

地理计算智能与城市动态变化 及开发强度模拟

Geography Computational Intelligence and Land Use Dynamic Change & Development Intensity
Simulation in a Rapidly Urbanizing Region

刘明皓 王耀兴 李东鸿 夏保宝 陶媛 著



科学出版社

重庆邮电大学出版基金资助出版

地理计算智能与城市动态变化 及开发强度模拟

刘明皓 王耀兴 李东鸿 夏保宝 陶 媛 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

城市扩张及其依托城市的相关人类活动是全球变化的主要驱动力量。城市的动态变化是全球土地覆被变化的重要组成部分。城市用地变化及其模拟是智慧城市建设的重要内容。近年来,智能计算技术被不断引入地理计算中,用于解决复杂地理问题,并被成功地应用于遥感分类、土地覆被变化模拟、景观生态评价、城市动态模拟等方面。本书以城市用地变化和开发强度模拟为主线,介绍传统的用地转换规则提取方法,更关注人工智能方法在城市用地转换规则提取及开发强度评估与预测方面的应用,内容包括城市用地动态变化检测与分析、城乡居民点空间分布模式及规律、城市用地动态模拟、城市土地开发强度空间分布及驱动因子分析、城市土地开发强度预测模型构建与模拟五大方面。本书所涉及的各种方法与模型均有真实案例和数据。

本书可作为地理信息系统、智能信息处理、城市规划、景观生态、地质等相关领域的科研人员、工程技术人员和研究生、高年级本科生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

地理计算智能与城市动态变化及开发强度模拟/刘明皓等著. —北京:科学出版社, 2014
http://lib.ahu.edu.cn

ISBN 978-7-03-041650-6

I. ①地… II. ①刘… III. ①地理信息系统-应用-城市建设-研究
IV. ①TU984

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 191777 号

责任编辑:余 丁 吴春花 / 责任校对:胡小洁
责任印制:肖 兴 / 封面设计:蓝 正

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

新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 10 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2014 年 10 月第一次印刷 印张:12 1/2

字数:237 000

定价:65.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

地理计算（geocomputation）是指用计算机解决复杂空间问题的艺术和科学，它的发展与计量地理学的发展一脉相承，也是地理信息技术、计算机科学与智能计算技术有效结合催生的结果。地理计算力图吸收新的计算机科学成果，如高性能计算，模式识别、分类、预测与模型技术，知识挖掘，可视化等一系列计算方法和工具，并尝试将对地理问题的研究拖回到计量革命时代的地理分析和模拟的轨道上来，它关注的是如何丰富地理学的方法论工具箱，以便模拟一系列的高度复杂、往往具有不确定性的问题。地理计算包括地理信息处理与管理、地理数据挖掘、地理过程建模以及支持这些处理与分析的软件工程和计算体系研究，如地理信息系统、地理决策支持系统和空间网格体系等。

近年来，智能计算技术中的神经网络模型、模糊逻辑模型、遗传算法模型、元胞自动机模型以及分形分析等不断被引入地理计算，用于解决地理方面的问题，并被成功地应用于遥感分类、土地覆被变化模拟、景观生态评价、城市动态模拟等方面。

本书以城市用地变化和开发强度模拟为主线，介绍传统的用地转换规则提取方法，更关注人工智能方法在城市用地转换规则提取及开发强度评估与预测方面的应用，内容包括城市用地动态变化检测与分析、城乡居民点空间分布模式及规律、城市用地动态模拟、城市土地开发强度空间分布及驱动因子分析、城市土地开发强度预测模型构建与模拟五大方面。

第1章：绪论，主要介绍城市动态模拟驱动因子及其特性，模拟的基本过程、国内外研究进展以及城市开发强度的研究现状及趋势。

第2章：城市用地动态变化检测与分析，主要介绍城市用地动态变化检测技术与分析方法。在对城市用地动态变化检测的基础上，提出从总动态度、地类活跃度 and 用地转入转出波动度三个层面描述土地利用变化的方向和数量关系，揭示土地利用动态变化规律。

