

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

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:787×1092¹/₁₆
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月下发了“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型地质信息解译提取, 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-1 CCD 相机各波段的分辨率较高, 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，RADARSAT-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 $20^{\circ} \sim 49^{\circ}$ ，幅宽 $150 \text{ km} \times 150 \text{ km}$ ，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/ ($^{\circ}$)	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
EXTENDED HIGH	6	75	50 ~ 60	25	4
EXTENDED 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) / ($^{\circ}$)	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: $B \leq L/P$, 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,是因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:

$$\sigma^{\circ} = I - K + 10 \lg \left[\left\{ \frac{R_n^3}{R_0^3} \right\} \left\{ \frac{\sin a_n}{\sin a_0} \right\} \left\{ \frac{G_{\text{sys}0}}{G_{\text{sys}}} \right\} \right]$$

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；
- $G_{\text{sys}0}$ —— 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：

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

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，可不作投影误差改正。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: $(X \ Y \ Z)_p$ ——图像的物点大地坐标;

$(X \ Y \ Z)_{ST}$ ——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。

$$X = A_0 + A_1x + A_2y + A_3xy + A_4x^2 + A_5y^2 + \dots$$

$$Y = B_0 + B_1x + B_2y + B_3xy + B_4x^2 + B_5y^2 + \dots$$

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: $A = [A_0 \ A_1 \ A_2 \ A_3 \ A_4 \ \dots]^T$;

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

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

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

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

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。

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：

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

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

$$f_3(x) = 0 \quad x \geq 2$$

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

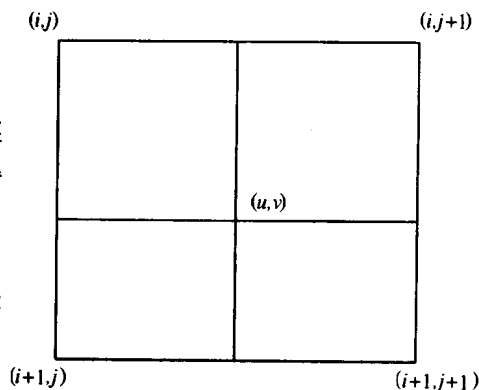


图 1-1 双线性内插法示意图