

高 等 学 校 教 材

HUANJING JI SHUIZIYUAN
XITONGZHONG DE
GIS JISHU

环境及水资源 系统中的 GIS技术

赵勇胜 林学钰 等 编著



高等教育出版社

高等学校教材

环境及水资源系统 中的 GIS 技术

赵勇胜 林学钰 等编著

高等教育出版社

内容提要

本书是一本地理信息系统技术在环境和水资源领域应用的著作。全书共六章,全面阐述了地理信息系统的基本概念、基本应用、环境及水资源信息系统、GIS 技术在环境与水资源系统中的应用及地下水动态预警的基本理论。本书的重点是环境及水资源专题制图的表示方法;环境及水资源信息系统的组成、特点和功能;GIS 技术在生态环境、大气环境、土壤环境、水环境、非点源污染研究中的应用。

本书可作为水文及水资源专业和环境科学与工程专业高年级本科生和研究生的学习用书,对从事水资源与环境监测、管理评价和规划决策的人员有实用参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

环境及水资源系统中的 GIS 技术/赵勇胜 林学钰
等编著. 北京:高等教育出版社,2006.12

ISBN 7-04-020063-5

I. 环... II. 赵... III. ①地理信息系统-应用-
环境系统-高等学校-教材②地理信息系统-应用-
水资源管理-高等学校-教材 IV. ①X21-39②
TV213.4-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 129573 号

策划编辑 陈 文 责任编辑 田 军 封面设计 丁文燕
责任绘图 郝 林 版式设计 余 杨 责任校对 殷 然 责任印制 毛斯璐

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京嘉实印刷有限公司		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	2006 年 12 月第 1 版
印 张	20.25	印 次	2006 年 12 月第 1 次印刷
字 数	370 000	定 价	25.40 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 20063-00

前 言

地理信息系统(geographic information system, GIS)是采集、贮存、管理、查询、分析与空间地理分布有关数据的计算机信息系统,能够为分析、决策提供重要的支持平台。它广泛地应用于地学、资源管理、环境监测、土地规划、城市规划、经济建设等领域,是一门综合性的技术。

近 20 年来, GIS 在水资源及环境领域的应用发展非常迅速,经历了从数据处理与管理到多源信息的分析、服务与决策的发展过程。水资源、环境问题与地理要素紧密相关,运用 GIS 技术有效处理基于水资源、环境问题的大量复杂空间信息,在很大程度上促进了水资源和环境科研与管理领域的工作质量和效率。目前 GIS 在我国水资源和环境领域的应用进入了新的阶段,精细化、规范化和标准化的程度正在不断提高。

随着资源环境压力的日益增大, GIS 的应用潜力将不断扩大。今后 GIS 在水资源和环境领域的应用将向综合化、实用化和一体化方向发展,主要体现在:基于 GIS 的资源环境模型的开发,使 GIS 的应用从资源环境信息管理向决策支持方向发展;GIS、RS、GPS 技术的一体化应用;发展智能化 GIS,利用人工智能的方法建立环境与水资源专家知识库;建立描述三维、四维地理实体的几何模型,能够处理地下水文等真三维现象。

目前应用地理信息系统的人员往往熟悉具体系统操作,但缺乏相应的环境及水资源领域的专业知识,在空间分析和专业模型的构建能力上很薄弱;而多数环境及水资源工作者又缺乏 GIS 的基本知识及深入应用。因此有必要编写一本 GIS 技术在水资源和环境系统中应用的教材,为从事水资源环境研究的人员提供一本教学参考书,为推动 GIS 技术在该领域的全面、深入应用贡献一份力量。

本教材是在参阅了大量的国内外有关专著、论文,并结合编写者多年的教学、科研成果的基础上编写而成的。全书将 GIS 基本理论、环境与水资源系统分析、GIS 在环境水资源系统中的具体应用有机地结合在一起,使读者既可以学习到 GIS 的基本理论知识,也可以从系统论的角度了解 GIS 在环境与水资源系统中的基本应用,以及具体的应用实例,从而使读者能够真正领会和把握 GIS 的科学性、技术性和实用性。本书可作为大学高年级本科生和研究生的教学用书,也可作为从事水资源、环境科学与工程领域的科技工作者的参考书。

