

文章编号: 1673-6338(2013)04-0399-10

# 论虚拟地理实验思想与方法

龚建华<sup>1,2</sup>

(1. 遥感科学国家重点实验室 中科院遥感与数字地球研究所 北京 100101;

2. 浙江中科空间信息技术应用研发中心 浙江 嘉善 314100)

**摘要:** 结合传统的实验思想与方法以及最新的虚拟地理技术, 阐述并发展“虚拟地理实验”思想、概念、特征与方法。从虚拟地理环境、三条黄河、仿真虚拟科学等阐述了虚拟地理实验思想的最初形成与发展; 从实践哲学角度, 探讨了虚拟实践的特征、以及与现实实践的相互关系, 并认为复杂性地理科学的研究需要集成现场实验、实验室实验以及计算虚拟实验等的多样化实践形式。探讨虚拟地理实验的特征、类型, 尝试建立虚拟地理实验核心理论的虚实相似原理和虚实协同原理; 最后, 以洪水动力过程与人群活动过程为例, 开展了虚拟自然地理实验与虚拟人文地理实验的初步应用原型试验。

**关键词:** 虚拟地理环境; 虚拟实验; 现场实验; 虚拟实践; 仿真科学; 虚拟工程

中图分类号: P28 文献标识码: A DOI 编码: 10.3969/j.issn.1673-6338.2013.04.012

## On Thought and Methodology of Virtual Geographic Experiment

GONG Jianhua<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS, Beijing 100101, China;

2. Zhejiang-CAS Application Center for Geoinformatics, Jiashan 314100, China)

**Abstract:** Integrating traditional experimental ideology and technology of virtual geo-reality, the thought, concept, characteristics, and methods of virtual geographic experiment are addressed. In view of aspects of virtual geographic environment, three Yellow Rivers, and simulation and virtual science, the shaping and development of virtual geographic experiment are discussed. Based on the theory of practical philosophy, the characteristics of virtual practice and its relationship with real practice are explored, it is argued that the multiple practices including field experiment, experiment in laboratory, and computing and virtual experiments are essential to the research of complexity geo-science. The characteristics and types of virtual geographic experiments are discussed, and the theories of virtuality-reality similarity and virtuality-reality collaboration are established. At last, in cases of flooding process and crowd activity process, two application prototypes of virtual human geography and virtual physical geography are designed and carried out.

**Key words:** virtual geographic environment; virtual experiment; field experiment; virtual practice; simulation science; virtual engineering

逻辑与实验从有科学以来一直是所有科学学科的两大方法支柱。实验, 是科学研究的一种基本实践活动, 是在一个可控环境下, 实验者(主体)依据一定的假设、理论等, 通过中介交互方法(或工具)人为地调控或改变研究对象(客体)的某些条件、要素, 使某些事物(或现象、过程)发生或再现, 从而发现或验证知识、获取与认识规律。近年来, 随着仿真、计算机数值计算、虚拟现实、以及网络空间技术等的发展, 虚拟(仿真、或计算)

方法逐渐成为科学研究的第 3 种重要工具和新的实践方式<sup>[1-4]</sup>, 而把计算、仿真虚拟与实验方法结合起来, 探索与研究复杂性地理系统与地理问题, 也已逐渐成为地理(信息)科学研究前沿<sup>[5-7]</sup>。

### 1 虚拟地理实验思想的发展与现状

#### 1.1 从虚拟地理环境(地图、GIS)到虚拟地理实验

集成地理学与虚拟现实, 虚拟地理环境概念

收稿日期: 2013-07-25; 修回日期: 2013-07-30。

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-EW-318); 国家自然科学基金青年基金项目(41101363; 41201396)。

作者简介: 龚建华(1965-), 男, 浙江海盐人, 研究员, 博士, 主要研究方向为虚拟地理环境。

在2001年正式提出并发表以后,近年来逐渐成为地理信息系统(GIS)、地图学以及可视化的一个最新前沿发展<sup>[8-16]</sup>。2003年,在撰写国家自然科学基金重点基金理论创新的思考过程中,结合虚拟地理环境与实验地理学,本文作者与鲁学军首次提出了“虚拟地理实验”的概念;结合虚拟香港中文大学的设计与构建,林琿、闫国年等阐述了虚拟地理环境的最新前沿研究与虚拟实验的相关应用实践<sup>[8,10]</sup>。应该说,虚拟地理实验,是虚拟地理环境发展的进一步思考与探索,并希求从理论与方法上对于地理信息科学做出新贡献的一个尝试。

同时,Goodchild等认为<sup>[17]</sup>“历史上地理信息技术的发展受到科学的驱动很有限,GIS主要是与政府机构的数据收集与决策、景观设计学、地图学、以及测量相关的制图科学”。受这一观点启发,我们认识到GIS(以及地图、虚拟地理环境)是以地球表层系统与地理环境的观测与表达分析为主,是属于一种观察(测)科学与技术;目前还不是以“地理问题”以及“探索地理新知识,发现地理规律”为视角、起点与核心的地理实验科学。另外,目前的地理信息科学与技术,虽然已是地理科学中方法与技术体系中重要组成部分,但是对于现代地理科学的核心新概念、新基本理论与原理等的形成与发展贡献却是不足的。所以,本文认为需要把实验科学思想与方法,引进到地理信息技术与科学领域,与地图学、GIS以及虚拟地理环境等研究结合起来,发展“虚拟地理实验”理论与技术,以增强地理信息领域研究发展的科学驱动力,从而推进地理信息科学的理论与方法发展。

### 1.2 “三条黄河”与实验地理学

实验是现代科学发展的重要特征与标志。中国的地理学家在20世纪50—60年代已经认识到实验对于地理科学理论与方法发展的重要性<sup>[18-20]</sup>,建立了大量的野外地理观测台站、野外实验基地以及室内用于地理实验的物理模型。目前我国地貌实验室站有30多个,包括流水地貌实验、风沙地貌观测与实验、泥石流观测实验、侵蚀地貌实验等。

