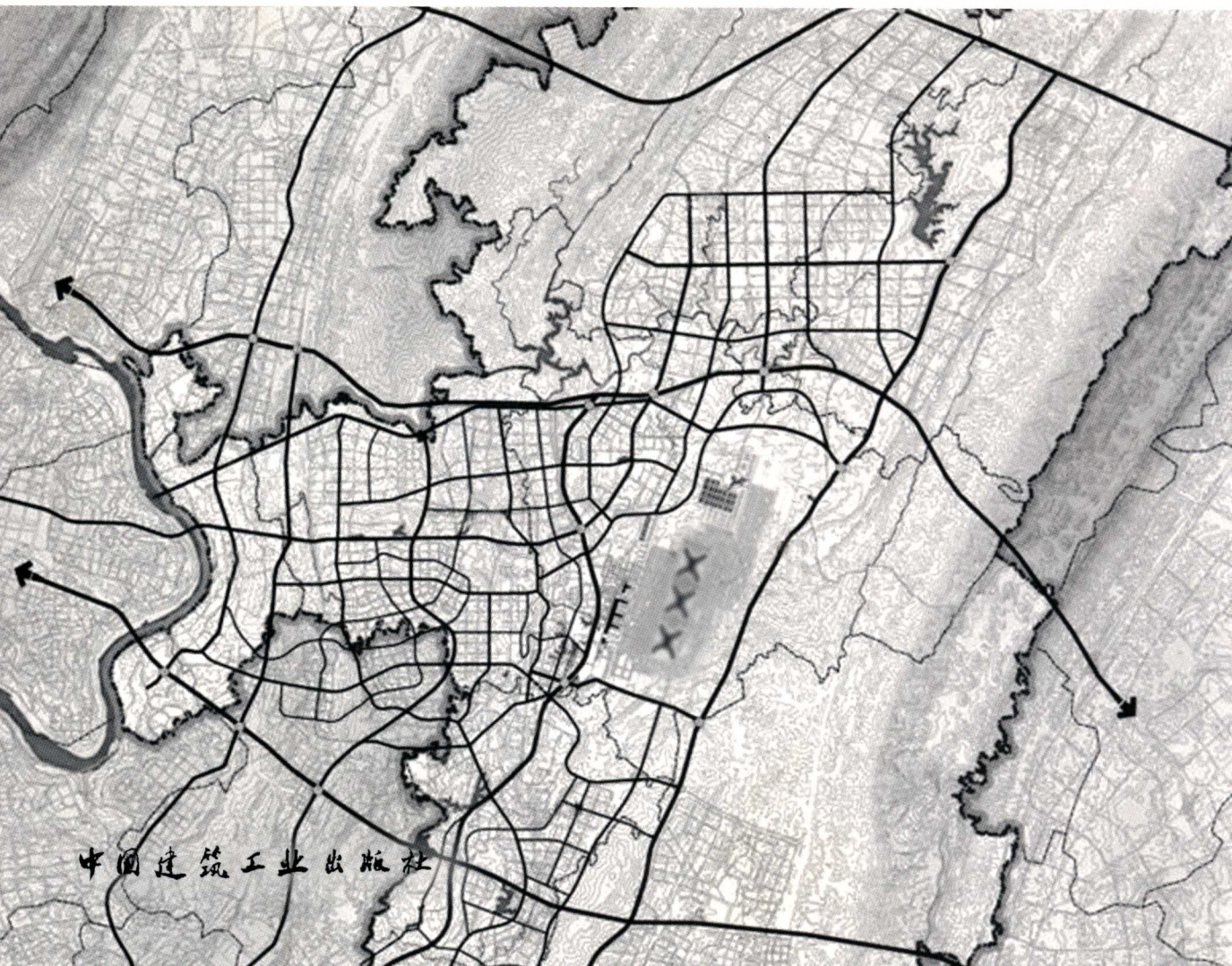


国家科技支撑计划基于3S和4D的城市规划设计集成技术研究丛书

城乡规划编制中的 空间分析与辅助决策方法

The Application of Spatial Analysis and
Decision Support in Urban Planning

李晓江 金晓春 石亚男 翟 健 等著



中国建筑工业出版社

国家科技支撑计划基于 3S 和 4D 的城市规划设计集成技术研究丛书

城乡规划编制中的空间 分析与辅助决策方法

李晓江 金晓春 石亚男 翟 健 等著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

城乡规划编制中的空间分析与辅助决策方法/李晓江等著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2013. 4

