

国家尺度土地利用/覆被变化遥感监测方法

徐新良, 刘纪远, 庄大方 (中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要 以中国科学院国家资源环境数据平台土地利用/覆被专题数据库的建设为背景, 总结了国家尺度土地利用/覆被变化涉及的主要遥感监测技术和方法, 包括基于遥感监测的土地利用/覆被分类系统、遥感信息源、土地利用/土地覆盖信息提取方法、土地利用分类 1 km 栅格成分数据构建技术以及土地利用分类面积汇总技术, 并在此基础上分析了国家尺度土地利用/土地覆盖专题空间数据库应用现状和未来发展前景。

关键词 国家尺度; 土地利用/覆被变化; 遥感监测

中图分类号 S127 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2012)04-02365-05

Remote Sensing Monitoring Methods of Land Use/Cover Change in National Scale

XU Xin-liang et al (Institute of Geographical Sciences and Nature Resources Research, CAS, Beijing 100101)

Abstract Taking construction of land use/cover database in national resource and environment data platform as a background, this paper summarized the RS monitoring technology and methods involved in land use/cover change of national scale, including land use classification system based on remote sensing monitoring, remote sensing information sources, land use/cover information extraction methods, construction methods of 1 km resolution grid percent data, area summarization technology for land use types, based on which the application status and future development prospect of spatial database about the land use/cover in national scale were analyzed.

Key words National scale; Land use/cover change; Remote sensing monitor

土地是人类赖以生存的物质基础。准确掌握土地利用现状和其动态变化, 不仅可为土地管理部门制订土地利用总体规划、合理利用和开发土地资源提供可靠依据; 同时也可作为各级政府部门在制订国民经济计划、区域规划和农业区划等时提供准确的各类土地资源面积资料^[1]。随着人口、资源和环境问题的日益突出, 土地利用/土地覆盖变化(LUCC)研究日益成为全球环境变化研究的前沿和热点领域^[2]。由于遥感对地观测具有实时、快速、覆盖范围广、多光谱、周期性等特点, 近年来, 遥感在全球土地利用和土地覆盖变化研究中的作用日益得到国际科学界的公认, 特别是遥感和地理信息系统相结合, 可以更有效地监测和研究人类对土地的方式及利用程度的变化。

改革开放以来, 我国经济的快速发展对土地利用模式产生了深刻的影响^[3]。同时, 我国又具有复杂的自然环境背景和广阔的陆地面积, 其土地利用变化不仅对国家发展, 还对全球环境变化产生了重要的影响。为了恢复和重建我国土地利用变化的现代过程, 更好地预测、预报土地利用变化趋势, 中国科学院已经在国家资源环境数据库基础上, 以卫星遥感数据作为主信息源, 构建了反映地表变化现代过程的具有时间、空间特征的数据平台^[4-7], 并首先以 1990 年代中期的全国土地利用变化为研究对象, 建成了国家尺度 1:10 万比例尺土地利用/土地覆盖专题数据库。笔者以土地利用/土地覆盖专题数据库的建设为基础, 介绍了国家尺度土地利用/覆被变化涉及的主要遥感监测技术和方法。