1998年,黄河水利委员会以“数字地球”概念为基础,提出治理黄河的“三条黄河”理念与框架<sup>[21]</sup>。“三条黄河”,即“原型黄河”,“模型黄河”以及“数字黄河”,其中“模型黄河”与实验地理学相关,“数字黄河”则涉及地理信息科学与空间信息技术。目前,“模型黄河”试验基地占地约280亩,已建成3座大型试验厅,分别修建了三门峡库

区、小浪底库区、黄河下游河道的实体模型。实际上,“三条黄河”提出了实验地理学的问题,提出了实验地理学与现代空间信息技术的相互关系问题,这对于现代地理科学的发展,尤其是方法论的研究,有着重要的学术与应用价值,然而这一点并没有在地理学界得到足够的关注与重视。本文认为“三条黄河”涉及到虚拟地理实验问题,其实践与应用对于“虚拟地理实验”理论与方法发展有着重要的价值和意义。

### 1.3 地学模拟与计算地理学

随着元胞自动机、多智能体等技术的应用发展,黎夏等<sup>[22]</sup>提出并构建地理模拟系统,开展自下而上的虚拟模拟实验,用以研究地理现象格局、过程与演变。地理模拟系统研究与虚拟地理环境、虚拟地理实验密切相关,但是两者目前还没有建立统一的理论与方法基础。

从地理计算角度,王铮等提出并发展<sup>[7]</sup>“计算地理学”,并认为“计算地理学作为一个新兴学科,不仅是一个方法性学科,而且从根本上创新了地理学思想和分析模式”;同时认为,作为计算地理学的实验人文地理学平台“可以利用GIS构成一个虚拟地理环境,针对某些人文现象,设计实验,让现实的人在虚拟地理环境中做出行为选择,发现人文地理规律,检验人文地理理论”。

应该指出的是,虚拟地理实验与计算(地理)实验,是从不同角度(虚拟、计算)提出的两个密切相关、相类似的概念,其本质与目标是一致的。但是在理念与方式上,还有一些差别,如计算地理学,是从“计算(机、数据)”出发,强调“计算”;而虚拟地理实验,是从“人”出发,特别强调“虚”以及“虚拟”的作用,强调人的主体性(形象思维、社会群体思维、主动性与自主性等)作用,强调“不在场”、“多种可能”的地理世界与方案等。

地学模拟系统与模拟实验、计算地理学与实验人文地理学平台、以及虚拟地理环境与虚拟地理实验,是目前地理(信息)科学中密切相关的3个研究领域,未来可以互相借鉴、互相促进,一起发展。

### 1.4 仿真科学与虚拟工程

经历半个世纪的飞速发展,仿真科学与技术已初步形成了学科的理论与技术体系,并逐渐成为科学研究中除理论研究、实验研究之外的第3种方法<sup>[4,23]</sup>。王精业等<sup>[24]</sup>认为仿真科学与技术逐渐突破了孕育该学科的原学科范畴,拥有了稳定的研究对象,分清了与相关学科的界面。整个

科学与技术体系,成为以相似理论、建模理论、仿真系统理论、仿真方法论、仿真的可信性理论和仿真综合应用理论为基本理论,以计算机、相关物理效应设备及仿真器为工具;利用模型运行对已有或假想系统进行研究、分析、设计、生产、试验、评估、运行和维护活动的一门学科,是一门具有综合性、实验性的新学科。例如,我国的“南水北调”水资源调配工程仿真平台,服务于2008年北京奥运会开闭幕式、2009年首都国庆60周年晚会和群众游行方案的大规模并行人群活动指挥控制、大规模人群紧急疏散仿真系统等,都是近年来仿真试验工程的成功案例。另一方面,从计算机软件与模拟角度,庄茁等<sup>[25]</sup>认为,人类需要借助各种工具来增强、延伸和扩大自己认识世界的能力,而虚拟工程与科学就是这样的工具。它是对科学现象、工程或产品的功能、性能和运行行为实施计算机模拟的方法体系,如受控热核反应、核聚变、地壳运动、环境污染、溃坝、车辆或飞机的碰撞等。

仿真科学、虚拟科学与工程,结合实验科学,形成的仿真实验与虚拟实验等理论(如相似理论)、方法与大量应用实践,为虚拟地理实验的发展,提供了更加广阔的学科发展背景和理论方法基础。

## 2 虚拟(地理)实验的实践哲学基础

虚拟(地理)实验是虚拟实践的一种方式。在马克思哲学视域内,实践是主体和客体之间的实际的交互作用和物质、能量、信息变换的过程,是一种感性的客观过程,一般包括物质生产实践和社会交往实践。而随着计算机技术、通信与网络技术、以及虚拟现实技术等的发展,网络虚拟空间(或赛博空间)逐渐形成与出现,人类社会生产与交往实践进入到一个新的形态阶段,即虚拟实践阶段。张明仓认为<sup>[26]</sup>虚拟实践是由实践主体、客体和中介构成的系统,是人在虚拟空间中利用数字化手段进行的有目的的、双向(主体与客体)对象化的感性活动,是人利用数字化中介手段对现实性的感性超越。并且,虚拟实践,具有与现实(现场)实践一样的临场感与沉浸感,通过空间感知以及反复体会、分析与综合相关虚拟世界信息,从而去认识实践对象及其环境的属性、关系、本质与规律<sup>[2]</sup>。

从复杂性科学视角,苗东升对于传统的现场实践、实验室实验以及最新的计算试验、虚拟实践等进行了系统的思考<sup>[2]</sup>,认为经典的实验室实验

是在还原论科学方法论指导下的、主要针对简单性系统与问题的科学实践,其主要方法就是把实验对象对外隔离、对内分解,由于其可控性、可重复性、高效性和有效性,在工业文明时代取得了巨大的成功,成为科学实践中的主导方法;而对于复杂性系统,则由于实验对象不能完全地从环境隔离出来、且整体性不能从分系统(子系统)中集成复原,不能控制复杂的分层子系统以及多维属性之间的非线性关系与相互作用,以及不能处理复杂性系统的不确定性与涌现性等,传统的实验室实验方法则表现出巨大的局限性,必须要再次回归到现实世界实践、回到改革开放复杂巨系统的现场实践。例如,由于地理系统与地理问题的复杂性,大型现场地理实验与实验室室内实验都相对比较困难,导致实验地理学的发展比较缓慢。另外,苗东升认为计算机数值试验是人类社会实践的一种新方式,具有检验和证实理论的实践特征,并且对于复杂性研究,实验专家可以通过反复的数值模拟计算试验,从而获得关于某专业专题研究对象的感性材料,激活专家潜藏在意识深处的经验知识以及灵感、洞见;而基于虚拟现实技术的虚拟实践,则也理解为一种新的社会实践方式,具有临场感和沉浸感,可产生认知的功能,但与数值计算试验(实践)不一样的是虚拟实践同时可以使实践主体和客体相互作用、相互影响,可以改造实践主体的身心与认识。

