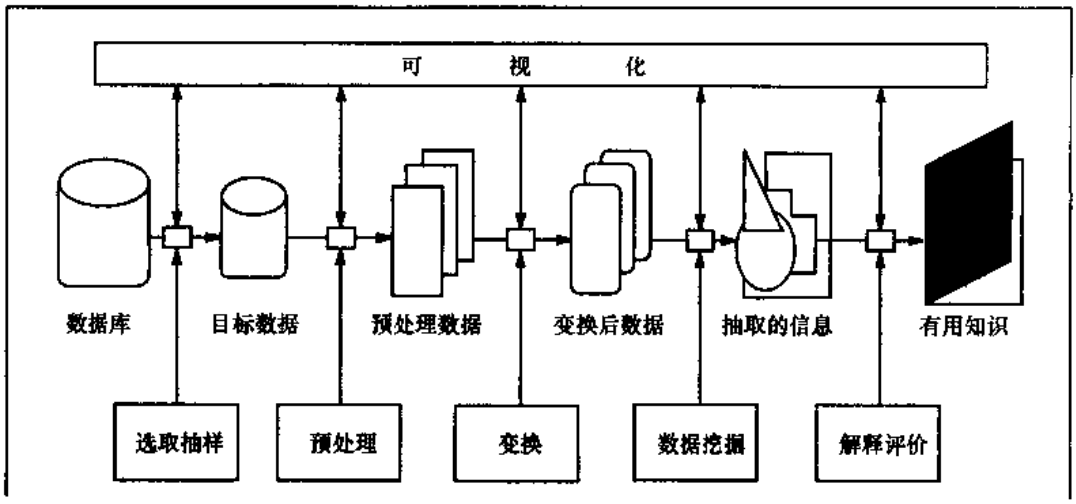


图 3-10 KDD 过程示意图

数据准备包括数据选取（data selection）、数据预处理（data preprocessing）和数据变换（data transformation）。数据选取的目的是确定发现任务的操作对象，即目标数据（target data），它是根据用户的需要从原始数据库中抽取的一组数据。数据预处理的目的是去除噪声等。当数据挖掘的对象是数据仓库时，一般来说，数据选取和数据预处理已在生成数据仓库时完成。数据变换的主要目的是消减数据维数或降维（dimension reduction），即从初始特征中找出真正有用的特征以减少数据挖掘时要考虑的特征或变量个数。

数据挖掘阶段首先要确定挖掘的任务或目的是什么，考虑决定使用什么样的挖掘算法。同样的任务可以用不同的算法来实现，选择实现算法有两个考虑因素：一是不同的数据有不同的特点，因此需要用与之相关的算法来挖掘；二是用户或实际运行系统的要求，如准确性与可理解性之间的偏好等。

2. 数据挖掘与知识发现的主要类型和方法

一般统计数据库的数据挖掘出现得最早，也最为成熟。一般而言，数据挖掘和知识发现可分为如下几种类型（Fayyad，1997）：

（1）分类：将数据项映射到一个或若干已定义的类的学习函数。

（2）回归：将数据项映射到实值预报变量的学习函数。

（3）聚类：寻找有限的类别来描述数据集的方法。

（4）概括（或称泛化）：寻找描述各数据子集共性的方法。

（5）依赖模式：寻找描述变量间显著依赖关系的模式。

（6）变化和偏离检测：从与以前数据对比中发现显著变化。

目前在数据挖掘和知识发现的研究中出现了大量的新方法及各种方法的结合，其中比较著名的方法有如下几种：

（1）基于决策树（decision tree）分类的 ID3 和 C4.5 方法。

（2）用于概括的 AQ15 和 CN2 方法。

（3）解决不精确、不确定知识的粗糙集（Rough Set）方法。

（4）大量人工神经网络方法，如经典的反向传播［BP］算法，自组织映射（SOM）和自适应谐振理论（ART）等。

（5）贝叶斯概率网络学习方法。

（6）用于产生关联规则的 Apriori 的方法。

作为目前国外的热门研究课题之一，数据开采和知识发现既是人工智能学者的研究热点，也是数据库专家的探索对象，其工作涵盖了医学、机器学习、人工智能、数学、市场营销等诸多领域。获得了许多有用的知识。迄今为止，国内从事这方面研究的单位还不多，把 KDD 和 DM 技术应用于卫星遥感的信息处理，更是一项崭新的课题。

3. 遥感影像中的数据挖掘与知识发现

卫星遥感数据库作为数据库的一种，对于赋存其中的信息的处理与识别，自然可以借鉴一般意义上的 DM 和 KDD 技术；而作为一类特殊的数据库——图像数据库，有着区别于一般关系数据库和事务数据库的信息内容，隐含着丰富的时间、光谱和空间信息。因而，就这类库中的知识发现而言，数据开采也应具有特殊的过程和方法。

根据上述 DM 和 KDD 的技术流程示意图（图 3-11）并考虑到卫星遥感数据特殊性，

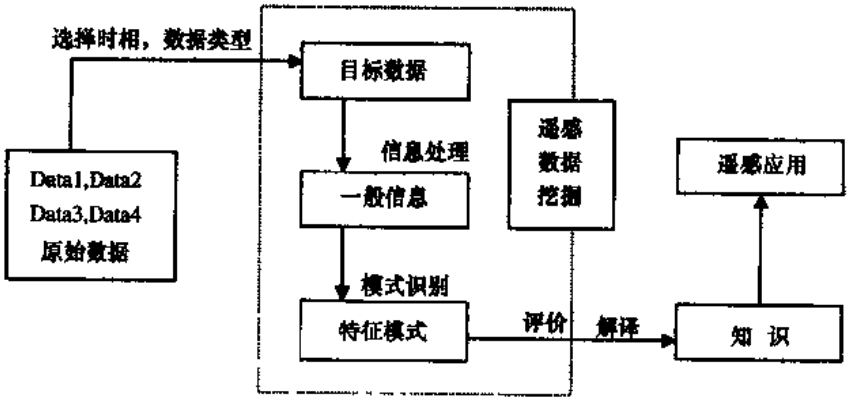


图 3-11　卫星数据遥感挖掘和知识发现

中科院的何国金等人提出了针对地质应用的卫星遥感数据开采和知识发现的理论与技术框架。在此框架中，数据开采占了极为重要的地位。它包括遥感数据的时相选择、应用预处理、特征分析、信息识别与知识解释。现实生活中，许多遥感应用者忽略了该过程的特殊

作用，直接把原始遥感图像的解释结果作为应用的基础（虽然在解译过程中也加入了人的知识），因而获得的知识往往是肤浅的、表面化的、不精确的。遥感数据开采过程只有充分考虑原始数据的波谱、空间和时间特征，才能更好地实现针对遥感应用的有价值的、较精确的、较高水平的知识发现。

四、专题制图、结果输出

成果图件的制作可以在本系统的“地图制作”模块中进行，在地图的组成中，可以有影像数据、矢量图形数据，各层数据相互叠加显示，另外，还包括图例、指北针、比例尺、文字注记等辅助要素。如果需要制作的地图中只包含矢量数据层，那么也可以在空间数据浏览模块的输出功能中制作专题地图。因为本系统的遥感图像处理子系统与 GIS 子系统采用同一种标准的矢量数据格式，所以数据的共享非常方便，不用繁杂的格式转换。

总之，本章概括起来主要采用了以下新技术：

（1）建立了遥感综合数据库，为 GIS 技术支持下的信息增强与提取提供了充分的信息源。

（2）在集成系统软件开发方面，本着起点高、技术先进、实用性强的原则，选用著名 GIS 软件 ARC/INFO 和图像处理软件 ERDAS 为系统集成平台，采用了 ODE 技术和 AML，EML，VB 语言开发研建了“1:25 万遥感基础调查填图系统”，为 GIS 技术支持下的信息增强与提取提供了强有力的操作工具。

（3）实现了“1:25 万遥感基础调查填图系统”的汉化。本系统以中文 Windows 2000 或中文 WIN NT 为操作环境，对图像处理软件分别用 EML 语言以及 VB + ODE 方法研究实现了汉字图形界面；对其系统菜单、按钮、工具栏以及热点提示信息也进行了汉化；对原有界面进行了调整、精炼。

（4）实现了交互解译的操作流程。在多种资料基础上建立图形图像库，通过图像处理功能与 GIS 功能的集成，将图像地质信息与已有资料、野外检查资料（GPS 定点）进行叠加、交互解译与处理，进行遥感岩石地层单元填图，在岩石地层填图阶段具有重要作用。

（5）对数据挖掘进行了有益的探索。数据挖掘是目前国外研究的热门课题之一，本项目对其进行了深入的研究与探讨，认识到遥感数据开采过程只有充分考虑原始数据的波谱、空间和时间特征，才能更好地实现针对遥感应用的有价值的、较精确的、较高水平的知识发现。以下为数据挖掘所采用的技术与方法：

（1）研究混合像元分解技术，探索在遥感影像上表现为混合像元的地层单元的边界划分方法，并评价地层单元划分的精度。

（2）空间数据挖掘与知识发现方法研究。

（3）基于光谱知识的岩性信息提取。

（4）基于地学知识的遥感地质信息提取研究（研究 GIS 与 RS 相结合，基于地学知识的遥感信息提取方法）。

（5）采用神经网络分类、模糊分类等技术进行遥感图像岩石分类识别。

（6）遥感信息多维分解技术及在提取地质信息中的应用。

（7）多层次信息分离技术（直接主成分分析（DPCA）、基于主成分变换的去相关拉伸（Decorrelation stretching based on PCA）、混合像元分解。

第四章　遥感地质成果图件系列编制及标准化研究

遥感成果图件系列是1:25万遥感地质填图工作中阶段性成果和最终成果的表达形式。根据遥感技术特点，结合实际工作结果，遥感成果图件系列由遥感影像单元图、遥感初步解译地质图、遥感地质图3种图件构成。每件图件反映的地质内含、编图方法、表达形式以及技术要求不尽相同。

第一节　遥感影像单元图的编制

遥感影像单元图是以影像单元为编图单位，并分类命名而编制的一种遥感图件。它集中表达的是一个1:25万工作图幅内，不同性质或不同属性地质体的影像特征变化规律。不同的影像单元具有特定的地质意义。

编制该种图件的实际应用意义是为野外地质踏勘提供工作手图和作为踏勘路线布置、剖面线选取及测制提供依据。

一、编图技术流程（图4-1）

二、编图应用

（一）编图单位建立划分原则

影像单元是遥感影像单元图的编图实体或称之为编图单位。因此在编图过程中，影像单元的建立与划分应以卫星影像图为基础信息源，以卫星影像图显示出的特征影像标志体为依据进行。这种特征影像标志体是通过色彩、影纹、地形地貌、水系类型等影像标志变化显示。一个特征影像标志体，即为一个影像单元，也就是一个编图单位。具体原则如下：

（1）影像特征标志明显，延伸稳定的影像体可作为一个编图单位建立；

（2）影像特征标志相同或相近的影像体可作为相同编图单位建立；

（3）影像特征标志不甚明显，解译程度极低的影像体可作为一个编图单位建立。这种单位可称之为模糊影像单元；

（4）影像特征标志不同的影像体可分别建立编图单位。

（二）编图单元解译

1. 定性类影像单元解译

定性类影像单元包括线性影像单元和对称性影像单元两种标志类型。它们分别是判定断裂和褶皱构造的直接指示标志。

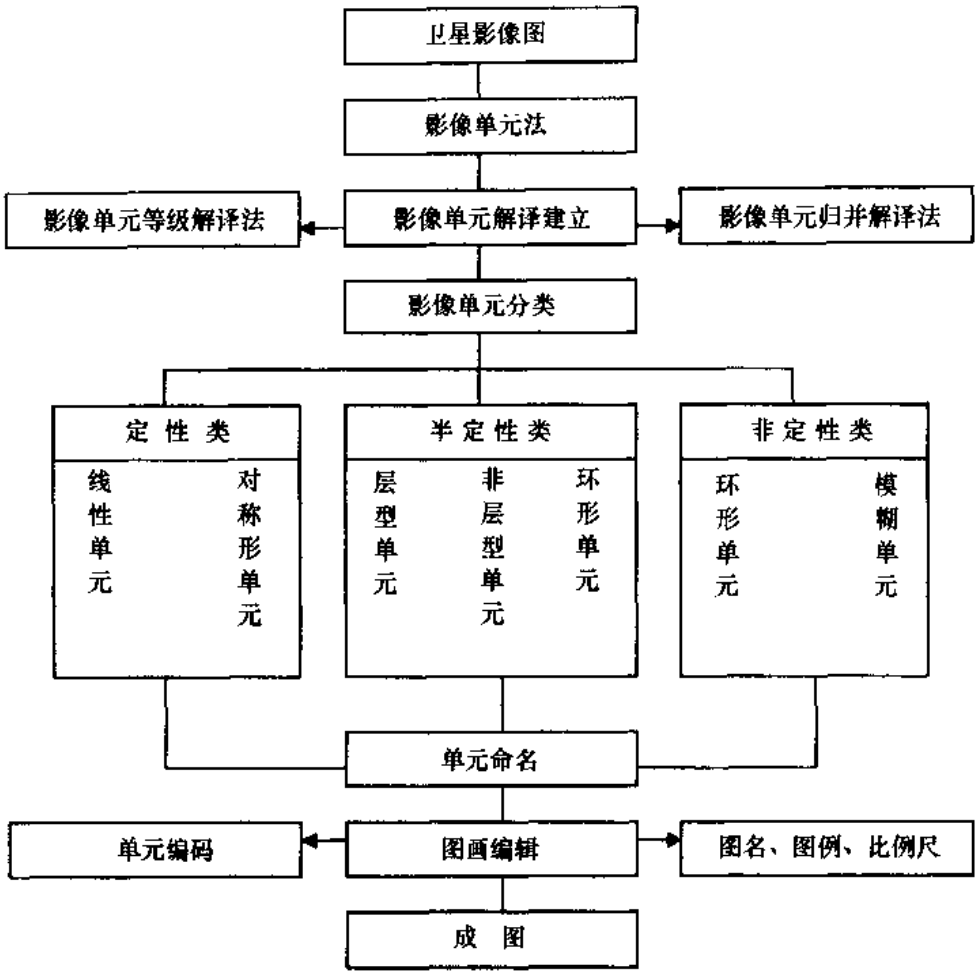


图 4-1 影像单元图编制技术流程图

线性影像单元是解译断裂、断裂破碎带、韧性剪切带的标准影像模式。解译编图过程中，主要是依据线性影像单元体的延伸、方向、规模、位错等特征解译判定断裂构造的存在，并通过线性特征的差异划分断裂等级，实现定性或半定量解译。

一般情况下，规模宏伟、延伸稳定，横跨区域、宽度明显，且有沿断裂走向线影像特征具有段落性差异的线性影像单元体，是深断裂或称之为板块缝合线断裂的直接标志显示。上述特征集中反映出构造作用的强度以及断裂不同部位地质特征的不同。具体包括岩石的性质、种类、易破碎程度、蚀变程度及抗物理、化学风化能力和剥蚀程度等等。如研究区阿尔金深断裂。而解译大断裂与深断裂相比，虽然线性影像单元体也具一定的规模性，但宽度小、区域贯通性差、线性形态特征清晰。对于一般断裂而言，总体特征是线性影像单元体规模较小、线性形态特征明显、少数断裂位错清晰。对于韧性剪切带，除具有线性影像单元特征之外，它还发育独特影像判别标志，如菱块体结构影纹、线带状结构影纹、平缓垄岗等。它们主要反映出剪切作用变形的结构特点和沿剪切变形带充填的石英脉等热液活动。

编图过程中，应将线性影像单元转化成为等级不同的断裂构造，并采用不同的线段和

符号加以标注，展示其性质和规模。

对称性影像单元是解译判定褶皱构造的标准影像模式。解译编图过程中，应根据特征相同的影像单元体的对称分布、圈闭、褶曲及特征不同的影像单元体有序排列、重复再现，以及产状分析进行褶皱构造解译、类型划分和性质判定。并以断线方式标注于图面之上，以其展示褶皱构造之形态特征。

2. 层型影像单元解译

主要以呈层状展布的色彩、影纹结构信息为解译判别标志，进行填图单元的建立与划分。

解译编图过程中应根据层型影像单元内部色彩组合变化规律，地形地貌特征的明显变化与差异，影像结构图型的不同等影像标志特征变化进行单元解译、建立与划分，使其成为既能反映岩性变化，又能代表岩石类型或岩石类型组合特点的影像单元，进而使其符合单元等级解译和单元建立的原则。

3. 非层型影像单元解译

主要以地形地貌、形态和色彩信息为解译判别标志进行填图单元的建立。

解译编图过程中，应根据非层型影像单元特征间接反映出的岩性变化特点，进行宏观影像单元解译区分，同时可根据其内部影像特征的明显与微弱变化，寻找规律，进行单元解译与划分。

原则上说，该类单元解译主指对花岗岩类侵入体，同时也包括了部分地层，如覆盖区部分火山岩。一般情况下，花岗岩类侵入体的影像单元多以色彩、形态、地貌特征等标志显示，不同的色彩团块反映出侵入岩体之岩石类型的不同；不规则形态体反映出侵入岩体的产状、结构构造和受剥蚀程度特征；团块状、透镜状等地貌类型反映出岩浆侵入作用的同源性、构造性、集中活动性等综合变化特征。

在植被、第四系覆盖的大兴安岭地区，火山岩产状很缓，地层倾角大部分小于 15°，其影像特征实际上属于非层型地层。由于中心式喷发作用，地层大部分以火山口为中心呈圈层状分布。不同喷发中心及同一中心不同时期形成的火山岩互相叠覆，因此其解译方法与其他地区明显不同。此类地区应首先解译火山机构，然后以其为中心向四周扩展。在火山口附近一般为火山岩，其外是熔岩和火山集块岩，然后是凝灰岩，最外围是火山沉积岩。虽然每次火山喷发所形成的岩性有所差异，后期的剥蚀作用还会使这种差异加大，但火山岩相的变化规律应是可知的。岩相的这种规律性变化反映在图像上是以一种图斑（单元）为中心，其他图斑围绕中心呈环带分布。在大兴安岭中心图斑一般为次火山岩，其影像特征与其他岩性明显不同，地形陡且高、冲沟密度明显大于其他岩石，常发育放射状水系。

除此之外，还可根据影像单元之间的结构变化进行侵入岩类宏观单元和侵入岩体单元的解译划分与建立，其主要结构类型为镶嵌结构、残蚀结构、反应边结构和交织结构 4 种。

（1）镶嵌结构指在层型影像单元内分布有色团、色变体。它反映的是岩浆侵入作用的结果（彩图 4-1a）。

（2）残蚀结构指相邻两个或多个影像单元之间的接触界线，为一种圈闭或半圈闭的不规则弧形体。仍反映的是岩浆侵入作用之结果（彩图 4-1b）。

（3）反映边结构指沿影像单元边界部位分布的色带或色变体，它反映的是接触变质现象（彩图 4-1c）。

（4）交织结构指不同影像单元之间相互穿切的关系。它反映的是同源或异源岩浆多次侵入作用之结果（彩图 4-1d）。

应加以强调的是，对非层型影像单元解译划分要注意花岗岩类侵入体单元与地层类单元的区分。因为它本身就包含了部分地层类，如某些层纹信息不发育的砂岩、火山岩和变质岩地层等。解译中应根据影像单元的延伸性、规模性、形态特征加以区分。

4. 环形影像单元解译

由于环形影像单元形成的控制因素很多，有些是由地质现象引起，而有些则无一点地质意义。因此在对环形影像单元解译过程中，要通过环境因素分析，排除无地质意义的环形影像。对有地质意义的环形影像进行地质属性判定，划分成因类型，并在图面上加以表示。

通常情况下，环形影像的形成与岩浆侵入与喷发作用关系密切，与构造作用也有一定的关系。其反映岩浆侵入作用特征的环形影像，环内多有岩体出露，有些环形影像即代表侵入岩体边界，而有些环形影像则反映的是岩体侵入作用的范围，包括接触变质带和热液蚀变带。与岩浆喷发作用有关的环形构造有两种表现形式：其一代表火山机构，反映的是火山喷发作用的综合特征；其二代表破火山口。对于构造作用的环形构造比较单一，环形影像由呈环状形态或环形放射形态产出的断裂构造构成。