1 基于遥感监测的土地利用/覆被/分类系统

我国地域辽阔, 土地资源丰富, 在劳动人民长期改造自

然、发展生产的过程中, 形成了多种多样的土地利用类型。它们是在自然、经济、科技等条件下, 长期经人类干预的产物, 在空间上具有一定的地域分布规律, 在地区上是不连片的, 但可以重复出现, 在时间上则随着经济、技术发展有明显动态变化特点。所以, 土地资源分类是反映土地用途、性质及分布规律的基本地域单元^[4]。合理的土地利用分类系统是研究区域土地利用时空变化特征、规律的前提和基础。目前在国际上已有不少有影响的土地利用/覆被分类体系, 如美国(USGS)^[8]、欧洲(CORINE)^[8]、联合国(UNEP/FAO)^[10]等。但是这些分类体系之间, 在分类命名、类型划分、详细程度以及彼此的兼容性等方面, 都存在很大差异, 且很难统一。在国家尺度 1:10 万比例尺土地利用/土地覆盖专题数据库建设过程中, 针对我国土地资源遥感调查与监测技术特点, 参考国内外已有的土地利用/覆被分类体系^[8, 10-13], 刘纪远提出了基于遥感影像的土地利用分类系统设计原则, 并在此基础上设计了完整的土地利用分类系统(表 1)。基于遥感监测的土地利用/覆被分类系统对土地资源采用 3 级分类系统: 一级分为 6 类, 主要根据土地资源及其利用属性, 分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用土地; 二级主要根据土地资源的自然属性, 分为 25 个类型; 三级类型 8 个, 主要根据耕地的地貌部位, 具体分类如下: 耕地分水田和旱地(二级类型), 水田根据其所处的地貌位置又分为 4 个三级类型: 山地水田(111)、丘陵水田(112)、平原水田(113)和大于 25°坡地水田(114); 旱地根据其所处的地貌位置又分为 4 个三级类型: 山地旱地(121)、丘陵旱地(122)、平原旱地(123)、大于 25°坡地旱地(124)。

2 国家尺度土地利用/覆被变化的遥感监测方法

2.1 遥感信息源

2.1.1 遥感数据源。构建国家尺度 1:10 万比例尺土地利用/土地覆盖专题数据所使用的遥感信息源主要为基本覆盖全国的 Landsat-MSS/TM/ETM 影像, 其中因时相较差或缺失

基金项目 “973”计划项目(2010CB950901); 自然科学基金国际合作与交流项目(40921140410)。

作者简介 徐新良(1972-), 男, 山东青岛人, 副研究员, 硕士生导师, 从事土地利用/土地覆被变化及其陆地生态系统碳循环研究, E-mail: xuxl@reis.ac.cn。

收稿日期 2011-10-21

而覆盖不到的地方以中巴资源卫星数据做补充。国家尺度 1:10 比例尺土地利用/土地覆盖专题数据涉及 20 世纪 70 年代后期、80 年代初期、90 年代中期(1995/1996 年)、90 年代末期(1999/2000 年)、2005 年 5 期,其中 70 年代后期土地利用/土地覆盖数据的重建主要使用 Landsat-MSS 数据,

MSS 遥感影像的空间分辨率为 80 m,但可以将中国土地利用/土地覆盖变化的研究时段回推到 20 世纪 70 年代后期,而且通过与 TM 图像对比分析并辅助 1:10 比例尺地形图数据做参考,基本可以保证土地利用/土地覆盖信息的遥感获取精度。

