

# 虚拟地理环境中尺度适宜性问题的探讨

张春晓<sup>1</sup>, 林 琿<sup>1,2,3</sup>, 陈 旻<sup>1,3</sup>

(1. 香港中文大学太空与地球信息科学研究所, 香港;

2. 香港中文大学地理与资源管理系, 香港;

3. 香港中文大学深圳研究院, 深圳 518057)

**摘要:** 本文沿着地理学语言的演化过程, 讨论了地理学中尺度概念的演变; 针对虚拟地理环境的框架结构, 依据尺度概念的维度、类别和组成因素分析了四组尺度适宜性问题, 并讨论了在虚拟地理环境搭建和应用过程中各种尺度适宜性之间的关系。以香港区域气象过程模拟为例, 应用多尺度地形数据和模型, 简要分析了在空间维上, 测量尺度类别中组成因素(分辨率)层次的尺度适宜性。该案例不只表明尺度适宜性对动态地理过程问题求解的重要影响, 同时表明对尺度适宜性的讨论有助于其认知与分解, 丰富虚拟地理环境的理论与方法。

**关键词:** 虚拟地理环境; 尺度适宜性; 地理学语言; 地理过程

DOI: 10.11821/dlxb201401010

## 1 引言

随着地理学研究的深入, 其研究关注点正经历着从静态格局到动态过程的发展<sup>[1]</sup>, 包括面向动态过程的理论方法<sup>[1, 2]</sup>、地理数据模型设计<sup>[3-5]</sup>、地理过程模拟<sup>[6]</sup>及表达分析<sup>[7]</sup>等。与此同时, 地理学语言也经历了从地图(空间表达)到地理信息系统(空间表达+空间分析)再到虚拟地理环境(空间表达+空间分析+空间模拟)的发展<sup>[8]</sup>。

虚拟地理环境自2001年被提出以来, 国内外学者在虚拟地理环境的理论、概念、框架结构及系统设计、软件实现、分布协同等方面, 做了大量的研究工作, 不断推进这一研究方向的发展。在理论方法层面, 林琿等讨论了虚拟地理环境的结构<sup>[9, 10]</sup>, 重点阐述了虚拟地理环境的概念、基本方法和关键技术, 并指出虚拟地理环境突破了地理信息系统以数据管理及共享为核心的框架, 实现了以数据库和模型库为双核心的知识共享, 进而形成新知识的生成环境<sup>[11]</sup>; 刘锐等讨论了协同虚拟地理环境理论与框架<sup>[12]</sup>; 在以往研究基础上, 龚建华等进一步阐述了虚拟地理环境研究进展与理论框架<sup>[13]</sup>; 闫国年从现代地理学研究与发展前沿需求出发, 探讨了可支持地理分析与模拟的虚拟地理环境的框架、结构与功能<sup>[14]</sup>等。在系统实现层面, 胡明远等讨论了三维虚拟地理环境与建模<sup>[15]</sup>; 陈旻等阐述了面向虚拟地理环境的多源异构数据集成及概念建模方法<sup>[16-17]</sup>; Paris等研究了虚拟地理环境的多重

收稿日期: 2013-03-25; 修订日期: 2013-10-21

**基金项目:** 国家自然科学基金(41171146; 41101370; 41101439); 国土资源部公益性行业科研专项经费项目(201011020-5); 香港创新及科技基金(ITF)项目(ITS/042/12FP); 香港中文大学直拨经费(4052007) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41171146; No.41101370; No.41101439; Non-profit Industry Financial Program of Ministry of Land and Resources of China, No.201011020-5; Innovation and Technology Fund from the Government of the Hong Kong Special Administrative Region, No.ITS/042/12FP; Direct Grant from the Chinese University of Hong Kong, No.4052007]

**作者简介:** 张春晓(1984-), 女, 河北邯郸人, 博士研究生, 研究方向为虚拟地理环境与多尺度地理过程模拟。

E-mail: chunxiaozhang@cuhk.edu.hk

**通讯作者:** 林琿(1954-), 男, 广东汕头人, 教授, 欧亚科学院院士, 中国地理学会会员(S110006388M), 从事虚拟地理环境、空间综合人文学等研究。E-mail: huilin@cuhk.edu.hk

语义信息,用于导航和检索<sup>[18]</sup>; Mekni等基于虚拟地理环境,面向多智能体系统,设计了层次路径规划方法<sup>[19]</sup>; Wen等提出了基于云平台共享的开放式虚拟地理环境模型共享框架<sup>[20]</sup>。可见,在理论方法和系统实践方面,虚拟地理环境作为面向动态地理环境和过程的研究手段越来越得到认可和发展。

虽然虚拟地理环境发展了“双核概念”(即数据库和模型库)以支持动态地理过程的研究和表达,但是地理过程研究的多尺度特性及尺度适宜性还有待进一步研究。首先,地理过程是地理环境得以形成与发展的动力,其表现为发生于各大圈层之间的过程以及过程之间的相互作用,即不同地理过程间的“叠加”效应<sup>[21-22]</sup>;同时,发生在不同尺度上的地理过程也会相互作用,如高层次过程对低层次过程的制约作用,以及低层次系统为高层次系统提供机制和解释<sup>[23]</sup>。其次,地理格局和过程在不同尺度上的表现也不尽相同,这导致了数据、模型方法和决策管理等也存在尺度依赖性,例如吴大千等研究了黄河三角洲植被指数与一系列地形要素间的尺度依赖关系<sup>[24]</sup>;李军等围绕地理数据讨论了数据的适宜尺度问题<sup>[25]</sup>; Goodchild等讨论了实验数据与模型的匹配问题,指出实验数据与模型的不匹配可能给模拟结果带来偏差,而这一偏差可能并非由模型模拟能力带来的<sup>[26]</sup>; Cash等讨论了环境过程与决策管理的尺度匹配性问题,如政府管理以及相关的社会活动,并不与生态系统或是地形等尺度完全一致,如果这些不匹配问题没有得到有效处理,那么决策管理很难产生实效<sup>[27]</sup>。第三,虚拟地理环境框架中子环境模块,即数据环境、模型环境、表达环境和协同环境,都涉及到多尺度问题<sup>[28]</sup>,例如多尺度地理数据(全球、区域等)、多圈层模型、多模式表达与感知等<sup>[13]</sup>。所以,考虑到地理过程自身及虚拟地理环境结构的尺度依赖性,如何在适宜的尺度,采用尺度适宜的数据、模型、表达等开展研究和应用,成为虚拟地理环境构建及运行的关键问题。本文将以地理学语言的演变为主线来讨论尺度概念;面向虚拟地理环境的研究和应用,讨论尺度适宜性问题,并结合案例加以说明,这对于虚拟地理环境的发展将起到推动作用。