5. 模糊影像单元解译

模糊影像单元为地质属性无法确定的单元。解译中只圈定其边界，待野外踏勘赋予地质属性。

（三）编图单元命名（详见第二章影像单元命名与编码部分，彩图 4-2）

（四）图面编辑

图面编辑包括地理要素、图面要素的表示与标注。

（1）地理要素：使用 1:25 DEM 数据。

（2）图廓内填图要素：指编图单元界线、编码、断裂、环形影像、蚀变信息的表示与标注。其具体表示方式参考相关规范执行。

（3）图例：描述填图单元的特征影像标志。

（4）图名：字体、大小、位置表示方式参考相关规范执行。

（5）比例尺：参考相关规范制作，包括数字和线条比例尺。

（6）责任表：按相关规定执行。

三、编图方法技术及精度要求

（一）方法技术

（1）解译方法：影像单元法

（2）编图单位：影像单元

（3）影像单元解译分级：采用等级影像单元或单元解译归并法均可。

（4）影像单元分类：采用定性、半定性、非定性类划分法。

（5）单元命名及代码：采用解译程度等级代码 A、B、C 加单元属性类别代号 S、G、

N及上、下角标代表单元个数及序数的方式表示。

（二）精度

（1）线性影像单元（构造类）：特指断裂、破碎带、韧性剪切带。考虑图面负载程度，一般要求图面长度 > 10 cm 者均于以标注，但对那些图面长度 < 10 cm，且能够反映切割关系者也均需标注。

（2）影像单元必须是影像特征清楚的影像体，其边界清晰，具可解性、可分性和重现性特点。

（3）影像单元解译分级应采用二至三级划分法，一级影像单元为宏观影像单元分区，其边界明显，总体地形地貌、影纹结构等标志特征基本一致；二、三级影像单元为上级单元的细划，以某种影像标志特征显示，其空间分布关系有序、延伸稳定。

（4）影像单元分类应以类型标志特征为依据。它们间接反映出地质作用特征的差异，分类过程中应注意类别之内微弱信息的变化，使其分类具有准确性和代表性。

（5）凡是以环形信息显示的影像单元均应予以解出。

四、影像单元图在遥感地质解译编图和区域地质调查中的指导作用

影像单元图是在1:25万影像地图上解译划分影像单元，然后参照1:10万影像地图确定已划分的影像单元是否可再分解及是否具有重现性；解译一般程度分为A，B，C三级。A级构造、岩性影像单元可靠、重现性高，经过极少量的野外工作即可确定其地质意义。B级构造、岩性影像单元较清晰、重现性高，经过少量的野外工作即可确定其地质意义。C级图斑包括数个影像单元，其分界线或构造线不太清晰，这时就用虚线将这几部分分隔开，需要进行相当于常规填图的野外工作才能确定其地质意义。该阶段编制的1:25万影像单元图和遥感解译程度分区图一方面可指导影像岩石单元的建立，另一方面对图像信息增强处理区的选择具有指导意义。同时，影像单元划分的A，B，C三级解译程度可为野外地质踏勘提供工作手图和作为踏勘路线布置、剖面线选取及测制提供依据：一般A级区可投入相当常规区调一半的野外工作量；B级区地质构造与岩性复杂程度中等，建议野外工作量是常规填图的70%；C级区地质构造与岩性比较复杂，建议野外工作量是常规填图的90%。线性构造A级为明显线性排列的平直沟谷、山垭口、小陡坎，或清晰的影像错断；B级可靠性较A级次之；C级可靠性最低，其线性构造一般是山垭口、小陡坎呈隐隐约约的线性排列，个别C级线性影像用虚线表示。

第二节　遥感初步解译地质图编制

该图是一种以影像岩石单元为填图单位，表达不同属性地质体的空间分布组合、相互作用关系的阶段性成果图件。编图的主要目的是为野外地质调查、工作量部署提供工作手图和安排依据。

一、编图技术流程（图 4-2）

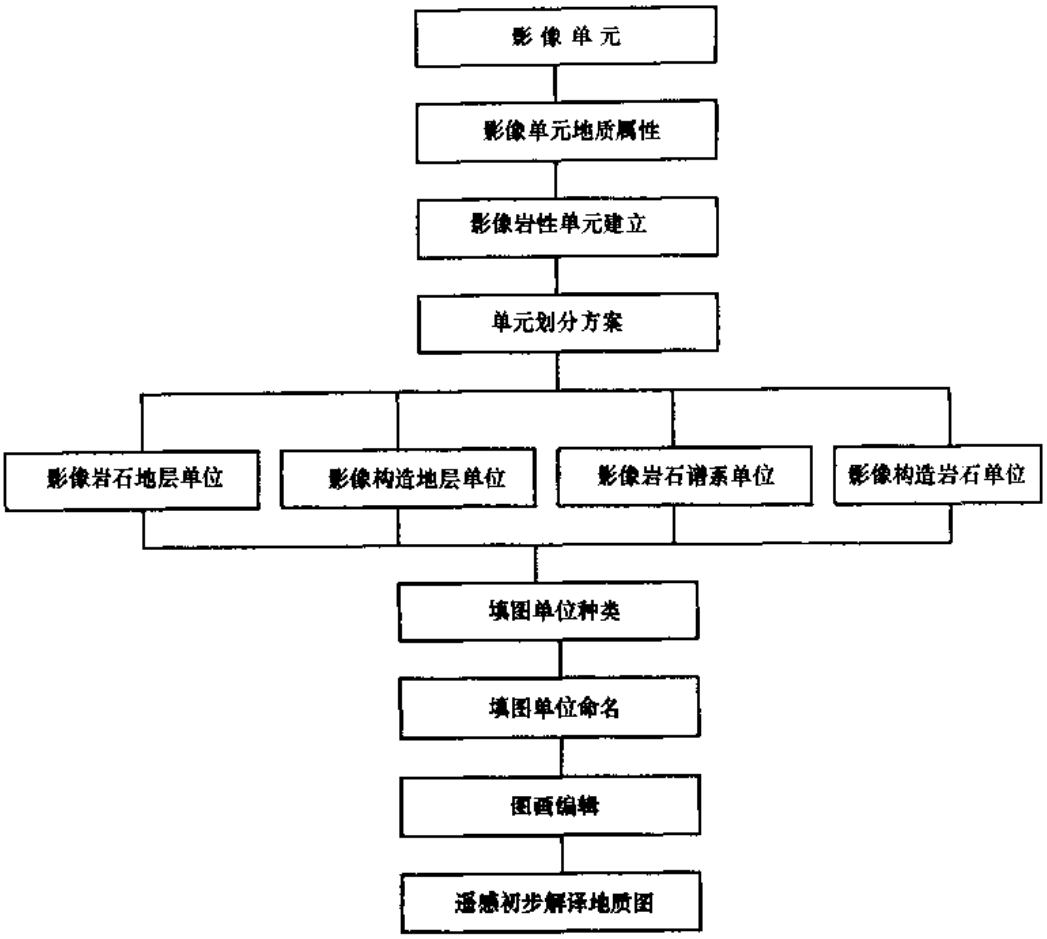


图 4-2　遥感初步解译地质编图技术流程

二、编图应用（彩图 4-3）

（一）填图单元建立划分原则

影像岩石单元法是 1:25 万遥感地质填图的主体方法，而以其方法所建立的影像岩石单元是填图的基本单位。

在编图过程中，影像岩石单元建立于影像单元基础之上。主要是通过影像单元岩性特征分析、对比，同时参考前人资料，结合野外路线踏勘资料，实测主干剖面资料及影像单元显示出的岩石组合规律，分别赋予每个影像单元相对应的地质属性，使其成为一种影像岩石体，即影像岩石单元。当所建立的这些单元完全或基本满足影像岩石单元填图单位建立划分原则时，它即可定义为填图单元，也就是填图单位。但对那些虽具有地质属性，而从岩性组合特点上还不能完全或根本不符合影像岩石单元填图单位建立划分原则的影像岩石单元，应通过野外地质调查或单元特征分析对比，加以修订，使其成为符合填图单位建

立划分原则的填图单元。修订的内容包括影像单元的归并、单元边界修改、单元的重新厘定。

实际上，影像岩石单元建立是一个分析、对比、研究的全过程。需要了解和掌握前人资料对填图单位建立划分的地质依据，同时还需要归纳总结影像岩石单元填图单位建立划分规律，以及不同资料间的差异规律。只有这样，建立起的影像岩石单元方有填图意义，否则也就失去了影像岩石单元法填图的真正目的，现归纳填图单元建立划分的具体原则如下：

（1）影像岩石单元建立必须符合或基本满足影像岩石地层单位、影像岩石构造地层单位、影像岩石谱系单位和影像构造岩石单位划分标准。

（2）影像岩石单元必须是个特征的影像岩石体，所反映的岩性特点是岩石类型或岩石类型组合或单一岩石。

（3）每个影像岩石单元应保持总体特征的一致性，且具有稳定性、规模性、可解性和可分性。

（4）对于那些延伸稳定、标志清晰、边界明显的影像岩石单元应作为标志填图单元建立，以示对比。

（5）所建立的影像岩石单元必须具有填图单元意义。

（二）编（填）图单元地质解译

1. 构造解译与类型划分

构造解译是在定性类影像单元解译基础上进行的深入一步详细解译与类型划分。按影像单元特征及组合关系分析，划分为断裂、褶皱、韧性剪切带和逆冲推覆构造 4 种类型。

有关断裂、褶皱构造解译，详见六章第一节，本处不再赘述。着重介绍韧性剪切带和逆冲推覆构造解译。

（1）韧性剪切带解译

在对韧性剪切带解译过程中，仍采用与深大断裂解译相同的线带影像单元信息加以判定。但由于韧性剪切带形成于从脆性到韧性的剪切变形过程中，因此在影像单元特征上具有反映剪切变形作用痕迹的菱块结构影像，反映伴随剪切变形作用形成的石英脉带信息和特定的地形地貌信息（彩图 4-4）。

菱块体结构影像为剪切带判定的直接标志，多以复杂信息带显示，相邻菱块体信息变化代表了岩石糜棱岩化的程度。一般情况下，菱块体边缘带反映的是超糜棱岩或强糜棱岩的分布，而菱块体内部反映的是弱糜棱岩带的存在。

石英脉带信息：以浅灰白色蠕虫状色彩异常带显示。

地形地貌信息："碁垄"状地形特征是某些韧性剪切带的标准地形。究其原因有两点：其一，由于韧性剪切变形属于一种带状变形，岩石糜棱岩化强烈、破碎，变形程度相对均一，风化程度平均；其二，由于韧性剪切作用常伴随有硅化现象产生，并形成硅化带，这样经风化剥蚀作用后，受侵蚀能力高于未变形岩石，因此导致"碁垄"状地形的产生。

在覆盖区，上述信息往往被地表松散堆积物"屏蔽"，因此韧性剪切带解译效果不理想。

（2）逆冲推覆构造解译

逆冲推覆构造是侧向挤压应力作用之结果。在遥感图像上形态多以弧形为特征显示。

不同的结构要素影像特征不同。

逆冲岩席：它是逆冲推覆构造的主体要素。反映变形地体总体运动的特征。典型影像单元为弧形影像体，多以环形山系，弧形色变复合带，不协调的独立影像块体显示。

铲式逆冲断裂：它是侧向挤压应力作用的脆性变形结果。影像特征与断裂构造解译标志相同，但受侧向挤压应力控制，线带影像单元总体呈弧形展布，其弧顶突出方向一致。

后缘拉伸盆地：它属于引张应力作用之结果。在影像上多以不规则边界的盆地信息、盆形基底信息以及拉裂残留岩块、岩片等信息显示。

应加以说明的是，逆冲推覆构造除具有上述结构要素信息显示之外，应注意总体影像结构变化和相互之间组合关系的分析，尤其是不协调影像体野外调查依据的采集。由于逆冲推覆作用所表现出的多期性、改造性、继承性和叠置性特点，仅凭影像信息实现定性或定量研究较难，因此采用影像特征标志建立与野外地质调查结合的方法有利于该类构造的圈定。

2. 地层单元解译与划分

地层单元解译主要是根据层型和非层型影像单元特征变化及反映这种变化的岩性特征来实现。由于构成地层单元的岩性特点、变形变质、构造改造以及形成环境不同，其地层单元的划分方案和种类不尽相同。因此，在地层单元解译划分过程中，应根据具体情况采用不同的划分方案及相应的填图单位种类进行。

1）第四系松散堆积物填图单元解译划分

第四系松散堆积物广泛分布在山间盆地、河流两岸、山前地带、湖泊周围。它们的形成与现代流水、湖泊、风成、冰川等作用密切相关。因此，在影像岩石单元特征上，显示出明显的成因联系，这样也就为该套地层单元划分过程中采用影像岩石单元成因分类提供了理论依据。

（1）第四系冲洪积物解译。典型标志为“束”状、折线状影纹与带状、透镜状影纹(彩图 4-5a)。

（2）第四系风积物解译。典型标志为浅黄色彩、沙丘地形、“新月”形链状地貌特征是该单元解译划分的标志（彩图 4-5b）

（3）第四系湖积堆积物解译。典型标志为清晰的湖岸变线影纹、平缓的平原地形是该单元划分标志（彩图 4-5c）

（4）第四系化学堆积物解译。典型标志为浅灰白色彩、暗色色斑影像、不规则的湖岸退缩线等标志。

（5）第四系沼泽堆积物解译。典型标志是显绿色条带的植被信息和微细水系特征（彩图 4-5d）

（6）第四系冰碛物解译。典型标志为冰舌、冰碛垄岗地形。

2）层型地层单元解译划分

层型地层单元系指呈层状产出成岩的地层，它包括沉积岩、浅变质岩和火山岩。其填图实体为影像岩性单元，填图单位采用影像岩石地层单位划分方案，单位种类为群、组、段。其典型标志为层型影纹发育。

3）非层型地层单元解译划分

非层型地层单元系指边界受构造控制，构造改造作用明显，具一定的变形变质特征，

且层纹不甚发育，甚至无任何层级信息显示的一种构造地层体。

在对该类地层单元解译过程中，主要依据宏观影像块体与层型地层单元间的空间关系及岩性特点加以判别，其地层单元建立划分采用影像构造地层单位划分方案，单元种类为岩群、岩组、岩段。

3. 花岗岩类填图单元解译与划分

侵入岩类解译是通过非层型影像单元和环形影像单元建立实现。由于侵入岩类形成于岩浆侵入作用，在空间分布、形态、地貌等方面具有明显的规律性。主要表现为：

（1）侵入岩体空间分布具有局部集中，横向呈带状分布的特点；

（2）出露不同构造环境内的侵入岩，其成分、结构演化序列特征不同；

（3）同源岩浆多次脉动或涌动侵入体，影像单元特征不同；

（4）侵入岩带、岩浆侵入局部集中区宏观影像单元特征以团块地形、色团、不规则岩体形态，以及与层型地层单元间的不协调影像结构显示。

为此，在侵入岩体解译过程中，应遵循上述规律进行。并对解出的岩体，采用影像岩石谱系单位划分方案，以影像岩石单元为单位，作为填图实体。填图单位种类采用单元、独立侵入体和序列划分方式。

在实际应用中，序列归并和单元建立具有如下规律：

（1）序列为同源岩浆多次侵入之结果，在岩性上表现出从基性至酸性的完整演化系列的成分演化系列特征。因此，同一序列的侵入体单元具有集中分布规律。在卫星影像上以宏观分区的特定地貌类型和色彩标志显示。

（2）侵入体单元为同源岩浆一次脉动或涌动侵入之结果。不同单元以不同的影像特征显示相互之间具有亲源性和侵位关系。其空间分布严格遵守同序列分布规律。单元影像特征属于序列宏观影像单元分区内部的差异变化。

（3）由于岩体侵入序列形成严格地受岩浆同源性控制，不同构造单元的岩浆侵入作用，尤其是不同板块构造单元的岩浆侵入活动特点不同，集中表现在岩石类型和系列的差异。因此不同构造环境下形成的侵入体单元，应属于不同序列的产物。

由此可见，岩浆侵入序列归并具有构造环境专属性特征，不同岩体侵入序列形成于特定的构造环境，以特定的宏观地貌形态和色彩标志区显示。而侵入体单元划分属于序列的分解，是序列岩石类型变化的具体表现形式。其影像特征属于宏观单元区内部微观信息的变化，空间分布具局部集中特征。因此，宏观影像单元分区是序列归并的基础，其内部影像特征标志变化与分区是单元、独立侵入体建立划分的依据。

4. 变质侵入岩解译及填图单位划分

该类岩体系指构造变形复杂、变质程度较深的深成侵入体。

应用中填图单位建立划分采用构造岩石单位，以影像岩石单元为填图实体，单位种类为片麻岩体、片麻岩套。

（1）苏吾什杰幅喀拉乔喀片麻岩体（Kgn）。岩性为肉红色眼球状角闪黑云二长花岗片麻岩。呈浅黄色彩，“羽束”影纹结构。

（2）苏吾什杰幅盖力克片麻岩体（Cgn）。岩性为灰色眼球状黑云斜长花岗片麻岩，显灰褐色彩，呈“佛手”地形。

三、编图方法技术及精度要求

（一）方法技术

（1）填图方法。影像岩石单元法

（2）填图单元。影像岩石单元

（3）填图单位划分方案及种类。影像岩石地层单位，采用群、组、段划分方式，影像岩石构造地层单位，采用岩群、岩组、岩段划分方式；影像岩石谱系单位采用单元、独立侵入体、序列划分方式；影像构造岩石单位，采用片麻岩套、片麻岩体划分方式。

（4）单元命名：地层类命名参考前人资料进行。花岗岩类单元、独立岩体命名采用地名＋岩性＋地层时代。

（二）精度要求

（1）以影像岩石单元作为填图单位，其单元影像特征必须明显，延伸稳定，边界清晰，具可分性、可解性和规模性。

（2）所建立的影像岩石单元，其岩性特征符合影像岩石单元填图单位建立划分原则。

（3）对构造解译结果，进行初步的类型化分，实现半定量分析，并用不同线段或符号加以表示。

（4）对环形构造应进行初步的成因分类，确定性质，并用不同线段形式加以标准。

（5）解译结果应具有重现性。

第三节　遥感地质图的编制

遥感地质图是在遥感初步解译地质图基础上，经过野外地质调查，填图单位修订，综合分析整理后完成的最终成果图件。



图 4-3　遥感地质图技术流程

一、填图技术流程（图 4-3）

二、野外地质调查

野外地质调查是遥感地质填图工作的重要环节。调查方法为影像岩石单元剖面法。调查的目的是进一步了解填图单元的地质属性，为填图单元合理建立与划分提供地质依据。由于填图单位划分方案不同，对不同种类的影像岩性单元野外调查的具体内容不尽相同。

（一）地质构造调查

主要是根据遥感初步解译地质图中圈定的不同类型的构造现象，按主次分类，选择影像规模大，有代表性的构造现象进行野外调查，系统收集地质证据，为构造单元划分，构造规律、构造演化规律分析研究提供数据。

1. 断裂构造调查

该类构造野外调查的要点为：断裂存在的地质根据、活

动性、性质及时代。

（1）地质依据。岩石的破裂程度（断层角砾岩挤压透镜体、糜棱岩等），断裂面特征（平直、舒缓、锯齿），断裂产状（倾向、走向、倾角）、断裂规模、断裂两侧地层位移、变形情况等。

