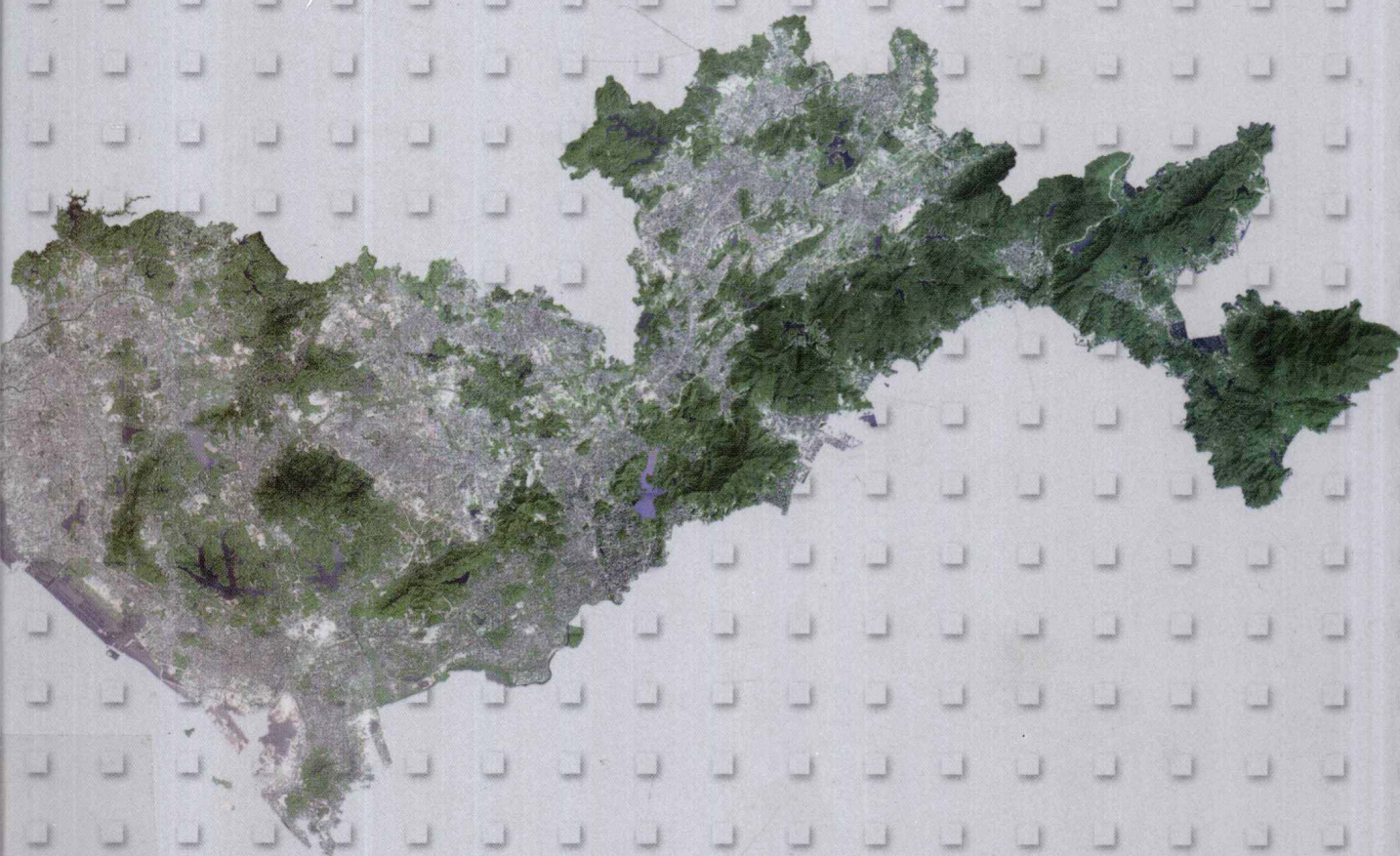


Evolution, Early Warning and Policy
Simulation of Urban Land Use

城市土地利用演化 预警及政策仿真

罗平 李全 著



科学出版社

www.sciencep.com

城市土地利用演化 预警及政策仿真

罗 平 李 全 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书共分三篇。上篇在分析元胞自动机对地理过程模拟机制和局限性实质的基础上,提出并构建了“地理特征元胞自动机”概念模型(GeoFeature-CA),将其应用于城市土地利用演化领域,并以深圳经济特区土地利用为例进行实证研究,预测其未来土地利用时空演化趋势。中篇着重归纳了传统土地利用预警的研究现状和主要理论方法,在此基础上从空间视角提出“土地利用空间预警”的概念、理论体系及技术路线,然后以深圳市为例,从区、街道及图斑三个空间尺度进行了土地利用空间预警的实证研究。下篇着眼于土地利用虚拟政策实验室的建设,在介绍了深圳市房地产虚拟政策实验室后,重点从理论和实证两个层面探讨了采用“系统动力学和元胞自动机集成技术”建设深圳市土地利用虚拟政策实验室的解决方案,对不同政策下城市土地利用的规模、结构和空间形态变化进行预测、预警。

