

地球信息综合制图的基本原则和方法

廖 克

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 论述地球信息综合制图的内涵与意义、理论依据、基本环节; 阐述了单幅综合地图、综合系列地图与综合地图集的不同表现形式、设计原则与制图方法; 论述了综合制图的统一协调的原则与方法, 重点阐明了分类分级与图例和轮廓界线等科学内容方面的统一协调, 以及其他统一协调的方法与措施, 最后分析了在计算机制图与 GIS 环境下综合制图在科学与技术方面的新发展。

关 键 词: 地球信息; 综合制图; 原则; 方法

中图分类号: P283.1 **文献标识码:** A

1 综合制图的理论依据

地球信息综合制图就是以地球系统或地理环境和人地系统为制图对象, 反映其形成发展、组成结构、质量与数量特征; 反映各要素和各部门之间的相互联系与相互作用; 体现自然综合体、区域经济综合体和人地系统的基本特点与区域差异, 为资源的合理开发利用, 区域开发决策, 国土整治与防灾减灾, 全球变化与环境监测、治理, 为资源、人口、环境、发展的相互协调和经济与社会的可持续发展提供科学依据^[1] (图 1)。综合制图不仅使区域调查研究与规划设计获得比较全面正确和切实可靠的结论, 而且将使各种专题地图充分利用各部门的研究成果, 并通过各部门专题地图相互参证与对比分析, 提供进一步发现自然规律的可能性^[2]。

1.1 综合制图的理论依据

综合制图不单是地图汇编与编图技术工作, 也是一项综合实验研究, 是地理学乃至地球科学综合研究的一种方式。而且研究和制图的对象是地理环境与人地系统, 或地球系统, 因此综合制图必须以地理学的一些理论为指导。如地带性规律与区域分异理论、自然综合体的概念与景观学理论、地理系统理论、地表物质与能量迁移转化理论、综合自然区划的理论方法、区域经济综合体与人地系统的概念等等。我们经过较长时期的综合制图实践与理论探讨, 认为必须对以下综合制图的基本理论依据进行深入研究, 并在综合制图的设计准备阶段, 结合制图区域的特点进行具体分析, 得出结论并指导和贯彻综合制图全过程^[1]。

收稿日期: 2001-05; **修订日期:** 2001-07

作者简介: 廖克 (1936-), 男, 1961 年毕业于苏联莫斯科大学地理系地图专业, 研究员、博士生导师, 国际欧亚科学院院士。主要从事专题与综合制图、遥感制图、GIS 与地图应用、地图学理论等研究, 发表论文 100 多篇, 专著论文集 8 部, 主编《青藏高原地图集》、《中华人民共和国国家自然地图集》等, 获中国科学院与国家自然科学与科技进步一、二等奖 11 项。

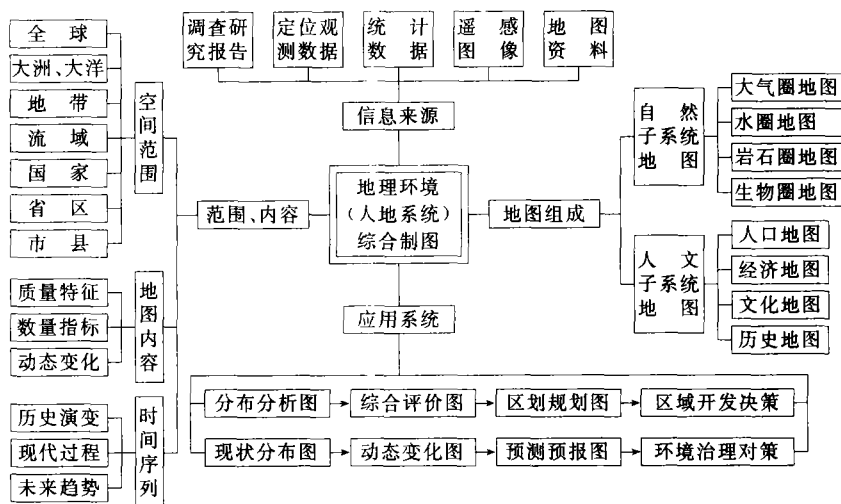


图1 地理环境(人地系统)综合制图体系

Fig. 1 Complex mapping system of geographical environment (man—nature system)

