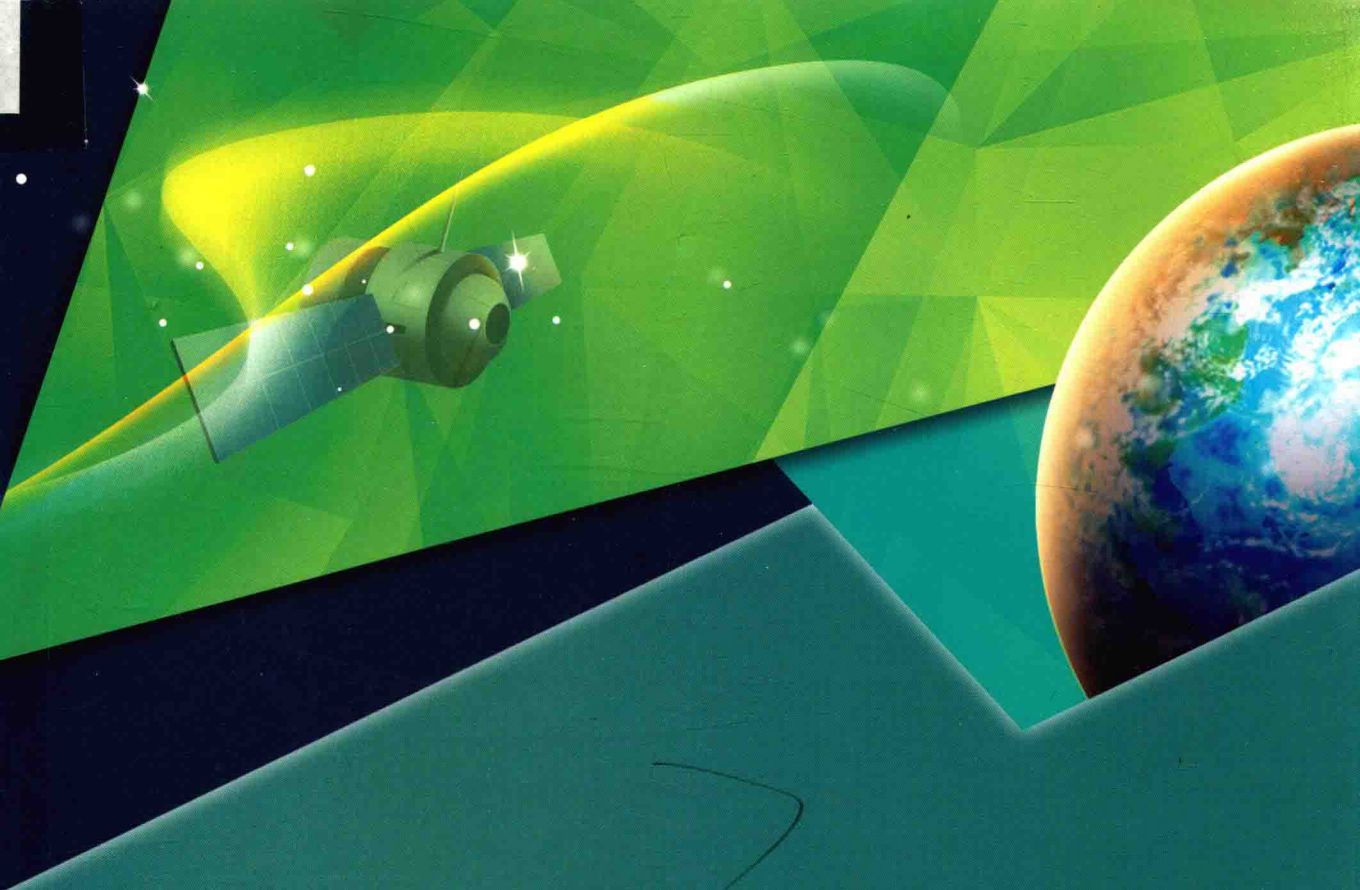




高等学校遥感信息工程实践与创新系列教材

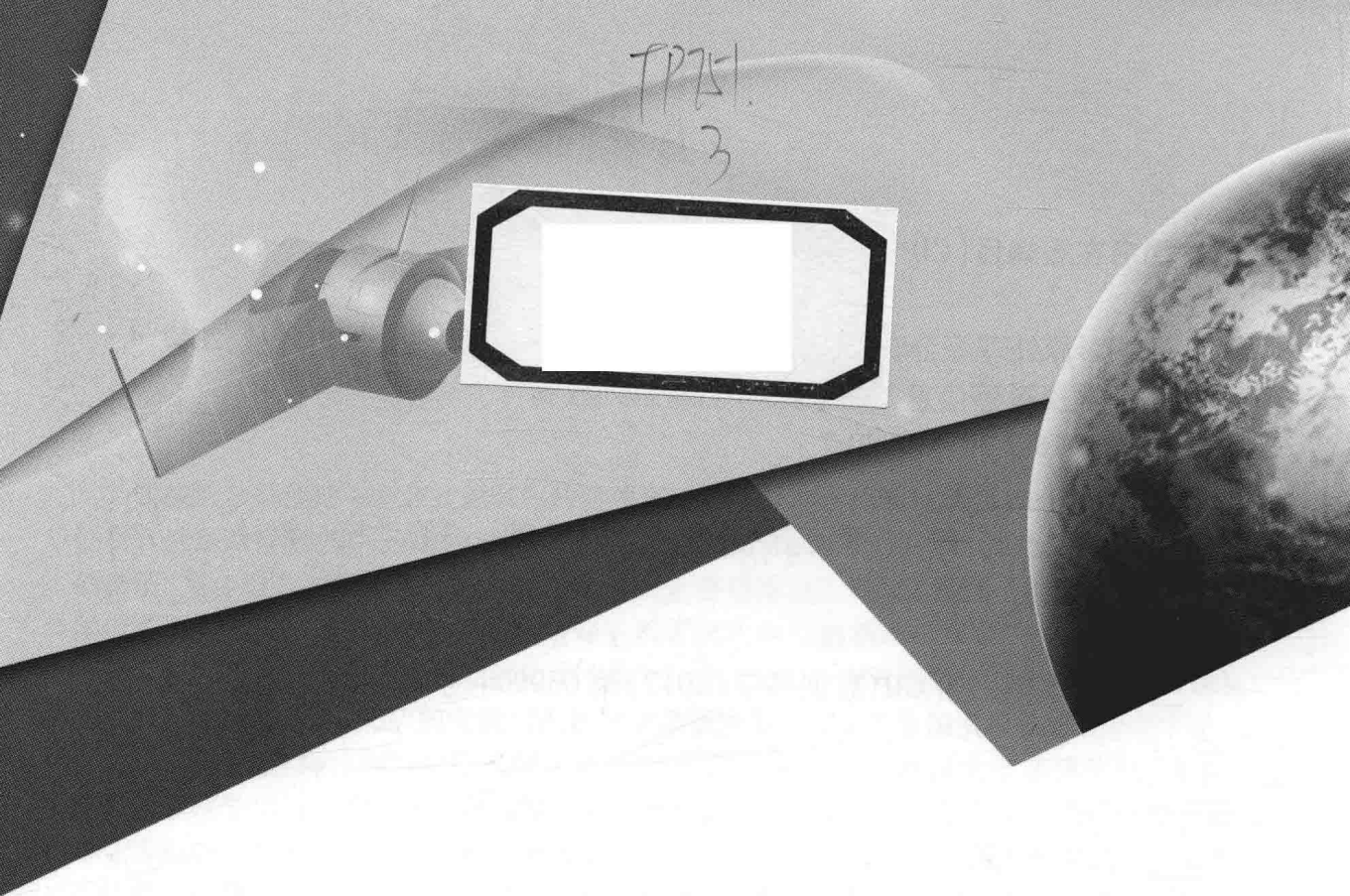
遥感影像处理 综合应用教程

李刚 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社



高等学校遥感信息工程实践与创新系列教材

遥感影像处理 综合应用教程

李刚 编著

高等学校遥感信息工程实践与创新系列教材编审委员会

顾问 李德仁 张祖勋 龚健雅 郑肇葆
主任委员 秦 昆
副主任委员 胡庆武
委员 (按姓氏笔画排序)

马吉平	王树根	王 玥	付仲良	刘亚文	李 欣	李建松
巫兆聪	张 熠	周军其	胡庆武	胡翔云	秦 昆	袁修孝
高卫松	贾永红	贾 法	崔 伟	潘 峰		



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

遥感影像处理综合应用教程/李刚编著. —武汉: 武汉大学出版社, 2017. 4
高等学校遥感信息工程实践与创新系列教材
ISBN 978-7-307-12920-7

I. 遥… II. 李… III. 遥感图象—图象处理—高等学校—教材
IV. TP751

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 039904 号

责任编辑:顾素萍 责任校对:李孟潇 版式设计:马 佳

出版发行: 武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)
(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

印刷:湖北民政印刷厂

开本: 787 × 1092 1/16 印张: 24.25 字数: 574 千字 插页: 1

版次: 2017 年 4 月第 1 版 2017 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-12920-7 定价: 46.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

