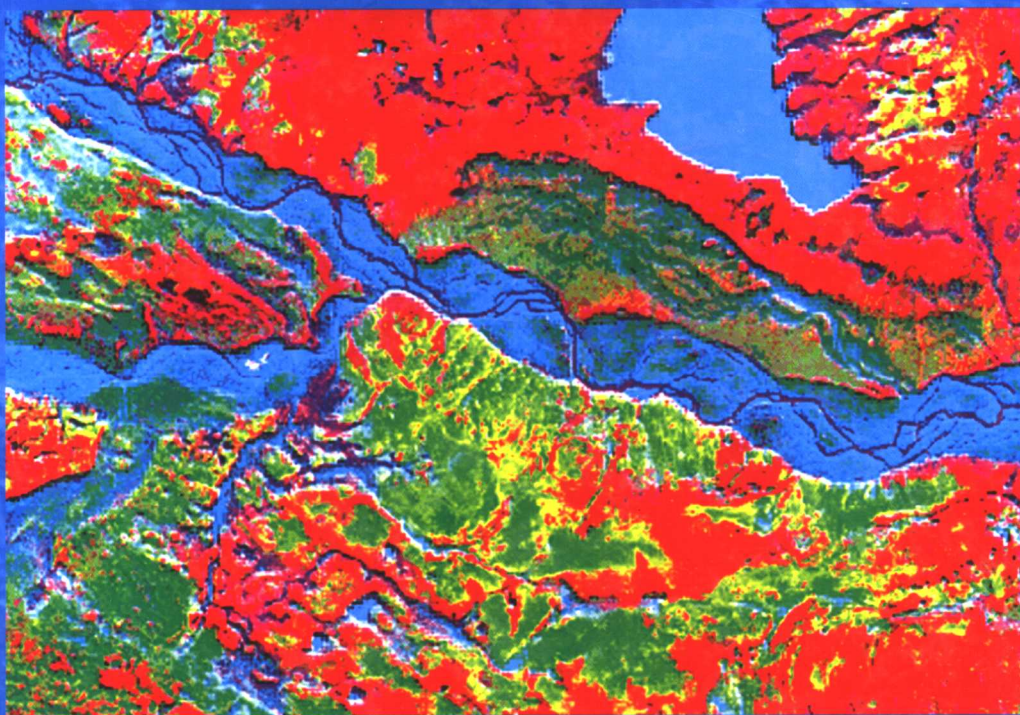


卫星遥感图像计算机分类 与地学应用研究

Research on Computer Classification of Satellite Images
and Application in Geoscience

曾志远 著



科学出版社
www.sciencep.com

南京师范大学 211 工程建设项目资助出版

卫星遥感图像计算机分类 与地学应用研究

Research on Computer Classification of Satellite Images
and Application in Geoscience

曾志远 著
by Zeng Zhiyuan

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是作者 20 多年来在卫星遥感图像数值分析和计算机处理方面获得的研究成果。研究的图像涉及中国和世界各地,涉及各自然地带和区域。作者均据其图像和区域自然特征,探讨了它们的处理方法和技巧。本书对图像计算机分类的方法、步骤、参数、预处理、后处理、结果分析、专业制图和应用等,都做了较详细的叙述。对图像的几何校正、辐射和大气校正,噪声和异常数据校正、数值转换、数据变换、图像增强、滤波、植被指数计算与校正等,以及遥感与地理信息系统,地学建模及计算机模拟的结合等,也做了探讨和介绍。书中表、图丰富。

本书可供遥感、地理信息系统、图像处理、计算机、地理、地质、生态、环境、资源、农业、植被、土壤、土壤侵蚀等领域的工作人员和大专院校教师、学生等参考。

图书在版编目(CIP)数据

卫星遥感图像计算机分类与地学应用研究/曾志远著. —北京:科学出版社, 2004

ISBN 7-03-012832-X

I. 卫… II. 曾… III. 计算机分类-卫星遥感-图像处理-土地利用-地面覆盖 IV. TP751

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 004760 号

责任编辑:李 锋 彭胜潮 李久进/责任校对:朱光光

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

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>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004 年 9 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2004 年 9 月第一次印刷 印张: 34 1/2 插页: 2