第3章：城乡居民点空间分布模式及其规律，主要借助GIS的点模式分析技术和面模式分析技术探讨城乡建设用地的空间分布规律。

第4~8章分别从不同的角度介绍城市用地动态模拟的基本原理和方法。

第4章：基于 DYNA-CLUE 模型的城市动态模拟，引入 DYNA-CLUE 模型模拟城市动态变化过程。主要针对山地城市区位条件的特殊性，在检测不同区位因子的选择对模拟效果影响的基础上，通过区位因子的合理选择来改善模拟效果，同时依据城市发展情景，检测不同土地利用模式下未来城市变化的空间格局和环境效应。

第5章：基于指数平滑的 DYNA-CLUE 模型改进，建立不同时期城市土地利用转换概率与驱动因子之间的定量关系，探讨时间因素在土地系统动态变化中所起的作用，同时引入指数平滑方法对 DYNA-CLUE 模型进行改进，以提高模型模拟的精度。

第6章：基于人工神经网络的城市用地动态模拟，引入 BPNN-CA 模型对城市用地动态变化进行模拟研究。

第7章：基于深度学习方法的的城市用地动态变化模拟，引入深度学习方法提取城市用地转换规则，并对城市用地动态变化进行模拟。

第8章：城市用地动态变化的整合模型构建与模拟研究，采用“自下而上”和“自上而下”相结合的方法，通过耦合 GIS 技术与地理元胞自动机 Geo-CA 模型，构建一个需求导向的城市用地动态变化整合模型，并对城市用地动态实施模拟。

第9章：城市土地开发强度空间分布及影响因子分析，探讨城市土地开发强度的空间分布特征，检测和评估城市土地开发强度及驱动因子的内在关系。

第10章：城市开发强度宏观控制模型构建与预测，探讨采用数据驱动形成模型结构，引入人工神经网络 ANN 的数据自适应方法分析和预测城市开发强度的空间变化。

第11章：基于 PSO 的城市土地开发强度预测，探讨基于粒子群方法的城市土地开发强度预测模型的构建。

第4~8章和第10~11章试图采用数据驱动形成模型结构，引入人工智能的方法构建城市动态和开发强度模型。

随着空间数据获取的瓶颈被打破，借助海量数据，将人工智能方法与 GIS 结合用于复杂和不确定性问题的研究大有所为，当然目前比较成熟的人工智能方法还有决策树、粗糙集、模拟逻辑、支持向量机等方法，有待今后进一步研究。

地理智能计算还很年轻，还有很长的路要走，特别是将这些方法和领域知识有效结合，拓展应用显得十分必要，也十分重要。本书是作者近年来教学科研成果的总结。在研究过程中得到了许多老师、朋友、同仁的帮助，在此表示衷心感

谢。本书在出版整理过程中不仅得到了研究生安广文、杨蒙、田降生、尚尉等的协助，还得到了重庆邮电大学出版基金的资助，在此一并表示感谢。由于作者水平有限，书中难免存在疏漏之处，敬请读者不吝指教。

作 者

2014年7月

目 录

前言

1 绪论	1
1.1 城市动态模拟发展概要.....	1
1.2 城市用地动态变化的驱动因子及其特性.....	5
1.3 城市用地动态模拟基本过程.....	6
1.3.1 情景假设.....	6
1.3.2 数据处理.....	6
1.3.3 模拟预测.....	6
1.3.4 结果验证.....	7
1.4 国内外城市模拟研究动态.....	8
1.4.1 国内外城市模拟研究现状.....	8
1.4.2 研究趋势.....	13
1.5 人工智能在城市土地利用动态模拟中的应用.....	15
1.5.1 转换规则的提取方法.....	15
1.5.2 人工智能的规则提取方法.....	16
1.6 城市土地开发强度研究现状及趋势.....	20
1.7 研究区概况.....	21
1.8 本书结构.....	23
1.8.1 城市用地变化动态检测与分析.....	23
1.8.2 城乡建设用地分布模式研究.....	24
1.8.3 城市用地动态模拟.....	24
1.8.4 城市开发强度宏观控制模型构建与预测.....	24
2 城市用地动态变化检测与分析	31
2.1 城市用地动态变化检测研究发展概述.....	31
2.2 数据来源与研究方法.....	32

