

对象化土地环境天地生要素时空演变分析方法^①

李景文^{1,2}, 陆妍玲^{1,2*}, 叶良松^{1,2}, 殷 敏^{1,2}

(1 桂林理工大学测绘地理信息学院, 桂林 541004; 2 桂林理工大学广西空间信息与测绘重点实验室, 桂林 541004)

摘要:从资源、环境、经济、社会等方面分析了土地环境的空间、时间和属性特征,依据土地环境立体连续三维空间的特性,以“天-地-生”模式为研究框架,通过面向对象信息抽象方法,进行对象化土地环境天地生要素的时空逻辑关系和模型构建方法研究。在此基础上,结合改进的土地环境天地生要素动态度运算和GIS时空叠置分析方法,探索基于“天-地-生”模式的土地环境演变的等级、速度、强度和形态等时空特征,实现了土地环境时空演变过程中天地生要素分析功能,为区域土地环境时空数据的科学管理和决策提供新思路。

关键词:面向对象;土地要素;动态度;时空演变

中图分类号:P208

随着城镇化的高速发展,区域人地关系矛盾上升,土地生态空间环境结构遭到破坏,导致严重的土壤环境质量^[1-2]。而区域土地利用结构、质量和性质等土地环境要素对土地利用变化、景观格局等土地环境产生显著影响,研究土地环境要素间作用关系对土地环境演变分析具有重要价值。近年来,伴随着地学、数理统计和3S的技术发展,有很多学者利用形态学、系统学、生态学、数理统计学等方法开展土地环境的算法、模型和决策分析研究。Liu等^[3]及Sangermano等^[4]通过构建各类型的地理算法探索了全球土地利用变化,但这些算法主要从数学表达方面,而不是从地学方面研究,缺少对土地环境地理实体时空现象的相互关系描述,Wu等^[5]及Kadiogullari^[6]采用土地变化模型进行了土地变化预测,这些模型具有很好的操作性和实用性,但缺少对引起土地环境演变的原因进行时空关系的分析。

目前,在对土地环境时空特征和过程的分析中,地学界的研究因完整的地理数据支持已进入了土地利用变化的定量化分析阶段,并着重定量化分析了自然与人文要素的相互影响^[7-9]。其中,在土地环境影响要素方面,陈顺清、张庭伟等学者^[10-16]从土地利用的经济、制度、生态要素等方面构建理论框架和土地环境数据计量模型,探讨了影响土地环境演变的原因和过程。但是,现阶段研究集中在土地利用变化的

信息提取、管理、监测、模拟与预测,关于土地要素间的相互作用关系的研究相对比较薄弱。土地环境变化研究的影响要素选取比较单一,要素指标选取偏向主观性,并主要分析影响要素对土地利用变化的纵向定量关系,缺少对影响要素间相互作用的网格关系研究。由于土地环境具有整体性、区域性、时空动态性和相对稳定性等基本特性,其影响要素类型较多且较复杂,具有较强的时空连续拓扑性^[16]。本文将影响土地环境演变的多维要素分为天、地、生三类,探索对象化的土地环境天、地、生要素时空信息抽象方法,进行土地环境天地生要素的时空数据模型构建和动态度运算,以地块类为空间对象,在时间、空间和属性特征一体化的基础上,实现土地环境时空数据的组织、管理和分析。

1 “天-地-生”土地环境要素的抽象和表达方法

在土地环境演变过程中,土地要素变化作用于土地环境,而土地环境又产生反作用促使土地要素随时空发生变化^[17]。例如人类活动的主要方式就是土地利用,土地利用在改变土地环境因子、景观格局与物质能量循环的同时,影响了土壤的有机碳成分、土壤的养分循环和生态变化过程,也影响着区域土地环境系统服务功能^[18]。在土地环境系统循环中,只有各

基金项目:广西自然科学基金重点项目(2014GXNSFDA118032)、广西“八桂学者”岗位专项和广西教育厅科学技术研究项目(YB2014164)资助。

* 通讯作者(3S@glut.edu.cn)

