

GIS应用软件开发的基础理论

地理信息系统(Geographical Information System, GIS)技术依托的主要工具和平台是计算机及其相关设备,随着计算机软、硬件技术的发展和普及, GIS 也逐渐走向成熟,并在 GIS 的数据处理、数据存储和运算方面有了很大的突破。地理信息系统的应用领域也迅速扩大,从资源管理、环境规划到应急反应等,涉及许多的学科与领域。

由于计算机和地理信息技术的飞速发展,以组件技术为基础的新一代 GIS 的设计开发方式,改变了传统集成式 GIS 平台的工作模式,更适合开发者进行二次开发和与其他应用软件系统的有机集成,实现不同领域空间数据的动态分析与计算。

本章主要内容:

地理信息系统的基本概念

空间地理位置

地理信息系统开发的方式

地理信息系统组件技术

地理信息系统的设计开发

地理信息系统的发展趋势

本章学习重点:

了解地理信息系统的基本概念

理解各种坐标系对空间位置的表示方法

了解地理信息系统的三种实现方式

熟悉地理信息系统组件技术的特点

熟悉地理信息系统的设计方法

熟悉地理信息系统的开发过程模型及步骤

了解地理信息系统的发展趋势

1.1 地理信息系统的基本概念

1.1.1 数据

数据是指某一目标定性、定量描述的原始资料,包括数字、文字、符号、图形、图像以及它们能转换成的数据等形式,其本身没有意义。

数据是未经加工的原始资料,是对客观事物的性质、状态以及相互关系等进行记录、描述的单一或组合物理符号,是信息的载体,数字、文字、符号、图像等都是数据。信息与数据密切相关:信息是经过处理后并能够被识别的用于解释数据的数据,能够反映数据内含的意义,是数据的内容和解释。

信息由于与物理介质密切相关,是物理介质的数据表达。数据中所包含的意义就是信息,数据是记录下来的某种可以识别的符号,具有多种多样的形式,也可以由一种形式转换为其他形式,但其中包含的信息的内容不会改变。数据是信息的载体,但数据本身并不就是信息。与数据相比,信息具有以下特征:数据是原始事实,来自自然环境和社会环境的各个方面,信息以数据为基础,是数据处理的结果。

1.1.2 信息

信息是近代科学的一个专门术语,已被广泛地应用于社会各个领域。信息来自人类的社会活动又服务于人类的社会活动,是向人们(或系统)提供关于现实世界新的事实和知识,是人类生产、建设、经营、管理、分析和决策的依据。对于信息的定义,目前尚无定论,狭义信息论将信息定义为“两个不定性之差”,即指人们获得信息前后对事物认识的差别;广义信息论认为,信息是主体(人、生物或机器)与外部客体(环境、其他人、生物或机器)之间相互联系的一种形式,是主体和客体之间的一切有用的消息或知识,是表征事物特征的一种普遍形式。这两种定义比较抽象。结合地理科学的研究领域,将信息定义为:用来表示事件、事物、现象等的内容、数量或特征的文字、数字、符号、语言、图像等介质。信息不仅与人类活动有关,而且与人类的生存环境也息息相关,自然界的物质循环与移动都包含着不同的信息。

1. 信息的特点

信息具有如下特点。

(1) 客观性:任何信息都与客观事物紧密联系,是事物运动的状态和方式,是信息正确性与精确度的保证。

(2) 实用性:由于信息的客观性,信息是人类了解事物并对事物进行分析判断的依据,因而信息具有实用性,是决策的基础和依据。

(3) 传输性:信息可以在系统内或用户之间以一定的形式或格式传送和交换,信息在传输过程中可以改变载体而不影响信息内容。

(4) 共享性:信息可以为多个对象所拥有,而信息本身的数量和大小并不因此而发生变化。

(5) 动态性: 信息随客观事物本身的运动变化而不断发展更新, 具有随时间变化的特点。

(6) 存储性: 信息可以永久保存, 借助于载体可在一定条件下存储起来。信息的可存储性为信息的积累、加工和在不同场合下的应用提供了可能, 所储存的信息亦可以在适当条件下进行传输。

(7) 不确定性: 信息可以通过一定的手段进行处理, 如扩充、压缩、分解、综合、抽取、排序等, 处理后的信息反映了信息源和接收者之间的相互联系和相互作用。在加工过程中, 因技术和方法不同, 导致所获信息也存在一定的差异, 称为信息的不确定性。

