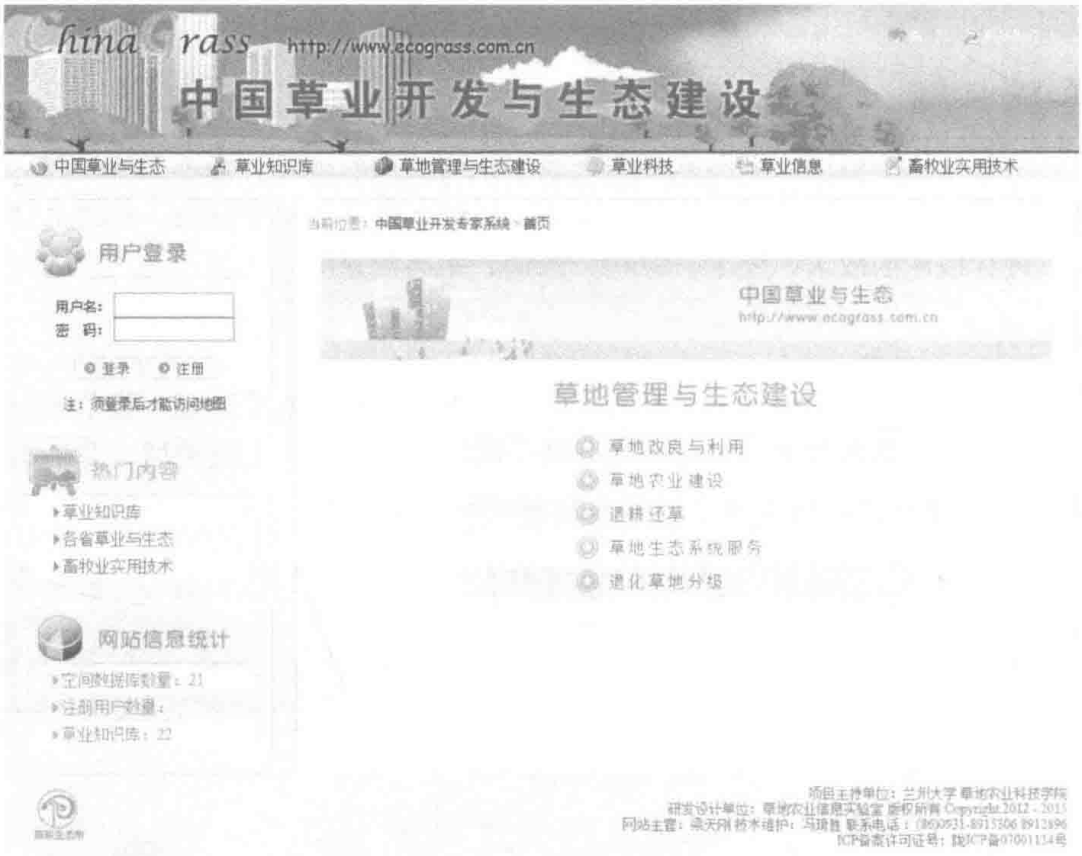


图 6-11　草地管理与生态建设二级页面

4. 草业科技

草业科技页面（图 6-12）选择了近年来草业科学，尤其是草业信息科学方面取得的部分优秀成果进行集中展示，包括英汉农业词典、英汉植物群落名称词典、综合顺序分类、牧草生长模型、牧草生长模拟、农牧交错带模拟、苜蓿病害诊断 7 个模块，其中牧草生长模拟和农牧交错带模拟基于 GIS 计算机模拟，苜蓿病害诊断则属于专家系统范畴。

5. 草业信息

草业信息页面（图 6-13）包含草业新闻、牧草品种信息、市场热线、草坪建植花卉栽培、政策法规、机构简介、草业刊物、版权申明 9 个模块。

二、中国草业开发与生态建设管理信息系统主要功能

中国草业开发与生态建设管理信息系统的功能主要包括信息查询检索、管理决策咨询、优良牧草区域适宜性分布模拟预测、草原综合顺序分类系统中类的检索及其典型性判别分析、苜蓿病害诊断和信息维护与输出。管理决策咨询又包括杂草与病虫害防治、牧草施肥推荐、牧草品种选择、牧草栽培方法、畜禽品种推荐等。

1. 信息查询检索

草业开发信息系统的信息查询检索功能包括对数据库、知识库和模型库各种信息的



图 6-12　草业科技二级页面



图 6-13　草业信息二级页面

查询，即对不同地点（省、区、市、县、乡）的地形、气候、土壤、土地利用现状、退耕土地的空间分布、天然草地类型、优良牧草种类等信息的查询检索。

依查询的范围大小，可分为点查询和面查询。点查询是指在选定政区名称后，程序将显示该政区的所有空间数据图层，用鼠标点击任意一点，对该点信息进行查询的一种方式。在点检索模式下，程序可显示查询的位置及其气象因子（多年平均年降水量和年积温）、土壤因子（类型、N、P、K 和有机质百分含量）、天然草地资源类型和该点适宜种植的优良牧草种类及系统推荐种植的牧草种类。采用超级链接方式，用户还可对每种牧草的来源与分布、生物学特征、栽培方法及常见病、虫、鼠害等详细信息进行查询检索。面查询可以按省、区、市、县、乡进行浏览，面检索首先要选择并调出一个完整的行政单元，系统将以枚举方式罗列出分类数据的具体类型或连续变量的数值变化范围。类似点查询方式，面查询采用互联网络中超文本标识语言的表达方式，进行逐层链接，对文本、图形、视频等信息进行查询，反映所查询的行政单元的生态环境及草业开发建设的基本信息。

2. 草地管理决策咨询

草地管理决策咨询主要包括播前预测，对品种、播期、密度、底肥与产量的预测；越冬前管理，主要指补肥、刈割等措施；生长期（返青、拔节、开花期）管理，补肥、补水、施肥、除杂、刈割等处理；成熟期管理，草籽收藏、草地留茬；病虫鼠害防治措施；畜禽品种推荐等。

3. 优良牧草区域适宜性分布模拟预测

用数据库、知识库和模型库中的资料，逐点模拟预测出 23 种优良牧草品种在甘肃省的适宜性指数阈值，并以电子地图的方式显示其空间分布特征，从而为不同区域的政府管理部门或投资公司提供决策依据。

4. 草地综合顺序分类系统中类的检索及其典型性判别分析

利用地理信息系统技术，模拟全国草地的综合顺序分类系统中类的空间分布电子地图。在中国草业开发与生态建设管理信息系统的统一管理下，查询检索任意点的草地资源类型，并对其典型性进行判别分析。

5. 苜蓿病害诊断

系统分析苜蓿常见的 15 种病害症状，根据用户的描述，按照发生部位、病斑的形状、大小和颜色，对苜蓿病害进行综合分析和诊断，当诊断出病害名称后，系统将给出具体的防治方法。

6. 信息维护与输出

信息维护主要是对数据库、知识库和模型库的编辑修改，输出结果是指磁盘文件的拷贝、屏幕显示和多媒体演示，以及报表、图形和图像的打印。

思 考 题

1. 什么是草业资源管理信息系统？它有怎样的新内涵？
2. 请简述草业资源管理信息系统的分类？
3. 草业资源管理信息系统的特征有哪些？
4. 草业资源管理信息系统未来的发展趋势如何？
5. 请简述草业资源管理信息系统的开发流程？
6. 草业资源管理信息系统的分析包括哪些内容？
7. 草业资源管理信息系统的设计包括哪两个阶段？

参 考 文 献

冯琦胜, 王玮, 梁天刚. 2009. 甘南牧区草畜数字化管理系统的设计与开发[J]. 中国农业科技导报, 11(6): 93-101.

梁天刚, 陈全功, 任继周. 2001. 甘肃省草地资源类型空间分布特征II基于GIS的草原综合顺序分类系统电子地图[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 37: 59-66.

鲁春霞, 谢高地, 成升魁, 等. 2009. 中国草地资源利用: 生产功能与生态功能的冲突与协调[J]. 自然资源学报, 24(10): 1685-1696.

任继周. 1995. 草地农业生态学[M]. 北京: 中国农业出版社.

许鹏. 2000. 草地资源调查规划学[M]. 北京: 中国农业出版社.

薛华成. 2012. 管理信息系统[M]. 北京: 清华大学出版社.

Du QL. 2006. Sustainable Development Strategy of China Grassland Industry [M]. Beijing: China Agriculture Press.

Dyke PT. 1991. Temple TX: Texas Agricultural Experiment Station [M]. College Station: Texas A&M University.

Mcdaniel KC, Haas RH. 1982. Assessing mesquite-grass vegetation condition from Landsat [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 48(3): 441-450.

Stafford Smith MS. 1992. Applying RANGEPACK to the management of sheep flocks in the Australian Rangelands [J]. Agricultural Systems and Information Technology, (4): 19-20, 43.

第七章　草业遥感技术

草业遥感技术的根本目的在于获取与草业相关目标地物的信息，为了获取这种信息，遥感采用了与传统技术不同的手段、角度、媒介，由此产生了与传统观察方法不同的效果和特点，因此草地遥感技术得到了广泛的应用。本章主要介绍草业遥感概况、草业遥感原理、草业遥感方法和应用。

第一节　草业遥感概述

本节主要从草业遥感的概念、观测手段与方法、主要应用和发展方向等层面对草业遥感相关的主要专业概念进行总体概述。

一、草业遥感的概念

（一）草业遥感

草业遥感是遥感技术与草业科学交叉融合的一门科学。草业（Grassland Industry）是经营草地畜牧业、饲草业、草坪业、草种业，从事牧草与非牧草经济植物产品的生产、加工、储运和营销的产业。

遥感（Remote Sensing）：泛指对地表事物的遥远感知。狭义的遥感特指通过遥感器这类对电磁波敏感的仪器，在远离目标和非接触目标物体条件下探测目标地物，获取其反射、辐射或散射的电磁波信息，进行处理、分析与应用的一门科学和技术。

草业遥感（Grassland Industry Remote Sensing，GIRS）：相关于草业活动的一切遥感技术、方法及应用的总称。通常是指通过某种遥感器从不同平台获取与草业相关的地表各类地物信息，并对这些信息进行提取、分析，以此来测量与判定地表目标地物的性质或特性。

（二）观测对象及其特征

遥感的观测对象主要是地球表层的各类地物，也包括大气、海洋和地下矿藏中不同成分。草业遥感主要是探测、感知与草地及草业相关的地物特征。地球表层各类地物都具有两种特征，一是空间几何特征，一是物理、化学、生物的属性特征。

（三）特点与优势

遥感技术是20世纪70年代起迅速发展起来的一门综合性探测技术。遥感技术发展速度之快与应用广度之宽是始料不及的。仅经过短短40多年的发展，遥感技术已广泛应用于资源和环境调查与监测、军事应用、城市规划等多个领域。究其原因，在于遥感

具有大面积同步观测、客观性、时效性、宏观性与综合性、经济性的特点。

二、草业遥感的观测手段与方法

（一）空间信息获取系统

地球表面地物目标空间信息获取主要由遥感平台、遥感器等协同完成。

遥感平台（Platform for Remote Sensing）：是安放遥感仪器的载体，包括气球、飞机、人造卫星、航天飞机及遥感铁塔等（图 7-1）。

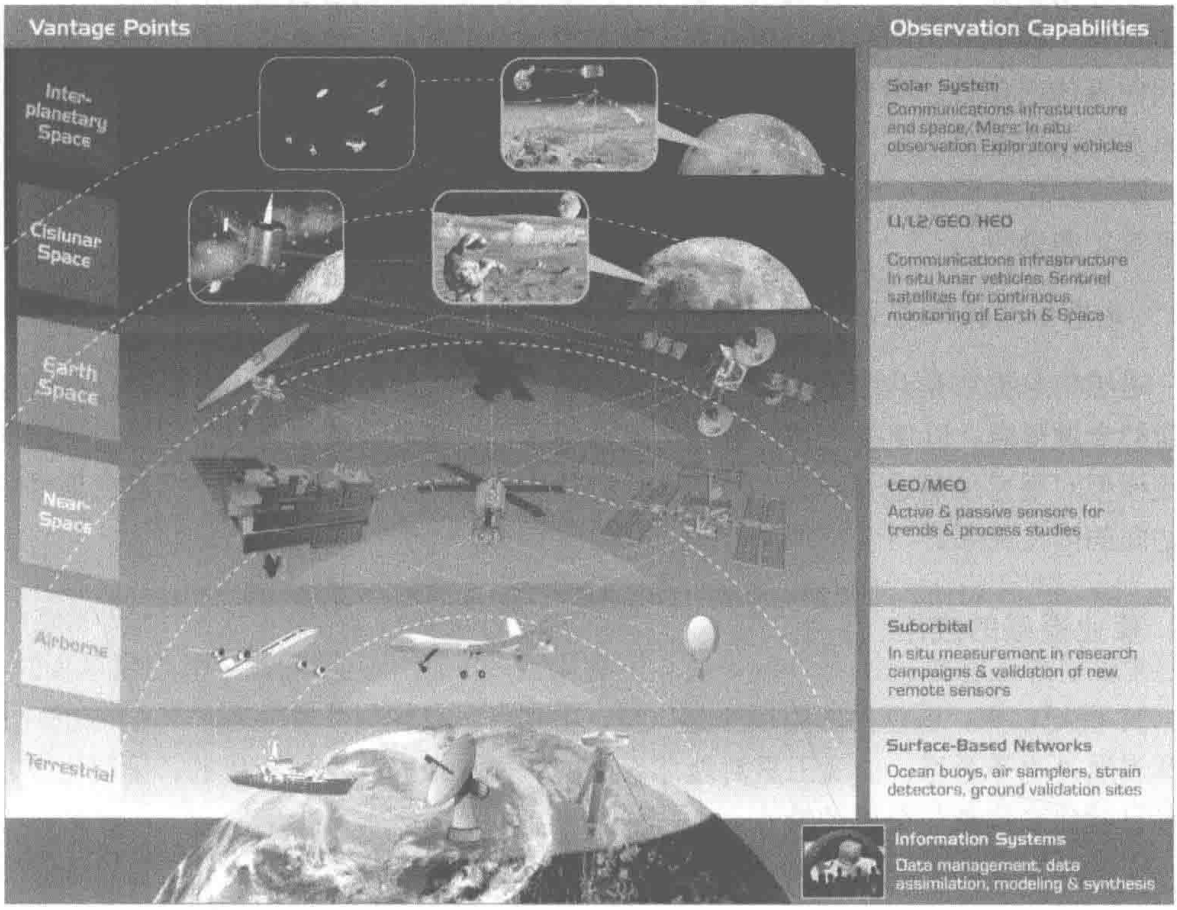


图 7-1　遥感器类型图（https: //www.nasa.gov/）

遥感器（Remote Sensor）：是接收与记录地表物体辐射、反射与散射信息的仪器。目前常用的遥感器包括遥感摄影机、光机扫描仪、推帚式扫描仪、成像光谱仪和成像雷达。按其特点，遥感器分为摄影、扫描、雷达等几种类型。

（二）遥感数据传输与接收

空间数据传输与接收是空间信息获取和空间数据应用中必不可少的中间环节。

遥感器接收到地物目标的电磁波信息，被记录在胶片或数字磁带上。从遥感卫星向地面接收站传输的空间数据中，除了卫星获取的图像数据以外，还包括卫星轨道参数、遥感器等辅助数据，这些数据通常用数字信号传送。遥感图像的模拟信号变换为数字信号时，经常采用二进制的脉冲编码调制方式（Pulse Code Modulation，PCM）。由于传送

的数据量非常庞大，需要采用数据压缩技术。

卫星地面接收站的主要任务是接收、处理、存档和分发各类地球资源卫星数据。地面站接收的卫星数据通常被实时记录到高密度磁带（High Density Digital Tape，HDDT），然后根据需要拷贝到计算机兼容磁带（Computer Compatible Tape，CCT）、光盘、盒式磁带等其他载体上。CCT、光盘、盒式磁带等是记录、保存、分发卫星数据等最常用的载体。

（三）遥感图像处理

遥感图像处理是在计算机系统支持下对遥感图像加工的各种技术方法的统称。遥感图像处理依赖于一定的图像处理设备。对于数字图像处理系统来说，它包括计算机硬件和软件系统两部分。硬件部分包括计算机（完成图像数据处理任务）、显示设备（高分辨率真彩色图像显示）、大容量存贮设备、图像输入输出设备等。软件部分包括数据输入、图像校正、图像变换、滤波和增强、图像融合、图像分类、图像分析及计算、图像输出等功能模块。