国家科技支撑计划基于 3S 和 4D 的城市规划设计集成技术研究丛书
ISBN 978-7-112-15380-0

I. ①城… II. ①李… III. ①城乡规划—研究 IV. ①TU984

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 080398 号

责任编辑: 焦 扬 陆新之

责任设计: 赵明霞

责任校对: 陈晶晶 关 健

参与本书撰写的其他人员: 王家卓 罗 静 尧传华 郭 磊

国家科技支撑计划基于 3S 和 4D 的城市规划设计集成技术研究丛书

城乡规划编制中的空间分析与辅助决策方法

李晓江 金晓春 石亚男 翟 健 等著

*
中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)
各地新华书店、建筑书店经销
北京永铮有限责任公司制版
北京中科印刷有限公司印刷

*
开本: 850×1168 毫米 1/16 印张: 8½ 字数: 210 千字
2016 年 2 月第一版 2016 年 2 月第一次印刷
定价: 56.00 元

ISBN 978-7-112-15380-0
(23479)

版权所有 翻印必究
如有印装质量问题, 可寄本社退换
(邮政编码 100037)

前 言

城市规划是研究城市的未来发展、城市的合理布局 and 综合安排城市各项工程建设的综合部署,是一定时期内城市发展的蓝图,是城市管理的重要组成部分,是城市建设和管理的依据。随着我国经济、社会和人口的发展,城镇化进程不断加快,城市建设达到空前规模,生态文明建设、生态系统健康可持续发展也对城市规划提出了更高的要求。同时,信息化浪潮给城市规划带来巨大冲击,传统的规划编制手段已经不能满足城市发展的要求,因此,城市规划编制必须寻求新的技术手段,以提高城市规划编制的科学性和可操作性。

城市是一个复杂巨系统,作为区域发展的核心,是区域人文和自然过程共同作用下的产物,纷繁复杂的各种空间数据和属性数据构成城市的空间关系。面对如此海量且不断快速更新的数据,传统的城市规划设计由于缺乏大规模、快速、准确的空间分析工具,无法对所获取的数据进行科学有效的定量分析。而定性分析中长期使用的经验分析法也因数据分析中感性因素的过多介入而带来太多主观随意性,规划数据分析的落后成为制约规划学科发展的技术瓶颈,直接导致城市运行机制研究不足,对城市未来发展方向预测失据。

城市规划编制的核心在于科学、合理地进行城市物质空间的规划决策,而强大的空间分析功能正是以地理信息系统技术(GIS)为代表的空间信息技术的主要特征,二者在“空间”上具有相互借鉴和吸收的契合点。目前,空间分析技术已经在城市规划及相关行业中得到了广泛应用。通过不断研究和实践,积累了大量空间分析模型与技术方法,这些模型与技术方法的运用,大大提高了城市规划空间问题分析和解决的能力,推动了定性分析向定量分析的转化,提升了分析结果的科学性和规划编制的工作效率。

伴随GIS技术、三维仿真与虚拟现实技术、网络技术及其他相关计算机技术的发展,国内外出现了大量规划决策支持系统,并在城市规划行业得到应用。借助规划决策支持系统,不仅能够进行空间分析,还可以实现海量空间数据的管理、项目协同、规划成果展示和规划公众参与等功能。

本书研究内容与成果基于国家“十一五”科技支撑计划项目“区域规划与城市土地节约利用关键技术”中的第八课题:基于3S和4D的城市规划设计集成技术研究(2006BAJ14B08)。该课题在继承和发展已有研究与应用成果的基础上,结合城市规划设计的需要,从“3S导向的城市规划设计空间数据基础设施标准”、“基于3S和4D的城镇体系规划技术”、“基于3S和4D的城市总体规划技术”、“基于3S的城市设计和详细规划(控制性和修建性)技术”以及“基于3S、虚拟现实与三维仿真技术的城市规划设计集成平台”等多个方面深入开展集成技术研究。为进一步促进城市规划设计和决策的科学化作出贡献,同