本书可供从事复杂系统理论、土地利用演化、土地利用预警、土地政策研究等领域的科研人员、高校教师和研究生参考,也可为土地管理部门提供决策支持。

图书在版编目(CIP)数据

城市土地利用演化预警及政策仿真/罗平,李全著. —北京:科学出版社,2010
ISBN 978-7-03-028740-3

I. ①城… II. ①罗…②李… III. ①城市-土地利用-地理信息系统-研究
IV. ①P208②F293.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第163627号

责任编辑:赵 峰 朱海燕 / 责任校对:陈玉凤
责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京天时彩色印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年8月第一版 开本:787×1092 1/16
2010年8月第一次印刷 印张:20 1/2
印数:1—2 500 字数:486 000

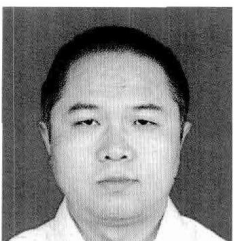
定价:98.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

作者简介



罗 平 男，1974 年生于湖北省荆州市，博士后、副教授，国土资源部“百人计划”培养对象，深圳市后备级高层次专业人才。1996 年、1999 年于兰州大学地理科学系获学士、硕士学位，2004 年于武汉大学资源与环境科学学院获博士学位，2005～2007 年在南京大学城市与资源学系博士后流动站从事土地利用演化研究。现任深圳市国土房产评估发展中心负责人，深圳市房地产研究中心副主任。主要从事土地管理、GIS 技术应用研究。主持“深圳市土地利用总体规划（2006～2020 年）编制”及相关重大问题研究等各级科研项目二十余项，在各类学术刊物和国际会议发表论文三十余篇，代表性的论文有“基于特征的 CA 概念模型及城市土地利用演化研究”、Dynamic simulation of land use change in Shenzhen city based on the Markov-logistic-CA models 等。



李 全 男，1974 年生，博士、副教授。1992 年入读华中师范大学地理系，1996 年获理学学士学位，同年攻读华中师范大学区域经济学硕士，1999 年获经济学硕士学位后进入武汉大学资源与环境科学学院工作，先后被聘任为讲师、副教授、硕士生导师，2001 年在职攻读地图学与地理信息系统博士，2006 年获理学博士学位。近年来主持国家自然科学基金、中央高校基本科研业务费专项资金项目等纵、横向项目十余项，并作为主要成员参加了国家教育部博士基金项目、国家教育部留学归国人员基金项目、国家“863”项目子课题等纵向项目多项。发表论文二十余篇，参编教材两部。近年来主要研究方向为城市与区域发展。

序

值此《城市土地利用演化预警及政策仿真》一书正式出版之际，应作者之邀为之作序，期望这部著作的问世，引起学术界的高度关注，使之有助于推动我国土地科学的深入研究，尤其是城市土地利用演化、预警及政策仿真模拟研究的进一步开展。

正如美国土地经济学创始人伊利（Ely, 1859~1943 年）指出：“成功的土地利用是以对土地特性认识为基础的。”在一切能为人类所利用的自然资源中，土地是最基本且最宝贵的资源，是世代相传和人类不能出让的生存条件和再生产条件。土地是人类生存和发展的不可或缺的物质基础。土地是自然产物，它的产生不受人们的意志为转移，具有数量有限性、沃度差异性、位置空间性、利用可持续性和属性两重性的特点。土地的自然供给数量是固定的和无弹性的。劳动的投入可使具有弹性的土地经济供给得以增加，但由于报酬递减规律的制约，导致土地经济供给显得有限。因此，土地是一种稀缺资源，相对于其他资源而言，土地又是一种供不应求的短缺资源。

自从 20 世纪 80 年代“可持续发展”理念提出以来，世界关注“既满足当代人需要，又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展”，并指出可持续发展是 21 世纪世界各国的共同发展战略。当前人口、资源、环境和发展（PREDD）的全球问题均与土地利用相关联。而我国地少人多的国情和现在所处的经济高速发展和快速城市化阶段，决定了我们的人地矛盾更加突出。在这样的背景下，土地利用研究理所当然地引起政府和学术界强烈的关注。

土地利用研究中，土地利用的时空演化一直是最重要的内容之一。土地利用预警和虚拟政策实验室虽然研究时间不长，但其重要性也不遑多让。与同类研究相比，罗平、李全所著《城市土地利用演化预警及政策仿真》在此项研究的内容框架、方法体系和实证研究方面提供了一个很好的范例，并在土地利用时空演化、土地利用空间预警和虚拟政策实验室等方面进行了开创性的研究。