本教材共分六章,第一、二、三章及第五章的第四、五节由张博编写;第五章的一、二、三节由林学钰、苏小四、朱琳编写;第四章、第六章及第五章第六、七节

由洪梅、赵勇胜编写,全书由赵勇胜统稿。参加本书编排工作的人员有张文静、李隋、韩融、秦传玉、樊冬玲、刘朝辉、李志斌、彭祥捷,在此表示感谢。

由于编著者水平和时间的限制,教材中错误和不足之处在所难免,敬请读者不吝指正。

编者

2006年6月

目 录

第一章 GIS 基本原理

第一节 导论	1
第二节 地理空间	4
第三节 空间数据	14
第四节 空间数据库	22
第五节 Web GIS	28

第二章 GIS 基本应用

第一节 空间数据处理	35
第二节 空间分析	39
第三节 地图的制作	48
第四节 环境及水资源专题制图的表示方法	56
第五节 应用型 GIS 软件设计	61
第六节 虚拟现实的地理信息系统	75

第三章 环境及水资源信息系统

第一节 监测系统	86
第二节 评价系统	95
第三节 管理系统	99
第四节 模型系统	106
第五节 空间决策支持系统	115

第四章 环境系统中的 GIS 技术

第一节 GIS 在生态环境中的应用	119
第二节 GIS 在大气环境中的应用	143
第三节 GIS 在土壤环境中的应用	165
第四节 GIS 在固体废物处理处置中的应用	170
第五节 GIS 在非点源污染研究中的应用	177
第六节 GIS 在城市给排水管网中的应用	194

第五章 水资源系统中的 GIS 技术

第一节 GIS 技术在水资源领域应用的发展过程与趋势	210
----------------------------------	-----

第二节	基于 GIS 的水资源决策支持系统	214
第三节	地下水地理信息系统	222
第四节	流域产汇流分析计算系统	232
第五节	洪水灾害监测与损失风险评估系统	244
第六节	GIS 在水环境中的应用	251
第七节	GIS 在地下水易污染性评价中的应用	257
 第六章 实例——地下水动态预警系统		
第一节	地下水动态预警的原理与方法	266
第二节	地下水动态预警系统	286
第三节	大庆西部地下水预警系统研究实例	294

第一章 GIS 基本原理

第一节 导 论

一、GIS 的概念

1. 地理信息

地理信息是有关地理实体的性质、特征、运动状态的表征。空间位置、属性特征和时间特征是地理信息的三个组成部分。空间位置数据描述地物所在位置,可以依据绝对位置(经纬度坐标,大地坐标)和相对位置(如空间包括、相邻、相离)来描述;属性特征可用非空间数据表达,是描述地理实体定性或定量指标的数据;时间特征是指地物发生变化或其信息被采集的时刻或时段。

2. 地理信息系统(geographic information system,缩写为 GIS)

GIS 是一种采集、管理、分析、显示与应用地理信息的计算机系统,广泛应用于环境、水政、市政、交通、通信等部门的管理、决策与规划。

3. GIS 与一般信息系统的区别

GIS 使用空间数据,其处理的信息具有空间性,可以进行空间查询、分析,这是一般信息系统做不到的。

4. 组成 GIS 的三部分

组成 GIS 的三部分包括:计算机系统(硬件、软件),地理空间数据库,人员组织。人为因素在 GIS 中的作用大于一般的信息系统。GIS 的成功开发和使用已经超出了纯技术范畴。