印数: 1—1200 字数: 810 000

定价: 78.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

作者简介

曾志远，中国科学院南京土壤研究所研究员，南京师范大学教授，博士生导师。1965年北京大学地质地理系毕业，1969年中国科学院研究生毕业，留中国科学院南京土壤研究所工作，1978年晋升助理研究员。1985~1987年在加拿大国家遥感中心(CCRS)和加拿大土地资源研究中心(LRRC)作访问学者。1987年回国，晋升副研究员，1991年晋升研究员。1992~1993年在荷兰国际地球信息科学与地球观测学院(ITC)做博士后研究。1997年至今在南京师范大学地理科学学院工作。数十年从事遥感、制图、地理信息系统、数学建模和计算机模拟研究，承担和主持多项国家级和省部级研究项目，多项成果被鉴定为国际先进水平或国内领先水平，获中国科学院科技进步一等奖(主持人)、特等奖(二级课题第一负责人)，中国科学院自然科学二等奖(第五名)，国家科技进步三等奖(主持人)，“国家科技攻关突出贡献者”称号和欧共体(现欧盟)居里夫人研究奖金(Marie Curie Research Bursary)。获国家专利局授予的发明专利。享受政府特殊津贴。发表学术论文约60篇，已出版专著和译著3部。曾任或现任研究室副主任、代主任、地图与遥感研究所副所长、教育部地学部委员、中国土壤学会遥感与信息专业委员会主任、中国科学院遥感联合中心理事会常务理事等。

序 一

曾志远教授早年学习和进修于加拿大,作博士后于荷兰,为中国遥感图像处理、分析技术的引进与开发做出了突出的贡献。20多年来,他潜心致力于卫星遥感图像数据计算机分类的本土化研究。因地制宜,探索在不同自然类型区域中,应对不同区域图像特征,分别设计、建立严谨的分析或计算模型,以全数字化作定量研究。这是一种崭新的“东方式”思维,以问题为主体,或者说是“基于面向对象”的更加深入的遥感图像处理技术的分析方法。曾教授另辟蹊径,开拓创新,实现了全数字化遥感图像分类这一项先进技术与自然景观区域差异的地学规律的统一,而且在中国和欧、美不同地区进行了典型实验,加以检验和应用。他对卫星遥感图像计算机分类的研究工作,既是“中国式”的,又是全球化的。生态学家马世骏院士、环境学家章申院士生前对他在土壤、植被和水土流失方面的典型研究都曾给予高度评价,认为达到国际先进水平,的确是当之无愧的。

三峡水利枢纽工程,功在当代,利在千秋。在三峡工程的前期预研、论证阶段,当时的中国科学院副院长孙鸿烈院士曾经委托曾志远教授等承担库区10万余平方公里范围内的土地利用遥感调查,分类20多种,查明可垦荒地不足200km²,远不能满足库区移民“就地后靠”的需要,为库区耕地承载力和移民安置决策,提供了比较翔实可信的数据。当时这一数据与其他产业部门的数据差距很大,他在课题结束后又在现有可能的条件下,对航天和航空遥感调查分类统计的结果,加以对比分析,初步阐明二者荒地面积量测数字本身的差别,没有超过1.8%。指出是由于对“可垦土壤”的界定和评价标准不同,影响可垦地数字的统计,造成彼此悬殊。他的这种精益求精的敬业精神和务实求真的科学态度,是十分难能可贵,令人钦佩的。

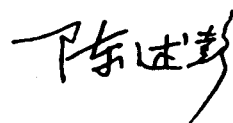
遥感图像处理与分析的技术创新,来自对机理的探索与设计思想的观念转变。曾志远教授提出并实现了MSS图像、TM图像和SPOT图像的LBV变换方法和应用,以植被覆盖参数,作为推算计算植被指数中大气影响校正参数的基准,实现动态监测。这都是源于对地物辐射特征客观存在的时、空复杂变化的深入理解,结合遥感图像的地区特点和专业应用目标,设计特定的方法、算法和程序,取得了地学处理(geo-processing)和数字处理(digital processing)珠联璧合的许多成功的典型范例。我曾读到过他所处理的一幅江汉平原的MSS图像,其中揭示的荆江曲流、牛轭湖和长江、汉水天然堤,以及它们的大小决口冲积扇,平原边缘的众多岗边瓮塞湖,无论是水面,还是被开垦过的耕地,蓄洪区……都显示得淋漓尽致,以此进行分类与分布面积的量算,其反演的保真度和统计的可信度,自然是令人叹服的。