信息的这些特点, 使信息成为当代社会发展的一项重要资源。

2. 信息的分类

信息主要有以下几类。

(1) 几何类型信息: 点状物体、线状物体、面状物体、三维物体等, 信息主要描述物体的几何形状。

(2) 分类分级信息: 说明物体的类型和级别, 用特征码或地理标识码表示。如将地理基础信息分为自然、社会和经济, 自然又分为大气、水、土壤和生物等, 依此类推, 建立基础信息分类体系。而同一类中还可分级, 如公路可分为国家级、省级、乡级等。

(3) 图形信息: 表示物体的位置和形状的信息, 可用地理坐标进行说明。

(4) 数量特征信息: 描述物体的大小或其他可以度量的性能指标。如长度、宽度、高度等。

(5) 质量描述信息: 说明物体的质量构成, 如某一类岩石的化学成分等。

1.1.3 地理信息

地理信息与研究对象的空间地理分布有关, 指地球表层物体及环境所固有的数量、质量、分布特征、相互联系和变化规律的数字、文字、图像和图形等的总称。

地理信息是对表达地理特征与地理现象之间关系的地理数据的解释, 而地理数据则是各种地理特征和现象间关系的符号化表示, 包括空间位置、属性特征(简称属性)及时序特征三部分。地球表层的岩石圈、水圈、大气圈和生物圈是地理信息的主要描述对象, 这些信息与人类社会的生活、生产、管理和决策关系非常密切, 是人类认识自然、了解自然的基础。

地理信息除了具有信息的一般特性外, 还具有以下特点。

1. 空间性

地理信息属于空间信息, 有空间分布的特点, 其位置的识别是与数据联系在一起的, 这是地理信息区别于其他类型信息的一个最显著的标志。地理实体或目标的特征具有空间特征, 空间特征包括空间位置、几何特征(如方向、距离、面积等)和拓扑关系(地理实体之间的邻接、包含、关联等), 地理信息空间定位可通过公共的地理基础来实现, 即按照特定地区的经纬网或公里网构建地理坐标来实现空间位置的识别, 并可以按照指定的区域进行信息的处理。

2. 空间关联性

有些信息本身并不具有空间性,如大量的属性数据,也有人称为非空间数据。它是描述地理实体特征的定性或定量的指标,可以是关于地理目标的定性描述,也可以是地理目标的定量量测数据。

3. 多维性

地理信息具有多维结构的特征,即在二维空间的基础上,实现多专题的第三维的信息结构,即某一空间位置上含有多重属性,一般地在地理信息系统中分成多个专题图层,各个专题或实体之间的联系是通过属性码进行的。这既为对岩石圈—气圈—水圈—生物圈及其内部的相互作用进行综合性的研究提供了可能性,也为地理圈各层次的分析 and 信息的传递与筛选提供了方便。

4. 时序变化性

时态特征是地理现象变化过程的时段表达,越来越受到地理信息系统学界的重视。地理信息的时序特征十分明显,因此可以按照时间的尺度进行地理信息的描述。地理信息的这种动态变化的特征,一方面要求信息获取及时、定期更新地理信息的空间数据库,另一方面要重视自然历史过程的积累和对未来的预测、预报。避免用过时的信息造成决策的失误,或者缺乏可靠的动态数据,不能对地理事件或现象做出合乎机理的预测预报和科学论证。因此,要研究地理信息,首先必须把握地理信息的这种区域性的、多层次的和动态变化的特征,然后才能选择正确的手段,实现资源和环境的综合分析、管理、规划和决策。

1.1.4 信息系统

为了有效地对信息流进行控制、组织和管理,实现双向传递,需要通过某种信息系统才能对数据和信息进行采集、存储、加工、再现和分析,实现信息的自动化分析和处理,节省人力物力,这就是信息系统开发和建设的依据和必要性。

信息系统的定义可概括为:信息系统本身是一个系统,设计的数据量大,除具有数据采集、传输、存储和管理等基本功能外,还可提供数据的综合分析功能。它能够为单一的或有组织的决策过程提供有用的信息。

信息系统有四大基本功能:数据的采集、管理、分析和表达。从计算机技术在信息科学中的应用角度看,信息系统由计算机硬件、软件、数据和用户四大要素组成。计算机硬件包括各类计算机处理机及终端和外部设备;软件是支撑数据和信息采集、存储、加工和输出的程序系统;数据是系统中的重要组成部分,是系统的支撑基础,包括定量和定性数据;用户是信息系统的服务对象或使用者,是系统的操作者或管理者,有一般用户和实现系统设计、建设、维护、管理和更新的高级用户等。

