

地理
信息

地理信息系统
现代理论与技术 系列丛书

地图设计与 编绘导论

DITU SHEJI YU BIANHUI DAOLUN

王结臣 陈杰 钱天陆 等 编

东南大学出版社

非
外
借

地理信息系统现代理论与技术系列丛书

地图设计与编绘导论

王结臣 陈 杰 钱天陆 等编



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

• 南京 •

内 容 提 要

本书较简明地介绍了地图设计和地图编绘的理论、方法与制图技术,主要内容可概括为三部分。第一部分扼要介绍地图和地图学的起源与发展、现代地图学的学科体系、地图编制过程与方法、地图的种类,对应本书的第一章和第二章;第二部分重点论述地图设计的相关理论基础和主要方法,包括地图的表达基础、基础地理要素的表示方法、专题现象的表示方法、制图综合原理与典型地理要素的制图综合要求、地图设计的内容与方法,对应本书第三~七章;第三部分回顾了传统的地图编绘工艺,总结了计算机地图制图的主要技术及其发展,对应本书第八章。

本书可作为高等院校地理信息科学、测绘工程、地理国情监测、地球信息科学与技术、遥感科学与技术、自然地理与资源环境、人文地理与城乡规划等专业的本科教材,也可供相关领域的科研和工程技术人员作参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

地图设计与编绘导论 / 王结臣等编. —南京:东南大学出版社, 2019. 1

(地理信息系统现代理论与技术系列丛书)

ISBN 978-7-5641-7973-1

I. ①地… II. ①王… III. ①地图—设计—高等学校—教材 ②地图编绘—高等学校—教材 IV. ①P283

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 203745 号

书 名:地图设计与编绘导论

编 者:王结臣 陈 杰 钱天陆 等

责任编辑:宋华莉

编辑邮箱:52145104@qq.com

出版发行:东南大学出版社

出 版 人:江建中

社 址:南京市四牌楼 2 号(210096)

网 址:<http://www.seupress.com>

印 刷:南京玉河印刷厂

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:17.75 字数:444 千字

版 次:2019 年 1 月第 1 版 2019 年 1 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-5641-7973-1

定 价:58.00 元

经 销:全国各地新华书店

发行热线:025-83790519 83791830

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话(传真):025-83791830

前 言

地图设计与编绘是高等院校地理信息科学专业(原名地理信息系统专业)的重要专业课程,主要介绍地图设计和地图编绘的理论、方法与制图技术。随着地理信息科学各分支学科的发展,GIS、遥感等相关专业课程越来越多,地图学相关的教学内容在不断浓缩,地图设计与编绘的技术方法也已有巨大进步和革新。本教材就是基于这些背景,将地图设计与编绘相关主要内容整合重组,按新形势下地理信息科学专业人才培养的教学新要求编写的。

全书共分八章。其中第一、二章扼要介绍了地图和地图学的起源与发展、现代地图学的学科体系、地图编制过程与方法、地图的种类;第三~五章较系统地阐述了地图的表达基础和地图内容的表示方法,包括地图的数学基础、地图符号、地图注记、地图图面配置、基础地理要素的表示方法、专题现象的表示方法;第六章着重讨论制图综合这一制图作业的重要环节,包括制图综合的基本原理、主要方法和典型地理要素的制图综合要求;第七章分别从制图区域分析与资料评价、数学基础设计、地图内容设计、表示方法设计、地图色彩设计、图面配置设计等多方面论述地图设计的理论方法;第八章简要介绍地图编绘的技术方法,回顾了传统的编绘工艺及其流程,总结了计算机地图制图的主要技术及其发展。教材所用的资料力求吸收最新的研究成果,编写过程中参阅了大量专著和地图作品,注意参考地图编绘的新标准、新规范,努力使本书内容完整、结构紧凑。

本书内容是编者在多年课程讲义的基础上经多次调整而确定。参加本书初稿撰写、资料整理和审校工作的有博士研究生陈杰,硕士研究生钱天陆、王金茵、李思倩、盛彩英、黄煌、卢敏、吴嘉逸等。全书由编者修改、统稿、定稿。由于水平所限,书中难免有错误和不妥之处,敬希读者批评指正。

编者

2018年7月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 地图	1
第二节 地图学	8
第三节 地图编制的过程与方法	14
第二章 地图的种类	19
第一节 地图的分类	19
第二节 普通地图	21
第三节 专题地图	25
第四节 地图集	31
第五节 电子地图	35
第三章 地图的表达基础	42
第一节 数学基础	42
第二节 地图符号	52
第三节 地图注记	63
第四节 图面配置	66
第四章 基础地理要素的表示	72
第一节 水系	72
第二节 居民地	82
第三节 交通	87
第四节 管线	97
第五节 境界	99
第六节 地貌	102
第七节 植被、土质	115
第五章 专题现象的表示	118
第一节 定点符号法	118
第二节 线状符号法	123
第三节 质底法、等值线法、定位图表法	125
第四节 范围法	131
第五节 点值法、分级统计图法、分区统计图表法	133

第六节	运动线法	140
第七节	其他表示方法	141
第八节	各种表示方法的比较分析与综合运用	151
第六章	制图综合	156
第一节	制图综合及其作用	156
第二节	制图综合的基本方法	162
第三节	海洋要素的制图综合	169
第四节	陆地水系的制图综合	175
第五节	居民地的制图综合	179
第六节	交通要素的制图综合	189
第七节	地貌的制图综合	195
第八节	植被要素的制图综合	204
第七章	地图设计	206
第一节	地图编辑与地图设计概述	206
第二节	地图设计文件	210
第三节	制图区域分析和制图资料评价	215
第四节	数学基础设计	222
第五节	地图内容的确定与制图综合	228
第六节	地图色彩设计	235
第七节	地图图面配置设计	244
第八章	地图编制的技术方法	255
第一节	传统编制技术	255
第二节	计算机地图制图	264
参考文献		277