作者于 2002 年开始潜心投入房地产预警体系研究和房地产政策试验仿真系统研究，2005 年提出了基于扩展元胞自动机技术和系统动力学集成建设城市土地利用虚拟政策实验室的思路，2008 年将空间概念引入城市土地利用预警体系，并着手深圳市土地利用虚拟政策实验室建设，且在编制深圳市土地利用总体规划过程中加以实证研究，理论进一步深化，方法得到应用，取得了实际的研究成果，为该著作的撰写积累了丰富的素材。在著作付梓印刷之际，有幸阅读全书，我认为，这该著作具有以下学术贡献：

1. 提出了基于地理过程分析的 GeoFeature-CA 概念模型，并成功诉诸应用。

从经典地理过程分析概念这一新角度探索了元胞自动机的地理过程模拟机制，分析和论证了元胞自动机地理过程模拟的局限性实质，提出了 GeoFeature-CA 概念模型，以一种更逻辑的方式来描述地理空间、空间相互作用对象和局部演化规则，是 CA 和地理过程分析理论的一种尝试。在此基础上，作者将模型应用于深圳经济特区土地利用演

化实证研究,结果表明,模型具有重要的实用价值。

2. 初步构建了城市土地利用空间预警的理论、方法体系。

在比较系统的归纳传统土地利用预警现有成果的基础上,提出了城市土地利用空间预警的概念,初步构建了包括空间预警定义、内涵、机制、理论基础、技术流程和指标体系等在内的理论与方法体系。从建设用地扩展的空间形态、空间强度、空间影响、空间潜力及空间适宜性等方面开展多尺度建设用地空间预警研究,进行了有益的尝试,研究有助于提高城市空间扩展的质量和城市发展的可持续性。

3. 建立了较完善的城市土地利用虚拟政策实验室。

不仅建立了传统意义上的房地产虚拟政策实验室,还建立了涉及空间概念的城市土地利用虚拟政策实验室。提出了基于 SD-CA 集成的城市土地利用虚拟政策实验室解决方案,开发仿真系统模拟不同政策(土地、金融、货币、市场等)情景下不同土地利用类型的数量、时空布局演变和微观分配,对复杂的多方案下的政策实施效果做了准确的定量分析和直观的仿真模拟,取得了预期效果。

土地利用演化模拟、预警和虚拟政策实验研究是当今世界性重大学术研究课题,该著作中所总结的研究成果提供了初步的新体系、新思路和新方法,但由于土地利用系统本身非常复杂,研究内容涉及多门学科和繁杂的数据,许多内容又属开创性研究,故该课题研究尚有进一步完善和深化的空间。我期待作者未来能在已有基础上进一步深化研究,继续夯实理论基础,完善理论和方法体系,使研究成果的科学性、实用性和可操作性进一步增强。

中国土地学会副理事长兼学术工作委员会主任

王万茂

2010年7月18日于南京钟山

前 言

在当前工业化、城镇化快速发展时期，我国长期形成的深层次结构性矛盾和粗放型经济增长方式，导致城市建设用地高速扩张，耕地被大量蚕食，尤其是在经济发达地区，土地供需矛盾突出，生态安全产生隐患，土地资源紧约束已成为城市发展转型的主要瓶颈。为加强土地利用宏观调控和城市土地管理，科学编制土地利用总体规划和城市总体规划，提升政策制定和辅助决策水平，分析城市土地利用演化趋势，建立城市土地利用预警体系，建设城市土地利用虚拟政策实验室，已成为政府、科研机构和相关领域专家学者重点研究的热门课题。

传统的土地利用演化、预警和政策仿真研究对政府土地管理实践支撑不足，三者之间也缺少系统考虑和整体衔接。当前的城市土地利用演化模型主要集中于模拟城市建设用地扩张和空间形态演化方面，对于城市内部土地利用结构和形态描述不足。传统的土地利用预警主要侧重于耕地、生态安全以及土地利用结构等数量指标的评价，对于各类型的土地利用空间形态和土地利用演化预测的动态评价预警很少涉及。一般的政策可行性评估则以定性描述和简单指标分析判断为主，难以对复杂的多方案下的政策实施效果做准确的定量分析和直观的仿真模拟。随着系统科学、管理科学、空间科学以及地理信息技术、计算机技术、决策支持技术等学科和技术的发展，构建地理特征单元尺度的土地利用演化模型，建立涵盖静态数量指标、空间度量指标和动态预测指标的综合土地利用预警体系，建设具有政策实施仿真能力的计算机系统作为虚拟政策实验室，在技术上已成为可能。本书以土地管理实际工作需求为导向，在剖析元胞自动机地理过程模拟机制的基础上，提出了基于地理特征尺度的城市土地利用演化模型，建立了涵盖静态、动态、数量、空间等指标的土地利用预警体系，建设了系统动力学和元胞自动机技术集成下的土地利用虚拟政策实验室，并进行了大量的政策实验和实证研究。作者试图以政策实验室系统为主要平台，将土地利用演化系统、土地利用预警系统和政策实验系统进行有机集成，为土地管理和研究提供有效的辅助支撑手段。

