



普通高等教育“十二五”规划教材



现代地图学教程

袁勘省 主编

(第二版)



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

现代地图学教程

(第二版)

袁勘省 主编



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是作者在长期从事地图学教学的基础上编写而成的。全书共 8 章, 主要内容包括: 现代地图与现代地图学, 地球空间认知与现代测绘成图, 地图投影及其选择与变换, 地图符号语言与内容符号表达, 地图概括原理与方法, 数字制图技术与电子地图编制, 遥感与地理信息综合制图, 地图分析应用理论与方法。本书内容简明扼要, 结构严谨, 基础性强, 适用面广。

本书可作为高等院校地理学、测绘学、地质学、环境学等专业及相关专业地图学课程教材, 也可作为地学科研、工程设计、规划管理等业务部门广大技术人员, 尤其是测量、制图、遥感与地理信息系统等专业技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代地图学教程/袁勘省主编. —2 版. —北京: 科学出版社, 2014. 1

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-039647-1

I. ①现… II. ①袁… 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 014023 号

责任编辑: 杨 红/责任校对: 桂伟利

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

*

2007年12月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2014年1月第 二 版 印张: 17

2014年1月第七次印刷 字数: 446 000

定价: 42.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《现代地图学教程》编写委员会

主 编 袁勘省

副主编 张荣群 赵 军 颀耀文

刘万青 韩用顺 苏惠敏

委 员 (按姓氏拼音排序)

曹 萍 (宁夏大学)

常占强 (首都师范大学)

董文旭 (西安文理学院)

高小红 (青海师范大学)

高晓梅 (中煤地西安地图制印有限责任公司)

韩用顺 (湖南科技大学)

凌善金 (安徽师范大学)

刘梦云 (西北农林科技大学)

刘万青 (西北大学)

罗杨洁 (内江师范学院)

苏惠敏 (陕西师范大学)

孙艳梅 (中国矿业大学)

王 雷 (西北大学)

王志杰 (南京林业大学)

武江民 (西北师范大学)

吴艳兰 (安徽大学)

颀耀文 (兰州大学)

杨广斌 (贵州师范大学)

杨 瑾 (长安大学)

于冬梅 (青岛大学)

余 明 (福建师范大学)

袁勘省 (西北大学)

张荣群 (中国农业大学)

郑江华 (新疆大学)

赵 军 (西北师范大学)

朱红春 (山东科技大学)

朱勤东 (福州大学)

主编介绍



袁勘省，陕西省周至县人，西北大学教授。先后就读于武汉测绘学院、中国科学院地理研究所，攻读研究生期间师从著名地理与地图学家、遥感与地理信息系统专家陈述彭院士。

袁勘省教授为中国测绘学会资深会员，中国地理学会、中国自然资源学会、中国国土经济学会会员，陕西省测绘学会、制图专业委员会委员，陕西省水土保持学会新技术专业委员会委员，陕西省减灾协会会员。曾担任中国地理信息系统协会首届理事会理事，西安资源与环境信息工程研究所首任所长，西北大学资源环境信息研究与开发中心高级顾问、计算机可视化技术研究所研究员及所长顾问以及西安地图遥感学会理事等职务。

袁勘省教授长期从事地图学与地理信息系统专业教学科研工作。主讲“地图学”、“自然地理制图学”、“地图编制”、“地图绘制”、“地图制印”、“地图电子出版系统”以及“现代地图学理论”等专业主干课程；编写了《现代地图学教程》、《现代地图设计》、《地图制版与印刷》、《多卫星专题制图方法》、《多维动态地学信息可视化》和《交通 GIS 及其在 ITS 中的应用》等多部教材和专著，编制出版单幅旅游图、系列图和图册图集多部套；公开发表学术论文 50 余篇。

序 言

近十余年，地图在不知不觉中普及开来，增长速度之快、使用范围之广，令人始料未及。这不得不归功于信息技术的发展，促成了这种局面的形成。数字化改变了地图的制作方法 & 生产流程，使你从读者变成了作者；网络化使地图以实时、多尺度、多视角展示在你的面前；位置服务能使你和地图融为一体，引导你走向目的地；虚拟现实能让你走进地图，身临其境；移动终端已成为你生活的一部分，须臾不能离开。在这种形势下，我们怎样看待地图，怎样定义地图，怎样去培养地图专业的学生，确实需要有一个新的视角。