2.2.1	数据来源	32
2.2.2	研究方法	33
2.3	城市用地动态变化的结果分析	36
2.3.1	总动态度分析	37
2.3.2	地类活跃度分析	38
2.3.3	用途转换波动度分析	41
2.4	小结	44
3	城乡居民点空间分布模式及其规律	46
3.1	居民点空间分布模式研究概述	46
3.2	居民点空间分布模式研究方法	47
3.2.1	基本原理	47
3.2.2	数据来源与数据处理	48
3.3	基于景观指数的农村居民点统计特征	49
3.3.1	分布破碎, 平均规模小	49
3.3.2	农村居民点分布密度大	50
3.4	农村居民点空间分布模式	50
3.4.1	样方分析	50
3.4.2	最邻近指数分析	54
3.4.3	Voronoi 多边形分析	56
3.4.4	核密度分析	58
3.5	农村居民点等级分布规律	58
3.6	农村居民点空间分布的相关性分析	61
3.6.1	回归分析	61
3.6.2	影响农村居民点空间分布的因素	61
3.6.3	农村居民点空间分布的相关性分析	63
3.7	城镇用地空间分布	64
3.7.1	城镇用地空间分布模式	64
3.7.2	城镇用地等级分布规律	65
3.8	小结	66
4	基于 DYNA-CLUE 模型的城市动态模拟	68
4.1	城市动态模拟概述	68

4.2	城市动态模拟的数据处理与技术方案	69
4.2.1	城市动态模拟的数据来源与数据处理	69
4.2.2	土地利用变化动态模拟技术流程	71
4.3	基于 DYNA-CLUE 模型的城市动态模拟过程	71
4.3.1	未来土地利用需求预测	71
4.3.2	设定空间限制	74
4.3.3	特定土地利用类型转换设置	74
4.3.4	土地适宜性参数获取	76
4.3.5	其他相关参数的设置	76
4.4	分析结果	76
4.4.1	回归结果分析	76
4.4.2	模型检验	79
4.4.3	模拟结果分析	81
4.5	小结	84
5	基于指数平滑的 DYNA-CLUE 模型改进	87
5.1	关于 DYNA-CLUE 模型的研究进展	87
5.2	DYNA-CLUE 模型改进方案	88
5.2.1	实验的数据来源及预处理	88
5.2.2	DYNA-CLUE 模型改进的技术流程	89
5.2.3	模拟方法	90
5.3	结果分析	92
5.3.1	Logistic 回归结果分析	92
5.3.2	指数平滑与模拟结果分析 (参数验证)	94
5.3.3	未来用地格局模拟	96
5.4	小结	99
6	基于人工神经网络的城市用地动态模拟	101
6.1	前言	101
6.2	模型原理	102
6.2.1	数据处理模块	103
6.2.2	人工神经网络模块	104
6.2.3	CA 模块	105

6.3	南岸区土地利用演化模拟	105
6.3.1	研究区域概况	105
6.3.2	数据处理与空间变量	106
6.3.3	神经网络的结构	106
6.3.4	神经网络训练	108
6.3.5	神经网络训练结果分析	108
6.3.6	用地动态变化的模拟	110
6.4	小结	111
7	基于深度学习方法的的城市用地动态变化模拟	113
7.1	深度学习概述	113
7.2	深度置信网	114
7.2.1	受限玻尔兹曼机	116
7.2.2	Gibbs 抽样	118
7.2.3	对比散度学习算法	118
7.2.4	深度置信网训练	119
7.3	土地利用转换规则挖掘	119
7.3.1	输入与输出定义	119
7.3.2	基于 DBN 的转换规则挖掘	121
7.3.3	规则生成	123
7.4	模拟实施及结果分析	124
7.4.1	精度评价方法	125
7.4.2	实验设计	125
7.4.3	模型验证	126
8	城市用地动态变化的整合模型构建与模拟研究	131
8.1	整体模型研究概述	131
8.2	模型整合与模块设计	132
8.2.1	建模思想	132
8.2.2	模块构建	133
8.3	实证研究	136
8.3.1	研究区域	136
8.3.2	数据来源与数据预处理	136