二、GIS 的功能

GIS 既可以是数据采集系统,也可以是管理系统,还可以是决策支持系统。作为数据采集系统,对空间数据、属性数据进行采集、编辑与检验;作为管理系统,它要回答什么地方有什么地物,什么地物在什么地方,符合某类条件地物在哪里,某个区域实体空间分布的模式,某个地区发生事件的时间变化过程及发展趋势等,例如可以在系统中查询污染级别为Ⅲ的河段,城市大气污染等级的分布

状况等;作为决策支持系统,可以基于专业模型进行模拟,告诉人们未来如果具备某种条件某地将发生什么事情,怎样控制条件,以利于事情向好的方向发展等。

按照信息系统的信息流,将 GIS 功能分为六类:

1. 数据采集、检验与编辑

此功能是把地理实体按顺序转化为 x, y 坐标及对应的代码输入到计算机中;根据需要选择与地理实体相关联的属性数据也输入到计算机中。

2. 数据存储与组织

地理实体要素特征经数据格式定义、格式转化、数据概化后以一定的组织方式存储在数据库中,建立起空间数据和属性数据之间的联系及和空间数据之间的拓扑关系,便于数据访问、提取、检索、更新、维护等操作。

3. 数据处理与变换

将数据从一种数学状态转换为另一种数学状态,包括投影变换、辐射纠正、比例尺缩放、误差改正和处理等;从一种几何状态转换到另一种几何状态,包括数据拼接、截取、压缩、结构转换等。

4. 空间分析

空间分析功能是 GIS 的核心功能。它包括以下三方面内容:一是建立空间索引,从而实现空间检索功能,二是空间拓扑叠加分析功能,其实质意义是空间上的布尔运算;三是空间模拟分析,即如何将 GIS 与水文、环境模型结合。

5. 地理数据的显示

数据经系统处理和分析,产生新的概念和内容,可以直接输出各种地图、图像、图表或文字说明,其中地图是 GIS 的主要产品,包括二维和三维数字地图、虚拟现实。

6. 二次开发功能

用二次开发语言由用户自己编程,调用 GIS 的类库或控件,编制适合各个领域可满足不同需求的用户界面和二次开发的功能。

三、GIS 的相关学科

GIS 是传统学科与现代技术相结合的产物,这些学科都为其提供了理论指导和技术方法。

1. 地理学

地理学是一门研究地表圈层结构各种现象的分布规律及人地关系的科学。它为 GIS 提供有关空间分析的基本观点和方法,是 GIS 各功能的来源,同时 GIS 为地理学提供研究手段,通过 GIS 手段使许多复杂问题的研究得到简化和量化。

GIS 作为一种通用技术,逐渐成为处理空间信息,广泛用于地学研究的日常方法。

2. 地图学

从历史上看,GIS 来源于地图,并成为地图信息的一种新载体,它是地图内容的数字表示。二者区别在于,地图强调信息载体,而 GIS 侧重于空间分析。机助制图是 GIS 的部分功能,电子地图本身就具有 GIS 的基本功能。

3. 计算机科学

数据库系统主要用于存储、查询、管理数据,并有基本的统计分析功能,但一般的 DBMS 在处理空间数据时,缺乏空间数据引擎。计算机图形学提供了图形处理、显示等技术方法。人工智能推动了 GIS 空间分析的进步。计算机网络技术的发展则使 GIS 成为信息发布的工具,WebGIS 实现了互联网环境下地理信息的发布。面向对象的软件开发思想为 GIS 组件化开发提供了理论基础。