表 1 基于遥感监测的土地利用/覆被/分类系统及其编码

一级类型		二级类型		含义
编号	名称	编号	名称	
1	耕地			指种植农作物的土地,包括熟耕地、新开荒地、休闲地、轮歇地、草地轮作地;以种植农作物为主的农果、农桑、农林用地;耕种 3 年以上的滩地和海涂
		11	水田	指有水源保证和灌溉设施,在一般年景能正常灌溉,用以种植水稻、莲藕等水生农作物的耕地,包括实行水稻和旱地作物轮种的耕地。三级分类在二级类型的基础上根据地形特征分为:山地水田 111、丘陵水田 1123、平原水田 113、>25°坡地水田 114
		12	旱地	指无灌溉水源及设施,靠天然降水生长作物的耕地;有水源和浇灌设施,在一般年景下能正常灌溉的旱作耕地;以种菜为主的耕地;正常轮作的休闲地和轮歇地。三级分类在二级类型的基础上根据地形特征分为:山地旱地 121、丘陵旱地 122、平原旱地 123、>25°坡地旱地 124
2	林地			指生长乔木、灌木、竹类、以及沿海红树林等的林业用地
		21	有林地	指郁闭度 >30% 的天然林和人工林。包括用材林、经济林、防护林等成片林地
		22	灌木林	指郁闭度 >40%、高度 <2 m 的矮林地和灌丛林地
		23	疏林地	指林木郁闭度为 10% ~ 30% 的林地
		24	其他林地	指未成林造林地、迹地、苗圃及各类园地(果园、桑园、茶园等)
3	草地			指以生长草本植物为主,覆盖度 >5% 的各类草地,包括以放牧为主的灌丛草地和郁闭度 <10% 的疏林草地
		31	高覆盖度草地	指覆盖度 >50% 的天然草地、改良草地和割草地。此类草地一般水分条件较好,草被生长茂密
		32	中覆盖度草地	指覆盖度为 20% ~ 50% 的天然草地和改良草地。此类草地一般水分不足,草被较稀疏
4	水域	33	低覆盖度草地	指覆盖度为 5% ~ 20% 的天然草地。此类草地水分缺乏,草被稀疏,牧业利用条件差
				指天然陆地水域和水利设施用地
		41	河渠	指天然形成或人工开挖的河流及处于常年水位以下的土地。人工渠包括堤岸
		42	湖泊	指天然形成的积水区常年水位以下的土地
		43	水库坑塘	指人工修建的蓄水区常年水位以下的土地
		44	永久性冰川雪地	指常年被冰川和积雪所覆盖的土地
		45	滩涂	指沿海大潮高潮位与低潮位之间的潮浸地带
5	城乡、工矿、居民地	46	滩地	指河、湖水域平水期水位与洪水期水位之间的土地
				指城乡居民点及其工矿、交通等用地
		51	城镇用地	指大、中、小城市及县镇以上建成区用地
		52	农村居民点	指独立于城镇以外的农村居民点
6	未利用土地	53	其他建设用地	指厂矿、大型工业区、油田、盐场、采石场等用地以及交通道路、机场及特殊用地
				指还未利用的土地,包括难利用的土地
		61	沙地	指地表为沙覆盖,植被覆盖度 <5% 的土地,包括沙漠,不包括水系中的沙漠
		62	戈壁	指地表以砾石为主,植被覆盖度 <5% 的土地
		63	盐碱地	指地表盐碱聚集,植被稀少,只能生长强耐盐碱植物的土地
		64	沼泽地	指地势平坦低洼、排水不畅、长期潮湿、季节性积水或常年积水、表层生长湿生植物的土地
		65	裸土地	指地表土质覆盖,植被覆盖度 <5% 的土地
		66	裸岩石质地	指地表为岩石或石砾,其覆盖面积 >5% 的土地
	67	其他	指其他未利用土地,包括高寒荒漠、苔原等	

2.1.2 遥感图像的时相选择。遥感图像的时相选择包括年度和季节两方面。为了保证更新后的数据质量,20 世纪 70 年代后期 MSS 遥感图像一般要求使用 1975 ~ 1979 年的遥感数据为主要信息源;20 世纪 80 年代初期 TM 遥感图像一般要求使用 1979 ~ 1982 年的遥感数据为主要信息源;90 年代中期 TM 遥感图像一般要求使用 1995/1996 年的遥感数据为主要信息源、90 年代末期 TM/ETM 遥感图像一般要求使用 1999/2000 年的遥感数据为主要信息源、2005TM 遥感图像一般要求使用 2004/2005 年的遥感数据为主要信息源。在实际操作中,无法覆盖区域可以适当放宽年度限制。

在季相方面,由于我国地域辽阔、自然环境复杂多样,既要注意研究区域内遥感信息获取瞬时的质量(如含云量度 <

10% 等技术指标),又必须顾及不同区域的季相差异。在我国东北地区及其西北地区选择 6 月中旬 ~ 9 月下旬的无云图像,具体区域包括东北 3 省、内蒙古、青海、甘肃、宁夏、新疆等;在华北平原及其附近区域选择 5 月上旬 ~ 10 月中旬的图像,包括北京、天津、河北、河南、山东、山西、陕西等;在华中、华东和西南的北部地区应选择 3 月上旬或 10 月下旬的图像,包括上海、浙江、江苏、安徽、湖北、湖南、江西、四川、重庆等;在华南大部分和西南的南部地区选择冬季的图像,包括广东、广西、海南、福建、贵州、云南、台湾、香港、澳门等;在高海拔的青藏高原及其类似区域,选择 7 ~ 9 月的图像。

