

“十二五”国家重点图书、音像、电子出版物出版规划项目

Advances in Cartography and
Geographic Information Engineering

地图制图学与 地理信息工程学科

进展与成就

王家耀 主编



测绘出版社

地图制图学与地理信息工程学科 进展与成就

Advances in Cartography and Geographic
Information Engineering

王家耀 主编

测绘出版社

·北京·

本书编纂委员会

主 编：王家耀

副主编：武 芳 吕晓华

编 委：（按姓氏笔画为序）

万 刚	王光霞	史瑞芝	朱长青	华一新
刘平芝	刘纪平	刘若梅	刘海砚	齐清文
江 南	安 敏	孙 群	苏振礼	杜清运
李 丽	李宏伟	吴芳华	陈毓芬	高晓梅
郭建忠	唐三林	崔铁军	蒋景瞳	蓝荣钦

出版说明

本书回顾与总结了新中国成立 60 年来地图制图学与地理信息工程学科的进展与成就。对地图学理论、地图投影、地图设计、制图综合、专题地图制图、海图制图、航空图制图、地学信息图谱、地理空间数据库、数字地图制图、地图印刷与出版、地理信息系统、虚拟地理环境、地理本体、空间数据挖掘与知识发现、空间数据不确定性和质量控制、地图制图与地理信息系统标准化和地图学史等 19 个专题分别介绍了各自的进展与成就，全面反映了地图学作为一门有着几乎和世界最早文化同样悠久历史的传统学科所经历的不平凡的、巨大的变化。每个专题的内容都按照引论、发展过程、主要研究成果、问题与展望、代表性著作（含地图作品）的层次组织，还提供了大量参考文献，结构严密、层次鲜明，便于读者阅读。

本书是一部具有重要学术价值的参考书，可供所有从事地图制图学与地理信息工程学科的教学、科研与工程实践的科技人员参考，可以从该书中理解地图制图学与地理信息工程学科的科学属性、技术属性和工程属性；所有年轻一代的地图制图学与地理信息工程学科的科技工作者、特别是研究生，可以借助该书了解新中国成立 60 年来地图制图学与地理信息工程学科的进展与成就，掌握学科发展趋势，把握学科发展前沿。

序

这是一本记录了新中国地图学发展 60 年历程的学术文集，本文集按当前地图学的学科分支进行章节划分，描述了以发展为主线的学术理论、技术进步的成绩，不但有很强的概括性，同时对各关键技术环节也有详细的阐述，是新中国地图学文献的一部巨著。

这 60 年之所以重要，不仅因为它是我们学习、工作和生活所处的年代，更重要的是因为这 60 年可能是地图历史长河中的重要转折点，是里程碑。随着科学技术的进步，特别是信息技术、认知科学与生命科学的进步，地图工作者打开了一扇探索之门：他们将人与客观存在当做一个相互依托的整体，去探索地图的奥秘；他们研究地图在空间认知、空间思维和空间记忆上的特殊功能，寻求地图为何具有如此长久顽强生命力的答案；他们探索当网络空间和赛博空间（Cyberspace）为人类生存开拓了新领域之后如何用地图、用什么样的地图去描述它们，就像昨天我们把描述地理空间当做自己的使命那样。这些确实是让地图工作者十分兴奋的前景，而这一切恰好就发生在这 60 年间。

作为地图历史进程转折点的另一个重要标志，就是信息技术促成了以电子地图为代表的数字地图的诞生。数字地图是地理空间数据的同义语，与固化的传统地图相比，它有更多的信息来源，更丰富的内容，更有生命力和便于补充、更新的数据资源，因而取代了长期以来以地形图当做空间信息第一载体的地位。以数字地图为基础，借助可视化技术生成的电子地图则以动态、多维度、多尺度、多表现形式的特点受到了用户的特别欢迎。电子地图的发现对传统的学科专业、地图市场划分、管理体制和著作权等一系列的冲击也是不可忽视的。随着电子纸、显示屏等技术难题的突破，伴随云计算环境的生成降低了用户对硬、软件的依赖程度之后，电子地图将会真正地开拓一个地图学的新时代。