4. 遥感

遥感已经成为 GIS 的主要信息来源和数据新途径。GIS 作为管理数据的工具进一步促进了遥感信息的综合开发利用。

四、GIS 的发展

20 世纪 60 年代,美国麻省理工学院提出计算机图形学,而后在此基础上出现了计算机数字地图,GIS 正是由机助制图发展起来的。第一个地理信息系统是加拿大地理信息系统(CGIS)。这一时期机助制图能力较强,地学分析能力较简单。70 年代,计算内存容量、计算速度大增,特别是人机对话和随机操作的应用,使人们可以通过荧光屏直接接收监视数字制图的成果,并进行实时编辑。80 年代是 GIS 普遍发展和推广应用阶段,由于超大规模集成电路问世,推出了第四代计算机,加快了编辑处理速度。软件方面,数据库系统和操作系统出现,GIS 平台软件也相继研制成功,如 ARC/INFO,GENAMAP,MICROSTATION 等,应用于农业、土地利用、城市规划等管理。90 年代 GIS 成为一种通用的地理信息工具,社会对 GIS 的认识普遍增强,用户需求迅速增加,导致 GIS 应用领域迅速扩大,成为许多政府机构的办公工具。当前 GIS 已经成为一门综合技术,成为 IT 业的重要组成部分。GIS 与多媒体、通信、因特网、办公自动化、虚拟现实等多种技术相结合,使信息科学产生了新的分支——地理信息科学。

第二节 地理空间

一、地理空间

地理空间是地球表面大气圈、水圈、生物圈、岩石圈和土壤圈交互的区域,地球上最复杂的物理过程和化学过程就发生在地理空间中。GIS 中的空间概念就是指地理空间。

地球表面几何模型是以大地水准面建立起来的地球椭球体模型。在实际应用中,赤道扁率较极地扁率小得多,因此可以假设赤道面为圆形,采用双轴椭球体模型(又称旋转椭球体)作为地球形体的参考模型。每个 GIS 软件都提供多种旋转椭球体模型,我国目前一般采用克拉索夫斯基椭球体。图 1-1 为真实地球表面、大地水准面和椭球体表面的关系示意。把椭球表示在地图平面上的方法是地图投影,GIS 中的实体的位置是指投影面的直角坐标。三维 GIS 所代表的三维地理空间,是把平面笛卡儿坐标(X, Y)加上高程 Z 。地理空间基础为各种地理信息的输入和输出匹配提供了一个统一的定位框架,是地理信息数据表示格式与规范的重要组成部分,主要包括统一的地图投影、统一的地理网格坐标以及统一的地理编码系统。

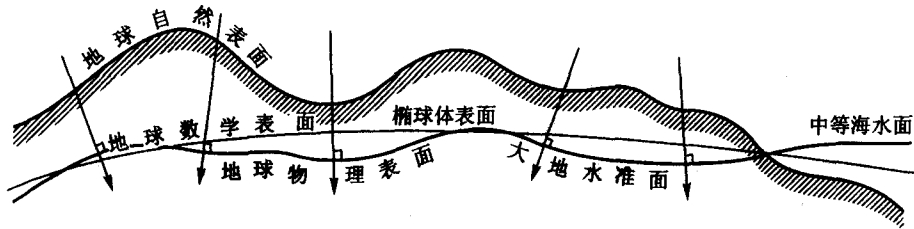


图 1-1 地球自然表面、大地水准面、地表椭球面

二、地图投影

(一) 地图投影的基本问题

地图投影的基本问题,是如何将地球表面表示到地图平面上。

由于地球椭球表面是不可展开的曲面,即不能展开成平面,而地图又必须是

一个平面,所以将地球表面展成地图平面必然会产生裂隙或褶皱。那么采用什么样的数学方法将曲面展开成平面才能使其误差最小呢。回答是必须采用地图投影的方法,即用各种方法将地球表面的经纬网投影到地图平面上。不同的投影方法具有不同性质和大小的投影变形,因此在地理信息系统的建立中,选择恰当的地图投影系统就是首先必须考虑的问题。

投影在数学上的含义是两个面之间的点与点、线与线的对应。同样,地图投影的定义是,建立地球椭球面与地图平面之间的点与点或线与线之间的一一对应关系,将椭球面上各点的大地坐标按照一定的数学规则,变换为平面上相应点的平面直角坐标。数学规则用下面方程表示

$$(X, Y) = f(L, B)$$

式中, L, B ——椭球面上某一点的球面坐标;