（四）遥感信息提取与分析

遥感信息提取是从遥感图像（包括数字遥感图像）等遥感信息中有针对性地提取感兴趣的专题信息，以便在具体领域应用或辅助用户决策。遥感信息分析指通过一定的方法或模型对遥感信息进行研究，判定目标物的性质和特征或深入认识目标物的属性和环境之间的内在关系。

三、草业遥感的应用

21 世纪以来，遥感的应用越来越广泛，小到台式仪器对生物生理结构的分析，大到地球表层外上千公里，以及卫星对地球表面的探测。根据其功能和目的，呈现出多功能和多目标信息收集与分析的特点。

（一）普通遥感的应用

一般来说普通遥感的应用包含以下五个方面。

1）空间遥感：利用探空火箭、人造卫星、人造行星和宇宙飞船等航天运载工具，对外层空间进行的遥感探测。在不久的将来外层空间遥感将会取得丰硕的成果。

2）大气遥感：探测仪器不和大气介质直接接触，在一定距离之外，感知大气的物理状态、化学成分及其随时空的变化，这样的探测技术与方法称为大气遥感。

3）海洋遥感：以海洋和海岸带作为研究与监测对象，其内容涉及海洋学多个领域，如利用遥感技术监测海洋的环流、表面温度、风系统、波浪、生物活动等。卫星海洋遥感已成为海洋科学的新兴分支。在未来几年，中国将发射一系列海洋卫星，实现对中国及周边海域甚至全球海洋的遥感动态监测。

4）陆地遥感：是遥感技术应用最早、应用范围最为广阔深入的一个方面。陆地遥感主要为资源与环境遥感。

5）军事遥感：遥感技术是现代战争“制高点”。侦察卫星从太空轨道上对目标实施侦察、监视或跟踪，以搜集地面、海洋或空中目标军事情报。

（二）草地遥感的应用

基于遥感在农业、林业、环境等相关领域的研究成果，结合草业发展主要研究的要素，目前草业遥感的主要应用有以下几方面。

1）草地类型、土地利用及草地盖度监测。例如，利用遥感影像可以监测草地类型及盖度的空间分布状况（图 7-2）。

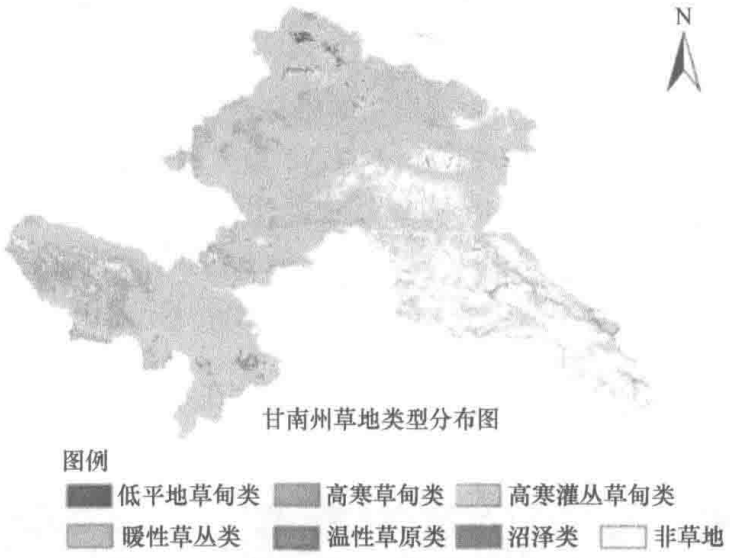
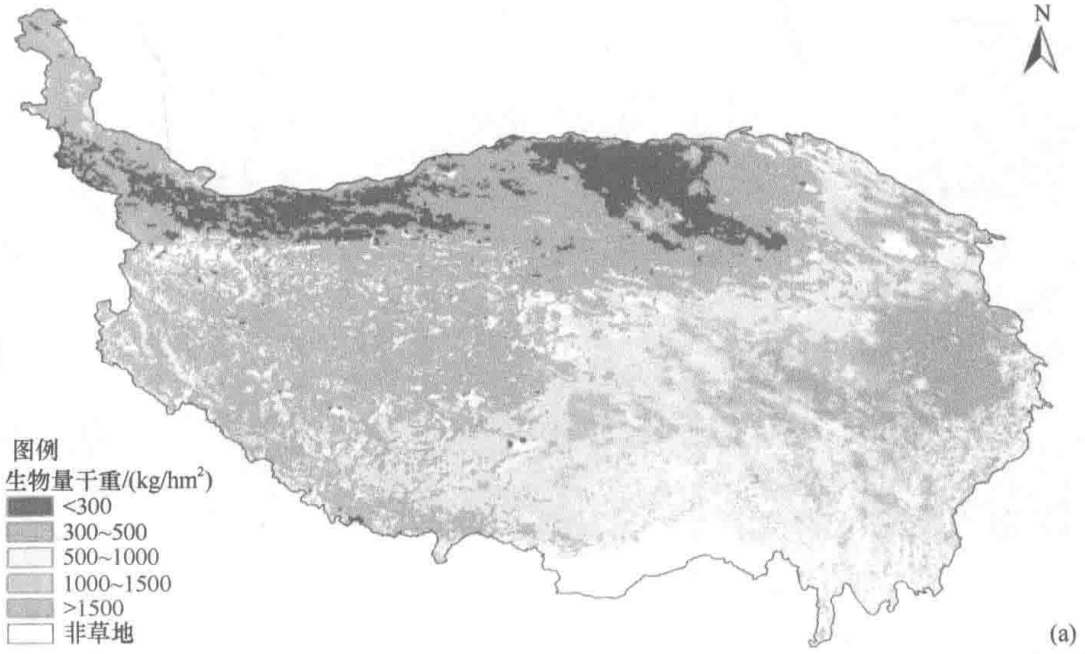


图 7-2　甘肃省甘南藏族自治州草地类型分布图（徐丹丹，2011）

2）草地生物量估测研究。例如，我国青藏高原多年草地生物量动态变化趋势研究（图 7-3）。



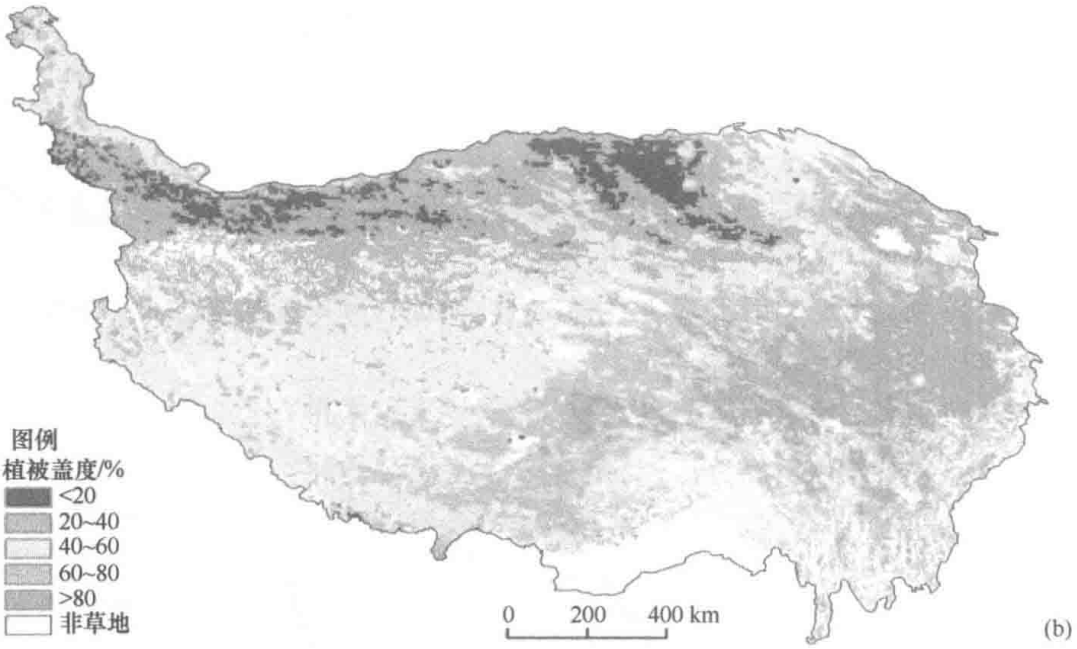


图 7-3 基于 GMMMS NDVI 的青藏高原 1981～2010 年草地生长季地上生物量干重（a）和植被盖度（b）平均值空间分布格局（于惠，2013）

3）草地质量动态监测。例如，加拿大中部草地在不同放牧强度下的草地生态健康状况研究（图 7-4）。

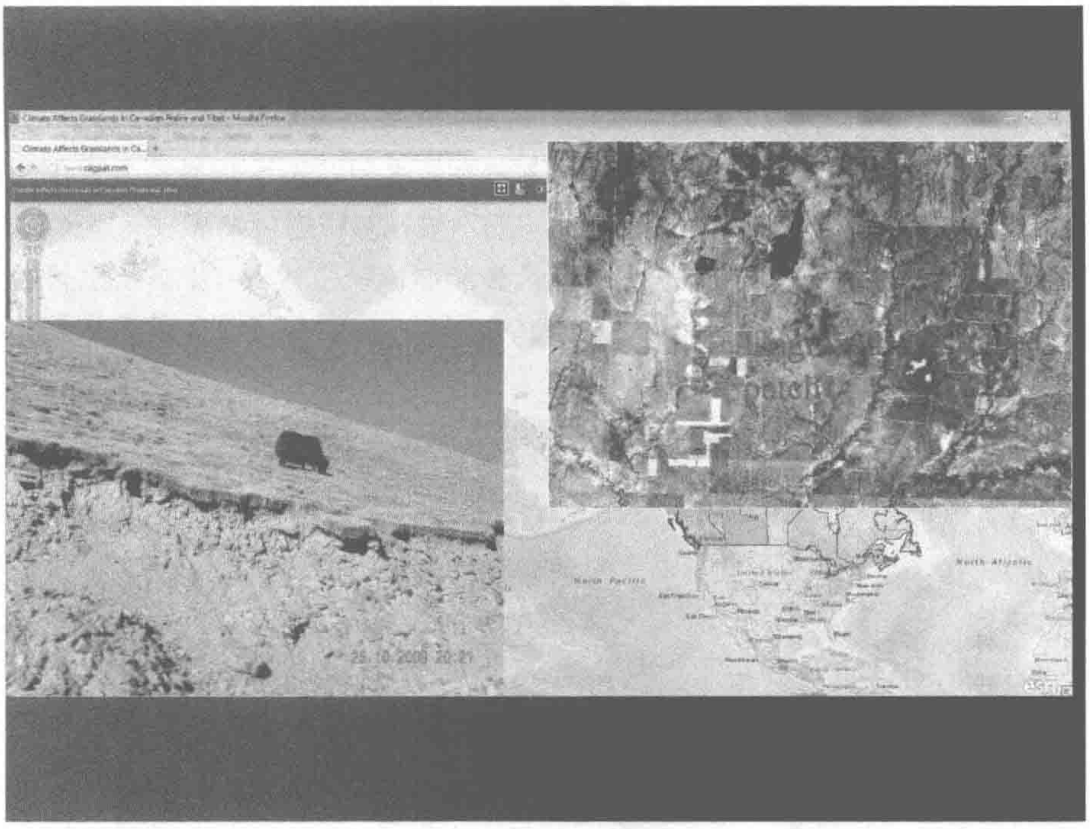


图 7-4 加拿大中部草地生态健康图（Guo and He，2008）

4）草业专家系统的研发与应用。例如，结合遥感资料及 GIS 技术开发的草业专家

系统。

四、草业遥感的发展与展望

（一）遥感技术发展简史

1957 年 10 月 4 日，苏联第一颗人造地球卫星的发射成功，标志着人类从空间观测地球和探索宇宙奥秘进入了新的纪元；1960 年开始，美国发射了 Tele-vision Infrared Observation Satellite（TIROS-1）和 National Oceanic and Atmospheric Administration（NOAA-1）太阳同步气象卫星，开始利用航天器对地球进行长期观测；1960 年美国人 Evelyn Pruitt 提出遥感一词；1972 年 ERTS-1 发射（后改名为 Landsat-1），装有 MSS 传感器，分辨率 79m，标志着遥感进入新阶段；1982 年 Landsat-4 发射，携带 TM 传感器，分辨率提高到 30m；1986 年法国发射 SPOT-1，携带 PAN 和 XS 遥感器，分辨率提高到 10m；1988 年 9 月 7 日中国发射的第一颗“风云一号”气象卫星，其主要任务是获取全球的昼夜云图资料及进行空间海洋水色遥感试验；1999 年美国发射 IKNOS，空间分辨率提高到 1m；1999 年 10 月 14 日中国成功发射资源卫星一号。

（二）草业遥感技术发展趋势

从 20 世纪 80 年代开始，美、英、加拿大、澳大利亚及新西兰等发达国家，在本国农牧业及国际市场发展的需求下，逐步开始了草业遥感的相关研究。随着人类对草业发展技术及理论的完善，对遥感技术的逐渐认识，以及观测技术的进步和社会需求的增加，草业遥感正经历着技术不断完善、能力不断增强、应用领域不断扩大的发展过程。社会需求成为草业遥感技术发展的动力和目标。在 21 世纪前叶，人类进入一个多层次、多角度、全方位和全天候对地观测的新时代。

五、草业遥感工具软件及技术支持

草业遥感所用的专业软件和普通遥感专业所用软件是一致的，在过去近半个世纪的遥感技术发展和应用中，一些功能强大的经典遥感软件逐渐占据着主要用户市场。目前应用范围最广的主要遥感软件有美国的 ERDAS Imagine、ENVI/IDL，加拿大的 PCI、TAITAN 等。这些软件总体说来具有以下主要功能：①系统功能；②输入输出功能；③文件管理或图像数据库管理；④图像显示与屏幕操作；⑤图像的几何变换；⑥图像恢复与图像重建；⑦图像增强；⑧图像统计和图像测量；⑨图像的代数运算、逻辑运算和数学形态学运算；⑩图像变换；⑪纹理分析和空间结构分析；⑫图像分类和图像分割；⑬图像编码与图像压缩；⑭雷达图像的处理与分析；⑮成像光谱图像处理与分析；⑯图像整饰与影像图制作；⑰帮助功能。近十年来应用软件系统发展很快，新一代的智能化遥感影像处理软件已发展起来，代表性的产品有人机交换解译制图系统（IIIMS）、空间决策支持系统（SDSS）、中国航天数码公司的 RSI-ENVI 遥感图像处理系统等。为了方便读者对遥感软件进一步的了解，本书列举了主要遥感软件的官方网站如下：ERDAS Imagine（http://www.hexagongeospatial.com/products/power-portfolio/erdas-imagine），ENVI/IDL

（http://www.rsinc.com/），ERDAS Imagine（http://www.gis.leica-geosystems.com/ Products/Imagine/），PCI Geomatics（http://www.pci.on.ca/），ER Mapper（http://www.ermapper.com/），INTEGRAPH（http://imgs.intergraph.com/gimage/），Ecognition（http://www. definiens-imaging.com/ecognition/pro/40.htm）。

第二节　草业遥感原理

本节从电磁波和电磁波谱、太阳辐射与大气窗口、地物波谱特征、彩色合成原理和遥感时相选择等方面较细致地讲述草业遥感相关的遥感原理。

一、电磁波和电磁波谱

振动的传播称为波，它在真空中的传播速度约为每秒 30 万 km。电磁振动的传播是电磁波，电磁波（又称电磁辐射）是由同相振荡且互相垂直的电场与磁场在空间中以波的形式移动，其传播方向垂直于电场与磁场构成的平面，有效地传递能量和动量。电磁辐射可以按照频率分类，从低频率到高频率，波长由长到短，依次包括无线电波、微波、红外线、可见光、紫外线、X 射线和 γ 射线等（图 7-5）。电磁波的波长越短，其穿透性越强，人眼可接收到的电磁辐射，波长在 380～780nm，称为可见光。只要是本身温度大于绝对零度的物体，都可以发射电磁辐射，而世界上并不存在温度等于或低于绝