古代地图谁用谁作、随用随作，并无专业制作地图的人员，也没有以制作地图为目的的测绘专业和部门。辛亥革命后，中国的地图事业大致划分为三个部分：一是国家作为基础建设项目和满足国防需要测制全国大比例尺地形图，并由此形成了生产标准、管理规范、学科建设与人才培养的完整体系；二是以地学和相关产业为核心，将地图作为研究成果载体和资源探索工具在大专院校、科研单位和专业部门中进行地图、专题地图和图集的设计和生 产以及人才的培训；第三是在上述两部分之外，还有为学生和公众服务的地图生产，主要由私人企业承担，也出版了大量教学、参考、旅游等地图。这种三分天下的格局至今并无大的变化，国外也大体相同，只不过欧洲类似的格局早于我国百余年，在 18 世纪末和 19 世纪初已经形成。

由于基础测量和地形图生产投入的资金和人力巨大，只能由政府主办，况且后两部分生产的地图也必须以国家大地控制基准和地形图为基础，也是地理框架内容的主要来源，就逐渐造成了官方制图的垄断地位。此外，国家出版的地形图也因涉及安全、资源保护等因素的影响，都有相关的发行限制，公众使用并不很方便。全世界的情况都差不多。

地图从谁用谁作到规范化生产，从随用随作到职能部门的保障，是一个历史的提高过程，是地图的一大进步，不论从地图精度到内容的可信度都达到了新水平，也因此形成了测绘科学与技术 and 地图学专业。

现在对地观测技术为地图制作提供了多渠道、多尺度信息源，定位技术使地图的位置精度得到了保证，因而大大活跃了地图学的生命力，地图学再次进入了一个自由伸展、谁用谁作的新时期。应该说测绘科技体系是有阶段性的，它只存在于历史上由某种技术条件和需求所决定的特定的时期。尽管地图的样子会有不断的变化，但地图却是永恒的，就像文字一样，是人类知识的支撑者和文明的历史见证，这也是为何要在大学里开设地图学课程的缘故。

在这个认识的基础上，编写地图学教材，就不必过多地约束于百余年来

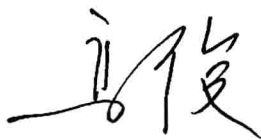
地图学定势，在地图的定义、内容、生产、应用等各方面都不必限制过多，兼收并蓄，在多学科的交叉中寻找生长点，在地学、社会学、人文经济的大数据融合中发现自然界和人类生存环境的新规律。同时，编写地图学教材也不能忽视培养对象的就业模式，过窄的内容不易适应当今市场对地图多样化的需求。

袁勘省教授主编的《现代地图学教程》在长期教学实践中，在新的需求氛围中，渐入佳境，读后有了新感觉，不但将大学地图学教学推进了一步，而且开拓和探索了更广阔的地理空间，提供了地图学人才培养、教育的新途径。我们应该感谢主编及各位编者所做的贡献。

中国科学院院士

解放军信息工程大学测绘学院教授

地图学与地理信息系统学科博士生导师



2013.6.10

第二版前言

本教程第一版于2007年出版至今已有5年,5年来6次印刷,发行量万余册,使用学校40多家,极大地促进了现代地图学的教学与教改工作。

随着对地图科学的理解,地图学与地理信息系统(GIS)专业教学改革的深入发展,地理学本科新专业目录的公布,我们认为适时地修订本书是非常必要和及时的。

我们回顾了第一版的使用和教学情况,听取了部分代课老师与学生的意见,大家普遍认为本书特点明显、科学性很强,反映了现代地图学的特征,可以作为多专业多层次地图学教学的教材或主要参考资料,对科技人员也有一定参考价值。但从一线教学角度和本专科教育的现实问题考虑,也有不太适应的地方,这也是我们编写第二版的初衷。从知识的系统性、科学性、完整性、新颖性和前瞻性上看,本书的一些知识点,特别是相关最新理论、技术和方法等都还是需要的,应适当精选和保留部分内容。这对继续深入教学改革,提高教学质量和相关领域科研工作,以及现代地图学知识的普及和制图生产活动等,都具有重要意义和促进作用。