在高超的地学处理基础上,曾志远教授正在开展有关遥感图像信息图谱的探索研究。他曾概括地面景观构成的三种基本要素和三种地物遥感特性,提出它们与图像三原色之间三三对应的新“图式”。其中,特别指出有关地物辐射随波段变化的方向和速度值(即向量值V),可能是理解丰富地学信息的钥匙,有助于变换的降维,有助于遥感图像的识别,促其从依托先验知识转变为逻辑判断。这是曾教授一项重要的专利,也有可能成为

他理论创新的新亮点。祝愿他继往开来，不断取得更加辉煌的新成就！

这部 80 余万字的科学专著，我们需要从一种新的视角去捧读。它是以典型案例为纲目，是从通用数字模型处理到区域图像个性理解的知识发现，不同于教科书，而胜似于教科书；更深入，也更具体。启发我们从实际出发，因地制宜，去设计新的地学数字处理模型，或者借用具有近似的自然过程和景观特征地区的数字分类模型，去进行应用程序的二次开发，举一反三，由此及彼，活学活用。那么，对于我们当前遥感应用所面临的瓶颈问题，很有可能柳暗花明又一村，发现一片新天地。

中国科学院院士
国际欧亚科学院院士
第三世界科学院院士



2003 年 2 月 17 日

序 二

曾志远先生的新著《卫星遥感图像计算机分类与地学应用研究》是一本很有学术价值的好书。它系作者 20 余年来从事卫星遥感图像处理与应用研究工作的成果,是作者经过 4 年时间认真撰写、反复修改而成的一本严肃认真的科学专著。

它将论述的中心集中在卫星遥感图像计算机分析与应用方面,且研究了中国和世界范围非常广大的典型地理区域。据我所知,专门以此为主题,进行深刻研究和论述达 80 余万字的专著,无论在中国,还是在世界上,都是首次。

该书对与卫星图像分类有关的主要问题都进行了比较详尽的研究和比较深刻的论述,特别是对遇到的许多技术难题,提出和实践了解决的方法,同时以图像计算机分类为中心,对与之有关的很多图像处理问题,也都进行了较深入的分析和阐述。其中有不少问题都是前人未曾涉及的。例如,作者提出和解决的对地物辐射随波段的复杂变化用一个变量来表征的问题;MSS 图像和 TM 图像的 LBV 变换与应用的问题;以某种参考值为基础推演植被指数计算中大气影响校正参数,从而实现植被和土壤侵蚀定量动态监测的问题等,都是作者的创新,并具有较高的科学准确性和深刻性及较大的理论与实践意义。

作者的研究地区涉及中国和世界上其他国家的很多地域。自然地带和区域的类型则包括中国和世界上各种温度带和湿度带以及沿海和内陆等;自然环境和对象则包括平原、丘陵、低山、高山、峡谷、湿地、草地、森林、沙漠、水域、裸地、土壤、土地利用、作物轮作体系、城市以及云和雪等。可以说,地球表面的各种环境和对象,几乎均有所研究。其中特别是对卫星数字图像处理和分类难度极大的长江三峡高山峡谷区,数字图像的计算机处理和分类达 10 万 km^2 以上,空间精细度达 $50\text{m} \times 50\text{m}$,甚至更小,并取得较高精确度,在长江三峡库区土地承载力确定和移民安置决策与世界最大水电站建设论证中起了重要作用,具有典型意义。

