



遥感数字图像处理实验教程

(第二版)

韦玉春 秦福莹 程春梅 著



科学出版社



遥感数字图像处理实验教程

(第二版)

韦玉春 秦福莹 程春梅 著

“十二五”江苏省高等学校重点教材（编号：2015-1-014）

江苏高校品牌专业建设工程资助项目



科学出版社

北京

内 容 简 介

遥感数字图像是遥感对地观测产生的图像。通过实验练习,有助于将图像处理知识和地学知识更好的结合应用起来,从图像中挖掘地学信息。本书包括 9 个实验,分别是:实验准备;图像处理的基本操作;图像合成和显示增强;遥感图像的校正;图像变换;图像滤波;图像分割;图像分类;变化检测。各个实验均附有相关的数据。这些实验已经在地理信息科学专业的教学中应用多年。

本书适合地理学、测绘学等学科的相关专业使用,可以配合作者编写的普通高等教育“十一五”国家级规划教材,“十三五”江苏省高校重点教材《遥感数字图像处理教程》使用,也可以单独使用或作为 ENVI 软件的实验练习手册。

图书在版编目(CIP)数据

遥感数字图像处理实验教程/韦玉春,秦福莹,程春梅著. —2 版. —北京:科学出版社, 2018.5

ISBN 978-7-03-057071-0

I. ①遥… II. ①韦… ②秦… ③程… III. ①遥感图象-数字图象处理-实验-教材 IV. ①TP751.1-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 063165 号

责任编辑:杨 红 程雷星/责任校对:何艳萍

责任印制:师艳茹/封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

保定市中华美凯印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018年5月第 二 版 印张:11

2018年5月第六次印刷 字数:255 000

定价:39.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

第二版前言

遥感数字图像处理的实验练习是掌握和理解遥感图像处理方法的基本途径。在实验过程中积极观察和思考有助于加深对课程内容的理解,熟悉和创造性地使用处理方法解决实际问题。新型传感器图像的使用需要更多的创新性的解决方案。

在多年教学的基础上,作者编写了本实验指导书,供地理学和相关学科的本科生在学习遥感数字图像处理中使用。实验指导书可配合作者编写的普通高等教育“十一五”国家级规划教材《遥感数字图像处理教程》使用,也可以单独使用本指导书或将本书作为 ENVI 的练习手册。

本书包括九个实验,覆盖了基本的遥感图像处理方法。每个实验中和实验后均有一些思考问题。对这些问题的解答,有助于读者更好地掌握图像处理方法和应用。按照图像处理的前后顺序,实验内容安排如下:

- (1) 实验准备:进行显示器的色彩校正实验,并准备实验数据。
- (2) 图像处理的基本操作:包括图像的显示、图像文件合并、头文件编辑、图像剪裁、重采样等。
- (3) 图像合成和显示增强:包括图像的彩色合成和拉伸、图像的均衡化和规定化。
- (4) 遥感图像的校正:包括辐射校正和几何精纠正两部分内容,前者包括了辐射校正的基本内容和过程,后者利用给出的图像图件进行 TM 图像的几何精纠正。自定义用户坐标系和投影。
- (5) 图像变换:包括傅里叶变换、主成分变换、缨帽变换、波段运算、彩色变换、图像融合。
- (6) 图像滤波:包括图像平滑、锐化的基本方法。
- (7) 图像分割:利用直方图、图像的光谱特征进行图像分割。图像数学形态学方法练习。
- (8) 图像分类:包括 IsoData 非监督分类、训练区、最大似然监督分类、决策树方法,分类结果的后处理。
- (9) 变化检测:基于分类结果和遥感指数进行遥感图像的变化检测。

随书光盘中包括了实验所需要的典型遥感数据和相关材料,在时间允许的情况下,建议读者使用它们进行附加的实验练习,不要仅使用实验内容中提到的数据。

在第一版基础上,第二版增加了两个主要实验:遥感图像的辐射校正和遥感图像的变化检测;增补了一些实验内容,如图像统计,纹理计算,图像空间、光谱空间、特征空间,图像融合,决策树信息提取等。在实验内容中增加了实验的流程图,以强调对工作流程的理解;增加了课后思考练习和课外阅读的内容;提供了参考阅读文档和网页链接以扩展读者的知识面。提供了更多的实验数据、包括 ETM+数据、OLI 数据、RapidEye 数据和 GF1 数据等。内蒙古师范大学地理科学学院秦福莹老师和浙江水利水电学院测绘