第一章 绪 论

第一节 地 图

一、地图的起源与发展

(一) 地图的起源

地图起源于远古,几乎和世界最早的文化一样有着悠久的历史。现存世界上最古老的地图是距今约 4 700 年前亚洲西部苏美尔人刻在泥板上的原始地图,图上标示了城市、河流和山系,以及一大段文字。其次是从巴比伦北面 320 km 的加苏古巴城(今伊拉克境内)发掘出来的刻在陶片上的地图(图 1-1),迄今有 4 500 余年的历史,这是一块手掌大小的陶片,图上绘有古巴比伦城、底格里斯河和幼发拉底河,地图上方残存有 11 行楔形文字。

在中国,有记载的最古老的地图是 4 000 年前夏禹的九鼎,鼎地图的传说记载于《左传》,由于是“贡金九牧”而铸鼎,且鼎上铸有山川形势、奇物怪兽,故后人称之为《九鼎图》;在先秦古籍《山海经》中,有不少绘有山、水、动植物及矿物的原始地图;河南安阳花园村出土的《田猎图》,是青铜器时代刻于卜卦用的龟板上的原始地图,距今 3 600 多年;在云南沧浪县发现的巨幅岩画《村圩图》,距今也有 3 500 年历史。

(二) 中国古代与近代地图的发展

春秋战国时期,诸侯争霸,战争频繁,地图成为军事活动不可或缺的重要工具。《管子·地图篇》指出“凡兵主者,必先审知地图”,精辟阐述了地图的重要性。1986 年,在甘肃天水放马滩 1 号秦墓出土 7 幅地图,均用墨线绘在 4 块大小基本相同(长 26.7 cm、宽 18.1 cm、厚 1.1 cm)的松木板上,经甘肃省文物考古研究部门鉴定为秦王政八年(公元前 239 年)物品,是目前所知世界上最早的木板地图,图上重点表示了境内的河流、居民地及其名称,部分地区还表示了林木的分布情况、里程注记和其他地名。秦始皇统一中国后,在社会经济与发展方面对地图的需求量进一步加大。从划分郡县,到行政和经济管理;从兴修水利、开凿运河等大型工程,到建设遍布全国的交通要道,都离不开地图。因此,秦始皇很重视地图的制作和收藏。尽管秦王朝的统治只有 20 多年,但到汉灭秦时,秦地图的数量已相当可观。刘邦灭秦时,萧何先入咸阳,把大量的官家图籍接收过来,并专门建造一个坚固的石渠阁,以保存秦始皇在位时从全国各地收集来的地图。1973 年湖南长沙马王堆三号汉墓出土三幅绘于帛上的地图(地形图、驻军图和城邑图),距今至少



图 1-1 巴比伦陶片地图

资料来源: <http://www.aryse.org/wp-content/uploads/2012/02/carte-mondeancienne-babylone.jpg>

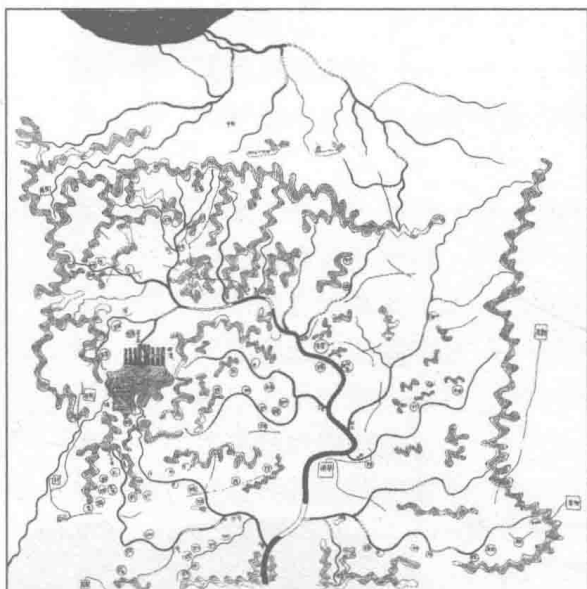


图 1-2 马王堆汉墓地形图(复原图)

资料来源:马王堆汉墓帛书整理小组. 古地图:马王堆汉墓帛书[M]. 北京:文物出版社,1977.

2 100多年,地形图(图 1-2)是一幅边长 98 cm 的正方形彩色普通地图,范围大致为东经 $111^{\circ}\sim 112^{\circ}39'$ 、北纬 $23^{\circ}\sim 26^{\circ}$ 之间,相当于现今湖南、广东、广西等三省区交界地带。方位上南下北,所绘主区为汉初长沙国南部 8 县(道),即今湖南南部潇水流域、南岭、九嶷山及附近地区;邻区是汉初南越国的辖地,约相当于今天的广东大部分和广西小部分地区。地图内容丰富,包括山脉、河流、聚落、道路等要素,图上绘有 80 多个居民点、20 多条道路、30 多条河流,采用闭合曲线表示山体轮廓及其延伸范围。驻军图是一幅长 98 cm、宽 78 cm,用黑、朱红、田青三色彩绘的军事地图,其范围仅仅是地形图的东南部地区。该图在简化了的地理基础之上,用朱红色突出表示了九支驻军的名称、布防位置、

防区界线、军事要塞、烽燧点、防火水池等内容。城邑图长 40 cm、宽 45 cm,图上标绘了城垣范围、城门堡、城墙上的楼阁、城区街道、宫殿建筑等。长沙马王堆汉墓地图的发现,给中外地图史增添了光辉灿烂的一页,它的时间之早,内容之丰富可靠,地图绘制原则和绘制水平及其使用价值,都处于世界领先地位。

