



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

# 地图学原理与方法

(第二版)

王家耀 孙 群 王光霞 江 南 吕晓华 编著



科学出版社

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

# 地图学原理与方法

(第二版)

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、完整地介绍地图学的原理和方法。主要内容包括地图与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,以及地图的数学基础、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。

本书既可作为高等院校测绘、地理、地理信息系统专业本科生教材,也可作为科研院所、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. —2版. —北京:科学出版社,2014.2  
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

ISBN 978-7-03-039613-6

I. ①地… II. ①王… III. ①地图学-高等学校-教材 IV. ①P28

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 011973 号

责任编辑:杨 红 / 责任校对:宣 慧  
责任印制:阎 磊 / 封面设计:迷底书装

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>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2006年3月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014年2月第 二 版 印张:18 1/2

2014年2月第九次印刷 字数:485 000

定价:48.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 第二版前言

《地图学原理与方法》一书，自2006年3月出版以来，截至2013年7月已是第八次印刷了。经过7年多来全国许多高校相关专业教学的实际应用，收到了较好的效果，但也反映出了一些问题，其中主要是在对现行教学时数而言，内容偏多，叙述偏细，当然也有个别内容需要补充。

根据7年多来的教学实践经验，本书第二版做了以下修改。

第一，在总体架构上做了较大调整，本书第一版采用篇、章、节的架构，共6篇18章70节。第二版经调整后，采用了章、节的架构，共9章36节，书的架构显得更紧凑。

第二，内容篇幅上做了较大精简。第一版第一次印刷时为60万字，而本书第二版对地图学发展的历史、地图学的学科体系、地图投影变换、地图表示方法设计、特种地图、各要素制图综合具体方法等做了提炼。本书精简为40余万字，内容更加突出地图学的基础和核心问题。

第三，增加了“地图集”的内容，反映了当今中国国家地图集和各省（自治区、直辖市）地图集设计与编制发展的水平，更加突出了地图集作为综合表达复杂地理世界科学著作或“百科全书”的作用。

第二版《地图学原理与方法》共9章。第一章主要介绍地图与地图学的基本特征和定义，并从历史与辩证的角度介绍地图学发展的历史，分析地图学的发展趋势；第二章主要介绍地图投影的基本理论、常用地图投影、地图投影选择及地图投影变换；第三章首先介绍地图内容要素的特征，然后介绍地图符号的类别、地图色彩和地图注记等地图语言的基本组成部分；第四章主要介绍制图综合的基本概念，分析制图综合的影响因素，突出介绍制图综合的基本方法，同时介绍数字地图的自动综合的基本理论和方法；第五章首先介绍普通地图的基础知识，然后重点介绍作为普通地图基本内容的独立地物、自然地理要素、社会经济要素的表示方法，最后介绍普通地理图的编制特点；第六章在介绍专题地图基本特点的基础上，主要介绍专题要素的各种表示方法及其综合应用，同时介绍专题地图的编制特点；第七章首先介绍地图集的特点和分类，然后重点介绍地图集的设计及地图集的总体设计与编制；第八章在介绍传统地图制作及数字地图制作基本过程的基础上，重点介绍数字地图制作、遥感影像地图制作、电子地图制作和地图电子出版系统等方面的技术特点；第九章主要介绍地图分析的基本方法和应用领域，包括传统地图分析和数字地图分析的主要方法，以及地图在科学研究、国民经济建设、军队作战指挥与国防工程等领域的应用和作用。

总的来说，第二版《地图学原理与方法》的内容安排体现了先“共性”（第一、二、三、四章）后“个性”（第五、六、七章）和理论（第一、二、三章）、方法（第四、五、六、七章）、技术（第八章）与应用（第九章）的统一，更加便于学生学习和掌握地图学的基本理论、方法和技术，以及地图在各个领域中的应用。

科学技术在不断发展，社会需求在不断变化，地图学的教学实践肯定还会提出新的要求，本书编者愿意不断推陈出新，以满足广大读者的需求。

第二版编者

2013年10月

# 第一版前言

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



# 目 录

第二版前言	1
第一版前言	1
第一章 地图与地图学的基本知识	1
第一节 地图的基本概念	1
第二节 地图学的基本概念	22
第三节 地图学发展的历史与趋势	29
思考题	40
第二章 地图数学基础	41
第一节 地球椭球体与大地测量控制	41
第二节 地图投影基本理论	47
第三节 常用地图投影及其应用	55
第四节 地图投影选择	71
第五节 地图定向与地图比例尺	73
第六节 地图投影变换	75
思考题	77
第三章 地图语言	78
第一节 地图内容要素的特征	78
第二节 地图符号	82
第三节 地图色彩	96
第四节 地图注记	104
思考题	109
第四章 制图综合	110
第一节 制图综合的基本概念	110
第二节 影像制图综合的因素	112
第三节 制图综合的基本方法	116
第四节 自动制图综合	131
思考题	135
第五章 普通地图	136
第一节 普通地图概述	136
第二节 独立地物的表示	140
第三节 自然要素的表示	141
第四节 社会经济要素的表示	153
第五节 地理图的编制	160
思考题	164