作者简介:李景文(1971—),男,内蒙古赤峰人,博士,教授,主要从事GIS理论和应用研究。E-mail: lugl2014@glut.edu.cn

要素相互促进才能驱动区域土地环境向良性的方向演化与发展,这种复杂作用关系由土地环境的多维影响要素来关联。

1.1 “天—地—生”土地环境要素的抽象

土地环境是各种自然的物理、化学、生物过程及人类的社会经济活动的结果,并使之成为一个三维立体、相对完整且联系紧密的生态和地理系统。从空间角度来看,地表层有陆地水文、土壤、浅层地下水、部分植物、动物和微生物、人类活动的结果等,地下层有土壤层之下的岩石和深层地下水等,这些要素与土地环境间存在着相互作用关系而彼此影响的现象。

因此,从土地环境的立体连续三维空间特性角度,可以将土地环境影响要素抽象为天、地、生 3 个不同空间维。其中,“天”是指土地地上层的大气环境、气候环境等天文气象条件;“地”是指土地地表层的地形、地貌、水环境、地质构造、植被、水文、土壤等地理条件;“生”是指土地环境中的人类经济发展模式、人口、社会经济、土地利用方式、交通状况和文化特征等人文社会条件。

1.2 土地环境与其要素间的关系

土地环境时空演变是由多重尺度上的土地环境天、地、生多维要素综合作用的结果,而“天-地-生”模式框架强调人与自然环境系统的整体性、和谐性、永续性以及时空的连续性,是一个纵向时空 3 层面、横向成链式、彼此紧密联系的循环框架体系。通过“天—地—生”的抽象模式能有效表达土地环境演变中人地相互作用的循环链接关系,并能完整描述土地环

境要素与其时空演变间的内在关联性和规律性。将土地环境作为因变量 Y ,天、地、生多维要素分别作为自变量 A 、 E 、 L ,则 Y 随时空变化的总量表达如公式(1)所示:

$$Y = f(A, E, L) + \mu \quad (1)$$

式中: μ 为随机误差项, A 、 E 、 L 分别土地环境天、地、生要素影响值,反映天、地、生各要素总和对土地环境演变的综合影响作用。

1.3 对象化地理实体“天—地—生”要素间的时空逻辑关系

土地环境现状常处于一个动态的变化过程中,因此可采用面向对象的方法以“类”的形式,将具有相同地块类属性和操作的一组对象进行“封装”,形成不可分割的独立单位,同时通过接口与外部发生联系。这既保障了土地环境变化分析过程中的稳定性,又使其不失灵活性和弹性,能够较好地适应土地环境动态变化的过程^[19]。因此,根据土地环境的几何空间形状,把地理实体抽象为对象(object),并按照土地利用类型分类将地理实体抽象为具有复杂时空特征的空间对象(spatial object, SO)^[20]。在对象内部,描述其各要素间的时空逻辑关系,反映天地生要素间的作用关系。该逻辑关系主要包括天地生要素域、过程域、指标域^[21],其中要素域和过程域描述空间对象时空变化的时间语义,如变化的原因、过程等;指标域描述空间语义信息,主要包含空间关系语义和属性语义。采用面向对象的方法对天、地、生要素时空数据引起的空间对象变化进行时空逻辑关系分析,如图 1 所示。