## 2 尺度概念随地理学语言演变的变化过程

为讨论尺度适宜性,需要对尺度概念有清晰的认识;在此基础上,依据地理学语言从地图到地理信息系统再到虚拟地理环境的发展,详细分析尺度概念的演变与发展。

### 2.1 尺度概念的定义

地理学中的尺度效应研究自20世纪30年代就已经开始<sup>[29]</sup>,随着“可变区域单位问题”(MAUP: Modifiable Areal Unit Problem)<sup>[30]</sup>的提出,尺度成为地理学研究中的重要因素。地理学研究不断发展,尺度概念也不断丰富,从最基本的地图比例尺到时空尺度、观察尺度、语义尺度等。但由于不同学科的差异,尺度概念会有不同的理解和定义。例如 Goodchild等讨论了地理数据和表达的尺度含义;孟斌等讨论了尺度的相关概念;Wu等分析了尺度概念的维度、类别等,并梳理了它们之间的联系;Crawford等分析了尺度的含义;Schulze等面向应用分析了尺度概念<sup>[26, 31-34]</sup>。在上述研究基础上,参考Wu等对尺度概念的定义框架<sup>[35]</sup>,下面对尺度概念进行了丰富和补充,即维度中语义维度的加入和尺度类别的梳理。

$$\text{Scale} = \text{S}(\text{dimension, kind, component})$$

其中,维度(dimension)指时间、空间、等级层次及语义维度;类别(kind)包括观察尺度、测量尺度、操作尺度、过程尺度四个方面;组成因素(component)包括分辨率(粒度)、范围、窗口(zone window)、采样间隔、制图比例尺等。

上述三个参数共同定义了尺度的概念,其中维度是进行尺度研究时需要考虑的角度,包括有明确认识的时间维和空间维,以及等级层次维度,指拥有不同过程速率并相互作用

表 1 尺度类别的概念  
Tab. 1 Concepts of scale kind

术语	定义	备注
观察尺度 <sup>[34]</sup>	人们选择来收集数据,开展观察研究的范围尺度。	类似于实验尺度 <sup>[32]</sup>
测量尺度 <sup>[33]</sup>	最小可观察的单位范围,如分辨率,粒度,步长等。	类似于观察尺度 <sup>[32][37]</sup>
操作尺度 <sup>[34]</sup>	行政管理行为所在的范围尺度。	类似于政策尺度 <sup>[32]</sup>
过程尺度 <sup>[34]</sup>	地理过程自然(内在)发生或控制的尺度,包括时空维度、范围、粒度等方面。	类似于操作尺度 <sup>[33]</sup> ,现象尺度 <sup>[38]</sup> ,固有尺度 <sup>[32]</sup>

表 2 尺度概念随地理学语言演变的演变  
Tab. 2 Evolution of scale concepts along with the evolution of geographic language

	尺度维度				尺度类别				组成因素				
	空间	时间	层次	语义	过程 尺度	观察 尺度	测量 尺度	操作 尺度	分辨率	范围	窗口 大小	采样 间隔	比例尺
Map	√					√	√	√		√			√
GISystem	√	√		√		√	√	√	√	√	√	√	√
VGEs	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

的地理实体的方向性排序而形成的不同层次<sup>[35]</sup>,和语义维度,即通过概念和属性蕴含的语义形成的等级组织,说明地理现象和实体是什么,具有什么样的性质特征<sup>[36]</sup>。表1中列出了尺度类别的概念,并备注了类似的概念以便于理解。组成因素是实际研究和应用中可操作的,而尺度维度和类别是如何确定组成因素的指导。

2.2 尺度概念的演变过程

高俊院士讨论了地图的语言功能<sup>[39]</sup>,林琿等讨论了地理学语言的演变,即传统地图、地理信息系统及虚拟地理环境<sup>[40]</sup>,表明三者关系上后者包含前者,但又各有侧重,进而详细分析了虚拟地理环境的地理学语言特征<sup>[41]</sup>。下面将基于这个侧重点的不同,来讨论尺度概念的演变。