（2）断裂活动性。主要表现为继承性和改造性。其直接根据为沿断裂早期活动面充填物质的再破碎现象。

（3）性质。主要依据地质依据来确定。

（4）时代。野外调查可依据其切割最新时代地层确定其上下时限，同时可采集样品，进行同位素年龄测定。如 U/Pb 法、Rb/Sr 法、^{14}C 法等。

2. 褶皱构造调查

褶皱构造是地壳岩石在挤压应力作用条件下的塑性变形结果。根据卫星图像显示清晰程度，野外调查可分为可视褶皱和非可视褶皱进行。其调查的方法和内容应有所差别。

1）可视褶皱构造

可视褶皱系指在卫星图像上显示形态清晰的褶皱。野外调查的主要内容为位态、形态、时代和性质。

（1）位态。通过轴面倾角、枢纽倾伏角和侧倾角调查，确定其属于直立褶皱、倾伏褶皱、平卧褶皱、斜伏褶皱、斜卧褶皱等类型中的哪一种。

（2）形态。通过褶皱两翼间的夹角大小调查，确定其属于开阔褶皱，还是紧闭、等斜褶皱或复式褶皱。

（3）时代。通过卷入褶皱变形地层单元的数量和层位与非变形地层单元层位，确定其形成时代。

（4）性质。通过卷入褶皱地层单元新老分布顺序、复杂程度，确定其属于是向斜、背斜还是复式向斜、复式背斜等。

2）非可视褶皱构造

该类褶皱系指卫星图像难以判别，而通过路线调查而确定的一类褶皱。其调查内容为地层单元对称有序排列、岩层产状有序变化、构造改造特点等。

3. 逆冲推覆构造调查

逆冲推覆构造属于一种收缩变形。调查中应注意直观地质依据、结构要素发育程度、形态特征等依据的观察与收集。

1）直观地质依据

（1）飞来峰。多为老地层飞移新地层之上，但新地层飞移老地层之上也很常见。后者定位取决边界性质。

（2）滑脱裂地块。属于伴随收缩作用产生的局部松弛作用产生，即重力滑脱作用。其结构特征相当于拉裂槽或拉裂楔。滑移界面为主滑断裂。

（3）滑落地块。属于引张作用过程中，逆冲岩席前移之滑落物质。其形态不规则，产状多变。

（4）层间水平滑移断裂。断裂面水平，滑动痕迹及岩石磨碎现象明显。

2）结构要素

（1）逆冲断裂。呈弧形展布的脆性变形构造界面。

（2）逆冲岩席。不协调构造块体边界性质及与下伏地层的新老关系。

（3）前缘褶皱带。地层的变形特征，褶皱的位态与形态表现形式。

（4）后缘拉伸盆地。盆地形态特征、地层发育与缺失。

（5）主滑面。产状平缓的面形断裂发育程度，断裂内岩石的破碎程度，断裂面运移滑动依据。

3）形态特征

（1）弧形逆冲断裂系显示依据。

（2）弧形山系、构造地体的存在。

4）推覆作用方向

由于逆冲推覆构造属于侧向挤压应力的作用的结果，其系列弧形体突出方向代表推覆作用方向。

5）时代与期次

卷入逆冲推覆构造最新地层时代为厘定推覆作用时代确定的上限。

构造要素的叠置关系、切割关系及不协调分布关系是期次分析与确定的主要依据。

（二）地层单元调查

1. 第四纪沉积物影像岩石单元调查

从遥感角度而言，第四纪沉积地层易于解译划分，这主要与其空间分布与成因联系密切相关。基本表现出不同成因类型的沉积物在卫星图像上以特定的影像单元特征显示。因此，以其为基础建立的影像岩石单元具有地层单位划分意义。而且，代表着特定的成因类型或复合成因类型。所以说第四纪沉积物的野外地质调查，也就是对影像岩石单元的调查。由于第四纪沉积物的成因类型复杂、沉积物的岩性、物质组成、结构、构造以及所含动、植物群和含矿性均是有一定的差异性，在调查中观察的内容和要点不同，但总体上大同小异。

（1）岩性调查。对不同岩性的第四纪沉积物，应观察描述其厚度、产状、颜色、结构、构造及变化情况。

（2）成因类型调查。主要依据影像岩性单元特征，结合第四纪沉积物岩性、结构、构造及所含动、植物群进行成因类型的判定。

（3）含矿性调查。当发现的泥炭、砂矿等矿产时，应查明其产状、分布规模，并进行适量的样品采集，为进一步工作提供资料。

（4）生物化石采集。在适当的地点和沉积物类型中注意寻找哺乳动物化石或孢粉样、微体古生物样品的采集。

（5）新构造运动表现。从阶地结构特点、剥夷面的变化、第四纪变形以及地形切割强度等方面研究新构造运动的性质和强度。

（6）地形地貌的特征。通过第四纪沉积物地形地貌特征变化，总结影像岩石单元特征变化规律，进行成因与形成年代分析。

通过上述第四纪沉积物野外地质调查，并根据调查结果，修改、补充和完善影像岩石单元的建立与划分，使其符合第四纪地层填图单位建立划分特点。

2. 影像岩石地层单元调查

该类地层单元系指呈层状形式产出的影像岩石单元，主要包括火成岩的沉积岩和浅变

质岩区的影像岩石单元调查，其具体内容为：

（1）岩性调查。通过点线观测，系统了解影像岩石单元内的岩石类型、岩性组合的基本类型，以及厚度、产状、结构、构造特点。

（2）影像岩石单元建立的合理性。主要通过单元岩性调查，查明其是否满足或基本符合影像岩石地层单位建立划分的标准，进而确定影像岩石单元是否为填图单位。

（3）含矿性。直接矿化现象观察、蚀变类型划分、地层岩性含矿性规律。

另外，可以进行波痕、交错层理、冲蚀槽的调查，以了解古河流流向。

3. 影像构造地层单元调查

主要指变形变质、构造改造强烈的变质岩区影像岩石单元的调查。具体内容为：

（1）岩性。查明影像岩石单元内变质岩石类型、岩性组合的基本类型。

（2）影像岩石单元边界性质。多以断裂围限界面显示，查明其产状、性质及规模。

（3）变质变形特征。加强面状、线状构造，矿物生长与构造关系及变斑晶内面理与晶外面理之间的关系。

（4）矿物组合。注意特征矿物、常见矿物及矿物组合调查。

（5）结构构造。注意变质结构、变晶结构、交代结构（薄片）、变形结构、定向构造的观察。

（6）不整合构造界面。

（7）变质原岩。收集变质结构、构造及具有成因意义的岩石类型或岩石类型组合。

4. 侵入岩体调查

1）花岗岩类侵入体填图单元调查

该调查系指对花岗岩类侵入体填图单元调查。具体调查内容包括：

（1）岩石类型。对不同特征的影像岩石单元，查明其岩石类型，有利于单元的建立与划分。

（2）矿物成分。查明单元岩石的矿物成分，实现正确命名，是单元建立划分的基础。

（3）结构构造。结构构造的变化，可直接反映侵入岩单元的生成顺序，有利于序列归并。

（4）接触关系。注意查明岩体之间侵入与被侵入关系，有利于侵入顺序的确定。

（5）时代：通常采用地层年代法。主要根据单元岩体所侵入地层单位年代厘定。但也可以通过样品采集，进行同位素年龄测定。

（6）含矿性。注意直接矿化现象观察。查明矿化种类、蚀变类型、成矿条件。

（7）其他。主要指表面风化面颜色、地形地貌特征、易风化程度的观察与描述。

2）变质深成侵入体填图单元调查

该调查系指深成变质岩体影像岩石单元调查。具体内容为：

（1）岩石类型。查明影像岩石单元内的岩石类型、岩石类型组合。

（2）空间结构。通过模糊形态标志，定位调查边界部位的矿物成分变化与差异，厘定影像岩石单元界线。

三、填图单元的修订

填图单元的修订是在野外地质调查的基础上实现的。主要根据地质调查结果，结合影

像岩石单元的稳定性和可分性，对那些不太符合填图单位建立划分标准的影像岩石单元进行修改、补充和重新厘定，使其具有填图单位的意义。修订过程中应考虑下列问题：

（1）尽量体现遥感技术特点。

（2）考虑影像岩石单元建立的合理性、可分性和稳定性。

（3）填图单元修订的重点是影像岩石单元特征不甚清晰的单元。

具体修定的内容为：

（1）影像岩石单元边界的修订。

（2）新增影像岩石单元的补充。

（3）影像岩石单元的重新划分与厘定。

四、综合分析整理

综合分析整理是遥感地质图编制的重要工作环节。分析整理的目的是通过各项实际资料的分析研究，使其系统化、合理化，从感性上升到理性，得出符合地质作用规律的结论和认识。具体内容包括：

（1）遥感解译资料的再分析。

（2）地球物理资料的解释与应用。

（3）岩石化学资料分析与应用。

（4）同位素地质资料的分析与应用。

（5）野外资料的分析。

（6）不同资料的综合表示。

五、图画编辑

图画编辑是在 GIS 支持下，多个软件平台选择的基础上实施的。具体内容为：

（1）地理信息编绘。使用 DEM 数据。

（2）地质信息表示与标注。参照有关规范执行。

（3）特殊地质现象的表示。用特征符号表示。

（4）内外图廓线设置。参照有关规范执行。

（5）图例、图名、责任表表示方式及内容。参考有关规范执行。

六、遥感地质图的成图

该种成果图件成图使用 MAPGIS 系统。

七、填图系统技术及精度要求

（一）方法技术

（1）填图方法。影像岩石单元法。

（2）填图单元。影像岩石单元。

（3）野外调查方法。影像岩石单元-剖面法。

（4）填图单位划分方案及种类。影像岩石地层单位采用群、组、段划分，影像岩石构造地层单位采用岩群、岩组、岩段划分；影像岩石谱系单位采用单元、独立侵入体、序

列、杂岩体划分；影像构造岩石单位采用片麻岩体、片麻岩套划分。

（5）单元命名。地层单元命名参考前人资料进行。花岗岩类侵入体单元、独立侵入体采用地名＋岩性＋地层时代。

（6）图面地质体着色，界线粗细及颜色参照标准地质色标和有关规范执行。

（二）精度

（1）以影像岩石单元作为填图单位实体，其单元影像特征明显、延伸稳定、边界清晰，具可分性、可解性、可重现性和规模性。

（2）所建立的影像岩石单元，其岩性特征符合影像岩石单元填图单位建立划分原则。

（3）构造类型解释、划分与确定必须具有一定的或充足的地质依据。

（4）对构造类进行类型划分，尤其是深断裂和大断裂应达到定量分析。

（5）对环形构造进行成因分类，达到定量分析。

（6）考虑图面负担，对图面大于 10 cm 的断裂，大于 0.5 cm^2 的图斑均予以标注。但对于小于上述规定的重要地质体应夸大表示。

第四节　数字图件制作

遥感系列影像地图、遥感影像单元图、遥感初步解译地质图、遥感地质图及影像地质图是 1∶25 万区域遥感地质调查制作数字化的基本图件，它展示了 1∶25 万区域遥感地质调查成果的全部内容，对不同行业的用户有不同的应用价值，因此，必须要求图面内容表达清晰，图形整饰美观，图例规范，图件内容数字化分层合理，易于更新和使用。这涉及到地理、地质、制图学与地理信息系统（GIS）方面的知识，是一项综合性很强的工作。本节主要介绍编制遥感影像单元图、遥感初步解译地质图、遥感地质图和影像地质图的工作流程和技术方法。

一、地理底图数字化与编绘要求

地理底图是编制地质图的地理基础，是地质图的重要组成部分。地理图表现的重点是地理要素，如果地理底图编制包括水系、居民地、道路、地貌、境界等全部地理图内容，则会使图面信息复杂，甚至造成喧宾夺主，因此要对地理图进行必要的删减。

（一）地理底图数字化及编绘流程

（1）数据准备。收集相应图幅的 1∶25 万地形图资料。如无电子版地形图，则按照水系、居民地、道路、地貌、境界的分层标准对地形图件进行扫描矢量化，生成矢量文件。

（2）修编水系图层。保留干流及主要支流，删除井泉等点状特征，湖泊水库等特征面积不小于 6 mm^2，水系附属物只表示主要的拦河坝、水闸、水库坝址。达到正确反映不同制图区域的水系类型、河网密度对比、河流的主支流关系、弯曲度对比、湖泊的分布特征和与其他要素的关系，海岸类型、岛、礁分布特点及其他海洋要素。

（3）修编居民地图层。以主要街道为边界归并居民地的房屋及附属设施，形成面特征；按照人口密度进行抽样，保留主要的居民地。达到正确表示城市、乡镇和自然村，表示出居民地的行政意义，正确处理居民地与其他各要素之间的关系。

（4）修编道路图层。保留铁路、高速公路、等级公路、等外公路，根据当地路网密度

进行必要的取舍。道路附属物只选择县级以上的站点及大型的隧道桥梁。以能够正确表达道路等级，道路与其他要素的关系为主。

（5）修编地貌图层。基本等高距为 80 m，中高山区采用 160 m 等高距，或根据具体情况进行删减，基本等高距 5 n 倍（n 为正整数）的等高线表示为计曲线。达到正确表示不同地貌类型和地貌的形态特征，清晰显示山脉分水岭走向，保持地貌结构线、特征点的位置正确，处理好地貌与其他要素的关系。

（6）修编境界图层。保留国界、省界、地区界、县界和特种地区界，准确表示境界的位置。

（7）其他要素图层。长城、火山口等应予以表示。

（8）注记文字的修编参照相应图层内容的变化而进行增删。

（9）图幅接边处理。按照东南与西北向接边，以新资料为准。

（10）上述各要素分层存放。

（二）地理底图编绘数学基础

（1）投影采用高斯-克吕格投影，按 6 度分带。

（2）坐标系统采用地理坐标。

（3）高程系统采用 1985 国家高程基准。

（三）图幅分幅、编号和经纬网格

（1）图幅分幅按照 1:25 万地理图分幅原则。

（2）编号使用 1:25 万地理图图幅编号。

（3）经纬网格按照 15′，10′标准定义。

（4）各要素分层存放。

（四）地理底图编绘基本要求

（1）满足地质专业图件的需要。

（2）地图精度符合 1:25 万比例尺的要求。

（3）内容正确、完备、现势性强。

（4）图式符号符合地质图编制规范要求，各要素的制图综合符合一般制图原则，正确反映制图区域基本特征和各要素间的相互关系，各要素以数据形式，采用格式分层存放。

（5）关于地理底图内容各要素的编绘有具体的规定，参照中华人民共和国地质矿产部 1996 年 7 月 1 日发布的《1:200000 地质图地理底图编绘规范及图式 DZ/T0160-1995》的相关规定，虽比例尺稍有不同，但仍具有较强的指导意义。

二、影像单元、遥感地质解译图层数字化与编绘要求

（一）影像单元、遥感地质解译图层编绘流程

（1）影像单元、遥感地质解译图层按第三章“遥感综合数据库建设方法”中数据分层与矢量编制方法进行，即将地质要素转化为点、线、面矢量文件分层存放。或 ARCINFO 数据库中的以 E00 格式形式存在的矢量地质图层文件转换为 MAPGIS 的点、线、区文件，并检查属性字段和特征数量是否正确，否则查找原因进行修改或重新导入。

（2）线编辑。将地质界线和断层添加进去，一起进行编辑。内容包括光滑各种线条、编辑相交点、悬挂点、构成区的各种线是否封闭等。

（3）图层剪切。使用从地理图中获取的内图框剪切各个地质图层文件，删除超出边界部分。

（4）分类着色。将全部编辑好的图层按出版要求，对照属性编码字段值编辑线性和颜色，检查属性字段值是否正确。

（5）多边形拓扑处理。将编辑好的与形成地质体多边形有关的线文件添加在一起，作自动剪断线。在屏幕上作剪断线检查，没有剪断的线作互式剪断。作节点平差。进行拓扑处理，检查拓扑后形成的多边形是否正确。若发现有不正确的多边形，检查原因，返回线编辑，重作拓扑处理，直到完全正确。

（6）符号化地质图层文件。按照点、线、面的属性编码值，符号化各种地质特征，形成地质图层绘图文件。

（二）地质图层编绘基本要求

（1）正确处理地层、岩石、构造、矿床矿点等面、线、点特征的压盖关系，尽量减少信息的损失。

（2）注记字体、位置恰当，避让合理。

（3）色调协调一致、美观。用色参照中华人民共和国国家标准局 1986 年 5 月 14 日发布的地质图用色标准 1:50 万—1:100 万（GB6390—86）的相关规定。

（4）地质特征符号表示准确、规范。地质符号参照中华人民共和国国家标准局 1989 年 2 月 22 日发布的区域地质图图例 1:5 万（GB958—89）的相关规定。

三、系列遥感影像地图制作

按第一章“遥感基础影像图制作标准”规定执行。

四、成果图件整图编辑与输出表达

（一）图外整饰的编辑

图外整饰包括公里网及内图框以外的所有内容。

（1）数字化影像单元、影像岩石单元图例。

（2）数字化接图表。

（3）数字化地质图图名和图幅号。

（4）数字化比例尺。

（5）数字化影像地图。

（6）数字化物化探图及其解释推断图。

（7）数字责任表及其他说明等。

（8）调整图外整饰各部分的大小和位置，使版面协调美观。

（二）整图编辑

把地理、地质各图层、影像地图进行误差校正，添加到图外整饰中，出版前的整图编辑。编辑内容包括，各要素之间的避让关系，注记的位置是否合理，各种要素是否符合出版的要求。

（三）整图编辑与输出表达要求

（1）图面配合合理，色调协调一致、美观。

（2）点线面参数应用正确。

（3）各种线划圆滑，位置准确。

（4）各种注记字体、位置恰当，避让合理。

（5）控制整图中图名、比例尺、图例、柱状图、接图表等版面、位置、大小。

（6）版式的具体要求参照中华人民共和国地质矿产部地质出版社发行的《区域地质矿产调查工作图式图例 1:500000》（统一书号：15038·新 950）相应规定。

（7）图例、综合地层柱状、剖面图准确，层次分明。字体、表格大小合理，位置恰当。参照中华人民共和国地质矿产部地质出版社发行的《区域地质矿产调查工作图式图例 1:500000》（统一书号：15038·新 950）相应规定。

（8）图件可组合生成影像单元图、遥感地质解译图、解译影像地质图等各种形式的成果图件。

五、1:25 万遥感地质图件整饰规定

按中国国土资源航空物探遥感中心的有关规定执行。

六、图件的出版印制与数字化光盘制作

将数字化的成果图件制作成光盘或在 MapGIS 的输出模块中，将与出版有关的地理、地质、图外整饰各图层添加套合在一起，形成符合 PostScript 标准的 PS 文件，用激光发排系统，输出六色或四色胶片，出版印刷地质图。

第五章　遥感地质填图作用评价与工作流程

第一节　1:25 万遥感地质填图作用评价

遥感技术宏观性强，直观性明显等技术特性，被广大地质学者所认识。早在 20 世纪 50～60 年代的 1:20 万区域地质调查中，就已利用黑白航片进行辅助填图研究；进入 70～80 年代，我国的遥感技术从试验研究，逐步过渡到应用阶段，并在 1:5 万区域地质调查中得到了足够的重视，取得一批理想的区调成果；进入 90 年代，随着遥感传感器的发展，空间分辨率和光谱分辨率的大大提高，卫星遥感技术得以迅速发展，在区调等多个领域中广泛应用。通过本次在新疆阿尔金裸露地区、内蒙古得尔布干覆盖地区 1:25 万基础调查中遥感方法技术研究，初步探讨和总结出一套适合 1:25 万遥感地质填图的方法技术体系，编制完成两地区 8 个图幅的 1:25 万遥感地质图。研究结果表明，选择遥感技术，通过遥感系列影像图像制作，遥感填图方法系列研究与应用，利用遥感技术进行 1:25 万区域地质填图，无论在解决基础地质问题，还是在提高区调质量，加快区调步伐等方面的作用比较明显，并充分证明遥感技术是区调填图的理想技术。

一、解决基础地质问题的能力和作用

（一）三大岩类解译区分作用

运用 1:50 万或 1:25 万卫星影像图可进行三大岩类的解译区分，且效果明显。

对于沉积岩，因其成层特征明显，在遥感影像特征方面，多以层型影像信息标志显示，易于区分。如奥依亚依拉克 1:25 万幅，侏罗系大煤沟组（$J_{1-2}d$）以浅黄色彩显示，层纹信息清晰，延伸稳定。

对变质岩，因其受变形变质作用影响，地形平缓，边界构造界面明显，形成透镜状或楔形地体易于解译区分。如苏吾什杰 1:25 万幅阿尔金岩群（$AR\text{-}PT_{ae}$）；又如且末一级电站 1:25 万幅埃连卡特岩群（$AR\text{-}PT_{al}$）。