8.3.3	神经网络训练	137
8.3.4	模型验证与相关参数设置	137
8.3.5	不同模型方案对比分析——模型检验	140
8.3.6	对城乡建设用地空间格局的未来模拟与预测——模型预测	140
8.4	小结	142
9	城市土地开发强度空间分布及影响因子分析	146
9.1	城市土地开发强度概述	146
9.2	数据来源与方法	147
9.2.1	研究区域	147
9.2.2	数据来源	147
9.2.3	研究方法	148
9.3	主要步骤	148
9.3.1	土地开发强度分区	148
9.3.2	土地开发强度影响因子选择	150
9.3.3	土地开发强度相关性分析	150
9.3.4	邻域丰度分析	151
9.4	结果分析	152
9.4.1	回归分析结果	152
9.4.2	邻域丰度分析结果	155
9.5	小结	156
10	城市开发强度宏观控制模型构建与预测——ANN 模型构建	158
10.1	开发强度控制模型研究概述	158
10.2	研究方法与数据来源	158
10.2.1	研究方法	158
10.2.2	数据来源与数据处理	160
10.2.3	数据仿真	168
10.3	结果分析	170
10.3.1	不同方案对比	170
10.3.2	全局仿真结果	174
10.3.3	不含邻域因子与邻域因子全局模拟结果对比	175
10.4	小结	175

11 基于 PSO 的城市土地开发强度预测模型构建	178
11.1 基于 PSO 的城市土地开发强度预测概述	178
11.2 方法和数据来源	178
11.2.1 PSO 基本原理	178
11.2.2 数据来源	180
11.2.3 数据处理过程	181
11.3 结果分析	182
11.3.1 局部模拟结果验证（渝中区）	183
11.3.2 全部模拟（重庆主城 9 区）	185
11.4 小结	186

1.1 城市动态模拟发展概要

土地系统模拟旨在回答土地系统结构在何时(when),何地(where),为何(why)以及发生怎样(how)的变化和转换,并导致何种(which)突出的环境效应^[1]。城市系统是土地系统的一个重要组成部分,同时又是一个自然、社会和经济复合的非线性空间动力学系统,具有开放性、非线性、综合性、随机性、层次性、动态性和不确定性等复杂性特征。理解城市景观及其城市增长过程的复杂性有助于确保人为干预的城市规划带来人类社会的繁荣和环境的可持续发展。模型,尤其是建立在明确空间定位基础上的、综合集成的多尺度动态模型,是理解和认识区域土地利用/覆被变化的某些关键过程并进行定量描述,从而对未来的土地利用变化格局和影响进行研究评价的重要工具。

20世纪60年代,地理学家和城市规划专家认识到早先的关于城市空间结构和城市动力学的理论与方法并不能重现和模拟城市的动态演化过程,于是兴起了城市动态模型研究,期望用城市动态模型来模拟城市的动态变化过程。

自20世纪70年代开始,计算机作为一种工具逐步被引入、应用到城市系统的计算与模拟研究中。第一代以计算机为基础的城市模型由于主要针对特定城市而受到批评^[2],同时也因为其特殊的研究目的及黑箱模拟方法导致了早期城市模型的失败。伴随着1965年美国匹兹堡城市复兴计划的失败,城市动态模型研究也随之陷入低谷^[3]。

20世纪80年代中期,美国圣塔菲学派提出了复杂科学理论^[4]。这个理论,一方面从哲学的高度改变着地理学者在地理研究中的思想观念;另一方面,从技术方法层面更为地理学的研究提供了有力的探索工具。空间复杂系统研究的基本思