对于传统的纸质地图,一旦制成,所表示的内容就被“固化”了,只是地理过程的瞬时记录,很难进行动态分析。所以主要考虑地图距离与地球表面实地距离的比值,即地图比例尺<sup>[38]</sup>。从维度来讲,注重考虑了空间维,而时间维或是语义维度基本没有体现。地理信息系统是地图的延续,即用地理信息系统扩展地图学工作的内容和功能,同时提供了对地理数据综合分析的功能,包括数据获取、存储、管理、检索、分析等<sup>[42]</sup>。相对于传统地图,地理信息系统支持制图,所以包括制图比例尺因素。同时,地理信息系统的特点还在于空间分析,因此,分辨率、区域范围、分析窗口等都会在地理信息系统中得以体现。例如,Store等使用栅格地理信息系统生成多分辨率的地理数据来分析生态适宜性模型<sup>[43]</sup>;考虑不同区域范围,Walsh等研究了山体滑坡分布与灾害关系<sup>[42]</sup>;亦有学者应用Moran's I尺度图和窗口方案来分析特征层次和尺度<sup>[44]</sup>等。同时,动态地理信息系统、语义地理信息系统等使得时间维、语义维都得以体现<sup>[45]</sup>。此外,随着地理信息系统的广泛研究和应用,尺度概念定义中的不同类别,如观察尺度、测量尺度等都需要在地理信息系统中进行考虑。然而,由于地理信息系统对动态地理过程模拟支持有限,所以尺度种类中的过程尺度很少涉及。虚拟地理环境的发展源于地理信息系统和虚拟现实(VR: Virtual Reality),是地理信息系统的进一步扩展,它集成了数据库和模型库,加强了对动态地理过程的研究能力<sup>[18, 46]</sup>,所以尺度概念也愈加丰富。Chen等研发了虚拟地理环境原型,通过多源数据融合和多尺度可视化表达来研究青藏高原<sup>[47]</sup>;Xu等研发了虚拟地理环境平台以支持可视化表达与分析,在其系统中以跨行政边界的空气质量过程作为案例,考虑到了过程尺度、操作尺度等<sup>[48]</sup>。

概括来讲,依据尺度概念的三个参数,维度、类别和组成因素,其演变过程(表2)可以发现随着地理学语言的演变,尺度概念愈加全面、复杂,特别是面向多尺度、跨圈层的



地质系统和分析。由于地理过程自身的尺度依赖性，以及地理数据、模型等的尺度依赖性，如何实现在适宜的尺度下开展研究，以保证研究方法的准确性、数据与模型的合理性和结论的有效性成为虚拟地理环境理论和实践的重要方面。

3 虚拟地理环境中的尺度适宜性

3.1 虚拟地理环境的结构

虚拟地理环境旨在以虚拟环境的方式表现现实地理环境，其对象为地理学意义上的地理环境，既包括地理空间中静态的地物和现象，又包括动态的地理过程与复杂的人类行为及其之间关系。其在认知理解上分为三个层次：静态地物与地理现象等基础地理结构的表  
现；动态地理过程的模拟表达；以及与相关地理环境交互的人类行为的模拟<sup>[8]</sup>。而结合地理环境多维现象与过程的观察数据与建模特点，虚拟地理环境系统的建设具体涉及到数据环境、模型环境、表现环境、协同环境四个方面<sup>[28]</sup>。上述三个层次和四个子环境，分别构成了虚拟地理环境的纵向结构和横向结构(图1)。

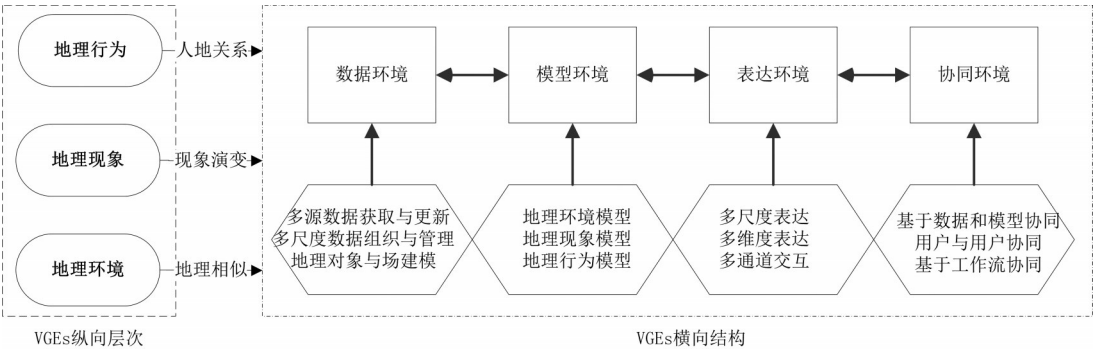


图1 虚拟地理环境的层次与结构

Fig. 1 Hierarchy and structure of virtual geographic environments

3.2 虚拟地理环境尺度适宜性问题

尺度适宜性亦可称作尺度匹配性，是指在地理环境研究中，研究(应用)目的与虚拟地理环境，以及虚拟地理环境各个结构间的尺度合适程度。依据对尺度概念的综合分析，虚拟地理环境的理论、结构和方法中尺度适宜性问题可以从以下几个方面进行讨论分析(图2)。

- (1) 在相应维度上，组成因素层次的适宜性。 尺度概念中的组成因素，包括分辨率、研究范围、采样间隔等，这是尺度概念中可操作的部分，只有尺度概念中组成因素层次的尺度匹配得到保证，才能保证不同尺度类别及不同维度的尺度匹配。结合虚拟地理环境的四个“子环境”，这一层次的尺度适宜性即指不同“子环境”间尺度组成因素的适宜性，如数据环境分辨率与模型环境分辨率的适宜性。虽然在虚拟地理环境中经常谈到多尺度数据组织、模型与表达等，但涉及跨“子环境”的尺度适宜性还需要做很多工作，包括数据的尺度效应会对地理过程的模拟分析带来什么程度的影响，不同尺度的模型又会对地理过程的模拟认知带来什么程度的影响等。例如，空间分辨率的降低对景观、模拟的格局(物种组成)以及火干扰过程的影响<sup>[49]</sup>等。
- (2) 在相应维度上，不同尺度类别间的适宜性。 没有一个尺度会适合所有地理过程的研究，这几乎是一个不争的事实<sup>[50]</sup>。所以研究中，需要综合地理过程的多尺度特性以及不同的研究和应用目的，来选择观察尺度、测量尺度等，以实现不同尺度类别间的尺度匹配(图2)。其中，研究和应用目的与尺度类别间的匹配尤为重要，因为地理过程的规律在