对于侵入岩体，受其构造环境和侵位因素控制及岩类的差别，它们多以特征地形地貌，色彩变化和不规则形态特征显示。

对于火山喷发熔岩，尤其是火山机构，遥感图像以清楚环形信息显示。如：出露于奥依亚依拉克 1:25 万幅新生代火山熔岩被及火山机构。

总之，由于三大岩类形成环境、成因、地质作用类型不同，各自形成具有代表性地形地貌、空间结构特征，在遥感图像上易于判别和划分，为填图单位划分方案，确定提供了依据。

（二）填图单位建立划分作用

选用影像岩石单元法，并以影像岩石单元作为填图单位的实体，对沉积地层、沉积-

火山岩地层、变质岩地层、侵入岩体单元等填图单元的建立划分具有等同性效果，并在填图单位种类划分方面具有代表群、组、段，岩群、岩组、岩段、单元、独立侵入体、序列、片麻岩体、片麻岩套等含义。

1. 岩石地层单位建立划分作用

以层型影像单元特征的变化规律为依据，结合单元内岩石类型或岩石类型组合特征，可进行不同时代地层单元的解译划分，并依据宏观影像分区特征及内部影像特征差异变化建立群级和组、段级填图单元，其效果比较明显。现以苏吾什杰 1∶25 万图幅为例加以说明：

在该图幅中共建立了影像岩石地层填图单元 14 个。用其与常规 1∶25 万区调填图单元相比（正在填制图幅），有如下数字反映：

（1）完全吻合填图单元 1 个，即祁漫塔格群（$O_{2-3}qm$）。

（2）总体吻合，但局部修订的填图单元 11 个。约占填图单元总数的 29%。

（3）重新厘订填图单元 2 个，即斯米尔布拉克组（J*xs*），白垩系（K）。

从上述数字可知，利用影像岩石单元建立的填图单元与常规填图相比基本吻合。而且通过影像特征纵横向对比还可重新厘订和修订某些填图单元。

2. 影像构造地层单位建立划分作用

该类填图单元是以构造界面作为岩群、岩组级填图单元划分的依据。岩群以宏观影像分区特征来划分。岩组以岩群内部信息变化规律来确定。现仍以苏吾什杰 1∶25 万图幅为例加以说明。

该图共建岩组 5 个，其中阿尔金岩群建立 3 个岩组，金水口岩群建立 2 个岩组。用其与相应填图结果相比总体表现出单元划分的一致性和局部的差异。其一致性表现为岩群建立划分相同，边界勾画一致。而差异性表现为岩组划分不同。例如：阿尔金 3 个岩组的划分是依据其内部影像特征及岩性组合不同而定，边界为构造界面所圈限的界面。其中第一岩组（AR-PTa^1）地层走向信息明显，延伸稳定，边界受断裂控制，构成一透镜状岩片。岩性为方解黑云石英片岩、黑云斜长片麻岩夹白云质大理岩透镜体和变粒岩。第二岩组（AR-PTa^2），以不规则爪形地貌特征显示，岩性为黑云斜长片麻岩、混合岩化黑云斜长片麻片、石榴子石黑云石英片岩；第三岩组（AR-PTa^3），地形平缓，条带状影纹发育，岩性为大理岩、黑云石英片岩、黑云斜长片麻岩。

由此可见，运用遥感技术可实现影像构造地层单位的建立与划分，填图作用明显。

3. 影像岩石谱系单位建立划分作用

该类填图单位是以非层型影像单元，环形影像单元的形态、地貌、色彩特征及其岩性变化为依据建立。通过遥感影像信息宏观分区，基本可确定侵入岩带、侵入体的空间分布，是序列归并的基础。并依据其内部影像标志的变化与差异进行单元的建立。现仍以苏吾什杰幅为例加以说明。

该图幅位于阿尔金山中段，阿尔金深断裂横贯全区的南部，构成北侧塔里木板块与南侧华南板块的分界线，岩浆活动频繁、期次多，岩石类型复杂。解译结果表明，侵入体影像标志基本清晰，可解性和可分性强。共建立侵入体单元 20 个，侵入杂岩 1 个，归并序列 5 个，现结合实际应用评价作用如下：

（1）依据宏观影像特征分区可准确地圈定侵入带、杂岩体的空空分布位置和形态。

（2）依据宏观影像差异，结合地质资料，可进行序列确定。

（3）依据宏观影像分区内影像特征的变化与差异，进行独立侵入体和单元的解译与建立。

（4）因为同一序列岩体总是呈现岩性或结构上有规律的演化，反映在遥感图像上为影像标志有规律变化。这样，可结合岩体所处的构造位置、岩体地球化学特征、同位素年龄特征、地质特征，进行序列的归并。

（5）利用环形构造组合相互切割关系分析判断不同侵入体单元先后形成顺序。

A. 单环多为一个单元岩体侵入引起；

B. 同心环表现为内环岩体形成晚，外环岩体形成早；

C. 环切环指示被切环岩体形成早；

D. 复合环，由多个环体相切，每个环内又形成环套环、环切环关系，对于这种环，它代表的是同源或不同源岩浆多期作用结果，应依具体情况而论。

（6）遥感技术可深化岩体就位机制的研究，因为遥感图像能呈现岩体的总体轮廓，岩体的形态是判断岩体就位机制的一个重要因素。另外，岩体侵位时对围岩的作用可通过遥感图像反映出来，如围岩蚀变、接触变质等。

（7）通过遥感技术对侵入岩的分布、演化规律研究，可反演本区的构造格局和演化。因为侵入岩形成与演化严格受构造控制。

（三）解决构造问题作用分析

构造信息是遥感图像上最丰富、最易提取的一种信息。这是由于断裂部位岩石破碎、扭错、地层断失、富水性等地质现象的存在而产生与断裂两侧岩石光谱特征不同而引起的。因此可依据图像上线性影像或线性影像带判定断裂、剪切带、断裂挤压破碎带的存在；也可依据不同地层单元产生的地形地貌单元、色彩、影纹图案的对称分布与圈闭判定褶皱构造的存在。还可依据地层，断裂空间形态规律性的展布判断推覆构造的存在。所以说利用遥感技术进行 1:25 万区调，在解决构造问题上，不仅可准确确定比其他方法多得多的构造形迹，而且可进行构造类型划分，达到定性或半定性研究目的。尤其根据小比例尺遥感图像显示出来的宏观构造特征，有利于构造规律分析，这点是其他任何地质方法无可比拟的。

二、遥感填（编）图质量与速度评价

应用遥感技术进行 1:25 万区调填图，其填编图质量是否满足区调填图规范要求是受多种因素控制的。

（一）遥感数据（图像）质量

遥感数据是 1:25 万遥感地质填图中，地质信息解译提取的基础信息源，因此数据时相、种类、波段组合、增强处理方法的选择直接影响遥感填图质量。原则上讲，数据时相确定依据工作区地理位置而定，作为干旱区选择无雪季节数据为宜，一般为 5～9 月份，可减少积雪覆盖的影响；作为植被覆盖地区选择春季和秋季或初冬季节为宜，这样可减少植被覆盖的影响。如果利用植被指数方法圈定地质体，当然选择夏季数据为宜。但要注意人工林的影响。而数据种类选取，主要考虑适用性和经济性的原则。相对而言，卫星数据刈幅面宽，空间分辨率和谱分辨可满足填图要求，尤其是 ETM 和 TM 数据，经济、实用性

强，与其他遥感数据相比占有优势；对于卫星合成图像，其波段组合选择合理与正确性直接影响地质信息量显示程度。通常选择 TM5、4、3 或 7、4、3 组合。5、4、3 或 7、4、3 组合接近于真彩色，地质体信息显示丰富、层次明显，色彩饱和，有利地质体解译区分。对于图像增强处理方法较多，不同的增强处理方法可突出某类地质信息，对填图单位建立划分作用明显。

为了确保填图质量，本次进行 1:25 万遥感填图过程中，对卫星数据选择依地区不同而不同，在阿尔金山地区选择了 TM、ETM、CBERS 三种卫星数据，时相为 9～12 月，卫星合成图像波段组合分别为 TM、7、4、1，ETM 融合，CBERS4、3、2。制作了 1:50 万、1:25万、1:10 万影像图系列。由于卫星数据选择季节合理，波段合成考虑到从红外线至可见光的反射特性，加之相应的图像增强处理方法，卫星影像图信息丰富，层次感强、地质体信息丰富，对构造、填图单元信息解译提取效果明显，能够满足 1:25 万解译成图要求。

在内蒙古得尔布干地区选择了 TM、SPOT、Radarsat-1 SRA 三种卫星数据，多数时相为 10 月份，少数为 4 月份。合成图像为 TM5、3、2，TM 与 SPOT 融合、SRA 与 TM 融合。镶嵌图像比例尺为 1:50 万、1:25 万、1:10 万。由于 TM 合成图像波段组合选择合理、图像信息丰富，层次感明显，地质体易于提取，确保了构造信息，火山机构信息和填图单位的解译划分。

就两地区图像解译情况分析，图面长度大于 5 cm 的断裂均能解译，图斑面积大于 1 cm^2 的地质体可解译区分，同时依据宏观影像分区和微观影像变化进行影像岩石地层单位、影像构造地层单位、影像岩石谱系单位、影像构造岩石单位的解译建立与划分，填图单位达到群级、组级、个别达到段级划分标准。

（二）影像岩石单元作为填图单位的评价

影像岩石单元是特定岩石类型或岩石类型组合的影像岩石实体，是遥感地质填图单位建立，划分的标准。它对于不同填图单位划分方案，具有不同填图单位种类意义。对于沉积岩、沉积-火山岩、浅变质岩及变质表壳岩它代表影像岩石地层单位中的群、组、段级；对于变形变质较强，构造改造的深变质岩而言，它代表影像构造地层中的岩群、岩组、岩段；对于侵入岩而论，它代表影像岩石谱系单位中的单元、独立侵入体和序列；对于深成变质侵入体，它代表着影像构造岩石单位中的片麻岩体、片麻岩套。

从以影像岩石单元作为填图单位实体的应用结果分析，群、岩群、序列或系、统、级单位的建立与遥感图像宏观影像分区相吻合，集中表现出以下关系：

（1）不同岩性大类（如沉积岩、变质岩、侵入岩）的宏观影像单元特征不同，这主要取决于不同岩类形成地质作用环境不同，岩性特点、产出状态、结构构造以及变形变质、构造改造的差异。

（2）影像标志差异明显的宏观影像单元边界多代表群或系、统、序列级填图单位的划分界线。

而组、段级填图单位，则属于宏观影像单元内的微观影像单元特征分区。它是岩石类型或岩石组合类型变化的结果。以其建立的填图单位符合或基本满足常规区调填图的填图单位建立和划分标准，经野外调查或与前人资料相比吻合性较好，只是局部地段有些差异，而产生这种差异原因有 4 点：

（1）构造作用的复杂性，导致相同单元内容的漏划或错划。

（2）受地质体规模、产状、矿物组分等因素限制，产生的不可解地质体。

（3）填图单位分层标准差异

（4）方法技术差异

总之，利用影像岩石单元作为遥感填图单位建立、划分标准及填图单位的实体，其填图精度基本满足1:25万区调要求。

（三）圈定地质体数量及边界准确性

利用遥感技术进行地质体解译区分，主要是根据不同地质体所显示的影像特征差异来进行。而这些差异是由不同地质体岩性特征，抗物理、化学风化能力不同所引起的光谱反射率差异造成的，因此，以影像岩石单元法作为区分不同地质体或填图单位是一种行之有效的方法。其解译区分效果与前人地质资料相比，不但圈定地质体数量增多，而且边界更加准确，填图单位划分更为合理。具体表现为：

（1）利用遥感技术可解译圈定出前人资料遗漏的地质体。

（2）对前人某些填图单位，进行分解和厘定，提高了填图单位划分精度。

（3）依据相同地层单位影像岩石单元的空间延伸和展布，对局部边界圈定更加准确，起到修改作用。

（四）遥感地质解译重现性

遥感技术在1:25万区调填图中的最大优势在于具有直观性、宏观性、多信息源等特点。而影像单元、影像岩石单元、单元-剖面法等技术方法又是遥感技术填图的技术保证。因此，影像单元、影像岩石单元建立划分的标准是实现遥感地质解译重现性的技术关键。就研究区8个1:25万图幅填图结果分析，A类影像单元重现性概率最大，与填图单元吻合较好，约占A级单元的60%～70%左右，这主要与A级单元建立标准有关，即特征影像体的存在。而B类影像单元与填图单元大致吻合，只是在影像单元的局部边界和局部地段产生误差，包括漏划、误划等。重现率可达40%～50%左右。C类单元属于模糊单元，遥感影像特征标志不明显，绝大部分单元为混合地质体，重现性较低，但某些单元边界显示清楚，具较高重现性。

（五）特殊影像标志地质作用评价

特殊影像标志是指对影像单元、影像岩石单元建立划分起到标志性、对比性作用的影像单元体，它可以是一个层型影像单元体，也可以是一个非层型影像单元体。其对影像单元、影像岩石单元的建立与划分具有重要作用，如1:25万瓦石峡幅标准影像地图中的显浅绿色的层型影像体，反映的是白云质灰岩、白云岩的存在，通过它的空间分布状态，可以起到准确厘定上下影像单元或影像岩石单元的作用，而表面平缓、边界清晰且圈闭的非层型影像单元，反映的是一个侵入杂岩体的存在，通过该影像标志类比后，可在图幅内圈定出多个同类岩体。

（六）编图速度

遥感技术是促进1:25万区域地质调查步伐加快的重要技术。从技术本身而论，其宏观、直观特征有利用地质现象发现与识别和地质规律的认识。而多比例、多时相、多种类遥感卫星图像，有利于地质体对比解译和区分，起达到节时、快速地区分填图单位的目的。从技术方法应用角度而论，通过影像岩石单元方法应用，同时结合前人资料分析，对

延伸稳定的影像岩石单元，以解译圈定为主，安排少量控制路线，就可达到圈划准确之目的，间接提高工作效率。对复杂地质体，起到指明攻关方向，安排工作重点，用相同的时间解决更多的问题。

第二节　遥感地质填图基本工作流程

遥感技术是一种高新技术，运用遥感技术开展1:25万区域地质填图是科技发展的必然结果。考虑到该技术自身特点，其填图基本工作流程与常规区调相比既有相同之处，也存在着明显差别。结合本次工作实践，将1:25万遥感地质填图基本工作流程划分为五大工作阶段。

一、前期工作准备

根据遥感技术特点，准备工作阶段包括：资料收集、卫星影像系列图制作和遥感影像单元图编制三项主要内容。

（一）数据资料收集

无论是常规区域地质填图，还是遥感地质填图，广泛收集前人资料尤为重要。它是深入工作的基础，对于提高区域地质研究水平和区调填图工作质量、速度及良好的社会经济效益可起促进作用。具体内容包括：

（1）地形资料。一般采用国家测绘部门批准的1:25万、1:10万、1:5万地形图。

（2）地质矿产资料。地质矿产资料的收集最好是从新到老，比例尺从大到小进行，这样除便于删除那些过时的无参考价值的资料之外，保留那些有参考价值的资料被后期成果所吸纳。要特别注意1:20万区调成果资料的收集，有利于与遥感影像单元对比分析，合理建立填图单元。

（3）地球物理资料。主要是大比例、高精度航磁数据和解释资料及报告的收集。前者可直接用于数据处理，达到解决不同地质问题的目的。而后者与遥感资料综合运用，为某些地质问题的提出提供佐证。

（4）岩石化学资料。为了保证分析结果的可靠性，最好收集具有认证资格部门的资料。

（5）同位素测年数据。标注有取样位置的数据。

（6）遥感数据图像。遥感数据是遥感地质填图的主要信息源。它包括卫星数据和航空数据两种。

对卫星数据的收集应注意季节、云量控制，一般情况下春、秋季节较好，主要减少植被和积雪影响，提高图像信息量。

由于航片飞行成本较高，加之覆盖面积有限，应尽量收集。因其分辨率高，对填图单元解译建立有利。

（二）资料的分析研究

对前人资料的分析研究是遥感地质填图的主要工作内容。具体内容包括：

（1）区域基本地质特征、构造特征，重要地质认识的了解。

（2）不同填图单位的建立、划分标准、原则及依据。

(3) 从中发现问题，确定工作目标。

(三) 遥感影像图的制作（见第一章）

(四) 遥感影像单元图的编制（见第四章第一节）

(五) 技术培训

聘请具有丰富区调经验的地质、遥感专家对参加遥感地质填图的技术人员集中授课，介绍区调填图的新理论、新方法及遥感填图的方法技术体系，使应用人员掌握具体工作方法，系统了解工作内容，提高技术素质，确保高质量完成遥感填图任务。

二、野外地质踏勘

野外地质踏勘是在前人资料分析研究和遥感影像单元图编制的基础上，对调查区进行全面的野外踏勘，具体内容包括：

(1) 影像单元岩性特征、岩石类型组合、边界性质、形成的地质作用规律了解。

(2) 宏观影像单元分区与三大岩类空间的对应关系。

(3) 影像单元与地层单位、岩体单位、构造之间的对应关系。

(4) 影像单元特征标志与地质体的关系。

(5) 了解区域矿产概况，初步掌握矿产种类，矿源场类型，主要成矿类型和矿化标志。

(一) 踏勘路线布置原则

野外地质踏勘方法采用影像单元-剖面法。踏勘路线及实测剖面线布置应遵循总体控制、重点突出的原则，具体要求为：

(1) 剖面选择要求层序完整，露头连续，构造简单，接触关系清楚，岩性组合和厚度都在区内有代表性的地段。

(2) 剖面线位置尽量选择影像单元种类齐全的地区。当受地形地貌、自然地理条件限制，可采取分段选线，以达到总体控制。

(3) 踏勘路线选择仍以控制所有影像单元为佳。

(4) 路线可以不连续，但影像单元不能遗漏。对标志特征明显，延伸稳定的影像单元，必须单独安排一条控制路线，查明其地质特征。

(二) 实测主干剖面的测制

实测主干剖面的测制之目的是通过剖面测量、分析研究，以了解各影像单元的岩石类型、结构构造、岩性组合特征、变质类型及各类单位之间的相互关系，确定填图单元，为遥感初步解译的地质图编制服务。因其填图单位构成的复杂性，不同剖面的测制要点不尽相同。

1. 沉积地层剖面测量

(1) 分层。实测主干剖面以“层”作为基本描述单位。它可以是单一岩石层，也可是岩石复合层，内部基本连续，与上下相邻层宏观可分，影像特征基本一致。垂向上岩性和任何差异都可以作为分层标志，但要求分层一定要与影像标志相吻合，保持影像与岩性的一致。

(2) 岩性。分层的岩性，可用颜色、结构、成分综合命名方式予以概括。尤其是颜色，除描述新鲜面之外，风化面颜色也很重要，对影像岩石单元标志意义较大。结构描述

应注意不同岩性的差别和变化，这样对分析岩性形成的环境、成因有利。

(3) 沉积-成岩构造观察。注意层的形态、层理类型、单层厚度，各种交错层理、层顶面的波痕、冲蚀痕、干裂，层底面和各类印痕，印模等描述。

(4) 化石。实体化石和遗迹化石不仅是生物地层学研究的主要对象，而且还是沉积环境最灵敏的指示物。描述内容为化石门类组合特征、个体形态、保存状况，分析状态与岩性及沉积构造的关系，排列的优选方位。

(5) 正常层序的识别和接触关系。识别岩层的顶、底方位是确定其新老顺序的关键。而许多沉积构造能够指示岩层的原始顶、底方向。如斜层理、冲蚀痕、干裂、遗迹化石等。

岩层间的接触关系可分为连续沉积、不连续沉积。对连续沉积的岩层，要注意岩性如何渐变过渡；不连续的沉积界面，应注意其形态，包括平整的，起伏的，有印痕或印模等，上、下岩层是否交切，有无底砾岩或古风化壳，是否存在不同的构造变化及变质现象，并查清不连续沉积原因。对于不整合，应注意在临近界面上下寻找地层时代的依据。