路是应用复杂系统的理论方法, 结合地理学的本质规律, 采用适当的研究方法, 建立空间复杂系统的科学模型^[5]。自此, 城市动态模型的研究开始复苏^[6]。

当今发展迅速的城市, 其时间、空间演化的力度与强度远远超过了地理学家与城市学家在理论与实际两大领域对其认识与研究的能力, 因此, 对城市模拟与模型研究提出了新的要求与挑战。20世纪90年代以来, 地理信息系统(GIS)空间分析研究的新方法论——“地学计算”的理论与方法, 应用于城市演化过程及驱动机制的模型表达与模拟, 并取得了迅速发展; 新一代高分辨率空间资料的获取, GIS技术对资料的有效管理与操作处理, 可为复杂自适应与自组织的城市系统的时空动态演化研究提供数据基础^[7]。为此, 一些研究复杂系统理论的方法, 如系统动力学、神经网络、模糊集和模糊推理、分形理论、智能体理论、遗传算法等被引入地理世界认知的研究过程中^[8]。

21世纪前10年, 城市动态模拟和模型研究得到长足的发展。从研究方法上看, 学科分支和科学研究传统使得土地利用动态研究方法明显不同。社会科学的研究者在微观水平上的个体行为方面有长期的研究传统; 自然科学工作者包括地理学者以及生态学者多关注宏观尺度的土地覆盖和土地利用变化, 通过遥感和GIS阐释空间问题以及使用社会组织的宏观特性来确定与宏观尺度模式相关联的社会因素^[9]。从内容上看, 国内外有关城市动态模拟研究主要是从模拟原理与方法的探讨、模型改进、模型整合及参数校验、模型模拟的环境效应评估等方面进行了研究。据此可知, “城市动态模拟”研究从20世纪60年代以来一直是国际地理科学研究的重大科学问题。

近年来, 我国学者高度重视“城市动态模拟”研究, 同时, 国家重大基础研究计划(973项目)先后将城市化进程中的生态环境、交通、社会安全相关科学问题以及复杂系统、灾变形成及其预测控制作为重点研究方向(“十一五”期间)。目前, 中国正处在高速城市化阶段, 城市化过程中引起的诸如交通拥挤、环境污染、开放空间减少、老城区和城市中心区的衰退等一系列问题越来越成为社会关注的焦点。为了解决城市发展中的各种社会和环境问题, 众多学者提出了不同的理论。相关的理论包括圈层结构理论、城市形态理论、城市功能结构理论、景观生态理论、城市发展过程理论、田园城市理论、“精明增长”(smart growth)和共生城市理论, 这些理论为城市规划和城市的可持续发展提供了理论基础。然而, 目前城市动态模拟往往缺乏对人文因素的思考和城市动态变化机理的探究^[10]。

当然, 地理分析和模拟一直是计量地理学的传统。计量地理学萌芽于20世纪20年代。早期以一般统计方法的应用为主。60年代前, 计算完全依靠人工, 且只能对少数要素进行统计, 故这时期的计量地理学被称为“统计地理学”(地统计)。

以哈格特 (Haggett) 和乔利 (Chorley) 作为标志, 60 年代末和 70 年代初兴起了一场地理学的计量革命。60 年代末至 70 年代中期, 多元统计方法和随机过程引进地理学研究领域。计算机成为一个被广泛使用的地理工具, 使一系列以前难以解决的问题得到了分析。地理学家开始寻找更多的数据和建立更复杂的模型。70 年代末和 80 年初, 数据处理技术、数据库和信息系统技术等相继引入计量地理学。但这一时期的 GIS, 由于它提供的数据模型和分析方法太过简单, 以至在地理观念和理解上无法满足人们的需求。在定量革命中产生的很多迫切需要解决的地理分析问题在这些系统中都无法得到解决。鉴于此, 许多定量地理学者转而研究 GIS, 也相继获得了一些基金的资助。经过一段时间的发展, 空间分析与模拟方法得到改善, 空间数据来源变得日益丰富, 空间数据质量也得到显著改善。这一期间, 建立复杂应用和模拟的要求并未减退, 相反, 为应对气候变化、解决不断增长的人口问题和为推销员等提供精确的市场分析的需要, 使它变得更为迫切。1970~1980 年是计量地理学发展非常重要的时期。这一时期围绕地理现象的空间本质或地理数据的空间性质, 建立起了地学的空间分析方法或体系。全局空间自相关统计量 Moran'SI 和 Gearcy'C, 描述局部相关性的测度方法局部空间关联指数 (local indicators of spatial association, LISA) 等相继提出。