X, Y ——该点投影在平面上的直角坐标。

(二) 地图投影的变形

地球表面是一个不规则的曲面,即使把它当做一个椭球体或正球体表面,在数学上讲,它也不是一个能展开的面,要把这样一个曲面表现到平面上,就会发生裂隙和褶皱。在投影面上,可运用经纬线的“拉伸”或“压缩”(通过数学手段)来加以避免,以便形成一幅完整的地图,这样一来,也就产生了变形。地图投影的变形,通常分为长度、面积和角度三种变形,其中,长度变形是其他变形的基础。如图 1-2 所示。

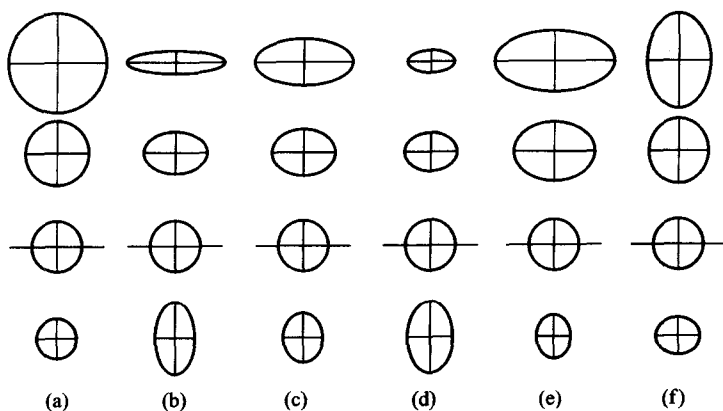


图 1-2 假设在地球表面取一微分圆(称为变形椭圆),
投影后发生长度变形、角度变形

(1) 长度变形 投影后,地图上不同方向或不同位置上长度比例尺不同。

把投影后的长度与实际长度相比,称为长度变形。

(2) 面积变形 投影后,地图上不同位置面积比例尺不同。把投影后的面积与实际面积相比,称为面积变形。

(3) 角度变形 投影后,地图上不同位置和方向的任意两条直线的夹角与实际角度不同。投影后的夹角与实际夹角之差为角度变形。

(三) 地图投影的分类

地图投影分类方法有很多,总的来说基本可以有以下几种分类体系:

1. 按地图投影的变形分类

根据地图投影中可能引入的变形的性质,可以分成等角、等积和任意(其中包括等距投影)三类投影,如图 1-3 所示。

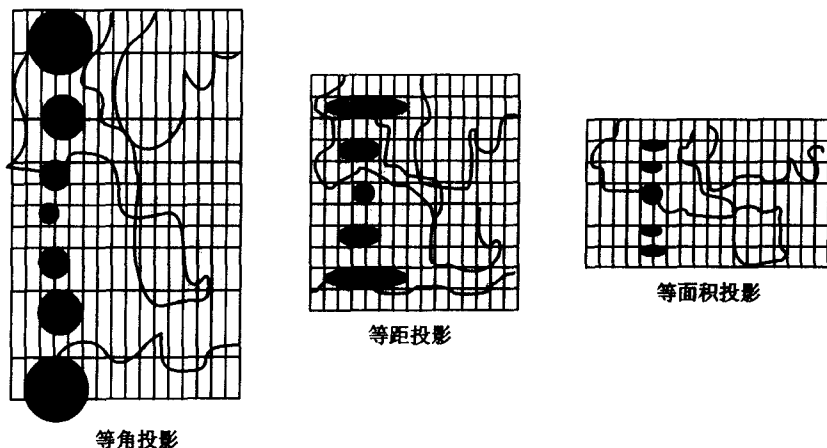


图 1-3 由变形椭圆看等角投影、等距投影、等面积投影

(据蔡孟裔等)

(1) 等角投影 地球表面上无穷小图形投影后仍保持球状相似,或两微分线段所组成的角度投影后仍保持一致,称为等角投影。等角投影中,微分圆投影后仍为圆形,随纬度增加的变化,面积有较大的变形。由于其保持角度不变,因此适用于交通图、航海图、航空图、风向图等。

