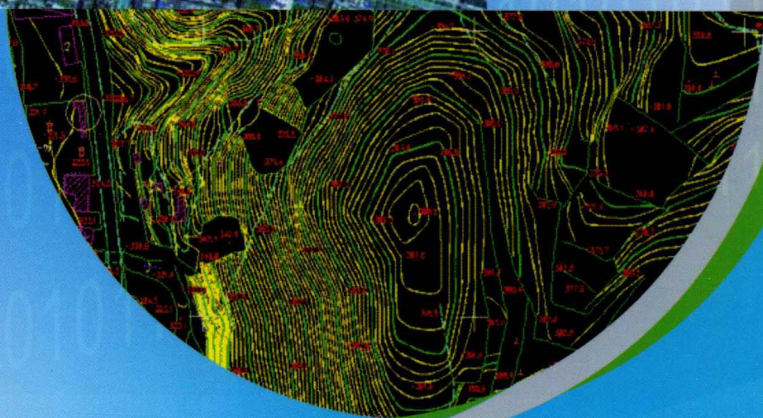




全国高校地理信息科学教学丛书

空间数据采集与管理

盛业华 张卡 杨林 等 编著



科学出版社

内容简介

中国科学院科学出版基金资助出版

全国高校地理信息科学教学丛书

空间数据采集与管理

盛业华 张 卡 杨 林 等 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书围绕空间数据来源、采集手段、处理方法、质量控制、数据集成、数据组织与管理、数据服务与应用这一主线,在回顾空间数据采集与管理相关知识的基础上,将地理空间数据来源分为实测数据源和派生数据源,构建了空间数据采集与管理技术体系。较为系统、全面地阐述了从空天遥感到地面实测、从对陆地探测到对水下探测、从实地调查到既有数据再利用及新型传感器网络等多种空间数据获取手段以及由此采集包括水下地形在内的基础地理数据、自然和社会经济等专题数据、三维场景模型数据的一般原理、数据处理方法和过程。阐述了在典型空间数据库支持下,进行多源空间数据的组织、管理和更新以及数据安全服务的基本原理和方法。还以全国地理国情监测、水利普查和第二次土地调查为例,简要介绍了其空间数据采集与管理的基本方式。

本书可作为高等院校地理信息科学专业本科生、研究生的教材,也可供高等院校、科研院所从事测绘、地理、规划等相关领域科研工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

空间数据采集与管理/盛业华等编著. —北京:科学出版社, 2018.5
(全国高校地理信息科学教学丛书)

ISBN 978-7-03-055361-4

I. ①空… II. ①盛… III. ①空间信息系统-数据采集-研究 ②空间信息系统-数据管理系统-研究 IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 277243 号

责任编辑:杨 红 程雷星/责任校对:何艳萍

责任印制:师艳茹/封面设计:陈 敬

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>

保定市中画美凯印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 5 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018 年 5 月第一次印刷 印张:21 1/2

字数:550 000

定价:59.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《全国高校地理信息科学教学丛书》

编委会名单

顾问 (以姓氏汉语拼音为序)

高俊 龚健雅 郭华东 何建邦 李德仁 李小文
宁津生 孙九林 童庆禧 王家耀 叶嘉安 周成虎

主编 汤国安

副主编 李满春 刘耀林

编委 (以姓氏汉语拼音为序)

常庆瑞 陈崇成 陈健飞 陈晓玲 程朋根 党安荣
董有福 冯仲科 宫辉力 郭增长 胡宝清 华一新
孔云峰 赖格英 黎夏 李虎 李霖 李满春
李小娟 李志林 梁顺林 林琿 刘慧平 刘仁义
刘湘南 刘小平 刘耀林 刘勇 刘瑜 柳林
闫国年 秦其明 邱新法 沙晋明 史文中 宋小冬
孙群 汤国安 汤海 田永中 童小华 王春
王结臣 邬伦 吴立新 徐建华 许捍卫 阎广建
杨必胜 杨存建 杨昆 杨勤科 杨胜天 杨武年
杨昕 杨永国 游雄 张洪岩 张锦 张军海
张勤 张新长 赵军 周立 周启鸣 朱阿兴

丛书序

古往今来，人类所有活动几乎都与地理位置息息相关。随着科学技术的快速发展与普及，地理信息科学与技术以及在此基础上发展起来的“数字地球”“智慧城市”等，在人们的生产和生活中发挥着越来越重要的作用。