2.1.3 遥感图像处理。遥感图像处理采取全国统一要求,分区域完成的策略。遥感图像处理主要包括波段提取、假彩色

合成、几何精纠正与分县图像拼接、镶嵌等。国家尺度 1:10 比例尺土地利用/土地覆盖专题数据最早完成的是 1990 年代中期覆盖全国的土地利用/土地覆盖数据,因此 1995/1996 年遥感数据几何精纠正以我国 1:10 万比例尺地形图为控制图像,而其他各时段则以 1995/1996 年几何精纠正后的遥感图像为控制图像进行几何精纠正。图像纠正过程中,坐标及其投影参数采用 Albers 正轴等面积双标准纬线圆锥投影,具体参数如下:

坐标系:大地坐标系

投影:Albers 正轴等面积双标准纬线圆锥投影

南标准纬线:25°N

北标准纬线:47°N

中央经线:105°E

坐标原点:105°E 与赤道的交点

纬向偏移:0°

经向偏移:0°

椭球参数采用 Krasovsky 参数:

$a = 6\,378\,245.000\,0\text{ m}$

$b = 6\,356\,863.018\,8\text{ m}$

统一空间度量单位:m

几何精纠正的平均位置误差不超过 50 m(约 2 个像元)。整景和分县图像均采用标准假彩色合成方式,其中标准假彩色合成方案为, TM 为 4、3、2 波段, MSS4~5 为 4、2、1 波段, MSS1~3 为 7、5、4 波段。纠正后的整景和分县图像均保存为 Geotif 格式。

2.2 土地利用/覆盖信息提取方法 基于遥感信息源的土地利用/土地覆盖信息动态信息提取方法可以归为 2 种类型^[14]:①基于输入数据的分类信息提取,即先进行分类,后通过类型对比得到变化信息;②直接基于不同获取时间地表辐射特性变化的信息提取。第一种动态信息提取方式对分类标准和精度要求较高,需要的工作量比较大,而对 2 个时期遥感信息源与时相的一致性要求相对不高;而第二种方式对遥感影像的选取、时相的选择和后期处理具有严格的要求,但是效率比较高。

