

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

地图学


BOOK
中国水利出版社

编者的话

本教材是根据国家教委理科地理类教材规划，在原书《地图学》的基础上修订的。本书第一、八章由张力果编写，第二、三、四章由赵淑梅编写，第五、六、七章由周占鳌编写，附录与第一版同。由张力果担任主编。本书编写过程中，注意了高师地理系教学计划的要求和在一年级开设本课的实际；注意了地图学体系的严谨和师范大学教学的需要；注意了现代地图学的新理论与新技术的引进。

初稿完成后，经过高等学校理科地理教材编审委员会组织的高师地图学教材审稿会审查通过，又根据会上提出的宝贵意见，由编者进行了认真的整理与修改。

在审稿会上，教授石韞璋、郝允充、副教授詹启仁、张文生都提出了宝贵意见，教授缪鸿基、李海晨、副教授黄广耀、向传璧，高级工程师蔡孟裔提出了书面的宝贵意见，在此一并表示衷心的感谢。

在编写过程中，还得到了中国科学院地学部学部委员、研究员陈述彭，中国地图出版社副总编辑陈潮，测绘出版社副编审秦金泉、编辑祁彩梅等的热情指导并提供了宝贵资料，在此表示感谢。

本书插图由青岛大学郑培昕高级工程师，高等教育出版社杜小丹，杨莉丽负责清绘，在此一并致谢。

由于我们水平有限，书中不妥之处，敬请批评指正。

编者
1989.12.

地图学（第二版）

第一章 绪论

内容提要

地图学吸取了现代科学技术成就，使传统的地图学从理论到技术都增进了许多新内容，成为具有自己特征的独立的科学体系。这个体系由理论地图学、地图制图学和应用地图学构成。

地图的重要性质，在于它是信息载体，具有可量度的数学基础，具有适应人的图形感受能力的符号语言，而且是经过概括的客观世界的模型，表达着各种自然和社会现象的空间分布、联系和时间的发展变化。

地图种类众多，成图方法也不同。实测成图与编绘成图是传统的常用方法，计算机制图与遥感资料制图在迅速发展。

第一节 地图学的科学概念与分支

一、地图学的科学概念

地图学的研究对象是地图，这是不言而喻的。原始地图在很早以前就产生了。关于地图的学问，也可以追溯到很远，只是在近代才形成了一门学科。按传统的说法：“地图学是研究地图的实质与发展，同时也是研究地图编制与复制的科学”。近三十年来，由于电子计算机技术、遥感技术和信息论、系统论、感受论以及传输理论的形成与发展，地图学吸取了一系列现代科学技术成就，使地图学从理论到技术都增进了许多新的内容。如地图学的研究方法与研究领域在认识上有了新的扩展，使地图学具有了跨界于诸多科学部门的横断科学方法论的意义；其次是地图生产与应用以及地图科学研究的计量化，这是由于数学方法在地图学中得到广泛应用，正逐步改变着以定性描述为主的传统方法，使地图学的研究更加严密；再次是电子计算技术扩充并加速了地图制作进程，丰富了地图内容，使地图功能有了新的发展。因此，国际地图协会（International Cartographic Association，缩写为ICA）和国内有关学会以及专家们，对地图学的科学内涵，都进行了研究。国际地图协会在成立的最初阶段就注意了地图学教育，于第五次（1970）学术会议上发表了地图学教育标准方案和地图学教育文献目录，并于1973年发表了《多种语言地图学词典》，给地图学下的定义是：“地图学是制作地图的艺术、科学和技术，以及把地图作为科学文件和艺术作品的研究。在这个意义上，地图可以看作是以任何比例尺表示地球或任何星体的包括所有类型的地图、平面图、航图以及断块图、三维模型和地球仪”。这个定义虽然表示了地图学跨界于若干领域的特点，但未能反映出地图学本身的内涵。从事计算机辅助制图的苏联专家则认为：“地图学是研究地球和天体的现象结构、空间关系和特性的信息表达、储存和传递方法，以图形数学模型并按一定的比例尺来表示，并为实际利用目的而进行说明的科学”。这个定义把地图扩展到图象处理和译解范围，混淆了界限，忽视了地图的本质。美国地图学家鲁滨逊（Robinson）认为：地图学是一个传输系统，它包含了从地图制作到使用的各个环节之间的联系。这个传输链可以表示为：客观存在 制图者的概念 地图 地图读者。地图学的传输系统开始受邮电通信传输系统影响很大，但大多数地图学家都承认这两种传输系统有性质上的差别。美国地图学家莫里逊（Morrison）认为：“地图学是空间信息的图形传递的科学”。苏联地图学家萨里谢夫（Сарышев）进一步指出：“现代科学的进步，很好地反映了现代科学的普遍特征。地图学一方面正在加强它的理论研究，另一方面正在扩大和巩固同许多学科的联系。认识客观世界的地图方法现在已为所有科学所利用，同数学一样，它具有横断科学研究方法的价值；可以看到科学和实际活动的“地图化”和地图学必将成为横断科学趋势”。我国地图学家对地图学理论的研究也十分关心。中国上海辞书出版社1980年出版的《辞海》对地图学定义为：“地图学是研究地图及其制作的理论、工艺技术和应用的科学。”近些年来由于吸收了现代科学技术成就到地图中来，专家们则认为：“地图学是以地图信息传递为中心的，探讨地图的理论实质、制作技术和使用方法的综合性科学。”有的还指出：“地图学今后应着重空间信息的地图表示以及符合现代科学水平的地图信息的利用方法和手段的研

究”。上述定义虽不尽相同，只是由于观察问题的角度各有侧重，但将地图学看作是：研究地图理论实质与发展、地图内容各要素的表示方法、地图制作技术和地图使用的一门科学，则是共同的。至于引进怎样的研究手段并以怎样的理论为指导，则根据各自条件的不同，采取不同的理论与方法而已。

二、地图学的分支学科

现代地图学的发展，已从制图工艺技术研究逐步成为具有自己特点的一门独立的科学体系。地图学最初是由地图投影、地图编制、地图制印三个分支学科组成，而后发展成为地图概论、地图投影、地图编制、地图整饰、地图制印、地图分析与应用六个分支学科。随着科学技术的发展和地图学研究内容的扩展与深入，近些年来国内外地图学论文与著作，对地图学研究体系提出了许多新概念和新领域，特别是理论地图学的研究有了很大发展，传统的地图体系已不能适应当代地图学发展的特点和趋势。50年代，瑞士地图学家英霍夫（Imhof）根据地图制作的复杂性和地图对经济、技术发展的影响。提出把地图学分为理论地图学与实用地图学两部分。理论地图学包括地图的搜集、分析和评价，地图内容表示方法的确定，地图学的发展；实用地图学包括地图的设计、编绘、清绘和复制等。70年代以来，对地图学体系的认识和理解起了很大变化，德国地图学家佛莱泰格（Freitag）在1980年用地图信息传输论和符号理论相结合的观点，研究了地图学体系的结构问题，在波兰地图学家拉泰斯基（Ratajski）观点的基础上，将地图学体系分为三个分支，即地图学理论、地图学方法论和地图学实践。荷兰地图学家博斯（Bos）从地图制作及其与边缘学科的关系，提出一个地图学体系的功能模型。该模型的核心是地图学的主要部分——地图设计，围绕这个核心有五个分支学科——地图内容、地图生产设计、地图配置、符号设计、地图概括。在这些学科周围环绕着与其保持着联系的其他边缘学科的空间数据、视觉感受、图形艺术、制图技术（图形复制、图形设计和资料管理）、制图条件等。博斯提出的功能模型比较生动、形象地描述了地图学的核心问题和其他学科之间的相互联系。我国地图学家分析了国外地图学组成和结构的各种观点，根据当代地图学发展特点和趋势，结合我国的条件，提出了现代地图学体系的想法，这个体系由理论地图学（地图学理论基础）、地图制图学（地图编制方法与技术）和应用地图学（地图学应用原理与方法）三个主要分支学科构成。理论地图学包括九个分支：地图学概论，地图信息理论，地图模式理论，地图传输理论，数学地图学，地图符号学，地图感受理论，地图概括理论，综合制图理论；地图制图学包括五个分支：普通地图制图学，专题地图制图学，遥感资料制图学，机助制图学，地图制印学；应用地图学包括七个分支：地图的基本功能，地图的评价，地图分析的方法论，地图分析利用步骤，地图分析利用方法，地图信息自动分析与处理，地图的实际应用。

第二节 地图的构成要素和基本特性

地图对于每一个具有一定文化知识的人并不陌生，它是认识和分析研究客观世界的常用手段，已有几千年的历史，一直没有被其他方式所代替。只是近几十年来，由于摄影技术和运载工具以及传输技术的发展，曾有人主张用正射象片或卫星图象代替地图；又当计算机技术引进地图制图领域之后，也有人预言传统的地图将完全被数字信息的存储与处理设备所代替。但事实证明，影象和计算机技术的巨大价值更主要的在于扩大了地图制图实践的领域，提高了地图生产的效率，而地图仍以其特有的性质和按自己的规律继续存在和发展。

一、地图的构成要素

由于地图的表现形式发生了种种变化，对于地图的构成要素说法众多，但若想正确的应用地图，就必须真正了解地图的性质和特点，而且要把地图的各个构成要素加以分析，认识每一种要素的含义和作用，了解各个要素间的联系。为此对各种各样的常用的大量的地图加以剖析，找出其共性，可以认为构成地图的主要要素有三：地图图形、数学要素和辅助要素。有些图上还有各种补充资料。

地图图形是用地图符号所表示的制图区域内，各种自然和社会经济现象的分布、联系以及时间变化等的内容部分（又称为地理要素），如江、河、山地、平原、土质植被、居民点、道路、行政界线或其他专题内容等，这是地图构成要素中的主体部分。

数学要素是决定图形分布位置和几何精度的数学基础，是地图的“骨架”。其中包括地图投影及坐标网、比例尺、大地控制点等。地图投影是用数学方法将地球椭球面上的图形转绘到平面上；坐标网是各种地图的数学基础，是地图上不可缺少的要素；比例尺表示坐标网和地图图形的缩小程度；大地控制点是保证将地球的自然表面转绘到椭球面上，再转绘到平面直角坐标网内时，具有精确的地理位置。

辅助要素是为了便于读图与用图而设置的。如图例就是显示地图内容的各种符号的说明。还有图名、地图编制和出版单位、编图时间和所用编图资料的情况、出版年月等。

有的图上还有补充资料，用以补充和丰富地图的内容。如在图边或图廓内空白处，绘制一些补充地图或剖面图、统计图等。有时还有一些表格或某一方面的重点文字说明。

二、地图的基本特性

早期人们把地图看作是地球表面缩小在平面上的图形。今天看来，这种认识不很全面也不很确切。因为地面的风景照片和风景画也适合这个含义，特别是现代的地图并不局限于表示地面可见的现象，还要表示那些在地理环境中存在的、但又无形的现象（如气温、气压等）。因此要认识地图，就必须分析地图区别于风景照片和风景画的一些特征；即构成地图的数学法则，表达空间诸要素的地图符号和地图概括等。

（一）构成地图的数学法则

地面的风景照片或风景画，都是按透视原理构成的。随着视点位置的不同，景物的形状和大小都要发生变化。一般规律是景物距视点的距离愈近，其图形愈大，愈远则愈小。这种情况对地图不合适，地图要求对它所表现的地面上的各种景物，应能按比例尺衡量。

比例尺是图上直线长度与地面上相应距离的水平投影长度之比。如地图上注有比例尺 1 : 50000，这就告诉人们，图上地物的长度相当于对应地面地物长度的 1/50000。这个尺度对大比例尺地图来说，基本上适合图上各个部分。因此，可以认为，比例尺是地图线性缩小程度的标志，它是构成地图数学要素的基本组成部分之一，是风景照片或风景画所不具备的。

地图上各种地物间的关系，要求按数学法则构成，这就是先将地球自然表面的景物垂直投影到地球椭球面（或球面）上，然后再将地球椭球面（或球面）按数学法则投影到平面上而构成地图。这种按数学法则将地球椭球面（或球面）转绘到平面上的方法，叫地图投影。按这种方法建立的数学基础，才能使地球表面上各点和地图平面上的相应各点保持一定的函数关系，从而才能在地图上准确地表达空间各要素的关系和分布规律，才可能反映出它们之间的方向、距离和面积，使地图具有区域性和可量测性。

（二）运用地图符号

图 1-1 是一张卫星图象，图 1-2 是相同区域的地图，从两者的对比中，不难看出，地图是运用易被人们感受的图形符号表示地面景物的，而卫星图象是用影象来反映，它们有很大区别。地图之所以要用符号表示地面景物，因为使用符号具有以下功效：

1. 有选择地表示地理环境中的主要事物，因而在较小比例尺的地图上所表现的地面情况，仍能一目了然，重点突出。对于那些由于缩小而不能按比例尺表示的重要地面景物，可用不依比例的符号夸大表示。

2. 用平面的图形符号表示地面的起伏状况，也可以说是在二维平面上，能够表达出三维空间状况，而且可以量测其长度、高度和坡度等。

3. 除了用符号表示出地面景物的外形，还能表示出景物的看不见的本质特征。例如在海图上可以表示出海底地形、海底地质、海水的温度和含盐度等。

4. 用符号可以表示出地面没有外形的许多自然和社会经济现象，如气压、雨量、磁偏角、重力异常和政区、人口移动等。此外还可以表现出事物间的联系和制约关系，如森林分布和木材加工工业之间的联系。

地图上还有起说明作用的文字与数字，它们也是地图的重要组成部分，用以标明地面景物的名称、质量和数量。

（三）地图概括

地图和实际地面相比，是缩小了的。地图上所表现的地面景物，从数量上看是少了，从图形上看是小了、简化了。这是因为地图上所表现的内容都是经过取舍和化简的。从图 1-3 和图 1-4 可以看出：由 1 : 10000 比例尺缩小到 1 : 50000 比例尺的地图，对原来的内容如不进行取舍和化简，缩小后的地

图既不清晰又不易读。这种把实地景物缩小或把原来较详细的地图缩成更小比例尺地图时，根据地图用途或主题的需要，对实况或原图内容进行取舍和化简，以便在有限的图面上表达出制图区域的基本特征和地理要素的主要特点的理论与方法，称为地图概括。

根据上述对地图所具有的本质特征的分析，可以认为：地图是将地理环境诸要素按照一定的数学法则，运用符号系统并经过地图概括缩绘于平面上的图形，以传递各种自然和社会现象的数量与质量的空间分布和联系以及时间的发展变化。

第三节 地图的分类

地图的种类很多，为了进一步加深对地图的认识，有必要对常用地图进行分类研究，以便于地图的制作、管理和使用。

一、按内容分类

按内容可将地图分为普通地图和专题地图两大类。

普通地图基本上是以同等详细程度表示地表各种自然和社会现象的地图。即以相对平衡的详细程度表达地图上的各种基本要素，如水系、地形、土质植被、居民地、交通网、境界和经济文化等要素。普通地图又可按内容的概括程度进一步划分为地形图和地理图。地形图主要是按统一规范细则编制的比例尺较大的普通地图，内容详细。地理图具有一览图的性质，内容概括程度较高，用以反映各要素基本分布规律，比例尺一般较小。我国把1:1万、1:2.5万、1:5万、1:10万、1:25万、1:50万、1:100万七种比例尺的地形图规定为国家基本地形图。这种地形图有严密的大地控制基础，采用统一投影、统一分幅编号，根据国家颁布的测绘规范和图式测制。图上全面反映自然地理条件和社会经济状况，能够满足国民经济建设、国防建设和科学文化教育事业的需要。

专题地图是突出而详细地表示某一种或几种主题要素或现象的地图。专题地图的主题内容，可以是普通地图上所固有的一种或几种基本要素，也可以是专业部门特殊需要的内容。关于专题地图的进一步分类，各专业部门都有自己的划分指标，很不统一。一般按地学标准分为自然地图和人文地图两大类。自然地图又可分为地质图、地貌图、水文图、气候图、土壤图、植被图、动物图等。人文地图可分为人口图、历史图、经济图、教育科学文化图等。

二、按比例尺分类

地图比例尺常常是地图内容详细程度和使用范围及使用特点的主要标志。按比例尺一般将地图划分为大、中、小三类。

大比例尺地图是大于1:10万，包括1:10万比例尺的地图。

中比例尺地图是小于1:10万至大于1:100万比例尺的地图。

小比例尺地图是小于1:100万，包括1:100万比例尺的地图。

我国基本地形图，随着比例尺的不同，其内容与精度也有区别，从而它的功用也就各异。

大比例尺地形图，也是国家基本比例尺地形图，内容详尽，是地形测量或航空摄影测量的直接结果，可以迅速在图上定位，进行图上量测，可用于各项建筑的设计，进行各种勘测，规划与研究农、林、牧、副、渔各业的发展等。此外，它还是编绘较小比例尺地图的主要资料。

中比例尺地形图是根据较大比例尺地形图或在通过外业调查搜集资料编成的，可供拟定国民经济计划中规划巨大的工程建筑时研究地形之用，或用于局部地区短距离航行时标定方向，又可作为编制较小比例尺地形图或专题地图的基本资料。

小比例尺地形图完全是通过内业编绘而成。它可用于了解与研究广大地区内自然地理条件和社会经济概况，拟定具有全国和省、自治区意义的总体规划、工农业生产布局、资源开发利用，或长距离飞行时标定总方向，或作为编制更小比例尺地图的基本资料。

三、按区域分类

各种地图所包括的空间范围有很大区别，按制图区域分类时，总是由总体到局部，由大到小依次予以划分。首先是世界图，其次为大洲图和大洋图，在大洲（或大陆）内再按行政区或自然区划分。如按行政区划分时，则依国家或国内的一级行政区、二级行政区等等逐级划分。根据行政区划分有较重大意义，因为大多数地图都是按行政区划分为限定范围进行编制的。另一种是按自然地理区域划分，如大洋图、流域图、海湾图、海峡图，或再细分如长江流域图，还可再分为三峡图、江汉平原图、长江下游平原图等等。

四、按用途分类

地图按用途分类，可分为国民经济与管理地图、教育科学与文化地图。国民经济与管理地图可以进一步划分为自然资源及其评价地图、人口和劳动力资源及其评价地图、规划图、领航图和道路图等。教育科学与文化地图可进一步划分为教学地图、科学参考地图、文化宣传教育地图和旅游地图等。当然还可以再进一步细分，如教学地图可分为小学教学地图、中学教学地图和高等学校教学地图等。

由于常常一图多用，按用途分类的严密性受到很大影响。如国家基本地形图可以同时满足国民经济建设、国防和科学研究等各方面的需要；科学参考地图不仅用于科学研究，在高等学校教学中也广泛应用，也用于国民经济的各项建设规划。因此按用途分类，常常是对于具有明显特点的地图才适用（如教学地图）。

仔细研究上述的种种分类，可以看出，各种分类指标是互相制约的，在实际应用中，通常是综合采用上述各种分类指标。如把制图区域作为一级分类指标，按主题为二级分类，第三级再按用途予以区分。如中国气候教学地图等。

五、按其他指标分类

分类的其他指标也是多种多样的，如按信息的可靠程度分类，可分为文献地图（经过实地考察得到的客观实际现象，如地形测图、地质测图、水文测图等，能以必要的详细程度和精度反映客观世界），假想地图（没有足够的实际资料，常常是根据少量路线调查的成果臆构的）、预报地图（根据不断的观测所得的资料通过科学推断或内插、处理作出的具有规律意义的地图，如天气预报图等），歪曲地图（为了某种需要对地图内容加以明显歪曲或虚构的地图，即表示有歪曲性意向的地图）；按使用中实际需要分类，可分为调查地图、评价地图和方案地图；按使用方式，可分为桌图、挂图、折叠图；按地图分幅，可以分为单幅地图和多幅地图、系列地图、地图集；按

感受方式，可分为线划地图、数字地图、影像地图、缩微地图、单色地图、多色地图、互补色地图、荧光地图、触觉地图等；按地图形状，可分为平面图、立体图、地球仪；按地图的基质，可分为纸质地图、丝绸地图、塑料地图；按图型概括程度，可分为解析型地图（分析型地图）、组合型地图（合成型地图）、综合型地图（复合型地图）；按出版年代，还可以分为古地图、今地图；按语言划分，也可以分为民族文字地图、汉语拼音地图、外文地图等。

在传统的概念中，地图表示的对象是地球，其表示的形式是平面上的线划图形。随着科学技术的发展，地图的表示对象和形式有了很大变化，已从地球扩展到其他星球，现在已有月球地形图、月球地质图、火星一览图等。印刷和电子技术的发展，使地图的表示形式，不仅可以用线划符号，还可以用影象或数字的形式。如记录在磁带上的地图内容经计算机处理后，可以将数字形式的地图内容自动转换为线划图形形式的地图。现在的地图不仅可以印刷在纸张、织物、脱脂薄膜和缩微胶卷上，还能进行屏幕显示，有的称此为“临时地图”，这种形式的地图，能使地图信息通过计算机得到充分显示，完全可以包含常规地图的全部信息内容。随着地图信息的计算机处理和屏幕显示的发展，有的学者提出了“实地图”和“虚地图”的概念问题。实地图是指能直接看到地图图形并且有固定形式的实体的任何地图产品。虚地图有三种类型：一种是能直接看到地图图形的，如显示在屏幕上的地图；一种是具有一定的形式，但不能直接看到地图影象，要进一步处理才可以成为看得见的地图，如地图模型的全息照象、激光磁盘数据等；第三种是具有前二种的特点，而且很容易地被转换成实地图，如存贮在磁带或磁盘上的数字化地图内容、数字地形模型等。还有一种根据用图目的，以图形形式放映在屏幕上，并将与用图者主题有关的内容，用声音跟踪方法播放出来，成为“讲话地图”。

六、地图集的分类

地图集不同于单幅图，它是按统一的编图大纲和设计书编制的，是具有共同思想结构和表现方法的系列的地图汇编，不是各种地图的机械组合，简单拼凑。它是包括在内容上彼此有机联系和相互补充的地图系统，这种系统表现有明确的用途目的和利用特点，有完整合理的结构，有严谨的排列顺序，有统一的地图比例尺层次，有全集一致的内容协调，有适合的地图投影系统，有统一的图例和各具特色的系统的表示方法，有统一分级编绘取舍指标和资料的时限，有统一编排的地名检索等等。

地图集除各类地图有机组合之外，还应包括与地图互为协调互为补充的文字图表信息。这些信息包括目录、图例、地图投影的若干数据、文字说明、参考性统计资料、各种统计图及剖面图、各种参观图片、不同语言的术语对照、地名索引等等。

可见地图集与一般单幅地图不同，而且种类繁多，故将它的分类单作一项进行分析。

按制图区分类可分为世界地图集、分洲地图集、国家地图集、省区地图集、县区地图集等。地图集的制图区与单幅图的制图区在概念上不同。地图集的制图区是指与该区有关的一组大小范围不同的图幅来全面地、系统地、

互为补充地反映制图区域内宏观的和微观的综合现象和专题现象。单幅图的制图区是固定的。

按内容分类可分为普通地图集、自然地图集、社会经济地图集、综合地图集。

普通地图集主要由普通地图构成，也有附以少量的整个制图区的专题地图，这些专题地图一般组成为总图或序图。

自然地图集主要是反映制图区的自然地理现象，又分为综合性自然地图集和专题性自然地图集两大类。综合性自然地图集是表示一系列互有联系的各种自然现象或表示自然界各方面特征的地图集，如地质图、地势图、地貌图、气候图、水文图、土壤图、植被图、动物图、景观图等；专题性自然地图集是以某一自然学科为主题的地图集，如水文图集、地质图集、气候图集等。

社会经济地图集是反映制图区社会经济状况的地图集，也分为综合性社会经济地图集和专题性社会经济地图集两大类。综合性社会经济地图集表示一系列互相有联系的社会经济现象或表示社会经济各方面特征的地图集，包括人口、语言、民族、政区、工业、农业、交通运输、贸易、文教卫生、历史等等地图；专题性社会经济地图集则是以某一社会经济现象为主题的地图集，如人口地图集、工业地图集、农业地图集、能源地图集、地方病或流行病地图集、历史地图集等。

综合地图集是由普通地图、自然地图、社会经济地图等有机组合的地图集。其内容完备，图种多样，能较完整和系统地反映制图区的各种现象。

按用途分类根据地图集所适用的读者对象，分为教学地图集、旅游地图集、科学参考地图集、军事地图集、政治地图集等等。

按地图开本分类按每张胶版纸的标准规格裁切，分为对开、四开、八开、十六开、三十二开、六十四开地图集。习惯上一般称八开及大于八开的为大型地图集；十六开为中型地图集；小于十六开的称为小型地图集或地图册。也有将六十四开的称为袖珍地图集或地图册。近些年来出现了一百二十八开或更小开的地图集，称为微型地图集。

第四节 地图的功用

地图在几千年的形成和发展的历史中，它的功能与用途，也随着生产力的提高和现代科学技术的进步，在认识上有很大发展，现概述如下。

一、地图具有适应于人的图形感受功能

地图产生和发展的历史证明，人的大脑可以保存周围地理环境的清晰和深刻的印象，可以将这种印象描述给别人，使其在头脑中也建立一个多少有些相似的环境图象，也可以用某种方式再现这种印象：如历史上存在的在沙地上或树皮上描绘，或用一些石块、贝壳来模拟这个印象的形状、大小或相对位置等，原始地图就是这样产生的，这种地图可称之为“意境地图”（Mentalmap）。人脑有感受、储存和处理空间信息的这种生理机制，在今天的地图上也能反映出来。而且，现今的地图用来传递环境信息、表达作者对环境空间的认知结果，是其他传递形式所不能代替的最有效的方法。这就有必要对表达空间信息的地图符号构成规律和视觉感受这些符号的规律进行进一步探索。

地图符号可以被看作一种图形传递的特殊语言，这种地图语言应有它的语法规则，正如符号学创始人美国哲学家皮尔斯（Peirce）提出并经莫里斯（Morris）整理的三个核心部分：语法学（Syntactics）、语义学（Semantics）和语用学（Pragmatics）。从地图学的角度解释，语法学是探讨地图符号及其系统的构成特点和规律，也可以说是地图符号的形成、外貌、变量的传递方式和系统化的基本规律；语义学是研究符号与所示对象之间的对应关系；语用学则阐明符号系统的性质，它们的信息价值、用途和可理解性，也就是从总体上研究如何提高地图的使用及地图感受效果。人脑的图形感受功能早就是心理学和心理物理学研究的课题，后来引起了地图学家们的注意，如同内容相同的地图，由于图形、色彩的设计不同，会有完全不同的读图效果——在错综复杂的地图上，可以不困难地区分出我们所寻求的对象。这说明在读图过程中，存在着不少视觉心理学的因素。德国的实验心理学的理论，对于认识地图阅读规律很有意义。上述种种都在说明，地图用有规律的地图符号系统所表达的空间客体（或者称为自然和社会经济现象）具有着图形感受功能的特性。

二、地图具有空间信息载体和积累器的功能

地图具有传递知识的功能早已被人们认识。信息的概念一经形成，就引起了地图学家的重视，开始用之于地图学表示法的研究。随着信息理论的逐步完善，人们逐步认识到信息理论能极其贴切地解释地图的基本特征，并将成为地图学的理论支柱，揭开地图具有巨大生命力的奥秘。

信息是现象与知识的中间媒介，是事物运动状态或存在方式的直接或间接的表述。地图正好具有这些特性。地图不同于客观存在，但也不等同于知识。地图可以脱离它的原有物质载体而被复制、传递、存贮，也可以被读者所理解、量测、感受、处理和利用。在地图上浓缩和存贮了大量有关地点、状况、内部关系、自然和社会经济的动态现象，也就是集聚了大量空间信息。

这些信息是在几百年间积累起来的，并通过地图以一种易于被人们接受的图形符号的形式进行传递。这就是说，地图从制作到使用，从客观存在到人的认识，实际上形成了一个以信息传递为特征的系统，而地图则是这个传递过程的中心环节，是信息的载体，用它来传递信息。这一张“纸”给人类带来了财富，了解了世界，增长了知识。

地图上能容纳的信息量很大，一幅普通地形图能容纳一亿多个信息单元（bit）。如果考虑到目前地图的激光缩微技术，一幅地图可缩至几十平方厘米或几平方厘米，那就显得地图容纳的信息量更多了。而地图作为信息积累器，又不同于纸带、磁带、磁盘等一般的信息储存手段，它以图形形式表达和传递空间信息，更易于被读者所利用。地图信息除了可以直接读出的信息之外，还有经过分析而获得的潜在信息，如果把潜在信息量也算在内，地图作为信息积累器的功能就更大了。

三、地图具有客观世界模型的功能

人们直观地认识地面和环境，不可能超出视野的范围之外，因而必须借助各种比例尺的地图。地图能使人们扩大直观的视野，了解到更加广阔的空间关系，而且还可以充当地面模拟实验的工具，又可以作为规划建设的工具来制定具有效益的发展方案。地图除了具有上述的物质模型的特征之外，还是一种概念模型。地图实际是客观存在的特征和文化规律的一种科学抽象，是人们通过地图制图过程对环境认识的一种抽象方法，帮助研究者在新的见解下来观察世界。作为概念模型可以分为形象模型和符号模型。形象模型是运用思维能力对客观存在进行简化和概括；符号模型则是借助于专门的符号和图形，按一定的形式组合起来去描述客观存在。而地图则明显地具有这两方面的特点，即运用符号系统，经过地图概括组合起来去描述客观存在，所以有人把地图称为形象—符号模型。地图作为模型在加深对客体的认识上，有反映客体时空差异和变化的特殊作用，这是任何文字和语言描述所无法相比的。

将地图作为模型，还具有图形数学模型性质。对空间物体可以定向、定位，其精度取决于地图的比例尺；可以进行定量研究，如量取地面的高程、坡度，线状地物的长度、宽度，面状分布的物体的面积，计算土石方、水库容量、专题地图上的主题内容的数量变化等数据。所以地图模型得到广泛应用。

地图是地学分析研究的手段。如，利用图形方法建立空间多维模型、柱状图表、立体剖面，并同各种专题地图配合使用，获得关于现象地理分布的密度和强度的具体概念。如利用图形分析方法对地图上的相关点、线、面和形态的量测，获得地表切割密度和深度、地面坡度、河流密度、湖泊密度、森林覆盖率等等。

对地图上所表示的现象进行数学分析，可以获得许多信息，如梯度变化、正常分布与异常分布、绝对值与平均值等；通过趋势面和偏差面分析，可以得到多变量现象变化趋势的概念。

通过地图的对比分析和相关分析方法可研究现象的相互联系和作用。

在上述分析的基础上，就可能总结规律、综合评价、预测预报、规划设计。因此地图也是科学研究和四化建设不可缺少的工具。

地图又是教育工作的重要工具。学校教育和校外教育，特别是地理教学中，地图是不可缺少的教具。这是因为根据地图可以确定地球上任何一点的地理位置，根据位置可以知道太阳的辐射、气候特性和土壤特性、经济意义等等；可以在地图上指出与人类利害相关的地面上有关现象的分布位置；从地图上可以对区域一览无余，可以对地理综合体的各种要素的相互联系和依赖关系及各种现象的发展规律进行研究。地图还显示出地理现象的大小、形状、地面高低、沼泽地深浅、气候带、有用矿藏、土壤植被分布、交通道路、农业、工业、城镇居民地集中状况等，可以说地图是地理知识的重要来源。利用地图进行地理教育，可以激发学生的感觉器官，促使他们的创造想象力活动起来，发展他们的思维。

地图也是思想政治教育的重要工具。在地图上可以看到祖国的广大领土，看到社会主义建设事业的不断发展、人民福利事业的不断增长。用地图进行爱国主义教育，是很直观生动的。

第五节 测制地图的概念

一、地球椭球体

地球自然表面是一个起伏不平，十分不规则的表面，有高山、深谷、丘陵和平原，又有江河湖海。地球表面约有 71% 的面积为海洋所占据，29% 的面积是大陆与岛屿。陆地上最高点珠穆朗玛峰海拔高度为 8848.13 米，海洋中最深处在马里亚纳海沟为 -11034 米，两者相差近 20 公里。这个高低不平的表面无法用数学公式表达，也无法进行运算。所以在量测与制图时，必须找一个规则的曲面来代替地球的自然表面。

当海洋静止时，它的自由水面必定与该面上各点的重力方向（铅垂线方向）成正交，我们把这个面叫做水准面。但水准面有无数多个，其中有一个与静止的平均海水面相重合。可以设想这个静止的平均海水面穿过大陆和岛屿形成一个闭合的曲面，这就是大地水准面（图 1-5）。大地水准面所包围的形体，叫大地球体。由于地球体内部质量分布的不均匀，引起重力方向的变化，导致处处和重力方向成正交的大地水准面成为一个不规则的、仍然是不能用数学表达的曲面。

大地水准面形状虽然十分复杂，但从整体来看，起伏是微小的。它是一个很接近于绕自转轴（短轴）旋转的椭球体。所以在测量和制图中就用旋转椭球来代替大地球体，这个旋转球体通常称地球椭球体，简称椭球体。

地球椭球体表面是一个规则的数学表面。椭球体的大小，通常用两个半径——长半径 a 和短半径 b ，或由一个半径和扁率 α 来决定。扁率表示椭球的扁平程度。扁率 α 的计算公式为：

$$\alpha = \frac{a - b}{a}$$

a 、 b 、 α 称为地球椭球体的基本元素。

这些基本元素，由于推求它的年代、所用的方法以及测定的地区不同，其成果并不一致，故地球椭球体的元素值有很多种。现将几个常用的地球椭球体元素值列于表 1-1 中。

表 1-1 椭球体名称及元素值表

椭球体名称	国家或机构	推算年代	长半径 (m)	短半径 (m)	扁率
白塞尔	德国	1841	6377397	6356079	1 : 299.150
克拉克	英国	1880	6378249	6356515	1 : 293.470
海福特	美国	1909	6378388	6356912	1 : 297.000
克拉索夫斯基	苏联	1940	6378245	6356863	1 : 298.300
GRS	IUGG	1975	6378140	6356755	1 : 298.257
GRS	IUGG	1980	6378137	6356752	1 : 298.257

我国在 1952 年以前采用海福特 (Hayford) 椭球体，从 1953 年到 1980 年采用克拉索夫斯基椭球体。随着人造地球卫星的发射，有了更精密的测算

地球形体的条件，近些年来地球椭球体的计算又有不少新的数据。1975年第16届国际大地测量及地球物理联合会（International Union of Geodesy and Geophysics 缩写为 IUGG）上通过的国际大地测量协会第一号决议中公布的地球椭球体，称为 GRS（1975），我国自 1980 年开始采用 GRS（1975）新参考椭球体系。由于地球椭球长半径与短半径的差值很小，所以当制作小比例尺地图时，往往把它当作球体看待，这个球体的半径为 6371km。

二、地面点位的确定

确定地面的点位，就是求出地面点对大地水准面的关系，它包括确定地面点在大地水准面上的平面位置和地面点到大地水准面的高度。（一）地球表面上的地理坐标

地面上任一点在大地水准面上的位置是用地理坐标（经度、纬度）来表示的。

地理坐标系是以地理极（北极、南极）为极点。地理极是地轴（地球椭球体的旋转轴）与椭球面的交点，如图 1-6，N 为北极，S 为南极。所有含有地轴的平面，均称为子午面。子午面与地球椭球体的交线，称为子午线或经线。经线是长半径为 a ，短半径为 b 的椭圆。所有垂直于地轴的平面与椭球体面的交线，称为纬线。纬线是不图 1-6 地理坐标同半径的圆。其中半径最大的纬线，是通过地轴中心垂直于地轴的平面所截的大圆，称为赤道。