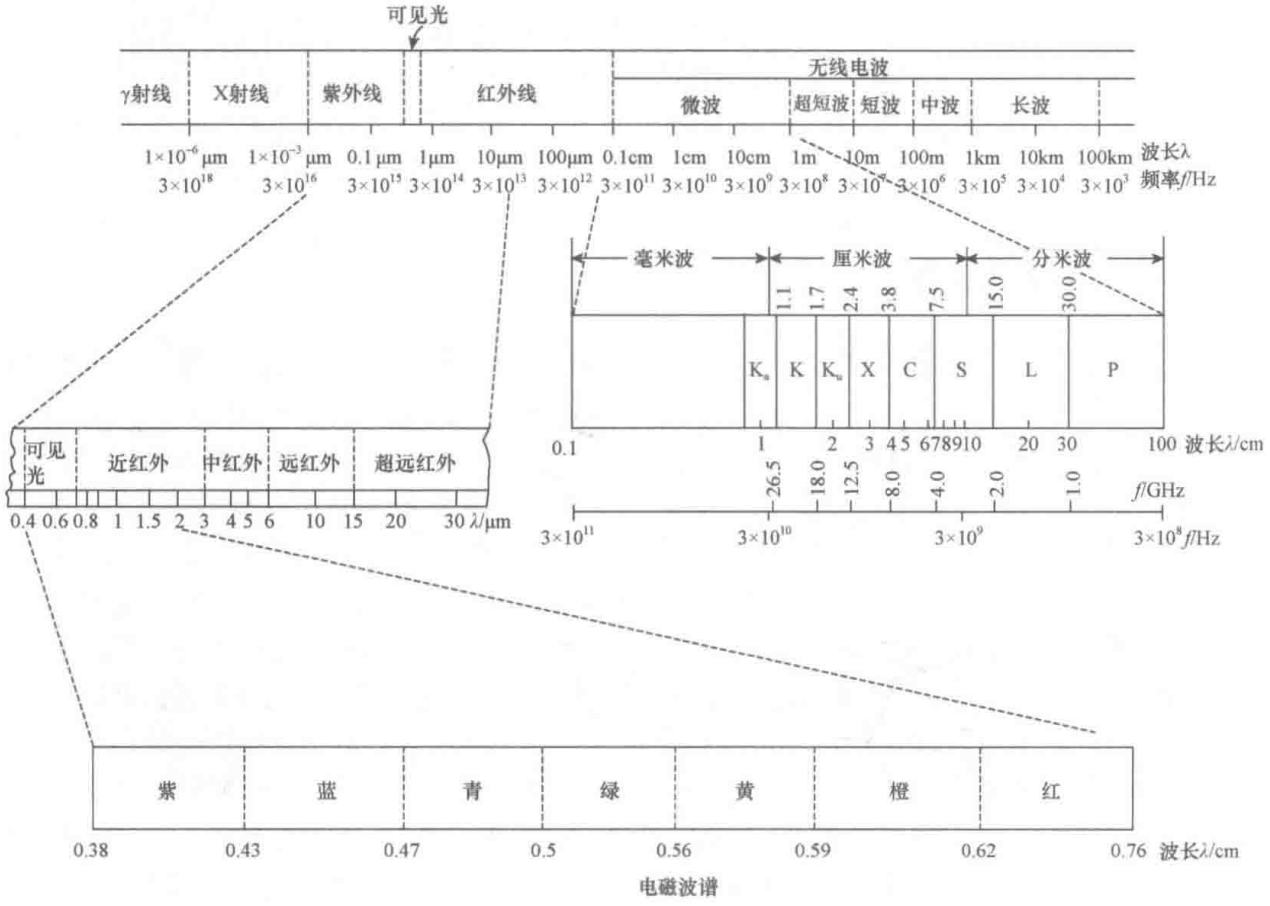


图 7-5　电磁波谱图（梅安新等，2001）

对零度的物体。目前，遥感探测所使用的电磁波波段大多是紫外线、可见光、红外线到微波的光谱段。

把电磁波按波长（或频率）顺序排列就构成了电磁波谱（Electromagnetic Spectrum）。电磁波谱包含电磁波所有可能的频率和波长的范围。特定波长（λ）的电磁波的能量（E）（在真空中）与频率（f）和光速（c）有关。这些物理量的关系如下

$$\lambda=c/f\ (c\text{ 是光速 }3\times10^{8}\text{m/s})$$

$$E=h\cdot f\ (h\text{ 是普朗克常数 }6.626\times10^{-34}\text{J·s})$$

在另一个单位中，$h=4.136\times10^{-15}$eV·s。可见光波长与频率成反比，波长越大，频率越小；反之，频率越大，波长越小，其乘积是一个常数，即光速 c。另外，电磁波的能量与频率成正比，系数为普朗克常数 h，即频率越高，波长越短，能量越大。

电磁波按波长大致可分为：宇宙射线、γ 射线、X 射线、紫外线、可见光、红外线和无线电波。其中，最长的波长是最短波长的 1022 倍以上。各种电磁波的范围是交错式衔接起来的。无线电波是振荡电路中自由电子的运动产生的；红外线、可见光和紫外线是原子的外层受到激发后产生的；X 射线是原子内层电子受到激发后产生的；γ 射线是原子核受到激发后产生的。不同的电磁波段可以使用不同的波长单位，如埃（Å）、纳米（nm）、微米（μm）、毫米（mm）、米（m）等。有时还使用另外两个与波长相关的计量单位：波数（单位为 cm^{-1}）和频率 f[单位为 Hz（赫兹）]。

依照波长的长短及波源的不同，电磁波谱可大致分为以下几部分。

1）无线电波——波长从几千米到 0.3m，一般的电视和无线电广播的波段就是用这种波。

2）微波——波长从 0.3～10^{-3}m，这些波多用在雷达或其他通信系统。

3）红外线——波长从 10^{-3}～7.8×10^{-7}m。

4）可见光——这是人们所能感光的极狭窄的一个波段。波长介于 0.78×10^{-6}～3.8×10^{-6}cm。光是原子或分子内的电子运动状态改变时所发出的电磁波。它是我们能够直接感受而察觉的电磁波极少的那一部分。

5）紫外线——波长从 3×10^{-7}～6×10^{-10}m。这些波产生的原因和光波类似，常常在放电时发出。由于它的能量和一般化学反应所牵涉的能量大小相当，因此紫外光的化学效应最强。

6）伦琴射线（X 射线）——这部分电磁波谱波长介于 2×10^{-9}～6×10^{-12}m。伦琴射线是原子的内层电子由一个能态跳至另一个能态时或电子在原子核电场内减速时所发出的。

7）γ 射线——是波长介于 10^{-10}～10^{-14}m 的电磁波。这种不可见的电磁波是从原子核内发出来的，放射性物质或原子核反应中常有这种辐射伴随着发出。γ 射线的穿透力很强，对生物的破坏力很大。

二、太阳辐射与大气窗口

太阳作为电磁辐射源，它所发出的光也是一种电磁波。太阳光从宇宙空间到达地球

表面须穿过地球的大气层。太阳光在穿过大气层时，会受到大气层对太阳光的吸收和散射影响，因而使透过大气层的太阳光能量受到衰减。但是，大气层对太阳光的吸收和散射影响随太阳光的波长而变化。

通常把太阳光透过大气层时透过率较高的光谱段称为大气窗口。由于地球大气中的各种粒子对辐射的吸收和反射，只有某些波段范围内的天体辐射才能到达地面。大气窗口的光谱段主要有紫外、可见光和近红外波段。地面上的任何物体（即目标物），如大气、土地、水体、植被和人工构筑物等，在温度高于绝对零度（即 0K 或 T=–273.15℃）的条件下，它们都具有反射、吸收、透射及辐射电磁波的特性。当太阳光从宇宙空间经大气层照射到地球表面时，地面上的物体就会对由太阳光所构成的电磁波产生反射和吸收。由于每一种物体的物理和化学特性及入射光的波长不同，因此它们对入射光的反射率也不同。各种物体对入射光反射的规律称为物体的反射光谱。

太阳光谱相当于 6000K 的黑体辐射，太阳辐射的能量主要集中在可见光，其中 0.38～0.76μm 的可见光能量占太阳辐射总能量的 46%，最大辐射强度位于波长 0.47μm 左右；到达地面的太阳辐射主要集中在 0.3～3.0μm 波段，包括紫外、可见光、近红外和中红外；经过大气层的太阳辐射有很大的衰减；各波段的衰减是不均衡的。通常 O_2 吸收带对波长小于 0.2μm 的波段吸收比较强，0.155μm 波段处最强；O_3 吸收带在 0.2～0.36μm 和 0.6μm 等波长处吸收比较强；H_2O 吸收带在 0.5～0.9μm、0.95～2.85μm 和 6.25μm 等波长处吸收比较强；CO_2 吸收带在 1.35～2.85μm、2.7μm、4.3μm 和 14.5μm 等波长处吸收均比较强。

大气从下而上一般分为以下四层。

1）对流层：高度在 7～12km，温度随高度而降低，天气变化频繁，航空遥感主要在该层内。

2）平流层：高度在 12～50km，底部为同温层（航空遥感活动层），同温层以上，温度由于臭氧层对紫外线的强吸收而逐渐升高。

3）电离层：高度在 50～1000km，大气中的 O_2、N_2 受紫外线照射而电离，对遥感波段是透明的，是陆地卫星的活动空间。

4）大气外层：800～35 000km，空气极稀薄，对卫星基本上没有影响。

三、地物波谱特征

地物波谱特性（Spectral Characteristics of Objects）是指地面物体具有的辐射、吸收、反射和透射一定波长范围电磁波的特性。物质内部状态的变化产生电磁波辐射，其波长与不同的运动方式相对应，即不同的物质在光、热等作用下都将产生与其自身固有特性有关的固定波长的电磁波辐射。例如，低温物体发射波长较长的远红外线和微波，高温物体发射波长较短的可见光，动物（包括人）介于二者之间发射红外线。物体对电磁波的辐射和反射能力随波长而变化，构成了各种物体在不同情况下具有不同的波谱特性（图 7-6，图 7-7）。根据产生波谱信号的差异性，可揭示物体的特征，如鉴别土地的光谱

比辐射率和地面温度，即利用物体的波谱特性来识别不同的地物类型。

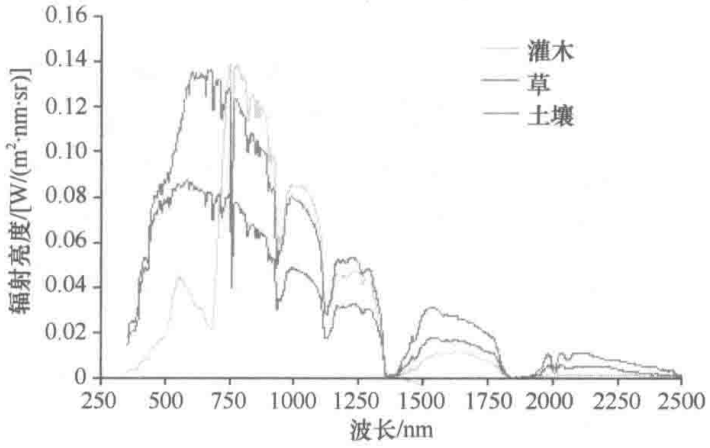


图 7-6　几种地物的辐射光谱曲线图

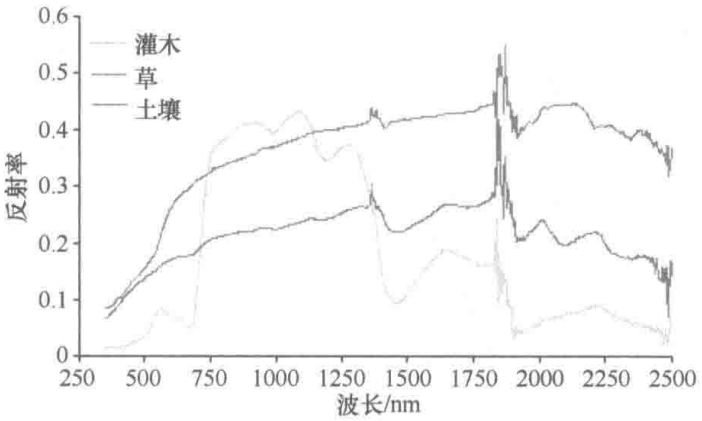


图 7-7　几种地物的反射光谱曲线图（http://www.utsa.edu/lrsg/hjhome.htm）

反射率（ρ）是地物的反射能量与入射总能量的比，即 $\rho=(P_\rho/P_0)\times100\%$。地物在不同波段的反射率是不同的，反射率是可以测定的，反射率也与地物的表面颜色、粗糙度和湿度等有关。

地物的反射光谱曲线指反射率随波长变化的曲线。

到达地面的太阳辐射能量是反射能量、吸收能量和透射能量之和，地表反射的太阳辐射是遥感记录的主要辐射能量。绝大多数物体对可见光都不具备透射能力，而有些物体如水，对一定波长特别是 0.43～0.56μm 的蓝绿光波段具有透射能力。地表吸收太阳辐射后形成自身的热辐射，其峰值波长为 9.66μm，主要集中在长波，即 6μm 以上的远红外区段。地物的辐射能量与温度的四次方成正比，比热容、热惯性大的地物，发射率也大。如水体夜晚发射率大，白天就小。探测地物的热辐射特性的热红外遥感在夜间和白天观测的结果是不同的。热红外遥感探测的地物热辐射量用亮度温度表示，它不同于地面温度，是接收的热辐射能量的转换值，图像上表示为亮度。

在电磁波谱中，波长在 1mm～1m 范围的波称微波。微波具有以下遥感特性：能全天候、全天时工作；对某些地物具有特殊的波谱特征，如对冰、雪、森林、土壤等具有一定穿透能力；对海洋遥感具有特殊意义；空间分辨率较低，但特征明显。

四、彩色合成原理

电磁波谱中可见光能被人眼所感觉而产生视觉，不同波长的光显出不同的颜色。自然界中的物体，对于入射光有不同的选择性吸收和反射能力，而显示出不同的色彩。因此，不同波长和强度的光进入眼睛，使人觉得周围景象五光十色。人的视觉只能分辨出单一波长对应的单色光，如 0.62～0.76μm 波长的光感觉为红色，但不能分出混合色，如 0.7μm 波长的红光与 0.54μm 波长的绿光按一定比例混合叠加后，人眼感觉为黄色。

彩色合成技术就是利用眼睛的视觉特性，以少数几种色光或染料合成出许多不同的颜色。彩色合成一般是用红、绿、蓝三种基本色调，按一定比例混合而成五光十色，但任何两种基色均不能混合成另一种基色。彩色合成方法有两种，一种是加色法，一种是减色法。

加色法是以红、绿、蓝三基色中的两种以上色光按一定比例混合，产生其他色彩的彩色合成法。两种基色按等量叠加得到一种补色。例如，红+绿=黄，红+蓝=品红，绿+蓝=青，其中黄与蓝、品红与绿、青与红为互补色。三基色按等量叠加得到的是消色（白、黑）。例如，红+绿+蓝=白。非互补色不等量叠加，得到两者的中间色。例如，红（多）+绿（少）=橙，红（少）+绿（多）=黄绿。

减色法是指从白光中减去其中一种或两种基色光而产生其他色彩的彩色合成法。减色法一般用于颜料配色，如彩色印刷、染印彩色相片等。减色法中黄色染料是由于吸收了白光中的蓝光，反射红光和绿光的结果。例如，黄=白–蓝。品红染料由于吸收了白光中的绿光，反射红光和蓝光的结果（品红=白–绿）；青染料是由于吸收了白光中的红光，反射蓝光和绿光的结果（青=白–红）。而品红与黄染料混合叠印时呈红色［品红+黄=白–（绿+蓝）=红］；品红与青染料混合叠印时呈蓝色［品红+青=白–（绿+红）=蓝］；黄与青染料混合叠印时呈绿色［黄+青=白–（蓝+红）=绿］；品红、黄、青染料叠印时呈黑色（黄+青+红=黑）。

以上所说是彩色合成和配制的基本原理，实际上色彩是由色度（颜色种类）、亮度（色彩明亮度）和饱和度（色彩深浅）三个指标来衡量的。要重现物体的天然色彩或进行假彩色合成，必须对彩色进行分解，以获得红、绿、蓝三基色分光图像，然后用加色法或减色法还原成本来的颜色。