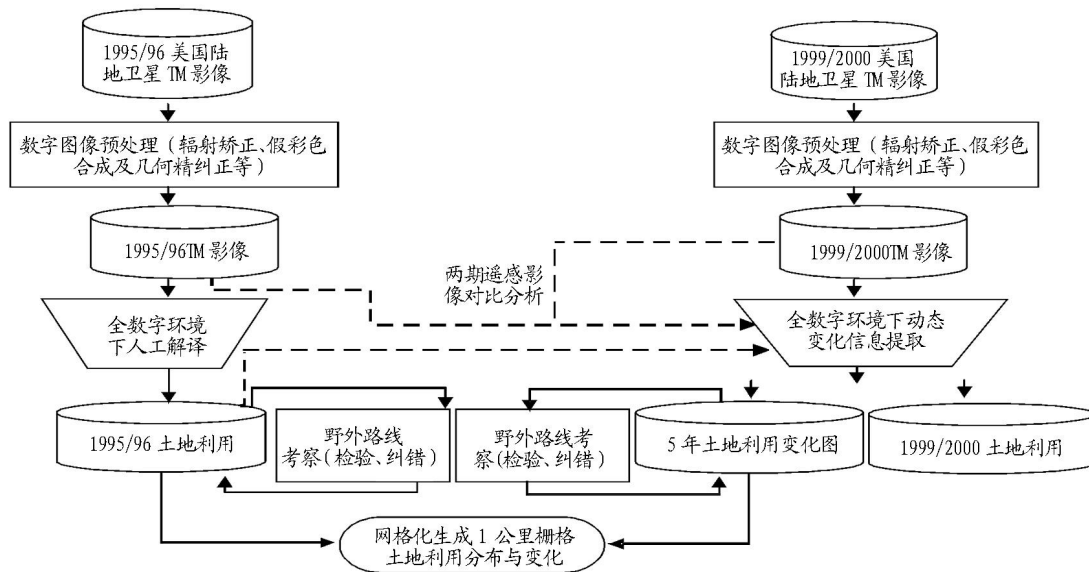


图 1 土地利用/覆盖信息动态信息提取技术流程

在构建国家尺度 1:10 比例尺土地利用/土地覆盖专题数据库的过程中,设计了以遥感图像计算机屏幕人机交互直接判读(下称人工解译)为核心的全国土地利用遥感制图技术方案,同时采用基于遥感监测的土地利用/覆被分类系统,形成了一致的判读标准,从而保证了遥感人机解译的精度。在此基础上完成了基于美国陆地卫星 Landsat-MSS/TM/ETM 的 20 世纪 70 年代后期、80 年代初期、90 年代中期、90 年代末期、2005 年 5 期覆盖全国的 1:10 万比例尺土地利用现状空间图。在此基础上通过两期遥感影像的直接对比分析,采用土地利用变化分类判读(即直接解译动态斑块)的方式对土地利用动态变化信息进行提取,进一步形成 70 年代后期~80 年代末期、80 年代末期~90 年代中期、90 年代中期~90 年代末期、90 年代末期~2005 年 4 期土地利用动态变化图斑,并加以定性集成。以 90 年代中期、90 年代末期土地利用/土地覆盖信息提取为例,整个提取过程见图 1^[15]。

3 国家尺度土地利用/覆被变化信息集成方法

3.1 土地利用分类 1 km 栅格成分数据 通常,利用栅格结构对实际地物属性和状态的表述是以栅格内最大面积地物的属性或栅格内平均状态作为栅格的值。对于面状地物,矢量数据向栅格数据的转换在逻辑上比较合理,但是由于形状描述方式的简化而产生的面积误差是比较显著的。例如,对于我国 1:10 万土地利用图矢量数据转换为 1 km × 1 km 单一属性栅格数据时,汇总的水田面积将减少 2.23%,城镇工矿居民地面积将减少 60.51% 之多^[15]。而点、线状地物的矢量数据栅格化则会产生更大的偏差,从而引起信息的极大损失。如果能够采取一种方式将矢量结构的高精度特性与栅格结构的良好操作性结合起来,将形成空间数据融合过程中一种极为有效的途径和步骤。IGBP、IHDP 等全球变化研究国际组织以 1 km 栅格全球数据库为背景,开展了土地利用—土地覆被变化动力学、机理以及全球和区域模型的

研究^[16-17]。基于此,设计并实现了土地利用分类 1 km 栅格成分数据。从 1:10 万比例尺土地利用/覆盖矢量数据生成 1 km 栅格成分数据的主要技术路线包括以下几个步骤(图 2)^[18-19]:

(1) 全国 1 km 格网空间索引矢量图的生成。为了生成覆盖全国的 1 km 格网空间索引矢量图,需要将全国做切块处理,进而利用 Arcinfo 的 generate 产生每一块区域的 1 km × 1 km 格网。为了保证数字地图面积不变形的要求,采用 1:10 万比例尺土地利用/覆盖矢量数据的地图投影方式。

(2) 空间叠加。将各省土地利用/覆盖矢量数据与相应的切块 1 km × 1 km 格网进行空间叠加。叠加后,每一土地利用图斑既保留了土地利用类型属性信息,又保留了 1 km × 1 km 格网的索引 ID 值。

(3) 依据 1 km × 1 km 格网 ID 索引值进行土地利用/覆盖分类面积汇总,得到每一个 1 km × 1 km 格网中各土地利用类型的面积比例。

(4) 栅格化。为了达到栅格数据格式所具有的便捷处理方式和良好的数据融合潜力,需要将分类统计汇总后的格网矢量数据转换为栅格数据,即每一栅格的值表示每一土地利用类型所占的面积比例。

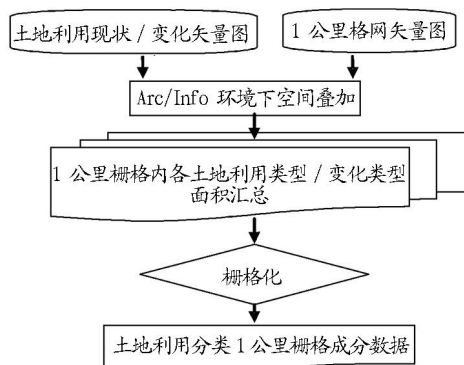


图2 土地利用分类 1 km 栅格成分数据的生成

土地利用分类 1 km 栅格成分数据是进行区域尺度土地利用变化监测、预测及进行驱动分析的一种易于表现和进行有效空间数据融合的数据集成方式。一方面,1 km 格网数据便于操作和处理,能够集成海量的高精度数据,也便于与其他来源数据进行融合分析;另一方面,在保证面积精度的前提下保证了在对国家尺度和区域尺度土地利用分析研究过程中的位置(空间)精度要求,而目前国际上基于半度(经纬度)栅格的数据输入与输出处理是针对于全球尺度的科学问题,用在区域分析上则显得过于粗糙。