(1) 研究自然综合体与区域经济综合体的形成与结构, 区域分异及其产生的原因; 分析制图范围内形成不同区域特点的主导因素及其具体影响。这是综合制图选题与内容选择的出发点。

(2) 研究自然综合体与区域经济综合体各要素或各部门在统一发展过程中相互影响与作用的机制及其具体表现; 研究自然综合体各要素内在联系在外部形态结构上的反映; 分析制图区域内各种要素之间的联系形式、联系因素与指标。这对轮廓界线的统一协调有重要指导作用。

(3) 研究自然综合体及各要素地带性(包括纬向与经向地带、垂直地带)与非地带性规律的具体表现, 区域特点及其形态结构, 地理基本单元图形特征。分析上述3个层次在制图区域范围内的不同比例尺地图上的反映, 作为拟定分类、分级与轮廓界线统一协调的重要依据。

(4) 研究自然综合体各要素的形态结构、发生成因、组成物质、时代年龄, 区域经济综合体各部门的组成、结构、规模、产值、效益; 研究自然综合体和区域经济综合体不同等级之间的关系在分类分级系统和不同比例尺中的反映; 分析制图区域内反映质量特征的分类体系、分类指标与制图单元, 反映数量指标的分级方法、分级标准与制图单元。从而为各地图图例的拟定及其统一协调提供具体依据。

1.2 综合制图的基本环节

综合制图过程较复杂, 但最重要的是在上述深入研究的基础上抓好以下5个基本环节。

(1) 选题内容与指标的确定。根据综合制图的具体目的与要求, 确定选题与内容, 即确定编制哪些图幅、哪些内容与哪些指标, 才能体现综合性系统性与完整性。这是决定综合制图形式与规模的前提。

(2) 地图的数学与地理基础的选择。它是容纳与表示专题内容的地理骨架, 是综合制图的基础, 也反映专题内容与地理基础之间的联系。同时数学与地理基础的选择也是保证制图精度的重要条件。可以根据综合制图的不同要求对地图投影与比例尺以及地理内

容作不同的选择, 但必须形成一定体系。

(3) 各地图分类分级与图例的拟定。图例是阅读地图的钥匙, 是地图内容的具体限定。它建立在科学的分类、分级基础上。各部门地图都有自己的分类、分级原则, 但作为综合制图, 应考虑统一的综合性指标, 一般包括形态结构、发生成因、组成物质与时代年龄。数量指标的分级有多种方法。采用何种分级方法, 主要是根据现象变化的规律和趋势来确定。一般先经过序列排队、作直方图、分析趋势、确定级差。需要强调的是, 任何事物的发展, 都是由量变到质变的。一方面自然要素和现象质量特征的不同类型, 必然有一定数量差异; 另一方面数量的发展势必影响一定的质量变化。因此各种类型的划分要有一定的数量指标, 而各种数量的分级要有一定的类型含义。

(4) 各地图轮廓界线的绘制。地图上的轮廓界线是制图对象地理分布的具体体现。不仅通过其形状与结构反映制图对象的分布规律与区域分异, 而且能够在一定程度上揭示它同其他要素和现象之间的联系。因为各要素和现象的外形特征, 是其本身机制和外界条件综合影响的结果。

(5) 各地图表示方法、色彩与符号的设计。主要考虑更直观有效地反映制图对象的分布规律与区域差异, 显示各要素和现象之间的相互联系。因此色彩与符号的设计要同所表示对象的性质、特点及区域变化的规律联系起来。例如从色相、色调的总变化上体现出地带性变化规律; 以冷暖色调体现气候的冷热变化; 以黄、绿、蓝色调反映由干燥到湿润的过渡等等。又如统计地图以色系反映内容主题, 色调的连续性反映一定含义, 色度变化与分级相对应, 从而保证综合制图整饰设计的统一风格与良好的总体感受效果。