近年来，我国地理信息科学高等教育蓬勃发展，为我国地理信息产业的发展提供了重要的理论、技术和人才保证。目前，我国已有近 200 所高校开设地理信息科学专业，专业人才培养模式也开始从“重理论、轻实践”向“理论与实践并重”转变。然而，现有的地理信息科学专业教材建设，一方面滞后于专业人才培养的实际需求；另一方面，也跟不上地理信息技术飞速发展的步伐。同时，新技术带来的教学方式和学生学习方式的变化，也要求现有教材体系及配套资源做出适应性或引领性变革。在此背景下，科学出版社与中国地理信息产业协会教育与科普工作委员会共同组织策划了《全国高校地理信息科学教学丛书》。该丛书从学科建设出发，邀请海内外地理信息科学领域著名学者组成编委会，并由编委会推荐知名专家或从事一线教学的教授担任各分册主编。在编撰中注重教材的科学性、系统性、新颖性与可读性的有机结合，强调对学生基本理论、基本技能与创新能力的培养。丛书还同步启动配套的数字化教学与学习资源建设，希望借助新技术手段为地理信息科学专业师生提供方便快捷的教学与实习途径。相信该丛书的出版，会大大提升该专业领域本科教材质量，优化辅助教学资源，对提高理论与实践并重的专业人才培养质量起到积极的引领作用。

我相信，在丛书编委会及全体编撰人员的共同努力下，《全国高校地理信息科学教学丛书》一定会促进我国新一代地理信息科学创新人才的培养，从而为我国地理信息科学及相关专业的发展做出重要的贡献。

中国科学院院士

中国科学院院士



丛书前言

地理信息，在经济全球化和信息技术快速发展的 21 世纪，已然在人类经济发展与社会生活中扮演重要角色。自 1992 年 Michael F. Goodchild 提出地理信息科学应当是一门独立的学科以来，在学界的共同努力下，已经在空间数据采集与处理、地学数据挖掘与知识发现、空间分析与可信性评价、地学建模与地理过程模拟、协同 GIS 与可视化、地理信息服务、数字地球与智慧城市、虚拟地理环境、GIS 普及及高等教育等诸多研究方面取得了重要进展。与此同时，由于地理信息科学的概念以及研究背景、目标的复杂性，目前关于地理信息科学的核心理论框架体系，仍然存在不同的理解，需要广大学者深入探索与凝练。

在 2012 年教育部颁布的《普通高等学校本科专业目录（2012 年）》中，地理科学类专业中的“地理信息系统”更名为“地理信息科学”，标志着地理信息的高等教育进入一个崭新的发展阶段。随着我国各项事业及各相关部门信息化进程的加快，地理信息相关专业人才具有广泛的社会需求。地理信息科学专业人才应当具备坚实的地理学、测绘科学及现代信息技术基础知识、具有处理与分析地理信息的能力，能从事地理信息科学问题的研究与开发，能胜任包括城市规划、资源管理、环境监测与保护、灾害防治等领域的地理信息资源开发、利用与管理的工作。地理信息科学专业人才的培养，对于全面提升我国地理信息产业与地理信息科学发展水平具有极其重要的作用。

中国地理信息产业协会教育与科普工作委员会，多年来通过多种途径，积极推进我国地理信息高等教育水平提高，所组织的全国高校 GIS 教育研讨会、全国高校 GIS 青年教师教学技能培训与大赛、全国大学生 GIS 技能大赛、全国 GIS 博士生论坛等活动，都已经成为国内有影响的品牌活动。高校专业教材是本科教学的重要资料，近十年来，我国已出版多套有关地理信息系统的系列教材，在专业教学中发挥了十分重要的作用，其中，有科学出版社出版的《高等学校地理信息系统教学丛书》，在我国 GIS 教育界产生了重要影响。在此基础上，科学出版社、中国地理信息产业协会教育与科普工作委员会联合组织编撰的《全国高校地理信息科学教学丛书》，拟面对学科发展的新形势，系统梳理、总结与提炼以往的研究成果，编写出集科学性、时代性、实用性为一体的系列教材。

为保证本丛书顺利完成，在工作委员会及科学出版社的协调下，首先成立了由地理信息科学高等教育领域的知名学者组成的丛书编写委员会。其中，由我国该领域院士及知名学者任顾问，对丛书进行方向性指导，各教材主要编写人员既有我国地理信息科学领域的知名专家，又有新涌现的优秀青年学者，他们对地理信息科学的教育教学有很强的责任心，对地理信息学科的发展与创新开展了广泛而深入的研究；他们在学术研究和

教学工作中亦能紧密联系、广泛开展学术与教学的交流合作。

本丛书将集成当前国内外地理信息科学研究领域的主要理论与方法，以及编著者自身多年的研究成果，对今后相关研究工作有十分重要的参考价值。我们希望本丛书不仅适合于地理信息科学专业的在校学生使用，而且也可作为相关专业高校教师和研究人员工作和学习的参考书。本丛书的出版发行，盼能推动我国地理信息科学的科学研究与拓展应用，促进中国地理信息产业的发展。

