

21世纪高等院校教材

# 地图学原理与方法

◎ 王家耀 孙群 王光霞 江南 吕晓华 编著



科学出版社  
www.sciencep.com

21 世纪高等院校教材

# 地图学原理与方法

王家耀 孙 群 王光霞 江 南 吕晓华 编著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书系统、完整地介绍了地图学的原理和方法。主要内容包括地图和地图学的基本特征及定义、基本内容、学科体系及地图学的发展历史与趋势,地图的数学基础,地图内容表示方法与制图综合,现代地图制图的技术方法,地图分析与应用等。作为地球空间信息科学的组成部分,本书强调原理与方法相结合、理论与实际相结合、经典与现代相结合,内容具有可读性、客观性和便于自学等特点,为培养学生的抽象思维和视觉思维能力提供了一个平台。

本书既可以作为高等院校测绘、地理、地理信息系统专业本科学生的教材,亦可作为科研院所、生产单位的科学技术人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

地图学原理与方法/王家耀等编著. —北京:科学出版社,2006

21世纪高等院校教材

ISBN 7-03-016498-9

I. 地… II. 王… III. 地图学 IV. P28

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第138049号

责任编辑:杨红 郭森 / 责任校对:陈丽珠

责任印制:张克忠 / 封面设计:陈敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2006年3月第一版 开本:B5(720×1000)

2006年3月第一次印刷 印张:30 3/4

印数:1—4 000 字数:593 000

定价:38.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

# 前 言

地图学是一门古老的科学，它有着几乎和世界文化同样悠久的历史；同时又是一门充满生机和活力的科学，自古以来就与社会的政治、经济、文化、外交及军事密切相关，它的发展有着深厚的社会根基和肥沃土壤。

地图学在其形成和发展的历史长河中，经历了古代地图学和近代地图学两个发展阶段，有过辉煌的历史。到了 20 世纪下半叶，随着电子计算机技术、空间信息技术和网络通信技术的迅速发展，地图学遇到了前所未有的严峻挑战，但同时也带来了实现跨越式发展的难得机遇。正是因为中国的地图学家们勇敢地迎接了挑战，抓住了机遇，才使得地图学在内涵、外延和功能等方面都大大地拓展和延伸了。从此，地图学进入了新的发展时期，即现代地图学时期。在理论方面，建立了以信息论、系统论、传输论等横断科学作为基础，跨界于多种学科部门，把地图学作为地理空间信息传输与反馈过程的开放体系，实现了由“封闭”到“开放”的转变；在技术方面，采用计算机地图制图技术，实现了由手工制图方式到数字化制图方式的历史性转变；在地图产品方面，实现了由单一纸质地图到数字化、电子地图和纸质地图多品种并存的转变；在地图学的地位与作用方面，实现了由被动保障和服务到主动保障和服务的转变。目前，地图学正面临着知识创新和人才培养、数学科学和信息科学的发展、地图信息获取手段的变化和实现国家信息化目标等方面的挑战，当然这也将给地图学的进一步发展带来新的机遇。同样，我们也只有勇敢地迎接这些挑战，抓住这些机遇，地图学才能实现新的跨越式发展。在这样的背景下，写一部使读者既能从地图学的历史轨迹中了解其发展规律，又能从地图学基本理论、技术与应用的介绍中掌握其发展现状，还能从地图学面临的新的挑战和发展趋势中展望其未来的地图学教材，就显得很有必要。

本书是在作者几十年教学的基础上撰写的。全书由 6 篇共 18 章组成。第一篇，介绍地图和地图学的基本问题，重点论述了地图和地图学的基本特征和现代特征，总结了地图学发展的历史轨迹及现代地图学内容和功能的拓展和延伸，分析了地图学面临的挑战和发展趋势。第二篇，介绍地图的数学基础，重点论述了地图投影的基本原理，介绍了常用的几种地图投影，分析了地图数学基础设计、地图投影选择和地图投影变换的理论和方法。第三篇，介绍地图内容的表示方法，重点分析了地图内容要素的空间分布特征和变量的量表方法，介绍了地图符号的分类、视觉变量及视觉感受效果，揭示了地理要素的类型、地图符号与视觉