从以上简要分析可以看到, 综合制图中的研究实验贯穿于每个环节, 抓好了这些环节, 为统一协调创造条件, 就能保证综合制图达到较高水平。

2 综合制图的不同形式及其制图方法

综合制图有不同的形式、尺度和广度。我们对各种尺度和广度的单幅综合地图、综合系列地图和综合地图集都分别进行了较深入的研究实验和广泛的制图实践, 现就 3 种基本形式的综合制图方法及其特点作简要的分析和比较 (图 2)。

2.1 单幅综合地图

单幅综合地图是在一幅地图上同时表示多种要素和现象, 或一种要素的多项指标。其中组合地图是运用多种表示方法与手段 (底色、面状网线、个体符号) 的组合, 采用多层平面, 点、线、面结合, 直接表示关系密切的多种要素和现象, 或多项指标。合成地图表示多种相关要素或一种要素多项指标经过合成以后的结果。组合地图的优点是可以从图上直接分析相关现象之间的联系 (如地震与地质构造、工业分布与原料基地等), 或反映评价的依据与指标。例如经济地图可采用组合地图形式以点、线、面的表示方法与手段的组合, 分别表示工业 (点状分布)、交通运输 (线状分布) 和农业 (面状分布) 及其相互关系, 达到表示内容与表现形式的统一, 比单纯的经济统计地图更有实用价值。1964 年为了配合全

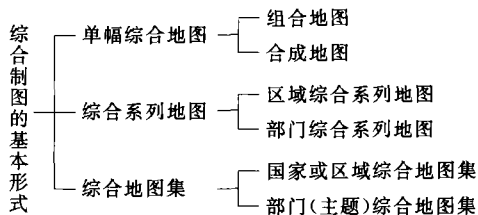


图2 综合制图的基本形式

Fig. 2 Basic form of complex mapping

国稳产高产农田的选片与规划,我们组织全国各地地理单位编制的农田样板地图,做到结论明确突出,依据确切可查^[3]。合成地图是各种评价地图(如环境评价地图、土地评价地图等)、区划地图(如自然区划图、经济区划图、农业区划图等),以及土地类型图、景观类型图的基本形式,是深入分析基础上的高度综合。其优点是结论明确、图型简单易读。合成地图包括以质量特征合成,以数量指标合成,或质量特征与数量指标相结合进行合成。随着地理学数量分析与数学模拟的加强,以及计算机的应用,以多种指标按一定数学模型合成编制的合成地图越来越受到重视。

2.2 综合系列地图

综合系列地图是统一设计编制的反映某个区域或部门基本概况的一套地图。我国过去组织的许多综合考察所完成的地貌、土壤、植被等系列成果地图,由于按专业组队、分别调查制图,最后归纳汇编,缺乏有机联系与统一协调,这些地图之间在内容方面不可避免地出现许多矛盾与分歧,给地图的比较利用带来很多困难,使这些地图在综合评价与规划中的应用受到很大限制。

1981~1983年我们在横断山区综合科学考察中,组织了自然地理、地貌、土壤、地植物、林业、土地利用与土地类型、水利、遥感与地图等专业人员,在云南丽江地区进行了遥感综合系列制图试验,采取演绎派生的综合系列制图新方法,取得了理想的效果。鉴于自然综合体可以划分为相应等级的地理单元,自然综合体各组成要素也可以划分为相应等级的单元。并且各要素相应等级单元的轮廓界线在许多情况下是一致或部分一致的。自然综合体在形态上反映出由地貌、植被、土壤等要素组成不同的自然景观。根据地貌、植被、土壤、土地利用与土地覆盖等景观特征及其过渡交替的变化,可以在实地确定每个单元的轮廓界线。航空与卫星遥感影像较好地显示各种地貌、植被及所有地表覆盖的特征。因此我们就以自然综合体为制图对象,利用遥感影像综合判读,结合野外综合调查与地形图分析,在各专业人员共同调查分析的基础上,先编绘自然地理单元轮廓界线图(或称土地单元图),并将每个单元的地貌、植被、土壤、土地利用等特征列表记录,然后再派生编绘各要素专题地图(图3、表1)。这一方法的实质是:在综合指导下的分析和在分析基础上的综合,是一种地图演绎法^[4]。