传统认识上,一般把“思想实验”、“模拟作战”等,看作是现实实践的准备过程或替代手段而已<sup>[26]</sup>;但是,在“虚拟空间”成为现实社会现实以后,把“虚拟”作为正式的实践领域,把“虚拟实践”看做是对“现实实践”的重要补充、辅助,或者在某些情况与“现实实践”具有同等地位与重要性的实践认识,是实践哲学的重要最新发展。

虚拟实践,与现实实践具有密切的相互关系,基于文献[2-26]本文总结为以下特征。

1) 现实实践是虚拟实践的前提和基础。现实实践是虚拟实践赖以形成的源头,现实实践的不足呼唤着虚拟实践的崛起,虚拟实践具有现实实践不可比拟的可控性和重复性;但虚拟实践的合理性最终需要现实实践加以检验。

2) 虚拟实践是现实实践的延伸和升华。虚拟实践是人类实践活动由现实社会空间向虚拟空间延伸,虚拟实践以信息的生产、分配和使用为核心,给人带来全新的生存体验,是人的感性器官以及能力的延伸,有可能比现实实践具有更好的沉

浸感和现场感,突出了人的个性、主体性。

3) 虚拟实践与现实实践交融互动。虚拟实践不单是现实实践的延伸与升华,而且对于现实实践本身会产生重要的冲击和影响;虚拟实践与现实实践各自都是人类实践整体中的一部分,其相互作用、相互制约,共同塑造着人类社会的现状与未来。但是,虚拟技术是智慧的产物,产生的是人工世界,具有非自然性,并可以使主体在虚实间产生身份矛盾或社会伦理等问题,其实践功能还有消极的一面,不可忽视。

4) 复杂性科学需要多样性的现实与虚拟实践。现实实践,包括变革复杂巨系统的现场实践、针对复杂巨系统的亚现场实践(如实兵战场演习)、微型现场实践(如典型试验)、以及实验室实验,虚拟实践则包括计算实验(试验)、仿真虚拟实验等。复杂性科学的实践,需要实践形式的多样性,需要现实实践与虚拟实践的结合和综合应用。

5) 虚拟实践活动根本地抛弃了“征服自然”这一传统现实实践的重要目标,彻底抛弃了不包含交互主体性的单独主体性;在实践思维方式上,可以实现从传统的单纯实体型思维(实体思维)转向动态关系型思维(关系思维、虚拟思维),实现人类思维方式的重大转型。

6) 虚拟实践主要是人类交互实践的变革,通过计算机网络系统,虚拟实践几乎摆脱了地域空间对于交往实践的局限与限制。虚拟实践的目的在于,通过虚-实实践、虚-实世界的结合、互动,促进人的自我超越与全面发展。

虚拟实践、现实实践、以及复杂性科学多样性实践等的相关哲学研究,为虚拟地理实验的本质特征理解,提供了最根本的顶层认识框架,并为虚拟地理实验的未来发展提供了理论与方法论的哲学基础。

### 3 虚拟地理实验特征与原理

#### 3.1 虚拟地理实验特征与类型

虚拟地理实验,是在计算机网络虚拟空间与环境下开展的一种地理计算与协同分析实验,具体可以定义为:基于协同虚拟地理环境,依据一定的假设、理论、模型、情景设想等,通过人机交互技术控制、调整某些参数、规则、或条件开展时空计算、数据统计、图谱协同分析、反馈互动等,从而在虚拟地理多维信息世界中“查考自然,逼迫自然,自露真像”,以获取或验证某种地理经验与知识。

依据一般实验的两类基本类型<sup>[27]</sup>,虚拟地理实验可以具体分为:经验驱动型虚拟地理实验和理论驱动型虚拟地理实验。其中经验驱动型虚拟地理实验,是没有预先明确的假设与理论,主要是依据实验主体相关地理问题与地理系统等的经验、零碎知识、直觉判断,通过不断的调控参数、条件、或情景设置等,探索与发展新的地理现象、模式、特征与规律等,属于逻辑归纳方法,可以认为是一种探索类虚拟地理实验;理论驱动型虚拟地理实验,则是已经具有一定的假设或理论模型等,然后通过参数、规则等调整与修改,计算获取相应的现象与数据,从而分析已有理论或模型的有效性、正确性等,属于逻辑演绎方法,是一种验证类虚拟地理实验。在面对复杂性地理问题分析与求解的实际应用中,针对观测数据的丰富性、(准)实时性,以及模型计算虚拟的便捷性、易控制性、易重复性等,这两类虚拟实验常常交叉、集成使用。

现实地理实验,是物质、能量、信息为基本要素的实验,而虚拟地理实验的主要媒介与基础是“信息”。所以本文认为,虚拟地理实验能够实施与开展的驱动力来自于实验主体的知识与智慧不断互动输入、或来自于与现实地理客观世界的连接与信息互动、或来自于凝聚人类知识的理论模型的计算演化、或来自于实验人工信息世界赋予的智能性等等。

虚拟地理实验系统应具有以下5个特征或功能。

1) 首先需要建立一个地理虚拟实验环境,即虚拟地理实验室。这个虚拟地理实验室,需要支持群体协同工作,并能够支持探索性的地理大数据虚拟实验,以及验证性的模型计算与统计分析实验。

2) 地理学研究需要“体认”,对多尺度、多维、非线性的现实地理环境(及其问题)进行相似性表达的虚拟地理环境,是虚拟地理实验开展的重要实验平台。该虚拟地理环境应该可以支持实验者以旁观者或参与者身份进行沉浸性时空感知体验、基于图形/图像的形象化认知思维以及人人协同互动的社会思维等。