变量的关系,讨论了地图符号设计的基本方法,分析了影响地图整体设计的视觉心理因素,讨论了地图整体配置设计、地图色彩设计和地图注记设计的理论和方法,同时还分别介绍了普通地图和专题地图的表示方法,以及海图、航空图的特点及其表示方法。第四篇,介绍地图内容的制图综合,在论述地图制图综合基本理论和方法的基础上,比较详细地讨论了地图内容各要素的制图综合及专题信息的综合处理。第五篇,介绍现代地图制图的技术方法,主要论述了数字地图和地图数据库的概念,重点介绍了数字地图制图系统,还介绍了电子地图的设计与制作、互联网电子地图的特点与制作。第六篇,介绍地图分析与应用,包括传统的地图分析和数字地图分析的基本方法,论述了地图在各个领域的应用。为适应现代教学手段的需要,作者还根据教材制作了配套的单机版多媒体电子课件\*。

本书由王家耀、孙群、王光霞、江南、吕晓华分工编写,由王家耀统稿。在本书编写过程中,引用了国内外许多学者的成果,在此一并致谢。本书的不足之处,敬请读者批评指正。

本书的出版,得到了解放军信息工程大学测绘学院出版基金的资助。

编者  
2005年5月

---

\* 如有需要,可以与编辑联系: dx@mail.sciencep.com

# 目 录

前言

## 第一篇 概 论

第一章 地图	1
第一节 地图的基本特性和定义	1
第二节 地图的基本内容	9
第三节 地图的分类	17
第四节 地图的分幅与编号	20
第五节 地图的功能	27
第二章 地图学	30
第一节 地图学的现代特征和定义	30
第二节 地图学的学科体系和各主要学科的研究内容	34
第三节 现代地图学的基本内容	40
第四节 地图学与其他学科的关系	44
第五节 地图学发展的历史与趋势	46

## 第二篇 地图数学基础

第三章 地图投影的基本原理	63
第一节 地图投影基本概念	63
第二节 地图投影基本理论	68
第四章 常用的几类地图投影	83
第一节 方位投影及其应用	83
第二节 圆柱投影及其应用	94
第三节 圆锥投影及其应用	99
第四节 高斯-克吕格投影及其应用	107
第五章 地图数学基础设计和地图投影变换	115
第一节 地图投影的选择	115
第二节 地图定向与地图比例尺	118
第三节 我国编制地图常用的地图投影	122
第四节 地图投影变换	124

### 第三篇 地图内容要素表示方法

第六章 地图信息源及其处理	129
第一节 地图信息源	129
第二节 地图资料(数据)处理	130
第三节 地图上地理内容要素的空间分布特征	134
第四节 地图上地理要素变量的量表方法	135
第七章 地图符号设计	139
第一节 地图符号的基本概念与特性	139
第二节 地图符号的分类	140
第三节 地图符号的视觉变量	145
第四节 地图符号的功能	163
第五节 地图符号设计的基本方法	166
第八章 地图整体效果设计	172
第一节 地图整体图形设计	172
第二节 地图色彩设计	184
第三节 地图注记及其设计	193
第九章 普通地图内容表示方法	202
第一节 普通地图概述	202
第二节 独立地物的表示方法	208
第三节 自然要素的表示方法	209
第四节 社会经济要素的表示方法	224
第十章 专题地图内容表示方法	233
第一节 专题地图的特点	233
第二节 专题要素的基本表示方法	243
第三节 专题要素的其他表示方法	256
第四节 专题要素各种表示方法的分析比较和综合运用	262
第十一章 专用地图的特点及表示方法	268
第一节 海图特点及其表示方法	268
第二节 航空图特点及其表示方法	290

### 第四篇 地图内容的制图综合

第十二章 制图综合的基本理论	307
第一节 制图综合的基本概念	307
第二节 制图综合应顾及的因素	313
第三节 制图综合的基本方法	319

第十三章 地图内容各要素制图综合	339
第一节 水系要素制图综合	339
第二节 地貌要素制图综合	350
第三节 植被要素制图综合	358
第四节 居民地要素制图综合	361
第五节 交通运输网要素制图综合	373
第六节 境界要素制图综合	377
第七节 专题信息的综合处理	382