魏晋时期,著名学者裴秀(公元 224—271 年)编制完成《禹贡地域图》,标志着我国古代地图学的辉煌成就,奠定了我国地图学的最初基石,裴秀因此被后人称为中国地图学之父。裴秀在晋朝初年担任过司空、地官,专管国家的户籍、土地、税收和地图,后任宰相。他以《禹贡》为依据,总结前人制图经验,绘制了 18 幅《禹贡地域图》,并将《天下大图》缩制为《方丈图》,创立了我国最早的制图理论“制图六体”,即分率、准望、道里、高下、方邪、迂直。“分率”,即比例尺;“准望”,即方位;“道里”,即距离;“高下”,即相对高程;“方邪”,即地面坡度起伏;“迂直”,即实地的高低起伏距离与平面图上距离的换算。裴秀还反复阐述了“六体”之间相互制约的关系及其在制图中的重要性,“制图六体”自此成为我国 1 400 年间(西晋至明末)绘制地图的基本理论与方法,也是我国传统“计里画方”法绘制地图的理论基础,在我国和世界地图制图学史上有重要地位。

唐代贾耽(公元 730—805 年)通过对古今地图的对比分析和调查访问,编制了《关中陇右及山南九州图》。该图内容丰富,有新旧城镇,诸山诸水之源流,重要的军事要塞,道路的里数等。他的另一杰作是《海内华夷图》和说明该图的《古今郡国县道四夷述》四十卷。《海内华夷图》是魏晋以来的第一大图,“广三丈,纵三丈三尺”,吸取了裴秀制图理论的优点,讲究“分率”(一寸折成百里)。图上古郡县用黑色注记,当代郡县用朱红色标明,进一步确定了这种传统历史沿革地图的表示方法,对后世产生了很大影响。唐代曾组织人力绘制京都《长安图》,是现存最大的古代城市图,藏于西安碑林博物馆。

宋代是制图技术较为发达的时期,北宋统一不久后于公元 993 年(淳化四年)曾用绢一百匹编绘了第一幅规模巨大的全国总舆图,即《淳化天下图》。该图系用各地所贡地图 400 余幅编制而成。在著名的西安碑林中,保存有一块伪齐阜昌七年(南宋绍兴六年,公元 1136



图 1-3 禹迹图(墨线图)

资料来源:廖克. 现代地图学[M]. 北京:科学出版社,2003.

年)刻石,在碑的两面分别刻着《华夷图》和《禹迹图》。《华夷图》可能是因袭唐代贾耽的《海内华夷图》制成。《禹迹图》上刻有方格,是目前看到的最早的“计里画方”的地图作品,在美国国会图书馆地图部所藏最早的中国地图就是《禹迹图》的 19 世纪拓本(图 1-3)。《禹迹图》长宽各一米多,图中采用“计里画方”的绘制方法,每个方格边长相当于一百里,横方格七十一个,竖方格七十三个。其中水系、海岸线非常接近现今地图上的形状,所绘内容十分丰富,行政区名有三百八十个,标注名称的河流近八十条、山脉七十多条、湖泊五个。然而,由于该图是根据公元前 2205 年夏朝大禹王时期《禹贡》中对地形的描述制作的,部分地物的位置与现今实际情况存在较大差距。宋代的代表性地图学家沈括(公元 1031—1095 年)对地图测绘有很多贡献,例如,为疏通渠道做过 840 里的水准测量,发现地磁偏角的存在,改进了指南针的装置等。历经十二年不懈的努力,元祐二年(公元 1087 年),沈括完成了奉旨编绘的《天下州县图》,其图幅之大,内容之详,前所罕见。全套地图共有二十幅,包括全国总图和各地区分图,比例为九十万分之一。在制图方法上,沈括提出分率、准望、互融、傍验、高下、方斜、迂直等九个方法,并按方域划分出“二十四至”,从而大大提高了地图的科学性。

元、明两朝地图测绘也有长足的进步。例如,都对黄河源头做了详细的考察;郭守敬在测量上第一个提出了“海拔高程”的概念;出现了我国第一个地球仪。元朝地理学家朱思本(公元 1273—1333 年)十分重视地理考察,曾经游历过整个中原地区,他对地理知识的求索并不局限于泛游名山大川,而是考察历史沿革,核实地理情况,经过 10 年的努力,著成《舆地图》二卷。罗洪先(公元 1504—1564 年)是明代一位杰出的地图学家。他通过“考图观史”,在访求的过程中,偶得元人朱思本地图,并与以前地图做比较,认为朱图坚持我国传统的计里画方制图,有较好的精度,各地物要素丰富。于是,以朱图为新图的蓝本,扬长避短,朱图“长广七尺,不便卷舒”,他按计里画方的网格加以分幅,并补充新资料,积十年之寒暑而后成。因把朱图“广其数十”幅,故名《广舆图》,成为我国最早的综合性地图集。该图承前启后,对地图学的发展产生了重大影响,前后翻刻了六次,自明嘉靖直到清初的 250 多年间广为流传。

明朝著名航海家郑和(公元 1371—1433 年)先后七次在南洋和印度洋航行,历时 20 余年,经历了 30 多个国家,远到非洲东海岸和阿拉伯海、红海一带。郑和的同行者们留下四部重

要的地理著作,产生了我国第一部航海图集——《郑和航海图》(原名《自宝船厂开船从龙江关出水直抵外国诸番图》),它不仅是我国著名的古海图,也是15世纪以前最详细的亚洲地图。