设椭球面上有一点 A（图 1-6），通过 A 点作椭球面的垂线，称之为过 A 点的法线。法线与赤道面的交角，叫做 A 点的纬度，通常以字母 φ 表示。纬度从赤道起算，在赤道上纬度为 0° 。纬线离赤道愈远，纬度愈大，至极点纬度为 90° 。赤道以北的叫北纬，赤道以南的叫南纬。过 A 点的子午面与通过英国格林尼治天文台的子午面所夹的二面角，叫做 A 点的经度，通常以字母 λ 表示。国际规定通过英国格林尼治天文台的子午线为本初子午线（或叫首子午线），作为计算经度的起点。该线的经度为 0° 。向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 叫东经，向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 叫西经。

根据地理坐标系，地面上任一点的位置可由该点的纬度和经度来确定。例如北京在地球上的位置可由北纬 $39^\circ 56'$ 和东经 $116^\circ 24'$ 来确定。

（二）平面上的坐标

地理坐标是一种球面坐标。由于地球表面是不可展开的曲面，也就是说曲面上的各点不能直接表示在平面上，因此必须运用地图投影的方法，建立地球表面和平面上点的函数关系，使地球表面上任一个由地理坐标（ φ 、 λ ）确定的点，在平面上必有一个与它相对应的点。

平面上任一点的位置可以用极坐标或直角坐标表示。如图 1-7，设 O 为极坐标的原点，即极点，OX 为极轴，A 点的位置可用其动径和动径角来表示，即 A（ ρ ， δ ）。如果以极轴为 X 轴，垂直于极轴的轴为 Y 轴，则 A 点的位置亦可用直角坐标表示，即 A（ x ， y ）。从图 1-7 可以明显地看出，极坐标与直角坐标的关系为：

$$x = \rho \cos \delta$$

$$y = \rho \sin \delta$$

这里需要指出的是，在测量和制图中所规定的 X 轴和 Y 轴的方向与数学

中的规定相反。动径角()是极轴(OX)与动径(OA)所夹的角,它是按顺时针方向计算的,这也与数学中所规定的不同。

(三) 高程

地面点到大地水准面的高程,称为绝对高程。如图 1-8 所示, P_0P_0 为大地水准面,地面点 A 和 B 到 P_0P_0 的垂直距离 H_A 和 H_B 为 A、B 两点的绝对高程。

地面点到任一水准面的高程,称为假定高程或相对高程。如图 1-8, A、B 两点至任一水准面 P_1P_1 的垂直距离 H'_A 和 H'_B 为 A、B 两点的相对高程。

A、B 两点的高程差,叫高差(h)。高差有正、负之分。A 点高于 B 点, A 点对 B 点的高差为正,反之为负。

知道了地面点的纬度、经度和绝对高程,则该点的位置就确定了。图 1-8 绝对高程与相对高程

三、大地控制网

我国面积辽阔,在约 960 万平方公里的土地上进行测图工作,需要分成若干单元测区进行,而且测量的精度又要符合统一要求,为此,必须在全国范围内建立统一的大地控制网,作为测制地图的基础。控制网分平面控制网和高程控制网。

测量平面控制点的位置,通常采用三角测量的方法。这种方法的实质是在地面上建立一系列相连接的三角形(组成三角锁和三角网,图 1-9),量取一段精确的距离作为起算边,在这个边的两端点,采用天文观测方法确定其点位(经度、纬度和方位角),用精密测角仪器测定各三角形的角值,根据起算边的边长和点位,就可推算出其他各点的坐标。此外,在一些局部地区也可以用精密导线测量方法,测量导线边的边长和夹角,推算各点的坐标。这样推算出来的坐标,称为大地坐标。我国 1954 年在北京设立了大地坐标原点,由此计算出来的各大地控制点的坐标,称为 1954 年北京坐标系。我国 1986 年宣布在陕西省西安设立了新的大地坐标原点,并采用 1975 年国际大地测量协会推荐的大地参考椭球体,由此计算出来的各大地控制点坐标,称为 1980 年大地坐标系。

我国有计划地在全国布设三角锁和三角网,进行三角测量,控制点遍布各地,作为测图的平面控制。根据精度的不同,三角测量分为四等。

一等三角锁是全国平面控制的骨干,由连续的近于等边三角形组成。三角形边长在 20—25 公里左右,基本上沿经纬线方向布设。纵横锁交叉构成一等三角锁,锁与锁之间约距 200 公里。二等三角网是在一等三角锁的基础上扩展的,三角形平均边长约为 13 公里,以保证在测绘 1:10 万、1:5 万比例尺地形图时,每 150 平方公里内有一个大地控制点。即每幅图范围内不少于 3 个点。三等三角网是密布全国的控制网,三角形平均边长约为 8 公里,以保证 1:2.5 万比例尺测图时,每 50 平方公里内有一个大地控制点,即每幅图内有 2—3 个控制点。四等三角网的边长约 4 公里,可以保证在 1:1 万

比例尺测图时，每幅图内有 1—2 个控制点，每点大约控制 20 平方公里的范围。

测量高程控制点的主要方法是水准测量，有时也用三角高程测量（图 1-10）。水准测量是借助水平视线来测定两点间的高差。连续的水准测量即可组成作为全国高程控制的水准网。根据测量精度的不同，水准测量分为四等，作为全国测图及工程建设的基本高程控制。图 1-10 水准测量和三角高程测量示意图

我国高程的起算面是黄海平均海面。1956 年在青岛设立了水准原点，其他各控制点的绝对高程都是根据青岛水准原点推算的，称此为 1956 年黄海高程系。1987 年国家测绘局公布：中国的高程基准面启用《1955 国家高程基准》取代国务院 1959 年批准启用的《黄海平均海面》。《1985 国家高程基准》比《黄海平均海面》上升 29 毫米。

四、测制地图的方法

地图的种类很多，成图方法也不尽一致。归纳起来，可分为实测成图法、编绘成图法、计算机辅助成图法和遥感资料成图法。

（一）实测成图法

实测成图法是通过实地测量而制成地图的方法。实测成图法是在地面上实地进行的。首先根据国家控制网进行图根控制测量。其次再以此为基础进行细部测量，这就要用测量仪器，测定各景物点间的距离、方向（角度）和高差，以确定其平面位置和高程。最后将测量成果进行整理，冠以地图符号和注记，绘制成图。

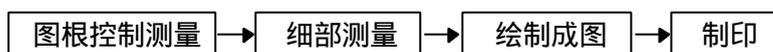


图 1-11 实测成图法工艺过程

（二）编绘成图法

编绘成图法是根据已有的地图或其他编图资料，在室内编制新图的方法。一般是把基本的地图资料，经过复照、晒蓝、镶嵌，作为基础底图。再参考其他资料，在基础底图上，经过地图概括、编绘制成新的地图。本法所编制的地图多为中、小比例尺地图。



图 1-12 常规编图方法工艺过程

由上述方法制成的是编绘原图。为了满足各方面的需要，还应通过清绘、制版印刷或其他方法进行复制，以获得大量的地图。

（三）计算机辅助成图法

电子计算机辅助制图是以数字电子计算机为中心设备展开的。由于电子计算机只能接受以数字表达的信息输入，而地图却是以线划符号和颜色表示的图形，不能被计算机所识别和输入。因此，它的制图工艺过程首先是资料数字化，以解决图数转换问题；其次是计算机处理，这是按规定条件对地图内容的几何特性和质量特性进行概括，以达到建立地图数字资料库或编制新图的目的；再次是图形输出，这是数字化的逆转，把经过计算机处理后，以数字形式表示的地图内容转换回图形的形式，以供阅读和使用，这是通过不

同类型的绘图机输出或显示来实现的。它的基本工艺过程如图 1-13 所示。

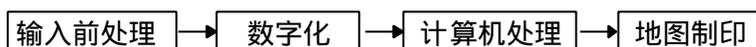


图 1-13 计算机辅助成图工艺过程

(四) 遥感资料成图法

20 世纪兴起的航空摄影作为一种遥感影象制图资料，不出半个世纪就从根本上改变了 300 多年发展起来的实地测绘地形图的生产过程，并且为专题地图开辟了丰富的资料来源。我国的航空遥感制图工作，是从 1937 年起在水利部门开始的。1949 年以后，展开了全国规模的航摄工作，到 60 年代基本上完成了全国的地形制图工作。航空遥感成图法是利用安装在飞机上的航空摄影机对地面进行摄影，以所得的航空象片为原始资料，对象片上的影象进行分析和量测，从而确定地面点的平面位置和高程，最后绘制成地形图。这种方法是目前测绘大比例尺的、内容详细的地形图的主要方法。

卫星遥感使人们可以从数百公里以外的空间来测绘地球，这是测绘技术的又一次飞跃，使测绘技术可以做到不受或者少受政治、地理、以及自然条件的限制，作业范围可以扩大到本国以外，地表以下，甚或大气层乃至宇宙空间，而这种空间技术已经可以测制 1:10 万甚至 1:5 万比例尺地形图。

卫星遥感资料在制图领域已得到广泛应用，可是目前还没有形成一套统一的成图方法和标准的生产程序，但总的看来，已构成两种基本形式，即用常规的设备手工制图和采用专用的图象处理设备自动或半自动制图。两者虽然完全不同，但在制图作业的内容和程序上，仍有共同的地方。一般说卫星遥感资料制图的工艺过程大致如图 1-14 所示。

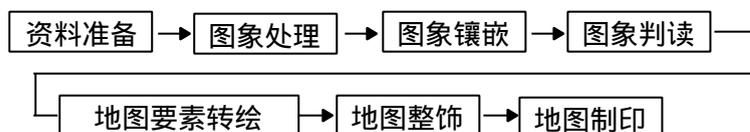


图 1-14 卫星遥感资料制图工艺过程

上述四种成图方法，一是从实地到图，二是从图到图，三是从数字到图，四是从影象到图。选用哪种成图方法关键在于资料的情况和应用要求。第一种方法，当今主要用于小面积的大比例尺的工程测图；第二种方法仍是当今编制各种地图的主要方法；第三、四两种有很多内在联系，如果把形象资料转换为数字资料，那么两者就有很大的 consistency，是目前最有前途的成图方法，得到各国测绘部门的重视。

[实习] 参观地图展览

一、目的要求

通过参观各种各样的大量的平面地图、立体地图、地球仪和地图集，初步了解地图的构成要素、地图的基本特性和地图的分类。

二、方法

(一) 分类展出各种内容、各种区域、各种比例尺、各种用途的地图和地图集。

(二) 边参观边研究：首先是地图的构成要素、其次是地图的基本特性、然后是分类和用途。

(三) 写读图报告或教师总结。

复习思考题

1. 地图的构成要素是什么，它的基本特征是什么？
2. 地图学的研究内容是什么，它的分支学科都由哪些部分组成？
3. 现代地图学的理论基础有哪些，它的主要研究内容是什么？
4. 地图的分类指标是什么？怎样运用综合指标进行分类？
5. 地图是怎样测制出来的？
6. 你对地图功能的认识如何？

第二章 地图投影

内容提要

地图投影的实质是将地球椭球面上的经纬线网按照一定的数学法则转移到平面上。用不同投影方法建立的经纬线网形式不同，它们的变形性质和变形分布规律也各不相同。长度变形是地图投影的主要变形，它影响着面积变形和角度变形。变形性质不同的投影适用于不同用途的地图。制图区域的范围、地理位置和轮廓形状决定着地图投影应选用的构成方法。

第一节 地图投影的基本问题

一、地图投影的概念

地球椭球体表面是曲面，而地图通常是要绘制在平面图纸上，因此制图时首先要把曲面展为平面，然而球面是个不可展的曲面，换句话说，就是把它直接展为平面时，不可能不发生破裂或褶皱。若用这种具有破裂或褶皱的平面绘制地图，显然是不实用的，所以必须采用特殊的方法将曲面展开，使其成为没有破裂或褶皱的平面。

由于球面上任一点的位置是用地理坐标（纬度 φ 、经度 λ ）表示，而平面上点的位置是用直角坐标（纵坐标 x 、横坐标 y ）或极坐标（动径 动径角）表示，所以要想将地球表面上的点转移到平面上，必须采用一定的数学方法来确定地理坐标与平面直角坐标或极坐标之间的关系。这种在球面和平面之间建立点与点之间函数关系的数学方法，称为地图投影。

因为球面上任一点的位置决定于它的经纬度，所以实际投影时是先将一些经纬线交点展绘在平面上，再将相同经度的点连成经线，相同纬度的点连成纬线，构成经纬线网。有了经纬线网以后，就可以将球面上的点，按其经纬度画在平面上相应位置处。图 2-1 (a) 是球面上的经纬线网，图 2-1 (b) 是平面上的经纬线网。球面上点 A、B、C 可按其经纬度在平面上定出其位置，它们为 A'、B'、C'。由此看来，地图投影的实质是将地球椭球面上的经纬线网按照一定的数学法则转移到平面上。经纬线网是绘制地图的“基础”。它是地图的主要数学要素。

二、地图投影的变形

（一）变形的概念

地图投影的方法很多。用不同的投影方法得到的经纬线网形式不同。图 2-2 是几种不同投影的经纬线网形状。从图上可以看出，用地图投影的方法将球面展为平面，虽然可以保持图形的完整和连续，但它们与球面上的经纬线网形状并不完全相似。这表明投影之后，地图上的经纬线网发生了变形，因而根据地理坐标展绘在地图上的各种地面事物，也必然随之发生变形。这种变形使地面事物的几何特性（长度、方向、面积）受到破坏。为了能够正确使用地图，必须了解因投影所产生的变形。

现在把地图上的经纬线网与地球仪上的经纬线网进行比较，可以发现变形表现在长度、面积和角度三个方面。

长度变形在地球仪上经纬线的长度具有下列特点。第一，纬线长度不等。赤道最长；纬度愈高，纬线越短；极地的纬线长度为零。第二，在同一条纬线上，经差相同的纬线弧长相等。第三，所有的经线长度都相等。在同一条经线上，纬差相同的经线弧长相等（在地球椭球面上，纬差相同的经线弧长虽不完全相等，但相差很小）。

地图上经纬线长度是怎样的呢？在图 2-2 (a) 上，各条纬线长度相等，各条经线长度也相等。这说明各条纬线不是按照同一比例缩小的，而经线却

是按照同一比例缩小的。在图 2-2(c) 上, 同一条纬线上经差相同的纬线弧长不等, 从中央向两边逐渐缩小。各条经线长度不等, 中央的一条经线最短, 从中央向两边经线逐渐增大。这个图形表明, 在同一条纬线上由于经度位置的不同, 比例发生了变化, 从中央向两边比例逐渐缩小, 各条经线也不是按照同一比例缩小, 但它们的变化却是从中央向两边比例逐渐增大。

根据上述可知, 地图上的经纬线长度与地球仪上经纬线长度特点并不完全相同。地图上经纬线长度并非都是按照同一比例缩小的, 这表明地图上具有长度变形。长度变形的情况因投影而异。在同一投影上, 长度变形不仅随地点而改变, 在同一点上还因方向不同而不同。

面积变形地球仪上经纬线网格的面积具有下述特点。第一, 在同一纬度带内, 经差相同的网格面积相等。第二, 在同一经度带内, 纬度愈高, 网格面积愈小。然而地图上却并非完全如此。如在图 2-2(a) 上, 同一经度带内, 纬差相等的网格面积相等, 这表明面积不是按照同一比例缩小的。纬度愈高, 面积比例愈大。在图 2-2(c) 上, 同一纬度带内, 经差相同的网格面积不等, 这表明面积比例随经度的变化而变化了。

由于地图上经纬线网格面积与地球仪上经纬线网格面积的特点不同, 在地图上经纬线网格面积不是按照同一比例缩小的, 这表明地图上具有面积变形。面积变形的情况因投影而异。在同一投影上, 面积变形因地点的不同而不同。

角度变形角度变形是指地图上两条线所夹的角度不等于球面上相应的角度。如在图 2-2(b)、(c) 上, 只有中央经线和各纬线相交成直角, 其余的经线和纬线均不呈直角相交, 而在地球仪上经线和纬线处处都呈直角相交, 这表明地图上有了角度变形。角度变形的情况因投影而异。在同一投影图上, 角度变形因地点而变。

(二) 变形椭圆

地图投影的变形, 随地点的改变而改变, 因此在一幅地图上, 就很难笼统地说它有什么变形, 变形有多大。为此必须取地面上一个微小部分, 来研究它投影到平面上之后是怎样变化的。现取一个微小圆(由于其微小, 可忽略曲面的影响, 把它当作平面看待), 通过下列试验进行分析。

如图 2-3, 用铁丝做一个按一定比例尺缩小的北(或南)半球经纬线网模型, 在模型的极点和同一条经线上放置几个不透明的小圆, 使极点与投影平面相切。在模型的圆心处放一盏灯, 经灯光照射后, 在投影平面上就有了经纬线网格。模型上的小圆投影到平面上之后, 除了极点处的小圆没有变形(与模型上的小圆相同)外, 其余的都变成了椭圆。椭圆的长轴和短轴都比小圆的直径长。如果把灯沿着与投影平面垂直的方向远移, 则椭圆逐渐变小, 长轴与短轴的差异也逐渐缩小。当灯移至与投影平面的距离等于模型的直径(即移到了另一个极点位置)时, 模型上小圆的投影变成了圆, 但是这些圆的直径都比小圆的直径长。如果把灯继续远移, 投影平面上的小圆又变成了椭圆。在试验过程中可以明显地看出, 无论灯光在什么位置, 半球模型与投影平面相切处的小圆都没有变形。从切点向四周, 小圆的变形逐渐增大, 有的方向逐渐伸长图 2-4 地球面上的微小圆投影在平面上为微小椭圆长, 有的方向逐渐缩短。

现在我们来证明球面上一个微小圆,投影到平面上之后是个椭圆。图 2-4 (a) 中 ADBC 为地面上微小圆,展在平面上如图 2-4 (b) 所示,以经纬线为直角坐标轴 X、Y,圆上任一点 M 的坐标为 $x=MJ$, $y=MK$ 。在投影平面上(图 2-4 (c)), $A'B'$ 为 AB 的投影, $C'D'$ 为 CD 的投影, M' 为 M 的投影。由于投影一般有角度变形, $A'B'$ 与 $C'D'$ 不一定直交,故 $A'B'$ 、 $C'D'$ 为斜坐标轴系。令其轴为 X' 、 Y' , 则 M' 的坐标为 $x'=M'J'$, $y'=M'K'$ 。由此可以得出

$$\frac{M'J'}{MJ} = \frac{x'}{x} = m$$

$$\frac{M'K'}{MK} = \frac{y'}{y} = n$$

m 为经线长度比; n 为纬线长度比。

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{x'}{m} \\ y &= \frac{y'}{n} \end{aligned} \right\} \quad (2-1)$$

设在地面上所取的微小圆半径为 1, 则 M 点的圆方程为

$$x^2 + y^2 = 1 \quad (2-2)$$

在投影平面上 M' 点绕 O' 点运动的轨迹, 显然就是 (2-2) 式所表示的圆的投影。将 (2-1) 代入 (2-2) 得

$$\frac{x'^2}{m^2} + \frac{y'^2}{n^2} = 1$$

这个方程式代表一个以 O' 为原点, 以相交成 α 角的两共轭直径为坐标轴的椭圆方程式。这就证明了地球面上的微小圆, 投影后为椭圆(一般为椭圆, 特殊情况下为圆)。这种椭圆可以用来表示投影的变形, 故叫做变形椭圆。

在研究投影时, 可以借助变形椭圆与微小圆进行比较, 来说明变形的性质和数量。椭圆半径与小圆半径之比, 可以说明长度变形。很明显地看出长度变形是随方向的变化而变化, 其中有一个极大值——椭圆长轴方向, 一个极小值——椭圆短轴方向。这两个方向是互相垂直的, 称为主方向。椭圆面积与小圆面积之比, 可以说明面积变形。椭圆上任意两条方向线的夹角与小圆上相应的两方向线夹角之差为角度变形。

(三) 长度比和长度变形

长度比就是投影面上一微小线段(变形椭圆半径)和球面上相应微小线段(球面上微小圆半径, 已按规定的比例缩小)之比。设以 ds 表示球面上微小线段, 以 ds' 表示投影在平面上的微小线段, 以 μ 表示长度比, 则

$$\mu = \frac{ds'}{ds}$$

长度比是一个变量, 它不仅随着点的位置不同而变化, 而且在同一地点, 它还随方向的变化而变化。

这里需要说明的是, 长度比与地图比例尺不同。地图比例尺是运用地图投影方法绘制经纬线网时, 首先把地球椭球体按规定的比例尺缩小, 然后才能把它表示在平面上。这个比例尺称为主比例尺, 即一般地图上所注明的比例尺。但是由于投影时有变形, 主比例尺仅能被保持在某些地方, 其余地方或是大于或是小于这个比例尺。

在某点上，长度比随方向的变化而变化，通常在研究长度比时，不一一研究各个方向的长度比，而只研究其中一些特定方向的长度比，即研究最大长度比（a）和最小长度比（b），经线长度比（m）和纬线长度比（n）。投影后经纬线呈直交者，经纬线长度比就是最大和最小长度比。投影后经纬线不直交，其夹角为 θ ，则经纬线长度比 m、n 和最大、最小长度比 a、b 之间具有下列关系：

$$m^2 + n^2 = a^2 + b^2 \quad (2-3)$$

$$mn \sin \theta = ab \quad (2-4)$$

$$\text{或} \left. \begin{aligned} (a+b)^2 &= m^2 + n^2 + 2mnsi\theta \\ (a-b)^2 &= m^2 + n^2 - 2mnsi\theta \end{aligned} \right\} \quad (2-5)$$

用长度比可以说明长度变形。所谓长度变形就是 $(ds' - ds)$ 与 ds 之比。以 V_μ 表示长度变形，则

$$V_\mu = \frac{ds' - ds}{ds} = \frac{ds'}{ds} - 1 = \mu - 1$$

由上式可知，长度变形就是长度比与 1 之差。长度比是一个相对数量，只有大于 1 或小于 1 的数（个别地方等于 1），没有负数。而长度变形则有正有负。长度变形为正，表示投影后长度增长；长度变形为负，表示投影后长度缩短。

（四）面积比和面积变形

面积比就是投影平面上微小面积（变形椭圆面积） dF' 与球面上相应的微小面积（微小圆面积） dF 之比。球面上微小圆面积 $dF = \pi l^2$ ，投影平面上变形椭圆面积 $dF' = \pi ab$ ，以 P 表示面积比，则

$$P = \frac{dF'}{dF} = \frac{\pi ab}{\pi l^2} = ab \quad (2-6)$$

$$\text{或} P = mnsin \quad (2-7)$$

面积比是个变量，它随着点的位置不同而变化。

用面积比可以说明面积变形。所谓面积变形就是 $(dF' - dF)$ 与 dF 之比，以 V_p 表示面积变形，则

$$V_p = \frac{dF' - dF}{dF} = \frac{dF'}{dF} - 1 = P - 1$$

由上式可知，面积变形就是面积比与 1 之差。面积比也是个相对数量，只有大于 1 或小于 1 的数，没有负数。面积变形则有正有负，面积变形为正，表示投影后面积增大；面积变形为负，表示投影后面积缩小。

（五）角度变形

投影面上任意两方向线所夹之角与球面上相应的两方向线夹角之差，称为角度变形。过一点，可以做许多方向线，每两条方向线均可组成一个角度，这些角度投影到平面上之后，往往与原来的大小不一样，而且不同的方向线所组成的角度产生的变形一般也是不一样的。从图 2-5 可以看出 $a' - a$ 与 $u' - u$ 并不相等。通常在研究角度变形时，不一一研究每一个角度的变形数量，而只研究其角度的最大变形。

在图 2-5 中， X' 、 Y' 轴的方向系表示主方向的投影，故其是正交的。图上任一方向线 OA 与主方向线的夹角为 a ，投影到平面上后，OA 投影为 $O'A'$ ，

$O'A'$ 与 X' 轴的夹角为 a' 。设 A 点的坐标为 (x, y) ， A' 点的坐标为 (x', y') ，则

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{y}{x}$$

$$\operatorname{tg}\alpha' = \frac{y'}{x'}$$

而 $\frac{y'}{y} = b, \frac{x'}{x} = a$

即 $y' = by, x' = ax$

所以 $\operatorname{tg}\alpha' = \frac{by}{ax} = \frac{b}{a} \operatorname{tg}\alpha$

将上式两边各减和加 tg 以推演得出：

$$\sin(\alpha - \alpha') = \frac{a - b}{a + b} (\sin\alpha + \sin\alpha')$$

在上式中，显然当 $(\alpha + \alpha') = 90^\circ$ 时， $\sin(\alpha - \alpha')$ 的值为最大，即 $\alpha - \alpha'$ 为最大。以 $\alpha_0 - \alpha'_0$ 代表最大值，则

$$\sin(\alpha_0 - \alpha'_0) = \frac{a - b}{a + b} \quad (2-8)$$

上式表明的是一条方向线 OA 与主方向 OX 的夹角变形情况，即方向变形。可以设想在相邻象限内，一定有一个方向线 OB 与主方向 OX 的夹角也是 a ，投影之后变为 a' 。在微小圆上 OA 与 OB 的夹角为 u ，投影后 $O'A'$ 与 $O'B'$ 的夹角为 u' ，则由图上可以看出

$$u' - u = (180^\circ - 2a') - (180^\circ - 2a) = 2(a - a')$$

因为我们要研究角度最大变形，所以用 α_0 和 α'_0 代替 a 和 a' ，以 ω 代表 $u' - u$ 的最大值，则

$$\omega = 2(\alpha_0 - \alpha'_0)$$

$$\frac{\omega}{2} = \alpha_0 - \alpha'_0$$

代入(2-8)式，则得

$$\sin \frac{\omega}{2} = \frac{a - b}{a + b} \quad (2-9)$$

若已知经线长度比 m 、纬线长度比 n 和经纬线夹角 θ ，则角度最大变形公式为：

$$\sin \frac{\omega}{2} = \sqrt{\frac{m^2 + n^2 - 2mn \sin \theta}{m^2 + n^2 + 2mn \sin \theta}} \quad (2-10)$$

三、地图投影的分类

地图投影的种类很多，为了学习和研究的方便，应对其进行分类。由于分类的标志不同，分类方法就不同。从使用地图的角度出发，需要了解下述两种分类。

(一) 按变形性质分类

按变形性质地图投影可以分为三类：等角投影、等积投影和任意投影。

1. 等角投影 投影面上某点的任意两方向线夹角与椭球面上相应两线段夹角相等, 即角度变形为零。为了保持等角条件, 必须使 $\alpha = 0$, 按公式 (2-9) 得 $a=b$ (或 $\alpha = 90^\circ$, $m=n$), 即最大长度比等于最小长度比。因此在这种投影上, 变形椭圆不是椭圆, 而是圆。在小区域内, 投影后的图形与实地是相似的, 故这类投影又叫正形投影。等角投影在一点上任何方向的长度比都相等, 但在不同地点长度比是不同的, 即不同地点上的变形椭圆大小不同, 因此从大范围来讲, 投影后的图形与实地并不相似。

由于这类投影没有角度变形, 所以多用于编制航海图、洋流图和风向图等。

2. 等积投影 在投影平面上任意一块面积与椭球面上相应的面积相等, 即面积变形等于零。为了保持等积条件, 必须使 $P=1$ 。按公式 (2-6) 可得

出 $a = \frac{1}{b}$ 或 $b = \frac{1}{a}$, 即最大长度比与最小长度比互为倒数。因此在等积投影的不同点上, 变形椭圆的长轴不断伸长, 短轴不断缩短, 形状变化较大, 角度变形比别的投影亦大。

由于这类投影可以保持面积没有变形, 故有利于在地图上进行面积对比。一般常用于绘制对面积精度要求较高的自然地图和经济地图。

3. 任意投影 在这种投影图上, 长度、面积和角度都有变形, 它既不等角又不等积。

任意投影中, 有一种比较常见的等距投影。在这种投影图上并不是不存在长度变形, 它只是在特定方向上没有长度变形。等距投影的面积变形小于等角投影, 角度变形小于等积投影。

任意投影多用于要求面积变形不大、角度变形也不大的地图, 如一般参考用图和教学地图。

图 2-6 是表示在各种变形性质不同的地图投影中变形椭圆的形状。在等角投影中, 椭球面上的小圆投影为大小不同的圆, 在等积和任意投影中, 椭球面上的小圆投影为大小不同的椭圆。通过对这些图形的分析, 可以看出, 经过投影后地图上所产生的长度变形、面积变形和角度变形, 是相互联系相互影响的。它们之间的关系是:

(1) 在等积投影上不能保持等角特性, 在等角投影上不能保持等积特性。

(2) 在任意投影上不能保持等角和等积的特性

(3) 等积投影的形状变形比较大, 等角投影的面积变形比较大。

(二) 按构成方法分类

地图投影最初建立在透视的几何原理上, 它是把椭球面直接透视到平面上, 或透视到可展开的曲面上, 如圆柱面和圆锥面。圆柱面和圆锥面虽然不是平面, 但可以展为平面。这样就得到具有几何意义的方位、圆柱和圆锥投影。随着科学的发展, 为了使地图上变形尽量减小, 或者为了使地图满足某些特定要求, 地图投影就逐渐跳出了原来借助于几何面构成投影的框子, 而产生了一系列按照数学条件构成的投影。因此, 按照构成方法, 可以把地图投影分为两大类: 几何投影和非几何投影。

1. 几何投影 几何投影是把椭球面上的经纬线网投影到几何面上, 然后将几何面展为平面而得到的。根据几何面的形状, 可以进一步分为下述几类:

(1) 方位投影以平面作为投影面，使平面与球面相切或相割，将球面上的经纬线投影到平面上而成。

(2) 圆柱投影以圆柱面作为投影面，使圆柱面与球面相切或相割，将球面上的经纬线投影到圆柱面上，然后将圆柱面展为平面而成。

(3) 圆锥投影以圆锥面作为投影面，使圆锥面与球面相切或相割，将球面上的经纬线投影到圆锥面上，然后将圆锥面展为平面而成。

在上述投影中，由于几何面与球面的关系位置不同，又分为正轴、横轴和斜轴投影。正轴方位投影，投影平面与地轴垂直；横轴方位投影，投影平面与地轴平行；斜轴方位投影，投影平面与地轴斜交（图 2-7）。正轴圆柱投影和正轴圆锥投影，圆柱和圆锥的轴与地轴重合；横轴圆柱投影和横轴圆锥投影，圆柱和圆锥的轴与地轴垂直；斜轴圆柱投影和斜轴圆锥投影，圆柱和圆锥的轴与地轴斜交（图 2-8，2-9）。

正轴投影的经纬线形状比较简单，称为标准网。正轴方位投影，纬线为同心圆，经线为同心圆的半径，经线间的夹角等于相应的经度差（图 2-10）。正轴圆柱投影，纬线为一组平行直线，经线为与纬线垂直、且间隔相等的平行直线（图 2-11）。正轴圆锥投影，纬线为同心圆弧，经线为同心圆弧的半径，经线间的夹角与相应的经差成正比（图 2-12）。

2. 非几何投影不借助于几何面，根据某些条件用数学解析法确定球面与平面之间点与点的函数关系。在这类投影中，一般按经纬线形状又分为下述几类：

(1) 伪方位投影 纬线为同心圆，中央经线为直线，其余图的经线均为对称于中央经线的曲线，且相交于纬线的共同圆心（图 2-13）。

(2) 伪圆柱投影 纬线为平行直线，中央经线为直线，其余的经线均为对称于中央经线的曲线（图 2-14）。

(3) 伪圆锥投影 纬线为同心圆弧，中央经线为直线，其余经线均为对称于中央经线的曲线（图 2-15）。

(4) 多圆锥投影 纬线为同轴圆弧，其圆心均位于中央经线上，中央经线为直线，其余的经线均为对称于中央经线的曲线（图 2-16）。

根据上述可知，按不同方法构成的投影，其经纬线网形状不同。经纬线网形状的变化，反映的是变形分布情况的差异，为了使地图上尽量减少变形，通常按照制图区域的范围、所在的地理位置及轮廓形状选用不同的投影方法。

第二节 方位投影

一、方位投影的概念和种类

(一) 方位投影构成的一般公式

方位投影是以平面作为投影面，使平面与地球表面相切或相割，将地球表面上的经纬线投地影到平面上所得到的图形（下面只介绍比较常用的切方位投影。为了方便起见，将地球视作半径为 R 的球体）。由于球面与投影平面相切位置的不同，分为正轴（切于地球极点，设以 φ_0 表示切点的纬度， $\varphi_0=90^\circ$ ）、横轴（切于赤道， $\varphi_0=0^\circ$ ）和斜轴（切点既不在地球极点，也不在赤道上，即 $0^\circ < \varphi_0 < 90^\circ$ ）投影。

正轴方位投影，经线为从一点向外放射的直线束，夹角相等，而且等于相应的经度差；纬线是以经线的交点为圆心的同心圆。横轴方位投影，除经过切点的经线和赤道投影为互相垂直的直线外，其余的经纬线均为曲线。斜轴方位投影，除经过切点的经线投影为直线外，其余的经纬线均为曲线。

在正轴投影中，因为经线和纬线互相直交，所以经纬线方向和主方向一致。在横轴和斜轴投影中，一般讲经纬线方向不互相直交，因此经纬线方向不是主方向。那么什么方向是其主方向呢？为此，需要介绍一种球面坐标系。

地理坐标系是球面坐标系的一种，它是以地轴为极轴。如果另选一个极轴，如图 2-17(b) 中的 PP_1 ，通过 PP_1 和球心的平面与地球表面相交的大圆，称为垂直圈。垂直于垂直圈的各圆称为等高圈。以 P 为极点，以垂直圈和等高圈为坐标网，所形成的坐标系叫做球面坐标系。球面坐标系是用天顶距 Z （由一点到新极 P 的大圆弧距）和方位角（该弧与极轴——过新极的经线的夹角）来表示地球面上一点的位置（图 2-17(a)）。很明显，球面坐标系中的垂直圈和等高圈相当于地理坐标系中的经线圈和纬线圈，故在方位投影中，若使投影平面切于球面坐标系的极点上，则类似正轴方位投影那样，垂直圈投影为从一点向外放射的直线束，夹角相等，而且等于相应的方位角之差；等高圈投影为以垂直圈的交点为圆心的同心圆。因此，在横轴和斜轴方位投影上，垂直圈与等高圈互相垂直，垂直圈与等高圈的方向与主方向一致。

地理坐标系中一点的经度和纬度是由大地测量方法推算出来的。而在球面坐标系中该点的天顶距和方位角是不知道的。故在横轴和斜轴方位投影中，采用球面坐标系，必须将一点的地理坐标（ φ, λ ）换算成该点的球面坐标（ Z, α ），才能进行点的平面极坐标或平面直角坐标的计算。如图 2-17(a)，设球面坐标极 P 的地理坐标为 φ_0, λ_0 ， A 点的地理坐标为（ φ, λ ），其球面坐标为 Z, α ，则由球面三角形 NAP ，可以求出它们的关系式为：

$$\cos Z = \sin \varphi \sin \varphi_0 + \cos \varphi \cos \varphi_0 \cos (\lambda - \lambda_0)$$

$$\operatorname{ctg} \alpha = \operatorname{tg} \varphi \cos \varphi_0 \operatorname{csc} (\lambda - \lambda_0) - \sin \varphi_0 \operatorname{ctg} (\lambda - \lambda_0)$$

将正轴、横轴和斜轴方位投影加以比较，不难看出，正轴和横轴不过是斜轴中的特殊情况。因此，只要研究斜轴方位投影，就自然可以了解正轴和横轴投影了。

设地球与投影平面切于 P (图 2-18), P 为球面坐标极, A 为球面上任意点, PA 为垂直圈。球面上点 A 投影在平面上为 A', PA 投影为 P'A'。PA 与 PN 的夹角为 δ , 其投影为 ψ 。前面已经讲过, δ 与 ψ 是相等的, 即 $\delta = \psi$ 。设 $P'A' = \rho$, ρ 的长短随 A 点到 P 的大圆弧距 Z 的变化而变化, 故 ρ 是 Z 的函数, 即 $\rho = f(Z)$ 。因此, 方位投影的极坐标公式可写为:

$$\left. \begin{aligned} \rho &= f(Z) \\ \delta &= \psi \end{aligned} \right\} \quad (2-11)$$