国家级教学名师

中国地理信息产业协会教育与科普工作委员会主任

汤国安

2014年8月4日

前 言

空间数据也被称作地理空间数据或地理数据,是表示地理空间事物或现象的位置、形态、大小、数量、质量、分布和联系等多方面特征信息的数据,是地理信息系统(GIS)的“血液”,也是GIS操作的对象。对于任何一类GIS应用而言,其首要的工作是根据GIS的实际应用需求,获取各式各样的空间数据,建立空间数据库,维护和管理空间数据,在此基础上进行地理空间分析、决策和表达。随着现代空间信息技术的快速发展,从太空到地面、从陆地到海洋、从自然到人文、从实地调查勘测到既有数据再利用,新型传感器和数据获取手段层出不穷,使得空间数据的种类和来源也越来越多,各类数据的获取、处理及组织管理的方法迥异。

对于一名经常与空间数据打交道的地理信息科学专业的学生来说,系统地理解和掌握当代空间数据获取的技术途径及对不同类型空间数据的组织和管理方法无疑是十分必要的,但以前相关专业并未开设相应课程。相比而言,测绘工程专业学生在空间数据尤其是基础地理数据获取方面能获得较为系统的学习和实践,但在专题地理数据获取方面仍有所欠缺。基于此,在教育部2012年将地理信息系统本科专业更名为地理信息科学专业后,教育部高等学校地理科学类专业教学指导委员会将包括空间数据采集与管理在内的14门课程纳入该专业的必修课程,并委托中国地理信息产业协会教育与科普工作委员会组织国内相关专家着手进行这些课程教材的编写工作,由科学出版社负责这些教材的编撰协调和出版。感谢中国地理信息产业协会教育与科普工作委员会和科学出版社的信任,确定由笔者负责这部教材的具体编写工作。虽然笔者承担了本校地图学与地理信息系统专业研究生课程“空间数据采集与处理”的教学工作,但对此工作也倍感压力。原因有两点,一方面当今空间数据来源众多,数据处理的理论和方法差异极大,很难在一本教材中面面俱到且讲深讲透;另一方面国内外缺乏类似的教材可供参考,天津师范大学崔铁军教授等出版的《地理空间数据获取与处理》教材在此方面做了有益的尝试,但该教材更多关注的是基础地理数据的获取与处理,并未涉及专题地理数据采集处理及多源数据的组织与管理等内容。自2014年11月接受本教材编撰任务后,笔者苦苦思索,根据空间数据的来源、类型等将数据获取方法进行分类,设计了本书的基本内容框架和提纲,对此,西南交通大学朱庆教授、中南大学刘兴权教授、南京师范大学汤国安教授等专家给予了高度的评价并给出了极有价值的建议,使笔者得到极大的鼓励和帮助,也增加了笔者顺利完成任务的信心。

在确定本书框架结构时,考虑空间数据采集与管理是围绕空间数据来源、采集手段、处理方法、质量控制、数据集成、数据组织与数据库管理展开的,由此确定了本书的主线为空间数据采集与处理、数据集成、数据组织和数据管理。其中,空间数据采集与处理根据空间数据获取途径的不同,将空间数据分为实测数据和派生数据;再根据数据的用途将实测数据分为基础地理数据、专题地理数据和三维场景数据。对于不同类型的空间数据可采用一种或多种技术手段进行数据的获取,对这些技术手段本身的原理和方法进行了较全面但概要性的

阐述, 试图达到扩大学生知识面的目的。最终将本书分为 9 章, 第 1 章阐述空间数据采集与管理相关的基础知识并给出空间数据采集与管理技术体系; 第 2 章讨论包括水下地形在内的基础地理数据 (DEM、DOM 和 DLG) 采集与更新的多种技术手段及其处理方法; 第 3 章阐述包括自然和社会经济在内的专题地理数据的多技术获取与处理方法; 第 4 章阐述三维场景尤其是城市三维场景数据获取、处理与三维建模方法; 第 5 章阐述从既有地图、影像、统计数据及文档报告中获取空间数据的方法; 第 6 章阐述如何进行空间数据的质量控制及数据的集成与融合; 第 7 章阐述不同类型空间数据的组织方法; 第 8 章讨论如何利用空间数据库系统有效地管理不同类型的空间数据; 第 9 章以全国地理国情普查、水利普查和第二次土地调查为案例, 阐述其空间数据采集与管理的基本方式。

本书是多位编著者合作的结晶。张卡副教授承担了第 4 章全部内容和 2.3 节的编写; 杨林副教授承担了 2.1、2.2、2.4、3.1 和 3.2 节的编写; 戴晓爱副教授承担了第 7 章 (除 7.5 节外) 和第 8 章 (除 8.5 节外) 初稿的编写; 张雪英教授承担了 5.4 节的撰写; 李安波副教授承担了 8.5 节的编写; 吴明光副教授承担了 7.5 节的编写; 本书其他部分由盛业华教授编写。全书最后由盛业华教授统稿和定稿。