根据信息系统所执行的任务,信息系统可分为信息管理系统和决策支持系统。信息管理系统强调数据的记录和操作。决策支持系统是用以获得辅助决策方案的交互式计算机系统。

1.1.5 地理信息系统

世界上第一个地理信息系统是1963年由加拿大测量学家 R. F. Tomlinson 提出并建立的,称为加拿大地理信息系统(CGIS)。

不同的部门和不同的应用目的,对地理信息系统的定义不尽相同。目前对GIS有以下三种观点:地图观、数据库观与空间分析观。

持地图观点的人主要来自景观学派和制图学派,认为GIS是一个地图处理和显示系统。在该系统中,每个数据集被看成一幅图、一个图层(Layer)、一个专题(Theme)或一个覆盖(Coverer)。这些地图常常以网格的方式储存,并通过各种逻辑运算以达到整合信息和空间检索查询分析的目的,并由此产生新的地图。

持数据库观点的人主要来自计算机学派,强调优化设计,合理建立数据库,有效存取数据并进行科学管理。

持空间分析观点的人主要来自地理学派,强调空间分析与模拟的重要性,并提出地理信息科学的概念,将地理信息系统视为一门学科。

从功能角度,地理信息系统被定义为:地理信息系统是在计算机硬、软件系统支持下,以空间数据库为基础,以具有地理位置属性的空间数据为研究核心,对整个或部分地球表层(包括大气层)空间中的有关地理分布数据进行采集、存储、管理、运算、分析、显示和描述的信息系统。强调地理信息系统是一种特定的空间信息系统,在空间数据库存放具有空间关系的需要空间定位的点、线及多边形的空间信息及其相关的基本属性信息,将空间数据和属性数据有机结合起来,具有强大的空间分析和空间数据库管理能力。

从学科发展的角度,可以认为地理信息系统(GIS)是一门集计算机科学、信息科学、现代地理学、测绘遥感学、环境科学、城市科学、空间科学和管理科学为一体的新兴边缘学科。它是在计算机软硬件支持下,以采集、存储、管理、检索、分析和描述空间物体的定位分布及与之相关的属性数据等为主要任务的计算机系统。

综上所述,地理信息系统的定义可从两个方面进行理解:一方面,地理信息系统是一门学科,是描述、存储、分析和输出空间信息的理论和方法的一门新兴的交叉学科;另一方面,地理信息系统是一个技术系统,是以地理空间数据库(Geospatial Database)为基础,采用地理模型分析方法,对空间数据和属性数据进行采集、管理、操作、分析、模拟,实时提供多种空间和动态的地理信息,为地理研究和地理决策服务。

与一般的管理信息系统相比,地理信息系统具有以下特征。

(1) 横跨多个学科,是一门新兴的边缘学科。依赖地理学、测绘学、统计学等基础性学科,又随着计算机技术、遥感技术、人工智能及专家系统的发展而不断改进,功能逐步增强,操作趋向简单,系统不断开放。

(2) 研究对象具有空间分布的特征,以空间数据为主,连接大量属性数据,数据量庞大,结构复杂。

(3) 空间数据和属性数据的融合管理。地理信息系统在分析处理问题中使用了空间数据与属性数据,并通过数据库管理系统将两者联系在一起,共同管理、分析和应用,从而提供了认识地理现象的一种新的思维方法。

(4) 以空间分析统计处理、提出决策为主要任务。一般管理信息系统只有属性数据库

的管理,即使存储了图形,也往往以文件形式进行机械存储,不能进行有关空间数据的操作,如空间查询、检索、相邻分析等,更无法进行复杂的空间分析。而地理信息系统处理的数据是空间数据和属性数据的综合,它不仅管理反映空间属性的一般的数字、文字数据,还要管理反映地理分布特征及其之间拓扑关系的空间位置数据。

1.1.6 地理信息系统的分类

GIS 按其功能、内容和作用,一般分为工具型地理信息系统和应用型地理信息系统。工具型地理信息系统,也就是 GIS 工具软件包,如 ARC/INFO 等,具有空间数据输入、存储、处理、分析和输出等 GIS 基本功能。随着地理信息系统应用领域的扩展,应用型 GIS 的开发工作日益重要,如何针对不同的应用目标,高效地开发出合乎需要的实用型地理信息系统,是 GIS 开发者需要深入研究的课题。