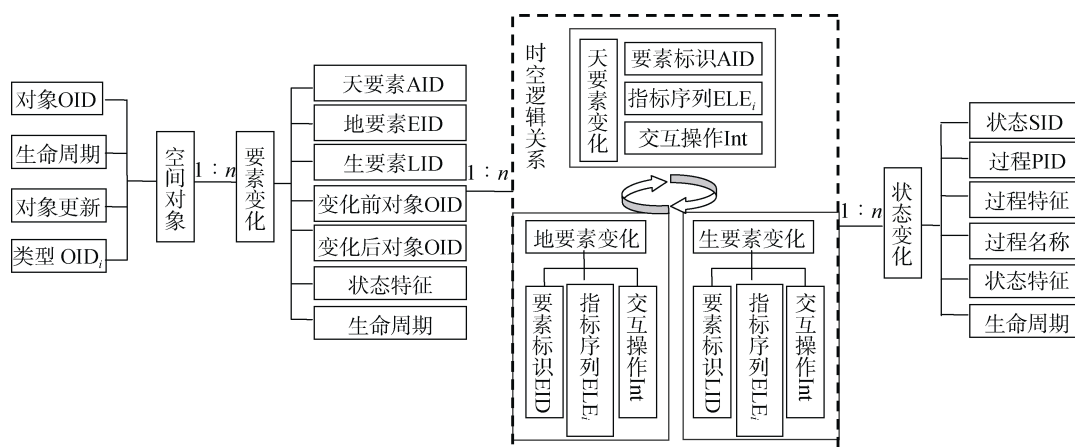


图 1 天地生要素间的时空逻辑关系分析

Fig. 1 Analysis of temporal logic among the elements of air, earth and life

该逻辑关系表达了土地环境地理实体空间对象、“天—地—生”要素事件对象、状态变化之间的层次结构。事件对象中连续时空渐变由天、地、生要素间的

关联分析实现,每一个时空变化允许有多个对象参与,并且通过对象OID来记录与变化相关联的对象。这种通过时空变化的天、地、生要素标识将发生变化

的地理实体相关联的方式可以表达空间对象在连续和离散时间内的变化,并同时描述地理实体的时空逻辑关系和时空演变过程。

2 对象化土地环境天地生要素的时空数据模型构建

在土地环境地理实体空间对象中,将其空间对象的属性特征、天地生要素时空特征及其交互影响等有关属性知识“封装”在对象结构中,每一类空间对象是独立封装的具有唯一能确定自己是产生或消失的标识的概念实体^[22]。因此,用BNF范式形式化描述基于面向对象的“天-地-生”时空数据模型为: $\langle \text{Object}, \text{Air}, \text{Earth}, \text{Life}, \text{Interaction} \rangle$ 。

2.1 Object 参数的描述

$\langle \text{Object} \rangle ::= \langle \text{OID} \rangle \langle \text{Spatial} \rangle \langle \text{Temporal} \rangle \langle \text{Attribute} \rangle \langle \text{Operation} \rangle$; 式中: $\langle \text{Object} \rangle$ 表示空间对象; $\langle \text{OID} \rangle$ 为时空变化过程中对象的唯一标识号; $\langle \text{Spatial} \rangle$ 为空间对象的空间特征; $\langle \text{Temporal} \rangle$ 为对象的时态描述; $\langle \text{Attribute} \rangle$ 反映空间对象的变化信息,是对事物本质特征和空间实体的语义定义; $\langle \text{Operation} \rangle$ 表达了对空间对象的时空操作,可描述为: $\langle \text{Operation} \rangle ::= \langle \text{Relational Operations} \rangle \mid \langle \text{Topoloical Operations} \rangle \mid \langle \text{Geometric Operations} \rangle$ 。

2.2 Air、Earth、Life 参数的描述

$\langle \text{Air} \rangle ::= \langle \text{AID} \rangle \langle \text{ATS} \rangle \langle \text{A_ELE}_i \rangle \langle \text{ATE} \rangle (i \geq 1)$; 式中: $\langle \text{Air} \rangle$ 是时空变化中“天”的影响特征; $\langle \text{AID} \rangle$ 表示影响要素的唯一标识号, $\langle \text{ATS} \rangle$ 、 $\langle \text{ATE} \rangle$ 表示要素各指标变化的起始和结束时刻; $\langle \text{A_ELE}_i \rangle$ 属于天要素的影响指标序列。

