中国地质大学“211 工程”建设重点资助教材
中国地质大学五十周年校庆献礼

高等学校教材

地 图 概 论

主　编　王　琪
副主编　奚大平　林伟华　谢帮华
李才仙　潘　利

中国地质大学出版社

内 容 简 介

本书是根据中国地质大学地理信息系统专业的教学大纲编写的,全书共计 9 章,从 GIS 与地图学的关系入手,主要介绍了地图的基本知识、地图的数学基础、地理数据的表示、普通地图和专题地图的特点及其表示方法、数字地图制图、遥感制图等内容。教材注重原理的讲述,而将部分实践性较强的技能性知识,安排在与本书配套的实习教材中。

本书可作为高等院校地理信息系统专业和地图制图专业的基本教材,也可供其他专业的师生和从事测绘、地理工作的专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地图概论/ 王琪等编著 .—武汉:中国地质大学出版社,2002 9
ISBN 7-5625-1705-3

Ⅰ 地…
Ⅱ 王…
Ⅲ .①基本知识-地图-教材;②基本技能-地图-教材
Ⅳ .P28

地图概论 **王 琪 等编著**

责任编辑:张晓红 技术编辑:阮一飞 责任校对:张咏梅

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 31 号) 邮编:430074
电话:(027)87483101 传真:87481537 E-mail:cbo @ cug . edu . cn
经 销:全国新华书店

开本:787 mm×1 092 mm 1/ 16 字数:270 千字 印张:10. 315
版次:2002 年 9 月第 1 版 印次:2002 年 9 月第 1 次印刷
印刷:湖北地矿印业公司 印数:1—1 000 册

ISBN 7-5625-1705-3/ P · 579 定价:16. 80 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前　言

当今社会,信息化大潮席卷全球,作为数字地球的骨架支撑技术之一的地理信息系统正面临着前所未有的发展。地理信息系统简称 GIS(geographic information system)是集计算机科学、测绘遥感学、地理学、环境科学、空间科学、信息科学和管理科学为一体的多种学科交叉的产物。它是以地理空间数据库为基础、采用地理模型分析方法、适时提供多种空间的和动态的地理信息、为地理研究和地理决策服务的计算机技术系统。

随着 GIS 技术研究和应用的深入发展,我国一批高等院校已设立了“地理信息系统专业”。而 GIS 是以地图数据库(主要来自地图)为基础的,其最终产品之一也是地图,因此 GIS 与地图学之间有着极密切的关系。它们都是地理学的信息载体,同样都具有存储分析和显示(表示)的功能。由地图学到地图学与 GIS 的结合,是科学发展的规律。为了让地理信息系统专业的师生了解地图,我们开设了有关地图学的一些课程,以满足专业发展的需要。本教材正是为满足教学的急需而编写的。

本书从 GIS 与地图学的关系入手,阐述了有关地图的各种知识,为地理信息系统专业的学生学习专业知识提供了必要的基础。同时,对现代地图的新概念、新理论和新技术作了一定的介绍,使教材内容的深度和广度也有所提高。

本书除了作为地理信息系统专业的学生学习地图学的教材外,也适用于测绘、地理类的其他专业,并可作为测绘、地理类等部门的生产、教学和科研人员的参考书。

本书第三章、第四章、第五章、第六章由王琪副教授编写,第二章由奚大平老师编写,第一章由林伟华老师编写,第七章、第八章、第九章由谢帮华、李才仙老师编写。全书由王琪副教授统稿定稿。书中插图由潘利工程师绘制。在编写和出版的过程中,得到了教务处欧阳建平处长、杨伦副处长及图形教研室各位老师的大力支持和帮助,我们在此表示由衷的感谢。

作为一本新教材,必然存在学识上的片面甚至错误。在新世纪中,地图学科的迅猛发展与变革,还将会出现体系、内容上的不足和滞后。因此要使之成为一本高质量的教材,还要经过艰苦的努力以不断完善。我们衷心地希望和欢迎使用本教材的老师、同学及读者提出批评与建议。

编　者

2002 年 5 月

目　　录

第一章　绪　论 …… (1)
§1.1　信息时代的 GIS …… (1)
§1.2　数字地球 …… (7)
§1.3　3S 技术 …… (12)
§1.4　地图学及学科体系 …… (16)
第二章　地图的基本知识 …… (19)
§2.1　地图的基本特性和定义 …… (19)
§2.2　地图的构成要素 …… (22)
§2.3　地图的类型 …… (23)
§2.4　电子地图 …… (25)
§2.5　地图的功能 …… (33)
§2.6　地图的应用 …… (35)
第三章　地图的数学基础 …… (38)
§3.1　地球椭球体 …… (38)
§3.2　地图投影的概述 …… (44)
§3.3　圆锥投影 …… (49)
§3.4　圆柱投影 …… (55)
§3.5　方位投影 …… (59)
§3.6　高斯 - 克吕格投影及应用 …… (62)
§3.7　通用横轴墨卡托投影 …… (67)
§3.8　地图投影变换 …… (68)
§3.9　地图比例尺 …… (71)
§3.10　地图定向 …… (73)
§3.11　地图的分幅与编号 …… (76)
第四章　地理数据的表示 …… (85)
§4.1　概述 …… (85)
§4.2　地图符号 …… (86)
§4.3　地图色彩 …… (92)
§4.4　地图注记 …… (101)
第五章　普通地图 …… (105)
§5.1　普通地图的类型和内容 …… (105)
§5.2　自然要素的表示 …… (106)
§5.3　社会人文要素的表示 …… (113)
§5.4　图外要素的表示 …… (118)
§5.5　国家基本比例尺地形图 …… (119)

第六章　专题地图…… (122)
§6.1　专题地图的特性和类型 …… (122)
§6.2　专题地图的表示方法 …… (124)
§6.3　专题地图设计 …… (129)
第七章　地图集与系列地图…… (135)
§7.1　地图集 …… (135)
§7.2　系列地图 …… (138)
第八章　地图的制作…… (140)
§8.1　地图编绘法 …… (140)
§8.2　数字地图制图 …… (143)
第九章　遥感制图…… (151)
§9.1　遥感概述 …… (151)
§9.2　遥感图像的处理与识别 …… (154)
主要参考文献…… (158)

第一章　绪　论

§1.1　信息时代的 GIS

信息作为一种新兴的产业越来越受到人们的重视,信息革命的浪潮,正以排山倒海之势冲击着整个人类世界。人们别无选择地面对这一信息浪潮,积极投身于这场信息革命之中。在这场信息革命中,地理信息系统(简称 GIS),作为集计算机科学、测绘遥感学、地理学、环境科学、空间科学、信息科学和管理学为一体的新兴边缘学科迅速发展起来。GIS 作为信息化产业重要支柱之一,可将地理时空数据在遥感(简称 RS)、全球定位系统(简称 GPS)一体化基础上进行系统集成,其应用服务面极广,与涉及国家安全的国防、公安、金融、政府部门的经济信息等关系极为密切。因此得到世界各国领导层和技术部门作为信息的基础予以高度重视。

一、GIS 的定义、组成及功能

人们对各种信息都需要按照一定的目的予以分类,以适当的方式进行收集、存贮、管理,并以有效的方法进行分析利用。在这一过程中所采用的技术与方法,就是各类"信息系统"。信息系统的一个重要功能就是帮助人类提高决策的能力。地理信息系统是属于信息系统的一种,是一种专业的信息系统,它的对象是那些具有空间属性特征的地理信息。

1. GIS 的定义

GIS 是英文(geographic information system 或 geo information system)的缩写,称为地理信息系统或地学信息系统,要给它下个准确的定义是很难的,通常可以从 4 种不同的途径来定义 GIS。

面向功能的定义　GIS 是采集、存储、检查、操作、分析和显示地理数据的系统。

面向应用的定义　根据 GIS 应用领域的不同,将 GIS 分为各类应用系统,如土地信息系统、城市信息系统、规划信息系统、空间决策支持系统等。

工具箱定义方式　GIS 是一组用来采集、存储、查询、变换和显示空间数据的工具的集合。这种定义强调 GIS 提供的用于处理数据的工具。

基于数据库的定义　GIS 是这样一类数据的系统,它的数据有空间次序,并且提供一个对数据进行操作的集合,用来回答对数据库中空间系统的查询。

综上所述,可给 GIS 下这样的定义:GIS 是综合处理和分析空间数据的一种技术系统。它以地理空间数据库为基础,在计算机软、硬件平台支撑下,对空间相关数据进行采集、管理、操作、分析、模拟和显示,并采用地理模型分析方法,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而建立起来的计算机技术系统。

2. GIS 的基本组成

根据在地理信息系统中所起的不同作用,可以将其分成 4 个组成部分。

(1) 硬件:它是指构成地理信息系统所需要的基本设备,主要是指计算机及其外围设备(如数字化仪、扫描仪、绘图仪、打印机和外存贮设备等)。计算机是地理信息系统运行、完成数

据操作和分析的物理组织。数字化仪、扫描仪是信息的输入设备,能将地图或像片等模拟图形,转换成数字形式输入计算机。绘图仪、打印机是图形显示或输出设备。磁盘机或光盘机等外存设备主要用于提供足够的存贮空间,还可以与其他系统进行数据交换。硬件是建立地理信息系统的物质保证,硬件规模的大小,也决定着系统的功能大小。

(2) 软件:软件主要指运行所需的各种程序及有关资料,它的作用是完成地理信息系统的各种应用操作。一般地说,一个完整的综合性的地理信息系统软件应包括 5 个基本模块,即数据输入模块、数据的处理模块、数据的存贮和管理模块、空间分析模块及数据输出模块。

(3) 数据:地理信息系统运行所需要的各种数据,包括数字化了的地图和图像数据以及分析统计数据等。虽然,收集和处理数据是应用地理信息系统最复杂和耗时的一部分内容,但是获取可靠的和精确的空间数据对建立信息系统的数据库非常重要,也决定着地理信息系统的实际应用效益,并且任何信息系统都只有在拥有完备、正确的数据基础上才能发挥作用。所以,须根据系统的功能和目的收集具有权威性和科学性的数据。

(4) 操作者:运转一个地理信息系统不仅需要硬件、软件和数据,更要有“活软件”——运行这个系统的操作人员。理想的操作人员不仅要对计算机知识、地理学知识和地理信息系统的功能比较了解和熟悉,而且还应具有对空间信息进行分析、表现传统制图的素质。

3. GIS 的基本功能

不少专家学者谈起 GIS 都津津乐道,许多工程专家和技术人员对 GIS 倍加恩宠,这是由于 GIS 为人们提供了一个利用地理空间的先进的信息工具,它影响社会的发展进程。GIS 一般有以下几项基本功能。

(1) 数据采集与输入:它是在数据处理系统中将外部的原始数据传输给系统内部,并将这些数据从外部格式转换为系统便于处理的内部格式的过程。原始数据可通过野外、航摄仪器实测或现有地图数字化或航片的扫描等方式获取。这种多形式、多来源的信息,可实现多种方式的数据输入。不论地理信息数据的形式如何多样化,它大体可分为两类:一类是空间数据或地理基础数据,如地形、地物的位置以及形态信息等;另一类是属性数据或描述数据、表格数据,如对地形、地物、土地的分类、特征表述、统计数据、社会和环境数据等。对空间数据一般采用图件数字化、扫描、使用键盘键入空间坐标、购买商业性数据调入计算机或从其他部门获得数字拷贝等,而属性数据可由键盘输入或使用计算机、磁盘中已有的文件。各种数据的采集和输入模式如图 1-1。

(2) 数据编辑与更新:数据编辑主要包括图形编辑和属性编辑。图形编辑主要包括拓扑关系建立、图形编辑、图形整饰、图形拼接、图形变换、投影变换和误差校正等功能。属性编辑主要与数据库管理结合在一起完成。数据更新即以新的数据项或记录来替换数据文件或数据库中相对应的数据项或记录。它是通过删除、修改、插入等一系列操作来实现的。数据更新可以满足动态分析需要,对自然现象的发生、发展作出合乎规律的预测预报。

(3) 数据存储与管理:数据存储和管理通常由图形数据库、属性数据库和数据库管理系统(DBMS)完成。数据存储是将数据以某种格式记录在计算机内部或外部存储介质上。其存储方式与数据文件的组织密度相关,关键在于建立记录的逻辑顺序,即确定存储的地址,以便提高数据存取的速度。属性数据管理一般直接利用商用关系数据库软件,如 ORACLE、FOXBASE、FOXPRO 等进行管理,空间数据管理是 GIS 的数据管理核心,各种图形或图像信息都以严密的逻辑结构存放在空间数据库中。

(4) 空间查询与分析:它是 GIS 的核心,是 GIS 最重要的和最有吸引力的功能,它是区别

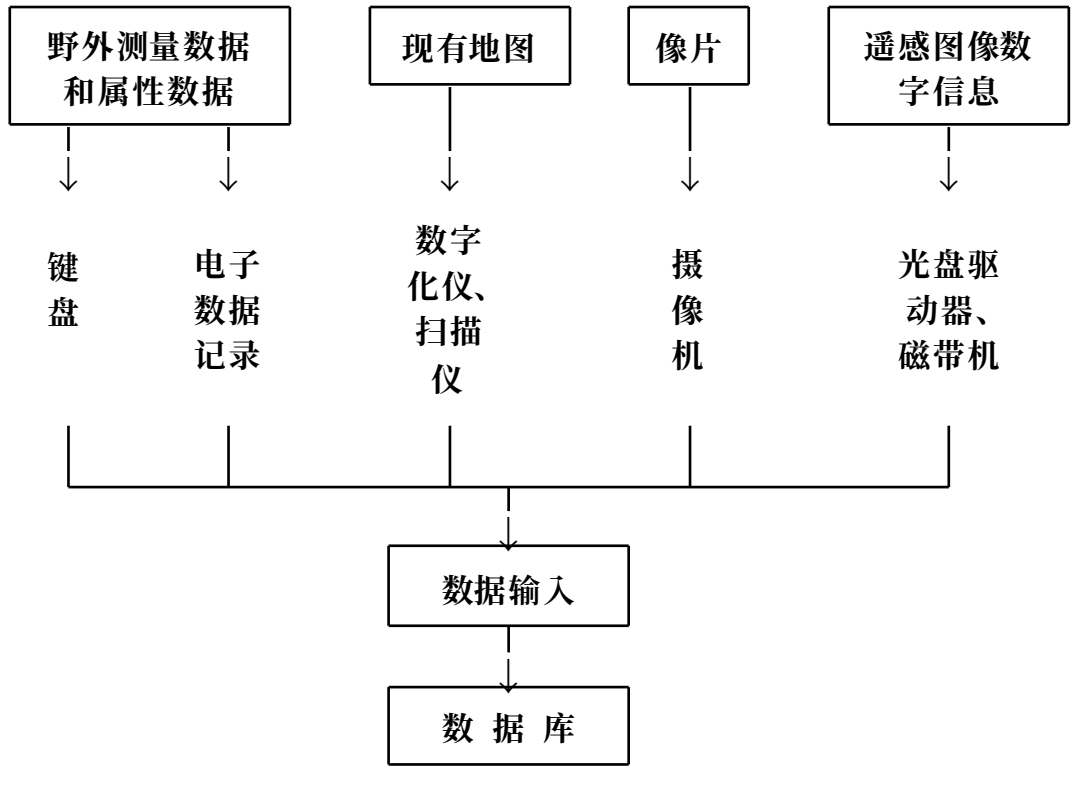


图 1-1　地理信息系统的数据采集和输入过程

于计算机地图制图系统的重要特征,也是 GIS 有别于一般数据库和其他信息系统的本质特征。主要包括数据操作运算、数据查询检索与数据综合分析。数据查询检索即从数据文件、数据表格、数据库或存储装置中查找和选取所需的数据。综合分析功能可以提高系统评价、管理和决策的能力,主要包括信息量测、属性分析、统计分析、数字地形分析、二维模型分析、三维模型分析和多要素综合分析,分析所采用的手段有缓冲区分析、叠合分析、格网分析等。

(5) 数据显示与输出:数据显示是中间处理过程和最终结果的屏幕显示,通过以人机交互方式现场选择显示的对象与形式。对于图形数据根据要素的信息和密度程度,可选择放大或缩小显示。GIS 不仅可以输出全要素地图,也可以根据用户需要,分层输出全要素地图,也可以根据用户需要,分层输出各种专题图、各类统计图、图表及数据等。经 GIS 系统处理的空间和属性数据均可以通过各种设备采用多种形式输出(图 1-2)。

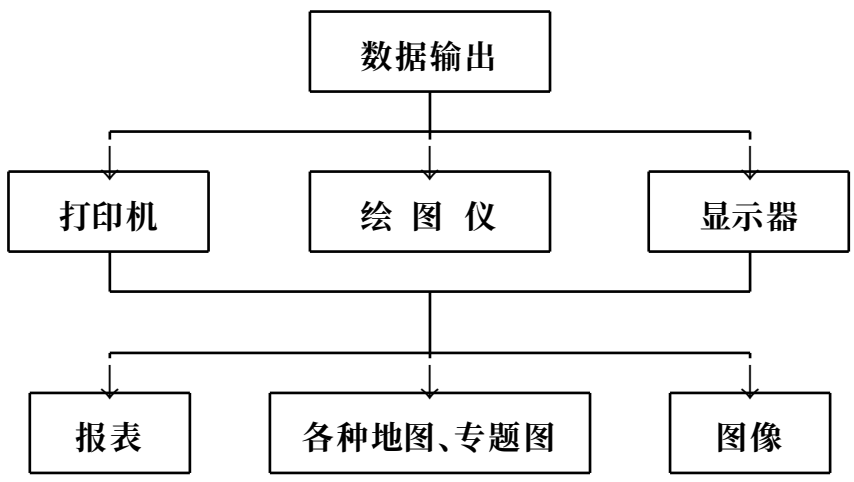


图 1-2　GIS主要输出设备与输出形式

二、GIS 的应用

GIS 的应用很广,只要是涉及到空间地理位置的地方都用到 GIS。GIS 在信息社会已深

入到各行各业,成为人们工作、学习、生活的强有力的信息工具。

1. 可对全球变化进行动态监视

例如美国地质测量局(USGS)的地球资源观测卫星数据中心和加拿大遥感中心(CCRS)合作,将连续十天采集的数据融合在一起,形成北美植被指数圈,它与 GIS 中各种数据结合,建立北美土地覆盖数据库,供研究全球变化。

2. 为国家基础产业服务

GIS 可用来进行全国性的自然资源清查、土地调查、环境管理、森林管理、各种灾害的监测、国民经济调查和宏观决策分析等。

3. 为城市建筑服务

GIS 可用于城市总体规划、城市建筑用地适宜性评价、环境质量评价、道路交通规划、公共设施配置以及城市环境的动态监测等。

4. 为企业服务

GIS 可用于企业的生产和经营管理。如德国的露天煤矿,利用航测方法建立和更新矿区 GIS ,在此基础上设计开采面作业计划、矿石运输线路、废矿石堆放位置,从而使生产达到最佳作业。

5. 为工程施工服务

香港新机场是通过填海开辟场区,地价比金子还昂贵,用 GIS 在二十四小时内给出填土方量、工时等各种费用以及建场状况来指挥机场施工,如果用人工方式是绝对做不到的。

6. 为商业服务

通过 GIS 为商业企业创造空间竞争优势。如我国南方沿海开放地区,为了有偿使用和转让土地的使用权,引进外资,他们都主动地投资建 GIS,充分显示了 GIS 的商用价值。

7. 为军事服务

军事领域中运用 GIS 技术最成功的当属 1994 年海湾战争。美国国防制图局(DMA)的 GIS 充分发挥了作用。他们在工作上建立了 GIS 与遥感集成系统,这种系统能用自动影像匹配和自动目标识别技术处理卫星和高低侦察机实时获得的战场数字景象,及时地(不超过 4h)将反映战场现状的正射影像图像叠加到数字地图上,数据直接传送到海湾前线指挥部和五角大楼。为军事决策提供二十四小时的实时服务。

三、GIS 软件

现在 GIS 软件众多,国外一些有代表性的 GIS 软件有 ARC/ INFO、GENAMAP、SPANS、MAP/ INFO、EROAS、SICAD、IGDS/ MRS 等。其中 ARC/ INFO 已经愈来愈多地为世界各国地质调查部门所采用,并在区域地质调查、区域矿产资源与环境评价、矿产资源与矿权管理中发挥越来越重要作用。我国开发的比较流行的 GIS 软件有:中国地质大学的 MAPGIS、北京大学的 Citystar、武汉测绘科技大学的 Geostar、中国林业科学研究院的 VIEWGIS、深圳雅都图形软件有限公司的 GROW 等。我国 GIS 软件开发与国外的距离正在缩小,这里着重介绍中国地质大学的 MAPGIS。

(一) 概述

MAPGIS 地理信息系统是中国地质大学信息工程学院开发的工具型地理信息系统软件。该软件产品在由国家科技部组织的国产地理信息系统软件测评中连续多年都名列前茅,是国家科技部向全国推荐的唯一国家地理信息系统软件平台。以该软件为平台,开发出了用于城

市规划、通信管网及配线、城镇供水和煤气、综合管网、电力配网、地籍管理、土地详查、GPS 导航与监控、作战指挥、环保监测等一系列应用系统(图 1-3)。

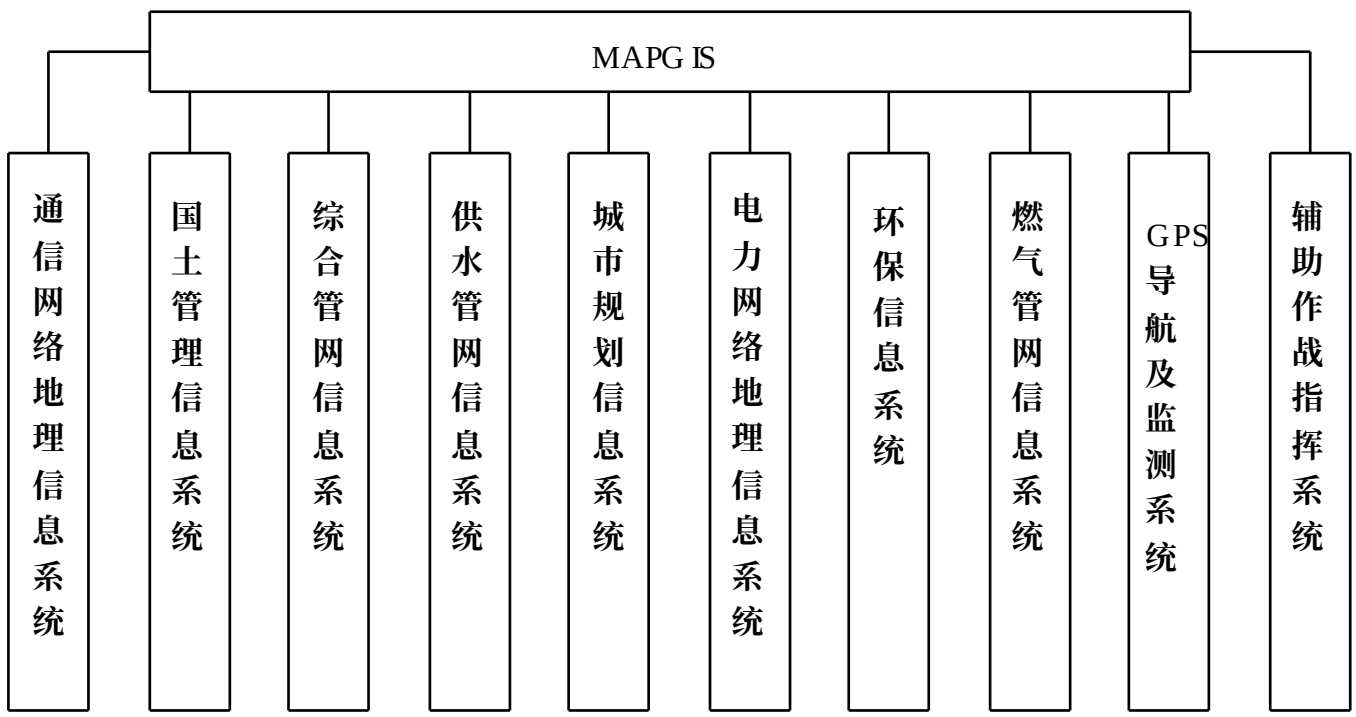


图 1-3　MAPGIS十大应用系统

(二) MAPGIS 的主要功能

1. 灵活方便的地图输入

数字化仪输入　包括点、线、面的数字化输入,输入图元的平差校正及分层管理等功能。

扫描矢量化输入　交互式、半自动、全自动等多种矢量化方式。用人工智能及模式识别技术,率先实现灰度扫描和彩色扫描矢量。

GPS 输入　可直接处理 GPS 测定的三维空间数据。

文件转换输入　对于由其他应用软件所产生数据如 AUTOCAD、ARC/ INFO、MAP/ INFO、DLG 及 ASCII 格式等进行转换输入。

2. 强大实用的图形编辑功能

它提供对图形数据进行大动手术的能力。可对点、线、面图元的空间位置及参数进行直观的、智能性的修改,包括增加、删除、移动、复制、修改、剪裁、提取、移位、旋转、放大、分割、联接、平滑、变形、替换、统改、对齐、靠近、边缘处理等 200 多种编辑操作,从而使输入的图形更准确,更丰富及更美观。

3. 出色的地图投影变换

20 多种不同投影间的相互转换,1954 年北京坐标系和 1980 年国家坐标系转换,大地坐标、经纬坐标转换,全系列标准图框和非标准图框生成功能。

4. 完备的错误检查及误差校正

错误检查是指帮助用户检查数据错误,节约数据修改时间,提高数据质量。误差校正是指采用多种方法如仿射变换、二次变换、高次变换等进行自动校正,消除线性或非线性变化,满足高精度数字制图要求。

5. 无限大的外挂系统库

将图形中的文字、图形符号、注记、填充花纹及各种线型等抽取出来,经过编辑、修改,生成外挂式的符号库、线型库、填充图案库和颜色库,用户可根据不同应用、不同行业的标准建立合

适的符号、图案和颜色库。

6. 海量无缝图库管理

图库操作　提供建立图库、修改、删除及图库漫游等一系列操作。

图幅操作　提供图幅输入、显示、修改、删除等功能,用户可随时调用、存取、显示、查询任一图幅。

图幅剪取　用户任意取框,系统自动剪取框内的各幅图件,并生成新的图件。

图幅配准　提供平移变换、比例变换、旋转变换和控制点变换。

图幅接边　可对图幅帧进行分幅、合幅并进行图幅的自动、半自动及手动接边操作,自动清除接合误差。

图幅提取　对分层、分类存放的图形数据,按照不同的层号或类别,根据用户相应的图幅信息,合并生成新的图件。

小比例尺图库及矩形图幅建库管理　提供图幅拼接、建库及跨带拼接等功能。

7. 高性能的空间数据库管理

动态外挂数据库的联接　可实现一图对多库、多图对一库应用要求。

多媒体属性库管理　可将图像、录像、文字、声音等多媒体数据作为图元的属性存放,以适应各种应用需要。

开放式系统标准　支持运用 TCP/ IP 协议的 LAN 和 WAN 环境的访问,支持 UNIX 和 PC 平台混合配置。

完善的安全机制　保证用户对数据库的访问权限,在单个图元记录及空间范围层面上支持共享和独占的锁定机制。

8. 完备的空间分析工具

空间叠加分析　提供区对区叠加分析、线对区叠加分析、点对区叠加分析、区对点叠加分析、点对线叠加分析、BUFFER 分析等。

属性数据分析　有单属性累计频率直方图、单属性分类统计、双属性累计直方图、双属性累计频率直方图、双属性四则运算等操作。

地表模型和地形分析　能进行坡度、坡向分析、分水岭分析、流域分析、土方填挖计算、地表长度计算、剖面图制作及根据地形提取水系、自动确定山脊线、等高线等。

网格化功能　对离散的、随机采样的高程数据点进行网格化及加密内插处理。

三维绘制功能　可对 Grd、Tin 模型数据完成三维光照绘制,实现三维景观的多角度实时观察、三维地表模型的模拟飞行功能,并提供三维彩色立体图绘制功能。

9. 实用的网络分析功能

最短路径求解　指定若干地点,求顺序经过这些地点的最短路径。

最佳路径　任意指定网线和结点处的权值,求取权值最小的路径。

游历方案求解　求取遍历网线集合或结点集合的最佳方案。

上下游追踪　查找网络中与某一地点联系的上游部分或下游部分。

空间定位　为用户规划各类服务设置的最佳位置。

资源分配　模拟资源在网络中的流动,求取最佳的分配方案。

关阀搜索　由用户指定爆管处,求取所有需关的阀门。

10. 多源图像分析与处理

可以进行图像变换、多波段遥感图像处理、正态分布统计、多元统计及图像配准镶嵌、图像

与图形叠合配准。

11. 方便的二次开发

能支持 C++、VB、Delphi、Active X 等集成开发环境。具有多层次: API 函数层; C++ 类层; Active X 控件层。

12. 符合国际标准的多样式输出

可支持各种型号的矢量输出设备和打印机;光栅处理程序可将矢量数据处理成 CMYK 光栅数据输出到彩色喷墨绘图仪等设备上;印前出版处理可将矢量数据生成 POSTSCRIPT 或 EPS 输出文件;电子表格系统提供一个强有力的多用途报表应用程序;输出接口提供输出 AUTOCAD、ARC/ INFO、MAP/ INFO、DLG、CGM、ASCII 文件能力;输出符合正式出版的高精度彩色图件

§1.2　数字地球

我们人类生活的家园——地球,丰富多彩,错综复杂,既有浩瀚的大海和巍峨的高山,也有广阔的平原和沙漠。我们认识它最常用的工具就是地图,地图上用地图语言(各种符号、色彩和文字)表示了地球上高山、大海、河湖、城市、植被等。而地球仪则是一种特殊的地图,与地图相比,地球仪更加生动形象地向人们描述了地球上的一切。然而,如果你想在地球仪上找到自己家街道门牌,想看一看珠穆朗玛峰挺拔的雄姿,想了解武汉到世界各大城市的距离……,显然,借助普通地球仪是很困难的,或者根本不可能。而借助一种新型“地球仪”——数字地球,利用鼠标和你的手指,“指指点点”间便可得到在普通地球仪上无法得到的很多信息,正如微软公司总裁比尔·盖茨所说“信息在你手指尖”。

一、数字地球由来

“数字地球”(digital earth)作为一个名词,在世界范围内由两次极具有影响力的重要讲演体现出其权威性和重要性。一次是美国副总统戈尔(Al Gore)于 1998 年 1 月 31 日在美国加利福尼亚科学中心发表的题为“数字地球:21 世纪认识地球的方式(the digital earth: understanding our planet in the 21st Century)”的讲演;另一次是江泽民主席于 1998 年 6 月 1 日在中国科学院第九次院士大会和中国工程院第四次院士大会上的讲演。江泽民主席在这次讲演中指出:“前几年提出了‘信息高速公路’,随后又提出‘知识经济’,最近美国副总统戈尔又提出了‘数字地球’的概念。真是日新月异啊!”

戈尔在 1998 年 1 月 31 日的讲演中指出:我们需要一个“数字地球”,一个可以嵌入海量地理数据的、多分辨率的、真实地球的三维表示,可以在其上添加许多与我们所处的星球有关的数据。同时戈尔用小孩参观一个地方博物馆的例子,描绘数字地球的场景:“当他戴上头盔时,他便可以看到与从太空看到的一样的地球。然后,通过数据手套,他可以对所看到的影像进行放大,这样通过越来越高的分辨率,他便可以看到各大洲以及不同的地区、国家、城市等内容,甚至最后还可以看到具体的房屋、树木以及其他自然的或人造的对象。”他还认为,“数字地球”所需要的技术涉及到以下几个方面:以建模与数字模拟为特征的计算科学、海量存储技术、高分辨率的卫星图像技术、每秒传送一百万兆比特数据的宽带网络、互操作规范、元数据标准以及卫星图像的自动解译、多源数据的融合和智能代理等。戈尔认为“数字地球”潜在的应用会远远超出我们的想象力,他认为如果看看现今主要由工业界和其他一些公共领导机构驱动的

地理信息系统和遥感数据的应用,就可以从中对“数字地球”的种种可能应用有一个概貌,如:指导仿真外交、打击犯罪、保护生态多样性、预报气候变化和提高农业生产率等方面。

在 1998 年 3 月,戈尔还在美国麻省理工学院的一次讲演中建议发射一颗能在电视和因特网上实时反映台风、森林火灾、云图以及其他地球现象的卫星。戈尔把这颗卫星称为“翠阿那”,这是一位同克雷斯托夫·哥仑布一起航行并第一个迈上新大陆的水手的名字。美国宇航局为了落实戈尔的建议,已组成一个由 6 位工程师参加的攻关小组,正在开展有关的初步设计。这颗卫星计划耗资 5 000 万美元,重 135kg,在月球的外层轨道上飞行,那里太阳和地球引力是平衡的。卫星将总是对准面向太阳的地球那半部分。它传送的图像的清晰度是高分辨率电视机的两倍。图像将传送到大学,进入因特网和电视。卫星计划由空中飞船发射,将对太平洋具有比以前更仔细的监测。这项卫星计划被认为是响应戈尔提出的“数字地球”设想的一个具体措施。

数字地球的提出有其深刻的时代背景、经济背景和技术背景。它的提出是第二次世界大战以来,特别是 20 世纪 70 年代以来的“信息革命”的一个自然发展,是空间技术、信息技术、网络及其应用技术环境发展到一定阶段的产物。美国在 1998 年全球经济处于低迷状态下,率先提出数字地球这一战略思想也绝非偶然,有其深远的政治意义和经济背景;不仅是世界科学技术的发展,向人类提供一个颇具吸引力的技术系统,而是为了刺激国内经济的发展,为保持美国在科学技术方面的领先地位,是美国“信息高速公路”和国家空间数据基础设施的自然延伸和美国全球战略的延续和发展。我们应充分认识到数字地球的战略意义,从我国利益和国家目标出发,推行中国数字地球的需求分析和战略规划,积极慎重地制定数字地球的中国战略。

二、数字地球的定义

目前,科技界尚未有关于数字地球的确切学术定义,国内外有关数字地球的定义也有许多种。戈尔在他的文章里指出:“我相信我们需要一个数字地球,即一种可以嵌入海量地理数据的、多分辨率的和三维的地球的表示。”他同时较明确地把对数字地球与遥感技术、地理信息系统技术、计算机技术、网络技术、多维虚拟现实技术、可持续发展决策、农业、灾害(水灾、旱灾、火灾)、资源、全球变化、教育、军事等连在一起。在 1998 年 6 月 23～24 日,美国宇航局和地质调查局等 15 个单位 45 人参加的美国第一次数字地球研讨会上对于数字地球提出了一个非正式但是阶段性的定义:

The Digital Earth is a virtual representation of our planet that enables a person to experience and use the vast amounts of natural, cultural, and historical data being gathered about the Earth. The Digital Earth comprises data interfaces and standards enabling access to georeferenced data from remote sensing, cartographic, demographic, medical, and other sources, based on the interests of the user.

陈述彭院士认为,数字地球提出了一个号召,到底这个数字地球是什么,可以根据个人的理解去琢磨它,并指出,从科学角度讲,数字地球通俗易懂,是一个面向社会的号召,实质上就是要求地球上的信息全部实现数字化。

杨崇俊认为,数字地球是对真实地球及其相关现象的统一性的数字化重现与认识;数字地球的特点是空间性、数字性和整体性;数字地球的组成,至少有一个空间数据、文本数据、操作平台、应用模型;如果从学科方面来看,它应该有理论体系、技术体系、应用体系、工程体系。

综上所述,数字地球就是对真实地球及其相关现象统一性的数字化重现与认识。通俗地

讲,就是用数字的方法将地球、地球上的活动及整个地球环境的时空变化装入电脑中,实现在网络上的流通,并使之最大限度地为人类的生存、可持续发展和日常的工作、学习、生活、娱乐服务。我们对数字地球学术定义提出的看法是:数字地球是对真实地球及其相关现象的统一性的数字化重现和认识,它包括构成体系的数字形式的所有空间数据和与此相关的所有的文本数据,及其涉及到的把数据转换成可理解的信息并可方便地获得它的一切相应的理论和技术。这些数据不仅包括全球性的中、小比例尺的空间数据,还包括大比例尺的空间数据(比如大比例尺的城市空间数据);不仅包括地球的各类多光谱、多时相、高分辨率的遥感卫星影像、航空影像、不同比例尺的各类数字专题图,还包括相应的以文本形式表现的有关可持续发展、农业、资源、环境、灾害、人口、全球变化、气候、生物、地理、生态系统、水文循环系统、教育、军事等等不同类别的数据。相应的理论和技术主要包括数据结构理论、多源多时相多分辨率数据集成理论、分布式计算理论、海量存储理论、三维仿真理论、空间数据仓库理论、智能化信息提取理论、信息的认知理论、遥感技术、动态互操作技术、数据发掘技术、开放平台、构件技术、分布式对象技术、智能代理技术、计算机图形和虚拟环境技术、多维虚拟现实技术、空间数据多媒体技术以及可持续发展、农业、资源、环境、灾害(水灾、旱灾、火灾)、人口、气候、生物、地理、全球变化、生态系统、水文循环系统等方面的建模理论等。

三、数字地球的特征

数字地球是继信息高速公路(NII&NSDI)之后的又一信息基础设施,它不仅是国家信息基础设施(NII)与国家空间数据基础设施(NSDI)的高度综合,而且还是地球观测系统(EOS)和全球观测信息网络(GOIN)的高度综合。它不仅是科技发展的战略目标,而且还是全新的学科领域。

1. 数字地球的学科特征

数字地球的学科性质:数字地球是由地球系统科学与信息科学技术高度综合的学科,是位于两者之间的边缘学科。

数字地球的研究对象:是与地球有关的信息理论、信息技术及信息应用模型。

数字地球的研究方法:侧重运用现代信息技术,包括遥感、遥测、数据库和信息系统、宽带网及仿真与虚拟技术的综合,包括信息化的全部过程。

数字地球的特色:为地球科学的知识创新与理论深化研究开创了实践条件,为信息科学技术的研究和开发提供科学实验基地。

数字地球的服务对象:为全球、全国、城市、区域、资源、环境、社会、经济、减灾、可持续发展、科技与教育、行政及管理等开展全面性的服务。

2. 数字地球的数据特征

数字地球的数据具有无边无缝的分布式数据层结构,包括多源多比例尺多分辨率的、历史和现时的、矢量和栅格格式的数据。

数字地球应具有一种可以迅速充实、联网的地理数据库,以及多种可以融合并显示多源数据的机制。数字地球以图像、图形图表、文本报告三种形式分别提供免费或收费的全球范围的数据、信息、知识方面的服务。

数字地球中的数据和信息同时也按普通、限制、保密等不同密级组织起来。不同的用户对不同的数据和信息具有不同的使用权限。用户可以以多种方式从数字地球中获取信息。对于无缝的数据和信息来说,任何一个用户都可以实时调用,无论生产者是谁,也无论数据在什么

地方。比如,国际互联网上的用户可以根据自己的权限查询数字地球中的信息;运用具有传感器功能的特制数据手段,还可以对数字地球进行各类可视化操作。

虽然,数字地球是一个新概念,但是,它涉及到的大部分理论、技术、数据和应用都与现有的直接相关。它不仅部分地需要全新的理论、技术和应用,更为重要的是,数字地球与现有的相关工作的根本区别在于,它是从更高的层次、系统论和一体化的角度来组合和应用已有的和正在发展的理论、技术、数据和能力(含人员、软件、硬件),从而更广泛地、更深入地、更有效地、更经济地为社会提供服务。

四、数字地球的基本框架

数字地球作为一门新的学科分支,它由三个部分组成:基础理论、技术系统和应用领域。它们三者的关系可以用图 1-4 来表示。





图 1-4 数字地球的框架结构

其中,数字地球技术系统的基础技术,由遥感(RS)、遥测(TM)、地理信息系统(GIS)、互联网(Internet)等一系列技术系统所组成。遥感(RS)和遥测(TM)计算技术系统获取数据,互联网(Internet)技术系统负责传输数据,地理信息系统承担处理、存贮及分析数据的任务(图 1-5)。

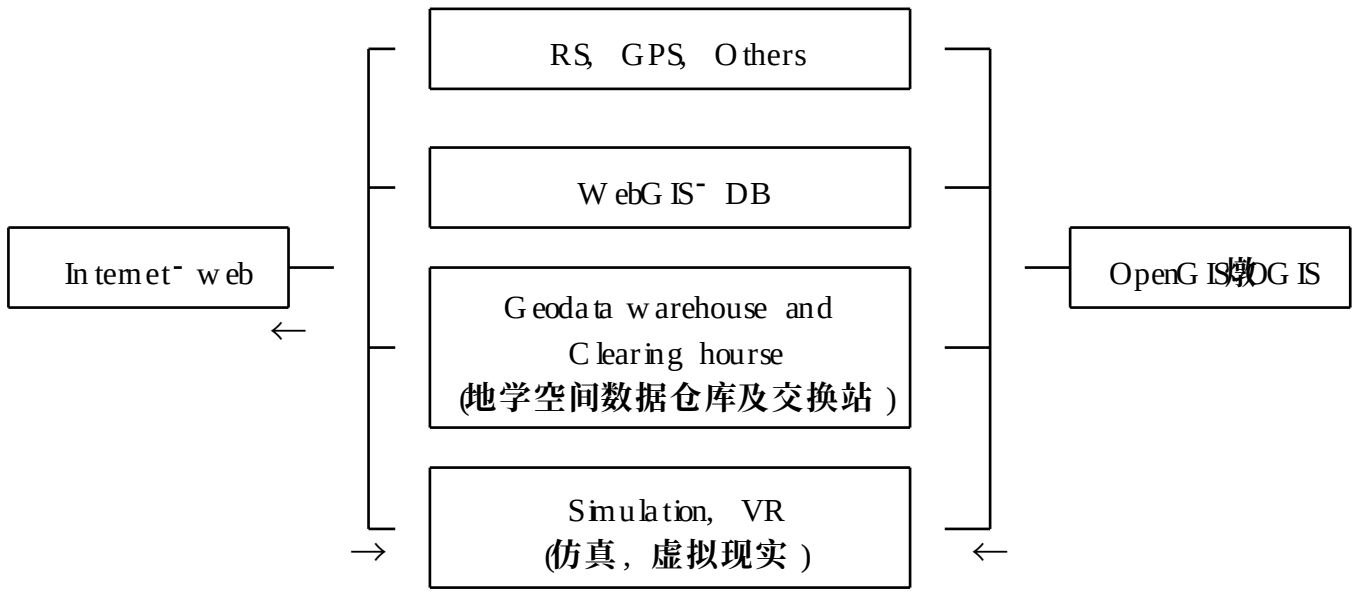


图 1-5 数字地球技术系统的基本框架示意图

五、数字地球的作用和意义

1.“数字地球”既在目前的经济建设中又在未来的知识经济社会中具有重大的作用

数字地球是实施国家可持续发展战略的重要手段。在国家、省、市、县不同层次上,它既在

当前的经济建设中又在未来的知识经济社会中具有重大的作用。它所提供的数据和信息还将在农业、全球变化、环境、资源、人口、灾害(水灾、旱灾、火灾)、城市建设、教育以及军事等领域产生广阔的社会和商业效益。

2.“数字地球”是充分利用现有的数据和信息资源的最佳途径

我国经过近20年的努力,已经积累了大量的原始数字化数据和相应的资料,建立了1 100多个大、中型数据库以及无以数计的各类数字化地理基础图、专题图、城市地籍图等。但是,目前大量的数据所有权混乱,标准不一致,兼容性、可比性差,利用率低。这样,就形成了多少像以自然资源为主的经济社会中浪费自然资源一样,在以信息资源为主的知识经济中浪费了大量的信息资源。数字地球能够从技术上根本改变这种现象。

3.“数字地球”将改变人类社会的生产和生活方式

例如,数字农业(也叫信息农业)、数字海洋捕捞、数字交通、数字旅游等;数字经济包括:电子商务、电子金融(银行、保险、股票及期货和海关、税务)等;数字社会包括:电子政务、电子公安、电子法院等;此外,还有数字区域、数字城市等,这均将会大大促使产业的生产规模扩大,推动社会经济的发展。由数字地球技术系统产生的数字战场、数字外交、数字政治等也将改变原来的思维模式和操作方式。

4.“数字地球”是知识经济社会中信息资源的主体核心

地球是一个有限体,地球上人类赖以生存的可利用的自然资源无疑也是有限的。正因为自然资源的有限以及以计算机科学技术的发展为特征的信息革命的深入,世界经济模式必然会从现行的以自然资源为主的工业经济模式逐步转换为未来的以信息资源为主的知识经济模式。

在以知识经济为特征的即将到来的信息社会中,信息是知识经济社会的主要经济资源,而信息技术是知识经济的主要生产力,数字化信息是知识经济的物质形式。数字地球可以包容百分之八十以上的所有的人类信息资源,因此,以数字形式处理一切与空间位置相关的空间数据和与此相关的所有的文本数据为特征的数字地球则是未来信息资源的主体核心,并必将对形成一个广泛而又重要的产业产生决定性的影响。

5.“数字地球”为“信息高速公路”提供必需的信息资源

“数字地球”正像是“信息高速公路”上的信息货物,公路修好了,需要有货物流通。建设信息高速公路之后,必然应当建设数字地球。因此,建设数字地球的重要性不亚于建设信息高速公路。近几年,在我国政府的领导和组织下,信息高速公路的基础建设取得了长足的进步。当前信息高速公路上的一个大问题就是缺乏信息资源。建设好数字地球同时是充分利用信息高速公路的措施。

6. 我国开展“数字地球”工作是在经济全球化、社会网络化背景下保护我国根本利益的积极有效的措施

目前,经济全球化、社会网络化已成为一种世界性的大趋势。有实力的西方国家许多计划都是全球性的。以美国为例,互联网技术就是一个典型的面向全球的行动。美国大部分的卫星计划也是针对全球的。在数字地球相关领域,美国联邦地理数据委员会(FGDC)和美国“开放地理信息系统集团(Open GIS Consortium)”所做的许多工作,以及美国正在筹划的“全球地理空间信息网络(GGIN)”也是面向全球的。戈尔的数字地球概念本身,更是针对全球的。全球性的事物有可能给其他国家带来好处,也可能带来害处。如果我国在数字地球方面,不做或少做工作,就有可能让美国这样的国家的东西大量渗入,从而慢慢地占领市场,那样,在这个领

域,我们就再也没有发言权了。这种事,我国有许多教训,计算机基础软件开发就是一个例子。

§1.3 3S技术

3S技术是遥感(remote sensing)、地理信息系统(geographic information system)和全球定位系统(global positioning system)的统称,因这三个概念的相应英文名称中最后一个单词均含一个"S",人们习惯将这三种技术合称之为"3S"技术。这里简要介绍遥感和全球定位系统。

一、遥感(RS)

1. 遥感的定义

就是遥远地感知。传说中的"千里眼""顺风耳"就具有这样的能力。广义的遥感泛指一切无接触的远距离探测,包括对电磁场、力场、机械波(声波、地震波)等的探测;而狭义的遥感是指对电磁波探测。因为地球上每一个物体都在不停地吸收、发射和反射信息和能量,其中有一种人类已经认识到的形式——电磁波,并且发现不同物体的电磁波特性是不同的。遥感就是根据这个原理应用探测仪器,不与探测目标相接触,从远处把目标的反射和其发射的电磁波特性记录下来,通过分析,完成远距离识别物体,并揭示出物体的特性性质及其变化的综合性探测技术。

2. 遥感系统

根据遥感的定义,遥感系统包括:被测目标的信息特征、信息的获取、信息的传输与记录、信息的处理和信息的应用五大部分。图1-6说明了遥感系统的基本原理及其过程。

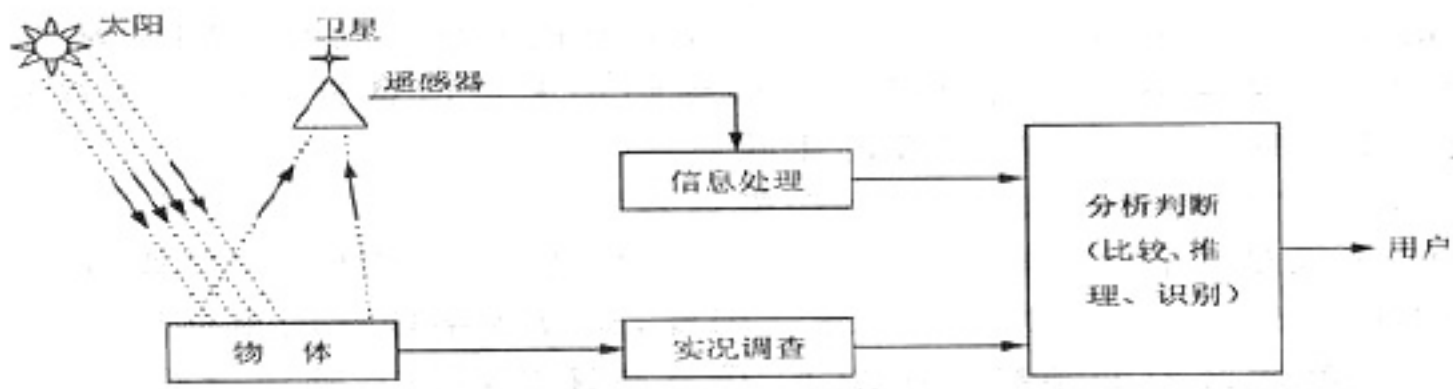


图1-6 遥感探测的基本原理

目标物体的电磁波特性 任何目标物体都具有发射、反射和吸收电磁波的性质,这是遥感的信息源。目标物与电磁波的相互作用,构成了目标物体的电磁波特性。

信息的获取 即由传感器或遥感器来完成,它主要负责接收、记录目标物电磁波特征的仪器。常用的传感器有:航空摄影机(航摄仪)、全景摄影机、多光谱摄影机、多光谱扫描仪(multi spectral scanner,MSS)、专题制图仪(thematic mapper,TM)、反束光导摄像管(RBV)、HRV(high resolution visible range instruments)扫描仪、合成孔径侧视雷达(side-looking airborne radar,SLAR)。装载传感器的平台主要有地面平台(如遥感车、手提平台、地面观测台等)、空中平台(如飞机、气球、其他航空器等)、空间平台(如火箭、人造卫星、宇宙飞船、空间实验室、航天飞机等)。

当今可以向我们提供遥感数据的卫星有:

(1) 美国国家海洋与大气管理局气象卫星:现正运行的美国国家海洋与大气管理局卫星是 NOAA-J、K 卫星,它具有周期短、频率高,双温度通道,即可见光和热红外通道,中等分辨率的特点。主要用于气象预报,海洋环境要素监测,渔场分析,作物估产和水灾、火灾的实时监测。

(2) 美国陆地卫星:一景陆地卫星,卫星图像相当于地面上 185km×185km 的面积,有 7 个波段的光谱分辨率,其地面分辨率为 30m,重复周期,即绕地球一周为 16d。

(3) 法国资源卫星:法国资源卫星具有分辨率高(10～20m)、离天底点观察、重复能力(重复周期为 26d)、立体观察能力等特点。

(4) 俄罗斯的侦察卫星 SIS、军用卫星 RESOURCE F-3 等:俄罗斯的卫星可在因特网上购买,且空间分辨率高达 2～3m。

(5) 德国资源卫星:德国资源卫星空间分辨率为 5m。

(6) 印度资源卫星:印度资源卫星 5.8m 的空间分辨率是世界上第一家打破 10m 的民用资源卫星,其重复周期为 24d。

(7) 雷达卫星:日本的地球资源卫星、加拿大的雷达卫星等,这些雷达卫星均有高分辨率、多方式收集空间资料的特性。

除了以上的卫星外,还有日本的海洋观察卫星等可向我们提供遥感数据,但发展中国家多使用美国的陆地卫星、法国的资源卫星、美国的国家海洋与大气管理局气象卫星数据。

信息的接收　传感器接收到目标地物的电磁波信息,记录在数字磁介质或胶片上。胶片是由人或回收舱送至地面回收,而数字磁介质上记录的信息则可通过卫星上的微波天线传输给地面的卫星接收站。

信息的处理　从地面站接收到的遥感卫星发送来的数字信息,记录在高密度的磁介质上(如高密度磁带 HDDT 或光盘等),并进行一系列的处理,如信息恢复、辐射校正、卫星姿态校正、投影变换等,再转换为用户可使用的通用数据格式,或转换成模拟信号,才能被用户使用。另外,还可根据用户的需要进行精校正处理和专题遥感数字信息处理、分类等。

信息的应用　遥感获取信息的目的就是为了应用。在应用的过程中,可按不同的应用目的,需要大量的信息处理和分析,如不同遥感信息的融合及遥感与非遥感信息的复合等。

3. 遥感技术在 3S 技术中的作用

遥感技术能动态地、周期性地获取地表信息,广泛应用于各个领域。遥感数据在 3S 技术中的作用主要表现在以下几个方面。

(1) GIS 数据库的数据源:遥感数字图像可以作为 GIS 数据库中一种重要的数据源,从遥感图像中获取不同专题数据,更新 GIS 数据库中的地学专题图。遥感技术能够以低廉的价格快速提供各种遥感数字图像,这为我们利用遥感图像理解技术获取不同地学专题信息,更新 GIS 中专题图提供了条件。

(2) 利用遥感数字影像获取地面高程,更新 GIS 中高程数据:从不同角度拍摄的同一地区的航空照片和高分辨率卫星数字影像上,可以利用数字影像相关技术对重叠成像区域实现地形高程信息的获取。

二、全球定位系统(GPS)

1. 全球定位系统的含义

早在 20 世纪 60 年代航天技术发展的早期,专家们从“地面上能测定卫星的位置及轨道参数”得到启发,考虑能否在已知卫星位置及轨道参数的情况下,反过来确定面上某点的位置,答案是肯定的。并且,为了适应现代战争及民用事业的需要,美国于 1973 年开始研制 GPS 这一卫星导航系统,并于 1978 年发射升空。海湾危机以来,美国加速 GPS 星座的建设,于 1994 年 3 月 9 日,美国又成功地发射了由 24 颗卫星组成的 GPS 导航星座。

GPS 全球定位系统是英文 Navigation Satellite Timing and Ranging/ Global Positioning System(导航卫星测时和测距/ 全球定位系统)的字头缩写词 NAVSTAR/ GPS 的简称。它是利用多颗导航卫星的无线电信号,对地球表面某地点进行定位、报时或对地表移动物体进行导航的技术系统。

2. 全球定位系统的组成

全球定位系统(GPS)主要由三大部分组成:卫星部分、地面控制部分和用户接收机。

(1) 卫星部分:这一部分由分别设置在升交点赤经互隔 60°的 6 条近圆轨上,每条轨道上均匀分布 4 颗卫星,目前有 27 颗导航卫星(其中 3 颗备用)在距离地面约 20 000km 的轨道运行,12 个恒星绕地球一周。这样,地球上任何地点、任何时刻都可以同时收到 4 颗以上卫星的信号。卫星上安装有轻便的原子钟、微型计算机、电文存贮和信号发射设备,均由太阳能电池来提供,卫星上并配有少量燃料,用来调节卫星的轨道和姿态。

GPS 卫星发射的是一对相干波,频率和波长分别为: $f_1 = 1\ 575.42\text{MHz}, \lambda = 19\text{cm}$; $f_1 = 1\ 227.60\text{MHz}, \lambda = 24\text{cm}$。作为载波载有两类调制信号,一类为导航信号,另一类为电文信息。导航信号包括卫星开始时刻的轨道参数、电波的发射时刻等信息。导航信号又分为两种,码率分别为 1.023mb/ s 和 10.23mb/ s。前者编码 1ms 重复一次,用来捕获导航信号,按设计仅用于粗略定位,又称粗码(C/ A 码);后者每七天重复一次,且各颗卫星不同,码的变化结构十分复杂,不易捕获,但能精确定位,故称精码(P 码)。两种码都是人为编制的一组类似噪声的信号码,通称为伪随机噪声码。电文信号包括卫星星历表、各项改正数和卫星工作状态等。

(2) 地面控制部分:地面控制部分由一个主控站、若干个跟踪站和注入站组成。地面控制部分的任务是保证整个系统的正常运转,包括管理和调整整个系统的工作状态,采集各类观测数据,计算卫星星历、卫星钟的钟差和漂移,各项改正数和定位信息,组成电文注入卫星存储器,以一组原子钟为基础,建立和维护一个高精度的 GPS 时间系统。

(3) 用户接收机部分:用户接收机部分由主机、电源和天线组成。在专用软件控制下主机进行作业卫星选择、数据采集、加工、处理和存储,对整个设备系统状态进行检查、报警和部分非致命故障的排除,承担整个接收系统的自动管理。

3. 全球定位系统的基本原理

GPS 定位的基本原理是:分布在地球上空的多颗导航卫星,不停地发射可用来求算并确定地球表层某点精确位置与精密时间的无线电信号,GPS 接收机接收来自导航卫星的信号,导航仪根据星历表信息求得每颗卫星发射信号时在太空中的位置,测量计算卫星发射信号的精确时间,然后根据已知的空间定位卫星的瞬时坐标和信号到达该点时间,通过计算,求得卫星至 GPS 接收机之间的几何距离,从而在此基础上计算出用户接收机天线所对应的点位,即观测站的位置。总而言之,GPS 定位是通过接收 GPS 卫星信号而获得某种观测量来间接实现

的。目前 GPS 定位广泛采用的基本观测量主要有两种:码相位测量和载波相位测量。

码相位测量　其原理是在用户接收机内复制测距码信号,并通过接收机的时间延迟进行相移,以使复制的码元信号与接收到的相应码元对齐。从而,其相移量便是卫星发射的码信号到达接收机天线的传播时间 t,忽略其他因素的影响,乘以光速 c 则可求得所测卫星至接收天线的几何距离。

载波相位测量　它能提供高精度定位的观测数据,是测量接收机到多普勒频移的载波信号与接收机产生的参考载波信号之间的相位差。由于载波信号的波长远远小于码信号的波长,所以在分辨率相同的情况下,载波相位的观测精度远较码相位的观测精度高。

4. 全球定位系统在 3S 技术中的作用

(1) 精确的定位能力:美国军用 GPS 卫星导航仪能够接收精密码(P 码),其单点测距定位精度在 10m 之内,事后处理精度可达到厘米级,民用 GPS 卫星导航仪接收导航卫星发射的粗码(C/A 码),仅用于定位服务。美国出于对其国家利益的考虑,将粗码定位精度限制在 100m,因此单点定位精度为 10～100m。俄罗斯 GLONASS 提供两种导航信号:标准精密导航信号(SP)和高精密导航信号(HP),SP 定位与授时服务适用于所有 GLONASS 的国内用户,其定位精度为 57～70m。

(2) 准确定时及测速能力:空间定位系统还具有准确的定时能力(如美国 GPS 时间精度误差小于 100μs),以及运动物体的测速能力。导航卫星采用固定频率连续发射导航信号,这些信号频率因 GPS 卫星导航仪与导航卫星之间相对位移而产生多普勒频移现象,由此可以计算出地面上 GPS 卫星导航仪的运动载体在三维方向的速度分量。目前,美国 GPS 三维测速精度误差小于 30cm/s,俄罗斯 GLONASS 速度矢量测量精度 15cm/s(99.7%置信)。

三、RS、GIS 及 GPS 的综合应用

1. 环境动态监测与环境保护

遥感技术是环境动态监测的重要手段。通过地球观测卫星或飞机从高空观测地球,监测的区域范围大,获取环境信息快速准确,能够及时发现陆地淡水和海水的污染,大面积空气污染,南、北极冰雪覆盖范围的变化,森林大火,洪水淹没等。利用遥感技术获取环境信息,时间周期短,它们获得的环境动态观测数据,通过地理信息系统快速处理和分析,能够及时发现环境的变化,便于采取措施控制环境污染,最大限度避免环境危害,达到保护环境的目的。

2. 防灾、减灾、救灾

我国是灾害频发国家,每年自然灾害造成巨大损失。充分发挥 3S 技术在防灾、减灾、救灾中的作用,对我国防灾、减灾、救灾工作具有重要意义。

利用 NOAA 系列卫星实时传输遥感信息,可以及时监测林火发生的地理位置和所在的行政区域,包括经纬度、行政界线;森林火灾的动态演变,包括蔓延方向、燃烧面积和强度等;森林资源的损失情况,包括地类、林型及环境。

在地理信息系统的支持下,可以快速制作遥感影像,编制火管制事态图,并通过荧屏显示、笔绘输出和打印机打印成图,为扑灭林火指挥员提供实时依据。并利用地理数据库提供的扑灭火灾人员配置资料,根据预先制定的灭火方案,迅速进行灭火部署。

应用 GPS 定位系统,可以实时进行导向和定位,从而为扑火人员利用最快的速度奔赴火灾发生地。此外还可以应用 GPS 系统测定火场的边界,精确计算火场面积,为现场指挥人员提供更加准确的火灾数据等。

因此,RS、GIS 和 GPS 集成将为灾害预测预报、制定防火救灾预案、灾期应急行动指挥、灾后损失评估和治灾工程规划提供现代化的科学依据。

3. 土地研究领域

遥感、地理信息系统和全球定位技术为土地科学提供了全新的研究手段,导致了土地科学研究范围、内容和方法的巨大变化。同时,3S 技术在土地研究领域的推广与应用,带来了十分明显的社会效益和经济效益。

应用遥感技术可以快速获得土地利用和土地覆盖的动态变化信息,如我国从 20 世纪 80 年代起逐步应用航空和航天遥感技术和方法,进行土地资源调查和土地利用动态监测。从 1981 年到 1984 年用 560 幅 MSS 卫星图像,参考地形图和航空像片,在全国进行了土地资源详查,量算了全国和各省的土地面积,编制了 738 幅 1∶25 万土地利用现状图,并首次提供了 16 类土地资源面积。1985～1990 年间,用遥感技术对西藏 $120\times10^4\ km^2$ 面积进行了土地利用调查,首次提供了西藏地区土地资源的详细资源。

地理信息系统最早是土地部门发展起来,尽管在不同土地部门中应用的地理信息系统名称不同,但它们实质上都是与具体部门相结合的地理信息系统软件。如土地管理信息系统,这种系统主要面向土地管理部门,为了便于广大基层土地管理部门接受与使用,它往往具有灵活便捷、便于操作等特点。土地利用动态监测系统主要用于土地利用现状遥感调查和动态变化监测,它主要以 TM、SPOT 和我国资源卫星获取的遥感信息作为数据源,利用图像分类和模式识别技术,对土地利用变化频繁的地区进行动态监测。地籍管理信息系统是主要反映土地位置、数量、质量、权属、用途等情况的信息系统,它根据地籍管理各项事务要求,可以实现包括图形库、属性库和法律文件的数据库管理、各种地籍图件的编辑与检索、查询统计以及地籍权属变化的修改和各种图表与文件的输出。

GPS 由于定位的高精度和应用的灵活性,目前已经成为土地调查中进行空间定位的主要手段。在土地资源分布调查中,GPS 可以作为独立数据获取手段之一。对于权属划拨引起的地类型改变的情况,可以使用 GPS 接收机在野外获取变化区域的定位数据,在此基础上对土地资源数据库进行更新。

§1.4 地图学及学科体系

一、地图学的定义

地图的历史悠久,在漫长的历史中,由于地图制作缺乏系统的理论指导,从而极大地阻碍了地图学的发展。到了 20 世纪,才逐步形成其独立的学科体系,20 世纪 50 年代前后,地图的数学基础,尤其是地图投影有了较系统的论著,使得地图学开始迅速发展。60 年代后,一些新兴理论与技术如地图信息传输理论、地图的模型论、感受论、符号论、电子技术、航天技术,以及现代数学方法不断向地图学渗透,使传统的地图学研究发生很大变化,加速了对地图学定义的不断修改与更新。

20 世纪 60 年代,对地图学的定义,大部分都归纳为“研究地图及其制作理论、工艺技术和应用的科学”。我国一些地图学者认为:“地图学已跨越几个学科,地图生产工艺和过程是以自然科学和数学为基础的;地图内容的选择和处理涉及到社会科学;研究地图的视觉和使用效果、探索地图的认识规律与思维科学和人体科学有密切的联系;对于把地图制作与使用当成一

个传递系统,则又与系统科学发生联系”。为此,“地图学具有综合科学的性质”。因此目前对地图学的定义是:“地图学是以地图信息传递为中心的,探讨地图的理论实质、制作技术和使用方法的综合性科学。”

二、地图学的结构体系

自 20 世纪 70 年代起,由于各种地图学理论的提出和深入研究,国内外对地图学体系的认识和理解有了很大变化。如波兰的拉多依斯基(L. Ratajski)运用信息论的观点研究地图信息传递的特点,提出了地图学领域分为理论地图学与应用地图学两个基本部分。理论地图学包括地图信息传递等各种基本理论以及地图知识和制图方法的理论;应用地图学包括地图的编制、生产,地图应用,地图教育等内容。

我国地图学家对地图学结构体系的观点:地图学是由对地图理论研究、地图制作方法与技术、地图应用这三方面的分支学科所组成。由此所提出的地图学体系如图 1-7 所示。这个体系将相互联系的三大部分和其次一级内容一起组成了一个完整体系。该体系完整,各分支组成比较全面,体现了现代地图学的发展特点和趋势。

对这个体系所表示的三大部分以及分属于各部分的次一级学科,应当看到它们之间的关系不是简单的平行关系。它们在地图学体系中的作用也各不相同。如理论地图学的各个次一级学科中,有的属于基础理论,如地图学概论,地图信息传递理论。有的是应用基础,如地图感受论、地图符号论。

三、地图学与 GIS 的关系

地图是现实的形象——符号模型,是用三维坐标表达客观世界地球表面自然和人文景观现象,或称为位置(用二维坐标确定的)和属性(性质或量值)表达现象。是图形数据库和属性数据库的结合,被称为地理学的第二语言,看作是一种模拟的地理信息系统。

地图是 GIS 的主要地理数据来源,GIS 的最大的特点是处理空间地理数据,可以说没有地理数据就没有 GIS,按 GIS 的结构格式建立地理数据库是建设地理信息系统的核心。GIS 最终的产品之一也是地图,因此,GIS 与地图有着极密切的关系,它们都是地理学的信息载体,同样具有存储分析和显示(表示)的功能,故 GIS 又堪称地理学的第三代语言。

由地图学到地图学与 GIS 的结合,是科学发展的必然规律,可以说 GIS 是地图学在信息时代的发展。关于 GIS 与地图学的关系问题,存在着不少专门的论述,其作者有地图学专家,也有以遥感、摄影测量或其他专业为背景的 GIS 专家。一种观点认为:“GIS 脱胎于地图”,“GIS 是地图学的继续”,“GIS 是地图学的一部分”,“GIS 是数字的或基于可视化地图的地理信息系统”……。另一种观点认为:“地图学是 GIS 的回归母体”,“地图是模拟的 GIS”,“地图是 GIS 的一部分”等等。把地图学和 GIS 加以比较可以看出,GIS 是地图学理论、方法与功能的延伸。只不过 GIS 强调空间数据处理与分析,而地图学强调图形信息传输。在地图学与 GIS 之间一个最有力的连接是通过地图可视化工具与它们的潜力来增加 GIS 的数据综合和分析能力。可见地图学与 GIS 的联系是非常密切的,因此从事地理信息系统的人必须要懂得地图,才能取得更大的成果。当然不要把 GIS 当成是存取地图的工具,而应当是存取地图所表示的现实世界的有效手段。

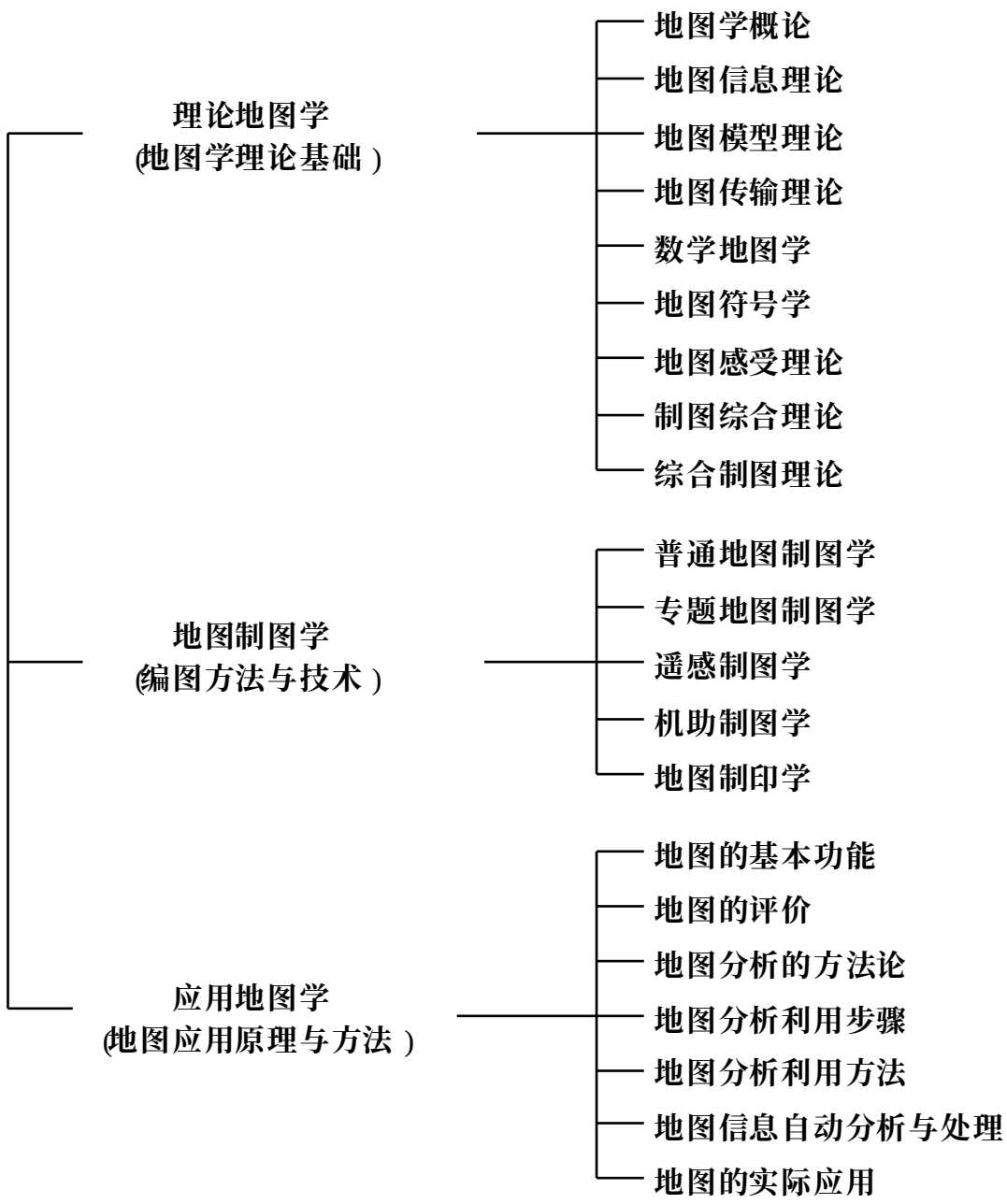


图 1-7 地图学结构体系

思考题

1. 什么是 3S 技术？
2. GIS 的基本功能有哪些？
3. 什么是数字地球？谈谈您对它的理解？
4. 什么是地图学？
5. 简述 GIS 与地图学的关系？

第二章　地图的基本知识

§2.1　地图的基本特性和定义

地图是信息的载体,是传输地理信息的工具。因此,从事地理信息系统的人,必须首先弄清地图的概念。关于地图的概念,随着地图科学的发展,人们认识水平的提高,处在不断向前发展的过程中。

20 世纪 60 年代以前,地图被述为“地球表面在平面上缩小的表象”。这个定义虽易理解,但很不确切,全面。一方面它同样适合于地面照片、航摄像片或卫星像片,也适合于风景画;另一方面将地图的内容仅局限在地球表面上。

随着地图应用范围的扩大和使用价值的提高,以及人们对地图的不断深入的理解,地图的定义日趋完善。20 世纪 60 年代以来,人们在以上说法的基础上,补充了像片、风景画所没有的,而只有地图特有的一些特性。这些特性包括:由于特殊的数学法则而产生可量测性;由于使用地图语言而产生的直观性;由于制图综合而产生的一览性。

一、具有特殊的数学法则

这是由现代军事、国民经济建设和科学技术对地图提出更高的要求而形成的。人们要求从地图上能够精确地量测距离、方位、面积、体积和密度等,使地图成为认识和研究客观事物的重要工具。而地图所采用的特殊的数学法则——地图投影方法、比例尺和地图定向等使得地图具有可量测性。

地面像片和风景画都是透视投影,随观测者位置的不同,物体的大小会产生比例上的变化,即所谓“近大远小”的透视关系,这种关系显然不符合可量测的要求,航空像片由于飞行高度不大,其影像是一种中心投影,加上地面起伏和飞行上的原因,同样不能保证描绘范围内比例尺处处一致,也不能精确地确定地面点的相应位置,失去按同样的精度和详细程度反映地面物体和现象的可能性,当然就更谈不上严格的定向方法。