表 1 自然地理单元各要素特征记录格式

Tab. 1 Record format of every element character of physical geographical unit

轮廓 编号	卫星影像与 色调特征	地貌特征与类型	植被特征与类型	土壤特征 与类型	土地利用 特征与类型
1	浅灰桔黄色调	石灰岩低山(石牙)	石灰岩稀灌丛草甸	生草红壤	稀灌丛草地
2	浅灰黄色调	山麓洪积扇(湖积台地)	栽培植物-旱地栽培群落	耕种红壤	旱地
3	兰灰色调	河滩地(湖积阶地)	栽培植物-旱地栽培群落	水稻土	水田
5	灰黄色调	高原面上残丘洼地 (3 000~3 200 m)	栽培植物-水田栽培群落	生草耕种棕壤	旱地轮休地
7	浅黄白色调	中山坡地与谷地 (2 000 m 以下)	干暖河谷灌草丛	普通褐红壤	灌丛草地
10	深红色调	中山坡地(3 000 m 左右)	硬叶阔叶林(高山栎)	普通棕壤	阔叶林
19	红紫色调	中山(2 600 m 左右)	云南松-灌木群落	普通红棕壤	针叶林
75	深紫红色调	中山(3 100 m 以下)	云冷杉林	普通暗棕壤	针叶林

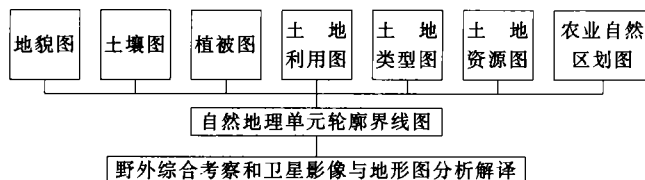


图3 综合系列制图过程

Fig. 3 Complex series mapping process

这一遥感综合系列制图方法的优点是：

(1) 利用遥感影像丰富信息的综合判读，能比较准确地确定与勾绘自然综合体轮廓界线。不仅提高系列地图科学质量，而且加快成图速度；

(2) 避免各专业人员分别野外考察、影像判读、地图编绘所带来的矛盾与分歧，保证各专题地图的统一协调性，使系列图更好地反映自然环境各要素之间的相互联系，便于各地图的比较利用与分析评价；

(3) 各专业人员共同分析研究自然综合体及各要素的分布规律与区域特点，相互启发，相互参证，有助于对制图区域的全面认识和各专业的深入研究；

(4) 可以获得一致的、比较准确的各类土地资源的量算数据，尤其便于建立地理信息（或土地资源信息）数据库。通过自然地理单元轮廓界线图的数字化，可以派生各要素地图，并进一步进行各种综合评价、规划与决策（图4）。这一方法受到国内外学者的重视，并被一些单位和专家采用。