2012年暑假前,我们酝酿了第二版的编写大纲,体系上没有多大改变,章节上合并了原来的7、8两章为现在的第7章,原第9章变为现在的第8章。在内容选取上,基本也没有大的改动,但进行了较多的文字删减和提炼。2012年9月份全国第五次GIS教育研讨会暨首届全国GIS系主任联席会议在安徽滁州召开,本书第一版在会上展览,同时与出版社商定了第二版的编写原则,内容力求吸取近年来地图科学的新成果,简明地阐述地图科学的理论知识和基本技术。对地学本科生而言,教学的时数可控制在54~72学时,2~3学分,野外综合实习时数1~1.5周;研究生可集中进行课堂讲授和讨论学习,并结合导师的科研任务自学提高。

教材的组成应该再包括一册实习教程和一部电子教案,但同时编写出版还不够成熟。因此,等本书出版后再着手编写制作。

本版仍由西北大学袁勘省教授担任主编,负责先提出修改方案,在方案基础上拿出初稿,然后组织协调大家修改,经原参编老师反复交流讨论、归纳总结提高。副主编本次有所增加,他们都对第二版审稿和编写修订等工作做出了贡献。参编者署名除保留原来人员外,凡对本次修订提过建设性意见并撰写了一定文字的,我们也将其名字加入到相应章节的署名中。参编者对每章有何意见都可提出,由主编与各章负责人协商修改,副主编负责对内容全面审阅并标注或提出具体意见,各章节负责人或者参加成员进行具体修改,然后大家再发表评论,直到达到统一认识为止。经如此反复充分讨论,我们四易其稿,使教材的质量得到了较大提高。在原各章分工基础上,本次署名调整如下:第1章袁勘省、张荣群、颀耀文,第2章韩用顺、张荣群、颀耀文,第3章颀耀文、张荣群、常占强,第4章杨瑾、刘梦云、颀耀文,第5章苏惠敏、张荣群、颀耀文,第6章王雷、王志杰、韩用顺、颀耀文、高晓梅,第7章刘万青、余明、张荣群、于冬梅、朱红春,第8章赵军、朱勤东、武江民、颀耀文。全书由主编袁勘省教授统稿、定稿。本教材凝聚了上述老师们的心血,是大家共同完成的现代地图学教学与教改研究的成果。

本教程的主要教学对象为高等院校地理学 4 个本专科专业的学生，同时也考虑了地球科学类其他相关学科与专业的需要。编写过程中，我们对内容进行了反复推敲和精选，参考了大量国内外同类教材和文章。特别是吸收、补充了近 5 年来本学科与专业的新发展，比较全面地考虑了现代地图学知识的完整性。为避免学生对新知识学习重点和要求上的误解，我们把本专科学生暂时不需要掌握的难点内容，采用了小号字印刷，提醒师生们注意。各学校在教学实践中，也应根据教学对象和课时的不同，适当取舍，灵活掌握。

本次编写工作得到西北大学教务处、城市与环境学院遥感与地理信息科学系的大力支持，初稿完成后蒙系主任杨勤科教授审阅并提出了有益的建议。研究生李永胜、刘淑娟、雷宝佳、李楠楠、蒋好忱等参与了编写提纲讨论和第一版文字简化的辅助工作，李永胜、萨出拉等协助完成了补充插图的处理工作。陕西师范大学旅游与环境学院本科生王康、覃琪、游宇池、安智慧、杨圆圆、王丹、叶雪丹等在苏惠敏老师的指导下，参与了内容校对修改工作。在此一并致谢！

地图学界老前辈高俊院士特为本书第二版题写序言，对地图学三个发展阶段做了论述，指出不同阶段的特点，是对国内外地图学发展的总结，也为我们地图学教材的编写指明了方向。在此我代表编委们衷心感谢高俊院士的鞭策与鼓励。