1. 工具型地理信息系统

工具型地理信息系统也称为地理信息系统开发平台或外壳,具有地理信息系统基本功能,可供其他系统调用或用户开发。工具型地理信息系统被看做 GIS 工具软件包,具有 GIS 的通用功能和特点,如空间数据输入、存储、处理、分析和输出等基本功能,它向用户提供一个满足地理信息处理与管理 and 应用的 GIS 操作平台。此类 GIS 一般都没有地理空间实体,用户可根据自己的需要和一定的应用目的,进行进一步的设计和二次开发,以达到解决实际应用问题的目的。

地理信息系统是一个复杂庞大的空间管理信息系统,工具型地理信息系统为地理信息系统的用户提供了一种技术支持,使用户能借助地理信息系统工具中的功能直接完成应用任务,或者利用工具型地理信息系统加上专题模型完成应用任务。目前,国外已有很多商品化的工具型地理信息系统,如 ArcGIS、ARC/Info、MapInfo、MGE 等。国内近几年正在迅速开发工具型地理信息系统,并取得了很大的成绩,已开发出 MapGIS、GeoStar、CityStar、Supermap 等。

2. 应用型地理信息系统

应用型地理信息系统是在比较成熟的工具型基础上,根据用户的需求和应用目的而设计的一种解决一类或多类实际问题的地理信息系统,它具有地理空间信息实体和解决空间信息的分布规律、空间分布特性以及空间信息相互依赖关系的应用模型和方法。应用型地理信息系统按研究对象性质和内容又可分为专题地理信息系统和区域地理信息系统。

应用型 GIS 是在一定的工具型 GIS 基础上,经过二次开发而得到的适合于一定应用目的的 GIS 系统。因此,它上继承了工具型 GIS 所提供的所有基本功能。所以应用型 GIS 的功能设计重点并不在于对基本功能的设计和编程,而是根据需求分析的结果,为满足特定应用目的而进行的功能分析,选择合适的工具型 GIS 功能并对其具体化,以满足用户的需要。

应用型地理信息系统目标比较明确,主要为实际应用服务,并根据应用的需要进行针对性的设计开发,专业性强且系统开销小。

1.1.7 地理信息系统的组成

一个完整地理信息系统应包括四个基本部分(见图 1-1): 计算机硬件系统、计算机软件系统、数据库、系统管理应用人员。计算机软硬件系统是地理信息系统的核心, 硬件主要包括计算机和网络设备, 存储设备, 数据输入、显示和输出的外围设备等; 空间数据库则是基础, 反映 GIS 的地理内容; 管理应用人员是地理信息系统应用成功的关键。



图 1-1 GIS 组成结构示意图

计算机硬件是计算机系统中的所有物理装置的总称, 由电子的、磁的、机械的、光的元件或装置组成。这些物理装备组合在一起, 能够很好地支持 GIS 软件系统。GIS 硬件系统一般由以下四个部分组成。

- (1) 计算机主机。
- (2) 输入设备: 数字化仪、图像扫描仪、手写笔、光笔、键盘、通信端口等。
- (3) 存储设备: 光盘刻录机、磁带机、光盘塔、活动硬盘、磁盘阵列等。
- (4) 输出设备: 笔式绘图仪、喷墨绘图仪(打印机)、激光打印机等。

计算机软件系统指地理信息系统运行所必需的各种程序, 包括以下几类: 操作系统软件、数据库管理软件、系统开发软件、GIS 软件等。主要由计算机系统软件和地理信息系统软件组成。数据库管理系统是操作和管理数据库的软件系统, 支持可被多个应用程序调用的数据库的建立、更新、查询和维护功能。

1.1.8 地理信息系统软件的功能

地理信息系统软件的功能主要包括: 数据的采集、编辑和处理; 空间数据的管理; 地理数据的操作和分析; 分析结果的输出与转化。

1. 数据的采集、编辑和处理

GIS 不但具备数据的采集和编辑能力, 而且还可以对图像及文本数据进行编辑和修改。数据采集: 地理数据如何有效地输入到 GIS 中, 需要投入大量的人力和物力, 常用的方