明末,欧洲的一批耶稣教士到我国沿海和腹地开展传教活动,同时也传播了西方新兴的自然科学技术。明万历十年,意大利传教士利玛窦来华介绍的西方世界地图和地图制图技术得到中国统治者的重视,新的制图方法在中国进一步传播。利玛窦对中国科学文化影响最大的是绘制世界地图和测量经纬度。自1584年到1608年,他先后12次编制世界地图,把西方和东方的已知世界汇编在同一幅图上,并带来一些新的地理概念,如经纬度、南北极和赤道等。

清代,康熙聘请了德国、比利时、法国、意大利、葡萄牙等国的一批传教士,进行了大规模地理经纬度和全国舆图的测绘。采用天文测量和星象三角测量相结合的方法,历时35年,完成了631个重要点位的经纬度控制测量,奠定了中国近代地图测绘的基础。随后用10年时间绘制了科学水平空前的《皇舆全览图》,走在了世界前列。《皇舆全览图》原测28分幅,编绘出版时,以省分幅,计“全国地图一,离合凡三十二帧,别为分省图,各省一帧”。《皇舆全览图》绘制成功后,“镌以铜版,藏内府”,当时很少流传。但该图毕竟是我国首次全国性的实测地图,开我国实测经纬度地图之先河。乾隆继位后,在《皇舆全览图》的基础上,增加新疆、西藏新测绘的资料,编制成一部新地图集《乾隆内府舆图》,地图的表示范围为西到东经 90° ,北至北纬 80° ,成为当时世界上最完整的亚洲大陆全图。康熙、乾隆两朝实测地图的完成,把我国地图制图的发展提升到了新的水平,并影响着各省区地图集的编制,在中国地图发展史上具有极为重要的意义,它是中国传统制图法向现代制图法转变的标志。

我国采用经纬度制图法绘制的第一部世界地图集,是清末地理学家魏源(公元1794—1857年)编制的《海国图志》。《海国图志》是魏源受林则徐嘱托而编著的一部世界地理历史知识的综合性图书,是中国地图制图史上一部世界地图集编制的开创性工作,包括74幅地图。采用经纬度控制法,经线以穿过巴里亚利斯岛的子午线为零度,全球分为东经 180° ,西经 180° ,区别于康熙乾隆年代使用的北京为零度经线;大洲地图采用彭纳投影,各国地图采用圆锥投影,澳大利亚地区采用墨卡托投影;采用了各种不同的比例尺,但地物符号大部分仍保持古地图的特征。

清末,传统沿革地理学的集大成者、清代学者杨守敬(公元1839—1915年)经15年努力,主编完成了《历代舆地沿革险要图》,成为我国地图史上一部举足轻重的历史沿革地图集。该图集绘制了自春秋至明代的历代疆域政区,并辅以山川形势,历代正史地理志中的县级以上地名基本全收,并绘制了一级政区的界线,是历来历史地图中最详备的一种。

到了近代,由于受外来侵略和内部腐败等影响,国势日衰,限制了地图制图技术的发展。旧中国在地形图测绘方面只做了一些零星工作,没有建立统一的大地坐标系统,缺乏完善的制图作业规范,成图精度较低,杂乱而不成体系;专题地图只在少数部门(如地质、气象部门)开展了少量工作;私营舆图社编制出版过为数不多的地图集,影响较大的是1934年上海申报馆出版,由丁文江、翁文灏、曾世英等负责编纂的《中华民国新地图》(又称《申报馆中国地图集》)。

新中国成立后,随着经济建设和科学文化事业的迅速发展,我国的地图学也得到迅速发展,进入现代地图的发展时期。

(三) 国外古代和近代地图的发展

早在古埃及尼罗河沿岸开始有农业的时候,为了确定可能被河水淹没的土地范围,需要进行丈量 and 记录,产生了有数学意义、用图形表示土地轮廓和位置的地图。公元前6世纪至公元前4世纪,古希腊在自然科学方面有很大发展,尤其在数学、天文学、地理学、大地测

量学、地图学等领域,涌现出一批卓越的学者。古希腊哲学家阿那克西曼德(约公元前610—前545年)提出了地球形状的假说,认为地球是椭圆形球体。到了公元前2世纪,地球是球体的学说为更多的人所接受。埃拉托斯芬(约公元前276—前194年)首先利用子午线弧长推算地球大小,从日影测算出地球的子午圈长为39700 km,并第一个编制了把地球当作球体的地图。天文学家吉帕尔赫(约公元前160—前125年)创立了透视投影法,利用天文测量测定地面点的经度和纬度,提出将地球圆周划分为 360° 。著名数学家、天文学家和地图学家托勒密(公元90—168年)对地图学的发展作出了突出贡献,他所写的《地理学指南》是古代地图学的一部巨著。该指南对当时已知的地球各部分作了比较详细的叙述,包括各国居民地、河流和山脉,列举了注明经纬度的8000多个点。指南中附有27幅地图(1幅世界地图和26幅分区图),是世界上最早的地图集雏形。托勒密提出了编制地图的方法,创立了球面投影和普通圆锥投影,并用普通圆锥投影编制了世界地图,该图在西方古代地图史上具有划时代的意义。

中世纪是西方地图史上的一个大倒退时期。由于宗教神权统治,地球球形的概念遇到排斥,地图不再是反映地球的地理知识的表现形式,往往成为神学著作中的插图。这类地图几乎千篇一律地把世界画成一个圆盘,既无经纬网格,又无比例尺,失去了科学和实用价值。

