

区域地理系统单元等级圆锥建模

鲁学军¹, 张洪岩², 高志强¹, 裴 韬¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 东北师范大学城市与环境科学学院, 长春 130024)

摘要: 本文基于 S. Beer 空间分辨率圆锥, 应用等级体系理论, 结合地理学有关研究成果, 探讨建立一种具有尺度单元结构性质的区域地理系统模型——区域地理系统单元等级圆锥。研究认为, 区域地理系统单元等级圆锥由地理最小结构单元、地理基本功能单元、地理景观单元、地理景观类型单元与地理景观类型组合单元组成, 它们分别实现地理学“最小空间粒度划分”、“基本空间过程分析”、“空间过程共轭分析”、“类型划分”与“类型间相互作用”的研究方法, 分别体现地理学“还原分析”、“过程分析”、“整体分析”、“类型分析”与“综合分析”的研究思想。

关键词: 区域地理系统; 区域地理系统单元等级圆锥; 地理计算方法论

文章编号: 1000-0585(2005)06-0935-12

地球表层的地区差异在空间分布上具有由量变过渡到质变的性质, 并依此划分为具有不同自然地域单位分类的地理等级系统。在地理等级系统中, “区域地理为地理学之主体”^[1], 即地理学研究地球表面的地域分异特征, 是以区域为其研究核心^[2], 且区域单位应作为环境和自然资源的整体来认识^[3]。相比于大尺度的地带性与非地带性结构而言, 区域地理研究应属于中尺度范畴, 其空间范围应该介于局地与行星尺度之间^[4]。目前, 对于中尺度(区域)的研究越来越受到重视^[5]。区域地理研究对于突破传统地理学研究的“宏观有余而微观不足”的特点、对于进一步研究建立地理计算(GeoComputation)方法论具有重要意义。

有关区域地理研究的一个重要方法就是应用系统论、控制论建立区域地理系统。作为现代地理学研究地球表层的范式^[6], 区域地理系统是一个具有等级体系结构的组织^[7]。等级体系是一个尺度概念, 它有助于研究复杂自然界的数量理论; 自然等级体系理论包含着尺度效应, 不考虑尺度的无条件推理和无限度外延就会产生理论上的悖谬^[8]。等级体系是分析复杂空间系统的一种非常有效的方法, 对于空间等级体系基本概念的理解对于空间概念模型的设计至关重要, 而基于空间等级体系的等级空间推理研究则被认为具有地理计算方法论上的意义^[9]。

在有关系统建模的方法研究中, 人们提出了各种概念模型, 如 W. Weaver 模型(1958)^[10]、S. Beer 模型(1967)^[11]、R. J. Chorley 模型(1971)^[12], 其中, S. Beer 的“空间分辨率圆锥”就是一个具有等级体系结构的模型, 它尤其适合于区域地理系统的建模研究。S. Beer 模型要求研究者注意研究对象在单元等级体系结构中的尺度问题。如前所述, 等级体系是一个尺度概念, 尺度对于表达等级体系中有关结构单元的时/空分布所采用的

收稿日期: 2005-03-08; 修订日期: 2005-07-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40071069, 40341011)

作者简介: 鲁学军(1964-), 男, 研究员。主要从事地理空间认知、建模、科学计算与 3S 教育研究。

Email: luxj@reis.ac.cn

比例尺及其分析结果的精度评判都具有决定意义。

本文试图基于 S Beer 的空间分辨率圆锥，应用等级理论^[13]，结合目前地理学有关尺度 - 结构等级体系的研究成果^[14,15]，探讨建立一种具有尺度单元结构性质的区域地理系统模型——区域地理系统单元等级圆锥，对该圆锥的结构关系、单元组成进行分析；并在牡丹江流域内选取一个实验区进行实验，以阐释区域地理系统单元等级结构研究方法。

1 建立区域地理系统单元等级圆锥

基于 S Beer 的“空间分辨率圆锥”，应用等级理论、系统论、控制论方法研究区域地理系统的组成与结构，就是通过对于区域不同尺度下不同类型的空间单元的划分方法、发生机制及其相互关系的研究，建立一种具有尺度单元结构性质的区域地理系统模型——区域地理系统单元等级圆锥。

区域地理系统单元等级圆锥如图 1 所示。该圆锥包括有关区域地理系统研究的从地理最小结构单元到地理景观类型组合单元之间的全部功能性单元结构。图 1 中， S_n （这里 $n = 1, 2, 3, 4, 5$ ）轴表示区域的空间尺度变化， SP_n 表示区域的具有不同空间尺度的空间平面；在空间平面上，以实心或空心圆表示空间单元，以短线表示不同空间单元之间的相互关系。

区域地理系统单元等级圆锥实质上属于粒状划分的一种常见形式——嵌套式单元划分系统。粒状划分（Granular Partition）是人类的一种普遍认知方式，它反映了现实世界基本的部分—整体结构。粒状划分理论为我们定义有关系统结构的组织提供了一种考虑粒度性的、新的、有限概念；它使我们能够客观对待现实存在的任何一个基本个体，现实中所有其他实体都是基于这些基本个体的求和而产生的；有关粒状划分的研究表明，面对与粒状划分单元相对应的现实实体，粒状划分并不关心现实实体在某一粒度下的东西^[16]，即粒状划分存在着基本粒度划分限制。而这种具有基本粒度划分性质的空间单元在区域地理系统单元等级圆锥中就是“地理最小结构单元”（见图 1）。