地理信息系统是地图学的亲密同路人。虽然各自的目标不同，但在近 40 年的征途中，相互依赖、相互支撑和相互促进的事实是十分突出和精彩的。地理信息系统有了电子地图的参与才有了和用户交互的可能，地图学有了地理信息系统的平台才有了主动服务的表现。它们在一个学科之中、在一个学会之中共同生存发展，为我国经济与国防建设做出了重要贡献，这是地图学 60 年间的一道亮丽风景线。

中国地图学几千年的历史，重要的转折点并不多。如果以“制图六体”和“计里画方”作为古代中国地图学的重大贡献与标志，以“皇舆全图”代表清末实测地图的开始及中国现代地图的起步，中国地图学的发展前后踟躅了几千年。而新中国成立后的 60 年间，我们刚刚完成了国家基本地形图的测绘，几乎就立即迎来了数字地图的开发与建设的新使命，这意味着刚建立起来的地理空间框架又要由我们自己亲手来改造、重建，发展之快是我们这些地图工作者始料未及的。一切均发生在这 60 年间，这就是它在地图学史上的里程碑的意义。

王家耀院士长期担任中国测绘学会地图学与地理信息系统专业委员会主任委员之职，在地图学与地理信息科学领域中的科学研究及教学人才培养上均有建树。主编的这本纪念集，汇集了地图学 60 年的成果，总结了经验、探索了方向，是对我国地图学的重要贡

献，是一本既有学术价值又具有历史文献意义的专著，也是该领域专家和同行们的心愿与期盼。参加编写的各位专家和学会专业委员会的委员们也为此投入了辛勤的劳动，这是值得同行和后生们衷心感谢的。

祝愿地图学这一古老的科学技术在新时期再获新生，再铸辉煌！

高俊

中国科学院院士
中国测绘学会荣誉会员
2010年6月20日

前 言

本书是为纪念中华人民共和国成立 60 周年而撰写的。60 年来，中国的地图科学由小到大、由弱到强，伴随着新中国前进的脚步不断发展壮大，实现了由传统地图学到数字化地图学的历史性跨越，并正在向信息化地图学的宏伟目标前进。

60 年在人类文明的历史长河中可谓“弹指一挥间”，但地图学作为一门有着几乎和世界最早的文化同样悠久历史的传统学科却经历了不平凡的、巨大的变化。

长期处于传统手工模拟的地图制图已被现代计算机数字化地图制图所取代，长期凭经验的定性地图制图方法已被数学模型、算法、知识及基于知识的推理方法所取代，长期被人怀疑是否为“科学”的地图制图已被学界和业界公认为是描述地球数据场和信息流的科学，形成了具有先进理论体系、技术体系、产品体系和服务体系的地图制图学（地图学）与地理信息工程（地理信息系统）学科，并进入国家级重点学科行列。

中华人民共和国成立 60 年来，地图制图学科取得的进展与成就是巨大的。这主要表现在：地图制图生产全面实现了由手工模拟方式向计算机数字方式的转变，地图制图与出版的数字化与一体化已经成为中国地图制图生产的基本技术手段；完成了中国系列比例尺地形图的全国覆盖，构建了中国系列比例尺空间数据库及小比例尺中国周边和世界地图数据库，为数字中国建设提供了基础地理空间数据框架；空间数据自动综合研究取得了实质性、突破性进展，构建了空间数据自动综合的理论和方法体系，为最终实现地图制图的智能化奠定了基础；继中华人民共和国国家大地图集（五卷本）编纂出版之后，各种国家专题地图集和各省（自治区、直辖市）市地图集的编辑出版出现了一个新的高潮，成为以地图制图学为核心、多学科交叉融合的标志性成果；作为空间分析和地学分析的扩展和深化，空间数据挖掘与知识发现研究取得了重要进展，实际应用有了良好的开端；空间数据不确定性和质量评价与控制研究不断深化，并逐渐融入空间数据生产过程；作为地图学功能的拓展和延伸，地理信息系统（GIS）技术发展很快，具有自主知识产权的系统软件相继出现，并越来越突出面向服务和信息共享；作为地图学的新的生长点，基于三维可视化技术的虚拟地理环境（VGE）技术更加实用化与通用化，并正向 VGE 与 GIS 的集成与一体化方向发展；理论研究更加深入和系统，出版了一大批高水平著作和教材，以地理空间认知为核心的地图制图学与地理信息工程学科理论体系基本形成；学科建设取得了显著成就，地图制图学科已发展成为地图制图学与地理信息工程学科，并成为国家重点学科；等等。这些进展与成就，让世人瞩目，令学界自豪。中国的地图制图学与地理信息工程学科已步入国际先进行列！