公元15世纪以后,欧洲各国封建社会内部的资本主义开始萌芽,历史进入文艺复兴、工业革命和地理大发现时期。航海家哥伦布进行三次航海探险,发现了通往亚洲和南美洲大陆的新航路和许多岛屿。葡萄牙航海家麦哲伦第一次完成了环球航行,证实了地球是球体的学说。这些航行和探险使人们对地球各大陆与海洋有了新的认识,为新的世界地图奠定了基础。

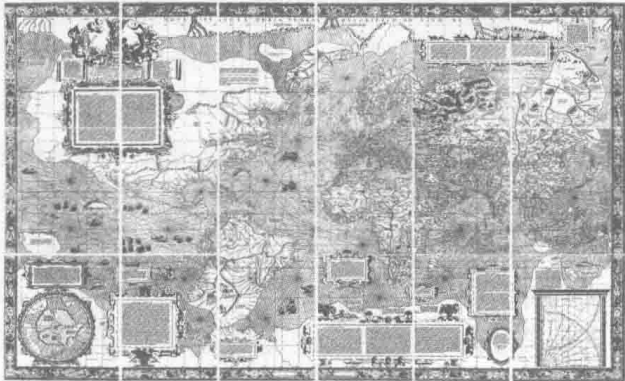


图 1-4 墨卡托世界地图

资料来源:http://www.all-nationz.com/jpg/Mercator_1569_world_map_composite.jpg

公元16世纪,荷兰制图学家墨卡托(公元1512—1594年)创立了等角正轴圆柱投影(墨卡托投影),并于1568年用这种投影编制了世界地图(图1-4),代替了托勒密的普通圆锥投影地图。他用等角正轴圆柱投影编制的世界地图,不仅收集并改正了所有天文点成果,把当时对世界的认识表示到地图上,而且等角航线被表示成直线,对航海活动非常适合,因此迄今世界各国仍多采用墨卡托投影编制海图。墨卡托所编地图集也被誉为16世纪欧洲地图发展的里程碑。

17世纪以来,随着资本主义的发展,航海、贸易、军事及工程建设等对地图精度要求不断提高,加之当时平板仪及其他测量仪器的发明,使测绘精度大为提高。三角测量成为大地测量的基本方法,很多国家进行了大规模全国性三角测量,为大比例尺地形测图奠定了基础。由于采用平板仪测绘地图,使地图内容更加丰富,表示地面物体的方法由原来的透视写景符号改为平面图形,地貌由原来用透视写景表示改为用晕滃法,进而改为用等高线

法,地图印刷由原来的铜版雕刻改用平版印刷。到了18世纪,很多国家开始系统测制以军事为目的的大比例尺地形图。

19世纪末,资本主义各国为了对外寻找市场和掠夺殖民地,迫切需要了解世界地理情况,有了编制统一规格的世界详图的要求,对后来编制国际百万分之一地图起了积极的推动作用。此外,从19世纪开始,由于自然科学的发展进步,普通地图已不能满足需要,产生了各种专题地图。德国伯尔和斯编制出版的自然地图集、巴康和海尔巴特逊编制出版的巴特罗姆气候图集等,都对专题地图的发展起到了一定的推动作用。

20世纪初飞机出现后,很快研制了航空摄影机和立体测图仪,地图测绘开始采用航空摄影测量方法,黑白航空像片成了专题地图制图的重要资料来源,改变了过去地面测绘速度慢、质量差的局面,使地图的科学内容、表现形式和印刷质量都提高到一个新的水平,地图学进入了一个新的发展时期。

二、地图的定义和基本特性

地图的定义是随着人类社会的发展和科学技术的进步而发展变化着的。20世纪中叶以前,人们把地图说成是“地球表面在平面上的缩写”。该定义简单明了但不确切,它不能反映地图所具有的曲面与平面投影转换、内容抽象综合以及图形符号的特征,容易同地面照片、风景画相混淆或无法明确加以区分。随着人们对地图制图技术的重视,开始强调地图制作技术的特征,代表性的是20世纪40年代苏联制图学家萨里谢夫给出的定义:“地图是根据一定的数学法则,将地球表面以符号综合缩绘于平面上,并反映出各种自然和社会现象的地理分布与相互联系。”这个定义在某种程度上揭示了地图的本质,说明了地图具有数学法则、符号系统以及地图内容的综合法则,强调了地图能反映各种自然和社会现象的地理分布与相互联系。萨里谢夫上述关于地图的定义在地图学界有较大影响,一直持续到20世纪60年代。70年代后,萨里谢夫把模型概念引入地图定义,在他的《地图制图学概论》一书中写道:“由数学所确定的经过概括并用形象符号表示的地球表面在平面上的图形,用其表示各种自然现象和社会现象的分布、状况和联系,根据其每种地图的具体用途对所表示现象进行选择 and 概括,结果得到的图形叫做地图。”国际地图学协会(International Cartographic Association,简称ICA)1987年成立的地图学定义与概念工作组给地图的定义是:“地图是地理现实世界的表现或抽象,以视觉的、数字的或触觉的方式表现地理信息的工具。”

风景画、素描图、写景图、地面相片、航片、卫星照片与文字著作等,虽然也是地球在平面上的描绘和缩影,但在表示方法、表达手段与描绘的内容上与地图有着本质的区别,它们不具备地图所具有的如下三个基本特性:

(一) 严密的数学法则

地面的素描图和写景图是透视投影,随着观测者位置的不同,物体的形状和大小也不同。航空像片则是另一种投影——中心投影,卫星影像是多中心投影。地物的形状和大小随其在像片上的位置不同而变化,等大的同一物体在像片中心和边缘的形状和大小也是不同的。地图是垂直(或正射)投影。从不规则的地球表面(自然表面)到制成地图,首先是要将自然表面上的物体沿铅垂方向投影到大地水准面上,由于大地水准面也是一个不规则的球面,无法用解析的方法精确描述,需要用一个经过定位的旋转椭球面去代替它,然后再将椭球面经过地图投影法则转换成平面。经过这些步骤,我们将自然表面上的经纬线投影到平面上,建立了坐标系统,成为地图的数学基础。通过地图投影生成的地面物体的图形,我