<b>第六章 专题地图</b> .....	165
第一节 专题地图概述.....	165
第二节 专题要素的表示方法.....	175
第三节 专题地图的编制.....	188
思考题.....	196
<b>第七章 地图集</b> .....	197
第一节 地图集的特点和分类.....	197
第二节 地图集的设计.....	201
第三节 地图集总体设计与编制.....	218
思考题.....	226
<b>第八章 地图制图与出版</b> .....	227
第一节 概述.....	227
第二节 数字地图制图.....	230
第三节 遥感影像地图制图.....	239
第四节 电子地图制图.....	242
第五节 地图电子出版系统.....	250
思考题.....	254
<b>第九章 地图分析与应用</b> .....	255
第一节 传统地图分析的基本方法.....	255
第二节 数字地图分析的基本方法.....	265
第三节 地图的应用.....	277
思考题.....	283
<b>主要参考文献</b> .....	284



# 第一章 地图与地图学的基本知识

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和现代技术手段的科学。在地图学发展的历史长河中，作为地图学研究主题的地图，在内容、形式和功能等方面都在不断地发生变化。本章主要介绍地图和地图学的基本概念，简要介绍地图学的发展历史和趋势。

## 第一节 地图的基本概念

### 一、地图的基本特性和定义

#### (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（王家耀和陈毓芬，2001）。

地图的发展密切地联系着人们对于地图认识的过程，也密切地联系着人们对地球表面认识的过程。古代人类在生存斗争中，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，将其用图形模仿的方法记载下来，作为以后活动的指导。在人类学会用简单方法来描述他们的生活环境和事件的时候，地图就在其生活实践的基础上，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、形象的表示方法，用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，由于其描绘地面的独特的优越性，终于发展成了地图，出现了有目的的制作地图的活动。

人类最初的制图活动限于经常活动的地区内目力所及的范围，在这个基础上，经过大量的对于局部地区认识的积累，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象的内容，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

依据,所以地图又是人们认识周围环境和事物的工具。

那么,到底地图发展的根本原因是什么呢?

研究地图发展的根本原因,也就是研究地图的基本矛盾。地图是用来描绘地面的,因而地图表象与其相应的实地之间构成了地图的最基本的矛盾。这里,我们先来研究上述基本矛盾在各方面的表现,即研究地图的若干特殊矛盾,最后再归结到矛盾的普遍性,从而获得对地图基本特性和定义的认识。

### 1. 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,只不过由于当时人类活动的范围有限,没有认识到这个问题而已。一方面,由于生产力和科学技术的进步,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。

初期的地图投影是研究用几何方法构成地图上的经纬线格网,主要在于模仿地球的形状。托勒密(公元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(G. Mercator, 1512~1594年)时代,在航海事业和天文学发展的推动之下,相继出现了很多著名的投影方法,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,该投影也只能是从几何概念出发,利用三角函数来计算绘制。

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铺平在平面上)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种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暂时解决了,而当条件改变时,又要设计新的投影。可以说,只要平面和曲面在地图上构成一对矛盾,地图投影的研究终将不断地发展。

地球曲面和地图平面之间的矛盾的具体解决方法,是随着人们对地球形状和大小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方法得到的地面上各点的高程是依据大地水准面确定的,大地水准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,是人们进行测量作业的基准面。大地水准面虽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,作为计算的基准面。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，必须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  $(X, Y)$  之间的解析关系式，即

$$\begin{cases} X = f_1(\varphi, \lambda) \\ Y = f_2(\varphi, \lambda) \end{cases} \quad (1.1)$$

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线网格密度，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地图平面上，或通过式 (1.1) 将地图平面上的各种物体和现象映射到旋转椭球面上（数字地图环境下），保证地图图形具有可量度性，只有这样，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。

解决曲面和平面之间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。

## 2. 地表原貌与地图抽象性之间的矛盾

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，地图的抽象性与实地原貌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，产生了地图的符号化法则。