作者自 2002 年以来开始涉足虚拟政策实验室、土地利用预警和土地利用演化研究。2002 年作为深圳市房地产研究中心的访问学者，作者参加了“深圳市房地产预警体系研究”课题研究，主要承担“深圳市房地产政策实验仿真系统”部分的研究工作，建立了深圳市房地产虚拟政策实验室，开创了国内房地产系统预警和定量实证研究方面的先河。2005 年作为南京大学城市与资源学系的博士后研究人员，作者主持了江苏省的博士后基金“地理实体 CA 和 SD 集成的城市土地利用政策模拟实验”，理论上提出了基于扩展元胞自动机技术和系统动力学集成建设城市土地利用虚拟政策实验室的思路。2008 年，作为“国土资源部百名优秀青年科技人才”，作者主持了国土资源部国际合作与科技司资助的基金项目“城市土地利用预警体系及虚拟政策实验室建设”，开始系统开展城市土地利用预警和政策实验室建设的实践应用和理论总结，本书也是该基金项目

的主要研究成果之一。2009年,作者在深圳市国土房产评估中心建议设立创新课题“深圳市建设用地空间预警研究”和“深圳市土地利用演化模型研究”,并牵头组织与武汉大学李全博士、中国科学院遥感应用研究所黄波博士、李红沓博士等开展协作研究,重点侧重于土地利用演化、预警及政策实验室建设等理论方法在深圳市的实践应用。另外,作为“深圳市土地利用总体规划(2006~2020年)编制”的课题负责人,作者一直积极探索土地利用演化模型、预警方法和政策试验工具在规划编制中的应用,以期提升规划成果质量。

本书共分三篇,基于地理特征CA的城市土地利用演化、城市建设用地空间预警研究及城市土地利用虚拟政策实验室建设。三者之间既相互独立,又从内容上紧密相连,土地利用演化是动态空间预警的基础,虚拟政策实验室提供了土地利用演化和空间预警的运行平台。每篇内容均涉及理论方法和具体实证研究,共分10章论述。上篇包括第一至四章,主要构建了基于地理特征概念和生态机制理论的城市土地利用演化仿真模型(GFCA-Urban)。中篇包括第五至七章,主要构建了涵盖静态、动态、数量和空间指标在内的综合的土地利用预警体系。下篇包括第八至十章,主要介绍基于系统动力学和元胞自动机集成的土地利用虚拟政策实验室建设的解决方案。

本书由罗平博士总体设计,并拟定研究专题与撰写提纲,与李全博士共同审定和终校。具体分工如下:第一至四章、第八章由罗平撰写,第五至七章由李全撰写,第九、十章由罗平、李红沓、李全撰写。南京大学地理与海洋科学学院的曹雪博士参与了后两篇部分内容的研究与撰写工作,此外,参加整理、编辑工作的还有深圳市国土房产评估发展中心的姜仁荣、罗婷文、岳隽博士和庄穆煌先生。

作者在“国土资源部百名优秀青年科技人才计划”培养和本书写作过程中,在土地管理实务领域,得到了深圳市规划和国土资源管理委员会的郭仁宗副主任、冯现学副主任、弓梅处长的悉心指导和大力支持;在政策仿真研究方面,深圳市国土房产评估中心的耿继进主任、王锋副主任提出了建设性建议,并给予热情帮助。中国土地学会副理事长和学术工作委员会主任王万茂教授欣然为本书作序。在此一并致以衷心的感谢和崇高的敬意。

本书的出版得到了“国土资源部百名优秀青年科技人才计划”基金、深圳市规划和国土资源委员会国土基金前期费专项基金的资助,特此致谢。

土地利用演化规律、仿真预警及政策实验研究是土地管理领域理论性、技术性和政策性都很强的研究分支,应用研究尚处于探索阶段,加之作者学识疏浅,经验不足,本书研究的一些方面尚不成熟,一些错误也可能在所难免,仅冀能够“抛砖引玉”,一切责任作者自负。特别需要强调的是,由于分类、时效性、数据处理以及研究方法本身等方面的原因,本书所涉及数据、模型运行结果和政策实验分析仅侧重于支撑理论、方法和技术本身的探讨,纯属学术研究范畴。