们可以控制其变形性质,精确地确定其变形大小,使地图具有更高的科学和实用价值。风景画、地面像片及没有经过处理的航片、卫片,虽然也具有投影规则,但由于种种随机因素的影响,各处的比例很难确定,也不能进行严密的定向。

(二) 科学的地图概括

地图是地球表面缩小了的图形,地图图形的大小通常比它表示的区域要小得多,每幅地图存在着地图与客观实际间的倍数关系,这种关系叫做地图的比例尺。在面积一定的图面上,其容量是有限的,但随着地图比例尺的缩小,对于同一区域能够表示到图面上的制图要素的数量也将随之减少。因此,必须对地图内容进行综合,即舍去次要的、微小的,保留基本的、主要的,并加以概括。这种经过取舍、简化等抽象性图形思维和符号模拟综合概括出来的地理图形,和航空像片、卫星图像有很大的差别。所以地图跟航空像片、卫星图像的又一差别在于它的内容是经过地图概括(即制图综合)得来的,地图内容科学性的核心问题就是地图概括。

制图综合是地图作者在缩小比例尺制图时的第二次抽象,用概括和选取的手段突出地理事物的规律性和重要目标,在扩大读者视野的同时,能使地理事物一览无余。地面事物千差万别,在符号化的过程中,将性质类似、大小相近的物体赋予同样的符号,即实施对地理事物的分类分级,完成制图过程中的第一次抽象。同时还要将复杂的轮廓加以简化,对以质量或数量为标志区分的众多等级合并和缩减,这是制图过程中对地理事物的第二次抽象和升华。

(三) 特定的符号系统

地球表面上的事物,在航空像片和卫星图像上是用黑白灰阶或彩色色阶表现出来的,在地图上则是运用特定的符号系统来表示的。地图符号系统又称为地图的语言,它们是按照世界通用的法则设计的、同地面物体对应的经过抽象的符号和文字标记。而风景画和照片则都是写真的,常常由于比例缩小无法辨认。地图由于使用了特殊的地图语言来表达事物,使之具有风景画和照片都无法比拟的直观性的优点。地面物体往往具有复杂的外貌轮廓,地图符号由于进行了抽象概括,按性质归类,使图形大大简化,即使比例尺缩小,也可以有清晰的图形。实地形体小而非常重要的物体在像片上不能辨认或根本没有影像,在地图上则可以根据需要,用非比例符号表示,且不受比例尺的限制,事物的数量和质量特征在地图上可以通过专门的符号和注记表达出来。地面上一些被遮盖的物体,在像片上无法显示,而在地图上可以通过专门符号显示出来,许多无形的自然和社会现象,在地图上都可以用符号表达。

为什么地图上要采用特定的符号系统呢?因为地理事物的形状、大小、性质等特征千差万别、十分复杂,如果全部按它们的原貌缩绘到地图上,将会杂乱无章,实际上也是不可能的。例如,有些事物由于缩小,按比例尺不能表示出来,但就其作用来说又必须保留在地图上;另外,有些事物,例如作为三度空间的地貌,只有用一组等高线系统才能将其显示于平面上;还有一些看不见的现象,如地磁、风速、风向、气温、降雨量、土壤有机质含量等,若不用特定的符号就无法将其表示在图面上;再者,采用符号系统,还可以将主要地物与次要地物区别开来,即主要地物用明显的符号或颜色表示,次要地物用不太明显的符号或颜色表示。由此可见,符号是地图的语言,犹如文章和语言中的文字。地图与文字相比,具有形象直观与一览性、地理方位性和几何量测性,谚云“一图胜千言”就是这个道理。

根据地图具有的上述三个特性,可以认为地图是根据一定的数学法则,使用地图语言,通过制图综合,表示地面上地理事物的空间分布、联系及在时间中发展变化状态的图形。随着科学技术的进步,地图可以用数字的形式储存和传送,对地图内容进行任意检索和叠加。围绕这些发展,对地图的定义又产生了新的认识,对地图的定义也出现许多不同的见

解,如将地图看成“反映自然和社会现象的形象、符号模型”,地图是“空间信息的图形表达”“空间信息载体”“空间信息的传递通道”等。

现代地图一般认为就是指在数字环境下制作的地图,这种数字式现代地图与传统模拟式纸质地图相比较有很大不同。随着科学技术的进步和时代与社会的发展,地图从内容到形式,从信息源到成图方法,从编图到用图,都发生了巨大的变化。随着数字地图尤其是虚地图的提出,出现了许多新的地图定义。其中,王家耀等(2006)的《地图学原理与方法》中给出的定义是:“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空间分布、组合、联系和制约及其在时空中的变化和发展。”这个定义说明构成地图数学基础的数学法则是任何类型的地图都不可缺少的。制图综合法则从广义上讲,包括制图综合和符号系统,因为使用符号就意味着综合。记录空间地理环境信息的载体和传递空间地理信息的工具,既可以是实地图,也可以是虚地图。关于反映各种自然和社会现象的空间分布、组合、联系和制约及其在时空中的变化和发展,更是实地图和虚地图都具备的功能。传统二维纸质地图的数学法则,主要指曲面到平面转换的地图投影;而数字地图、基于椭球坐标系的电子地图,以及影像地图的数学法则指的是一种特殊的坐标系统即特殊的数学框架。传统二维纸质地图的综合法则,主要指地图内容的分类分级、符号化和地图内容的综合概括;而数字地图、影像地图的综合法则,主要指地图数据的分类分级、融合编辑处理,以及数据及影像的多层次细节表达模型处理等内容。可以看出,虽然地图的数学法则、地图概括和符号系统这三个基本特性在数字环境下都有所发展,但却没有发生根本改变。总之,我们把地图的这种变化只能称为特性的拓展,因为其实质并没有改变。