### 第五篇 现代地图制图的技术方法

第十四章 数字地图与地图数据库	391
第一节 数字地图	391
第二节 矢量数字地图	394
第三节 栅格数字地图	400
第四节 地图数据库	403
第十五章 数字地图制图技术与方法	410
第一节 数字地图制图技术的形成和发展	410
第二节 数字地图制图系统	413
第三节 数字地图数据处理与编辑	414
第四节 地图数据的符号化	421
第五节 纸质地图数字化生产与出版	424
第十六章 多媒体电子地图与互联网地图	429
第一节 多媒体电子地图	429
第二节 电子地图的设计和制作	432
第三节 互联网地图的特点和制作	436

### 第六篇 地图分析与应用

第十七章 地图分析	441
第一节 地图分析概述	441
第二节 传统地图分析的基本方法	442
第三节 数字地图分析的基本方法	458
第十八章 地图应用	474
第一节 地图在科学研究方面的应用	474
第二节 地图在国民经济建设中的应用	478
第三节 地图在军事上的应用	480

主要参考文献	483
--------	-----



# 第一篇 概 论

---

## 第一章 地 图

### 第一节 地图的基本特性和定义

地图学在其长期的历史发展中，逐渐充实和完善起来，成为一门拥有系统理论基础和现代技术手段的科学。在这个历史发展长河中，作为地图学研究主题的地图，在内容、形式和功能等方面都发生了巨大的变化。

#### 一、地图的基本特性

地图是人类在社会实践中创造的认识地面的工具，又是人类认识地面的结果。在探讨地图的基本特性时，我们可以先从认识论的角度来看看地图发展的简单过程。

地图的发展密切地联系着人们对于地图认识的完整过程，也密切地联系着人们对地球表面认识的过程。在古代人类的生存斗争中，伴随着渔猎、耕作的实践活动，积累了相当丰富的地理知识。为了记载生活资料的产地，将它用图形模仿的方法记载下来，作为以后活动的指导，在学会用简单方法来描述他们的生活环境和事件的时候，地图就在生活实践的基础上，开始了最初的萌芽。最初，人们并没有完整的地图概念，他们在记载各种事物的过程中，应用了最直接、形象的绘图方法，用各种图形表现各种事物和现象。因此，古代的图画、地图和文字实际上并没有什么显著的差别，只是发展到后来，通过无数经验的总结，才出现了抽象化的文字，而描绘地理环境的图画由于它描绘地面的独特的优越性终于发展成了地图，出现了有目的地制作地图的活动。

人类最初的制图活动仅限于经常活动的地区且目力所及的范围，在这个基础上，经过大量的对于个别和特殊地区的认识的积累，进一步地进行概括工作，认识了地区的共同本质，才扩大了地图的描绘对象，发展到当时人类已知世界的范围，出现了巴比伦人的“世界”地图和中国古代的“世界”地图。虽然它们都包含着大量神秘的与想像的内容，但是这种概括性的地图却引导着人们对地球的各

个地区进行新的探索，例如由于在托勒密的世界地图上扩大了欧洲到东方中国的距离，因而就在一定程度上促成了哥伦布等人敢于进行向西航行到达中国、印度的尝试，而在中途发现了拉丁美洲。以后，经过许多年代无数实际知识的积累和加工，才产生了较正确的世界地图。

地图内容的发展也是如此。由于地图是在人们的实践活动中产生的，原始地图大都服务于某一项专门的生产操作，所以最早的地图是“专门”地图，后来在很多“专门”地图中找到了一些共同的地形因素，才出现了以表示地势河川、居民地和道路为主的“普通”地图。在“普通”地图提供地面详细面貌的基础上，专门地图又发展、深化了。

从上面的叙述中，我们可以知道，地图是在人们不断认识的基础上发展起来的，它是人们认识周围客观环境和事物的结果，然而在认识世界的每一次深化过程中，又常常以地图作为依据，所以地图又是人们认识周围环境和事物的工具。