该书中论述的研究工作,许多都是结合国家级和省部级科研项目和课题进行的,其中许多成果,或被正式鉴定为国际先进水平,或获得国家和省部级奖励,或获得发明专利。例如,其中的第九、十、十一章,即是结合国家科技攻关和中国科学院重大项目撰写的,该项目被当时中国科学院马世骏院士、徐冠华院士(现国家科技部部长)、席承藩院士、赵其国院士等组成的专家鉴定委员会鉴定为国际先进水平,并获得中国科学院科技进步一等奖、中国科学院自然科学二等奖、国家科技进步三等奖等。作者是主持人,并因此获得“国家科技攻关突出贡献者”称号。

再如第十二、十三章是国家自然科学基金项目,作者是主持人,此项目的植被和土壤侵蚀动态监测部分,在 2001 年 12 月,被中国科学院章中院士及著名遥感专家王人潮教授、土壤侵蚀专家唐克丽教授等组成的专家鉴定委员会鉴定为国际先进水平。又如第八章叙述的 LBV 变换及其在卫星图像计算机彩色合成和分类中的应用,其 MSS 图像变换与应用部分,被以中国科学院院士陈述彭为首的专家鉴定委员会在 1990 年鉴定为国际

先进水平，并获国家专利局授予的发明专利权，其 TM 图像变换与应用部分，也被中国科学院赵其国院士和章申院士、著名遥感专家王人潮教授、朱重光教授等组成的专家鉴定委员会在 2001 年鉴定为国际先进水平，正在申请发明专利。

又如第十八章，系作者于 1992 年获得欧共体(现欧盟)居里夫人研究奖金(Marie Curie Research Bursary)，在荷兰国际地球信息科学和地球观测学院及西班牙进行的国际合作研究。此项目的流域自然过程计算机模拟部分，连同此后在中国进行的类似研究，在 2001 年被中国科学院院士章申、著名专家唐克丽、王人潮等组成的专家鉴定委员会鉴定为国内领先水平。

综上所述，本人认为这样一本书在中国科学技术领域的权威出版社——科学出版社出版，将对学科同行们有很大启发和参考意义。

国际欧亚科学院院士
北京大学教授



2003 年 2 月 14 日

前 言

1969年人类登上了月球,神话“嫦娥奔月”成为现实。1972年地球资源卫星上天,人类开辟了从遥远太空大规模收集、研究和应用地球资源数据的新纪元。

卫星“神目如电”,它看到和接收的正是电磁波,即地球上所有物体反射或发射的电磁波,我们便凭借地物的这种特性来识别、判断和监测地物。

卫星观察之遥,远超过人类世代梦想中的“千里眼”。例如,美国陆地卫星 1 号的观测距离(轨道高度)即达 946km(White 1977a)。因此,其视野十分广阔,接收的地面覆盖物图像,在人类面前展示了一个“一览无余”而又“明察秋毫”的神奇世界。

遥感(remote sensing)一词,虽说出现在资源卫星上天之前,但只有在资源卫星上天之后,才被人们大规模地使用。

伴随海量卫星遥感图像和数据的诞生,以及现代计算机技术的发展,卫星遥感数字图像的计算机处理,就迅速成为一门新科学和高技术。

作者有幸于资源卫星出现不久就开始了卫星遥感图像的研究工作,本书的基础就是作者 20 多年来在这方面的研究心得和成果。因此,本书不是一般文献研究成果的分门别类的综合、组织和叙述,也不是面面俱到、意在广而不在深的教科书。

作者的研究涉及地域比较广泛,就国内而论,涉及中国的东、西、南、北;就世界而论,涉及亚、非、欧、南北美和大洋洲。而且其中有相当一部分是作者在北美和欧洲时进行的研究。

就地理地带和区域而论,研究涉及寒带、寒温带、温带、暖温带、北亚热带、中亚热带、南亚热带,甚至热带;又涉及湿润区、半湿润区、干旱区和十分特别的地中海地区。

就自然环境和地被类型而论,研究涉及地面覆盖、土地利用、土壤、土壤侵蚀、土壤潜育化、盐碱地、植被、农田、森林、草地、苔原、荒漠、沼泽、湖泊、河流、沙洲、沙丘、山地、峡谷、城市、乡镇、冰、雪、云等。