不同尺度上表现可能不同，也并不表示观察或测量尺度越精细越好。以气象风场过程为例，对于珠三角区域，既受到大尺度上气象场的控制作用，也会有小尺度的海陆风及地形风的影响，这些不同尺度的过程共同造成了珠三角3维空间的风场分布及变化，所以针对不同目的，必须选择适宜的尺度，才能获得合理的结果，以分析不同尺度过程的作用。例如，用较大尺度模拟结果来分析局地尺度上的相关过程也会有尺度不匹配带来的问题。

(3) 不同维度间的尺度适宜性。同一维度上的研究相对常见，例如对于语义维度，Stoter 等对地形数据的多尺度语义模型进行了研究<sup>[51]</sup>，对于时间维、空间维及没有严格定义的等级维度的研究更为常见。可惜，对于不同维度的综合考虑还非常欠缺，虽然偶有时空维的研究<sup>[28]</sup>，但综合考虑多种维度及定量化描述还需进一步研究。

(4) 不同领域：地球各圈层过程间的尺度适宜性。存在于同一时空的多个格局、多个过程、多个过程与格局，亦有“叠加”作用<sup>[22]</sup>。由于不同过程间的相互作用是在一定尺度范围内才能体现出来，更可能在不同尺度范围内其作用不尽相同，这就对集成研究和应用提出了尺度匹配的要求。例如，研究表明植被指数与地形要素相关，但在不同尺度上表现不同<sup>[24]</sup>；考虑到水文过程与气象过程的相互影响，Yarnal 等通过耦合水文和大气模型，分析水文过程对降水过程在多时间尺度上的响应<sup>[52]</sup>。此外，对于短时间、小范围的空气质量研究，可以忽略水体对这一过程的加强或减弱作用；但对于长时期、大区域的空气质量问题，水体的作用就不容忽视，这也是本研究单位关注水—气耦合系统来研究珠三角地区环境污染问题的基础。而虚拟地理环境的研究对象为人类生存与发展的地球表层，由自然地理环境和人文地理环境（经济环境和社会文化环境）相互联结、相互作用的系统整体<sup>[13]</sup>，其研究和应用会涉及不同领域的地理过程，所以这一层次的尺度适宜性对虚拟地理环境亦是至关重要的一环。

为了在研究和应用中实现尺度适宜性，下面分析以上四组尺度适宜性之间的关系。在尺度概念中维度是最抽象的，组成因素是最可操作的，而尺度类别位于两者之间，可以发

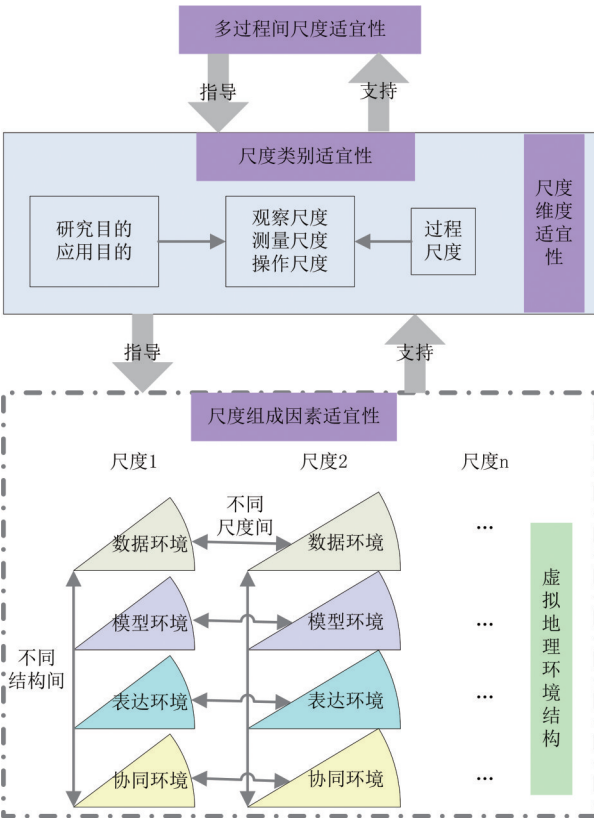


图2 多尺度虚拟地理环境研究和应用中的尺度适宜性  
Fig. 2 Scale adaptability in study and application of multiscale virtual geographic environments

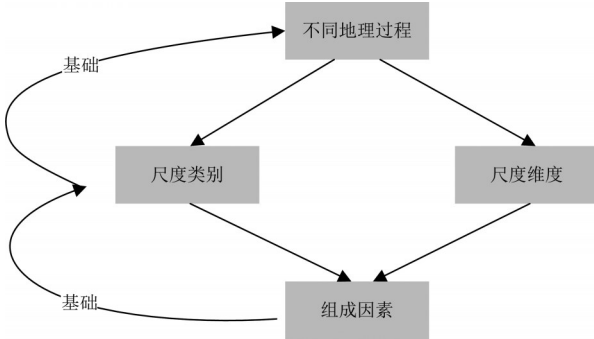


图3 适宜尺度的实现  
Fig. 3 Implementation of scale adaptability

现第一组组成因素层次的尺度适宜性是基础。因为不同地理过程综合研究和应用时的尺度适宜性更是建立在单一地理过程尺度适宜性的基础上，所以这是最高层次的尺度适宜性。单一地理过程研究和应用中的尺度类别和尺度维度的尺度适宜是中间层次，依赖于组成因素的适宜性(图2和图3)。在尺度适宜性实现中，下层尺度适宜性是上层尺度适宜性的基础；同时，上层的尺度适宜性对下层的实现提供指导。此外，评价尺度适宜性的依据一般会考虑到模拟和分析的准确性、效率以及可行性等方面。考虑到地学问题的复杂性，评价指标需要在具体研究和应用中具体考虑，例如地形数据用于水文模拟的准确性等。