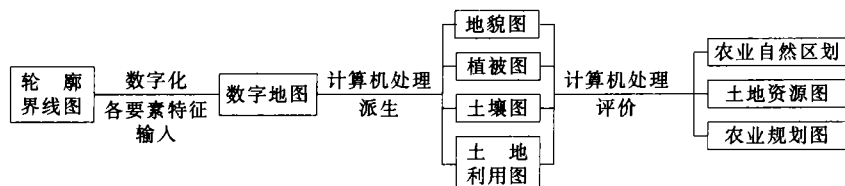


图4 计算机综合系列制图过程

Fig. 4 Complex series mapping process based on computer

2.3 综合地图集

综合地图集是统一设计、一定范围或主题有机联系的地图系统汇编，是综合制图的高级形式。尤其编制出版国家综合地图集，不仅对国家的经济建设、科学研究与文化教育具有十分重要的意义，而且被认为是衡量国家科学技术和文化水平的标志之一。我们认为综合地图集的编制不仅是一项综合性研究设计与制图技术工作，而且是一项复杂的制图系统工程。应以系统工程的理论方法指导图集的设计编制工作。如能合理安排和科学地解决内容、图型、工作和组织等子系统内部及各子系统之间的关系，就能顺利地组织图集编制计划的实施，也就能高质量和高速度地完成图集的编制和出版（图5）。其中对图集科学质量起决定作用的是总体设计与统一协调两个关键。而总体设计中主要应做好图集选题目录的拟定与总设计书的编写。图集选题目录的拟定，主要从图集的目的与用途出发，考虑图集的完整性、系统性、综合性与实用性，以及资料基础和各专业研究的广度与深度。

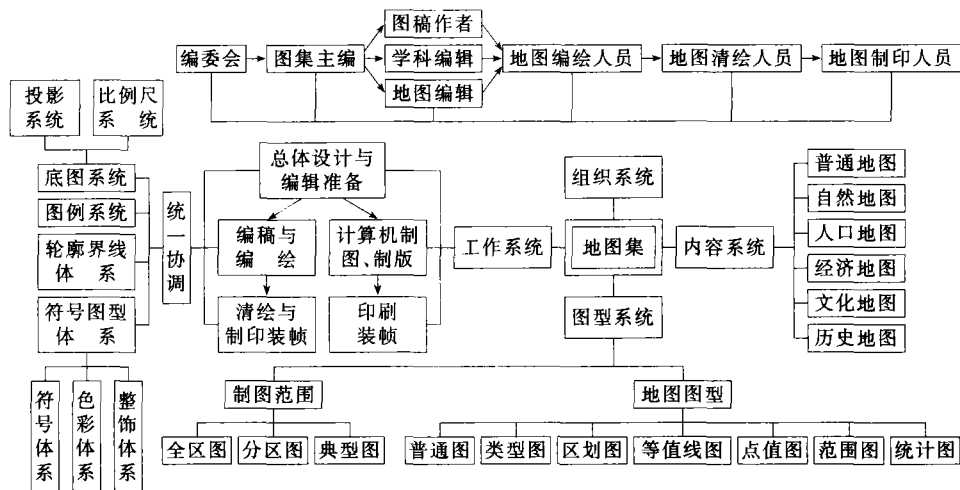


图5 地图集系统工程示意图

Fig. 5 Complex Atlas System Engineering

我们认为，具体设计应遵循以下原则^[5]：

(1) 既要强调科学系统性，又要考虑生产实用性。科学系统性就是保证各要素或部门的基本选题；生产实用性就是从人类需要出发，选择自然资源及其利用、自然灾害及其防治、环境污染及其治理等方面具有实用价值的选题。例如国家自然地图集集中反映自然资源、自然灾害、自然利用保护的实用性图幅占图集总图数的40%。

(2) 作为区域综合地图集应突出区域特点，反映区域特殊的自然条件、自然资源、经济优势以及具有重要意义的历史文化遗产。而作为部门综合地图集，则应突出图集的主题，围绕主题确定选题与内容。例如《青藏高原地图集》特意选编了高原隆起、冰川冻土、湖泊特征、地热资源、大河河源等地图；《中国自然保护地图集》突出了自然环境破坏、珍稀与濒危保护野生动植物、自然保护区等内容。

(3) 注意反映新的分支学科和新的研究领域的最新成果。例如新编中国国家自然地图集选取了反映板块构造、岩石圈动力学、大地热流、地震活动特点、黄土分布等新的研究成果的图幅。同时图集还应反映区域或部门调查研究的深度，多编一些评价地图、动态变化图与预测预报图。