在本书的编写过程中, 得到了博士研究生吕海洋、黄毅、张思阳、唐铭, 硕士研究生郭宁宁、黄宝群、王梦艺、蔡香玉、王志国、张彭涛、曹雨薇等的帮助, 他们协助完成了许多插图的绘制及初稿的校对工作, 在此, 对他们的工作表示衷心的感谢。另外, 在本书的编写过程中, ESRI 中国 (北京) 有限公司和北京超图软件股份有限公司给予了大力支持, 并提供了许多有价值的文档资料, 在此对他们的帮助表示衷心的感谢。除参考文献中列出的部分外, 还利用百度搜索, 引用了部分网络发布的成果和图片, 在此对这些被引用资料的原作者们表示诚挚的感谢。

实在惭愧, 自 2015 年 2 月落实本教材撰写提纲后, 受其他科研和教学工作的影响, 本书的编写工作断断续续, 交稿时间也一再延迟。但回顾本教材的编写过程, 实际上也是作者学习、归纳、吸收、消化多类空间数据获取技术及其数据处理方法的过程, 通过收集、阅读和参考大量的相关文献, 使作者受益良多。然而, 受知识水平的限制, 再加上空间数据采集与管理技术的不断发展, 本书难免存在不足之处, 欢迎相关专家及各位读者对此进行批评指正。

编著者

2017 年 10 月 27 日

目 录

丛书序

丛书前言

前言

第 1 章 空间数据采集的基础知识	1
1.1 空间数据及其类型	1
1.2 地理空间参照与坐标系统	4
1.3 空间数据的基本模型	12
1.4 空间数据基础设施	18
1.5 空间对地观测技术	24
1.6 空间数据采集与管理技术体系	30
思考题	33
第 2 章 基础地理数据的采集与更新	34
2.1 基础地理数据及其获取方式	34
2.2 地面数字测图与基础地理数据获取	39
2.3 数字摄影测量与基础地理数据采集	45
2.4 机载 LiDAR 数据获取与 DEM 构建	54
2.5 雷达干涉测量与 DEM 构建	64
2.6 水深测量与水下地形数据采集	75
2.7 基础地理数据的更新	82
思考题	86
第 3 章 专题地理数据的获取与处理	87
3.1 专题地理数据及其获取方式	87
3.2 GIS 数据采集器及其数据获取	90
3.3 地理环境数据的空间采样与插值	99
3.4 基于遥感影像的地理环境要素获取	106
3.5 传感器网络与地理环境数据的采集	114
3.6 社会经济数据的调查与地理编码	118
3.7 众源地理数据获取	124
思考题	130
第 4 章 地理场景三维数据的采集与建模	131
4.1 地理场景的三维空间表达	131
4.2 基于倾斜摄影的城市场景数据获取与建模	138
4.3 基于车载移动测量系统的三维数据采集	146
4.4 基于地面摄影摄像的场景三维建模	155

思考题	167
第5章 基于派生数据源的空间数据获取	168
5.1 地图的扫描数字化	168
5.2 正射影像中空间数据的提取	174
5.3 区域社会经济统计数据的空间化处理	181
5.4 中文文本中时空信息的提取	188
思考题	196
第6章 多源空间数据的集成	197
6.1 空间数据的质量评价与质量控制	197
6.2 空间数据元数据	203
6.3 异构空间数据的转换与互操作	211
6.4 空间数据的集成与融合	220
思考题	230
第7章 地理空间数据的组织	231
7.1 空间数据组织概述	231
7.2 矢量空间数据的组织	236
7.3 栅格和遥感影像数据的组织	246
7.4 三维场景数据的组织	252
7.5 空间数据索引	259
思考题	266
第8章 空间数据库与空间数据的管理	267
8.1 空间数据库与空间数据库系统	267
8.2 空间数据管理	272
8.3 长事务与空间数据维护	278
8.4 空间数据库的更新与存档管理	283
8.5 空间数据的安全与保密处理	286
思考题	300
第9章 空间数据采集与管理典型案例	301
9.1 地理国情普查数据采集与管理	301
9.2 全国水利普查空间数据采集与管理	311
9.3 全国第二次土地调查数据采集与管理	319
思考题	327
主要参考文献	328

第 1 章 空间数据采集的基础知识

空间数据是空间分析、模拟和决策的基础，是地理信息系统 (geographic information system, GIS) 的基础和“血液”。事实上，GIS 就是围绕着空间数据的采集、加工、存储、分析、可视化表达和传输展开的。本章在对空间数据的概念、空间表达的坐标系统和数据模型等进行回顾的基础上，阐述空间数据基础设施及空间对地观测技术等与空间数据密切相关的技术和方法，并给出空间数据采集与管理的技术体系。