如用平面直角坐标表示, 则为

$$\begin{aligned} x &= \rho \cos \delta \\ y &= \rho \sin \delta \end{aligned}$$

根据上述可知, 方位投影主要是决定 ρ 的函数形式问题。由于决定 ρ 函数形式的方法不同, 方位投影有很多种。

球面坐标极的位置可根据制图区域的情况选择。如果球面坐标极与地理极重合, 则为正轴方位投影, $\delta = 90^\circ - \varphi$, 等高圈与纬圈重合, 垂直圈与经线重合。若球面坐标极位于赤道上, 则为横轴方位投影。

关于 Z 和 ρ , 可按前面所提到的由地理坐标换算为球面坐标的公式来决定。

(二) 方位投影的变形分布规律

如图 2-19, 设 A'B'C'D' 为球面上 A、B、C、D 的投影, 垂直圈 PA 与 PD 的夹角为 d , 弧 PB=z, 在投影平面上 $A'P'D'=d$, $P'B'=\rho$, 若以 μ_1 示垂直圈的长度比, 以 μ_2 示等高圈的长度比, 由长度比的定义, 得

$$\mu_1 = \frac{A'B'}{AB}$$

$$\mu_2 = \frac{B'C'}{BC}$$

但 $A'B'=d$, $B'C'=d$, AB 和 BC 为球面上的弧长, 由图 2-20 可以看出

$$AB = Rdz$$

$$BC = rd\psi = R \sin z d\psi$$

$$\text{所以 } \mu_1 = \frac{d\rho}{Rdz} \quad (2-12)$$

$$\mu_2 = \frac{\rho}{R \sin z} \quad (2-13)$$

由于垂直圈和等高圈投影后成正交, 故其长度比 μ_1 、 μ_2 为最大、最小长度比, 因而面积比和角度最大变形公式为:

$$P = \mu_1 \mu_2 = \frac{P d\rho}{R^2 \sin z dz} \quad (2-14)$$

$$\sin \frac{\omega}{2} = \left| \frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu_1 + \mu_2} \right| \quad (2-15)$$

当 $\mu_1 > \mu_2$ 时, $\sin \frac{\omega}{2} = \left| \frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu_1 + \mu_2} \right|$, 若 $\mu_2 > \mu_1$, 则 $\sin \frac{\omega}{2} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_2 + \mu_1}$ 。

从公式(2-12)至(2-15)可以看出,方位投影的变形公式都是 z 的函数,如果 z 不变,则变图2-21切方位投影等变形线分布形值不变。这就是说,在同一等高圈上各点的各种变形数值均各自相等,等变形线(变形值相等的各点连线)是与等高圈一致的同心圆。

图2-21上同心圆是等变形线,箭头所指方向为变形增加的方向。投影中心是没有变形的点,从投影中心向四周变形逐渐增大。

方位投影的中心,也就是投影平面与地球相切的点,没有变形;过投影中心球面上的大圆弧投影为直线,而且从中心到任何点的方位角没有变形。因此,这种投影被称为方位投影。

由于制图时,总是希望地图上变形尽可能的小,而且分布比较均匀,所以一般要求等变形线最好与制图区域轮廓一致。据此,方位投影适合制作圆形区域的地图。从区域所在的地理位置来说,两极地区宜采用正轴方位投影;赤道附近地区宜采用横轴方位投影;其他地区则采用斜轴方位投影。

(三) 方位投影的种类

方位投影可以分为透视方位投影和非透视方位投影两大类。

透视方位投影的视点位于垂直于投影面的地球直径或其延长线上,由于视点位置不同,而有不同的透视方位投影,常见的有以下几种。

中心射方位投影(球心投影) 位于地球中心,按变形性质来说,属任意投影。

平射方位投影(球面投影) 位于地球表面,属等角投影。

正射方位投影 位于无限远,属任意投影。

非透视方位投影是按照一定的条件构成的。在这类投影中有等距方位投影和等积方位投影。

以上所述系方位投影总的概念。为了进一步理解方位投影的特性和用途,现举几种在地图上常用的方位投影加以说明。

二、平射方位投影

平射方位投影(等角方位投影)是一种透视方位投影,视点位于地球表面,故又称球面投影。平射方位投影的等高圈半径 是根据视点在球面这个条件决定的。如图2-22,投影平面与地球切于 P 点,视点在 P_1 ,球面上任意点 A ,其天顶距为 Z ,投影到平面上为 A' , $PA' =$

$$\rho = 2R \operatorname{tg} \frac{Z}{2}$$

因此,可得出平射方位投影的极坐标公式为:

$$\rho = 2R \operatorname{tg} \frac{Z}{2}$$

$$\delta = \psi$$

如果是正轴平射方位投影,则 $=$, $Z=90^\circ - \varphi$,其公式为:

$$\rho = 2R \operatorname{tg} \frac{90^\circ - \varphi}{2} \quad (\rho \text{ 为纬线半径})$$

$$= \quad (\quad \text{ 为经线夹角})$$

用正轴平射方位投影绘制北（南）半球图时，先画一圆，它的半径等于按比例缩小了的地球直径，这个圆代表赤道。然后引两条互相垂直的直径，并按规定的经线间隔将圆周等分，各等分点与圆心的连线就是经线。以经线交点为圆心，按纬线半径公式所求得的数值为半径画圆（计算纬线半径时，要将地球半径 R 按比例缩小），即为各条纬线。

如果是绘制横轴和斜轴投影，则须按下列步骤进行：

- 1) 确定球面坐标极，其地理坐标为 φ_0, λ_0 ；
- 2) 将各经纬线交叉点的地理坐标 (φ, λ) 换算成球面坐标 (Z, ω) ；
- 3) 计算平面极坐标 (ρ, θ) 和平面直角坐标 (x, y) ；
- 4) 连接相同经度的各点、相同纬度的各点构成经纬线网。

现在来讨论这种投影的变形。将 $\rho = 2R \operatorname{tg} \frac{Z}{2}$ 代入 (2-12)、(2-13)

两式，可得

$$\mu_1 = \frac{d \operatorname{tg} \frac{Z}{2}}{R dZ} = \sec^2 \frac{Z}{2}$$

$$\mu_2 = \frac{2R \operatorname{tg} \frac{Z}{2}}{R \sin Z} = \frac{2R \operatorname{tg} \frac{Z}{2}}{2R \sin \frac{Z}{2}} = \sec^2 \frac{Z}{2}$$

即 $\mu_1 = \mu_2$ ，因此这种投影具有等角性质，故又称等角方位投影。

$$\text{面积比 } P = \mu_1 \mu_2 = \sec^4 \frac{Z}{2}$$

$$\text{角度最大变形 } \sin \frac{\omega}{2} = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu_1 + \mu_2} \quad \omega = 0$$

根据上述变形公式计算出平射方位投影的各种变形值，列于表 2-1 中。

表 2-1 平射方位投影的各种变形值表

Z	$\mu_1 = \mu_2$	P	ω
0°	1.000	1.000	0°
15°	1.017	1.035	0°
30°	1.072	1.149	0°
45°	1.172	1.373	0°
60°	1.333	1.778	0°
75°	1.589	2.524	0°
90°	2.000	4.000	0°

由表 2-1 看出，这种投影的中心附近变形小，离开中心点愈远，变形愈大。图 2-23 是用这个投影绘制的东半球图。图上的面积等变形线呈同心圆状分布。

因平射方位投影是等角的，曾被欧洲一些国家用作地形图的投影。美国

的“通用极球面投影”（Universal Polar Stereographic Projection，简称“UPS”投影），实际上就是正轴等角割方位投影，它是视地球为椭球体，投影中心的长度比为 0.994，割线的纬度约为 81° ， 80° 纬线的长度比为 1.0016。该投影用于两极地区的地形图。

三、等积方位投影

等积方位投影是要使投影图上的面积和实际地面上相应的面积相等，也就是以等积条件决定 $\rho = f(Z)$ 函数形式的一种方位投影。按公式 (2-14)，应有

$$P = \frac{\rho d\rho}{R^2 \sin Z dZ} = 1$$

即 $\rho d\rho = R^2 \sin Z dZ$

两边积分得 $\frac{\rho^2}{2} = k - R^2 \cos Z$ (k为积分常数)

在上式中，若 $Z=0$ ，则 $\rho=0$ ，于是 $k=R^2$ 。

$$\text{所以 } \rho^2 = 2(R^2 - R^2 \cos Z) = 2R^2(1 - \cos Z) = 2R^2 \cdot 2 \sin^2 \frac{Z}{2} = 4R^2 \sin^2 \frac{Z}{2}$$

$$\text{则 } \rho = 2R \sin \frac{Z}{2}$$

等积方位投影的极坐标公式为：

$$\rho = 2R \sin \frac{Z}{2}$$

$$\delta = \psi$$

如系正轴投影，则 $\delta = \psi$ ， $Z=90^\circ - \varphi$ 。

等积方位投影的变形公式为：

$$\mu_1 = \frac{d\rho}{R dZ} = -\frac{d(2R \sin \frac{Z}{2})}{R dZ} = -\cos \frac{Z}{2}$$

$$\mu_2 = \frac{\rho}{R \sin Z} = \frac{2R \sin \frac{Z}{2}}{R \sin Z} = \sec \frac{Z}{2}$$

$$P = \mu_1 \mu_2 = 1$$

$$\sin \frac{\omega}{2} = \frac{\sec \frac{Z}{2} - \cos \frac{Z}{2}}{\sec \frac{Z}{2} + \cos \frac{Z}{2}} \left(\ominus \sec \frac{Z}{2} > \cos \frac{Z}{2} \right)$$

根据上述变形公式，计算出本投影的各种变形值，列于表 2-2 中。

由表 2-2 看出，这种投影沿垂直圈方向长度比不断缩小，沿等高圈方向长度比不断增大；在一点上，垂直圈长度比与等高圈长度比互为倒数。投影中心附近变形小，离中心点愈远，变形愈大。图 2-24 是用斜轴等积方位投影绘制的陆半球图。图上表示出角度最大变形，其等变形线呈同心圆状分布。

表 2-2 等积方位投影各种变形值表

Z	μ_1	μ_2	P	
0°	1.000	1.000	1.000	0° 00'
15°	0.991	1.009	1.000	0° 59'
30°	0.966	1.035	1.000	3° 58'
45°	0.924	1.082	1.000	9° 04'
60°	0.866	1.155	1.000	16° 26'
75°	0.793	1.260	1.000	26° 17'
90°	0.707	1.414	1.000	38° 57'

等积方位投影是目前小比例尺地图上应用比较广泛的一种投影，它的横轴投影主要用于编制东、西半球图（ $\varphi_0=0^\circ$ ， $\lambda_0=+70^\circ$ ； $\varphi_0=0^\circ$ ， $\lambda_0=-110^\circ$ ），非洲地图（ $\varphi_0=0^\circ$ ， $\lambda_0=+20^\circ$ ）。斜轴投影主要用于编制水、陆半球图（ $\varphi_0=-45^\circ$ ， $\lambda_0=180^\circ$ ； $\varphi_0=+45^\circ$ ， $\lambda_0=0^\circ$ ），亚洲地图（ $\varphi_0=40^\circ$ ， $\lambda_0=+90^\circ$ ），欧洲地图（ $\varphi_0=52^\circ 30'$ ， $\lambda_0=+20^\circ$ ），北美洲地图（ $\varphi_0=45^\circ$ ， $\lambda_0=-100^\circ$ ），拉丁美洲地图（ $\varphi_0=-10^\circ$ ， $\lambda_0=-70^\circ$ ），南美洲地图（ $\varphi_0=-10^\circ$ ， $\lambda_0=170^\circ$ ）。斜轴投影也曾用于编制中华人民共和国全图（包括南海诸岛），其投影中心为 $\varphi_0=35^\circ$ ， $\lambda_0=105^\circ$ 。

四、等距方位投影

等距方位投影是使垂直圈投影后保持长度没有变形，即垂直圈方向长度比等于 1 的一种方位投影。按照公式（2-12），应有

$$\mu_1 = \frac{d\rho}{RdZ} = 1$$

$$\text{即 } d\rho = RdZ$$

两边积分得 $\rho = RZ + k$ （ k 为积分常数）

若 $Z=0$ ，则 $\rho=0$ ，于是 $k=0$ ，所以

$$\rho = RZ$$

等距方位投影的极坐标公式为

$$\rho = RZ$$

$$=$$

如系正轴投影，则 $\rho = RZ$ ， $Z=90^\circ - \varphi$

等距方位投影的变形公式为

$$\mu_1 = 1$$

$$\mu_2 = \frac{Z}{\sin Z}$$

$$P = \frac{Z}{\sin Z}$$

$$\sin \frac{\omega}{2} = \frac{\frac{Z}{\sin Z} - 1}{\frac{Z}{\sin Z} + 1} = \frac{Z - \sin Z}{Z + \sin Z} (\ominus Z > \sin Z, \mu_2 > \mu_1)$$

根据上述变形公式计算出本投影的各种变形值，列于表 2-3 中。

表 2-3 等距方位投影各种变形值表

Z	μ_1	μ_2	P	
0°	1	1.000	1.000	0° 00′
15°	1	1.012	1.012	0° 39′
30°	1	1.047	1.047	2° 39′
45°	1	1.111	1.111	6° 01′
60°	1	1.209	1.209	10° 52′
75°	1	1.355	1.355	17° 21′
90°	1	1.571	1.571	25° 40′

由表 2-3 看出，这种投影的变形变化规律和前两种投影一样，投影中心附近变形小，离中心点愈远，变形愈大。不过这种投影变形比较适中，它的面积变形小于等角投影，角度变形小于等积投影。这种投影既不等角又不等积，属任意投影。

等距方位投影多用来编制北冰洋和南极洲地图，也可用来编制半球图(图 2-25)。

由于等距方位投影由投影中心到任意点的直线是大圆，并保持其方位角和距离都正确，所以用来编制供确定由某地(将它作为投影中心)至任何一地的距离和方位角的地图(如航行图)是十分有用的。

五、几种方位投影变形性质的图形判别

方位投影经纬线形式具有共同的特征。正轴投影，其经线为放射状直线，夹角相等；纬线为以经线的交点为圆心的同心圆。横轴投影，赤道和中央经线为互相垂直的直线，其他经纬线均为曲线。斜轴投影，除中央经线为直线外，其余的经纬线均为曲线。但是由于各种方位投影的条件不同，垂直圈和等高圈长度比不同，因此其变形性质就不相同。不同变形性质的投影适合于不同的用途。一般，在地图上应该注明投影名称。如果地图上没有注明投影名称，则可以根据中央经线上纬线间隔的变化判别它们的变形性质。

等高圈在方位投影上表现为同心圆，其长度比从图形不易观察出来，但垂直圈是半径方向，表现为直线；在正轴投影上，为经线；在横轴投影上，

为赤道和中央经线；在斜轴投影上，为中央经线。垂直圈的长度比在图形上是有反映的，它表现为中央经线上纬线间隔的变化，根据表 2-4 可以得出以下结论：

表 2-4 三种方位投影的纬线半径和纬线间隔变化表（设 $R=1$ ）

Z	等角方位投影		等积方位投影		等距方位投影	
	纬线半径	纬线间隔	纬线半径	纬线间隔	纬线半径	纬线间隔
0	0.0000		0.0000		0.0000	
		0.1750		0.1743		0.1745
10	0.1750		0.1743		0.1745	
		0.1777		0.1730		0.1745
20	0.3527		0.3473		0.3491	
		0.1832		0.1703		0.1745
30	0.5359		0.5176		0.5236	
		0.1920		0.1664		0.1745
40	0.7279		0.6840		0.6981	
		0.2047		0.1612		0.1745
50	0.9326		0.8452		0.8726	
		0.2221		0.1548		0.1745
60	1.1547		1.0000		1.0472	
		0.2457		0.1472		0.1745
70	1.4004		1.1472		1.2217	
		0.2778		0.1384		0.1745
80	1.6782		1.2856		1.3962	
		0.3218		0.1286		0.1745
90	2.0000		1.4142		1.5707	

等角方位投影，在中央经线上，纬线间隔从投影中心向外逐渐扩大， $80^\circ - 90^\circ$ 相当于 $0^\circ - 10^\circ$ 的 1.8 倍；等积方位投影，在中央经线上，纬线间隔从投影中心向外逐渐缩小， $80^\circ - 90^\circ$ 相当于 $0^\circ - 10^\circ$ 的 $7/10$ ；等距方位投影，在中央经线上纬线间隔相等（图 2-26）。

第三节 圆柱投影、伪圆柱投影

一、圆柱投影的概念和种类

(一) 圆柱投影构成的一般公式

圆柱投影是假定以圆柱面作为投影面，使圆柱面与地球相切或相割，将球面上的经纬线投影到圆柱面上，然后把圆柱面沿一条母线剪开展为平面而成。当圆柱面与地球相切时，称为切圆柱投影，当圆柱面与地球相割时，称为割圆柱投影。

图 2-27，假定圆柱与地球相切，视点位于地球中心，纬线投影在圆柱面上仍为圆，不同的纬线投影为不同的圆，这些圆都平行于赤道。经线投影为垂直于赤道的平行直线。各经线间的间隔与赤道上相应的弧长相等。如果将圆柱面沿一条母线剪开展成平面，则纬线为平行直线；经线为与纬线正交，且间隔相等的平行直线。

按圆柱与地球相对位置的不同，圆柱投影有正轴、横轴和斜轴三种。正轴圆柱投影的纬线为平行直线，经线为与纬线垂直的平行直线，经线间的间隔与相应的经度差成正比。在一般情况下，横轴和斜轴中的经纬线投影为曲线，只有通过球面坐标极点的经线投影为直线。

下面讨论正轴圆柱投影。如图 2-28，设某一经线投影为 X 轴，赤道投影为 Y 轴，球面上的点 A (φ, λ) 投影在平面上为 A' (x, y)，由于纬线投影为平行于赤道的直线，故 x 坐标仅为纬度的函数，即 $x=f(\varphi)$ ；经线投影为垂直于赤道的直线，经线间的间隔与相应的经度差成正比，故 y 坐标与经差成正比，即 $y=c\lambda$ (c 为常数)。因此，正轴圆柱投影的直角坐标公式为：

$$\begin{cases} x = f(\varphi) \\ y = c\lambda \end{cases} \quad (2-16)$$

由此看来，圆柱投影主要是决定 x 的函数形式问题。由于决定 x 函数形式的方法不同，圆柱投影亦有多种。

(二) 圆柱投影的变形分布规律

在正轴圆柱投影中，经纬线是直交的，故经纬线方向的长度比就是最大、最小长度比，即 m、n 相当于 a、b。

由图 2-28 可以看出，地球面上经线微分弧长 $AB=Rd\varphi$ ，纬线微分弧长 $AD=rd\lambda=R\cos\varphi d\lambda$ ；在投影平面上相应的经线微分线段 $A'B'=dx$ ，纬线微分线段 $A'D'=dy$ 。根据长度比定义，则

$$m = \frac{A'B'}{AB} = \frac{dx}{Rd\varphi} \quad (2-17)$$

$$n = \frac{A'D'}{AD} = \frac{dy}{R\cos\varphi d\lambda} = \frac{cd\lambda}{R\cos\varphi d\lambda} = \frac{c}{R\cos\varphi} \quad (2-18)$$

$$P = mn \quad (2-19)$$

$$\sin \frac{\omega}{2} = \left| \frac{m-n}{m+n} \right| \quad (2-20)$$

在纬线长度比公式中的常数 c，可由切圆柱或割圆柱的条件来决定。如

果是切圆柱，则圆柱与地球切于赤道，赤道的长度比等于 1，以 φ_0 代表赤道的纬度， n_0 表示赤道长度比，则 $n_0 = \frac{c}{R \cos \varphi_0} = 1$ ，所以 $c = R \cos \varphi_0 = R$ 。如果是割圆柱，圆柱必与地球相割于与赤道对称的两条纬线上，这两条相割纬线长度比等于 1，设割线的纬度为 $\pm \varphi_k$ ，则 $n_k = \frac{c}{R \cos \varphi_k} = 1$ ，故 $c = R \cos \varphi_k$ 。

由公式 (2-17) 到 (2-20) 可以看出，各种变形均是纬度 φ 的函数，与经度无关。也就是说，圆柱投影的各种变形是随纬度的变化而变化，在同一条纬线上各种变形数值各自相等，因此等变形线与纬线平行，呈平行线状分布。在切圆柱投影上，赤道是一条没有变形的线（没有误差的线），称为标准纬线，从赤道向南、北方向变形逐渐增大（图 2-29）。在割圆柱投影上，两条相割的纬线（ $\pm \varphi_k$ ）是标准纬线，在两条割线之间的纬线长度比小于 1，两条割线以外的纬线长度比大于 1，离开标准纬线愈远，变形愈大。图 2-29 中箭头表示变形增加的方向。圆柱投影变形的变化特征是以赤道为对称轴，南北方向同名纬线上的变形数量相等。

根据圆柱投影变形分布规律，这种投影适宜于制作赤道附近和赤道两侧沿东西方向延伸地区的地图。

（三）圆柱投影的种类

圆柱投影按其变形性质可以分为等角圆柱投影、等积圆柱投影和任意圆柱投影（其中包括等距圆柱投影）。无论哪一种都有切圆柱和割圆柱之分。在圆柱投影中应用比较广泛的是等角圆柱投影。

二、等角正轴圆柱投影

等角圆柱投影是按等角条件决定 $x=f(\varphi)$ 函数形式的。等角正轴圆柱投影由荷兰制图学家墨卡托 (Mercator Gerardus, 1512—1594) 于 1569 年所创，故又名墨卡托投影。

根据等角条件和公式 (2-17)、(2-18)，得

$$m = n = \frac{dx}{R d\varphi} = \frac{c}{R \cos \varphi}$$

当是切圆柱时， $c = R$ ，则

$$\frac{dx}{R d\varphi} = \frac{1}{\cos \varphi}$$

$$dx = R \sec \varphi d\varphi$$

两边积分

$$x = R \int \sec \varphi d\varphi$$

$$x = R \ln \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) + k \quad (k \text{ 为积分常数})$$

当 $\varphi = 0^\circ$ 时， $x = 0$ ，故 $k = 0$

所以 $x = R \operatorname{Intg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)$

$\operatorname{Intg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)$ 是自然对数，即以 2.71828 为底的对数。若用以 10 为底的常用对数，则须将 $\operatorname{Intg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)$ 乘以常数 $\frac{1}{\operatorname{mod}} = 0.43429$ 。即

$$x = \frac{R}{0.43429} \operatorname{Intg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) \quad (2-21)$$

等角正轴切圆柱投影的直角坐标公式为：

$$\begin{cases} x = \frac{R}{0.43429} \operatorname{Intg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) \\ y = R\lambda \end{cases}$$

等角正轴切圆柱投影的变形公式为：

$$\begin{aligned} m = n &= \sec\varphi \\ P = mn &= \sec^2\varphi \\ \sin\frac{\omega}{2} &= \frac{m-n}{m+n} \quad \omega = 0 \end{aligned}$$

根据各项变形公式计算出的各种数值列于表 2-5 中。

从表 2-5 可以看出，在等角正轴切圆柱投影中，赤道没有变形；随着纬度的增高，变形逐渐增大。

表 2-5 等角正轴切圆柱投影 x 坐标值和各种变形数值表

φ	x (公里)	m=n	P	ω
0°	0.000	1.000	1.000	0°
10°	1111.495	1.015	1.031	0°
20°	2258.464	1.064	1.132	0°
30°	3482.251	1.155	1.333	0°
40°	4837.557	1.304	1.699	0°
50°	6413.638	1.553	2.411	0°
60°	8362.846	2.000	4.000	0°
70°	11028.706	2.915	8.498	0°
80°	15496.839	5.740	32.948	0°
90°	—	—	—	—

如果采用割圆柱，其变形性质与切圆柱相同，不过变形数值、变化规律不同。相割的两条纬线没有变形，是两条标准纬线。在两条标准纬线之间是负向变形，离开标准纬线愈远，变形愈大，赤道上负向变形最大。在两条标准纬线以外是正向变形，也是离开标准纬线愈远，变形愈大。表 2-6 为割于纬度 $\pm 30^\circ$ 两条纬线的等角圆柱投影变形数值表。

表 2-6 等角割圆柱投影 (割线纬度为 $\pm 30^\circ$) 变形数值表

φ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
m=n	0.867	0.880	0.922	1.000	1.128	1.346	1.729	2.527	4.975	
P	0.751	0.774	0.850	1.000	1.272	1.811	2.990	6.384	24.753	
	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	—

根据上述变形分布情况，切圆柱等角投影适用于作赤道附近地区的地图，割圆柱投影适用于作和赤道对称的沿纬线方向延伸地区的地图。此外，也可用这种投影制作时区图、卫星轨迹图等。

墨卡托投影没有角度变形，且经线为平行直线，所以等角航线（或称斜航线）表现为直线（图 2-30）。所谓等角航线，就是地球表面上与经线相交成相同角度的曲线。在地球表面上除经线和纬线以外的等角航线，都是以极点为渐近点的螺旋曲线（图 2-31）。

等角航线在图上表现为直线。这一特性对航海具有很重要的意义，因为根据这个特性，就可以在图上将航行的起点和终点连一直线，用量角器测其与经线的夹角，如果轮船从起点开始一直保持这个角度航行，便可以到达终点。但是，等角航线不是两点间的最短距离。地球面上两点间最短距离是通过两点间的大圆弧（又称大圆航线或正航线）。如图 2-30 所示，从非洲南端的好望角到澳大利亚南端的墨尔本，两点间的直线是等角航线，这个直线的航程是 6020 海里。两点间用粗虚线表示的曲线是大圆航线，沿大圆航线的航程是 5450 海里，它比等角航线短 570 海里（约 1000 公里）。因而在进行远洋航行时，完全沿着等角航线航行是不经济的。通常是先在起点和终点之间绘出大圆航线，然后把大圆航线分成若干段，将每两个相邻的点连成直线，这些直线就是等角航线。船只航行时，在每段航线上是沿着等角航线航行的，但是就整个航程来说，是接近于大圆航线的，既经济又方便。

由于只有等角圆柱投影具有将等角航线表现为直线的特性，所以它在编制航海图中被广泛应用。例如我国的航海地图采用这种投影。苏联出版的大型海图集中绝大多数图幅都采用这种投影。此外，由于这种投影在低纬度地区变形小，而且经纬线网格形状简单，所以常用于编制赤道附近地区的地图。例如中国地图出版社出版的一套分国地图中沿赤道的分区地图采用了这种投影。世界交通图在纬度 $\pm 60^\circ$ 以内也采用的是这种投影。

三、圆柱投影变形性质的分析及图形判别

凡是正轴圆柱投影，其经纬线形式具有共同的特征：经线为间隔相等的平行直线，纬线为与经线垂直的平行直线。按变形性质，圆柱投影可以有等角、等积、等距及其他任意投影。但不论其变形性质如何，只要是切圆柱，其赤道就是标准纬线，即赤道的长度比等于 1，其他纬线长度比均大于 1，离开赤道愈远，纬线长度比愈大。只要是割圆柱，相割的两条纬线（ $\pm \varphi_k$ ）为标准纬线，其长度比为 1；在两条割线之内，纬线长度比小于 1，离开标准纬

线愈远，其长度比愈小，赤道长度比最小；在两条割线以外，纬线长度比大于 1，离开标准纬线愈远，其长度比愈大。由于纬线长度比的变化是固定的，因此为了使圆柱投影具有不同的变形性质，就只能改变经线长度比来满足所要求的条件。例如，等角圆柱投影，为了保持等角条件，必须使经线长度比等于纬线长度比，即 $m=n$ 。等积圆柱投影，为了保持等积条件，必须使经线长度比与纬线长度比互为倒数，即 $m=\frac{1}{n}$ 。等距圆柱投影，为了保持等距条件，必须使经线长度比等于 1，即 $m=1$ 。其他的任意投影，也只能是经线长度比发生变化，例如透视圆柱投影，其经线长度比的变化系根据视点的位置决定。表 2-7 表示切圆柱与割圆柱投影中经纬线长度比随投影性质变化的情况，表中 n_0 、 m_0 表示赤道上纬线长度比和经线长度比。因为变形的变化对称于赤道，故只列出北半球的变形变化情况。

表 2-7 圆柱投影经纬线长度比的变化情况

标准纬线	等角投影		等积投影		等距投影	
	n	m	n	m	n	m
切圆柱 ($\varphi_0=0^\circ$)	$n > 1$ $n_0=1$	$m > 1$ $m_0=1$	$n > 1$ $n_0=1$	$m < 1$ $m_0=1$	$n > 1$ $n_0=1$	$m=1$ $m_0=1$
割圆柱 (割于 \pm)	$n > 1$ $n_k=1$ $n_0 < 1$	$m > 1$ $m_k=1$ $m_0 < 1$	$n > 1$ $n_k=1$ $n_0 < 1$	$m < 1$ $m_k=1$ $m_0 > 1$	$n > 1$ $n_k=1$ $n_0 < 1$	$m=1$ $m_k=1$ $m_0=1$

由于圆柱投影经线为间隔相等的平行直线，所以用目视不易直接判断是切圆柱还是割圆柱，但是只要用直尺量测任一条纬线上两条经线间隔的长度，乘以地图比例尺分母，就可以确定哪一条纬线是标准纬线。例如在图上量得经差 30° 的两条经线间隔为 33.4mm，地图比例尺为 $1:100000000$ ，则经差 30° 的纬线长为 $33.4\text{mm} \times 100000000 = 3340\text{km}$ 。此数值与赤道上经差 30° 的长度 3339.6km 极为接近，因此，可以确定此图的标准纬线是赤道，即为切圆柱投影。

从表 2-7 可以明显地看出，由于投影的变形性质不同，经线长度比的变化不同，经线长度比的变化反映在图形上就是纬线间隔的变化。等角投影，经线长度比从赤道向两极逐渐增大，因此它的纬线间隔从赤道向两极是逐渐增大的（图 2-32）。等积投影，经线长度比从赤道向两极逐渐缩小，故它的纬线间隔从赤道向两极是逐渐缩小的。等距投影的经线长度比不变，所以纬线间隔是相等的。根据上述，可以从图形的纬线间隔变化来推断其投影变形性质：如果纬线间隔相等，则为等距投影；如果纬线间隔从赤道向两极不断扩大，则有可能是等角的，也可能是其他任意圆柱投影。一般来说，等角投影因其保持了经线长度比与纬线长度比相等，所以纬线间隔从赤道向两极扩大的比较显著，极地不能表示出来。若是切圆柱，则纬度 50° — 60° 两条纬线的间隔约等于纬度 0° — 10° 两条纬线间隔的 1.7 倍。此外，还可以结合地图内容进行判断，如果是航海图或是交通图，因为要求方向正确，一般多用等角投影；任意圆柱投影常用来编制世界时区图。等积圆柱投影，纬线间

隔从赤道向两极逐渐缩小，这种投影现在很少应用。

四、等角横切圆柱投影——高斯-克吕格投影

等角横切圆柱投影是以圆柱作为投影面，使地球椭球体的某一条经线与圆柱相切，然后按照等角条件，将中央经线东西两侧各一定范围内的地区投影到圆柱面上，再将其展成平面而得（图 2-33）。由于这个投影是由德国数学家、物理学家、天文学家高斯（Oarl Friedrich Gauss, 1777—1855）于 19 世纪 20 年代拟定，后经德国大地测量学家克吕格（Johannes Krüger, 1857—1923）于 1912 年对投影公式加以补充，故称为高斯-克吕格投影。

高斯-克吕格投影的中央经线和赤道为互相垂直的直线，其他经线均为凹向并对称于中央经线的曲线，其他纬线均为以赤道为对称轴的向两极弯曲的曲线，经纬线成直角相交。在这个投影上，角度没有变形。中央经线长度比等于 1，没有长度变形。其余经线长度比均大于 1，长度变形为正，距中央经线愈远变形愈大，最大变形在边缘经线与赤道的交点上；面积变形也是距中央经线愈远，变形愈大。为了保证地图的精度，采用分带投影方法，即将投影范围的东西界加以限制，使其变形不超过一定的限度，这样把许多带结合起来，可成为整个区域的投影。表 2-8 为高斯-克吕格投影 6° 带内长度变形数值。

从表中可以看出：在同一条经线上，长度变形随纬度的降低而增大，在赤道处为最大；在同一条纬线上，长度变形随经差的增加而增大，且增长速度较快。在 6° 带范围内，长度最大变形不超过 0.14%。

我国规定 1:1 万、1:2.5 万、1:5 万、1:10 万、1:25 万、1:50 万比例尺地形图，均采用高斯-克吕格投影。1:2.5 万—1:50 万比例尺地形图采用经差 6° 分带，1:1 万比例尺地形图采用经差 3° 分带。

表 2-8 高斯-克吕格投影 6° 带内长度变形表

纬 度	长 度 变 形			
	经 差			
	0°	1°	2°	3°
90°	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
80°	0.00000	0.00000	0.00002	0.00004
70°	0.00000	0.00002	0.00007	0.00016
60°	0.00000	0.00004	0.00015	0.00034
50°	0.00000	0.00006	0.00025	0.00057
40°	0.00000	0.00009	0.00036	0.00081
30°	0.00000	0.00012	0.00046	0.00103
20°	0.00000	0.00013	0.00054	0.00121
10°	0.00000	0.00014	0.00059	0.00134
0°	0.00000	0.00015	0.00061	0.00138

6°分带是从0°子午线起，自西向东每隔经差6°为一投影带，全球分为60带，各带的带号用自然序数1, 2, 3, ...60表示。即以东经0°—6°为第1带，其中央经线为3°E，东经6°—12°为第2带，其中央经线为9°E，其余类推。我国领土位于东经72°—136°之间，共包括11个投影带，即13—23带。

3°分带，是从东经1°30'的经线开始。每隔3°为一带，全球划分为120个投影带。图2-34表示出6°带与3°带的中央经线与带号的关系。图2-346°带和3°带中央经线与带号的关系。

在高斯-克吕格投影上，规定以中央经线为X轴，赤道为Y轴，两轴的交点为坐标原点。X坐标值在赤道以北为正，以南为负；Y坐标值在中央经线以东为正，以西为负。我国在北半球，X坐标皆为正值。Y坐标在中央经线以西为负值，运用起来很不方便。为了避免Y坐标出现负值，将各带的坐标纵轴西移500公里，即将所有Y值都加500公里，如图2-35所示。A、B两点原来的横坐标分别为：

$$y_A=245863.7\text{m}$$

$$y_B=-168474.8\text{m}$$

纵坐标轴西移500公里后，其横坐标分别为：

$$y'_A=745863.7\text{m}$$

$$y'_B=331525.2\text{m}$$

由于采用了分带方法，各带的投影完全相同，某一坐标值 (x_i, y_i) ，在每一投影带中均有一个，在全球则有60个同样的坐标值，不能确切表示该点的位置。因此，在Y值前，需冠以带号，这样的坐标称为通用坐标。如A、B两点位于第20带，其通用坐标为：

$$y_{A\text{通}}=20745863.7\text{m}$$

$$y_{B\text{通}}=20331525.2\text{m}$$

高斯-克吕格投影各带是按相同经差划分的，只要计算出一带各点的坐标，其余各带都是适用的。这个投影的坐标值由国家测绘部门根据地形图比例尺系列，事先计算制成坐标表，供作业单位使用。

应用本投影编制地形图时，每幅图所包括的范围大小是一定的。我国规定国家基本地形图图幅是按经纬线划分，以国际规定的1:100万地形图为基础，其他各种比例尺地形图的分幅以及图幅之间的数量关系见表2-9。

表 2-9 基本比例尺地形图分幅和图幅间的数量关系

比例尺	图幅大小		图幅间的数量关系						
	经差	纬差							
1 100 万	6 °	4 °	1						
1 50 万	3 °	2 °	4	1					
1 25 万	1 ° 30'	1 °	16	4	1				
1 10 万	30'	20'	144	36	9	1			
1 5 万	15'	10'	576	144	36	4	1		
1 2.5 万	7'30"	5'	2304	576	144	16	4	1	
1 1 万	3'45"	2 ° 30'	9216	2304	576	64	16	4	c