4 地形数据与气象过程模拟的尺度适宜性研究

地形对生成海陆风、地形风等气象环境进而对空气质量有重要影响<sup>[53-54]</sup>。要准确表达地形信息、研究其对气象过程的影响，在模拟中考虑地形数据与气象模型模拟的尺度适宜性非常必要。以地形复杂、海陆交界的香港为研究区域，本实验分析了多尺度地形数据与气象过程的尺度适宜性问题，即在空间维，测量尺度类别中组成因素(分辨率)层次的尺度适宜性问题。

4.1 地理数据和气象模型介绍

为研究地形数据与模型模拟的尺度适宜性，应用ArcGIS软件，基于90 m分辨率的SRTM数据<sup>[55]</sup>，准备了四组不同空间分辨率的DEM数据，即3秒(3")，30秒(30")，2分(2')和10分(10')。同时，考虑到土地利用特征对气象过程的影响，采用了来自中科院地理所1 km分辨率的土地利用数据；而其他地理数据，统一采用30秒分辨率的USGS数据。依地形垂直分层、支持非静力场模拟的WRF模型，广泛应用在气象模拟中<sup>[56]</sup>。本实验采用WRF模型，设置4层嵌套，空间分辨率依次为1、3、9、27 km(图4)，模拟时间为2006年1月和7月。参考Jiang等进行了物理参数的设置<sup>[57]</sup>。

4.2 结果分析

温度和相对湿度是气象环境场的典型变量，实验对比了多尺度地形数据和模型对这两个变量的模拟能力(图5),采用平均绝对误差(MAE: Mean Absolute Error)来评价多尺度模拟结果与香港天文台的站点观测数据的吻合程度。首先，多尺度DEM数据和多尺度模型共同影响气象场的模拟能力，而且随着模型分辨率越精细，DEM数据分辨率的变化对模拟结果的影响越明显。从图中看出，对于1 km分辨率的模型，随着DEM数据分辨率的提高，平均绝对误差在快速下降，但对于粗分辨率的模型，这一趋势就不明显了。其次，通过比较得出1 km分辨率的模型和3秒分辨率的DEM数据可以给出最好的模拟，由于数据与模型的尺度不适宜，其造成的误差可以占到模拟的平均绝对误差的38%(图5)。

本案例的实验分析，不仅可以为具体的气象模拟提供参考，同时对数据环境与模型环

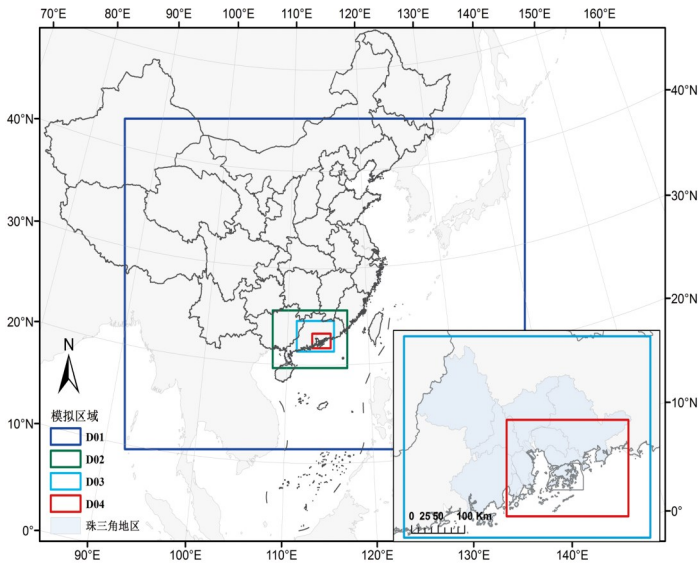


图4 模拟区域设置

Fig. 4 Simulation domain setting



境的尺度适宜性进行了说明。对应第3部分讨论的不同层次的尺度适宜性，该实验在组成因素（即分辨率）层次，阐释了空间维上测量尺度的尺度适宜性。

5 结论与展望

随着地理学语言的演变，虚拟地理环境理论与方法不断发展，应用也愈加广泛。作为地理环境研究的“底图”，虚拟地理环境的构建和应用涉及到多尺度地理过程以及多个地理过程的相互作用（如城市扩张、空气质量、水污染、人口迁移等过程）。由于地理过程自身以及研究过程中数据、模型等的尺度依赖性，使得尺度适宜性问题成为虚拟地理环境发展中的不可忽略的一个方面。

本文以维度、类别、组成因素来定义尺度概念，讨论了尺度概念随着地理学语言演变的演变。从传统地图到地理信息系统再到虚拟地理环境，对动态地理过程研究的支持不断加强，尺度概念也愈加丰富和复杂，对研究和应用中的尺度适宜性提出挑战。基于尺度概念，结合虚拟地理环境的纵向层次和横向结构，作者分析了虚拟地理环境研究中的四组尺度适宜性问题，并探讨了如何在虚拟地理环境系统中较好地保证尺度适宜。以香港区域的多尺度地形数据和气象过程模拟为例，讨论了在空间维上，测量尺度类别中组成因素（分辨率）层次的尺度适宜性。该案例不只对具体的气象模拟提供参考，而且很好地阐释了第一组的尺度适宜性，从中可以看出对虚拟地理环境中尺度适宜性问题的讨论，有助于在地理环境问题求解时研究和保证尺度适宜性，这对于虚拟地理环境的系统构建和应用都将产生积极的作用。