(6) 样品采集和系统采样是剖面测量的主要工作内容，采样的种类和数量要根据地质情况和需要来定。通常采集岩矿鉴定、岩石化学、同位素样品等。

(7) 野外记录和作图

它包括丈量记录和剖面描述部分。丈量记录包括导线号、长度、方位、坡度角等。剖面描述包括厚度、岩性、结构构造、倾向、倾角（真倾角）、取样位置及编号等。

2. 变质岩地层剖面测量

变质岩地层剖面测制一般应在填图单位确定之后实施。具本内容包括岩石类型、变形变质特征、特征矿物、变质结构、单元接触关系等观察描述及样品采集记录。

3. 火山岩地层剖面测量

火山岩地层剖面测制应依据火山喷发作用特点，结合影像特征显示，按火山盆地或火山机构分别布置实测剖面线。剖面测制要点为岩石类型组合、矿物成分、结构构造、旋回特征及样品采集等。

4. 剖面测制资料分析整理

主要根据不同影像单元剖面测制结果分析整理，建立填图单位，确定不同填图单位的影像标志及划分依据，为编制遥感初步解译地质图服务。

三、遥感初步解译地质图编制

该图是在影像单元解译图、野外踏勘剖面测制完成的基础上进行的。具体要点为：

1. 影像岩石单元建立

影像岩石单元为遥感初步解译地质图编图的基本单位。单元建立的基本原则是每个影像单元的岩性构成必须符合不同填图单元划分方案的具体要求，且要保持影像单元的独立性。

2. 影像岩石单元解译划分

以线性-单元、层型地层单元，非层型-单元、环形-单元的标志解译区分。建立划分出不同种类的填图单位，作为填图的实体，并分别表示于图面上。

3. 填图单元分类命名

对解译建立的影像岩石单元，应依其单元岩性特点、岩石类型、岩石、矿物成分、结构构造、变形变质、构造改造等特征的变化，参考新填图理论，按照影像岩石地层、影像构造地层、影像岩石谱系单位、影像构造岩石单位划分方案要求，进行填图单位种类划分。其单元命名基本参考前人资料进行。

4. 图面编辑

图面编辑是遥感初步解译地质成果有序地表达在图面上的一种过渡性成果。具体内容为：

(1) 图面地质体的表示。即不同地层单元、岩体单位、构造现象等表示。

(2) 地理要素标注。包括：地名、居民点、经纬度、公里网格标注。

(3) 图例尺寸规格，代号、花纹表示。

(4) 图名、字体、大小。

(5) 数字比例尺，线条比例尺的位置、字号。

(6) 内外图廓线的表示。

5. 出图

四、野外地质调查

野外地质调查填图的主要任务是通过影像岩石单元-剖面法与点线地质调查相结合，查明影像岩石单元的岩性构成，研究地质体的空间形态，相互关系和变化，填制地质图。

(一) 野外地质调查路线布置原则

遥感地质填图与常规地质填图野外地质路线布置有明显的不同。在路线布置中可充分利用遥感技术宏观，直观技术特性，弥补常规填图方法的局限性。因此，遥感填图野外地质路线布置的总体原则是宏观控制，重点突出，以达到解决基础地质问题为目的，具体规则如下：

(1) 对所建立的影像岩性单元均需有野外地质观测路线控制。

(2) 对影像标志清晰、延伸稳定、岩石类型符合填图单位建立划分标准的影像岩性单元仅需安排 1～2 条控制路线。

(3) 对影像标志较清晰，具有一定延伸，岩石类型基本符号填图单位建立划分标准的影像岩性单元需安排 2～3 条野外调查路线。

(4) 对可解性、可分性差的影像岩石单元以 2.5 km 间隔安排野外地质调查观测路线。

(5) 对区域构造单元划分、构造规律研究起控制作用的深大断裂应有相应的观测点控制。

(二) 野外地质调查基本内容

1. 影像岩石单元属性调查

通过野外调查，了解和掌握不同影像岩石单元的岩石类型、岩石类型组合、岩性变化规律、形成特点、相互关系及层序。对具有填图单位意义的影像岩石单元直接作为填图单元填制。而对那些与填图单位建立划分标准差距较大的影像岩石单元，经修订后使其符合填图单位建立划分标准，并填制之。

2. 构造现象调查

(1) 褶皱构造。位置、形态、产状、两翼地层单元的层序。

（2）断裂构造。地层单元的缺失，破碎，位移或平移、方向、产状性质

（3）节理。位置、类型、发育程度、密度等。

（三）地质记录

野外地质记录是对地质体或地质现象的真实描述，必须保持客观、具体、严谨求实，不应为自圆其说而对地质现象任意取舍。具体内容包括：

（1）点号。为观测点编号，可用年份＋点性＋地质点号，第一个大写字母加点号表示。如 2001D10

（2）点位。即地质点位置。用 GPS 定位经度和纬度。

（3）点性。即地质点性质。可分为界线点、岩性控制点、构造点、矿化点等。

（4）点性描述。主要描述点位和两侧地质现象的变化情况。

（5）路线地质。即两个观测点之间的地质现象描述。一般以岩层或岩性变化分段记录描述，如：①0～100 m 为砂岩；②100～200 m 为砾岩。还可用其他方式。

（6）路线顺手剖面素描图绘制。每个野外调查组在路线地质调查中必须绘制顺手剖面素描图。图面内容包括图名、图例、比例尺、岩性花纹、产状。重要地质现象应摄制照片并按卷片编号。

（四）野外手图和实际材料图

1. 野外手图

野外手图是野外地质调查用图，用于标注地质点圈画、地质体和填制填图单元界线的图件。一般采用国家测绘部门正式出版的地形图，比例尺为 1∶10 万。根据遥感填图技术特点，野外手图为具有影像岩石单元和断裂内容遥感初步解译的地质图。它是以 1∶10 万或1∶25万影像图为信息源解译编制，该手图内容除具有地质解译内容，还应标注有地质点、点号、产状、填图单元修订界线，各种样点、填图工程位置路线等。严格地讲，野外记录的各项内容均应在工作手图中找到相应的位置。

2. 实际材料图

实际材料图是遥感地质图编制的基础，是遥感室内解译成果与野外调查内容的真实表示形式。根据具体工作情况，实际材料图划分如下类型：

（1）遥感影像单元图。

（2）遥感初步解译地质图。

（3）野外调查结果图。

五、室内综合分析整理

室内综合分析整理包括最终成果图件编制和报告编写两项内容。

（一）成果图件编制

1. 遥感地质图编制

遥感地质图编制是在具有野外调查资料的遥感初步解释地质图的基础上，通过各种实际资料（岩矿鉴定、岩石化学、地质记录、实测剖面、同位素）和地球物理解释资料综合分析研究后，经填图单元修订，构造类型划分与定性，用不同的地质代号或编号表示出不同性质地质体的空间分布与相互作用关系，使其能够正确地展现地质作用的全过程。为使最终成果图件图面清晰，重点突出，真实无误，编制过程中应遵循下列原则：

（1）对某些过小、过密的地质体要进行取舍和归并，减少图面负担。

（2）对有重要地质意义，但规模较小的地质体应夸大表示，以展示其规律。

（3）对断裂构造应加以取舍，并依据其规模、切割深度、导岩、控岩性进行等级划分，分类标注。

（4）对不同构造类型及蚀变带应使用特殊的符合加以区分和标注。

（5）图面内容表达要结构合理、翔实。

（6）图名、图例、比例尺，内外图廓线、经纬度、公里网、地名注记制作要符合有关规范要求。

2. 影像地质图编制

以 1:25 万影像图为底图，叠合遥感地质图的线段及单元代号而成，并保留图例。

（二）成果报告

成果报告编写应以工作区遥感地质特征为基础，依据所掌握的各种地质资料，系统详细地论述研究方法，地层、侵入岩、构造特征和填图单元划分依据及影像特征，使分散的地质现象，从形成、发展、演化角度联系成整体，使之成为既可反映地质作用，又能表示时空关系，并且符合地质作用规律的理论总结。

第三节　1:25 万遥感地质填图方法技术体系结构及路线

一、体系结构

1:25 万遥感地质填图方法技术体系包含四大系列和一大系统（图 5-1）。它是 1:25 万遥感地质填图过程中方法技术应用的集中体现。不同系列和系统适用于不同阶段的填图应用。四大系列有：①遥感数据系列适用于填图前期遥感数据类型的选择。②遥感影像图系列适用于不同尺度地质信息解译提取，其中包含了最佳波段确定、组合选取、镶嵌技术等重要内容。③遥感填图方法系列是填图方法技术的主体。影像单元法适用于遥感图像解译分类，影像岩石单元法适用于填图单位的建立与划分，单元-剖面法适用于野外踏勘和野外地质调查，其中包含了方法应用原则、填图单位建立标准及相应的技术要求等有关的技术内容。④遥感成果图件系列可充分展示出遥感地质填图不同阶段的成果表达形式的规范化和标准化。一大系统为：1:25 万遥感地质填图集成系统适用于填图过程中各类数据采集、存储、图像处理、信息提取、人机交互解译、制图等一体化管理。其中方便、快捷的导引界面适用于遥感填图技术人员使用。

二、方法技术路线流程

结合 1:25 万遥感地质填图应用，总结归纳出以数据采集、技术方案实施、图件输出为主体的技术流程框图 5-2。

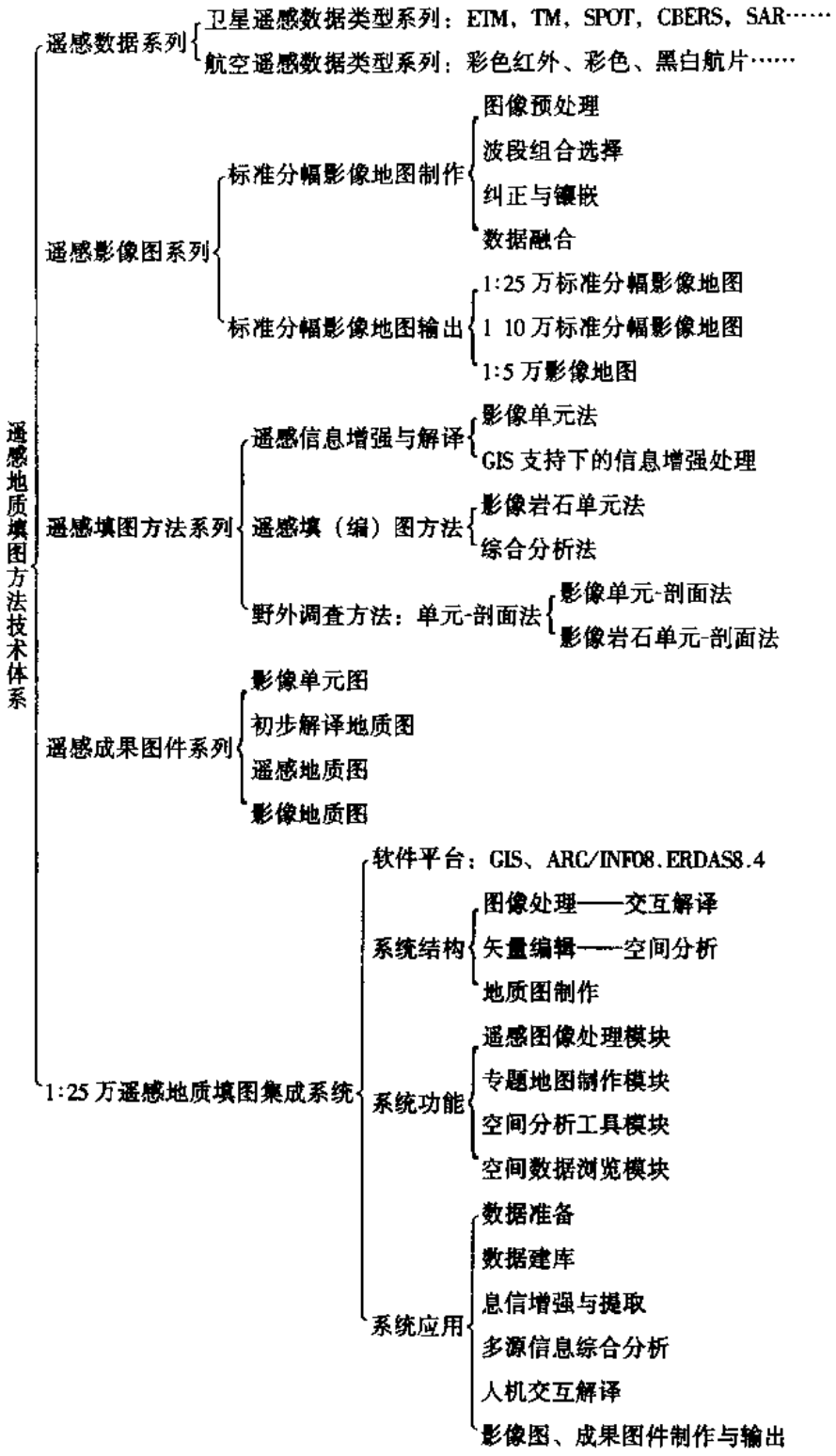


图 5-1　1:25 万遥感地质填图方法技术体系结构图

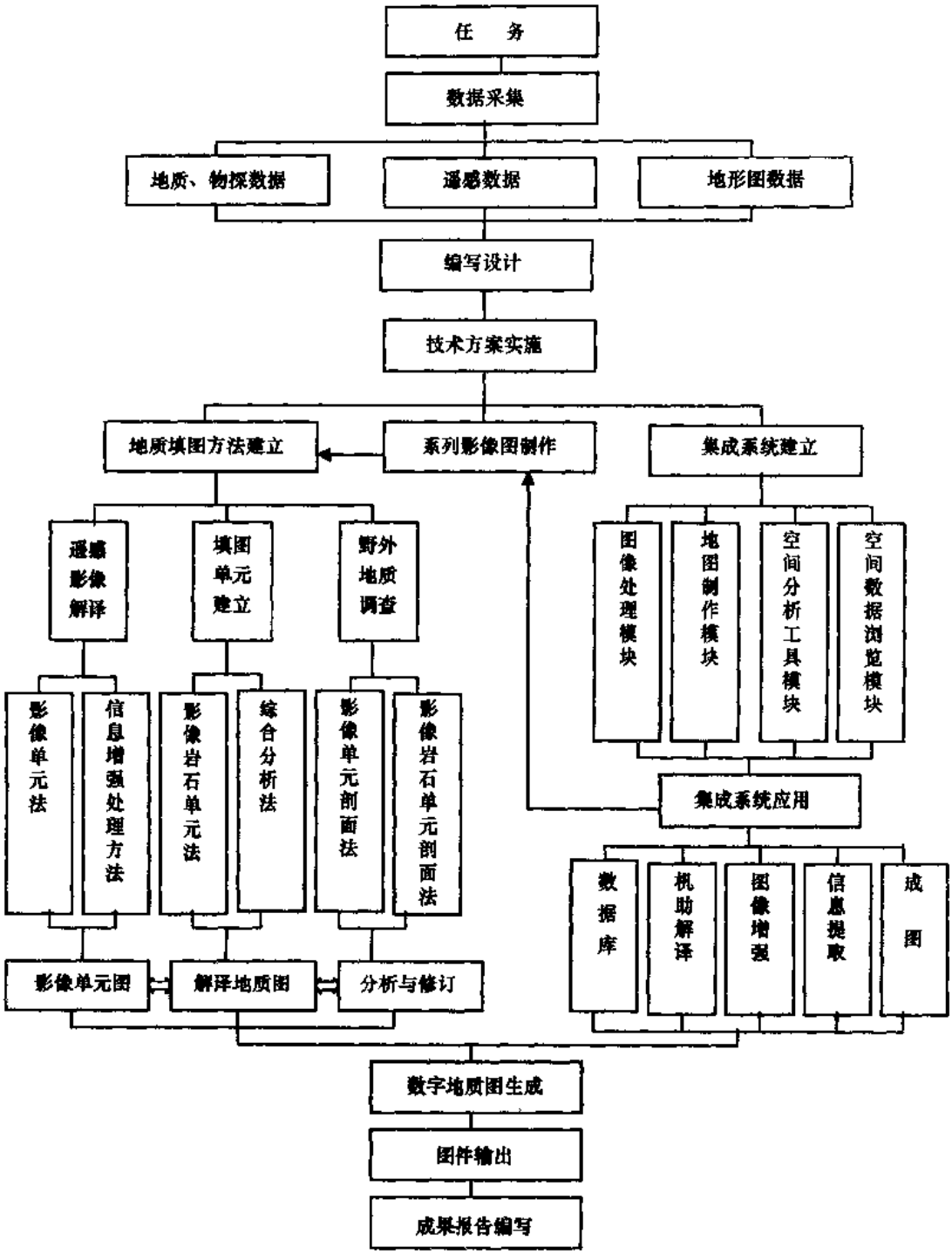


图 5-2　1:25 万遥感地质填图方法技术路线流程框图

第六章　1:25 万遥感地质填图应用

根据上述 1:25 万遥感地质填图方法应用，并以填制完的新疆 1:25 万苏吾什杰幅（J45C002004）和内蒙古 1:25 万莫尔道嘎镇幅（M51C001001）为例，介绍其方法应用的结果。

第一节　1:25 万苏吾什杰幅遥感地质填图

一、交通位置和自然地理概况

图幅位于新疆维吾尔自治区东南，地理坐标：东经 88°30′00″～90°00′00″，北纬 38°00′00″～39°00′00″，面积为 14481 km^2（彩图 6-1）。

研究区主体为近东西向展布的阿尔金山脉，北接塔里木盆地，南邻祁漫塔格山，东濒柴达木盆地。阿尔金山南坡较缓，北坡陡峻。玉苏普阿勒克塔格和阿斯腾塔格是研究区阿尔金山脉的两条主脊，呈东西向横亘于研究区的南北，其间为索尔库里盆地西缘。研究区海拔高度在 3000～5000 m 之间，最高峰位于玉苏普阿勒克塔格西端，海拔 6062 m。

二、地层单元解译划分

地层单元解译划分采用影像构造-地层和影像岩石-地层两种方案。

（一）影像构造-地层单位

1. 阿尔金岩群（AR-PT *ae*）

出露在阿尔金断裂以北，总体呈北东东向带状展布。影像特征为爪状影纹。根据影像特征差异可划分出三个岩组（彩图 6-2）。

（1）阿尔金岩群第一岩组（AR-PT ae^1）

分布于亚家普至曼达勒克山一线，呈近东西向展布。岩性为灰、浅灰色方解黑云石英片岩、黑云斜长片麻岩夹白云质大理岩透镜体和黑云斜长变粒岩。

在 TM 图像上呈黄绿、褐黄间褐红色调；在 ETM 融合图像上呈褐红间灰、灰蓝色调；在 CBERS-1 图像上呈灰黑间灰黄色调。中高山、强烈切割地貌，条带状、爪状影纹，发育平行状冲沟，中等树枝状水系。

（2）阿尔金岩群第二岩组（AR-PT ae^2）

分布于吐格曼萨依上游一带。岩性为灰、浅灰色黑云斜长片麻岩、混合岩化黑云斜长片麻岩、石榴子石黑云石英片岩。

在 TM 图像上浅黄绿、灰黄色调；在 ETM 融合图像上呈褐红间灰白色调；在 CBERS-1 图像上呈灰黄色调。在遥感影像上呈中高山、强烈切割地貌，尖棱状山脊，大块状、爪状影纹，中等似树枝状水系。

（3）阿尔金岩群第三岩组（AR-PT ae^3）

分布于阔实一带。岩性为灰黑色黑云石英片岩、黑云斜长片麻岩夹大理岩。

在TM图像上呈黄绿色调；在ETM融合图像上呈灰白间粉红色调；在CBERS-1图像上呈黄白色调。地形相对高差小，细块状、弧线状、刀砍状、麻点状影纹，密集树枝状水系。