每幅图的内图廓为经纬线。1 25 万、1 50 万和 1 100 万地形图上绘有经纬线网。在 1 1 万、1 2.5 万、1 5 万和 1 10 万地形图上，图内不加绘经纬线网，但绘有方里线网。方里线是由两组互相垂直且平行于坐标轴的直线组成，每一条直线至坐标轴的距离均为整公里数。但在不同比例尺地形图上，方里网的间距是不同的（表 2-10）。由于高斯-克吕格投影的经线是向两极收敛的曲线，方里网的纵线是平行于中央经线的直线，因而便形成了经线与方里纵线之间

表 2-10 地形图上方里网间距表

比例尺	方里网间距 (cm)	相应实地长 (km)
1 10000	10	1
1 25000	4	1
1 50000	2	1
1 100000	2	2

的夹角，称为子午线收敛角。子午线收敛角在中央经线上为 0°，离中央经线愈远，收敛角愈大。在赤道上各点的收敛角也为 0°，在其他纬线上，纬度愈高，收敛角愈大，但最大也不超过 3°。子午线收敛角也称为坐标纵线偏角，通常注于地形图的下方（四个图廓点子午线收敛角的平均值或该幅图中点的子午线收敛角）。

高斯-克吕格投影在英美国家称为横轴墨卡托投影。美国编制世界各地军用地图和地球资源卫星象片所采用的全球横轴墨卡托投影(UTM)是横轴墨卡托投影的一种变型。高斯-克吕格投影的中央经线长度比等于 1，UTM 投影规定中央经线长度比为 0.9996。在 6° 带内最大长度变形不超过 0.04%

五、伪圆柱投影

伪圆柱投影是在圆柱投影的基础上，根据某些条件改变经线形状而成的。这类投影的纬线形状与圆柱投影类似，即纬线为平行直线，但经线则不同，除中央经线为直线外，其余的经线均为对称于中央经线的曲线。伪圆柱投影经线的形状可以为任意曲线，但通常选择为正弦曲线和椭圆曲线。

按变形性质，伪圆柱投影没有等角投影，因为投影后经纬线不正交。只

有等积投影和任意投影两种。

伪圆柱投影中的面积等变形线通常是平行于纬线的直线，而角度最大变形等值线通常是对称于赤道和中央经线的蚌形曲线，在个别伪圆柱投影中，由于纬线上经线间隔不等，所以面积等变形线也是对称于赤道和中央经线的曲线。

伪圆柱投影主要应用于小比例尺地图，特别是世界地图中应用较多。由于纬线表现为平行直线，所以适用于表示沿纬线分布的某些自然现象。下面介绍几种等积伪圆柱投影。

(一) 桑生投影

桑生(Sanson)投影是一种经线为正弦曲线的等积伪圆柱投影,由于1650年法国人桑生(Nikolas Sanson)用它绘制各种地图而得名。这个投影的纬线为间隔相等的平行直线,经线为对称于中央经线的正弦曲线。在每一条纬线上经线间隔相等(图2-36)。

这个投影的所有纬线长度比均等于1,即 $n=1$,中央经线长度比等于1,即 $n_0=1$,其他经线长度比均大于1,而且离中央经线愈远,经线长度比愈大。面积比等于1,即 $P=1$ 。赤道和中央经线是两条没有变形的线,离开这两条线愈远,变形愈大。这个投影适合于制作赤道附近南北延伸地区的地图,如非洲、南美洲地图。

(二) 摩尔魏特投影

摩尔魏特(Mollweide)投影是一种经线为椭圆曲线的等积伪圆柱投影。这个投影是1805年由德国人摩尔魏特(Karl Brandan Mollweide)所创拟而得名。摩尔魏特投影的中央经线为直线,离中央经线经差为 $\pm 90^\circ$ 的经线为一个圆,圆的面积等于地球面积的一半,即圆的半径 $r=\sqrt{2}R$ (R 为地球半径),其余的经线为椭圆;赤道长度是中央经线的一倍,即 $4\sqrt{2}R$ 。纬线是间隔不等的平行直线,在中央经线上从赤道向南、北方向纬线间隔逐渐缩小。同一条纬线上经线间隔相等(图2-37)。图2-37 摩尔魏特投影及其最大角度变形

摩尔魏特投影没有面积变形。赤道长度比 $n_0=0.9$ 。中央经线和纬度 $\pm 40^\circ 44' 11''$ 的两交点是没有变形的点,从这两点向外变形逐渐增大,向高纬比向低纬增大得急剧。

摩尔魏特投影常用于编制世界地图。另外,由于在这个投影中,离中央经线经差 $\pm 90^\circ$ 的经线是圆,该圆面积是 $2R^2$,恰好等于半球面积,所以常用它来编制东、西半球地图。

(三) 古德投影

从伪圆柱投影的变形情况来看,往往离中央经线愈远变形愈大。为了减小远离中央经线部分的变形,美国地理学家古德(J. Paul Goode)于1923年提出一种分瓣方法,就是在整个制图区域的几个主要部分中央都设置一条中央经线,分别进行投影,则全图就分成几瓣,各瓣沿赤道连接在一起。这样每条中央经线两侧投影范围不宽,变形就小一些。这种分瓣方法可用于桑生投影、摩尔魏特投影以及其他伪圆柱投影。

用于绘制世界地图,古德的分瓣方法如下:为了完整地表示大陆,各大

陆采用不同的中央经线：北美洲，中央经线为 -100° ；南美洲，中央经线为 -60° ；亚洲、欧洲，中央经线为 $+60^{\circ}$ ；非洲，中央经线为 $+20^{\circ}$ ；澳大利亚，中央经线为 $+150^{\circ}$ 。断裂部分在大洋。如果为了完整地表示大洋，则中央经线可选下列几条：北大西洋，中央经线为 -30° ；南大西洋，中央经线为 -20° ；太平洋北部，中央经线为 -170° ；太平洋南部，中央经线为 -140° ；印度洋北部，中央经线为 $+60^{\circ}$ ；印度洋南部，中央经线为 $+90^{\circ}$ 。断裂部分在大陆。图 2-38 是对摩尔魏特投影进行分瓣，称为摩尔魏特-古德投影。这个投影对大陆部分表示的较好。

除了单独将某一种伪圆柱投影进行分瓣外，古德还采用了将桑生投影和摩尔魏特投影结合在一起的分瓣方法，使投影变形有所改善。摩尔魏特投影在高纬度地区的变形比桑生投影小，而桑生投影在低纬度地区变形又比摩尔魏特投影要小。摩尔魏特投影在南、北纬 40° 附近处沿纬线长度比等于 1，与桑生投影的纬线长度比一致，所以把南、北 40° 纬线作为两投影的结合处，在南、北纬 40° 以内采用桑生投影，在南、北纬 40° 以外采用摩尔魏特投影。在这个投影上，南、北纬 40° 处经线出现折角，这个折角离中央经线愈远愈显著。

在国外（美、日）出版的世界地图集中的世界地图经常采用这种投影，例如美国出版的古德世界地图集中的世界各种自然地图，大多采用古德投影。

第四节 圆锥投影、多圆锥投影、伪圆锥投影

一、圆锥投影

(一) 圆锥投影构成的一般公式

圆锥投影是假定以圆锥面作为投影面，使圆锥面与地球相切或相割，将球面上的经纬线投影到圆锥面上，然后把圆锥面沿一条母线剪开展为平面而成。当圆锥面与地球相切时，称为切圆锥投影；当圆锥面与地球相割时，称为割圆锥投影。

按圆锥与地球相对位置的不同，也有正轴、横轴和斜轴圆锥投影。但横轴和斜轴圆锥投影实际上很少应用，所以凡在地图上注明是圆锥投影的，一般都是正轴圆锥投影。

图 2-39 是正轴切圆锥投影示意图，视点在地球中心，纬线投影在圆锥面上仍为圆，不同的纬线投影为不同的圆，这些圆都互相平行，经线投影为相交于圆锥顶点的一束直线。如果将圆锥沿一条母线剪开展为平面，则成扇形，其顶角小于 360° ，在平面上纬线不再是圆，而是以圆锥顶点为圆心的同心圆弧，经线成为由圆锥顶点向外放射的直线束，经线间的夹角与相应的经度差成正比。

设球面上两条经线间的夹角为 λ （图 2-40），其投影在平面上为 δ ，与 λ 成正比，即 $\delta = c\lambda$ （ c 为常数）。纬线投影为同心圆弧，设其半径为 ρ ，它随纬度的变化而变化，即 ρ 是纬度 φ 的函数， $\rho = f(\varphi)$ 。所以圆锥投影的平面极坐标一般公式为：

$$\left. \begin{aligned} \rho &= f(\varphi) \\ \delta &= c\lambda \end{aligned} \right\} \quad (2-22)$$

如以圆锥顶点 S' 为原点，中央经线为 X 轴，通过 S' 点垂直于 X 轴的直线为 Y 轴，则圆锥投影的直角坐标公式为：

$$x = -\rho \cos \delta$$

$$y = \rho \sin \delta$$

通常在绘制圆锥投影时，以制图区域最南边的纬线 φ_s 与中央经线的交点为坐标原点，则其直角坐标公式为：

$$x = \rho_s - \rho \cos \delta$$

$$y = \rho \sin \delta$$

式中 ρ_s 为投影区域最南边纬线 φ_s 的投影半径。

根据 (2-22) 式可知，圆锥投影需要决定 ρ 的函数形式，由于 ρ 的函数形式不同，圆锥投影有很多种。 c 称为圆锥系数（圆锥常数），它与圆锥的切、割位置等条件有关，对于不同的圆锥投影，它是不同的。但对于某一个具体的圆锥投影， c 值是固定的。总的来说， c 值小于 1，大于 0，即 $0 < c < 1$ 。当 $c=1$ 时为方位投影， $c=0$ 时为圆柱投影，所以可以说方位投影和圆柱投影都是圆锥投影的特例。

(二) 圆锥投影的变形分布规律

圆锥投影的纬线是同心圆弧，经线是同心圆弧的半径。经纬线是直交的，

所以经纬线的长度比就是最大、最小长度比。

由图 2-41 可以看出，球面上经线微分弧长 $AB=Rd\varphi$ ，纬线微分弧长 $AD=rd\lambda=R\cos\varphi d\lambda$ ；

在投影平面上，经线微分线段 $A'B'=-d$ （ d 带负号，是因为变量 $A'B'$ 与动径 SA' 的方向相反），纬线微分线段 $A'D'=d$ 。根据长度比定义，可得

$$m = \frac{A'B'}{AB} = \frac{-d\rho}{Rd\varphi}$$

$$n = \frac{A'D'}{AD} = \frac{\rho d\delta}{R\cos\varphi d\lambda} = \frac{c\rho}{R\cos\varphi}$$

$$P = mn$$

$$\sin \frac{\omega}{2} = \left| \frac{m-n}{m+n} \right|$$

由上面几式可以看出，圆锥投影的各种变形都是纬度 φ 的函数，与经度无关。也就是说，圆锥投影的各种变形是随纬度的变化而变化，在同一条纬线上各种变形的数值各自相等，因此，等变形线与纬线平行，呈同心圆弧状分布。在切圆锥投影上，相切的纬线是一条没有变形的线，称为标准纬线，从标准纬线向南、北方向变形逐渐增大（图 2-42）。

在割圆锥投影上，球面与圆锥面相割的两条纬线（图 2-43， φ_1 、 φ_2 为割线）是标准纬线，在两条标准纬线之间的纬线长度比小于 1，两条标准纬线以外的纬线长度比大于 1，离标准纬线愈远，变形愈大。

根据圆锥投影变形分布情况，这种投影适于制作中纬度沿东西方向延伸地区的地图。由于地球上广大陆地处于中纬度地区，又因为圆锥投影经纬线网形状比较简单，所以它被广泛应用于编制各种比例尺地图。

圆锥投影按变形性质可以分为等角、等积和等距三种投影。无论哪一种均有切圆锥与割圆锥之分。

（三）等角圆锥投影

等角圆锥投影的条件是使地图上没有角度变形，即 $\omega=0$ 。为了保持等角条件，必须使图上任一点的经线长度比与纬线长度比相等，即 $m=n$ 。在切圆锥投影上，相切的纬线为标准纬线，其长度比等于 1；从标准纬线向南、北方向纬线长度比均大于 1，因而经线长度比也要相应的扩大，使其值与纬线长度比相等。表 2-11 为标准纬线 $\varphi_0=35^\circ$ 的等角圆锥投影变形数值表。从这个表中可以看出，在单标准纬线等角圆锥投影中，标准纬线没有变形；从标准纬线向南、北方向变形逐渐增加，但在距离标准纬线纬差相同的地方，变形数值是不等的，标准纬线以北比标准纬线以南变形增加的要快些。

表 2-11 等角切圆锥投影 ($\varphi_0=35^\circ$) 各种变形数值表

φ	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
m=n	1.059	1.033	1.015	1.004	1.000	1.004	1.016	1.038	1.071
P	1.221	1.067	1.030	1.008	1.000	1.008	1.032	1.077	1.147
w	$0^\circ 00'$								

在割圆锥投影上，相割的两条纬线为标准纬线，其长度比等于 1；两条标准纬线之间，纬线长度比小于 1，因而经线长度比也要相应的小；两条标准纬线之外，纬线长度比大于 1，经线长度比也要相应的大，同时使任一点上经线长度比与纬线长度比相等。表 2-12 为标准纬线 $\varphi_1=25^\circ$ 、 $\varphi_2=45^\circ$ 的等角割圆锥投影各种变形数值表。从表中数值可以看出，在双标准纬线等角圆锥投影上，两条标准纬线没有变形；在两条标准纬线之间长度变形是向负的方向增加，即投影后的经纬线长度均比地面上相应的经纬线长度缩短了；在两条标准纬线以外长度变形向正的方向增加，即投影后的经纬线长度均比地面上相应的经纬线长度伸长了。面积变形也是如此，在两条标准纬线以内是负向变形，在两条标准纬线以外是正向变形。变形增加的速度也是北边比南边快些（图 2-44）。

表 2-12 等角割圆锥投影 ($\varphi_1=25^\circ$ 、 $\varphi_2=45^\circ$) 各种变形数值表

φ	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
m=n	1.004	1.018	1.000	0.989	0.985	0.988	1.000	1.021	1.053
P	1.090	1.036	1.000	0.978	0.970	0.976	1.000	1.042	1.109
w	$0^\circ 00'$								

等角圆锥投影应用很广。如我国地图出版社 1957 年出版的《中华人民共和国地图集》中的分省地图是采用这种投影编制的，两条标准纬线的纬度为 $\varphi_1=25^\circ$ ， $\varphi_2=45^\circ$ ；1981 年出版的《中华人民共和国地图集》中，分省地图采用边纬线和中纬线长度变形绝对值相等的双标准纬线等角圆锥投影；1960 年和 1972 年出版的《世界地图集》中大多数分国地图均采用了等角圆锥投影。世界上有些国家，如法国、比利时、西班牙等国都曾采用这种投影作为地形图的数学基础。此外，西方国家出版的许多挂图、地图集中亦广泛采用等角圆锥投影。

1962 年联合国于波恩举行的世界百万分之一国际地图技术会议制定的规范建议，新编国际百万分之一地图采用双标准纬线等角圆锥投影。这样可使世界 1:100 万普通地图与 1:100 万世界航空图的数学基础一致。该投影自赤道起按纬差 4° 分带。北纬 84° 以北和南纬 80° 以南采用等角方位投影。

1978 年我国新制订的《1:100 万地形图编绘规范》，规定采用边纬线和中纬线长度变形绝对值相等的等角割圆锥投影，作为 1:100 万分幅地形图的

数学基础。也是按纬差 4° 分带，每个投影带的两条标准纬线近似为 $\varphi_1 = \varphi_S + 35'$ ， $\varphi_2 = \varphi_N - 35'$ （ φ_S 为每一带最南边纬线的纬度， φ_N 为每一带最北边纬线的纬度），各带长度变形最大值为 $\pm 0.03\%$ ，面积变形最大值为 $\pm 0.06\%$ 。

（四）等积圆锥投影

等积圆锥投影的条件是使地图上没有面积变形，即 $P=1$ 。为了保持等积条件，必须使投影图上任一点的经线长度比与纬线长度比互为倒数，即 $m=1/n$ 。

在切圆锥投影上，相切的纬线为标准纬线，其长度比等于 1；从标准纬线向南、北方向纬线长度比均大于 1，因而经线长度比要相应的小，其值是纬线长度比的倒数。在割圆锥投影上，相割的两条纬线为标准纬线，其长度比等于 1；两条标准纬线之间，纬线长度比小于 1，因而经线长度比要相应的大；两条标准纬线之外，纬线长度比大于 1，经线长度比要相应的小，同时使任一点上经线长度比与纬线长度比互为倒数。表 2-13 为等积割圆锥投影（标准纬线 $\varphi_1=25^\circ$ ， $\varphi_2=47^\circ$ ）各种变形数值。从表中数值可以看出，在双标准纬线等积圆锥投影中，面积没有变形；两条标准纬线没有变形；在两条标准纬线之内，纬线变形是向负的方向增加，经线变形是向正的方向增加；在两条标准纬线以外，纬线变形是向正的方向增加，经线变形向负的方向增加。角度变形随离标准纬线愈远而愈大（图 2-45）。

表 2-13 等积割圆锥投影（ $\varphi_1=25^\circ$ 、 $\varphi_2=47^\circ$ ）各种变形数值表

φ	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
m	0.962	0.983	1.000	1.012	1.018	1.017	1.007	0.986	0.951
n	1.040	1.018	1.000	0.988	0.982	0.983	0.993	1.014	1.051
P	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
w	$4^\circ 39'$	$1^\circ 59'$	$0^\circ 00'$	$1^\circ 23'$	$2^\circ 03'$	$1^\circ 52'$	$0^\circ 8'$	$1^\circ 38'$	$5^\circ 44'$

等积圆锥投影常用以编制行政区划图、人口密度图及社会经济地图等。例如中国地图出版社出版的 1:800 万、1:600 万和 1:400 万《中华人民共和国地图》采用了双标准纬线（ $\varphi_1=25^\circ$ 、 $\varphi_2=47^\circ$ ）等积圆锥投影。以前还曾用过标准纬线为 25° 和 45° 以及边纬线（ $\varphi_S=18^\circ$ 、 $\varphi_N=54^\circ$ ）和中纬线（ $\varphi_M=36^\circ$ ）长度变形绝对值相等的等积圆锥投影。其他国家出版的许多挂图、桌图和地图集中，亦广泛采用等积圆锥投影。

（五）等距圆锥投影

等距圆锥投影的条件是沿经线方向长度没有变形，即 $m=1$ 。等距切圆锥投影，相切的纬线为标准纬线，没有变形；从标准纬线向南、北方向纬线长度比大于 1，经线长度比等于 1，面积变形和角度变形均随离标准纬线愈远而愈大。等距割圆锥投影，相割的两条纬线为标准纬线，没有变形；两条标准纬线以内，纬线长度比小于 1；两条标准纬线以外，纬线长度比大于 1，经线长度比等于 1；在两条标准纬线之内，面积变形向负的方向增加；在两条标准纬线以外，面积变形向正的方向增加，角度变形随离标准纬线愈远，变形

愈大(图 2-40)。表 2-14 为双标准纬线 ($\varphi_1=25^\circ$ 、 $\varphi_2=47^\circ$) 等距圆锥投影各种变形数值。

表 2-14 等距割圆锥投影 ($\varphi_1=25^\circ$ 、 $\varphi_2=47^\circ$) 各种变形数值表

φ	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
m	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
n	1.044	1.019	1.000	0.988	0.982	0.983	0.993	1.013	1.047
P	1.044	1.019	1.000	0.988	0.982	0.983	0.993	1.013	1.047
w	$2^\circ 27'$	$1^\circ 03'$	$0^\circ 00'$	$0^\circ 43'$	$1^\circ 02'$	$0^\circ 57'$	$0^\circ 23'$	$0^\circ 46'$	$2^\circ 37'$

等距圆锥投影上虽然具有长度、面积和角度变形,但变形值却比较小,它的角度变形小于等积圆锥投影,面积变形小于等角圆锥投影。

等距圆锥投影在我国出版的地图中不常见。在国外则有用的。例如苏联出版的苏联全图,一般常用 $\varphi_1=47^\circ$ 、 $\varphi_2=62^\circ$ 的等距割圆锥投影。

(六) 几种圆锥投影变形性质的图形判别

圆锥投影经纬线形式具有共同的特征。经线为放射状直线,夹角相等;纬线为同心圆弧。如果地图上没有注明变形性质,则可以根据一条经线上的纬线间隔变化来判断。

纬线为同心圆弧,其长度比从图上不易直接观察出来。但是经线是同心圆弧的半径——直线。由于投影的变形性质不同,经线长度比就不同,它在图形上表现为纬线间隔的变化是不一样的。根据表 2-15 可以得出以下结论:沿着经线量取纬差相等的纬线间隔,从地图中心向南、北方向逐渐扩大者,为等角圆锥投影;若纬线间隔从地图中心向南、北方向逐渐缩小者,为等积圆锥投影;纬线间隔相等者,则为等距圆锥投影(图 2-47)。

表 2-15 各种常用圆锥投影经纬线长度比变化情况表

标准纬线	等角圆锥		等积圆锥		等距圆锥	
	n	m	n	m	n	m
切于 φ_0	$n > 1$	$m > 1$	$n > 1$	$m < 1$	$n > 1$	$m=1$
	$n_0=1$	$m_0=1$	$n_0=1$	$m_0=1$	$n_0=1$	$m_0=1$
	$n > 1$	$m > 1$	$n > 1$	$m < 1$	$n > 1$	$m=1$
割于 φ_1 、 φ_2	$n > 1$	$m > 1$	$n > 1$	$m < 1$	$n > 1$	$m=1$
	$n_2=1$	$m_2=1$	$n_2=1$	$m_2=1$	$n_2=1$	$m_2=1$
	$n < 1$	$m < 1$	$n < 1$	$m > 1$	$n < 1$	$m=1$
	$n_1=1$	$m_1=1$	$n_1=1$	$m_1=1$	$n_1=1$	$m_1=1$
	$n > 1$	$m > 1$	$n > 1$	$m < 1$	$n > 1$	$m=1$

二、多圆锥投影

（一）多圆锥投影的概念

在切圆锥投影中，离开标准纬线愈远，变形愈大。如果制图区域包含纬差较大时，则在边缘纬线处将产生相当大的变形。因此，采用双标准纬线圆锥投影比采用单标准纬线圆锥投影变形要小些。如果有更多的标准纬线，则变形会更小些，多圆锥投影就是由这样的设想建立起来的。假设有许多圆锥与地球面上的纬线相切，将球面上的经纬线投影于这些圆锥面上，然后沿同一母线方向将圆锥剪开展成平面，如图 2-48 所示。由于圆锥顶点不是一个，所以纬线投影为同轴圆弧，其圆心都在中央经线的延长线上，除中央经线为直线外，其余的经线投影为对称于中央经线的曲线。凡是经纬线形式符合上述特征的，均称为多圆锥投影。由于多圆锥投影的经纬线系弯曲的曲线，具有良好的球形感，所以它常用于编制世界地图。

（二）普通多圆锥投影

普通多圆锥投影除了中央经线和每一条纬线的长度比等于 1 外，即 $m_0=1$ ， $n=1$ 其余经线长度比均大于 1。这个投影在中央经线上纬线间隔相等，在每一条纬线上经线间隔相等。普通多圆锥投影属于任意投影，中央经线是一条没有变形的线，离开中央经线愈远，变形愈大。这个投影适于作南北方向延伸地区的地图。美国海岸测量局曾用此投影制作美国海岸附近地区的地图。

普通多圆锥投影的另一个用途是绘制地球仪用的图形。把整个地球按一定经差分为若干带，每带中央的经线都投影为直线，各带的投影图在赤道相接（图 2-49），将这样的图形贴于预制的球胎上，就成为一个地球仪。

（三）改良多圆锥投影

改良多圆锥投影是由普通多圆锥改良而成的。过去长时期国际上用它编绘百万分之一幅地图，这是由 1909 年伦敦国际地理学会议决定的，故又名国际百万分之一地图投影。

国际百万分之一地图，在纬度 $0^\circ—60^\circ$ 范围内，按纬差 4° 、经差 6° 分幅；在纬度 $60^\circ—76^\circ$ 范围内，按纬差 4° 、经差 12° 分幅；在纬度 $76^\circ—88^\circ$ 范围内按纬差 4° 、经差 24° 分幅。每幅单独投影。每幅图的南北两条边纬线是同轴圆弧，其圆心位于中央经线的延长线上。将这两条纬线按经差 1° 等分，过相应分点连成的直线即为各条经线。其他纬线是 4 等分各经线后，将相应分点联成的平滑曲线。

这个投影南北两条边纬线长度比等于 1，其余纬线长度比均小于 1，以中央纬线长度比为最小。在按经差 6° 的分幅中，距中央经线经差为 $\pm 2^\circ$ （在按经差 12° 的分幅中，距中央经线经差为 $\pm 4^\circ$ ，在按经差 24° 的分幅中，距中央经线经差为 $\pm 8^\circ$ ）的经线长度比等于 1，中间经线长度比小于 1，边缘经线长度比大于 1。这种投影按变形性质来说属任意投影。由于每一幅图包括的范围不大，因而变形很小。在我国范围内长度变形不超过 0.06%，面积变形不超过 0.12%，角度最大变形不超过 $5'$ 。故总的来说，这种投影精度还是很高的。但因它不具有等角条件，故现已被等角圆锥投影所取代。

（四）等差分纬线多圆锥投影

这个投影是由我国地图出版社于 1963 年设计的一种不等分纬线的多圆

锥投影。赤道和中央经线是互相垂直的直线，其他纬线为对称于赤道的同轴圆弧，其圆心均在中央经线的延长线上；其他经线为对称于中央经线的曲线，各经线间的间隔，随离中央经线距离的增大而逐渐缩短，按等差递减。极点为圆弧，其长度为赤道的 $1/2$ 。

这种投影的变形性质属任意投影。我国绝大部分地区的面积变形在 10% 以内，面积比等于 1 的等变形线自东向西横贯我国中部；中央经线和纬度 $\pm 44^\circ$ 交点处没有角度变形，我国境内绝大部分地区的角度最大变形在 10° 以内，少数地区在 13° 左右（图 2-50）。地图出版社用这一投影编制过数种比例尺的世界政区图和其他类型的世界地图。

1976 年地图出版社又拟定了另外一种不等分纬线多圆锥投影——正切差分纬线多圆锥投影，这个投影的经线间隔，由中央经线向东西两侧按与中央经线经差的正切函数递减。正切函数随角度增加递增速度越来越快。因此，正切差分纬线多圆锥投影的经线间隔，在中央经线附近变化较小，在远离中央经线的地方，变化较大。地图出版社 1981 年出版的 1:1400 万世界全图采用了这个投影。

三、伪圆锥投影

伪圆锥投影是在圆锥投影的基础上，根据某些条件改变经线形状而成的。这类投影的纬线形状与圆锥投影类似，即纬线为同心圆弧，圆心位于中央经线上，但经线则不同，除中央经线为直线外，其余的经线均为对称于中央经线的曲线。

按投影的变形性质，伪圆锥投影和伪圆柱投影一样，没有等角投影，因为这种投影经纬线不直交。伪圆锥投影只有等积投影和任意投影。最常用的伪圆锥投影是等积伪圆锥投影。

等积伪圆锥投影又称彭纳投影，由法国水利工程师彭纳（Rigobert-Bonne）于 1752 年首先提出并应用于法国地形图而得名。彭纳投影的中央经线为直线，其长度比等于 1，即 $m_0=1$ ；纬线为同心圆弧，沿纬线长度比等于 1，即 $n=1$ ；图上面积与实际相应的面积相等，即 $P=1$ 。在一条纬线上的经线间隔相等，在中央经线上纬线间隔相等，中央经线与所有的纬线正交，中央纬线与所有的经线正交。

这个投影没有面积变形，中央经线和中央纬线是两条没有变形的线，离开这两条线愈远，变形愈大（图 2-51）。

彭纳投影主要用于编制小比例尺的大洲图。例如，我国地图出版社出版的《世界地图图 2-51 彭纳投影及其最大角度变形集》中的亚洲政区图，英国《泰晤士世界地图集》中的澳大利亚与西南太平洋地图，都是采用的彭纳投影。

第五节 地图投影的判别与选择

一、地图投影的判别

地图投影是地图的数学基础，它直接影响地图的使用。地图是地理工作者不可缺少的工具，有很多地理知识是从图上获得的。如果在使用地图时，不了解投影的特性，往往会得出错误的结论。例如在小比例尺等角或等积投影图上量算距离，在等角投影图上对比不同地区的面积，以及在等积投影图上观察各地区的形状特征等。目前，国内外出版的地图上大多数都注明地图投影名称，这对于使用地图，当然是很方便的。但是，也有一些地图不注明投影名称和有关说明，因此，我们必须运用地图投影的知识，根据不同投影的特征——经纬线形状，结合制图区域所在的地理位置、轮廓形状及地图的内容和用途等，综合进行分析、判断和进行必要的量算来判别它们。

地图投影的判别，主要是对小比例尺地图而言。大比例尺地图往往是属于国家地形图系列，投影资料一般易于查知。另外由于大比例尺地图包括的地区范围小，不管采用什么投影，变形都是很小的，在使用时可以忽略不计。

判别地图投影一般是先根据经纬线网形状确定投影种类，如方位、圆柱、圆锥等，其次是判定投影的变形性质，如等角、等积或任意投影。

（一）确定投影种类

对于常见的地图投影，一般还是比较容易确定它的种类的，表 2-16 列出一些常见投影，供判别时参考。

判别经纬线形状的方法如下：直线只要用直尺量度，便可确定。判断曲线是否为圆弧，可以将透明纸覆盖在曲线之上，在透明纸上沿曲线按一定间隔定出三个以上的点，然后沿曲线移动透明纸，使这些点位于曲线的不同位置，如这些点处处都与曲线吻合，则证明曲线是圆弧，否则就是其他曲线。判别同心圆弧与同轴圆弧，则可以量测相邻圆弧间的垂线距离，若处处相等则为同心圆弧，否则是同轴圆弧。

（二）确定投影的变形性质

当已确定投影的种类后，对有些投影的变形性质是比较容易判定的。例如已确定为圆锥投影，那么只须量任一条经线上纬线间隔从投影中心向南、北方向的变化就可以判别变形性质：如果相等，则为等距投影；逐渐扩大，为等角投影；逐渐缩小，为等积投影。

有些投影的变形性质，从经纬线网形状上分析就能看出。例如，经纬线不成直角相交，肯定不会是等角投影；在同一条纬度带内，经差相同的各个梯形面积，如果差别较大，当然不可能是等积投影；在一条直经线上检查相同纬差的各段经线长度若不相等，肯定不是等距投影。当然，这只是问题的一个方面，同时还必须考虑其他条件。例如，等角投影经纬线一定是正交的，但经纬线正交的投影不一定是等角的。如正轴的方位、圆柱和圆锥投影，它们的经纬线都是正交的，但并不都是等角投影，还有等积和任意投影。因此，单凭经纬线网形状判别投影的变形性质是不够的，还必须结合其他条件并进行必要的量算工作。

表 2-16 一些常用地图投影的经纬线形状特征

投影名称	经纬线形状		中央经线上纬线间隔的变化	主要制图区域
	经线	纬线		
等差分纬线多圆锥投影	中央经线为直线, 其余经线为对称于中央经线的曲线	赤道为直线, 其余纬线为对称于赤道的同轴圆弧	从赤道向两极稍有增大	世界图
摩尔魏特投影	中央经线是直线, 其他经线为椭圆弧	纬线是平行直线	由赤道向两极逐渐缩小	世界图、半球图
古德投影	有几条中央经线是直线, 其余经线是曲线	纬线是平行直线	纬度 40° 以下相等, 纬度 40° 以上逐渐缩小	世界图
墨卡托投影	间隔相等的平行直线	与经线垂直的平行直线	由低纬度向高纬急剧增大	世界图、东南亚地区图
任意圆柱投影	间隔相等的平行直线	与经线垂直的平行直线	从赤道向两极逐渐增大	世界图
等距圆锥投影	放射状直线	同心圆弧	相等	中纬度地区分国图
等角圆锥投影	放射状直线	同心圆弧	由地图中心向南、北方向逐渐增大	
等积圆锥投影	放射状直线	同心圆弧	由地图中心向南、北方向逐渐缩小	大洲图
彭纳投影	中央经线为直线, 其他经线为对称于中央经线的曲线	同心圆弧	相等	
桑生投影	中央经线为直线, 其他经线为对称于中央经线的曲线	纬线为平行直线	相等	非洲图、南美洲图
正轴等距方位投影	放射状直线	同心圆	相等	南北极地区图、南、北半球图
横轴等积方位投影	中央经线为直线, 其他经线为与中央经线对称的曲线	赤道为直线, 其他纬线为与赤道对称的曲线	赤道向两极逐渐缩小	东、西半球图、非洲图
斜轴等积方位投影	中央经线为直线, 其他经线为与中央经线对称的曲线	任意曲线	从地图中心向外逐渐缩小	水、陆半球图、大洲图
横轴等角方位投影	中央经线为直线, 其他经线为圆弧	赤道为直线, 其他纬线为与赤道对称的圆弧	从赤道向两极逐渐扩大	东、西半球图

由于地图投影种类太多, 在本课程内没有必要也没有可能全部加以介绍。那么在以后阅读各种地图时, 难免会遇到一些根本不熟悉的投影。欲判定这些投影是很困难的。但如果能确定图上某些特征点的经线长度比、纬线长度比和经纬线夹角, 则可以判断其变形性质及变形分布特点。下面介绍用图解法求经线长度比 m 、纬线长度比 n 和角 (经纬线夹角与 90° 之差)

的方法。

如图 2-52 (a) 所示, 在特征点 A 处量出上下相同纬差的经线长 S'_m 和 S''_m , 从制图用表中查出相应的这一段经线弧长 S'_m , 则经线长度比

$$m = \frac{\Delta S'_m + \Delta S''_m}{2(\Delta S_m M_0)}$$
 式中 M_0 为地图上所注明的比例尺。

同法, 在特征点 A 处量出左右相同经差的纬线长 S'_n 和 S''_n , 从制图用表中查出相应的这一段纬线弧长 S'_n , 则纬线长度比

$$n = \frac{\Delta S'_n + \Delta S''_n}{2(\Delta S_n M_0)}$$

对于 α , 可按下列步骤求出: 先在 A 点的纬线上取 B、C 两点, 使其距 A 点的距离相等, 如图 2-52 (b), 将三角板的一边置于 BC 上, 平行移动三角板至 A 点, 作纬线的切线 B_1AC_1 , 过 A 点作 B_1AC_1 的垂线 A1; 然后在经线 DAE 上, 取 $DA=AE$, 过点 A 作经线 DAE 的切线 A2 (为了将切线作得比较准确, 可用一直尺切于 A 点, 使 $DD'=EE'$ 画出 A2 线, 参看图 2-52 (c)), 则 A1、A2 线于 A 点所构成的角, 即为所求的 α (图 2-52 (a))。

求出各特征点的 m 、 n 、 α 之后, 就可以利用变形公式进行判断。如果 $m=n$ 、 $\alpha=0$, 则为等角投影; 如果 $m \cos \alpha = 1$, 则为等积投影; 若不属于上述两种情况, 则一定属于任意投影。根据各特征点 m 、 n 和 α 的数值可以大致判断变形分布情况。

特征点最好是从图上不同部位选取, 其分布要比较均匀。这样经过量算得出的数值, 虽然会受到图纸伸缩、量测误差等的影响, 不一定达到精确无误, 但毕竟是判别变形性质和了解变形分布状况的一种重要参考。