地图则不一样,从不规则的地球表面到制成地图,要经过两步才能完成。首先将地球自然表面上的点沿垂直方向投影到地球椭球面上来,这是由测量工作者来完成的;然后,将地球椭球面上的点运用数学方法投影到某种可展面(圆柱面、圆锥面、平面等)上,这种方法称为地图投影。经过上述两步,就将地面上的点投影到平面上来了。因此,地图投影的实质,就是建立地球椭球表面(或球面)上的点与地图平面上的点之间的对应关系。尽管投影的结果不能保证制图区域内比例尺处处一致,但可以清楚地了解并精确地算出投影后的误差大小,并且能控制误差的分布规律,还可以严格对地图进行定向。地图采用了这一数学法则,不仅提高了其科学性,而且使它更具有实用价值。

二、使用地图语言表达信息

使用地图语言(符号、色彩和注记)表达信息,比其他语言、文字电码等更具直观性。

地图上表示各种地理信息,是通过特殊的地图语言系统来实现的,具有很强的直观性。它与像片和风景画有着截然的区别。

地面像片虽然也很直观,但它只不过是客观实体的机械缩影,既使是经过纠正镶嵌的像片平面图,尽管有投影,仍不能称为地图。因为它没有使用地图语言来表示地理信息;风景画虽经过画家对内容进行选择和再加工,但终究是“见物绘物”而无地图语言系统。图 2-1 是一张航空摄影像片和地图,可以看出地图由于使用了地图语言表达信息,具有许多明显的特点。

1. 简化了地面物体的图形,提高了地图的清晰易读性

地面物体往往具有复杂的轮廓和外貌,在航片和卫片上由于缩小的倍数很大,地面上的物体就辨认不清,不能达到正确反映地面各种物体的目的。在地图上,分门别类地使用地图符号,对复杂的事物进行一次抽象概括,使其图形大大简化,不受缩小倍数的限制。

2. 能显示出那些小而有意义的物体

有些景观物体不能按地图比例尺的缩小程度表示出来,但就其作用来说,又必须描绘在地图上,例如三角点、水准点、水塔、路标、纪念碑等,在像片上不易辨认或完全没有影像,而地图上则可以根据需要,用地图符号来表示,即使在较小比例尺地图上也可以清晰可见。

3. 能显示相互重叠的物体和现象

地面上一些受遮盖的物体,在像片上无法显示,而在地图上却能使用符号将其表现出来。如用等高线表示地貌可以不受森林覆盖的影响而正确地表示其坡向、坡度、高程、高差等特征,隧道、涵洞、地下管道等地下建筑物也能在地图上清晰显示等。

4. 能显示事物的质量、数量特征

许多事物虽有其形,但其质量和数量特征是无法在像片上成影的,如房屋的坚固程度、水的性质、温度、深度、土壤的性质、路面的材料等。而在地图上可以通过符号或注记表达出来。

5. 能显示出无形的现象

如行政区划、经纬线、等温线、降雨量、人口数、工农业产值、地下径流、太阳辐射和日照等,都是无形的现象,在像片上根本不可能有影像,只有在地图上通过地图符号和注记才能表达出来。

因此,使用地图语言表现信息,图上不仅能表示大的物体,还可以表示小而重要的物体;不仅能表示质的特征,而且还可以表示量的大小;不仅能表示看得见的物体,而且还可以表示被遮盖的或根本无形体的现象……。地图成为一个客观实体的模型,使地图具有很强的直观易读性,让人一目了然。它既是人们认识客观存在的结果,同时又成为人们研究、认识客观世界的不可缺少的工具,扩大了人们的视野,使人们直观地看到广阔区域的空间关系,这是任何文字语言所无法替代的。美国地图学者 C M 菲利浦曾说过“地图极似一个五光十色的水晶球,我们仔细阅读分析解释它,它将使我们窥见过去、理解现在,从而展望未来;每一种、每一幅地图都会告诉你一个完整的、真实的、动人的、精彩的、充满开拓性的故事”;“地图提供给我们探索的足够线索,有新发现的起点,想象的起航点,激起你寻求答案的好奇心”。

三、实施制图综合

地面的事物千差万别、错综复杂。地图使用符号即是对事物进行分类分级,对每一级赋予同样的记号——地图符号,这就对事物进行了抽象概括,无疑必须对地面事物进行选取和概括,这一过程,实质上是地图作者对制图对象进行了第一次综合。随着地图比例尺的缩小,可能表达在地图上的物体的数量也必须相应地减少,这就势必还要舍去那些小的和次要的物体,

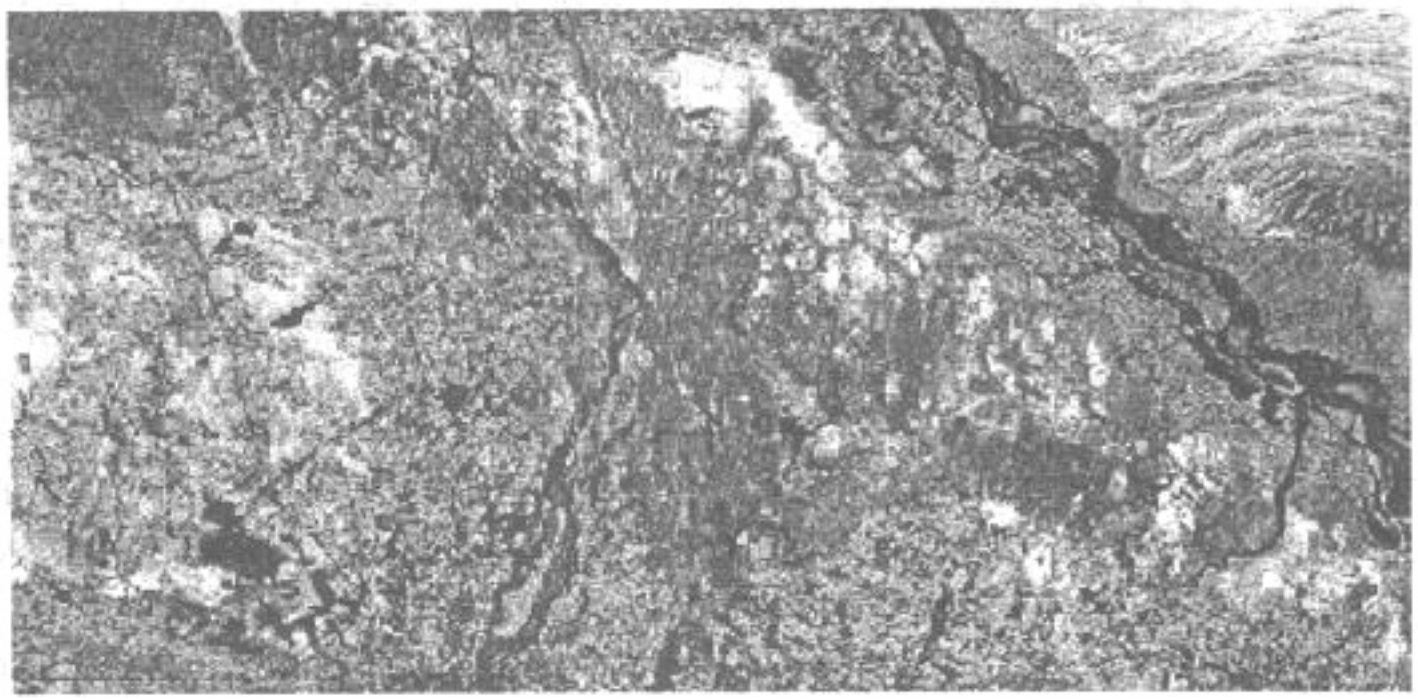


图 2-1　航空像片与地图的对比

表示出大的和重要的物体;同类物体也要求进一步减少它们按质量、数量区分的等级,简化其轮廓图形,概括地表示地图内容,通常称之为对客观实际进行的第二次综合。

由于实施了制图综合,使地图上表示的信息不是地面简单的缩小,而是经过地图作者科学加工过的,使其主次分明,正确地表示出各要素之间的相互联系,用图者更易于理解信息内在的本质和规律。航摄像片也能因比例尺的缩小而机械地删去某些细小的物体,但这与地图作者有目的地进行综合是完全不相同的。基于以上地图的特性,形成了 20 世纪 60 年代较广泛使用的地图定义:地图是根据一定的数学法则,使用地图语言,通过制图综合,显示地面上各种自然现象和社会经济现象的图。它反映各种自然和社会经济现象的空间分布、组合、联系及其在时间中的变化和发展。

到 20 世纪 70 年代,随着信息论等当代科学理论的兴起和发展,以及制图信息源的丰富,地图种类随之增加,地图在自然资源、社会经济、人文领域应用范围的扩展,人们广泛地把地图作为信息载体和信息源。对地图详细记录了制图对象的空间分布、组合联系,并随时间的变化有了更加深刻的认识,从而使它成为传递信息的工具,也成为认识世界的有力工具。

20 世纪 80 年代,我国关于地图科学的理论发展取得较大进步,地图模式理论、地图信息理论、地图哲学、地图美学、地图感受论等的研究开始被提到了议事日程,并取得了不少成果。引用了用定量分析研究地图模型和制作地图的新方法,例如,统计分析、数学模型、图论等,使地图科学得以飞跃发展。

尽管对地图有许多不同的认识及众多的理论、方法和技术,但归根结底:地图是用三维坐标表达空间现象,或称用位置和属性表达现象。位置(location)是用两维空间确定的,位置上的属性(attribute)是性质或量值,例如,语言或温度。无论是自然的、社会经济的以及其他现象,依靠这两个要素——位置和属性就可以建立起基本关系。

$L_1 - L_2$ 不考虑属性,仅指两个位置之间的关系,例如,起始点与目的地之间的距离或方位。

L_1 (A_1、A_2、A_3)相同位置上多种属性之间的关系,例如,某位置的气候、降水、植被、土壤类型之间的关系。

L_1 (A_1) — L_2 (A_1)不同位置的同一属性之间的关系。

L_1 (A_1、A_2、…) — L_2 (A_1、A_2、…)多种属性之间或称已知组合的或派生的属性分布于不同位置上的关系。

地图是客观世界的一种表现形式——模型,这提高了对世界的认识,使我们能够像运用理论那样频繁地运用这些模型来提供信息,分析和预测真实世界同周围的关系。地图还能作为用来表达和交换关于世界的思想、概念的‘传输工具”。

因此,现阶段地图的定义为:地图是以一定的数学法则(模式化)、符号化、抽象化反映客观实际的形象符号模型或称图形数学模型。与数学或物理模型相比,具有下列特点:① 用地图图形反映信息的空间分布,相互联系或动态变化,形象直观、一目了然,而且可以通过量算获得各种数据;② 经过地图图形模式化,建立图形数学模型和数字模型,并通过计算机处理,派生出其他各种地图模型。

§2.2 地图的构成要素

我们熟悉和使用的地图,大多是通过直接或间接转换的方法,以可视的图形形式出现。地图的载体有不同的介质,最常见的是纸和屏幕,由此出现了种类繁多、形式多样的地图。但地图的构成要素归纳起来,不外乎是数学要素、图形要素和图外要素构成。现简述如下。

一、数学要素

包括控制点、坐标网、地图比例尺、地图的分幅与编号和地图定向等内容。

(1) 控制点:在地面上运用精密测量的方法,获得对平面与高程位置的精度具有控制意义的点位。包括:天文点、三角点、图根点、水准点等。这些点位所具有的平面坐标值及高程,是实地测图的主要依据,在图上要精确表示。控制点只在一些大比例尺地图上才选用。

(2) 地图投影:是将地球椭球面上的点投影到平面上的数学方法。其实质就是建立地球

椭球面上点与平面上对应点之间的函数关系。

(3) 坐标系统:将地球椭球面上的点对应转移到平面上时,可以采用坐标系统。坐标系统有两种,一种是以经纬度组成经纬网的地理坐标系,另一种是以 x, y 纵横坐标构成的平面直角坐标系。

(4) 地图的比例尺:表明地图对实地的缩小程度。

(5) 地图的分幅与编号:按一定大小来划分图幅的范围,称为地图的分幅。用一个特定的代号来代表每幅地图称为地图的编号

(6) 地图的定向:则是确定地图上图形的方向。通常地图图形采用北方定向。

二、图形要素

图形要素是地图所表示内容的主体,把自然、社会经济、环境要素的数量、质量、空间、时间状况,运用各类地图语言(地图符号、颜色、注记)表示出来而形成图形要素。

三、图外要素

图外要素主要是指不属地图主题内容,而为读者使用地图时提供的具有一定参考意义的说明性内容。包括图名、图号、接图表、图廓、分度带、图例、比例尺、坡度尺、各种附图、资料及成图说明等。

§2.3　地图的类型

地图具有丰富的表现形式和许多成图方法,随着应用领域的扩展及科学技术的进步,新颖的地图成果层出不穷,因此可以从不同的视角对地图进行分类。

一、地图按其内容分类

地图按其内容可分为普通地图和专题地图两大类。

普通地图是以相对平衡的详细程度表示地球表面各种自然现象和社会经济现象的图。即是表达地表的各种基本要素——水系、地貌、土质植被、居民地、交通网、境界(通常称六大要素)等为主要制图对象的地图。由于地图比例尺的不同,它所表达的内容的详细程度也有很大的差别。

专题地图是根据专业方面的需要,着重表示一种或几种主题要素及其之间相互关系的地图。其中作为主题的要素表示得很详细,而其他要素则视反映主题的需要,作为地理基础选绘。专题地图的内容主要是各专业部门所选择的各类专业要素,例如,工业经济图上表示诸如工厂的生产能力,环境地图中表示的诸如污染与保护、自然灾害、疾病与医疗等,也可以是普通地图上的某种要素加以专题化,例如交通图的主题是交通网,它们都是普通地图上所固有的内容。专题地图根据内容可分为三个基本类型:自然地图、社会经济地图、环境地图和其他专题地图。

二、地图按比例尺分类

按比例尺分类是一种习惯上的用法,但有很大的相对性。因此,它必须同地图的内容分类相结合。

在普通地图中,按比例尺可分为:

大比例尺地图:1∶10 万及更大比例尺的地图;

中比例尺地图:1∶10 万～1∶100 万比例尺之间的地图;

小比例尺地图:1∶100 万及比例尺更小的地图。

这种划分是相对的,不同的国家、不同的地图生产部门的划分法都不一定相同。

我国把比例尺小于 1∶100 万的普通地图又称地理图或一览图,把比例尺大于等于 1∶100 万的普通地图统称为地形图。其中 1∶5 000,1∶1 万,1∶2.5 万,1∶5 万,1∶10 万,1∶25 万(原来是 1∶20 万),1∶50 万和 1∶100 万这 8 种地形图称之为国家基本系列地形图。它们还可按比例尺大小分为:大比例尺地形图:1∶5 000～1∶2.5 万比例尺地形图;中比例尺地形图:1∶5 万～1∶25 万比例尺地形图;小比例尺地形图:1∶50 万～1∶100 万比例尺地形图。

三、地图按其包含的区域范围分类

这种分类方法应该是从最大的区域逐步到局部,按照这种标志可以将地图分为:

星球图,地球图;世界图:包括整个地球或两个半球的地图;大陆图:包括一个或几个洲的地图;部分大陆图:包括某个洲的一部分,例如亚洲东南部地图;国家图:包括一个国家的地图;分区图:包括国家一级自然区或行政区的地图,如我国东北区地图;省图:包括一个省的地图;县图:包括一个县的地图;还可以细分为乡、镇地图等。

四、按地图的视觉化状况分类

可分实地图和虚地图。实地图是空间数据可视化的地图,包括纸质地图和屏幕地图。它是将地图信息经过抽象和符号化以后在指定的载体上形成的。虚地图指存储于人脑中的地图或电脑中的地图。

五、地图按使用方式分类

地图按其使用方式可分为:桌面用图:能在明视距离阅读的地图,如地形图、地图集等;挂图:有近距离阅读的一般挂图和远距离阅读的教学挂图等;电子地图:由电子计算机控制的电视屏幕图;随身携带图:包括小图册或便于折叠的丝绸质地图及折叠得很小巧的旅游地图等。

六、地图按其他标志分类

按地图用途可分为国民经济与管理地图、教育与科学技术地图、文化地图等。

地图按其表达形式可分为:影像地图、线划地图、数字地图、缩微地图和立体地图等。

地图按其外形特征,可分为平面状、三维立体状、球状地图等。

地图按其质地特征,可分为纸质地图(目前最常用的地图形式)、丝绸地图、石质地图、木质地图、塑料地图等。

地图按其感受方式,可分为视觉地图和触觉地图(盲文地图)。

地图按其结构,可分为单幅图、多幅图、系列图和地图集等。

以上几种分类方法都存在互相渗透和互相制约的关系。如 1∶5 万比例尺的地形图,属于普通地图,可以叫大比例尺地图,又是桌面用图等。

§2.4　电子地图

一、概述

(一) 电子地图的概念

电子地图是地图制作和应用的一个系统,是由电子计算机控制所生成的地图,是基于数字制图技术的屏幕地图,是可视的实地图。“ 在计算机屏幕上的可视化 ”是电子地图的根本特征。

(二) 电子地图的分类

(1) 按内容分类(如图 2-2):可分为普通电子地图和专题电子地图。

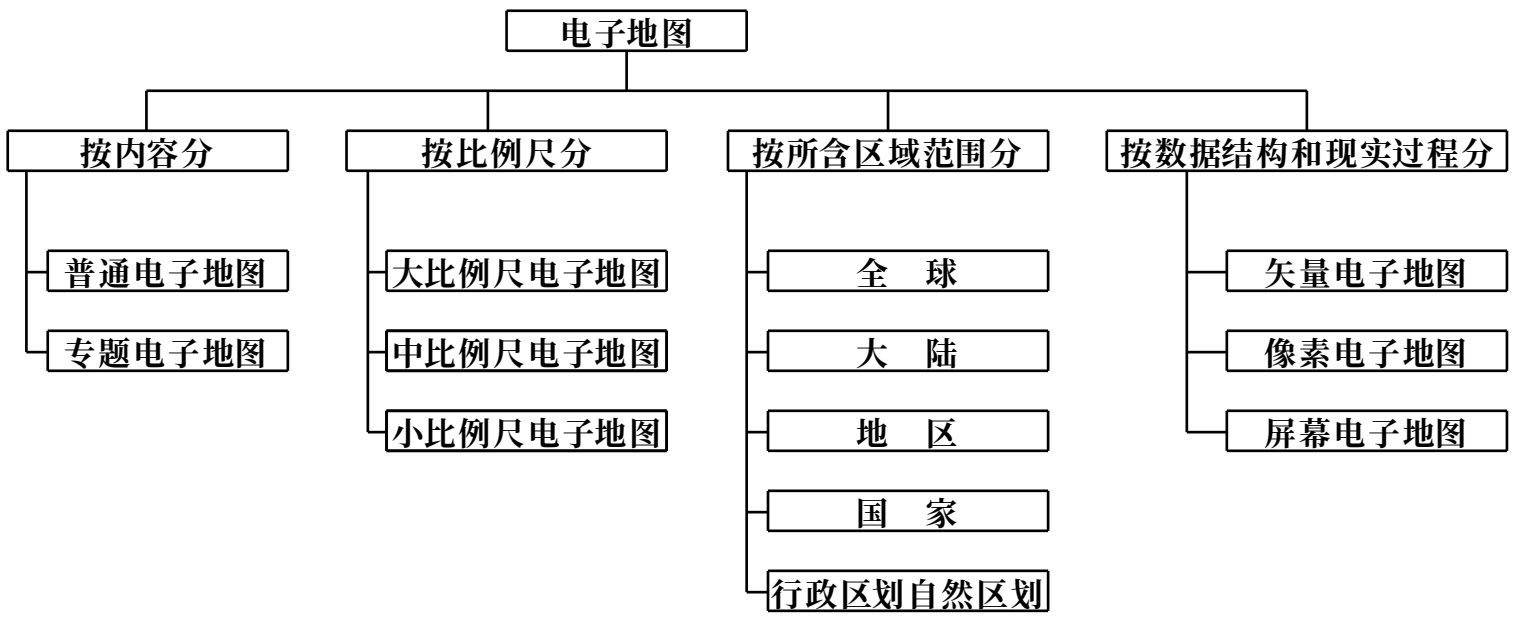


图 2-2　电子地图的分类

(2) 按介质分类:可分为光盘电子地图、触摸屏电子地图、互联网电子地图。

(3) 按用途分类:可分为导航电子地图、城市电子地图、公共查询系统。

(4) 按表达形式分类:可分为二维电子地图、三维电子地图、三维动态电子地图。

(三) 电子地图的特点

电子地图分要素的多层次结构不仅突破了常规纸质地图载负量的局限性,而且通过不同图层空间的叠加分析,产生出更有价值的再生信息,从而大大提高了电子地图的应用价值;电子地图的无级缩放功能也突破了纸质地图固定比例尺的限制,使读者可从宏观到微观、从全局到局部随意游览;电子地图的立体化、动态化模拟显示与多媒体和影像的结合使读者如临其境。电子地图的强大功能无疑促进了地图学的革命,开创了信息时代地图学的新篇章。

电子地图与纸质地图相比较,具有以下独特的优点:

(1) 快:能实现快速存取显示。目前,数据库存取一幅电子地图仅需几秒钟,而且随着计算机技术的发展,这种速度会更快。

(2) 动:可以实现动画,如闪动、颜色瞬变、屏幕漫游、开窗放大、镜头推移、拼接裁剪等。

(3) 层:按地图要素分别进行显示,如居民地层、道路层、水系层、植被层、土质层、地貌层和境界层等,也可进行组合显示或综合显示。层下还可设级,例如可将道路层中的铁路定为一级,将公路定为二级,将机耕路定为三级等,按级进行显示。

(4) 虚:应用虚拟现实技术将地图立体化、动态化,使人具有亲临其境之感。

(5) 传:利用数据传输技术将电子地图传至其他地方。

(6) 量:可实现图上的长度、面积、角度等的自动化量测。

二、电子地图的设计

电子地图设计是指以计算机及其外围设备和数字图形为基础,研究电子地图的数据采集、存储管理和输出显示等技术方案的一种制订过程,并要写出总体设计方案,作为电子地图生成过程的指导性文件。

(一) 电子地图的设计内容

电子地图的设计包括两方面,系统设计和技术设计。

系统设计包括电子地图的数据流程设计、软件设计、硬件配置设计、系统的评估。

技术设计包括电子地图整体设计、数学基础设计、内容设计、符号设计、数据存储管理设计、显示技术设计、图形图像处理算法设计。

数据流程设计主要指电子地图数据由输入到输出的整个流动和处理过程的设计。是各个环节接口设计的依据,对于软件设计和硬件配置设计具有指导意义。软件设计主要指系统软件的选择和应用软件的设计。硬件配置设计是指数据流程中各个处理环节所需设备的一种选择和设计。系统的评估是指对整个系统的性能进行客观的评价,主要内容有实用性评估和可靠性评估。

整体设计的目的是初步确定电子地图的形式和规格,包括:地区范围和名称、图幅划分和地图名称、地图比例尺、图幅拼接和裁剪、图面规划与安排、地图的分层与分级等。数学基础设计的主要内容有地图投影的选择、投影变换、资料坐标系、设备坐标系、存储坐标系和显示坐标系之间的相互转换关系。内容设计是建立用途和环境基础上的一种设计。在设计之前一定有很多资料在设计时要确定表示哪些内容,表示到何种程度。这样才能很好地反映所研究的区域对象。符号设计是指在内容设计的基础上确定内容的图形表示方法。符号设计的内容包括符号的形状、尺寸和色彩。设计时要考虑到显示器的特性,特别是分辨率和颜色对设计的影响。数据存储管理设计主要内容包括数据分类及数据结构、数据的插入、修改、删除和更新、数据的检索等。显示技术设计主要内容包括地图的漫游、开窗放大、推拉镜头、比例尺变换、图形符号的放大和缩小、颜色变换、字体变化以及立体和动态显示技术等。图形图像处理算法设计主要指图形符号处理算法、图形变换算法、图像增强、拼接裁剪算法等。

(二) 电子地图设计的一般原则

(1) 实用性是电子地图设计的根本目的:主要体现在所设计的软件要能用来解决实际问题,满足用户要求,并能适应多方面的需求。它还体现在整个电子地图系统要有充足的数据支撑。

(2) 可靠性是电子地图设计的立足点:若所设计的电子地图经常出故障,就不能满足用户需要。系统故障之间的平均时间愈长,维修平均时间愈短,可用性的时间百分比愈大,则系统愈可靠。另外,系统的可靠性还表现在出了故障有无诊断措施和迅速恢复的能力等方面。

(3) 使用方便性是指应精心地设计用户接口,使系统对用户界面友好,便于学习,理解且使用率高。具体应体现在:① 用户输入信息时,系统给出提示信息;② 尽量为用户提供输入缺省值,用户可不必每项填参数,只需回车即可;③ 采用方便用户的格式输入数据;④ 输入出错时有提示信息;⑤ 有求助程序,当用户不知道如何使用时,可向求助程序求援;⑥ 用户检索时,应提供系统的存图屏幕接图表和菜单,让用户能方便地使用光标指示检索范围和内容。

另外要注意的是,用户使用方便程度和系统设计的复杂程度是矛盾的。但方便用户使用是第一位的,宁可设计工作复杂,增大系统建立的工作量,也要尽量使用户易于掌握此系统。

(4) 程序的可移植性:使设计的电子地图系统应尽可能地与设备无关,使同一程度在不同的外部设备和不同的计算机上使用,方法是:① 通过合理设计硬件的接口和驱动程序使程序中与设备相关的部分尽可能的少;② 采用广泛使用的高级语言,可以在一定程度上获得与机器的无关性。

(5) 数据的独立性:数据的独立性包括两个内容,即物理数据的独立性和逻辑数据的独立性。前者是指当变动存贮结构时不影响整体的逻辑结构,后者是指适当变动整体逻辑结构上机时不影响用户的应用程序。前者比较容易实现,这种完善的设计给用户带来了很大的方便,用户只需掌握直接使用的应用程序而不必关心数据的整体逻辑结构和它们的存贮方式。

(6) 数据的冗余和共享:冗余和共享的程序反映了电子地图数据的效用。冗余数据即是重复占用存贮空间的数据,数据共享是指用一数据可为多个用户、多种应用程序所利用。从空间的角度来看,应当消除冗余,但从时间的角度来看,有时为了缩短访问时间或简化寻址方法,也可以使用冗余技术。因此,原则上要尽量消除不必要的冗余(改善冗余),提高数据共享的程度。

(7) 系统的可扩充性:一个电子地图系统建立后不是固定不变的,随着情况的变化,经常需要扩充。这种扩充苦恼包括电子地图的内容扩充,电子地图用户的扩充,电子地图设备的扩充等。这些可扩充性即电子地图各部分功能的可加性,以避免随着情况的变化而使整个电子地图系统的设计被推倒出来,或使已经建成的电子地图系统不能正常运转。

三、电子地图符号化处理

电子地图的符号化处理主要针对矢量电子地图,因为矢量电子地图的原始数据可以操作到符号,而像素电子地图的数据只能操作到像素。矢量电子地图的符号化处理主要包括数学基础处理、点状符号处理、线状符号处理、面状符号处理、注记处理、立体地貌处理。

(一) 数学基础处理

电子地图的数学基础处理主要包括地图投影计算、地图投影变换、图廓处理、经纬线网处理、平面直角坐标网处理。

1. 地图投影的计算

当采集的空间数据为地理坐标时,为了实现地图显示和绘图输出,以及其他方面的应用,要进行地图投影计算,将地图坐标转算为某种投影条件下的平面直角坐标。其一般公式为:

$$X = f_1(\lambda, \varphi)$$

$$Y = f_2(\lambda, \varphi)$$

式中:λ, φ为某点的地理坐标;X, Y为与(λ, φ)相应的某投影平面上的直角坐标。

2. 地图投影变换

当采集空间数据为某种投影条件下的平面直角坐标,而要求的电子地图的空间数据为另一种地图投影条件下的坐标值时,则要求进行投影变换计算。投影变换的方法有两种:一种为解析变换法,另一种为数值变换法。

解析变换法又分为正解变换和反解变换。正解变换是通过建立一种投影变换为另一种投影的解析关系式,直接将一种投影条件下的平面直角坐标(x, y)变换为另一种投影条件下的平面直角坐标(X, Y)。其一般关系式为:

$$X = F_1(x, y)$$
$$Y = F_2(x, y)$$

反解变换是由一种投影条件下的平面直角坐标(x, y)反解出地图坐标(λ, φ),然后再将地图坐标代入另一种投影条件下的坐标公式中,求出另一种投影条件下的平面直角坐标(X, Y)。其一般关系式为:

$$\lambda = Q_1(x, y)$$
$$\varphi = Q_2(x, y)$$
$$X = f_1(\lambda, \varphi)$$
$$Y = f_2(\lambda, \varphi)$$

数值变换法是采用多项式逼近的方法来建立两种投影间的坐标变换关系。

正解:

$$X = a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2$$
$$Y = b_0 + b_1 x + b_2 y + b_3 x^2 + b_4 xy + b_5 y^2$$

反解:

$$\lambda = a'_0 + a'_1 x + a'_2 y + a'_3 x^2 + a'_4 xy + a'_5 y^2$$
$$\varphi = b'_0 + b'_1 x + b'_2 y + b'_3 x^2 + b'_4 xy + b'_5 y^2$$

3. 图廓处理

图廓处理就是计算图廓点的位置。图廓一般有两种:经纬线图廓和矩形直角坐标线图廓。经纬线图廓是国家系列比例尺地形图所规定的,图廓点的数量要根据不同比例尺的规范要求来确定。这些图廓点的平面直角坐标可由规定的投影公式进行计算。也可在相应的《投影坐标表》中查出。知道这些图廓点的平面直角坐标后,显示、输出时用直线程序将它们连接起来,并按要求注出其经纬度,即成地图图廓。

矩形直角坐标线图廓常用于小比例尺地图。这种图廓只需要 4 个图廓角点就可构成。这 4 个图廓点往往只计算对角线两点,其他两个点即可推算出来。然后用直角程序依次连接 4 个图廓角点就构成了矩形图廓。

4. 经纬线网处理

经纬线网是指地图旋转椭球面上的经线和纬线,按一定的数学方法描绘到平面上,构成的有一定变形规律的网格,经纬线网处理就是用一定的投影公式计算出经纬线网格的交点坐标,也可由《投影坐标表》中查出,逐点用直线程序连接出经线和纬线,构成经纬线网,并注出其经纬度。

5. 平面直角坐标网处理

平面直角坐标网是以公里为单位,按相等的距离作平行于投影坐标轴的若干直线构成的网(也就是‘方里网’)。它的处理通常是利用图廓点(这里指经纬线图廓点)或经纬线网交点的平面直角坐标进行插值计算,以获取平面直角坐标线两端点的平面直角坐标,然后再用直角程序逐条将它们连接起来,就构成平面直角坐标网,最后再注出方里数。

(二) 点状符号处理

点状符号处理是指不能依比例表达对象的符号,点状符号处理就是通过计算获取其在图上的位置。图形特征点和颜色码等,常用的处理方法有直角数据块法和积木组合法。

1. 坐标数据块法

是将所有点状符号均看成是由不同长度的直线段组合而成,读取直线段两端点的坐标数

据和颜色码,构成点状符号数据集,每一个符号成为一个子集。每一个子集为一坐标系中的数据,坐标原点通常放在符号的定位点上。为了避免坐标出现负值,也可以将坐标原点放在符号的左下角,每一个符号设置一个坐标系,我们称其为符号局部坐标系。读取坐标数据前的准备工作是:绘一张适当大小的坐标网,每一网格的边长代表一定的尺寸(例如:1mm),坐标网格的大小以能绘出点状符号为主(图 2-3),然后将点状符号绘入其中。按绘图顺序读取点状符号特征点的坐标值,并赋予颜色码,利用绘直线程序积木组合法,绘出每条直线,就形成一个点状符号。

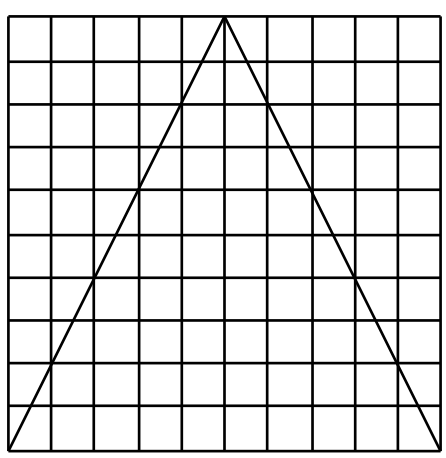


图 2-3　坐标网格大小

表 2-1　颜色码

X	*Y*	色　码
0	0	0
12	0	1
6	8	1
0	0	1

2. 积木组合法

积木组合法是将点状符号分解成若干基本图形(我们称其为图元),利用图元的参数或特征点坐标,将其存贮到计算机中,当需要输出该点状符号时,就从计算机的存贮器中读出组成该点状符号的图元参数或特征点坐标,经计算后调用绘直线程序,绘出每个图元,从而构成了一个完整的点状符号。以地图上亭状地物为例,可将它分解为等腰三角形、两条平行线和一个实心圆(图 2-4)。



图 2-4　亭状地物的制作

(三) 线状符号处理

线状符号用以表示实地线状物体,其长度依比例,而宽度不依比例。实地线状物体的定位线大部分是线状符号的中心线,部分为线状符号的底线。线状符号定位线有呈折线的,也有呈曲线的。对于呈曲线的线符,由于采样时仅取其特征点,因而在进行符号图形处理前,要首先进行光滑加密处理,然后再进行线符图形处理。

1. 曲线光滑处理

曲线光滑处理的意义在于利用曲线上少量点(特征点)建立函数关系式,由函数关系式拟合一条曲线,并保证这条曲线在所有特征点上具有连续的一阶导数或二阶导数,即可通过自动绘图机顺次连接它们而产生一条光滑的曲线(图 2-5)。



$Y = f(x)$

图 2-5　曲线光滑处理

目前常用作曲线光滑处理的函数有:分段三次多项式、正轴抛物线加权平均函数式、张力样条函数式、斜轴抛物线光滑函数式、三点式求导分段三次多项式等。其中,张力样条函数式最适合于地图上的曲线光滑处理。

2. 线状符号地图处理

线状符号与点状符号不一样,其图案固定,形状随定位线形状而改变。所以线状符号图形要利用其定位线点列平面位置(坐标)和图案参数建立函数式,通过计算来实现。

(四) 面状符号处理

面状符号是指地图上依比例尺来表示呈面状分布的物体或地理现象的符号。这些符号的共同点就是在面状符号范围内填绘不同方向、不同间隔的‘晕线’,或填绘成一定规律分布的个体符号,花纹或颜色来反映这些现象的质量特征或数量上的差异。面状符号的定位线通常位于轮廓的中心线上,其形状有的呈曲线,有的呈折线。呈曲线的先要利用采样光滑处理,然后才能进行符号处理。所以面状符号处理主要是配置符处理。

配置符有多种图案,可将它们分解成若干个配置符图元,利用它们组装成不同的配置符。下面着重讨论两个问题:配置符图元和配置符位置计算。

1. 配置符图元

配置符的配置方式有规则配置和非规则配置两种。

(1) 规则配置:规则配置有品字型和平行线型等。地形图上的经济作物体规定用品字型。依比例尺表示的街区等规定用平行线型。

(2) 非规则配置:地形图上大面积的竹林和灌木林等,规定用不规则配置的符号进行配置。

2. 配置符位置计算

$$X_p = f_a(X, Y, m, a, b, \alpha)$$

$$Y_p = f_a(X, Y, m, a, b, \alpha)$$

式中:(X_p, Y_p)为配置符的配置位置;(X, Y)为面状符号轮廓线点列;m为轮廓点数量;a为符号列配置间隔;b为符号行配置间隔;α为符号配置行对 X 轴的倾斜角。

(五) 注记处理

电子地图注记处理是指文字和数字处理。文字和数字是地图上不可缺少的内容,它们与线划、符号、颜色、影像配合共同表现地图要素的名称、质量和数量等属性。电子地图的注记分为名称注记(如居民地、河流、湖泊、山脉的名称),说明注记(如树种、井泉性质、渡口情况等)和数字注记(如高程、水深、流速、树高、路宽等)。电子地图注记处理除需要与符号图形相配合的

注记信息外,还需要汉字库的支持,在此基础上进行注记位置选择和汉字、数字处理。

(六) 立体地貌处理

用等高线法表示地貌具有可量测性,但立体感不强。因此,人们在等高线表示法的基础上又研究了晕渲法,它是根据假定光源对地面照射所产生的明暗程度,用浓淡的墨色或彩色沿斜坡渲绘其阴影,造成明暗对比,显示地貌的分布、起伏和形态特征。这种方法虽然提高了立体效果,但由于采用的是正交投影,不符合人们侧视地貌的习惯,因而人们在电子地图上表示地貌除采用等高线外,往往还利用计算机及其外围设备快速计算和显示能力,采用透视投影来显示地貌图形或图像。我们称之为立体地貌处理。

四、电子地图的总体结构

电子地图所定义的总体结构由片头、封面、图组、主图、图幅、插图、片尾及音乐背景所组成。

(1) 片头、片面为位图序列。

(2) 封面也称目录,为列出图集全部图幅的位图,用户可根据需要进行选择。

(3) 图组:不同信息进行分组,同类信息组合在一起称为一个图组。

(4) 每个图组设主图一幅及若干图幅,主图可定义为图像、文体或视频,反映图组的主体内容;图幅为反映具体内容相关信息的页面,为图集主要组成部分;插图是一种特殊的图幅,其名称不出现在图幅列表中,只有通过图幅连接才能被参照。

(5) 背景音乐可以定义在图组或图幅热点上,可以是伴奏音乐或是解说词。

(一) 电子地图的页面结构

页面是多媒体电子地图集的基本构成单位,它是只由各类语言单位通过平面组合与聚合构成的单位,传达相对独立的语义概念,在计算机上反映为屏幕上的一组图像及可能存在的伴音。

1. 组合关系

页面具有静态性,表现为由任何语言单位按一定平面位置分布关系构成,称为组合关系。这些组合关系可归纳为:

(1) 伴随关系:指声音片断与其他类型语言单位之间的关系。

(2) 并置关系:位于同一平面不同位置、彼此不相压盖的语言单位之间的关系。

(3) 压盖关系:只位于不同平面、彼此压盖(透明或不透明)的语言单位之间的关系。

页面组合关系是一种二维平面结构,并置、压盖等关系根据各语言单位的位置、大小、排列方式呈现多样的具体实现形式。

2. 聚合关系

页面结构同时具有动态性,页面上的语言单位可以被可比的其他语言单位所取代,产生新的页面,这种语言单位纵向上的替代关系成为聚合关系。归纳起来,聚合关系有以下两种:

(1) 不同类型语言单位之间的替代,如位图代替字符串、位图序列代替位图等。

(2) 同类语言单位之间的替代:如更详细的图形库代替较概略的图形库,排序后的字符串取代未经排序的字符串等。

(二) 多媒体结构

多媒体电子地图集是一种建立在超媒体技术上的地图媒体形式,它在传统的超媒体信息组织结构中增加了新的信息类型——空间信息,其表现形式是各种类型的数字地图(矢量、栅

格的或混合的),并且由此引入新的链接形式,主要包括:

地图集其内部各主体之间的链接,如:由参考图上的一个县的区域链接到被参照的该县的详图。

地图及其内部主体与其他非空间信息主体的链接,如有参照图上的一个县的区域链接至被参照的该县文字介绍或视频片断。

1. 语言单位是超媒体结构中具有相对独立意义的组成部分

为了完整地描述超媒体结构中语言单位的形式,可将其归纳为以下 5 大主要类型:

(1) 字符串:由字母或字符构成的序列。字符串是书面语言的语法表达方式,用于文本的表示。

(2) 音片断:由不同频率的音阶构成的序列,可表示一切人工的(如口语、音乐等)或非人工的(自然的)声音。

(3) 图:由不同灰度或色阶构成的平面矩阵,表示通过摄影、绘画或计算生成等手段形成的图形或影像,表达对象可涵盖一切有形或无形的现象,表达形式可以是保真的或经抽象或艺术化的,也可表达书面语言。

(4) 位图序列:由位图构成的序列,表示图形或影像在时间上的变化,可表示视频、动画片段,也可表示动态文字或形式。

(5) 形库:由点、线、面所构成的图形元素集合。以空间数据库组织的数字地图是它的典型形式。

2. 多媒体电子地图集中的媒体链接机制

超媒体结构是由节点和链组成的一个网络结构,所以在一个基于超媒体结构的多媒体电子地图集中,节点和链的定义尤为重要。节点是超媒体结构单位中信息的内容和主题,因此基于上面多媒体电子地图集中媒体类型的描述相应地定义了目录节点、图组节点、主图节点、图幅节点、文本节点、静态图像节点、视频图像节点、动画节点和声音节点等节点。链是超媒体结构中除了节点之外的另一个重要内容,它在节点之间建立了一种参考机制,使超媒体成为一个有机的网络结构体,使读者能够在不同的节点间导航,建立超越单个节点本身所提供的信息。链是多媒体电子地图集的重要特点,通过链接,读者能在图幅自身的概念和信息基础上建立自己跨图幅、跨媒体、灵活的认知策略。为了增加链的灵活性,在目录节点、主图节点、图幅节点中分别定义了点、弧段、路径、线或面等图元或者热区作为链源,用来激活相应的链接。

总结节点之间的链接关系,可以把这些链接分为四类:

(1) 目录—图组链接:通过点击目录节点上的热区可以直接链接并进入相应的图组,同时通过图组上的链接也可以返回目录,因此这种链接是双向的。

(2) 主图—图幅链接:通过点击主图节点上的链接,可以直接进入相应的图幅,同时通过图幅主图的链接可以返回到主图,所以这种链接也是双向的。

(3) 图幅/ 插图—图幅/ 插图链接:由图幅/ 插图中某个热点可以进入其他相关图幅/ 插图,这些图幅或插图可以位于一个图组之内,也可以位于不同的图组,所以这种链接由两种形式:图组内部的图幅/ 插图—图幅/ 插图链接和跨图组的图幅/ 插图—图幅/ 插图链接。

(4) 主图/ 图幅/ 插图—多媒体信息的链接:点击主图/ 图幅/ 插图某个热区或图元可显示其多媒体信息视窗,查看与之有关的文本、图片或视频等,但文本、图片、视频等这些终极节点不包含指向其他节点的指标,所以这种链接是单向链接。

多媒体电子地图集的出现,一方面由于多媒体的引入改变了传统地图集信息形式单一的

局面,另一方面由于超媒体结构的引入改变了传统地图集页面为基础的线性为主的阅读方式,大大提高了以信息参照为主要形式的非线性阅读的可行性。多媒体电子地图集的超媒体结构是由多种形式的语言单位组合与聚合关系及链接机制共同作用下的系统。对其结构的研究对多媒体电子地图集的结构设计以及电子地图制作工具软件的设计都是极其重要的。

§2.5　地图的功能

随着现代科学技术的发展,电子计算机与自动化技术的引进,信息论、模型论的应用,以及各门学科的相互渗透,促使地图学的飞速进步,地图的功能也有了新的发展。目前,地图的基本功能概括为模拟功能、信息载负功能、信息传递功能和认识功能等。

一、模拟功能

模拟是根据实物、设计图或设想,按比例制成的同实物相似的物体。地图就是经过简化和抽象了的空间模型。它以符号和文字注记描述地理环境的某些特征和内在的联系,使其成为一种模拟模型。如用等高线表示地貌形态时,等高线不是地面存在的客观实体,而是实际地形的模拟。地图所具有的基本特征,正是由于地图具有很强的模拟功能所致。

地图模型与其他模型(数学模型、物理模型、表格图表、文字描述、航空与卫星图像等)相比,具有一些认识论方面的特性。例如,地图模型的抽象性、选择性、综合性、量测性、单义性、连续性、直观性、一览性、相似性、地理适应性和逻辑性等,这些都是其他形状的模型所不完全具备的。

二、信息载负功能

地图是空间信息的载体,这就明确地表明地图所具有的信息载负功能。

地图信息量由直接信息(第一信息)和间接信息(第二信息)两部分组成。直接信息是地图语言所直接表示的信息,如水系、交通网、居民地等,人们通过读图很容易获得;间接信息是经过分析解译而获得的信息,如通过对等高线的量测、剖面图绘制等获得有关坡度、切割密度、通视程度的数据。

地图能容纳和存贮的信息是非常大的。据不很成熟的统计方法可知,一幅普通地图能容纳和存贮的信息量为 1 亿～2 亿个信息单元。如果考虑到激光缩微技术,一幅地形图(50cm×60cm)可以缩小至几平方厘米,这意味着几平方厘米缩微的地图上可以容纳和载负 1 亿～2 亿个信息单元的信息量。这里所说的信息量是指直接信息量,间接信息量就更无法估约。因此,由多幅地图汇编的地图集有“地图信息库”和“大百科全书”之称。

地图作为信息的载体,有不同的载负手段,最为常见的形式是载于纸平面上。现已发展到地图信息载于磁带、磁盘、微缩胶卷上等,磁介质相比于纸介质的地图,能储存数量更大的信息。这种存贮方式的改变,将使人们从直接感受读取信息,发展到由计算机读取地图信息,地图作为空间信息载体的功能会得到更充分的发挥。

三、信息传递功能

地图的信息载负功能为信息的传输提供了充分的条件。信息论被引入地图学,形成了以研究地图图形获取、传递、转换、存贮和分析利用的地图信息论。地图即是空间信息的图形传

递形式,它已成为信息传输的工具。

1969 年捷克人 Kolacny 首先提出了地图信息传输系统的模型(图 2-6),用来描述地图信息的传输特征,阐明了作为一个完整过程的地图制作和地图使用两者之间的联系,揭示了地图信息的产生、含义和使用效果的传递系统,开拓了从信息论的角度来研究地图的新领域。

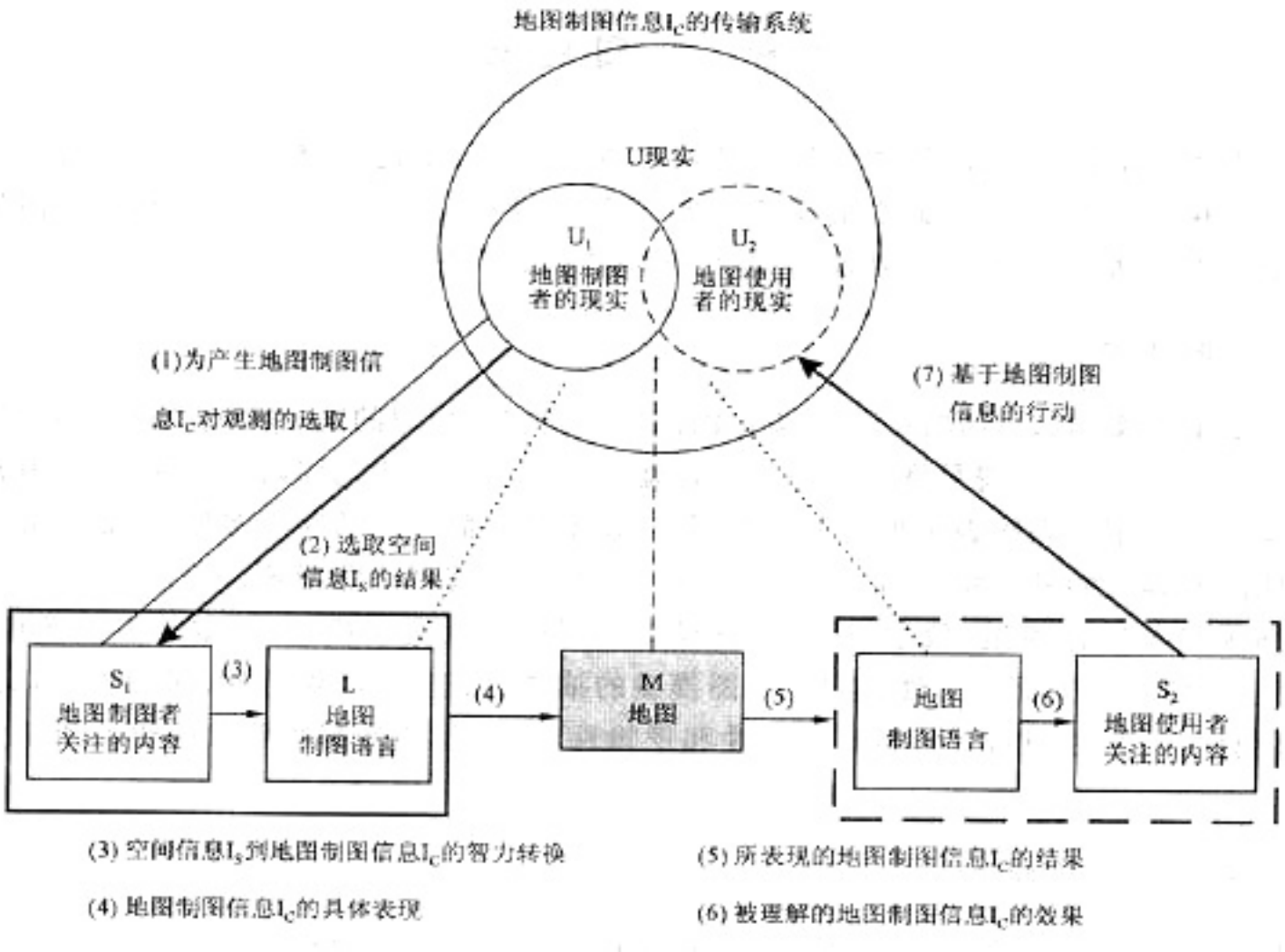


图 2-6 地图信息传输系统的模型

信息传输过程是制图者(信息发送者)把对客观世界(制图对象)的认识加以选择、分类、简化等信息加工,经过符号化(编码)制成地图;通过地图(通道)将信息传输给用图者(信息接收者);用图者经过符号识别(译码),同时通过对地图的分析和解译,形成对客观世界(制图对象)的认识。

在数学信息论中输出的信息量通常等于或小于输入的信息量。例如电报接收的字数和发出的字数是相同的,但在地图信息的传输中却有所不同。制图者在编图过程中所进行的制图综合不仅有地图信息的减少的压缩,也有信息的增加,编图中组合和补充资料的过程就是新信息的增加;同样,用图者在读图分析时,某一部分信息可能在阅读地图的过程损失了,另外的一些信息却增加了,而且用图者读图分析所获得的信息可以超过制图者在编制地图时所利用的信息。当然,用图者知识水平和读图经验的不同,从地图上获得的信息的多少也不同。

四、认识功能

地图所具有的认识功能是由地图的本质决定的。地图用地图语言来表达信息,给人一种特殊的感觉效果,它与自然语言的感受效果不同,并优于它们,因而一直被人们当作传输工具来使用。以至于今天经过精密测绘而获得的地图,其信息传递形式仍是其他形式所不能代替

的最有效的方法。

地图不仅能直观地表示制图现象的质量特征、数量差异和动态变化，而且能反映各制图现象的分布规律和相互联系。因此，地图不仅是区域性学科调查研究成果的很好的表达形式，而且也是科学研究的重要手段，尤其是地理学、地学研究所不可缺少的手段，因而地图有“地理学第二语言”之称。近年来运用地图所具有的认识功能，把地图作为科学研究的重要手段，越来越被人们所重视。

目前，应用地图的认识功能，在很多方面发挥了地图的作用。例如，通过对地图要素或相关地图的比较分析，可以确定各要素之间的相互联系和不同时期自然和社会现象的变迁、发展；通过对地图上坐标、长度、深度、高度、面积、体积、坡度、密度及曲率的量算，可以更加深入地认识客观世界；利用地图建立各种剖面图、断面图等，可以获得制图对象的空间立体分布特征……。总而言之，充分发挥地图的认识功能，可以认清规律，进行综合评价、预测预报和规划设计，为各种建设事业服务。

§2.6　地图的应用

由于地图具有多方面的功能，因此它在科学研究、经济建设、国防建设、政治活动、文化教育及日常生活中有着十分广泛的用途。

一、地图在科学研究方面的应用

1. 利用地图研究各种现象的空间分布规律

这是因为地图直观地反映了各种现象的分布范围、质量和数量特征、动态变化和各种现象之间的相互联系。通过地图分析认识和掌握各种制图现象空间分布规律的例子是很多的。如分析地形图和小比例尺普通地图可以认识和掌握水系结构与水网密度的变化规律、地貌的起伏变化(走向、相对和绝对高程)和结构(平原、丘陵、低山、中山、高山、盆地的组合)特点，居民地的类型、规模、集中与分散的形式及密度变化特点与分布规律等。分析各种专题地图(如地质图、地震图、气温图、植被图等)可以认识掌握各种专题现象的分布特点和分布规律(如地质的区域特点和变化规律，地震分布及其与大地构造关系的规律，气温和植被的变化和分布规律等)。

2. 利用地图研究制图现象的相互联系和制约关系

由于地图特别是系列专题地图和综合地图集的重要特点就是具有可比性，所以利用地图分析各种制图现象之间的相互联系和相互制约关系是特别有效的，通常采用对照比较各种地图的方法。如对照分析我国地震图和地质构造图，可以了解到强烈地震一般都发生在我国西部地槽区和东部地台区的“接合部”和地槽中间的地块边缘、地台中间的大破坏带附近。又如对照环境污染地图与工业分布地图，可以分析空气和物体污染程度与周围各种类型工厂排放的工业废气、污水之间的直接关系。

3. 利用地图研究各种制图现象的动态变化

由于地图上经常要用各种表示方法反映各种制图现象的运动变化，所以有可能利用地图来研究制图现象的动态变化。例如，根据不同时期的地形图，可以研究居民地的变动和增加，道路的兴建和等级的提高，水系的变化(三角洲位置的变化，水库、沟渠的增加)、地貌的变化，森林、草地、沼泽、沙地、耕地等界限和面积的变化等。分析不同时期出版的专题地图，也可以

获得一些现象动态变化情况。例如,对比不同季节和月份或不同时期同一季节和月份的气温、降水量图,可以发现气温、降水量在一年内的变化或不同时期同一季节和月份的变化。

4. 利用地图对自然条件、土地资源和环境质量进行综合评价

利用地图对自然条件、土地资源和环境质量进行综合评价,是根据地形图、各种专题地图和统计调查提供的资料和数据,对自然条件、土地资源和环境质量的各种因素及其主要指标,按评价标准给出评价值,根据按多因素评价的数学模型算得的总价值划分等级,作出综合评价图。

5. 利用地图进行预测预报

利用地图进行预测预报已成为科学研究的一种重要方法。例如,根据植物与岩层、土壤、地下水的密切联系,利用植物地图可以预测矿藏与地下水;利用各月多年平均气温图、降水量图,可大致预测气温降水的变化趋势;对比不同时期的环境污染程度图,可以分析环境污染的发展趋势,作出一个时期环境污染的预测预报。

二、地图在国民经济建设中的应用

1. 利用地图进行区划

区划工作自始至终离不开地图。一般先作部门区划,然后进行综合区划。而区划和区划地图的编制是不可分割的,区划地图往往是利用地图进行区划工作结果的主要表现形式。

2. 利用地图进行规划

地图也是制定各种规划不可缺少的手段。利用地图进行全国性或区域性经济建设规划,并编制规划地图,能直接地展现今后发展远景。规划地图可以在表示现状的基础上重点表示今后的发展,以便对照比较。例如,在城市规划图集中,除了表示城市现状外,可重点表示城市总体规划、近期建设规划、道路系统规划等。

3. 利用地图进行资源的勘察、设计和开发

以地图在采矿中的应用为例,矿产的开采要利用 1∶5 000、1∶2 000、1∶1 000 比例尺地形图确定开采方向,核定储量,确定施工地点,计算作业量及开采过程的生产管理等。

4. 利用地图进行各种工程建设的勘察、设计和施工

修建铁路、公路、水利工程、工厂企业等工程项目的选线、选址、勘察设计和施工,要采用地形图尤其是大比例尺地形图。

三、地图在国防建设中的应用

地图在军事作战方面的作用是很大的。古今中外,许多军事家都非常重视利用地图。管子的《地图篇》中指出的“凡兵主者,必先审知地图”,阐明了地图在军事上的作用和使用地图的方法。现在战争条件下,地图更是不可缺少的工具。各军种、兵种的首脑机关决策战略方针,中级指挥员制定战役计划,基层指挥员具体的战斗行动,都离不开地图。而且,军事活动的需要往往推动与加速了地图的发展与应用。航摄成图就是通过两次世界大战而完成从试验到实用过程的,数字地图也首先是在近几年来的现代战争中得到应用的。

四、地图在政治活动、文化教育、日常生活中的应用

地图具有鲜明的政治性及法律效力。地图上的某些内容,如境界线、沿海岛屿等的表示,直接体现了国家的方针政策,代表了民族的切身利益。地图是进行思想政治教育的强有力工

具。应用地图能更直观地了解祖国河山的壮丽、自然资源的丰富、建设成就的伟大以及国际政治风云的变幻莫测。在教学活动中,特别是地理教学中,地图更是不可忽视的重要教学手段。在日常生活中,进行旅游活动、了解世界时事、区域的经济发展,也都离不开地图,需要运用一定的地图知识。

思考题

1. 地图的基本特性有哪些？试阐述它与地面照片、风景画的区别？
2. 什么是普通地图？专题地图？地形图？
3. 我国基本比例尺系列地形图有哪些？
4. 什么是电子地图？其优点是什么？
5. 地图具有哪些功能？

第三章　地图的数学基础

§3.1　地球椭球体

一、地球的形状和大小

地球表面是一个高低不平、极其复杂的表面。在地球表面上分布着山地、盆地及海洋，其中海洋的面积约占 71%，陆地约占 29%。从高达 8 848.13m 的世界最高点——珠穆朗玛峰，到深达 11 022m 的太平洋西部马里亚纳海沟，两者相差近两万米。地球表面的这种复杂性给测绘工作者带来极大的不便，所以人们必须寻找一个能用数学公式表示而又基本符合地球自然表面的统一依据面来代替这个自然表面，这样处理测量数据和制图就变得方便了。

假定海水处于“完全”静止状态，把海水面延伸到大陆上去，形成包围整个地球的连续表面，我们通常称它为大地水准面，它包围的球体称为大地体。大地测量中用水准量测方法得到地面上各点的高程就是依据这个水准面来确定的，大地水准面上任何一点的铅垂线都与大地水准面成正交，而铅垂线的方向又受地球内部质量分布不均匀和地面高低起伏的影响，致使大地水准面产生微小起伏，所以大地水准面仍是一个不规则的、不能用简单数学公式表达的曲面。

为了便于测量成果的计算和制图工作的需要，我们选用一个大小和形状同大地体极为近似的、可以用数学方法表达的旋转椭球来代替。旋转椭球是以椭圆的短轴(地轴)为轴旋转而成的。

图 3-1 表明在局部地段上地球的自然表面、大地水准面和地球椭球面三者的位置关系。凡与局部地区(一个或几个国家)的大地水准面符合得最好得旋转椭球，称为“参考椭球”。

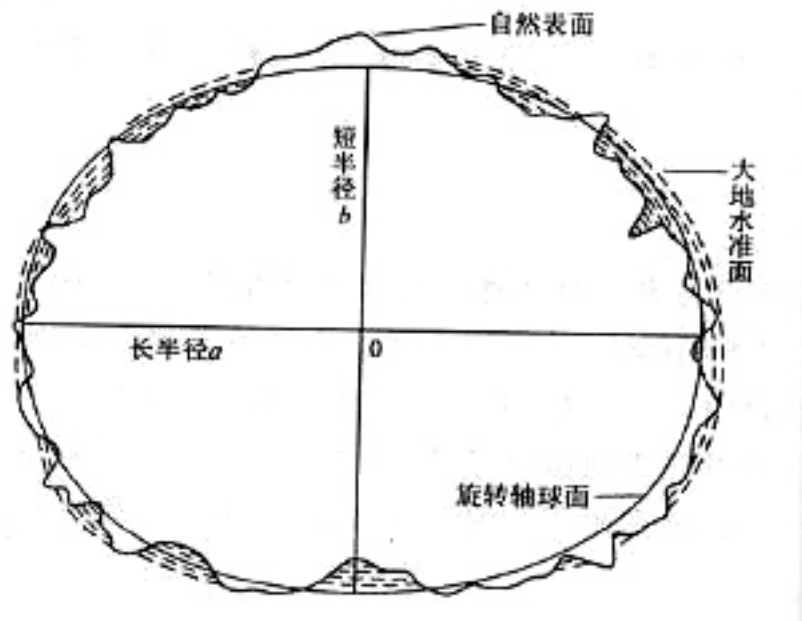


图 3-1　地球自然表面、大地水准面和地球椭球面的关系

地球椭球的形状和大小常用下列符号表示(图 3-2)，长半径 a(赤道半径)、短半径 b(极轴半径)、扁率 α、第一偏心率 e、第二偏心率 e'，这些数据又称为椭球元素。它们的数学表达式为：

扁率　　$\alpha = \dfrac{a-b}{a}$

第一偏心率　　$e^2 = \dfrac{a^2-b^2}{a^2}$

第二偏心率　　$e'^2 = \dfrac{a^2-b^2}{b^2}$

决定地球椭球体的大小只要知道其中两个元素就够了，但其中必须有一个是长度元素（a 或 b）。

e、e'和 α 之间还存在着下列关系：

$$e^2 = \frac{e'^2}{1 + e'^2}$$

$$e'^2 = \frac{e^2}{1 - e^2}$$

$$e^2 \approx 2\alpha$$

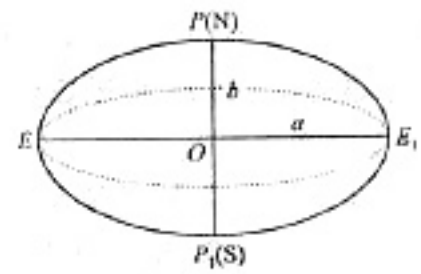


图 3-2　地球椭球形状和大小

由于采用不同的资料计算，各国使用的椭球体的元素是不同的。我国 1952 年以前采用海福特椭球，从 1953 年起，改用克拉索夫斯基椭球，1978 年开始采用国际大地测量协会所推荐的“1975 年国际椭球”。并以此建立了我国新的、独立的大地坐标系。现将地球椭球体的数据列表如下（表 3-1）。

表 3-1　常用地球椭球体数据

椭球名称	年　代	长半径 a(m)	短半径 b(m)	扁　率 α
白赛尔（德，Bessel）	1841	6 377 397	6 356 079	1∶299.15
克拉克（英，Clarke）	1866	6 378 206	6 356 534	1∶295.0
克拉克（英，Clarke）	1880	6 378 249	6 356 515	1∶293.47
海伏特（美，Hayftord）	1910	6 378 388	6 356 912	1∶297.0
克拉索夫斯基（Красовск-ий）	1940	6 378 245	6 356 863	1∶298.3
1975 年国际椭球	1975	6 378 140	6 356 755	1∶298.257
1980 年国际椭球	1979	6 378 137		1∶298.257

二、坐标系

坐标系是确定地面点或空间目标所采用的参考系，常见的有地理坐标系和平面坐标系。

（一）地理坐标系

1. 地理坐标系的构成

地理坐标系的构成见图 3-3。设 PP'为地球的旋转轴（又称地轴），它与椭球面的交点 P，P'称为地球的北极和南极。过旋转轴的平面与椭球面的截线叫经线或子午线（如图中 $MPM'A'P'A$ 椭圆）。国际上公认通过英国格林尼治天文台的经线（$PEFP'$）为首（零）子午线。所以，M 点的经度即为过该点的子午圈截面与起始子午面的交角，用 λ 表示。并规定由首子午线起，向东为正，称“东经”，由 0°～+180°；向西为负，称西经，由 0°～-180°。垂直于地轴并通过地心的平面叫赤道平面，它和椭球面相交的大圆圈（交线），称为赤道（$A'FGA$）。过 M 点作平行于赤道面与椭球面的截线，称为纬线圈或平行圈（MEM'）。过 M 点的法线（ML）与赤道面的交角（$\angle MLA$），叫作地理纬度，用 φ 表示。纬度以赤道为 0°，向北、南极各以 90°计算，向北为正，称“北纬”，其值由 0°～+90°；向南为负，称“南纬”，纬度由 0°～-90°。

地面上任意点 M 的地理位置可由经度 λ 和纬度 φ 来确定，记成 $M(\lambda, \varphi)$。经线和纬线是地球表面上两组正交（相交为 90°）的曲线，这两组正交线构成的坐标称为地理坐标系。

2. 地理坐标的获取方法

地理坐标可通过天文测量和大地测量的方法获取,因此地理坐标分为天文地理坐标和大地地理坐标两种。

以大地水准面和铅垂线为依据,用天文测量的方法,可获得地面点的天文经纬度坐标(λ,φ)的地面点,称为天文点。它是一种地面控制点,是在各点点位上独立观测而直接得到的,地图上用专门的天文点符号来表示。

以旋转椭球和法线为基准,用大地测量的方法,根据大地原点的大地基准数据,由大地控制网逐点推算各控制点的坐标,称为大地经纬度(*L*, *B*)①。

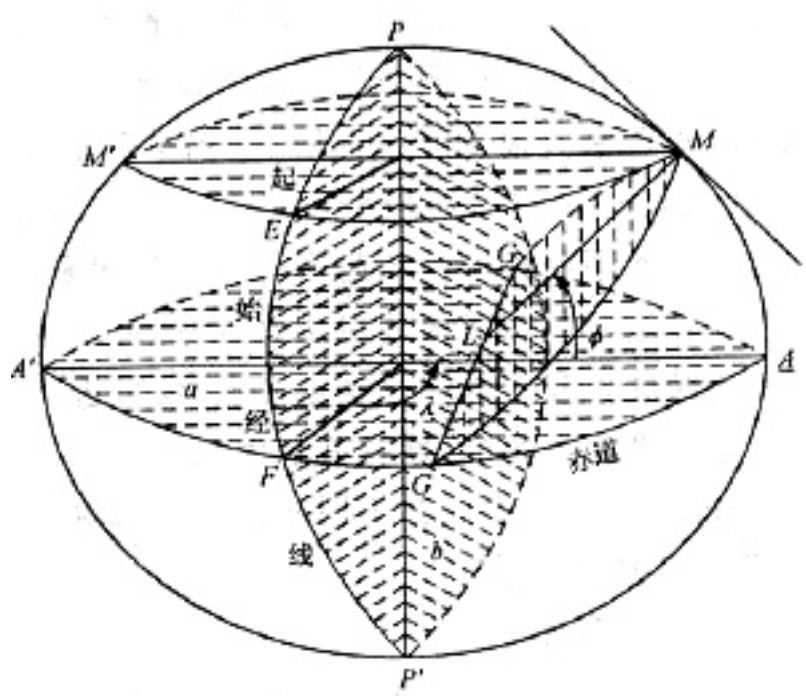


图 3-3 地理坐标系

3. 我国的大地坐标系

世界各国分别设立了各自的坐标原点,建立了不同的坐标系,这里只简要介绍我国的大地坐标系的情况。

解放初期,从苏联 1942 年坐标系联测并经过平差计算而引伸到我国,建立了 1954 年北京坐标系。该坐标系的原点在原苏联西部的普尔科夫,采用克拉索夫斯基椭球元素。经过几十年的实践证明,使用克拉索夫斯基椭球体,已经不能很好地满足我国大地测量工作的要求。存在以下几方面的问题:

(1) 克拉索夫斯基椭球体与 1975 年国际大地测量协会推荐的地球椭球(ICA-75 椭球)相比,其长轴 *a* 约大 105m。这样必然会给理论研究和实际工作带来诸多不便。

(2) 克拉索夫斯基椭球面相对大地水准面,自西向东有较大的系统性倾斜。大地水准面差距最大可达 + 68m,并且出现在我国经济发达的东部沿海地区。这样必然给大地测量数据的归算工作带来麻烦。

(3) 在处理重力测量资料中所常用的计算公式,也与克拉索夫斯基椭球体不匹配。

为了适应我国大地测量工作深入发展的需要,我国于 1978 年决定建立中国国家大地坐标系。1980 年国家大地坐标系选用了 1975 年国际大地测量协会推荐的参考椭球,其具体参数为 $a = 6\ 378\ 140\text{m}$, $b = 6\ 356\ 755\text{m}$, $\alpha = 1/298.257$。采用 ICA-75 椭球,可使几何大地测量与物理大地测量所使用的椭球一致起来。1980 年国家大地原点设在我国中部西安市附近的泾阳县境内。由于大地原点在我国居中位置,因此可以减少坐标传递误差的积累。

参考椭球体和大地原点确定之后,便可进行椭球体定位和精确测量大地原点坐标,进而再以大地原点坐标为基准,推算其他大地点坐标。注意:不同国家由于采用的参考椭球及定位方法不同,因此同一地面点在不同坐标系中大地坐标值也不相同。

(二) 平面坐标系

1. 平面极坐标系

它是用某点至极点的距离和方向表示该点的位置的方法,称为极坐标法。该方法主要用于地图投影理论的研究。图 3-4 中,设 *Q* 为极坐标原点,*QO* 为极轴,*P* 是坐标系中的一点,*QP*

① 文献中也有用 λ、φ表示大地经纬度的,在地图制图中,则多用 λ、φ表示大地经纬度。

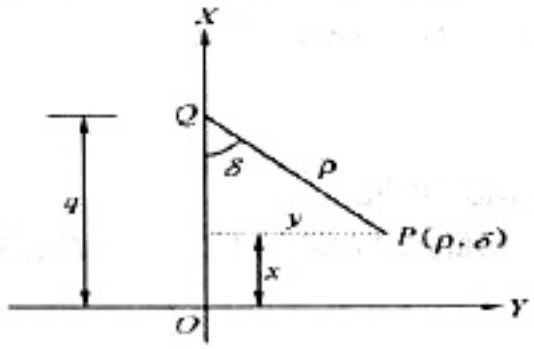


图 3-4　平面坐标系

称为极距(ρ), ∠*OQP* 为极角(δ)。极角 δ由极轴起算按逆时针方向为正,顺时针方向为负。任意点 *P* 的极坐标为 *P*(ρ,δ)。

2. 平面直角坐标系

它是按直角坐标原理确定某点的平面位置。这种坐标也叫笛卡儿坐标。

该坐标系是由原点 *O* 及过原点的两个相交轴所组成,任意点 *P* 的直角坐标为(*x*, *y*)。极坐标与平面直角坐标之间可建立一定的关系式,直角坐标系的 *X* 轴与极轴重合,二坐标系原点间距离 *OQ* 用 *q* 表示。

则有:

$$\begin{cases} x = q - \rho\cos\delta \\ y = \rho\sin\delta \end{cases}$$

(三) 高程系

高程是指由高程基准面起算的地面点的高度。

高程基准面是根据验潮站所确定的多年平均海水面而决定的(图 3-5)。

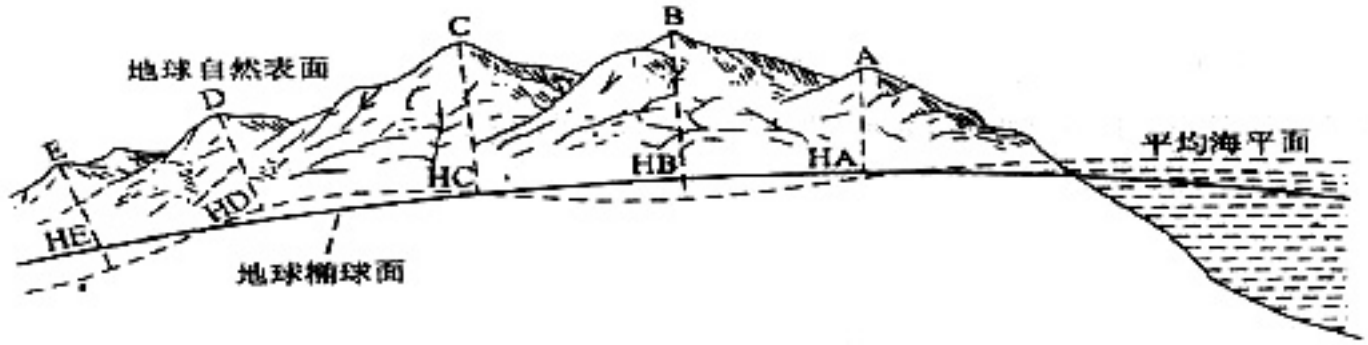


图 3-5　高程起算及高程

地面点至平均海水面的垂直高度称为海拔高程,也叫绝对高程(简称高程)。地面点之间的高程差称为相对高程(简称高差)。

实践证明,在不同地点的验潮站所得的平均海水面之间存在着差异,选用不同的基准面就有不同的高程系统。例如,我国曾经使用过的 1954 年黄海平均海水面、坎门平均海水面、吴淞零点、废黄河零点等多个高程系统,均分别为不同地点的验潮站所得的平均海水面。

1956 年黄海高程系　一个国家通常只能采用一个平均海水面作为统一的高程基准面。我国规定采用以青岛验潮站 1950～1956 年测定的黄海平均海水面,作为我国统一高程基准面,凡由该基准面起算的高程,统称为"1956 年黄海高程系"。它的水准原点设在青岛市的观家山上,对黄海平均海水面的高程为 72.298m。国家各级的高程控制点(水准点、埋石点等)的高程数值,都是由该点起,通过水准测量等方法传算过去,构成全国的高程控制网,从而为测绘地图提供了必要条件。

1985 年国家高程基准　由于观测数据的积累,黄海平均海水面发生了微小变化,国家决定启用新的高程系,并命名为"1985 年国家高程基准"。该系统是采用青岛验潮站 1952～1979 年潮汐观测计算的平均海水面,国家水准原点的高程值为 72.260m,使高程控制点的高程产生