与市政工程学院程春梅老师参与了第二版的编写。

本书包含的实验一直在南京师范大学地理信息科学专业教学中使用。

受各种条件限制，实验内容可能还存在着许多问题和不足，欢迎读者批评指正，以进一步完善相关内容。可通过电子邮件联系作者（邮箱地址：weiyuchun@njnu.edu.cn），邮件主题为“RS 实验教程”。

韦玉春

2018年2月于南京师范大学仙林校区

第一版前言

遥感是对地观测的重要手段，遥感图像是对地观测的主要结果。随着新型传感器的问世和使用，遥感数字图像迅速增加，需要更多的人员从事遥感图像处理，以从图像中挖掘各种信息。

实验指导书通过数据的实验练习，有助于将图像处理知识更好的应用起来。在教学过程中，根据本科生的知识结构和遥感数字图像处理的基本要求，我们设立了相关的实验。在多年教学的基础上，我们编写了本实验指导书，供本科生在实验中使用。

本书包括八章，共八个实验，建议实验课时为 18~24 学时。每个实验过程中和实验后均安排了一些思考问题。对于这些问题的解答，有助于更好的掌握图像处理方法和应用。

按照章节前后顺序，主要的实验内容如下：

- (1) 实验准备。主要进行显示器的色彩校正实验，并准备实验数据。
- (2) 图像处理基本操作。包括图像的显示，图像文件合并，头文件编辑，图像剪裁等。
- (3) 图像合成和显示增强：图像的彩色合成和拉伸，图像的均衡化和规定化。
- (4) 遥感图像的几何精纠正：利用给出的图像文件进行 TM 图像的几何精纠正。自定义用户坐标系和投影。
- (5) 图像变换：傅里叶变换，主成分变换，缨帽变换，代数运算和彩色变换。
- (6) 图像滤波：图像平滑、锐化的基本方法练习。
- (7) 图像分割：利用直方图、图像的光谱特征进行图像分割。图像数学形态学方法练习。
- (8) 图像分类：IsoData 非监督分类和最大似然监督分类方法练习，分类结果的后处理。

本实验指导书可配合作者编写的“十一五”国家级规划教材《遥感数字图像处理教程》使用。您也可以单独使用本指导书或将本书作为 ENVI 的练习手册。

随书光盘中包括了实验所需要的一些典型数据和相关材料，在时间允许的情况下，建议您使用它们进行实验练习，不要仅使用内容中提到的数据。

实验内容设置的基本原则是：验证+思考。在各个实验中和实验后安排了一些思考题。对这些问题的回答有助于您加深对图像处理算法的理解。

本书中的相关实验已经在近 5 年的地图学与地理信息系统专业的本科教学实验中使用。编写完初稿后，研究生周宇对书中的实验进行了重复性实验，并重新按照 1:1 保存了实验图片。南京师范大学地图学与地理信息系统专业本科生使用本书的内容进行了实验练习和检查。

受知识面和材料的限制，本书尚存在着许多的问题和不足。我们期待您的指导和批评，以进一步完善补充相关的内容。

请通过电子邮件进行联系，邮件主题：**RS 实验教程**。

韦玉春

Wyc98@sina.com

2011年6月于南京师范大学仙林

实验内容和实验安排

根据内容和工作量，建议每个单元的实验时间为 2~4 课时。全部实验需要 24~36 课时。真正的掌握这些方法则需要更多的时间。

实验编号和实验名称	主要实验内容	数据	附加	建议时数/小时
一 实验准备	显示器的色彩校正	TM 图像局部 ETM+图像局部 IKONOS	5 个显示器校正工具 2 个校正参考图像文件 3 个软件文档	2
二 图像处理 的基本操作	设置头文件 窗口连接 合并图像文件 保存图像文件 图像重采样 图像剪裁 图像统计 图像纹理计算 图像空间、光谱空间和特征空间			3~6
三 图像合成和 显示增强	彩色图像合成 图像拉伸 图像均衡化 图像规定化	两期 TM 数据		2~4
四 遥感图像的校正	辐射校正：计算大气顶面反射率，直 方图和暗像元相对校正，FLAASH 大气校正，QUAC 大气校正，地表 辐射校正 几何精纠正	19971018 完整的一景 TM 数据，匹配的 DEM 数据 几何精纠正误差评估 模板.xlsx 图像-图像纠正的图 像实例	地面辐射校正程序	3~6
五 图像变换	傅里叶变换 波段运算 K-L 变换 K-T 变换 色彩变换 图像融合	SPOT 图像数据 IKONOS 图像数据 L8 图像数据 GF1 图像数据 其他彩色图像		3~6