3) 虚拟地理实验应具有开放的、(准)实时的、系统组织的观测、量测、以及远操作体系。虚拟观测与传感器设备与网络体系的设计与建设,实时传感数据的接入与集成,以及基于虚拟仪器的远程操作与实验共享等,是虚拟实验科学数据

量测、接入、生产、管理与操作等的重要建设内容与定量计算实验保障。

4) 地理(数值)计算,是虚拟地理实验的重要“定量”实践部分,地理大数据、多尺度模型体系、智能演化等的密集计算,需要考虑目前最新的云计算、网格计算等前沿技术,尤其需要考虑地理大数据存储、模型密集计算、以及计算可视化的一体化解决方案。

5) 地理系统与问题具有复杂性,需要复杂性的科学实践。可以基于“从定性到定量的综合集成法以及综合集成研讨厅体系”的复杂性科学方法框架<sup>[21-28]</sup>,来设计与开展虚拟地理实验。同时,需要把虚拟地理实验、与野外现场地理实验、室内地理物理实验等结合与集成起来,开展面向复杂性地理问题的多样化地理实验。

### 3.2 地理实验的虚实论

虚拟地理实验,作为一个新的领域,其探索与发展需要借鉴传统实验地理学的基本原理(如相似原理),地理复杂性系统与复杂性问题处理方法,以及最新的仿真科学、实验经济学<sup>[29]</sup>、计算社会科学<sup>[30]</sup>等相关方法与实践。

马蔼乃认为,虚拟科学、虚拟实验的核心理论是“虚实论”<sup>[31]</sup>。从实践哲学关于虚拟实践与现实实践的关系,以及现场实践、实验室实验、计算虚拟实验相结合的复杂性实践特点探索看,虚实互补关系、虚实结合、虚实相生等,都是“实践哲学”的最新认识与成果。本文试着从现实地理环境与现实地理环境的相似关系,以及两者之间的相互作用关系,探索建立虚拟地理实验的“虚实相似原理”和“虚实协同原理”,如图1所示。

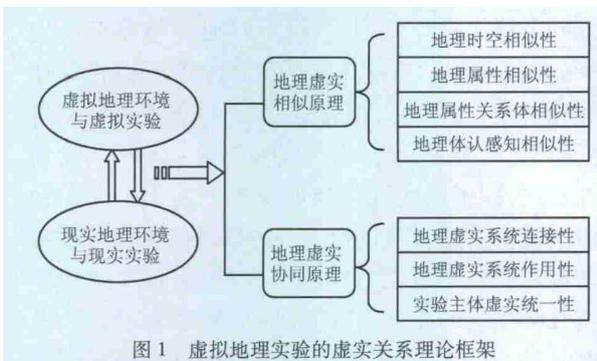


图1 虚拟地理实验的虚实关系理论框架

#### 3.2.1 地理虚实相似原理

传统实验地理学的物理实验模型,一般是遵循“相似原理与准则”以及“系统论的异构同功原理”,例如几何形态相似、运动相似、动力相似、边界条件相似等进行设计与构建的;仿真科学,也把“相似理论”作为主要的核心理论,王精业等<sup>[24]</sup>认

为仿真科学的相似理论包括实物模型(几何、运动学、动力学)相似,数学模型(连续系统动力学数学特征、场、不确定性、图)的相似,系统(结构、功能、性能、演化、人机交互界面等)的相似,复杂性(非线性、突变性、涌现性等)的相似等。基于实证科学的相似理论与思辨的“取象比类”方法,马蔼乃<sup>[32]</sup>对于地理科学中的地理相似理论,进行了系统的研究,并结合地理量纲分析,建立了地理时空要素相似准则、地理圈层要素相似准则、地理系统要素相似准则等。

依据上述关于相似的研究理论,虚拟地理实验中虚拟地理环境实验平台的构建,需要考虑虚拟地理环境与现实地理环境在地理时空尺度、地理空间、地物几何、地理属性时空分布、地理要素相互关系、地理过程、地理子系统等等与图表达的相似性。基于传统地理学物理模型实验室建设与试验原理、以及地理信息科学相似理论等,本文认为地理虚实相似原理可以包括地理时空相似性,地理属性相似性,地理属性关系体相似性,以及地理体认感知相似性。

虚拟地理实验首先是计算地理实验,涉及地理时空参照系以及定量的观测、量测与表达体系,所以对于虚拟地理环境和现实地理环境,都需要建立一个参照系,即虚拟地理时空参照系以及现实地理时空参照系。对于虚拟地理实验,有了地理时空参照系,就可以建立地理时空、地理属性、地理属性关系体、地理体认感知的相似准则,分别阐述如下。

1) 地理时空相似性,即虚拟地理空间与时间要素等要与现实地理时空要素具有相似性,具体相似准则可表达为:虚拟空间要素(长、宽、高等)/现实空间距离(长、宽、高等),虚拟时间要素(如时刻、时段)/现实时间(如时刻、时段)等。地理时空相似性,确立了虚拟地理空间(环境)与实验的尺度、层次与研究粒度等。

2) 地理属性相似性,即某单一地理属性(如地形高程、温度、降雨量、植被指数、人口密度、建筑几何大小与形状等)在虚拟与现实地理空间中对属性的数值、分布等相互关系具有相似性,其相似准则可表达为:虚拟地理属性要素(某虚拟时空参照系下的数值与时空分布)/现实地理属性要素(现实时空参照系下的观测、量测数值与时空分布)。地理属性相似性为虚拟地理环境与实验中的地形、河流、道路、树木、建筑、温度等表达与三维建模规定了原则。

3) 地理属性关系体相似性。这里的地理属性关系体是指现实地理环境中相互关联的若干个地理属性一起组合形成的、表达一定地理功能与现象(即具有地理物理意义)的虚体,该虚体在计算相似准则时,也可以称为“因子团”。例如,河流动力学中的弗劳德数(惯性力与重力的比值)、雷诺数(惯性力与黏滞力的比值)等可以认为是属性关系体。地理属性关系体相似性,即虚实空间中的关系体之间具有相似性,其相似准则可表达为:虚拟地理属性关系体(数值与分布)/现实地理属性关系体(数值与分布)。地理属性关系体相似性,为地理因子团分析、地理时空过程建模等建立了原则。