自然条件差别如此巨大的区域和类型,其卫星图像和数据各具特征,其处理也有不同特点。作者均根据具体地区具体图像和具体应用对象,探讨了它们的处理方法与处理技巧。

本书以卫星图像计算机分类和应用命名,因此对以图像计算机分类为中心的问题,进行了比较详细的研究和叙述。如分类方法、分类参数、分类步骤、分类预处理、分类后处理、分类结果的分析、分类结果向专业图编制的过渡、分类结果的应用,以及分类中非监督分类的不同方法和初始聚类中心的设定,监督分类中训练区的选择和训练样本的对比、取舍和优化等,都有比较详细的叙述。对有关遥感理论问题,对图像处理中的技术难题和解决方法,也进行了较广泛的探讨。

对分类以外的许多图像处理问题,诸如图像几何校正、辐射和大气影响校正、噪声和异常数据校正、数值的空间匹配、灰度值和辐射值的转换和量值对比、图像的增强、

合成、分割、滤波、图像和数据变换、植被指数的计算和校正等,都围绕图像分类,做了介绍。

对遥感图像处理以外的有关问题,如地形图和专业线划图的数字化,数字高程模型的生成和应用,栅格数据和矢量数据的联合处理,不同系统和格式数据间的转换和处理,遥感数据和图像与普通地理数据和图形之间的图运算、表运算、图表混合运算,空间建模分析,以及遥感、GIS、地理建模和地学过程计算机模拟之间的结合和集成等,也做了一些研究和介绍。

遥感数字图像处理离不开数学方法和算法,也离不开计算机技术和程序。但本书的重点,在于怎样结合遥感图像特点和专业应用目标,使用这些方法、算法和程序,从而把图像处理和地学应用做得更好。因此,对于这些方法、算法和程序本身,则只做了必要的介绍。

本书的叙述顺序,以自然地理区域分布为主线。第一篇为总论;第二篇为中国部分;第三篇为外国部分。总论部分顺序评述卫星图像计算机分类、分类前处理和分类后处理的方法。中国部分顺序叙述暖温带干旱区(新疆);暖温带半湿润区(北京);北亚热带湿润区(江苏、安徽)、平原湿地地区(湖北、湖南);中亚热带高山峡谷区(湖北、四川)、低山丘陵区(江西);南亚热带丘陵区(广西)。外国部分顺序叙述加拿大温带平原区(渥太华)、温带和寒温带平原低丘区(安大略省、马尼托巴省、萨斯喀彻温省、纽芬兰省);西班牙地中海气候区(马拉加省)。

本书所介绍的研究内容,许多已以单篇文章的形式公开发表。但也有相当数量是首次披露。

本书所述研究中处理的图像,有一部分为 MSS 图像(主要在 20 世纪 80 年代中期前),但其处理方法、技术和经验,也同样适用于现在使用较多的 TM 图像和其他图像。

回顾卫星遥感数字图像分类技术,觉得尽管其算法早已有之,但至今仍主要是停留在科学研究领域或小区域应用。愚意以为,其主要原因在于它的算法基本上是纯数学的,而地学方面考虑和研究不够。如果只是简单地使用或浅尝辄止,那是很难达到较高的精度和解决复杂的地学实践问题的。作者奢望,本书的出版能以其多方面处理技巧和大面积应用实例,促进此技术从理论研究向实践应用的跨越。

由于作者研究视野、研究水平和研究条件的局限,对卫星遥感图像计算机分类和处理的有些问题,未能涉及。有些虽涉及,也未能深入。更重要的是,所涉及的问题中许多带探讨性质,其方法和结论未必全都正确,缺点和错误在所难免,敬请读者见谅,并自行取舍。如能给予纠正和见教,本人定会热情欢迎,乐意接受,衷心感谢,并用于改进今后的工作。

在本书有关部分的研究过程中,先后有北京大学数学系张绪定教授,加拿大土地资源研究中心 Julian Dumanski 教授和 Chang Wang 教授,加拿大国家遥感中心 Frank Ahern 教授、Josef Cihlar 教授、Christian Prévost 先生和 Sophie Moreau 女士,广西农业大学杨俊泉教授,中国科学院南京土壤研究所潘贤章副研究员,荷兰国际地球信息科学与地球观测学院 Christine Pohl 博士和 Jupp Van Genderen 教授等指导、参与或帮助。同时,本书的出版,还得到中国科学院南京土壤研究所的支持,南京师范大学 211 工程建设项目