(4) 选择部分典型图，反映具有深入调查研究，同时又具有代表性的典型区域或典型现象的特征，起“特定镜头”的作用。

(5) 地图、图表、影像、照片、文字等相结合，充分利用图面，丰富图集内容，增强直观易读效果。

3 综合制图的统一协调性

统一协调是保证综合制图科学质量的关键，也是衡量综合地图集与综合系列地图科学水平的主要标准之一。统一协调的理论方法是综合制图理论方法的核心。我们对统一协调原理方法进行了深入研究，首次提出了统一协调的理论依据和解决内容与形式统一协调的

原则和方法。在分析各要素和现象之间联系的类型和方式的基础上, 确定各地图之间需要统一协调的因素和标志。统一协调包括选题结构、内容指标、分类分级、图式图例、轮廓界线、地图概括、表示方法、地图整饰等许多方面, 几乎贯穿于综合制图全过程^[5-8]。

科学内容的统一协调主要解决以下两个方面问题。

3.1 分类分级与图例的统一协调

主要目的是选择和确定能够更好地揭示各要素和现象之间相互联系的、便于比较的图例。因此必须选择可比较的分类、分级系统, 包括分类指标与分级方法; 根据比例尺确定可比较相对应的分类单位与相同的级差表; 选择体现地带性的代表性类型、过渡性类型或非地带类型; 采取统一的图例结构、排列原则与命名方法(图6)。

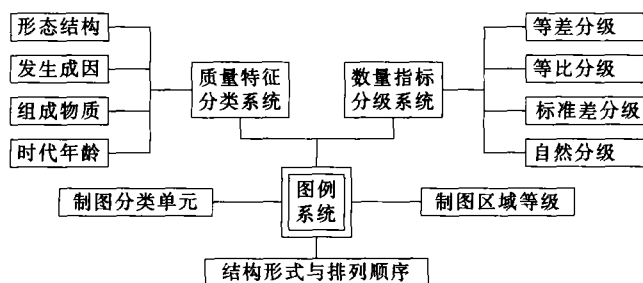


图6 图例系统的统一协调

Fig. 6 Unification and coordination of legend system

3.2 轮廓界线的统一协调

我们认为主要包括以下4个方面(图7)。

(1) 正确反映各要素和现象的天然图形。在自然界, 各要素和现象的分布在实地的形态和表示在地图上, 一般都具有一定的平面结构, 即呈现一定的天然图形, 按其范围尺度可以分为地带界线、区域图谱与基本图形(如岛状、斑状、扇状、带状、环状、层状、交叉状等)。

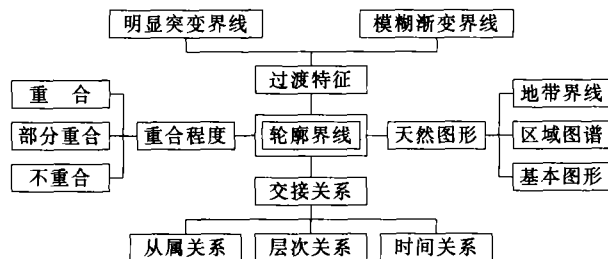


图7 轮廓界线的统一协调

Fig. 7 Unification and coordination of boundary

(2) 正确反映轮廓界线的过渡特征。自然界存在明显突变与模糊渐变两种过渡的界线。前者在强烈地球内外力作用下形成地质构造、地貌形态、组成物质、热量水分、生物土壤等的明显分异, 并体现界线上的突然变化, 如断层线、山麓线、分水岭、高原坎坡、盆地边缘、河谷、阶地、水体边缘、冰川边缘等地质地貌以及相应部位的植被土壤界线等。但