4) 地理体认感知的相似性,是指实验主体(以人身或化身表征)对于地理虚拟空间环境、虚拟地物景观、以及其他实验主体等的时空位置关系以及细节、大小、轻重等感知性,要与在现实地理环境中的位置关系与感知性等具有相似性,例如,人在三维数字地球空间中的从很高的天空逐渐下降到城市街道的不同方式漫游时的地表地物表现(要变化不同尺度的空间数据)以及空间感知性,与宇航员从宇宙回到地球的实际情景要具有相似性。其相似准则可表达为:虚拟时空感知(关系位置、逼真度、沉浸感、艺术感等)/现实时空感知(关系位置、逼真度、沉浸感、艺术感等)。地理体认感知的相似性,为虚拟实验涉及的地理现象与过程的图形/图像表达、实验主体的地理现象多感知与形象思维、以及互主体地理社会思维等提供了框架与原则。

### 3.2.2 地理虚实协同原理

地理虚实相似性,是关于虚拟地理环境与现实地理环境两个空间与环境要素之间的相互关系。然而,虚拟地理环境与现实地理环境之间又是密切关联,并相互作用和影响的。例如,随着卫星遥感、航空遥感、地面遥感以及物联网传感技术等快速发展,现实地理环境的实时观测与量测数据,可以实时、无缝地连接到虚拟地理环境,从而极大地增强了虚拟地理环境与现实地理环境之间的信息流与相互关系。

关于虚实地理环境的相互关系与作用研究,一般较多地在哲学层面上有较多的讨论,例如前面虚拟实践与现实实践、现场实践与实验室实验等相互关系的讨论。近年来,王飞跃从社会计算角度<sup>[33]</sup>提出了处理复杂性问题的“平行系统”理论,其核心思想是利用人工社会(系统)的思想对

复杂性(社会经济)系统进行等价描述,并通过计算实验和平行管理与控制,从而解决研究复杂(社会经济)系统时所面对的无法还原、没有解析模型和难以实验、分析和评估系统行为的问题。平行系统涉及到虚拟人工世界与现实和现实世界的相互作用与反馈,涉及到计算实验与系统控制的相关问题,该理论对于虚拟地理实验以及虚实耦合实验等具有参考指导价值。

地理虚实协同原理,就是关于虚拟地理环境、虚拟实验与现实地理环境、现实实验(现场实验、实验室实验)互相连接与相互作用的理论与方法。地理虚实协同原理涉及到地理虚实系统的连接性、地理虚实系统作用性,以及实验主体虚实统一性,下面分别具体阐述。

1) 地理虚实系统的连接性,主要包括地理虚实系统两者之间通过数据流、信息流进行间接或直接的连接,其中的观测、量测仪器成为了虚实连接的重要中介工具。现实地理环境的观测与量测设备,已逐渐形成为“对地观测体系”;而虚拟地理实验的虚拟仪器以及虚拟观测体系也将逐渐成为连接(或操纵)现实仪器与观测体系,以及连接虚实地理环境的重要实验装置。

2) 地理虚实系统作用性,是指虚拟地理环境与现实地理环境之间的相互作用与影响,以及虚拟地理实验与现实地理实验之间的相互参照借鉴、交叉输入与检验、多种可能方案与情景发展指导等。需要指出的是,在复杂性地理系统实验中,虚拟地理实验与现实地理实验,可以同时进行,此时,可有两类情况,一类是现实地理实验是虚拟地理实验的标准,现实地理实验的数据实时地可进入到虚拟实验环境中,然而不时地调整虚拟实验中的模型参数,以完善虚拟实验地理模型的准确性和有效性,以更好地符合、刻画地理现实特征与规律;另一类是,虚拟地理实验与现实地理实验相互作用,即虚拟地理实验可以产生关于未来多种可能现实情景,并且,把这些情景直接返回给现实地理实验或环境,从而(准)实时影响现实地理环境社会主体的决策或行为;此类虚实结合实验,极其复杂,具有非线性、不确定性等特征,需要高度关注与慎重。

3) 实验主体虚实统一性,是指实验主体(个体或群体)可以同时感受、参与、操作现实地理环境中的地理实验以及虚拟地理环境中的虚拟实验,并保持实验主体在虚实环境与活动间的统一性、同一性、主动性和创造性。实验主体是虚拟地

理实验与现实地理实验的重要连接点之一,其通过虚实结合、虚实相生等开展多样式的创新实验实践。

#### 4 虚拟地理实验室与原型示例

##### 4.1 虚拟地理实验室特征与组成

按照虚拟地理实验的特征与基本原理,虚拟地理实验室的基本组成,主要包括虚拟实验空间环境、虚拟地理环境实验平台、虚拟仪器库、实验工具库、以及实验者等。其中虚拟实验空间环境,是虚拟实验室的三维虚拟实验空间,可包含三维场景、虚拟仪器、实验工具与实验者化身等,支持实验主体的协同实验研讨;虚拟地理环境实验平

台,则用于地理实验相关的三维现实地理环境与地理问题的相似境象(图形、声音等)综合集成表达、地理大数据可视化探索分析以及虚拟交互实验操作等;虚拟仪器库,用于虚拟仪器的管理、虚拟地物属性量测、现实观测与感知设备的(准)实时数据的接入与无缝集成、现实设备的远程操控等;实验工具库,主要是指实验数据统计分析、多维可视化、群体研讨集聚知识处理等实验数据、信息与知识的计算分析与图谱表达软件系统;实验者(实验主体),一般用化身、视频等综合表达,可以以观测者或者参与者身份操纵虚拟场景(及虚拟地物)与实验或进入到虚拟地理(或数据)环境等,如图2所示。