编写一本教材，特别是对学科面宽、内容多而复杂、发展变化极快的学科，学术观点上的差异和分歧是难免的，尽管参编者都是教学一线教师，但不足之处仍在所难免，敬请使用本教材的老师、学生和读者们不吝赐教。

袁勘省

于西北大学桃园校区

2013 年 11 月 10 日

第一版前言

现代地图学起源于 20 世纪初，发展于 20 世纪中后期。进入 21 世纪发展的速度更是日新月异。现代地图无论从理论体系到制作技术，还是从表现形式到应用领域及使用方法，都发生了巨大变化。从 20 世纪初、中期发展起来的地图投影理论、地图符号理论、地图概括（制图综合）和综合制图理论是地图学的传统理论；20 世纪中期发展起来的地图信息与传输理论、地图模拟与模型理论和地图认知与感受理论是地图学的现代理论；以计算机和信息技术为代表的现代科学技术成就使地图学的理论体系得到了进一步完善和拓展，世纪之交叉提出了地图可视化理论、数字地球理论和地学信息图谱理论，这些都已成为地图学的新理论。地图制作技术和使用方式也发生了彻底变革，由传统手工模拟制作转向计算机数字制图；由以纸质地图为主要阅读形式的传统使用方式转向了数字环境下的数字地图、电子地图、网络地图、多媒体和多维动态地图等的地图分析与应用方式。如何使地图学教材建设适应现代科技发展需要，特别是现代地球空间信息科学技术对地图学基本理论、制作技术和分析应用方法等新要求，值得认真思考。全书贯穿了这一理念，共分为 9 章组织编写。

本教材是在西北大学袁勘省教授和中国农业大学副教授张荣群博士长期以来讲授“地图学”课程讲稿的基础上，结合近 20 个学校的地理地质、资源环境、城建规划与旅游等学科地图学与地理信息系统专业 20 余位作者多年来教学与科研实践，适应数字化时代发展对地图学课程的新要求做了许多修改，特别是对现代地图与地图学的新概念、空间坐标系、数字地图与电子地图新图种制作和应用等方面，进行了较为详细的补充与完善。根据地图学当前理论与实践研究的重点转移，我们特增加了数字制图与电子地图、遥感制图与数字地球、综合地图与地学信息图谱 3 章；把普通地图与专题地图一章分解到地图符号与内容表达一章和其他章节中；另外对地图分析与应用一章用模拟与数字环境两种思路进行了彻底革新；同时去掉了许多不适应的传统过时的东西，使得时代感更强，现代气息更浓。

地图学与 GIS 专业的课程设置各校都不太一样，但地图学课程都会有。如果按模块化设置，除政治思想与公共基础课模块外，专业方面应由如下 3 大模块共 10 个子模块课程所组成：专业基础课模块（含数学子模块、计算机子模块、地学/相关专业课程子模块）；专业课模块（含现代测量学子模块、现代地图学子模块、遥感技术子模块、地理信息系统子模块）；实践与方向课模块（含数字专题制图子模块、GIS 软件子模块、GIS 应用子模块）。现代地图学课在“地图学与 GIS”专业中的地位属于主要专业课之一。

在非地图学与 GIS 专业中，一般最少开设地图学和地理信息系统两门课，有条件的还开设专题制图课、GIS 软件课和 GIS 应用课。有的学校把地图学课分为“地图学”（只讲传统入门基础知识）与“计算机制图”和“地图分析”等课，人为地把地图学分割成几部分，现在已极不适应数字条件下地图学的发展新形势，建议去掉原来含义的几门课，开设“现代地图学”课，使用这本“现代地图学教程”的教材是完全可以满足对这门课程的新要求。

由于全数字野外测图、全数字摄影测量、全球定位系统（GPS）、遥感（RS）、地理信息系统（GIS）等内容都另有专门的相应专业课讲授，所以本书对这部分内容只进行了概略介绍。

使用本书最好能有 54~72 个以上的学时作保证,若课时太少可合并第 2、3 章,少讲或不讲第 7、8 章,这部分内容可放在高年级再讲或结合在其他专业课程有关内容中讲授。