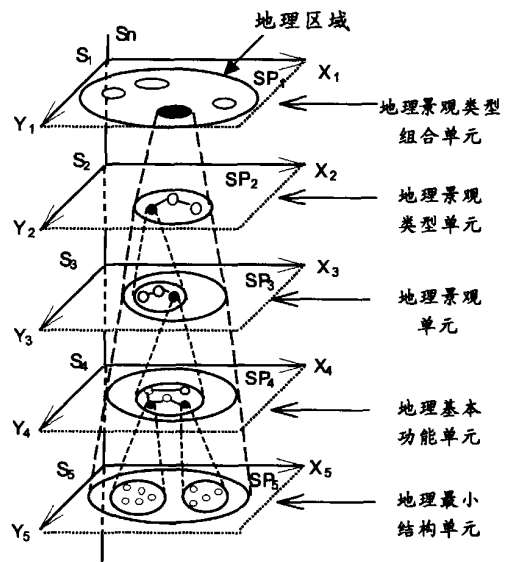


图 1 区域地理系统单元等级圆锥

Fig. 1 Unit hierarchical taper of regional geographic system

2 区域地理系统单元等级圆锥的结构关系

以 R_{gon} 表示地理区域，以 \cdot 代表有关地理区域的空间单元划分逻辑——地理景观单位分类系统^[17]，则区域地理系统单元等级圆锥可表示为 $Pati(\cdot, R_{gon})$ ；以 $C_n (n = 1, 2, \dots, N, \dots)$ 表示 $Pati(\cdot, R_{gon})$ 中的空间单元；以 $E_n (n = 1, 2, \dots, N, \dots)$ 表示与空间单元 C_n 相对应的存在于现实世界中的地理实体。根据粒度划分理论^[16]， $Pati(\cdot, R_{gon})$ 应满足下式：

$$E_{N+1} \quad E_N \quad \exists C_{N+1} \quad C_N \quad L_{oct}(E_{N+1}, C_{N+1}) \text{ and } L_{oct}(E_N, C_N) \text{ and } C_{N+1} \subseteq C_N \quad (2.1)$$

其中, $Loc(E_N, C_N)$ 表示地理实体 E_N 被定位在空间单元 C_N 上。

(2.1) 式表明, 当且仅当地理实体 E_N 被空间单元 C_N 定位, 而地理实体 E_{N+1} 又被定位于空间单元 C_N 的子单元 C_{N+1} , 则地理实体 E_{N+1} 是地理实体 E_N 的一部分。

根据粒度划分理论, 存在于两个空间单元之间的“部分—整体结构关系”表达如下:

$$MS(C_{N+1}, C_N) \quad \forall E_{N+1}, E_N \quad (Loc(E_{N+1}, C_{N+1}) \text{ and } Loc(E_N, C_N) \text{ and } C_{N+1} \subseteq C_N) \quad (2.2)$$

其中, $MS(C_{N+1}, C_N)$ 表示空间单元 C_{N+1} 与 C_N 之间具有“部分—整体结构关系”。

(2.2) 式表明, 一对具有包含与被包含关系的两个空间单元, 只有当它们各自所对应的地理实体之间也具有相同次序的包含与被包含关系时, 这两个空间单元之间才具有部分—整体结构的关系。

应用 (2.2) 式对区域地理系统单元等级圆锥的结构关系进行分析, 发现该圆锥具有部分—整体结构关系性质, 即有:

$$MS(Pati(, Rgon)) \quad \forall C_{N+1}, C_N \quad (Cell(C_{N+1}, Pati(, Rgon)) \text{ and } Cell(C_N, Pati(, Rgon))) \quad MS(C_{N+1}, C_N) \quad (2.3)$$

其中, $MS(Pati(, Rgon))$ 表示 $Pati(, Rgon)$ 满足“部分—整体结构关系”, $Cell(C_N, Pati(, Rgon))$ 表示 C_N 是 $Pati(, Rgon)$ 的一个空间单元。

由此可见, 区域地理系统单元等级圆锥反映了有关区域地理系统结构单元之间的包含与被包含的等级关系。基于该圆锥来进行区域地理研究, 有利于揭示地理区域内部发生在不同空间尺度上的不同地理现象之间的控制与反馈的动力学作用机制, 进而有利于对区域现象建模与区域地理计算的深入研究。

3 区域地理系统单元等级圆锥的组成单元

一般来说, 在对于区域的各种地理单元的划分上, 人们更多地考虑了单元划分的实用性或可操作性, 而忽视单元划分的科学性。实际上, 对地理区域进行各种地理单元的划分, 其目的是要通过认识地理区域的空间组成结构及其变化, 来进一步研究地理区域上所发生的各种地理现象在空间表现形式及其动力学作用机制上所具有的本质联系。

区域地理系统研究目的, 是在物质能量守恒原理指导下, 揭示区域地理物质、能量的运动规律, 这必然涉及到对区域自然地理过程的研究^[2]。因此, 以区域地理系统中物质流、能量流分析为目的, 从发现区域地理现象过程的时空变化规律角度来认识区域地理系统各种组成单元之间的相互作用关系, 是对区域进行各种地理单元划分的科学原则。

3.1 地理景观单元

地理景观在区域地理等级系统中是一个承上启下的级别, 它既是有关区域分异的最后一个环节, 也是有关景观内部各地理要素相互联系、相互作用的地方性地理规律研究的开端^[18]。地理景观的突出特点是它的整体性、内部一致性和区域差异性。作为地理等级系统的一部分, 景观单位有两种: 区域单位和类型单位^[17]。

作为“区域单位”的地理景观是自然地理分类系统的基本单位, 它既是综合自然区划的起始单位, 也是最底一级的区域性地理单位; 其内部分异主要是由地形切割所引起的形态分异, 因此, 其自身的构造单位是景观的形态部分或景观形态单位; 它反映了景观的个性, 即作为一个现实的、具体的地段(或地方)所具有的独特、不可重复的特点^[19]。我们称之为地理景观单元。

地理景观单元是一种由发生上具有统一性的一组景观形态单位（包括分水岭、斜坡、谷地、水域等）构成的共轭体，是对于有关地理景观单位分级中属于“种”一级的某个景观单元个体的研究。有关地理景观单元的研究要以野外实地调查为基础，其研究的基本方法是“综合剖面法”^[19]，如图 2 所示。

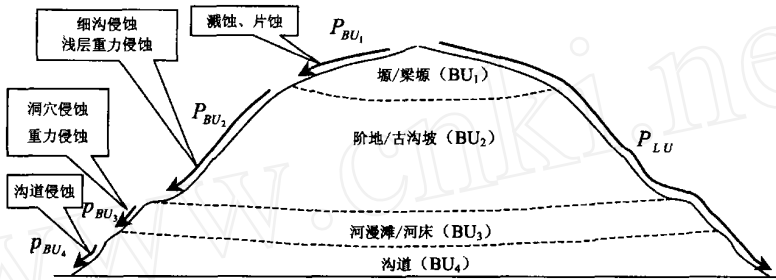


图 2 黄土高原侵蚀地貌景观单元 (LU)