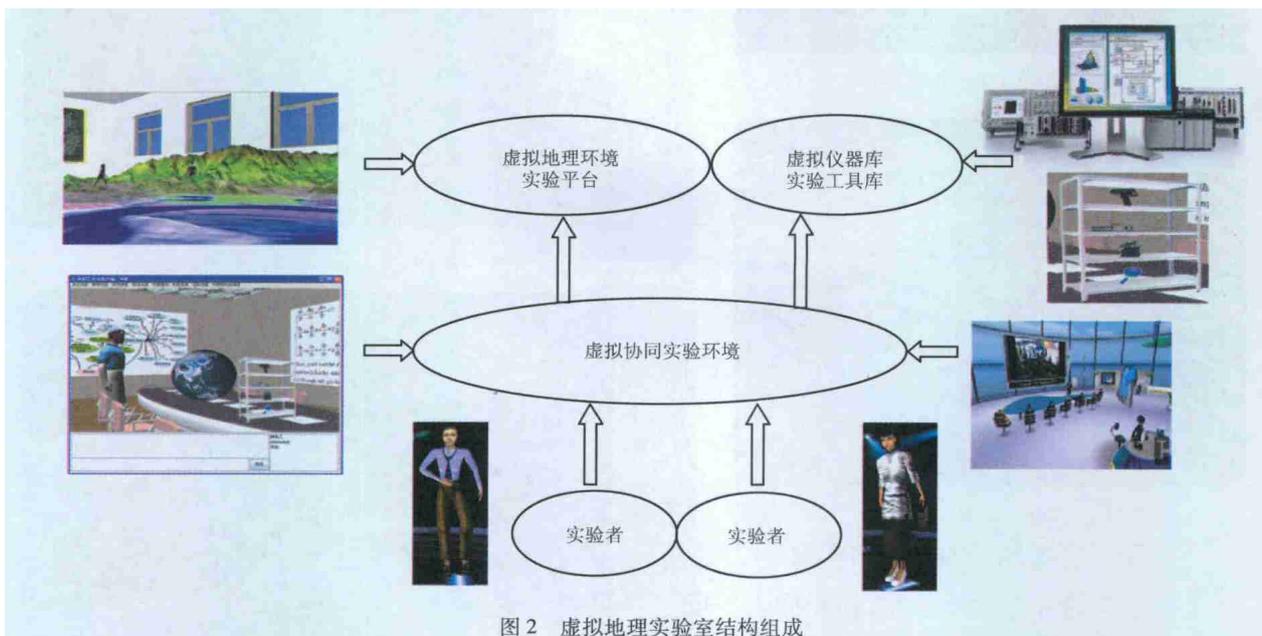


图2 虚拟地理实验室结构组成

##### 4.2 虚拟地理实验原型示例

本文按照虚拟地理实验的基本特征,以洪水演进自然地理过程以及人群活动人文地理过程实验为案例,开展了初步的原型试验。在两个虚拟实验中,按照相似性原则,分别建立了洪水演进与人行行走行为密切相关的虚拟河道环境与虚拟街道、虚拟自动扶梯环境,依据过程动力学的物理机制,构建了两个实验的核心过程模型;然后,通过模型计算与可视化交互分析,不断检验两个过程模型,以发现问题并优化模型。

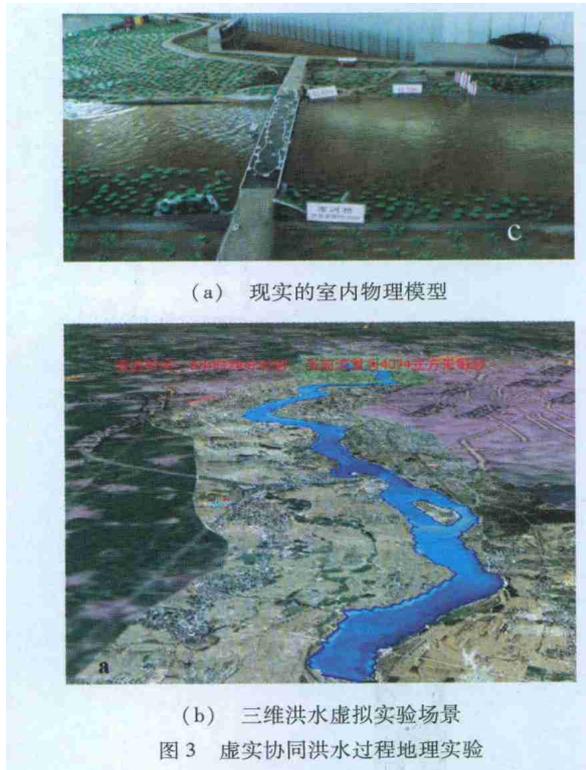
###### 4.2.1 洪水过程虚拟自然地理实验

传统实验地理学,开展了较为系统的自然野外实地地理实验与室内物理模型实验,积累了较多的实验经验与认识。虚拟地理实验的探索,首先关注的就是地理流水地貌实验、人工降雨模拟实验、模型黄土高原等。辽宁省水利水电科学研究院,于2006年在辽宁省水工程试验基地水工实

验大厅建成了浑河沈阳城市段整体物理模型,如图3(a)所示,可实现各级别洪水演进与淹没的物理试验模拟。该物理模型严格按照实验的相似性准则建立,例如,根据天然河道的糙率情况,按照糙率比模拟河道糙率,并在完成加糙后的模型上施放相应的洪水,通过加糙情况调整,使模型实测水位与洪痕吻合,以确保物理模型的相似性、准确性。

本文依据虚拟地理实验的相似性原则,以浑河沈阳城市段整体物理模型为例,首先应用三维激光扫描设备建立了该物理模型的三维虚拟地形、地貌与河道环境;然后,基于水流运动圣维南方程模型以及元胞自动机方法<sup>[34]</sup>,建立了浑河沈阳城市段100年一遇的洪水过程模拟计算模型。同时,通过传感器网络获取了物理模型不同河段水位的时间密集型观测数据,在分析虚实洪水模型之间多因素的关系以及相似度评价机制的基础

上,构建了虚实协同的洪水实验模型。在协同实验过程中,洪水时空过程模拟和基于观测数据的模型结果对比和参数反算同步进行,关于数值模型建模和模拟的准确性、计算精度、计算效率等问题大多显露了出来;在进行相似度比较和修正之后,数值模型的计算已经可以脱离物理模型而进行较准确的数值模拟,同时可以应用到其他相似河道、情景的洪水演进过程计算,如图3(b)所示。