二、地图投影的选择

地图投影选择得是否恰当, 直接影响地图的精度和实用价值。因此在编图以前, 要根据各种投影的性质、经纬线网形状特点等, 针对所编地图的具体要求, 选择最适宜的投影。

这里所讲的地图投影选择, 主要指中、小比例尺地图, 不包括国家基本比例尺地形图。因为国家基本比例尺地形图的投影、分幅等, 是由国家测绘主管部门研究制订, 不容许任意改变的, 另外编制小区域大比例尺地图, 不论采用什么投影, 变形都是很小的。

选择地图投影时, 往往要考虑许多因素, 及其相互影响。这些因素主要有: 制图区域的范围、形状和地理位置, 地图的用途、出版方式及其他特殊要求等。下面简要说明选择地图投影的一般原则。

(一) 制图区域的范围、形状和地理位置

制图区域的范围、形状和地理位置主要关系到选用按投影的构成方法分类的哪一类投影。

对于世界地图, 常用的主要是正圆柱、伪圆柱和多圆锥三类投影。当前国外有人主张, 世界地图最好采用圆柱和伪圆柱投影, 因其纬线为平行直线, 这对于研究地理现象的纬度地带性是很好的。但缺点是在高纬度处变形太大, 虽然可以用割圆柱 (一般割于 $\pm 30^\circ$ 纬线上) 投影加以改善, 但仍不能

令人满意。在世界地图中常用墨卡托投影绘制世界航线图、世界交通图与世界时区图，也有用任意圆柱投影绘制时区图的。等面积伪圆柱投影在面积上虽无变形，但高纬度地区角度变形较大。摩尔魏特投影和古德投影常用于绘制世界地图。我国出版的世界地图多采用等差分纬线多圆锥投影，选用这个投影，对于表现中国形状以及与四邻的对比关系较好，但投影的边缘地区变形较大。

对于半球地图，常分为东半球、西半球、南半球、北半球、水半球、陆半球地图。东、西半球图常选用横轴方位投影，南、北半球图常选用正轴方位投影，水、陆半球图一般选用斜轴方位投影，其投影中心分别为 $\varphi_0=+45^\circ$ 、 $\lambda_0=0^\circ$ 和 $\varphi_0=-45^\circ$ 、 $\lambda_0=180^\circ$ 。

除了世界图和半球图外，区域范围最大的陆地有七大洲，其次是几个大的国家如苏联、加拿大、中国、美国、巴西、澳大利亚等。其余的国家和地区只能算中等和小的范围。对于这些区域范围的投影选择，须考虑它的轮廓形状和地理位置，最好是使等变形线与制图区域的轮廓形状基本一致，以便减少图上变形。因此，圆形地区一般宜采用方位投影，在两极附近则采用正轴方位投影，以赤道为中心的地区采用横轴方位投影，在中纬度地区采用斜轴方位投影。当制图区域是东西延伸而又在中纬度地区，一般多采用正轴圆锥投影，如中国、美国等。当制图区域在赤道附近，或沿赤道两侧东西延伸时，则宜采用正轴圆柱投影，如印度尼西亚。当制图区域是沿南北方向延伸时，如南美洲的智利和阿根廷，一般可采用横轴圆柱投影和多圆锥投影。对于任意方向延伸的地区，可选用斜轴圆柱投影。于任意方向延伸的地区，可选用斜轴圆柱投影。

（二）地图的主要用途

地图主要用于哪一方面，解决什么问题，这关系到选用按变形性质分类的哪一类投影。如行政区划图、人口密度图、经济地图等一般要求面积正确，因此应选用等积投影。航海图、航空图、天气图、军用地形图等，一般多采用等角投影，因为它能比较正确地表示方向，且在小区域内可保持图形与实地相似，这对于实地使用地图有很大的方便。有些地图要求各种变形都不太大，如教学地图、宣传用地图等，可选用任意投影。

（三）出版方式

如果一幅地图是单独出版的，选择投影比较简单，只要考虑上述的几个因素就可以了。但是如果它是地图集中的或是一组图中的一幅，那么选择投影就比较复杂了。因为地图集是一组（或几组）地图的汇编，它既是统一的整体，而各图组或各图幅又有各自的主题和内容，对投影的要求不可能一样。但在本地图集中又不宜采用很多种类的地图投影。因此就应考虑与其他图幅的关系，即取得协调或者采用同一系统的投影。例如同地区的一组专题地图，可用同一种投影。

（四）其他特殊要求

有些地图由于有某些方面的特殊要求，以致影响投影的选择。例如时区图要求经线成平行直线，因此只能选用正轴圆柱投影。又如绘制中国政区图，不能将南海诸岛作插图，一般则不选用圆锥投影，而采用斜方位投影或彭纳投影。另外，编制新图时选择投影需考虑转绘技术问题。由于目前常用的是照相蓝图剪贴法，新编图与基本资料所用的投影经纬线形状要尽可能近似，否则将给工作带来很大的不便。

[实习一] 地图投影变形

一、目的要求

加深理解地图投影变形，了解引起变形的因素。将地球仪上的澳大利亚和格陵兰岛用方格法转绘到平面图纸上并计算变形值，通过转绘后图形与地球仪上图形的对比及变形值的分析，指出其变形特点。

二、方法

(一) 在图纸适当位置绘出两个边长 2cm 的方格网，纵线代表经线，横线代表纬线。按地球仪上澳大利亚和格陵兰岛所在的地理位置，注记两个方格网的经纬度。

(二) 将地球仪上的澳大利亚和格陵兰岛的轮廓转绘到平面图纸上。

(三) 设赤道长度比等于 1，计算地图比例尺，将其注明在图上。

(四) 计算每一条纬线的长度变形。

[实习二] 绘制方位投影经纬线网

一、目的要求

了解方位投影由于纬线半径不同，变形性质则不同。绘制正轴等角、等积、等距、心射方位投影的经纬线网，计算天顶距为 0° 、 30° 、 60° 和 90° 的垂直圈长度比和等高圈长度比，取中心圆半径为 2mm，绘出变形椭圆。

二、方法

(一) 按地图比例尺 1 : 200000000，经纬网密度 15° ，地球半径 6371 公里，计算等角、等积、等距和心射方位投影的纬线半径 [心射方位投影纬线半径 $=R\text{tg}(90^\circ - \varphi)$]。

(二) 画出 4 个投影的经纬线网。

(三) 沿一条经线绘出变形椭圆。

(四) 在心射方位投影上绘出好望角至墨尔本的大圆航线。

[实习三] 绘制正轴等角圆柱投影经纬线网和航线

一、目的要求

掌握正轴圆柱投影经纬线网建立的方法，加深对墨卡托投影变形性质及特性的理解。在墨卡托投影的经纬线网上绘出大陆轮廓及好望角至墨尔本的等角航线。

二、方法

(一) 按地图比例尺为 1 : 15000 万，经纬线网密度为 10° ，绘制墨卡托投影的经纬线网格并转绘大陆轮廓。

(二) 绘出好望角至墨尔本的等角航线，并将心射方位投影上两点间的大圆航线转绘到图上。

[实习四] 地图投影辨认

一、目的要求巩固学过的投影知识，提高识别地图投影种类和分析投影

变形的能力。分析几幅世界地图、大洲地图和中国全图，指出其所用的投影种类及变形性质。

二、方法

- (一) 根据地图上的经纬线形状，确定投影类型。
- (二) 根据中央经线上纬线间隔的变化，判定投影的变形性质。

复习思考题

1. 将地球仪和世界地图进行比较，观察经纬线网和陆地轮廓(如格陵兰、澳大利亚)有什么不同，为什么？
2. 地图投影变形表现在哪几个方面？为什么说长度变形是主要变形？
3. 地图投影按变形性质分为哪几类？它们的特性是什么？
4. 什么叫长度比、长度变形、面积比和面积变形？
5. 方位投影的经纬线形式和变形分布规律是怎样的？方位投影的主要用途是什么？
6. 为什么沿中央经线量取纬线间隔就可以判断方位投影的变形性质？如何判断？
7. 正轴圆柱投影的经纬线形式和变形分布规律是怎样的？
8. 墨卡托投影具有什么特性和用途？
9. 说明高斯-克吕格投影的变形性质、变形分布规律及用途。
10. 为什么说圆锥投影适于作沿东西方向延伸地区的地图？
11. 为什么说伪圆柱和伪圆锥投影都没有等角投影？
12. 多圆锥投影的经纬线形式是怎样的？我国出版的世界地图常用的是什么投影？它具有什么特点？
13. 试述判别地图投影的一般方法。
14. 举例说明选择地图投影的一般原则。

第三章 地图的符号系统

内容提要

地图符号是表达地图内容的基本手段。它不仅能表示事物的空间位置、形状、质量和数量特征，而且还可以表示各事物之间的相互联系及区域总体特征。

图形符号是由形状、尺寸和颜色三个基本因素所组成，具有系统化的特点。注记是地图符号的一个重要部分，它也有形状、尺寸和颜色的区别。

根据事物分布的特点，地图符号有面状、点状和线状之分。这些符号运用在表示专题要素的分布、质量和数量特征以及动态变化时，形成了许多表示法：范围法、质底法、量底法、等值线法、定点符号法、线状符号法、动线法、点值法、定域统计图法、色级统计图法以及定位统计图法。表示地形的主要方法有等高线法、分层设色法、晕渲法等。

第一节 地图符号的实质

一、地图符号的概念和意义

地图符号是表示地图内容的基本手段，它由形状不同、大小不一、色彩有别的图形和文字组成。地图符号是地图的语言，是一种图形语言。它与文字语言相比较，最大的特点是形象直观，一目了然。就单个符号而言，它可以表示各事物的空间位置、大小、质量和数量特征；就同类符号而言，可以反映各类要素的分布特点；而各类符号的总和，则可以表明各类要素之间的相互关系及区域总体特征。因此，地图符号不仅具有确定客观事物空间位置、分布特点以及质量和数量特征的基本功能，而且还具有相互联系和共同表达地理环境诸要素总体特征的特殊功能。

原始地图并无现代地图符号的概念，更谈不上符号系统，那时的地图就象写景的山水画似的，实地上看到什么就画什么，而且尽量使它愈象愈好。随着生产的发展和人类对自然与社会环境认识的不断深入，要在地图上表示的客观事物愈来愈多，形象的画法逐渐地难以满足需要，再加上数学与测量学的发展，才使地图的表示方法从写景向具有一定数学基础的水平投影的符号方向发展，由此地图表示的内容具有了精确定位的可能。进而又出现了将只能反映客观事物的个体符号向分类、分级方向发展，使地图符号具有了一定的概括性，即用抽象的具有共性的符号来表示某一类（级）客观事物。例如用不同形状的线状符号将道路分为铁路、公路和大车路；用两种不同颜色（或晕线）的符号区分建筑物的坚固与不坚固的特征等。这种定位的概念化的地图符号，不仅解决了把复杂繁多的客观事物表示出来的困难，而且能反映事物的群体特征和本质规律。因此，对客观事物进行归纳、分类分级后而制订的概念化了的抽象的地图符号，实质上是对客观事物的第一次概括，这是地图概括的基础。

地图符号的形成过程，可以说是一种约定过程，任何符号都是在社会上被一定的社会集团所承认和共同遵守的，在某种程度上具有“法定”的意义。尤其是普通地图上所使用的符号已经过很长时间的检验，由约定而达到俗成的程度，为广大用图者所熟悉和承认。

符号的作用，在于它能保证它所表示的客观事物空间位置具有较高的几何精度，从而提供了可量测性；能用不依比例符号或半依比例符号表示出地面上较小但又很重要的事物，还能表示地面上没有具体外形的现象；不但能表示事物的分布，而且还能表示出事物的质量和数量特征。特别是运用地图符号，经过概括，可以突出主要事物，使地图内容主次分明，清晰易读，因而才可能在地图上进一步研究客观事物的分布规律，相互关系，使地图成为地理研究中的重要工具。

二、地图符号的分类

由于科学的进步和生产发展的需要，地图所能表达的内容向纵深发展，显示地图内容的符号，虽然经过了抽象概括，但数量还是日趋增多。为了对地图符号的特征和作用有进一步认识，现根据符号的某些特点介绍以下两种分类。

（一）按符号的定位情况分类

可以把符号分为定位符号和说明符号。

定位符号是指图上有确定位置，一般不能任意移动的符号。如河流，居民地，境界等。地图上的符号大部分都属于这一类。它们都可以根据符号的位置，确定其所代表的客观事物在实地的位置。

说明符号是指为了说明事物的质量和数量特征而附加的一类符号，它通常是依附于定位符号而存在的。如说明森林树种的符号、果园符号等。它们在图上配置于地类界范围内，或规则排列或不规则排列，但都没有定位意义。

（二）按符号所代表的客观事物分布状况分类

可以把符号分为面状符号、点状符号和线状符号。

面状符号是一种能按地图比例尺表示出事物分布范围的符号。客观事物呈面状分布，当实际面积较大，按地图比例尺缩小后，仍能显示其外部轮廓时，用面状符号表示。如大的湖泊、大片森林、沼泽等。面状符号是用轮廓线（实线、虚线或点线）表示事物的分布范围，其形状与事物的平面图形相似。轮廓线内加绘颜色或说明符号以表示它的性质和数量（图 3-1）。对于由这类符号所表示的事物，可以从图上量测其长度、宽度和面积。一般又把这种符号称为依比例符号。

点状符号是一种表达不能依比例尺表示的小面积事物（如油库、气象站等）和点状事物（如图 3-1 面状符号控制点等）所采用的符号。地面上一些面积较小，但又有重要意义的事物，按地图比例尺缩小后无法显示时，则采用点状符号表示。从理论上讲，点状符号既没有形状也没有大小，但为了使人们能觉察出来，它必须具有某种尺寸和形状，而且还有颜色的变化。点状符号的形状和颜色表示事物的性质，点状符号的大小通常反映事物的等级或数量特征（图 3-2）。这种符号的形状与大小和地图比例尺无关，它只具有定位意义。一般又把这种符号称为不依比例符号。

线状符号是一种表达呈线状或带状延伸分布事物的符号。在地面上呈线状或带状延伸分布的事物，如河流、道路、境界线等，其长度能按比例尺表示，而宽度一般不能按比例尺表示，需要进行适当的夸大。线状符号的形状和颜色表示事物的质量特征，其宽度往往反映事物的等级或数值（图 3-3）。这类符号能表示事物的分布位置、延伸形态和长度，但不能表示其宽度，一般又称为半依比例符号。

第二节 地图符号的构成特点

一、符号的构成要素

尽管从表面上看地图符号复杂多样，但仔细分析，它们都是利用形状、尺寸和颜色的变化来表示各种面状、点状和线状符号的。因此，形状、尺寸和颜色是构成符号的三个基本要素。

（一）形状

符号的形状主要是表示事物的外形和特征。有些符号的形状类似地物本身的实际形状，如铁路、树木、房屋等，但符号的形状并不完全是地物实际形态的缩小，而是按照地物形状的基本特征加以概括，使其典型化，用规则的图形显示。有些事物并无明显的形状，如境界、经纬线等，则多采用象征性的形状，以便于使读者根据符号联想到实际事物。符号形状一般都具有简单、象形、易于区别和便于定位的特点，这些特点称为符号形状的图案化(图 3 - 4)。

面状符号的形状是由它所表示的事物平面图形决定的。

点状符号的基本形状是规则的几何图形或是不规则的象形图形。点状符号的形状往往与事物外部特征相联系，如绝大多数建筑物是规则形状，因此用正方形或矩形表示它们，独立树的符号是由树的侧面形态简化而来的不规则图形。

线划符号的形状是各种形式的线划，如单线、双线、虚线、点线等。线状符号的形状差异通常与其所表示的事物实地特征有关。例如，用实线表示常年有水的河流，用虚线表示季节性河流，用平行双线表示公路等。

（二）尺寸

符号尺寸的大小和地图内容、用途、比例尺、目视分辨能力、绘图与印刷能力等都有关系。如教学挂图用的符号，就大些；桌上用的科学参考图，因其内容多，又在近距离读图，其符号就小些。不同比例尺的地图，其符号大小也有所不同。比例尺大，图上单位面积中的内容相对较少，符号尺寸就大些；比例尺小，符号尺寸就小些。图 3 - 5 是我国四种不同比例尺地形图图式规定的某些符号的相应尺寸。由此可以看出比例尺和符号尺寸的关系。

但是，这里应当指出，并不是地图符号的尺寸可随着地图比例尺的缩小而无止境的缩小下去，到了线划对视力的分辨能力和对刻绘印刷能力的限度时，就不能再缩小了。表 3-1、表 3-2、表 3-3 分别说明了上述条件的基本数据，可作为认识地图符号尺寸的参考。

表 3-1 不同目视距离对各种线划的分辨能力 (mm)

目视距离	分辨能力				
	点的直径	单线粗度	实线间隔	虚线间隔	汉字大小
250	0.17	0.05	0.10	0.12	2.00
500	0.30	0.13	0.20	0.25	2.50
1000	0.70	0.20	0.40	0.50	4.25

表 3-2 笔绘与刻绘线划的作业能力 (mm)

作业水平	能保持的 线间空白	每毫米内能 绘出的线数	用小笔尖绘 实线	用曲线笔 会实线	刻绘实线
优	0.10	5	0.08	0.05	
良	0.15	4	0.10	0.08	0.03
中	0.20	3	0.12	0.10	-0.05
差	0.25	2.5	0.14	0.10	

表 3-3 平版胶印能力

印刷水平	线粗及间隔 (mm)	每毫米内能辨清的线数
优	0.10	4.7
良	0.12	4.0
中	0.15	3.2
差	0.18	2.7

在一幅图上符号尺寸的变化主要用于反映事物的重要程度和数量特征。

符号尺寸的变化，不适用于面状符号。因为面状符号的范围是由位置决定的，只有严格符合比例尺关系，事物的平面位置才能表示出来。

点状符号尺寸的变化范围，可以从最小尺寸以定出点位，直到把符号夸大用以表示数量指标。只用于定位的符号大小决定于两个条件：第一，可以看清它的形状的最小尺寸；第二，它的大小用于说明它的重要程度。用于表示数量指标的点状符号尺寸变化通常有两种情况：一种是按照一般的等级确定，例如大、中、小，主要和次要等；一种是根据数值确定，为了能看出一系列点状符号的差别，使不同符号的面积可以进行比较，需要采用规则的几何符号如圆和正方形等。不规则符号只能用于表示等级差异。

用规则的几何符号表示数值时，符号尺寸的变化要与所代表的数量成一定比率关系，这种符号又称为比率符号。比率符号可以有绝对比率符号和任意（条件）比率符号两种。所谓绝对比率符号是指符号面积大小与它所代表的数值成正比率关系。在采用这种符号时，要逐一计算代表每个数值的符号面积。因此就要规定比率基数和计算各个符号的准线长度。符号的准线是用以确定符号面积的基线，如圆的半径、正方形的边长等。比率基数是指单位准线长度所代表的数值，如规定半径为 1 毫米的圆形符号代表 1000 吨。有了比率基数以后，就可以计算出代表任一数值的符号准线长度了。

绝对比率符号大小的变化可以是连续的，也可以是分级的。前者称为绝对连续比率符号，后者称为绝对分级比率符号。绝对连续比率符号是使每个符号面积与它所代表的数值成绝对正比关系（图 3-6a）；绝对分级比率符号

是把数值适当地分成若干组（或等级），属于同一组的数值，采用同样大小的符号（图 3-6b）。这种分级比率符号的大小不是和事物的每一个数值成绝对比率，而是与各组中数值的平均值成正比，也有的是与各组中最大或最小数值成比率的。

任意比率符号是指符号的大小大体上表示数值的多少，但与所代表的数值并不成绝对正比关系。所谓任意比率就是在确定符号的尺寸时，给予一定的条件，使最小的符号能清晰易辨，最大的符号也不过大。为此，采用这种符号时，必须规定最小符号和最大符号的准线长度，而其他各个符号的准线长度取其中相应的尺寸。任意比率符号也分连续的和分级的两种。任意连续比率符号和绝对连续比率符号相类似，只要有一个数值，就必须有一个一定大小的符号与它相对应（图 3-6c）。任意分级比率符号也与绝对分级比率符号相类似，将数值分成若干组（或等级），采用同样大小的符号表示同属一组的数值（图 3-6d）。

线状符号的尺寸，对于单线符号，是指它的线宽，对于双线符号则指线宽和间隔（图 3-7）。线状符号的宽度一般是夸大的，所以线划宽度应不大于线划感觉的最小尺寸，只有对地图内容有重要意义的符号如道路、境界线，才用比真实尺寸夸大得多的符号表示。线状符号尺寸的变化也可以表示出有关于定位的数量指标，如交通流量、河流径流量、贸易量等。用线状符号尺寸的变化表示数值时，一般使线划宽度与所代表的数值成比率，可以采用绝对比率或任意比率，也可以是连续的，也可以是分级的。

（三）符号的颜色

颜色这个要素，在地图上运用很广泛，主要是因为颜色容易产生明显的视觉差别。使用颜色可以增强地图各要素分类、分级的概念，简化符号的形状差别，减少符号数量，提高地图的表现力。为了充分发挥颜色的作用，必须利用颜色的感觉和象征意义。

颜色的感觉颜色能给人以不同的感觉，而其中有些感觉是趋于一致的，如颜色的冷暖，兴奋与沉静，远与近等感觉。颜色的冷暖感，主要是由人们对自然现象颜色的联想所致，如人们看到红、橙、黄等色，易联想到太阳、火焰产生温暖感，因而这些颜色被称为暖色。蓝、绿、紫等色使人联想到海水、月夜、阴影而产生寒冷的感觉，因此被称为冷色。这种冷暖感在地图上运用很广泛，例如在气候图中，总是用蓝、绿等冷色表示降水、寒流、一月份平均气温；红、橙等暖色总是用来表示日照、暖流、七月份平均气温等。

颜色的沉静与兴奋感，是指暖色往往能给人以兴奋、冷色往往能给人以沉静的感觉，在地图上常根据用图对象而选择颜色。例如，供老年人阅读的地图，多用沉静色；供青少年阅读的地图，一般多用兴奋色。

颜色的远近感，是指人观察地图时，处于同一平面上的各种颜色给人以不同远近的感觉。将红、橙、黄、蓝、绿、紫等色排在一起，仿佛红、橙、黄（暖色）离眼睛较近，有凸出、前进的感觉，常被称前进色；而蓝、绿、紫（冷色）仿佛离眼睛较远，有凹下、后退的感觉，常被称后退色。地图上常利用颜色的远近感来区分内容的主次，如主要的内容用浓艳的暖色，次要内容用浅淡的冷色等，可使地图内容表现出不同层次。

颜色的象征意义颜色并没有很确切的象征性规定，但是，大自然丰富的

色彩和人们使用颜色的习惯造成的长期印象，使某些颜色逐渐形成了习惯的象征性含义。如红色，使人易对自然界中的鲜艳的花朵、丰硕的果实产生联想，因此常以红色象征艳丽、饱满、欢乐、兴奋、胜利等；绿色可称之为生命之色，可作为农、林、牧业的象征色，还可以象征春天、青春、和平等。在地图上利用颜色的象征性意义，丰富了地图的信息量，加强其传输效果。例如在几乎所有国家的普通地图上，各要素的用色都大同小异地成了习惯，水系用蓝色，森林用绿色，地形用棕色等，这就是自然景色象征意义的具体应用。

现代地图上使用颜色主要用以反映事物的质量特征、数量特征和等级。

面状符号的颜色变化有两种：一是色相（如红、黄、蓝等），二是色调（颜色深浅的变化）。通常用色相的变化表示质量差异，用色调的变化表示数量差异或等级。面状符号常具有背景的意义，大的面积符号应采用亮度大、饱和度低的颜色。用颜色表示数量差别时，一般用深色调表示大的数值，用浅色调表示小的数值。如果数量等级超过4种以上，就难以在一种颜色中反映出它的变化，最好是运用光谱中接近的色相结合，能给出较好的效果。例如红和黄配合就产生橙色。

面状符号在单色图（黑白地图）中，类型差异可用图案或花纹表示，数量差异可用不同疏密的晕线表示（图3-8）。

点状符号颜色的变化主要是色相的变化。色相的选择受符号的大小、符号的重要性以及颜色的协调等因素影响。小的点状符号必须以鲜艳的颜色表示，以便使它与背景色有清晰的对比。如果是面积较大的点状符号，则可以用亮度较大、饱和度较低的颜色。

线状符号的颜色变化主要依靠色相的变化。色相选择必须与背景底色有足够的反差，并且与其他颜色也要有适当的对比。有颜色的虚线和点线使线状符号在色调上有差异。

二、地图符号的系统化

由形状、尺寸和颜色变化组成的各种地图符号并不是孤立的，它们具有内在的联系。通过符号的变化可以把地图内容的分类、分级、重要、次要等不同情况表达出来。例如道路符号，一般分为铁路、公路和其他道路，分别用黑白相间双线、单线和虚线表示其性质上的差异（图3-9）。小比例尺地图上的居民地分别用大小不同的圈形符号表示其人口数量的不同。符号系统还表现在不同比例尺地图符号之间的联系（图3-10）以及组合的符号上，图3-11中齿线符号的基线总是代表陡面的上部边缘，短线表示陡坡的方向。利用黑、棕、蓝三色分别表示人工、天然和水部三种状况，再配合其他符号或注记，就可组成大量的符号，其系统性是明显的。

三、符号的感受效果

地图是由在不同位置上的符号图形所组成的，符号的复杂排列能引起视觉的不同感受。读图时可获得整体感、差异感、立体感等不同的感受效果。

（一）整体感

整体感是指观察由不同要素组成的图形时，没有哪一个要素显得特别突出，它好象一个整体。整体感主要依靠符号之间不存在明显的差别而形成的。例如，全国分省地图，采用近似色或各种颜色饱和度大致相同的省区设色，阅读时可获得全国疆域的整体概念。又如普通地图由于对各要素表示的相对均衡，故其整体感强。

（二）差异感

差异感是由不同组成要素在图形间产生明显区别而形成的。差异感表现为以下三种。

1. 质量差异是指区分事物类别（质量差别）的感受效果。利用形状和颜色间的较大差别可以产生质量差异感。

2. 数量差异是指从符号上获得具体数值的感受效果。这种感受效果需要经过比较仔细的辨别，并且应有一个比较的标准。符号尺寸的变化是产生数量差异感的主要因素。例如从正方形、圆形符号的面积大小，可产生数量差异的效果。从同一色相不同色调的变化亦能较清晰地反映出数量差异。

3. 等级差异是指从观察符号能迅速而明显地区分出主要、次要及等级的效果。符号的尺寸、色调、密度是构成等级感的主要因素，例如普通地图上居民地符号的大小、注记的大小、分层设色等。

（三）立体感

立体感是指在平面地图上获得立体效果。立体感主要是利用透视的方法，通过改变符号的尺寸、颜色的亮度等来实现。例如晕渲法就是利用光影，模拟地表面受光的强弱，用浓淡不同的色调显示地形起伏而产生立体感。

第三节 地图上显示面状分布要素的方法

面状分布的地理事物很多，其分布状况并不一样，有连续分布的，如气温、土壤等，有不连续分布的，如森林、油田、农作物等；它们所具有的特征也不尽相同，有的是性质上的差别，如不同类型的土壤，有的是数量上的差异，如气温的高低等。因此，表示它们的方法也不相同。

一、范围法

对于不连续分布的面状事物的分布范围和质量特征，可以用面状符号表示。符号的轮廓线表示其分布位置和范围，轮廓线内的颜色、网纹或说明符号表示其质量特征。这种方法称为范围法。例如森林，是一种不连续分布的面状事物，在地图上通常用地类界与底色、说明符号以及注记等配合表示。地类界是指不同类别的地面覆盖物的界线，在地图上常用细实线、虚线或点线表示。底色是指普染的面状颜色，如森林常用绿色普染。说明符号是指只起说明作用而不定位的小符号，这些小符号可以表示森林的种类（如针叶林、阔叶林等），它们可以采取整列式或散列式排列。注记是在大面积森林分布范围内，加注一些质量和数量方面的指标，如树种、树的平均高度、平均胸径等。

表示事物分布范围的界线有精确与概略之分。精确的范围，要求尽可能准确地表示出事物的分布界线，这种界线通常用实线表示。概略的范围则要求大致表示出事物的分布界线，这种界线一般用虚线或点线表示，有时甚至可以不绘出轮廓线，而只用说明符号、文字注记或单个符号表示其概略的分布范围。图 3-12 是精确的和概略的范围表示棉花分布区示例。采用精确的或概略的分布界线，取决于地图的用途、比例尺、资料的详细程度，特别是事物本身的分布特征。如事物本身的分布界线就很难精确划定（如动物分布），则只能采用概略的分布界线。

根据事物的分布情况，范围法可以有两种概念：绝对范围和相对范围。绝对范围是指所表示的事物仅仅分布在该区域范围之内，如在轮廓线之内是油田，轮廓线之外就不是油田。相对范围系指图上所画出的范围只是事物集中分布的地区，而范围以外的同类事物，由于面积小而分散，则不予表示。例如农作物分布区多属此类。

范围法简单清晰，易于阅读，常用于表示农作物分布、牲畜分布、矿产分布等。范围法既可以在图上表示一种事物，又可以表示两种以上的事物。当用范围法表示几种事物时，往往出现局部相互重叠情况，这表明在重叠范围内，分布着几种制图对象。

二、质底法

对于连续分布的面状事物的类型及其分布地域，可以用面状符号表示。面状事物的类型是按某种指标划分的，分类不能重叠，各类是彼此毗连的。用线划表示分类界线，用不同底色或晕线、注记等表示质量差别。这种方法称为质底法。图 3-13 是质底法用两种不同符号表示制图区域内各部分类型差

别的例子。质底法可用于有较精确界线的各种类型图，如地质图、土壤图、植被图等。还有一种以网格形式表示质量差别的，也属于质底法，由于类型分布的范围受网格的限制而呈棱角状，所以只能表示类型分布的概略范围(图 3-14)。

质底法鲜明美观，清晰易读，是地学研究中经常使用的方法。当在一幅图中用质底法表示专题要素的多级分类时，一般常用颜色表示一级分类，用晕线表示二级分类，用注记或说明符号区分更低一级的类别。

三、量底法

对于连续分布的面状事物的数量特征及其分布地域，可以用面状符号表示。一般将面状事物的数量分为 5 至 7 个等级，用线划表示各个等级的界线，用不同浓淡色调或晕线疏密表示数量级别，通常用浓色调或密的晕线表示数量大的级别，浅色调或稀疏晕线表示小的数量。这种方法称为量底法(图 3-15)。它常用于地面坡度图、地表切割深度和切割密度图等。若用网格形式表示数量特征，也属于量底法。图 3-16 是用这种方法绘制的人口密度图。

四、等值线法

对于连续分布的面状事物的数量特征及变化趋势，可以用一组线状符号表示。每一条线划都是数值相同的各点联成的平滑曲线，称为等值线(等值线因其所表示的事物不同，而有不同的具体名称，如表示气温的称为等温线，表示降水量的称为等降水量线等；表示陆地地形和海底地形的称为等高线和等深线)。等值线的符号一般是细实线加数字注记。运用一组等值线来表示制图对象的分布、数量特征及变化趋势，称为等值线法(图 3-17)。

在一幅等值线图上，等值线的数值间隔一般应是常数，这样就可以根据等值线的疏密，判断制图对象的变化趋势。如在等温线图上，等温线密集表示地区温差大，等温线稀疏表示地区温差小。

在等值线图上，除注明等值线所代表的数值外，还常运用颜色加强直观性和反映数量差别。如在等值线之间普染深浅不同的色调或绘以疏密不同的晕线，使色调的深浅或晕线的疏密与数量相对应，则可更加明显地反映出数量变化的规律和区域差异。

地图上的等值线是根据一些点上的测量或观测数据，用内插法求出等值点，将等值点连接而成。例如等温线是根据一些气象台站多年观测的气温平均值，将这些气象台站的位置在地图上标定并注明温度，然后在这些台站之间，用内插法找出温度相等的各点，由这些等值点连成的线即为等温线。由此可知，等值线的精度取决于数据点的数量和数据的精度，点数多，数据准确，等值线的精度高，反之，精度差。因而要求数据点应有一定的数量，且各点的数据指标应具有同一基础。例如等高线必须根据同精度测量和同一高

程起算基准的成果，等温线必须根据有较长时期记录的各地同期的观测记录的平均值等。

等值线法适合于表示地面或空间呈连续分布、且逐渐变化的地理事物。对于错综复杂而又不是连续分布与递变的社会经济现象，如人口、人均产值等，则一般不宜采用。

第四节 地图上显示点状分布要素的方法

地面上真正的点状事物很少，一般都占有一定的面积，只是大小不同。这里所谓的点状分布要素，是指那些占面积较小，不能按比例尺表示，又要定位的事物。因此，面状分布事物和点状分布事物的界线并不严格。如大型居民地，它在地面上占有一定范围，可以说是面状分布事物，一般在大、中比例尺地图上能按比例表示出其轮廓形状和内部结构（街道、街区等）；可是在小比例尺地图上就不能按比例表示其形状和大小，此时，居民地就成为点状分布事物了，要改用点状符号表示其位置、行政意义和人口数量。

对于点状分布要素的质量特征和数量特征，可以用点状符号表示。通常以点状符号的形状和颜色表示质量特征，以符号的尺寸表示数量特征，将点状符号定位于事物所在的相应位置上，这种方法称为定点符号法。

一、符号的形状和颜色显示质量特征

点状符号的形状有几何的、文字的以及象形的三种（图 3-18）。

几何符号是以简单的几何图形代表事物的性质。由于几何符号具有定位明确、图形简单、绘制容易、区别明显、容易比较大小等优点，使用比较广泛。

文字符号是以简单文字或字母作为符号表示事物的类别。如以 Fe 代表铁，以 Cu 代表铜等。这种符号能望文生义，便于阅读。但定位不易准确，不便于比较数量大小。

象形符号是用简单而形象化的图形表示事物的质量特征。这种符号通俗易懂，便于阅读。但在图上所占面积大，很难表示出准确位置，也不易比较数量大小。

符号的颜色比符号的形状更容易显示事物的性质差别，如红色与绿色，在视觉感受上比用不同形状（如圆与椭圆）更容易显示两者的差别。因此在地图上，往往用不同色相的符号表示主要差别。

二、符号的尺寸表示数量特征

用点状符号表示数量特征时，为了便于比较数量差别，需要采用几何符号，使符号面积大小与其所代表的数量多少成一定的比率关系。当采用绝对比率符号时，必须规定比率基数与计算各符号的准线长度。确定比率基数时要考虑事物的最大数量与最小数量，使按规定的比率基数计算出来的代表最大数量的符号不过大，以免影响其他符号的配置；代表最小数量的符号也能清晰可辨。在采用绝对比率符号的地图上，有的注明符号的比率基数，例如半径 1 毫米的圆，代表产量 5000 吨，这样就可以量各符号的准线以推算其所代表的数量。推算公式为 $M=L^2M'$ ，式中 M' 为比率基数， L 为符号准线长度， M 为所求的数量。例 $L=2$ 毫米，则 $M=2 \times 5000=20000$ ，即半径为 2 毫米的圆，代表数量为 20000 吨。绝对比率符号的优点在于符号大小完全与它所代表的数量大小一致，因而可以正确比较它们的数量关系。缺点是当事物的最大数量与最小数量相差悬殊时，符号的比率基数不易确定，若使最小符号清晰可

辨，则最大符号就会特别突出；若使最大符号不过大，则最小符号又不易辨清。

任意比率符号的大小与其所代表的数量并不成绝对正比关系，运用这种符号时，可以规定最小符号与最大符号的准线长度，使最小符号清晰可辨，最大符号也不过大，这就既能使地图内容协调，又不增加地图的载负量。在采用任意比率符号的地图上，为便于读者根据符号准线长度量算其所代表的数量，往往要列出符号的比率图表（图 3-19）。

无论是绝对比率符号还是任意比率符号，符号大小的变化可以是连续的，也可以是分级的。连续的就是每一个数值必有一个符号与其相对应。应用这种符号，在图上能直接依据符号的大小推算相应事物的数量。但两个数量相差很少的符号，在图上也很难分辨。