3.2 土地利用分类面积汇总技术 通过遥感影像人工解译获取的土地利用/覆盖数据,由于比例尺的要求及影像分辨率的限制,判读为某种地类的图斑中一般都含有一定量的异体地物,如公路、铁路和宽度较小(指小于 60 m)的河流等线状地物、面积小于 6 × 6 像元的影像小图斑(由于比例尺的缘故,这样的小图斑不出现在判读结果中)以及无法在影像上反映出来的更加细小的地物(田坎、沟渠等)。对于这些异体地物,要分别从图斑毛面积数据中加以扣除并在面积

汇总时归并到其相应的类别统计数据中^[4,20]。土地利用分类面积汇总技术就是在分类汇总统计各土地利用类型的实际面积过程中采取的面积汇总平差技术,主要包括线状地物面积扣除技术和细小地物面积扣除技术。

(1) 线状地物面积扣除。线状地物所占面积的扣除通过将线状地物图形数据与面状地物判读结果空间数据叠加后进行。线状地物宽度由航片抽样获取,其中铁路和公路的宽度分省统计不同类型主体地物中的平均值。河流由于其宽度随着河段的不同而有不同的宽度值,故其宽度值尽量在线状地物图形中逐河逐段给出,无法标出的河流,则采用与道路相同的抽样取值的方法。线状地物面积扣除计算方法如下:设某一土地利用类型图斑内有 n 条线状地物,其长度和宽度分别为 L_i 和 B_i ($i=1, 2, \dots, n$), 则该图斑应扣除的线状地物面积为:

$$A = \sum_{i=1}^n L_i \times B_i \quad (1)$$

(2) 细小地物面积扣除。细小地物指在以 TM 影像为主体信息源进行的土地利用信息判读数据中, TM 影像上看得见但不够上图(即判读提取)标准的细小地物图斑,是在判读中有意漏掉的小图斑。在土地利用类型面积统计中,细小地物抽样扣除是对这些小图斑的影响进行平差处理的有效方式。细小地物抽样扣除基本思路是通过抽样方法获得细小地物的统计分布特征,给出细小地物在主体地物中的统计成数,然后再将这一成数落实到所有的主体地物图斑中进行细小地物面积的成数调整。在全国范围内,各地的自然资源及社会、经济状况不同,细小地物在主体地物中的分布具有不同的特征,并且主体地物类型不同,其中的细小地物分布也不一样,为了更细致地刻画细小地物在主体地物中的分布,需要针对不同地区、不同主体地物类型分别给出不同细小地物的成数。为达到这一目的,在空间上采用细小地物抽样框架来进行细小地物成数的分区控制。抽样框架之一是 1:100 万的全国土地利用区划图,它综合考虑了自然、社会和经济状况的空间差异性。

要获得抽样数据,首先是进行样本的空间定位,实际操作中是在 TM 影像中布设一定密度的抽样样条。样条宽度稍大或等于判读下限,即最大的可见但不可取图斑的尺度;样条的密度可在样本效率和实际工作量之间取一个平衡,如每 1:10 万图幅中布设 5、6 个样条;样条的布设方法要独立于具体的 TM 影像信息以保证抽样的随机性。

抽样工作完成后,将抽样结果与样条及抽样区划框架叠加统计出细小地物的成数,然后按照以下公式进行细小地物面积扣除,设某一主体地物图斑(如一块耕地)落在 m 块土地利用区划中 A_i ($i=1, 2, \dots, m$) 为主体地物图斑落在土地利用区划 i 中部分的面积,则主体地物图斑中的 TM 细小地物扣除量为:

$$A_{TM} = \sum_{i=1}^m R_i \times A_i \quad (2)$$

式中 $R_i = (R20 + R30 + R40 + R50 + R60)$, 表示在 m 块土地利用区划中林地、草地、水域、居民地和未利用土地所占的面

积乘数之和 而 R_{20} 、 R_{30} 、 R_{40} 、 R_{50} 、 R_{60} 分别表示林地、草地、水域、居民地和未利用土地所占的面积乘数。