该洪水过程的计算虚拟实验,初步探索了虚拟地理实验中虚实协同试验的原理与方法,下一步的工作,是希望把将现场洪水原型过程、室内模型实验过程、数值计算试验过程三者结合起来,更进一步地探索虚实协同实验的可行性与关键技术,从而建立具有高相似度的、能较好刻画现实洪水演进过程特征与规律的数值模型,服务于城市的防洪科学决策与工程建设。

#### 4.2.2 人群模拟虚拟人文地理实验

传统实验地理的研究工作主要集中于自然地理学,而人文地理实验,如社会、经济、城市、医学等,则因为人-地系统、社会系统的动态性、开放性、复杂性以及伦理、隐私、安全等问题,开展的相对较少,发展也较困难<sup>[21, 35]</sup>。本文以人群模拟为案例,探索虚拟人文地理实验的基本特征与关键方法。

本文人群模拟实验的核心理论是社会力模型,该模型通过街道以及电梯两个虚拟实验地理

环境,进行社会力模型的计算与可视化交互检验,不断发现问题、改进计算模型。图4(a)中模拟了5000人左右的人群在某街道上行走活动,改进了原社会力模型中对障碍物作用力的计算算法;图4(b)模拟了人群在斜坡自动扶梯中的换乘行为,并实现了行人乘坐扶梯(行人静止站立,跟随扶梯运动)和上下扶梯(行人自主行走)的状态转换。



从两个实验结果看,改进后的人群活动行为模型,在给定的虚拟实验场景与情景中,能基本体现人群活动行为的特点与规律,具有一定的合理性和有效性。但是,目前用于人群模拟的社会力模型,大都是基于个体的,尚未考虑社会群组特征,这样在与现实世界中人群的真实行为相比时,还存在一定差距;同时,社会人群行为是非常复杂、多样化的,在不同的情景下(如应急撤离、景区旅游、大型演练活动、集会活动等)都有不同的心理特征和行为规律,下一步的实验工作,计划选择一个具体的应用背景(如景区旅游、大型商场购物等),进一步优化社会力模型,更好地模拟人群行为,使之适用于智慧城市、智慧景区、智慧楼

宇等的建设与安全评估。

## 5 结束语

地理科学的发展,需要大力发展关于复杂性地理系统与地理问题的实验地理学。在信息社会与知识社会,实验地理学的发展必须结合包括遥感、地理信息(大数据)、虚拟现实、云计算等现代空间信息理论与技术;同时,地理信息科学与技术,也必须结合实验科学、实验地理学,才能为地理科学的基础理论与应用实践的发展发挥更重要作用。

本文从虚拟地理环境、三条黄河、仿真虚拟科学等,对于虚拟地理实验思想形成、发展与现状进行了初步的阐述;并从实践哲学与复杂性科学,讨论了虚拟实践的特征与重要性,尤其是在处理复杂性地理系统与问题时,需要采用现场实验、室内实验与计算虚拟实验相结合的多样化地理实验。重点研究了虚拟地理实验的虚实相似原理和虚实协同原理、以及虚拟地理实验室的基本结构与特征。最后,以洪水动力过程与人群活动过程为例,初步探索了虚拟自然地理实验与虚拟人文地理实验设计与实施的相关技术与核心理论模型的计算检验与优化问题。

未来虚拟地理实验的发展,需要借鉴复杂性科学<sup>[36]</sup>、实验经济学、计算社会科学、计算地理学、作战仿真实验<sup>[37-39]</sup>、社会仿真<sup>[40]</sup>与平行系统等相关领域的最新方法与成果;同时需要针对具体的地理系统与地理问题开展大量的应用试验实践,必须要在综合对地观测技术、物联网技术等的支持下,通过虚实结合、虚实协同、虚实耦合以及虚实相生等,逐渐建立起较为系统的虚拟地理实验基本理论、方法与应用体系,并促进地理信息科学、实验地理学、以及地理科学的理论发展。

## 参考文献:

- [1] 高俊 游雄. 虚拟现实及其在军事测绘与作训模拟中的应用[J]. 解放军测绘学院学报, 1996(2): 133-137.
- [2] 苗东升. 开来学于今——复杂性科学纵横论[M]. 北京: 光明日报出版社, 2010: 320-344.
- [3] OPENSHAW S. GeoComputation [C] // STAN OPENSHAW, ROBERT J ABRAHART. ed. GeoComputation. London: Taylor & Francis 2000: 1-31.
- [4] 王学健. 仿真是信息时代认识与改造世界的第三种方法吗? [N]. 科学时报, 2007-06-20.
- [5] 孙九林. 资源环境科学虚拟创新环境的探讨[J]. 资源科学, 1999 21(1): 1-8.
- [6] 龚建华 林琿. 虚拟地理环境——在线虚拟现实的地理学透