$\langle \text{Earth} \rangle ::= \langle \text{EID} \rangle \langle \text{ETS} \rangle \langle \text{E_ELE}_i \rangle \langle \text{ETE} \rangle (i \geq 1)$; 式中: $\langle \text{Earth} \rangle$ 是时空变化中“地”的影响特征; $\langle \text{EID} \rangle$ 表示影响要素的唯一标识号, $\langle \text{ETS} \rangle$ 、 $\langle \text{ETE} \rangle$ 表示要素各指标变化的起始和结束时刻; $\langle \text{E_ELE}_i \rangle$ 属于地要素的影响指标序列。

$\langle \text{Life} \rangle ::= \langle \text{LID} \rangle \langle \text{LTS} \rangle \langle \text{L_ELE}_i \rangle \langle \text{LTE} \rangle (i \geq 1)$; 式中: $\langle \text{Life} \rangle$ 是时空变化中“生”的影响特征; $\langle \text{LID} \rangle$ 表示影响要素的唯一标识号, $\langle \text{LTS} \rangle$ 、 $\langle \text{LTE} \rangle$ 表示要素各指标变化的起始和结束时刻; $\langle \text{L_ELE}_i \rangle$ 属于生要素的影响指标序列。

其中, $\langle \text{A_ELE}_i \rangle$ 、 $\langle \text{E_ELE}_i \rangle$ 、 $\langle \text{L_ELE}_i \rangle$ 分别属于天、地、生要素的影响指标序列,描述如下: $\langle X_ELE_i (X=A, E, L) \rangle ::= \langle X_EID \rangle \langle X_ELE_iName \rangle \langle \text{Object}_1 \rangle \langle \text{Object}_2 \rangle \langle \dots \rangle \langle \text{Object}_j \rangle \langle S \rangle \langle \text{Object}_1 \rangle \langle \text{Object}_2 \rangle \langle \dots \rangle \langle \text{Object}_k \rangle (j \geq 1, k \geq 1)$; 式中: $\langle X_ELE_i \rangle$ 为分别构成天、地、生要素的*i*个影响指标,空间对象是天、地、生要素作用的主体,某个指标值

发生改变,一个过程或若干个过程就随即启动,这样就可能有一个或者多个要素参与到若干个变化过程中,达到质变后,过程便结束; X_EID 为标识号; X_ELE_iName 为第*i*个影响指标名称; Object_j 表示指标量变化前的空间对象的集合, Object_k 表示指标量变化后的空间对象的集合; $\langle S \rangle$ 表示空间对象的变化类型(一般分为连续变化和离散变化),可描述为: $\langle S \rangle ::= \langle \text{离散变化} \rangle \mid \langle \text{连续变化} \rangle$ 。

2.3 Interaction 参数的描述

$\langle \text{Interaction} \rangle ::= \langle \text{IID} \rangle \langle \text{RD} \rangle$; 式中: $\langle \text{Interaction} \rangle$ 为天、地、生交互关联,可以描述为引起空间对象变化的天、地、生要素交互影响的过程,包含过程代号IID及关联描述RD。

该“天-地-生”模型以面向对象为基础,结合要素与时空属性间的作用关系,表达了土地环境演变中参与时空变化的要素、过程及关联描述,能够实现土地环境空间对象天、地、生影响要素在空间、时间、属性中的统一描述与表达。

3 “天-地-生”模式的土地环境时空演变分析

土地环境是由一系列空间对象组成,各空间对象在不同的时刻存在不同的状态,一系列时刻构成了土地环境的时空演化过程。在基于面向对象土地环境“天-地-生”要素时空数据模型的基础上,对不同时期土地利用图层进行叠置分析,通过天地生属性和图形运算,获得各阶段土地利用变化图。结合土地利用图与时间序列分析,产生新的土地环境空间图形,同时对变化后的天地生属性信息进行动态统计,定量分析土地环境时空演变的形态特征。