的资助，科学出版社李锋主任、彭胜潮副编审的关照。中国科学院院士陈述彭先生和国际欧亚科学院院士承继成先生在百忙中为本书作序，在此一并致谢。最后还要特别感谢我的妻子彭华玉会计师，没有她的支持和保证，本书的撰写及有关研究的完成都是十分困难的。

作 者

1999 年 12 月完成初稿于金陵九华山

2001 年 7 月完成第一次修改于金陵随园

2002 年 9 月完成第二次修改于金陵九华山

目 录

序一
序二
前言

第一篇 总 论

第一章 卫星遥感图像计算机分类方法评述	3
第一节 图像分类的概念、意义及与其他处理的关系	3
一、图像和数字图像	3
二、数字图像处理 and 遥感数字图像处理	3
三、图像分类和卫星遥感图像分类	4
四、卫星图像分类的意义和作用	4
五、卫星图像分类与其他处理的关系	4
六、卫星图像分类的硬件和软件	5
第二节 遥感图像分类方法的归类和相似性概念	6
一、监督分类和非监督分类	6
二、参数分类和非参数分类	7
三、硬分类和软分类	7
四、相似性概念	8
第三节 几种主要的非监督分类方法	8
一、ISODATA 分类法	8
二、K-均值分类法	17
三、最大似然分类法	18
第四节 几种主要的监督分类方法	19
一、最大似然分类法	19
二、最近均值分类法	31
三、盒式分类法或平行六面体分类法	31
第五节 较新出现的几种主要的分类方法	32
一、人工神经网络分类法	32
二、模糊分类法	33
三、亚像元分类法	34
第六节 其他的一些分类方法	35
一、最近邻法	35
二、马氏距离法	35

三、二进制编码法	36
四、直方图估计法	36
五、子空间分类法	36
六、光谱角映射法	36
七、纹理分类法	37
八、地统计学分类法	37
九、概率松弛法	38
十、空间-光谱分片法	38
十一、按地块分类法	39
十二、专家分类法	39
十三、高光谱数据分类法	39
第二章 分类的前处理、后处理和地学应用评述	40
第一节 分类前处理	40
一、波段选择	40
二、特征提取	41
三、几何校正	42
四、图像的裁剪、切除和镶嵌	42
五、扫描图像或多源图像的几何配准	43
六、噪声校正	43
七、辐射校正	43
八、多图像融合	44
第二节 分类后处理	45
一、分类统计值的计算	45
二、各类的距离矩阵与类间相似性分析和系统聚类	46
三、混淆矩阵与分类精度的初步估计	46
四、“天女散花”现象的滤波处理	47
五、类的合并	47
六、图的配色	48
七、公里网格叠加	48
八、栅格图转换为矢量图	48
九、分类图输出的相关处理	48
第三节 分类地学应用	49
一、对卫星图像分类地学应用的几点基本认识	49
二、分类地学应用的领域	51
三、近期分类地学应用的一些例子	52
四、本书中的地学应用	53

第二篇 在中国某些地区的分类和应用

第三章 新疆暖温带干旱区卫星图像土壤类型计算机分类	57
第一节 研究区与所用卫星图像	57
第二节 卫星照片的扫描数字化	58
第三节 不同波段图像行和列的检查和配准	59
一、密度分割图	60
二、特征地物的选取和数据行列配准	60
第四节 扫描数字图像噪声和异常数据的校正	62
一、波段 4 图像条纹的消除	62
二、扫描过程中数据的不正常系统跳跃的校正	62
第五节 迭代法非监督分类的原理、过程与参数	63
一、非监督分类与实地调查了解的关系	63
二、迭代法非监督分类的基本思想、过程及参数	63
第六节 非监督分类的结果	65
第七节 迭代法非监督分类初始聚类中心之研究	69
一、初始聚类中心的确定方法	69
二、初始聚类中心对分类过程与分类结果影响之研究	74
第八节 监督分类的原理及有关问题	79
一、先验概率的确定	79
二、训练样本的获取和筛选	79
三、训练区分类的混淆矩阵	80
第九节 监督分类的结果	81
第四章 新疆暖温带干旱区图像分类结果的分析与制图	87
第一节 各谱类的类间关系研究——光谱学分析与应用	87
一、谱类的内在序列研究	87
二、谱类的群分析或系统聚类分析	88
三、谱类的波段辐射曲线研究	91
四、谱类曲线的斜率比系数研究	92
五、谱类光谱学研究的意义	93
第二节 同谱异类问题研究——地理学分析与应用	94
一、地理控制系统的概念	94
二、研究区的地理控制系统	95
第三节 非监督分类和监督分类的谱类与土壤类的关系表	96
第四节 地理控制界线和土壤界线的勾绘	98
一、地理控制界线的勾绘	98
二、土壤界线的勾绘	99
第五节 遥感分类图的几何纠正和转绘成图及其与常规土壤图的比较	100