本书是在我国地图学老前辈陈述彭院士的地图学思想指导下完成的。主要由西北大学袁勘省教授主持编写。赵军、刘万青等参编同志对编写提纲讨论修改作了很大贡献。著名地图学者廖克教授与钟耳顺研究员同时也审阅了编写提纲,编写人员是各高校地图学第一线的主讲教师,具体章节编写分工如下:第一章袁勘省、张荣群、卢斌莹,第二章韩用顺、孙艳梅(第四节)、张荣群,第三章颌耀文、常占强(第五节)、苏惠敏,第四章杨瑾、刘梦云(第三、四节)、赵军,第五章苏惠敏、卢斌莹、刘万青,第六章王雷、韩用顺、王志杰(第一节),第七章刘万青、董文旭(第三节)、杨瑾,第八章余明(第四节及本章统稿),朱红春(第一、二节)、于冬梅(第三节),第九章赵军、武江民、朱勤东(第三节);全书由袁勘省统稿并定稿,赵军、刘万青参与了统稿工作。在此对以上人员表示衷心的感谢!

由于水平所限,书中错误和不妥之处在所难免,敬请读者及时批评指正。以便再版时改正和逐步充实与完善起来,成为业界的共识和高校地学与相关学科本科生的通用教材。

袁勘省

于西北大学桃园校区

2007 年 5 月 10 日

目 录

序言

第二版前言

第一版前言

第一章 现代地图与现代地图学	1
第一节 现代地图概念与分类	1
第二节 现代地图学概念与学科体系	15
第三节 地图学发展简史与展望	23
第二章 地球空间认知与现代测绘成图	31
第一节 概述	31
第二节 地球空间参照系	41
第三节 空间尺度与地图比例尺	49
第四节 地图测绘成图法	53
第三章 地图投影及其选择与变换	63
第一节 地图投影的基本概念与问题	63
第二节 常用地图投影	72
第三节 地图投影的选择与变换	83
第四节 我国地形图投影及其分幅与编号	85
第四章 地图符号语言与内容符号表达	93
第一节 地图符号分类、变量与量表	93
第二节 地图符号图形、色彩与注记语言	102
第三节 普通地图内容及图形符号表达	112
第四节 专题地图内容及图形符号表达	123
第五章 地图概括原理与方法	133
第一节 地图概括的概念与影响因素	133
第二节 地图内容选取	140
第三节 地图内容概括	144
第四节 地图符号图形简化	148
第五节 地图概括智能化	153
第六章 数字制图技术与电子地图编制	159
第一节 数字制图的基本原理与方法	159
第二节 地形图数据库与基础数据生产	169
第三节 数字专题制图方法与数据组织处理	176
第四节 电子地图及其编制与出版	180
第七章 遥感与地理信息综合制图	190
第一节 遥感信息识别与制图	190

第二节	综合系列制图与地图集编制·····	199
第三节	多尺度与数字地球概念下的系列综合制图·····	208
第四节	地学信息图谱的基础知识·····	212
第八章	地图分析应用理论与方法·····	220
第一节	地图分析应用理论与评价标准·····	220
第二节	工作地图的选用·····	225
第三节	地图分析方法·····	227
第四节	地形图的野外应用·····	246
主要参考文献 ·····		256

第一章 现代地图与现代地图学

本章要点：地图的特性及其现代拓展、地图构成要素与基础及其拓展、地图功能及其拓展；现代地图分类、新概念及其定义；现代地图学定义；现代地图学的学科体系结构与组成、基本含义及其内容；现代地图学与地学及其他相关学科的关系；地图学发展简史等。

基本概念：地图，现代地图，现代地图学，新概念地图，传统地图学，数字地图学，电子地图学，地图学学科体系，理论地图学，技术地图学，应用地图学，地图学史。

地图学（cartography）是一门古老而又年轻的科学。地图的形成不亚于文字，随着社会需求的发展，地图内容不断丰富，制图精度不断提高，地图形式更加多样化，地图理论日趋成熟，制图与用图技术不断进步，地图已成为经济建设、国防建设、科学实验及日常生活不可或缺的工具，地图学作为一门独立的学科，已经形成了自己完善的理论、技术与应用体系。要弄清什么是现代地图学，必须先弄清什么是现代地图。