根据彩色合成原理，可选择同一目标的单个多光谱数据合成一幅彩色图像，当合成图像的红绿蓝三色与三个多光谱段相吻合，这幅图像就再现了地物的彩色，称为真彩色合成。

假彩色合成是根据加色法或减色法，将多波段单色影像合成为假彩色影像的一种彩色增强技术。合成彩色影像常与天然色彩不同，且可任意变换，故称假彩色影像。合成方法很多，主要有光学法、电子光学法、染印法等。最常用的是利用加色法原理制成的彩色合成仪（加色观察器）来合成假彩色影像：将 3 张不同波段的黑白透明正片（如对应于绿、红和近红外波段）分别匹配以蓝、绿、红滤色镜，经投影合成于屏幕上，则显

示出具有彩色红外影像效果的假彩色影像。若多光谱片、滤色镜光谱响应完全一致，投影光源光谱成分与遥感成像时的太阳（经大气传输）光谱成分一致，则合成影像是真彩色影像。但这种条件难以满足，且彩色合成的目的在于彩色增强而不是彩色复原。故可通过变换多波段单色影像数目，如 2～4 个或同滤色镜的不同组合来改变假彩色影像色彩，以达到不同应用目的。陆地卫星多光谱扫描影像彩色合成，常采用 MSS4+MSS5+MSS7 与蓝+绿+红的常规组合。其合成效果色彩鲜艳，层次分明，轮廓突出，适于综合性判读分析。染印、印刷法由黄、品红、青 3 种不同波段透明影像严格配准叠加而成的假彩色合成影像，则是根据减色法原理成像的，仅用于制作“硬拷贝”（屏幕显示称“软拷贝”）。

如植被在彩红外像片上表现为不同程度的品红到红色，水体在彩红外像片上表现为蓝到青色（清水呈蓝色，浊水呈青色），湿地呈青色，城市呈现内部有纵横纹理的青色，公园、绿化带呈品红到红色，干旱裸地和沙漠都呈黄色，雪和云都呈白色。

五、物候学与遥感最佳时相的选择

物候学（Phenology）是把气候或气象在各个时期的变化同自然界其他诸多种现象联系起来研究的科学，但实际上则是以生物现象为主要对象，所以也称为生物季节学或花历学。例如，根据植物在各地的发芽、开花、展叶、红叶、落叶等时期的调查，可以对各地的气候进行比较。对于动物，则调查“鸟的迁徙”、不同种类动物的休眠、孵化、变态等时期，这可以说是一种生物钟。对农业、预防医学等都有一定的作用，但是生物现象是在非常繁多的复杂环境条件下产生的，与某一气候因素不一定有因果关系，然而假如有平行的关系，就能显示高的相关系数，所以有注意的必要。中国最早的物候记载见于《诗经·幽风·七月》，如“四月秀，五月鸣蜩”等。在欧洲，古希腊时代的雅典人曾编制用于农业的物候历。美国的霍普金斯（A. D. Hopkins）于 1918 年提出了北美地区物候现象随空间分布的生物气候定律。20 世纪 70 年代美国进行了物候学与季节性生态系统的研究，把电子计算机制图、模拟与遥感等新技术应用到物候学的研究中。中国现代物候学研究的奠基者是竺可桢。1931 年发表《论新月令》，1934 年首次在中国建立物候观测网，1962 年又建立全国性物候观测网。物候学研究已成为生态系统分析和管理的一个方面，在现代遥感科学中，已采用人工实验模拟、数学模式等先进手段与遥感数据结合进行大量生物资源的遥感监测。环境对动植物生长和发育的影响是一个极其复杂的过程。但是，用仪器只能记录当时的环境条件的某些个别因素，而物候现象却是过去和现在各种环境因素的综合反映。因此，物候现象可以作为遥感研究中环境因素影响的指标，也可以用来评价环境因素对动植物影响的总体效果。

在生物遥感尤其是植被遥感中，结合物候学原理选择最佳的时相进行遥感数据收集是草业遥感的基础工作。具体时相的选择应遵循以下原则：①最近时间性；②云量合适性；③光谱信息表达最强性；④信息保存有效性；⑤人为影响最小性。

第三节　草业遥感方法

草业遥感的方法选用植被与环境遥感的普遍方法，但有着自己独特的特点。按其遥感数据的获取方式主要分为地面遥感和空间遥感；按其有效信息的提取方式分为目视解译、完全计算机自动分类的非监督分类和计算机辅助的监督分类。

一、草业遥感的主要方式

（一）地面遥感研究

遥感器位于地面的遥感，即以手持、支架、高塔、车、船为平台的遥感技术系统称为地面遥感。将地物波谱仪或其他传感器安装在这些平台上，可以进行各种地物波谱测量、探测和采集地物目标信息。

（二）空间遥感研究

分为航天遥感和航空遥感，前者是指遥感用的传感器集成在航天飞行器（如卫星、宇宙飞船、空间站）等平台上，在大气顶端或大气层外对地物进行探测感知并收集相关波谱信号数据进行分析；后者主要指传感器搭载在气球、飞艇、飞机等大气层内航空飞行器材上进行的遥感探测研究。

二、主要的草业遥感数据介绍

草地遥感主要对象的特征波段范围如表 7-1 所示，下面主要介绍几种相关的常用遥感数据资源。

表 7-1　草地遥感主要对象的特征波段范围

通道序号	波长范围/μm	主要用途
1	0.58～0.68	白天图像、植被、冰雪、气候……
2	0.725～1.00	白天图像、植被、水/路边界、农业估产、土地利用调查……
3a*	1.58～1.64	白天图像、土壤湿度、云雪判识、干旱监测、云相区分……
3b*	3.55～3.93	下垫面高温点、夜间云图、森林火灾、火山活动
4	10.30～11.30	昼夜图像、海表和地表温度、土壤湿度
5	11.50～12.50	昼夜图像、海表和地表温度、土壤湿度

注：3a*为白天工作；3b*为夜间工作

（一）低分辨率遥感数据

1. NOAA 数据

NOAA 的轨道是接近正圆的太阳同步轨道，轨道高度为 870km 和 833km，轨道倾

角为 98.9°和 98.7°，周期为 101.4min。NOAA 的应用目的是日常的气象业务，平时有两颗卫星运行。由于一颗卫星每天至少可以对地面同一地区进行 2 次观测，所以 2 颗卫星就可以进行 4 次以上的观测。NOAA 携带的探测仪器主要有高分辨率辐射计（AVHRR/2）和泰罗斯垂直分布探测仪（TOVS）。AVHRR/3 包括 5 个波段，即可见光红色波段、近红外波段、中红外波段和两个热红外波段，如表 7-1 所示，其中波段 3a 白天工作，波段 3b 夜间工作。

2. MODIS 数据

MODIS 的全称为中分辨率成像光谱仪（Moderate-resolution Imaging Spectro Radiometer），是搭载在 Terra 和 Aqua 卫星上一个重要的传感器，是卫星上唯一将实时观测数据通过 x 波段向全世界直接广播，并可以免费接收数据并无偿使用的星载仪器，全球许多国家和地区都在接收和使用 MODIS 数据。EOS 卫星轨道高度为距地球 705km，目前第一颗上午轨道卫星（Terra）过境时间为地方时上午 11:30 左右，一天最多可以获得 4 条过境轨道资料。MODIS 最大空间分辨率可达 250m，扫描宽度 2330km。MODIS 是当前世界上新一代“图谱合一”的光学遥感仪器，有 36 个离散光谱波段，光谱范围宽，从 0.4μm（可见光）到 14.4μm（热红外）全光谱覆盖。

3. “风云”气象卫星数据

“风云”气象卫星系列，包括“风云一号”太阳同步轨道气象卫星（又称极轨气象卫星）和“风云二号”地球静止轨道气象卫星，“风云一号”卫星已发射了三颗，“风云二号”卫星发射了两颗。2008 年 5 月 27 日，我国新一代极轨气象卫星风云三号 A 星被成功送入预定轨道。随着卫星一同被送入太空的还有星上装载的 11 个先进的遥感仪器及 99 个光谱探测通道，其中有 5 个通道的分辨率达到 250m。风云三号卫星是极轨卫星，每天会对全球扫描 2 次，每次扫描宽度为 2900km，具有全球性，携带有垂直探测仪，可以对地面上空 30 多千米的范围形成立体的彩色图像，从而大大增强了气象预报的精细化和准确度。

（二）中分辨率遥感数据

1. SPOT 卫星

1978 年起，以法国为主，联合比利时、瑞典等当时的欧共体国家，设计、研制了一颗名为“地球观测实验系统”（SPOT）的卫星，至今已发射 SPOT 卫星 1-7 号，该系列卫星属于中等高度（832km）圆形近极地太阳同步轨道卫星（参数见表 7-2），SPOT 影像就是 SPOT 系列卫星观测到的遥感数据。20 世纪 80 年代末 90 年代初先后发射的 SPOT1，2，3，均已停止工作；现在正常运行的有 1998 年 3 月发射的 SPOT4，2002 年 5 月发射的 SPOT5，2012 年 9 月发射的 SPOT6，2014 年 6 月发射的 SPOT7。SPOT4-7 搭载的成像系统主要有宽视域植被探测仪（VGT）、高分辨率几何成像装置（HRG）、高分辨率立体成像装置（HRS）和新型 Astrosat 平台光学模块化设备（NAOMI），影像幅宽通常为 60km×60km，SPOT 影像分全色和多光谱两类，波长范围覆盖 0.43～1.78μm，目前全色

和多光谱影像能达到的最大分辨率分别为 1.5m 和 6m。

表 7-2 SPOT 卫星参数

标称轨道高度	832km
轨道倾角	98.7°
运行一圈的周期	101.46min
日绕总圈数	14.19 圈
重复周期	26d
降交点地方太阳时	10:30（±15min）
地面扫描宽度	60km
舷向每行像元数	3000/6000 个

2. Landsat 数据

陆地卫星 Landsat 1972 年发射第一颗，共发射了 8 颗，产品主要有 MSS、TM、ETM+、OLI，属于中高度、长寿命的卫星。主要搭载的遥感传感器：①MSS：多光谱扫描仪，5 个波段；②TM：主题绘图仪，7 个波段；③ETM+：增强主题绘图仪，8 个波段；④OLI：陆地成像仪，9 个波段（表 7-3）。

表 7-3 Landsat 卫星参数

项目	卫星编号	
	1、2、3	4、5、7
轨道高度	918km	705km
轨道倾角	99.125°	98.2°
运行周期	103min/圈	98.9min/圈
扫描宽度	185km	185km
重复周期	18d	16d

3. CBERS 数据

中国与巴西合作制造的中巴资源卫星 CBERS，包括中巴地球资源卫星 01 星、02 星、02B 星（均已退役）、02C 星和 04 星 5 颗卫星。搭载有高分辨率 CCD 相机，具有与陆地卫星的 TM 类似的几个谱段（5 个谱段），其星下点分辨率为 19.5m，高于 TM；覆盖宽度为 113km。B1 通道为蓝色，波段范围 0.45～0.52μm；B2 通道为绿光，波段范围 0.52～0.59μm；B3 通道为红光，波段范围 0.63～0.69μm；B4 通道为近红外，波段范围 0.77～0.89μm；B5 通道为可见光全波段，波段范围 0.51～0.73μm。

4. 环境卫星数据

环境一号卫星（全称为环境与灾害监测预报小卫星星座，简称“环境一号”，代号 HJ-1）是中国第一个专门用于环境和灾害监测的对地观测系统，由 2 颗光学卫星（HJ-1A 卫星和 HJ-1B 卫星）和一颗雷达卫星（HJ-1C 卫星）组成，拥有光学、红外、超光谱多

种探测手段，具有大范围、全天候、全天时、动态的环境和灾害监测能力。环境与灾害监测预报小卫星星座 A、B 星（HJ-1A/1B 星）于 2008 年 9 月 6 日上午 11 点 25 分成功发射，HJ-1A 星搭载了 CCD 相机和超光谱成像仪（HSI），HJ-1B 星搭载了 CCD 相机和红外相机（IRS）。在 HJ-1A 卫星和 HJ-1B 卫星上装载的两台 CCD 相机设计原理完全相同，以星下点对称放置，平分视场、并行观测，联合完成对地刈幅宽度为 700km、地面像元分辨率为 30m、4 个谱段的推扫成像。HJ-1C 于 2012 年 11 月 19 日发射，是中国首颗 S 波段（厘米级微波）合成孔径雷达（SAR）卫星，质量 890kg，轨道高度为 500km，S 波段 SAR 雷达具有条带和扫描两种工作模式，成像带宽度分别为 40km 和 100km。HJ-1C 的 SAR 雷达单视模式空间分辨率可到 5m，距离向四视分辨率为 20m，提供的 SAR 图像以多视模式为主。

（三）高分辨率遥感数据

1. IKONOS 数据

自从 1994 年 3 月 10 日之后，解禁了过去不准 10～1m 级分辨率遥感图像商业销售，使得高分辨率卫星遥感成像系统迅速发展起来。美国空间成像公司（Space-Imaging）的 IKONOS 卫星是最早获得许可的卫星之一。经过 5 年的努力，于 1999 年 9 月 24 日空间成像公司率先将 IKONOS-2 高分辨率（全色 1m，多光谱 4m）卫星，由加利福尼亚瓦登伯格空军基地发射升空。具有太阳同步轨道，倾角为 98.1°，设计高度 681km（赤道上），轨道周期为 98.3min，下降角在上午 10:30，重复周期 1～3d。全色光谱响应范围介于 0.15～0.90μm，而多光谱则相应于 Landsat-TM 的波段，即多光谱波段 MSI1 为蓝绿波段，波段范围介于 0.45～0.52μm；MSI2 波段范围 0.52～0.60μm 绿红波段；MSI3 波段范围 0.63～0.69μm 红波段；MSI4 波段范围 0.76～0.90μm 近红外波段。

2. QuickBird 数据

美国 Digital Globe 公司的高分辨率商业卫星，于 2001 年 10 月 18 日发射成功。卫星轨道高度 450km，倾角 98°，卫星重访周期 1～6d（与纬度有关）。QuickBird 图像是目前世界上分辨率最高的民用遥感数据，全色波段图像的空间分辨率为 0.61m，幅宽 16.5km，可应用于制图、城市规划、环境管理、农业评估等众多领域（表 7-4）。

表 7-4　QuickBird 卫星波段参数

数据类型	波段范围/μm	分辨率/m
多波段	蓝：0.45～0.52	2.44
	绿：0.52～0.60	2.44
	红：0.63～0.69	2.44
	近红外：0.76～0.90	2.44
全波段	0.45～0.90	0.61

3. WorldView 数据

WorldView 是 Digital Globe 公司的下一代商业成像卫星系统。它由 2 颗（WorldView-I

和 WorldView-II）卫星组成，其中 WorldView-I 已于 2007 年发射，WorldView-II 也在 2009 年 10 月份发射升空。

WorldView-I 卫星运行在高度 450km、倾角 98°、周期 93.4min 的太阳同步轨道上，平均重访周期为 1.7d，星载大容量全色成像系统每天能够拍摄多达 50 万 km^2 的 0.5m 分辨率图像。卫星还将具备现代化的地理定位精度能力和极佳的响应能力，能够快速瞄准要拍摄的目标和有效地进行同轨立体成像。

WorldView-II 卫星运行在 770km 高的太阳同步轨道上，能够提供 0.5m 全色图像和 1.8m 分辨率的多光谱图像。该卫星将使 Digital Globe 公司能够为世界各地的商业用户提供满足其需要的高性能图像产品。星载多光谱遥感器不仅将具有 4 个业内标准谱段（蓝色波段：450～510nm；绿色波段：510～580nm；红色波段：630～690nm；近红外线波段：770～895nm），还能提供以下新的彩色波段的分析。

1）海岸波段（400～450nm），这个波段支持植物鉴定和分析，也支持基于叶绿素和渗水的规格参数表的深海探测研究。由于该波段经常受到大气散射的影响，已经应用于大气层纠正技术。

2）黄色波段（585～625nm），过去经常被说成是 yellow-ness 特征指标，是重要的植物应用波段。该波段将被作为辅助纠正真色度的波段，以符合人类视觉的欣赏习惯。

3）红色边缘波段（705～745nm），辅助分析有关植物生长情况，可以直接反映出植物健康状况有关信息。

4）近红外 2 波段（860～1040nm），这个波段部分重叠在 NIR 1 波段上，但较少受到大气层的影响。该波段支持植物分析和单位面积内生物数量的研究。

多样性的谱段将为用户提供进行精确变化检测和制图的能力，由于 WorldView 卫星对指令的响应速度更快，因此图像的周转时间（从下达成像指令到接收到图像所需的时间）仅为几个小时。