时为“数字城市”建设提供有力支撑。

本书内容分为三个部分：第一部分介绍空间分析和辅助决策的基础理论和技术方法，包括空间分析的概念与研究进展，空间分析与辅助决策的技术内容，以及城市规划空间分析模型；第二部分以案例形式介绍空间分析与辅助决策技术在城市规划编制中的实际应用；第三部分对课题完成的城市规划决策支持系统进行介绍，包括系统的功能和特点等，并对目前国际上城市规划领域应用的几个规划支持系统进行介绍。

本书旨在介绍如何将空间分析及辅助决策技术与城市规划编制工作结合：让空间信息技术应用相关领域的从业人员及学生了解信息技术在规划编制工作中的应用背景、规划项目对空间技术的具体需求，以及规划成果对分析结论的运用；让城市规划编制人员了解空间分析技术的基础理论和技术方法，了解空间分析技术能够解决的问题，提升空间分析技术和辅助决策技术在城乡规划编制中的应用空间。

致 谢

本书以案例方式说明了空间分析与辅助决策技术在城市规划编制中的应用。书中案例均为中国城市规划设计研究院负责的规划项目。在项目实践过程中得到了项目组的大力支持，并在本书编写过程中给予鼎力相助，特表示深深的谢意。这些项目包括：

重庆渝北空港地区总体规划；

石家庄城市空间发展规划；

大兴安岭地区旅游城镇体系规划；

大理民族文化生态保护实验区总体规划；

新疆城镇体系规划；

北川羌族自治县消防规划。

另外，由于本书截稿日期先于部分项目的完成时间，因此，案例中的分析过程和分析结果只为说明空间信息技术的应用方法，不代表规划最终成果。

目 录

第1部分 理论方法与空间分析模型

1 空间分析理论基础	3
1.1 空间分析的概念与研究进展	3
1.2 空间数据	4
2 城市规划空间分析模型	8
2.1 空间分析方法	8
2.2 空间分析模型与空间分析建模	11
2.3 模型选取	12
2.4 主要空间分析模型介绍	14

第2部分 应用实例

3 重庆渝北空港地区总体规划应用实践	31
3.1 项目背景介绍	31
3.2 规划范围	31
3.3 对GIS辅助分析的任务要求	32
3.4 用地适宜性评价	33
3.5 划定建设用地范围	39
3.6 其他方面的应用	42
4 石家庄城市空间发展规划应用实践	46
4.1 项目背景介绍	46
4.2 规划范围	46
4.3 对空间分析的任务要求	47
4.4 城镇间时间距离分析	47
4.5 区域社会经济基础分析	49
4.6 中心城区空间结构分析	52
4.7 利用空间句法进行新区区位分析	53

5 大兴安岭地区旅游城镇体系规划 56

5.1 项目背景介绍 56

5.2 规划范围 56

5.3 对空间分析的任务要求 57

5.4 数据建库建设与基础环境分析 58

5.5 火灾空间分布特征分析 59

5.6 生态敏感性与生态建设适宜性评价 60

5.7 经济联系强度分析 62

5.8 机场可达性分析 67

5.9 在加格达奇旅游城镇体系规划中的应用 68

6 大理白族文化生态保护实验区总体规划应用实践 73

6.1 项目背景介绍 73

6.2 规划范围 73

6.3 对空间分析的任务要求 73

6.4 民族与非物质文化的空间分布特征分析 74

6.5 保护区空间划定 76

6.6 生态敏感性评价 79

7 新疆城镇体系规划应用实践 83

7.1 项目背景介绍 83

7.2 规划范围 85

7.3 对空间分析的任务要求 85

7.4 区域联系特征分析 86

7.5 现状社会经济水平分析 90

7.6 城镇发展条件综合评价模型 92

7.7 绿洲生态特征分析 93

8 北川消防羌族自治县消防规划 98

8.1 项目背景介绍 98

8.2 规划区基本情况 98

8.3 对空间分析的任务要求 99

8.4 消防站布局原则与方法 100

8.5 分析要素设置 101

8.6 北川新县城消防站服务能力评估 103

8.7 北川新县城消防站布局优化 105

第3部分 城市规划辅助决策支持系统

9 基于3S与4D技术的城市规划设计集成平台	111
9.1 系统设计	113
9.2 系统功能	114
9.3 系统特点	115
10 其他规划辅助系统介绍	120
10.1 WHAT IF?	120
10.2 INDEX	122
10.3 Community Viz	123
参考文献	125