罗 平

2010年夏

目 录

序 前言

上篇 基于地理特征 CA 的城市土地利用演化

第一章 CA 的地理过程模拟机制及局限性	3
第一节 地理过程分析的基础	3
第二节 元胞自动机的地理过程表达机制	12
第三节 元胞自动机地理过程模拟的局限性	18
第二章 地理特征元胞自动机概念模型	25
第一节 元胞自动机模型拓展的传统思路	25
第二节 基于地理特征的 CA 模型构造规则扩展	27
第三节 地理特征元胞自动机应用模型流程	36
第三章 城市土地利用动态演化仿真模型	38
第一节 城市土地利用演化 CA 模型的发展	38
第二节 城市土地利用演化的动力机制与 CA 模型描述	40
第三节 城市土地利用演化 CA 模型的特征概念表达	47
第四节 GFCA-Urban 模型软件系统	51
第四章 深圳经济特区土地利用演化实证研究	57
第一节 土地利用演化特征	57
第二节 土地利用演化的动力机制分析	59
第三节 图形数据处理与主要参数	68
第四节 模型运行、评价与结果分析	75

中篇 城市建设用地空间预警研究

第五章 传统土地利用预警	87
第一节 预警理论概述	87
第二节 传统土地利用预警研究现状	91
第三节 传统土地利用预警典型方法	98
第六章 建设用地空间预警理论方法	109
第一节 建设用地空间预警概述	109
第二节 建设用地空间预警研究综述	111
第三节 建设用地空间预警方法研究	116

第七章 深圳市建设用地空间预警实证研究	128
第一节 预警技术路线及数据预处理.....	128
第二节 深圳市区尺度建设用地空间预警.....	134
第三节 深圳市街道尺度建设用地空间预警.....	140
第四节 深圳市图斑尺度建设用地空间预警.....	149
第五节 小结.....	167

下篇 城市土地利用虚拟政策实验室建设

第八章 房地产虚拟政策实验室建设实践	171
第一节 房地产系统仿真模型.....	171
第二节 模型运行与评价.....	186
第三节 政策实验分析.....	190
第四节 政策试验结论与建议.....	199
第九章 城市土地利用虚拟政策实验室建设	202
第一节 城市土地利用虚拟政策实验室解决方案.....	202
第二节 土地利用虚拟政策仿真系统设计.....	211
第三节 土地利用虚拟政策仿真系统模块研发.....	218
第十章 深圳市土地利用虚拟政策实验实证研究	236
第一节 深圳市土地利用数据预处理.....	236
第二节 深圳市土地利用系统动力学模型.....	269
第三节 深圳市土地利用演化计算及分析.....	278
第四节 基于 SD-CA 集成系统的深圳市不同土地政策实施结果模拟	284
参考文献	308

上篇 基于地理特征 CA 的城市 土地利用演化

城市土地利用演化受自然、社会、经济、文化、政治和法律等多种因素的共同作用，其演化过程具有高度的复杂性，静态、宏观和确定的传统城市模型正受到前所未有的挑战。越来越多的研究表明，以元胞自动机（cellular automata, CA）为代表的离散化的“自下而上”的微观个体模型代表了当前城市土地利用动态演化模型的最新发展方向。

本篇共分四章，主要从理论上对 CA 模型进行扩展，从实践层面对扩展模型进行验证，以寻求更科学有效的城市土地利用动态演化模型。其中，第一章介绍元胞自动机地理过程模拟机制的实质和局限性，第二章介绍基于地理特征的元胞自动机概念模型（GeoFeature-CA），第三章介绍城市土地利用演化仿真模型（GFCA-Urban），第四章介绍深圳经济特区土地利用演化的时空模拟、预测和模型有效性评价。

第一章 CA 的地理过程模拟机制及局限性

时间和空间是地理系统的基本载体，只有同时把时间和空间两大范畴纳入某种统一的基础之中，才能合理解析系统内部各要素之间的相互作用和制约的本质特征，探索空间效应对系统结构和功能的影响，综合带有普遍意义的空间机制或规律（牛文元，1992）。元胞自动机非常适用于具有复杂时空特征的地理系统的研究，地理学家从 20 世纪 70 年代起就意识到了元胞自动机模拟复杂地理现象的优势，至 90 年代中后期，其在地理学上的应用得到空前发展，成为地理研究和空间分析的热点课题。但从元胞自动机研究的起源来看，其理论上的研究源于冯·诺依曼和乌拉姆，实践上的研究始于生命游戏，一大批数学、物理、生物和计算机领域的专家对其发展做出了卓越的贡献。由此可见，元胞自动机模型虽具有典型的时空特征，其模型构造的目的却不是单独针对地理系统的时空特征研究，其空间概念具有更广泛的外延和应用范围。作为元胞自动机方法的一种特殊研究对象，地理系统探讨元胞自动机对地理系统的表达机制，尤其是对于地理空间概念、空间相互作用机制、地理流、空间关系等地理过程分析的基本概念的描述方式，对于元胞自动机和地理系统研究均具有重要的理论意义。本章将首先探讨经典地理过程分析的基本理论和概念，再结合元胞自动机的模型构造规则，分析元胞自动机模型对经典地理过程分析概念内涵的表达程度，从而得出元胞自动机的地理过程模拟机制，最后阐述元胞自动机地理过程模拟的局限性和扩展的必要性。