续表

实验编号和实验名称	主要实验内容	数据	附加	建议时数/小时
六 图像滤波	均值滤波 高斯低通 中值滤波 罗伯特梯度 SOBEL 梯度 拉普拉斯梯度 定向滤波 自定义滤波	中巴卫星的噪声图片 其余遥感图像和彩色 图片		2~4
七 图像分割	直方图进行图像分割 彩色图像分割 文字图像分割, 抑制噪声 利用图像的剖面分析差异信息 提取水体信息 提取图像中的线性地物信息 进行图像形态学处理 区域标识 栅格矢量化	典型的彩色图片		3~6
八 图像分类	非监督分类 监督分类, 分类后处理 决策树	ETM+图像 决策树提取水体的论 文、数据和模型		3~6
九 变化检测	基于遥感指数的变化检测 分类后变化检测 变化检测后处理 高空间分辨率图像的变化检测	两期 L8 局部图像和分 类结果 两期 RapidEye 局部图像	计算类别均值程序	3~6

目 录

第二版前言

第一版前言

实验内容和实验安排

实验一 实验准备	1
一、目的和要求	1
二、实验内容	1
三、ENVI 遥感数字图像处理系统介绍	1
四、传统界面的 ENVI	2
五、集成界面的 ENVI	5
六、查看软件的帮助信息	5
七、常用的遥感数字图像处理系统	6
八、显示器的色彩校正	6
九、实验数据	9
十、课后思考练习	10
十一、课外阅读	11
实验二 图像处理的基本操作	12
一、目的和要求	12
二、实验内容	12
三、图像处理的基本工具	13
四、课后思考练习	32
五、程序设计	33
实验三 图像合成和显示增强	34
一、目的和要求	34
二、实验内容	34
三、图像处理实验	34
四、课后思考练习	44
五、程序设计	45
六、课外阅读	45
实验四 遥感图像的校正	46
一、目的和要求	46

二、辐射校正实验·····	46
三、几何精纠正实验·····	56
实验五 图像变换 ·····	70
一、目的和要求·····	70
二、实验内容·····	70
三、图像处理·····	70
四、课后思考练习·····	92
五、程序设计·····	92
六、课外阅读·····	93
实验六 图像滤波 ·····	94
一、目的和要求·····	94
二、实验内容·····	94
三、图像处理实验·····	94
四、课后思考练习·····	107
五、程序设计·····	107
六、拓展实验·····	108
七、课外阅读·····	108
实验七 图像分割 ·····	109
一、目的和要求·····	109
二、实验内容·····	109
三、图像处理实验·····	109
四、课后思考练习·····	126
五、程序设计·····	126
六、拓展实验·····	127
七、课外阅读·····	127
实验八 图像分类 ·····	128
一、目的和要求·····	128
二、实验内容·····	128
三、图像处理实验·····	129
四、课后思考练习·····	142
五、程序设计·····	142
实验九 变化检测 ·····	143
一、目的和要求·····	143
二、实验内容·····	144
三、图像处理实验·····	145

四、课后思考练习	157
五、程序设计	158
附录 1 实验报告要求	159
附录 2 实验报告模板	160
附录 3 遥感数字图像处理实验的相关软件	162
附录 4 随书光盘内容说明	164