1.1 空间数据及其类型

1.1.1 空间数据的概念

空间数据也称地理空间数据，是对地理事物和现象 (也称作地理要素) 的语义、空间位置、几何形态、演化过程、相互关系和属性等多方面特征感知结果所进行的抽象描述和表达，在 GIS 中，尤指对这些特征的数字化表达形式。一般来说，资源、环境、经济和社会等众多领域带有相对或绝对地理空间坐标的数据都是空间数据。

从对地理事物和地理现象表达的完备性来看，需要对地理要素从语义 (该要素是什么的定义或解释，包括类别、命名等)、空间位置 (某种空间基准下的一维、二维或三维坐标)、几何形态 (形状、大小等)、演化过程 (不同时刻的状态与过程)、相互关系 (要素间空间关系、时间关系、相互作用与制约关系等) 及属性 (物理、化学、生物、人文、社会和经济等方面的属性) 特征等方面进行全方位的、定性或定量的描述和表达。

从当今 GIS 的角度来看，为了能在空间数据库中有效组织和存储空间数据，对地理要素多方面的特征进行取舍和简化，通常仅描述和表达地理要素的空间特征 (地理要素的位置、形状和大小等几何特征，以及与其他要素间的空间关系)、时间特征 (对要素在特定时间或时间段内观测或采集) 和属性特征 (包括语义在内的要素质量特征与数量特征)。

1.1.2 空间数据的特征

由于地理要素空间分布的广度和复杂性，以及观测尺度的多样性，空间数据呈现多方面的特征。

1. 空间特征

对每个地理要素进行空间位置描述和表达是空间数据区别于其他类型数据的最主要特征。地理要素的空间位置可以利用某种空间基准下的坐标来表示，由此隐含了地理要素的空间分布特征。在不同的空间数据库中，地理要素的空间坐标都直接存储，形状和大小特征可以利用坐标计算得到。但空间关系则较为复杂，有些空间数据库除存储地理要素的空间坐标外，还存储部分空间关系，如相邻、包含、连通等关系，而大部分空间关系则利用空间坐标运算获得，如方位关系、距离关系、穿过关系等；有些空间数据库仅存储地理要素的空间坐标，所有空间关系都需要利用空间坐标进行运算。

2. 属性特征

属性特征也称作非空间特征或专题特征，是与地理要素相联系的、表征地理要素本身性质的质量和数量特征，如要素的类型、语义、定义、量值等。属性又可分为定性和定量两类，前者包括名称、类别、等级等；后者包括可测量的数量特征，如道路的宽度、车道数等。许多 GIS 中也将地理要素的时间特征作为属性数据进行记录和存储。

3. 多尺度与多态性特征

观测距离和尺度的不同，导致对相同地理要素的描述和表达的空间数据呈现多尺度和多态性特征。空间数据的多尺度特征表现为不同尺度上同一地理要素在几何形态、定位精度等方面存在差异。例如，一幢居民楼在大比例尺地图上具有阳台等几何细节，而在较小比例尺地图上，则表示为一个矩形。多态性特征则表现为不同尺度上同一地理要素的表达方式存在差异。例如，从太空上观察地球上的某一河流，可能仅为一个线对象，而接近观察时却是一个面状区域。

4. 多维性特征

由于多种地理对象或现象相互联系和相互作用，在同一空间位置上往往存在多种现象，表现为在某一个坐标位置上可以有多个专题和属性数据。例如，在某地点上，可观测高程、土地利用类型、土壤厚度、大气污染浓度等数据。

5. 非结构化特征

在关系型数据库中，每一个数据记录都要满足结构化的要求，即记录是定长的，数据项不能再分，也不允许嵌套记录。而地理要素的复杂性，导致对其表达的空间数据不能满足这种定长要求。例如，道路要素，一条道路若是笔直的，仅需两对坐标就可表达，若该道路是弯曲的，则可能需要数百乃至更多的坐标对才能表达。另外，一个地理要素可能包含一个或多个其他要素。例如，某一林地地块中又包含两个水塘、一块菜地，若采用多边形表示地块，则林地多边形记录中就需要嵌套水塘和菜地多边形记录，所以也不能满足关系型数据库关于记录的非嵌套要求。

1.1.3 空间数据的分类

地球表面上的各种地理事物和现象错综复杂，对其描述和表达的空间数据也多种多样。从不同的视角对其分类可得到不同的分类结果。

1. 按采用的数据模型和数据结构分类

从对地理要素描述的概念数据模型的角度来看，空间数据可分为空间对象数据和空间场数据。空间对象数据是对地球表面呈离散分布、具有明确几何边界的地理要素(也称地理或空间实体)的表达形式。在此，将地理要素抽象为点、线、面和体对象。空间场数据是对一定范围内连续变化的地理现象如地形起伏、气温、人口密度等的一种表达形式。