因此,可以给地图下这样一个定义:“地图是根据特定需求,采用一定的数学框架,以图形符号、三维模型、图像或数据形式,抽象概括表达或记录与空间有关的自然和社会现象的分布状况和联系及其发展变化规律的工具。”

第二节 地图学

一、地图学的产生和发展

地图学的发展经历了原始地图、古代地图、近代地图和现代地图四个时期。在不同的时期,地图学者们不断丰富地图理论,并随着科技的发展,制图水平不断提高。进入18世纪以后,大规模的三角测量和地形图的测绘被应用于制图工作,促进了地图投影等地图学理论的发展。到了20世纪,航空摄影测量改变了地形图的测绘生产过程;照相制版和彩色印刷技术的发展,使地图生产工艺发生了极大的变化。制图综合理论、专题制图和综合制图逐步发展和完善,使地图学逐渐成为一门完整的技术学科。

现代科学技术的发展,特别是以计算机为主体的信息技术的应用,以及与之相适应的地图信息论、地图感受论、地图符号学、地图模式论及地图传输论等现代地图学理论的产生和完善,使地图学产生了一次深刻的“革命”,逐渐发展成为现代地图学。

(一) 传统的地图学

传统的地图学主要研究地图制图的理论和技术,包括地图概论、地图投影、地图编制、地图整饰和地图制印5个部分。20世纪70年代,在国际地图学协会的推动下,地图应用也

成为地图学的重要组成部分。

在地图学的形成和发展过程中,瑞士地图学家英霍夫和苏联地图学家萨里谢夫、苏霍夫等人在诸多领域发挥了重要作用。以英霍夫为首的一批欧洲地图学家强调地图学的艺术成分,认为“地图学是带有强烈艺术倾向的技术科学”,制作一幅艺术品肯定不是地图学家的任务,但要制作一幅优秀的地图,没有艺术才能是不能成功的。1963年英霍夫率先提出地图学应由理论地图学与实用地图学两部分组成。英霍夫还创造和发展了地图表示法,尤其是山地表示法和彩色地貌晕渲,对于自然环境描述逼真,立体效果生动。他主编过大量有较高地位和学术价值的地图(集),主要著作有《地形与地图》(1950)、《地形的制图学表示法》(1965)、《专题制图学》(1972)等。

以萨里谢夫为首的一大批苏联地图学家在实践经验的基础上,提出了一整套的制图综合理论,完成了从机械转绘到光学转绘的生产工艺的变化,在地图和地图集的设计方面也取得了很大进展。萨里谢夫也是苏联地图应用学的创始人和基本原理的奠基人,他在自己的许多著作中都广泛、深入地研究了地图应用各方面的问题。他最早提出并把地图应用视为地图制图学的两大任务之一,把地图编制与地图应用列为地图学研究的两个同等重要部分;把地图学划分为五个相对独立的学科:地图概论、数学制图学、地图编制、地图整饰与印刷、地图量测学。他首先提出了“地图认识法”和“地图研究法”等科学概念,使地图学产生出一些新的分支学科、新的研究方向。20世纪70年代后期,提出系统地图学概念,将地理系统作为一个整体,全面系统地反映其空间结构特征与时间系列变化,反映自然子系统与人文子系统各组成要素及其耦合关系。

(二) 现代地图学的形成

随着科学技术的发展,20世纪50年代地图学开始受到信息论、系统论、传输论等横断科学的影响而跨界于多门学科。在理论研究方面,法国伯廷领导的图形实验室于1961年提出一套用于地图符号设计的视觉变量理论;美国现代“符号学”创始人之一莫里斯在哲学理论基础上提出的形式语言学理论逐渐形成了符号学的核心;德国学者建立的图形心理学理论对地图阅读规律研究有指导意义;英国博德提出地图模型理论;捷克科拉斯尼根据信息论的概念提出了制图传输的系统模型。20世纪70年代以来,地图制图技术发生了巨大变革,计算机制图已广泛应用于各类地图生产,多媒体地图集与互联网地图集推广普及,地图学—遥感—地理信息系统相结合已形成一体化的研究技术体系,计算机制图—电子出版生产一体化从根本上改变了地图设计与生产的传统工艺。这些成果奠定了现代地图学的理论和技术基础,现代地图学的概念由此产生,且体现出与传统地图学不同的新特点:

(1) 现代地图学在理论上结束了传统地图学以经验总结为主、以地图产品输出为主要目的的封闭体系,形成了以地球系统科学为依据,融合控制论、系统论、信息论等横断学科为一体的跨学科的开放体系。

(2) 在地图的功能上实现了信息获取的一端向信息的智能化加工和最终产品生成的一端(用户端)转移。现代地图学认为地图不只是信息载体,而且是科学深加工之后的创新的知识,应该由以往传统地图学中地图是“前端产品”向“终端产品”的观念转变,因为用户不满足于原始的数据材料,迫切需要的是经过深加工、综合集成的精品,将地图的功能进行了极大的扩展和延伸。