Fig. 2 Landscape unit of erosion landforms of Loess Plateau

现代地理学从“空间与过程相统一”的研究角度视地理景观为几种不同类型的空间形态的完整表达，是对于地理景观的不同空间形态上所相应发生的不同地理过程的共轭体现^[6]。例如，黄土高原侵蚀地貌景观单元一般包括塬/梁塬、阶地/古沟坡、河漫滩/河床、沟道四种有关侵蚀地貌的基本空间形态，在这些基本空间形态上依次对应分别发生溅蚀/片蚀、细沟/浅层重力侵蚀、洞穴/重力侵蚀、沟道侵蚀四种有关地貌侵蚀的基本空间过程（图 2）。有关侵蚀地貌的基本空间形态与基本空间过程的结合，就形成了有关侵蚀地貌的“基本功能单元”。因此，黄土高原侵蚀地貌景观单元一般由四种“基本功能单元”组成：（1）塬、梁塬/溅蚀、片蚀；（2）阶地、古沟坡/细沟、浅层重力侵蚀；（3）河漫滩、河床/洞穴、重力侵蚀；（4）沟道/沟道侵蚀。

地理景观单元的形成过程 P_{LU} 表示如下：

$$P_{LU} = P_{BU_1} + (P_{BU_2} | P_{BU_1}) + (P_{BU_3} | P_{BU_2}) + \dots + (P_{BU_n} | P_{BU_{n-1}}) \quad (3.1)$$

其中， LU 表示区域上某个地理景观单元， $P_{BU_1}, P_{BU_2}, \dots, P_{BU_{n-1}}, P_{BU_n}$ 分别表示依次发生在 LU 上不同“基本功能单元” $BU_1, BU_2, \dots, BU_{n-1}, BU_n$ 上的不同“基本空间过程”（见图 2）， $(P_{BU_n} | P_{BU_{n-1}})$ 表示 P_{BU_n} 过程是 $P_{BU_{n-1}}$ 过程的发生条件， n 为整数且 $n \geq 2$ （下同）。

（3.1）式表明，某地理景观单元上所发生的某种空间过程由若干个相互联系的子过程组成。作为发生在该地理景观单元上的各种“基本空间过程”，这些子过程的发生地点是空间分布式的，发生次序则符合某种时间序列，且后发生的要以先发生的为前提（输入）。

地理景观单元的结构组成是各个“基本功能单元”的并集：

$$LU = BU_1 \cup BU_2 \cup \dots \cup BU_{n-1} \cup BU_n \quad (3.2)$$

地理景观单元与著名的 Rosch 认知分类“基本层”相对应^[15]。在人类有关现实世界的具有树状结构的认知分类体系中，“基本层”是一特殊分类层，它一方面具有丰富的信息，另一方面又具有基本分类级数^[20]；与其他分类层相比，“基本层”具有更高的使用频率、更简单的形态和更易于进入语言的性质^[21]。因此，作为区域地理系统结构组成与功能实现的基本单元，地理景观单元是人类在自然、社会和经济活动过程中首先接触到的单元，是人类认识地理世界的基本空间形式；正是基于地理景观单元，我们实现了对于地理区域的感性、直接认识。有关地理景观单元的研究体现了地理学的“整体分析”思想。

3.2 地理基本功能单元

事实上，地理景观单元本身就是一个完整的空间系统^[20]，如图 2 所示，黄土高原侵蚀地貌景观单元就是由 4 个“基本功能单元”组成的共轭体。地理基本功能单元的形成过程可能是地形的侵蚀切割过程、水分和地表冲积物沿斜坡的重新分配、各植物群落的具体相互关系等，其与前苏联地理学家所称的地理“相”类似，是地理学上发生与生理一致的景观形态单位，是在自然地域单位分类系统中识别景观的可靠诊断标志^[19]。地理景观单元就是由若干不同类型的地理基本功能单元的多次、有规律地重复组合而成。

地理基本功能单元一般分为三种类型：残积型、水上型和水下型。其种，残积型是一种高的分水岭地段，其潜埋深很大，只有植物能够吸取各种化学元素，其他物质被强烈淋溶和带走；水上型形成于低的地段，其潜水面离地表很近，由于潜水上升，使土壤—土质上层富含各种移动性化学元素，而其物质是从残积型单元通过地表径流输送而来；水下型形成于水域底部，其特殊的生态环境导致腐泥堆积和有机体残骸矿化^[19]。

地理基本功能单元的形成过程表示如下：

$$OP = P_{BFU}(IP, SA, T) \tag{3.3}$$

其中， BFU 表示地理基本功能单元， P_{BFU} 表示地理基本功能单元的形成过程， OP, IP, SA, T 分别表示地理基本功能单元形成过程中的输出、输入、空间属性集合与时间参数； SA 是基本功能单元上空间属性变化的一个集合，即 $SA = \{A_1, A_2, \dots, A_{n-1}, A_n\}$ ， $A_1, A_2, \dots, A_{n+1}, A_n$ 为地理基本功能单元的不同空间属性。

地理基本功能单元的结构组成表示如下：

$$BFU = \text{MinSU}_1 \quad \text{MinSU}_2 \quad \dots \quad \text{MinSU}_{n-1} \quad \text{MinSU}_n \tag{3.4}$$

其中， $\text{MinSU}_1, \text{MinSU}_2, \dots, \text{MinSU}_{n-1}, \text{MinSU}_n$ 分别表示组成地理基本功能单元的 n 个地理最小结构单元。(3.4) 式表明，地理基本功能单元是由若干地理最小结构单元组成，如图 3 所示。

由此可见，地理基本功能单元是一种空间结构分布与其属性状态变化具有对应性的单元，如图 4 所示，即存在着三元组 $H \quad S \quad A$ ：

$$A = H(S) \tag{3.5}$$

其中， A 是基本功能单元上空间属性变化的一个子集， $A \subseteq \{A_1, A_2, \dots, A_{n-1}, A_n\}$ ； S 是基本功能单元上三维空间位置分布的一个子集， $S \subseteq \{S_1, S_2, \dots, S_{n-1}, S_n\}$ 。