了微小变化,但对已成地图上的等高线高程的影响可以不计,可认为是没有变化。

三、地球椭球体的基本公式

(一) 子午圈曲率半径、卯酉圈曲率半径、平均曲率半径和纬圈半径

图 3-6 中,过椭球表面上任一点 A 作法线 AL 通过法线的平面所截成的截面叫做法截面。过 A 点的法线 AL 同时又通过椭球体旋转轴 $PP1$ 的法截面称为子午圈截面。子午圈曲率半径通常它是 A 点上所有截面的曲率半径中的最小值,其公式为:

$$M = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \phi)^{3/2}} \qquad (3\text{-}1)$$

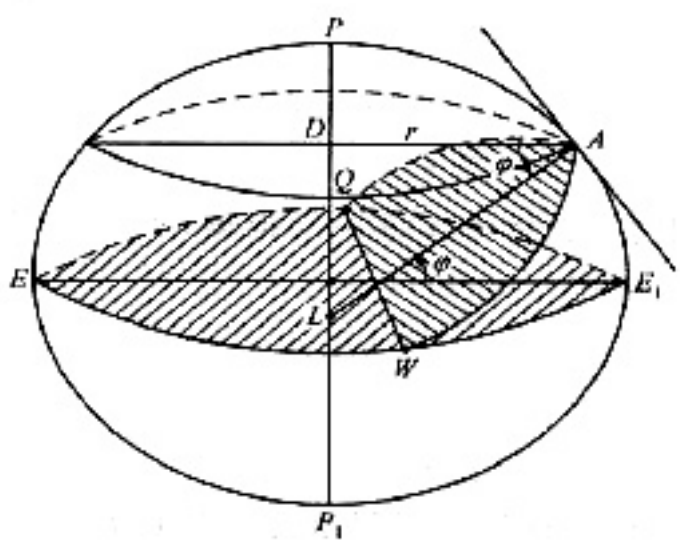


图 3-6 地球椭球体

椭球体选定后,a、e 均为常数;ϕ 为纬度。可见 M 随纬度的变化而变化。另一个是垂直于子午圈的截面称为卯酉圈截面,即通过 A 点的法线 AL 并垂直于子午圈截面的法截面 QAW。它具有 A 点上所有截面的曲率半径中的最大值。

卯酉圈曲率半径以字母 N 表示,其公式为:

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \phi)^{1/2}} \qquad (3\text{-}2)$$

式中符号同(3-1)式,可见 N 亦随纬度而变化。

平均曲率半径 R 等于主法截面曲率半径的几何中数:

$$R = \sqrt{MN} = \frac{a(1 - e^2)^{1/2}}{1 - e^2 \sin^2 \phi} \qquad (3\text{-}3)$$

当 $\phi = 0°$ 时,代入(3-1)式,(3-2)式中

$$M_{0°} = a(1 - e^2) \qquad (3\text{-}4)$$

$$N_{0°} = a \qquad (3\text{-}5)$$

当 $\phi = 90°$ 时,代入(3-1)式,(3-2)式中

$$M_{90°} = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2}} \qquad (3\text{-}6)$$

$$N_{90°} = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2}} \qquad (3\text{-}7)$$

比较上式,可见子午圈曲率半径与卯酉圈曲率半径除了在两极处相等外,在其他纬度相同情况下,同一点上卯酉圈曲率半径均大于子午圈曲率半径(表 3-2)。

表 3-2 不同纬度的子午圈和卯酉圈曲率半径

纬度 ϕ(°)	子午圈曲率半径 m(m)	卯酉圈曲率半径 N(m)
0	6 335 553	6 378 245
45	6 367 491	6 388 945
90	6 399 699	6 399 699

纬圈曲率半径一般用 r 来表示,即:

$$r = N\cos\varphi = \frac{a\cos\varphi}{(1 - e^2\sin^2\varphi)^{1/2}} \tag{3-8}$$

M、N、R、r 的值均可在《制图用表》或《地图投影计算用表集》中查取。

(二) 地球的球体半径

当编制较小比例尺地图时,可以不考虑地球扁率,而把椭球体用一个符合某种条件的球体来代替,以便于地图投影的计算,同时也满足制图的精度要求。通常对地球球体半径的选择有下列几种情况:

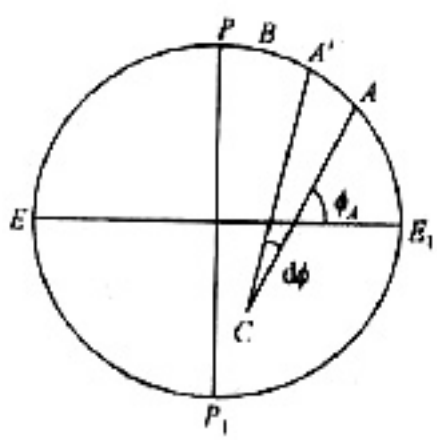
等面积球体半径:使球体的表面积等于地球椭球体表面积, $R_{等面积} = 6\ 371\ 116(\mathrm{m})$

等体积球体半径:使球体的体积等于椭球体的体积, $R_{等体积} = 6\ 371\ 110(\mathrm{m})$

关于如何选择球体半径,须根据所编制地图的用途、比例尺和制图区域的大小来决定。

(三) 子午线弧长和纬线弧长

图 3-7 中,在子午线上任取一点 A,其纬度为 φ_A,取与 A 点无限接近的一点 A',其纬度为 $\varphi_A + \mathrm{d}\varphi$,设 C 为 $AA' = \mathrm{d}S$ 的曲率中心,M 为该弧的曲率半径(即子午线 A 点上的曲率半径),因为 AA' 很小,可以把它看作以 M 为半径的圆周,应用弧长等于半径乘圆心角的公式:



$$AA' = \mathrm{d}S = M\mathrm{d}\varphi \tag{3-9}$$

图 3-7　子午圈示意图

将(3-1)代入

$$\mathrm{d}S = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2\sin^2\varphi)^{3/2}}\mathrm{d}\varphi \tag{3-10}$$

欲求 A、B 两点之间子午线弧长 S 时,须求以 φ_A 和 φ_B 为区间的积分,得

$$S = \int_{\Phi_A}^{\Phi_B} M\mathrm{d}\varphi = \int_{\Phi_A}^{\Phi_B} \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2\sin^2\varphi)^{3/2}}\mathrm{d}\varphi$$

积分后经整理得子午线弧长的一般公式:

$$S = a(1 - e^2)\{\frac{A}{\rho^0}(\varphi_B - \varphi_A) - \frac{1}{2}B(\sin2\varphi_B - \sin2\varphi_A) + \frac{1}{4}C(\sin4\varphi_B - \sin4\varphi_A) - \frac{1}{6}D(\sin6\varphi_B - \sin6\varphi_A) + \cdots\} \tag{3-11}$$

式中:$\rho^\circ = \frac{180^\circ}{\pi}$; $A = 1.005\ 051\ 773\ 9$; $B = 0.005\ 062\ 377\ 64$; $C = 0.000\ 010\ 624\ 5$; $D = 0.000\ 000\ 020\ 81$。

若令 $\varphi_A = 0$, $\varphi_B = \varphi$,则可得由赤道至纬度为 φ 的纬线间的子午线弧长 S:

$$S = a(1 - e^2)\{\frac{A}{\rho^0}\varphi - \frac{B}{2}\sin2\varphi + \frac{C}{4}\sin4\varphi - \frac{D}{6}\sin6\varphi + \cdots\} \tag{3-12}$$

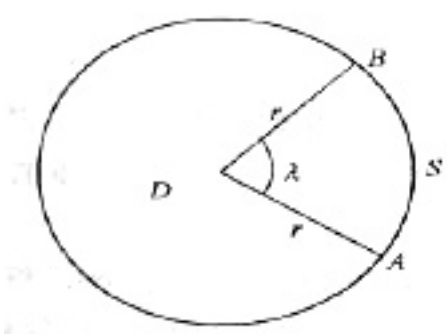


图 3-8　平行圈示意图

纬线(平行圈)的弧长:因为纬线为圆弧,故可应用求圆周弧长的公式:

设 A、B 两点的经差为 λ,则由图 3-8 可得

$$S = r\cdot\lambda = N\cos\varphi\cdot\lambda = \frac{N\cos\varphi\cdot\lambda''}{\rho''} \tag{3-13}$$

分析上述公式可得:同纬差的子午线弧长由赤道向两极逐渐增长。例如纬差 1°的子午线弧长在赤道为 110 576m,在两极为 111 695m。同经差的纬线弧长在赤道向两极缩短,例如在赤道上经差 1°的弧长为 111 321m,在纬度 45°处其长度为 78 848m,在两极则为 0。

有关子午线弧长和纬线弧长可利用《制图用表》或《地图投影计算用表》查取。

(四) 地球椭球体表面上的梯形面积

地球椭球体表面梯形面积是指以两条子午线和两条纬线为界的表面构成的梯形面积。

如图 3-9 所示,无穷小的梯形 $ABCD$,其边长就是子午圈和平行圈的弧长,即

$$AB = CD = M\mathrm{d}\varphi$$

$$BC \approx AD = r\mathrm{d}\lambda = N\cos\varphi\mathrm{d}\lambda$$

由此,这个微分梯形面积 $ABCD$ 可以写成

$$\mathrm{d}T = MN\cos\varphi\mathrm{d}\varphi\mathrm{d}\lambda$$

如果所计算的面积为经度 λ_1 与 λ_2 的两条经线及纬度 φ_1 与 φ_2 的两条纬线所包围的梯形,则其面积为

$$T = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2}\int_{\Phi_1}^{\Phi_2} MN\cos\varphi\mathrm{d}\varphi\mathrm{d}\lambda$$

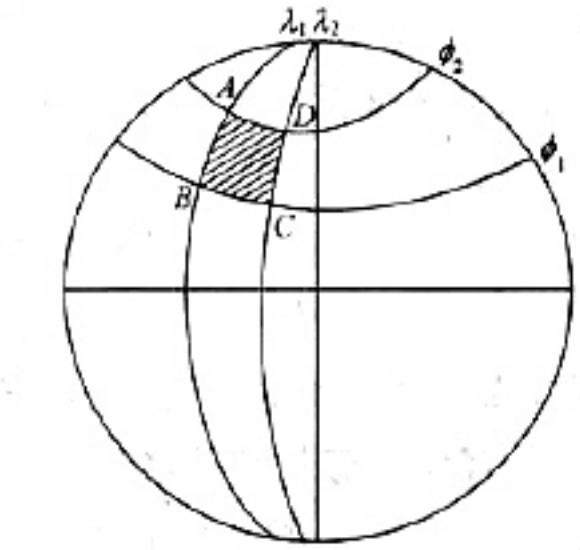


图 3-9 地球椭球体表面梯形

将(3-1)和(3-2)代入得

$$T = a^2(1 - e^2)\int_{\lambda_1}^{\lambda_2}\int_{\Phi_1}^{\Phi_2} \frac{\cos\varphi\mathrm{d}\varphi}{(1 - e^2\sin^2\varphi)^2}\cdot\mathrm{d}\lambda$$

积分并经过整理后得

$$T = K\left(A\sin\frac{\Delta\varphi}{2}\cos\varphi_m - B\sin\frac{3\Delta\varphi}{2}\cos3\varphi_m + C\sin\frac{5\Delta\varphi}{2}\cos5\varphi_m - D\sin\frac{7\Delta\varphi}{2}\cos7\varphi_m + \cdots\right) \tag{3-14}$$

式中:$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$;　$\varphi_m = \dfrac{\varphi_2 + \varphi_1}{2}$;　$K = 2a^2(1 - e^2)\dfrac{(\lambda_2 - \lambda_1)^0}{\rho^0}$;　$A = 1 + \dfrac{1}{2}e^2 + \dfrac{3}{8}e^4 + \dfrac{5}{16}e^6 + \cdots$;

$B = \dfrac{1}{6}e^2 + \dfrac{3}{16}e^4 + \dfrac{3}{16}e^6 + \cdots$;　$C = \dfrac{3}{80}e^4 + \dfrac{1}{16}e^6 + \cdots$;　$D = \dfrac{1}{112}e^6 + \cdots$。

若令 $\dfrac{(\lambda_2 - \lambda_1)^0}{\rho^0} = 1$ 弧度,$\varphi_1 = 0$,$\varphi_2 = \varphi$,则得经差一个弧度、纬度自赤道到纬度为 φ 的纬线所构成的椭球体面的梯形面积,其数值载于《制图用表》。

§3.2 地图投影的概述

地图是在平面上显示整个或部分地球表面的各种信息,而地球椭球面是一个不可展的曲面,这就需要将地球面上的点投影到平面上。我们研究的各种投影方法称为地图投影。

一、地图投影的实质

对于地球表面较小的区域范围,可以视为地表为平面,这样我们就可将测图地区按一定比例缩小成为一个地形模型,然后将其上的一些特征点(测量控制点、地形点、地物点)用垂直投影的方法投影到平面上。

对于很大的地区,可采用的是直观透视投影方法。这种方法就是假设地球是按比例尺缩小成一个透明的地球仪那样的球体,在其球心、球面或球外安放一个发光点,将地球仪上经纬线,连同控制点及地形、地物投影到球外的一个平面上,即成为地图。

上述两种简单的投影方法有很大的局限性。例如它们不能将全球投影下来,多数情况下不可能用这种几何作图的方法来实现,因此我们必须寻求更科学的投影方法。

科学的投影方法是建立在地球椭球面上的经纬线网与平面上网格相应的基础上的,其实质就是建立地球椭球面上的点的坐标(φ,λ)与平面上对应的坐标(x,y)之间的函数关系。

如果地球表面上有一点 $A(\varphi,\lambda)$,它在平面上的对应点是 $A'(x,y)$,按地图投影的定义,此两点坐标之间可用下列函数关系式表示:

$$\begin{cases} x = f_1(\varphi,\lambda) \\ y = f_2(\varphi,\lambda) \end{cases} \tag{3-15}$$

由于球面上经纬线是连续而规则的曲线,而地图上一定范围之内经纬线也必定是连续和规则的,因此我们规定:在一定的区域内,函数 f_1、f_2 应是单值、有限而连续的。否则投影将没有意义。

得到了函数式后,就可以按我们需要的经纬网密度把经纬线交点的平面直角坐标计算出来,并展绘于平面上,就可以建立经纬线的平面表象。这样就建立了所编地图的数学基础。

二、投影变形

地球表面是一个不规则的椭球面,即使把它当作一个椭球体或正球表面,在数学上讲,它是一个不可展曲面,要把这样一个曲面展到平面上,就会发生裂隙和褶皱。为了避免这种情况发生,就要对经纬线进行"拉伸"或"压缩"(即通过数学手段)来处理,从而形成一幅完整的地图,这样也就因此产生了变形。这种变形表现在形状和大小两方面,从实质上讲,是投影产生的长度变形、方向变形引起的。

(1) 长度变形(V_μ)　是长度比与 1 之差值。即 $V_\mu = \mu - 1$。

而长度比 μ则是指地面上微分线段投影后长度 $\mathrm{d}S'$与其固有长度 $\mathrm{d}S$ 之比值。即

$$\mu = \frac{\mathrm{d}S'}{\mathrm{d}S} \tag{3-16}$$

长度比是一个变量,不仅随点位不同而变化,而且在同一点位随着方向不同也有大小的差异,因此在描述一个点上不同方向的长度变化时,常常需要指出各长度比中之最大最小者(即极值长度比,用 a和 b 来表示),以作为衡量该点上变形变化的程度或界限。极值长度比在椭球体表面处于两个互相垂直的方向上,对这两个特殊的方向,我们命名为主方向。

(2) 面积变形(V_p)　是指面积比 P 与 1 之差,即 $V_p = P - 1$。

面积比 P 是地球表面上微分面积投影后的大小 $\mathrm{d}F'$与其固有面积 $\mathrm{d}F$ 之比,即

$$P = \frac{\mathrm{d}F'}{\mathrm{d}F} \tag{3-17}$$

面积比也是一个变量,它随点位的不同而变化。

(3) 角度变形　某一角度投影后角值 β'与其在地面上固有角值 β 之差,即 $\beta' - \beta$。

在一定点上,方位角的变形随不同的方向而变化。投影中,一定点上的角度变形的大小用其最大值来衡量,即称为该点最大角度变形(用 ω表示),其公式为:

$$\sin\frac{\omega}{2} = \frac{a-b}{a+b} \tag{3-18}$$

式中，a，b为该点的极值长度比。

上述投影变形，我们可以用一个几何图形来概括和直观表达变形特征。地面上一点的一个微分小圆，由于点位不同，各点的长度比是不同的。同一点上不同方向的长度比也是不同的，微分小圆则常常不能保持为圆形，投影到平面上一般成为一个椭圆（即变形椭圆）在不同位置上的变形椭圆，常有不同的形状和大小，从而可说明变形情况。如果微分小圆投影后为不同大小的圆形，则该投影为等角投影；如果微分小圆投影后为面积相等而形状不同的椭圆，则该投影为等面积投影；如果微分小圆投影后为面积不相等的椭圆，则该投影为任意投影；如果椭圆的某一半轴与微分圆的半径相等，如 $a=r$，或 $b=r$，则该投影为等距离投影。

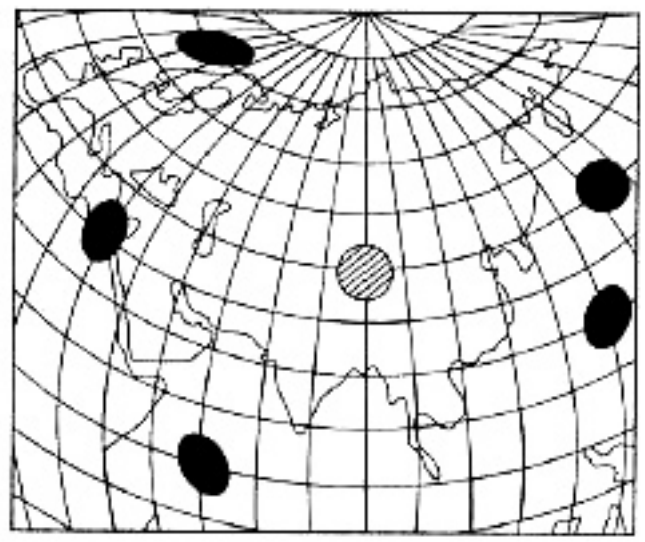


图 3-10　变形椭圆

图 3-10 中在不同位置上的变形椭圆，常有不同的形状和大小，从而说明了投影变形情况。

三、投影的分类

在长期的地图制图生产实践中，已经出现了许多地图投影，为便于研究和使用，须予以适当的分类。分类的方法很多，基本上可以依内在的性质和外在的特征来进行分类。

（一）根据地图投影的变形（内蕴的特征）分类

（1）等角投影：在这种投影中，地球表面上无穷小图形投影后仍保持相似，或两微分线段所组成的角度在投影后仍保持不变。在等角投影中，$\omega=0$，$a=b$，$\theta=90°$（θ为经纬线的夹角）。

（2）等面积投影：地球面上的图形在投影后保持面积不变。这种投影可以使梯形的经纬线网变成正方形、矩形、平行四边形等形状，但都可保持投影面积与实地相等。在该投影中，$V_p=0$，$p=ab=1$。

（3）任意投影：既不具备等角性质，又没有等面积性质的投影。其中一特例是等距离投影，该投影只在某些特定方向上没有变形，如 $a=1$ 或 $b=1$，一般常有沿经线方向保持不变形的投影。

（二）根据投影面与地球表面的相关位置分类

在地图投影中，我们首先将不可展的椭球面投影到一个可展曲面上，然后将该曲面展开成为一个平面，通常这个可展曲面有圆锥面、圆柱面、平面，相应地可以得到圆锥投影、圆柱投影、方位投影。根据投影面与地球面的相关位置可分为：

（1）正轴投影　如果投影面的中心线与地轴一致，这种投影称为正轴投影。

（2）斜轴投影　如果投影面的中心线与地轴斜交，这种投影称为斜轴投影。

（3）横轴投影　如果投影面的中心线与地轴垂直，这种投影称为横轴投影。

（三）根据正轴投影时经纬网的形状分类

（1）圆锥投影　投影中纬线为同心圆圆弧，经线为圆的半经（图 3-13C 右）。

（2）圆柱投影　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，且两相邻经线之间的距离相等（3-13C 左）。

（3）方位投影　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

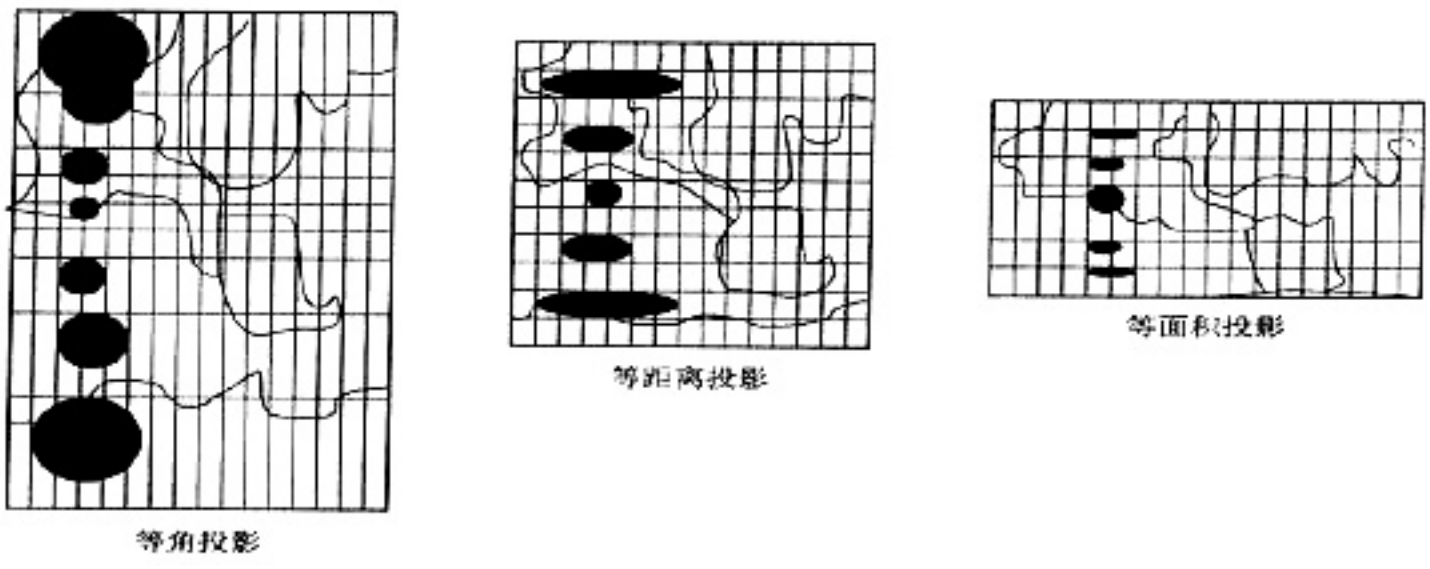


图 3-11　由变形椭圆看不同性质的投影

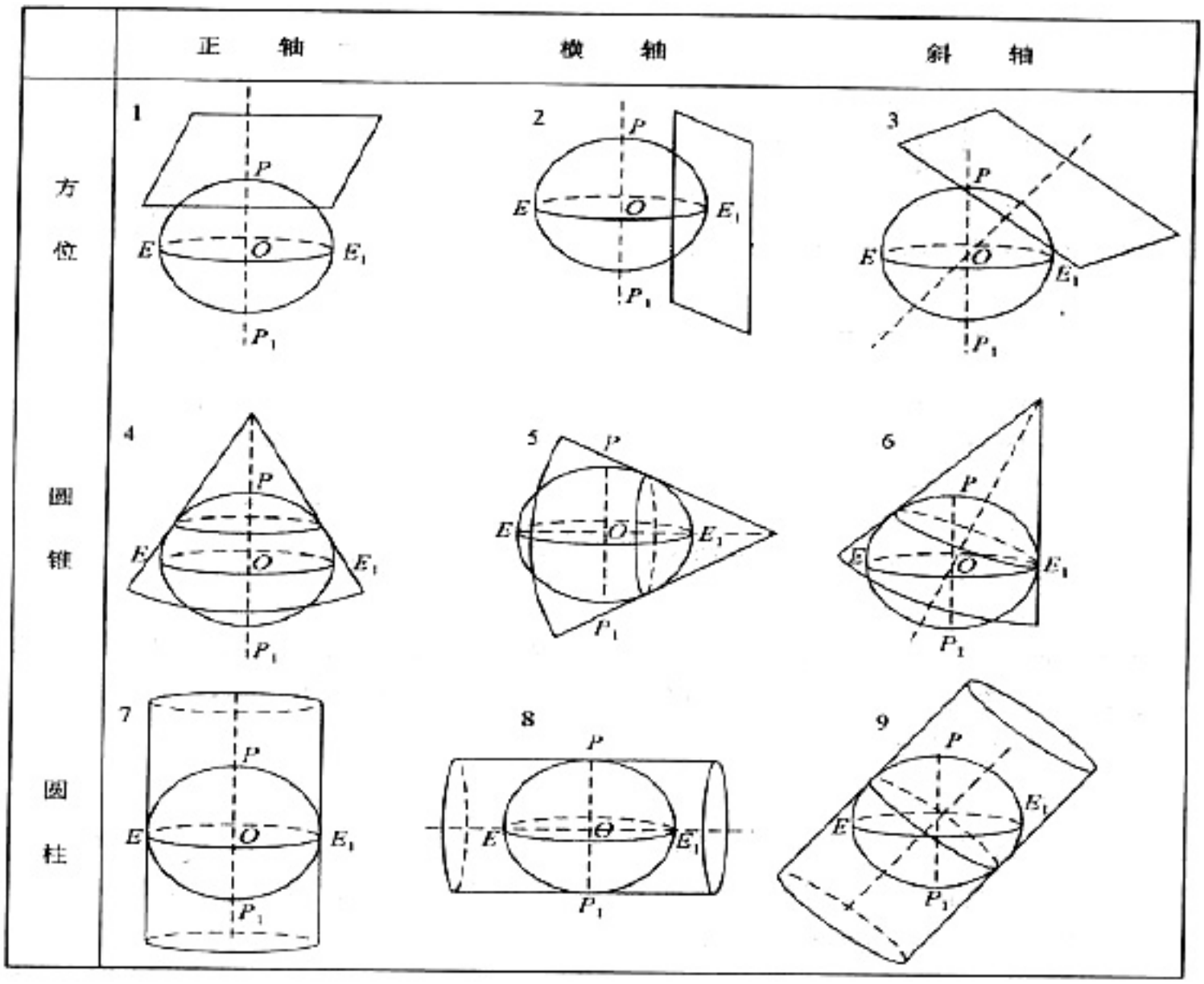


图 3-12　按投影面与地球面的相关位置分类

应的经差(3-13C 右)。

(4) 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(3-13B$_2$ 右)。

(5) 伪圆柱投影　投影中纬线为一组平行直线,而经线为某种曲线。

(6) 伪方位投影　投影中纬线为同心圆,而经线为交于圆心的曲线。

(7) **多圆锥投影**　投影中纬线为同轴圆圆弧,而经线为对称中央直径线的曲线(3-13A右)。

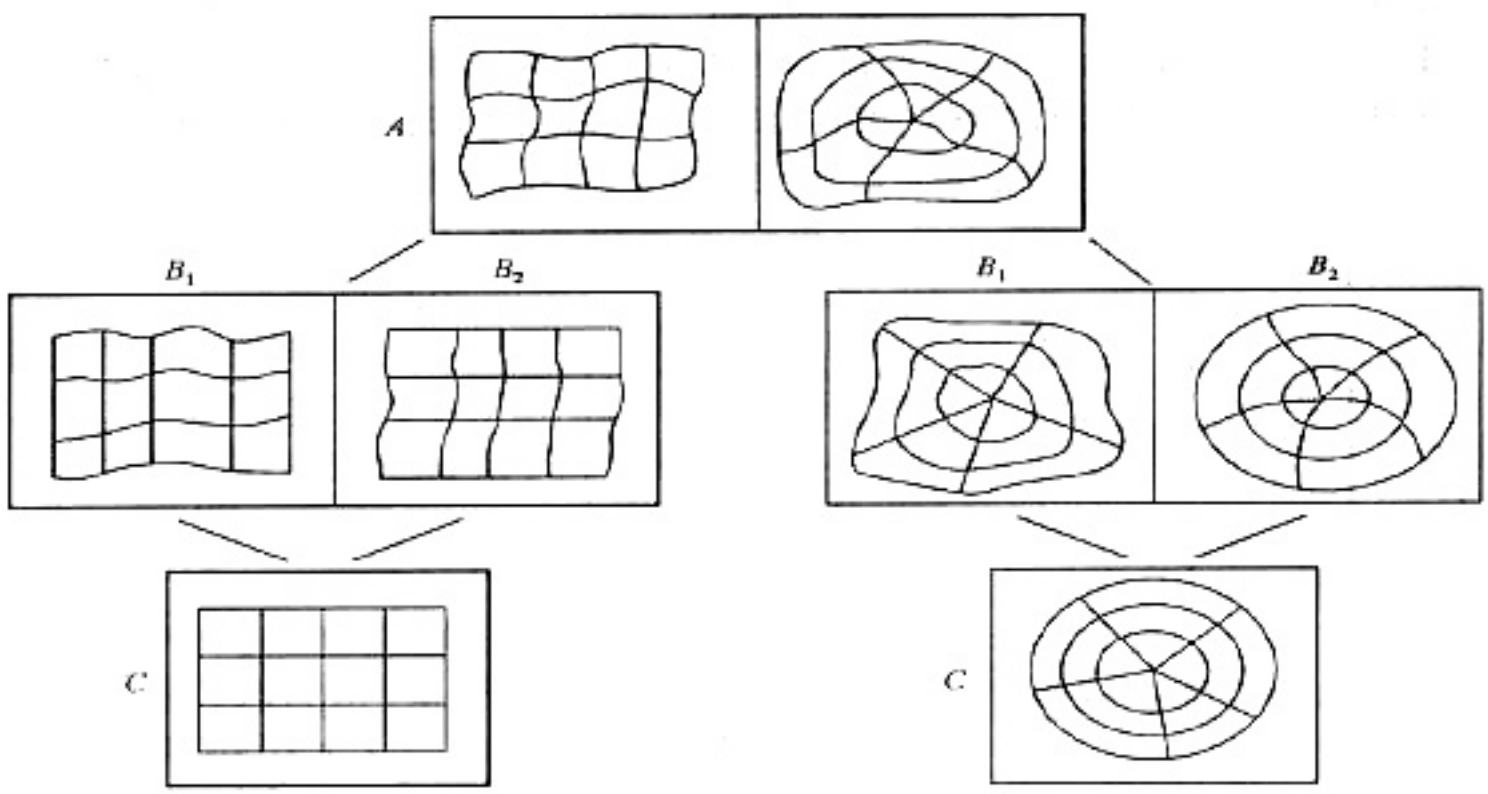


图 3-13　按正轴投影时经纬网的形状分类

四、地图投影的选择

地图投影是地图数学基础中的重要组成部分,是将地球椭球面上的地理信息,科学、准确地转绘到平面上的控制骨架和定位依据。因此,在制作地图过程中,对新编地图投影的选择与设计至关重要,它将直接影响地图的精度和使用价值。由于投影的种类日益增多,要恰当地选择投影,必须顾及以下几个因素。

1. 制图区域的地理位置,形状和范围

制图区域的地理位置决定了所选择投影的种类。例如,制图区域在极地位置,可选择正轴方位投影;制图区域在赤道附近,应考虑选择横轴方位投影或正轴圆柱投影;若制图区域在中纬地区,则应考虑选择正轴圆锥投影或斜轴方位投影。

制图区域形状直接制约地图投影的选择。例如,同是中纬地区,如果制图区域呈现沿纬线方向延伸的长形区域,则应选择单标准纬线正轴圆锥投影;如果制图区域呈现沿经线方向略窄,沿纬线略宽的长形区域,则应选择双标准纬线正轴圆锥投影;如果制图区域出现南北、东西方向差别不大的圆形区域,则应考虑选择斜轴方位投影。同是在低纬赤道附近,如果是沿赤道方向呈东西延伸的长条形区域,则应选择正轴圆柱投影;如果是呈现东西、南北方向长宽相差无几的圆形区域,则以选择横轴方位投影为宜。

制图区域的范围大小也影响地图投影的选择。当制图区域范围不太大时,无论选择什么投影,制图区域内各处变形差异都不会太大。曾有人以我国最大的省区新疆维吾尔自治区为例,用等角、等面积、等距离三种正轴圆锥投影作比较,其计算结果表明,不同纬度的长度变形差别很小(在 0.000 1～0.000 3 之间)。不言而喻,其他省区图,其变形差异就更微乎其微了。而对于制图区域广大的国家地图、大洲地图、半球图、世界图等,则需要选择投影。

2. 制图比例尺

不同比例尺地图对精度要求的不同,导致在投影选择上亦各不相同。以我国为例,大比例尺地形图,由于要在图上进行各种量算及精确定位,因此应选择各方面变形都很小的地图投影,如高斯 - 克吕格投影(分带投影的横轴等角椭圆柱投影)。而中小比例尺的省区图,由于概括程度高于大比例尺地形图,因而定位精度相对降低,选用正轴等角、等面积、等距离的圆锥投影即可满足用图要求。

3. 地图的内容

即使是同一个制图区域,但因地图所表现的主题和内容不同,因而其地图投影选择也应有所不同。如交通图、航海图、航空图、军用地形图等要求方向正确的地图,应选择等角投影。而自然地图和社会经济地图中的分布图、类型图、区划图等则要求保持面积对比关系的正确,因此应选用等面积投影。再如世界时区图,为了使时区的划分表现的清楚,只能选择经线投影成直线的正轴圆柱投影;中国政区图,为了能完整连续地将祖国的大陆及海疆表现出来,故应选用斜轴方位投影。作为中小学的教学用图,由于学生的年龄和知识的局限性,最好选择各种变形都不太大的任意投影,例如较常见的等距离投影,就能给学生一种接近于实际的地理概念。

4. 出版方式

地图在出版方式上,有单幅图、系列图和地图集之分。单幅图的投影选择比较简单,只考虑上述几个原则就可以了;系列图或地图集中的一个图组,虽然表现内容较多,但由于性质相近,也应该选择同一变形性质的投影,以便于相互比较与参证,如果是地图集,情况就比较复杂了。一部图集,虽然是一个统一整体,但由于它是由若干不同主题内容的图组所构成,因而在投影选择上不能千篇一律,必须结合具体内容予以考虑。但又因图集是一个统一协调的有机整体,故投影选择又不能过多,应尽量采用同一系统的投影,再根据个别内容的特殊要求,在变形性质方面予以适当变化。

此外,在选择地图投影时,应使所选择的投影尽可能与编图资料所采用的经纬线投影形状相似,以便使工作简化。

§3.3　圆锥投影

一、基本概念

设想用一个圆锥套在地球椭球体上而把地球椭球上经纬线网投影到圆锥面上,然后沿着某一条母线(经线)将圆锥面切开而展成平面,就得到圆锥投影。圆锥面和地球椭球体相切时称为切圆锥投影,圆锥面和地球椭球体相割时称为割圆锥投影(见图 3-14(b))。

按圆锥投影与地球椭球体处于不同的相对位置,可将圆锥投影划分为:

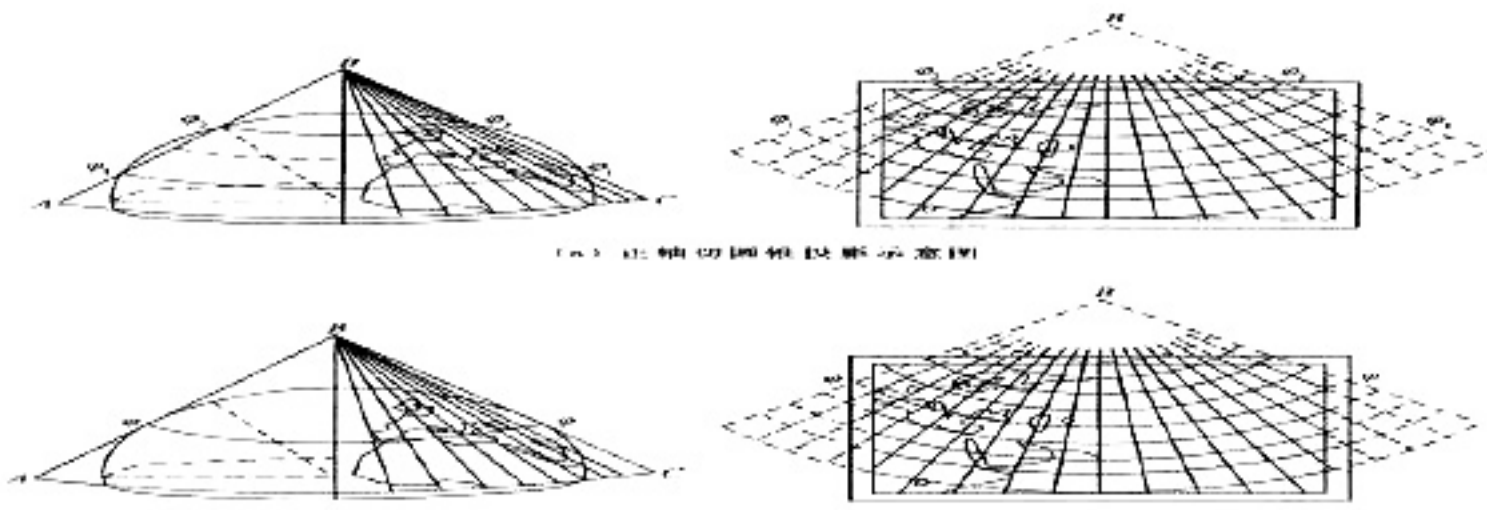
(1) 正轴圆锥投影　圆锥轴与地球椭球体的旋转轴相一致。

(2) 横轴圆锥投影　圆锥轴与地球椭球体的长轴相一致。

(3) 斜轴圆锥投影　圆锥轴是通过椭球体的中心,但不与椭球体的长轴或短轴相重合。

圆锥投影按变形性质可分为:等角投影、等面积投影和任意投影(其中主要是等距离投影)。

在制图实践中,广泛采用正轴圆锥投影。对于斜轴、横轴圆锥投影,由于计算时需经坐标换算,且投影后的经纬线形状均为复杂的曲线,故较少应用。



(a) 正轴切圆锥投影示意图　　(b) 正轴割圆锥投影示意图

图 3-14　切圆锥投影和割圆锥投影

二、一般公式

下面讨论正轴圆锥投影的一般公式。正轴圆锥投影中,纬线投影为同心圆圆弧,经线投影为相交于一点的直线束,且夹角与经差成正比。

由图 3-15,可以写出投影极坐标公式:

$$\begin{cases} \rho = f(\varphi) \\ \delta = \alpha \cdot \lambda \end{cases} \tag{3-19}$$

式中:ρ为纬线投影半径,函数 f 取决于投影性质(等角、等面积或等距离投影),λ是地球椭球面上两条经线的夹角,δ是两条经线夹角在平面上的投影。

如以中央经线 λ_0 为 x 轴,投影区域中最低纬线 φ_s 与中央经线交点作为原点,则写出圆锥投影直角坐标公式:

$$\begin{cases} x = \rho_s - \rho\cos\delta \\ y = \rho\sin\delta \end{cases} \tag{3-20}$$

式中:ρ_s 为制图区域最低纬线(φ)的投影半径,它在一个已决定的投影中是常数。

将(3-20)式取偏导数:

$$\frac{\partial x}{\partial \varphi} = \rho_s' - \rho' cos\delta + \rho sin\delta \frac{\partial \delta}{\partial \varphi}$$

$$\frac{\partial x}{\partial \lambda} = \rho sin\delta \frac{\partial \delta}{\partial \lambda}$$

$$\frac{\partial y}{\partial \varphi} = \rho' sin\delta + \rho cos\delta \frac{\partial \delta}{\partial \varphi}$$

$$\frac{\partial y}{\partial \lambda} = \rho cos\delta \frac{\partial \delta}{\partial \lambda}$$

在正轴圆锥投影中

ρ_s 为常数,$\rho_s' = 0$,　$\frac{\partial \delta}{\partial \varphi} = 0$,　$\frac{\partial \delta}{\partial \lambda} = \alpha$

代入求高斯系数 E、F、G、H(也称一阶基本量)公式中:

$$E = \left(\frac{x}{\varphi}\right)^2 + \left(\frac{y}{\lambda}\right)^2 \qquad F = \frac{x}{\varphi}\cdot\frac{x}{\lambda} + \frac{y}{\varphi}\cdot\frac{y}{\lambda} \tag{3-21}$$

得 $E = \left(\frac{d\rho}{d\varphi}\right)^2$, $G = {}^2\rho^2$, $F = 0$

由于在正轴圆锥投影中,经纬线投影后正交,故经纬线方向就是主方向。因此,经纬线长度比也就是极值长度比,即 a、b 就是 m、n(其中数值大的为 a,数值小的为 b)。

代入相应的公式中可得:

$$\left.\begin{aligned}
&\text{沿经线方向的长度比为: } m = \frac{\sqrt{E}}{M} = -\frac{d\rho}{M d\varphi}\\
&\text{沿纬线方向的长度比为: } n = \frac{\sqrt{G}}{r} = \frac{q\rho}{r}\\
&\text{面积比为: } \qquad P = m\cdot n\\
&\text{最大的角度变形为: } \sin\frac{\omega}{2} = \frac{a-b}{a+b} \text{ 或 } \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\omega}{4}\right) = \sqrt{\frac{a}{b}}
\end{aligned}\right\} \tag{3-22}$$

集中以上各式,即得圆锥投影的一般公式:

1. 对于椭球体:

$$\left.\begin{aligned}
&\delta = \alpha\cdot\lambda \qquad m = -\frac{d\rho}{M d\varphi}\\
&\rho = f(\varphi) \qquad n = \frac{q\rho}{r}\\
&x = \rho_s - \rho\cos\delta \qquad P = m\cdot n\\
&y = \rho\sin\delta\sin\frac{\omega}{2} = \frac{a-b}{a+b} \text{ 或 } \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\omega}{4}\right) = \sqrt{\frac{a}{b}}
\end{aligned}\right\} \tag{3-23}$$

2. 对于球体,只要将上式中 m、n 以 R 代 M,以 $R\cos\varphi$ 代 r 即可得:

$$\left.\begin{aligned}
&\delta = \alpha\cdot\lambda \qquad m = -\frac{d\rho}{R d\varphi}\\
&\rho = f(\varphi) \qquad n = \frac{q\rho}{R\cos\varphi}\\
&x = \rho_s - \rho\cos\delta \qquad P = m\cdot n\\
&y = \rho\sin\delta\sin\frac{\omega}{2} = \frac{a-b}{a+b} \text{ 或 } \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\omega}{4}\right) = \sqrt{\frac{a}{b}}
\end{aligned}\right\}$$

(二) 基本公式

根据等角条件

$$m = n(\text{或 } a = b) \quad \text{或} \quad \omega = 0$$

按(3-22)式得

$$-\frac{d\rho}{M d\varphi} = \frac{\alpha\rho}{r}$$

从这个式子可以决定 $\rho = f(\varphi)$的函数,为此将上式改写为:

$$-\frac{d\rho}{\rho} = \alpha\frac{M d\varphi}{N\cos\varphi}$$

将 M, N 的公式代入上式,并取积分:

$$-\int\frac{d\rho}{\rho} = \alpha\int\frac{M d\varphi}{N\cos\varphi}$$

整理后得:

$$-\ln\rho = \alpha\ln tg(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) - ae\ln tg(45^\circ + \frac{\psi}{2}) - \ln K$$

式中:K 为积分常数,当 $\varphi = 0$ 时,$\rho = K$,故 K 的几何意义是赤道的投影半径,$\sin\psi = e\sin\varphi$,上式可写成

$$\ln\frac{K}{\rho} = \alpha\ln\frac{tg(45^\circ + \frac{\varphi}{2})}{tg^e(45^\circ + \frac{\psi}{2})} \tag{3-25}$$

令

$$U = \frac{tg(45^\circ + \frac{\varphi}{2})}{tg^e(45^\circ + \frac{\psi}{2})}$$

将 U 代入(3-25)式,并约去对数得

$$\frac{K}{\rho} = U^\alpha \tag{3-26}$$

式中:α、K 均为投影常数。

我们将等角圆锥投影的一般公式整理如下:

$$\left.\begin{aligned}
&\delta = \alpha\cdot\lambda\\
&\rho = \frac{K}{U^\alpha},\quad U = \frac{tg(45^\circ + \frac{\varphi}{2})}{tg^e(45^\circ + \frac{\psi}{2})},\quad \sin\psi = e\sin\varphi\\
&e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}\\
&x = \rho - \rho\cos\delta\\
&y = \rho\sin\delta
\end{aligned}\right\} \tag{3-27}$$

将 ρ 代入(3-23)可以写出变形公式:

$$\left.\begin{aligned} m &= n = \frac{\alpha\rho}{r} = \frac{\alpha K}{r U^{\alpha}} \\ P &= m^2 = n^2 = \left(\frac{\alpha K}{r U^{\alpha}}\right)^2 \\ \omega &= 0 \end{aligned}\right\} \tag{3-28}$$

在上式中有两个常数,即 α、K 尚须进一步加以决定。

(三) 几种确定常数 α、K 的方法

1. 指定制图区域中一条纬线无长度变形

这种情况通常指定制图区域内某一条指定纬线或沿着制图区域的一条中间纬线上无长度变形(图 3-16)。为了使通过 φ_0 处长度比 n_0 为最小,即在该纬线上保持主比例尺不变的条件($n_0 = 1$)来决定投影常数。

由公式(3-28)第一式,并根据所提出的条件

$$n_0 = 1$$

即

$$n_0 = \frac{\alpha K}{r_0 U_0^{\alpha}} = 1$$

$$K = \frac{r_0 U_0^{\alpha}}{\alpha}$$

整理后得:

$$\alpha = \sin\varphi_0$$

$$K = N_0 \operatorname{ctg}\varphi_0 U_0^{\alpha} \tag{3-29}$$

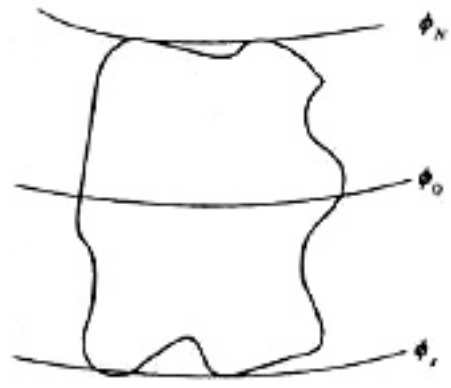


图 3-16　制图区域中一条纬线上无变形

这种投影由于在制图区域内具有一条标准纬线,称为等角切圆锥投影。

2. 指定制图区域中两条纬线无长度变形

这种情况(图 3-17)通常指定制图区域内某两条纬线 φ_1、φ_2,要求在这两条纬线上没有长度变形,即长度比等于 1。

由条件有

$$n_1 = n_2 = 1$$

将(3-28)式代入

$$\frac{\alpha K}{r_1 U_1^{\alpha}} = \frac{\alpha K}{r_2 U_2^{\alpha}} = 1 \tag{3-30}$$

化简后可写成

$$\left(\frac{U_1}{U_2}\right)^{\alpha} = \frac{r_2}{r_1}$$

取对数

$$\alpha = (\lg U_1 - \lg U_2) = \lg r_2 - \lg r_1$$

移项得

$$\alpha = \frac{\lg r_2 - \lg r_1}{\lg U_1 - \lg U_2}$$

将上式代入(3-30)中,求得

$$K = \frac{r_1 U_1^{\alpha}}{\alpha} = \frac{r_2 U_2^{\alpha}}{\alpha} \tag{3-31}$$

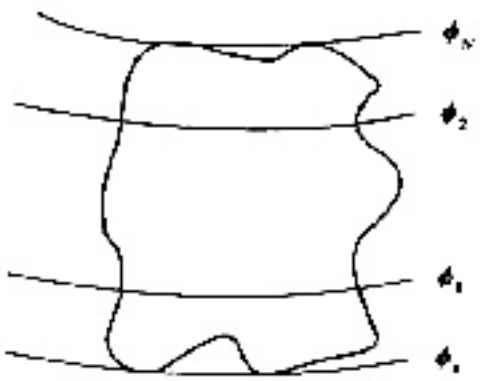


图 3-17　制图区域中两条纬线上无变形

这种投影具有两条标准纬线,称为双标准纬线等角圆锥投影或割等角圆锥投影。很多中纬度国家和地区多采用这种投影来编制中、小比例尺地图。我国新编的 1∶100 万地图也采用此投影。

(1) 标准纬线的位置

两条标准纬线近似地选在下式所示的位置(图 3-18)。

$$\begin{aligned} \varphi &\approx \varphi_S + 35' \\ \varphi &\approx \varphi_N - 35' \end{aligned} \tag{3-32}$$

为了提高投影精度,我国 1∶100 万地图的投影是按 1∶100 万地图的纬度划分原则(从 0°开始,纬差 4°一幅),从南到北共分成 15 个投影带,每个投影带单独计算坐标,建立数学基础。

处于同一投影带中的各图幅的坐标成果完全相同,因此,每投影带只需计算其中一幅图(纬差 4°,经差 6°)的投影成果即可。

(2) 投影变形(图 3-19)

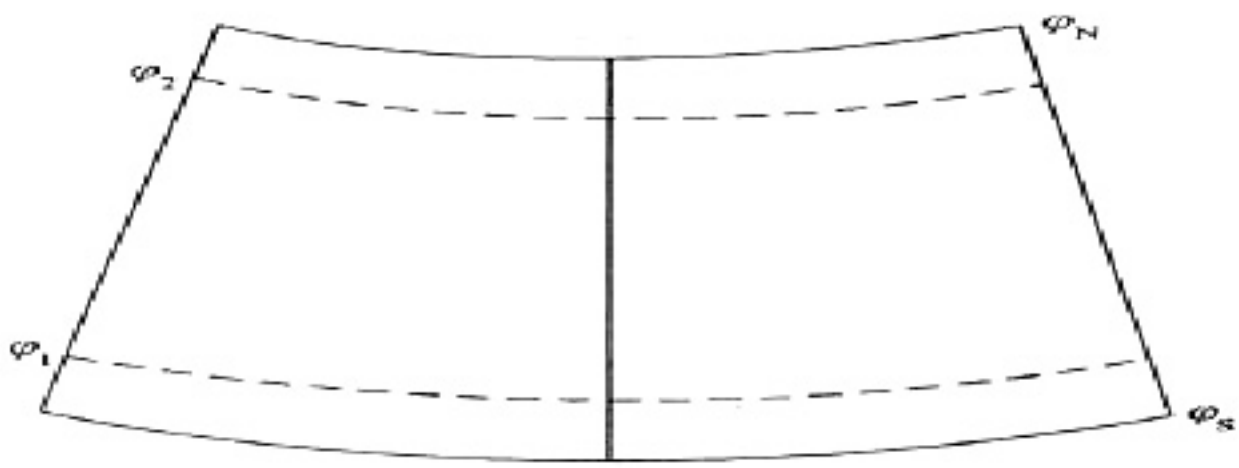


图 3-18　双标准纬线

图 3-19　投影变形规律

投影变形的分布规律是:

① 角度没有变形,即投影前后对应的图形保持相似,故也可称为正形投影;

② 两条标准纬线上没有任何变形;

③ 等变形线和纬线一致,同一条纬线上的变形处处相等;

④ 在同一经线上,两标准纬线外侧为正变形(长度比大于 1),而两标准纬线之间为负变形(长度比小于 1),因此变形较均匀,绝对值也较小;

⑤ 同一纬线上等经差的线段长度相等,两条纬线间的经纬线段长度处处相等。

四、圆锥投影的变形分析及应用

从圆锥投影长度比一般公式可以看出,正轴圆锥投影的变形只与纬度发生关系,而与经差无关,因此同一条纬线上的变形是相等的,即圆锥投影的等变形线与纬线一致。图 3-20

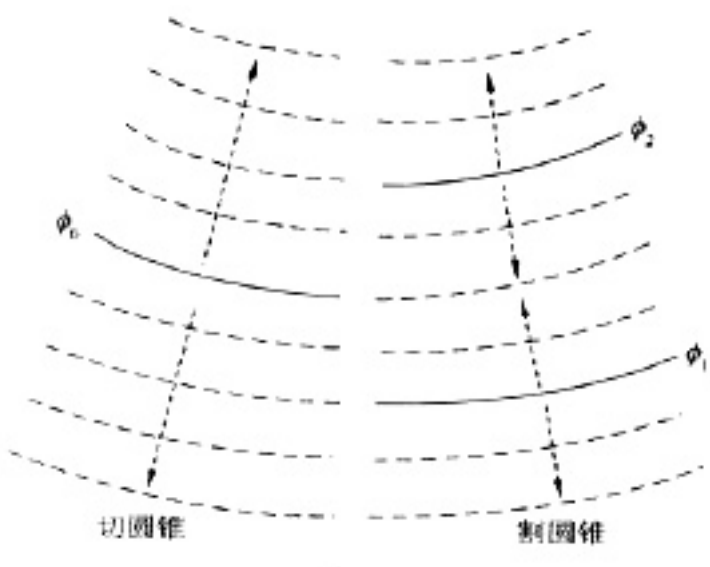


图 3-20　正轴圆锥投影变形分布

中 φ、φ、φ 代表切、割圆锥投影的标准纬线，虚线为等变形线，箭头所指为变形增加方向。

在圆锥投影中，变形的分布与变化随着标准纬线选择的不同而不同（见表 3-3）。

在切圆锥投影中，从表 3-3 中可以看出，标准纬线 φ 处的长度比 $n_0 = 1$，其余纬线长度比均大于 1，并向南、北方向增大。

在割圆锥投影中，从表 3-3 也可看出，在标准纬线 φ、φ 处长度比 $n_1 = n_2 = 1$，变形自标准纬线 φ、φ 向内和向外增大，在 φ 与 φ 之间 $n < 1$，在 φ、φ 之外 $n > 1$。

表 3-3　不同性质圆锥投影的变形

	等角圆锥投影		等面积圆锥投影		等距离圆锥投影	
	n	m	n	m	n	m
切于 φ_0	$n > 1$ $n_0 = 1$ $n > 1$	$m > 1$ $m_0 = 1$ $m > 1$	$n > 1$ $n_0 = 1$ $n > 1$	$m < 1$ $m_0 = 1$ $m < 1$	$n > 1$ $n_0 = 1$ $n > 1$	$m = 1$ $m_0 = 1$ $m = 1$
割于 φ_1、φ_2	$n > 1$ $n_2 = 1$ $n < 1$ $n_1 = 1$ $n > 1$	$m > 1$ $m_2 = 1$ $m < 1$ $m_1 = 1$ $m > 1$	$n > 1$ $n_2 = 1$ $n < 1$ $n_1 = 1$ $n > 1$	$m < 1$ $m_2 = 1$ $m > 1$ $m_1 = 1$ $m < 1$	$n > 1$ $n_2 = 1$ $n < 1$ $n_1 = 1$ $n > 1$	$m = 1$ $m_2 = 1$ $m = 1$ $m_1 = 1$ $m = 1$

在标准纬线相同的情况下，采用不同性质（等角、等面积和等距离）的投影其变形是不同的，等角圆锥投影中角度没有变形，沿经纬线长度变形是一致的（即 $m = n$），面积变形为长度比的平方。

等面积圆锥投影中，保持了制图区域面积投影后不变，即面积变形等于零，但角度变形较大，沿经线长度比与沿纬线长度比互为倒数（$n = \frac{1}{m}$）。

等距离圆锥投影中，它的变形大小约介于等角投影与等面积投影之间，除沿经线长度比保持等于 1 以外，沿纬线长度比与面积比相一致（$n = p$）。

根据圆锥投影变形的特征可以得出结论：圆锥投影最适合于作为中纬度处沿纬线伸展的制图区域的投影。

圆锥投影在编制各种比例尺地图中均广泛采用，如我国 1∶100 万地形图采用等角圆锥投影，这是有一系列原因的：首先是地球上广大陆地位于中纬地区，其次是这种投影经纬线形状简单，在编图过程中比较方便，尤其是在进行图上量算时更方便。

正轴等面积圆锥投影应用在编制一些行政区域图、人口地图及社会经济等地图中，例如中国科学院地理研究所所编制的《1∶400 万中国地势图》中采用了该投影，其标准纬线为 $\varphi = 25°$，$\varphi = 45°$。

§3.4 圆柱投影

一、投影概念

圆柱投影是圆锥投影的特殊情况,即圆锥顶点延伸至无穷远处,即成为一个圆柱面,圆柱面展开成平面后,纬圈成了平行直线,经线也是平行直线(图 3-21)。

圆柱投影可以按变形性质分为等角、等面积和任意投影,按圆柱面与地球不同位置可分为正轴、斜轴和横轴投影,又因与地球椭球体相切或相割分为切圆柱或割圆柱投影。

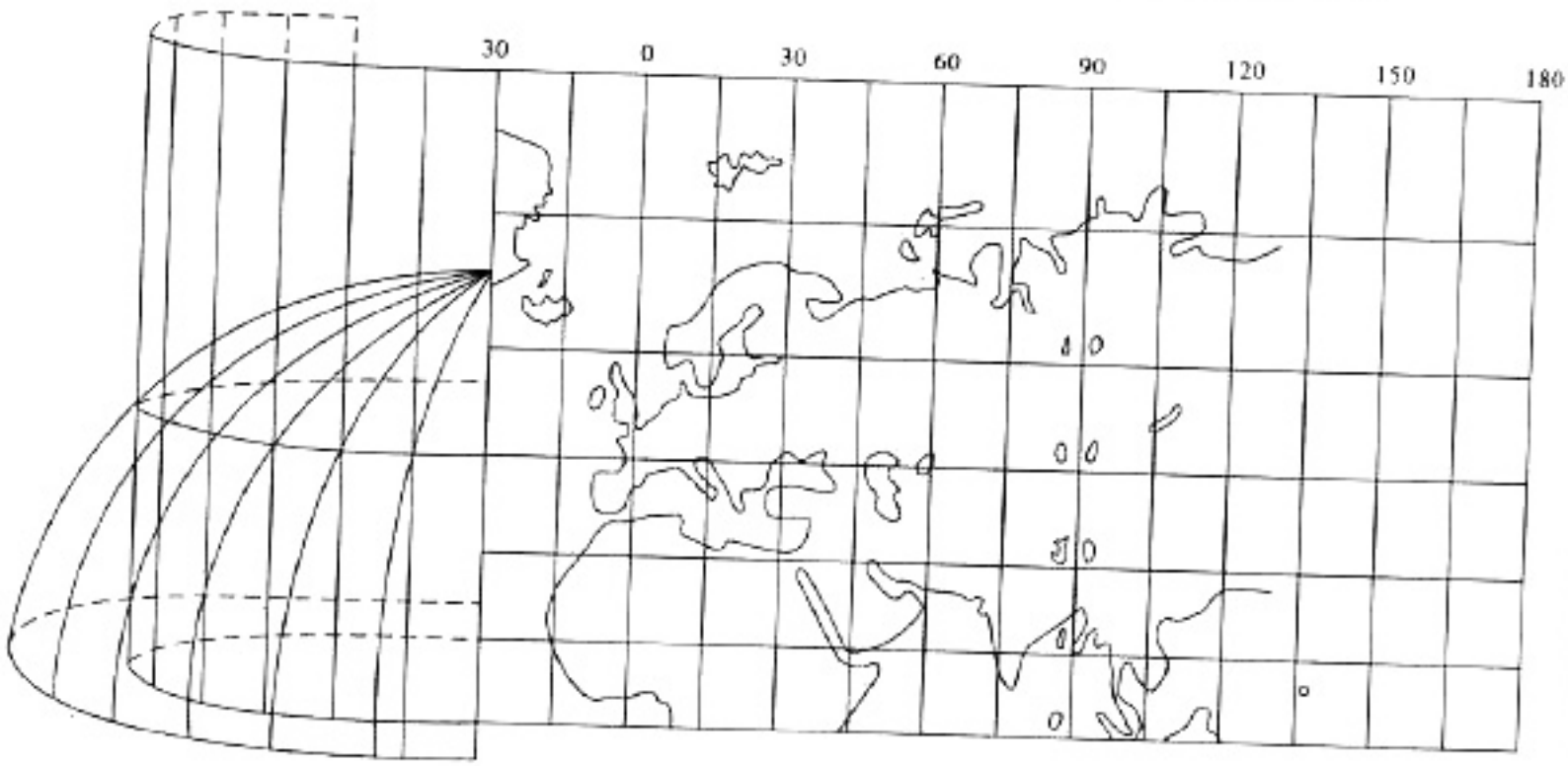


图 3-21 正轴割圆柱投影

二、一般公式

若椭球面上有一点 $A(\varphi, \lambda)$,其在平面上的投影点 $A'(x, y)$(图 3-22)。由于纬线投影为平行于赤道的直线,故 x 坐标仅为纬度的函数,经线投影为垂直于赤道的直线,相邻经线的间隔与相应的经度差成正比,故 y 坐标与经度差成正比,由此可写出一般公式

$$x = f(\varphi) \quad y = \alpha \cdot \lambda \tag{3-33}$$

式中:函数 f 取决于投影变换性质,α 为一常数。当圆柱面与地球椭球体相切(在赤道上)时,α 等于赤道半径 a,相割时小于 a。

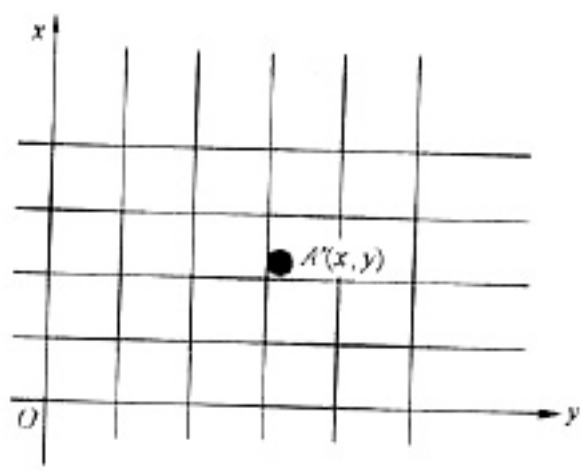


图 3-22 正轴圆柱投影平面坐标系

通常采用投影区域的中央经线 λ_0 作为 x 轴,赤道或投影区域最低纬线为 y 轴。

在正轴圆柱投影中经纬线正交,故沿经纬线长度比就是极值长度比(即 $m = a, n = b$ 或 $m = b, n = a$)。

按(3-33)式可知

$$E = \left(\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}\varphi}\right)^2, \quad G = \alpha^2$$

代入长度比一般公式中,得圆柱投影经纬线长度比一般公式

$$m = \frac{\mathrm{d}x}{M\mathrm{d}\varphi}, \quad n = \frac{\alpha}{r} \tag{3-34}$$

而面积比与最大角度变形的一般公式为

$$P = ab = mn$$

$$\sin\frac{\omega}{2} = \frac{a-b}{a+b} \tag{3-35}$$

或

$$\mathrm{tg}\left(45^\circ + \frac{\omega}{4}\right) = \sqrt{\frac{a}{b}}$$

三、等角圆柱投影(墨卡托投影)

等角、等距离、等面积或其他圆柱投影,当投影面与地球相对位置一定的情况下,其差别仅是 x 的表达式,也就是 x 大小的差别。为此我们先提出等角、等距离、等面积投影的统一条件式(假定在正轴情况下):

$$m = n^N \tag{3-36}$$

显然,当 $N = 1$ 时,　构成等角条件:　$m = n$,

当 $N = 0$ 时,　构成等距离条件:　$m = 1$,

当 $N = -1$ 时,　构成等面积条件:　$m = \frac{1}{n}$,或 $mn = 1$。

1. 基本公式

在等角圆柱投影中,微分圆的表象仍为圆形,此时一点上任何方向的长度比均相等,即

$$m = n$$

按(3-34)式有

$$\frac{\mathrm{d}x}{M\mathrm{d}\varphi} = \frac{\alpha}{r}$$

故

$$x = \alpha \ln U + C$$

此处　$\ln U = \ln \dfrac{\mathrm{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)}{\mathrm{tg}^e\left(45^\circ + \frac{\psi}{2}\right)}$,　C 为积分常数,　当 $\varphi = 0$ 时,　$x = 0$,故 $C = 0$,　化为以 10 为底的对数,则上式成为:

$$x = \frac{\alpha}{Mod}\lg U \tag{3-37}$$

式中: $Mod = 0.434\ 294\ 5$。

在上式中尚有一个常数需要确定,为此令纬度上长度比 $n_k = 1$,则

$$n_k = \frac{\alpha}{r_k} = 1$$

故得

$$\alpha = r_k \tag{3-38}$$

这就是割圆柱投影常数, r_k 为所割纬线半径。

特别当 $\varphi = 0$ 时

$$\alpha = a \tag{3-39}$$

这就是切圆柱投影常数,a 为赤道半径。

得到了 α,可得本投影长度比公式:

$$\left.\begin{array}{ll} \text{割圆柱} & m = n = \dfrac{r_k}{r} \\ \text{切圆柱} & m = n = \dfrac{a}{r} \end{array}\right\} \tag{3-40}$$

等角圆柱投影的公式汇集如下

$$\left.\begin{array}{l} x = \dfrac{\alpha}{Mod} lgU \\ y = \alpha\lambda \\ \alpha = r_k \text{(在切圆柱中 } \alpha = a) \\ m = n = \dfrac{\alpha}{r} \\ P = m^2 \\ \omega = 0 \end{array}\right\} \tag{3-41}$$

这个投影是 16 世纪荷兰地图学家墨卡托(Mercator)所创造的,故又称为墨卡托投影,迄今是广泛应用于航海、航空方面的重要投影之一。

2. 等角航线(恒向线,斜航线)

它是地面上两点之间的一条特殊的定位线,是两点间与所有经线处处成相同方位角的一条曲线。鉴于这种特性,等角航线在航海中具有一定的意义,当船只按等角航线航行时,则可不必变更某一固定方位而到达终点。它在墨卡托投影中的表象成为两点之间的直线。这点不难理解,墨卡托投影是等角投影,而经线又是平行直线,那么两点间的一条等方位曲线在该投影中当然只能是连接两点的一条直线。

这个特点也就是投影之所以被广泛应用于航海、航空方面的原因。

下面我们来研究等角航线。

设图 3-23 中等角航线方位角为 α,由微分△ABC 可得

$$\text{tg}\alpha = \frac{BC}{AC} = \frac{N\cos\varphi d\lambda}{Md\varphi}$$

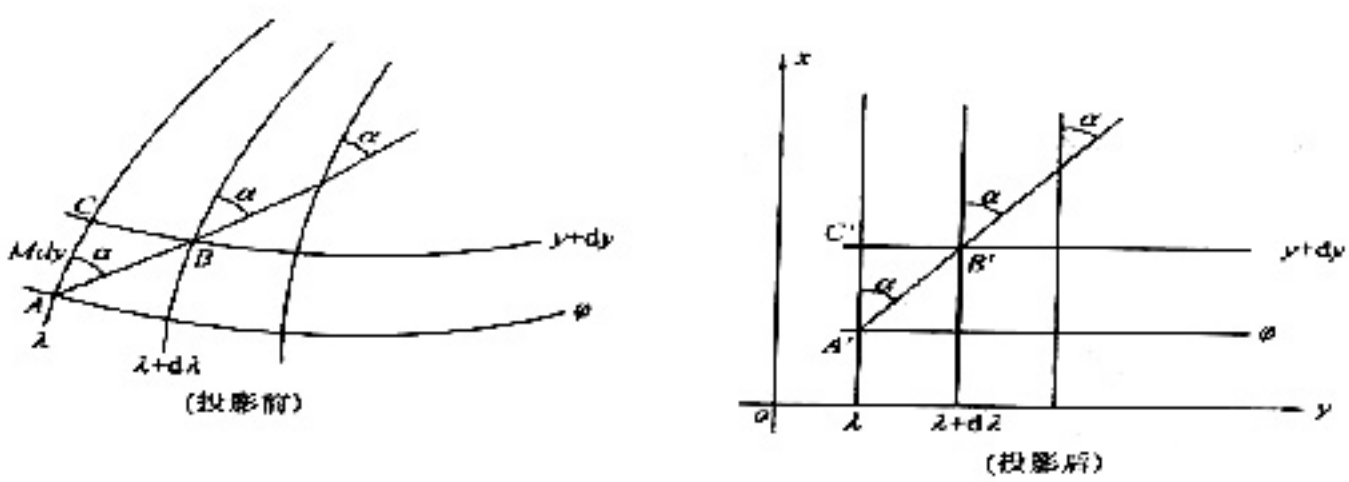


图 3-23 等面航线

故　$d\lambda = tg\alpha \frac{M}{N} \cdot \frac{d\varphi}{\cos\varphi}$

予以积分　$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} d\lambda = tg\alpha \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{M}{N} \cdot \frac{d\varphi}{\cos\varphi}$

积分后得　$\lambda_2 - \lambda_1 = tg\alpha(\ln U_2 - \ln U_1)$　(3-42)

各乘以 α 并移项

$$tg\alpha = \frac{y_2 - y_1}{D_2 - D_1} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (3\text{-}43)$$

这里证明,两点间的等角航线在墨卡托投影中表现为与 x 轴相交成 α 角的直线。

四、圆柱投影变形分析及其应用

由研究圆柱投影长度比的公式(指正轴投影)可知,圆柱投影的变形,像圆锥投影一样,也是仅随纬度而变化的。在同纬线上各点的变形相同而与经度无关。因此,在圆柱投影中,等变形线与纬线相合,成为平行直线(图 3-24)。

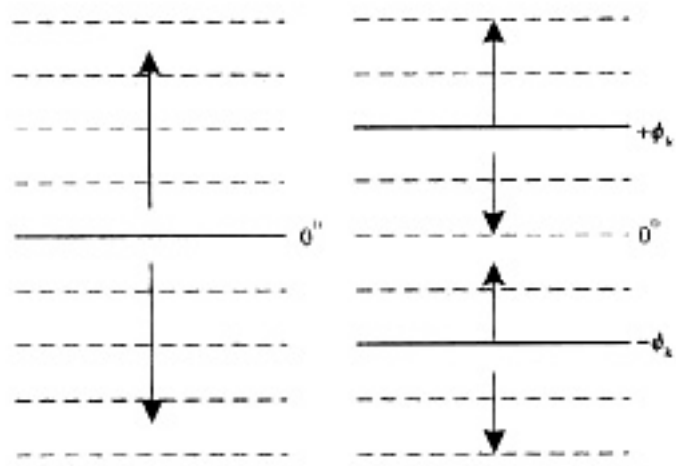


图 3-24　正轴圆柱投影变形分布

圆柱投影中变形变化的特征是以赤道为对称轴,南北同名纬线上的变形大小相同。

因标准纬线不同可分成切(切于赤道)圆柱及割(割于南北同名纬线)圆柱投影。

在切圆柱投影中,赤道上没有变形,自赤道向两侧随着纬度的增大而增大。

在割圆柱投影中,在标准纬线($\pm\varphi_1$)上没有变形,自标准纬线向内(向赤道)及向外(向两极)增大。

圆柱投影中经线表象为平行直线,这种情况与低纬度处经线的近似平行相一致。因此,圆柱投影一般较适宜于低纬度沿纬线伸展的地区。

墨卡托投影其经线为平行直线,便于显示时区的划分,故较多用来编制世界时区图。

现代人造地球卫星运行轨道等宇航图也是在墨卡托投影图上反映出来,在这种地图上可以表示大于经度 360°的范围,为了编制两点长距离不着陆飞行用图,可以设计切在通过两点大圆上的斜轴专用墨卡托投影。

§3.5　方位投影

一、投影概念

方位投影可视为圆锥投影的一种特殊情况,方位投影就是将地球椭球体上的经纬线投影到一个平面上,纬线投影后成为同心圆,经线投影后成为交于一点的直线束(同心圆的半径),两经线间的夹角与实地经度差相等(图 3-25)。对于横轴或斜轴方位投影,则等高圈投影后为同心圆,垂直圈投影后为同心圆的半径,两垂直圈之间的交角与实地方位角相等(对于地球作为正球体而言)。根据这个关系,我们来推导方位投影的一般公式。

二、一般公式

如图 3-25,设 E 为投影平面,C 为地球球心,Q 为投影中心,即球面坐标原点。QP、QA 为垂直圈,其投影成为 $Q'P'$、$Q'A'$ 的直线。今设球面上有一点 A,其投影为 A',在投影平面上,令 $Q'P'$ 为 x 轴,在 Q' 点垂直于 $Q'P'$ 的直线为 y 轴,又令 QA 的投影 $Q'A'$ 为 ρ,QA 与 QP 的夹角为 α,其投影为 δ,于是有