实验一 实验准备

一、目的和要求

1. 目的

掌握显示器的色彩校正方法。

2. 要求

了解 ENVI 遥感数字图像处理系统的基本功能、各功能之间的主要关系。
能够通过在线帮助文档进行自主学习。

了解主要遥感图像处理软件系统的特点和功能。

能够使用免费工具对显示器进行基本的色彩校正。

3. 软件和数据

1) 软件

ENVI 的最新版本。请咨询相关的厂商。

显示器颜色校正工具。随书光盘目录：“实验准备\显示器色彩校正工具”。

2) 实验数据

随书光盘目录：“实验准备\数据”。

二、实验内容

(1) 安装 ENVI 图像处理软件。

(2) 浏览主要的遥感数字图像处理系统的主页。

(3) 校正显示器。

(4) 拷贝实验数据。

三、ENVI 遥感数字图像处理系统介绍

软件：ENVI (The Environment for Visualizing Images) 5.3 或更高的版本。

公司：Harris Geospatial Solutions。

主页：<http://www.harrisgeospatial.com/ProductsandTechnology/Software/ENVI.aspx>。

2017 年，ENVI 的版本为 5.41，可在 32 位和 64 位操作系统上运行，用于遥感数字图像处理和分析。

ENVI 是功能齐全的遥感图像处理系统，可处理、分析并显示多光谱数据、高光谱数据和雷达数据，界面友好、工具多，便于进行数据可视化分析和交互性探索性分析。

ENVI 中的图像处理基于像素和波段。图像文件打开后，所包括的波段显示在一个列表中 (Available Bands List)，可以被系统所有工具引用。如果图像的大小相同，那么可以组合利用各种工具进行图像处理。列表中的“波段”可以是原始遥感图像原有的，

也可以是图像处理后的结果（使用波段作为变量的指代），可以具有不同的数据类型。

ENVI 的处理功能通过菜单调用，通过窗口对话框进行参数的选择。

ENVI 使用 IDL (Interactive Data Language) 编写，许多特性与 IDL 语言的特性紧密相关。IDL 是一个用于交互式数据分析和数据可视化的计算环境，将数学分析、图形显示技术与功能强大的面向数组的结构化语言结合在一起。利用 IDL，可以快速扩充 ENVI 的处理能力，解决实际问题的效率更高。ENVI 对于要处理的图像波段数没有限制，可以处理几乎所有的卫星图像格式，如 Landsat、IKONOS、SPOT、RADARSAT、NOAA、EROS 和 TERRA 等，并接受新的传感器信息。

ENVI 的遥感影像处理功能包括：几何校正和辐射校正、图像增强、滤波、变换和分类、多光谱分析、高光谱分析、雷达分析、地形分析、GPS 连接、正射影像图生成、三维图像生成，二次开发调用的函数库、制图、数据输入/输出等。ENVI 支持各种投影类型和自定义投影。ENVI 包括完整的高光谱数据处理工具，可有效地进行高光谱图像的处理、分析分类和土地利用动态监测。分类及制图输出中可以使用汉字标注。

ENVI 的矢量工具可以进行屏幕数字化、栅格和矢量叠合，建立新的矢量层、编辑点、线、多边形数据，进行缓冲区分析，创建、编辑属性表并进行矢量层的属性查询。

ENVI 具有地形分析和三维地形可视化功能，能按用户制定路径飞行，产生动画序列并输出为 MPEG 文件，便于用户演示成果。

ENVI 使用 SARscape 工具处理微波数据，提取 CEOS 信息并浏览 RADARSAT 和 ERS 数据。可用天线阵列校正、斜距校正、自适应滤波等功能提高数据的利用率。ENVI 可以处理极化雷达数据，从 SIR-C 和 AIRSAR 压缩数据中选择极化和工作频率，可以浏览和比较感兴趣区的极化信号，创建振幅图像和相位图像。

ENVI 提供了两种界面。①多窗口界面，界面可以打开多个窗口进行对比，称为传统界面。如果工作偏重于数据处理和探索性分析，优先推荐在此界面下进行。②集成界面，向 Office、ArcGIS 和 ERDAS IMAGINE 等软件的界面风格靠拢，专用的图像处理功能在工具箱中。如果仅仅是图像处理，或具有了完整的图像工作流程，建议使用此界面。

四、传统界面的 ENVI

传统界面的 ENVI 正常启动后的菜单构成如图 1.1 所示。主菜单和每个对话框均为单独的窗口。一个图像同时在三个窗口中显示：显示整个图像的全局窗口 (Scroll)、显示 1:1 图像的图像窗口 (Image)、放大或缩小显示的缩放窗口 (Zoom)。这些窗口可以在多个显示器上显示，且各个图像窗口可以相互连接，从而极大地方便了图像处理和分析。

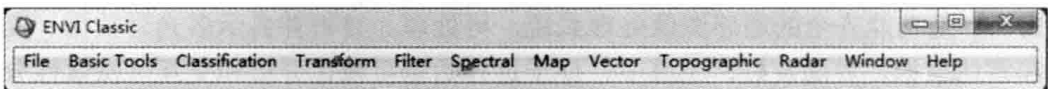


图 1.1 传统界面的 ENVI

在 ENVI 中，基本的图像处理操作流程为：打开图像文件，合成显示图像；从主菜单中选择图像处理功能，再选择相关的参数，设定待处理的图像和输出图像，进行图像处理；显示对比图像处理结果；合并不同处理结果为新的图像，进行新的处理，或将结果输出转存为文件。