自然界多数存在由量变到质变的逐渐过渡,即表现为模糊渐变的过渡界线,这种界线多弯曲摆动并在界线两边出现相邻类型的斑状图形的交替。

(3) 正确反映轮廓界线的交接关系。各自然要素和社会现象在空间分布上往往不局限于一个平面,而是立体地分布在不同的高度和深度,互相叠置交错。在生成与发育的时间上也先后顺序不同。因此可通过轮廓界线合理勾绘顺序与正确交接形状,正确反映各现象空间分布的从属关系、层次关系和时间关系。

(4) 正确反映轮廓界线之间的重合关系。自然界各要素轮廓界线之间存在重合,部分重合与不重合 3 种情况。存在突变界线或各要素处于统一发生发展过程,并具有共同的占绝对优势的影响因素,或不同地图上表示相同的对象,各相关地图上的这些轮廓界线就应重合。例如对云南丽江综合系列地图进行了重合程度的测量分析,地貌和土壤为 32.81%,地貌和植被为 27.58%,土壤和植被为 47.36%,土壤和土地资源为 48.09%。如果各因素相互影响和作用的程度有些不同,或对某些影响因素适应的程度也有些差异,或人为因素的影响,都会导致部分重合。如 $a=b_1+b_2$ 或 $a_1+a_2=b_1+b_2$ 等。如果影响与适应的程度完全不同,就会使得一些类型轮廓界线在空间变化和时间发育上都不一致,轮廓界线就都不会重合。

3.3 综合制图科学内容统一协调的其他方法和措施

(1) 制作和提供统一的多种比例尺系列底图和卫星影像地图,保证数学和地理基础的统一性。

(2) 根据各要素和现象之间的联系形式与协调关系,以及资料的可靠程度,确定合理的地图编绘顺序。

(3) 编制统一协调参考图,包括地貌要素(沙漠、冰川、黄土、山地、盆地、河谷、冲积扇等)协调参考图,生物土壤(沼泽、盐碱地、森林、草原、绿洲、水田、旱地)协调参考图,以控制明显的共同的轮廓界线。

(4) 召开统一协调会议,解决矛盾与分歧,并且以主要类型图和区划图为重点,逐区分析研究,发现和解决主要矛盾。例如《青藏高原地图集》各区划地图的统一协调问题就是召开统一协调会议解决的。

4 在计算机制图与 GIS 环境下的综合制图

4.1 多媒体电子地图集与地图集信息系统及互联网地图成为综合制图的新的更有效形式

电子地图,尤其是多媒体电子地图集具有开窗放大、滚动漫游、动态动画、三维立体、影像视频、语言音响等效果,可以进行查询检索、分级组合、信息提取、叠加分析等多种分析功能。电子地图与多媒体地图丰富了地图的信息内容,提高了传输效率,增强了感受效果,加强了地图快速分析能力,因此得到迅速发展,并展示非常广阔的应用前景。同时也是更充分发挥了综合制图的综合分析与综合利用的地图功能。电子地图集编制过程往往是地图集信息系统建立的过程,可以同时完成传统地图集(纸质印刷)与电子地图集并提供数字信息产品,后者可进行更深层次的开发利用,还为以后地图集的更新再版提供便利条件。互联网地图则实现全球信息共享,充分发挥地图的社会效益。

4.2 计算机全数字化制图与制版一体化,从根本上改变了综合制图设计与生产的传统工艺

近几年比利时、美国、德国等推出的计算机出版生产系统,实现了地图设计、编辑和制版一体化处理。能够将编绘原图扫描数字化后,进行计算机符号、色彩和注记的设计与编排,通过喷墨打样检查修改后,用激光输出4张分色加网胶片,然后用该胶片晒版上机印刷。不仅提高制版质量,缩短生产周期,而且有助于实现地图符号与色彩的标准化与规范化。中国国家自然地图集采用这一套技术,比常规制图、制版质量和速度都有很大提高,首次实现大型综合性地图集由传统工艺向全数字化、计算机设计、编辑与自动分色制版的根本转变^[8](图8)。