2. 金水口岩群（AR-PT j）

分布于阿尔金断裂以南的地区，总体呈北东东向带状展布。规模小，出露零星。影像特征为爪状影纹，近似平行状水系。根据影像特征的反映，可分为两个岩性组。

（1）金水口岩群下岩组（AR-PT j^1）

分布于约马克其一带。岩性为条痕、条带状混合岩化黑云斜长片麻岩、眼球状混合岩、大理岩、斜长角闪岩夹变粒岩。

在TM图像上呈褐黄色调；在CBERS-1图像上呈灰黑间褐红色调。地貌相对高差小，爪状影纹，发育近似平行状冲沟。

（2）金水口岩群上岩组（AR-PT j^2）

分布于鱼目泉等地。岩性为白色块状石英岩夹黑云斜长片麻岩、劈理化云母石英岩、片理化砂岩。

在TM图像上呈土黄间灰黑色调；在CBERS-1图像上呈灰、灰黄色调。平坦地貌，条带状、麻点状影纹，发育近似平行状冲沟。

（二）影像岩石-地层单位

1. 长城系巴什库尔干群（Chbs）

（1）扎斯勘赛河组（Chz）

分布于米兰河河口一带。岩性为灰绿色凝灰质千枚岩、片岩夹薄层硅质岩、硅质灰岩、玄武岩、基性集块岩。

在TM图像上呈褐红间灰绿、黄色调；在ETM融合图像上呈褐红间灰蓝色调；在CBERS-1图像上呈灰黑间灰白色调。细块状、麻点状影纹。

（2）红柳泉组（Chh）

分布于米兰河、喀瓦布拉克一带。岩性为灰色绢云绿泥石英片岩、石榴子石二云石英片岩夹中薄层砂质灰岩。

在TM图像上呈灰褐、黄绿色调；在ETM融合图像上呈褐红、灰白色调；在CBERS-1图像上呈灰黑、浅褐红色调。强烈切割地貌，尖棱状山脊，大块状、刀砍状、波状、圆锥状影纹，密集树枝状水系。

（3）贝克滩组（Chb）

分布于阿斯腾塔格一带。岩性为灰、灰绿色变钙质细砂岩、粉砂岩夹灰色薄层状灰岩。

在TM图像上呈黄、黄绿色调；在ETM融合图像上呈褐红间蓝白、蓝黑色调；在CBERS-1图像上呈黄白、灰黑色调。深切割地貌，尖棱状山脊，垄状影纹，稀疏树枝状水系。

2. 蓟县系塔昔达坂群（Jxt）

1）斯米尔布拉克组（Jxs）

分布于彦达木一带。岩性为灰绿色变质砂岩、变质砾岩、石英岩、泥质粉砂质砂岩、结晶灰岩、泥灰岩。

在TM图像上呈浅褐红间灰白色调；在ETM融合图像上呈褐红间灰白色调；在CBERS-1图像上呈灰褐色调。麻点状影纹。

2）卓尔布拉克组（Jx*zh*）

分布于库木塔什一带，出露面积极小。岩性为灰色黑云石英片岩夹烟灰色薄层石英岩。

在TM图像上呈黄褐色调；在ETM融合图像上呈浅灰白色调；在CBERS-1图像上呈灰黄色调。爪状影纹。

3）木孜萨依组（Jx*m*）

依据影像特征差异，可划分出两个岩性段。

（1）木孜萨依组第一岩性段（Jxm^1）

分布于卡尔恰尔等地。岩性为灰紫色、灰白色中薄—中厚层状、厚层状石英岩、变质石英砂岩。

在TM图像上呈黄、黄绿色调；在ETM融合图像上呈灰白色调；在CBERS-1图像上呈黄白色调。较强烈切割地貌，尖棱状山脊，细块状、爪状、刀砍状影纹，密集树枝状水系。

（2）木孜萨依组第二岩性段（Jxm^2）

分布于云母矿一带。岩性为上部白云质灰岩、灰岩；下部绿泥绢云千枚岩夹灰岩和石英岩。

在TM图像上呈黄褐间灰绿色调；在ETM融合图像上呈褐红间灰白色调；在CBERS-1图像上呈灰黄色调。垄条状、条带状影纹。

4）金雁山组（Jx*j*）

分布于苏吾什杰、阿斯腾塔格等地。岩性为灰、灰白色中厚—厚层状白云岩。

在TM图像上呈浅蓝黑、黄褐色调；在ETM融合图像上呈蓝黑间灰蓝色调；在CBERS-1图像上呈灰褐、灰黑间灰黄色调。强烈切割地貌，垄岗状、团块状、条带状影纹，丰字状水系（彩图6-3）。

3. 青白口系索尔库里群（Qn*sr*）

（1）乱石山组（Qn*l*）

分布于恰克马克塔什达坂一带，出露面积小。岩性为长石石英砂岩、粉砂岩夹含砾砂岩，底部为紫红色砾岩。

在TM图像上呈褐红色调；在ETM融合图像上呈褐红间蓝白色调；在CBERS-1图像上呈浅褐红色调。垄岗状、爪状影纹。

（2）冰沟南组（Qn*b*）

分布于苏吾什杰等地。岩性为灰色中—薄层状灰岩、条带状灰岩、鲕粒灰岩。

在TM图像上呈黄白、灰白间灰黑色调；在ETM融合图像上呈灰白、灰蓝色调；在CBERS-1图像上呈灰黄、灰白色调。爪状、条带状影纹，丰字状、羽毛状、树枝状水系（彩图6-4）。

（3）平洼沟组（Qn*p*）

分布于盖吉勒克达坂等地。岩性为灰、灰白色中薄—厚层状灰岩、白云质灰岩、燧石条带白云质灰岩。

在TM图像上呈灰绿、灰蓝色调；在ETM融合图像上呈灰黑、灰蓝色调；在CBERS-1图像上呈灰色、浅灰褐色调。条带状、爪状影纹（见彩图6-4）。

4. 奥陶系

（1）额兰塔格组（O_1e）

分布于恰克马克塔什达坂一带，出露面积极小。岩性为灰色中薄—中厚层状灰岩、土黄色中厚层状灰岩、砂质灰岩夹白云岩。

在TM图像上呈灰褐、土黄色调；在ETM融合图像上呈灰褐、灰绿色调；在CBERS-1图像上呈灰黑、灰黄色调。条带状、爪状影纹。

（2）祁漫塔格群（$O_{2-3}q$）

分布于巴格托喀依山一带。岩性为灰色变长石石英岩夹硅质岩、变玄武岩。

在TM图像上呈黄褐色调；在ETM融合图像上呈褐红色调；在CBERS-1图像上呈灰黑色调。细块状影纹。

5. 下-中侏罗统大煤沟组（$J_{1-2}d$）

分布于嘎斯煤田、红石崖泉、依里瓦祁漫一带。岩性下部为灰色粉砂质泥岩、炭质页岩夹复成分砾岩；上部为紫红色中粗粒砂岩、中细砾岩、含煤层。

在TM图像上呈褐黄色调；在ETM融合图像上呈灰、灰白色调；在CBERS-1图像上呈灰黄、灰黑色调。垄条状影纹。

6. 白垩系（K）

分布于嘎斯煤田一带。岩性为紫红色砾岩、砂砾岩、粉砂岩、泥灰岩。

在TM图像上呈亮黄色调；在CBERS-1图像上呈黄白色调。垄条状影纹。

7. 第三系

（1）干柴沟组（E_3—N_1g）

分布于嘎斯煤田一带。岩性为含油砂岩、泥钙质粉砂岩、页岩、砂质泥岩夹砾岩、泥灰岩。

在TM图像上呈褐黄色调；在CBERS-1图像上呈灰、灰黄色调，平坦状、垄岗状地貌，平行状水系。

（2）油砂山组（N_1y）

分布于帕夏力克、希瓦克以南等地。岩性为紫红、棕黄色泥质粉砂岩、含油砂岩、泥岩、粉砂岩夹绿色泥灰岩、薄层石膏。

在TM图像上呈土黄色调；在ETM融合图像上呈灰白色调；在CBERS-1图像上呈灰白色调。密集扇状、羽毛状、辫状水系。

8. 第四系

（1）下更新统（Q_1）

分布于图幅东南角的塔里木盆地南缘一带。岩性为砾岩、砂砾岩、砂岩。

在TM图像上呈褐黄、灰黄色调；在ETM融合图像上呈褐红、灰、灰白色调；在CBERS-1图像上呈灰、灰黄色调。平坦地貌，链状影纹，羽毛状、平行状、辫状水系。

（2）上更新统（Q_3^{pl}）

在TM图像上呈土黄色调；在ETM融合图像上呈褐红色调；在CBERS-1图像上呈灰、灰黄色调。平坦地貌，链状、麻点状影纹。

（3）上更新统-全新统（$Q_3^{apl}{}_4$）

广泛分布于图幅的新生代盆地内。岩性为冲洪积砂、沙土、砂砾。

在TM图像上呈黄、灰黄色调；在ETM融合图像上呈浅褐红、黑灰色调；在CBERS-1图像上呈灰黑、灰黄色调。平坦地貌，光滑影纹，发育有辫状、扇状水系。

（4）全新统（Q_4^{eol}）

分布于图幅北部的塔里木盆地南缘、开尔得羊的一带。由风积中细砂、粉砂、黄土组成。主要成分为长石、石英，分选性和磨圆度较好。常形成山丘、砂山、垄岗。

在TM图像上呈褐黄、土黄色调；在ETM融合图像上呈灰褐、灰色调；在CBERS-1图像上呈灰、灰黄色调。波状、月牙状、链状、麻点状影纹。

（5）全新统（Q_4^l）

分布于乌尊硝尔湖一带。组成物质为化学堆积盐碱壳。

在TM图像上呈蓝、蓝白色调；在ETM融合图像上呈蓝、蓝白色调；在CBERS-1图像上呈灰、灰白色调。平坦地貌，光滑影纹。

（6）全新统（Q_4^f）

分布于玉苏普阿勒克河等地。组成物质为粉砂、淤泥。

在TM图像上呈蓝、蓝白色调；在ETM融合图像上呈蓝、蓝白色调；在CBERS-1图像上呈灰、灰白色调。平坦地貌，光滑影纹。

（7）全新统（Q_4^{apl}）

分布于玉苏普阿勒克一带。岩性为冲积砂、砾石、沙土。

在TM图像上呈灰黄、黑灰色调；在ETM融合图像上呈灰红色调；在CBERS-1图像上呈黑灰色调。平坦地貌，光滑影纹。发育有辫状、扇状水系。

三、侵入岩解译与单元划分

区内侵入岩解译划分采用影像岩石谱系单位和影像构造岩石单位划分方案，共建立单元15个，归并序列4个，确立混合单元1个，独立单元5个，片麻岩体2个。

（一）元古宙

1. 盖力克片麻岩（Ggn）

出露于喀拉乔喀沟等地，由2个岩体构成。岩性为灰色眼球状黑云斜长片麻岩。

在TM图像上呈黄绿间浅粉红色调；在ETM融合图像上呈褐红间灰白色调；在CBERS-1图像上呈灰黄色调。相对高差小地貌，孤立团块状、垄条状、爪状影纹（见彩图2-30）。

2. 喀拉乔喀片麻岩（Kgn）

出露于喀拉乔喀沟一带，由9个岩体构成。岩性为肉红色眼球状角闪黑云二长片麻岩。

在TM图像上呈浅褐黄、黄白色调；在ETM融合图像上呈褐红、灰白色调；在CBERS-1图像上呈灰、灰黄色调。团块状、条带状、爪状影纹。

（二）青白口纪

1. 彦达木序列

出露于彦达木一带，由4个单元岩体组成，构成一个由中性到酸性的成分演化序列。

（1）特里木萨依单元（Tδ Qh）

出露于特里木萨依一带，岩性为中细粒闪长岩，由1个岩体构成。岩体侵入于贝克滩组（Ch*b*）、斯米尔布拉克组（Jx*s*）地层中。

在TM图像上呈褐红、褐黄色调；在ETM融合图像上呈褐红、灰褐色调；在CBERS-1图像上呈灰黑色调。强烈切割地貌，麻点、斑点状影纹，近似平行状水系。

（2）苏勒克萨依单元（Sγδ Qn）

出露于苏勒克萨依一带，岩性为花岗闪长岩，由1个岩体构成。岩体侵入于特里木萨依单元中。

在TM图像上呈褐红、褐黄色调；在ETM融合图像上呈褐红、灰褐色调；在CBERS-1图像上呈灰黑色调。强烈切割地貌，麻点、斑点状影纹，近似平行状水系。

（3）克拉布纳阔单元（Kγo Qn）

出露于苏勒克萨依一带，岩性为灰白色黑云母斜长花岗岩，由1个岩体构成。岩体侵入于贝克滩组（Ch*b*）中，与红柳泉组（Ch*h*）呈断裂接触。

岩石呈灰白色，花岗结构，块状构造，矿物具弱定向性，含变粒岩捕虏体。黑云母含量5%～10%，石英含量40%～60%，斜长石含量30%～40%。

在TM图像上呈黄褐色调；在ETM融合图像上呈褐红色调；在CBERS-1图像上呈黑灰色调。麻点状、斑块状影纹。

（4）喀拉萨依单元（Kηγ Qn）

出露于喀拉萨依一带，岩性为中细粒黑云母二长花岗岩，由1个岩体构成。岩体侵入于斯米尔布拉克组（Jx*s*）、金雁山组（Jx*j*）地层中。

在TM图像上呈褐红、褐黄色调；在ETM融合图像上呈褐红色调；在CBERS-1图像上呈灰黑色调。麻点、斑点状影纹。

2. 其昂里克杂岩体（Qγ~γδ Qn）

出露于云母矿、石棉矿等地。岩性为片麻状花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩、辉长岩等，由5个岩体构成。岩体侵入于阿尔金岩群（AR-PT *ae*）、贝克滩组（Ch*b*）、木孜萨依组（Jx*m*）、卓尔布拉克组（Jx*z*）多套地层中，并被后期岩体侵入。

在遥感影像上呈圆状、椭圆状，黄间灰色调，平坦地貌，毛发状、麻点状影纹，密集树枝状、羽毛状水系（见彩图2-5b）。

细粒二长花岗岩：呈细粒结构，块状、片麻状构造。主要矿物有钾长石，粒径为1～2.5 mm，含量为30%；斜长石，粒径为1～1.5 mm，含量为35%；石英，粒径为2 mm，含量为30%；黑云母，含量为5%。另外，含少量钾长石斑晶和角闪石。

岩体中含大量斜长角闪岩残留体，大小不等，分布不均匀，最小规模为0.1～0.2 m。

斜长花岗岩：呈细粒、少斑结构，块状、片麻状构造。岩石风化面和新鲜面呈灰白色。主要矿物有斜长石，含量为55%；石英，含量为35%；黑云母，含量为10%。

花岗岩：呈细粒花岗结构，块状、片麻状构造。主要矿物有钾长石，粒径为2 mm，含量为68%；石英，粒径为3 mm，含量为26%；黑云母，含量为8%。另外，含少量斜长石。

（三）奥陶纪

1. 蛇绿岩（$\alpha\mu O$）

沿阿尔金断裂北侧分布，岩性为超镁铁质岩，由6个岩体构成。

在ETM融合图像上呈蓝色调（彩图6-5）。

2. 苏吾什杰序列

出露于苏吾什杰等地，由6个单元岩体组成，构成一个由基性到酸性的完整岩浆演化序列（见彩图2-2b）。

（1）米兰河单元（$M\nu O$）

出露于皮亚孜勒克达坂以北，岩性为细粒辉长岩，由2个岩体构成。岩体侵入于阿尔金岩群（AR-PT*ae*）地层中。

岩石呈细粒结构，块状构造。辉石含量为50%，斜长石含量为50%。

在TM图像上呈灰褐间灰蓝色调；在ETM融合图像上呈浅褐红间灰白色调；在CBERS-1图像上呈浅灰、灰黄色调。团块状、爪状影纹，放射状水系。

（2）盖吉里克拉萨依单元（$G\delta O$）

出露于盖吉里克拉萨依一带，岩性为细粒闪长岩，由1个岩体构成。岩体侵入于阿尔金岩群（AR-PT*ae*）地层中，并被英吉克萨依单元（$Y\gamma_0O$）侵入。

岩石呈灰色，细粒结构，块状构造。矿物粒度为1 mm左右，角闪石含量为40%，已黑云母化。斜长石含量为60%。

在TM图像上呈黄色调；在ETM融合图像上呈浅褐红间灰白色调；在CBERS-1图像上呈灰白色调。爪状影纹。

（3）英吉克萨依单元（$Y\gamma_0O$）

出露于英吉克萨依一带，岩性为灰白色中细粒黑云母斜长花岗岩，由1个岩体构成。岩体侵入于阿尔金岩群（AR-PT*ae*）地层和盖吉里克拉萨依单元（$G\delta O$）中。

岩石呈灰白色，中细粒结构，块状、片麻状构造。岩石已钾长石化。黑云母含量为35%～40%，斜长石和石英含量为60%～65%。

在TM图像上呈灰褐、黄绿色调；在ETM融合图像上呈浅粉红间灰白色调；在CBERS-1图像上呈灰白色调。细块状、爪状影纹。

（4）库如克萨依单元（$K\eta\gamma O$）

出露于库如克萨依一带，岩性为中粒（似斑状）黑云母二长花岗岩，由3个岩体构成。岩体侵入于阿尔金岩群（AR-PT*ae*）、金雁山组（J*xj*）、冰沟南组（Qn*b*）地层中，并被曼达勒克萨依单元（$M\eta\gamma O$）侵入。

岩石呈灰色，中粒结构和似斑状结构，块状构造。钾长石和斜长石含量为65%～70%，石英含量为20%～25%，黑云母含量为5%～10%。

在TM图像上呈黄褐色调；在ETM融合图像上呈红褐色调；在CBERS-1图像上呈灰、灰黄色调。大块状、爪状、光滑状影纹。

（5）曼达勒克萨依单元（$M\eta\gamma O$）

出露于曼达勒克萨依、苏吾什杰等地，岩性为中粗粒（似斑状）黑云母二长花岗岩，由7个岩体构成。岩体侵入于阿尔金岩群（AR-PT*ae*）、金雁山组（J*xj*）、木孜萨依组（J*xm*）地层和其昂里克杂岩体（$Q\gamma\text{-}\gamma\delta Qn$）、库如克萨依单元（$K\eta\gamma O$）中。

岩石呈灰色，中粗粒结构和似斑状结构，块状构造。钾长石含量为45%～50%，斜长石含量为25%～30%，石英含量为15%～20%，含少量黑云母和角闪石。

在TM图像上呈黄、黄白色调；在ETM融合图像上呈黄白、浅粉红色调；在CBERS-1图像上呈灰黄色调。块状、粗糙状影纹，树枝状水系。

(6) 阔实单元（KγO）

出露于阔实一带，岩性为粗粒花岗岩，由1个岩体构成。岩体侵入于阿尔金岩群（AR-PTae）中。

岩石呈灰色，粗粒结构，块状构造。长石和石英含量为90%，黑云母含量为10%。

在TM图像上呈黄白色调；在ETM融合图像上呈粉红、灰白色调；在CBERS-1图像上呈灰黄色调。细块状影纹，树枝状水系。

3. 阿克苏独立单元（A$\xi\gamma$O）

出露于阿克苏河、石棉矿一带，岩性为钾长花岗岩，由3个岩体构成。岩体侵入于阿尔金岩群（AR-PTae）、其昂里克杂岩体（Qγ-$\gamma\delta$Qb）中。

在TM图像上呈黄绿色调；在ETM融合图像上呈灰白间褐红色调；在CBERS-1图像上呈灰黄色调。爪状影纹。

（四）志留纪

玉苏普阿勒克序列出露于玉苏普阿勒克等地，由2个单元岩体构成。

(1) 巴格托喀依山单元（B$\gamma\delta$S）

出露于巴格托喀依山等地，岩性为灰白色中细粒花岗闪长岩（见彩图2-3c），由2个岩体构成。岩体侵入于金水口岩群（AR-PTj）和祁漫塔格群（$O_{2-3}q$）地层中，并被侏罗系和第四系覆盖。