序

实践教学是理论与专业技能学习的重要环节，是开展理论和技术创新的源泉。实践与创新教学是践行“创造、创新、创业”教育的新理念，是实现“厚基础、宽口径、高素质、创新型”复合型人才培养目标的关键。武汉大学遥感信息工程类(遥感、摄影测量、地理国情监测与地理信息工程)专业人才培养一贯重视实践与创新教学环节，“以培养学生的创新意识为主，以提高学生的动手能力为本”，构建了反映现代遥感学科特点的“分阶段、多层次、广关联、全方位”的实践与创新教学课程体系，夯实学生的实践技能。

从“卓越工程师计划”到“国家级实验教学示范中心”建设，武汉大学遥感信息工程学院十分重视学生的实验教学和训练环节，形成了一套针对遥感信息工程类不同专业和专业方向的实践和创新教学体系，形成了具有武大特色以及遥感学科特点的实践与创新教学体系、教学方法和实验室管理模式，对国内高等院校遥感信息工程类专业的实验教学起到了引领和示范作用。

在系统梳理武汉大学遥感信息工程类专业多年实践与创新教学体系和方法基础上，整合相关学科课间实习、集中实习和大学生创新实践训练资源，出版遥感信息工程实践与创新系列教材，服务于武汉大学遥感信息工程类在校本科生、研究生实践教学和创新训练，并可为其他高校相关专业学生的实践与创新教学以及遥感行业相关单位和机构的人才技能实训提供实践教材资料。

攀登科学的高峰需要我们沉下去动手实践，科学研究需要像“工匠”般细致入微实验，希望由我们组织的一批具有丰富实践与创新教学经验的教师编写的实践与创新教材，能够在培养遥感信息工程领域拔尖创新人才和专门人才方面发挥积极作用。



2017年1月

前言

遥感作为对地观测综合性学科,是以航空摄影技术为基础发展起来的一门新兴、先进的空间探测技术。当前遥感已形成了一个从地面到空中,乃至空间,从信息数据采集、处理到解译、分析和应用,从地表资源调查到全球探测、监测的多层次、多角度、立体的观测与应用体系,成为获取地球资源与环境信息的重要手段。遥感影像处理是计算机图像处理技术与遥感影像分析技术相结合而形成的综合性技术,既涉及遥感的理论知识又涉及遥感软件的应用,既涉及数字图像处理技术又涉及模式识别的理论知识,还涉及对遥感数据特点的掌握。

“摄影测量与遥感”是武汉大学的优势学科,是教育部审定的首批全国重点学科,也是 211 和 985 工程重点建设学科,在该学科基础上创办的“遥感科学与技术”专业是国家一类专业点和湖北省高校人才培养质量与创新工程品牌专业。作为遥感科学与技术专业本科教学实践经验的总结,《遥感影像处理综合应用教程》一书的编纂,在吸取摄影测量与遥感学科部分相关科研成果的基础上,尝试将三种主流遥感软件引入教程并将遥感原理、遥感软件操作、遥感数字图像处理、遥感具体应用结合起来,力求在教程内容和编排表达方面有新的突破,便于学生掌握遥感影像处理的方法,提高综合应用多种遥感软件的技能,培养学生理论联系实际、解决遥感应用问题的实际能力。

全书共分 5 篇、19 章、22 个应用、4 个实习案例。第一篇遥感软件介绍,分别对三种商业主流软件 ERDAS、ENVI、PCI 的总体功能进行了讲解。第二篇遥感影像介绍,分别对 Landsat 卫星影像、SPOT 卫星影像、QuickBird/WorldView 卫星影像以及高分系列卫星影像的特点做了讲解。第三篇遥感基础应用,从遥感影像处理与解译方面,如遥感影像输入输出与格式转换、遥感影像波段叠加与波段分离、遥感影像辐射增强、遥感影像空间增强、遥感影像光谱增强、遥感影像几何纠正、遥感影像辐射校正、遥感影像裁剪、遥感影像镶嵌、遥感影像非监督分类、遥感影像监督分类、遥感影像分类效果评价等,分别讲解了三种软件的具体操作方法。第四篇综合应用,设置了影像判读、几何纠正、辐射校正、影像增强、影像分类、目标检测、信息提取、变化检测、定量反演等 22 个具体应用。第五篇实习案例,介绍了武汉大学遥感科学与技术专业遥感实验教学改革与创新的 4 个实验课程案例。