### (一) 地图平面与地球曲面之间的矛盾

自从人们把地球表面（部分或全部）描绘到平面上来的时候，平面与曲面的矛盾就存在了。不过，由于当时人类活动的范围有限，并没有认识到这个问题而已。由于生产力发展和科学技术水平的关系，一方面要求反映人们已知世界的范围，解决简单的距离、方位和比例尺问题；另一方面由于初期的海上航行开始要求解决地球曲面与地图平面的关系问题，即由于航海的发展逐步扩大了眼界，发展了实用天文学，测量了经纬度，这时，人们开始想办法把经纬度绘在地图上，并以此为依据来标绘地理位置。于是出现了最初的投影方法，形成了初期的“地图投影学”。

初期的地图投影是以研究用几何方法构成制图网格为中心的，主要在于模仿地球的形状。托勒密（约 90—168 年）在其《地理学指南》中提出的两种投影方法（圆锥投影和球面投影）就是这样的。到了墨卡托（1512—1594 年）时代，在航海事业和天文学发展的推动之下，很多著名的投影方法相继出现，使地图的数学意义大为增加，其中墨卡托投影在航海图上一直沿用到现在。但在当时还没有发明微积分的情况下，这个投影也只能是从几何概念出发，利用三角函数来计算绘出。

当人们发现地球曲面与地图平面之间存在着不可克服的矛盾（即不可能在没有任何变形的情况下把地球曲面平铺在平面上）时，就把注意力转到研究“变形”的问题上来了。因为“变形”是这对矛盾的具体表现，它是绝对的；而在地图上不产生变形是相对的，是有条件的。例如要想角度不变形就必然有面积变形，反之亦然。在认识到变形的绝对性以后，地图投影就以研究根据对地图上变形的要求为条件来确立两个面上坐标的转换方式为中心。在研究投影变形规律的

过程中,促进了地图投影的发展。

多少年来,人们不知设计出了多少投影来解决地球曲面与地图平面的矛盾,但它们都只是在一定的条件下得到了暂时解决,而当条件改变时,又要设计新的投影。因此可以说,只要平面和曲面在地图上构成一对矛盾,地图投影的研究就将会不断地发展。

地球曲面和地图平面之间的矛盾的具体解决,是随着人们对地球的形状和大小的认识上的不断深化而深化的。

地球的自然表面不但是一个不可展的曲面,而且是一个极不规则的曲面,不可能用数学公式来表达,也无法进行计算。所以,在地球科学领域,必须寻找一个形状和大小都很接近于地球的椭球体或球体来代替它。大地测量中用水准测量的方法得到的地面上各点的高程是依据大地水准面确定的,这个表面是假想大洋表面向大陆延伸而包围整个地球所形成的曲面。大地水准面显然比地球的自然表面要规则得多,但还不能用一个简单的数学公式把它表示出来,这是因为大地水准面上的任何一点是与铅垂线方向相垂直的,而铅垂线的方向,又受地球内部质量分布不均匀的影响,使大地水准面产生微小的起伏,它的形状仍是一个复杂的表面。在这样一个复杂的表面上进行测绘成果的计算当然是不可能的。为了便于测绘成果的计算,选择一个大小和形状同大地水准面极为相近的旋转椭球面来代替。它是一个纯数学表面,可以用一个简单的数学公式来表达。旋转椭球面虽是一个纯数学表面,但它仍然是一个不可展的曲面。为了将旋转椭球面描写成平面,必须将这个不可展的曲面上的点计算到平面上。为此,需建立地面点在旋转椭球面上的地理坐标 $(\varphi, \lambda)$ 和它们在平面上的直角坐标 $(X, Y)$ 之间的解析关系

$$\left. \begin{aligned} X &= f_1(\varphi, \lambda) \\ Y &= f_2(\varphi, \lambda) \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

如果我们能够具体地建立 $X, Y$ 和 $\varphi, \lambda$ 之间的函数关系式,就可以依据地面点的 $(\varphi, \lambda)$ 计算出它们在平面上的位置 $(X, Y)$ 。这样就能按我们所需要的经纬网密度,把经纬线交点的平面直角坐标计算出来,并在平面上绘制出经纬线网格,作为绘制地图图形的控制。