1. 文件管理 (File)

文件菜单管理文件读写和系统设置，进行相关的文件和项目的管理。通过该菜单，可把不同类型的遥感图像文件读进 ENVI，进行文件转换和处理。

菜单中图像文件被分为四类：

- (1) 常用的多光谱图像，按照卫星和传感器来命名，如 Landsat 的 Fast、SPOT 等。
- (2) 特殊格式的图像，如雷达图像、激光图像等。
- (3) 其他专业遥感图像处理软件产生的图像，包括 PCI、ERDAS IMAGINE 和 ER Mapper 等。
- (4) 通用格式的图像，如 bmp、tif 等。

打开的图像可以导出为 IDL 变量，然后在 IDL 中进行命令行或程序化处理。IDL 中的变量也可以导入为图像，在 ENVI 中进行处理。

通过文件保存操作，打开的图像可以转换为其他格式的图像文件。

2. 基本工具 (Basic Tools)

Basic Tools 菜单提供了基本的图像处理功能。包括：图像重采样、掩膜处理；图像格式转换；图像统计、空间统计、量测工具和变化检测。图像的兴趣区 (Regions of Interest) 用于监督分类、波段运算 (Band Math)、数据拉伸 (Stretch Data)、图像镶嵌、图像预处理等。

预处理 (Preprocessing) 子菜单中包括图像辐射校正、针对特定传感器的工具和通用工具等。

3. 变换 (Transform)

图像变换是将图像数据转换到另一种数据空间表达的图像处理方法，通过简单或复杂的方法来实现。变换目的是提高信息的表达能力。变换后的图像比原始图像在某些方面更易于处理和信息提取。

主要方法有：图像锐化；彩色变换、主成分变换、缨帽变换；计算图像比值，计算 NDVI 值；图像的拉伸，如去相关拉伸、饱和度拉伸等。

4. 滤波 (Filter)

图像滤波利用邻域信息进行图像增强，方法包括卷积 (空间域滤波)、图像形态学、纹理、自适应滤波和傅里叶滤波 (频率域滤波)，强调滤波核的应用。

卷积和形态学滤波在空间域进行。卷积是最常用的图像滤波方法，包括图像平滑和锐化的主要算法，如中值滤波、拉普拉斯变换等。形态学滤波以图像的数学形态学为基础对图像进行处理，如膨胀和腐蚀运算。纹理包括同生测度 (occurrence) 和共生测度 (co-occurrence)。自适应滤波器主要用来处理雷达图像，其特点是在抑制噪声的同时保留图像的边界信息和细节。傅里叶滤波在频率域对图像进行滤波，主要用来提取或去除图像中的周期成分。

5. 分类 (Classification)

分类是图像处理的重要内容,包括监督分类、非监督分类和决策树分类,波谱端元收集和分类后处理等。其中,监督分类方法包括平行管道方法、最小距离方法、马氏距离方法、最大似然法、光谱角方法、光谱信息散度方法、二值编码方法、神经网络分类和支撑向量机分类等。非监督分类包括迭代自组织方法、 k 均值方法。分类后处理中,包括类别统计、混淆矩阵、多数/少数分析、类的聚块、类的筛选、类的合并、类的叠加、缓冲区、区域标识(图像分割)及分类结果矢量化等。

6. 波谱 (Spectral)

波谱工具用于多光谱和高光谱图像及其他波谱的数据分析,是 ENVI 区别于其他软件的重要特征。包括:波谱库的构建、重采样和浏览;波谱分割;波谱运算;波谱端元的判断;波谱数据的 N 维可视化;波谱映射;线性波谱分离;匹配滤波;包络线去除及波谱特征拟合等。

7. 地图 (Map)

用于建立遥感图像与地图的关联。主要功能包括:图像的配准(几何精纠正)、正射投影(正射校正)、几何校正和图像镶嵌;地图坐标和投影转换;用户自定义投影;转换 ASCII 坐标;连接 GPS 等。

8. 矢量 (Vector)

用于对矢量地图进行转换等。包括:打开、建立矢量文件、将栅格图像(包括分类图像)转化为 ENVI 矢量文件,不规则点数据的栅格化,将 ENVI 矢量文件(EVF)、注记文件(ANN)及感兴趣区(ROI)转化为 DXF 格式的文件,图像数字化等。