本书是湖北省教学研究项目“基于 CDIO 模式的遥感实践教学改革研究”(项目编号 2013016)、“以学生为中心的遥感科学与技术专业工程教育改革(项目编号 2016018)”,以及“遥感信息工程国家级实验教学示范中心”的成果,全书由李刚编写完成。本书可以作为遥感、GIS、测绘等专业本科学生学习遥感技术的教材,也可供从事遥感影像处理和应用的有关人员参考。本书在编写过程中参考了网站的电子资料和三种软件的相关文档,引用的

资料未能在参考文献中一一列出，在此深表谢意。同时也得到了武汉大学出版社王金龙等老师的帮助，在此一并表示衷心感谢。

由于作者水平和时间有限，书中不足之处在所难免，恳请读者批评指正，使本书得以改进和完善。

前 言

作者

2017年1月

本书是作者根据多年从事《大学物理》课程的教学和科研工作的经验编写而成的。在编写过程中，参考了国内外许多优秀的教材和有关文献。本书力求做到概念清晰、重点突出、由浅入深、循序渐进。本书可作为高等院校理工科专业《大学物理》课程的教学用书，也可供从事物理工作的工程技术人员参考。

本书共分五章。第一章讲述力学的基本概念和基本定律，包括质点运动学、牛顿运动定律、功和能、动量和角动量守恒定律等。第二章讲述电磁学的基本概念和基本定律，包括静电场、恒定电流、恒定磁场、电磁感应和电磁波等。第三章讲述波动学的基本概念和基本定律，包括机械波、电磁波和光学等。第四章讲述热力学的基本概念和基本定律，包括热力学第一定律、热力学第二定律和热力学第三定律等。第五章讲述原子物理学的基本概念和基本定律，包括原子结构、原子光谱和原子能级等。

本书在编写过程中，力求做到概念清晰、重点突出、由浅入深、循序渐进。本书可作为高等院校理工科专业《大学物理》课程的教学用书，也可供从事物理工作的工程技术人员参考。本书在编写过程中，参考了国内外许多优秀的教材和有关文献。本书力求做到概念清晰、重点突出、由浅入深、循序渐进。本书可作为高等院校理工科专业《大学物理》课程的教学用书，也可供从事物理工作的工程技术人员参考。

本书共分五章。第一章讲述力学的基本概念和基本定律，包括质点运动学、牛顿运动定律、功和能、动量和角动量守恒定律等。第二章讲述电磁学的基本概念和基本定律，包括静电场、恒定电流、恒定磁场、电磁感应和电磁波等。第三章讲述波动学的基本概念和基本定律，包括机械波、电磁波和光学等。第四章讲述热力学的基本概念和基本定律，包括热力学第一定律、热力学第二定律和热力学第三定律等。第五章讲述原子物理学的基本概念和基本定律，包括原子结构、原子光谱和原子能级等。

目 录

第一篇 遥感软件介绍

第一章 ERDAS IMAGE 软件	3
第二章 ENVI 软件	11
第三章 PCI 软件	16

第二篇 遥感影像介绍

第四章 Landsat 卫星影像数据	25
第五章 SPOT 卫星影像数据	29
第六章 QuickBird/WorldView 卫星影像数据	32
第七章 高分系列卫星影像数据	34

第三篇 遥感基础应用

第八章 遥感影像输入、输出与格式转换	39
第一节 ERDAS 软件输入输出	39
第二节 ENVI 软件输入输出	42
第三节 PCI 软件输入输出	44
第九章 遥感影像波段叠加与波段分离	51
第一节 ERDAS 波段叠加与波段分离	51
第二节 ENVI 波段叠加与分离	53
第三节 PCI 波段叠加与分离	56
第十章 遥感影像辐射增强	61
第一节 ERDAS 辐射增强	61
第二节 ENVI 辐射增强	66
第三节 PCI 辐射增强	72
第十一章 遥感影像空间增强	79
第一节 ERDAS 空间增强	79
第二节 ENVI 空间增强	89
第三节 PCI 空间增强	102
第十二章 遥感影像光谱增强	110
第一节 ERDAS 光谱增强	110

第二节	ENVI 光谱增强	118
第三节	PCI 光谱增强	126
第十三章	遥感影像几何纠正	133
第一节	ERDAS 几何纠正	133
第二节	ENVI 几何纠正	143
第三节	PCI 几何纠正	154
第十四章	遥感影像辐射校正	161
第一节	ERDAS 辐射校正	161
第二节	ENVI 辐射校正	165
第三节	PCI 辐射校正	173
第十五章	遥感影像裁剪	180
第一节	ERDAS 影像裁剪	180
第二节	ENVI 影像裁剪	183
第三节	PCI 影像裁剪	189
第十六章	遥感影像镶嵌	194
第一节	ERDAS 影像镶嵌	194
第二节	ENVI 影像镶嵌	207
第三节	PCI 影像镶嵌	212
第十七章	遥感影像非监督分类	224
第一节	ERDAS 非监督分类	224
第二节	ENVI 非监督分类	233
第三节	PCI 非监督分类	235
第十八章	遥感影像监督分类	242
第一节	ERDAS 监督分类	242
第二节	ENVI 监督分类	253
第三节	PCI 监督分类	265
第十九章	遥感影像分类效果评价	273
第一节	ERDAS 分类结果评价	273
第二节	ENVI 分类结果评价	278
第三节	PCI 分类结果评价	284