在TM图像上呈褐黄、亮白色调；在ETM融合图像上呈灰红色调；在CBERS-1图像上呈灰黄色调。团块状、光滑状影纹，稀疏水系。

(2) 嘎斯煤田单元（G$\eta\gamma$S）

出露于嘎斯煤田一带。岩性为灰白色中细粒黑云母二长花岗岩。由1个岩体构成。岩体侵入于奥陶纪构造混杂岩中。

岩石呈灰白色，中细粒结构。矿物组成主要为斜长石(35%～40%)、钾长石(25%～30%)、石英(25%)、黑云母(5%～10%)。

在TM图像上呈灰、灰黄色调；在CBERS-1图像上呈灰、灰黄色调。光滑状影纹，平行状水系。

（五）石炭纪

1. 玉苏普阿勒克塔格独立单元（Y$\gamma\delta$C）

出露于玉苏普阿勒克塔格等地，岩性为灰白色中粗粒花岗闪长岩，含暗色细粒闪长岩包体。由4个岩体构成。岩体侵入于金水口岩群（AR-PTj）、奥陶纪构造混杂岩（$\alpha\psi$O）、嘎斯煤田单元（G$\eta\gamma$S）中，被大煤沟组（$J_{1-2}d$）不整合覆盖。

岩石呈灰白、肉红色，中粗粒结构。矿物组成主要为斜长石(50%)、钾长石(10%～15%)、石英(20%)、角闪石(10%～15%)、黑云母(5%)。

在TM图像上呈黄褐色调；在CBERS-1图像上呈灰、灰黑色调。折线状影纹，平行状水系。

2. 阿斯腾塔格序列

出露于阿斯腾塔格、卡尔恰尔等地，由3个单元岩体构成。

（1）库木达坂单元（K$\eta\gamma$C）

出露于库木达坂等地，岩性为灰白色中细粒含斑黑云母二长花岗岩。由11个岩体构成。岩体侵入于阿尔金岩群（AR-PT*ae*）、红柳泉组（Ch*h*）、贝克滩组（Ch*b*）、盖力克片麻岩（Cgn）、其昂里克杂岩体（Qγ-$\gamma\delta$Qn）、曼达勒克萨依单元（M$\eta\gamma$O）中，与金雁山组（Jx*j*）呈断裂接触。

岩石呈灰白色，中细粒结构，块状构造。矿物组成主要为钾长石和斜长石（65%）、石英（25%～30%）、黑云母少量。

在TM图像上呈黄、灰褐色调；在ETM融合图像上呈灰白、浅粉红色调；在CBERS-1图像上呈黄白、灰黄色调。深切割地貌，大块状、条纹状、麻点状影纹，稀疏树枝状水系。

（2）亚干布阳单元（YγC）

出露于亚干布阳一带，岩性为灰白色细粒黑云母花岗岩。由1个岩体构成。岩体侵入于阿尔金岩群（AR-PT*ae*）中，与金雁山组（Jx*j*）呈断裂接触。

岩石呈灰白色，细粒结构，块状构造。

在TM图像上呈黄绿色调；在ETM融合图像上呈灰白间浅粉红色调；在CBERS-1图像上呈灰黄色调。细块状、爪状影纹，密集树枝状水系。

（3）库木达坂东单元（KγC）

出露于库木达坂以东一带，岩性为灰白色中粒二云母花岗岩。由2个岩体构成。岩体侵入于贝克滩组（Ch*b*）、金雁山组（Jx*j*）、库木达坂单元（K$\eta\gamma$C）中。

岩石呈灰白色，中粒结构，块状构造。

在TM图像上呈褐黄色调；在ETM融合图像上呈蓝白间浅粉红色调；在CBERS-1图像上呈灰白色调。蠕虫状影纹。

（六）侏罗纪

岩体发育在阿尔金断裂以南一带。

1. 力克萨依独立单元（LδJ）

呈岩株状断续分布于阿尔金断裂南侧，岩性为灰色中细粒闪长岩，由2个岩体构成。岩体侵入于奥陶纪构造混杂岩（$o\psi$O）、大煤沟组（$J_{1-2}d$）中。

在TM图像上呈红褐色调；在ETM融合图像上呈褐色调；在CBERS-1图像上呈黄灰色调。垄条状、爪状影纹。

2. 依里瓦祁漫独立单元（L$\xi\gamma$J）

呈岩株状断续分布于阿尔金断裂南侧，岩性为灰色中细粒闪长岩，由2个岩体构成，出露面积小。岩体侵入于金水口岩群（AR-PT*j*）、奥陶纪构造混杂岩（$o\psi$O）中。

岩石呈肉红色，中细粒结构，块状构造。矿物组成主要为钾长石（60%～65%）、石英（30%）、钠长石（5%）。

在TM图像上呈褐黄色调；在ETM融合图像上呈浅粉红色调；在CBERS-1图像上呈黄灰色调。垄条状影纹。

四、构造

（一）断裂

区内断裂比较发育，主要有近东西向和北东向两组。

1. 深断裂（板块缝合线）

阿尔金断裂在区内呈近东西走向，横贯全区，两端延伸已出图幅，图幅内长度约为135 km。

阿尔金断裂南北两侧呈现出明显不同的构造特征。北侧以出露前寒武纪古老的结晶基底为主；南侧有古老的前寒武纪结晶基底、古生代地层呈零星出露，主要以中、新生代地层出露为主。沿断裂分布有奥陶纪构造混杂岩（蛇绿岩）、超基性岩体。

在遥感影像上，断裂以线性影像、直线状沟谷、断层陡坎等标志显示（见彩图2-4a）；在断裂处河流显示出有规律的转折，地层走向线突然中断等现象；另外，区内第四纪的乌尊硝尔湖有明显被切割和错动的迹象。

2. 主干断裂

（1）山前断裂

出露于图幅北部的阿尔金山脉与塔里木盆地交界部位，呈近东西向波状展布，属板块内基底断陷的边界。

在遥感影像上地质体以线状边界显示。

（2）米兰河断裂

该断裂为瓦石峡幅库如克萨依断裂的东延部分。呈近北东向展布，东止于米兰河一带，出露长度约4 km。

断裂构成长城系扎斯勒赛河组和长城系红柳泉组的断分线。

在遥感影像上以明显的直线形沟谷标志显示，局部发育破碎带和断层崖。

（3）库木达坂断裂

该断裂为瓦石峡幅吐勒克里克达坂断裂的东延部分。在区内呈北东向展布，东止于希瓦克一带，经库木达坂后呈断续分布，出露长度约95 km。

断裂构成长城系红柳泉组和长城系贝克滩组的断分线。

在遥感影像上以明显的直线形沟谷、线性影像等标志显示。

（4）塔什达坂断裂

断裂西起塔什达坂以西的米兰河一带，东经彦达木一带延伸出区，呈近东西向不规则状展布，区内出露长度约135 km。

沿断裂有串珠状泉点分布。断裂构成长城系贝克滩组和蓟县系金雁山组的断分线。

在遥感影像上，断裂以线性影像，直线、弧线形沟谷等标志显示。从遥感影像上分析，长城系贝克滩组有逆冲于蓟县系金雁山组之上的特征，因此，该断裂在力学性质上为一条逆冲断裂。

（5）云母矿断裂

断裂西起云母矿一带，向西与瓦石峡幅吐勒克里克达坂断裂的分叉断裂相接，东止于希瓦克一带。总体呈近东西向展布，局部呈北东向展布，区内出露长度约110 km。

断裂构成长城系贝克滩组和蓟县系木孜萨依组的断分线、其昂里克杂岩体与蓟县系木

孜萨依组的断分线、蓟县系金雁山组与青白口系冰沟南组的断分线。

在遥感影像上，断裂以线性影像、直线形沟谷、断层陡坎等标志显示。

（6）卡尔恰尔断裂

该断裂为瓦石峡幅萨拉木断裂的东延部分，东止于苏吾什杰以东一带。呈北东东走向，区内出露长度约 90 km。

断裂局部构成蓟县系金雁山组和太古宇—元古宇阿尔金岩群以及冰沟南组的断分线。

在遥感影像上线性特征、透镜状地质体、地层走向线在断裂处突然中断等标志显示。

（7）红旗达坂断裂

该断裂为瓦石峡幅淡水泉断裂的东延部分，东止于阔实一带。呈北东向微向南突的弧形展布，区内出露长度约 55 km。

断裂构成太古宇—元古宇阿尔金岩群不同岩组，太古宇—元古宇阿尔金岩群与青白口系冰沟南组的断分线。

在遥感影像上以直线形沟谷、线性、弧形等影像标志显示。

3. 一般断裂

区内一般断裂方向有近东西向和北东向两组，以近北东向为主，延伸规模小，部分构成岩体和地层的边界，部分为深断裂和主干断裂的次级断裂。

（二）剪切带

区内在卡尔恰尔、阔实、库木塔什力克一带发育有 4 条剪切带，在遥感影像上以细线状、条带状、刀切状影纹显示。在卡尔恰尔以北的蓟县系木孜萨依组地层中发育 1 条剪切带，长约 10 km，宽约 2.5 km，呈北东向展布。在阔实一带的喀拉乔喀片麻岩（Kgn）中发育 2 条剪切带，一条呈东西向展布，长约 7.5 km，宽约 1 km；另一条呈北西西向展布，长约 20 km，宽约 500 m。在库木塔什力克一带的太古宇—元古宇阿尔金岩群中发育一条剪切带，呈近东西向，长约 15 km，宽约 1 km。

五、矿产

研究区位于多条构造带叠合交会部位，构造运动强烈，岩浆活动频繁，成矿地质条件较为有利，具备了内生金属矿产形成的各种基础。但由于自然地理环境恶劣，多数为人迹罕至的空白区，地质找矿一直未取得突破。

1. 铜、镍矿

在阿尔金断裂南侧分布的奥陶纪构造混杂岩中，发育有铜、镍矿（化）点，与超镁铁质有关，属岩浆熔离成因。

2. 石棉矿

区内有两处小型矿床，均产于蚀变超基性岩体中。

（1）红旗达坂北石棉矿。矿床位于红旗达坂北西 12 km 处，地理坐标：东经 88°34′，北纬 38°24′。矿床由 17 个规模不等的超基性岩体组成，其分布范围南北长 1.6 km，东西宽 1 km。矿体多呈透镜状，矿石类型为含石棉蛇纹岩。

（2）七一石棉矿。矿床位于茫崖镇西 40 km 处，地理坐标：东经 89°48′，北纬 38°17′。矿石类型为含石棉蛇纹岩。

3. 煤矿

嘎斯煤田位于茫崖镇西 110 km 处，地理坐标：东经 88°48′，北纬 38°10′。煤层产于侏罗系大煤沟组中，呈透镜状、层状，为劣质褐煤。

另外，区内还有石英岩、白云岩、萤石、白云母矿点。

总之，通过该幅遥感地质填图，在基础地质和找矿等方面总结出如下认识：

（1）采用影像构造地层填图单位，划分出 2 个岩群、5 个岩组级填图单位。采用影像岩石地层填图单位，划分出 24 个填图单元。

（2）对深成侵入体，按形成的构造环境不同，划分为不同的侵入岩带。在深变质岩石中，划分出 2 个单元深成侵入岩体。另外，还划分出 21 个单元侵入岩体（包括混合单元和独立单元岩体），归并为 4 个侵入序列。

（3）划分出断裂、剪切带两种构造类型，对断裂构造，进一步划分出深断裂（板块缝合线）、大（主干）断裂、一般断裂 3 个级别，对区内构造演化、地质体边界起不同的控制作用。

（4）区内的构造地层为金成矿的矿源层，奥陶纪构造混杂岩为铜、镍、多金属的成矿有利区，剪切带为区内重要的控金构造。

（5）由于受覆盖及成矿岩体规模等因素影响，与石棉矿有关的超基性侵入体在卫星影像上很难圈定。

（6）区内的煤矿由于规模小，煤质差，不具工业开采价值。

第二节　莫尔道嘎镇幅 1:25 万遥感地质填图

一、概述

1. 自然地理概况

1:25 万莫尔道嘎镇幅位于内蒙古自治区东北部，行政区划隶属内蒙古自治区呼伦贝尔盟额尔古纳市管辖，西北端与俄罗斯接壤，地理坐标为东经 120°00′～121°30′，北纬 51°00′～52°00′，面积约为 10194 km^2（彩图 6-6）。

该图幅位于大兴安岭山脉北段西坡额尔古纳河东岸。地貌上属于中高山地，山体走向北东，海拔最高峰大秃山为 1414 m，最低为 691 m，平均海拔高度为 1000 m。区内发育的水系为额尔古纳水系，包括激流河、恩格仁河、莫尔道嘎河、金河等。除这些永久性河流外，还有季节性河流及冲沟。其中额尔古纳河于区内的西北角流过，河宽 50～150 m、深 1～3 m，河道主流为中俄国界。

区内森林茂密、沼泽草甸发育，第四纪腐殖土层平均埋深 1～1.5 m。因此，区内基岩裸露极差，仅在河谷、公路、铁路两侧或人工露头上可见少量基岩出露。

区内交通较方便，莫激公路纵贯南北，防火路及运木材路更是四通八达，而且又有牙林线铁路直达莫尔道嘎镇。

2. 研究程度

区内地质工作程度低，基本属于 1:20 万区域地质调查空白区。

现将涉及区内有关地质工作性质、程度等按不同年代简介如下：

（1）1951 年，长春地质学院刘国昌教授开始对大兴安岭地区泥盆系、石炭系—二叠

系做系统研究，著有《大兴安岭龙江满洲里间之地质》一书，首创了大磨拐河组煤系地层。

（2）1959 年，中国科学院综合考查委员会黑龙江考查队和苏联科学院生产力研究委员会黑龙江考查队，对额尔古纳河右岸及大兴安岭北段西坡进行过路线地质考查工作。

（3）1991 年，内蒙古地质矿产局编纂出版了《内蒙古自治区区域地质志》。

（4）1995～1997 年，长春地质学院、地矿部中国地质科学院矿床地质研究所、沈阳地质矿产研究所、内蒙古地质矿产勘查局所属东部各地质矿产勘查开发院等单位，对区内局部地段的地层、侵入岩、火山岩、构造、火山机构等进行过专题研究。

（5）1997 年，航空物探遥感中心完成区内部分 1:5 万航磁测量。

（6）1997 年，航空物探遥感中心完成了 1:20 万“内蒙古得尔布干森林沼泽区遥感地质试点”研究工作。

（7）1999 年，航空物探遥感中心完成了 1:50 万“大兴安岭林区矿产资源遥感调查”工作。

二、地层单元解译划分

地层解译采用影像岩石-地层单位划分方案。

通过遥感地质解译与已有最新地质资料的对比分析，区内出露地层有新元古界青白口系、震旦系，早古生界中奥陶统—下奥陶统，晚古生界下石炭统，中生界—新生界中、上侏罗统，下白垩统和第四系。

1. 新元古界

（1）青白口系加疙瘩组（Pt_3j）

在地质解译及野外调查过程中均发现新元古界青白口系，多以捕虏体形式存在于华力西中期中、粗粒巨斑或似斑状及片麻状混合花岗岩岩基之上，与盖层一般呈断层或假整合接触。并呈北东向零星分布于加疙瘩村和激流河及恩格仁河两岸地带。

在 TM 合成图像上，一般显示为叶脉状或树枝状纹理（彩图 6-7）。在地貌上往往发育为低缓垄岗状山丘和“U”型沟谷并近乎平行展布。

岩性为一套杂色石英片岩、混合岩类。属准地槽型碎屑岩夹中基性火山碎屑岩沉积。与额尔古纳河组为整合接触。

（2）震旦系额尔古纳河组（Pt_3e）

主要分布于区内北侧的额尔古纳河和激流河右岸，以及腰店北山丰林林场一带。总体呈北东向展布，其存在形式与青白口系加疙瘩组基本相同。

在 TM 合成图像上，该组影像标志比较醒目，与其他地层存在着显著的差异。它主要显示为细腻、平滑粗犷的图斑纹理（彩图 6-8）。地貌上沟谷水系不甚发育，常常形成低缓的丘陵山地。主要岩性为炭质粉砂质板岩、变质长石石英砂岩、黑云斜长片岩、云母石英片岩、变粒岩、浅粒岩、结晶灰岩、白云质硅质大理岩、大理岩和黑云斜长片麻岩。属海相碎屑岩、碳酸盐岩夹酸性火山岩沉积。

2. 下古生界

中奥陶统—下奥陶统乌宾敖包组（$O_{1-2}w$）：仅出露于西南角的二道梁地区，面积约 70 余 km^2。

在 TM 合成图像上，为平缓垄岗状地形，植被较稀疏，水系极不发育。

主要岩性为浅紫色绢云板岩、白云质粉砂质板岩、白云质变泥岩、石英岩、细砂质板岩等，属滨海-深海相陆源细碎屑岩-碳酸盐岩-火山岩组合的复理石建造。

3. 上古生界

下石炭统红水泉组（C_1h）仅分布于金林西，面积约为 3 km^2。

主要岩性为浅灰—深灰色厚层状生物碎屑灰岩、夹植物碎片泥质粉砂岩及浅灰—绿灰色粉砂岩夹粉砂质泥质板岩。

4. 中生界

1）侏罗系

广泛分布于金河两岸和莫尔道嘎镇周围，其分布面积约占全区面积的 30%。根据影像、岩性特征划分为中、上侏罗统塔木兰沟组、上库力组和伊力克得组。在 TM 合成图像上，宏观影像呈柏叶状或树枝状斑块影纹。环状或半环状地貌特征明显。

（1）塔木兰沟组（$J_{2-3}t$）

主要分布于加疙瘩大岭、奶头山、静岭、牛尔河中山等地。由一套中基性—基性火山熔岩与中基性火山碎屑岩互层组成，与上覆上库力组为不整合接触。其岩性以灰黑、灰褐色更长玄武岩、安山玄武岩、粗安岩、玄武质集块岩为主，夹少量凝灰岩、粉砂泥质岩。

（2）上库力组（J_2s）

该组地层在地貌上形成孤立或串珠状分布的环形山，同心放射状“V”沟谷（彩图 6-9）。

据资料该组划分为 3 个岩性段：一、二岩性段为一套酸性、酸碱性火山碎屑岩和熔岩，下部夹正常沉积岩，厚度巨大达千米；三岩性段为一套中酸性、酸性火山碎屑岩，厚度达千米。其岩性主要为灰白、灰绿、灰紫色凝灰岩、流纹质英安岩、粗面岩及火山角砾熔岩等。

（3）伊力克得组（J_3y）

在区内伊力克得组仅零星分布于乱石山以东及莫尔道嘎镇至潮莫一带。该套地层具有鲜明的地貌特征：在天然基岩露头上，往往发育有几组十分醒目的柱状节理。其岩性主要为安山质-玄武质火山熔岩、玄武岩、钾质粗安岩、粗面岩等，局部可见正常沉积岩夹层。与下伏上库力组呈整合接触。

2）白垩系

在 TM 合成图像上下白垩统影像标志特殊，一般为褐红色背景衬乳白色星点状细条带影像纹理。地貌特征一般为平坦的低洼地或平坦坡地，并发育有稀疏的梳状浅谷；发育的植被为低矮的次生林或蒿草。

区内存在下白垩统梅勒图组和大磨拐河组。它们分布于莫尔道嘎河下河口的南口山和潘家店，以及丰林林场、八间房等地，总面积约 80 余 km^2，与下伏上侏罗统伊力克得组呈不整合接触。下白垩统主要由火山熔岩及火山碎屑岩夹河湖相沉积组成的一套岩系，亦构成区内中生代火山断陷山间盆地（霍拉盆地）盖层的主体部分，其厚度大于千米。

（1）下白垩统梅勒图组（K_1m）

该组岩性上部为流纹岩、英安岩、火山玻璃粗面岩、凝灰熔岩及火山角砾岩；下部岩性为中基性火山岩和正常沉积岩。

（2）下白垩统大磨拐河组（K_1d）

该组岩性主要为灰白—灰黑色凝灰质粗砂岩、泥质粉砂岩、砂岩与泥岩互层，并夹数层煤。

5. 新生界

区内新生界第四系主要沿大的河流两岸或阶地及大小分支沟谷内分布。

第四纪全新世（Q_4）沉积物主要为腐殖土、泥炭、亚粘土、黑粘土、黄土、亚砂土及砂砾石等。

三、侵入岩填图单位划分

区内侵入岩约占全区基岩面积的60%。对侵入岩采用花岗岩类影像岩石谱系单位划分方案。

1. 乱石山花岗片麻岩体（LgnQn）

位于激流河南岸的乱石山以南，呈不规则带状分布。岩性为花岗片麻岩（混合花岗岩或片麻状花岗岩），花岗变晶结构，条带或块状构造。岩体一侧广布青白口系加疙瘩组地层，两者在TM图像上，个别地段存在较明显的图斑纹理差异，而有的地段两者反映出的影像纹理较近似。