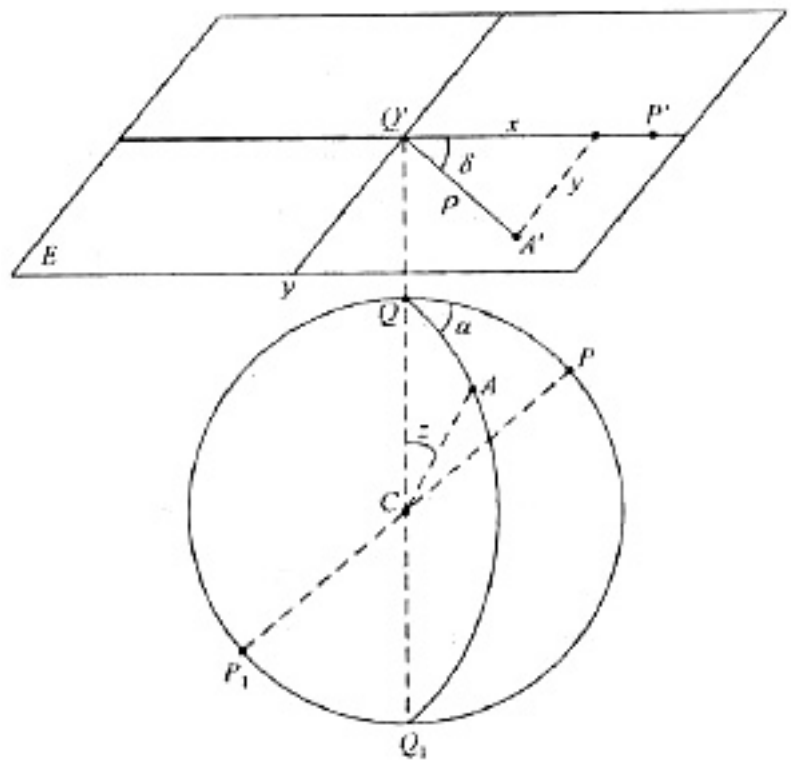


图 3-25　方位投影示意图

$$\left.\begin{aligned}\delta &= \alpha \\ \rho &= f(z)\end{aligned}\right\} \qquad (3\text{-}44)$$

式中:z、α 是以 Q 为原点的球面极坐标。

若用平面直角坐标表示,则有

$$\left.\begin{aligned}x &= \rho\cos\delta \\ y &= \rho\sin\delta\end{aligned}\right\} \qquad (3\text{-}45)$$

由此看来,方位投影主要是决定 ρ 的函数形式。由于决定 ρ 的函数形式的方法不同,方位投影可以有很多类型。

方位投影的一般公式汇集如下:

$$\left.\begin{aligned}\delta &= \alpha \\ \rho &= f(z) \\ x &= \rho\cos\delta \\ y &= \rho\sin\delta \\ \mu_1 &= \frac{d\rho}{R\,dz} \\ \mu_2 &= \frac{\rho}{R\sin z} \\ p &= \mu_1\mu_2 \\ \sin\frac{\omega}{2} &= \frac{a-b}{a+b} \text{ 或 } \operatorname{tg}\left(45^\circ+\frac{\omega}{4}\right) = \sqrt{\frac{a}{b}}\end{aligned}\right\} \qquad (3\text{-}46)$$

式中:μ_1、μ_2 为极值长度比。

由此可见,所有方位投影具有共同的特征,就是由投影中心到任何一点的方位角保持与实地相等(无变形)。

三、投影分类

1. 按投影面与地球相对位置的不同可分为以下几类。

(1) 正轴方位投影:地轴与投影平面垂直。

(2) 横轴方位投影:地轴与投影平面平行。

(3) 斜轴方位投影:地轴与投影平面斜交。

2. 按透视关系可分为以下几类。

(1) 非透视方位投影:等角方位投影、等面积方位投影、任意方位投影(包括等距离方位投

影)。

(2) 透视方位投影:按视点位置不同分为:① 正射方位投影:视点位于离球心无穷远处。② 外心方位投影:视点位于离球心有限距离处。③ 球面方位投影:视点位于球面上。④ 球心方位投影:视点与球心重叠一致。

四、方位投影变形分析及其应用

方位投影的等变形线呈圆形,即在正轴中与纬圈一致,斜轴或横轴中与等高圈一致(图 3-26)。由于这个特点,就制图区域形状而言,方位投影适宜于具有圆形轮廓的地区。按制图区域地理位置而言,在两极地区,适宜用正轴投影(图 3-27),赤道附近地区,适宜用横轴投影,其他地区用斜轴投影。

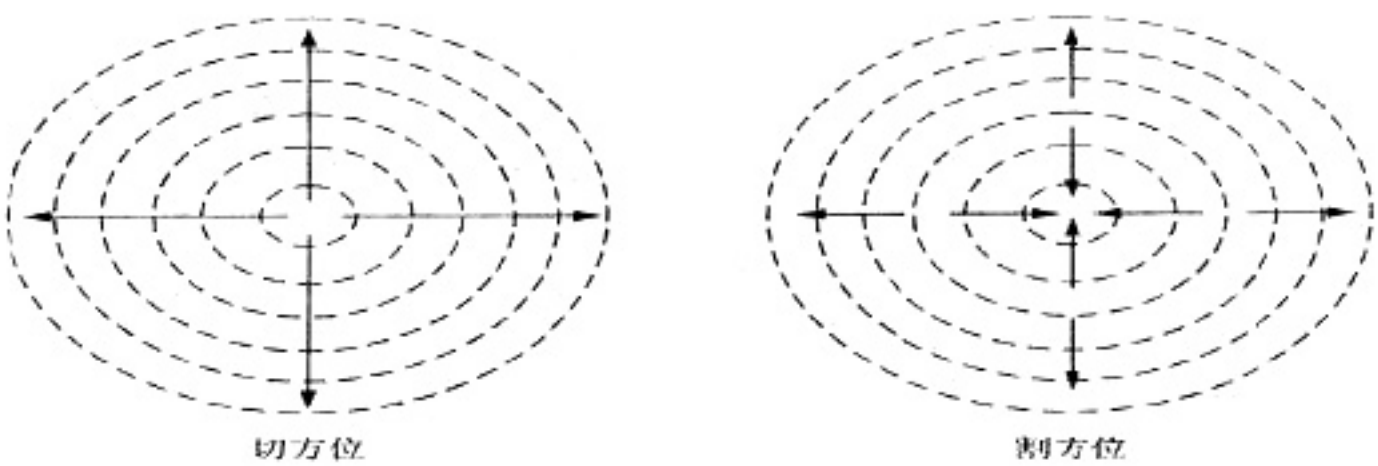


图 3-26　正轴方位投影变形分布

由于各种方位投影具有不同的特点,故有不同的用途,举一些实例如下。

(1) 等角方位投影,由于它的等角性质以及圆投影后仍保持为圆形的特征,所以具有一定的实用价值。在欧洲有些国家曾用它作为大比例尺地图的数学基础。美国采用的所谓通用极球面投影 UPS(universal polar stereographic projection)实质上就是正轴等角割方位投影。我国设计的全球百万分之一分幅地图的数学基础中在纬度 $\varphi = +84°$ 和 $\varphi = -80°$ 以上采用等角方位投影,并在 $\varphi = +84°$ 和 $\varphi = -80°$ 处与等角圆锥投影相衔接。

(2) 等面积方位投影,在广大地区的小比例尺制图中,特别是东西半球图,应用得很多。

(3) 等距离方位投影也是应用得比较广泛的一种,大多数世界地图集中的南北极图采用正轴等距离方位投影,横轴投影用来编制东西半球图,斜轴投影在制图实践中也应用得很多,如东南亚地区及中华人民共和国挂图也采用过这种投影。

对于特殊需要,可以编制以特定点为中心的斜轴等距离方位投影,从特定点向任何地点的方位角与距离都正确。例如对于航空中心站、地震观测中心、气象站等都需要这种地图。

球心投影的特点是任何大圆投影后为直线,根据这个特点,可用于编制航空图或航海图。在这种图上,可以确定航线的最短距离(也称大圆航线),就是在地图上找到两点后,用直线连接即为大圆弧的投影,该直线与诸经纬线的交点即为大圆航线应通过之点。

外心投影在制作要求富有立体感的宣传鼓动图中应用的较多。近代因航天技术的发展,卫星像片的获取及在制图中的应用日益广泛,使外心投影基本公式成为空间透视投影的基础,在研究空间像片的数学模式中得到了运用。

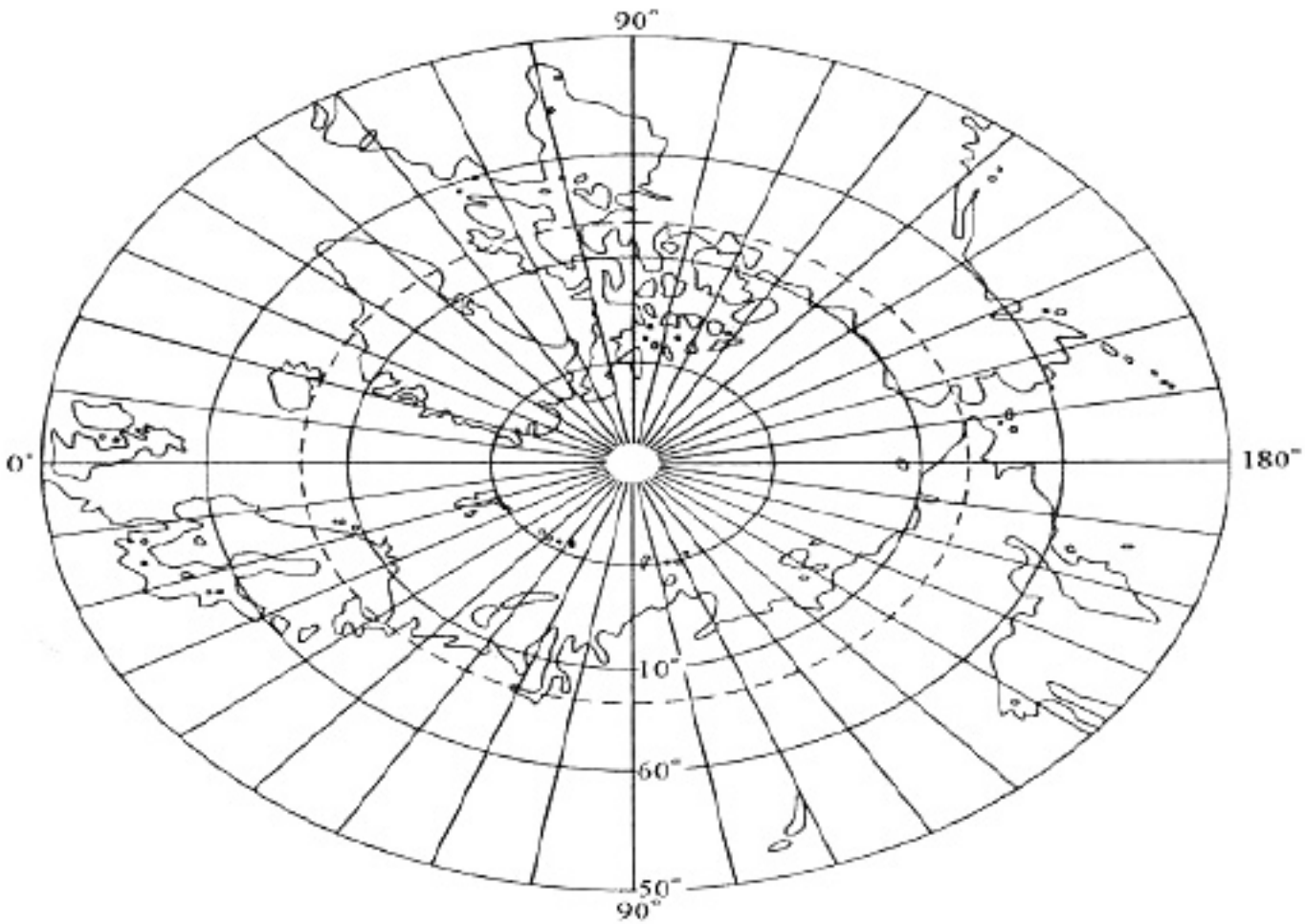


图 3-27　正轴方位投影

§3.6　高斯-克吕格投影及应用

我国现行的大于 1：50 万比例尺的各种地形图,都采用高斯-克吕格(Gauss-Krüger)投影。这里仅从应用的角度作简要的介绍。

一、基本概念

(一) 几何概念

高斯-克吕格(Gauss-Krüger)投影(简称高斯投影)是等角横切椭圆柱投影,它是假想一个椭圆筒套在地球体外面,使其与某一条经线相切,如图 3-28 所示,再按高斯-克吕格投影所规定的条件,将中央经线东、西各一定经差范围内经纬线交点投影到椭圆筒上面,然后将椭圆筒展开成平面即获得投影后的图形。

(二) 投影的基本条件

(1) 中央经线(椭圆柱和椭球体的切线)的投影为直线,作为直角坐标系的坐标轴,也是经纬网图形的对称轴;

(2) 投影具有等角性质,几个方向相对位置正确,任意两个方向的夹角保持不变,从而保证区域图形视觉上的正确;

(3) 中央经线上没有长度变形。

根据上述条件推导出这种投影的平面直角表达式如下:

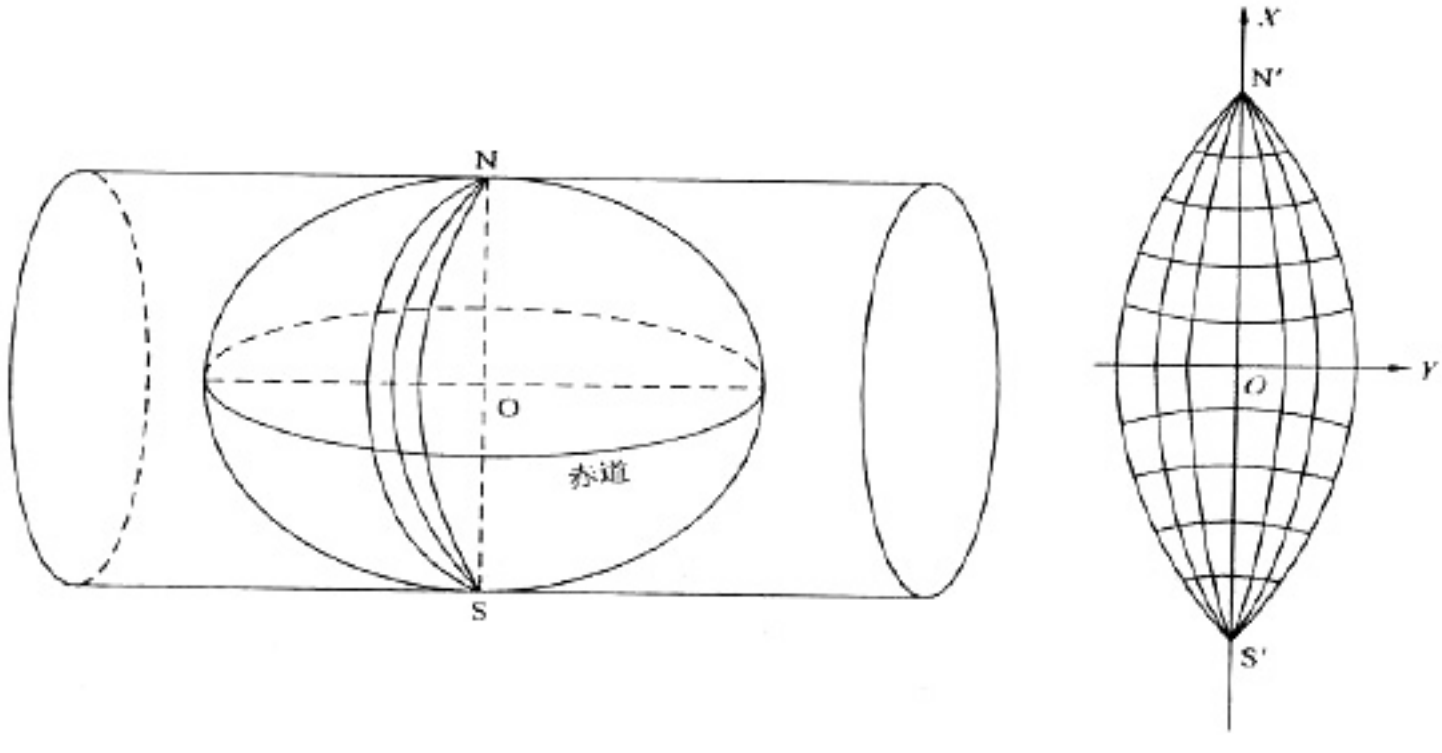


图 3-28　高斯-克吕格投影的几何概念

$$\left.\begin{aligned} x &= S + \frac{\lambda^2 N}{2}\sin\varphi\cos\varphi + \frac{\lambda^4 N}{24}\sin\varphi\cos^3\varphi(5 - \mathrm{tg}^2\varphi + 9\eta^2 + 4\eta^4) + \cdots \\ y &= \lambda N\cos\varphi + \frac{\lambda^3 N}{6}\cos^3\varphi(1 - \mathrm{tg}^2\varphi + \eta^2) + \frac{\lambda^5 N}{120}\cos^5\varphi\times(5 - 18\mathrm{tg}^2\varphi + \mathrm{tg}^4\varphi) + \cdots \end{aligned}\right\} \quad (3\text{-}47)$$

式中：x, y 为平面直角坐标系的纵、横坐标；φ、λ 为椭球面上地理坐标系的经纬度(分别自赤道和投影带中央经线起算)；s 为由赤道至纬度 φ 的经线弧长；N 为卯酉圈曲率半径(可据纬度由制图用表查取)；η 为 $\eta^2 = e'^2\cos^2\varphi$，其中 e' 为地球的第二偏心率。

二、投影的变形分析

高斯-克吕格投影没有角度变形，面积变形是通过长度变形来表达，其长度变形的基本公式为：

$$\mu = 1 + \frac{1}{2}\cos^2\varphi(1 + \eta^2)\lambda^2 + \frac{1}{6}\cos^4\varphi(2 - \mathrm{tg}^2\varphi)\lambda^4 - \frac{1}{8}\cos^4\varphi\lambda^4 \quad (3\text{-}48)$$

由公式(3-48)可知长度变形的规律是：

(1) 中央经线上没有长度变形，即 $\lambda = 0$ 时，$\mu = 1$；

(2) 同一条纬线上，离中央经线越远变形越大，即 λ 增大，μ 也增大；最大值位于投影带的边缘；

(3) 同一经线上，纬度越低变形越大，即 φ 越小，μ 越大。最大值位于赤道上。

故投影变形最大值在赤道和投影边缘经线的交点上(纬度为 0°，经差为 $\pm 3^{\circ}$ 时，长度变形为 1.38‰)，当投影带增大时，该项误差还会继续增加。这就是采取分带投影的原因。

由此可见，在低纬度和中纬度地区，其投影误差显得大了一些，该投影比较适用于纬度较高的国家。

三、投影分带的规定

为了控制投影变形不致过大，高斯投影采用分带投影的方法。我国 1∶2.5 万～1∶50 万

地形图均采用 6°分带,1∶1 万及更大比例尺地形图采用 3°分带投影,以保证地图有必要的精度。

1.6°分带法

从格林尼治 0°经线起,自东半球向西半球,每经差 6°分为一个投影带,即东经 0°～6°,6°～12°,12°～18°,…,174°～180°,用阿拉伯数 1,2,3,4,…,60 表示投影带号,全球共分为 60 个投影带。

东半球,其投影带号 n 总是小于 30,各投影带中央经线的计算公式为:

$$L_0 = (6n - 3)^\circ \tag{3-49}$$

西半球的投影带号大于 30,各投影带中央经线的计算公式为:

$$L_0 = (6n - 3)^\circ - 360^\circ \tag{3-50}$$

我国领土位于东经 72°～136°之间,共包括 11 个投影带,即 13～23 带,各带的中央经线分别为 75°,81°,…,135°(图 3-29)。

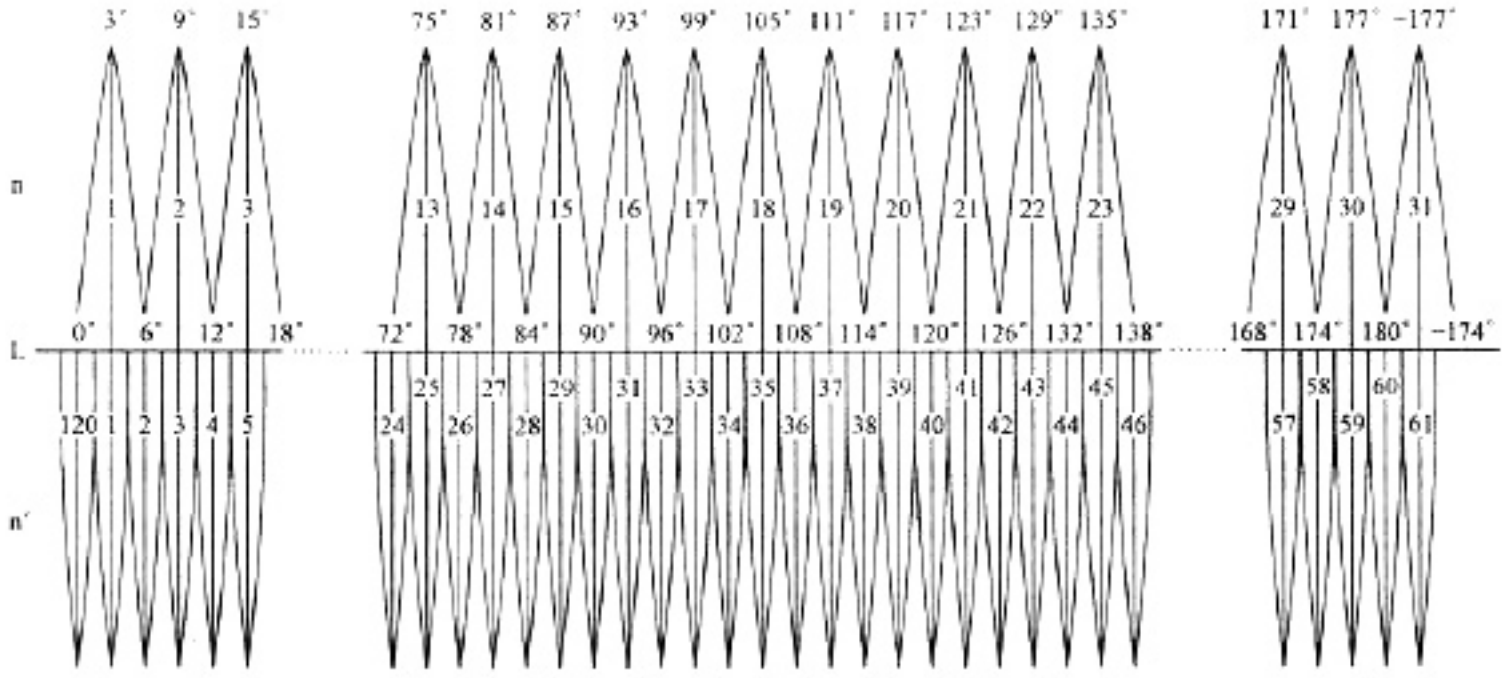


图 3-29 高斯-克吕格投影分带示意图

2.3°分带法

从东经 1°30′算起,自东半球向西半球每 3°为一带,将全球划分为 120 个投影带,即东经 1°30′～4°30′,4°30′～7°30′,…,东经 178°30′至西经 178°30′,…,西经 1°30′至东经 1°30′。其中央经线的位置为 3°,6°,9°,15°,…,180°,西经 177°,…,3°,0°。

四、坐标网

为了制作和使用地图的方便,通常在地图上都绘有经纬线网和方里网。

1. 经纬线网

经纬线网指由经线和纬线所构成的坐标网,它指示物体在地面上的地理位置,又称地理坐标网。它在绘制地图时不仅起到控制作用,确定地球表面上各点和整个地形的实际位置,而且还是计算和分析投影变形所必须的,也是确定比例尺进行量测所不可缺少的。

在大于或等于 1∶10 万的地形图上经纬线只以图廓线的形式直接表现出来,并在图角处注出其度数。为了在用图时加密成网,在内外图廓间还绘有加密经纬网的分划短线(也称分度

带),需要时对应短线相连就可以构成加密的经纬网(图 3-30(a));1∶25 万地形图上,除了内图廓上绘有经纬网的加密分划短线外,图内还有加密用的十字线;1∶50～1∶100 万地形图,在图上直接绘出经纬网,内图廓上也有供加密经纬网的加密分划短线(图 3-30(b))。

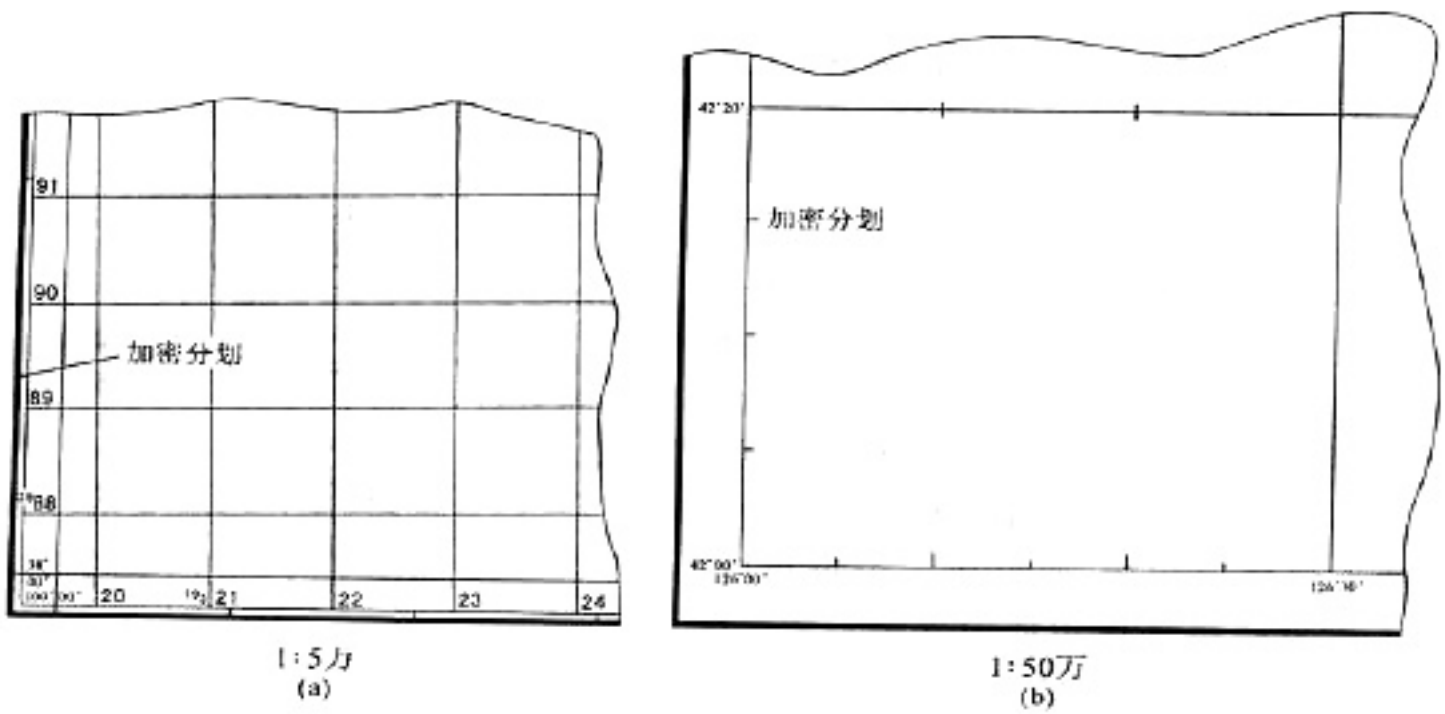


图 3-30　地形图的经纬网

2. 方里网

方里网是平行于投影坐标轴的两组平行线所构成的方格网。由于是每隔整(千米)绘出坐标纵线和横线,故称为方里网,因为方里线同时又是平行于直角坐标轴的坐标线,故又称为直角坐标网。它为经济建设和军事用图提供了方便,如作战时根据方里网能迅速计算所必需的距离和方向。

我国规定在 1∶1 万～1∶10 万地形图上必须绘出方里网,其方里网密度如表 3-4。

表 3-4　各种比例尺的方里网密度

比例尺 / 密　度	1∶1 万	1∶2.5 万	1∶5 万	1∶10 万
图上距离(cm)	10	4	2	2
实地距离(km)	1	1	1	2

直角坐标系以中央经线投影后的直线为 X 轴,以赤道投影后的直线为 Y 轴,它们的交点为坐标原点。纵坐标从赤道算起向北为正,向南为负;横坐标从中央经线起,向东为正,向西为负。

我国位于北半球,全部 x 值都是正值,在每个投影带中则有一半的 y 值为负。为了使计算中避免横坐标 y 值出现负值,规定每带的中央经线西移 500km。由于高斯投影每一个投影带的坐标都是对本带坐标原点的相对值,所以,各带的坐标完全相同。为了指出投影带是哪一带,规定要在横坐标(通用值)之前加上投影带号即可。

因此,计算一个带的坐标值,制成表格,就可供查取各投影带的坐标时使用(有关地形图图

廓点坐标值可从《高斯-克吕格投影坐标表》中查取)。假定 A、B 两点原来的横坐标分别为:

$$y_A = 245\ 863.7\text{m}$$

$$y_B = -168\ 474.8\text{m}$$

纵坐标轴西移 500km 后(图 3-31),其横坐标分别为:

$$y'_A = 745\ 863.7\text{m}$$

$$y'_B = 331\ 525.2\text{m}$$

加上投影带号,如 A、B 两点位于第 20 带,其通用坐标为:

$$y'_A = {}^{20}745\ 863.7\text{m}$$

$$y'_B = {}^{20}331\ 525.2\text{m}$$

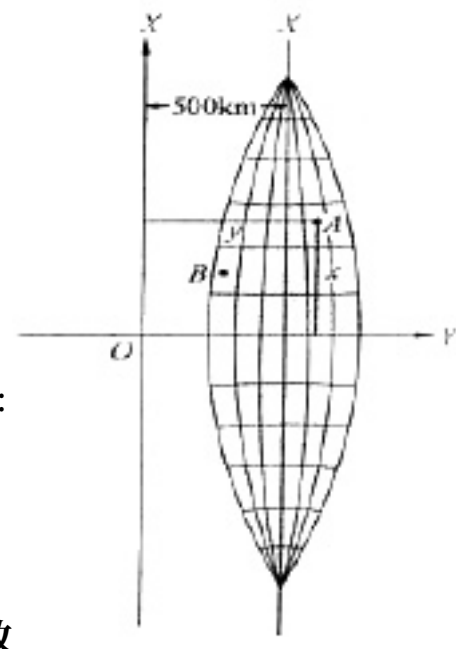


图 3-31 坐标纵线的西移

3. 邻带坐标网

由于高斯-克吕格投影的经线是向本投影带中央经线收敛的,过每一点的经线方向和坐标纵线构成一定的夹角,这个夹角随纬度和经差的不同而变化(图 3-32(a))。当处于相邻两带的相邻图幅拼接时,两图图面上绘出的直角坐标网就不能统一相接,而形成一个折角(图 3-32(b)),这就给拼接使用地图带来不便。例如,想量算位于相邻两带的两图幅上 A、B 两点的距离和方向,在坐标网不统一时,就不可能。

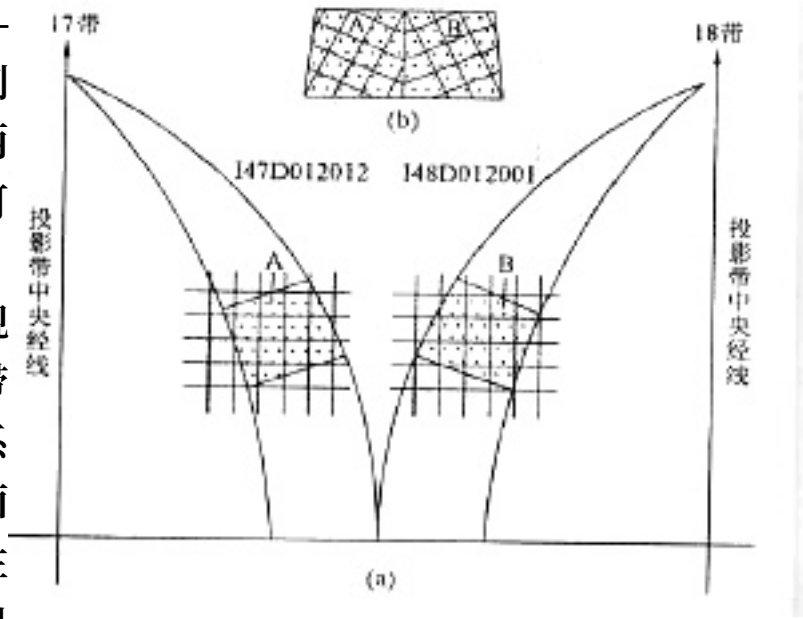


图 3-32 相邻两带的图幅拼接

为了解决相邻带图幅拼接使用的困难,规定在一定的范围内把邻带的坐标延伸到本带的图幅上,这就使某些图幅上有两个方里网系统,一个本带的,一个邻带的。为了区别,图面上都以本带方里网为主,邻带方里网系统只在图廓线以外绘出一小段,需要使用时才连绘出来。

据《1∶2.5 万～1∶10 万地形图图式》规定,每个投影带西边最外一列 1∶10 万地形图的范围(即经差 30′)内包含的 1∶10 万、1∶5

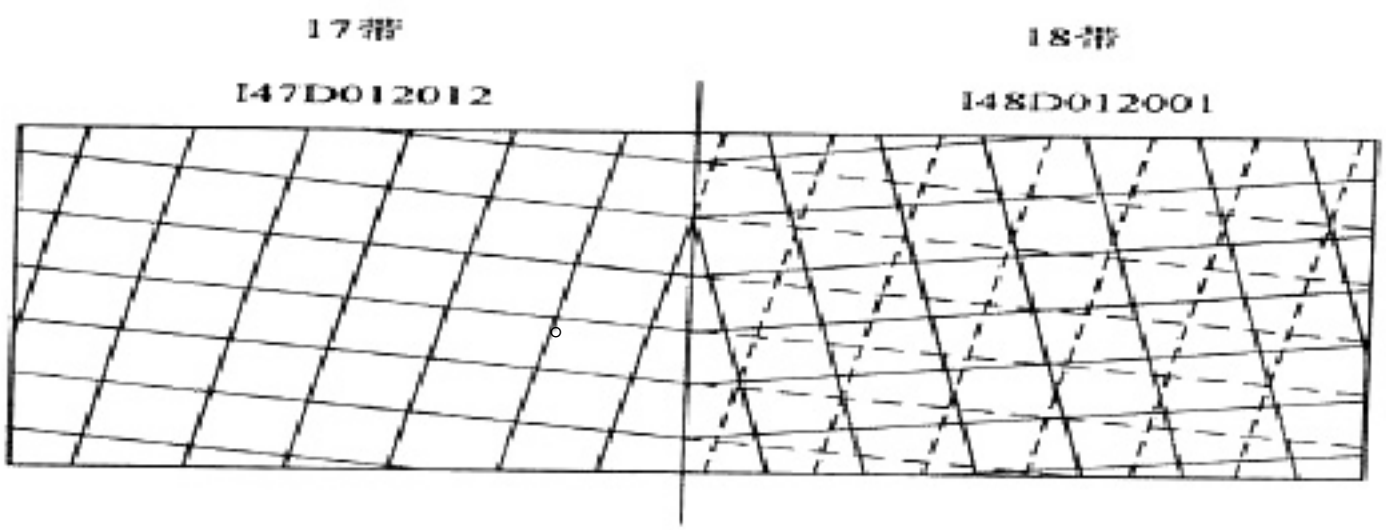


图 3-33 连绘出邻带方里网

图 3-34 两带坐标的相互延伸

邻带图幅拼接使用时,可将邻带方里网连绘出来,就相当于把邻带的坐标系系统延伸到本带来,使相邻两幅图具有统一的直角坐标系统(图 3-33)。邻带的方里网加绘的实质就是将投影带的范围扩大,即西带向东带延伸 30′投影(图 3-34),东带向西带延伸 15′(7.5′)投影。这样,每个投影带计算的范围不是 6°,而是 6°45′,这时东带中最西边的 30′范围内的图幅,既有东带的坐标,又有西带的坐标。在展绘地形图的坐标时,这一个范围内的图幅,除了按东带坐标展绘图廓和方里网之外,还需要按西带坐标展出邻带方里网。同样,东带的延伸也是一样的。

§3.7　通用横轴墨卡托投影

通用横轴墨卡托投影(universal transverse mercator projection)取前面三个英文字母大写而称 UTM 投影。它与高斯-克吕格投影相比较,这两种投影之间仅存在着很少的差别,从几何意义看,UTM 投影属于横轴等角割圆柱投影,圆柱割地球于两条等高圈(对球体而言)上,投影后两条割线上没有变形,中央经线上长度比小于 1(假定 μ= 0.999 6)(见图 3-35)。

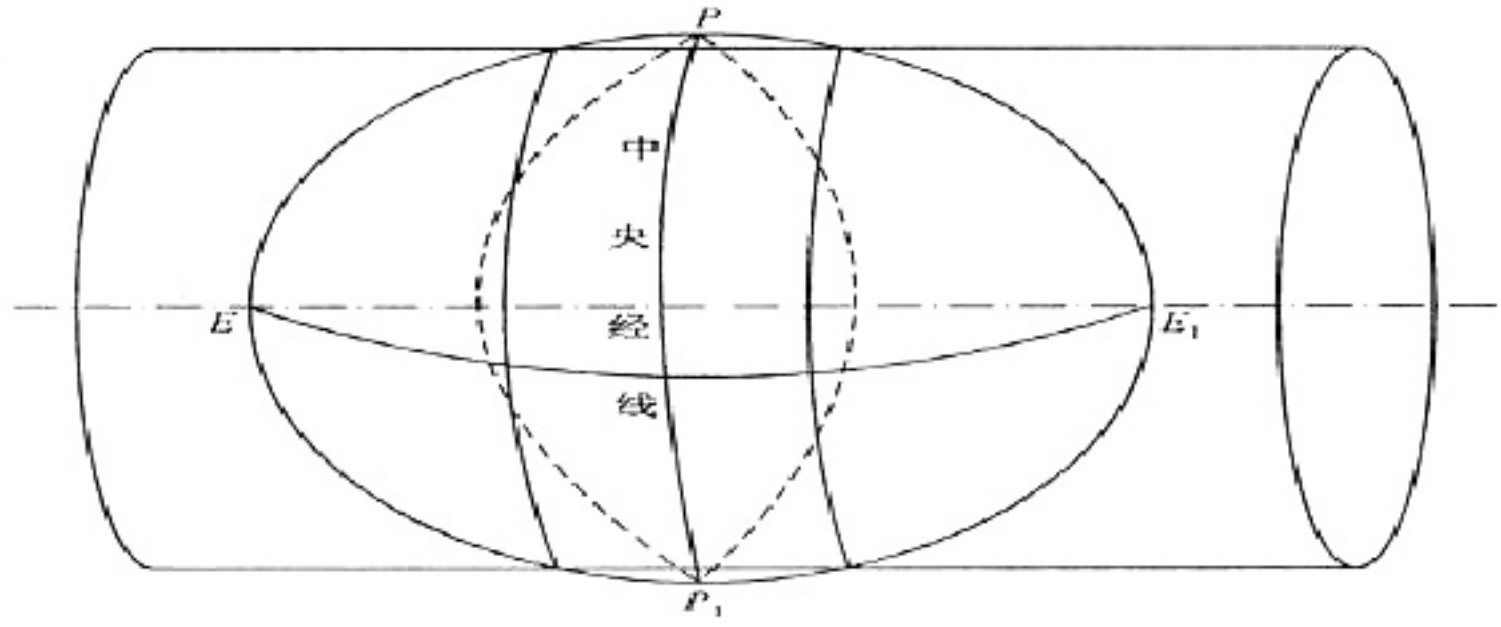


图 3-35　通用横轴墨卡托投影

一、基本公式

依照高斯-克吕格投影可得 UTM 投影的直角坐标(x, y)公式、长度比计算公式。

直角坐标公式:

$$x = 0.9996\left[S + \frac{\lambda^2 N}{2}\sin\varphi\cos\varphi + \frac{\lambda^4 N}{24}\sin\varphi\cos^3\varphi(5 - \tan^2\varphi + 9\eta^2 + 4\eta^4) + \cdots\right]$$

$$y = 0.9996\left[\lambda N\cos\varphi + \frac{\lambda^3 N}{6}\cos^3\varphi(1 - \tan^2\varphi + \eta^2) + \frac{\lambda^5 N}{120}\cos^5\varphi(5 - 18\tan^2\varphi + \tan^4\varphi) + \cdots\right] \tag{3-51}$$

长度比公式:

$$\mu = 0.9996\left[1 + \frac{1}{2}\cos^2\varphi(1 + \eta^2)\lambda^2 + \frac{1}{6}\cos^4\varphi(2 - \tan^2\varphi)\lambda^4 - \frac{1}{8}\cos^4\varphi\lambda^4 + \cdots\right] \tag{3-52}$$

二、投影变形分析和应用

该投影的变形可通过公式(3-51)来进行分析。它为了改善高斯-克吕格投影的低纬度地区变形,使得在 φ= 0°,λ= 3°处的最大长度变形小于 + 0.001,于是中央经线长度变形为 - 0.000 40,在赤道上离中央经线大约±180km(约±1°40′)位置的两条割线上没有任何变形,离开这两条割线愈远则变形愈大,在两条割线以内长度变形为负值,在两条割线以外长度变形为正值。表 3-5 是该投影长度变形值。

表 3-5　UTM 投影长度变形

长度变形 经差 / 纬度	0	1	2	3
90	- 0.000 40	- 0.000 40	- 0.000 40	- 0.000 40
80	- 0.000 40	- 0.000 40	- 0.000 38	- 0.000 36
70	- 0.000 40	- 0.000 38	- 0.000 33	- 0.000 24
60	- 0.000 40	- 0.000 36	- 0.000 25	- 0.000 06
50	- 0.000 40	- 0.000 34	- 0.000 15	+ 0.000 17
40	- 0.000 40	- 0.000 31	- 0.000 04	+ 0.000 41
30	- 0.000 40	- 0.000 28	+ 0.000 06	+ 0.000 63
20	- 0.000 40	- 0.000 27	+ 0.000 14	+ 0.000 81
10	- 0.000 40	- 0.000 26	+ 0.000 19	+ 0.000 94
0	- 0.000 40	- 0.000 25	+ 0.000 21	+ 0.000 98

UTM 投影在应用中具有下列特征:

该投影将世界划分为 60 个投影带,带号 1,2,3,…,60 连续编号,每带经差为 6°,经度自 180°W 和 174°W 之间为起始带且连续向东计算,带的编号系统与 1∶100 万比例尺地图有关规定是一致的。

该投影在南纬 80°到北纬 84°和经差 6°的范围内使用 UTM 投影,对于两极地区则采用 UPS 投影(即通用球面极投影)坐标系。

该投影已被许多国家、地区和集团采用为地形图的数学基础,例如美国、日本、加拿大、泰国、阿富汗、巴西、法国、瑞士等约 80 个国家。有的国家则局部地采用该投影作为地图数学基础。

§3.8　地图投影变换

在制图作业中地图投影变换是常遇到的一个问题,在利用原始资料图编制新地图时常需要变换它的数学基础,但这种变换随着两投影的不同而有些差异。如果新编图和原始资料图投影相同,那么,只需要对它进行比例尺缩放的相似变换,这种变换就比较简单。又如将墨卡

托投影转换为等角圆锥投影,虽然二者投影变形性质相同,但前者是矩形网格,后者是扇形网格,这两者之间的变换就有些复杂。

1. 传统地图的投影变换

传统的手工编图作业时,通常是采用网格转绘法或蓝图(或棕图)拼贴法来解决投影转换问题。

网格转绘法　是将地图资料投影格网和新编地图的投影格网对应加密,也就是把地图资料微小格网与新编地图的微小格网一一对应,在对应的微小格网范围内,采取手工方法逐点、逐线转绘。

蓝图(或棕图)拼贴法　是将地图资料按新编地图比例尺复照后晒成蓝图(或棕图),利用纸张湿水后的可伸缩性,切块拼贴在新编地图投影网格的相应位置上。

2. 数字地图的投影变换

随着制图自动化的发展,常规制图方法已逐渐被制图自动化作业所代替,制图自动化作业就是利用计算机自动、连续地将原始资料图上的二维点位变换成新编图投影中的二维点位。这就要求建立两种不同投影点的坐标变换关系式。

制图自动化作业中变换地图投影,具体变换过程:

(1) 通过数字化仪将原始投影的地图资料变成数字资料;

(2) 在计算机中按一定的数学方法变换一种投影点的坐标到另一种投影点的坐标;

(3) 将变换后的数字资料用绘图仪输出成新投影图形。

实施这种方法必须首先提供从一种投影点的坐标,变换为另一种地图投影点的坐标变换关系式。找出这种关系式的方法很多,下面介绍几种常用的方法。

一、反解变换法(又称间接变换法)

首先反解出原投影的地理坐标 φ, λ, 然后代入新投影中求出新投影点的直角坐标或极坐标。

若原始资料图投影点的坐标方程式为:

$$x = f_1(\varphi, \lambda)$$
$$y = f_2(\varphi, \lambda)$$

新编图地图投影点的坐标方程式为:

$$X = \Phi(\varphi, \lambda)$$
$$Y = \Phi(\varphi, \lambda)$$

显然,如果从原始资料图中反解出:

$$\varphi = \varphi(x, y)$$
$$\lambda = \lambda(x, y)$$

代入新编图投影方程,则有:

$$X = \Phi[\varphi(x, y), \lambda(x, y)]$$
$$Y = \Phi[\varphi(x, y), \lambda(x, y)]$$

若为圆锥投影、伪圆锥投影、方位投影等,是用平面极坐标表示投影方程式的,即

$$\rho = \Phi(\varphi, \lambda)$$
$$\delta = \Phi(\varphi, \lambda)$$

这时,应先将原投影点的直角坐标变为平面极坐标,求出 φ, λ, 然后再代入新编图投影方

程。

关于平面极坐标和平面直角坐标的关系式为:

$$\delta = \operatorname{arctg}\left(\frac{y}{(x_0 - x)}\right)$$

$$\rho = \sqrt{(x_0 - x)^2 + y^2}$$

式中: x_0 为平面直角坐标原点至平面极坐标原点的距离。

这种变换投影的方法是严密的,不受制图区域大小的影响,因此可在任何情况下使用。

例:由等角圆柱投影变换成等角圆锥投影。

已知等角圆柱投影方程

$$x = r_k \ln U,\ y = r_k \lambda$$

可得 $\ln U = \frac{x}{r_k}$ 或 $U = e^{\frac{x}{r_k}},\ \lambda = \frac{y}{r_k}$

将其代入下列等角圆锥投影公式

$$\rho = K / U^{\alpha}$$

$$\delta = \alpha\lambda$$

$$x = \rho_0 - \rho\cos\delta$$

$$y = \rho\sin\delta$$

可得

$$X = \rho_0 - \frac{K}{e^{\frac{x}{r_k}}}\cos\left(\alpha \cdot \frac{y}{r_k}\right)$$

$$Y = \frac{K}{e^{\frac{\alpha x}{r_k}}}\sin\left(\alpha \cdot \frac{y}{r_k}\right)$$

式中: K、α为投影常数,角度以弧度计。

二、正解变换法或直接变换法

确定原始资料图和新编图相应的直角坐标的直接联系,称之为正解变换法或直接变换法。

这种方法直接建立两种投影点的直角坐标关系式,它们的表达式即为:

$$X = F_1(x, y)$$

$$Y = F_2(x, y)$$

这种关系是反映了编图过程中的数学实质,并指出了原始资料图和新编图之间投影点的精确对应关系。圆锥投影、伪圆锥投影、多圆锥投影、方位投影、伪方位投影,坐标是极坐标表示的,应先将原投影平面极坐标改变为平面直角坐标,再求两种投影平面直角坐标之间的关系。

三、综合变换法

将反解变换方法与正解变换方法结合在一起,称之为综合变换法。这种方法通常是反解出原投影点地理坐标之一的 φ、λ,然后根据 φ、λ而求得新投影点的坐标 X, Y。

以上三种变换方法都是在已知原投影和新投影解析式条件下,求得它们之间变换的解析关系式,故上述三种方法统称为解析变换法。

四、数值变换法

这种方法应用在不知原始投影点直角坐标的解析式或不易求出两种投影点的平面直角坐标之间的关系的情况下。

可以用近似多项式的方法表示点的坐标变换关系式:

$$X' = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{20}x^2 + a_{11}xy + a_{02}y^2 + a_{30}x^3 + a_{21}x^2y + a_{12}xy^2 + a_{03}y^3$$

$$Y' = b_{00} + b_{10}x + b_{01}y + b_{20}x^2 + b_{11}xy + b_{02}y^2 + b_{30}x^3 + b_{21}x^2y + b_{12}xy^2 + b_{03}y^3$$

为了解上面的三项多项式,需要在两投影之间选择地理坐标对应的 10 个点的平面直角坐标 x_i, y_i 和 X_i, Y_i 组成线性方程组。解这些线性方程组,即可求出系数 a_{ij}, b_{ij} 的值。有了这些 a_{ij}, b_{ij} 值,则可以用上面多项式求解其他点坐标了,这些相应点应选择在投影图形周围和具有特征的点。

应用这种方法一般不是一次进行全部区域投影的变换,而是分块变换,以保证变换的一定精度。

§3.9 地图比例尺

要把地球表面多维的景观描绘在二维有限的平面图纸上,必然遇到大和小的矛盾。解决矛盾的办法就是按照一定数学法则,运用符号系统、经过制图综合,将有用信息缩小表示。为了使地图的制作者能按实际所需的比例制图,亦为了使地图的使用者能够了解地图与实际制图区域之间的比例关系,便于用图,在制图之前必须明确制定制图区域缩小的比例,在制成的图上也应明确表示出缩小的比例。

特别应该强调,由于地图投影的原因,会造成地图上各处的缩小比例的不一致,因此,进行地图投影时,应考虑地图投影对地图比例尺的影响。

电子地图出现后,传统的比例尺概念发生新变化。在以纸质为信息载体的地图上,地图内容的选取、概括程度、数据精度等都与比例尺密切相关,而在计算机生成的屏幕地图上,比例尺主要表明地图数据的精度。屏幕上比例尺的变化,并不影响上述内容涉及的地图本身比例尺的特征。

一、地图比例尺的含义

首先应该指出,在传统地图上所标明的缩小比率,都是指长度缩小的比率。

当制图区域较小、景物缩小的比率也比较小时,由于采用了各方面变形都较小的地图投影,因此图面上各处长度缩小的比例都可以看成是相等的。在该情况下,地图比例尺的含义是指图上某线段的长度 L 与其相应的实地长度 D 之比。用数学式表达如下:

$$\frac{1}{M} = \frac{L}{D} \tag{3-53}$$

式中: M 为地图比例尺的分母; L 为地图上线段的长度; D 为相应线段在实地的长度。

例如,图上某线段长为 5cm,在实地的长度为 L = 500m。则其比例尺为

$$\frac{1}{M} = \frac{5\text{cm}}{500\text{m}} = \frac{1}{10\,000}$$

又如:测得地面距离 1 250m,求在 1∶5 万图上的距离是多少?

根据式(3-53),图上距离 $L = 1\ 250\text{m} / 50\ 000 = 0.025\text{m}$(即 2.5cm)。因此,在通常情况下,地图使用者可以用地图上标明的比例尺,在图上进行各种量算。

而当制图区域相当大,制图时对景物的缩小比率也相当大时,此时所采用的地图投影比较复杂,地图上的长度也因地点和方向不同而有所变化。在这种地图上所注明的比例尺含义,其实质指的是在进行地图投影时,对地球半径缩小的比率,通常称之为地图主比例尺。地图经过投影后,体现在地图上只有个别的点或线才没有长度变形。也就是说,只有在这些没有变形的点或线上,才可以用地图上注明的主比例尺进行量算。因此,作为用图者,一定不要在小比例尺地图上,用图上提供的主比例尺进行各种图上量算,尤其不能随意进行长度量算。

二、地图比例尺在地图上的表现形式

地图上表示比例尺有以下几种形式:

(1) 数字式:用阿拉伯数字表示,例如 1∶100 000(或简写 1∶10 万)、1∶25 000、1∶50 000等,也可用分数 $\frac{1}{100\ 000}$、$\frac{1}{25\ 000}$、$\frac{1}{50\ 000}$ 表示。

(2) 文字式:用文字注解的方法表示。例如“百万分之一”,“图上 1cm 相当于实地 10km”等。表达比例尺长度单位,在地图上通常以 cm 计,在实地以 m 和 km 计,涉及到航海方面,则以 mile(海里)计。

(3) 图解式:用图形加注记的形式表示的比例尺,例如地图上通常用直线比例尺(图 3-36)。

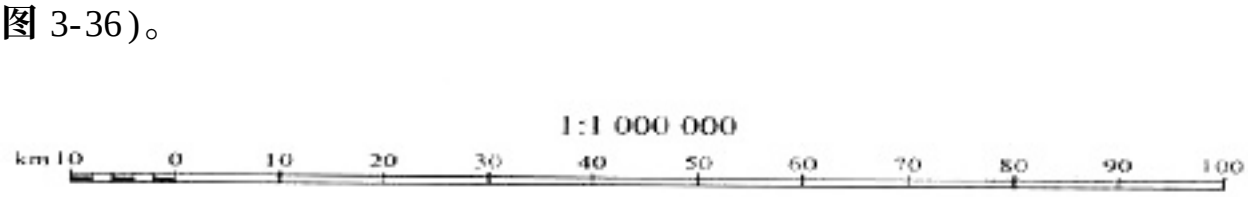


图 3-36 地形图上的图解比例尺

小比例尺地图上,往往根据不同经纬度的变形不同,绘制一种复式比例尺,又称经纬线比例尺或诺谟图,用于不同地区长度的量算。图 3-37 是变形随纬度不同而变化的纬线比例尺。

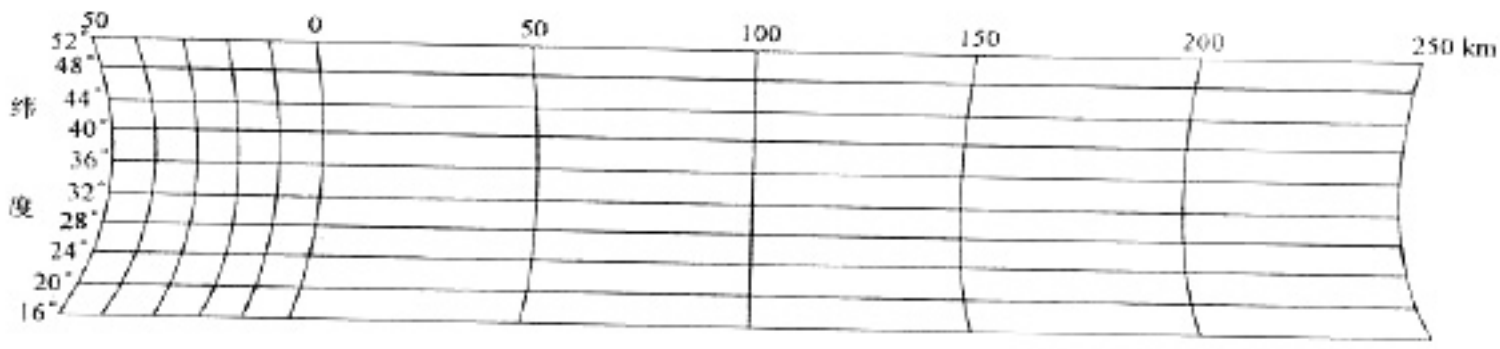


图 3-37 双标准纬线等角圆锥投影的纬线比例尺

地图上通常采用几种形式配合来表示比例尺的概念,最常见的是数字式和图解式配合使用。

(4) 特殊比例尺:地图比例尺除上述几种传统表现形式外,还有两种特殊的表示:

① 变比例尺 当制图的主区分散且间隔的距离较远时,为了突出主区和节省图面,可将

主区以外部分的距离按适当比例相应压缩,而主区仍按原规定的比例表示。例如旅游景区比较分散的旅游图,或街区有飞地的城市交通图等。

② 无级别比例尺　这是一种随数字制图的出现而与传统的比例尺系统相对而言的一个新概念,并没有一个具体的表现形式。在数字制图中,由于计算机或数据库里可以存储物体的实际长度、面积、体积等数据,因此没有必要将地图数据固定在某一种比例尺,应该明确的是,数字制图并不是不考虑地图比例尺的概念。因为人们在数字制图的资料搜集时,非常注意这些数据来源于何种比例尺,精度和详细程度如何。从这里可以看出,比例尺的概念为数字制图数据的使用提供了方便。不过数字地图的确不同于传统的纸质地图,因为它不必按比例尺系统来搜集地图数据。如从 1∶10 万地图上获取的数据,在制图综合、图形处理技术方法进一步完善的条件下,它可以生成任一级其他比例尺的地图,故可以把存储数据的精度和内容详细程度都比较高的地图数据库,称为无级别比例尺地图数据库。

三、地图比例尺系统

每个国家的地图比例尺系统是不同的。我国采用十进制的米制长度单位。规定 8 种比例尺为国家基本地图的比例尺(表 3-6)。

表 3-6　国家基本地图的比例尺

数字比例尺	文字比例尺	图上 1cm 相当于实地的 1km 数	实地 1km 相当于图上 1cm 数
1∶5 000	五千分之一	0.05	20
1∶10 000	一万分之一	0.1	10
1∶25 000	二万五千分之一	0.25	4
1∶50 000	五万分之一	0.5	2
1∶100 000	十万分之一	1	1
1∶250 000	二十五万分之一	2.5	0.4
1∶500 000	五十万分之一	5	0.2
1∶1 000 000	百万分之一	10	0.2

小比例尺地图没有固定的比例尺系统。根据地图的用途、制图区域的大小和形状、纸张和印刷机的规格等条件,在设计地图时确定其比例尺。但在长期的制图实践中,小比例尺地图也逐渐形成约定的比例尺系列。如 1∶100 万、1∶150 万、1∶200 万、1∶250 万、1∶300 万、1∶400 万、1∶500 万、1∶600 万、1∶750 万、1∶1 000 万等。

§3.10　地图定向

确定地图上图形的方向叫做地图定向。地图并非只有一个北方向,就地形图而言,它有三个北方,分别是真北、坐标北和磁北。对于小比例尺地图,是把制图区域的中央经线同图纸的南北方向的关系作为定向依据。

一、地形图的方向

为了满足使用地图的要求,规定在大于 1∶10 万的各种比例尺地形图上绘出三北方向和三个偏角的图形。它们不仅便于确定图形在图纸上的方位,同时还用于在实地使用罗盘标定地图的方位。

1. 三北方向线

(1) 真北方向线:即地图上的经线。过地面上任意一点,指向北极的方向叫真北。严格地说,图面上各点的经线方向是不一致的(同一条经线上的点除外),即各点都有自己的真北。通常把图幅的中央经线的北方向作为该图幅的真北方向。

(2) 坐标纵线:图上方里网的纵线叫坐标纵线,它们平行于投影带的中央经线(投影带的平面直角坐标系的纵坐标轴),纵坐标值递增方向称为坐标北方向。大多数地图投影的坐标北和真北方向是不完全一致的。

(3) 磁子午线:实地上磁北针所指的方向叫磁北方向。它与指向北极的北方向并不一致,磁偏角相等的各点连线就是磁子午线,它们收敛于地球的磁极。严格地说,实地上每个点的磁北方向也是不一致的。地图上表示的磁北方向是本图幅范围内实地上若干点测量的平均值。地形图上用南北图廓上的磁南和磁北点的连线表示该图的磁子午线,其上方即该图幅的磁北方向(图 3-38 中的虚线)。

2. 三个偏角

(1) 磁偏角:过某点的磁子午线与真子午线之间的夹角称为磁偏角(图 3-39)。它的正负以其同真子午线的相对位置来区分。磁子午线在真子午线以东,称为东偏,角值为正;在真子午线以西,称为西偏,角值为负。

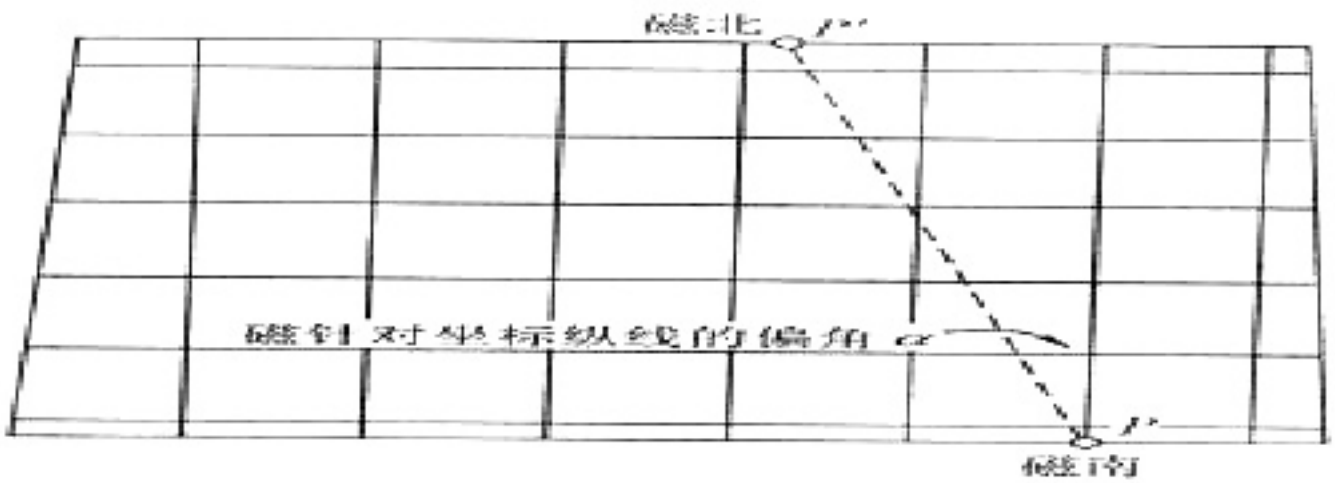


图 3-38　地形图上的磁子午线

图 3-39　三北方向及三个偏角

在我国范围内,正常情况下磁偏角都是西偏,只有某些发生磁力异常的区域才会表现为东偏。

磁偏角的值是会发生变化的,地形图上标出的磁偏角的数值是测图时的情况,但是由于磁偏角的变化比较小,而且变动有规律,一般用图时仍可使用图上标注的磁偏角值,需精密量算时,则应根据年变率和标定值推算用图时的磁偏角值。

(2) 子午线收敛角:在高斯-克吕格投影中除中央经线投影成直线外,其他所有经线都投影成向极点收敛的弧线。因此除中央经线外,其他所有经线的投影同坐标纵线都有一个夹角,即过某点的经线弧的切线与坐标纵线的夹角,这个夹角称为子午线收敛角(图 3-40)。

子午线收敛角又称坐标纵线偏角。它的正负是根据坐标纵线与真子午线的相对位置来区分的。若坐标纵线在真子午线的东边,即图幅位于投影带的中央经线以东称为东偏,角值为正;若坐标纵线在真子午线的西边,称为西偏,角值为负。

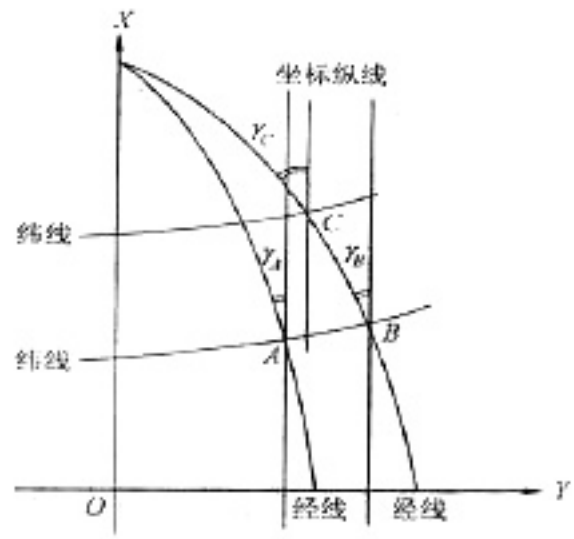


图 3-40　子午线收敛角

在高斯-克吕格投影中子午线收敛角可用下式计算:

$$\gamma = \lambda \sin\varphi + \frac{\lambda^3}{3}\sin\varphi\cos^2\varphi(1+3\eta^2) + \cdots \tag{3-54}$$

由上式可见,子午线收敛角随纬度的增高而增大;随着对投影带中央经线的经差增大而加大。在中央经线和赤道上都没有子午线收敛角。采用 6°分带投影时子午线收敛角的最大值为±3°。

(3) 磁针对坐标纵线的偏角:过某点的磁子午线与坐标纵线之间的夹角称为磁针对坐标纵线的偏角。磁子午线在坐标纵线以东为东偏,角值为正,以西为西偏,角值为负。

3. 三北方向图

过某点的真子午线、坐标纵线和磁子午线的三个北方各不相同,三者之间的关系可以构成许多形式(图 3-41),图中 γ 表示子午线收敛角,β 表示磁偏角,α 表示磁针对坐标纵线的偏角。

三个偏角的关系可用下式表示为:

$$\gamma = \beta - \alpha \tag{3-55}$$

图幅的子午线收敛角可以从《高斯-克吕格投影坐标表》中查取。磁偏角是测图时测定的,在图幅的相应位置标示出来,根据式(3-55)即可求出磁针对坐标纵线的偏角。

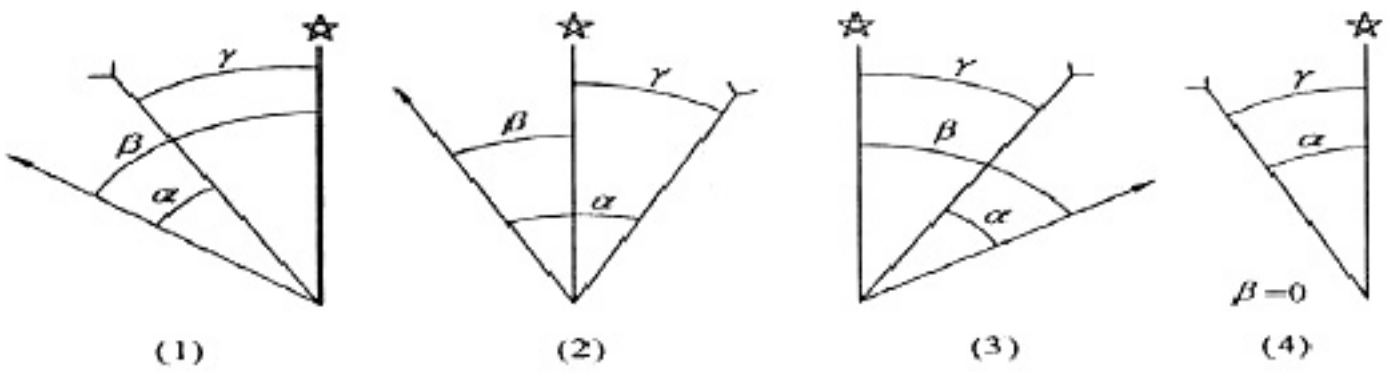


图 3-41　三北方向图的几种形式

4. 偏角的密位制表示法

三个偏角除了用度分秒制标注外,为了军事上的目的,还要加注密位制的数字。

密位也是表示角度大小的一种度量单位,即将圆周分为 6 000 份或 6 400 份,分别称为 6 000密位制和 6 400 密位制,它们的每一个单位称为一密位。我国早期地形图有的同时标注两种密位制的数字,现在出版的地形图则只标注 6 000 密位制数字。

6 000 密位制与度分秒制的换算关系如下列各式:

$$1° = \frac{6\ 000}{360} = 16.67(\text{密位}) \tag{3-55}$$

$$1' = \frac{6\ 000}{21\ 600} = 0.28(\text{密位}) \tag{3-56}$$

$$1\ \text{密位} = \frac{21\ 600}{6\ 000} = 3.6' \tag{3-57}$$

为了读数方便,标注密位数时将密位数字分成两组,即个位和十位为一组,百位和千位为一组,两组之间用短线隔开。

角度注记的精度:度分秒制时精确到“分”,密位制精确到一个“密位”。

二、小比例尺地图的定向

我国的地形图都是以北方定向的。在一般情况下,小比例尺地图也尽可能地采用北方定向(图 3-42),即使图幅的中央经线同南北图廓垂直。但是,有时制图区域的情况比较特殊(例如我国的甘肃省),用北方定向不利于有效地利用标准纸张和印刷机的版面,也可以考虑采用斜方位定向(图 3-43)。

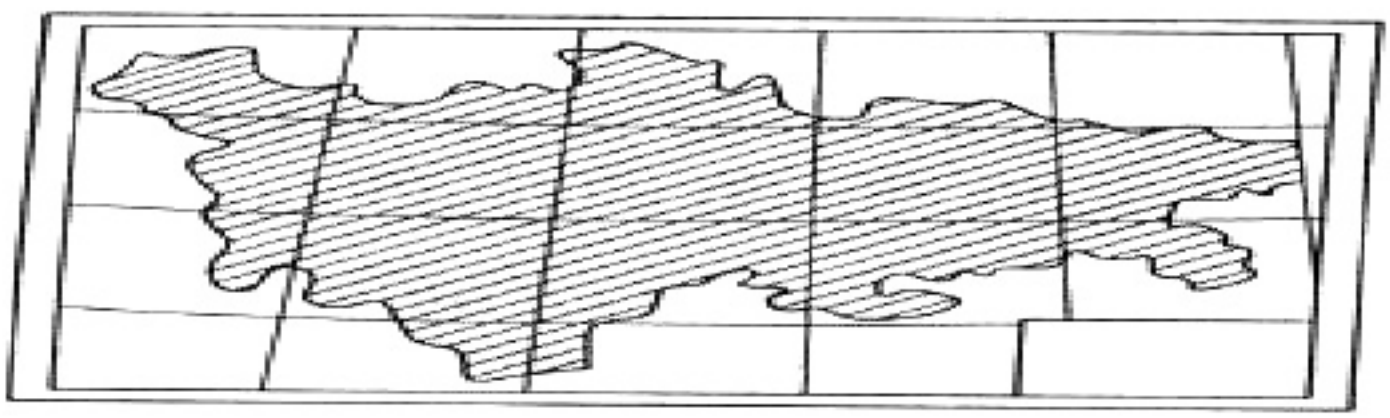


图 3-42 北方定向



图 3-43 斜方位定向

§3.11 地图的分幅与编号

对于一个确定的制图区域来讲,地图内容的详尽与地图比例尺之间有密切关系。当比例尺变大时,必然增大地图幅面,一张图纸的内容就变成用多张图纸来表示,这时就要将地图进行分幅描绘,以利于编图、印刷、保管、使用等。为此,必须研究地图的分幅和编号。

一、地图的分幅

地图有两种分幅形式,即矩形分幅和经纬线分幅。

(1) 矩形分幅:每幅地图的图廓都是一个矩形,相邻图幅是以直线划分。矩形的大小多根据纸张和印刷机的规格(全开、对开、四开、八开等)而定。

矩形分幅又可分为拼接的和不拼接的两种。拼接使用的矩形分幅是指相邻图幅有共同的图廓线,使用地图时可按其共同边拼接起来。不拼接的矩形分幅是指图幅之间没有公共边,每个图幅有其相应的制图主区,各分幅图之间常有一定的重叠(图 3-44),而且有时还可以根据主区的大小变更地图的比例尺。

墙上挂图、地图集和专题地图,多采用矩形分幅的形式,其优点是图幅之间结合紧密,便于拼接使用,各图幅的印刷面积可以相对平衡,有利于充分利用纸张和印刷机的版面。可以使分

幅有意识地避开重要地物,以保持其图形在图面上的完整;主要缺点是整个制图区域只能一次投影制成。

(2) 经纬线分幅:地图的图廓由经纬线构成。是当前世界各国地形图和大区域的小比例尺分幅地图所采用的主要分幅形式。我国基本比例尺地图就是以经纬线分幅制作的。

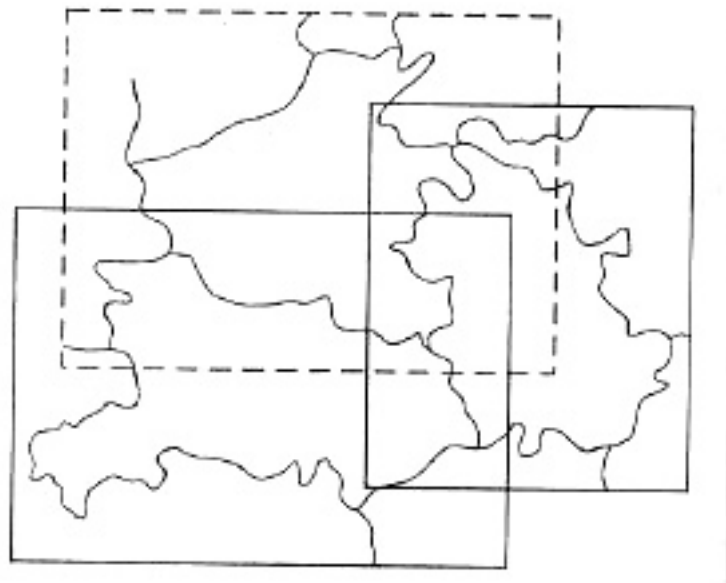


图 3-44　不拼接的矩形分幅

经纬线分幅的主要优点是每个图幅都有明确的地理位置概念,因此适用于很大区域范围(全国、大洲、全世界)的地图分幅。其缺点是经纬线被描述为曲线时,图幅拼接不方便;它的另一个缺点是随着纬度的增高,相同的经纬差所限定的面积不断地缩小,因而图幅不断变小,不利于有效利用纸张和印刷机的版面(为了克服这个缺点,在高纬度地区不得不采用合幅的方式,这样就干扰了分幅的系统性);此外,经纬线分幅还经常会破坏重要物体(如大城市)的完整性。