几年来，中国测绘学会地图学与地理信息系统专业委员会一直在酝酿和准备组织撰写一部反映本学科 60 年进展与成就的著作。考虑到时间跨度相对较长、学科发展变化大、有这种经历的人少、组织起来相当困难、一个人或少数几个人很难完成这一艰巨任务，基于这样的考虑，专业委员会组织国内 20 余名专家，按照统一的撰写大纲分专题撰写初稿，在此基础上由主编、副主编统一修改定稿。由于各专题大小不够均衡、研究深度和成果多少也不尽一致，因此有的专题篇幅小一些，但这也反映了实际情况。这种组织方

式，保证了在短时间内完成撰写任务。

本书内容包括 19 个专题：综述；地图学理论；地图投影；地图设计；制图综合；专题地图制图；海洋制图；航空图制图；地学信息图谱；地理空间数据库；数字地图制图；地图印刷与出版；地理信息系统；虚拟地理环境；地理本体；空间数据挖掘与知识发现；空间数据不确定性和质量控制；地图制图与地理信息标准化；地图学史。每个专题的内容按照引论、发展过程、主要研究成果、问题与展望、代表性著作（含地图作品）的层次组织，并分专题列出主要文献索引，便于读者阅读和进一步查阅文献。

本书由王家耀主编，武芳、吕晓华任副主编，负责统一修改定稿。各专题撰写作者为王家耀、陈毓芬、吕晓华、王光霞、武芳、江南、苏振礼、李丽、崔凯、齐清文、崔铁军、郭建忠、孙群、刘海砚、史瑞芝、华一新、冯涛、万刚、李宏伟、蓝荣钦、朱长青、吴芳华、蒋景瞳、刘若梅、安敏等。在统编过程中，孙力楠、谢明霞、陈科等在文献查找、内容补充、文字修改和格式统一等方面做了大量工作。因此，本书是一部集体创作的成果。

本书可供从事地图制图与地理信息工程科学研究、教学与工程实践的科技人员参考，特别是研究生可从本书中了解到新中国成立 60 年来地图制图学与地理信息工程学科的进展与成就，是研究生从事课题研究和论文撰写的一部很好的参考文献。

实事求是地讲，对于组织撰写这么一部反映本学科 60 年进展与成就的著作，难度是很大的。尽管可能不够全面、不够深刻、不够系统，且有“挂一漏百”的问题，但总算是对过去 60 年本学科的进展与成就有了一个初步总结。

中国测绘学会地图学与地理信息系统专业委员会自成立以来一直挂靠在解放军测绘学院（现解放军信息工程大学测绘学院）地图学与地理信息工程系，为顺利完成本书的编撰任务，学院和系做了大量的工作；本书撰写作者和审稿人员付出了辛勤劳动；在此，致以诚挚的谢意。

该书内容丰富，涉及时间跨度大，在此，对涉及引用文献的作者，深表感谢！

本书的不足之处恳请同行和读者批评指正。

编纂委员会

2009 年 11 月

目
录

Contents

第1章 综 述	1
§ 1.1 引 论	1
§ 1.2 发展过程	1
§ 1.3 主要研究成果	8
§ 1.4 问题与展望	14
§ 1.5 代表性著作	18
主要文献索引	22
第2章 地图学理论	25
§ 2.1 引 论	25
§ 2.2 发展过程	26
§ 2.3 主要研究成果	34
§ 2.4 问题与展望	38
§ 2.5 代表性著作	40
主要文献索引	41
第3章 地图投影	45
§ 3.1 引 论	45
§ 3.2 发展过程	46
§ 3.3 主要研究成果	47
§ 3.4 问题与展望	57
§ 3.5 代表性著作	58
主要文献索引	61
第4章 地图设计	63
§ 4.1 引 论	63
§ 4.2 发展过程	64
§ 4.3 主要研究成果	71
§ 4.4 问题与展望	78
§ 4.5 代表性著作	79
主要文献索引	87