(2) 等面积投影 地球面上的图形在投影后保持面积不变,这种投影称为等面积投影。在等面积投影中,微分圆变成不同形状的椭圆,但变形的椭圆面积不变,只有角度产生很大变化。适用于土地利用图、社会经济、自然地理图。

(3) 任意投影 既不具备等角性质,也不具备等面积性质的投影,统称为任意投影。在任意投影中,如果沿某一主方向的长度比等于 1,即 $a=1$ 或 $b=1$,则

这种投影称为等距投影。其面积、角度变形均不太大,适合于科学普及图。

2. 按投影面方法分类

(1) 几何投影 源于几何透视原理,将球面上的经纬网投影到平面或可以展成平面的曲面上,然后将该曲面展开成一个平面,得到我们所需要的投影,通常采用的这个可展曲面有圆锥面、圆柱面、平面(曲率为零的曲面),相应可以得到圆锥投影、圆柱投影、方位投影。同时还可以根据投影面与地轴的相对位置分为正轴投影(中心点在两极上,或投影面的中心线与地轴一致)、横轴投影(中心点在赤道上,或投影面的中心线与地轴垂直)及斜轴投影(中心点既不在两极上也不在赤道上,或投影面的中心线与地轴斜交)。这一分类可以用图 1-4 来表示。在这一分类中,当投影面与地球面相切时称为切投影,投影面与地球表面相割时称为割投影。

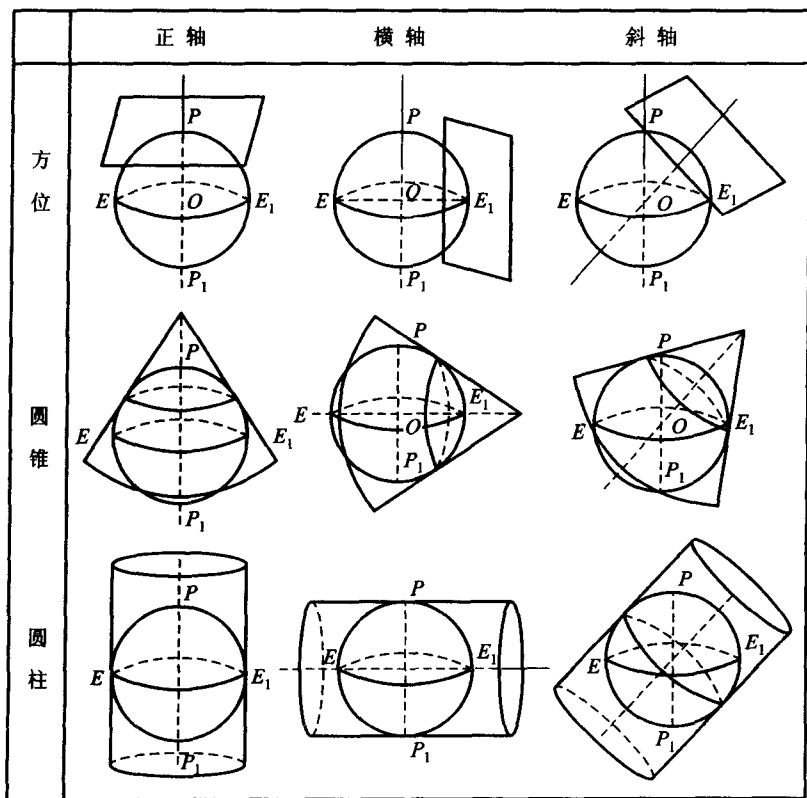


图 1-4 按投影面方法分类示意图

① 圆锥投影:如图 1-5 所示。投影中纬线为同心圆圆弧,经线为圆的半

径,且经线间的夹角与经差成正比。这种投影按变形性质又可分为等角、等积和任意(主要为等距)圆锥投影。等角圆锥投影也称为 Lambert 正形圆锥投影;正轴等面积割圆锥投影又叫做 Albers 投影。