9. 地形 (Topographic)

用来对数字高程数据 DEM 进行特征提取和分析。包括:计算坡度、坡向和不同的曲率值;生成一幅图像显示河道、山脊、山峰、沟谷、平原;创建山区阴影图像(Create Hill Shade Image);替换数字高程数据中的坏值、不规则数据的栅格化、转换等高线为 DEM、3D 显示等。

10. 雷达 (Radar)

ENVI 为分析探测雷达图像及 SAR 系统(如 JPL 的极化偏振 AIRSAR 与 SIR-C 系统等)提供了标准化的工具,可以对 ERS-1、JERS-1、RADARSAT、SIR-C、X-SAR 和 AIRSAR 数据及其他的 SAR 数据进行处理。ENVI 也可以处理 CEOS 格式的雷达数据(包括来自其他雷达系统的 CEOS 格式数据)。

多数 ENVI 处理功能本身就包含雷达数据的处理能力,如所有的显示功能、拉伸、颜色处理、分类、配准、滤波、几何校正等。另外,ENVI 提供了分析极化雷达数据的专用工具 SARscape。

11. 窗口管理 (Window)

用于管理 ENVI 显示和绘图窗口,包括打开新窗口、窗口最大化、窗口间链接显示、关闭窗口、访问可用波段列表和可用矢量列表;浏览显示窗口的信息、浏览显示图像中光标位置和像元值、从显示窗口中收集点、打开窗口查找工具、显示鼠标的按钮信息等。

12. 帮助

ENVI 的帮助系统可以方便地按照关键词查找帮助内容，可以对感兴趣的内容设置书签，以便于将来阅读。

五、集成界面的 ENVI

集成界面的 ENVI 使用一个框架进行功能管理，主菜单比较简洁，各个图像处理功能模块作为工具箱中的工具（图 1.2）。窗口的上部为主菜单条和图像显示控制按钮，下部从左向右分别为图像文件管理区、图像显示区和图像处理功能模块列表区。

在此界面下，图像处理的基本操作流程为：打开图像文件，系统按照默认的设置显示图像；从工具箱中选择图像处理功能，选择相关的参数，设定待处理的图像和输出图像，进行图像处理；对比显示图像处理结果，保存处理结果。

但是，由于图像显示被限制在单一的框架内，限制了更多图像的对比显示，这给大图像处理和多图像的联合分析带来了不便，也不适用于多显示器。

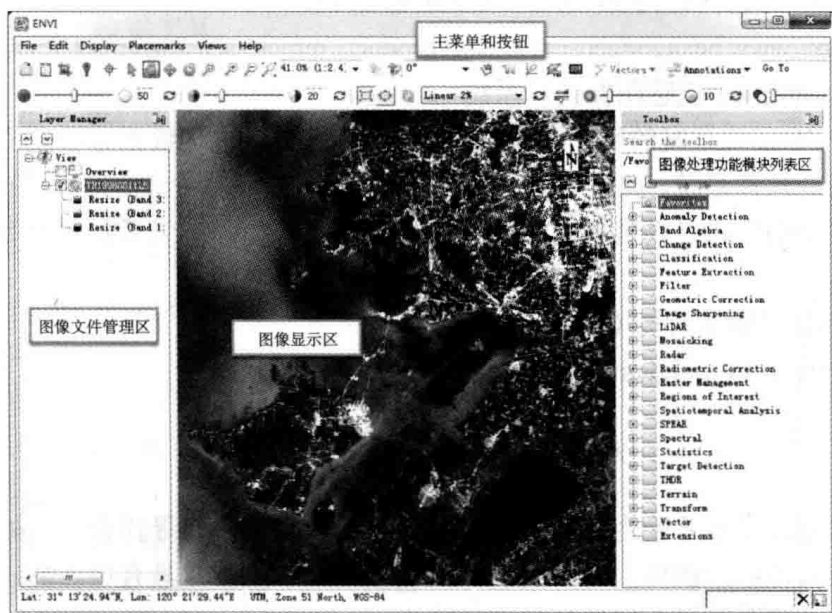


图 1.2 集成界面的 ENVI

六、查看软件的帮助信息

启动传统界面的 ENVI。点击主菜单“Help”→“Start ENVI help”，阅读帮助文件。从“index”中，输入“display images”，查看帮助信息。

输入“TM”，查看相关的帮助信息。