第5章 制图综合	91
§ 5.1 引 论	91
§ 5.2 发展过程	91
§ 5.3 主要研究成果	97
§ 5.4 问题与展望	115
§ 5.5 代表性著作	117
主要文献索引	120
第6章 专题地图制图	128
§ 6.1 引 论	128
§ 6.2 发展过程	128
§ 6.3 主要研究成果	130
§ 6.4 问题与展望	136
§ 6.5 代表性著作	138
主要文献索引	148
第7章 海洋制图	151
§ 7.1 引 论	151
§ 7.2 发展过程	151
§ 7.3 主要研究成果	155
§ 7.4 问题与展望	168
§ 7.5 代表性著作	170
主要文献索引	176
第8章 航空图制图	178
§ 8.1 引 论	178
§ 8.2 发展过程	178
§ 8.3 主要研究成果	180
§ 8.4 问题与展望	189
§ 8.5 代表性著作	189
主要文献索引	190
第9章 地学信息图谱	191
§ 9.1 引 论	191
§ 9.2 发展过程	192
§ 9.3 主要研究成果	193
§ 9.4 问题与展望	206
§ 9.5 代表性著作	206
主要文献索引	207
第10章 地理空间数据库	209
§ 10.1 引 论	209
§ 10.2 发展过程	209

§ 10.3 主要研究成果	211
§ 10.4 主要数据库工程建设	222
§ 10.5 数据库应用	232
§ 10.6 问题与展望	233
§ 10.7 代表性著作	235
主要文献索引	236
第 11 章 数字地图制图	244
§ 11.1 引 论	244
§ 11.2 发展过程	245
§ 11.3 主要研究成果	249
§ 11.4 主要工程项目成果	258
§ 11.5 问题与展望	259
主要文献索引	260
第 12 章 地图印刷与出版	262
§ 12.1 引 论	262
§ 12.2 发展过程	262
§ 12.3 主要研究成果	269
§ 12.4 问题与展望	277
§ 12.5 代表性著作	277
主要文献索引	280
第 13 章 地理信息系统	283
§ 13.1 引 论	283
§ 13.2 发展过程	284
§ 13.3 主要研究成果	286
§ 13.4 GIS 应用	292
§ 13.5 问题与展望	295
§ 13.6 代表性著作	297
§ 13.7 代表性 GIS 软件产品	308
主要文献索引	312
第 14 章 虚拟地理环境	318
§ 14.1 引 论	318
§ 14.2 发展过程	318
§ 14.3 主要研究成果	321
§ 14.4 问题与展望	332
§ 14.5 代表性著作	332
主要文献索引	334
第 15 章 地理本体	339
§ 15.1 引 论	339

§ 15.2	发展过程	339
§ 15.3	主要研究成果	342
§ 15.4	问题与展望	348
§ 15.5	代表性著作	349
	主要文献索引	350
第 16 章	空间数据挖掘与知识发现	353
§ 16.1	引 论	353
§ 16.2	发展过程	353
§ 16.3	主要研究成果	355
§ 16.4	问题与展望	365
§ 16.5	代表性著作	366
	主要文献索引	367
第 17 章	空间数据不确定性和质量控制	372
§ 17.1	引 论	372
§ 17.2	发展过程	372
§ 17.3	主要研究成果	374
§ 17.4	问题与展望	383
§ 17.5	代表性著作	384
	主要文献索引	385
第 18 章	地图制图与地理信息标准化	389
§ 18.1	引 论	389
§ 18.2	发展过程	392
§ 18.3	主要研究成果	397
§ 18.4	问题与展望	406
§ 18.5	代表性著作	410
§ 18.6	代表性国家地理信息标准	415
	主要文献索引	422
第 19 章	地图学史	423
§ 19.1	引 论	423
§ 19.2	发展过程	423
§ 19.3	主要研究成果	426
§ 19.4	问题与展望	436
§ 19.5	代表性著作	438
	主要文献索引	441
后 记	444