(3.5) 式表明，地理基本功能单元是以空间位置分布为自变量的空间属性变化函数，即其属性将根据单元上空间位置分布的变化而发生变化。地理基本功能单元的三元组定义实际上定义了基本功能单元属性函数的空间离散化过程（见图 4）。借鉴“Quantizar-

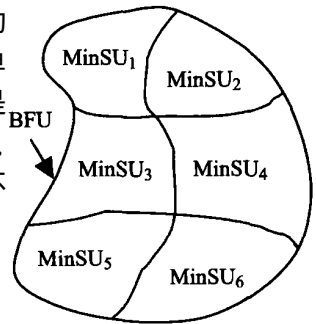


图 3 地理基本功能单元由最小结构单元组成

Fig. 3 A geographic basic functional unit composed of geographic minimum structural units

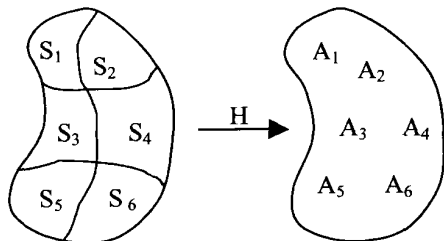


图 4 不同空间结构对应不同的空间属性

Fig. 4 Different spatial structures correspond to different spatial attributes

tion”在图像处理领域中的用法,将属性函数的离散化过程称为量子化^[22],我们称地理基本功能单元属性函数的空间离散化过程为“地理空间量子化”。对地理空间量子化的研究将有助于我们对地理基本功能单元的准确描述和精确表达,有助于推动现代地理学“微观研究”的发展。

地理基本功能单元是空间与过程具有“恒定”对应关系的统一体,是区域地理系统功能与结构分析的“不变基元”。它最大限度地保证了空间内部的“同质性”,和其上所发生地理过程的“不可分性”,为现代地理学实现“空间与过程研究”的统一奠定了根本基础^[20]。有关地理基本功能单元的研究体现了地理学的“过程分析”思想。

3.3 地理最小结构单元

地理最小结构单元是各种自然地理条件保持高度统一性的空间单元,其范围内的每一种组成成分都是它自己的最小地域划分单元,即其每一种组成成分的空间结构及其属性变化具有高度一致性,例如,其气候是一种类型、地形是一个单元、土壤是一个变种、植被是一个群落、水文是一个单元、人文是一种类型。地理最小结构单元实质上是一种具有最小空间结构变化的属性单元。“地理空间量子化”就是对于地理最小结构单元的研究。

在区域地理系统单元等级圆锥上,地理最小结构单元是地理基本功能单元的组成单元,是一种层次最低、结构单一、性质与状态变化具有高度一致性和统一性、能够独立存在并与外界直接发生关系的属性单元。地理最小结构单元 $MinSU$ 定义如下:

$$MinSU = I(A) \quad (3.6)$$

其中, A 是地理最小结构单元的一个空间属性集,即 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, I 是地理最小结构单元各个空间属性之间的集成关系。

地理最小结构单元实现了有关地理景观的空间属性分布结构的研究,是对地理景观单元进行空间建模表达与计算分析的“属性基元”。有关地理最小结构单元的研究体现了地理学的“还原分析”思想。

3.4 地理景观类型单元

地理景观的另一种单位是“类型单位”。与景观的“区域单位”不同,作为类型单位的地理景观所表现的不是景观的个性,而是景观的共性,即某种地理景观单元各组成要素的规律性组合,而这种规律性组合具有可重复性特点。称之为地理景观类型单元。

地理景观类型单元反映的是地理单元的同质整体性,它的产生以地质地貌为主导因素,并受地带性分布因素的影响;其在地理空间分布上具有可重复性,这种可重复性不仅可以在某个地带上不同区域内发生,而且可以在不同地带上不同区域内出现。根据需求,地理景观类型单元可以进一步划分为“纲”、“种”,例如,荒漠景观类型可以划分为荒漠平原景观纲、荒漠山地景观纲,而荒漠平原景观纲可以进一步分为沙漠景观种、滨海盐土低平原景观种、古冲积平原与古三角洲平原景观种,荒漠山地景观纲则可以进一步划分为各种不同的低山、中山、高山景观种^[19]。景观“种”的特点是具有同一类型的地形和基质^[19]。如前所述,地理景观单元就是对地理景观类型单元中属于“种”一级的某个景观单元个体的研究。

每个地理景观类型单元都是对于具有一致地质地貌基础的、且在同一种水热条件下发生某种地理现象过程的若干具体地理景观单元的合并。因此,应以区域内部不同地理景观单元的研究为基础,根据它们在发生、结构和形态上的共性,通过采用比较、概括、分类和演绎方法来实现对地理景观类型单元的研究。

地理景观类型单元的形成过程 P_{LCU} 表示如下:

$$P_{LCU} = F(P_{LU_1}, P_{LU_2}, \dots, P_{LU_{n-1}}, P_{LU_n}) \quad (3.7)$$

其中, LCU 表示区域上某种地理景观类型单元, $LU_1, LU_2, \dots, LU_{n-1}, LU_n$ 则表示组成景观类型单元 LCU 的 n 个地理景观单元, $P_{LU_1}, P_{LU_2}, \dots, P_{LU_{n-1}}, P_{LU_n}$ 分别表示各个地理景观单元的形成过程, F 表示以各个景观单元的形成过程为因子的非线性分布式函数。

地理景观类型单元的结构组成可用如下基函数张成空间 $Span$ 来表示:

$$LCU = Span(LU_1, LU_2, \dots, LU_{n-1}, LU_n) \quad (3.8)$$

(3.8) 式表明, 某种地理景观类型单元由若干个相互间在发生、结构和形态上具有共同性的地理景观单元组成。在这些景观单元之间存在着某种时空组合的一般模式, 正是由于这种一般模式, 在遥感影像上, 地理景观类型单元经常表现为具有某种特殊纹理与色调的图斑。