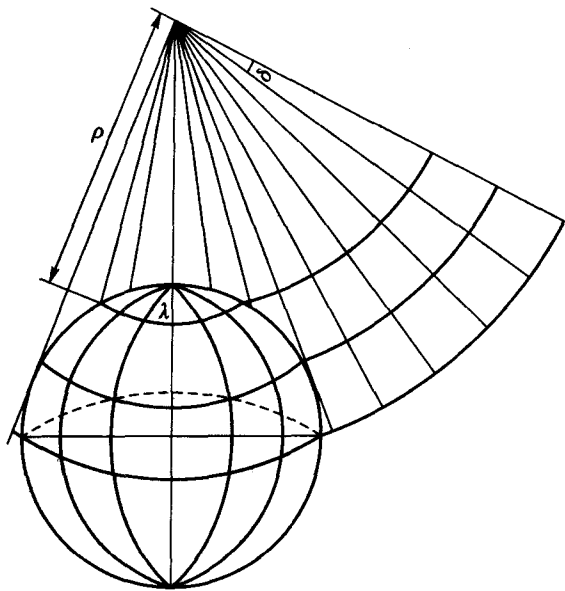


图 1-5 圆锥投影

② 圆柱投影:如图 1-6 所示。投影中纬线为一组平行直线,经线为垂直于纬线的另一组平行直线,且两相邻线之间的距离相等。这种投影按变形性质可分为等角、等积和任意(包括等距)圆柱投影。等角圆柱投影亦叫 Mercator 投影,它在海图和小比例尺区域地图上有广泛的应用。等角横切圆柱投影,即著名的 Gauss-Kruger 投影,等角横割圆柱投影即通用横轴墨卡托投影,它们都广泛用于编制大比例尺地形图。

③ 方位投影:如图 1-7 所示。投影中纬线为同心圆,经线为圆的半径,且经线间的夹角等于地球面上相应的经度差。这种投影按变形性质可分为等角、等积和任意方位投影。等积方位投影亦称为 Lambert 等积方位投影。等距方位投影又称为 Poster 投影。