第1部分 理论方法与空间分析模型

1 空间分析理论基础

1.1 空间分析的概念与研究进展

1.1.1 空间分析的概念

空间分析也称空间数据分析 Spatial Data Analysis (SDA)，是基于地理对象空间布局的地理数据分析技术，它与传统统计分析的根本差异是其分析结果依赖于事件的空间分布。通过空间分析可以发现隐藏在空间数据之后的重要信息或一般规律，因此，空间分析也可以看作是一个空间知识发现和挖掘的过程。

空间分析有两种表现形式：空间数据的分析和数据的空间分析。前者是着重空间物体和现象的非空间特征分析，如城市经济发展类型的聚类分析，它并不将空间位置作为限制因素加以考虑，从这个意义上说，它与一般的统计分析并无本质区别，但对数据的分析依托于空间位置进行，对空间数据分析结果常用地图的形式加以表达和解释。后者直接从空间物体的空间位置、联系等方面去研究空间事物，对空间事物作出定量的描述和分析，它需要复杂的数学工具，如计算方法、数理统计方法、图论、分形、拓扑学等，主要任务是空间构成的描述和分析（朱长青，2006）。

1.1.2 空间分析的功能

空间分析的功能可以分为以下4个层次：①认知，对空间数据进行有效获取和科学的组织描述，利用空间数据来再现事物本身。例如由行政单元的人口统计数据绘制人口数量分布图。②解释，理解并解释空间数据的背景过程，认识事件的本质规律，如利用交通网络的布局和人口分布状况解释城市商务中心的形成与发展，基于降雨的时空分布特征以及流域特征分析洪灾的发生等。③预报，在获取空间事物或现象发展的大量历史和现状信息的基础上，通过对这些现象的解释，提取事物或现象的发展规律，并基于这些发展规律对未来发展趋势进行预测，是空间分析的又一重要任务。如基于空间插值分析的暴雨预报、城市扩张规模和形态预测、人口迁移与流动预测等。④宏观决策和调控，这是空间分析的高级阶段，它是通过对空间事物和现象的描述、解释、发展规律分析，掌握其发展演变的规律；通过空间预测功能，把握未来发展趋势，为空间决策提供依据和指导；通过对空间规划实施过程的监测与实时评价，为空间调控决策提供基础和技术支撑。如土地利用规划辅助决策与规划的实施调控、区域城市化发展水平的规划决策与调控等。

1.1.3 空间分析的研究进展

空间分析技术主要源于两大传统基础学科：地理学和地图学，呈现两条发展轨迹（刘耀

林等, 2009)。地图学者对空间分析的研究主要侧重于空间图形分析和空间数据分析的理论和
技术方法上(郭仁忠, 2001)。从魏晋时期地图学家裴秀提出制图六体, 到16世纪荷兰地图
学大师墨卡托研究设计出的适于航海和航空导航的正轴等角圆柱投影(墨卡托投影), 发展
到今天的地学设计理论、地图信息论、地图传输理论、地图数据模型以及当代地理信息系
统理论和技术, 取得了大量的研究成果。

纵观空间分析发展过程, 大体经历了: 19世纪中期以前传统地图学理论与技术发展
期——19世纪中后期空间分析不自觉运用期——20世纪90年代以前空间分析理论与技术形
成期——20世纪末至今空间分析快速发展期等四个发展阶段, 形成了空间聚类、空间关联、
小波、分形分维、不确定空间分析等分析技术, 并在国家空间信息基础设施建设、数字地球、
数字区域、土地资源规划与管理、城市规划等不同领域得到了广泛的应用(刘耀林, 2011)。