第1章 综述

§ 1.1 引论

中国是世界上地图科学发展最早的国家之一。中国古代地图科学有着光辉灿烂的一页。魏晋时期的裴秀（224—273）、唐代的贾耽（750—805）、宋代的沈括（1031—1095）、元代的朱思本（1273—1333）、明代的罗洪先（1504—1564）等，都曾作出过伟大的历史性的贡献。清代康熙、乾隆两朝引进西方科学制图方法实施全国性大规模地理经纬度测量和全国地图测绘，先后完成了《皇舆全览图》和《大清会典舆图》的编纂，把我国地图科学提高到了一个新的水平。清末的魏源（1794—1859）编纂的《海国图志》完全脱离了中国传统的“计里画方”法，而采用经纬度制图法和地图投影方法，是中国地图科学史上一部关于世界地图集方面的开创性著作。清以后民国时期的数十年间，只是分散地、断断续续地测绘了全国面积的四分之一的地形图，编制了一些中比例尺地图和按国际分幅的1:100万地图、一览地图和普通地图集，其中仅1934年出版的申报地图质量较好，精度较高，影响较广，但地图科学总体上还是处于落后状态。

1949年中华人民共和国的成立，标志着中国地图科学获得了新生，新中国的地图科学也走过了60多年的光辉历程。

§ 1.2 发展过程

新中国地图科学的发展，大体经历了传统地图学、数字化地图学和信息化地图学三个标志性阶段。

1.2.1 传统地图学的形成

大约在20世纪50年代末60年代初，经过新中国成立后10余年的建设和发展，传统地图学得以形成。主要表现在以下几个方面：

1. 建立包括地图制图在内的测绘事业组织机构和从事测绘人才培养的专业院校

1950年和1956年分别成立了国防部测绘局和国家测绘总局，统一主管国家和军队的测绘事业；继1946年在东北解放区创建解放军测绘学院后，1956年在武汉创建了武汉测量制图学院*，1957年南京大学地理系增设了地图制图专业，成为国家与军队测量制图的高级技术人才培养基地。

2. 中国的测量与制图事业步入正轨

计划测制全国性基本地图，采用统一的大地坐标系（1954年坐标系）、统一的地图比例尺系统（全国性的地图为1:2.5万、1:5万、1:10万、1:20万、1:50万和

* 1958年改名为武汉测绘学院，1985年改名为武汉测绘科技大学，2000年经合并重组为武汉大学。

1:100万;局部性的工程用图为1:500、1:1 000、1:5 000和1:1万)、统一的地图投影(1:2.5万~1:50万采用按经度6度分带的高斯-克吕格投影,克拉索夫斯基椭球;1:500~1:1万采用按经度3度分带的高斯-克吕格投影)、统一的地图分幅编号、统一的地图图式(地图符号和整饰规格)。新绘制的地形图有了统一的规格,地图的精确性和艺术性有了明显提高,地图内容比较丰富,满足了国民经济建设、国防建设和科学研究的需要,培养、锻炼和壮大了技术队伍。

3. 地图学的科学研究得到重视,推动了地图制图事业的发展

对于地图制图事业中面临的科学技术问题,除解放军测绘学院、武汉测绘学院等院校的地图制图专业在担负教学任务的同时也重视地图制图科学研究外,1954年中国科学院地理研究所成立了地图学教研组(1959年改名为研究室),1957年在武汉建立了测量制图研究室(1959年改名为研究所),1958年成立了专门研究地名译名的机构,扩大了科学研究队伍。在地图投影(研究世界全图、亚洲全图、中国全图和分区分省普通地图的地图投影)、制图综合(地图内容综合原则和方法)、地图整饰(符号和表示法)和地图印刷(如铬胶翻版法)等方面取得了一系列理论、方法和技术工艺成果,促进了地图制图事业的发展。着手编制1:100万比例尺地图,出版了1:400万亚洲东南部形势图,中华人民共和国国家普通地图集的编撰计划也提到了日程上,省(自治区)地图集也纷纷着手编制。

4. 内、外部条件的成熟,促使传统地图学的形成

从外部条件看,由于与地图学有关的地理学、测量学、印刷学相继成为比较完整的理论和技术学科,为传统地图学的形成提供了外部条件支撑;从内部条件看,由于地图学本身在漫长的地图生产过程中积累了丰富的经验,经过不同时期各国制图学家的总结和概括,形成了系统而完整的关于地图制作的技术、方法、工艺和理论,作为地图学分支学科的地图投影、地图编制、地图整饰和地图印刷等已趋于稳定。所以,传统地图学是20世纪50年代末60年代初以前地图学成果的积累和科学的总结。