地球曲面和地图平面之间点位的互相转换,实质上是曲面场和平面场之间的点位的数学转换。正是由于实现了这种点位的转换,才有可能将地面的各种物体和现象正确地描绘到平面上,才能保证地图图形具有可量度性,人们才能依据地图研究制图物体(现象)的形状和分布,进行各种量测。

解决曲面和平面矛盾的上述数学法则构成了地图的数学基础,这是地图的第一个基本特性。

## (二) 缩小、简化了的地图表象与实地复杂现实之间的矛盾

同地球曲面与地图平面之间的矛盾一样，自从人们将地面描绘到平面上来的时候，缩小、简化了的地图表象与实地复杂现实之间的矛盾就存在了。因为地图是缩小、简化了的，这就决定了地图表象与实地之间不可能没有差别。地图的这一基本矛盾，产生了地图内容的综合法则，即编绘地图时处理地图内容的原则和方法。

地图内容的综合法则包括两个基本的组成方面：一是地图内容的符号化；二是地图内容的选取、化简和概括。

地图内容的符号化，是地图制图运用“综合”概念的开始。所谓“综合”，实际上就是对事物的“抽象”，运用符号就是对地面物体（现象）的抽象。地图在其萌芽阶段是用图形模仿的方法记载最简单的事物，古代的地图和图画、文字实际上并没有什么差别，后来使用了象形符号，并逐步由象形符号过渡到几何图案符号，进而形成较完整的符号系统，通过符号的形状、尺寸和颜色及各种符号的组合表达地图内容及其相互间的联系。

符号及其组合是地图内容及其相互关系的具体表现形式。符号数量的多少，在一个时期内和某种程度上被看作是地图内容丰富与否的标志。但是，简单地增加符号数量的方法是不能解决缩小、简化了的地图表象与实地复杂现实之间的矛盾。研究地图发展的历史表明，随着科学技术的发展和社会实践需要的提高，地图内容经历了一个由简单到复杂、由单一到完善的过程，而地图符号的数量却遵循着由少到多、由多到少的螺旋式上升的趋势。早期的地形图上（一般以法国1750~1789年完成的卡西尼地图作为第一批实测地形图），仅有以平面图形表示的大城市、城堡式的小居民区、各种线划符号表示的道路和点子表示的稀疏林区、不同粗细线划表示的河流；到了18世纪末和19世纪初，由于人们认识范围的扩大，认识对象的增多，以及对地图要求的日益增长，符号数量亦随之有所增加，其特点是小地物符号的大量应用。当各国军事地形图迅速发展起来以后，尤其是经过两次世界大战，各国地形图符号的数量有了急剧的增长，很多国家的地形图符号在几十年中增至数百个（如前苏联地形图符号的数量，若1924年为100个，则1950年总数则达到了414个）。20世纪60年代以后，各国地形图开始走增强符号概括性的道路，以减少符号的数量，如我国地形图符号的数量由1958年的437个减少到1971年的167个，其中桥梁符号的数量1958年为14种，而1971年则概括为3种。这都充分说明增强符号的概括性、减少符号数量的发展趋势。

然而，增强地图符号的概括性，减少地图符号的数量，不能理解为地图内容的贫乏。相反，地图的内容总是不断丰富的。这就要求：一方面，不能无限地地

增加符号的数量，要提高符号的概括性；另一方面，又要赋予符号更广泛、更深刻的意义，以表示更丰富的地图内容。而要做到这一点，就必须研究地图内容的科学分类、分级，即对性质相近的物体和现象减少其类别，同类物体和现象减少其等级，并进而研究符号的构图规律。分类、分级本身就是“综合”。

因为地图符号是地图内容的具体表现，所以它具有地图语言的作用。制图者掌握地图符号的含义，使用符号把他对于现实世界的认识编绘成地图；用图者掌握地图符号的含义，通过判读符号构成对现实世界的认识。

地图符号实现两个基本功能：其一，单个符号指示地物的位置、种类和特征，即地物的位置信息和属性信息，不仅能根据需要显示那些形体虽小但却很重要的物体，而且可以表示那些肉眼观察不到的自然现象和社会现象；其二，符号的组合（系统）能表达地物的空间组合和相互联系，即给出单个符号所不能给出的信息。