4 总结与展望

国家尺度土地利用/土地覆盖专题空间数据库是由中国科学院组织院内 8 个研究所的 100 多位资源环境遥感专家经过近 20 年的努力建成的。通过几年的数据服务,数据库的应用领域逐步得到扩展,目前已经涉及到国民经济的各个方面并已初步形成稳定的数据用户群。用户来源包括国内政府决策部门、行政管理部门、研究机构、大学、国防部门和商业机构以及包括联合国有关组织和其他研究机构的国外用户。先后支持了国家西部大开发科技规划、2000 年春华北沙尘暴成因研究、全国第二次土壤侵蚀调查、全国生态环境监测网络的建设、2008 年汶川地震灾后评估、2009 年春南方冰雪冻害的灾后恢复重建等重大应用,取得了显著的社会与经济效益。

国家尺度土地利用/覆盖专题空间数据库的建设是一个系统工程。根据目前计算机、传感器和空间数据库的迅猛发展状况,在技术领域,提出如下几个重点发展方向:①研究基于国产卫星遥感数据的国家尺度土地利用/覆盖数据更新技术体系;②研究海量空间数据的统一管理与存储技术;③研究多源、无缝数据融合与共享技术;④研究面向不同层次用户的软件平台设计;⑤研究数据产品的标准化与产业化。

国家尺度土地利用/土地覆盖专题空间数据库的建设也是一个产生和发展的过程。未来研究致力于构建一个面向国家宏观决策、全球变化研究和为区域可持续发展服务的土地利用/覆盖专题时空数据平台,力求不断增加内容,完善数据的组织,提高信息服务质量和应用的深度与广度。

参考文献

- [1] 徐鹏炜, 王艳萍, 蔡菊珍. 利用遥感和 GIS 技术监测绍兴县土地利用现状及其制图研究[J]. 科技通报, 2001, 17(5): 16-20.
- [2] TURNER II B L, MEYER W B, SKOLE D L. Global land-use/land-cover

change: towards an integrated study[J]. *Ambio*, 1994, 23(1): 91-95.

- [3] 田光进, 周全斌, 赵晓丽, 等. 中国城镇扩展占用耕地的遥感动态监测[J]. *自然资源学报*, 2002, 17(4): 476-480.
- [4] 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.
- [5] 刘纪远, 刘明亮, 庄大方, 等. 中国近期土地利用变化的空间格局分析[J]. *中国科学(D 辑)*, 2002, 32(12): 1031-1040.
- [6] ZHUANG D F, LIU J Y, LIU M L. Research activities on land use/land cover change in the past ten years in China using space technology[J]. *Chinese Geographical Science*, 1999, 9(4): 330-334.
- [7] 庄大方, 邓祥征, 战金艳, 等. 北京市土地利用变化的空间分布特征[J]. *地理研究*, 2002, 21(6): 667-674.
- [8] ANDERSON J R, HARDY E E, ROACH J T, et al. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data[R]. Washington D. C. USA: USGS Professional Paper No. 964, 1976: 28.
- [9] CARLO LAVALLE. Towards an urban atlas, Environment issue report 30[M]. Copenhagen, Denmark: European Environment Agency (EEA), 2002: 36-42.
- [10] FAO/UNEP. Expert Consultation on Strategies for Global Land Cover Mapping and Monitoring Report[R]. Rome, Italy, 2002: 14-17.
- [11] 赵峰. 吉林省中部土地利用/覆被变化对水资源环境影响研究[D]. 长春: 吉林大学, 2005.
- [12] 李伟. 北京市城市森林布局优化研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2008.
- [13] 侯江涛. GIS&RS 技术在灌区水资源管理中的应用研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2004.
- [14] JOHNSON R D, KASISCHKE E S. Change vector analysis: a technique for the multispectral monitoring of land cover and condition[J]. *Int. J. Remote Sens.*, 1998, 19: 411-426.
- [15] 刘明亮, 唐先明, 刘纪远, 等. 基于 1 km 格网的空间数据尺度效应研究[J]. *遥感学报*, 2001, 5(3): 183-189.
- [16] TURNER B L II, SKOLE D L, SANDERSON S, et al. Land-use and land-cover change Science/Research Plan(=IGBP Report; 35/HDP Report7)[R]. 1995.
- [17] EIDENSHINK J C, FAUNGDEEN J L. The 1 km AVHRR global land dataset: first stages in implementation[J]. *Int. J. Remote Sens.*, 1994, 15: 3443-3462.
- [18] 刘明亮, 唐先明, 庄大方, 等. 基于融合技术的结构性栅格时空数据平台的构建[J]. *地球信息科学*, 2003(4): 63-68.
- [19] 唐先明. 地理空间数据融合基础研究及应用[D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2000.
- [20] 张稳, 庄大方, 胡文岩. 国家基本资源与环境遥感数据库集成中的面积汇总技术[J]. *遥感学报*, 2000, 4(4): 304-310.