3.1 改进后的天地生要素动态度运算

土地利用动态度表达的是某研究区在一定时间范围内土地利用数量变化强度情况^[23],即某段时期内,土地利用变化量与起始年用地数量和时间长度的比值。本文进行对象化土地环境天地生要素抽象分析后,得出土地环境的演变由天地生要素的变化引起。因此,改进后的土地环境天地生要素动态度,是在一定时间段内的天地生要素变化的强度。表达式分别为:

$$D_A = \frac{A_n - A_m}{A_m} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

$$D_E = \frac{E_n - E_m}{E_m} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (3)$$

$$D_L = \frac{L_n - L_m}{L_m} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (4)$$

式中: D_A 、 D_E 、 D_L 分别为研究时间段内的天、地、生要素动态度; T 为研究时间段, 当 T 的时段设定为年度时, D 的值就是区域内土地环境天地生要素年均变化速率。

在对象化土地环境天地生要素分析中, 由其“天—地—生”模型<Object, Air, Earth, Life, Interaction>可以得出, Air、Earth、Life 要素分别包括 i 个影响指标数, 并由此分别构成天地生要素起始数列:

设 $A_m = \{a_m(k) | k=1, 2, \dots, i\}$ 为初始时间的天要素指标数列, $A_n = \{a_n(k) | k=1, 2, \dots, i\}$ 为终止时间的天要素指标数列。其中, $a_m(k)$ 和 $a_n(k)$ 为归一化后的天要素各相关指标量, $R_a = \{r_a(k) | k=1, 2, \dots, i\}$ 为天要素各指标比重。因此, 天要素的动态度为:

$$D_A = \frac{\sum_{k=1}^i r_a(k) a_n(k) - \sum_{k=1}^i r_a(k) a_m(k)}{\sum_{k=1}^i r_a(k) a_m(k)} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (5)$$

同理可得, 对象化的地要素和生要素的动态度为:

$$D_E = \frac{\sum_{k=1}^i r_e(k) e_n(k) - \sum_{k=1}^i r_e(k) e_m(k)}{\sum_{k=1}^i r_e(k) e_m(k)} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (6)$$

$$D_L = \frac{\sum_{k=1}^i r_l(k) l_n(k) - \sum_{k=1}^i r_l(k) l_m(k)}{\sum_{k=1}^i r_l(k) l_m(k)} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (7)$$

3.2 “天—地—生”模式的土地环境时空演变过程

区域土地环境的时空演变过程是受多种因素综合影响的, 从天、地、生 3 个不同空间角度, 可以将区域土地环境演变进程分为由下而上的相对全面且符合土地环境立体空间特征演变的过程。在土地环境演变过程中, 天、地、生要素分别占有不等权重的影响作用。将天地生要素动态度进行曲线拟合:

$$f(D, \beta) = \alpha + \beta_1 D_A + \beta_2 D_E + \beta_3 D_L \quad (8)$$

因此, 在土地地块的生命周期中, 天、地、生要素作为一组合力共同作用于土地环境的演变, 其演变过程主要体现在地块分割、合并、新增以及土地用途或权利人的改变等方面, 从而导致土地利用的空间变化和环境的演变。如图 2 所示, 在 $T_2 \sim T_3$ 时间段内一些空间对象因为天、地、生要素的变化导致死亡, 同时产生新的空间对象, 01 ~ 09 分别为不同的土地利用类型简单地块类 SIO。其中, B 为建筑用地、G 为耕地、H 为林地、M 为草地、W 为水系等。随着地块对象中天地生要素和时间变化 $f_T(D, \beta)$ 的共同作用, 导致建筑用地 04、草地 05 合并成为新的建筑用地地块 10。

由此可得, 从“天—地—生”角度分析土地环境地块空间对象的时空演变特性, 在综合分析区域土地利用的空间变化概率适宜图、初期土地利用现状图的基础上, 结合土地环境三维连续时空特性与天地生要素变化二维曲面, 在构建的土地环境立方体中, 根据天地生动态度模型, 以其强度变化 $f_T(D, \beta)$ 与土地利用变化的空间扩展趋势, 定量化分析了天地生要素影响中的土地环境时空演变过程。