第四篇 综合应用

应用一	彩红外航空影像目视判读	291
应用二	多光谱卫星影像目视判读	294
应用三	热红外卫星影像目视判读	297
应用四	DRG 的几何纠正	299
应用五	DRG 对影像、影像对影像的几何纠正	301
应用六	遥感影像辐射校正	303

应用七 遥感影像去云处理	305
应用八 遥感影像阴影检测	307
应用九 遥感影像去条带处理	310
应用十 遥感影像边缘检测	313
应用十一 遥感影像融合	315
应用十二 遥感影像分类	318
应用十三 遥感影像水体信息提取	321
应用十四 遥感影像植被信息提取	324
应用十五 遥感影像道路提取	327
应用十六 遥感影像建筑用地提取	330
应用十七 遥感影像气溶胶光学厚度反演	334
应用十八 遥感影像地表温度反演	337
应用十九 遥感影像叶绿素浓度反演	339
应用二十 植被覆盖度与气象因子相关性分析	341
应用二十一 遥感影像变化检测	344
应用二十二 遥感影像变化检测精度评定	347
参考文献	349

第五篇 实习案例

“数字图像处理实习”创新型实验教学示范	355
土地利用遥感变化检测综合实习课程的建设与创新	360
基于 CDIO 模式的“遥感原理与应用课程设计”创新型实验教学示范	366
“遥感应用模型实习”创新型实验教学示范	371

第一篇 遥感软件介绍

第一章 ERDAS IMAGINE 软件

1. ERDAS 软件概述

ERDAS IMAGINE 是美国 ERDAS 公司开发的遥感图像处理系统,该公司现已并入 Leica 公司。ERDAS 软件致力于遥感处理系统技术的开发应用和服务,为遥感及相关应用领域的用户提供了内容丰富而功能强大的图像处理工具,其遥感图像处理技术先进、用户界面友好、操作方式灵活,具有高度的遥感图像处理和地理信息系统集成功能和模型开发工具,代表了遥感图像处理系统未来的发展趋势。ERDAS 软件采用开放的功能体系结构,以模块化的方式面向不同需求的用户提供不同的功能模块及其组合,主要以 IMAGINE Essentials、IMAGINE Advantage、IMAGINE Professional 的形式为用户提供基本、高级、专业三级产品架构,并有丰富的功能扩展模块为用户提供选择,使产品模块的组合具有极大的灵活性。2003 年 6 月,在美国国家影像制图局(NIMA)等权威机构组织的历经 5 年的 Passfind 项目遥感影像系统评比当中,在 11 个项目评比中获得 9 个项目第一,最终综合功能性价比名列第一,在三维可视化分析领域更是处于领先地位。

(1) IMAGINE Essentials 级产品

IMAGINE Essentials 是 IMAGINE 的基本产品,包括影像的二维/三维显示、数据输入与输出、影像库管理、几何纠正、地图配准、影像/矢量编辑、影像分类、专题制图和三维可视化核心功能,可以集成使用多种数据类型并将不同类型的地理数据与影像连接在一起,快速地组织到项目中。IMAGINE Essentials 可扩充的模块如下:

① Vector 模块:直接采用 ArcInfo 的数据结构 Coverage,可对 Shapefile 和 Coverage 数据进行快速生成、显示、编辑和查询,建立和修改拓扑关系,在矢量图形和栅格图像之间进行转换等。

② Virtual GIS 模块:可有效地显示、组合、分析和表达不同的地理数据,具有强大的三维可视化分析功能,可进行 GIS 空间分析、空间视域分析以及矢量与栅格的三维叠加,建立虚拟世界、动态漫游、实时 3D 飞行模拟等。