但是地理问题往往有研究区域的依赖性，即结论与成果多来自于案例分析和实验结果，对于尺度适宜性同样有这个问题。考虑到尺度适宜性的复杂性和区域依赖性，在后继研究中将从两方面着手。首先，以四组尺度适宜性为指导，采用“分总”结合的方法研究尺度适宜性问题，针对具体的维度、类别和组成因素来研究尺度适宜性，并逐步综合研究尺度适宜性。其次，依据地理环境的四个子环境，研究两个子环境再到多个子环境之间的尺度适宜性，如先考虑数据子环境与模型子环境，再到数据、模型、表达等多个子环境。最后，在研究方法的科学性和成果的普适性方面做更大努力，以减少应用中因为尺度不适宜而带来的不确定性或误导。以文中实验为例，下一步工作将会尝试应用地表特征表达参数，来描述地表的地形、土地利用等复杂程度，进而探寻不同地表复杂程度下，多尺度地理数据在气象过程模拟中的尺度适宜性规律，得出具有一定普适性的成果。

致谢：华南理工大学郑君瑜教授在案例模拟分析中给予了指导，美国宾州州立大学陈栋博士生在案例实现过程中给予技术支持，中科院地理所提供了土地利用数据，在此一并表示衷心感谢。

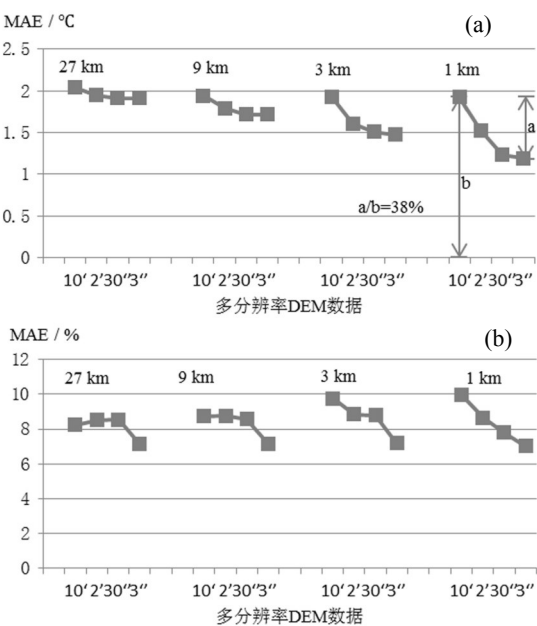


图5 模拟与观察的温度 (a) 和相对湿度 (b) 比较  
Fig. 5 Comparison of the modelled and observed temperature and relative humidity to study the scale matching between DEM data and model

## 参考文献 (References)

- [1] Hofer D-I B H. A Language to Describe Geographic Physical Processes [D]. Vienna: Vienna University of Technology, 2009.
- [2] Poole G C, Stanford J A, Running S W et al. A patch hierarchy approach to modeling surface and subsurface hydrology in complex flood-plain environments. *Earth Surf. Proc. Land*, 2004, 29(10): 1259-1274.
- [3] Goodchild M F, Yuan M, Cova T J. Towards a general theory of geographic representation in GIS. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, 2007, 21(3): 239-260.
- [4] Kumar M, Bhatt G, Duffy C J. An object-oriented shared data model for GIS and distributed hydrologic models. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, 2010, 24(7): 1061-1079.
- [5] Reitsma F. A new geographic process data model [D]. Maryland: Department of Geography of the University of Maryland, 2004.
- [6] Beni L H, Mostafavi M A, Pouliot J et al. Toward 3D spatial dynamic field simulation within GIS using kinetic Voronoi diagram and Delaunay tetrahedralization. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, 2011, 25(1): 25-50.
- [7] Pultar E, Cova T J, Yuan M et al. EDGIS: A dynamic GIS based on space time points. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, 2010, 24(3): 329-346.
- [8] Lin H, Huang Fengru, Lu Xuejun et al. Preliminary study on virtual geographic environment cognition and representation. *Journal of Remote Sensing*, 2010, 14(4): 822-838. [林晖, 黄凤茹, 鲁学军 等. 虚拟地理环境认知与表达研究初步. *遥感学报*, 2010, 14(4): 822-838.]
- [9] Lin Hui, Gong Jianhua. On virtual geographic environments. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2002, 31(1): 1-6. [林晖, 龚建华. 论虚拟地理环境. *测绘学报*, 2002, 31(1): 1-6.]
- [10] Lin H, Chen M, Lu G N. Virtual Geographic Environment: A Workspace for Computer-Aided Geographic Experiments. *Annals of the Association of American Geographers*, 2013, 103(3): 465-482.
- [11] Lin Hui, Xu Bingli. Some thoughts on virtual geographic environments. *Geography and Geo-Information Science*, 2007, 23(2): 1-7. [林晖, 徐丙立. 关于虚拟地理环境研究的几点思考. *地理与地理信息科学*, 2007, 23(2): 1-7.]
- [12] Liu Rui, Yang Weijun. Geographical CVE: Theory and framework. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2009, (10): 28-31. [刘锐, 杨卫军. 协同虚拟地理环境理论与框架. *测绘通报*, 2009, (10): 28-31.]
- [13] Gong Jianhua, Zhou Jieping, Zhang Lihui. Study progress and theoretical framework of virtual geographic environments. *Advances in Earth Science*, 2010, 25(9): 915-926. [龚建华, 周洁萍, 张利辉. 虚拟地理环境研究进展与理论框架. *地球科学进展*, 2010, 25(9): 915-926.]
- [14] Lu Guonian. Geographic analysis-oriented virtual geographic environment: Framework, structure and functions. *Sci. China Earth Sci.*, 2011, 41(4): 549-561. [阚国年. 地理分析导向的虚拟地理环境: 框架、结构与功能. *中国科学: 地球科学*, 2011, 41(4): 549-561.]
- [15] Hu M, Lin H, Chen B et al. A virtual learning environment of the Chinese University of Hong Kong. *International Journal of Digital Earth*, 2011, 4(2): 171-182.
- [16] Chen Min, Sheng Yehua, Wen Yongning et al. Geographic problem-solving oriented data representation model. *Journal of Geo-Information Science*, 2009, 11(3): 333-337. [陈旻, 盛业华, 温永宁 等. 面向地理问题求解的数据表达模型研究. *地球信息科学学报*, 2009, 11(3): 333-337.]
- [17] Chen Min, Sheng Yehua, Wen Yongning et al. Semantics guided geographic conceptual modeling environment based on icons. *Geographical Research*, 2009, 28(3): 705-715. [陈旻, 盛业华, 温永宁 等. 语义引导的图标式地理概念建模环境初探. *地理研究*, 2009, 28(3): 705-715.]
- [18] Paris S, Mekni M, Moulin B. Informed Virtual Geographic Environments: An accurate topological approach. *International Conference on Advanced Geographic Information Systems and Web Services: Geows 2009. Proceedings*, 2009: 1-6, 194.
- [19] Mekni M, Moulin B. Hierarchical path planning for multi-agent systems situated in informed virtual geographic environments. *Second International Conference on Information, Process, and Knowledge Management: Eknow*, 2010, 2010: 48-55, 126.
- [20] Wen Y N, Chen M, Lu G N et al. Prototyping an open environment for sharing geographical analysis models on cloud computing platform. *International Journal of Digital Earth*, 2013, 6(4):356-382.
- [21] Yuan M, Hornsby K S. *Computation and Visualization for Understanding Dynamics in Geographic Domains: A Research Agenda*. CRC Press, 2007.
- [22] Peterson D L, Parker V T. *Ecological Scale: Theory and Applications*. New York: Columbia University Press, 1998.
- [23] Chai Lihe. Recent progress of multiscale science. *Progress in Chemistry*, 2005, 17(2): 186-191. [柴立和. 多尺度科学的研究进展. *化学进展*, 2005, 17(2): 186-91.]