(上接第 2330 页)

参考文献

- [1] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆盖变化的国际研究动向[J]. *地理学报*, 1996, 51(6): 553-557.
- [2] 刘纪元, 布和敖斯尔. 中国土地利用变化现代过程时空特征的研究——基于卫星遥感数据[J]. *第四纪研究*, 2000, 20(3): 229-239.
- [3] 喻锋, 李晓兵, 王宏, 等. 黄浦江流域土地利用变化与生态安全评价[J]. *地理学报*, 2006, 61(6): 645-653.
- [4] 贾科利. 基于遥感、GIS 的陕北农牧交错带土地利用与生态环境效应研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
- [5] 李鹏山, 李香, 李燕, 等. 基于 GIS 的海口市滨海旅游区土地利用格局的时空变化[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(25): 14025-14029.
- [6] 曹政辉. 宜章县土地利用对生态环境的影响评价[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2007.
- [7] 曹凤. 中国城市环境可持续发展指标体系研究手册[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999.
- [8] 周文华, 王如松. 城市生态安全评价研究——以北京市为例[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(7): 848-852.
- [9] 王玉广, 吴桑云, 苗丽娟, 等. 海岸带开发活动的环境效应评价方法和指标体系初探[J]. *海岸工程*, 2006, 25(4): 63-70.
- [10] 徐建华. 计量地理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [11] 左伟, 王桥, 王文杰, 等. 区域生态安全评价指标与标准研究[J]. *地理学与国土研究*, 2002(1): 67-71.
- [12] 左伟, 周慧珍, 王桥, 等. 区域生态安全综合评价与制图——以重庆市

忠县为例[J]. *土壤学报*, 2004, 41(2): 203-210.

- [13] 王振祥, 朱晓东, 石磊, 等. 安徽省沿淮地区生态安全评价模型和指标体系[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(12): 2431-2435.
- [14] 陈国强, 陈鹏. 海湾型城市土地利用动态演变及其生态环境效应研究[J]. *水土保持研究*, 2008, 15(3): 26-30.
- [15] 曲雨梅, 王玉广, 丛丕福. 河北省海岸带生态环境效应评价指标选择研究[J]. *海洋环境科学*, 2008, 27(2): 41-44.
- [16] ZHU F, ZHAO Q H, DENG W G, et al. Relationships among glomalin related soil protein, SOC and soil texture under different land use types[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2010, 11(5): 82-86.
- [17] 罗芳. 剩余劳动力转移对农村土地流转市场的影响[J]. *畜牧与饲料科学*, 2009, 30(2): 95-96.
- [18] TAN W, ZHANG A M. Counter measures for eco-friendly land use model in mountainous area[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2010, 11(5): 182-186.
- [19] 栗林. 内蒙古鄂尔多斯市农村牧区土地(草场)承包经营权流转问题探究[J]. *畜牧与饲料科学*, 2009, 30(3): 117-119.
- [20] XU X, ZHANG Y, LI Y, et al. Study on land suitability evaluation in the Northern China crop-pasture band[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2010, 11(6): 130-133, 158.
- [21] 段清伟, 张润清, 曹文文. 河北省农村土地承包经营权流转的影响分析[J]. *畜牧与饲料科学*, 2009, 30(9): 174-175.