我们把这个时期的地图学称为传统地图学,它的研究对象是地图制作的理论、技术和工艺。在地图制图的理论方面,地图投影、制图综合、地图内容表示法和符号系统等是研究的核心,现在称之为“老三论”;在地图制作技术方面,主要研究地图生产过程中的编绘原图制作技术、出版原图制作技术和地图制版印刷技术;在地图制作工艺方面,主要研究地图生产,特别是地图印刷工艺。显然传统地图学是以地图制作和地图产品输出作为自己的目标。在这种情况下,传统地图学被定义为“制作地图的艺术、科学和技术”是合适的。

1.2.2 由传统地图学到数字化地图学

传统地图学是地图生产之本,它在新中国诞生后的10余年间成功地指导了地图的生产。但也存在三个明显的缺陷:第一,以经验总结为主,忽视基本理论的建设;第二,以联系与本学科有直接关系的学科为主,忽视同其他更高层次学科之间的联系;第三,以地图制作为主,忽视地图应用的研究,尤其忽视地图制作者自身认识活动和地图使用者认识活动规律的研究。

可以认为,传统地图学是一个比较封闭的体系。在这种情况下,地图学要想获得实质性的进展是很困难甚至是不可能的。这就迫使地图学家们不得不思考走出传统地图学

的“封闭体系”，在系统外部更深层次结构中寻求地图学进一步发展的源泉。而这一切正好是发生在20世纪50年代信息论、控制论、系统论三大科学理论问世和电子计算机诞生之后，这不仅对现代工程技术的发展有着决定性意义，而且是继相对论和量子力学之后又一次“彻底改变”了世界科学图景和当代科学家的思维方式，无疑也为地图学的发展指明了方向。

当地图学家们在思想上认识到传统地图学的缺陷，并走出传统地图学的“封闭体系”后，伴随而来的便是地图制图技术上的革命和理论上的创新，这就是数字化地图学时代的到来。其主要标志为：

1. 电子计算机技术和地图电子出版技术为地图学的发展开辟了崭新道路

在国外，20世纪50年代开始的计算机辅助地图制图研究，经历了设备研制、软件设计，到70年代已由实验试用阶段发展到比较广泛的应用。正是在这个时候，中国科学院地理研究所地图研究室在引进、消化、吸收的基础上，开始首先进行计算机辅助专题地图制图研究和计算机地图绘制研究；解放军测绘学院先后于1972年和1974年两次选派教师到武汉大学和南京大学进修电子计算机及计算机辅助地图制图技术，1976年开始组建教师队伍，筹建计算机地图制图实验室，1978年完成了我国第一幅用计算机绘制的完整地形图，1979年创办我国第一个计算机地图制图专业，开始招收本科生，随后武汉测绘学院也开办了计算机地图制图专业。20世纪80年代后，在电子计算机不断更新换代的同时，开始应用一些高速度、高精度的新型机助制图设备，越来越重视机助制图软件的研究，纷纷着手建立地图数据库，以适应大规模机助地图制图的需要，并在地图数据库基础上由单一的或部门的机助制图系统发展为多功能、多用途和综合性的地图信息系统(cartographic information system, CIS)。20世纪90年代地图电子出版系统问世，解放军测绘学院在引进硬件的基础上，开发了基于Microstation的数字地图制图软件，与地图电子出版系统结合构成了数字地图制图与出版的一体化系统，成为国家和军队地图生产的主导模式，取代了传统的手工地图制图与出版技术。数字制图产品形式多样化，数字线划图(DLG)、数字栅格图(DRG)、数字正射影像图(DOM)、数字高程模型(DEM)成为主流产品。这是地图学发展史上的一次跨越式发展，具有里程碑的意义。