地理学第一定律表明, 每个事物都与其他事物有联系, 而距离近的事物要比远的事物更具联系性^[23]。显然, 多个事物之间的最紧密联系莫过于同属于一类事物, 这时, 它们之间在性质、状态及其变化上或完全一致或具有相似性。地理景观类型单元就是指这种同属于某种类型的多个地理景观单元, 这些景观单元或者在空间存在上毗邻或者在时间发生上相近。有关地理景观类型单元的研究体现了地理学的“类型划分”思想。

3.5 地理景观类型组合单元

地理景观类型组合单元反映的是地理空间的异质性, 它可看作是由区域内若干不同的“地理景观类型单元”组成。地理区域上的某种地理过程, 一般就发生在区域内某个地理景观类型组合单元上, 表现为不同地理景观类型单元之间的相互作用。

地理景观类型组合单元的形成过程 P_{LCCU} 表示如下:

$$P_{LCCU} = G(\{E\}_{LCU_1}, \{E\}_{LCU_2}, \dots, \{E\}_{LCU_{n-1}}, \{E\}_{LCU_n}) \quad (3.9)$$

其中, $LCCU$ 表示区域上某个地理景观类型组合单元, $LCU_1, LCU_2, \dots, LCU_{n-1}, LCU_n$ 分别表示有关某个 $LCCU$ 组成的 n 个不同地理景观类型单元, $\{E\}_{LCU_1}, \{E\}_{LCU_2}, \dots, \{E\}_{LCU_{n-1}}, \{E\}_{LCU_n}$ 分别表示属于 n 个不同地理景观类型单元的复杂要素集合, G 表示存在于这些复杂要素集合之间的相互作用。

地理景观类型组合单元的结构组成表示为:

$$LCCU = COMPOSE(LCU_1, LCU_2, \dots, LCU_{n-1}, LCU_n) \quad (3.10)$$

其中, $COMPOSE$ 表示某地理景观类型组合单元由 n 个不同地理景观类型单元组合而成。

地理景观类型组合单元是区域地理系统结构组成与功能实现的高级单元。正是基于地理景观类型组合单元, 我们最终得以实现对于地理区域所发生事件的现象及其过程的研究与认识。对地理景观类型组合单元的研究体现了地理学的“综合性”思想。

4 应用实验

如前所述, 地理区域上所发生的某种地理过程, 一般表现为不同地理景观类型单元之间的相互作用, 因此, 有关地理景观类型单元的产生和分析方法是区域地理系统分析理论与方法研究的重要组成。为进一步阐释区域地理系统单元等级结构研究方法, 特别是有关地理景观类型单元的等级结构研究, 我们在牡丹江流域内选取了一个景观生态环境特征相对一致的实验区, 如图 5 所示, 该实验区位于黑龙江省依兰县西南部、张广才岭北端、三江平原西南缘、牡丹江西岸, 属于低山丘陵区, 主要由牡丹江的 5 条支流流域组成。我们将实验区

内每个支流流域作为一个景观单元来研究。

实验区地处低山丘陵区，受构造条件制约，该区错综复杂的地形，引起了水热条件的再分配，使该区与三江平原相比较在气候特征上发生差异。可以说，地形是造成该区生态环境特征发生地方分异的主导性因素，而牡丹江又流经本区，它直接影响着区内小流域物质迁移的动力过程。

正是受地形与牡丹江的综合影响，实验区内土壤和生物的组合空间结构在该区表现出特有的空间分布规律。土壤作为无机界与有机界之间相互渗透、相互转化的界面，实现了无机界与有机界之间的物质转换与能量交换；而植物作为有机界的主体，则是实现上述过程的主要载体。因此，土壤和植被作为区域生态环境各组成要素之间的相互联系和长期综合作用的产物，能够集中体现实验区的景观综合特征。

地形作为实验区内区域分异的主导因素，其与区内土壤的发育有着密切关系，而土壤的发育又制约着区内的植被生长，因此，探讨实验区内地形与土壤的相互关系及其发生机理是研究实验区景观综合特征的基础。由于该实验区主要由牡丹江的 5 条支流流域组成，因此实验区内地形变化与土壤发育之间的相互关系主要包括支流流域的坡地对水及土壤迁移的作用。研究表明，在实验区内支流流域的不同部位上，地形对于水及土壤的迁移作用具有不同的动力机制，并且，土壤腐殖质层厚度的发育与坡度和坡面形态的变化曲率成正比。对实验区遥感影像的分析表明，区内 5 个主要的支流流域具有相似的景观生态特征，区内地表岩性组成以花岗岩类、变质岩类为主，分别占总面积的 53.36 % 和 20.09 %；区内土壤以暗棕壤为主，植被以针阔混交林为主。

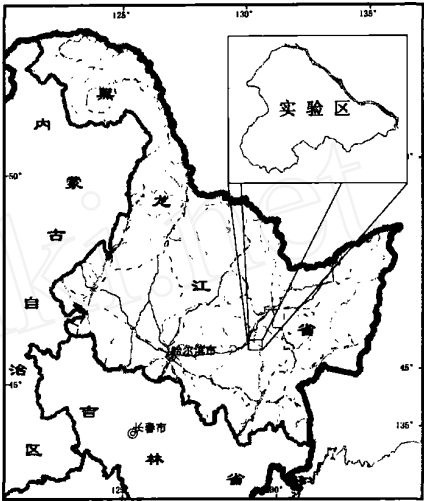


图 5 实验区位置分布

Fig. 5 Position of the experimental district

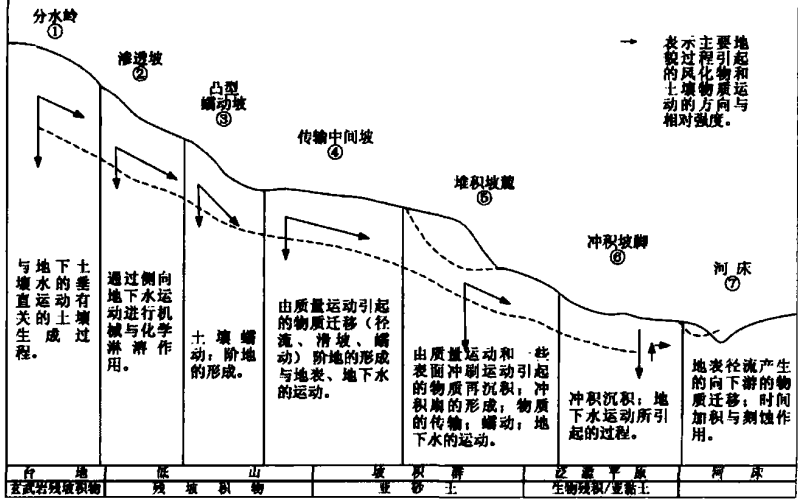


图 6 牡丹江支流流域坡地一般动力过程模型

Fig. 6 General dynamic process model of the slope in branch drainage area of Mudanjiang river