③ Developer's Toolkit 模块:是 ERDAS IMAGINE 的 C 语言程序接口,包含了几百个处理函数的函数库。

(2) IMAGINE Advantage 级

IMAGINE Advantage 级在 IMAGINE Essentials 级基础之上,增加了栅格图像 GIS 分析和单张航片正射校正等功能,具有正射纠正(航片、卫片、传感器参数)、大比例尺镶嵌工具(定义切割线、灰度匹配)、高光谱处理、GIS 分析、高级 RGB 聚类、傅里叶正反变换/频域滤波、DEM 表面生成、应用等工具。IMAGINE Advantage 级是一个完整的影像地理信息系统(Imaging GIS),除了 Essentials 级扩充模块外,可扩充模块还包括:

① Radar 模块: 具有对雷达影像增强处理、影像解译等功能, 包括调整雷达影像的亮度/对比度, 对噪声进行平滑滤波、分析纹理特征、边缘检测、地形纠正等。

② OrthoMAX 模块: 可自动提取 DEM, 进行 DEM 交互编辑, 对立体像对进行正射校正、立体地形显示等。

③ OrthoBase 模块: 具有区域数字摄影测量功能, 用于航空影像的空三测量和正射校正, 包括基于传感器模型的正射校正和单景框幅式相机的正射校正。

④ OrthoRadar 模块: 可进行 Radarsat、ERS 雷达影像的地理编码、正射校正等处理。

⑤ StereoSAR DEM 模块: 采用类似于立体测量的方法, 从雷达影像数据中提取 DEM。

⑥ IFSAR DEM 模块: 采用干涉方法, 以像对为基础从雷达影像数据中提取 DEM。

⑦ ATCOR 模块: 用于大气校正和雾霭消除以及消除地形的影响。

(3) IMAGINE Professional 级

IMAGINE Professional 是针对高级影像处理、遥感、GIS 专家的功能最完整丰富的遥感影像处理系统, 除了 Essentials 和 Advantage 级中包含的功能以外, IMAGINE Professional 以简单的图形化界面提供了空间建模工具、高级的参数/非参数分类器、专家分类器、分类优化和精度评价以及高光谱、雷达分析工具。其主要功能包括图解建模、高级分类(模糊分类、专家分类器及知识库建立工具)、雷达图像处理等。IMAGINE Professional 是首批用地理数据建立专家系统解决地理问题的商业软件, IMAGINE 专家分类器由两部分组成: 知识工程师和知识分类器, 知识工程师为专家提供了建立知识库的图形界面, 使用已生成的专家知识库, 经验不足的用户可使用知识分类器将知识库应用到自己的数据中进行分类。除了 Essentials 和 Advantage 级可扩充的模块, 还具有 Subpixel Classifier 模块。该模块的子像元分类器利用先进的算法对多光谱影像进行信息提取, 可提取混合像元中的地类目标。

另外, ERDAS IMAGINE 中还支持动态链接库(DLL), 支持面向目标的设计开发以及目标共享技术, ERDAS 中支持的动态链接库有:

① 图像格式 DLL: 可对多种图像格式文件, 如 IMAGINE、GRID、LAN/GIS、TIFF (GeoTIFF)、GIF、JPG (JPEG)、FIT 和原始二进制格式等, 无需转换可直接访问, 从而提高易用性并节省磁盘空间。

② 地形模型 DLL: 支持基于传感器平台的校正、定标和用户裁剪的模型, 包括 Affine、Polynomial、Rubber Sheeting、TM、SPOT、Single Frame Camera 等。

③ 字体 DLL 库: 对非拉丁语系国家字符集和商业公司开发的上千种字体, 提供字体裁剪和直接访问, 支持专业制图应用。

2. ERDAS IMAGINE 应用简介

在 Windows 系统中安装 ERDAS IMAGINE 后点击“开始”→“程序”, 找到 Leica Geosystems 程序文件夹, 进入到 ERDAS IMAGINE 文件夹中点击 ERDAS IMAGINE 按钮, 可启动 ERDAS IMAGINE 软件, 系统界面包括系统菜单条(menu bar)、图标面板(icon panel)和一个默认打开的视图窗口, 如图 1-1 所示。