第一节 地理过程分析的基础

元胞自动机作为一种研究方法或工具，其对地理系统研究的最大贡献并不在于地理现象描述和规律解释，而在于地理过程模拟和预测（陈述彭，1999）。经典地理学关于地理系统过程模拟涉及四个基本概念：地理空间、地理梯度、地理流和空间关系。其中，地理空间是识别和分析地理系统的基本概念和单元，是地理系统的描述基础。地理梯度是地理空间的非均质属性表达，是地理系统过程演化的内在动力。地理流是具有地理梯度的地理空间单元之间的相互作用形式，是地理过程演化的内外综合作用的外在表现形式（牛文元，1992）。空间关系是地理实体之间的联系，其变化是地理过程演化的重要内容。因此，地理空间、地理梯度、地理流和空间关系四个基本概念互相联系，构成了经典地理学研究地理空间过程的基础。元胞自动机作为一种全新的空间过程模拟工具，其与经典的地理过程分析方法存在什么样的关系，是本章的一个重要研究内容。本节主要阐述地理空间、地理梯度、地理流和空间关系四个经典地理空间过程分析的基本概念。

一、地理空间

任何具体的空间概念都源于哲学上对空间的定义,哲学上存在三种关于空间的说:绝对空间、相对空间和主观空间。绝对空间观点认为空间本身是客观存在的,不受事物存在与否的决定;相对空间观点认为空间是事物的属性之一,其依赖于事物的存在而存在;主观空间观点认为空间不是客观存在的,是主观存在的。根据陈常松等(2003)的研究,地理学接受了绝对空间和相对空间两种哲学上的空间概念思想,通过进一步处理和描述,形成了地理意义上的具有地理定位的几何空间和地理空间两种层次上的空间概念体系。

几何学是描述空间的基本工具,它不仅提供了点、线、面等最基本的空间图形概念,而且其分支解析几何可以把图形变成数与数之间关系来处理,从而可以通过表达图形之间的关系来描述空间关系,并且可以对图形的距离、大小等进行有效度量,另外,其分支拓扑学在描述图形的相对空间位置关系方面也独具优势。因此,基于几何学定义的空间是最普遍意义上的空间概念,可以利用坐标系统和以这一坐标系统为参考系统的图形概念来定义空间,称之为几何空间。几何空间具有离散性和连续性特征,点空间是离散性空间,线以点为界,面以线为界,连续性空间是均质空间。

如果参考系统是大地参考系统,那么几何空间就变成了具有地理定位特性的几何空间。地理定位的几何空间是描述地理空间的基础和工具,譬如现有市场上 GIS 软件环境所提供的空间概念都是具有地理定位的几何空间,除了大地参考系统特征外,它具有几何空间的所有属性。大卫·哈维(1996)指出:“地理学的主要活动之一是利用某种坐标系来代替这类专有名词,并因而通过某种便利的空间图解方法能概括地表明关系”。他称这种图解为形式空间语言,包括拓扑学、投影几何学和投影变换、欧氏几何学、明可夫斯基几何学等。他认为,具有地理定位的几何空间是绝对空间,形式空间语言能对其进行有效地描述。

Michael F. Goodchild 在牛顿点集空间和基于地理定位的几何空间概念的基础上进一步定义了地理空间,用一元组表达:

$$T=(x, y, z_1, z_2, \dots, z_n)$$

式中: (x, y) 为以点集表达的具有地理定位的几何空间, $\{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ 为地理变量集合。地理变量的内涵包括两个部分:一是地理组成或地理事物;二是地理组成之间的相互作用与相互制约关系。通俗地讲,地理学上的空间主要是指地球表面的三维空间,各种地理变量的相互作用和相互制约形成地理过程,长时间的地理过程形成空间结构。地理空间概念尽管是从基于地理定位的几何空间概念出发进行定义的,但是它与纯粹的几何空间概念之间具有质的区别。譬如,以空间概念中的一个重要概念——位置为例,地理空间概念中的位置不但包括几何空间所描述的位置概念的含义,如以经纬度所表达的位置关系,而且还包括自然地理位置、政治地理位置、经济地理位置等,这些位置概念强调了地理事物之间的相互作用关系。

地理空间的本质是长时期的地理过程作用的结果,地理系统研究的是人类赖以生

存、生活以及影响所及的整个自然环境和社会经济环境，地理系统组成物质的复杂性和地理过程的复杂性导致了其所形成的地理空间的复杂性（陆大道，1999）。因此，地理空间的描述与表达比较复杂。这里根据空间概念的哲学起源，将地理空间的描述分成两种概念模式：基于空间对象的描述方式和