4. 中国高分卫星

“高分一号”（GF-1）是我国高分辨率对地观测卫星系统重大专项（简称“高分专项”）的第一颗卫星。“高分专项”于 2010 年 5 月全面启动，计划到 2020 年建成我国自主的陆地、大气和海洋观测系统。GF-1 卫星搭载了两台 2m 分辨率全色/8m 分辨率多光谱相机，四台 16m 分辨率多光谱相机。此外，“高分一号”的宽幅多光谱相机幅宽达到了 800km，而法国发射的 SPOT6 卫星幅宽仅有 60km。“高分一号”在具有类似空间分辨率的同时，可以在更短的时间内对一个地区重复拍照，其重复周期只有 4d，而世界上同类卫星的重复周期大多为 10d。可以说，“高分一号”实现了高空间分辨率和高时间分辨率的完美结合。

“高分二号”卫星（GF-2）是我国自主研制的首颗空间分辨优于 1m 的民用光学遥感卫星，可在遥感集市平台中查询到，搭载有两台高分辨率 1m 全色、4m 多光谱相机，具有亚米级空间分辨率、高定位精度和快速姿态机动能力等特点，有效地提升了卫星综合观测效能，达到了国际先进水平。主要用户为国土资源部、住房和城乡建设部、交通运输部和国家林业局等部门，同时还将为其他用户部门和有关区域提供示范应用

服务。

实际上，“高分专项”是一个非常庞大的遥感技术项目，包含至少 7 颗卫星和其他观测平台，分别编号为“高分一号”到“高分七号”，它们都将在 2020 年前发射并投入使用。“高分一号”为光学成像遥感卫星；“高分二号”也为光学遥感卫星，但全色和多光谱分辨率都提高一倍，分别达到了 1m 全色和 4m 多光谱；“高分三号”为 1m 分辨率；“高分四号”为地球同步轨道上的光学卫星，全色分辨率为 50m；“高分五号”不仅装有高光谱相机，而且还拥有多部大气环境和成分探测设备，如可以间接测定 PM2.5 的气溶胶探测仪；“高分六号”的载荷性能与“高分一号”相似；“高分七号”则属于高分辨率空间立体测绘卫星。“高分”系列卫星覆盖了从全色、多光谱到高光谱，从光学到雷达，从太阳同步轨道到地球同步轨道等多种类型，构成了一个具有高空间分辨率、高时间分辨率和高光谱分辨率能力的对地观测系统。

（四）微波遥感数据

微波遥感是传感器的工作波长在微波波谱区的遥感技术，是利用某种传感器接受各种地物发射或者反射的微波信号，借以识别、分析地物，提取地物的信息。微波遥感的突出优点是具全天候工作能力，不受云、雨、雾的影响，可在夜间工作，并能透过植被、冰雪和干沙土，以获得近地面以下的信息。广泛应用于海洋研究、陆地资源调查和地图制图。

微波遥感的工作方式分主动式（有源）微波遥感和被动式（无源）微波遥感。前者由传感器发射微波波束，再接收由地面物体反射或散射回来的回波，主要传感器是雷达；此外，还有微波高度计和微波散射计。后者通过传感器，接收来自目标地物发射的微波；被动接收目标地物微波辐射的传感器为微波辐射计，被动探测目标地物微波散射特性的传感器为微波散射计。

例如，JERS 传感器数据来源于日本地球资源卫星，具有近圆形、近极地、太阳同步、中等高度轨道，是一颗将光学传感器和合成孔径雷达系统置于同一平台上的卫星，主要用途是观测地球陆域、开展地学研究等。共有 3 台遥感器：可见光近红外辐射计（VNR）、短波红外辐射计（SWIR）和合成孔径雷达（SAR）。其中，SAR 是一套多波束合成孔径雷达，工作频率为 5.3GHz，属 C 频段，HH 极化。SAR 扫描左侧地面。它有 5 种工作模式，5 种模式的照射带分别为 500km、300km、200km、300km 与 500km 和 800km，地面分辨率分别为 28m×25m、28m×25m、9m×l0m、30m×35m 与 55m×32m 和 28m×31m。

三、草业遥感信息分类方法

常用的草业遥感信息提取的方法有两大类：一是目视解译，二是计算机信息提取，下面我们分别进行介绍。

（一）目视解译

目视解译是指利用图像的影像特征（色调或色彩，即波谱特征）和空间特征（形状、

大小、阴影、纹理、图形、位置和布局），与多种非遥感信息资料（如地形图、各种专题图）组合，运用其相关规律，进行由此及彼、由表及里、去伪存真的综合分析和逻辑推理的思维及判识过程。早期的目视解译多是纯人工在像片上解译，后来发展为人机交互方式，并应用一系列图像处理方法进行影像的增强，提高影像的视觉效果后在计算机屏幕上解译。

1. 遥感影像目视解译原则

遥感影像目视解译的原则是先“宏观”后“微观”、先“整体”后“局部”、先“已知”后“未知”、先“易”后“难”等。一般判读顺序包括：在中小比例尺像片上通常首先判读水系，确定水系的位置和流向；再根据水系确定分水岭的位置，区分流域范围；然后再判读大片农田的位置、居民点的分布和交通道路。在此基础上，再进行地质、地貌等专门要素的判读。

2. 遥感影像目视解译方法

（1）总体观察

观察图像特征，分析图像对判读目的任务的可判读性和各判读目标间的内在联系。观察各种直接判读标志在图像上的反映，从而可以把图像分成大类别及其他易于识别的地物特征。

（2）对比分析

对比分析包括多波段图像、多时域图像、多类型图像的对比分析和各判读标志的对比分析。多波段图像对比有利于识别在某一波段图像上灰度相近但在其他波段图像上灰度差别较大的物体；多时域图像对比分析主要用于物体的变化繁衍情况监测；而多类型图像对比分析则包括不同成像方式、不同光源成像、不同比例尺图像等之间的对比。

各种直接判读标志之间的对比分析，可以识别标识相同（如色调、形状），而另一些标识不同（纹理、结构）的物体。对比分析可以增加不同物体在图像上的差别，以达到识别目的。

（3）综合分析

综合分析主要应用于间接判读标志、已有的判读资料、统计资料，对图像上表现得很不明显，或毫无表现的物体、现象进行判读。间接判读标志之间相互制约、相互依存。根据这一特点，可做更加深入细致的判读。例如，对已知判读为农作物的影像范围，按农作物与气候、地貌、土质的依赖关系，可以进一步区别出作物的种类；河口泥沙沉积的速度、数量与河流汇水区域的土质、地貌、植被等因素有关，长江、黄河河口泥沙沉积情况不同，正是因为流域内的自然环境不同所致。地图资料和统计资料是前人劳动的可靠结果，在判读中起着重要的参考作用，但必须结合现有图像进行综合分析，才能取得满意的结果。实地调查资料，限于某些地区或某些类别的抽样，不一定完全代表整个判读范围的全部特征。只有在综合分析的基础上，才能恰当应用、正确判读。

（4）参数分析

参数分析是在空间遥感的同时，测定遥感区域内一些典型物体（样本）的辐射特性数据、大气透过率和遥感器响应率等数据，然后对这些数据进行分析，达到区分物体的目的。

大气透过率的测定可同时在空间和地面测定太阳辐射照度，按简单比值确定。仪器响应率由实验室或飞行定标获取。利用这些数据判定未知物体属性可从两个方面进行：一方面，用样本在图像上的灰度与其他影像比较，凡灰度与某样本灰度值相同者，则与该样本同属性。另一方面，由地面大量测定各种物体的反射特性或发射特性，把它们转化成灰度；然后根据遥感区域内各种物体的灰度，比较图像上的灰度，即可确定各类物体的分布范围。

（二）计算机信息提取

利用计算机进行遥感信息的提取又分为完全自动提取信息的非监督分类法和依靠人工选择不同信息训练样区然后按设定规则进行计算机信息提取的监督分类法。计算机提取遥感信息必须使用数字图像，由于地物在同一波段、同一地物在不同波段都具有不同的波谱特征，通过对某种地物在各波段的波谱曲线进行分析，根据其特点进行相应的增强处理后，可以在遥感影像上识别并提取同类目标物。早期的自动分类和图像分割主要是基于光谱特征，后来发展为结合光谱特征、纹理特征、形状特征、空间关系特征等综合因素的计算机信息提取。

常用的信息提取方法是遥感影像的计算机自动分类。首先，对遥感影像室内预判读；其次，进行野外调查，旨在建立各种类型的地物与影像特征之间的对应关系，并对室内预判结果进行验证；再次，工作转入室内后，选择训练样本并对其进行统计分析，用适当的分类器对遥感数据分类，对分类结果进行后处理；最后，进行精度评价。遥感影像的分类一般是基于地物光谱特征、形状特征、空间关系特征等方面特征，目前大多数研究还是基于地物光谱特征。

在计算机分类之前，往往要做些预处理，如校正、增强、滤波等，以突出目标物特征或消除同一类型目标的不同部位因光照条件不同、地形变化、扫描观测角的不同而造成的亮度差异等。利用遥感图像进行分类，就是对单个像元或比较匀质的像元组给出对应其特征的名称，其原理是利用图像识别技术实现对遥感图像的自动分类。计算机用以识别和分类的主要标志是物体的光谱特性，图像上的其他信息如大小、形状、纹理等标志尚未充分利用。

常见的计算机图像分类方法有两种，即监督分类和非监督分类。监督分类，首先要从欲分类的图像区域中选定一些训练样区，在这样训练区中地物的类别是已知的，用它建立分类标准，然后计算机将按同样的标准对整个图像进行识别和分类。它是一种由已知样本，外推未知区域类别的方法。非监督分类是一种无先验（已知）类别标准的分类方法。对于待研究的对象和区域，没有已知类别或训练样本作标准，而是利用图像数据本身能在特征测量空间中聚集成群的特点，先形成各个数据集，然后再核对这些数据集所代表的物体类别。

与监督分类相比，非监督分类具有下列优点：不需要对被研究的地区有事先的了解，对分类的结果与精度要求相同的条件下，在时间和成本上较为节省，但实际上，非监督分类不如监督分类的精度高，所以监督分类使用更为广泛。

1. 非监督分类方法介绍

非监督分类又称聚类分析或点群分析，包括动态聚类、模糊聚类、系统聚类和分裂法等方法。

1）动态聚类：聚类的方法主要有基于最邻近规则的试探法、K-means 均值算法、迭代自组织的数据分析法（ISODATA）等。

2）模糊聚类法：根据是否需要先验知识也可以分为监督分类和非监督分类。

3）系统聚类：这种方法是将影像中每个像元各自看作一类，计算各类间均值的相关系数矩阵，从中选择最相关的两类进行合并形成新类，并重新计算各新类间的相关系数矩阵，再将最相关的两类合并，这样继续下去，按照逐步结合的方法进行类与类之间的合并，直到各个新类间的相关系数小于某个给定的阈值为止。

4）分裂法：又称等混合距离分类法，它与系统聚类的方法相反，在开始时将所有像元看成一类，求出各变量的均值和均方差，按照一定公式计算分裂后两类的中心，再算出各像元到这两类中心的聚类，将像元归并到距离最近的那一类去，形成两个新类；然后再对各个新类进行分类，只要有一个波段的均方差大于规定的阈值，新类就要分裂。

图 7-8 为甘肃省甘南藏族自治州玛曲县景观类型的非监督分类结果，分类精度如表 7-5 所示。

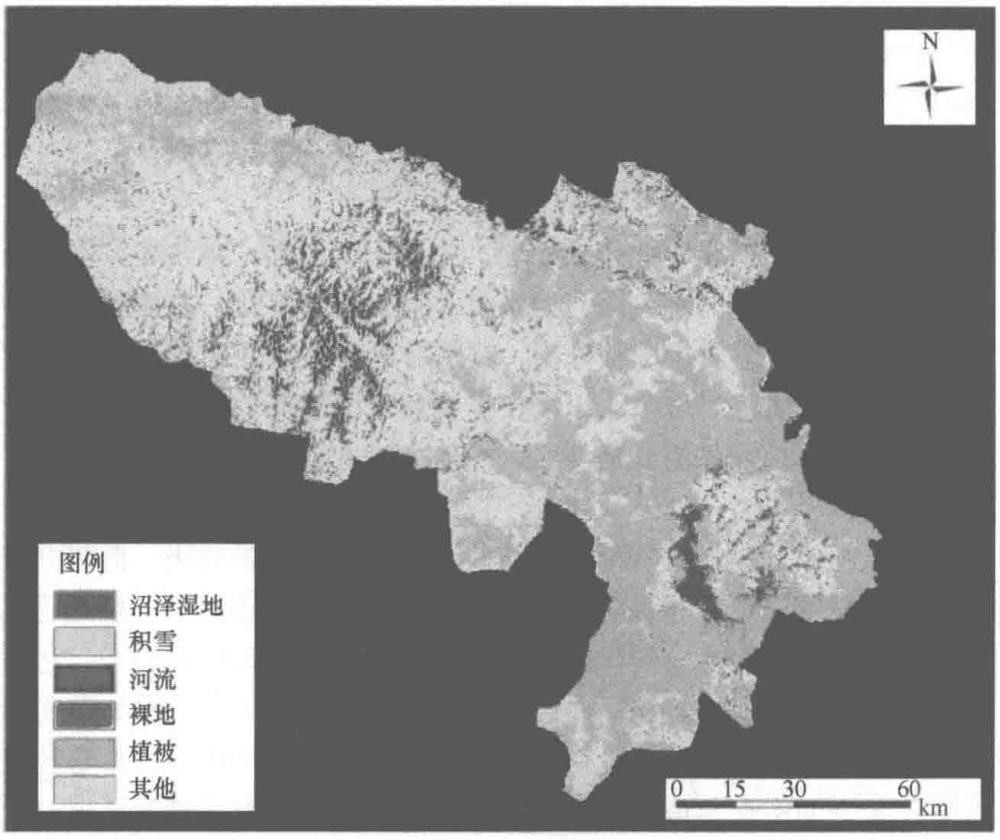


图 7-8　甘南玛曲景观类型非监督分类图

表 7-5　分类精度　（单位：%）

景观类型	沼泽湿地	积雪	河流	裸地	植被
产品精度	78.55	70.40	88.21	79.67	81.56
用户精度	82.35	71.20	84.65	88.73	87.23
总体精度			78.53		

2. 监督分类方法介绍

（1）专家分类器分类

细小地物在影像上有规律地重复出现，它反映了色调变化的频率，纹理形式很多，包括点、斑、格、垅、栅。在这些形式的基础上，根据粗细、疏密、宽窄、长短、直斜和隐显等条件还可再细分为更多的类型。每种类型的地物在影像上都有其自身的纹理图案，因此可以从影像的这一特征识别地物。纹理反映的是亮度（灰度）的空间变化情况，有三个主要标志：某种局部的序列性在比该序列更大的区域内不断重复；序列由基本部分非随机排列组成；各部分大致都是均匀的统一体，在纹理区域内的任何地方都有大致相同的结构尺寸。这个序列的基本部分通常称为纹理基元。因此，可以认为纹理是由基元按某种确定性的规律或统计性的规律排列组成的，前者称为确定性纹理（如人工纹理），后者呈随机性纹理（或自然纹理）。对纹理的描述可通过纹理的粗细度、平滑性、颗粒性、随机性、方向性、直线性、周期性、重复性等这些定性或定量的概念特征来表征。

相应的众多纹理特征提取算法也可归纳为两大类，即结构法和统计法。结构法把纹理视为由基本纹理元按特定的排列规则构成的周期性重复模式，因此常采用基于传统的 Fourier 频谱分析方法以确定纹理元及其排列规律。此外，结构元统计法和纹理分析也是常用的提取方法。结构法在提取自然景观中不规则纹理时就遇到困难，这些纹理很难通过纹理元的重复出现来表示，而且纹理元的抽取和排列规则的表达本身就是一个极其困难的问题。在遥感影像中纹理绝大部分具有随机性，服从统计分布，一般采用统计法纹理分析。目前用得比较多的方法有共生矩阵法、分形维方法、马尔可夫随机场方法等。其中，共生矩阵法是一种比较传统的纹理描述方法，它可从多个侧面描述影像纹理特征。

（2）图像分割

图像分割就是指把图像分成各具特性的区域并提取出感兴趣目标的技术和过程，此处特性可以是像素的灰度、颜色、纹理等预先定义的目标，可以对应单个区域，也可以对应多个区域。