通过对区内支流流域的调查研究，建立了实验区内支流流域坡地对水和土壤迁移作用的一般动力过程模型，如图 6 所示。

由图 6 可知，根据物质迁移动力学机制的不同，实验区支流流域景观单元可划分为若干地理基本功能单元：台地/玄武岩残坡积物，低山/残坡积物，坡积群/亚砂土，泛滥平原/生物残积、亚黏土，河床。这些基本功能单元构成了实验区内各支流流域景观单元。

进一步选择气候、地形、土壤和植被方面的指标作为实验区内基本功能单元的分类指标，并对区内的森林面积、蓄积量、海拔高度、坡度、坡向、土壤有效层厚度、有机质、降水量、10 积温和湿润系数等主要生态指标进行主成分分析，据此在实验区内可划分出 15 种地理基本功能单元类型（见表 1）。

表 1 实验区内地理基本功能单元及其典型性最小结构单元组成
Tab 1 Geographic basic functional unit and its minimum structure unit

序号	编号	地理基本功能单元	地理最小结构单元(典型)			高度 (m)	积温 (10)	土壤厚 度 (cm)	土壤有 机质 (%)
			地形类型 + 土壤类型 + 潜在植被						
1	123110	温寒的砂砾暗棕壤低山	低山	砂砾暗棕壤	针阔混交林	150 - 500	< 2000	15. 47	5. 24
2	123330	温寒的白浆化暗棕壤台地	台地	白浆化暗棕壤	针阔混交林	> 500	< 2000	21. 5	7. 87
3	223110	温凉的砂砾暗棕壤低山	低山	砂砾暗棕壤	针阔混交林	150-500	2000-2200	15. 47	5. 24
4	233110	温凉的暗棕壤低山	低山	暗棕壤	针阔混 + 落阔林	150-500	2200-2400	13. 71	4. 97
5	233180	温凉的砂砾暗棕壤沟谷	沟谷	砂砾暗棕壤	落叶阔叶林	150-500	2200-2400	15. 47	5. 24
6	243110	温和的暗棕壤低山	低山	暗棕壤	落叶阔叶林	150-500	2400-2500	13. 71	4. 97
7	243180	温和的暗棕壤沟谷	山间沟谷	暗棕壤	草地	150-300	2400-2500	13. 71	4. 97
8	243240	温和的草甸化暗棕壤坡积裙	坡积裙	草甸化暗棕壤	灌丛	150-300	2400-2500	40. 88	6. 38
9	251050	温暖的沼泽土泛滥平原	泛滥平原	沼泽土	沼泽、草地	< 150	> 2500		
10	251080	温暖的沼泽土沟谷	山间沟谷	沼泽土	沼泽、草地	< 150	> 2500		
11	252050	温暖的草甸土泛滥平原	泛滥平原	草甸土	草地	< 150	> 2500	50. 0	16. 06
12	252080	温暖的草甸土沟谷	山间沟谷	草甸土	草地	150-300	> 2500	50. 0	16. 06
13	253110	温暖的暗棕壤低山	低山	暗棕壤	落叶阔叶林	150-500	> 2500	13. 71	4. 97
14	253180	温暖的暗棕壤沟谷	山间沟谷	暗棕壤	草地	150-300	> 2500	13. 71	4. 97
15	253240	温暖的草甸化暗棕壤坡积裙	坡积裙	草甸化暗棕壤	灌丛	150-300	> 2500	40. 88	6. 38

对于实验区内各牡丹江支流流域来说，由于它们的动力过程一致（见图 6），且都是由表 1 中若干种地理基本功能单元构成，因此，它们是同属一种类型的地理景观单元，它们一起组成了实验区牡丹江支流流域景观类型单元。应用表 1 对实验区内各牡丹江支流流域景观单元的地理构造进行分析，如图版 2 图 7 所示，主要受构造和岩性控制，使得实验区牡丹江支流流域景观类型单元呈现出“逢断必沟”的地表形态，形成了沿东北—西南向和西北—东南向的格子状结构。

5 结论与讨论

区域地理系统单元等级圆锥实质上是对地理空间尺度 - 结构等级体系^[15]在地理区域尺度空间上的概念建模。该模型表明，区域地理系统是一个多尺度空间单元体系，区域上不同空间尺度具有不同的功能性单元结构，这些不同的功能性单元结构分别对应着地理学从基本尺度到中尺度研究的不同层次问题。

要建立比较完善的区域等级单位体系,应满足如下要求:(1)客观反映与一定空间规模和尺度相对应的地域单元等级从属关系,等级之间有紧密的发生联系,级与级之间既不缺漏,又无重复;(2)反映各级单元成因背景及其分异的主导因素,各个等级单位有其鲜明的特征;(3)能够与相邻层次的地域单元进行大致的对比^[24]。以黄土高原地域单元等级划分为例,通过对区域地理系统单元等级圆锥上各级空间单元的划分进行对比分析表明,区域地理系统单元等级圆锥的区域等级单位体系满足上述要求,如表 2 所示。