一、遥感图的纠正和转绘成图	100
二、遥感土壤图与常规土壤图的比较	104
第六节 遥感分类制图的局限性和问题	107
第七节 新疆遥感图像处理研究说明的几个问题	107
一、卫片或胶片扫描数据具有特殊的价值	107
二、小密度采样策略有重要的意义	108
三、图像配准、噪声和异常数据校正的某些方法	109
四、迭代法初始聚类中心的作用及其确定方法	109
五、做好非监督分类和监督分类的经验	110
六、对分类结果进行光谱学分析的方法和意义	110
七、地理控制系统概念与解决同谱异类问题	111
第五章 新疆干旱区数字图像分类与地物类辐射季节变化分析	112
第一节 阿瓦提地区秋季数字图像的分类	112
第二节 阿拉尔地区夏季数字图像的分类	114
第三节 先验概率对分类结果的影响	114
第四节 扫描密度值和原始灰度值化为辐射值的方法	116
第五节 地物类辐射曲线斜率比系数 K 的分组与季节变化分析	117
第六节 地物类辐射值季节变化及其波段差异的比较	119
一、研究区各季节各类地物的辐射值及其分组	119
二、地物类辐射值季节变化及其波段差异	125
第七节 辐射值化为反射率的方法和地物类反射率季节变化	127
一、辐射值化为反射率的方法	127
二、地物类反射率的季节变化	128
第六章 北京半湿润区早春和夏季图像分类与地物类季节变化分析	130
第一节 北京地区的自然简况和两幅卫星图像	130
第二节 北京图像各波段直方图及其对分类的影响	130
第三节 北京地区夏季图像的非监督分类	132
第四节 北京地区早春图像的非监督分类	133
第五节 由北京图像辐射值计算的 R_{sum} 、 V_R 、 K 和 V_0 及其季节变化分析	134
一、北京图像各类地物辐射值 R_i 的计算	134
二、北京图像各类地物总辐射值 R_{sum} 的计算	135
三、北京图像各类地物辐射值植被指数 V_R 的计算	136
四、北京图像各类地物辐射曲线斜率比系数 K 的计算	136
五、北京图像各类地物波段辐射变化方向和速度值 V_0 的计算	136
六、北京地区地物类的季节变化分析	137
第六节 反映植被特性的 V_R 、 V_0 和 K 对植被敏感性的差别	141
第七节 北京子区地物大类及其亚类的面积估计	143
第七章 长江下游北亚热带湿润区卫星图像土壤和土地利用分类	145