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为地图内容丰富与否的标志。但是，用简单的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、由单一到完备的过程，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（如苏联地形图符号的数量若以 1924 年为 100 种，则 1950 年总数达到 414 种）；20 世纪 60 年代以后，各国地形图开始走增强符号的概括性的道路，以减少符号的数量，如我国地形图符号的数量由 1958 年的 437 种减少到 1971 年的 167 种，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,不能无限制地增加符号的数量,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,使用符号把它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。

### 3. 地理要素(现象)的复杂性与地图的概括性之间的矛盾

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、简化和概括。

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,其中也包含选取和简化。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,地图变得详细了,几乎发展到了“有什么画什么”,只有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”,而是螺旋式的前进。

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现实之间的矛盾对立统一的过程,推动了综合理论和方法的发展,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,这是地图的第三个基本特征。

以上我们从三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,这就是构成地图的数学法则、符号法则和综合法则。

地图的数学法则、符号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。

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(高俊,1986)。例如,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征;再如,随着模型理论和技术在地图制图中的普遍运用,地图被看做是客观世界的物质模型和抽象模型(概念模型、模拟模型和数学模型),具有明显的客观世界模型的特征;又如,地图表达的信息是由它所描述的对象的空间、时间、属性三要素构成的信息元组,可用 $(x, y, z, t, a)$ 表示,其中 $(x, y, z)$ 代表空间维(三维), $t$ 代表时间维(一维,动态), $a$ 代表属性维,而且属性不一定只有一个( $a_1$ ),可能有许多( $a_2, a_3, \dots, a_n$ ),在计算机地图制图环境下,可以进行多维制图,即多维地图信息可视化,地图信息表现出多维动态特征。

## (二) 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、构成地图可视化基础的符号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,反映了各种自然和社会现象的空间分布、组合、联系及其在时空中的变化和发展。

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抽象化表示,制图综合则是地图内容的选取、简化和概括。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序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、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,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现代特征的地图定义。首先,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;其次,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，记录和传递的是信息，具有更广泛、更现代的意义；最后，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。

## 二、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

数学要素是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。

地图的数学要素包括与地图投影有联系的坐标网、地图比例尺和测量控制点等。

#### 1. 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 [参见式 (1.1)] 来表达，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标网。

坐标网是制作地图时绘制地图内容图形的控制网，利用地图时可以根据它确定地面点的位置和进行各种量算。

平面直角坐标网也称方里网 (或公里网)，用于准确指示点位，根据地图传达命令，快速量测方向和计算距离。我国地形图采用高斯-克吕格投影 (大于或等于 1:50 万)，图上的平面直角坐标网根据高斯平面直角坐标系构成 (图 1.1)。根据地图用途规定，仅在 1:1 万至 1:25 万比例尺地形图上才绘制平面直角坐标网，不同比例尺地形图上的平面直角坐标网的网格大小 (边长) 都有相应规定。

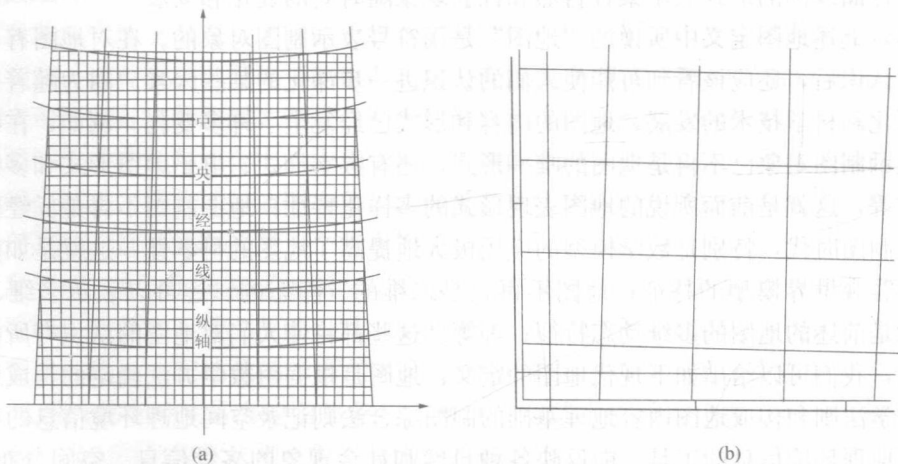


图 1.1 平面直角坐标系的构成 (a) 及其在地形图 (1:5 万) 上的表示 (b)