二、地图的编号

常用的编号方法有行列式、自然序数式、行列-自然序数式、西南角图廓点坐标公里数编号等。

1. 行列式编号法

将制图区域划分若干行和列,并相应地按数字或字母顺序编上号码,行和列号码的组合即为图之编号。如图 3-45 中绘有晕线的图幅编号为 F53(南半球,图号前冠以 *S*),编号是先行后列或先列后行,自上而下或自下而上均可。

大区域的分幅地图用此编号法,例如国际百万分之一地图即是。

2. 自然序数编号法

将分幅地图按自然序数顺序编号(图 3-46)。它可以从左到右,自上而下,也可以是其他的排列。小区域的分幅地图或挂图采用这种方法编号。

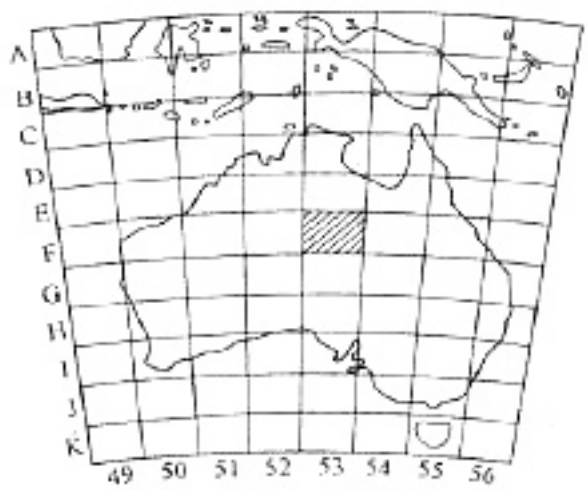


图 3-45　行列编号法

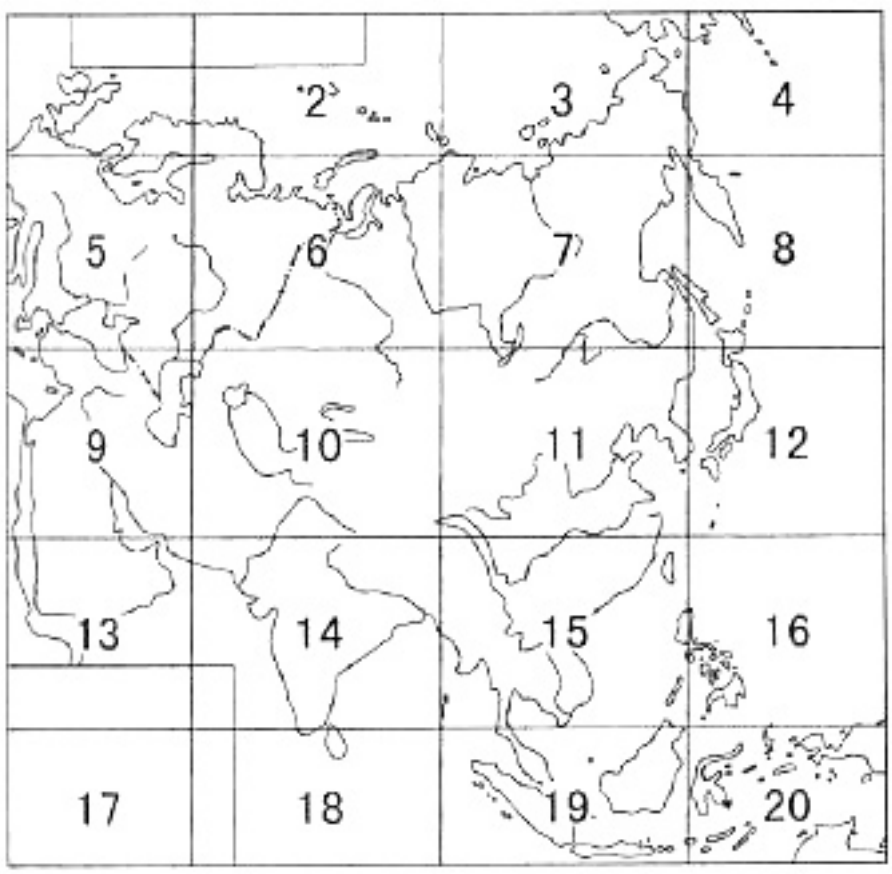


图 3-46　自然序数编号法

3. 行列-自然序数编号法

它是行列式和自然序数式相结合的编号方法。即在行列编号的基础上,用自然序数或字母代表详细划分的较大比例尺图的代码,两者结合构成分幅图的编号。例如 H-50-8。

4. 西南角图廓点坐标公里数编号

图幅编号按西南角图廓点坐标公里数编号,按 x 坐标在前,y 坐标在后的顺序编号。例如 1∶2 000 地形图西南角的坐标分别为 3 398、7 954,其图幅编号则为 98.0～54.0。

三、现行我国基本比例尺地形图分幅和编号

1991 年制订了《国家基本比例尺地形图分幅和编号》的国家标准,自 1991 年起新测和更新的地形图,照此标准进行分幅和编号。

1. 地形图的分幅

我国基本比例尺地形图均以 1∶100 万地形图为基础,按规定的经差和纬差划分图幅。

(1) 1∶100 万地形图的分幅

按照国际 1∶100 万地图分幅的标准进行,每幅 1∶100 万地形图的标准分幅是经差 6°、纬差 4°,由于随纬度增高地图面积迅速缩小,所以规定在纬度 60°～76°之间双幅合并,即每幅图包括经差 12°,纬差 4°;在纬度 76°～88°之间由四幅合并,即每幅图包括经差 24°,纬差 4°;纬度 88°以上单独为一幅。我国处于纬度 60°以下,故没有合幅问题。

(2) 1∶50 万～1∶5 000 地形图的编号

每幅 1∶100 万地形图划分为 2 行 2 列,共 4 幅 1∶50 万地形图,每幅 1∶50 万地形图的分幅为经差 3°、纬差 2°。

每幅 1∶100 万地形图划分为 4 行 4 列,共 16 幅 1∶25 万地形图,每幅 1∶25 万地形图的分幅为经差 1°30′、纬差 1°。

每幅 1∶100 万地形图划分为 12 行 12 列,共 144 幅 1∶10 万地形图,每幅 1∶10 万地形图的分幅为经差 30′、纬差 20′。

每幅 1∶100 万地形图划分为 24 行 24 列,共 576 幅 1∶5 万地形图,每幅 1∶5 万地形图的分幅为经差 15′、纬差 10′。

每幅 1∶100 万地形图划分为 48 行 48 列,共 2 304 幅 1∶2.5 万地形图,每幅 1∶2.5 万地形图的分幅为经差 7′30″、纬差 5′。

每幅 1∶100 万地形图划分为 96 行 96 列,共 9 216 幅 1∶1 万地形图,每幅 1∶1 万地形图的分幅为经差 3′45″、纬差 2′30″。

每幅 1∶100 万地形图划分为 192 行 192 列,共 36 864 幅 1∶5 000 地形图,每幅 1∶5 000 地形图的分幅为经差 1′52.5″、纬差 1′15″。

各比例尺地形图的经纬差、行列数和图幅数成简单的倍数关系(见表 3-7)。

表 3-7　各比例尺地形图图幅关系

比例尺		1∶100 万	1∶50 万	1∶25 万	1∶10 万	1∶5 万	1∶2.5 万	1∶1 万	1∶5 000
图幅行列数量关系	经 差	6°	3°	1°30′	30′	15′	7′30″	3′45″	1′52.5″
	纬 差	4°	2°	1°	20′	10′	5′	2′30″	1′15″
	行 数	1	2	4	12	24	48	96	192
	列 数	1	2	4	12	24	48	96	192
图幅数量关系		1	4 1	16 4 1	144 36 9 1	576 144 36 4 1	2 304 576 144 16 4 1	9 216 2 304 576 64 16 4 1	36 864 9 216 2 304 256 64 16 4

2. 地形图的编号

(1) 1∶100 万地形图的编号

从赤道起,每 4°为一列,至南北纬 88°,各为 22 行,依次用罗马字母 A,B,C,…,V 表示其相应的行号,行号前分别冠以 N 和 S,区别北半球和南半球(我国地处北半球,图号前的 N 全部省略);从 180°经线算起,自西向东 6°为一纵列,将全球分为 60 纵列,依次用 1,2,3,…来表示。“行号列号”相结合,即为该图的编号。例如北京所在的 1∶100 万地图的编号为 J50。高纬度的双幅、四幅合并时,图号也合并写出。如 NP33,34,NT25,26,27,28。

图 3-47 是北半球的 1∶100 万地图分幅编号示意图。

(2) 1∶50 万～1∶5 000 地形图的编号

1∶50 万～1∶5 000 地形图的编号均以 1∶100 万地形图编号为基础,采用行列编号方法(图 3-48)。即将 1∶100 万地形图按所含比例尺地形图的经差和纬差划分成若干行和列,横行从上到下、纵列从左到右按顺序分别用阿拉伯数字(数字码)编号。表示图幅编号的行、列代码均采用三位数字表示(不足三位时前面补 0),取行号在前、列号在后的排列形式标记,加在 1∶100 万图幅的图号之后。

为了使各种比例尺不至混淆,分别采用不同的字符作为各种比例尺的代码(表 3-8)。

1∶50 万～1∶5 000 比例尺地形图的图号均由 5 个元素 10 位码构成(图 3-49)。

例:求 1∶50 万及 1∶25 万地形图的编号。

表 3-8　各种比例尺代码

比例尺	1∶50 万	1∶25 万	1∶10 万	1∶5 万	1∶2.5 万	1∶1 万	1∶5 000
代码	B	C	D	E	F	G	H

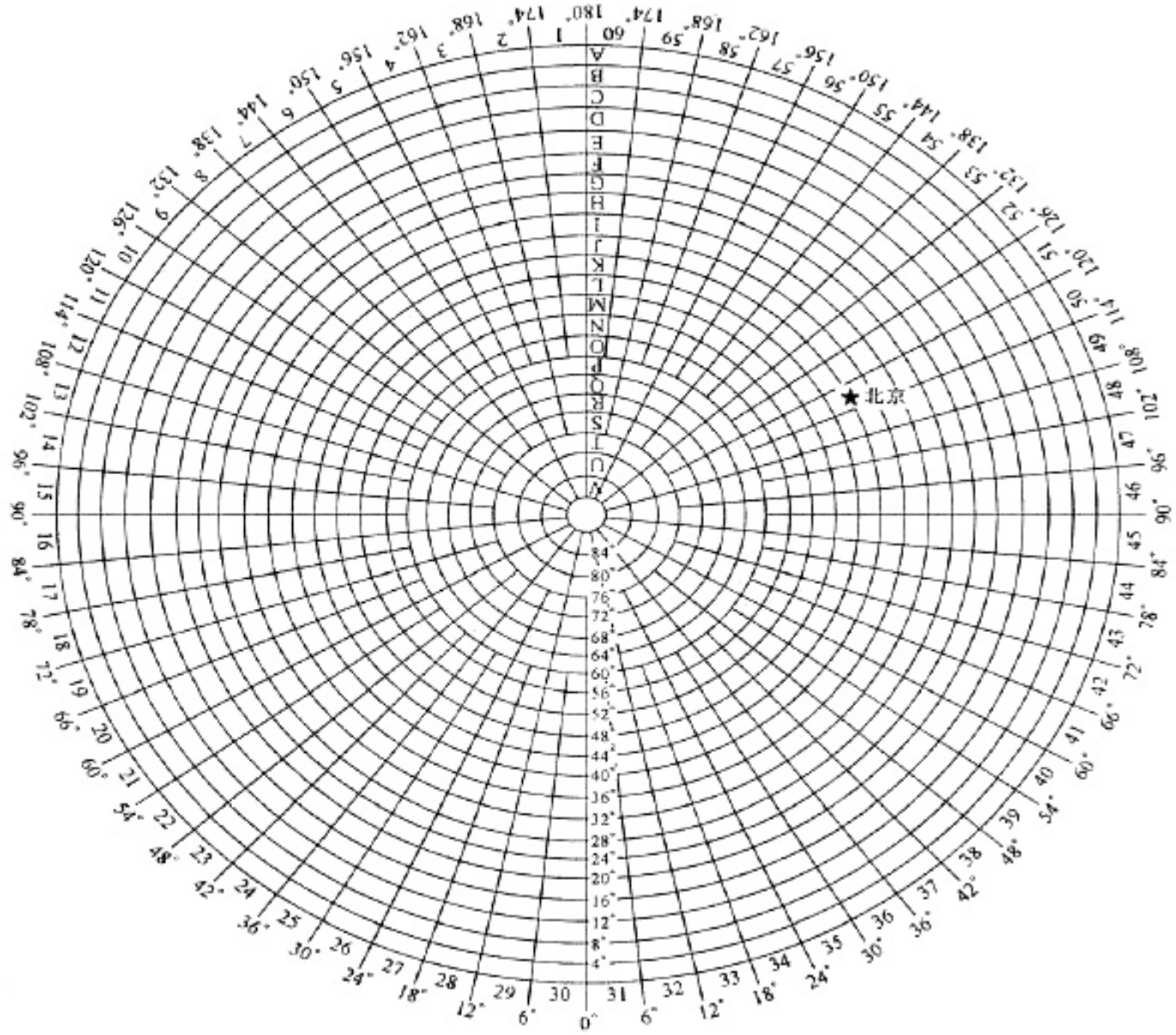


图 3-47　北半球 1∶100 万地图的分幅与编号

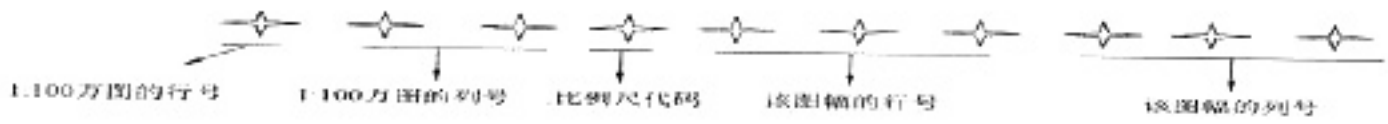


图 3-49　1∶50 万～1∶5 000 地形图图号的构成

图 3-50 晕线所示图号为 J50B001002；图 3-51 晕线所示图号为 J50C003003。

3. 编号的应用

(1) 已知某点经纬度或图幅西南图廓点的经纬度计算图幅编号

① 计算 1∶100 万图幅编号

$$a = [\frac{\Phi}{4^\circ}] + 1$$
$$b = [\frac{\lambda}{6^\circ}] + 31 \qquad (3\text{-}58)$$

式中：[ ]表示分数值取整；a 为 1∶100 万图幅行号所对应的数字码；b 为 1∶100 万图幅列号

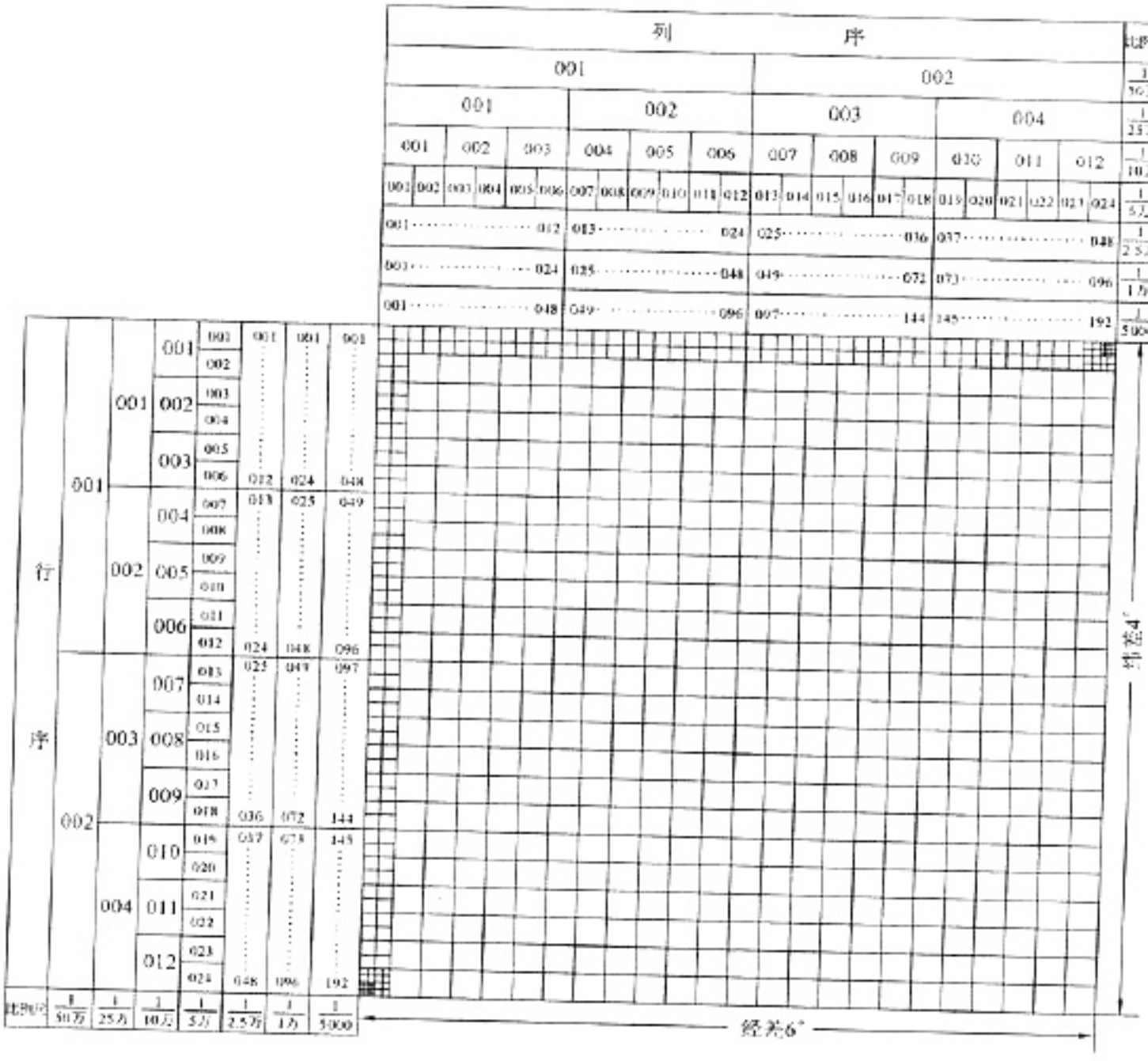


图 3-48　1：100 万～1：5 000 地形图的行、列编号

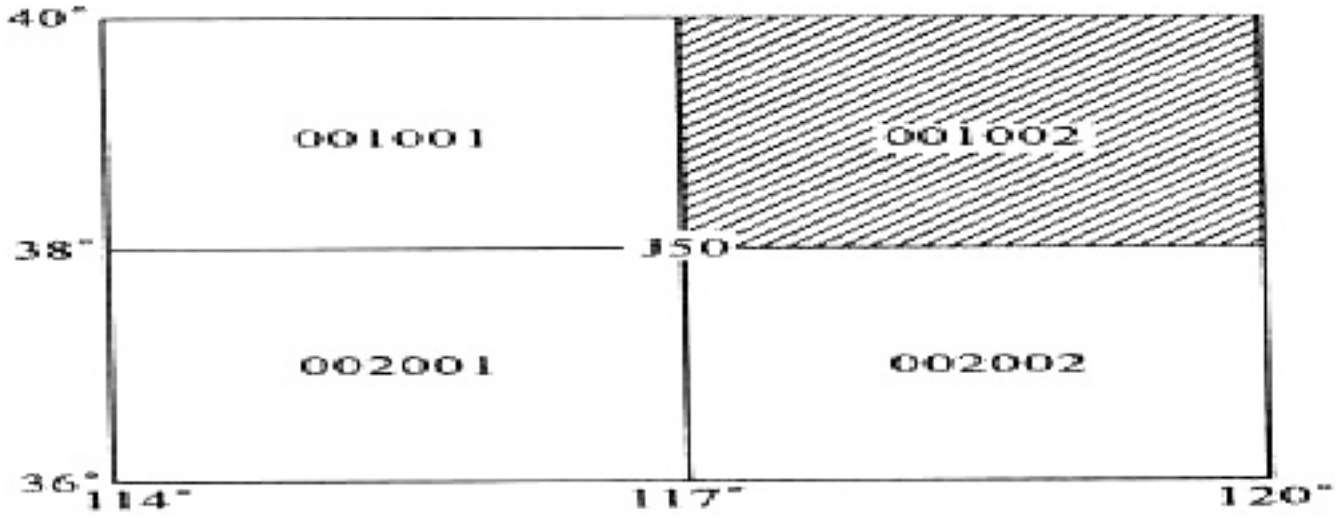


图 3-50　1：50 万地形图编号

图 3-51　1：25 万地形图编号

所对应的数字码;λ为某点的经度或图幅西南图廓点的经度;φ为某点的纬度或图幅西南图廓点的纬度。

② 计算所求比例尺地形图在 1∶100 万图号后的行、列编号

$$c = \frac{4^\circ}{\Delta\varphi} - [(\frac{\varphi}{4^\circ}) \div \Delta\varphi]$$
$$d = [(\frac{\lambda}{6^\circ}) \div \Delta\lambda] + 1 \qquad (3\text{-}59)$$

式中:( )表示商取余;[ ]表示分数值取整;c 为所求比例尺地形图在 1∶100 万地形图编号后的行号;d 为所求比例尺地形图在 1∶100 万地形图编号后的列号;λ 为某点的经度或图幅西南图廓点的经度;φ 为某点的纬度或图幅西南图廓点的纬度;$\Delta\lambda$ 为所求比例尺地形图分幅的经差;$\Delta\varphi$ 为所求比例尺地形图分幅的纬差。

例 1:某点经度为 114°33′45″,纬度为 39°22′30″,计算其所在 1∶10 万地形图的编号。

① 求该点所在 1∶100 万图幅的图号:

$$a = [\frac{39^\circ 22' 30''}{4^\circ}] + 1 = 10(\text{字符为 J})$$
$$b = [\frac{114^\circ 33' 45''}{6^\circ}] + 31 = 50$$

该点所在 1∶100 万图幅的图号为 J50。

② 求该点所在的 1∶10 万地形图的编号:

$\Delta\varphi = 20'$, $\Delta\lambda = 30'$

$$c = \frac{4^\circ}{20'} - [(\frac{39^\circ 22' 30''}{4^\circ}) \div 20'] = 002$$
$$d = [(\frac{114^\circ 33' 45''}{6^\circ}) \div 30'] + 1 = 002$$

1∶10 万地形图图号为 J50D002002。

(2)已知图号计算该图幅西南图廓点的经、纬度

按下式计算该图幅西南图廓点的经、纬度:

$$\lambda = (b - 31) \times 6^\circ + (d - 1) \times \Delta\lambda \qquad (3\text{-}60)$$
$$\varphi = (a - 1) \times 4^\circ + (\frac{4^\circ}{\Delta\varphi} - c) \times \Delta\varphi \qquad (3\text{-}61)$$

式中各符号的意义同前。

例 2:已知某图幅图号为 J50B001001,求其西南图廓点的经、纬度。

$a = 10$, $b = 50$, $c = 001$, $d = 001$, $\Delta\varphi = 2^\circ$, $\Delta\lambda = 3^\circ$

$$\lambda = (50\text{-}31) \times 6^\circ + (1\text{-}1) \times 3^\circ = 114^\circ$$
$$\varphi = (10\text{-}1) \times 4^\circ + (\frac{4^\circ}{2^\circ} - 1) \times 2^\circ = 38^\circ$$

该图幅西南图廓点的经、纬度分别为 114°、38°。

(3) 不同比例尺地形图编号的行列关系换算

由较小比例尺地形图编号中的行、列代码计算所含各种较大比例尺地形图编号中的行、列代码。

最西北角图幅编号中的行、列代码按式(3-62)和(3-63)计算:

$$c_{大} = \frac{\Delta\varphi_{小}}{\Delta\varphi_{大}} \times (c_{小} - 1) + 1 \qquad (3\text{-}62)$$
$$d_{大} = \frac{\Delta\varphi_{小}}{\Delta\varphi_{大}} \times (d_{小} - 1) + 1 \qquad (3\text{-}63)$$

最东南图幅编号中的行、列代码按式(3-64)和(3-65)计算:

$$c_{大} = c_{小} \times \frac{\Delta\varphi_{小}}{\Delta\varphi_{大}} \tag{3-64}$$

$$d_{大} = d_{小} \times \frac{\Delta\varphi_{小}}{\Delta\varphi_{大}} \tag{3-65}$$

式中:$c_{大}$ 为较大比例尺地形图在 1∶100 万地形图编号后的行号; $d_{大}$ 为较大比例尺地形图在 1∶100万地形图编号后的列号; $c_{小}$ 为较小比例尺地形图在 1∶100 万地形图编号后的行号; $d_{小}$ 为较小比例尺地形图在 1∶100 万地形图编号后的列号; $\Delta\varphi_{大}$ 为大比例尺地形图分幅的纬差; $\Delta\varphi_{小}$ 为小比例尺地形图分幅的纬差。

例 3∶1∶10 万地形图编号中的行、列代码为 004001, 求所包含的 1∶2.5 万地形图编号的行、列代码。

已知: $c_{小} = 004$, $d_{小} = 001$, $\Delta\varphi_{小} = 20'$, $\Delta\varphi_{大} = 5'$

因此:最西北角图幅编号中的行、列代码:

$$c_{大} = \frac{20'}{5'} \times (4 - 1) + 1 = 013; \quad d_{大} = \frac{20'}{5'} \times (1 - 1) + 1 = 001$$

最东南图幅编号中的行、列代码:

$$c_{大} = \frac{4 \times 20'}{5'} = 016; \quad d_{大} = \frac{1 \times 20'}{5'} = 004$$

所包含的 1∶2.5 万地形图编号中的行、列代码为:

013001	013002	013003	013004
014001	014002	014003	014004
015001	015002	015003	015004
016001	016002	016003	016004

由较大比例尺地形图编号中的行、列代码计算包含该图的较小比例尺地形图编号中的行、列代码。

较小比例尺地形图编号中的行、列代码按式(3-66)和(3-67)计算:

$$c_{小} = \left[\frac{c_{大}}{\left(\frac{\Delta\varphi_{小}}{\Delta\varphi_{大}}\right)} \right] + 1 \tag{3-66}$$

$$d_{小} = \left[\frac{d_{大}}{\left(\frac{\Delta\varphi_{小}}{\Delta\varphi_{大}}\right)} \right] + 1 \tag{3-67}$$

式中:公式中的代号同式(3-65)、式(3-66)。

例 4:1∶2.5 万地形图图号中的行、列代码为 013003, 计算包含该图的 1∶10 万地形图图号中的行、列代码。

由题知: $c_{大} = 013$, $d_{大} = 003$, $\Delta\varphi_{小} = 20'$, $\Delta\varphi_{大} = 5'$。

因此: $c_{小} = \left[\frac{13}{\left(\frac{20'}{5'}\right)} \right] + 1 = 004$; $d_{小} = \left[\frac{3}{\left(\frac{20'}{5'}\right)} \right] + 1 = 001$

包含行、列代码为 013003 的 1∶2.5 万图的 1∶10 万地形图的行、列代码为 004001。

思考题

1. 在测量和制图的实践中,为什么采用一定大小的旋转椭球面来代替地球的自然表面?

2. 1954 年北京坐标系和 1980 年国家坐标系有什么区别?

3. 绘图说明地球自然表面、大地水准面和椭球面三者的关系?

4. 地图投影对地图制作有什么意义?

5. 为什么地图投影中一定会产生变形?

6. 变形椭圆怎样显示各种不同性质的变形?

7. 极值长度比、沿经纬线方向长度比有什么异同?

8. 某种投影,在某一点上量算得 $a=1.002$, $b=0.998$,试求该点上最大角度变形和面积变形。

9. 圆锥投影按投影面(圆锥面)与地球相对位置及变形性质,可划分为哪些类?

10. 正轴等角圆锥投影纬线半径 r 的推导过程中,出现的常数 K 有什么涵义?

11. 圆锥投影从变形分布上看最适宜于怎样的制图区域?为什么?

12. 为什么说正轴圆锥投影变形仅与纬度有关,而与经差无关?

13. 正轴圆锥投影沿经线长度比 $m=-\frac{\mathrm{d}\rho}{M\mathrm{d}\varphi}$ 中的负号是怎样得出的?

14. 试分析割圆锥投影的变形规律,它与切圆锥投影比有何优点?

15. 绘出等角割圆锥投影中一条经线上变形椭圆的形状。

16. 圆柱投影标准纬线(一条或两条)的决定与圆锥投影有什么不同?

17. 在正轴等角圆柱投影中,投影常数 α怎样来确定 ?

18. 绘出等角切(割)圆柱投影中一条经线上变形椭圆的形状。

19. 为什么正轴等角圆柱投影被广泛应用于航海图?

20. 透视方位投影因视点离球心的距离不同可分为哪几种?

21. 简述在两极地区宜采用什么方位投影?东西半球地图宜采用什么方位投影?

22. UPS 投影是一种什么投影?

23. 为什么说方位投影适合圆形制图区域?

24. 简述高斯-克吕格投影的三个条件?

25. 高斯投影为什么要按一定的经差划分投影分带?

26. 地形图系列为什么一定要采用等角性质的投影?

27. 举例说明选择地图投影的一般原则。

28. 绘示意图比较高斯-克吕格投影和 UTM 投影几何意义的差别。

29. 什么是主比例尺?为什么地图上每点的比例尺都可能不一样?

30. 比例尺在地图上的表示形式有哪些?

31. 为什么要对地图进行分幅和编号?

32. 国际百万分之一地图中的列号与高斯投影 6°分带的投影带号有什么关系?

第四章　地理数据的表示

§4.1　概　述

地图是一种理想的载负客观实体信息或科学研究成果的载体。地图的传输功能是将各种信息传递给读者,作为深入认识、研究和改造客观世界的重要工具。客观现象以点、线、面的形式分布,并随时序变化发展。用某种确定的测度标准来衡量客观实体所取得的信息,称为地理数据。任何空间现象(或地理现象)都有空间位置和地理属性,因而地理数据分为定量数据和定性数据两大类,二者都具有时间特征。

地图制图中处理地理数据时,不仅要确定其位置,提供空间属性或地理序列,而且还应该将数据类别作进一步划分。一幅地图,若将河流、道路、境界等都作为线性数据表示出来,就会因为不能详细区分而变得毫无意义。因此,描述被观察到的特征并将其划入某一组变量的最有效的方法,是按照四级精确度来划定的,通常叫做量表系统的方法,分为定名量表、顺序量表、间隔量表和比率量表。

1.定名量表

用文字或字符描述地理信息的种类或质量的差别,即是反映质的概念或某地理信息各指标的性质及存在,不反映任何数的概念。它以一个群体中出现频率最大的类别定名。例如在两个区域内种植小麦、棉花、玉米、薯类。*A* 区棉花种植面积最大,*B* 区玉米种植面积最大,它们是 *A*、*B* 区域中的众数。因此,对两个区域的代表作物命名时,*A* 区被注名:棉花,*B* 区被注名:玉米。

2.顺序量表

表示的是地理信息的顺序。可以根据某种质量标志排序,也可以根据数量概念简化为顺序量表。例如,某种产品的分级:优质品、合格品、次品、废品等,是一种质量概念,虽然这些概念的形成使用了质量的或数量的标志去衡量结果,但表示在地图上却只有一个顺序量表形成等级的概念。有一种纯粹的等级概念,是精确数据简化的结果。例如,特大城市、大城市、中等城市、小城市,它们是按数量标志划分的,但表达在地图上后只能得出一种顺序概念。顺序量表所表示的变量无起始点、单位,也不能表明差别的具体量。

3.间距量表

间距量表是一种定量数据形式。如果给顺序量表赋予一定量的概念,即利用某种单位对顺序增加距离信息,就成了间距量表。

地图上的地理信息,根据其性质,采用不同的量度单位。例如,以公顷或平方公里表示面积;以元表示产值、利润;以米表示高度、深度和距离等。在有了单位的基础上,再加上距离信息,即每个等级中包含的组距,就构成分组数据。例如,地面坡度的间距量表的表示为 0°—3°3°—6°6°—15°15°—25°25°—35°……。

间距量表数据也是没有单位的相对数据,例如,百分比的分组数据,它是由相同单位的数据相比的结果,并非原来就没有单位。例如:水稻田占全部耕地面积的百分比:

0—10　　10—20　　20—30……

但是,间距量表数据是可以没有固定零(基)点的。例如,各地按年最大温度分级:

10°—20°　20°—30°　30°—40°……

4.比率量表

这是一种完整的定量化的方法。把间距量表数据精确化,就构成了具有固定意义的精确概念的数据。例如,绝对高程、温度、降水量、城市人口、产值等,均可采用比率量表计量。大多数涉及长度、面积、体积的计量单位都是根据比率量表确定的。

地图上的数据量表系统是有序的、嵌套的,即定名量表 < 顺序量表 < 间隔量表 < 比率量表。它们之间的转换一般是不可逆的,比率量表数据可以转换为间隔、顺序、定名量表的形式,间隔量表可以转换为顺序量表和定名量表,而它们却不可以转换为比率量表。因为,在制图过程中,有一部分信息已经被舍弃了,这些被略去的信息,读者在读图时是不可能恢复的。

自然界和人类社会中,空间地理数据无限多,但都可以用地图语言(地图符号、色彩、注记)表示在地图上,以下着重介绍地图符号、色彩及地图注记。

§4.2　地图符号

地图符号也称为"图解语言"。同文字语言一样,图解语言也有"写"和"读"两个功能。"写"就是制图者把制图对象用一定的符号表现在地图上;"读"就是用图者通过对地图符号的识别,认识制图对象。和文字语言相比,图解语言更形象直观,一目了然,既可显示制图对象的空间结构(空间位置和地理属性),又能表示它在空间和时间中的变化。

一、地图符号的本质

符号的种类很多,有人们所熟知的语言的、文字的、数字的、物理学的、化学的以及地图上的符号。故地图符号只是符号应用于地图的一个子类。

地图符号本身可以说是一种物质的对象(图形),它用来代指抽象的概念,并且这种代指是以约定关系为基础的,这就是地图符号的本质特点。我们不妨从地图符号产生和形成的历史发展过程,作一番分析探讨。

原始地图并无现代地图符号的概念,更谈不上符号系统。那时的地图大多数就是山水画,实地有什么就画什么,而且越像越好。随着人们认识的不断深入,要表达的客观对象渐渐多起来了,形象的画法逐渐感到困难。例如,房屋有草棚、草房、砖瓦房、钢筋混凝土建筑,……;桥梁有石桥、砖桥、拱桥、公路桥、铁路桥、钢架桥,……,地图上不可能一一表示它们的个性,而且用图者也不需要了解如此详细的特征。因此,就需要将制图对象进行分类、分级,即用抽象的具有共性的符号来描绘某一类(级)客观对象。例如,用两种不同颜色(或晕线)符号区分建筑物的坚固的特征,用几种不同形状的符号将桥梁区分为人行桥、车行桥和双层桥等。

显然,地图符号形成的过程,涉及到作出这种"代指"的主体——制图者。制图者将错综复杂的客观对象,经过归纳(分类、分级)进行抽象,并用特定的符号表现在地图上,不仅解决了逐一描绘各个客观对象的困难,而且反映了客观全局的本质规律。因此,这一过程,实质上是对制图对象进行了第一次综合。

地图符号的形成过程,实质上是一种约定过程。任何符号都是在社会上被一定的社会集团或科学共同体所承认和共同遵守的,具有"法定"的意义。尤其在普通地图中,某些地图符号

经过多少个世纪的时间考验,由约定而达俗成的程度,被广大读者所普遍熟悉和承认。例如,黑色代表居民地、独立地物,蓝色代表水系,棕色代表地貌,绿色代表森林,河流用由细到粗的逐变线表示等。

二、地图符号的分类

根据约定性原理,采用演绎的方法可将地图符号分为三种:点状符号、线状符号和面状符号。

(1) 点状符号:地图符号所代指的概念可认为是位于空间的点,符号的大小与地图比例尺无关只具定位特征。如控制点、居民点、矿产地等符号。点状符号的基本形态可以是规则的或不规则的(图 4-1)。

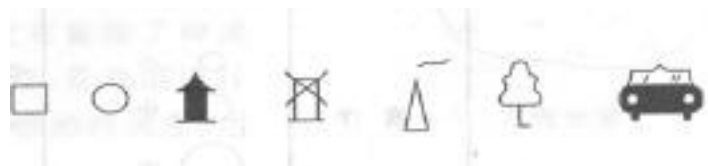


图 4-1　点状符号的形态特征

(2) 线状符号:地图符号所代指的概念可以认为是位于空间的线,符号沿着某个方向延伸且长度与地图比例尺发生关系。例如,海岸线、河流、渠道、航线、道路等。而有一些等值线符号,如等温线、人口密度线等尽管几何特征是线状的,但并不是线状符号。线状符号的形态和所代表的实地物体之间的关系有着丰富的内涵。稳定性好的物体用实线表示,稳定性差的用虚线;重要的用实线,次要的用虚线;精确的用实线,不精确的用虚线;地面上的用实线,地面下的用虚线。

(3) 面状符号:地图符号所代指的概念可以认为是位于空间的面,符号所处的范围同地图比例尺发生关系。用这种地图符号表示的有水部范围、林地范围、土地利用分类范围、各种区划范围、动植物和矿藏资源分布范围等。

将符号的类别和量表组合起来,再加上注记,便成为地图符号的基本体系,其结构见图 4-2 所示。

三、构成符号的视觉变量

(一) 视觉变量

1967 年,法国贝尔廷(J. Bertin)领导的图形实验室经过多年的探讨,提出图形外观的差别是改变了形状、尺寸、方向、亮度、色彩和密度的结果,称为视觉变量。1976 年苏联萨里谢夫将图形要素理解为“绘图方法”,可以细分为形状、尺寸、颜色、方向、亮度、(图形)结构。1984 年美国罗宾逊等在《地图学原理》中,将图形要素定名为基本图形要素,包括色相、亮度、尺寸、形状、密度、方向、位置。11 年后,1995 年《地图学原理》(第六版),作者改用“视觉变量”代替“基本图形元素”一词,可见贝尔廷的视觉变量观点,已被人们承认是分析图形要素比较合适的方法。

我们认为,视觉变量是构成图形的基本要素,它包括:形状、尺寸、方向、颜色、网纹 5 个方面。下面分别加以介绍。

1 .形状变量

是视觉上能区别开的几何图形的单体。对于点状符号来讲,符号本身就体现了形状的变量。如圆形、方形、三角形等(图 4-3(a))。在同等面积的符号中形状变异的多样化,给地图设计带来丰富的形式。线状或面状符号,是由连续的点或点的排列组成,形状变量在线状符号中是一个个形状变量的连续,在面状符号中是一排排形状变量的连续,而不是整线段或整个面积同属一个形状变量(图 4-3(b)、(c))。故两条曲折程度不同的河流、大小面积不同的两片林地,

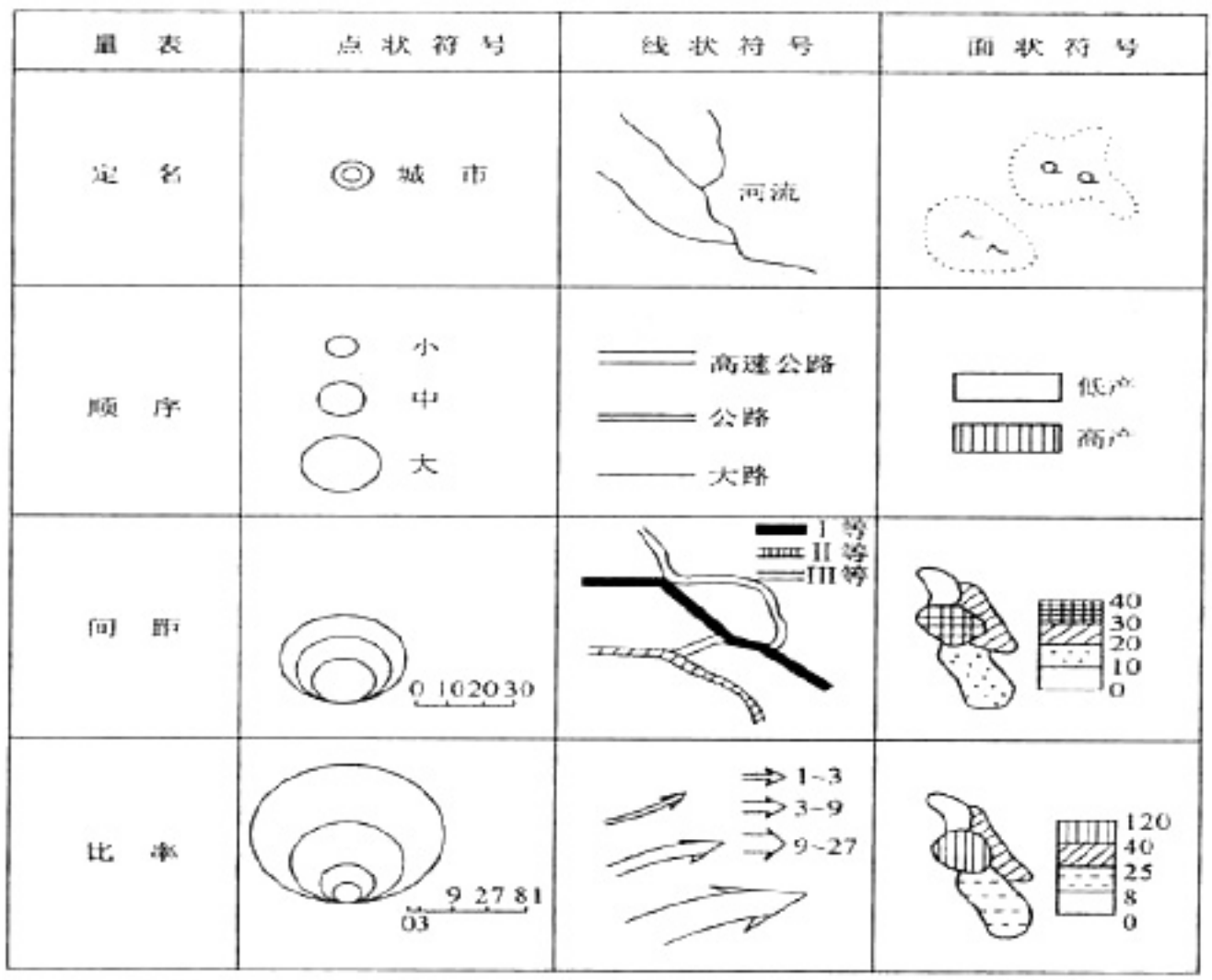


图 4-2 符号体系

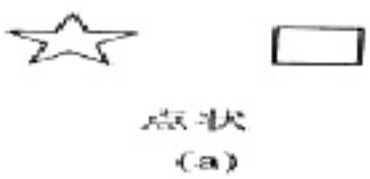


图 4-3 形状变量

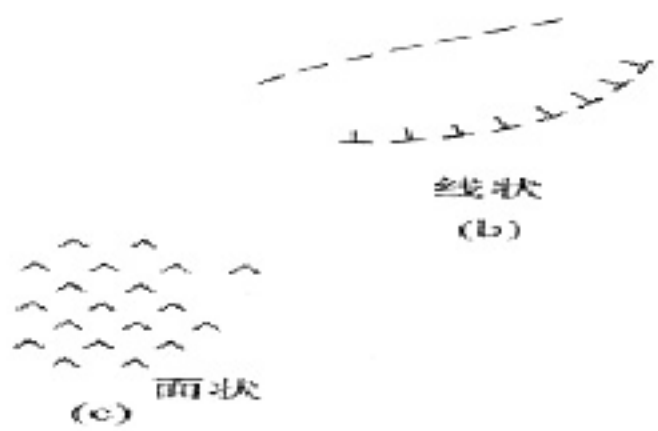


图 4-4 尺寸变量

其形状变量只有一种。

2 .尺寸变量

是组成不同形状的符号在量度上的变量。衡量尺寸变量要从几何面的直径、长、宽、高和多边形的面积作比较。图 4-4(a)是尺寸变量的形式,但图 4-4(b)图由于组成图斑的符号都是相同大小的点,因此被认为没有尺寸变量的变化。

3 .方向变量

适用于长形或线状的符号。所谓方向变化是对图幅的坐标系统而言,在整幅图中必须和

地理坐标的经线或直角坐标线成同一的交角(图 4-5)才不致混淆。圆形符号(甚至正方形符号)就没有方向之分。

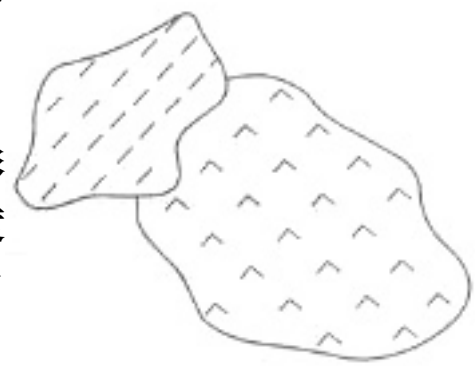


图 4-5　方向变量

4 .颜色变量

颜色变量是最活跃的一种视觉变量。颜色分彩色和非彩色,色彩具有色相、亮度和饱和度三种特性,而非彩色只有亮度特性。彩色的三种特性对制图来说各有作用,因而也可以各自成为一种视觉变量。

色相变量是颜色呈现出来质的变化。亮度变量除了构成某一种色相的亮度变化外,从黑到白的亮度渐变,是地图设计中广为应用的方法。饱和度指彩色相对于光谱色的纯洁度,当光谱色掺入其他色愈多就愈不饱和。

普通地图中的点、线、面符号和绝大多数的专题地图点、线、面符号,都单独地或组合地应用颜色变量。

5 .网纹变量

指在一个符号或面积内部对线条或图形记号的重复交替使用。网纹有许多种,可归纳为线划网纹、点状网纹和混合网纹。就网纹的组合来说,主要表现在方向、纹理和排列上,并且以整体特征被感受。

网纹的方向变量是与图廓或读者视平面相交的方向线,在面状符号中,网纹线的宽度和间距是一定的,其方向大多为水平线、对角线或垂直线,任意角度的方向线会使面状符号之间产生混淆。

网纹的纹理变量由间距相等的点或平行线段组成,线段可以是虚线、实线或波纹线。

网纹的排列变量由规则变量或不规则、抽象或象形的形状所组成(图 4-6)。亮度变量和排列变量是很容易划分的,后者图形多变,常用于定名的面状符号。

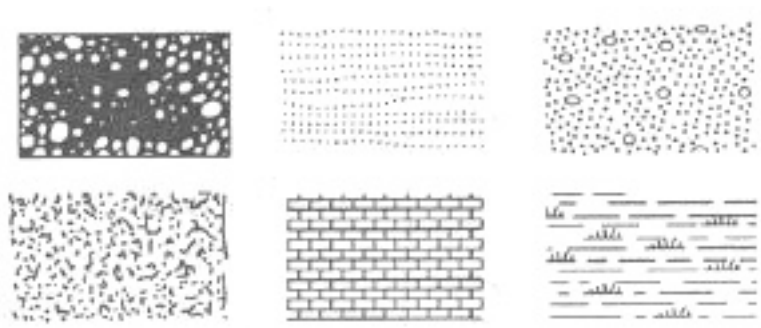


图 4-6　网纹的排列变量

(二) 视觉变量的组合

点、线、面符号在视觉变量上的关系见图 4-7。

根据空间事物相互联系的特征,以某种变量为主线,可以形成一系列的符号结构。

在点状符号中:

(1) 改变形状:如果选择铜矿的符号,可以出现图 4-8(a)中的三角形、圆形、矩形、方形作为铜矿标记在地图上。

(2) 间断形状:图 4-8(b)中的废墟、田间路、可通行沼泽,表示为次要等级,降低了符号的重要性。

(3) 附加形状:构成同一类别地物的一个亚类(图 4-8(c))。

(4) 组合形状:由两种或多种形状变量组合而成,反映地物相互联系的意义(图 4-8(d))。

(5) 改变方向:形状变量表达符号含义,若改变形状变量的方向,那么符号的意义产生变化,如图 4-8(e)的明礁、暗礁。

线状符号形状的连续变化,可以产生如图 4-9 的实线和间断线。也可以用叠加、组合和定

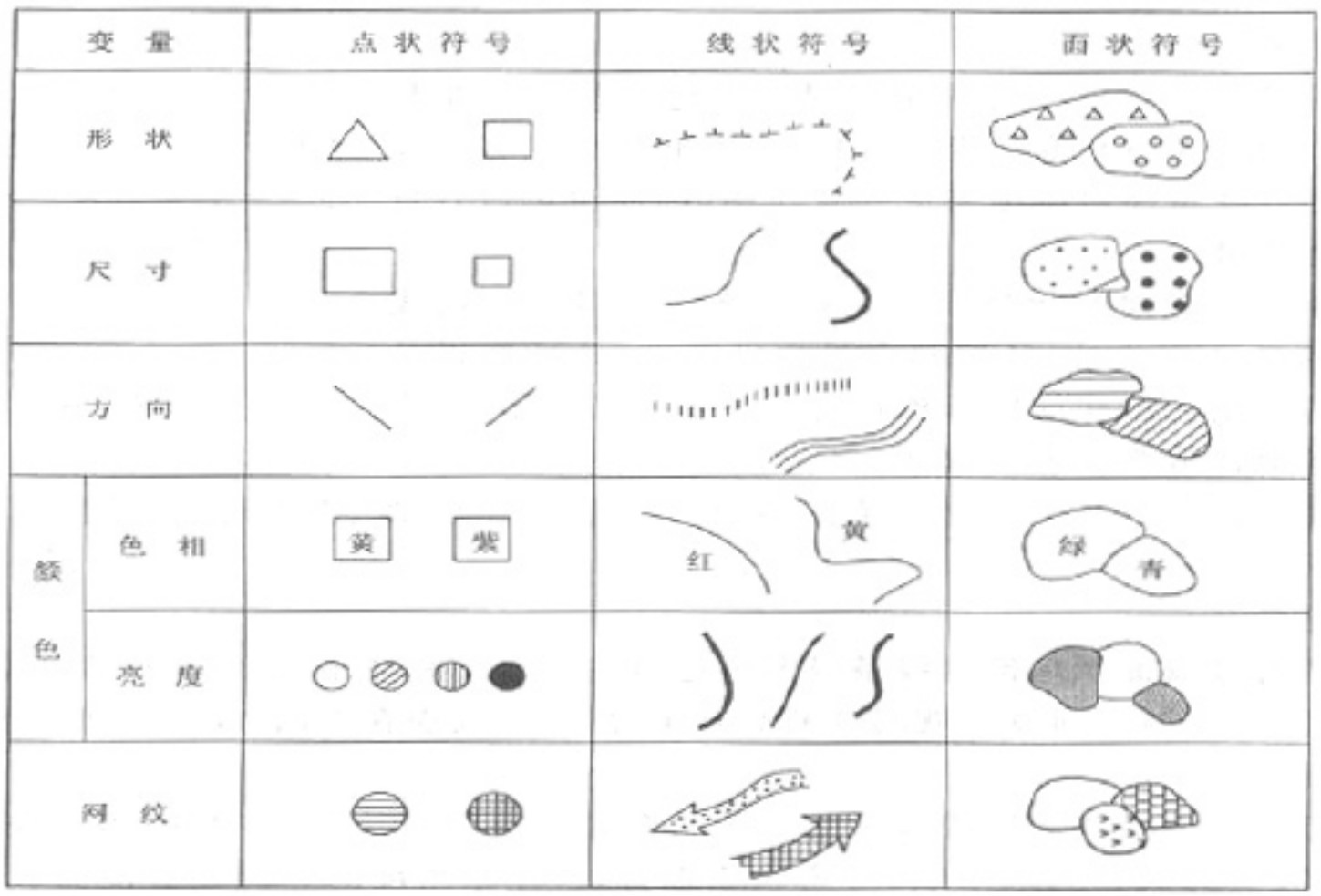


图 4-7 点、线、面在视觉变量的关系

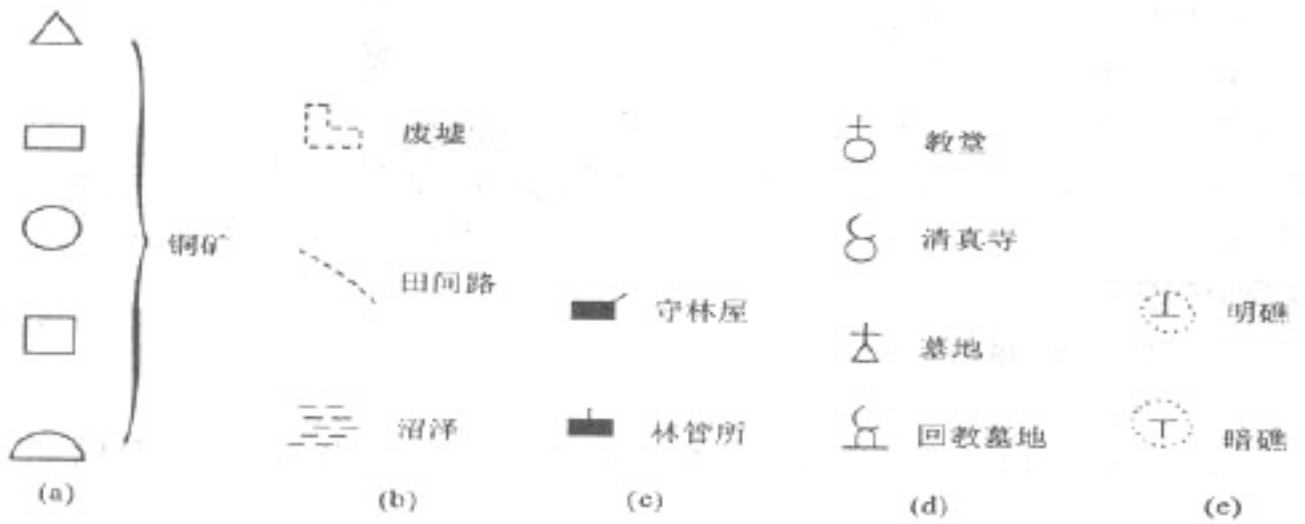


图 4-8 形状变量的组合



图 4-9 线状的变化

图 4-10 线状符号系列

向构成一个相互联系的线状符号系列(图 4-10(a))。线状符号的变化也不限于一种变量(图 4-10(b)),尺寸变量参与了线状符号的变异。

面状符号的结构中,网纹变量起很大作用,在某种意义上,网纹变量是形状变量的集合。计算机制图时,重复排列的网纹容易生成,并存储在符号库中供快速调用。

从构形而言,视觉变量产生的符号可以区分为规则的(对称的)和不规则的(非对称的)图形(如图 4-11 所示)。象形符号(如餐饮业符号)也是一种不规则符号,很难以某种变量说明它。



图 4-11　规则与不规则符号

四、地图符号的定位

每一个符号在图上都表示实地上一定的物体,大比例尺地形图要求符号具有较高的精度,但是不依比例符号都是扩大了的图形,那么符号的哪一点(或线)代表实地物体的真实位置呢?通常,在设计符号时就已经规定了符号的哪一部位代表其实地位置,这些规定的点和线,就叫定位点(主点)和定位线(主线)。

面状符号:由于其按物体真实轮廓描绘的,其轮廓本身就可以标明物体的真实位置。

线状符号:以定位线(主线)表示实地物体的真实位置,其符号的定位线具有下列规律:

成轴对称的线状符号,定位线在符号的中心线(图 4-12(a))。

非成轴对称的线状符号,定位线在符号的底线(图 4-12(b))。

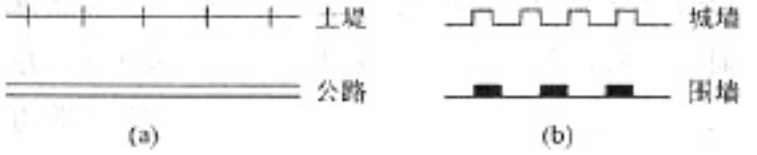


图 4-12　线状符号的定位

点状符号:其真实位置是根据图形特点确定定位点,以定位点代表相应物体的真实位置(图 4-13)。

类　别	定位点	符号及名称		
有一点的符号	在点上	三角点	亭	窑
几何图形符号	图形中心	油库	独立屋	发电厂
底部宽大符号	底部中点	水塔	气象站	古塔
底部直角符号	直角顶点	路标	突出阔叶树	突出针叶树
组合图形符号	下方图形中心	变电所	石油井	塔形建筑物
其他符号	图形中央	车行桥	水闸	矿井

图 4-13　点状符号的定位

点状符号的定位点有以下几种情况:

(1) 符号图形中有一点的,该点即为地物的实地中心位置。

(2) 几何图形符号(圆形、正方形、长方形、星形等),以图形的中心为地物的实地中心位置。

(3) 宽底符号(烟囱、水塔、古塔、独立石、独立树丛等),以底部中心为地物的实地中心位置。

(4) 底部为直角形的符号(路标,突出树),以直角的顶点为地物的实地中心位置。

(5) 几种图形组成的符号(变电所、石油井等),以下方图形的中心为地物的实地中心位置。

(6) 不依比例尺描绘的其他符号(桥梁、拦水坝、水闸、矿井、石灰岩溶斗等),以符号的中心为地物的实地中心位置。

§4.3 地图色彩

色彩在地图上的应用,使色彩成为地图语言的一个重要方面。

一、色彩的形成

我们生活在一个五彩缤纷的宇宙之中。色彩的呈现主要是由于光的照射,如果没有一点光线,物体的色彩就无法辨认。如花的色、颜料的色等,均是在光线照射下反射出来的。因此色彩(颜色)可以看成是光线照射到物体上反射(或透射)出来,进入人眼刺激眼球内的视网膜,并传至大脑神经中枢,从而产生的感觉。可见,色彩不仅有赖于光的存在,更要求有正常的视觉功能可被感觉。

下面就光的实质、物体的光学特性及颜色视觉三方面简要叙述色彩的形成。

1 .光的实质

光是宇宙中客观存在着的一种物质的运动形式,其实质是电磁波。只是频率(或者波长)不同。作用于人的眼睛的光波的长度(波长)是在 390～770nm 之间,我们把这些能看得见的光叫可见光。最大光谱敏感点约在 555nm 波长的黄绿色区。小于 390nm 的电磁波如紫外线、X 射线等和大于 770nm 的电磁波如红外线、无线电波等叫不见光谱。

可见光谱系由不同波长的单色光混合而成的复合光,叫白光。若将太阳光或白炽灯光通过三棱镜,由于波长不同的光线通过三棱镜产生的折射率不同,发生不同角度的折射:波长长的光波折射率小,波长短的光波折射率大,于是被分解成色彩鲜艳的光带,称为连续光谱。光谱的颜色按波长排列为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等色,称为光谱色。如图 4-14。

从图 4-14 中看,若将三棱镜抽去,则光谱色立即消失,还原为白色(光)。若将光谱中某一色光再通过三棱镜时,则不能分解为其他色光,称其为单色光。由于单色光之间相互连续,差别甚微,人眼很难细分,所以一般多以七种光谱色为讨论对象。单色光及其波长范围见表 4-1 所示。

表 4-1 各单色光的波长范围

光 谱 色	波 长(nm)
紫	390～450
蓝	450～480
青	480～490
绿	490～570
黄	570～590
橙	590～630
红	630～770

在可见光谱中,由于蓝色光、绿色光和红色光所占的比例较大,故划分为三个光谱区:蓝色区(390～490nm)、绿色区(490～570nm)、红色区(570～770nm),此三色区包括所有可见光谱

色。

2. 物体的光学特性

宇宙间一切物体,根据其光学特性,可分为发光体和受光体。发光体能直接向周围空间辐射光能量,并直接给人眼以色彩感觉,如太阳,各种灯、蜡烛等;受光体本身不辐射光能,而是在某种程度上吸收、透射、反射其表面、内体的色光。它之所以产生不同的颜色,主要是由于物体粒子具有选择吸收和反射入射光的特性。

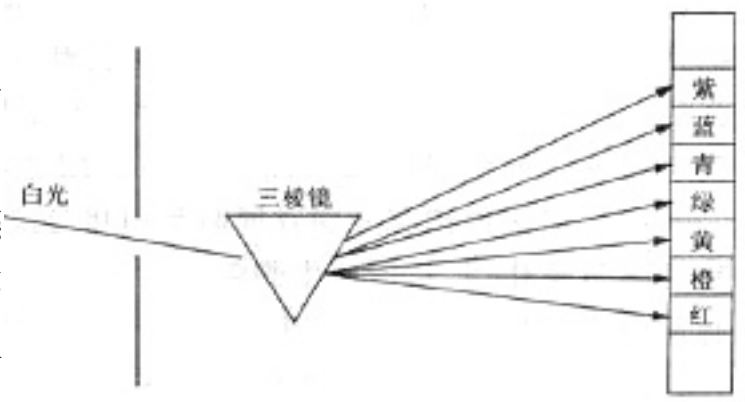


图 4-14　光的色散

物体受光照射后,入射光被物体表面分解为几个部分:一部分被直接反射出去,一部分进入内层,除部分光能量被吸收转化为其他形式的能量外,大部分经过物体内层透射出来。在反射、吸收、透射中,若物体透过的光线多,吸收和反射的少,叫做透明体;反射的多或吸收的多而透射的少,叫做非透明体或半透明体。有色透明体能透过部分色光,因此它的颜色是由透过它的色光来决定的。如绿色玻璃呈现绿色,主要是绿色光能通过,其他色光被吸收的结果。非透明体的颜色是由它所反射的色光来决定的。

颜料之所以能呈现一定的颜色,在于颜料粒子对白光中某些色光进行了选择性吸收和反射某种色光的结果。各种颜料混合后,它们的吸收量等于混合前的总和。如黄、蓝两颜料相混合,红、橙、黄色光被蓝色光吸收,青光、蓝光和紫光被黄色吸收,剩下的便是绿光(见图 4-15)。

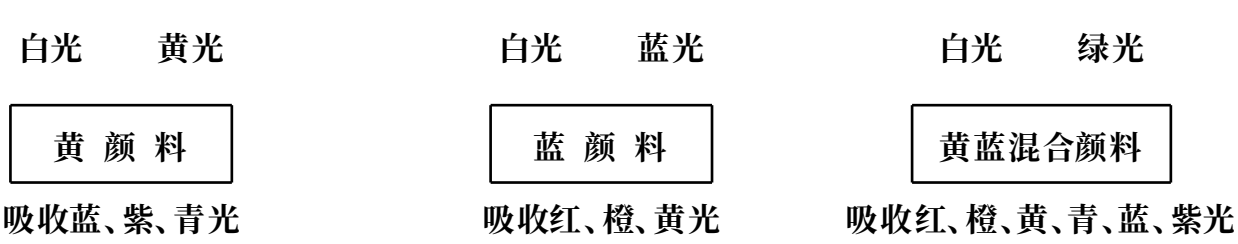


图 4- 15　颜料的选择性吸收和反射

可以看出,物体的颜色决定于选择性的吸收。而且与投影光的光谱成分也有关。白光照在深蓝色物体上,其反射光主要为深蓝色,其他色光均被吸收。若改用红光照射此物体,由于深蓝色物体吸收红光,因无反射便呈黑色。即照射物体的光谱成分不同,物体呈现的颜色也不同。换言之,只有白色光源照射下的物体,才呈现其真正的颜色。综上所述,光是能使人们感觉物体色的唯一物质,而颜色是物体化学结构和光学特性的具体反映,当光的性质发生变化时,所见色也随之变化。

3. 颜色视觉

颜色的感觉是不同波长的光波对人眼视网膜的刺激而引起的。眼睛内层的视网膜是眼睛的感光部分。它是由一些同大脑中枢神经细胞组成的。根据其形状和功能分为视锥细胞和视杆细胞。

(1) 视锥细胞:视锥细胞主要集中在正对瞳孔的网膜上,最密集处称为黄斑中心,视锥细胞逐渐减少,视杆细胞逐渐增多。视锥细胞的感光能力小,主要功能在于分辨颜色,所以是感色细胞。

(2) 视杆细胞:视杆细胞主要分布在视网膜四周,有高度的感光功能,能区分光亮度差别,

是感光细胞。虽然不少科学家都在研究视锥细胞的感色功能,但迄今广为流传的是杨-赫姆霍尔兹的三原色视觉学说。三原色视觉学说认为人眼的视锥细胞中存在着三种感色细胞,分别感受三个光谱区的色光:感红光谱区的称红细胞,感绿光谱区的称绿细胞,感蓝光谱区的称蓝细胞。其中任何两种细胞分别或同时受到相应波长的光波刺激时,经神经纤维传至大脑,在大脑中起光学组合作用,从而产生颜色感觉。如红、绿细胞同时受刺激时,便产生品红色感觉;三种细胞同时受相应色光等量刺激时,则产生白色或灰色感觉;三种细胞均未受刺激时,便感到黑色;三种细胞受到相应色光不等量刺激,则产生各种彩色感觉。人眼有了这三种基本的感色细胞,便能感觉成千上万种色彩。这就是三原色视觉学说的基本原理。

三原色视觉学说对许多学科的发展作出了很大贡献。如三原色印刷、电子分色、彩色电视等的形成和发展均与三原色视觉学说分不开。

二、色彩的利用

色彩在地图上的利用可以包括色彩三属性的利用和色彩的感觉与象征意义的利用。

1 .色彩三属性的利用

宇宙间的色彩可分为两大类:一是彩色,如红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等色;二是黑、白、灰等非彩色,称消色。消色与彩色统称色彩或颜色。凡是彩色都有共同的属性:色相、亮度和饱和度。

(1) 色相(chromaticity):色相也叫色别,是指色与色之间相貌上的差异。比如,我们看见几种不同的有色物体时,立刻就能辨认它们之间的颜色区别,如红、橙、黄等等。在地图上多用色相来表达类别的差异。例如,在地形图上多用蓝色表示水系,绿色表示植被,棕色表示地貌;在专题图上用不同的色相表现不同对象的质量特征等。

大多数的人对色相的差别都很敏感,故地图上总是用色相来区分事物的类别。但对每种颜色的敏感程度是一致的,如果不考虑精确的亮度关系,人们通常对红色最敏感,地图上总是把最重要的目标表示为红色,其他的依次为绿、黄、蓝、紫等,这就从事物重要性角度为我们提供了用色的顺序。

(2) 亮度(brightness):又叫明度。指色彩本身的明暗程度。对光源来说,光强者显示的色彩亮度大;反之,亮度小。对反射体而言,受光强而反射率高者,色彩的亮度大;反之,亮度小。

在地图上,多运用不同的明度来表现对象的数量差异,特别是同一色相的不同明度更能明显地表达数量的增减。例如,用蓝色的深浅表示降水量的大小。人们在利用亮度来设计地图时,有些是基于生理学基础的,有的是根据人们的主观反应,有的则完全是根据形成的惯例。

从生理学的角度看,人们对亮度的差别并不十分敏感。能记忆并识别出一种特定亮度的能力是有限的。在数据分级时,使用同一种颜色,仅用亮度差别的辨别能力是一致的,如果采用的本来就是淡色,可以分辨出的级别就更少。

主观反应方面最重要的是亮度变化可以传递数量变化的含义,即色调浅的地方象征数量少,深的地方象征数量大。例如,较暗的蓝色表示较深的水域,人口密度大的地区、人均收入高的地区、粮食亩产高的地区等用较深的色调来表达。但是所谓数量大小的概念对有些现象来说具有相反的关系,例如财政收入水平和赤字水平是相反的,环境质量和污染水平是相反的等。究竟用较暗色调表示哪一端,一般在用一系列的亮度级别表示各种数据时,在性质上不利的一面也用暗的色调表示,例如,财政赤字高、污染程度高、文盲率高等。

(3) 饱和度(colorsaturation):又称彩度或纯度。系指色彩接近标准色的纯净程度。光谱中的各单色光是自然色中最饱和的彩色,故称标准色。如某色越接近同色相的光谱色,其纯度越大,色彩越鲜艳;反之纯度越小,色彩越暗淡。在地图上,只有运用这一属性来调配色彩,才会收到好的效果。例如,地图上用许多颜色组合表现对象的分布范围时,一般小面积、分布范围少的多使用纯度较高的色彩,以求明显突出;而大面积范围设色则最好采用纯度低的色彩,以免过分刺眼。

任何彩色都具有三个属性,而且一种属性发生变化,其他属性也随之变化。如在高饱和度的色彩中混合白色,则亮度增加成为明色;混入灰或黑色,则亮度减少成为暗调,同时饱和度发生变化。由此,可产生种类甚多的色彩。地图上运用色彩,增强了地图各要素分类、分级的概念,反映了制图对象的质量与数量的多种变化;运用色彩还可以简化地图符号(图形差别和数量),使地图内容可以相互重叠、区分几个“层面”,提高了地图的表现力和科学性。

2.色彩感觉的利用

色彩能给人以不同的感觉。当两种或两种以上的色彩组合时,由于相互影响便给人以另一种感觉。人们对色彩的这种感觉,在许多方面是趋于一致的。

(1) 颜色的兴奋与沉静感:有些颜色如红、橙、黄色能给人以兴奋感;青、蓝、紫色能给人以沉静感;而介于两者之间的绿、黄绿等色,色泽柔和,久视不易疲劳,给人以宁静、平和之感,有中性色(黑、白、灰、金、银亦属中性色)之称。在地图设计中,常根据不同的年龄对象而选择用色。例如,供老年人用的历史用图,多用老人喜爱的沉静色;供儿童读的地图,一般都要使用刺激性很强烈的兴奋色等。

(2) 颜色的冷暖感:主要是由于人们对自然现象色彩的联想所致。如当人们看到红、橙、黄色便会联想到太阳、火焰,产生温暖感;而蓝、蓝绿、蓝紫等色使人联想到海水、月夜、阴影,使人产生寒冷的感觉,因此,一般将红、橙、黄色叫暖色,青、蓝等色叫冷色,绿与紫不冷不暖为中性色;非彩色的白属冷色,黑属暖色,灰属中性色。色彩的冷暖感在地图上运用很广泛。例如,在气候图中,总是把降水、冰冻、一月份平均气温等现象用蓝、绿等冷色来表现;日照、七月份平均气温等常用红、橙等暖色来表现等。使色彩设计与人对色彩的感觉联系起来。

(3) 颜色的远近感:人们观察地图时,处于同一平面上各种颜色给人以不同远近的感觉。例如,红、橙、黄等暖色似乎离眼睛近,有凸起的感觉;而青、蓝、紫等冷色似乎离眼睛远,有凹下感觉。因此,常将前者称为前进色(或近色),后者称为后退色(或远色)。在地图设计中,常利用颜色的远近感来区分内容的主次,主要内容用浓艳的暖色,次要内容用浅淡的灰色等,这是把地图内容表现为几个层面的主要措施。

(4) 颜色的轻重感:色彩的轻重感主要取决于亮度。如明色感到轻,暗色感到重。饱和度亦起重要作用,同一明度、同一色相条件下,饱和度高的感觉轻,饱和度低的感觉重。在地图设计中进行图面各要素配置时,不仅要注意位置的安排与组合关系,更应注意各要素色彩轻重感的运用,以使图面配置均衡。

3.色彩象征意义的利用

大自然丰富的色彩和人们使用色彩的习惯造成的长期印象,使某些色彩根据地域和民族的差异形成某些象征意义。

(1) 红色:使人联想到自然界中红艳芳香的鲜花、丰硕甜美的果实。因此,常以红色象征艳丽、青春、饱满、成熟和富于生命力;象征欢乐、喜庆、兴奋;象征革命事业的胜利、兴旺、发达和政治进步等。相反,也可用红色象征危险、灾害和恐怖等。

(2) 黄色:有如早晚的阳光和大量人造光源等辐射光的倾向色(黄),可用以象征光明、辉煌、灿烂、轻快、丰硕、甜美、芳香等。相反,可象征酸涩、颓废、病态等。

(3) 绿色:称之为生命之色,可作为农、林、牧业的象征色;还可以象征春天、生命、活泼;象征和平等。

(4) 蓝色:使人联想到天空、海洋、湖泊、严寒等,象征崇高、深远、纯洁、冷静、沉思等。

(5) 白色:易使人联想到太阳、冰雪、白云;象征光明、纯洁、寒凉等。

(6) 黑色:黑色的象征性可分为两种:第一用以象征积极,如休息、安静、深思、考验、严肃、庄重和坚毅等;第二用以象征消极,如恐怖、阴森、忧伤、悲痛和死亡等。

在地图上,主要利用色彩的自然景色象征和政治意义的象征,丰富地图的信息量,加强其传输效果。几乎在所有国家的普通地图上,各要素的用色都大同小异地成了习惯——水系用蓝色、森林用绿色、地貌用棕色等,这就是自然景色的象征性的具体应用;地图上用红色(箭头)表示暖流,用蓝色或绿色(箭头)表示寒流,用红色或橙色表示七月份等温线,用蓝色表示一月份等温线;在世界地图上习惯用红色显示我国领土范围,象征社会主义祖国欣欣向荣;用红旗、红五星、红色箭头表示革命力量,象征革命进步……。

三、色彩的表示

有效地选择色彩,需要对其表示有基本的了解。

1.孟赛尔色立体

孟赛尔根据彩色的色相、亮度、彩度三种特性,设计成一个孟赛尔色立体(图4-16)。10个色相构成色带环绕色立体,每一色相又可分为份,5的位置标志色相的纯色,色环上有100个不同的色相,如5R、10B、8G,分别标志一个特定的色相。