图像分割是由图像处理到图像分析的关键步骤，在图像工程中占据重要的位置。一方面，它是目标表达的基础，对特征测量有重要的影响；另一方面，因为图像分割及其基于分割的目标表达、特征抽取和参数测量，将原始图像转化为更抽象更紧凑的形式，使得更高层次的图像分析和理解成为可能。

图像分割是图像理解的基础，而在理论上图像分割又依赖图像理解，彼此是紧密关联的。图像分割在一般意义下是十分困难的问题，目前的图像分割一般作为图像的前期

处理阶段，是针对分割对象的技术，是与问题相关的，如最常用到的利用阈值法处理进行图像分割。

图像分割有三种不同的途径，其一是将各像素划归到相应物体或区域的像素聚类方法（即区域法）；其二是通过直接确定区域间的边界来实现分割的边界方法；其三是首先检测边缘像素，再将边缘像素连接起来构成边界形成分割。

图 7-9 为甘肃省甘南藏族自治州玛曲县景观类型的监督分类结果，分类精度如表 7-6 所示。

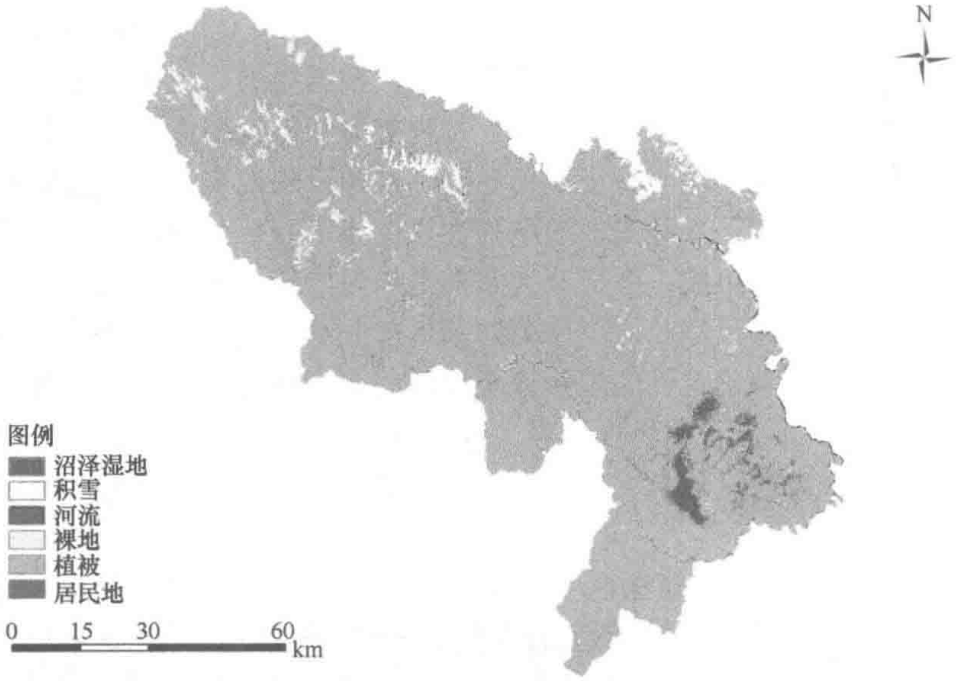


图 7-9　甘南玛曲景观类型监督分类图

表 7-6　分类精度　　（单位：%）

景观类型	沼泽湿地	积雪	河流	裸地	植被	居民地
产品精度	88.68	77.50	94.21	86.67	89.39	85.69
用户精度	93.36	76.25	91.25	93.73	94.35	91.37
总体精度	88.53					

综上所述，两类分类方法各有优势。现代遥感探测技术已经结合了两者的优点，可以充分发挥计算机的智能化、高效化，同时结合人类的逻辑辨识与决断能力。因此，人工监督下的计算机分类提取方式是现在普遍运用和流行的遥感数据提取分析方式，在草业遥感分类研究中也是主流手段。

四、遥感植被指数

（一）植被指数的概念

在草业遥感中，经常接触到的一个最主要的植被遥感模型就是植被指数（Vegetation

Index）。

植被指数是由不同遥感波段探测数据组合而成的，能反映植物生长状况的指数。植物叶面在可见光红光波段（R）有很强的吸收特性，在近红外波段（NIR）有很强的反射特性，这是植被遥感监测的物理基础，通过这两个波段的不同组合可得到不同的植被指数。差值植被指数又称农业植被指数，为二通道反射率之差，它对土壤背景变化敏感，能较好地识别植被和水体。

植被指数主要反映植被在可见光、近红外波段反射与土壤背景之间差异的指标，各个植被指数在一定条件下能用来定量说明植被的生长状况。在学习和使用植被指数时必须具备一些基本的知识如下。

1）健康的绿色植被在 NIR 和 R 的反射差异比较大，原因在于 R 对于绿色植物来说是强吸收的，NIR 则具有高反射性。

2）建立植被指数的目的是有效地综合各有关的光谱信号，增强植被信息，减少非植被信息。

3）植被指数有明显的地域性和时效性，受植被本身、环境、大气等条件的影响。

（二）植被指数的种类

按照植被指数的计算方法，一般分为比值型、差值型、垂直型和混合型四大类，下面我们对 7 种常用的植被指数分别进行说明。

1. RVI——比值植被指数

比值植被指数（RVI）指两个波段反射率的比值，RVI=NIR/R。

绿色健康植被覆盖地区的 RVI 远大于 1，而无植被覆盖的地面（如裸土、人工建筑、水体、植被枯死或严重虫害）的 RVI 在 1 附近。植被的 RVI 通常大于 2；RVI 是绿色植物的灵敏指示参数，与 LAI、叶干生物量、叶绿素含量相关性高，可用于检测和估算植被生物量；植被盖度影响 RVI，当植被盖度较高时，RVI 对植被十分敏感；当植被盖度<50%时，这种敏感性显著降低；RVI 受大气条件影响，大气效应大大降低对植被检测的灵敏度，所以在计算前需要进行大气校正，或用反射率计算 RVI。

2. NDVI——归一化插值植被指数

归一化插值植被指数（NDVI）是 NIR 和 R 两个波段反射率的一种组合指数，NDVI=（NIR–R）/（NIR+R）。

NDVI 可用于检测植被生长状态、植被盖度和消除部分辐射误差等；$-1 \leqslant NDVI \leqslant 1$，负值表示地面覆盖为云、水、雪等，对可见光高反射；0 表示有岩石或裸土等，NIR 和 R 近似相等；正值表示有植被覆盖，且随盖度增大而增大；NDVI 的局限性表现在，用非线性拉伸的方式增强了 NIR 和 R 的反射率的对比度。对于同一幅图像，分别求 RVI 和 NDVI 时会发现，RVI 值增加的速度高于 NDVI 增加速度，即 NDVI 对高植被区具有较低的灵敏度；NDVI 能反映出植物冠层的背景影响，如土壤、潮湿地面、雪、枯叶、粗糙度等，且与植被覆盖有关。

植被指数是检测植被生长状态、植被盖度和消除部分辐射误差等工作的基础。目前，有很多种卫星遥感数据能反演植被指数，并有各自成熟的植被指数产品用于遥感监测的各个方面。下面以 NDVI 指数为例，介绍不同遥感数据源的同种指数波段计算构成方式。

对于不同的遥感传感器，如陆地资源卫星的 TM 或 ETM 传感器（空间分辨率 30～60m），Aqua 及 Terra 卫星的 MODIS 传感器（空间分辨率 250～1000m），NOAA 卫星的 AVHRR 传感器，同一种植被指数，波段的组合是不同的。

对于 TM/ETM，算法如下

$$NDVI=(Band4-Band3)/(Band4+Band3)$$

对于 MODIS 数据，其算法如下

$$NDVI=(Band2-Band1)/(Band2+Band1)$$

对于 AVHRR 数据，其算法如下

$$NDVI=(CH2-CH1)/(CH2+CH1)$$

3. DVI——差值植被指数

差值植被指数（DVI）指 NIR 和 R 两个波段反射率的差值（DVI=NIR–R），其特点是对土壤背景的变化极为敏感。

4. SAVI——土壤调整植被指数

土壤调整植被指数（SAVI）是 NIR 和 R 两个波段反射率组合的可以调整土壤亮度的一种植被指数。在此基础上，还先后提出 TSAVI 和 MSAVI 等指数。其中，SAVI 的计算公式为 $SAVI=[(NIR-R)/(NIR+R+L)](1+L)$。

该指数构建的目的是解释背景的光学特征变化并修正 NDVI 对土壤背景的敏感性。与 NDVI 相比，增加了根据实际情况确定的土壤调节系数 L，取值范围 0～1。L=0 时，表示植被盖度为零；L=1 时，表示土壤背景的影响为零，即植被盖度非常高，土壤背景的影响为零，这种情况只有在被树冠浓密的高大树木覆盖的地方或盛草期盖度很高的草地才会出现。SAVI 仅在土壤线参数 a=1 和 b=0（即非常理想的状态下）时才适用。因此，有了 TSAVI、ATSAVI、MSAVI、SAVI2、SAVI3、SAVI4 等改进模型。

5. GVI——绿度植被指数

绿度植被指数（GVI）是经过 k-t 变换后表示绿度分量的一种植被指数。

k-t 变换也称为坎斯-托马斯变换（Kauth-Thomas Transformation），又称缨帽变换（Tasselled Cap Transformation）。根据多光谱遥感中土壤、植被等信息在多维光谱空间中信息分布结构对图像做的经验性线性正交变换，通过 k-t 变换可以使植被与土壤的光谱特性分离。植被生长过程的光谱图形呈所谓的“穗帽”状，而土壤光谱构成一条土壤亮度线，土壤的含水量、有机质含量、粒度大小、矿物成分、表面粗糙度等特征的光谱变化沿土壤亮度线方向产生。k-t 变换后得到的第一个分量表示土壤亮度，第二个分量表示绿度，第三个分量随传感器不同而表达不同的含义。例如，MSS 的第三个分量表示黄

度，没有确定的意义；TM 的第三个分量表示湿度。第一、第二个分量集中了大于 95% 的信息，这两个分量构成的二维图可以很好地反映出植被和土壤光谱特征的差异。GVI 是各波段辐射亮度值的加权和，而辐射亮度是大气辐射、太阳辐射、环境辐射的综合结果，所以 GVI 受外界条件影响大。

6. PVI——垂直植被指数

垂直植被指数（PVI）指在 R-NIR 的二维坐标系内植被像元到土壤亮度线的垂直距离。其计算公式如下

$$PVI=[(S_R-V_R)^2+(S_{NIR}-V_{NIR})^2]^{1/2}$$

式中，S 是土壤反射率，V 是植被反射率。

$$PVI=[(DN_{NIR}-b)\cos q-DN_R\cdot\sin q]/\cos^2 q$$

式中，DN 是遥感影像像元亮度值，b 是土壤基线与 NIR 截距，q 是土壤基线与 R 的夹角。

该指数能较好地消除土壤背景的影响，对大气的敏感度小于其他 VI；同时，PVI 是在 R-NIR 二维数据中对 GVI 的模拟，两者物理意义相同。

7. EVI——增强型植被指数

增强型植被指数（Enhanced Vegetation Index，EVI）通过加入蓝色波段以增强植被信号，矫正土壤背景和气溶胶散射的影响。EVI 常用于叶面积指数（LAI）值高，即植被茂密区。计算公式为

$$EVI=2.5\times\frac{\rho_{NIR}-\rho_{RED}}{\rho_{NIR}+6.0\rho_{RED}-7.5\rho_{Blue}+1}$$

式中，ρ_{NIR}、ρ_{RED} 和 ρ_{Blue} 分别代表近红外波段、红光波段和蓝光波段的反射率。

第四节　草业遥感的应用

以上介绍了草业遥感的主要概念、构成与功能、基本原理和方法等内容，下面具体介绍草业遥感的应用。草业遥感的应用领域很广阔，就目前主要的研究方向和应用来看，可以分为草业资源遥感调查、草地植被长势监测与估产、草业灾害监测与评估三个主要方面。

一、草业资源遥感调查

草业资源调查包括了与草地农业相关的所有生物和非生物资源的清查及数据收集，相对于传统的人工调查而言，遥感技术提供了多空间尺度、连续时间尺度的大面积数据收集和分析方法，为信息化条件下的草业发展和草业资源的可持续利用提供了有效的研究手段。

例 1：基于 MODIS 数据的草地盖度与草地碳储量的动态变化研究。

该研究以像元二分模型为基础分析草地盖度动态变化，利用改进的归一化植被指数的植被盖度定量模型（图 7-10），采用 MODIS 卫星 8 天合成的地表反射率数据产品

（MOD09A1），结合“3S”技术（GIS，RS 和 GPS）空间分析功能，以甘南州高寒草地为研究对象，分 5 个等级计算了甘南州草地植被盖度，分析了 2000～2010 年植被盖度变化的过程和趋势（图 7-11，图 7-12）。结合地表温度和辐射率数据产品与生物量反演模型，估算了甘南州草地植被的碳储量，分析了植被盖度与碳储量的关系；甘南地区 2000～2010 年一级至五级植被盖度区域地表均温变化结果及碳储量变化结果综合显示，2000～2005 年，各植被等级区域地表均温呈下降趋势，由于地表温度与植被盖度成反比，因此各等级植被盖度均有所提升。2000～2005 年各植被等级碳储量呈上升态势，同时考虑到 2005 年之前各等级植被区域面积虽变化剧烈，但退化趋势并不明显，所以植被盖度的好转为碳储量的积累提供了有利条件。2005～2010 年，地表温度开始逐步升高，植被盖度逐步下降，高等级植被区域面积明显锐减，低等级植被区域面积不断扩大，各等级植被碳储量也随之开始下滑。

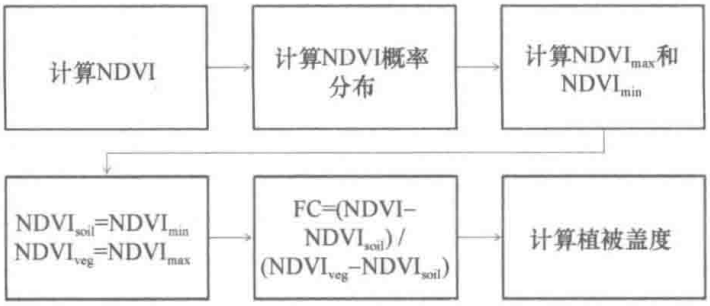


图 7-10　植被盖度计算流程（王浩，2012）

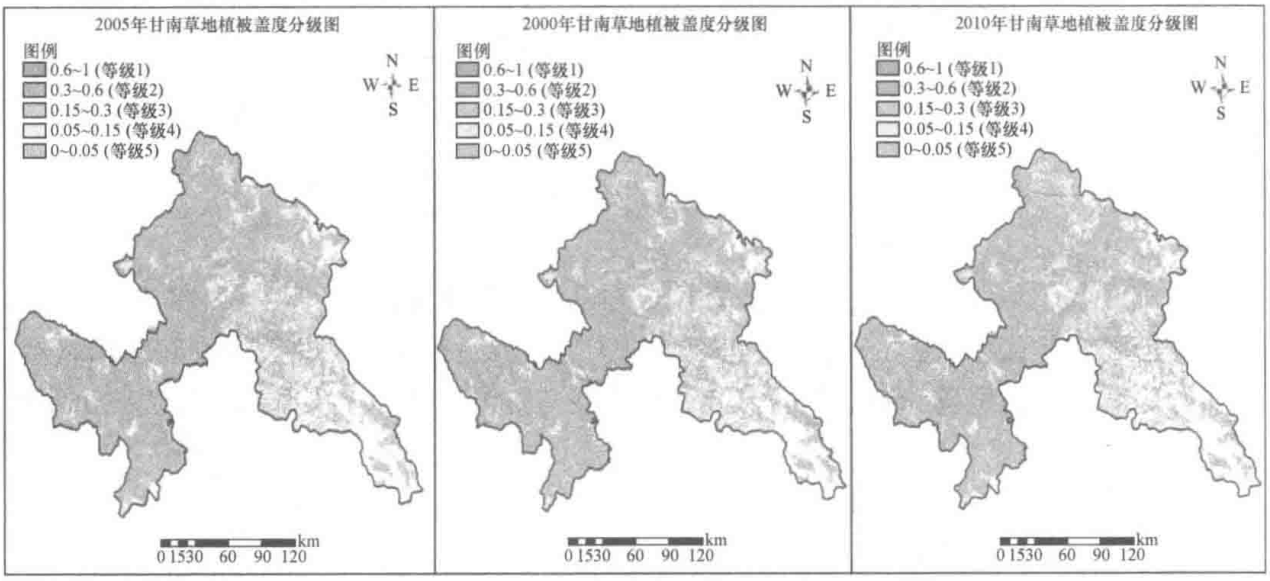


图 7-11　甘南植被盖度分级图（王浩，2012）

例 2：基于 MODIS 数据的草地植被指数与草地类型的动态变化研究。

植被指数作为草地分类的一个参数可以很好地反映植被类型信息。该研究将不同植被指数与 DEM 数据结合，利用非监督分类等方法制作草地类型图。在利用 EVI、NDVI 作为分类参数之前，先对 MODIS 16 天合成的植被指数影像进行主成分分析；再将 DEM 数据与主成分分析后的 EVI 和 NDVI 影像融合，融合后的影像进行非监督分类，并且对