2. 激流河花岗片麻岩体（JgnZ）

分布于激流河南北两岸呈不规则状岩基产出。岩性为片麻状花岗岩，具花岗变晶结构，片麻状、块状构造。在TM图像上，鱼脊状山谷发育。

3. 晚石炭世额尔古纳序列

区内晚石炭世华力西中期岩浆旋回，形成广布的花岗岩类侵入体，并多以不规则状岩基产出。依据TM图像影像特征，同时按照结构、成分演化系列，将区内华力西中期花岗岩类侵入体划分为3个单元。

（1）额尔古纳河单元（$E\gamma C$）

该单元呈带状集中分布于额尔古纳河东岸的协荣屯、乱石沟前山、牛尔山等地。岩性绝大部分为中粗粒似斑状花岗岩。

（2）太平林场单元（$T\gamma C$）

该单元分布于莫尔道嘎河北岸太平至新青林场一带，岩性为中粗粒似斑或巨斑花岗岩。在TM图像上，显示出醒目的柏叶或羽毛状影像纹理（彩图6-10），与围岩形成明显的图斑纹理及色调反差。

（3）牛耳河单元（$N\gamma C$）

该单元位于区内东部金河西岸，呈北东向带状体分布。长约50 km，宽约5 km。岩性为中粗粒二长花岗岩，中粗粒结构，块状构造。在TM图像上以醒目的羽毛状图斑纹理显示，地貌上沟谷水系不甚发育。它的南侧边界受北东向断裂控制，北侧被中生代火山岩地层不整合覆盖。

4. 中晚侏罗世莫尔道嘎序列

区内中晚侏罗世岩浆侵入活动集中发育在莫尔道嘎河以南，由多个花岗岩类侵入体构成。根据遥感特征及结构、成分变化，该序列由4个单元归并而成。

（1）八间房单元（$B\gamma J$）

出露于太平林场南的八间房一带。该单元以八间房侵入体为主体部分，另还包括有小尖山及莫尔道嘎侵入体。岩性为灰白色中细粒花岗岩或细晶花岗岩，具有中细粒花岗结构，块状构造的特点。

岩体侵入于中晚侏罗世火山岩地层内，并呈不规则岩基或岩株产出（彩图 6-11）。在区内的八道沟一带，发现下白垩统直接覆盖于侵入体之上。

（2）哈乌林山单元（$H\xi\gamma J$）

分布于区内西南部的哈乌林山、猎房和 1133 高地一带。由 3 个岩体构成。在 TM 图像上显示出典型的似羽毛状纹理。低缓的山地，“V”型水系发育。

岩性为褐红色中粗粒钾长花岗岩，中粗粒花岗结构，钾长石含量大于 30%。

（3）莫尔道嘎镇单元（$M\gamma\pi J$）

由莫尔道嘎镇东和北两个岩株组成。岩性为灰褐色中粒花岗斑岩，具斑状结构，斑晶矿物以石英为主。它们总体呈东西向展布，总面积约 10 km^2。花岗斑岩体侵入于中上侏罗统地层内。

（4）金林西单元（$J\gamma\delta J$）

位于金林西 10 km 的 1339 高地。在 TM 图像上，显示为一环形构造。由环形山体构成，围绕山体发育放射状水系。该岩体呈岩株状产出，面积约 8 km^2。侵入于中上侏罗统地层内，东侧与八间房影像单元中细粒花岗岩体呈侵入接触，西南两侧以断裂为界。

四、构造

从传统构造地质角度定位，该图幅位于兴安岭-内蒙古中华力西地槽褶皱带额尔古纳褶皱隆起地块内。遥感地质解译结果表明，区内线性信息丰富，按方向可划分为 NE—NNE、NW、EW 向三组，代表断裂构造。

在 TM 图像上线性构造及火山机构影像标志：平直的线性影像色调线和不同影像纹理区或色调分界带。地貌上发育平直沟谷或陡立崖壁（三角面）；同心或放射状沟谷和弧形沟谷及孤立分布的环形山等。

1. 断裂构造

1）北东或北北东向断裂组

区内北东或北北东向断裂最为发育，在 TM 图像上，以极其醒目的线性影像、断裂沟等标志显示。据此解译确定该组断裂 13 条，现选择典型的断裂加以概述。

（1）额尔古纳大断裂。位于中俄边境，基本与额尔古纳河谷相吻合。断裂走向北东，宽 0.5～1.0 km，长 75 km。沿额尔古纳河谷两岸发育有平直陡立的断层崖或三角面，尤其靠境内一侧，直线状陡崖更发育。另在西牛尔河地区野外见到沿河谷东岸存在一条宽约 50 m，走向北东的构造挤压破碎带。其内见到构造角砾岩及花岗岩中的长石巨斑被挤压拉长，以及后期石英细网脉和长英质脉岩的穿插现象。

综合有关资料分析认为：区内北东向展布的额尔古纳大断裂即是呼伦湖-额尔古纳深大断裂的北延段。它形成于加里东期，经华力西期活化，燕山运动继承改造而成。

（2）青年岭西-达赖沟断裂。该断裂起始于青年岭西 4 km 处，南延区外，于金河与他拉河交汇河口处东延出区。在 TM 图像上清楚地显示出一条走向北东，长 30 余 km 的线性影像带，另沿线性影像带一侧分布大小不等的环形影像（火山穹隆）具有一定的规律性；

地貌上沿线性影像带发育有断层崖或三角面，并且还存在串珠状分布的环形山等，由此认为，该断裂对区内火山活动起控制作用，属于得尔布干大断裂的一部分。

2）北西或北北西向断裂组

该组断裂多以平直而短促的线性色带显示。地貌呈深切的北西向平直沟谷。从区域地质特征上看，该组断裂十分明显地切割了前中生代的基岩，而且又控制了由下白垩统大磨拐河组构成的断陷盆地的展布形态，说明它们形成时间为燕山运动晚期。按力学性质分析，它们是北东向断裂的伴生组分，具有压扭性质。

3）东西向断裂组

区内东西向断裂不甚发育，但在TM图像上仍较醒目，共解译确定4条。它们的主要影像标志为：东西向发育的宽阔河谷及陡立的岸壁，以及线性色带或平直对头沟等。从它们横切华力西期、燕山期侵入岩和中生代沉积地层分析，该组断裂应是基底断裂的组成部分，后期具继承性活动，并对部分火山机构起控制作用，属于先压后张性质。

2. 环形构造

遥感影像特征：在TM图像上多以色调单一，单、双环或同心放射状的影纹显示，地貌上一般为正地形，存在有孤立的环状山，如金林西、达赖沟东南有呈近南北向分布的串珠状火山锥。

地质特征：从该类构造空间分布与火山盆地相关关系及岩相特征分析，它们反映的是岩浆喷发中心或火山机构的存在。

五、地质构造发展简史

根据遥感地质解译结果和已知资料的综合分析，区内地质发展史可划分出前华力西期（新元古代）、华力西期（晚古生代）、燕山期—喜马拉雅期（中生代中、晚期—新生代）三大阶段。

1. 前华力西期构造

新元古代早期，西伯利亚板块南缘增生块体回降，沉积了一套准地槽型海相碎屑岩夹陆相中基性火山岩，即青白口系加疙瘩组。晚期海槽继续回落过程中在额尔古纳河流域，沉积了一套类复理石建造相当于震旦系额尔古纳河组，并与下伏加疙瘩组保持连续沉积。该套岩系具有冒地槽性质，属深变质的碎屑岩、碳酸盐岩夹酸性火山岩-沉积建造。地质作用以断裂隆升和岩浆侵入为主导。

区内早—中寒武世由于受早加里东运动的影响，缺失中下寒武统的沉积。早中奥陶世时主要沉积了一套海相复理石建造——岛弧型基性、中基性火山岩。

2. 华力西期构造

早石炭世发生的华力西中期构造运动使区内地壳明显抬升，大量的华力西中期花岗质岩浆广泛侵位，形成喜桂图旗中华力西地槽褶皱带的额尔古纳褶皱隆起地块，构成了区内达赖沟-金林北东向中生代火山沉积岩系和花岗质侵入岩的基底主体部分。同期的华力西中期地槽褶皱带与西伯利亚板块再一次拼接，在区内局部地域接受了一套海相泥质及火山-复理石沉积建造（C_1h）。

受华力西中晚期构造运动的影响，新元古代岩系遭到变质，导致加疙瘩组和额尔古纳河组变形变质，并受岩浆侵入作用的影响，形成大小不一的块体。

3. 燕山期—喜马拉雅期构造

1）中生代地质构造运动发展阶段

区内进入中生代以后地质构造发生了显著的变化，地壳开始重新活动。晚侏罗世开始的燕山运动，断裂和岩浆喷溢活动进入鼎盛时期，形成了著名的北东向大兴安岭火山岩（侵入岩）带，即区内达赖沟—金林北东向分布的中上侏罗统（$J_{2-3}t$、J_3s、J_3y）。早白垩世局部地段出现断陷盆地，并开始接受河湖相沉积，即下白垩统大磨拐河组（K_1d）。

2）火山作用与旋回

遥感解译结果表明，区内火山岩主要存在于中生界中、上侏罗统塔木兰沟组、吉祥峰组、上库力组和伊力克得组地层内。因此，说明区内在中、晚侏罗世时只少量存在有四期亚旋回火山活动的遗迹。

（1）塔木兰沟期火山旋回

该期火山旋回发生于中晚侏罗世，以基性—中基性火山岩浆溢出为主，并交替出现少量酸性火山岩浆喷发。在喷溢旋回中形成一套厚度大于 2000 m 的玄武质夹少量安山质火山熔岩、碎屑岩及超浅成玢岩脉。呈灰黑色致密坚硬的玢岩脉，以顺层或斜穿形式密布于火山岩地层内，致使地表常常形成凸凹相间的微突起地貌景观，亦 TM 图像上显示的柏叶状图斑纹理。

（2）吉祥峰期火山旋回

该期火山旋回在区内活动甚微，仅在南部青年岭东存在一处面积约 6 km^2 的次火山岩。其岩性为碱性流纹岩、英安岩等。

（3）上库力期火山旋回

该期火山旋回是晚侏罗世后期火山活动最强烈的一次。它以中心式喷发及裂隙式溢出酸性—中酸性火山岩浆为主要特点。在强烈的火山喷发中除形成了一套巨厚（>1500 m）火山碎屑和熔岩外，在个别地段还形成并保留有部分火山穹隆和凹陷，即火山机构群遗迹。在地表上常常存在有串珠状或孤立的锥体山或同心放射状沟谷（火山锥、火山口）如金林西、达赖沟东南等地。在 TM 图像上显示出的大小不一的环形影像。

（4）伊力克得期火山旋回

该期火山旋回是晚侏罗世末期区内最后一次火山活动。它以基性—中基性火山岩浆宁静喷溢为主，形成厚度大于 200 m 的玄武质火山熔岩、钾质粗安-粗面岩，间夹碎屑岩等组成的一套岩系。

3）新生代地质构造发展阶段

区内进入新生代后，喜马拉雅构造运动影响甚微，只在莫尔道嘎河下游入河口处的平安岛一带，发育有一级阶地。

区内进入全新世后植被发育、各种哺乳动物繁衍，此时在沟谷低洼处接受湖积、洪积、冲积、坡积和残积等类型的陆相沉积。

总之，通过该幅遥感地质填图在基础地质和找矿等方面有如下认识：

（1）按影像岩石谱系单位、影像构造-岩石单位划分方案，将区内侵入岩划分出 2 个片麻岩体，7 个侵入体单元，并归并为 2 个序列 。

（2）依据地质解译结果，在区内东南部达赖沟—金林一带解译圈定出一处火山洼陷构造盆地。

(3) 在进行野外验证时在北阿布打沟脑青白口系厚层硅质板岩内，发现一条走向北西、宽 1.5～2.0 m 的蚀变构造破碎带，Au 最高含量达到 3.0×10^{-6}。

(4) 通过 1:25 万遥感地质解译编图总结认为，在 1:20 万区调空白区内先期开展遥感地质解译编图，成果可作为指导 1:25 万地面地质填图的主要依据，亦可以为野外路线调查减少一定的工作量。

(5) 根据区内青白口系加疙瘩组和震旦系额尔古纳河组的分布特点，以及结合其他资料的综合分析，认为它们是捕虏块体无根漂浮于晚石炭世侵入岩序列之上。

(6) 根据区域构造展布与已知矿产分布特点的综合分析，认为区内北东向断裂为控岩、导矿构造，而北西向展布的次级构造应属于控矿或容矿构造，据此，在今后的矿产勘查中应引起足够的重视。

结　论

通过1:25万遥感地质填图方法技术研究，结合裸露区和覆盖区各4幅1:25万遥感地质填图的应用结果，得出如下结论：

1. 以航天遥感技术为手段，以新疆阿尔金山、内蒙古德尔布干地区8幅1:25万地质调查为依托，成功地研究出一套既符合遥感技术特点，又能满足1:25万区域遥感地质填图要求，还颇具推广应用价值的1:25万遥感地质填图方法技术体系。为遥感技术广泛地应用于区调领域开辟了新途径。

2. 根据遥感技术特点，与区调实际工作相结合，总结归纳出以前期工作准备、野外地质踏勘、遥感初步解译地质图编制、野外地质调查、室内综合分析整理五大工作阶段为内容的1:25万遥感地质填图的工作流程，它具有很强的操作性。

3. 通过不同卫星数据空间分辨率、光谱分辨率等特征参数及地质应用效果分析对比，确定出ETM→TM→SPOT→CBERS-1卫星数类型顺序为遥感地质填图选择数据源的标准。并总结出TM7、4、1，TM5、4、3为裸露区最佳波段组合；TM5、3、2为植被覆盖区最佳波段组合，而ETM全色波段（PAN）与TM7、4、1，TM5、4、3，TM5、3、2融合图像，SPOT与TM5、3、2融合图像，地质信息丰富，是遥感地质填图的最佳数据组合类型。

4. 从填图应用角度出发，以不同岩类或岩石类型显示出的特征影像单元标志为依据，所创建的影像单元法、影像岩石单元法、单元-剖面法，科学地解决了区域地质填图不同工作阶段填图单元（单位）解译建立的划分标准、原则及精度要求。明确了影像单元、影像岩石单元分别作为影像单元图和遥感地质图的填图单位或实体，实现了1:25万遥感地质填图方法的系列化。

5. 通过1:25万遥感地质填图集成系统研究，建立的遥感地质影像库、矢量库和地质符号库，实现了多源数据的集成管理。尤其是建立开发的遥感图像处理模块、专题地图制作模块、空间分析工具模块、空间数据模块的集成，解决了1:25万遥感地质填图卫星影像图制作、地质成果图件制作、空间数据分析处理，以及地质信息增强处理、多源信息分析、数据挖掘等一体化技术，实现了1:25万遥感地质填图数据管理、挖掘、分析、处理、提取、人机交互解译等的系统化，为遥感地质人员填图应用提供了方便。

6. 为了推进遥感地质填图成果的系列化、标准化和数字化进程，应用研究中确定的遥感影像单元图、遥感初步解译地质图、遥感地质图、遥感影像地质图、数字图件系列为遥感地质填图最终成果表达形式，为实现数字地球工程及不同用户需求提供了方便。

7. 研究了遥感系列影像地图的制作方法，建立起卫星影像图制作的方法技术流程及相应的技术规范，为1:25万遥感系列影像图制图标准化、规范化提供了理论依据。

8. 编制的1:25万遥感地质填图方法技术，全面地论述了填图过程中的方法、技术、应用原则和技术标准，适用于遥感地质填图。同时，也为区域地质填图遥感技术应用提供了完整的方法技术模式。

参 考 文 献

1 布和敖斯尔 基于知识发现和决策规则的盐碱地遥感分类方法研究 中国图形图像学报,1991,4(11) 965～969

2 陈述彭,赵英时 1990,遥感地学分析 北京:测绘出版社

3 邸凯昌等 1997,空间数据发掘和知识发现的框架 武汉测绘科技大学学报,22(4):328～332

4 房立民等 1991,变质岩区1∶5万区域地质填图方法指南 武汉 中国地质大学出版社

5 丰茂森编 1992,遥感图像数字处理 北京:地质出版社

6 郭华东 1995,新疆北部地质矿产遥感 北京:科学出版社

7 高秉璋等 1991,花岗岩区1∶5万区域地质填图方法指南 武汉:中国地质大学出版社

8 黄桂兰,郑肇葆 1997,航片影像纹理分类方法的探讨 测绘通报,(6)38～41

9 刘勇卫等译 1993,遥感精解 北京:测绘出版社

10 刘振君等著 1990 遥感地质学基础文集 科学技术文献出版社

11 李军 1995,小波理论及其在摄影测量与遥感中应用 测绘通报,(4):8～13

12 黎夏等 1995,形状信息的提取与计算机自动分类 环境遥感,10(4):279～287

13 骆剑承等 遥感影像特征发现的稳健统计模型研究.中国图形图像学报,4(11).952～956

14 马建文,马超飞.基于空间角度理论的卫星光学遥感数据认知与挖掘 中国图形图像学报,1991,4(11) 918～923

15 濮静娟 1992,遥感图像目视解译原理与方法 北京:中国科学技术出版社

16 舒守荣,陈键,邓仁达 1988,遥感反射光谱测试与应用研究 北京:科学出版社

17 童庆禧等编著.1990,中国典型地物波谱及其特征分析 北京:科学出版社

18 魏家庸等.1991,沉积岩区1∶5万区域地质填图方法指南 武汉 中国地质大学出版社

19 王润生等编 1992,地质勘查图像分析与综合 北京:地质出版社

20 王桥,吴纪桃 1997,基于地学图形数据的地表分维计算方法研究 中国图像图形学报,2(4)

21 徐冠华等 1996,遥感信息科学的进展和展望 地理学报,51(5) 385～396

22 朱亮璞主编.1994,遥感地质学.北京:地质出版社

23 郑威,陈述彭主编 1995,资源遥感纲要 北京:中国科学技术出版社

24 周成虎等著 1999,遥感影像地学理解与分析 北京:科学出版社

25 周成虎,杜云艳等 1997,基于知识的AVHRR影像的水体自动识别方法与模型研究 自然灾害学报,6(4).100～108

26. 郑肇葆,郑宏.1998,基于遗传算法的影像纹理分类.武汉测绘科技大学学报,23(4),337～339

27 Asanki M F, Estimation of subpixel vegetation density of nature region using satellite multispectral imagery, IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 1996, Vol.34(3) 804～813

28 Benediktsson J A, Neural Network Approaches Versus Statistical Methods in Classification of Multisource Remote Sensing Data, IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 1990, Vol.28(7), 40～551

29 Benediktsson J A, and Sveinsson J R, Feature Extraction for Multisource Data Classification with Artificial Neural Networks, International journal of Remote Sensing, 1997, Vol.18(4), 727～740

30. Franklin S E and Peddle D R, Classification of SPOT HRV imagery and texture features, International Journal of Remote Sensing, Vol 25:294～304

31 Justin D Paola, and Robert A Schowengerdt, A Detailed Comparison of Backpropagation Neural Network and Maximum Likelihood Classifiers for Urban Landuse Classification, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1995, Vol.33(4), 81～995

32. John A Richards, Remote Sensing Digital Image Analysis, Springer-Verlag, 1995

33 Lacroix V, Acheroy M, Feature extraction using the constrained gradient. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 1998, Vol 53, 85～94

34 Moller－Jensen L, Knowledge－based classification of an urban area using texture and context information in landsat TM imagery, PE&RS, 56(6):899～904

35. Paul J Gibson, Introductory Remote Sensing, Digital Image Processing and Applications, St Edmundsbury Press, Bury St Edmunds, Suffolk, 2000

36 Robert K Vincent, Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing, Upper Saddle River, New Jersey 07458, 1999