第一节 现代地图概念与分类

一、地图的特性及其现代拓展

1. 地图的基本特性

与风景画、素描图、写景图、地面照片、航空像片、卫星图像及文字著作等不同，地图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有着本质的区别。地图具备如下3个基本特性。

(1) 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，地物越近，图像越大；地物越远，图像越小。地图是垂直投影。首先，将地球自然表面垂直投影到地球椭球体面上；然后，再将地球椭球体面按地图投影法则描绘到平面上；同时，再按比例尺缩小到清晰可视的程度。地图的这一数学法则，使地图具有严密的数学基础，人们可以在图上定位、定向、量测距离、测算面积和体积等（图 1-1）。

(2) 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图形符号系统来表示的。地图符号是地图的语言，犹如文章和语言中的文字与词汇。地图与文字比较，其特点是：具有形象直观与一览性、地理方位性和几何量测性，谚语“一图胜千言”就是这个道理。地图的符号特性不仅不降低航空像片、卫星图像和文字等的作用，而且两者还可以相互比较和补充。所以，地图与风景画、各种照片以及语言文字的另一个本质区别，就是地图有了自己的语言——地图符号系统。

(3) 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相同范围的实地大小要小得多，每幅地图存在着地图图形与客观实际间的倍数关系，这种关系称为地图的比例尺或者空间尺度。在面积一定的图面上，其容量是有限的，但随着地图比

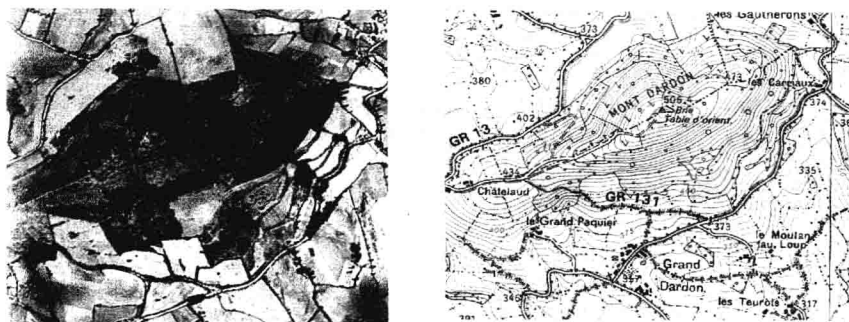


图 1-1 同一地区的航空像片与地形图比较

例尺的缩小或空间尺度变大，对于同一区域能表示到图面上的要素数量也随之减少，精度也随之降低。因此，必须对地图内容进行概括，即舍去次要的、微小的，保留基本的、主要的，并加以综合与概括。

2. 地图基本特性的现代拓展

现代地图一般指数字地图。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的不同。陈述彭先生认为地图从古代到现代，在信息源和信息获取手段、存储和检索方法、分析加工与制图方法、最终可视化产品的形式等 4 个方面都发生了漂移。但是地图的 3 个基本特性却没有改变，故而我们把地图的这种变化只能称为地图特性的拓展。

(1) 数学法则特性的拓展。地图数学法则主要指地图投影与比例尺。地图投影的拓展表现在新投影出现方面：一是由经典投影到新型投影，二是从球面坐标到平面坐标发展到从空间坐标到平面坐标，三是从地球投影发展到其他星球投影。比例尺拓展是指由纸质地图的固定比例尺拓展到数字地图与电子屏幕地图的不固定比例尺：一是由固定到不固定（可任意缩放）；二是由不变到可变（如旅游图上的变比例尺现象：城市中间比例尺可放大些，周围可缩小些）。

(2) 符号系统特性的拓展。地图符号系统由符号的图形、色彩和注记组成。它的拓展表现为：一是由手工制作修改难到机器生成图形符号库、色彩库、地名库调用易；二是由传统单一平面静态符号到多维动态可视化符号；三是由视觉符号到听觉、触觉、味觉与嗅觉的多感觉符号。