依据对地理要素表达所用的空间数据结构，可将空间数据分为矢量空间数据和栅格空间数据。矢量空间数据能对点、线、面和体地理要素位置和几何特征进行精确的描述和表达，并关联其属性特征，甚至表达部分空间关系。栅格空间数据以规则的栅格阵列表示地理现象，阵列中的每个栅格单元的值表示地理现象的属性特征，地理现象的空间位置蕴含在每个栅格

单元的行、列号中。

2. 按地理要素的空间分布分类

按照地理要素在地理空间中的分布,可将空间数据分为二维空间数据、三维空间数据、时空数据。

二维空间数据是将地理要素某一时刻的状态投影到平面(或球面),再描述和表达其平面二维坐标、几何、属性、空间关系等特征。三维空间数据则是依据地理要素某一时刻在地球表层三维空间中分布的状态,对其进行数据表达,其最重要的特征是所描述和表达的空间位置具有三维空间坐标。时空数据则同时考虑地理要素随时间变化而变化的特征,又可细分为二维空间与一维时间数据、三维空间与一维时间数据。

3. 按数据的用途分类

根据空间数据的用途,可将其分为基础地理数据和专题地理数据。

基础地理数据是描述地表形态及其附属的自然与人文要素特征的数据总称,指通用性强、共享需求大,作为统一的空间定位框架和空间分析基础的地理数据,具有基础性、权威性、普适性和使用频率高的特点。基础地理数据所表达的地理要素包括作为空间定位基础的地理坐标系格网与测量控制点,自然地理中的地貌、水系、植被与土质,以及人文地理中的居民地及设施、交通、管线、境界与政区、地名等。其具体内容也与所采用的比例尺有关,随着比例尺的增大,基础地理数据的详细程度和位置精度越来越高。

专题地理数据是指在基础地理数据所确定的空间框架的基础上,针对不同领域或行业应用需求,对专业领域涉及的自然或社会经济要素(如林地类型、作物分布、土地利用、城市规划、地质构造、人口分布、气候、水文、房地产、地籍、环境污染源等)的空间分布及其演化过程进行表达的数据,它具有专业性、统计性等特点。实际上,凡是与空间坐标相联系的各类自然、人类社会与经济数据都是专题地理数据。专题地理数据既是来源最丰富也是应用最广泛的数据资源,能够广泛服务于国民经济建设、社会管理、科学研究、国防建设等领域及社会大众。

4. 按数据的来源分类

空间数据来源丰富,既可以直接观测获得(直接数据),也可以通过对已有其他形式的数据进行加工处理或转换获得(间接数据);既可以是数字化的数据,也可以是非数字化的数据。将各种来源数据按数字化与非数字化、直接和间接进行分类,如表 1.1 所示。

GIS 空间数据采集的根本任务就是将这些非数字化的直接和间接数据转化为数字化表达形式,并将各种来源数据进一步加工成空间数据库能够组织和存储的空间数据。

表 1.1 按数据来源的空间数据分类

空间数据类型	直接数据	间接数据
数字化数据	全站仪测量、GNSS 观测	数字化文档
	数字航空和航天遥感影像	其他 GIS 系统的空间数据
	地球物理、地球化学探测	专题数据库 CAD 设计图
非数字化数据	社会经济现场调查记录、笔记	地形图与专题地图
	航空像片	统计图与统计报表
	模拟法测图	图书、文档、报告

5. 按空间数据的存储与组织形式分类

在空间数据库中,为了对不同表达形式的空间数据进行有效组织、存储和管理,将空间数据分为数字线划数据(digital line graphic, DLG)、影像数据、数字高程模型(digital elevation model, DEM)数据、专题属性数据、栅格数据、多媒体数据及三维模型数据几种类型。

数字线划数据是将地理要素直接抽象为点、线、面对象,利用坐标来描述其位置和形状。这种数据实际上是一种矢量数据,特别适合于采用制图符号将各要素符号化输出为精美的地图。大多数事务型 GIS 系统都是以数字线划数据为核心的。

影像数据包括卫星遥感影像和航空影像,既可以分波段存储,也可存储经彩色合成的真彩色或假彩色影像。在空间数据库中一般存储经辐射校正和几何纠正,具有空间定位信息(地理编码)的数字正射影像(digital orthophoto map, DOM)。数字正射影像是基础地理数据的一种重要类型。

数字高程模型数据是用来表达地形高度差异的数据,也是基础地理数据的一种重要类型。由于 DEM 数据的采集、数据模型、处理和分析方法都比较特殊,既可以采用矢量方式表达(如等高线、不规则三角网等),也可采用栅格形式表达。DEM 数据可利用立体成像的航空、航天遥感影像经数字摄影测量方法直接获得,也可采用地面和机载光探测与测量(light detection and ranging, LiDAR)技术、机载或星载干涉雷达测量(interferometric synthetic aperture radar, InSAR)技术、实地测量或等高线地图扫描数字化等方法,经数据处理后得到。