2. 地图制图技术的进步必然对地图学理论提出新的要求

随着地图制图技术的进步，特别是在系统论、控制论和传输论出现后，如何把系统论、控制论和传输论结合起来，从整体上研究地图学作为一个系统的功能，成为大家关注的问题。1969年，捷克地图学家Kolacny(科拉斯尼)提出地图信息传输系统模型，阐明了作为一个完整过程的地图制图与使用之间的联系，引起了包括地图学家在内的国际学术界的关注和重视，并相继提出各式各样的地图信息传输模型，进一步研究了地图信息传输过程中的“三个转换”(制图者理解的地理信息—地图—用图者把地图转换成地理环境映像)、地图信息传输过程中的信息损失和传输效率、地图信息传输的可控性及其控制过程和控制模型，反映出地图学作为“信息传输系统”的一切特征(王家耀等，2000)。

人的认知在信息传输过程中起什么作用，这是研究地图信息传输和数字环境下信息传输要涉及的空间认知理论问题。认知科学是1979年被正式确立的一门新兴科学。20世纪80年代末90年代初，我国学者把认知科学引入地图学，提出空间认知概念，认为空间认知是认知科学的一个重要研究领域，它研究人们怎样认识自己赖以生存的环境，包括

诸事物、现象的相关位置、空间分布、依赖关系，以及它们的变化规律，并进一步研究了人类认知系统的结构、人类的空间认知能力、地图空间认知中的认知制图和心象地图、地图空间认知的感知、表象、记忆和思维等基本过程，以及地图空间认知对地图制图专家系统与地理信息系统（geographic information system, GIS）的理论与实践意义（高俊，1991；王家耀等，2000）。

怎样提高地图图形符号的信息传输和空间认知效率，这是个应用理论问题。1967年，法国地图学家 Bertin（贝尔廷）出版了《图形符号学》一书，第一次提出了图形符号的视觉变量和视觉感受效果的理论。他提出的六个视觉变量（形状、尺寸、方向、亮度、密度和色彩）和用于构图时能引起视觉感受的多种效果（整体感、等级感、数量感、质量感、动态感和立体感）受到中国地图学家的关注和重视，并研究了地图感受与地图设计的实验方法（高俊，1984），进行了大量的地图视觉感受，特别是电子地图视觉感受的研究和实验（陈毓芬等，1999），推动了数字地图制图技术条件下地图视觉感受理论研究。

基于数字地图制图的空间信息传输，必须研究空间数据的不确定性与数据质量控制理论。自20世纪90年代中期以来，许多学者致力于空间数据不确定性因素和表现形式、空间数据不确定性处理方法、数字地图制图过程中空间数据不确定性的传播机理、空间数据质量控制方法等。进入21世纪，该领域研究取得了一系列理论成果，例如：科学出版社出版的《空间数据与空间分析不确定性原理》（史文中，2005）全面分析了空间数据与空间分析不确定性的来源，深入研究了空间数据不确定性模型、不确定性关系模型和空间分析不确定性建模、不确定性的可视化及元数据的不确定性等；博士学位论文《DEM精度模型建立与应用研究》（王光霞，2005）提出了DEM误差分析与精度模型的内容体系，深入研究了基于地形特征的DEM精度评估模型、DEM线性建模的传递误差模型、细节层次LOD误差模型与精度评估（以黄土、丘陵、中山、高山、冰川等五种地形为例）及DEM与地物（道路等）模型融合的精度评估，并提出了一个DEM精度评估系统的设计与实现原型。

3. 地图制图与出版的数字化与一体化技术有力地推动了测绘产品生产和空间数据基础设施建设

地图制图技术进步和地图学理论的深化，必然推动地图生产的发展。20世纪90年代以来，在地图学理论的指导下，采用地图制图与出版的数字化与一体化技术，完成了全国系列比例尺地形图、各种比例尺的军用协同图、联合作战图、航空图和航海图的生产；设计、编纂和出版了1:300万中华人民共和国地理图、1:500万世界地理图，中华人民共和国国家地图集、经济地图集，中国人口地图集、中国战争史地图集，江苏省地图集、浙江省地图集、江西省地图集、新疆维吾尔自治区地图集和重庆市地图集及其他省、市地图集。内容之丰富、表达方法之新颖、图形线画之精细、印刷之精美，都超过了以往出版的地图集的水平，体现了科学性、艺术性与实用性的统一；与此同时，还建立了中国1:5万、1:25万、1:50万、1:100万地图数据库，1:300万中国及周边地图数据库、1:500万和1:1400万全球地图数据库，以及海洋测绘数据库、数字正射影像数据库，初步构建了我国及全球空间数据基础设施框架。