(3) 地图概括特性的拓展。地图内容由手工概括拓展到半自动概括/自动概括。在内容选取上不再是手工重描一次，而是按属性分类分级分层的不同自动提取；内容综合与图形简化在计算机环境下也十分方便，如传统下的图形简化方法“删除”、“夸大”、“移位”、“合并”、“分割”等，本身已成了计算机常用制图功能的一部分。地图概括的智能化也在加速发展。

(4) 地图较文字的现代拓展。地图较文字的形象直观性、地理方位性和几何精确性 3 个基本特点现在也有所发展，如由传统二维静态可视化拓展为多维动态可视化；有些地图只要求地理规律性表达，或能说明问题就行，并不要求几何精度（如拓扑地图）等。但这 3 个特点也没有根本改变。这方面的拓展具体表现在如下 3 个方面：形象直观性由传统单一形式到多媒体，由单一视觉到多感觉；地理方位性由传统相对固定的方位到可变化、可准确控制方位等；几何精确性由传统手工用量算到计算机控制自动精确测算等。

二、地图构成要素与基础及其现代拓展

1. 地图的构成要素与基础

地图载体不同,但具有共同的构成要素:数学要素、地学要素和辅助要素。其中数学要素是地图的数学基础,地学要素是地图的地学基础。图 1-2 给出了地形图的组成要素。

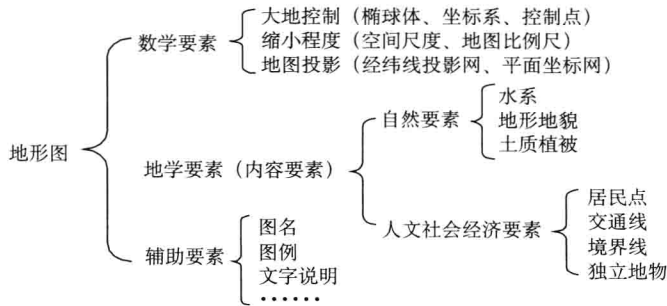


图 1-2 地形图的组成要素

(1) 数学要素与数学基础。数学要素是用来确定地学要素的空间相关位置,起着地图内容“骨架”作用的要素,如测量和制图的大地控制(即椭球体、坐标系及控制点)、地球的缩小程度(地图比例尺或空间尺度)、地图投影(地图的地理/大地坐标网,即经纬线投影网和平面坐标网,即方里线网)等,都属于地图的数学要素。前二者(大地控制和缩小程度)是人类长期以来的科学认识和总结,是人为统一规定与测定的,是地图数学基础的控制部分;后者即地图投影的理论公式和计算是其原理部分,是地图学的基本理论,同时也是地图数学基础的重要组成部分。

(2) 地学要素。地学要素是地图根据制图的要求所表达的内容,又称内容要素。普通地图包括自然要素和人文社会经济要素。自然要素有水系(如河流、湖泊、海洋等)、地形地貌(如山脉、丘陵、平原、高原等)、土质植被(如沙地、沼泽、森林、草地等);人文社会经济要素有城市、村镇等居民点,以及联系居民点的交通线(铁路、公路、航线等),还有各级行政区划单元的境界线以及独立地物等。专题地图上除了主要表示与制图主题相关的一种或几种专题要素外,还要有作为指示专题要素位置、变化背景的某些底图要素,如主要河流、居民点、交通线路,或者与专题要素有关的行政区划界线、地形地貌特征等。因为地图内容要素绝大多数是用图形符号表示的,所以也可称为图形要素。

(3) 辅助要素。地图的辅助要素包括图名、图例、附图、图表、出版单位与时间、编图说明、图外装饰与补充说明等。它是对主图内容与形式的补充,作辅助用图之用。

传统地图的技术是隐形的,靠光学机电设备的手工操作。现代地图的制图与用图的环境发生了翻天覆地的变化,除部分野外用图或印刷出版物外,已多用数字化地图,所以地图的构成要素离不开“技术要素”,这也是整个现代地图科学技术体系建设的需要。它已经由传统地图变成一个由可视或不可视的“地图”与技术共同组成的“地图系统”了。即地图与技术是一个有机整体。它的制作与使用,内容和形式是不能分离的系统。现代地图的完整概念包括了计算机软硬件系统和数据,也包括屏幕显示的地图表象(实际上是背后隐含的数据或信息),甚至包括了制图和用图者本人。现代地图构成要素与基础发生了拓展,具体可参见表 1-1。