地理学研究者对空间分析的研究则主要是对空间数据的统计分析和模型分析, 侧重于对
空间过程的建模和机理分析上。在20世纪70、80年代以前, 地理学者对空间分析的研究主
要是侧重于单一类型的空间现象和空间过程进行分析和建模。到20世纪70、80年代后, 地
理学者们开始对空间分析的理论和体系进行了初步的探讨, 为现代空间分析理论体系的
形成提供了雏形。自20世纪90年代后, 空间分析的主要理论开始逐步成熟, 形成了统计回
归、空间统计、空间机理动力学、复杂系统等建模方法, 专用的空间分析技术平台软件如
SpaceStat, S-Plus等相继推出。

近年来, 在应用需求和学科交叉融合发展的双重驱动下, 传统的空间图形分析、空间数
据分析和空间模型三种基本的空间分析类型相互交叉融合, 形成了探测性空间数据分析、空
间数据挖掘与知识发现、空间决策支持系统等综合分析技术, 共同服务于认识和把握地球和
社会的空间运动规律, 实现空间现象的描述、地理过程的模拟、预测和辅助调控决策(M. F.
Goodchild, 2007; A. Peaz &, 2010; M. M Fischer, 2010)。

1.2 空间数据

1.2.1 空间数据模型与空间数据分析

作为空间分析的研究对象, 空间数据是描述地理空间一定范围内空间实体及相互关系的
数据。城市规划编制包含大量空间数据, 如何有效认识、分析、使用空间数据是规划编制过
程中进行分析与决策的重要问题。

在空间数据中不可再分的最小单元被称为空间实体, 如一条断裂、一个湖泊、一个高程
点等。在城市规划中, 由于尺度不同, 实体所代表的具体地物差别很大。在城镇体系规划中,
一个县城、乡镇都可以表示为一个实体; 而在详细规划和城市设计中, 一栋建筑甚至一个立
面均可抽象为实体。

空间数据是空间分析的基础, 空间分析模型的建立取决于空间数据的特征和表示形式。

1) 空间数据分类

空间实体具有三个基本特征（朱长青，2006）：属性特征、空间特征和时间特征。根据这些基本特征，空间数据可以分为以下三类。

属性数据：描述空间实体属性特征的数据，例如类型、等级、名称、状态等，其中也包括描述空间特征的数据；

几何数据：描述空间实体空间特征的数据，也称位置数据、定位数据，例如点的坐标。

关系数据：描述空间实体之间关系的数据，例如空间实体的邻接、关联、包含等。

2) 空间数据模型

空间数据的表示模型主有两种：栅格数据模型和矢量数据模型。空间分析模型与数据模型密切相关，只有根据不同的数据模型，采取合适的建模方法，才能得到好的空间分析模型。

(1) 栅格数据模型

在栅格数据模型中，地理空间作为一个整体被划分为规则的格网，空间位置由格网的行、列表示。格网的大小反应数据的分辨率。栅格数据网络主要有三角形格网、正方形格网和六边形格网等，最常用的是正方形格网，其坐标记录和计算都十分方便。栅格数据模型的缺点在于一个栅格只能赋予一个特定的值，因而难以表示不同要素占据相同位置的情况，不利于多要素内容的表达。

(2) 矢量数据模型

在矢量数据模型中，地理空间作为一个空域，地理要素根据其空间形态特征分为点、线、面等。点用一个坐标对表示，线由一串坐标对表示，面是由线组成的闭合多边形。矢量数据模型是面向实体的表示方式，形式直观，分析方便，信息冗余量小。但矢量数据模型结构较为复杂，在进行复杂空间模型构建时相对困难。

图 1-1 为两种用不同数据模型表达的同一地区的地形数据，左图为栅格数据，栅格大小为 $2m \times 2m$ ，每个栅格的值为该位置上的高程；右图为矢量数据，以点、线的方式表达地形数据，包括高程点、等高线、建筑、公路等图层。