专题属性数据是用于描述和表达地理事物和现象不同领域数量和质量特征的数据。它本身不具有空间定位特征,可独立存储于数据库系统,通过数据关联技术,可将属性数据与数字线划数据联系起来,构成对地理要素特征的完备描述。属性又可分为命名属性、顺序属性、间隔属性、比率属性和周期属性。

栅格数据是通过将地理空间分割成称作栅格单元的规则网格,在各个栅格单元上记录相应的属性值来表示地理现象的一种数据形式,特别适合于组织空间场数据。由于栅格数据在空间划分上类似于影像,对于数值型属性可采用与影像数据相同的方式组织数据;若属性值是命名、顺序、间隔、比率或周期型的,则需按属性类型分层组织。

对地理环境的现状与变化以图片、动态视频、声音等多媒体数据进行记录,并同时记录获取这些数据的空间位置,或与 DLG 数据中的地理对象进行关联,就形成了多媒体空间数据。多媒体数据有利于直观、形象、动态地再现地理要素,增强数据用户的空间认知。

三维模型数据是对呈三维分布的地理对象如建筑物、管线等按其三维形态进行三维几何建模(通常采用线框或多边形网格)与纹理映射得到的与现实对象外观相似的模型。根据几何细节表达的详细程度,三维模型往往具有多个细节层次(levels of detail, LOD)模型表达。LOD 层次越高,模型越能逼真地再现所表达的地理对象。

1.2 地理空间参照与坐标系统

具有空间位置是空间数据最基本的特征。为了度量在不规则地球表面上分布的某一地理要素的空间位置,必须确定地理空间参考框架与坐标系统。

1.2.1 地球形状与地球椭球

地球表面是包括海洋底部、陆地上崇山峻岭在内的凹凸不平且极不规则的自然表面(图 1.1),难以采用一个简洁的数学模型来表达。由于约占地球表面 71%的区域被海水所覆盖,假设当海水处于完全静止的平衡状态时,从海平面延伸到大陆内部,并与地球重力场方向处处正交,形成一个连续和封闭的曲面,就形成了大地水准面。因地球表面起伏不平和地球内部质量分布不匀,所以大地水准面是一个略有起伏的不规则曲面,该面包围的形体称作大地体。大地体在形态上非常接近于一个椭圆绕地球自转轴旋转而成的椭球体,而后的表面是一个可以采用简单数学模型(椭球方程)来表达的曲面,因此,地理学、测绘学等领域总是采用旋转椭球(或地球椭球)来对地球体进行简化和近似的表达,这一简化过程是地球自然表面 → 大地水准面 → 地球椭球面(图 1.2)。

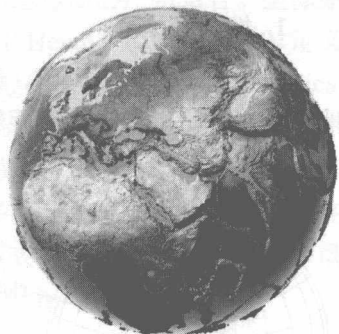


图 1.1 地球表面形态

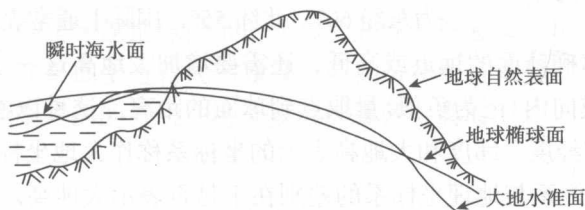


图 1.2 地球表面的多级近似

地球椭球的大小通常用两个参数表示,即长半径 a 和短半径 b ,或者长半轴 a 和扁率 α 。由于观测区域、观测手段、推求年代等的不同,对地球体近似的地球椭球也有多种,如美国的海福特(Hayford)椭球、WGS84 椭球、英国的克拉克椭球、白塞尔椭球和苏联的克拉索夫斯基(Krasovsky)椭球,国际大地测量学与地球物理学联合会(International Union of Geodesy and Geophysics, IUGG)推荐的 GRS75、GRS80 等椭球(表 1.2)。

每个国家或地区在选用相应的地球椭球后,其形状、大小一定,经过定位和定向后的地球椭球称为参考椭球。参考椭球的椭球面与该区域局部大地水准面最为吻合,成为大地基准面。需要说明的是,椭球中心与地球的质心、椭球的旋转轴与地球的自转轴可能重合也可能不重合,取决于椭球的定位和定向方式。