- [24] Wu Daqian, Liu Jian, Wang Wei et al. Multiscale analysis of vegetation index and topographic variables in the Yellow River Delta of China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(2): 237-245. [吴大千, 刘建, 王伟 等. 黄河三角洲植被指数与地形要素的多尺度分析. *植物生态学报*, 2009, 33(2): 237-245.]
- [25] Li Jun, Zhuang Dafang. Study on the appropriate scale of geo-spatial data. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(Suppl.): 52-59. [李军, 庄大方. 地理空间数据的适宜尺度分析. *地理学报*, 2002, 57(增刊): 52-59.]
- [26] Goodchild M F. Scale in GIS: An overview. *Geomorphology*, 2011, 130: 5-9.
- [27] Cash D W, Moser S C. Linking global and local scales: Designing dynamic assessment and management processes. *Global Environmental Change*, 2000, 10(2): 109-20.
- [28] Young O R. *The Institutional Dimensions of Environmental Change*. Cambridge: MIT Press, 2003.
- [29] Gehlke C E, Biehl K. Certain effects of grouping upon the size of the correlation coefficient in census tract material. *Journal of the American Statistical Association*, 1934, 29(185): 169-170.
- [30] Openshaw S. *The Modifiable Areal Unit Problem*. Geo Books (Norwich Norfolk), 1983.
- [31] Meng Bin, Wang Jinfeng. A review on the methodology of scaling with geo-data. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(2): 277-288. [孟斌, 王劲峰. 地理数据尺度转换方法研究进展. *地理学报*, 2005, 60(2): 277-288.]
- [32] Wu J, Li H. Concepts of scale and scaling//Wu J J, Bruce K, Li Habin et al. *Scaling and Uncertainty Analysis in Ecology: Methods and Applications*. Dordrecht, Netherlands; Springer, 2006: 1-13.
- [33] Crawford T W. Scale analytical//Kitchin R, Thrift N. *International Encyclopedia of Human Geography*. Oxford: Elsevier, 2009: 29-36.
- [34] Schulze R. Transcending scales of space and time in impact studies of climate and climate change on agrohydrological responses. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 2000, 82(1-3): 185-212.
- [35] Wu J. *Scale and Scaling: A Cross-disciplinary Perspective*. London: Cambridge University Press, 2007.
- [36] Liu K, Wu H, Hu J. Fundamental problems on scale of geographical information science//*Proceedings of the Geoinformatics, Nanjing, China, F, 2007. Proc. of SPIE*.
- [37] Wu H, Li Z L. Scale issues in remote sensing: A review on analysis, processing and modeling. *Sensors*, 2009, 9(3): 1768-1793.
- [38] Montello D. Scale in geography//Smelser N J, Baltes B P. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*. Oxford: Pergamon Press, 2001: 13501-13504.
- [39] Gao Jun. *Tracing Cartography: Collection of Academician Gaojun*. Beijing: Surveying and Mapping Press, 2012: 197-202. [高俊. 地图学寻迹: 高俊院士文集. 北京: 测绘出版社, 2012: 197-202.]
- [40] Lin Hui, Gong Jianhua, Shi Jingjing. From maps to GIS and VGE: A discussion on the evolution of the geographic language. *Geography and Geo-Information Science*, 2003, 19(4): 18-23. [林珏, 龚建华, 施晶晶. 从地图到地理信息系统与虚拟地理环境: 试论地理学语言的演变. *地理与地理信息科学*, 2003, 19(4): 18-23.]
- [41] Lin Hui, Zhu Qing. The linguistic characteristics of virtual geographic environments. *Journal of Remote Sensing*, 2005, 9(2): 158-165. [林珏, 朱庆. 虚拟地理环境的地理学语言特征. *遥感学报*, 2005, 9(2): 158-165.]
- [42] Walsh S J, Butler D R, Malanson G P. An overview of scale, pattern, process relationships in geomorphology: A remote sensing and GIS perspective. *Geomorphology*, 1998, 21(3/4): 183-205.
- [43] Store R. GIS-based multi-scale approach to habitat suitability modeling. *Ecol. Model.*, 2003, 169(1): 1-15.
- [44] Zhang N, Zhang H Y. Scale variance analysis coupled with Moran's I scalogram to identify hierarchy and characteristic scale. *Int J. Geogr. Inf. Sci.*, 2011, 25(9): 1525-1543.
- [45] Goodchild M F, Quattrochi D A. Scale, multiscaling, remote sensing, and GIS//Quattrochi D A, Goodchild M F. *Scale in Remote Sensing and GIS*. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers, 1997: 1-14.
- [46] Lin H, Gong J H, Tsou J Y et al. VGE: A new communication platform for the general public. *Wise 2002: Proceedings of the Third International Conference on Web Information Systems Engineering (Workshops)*, 2002: 47-55.
- [47] Chen S B. A prototype of virtual geographical environment (VGE) for the Tibet Plateau and its applications. *IGARSS 2004: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings*, Vols 1-7, 2004: 2849-2852.
- [48] Xu B L, Lin H, Chiu L S et al. Collaborative virtual geographic environments: A case study of air pollution simulation. *Information Sciences*, 2011, 181(11): 2231-2246.
- [49] Syphard A D, Franklin J. Spatial aggregation effects on the simulation of landscape pattern and ecological processes in southern California plant communities. *Ecol. Model.*, 2004, 180(1): 21-40.
- [50] Chave J, Levin S. Scale and scaling in ecological and economic systems. *Environ. Resour. Econ.*, 2003, 26(4): 527-557.
- [51] Totser J, Visser T, Van Oosterom P et al. A semantic-rich multi-scale information model for topography. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, 2011, 25(5): 739-763.
- [52] Yarnal B, Lakhtakia M N, Yu Z et al. A linked meteorological and hydrological model system: The Susquehanna River