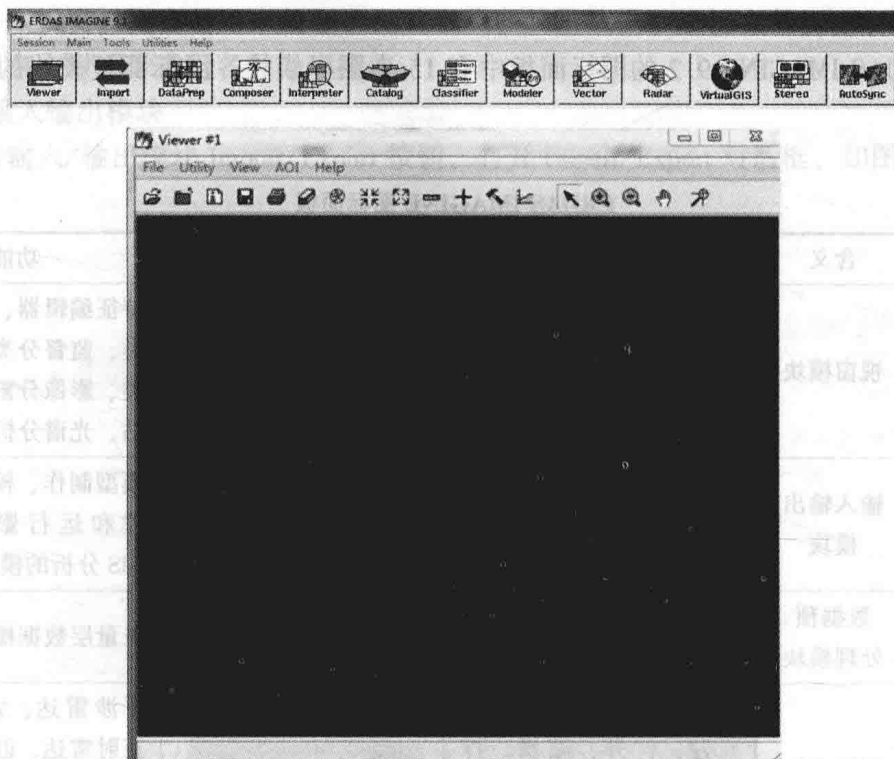


图 1-1 ERDAS IMAGE 软件启动界面

(1) 系统菜单

ERDAS IMAGE 图标面板系统菜单中包括 5 项菜单，每项菜单由一系列命令组成，其主要功能如表 1-1 所示。

表 1-1 ERDAS IMAGE 图标面板菜单

命令	功 能
Session (综合管理菜单)	包含系统配置、启动命令、批处理设置、日志管理、实用功能、环境变量设置、面板排列及帮助等，控制 ERDAS IMAGE 的参数和默认值，配置外围设备，如磁带机、打印机、光盘驱动器
Main (主功能菜单)	含 ERDAS IMAGE 产品中包括的所有模块，如创建视窗、数据输入输出、数据预处理、地图制图、影像解译、影像目录、影像分类、空间建模、栅格、矢量处理、虚拟 GIS、数字摄影测量、立体分析等
Tools (工具菜单)	包含编辑文本文件、编辑栅格属性、查看二进制数据、注释信息、栅格信息、矢量信息、影像命令工具、坐标计算、三维动画等
Utilities (实用菜单)	包含影像压缩、多种栅格数据格式设置转换、图像比较、字体选择、重置设置及 Oracle 空间数据表管理等
Help(帮助菜单)	提供 IMAGE 在线文档、IMAGE 的 DLL 信息等

(2) 图标模块

在 ERDAS IMAGINE 9.2 的图标面板中有 15 个图标模块，图标面板模块的含义如表 1-2 所示。

表 1-2 ERDAS IMAGINE 图标面板

图标	含义	功能	图标	含义	功能
	视窗模块	打开、显示、存储影像、矢量数据及 AOI 操作		分类模块	特征编辑器、非监督分类、监督分类、知识分类、影像分割、精度评估、光谱分析等
	输入输出模块	数据格式转换、输入数据到 ERDAS、输出数据到其他格式		建模模块	模型制作、模型库、创建和运行影像处理、GIS 分析的模型
	数据预处理模块	创建、裁剪、镶嵌影像，几何纠正，重投影等		矢量模块	矢量层数据操作
	制图模块	新建、打开、编辑、打印地图等		雷达模块	干涉雷达、立体雷达、正射雷达、创建数字高程模型、纠正地形畸变等
	解译模块	空间增强、光谱增强、辐射增强、傅里叶分析、GIS 分析、地形分析、高光谱工具等		虚拟 GIS 模块	虚拟 GIS、视域分析、三维动画、建立三角网等
	库管理模块	影像数据库管理		立体量测模块	立体视觉特征分析
	影像自动配准模块	精确配准、重叠区域匹配等		子像素模块	大气补偿和环境条件校正、子像素特征、MOI 分类，将分类提取信息的空间分辨率提高到子像元级
	变化检测模块	数据预处理、变化检测、变化滤波、变化结果查看及解译			