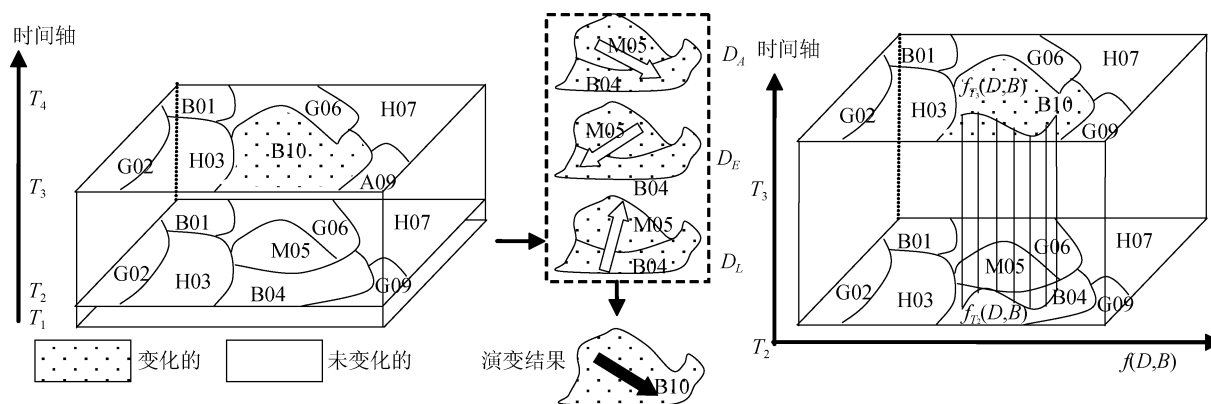


图 2 基于“天—地—生”模式的土地环境演变过程

Fig. 2 Evolution of land environment based on mode of air-earth-life

3.3 “天—地—生”模式的土地环境时空演变结果

土地环境系统涉及自然、社会、经济等多方面内容, 具有多维要素关联性。因此, 构建基于天地生要素的土地环境综合评判, 结合层次分析、加权求和与模糊关系矩阵等运算, 得到天地生要素集与土地环境

评价标准集, 再根据隶属度函数和评价等级标准计算土地环境隶属度层, 采用 GIS 时空叠置分析, 获得不同等级标准的土地环境统计图, 分析区域土地环境演变结果。

首先, 对天地生各系统的要素指标进行标准化

处理。其中,对于经验型指标,如土地植被类型、降雨敏感性等,难以量化成具体值,可建立专家分级标准。在天地生要素指标归一化处理后,通过层次分析法确定天地生要素与土地环境评价要素集的权重,将标准化的天地生要素与相应权重进行加权求和运算,得到基于天地生要素的土地环境评价要素集 $D = \{D_A, D_E, D_L\}$ 。同时,根据土地环境评价需求,将区域土地环境评价等级划分优、良、中、差4个级别,建立评价标准集 $L = \{L_1, L_2, L_3, L_4\} = \{\text{优, 良, 中, 差}\}$ 。在此基础上,结合天地生关系矩阵与模糊权向量的分析运算,得到土地环境评价模型^[24]:

$$\bar{K} = \bar{W} \times R \quad (9)$$

式中: $\bar{K}$ 为一个多维向量的评价结果,通过最大隶属度原则进行处理,得到一个地块对象的唯一隶属度的值; $\bar{W}$ 为模糊全向量; $R = \{(r_{ij})_{m \times n}, i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3, 4\}$, 为 $m \times n$ 阶的关系矩阵, r_{ij} 为天地生要素集 D 中第 i 个要素 D_i 相对于评价标准集合 L 中第 j 个等级 L_j 的隶属度。根据隶属度函数,得到每个地块隶属于不同等级的环境标准,并组成土地环境演变时空分布下的隶属度图层,如图3所示。