分级的就是将数量适当地分成若干等级，将同属于一个等级的数量，采用同样大小的符号表示。分级的方法有等差分级（如 0—10，10—20，20—30，...）、等比分级（如 50—100，100—200，200—400，400—800，...）和任意分级（如 0—10，10—25，25—50，50—100 等）等。究竟采用哪种分级方法，要根据事物数量变化的特征决定。如果数量变化比较均匀，可采用等差分级；如果数量变化从小到大急剧增加，则以采用等比分级为宜。但无论采用哪种分级方法，级数均不可过多，过多了，图形大小很难区分。应用分级符号，确定相应符号尺寸的工作量大大减少，图例简化，便于阅读；由于分级的数量具有一个区间，在一定时期内能保持地图的现势性。但在同一级内的事物数量差别显示不出来，而相邻分级界限上下的数量，本来相差不多，反而分属两级，符号尺寸的差别却很显著。

上述方法是利用符号尺寸表示某事物的一种数量差别。现在还有一个符号表示两种数量特征的方法。它是指定几何符号的两个元素如椭圆的竖轴和横轴，三角形的底和高代表某事物的两种数量指标，随着该事物在不同地点上的两种数量不同，而成为形状不同的三角形或椭圆形（图 3-20）。

三、符号的结构显示事物的内部组成

一个简单的几何图形，只能表示位于某地点的一种事物。如果在一个点位上需要表示几种事物或一种事物的各个组成部分，则可以将一个几何图形分成几个部分，每一部分代表一种事物，这种符号称为结构符号（图 3-21）。最常用的是圆形结构符号，它是以整个圆形面积代表事物的总量，将圆分割成若干扇形，每个扇形代表事物的一个组成部分。例如圆面积代表某地的工业生产总量，而各工业部门的生产量可换算成百分比，据此将圆分割，以显示各工业部门所占的比重。为了区别各工业部门，需在每个扇形中填绘不同的颜色或不同形式的花纹图案。如果只表示有几个工业部门，而不表示各部分的比重，则各扇形的面积是相等的。

四、符号的扩展显示动态变化

若要反映一定时期内事物的发展变化，可以利用符号本身由小到大向外扩展的形式，例如同心圆或外接圆，这种形式的符号称为增量符号（图 3-22）。增量符号一般是以小的符号表示原来的状况，扩张出来的部分表示增长的状况，两者之差就是在此时期内的增长数量。

定点符号法是表示点状分布要素的唯一方法，它既可以表示事物的质量差别，又能反映数量差别，利用结构符号和增量符号还可以表示事物的内部组成和发展动态，因此这种方法在专题地图上应用很广。定点符号法的缺点是符号所占的面积大，往往容易发生重叠现象。

第五节 地图上显示线状分布要素的方法

在地面上呈线状或带状分布的事物很多，如交通线、河流、境界线、地质构造线等，对于这事物的分布质量特征和数量特征可以用线状符号表示。通常用线状符号的形状和颜色表示质量差别，用线状符号的尺寸变化表示数量特征。这种方法称为线状符号法（图 3-23）。

一、线状符号的形状和颜色表示质量特征

线状符号的形状有多种形式：平行双线，单线，实线，虚线，点线，结构不同的线划，对称性和单向性线划（图 3-24），此外还有由细逐渐变粗的线划（例如河流）等等。线状符号一般用色相表示质量差别，如河流用蓝色，铁路用黑色，公路用红色等。但有时也用色调的变化来表示等级差异，例如用深蓝色表示主要河流，浅蓝色表示次要河流。

二、线状符号的尺寸表示等级差别或数量特征

线状符号尺寸主要是线宽，通常用线状符号的粗细表示事物的等级差异。例如境界线，国界线符号比省界线符号粗，省界线符号又比县界线符号粗。若用线状符号的宽度表示数量特征时，要使符号的宽度与数量成比率关系，可以采用绝对比率或任意比率；可以是连续的，也可以是分级的。例如在《中华人民共和国自然地图集》中中国河川径流变率和经流系数图上，是以线状符号的宽度表示我国主要河川径流及其沿河床断面流量变化，图上 1 毫米等于断面多年平均流量 $1700\text{m}^3/\text{s}$ 。

三、线状符号表示事物分布的方法

线状符号在表示事物的位置时有三种情况。一是以线状符号的中心线表示事物的实际位置，如铁路、公路、海岸线、河流境界线等。二是线状符号的一侧表示事物的实际位置，另一侧向外扩展形成一定宽度的色带，如加彩色带的境界、海岸类型等。三是不严格定位的，如空中航线、海上航线，只表示通航地点而不表示航行路线的位置（图 3-25）。

第六节 地图上显示事物移动的方法

地面上有些自然或社会经济事物是移动的，按这些事物的分布特征来看，有线状事物的移动，如战线移动；有面状事物的移动，如大气的运动。它们在地图上用带箭头的线状符号表示。这种符号又称为箭形符号或动线符号（图 3-26）。动线符号不仅可以表示事物移动的方向、路线，而且能表示事物的质量特征以及事物运动的速度或强度。这种方法称为动线法。

一、动线符号的形状和颜色表示事物的质量差异

动线符号的形状与线状符号相似，有双线、单线、实线、虚线等等；符号的颜色，多用色相区别质量特征，如用红色表示暖流，用蓝色表示寒流。

二、动线符号的宽度（或长度）表示事物的数量特征

用宽度（或长度）表示数量特征时，要使符号的宽度（或长度）与事物数量成比率关系。可以是绝对比率，也可以是任意比率；可以是连续的也可以是分级的。

动线符号也可以表示事物的结构。例如在货流图上，为了区分货物种类，可将货流量的条带分为若干组成部分，用颜色或晕线加以区分（图 3-27），每部分的宽度与其所代表的货流量成比率。

三、表示事物运动路线的方法

线状事物移动的轨迹是线。以单一的动线符号可以表示线状事物运动的路线。运动路线有准确与概略之分，准确的路线是将事物运动轨迹表示在图上，概略的路线只表示运动的起讫点和方向。例如图 3-28 左图表示上海的货物由沪宁铁路运往南京，货运路线是准确的；右图是用直线表示概略的货运路线。运动路线准确与否是根据地图用途、比例尺和资料的详细程度以及事物本身的性质决定的。

用动线法表示面状分布事物的运动时，是以许多首尾衔接的动线符号表示其运动的路线。如图 3-29 在一月份大西洋洋面上布满了向一定方向弯曲且首尾衔接的动线符号，表示大西洋一月风向和风力状况。图上以符号的宽度表示风力大小，以符号的长度表示风向稳定的程度。

第七节 地图上显示统计资料的方法

一、常用的几种统计图形

统计资料是编制专题地图的重要资料。将统计资料用图形形式绘在地图相应的位置上，可以表示某些事物的数量特征或在一定时间内数量上的发展变化。常用的统计图形有下列几种。

(一) 结构图

将简单的几何图形（如圆形、环形、正方形等）分成几个部分，用以表示不同事物的总量及各个部分所占的比重。图 3-30 为 1983 年我国对外贸易构成图，可用以比较我国进口和出口贸易中初级产品和工业制成品的比例关系。

(二) 柱状图

柱状图（图 3-31）以横坐标表示时间、地点或类别，以纵坐标表示数量，根据柱的高度可以比较事物的数量变化。

将两个或两个以上指标所表示的柱状图合并，可构成复合柱状图，如图 3-32。在这个柱状图上，不仅可以读出各洲不同时期的人口数量及增长趋势，而且还可以比较各洲同期的人口数量。

(三) 水平条形图

水平条形图（图 3-33）是柱状图的横排形式，它是以纵坐标表示时间、地点或事物类别，以横坐标表示数量。根据条带的长度可以看出数量变化。

(四) 塔形图

塔形图是由许多水平条形叠置而成，主要用于表示人口年龄的构成，是对人口进行统计分析的一种基本图形（图 3-34）。它的纵坐标表示各年龄组，横坐标表示各年龄组人数占总人口数的百分比（男左女右）。根据各年龄组条带的长度可以看出人口年龄的构成。

塔形图是按性别表示不同年龄组数量及其构成，根据塔形图可以分析人口增长的趋势：增长型、缩减型和静止型。增长型是指每年出生人数多于前一年出生的人数，因而年龄越小的组所占比重越大，塔形图呈上尖下宽的形状。缩减型是指每年出生人数少于前一年出生人数，因而年龄愈小的组人数愈少，所占的比重越小，塔形图呈现底部收缩的形状。静止型是介于前两者之间的人口年龄结构，它的人口既非逐渐增加，又非逐渐减少，所以塔形图的上下宽度基本一致（图 3-35）。

(五) 曲线图

曲线图（图 3-36）以横坐标表示时间，纵坐标表示数量指标，根据曲线的升降，说明事物在时间上的发展变化。在曲线图上，对于非渐变特征的事物，如社会经济要素，曲线呈折线状；对于具有渐变特征的事物，如自然要素，曲线呈平滑状。

（六）玫瑰图

玫瑰图是以“玫瑰花”形式表示各方向上数量指标的图形（图 3-37）。它常用于表示风向和风速。例如风向玫瑰图是将风向分为 8 个或 16 个方位，各方向上线的长短表示该方向风出现的频率。

二、定域统计图法（分区统计图法、图形统计图法）

定域统计图法是根据各区划单位（通常是行政区划单位）的统计资料，将事物总的数量指标绘成不同形式的图形，配置在地图上该区划单位之内，借图形的大小或多少，表示各区划单位同一事物数量上的差别（图 3-38、3-39）。

定域统计图法中常用的图形有简单的几何图形、结构图、柱状图、水平条形图等。应用简单的几何图形表示数量时，可以有两种方法。第一是在每个区划单位内画上相似的图形，借图形的大小表示数量的多少。为使几何图形的面积与数量成比率关系，它可以是绝对比率也可以是任意比率，可以是连续的也可以是分级的。如果要表示事物的内部组成，则可使用结构图。第二是在每个区划单位内画若干同样大小的图形，借图形的多少来表示数量差异。

定域统计图法还可以用由小到大的扩展图形或柱状图、曲线图等表示不同时期内事物的发展变化（图 3-40）。

定域统计图法所依据的资料往往是按国家行政区划单位统计出来的，比较可靠，能较明确地显示资料的空间分布状况，所以得到广泛的应用，但这种方法不能精确地反映事物的地理分布。

三、分级统计图法

分级统计图法是根据各区划单位（通常也是行政区划单位）的统计资料，将事物的数量指标（如平均密度、发展水平等）划分为若干等级，按照级别高低，在图上相应区划单位内，染上深浅不同的颜色或绘疏密不等的晕线，以表示各区划单位间的差别。图 3-41 是用分级统计图法绘制的中国人口密度图，由图上可以看出各省人口密度的差别。

分级统计图法用于表示数量的相对指标时，又称为比值分级法。

分级的方法可根据地图用途、事物分布特点和数量指标决定，通常有等差分级、等比分级，逐渐增大分级（如 0—10、10—30、30—60、60—100 等）和任意分级。分级不宜过多，过多会使图面复杂，颜色深浅差别不明显，就缺乏表现力；分级也不可太少，太少就表现不出各地区间的差别。一般以 5—10 级为宜。

分级统计图法绘制简单，容易阅读，又因所表示的是相对数量指标，利于保密，现势性强，故应用较广。但这种方法只能反映区划单位内的平均数

量，显示不出内部差异。当然，所采取的区划单位愈小，则每一区划单位内部差异就会相对缩小，所反映的情况也就比较正确。

四、定位统计图法

定位统计图法是将固定地点的统计资料绘成不同形式的图形，配置在地图上的相应地点上，以表示事物的数量特征和在一定周期内的变化。定位统计图法中常用的图形有柱状图、曲线图、玫瑰图和塔形图等。如用柱状图表示某地全年 12 个月降水量的变化；用曲线图表示气温的变化；某居民地按性别、年龄分类的人口数可绘成塔形图；玫瑰图可以表示某地点特定时间内不同方向的风的频率和风速，玫瑰图中心的数字表示无风的日数或平均风速。定位统计图由于其图形较大，定位不能准确，其图上位置只能尽量靠近事物的所在地。

定位统计图法从单个图形来看，是反映某地点上事物的数量特征及其在一定周期内的变化；但若干个同类型的图形配置在制图区域范围内各典型地点上，则可以反映整个制图区域内各地数量变化情况（图 3-42）。

五、点值法

点值法是根据各区划单位（通常是行政区划单位）的统计资料，将事物的数量，用许多大小相等、形状相同的点状符号表示。每个点状符号代表一定的数值，点状符号分布的疏密反映事物大致分布情况及数量特征（图 3-43）。

点值法所采用的点状符号，一般是直径为 0.4—0.5 毫米的点子。运用点值法时，需要解决两个问题，即确定点值和选择布点方法。点值就是每个点子所代表的数量，如果点值定的太小，点的数量就必然很多，图上就会出现点子过密甚至容纳不下的情况；如果点值定的太大，图上只有少数的点子，不能很好地表示事物的分布状况。为了确定恰当的点值，通常是采取试验的方法，即先在图上选一个小地区，它应当是事物分布密度最大的地区，将已定好直径的点子紧密而均匀地布满全区，然后以这个地区范围内事物的总数量除以点数，即可得到每点所代表的数值。如果这个数值不是整数，应当将它凑为整数，以便计算。例如在一个小地区范围内共布 50 个点，这个地区水稻产量为 48600 吨，则每点代表 972 吨，凑整后每点代表 1000 吨。

布点的方法有两种：一是均匀布点法，一是条件布点法。均匀布点法是运用统计的方法把点均匀地布设在一定的行政区划（如县、乡）范围内。这种方法不能表达区内的差异，但如果采用的行政区划很小，布点以后，再将行政区划界线去掉，从整体看，图上所布设的点就不是均匀而是有密度差别了。

条件布点法是根据事物的地理分布情况布点。布点时必须参考与该事物分布有密切关系的资料，在有详细的地理要素底图上进行。图 3-43 是条件布点法的例子，条件布点法比均匀布点法可以较为准确地反映事物的实际分布情况。

点值法简单、直观，故广泛应用于表示农作物的分布、牲畜分布、耕地分布及人口分布等。在一幅图上可以应用两种不同颜色的点子反映两种事物的分布及数量特征，但这两种事物必须是分别集中于不同地域，例如在一幅图上表示甘蔗与甜菜的分布。还可以用两种不同颜色的点子表示某种事物的发展变化，例如用橙色点子表示原有的果园，用红色点子表示新增果园，从而可以反映出果园面积扩大的情况。

运用点值法时，如果各地区数量差异很大，难以用一个点值反映事物的数量特征时，可以采用不同的点值，如图 3-44，采用四种点值：10000，1000，500，100。应用不同点值时，最好使点的面积大小与其所代表的数值成比率关系。

第八节 地图上显示地形要素的方法

地形要素的特点是三维的。在平面的地图上显示地形的高低起伏和形态特点是比较困难的。长期以来人们一直在探求既要在图上能显示出地形的形态，又要能测量高度、坡度，而且还要有立体感。到目前为止，在地图上显示地形要素的方法虽然很多，但它们都还不够完善，只能根据地图的不同用途加以选用。下面介绍常用的等高线法、分层设色法、晕渲法和写景法。

一、等高线法

等高线是表示地面起伏形态的等值线。它是把地面上高程相等的各相邻点所联成的闭合曲线，垂直投影在平面上的图形（图 3-45）。一组等高线可以显示地面的高低起伏形态和实际高度，根据等高线的疏密和图形，可以判断地形特征和斜坡坡度。所以在现代地形图上，都用等高线表示地形要素。

相邻两条等高线的高程差称为等高距。对于同一山体来说，等高距大，等高线就少，地形显示得粗略；等高距小，等高线就多，地形显示得详细。所以用等高线显示地形的详细程度取决于等高距的大小，而等高距的大小与地图比例尺和地面起伏情况有关。一般说来，比例尺大而地面起伏平缓，则等高距小；反之，则等高距大。表 3-4 是我国几种不同比例尺地形图所采用的等高距。在大、中比例尺地形图上等高距是固定的，根据等高线的疏密可以判断地形的变化情况。

一般规定在一种比例尺地图中只采用一种等高距，称基本等高距，按这种等高距绘出的等高线，叫基本等高线，也叫首曲线。例如 1:50000 比例尺地形图规定等高距为 10 米，图上 10、20、30……米的等高线就是基本等高线。它可以显示地形的基本形态。但由于地形变化是复杂的，按基本等高距有时难以将地形全部特征都仔细表示出来，因此，为了显示局部地形起伏，需要在两条基本等高线之间加绘 1/2 基本等高距的等高线，这种等高线称为间曲线，也叫半距等高线。当用间曲线仍不能充分显示地形微小起伏时，还可加绘 1/4 基本等高距的等高线，这种等高线称为助曲线，也叫辅助等高线。在图上，基本等高线用细实线表示，半距等高线和辅助等高线分别用与基本等高线同粗的长虚线和短虚线表示。此外，为了便于查看等高线的高程，规定从零米起算，每隔 4 条（或 3 条）基本等高线绘一条加粗实线，即把等于 5 倍（或 4 倍）等高距的等高线加粗，并注上高程，这些等高线称为计曲线。也叫加粗等高线。如 1:50000 比例尺地形图上的 50、100、150、…米等高线均为计曲线。

表 3-4 各种不同比例尺地形图的等高距

比例尺	平原-低山区 (m)	高山区 (m)
1 10000	2.5	5
1 25000	5	10
1 50000	10	20
1 100000	20	40
1 250000	50	100
1 500000	100	200

实测地形图的等高线是根据一些地形特征点的高程测量数据，在同一坡面上相邻两点间，用内插法求出高度相同的各点，然后连接而成(图 3-46)。

在用等高线表示地形的图上，对于一些范围小、变化突然的地形形态，常需要使用专门的符号表示。如土堆、溶斗、隘口、山洞等，由于它们形态小又分散，一般用定位的点状符号表示。对于有些成片分布、但高差不大的地形形态，如石块地、残丘、龟裂地等，通常是在分布范围内示意性的配置不定位的说明符号表示。还有因地形形态急剧变化而辅以符号的，如冲沟、雨裂、陡崖、滑坡等，这些符号大多能按比例表示其分布范围、长度和上下边缘线位置；不能完全按比例表示的，图上也能正确表示其上边缘的正确位置(图 3-47)。此外，对于冰川地貌，如冰隙、冰陡崖、冰塔等，也都用特殊符号表示其大致的分布位置。

在小比例尺地图上用等高线表示地形，由于等高距的扩大和等高线图形的概括，使等高线的作用和性质发生了变化，即不能再依据它量测高度和坡度了。小比例尺地图，常因制图区域范围广，可能包括各种地形类型，如有平原、丘陵，也有山地，若用固定等高距，难以反映出各种地形情况，故通常采用的等高距是随高程增加而逐渐增大。这是因为陆地有 68% 的地区高度在 1000 米以下，其中 0—500 米和 500—1000 米各占 34% (图 3-48)；高度在 1000 米以上的地区，面积突然减少，1000—1500 米占 13%，1500—2000 米占 5%；而高度在 2000 米以上的地区，则不到陆地面积的 15%。以上数据表明，对 1000 米以下地区有条件用较小的等高距，使等高线能较详细地表示平原、丘陵、低山地区的地形形态，而在高山地区不放大等高距，等高线势必过密而无法表示地形形态，于是就形成了等高距随高程增加而增大。此外，还由于地面坡度的变化规律是愈高愈陡，高山地区坡度陡，等高距必须增大。例如，在 1969 年地图出版社出版的《中华人民共和国分省地图》中，各省区图所采用的等高距由 50 米逐步增加到 1000 米(图 3-49)，相差达 20 倍。在这种地势图上，等高线的主要作用是显示大的地类形型及其分布，成为高程带的界线，不能再用于量测，也不能根据等高线的疏密判断地形特征了。

用等高线法表示地形，缺点是立体感较差。因此对等高线图形的立体显示方法研究，一直在不断地进行，明暗等高线法是其中的一种。明暗等高线法是使每一条等高线因受光位置不同而绘以黑色或白色，以加强其立体感。还有粗细等高线法，它是将背光面的等高线加粗，向光面绘成细线，以增强

立体效果。

二、分层设色法

分层设色法是在等高线的基础上根据地图的用途、比例尺和区域特征，将等高线划分一些层级，并在每一层级的面积内普染不同颜色，以色相、色调的差异表示地势高低的方法。这种方法加强了高程分布的直观印象，更容易判读地势状况，特别是有了色彩的正确配合，使地图具有了一定的立体感。

划分等高线层级的方法有两种：固定等高距法和变化等高距法。在小比例尺地图上多采用变化等高距法，一般随高度的增加而加大等高距。

设色有单色和多色两种。单色是利用色调变化表示地形的高低，现在已经很少采用。多色是利用不同色相和色调深浅表示地形的高低。设色时要考虑地形表示的直观性、连续性以及自然感等原则。要求每一色层准确地代表一个高程带；各色层之间要有差别，但变化不能过于突然和跳跃，以便反映地表形态的整体感和连续感。选色尽量和地面自然色彩相接近，各色层的颜色组合应能产生一定程度的立体感。色相变化视觉显著，用以表示不同的地形类别，每类地形中再以色调的变化来显示内部差异。如平原用绿色，丘陵用黄色，山地用褐色；在平原中又以深绿、绿、和浅绿等三种浓淡不同的绿色调显示平原上的高度变化。色相变化也采用相邻色，以避免造成高度突然变化的感觉。

目前普遍采用的色层是绿褐色系。陆地部分由平原到山地为：深绿—绿—浅绿—浅黄—黄—深黄—浅褐—褐—深褐；高山（5000米以上）为白色或紫色；海洋部分采用浅蓝到深蓝，海水愈深，色调愈浓。这种设色使色相色调相结合，层次丰富，具有一定象征性意义和符合自然界的色彩，效果较好。

分层设色法在地图上构成了普染的底色，因此底色上面的某些要素的色彩就要发生变化或不够清晰。如在深色层面上的名称注记就不易阅读。特别是具有大面积分布的要素，其彩色符号常与分层的颜色相矛盾，如大面积的绿色森林在分层设色地图上总不够清晰，干扰较大，所以大多数分层设色地图上都不表示森林。

三、晕渲法

晕渲法也叫阴影法，是用深浅不同的色调表示地形起伏形态，如图 3-50。按光源的位置分直照晕渲、斜照晕渲和综合光照晕渲；按色调分墨渲和彩色晕渲。由于用晕渲法表示地形立体效果好，应用范围很广。

晕渲法的基本思想是：一切物体只有在光的作用下才能产生阴影，才显现得更清楚，才有立体感。由于光源位置不同，照射到物体上所产生的阴影也不同，其立体效果也就不同。晕渲法通常假定把光源固定在两个方向上，一为西北方向俯角 45° ，一为正上方与地面垂直。前者称为斜照晕渲，后者称为直照晕渲。当山脉走向恰与光源照射方向一致时，或其他不利显示山形立体效果时，则适当的调整光源位置，这种称为综合光照晕渲。它们的光影特点如图 3-51 所示。

斜照晕渲的立体感很强，明暗对比明显，与日常生活中自然光和灯光照射到物体上所形成的阴影相似。光的斜照使地形各部位分为迎光面、背光面和地平面三部分，以及本身阴影、投射阴影和反射光线（图 3-52）。本身阴影是附着于背光面上的阴影。投射阴影是光线被阻挡而沿光线方向投影到另一山坡上的阴影。反射光线是物体反射的部分光线。

斜照光下，每一地点的明暗又因其坡度与坡向而有所不同，且山体的阴影又互相影响，改变其原有的明暗程度，使阴影有浓淡强弱之分。斜照晕渲的光影变化十分复杂，但也有一定的规律，即：迎光面愈陡愈明，背光面愈陡愈暗，明暗随坡向而改变，平地也有淡影三分。斜照光下，物体的阴影随其主体与细部不同而不同。主体阴影十分重要，它可以突出山体总的形态和基本走向，使之脉络分明，有利于增强立体效果。

斜照晕渲立体感强，山形结构明显，所以多为各种地图采用。缺点是无法对比坡度，背光面阴影较重，影响图上其他要素的表示。

直照晕渲又叫坡度晕渲。光线垂直照射地面后，地表的明暗随坡度不同而改变。平地因受光量最大，最明亮。直照晕渲能明显地反映出地面坡度的变化。缺点是立体感较差，只适合于表示起伏不大的丘陵地区。

综合光照晕渲是斜照与直照晕渲的综合运用。或以斜照晕渲为主，或以直照晕渲为主，另一为辅来补充。具备了两种晕渲的优点，弥补了两者的不足。

墨渲是用黑墨色的浓淡变化来反映光影的明暗。由于墨色层次丰富，复制效果好，应用广泛。印刷时用单一的黑色作晕渲色的很少，印成青灰、棕灰、绿灰者居多。

彩色晕渲又分为双色晕渲、自然色晕渲等。双色晕渲，常见的有阳坡面用明色或暖色系，阴坡面用暗色或寒色系，高地用暖色，低地用寒色，或制图主区用近感色，邻区用远感色等。主要是利用寒暖色对比加强立体感或突出主题。这种方法效果好，常被用于一些精致的地图上。自然色晕渲是模仿大自然表面的色调变化，结合阴影的明暗绘成晕渲图。这种方法主要是把地面色谱的规律与晕渲法的光照规律结合起来，用各种颜色及它们的不同亮度来显示地面起伏。如用绿色调为主晕染开发的平原，以棕黄色调为主晕染高原和荒漠，山区则有黄、棕、青、灰等色的变化，再加以明暗的区别，可构成色彩十分丰富的图面，在宣传、旅游地图上常采用。但常常受印刷条件的限制，复制的成品，往往达不到绘画原稿的水平。

晕渲法由于具有较好的立体效果，因此近年来有些国家用于中比例尺地形图上（如联邦德国、瑞士等），或供科研用的地理基础底图上（如 1:150 万自然地理基础底图）。用在为加强显示地形要素的中小比例尺地图上者为最多，如政区图、交通图、航空图等多采用晕渲法表示地形。

晕渲法常与等高线法、分层设色法联合使用。

四、写景法

写景法也叫透视法，是利用透视绘画的方式表现地形要素的一种方法。

从古代到 19 世纪地图上多采用写景法表示地形，这种方法通俗易懂，但因其没有一定的数学法则作依据，不能量测地形元素，不能判别山岳的实际特征和高度，在基本地形图上已不使用，只用于一些通俗宣传地图上。近代写景法又开始采用直观的透视符号，表示基本地貌类型，图 3-53 是它的图例。将地貌的透视符号配置于相应类型地貌分布的范围内，能清楚地表示出地貌的各种形态，因此在地貌图上经常采用。

第九节 地图上的注记

一、地图注记的意义和种类

地图上的文字和数字总称为地图注记。地图注记是地图内容的重要部分。注记并不是自然界中的一种要素，但它们与地图上表示的要素有关，没有注记的地图只能表达事物的空间概念，而不能表示事物的名称和某些质量和数量特征。所以注记与图形符号构成了一个整体，是地图符号系统的组成部分。

地图上的注记可分为名称注记、说明注记和数字注记三种。

名称注记说明各种事物的专有名称，例如居民地名称，海洋、湖泊、河流、岛屿名称，山和山脉名称等。名称注记在地图上的量最大，分布范围也广，从一个小地方到整个大陆，均有名称注记。在地图的使用中，它们显得尤其重要，无论是一般的浏览，还是详细的分析地图，都离不开名称注记。

说明注记说明各种事物的种类、性质或特征，用于补充图形符号的不足。说明注记常用简注表示，如石油管道用油、输水管道用水、石质河底用石、松树用松等。

数字注记说明某些事物的数量特征，例如高程、比高、路宽、水深、流速、桥长、载重量等等。

二、注记的字体、字级和颜色

(一) 字体

地图上常用不同的字体表示不同的事物，常用的字体主要有：宋体、等线体、仿宋体和横线体。

宋体字的特征是：字形方正、横平竖直、横细竖粗、棱角分明(图 3-54)。按笔划粗细，可分为细宋、中宋和粗宋体三种。由于它端正清晰，横细竖粗，适合汉字横笔划多、竖笔划少的特点，在地图上应用较广，如用于注记居民地等。但一般不做最高等级的注记字体，因为这种字太大了，不如等线体粗壮，显得软弱无力；也不宜做最低级的注记字体，因为这种字太小了，笔锋装饰多，不易印刷清楚。

等线体字的特征是：字形端正、横平竖直、笔划等粗、庄严醒目(图 3-55)。按笔划粗细，可分为粗等线体、中等线体和细等线体三种。由于等线体字造型简单，基本上无装饰，字体醒目、朴素，在地图上应用很广。粗等线体庄严有力，可做标题、图名和大型居民地的注记。中等线体笔划均匀，是较大居民地注记的重要字体。细等线体清秀明快，是地图上最小注记的基本字体。

仿宋体字的特征是：宋体结构、楷书笔法、粗细匀称、清秀挺拔(图 3-56)。由于它笔划粗细差别不大，没有加意的笔端装饰，可用钢笔或毛笔直接写成，常用于编稿图上。

横线体字的特征是：字形扁方、横细竖粗、棱角浑圆(图 3-57)。这种

字清晰、大方，多用于政区名称的表面注记。

出版地图上的注记，都是通过照相排字机获得的。照相排字机的摄象原理和一般的照相机相同，它是将玻璃字盘上负象形式的文字和数字通过透镜摄象于暗箱内的普通相纸或透明感光片基上。由于排字机上有 20 组不同焦距的主透镜和 24 种变形透镜，每个字通过主透镜可以获得 20 种不同尺寸，又能通过变形透镜把一个字变成 25 种形状（加上原来的正方形字），因此一个字可以有 500 种尺寸和形状的变化，完全可以满足出版地图上注记的需要。

字盘上的正方形字，通过变形透镜可以成为左斜、右斜、扁方、长方等不同字形，这种变形不变体的字，称为变形字（图 3-58），多用于注记水系、山脉等。

（二）字级

地图上注记尺寸的大小，以照相排字机上注明的规格为标准，它是“级”为单位，1 级等于 0.25 毫米。如 7 级字，为 $0.25 \times 7 = 1.75$ 毫米，16 级字为 $0.25 \times 16 = 4$ 毫米。排字机提供的 20 种字面尺寸是从 7 级到 62 级（中间有很多空级）。在一幅图上，按照事物的重要程度和意义，采用不同的字级，以便使注记大小与图形符号相对应，差别明显，图面清晰。

（三）注记的颜色

注记颜色只有色相的变化。颜色的选用要与注记所表示的事物类别相联系。例如一般地图上居民地注记用黑色，河流注记用蓝色，政区表面注记用红色等。

三、注记的排列和配置

地图上注记数量较多，它们可以位于地图空间的任一部分，各种注记的穿插也比较复杂，注记的排列和配置是否恰当，常常影响读图的效果。

汉字注记排列有两种基本方法：一是注记的字向指向北方（或图廓上方），构成雁行数列；另一是注记的字向与注记文字中心线垂直或平行，构成屈曲数列。雁行数列与屈曲数列的特例就是垂直数列和水平数列。这就形成了地图上汉字的四种排列法（图 3-59）。

水平数列注记文字中心的连线与南北图廓线或纬线平行，多用于居民地或图形呈水平分布的事物注记。垂直数列注记文字中心的连线与南北图廓线垂直，用于图形呈垂直分布的事物注记。雁行数列注记文字中心的连线呈一条与南北图廓线或纬线斜交的直线，当交角小于 45° 时，文字由左向右排列，交角大于 45° 时，文字从上向下排列，常用于山脉、山岭注记。屈曲数列注记文字中心的连线呈曲线或折线，沿被说明事物的形状排列，字向可直立、可斜立，文字排列方向随事物形状与南北图廓线或纬线的关系而异，可自左向右、可由上而下地排列，多用于线状物体的注记。

雁行排列的字向指向北方，便于阅读。但注记密度较大时，易受其他注记干扰，影响注记的连贯性。屈曲排列的字向依注记中心线而改变，连贯性好，在地图密度较大时便于显示各种散列注记。

注记配置的基本原则有两条：第一，不应使注记压盖图上的重要内容。第二，注记应与其所说明的事物关系明确。注记配置的方法：对于点状事物，以点状符号为中心，在其上、下、左、右四个方向中的任一适当位置配置注记，注记呈水平方向排列；对于线状事物，注记沿线状符号延伸方向从左向右或从上向下排列，排列方法可采用雁行字列或屈曲字列，字的间隔均匀一致，特别长的线状地物，名称注记可重复出现；对于面状事物，注记一般放在面状符号之内，沿面状符号最大延伸方向配置，字的间隔均匀一致，排列方法可采用雁行字列或屈曲字列（图 3-60）。

[实习一] 绘制面状符号表示的专题地图

一、目的要求

掌握面状符号的特点，练习用范围法（或质底法或量底法）绘制一幅专题地图。

二、方法

- （一）设计符号的颜色或花纹。
- （二）用铅笔在地理底图上勾绘专题要素的分布范围。
- （三）在专题要素分布范围内着色或绘花纹。

[实习二] 绘制点状符号表示的专题地图

一、目的要求

掌握点状符号的特点，练习用定点符号法绘制一幅专题地图。

- #### 二、方法
- （一）设计符号的形状、尺寸和颜色。
 - （二）在地理底图上标定符号的定位点。
 - （三）根据事物的质量和数量特征，在相应地点上绘制符号。

[实习三] 绘制线状符号表示的专题地图

一、目的要求

掌握线状符号的特点，练习用线状符号法绘制一幅专题地图。

二、方法

- （一）设计符号的形状和颜色。
- （二）在地理底图上标定专题要素的路线。
- （三）根据事物的质量特征在相应的路线上绘制符号。

[实习四] 绘制用统计资料表示的专题地图

一、目的要求

掌握统计地图的特点，练习用定域统计图法或分级统计图法绘制一幅专题地图。

二、方法

- （一）根据资料的特征进行数量分级，级数不少于 5 个。
- （二）设计所用的图形、颜色或晕线。

(三) 在地理底图上相应区域范围内, 根据资料所列的数量等级, 配置图形或填绘颜色或晕线。

[实习五] 绘制等高线图

一、目的要求

掌握勾绘等值线的原理和方法, 练习根据地形模型 (或图上已给的地形特征点高程) 勾绘等高线。

二、方法

- (一) 测定地形模型上地形特征点的平面位置和高程。
- (二) 在同一坡面相邻地形特征点之间, 求出各条等高线应通过的高程点。
- (三) 勾绘等高线。

复习思考题

1. 试述地图符号的功能。
2. 地图符号有哪些种类? 各类的特点是什么?
3. 试分析构成地图符号三个主要因素的特性。
4. 分析范围法和质底法的功用和异同。
5. 等值线适合表示什么样的事物? 它是怎样表示的?
6. 定点符号法适于表示什么事物? 它是如何表示事物的质量、数量特征以及发展变化的?
7. 分析线状符号法与动线法的功用和异同。
8. 试分析定域统计图法与定点符号法的异同。
9. 试分析分级统计图法、量底法和等值线加分层设色的异同。
10. 定位统计图法有哪些主要表现形式? 它都适合表示哪些现象?
11. 用点值法如何表示事物的数量特征和分布状况?
12. 为什么说在地形图上用等高线表示地形是一种比较好的方法?
13. 用分层设色法表示地形时, 设色的原则和要求是什么?
14. 分析比较几种地形表示法的优缺点。
15. 地图注记有哪几种? 它们的作用是什么?
16. 如何运用注记来表示事物的类别和重要程度?
17. 试述注记排列和配置的原则和方法。

第四章 地图概括

内容提要

地图概括是对制图区域客观事物的取舍和化简。经过概括后的地图可以显示出主要的事物和本质的特征。地图的比例尺、用途和主题，制图区域的地理特征以及符号的图形尺寸是影响地图概括的主要因素。地图概括主要表现在内容的取舍、数量化简、质量化简和形状化简等几个方面。