基于属性概念的描述方式（图 1-1）。基于空间对象的描述方式实质是一种基于绝对空间概念思想的描述方式，其基本内涵包括：①地理空间是客观存在的，不依赖于空间上的事物和关系；②空间对象基于几何方式区分，其身份由其几何位置标识；③空间对象上的地理组成及其相互关系作为空间对象的属性，依赖于空间对象而存在。譬如，土地利用遥感影像数据，每个

栅格单元就是一个空间对象，其身份由行列号标识，栅格所代表的土地利用类型、利用强度等都是栅格对象的属性。基于属性概念的描述方式实质是一种基于相对空间思想的描述方式，其基本内涵包括：①地理空间是客观存在的，但依赖于空间上的事物和关系而存在；②地理空间基于事物的属性区分，其身份由属性标识，根据属性确定几何空间位置。譬如基于分类学的空间概念体系就是典型代表。

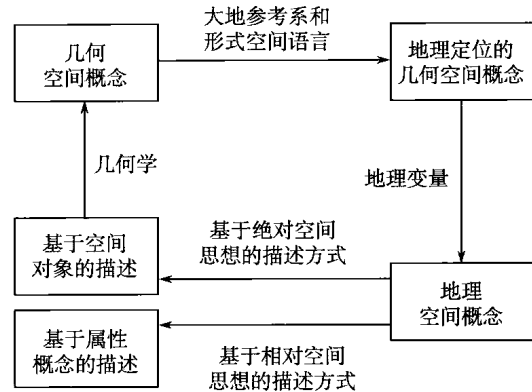


图 1-1 地理空间概念实质描述图

二、地理梯度

推动地理过程产生和变化的根本原因，在于地理面内部、地理面与环境之间的物质和能量交换。地理面内外环境所输入的物质和能量，经地理面这个系统的反馈、存储和交换（或映象）后，呈现出相应的地理现象。这种物质与能量交换的特性，决定着地理系统的性质和地理过程的强度与方向，规定了各种地理要素的存在条件与存在方式，制约着各地理要素间的动态联系与空间分布，反映了地理基本规律的内在实质（牛文元，1992）。因此，探索制约物质与能量交换的机制，研究地理系统赖以存在的基础，具有重要的理论意义。经典地理学认为，地理梯度分析是认识地理过程动力的有效工具。

梯度是一种广义的非均衡，它的存在成为产生一切运动和一切过程的基础。所谓地理梯度，是指在地理空间中（包括自然、经济和社会三大范畴）引起能量、物质运动或地理过程进行的存在不均一。这种存在上的差别，就是产生交换流通的根本原因，也是制约与过程相伴随的速率、强度和方向的基础。对于一个地理系统而言，它之所以能持续不断地运转，表现出如此复杂多样的行为，其根本动力就在于存在地理梯度以及地理梯度的作用。地理梯度存在多种表现形式，其中重力学梯度和热力学梯度是经典地理梯度研究的两种主要基本形式。

1. 重力学梯度

重力学梯度在地表物质的迁移、转移和循环中起相当重要的作用，牛顿定律对于引

力的表述,是讨论重力学梯度的基础。该定律描述了 m_1 到 m_2 两个质点间的相互作用力,正比于两者质量的乘积,反比于两者质量中心之间距离的平方,即

$$F = -\lambda \frac{m_1 m_2}{r^2} R_1 \quad (1-1)$$

式中:负号说明力总是吸引的; r 为 m_1 与 m_2 之间的距离; λ 为万有引力常数; R_1 为从 m_1 指向 m_2 的单位向量。根据牛顿定律,地球表面上任何物质的加速度均可计算,它是衡量地理面中物质迁移的重要度量,其值取决于质点在地理面中的位置。

重力学梯度的存在,对于地球表面形态的塑造,固体物质的循环,水的蒸发、降落、径流之间的转换以及由此而引起的水平衡问题,对于地球物质分异、内力变化和构造运动的影响,以及地理面中自然改造的主要内容(譬如土地平整、梯田种植、水土保持等),均具有决定性意义,是名副其实的地理系统中物质迁移的根本原因。由此而引出的其他一些运动形式,如密度差、压力和浓度等差异形成的梯度,都可以程度不同地直接或间接地反映出重力势这种地理梯度的基础作用,即使在人文地理领域中,生产设施、矿藏开采、货物运输、道路建造等也都要考虑重力势梯度这个背景因素。

2. 热力学梯度

由于能量分布的不均衡或地表物质特性的差异,对于能量的吸收、反射、透过、存储、发射等会造成能量分布上的不同,这些不均衡和差异会进一步引起能量在多维方向上的流动和交换,从而引发地理过程的产生和变化。这种由于能量分布不均匀而导致的差异,一般归结为热力学梯度的范畴,通常可以根据热力学定律,去判断由梯度引起的过程方向和过程强度。