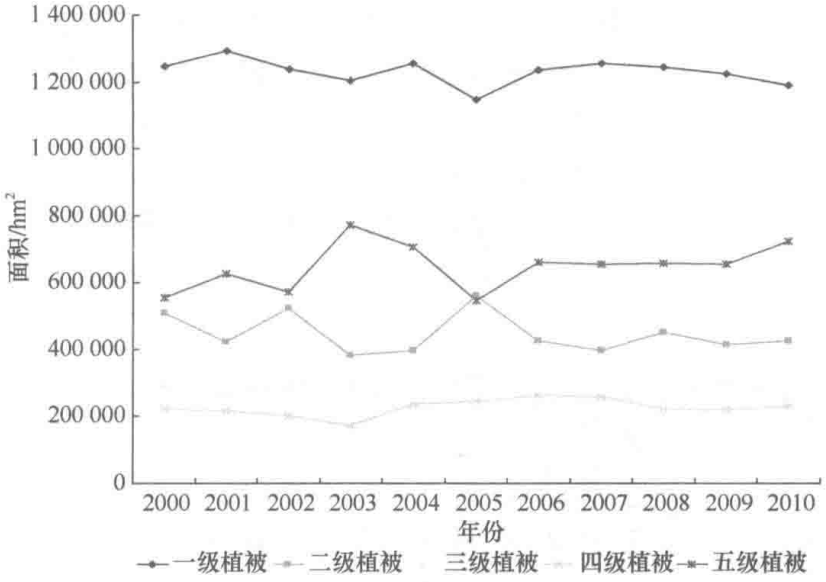


图 7-12　2000～2010 年 1 年等时间间隔甘南各等级植被覆盖区域面积变化趋势（王浩，2012）

分类后的影像进行了一定的分类后处理——聚类分析、过滤分析、去除分析、基于 Landsat 图像的校正，将小于单个像元的细小斑块归入周围面积最大的类型，进行分类重编码处理；最终得到划分为低平地草地类、高寒草甸类、高寒灌丛草甸类、暖性草丛类、温性草原类、沼泽类和非草地的甘南州草地分类影像（图 7-13）。

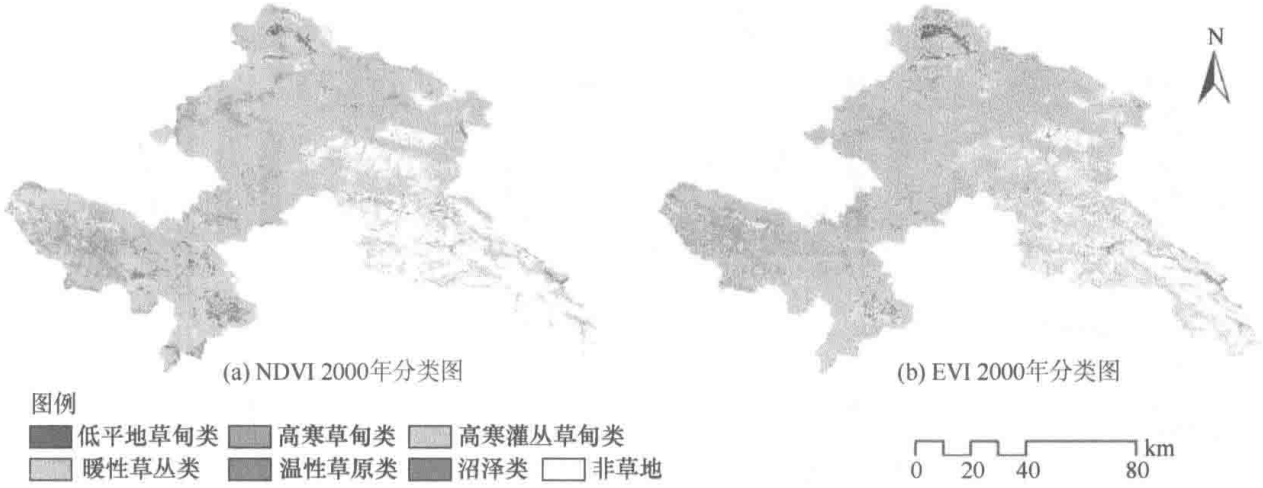


图 7-13　基于 MODIS 数据的草地植被指数分类图（徐丹丹，2011）

二、草地植被长势监测与估产

草业遥感不但能对大空间尺度的各种草地资源进行有效数据收集和提取，而且可以按照物候学特征对固定区域的草地植被生长状况进行动态监测，同时运用模拟建模的方法对草地地上生物量进行有效估算，从而为区域草畜平衡动态分析、草地退化状况评价等提供科学依据。

例 1：基于植被指数的草地地上生物量与长势研究（崔霞，2011）。

该研究应用 GIS、遥感和 GPS 等技术，结合植被指数和地面实测数据，建立线性与非线性统计模型，经过精度评价，确立了甘南地区草地生物量和盖度遥感监测模型：

$$y=3738.073x^{1.553}\ (R^2=0.626,\ P<0.001)$$

式中，y 为草地地上生物量干重（kg/hm²），x 为基于 MODIS 数据的 EVI 值。

$$y=101.664+42.386\ln(x)\ (R^2=0.449,\ P<0.001)$$

式中，y 为草地盖度（%），x 为基于 MODIS 数据的 EVI 值。

利用已建立的甘南草地生物量干重反演模型和地表反射率数据合成的植被指数，研究了甘南州月际和年际间草地地上生物量干重的动态变化特征（图 7-14）。

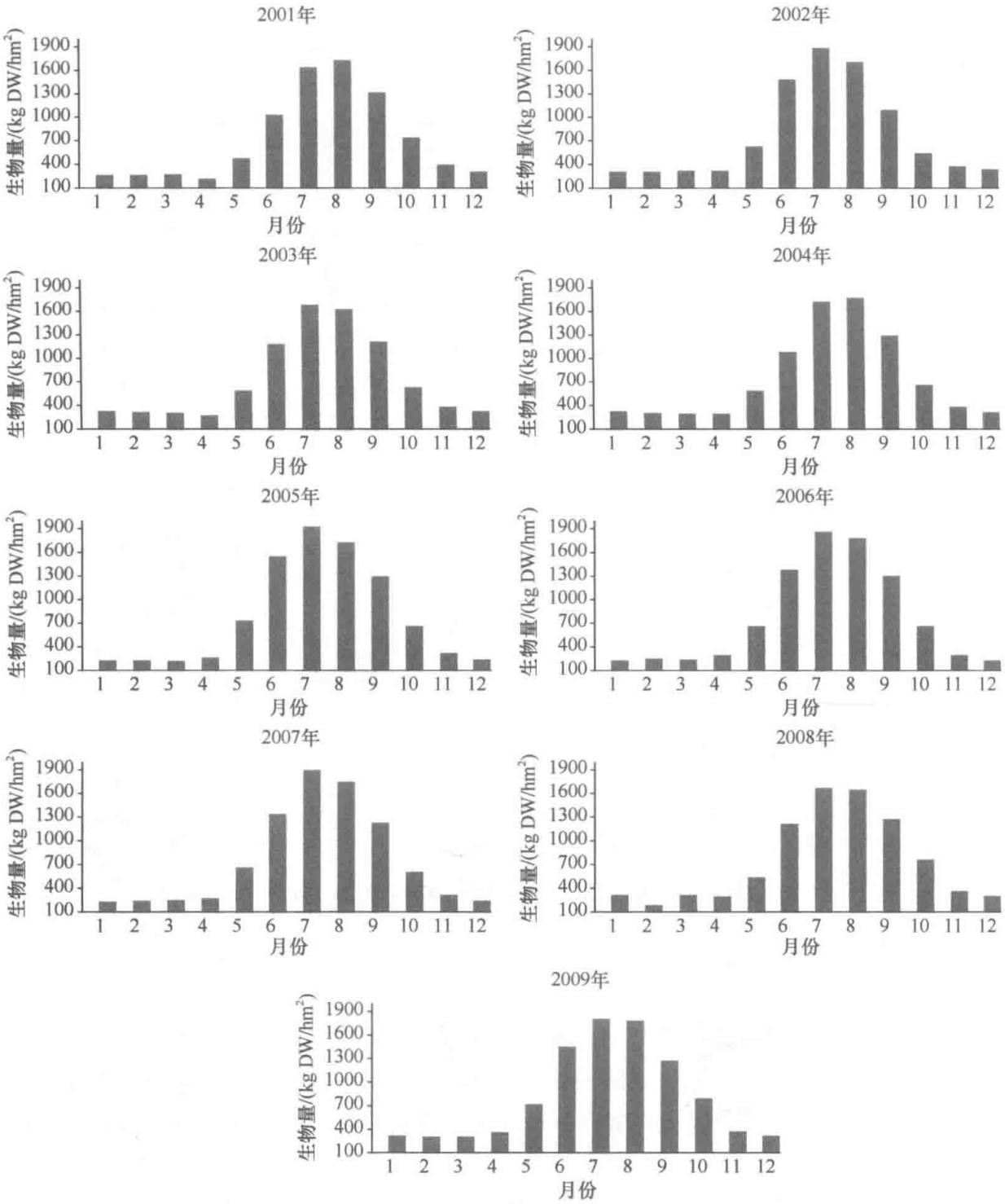


图 7-14　甘南州草地地上生物量干重月际和年际间的动态变化（崔霞，2011）

例 2：气候变化背景下植被指数与高寒草地植被长势研究。

该研究采用 2001～2006 年 5～10 月的 MODIS-NDVI 与同时相的 GIMMS-NDVI 数据，逐月建立了两者的线性回归模型，利用各月份的回归模型将 2007～2010 年 5～10 月的 MODIS-NDVI 转换为 GIMMS-NDVI，研究了长时间序列的青藏高原草地植被生长状况的动态变化。

NDVI 年际变异系数可以反映 NDVI 的年际波动规律。根据 1981～2010 年生长季最大 NDVI 年变异系数，分析青藏高原草地植被生长状况的年际波动情况（图 7-15）。总体来说，高原大部分地区草地植被状况年际间波动较小。年际波动小的区域主要分布在青藏高原东南部植被生长状况较好的地区，而草地年际波动比较大的区域主要分布在西北和北部植被生长状况本来就比较差的植被稀疏区。

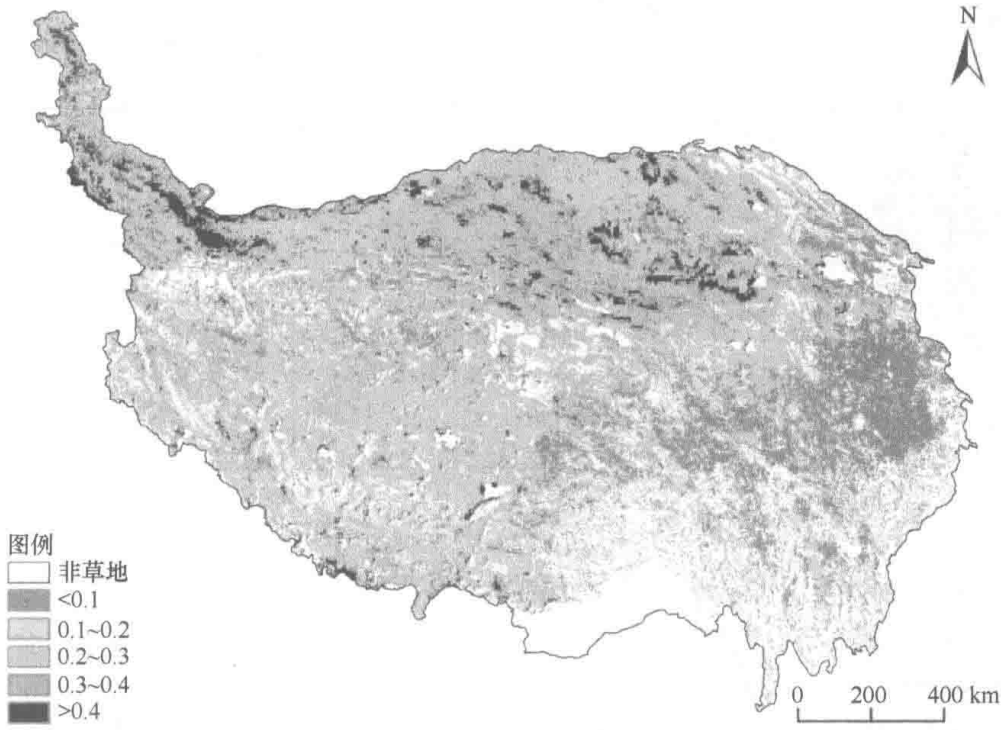


图 7-15　1981～2010 年青藏高原草地植被年际波动状况分布空间（于惠，2013）

三、草业灾害监测与评估

草地是陆地生态系统的主要组成部分，与其他陆地生态系统相似，在进行草地科学研究的时候，不可避免地会涉及草地生态安全、牧业灾害防治等方面的内容，从长远看这也属于草地可持续研究的范畴，而近年来随着遥感技术的快速发展，这方面的研究有了长足的进展，已成为草地科学研究的学术热点问题。

例 1：基于 TM，MODIS 遥感数据的草业地区生态风险研究。

本研究以 GIS（地理信息系统）和 RS（遥感）为技术支持，利用遥感影像及人口、经济、温度和降水等基础数据，选取温度、降水、放牧超载率、水土流失、鼠害、城市化作为主要风险源，采用 GIS 空间分析等方法，对归一化后的各风险源数值进行统计计算，从而对生态风险进行评价。结合等级模型，根据生态结构的完整与否，系统恢复能

力的强弱，以及生态问题的显著程度将生态风险分级为极低、低、中等、高、极高5个等级。评价结果显示，甘南州2005年、2006年、2007年、2009年、2010年生态风险状态覆盖5个等级，即极低生态风险状态、低生态风险状态、中等生态风险状态、高生态风险状态、极高生态风险状，而2008年则覆盖4个等级，分别为极低生态风险状态、低生态风险状态、中等生态风险状态、高生态风险状态（图7-16）。