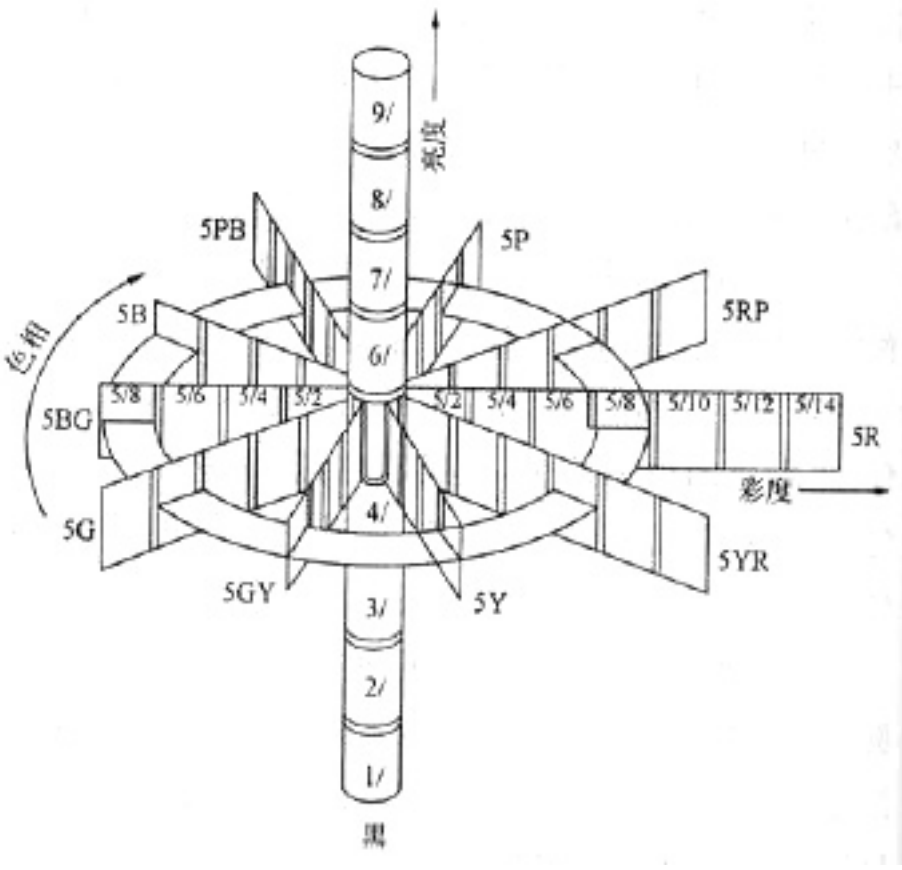


图4-16 孟赛尔色立体

色立体的垂直轴表示亮度,分为10度,该轴与色相盘正交于中间灰"5"位置,轴顶为10(白),轴底为0(黑)。亮度标记放在垂直轴刻度边上,并加斜线(7/,5/等)。

彩度指标用每一色带向亮度轴方向以2,4,…,14的分级渐变来表示,当某色接近亮度轴时,彩度就变得较弱(如6、4、2级),也更不饱和。反之14级为最饱和。彩度的标记在亮度值斜线后加数字,如/4。

一个完整的孟赛尔色标记号为10BG2/4,表示一种灰暗的蓝绿色。

2.色谱和色库

色谱是建立在采用网点进行四色印刷基础上的表示系统,它以减色原色及纹理变量的晕点为基础。减色原色选用黄、品红、青、黑四种油墨作为彩色印刷的基本色,在复制技术中简称四色印刷。通过对任何彩色印刷图斑的放大观察,可以发现这些图斑并不是致密的平色,而是四种基本色网点按一定规律的叠合。在地图印刷时,有时也不止只用四色印刷,如地图上有些

点、线状地物本身只有 0.1mm 的宽度,若用减色原色叠印,很难保证套印精度,所以也常采用另外的一些彩色油墨专门印刷,如用棕色印刷等高线,大红色印刷道路,我们称这些油墨色为专色。当专色油墨参与色谱系统的编排时,色谱的数量超过 10 万个。在电子出版系统中,常配备色库供制图时调用,它可以产生几十万种有效的彩色。

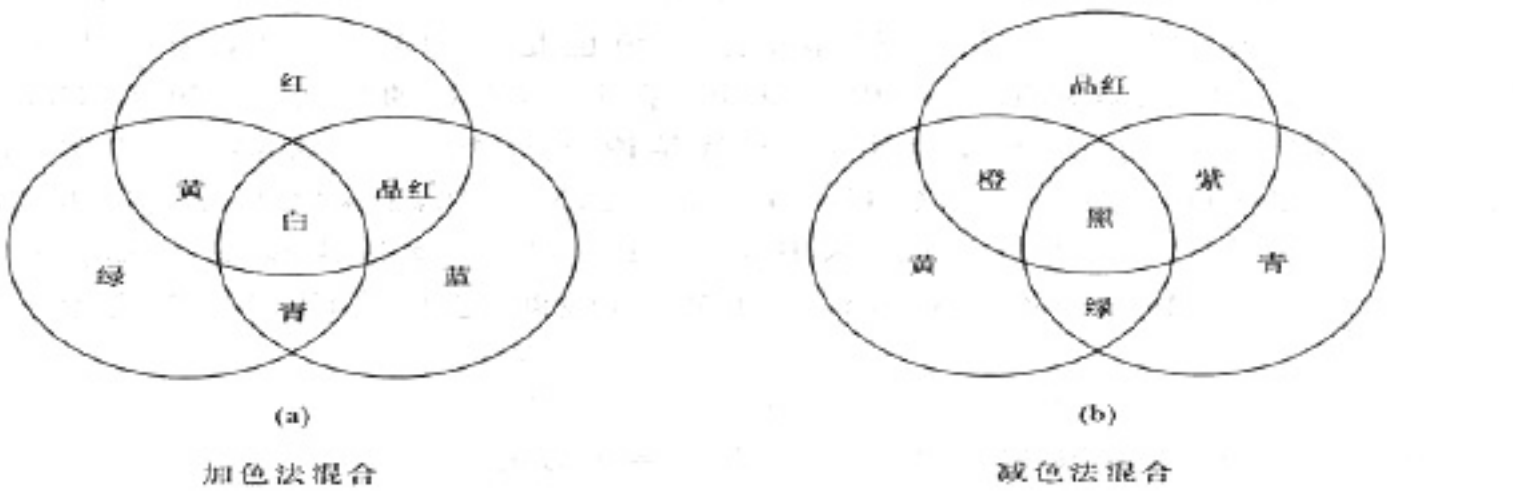
四、色彩的混合

两种或两种以上色光或颜料混合构成一种新的色,称为色彩的混合。它可分为加色法混合与减色法混合两种。

1 .加色法混合

利用两种或两种以上的色光相混合,构成新的色光的方法,称为加色法混合。计算机上阴极射线管屏幕上的色彩,即是依据加色法原理产生的色彩。

色光的三原色为红、绿、蓝,它们对应的波长分别为 700nm,546.1nm 和 435.8nm。间色是由两原色光双双混合而得,等量相混可得三种标准间色,分别为黄、品红、青。补色为任二原色光混合而成的色光,与另一原色光相对,即为互补色光。如红光与青光、绿光与品红光、蓝光与黄光等皆是。补色光相加为白色。色光混合后,明度增大,混合后彩色更鲜明等(图 4-17(a))。



加色法混合　　减色法混合

图 4-17　加色法与减色法混合

2 .减色法混合

利用色料(颜料、染料及涂料等)混合或颜色透明层叠合的方法获得新的色彩,称之减色法混合。

色料和有色透明层呈现出一定的颜色,正是由于白光中某些色光被选择性吸收以后剩余的色光。若色光被吸收的越多,则剩余色越晦暗,其亮度也越小;若三原色光或互补色光部分或全部被吸收,则混合色呈深灰色或黑色。

减色法混合的三原色为黄、品红、青,正好是加色法中三原色的补色,故称为三减原色;由两种色料原色混合而得之色,称为间色,又称第二次色。三个标准间色为橙、紫、绿。减色法中互补色有品红与绿、黄与紫、青与橙等。补色相加均为黑色;减色法混合后,总明度降低,混合后的色彩更灰暗(图 4-17(b))。

由上可见,不管是颜料绘制的色彩,还是通过油墨印刷的色彩,都是减色法混合而成,与我们在计算机屏幕上所看到的色彩,是有差异的,但如果计算机在图像输出之前利用一定的算法

将加色法标定的色彩能转换成减色法标定,就可以在屏幕上见到以后在硬拷贝上输出的色彩,那么地图设计(和其他相关的图像设计)就变得十分方便和实用了。

五、计算机中色彩的表示

1. 彩色模型

由前面介绍可知,三种原色常见有两种选法。一组是红、绿、蓝,取其英文单词前一个字母合起来,简称 RGB 彩色模型;另一组是青、品红、黄,取其英文单词前一个字母合起来,加上黑色 K,简称 CMYK 彩色模型。在彩色印刷中,一般用 CMYK 模型,其中一个原因是用自然界中的物质生产这几种颜色的油墨比较容易。从原理上讲,有 C、M、Y 就够了,但实际生产中由于质量上的原因,黄、品红、青的油墨进行等量混合之后得不到真正的黑色,即不够黑,因此要加黑色油墨。另外,印刷中文字绝大部分是黑色。从节约油墨的角度来考虑,加上黑色油墨也是必要的。

2 .表示方法

在计算机中,表示颜色有两种方法:一种方法是分级。一种原色(基色)可用 8 位二进制数表示,共描述 $2^8 = 256$ 种状态,即三原色各分 256 级。取值从 0～255;三种原色的色阶组合为 $256^8 \approx 1\ 600$ 万种。值越大,这种成分就越多,如 R = 128,G = 64,B = 0,是红中带黄(红橙)色;另一种方法是给出百分比,例如上述所举的颜色是 R 占 128/ 255×100% = 50%,G 占 64/ 255×100% = 25%,B 占 0%。用 CMYK 模型描述彩色也是类似的,如果 K = 0,那么 C、M、Y 分别可以取值 0～255,百分比分别取 0～100%之间。在 K 不为 0 的情况下,颜色(C_1,M_1,Y_1,K_1)与颜色($C_1 + K_1$,$M_1 + K_1$,$Y_1 + K_1$,0)等价,也就是说将 K 的含量‘转移’到 C、M、Y 的含量之中就行了。如 C = 32, M = 128, Y = 255, K = 0 与 C = 0, M = 96, Y = 223, K = 32 是等价的。

如果给出了颜色的 RGB 值,怎样求其 CMYK 值呢?反过来说如果知道颜色的 CMYK 值,怎样来求 RGB 值呢?RGB 与 CMY 是互补色,因此,它们之间有一个简单的换算关系,即 K = 0 时:

$$R = 255 - C;\ G = 255 - M;\ B = 255 - Y$$

$K \neq 0$ 的情况可利用上述方法将其转化为 K = 0 的情况。

六、色彩的配合

色彩配合就是根据配色的对象、目的和条件,利用颜色表达现象的性质、特征和作者的意图,通过色彩的对比与协调规律,给人以美观悦目的感觉。任何色彩的配合,常常是两个以上的色彩配合。地图设色尤其如此,以几种底色、彩色线划符号及彩色注记相配合。但是,不论色彩配合形式变化如何,其配合类型有以下几类。

1 .同种色配合

将任一色相逐渐变化其亮度或饱和度(加白或黑),构成若干个色阶的颜色系列,称为同种色。如淡蓝、蓝、中蓝、深蓝等同种色配合在一起,就叫同色配合。

同色配合系统分明、朴素雅致,容易获得协调的图面效果。配色时须注意各色明暗或浓淡差别,相邻两色的亮度勿过于接近,以免出现单调乏力的感觉。但也不宜相距过远,反差过大,造成明暗对比强烈失去亲和关系。

2 .类似色的配合

色环上,凡是在 60°范围以内的各色均为类似色,又称同类色。如红、红橙、橙等(图 4-18)。利用类似色配合在一起,称为类似色配合。类似色之间有差别,但差别不大,因各色之间含有共同色素,如橙、朱红、黄都含有黄的色素,所以,配合在一起容易协调一致。

以上两种配合方法均属于调和色的配置。在地图中,常用来表示现象的数量变化,如积雪量、日照时数、降水量、气温和人口分布等。

3 .原色的配合

品红、黄、青三原色配合在一起有单纯、原始、强烈的感觉。由于原色配合在一起容易给人一种对比强烈的感觉,所以在地图上常用来表示现象的质量差别(分类)。如地貌类型、土壤类型、地质类型等,以及专题地图中的组合结构符号等。

4 .互补色的配合

色环上,凡相对 180°的两色配合,称之互补色的配合,如黄和紫(图 4-18)。互补色并列时,有相互排斥、对比强烈、色彩跳跃、新鲜的效果。因此,补色配合运用得好,能使图面色彩醒目、生气勃勃,能衬托出主体。相反,配合时若不注意色彩的协调,也会产生生硬、刺目等弊病。

在地图中,若必须采用互补色配合,须将互补两色变淡或变暗,使其成为明或暗调,它们虽然仍保持着互补色关系,但对比感减弱了,容易取得协调的效果。



图 4-18　色环

5 .对比色的配合

在色环上,任意一色与之相隔 90°以外,180°以内的各色之间的配合,称之对比色的配合,如红与黄、橙与绿(图 4-18)。对比色配合,各色之间的差别比类似色配合强烈,所以比较容易协调。为避免对比过于强烈,可适当改变各个对比色的亮度或饱和度,使之配合协调。

6 .综合色的配合

将上述对比色和调和色结合在一起配色,称之综合色的配合。如补色与类似色的配合,以及各种彩色与金、银、黑、白、灰等中性色的配合等。这种配合法比较方便,因为配色的活动范围大,能给配色者带来许多灵活性。

关于色彩的配合是一个复杂的课题,但其实质是研究色彩的对比与调和规律。

1. 色彩的对比

当两种以上的色彩放在一起比较,能清楚见其差别时,它们的相互关系,称为色彩对比关系,简称色彩对比。色彩的对比可分为以下几类。

(1) 色相对比:把同一个颜色放在不同色相的底色上时,该色相给人以不同的感觉。这种因色相之间互相作用而产生的色相差叫做色相对比。它有互补色对比、对比色对比、类似色对比及同种色对比之分。

(2) 亮度对比:把同一个颜色放在亮度不同的底色上时,该颜色呈现的亮度给人的感觉不同,这种因底色的对比(衬托)影响其亮度的现象叫做亮度对比。

亮度对比有二种:一是同种色相不同亮度的二色对比,比较的感觉是深者更深,浅者更浅,如深红与浅红对比,深红显得更深,浅红更浅;二是不同色相的二色对比,由于不同色相的颜色具有不同的亮度,亮度大的色相显得更亮,亮度小的色相显得更暗,如黄与深蓝对比,黄色显得更亮,深蓝则显得更暗。

亮度对比是其他对比的基础,是决定配色的明快感、清晰感等的关键。这对于地图设色尤其重要。地图上每选用一种颜色,不仅要注意其色相,更要注意其亮度对比效果。

(3) 饱和度对比:主要有鲜明色(饱和度高的)与灰调色(饱和度低的)对比;鲜明色与鲜明色对比;灰调色与灰调色对比三种。

鲜明色与灰调色对比时,前者显得更纯、更艳,后者显得灰而平淡;鲜明色与鲜明色对比,若两色亮度相等,则差别极小;若两色亮度悬殊,弱者更弱,强者更突出;灰调色与灰调色对比,若两色的色相、饱和度接近,虽有变化但比较调和,相反,两色的色相、饱和度差别大,如深红灰色与浅灰色对比,前者鲜艳,后者平淡,但两色的刺激力小。

2. 色彩的调和

色彩的调和是指有明显差别的、对比强烈的色彩经过调整与组合之后,形成和谐、美观的色彩关系。

一幅画(图)上的色彩,若无对比则显得单调;若无协调就不能产生美感。因此,它们既对立又统一。要使整个画面的色彩达到美观的效果,必须注意运用色彩的对比、调和关系。为使对比强烈的色彩达到协调统一的效果,可采取以下措施:

(1) 减弱:两色对比较强烈时,除色相因素外,主要是亮度或饱和度过大、过高。此时可将一色或两色的亮度或饱和度适当减弱一些,或者同时把两色的亮度或饱和度作适当减弱,既可过到调和效果。

(2) 隔断:对比强烈的两色并列在一起,很难获得良好效果,如果在两色之间用黑、白、灰消色或金、银色线条将两色隔开,也可达到调和效果。

(3) 渐变:两种对比强烈的颜色相接时,两色分别采取色层互相过渡,使一色向另一色渐变,也可以减弱明显的对立现象。

(4) 渗透:将对比强烈的两色中任一色的色块渗透到另一色区域中去,或两色各向对方渗透,也能起到缓冲对比的作用。

(5) 改变面积:两色对比,双方的色相、亮度、饱和度均不变时,双方的面积越接近或越大,调和效果越弱;面积越悬殊或越小,调和效果越强。但当对比强烈的两色面积相等或接近而不易调和时,可适当改变某一色的着色面积,可达到调和效果。

(6) 增加共同色素:在不调和的两色或多色之间,加入媒介色使其调和,如在黄、红、蓝、绿、紫中分别加入微量的黄色,则五色逐渐偏黄而调和,形成统一色调而达到调和。

掌握色彩的配合技巧,除懂得色彩基本理论及其配色方法外,还要善于观察、体会各种自然色彩的特点,如植物、花卉、羽毛、贝壳及大理石的花纹等,都可以作为学习和模仿的对象。其他还有邮票、各种装饰图案以及国内外优秀地图集的配色效果,都是值得借鉴的。总之,只要善于观察、体会、多多实践,不断地提高自己的审美能力,是可以掌握色彩配合的技巧的。

七、色彩的选择

现代地图已进化到多使用彩色符号(点、线、面状)来表示信息,其主要原因是色彩具有强烈的表现力的缘故。它不仅能清晰地表现制图对象而使人们易于理解和认识,而且由于地图色彩协调而有韵律,使人产生强的艺术感染力,增强地图的传输效果。因此,彩色地图实质上就是利用不同颜色的符号来显示五彩缤纷的客观世界的形象化模型,色彩的合理配合,就是建立这种模型不可缺少的措施。

(1) 符号色:主要指点状符号(包括注记)与线状符号的颜色。适用于定名量表的设色,这

些要素由于在图上面积很小,为了使其明显突出,通常要使用饱和度大的色彩,使其构成较强烈的对比,而易为人们所感知。

(2) 面积色:一般包括两种。一种是表示分布范围的面积色,如普通地图上,植被的分布,专题地图上的各种专题现象如水稻、棉花、小麦、地震等的分布,通常都要设比较重的颜色,使其分布明显、突出;另一种是表示质量底色的面积色,如各种区划设色,如行政区划、地质及土壤质量区别等,通常面积范围大,宜用明度较大、饱和度较低的色彩,这样可以反衬各种符号,形成层次对比。如果是属于邻区的设色,往往用饱和度低的色彩,使其退居到后面。

§4.4　地图注记

一、地图注记的功能

地图注记主要有标识各种对象,指示对象的属性和转译等功能。

(1) 标识各种现象:各种地理名称,如北京、南极、纬度 38°、太平洋等。它们与地图符号(居民地、经纬线、海洋等)配合,形成地理名称与地物之间的映射关系,以便地图的阅读。

(2) 指示对象的属性:有各种说明性注记,如森林符号中注记"松",补充说明森林的性质以松树为主;塔形符号注以"伞",即指跳伞塔;管线符号注以"油",即指为输油管;道路的路面上注某个数字,表示其路面宽等。

(3) 转译:主要体现在地图亦需要通过文字说明才能使读者了解地图符号的真实意义方面,否则将无法实现由地图符号所担负的信息传输功能。

系统地利用注记的字体、尺寸、颜色,使其成为空间信息归类的手段。例如在普通地图上,通常黑色表示人文地物,蓝色表示水文要素,棕色表示地貌,绿色表示植被。注记的尺寸反映地物的重要程度,注记的字体则反映地物的级别,例如居民地按行政意义分级时,等线体、宋体、仿宋体、细线体分别注记省会、市、县、镇和乡的驻地。所以注记在地图上的出现和排列的好坏影响空间信息的表达及地图的阅读。

二、地图注记的要素

地图注记的要素包括字体、字大、字色、字隔、字位等,它们使地图注记具有某种符号性意义。

(1) 字体:是指地图上注记的体裁。我国地图上使用的汉字体繁多,主要有等线体及其变形体、宋体及其变形体、仿宋体、隶体、魏碑体及美术体等。

字体的不同主要用于区分不同现象的类别,例如,多用宋体和等线体表示居民地等地理名称,从而加强了地图上信息的分类概念(图 4-19)。

(2) 字色:指注记所用的颜色。它和字体一样,主要用于强化分类概念。我国地形图上注记用色一般与被注记要素的颜色一致,例如等高线高程注记用棕色,水系名称注记用蓝色。

(3) 字大:指注记字的大小。其大小在一定程度上反映被注信息的重要性和数量等级。现象之间的等级关系是人为确定的,表达了人对现象之间关系的认识。等级高的地物,其相应名称的地位越高,作用亦越大,因而赋予其注记大而明显,反之,则小。

(4) 字隔:是指相邻字间的空白距离。字隔最小可为零,最大为字大的若干倍(通常最大为 4～5 倍)。字隔 0～0.5mm 者称为接近字隔,1～3mm 者称为普通字隔,当字隔为字大的 1

字体式样			用途
宋体	正宋	成都	居民地名称
	宋变	湖海 长江	水系名称
		山西 淮南	图名、区划名
		江苏 杭州	
等线体	粗中细	北京 开封 青州	居民地名称细等作说明
	等变	太行山脉	山脉名称
		珠穆朗玛峰	山峰名称
		北京市	区域名称
仿宋体		信阳县 周口镇	居民地名称
隶体		中国 建元	图名、区域名
新魏体		浩陵旗	
美术体		台湾省图	名称

图 4-19 地图注记的字体

～5 倍时称为隔离字隔。

地图上注记点状物体,都使用接近字隔注记,注记线状物体则采用普通字隔或隔离字隔注出,当线状物体很长时还须分段重复注记;注记物体时,常据其所注面积大小而变更其字隔,所注图形较大时,亦应分区重复注记。

(5) 字位:是指注记说明对象所安放的位置。字位的选择须注意以下几点:

① 能确切说明被注物体,与附近的注记或其他要素不发生混淆(图 4-20)。



图 4-20 河流名称标注举例

② 字位选择适应读者习惯。例如居民地和独立符号的名称注记,其字位可按图 4-21 所指的顺序进行选取。山名和高程注记配合的字位选取可按图 4-22 所列的方案进行。

③ 注记不压盖重要地物或地貌(图 4-23),不压盖地形特征变化处(山脊)。

④ 注记离被说明要素不能太近,一般不小于 0.2mm。当然,离被注要素也不能太远,一般不超过半个字大。

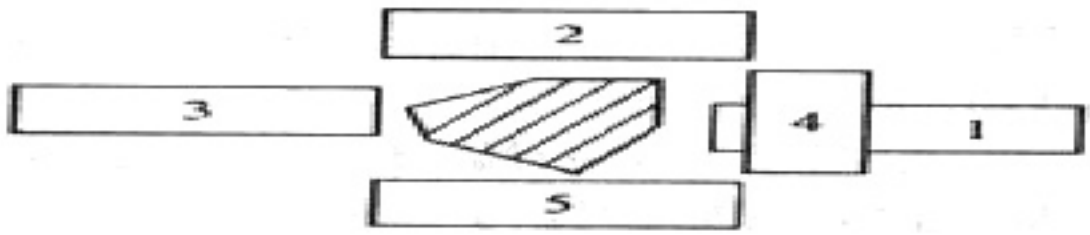


图 4-21　居民地和独立符号名称注记方案图

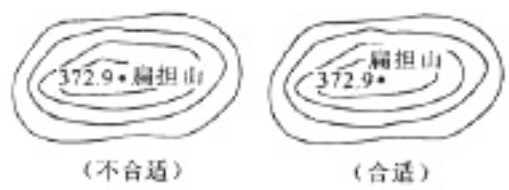


图 4-22　山名和高程注记方案图

三、注记布置

根据被注记物体的特点,注记可有各种布置方式。按注记文字的分布特点,注记布置分为联列式和散列式注记。前者字隔较小,一般采用接近字隔或普通字隔,后者采用隔离字隔。按注记文字排列走向,注记布置有水平字列、垂直字列、雁行字列、屈曲字列 4 种图(4-24)。

图 4-23　山名注记举例

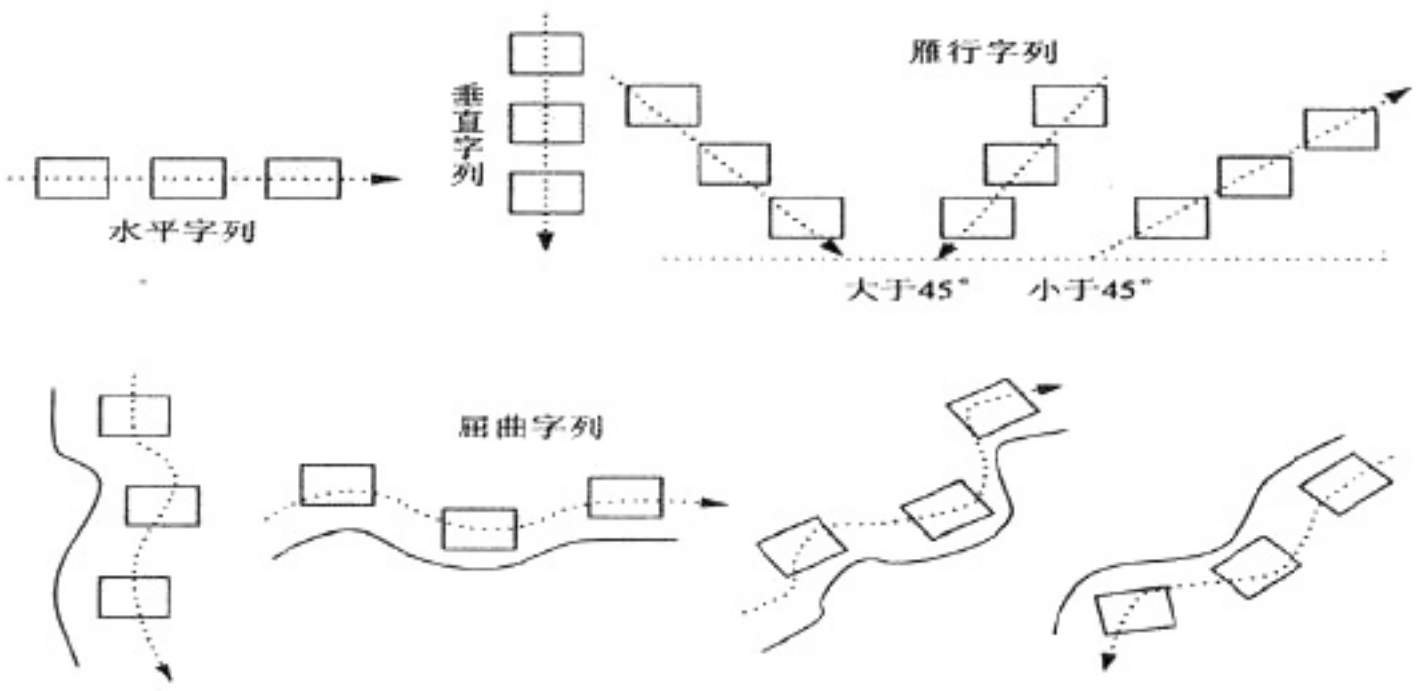


图 4-24　注记布置类型

(1) 水平字列:同一注记中各字连线与图廓底边(东西向)平行,字向直立。适用于较小物体或东西向延伸物体的注记。

(2) 垂直字列:同一注记中各字连线与图廓底边垂直,字向直立。适用于南北走向物体的注记。

(3) 雁行字列:同一注记中各字连线与被注物体走向平行,且尽可能成一直线或近似直线,字向直立。

(4) 屈曲字列:同一注记中各字连线与被注物体走向平行,但连线可成自然弯曲的曲线,且字向随物体走向而变。

思考题

1. 地图符号按事物的分布状态可以分为哪几类？

2. 地图注记的基本要素有哪些？

3. 地图注记的布置形式有哪几种？

4. 人眼为什么能感受到各种色彩？

5. 加色法三原色与减色法三原色在色相上互为什么色，加色法中互补色混合得什么色，减色法中互补色混合得什么色？

6. 颜色空间有哪几种？它们之间的关系如何？

7. 使对比强烈的色彩达到调和，常采用的手法有哪些？

8. 绘出下图中通过各组滤色片的色光。

第五章　普通地图

普通地图是以相对平衡的详细程度表示地面各种自然要素和社会经济要素的地图。普通地图上主要表示水系、地貌、土质植被、居民地、交通线、境界线等六大的要素。

§5.1　普通地图的类型和内容

普通地图按其比例尺和表示内容的详细程度,可分为地形图和地理图。

(1) 地形图:其特点是详细而精确地表示内容的详细程度,尤其突出表示具有经济、文化和军事意义的地物。这种图多是实测的或根据实测地形图编绘而成。它们有统一的大地控制基础、统一的地图投影和分幅编号,作业严格按照测图规范、编图规范和图式进行。由于地图内容详细,精度很高,因此可以进行图上量测和供野外实地使用,也能作为军事指挥、国家各项建设的基础资料和制作其他地图的基本依据。

(2) 地理图:其特点是地图内容概括,图形经高度综合,反映广大区域地理现象的主要特征。它是由大比例尺地图编绘而成的,没有统一的地图投影和分幅编号系统,制图区域范围根据实际需要决定,因此有的幅面较大,有的幅面较小。多用于研究区域的自然、地理和社会经济的一般情况,也可作编制专题地图的底图。

普通地图的内容包括数学要素、地理要素和图外要素三大类(图 5-1)。

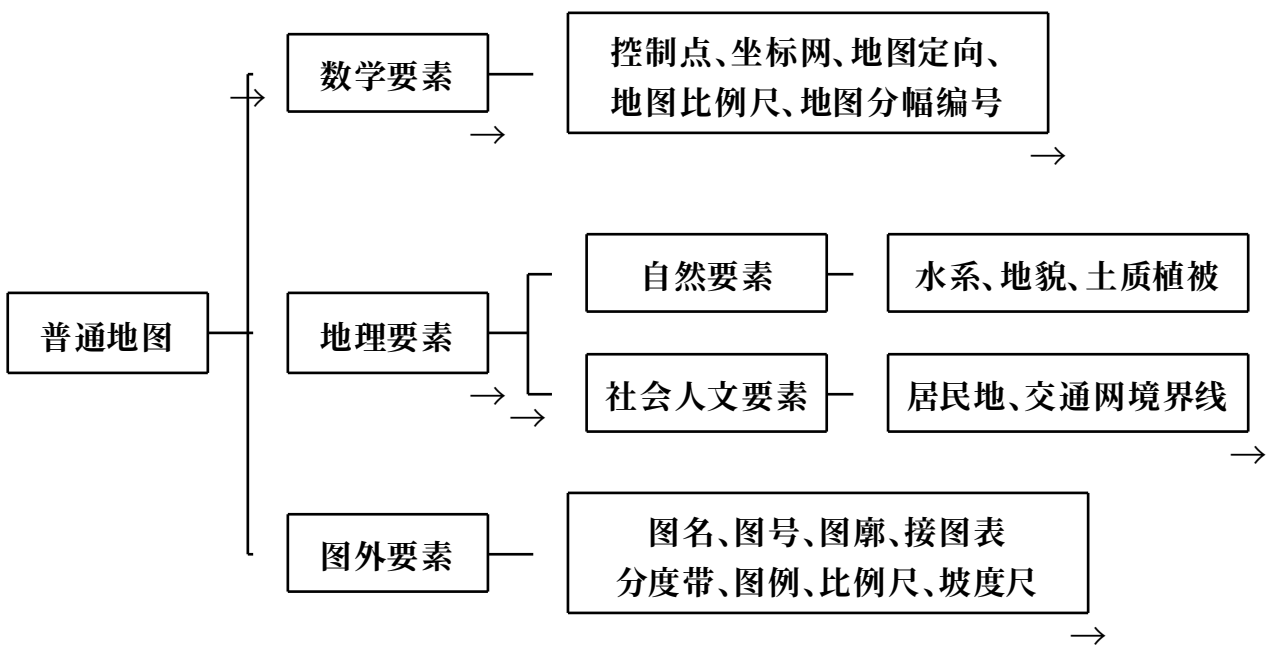


图 5-1　普通地图的内容

地图的数学要素在第三章已经介绍,这里仅讨论地理要素和图外要素。

§5.2 自然要素的表示

一、水系的表示

水系是地理环境中最基本的要素之一,它对自然环境及社会经济活动有很大影响。水系对地貌的发育、土壤的形成,植被的分布和气候的变化等都有不同程度的影响,对居民地、道路的分布,工农业生产的配置等也有极大的影响。在军事上,水系物体通常可作为防守的屏障,进攻的障碍,也是空中和地面判定方位的重要目标。因此,水系在地图上的表示具有很重要的意义。

(一) 海洋要素的表示

地图上表示的海洋要素,主要包括海岸和海底地貌,有时也表示海流、海底底质以及冰界、海上航行标志等。

1. 海岸

(1) 海岸的结构:海水不停地升降,海水和陆地相互作用的具有一定宽度的海边狭长地带称为海岸。海岸是由沿岸地带、潮浸地带(干出滩)和沿海地带三部分组成(图 5-2)。

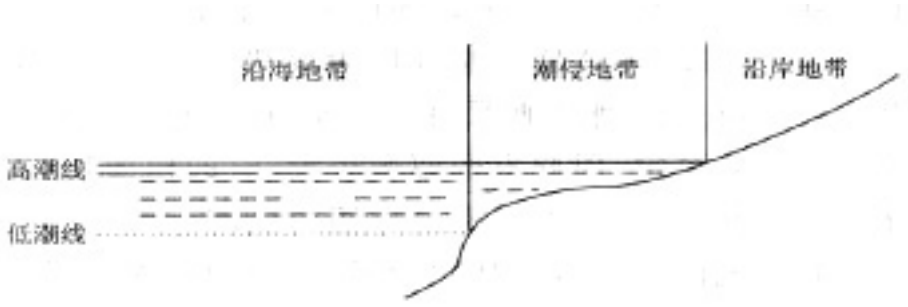


图 5-2 海岸结构

(2) 海岸的表示:沿海地带和潮浸地带的分界线即为海岸线,它是多年大潮的高潮位所形成的海陆分界线。在地形图上海岸线通常都是以蓝色实线来表示;低潮线一般用点线概略地绘出,其位置与干出滩的边缘大抵重合。

潮浸地带上各类干出滩是地形图上的表示重点,它对说明海岸性质、通航情况和登陆条件等很有意义。地形图上都是在相应范围内填绘各种符号表示其分布范围和性质。

海岸线以上的沿岸地带,主要通过等高线或地貌符号显示,只有无滩陡岸才和海岸线一并表示。

沿海地带重点是表示该区域范围内的岛礁和海底地形。

小比例尺地图上海岸的表示也大同小异,主要不同在于:为强调陆地的轮廓并与水部区分得更加清楚,常常将海岸线加粗表示,但有时又允许用变线划的方法适当改变岸线符号的粗度,以便强调岸线的细部如沙嘴、小岛、泻湖的特征;对于潮浸地带上的干出滩表示得较为概略,例如只区分表示岩岸、沙岸、泥岸等几类。

2. 海底地貌

海底地貌十分复杂,根据地貌的基本轮廓可分为大陆架(又称大陆棚、大陆台、大陆浅滩)、大陆坡和大洋底三部分。大陆架一般深度在 0～200m 左右,宽度不一,坡度平缓,地势起伏复杂,有一系列沙洲、浅滩礁石、小丘、垄岗、洼地、溺谷、扇形地和平行于海岸的阶状陡坎等;大陆坡又称大陆斜坡,是大陆架和大洋底的过渡地带,一般深度在 200～2 500m 之间,坡度较大,最大坡度达 20°以上,常被海底峡谷切割得较破碎;大洋底又称大洋盆地,这是海洋的主体部分,一般深度为 2 500～6 000m,地形起伏较小,但也有巨大的海底山脉、海沟、海原、海盆、海

岭、海山等。

(1) 深度基准面:深度基准面是根据长期验潮的数据所求得的理论上可能最低的潮面,也称“理论深度基准面”。它在很多地区比我国以前曾经使用过的“略最低低潮面”还要低 0.2～0.3m。地图标明的水深,就是由深度基准面到海底的深度。

海水的几个潮面及海陆高程起算之间的关系,见图 5-3。

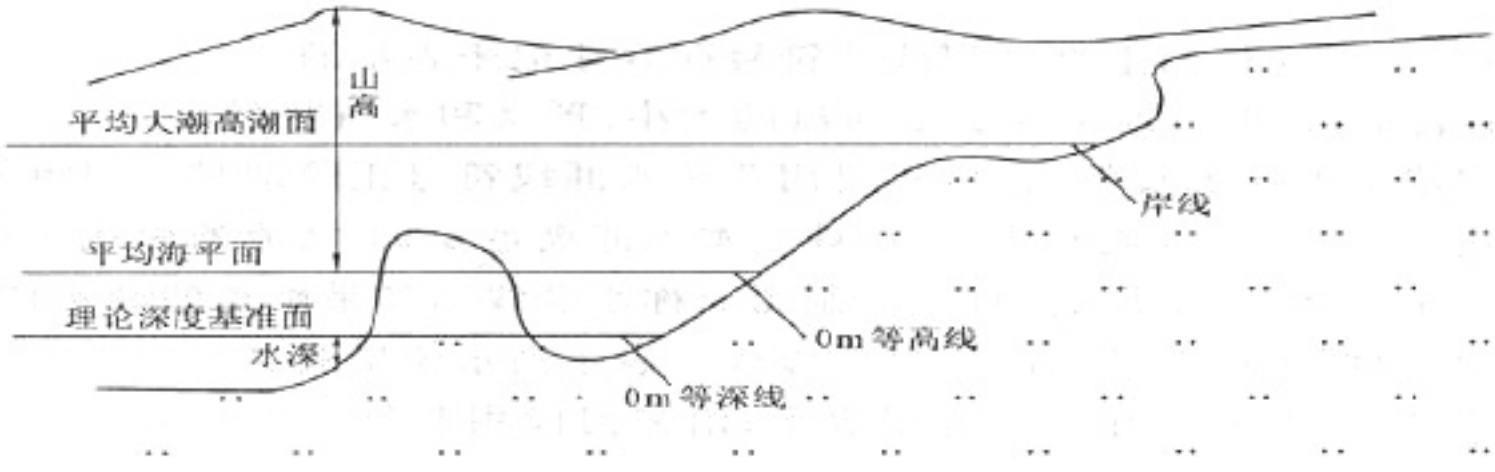


图 5-3　潮面及海深、陆地起算示意图

理论深度基准面在平均海水面以下,它们的高差在海洋“潮信表”中“平均海面”一项下注明。例如“平均海面为 2.5m”,即指深度基准面在平均海水面下 2.5m 处。

海面上的干出滩的高度是从深度基准面向上计算的。涨潮时,一些小船在干出滩上也可以航行,此时的水深是潮高减去干出高度。海面上的灯塔、灯桩等沿海陆上发光标志的高度则是从平均大潮面起算的。因为舰船进出港或近岸航行,多选在高潮涨起的时间。

综上所述,海岸线并不是 0m 等高线,0m 等高线应在海岸线以下的干出滩上通过,海岸线也不是 0m 等深线,0m 等深线大体上应该是干出滩的外围线(即低潮界符号),它在地图上是比海岸线更不易准确测定的一条线。实际上,只有在无滩陡岸地带,海岸线与 0m 等高线、0m 等深线才重合在一起。通常,由于 0m 等高线同海岸线比较接近,地图上不把它单独绘出来,而用海岸线来代替。只有当海岸线很平缓,有较宽的潮浸地带,且地图比例尺较大时,才要绘出 0m 等高线,至于 0m 等深线,则一般都用低潮线来代替。

(2) 海底地貌的表示:海底地貌可以用水深注记、等深线、分层设色和地貌晕渲等方法来表示。

① 水深注记(水深):是水深点深度注记的简称,它类似于陆地上的高程点。海图上的水深注记有一定的规则,例如,水深点不标点位,而是用注记整数位的几何中心来代替;可靠的、新测的水深点用斜体字注出,不可靠的、旧资料的水深点用正体字注出;不足整米的小数位用较小的字注于整数后面偏下的位置,中间不用小数点,例如 23_5 表示水深 23.5m。

② 等深线:是从深度基准面起算的等深点的连线。等深线有两种形式:一种是类似于境界的点线符号,另一种是细实线。

③ 分层设色:是与等深线表示法联系在一起的。它是在等深线的基础上每相邻两根等深线(或几根等深线)之间加绘(印)颜色来表示海底地貌的起伏。通常,都是用不同深浅的蓝色来区分各层的,且随水深的加大蓝色逐渐加深。

④ 地貌晕渲:详见地貌的表示。

(二) 陆地水系的表示

在地图学中通常把陆地上各水系物体统称为陆地水系,简称水系。水系包括:井、泉及贮

水池;河流、运河及沟渠;湖泊、水库及池塘和水系的附属物等。

1. 井、泉及贮水池

这些水系物体形态都很小,在地图上一般只能用蓝色记号性符号表示其分布位置,有的还加上有关的说明注记。

2. 河流、运河及沟渠

河流、运河及沟渠在地图上都是用线状符号配合注记来表示的。

(1) 河流的表示:地图上通常要表示河流的大小、形状和水流状况。

当河流较宽或地图比例尺较大时,只要用蓝色水涯线符号正确地描绘河流的两条岸线,其水部多用与岸线同色的网点(或网线)表示就基本上能满足要求。河流的岸线是指常水位(一年中大部分时间的平稳水位)所形成的岸线(制图上称水涯线),如果雨季的高水位与常水位相差很大,在大比例尺地图上还要求同时用棕色虚线来表示高水位岸线。

时令河是季节性的河流,用蓝色虚线表示;消失河段用蓝色点线表示;干河床属于一种地貌形态,用棕色虚线符号表示。

由于比例尺的关系,一些河流在地图上只能用单线来表示。用单线表示河流时,通常用0.1～0.4mm的渐变线表示。究竟是粗至0.2mm或0.3mm或0.4mm,可视河长而定。当河宽在图上大于0.4mm时,可用双线(中间套色)表示。单双线符号相应于实地河宽见表5-1。

表5-1 不同比例尺中河流单双线符号对应于实地河宽

实地宽 / 比例尺 / 图上宽	1∶2.5万	1∶5万	1∶10万	1∶25万	1∶100万
0.1～0.4mm单线	10以下	20以下	40以下	100以下	400以下
双线	10以上	20以上	40以上	100以上	400以上

往往为了使单线河与双线河衔接及美观的需要,也常用0.4mm的不依比例尺双线符号使单线河符号自然地过渡到依比例尺的双线表示(图5-4)。

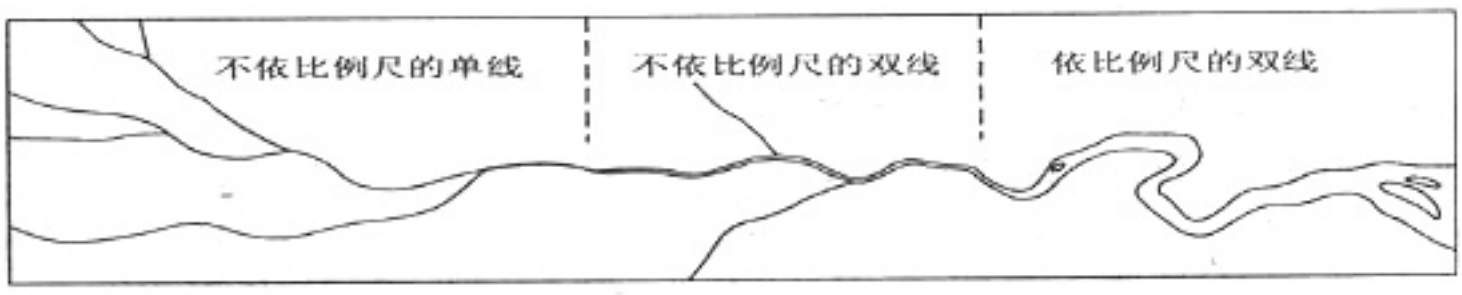


图5-4 河流的表示

小比例尺地图上,河流有两种表示方法:一是与地形图相同的方法,只是单线河符号往往稍加粗(如挂图用0.15～0.6mm线粗),不依比例尺的双线河使用较长,要到一个能清楚表达河床特征的宽度处为止;二是采用不依比例尺的单线配合真形单线符号来表示(图5-5),它能真实地反映河流宽窄、汊道和河心岛,河流图形显得生动而真实。

(2) 运河及沟渠的表示:运河及沟渠在地图上都是用平行双线(水部浅蓝)或等粗的实线表示,并根据地图比例尺和实地宽度分级使用不同粗细的线状符号。

3. 湖泊、水库及池塘

湖泊、水库及池塘都属于面状分布的水系物体。地图上都用蓝色水涯线配合浅蓝色水部来表示。季节性有水的时令湖的岸线不固定，则用蓝色虚线配合浅蓝色水部来表示。湖水的性质往往是借助水部的颜色来区分，例如用浅蓝色和浅紫色分别表示淡水和咸水。



图 5-5　真形单线河段符号

水库，通常是根据其库容量用依比例尺真形或不依比例尺的记号性符号表示(图 5－6)。

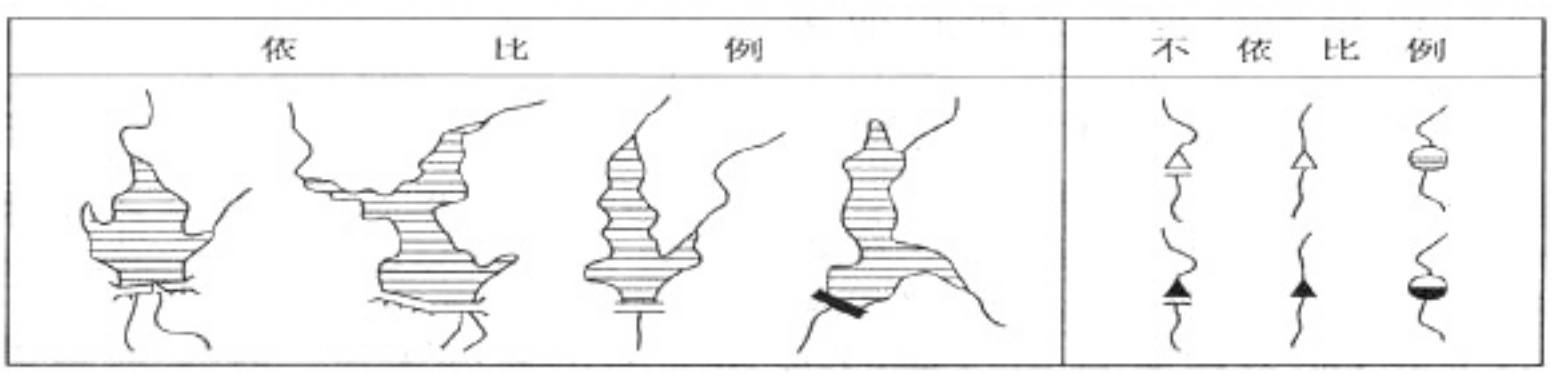


图 5-6　地图上常见的水库符号

4. 水系的附属物

水系的附属物包括两类：一类是自然形成的，如瀑布、石滩等；另一类是附属建筑物，如渡口、徒涉场、跳墩、水闸、滚水坝、拦水坝、加固岸、码头、轮船停泊场、防波堤、制水坝等。这些物体在地图上，用半依比例尺或不依比例尺的符号表示，在较小比例尺图上则多数不表示。

二、地貌的表示

地貌亦是地理环境中最基本的要素之一。它不仅影响和制约着其他自然地理要素的分布，而且极大地影响社会经济要素的分布与发展。地图上表示地貌，对军事上也有极其重要的意义，例如，部队运动、阵地选择、工事构筑、火器配置、隐蔽伪装等都受到地形的影响。地图上地貌的表示法主要有：写景法、晕滃法、晕渲法、等高线法、分层设色法等。

(一) 晕渲法

晕渲法是在平面图上显示地貌立体的主要方法之一。它是根据假定光源对地面照射所产生的明暗程度，用相应浓淡的墨色或彩色沿斜坡渲绘其阴影，造成明暗对比，显示地貌的分布、起伏和形态特征，这种方法称为地貌晕渲法(图 5-7)。按光源位置不同可分为直照晕渲、斜照晕渲和综合光照晕渲三种。用晕渲法表示的地貌在地图上虽不能直接量测其坡度，也不能明显表示地面高程的分布，但它能生动直观地表示地貌形态，使地貌具有立体感。

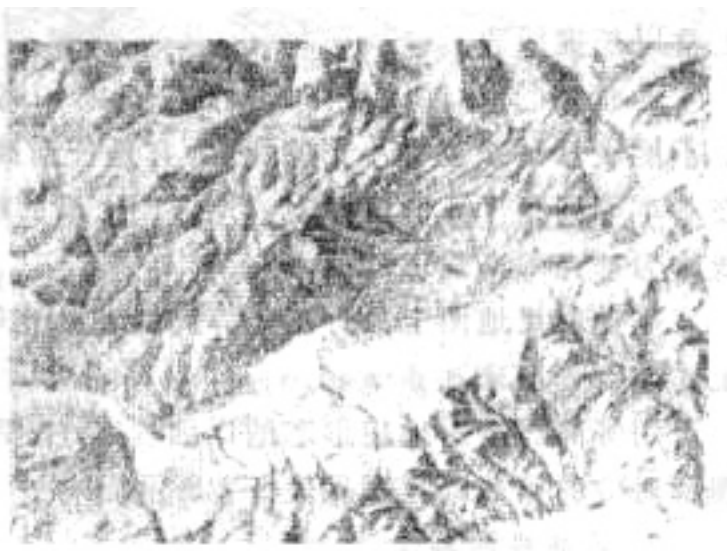


图 5-7　晕渲法表示的地貌

(二) 等高线法

1 .等高线原理及种类

等高线起源于等深线。18 世纪末和 19 世纪初才开始应用于(法国)地形测图上。最初称为‘ 水平曲线”。它是地面上高程相等点的连线在水平面上的投影(图 5 - 8)。用等高线来表现地面起伏形态的方法,称为等高线法,又称水平曲线法。等高线具有以下特点:

(1) 位于同一条等高线上的各点高程相等;

(2) 等高线是封闭连续的曲线;

(3) 等高线图形与实地保持几何相似关系;

(4) 在等高距相同的情况下,等高线愈密,坡度越陡,等高线愈稀,坡度越缓。

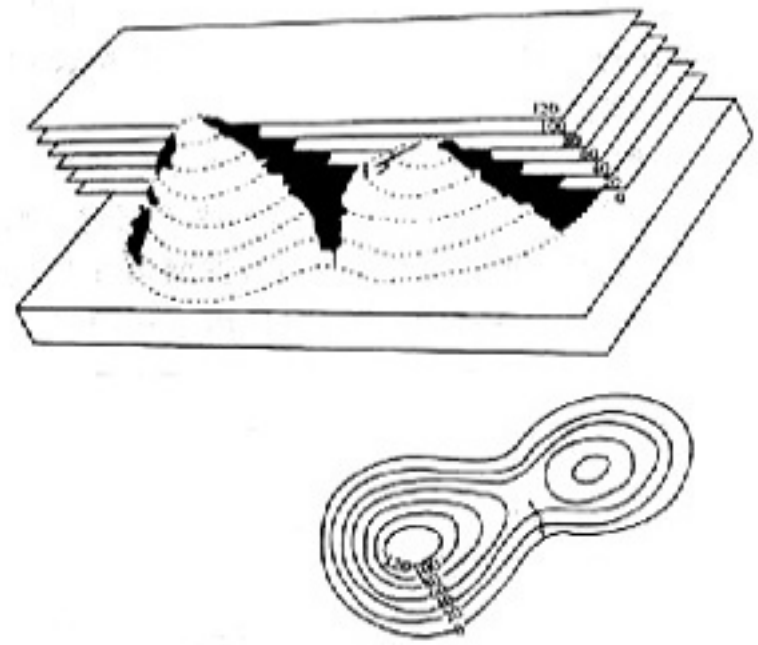


图 5-8 等高线的原理

用一组有一定间隔(高差)的等高线来反映地面高程、山体、谷地、坡形、山脉走向等地貌基本形态及其变化,能为读者提供可靠的地形基础。

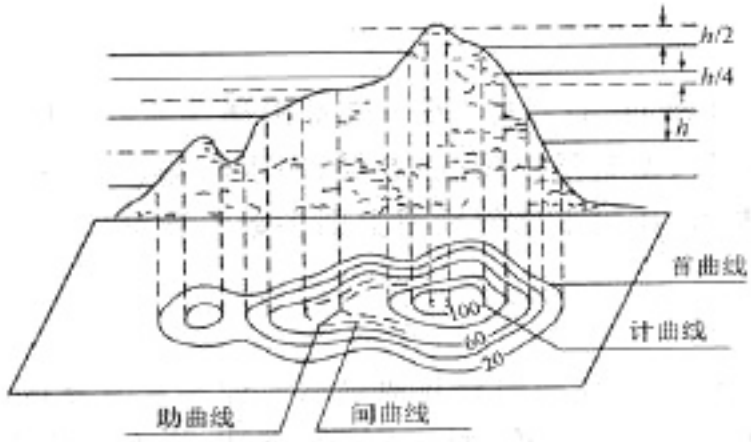


图 5-9 地形图上的等高线

地形图上的等高线分为首曲线、计曲线、间曲线和助曲线 4 种(图 5-9)。

首曲线(又称基本等高线):是按基本等高距由零点起算而测绘的等高线,通常用实线来描绘。

计曲线(又称加粗等高线):是为了计算高程的方便加粗描绘的等高线,通常是每隔四条基本等高线描绘一条计曲线,它在地形图上以加粗的实线表示。

间曲线(又称半距等高线):是相邻两条基本等高线之间补充测绘的等高线,用以表示基本等高线不能反映而又重要的局部形态,地形图上常以长虚线表示。

助曲线(又称辅助等高线):是在任意的高度上测绘的等高线,为的是表示那些别的等高线都不能表示的重要微小形态,因为它是任何高度的,故也叫任意等高线,但实际上助曲线多绘在基本等高距 1/ 4 的位置上。地形图上助曲线是用短虚线描绘的。我们也常把间曲线和助曲线称为补充等高线。

小比例尺地图上只分基本等高线和补充等高线两种,但其符号相同,只有在地貌高度表示上才能区分出来。

用等高线表示地貌形态的详细程度,主要取决于比例尺或等高距的大小。各种比例尺地形图所对应的等高距大小见表 5-2 所示。

2. 等高线的判读

在图上根据等高线的图形可以掌握其地貌基本形态,首先必须判断其等高线的高程和起伏状态,这在制作地图时经常遇到的。

表 5-2　各种比例尺地形图等高距

地形图比例尺	等高距(m)	
	平原—低山区	高山区
1∶100 00	2．5	5
1∶250 00	5	10
1∶500 00	10	20
1∶100 000	20	40
1∶250 000	50	100
1∶500 000	100	200

(1) 等高线高低的判读:地图上只注有一定数量的高程,对于没有注记的等高线能否迅速而又准确的判别高低,这对地貌的分析有重要的影响。一般说来,在图上判定等高线的高与低是比较容易的。因为只要了解等高线的特性、等高距、计曲线和一定数量的高程注记,再与周围的地形分析比较就能判定。但在判读中应掌握以下原则。

① 若是山头等高线闭合相套,愈向内的高程愈高;若是凹地等高线闭合相套,则愈向内的高程愈低,见图5-10(a)。

② 两山头等高线相邻,或两凹地等高线相邻,则两相邻等高线的高程都是相等的,见图5-10(b)。

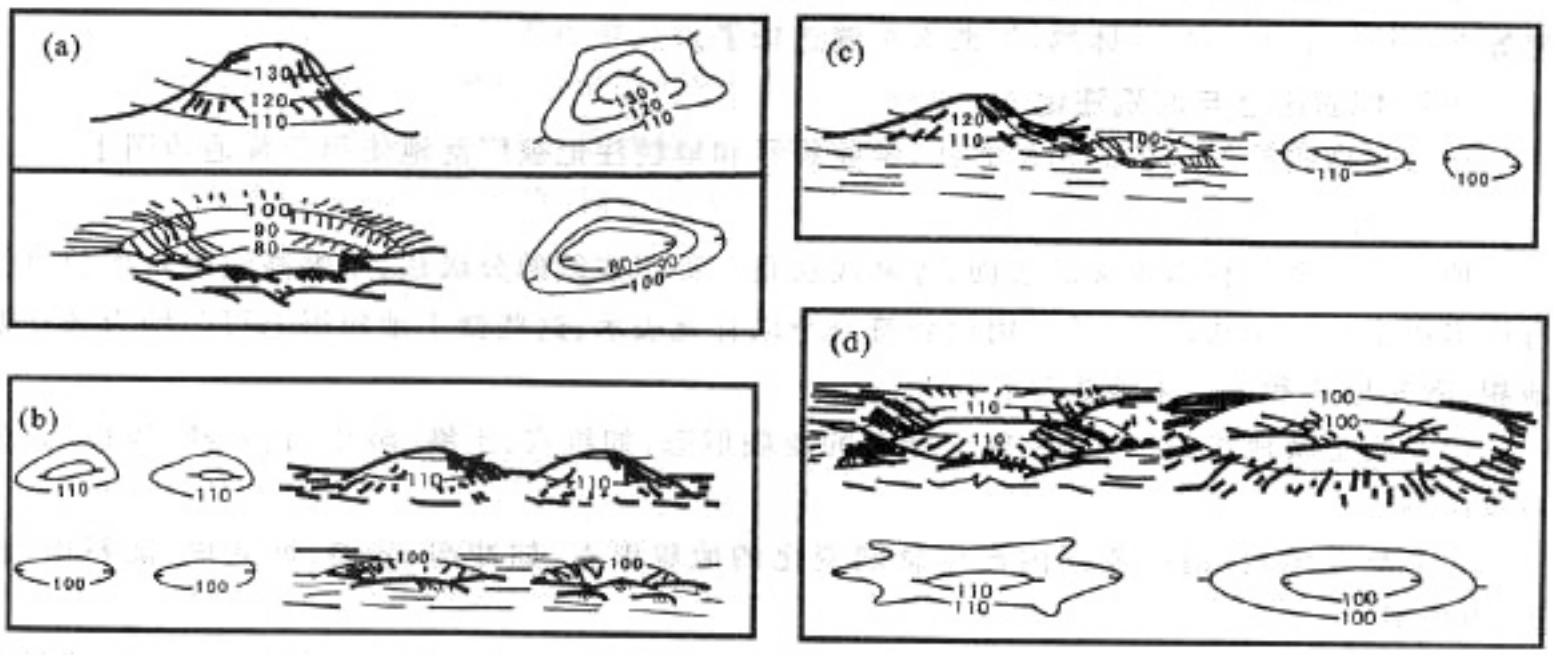


图 5-10　判读等高线高低起伏的规律

③ 山头等高线与凹地等高线相邻,相差一个等高距。即凹地的等高线低于山头等高线一个等高距,见图 5-10(c)。

④ 山头等高线与凹地等高线相套(或者一个凹地等高线与一个山头等高线相套),则相套的两条等高线同高,见图 5-10(d)。

(2) 等高线起伏的判读:等高线的起伏判读,就是通过等高线图形判明地貌的高低、山脊、山谷、上坡、下坡和地势总的倾斜方向等。其方法是:

① 根据等高线的疏密判读:“山高坡陡”,所以一般情况下高坡陡等高线密,低处坡缓等高线稀。

② 根据高程注记判读:高程点高程逐增的为上坡方向,逐减的为下坡方向,或用高程注记的字头所朝方向判读为上坡方向。

③ 根据示坡线判读:示坡线与等高线联结的一端为高,是上坡方向,另一端为低,指向下坡方向。

④ 根据河流符号判读:由于水往低处流,故地图上河流由细变粗的符号或流向符号,都能指明倾斜向下的方向。当一组等高线在河流一侧时,靠近河流的等高线为低,相反的为高。如果几条等高线横穿河流时,上游的等高线是上坡方向,下游的等高线为下坡方向。

⑤ 根据山的各部形态综合判读:山顶高,鞍部低;山脊高、山谷低;山脊高、山脚低;山地高、平原洼地低等。

(三) 分层设色法

根据地面高度划分的高程层(带),逐"层"设置不同的颜色,称为地貌分层设色法。其相应的图例称为地貌色层表,它表明各种色层的地貌高程范围。读者可以从色层的变化了解地面高低起伏的变化,并判定大的地貌类型的分布。

分层设色的优点是使地图在一览之下立刻获得高程分布及其相互对比的印象,并能使等高线表示地貌略微有一些立体感。普通地图上广泛运用这种方法表示地貌。例如,图上用蓝色表示海洋,用绿色表示平原,用黄色表示的是低山或丘陵,用棕、橙、灰、白色表示的是高山、极高山等。合理的色层组配合可获得一定的立体感。

分层设色法弥补了等高线地图的两个重要缺陷:一是它加强了高程分布的直观印象;二是使等高线地图具有一些立体感,不那么单调乏味了。

(四) 地貌符号与地貌注记

作为等高线显示地貌的辅助方法,地貌符号和地貌注记被广泛地使用于普通地图上。

1. 地貌符号

地表是一个完整而连续的表面。等高线法是一种不连续的分级法,用等高线表示地貌时仍有许多微小地貌无法表示,需要用地貌符号予以补充表示。这些微小地貌形态可归纳为独立微地貌、激变地貌和区域微地貌等。

(1) 独立微地貌:指微小且独立分布的地貌形态,如坑穴、土堆、溶斗、独立峰、隘口、火山口及山洞等。

(2) 激变地貌:指小范围内产生急剧变化的地貌形态,如冲沟、陡崖、冰陡崖、陡石山、崩崖、滑坡等。

(3) 区域微地貌:指实地上成片分布但高度很小的地貌形态,如小草丘、残丘地等;或只表明地面性质和状态的地貌形态,例如沙地、石块地、龟裂地等。

图 5-11 列举了普通地图上某些地貌符号。

2. 地貌注记

地貌注记分为高程注记、名称注记和说明注记。

(1) 高程注记包括高程点注记和等高线注记。高程点注记是用来表示等高线不能显示的山头、凹地等,以加强等高线的可读性。等高线高程注记则是为了迅速判明等高线的高程。

(2) 名称注记包括山峰、山脉注记等。山峰名称多和高程注记配合注出。山脉名称沿山脊中心线注出。过长的山脉应重复注出其名称。

(3) 说明注记是用以说明物体的比高、宽度、性质等。按图式规定与符号配合使用。

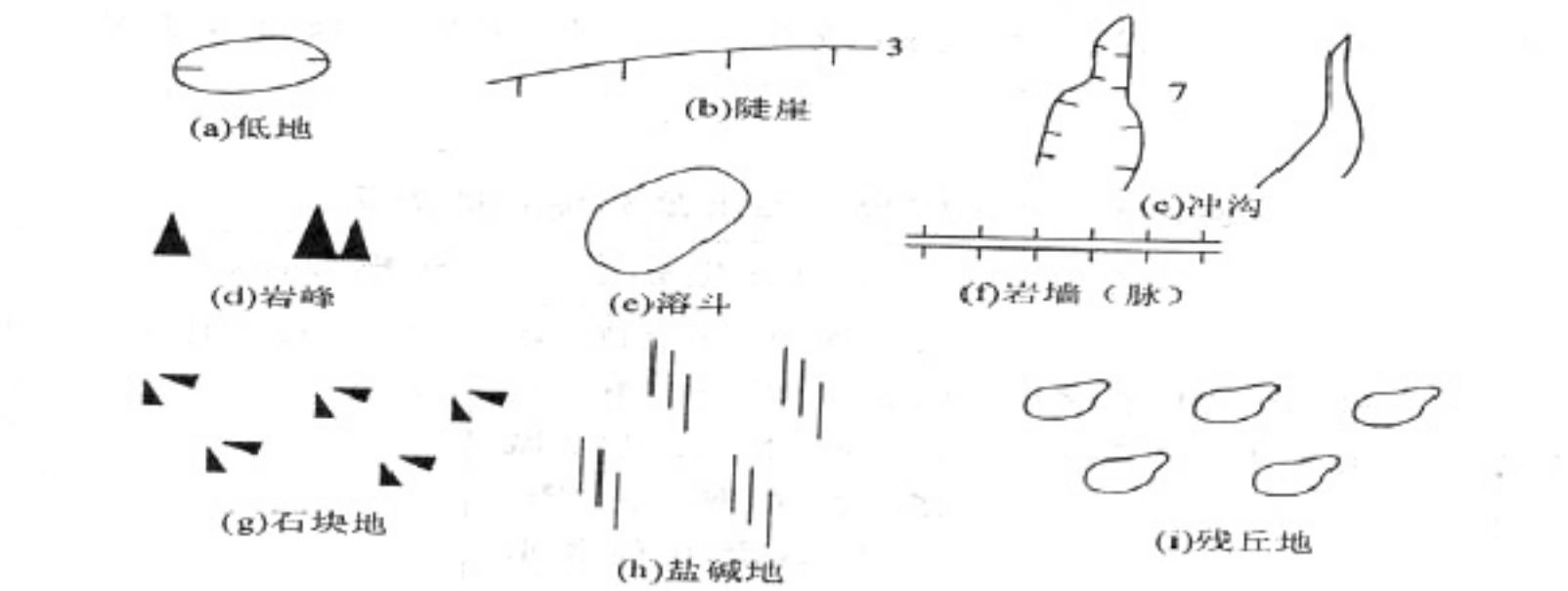


图 5-11　普通地图上地貌符号举例

三、土质、植被的表示

土质是泛指地表覆盖层的表面性质,植被则是指地表植物覆盖的简称。土质和植被是一种面状分布的物体。地图上常用地类界、底色、说明符号和说明注记相配合来表示。

(1) 地类界:指不同类别的地面覆盖物体的界线,图上用点线符号绘出其分布范围。

(2) 底色:指在森林、幼林等植被分布范围内套印绿色(网点、网线或平色)。

(3) 说明符号:指在植被分布范围内用符号说明其种类和性质。

(4) 说明注记:指在大面积土质和植被范围内加注文字和数字注记(树种、平均树高等),以说明其质量和数量特征。土质、植被的表示见图 5-12。

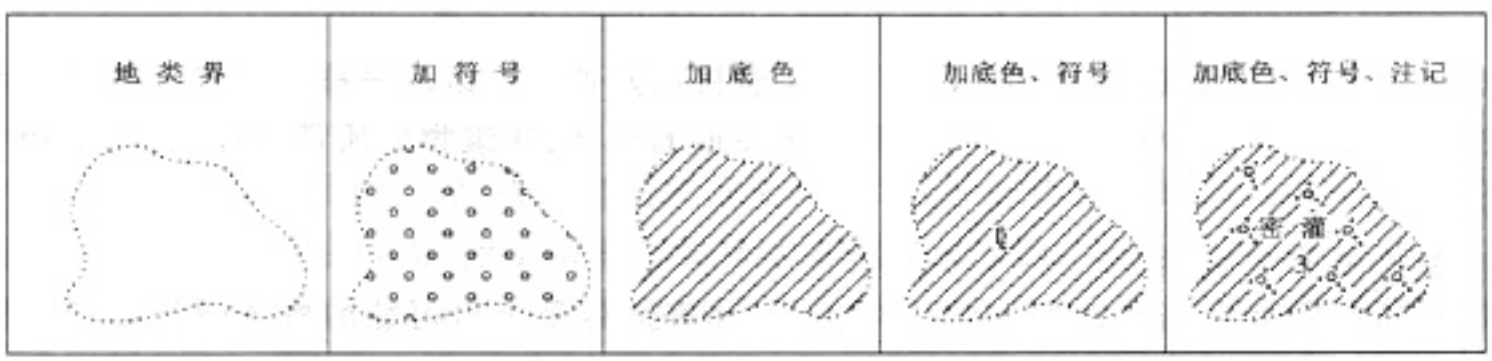


图 5-12　土质、植被的表示

§5.3　社会人文要素的表示

普通地图上社会人文要素包括独立地物、居民地、交通网和境界等内容。

一、独立地物的表示

独立地物是指实地形体较小,无法按比例表示的一些地物。普通地图上表示的独立地物主要包括工业、农业、历史文化、地形等方面的标志。独立地物一般高出于其他建筑物,具有比

较明显的方位意义,对于地图定向、判定方位等意义较大。在大比例尺地图上表示得较为详细(表 5-3),随着地图比例尺缩小,表示的内容逐渐减少。在小比例尺地图上,主要表示历史文化方面的独立地物。

表 5-3 大比例尺地图上独立地物的表示

工业标志	农业标志	历史文化标志	地形方面的标志	其他标志
烟囱、石油井、盐井、天然气井、油库、煤气库、发电厂(站)、变电所、无线电杆、塔、矿井	水车、风车、水轮泵、饲养场、打谷场、贮藏室	革命烈士纪念碑、彩门、牌坊、气象台、站、钟楼、鼓楼、城楼、古关塞、亭、庙、古塔、碑及其他类似物体	独立石、土堆、土坑	旧碉堡、旧地堡、水塔、塔形建筑物

独立地物由于实地形体很小,不能用真形显示,故大都是用侧视的象形符号来表示(图 5-13)。

独立地物必须精确地表示它们的实地位置,所以符号都规定了相应的定位点。独立地物符号与其他符号挤在一起时,一般保持独立地物符号位置的准确,其他物体移位绘出。街区中一独立地物,一般可以中断街道线,街区留空绘出。

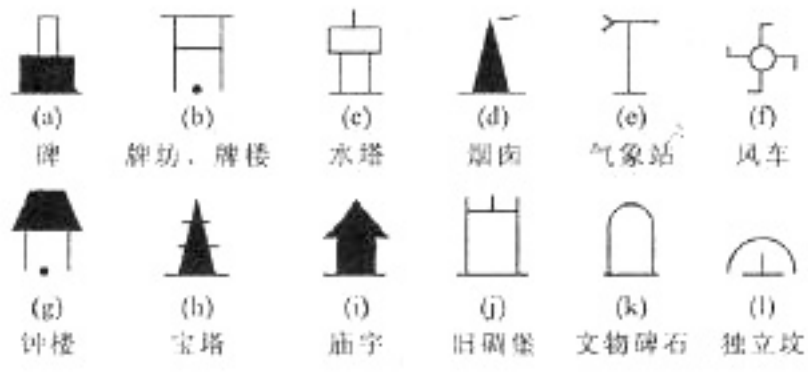


图 5-13 独立符号的举例

二、居民地的表示

居民地是指各建筑物组成的城市、集镇、农村或其他居住区的总称。它是人类居住和进行各种活动的中心场所。在地图上应表示出居民地的形状、建筑物的质量特征、行政等级和人口数等。

1.居民地的形状(轮廓、结构)

居民地的形状包括外部轮廓和内部结构,在普通地图上尽可能的按比例尺描绘出居民地的真实形状。

居民地的外部形状,取决于街道网、街区和其他各种建筑物的分布范围。随着比例尺的缩小,大多数地图以平面图形和圈形符号相结合来表示,到了小比例尺地图上,多用圈形符号表示居民地。

居民地的内部结构,主要依靠街道网图形、街区形状、水域、种植地、绿化地、空旷地等配合显示。其中街道网图形是显示居民地内部结构的主要内容。

2.居民地建筑物质量特征

在大比例尺地形图上,可以详尽区分各种建筑物的质量特征,如可以区分表示出普通房屋(原称独立房屋)、突出房屋、街区(主要指建筑物)、破坏的房屋及街区、棚房、高层建筑区等。随着地图比例尺的缩小,表示建筑质量特征的可能性随之减少。例如,在 1∶10 万地形图上不区分街区的性质,在中小比例尺地图上,居民地用套色或套网线等方法表示居民地的轮廓图形

或用圈形符号表示居民地,而无法区分居民地建筑物的质量特征。

3 .居民地的行政等级

居民地的行政等级是国家规定的,是一种“法定”标志。我国居民地行政等级分为:首都;省、自治区、直辖市人民政府驻地;自治州、省辖市人民政府及地区行政公署、盟行政公署驻地;县(市)、自治县、旗、自治旗人民政府驻地;区、乡、镇人民政府驻地。