法是数字化、扫描和遥感。数字化的主要问题是低效率和高代价,能够直接获得矢量数据;扫描输入可以得到栅格数据,还需要变换才能成为GIS数据库通常要求的点、线、面、拓扑关系等矢量形式。遥感数据已经成为GIS的重要数据来源,与地图数据不同的是,遥感数据输入到GIS较为容易,但如果通过对遥感图像的解释来采集和编译地理信息则是一件较为困难的事情,可先通过遥感影像处理软件进行预处理,然后将处理结果输入到GIS软件中。

地理数据采集的另一主要技术就是GPS技术。GPS可以准确、快速地定位在地球表面的任何地点,GPS除了作为原始地理信息的来源外,在飞行器跟踪、紧急事件处理、环境和资源监测、管理等方面有着很大的潜力。

数据的编辑和处理:GIS软件也能够完成图形的修改、装饰,对图形数据(点、线、面)和属性数据进行增加、删除、修改等基本操作。由于GIS中图形数据与属性数据紧密结合在一起,对其中一类数据的操作势必影响到与之相关的另一类数据,因而GIS数据操作必须注意数据一致性和操作效率的问题,GIS中对数据的操作提供了对地理数据有效管理的手段。

2. 空间数据的管理

GIS能对庞大的地理图形和文本数据进行管理,并能与其他数据库管理系统进行相互转换,实现对栅格数据和矢量数据进行综合管理的功能,在计算机中有效存储和管理这两类数据。地理数据存储是GIS中最低层和最基本的技术,它直接影响到其他高层功能的实现效率,从而影响整个GIS的性能。

3. 地理数据的操作和分析

主要实现地理信息的空间查询和空间分析,把各种专题地图叠加在一起,对这些空间信息进行综合查询分析。

地理数据的分析功能,即空间分析,是GIS得以广泛应用的重要原因之一。通过GIS提供的空间分析功能,用户可以从已知的地理数据中得出隐含的重要结论,这对于许多应用领域是至关重要的。

GIS的空间分析分为两大类:矢量数据空间分析和栅格数据空间分析。矢量数据空间分析通常包括:空间数据查询和属性分析,多边形的重新分类、边界消除与合并,点线、点与多边形、线与多边形、多边形与多边形的叠加,缓冲区分析,网络分析,面运算,目标集统计分析;栅格数据空间分析功能通常包括:记录分析,叠加分析,滤波分析,区域操作、统计分析。

4. 分析结果的输出与转化

将用户查询的结果或是数据分析的结果以合适的形式输出是GIS问题求解过程的最后一道工序,可将空间查询和分析的结果以数学表格或二维、三维图形等多种形式输出。

输出形式通常有两种。

(1) 在计算机屏幕上显示或通过绘图仪输出。对于一些对输出精度要求较高的应用领域,高质量的输出功能对GIS是必不可少的,这方面的技术主要包括:数据校正、编辑、图形

整饰、误差消除、坐标变换、出版印刷等。

(2) 可视化输出功能: 以数字地形模型为基础, 建立城市、区域、大型建筑工程、著名风景名胜区的三维可视化模型, 实现多角度浏览, 可广泛应用于宣传、城市和区域规划、大型工程管理和仿真、旅游等领域。

1.2 空间地理位置

地球表面是一个起伏不平的不规则表面, 地面上任意一点的位置, 都可以用地理坐标来确定。地理信息与地理坐标密切联系, 地物的空间位置信息可用不同的地理坐标来描述。

所谓地理坐标系, 包括两方面内容: 一是在把大地水准面上的测量成果换算到椭球体面上的计算工作中, 所采用的椭球的大小; 二是椭球体与大地水准面的相关位置不同, 对同一点的地理坐标所计算的结果将有不同的值。因此, 选中了一个一定大小的椭球体, 并确定了它与大地水准面的相关位置, 就确定了一个坐标系。

1.2.1 空间直角坐标系

原点位于参考椭球的中心, Z 轴指向参考椭球的北极, X 轴指向起始子午面与赤道的交点, Y 轴位于赤道面上, 且按右手系与 X 轴呈 90° 夹角(见图 1-2)。

在空间直角坐标系中, 任意一点的坐标可用该点在坐标系的各个坐标轴上的投影来表示。

1.2.2 地理坐标系

地理坐标系也称为真实世界的坐标系, 用经、纬度和高程来定义或确定地物的位置。

1. 天文经纬度

在大地测量中常以天文经纬度定义地理坐标, 天文经度, 即观测点天顶子午面与格林尼治天顶子午面的两面角, 或视为一个天体在上述两地的时差角。在天文学和大地测量学中, 常用时间单位表示。天文经度在地球上的定义, 即本初子午面与观测点之间的两面角。天文纬度, 在地球上定义为铅垂线与赤道平面间的夹角(见图 1-3)。