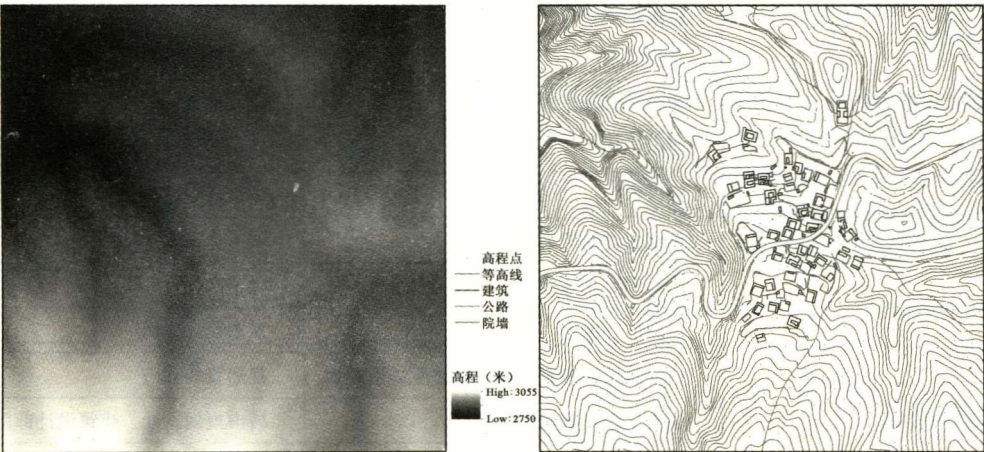


图 1-1 空间数据模型示例（彩色插图见本书 108 页）

3) 空间数据分析涉及空间数据的各个方面

(1) 空间数据处理

空间数据处理的概念常出现在地理信息系统中，通常指的是空间分析。就涉及的内容而言，空间数据处理更偏重于空间位置及其关系的分析和管理。

(2) 空间数据分析

空间数据分析是描述性和探索性的，通过对大量的复杂数据的处理来实现。在各种空间分析中，空间数据分析是重要的组成部分。空间数据分析更偏重于具有空间信息的属性数据的分析。

(3) 空间统计分析

使用统计方法解释空间数据，分析数据在统计上是否是“典型”的，或“期望”的。与统计学类似，空间统计分析与空间数据分析的内容往往是交叉的。

(4) 空间模型

空间模型涉及模型构建和空间预测。在人文地理中，模型用来预测不同地方的人流和物流，以便进行区位的优化。在自然地理学中，模型可能是模拟自然过程的空间分异及其随时间的变化过程。空间数据分析和空间统计分析是建立空间模型的基础。

1.2.2 城市规划编制中的空间数据内容与尺度

城市规划空间数据基本上可以分为城市基础数据、城市现状调查统计数据、规划编制成果数据以及城市规划管理数据四方面的内容（表1-1），有着典型的空間数据多源异构特征。

城市规划设计空间数据内容		表 1-1
数据 类 型	数据内容（举例）	数 据 来 源
城市基础数据	基础地形	城市测绘部门
	遥感影像	城市测绘部门
城市现状调查数据	公共服务及市政公用设施	调查汇总
城市规划及相关编制成果数据	总体规划	城市规划设计部门
	分区规划	城市规划设计部门
	控制性详细规划	城市规划设计部门
	土地利用总体规划	国土部门
城市规划管理数据	道路红线城市	规划设计部门
	选址及用地控制线城市修建性详细规划	规划管理部门
	建筑工程方案建筑设计部门	城市规划设计、建筑设计部门
	市政交通工程方案	建筑设计、市政工程设计部门
	竣工验收数据	城市测绘部门

尺度是一个使用非常广泛的术语，它体现了人们对空间事物、空间现象认知的深度与广度，是认知地理对象、地理空间和地理现象的基础（郭志达，2007）。尺度是所有空间数据的共同特征，空间数据的多尺度处理与表达是符合人类推理习惯的一种更自然的空间认知和空间分析方法，多尺度、多类型、多时态的空间数据已成为人类研究和解决各类重大问题所必需的重要信息资源。

我国现行的城市规划编制体系由城镇体系规划、城市总体规划以及城市设计与详细规划等不同层次的规划组成，通常分成战略性发展规划和实施性发展规划两个层面。战略性发展规划为城市各分区和各系统的实施性规划提供指导框架，但不足以成为开发控制；实施性发展规划则以战略性发展规划为依据，是开发控制的法定依据。就每个特定城市而言，也存在着不同层次的城市规划。一般包括总体规划、分区规划、控制性详细规划和修建性详细规划。不同层次的城市规划编制成果，其空间数据的主导比例尺并不一致；在不同的规划阶段有着不同的规划需求，对空间尺度的要求也不相同，有着典型的空间数据多尺度特征。表 1-2 为不同层次城市规划的编制要求。根据城市规划的要求，在城市规划的编制过程中，从战略性的总体规划到实施性的控制性规划，其成果的编制是从总体到局部再到细部的过程，随着规划编制成果的逐步细化，所使用的地图比例尺在逐级放大，数据的产生也经历了从小比例尺到大比例尺的逐级放大过程。