- Basin Experiment (SRBEX). *Global Planet Change*, 2000, 25(1/2): 149-161.
- [53] Miao J F, Kroon L J M, De Arellano J V G et al. Impacts of topography and land degradation on the sea breeze over eastern Spain. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 2003, 84(3/4): 157-170.
- [54] Aalto T, Hatakka J, Karstens U et al. Modeling atmospheric CO<sub>2</sub> concentration profiles and fluxes above sloping terrain at a boreal site. *Atmos. Chem. Phys.*, 2006, (6): 303-314.
- [55] Cgiar-Csi. SRTM 90m Digital Elevation Data. <http://srtm.csi.cgiar.org/index.asp> (2013/11/02).
- [56] Papanastasiou D K, Melas D, Lissaridis I. Study of wind field under sea breeze conditions: An application of WRF model. *Atmos. Res.*, 2010, 98(1): 102-117.
- [57] Jiang F, Liu Q, Huang X X et al. Regional modeling of secondary organic aerosol over China using WRF. *Chem. J. Aerosol. Sci.*, 2012, 43(1): 57-73.

## Discussion about scale adaptability in virtual geographic environments

ZHANG Chunxiao<sup>1</sup>, LIN Hui<sup>1, 2, 3</sup>, CHEN Min<sup>1, 3</sup>

(1. *Institute of Space and Earth Information Science, The Chinese University of Hong Kong, Shatin, N.T., Hong Kong, China;*

2. *Department of Geography and Resource Management, The Chinese University of Hong Kong, Shatin, N.T., Hong Kong, China;*

3. *The Chinese University of Hong Kong Shenzhen Research Institute, Shenzhen 518057, Guangdong, China*)

**Abstract:** Along with the focuses of geography changing from static geographic pattern to dynamic geographic process, geographic language is also evolving from maps to GISystem (Geographic Information System) to VGEs (Virtual Geographic Environments). Due to the multiscale characteristic and scale dependence of both geographic processes and study methods, scale adaptability turns out to be an inventible component for the theory and method of VGEs, which aims to solve dynamic geographic problems. This paper discussed the definition of geographic scale by using three parameters, namely dimension, kind and component, and then illustrated the evolution of scale concept along with the evolution of geographic language. In such evolution, from maps to VGEs, the scale concept is becoming much more comprehensive, which makes the study into scale adaptability issues more important and difficult. In regard to the framework of VGEs, four groups of scale adaptability issues are identified and analyzed according to the parameters of scale definition (dimension, kind and component). These four groups reflect different operational levels, which are illustrated in detail to support the implementation of scale adaptability. Meanwhile, the interrelationship among multiple scale adaptability is also illustrated when the VGEs are constructed and applied. Taking a meteorological simulation in Hong Kong as a case study, scale adaptability considering multiscale DEM data and a meteorological model (WRF: Weather Research & Forecasting Model) was investigated, which is on the component level within the spatial dimension and observational kind of scale (namely spatial resolution). This case study not only explained the significance and implementation of scale adaptability in geographic process research, but also showed the contribution to the cognition and decomposition of complex scale adaptability issues from the discussion in this paper. In summary, the attention and research into scale adaptability will enrich the theory and methodology of VGEs and improve practical applications of VGEs.

**Key words:** virtual geographic environments; scale adaptability; geographic language; geographic process