进入 20 世纪 90 年代, 随着计算机的普及和对地观测技术等的发展, 空间数据获取不再成为分析地理问题的瓶颈。特别是随着 GIS 技术的发展, 空间问题的探讨受到前所未有的关注。GIS 和遥感技术为复杂空间问题的解决提供了丰富的数据来源, 新的处理空间问题的分析模型和方法不断提出, 为复杂空间问题的分析提供了技术方法论基础。由于分析过程受到日益增长的大量空间数据的驱动, 从数据出发的探索性空间分析技术、可视化技术、空间数据挖掘技术、基于人工智能的空间分析技术等分析方法受到重视。这些技术为解决具有不确定性的大规模复杂空间问题提供了基础。由于大数据革命促进了众多领域的空前发展, 高性能计算机的出现为复杂问题的计算提供了工具, 特别是神经网络、遗传算法等新的可应用的实用智能计算工具的出现, 使得用计算机解决复杂空间问题成为可能。

1996 年由利兹大学地理学院主办的第一次“地理计算”国际会议, 开启了地理分析和建模研究的新的里程碑。从此“地理计算”国际会议成为了一项年度活动, 每年在世界不同的国家举行, 截至 2014 年 8 月, 已经成功举办了 12 届。以第一次“地理计算”国际会议为标志, 一门融合了计算机科学、地理学、地球信息科学 (geomatics)、信息科学、数学和统计学理论与方法的地理计算学开始形成并逐渐发展起来, 数量地理学进入全新的计算地理学 (geocomputational geography) 时代。

地理计算也是地理信息发展到一定阶段的必然结果。GIS 的发展分为空间信息

的管理、分析、模拟和调控四个阶段，这四个阶段分别活跃于 20 世纪 60~80 年代，90 年代初、90 年代中期和 2000 年以后。尤其是进入空间信息调控时期以后，GIS 更多地演化为模拟、预测、仿真，甚至实现跨国界、跨语言的人-机交互系统。尽管要实现使 GIS 成为随时、随地为任何人和任何事情服务的空间信息载体与信息传输工具的愿景还有一段差距，但随着海量数据库、云计算平台、地理环境的可视化再现与地理过程的模拟与仿真等的建设需求扩大，GIS 将在智慧地球、国家、地区的大系统集成与工程建设中继续发挥其不可替代的空间信息处理的核心作用。

近年来，将空间信息技术和智能计算机技术研究方法结合起来解决复杂地理问题的研究成为国内外研究热点。2010 年 10 月美国国家科学基金(National Science Foundation, NSF) 立项了赛博地理信息系统 (CyberGIS) 项目，2011 年 4 月我国“地球系统模拟器”科学研究工程启动。高性能地理空间计算 (high-performance geospatial computing)，地理计算智能 (geocomputational intelligence) 为城市系统模拟提供了新的思路与方法。地理计算利用一系列方法丰富地理模拟和分析大量高度复杂的、非确定性的问题，它被认为是一系列有效的程序或算法（如神经网络、模糊逻辑、遗传算法等）应用到地理问题时必然产生的结果。地理计算和智能挖掘结合产生了地理计算智能。在这个过程中，GIS 为之创建数据库；人工智能 (artificial intelligence, AI) 技术和智能计算技术 (computational intelligence, CI) 为之提供计算原理和计算工具；高性能计算服务系统为之提供动力。