- 视[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 27-55.
- [7] 王铮, 吴静. 计算地理学[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 1-10.
- [8] 林琿, 黄凤茹, 闫国年. 虚拟地理环境研究的兴起与实验地理学新方向[J]. 地理学报, 2009 64(1): 7-20.
- [9] 龚建华, 周洁萍, 张利辉. 虚拟地理环境研究进展与理论框架[J]. 地球科学进展, 2010 25(9): 915-927.
- [10] LIN HUI, CHEN MIN, LU GUONIAN. Virtual Geographic Environment: A Workspace for Computer-Aided Geographic Experiments[J]. Annals of the Association of American Geographers 2012: DOI: 10. 1080/00045608. 2012. 689234.
- [11] LIN HUI, MICHAEL BATTY. Virtual Geographic Environments[M]. Beijing: Science Press, 2009: 1-9.
- [12] 林琿 龚建华 施晶晶. 从地图到 GIS 和虚拟地理环境——试论地理学语言的演变[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(4): 18-23.
- [13] 林琿 朱庆. 虚拟地理环境的地理学语言特征[J]. 遥感学报, 2005 9(2): 158-165.
- [14] 王家耀, 孙力楠, 成毅. 创新思维改变地图学[J]. 地理空间信息, 2011 9(2): 1-5.
- [15] 闫国年. 地理分析导向的虚拟地理环境: 框架、结构与功能[J]. 中国科学: 地球科学, 2011 41(4): 549-561.
- [16] 孟丽秋. 地图学技术发展中的几点理论思考[J]. 测绘科学技术学报, 2006 23(2): 89-100.
- [17] GOODCHILD M F, EGENHOFER M, KEMP K, et al. Introduction to the Varenius Project[J]. International Journal of Geographical Information Science, 1999, 13(8): 731-745.
- [18] 黄秉维, 左大康, 陈发祖. 我国自然地理野外定位试验研究的进展[J]. 地理学报, 1990 45(2): 225-234.
- [19] 金德生. 关于流水动力地貌及其实验模拟问题[J]. 地理学报, 1989 44(2): 147-156.
- [20] 金德生. 实验流水地貌学研究的回顾与展望[J]. 地理学报, 1991 46(1): 57-65.
- [21] 龚建华, 李文航, 马蔼乃. 地理综合集成研讨厅方法与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 221-224.
- [22] 黎夏, 叶嘉安, 刘小平, 等. 地理模拟系统: 元胞自动机与多智能体[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 1-20.
- [23] 中国科学技术协会. 仿真科学与技术学科发展研究报告 2009~2010(简本) [EB/OL]. [2013-07-29]. <http://zt.cast.org.cn/n435777/n435799/n1105056/index.html>.
- [24] 王精业, 杨学会, 徐豪华. 仿真科学与技术的学科发展现状与学科理论体系[J]. 科技导报, 2007 25(12): 5-11.
- [25] 庄苗, 胡平, 王成国. 亟待发展的虚拟工程[N/OL]. 光明日报. (2010-04-03) [2013-07-29]. <http://www.gmw.cn/01gmrb/2001-07/16/2001-07-16-Homepage.htm>.
- [26] 张明仓. 虚拟实践论[M]. 昆明: 云南人民出版社, 2005: 40-246.
- [27] DAVID WILLER, HENRY A WALKER. 实验设计原理——社会科学理论验证的一种途径[M]. 杜伟宇, 孟琦, 译. 重庆: 重庆大学出版社, 2010: 12-17.
- [28] 钱学森, 于景元, 戴汝为. 一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论[M]//钱学森. 论地理科学. 杭州: 浙江教育出版社, 1994: 94-122.

- [29] 李彬. 实验经济学研究综述[J]. 经济学动态, 2002(9): 77-82.
- [30] 盛昭瀚, 张军, 杜建国, 等. 社会科学计算实验理论与应用[M]. 上海: 上海三联书店, 2009: 87-95.
- [31] 马蔼乃. 地理科学与现代科学技术体系[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 243-260.
- [32] 马蔼乃. 理论地理科学与哲学——复杂性科学理论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007: 88-112.
- [33] 王飞跃. 人工社会、计算实验、平行系统——关于复杂社会经济系统计算研究的讨论[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2004, 1(4): 25-35.
- [34] LI YI, GONG JIANHUA, ZHU JUN, et al. Spatiotemporal Simulation and Risk Analysis of Dam-Break Flooding Based on Cellular Automata [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2013; DOI: 10. 1080/13658816. 2013. 786081.
- [35] 龚建华, 林琿. 面向地理环境主体 GIS 初探[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2006, 31(8): 704-708.
- [36] 苗东升. 复杂性科学研究[M]. 北京: 复杂性科学研究, 2013: 242-257.
- [37] 胡晓峰, 杨镜宇, 司光亚, 等. 战争复杂系统仿真分析与实验[M]. 北京: 国防大学出版社, 2008: 349-390.
- [38] 吕跃广, 方胜良. 作战实验[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 36-64.
- [39] 王军, 彭玲玲. 把战场“搬进”实验室——记中国人民解放军信息工程大学测绘学院教授游雄[N/OL]. 科学中国人, 2012. (2012-02-15) [2013-07-29]. [http://www.scichina.net/news\\_info3.aspx?kind=15&id=983](http://www.scichina.net/news_info3.aspx?kind=15&id=983).
- [40] 胡晓峰, 罗批, 张明智. 社会仿真——信息化战争研究的新领域[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010: 1-20.

责任编辑 安敏

(上接第 352 页)

根据具体应用(如小型化、自动化等需求), 还可以优化定位定向仪结构设计, 或者与其他平台进行一体化集成。

由于 GNSS 快速定位定向仪接收卫星信号, 还可利用卫星导航系统时间基准为各型平台提供时间基准, 而无需再配备时间基准设备。

## 5 结论与展望

本文简要介绍了定向定义、定向基准的基本概念, 总结和比较现有几种主要定向技术及其优缺点。着重阐述了卫星定向技术的优势以及卫星定向技术的发展趋势; 对本单位研制的 GNSS 快速定位定向仪研制的基本情况、基本组成和特点进行了详细介绍。GNSS 快速定位定向技术作为一种定位定向快速、小型化的卫星定向技术具有广阔的军事和民用应用需求。

## 参考文献:

- [1] 洪绍明, 杨永平, 段德磊. 常用定向方法综述及其比较[J]. 勘察科学技术, 2008(1): 52-55.
- [2] 吴美平. 卫星定向技术[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2007: 23-36.
- [3] 严恭敏. 车载自主定位定向系统研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2006: 90-99.
- [4] 张成军, 杨力. GPS 在快速标定阵地方位角中的应用研究[J]. 军事测绘, 2009(1): 36-38.
- [5] 华菊仙. 国外陆军陆地导航系统装备与发展动向(上)[J]. 外军炮兵, 1997(11): 55-57.
- [6] 吕小红, 张铃翔. 飞航导弹发射车自动定位定向技术[J]. 飞航导弹, 1995(5): 55-62.
- [7] 张韶华. 地炮火控系统的现状及发展概况[J]. 火力与指挥控制, 2000, 25(2): 8-14.
- [8] 刘若普. GPS 三维姿态测量技术研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2008: 40-46.
- [9] 逯亮清, 胡德文, 吴美平. 双星定向试验研究[J]. 空间科学学报, 2006, 26(1): 64-69.

责任编辑 陶大欣