(3) 模块功能

在图标面板中点击各个图标按钮，即可启动相应的功能，弹出的菜单为该模块的各个功能命令。

① 视窗模块

每次启动 ERDAS IMAGINE 时，系统都会自动打开一个视窗，点击 Viewer 按钮，也会

新打开一个视窗。视窗是用来显示、浏览影像、矢量数据、注记文件、AOI 操作的窗口，可以在视窗内对图像进行各种处理操作。

② 输入输出模块

点击输入/输出模块 Import/Export 按钮，打开 Import/Export 对话框，如图 1-2 所示。

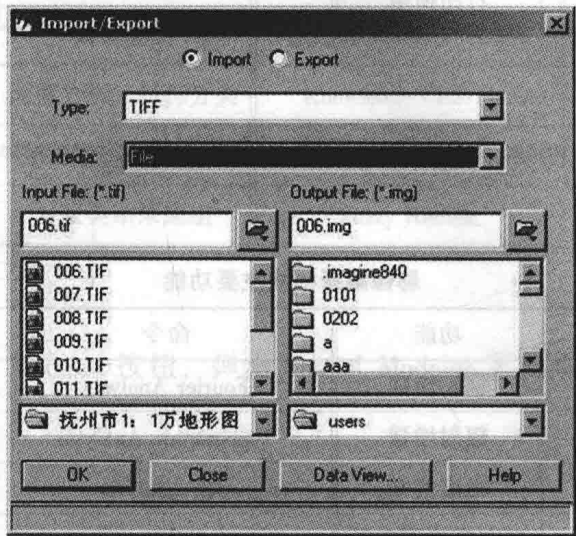


图 1-2 输入输出模块

此模块提供了多种栅格、矢量数据格式与 IMAGINE 内部数据格式的输入、输出转换功能，在这个对话框的下拉列表中完整地列出了 ERDAS 支持的各种输入输出格式。

③ 数据预处理模块

点击数据预处理模块 DataPrep 按钮，弹出 Data Preparation 下拉菜单，其功能如表 1-3 所示。

表 1-3 数据预处理模块主要功能

命令	功能	命令	功能
Create New Image	创建新影像	Mosaic Images	镶嵌影像
Create Surface	创建表面	Unsupervised Classification	非监督分类
Subset Image	裁剪影像	Reproject Images	重投影影像
Image Geometric Correction	影像几何纠正		

④ 专题制图模块

点击地图制图模块 Map Composer 按钮，弹出 Map Composer 下拉菜单，其功能如表1-4 所示。

表 1-4 专题制图模块主要功能

命令	功能	命令	功能
New Map Composition	创建新地图	Edit Composition Paths	编辑地图路径
Open Map Composition	打开地图	Map Series Tool	地图系列工具
Print Map Composition	打印地图		

⑤ 影像解译模块

点击影像解译模块 Image Interpreter 按钮，弹出 Image Interpreter 下拉菜单，其功能如表 1-5 所示。

表 1-5 影像解译模块主要功能

命令	功能	命令	功能
Spatial Enhancement	空间增强	Fourier Analysis	傅里叶分析
Radiometric Enhancement	辐射增强	Topographic Analysis	地形分析
Spectral Enhancement	光谱增强	GIS Analysis	GIS 分析
Basic Hyperspectral Tools	基本高光谱工具	Utilities	实用工具

⑥ 影像数据库模块

点击影像数据库管理模块 Catalog 按钮，打开 Image Catalog 对话框，如图 1-3 所示。Image Catalog 对话框是一个组织影像的工具，可打开影像数据库目录，创建新目录，归档影像，将存档的影像还原到磁盘上，从影像数据库目录中删除影像或添加影像，查看目录中的影像及其统计数据等。

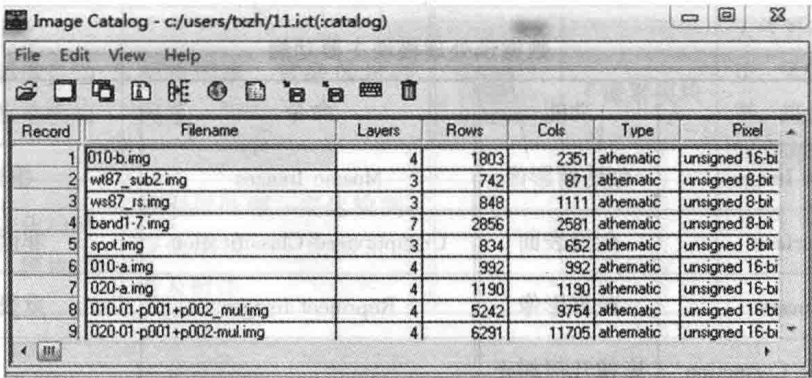


图 1-3 影像数据库目录

⑦ 影像分类模块

点击影像分类模块 Classifier 按钮，弹出 Classification 下拉菜单，其功能如表 1-6 所示。