在国外,各级行政区划的划分方法和名称与我国不相同,在图上通常只区分首都和一级行政中心等。

地图上表示行政等级的方法很多,主要有:用地名注记的字体、字大来表示;用居民地圈形符号的图形和尺寸的变化来区分;用地名注记下方加绘“辅助线”的方法来表示。

图 5-14 是我国地图上表示行政等级的几种常用方法。

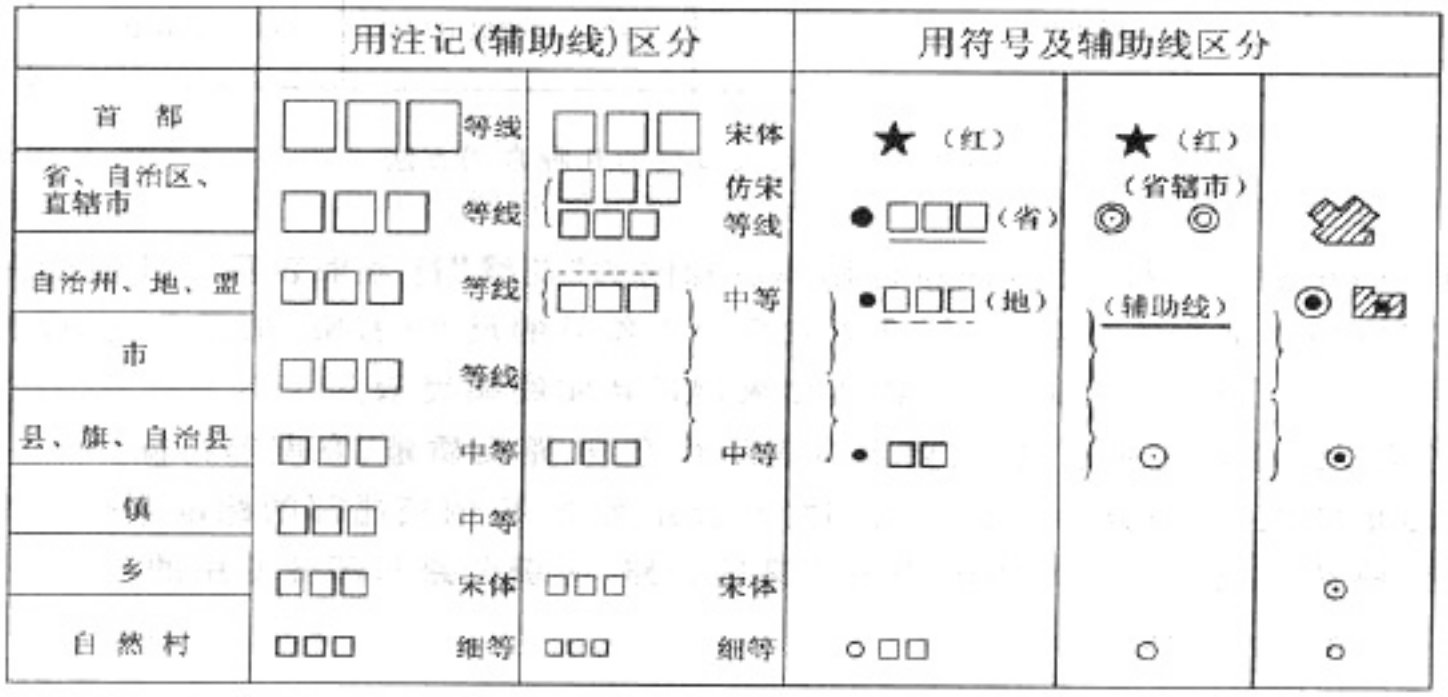


图 5-14　行政等级的几种常用表示方法

4 .居民地的人口数

地图上表示居民地的人口数或人口间隔分级指标,能够反映居民地的规模大小及经济发展状况。通常是通过注记字体、字大或圈形符号的变化来表示的。

在小比例尺地图上,居民地绝大多数是用圈形符号来表示,其人口分级多用圈形符号和大小变化,并同时配合字大来表示。图 5-15 是居民地人口数的几种常用表示方法。

二、交通网的表示

交通网是各种运输的总称。它包括陆地交通、水路交通、空中交通和管线运输等几类。在地图上要正确表示其类型和等级、位置和形状、通行程度和运输能力以及与其他要素的关系等。

1. 陆地交通

在地图上主要表示铁路、公路和其他道路。

(1) 铁路:在大中比例尺地图上,铁路通常分为单线和复线铁路;普通铁路和窄轨铁路;普通牵引铁路和电气化铁路;现有铁路和建筑中铁路等。而在小比例尺地图上,铁路只分为主要(干线)铁路和次要(支线)铁路两类。

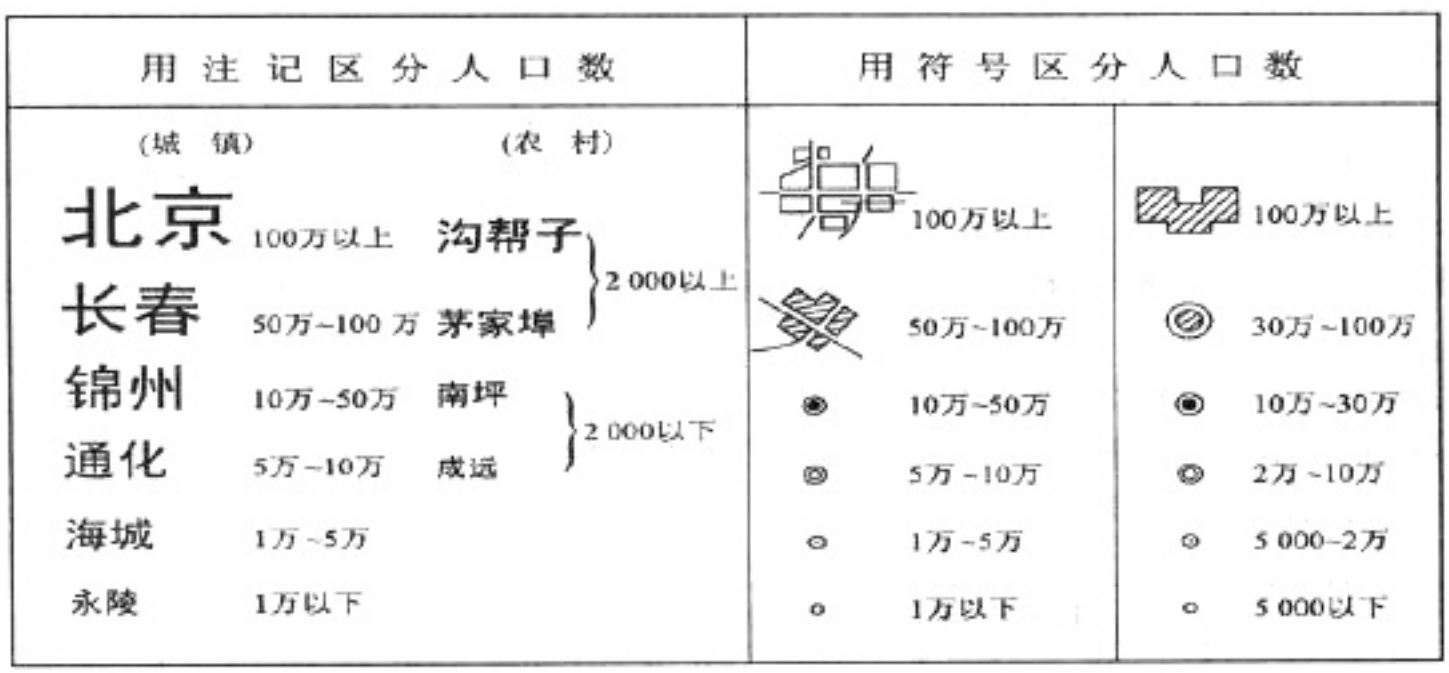


图 5-15 居民地人口数的几种常用方法

我国大中比例尺地形图上,铁路皆用黑白相间的“花线”符号来表示。其他的一些技术指标,如单、双轨用加辅助线来区分,标准轨和窄轨以符号的尺寸(宽窄)来区分,已成和未成的用不同符号来区分。小比例尺地图上,铁路多采用黑色实线来表示。

(2) 公路:公路是交通干线,按要求应表示其等级、路面质量、宽度等特征。

我国地形图上,以前分为主要公路和简易公路两类,现依交通部的标准划分为汽车专用公路和一般公路两大类。汽车专用公路包括高速公路、一级公路和部分专用的二级公路;一般公路包括二、三、四级公路(图 5-16)。

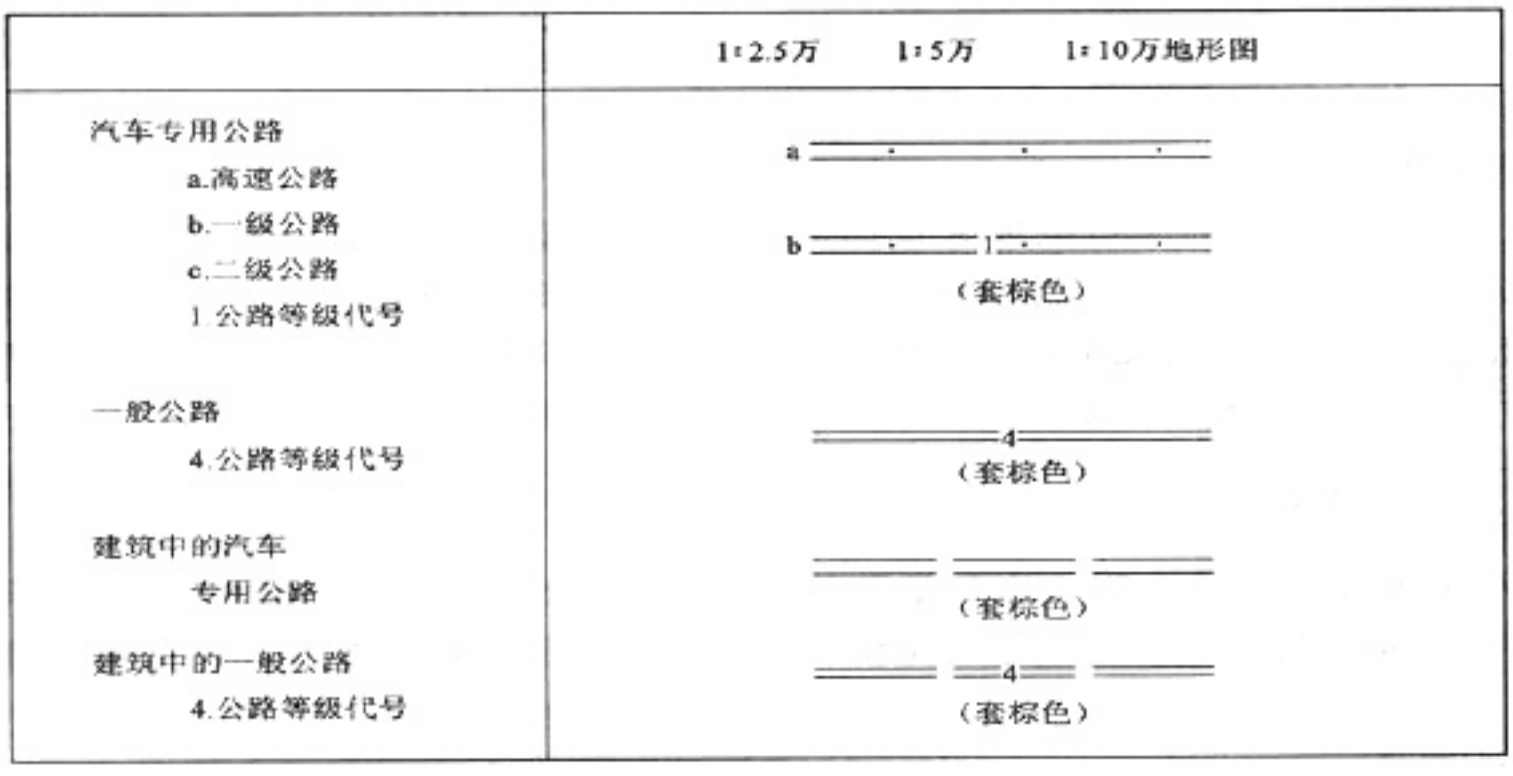


图 5-16 目前我国 1∶2.5 万、1∶5 万、1∶10 万地形图上公路的表示

在我国大比例尺地形图上,还详细表示了涵洞、路堤、路堑、隧道等多种道路的附属设施(过去称道路的附属建筑)。

在小比例尺地图上,公路等级相应减少,符号也随之简化,一般多以红色实线表示。

(3) 其他道路:指公路以下的低级道路。这些低级道路在地形图上根据其主次分别用实线、虚线、点线并配合线号的粗细来区分。在小比例尺地图上,其他道路只区分大路和小路两类。图 5-17 是地图上其他道路的表示。



图 5-17　我国地图上其他道路的表示

2. 水路交通

水路交通主要区分为内河航线和海洋航线两种。地图上常用短线(有的带箭头)表示河流通航的起迄点等。在小比例尺地图上,为了区分河流航线的性质,有时还标明定期和不定期通航河段。

通常在小比例尺图上才表示海洋航线。它常由港口和航线两种标志组成。港口只用符号表示其所在地,有时还根据货物的吞吐量区分其等级。航线多用蓝色虚线表示,分为近海航线和远洋航线。近海航线沿大陆边缘用弧线绘出,远洋航线常按两港口间的大圆航线方向绘出,但注意绕过岛礁的危险区。相邻图幅的同一航线方向一致要注出航线起点的名称和距离。当几条航线相距很近时,可合并绘出,但需加注不同起迄点的名称。

3. 空中交通

在普通地图上,空中交通是由图上表示的航空站来体现的,一般不表示航空线。

我国规定地形图和小比例尺地图上不表示航空站和任何航空标志。国外地图一般都较详细表示。

4. 管线运输

主要包括运输管道和高压输电线两种。它是交通运输的另一种形式。

管道运输有地面和地下两种。我国地形图上目前只表示地面上的运输管道。一般用线状符号加说明注记来表示。

在大比例尺地图上,高压输电线是作为专门的电力运输标志,用线状符号加电压等说明注记来表示的。此外,作为交通网内容的通讯线也是用线状符号来表示的,并同时表示出有方位意义的线杆。

在比例尺小于 1∶25 万的地图上,一般都不表示这些内容。

三、境界的表示

境界是地区政治行政管辖的界线,是社会政治行政标志的重要内容之一,具有很强的政治和行政管理意义。

普通地图上,境界可分为政区界和其他境界两大类。政区境界包括国界(已定、未定),省、自治区、中央直辖市界,自治州、盟、省辖市界,县、自治县、旗界等。其他境界包括地区界、停火

线界、禁区界等。

地图上所有境界线皆是用不同结构、不同粗细与不同颜色的点线符号来表示的，见图5-18。

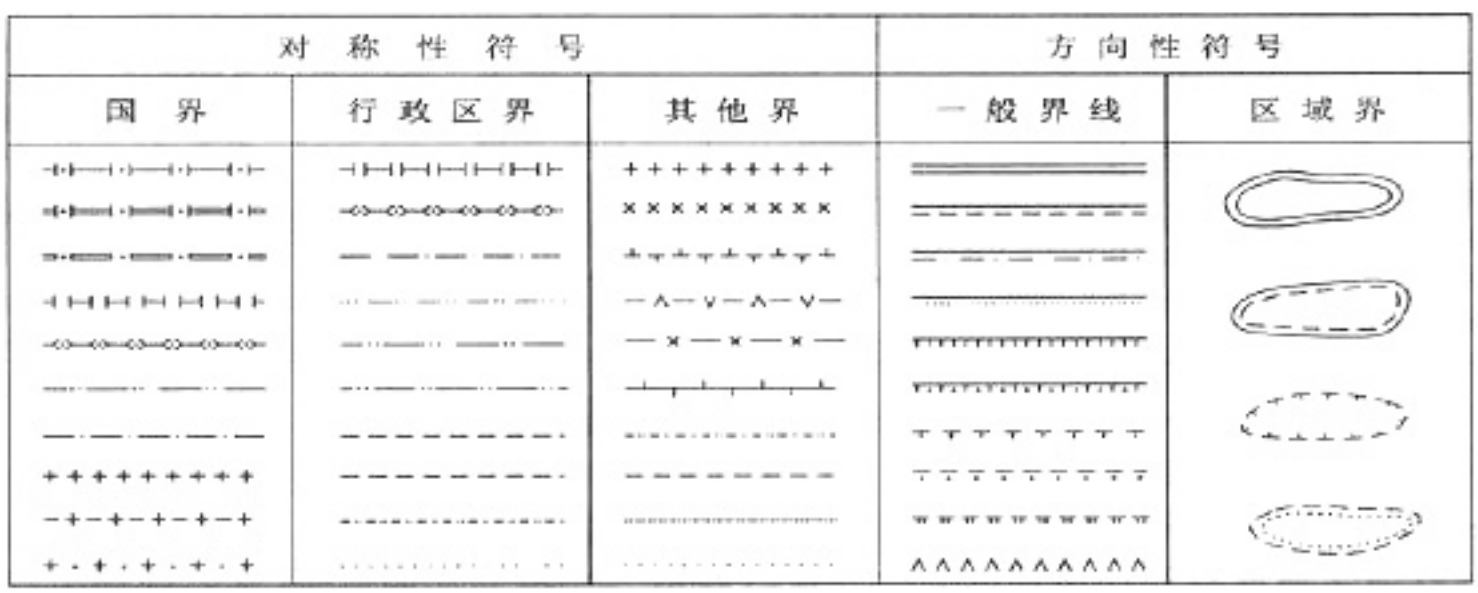


图 5-18 境界线符号示例

主要境界线还可以加色带强调表示。色带的颜色和宽度根据地图内容、用途、幅面和区域大小来决定。

在图上应十分重视境界描绘的正确，以免引起各种领属的纠纷。尤其是国界线的描绘，更应慎重、精确，要按有关规定并经过有关部门的审批，才能出版发行。

§5.4 图外要素的表示

图外要素是指地图上内图廓以外的各种附图、图表、标记和文字说明等。通常可以区分内外图廓间和外图廓以外的两部分内容。

一、内外图廓间的内容

1 .地图本身的内容

包括内图廓线、经纬度注记、分度带及本带(或邻带)直角坐标网(方里网)和注记。

2 .本图与邻图有关的内容

包括行政区划名称(图名及各级行政区名)、大居民地名称注记、道路通达地及里程注记、邻图图号注记等。

二、外图廓以外的内容

1. 读图工具

包括图例、比例尺、坡度尺、三北方向图、接图表及行政区划略图等。

(1) 图例：把表达地图内容用的符号有次序地排列起来标出其含义，放在图廓外适当位置，即为图例。

(2) 坡度尺：地图上量算地面坡度大小用的尺子。

(3) 接图表:是说明本图与四邻图幅相关位置的图表。为了便于用图,凡分幅地图,都附有相应的图幅接合表。

(4) 行政区划略图:突出表示本图区内行政归属的略图。我国地形图上是用注记分别在外图廓间注出相应的图名或行政区名称,而省去了此图,小比例尺地图上才用略图的形式表示。

(5) 比例尺:见§3-9。

(6) 三北方向图:见§3-10。

2. 文字说明

包括编图与出版单位、航摄与成图时间、地图投影、平面与高程坐标系、资料说明及资料略图等。这些都是了解和评定成图质量不可缺少的重要资料。

§5.5　国家基本比例尺地形图

一、地形图的类型

地形图按组织测绘的部门及服务对象的不同,可分为两大类:一类是由国家测绘管理部门统一组织测绘,可作为国民经济建设、国防建设和科学研究基础资料的国家基本地形图;另一类是由部门或单位针对某一工程建设的规划设计和具体施工的特殊需要,在小范围内通过地面实际测量而成的大比例尺地形图。

1.国家基本系列地形图的特点

(1) 具有统一的大地坐标系统和高程系统:我国的国家基本地形图,统一采用"1980 年国家大地坐标系"和"1985 年国家高程基准"。

(2) 具有完整的比例尺系列和分幅编号系统:国家基本地形图包括 1∶5 000、1∶1 万、1∶2.5 万、1∶10 万、1∶25 万、1∶50 万、1∶100 万 8 种比例尺地形图。由上述 8 种比例尺地形图构成了国家基本地形图的完整系列。国家基本地形图,按统一规定的经差和纬差进行分幅,每幅图的内图廓都由经线和纬线构成,并在国际百万分之一地图分幅编号的基础上,建立了各级比例尺地形图的图幅编号系统。

2.工程用的小区域大比例尺地形图特点

(1) 没有严格统一的大地坐标系和高程系:有些工程用的小区域大比例尺地形图,是按照国家统一规定的坐标系统和高程系统测绘的;有的则是采用某个城市坐标系统、施工坐标系统、假定坐标系统及假定高程系统。

(2) 没有严格统一的地形图比例尺系列和分幅编号系统:有的地形图是按照国家基本比例尺地形图系列选择比例尺;有的则是根据具体工程需要选择适当比例尺。这类地形图多采用矩形分幅和数字顺序编号法。

(3) 可以结合工程规划、施工的特殊要求,对国家测绘部门的测图规范和图式作一些补充规定。

二、国家基本系列地形图的功能

国家基本系列地形图是国民经济建设、国防建设和科学研究不可缺少的重要工具,也是编制各种小比例尺普通地图、专题地图和地图集的基础资料。地形图由于采用了高斯投影,其没

有角度变形,长度变形和面积变形都非常小,在一般地图量算作业中可以忽略不计。地形图的比例尺都比较大(1∶100 万图除外),图上所表示的各种地理要素都有精确的坐标位置和与地面之间相应的比例关系,还能详细表现各种地理要素的质量与数量特征。因此其模型功能更加突出。在图上不仅可以实现详细的定性分析,例如提取自然地理要素中的地形、水系、土质植被,社会人文要素中的居民点、交通网、境界线等属性信息,同时又可以实现精确的定位量测,提取自然地理和社会人文要素的定量信息,例如位置、方向、长度、距离、坡度、面积、体积、密度等。但对于不同比例尺的地形图,其几何精度和内容详细程度都有很大区别,因此具体用途和服务对象也有所不同。

1 .1∶5 000～1∶10 万比例尺地形图

通常将 1∶5 000～1∶10 万比例尺的地形图称为大比例尺地形图。其中除 1∶10 万比例尺地形图为编绘成图外,其余均采用航测方法实测成图。因此,这类地形图是国家基本系列地形图中精度最高、内容最丰富的大比例尺地形图。1∶1 万和 1∶5 万地形图用途最广,1∶1 万地形图自 1967 年修改图式后,删减了军事方面内容,主要转向为国民经济建设服务,是国家重点建设项目和农田基本建设的基本用图。1∶2.5 万地形图,除少数发达地区曾测制过一部分外,其余大部分地区很少测制这种比例尺地形图,多以 1∶5 万比例尺地形图取代。1∶5 万地形图多用于重点工程的规划设计和布局,地质、水文等自然资源的普查或综合调查。1∶10 万比例尺地形图已基本覆盖我国全部领土,这种比例尺的地形图除西部山区主要是采用直接航测成图外,其余地区多为用 1∶5 万航测地形图编绘而成,主要用作编制 1∶25 万～1∶50 万比例尺地形图或地理图的基本资料。1∶5 万和 1∶10 万比例尺地形图,亦可以作为编制各种大比例尺专题地图的工作底图。

2 .1∶25 万、1∶50 万比例尺地形图

1∶25 万、1∶50 万比例尺地形图,通称中比例尺地形图。国家测绘局于 1984 年正式颁发通知,将 1∶25 万比例尺地形图列入国家基本地形图系列,用以代替 1∶20 万比例尺地形图,1∶25 万地形图较原 1∶20 万地形图具有更大的概括,要求反映制图区域较为宏观的自然地理和社会人文状况,适于较大范围的工程建设和总体规划使用,也可作为编制 1∶100 万地形图的基本资料。新版的 1∶50 万比例尺地形图,由空军司令部根据新编、新测的 1∶10 万地形图编绘而成,在军事上可以提供战区基本情况和用于战略部署,在工程建设上可以用于大范围工程建设的总体规划与设计,还可用作相应比例尺专题地图的工作底图。

3 .1∶100 万地形图

1∶100 万地形图属于小比例尺地形图,它的制图概括程度比较高,在图上只能反映地理要素的最主要的特征,这和大、中比例尺地形图有明显的区别,按其性质应该列入地理图。在国民经济建设中,可用以从宏观上了解国家的自然条件和资源的基本情况。同时,它既是编制小比例尺普通地图的基本资料,也可以用作小比例尺专题地图的工作底图。

思考题

1. 什么是地形图？什么是地理图？二者之间有什么区别？各有什么特点？
2. 在地图上表示水系有什么重要意义？地图上的河流如何表示？
3. 地图上的居民点可以反映哪些特征？图上是如何体现的？
4. 如何理解地形图的图形模型功能？
5. 判断正误:

a. 比例尺小于 1∶100 万地图称为一览图;

b. 海岸线就是 0m 等深线;

c. 地形图上地貌的表示方法是等高线法。

6. 判断下图中 1、2、3、4、5 处的高程。

第六章　专题地图

§6.1　专题地图的特性和类型

专题地图是突出而较完备地表示一种或几种自然或社会经济现象,而使地图内容专题化,用途专门化的地图。其主要由地理基础底图和专题要素构成。地理基础底图主要用来显示制图现象的地理背景和空间位置,专题要素是专题地图表示的主题,其内容和形式是多种多样的。

一、专题地图的基本特性

1.内容广泛

专题地图主要表示各种专题现象,也能表示普通地图上的某一个要素如水系、交通网等。因此所表示的内容十分广泛,既能表示自然地理现象,又能表示社会人文要素;既能表示各种具体、有形的现象,又能表示抽象、无形的现象;既可表示空间状况,又可反映现象在特定时刻的分布状况;既可表示静态的现象,也可反映动态变化;既可反映历史事件,又可预测未来变化。

2.具有地理底图

专题地图由两部分组成:专题内容与地理底图。地理底图是以普通地图为基础,根据专题内容的需要重新编制的。专题内容不可能孤立地存在,必须依附于一定的地理基础。两者分别处于不同的层面:表示地图主题的专题内容以各种符号组成第一层面,地理底图则以较浅淡的色彩作为第二层面。两者在内容与形式上具有一定的内在联系。地理底图是专题地图不可分割的组成部分。

3.图型丰富,图面配置多样

由于用途、目的及编制特点的不同,专题地图图型及图面配置的变化相当丰富。专题地图有 10 种对点、线、面状符号的表示方法,在色彩运用及地图的图名、图例、主图与副图、附图、附表及其他表现内容的配置关系上,专题地图比普通地图(特别是地形图)更为复杂多变,留给编图设计人员更多的创造空间。

4.新颖图种多,与相关学科的联系更密切

科学技术的发展,观测方法、观测手段的不断增加与更新,特别是地理信息系统中分析功能、决策功能的支持,各类空间信息扩展和视觉化的需求也日益增长。以我国专题地图的发展状况看,从 20 世纪五六十年代主要由专业普查(如地质、土壤等)、综合考察、自然区划等方面的专题地图编制,逐渐发展到人口、社会经济、自然资源、环境、医学、教育等领域用图。编图所依据的数据源,很多就是有关学科的现场调查资料、统计数据以及研究成果或结论。遥感图像也已成了专题地图非常重要的信息源。具体的图种,也从总结、反映时空分布的一般规律,发展到预测预报、宏观决策等更深层次的功能。

二、专题地图的类型

专题地图按其内容专门性可分为自然地图、社会经济地图、环境地图和其他专题地图，每一类地图依所表示的内容不同，又分为若干图种。

1 .自然地图

反映自然现象的地理分布及其相互联系的地图。具体又可分为下列几种：

(1) 地质图：表示地壳表层的地质组成和构造特征的地图。按表示内容不同可分为地层图、岩石分布图、构造地质图、矿产图和水文地质图等。

(2) 地球物理图：显示各种地球物理现象的地图。通常有地震图、重力图、地磁图等。

(3) 地势图：主要表示地势起伏、水系的分布和特征的地图。

(4) 地貌图：反映各种地貌的形态特征、类型、成因、年代、发育过程和程度以及相互关系的地图。

(5) 气象和气候图：反映各种气象气候要素在地球表面的分布、结构、发展及其相互关系，并揭示它的性质的地图。其内容包括太阳辐射、地面辐射、气温、降水、云量、日照、积雪等。

(6) 水文图：反映水文要素的特征及与其他自然地理现象关系的地图。按地域可分为陆地水文图和海洋水文图。

(7) 土壤图：反映各种土壤分布、形成、利用和改造的地图。如土壤类型图和土壤改良等。

(8) 植被图：反映各种植被分布特征及生态、用途、变迁的地图。

(9) 动物地理图：反映各种动物的分布、形成、生态、迁移、动物区系形成和发展的地图，如某种动物的分布、鱼类回游路线、候鸟冬夏迁移等。

(10) 综合自然地理图：显示制图区域各种自然景观要素综合发展规律、相互联系和制约关系的地图。借以对制图区域进行综合性的分析研究。

2 .社会经济地图

反映各种社会经济现象的特征、地理分布和相互联系的地图。主要包括以下几种：

(1) 政治行政区划图：主要反映国家或地区的领域范围，或行政区划的状况等的地图。有世界政区图、大洲政区图、国家政区图和国内各级行政单独的政区地图。

(2) 人口地图：主要反映人口的分布、密度、组成、迁移、人口的自然变动、宗教信仰、民族分布等的地图。

(3) 城市地图：反映城市状况和发展规划的地图。主要显示城市政治、经济、文化、建筑、环境保护、医疗、旅游等。

(4) 历史地图：反映某一历史时期的政治、军事、文化、经济、自然状况及其联系的地图。如反映历史时期的部落、国家的疆域 、政治形势、国内外战争、民族战争、自然环境的变化、经济和文化发展等的地图。

(5) 文化建筑地图：反映制图区域内文化建设事业的发展情况、科学文教卫生保健普及工作的进展和人民的文化水平的地图。

(6) 经济地图：反映制图区域内某一时期的经济现象的地图。按内容可分为经济全图和部门经济图。

3. 环境地图

主要反映环境的污染、自然灾害、自然生物保护与更新、疾病与医疗地理方面的内容。主要有下列几种类型：

(1) 环境污染与环境保护地图:反映人类生活的环境要素受污染的程序、污染源的分布、环境的预测、环境保护与治理规划等内容的地图。

(2) 自然灾害地图:主要反映造成一定范围内生产和生命财产较大损失的自然灾害的分布、危害程度和防治措施的地图,如地震及破坏程序分布图,洪水淹没范围图,冰雹分布图、病虫害分布图等。

(3) 自然保护与更新的地图:主要反映自然资源分布、评价、合理开发利用,保护、更新、规划和区域综合评价的地图。

(4) 疾病与医疗地图:反映疾病的发生、传播、预防、治疗与环境及变化关系的地图。

4. 其他专题地图

(1) 航海图:用于海洋航行时的定位、定向、保证航行安全的海洋图。着重表示海区与航海有关的要素,包括海岸、干出滩、水深、海底地貌、港区建筑物、助航设备和海洋水文等。

(2) 航空图:供航空使用的各种地图的统称。着重表示与航空有关的地理要素、航空要素如飞机场、导航台、磁差线、空中特区等,供计划航线、确定飞行的位置、距离、方向、高度和寻找地面目标之用。

(3) 宇航图:反映宇宙航空如卫星轨道设计、航行控制、预测预报及记录等的地图。根据卫星的运行特点和卫星照片的分辨率等因素,要求地图的比例尺小,精度高,符号设计要方便于定点、定线和定向。

(4) 旅游地图:反映与旅游有关的内容的地图。一般配有照片、文字说明等。地图直观易读,形式活泼,色彩美观。

(5) 教学地图:结合教学内容编制的,供学校教学用的地图。它的比例尺一般较小,图上要求内容简明,重点突出,色彩美观,线划与符号应醒目。

专题地图和普通地图一样,也可分为桌面用图与挂图、单张的专题地图、成套的系列专题地图和专题地图集等。

§6.2 专题地图的表示方法

在自然界和人类社会中,凡是具有空间分布特征的现象,都能用专题地图表示。从现象的空间和时间分布的角度,可将地表现象归纳为呈点状、线状和面状分布,动态变化 4 大类,其表示方法共有 10 种。

一、点状分布现象的表示方法

(1) 定点符号法(简称符号法):用来表示呈点状分布的要素。它是用各种不同图形、尺寸和颜色的符号表示各自独立的、以整体概念显示的各个物体的空间分布及其质量和数量特征。一般用符号图形和色彩表示现象的质量特征,尺寸表示数量指标。将符号定位于现象的实际位置上。

定点符号按图形可分为几何符号、文字符号和艺术符号(图 6-1)。几何符号为简单的几何图形构成,其结构简单,区别明显,便

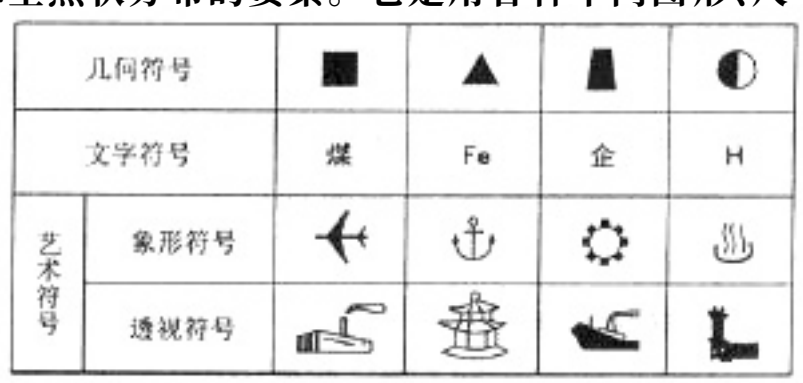


图 6-1 符号的种类

于定位,易于比较。文字符号是用物体名称的缩写或名称的第一、二个字母来表示的,能顾名思义,便于识别和阅读。艺术符号,可分为象形符号和透视符号。象形符号是用简单而形象化的图形表示物体或现象,符号生动直观,易于记忆。透视符号是按物体透视关系绘成的符号,形象生动,通俗注目。艺术符号常用于宣传鼓动图和旅游图上。

符号按其内容的繁简,又可分为简单符号和结构符号。简单符号只反映某种单一的现象;结构符号是把符号划分成几个部分,反映现象的内部组成。例如,表示某一工业中心的结构符号,可以根据工业中心所拥有的工业部门按其比例绘出,反映其工业的组成(图 6-2)。

符号用形状和颜色配合在一起时,用其中的一个表示现象的主要差别,另一个表示现象的次要差别。实践证明,颜色的差别比形状的差别更明显。因此,常用不同的颜色来表示专题要素最主要、最本质的差别,而用符号形状来表示次要的差别。如用红色和绿色或黑色表示城市和农村人口,而以符号的不同形状表示各自不同的数量分级。

定点符号法是用途较广的表示法之一,如居民点、工农业企业、学校、气象站等多用该方法表示。这种表示法能简明而准确地显示出各要素的地理分布和变化状态(图 6-3)。

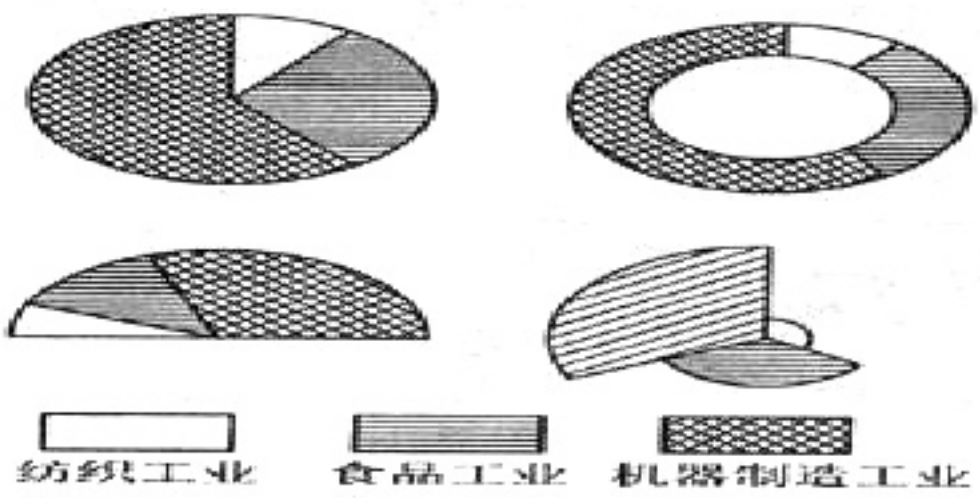


图 6-2　结构符号

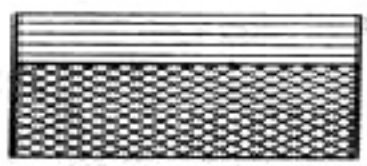


图 6-3　发展符号

二、线状分布现象的表示方法

用于表示呈线状或带状分布的现象符号,称为线状符号。如河流、海岸线、交通线、地质构造线、断层线、山脊线等。通过不同的图形和颜色可以表示现象的质量特征,如区分不同的地质构造线。线状符号法一般不表示数量指标,符号的粗细只代表质量等级的差异,如主要和次要的区别。线状符号的形式见图 6-4。

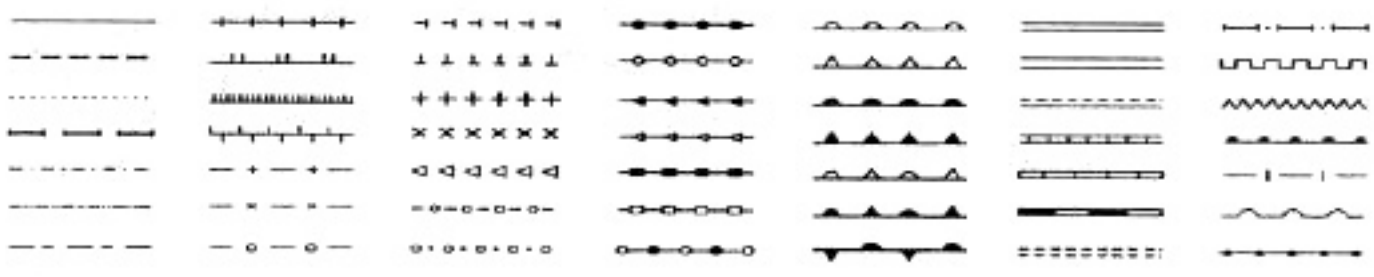


图 6-4　线状符号

用线状符号表示要素的位置时,可分三种不同的情况:一是严格定位的,线状符号表示现象的中心线,如海岸线的位置,陆上交通网的位置;二是不严格定位的,如航空线,只是两点间

的直线;三是线状符号的一边沿实际位置描绘,另一边向外扩展,形成一定宽度的色带或界线带,如境界线色带等。

三、面积分布要素的表示方法

根据呈面积分布的制图现象的分布特征差异,又可分为三种表示方法:

1 .布满制图区域现象的表示

这种专题要素的表示方法有三种:质底法、等值线法和定位图表法。

(1) 质底法(质别底色法):用不同的底色或花纹(乃至注以注记),以显示全制图区域内各种现象的质量差别(图 6-5)。图面被各类面状符号所布满。例如行政区划图、地质图、土壤图、植被图、土地类型图、民族分布图等。采用质底法时,首先按专题要素的不同性质将整个制图区域进行分类或分区,制成图例,其次勾绘出分区的界线,最后把同类现象或属于同一区域的现象按图例绘成同一颜色或同一花纹。图上每一界限范围内所表示的专题现象只能属于某一类型或某一区划的,而不能同时属于两个类型或区划。



图 6-5 质底法示例

质底法的优点是清晰美观;但是不能表示各类现象的逐渐过程和互相渗透,当分类很多时,图斑复杂,必须仔细对照图例才能读图。

(2) 等值线法:等值线是专题要素数值相等的各点的连线。例如,等高线、等温线、等压线、等深线等。等值线法是利用一组等值线来表示某专题现象数量特征的一种方法(图 6-6)。

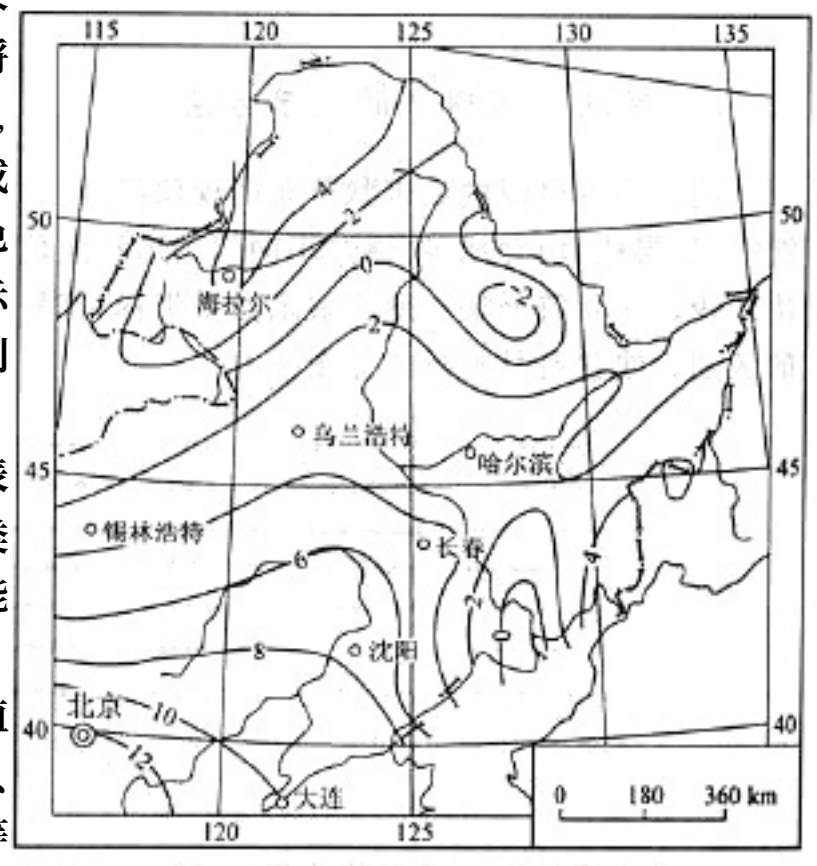


图 6-6 年平均气候图(℃)

等值线法可以用来表示地面和空间连续分布,且均匀渐变的现象,并能说明这种现象在地图上任一点的数值和强度。它适用于逐渐变化的自然现象如地形、气候等。不适宜于表示复杂而不均匀、不连续变化的社会经济现象(如人口分布密度)。

(3) 定位图表法:它是将某地点的统计资料,用图表形式表示该地点某种现象的数量特征及其变化的一种方法。例如,风向频率和风力的玫瑰图表,温度和降水的年变化曲线和柱状图表等(图 6-7)。定位图表法中各点的数量指标是根据有较长时间记录的、各点同一时期观测值的平均值而得的。从形式看,它只是反映某些“点”上的现象,然而却可通过这些“点”来说明整个“面”上的现象特征,所以正确地选择典型地点十分重要。定位图表一般描绘于地图内相应的点上,但由于其图形较大,不能准确定位,它在图上的位置尽量靠近产生该现象的所在地。

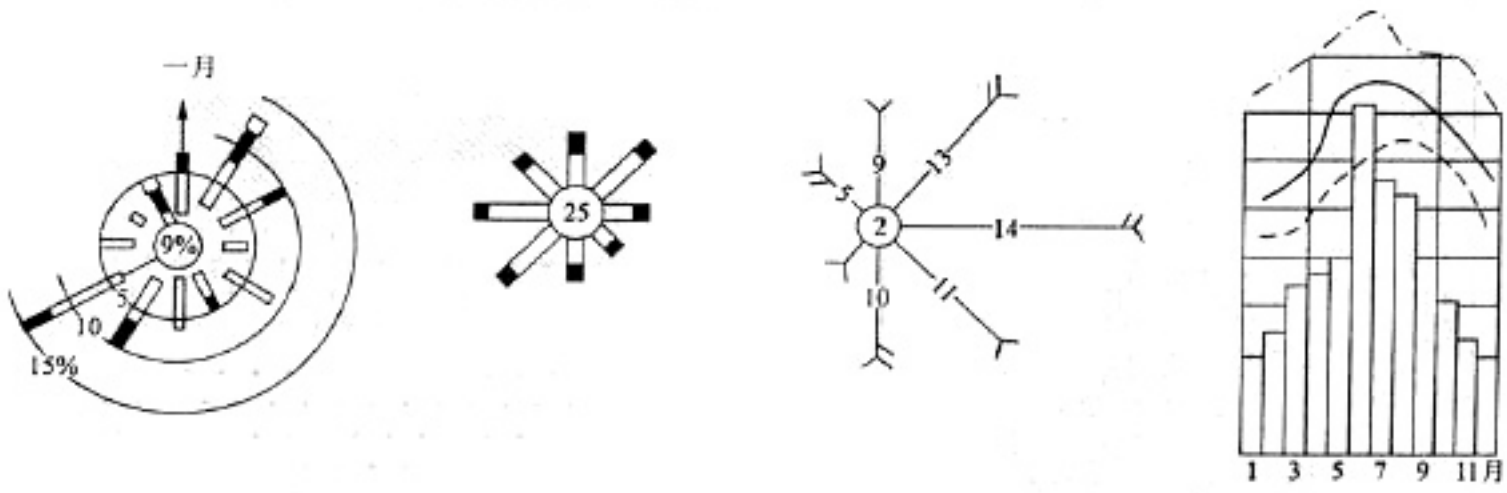


图 6-7　定位图表

2. 间断呈片分布现象的表示

对间断呈片分布现象常用的表示方法是范围法。范围法是用轮廓线、色彩、晕线、符号和注记,在地图上表示某种现象在制图区域内间断呈片的分布状况的一种表示方法。例如,地震的分布,煤田的分布,森林的分布,小麦、棉花或其他农作物的分布等。范围法表示的范围有绝对的和相对的之分。绝对范围是指所表示的现象仅分布在所标明的地区范围之内,在此范围以外便没有这种现象了;相对范围是指地图上勾绘的范围仅是所表示现象的集中地区,在此范围以外还有同类现象,只是太零星而无法表示而已。所表示的区域范围有精确的,也有概略的。精确的区域范围是尽可能准确地勾绘出要素的分布轮廓线。概略范围是仅仅大致的表示出要素的分布范围,没有精确的轮廓线,这种范围经常不绘出轮廓线,用散列的符号或仅用文字、单个符号表示现象的分布范围(如图 6-8)。

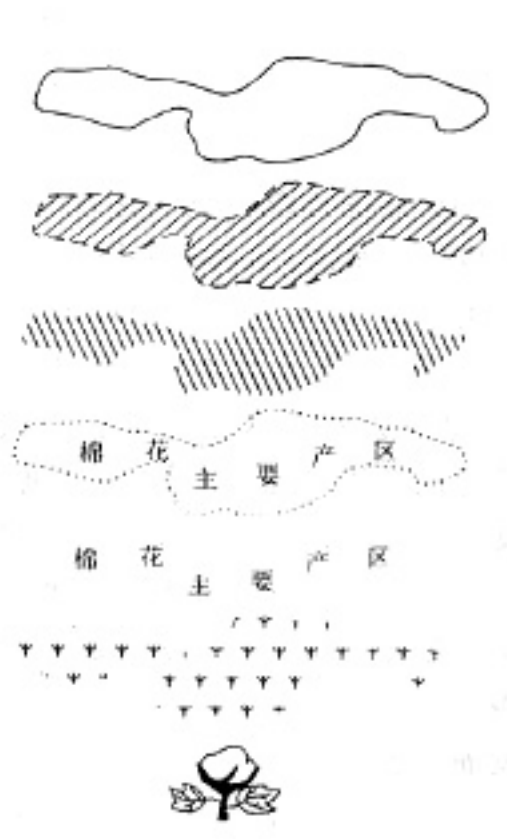


图 6-8　精确和概略的范围法

范围法简单明确,仅需区分出各自独立的范围,而且不一定要有精确的范围界线,所以,在同一幅图上表示几种不同现象时,可以互相重叠,从而显示现象的重合性、渐进性和互相渗透性。

3 .分散分布现象的表示

(1) 点值法(点数法):用一定大小、形状相同的点子表示现象的分布范围、数量特征和分布密度的方法称为点值法。点子的大小和所代表的数值由地图的内容确定。它适合于表示分布不均匀的现象。例如,人口分布、农作物分布等(图 6-9),从点子的疏密可以看出现象的集中或分散的程度。

点值法是范围法的进一步发展。范围法只能反映现象的分布范围及其质量特征。点值法不仅可以反映现象的分布范围,而且还可以反映其数量特征。例如,在编绘棉田分布图时,通过均匀的布点,可以反映棉区的范围,借助点的数目可以表明棉花播种的面积。实际上,棉区内的棉田分布是不均匀的,有的地方分布集中,有些地方分布稀疏,所以必须尽量按照棉田分布的实际情况,有差别地布点,做到有疏有密。这样就由范围法过渡到点值法(图 6-10)。

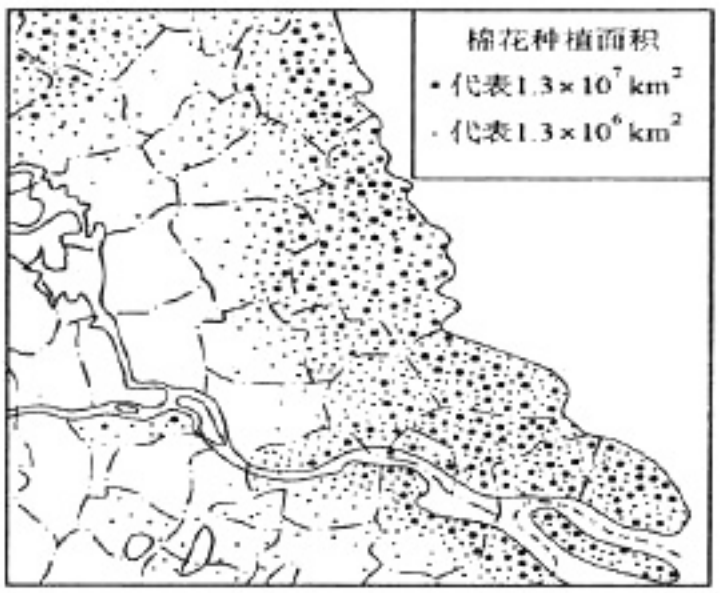


图 6-9 点值法

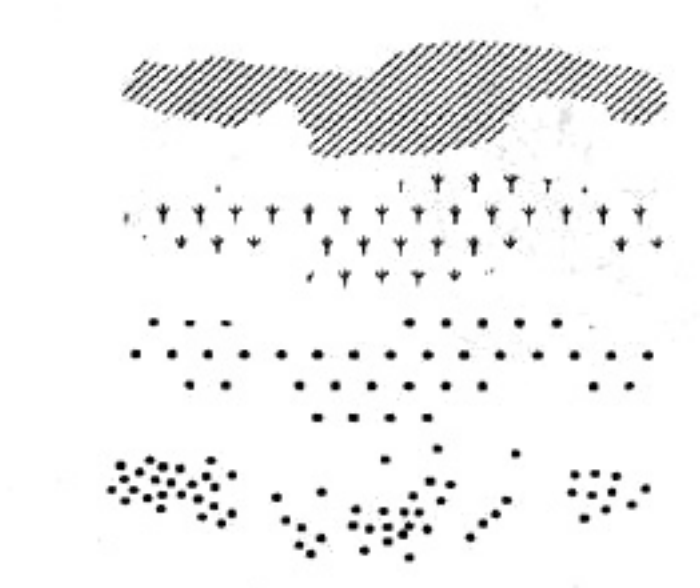


图 6-10 由范围法向点值法的过渡

点值法有两种表示法,一是均匀布点法,即用统计方法在一定区域单位(如省、县、区、乡)内均匀地布点;另一种是定位布点法,即按照地理条件定位布点。两种方法比较起来以定位布点法为好,因为它可以较精确地反映现象的实地分布情况。

(2) 分区统计图表法:把制图区域分成若干个区划单位(通常以行政区划为单位),按其相应的统计数据制成不同的统计图表绘在相应的区划单位内,以表示现象的总和及其动态变化的方法称为分区统计图表法。

分区统计图表法利用图形符号的大小与个数来表示现象的数量差异,并可在图形内划分几个部分表示其内部结构(见图 6-11)。也可用图形或图表反映一定时期内现象的发展动态。

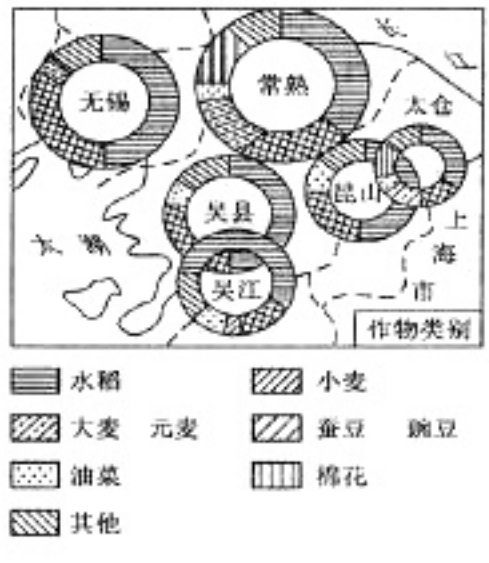


图 6-11 分区统计图表法

(3) 分级统计图法:按照各区划单位的统计资料,根据现象的相对指标(密度、强度或发展水平)划分等级,然后根据级别的高低,在地图上按区分别填绘深浅不同的颜色或疏密不同的晕线,以表示各区划单位间数量上的差异的一种表示法。

分级统计图法由于对资料要求不高(只要有各分区某要素的总量和相应的面积),易于保

密,能保持较长时间的现势性,故应用极广。但由于它和分区统计图表法一样,只能表示各区划单位的差别,而不能表示同一区划单位内部的差异。故分级统计图的区划单位愈大,区内情况愈复杂,那么它的概略性也就愈显著。所以,分级统计图的区划单位愈小愈好,使分级统计图所反映的现象越接近于实际。

分级统计图法适于表示相对的数量指标,如人口密度(人口数/ 单位面积),耕地所占全区土地的百分比(耕地面积/ 全区土地面积)等,而分区统计图表法适合于表示绝对的数量指标。

在分级统计图上,可保留分级的界线、大的河流与居民点,以便定位。

四、动态现象的表示

对各种制图现象的移动路线和方向通常采用运动线法(简称动线法)来表示,它用不同长度和宽窄的箭头符号(图6-12)在地图上表示现象的运动方向、路线、数量、质量和结构等特征。如自然现象中的洋流、风向,社会经济现象中的货物运输、资金流动、居民迁移、军队的行进和探险路线等。

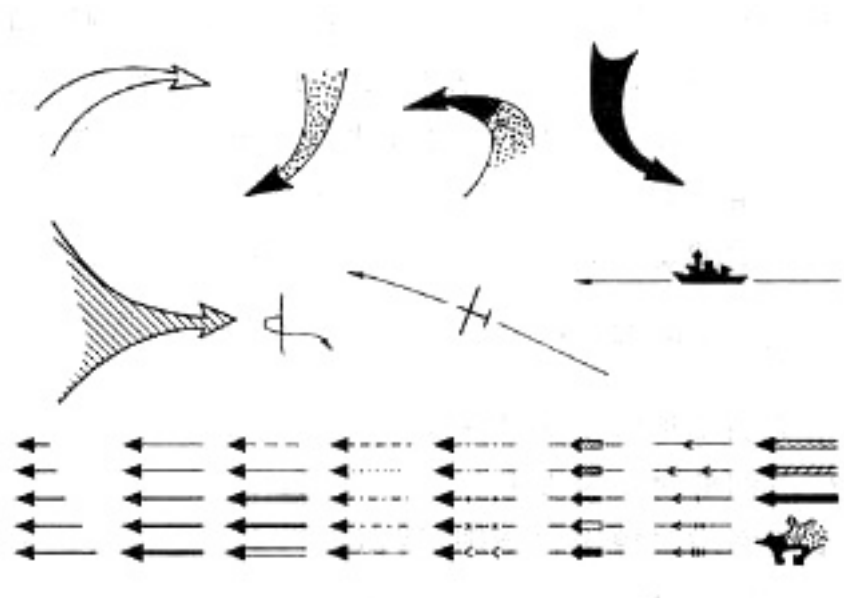


图 6-12　各种箭形符号

动线法可以表示各种现象的运动特征,即可以反映点状现象的运动路线(如船舶航行)、线状现象的移动(如铁路货运的方向)、分散成群分布现象的移动(如居民的迁移)、整片分布现象的运动(如大气的变化)等。

运动线的表达手段是多种多样的,但不外乎是用不同的颜色、宽度与形状表示现象的数量、质量特征。通常用不同形状的箭形符号表示不同的专题现象;不同颜色的箭形符号可用来区别现象的不同质量特征,如用红色箭形符号表示暖流,蓝色箭形符号表示寒流。不同宽度的动线符号可用来表示现象的数量特征。其宽度与现象的数量值成一定的比例关系,如果是绝对成比例则表示绝对数量,任意成比例则表示相对数量。

动线法的优点比较形象直观,缺点是载负量大,使得图面拥挤、紊乱而影响地图易读性。

§6.3　专题地图设计

专题地图设计就是将专题信息以图形进行表达与传输的过程,它包括表示方法的设计与选择,图例设计,图面配置的总体效果及具体安排,色彩(含网纹)设计。

一、表示方法的选择

表示方法的选用受到许多因素的影响,这些因素主要包括:

(1) 被表示物体和现象所要求的精度和定位程度:不同的专题现象及数据形式,需要不同的表示方法与之相适应。不同的专题现象及数据形式可以包括:这些现象是点状、线状还是面状的;是连续还是离散的;是固定还是移动的;是表示数量特征还是质量特征的;是表示自然现象还是社会经济现象。如定性信息的面状制图可精确表示点状或面状要素的数量特征,动线法可表示事物的动态位置,形象符号概略表达事物的外形特征。

(2) 制图资料的情况:资料是构成符号及表示方法的基础。资料的精度以及分类、分级的详细程度、分布范围及随时间变化的动态特征,都会直接影响表示方法的选择。同样是表示某专题现象的区域分布特征,有足够详细的数据,就可选用点值法进行定量表示,资料比较简略,只能采用范围图给予定性表示。

(3) 专题数据的特点:专题数据若相对集中,彼此差距不大,可用绝对比率;相反,若差距很大,只能采用分级比率为宜。

(4) 地图的用途、比例尺和区域特点:不同用途的地图在表示内容的详细性、精度、易读性等方面都有不同的要求。同样的专题数据(如某城市的就业水平)用于科研还是宣传教育,表示方法必然不同;专业人员用图与中小学的教学用图,表示方法也会不同。随着比例尺的缩小,同一制图区域专题现象的图形面积及可读精度发生变化,会使表示方法相应简化或从定量表示过渡到定性表示。人口数据从点值图向范围图的过渡就是一例。区域地理特征不仅影响专题现象表示的重点,而且对这一专题现象在不同特性的区域应选取的表示方法也会产生影响。

二、图例设计

图例是地图上所使用全部地图符号的说明。它可以分为工作图例和应用图例(出版图例)。工作图例的对象主要是编图人员,编图人员必须按照图例的规定把空间信息转换成地图信息。应用图例的对象则以读图、用图者为主。它可以认为是工作图例的一种简化,只需要对出现在图幅中每个符号作出准确、简练的说明。

图例设计(指应用图例的设计)应遵循一些基本要求,其中最主要的是图例符号的完备与一致性以及图例系统的科学性。完备性主要指图例应包括图幅中所有出现的专题符号。普通地图的符号,在专题地图的图例中可以省略。图例符号的一致性,对点状、线状、面状符号有不同的含义:对点状符号是指在形状、尺寸、色彩、结构等方面与图内相应符号要保持严格的一致;对线状符号,应选取能概括该符号完整外形特征的线划,并保持尺寸、色彩的一致;面状符号表示的专题现象分布,形状是不固定的,图例中通常以矩形的方式统一替代,但在色彩(或网纹)上与图内相同类别一致。图例系统的科学性表达了多种含义,主要在于能设计出专题内容的科学体系,如各要素的层次及相互关系,指标的分类、分级,转换成图例系统的顺序和位置,通常应将主要的排在前面,并明确标注出质量概念以及所代表的数值、单位。在以色级表现数量差异时,要注意以分级或分区对数据系列不同的标注方式,并按惯例,从左到右或从上到下,对应的数据顺序从小到大排列(图 6-13)。

三、图面内容的安排

图面内容安排也可称图面配置。在讨论对图面内容作具体安排之前,有必要对图面配置总体效果做简要的阐述。

1. 良好的图面配置总体效果

(1) 符号及图形的清晰与易读:有关符号设计的问题已在前面章节作过详细阐述。这里主要强调如何做到图面上符号的清晰与易读,这就要求线划必须清晰一致,色彩易于辨别、区分,符号的形状应不与其他特征混淆。符号与图形的易读主要取决于尺寸,这就要求所设计的符号不仅要精细,也要有足够的大小来满足使用和阅读需要。符号的形状和色彩对比,对易读性也有明显的影响。

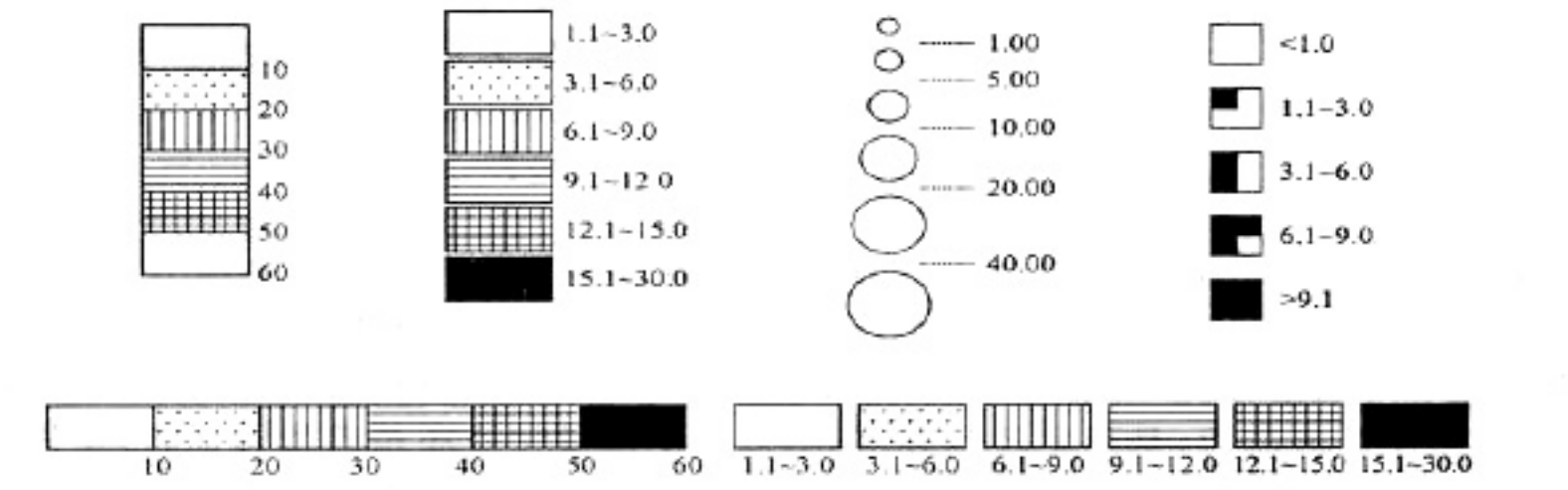


图 6-13　图例的不同注记方法

(2) 整体图面的视觉对比度:视觉对比度是表达图形信息传递质量的重要指标。对比度太小往往造成较弱的感受效果。影响对比度的因素很多,例如图面上符号的尺寸和线条的宽度过多地一致,会造成对比度下降,可通过调节图形变量的数量(如形状或尺寸)来增加对比度。对比度也必须控制在一定程度。

(3) 图形与背景:为了使设计的专题内容能准确、高效地传递给用图者,使专题内容能成为可靠的、不受背景干扰的图形,必须突出表现专题现象的图形,处理好图形与背景的关系。

(4) 图形的视觉平衡效果:这是地图图面设计中最有代表性、也可能是最重要的基本要求。地图是以整体的形式出现的,然而在一幅地图上,又是由多种要素与形式组合而成的。这就涉及若干有对应关系要素的配置,如主图与副图,陆地与水域,主图与图名、图例、比例尺、文字及其他图表(照片、影像、统计图、统计表),彩色与非彩色图形。图形设计中的视觉平衡原则,就是按一定方法处理和确定各种要素的地位,使各要素显得更合理。这往往没有固定的标准,必须通过图廓范围内的试验,取得满意的组合。把这些试验做法归纳起来,就是要使图面中的各要素不要出现过亮或过暗,太长或太短,偏大或偏小,位置安排不当,与图廓靠得过远或过近。图形变量中色彩、亮度、尺寸、形状、密度、位置的调整,也都可能影响视觉平衡。

(5) 图面设计的层次结构:专题信息的传递方式十分复杂,需借助内部结构的差异与组合来更好地表达信息群体。内部结构的含义是把各类现象(包括专题的与普通的)以其相对重要性置于传输通道的不同层面上,这就是图面设计的层次结构。处理好专题地图中不同层次的关系,也是取得良好总体效果的重要因素。

2. 图面内容的安排

在同一幅地图上,图面内容的安排包括:各种大小或类型的地图的配置;地图的图名、图例、比例尺、统计图表、照片、影像、文字说明等的位置与大小;专题要素与底图要素的配合与取舍;专题内容与图廓的关系等。在许多情况下,一个幅面上所表示的不仅只有一幅地图,可能有多幅地图,而这些地图之间的关系可能是同等重要的,也可能有主、有次,幅面的大小、比例尺、区域范围、专题内容等也可能有很大不同。如何进行合理、有序的安排,是图面配置的重要内容。

(1) 主图:主图是专题地图图幅的主体,应占有突出位置及较大的图面空间。同时,在主图的图面配置中,还要注意几个问题:

① 在区域空间上,要突出主区与邻区是图形与背景的关系,增强主图区域的视觉对比度。

② 主图的方向一般应按惯例定为上北下南。如果没有经纬网格标示,左、右图廓线即指

示南北方向。但在一些特殊情况下,如果区域的外形延伸过长,难以配置在正常的制图区域内,就可考虑与正常的南北方向作适当偏离,并配以明确的指向线。

③ 移图:制图区域的形状、地图比例尺与制图区城的大小难以协调时,可将主图的一部分移到图廓内较为适宜的区域,这就成为移图。因此,移图也是主图的一部分。移图的比例尺可以与主图比例尺相同,但经常是主图的比例尺缩小。移图与主图区域关系的表示应当明白无误(图 6-14)。假如比例尺及方向有所变化,均应在移图中注明。在一些表示我国完整疆域的地图中,经常在图的右下方放置比例尺小于大陆部分的南海诸岛,就是一种常见的移图形式。

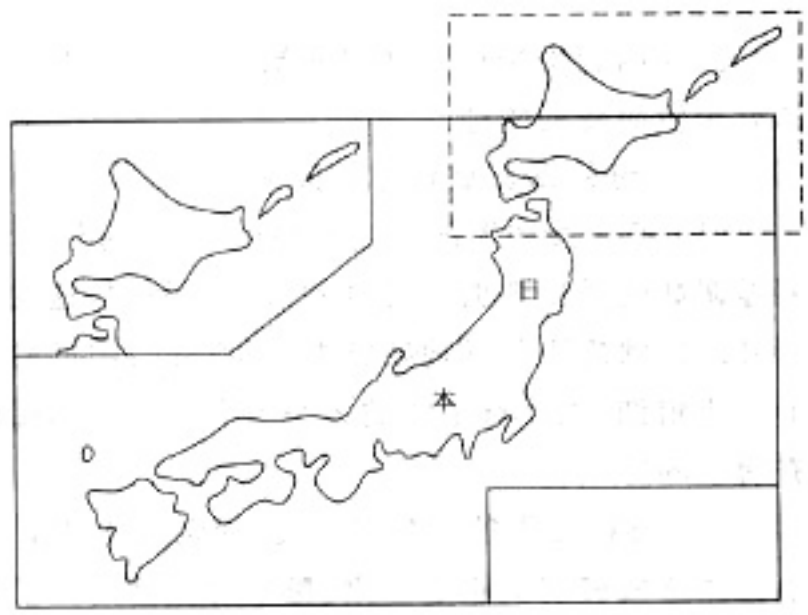


图 6-14 移图

④ 重要地区扩大图:对主图中专题要素分布较密,难以正常显示专题信息的重要区域,可适当采取扩大图的形式处理。扩大图的表示方法应与主图一致,可根据实际情况适当增加图形数量。扩大图一般不必标注方向及比例尺。

(2) 副图:指补充说明主图内容不足的地图,如主图位置示意图、内容补充图等。一些区域范围较小的单幅地图,用图者难以明白该区域所处的地理位置,需要在主图的适当位置配上主图位置示意图,它所占幅面不大,但却能简明、突出地表现主图在更大区域范围内的区位状况。内容补充图是把主图上没有表示,但却又是相关或需要的内容,以附图形式表达,如地貌类型图上配一幅比例尺较小的地势图,地震震中及震级分布图上配一幅区域活动性地质构造图等。

(3) 图名:图名的主要功能是为读图者提供地图的区域和主题的信息。表示统计内容的地图,还必须提供清晰的时间概念。图名要尽可能简练、确切。组成图名的这三个要素(区域、主题、时间)如已经以其他形式作了明确表示,可以酌情省略其中的某一部分。例如在区域性地图集中,具体图幅的区域名可以不用。图名是展示地图主题最直观的形式,应当突出、醒目。它作为图面整体设计的组成部分,还可看成是一种图形,可以帮助取得更好的整体平衡。一般可放在图廓外的北上方,或图廓内以横排或竖排的形式放在左上、右上的位置。图廓内的图名,可以是嵌入式的,也可以直接压盖在图面上,这时应处理好与下层注记或图形符号的关系。

(4) 图例:图例应尽可能集中在一起。虽然经常都被置于图面中不显著的某一角,但这并不降低图例的重要性。为避免图例内容与图面内容的混淆,被图例压盖的主图应当镂空。只有当图例符号的数量很大,集中安置会影响主图的表示及整体效果时,才可将图例分成几部分,并按读图习惯,从左到右有序排列。通过对图例的位置、大小,图例符号的排列方式、密度、注记字体等的调节,还会对图面配置的合理与平衡起重要作用。

(5) 比例尺:专题地图的比例尺一般被安置在图名或图例的下方。专题地图上的比例尺,以直线比例尺的形式最为有效、实用。但在一些区域范围大、实际的比例尺已经很小的情况下,如一些表示世界或全国的专题地图,甚至可以将比例尺省略。因为这时地图所要表达的主要是专题要素的宏观分布规律,各地域的实际距离等已经没有多少价值,更不需要进行什么距

离方面的量算。放置了比例尺,反而有可能会得出不切实际的结论。

(6) 统计图表与文字说明:是对主题的概括与补充比较有效的形式。由于其形式(包括外形、大小、色彩)多样,能充实地图主题、活跃版面,因此有利于增强视觉平衡效果。统计图表与文字说明在图面组成中只占次要地位,数量不可过多,所占幅面不宜太大,对单幅地图更应如此。

(7) 图廓:单幅地图一般都以图框作为制图的区域范围。挂图的外图廓形状比较复杂。桌面用图的图廓都比较简练,有的就以两根内细外粗的平行黑线表示内外图廓。有的在图廓上表示有经纬度分划注记,有的为检索而设置了纵横方格的刻度分划。

专题地图的图面配置,不像普通地图,特别是地形图那样在很多方面可以执行规范的要求,而必须由编图人员自行设计。图面配置是否得当,将会显著影响专题信息的传递,从而直接影响用图者的感受效果。

进行图面配置还应考虑地图的使用条件及经济效益的核算。

四、色彩与网纹设计

地图设色对提高地图的清晰性和易读性,增加整体图面的视觉对比度,增强地图的表现力,突出图形在背景上的轮廓,协调图形的视觉平衡效果,增加地图的层次结构,都有明显作用,是专题地图图形设计的重要内容。网纹对单色与彩色地图有不同的功效:对单色地图,能替代彩色的许多基本功能;在彩色地图上,网纹与彩色相结合,能补充与提高彩色地图的表现能力。

地图的色彩设计具有不同于艺术作品的原则,它必须在色彩基本原理基础上,充分考虑地图内容、用途以及表示方法,经过制图者的创意,取得图面设计的色彩效果。

1. 按照专题现象的不同特性,可以有不同的设色方法与要求

(1) 表示专题现象的质量差异或类别:运用色彩的色相差异,能简洁、有效地反映现象的质量差异。如以不同颜色反映结构符号、柱状符号、圆形定位符号中的质量差异;以不同色彩的点值反映同一主题不同现象的分布特点(如几个少数民族在同一区域的分布);不同色带作为不同行政区的界线;不同色相对类型图上不同大类的区分(土地利用现状、地貌类型);表示对象实地分布范围时,以不同色相进行划分。

(2) 表示专题现象的数量差异:区域内的数量分布可能是渐变、连续的,也可能是突变、不连续的。渐变、连续的数量变化以面状符号居多,如果用色相的差异较难把握,应以色彩的亮度变化较好;突变、不连续的数量分布以点状及线状符号居多,可采用色相变化,但要利用色谱带中的某一连续区间反映数量变化。点状及线状符号本身的尺寸(宽度或面积)有限,颜色的差异必须较明显才有较好的读图效果。

(3) 表示专题现象的动态变化:运用色彩中前进色、后退色概念,以及色彩的深浅连续变化表示事物相对意义上的运动状态。这在以线状符号指示运动方向(运动线法)中运用最为直观、普遍,有时把点状符号给出从大到小的系列变化,也能取得象征性的动态效果。

2 .色彩设计应注意的几个问题

(1) 注意用色的双重意义:虽然不同的色相可以区分不同的质量,但应尽可能结合色彩的象征意义及用色习惯。

(2) 用色上的可比性与和谐性的统一:色相区分不同事物的效果最为直观,具有较高的可比性,但同时也使其缺乏足够的和谐;运用色彩中的亮度、甚至饱和度的差异来区分不同的质

量差异或者在更多情况下的数量差异,能显示良好的和谐性,但同时却造成可比性的明显下降。因此,必须根据不同的图形特征,选择最有效的色彩可比性与和谐性的统一。

(3) 色彩设计时,对大小不同的图形面积采用不同的设色方法:点状符号一般较小,线状符号的宽度一般也有一定限度,都必须用较重的色彩加大差异性。即使对面状符号,在没有对符号有规范或比较习惯、固定用色的情况下,在制定图例符号的色彩时,就应考虑各类事物所占面积的比例多少与组成特点是分散或是集中。对图形面积小、符号分布分散的情况下,应设定较深、较重的色彩,这样不但增加易读性,而且也提高了层次结构及对比度。

(4) 色彩的数目及其组合的情况:这对制图工艺有很大关系,也会直接影响成图的成本,应予重视。

思考题

1. 专题地图与普通地图的区别?
2. 专题地图的主要表示法有哪些,试比较之?
3. 政区图的主要表示法是什么?
4. 中国年平均气温图的主要表示法是什么?
5. 中国地震分布图的主要表示法是什么?
6. 图例的排列方式及其对视觉平衡的影响是什么?
7. 如何通过色彩的变化表示专题现象的不同特性?