第一节 地图概括的意义

地图最重要、最基本的特征是以缩小的形式表达地面事物的空间结构，这个特征表明，地图不可能把地面全部事物毫无遗漏地表示出来。地图上所表示的地面状况是经过概括后的结果。以城市为例，在大比例尺地形图上，可以比较详细地表示出街道、街区平面图形特点，突出建筑物和经济文化设施等；在中比例尺地形图上，只能表示出一些主要街道、街区平面图形的主要特征，其他标志已不能表示出来了；在小比例尺（1:100万）地形图上，仅能显示出城市的总轮廓；比例尺再缩小，就变为用一个点状符号来表示其所在的位置了（图 4-1）。由此可知，地图概括就是对客观事物进行取舍和化简。取舍就是从大量的客观事物中选出最重要的事物表示在图上，而舍去次要的事物。化简就是对客观事物的形状、数量和质量特征的化简。形状化简是去掉轮廓形状的碎部，以突出事物的总体特征；数量和质量特征的化简就是减少分类和分级的数量，以缩减客观事物的差别。

取舍和化简当然都不是任意的，而是根据地图的比例尺、用途和制图区域的地理特征，对地图上各要素及其内在联系加以分析研究，选取和强调主要的事物和本质的特征，而舍去次要的事物和非本质的特征。

地图概括可分为比例概括和目的概括。比例概括是由于地图比例尺缩小，图形也就缩小，有些图形缩小到难以清楚地表达出来，从而必须进行选取和化简。目的概括是因为客观事物的重要性并不完全决定于它的图形大小，故而它的选取和化简也不完全由比例尺决定，还要根据编图者对客观事物重要性的判断来确定是否选取和化简。

地图概括在地图编制中占有很重要的地位。无论是编制普通地图或专题地图，也不论是内业编图或外业测图，都少不了地图概括过程。正确的概括能使地图上恰当地反映出各地理要素的特征、分布规律与相互联系，提高地图质量。

第二节 影响地图概括的主要因素

地图概括的程度受各种因素的影响，主要因素有：地图比例尺、地图的主题和用途、制图区域的地理特征以及符号的图形尺寸等。

一、地图的比例尺

比例尺对制图综合的影响非常明显。由于比例尺的缩小，同一个制图区域在图上的面积随之缩小，因而图上所能表示的事物数量也相应减少。如实地 1 平方公里的面积在 1:1 万地形图上为 100 平方厘米，在 1:10 万地形图上为 1 平方厘米，在 1:100 万地形图上就只有 1 平方毫米，在这三种比例尺地图上，不可能表达同样数量的事物。因此，随着地图比例尺的缩小，地图上只能表示主要的内容，同时还必须对这些内容作必要的化简。

当地图幅面一定时，不同比例尺地图所包括的实地范围不同，大比例尺地图所包括的地面面积较小，小比例尺地图包括的地面面积较大。在不同的范围内，对同一事物重要程度的评价并不相同。有些事物从小范围看是重要的，但在大范围内可能是次要的。例如土路，在小范围内，由于道路少，在大比例尺地图上也表示出来；而在小比例尺地图上，因为包括的地面范围大，公路和铁路是主要的交通路线，土路则不予表示。又如河流，在大比例尺地图上，只能表达河流的某一段，因而对河流的宽度、深度、河底性质、流速、流向、渡口、徒涉场等均予以表示，以全面反映河流的基本情况；但在小比例尺地图上，由于包括的范围广，图上能表示出整个河系的分布，河流的上述详细情况既无可能也无必要加以表示，而河系的形态、结构特点，密度差异及水系与其他要素之间的关系，则成为应当表示的主要内容。

二、地图的用途

任何一幅地图所能表示的内容都是有限的，只能满足某一方面或某几方面的要求，所以地图内容的选择和表示，就必须考虑到地图的用途。地图用途既然直接决定着地图内容，因而就影响着地图概括。例如 1:50 万比例尺地形图和 1:50 万比例尺政区图，由于两者用途不同，地图内容的取舍和化简程度就很不一样。1:50 万比例尺地形图是国家基本地形图之一，在军事上是战役用图，经济建设上是规划用图，在科学研究方面是参考用图，因此，在这种地图上要全面反映制图区域的自然和社会经济方面的基本情况。而 1:50 万比例尺政区图是省级机关进行行政管理、布署工作用图，在图上主要表示社会经济要素（如境界、居民地、交通线等），而对自然要素（如地形、土质、植被等）则可作较大的概括。从其他常见的同一地区的地图中也可以看出，在相同比例尺条件下，由于用途不同，图上内容的选取和化简程度是不一样的。

三、地图的主题

地图的主题即地图上所反映的主要内容，它决定各事物在图上的重要性，因而影响地图概括程度。这在专题地图上表现特别明显。例如比例尺相

同的同样地区但主题不同的两幅地图，一幅是地形图，一幅是政区交通图，前者主要表示地形特征及水系，居民地较少，不表示铁路和公路；后者重点表示行政区划、铁路和主要公路、各级行政中心以及作为交通枢纽的居民地，对于水系则只表示主要的河流和湖泊，一般不表示地形。

四、制图区域的地理特征

制图区域地理特征是指该区域的自然和社会经济条件。地面上不同地区具有不同的地理特征。例如我国江浙水网地区，河流、沟渠密集且纵横交错，居民地分散且主要沿水系分布（图 4-2）；西北干旱地区多沙漠，居民地循水源分布的规律十分明显。地图概括时就要选取那些能反映区域特征的事物，舍去那些不代表区域特征的事物。

同样的地理事物在不同地区具有不同的意义，这就影响着地图概括。例如，小的城镇，在人口稠密地区是次要的，图上一般不表示，而在人口稀少地区，小城镇则成为主要的居民地，图上要选取。又如水资源，对于干旱地区是极为重要的，一般情况下，即便在中、小比例尺地图上，小的湖泊也要选取，但在水网地区，则可舍去。

五、符号的图形尺寸

各种地理事物，在图上均以符号表示。符号的图形、尺寸直接关系着地图的负载量，因而也影响着地图概括的程度。例如，一条弯曲的海岸线，用细线描绘能保留较多细小的弯曲，而图面仍清晰易读；若用粗线描绘，则无法表示细小的弯曲。因此图形尺寸规定的小一些，选取的内容就可以多些，概括程度就小些，地图的内容就会详细些，图面负载量就大些；反之，地图内容必然简略，图面负载量就小。

除特殊用途外，一般地形图和普通地理图均使用细小的符号，以便表示更多的内容。符号图形的最小尺寸与人的视力、绘图技术及制印技术有关。正常情况下，人的视力能辨认 0.03—0.05 毫米的线划，最好的绘图技术能绘出 0.06—0.09 毫米的线划，刻图法可刻绘 0.03—0.05 毫米的线划，较高的制印技术能印出 0.08—0.1 毫米的线划。因此，一般规定图上单线最细为 0.08—0.1 毫米，两条实线之间的间隔为 0.1—0.15 毫米。

几何图形的最小尺寸与图形的结构和复杂程度有关。一般情况下，实心矩形的边长为 0.3—0.4 毫米，可以保持轮廓图形的清晰性，复杂图形轮廓的突出部分，能分辨清楚其形状的最小尺寸为 0.3 毫米（图 4-3）。小圆的最小尺寸为 0.3—0.4 毫米，空心矩形的最小边长为 0.4—0.5 毫米（图 4-4），相邻实心图形的最小间隔和两条粗线最小间距基本相同，通常为 0.2 毫米（图 4-5）。

轮廓符号的最小尺寸受轮廓界线的形式、内部颜色和背景等一些因素影

响。用实线表示的岛屿、湖泊等，因其轮廓界线明显，其内部若涂以深色，最小面积可达 0.5—0.8 平方毫米。若涂以浅色，则最小面积就要扩大到 1 平方毫米。如果背景色浅，象海洋中的小岛，甚至可以用小到 0.5 平方毫米的点子表示。如果用点线（假设点距为 0.8 毫米）表示时，则湖泊、沼泽、森林等的最小轮廓面积至少要 2.5—3.2 平方毫米，才能清晰可辨。

弯曲的线状图形的最小尺寸，其弯曲内径要达到 0.4 毫米，宽度达到 0.6—0.7 毫米，才能辨认清楚（图 4-6）。

上述符号图形最小尺寸是确定地图概括的必要参考数据。

以上所述各项影响因素并不是孤立的，它们之间有密切关系，例如，地图的用途决定着地图内容的精度和详细程度，因而就与地图的比例尺和符号图形尺寸有关。

第三节 地图概括的基本方法

地图概括的基本方法为内容的取舍、数量化简、质量化简和形状化简。

一、内容的取舍

内容的取舍是指选取较大的、主要的内容而舍去较小的、次要的或与地图主题无关的内容。

“选取”主要表现在两个方面：一是选取主要的类别，例如编地势图时主要选取水系、地形，而居民地、交通线、境界等适当选取；二是选取主要类别中的主要事物，例如地势图上的水系，要选取干流及较重要的支流，以表示水系的类型及特征，政区图上的居民地要选取行政中心及人口数量多的。“舍去”也有两个方面：一是舍去次要的类别，例如政区图上舍去地形要素；二是舍去已选取的类别中次要事物，如舍去水系中短小支流或季节性河流，舍去居民地中的自然村等。

这里应当指出，所谓主要与次要相对的，它随地图的主题、用途、比例尺的不同而异。例如，在地势图中，水系与地形是主要内容，应详细表示；居民地和交通线是次要内容，可适当表示，或不表示交通线。而在政区图上，居民地和交通线是主要内容，应详细表示；水系是次要内容，可适当表示；地形要素可不表示。

（一）选取方法

1. 资格法以一定的数量或质量指标作为选取的资格。例如规定图上河流长度1厘米，湖泊面积2平方毫米，居民地人口数量500人，为河、湖、居民地的选取资格，达到此数量的则选取，不够的则舍去。这属于以数量指标作为选取资格。若以居民地的行政等级、河流的通航情况作为选取资格，规定乡、镇政府驻地以上的选取，以下的舍去；通航的河流选取，不通航的舍去，这属于以质量指标作为选取资格。资格法标准明确，简单易行。但若以一个指标作为选取条件，有时不能正确反映区域间的差异，或不能保证具有重要意义的小事物被选取。因此可按区域情况规定不同的选取标准。

2. 定额法规定单位面积内应选取的事物总数量。如规定每平方分米内居民地应选取的个数。它可以保证地图上具有相当丰富的内容，而又不影响地图的易读性。规定选取定额时，要考虑制图对象的意义、区域面积、分布特点、符号大小和注记字体规格等因素的影响。例如规定居民地选取数量时，要考虑居民地分布的特点，一般都以居民地密度或人口密度的分布状况为基础。对于密度大的地区，单位面积内选取的数量多，密度小的地区，选取的数量少，这才比较合理。定额法的缺点是难以保证选取数量同所需要的质量指标相协调。例如编制省（区）行政区划图时，要求将乡级以上的居民地均表示在图上，但是由于不同地区乡的范围大小不一，数量多少不等，若按定额选取，将会出现有的地区乡级居民地选完后，还要选入很多自然村才能达到定额，而另外的地区乡级居民地却超过定额数，以至无法保证全部选取，这就形成了各地区质量标准的不统一。为此，常规定选取范围——最高指标与最低指标，以调整不同区域间的选取差别。

3. 根式定律又叫开方根定律，它是民主德国地图学家托普费尔在多年制图经验的基础上提出的。他认为：资料图上某一要素转到新编图上时，其

数量变化与这两图比例尺分母的平方根有关，这个关系可用下列公式表示：

$$N_F = N_A \sqrt{\frac{M_A}{M_F}}$$

式中 N_A ——资料图上有关要素的数量； N_F ——新编图上要选取的有关要素的数量； M_A ——资料图比例尺分母； M_F ——新编图比例尺分母。

上式适用于同一种符号尺寸（或稍缩小）同一类地图（如大比例尺地形图）。它只能确定选取的限额，而具体选取哪些事物，还要由制图人员根据事物的意义确定。

定额法和根式定律法都只能确定选取数量，在实际工作中，均要与资格法配合使用，才能在图上进行具体的选取。

（二）选取顺序

地图内容的选取，一般按下列顺序进行。

1. 从整体到局部进行选取时，要首先从整体着眼，然后从局部入手。如河流的选取，总是先从制图区域整体出发进行河网密度分区，规定不同密度区的选取标准，然后按分区从局部入手选取一条条河流，由主流到支流逐级进行，最后再从全局看，各个部分的小河数量是否反映出各区的不同河网密度状况，河网类型表达得是否正确。就是对一条大河的选取也要先整体后局部的进行，首先保留构成该河主流基本骨架的特征，去掉一些小的弯曲，然后按指标和平面结构类型选取支流和其他小河，这样才能使地图上的河网从整体到局部都得到正确的显示。

2. 从主要到次要地图上所表示的各个要素，根据地图的主题和用途，总有主要与次要之分。例如地形图上的居民地，其方位物和街道干线是主要的，而街道支线、小街区是次要的；又如交通运输图上，连接大城市的运输量大的交通干线是主要的，而支线运输量小的则是次要的。选取时要遵循先主要后次要的顺序进行。

3. 从高级到低级例如在普通地图上，对居民地的选取，应按行政等级次序选取，先选首都（或首府），其次是省级政府所在地，第三为县级政府所在地；又如土壤类型图，先选土类，然后选亚类，再次是土种。这样可以保证较高级的能选上，不致遗漏。

4. 从大到小如在地图上选取湖泊、水库时，先选取大的，后选取小的。这样可以保证大的事物首先入选。

总之，选取时要从总体出发，首先选取主要的、高级的、大型的事物，再依次选取次要的、低级的、小型的事物，最后还要从整体上进行分析，观察是否反映了制图区域的总体特征。

按照一定的方法和顺序进行选取，既可以保证地图上具有丰富的内容，表示出制图对象的主次关系，又能使地图载负量适当，清晰易读。

二、质量特征的化简

地图上各事物的质量差别通常是以分类来体现的。质量特征的化简就是减少一定范畴内事物的质量差别，用概括的分类代替详细的分类，即按事物的性质合并类型或等级相近的事物。例如将针叶林、阔叶林和混交林合并为森林；将甘蔗、棉花、油菜的作物区合并为经济作物区；将喀斯特山地、喀

斯特丘陵、喀斯特台地、喀斯特溶蚀堆积盆地合并为喀斯特地貌；将棉纺织工业、麻纺织工业、丝纺织工业等合并为纺织工业等等。

质量特征的化简还表现在图上不表示质量特征，如不表示居民地的行政意义，以减少事物的类别。

三、数量特征的化简

数量特征的化简就是减少事物的数量差别，增大数量指标内部变化的间距，对于数量指标低于规定等级的事物不予表示。在用等值线表示数量特征的地图上，化简时就要扩大等值线间距值。如地形图上的等高线，其等高距在 1:5 万图上为 10 米，在 1:10 万图上为 20 米，在 1:25 万图上为 50 米，在 1:50 万图上为 100 米。在小比例尺普通地图上等高距不是常数。例如在地图出版社出版的《中华人民共和国分省地图》中各省区所用的高度表，它的等高距由 50 米逐步增大到 1000 米。又如气温图上等温线间隔可由 2° 化简为 4° 等。在用点值法表示数量特征的地图上，化简时就要扩大点值。如在人口图上将一点代表 500 人化简为一点代表 1000 人。在用符号尺寸大小（如圆形符号大小、线状符号的粗细）表示数量特征的地图上，化简时可将连续的变为分级的，进而减少分级级数。如按人口数量将某一地区的居民地划分为 7 级；1 万人以下，1 万—5 万人，5 万—10 万人，10 万—30 万人，30 万—50 万人，50 万—100 万人，100 万人以上，化简时将级数减少为 5 级，1 万人以下，1 万—10 万人，10 万—50 万人，50 万—100 万人，100 万人以上。

进行数量特征化简时，不仅要考虑地图比例尺和用途，而且要特别注意考虑事物数量分布的特点及保持具有质量意义的分级界限。如某制图区域居民地人口数量的统计资料表明，0.8—3.5 万人口之间的居民地占居民地总数的比例很小，而 80% 的居民地人口数均在 6—18 万之间，由于人口数量等级的划分应是连续的，且分级界限应是完整的数字，故 5 万和 20 万应做为分级界限，以反映该区居民地人口数量的分布特征。一个居民地，除了人口数量以外，还具有行政、工业、交通、文化等方面的意义，所以按人口数量进行分级时，应尽量把各方面情况相近似的居民地划分到同一等级中去。例如我国规定居民地人口数在 100 万以上者为“大城市”，故 100 万应做为一个分级界限。又如气温图，扩大等温线间距时，必须保留带有特征意义的等温线，我国划分亚热带、暖温带、温带和寒温带的指标之一是根据最冷月 16、0、-8、-28 等几条等温线，显然这些等温线是具有特征意义的，必须保留。

四、形状化简

形状化简用于呈线状和面状分布的事物，如河流、岸线、居民地平面图形、森林分布范围等。形状化简的目的在于保留事物本身所固有的、典型的特征。化简的方法有删除、夸大和合并。删除就是去掉那些因比例尺缩小而无法清楚表示的碎部，如河流、等高线、居民地外部轮廓线等的小弯曲。但删除也不是绝对的，有时为了显示和强调事物平面图形的特征，将本来按比例应删除的小弯曲，反而夸大表示出来。如多小弯曲的河流，若将小弯曲全部删除，这样的河流就变为平直的线段，失去了原来多弯曲的特征。为此应

在删除大量小弯曲的同时，适当夸大其中某些小的弯曲（图 4-7），以显示其弯曲的特征。

合并就是将邻近的、间隔小到难以区分的同类事物的图形加以合并，以表示出事物的总体特征。例如化简居民地平面图形，可合并街区；又如两块林地间隔很小，可合并成为一片林地等（图 4-8）。

对某种事物进行形状化简时，要考虑到与其他事物的关系，使彼此之间能协调一致。例如对湖泊进行形状化简时，要注意与地形、水系的关系。如山谷水库概括时，注意和等高线协调（图 4-9），删除不协调的碎部。对活水湖要注意进水口与出水口有不同的特征，进水口多有冲积三角洲等。

第四节 地图概括与地图精度的关系

地图概括的主要方法是取舍和化简，这两者对地图内容的精度都是有影响的。形状化简改变原来的图形结构，在长度、方向和轮廓形状上都产生变化。长度变化是由于删除图形的小弯曲造成的，其结果使线状事物的长度缩短。例如对某区河流化简结果，1:20万比例尺地形图与1:10万比例尺地形图相比，同一条河流长度缩短了1.6%；在1:50万地形图上同一条河流长度缩短可达12.1%。方向的改变也是经常发生的。如对河流、海岸线、道路等进行形状化简，删除小弯曲可致局部方向的改变。轮廓图形也会由于化简而使原来复杂图形变为简单图形，甚至用不依比例的点状符号表示，有时还因强调某些特征而把小弯曲加以夸大等等。长度、方向和轮廓图形的改变，无疑都对地图的几何精度产生影响。

在小比例尺地图上，很多事物（线状的和点状的）是用符号夸大表示的，夸大的结果是超出了事物本身应占有的位置，扩大到附近的空间。如果事物彼此不是靠近的，夸大并不影响地图内容的其余部分。但若选取的几个事物彼此相邻很近，为了分辨清楚，正确地表达各事物之间的关系，它们中的一个或几个需要从正确位置上移动，这种移位使得有些事物的绝对位置发生了改变。例如位于公路旁的居民地，当公路符号和居民地符号均超过比例尺，而相互重叠时，这时就要移动居民地符号的位置。不移动道路符号位置的原因是，由于道路符号局部移位，必然引起道路方向和形状的改变，而居民地符号移位，只是点的移位，对于不具有方位意义的居民地，这种处理是正确的。假定地图比例尺为1:100万，公路符号宽度为0.4毫米，居民地符号直径为1.2毫米，公路旁的居民地移位就可能达到1.0毫米。其他产生移位的情况还很多，如居民地对河流、对境界线的关系，沿海岸、河流延伸的道路等等，产生符号争位矛盾时，都要进行移位处理。移位处理的原则是将次要的事物移位，主要事物应尽量保持其实际位置。有时为了强调事物的特征而夸大表示时，也要进行移位，如强调斜坡特征使等高线移位，强调海湾、海角、沙嘴等特征而移动海岸线位置等。这些移位都使某些地物的绝对位置不可能确定，即破坏了地图的几何精度。地图的比例尺愈小，对几何精度的影响愈大。但是经过概括却能正确地反映出事物间的相互关系，保持了区域的地理特征。

[实习一] 在不同比例尺地图上对照分析地图概括

一、目的和要求

加深理解地图比例尺是影响地图概括的主要因素。阅读同一地区大、中、小比例尺普通地图，研究地图概括的表现。

二、方法

（一）选择同一条河流进行对照分析，研究其在不同比例尺地图上所显示的内容特征。

（二）选择一块地区，对区域内居民地特征、密度、表示方法等进行分析，研究其取舍和化简的情况。

[实习二] 在相同比例尺不同用途的地图上对照分析地图概括

一、目的要求

加深理解地图用途是影响地图概括的重要因素，阅读相同比例尺同一地区的一般参考图 and 教学地图，研究地图概括的表现。

二、方法

选择一块地区，对各种要素进行对照分析，研究地图概括的表现。

复习思考题

1. 地图概括的实质是什么？为什么一定要进行地图概括？
2. 影响地图概括的主要因素是什么？
3. 地图概括表现在哪几个方面？其基本内容是什么？
4. 地图内容选取的方法和顺序是怎样的？
5. 地图概括对地图精度有何影响？

第五章 地图编制

内容提要

地图编制是指利用已有的各种地图制图资料，在室内编绘新图并且进行复制的完整工艺过程。

由于地图制作使用的资料、设备和方法不同，而有常规制图、机助制图、遥感资料制图之分。

常规制图是根据地图资料，按传统的地图编绘方法编制新图。

机助制图是将地图资料数字化，利用电子计算机进行编辑处理，通过数控绘图机绘出新图的编图方法。

遥感资料制图是利用航空或卫星遥感资料，经过几何纠正、信息提取和内容解译等过程，编制地图的方法。

第一节 常规制图

根据地图制图资料和传统的地图编绘方法编制地图，称为常规制图。常规制图，无论是普通地图还是专题地图，其生产过程均可以分为地图设计、原图编绘、出版准备和地图制印四个阶段。

一、地图设计

（一）设计前的准备

在具体实施地图设计之前，首先应深入细致地研究和了解新编地图的目的任务、用图要求和具体服务对象，这是确定地图的性质、地图内容各要素表示的广度和深度，以及选择相应表示方法和确定化简和取舍原则的出发点，是建立正确设计思想的基础。

对现有同类地图进行分析评价，总结其优缺点，并结合本单位的实际与可能，确定新编地图的设计原则，这也是新编地图设计前一项非常重要的工作。

资料工作是地图编制的物质基础。在地图设计前的准备工作中，必须广泛搜集各种制图资料，包括地图资料、影象资料、文字资料和数字资料（统计数据 and 实测数据）。同时要对资料进行分析鉴定工作，在分析鉴定的基础上，明确资料的可利用程度，如内容的完备性、现势性和精确性，以及用这些资料进行复制加工的可能性，从而选择并确定编绘新图所用的基本资料、补充资料和参考资料。在这里应该进一步指出，作为基本资料应该满足以下几点要求：资料内容基本能满足新编地图的要求；地图资料比例尺一般应大于新编地图的比例尺；资料的现势性一定要强；地图资料要符合复制和加工要求；地图资料的投影和新编地图尽量一致，既或不一致也应便于变换。

深入研究制图区域的地理特征，对选择和分析制图资料，进行地图内容的正确选取和化简，均具有重要的意义。因此，对制图区域地理特征的研究，除从宏观上了解一般概况和特征规律这类定性指标外，同时还要注意了解能够进行定量分析的数量指标。

在作好上述几方面设计前的准备工作后，即可着手进行具体的设计工作。

（二）设计内容

1. 确定制图区域范围含新编地图的分幅（开本）与内外图框尺寸的设计，比例尺系统与分幅原则的确定。

2. 选择和设计投影包括投影设计要求、坐标网间隔、地图配置与方向。

3. 图面配置和整饰的设计主区与周围地区的关系，图面的有效利用，主题内容的表述；图名、比例尺、附图、附表、文字说明的配置及图廓整饰等。

4. 确定各要素选取指标正确地确定各要素的选取指标，其作用是保证不同地区之间的大体协调，避免出现主次、大小、疏密的倒置现象。

5. 设计图式图例符号设计要求有通用性、习惯性、系统性，并且力求简单、明显、形象，便于绘制和定位，同时要求整饰美观、规格合理。

6. 设计成图工艺由于地图生产具有多工序相互制约的特点，因此在总体设计中必须作出明确规定，明确上下工序衔接关系和整个工艺的流程，以免造成不应有的浪费和损失。

7. 试验工作试验工作的目的，在于检验设计思想的可行性，以便发现和纠正设计中不合理部分。试验工作的内容包括：资料的使用方法，要素的选取指标，图形化简尺寸，表示方法及图式图例。具体试验方法是通过对样图设计和试编以及制印成图，分析地图的质量，并对出版后的社会效果和经济效益作出评价。

（三）编写设计书

地图设计书是地图设计思想的具体体现，是指导新图作业的指导性文件。

地图设计书的编写并没有统一格式，一般应包括以下几部分主要内容：

1. 目的任务说明新编地图的性质、任务、要求，以及技术规定等。
2. 地图的数学基础说明地图的比例尺、地图投影的变形性质及变形分布、经纬网密度，以及建立数学基础的精度要求。
3. 制图区域的特征说明制图区域制图对象分布的基本特点和规律。
4. 编图资料说明资料分析结果，并指出使用的程度和方法。
5. 地图内容的编绘这是设计书的主要内容，通常是分要素进行说明，具体说明各要素的表示方法和分类、分级，地图概括标准和技术方法。
6. 图式图例设计说明图例符号的设计要求。

除上述内容外，还应该说明编图的技术方法，印刷原图的清绘整饰和制印工艺方案，以及出版要求等。

7. 附件具体包括设计略图、图式符号、编稿样图、彩色样图、色标、制图工艺方框图、资料配置略图、投影坐标成果表、图面整饰规格图、各种参考略图等。

二、原图编绘

（一）编绘前的准备工作

1. 展绘数学基础在裱糊好图纸的金属版上，用坐标展点仪展绘图廓点、经纬线交点、坐标网及控制点，作为蓝图或棕图镶嵌控制用。

2. 图形转绘将图形资料转绘到已经展绘好经纬网或直角坐标网的图版上，一般常用的转绘方法是照相转绘，此外还有光学仪器转绘和网格转绘等方法，但照相转绘是一种主要的方法，其他则只是作为补充方法。照相转绘即先将图形资料进行复照，晒制成蓝图，镶嵌在图版上，然后进行编绘。如果作为基本资料的图件和新编图的投影有少许差异，可以在复照中予以纠正，或者在蓝图拼接时用人工拉伸予以纠正。

（二）原图编绘

地图编辑人员根据地图设计文件要完成的最终成果是编绘原图。

1. 编绘方法一般有以下两种编绘方法。

编稿法编稿法是指在嵌贴有图形资料的裱糊版上进行多色编绘的一种方法。这种方法是适于编图资料比较复杂，完备性、精确性以及现势性等方面参差不齐等条件下的一种作业方法，它可以通过编图人员的分析和处理，得到较高质量的原图。

连编带绘法这是将编绘和清绘结合在一起的一种编绘方法，是适用于新编地图内容比较简单、概括程度也不大的情况下使用的一种作业方法。但它对作业员的水平要求比较高，既要有编绘的知识和经验，又要有较熟练的清

绘技能。

应该说明，目前无论是编稿法或连编带绘法，均采用线划要素版和注记版分开编绘的方法。具体作法：编稿法是当线划要素版完成之后，蒙上磨砂胶片编写注记，然后通过照相晒蓝套和在一起；连编带绘法是待线划要素版编绘完成之后，蒙上胶片剪贴注记，完成出版原图的准备。

2. 编绘作业程序在完成地图内容转绘之后，即可进行原图的编绘工作。具体应按地图设计文件的要求，进行地图内容各要素的取舍和化简。由于地图内容要素错综复杂，为了处理好各要素间的相互关系，正确显示地物的位置和轮廓形状，因此在编绘时必须遵循一定顺序，分要素进行编绘作业。

以普通地图为例，编绘作业的一般程序是：

水系先海岸、湖泊、水库、双线河流，后单线河流，由大到小逐级进行。

居民点先大城市，后中、小城市及村镇，按大小依次进行。

交通网先干线主道，后支线次要线路，按主次逐级编绘。

境界线先国界，后省界、市界、县界等。

等高线先标出地形结构线，后按等高线概括要求进行取舍和化简。

其他内容如沙漠、沼泽、各种文化古迹等。

各类注记编排。

经纬线及其他有关整饰内容。编绘原图的一般制作过程如图 5-1 所示。

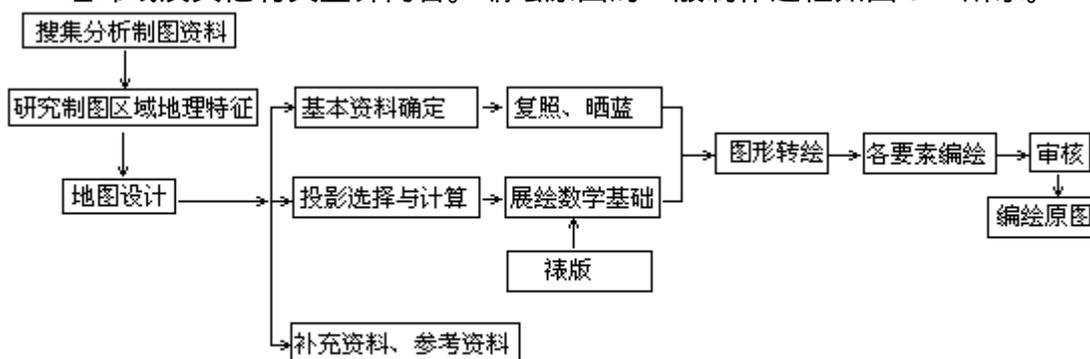


图 5·1 编绘原图的一般制作过程框图

三、出版准备

由于编绘原图的整饰质量不可能很高，不能满足直接用于制版印刷的要求，必须根据编绘原图重新制作适应于复制要求的清绘（或刻绘）原图。因此，出版准备工作主要是制作供出版用的印刷原图。

印刷原图按制作方法不同又分为清绘和刻绘两种。

（一）清绘

清绘工作，由于使用材料不同其作业程序也有所区别。

在绘图纸上清绘出版原图，先将编绘原图经过照相。并将照相底片上的图形晒到裱糊在金属版上的图纸上，然后在裱版蓝图上按规定进行清绘，并剪贴注记制成印刷原图。印刷原图的一般制作过程如图 5-2。

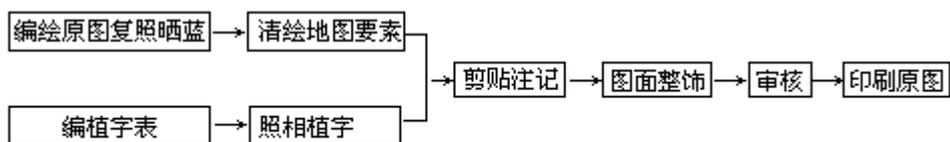


图 5·2 印刷原图的制作过程框图

在绘图薄膜上清绘出版原图，一种方法是在晒有编绘原图图形的薄膜蓝图上进行清绘；另一种方法是直接在编绘原图上蒙绘。

清绘工作根据分版情况不同进一步可分为一版清绘和分版清绘。一版清绘是将编绘原图上的全部内容清绘在一块图版上，这种方法只适用于单色图或简单的多色图的清绘工作。分版清绘是将编绘原图上的不同要素分别绘在两块以上的图版上，这种方法适用于复杂的多色地图的清绘工作。

清绘工作，还可以根据清绘时的比例尺情况分为等大清绘和放大清绘。等大清绘即清绘比例尺与成图比例尺相同；放大清绘即清绘比例尺大于成图比例尺，放大比例一般为 3/2、4/3、5/4 等，其目的在于提高清绘质量。

（二）刻绘

刻绘是将编绘原图的图形晒在流布有一层遮光刻图膜的片基上，然后用刻图工具按设计要求将蓝图刻成阴象版，即将线划符号部分的遮光膜刻透，注记是采用透明注记剪贴，这样就可以直接用于晒制印刷版。刻绘法与清绘法比较，有速度快、质量高、操作简单、减少工序、节约经费等优点。

刻绘法同样也分一版刻绘和分版刻绘、等大刻绘和放大刻绘。

四、地图制印

将清绘或刻绘的出版原图，通过复照、翻版、分涂、制版、打样、印刷等工艺复制成大量的地图成品的生产过程，即地图的制版印刷，简称地图制印。

（一）地图的印刷方法

地图制印特点是幅面较大，各种线划粗细不等，套印色数多，精度要求高，在复制过程中有时需要在印刷版上进行修改。鉴于平版印刷可以满足上述要求，同时又有成本低，印刷速度快，印刷质量高等优点，因此目前制印地图均采用平版印刷方法。

所谓平版印刷，就是印刷版上的印刷要素（图形）部分和空白（非图形）部分基本处于同一平面，但两者具有不同的特性，印刷要素亲油，空白部分亲水。在印刷时利用油水相互排斥的原理，先涂水，使空白部分先吸附水，然后再涂油墨，由于空白部分有水而排斥油墨，印刷要素排斥水而吸附油墨。当印刷机转动时，上了油墨的印刷滚筒先与橡皮滚筒接触，并将印刷滚筒上的图形转印到橡皮滚筒上，然后再由压印滚筒使纸张与橡皮滚筒接触，将橡皮滚筒上的图形转印到图纸上。

（二）地图制印的主要工艺过程

地图平版印刷的工艺过程，大体包括以下几道工序：复照、翻版、分涂、制版、打样、印刷。

复照将印刷原图通过干版照相（利用制好烘干的卤化银感光材料进行照相）或湿版照相（感光版临时制作，在整个照相过程中感光层都是湿润的），获得符合印刷尺寸的作翻版和直接晒制印刷版用的底版。

翻版翻版就是用复照底版或刻绘原图晒象，翻制供分涂或制版用的底版。一般要根据地图用色晒制若干块版，供分涂制版用。翻版用的感光材料有多种，其中最常用的是铬胶感光片，用这种感光片翻版称铬胶翻版法。

分涂出版多色地图时，要根据分色参考图制作分色用的底版。而在一张底版上只保留一种颜色的要素，将其他颜色涂去，同时对复照翻版过程中所产生的缺点进行修涂，以保证底版符合制版要求。

制版制版就是根据分涂好的地图阴版或阳版制作供打样或印刷用的印刷版。目前常用的有蛋白版、聚乙烯醇版和重氮树脂感光版等不同制版方法。

蛋白版用于阴象制版，是将阴象底版上的图形用接触晒版方式晒到经研磨处理后流布有铬蛋白感光液的锌版上。这种制版方式是使印刷版上的感光膜曝光部分，在光的作用下发生硬化，不再溶于水，经过处理，即在锌版上制出以硬化蛋白膜为基础的印刷要素。这种制版方法简单，但印刷质量和耐印率不高。

聚乙烯醇版用于阳象制版，是将阳象底版上的图形用接触晒版的方式晒到经研磨处理后流布有聚乙烯醇感光层的锌版上，经显影和药蚀处理制成印刷版。这种制版方法，由于印刷版经药液腐蚀，图形部分略微凹下，因此线划精细，耐印率高。

打样印刷版制成后，首先经少量的试印，提供用来检查地图的印刷版质量和套合精度以及供批复用的各种样图，为正式印刷提供标准。打样工作是在手动或自动打样机上进行的。打样图根据用途不同一般包括以下几种：线划套合样、分色样（线划分色样、普染分色样、分层设色样、彩色原图）、彩色试印样（版样）、清样（付印样）、照光样（印刷样）。