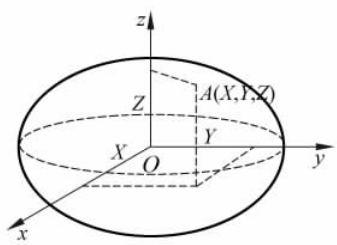


图 1-2 空间直角坐标系

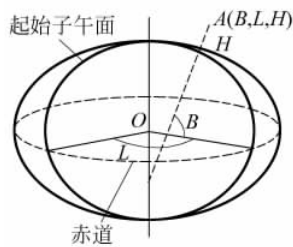


图 1-3 天文经纬度坐标系

2. 地经纬度

通常在大地测量中,所有的观测值在概算时均应转换到参考椭球面上。地面上任意点A的位置,可用大地经度 λ 、大地纬度 φ 和大地高 h 表示(见图1-4)。

大地经度 λ ,指参考椭球面上某一点的大地子午面与本初子午面的两面角。通常由本初子午面向东西量度,向东 $0^\circ\sim 180^\circ$ 为东经,向西 $0^\circ\sim 180^\circ$ 为西经。按规定,东经为正,西经为负。

大地纬度 φ ,即指参考椭球面上某一点的垂直线(亦称法线)与赤道平面间的夹角。由赤道向南北两极量度,向北 $0^\circ\sim 90^\circ$ 为北纬,向南 $0^\circ\sim 90^\circ$ 为南纬。大地经纬度构成的大地坐标系,在大地测量计算中广泛应用。

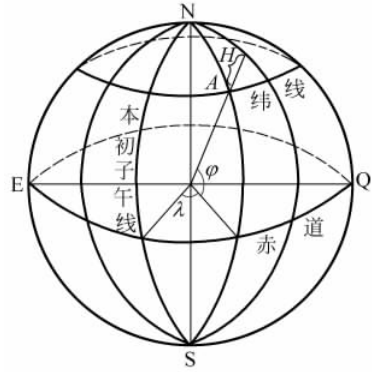


图 1-4 大地经纬度坐标

3. 地心经纬度

地心指地球椭球体的质量中心。地心经度等同大地经度,地心纬度是指参考椭球面上任一点和椭球中心连线与赤道面之间的夹角。

4. 三种纬度关系

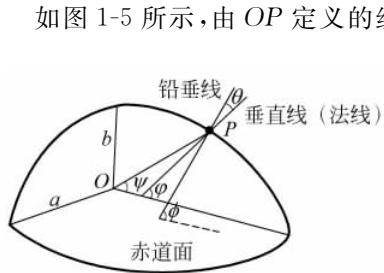


图 1-5 三种纬度关系示意

ψ —地心纬度; φ —大地纬度; θ —天文纬度

如图1-5所示,由 OP 定义的经纬度为地心经纬度;由椭球表面垂直线(或称法线)定义的经纬度为大地经纬度。但从前面关于天文经纬度的严格定义可以看出,天文经纬度只能在天球上定义,因为铅垂线既不过地心,通常也不与地轴共面,因而天文经度难以用两面角定义。由此可见,在大地经纬网上各点的天文经纬度和大地经纬度是不相同的。而天文经度及天文纬度相同点的轨迹,却呈现为在大地经纬线附近摆动的非平面曲线。由于 θ 通常很小,因而这种摆动也是很小的。

1.2.3 平面直角坐标系

地球椭球面是一个不可展平的曲面,必须通过地图投影来将地球表面上任何一个由地理坐标确定的点表示到二维平面上。地图投影运用一定的数学模型,将地理坐标转换成平面直角坐标。

平面直角坐标系有两个坐标轴,其中横轴为 X 轴(x -axis),取向右方向为正方向;纵轴为 Y 轴(y -axis),取向上为正方向。坐标系所在平面叫做坐标平面,两坐标轴的公共原点叫做平面直角坐标系的原点。 X 轴和 Y 轴把坐标平面分成四个象限,右上方的叫做第一象限,其他三个部分按逆时针方向依次叫做第二象限、第三象限和第四象限。象限以数轴为