表 2 区域地理系统单元等级圆锥的尺度单元对比

Tab 2 Comparison among scale units in the unit hierarchical taper of regional geographic system					
对比 空间 关系 单元划分	空间尺度	成因背景	主导因素	黄土高原 地域单元 ^[25]	
地理景观 类型组合单元	中尺度	由不同地理景观类型单元组成。	不同地理景观类型单元之间的相互作用。	黄土塬梁丘陵沟壑区、黄土梁峁丘陵沟壑区,等。	
地理景观 类型单元	中尺度	对于具有一致地质地貌基础的、且在同一种水热条件下发生某种地理现象过程的若干具体地理景观单元的合并。	一致的地质地貌基础,相同的气候状况,一致的发生历史(包括坡地类型、坡面过程)。	黄土塬、黄土梁、黄土峁。	
地理景观 单元	基本尺度	发生上具有统一性的一组景观形态单位(包括分水岭、斜坡、谷地、水域等)构成的共轭体。	发生上具有统一性的不同景观形态单位之间的共轭关系。	完整塬、靠山塬;平顶梁、斜梁;孤立峁、连续峁。	
地理基本 功能单元	基本尺度	对于某种景观形态单位上所发生的基本空间过程的分析。	某种景观形态单位与其形成过程之间的“恒定”对应关系。	塬/梁塬、阶地/古沟坡、河漫滩/河床、沟道。	
地理最小 结构单元	基本尺度	基于景观形态单位的具有最小空间结构变化的属性单元划分。	每一种地理组成成分的空间结构及其属性变化具有高度一致性。	杨树、榆树林斑状平沙地、沙柳、柠条林半流动沙丘,等。	

随着人类对环境认识的深化,自然地域系统研究已经由初期的感性认识、单项自然区划、综合自然区划,发展到生态地理区域系统研究;有关生态地理区域划分研究,则要求将类型研究、区域研究和过程研究三者紧密结合^[26]。由表 2 可知,在区域地理系统单元等级圆锥中,不同尺度的空间单元分别实现了地理学有关“最小空间粒度划分”、“基本空间过程分析”、“空间过程共轭分析”、“类型划分”与“类型间相互作用”的研究,由于这些空间单元之间具有嵌套关系,因此,它们能够实现区域研究、类型研究和过程研究三者之间的紧密结合。

地理学在有关尺度效应的研究中产生了著名的“可变面元问题(Modifiable areal unit problem, MAUP)”^[27]。在一般情况下,“面元”的划分标准主要是“可操作性”,而不具备本质的地理学意义,因此,这些“面元”的划分非常具有人为性,而以这些“面元”为计算单元进行地理数据处理与空间分析,所获得的地学分析结果当然也就具有了“可变性”。表 2 中的“空间单元划分”实质上为有关地理区域的空间结构表达与功能分析提供了一种空间单元等级序列,如果以该序列为区域地理数据处理与分析的计算单元系列,那么所获得的地学分析结果在“纵向”上就具有了“不变性”,在“横向”上就具有了“可比性”,这就为有关地理科学计算的进一步研究奠定了基础。

地理景观单元作为最低一级的区域单位,使区域地理学同地理景观学说紧密结合起来。

而地理景观的“区域”与“类型”两种单位的研究则决定了区域地理学的“自下而上”的地理数据驱动与“自上而下”地理知识驱动两种研究方法的相互作用。正是基于地理景观单元,地理学实现了基于野外实地调查的从“地理最小结构单元”、“地理基本功能单元”到“地理景观单元”所进行的归纳、组合方法,与主要根据间接材料并通过叠置部门区划网格的从“地理景观类型组合单元”、“地理景观类型单元”到“地理景观单元”所进行的演绎、推理方法的结合。

区域地理研究对揭示地理规律,建立地理学基础,表征地理学特点,确立地理学在现代科学体系中的地位及其不可替代性方面均有重要意义^[12]。无疑,区域地理系统单元等级圆锥的建立,将有助于进一步开展对于区域地理学分析理论与方法的深入探讨,由此也将有力地推动 21 世纪现代地理学的发展。

参考文献:

- [1] 黄秉维. 地理学之历史演变. 真理杂志, 1944, 1 (2): 237 ~ 245.
- [2] 郑度. 关于地理学的区域性和地域分异研究. 地理研究, 1998, 17 (1): 4 ~ 9.
- [3] 黄秉维. 中国气候区划与自然地理区划的回顾与展望. 地理集刊, 第 21 号, 1989: 1 ~ 9.
- [4] . 索恰瓦. 地理系统学说导论. 李世玠译. 北京: 商务印书馆, 1991.
- [5] 蔡云龙. 自然地理学的创新视角. 北京大学学报 (自然科学版), 2000, 36 (4): 576 ~ 582.
- [6] 鲁学军, 周成虎, 龚建华. 论地理学的形象思维—地理意象的发展. 地理学报, 1999, 54 (5): 401 ~ 409.
- [7] 鲁学军, 陈述彭, 励惠国. 地理时空等级组织体系初步研究. 地球信息科学, 1999, 1 (1): 42 ~ 49.
- [8] 许慧, 王家骥. 景观生态学的理论与应用. 北京: 中国环境科学出版社, 1993. 136 ~ 137.
- [9] Car A. Hierarchy Spatial Reasoning: a GeoComputation Method. 1998.
http://divcom.otago.ac.nz/SIRC/GeoComp98/18/gc_18.html.
- [10] Weaver W. A Quarter Century in the Natural Sciences. Annual Report, The Rockefeller Foundation, New York, 1958.
- [11] Beer S. Management Science. Aldus Books. London, 1967.
- [12] Chorley R J, Kennedy B A. Physical Geography: A Systems Approach. London: Prentice Hall International Inc, London, 1971.
- [13] O'Neill R V, De Angelis D L, Waide J B, et al. A Hierarchical Concept of Ecosystem. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1986.
- [14] 吴绍洪, 杨勤业, 郑度. 生态地理区域系统的比较研究. 地理学报, 2003, 58 (5): 686 ~ 694.
- [15] 鲁学军, 周成虎, 张洪岩, 等. 地理空间的尺度—结构分析模式探讨. 地理科学进展, 2004, 23 (2): 107 ~ 114.
- [16] Bitter T, Smith B. A Taxonomy of Granular Partitions. Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS, COSIT '01, 2001.
- [17] C. B. 卡列斯尼克. 普通自然地理简明教程. 北京: 商务印书馆, 1960.
- [18] . R. 伊萨钦科. 今日地理学. 胡寿田, 徐樵利译. 北京: 商务印书馆, 1986.
- [19] . . 贝尔格, 等. 景观概念和景观学的一般问题. 中山大学地质地理系编译. 北京: 商务印书馆, 1964.
- [20] Rosch E. Principles of categorization. In: Rosch E, Lloyd B B, (eds). Cognition and Categorization. Hillsdale, N J: Erlbaum, 1978.
- [21] Mark D M, Smith B, Tversky B. Ontology of Geographic Categories: Theory and Empirical Testing. In Freksa C, Mark D M. (eds). Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS. Berlin: Springer-Verlag, Lecture Notes in Computer Sciences No. 1661. 1999.
- [22] Câmara G, Monteiro A, Paiva J, Gomes J, et al. Towards A Unified Framework For Spatial Data Models. J. Braz Comp. Soc., 2000, 7 (1): 17 ~ 25.
- [23] Paul A, Longley, Michael F, et al. Geographic Information Systems and Science. John Wiley & Sons, LTD, 2001. 98 ~ 100.