第七章　地图集与系列地图

§7.1　地图集

一、地图集的概念和类型

地图集是按照统一的设计要求、编制成的多幅地图的汇集。一部综合性地图集,能够综合性地反映整个世界、一个地区或国家的地理环境、自然资源、社会经济、政治和文化历史的发展等多方面的现象,向用图者提供大量的信息和丰富的科学知识。

地图集是根据一定的制图目的和用途而形成的地图集合体。它有特定的主题和编图原则,统一的思想结构、完备的表示方法,严谨的图幅编排。其投影和比例尺的选择、各类地图所占的比重及彼此间的相互协调都要经过仔细的研究,具有一定的逻辑性和系统性。各图幅所采用的图例、表示方法、图幅大小、文字说明、地名索引及地图的装帧等,都是根据地图集的目的和要求精心设计的。所以,地图集能从不同的角度,以多种形式完整而全面地表达其主题。地图集的选题内容和地域范围是非常灵活和广阔的。国内外地图在选题方面,除了注意科学性和系统性外,还很注意产品的实用性。注意增加与经济建设和人类生活有直接关系的选题。例如,自然资源及其开发利用、环境污染及其治理、自然灾害及其防治等,从而提高了地图集的使用价值。

地图集的编制和出版是一项艰巨而复杂的工作,需要深刻了解有关地域的多种状况和其他有关科学的发展和成绩,运用现代化的理论和技术,才能编制出质量较高的地图集。一部大型的国家地图集或世界图集,被认为是衡量一个国家科学文化水平的标志之一。由于地图集的各幅地图能够反映各学科研究的深度和广度,反映国民经济各部门的发展水平,所以世界各国都很重视各种地图集的编制。

地图集的类型很多,一般可根据制图区域、内容特征和地图用途进行分类。

1. 按制图区域分类

(1) 世界地图集:包括整个世界各部分的地图集。

(2) 国家地图集:各个国家的地图集,从各方面反映本国的自然、经济、社会文化等方面的特征。

(3) 区域地图集:通常指一个国家的一级或二、三级行政区的地图集。

(4) 城市地图集:以城市及其所辖郊区为范围的地图集。

2. 按地图集内容分类

(1) 普通地图集:以普通地图为主的地图集,供读者了解制图区域一般地理概况之用。这类地图集一般由序图、基本地图、文字说明和统计图表等组成。序图给读者建立起一个制图区域的总体概念,反映制图区域的综合性的地理概况。基本地图是构成普通地图集的主体,由大量反映地区基本面貌的普通地图构成。统计图表、文字说明、照片和插图是用来补充地图的不足,但必须与地图密切联系并恰当地配置。

(2) 专题地图集:以反映某类专题内容为主的地图集。专题地图集按其内容的分类,见图7-1。

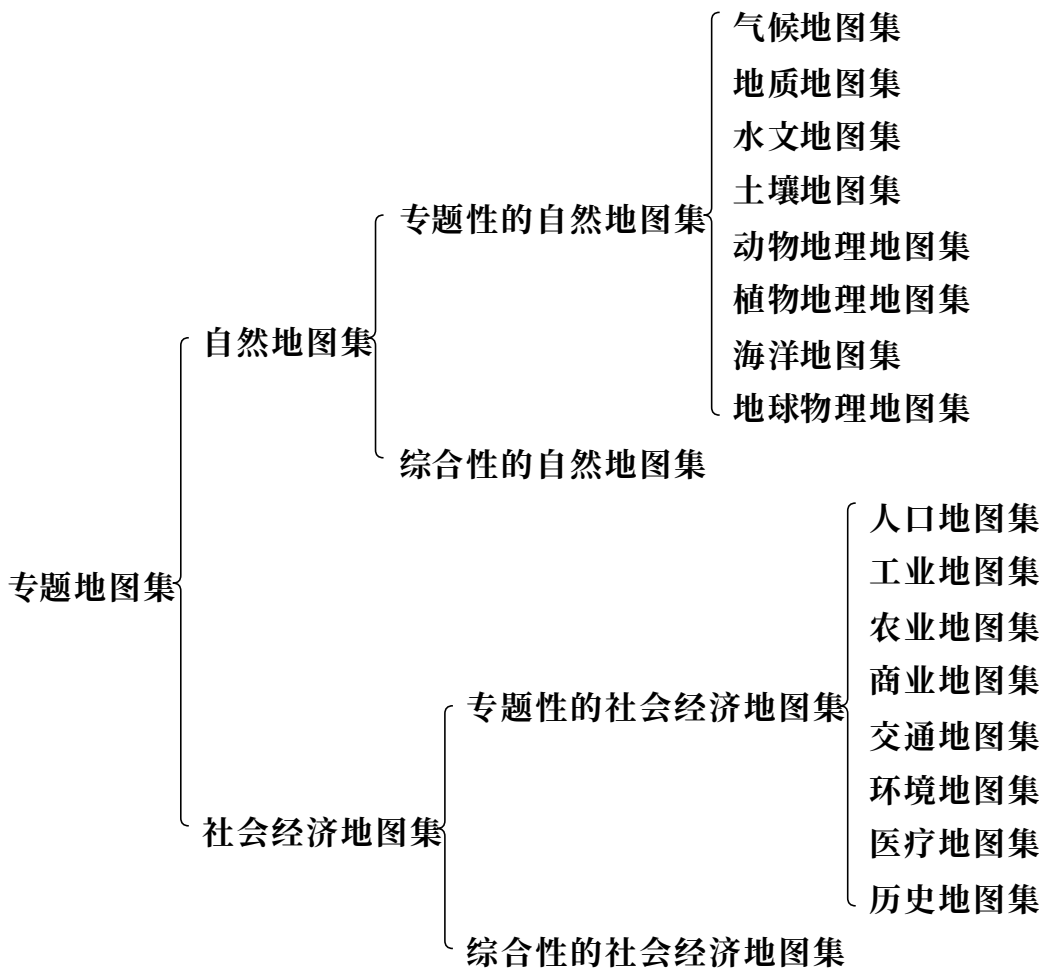


图 7-1 专题地图集的分类

(3) 综合性地图集:包括普通地图、自然地图和社会经济地图的一种地图集。其特点是内容较完备,图幅多,图种复杂,从各方面来完整地反映一个国家或区域的综合面貌和某项专题的系列资料。

3. 按地图集的用途分类

(1) 参考地图集:根据参考对象的不同,又可分为一般参考地图集和科学研究参考地图集。一般参考地图集供一般读者了解国内、外的一般地理情况及检索地名所在的位置等参考用。该图集的行政区划的地名表示得比较详细,图集后附有地名索引。科学研究参考图集一般指专题性自然地图集和专题性社会经济地图集。

(2) 教学地图集:是为配合地理教科书使用的地图集。如我国出版的各种中、小学用的地图集,其内容简要醒目,色彩鲜明。

(3) 旅游地图集:详细表示交通线、饮食宿地、风景和名胜古迹、娱乐场所等,常附有彩色风景图片和文字说明,以利于旅游之用。

(4) 军事地图集:供军事部门的军官学习各种知识及国防建设参考用。它不仅有从军事角度完整地介绍有关区域的地理概况和国防设施等专题内容,还有关于战争历史方面的地图。

二、地图集的特性

其主要特性是政治思想性、内容完整性、统一协调性、现势性和整饰印刷质量的优美。

(1) 政治思想性是衡量地图集质量的重要标准之一 。各个国家对国际事务的立场、观点和态度,对各国的关系和历史事件的处理等都会在他们所编的地图集中反映出来。因此,在阅

读任何一本地图集时,应注意其政治思想性。

(2) 根据地图集的用途和任务,充分地阐明所有的问题,这就是地图集内容的完备性。例如,国家地图集,为保证其内容的完备性,首先必须有包括全国各部分的地图,其次必须反映该国家的自然条件和社会经济的情况。

(3) 地图集的统一协调性,指地图集内地图之间的相互补充,彼此协调和它们之间的可比性。其目的在于保证各地图反映的现象之间的相互联系和依存规律能得到正确反映,以利于地图的使用。通常通过下列几方面来保证图集内部的统一协调性:

① 投影选择和图幅安排的统一协调。根据地图的主题、用途和制图区域来选择恰当的投影,但不宜过多。各类地图的安排既要全面又应有所侧重,体现一般和特殊相结合的原则。根据幅面大小和制图区域的特点,设计几种简单的,易于比较的比例尺,从而使图幅之间具有科学而严密的逻辑性。

② 采用统一的原则来设计地图内容,对同类现象采用共同的表示方法和统一的指标。

③ 采用统一协调的制图综合原则。主要体现在图例的统一分类、分级和内容概括的相互协调上。

④ 采用统一协调的整饰方法。例如,采用统一协调的色标;同类现象在不同的地图上采用相同的符号。

⑤ 采用统一协调的地理底图。由于制图区域的范围和各类地图的内容不同,对底图的投影和地理基础内容有着不同的要求,为了保证地图集中底图的统一性,又要顾及其特殊性,故底图可分为若干系列。

(4) 地图的现势性是衡量地图集质量的重要标志,只有利用最新的资料来编制地图集,才能使地图集具有高度的科学水平和现实意义。

(5) 地图集整饰和印刷质量的优美就是指地图集的色彩、符号、字体、封面和装帧的精美、统一和协调。

三、地图集的文字说明和地理名称索引

地图集中含有一定数量的文字说明,有的还有地理名称索引。

1 .地图集的文字说明

地图集的文字说明可说明在不同的地图上所表示的各种现象之间的联系,对各种地图进行全面分析,作出自然和社会经济特征的综合说明。因此,它在地图集中起着重要的补充作用。在地图集文字说明中还广泛采用图表和表格,这种方法对说明现象的变化和发展过程的特征是有效的。

文字说明中,有以序言的形式来说明地图本身的情况,叙述编制地图集的目的、用途、地图集的类型、内容、编制原则、制图方法特点、地图投影情况、制图资料情况以及译名原则等。

单一图幅或同类地图常有简短的文字说明,叙述地图的编制原则,采用的投影及变形情况,解释地图上采用指标的实质及分类,指出使用的基本资料或补充说明一些地理情况等。

如果图集中的地图是单面印刷,文字说明一般配置在图的前页或背面,也可配置在图边上;如果是双面印刷,则多放在绪言部分或图集的后面。有时文字说明较多,也可单独装订成册,这时不仅是地图集的补充,而且成为具有独立性的地理著作。

2 .地理名称索引(简称地名索引)

它是大、中型普通地图集所特有的,一般附于图集的后面,也可装订成册。

地名索引就是把地图集中出现的全部地名按一定的顺序,采用一定方法编排的索引表。我国的地图集,现有地名多按汉语拼音字母顺序(也有按笔划、部首等)编排的;国外的地图集,地名一般按字母顺序编排成表。每个地名的后面,一般列出了该地名所在的行政区域(如省)、所在图幅的页码以及地理位置(一般按经纬度构成网格的组合代号),根据页码及地理位置代号等迅速在相应的地图上找到地名的位置。

§7.2 系列地图

系列地图是统一设计和编制的反映同一制图区域多种现象的一组(或一套)地图。一般其图幅不宜太多,只选自然或社会经济要素中最基本的,最重要的内容来加以表示,通常由十余种或数种地图组成,内容比单幅地图丰富,选题比地图集精练,在教学、宣传、科研和规划中应用较广。一般多为挂图或挂图桌图兼用的形式。

一、系列地图的种类

通常系列地图可按区域、比例尺和部门加以分类。

1.按区域划分的系列地图

(1) 全国性的系列图:主要反映全国基本自然条件的系列地图。其内容包括地势、地质、地貌、植被、土壤等地图,比例尺不一。例如,墨西哥利用航空像片编制了全国性的 1∶5 万系列地图,其中包括地形、地质、水文地质、土壤、土地利用潜力等几种地图,为其开发利用土地和其他自然资源提供了科学依据。日本也编制了全国 1∶2.5 万比例尺土地资源系列地图。

(2) 地区性系列图:反映地区的基本自然条件或主要社会经济要素的系列地图。例如,我国的云南腾冲航空遥感系列图,山西太原利用卫星像片解译的系列图等都属此范围。

2.按比例尺划分的系列地图

国家基本比例尺地形图 1∶5 000、1∶1 万、1∶2.5 万、1∶5 万、1∶10 万、1∶25 万、1∶50 万、1∶100 万 8 种。

国家基本比例尺地质图 1∶5 万、1∶20 万、1∶100 万。

全国基本自然条件图 如前苏联有 1∶250 万 、1∶400 万、1∶500 万、1∶10 000 万 4 种比例尺的全国自然条件系列图。

3.按部门划分的系列地图

该系列地图包括反映某专业部门的基本内容的系列地图。例如,地质系列地图,其中包括普通地质图、矿产图、水文地质图、地貌图、第四纪地质图、工程地质图等;环境污染系列地图,包括空气污染、水体污染、土壤污染和环境噪音等地图;军事系列专题地图,包括越野通行图、通行情况图、隐蔽与掩蔽图、通视与射界图、炮兵专用成果图等。

二、系列制图的特点

编制系列地图有两种方法:一是各地理现象分别调查和分别制图,最后把完成的各种专题地图汇总在一起,清绘复制。我国过去组织的新疆、黑龙江流域的综合考察所完成的一些成果图都属这种方法制作的。另一种方法是各专业人员组织在一起,选择共同的考察路线与观察地段,先编制“自然轮廓图”,在此基础上再分别编制各要素的专题地图。不同等级的自然综合体是客观存在的,各组成要素相互制约和相互依存,它们可以区分相应的等级和类型,而各要

素相应类型的轮廓界线在许多情况下是不一致的。在野外考察和制图时,共同分析考察地段的地貌、植被、土壤、土地利用等方面的特征及其类型,分析判别像片的影像与色调特征,找出直接的和间接的解译标志,把能够区分的轮廓界线都勾绘出来。然后根据共同掌握和建立的像片解译标志,进行像片解译并同时结合地形图分析,编绘出整个区域“自然轮廓图”,最后编绘出各要素的专题地图,经统一协调定稿后,即完成了系列地图的编绘。我国云南腾冲航空遥感系列制图就是利用同一航空摄影的像片,各专业人员分别考察、解译和制图,然后将各专业人员分别完成的专题地图,进行统一的协调工作,修改有明显矛盾的轮廓界线,提高了成图速度和质量。

思考题

1. 地图集的类型有哪些?
2. 地图集有哪些特性?
3. 系列地图的种类有哪些?

第八章　地图的制作

制作地图是地理信息系统中的一部分,可以理解为创作新地图的全部生产活动过程,通常包括从地图的设计、编绘,直到印刷出大量复制品或保存在可记录介质上的电子数据这一完整的生产过程。

制作地图的基本途径为:测绘成图与编绘成图(图 8-1)。

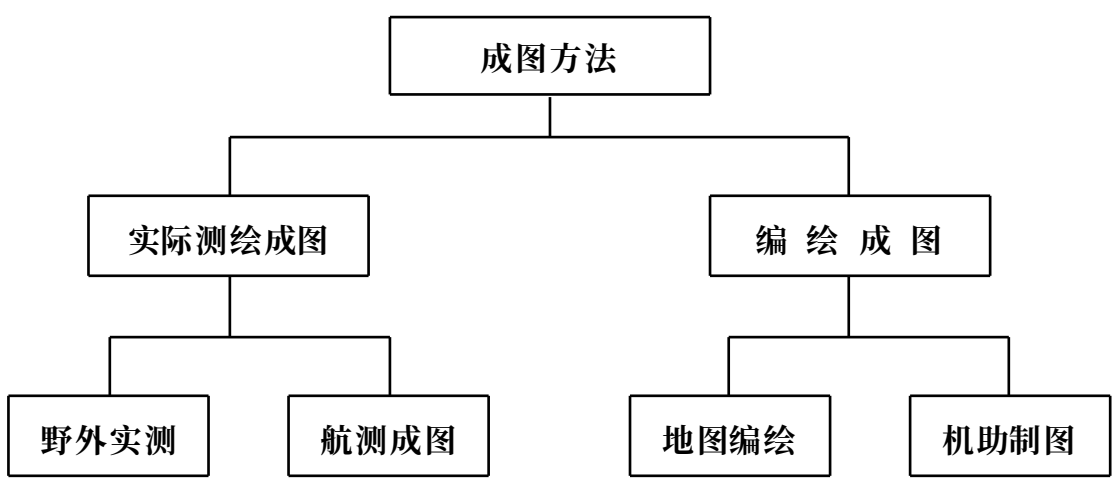


图 8-1　制作地图的基本途径

测绘成图是指直接利用各种设备成图的方法(如平板仪测图、全站仪测图、GPS 测图、航测成图等),经实测成图后再复制成足量的地图。传统的野外测图方式是在测量控制的基础上,借助于平板仪或经纬仪在白纸上测图。随着数字测图技术的发展,可以做到用全站仪在野外采集地形、地物的数字信息,通过数据库技术,利用计算机在绘图设备上绘出地图。航测成图技术已经开始使用全数字制图技术。传统的方法是对航空像片进行投影纠正、镶嵌,通过内外业的一系列工作将其变成地形图,现在这些工作基本上全部由计算机完成,最大限度地减少野外的工作量,提高了工作效率。测绘成图一般多限于城市大比例尺地图及部分偏远地区的 1∶10 万地形图的成图。编绘成图的方法则是根据各种制图资料在室内用不同的设备和方法编绘、数字化、印刷而成地图的方法。这项工作是由地图制图人员来完成。本章分节介绍编绘成图几种制图的基本方法。

§8.1　地图编绘法

根据已有的地图或其他现势性专题图、表格、数据资料等,在室内应用地图制图技术,编制出新地图的方法和过程称为地图编绘法。它是编制中小比例尺地图的主要方法。编印过程都可分为 4 个基本阶段,即地图设计、地图编绘、出版准备和地图制印,它们构成编印地图的全过程。

一、地图设计

地图设计通常是指地图的生产技术方案的制定,也就是实施地图编绘作业前的准备阶段,拟写出地图设计书,作为生产过程的指导文件。其内容包括:

1 .对地图的总体设计

总体设计通常包括以下的工作:明确地图的用途与要求,提出地图的基本轮廓;选择地图投影,确定地图比例尺、坐标网、分幅、图面配置和拼接方法等,这是设计地图的基本出发点。对地图的用途和要求进行调查研究,使地图的使用者、生产者和设计者相结合,才能设计出优质的地图。

在设计地图之前要搞清楚以下几个问题:① 过去有无使用过类似的地图,使用中的优缺点,现在接近使用要求的地图有哪些,它们能否满足要求,存在什么问题。② 地图使用对象的情况,地图使用范围和方法。③ 要求图上显示的制图范围和特别要强调的地图内容,图上有哪些区别与一般地图的要求。

2 .收集、分析和整理编图资料

即根据编图的任务和要求,收集和整理所需要的各种地图资料、测量控制成果、航空像片和卫星图像等,对这些资料进行分析和评价,选出现势性强、精度高和完备性好的各种资料,并确定这些资料的使用程度。

编图前必须尽可能全面地收集资料。显然,如果在设计地图时遗漏了最好的资料,在编图过程中或编绘完成后发现了它们,欲加以补充引用或根据它修改补充地图的内容,将会造成很大的困难或返工。

收集时对资料作出准确的评价是很重要的,按照资料的使用程度可分为:基本资料、补充和参考资料、现势资料。基本资料是编图时作为主要依据的,是构成新地图的地理图廓和主要内容的地图资料,有时也称作“ 底图资料 ”。基本资料选择的好坏直接影响到编图的质量、成图速度和成本。补充资料通常指的仍然是地图资料,凡在某些方面有可取的内容,可用来补充、更正基本资料不足的都可归入这一类,补充资料经常是各省区出版的政区图、交通图、地图集。参考资料是作为研究制图区域、分析制图资料,核对某些内容时起到一定参考作用的资料,这类参考资料多为非地图形式的各种文字资料和统计资料。现势资料是地图出版以后,地面发生变动的内容,这些变动要素诸如境界、行政中心驻地、居民地轮廓、人口数、道路、水工建筑、地名等。

3 .研究制图区域的地理特征

为了能正确地反映制图区域地理要素的特征、分布规律和各要素之间的相互联系,必须在选好的制图资料上研究和熟悉制图区域的地理特征,必要时也可进行实地考察,并确定新编地图的表示法。

为编图而进行的区域研究,使用了比较广泛的资料(政治、经济、军事、测绘、地学等),有自己的内容、方法和成果,明显不同于其他地理研究。所以区域研究要求采用区域分析、综合整理和重点调查几个互相联系而又相互独立的方法。

4 .编写地图设计书

地图设计书是地图设计阶段的主要结果,其内容包括:地图任务、地图用途和要求、地图的数学基础、制图区域地理特征、编图资料的评价和应用、图面配制、地图内容的表示方法和综合原则、地图编绘程序与工艺、印刷原图制作、地图出版等方面的工作计划和技术规定。

二、地图编绘

它是地图编绘人员根据地图设计书编绘新图的过程,最终结果是完成地图的编绘原图制作。故这一阶段有“ 原图编绘 ”之称。

编图也必须遵循必要的基本原则,即鲜明的政治立场、严密的科学内容和精美的艺术整饰。首先应该研究与所编地图有关的文件,研究科学研究机构和专门业务部门公布的文字资料(如气候、经济方面的资料)等,其目的是反映有关部门的发展方向及其新的成就,保证所编内容的完备性和科学性。

在编绘阶段中,首先要对编图的原始资料进行一些加工处理,使资料(地图)适合于照相的要求。例如原始资料为彩色地图时,要对蓝色的水系要素加描成绿色或黑色等。其次,根据选择或新设计的地图投影,要求计算图廓点、经纬网点的坐标,再用仪器将地图的数学基础展绘于图版上,然后可用照相法或其他方法(如光学仪器转绘法、缩放仪转绘法、网格转绘法等),将原始资料(地图)上的内容转绘到展有地图数学基础的图版上,这样就获得了供编绘作业用的底图。

在这种编绘的底图上,按一定的顺序分要素进行编图作业。例如,通常编绘都是从水系要素开始,然后逐次完成全部内容的编绘。在编绘过程中,不仅要按设计符号用色彩进行编绘,而且还要根据地图的主题、用途、比例尺和制图区域的地理特征,对地图内容进行选取和概括,反映地面最重要、最本质的现象,而舍去次要的、非本质的现象,这个过程就是制图综合(图 8-2)。

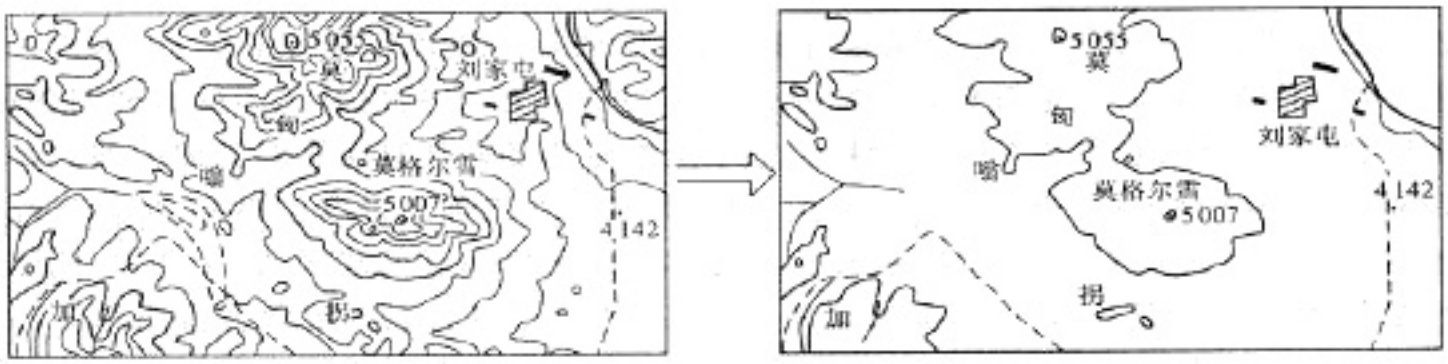


图 8-2 同一地区不同比例尺地图的制图综合

三、地图出版准备

它是为了满足复制地图的要求而进行的一项过渡性的工作。

为了使新编地图易于阅读和体现未来地图的基本模样,一般是制成彩色编绘原图,它虽已具有未来地图的基本式样,但原图编绘时,重点是地图内容的科学性及正确性。编绘时,不仅要进行制图现象的选取和概括,还要合理地处理好各要素之间的适应关系,加上使用多种资料并进行反复的补充修改等,使编绘原图的整体质量一般不能达到复制地图的要求,例如线划符号的描绘和注记的书写质量不高,加上彩色编绘原图不适应于照相制版的要求,因此需要根据编绘原图重新制作适应于复制要求的出版原图(也称清绘原图)。

出版原图的制作,一般是先把编绘原图或实测原图照相,晒蓝在裱糊好的图版或聚酯薄膜上,经过清绘(用墨或颜料描绘),剪贴符号与注记制成出版原图。

表 8-1 简要列举了制作地图的四个阶段及其主要工作和成果。

对于难度较大的图幅,通常按成图比例尺放大(如 1∶5 万可放大到 1∶4 万)清绘,这样可提高线划质量、减少绘图误差。地图内容较为简单的单色地图采用一版清绘即可。如果是多色图,可采用分绘在几块版上的分版清绘。这样可以减少制印时分版的工作量。

表 8-1　地图编绘全过程

阶　段	主 要 工 作	主 要 成 果
地图设计	确定地图的要求,收集、选择制图资料,研究制图区域,确定地图比例尺、投影、图面配置等,确定制图工艺,进行科学试验	地图设计书
原图编绘	资料的准备、加工,建立地图的数学基础,转绘地图内容,实施制图综合、编绘,接边、整饰、审校、修改、验收	编绘原图
出版准备	制作出版原图,制作分色参考图、审校、修改、验收	出版原图
地图制印	照相、翻版、分涂、制版、打样、印刷	印刷图

制印多色地图时,必须制作分色参考图,作为分版分涂的依据。分色参考图分为线划分色参考图和普染分色参考图,一般是根据印刷原图按成图比例尺制成的蓝图或复印图来制作的。

§8.2　数字地图制图

从 20 世纪 50 年代开始,电子计算机技术引入地图学领域,经过理论探讨、应用实验、设备研制和软件发展,已形成地图学中一门新的制作地图的应用技术分支学科,即计算机地图制图学。它代替传统的地图制图技术,在生产上已普遍得到应用。

计算机地图制图,是根据地图原理,以计算机和一系列自动制图设备为工具,应用数学逻辑方法,研究地图空间信息的获取、变换、存储、处理、识别、分析和图形输出的理论方法和技术工艺,对传统的制图方法进行计算机模拟,实施地图的设计和编绘。

表示地图各要素的图形基本上可以看作是点(PNT)的集合,点组成线(LIN),线构成面(REG),可以说构成地面要素的点、线、面按照一定逻辑抽象规律的集合就是地图。计算机地图制图就是把图上的点的坐标(x, y, z)作为信息的记录下来,并对这些数字形式的图形符号进行处理,然后将经过科学加工的数字信息再现,形成地图图形,直到满足输出,完成制作地图的全过程。

计算机地图制图系统有三个组成部分:

硬件　即执行输入、输出和运算的机器。

软件　即驱动机器的各种指令。

数据　在软件控制下由计算机处理的对象和内容。

用于计算机地图制图的数据不同于其他领域的数据,是具有地理和制图特性的空间定位数据。数据对于计算机制图非常重要,所有制图资料必须变为计算机可接受的数字形式,并对以各种方法搜集和准备的数据进行编辑处理、管理和维护。因此,从某种意义上讲,计算机地图制图技术也可称为数字制图技术。

一、数字地图制图(机助制图)技术的发展

对数字地图制图来说,电子计算机是其形成和发展的基本物资条件,工程设计领域中计算机图形学则为计算机地图制图奠定了一定的理论基础和物质基础,而遥感技术以及获取地理数据的各种电子设备,则促使机助制图向纵深发展。机助制图技术的发展可分为三个阶段:

(1) 初级阶段:大约 20 世纪 60 年代初期至 60 年代后期。当时的计算机大致处于第二代产品阶段。有关机助制图系统的配置是主要的研究课题,包括硬件设备和以获取图形显示为目标的软件的研制。其标志为 20 世纪 50 年代末,美国 Colcomp 公司研制成功数控绘图机,为构成基本的自动绘图系统创造了基本条件;1963 年,美国麻省理工学院研制第一套人 - 机对话交互计算机绘图系统;1964 年牛津大学首先建立了牛津自动制图系统,并首次进行了地形图的机助制图。牛津系统的首次实验,引起了国际制图界的极大兴趣和广泛重视。几乎与此同时,由美国哈佛大学计算机绘图实验室研制成功 SYMAP 系统这是以行式打印机作为图形输出设备的一种制图系统。这两个机助制图系统的诞生,对这一新兴学科的发展,作出了开创性的贡献。

(2) 发展阶段:自 20 世纪 60 年代后期到 80 年代中期,是机助制图的发展阶段。在这一阶段,计算机及其外部设备的研制取得了突飞猛进的发展,已出现第三、第四代产品。在这样的环境下,机助制图以空前的速度和规模发展。这一阶段的主要研究课题是数字地图的应用问题。从地图上或通过其他途径获取的地面数据,除了用于恢复原来的地图图形和产生新的地图以外,更重要的是为军事、规划、设计和管理部门提供咨询服务,使他们能快速地、准确地获取必要的地理信息。

(3) 飞跃阶段:从 20 世纪 80 年代中期至今,随着新一代计算机产品的出现,机助制图进入了飞跃阶段,各种制图硬件和软件得到进一步的完善,并引入了专家系统,制图综合也初步实现了智能化,并最终形成了完整的电子出版系统;另一分支是发展为完善的地理信息系统,制图系统成为地理信息系统的一个子系统,配合地理信息系统强大的空间分析功能,使制图系统更具自动分析功能,各种专题图的制作也更为方便、精确。

伴随着计算机网络时代的到来,网络地图系统、网络地理信息系统也已出现,并正向大型网络(Internet/ Intranet)方向发展;向开放标准的软件开发工具发展;向数据仓库提供图形解决方案发展;向空间和属性数据的统一数据库管理方向发展。随着这些新的发展,地图系统必将在更广的范围、更深的层次上为人们所应用。

二、数字地图制图的常用设备

在数字地图制图的过程中,除了我们熟悉的计算机之外,主要设备还有输入输出设备,如扫描仪和打印机。在这里就扫描仪和打印机作简单的介绍。

(一) 扫描数字化仪

扫描数字化仪是将原图分解为栅格像元的地图图形转换成数字,从而达到数字化的目的。扫描数字化仪有两种结构类型:滚筒式扫描仪和平台式扫描仪。

1 .一般扫描仪工作原理

扫描仪主要由光学成像部分、机械传动部分和转换电路部分组成,这几部分相互配合,将反映图像特征的光信号转换为计算机可接受的电信号。

光学成像部分是扫描仪的关键部分,也就是通常所说的镜组。扫描仪的核心是完成光电转换的光电转换部件,目前大多数扫描仪采用的光电转换部件是电荷藕合器件(CCD),它可以将照射在其上的光信号转换为对应的电信号。一般情况下,打开扫描仪的上盖,可以看到里面有镜条和镜头组件及 CCD。除核心的 CCD 外,其他主要部分有:光学成像部分的光源、光路和镜头。转换电路俗称机器主板,它负责完成一切电路的伺服工作,模数转换(A/ D)工作,当然也包括镜组给它的数字信号的处理。机械传动部分包括步进电机、扫描头及导轨等,主要负

责主板对步进电机发出指令带动皮带,使镜组按轨道移动完成扫描。

扫描仪工作时,首先由光源将光线照在欲输入的图件上,产生表示图像特征的反射光(反射稿)或透射光(有负片透射能力的形成透射稿)。光学系统采集这些光线,将其聚焦在 CCD 上,由 CCD 将光信号转换为电信号,然后由电路部分对这些信号进行 A/ D 转换及处理,产生对应的数字信号输送给计算机。当机械传动机构在控制电路的控制下,带动装有光学系统和 CCD 的扫描头与图件进行相对运动,将要输入的图件全部扫描一遍,一幅完整的图像就输入到计算机中了。

2 .扫描仪的主要性能指标

(1) 扫描精度:也称扫描仪的光学分辨率,取决于所采用的 CCD 中排成直线的光学元素数量,用 dpi(dots per inch 即每英寸点数)表示。目前最高的光学分辨率为 600dpi,提高光学分辨率可通过软件插值算法实现,例如 2 400dpi 的分辨率需插值两次。

(2) 扫描速度:主要与扫描次数有关,一般分三次扫描和一次扫描两种。三次扫描慢于一次扫描,因为它采用一只白灯管和三个滤色镜(即 RGB),当光线照射图像再反射到 CCD 时,需三次分别经过 R、G、B 三原色滤色镜,才得到彩色的 RGB 数据。一次扫描则直接选用彩色 CCD,光线照射图像直接反射到彩色 CCD 上。

(3) 图像质量:图像质量取决于表示彩色的位数。例如 24 位真彩色,指每个像素用 24 位二进制数表示,2^{24} = 16. 8M,即每个像素可用 16. 8M 种颜色表示。

3 .扫描仪的一般维护

由于扫描仪在长期使用过程中会因为磨损而发生如:机械声响大、图像错位、图像模糊等问题,因此扫描仪的清洁维护是扫描维护的重要组成部分。扫描仪清洁维护工作主要是对扫描的镜组、机械部位进行清洁、维护,以达到保证扫描仪的扫描质量、延长扫描仪寿命的目的。

扫描仪清洁维护时应注意一些关键问题:擦基准白时一定要擦干净,否则扫描图像会出现竖线条;在擦拭镜组时,一定要注意不要用酒精擦镜条,千万不能划伤镜条和透镜;在安装皮带时要注意,将粘有胶的地方靠近镜组;往滑杆上上油时,油不可过量,多余的润滑油一定要擦掉。在遇到其他问题时,最好请教专业维护人员,或者在他们的指导下开展扫描仪的维护工作。

(二) 打印机

1 .打印机的工作方式

在现代计算机制图生产过程中,喷墨打印机已经成为主流图形输出设备。它可以把计算机所生成的图形用绘图笔或墨方式画在绘图纸上保存下来。一般计算机辅助 CAD 制图系统中设计成的图,都需要以一定的比例绘制在绘图纸上,以供质量检查员检查、审阅或作为上交资料使用。因此大幅面的绘图仪是制图系统的重要输出设备。

以前,多采用笔式绘图机,笔式绘图机与喷墨绘图仪相比,速度快、价格相对便宜,使用成本低(因为只需普通的圆珠笔即可,而墨盒则较贵)。且有大型的笔式绘图机,绘图宽度可达到 240cm(例如最新的 EPSON),比较适用于地图生产中大幅面地图的输出 。但笔式绘图机也有它的缺点,它对绘图纸的要求标准较高,纸张要细、纸表面要平整,无疵点。另外,上纸的操作相对较复杂,绘制纸样不及喷墨绘图机那样随意,灵活性大。总之,笔式和喷墨绘图机各有优缺点,要根据用户的实际生产情况来选购。

喷墨绘图仪是目前比较常用的一种图形输出设备,它可以在纸上或其他材料上画出图形。绘图仪上一般装有一支或几支(现在最多达到 6 支)不同颜色的绘图墨头,这些绘图墨头可以

在相对于纸的水平和垂直方向上移动,而且根据需要抬起或者降低,从而在纸上画出图形。用绘图仪画图与我们用手画图是有所不同的。我们在画图时,画直线时用直尺,画圆或圆弧时会用圆规,而绘图仪的绘图墨头是由电机的带动在水平和垂直方向上移动的,由于任何图形都可以用曲线和直线段组成,而且即使曲线也可以用直线段来逼近,因此,绘图仪画出的图形正是由这些水平的、垂直的或 45°倾斜的线段组成的,只要我们仔细地看,就可以发现是一些锯齿状的折线。当然,如果线段足够短的时候,这种锯齿就不太明显了。

绘图仪在绘图时必须接受主机发来的命令,这些命令放在一个存储器中,由控制器根据命令发出水平方向、垂直方向、抬笔或者落笔等动作命令。高性能的绘图仪包含有画字符、直线、圆弧甚至三次曲线的专用硬件器件,采用这些器件可以大大减少绘图仪对主机提供数据量的要求。与其他计算机的外部设备一样,绘图仪也越来越多地采用微处理器进行控制,以提高绘图的速度、效率和精度。

2.绘图仪的维护

绘图仪的供应商较多。HP 公司的绘图仪以其精湛的工艺、优良的品质在我国享有较高的声誉,在我国有很大的市场,多被设计、规划部门所采用,其代表机型(按推出的时间顺序)有 330C、350C、650C、750C、1 050C、2 000C、2 500C、3 000C、3 500C、5 000C 等。为了更好地帮助读者了解其性能及常规维护方法,现以 HP Design Jet 750C 为例,介绍其产品使用维护技巧。

(1) 与计算机的联接:绘图仪新购买后,并不提供与计算机联接的接口电缆,用户可自行制作一根,它的接口标准有串行和并行两种,由于速度上的原因,建议使用并口作为接口标准。

(2) 检查内部设定:新机购回后,可测试其“setup sheet”(设定页),测试“setup sheet”可对绘图仪与计算机通讯以及绘图仪自身的一些特性进行设置,测试方法是,开机自检后,待就绪指示灯亮时,装放 A4 大小复印纸按下“设定键”即可,项目更改完毕后,将页面朝下送入绘图仪,再次按“设定键”即可,例如,其主要一个测试项目:Ⅰ/O Time Out 有些软件可能没有在文件的末尾写上正确的终止符,这种情况下,绘图仪可能不知道文件已经结束,而会等待更多数据,直到Ⅰ/O 超时结束,默认时间为 30min,可更改此值。

(3) 正确使用绘图仪的墨盒:HP Design Jet 750C 是一种彩色喷墨绘图仪,它可以进行彩色或单色绘图,内含黄色、青色、洋红色和黑色墨盒,其他色彩均从这 4 种颜色中产生,如果只需要绘制黑色,虽然可以只用 1 个黑色墨盒,但 HP 公司建议不要只装入一个黑色墨盒进行操作,这样对机器的正常运行不利,黑色墨盒的型号为 HP51 640,其余三个墨盒型号分别为 HP51 644Y:黄色,HP51 644C:青色,HP51 644M:红色。在墨盒的中部有一小窗,指示墨量的多少,墨满时小窗呈绿色,随着墨量的逐渐减少,绿色指示器向左移动,墨量用尽后,小窗呈全黑色,此时需要换墨盒,每一个墨盒在墨盒小车均有固定的位置,当安装好新墨盒后,绘图仪就绪指示灯会闪动三下,以示墨盒已经装好,如果墨盒出现故障时,可用此法检测出墨盒好坏,坏墨盒在安装后,就绪指示灯没有闪动。

(4) 正确使用绘图仪的墨盒:关于墨头的清洗,可以有两种方法,一是用机器自带的清洗柱塞,在墨盒前方可看到 4 个按键,对应于不同的墨盒,清洗时,按下要清洗墨盒的按键,然后用力将右侧的柱塞按下,松手后柱塞返回原位,多次按下柱塞,可以起到较好的清洗效果,另一种是人工清洗,方法是取下墨盒,将喷嘴朝上,用餐巾纸(切勿用药棉清洗,那样会堵塞喷嘴)轻轻擦拭即可,喷嘴脏时,可以引起出墨不均匀或者线段周围有毛刺的现象,所以建议定期清洗墨头,以保证良好的绘图质量。

由于在步进电机的走纸和墨盒小车的水平移动之间有一些差异,绘图仪本身提供了黑色和彩色墨盒的校正功能,对黑色墨盒的调整方法是:就绪指示灯亮时,装入一 A4 大小介质(复印纸即可),然后同时按下“设定”和“重绘”,绘图仪将打印出“Alignment sheet”——校准页,观察,在最直的一组椭圆框中,涂上标记,如果对照最直的一组正好是当前的选择,就必须先选择新的设定,然后按照指示,将标准页朝下,再次装入绘图仪,待就绪指示灯亮时,按下设定页,绘图仪将自动读取并进行调整,彩色墨盒的调整同黑色墨盒基本相同,只是在一开始时按下“进纸”和“继续绘图”键。

(5) 正确使用介质:绘图仪支持多种介质的使用,对于不同的介质,应在控制面板上选择对应项,具体的介质类型,此处不再详述,可参阅有关手册,建议使用卷筒介质,因为它的进纸很方便,无需像单张介质那样经过多次校准。

三、数字地图的编辑与制印

(一) 数字地图的基本流程

与传统的人工制图相比,数字地图制图在数学要素表达(地图投影选择与实现)、地理要素编辑、地图制印等方面都发生了质的变化。数字地图制图的基本过程可分为 4 个主要阶段。

1 .资料准备阶段

这一阶段的工作与传统的制图过程基本相同,包括收集整理、分析评价和确定编图所用资料。根据编图要求选定地图投影方式、比例尺、地图内容、地图载负量、表示方法等,并按计算机辅助制图的特点作些编辑准备。例如,作数字化前,须对原始资料作进一步处理(包括整平图纸资料、资料完整性和可拼接性检查)。资料准备还包括设计地图内容各要素的编码系统,即地图图例的特征码(特征码就是用来描述地图图形数量和质量特征的数字编码),其设计要求准确,能反映地图内容的内在联系,便于计算机处理、识别和存储,并力求规范化和标准化。

2 .数据获取阶段

所谓地图数据获取就是数字化——将图形转化为计算机可识别的数字信息,这也是我们经常提到的数据录入,即将点、线、面转化为数据表示。主要有两种方式,手扶跟踪数字化仪和扫描矢量化(图 8-3)。

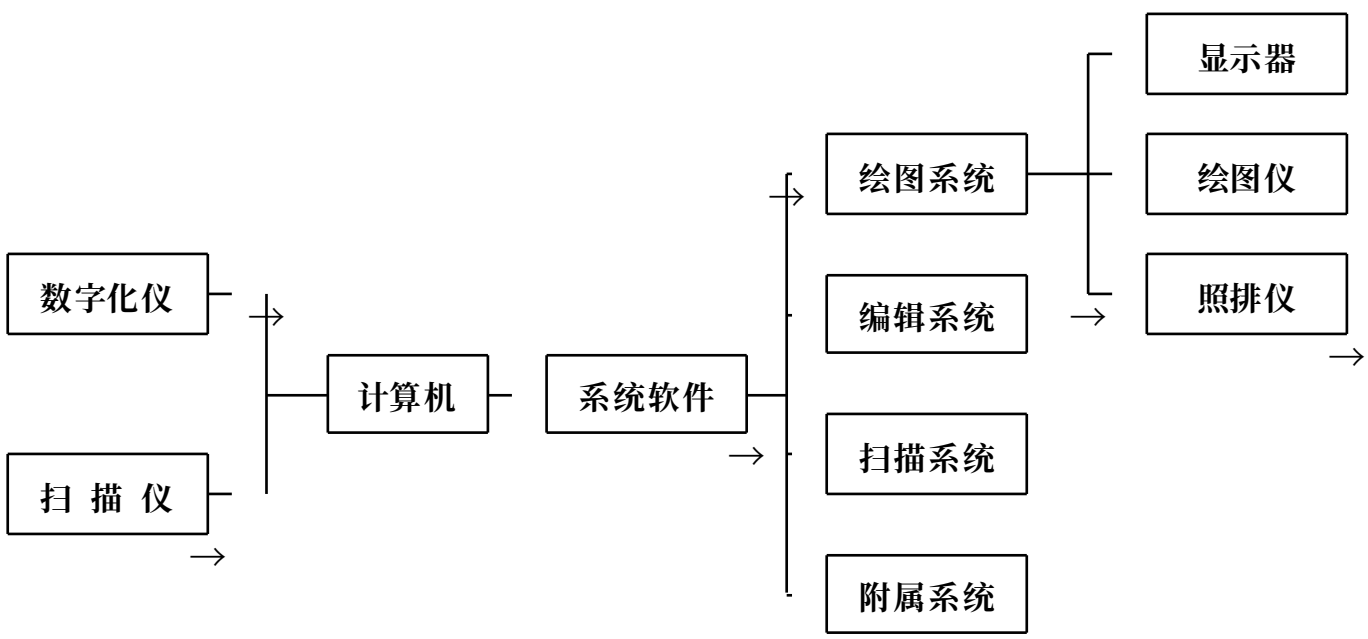


图 8-3　地图数字化的手扶跟踪数字化仪和扫描矢量化

手扶跟踪数字化仪的转化是借助跟踪数字仪来实现的。即使用数字化仪的标示器定位中

心跟踪图形轮廓,沿图形中心线方向推进,直接读取和记录一系列平面点的(x, y)坐标值。扫描矢量化方式是通过扫描仪扫描原图获得光栅图像,一般先以图像文件形式存储,再对读入图像进行矢量跟踪,矢量跟踪的基本思想就是沿着栅格数据线的中央跟踪,将栅格转化为矢量数据线。全自动矢量化对于那些图面比较清洁、线条比较分明、干扰因素比较少的图,跟踪出来的效果比较好;但是对于那些干扰因素比较大的图(注释、标记特别多的图),就需要人工干预,才能跟踪出比较好的图,这就是交互式矢量化。

两种输入方式获得的数据可以相互转换,由于扫描方式的灵活性,致使扫描矢量化越来越受到重视。制图资料经过数字化以后,建立数据库,供计算机处理,为应用 GIS 提供可视数据,直至为各行各业建立业务数据模型和为宏观决策提供依据。

3 .数据处理和编辑阶段

计算机制图的过程先是由图形变成数字(数字化)。地图信息量大是众所周知的,为了保证成功的进行数据的输入、检索、更新和管理,就需要设计很好的数据结构和数据库管理系统。地图数据库是一种复杂的数据文件的总称。它以数字形式把地图内容通过数据管理程序,按照一定的数据结构予以组织和管理,并存储在具有存取能力的介质上。在数字制图系统中,地图数据库的任务不只是存储数据,更重要的是提供良好的、快速的和多功能的检索功能,以便根据不同的具体要求,快速提供相应的内容,这是实现自动化制图的前提和强有力的工具。

在数据库的管理控制下,对数据进行处理(按制图要求对图形进行改变),再把数字转换为图形(图形输出)。数据处理是在输入与输出之间的一个重要阶段,包括地图数学基础的建立,不同投影方式之间的变换,对数据进行选取和概括,误差校正等,这些工作都是制图人员调用软件系统来实现的。

5 .图形输出阶段

这一阶段是将经计算机处理后的数据转换为图形。图形输出首先是屏幕显示,用于在正式绘图前进行图形交互检查。输出图形的方式有矢量绘图和栅格绘图两大类。它们可以在绘图仪、喷墨打印机上打印,以及利用光学系统照排输出菲林胶片等形式。

(二) 地图分层

分层是数字地图制图中一个很重要的概念。例如一幅城市中心的数字化底图,图上就有很多不同的要素类型:面状的要素如街区地块、绿地、湖泊等,线状的要素如交通路线,道路名称注记等。不同的图形要素类型具有不同的图形空间结构,所以应当将不同图形要素类型分为不同的图层存放。

现有的桌面制图软件和专业 GIS 软件对“层”的称法不尽相同,有“Layer”、“Coverage”等,它们均按图层来组织地图数据。

对于同一地理区域,不同专题的数字地图产品会使用同一图形数据,例如城市交通图和土地利用图上都有名称要素。通过图形要素的分层可以方便地实现不同数字产品之间数据的“共享”,从而大大减少数字化作业量,同时也可保证地图数据的质量。

所以,数字化一幅地图的分层工作往往先需确定图上的构成要素,例如道路、地块、水域、地名等;然后明确各图形要素是以面状、线状还是注记方式表示。同是道路,在不同的比例尺和不同的需求条件下,可能以线状也可能以面状形式表示。

表 8-2 是某地 1∶10 万地形图数字化时的图形要素分层分类情况。

(三) 图形要素编辑

无论以何种数字化方式输入数据,都会出现误差,应进行图形的编辑工作以及检查误差。

主要的编辑工作有图形要素的修改、增加、删除和图幅拼接。

表 8-2　数字地图的分层实例

ID	要素名	输入类型	使用颜色
1	街区	面状	
2	市界	线状	紫
3	区界	线状	紫
4	街道界	线状	紫
5	铁路	线状	橙
6	双线河	面状	淡蓝
7	单线河	线状	深蓝
8	政府驻地	符号注记	大红
9	街道驻地	符号注记	大红
10	医院	符号注记	大红
11	学校	符号注记	大红
12	区名	文本注记	大红
13	街道名	文本注记	大红
14	工厂名	文本注记	黄
15	学校名	文本注记	黄
16	一级路名	文本注记	棕
17	二级路名	文本注记	棕

(1) 图形单元的修改与增删:造成同一多边形不闭合或同一线段不连接的原因可能是数字化引起的误差,例如忽略了点与点之间的连结,也可能是输入了错误的代码;当相邻多边形的共同边界需要数字化二次时,便会出现重叠和裂口。对于这类多边形或线段的空间逻辑性错误,需要在数字化后通过对相关结点进行移动、删除或增加适当结点以纠正错误。

(2) 图幅拼接:当对底图进行数字化或扫描后,如果设备的工作区间较小,或由于图幅比较大,难以将研究区域的底图以整幅的形式来完成,就需要对图幅进行拼接处理。在分幅输入完成并经过误差检查和比较后,虽然对每一分幅来讲错误纠正是完成了,但在两幅图进行拼接时,一般仍会出现边缘不匹配的情况。因此需要进行图幅数据边缘匹配处理。一般的方法是先对准两幅图的一条边缘线,然后再调整其他线段使其保持连续性。

(四) 专题地图设计

以计算机桌面制图系统进行专题地图的制作已相当普遍,同一地理信息可以用不同的表示方法和符号系统来传递,最常见的专题地图表示方法有点密度(dot density)、等级符号(graduated)、独立值(unique value)、范围法(scope)、直方图(bar chart)、饼图(pie chart) 等。同一表示方法也可以传递不同的地理信息。

制作专题地图是根据某个特定的专题对地图进行渲染的过程。专题通常是数据的某些特

有属性字段(或称“专题变量”),渲染不仅是指对色彩的渲染,而且还包括所用的填充图案、符号以及用于显示地图数据的专题方法(例如饼图和直方图)。专题渲染图层作为单独的图层绘制在基础底图图层上面,两者是分开存放的。

在桌面制图软件环境下,一般的专题制图步骤为:

(1) 确定所执行的专题变量,确定使用的专题表示方法。其中饼图和直方图可以一次显示多个专题变量,其他类型一次则只能显示一个变量。

(2) 确定从何处获取数据,特别是使用不同图表上的数据时,需要通过数据之间的聚合来实现。

(3)自定义专题图例。创建专题图时软件会自动创建图例,并解释颜色、符号、大小分别代表什么,但用户可以进行自定义,例如更改颜色和符号、改变图例的顺序、增加标题和副标题、自定义字体和变量范围等。

(五) 图面配置与输出

最终的数字地图产品不仅包括各种分层的图形要素,还可能包括与图形相关的各类统计图表、图例乃至图片,所以需要将不同的图形窗口、统计图窗口和图例窗口在一个页面上妥善地安排,这就是图面的配置(layout)问题。现有的许多桌面制图软件都提供了多窗口、多种图表进行图面配置的功能。

地图输出功能设计一般包括了输出设备类型、输出纸张、输出幅面、比例尺、黑白或彩色等参数的选择。

思考题

1. 制作地图常用的方法?
2. 地图编绘法可分哪几个基本阶段?每个阶段的主要成果是什么?
3. 什么叫数字制图?主要有哪几个部分组成?
4. 数字制图需要哪些硬件设备?
5. 何谓数字化?有哪两种数字化方法?
6. 什么是地图数据分层?它有什么作用?

第九章　遥感制图

遥感制图是指利用航天或航空遥感图像资料制作或更新地图的技术。其具体成果包括遥感影像地图和遥感专题地图。遥感影像,因现势性强,可作为新编地形图的重要信息源。

随着遥感技术的兴起,使传统的地图编制理论与方法发生了深刻的变革。因为遥感技术不仅可以通过多平台、多波段、多时相的信息源,快速、真实地提供丰富的制图信息,同时也使地图制图工艺发生了根本性的变化,打破了以往传统制图只能由较大比例尺的编图资料,缩编成较小比例尺地图的老方法,从而可以利用小比例尺的遥感图像资料编制较大比例尺的地图。遥感技术在地图学领域的应用,也大大缩短了地图的成图周期。快速获取的遥感信息及遥感图像的自动分类,在地理信息系统的支持下,与计算机辅助制图技术相衔接,使专题制图具有广阔的发展前景。当实现遥感、空间定位系统和地理信息系统的有效结合时,将使地图编制由传统的手工方式完全跨入真正化成图的新阶段。

§9.1　遥感概述

遥感(remote sensing),字面含义就是遥远的感知,即通过某种传感器装置,不与对象接触的情况下,获取其特征信息(一般是电磁波的反辐射和发射辐射)而收集有关该对象的信息,并对这些信息进行提取、加工、表达和应用的一门科学和技术。人类和自然界的许多动物都具有遥感这种本领。遥感技术包括传感器技术,信息传输技术,信息处理、提取和应用技术,目标信息特征的分析与测量技术等。

追溯遥感的起源,是 18 世纪中叶发明照相摄影技术之后。开始人们通过气球、风筝、鸽子,后来用飞机携带遥感器来摄取地面图像,制作地形图、街道图等。自 1957 年苏联发射了第一颗人造地球卫星以来,标志人类进入了太空时代,继而在 1968 年“阿波罗 8 号”上第一次拍摄了地面多光谱图像,从此人类以全新的视角来重新认识自己赖以生存的地球。1972 年美国发射了第一颗地球资源卫星(ERTS - 1),为探测地球自然资源,发展航天遥感开辟了新的途径。之后,相继发射了五颗改名为 lardsat 的陆地卫星,摄取了大量的遥感图像,随着计算机技术、光电技术和航天技术的不断发展,卫星遥感技术进入了一个快速发展、及时提供海量数据的新阶段及应用研究的新领域,并广泛应用于各种制图,使遥感技术在制图方面的应用得以迅速发展。

一、遥感的基本原理

“遥感”,顾名思义,就是遥远地感知。传说中的“千里眼”、“顺风耳”就具有这样的能力。人类通过大量的实践,发现地球上每一个物体都在不停地吸收、发射和反射信息和能量,其中有一种人类已经认识到的形式—电磁波,并且发现不同物体的电磁波特性是不同的。遥感就是根据这个原理来探测地表物体对电磁波的反射和其发射的电磁波,从而提取这些物体的信息,完成远距离识别物体。

遥感应用中最基本的设施就是传感器。常用的传感器:航空摄影机(航摄仪)、全景摄影

机、多光谱摄影机、多光谱扫描仪(multi spectral scanner, MSS)、专题制图仪(Thematic mapper, TM)、反束光导摄像管(RBV)、HRV(high resolution visible range instruments)扫描仪、合成孔径侧视雷达(side-looking airborne radar, SLAR)。

人们用遥感器收集、记录物体的多光谱图像和各种物体的光谱特征相比较,就可区别各类遥感物体。例如,大兴安岭森林火灾发生的时候,由于着火的树木温度比没有着火的树木温度高,它们在电磁波的热红外波段会辐射出比没有着火的树木更多的能量,这样,当消防指挥官面对着熊熊烈火担心不已的时候,如果这时候正好有一个载着热红外波段传感器的卫星经过大兴安岭上空,传感器拍摄到大兴安岭周围方圆上万平方千米的影像,因为着火的森林在热红外波段比没着火的森林辐射更多的电磁能量,在影像着火的森林就会显示出比没有着火的森林更亮的浅色调。当影像经过处理,交到消防指挥官手里时,指挥官一看,图像上发亮的范围这么大,而消防队员只是集中在一个很小的地点上,说明火情逼人,必须马上调遣更多的消防员到不同的地点参加灭火战斗。

上面的例子简单的说明了遥感的基本原理(图 1-8)。

依其工作原理可知,遥感图像信息可由摄影系统的遥感器和光-电系统的遥感器来获取。摄影系统获取遥感图像信息是由摄影机记录各种地物光谱特征信息在感光胶片上而实现的。主要获得地面景象的黑白片、彩色片、红外片等,这种方法不仅在使用的波长范围受到感光乳胶的限制,而且记录的图像不能与计算机接口使用、光-电系统获取遥感图像信息是采用电子扫描方式将遥感信息以数字形式记录在磁介质上,即可直接与电子计算机接口使用,并可获得各种波段的卫星图像信息。

Landsat-4、5 周期为 99min,摄取宽 185km 地面带的遥感信息;每天绕地球转动 14 圈,覆盖周期为 16d(233 圈)。因此,用卫星遥感技术获取的图像信息资料,不仅从根本上改变了制图资料的来源,提高了现势性与统一性,而且缩短了地图生产周期,降低了成本,并加强了地图的动态分析,促进了综合系列制图和自动制图的发展。

二、遥感的特点

遥感技术仅经过几十年时间,就迅速发展成为一种应用范围极广的综合性的探测技术,其根本原因在于它所提供的信息大大扩大了人们的视野范围和感知能力。遥感信息的主要特点可概括为以下几个方面:

1. 宏观性和综合性

从航天或航空飞行器所获得的遥感图像,可真实、客观地观察到更加广阔的地域和地物,了解其分布特征、相互间联系和规律。

2 .多波段性

遥感仪器以可见光到微波的各个不同波段去探测和记录信息,远远超出了人们肉眼所能感受的波谱范围。

3 .多时相性

遥感卫星以较短的时间间隔,对地球表面进行重复探测,因此可以得到同一地区的多时相信息。

三、遥感图像信息在制图中的应用

遥感图像信息在制图中应用范围十分广泛,涉及很多行业,例如陆地水资源调查、土地资

源调查、植被资源调查、地质调查、城市遥感调查、海洋资源调查、测绘、考古调查、环境监测和规划管理等。现举例几个方面。

1. 制作影像地图

影像地图是以遥感图像信息和地图符号共同表现制图内容的地图。它是将遥感原始影像经过必要的纠正,然后按照一定的制图原则,运用特定的地图符号和文字注记,来表达地面景观的基本特征。影像地图的发展很快,由黑白、单色图发展到假彩色图和模拟彩色图;由影像图发展到影像线划和专题影像地图;由单一卫星图像发展到多种空间图像成图,现在的遥感影像地图种类繁多、版式新颖。

2. 制作各种专题地图

利用遥感图像可以编制许多专题地图,最常见的有:

(1) 植被类型图:采用图像增强技术和数字图像处理方法自动编制植被图,准确而又详细区分植被类型。

(2) 土地利用和土地类型图:通过图像处理系统可以划分出 18～20 种以上的、小于 0.02 km^2 的土地类型,并提供一系列的影像镶嵌图,作为判读填绘的底图。

(3) 地质图和地质构造图:利用遥感图像编制的该图不仅清楚地反映了某一区域的地质构造特点,而且也为找矿提供线索。

(4) 冰雪覆盖图:在遥感图像上能直接量测和绘制冰雪覆盖范围和冰川结构类型,若和地形图配合,还可给出雪线的高度,估算出冰雪的储水量。

(5) 洪水图:用遥感图像能把洪水淹没的范围及时转绘在地形图上,并能编制监视洪水变化的动态图。

(6) 海洋地图:遥感图像可以制作许多种海洋专题图。例如,河口演变图、海流、潮汐和海洋动态图,海洋污染、海洋生物圈图等。

3. 利用遥感图像修编小比例尺普通地图

遥感图像的覆盖面积较大,现势性强,能反映制图现象的动态变化,因此可用来及时修正小比例尺普通地图。其修改的内容主要是:自然要素方面,修改补充水系要素、植被等;社会要素方面,修改变化较快的居民地、交通网等内容。利用遥感图像修编、更新普通地图上的河流、湖泊、水利工程等水系要素有较好的效果。如在遥感图像上发现过去我国地图上,在西藏申扎地区遗漏了 80km^2、32km^2 和 16km^2 的三大湖泊。

4. 利用遥感图像指导编图

当利用大比例尺航片或地形图编较小比例尺地图时,由于其信息量大,难以进行取舍,而利用遥感图像指导编图作业就能很快解决问题。例如,利用 1∶2.5 万航片或地形图编 1∶25 万地图,需要经过数次编绘,如果利用放大到 1∶25 万的卫星图像作参考,使图上各种要素的转绘有了一个宏观的图像标准,可以加快制图进度。

5. 遥感图像综合系列制图

环境遥感图像综合系列制图是在一定的制图区域内,利用统一的遥感图像资料,通过多专业联合调查,相互引证,综合分析,结合各自专业特点。按照统一的比例尺、分类原则和制图单元编制成套的专题地图。它既有专业要素的特点又具备有系统的综合性,从而为各自然要素统一协调和综合制图提供了保证。

§9.2 遥感图像的处理与识别

一、遥感图像的加工处理

遥感图像通常需要进一步处理方可使用,用于该目的的技术称之为图像处理。图像处理包括各种可以对像片或数字影像进行处理的操作,这些包括图像压缩、图像存储、图像增强、处理、量化、空间滤波以及图像模式识别等。还有其他更加丰富的内容。

目前,主要的遥感应用软件是 ilwis、PCI、ERMapper 和 ERDAS。

1 .预处理

从传感仪器输出的图像数据,包含有目标信息以及在成像过程中产生的畸变。它们不能直接地提供信息。必须经过处理,去伪存真,才能提取有用信息。或者,才能显示成(变成)人们熟悉的信息形式。

图像预处理是有根据的,概括起来有 4 方面因素。① 传递目标信息的电磁辐射媒介在传输过程中会衰减或消光。② 成像敏感器受其成像机理或制造工艺误差的限制,会产生各种畸变。传感仪输出的图像已被“扭曲”。③ 图像是人类熟悉的一种信息形式,有许多信息包含在图像之内。但是有了图像绝非等于有了信息。④ 从原理上,目标的信息是由目标所有信息媒介来传递。利用一二种媒介(某一二种波段或能量范围),仅能得到部分信息。换一个说法,信息也是客观存在,它的表现形式多种多样,人们熟悉和认识这些形式还有一个发展过程。因此获取信息必须在多种媒介的基础上通过推理、判断等智能处理过程才能实现。为此,要在图像的生产过程中进行粗加工、精加工和特殊处理。从而消除遥感器外部和内部的各种系统误差,进一步提高卫星图像的精度和质量,并使卫星像片的图像信息转变为适合于计算机使用的磁带,以便随时通过计算机方便地显示图像。经特殊处理的计算机遥感图像数据,可用于自动识别、自动分类和自动成图。

2 .图像校正处理

图像数据的校正处理是指消除传感器输出图像数据中的畸变。包括辐射度失真、几何畸变和大气消光等。由于它们产生原因和作用结果都不相同,一般总是采用不同的校正、处理方法。

(1) 辐射度校正:利用传感仪器测量目标的辐射或反射能量,所得到的测量值与目标的分谱辐射率值往往不一致。它们的起因有两类,传感仪器响应特性和外界(自然)条件。后者包括太阳照射(位置和角度)和大气传输(雾和云)等条件。

太阳光在地表反射和漫射会产生光点效应。特别是太阳高度较高时容易产生亮度不均。这可以利用推算阴影曲面的方法来校正。阴影曲面表示在图像的明暗变化范围内太阳光点和边缘减光的畸变成分。通常在傅里叶分析中提取图像中平稳变化成分为阴影曲面。

对于地形倾斜引起太阳亮度变化,可以利用地表法线矢量与太阳入射矢量两者的夹角来校正。如果有多个波段辐射的数据,利用波段比值也可以消除地形倾斜的影响。

(2) 大气校正:关于在地球环境中的电磁辐射的传输,前面已经介绍过。从辐射数据处理的角度看,进入传感器的辐射畸变成分包括:大气的消光(吸收和散射)、天空光(大气散射)照射、路径辐射。由于无法准确地确定大气环境参数,校正大气对辐射传输的影响是一件困难的事情。常用的校正方法有两类。一种是求解辐射传递方程。近似地求解。另一种方法是利用

地面测量数据。设置一已知辐射特性的标志物,传感仪器输出它的辐射数据。同时测量不包含大气路径的辐射输出数据。两者相互比较,便可以得到大气的作用。通过校正因子消除大气的影响。显然这种方法是受限制的。

(3) 几何校正:在传感器输出的图像数据中所包含的几何畸变,是指景物中各目标(或者目标各部位)的相对位置的坐标关系,与图像相应像元的位置坐标的差异。几何畸变产生的原因要从传感器内部和外部(地球环境)两方面去寻找。

传感仪器摄取图像有中心投影和斜视两种构型。仪器内部结构引起的畸变包括:成像透镜的像差、焦距误差;正斜视差、探测器元件位置误差;像元采样速率变化;采样误差;以及扫描速率变化等。

扫描成像的机理是特定的,所谓畸变的外部起因是指在特定的成像机理中,图像投影方式的构型引起的畸变。包括:传感器平台的位置误差、高度误差、位置和高度时间变化、平台的姿态误差、平台的时间变化;地球的自转、曲率、表面起伏等;侧视成像引起的系列畸变等等。

典型的几何校正,一般经历以下过程。① 输入未校正的图像数据;②确定校正方法和校正公式;③ 验证校正方法或校正公式的有效性;④ 重新采样或内插数据;⑤ 输出校正数据。其中①和②两步骤在具体操作中又有多种情形。系统性的校正是指对于整个图像数据根据校正几个控制点进行的坐标变换。复合校正是将系统性和非系统性校正两方法结合起来,提高校正精度。经过校正的图像数据,必须进行重新采样。对输入图像数据重新排列,输出无畸变的图像数据。在重新采样中,当对应位置坐标不是整数时,根据周围像元值求出中间的新像元值,实现内插。

3 .图像变换处理

经过校正的图像数据更加接近于真实图像。在进行图像分析时,为了更加容易或者更加确切地识别图像的内容,还必须根据分析的目的对图像数据继续进行处理和加工,把图像变换成新的形式。图像增强是这种变换的一部分。包括灰度变换、彩色合成和色调-饱合度-强度(HSI)变换。为了能够使用机械方法(或避免人的主观判别)对图像进行分析和判读,需要把图像中的某些特征定量化。这种变换处理方法叫特征提取。包括光谱特征、空间特征和纹理特征的提取处理。图像增强和特征提取都是变换处理方法,前者更有利于图像判读,后者更有利于定量化处理。

(1) 灰度变换:将图像数据的灰度值 x 用一个新的 x 的函数 $y = f(x)$ 来代替。典型的灰度变换方法有:线性变换、分段线性变换、三角波变换、连续函数变换、局部灰度变换等。根据实际需要,通过变换将所需的信息突出或增强。此外,直方图变换也属于一种灰度变换,它使输入图像灰度值的频率分布与所要求的直方图一致。

(2) 彩色合成:它和假彩色合成一样,都属于图像的显示方法。目的是让图像内容直观易懂。彩色合成是把多个波段分别赋予一种原色(红 R、绿 G、蓝 B),根据三色原理构成彩色图像。也可以按像元灰度值的阶梯赋予原色。眼睛对于颜色的敏感是基于色刺激过程,即三原色(RGB)刺激。这种颜色表示法称为混色系统。RGB 显色系不是线性的。调整显色的色调很困难。现在将 RGB 信号变换成人为假设的表色系:色调(H)、饱合度(S)、强度(I)。在此基础上调整强度和饱合度,然后再利用 RGB 彩色合成。HSI 变换就是把 RGB 和 HSI 等两个色系空间之间关系模型化,并进行相互变换的处理。

(3) 图像运算:这是特征提取的重要处理方法。将同一空间位置的不同波段图像数据进行运算处理。还包括不同时间的图像像元进行运算的处理。例如,可见光和近红外两波段图

像数据进行差与和两值的求商的运算处理,便可以得到地表植被指数的图像。表明植物生长分布状况。

(4) 主成分分析方法:对变量之间的相互关系进行分析,把多维变量的测量值在不丢失信息的情况下汇集在一个更低维变量的主成分上。例如,多光谱图像各波段数据之间存在相关关系。通过主成分分析就可以将图像中的大部分信息用少数几个假设的波段(例如三个)表示出来。三波段图像数据利用 RGB 彩色系显示,不仅易于判读信息,而且制作方便。

(5) 空间滤波:包括低通滤波、高通滤波和带通滤波等处理。低通滤波即平滑处理。可以消除图像中叠加的高频噪声与干扰,并突出图像中的低频信息。使曲线光滑、色调柔和。高通滤波与此相反,它突出图像中的对比度和灰度变化的高频成分。使图像轮廓清晰和锐化。锐化后的图像消除了缓慢变化的背景,把快速变化的细节及边缘轮廓突出出来。带通滤波是将一部分频率成分保留,可用于消除每隔一定间隔出现的干涉条纹的噪声。

(6) 纹理分析:图像中在小范围内形状小、周期规律性强的图案叫纹理。在图像处理时,利用形状、分布密度和方向等要素来提取纹理特征。一般采用小空间内的统计特征方法。其应用包括灰度直方图、关联矩阵、旋转矩阵等。从矩阵中计算出纹理的特征量(如能量、熵和相关性)。对于有方向性的图像可采用功率谱分析方法。

(7) 图像相关:当两张图像存在同一物体像时,为识别二图像中相互对应物体位置采用相关技术。方法是假定 $n\times n$ 窗口。在一张图像上寻找物体像的中心点。在另一张图像上也利用 $n\times n$ 窗口移动搜索,求出两者的相似性和相关系数,最大点即为相关。此方法称区域匹配。这种对应点的搜索方法亦可用于图像灰度有特殊变化的特征点,以及图像中边缘特征等。

二、遥感图像的识别

图像的识别根据影像的不同特征(如形状、大小、位置、色调、阴影、结构),来确定物体的属性及相互关系。遥感图像识别的方法主要有人工识别和计算机识别。

1 .人工识别

是用肉眼或借助简单的设备来观察和分析遥感图像的。这是一种常用的方法。一般分以下几步:

(1) 识别准备:收集资料,熟悉情况和制订计划等。

(2) 建立识别标志:通过图像资料的对比、分析,与实地的对比、验证,建立各种地物在不同遥感图像上的识别标志,并选择典型样片,供判读时借鉴。

(3) 识别:有的要素可从图像上直接识别如河流、居民地等;有的要素可采用间接方法识别,即与标准样片对比研究;有的可运用相关分析,通过间接识别标志推断;有的则需要量测,野外实况调查等进行识别。

(4) 野外验证:即在野外进行抽样调查,采集标本、样品,补充修改判读标志,验证各类物体的界线等,进一步提高像片识别草图的质量。

(5) 成图:是将识别草图转绘于聚酯薄膜或像片平面图上,最后清绘成图。

2 .计算机识别

是利用遥感图像信息的数据在电子计算机上进行的。其实质是解决对象的分类问题,得到所需分类结果(数字信息),再经数模转换后输出,通过计算机自动成图。其具体方法主要有比值分析法、图形识别法、聚类分析法等。

思考题

1. 什么是遥感制图？它与传统的专题制图有什么区别？
2. 按传感器的探测波段不同可将遥感分成哪几类？
3. 用计算机识别遥感图像常用的方法有哪些？
4. 在制图中遥感图像信息应用在哪些方面？

主要参考文献

蔡孟裔等 .新编地图学教程编著 .北京:高等教育出版社,2000
陈述彭等编著 .数字地球百问 .北京:科学出版社,1999
承继成等编著 .数字地球导论 .北京:科学出版社,2000
杜道生等编著 .RS、GIS、GPS 的集成与应用 .北京:测绘出版社,1995
段体学、王涛等编著 .地图整饰 .北京:测绘出版社,1985
胡友元等编著 .计算机地图制图 .北京:测绘出版社,1987
胡毓钜等编著 .地图投影 .北京:测绘出版社,1991
姜美鑫、徐庆荣等编著 .地形图绘制 .北京:测绘出版社,1994
李汝昌等编著 .地图投影 .武汉:中国地质大学出版社,1992
刘光运、韩丽斌编著 .电子地图技术与应用 .北京:测绘出版社,1996
梅安新等编著 .遥感导论 .北京:高等教育出版社,2001
吴信才主编 .地理信息系统原理、方法及应用 .电子工业出版社,2002
徐庆荣、杜道生编著 .计算机地图制图原理 .武汉:武汉测绘科技大学出版社,1993
尹贡白等编著 .地图概论 .北京:测绘出版社,1991
赵淑梅等编著 .遥感概论 .北京:高等教育出版社,1986
祝国瑞、张根寿编著 .地图分析 .北京:测绘出版社,1994
祝国瑞等编著 .地图设计与编绘 .武汉:武汉大学出版社,2001