地图上所能表达的图形总是有限的，所以即使是使用符号系统，也不可能将地面上的全部物体和现象都容纳在缩小的地图上，势必要进行选取、化简和概括。

人们在最初制作地图时就进行了综合。古代地图朴实的面貌就是综合的结果，其中也包含了选取和化简。当时的原则是“要什么画什么”，狩猎图、耕作图都是如此。到了后来，由于制图方法的改进，地图变的详细了，几乎发展到了“有什么画什么”，只是实在画不下了才舍掉一些东西，初期的地形图就是如此。到了近代，由于人们认识到了地图内容的综合是不可避免的，才进入到了有目的地进行综合的阶段，又开始“要什么画什么”了。但这并不是“开倒车”，而是螺旋式前进。

同地图投影解决地球曲面与地图平面的矛盾是有条件的一样，地图内容的综合法则解决缩小、简化了的地图表象与实地复杂的现实之间的矛盾也是有条件的。即在地图比例尺、用途、制图区域特点等条件一定的条件下，矛盾得到了暂时的解决，而条件一改变，就要产生新的地图表象与实地复杂的现实之间的矛盾，要解决这一新的矛盾，就要研究新的条件下的综合原则和方法。这种缩小、简化了的地图表象与实地复杂的现实之间的矛盾对立统一的过程，推动了综合方法的发展，经过长期理论研究和生产实践经验的积累，建立了系统的综合理论，数学方法在制图综合中的应用受到了普遍的重视，使之成为一种科学的制图方法。

上述解决缩小、简化了的地图表象与实地复杂的现实之间的矛盾的综合法则，构成了地图内容的地理基础，这是地图的第二个基本特征。

以上我们从两个方面分析了地图与实地这一对基本矛盾。“矛盾的两个方面中，必有一方面是主要的，其他方面是次要的。其主要方面，即所谓矛盾起主

导作用的方面。事物的性质，主要是由取得支配地位的矛盾的主要方面所规定的。”（《毛泽东选集》合订本，第310页）。地图的基本特性是由地图表象与实地这一对基本矛盾的主要方面——地图所规定的，这就是构成地图数学基础的数学法则和构成地图内容的地理基础的综合法则。

地图的数学法则和综合法则分别完成不同的任务，但它们又不是各自孤立的。以符号的科学组合表示的地图内容，是以地图的数学法则作为控制基础的，地图上的点、线、面状地物的位置都服从公式(1-1)。正因为如此，地图上以各种符号的科学组合所表示的地理内容，才能以严格的数学基础来反映实地物体（现象）的地理分布及其相互联系的空间结构特征。

## 二、地图的现代特性

随着现代科学技术的发展，地图除前述的基本特性外，还出现了一些新的特征，即地图的现代特性。

### （一）地图表现形式的多样化特性

用符号系统表示制图对象，即地面物体和地理现象及其空间分布特征和相互关系，这是地图的基本表现形式。但是，电子计算机问世后，随着计算机图形学、地图数据库和空间信息可视化技术的发展，数字地图、电子地图和多媒体电子地图出现了，地图的表现形式呈现出多样化的特性。

传统的纸质地图，具有一种特殊的、区别于并在许多方面优于自然语言的视觉感受效果。地图作用于人的视感觉（视觉）器官，并经过感觉、知觉、表象的认知过程，获得对地理空间环境的认识。地图虽是客观世界的抽象化、符号化表达，但符号对人的视觉具有直观性。地图作用于人的视觉器官，产生视感觉即视觉，人们借助于视觉感知事物的各种不同属性，如符号的颜色、形状、大小、位置等。各种视觉的综合产生视知觉即知觉，它是客观事物整体在人脑中的反映。视知觉和视感觉都是当前地图通过符号在人脑中的反映，其差别在于：视感觉是对地图符号的个别属性（如颜色、形状、大小、位置等）的反映；而视知觉则是对地图符号的各种属性、各个部分及其相互关系的综合的整体的反映。在视知觉的基础上产生表象即印象，在地图学中也称为“心象”，它通过回忆、联想再现出来。它与视感觉、视知觉不同，是在过去对同一事物或同类事物多次视感知的基础上形成的，具有一定的间接性和概括性。