(2) 非几何投影 把数学公式作为投影规则,确定平面与曲线之间点与点之间的函数关系。按投影后经纬线的形状可分为伪方位、伪圆锥、多圆锥投影。如图 1-8 所示。

① 伪圆锥投影:投影中纬线为同心圆圆弧,经线为交于圆心的曲线。如图 1-8B₂右所示。

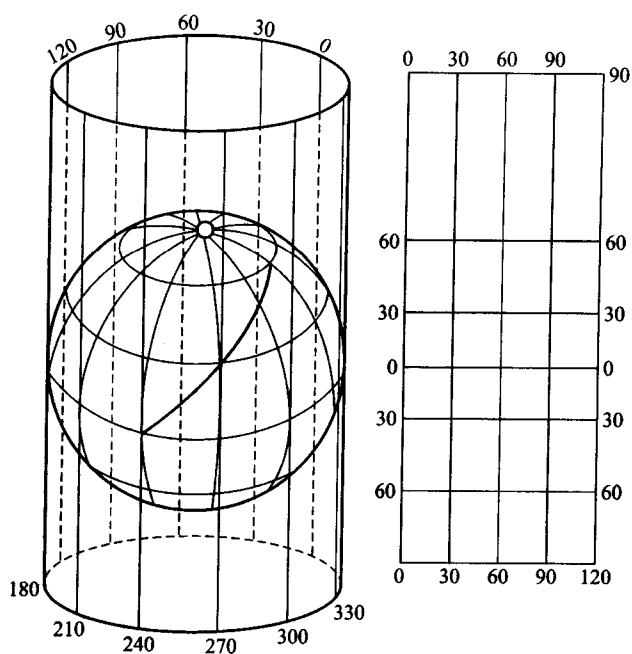


图 1-6 圆柱投影

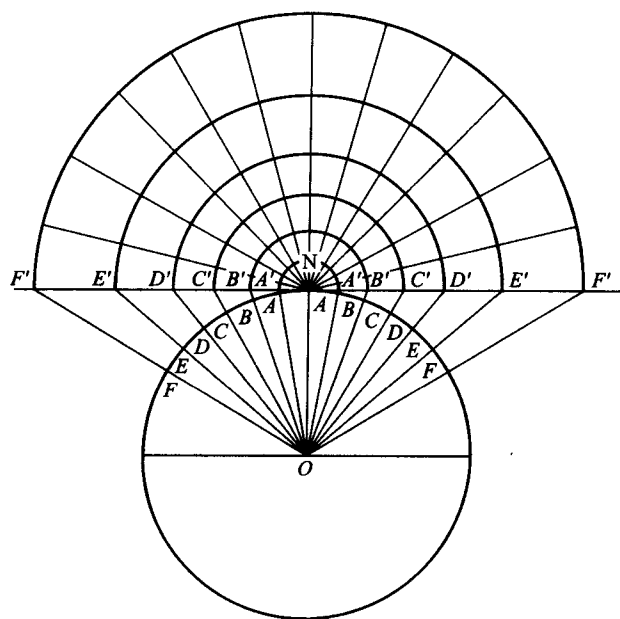


图 1-7 方位投影

② 伪圆柱投影: 纬线为一组平行直线, 经线为某种曲线。如图 1-8B₂ 左所示。

③ 伪方位投影: 投影中纬线为同心圆, 而经线为交于一圆心的曲线。如图 1-8B₂ 右所示。

④ 多圆锥投影: 投影中纬线为同轴圆弧, 其圆心在中央经线上, 其他经线为对称中央经线的曲线。如图 1-8B₁ 右所示。

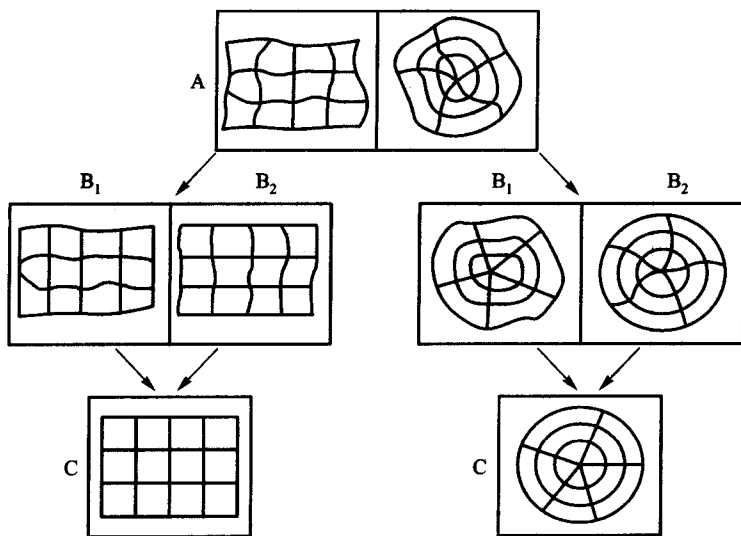


图 1-8 非几何投影示意

(四) 投影选择

1. 投影与 GIS 的关系

地图是 GIS 的主要数据源, 即 GIS 数据多来自于各种类型的地图。不同的地图资料根据其目的, 成图时采用不同的投影方式。当把这些来自地图资料的数据输入计算机时, 首先要考虑将它们进行转换, 用共同的地理坐标系或直角坐标系作为参照系来记录存储各种信息要素地理位置和属性, 保证同一地理信息系统内 (甚至不同的系统间) 的信息数据能够实现交换、共享和配准, 否则此后所有基于地理位置的分析、处理和应用都是不可能的。GIS 产品也和地图出图一样要选择合适的投影。

2. 原则

- (1) 投影应与相应比例尺的国家基本比例尺图、省区基本图投影相一致。
- (2) 一般采用两种投影方式, 一种服务于大比例尺数据处理, 另一种服务于