(3) 现代地图学把地图可视化和虚拟现实作为其研究的两大热门技术。可视化技术给原有的地图学理论带来了新的思维,它把注重地图的视觉传输转移到侧重视觉思维和认知

分析。虚拟地图打破了地图作为平面产品为用户提供信息的固有观念,提供了一个虚拟的地理环境使人可以沉浸其中,并通过人机交互工具进行各种空间地理分析。

(4) 现代地图产品呈现品种多样、形式多样、实现手段多样化等特点,地图产品已经不仅仅是纸质的平面地图,出现了电子地图、网络地图、虚拟地图等多种形式的地图。

二、现代地图学理论与学科体系

现代地图学是以地图信息传输与地图可视化手段,以区域综合制图与地图概括为核心,以地图科学认知与分析应用为目的,研究地图的理论实质、制作技术和使用方法的综合性大众化科学。

我国地图学家廖克提出如图 1-5 所示的现代地图学体系,根据该体系,现代地图学研究内容可以分为三个方面,即理论地图学(Theoretical Cartography)、技术地图学(Technological Cartography)和应用地图学(Applied Cartography)。理论地图学的内容有地图投影理论、地图概括理论、地图符号理论、地图信息与传输理论、地图模拟与模型理论、地图认知与感受理论等,前三者称为经典地图学理论,后三者属于现代地图学理论,此外还包括综合制图理论、地学信息图谱理论等;技术地图学的内容包括地图编制(含普通地图编制、专题地图编制)、遥感制图(含航空、航天摄影测量制图,遥感专题制图等)、计算机制图(含数字地图、电子地图、多媒体地图、互联网地图等)、地图制印与电子出版、地图可视化、综合制图等技术;应用地图学包括地图的选用、地图阅读、地图量算、地图分析与图上作业等。主要的地图学理论简介如下:



图 1-5 现代地图学体系示意图

资料来源:廖克. 现代地图学[M]. 北京:科学出版社,2003;张荣群,袁勘省,王英杰. 现代地图学基础[M]. 北京:中国农业大学出版社,2005. 根据上述文献改绘。

(1) 地图学概论。主要是研究地图与地图学的定义、学科体系和地图的特性、功用、组成要素、分类及地图学史等;阐述地图学与社会发展的关系,研究地图学的发展规律,地图学与相关学科的关系,预测地图学的发展方向,论述地图成图的基本过程等。

(2) 地图投影理论。研究如何应用数学方法建立地球表面和地图平面之间空间位置的映射关系,内容包括地图投影的基础理论与方法、投影的变形与分类、投影的判别与选择、新投影的设计与投影变换等。

(3) 地图概括理论。又称制图综合(Cartographic Generalization)理论,研究如何根据地图的主题、用途、制图比例尺和制图区域的地理特征,以概括、抽象的形式反映出制图要素的基本特点和典型特征,舍去那些次要的、非本质的东西。其实质在于运用科学的选取与概括的手段,在地图上正确、明显、深刻地反映出制图区域的基本地理规律性。

(4) 地图符号理论。是研究和建立作为地图语言的地图符号系统的理论,研究和设计地图符号时,应考虑和处理好符号与符号之间、符号与制图对象之间及符号与用图者之间的关系。

(5) 地图信息与传输理论。地图信息论是研究以地图图形显示、传递、转换、储存、处理和利用空间信息的理论。苏联制图学家苏霍夫率先将香农的信息熵引入地图学,对地图信息进行度量,建立了基于统计信息熵的狭义地图信息论。考虑到地图信息的独特性,国内外学者进而发展了广义地图信息论,并开展地图解译、地图综合、地图设计等方面的应用研究。

地图信息传输理论是指从信息论角度出发,把制图者看作是信息发送者,客观世界是制图对象,地图是信息的载体和通道,制图者把获得的客观世界认识(信息),进行选择、分类分级、简化概括等信息加工和符号化(编码)而构成地图;再通过地图传输给用图者(信息接收者),用图者经过符号识别(译码)量测、分析和解译,形成对客观世界的认识。

(6) 地图模拟与模型理论。地图模拟论认为地图是客观世界的抽象化和符号化,是对客观世界的模拟,是用抽象和概括的方法再现客观世界的位置、分布和组合结构的抽象概念模型和图形符号模型,它是模拟地图的理论基础。

地图模型论是研究建立再现客观世界的地图模型,并经过地图图形模式化而建立地图数字模型和地图数学模型,它是实现地图自动化处理的理论基础。地图数字模型就是将地图上或准备表示到地图上的所有要素转换成点的 x 、 y 坐标和 z (特征)的数值组成的地面空间模型;地图数学模型就是用数学方法(公式)抽象化、概括化了的制图对象分布结构的模型,一般有空间点位向平面转换的数学模型(地图投影)、地图图形数学模型、地图要素分布特征的数学模型、地图自动概括的数学模型及地图的各类实际分析与应用模型等。

(7) 地图认知与感受理论。地图认知论是通过地图阅读、分析与解译,充分发挥图形思维与联想思维,形成对制图对象空间分布、形态结构与时空变化规律的认识;地图感受论是从用图者对地图图形的感受过程和感受特点出发,分析用图者对图形的心理、物理特征和地图视觉效果的感受,研究塑造什么样的地图图形能更好地发挥地图的各种功能和作用。地图认知与感受理论是研究地图整饰设计、信息获取与实际应用的理论基础。

(8) 综合制图理论。它是研究制作与应用综合地图的理论。综合地图是综合反映自然、社会经济现象和要素及其相互联系的地图。综合制图也是一种方法,是借助于地图的手段,多方面、完整综合地反映客观环境的一种方法。它以自然综合体与地带性规律、物质循环与能量交换规律、生态系统与人地关系等理论为依据,以地理系统或地球系统、人地系统为制图对象,以综合分析、系统分析的方法为基础,编制国家或区域综合系列图、地图集