数字地图，是地图的数字化形式。以磁介质或光介质存储在地图数据库中，它是计算机可视而人眼不可直接可视的，不过可以在地图符号库的支持下通过绘图输出、激光胶片输出或计算机屏幕显示的形式转换为人眼直接可视的形式。从应用的角度讲，地图的数字化形式比起传统纸质的符号形式的地图要灵活得多。

电子地图,是数字地图在计算机屏幕上的符号化显示,是计算机条件下的空间信息可视化,是人眼直接可视的,包括二维、三维电子地图。

多媒体电子地图,是集图形、图像、文本和声音于一体的电子地图,它的内容更丰富,更易于被普通用户所接受。

数字地图、电子地图、多媒体电子地图是目前地理信息系统中使用最多也是效果最好的。

## (二) 地图作为客观世界模型的特性

把地图作为客观世界的模型这一见解,使模型理论和技术在地图制图中得到普遍应用,使地图制图进入更加严密的理论研究和模型实验阶段。

根据模型理论,地图可以看作是客观世界的物质模型和抽象模型。

地图作为客观世界的物质模型,可以是各种比例尺的地图。人们可以利用各种比例尺的地图扩大自己的视野,看到广阔地域上的空间联系;还可以把各种比例尺地图作为进行地面模拟实验的工具,在地图上量算位置、距离、方位、坡度、通视、面积和体积等以代替实地量测和观察。

地图作为客观世界的抽象模型,它几乎具有抽象模型中的概念模型、模拟模型和数学模型的特点。

概念模型可以分为形象模型和符号模型。形象模型,是应用人的思维能力对客观世界进行简化和概括,用自然语言来表达,如交通运输可分为陆上交通、水上交通、空中交通和管线运输,其中陆上交通进一步分为“铁路”、“公路”,而“公路”则再进一步分为“国道”、“省道”、“县道”等;符号模型,是借助于专门符号和图形,按一定形式组合起来去描述前述概念模型即客观世界。正因为如此,所以有人把地图称为“形象-符号模型”。

地图作为模拟模型,如用等高线或分层设色表示实际地面的高程分布和各种地貌类型、形态及其组合,用晕渲法表示地面高低起伏和斜坡陡缓,增强立体效果。这些都是实际地形的模拟。

地图作为数学模型,是最典型的抽象模型。地图是可以用数学形式来描述的,包括空间点位向平面转换的数学模型、地图逻辑数学模型(地图模型的逻辑数学描述)、地图内容要素分布特征的数学模型、地图图形空间关系模型、地图数字模型、地图制图综合的数学模型,等等。

## (三) 地图信息的多维动态特性

从空间信息科学的意义上讲,地理信息是客观世界物质(自然和社会)存在和运动形式的描述,当人们利用地图来研究地面自然和社会要素(现象)的分布及其相互联系与制约时,总是要将它们置于一定的空间和时间中。空间和时间是

物质存在的固有性质，而属性则是地理对象（实体）相互区别的标志。所以，地图信息是由它所描述的对象的空间、时间、属性三元素构成的信息元组，可用 $(x, y, z, t, \alpha)$ 的形式来表示。其中 $(x, y, z)$ 表示空间维， $t$ 代表时间维， $\alpha$ 代表对象的属性维，而且属性不一定只有一个 $(\alpha_1)$ ，可能有许多 $(\alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n)$ 。如居民地作为地图描绘的对象，有人口数、行政意义、国民经济产值、民族、宗教及其他众多属性。因为空间维是三维的，属性维是多维的，时间维本质上是一维的，但可进行多维综合分析，如有事件发生时间、数据库时间和地图制图时间，而且时间维还是动态的，表示制图对象随时间变化的特征。所以，我们认为地理信息具有多维动态特性。传统的纸介质地图是二维的，传统的地理信息系统也是二维，至多是2.5维的。在数字制图环境下，我们可以进行多维制图即多维地图信息可视化，加之涉及时间维并采用动画手段，可以产生地图动画等。这是地图的一个重要现代特性。