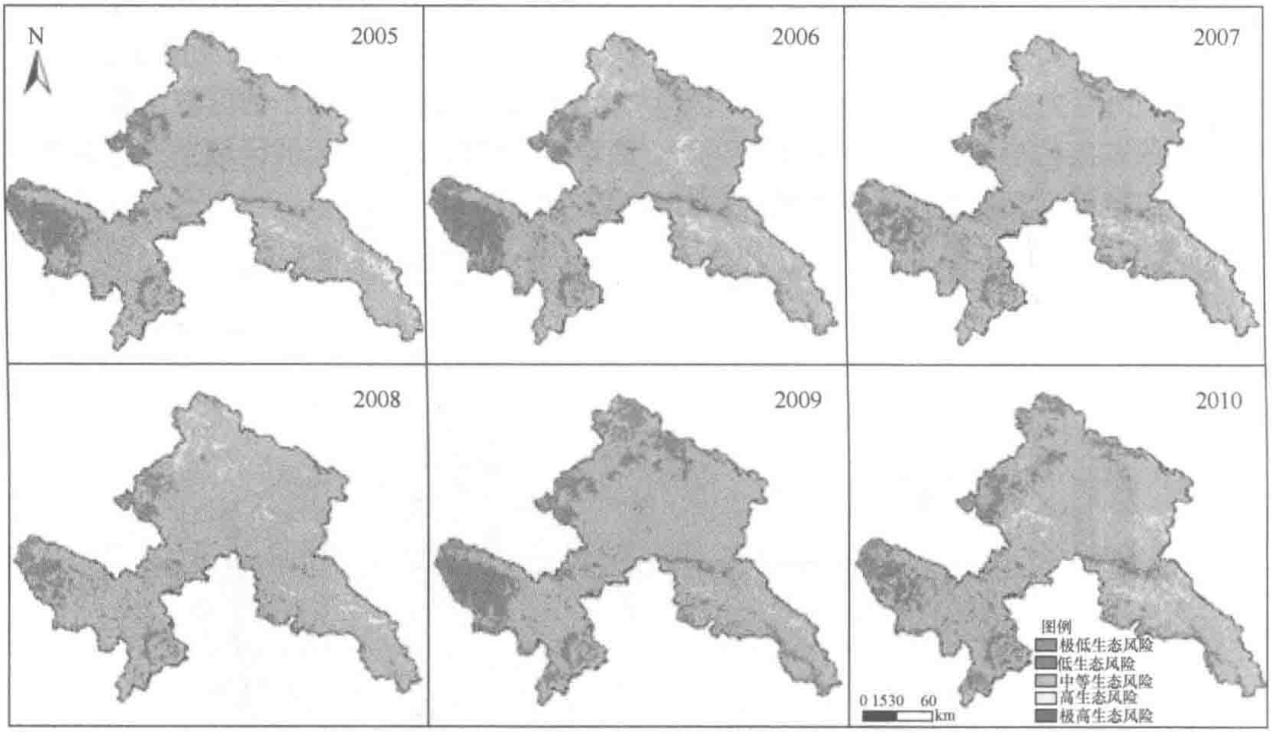


图7-16 甘南州各县（市）生态风险评价等级图（朱晓丽，2012）

例2：基于MODIS和被动微波遥感数据的牧区雪灾研究（梁天刚等，2011）。

该研究依据青藏高原地区的积雪覆盖范围和雪深等遥感监测资料，结合近50年（1951～2010）草地、气象、畜牧、社会经济等动态监测数据库，以及研究区发生的典型雪灾案例资料，研究了青藏高原地区雪灾预警的关键因子，构建出区域雪灾危害等级预警模型，研究了青藏高原地区雪灾预警分级标准和雪灾风险评价方法，对提高牧区防灾减灾能力建设，最大限度地减少牧区灾害损失，具有重要的理论意义及实际应用价值。

参考牧区雪灾等级国家标准（GB/T 20482—2006），依据受灾程度及积雪对放牧牲畜采食影响情况，提出青藏高原牧区雪灾危害强度预警分级标准，将雪灾危害程度划分为无雪灾、轻度雪灾、中度雪灾、严重雪灾和特大雪灾5级（表7-7）。

表7-7 牧区雪灾危害强度预警分级指标

雪灾等级	牲畜死亡数/（万头/只）	放牧影响情况
无雪灾	0	牧区草地有积雪，但积雪掩埋牧草程度小于20%或草地积雪覆盖率小于20%，对各类牲畜采食几乎无明显影响
轻度雪灾	5	影响牛的采食，对羊的影响尚小，而对马则无影响
中度雪灾	5～10	影响牛、羊的采食，对马的影响尚小
严重雪灾	10～20	影响各类牲畜的采食，牛、羊损失较大
特大雪灾	>20	影响各类牲畜的采食，如果救灾不力将造成大批牲畜死亡

思 考 题

1. 简述草业遥感与遥感、地理信息学及草业科学的关系?
2. 草业遥感针对的研究对象有哪些，有哪些主要用途?
3. 简述草业遥感主要研究方法?
4. 草业遥感中最重视的是那类地物的遥感信息提取，为什么?
5. 论述草业遥感在草业信息学中的功能、作用及其未来发展趋势?

参 考 文 献

崔霞. 2011. 甘南牧区草地遥感监测与分类经营研究[D]. 兰州: 兰州大学博士学位论文.

梁天刚, 冯琦胜, 夏文韬, 等. 2011. 甘南牧区草畜平衡优化方案与管理决策[J]. 生态学报, 34(4): 1111-1123.

梅安新, 彭望琭, 秦其明. 2001. 遥感导论[M]. 北京: 高等教育出版社.

王浩. 2012. 基于遥感技术的高寒草地植被盖度动态变化与碳储量估测[D]. 兰州: 兰州大学硕士学位论文.

徐丹丹. 2011. 甘南天然草地生态风险评价和预测[D]. 兰州: 兰州大学硕士学位论文.

于惠. 2013. 青藏高原草地变化及其对气候的响应[D]. 兰州: 兰州大学博士学位论文.

朱晓丽. 2012. 典型高寒牧区生态风险评价与生态健康耦合研究[D]. 兰州: 兰州大学硕士学位论文.

Guo X, He Y. 2008. Mismatch of band sequences between an image and header file: a potential error in SPOT L1A products[J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 34(1): 1-4.

第八章　草业地理信息系统

地理信息系统（Geographic Information System，GIS）是近年来发展非常迅速的一门学科，目前在很多领域都得到了广泛应用。在草学领域，地理信息系统结合遥感及全球定位系统技术，在草地资源管理、草地生产力监测、草原灾害监测等领域发挥着重要的作用。数字草业和精准草业的发展也离不开地理信息系统的支持。因此，有必要对地理信息系统的概念及功能做一个系统的介绍，以便掌握如何在草业科学中应用地理信息系统技术。

本章第一节介绍草业地理信息系统的基本概念与功能，全面了解 GIS 软件的主要模块及分析方法。第二节介绍几何变换和地图投影。因为 GIS 处理的是地理空间数据，很多数据的处理，尤其是遥感数字图像，必须通过几何变换转换成与真实地理坐标一一对应的数字影像，才能进一步进行叠加分析、制图等操作，这是 GIS 的基础。第三节主要介绍 GIS 的数据模型。目前 GIS 有两种主要数据模型——矢量数据和栅格数据模型。本节的内容主要是介绍这两种数据模型的数据结构及区别，以及相互转换的方法。第四节介绍空间数据及属性数据的编辑方法。第五节是 GIS 的核心内容，即空间分析功能。主要介绍空间查询、矢量数据和栅格数据分析及地形制图与分析。第六节的主要内容是数据显示与地图制图。利用 GIS 进行数据查询和分析，最终的结果都是以地图的形式进行显示，如何合理地应用地图符号对分析结果进行显示是该节的主要内容。

第一节　草业地理信息系统的基本概念与功能

在学习草业地理信息系统之前，我们首先了解一下什么是信息系统。信息系统是具有数据采集、管理、分析和表达数据能力的系统，它能够为单一的或有组织的决策过程提供有用的信息。与普通的信息系统类似，一个完整的地理信息系统也主要由四个部分构成，即计算机硬件系统、计算机软件系统、地理数据（或空间数据）和用户。其核心部分是计算机系统（软件和硬件），空间数据反映 GIS 的地理内容，而用户则决定系统的工作方式和信息表示方式。

1）计算机硬件包括各类计算机处理及终端设备，它帮助人们在非常短的时间内处理大量数据、存储信息和快速获得帮助。

2）软件是支持数据的采集、存储、加工、再现和回答用户问题的计算机程序系统，它接收有效数据，并正确地处理数据；在一定的时间内提供适用的、正确的信息；并存储信息为将来所用。

3）数据是系统分析与处理的对象，构成系统的应用基础。

4）用户是信息系统所服务的对象。由于信息系统并不是完全自动化的，在系统中总是包含一些人的复杂因素，人的作用是输入数据、使用信息和操作信息系统，建立信

息系统也需要人的参与。

一、关于地理信息系统

GIS 是一个可以对地理空间数据进行采集、存储、查询、分析及显示的计算机系统。地理空间数据是既能描述位置又能描述空间属性特征的数据。例如，用地理空间数据描述一条道路，会涉及它的位置信息（在哪里）和它的特征信息（如长度、名称、限速和方向等）。能够处理并分析包含位置及属性特征的空间数据是 GIS 区别于其他信息系统的主要特征，目前 GIS 在不同领域应用非常广泛。从 19 世纪 70 年代开始，GIS 已经在自然资源管理领域显示出重要的作用，包括土地利用管理、自然灾害评估、野生动物栖息地分析、林业管理、大气污染治理、农作物估产、沙尘暴监测、草地生物量监测、牧区雪灾监测与预警等。近年来，GIS 作为一种重要的信息分析工具，在犯罪制图与分析、紧急事件处理、土地档案管理、市场分析及交通管理等方面也发挥着越来越重要的作用。GIS 与互联网、全球定位系统、无线技术和 Web 服务的结合，可以显示其在定位服务、交互式地图绘制、汽车导航和精准农业等方面的应用优势。因此，在 2004 年 8 月，美国劳工部把地理空间技术作为三个最重要的新兴领域之一，其他两个分别是纳米技术和生物技术。

GIS 架起了地理学和现代信息科学之间的桥梁，是地理学定量化、空间化，由传统走向现代的必要技术手段；它可以在空间尺度上，综合处理各类地理信息，这对弥合区域与系统、人文与自然之间的分裂状态将起到很大作用；GIS 具有广阔的应用领域，资源、环境、土地、农业、城市管理和规划等部门都需要 GIS 技术。GIS 是解决资源、环境和人口等问题的重要工具，也是现代信息科学的重要研究领域，已经形成和正在形成一个新的信息技术领域。据统计，80%以上的信息都和地理相关，需要 GIS 技术来处理；正在兴起的地球信息科学和席卷全球的数字地球浪潮主要以 GIS 为技术依托。

二、地理信息系统的功能

根据 GIS 的概念，我们可以把 GIS 的功能分为以下几个方面：空间数据输入、属性数据管理、数据显示、数据查询及数据分析。

（一）空间数据输入

一个 GIS 项目最费时最昂贵的部分即空间数据的获取，无论是使用现有的数据还是创建新的数据，空间数据输入可以说都是一个既费时又费精力的过程。随着 GIS 的发展，目前世界上已经有许多数据交换中心不但可以提供大量的 GIS 数据，包括交通、森林、国界、河流、土地利用等数据，而且大部分数据可以通过互联网免费获取，为 GIS 用户提供了方便。但是，这些数据在实际应用中通常还需要进行一些格式的转换。然而，有时在网络资源无法满足项目任务时，就需要创建新的空间数据。新的数据可以通过纸质地图、卫星影像、GPS 数据及带有 x、y 坐标的文本文件数字化获取。数字化的地图经过编辑和几何转换，就可以作为 GIS 数据存储在数据库管理系统中，方便进一步处理与分析。随着空间技术的发展，遥感数据已成为目前 GIS 最重要的数据来源。

（二）属性数据管理

属性数据是用来描述空间要素属性特征的数据，这些数据是通过键盘数字化和属性表关联的方式获取的。在 GIS 系统中，一般采用关系数据库来管理属性数据。关系数据库是一系列表格的集合，可以对每一个表格进行独立的编辑和维护，表格之间通过关键字进行关联，在数据查询和检索时，可以将这些表格合并或者关联。

（三）数据显示

利用 GIS 系统将空间数据查询、分析后的结果以地图的形式显示出来是最终的目的，因此也有部分学者认为 GIS 是一个地图制图系统。但是，他们忽略了 GIS 的核心功能是可以对空间数据进行分析与处理，虽然最终的结果需要用地图来显示。

地图的基本要素包括标题、地图主题、图例、指北针和比例尺，其他要素还有副标题、图廓线、边框、注释等。对地图进行编制不但需要一定的地图学基础，包括对地图符号、颜色和字体有一个基本的认识，而且在地图设计中，地图制作者必须进行构图和视觉层面的试验。精心设计的地图可以有效提升地图的表达，而设计拙劣的地图会使读图者迷惑不解，甚至曲解制图者想要传递的信息。

（四）数据查询

一般情况下，数据查询是在数据分析之前一个非常重要的步骤，通过数据查询可以更好地观察和理解数据，弄清数据的分布与趋势，以及数据集之间的关系，为进一步对数据进行分析奠定基础。数据查询可通过空间数据查询或属性数据查询或通过两者的关系进行关联查询。GIS 软件提供了有效的数据查询需要的互动和动态链接可视工具。可以以多个动态链接的窗口来显示查询得到的地图、图形和表格，从而提高对地理信息处理和综合的能力。

（五）数据分析

数据分析是 GIS 的核心功能，包括矢量数据分析和栅格数据分析。通过空间分析，可以深入挖掘隐含在数据内部有价值的信息及衍生的信息，为决策提供支持。针对矢量数据，主要包括缓冲区建立、地图叠加、距离量算等。针对栅格数据，主要有局域、邻域、分区及整体分析。

三、草业地理信息系统

草业地理信息系统是建立在 GIS 基础上，针对草业信息进行采集、存储、查询、分析及显示的计算机应用系统。草业地理信息系统是 GIS 在草业科学领域的具体应用，体现草业的特点与需求，解决草业科学，特别是草业空间信息的分析处理等相关问题，为草业资源的合理高效利用及草地畜牧业生产和牧业经济的可持续发展服务。

第二节　几何变换与地图投影

几何变换是利用一系列控制点和转换方程在投影坐标系统中配准数字化地图、卫星

图像或航空像片的过程。用数字化或扫描方式得到的数字化地图及卫星影像，通过几何变换，对其进行投影转换，与其他图层相匹配。针对遥感图像，几何变换不仅可以将行和列转换到投影坐标系统，而且还可以纠正遥感图像的几何误差。在 GIS 中，所有的图层必须在空间上相匹配，否则会发生明显的错误。地理坐标系统是地球表面空间要素的定位参照系统。地图投影是将地球表面的经纬线转换到平面上的方法。投影是 GIS 的基本内容，空间数据如果没有统一的投影信息，空间查询及分析就无法正常进行。

一、几何变换

坐标系统之间进行几何变换有不同的方法。各种方法的区别在于它所能保留的几何特征，以及允许的变化。根据改变的方式可以将几何变换分为等积变换、相似变换、仿射变换及投影变换四种类型（图 8-1）。其中，等积变换允许旋转，但保持形状不发生变化；相似变换允许旋转、大小变化，但是形状不变；仿射变换在保留线的平行条件下，允许旋转、平移、倾斜和不均匀缩放；投影变换允许角度和长度都发生变形。

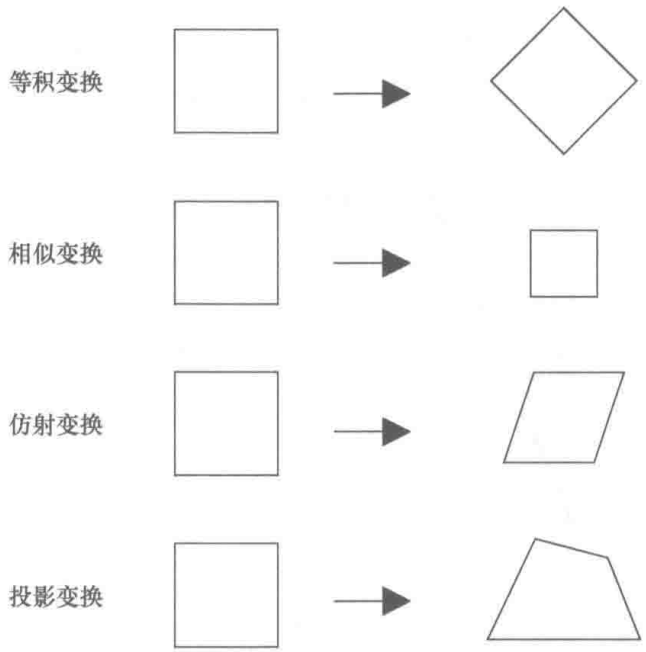


图 8-1　几何变换类型（Chang，2010）

几何变换的目的主要是通过建立控制点与现实世界投影坐标系统的关系方程式，将图件转换到不同的投影坐标系统中。需要注意的是，在选择控制点的过程中，一定要尽可能保证选取的精度。对于纸质地图，控制点可以选取经纬度交叉点，便于读取，一般情况下，选取四个角的交叉点就可以完成对一副纸质扫描地图的几何变换。对于航空像片和遥感影像而言，控制点又称地面控制点，因为是直接在影像上选取，因此地面控制点的选取就不像在数字化地图上那么直接。从理论上而言，地面控制点就是那些单一的、明显的像元显示出来的要素，例如，十字路口、建筑物拐角、河流弯角等一些能具体分辨出来的像素，利用 GPS（全球定位系统）或地形图就可以读取地面控制点的坐标值。而且选取的地面控制点要保证一定的数量和精确度，对一幅 TM（专题制图仪）影像进