第一节	研究区与所用卫星图像和处理设备	145
第二节	卫星图像的几何校正	145
一、	地面控制点的选取和它们在地形图及遥感图像上的定位	145
二、	多项式转换方程系列及方程的建立、选择和应用	146
三、	重采样和新像元大小的规定及其灰度值计算	149
第三节	最大似然法非监督分类	150
一、	打印直方图和确定数据处理的数值范围	150
二、	寻找多维空间中的平行六面体和确定初分类别数	151
三、	寻找合适的合并因数和决定合适的类别数	151
四、	初分类别的可分性分析与类的合并	153
五、	最大似然法非监督分类和图的打印	154
第四节	最大似然法监督分类	154
一、	原始训练样本及其纯化	154
二、	试分类混淆矩阵分析与正式训练样本建立	155
三、	监督分类及其结果	157
第五节	分类结果的分析与制图问题	158
一、	监督分类各类的波段辐射曲线及其分类研究	158
二、	划分本区同谱异类的地理控制系统	161
三、	利用非监督和监督分类图编制专业图	161
第八章	长江中游平原湿地区卫星图像土地利用分类与土壤潜育化分析	163
第一节	研究区与原始卫星图像	163
第二节	原始卫星图像变换为 LBV 图像的数学和物理学	163
一、	卫星图像的物理值及其信息的数学分解与合成	164
二、	计算 L 、 B 、 V 值的数学方程	168
三、	L 、 B 、 V 值功能图解	169
第三节	LBV 彩色合成图像颜色与实际地物对应关系	172
一、	L 、 B 、 V 的黑白图像和彩色合成图像	172
二、	L 、 B 、 V 彩色合成图像颜色三角与地物三角和数值三角的对应逻辑关系	175
三、	野外考察和 LBV 彩色合成图像颜色与地物类关系的确定	176
第四节	研究区 L 、 B 、 V 数字图像地物分类及其结果	178
第五节	分类结果的数值分析与各类的地物含义	180
一、	各地物类(各颜色)在 L 、 B 、 V 数轴上的分布	180
二、	各地物类以 L 、 B 、 V 为指标的系统分类	182
三、	各类地物含义的最后确定与面积的校正和统计	183
第六节	研究区湿地面积和土壤潜育化面积的估计	184
第七节	从类内离差和类间距离看 LBV 图像分类的优越性	186
一、	类内离差和类间距离是衡量分类优劣的指标	186

二、LBV 分类和原始图像分类的类内离差比较	186
三、LBV 分类和原始图像分类的类间距离比较	188
第八节 TM 图像和 SPOT 图像的 LBV 变换	190
一、TM 图像的 LBV 变换	190
二、SPOT 图像的 LBV 变换	193
第九节 以灰度值为基础的 MSS 图像的 LBV 变换	194
第九章 长江三峡高山峡谷区卫星图像地面覆盖/土地利用分类	195
第一节 区域特征与卫星图像	195
第二节 图像的几何校正与校正精度估计	198
一、地面控制点、转换方程、重采样与公里网	198
二、校正图像的点位精度及其与地形图的套合精度	201
第三节 野外调查地被分类系统的建立与训练区勾绘填图	203
一、计算机监督分类与野外考察的关系	203
二、以计算机分类为目的的野外调查用地被分类系统	204
三、以地被分类系统为框架的训练区勾绘填图	208
第四节 训练样本的输入、纯化及训练区和部分图像的试分类	209
一、各图像分类子区划分与训练样本输入	209
二、训练样本类的纯化及纯化前后标准差和平均值的比较	210
三、训练样本类选择与训练区和部分图像试分类	211
第五节 长江三峡各子区图像分类的训练样本、波段选择与分类结果	213
第十章 长江三峡图像分类的后处理与土地资源图编制	229
第一节 用遥感分类图编制土地资源评价图的技术前提	229
第二节 计算机制图综合——遥感分类图的滤波	229
一、长江三峡各子区图像的滤波参数	229
二、过滤掉连片像元对图斑精度影响的估计	230
第三节 硬拷贝彩色分类图的生成与输出	233
一、遥感分类图的配色原则及其与一般专业图配色的异同	233
二、主题文件、特征文件及前者向后者的转换	234
三、彩色遥感分类图记录格式转换与出图比例尺设定	236
第四节 遥感分类图的精度估计与野外校核	237
一、中比例尺专业图与长江三峡遥感分类图的精度估计	237
二、以野外实地核查为准进行的精度估计	238
三、以航片目视判读为准进行的精度估计	240
四、长江三峡遥感分类图精度核查总结果	240
第五节 遥感分类图与土地资源评价图的衔接	242
一、遥感分类图的波谱学和地理学分析	242
二、遥感分类图向土地资源评价图过渡的实施	244
第六节 长江三峡土地承载力和移民环境容量研究	245