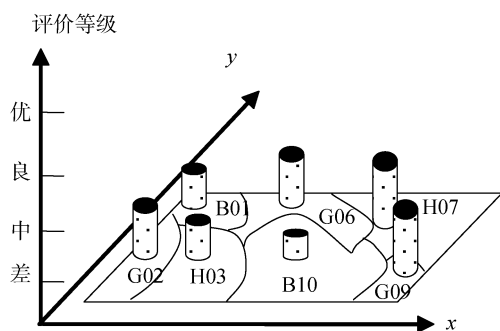


图3 基于“天-地-生”模式的土地环境时空演变
Fig. 3 Evolution of land environment based on mode of air-earth-life

将天地生要素进行集成运算,根据关系矩阵 R , 确定评价权向量 $\bar{W}$; 通过 GIS 时空叠置分析, 得到评价结果 $\bar{K}$, 形成土地环境综合评价系统的4个隶属度层, 通过地块和属性抽象和函数运算结果, 得到各评价标准等级的地块数和比例, 集中分析时间段内土地环境各等级分布状况。

4 结论

土地环境系统包括资源、环境、社会、经济等多个方面, 采用面向对象方法, 从多维要素中提取的天地生要素为抽象地块类具有的特征属性。本文根据

天地生划分要素系统, 对地块和属性进行对象化的抽象描述与表达, 且对象间通过共同作用显示土地利用变化外部特征, 其内部天地生属性通过封闭抽象机制加以隐藏, 使得土地环境研究问题更具有针对性和完整性。在数学建模与 GIS 时空分析的技术支持下, 建立了基于天地生模型的土地环境演变分析, 定量研究了天地生要素与其土地环境演变之间的时空逻辑关系。

基于天地生模式的土地环境时空演变分析方法, 充分考虑了自然社会经济要素对环境演变的影响, 并从土地环境系统的三维连续立体空间特性出发, 结合 GIS 时空分析, 反映随着时间变化的土地环境空间结构图形的演变情况; 同时, 土地环境演变的要素分析不是一劳永逸的, 不同时期不同尺度同一区域土地环境影响要素都会不同, 而具有不同发展特点的不同区域土地环境影响要素也不同。因此, 需要在下一步的工作中, 针对不同时期不同尺度具备不同特性的土地环境, 进行基于天地生模式下的程度更细、精度更高、针对性更强的影响要素分析, 满足不同特点的土地环境时空演变分析研究。

参考文献:

- [1] 车前进, 段学军, 郭垚, 王磊, 曹有挥. 长江三角洲地区城镇空间扩展特征及机制[J]. 地理学报, 2011, 66(4): 446-456
- [2] 张明, 陈国光, 刘红樱, 梁晓红, 杨辉, 田福金. 长江三角洲地区土壤重金属含量及其分异特征[J]. 土壤通报, 2012, 43(5): 1098-1104
- [3] Liu J, Dietz T, Carpenter SR, Alberti M, Folke C, Moran E, Pell AN, Deadman P, Kratz T, Lubchenco J, Ostrom E, Ouyang Z, Provencher W, Redman CL, Schneider SH, Taylor WW. Complexity of coupled human and natural systems[J]. Science, 2007, 317: 1513-1516
- [4] Sangermano F, Eastman JR, Zhu H. Similarity weighted instance-based learning for the generation of transition potentials in land use change modeling[J]. Transactions in GIS, 2010, 14(5): 569-580
- [5] Wu W, Yang P, Meng C, Ryosuke S, Zhou QB, Tang HJ, Shi Y. An integrated model to simulating sown area changes for major crops at a global scale[J]. Science in China(Series D), 2008, 51: 370-379
- [6] Kadiogullari AI. Assessing implications of land use and land cover changes in forest ecosystems of NE Turkey[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2013, 185(3): 2095-2106
- [7] Mike J, Rod B. Compact cities: sustainable urban forms for developing countries[J]. Journal of Housing and the Built Environment, 2003, 18(4): 287-391
- [8] Metternicht GI, Zinck JA. Remote sensing of soil salinity potentials and constraints[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 85: 1-20