一个系统的变化可由该系统的熵变反映,而系统熵变的最好度量是通过温度的变化实现的。在这个意义上,我们认识到热力学梯度更加广泛的含义。

$$\Delta S = C_p \ln(T_2/T_1) \quad (1-2)$$

上式表达了一个系统从温度 T_1 加热到 T_2 时,熵的变化为 ΔS ,其中 C_p 为常数。

为理解和说明地理学中热力学梯度的概念,地理学中引入了经典物理学中熵的概念,称为地理熵。其内涵可以从三个方面理解:①地理熵是衡量地理系统混乱程度的概念,地理熵值低对应地理系统有序,地理熵值高对应地理系统无序。②地理熵值是动态变化的。在不加入外界能量干扰的条件下,经典熵值的变化具有方向和不可逆性,其总是自发地沿着熵值增大的方向发展(即向着无序和混乱的状况发展)。而地理熵的自动演进过程,与经典熵稍有不同,一个地理系统的熵值水平,总是与该系统的自组织能力相适应,在未抵达其自组织能力之前,熵值常会有一个短暂地、自发地向着某个水平靠近的过程,即在达到与其自组织能力相匹配的水平时具有一种企图维持此水平的倾向。③地理系统通过不断地与外部环境交换物质与能量,即从外部不断输入负熵流,则有可能从远离平衡态下的无序转变成各种意义上的有序。

热力学梯度模型是一种应用十分广泛的地理梯度模型,它是针对地理空间内能量存在或能量分布的差异(即不均衡)而设计的。热力学梯度的存在,引起了能量的传输和

物质的流动,其结果造成了系统行为的变迁。例如,一个森林火灾现象的模型,从热力学梯度的分析入手,应用地理梯度的概念,对森林的火灾行为实行模拟和预测,从而定量地认识火灾的蔓延速率和移动方向。Rothemel (1972) 的研究卓有成效,其基本出发点是:在两个相邻接的空间单元中,表现出大致相同的森林密度、燃烧物质密度以及燃烧物组合,这样在无火灾发生时,可以认为它们两者之间是均衡的和无梯度存在的,而系统的行为也处于一种均衡的条件下。一旦其中的一个单元因为能量的收入突然增加并引致火灾时,热力学梯度在这两个单元之间随即出现,它是与能量分布的不均衡性相伴产生的。按照质能守恒规则,正在燃烧的一个地理单元,产生了一个确定的反应强度,在其进行反应中所产生的热量,肯定会有一部分沿着已经产生的地理梯度向邻近的另一单元输送,以便自发地求得地理梯度差异的减轻以至消除。最终的结果是提高了后一个单元内燃烧物质的温度,一直到其温度可升高到可燃物的点火温度时,这第二个地理单元也被点燃。它依次向外传递,如此递推,森林火灾行为将沿着地理梯度的主方向不断蔓延,其方向和强度都取决于地理梯度的性质。由此可见,地理系统中过程的演变、能量和物质传输都离不开地理梯度这个基础条件。

3. 地理梯度应用

由重力学梯度和热力学梯度的概念分析可见,地理梯度概念不仅为地理过程演进提供了动力理论依据,而且为地理过程演进的方向提供了明确的路径。只要地理系统中满足如下条件,地理梯度就会存在并发生作用:①地理空间非均质;②地理系统内部物质或能量传输渠道通畅。根据前面地理空间概念的描述,地理空间是几何空间与地理变量的复合体,连续的几何空间是均质空间,但地理变量是非均质的,因此地理空间理论上总有地理梯度存在。由于地理变量的复杂性,因此对于地理梯度的理解,并不限于重力学梯度和热力学梯度,其余的如化学势梯度、生物势梯度及人文地理学中的经济发展梯度、人口吸引、城市吸引、需求梯度、社会梯度等都是地理梯度的表现形式。旅游地理的核心就建立在地理梯度理论上,对其吸引力、吸引范围以及旅游价值的时间长度等,地理梯度均起着根本的制约作用。由此可见,物质、能量、信息在地理空间中的非均衡分布,导致了地理梯度的存在和作用,从而引起物质流、能量流和信息流的产生与运行,最终体现出地理过程演进或地理现象的动态演化。因此,地理梯度在地理过程分析中具有极大的应用价值。

三、地 理 流

1. 地理流概念的理解及其作用

地理空间的非均质性,形成了地理梯度,地理系统演化的动力也随之产生。地理系统所包含的各个要素和属性之间,或它们与系统的环境之间,在地理梯度的作用下,不断地进行着物质、能量和信息的交换,其中贯穿其间的交换形式,就是地理流。通过地理流,地理系统才能够形成一个动态的、系列的、层次的、实行自我调节和反馈的相对独立体系。系统的结构与功能分析是综合认识地理系统外部特征和内在本质的必由之