地理坐标网又称为经纬线网，用于确定地面点的地理坐标，具有深刻的地理学含义。经线相应于南北方向，纬线相应于东西方向。这些方向在地面上可以确定，在野外使用地图时

可用其判定方位。此外，各点的经差即表现为时差。

由于地图投影的不同，地图上的地理坐标网的构成形状是不一样的。在 1:2.5 万至 1:5 万比例尺地形图上，内图廓线即是经纬线，图廓的四个角点注有经纬度数值；此外，在图廓的四周绘有间隔为  $1''$  的经纬线短线（分度带），将两对应边具有相同经纬度值的分点连接起来，即构成地理坐标网。在 1:25 万至 1:100 万比例尺地形图上，除内图廓为经纬线外，图内也必须按规定间隔（经差和纬差）绘制经纬线。此外，在内图廓线和图幅的经纬线上还必须按规定间隔用短线等分经纬线（图 1.2）。这样做的目的，是要便于在纸介质地图上量测地面任意点的地理坐标。

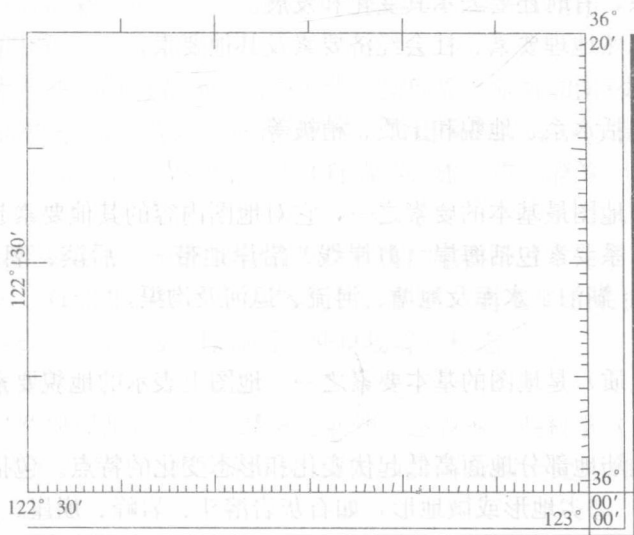


图 1.2 地形图上地理坐标网的表示（以 1:50 万为例）

## 2. 地图比例尺

地图比例尺是图上某线段与其在椭球面上水平投影的长度之比。由于地图投影必然会产生变形，所以严格地说，地图上各点的比例尺（称为局部比例尺）都不相同，同一点的不同方向的比例尺也不一样（等角投影地图上，各点的比例尺不同，但同一点不同方向的比例尺相同），只是在平面图（地球表面有限地区的大比例尺地图）上的比例尺可以视为是固定不变的，因为此时可以不考虑地球的曲率。在地图上，通常标注出统一的比例尺数值，这就是主比例尺或一般比例尺，实际上是投影到平面上的地球椭球模型的比例尺。对于实际上投影变形很小的地形图及长度变形很小的小比例尺地图来说，注明地图的主比例尺就够了。而对于包括大区域及主比例尺与局部比例尺差别甚大的地图，最好能指出保持主比例尺的一些经纬线网格点或线。这一般在地图图廓外的辅助要素中给出。

## 3. 测量控制点

测量控制点是测图和制图的控制基础，它保证将地球的自然表面转换到地球椭球面，并进一步投影到平面上，使地图上的地理要素对坐标网具有正确位置。

测量控制点的位置和高程是用精密仪器测量计算的，现在可以依靠全球卫星定位系统（GPS）利用 GPS 接收机直接测得，具有很高的精度。

测量控制点包括三角点、埋石点、水准点、独立天文点等。在大比例尺地形图上，分别

以相应的符号表示；在1:25万和1:50万比例尺地形图上只表示三角点和独立天文点，其他按高程点表示；在更小比例尺地图上都按高程点表示。

三角点包括国家等级的三角点及导线点；埋石点指地形控制点、军用控制点和精度低于国家等级的三角点符号；独立天文点是用天文测量方法测得天文经、纬度的控制点，测有大地坐标（大地经纬度）的天文点用三角点符号表示。