表 1.2 典型地球椭球及其几何参数

椭球名称	创立年份	应用情况	长半径 a/m	短半径 b/m	扁率 α
海福特(Hayford)椭球	1910	中国 1952 年以前采用	6378388	6356912	1 : 297
克拉索夫斯基(Krasovsky)椭球	1940	中国 1954 北京坐标系采用	6378245	6356863	1 : 298.3
GRS75 椭球(国际椭球)	1975	中国 1980 西安坐标系采用	6378140	6356755	1 : 298.257
GRS80 椭球(国际椭球)	1979	WGS84 世界大地坐标系、中国 CGCS2000 坐标系采用	6378137	6356752	1 : 298.257

1.2.2 球面空间坐标系统

1. 地理坐标系

一旦确定了参考椭球，就可在其上建立地理坐标系，并度量球面上任一点的空间位置。地理坐标系是以包含椭球旋转轴（与地球自转轴有少许偏差）称作子午面的平面与椭球面的交线——子午线或经线，以及垂直于椭球旋转轴的平面与椭球面的交线——纬线所构成的球面分划来确定的。设球面上任一点 P (图 1.3)，过该点的椭球面法线与最大纬线——赤道所在平面（赤道面）之间的夹角称作纬度，记为 B ，其值的范围为南纬 90° 到北纬 90° ；以通过英国格林尼治天文台的子午线为起始子午线或首子午线，过 P 点的子午面与首子午面之间按向东或向西量取的夹角为经度，记为 L ，其值的范围为西经 180° 到东经 180° 。在地理坐标系下，任一点的空间位置可用经度和纬度来表示，如图 1.3 中 P 点的地理坐标为东经 60° 、北纬 55° ，国际上通常表示为 $60^\circ\text{E } 55^\circ\text{N}$ 。

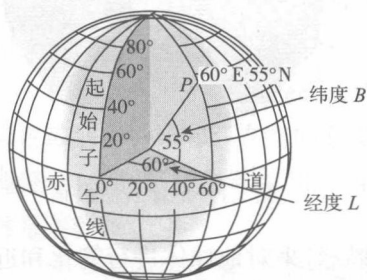


图 1.3 地理坐标系的度量

若需要表示该点离椭球面的远近或高低，还需要增加大地高这一参数，即沿过该点法线方向向外（记为正值）或向内（记为负值）量取点到球面的距离。这种以参考椭球面为基准面建立的，地面点的位置用经度、纬度和大地高表示的坐标系称作大地坐标系，其坐标记为 $P(B, L, H)$ 。显然，大地坐标系与地理坐标系的差别在于是否表示大地高。

由于所采用的参考椭球大小、定位和定向参数不同，在不同大地基准下对相同地面点所表示的地理坐标或大地坐标值也不相等，这应引起特别关注。当然，依据不同参考椭球所建立的地理坐标系或大地坐标系下点的经、纬度坐标可以采用莫洛坚斯基 (Molodensky) 法或简化莫洛坚斯基法进行换算。

2. 空间直角坐标系

对球面上点位的度量还可按欧几里得几何理论，建立三维空间直角坐标系 (图 1.4)。坐标系的原点设在参考椭球的中心， Z 轴指向某一协议地极， X 轴指向起始子午面且与 Z 轴垂直， Y 轴同时与 Z 轴和 X 轴垂直，构成右手三维直角坐标系。在该坐标系下，任一点 P 的位置采用 X 、 Y 和 Z 三维坐标表示，记为 $P(X, Y, Z)$ 。显然，该点的空间直角坐标 $P(X, Y, Z)$ 与其大地坐标 $P(B, L, H)$ 间可建立变换方程进行坐标转换。

空间直角坐标系可以是参心坐标系。例如我国的 1980 西安坐标系，采用 GRS75 国际椭球参数，大地定位原点设在我国中部陕西省泾阳县永乐镇。坐标系原点设在椭球中心，与地球质心并不重合； Z 轴指向 1968.0 地极原点 (JYD) 方向；大地起始子午面平行于格林尼治天文台子午面， X 轴在大地起始子午面内与 Z 轴垂直指向经度 0° 方向； Y 轴与 Z 轴和 X 轴垂直构成右手直角坐标系。

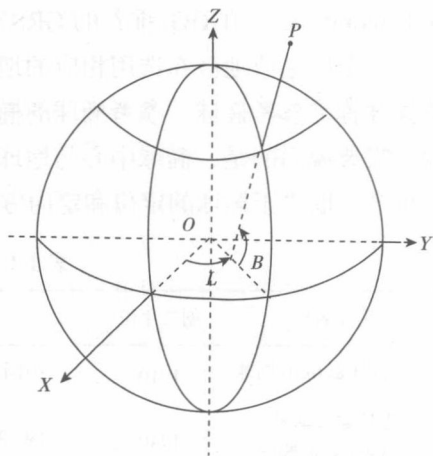


图 1.4 空间直角坐标系