随着数字城市、智慧城市理念的出现，智慧服务、智慧治理、智慧生活成为现代城市建设的主要目标，以大数据为支撑，以云计算为技术手段，将会大大推动城市模拟朝更智慧的方向发展。

城市扩展及其依托城市的相关活动是 21 世纪全球变化的主要驱动力量，它们强烈地影响着土地、气候、水资源等自然资源的发展变化。城市的动态变化是全球土地覆被变化的重要组成部分，它已经超出了地方尺度和区域尺度，开始被认为是洲际和全球尺度的问题。城市动态模拟将成为全球模拟的一部分，并为全球变化做出应有的贡献。

“城市动态模拟”研究方兴未艾，并逐步从宏观、微观模拟发展到两者相结合；从自然、社会分支学科独立研究的“一枝独秀”到相互融合研究发展；从简单模拟到系统综合模拟发展；从单机计算到地理计算智能及高性能地理空间计算发展，并取得了一系列成果，这些成果及其孕育的新成果或理论，将为智慧服务、智慧治理、智慧生活提供新的技术支撑。

1.2 城市用地动态变化的驱动因子及其特性

模型是对现实世界及其复杂系统的简化表达。对城市土地利用变化进行模拟，首先需要捕捉影响城市动态变化的主要因素，然后根据城市动态变化的内在机理建立城市用地变化与影响因素之间的关系模型（图 1.1）。

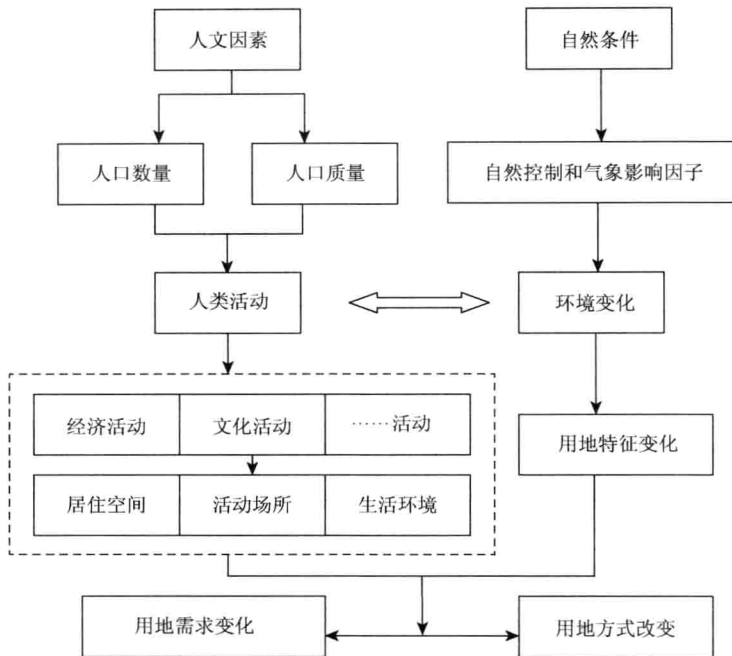


图 1.1 城市用地变化驱动机理结构图

影响城市土地利用动态变化的因素具有综合性、尺度相关性、时间上的动态性等特征。从综合性来看，土地利用及其变化受到自然、社会、经济等诸多因素的综合影响，且不同因素对土地利用变化的作用方式与强度各有不同。尺度相关性是指可塑性面积单元问题（**modifiable areal unit problem, MAUP**），即城市土地利用动态变化数据的分析结果随空间单元尺度大小的不同而不同^[11]。土地利用的特征、土地利用变化的过程，以及各种影响土地利用变化的因素及其作用方式等均具有一种与规模尺度紧密相关联的特点，在不同的规模层次上具有不同的表现形式。时间上的动态性是指影响城市土地利用动态变化的因素随着时间的变化而