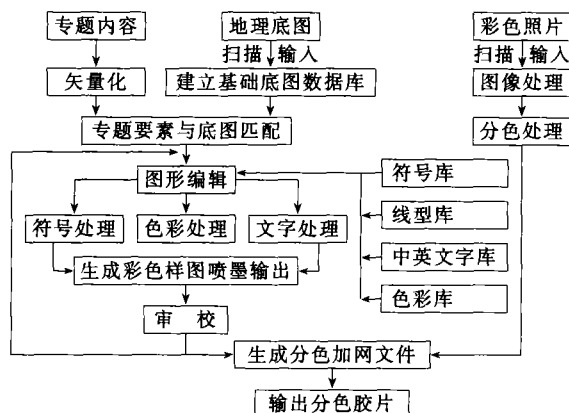


图8 《中华人民共和国国家自然地图集》计算机设计、编辑、制版流程图

Fig. 8 Computer design, compilation and plate making flow chart of
The National Physical Atlas of China

4.3 全球定位系统(GPS)、遥感(RS)、地理信息系统(GIS)与地图方法(含电子地图)相结合,提高了综合制图的科学技术水平

(1) 遥感与地理信息系统扩大了地图制图领域,提高了专题地图与综合制图质量,加快了成图速度,特别是遥感和地理信息系统不仅为地球信息综合制图提供了极其丰富的信息源,而且提供了地球信息快速处理、综合分析评价的技术手段。

(2) 地图作为地球科学的观测与调查研究成果的主要表现形式和分析研究的重要手段,RS与GIS离不开地图这样一种空间信息的图形传输形式、地图模拟、地图认知与综合制图手段。

(3) 地图方法(含电子地图)、RS、GPS和GIS都是地球科学研究的不可缺少的基本方法与手段,这四者的结合,为地球系统科学提供完整的、有效的观测、分析与研究手段。在此基础上形成的地球信息科学(Geo-Informatics)必将得到很大的发展。同时数字地球的综合分析与制图、区域综合信息图谱的建立也都会得到发展。

(4) 尽管制图技术有很大进步,地图介质与形式也有很大变化,但综合制图的一些基本原则和方法在计算机制图与GIS环境下仍然适用。综合制图将继续发展,并进一步发挥它在地学和地球信息科学中应有的作用。

参考文献:

- [1] 廖克. 综合制图理论研究及制图实践[J]. 地理学研究进展, 1990: 149-158.
- [2] 陈述彭. 综合地图集的设计与区域特点的反映[J]. 地理学报, 1961, 27(1): 38-56.
- [3] 陈述彭, 廖克 等. 农田样板地图的编制[M]. 北京: 科学出版社, 1964.
- [4] 廖克, 傅肃性, 沈洪全. 农业卫星影像和综合系列制图方法的探讨——以云南丽江地区试验为例[A]. 农业地图编制文集[C]. 北京: 科学出版社, 1991: 26-33.
- [5] 廖克, 刘岳, 傅肃性. 地图概论[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 150-157.
- [6] 廖克. 综合地图集自然地图之间的统一协调问题[A]. 地理集刊(第4号)[C]. 北京: 科学出版社, 1963.
- [7] 廖克. 中华人民共和国国家自然地图集编辑说明[M]. 中华人民共和国国家自然地图集. 北京: 中国地图出版社, 1999.
- [8] 廖克. 中国国家自然地图集的特点与创新[J]. 地理学报, 2000(1): 112-117.

The Basic Principles and Methods of Geo-informatic Complex Mapping

LIAO Ke

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: This paper deals with the connotation and significance, theoretical foundation and basic link of Geo-informatic complex mapping, and relates different representative formality, design principles and mapping methods of complex map, comprehensive series maps and complex atlas. Then, it deals with the principles and methods of unity and concert on complex mapping, and emphasizes on related unity and concert on aspects of scientific contents with graded, classified and legend as well as outline and boundary, and methods and measures of unity and concert on other aspects. Finally, analyses the new development of complex mapping in aspects of science and technology in the environment of computer mapping and GIS.

Key words: Geo-information; Complex mapping; Principle; Method