不同层次城市规划的编制要求 表 1-2

层次	总体规划	分区规划	控制性详细规划	修建性详细规划
主要任务	综合研究和确定城市性质、规模和空间发展形态，统筹安排城市各项建设用地，合理配置城市各项基础设施，处理好远期发展与近期建设的关系，指导城市建设和合理发展	在总体规划的基础上，对城市土地利用、人口发布和公共设施、城市基础设施的配置做出进一步的安排，为详细规划和规划管理提供依据	以总体规划（分区）为依据，详细规定建设用地的各项指标和其他规划管理要求，指导修建性详细规划的编制	对于当前要进行建设的地区编制，用以指导各项建筑和工程设施的设计和施工
规划深度	以城市用地分类与规划建设用地标准中的大类为主，中类为辅	以城市用地分类与规划建设用地标准中的中类为主，小类为辅；具有控制性指标	针对由很多个小地块组成的开发区域进行，其成果包括规划文本和规划图纸，分图则中的控制指标分为规定性和指导性两种	针对建设项目进行，其成果包括规划说明书和规划图纸，含有一系列的主要技术经济指标
空间数据比例尺	1/5000 ~ 1/10000	1/5000	1/1000 ~ 1/2000	1/500 ~ 1/2000

2 城市规划空间分析模型

2.1 空间分析方法

空间分析方法是建立空间分析模型的基础。不同的空间分析方法，可以解决规划编制中不同类型的空间问题。下面列举部分常用的空间分析方法，并阐述其与规划内容的对应关系。这些分析方法可以各自形成独立的空间分析模型，也可以通过加入其他数学模型、物理模型或程序模型共同形成空间分析模型，还可以由多个空间分析方法共同组织形成空间分析模型。

2.1.1 邻域计算方法

邻域计算方法是针对栅格数据，按照特定规则对窗体内（通常为 3×3 个栅格单元）的栅格数据进行计算或统计，再通过窗体的移动完成对整个栅格图层的计算或统计。从活动窗体的独立性角度，邻域计算方法可以分为两类：第一类是活动窗体相对独立，最终结果呈现的也是局部特征的简单集合；第二类是活动窗体中的计算内容是连续累积的，最终结果呈现的是整个栅格图层的整体格局。

基础地形分析就是第一类邻域计算的典型应用。坡度、坡向、曲率等地形指标都是通过针对邻域的数学计算得出的；通过邻域分析，还可以获得高程等地形指标的极值、均值、差值以及各种统计描述值（邻域范围，即窗体大小，可由用户设置）。基础地形分析只是第一类邻域计算的应用之一，根据用户需求，设置不同的分析指标和计算规则，还可以解决其他的规划空间问题，比如人口、房价的区域分布特征等。

流域划分是第二类邻域计算的典型应用。流域划分是在基础地形数据（DEM）的基础上进行的，通过邻域分析以及窗体的移动和计算的累积来实现洼地处理、流向分析、流量累积、河网提取，并最终划定流域范围。流域划分可以为区域内的生态环境分析、景观格局构建提供支撑。

成本—距离分析也是第二类邻域计算的一种延伸形式，与流域划分等应用形式不同，成本—距离分析加入了“源”的概念。栅格或矢量的数据（点或线或面）均可成为“源”，以“源”为起始位置，由此开始通过窗体对成本层进行计算，并通过窗体向外围的移动进行成本层数据的累积。在规划中最典型的应用就是可达性分析及生态阻力面分析。

2.1.2 叠置分析方法

叠置的概念可以体现在空间数据处理阶段，也可体现在空间数据分析阶段。在空间数据处理阶段，叠置体现的是一种拓扑关系：针对矢量数据的叠置（Overlay）包括针对两个或多个矢量图层进行交集、并集、空间关联、赋值等计算处理；针对栅格数据的处理则表现为裁