随着计算机地图制图技术和空间数据库技术的发展与各种地图数据库的建立，各种专业应用的电子地图（地图集）、多媒体电子地图、网络电子地图、移动设备导航电子地图等多种地图可视化系统应运而生，用户范围也更加大众化。其中“导航电子地图”（北

京四维图新导航信息技术有限公司, 中国地图出版社)、“中国电子地图”(北京灵图软件技术有限公司, 人民交通音像电子出版社)等, 达到了新的较高的水平。

1.2.3 信息化地图学的提出

信息化地图学是数字化地图学的延伸、扩展和深化。

数字化地图学相对于传统地图学而言, 尽管从技术层面上是一次里程碑式的跨越, 但仍带有传统地图学观念的局限性。

数字化地图学同样存在三个明显的缺陷: 第一, 以数字化地图产品的生产过程作为一个系统, 以数字化地图产品的生产与输出作为最终目标, 是数字化条件下的封闭体系; 第二, 重视数字地图制图技术工艺的研究, 而忽视数字地图制图理论的自主创新研究, 许多理论还只是停留在名词概念上, 缺乏深入的探讨、实验论证和实际应用; 第三, 以数字地图产品制作为主, 仍然忽视应用服务特别是综合应用服务的研究。

对数字化地图学同样应有三个基本认识: 第一, 数字化地图学是 20 世纪 70 年代末 80 年代初兴起的, 至今只有 30 余年的历史, 实现手工地图制图方式向计算机数字地图制图方式的转变, 是一个历史性、里程碑性的进步, 是信息时代地图学进一步发展的基础和起点; 第二, 传统地图学有一套与之相适应的经过长期沉淀与积累的基本理论, 而数字化地图学由于时间较短, 还未形成自身的既有继承性又有创新性的基本理论体系; 第三, 数字化是手段, 信息化、知识化并最终服务于人类社会才是目的, 数字化与信息化是不可截然分开的, 没有数字化就没有信息化, 信息化地图学是数字化地图学的延伸、扩展和深化。

数字化地图学进一步发展的出路在于进一步走出数字化地图学的封闭体系, 向系统外部深层次结构来寻求继续发展的途径, 这就是“数据→信息→知识”的发展过程。向信息化、知识化进一步延伸、扩展和深化, 标志着信息化地图学时代的到来。其主要标志有:

1. 地图学重点由信息获取一端向信息深加工一端转移

陈述彭(1991)深刻地指出, 地图学的发展要解决的第一个难题是地图信息源的问题, 地图工作者曾为此付出了许多努力, 甚至采用虚拟等高线、内插等温线、推导类型界线的方法来补充信息的不足。20 世纪 60 年代发展起来的卫星遥感技术已成为空间对地信息获取和采集的主要技术手段, 进入 90 年代后, 空间对地信息获取已向多传感器、高分辨率和多时相方向发展, 遥感信息已成为地图学最主要的信息源, 而且卫星导航定位系统的全球化、全天候、实时化、高精度完全满足大、中、小比例尺地图制图与更新的需要, 特别是在目前空间对地信息获取、处理和服务一体化的思想推动下, 使得地图学的重点不仅有必要而且也可能由信息获取一端向信息深加工一端转移。这主要表现在:

(1) 地图学模型方法的升华——面向地图综合的空间数据处理的智能化。地图制图综合一直是地图学中最具有挑战性和创造性的研究领域。20 世纪 50 年代以来, 随着地图学重点的逐步转移, 该领域的研究越来越受到关注和重视, 经历了由制图综合的定性描述到制图综合的定量表达, 由手工制图综合到基于模型、算法和知识的自动制图综合; 由追求制图综合的全自动化到人机协同; 由孤立零散的模型、算法的研究和对单要素的自动制图综合试验到把自动综合作为一个整体(全要素、全过程、可控制)的过程控制和质量评估; 经历了由简单到复杂、由局部到整体、由数字化到智能化的客观发展过程,