### 三、地图的定义

根据前述地图的基本特性，我们可以给出地图的如下定义：

地图是根据构成地图数学基础的数学法则和构成地图内容地理基础的综合法则将地球表面缩绘到平面上的表象，它反映各种自然和社会现象的空间分布、组合、联系及其在时间中的变化和发展。

构成地图数学基础的数学法则是任何类型的地图都不可能缺少的。构成地图内容地理基础的综合法则，从广义上讲，包括符号系统和制图综合，符号化是地面物体和现象的抽象化表示，制图综合则是地图内容的选取、化简和概括。因为使用符号就意味着综合，所以我们把符号系统和制图综合统称为综合法则。由于各种自然和社会现象在地图上的符号化表示都是精确定位的，所以，地图上的符号相应地反映各种自然和现象的空间分布特征，地图上符号的组合反映实地上各种自然和社会现象的组合（区域）特征，地图上各种符号之间的关系反映实地各种自然和社会现象之间的联系。同一地区不同时间的时间序列地图当然能反映各种自然和社会现象随时间的变化和发展，这是容易理解的；就是在一个时间的一幅地图上，也可以用统计曲线图的形式表示某种自然和社会现象随时间的变化和发展。

显然，上述地图定义中所说的“地图”是用符号表示制图对象的。在对地图有了这样一个基本的认识后，还应该看到可能使人们的认识进一步深化的某些因素。因为随着人类社会实践的深化和科学技术的发展，地图的内容和形式已经发生了许多变化。例如：在纸介质上用符号表示制图对象已不再是地图的唯一形式，还有数字形式、屏幕电子地图形式和多媒体电子地图形式等，这就是前面所说的地图表现形式的多样化特征；地图制图不再是凭经验，已经进入模型制图时



代,特别是数学模型的应用极大地提高了地图的科学性,这就是如前所述的地图作为客观世界模型的特征;地图不再只是二维的、静态的,还可以表示多维、动态信息,这就是前述的地图的多维动态特征,等等。这些都将使人们对地图的认识有所前进。

据此,我们可以给出如下现代地图的定义:

地图是根据由数学方法确定的构成地图数学基础的数学法则和构成地图内容地理基础的制图综合法则记录空间地理环境信息的载体,是传递空间地理环境信息的工具,它能反映各种自然和社会现象的多维信息、空间分布、组合、联系和制约及其在时空中的变化和发展。

这是一个更能反映地图的现代特征的地图定义。第一,指明了构成地图数学基础的数学法则和构成地图内容地理基础的制图综合法则,都是由数学方法特别是现代数学方法确定的,在深层次上揭示了地图作为模型的特征。第二,强调地图是记录空间地理环境信息的载体和传递空间地理环境信息的工具,“记录”可以是符号形式,也可以是数字形式、多媒体形式;载体不一定是纸介质,也可以是磁介质或光介质,记载和传递的是信息,这有更广泛、更现代的意义。第三,强调地图能反映各种自然和社会现象的多维和动态特性,突破了二维平面地图和静态的局限性,突出了现象的时间序列变化预测和空间分布趋势。

当然,我们也应该指出,对上述现代地图的定义还需要进一步充实和完善。

## 第二节 地图的基本内容

地图的基本内容,也就是地图的基本构成要素。一般地说,地图由以下基本要素构成:

### 一、数学要素

数学要素指数学基础在地图上的表现,是一切地图所必须具备的最基本的地图要素。这是因为地图的精度首先是由地图的数学基础决定的,地图上表示各种地理要素的图形构成的几何规律和几何性质取决于数学基础。

地图的数学要素包括地图投影及与之有联系的坐标网、比例尺和测量控制点等。

#### (一) 坐标网

地图投影的实质可以用地面点在旋转椭球面上的地理坐标( $\varphi, \lambda$ )和它们在平面上的直角坐标( $X, Y$ )之间的解析关系式(1-1)来表达(见第一节),它们在地图上的表现形式则是坐标网(或制图网),分为平面直角坐标网和地理坐