表 1-1 地图内容构成要素与基础的现代拓展表

	要素/基础	构成内容	传统原来情况	现代拓展情况
地图内容构成要素	地图数学要素	大地控制	传统大地控制测量	GPS 卫星控制测量和全站仪控制测量
		平面控制 高程控制	传统平面控制与高程控制分别测量与表示	GPS 仪与全站仪的平面与高程全方位同时进行的控制测量空间三维表示
		坐标格网	单一参心坐标系	参心坐标系与球心坐标系并存
		比例尺度	单一大地/地理坐标	大地/地理/WGS-84/空间格网并存
		方向角度 投影变换	单一球面到平面投影 单一地球到其他星球	球面二维到平面二维坐标再到 2.5 维空间二维到三维再到时空多维并存
	地图地学要素	基础地理 专题内容	自然地理/普通地质/ 环境等区域科学内容	自然资源环境/人文社会经济规划 空间位置相关多学科要素与内容
	地图技术要素	制图技术	手工作业与个体劳动	计算机规模作业与数字化标准生产
用图技术		目视阅读和手工标描	许多地图制图与分析应用系统技术	
地图内容构成基础	地图数学基础	控制基础	常规地面大地控制网	常规地面大地控制与 GPS 控制网结合
		空间坐标系	二维平面与高程系统	三维/多维时空地理-格网坐标系
		地图比例	固定比例及可变比例	统一/任意比例尺或局部改变比例尺
		地图投影	经典地图投影系统	新型地球投影与其他星球投影系统
	地图地学基础	地理科学	纸质地形图内容有限	现代地图 4D 数字产品内容丰富, 精细
		地球科学	传统地理地质单学科	现代地学多学科交叉融合, 深入综合
		相关科学	传统比较少如生物学	现代较多, 如资源环境、生命科学等
	地图技术基础	计算机系统	传统单机技术系统	人机环境-空间数据-政策法规大系统
		网络环境	传统没有网络系统	有线与无线全球网络基础设施大环境

2. 地图构成要素的现代拓展

(1) 数学要素的现代拓展。地图数学要素拓展表现在两方面。①大地控制的拓展：一是指由传统大地测量控制网拓展到现代全球卫星定位系统 (GPS) 控制网；二是指由传统控制测量方法 (平面三角测量与高程水准测量) 拓展到 GPS 与全站仪的平面与高程全方位同时进行的控制测量法。②坐标系的拓展：一是指大地测量由传统的参心大地坐标系拓展到现代的球心坐标系 (世界大地坐标系, 即 WGS-84 坐标系), 即指把二维的球面坐标 (B, L) / 地理坐标 (φ, λ) 转换成平面直角坐标 (x, y) 的方法 (高程 H 另有高程系), 拓展到由 GPS 定位遥测直接获取 X, Y, Z 空间直角坐标系的三维坐标值的方法；二是指再由空间三维坐标系拓展到时空 (四维) 坐标系, 坐标系的不同主要表现在图上加上了不同的坐标网。三是由原来单一的空间二维坐标系发展到与地理格网和时空地理坐标系并存。地理格网系统是为自然和人文社会经济统计信息制图和分析应用建立的坐标定位系统, 也是全球制图/数字地球应用需要采用的参照系统。

(2) 地学要素的现代拓展。地学要素一般是指基础地理要素, 包括自然地理与人文地理的基本内容。后来逐步拓展到地理和地质以外地球系统及其他地学相关内容, 再进一步拓展到资源环境与城乡规划及相关产业各部门; 除科学研究、规划设计外, 还进一步拓展深入到其他领域 (如领导决策、组织管理) 等, 甚至到了人的思维和心理活动了 (如认知地图与意