- [24] 郑度,等.自然地域系统研究.北京:中国环境科学出版社,1997.
- [25] 左大康 主编.现代地理学辞典.北京:商务出版社,1990.
- [26] 杨勤业,吴绍洪,郑度.自然地域系统研究的回顾与展望.地理研究,2002,21(4):407~416.
- [27] Openshaw S, Taylor P J. The Modifiable Areal Unit Problem. In: Wrigley N, Bennett R J, Routledge, Kegan P, (eds.). Quantitative Geography: A British View. London, 1981. 60~70.

The research on the unit hierarchical taper of regional geographic system

LU Xue-jun¹, ZHANG Hong-yan², GAO Zhi-qiang¹, PEI Tao¹

(1. LREIS, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. College of Urban and Environmental Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract :Based on S. Beer's "spatial resolution taper", applied hierarchical system theory and combined with present research result of hierarchical system, the article tried to set up "the unit hierarchical taper of regional geographic system", a kind of regional geographic system model which is a scale-unit structure. The article analyzed the structural relationship and unit constitute of the taper. The research result showed that "the unit hierarchical taper of regional geographic system" is made up of the following units: the unit of geographic minimum structure, the unit of geographic basic function, the unit of geographic landscape, the unit of geographic landscape class and the unit of geographic landscape class combination. They represent the geographic research methodologies of "the partition of minimum spatial granularity", "the analysis of a basic spatial process", "the conjugate analysis of spatial processes", "class partition" and "reciprocity among the classes" respectively and embody the geographic research thinking of "reductive analysis", "process analysis", "whole analysis", "class partition" and "synthesis analysis" respectively. In addition, the article conducted an experiment of the research method on structure of the unit hierarchical structure of regional geographic system in a particular experimental district.

Key words :regional geographic system; the unit hierarchical taper of regional geographic system; geographic computation methodology

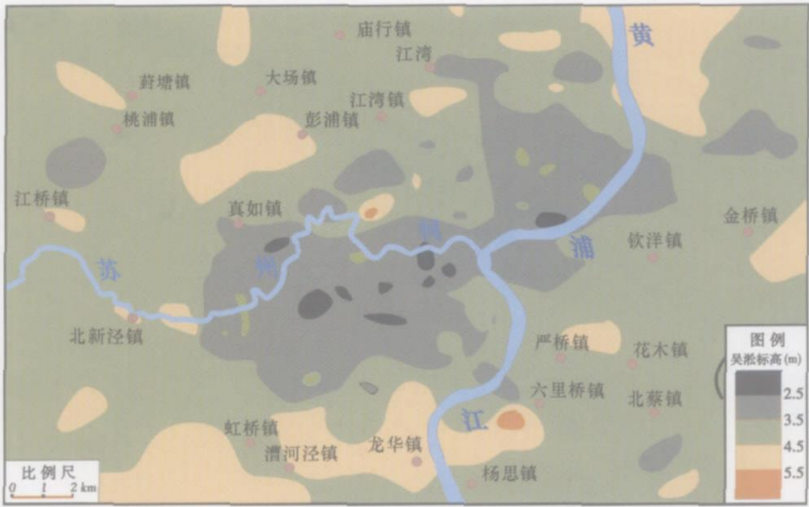


图 2 上海中心城区地貌形变等值线图(综合文献^①绘制,资料截止 2001 年)

Fig.2 Sketch map of land deformation in the urban area of central Shanghai(after^①, data renewed in 2001)

鲁学军 等：区域地理系统单元等级圆锥建模

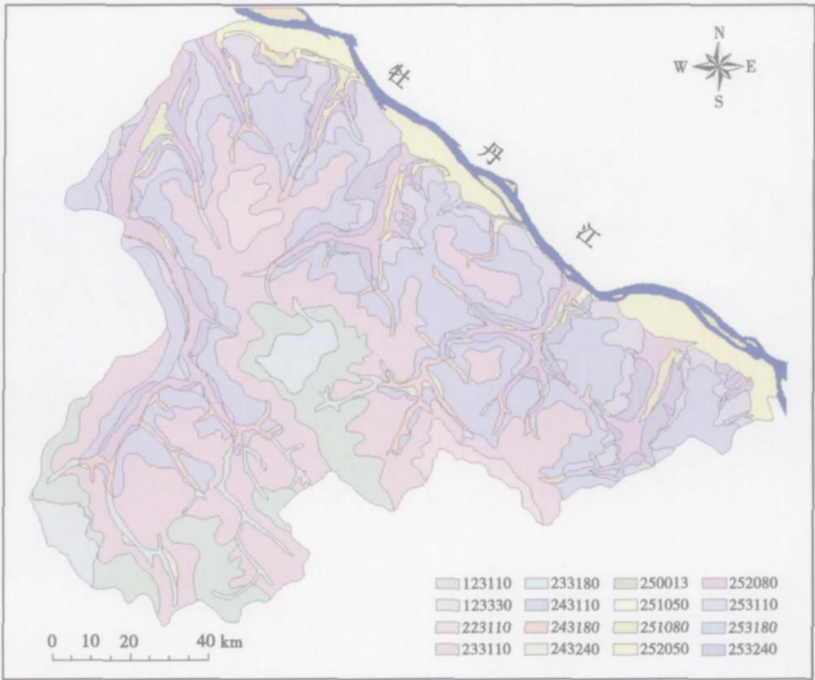


图 7 实验区景观类型单元分布

Fig.7 Landscape type units distribution in the experiment district