## （二）地理要素

地理要素是任何一种地图的主要组成部分，包括地图上所表示的自然和社会经济现象及其分布、性质和联系，有时还要表示其变化和发展。

地理要素包括自然地理要素、社会经济要素及其他要素。

### 1. 自然地理要素

自然地理要素包括水系、地貌和土质、植被等。

#### 1) 水系要素

水系要素是一切地图最基本的要素之一，它对地图内容的其他要素起着控制作用。

地图上表示的水系要素包括海岸（海岸线、沿岸地带——后滨、潮浸地带——干出滩、沿海地带——前滨）、湖泊、水库及池塘、河流、运河及沟渠。

#### 2) 地貌要素

地貌要素（含土质）是地图的基本要素之一。地图上表示的地貌要素包括陆地地貌和海底地貌。

陆地地貌指的是陆地部分地面高低起伏变化和形态变化的特点。包括：①地貌的基本形态（用等高线表示）；②劣地形或微地形，如石灰岩溶斗、岩峰、崩崖、滑坡、冲沟、陡崖、梯田坎、露岩地、陡石山、水塔等冰川微地形、沙地地貌（用符号表示）等。

海底地貌指的是海洋部分海底高低起伏的变化、形态特点和海底底质。

地图上表示的土质，主要指沼泽地、沙砾地、戈壁滩、石块地、小草丘地、残丘地、盐碱地、龟裂地等。

#### 3) 植被要素

植被是地表植物覆盖层的简称。地图上表示的植被要素可以分为天然的和人工的两大类。

天然植被主要包括森林、矮林、幼林、疏林、竹林、灌木林和草本植被。

人工植被主要包括经济作物地、果园、苗圃、稻田和旱地。

### 2. 社会经济要素

社会经济要素包括居民地、交通运输网、境界及行政中心、经济标志等。

#### 1) 居民地

居民地是人类居住和进行各种活动的中心场所，是地图的重要地理要素之一。

地图上应表示居民地的类型、形状、行政意义和人口数、交通状况和居民地内部建筑物的性质等，以反映出居民地所处的政治经济地位、军事价值和历史文化意义。

#### 2) 交通运输网

交通运输是来往通达的各种运输事业的总称。地图上表示的交通运输网包括陆上交通、水路交通、空中交通和管线运输。

陆上交通即通常所说的道路，包括铁路、公路和其他道路。



水路交通分为内河航线和海洋航线。

空中交通在地图上是通过机场符号体现的，一般不表示航线。

管线运输包括高压输电线、石油及天然气管道等。

### 3) 境界及行政中心

地图上表示的境界分为政区境界和其他境界两类。

政区境界包括政治区划界和行政区划界。政治区划界主要指国家领土的范围，其界线即为国界；有些国家之间存在着争议地区，图上则有国界和未定国界之分；地区界也是一种政治区划界线，如巴拿马运河区界线。行政区划界是指国内行政区域的划分，其界线统称为行政区划界，我国的行政区划界分为省（自治区、直辖市）界、省辖市（自治州、盟）界、县（自治县、旗、市）界等。

其他境界主要指一些专门的界线，如停火线、禁区界、旅游和园林界等。

行政中心是与政治区划和行政区划相对应的，如我国的行政中心有首都、省（自治区、直辖市）府、省辖市（自治州、盟）府、县（自治县、旗、市）府等。

### 4) 经济标志

地图上表示的经济标志是反映地区经济发达程度的重要形式，主要包括各种工业（如工厂、发电厂、变电所、石油井、盐井、天然气井、矿井、露天矿、采掘场、窑等）和农业（如水车、风车、水轮泵、饲养场、打谷场、储草场等）标志。

### 3. 其他要素

地图上除表示自然地理要素和社会经济要素外，还表示一些科学（如重要科学观测台站等）、文化（如学校等）、卫生（如医院等）、历史（如革命烈士纪念碑、牌坊、重要文物、长城等及其他）等标志。

## （三）辅助要素（图廓外要素）

在地图的图廓外，除注明图名、图号（图幅编号），还配置有供读图用的大量工具性图表和说明性内容，统称为地图的辅助要素，分为读图工具和参考资料。

### 1. 读图工具

读图工具包括图例、图解比例尺、坡度尺、三北方向图、图幅接合表、政治行政区划略图等内容。

#### 1) 图例

图例即地图符号表和必要的说明，包括地图上用的全部符号。通过图例，可以了解地图上表示的各种地理要素。

图例通常位于图边（我国地形图的图例位于东图廓外）或图廓内的空白处（小比例尺挂图、专题地图）。

#### 2) 图解比例尺

地图上除注出数字比例尺（如1:50 000）或文字式比例尺（如百万分之一）外，还配置有图解比例尺。

图解比例尺是供图上量测距离用的，分为直线比例尺（地形图，图1.3）和复式比例尺（小比例尺地图，图1.4）。图解比例尺一般配置在地图的南图廓外（地形图）或图廓内的空白处（小比例尺地图，与图例等配置在一起）。