- [9] Xin C, Onishi A, Chen J, Imura H. Quantifying the cool island intensity of urban park using ASTER and IKONOS data[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2010, 96: 224–231
- [10] 陈顺清. 城市增长与土地增值的综合理论研究[J]. *地理信息科学*, 1999(1): 12–18
- [11] 张庭伟. 1990 年代中国城市空间结构的变化及其动力机制[J]. *城市规划*, 2001, 25(7): 7–14
- [12] 张晓平, 刘卫东. 开发区与我国城市空间结构演进及其动力机制[J]. *地理科学*, 2003, 23(2): 142–149
- [13] 朱小娟, 刘普幸, 赵敏丽, 卓玛兰草. 甘肃省土地资源承载力格局的时空演变分析[J]. *土壤*, 2013, 45(2): 346–354
- [14] 黄木易, 岳文泽, 杜娟. 杭州市区土地利用景观格局演变及驱动力分析[J]. *土壤*, 2012, 44(2): 326–331
- [15] 戴靓, 彭慧, 吴绍华, 林晨, 黄丽华. 苏南地区净第一性生产力对土地利用变化的响应[J]. *土壤*, 2013, 45(3): 565–571
- [16] Ye YY, Zhang HG, Liu K, Wu QT. Research on the influence of site factors on the expansion of construction land in the Pearl River Delta, China: By using GIS and remote sensing[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2013, 21: 366–373
- [17] 陈百明, 张凤荣. 我国土地利用研究的发展态势与重点领域[J]. *地理研究*, 2011, 30(1): 1–9
- [18] 田秀. 土地利用对生态环境影响研究[J]. *北方环境*, 2011, 23(11): 210–211
- [19] 谢光轩, 李满春. 面向地块对象的土地利用总体规划前期研究[J]. *现代测绘*, 2008(2): 11–13
- [20] 李景文, 周文婷, 刘军锋. 基于地理实体的面向对象矢量模型设计[J]. *地理与地理信息科学*, 2008, 24(4): 29–31
- [21] 吴长彬, 闫国年. 一种改进的基于事件-过程的时态模型研究[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2008, 33(12): 1 250–1 253
- [22] 李景文, 邹文娟, 田丽亚, 农佳捷, 苏浩. 基于过程的面向对象时空数据模型数据组织方法[J]. *测绘科学*, 2013: 1–6
- [23] 孙雁, 刘志强, 王秋兵, 刘洪彬. 百年沈阳城市土地利用空间扩展及其驱动力分析[J]. *资源科学*, 2011, 33(11): 2 022–2 029
- [24] 刘洋, 吕建树, 吴泉源, 孙翔. 基于面向对象理论的区域生态环境综合评价[J]. *中国环境科学*, 2012, 32(8): 1 521–1 529

Analytical Methods of Temporal Evolution Among Objectified Elements of Air-Earth-Life in Land Environment

LI Jing-wen^{1,2}, LU Yan-ling^{1,2*}, YE Liang-song^{1,2}, YIN Min^{1,2}

(1 *Mapping and Geographic Information College, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China*; 2 *Guangxi Key Laboratory of Spatial Information and Geomatics, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China*)

Abstract: This article abstractly analyzed the characteristics of space, time and attribute in land environment from the aspects of resource, environment, economy and society. Based on the characteristics of 3D continuous space in land environment and taken air-earth-life mode as the framework, the temporal logic relationship of objectified elements of air-earth-life in land environment was studied by the methods of object-oriented information abstract. The spatial and temporal characteristics of level, speed, strength and shape in the land environmental evolution were explored based on the mode of air-earth-life by combining the improving dynamic degree computing of air-earth-life in land environment and space-time overlay analysis method of GIS. This article achieves the function of air-earth-life factor analysis on the temporal evolution of the land environment and provides new ideas for scientific management and decision of temporal data in the regional land environment.

Key words: Object-oriented, Land factor, Dynamic degree, Temporal evolution