印刷把经过打样审核无误后的印刷版安装在胶印机上印刷，从而获得大量地图成品。

具体的地图制印工艺过程，可因地图印刷用色多少不同，使用的印刷原图不同而有所差异，一般有表 5-1 所列的几种情况。

表 5-1 地图印刷的几种工艺过程

印刷图	印刷原图	制印工艺过程
单色图	裱版的清绘原图	复照—制版—打样—印刷
	透明片基上的清绘原图或刻绘原图	制版—打样—印刷
多色图	裱版的一版清绘原图	复照—翻版—分涂—分别制版—打样—套印
	裱版的分版清绘原图	复照—分别制版—打样—套印
	透明片基上的一版清绘或刻图原图	翻版—分涂—分别制版—打样—套印
	透明片基上的分版清绘或刻图原图	分别制版—打样—套印

第二节 机助制图

一、机助制图原理及一般过程

机助制图是计算机辅助制图 (Computer-Assisted Cartography) 的简称。机助制图又称地图制图自动化或计算机地图制图。

计算机技术之所以能够应用于地图制图,是因为地图本身是按照一定的数学法则,经过概括,应用特有的符号系统将地球表面上的景物显示在平面图纸上的一种“图形—数学模型”。地图上所有的要素在由空间转绘到平面上之后,仍然保持着精确的地理位置和平面位置;而且图面上的所有呈点、线、面分布状态的要素,都可以理解为是点的集合。既然地图组成要素的基本单位是点,因此可以把地图上所有要素都转换成点的坐标(x 、 y 和特征 z),这样就实现了地图内容的数字化。这些数字化了的地图内容记录下来,即构成了地图数字模型。计算机对数字形式的地图图形信息进行处理,然后将加工处理后的数据信息通过数控绘图机以地图图形形式输出,就是计算机制图的全过程(图 5-3)。在这过程中,由于计算机具有高速运算、巨大存储、智能模拟等功能,因此能代替大量手工劳动。大大加快了成图速度,使地图制图自动化。但因为机助制图至今尚有许多不完善之处,所以还不能完全代替手工制图。

机助制图的一般过程,可分为四个阶段:

编辑准备阶段这一阶段与常规制图有相似之处。如根据编图要求搜集和分析整理资料,规定地图投影和比例尺,确定地图内容和表示方法等。此外,由于机助制图本身的特点而有一系列特殊要求,如确定地图资料的数字化方法,进行数字化前的准备工作,包括将地图资料复制在变形小的材料上制成数字化底图,标绘数字化的内容,确定数字化的控制点,设计地图内容的数字编码系统即地图图例的特征码,研究数据处理和图形绘制的程序设计和自动绘图工艺等(包括复制、各要素的分版等)。

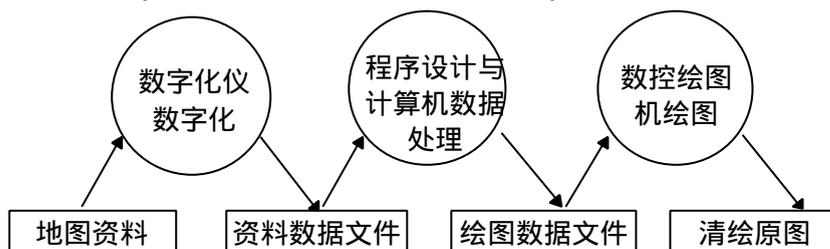


图 5-3 机助制图一般过程示意

由于计算机自动制图系统的功能和编图资料的差异,编辑准备工作也不尽一致。

数字化阶段实现从图形或图象到数字的转化过程称为数字化。地图图形数字化的目的是提供便于计算机存储、识别和处理的数据文件。

地图图形(象)数字化,其数据的表示方式有两种:一种是用跟踪数字化方法所采集的矢量方式;一种是用扫描数字化方法所采集的栅格方式。

矢量方式表示的地图点、线、面图形数据是一系列 x 、 y 坐标值。在平面直角坐标系中,点是一对 x 、 y 坐标值;线是一串点的 x 、 y 坐标对。这种矢量式数据便于计算机处理,容易实时编辑,及时纠正数字化的错误。

栅格方式表示地图上的点,实际上是一种矩阵形式。其具体方法是把地

图的点、线、面图形分割成边长小于 0.05mm 的极小的删格单元，亦称象元。每个象元的位置，可由其相应的行、列数加以确定，各种地图图形可按行、列顺序记录其象元的值。通常用二进制数“1”表示有地图图形存在部分的象元；用“0”表示没有地图图形存在的空白部分的象元。点是覆盖其符号图形中心的象元值；线是覆盖其符号图形中心轴线的象元值；面是覆盖其图形之上的象元值集合。应该指出，这种删格方式的数据，虽然采集的速度快，但由于获取的数据量非常大，随之计算机处理、编辑的工作量也相当大，同时使删格数据转化为矢量数据的工作也比较困难、费时、耗资大，因此应用不如矢量方式普遍。

在对地图内容各要素进行数字化的同时，为便于计算机识别、检索、处理。必须对不同要素的符号加以编码。称这种表示地图内容各要素质量、数量特征的编码为特征码。因此在数字化前，必须首先根据地图内容建立不同制图目标的特征编码表。通常地物特征码同地物的平面直角坐标一起存储。

特征码的编码方式有两种：一种是使用设在数字化仪上的数字、字母键盘或标示器上的数字按钮编码；一种是用设在数字化平台上的一个专门清单编码区上的清单进行编码。

数据处理阶段此阶段是指从图形（或图象）获取数据（数字化文件）之后到图形输出之前，即将数字文件变成绘图文件的整个加工过程。

地图数据的处理内容和处理方法，因制图种类、要求和数据的组织形式、设备特性及使用软件等不同而不同。

数据处理的主要内容包括以下两方面：一是对数据的预处理，即对数字化后的地图数据进行检查、纠正，统一坐标原点，进行比例尺转换、不同资料的归类合并等，使其规格化，并重新生成“净化”文件。二是为了实现图形输出而进行的计算机处理，包括地图数学基础的建立、不同投影的转换、数据的选取和概括、各种符号的绘制、注记及图形输出处理等。

图形输出阶段此阶段是指将计算机处理后的数据转换成图形形式的过程。图形的输出方式，可以根据数据的不同来源、格式，不同的图形特点和使用要求，分别采用矢量绘图机绘图、删格绘图机绘图、高分辨率的大屏幕显示或照相复制、计算机输出缩微胶片等形式。

二、机助制图的硬件设备

机助制图系统中的硬件设备，通常包括以下几部分：电子计算机、数字化仪、图形显示及编辑系统和以数控绘图机为主的图形输出设备。

（一）电子计算机

电子计算机是机助制图的关键设备。它是由中央处理机（CPU）、内存存储器、外存储器，以及输入、输出装备组成的一个计算机系统。

中央处理机包括运算器和控制器。运算器是数据处理部件，它的职能是实现算术运算、逻辑运算及信息传递；控制器是发布输入输出操作命令的机构，是计算机系统中的指挥中心。

内存存储器在计算机系统中用以完成记忆功能的设备，称为存储器。它的职能是存储程序和数据。内存存储器直接和运算器配合工作，中央处理机在执行程序时能随时访问这些数据和指令；运算器需要数据时，存储器就迅速供给，运算器想把计算结果保存下来，存储器就替它保存起来。因此，内存储

器也称随机存取存储器。

外存储器亦称辅助存储器，有磁带和磁盘。它的特点是容量相当大，但动作不如主机快，用它存放大量暂时不直接参与运算的数据、指令和中间结果。当运算器需要时，它可以不断地把数据和指令成批地补充给内存存储器。

输入输出装置输入输出设备负责信息的输入输出，是人机联系的必要工具。它包括操作键盘、纸带输入机、卡片阅读机、穿孔机、快速宽行打印机、电传打字机等。

（二）数字化仪

数字化仪是一种将地图图形（或图象）转换为一系列数字形式的工具，因此又称图象数字转换仪。

数字化仪可分两大类：跟踪数字化仪和扫描数字化仪。

跟踪数字化仪包括机电结构感应式手扶跟踪数字化仪和电磁感应板式数字化仪。

机电结构感应式手扶跟踪数字化仪这种装置由手扶跟踪器（标示器）、传感器、伺服电机、光学编码盘（检测系统）、钢带和钢丝或丝杠和导轨等传动装置、控制器、数字显示及记录装置、输入键盘和电子控制部分组成。它的工作原理是，在感应电压作用下，驱使 x 、 y 方向的电机转动并带动感应器随标示器和编码器移动，由检测系统测出标示器移动的量，并经数模转换显示 x 、 y 。

电磁感应板式数字化仪这种设备在使用效果和工作方式上与机电结构感应式手扶跟踪数字化仪相同。在构造上与机电结构感应式手扶跟踪数字化仪的不同之处是，它没有传动机构，而是将一块精密制造的导体网格板嵌入数字化仪平台的台面中，在标示器线圈产生的电磁场作用下，使导体网格板产生相应的感应电压，再分解为相应的 x 、 y 坐标对。

手扶跟踪数字化仪一般可提供四种记录方式：点方式、时间方式、增量方式和格网方式。点方式是按需记录的点时启动记录开关记录该点的坐标值；时间方式是按事先选择好的时间间隔自动记录点的坐标；增量方式是按事先选择的距离间隔自动记录点的坐标；网格方式是按事先选择的删格间距（由增量选择开关调节）自动记录跟踪点附近删格交点的坐标值。

扫描数字化仪这是一种采集删格数据的滚筒式全自动数字化仪，它由原稿滚筒、采样头、光删检测系统、传动机构、电子分色部件、摸数传动装置、控制系统和记录装置等部件组成。它的工作原理是，经扫描头扫描将图象分解成一定大小、一个紧挨一个的象元，同时进行两种数字化：灰级数字化和坐标数字化。

扫描数字化的优点是，速度快、精度高。缺点是，数据信息量大，处理复杂，特征识别困难。

（三）自动绘图机

自动绘图机是地图图形输出的主要设备，它是在计算机控制下，按照一定的指令自动将计算机处理好的数字信息转换为图形的自动化设备，因此自动绘图机也称数控绘图机。

自动绘图机种类很多，根据其接纳数据文件的形式及绘图方式不同，分为矢量绘图机和扫描绘图机两大类。

矢量绘图机它是根据线性跟踪方式采集的矢量数据，按照相邻点的坐标增量进行绘图。矢量绘图机是由输入装置、控制器、绘图装置等部分组成。

它的工作原理是：将输入数据转变为控制脉冲，使电机动作，驱动绘图机绘图。每一个脉冲促使步进电机转动一个角度，称为步进，即绘图机的分辨率。由 x、y 轴两组电机驱动组合，可使绘图头一般能在八个方向(或十六个方向)上移动。绘图笔除这八个方面动作外，还有抬笔、落笔两个动作。因此，绘图机绘制的图形都是按这十个指令组合而成的，并通过绘图机的各种线性插补，便可完成一系列制图动作，绘出各种图形。

扫描绘图机这种绘图机与按图形轨迹线性跟踪方式采集数据的矢量绘图机的绘图方式不同。扫描绘图机输入的图形信息的数据格式，必须是按扫描行列方式排列的栅格数据。

扫描绘图机的结构与传动系统和扫描数字化仪相同。不同之处是，以记录头代替了采样头，省去分色部件，主要由滚筒和曝光两部分构成，同时这两部分均在暗箱中工作。

(四) 图形显示及编辑系统

图形显示和人机对话系统是图形输出的重要手段之一，它能快速显示计算机对图形处理的结果，是数字化编辑和人机对话编辑中必不可少的设备。

数字是计算机能够直接接受、计算和存储的对象。在计算机辅助制图过程中，主要是对制图数据进行各种处理工作，最终才以图形形式输出。由于地图的编辑工作要求非常严格、细致，这中间的数据处理过程又非常复杂，因此，在图形编辑和形成过程中，要求地图编辑人员对数据处理的各个阶段实行实时监督和控制，以便实现编辑、修改和变换过程中所进行的增删、缩放、移动、旋转和立体显示。图形显示及编辑系统能以图形形式实时显示加工处理的数据，并进行快速的人机对话。图形显示及编辑系统的主要部件是阴极射线管(ORT)和图形发生器。此外，还有显示处理机以及输入部件——光笔、功能键盘、绘图板和字符键盘等。

三、机助制图软件系统

机助制图软件是用计算机程序和语言编写的各种制图程序的总称。

机助制图软件由两部分组成：一部分是计算机系统本身应具有的软件；另一部分是机助制图系统应具有的各种应用软件。

(一) 计算机系统软件

计算机系统软件是指管理、使用计算机的程序总称。它是计算机系统不可缺少的重要组成部分，包括操作系统、汇编程序、编译程序以及各种服务性程序。

操作系统它是用户与计算机之间的接口，用户可以通过操作系统使用计算机。操作系统的主要功能包含管理中央处理机、内存、外部设备和信息，控制作业的运行等，通常由控制作用、作业管理和数据管理三部分程序组成。

汇编程序这是一种翻译程序，它的功能是把用符号表示的低级程序语言——汇编语言写的程序，翻译成计算机所能接受的语言程序。

编译程序它的功能是把面向过程的语言(如 ALGOL、COBOL、FORTRAN、PL/I)写的源编程序，翻译转换成面向计算机的代码。这种代码还可能经过汇编程序或装配程序作进一步加工得出目标程序，交给计算机使用。

服务程序它是用于维护和使用计算机，以及生成目标程序的程序。包括：监督管理程序、诊断故障程序、输入输出程序等。

（二）制图系统软件

制图系统软件包括绘图软件包，图形显示软件包、图形编辑软件包等。

绘图软件包包括应用软件、功能软件和基本软件三部分。应用软件是实现绘制各种图形的程序。功能软件是由许多用以执行不同操作的子程序组成。基本软件是指驱动自动绘图机基本动作的子程序和绘制地图基本符号的各种子程序。绘图系统的所有输出都要通过基本软件包，即应用软件要直接调用基本软件，或者通过功能软件调用。

图形显示软件包是与计算机图形显示有关的软件，主要指图象语言翻译程序及有关的子程序。它包括图形的输入、输出，图形的几何变换（放大、缩小、平移和开窗等），以及图形数据结构的存取和检索等。

图形编辑软件包是在联机编辑中，为实现地图编辑的各种要求（图形的增删、变换、概括等）而设计的一组程序。

第三节 遥感资料制图

一、遥感技术在制图中的应用

长期以来，编制地图是以各种地图、文字资料和数据资料为主要资料来源。以后，随着航空摄影技术的发展和运用，航空像片也成为编制地图的一种重要资料。20世纪60年代以来，由于航天遥感技术的发展和日臻成熟，航天遥感资料在地理制图方面得到了广泛应用，使地图的资料来源、现势性、制图工艺等方面都发生了明显的变化。具体表现在以下几个方面：卫星遥感可以覆盖全球每一个角落，对任何国家和地区都不存在以往由于自然或社会因素所造成的制图资料空白地区；卫星遥感对地球上任何一个区域都可以进行周期性的重复探测，这样对同一个地区就可以获得不同日期、不同月份、不同季节的动态的制图信息，进而为利用地图进行动态分析提供了物质保证；卫星遥感资料可以及时地提供广大地区的同一时相、同一波段、同一比例尺、同一精度的制图信息，这样为缩短成图周期，降低制图成本提供了可能；卫星遥感图象信息，是以二进制的形式记录在磁带上的，因此便于实现电子计算机的自动处理与地图制图的自动化；应用卫星遥感图象信息制图，在制图工艺上也发生了根本性的变化，改变了常规制图那种由较大比例尺地图缩编成较小比例尺地图的编图模式，而常常是先编小比例尺地图然后编制中比例尺或大比例尺的地图。

遥感图象信息在制图中的应用，目前主要是用于地形图的修编与更新、影像地图的制作和专题地图的编制。其中以遥感资料的专题制图为当前的主要特点，由于遥感图象本身的信息量极其丰富，可根据制备的统一基础影像进行各种专题内容的解译，进而编制系列专题地图。因此应用遥感图象信息进行综合性的系列制图，实践证明是行之有效的，并已广为利用。

二、卫星遥感图象的基本特性

(一) 几何特性

1. 投影资源卫星遥感图象除反束光导管摄影仪(RBV)图象被认为是中心投影外，其余多数均为多中心投影，如多光谱扫描仪(MSS)图象。专题制图仪(TM)图象和斯波特(SPOT)高分辨力探测器(HRV)图象。所谓多中心投影，是指每一条扫描线或扫描带都有一个投影中心。因此，图象中心与边缘各部分的精度和变形程度是有差异的。不过由于卫星的航高大，又经过粗制处理，一般可以把它看成是一种近似的正射投影。

2. 比例尺卫星遥感图象的比例尺，同样可用 $\frac{1}{M} + \frac{d}{D}$ 公式表示。式中d为象元点尺寸或为扫描线上两象元点中心连线的尺寸；D为象元点d所对应的地面实际长度。根据各种卫星遥感图象上象元点所对应的地面实际范围大小，可以判定供目视判读用的图象放大倍数。通常MSS图象可以放大到1/25万—1/20万，由计算机增强处理的可以放大到1/10万。TM和HRV(窄波段)图象，因象元尺寸小，可以放大到1/10万或1/5万，HRV全色片可放大到1/2.5万。

3. 象元点位移造成象元点位移的原因有以下几方面：因卫星运行中侧

滚、仰俯引起的象元点位移；因地面起伏高差或卫星的航高差引起的象元点位移；因地球曲率和自转引起的象元点位移；因航向偏离引起的象元点位移。对于陆地卫星-1、2、3的MSS卫片的象元点位移误差，主要是航向偏离误差和地形起伏误差。航向偏离误差最大可达1130米，地形起伏误差最大可达404米。其次是地球曲率误差、卫星倾斜误差和卫星航高误差。而对于陆地卫星-4、5的MSS、TM和SPOT的HRV图象，象元点位移误差主要是地形起伏误差和地球曲率误差，其他误差均因卫星控制精度的提高而减少。

4. 几何量测性卫星遥感图象的几何量测性，具体包括平面量测和立体量测。平面量测精度主要取决于象元点的位移程度。经过精纠正处理的卫星遥感图象，平面量测精度较高，尤其是当地面的相对高差愈小时，其量测精度愈高。卫星遥感图象一般不能作立体量测，其原因是卫片没有航向重叠，同时旁向重叠也不大。陆地卫星-1、2、3的MSS图象的旁向重叠是14%，而陆地卫星-4、5的MSS图象、TM图象的旁向重叠是7.6%，SPOT卫星HRV图象的旁向重叠只有7.35%。唯有SPOT的HRV倾斜卫片和星下卫片才能作全幅的立体观察和量测。

(二) 光学特性

1. 多波段性对于同一地区可以同时获得4—7个波段的卫星遥感图象，如MSS_{4,5,6,7,8}，HRV的X_{S1}、X_{S2}、X_{S3}和全色方式的波谱段。其中TM的波谱段最全，有可见光、近红外和热红外。利用卫星遥感图象的多波段性特点，可以得到各种增强处理的彩色图象，为进行各种专题内容的提取提供了可能性。

2. 综合性卫星遥感图象的象元所对应地面的实际长度，最大的TM可达120米，最小的斯波特HRV全色波段也有10米。由此可见，除大块地物能大于一个以上象元以外，其余小块的、单个的、线状的地物都小于一个象元。因此，在图象上每一个象元的色调，都是由多种地物的反射波谱混合而成的：

$$\rho_{\lambda_{混}} = \gamma_S \rho_{\lambda_S} + \gamma_V \rho_{\lambda_V} + \gamma_r \rho_{\lambda_r} + \gamma_w \rho_{\lambda_w}$$

式中 $\rho_{\lambda_{混}}$ 为混合地物的波谱反射率； γ_S 、 γ_V 、 γ_r 、 γ_w 为象元点所对应的整个空间面积与土壤、植被、岩石、水在该空间所占面积的比值； ρ_{λ_S} 、 ρ_{λ_V} 、 ρ_{λ_r} 、 ρ_{λ_w} 分别为相应纯地物的光谱反射率。卫星遥感图象上这种混合象元占绝大多数，一般在60%以上，多者可达80%。随着卫星遥感图象象元点尺寸的变小，混合象元会逐渐减少，图象上的灰度差能进一步拉开，这样能够进一步反映出地物间的差异。这不仅有利于目视解译，同时也有利于计算机自动识别。

三、遥感资料制图的基本程序

(一) 遥感图象的选择

在遥感资料的专题制图中，正确选择图象信息是非常关键的一环。应根据制图的目的和对象，最大限度地从遥感图象中获取所需要的一切信息。为此，必须对制图对象及具体内容进行深入地分析研究，并且掌握作为专题内容、解释用的各种遥感图象的不同波段不同时相的信息特征。

1. 波段的选择地面不同物体在不同光谱段上有不同的吸收、反射特性。同一类型的物体在不同波段的图象上，不仅影象灰度有较大差别，而且影象

的形状也有差异。多光谱成象技术就是根据这个原理，使不同地物的反射光谱特性能够明显地表现在不同波段的图象上。因此，根据不同解译对象，选择不同的波谱图象，是区分和识别地物的有效手段。除考虑遥感图象的单波段的分析运用外，在多数情况下是通过合成影象进行判读分析。因此，如何确定不同波段的最佳组合方式，是获得理想判读结果的重要途径。比如，利用 MSS 图象编制土地利用图，通常采用 MSS_{4、5、7} 波段的合成图象；若进一步区分林、灌、草，可选 MSS_{5、6、7} 波段的组合图象。又如，利用 TM 图象编制辽河三角洲芦苇资源图时，则以 TM_{3、4、5} 波段的合成图象的信息量最丰富，分辨率最高。

2. 时相的选择遥感图象的成象季节直接影响专题内容的解译质量。若进行地质地貌专题内容的制图，应以选择秋末冬初或冬末春初的图象为最佳，因为这个时段的地面覆盖少，利于地质地貌内在规律和分布特征的显示。若进行土地利用和土地覆盖方面的制图，最好选择利于各种植被判读的最佳时相。例如，“三北”防护林的遥感调查与制图，以选择林木已经枝繁叶茂，但农作物及草本植被尚未覆盖地面的五月末的时相为最理想；判读北方的小麦，以五月份的彩红外片表现最明显，因为此时的小麦长势最好；对海滨地区的芦苇判读并计算面积，则以五六月份间的图象较好；编制盐碱土分布就需要掌握盐渍化地区的泛碱的季节规律性，如黄淮海地区以选择三四月卫片进行判读比较适宜。总之，遥感图象的时相选择，既要根据地物本身的属性特点，同时也要考虑同一种地物的不同区域间的差异。因为遥感图象的影象特征有非常明显的地方性，因此在选择时相时必须二者兼顾。

（二）遥感图象的纠正

人造卫星在运行过程中，由于侧滚、仰俯飞行姿态和飞行航道、高度的变化，以及传感器光学系统本身的误差等因素的影响，常常引起卫星遥感图象的几何畸变。通常所使用的卫星遥感图象软片或计算机兼容磁带，事先已经过粗加工或精加工处理。

图象粗加工处理，是为消除传感器本身及外部因素影响所引起的各种系统误差而进行的处理步骤。它是将地面站接收的原始图象数据信息，根据事先存入计算机的相应条件而进行纠正，并通过专用的坐标计算程序加绘了图象的地理坐标，制成表现为正射投影性质的粗制产品——图象软片（1/336 万或 1/100 万）和高密度磁带（HDDT）。

图象精加工处理的目的在于进一步提高卫星遥感图象的几何精度。其作法是利用地面控制点精确校正粗加工处理后的图象面积和几何位置误差，将图象拟合或转换成一种正规的地图投影形式，并制成精密软片（1/100 万）和高密度磁带。

对粗加工图象产品或精加工图象产品均可经专门处理，转换成计算机兼容磁带（CCT）。

目前我国用于各种专题制图的卫星遥感图象多是粗加工产品。为了制图的需要，尤其是大比例尺专题制图的需要，在进行专题制图工作之前应对粗制图象产品进行必要的精处理。其大致过程是将 70mm 的粗制软片，利用地面控制点进行校正，并进行逐点的相关和比较计算，得出误差改正值，然后通过计算机统一按照地形图的高斯-克吕格投影扫描回放成 1/100 万软片。有了精制图象资料之后，便可以进行各种合成放大处理，提取各种专题制图信

息。

假若在制图前由于技术设备等条件限制不能对粗制产品进行几何纠正，则可对解译后的专题界线以地形图上控制点作为控制，使用调焦转绘仪转绘，亦可以采取先将地形图按粗制影像产品纠正，并转绘专题内容的界线，然后再按地形图重新校正回来。

（三）遥感图象的解译

遥感图象信息的解译方法通常可以归纳为：目视解译与计算机自动识别两大类。

目视解译方法是目前最普遍、最基本的方法。其特点是人用肉眼对卫星象片或胶片图象的灰度和色调进行专题内容的解译工作。为了提高目视解译的效果，通常根据解译专题内容的具体要求，对遥感图象进行必要的光学增强处理工作。

电子计算机自动识别方法是克服肉眼分辨能力局限性的一种快速准确的解译方法。但这种方法受各种条件的限制，目前尚不能普及。

遥感图象的目视解译方法和步骤如下。

1. 解译方法通常采用的解译方法有直接判定法、对比分析法和逻辑推理法。

直接判定法：通过色调、形态、组合特征等直接解译标志来判定和识别地物，如水体、居民地等。

对比分析法：采用不同波段、不同时期的卫星图象，各种地物波谱的测试数据及其他有关地面调查材料，进行对比分析，将原来不易区分的地物区分开。

逻辑推理法：由于卫星图象的比例尺小，地面分辨率较低，许多地面景物不能靠直接判定和对比分析解译出来，而主要靠解译人员的专业知识和实践经验，应用地学规律进行相关分析的逻辑推理方法进行解译。

2. 解译步骤包括解译前的准备工作、建立解译标志、室内解译、野外验证等。

解译前准备工作：选定作为解译用的基础影像，并且搜集与图象解译内容有关的各种图件资料和文字资料，熟悉解译地区的基本情况，并制订解译工作计划。

建立解译标志：首先在室内通过对卫星图象的分析研究，确定野外考察的典型路线和典型地段，然后通过卫星图象的野外实地对照、验证，从而建立各种地物目标在图象上的解译标志。卫星图象的目视解译标志，主要有图象的色调、形态、组合特征等。

室内解译：首先对具体解译区域进行宏观分析，建立总的概念，然后再根据解译标志，进行专题内容的识别与分析。

野外验证：在解译工作完成之后，为保证解译结果的准确性，必须通过野外抽样调查，对解译中的疑点作进一步核实，并对解译完成的专题影像草图加以修改和完善。

（四）基础底图的编制

利用遥感影像资料解译编制各种专题地图，其最终成果是将影像图转化为线划图。因此，基础底图的编制工作是关系到专题制图质量的重要前提。用于遥感影像资料制图的底图，必须有合乎要求的数学基础和地理基础，只有这样才能为转绘影像图上专题内容提供明显而足够的定性、定量、定位的

控制依据，以便提高各种专题要素描绘的科学性和准确性，并有助于各种要素间的统一协调。

根据上述要求，基础底图的编制必须解决两方面问题：一是底图的数学基础，必须解决由影象图转化为线划图对数学基础的要求；二是底图的地理基础，必须使国家基本地形图的地理基础和影象相吻合。

具体制作工艺，要根据制图的目的、对象、比例尺、影象资料情况而定。下面简要介绍一下应用 TM 的精加工影象资料编制大比例尺专题图时基础底图的制作工艺。

1. 制作影象基础底图由于 TM 可以提供同一地区的多幅影象，必须确定其中一幅为基础影象，以免因时相不同造成解译对象的位置和图形差异，给转绘带来困难。因此，首先应选定基础影象，然后进行精纠正、合成、放大，制成供编制基础底图和野外考察及室内解释用的影象基础底图，其比例尺可比成图比例尺大一些。

野外考察用的影象基础底图，可以采取印刷合成，制印成胶版纸的影象基础底图，其优点是成本低，便于携带，适于填图；室内解释用的影象基础底图，可以采取光学合成，制成感光像纸的影象基础底图。

2. 制作线划基础底图精纠正的 TM 影象的数学基础和地形图的数学基础近似，可以满足影象图转化为线划图的精度要求。因此，选择制图区域范围内相应比例尺的地形图并进行展点、镶嵌、照像，制成线划地形基础底图薄膜片，然后将地形基础底图薄膜片蒙在影象基础底图上，根据影象基础底图上解译的地理基础，更新地形基础底图上的地理基础（主要是水系要素），并对地形图上原有的地理要素进行适当的取舍，最后制成供转绘专题影象图上专题内容界线的线划基础底图。通常这种线划基础底图有水系、居民点、道路、境界和地貌结构线等，其比例尺同影象基础底图。与此同时，进一步可编制出成图用的地理基础——出版底图。

（五）专题内容的转绘

1. 目估转绘法当制图的比例尺比较小，要求的精度不太高，图斑界线又比较简单的情况下，可采用目估方法转绘。具体作法：将已经解译完并绘在聚脂薄膜片上的铅笔线划的专题图仍然蒙在基础影象上，以底图上的地理基础作控制，用目估方法将专题要素的图斑界线转绘到绘有等高线的基础底图上。

2. 蒙片转绘法当解译完的铅笔线划图和转绘用的基础底图比例尺完全一致的情况下，才适宜采用这种转绘方法。具体作法：将供转绘用的基础底图蒙在解译后的绘有专题要素图斑界线的聚脂薄膜线划图上，以水系、居民点等基础要素作控制，按先中央后边缘的顺序，分块叠合蒙绘。如果解译用的基础影象是经过精纠正的，那么叠合蒙绘的精度会更高。

3. 仪器转绘法当用于解译的基础影象与用于转绘的基础底图之间的数学基础不一致时，则必须采用仪器转绘。从图象到地图的转绘工作，最好通过卫星图象转绘仪进行。运用图象转绘仪转绘的基本原理是，通过目镜将图象放大到和地图的比例尺一致，并且通过地图上事先选好的控制点进一步纠正图象，使图象和地图严密吻合。这样就可以通过目镜把判读的内容直接转绘到地图上。目前国内常用的仪器是美国波士伦（Bausch & Lomb）公司的 ZT-4 型转绘仪（Zoom Transfer Scope）。大型航测纠正仪亦可用于较精确的纠正转绘工作。

（六）整饰复制

对转绘完的地图图稿校核无误后，即可进行清绘、着色等一系列整饰工作，制成专题图。如果需印刷复制，则要绘成出版原图，再交付印刷。

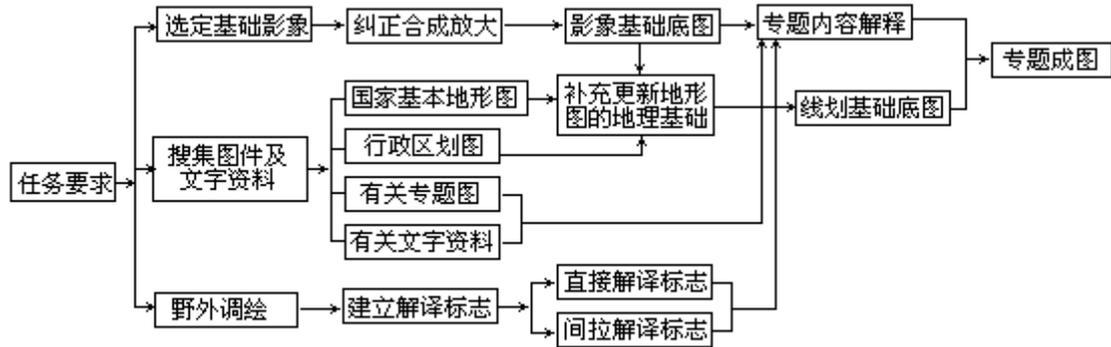


图 5-4 遥感资料目视解译成图的工艺流程框图

四、遥感影象地图及其编制

（一）影象地图的特点

影象地图是以航空或卫星遥感影象直接反映制图物体的地图。影象是经过纠正的正射象片；符号和注记按一定原则选用。从影象上容易识别的地物（居民地、河流）不另加符号，直接由影象显示；影象不能显示或识别有困难的内容（如等高线、高程点等），则以符号或注记表示。

影象地图和线划地图相比具有以下特点：

1. 由于它是以丰富的影象细节去表现区域的地理外貌，比单纯使用线划、符号的线划地图信息量丰富，而且生动形象，富于表现力。
2. 由于它是以简单的线划符号和注记表示影象无法显示或需要计量的地物，弥补了单纯用影象表现地物的不足。因而减少了制图的工作量，缩短了地图的成图周期。

（二）影象地图的种类

影象地图按其内容可分为普通影象地图和专题影象地图。

普通影象地图是在影象的基础上增添了一些最基本的线划、符号，如等高线、居民地、交通网、境界线等。普通影象地图根据需要不同，可以制成黑白普通影象地图、彩色影象地图、单波段的影象地图、多波段合成的影象地图等。

专题影象地图是以普通影象地图为背景，通过解译，增加了简明扼要的表明专题要素位置和轮廓界线的线划、符号和少量注记的一种影象地图。

（三）普通卫星影象地图的制作途径

影象地图的制作分为常规制作方法和计算机制作方法两种。

常规方法利用常规方法制作影象地图的步骤是：搜集资料并制定具体工作方案；象片处理，包括几何纠正、控制放大与晒象；制作影象版，主要是象片镶嵌，关键要掌握好图象间的色彩或色调的平衡；影象判读与表示，将影象判读的结果表示在影象版上；常规制图处理，分别制作地物版、地貌版、线划版、注记版；特殊处理，主要是解决加绘坐标网线问题；最后是印刷。

计算机方法编制简单的卫星影象地图，只要把图象和地图资料、编图的基本数据、以及一些专用程序输入计算机，计算机便可以输出已编好的影象

地图或分版图。编制内容复杂的卫星影像地图，计算机难以独立完成，需要人去帮助解决一些复杂的制图问题。

[实习] 通过参观几种不同的地图编制方法进行比较分析

一、目的要求

了解几种编制方法的特点。

二、方法

(一) 实地参观常规制图、机助制图、遥感资料制图和编图。

(二) 教师用实物、照片、框图布置常规制图、机助制图、遥感资料制图三种编图方法的展室，供学生参观。

(根据条件任选一种方法)

(三) 学生写参观实习报告或由教师总结。

复习思考题

1. 试述常规制图的设计程序和内容。
2. 常规制图的原图编绘方法有哪几种？各有什么特点？
3. 试述地图的制印方法和主要工艺程序。
4. 说明机助制图的基本原理和一般过程，它与常规制图比较具有哪些优越性？
5. 遥感资料制图与常规制图比较，它具有哪些特点？

第六章 地图应用

内容提要

地图量算及野外填图是大比例尺地形图的应用内容，而地图阅读、地图分析、地图综合研究，是从各种地图上获取地理环境信息，认识和了解自然与社会经济现象的空间分布、联系及其发展规律的必要手段。

社会发展，客观需要，地图服务的领域越来越宽，地图应用方法的研究，受到科研、生产、行政管理、国防建设等各部门的普遍重视。

第一节 地图量算

地图量算的目的，在于通过图上的各种量测和计算，获取各种自然和社会经济要素的一系列数量指标。适于量测作业的地图，一般是指具有精确数学基础的大比例尺地形图。因此，下面介绍的是在大比例尺地图上进行量算作业的一些具体方法。

一、位置确定

一) 确定点的平面位置

在我国 1:100,000 比例尺地形图上，均绘有高斯-克吕格投影的平面直角坐标网，又称方里网，以此可以确定点的平面直角坐标。地形图的内图廓即是经纬网，并在内外图廓间设有分度带，以此可以确定点的地理坐标。

1. 求算点的平面直角坐标图 6-1 所示是 1:50,000 地形图的一部分。欲求图上 P 点的平面直角坐标，则可通过方里网和图廓处的数字注记来求得。首先确定 P 点所在的方格，读出该方格西南角顶点的平面直角坐标值： X_0 为 3990 公里。 Y_0 为 (19) 321 公里；然后用两脚规截取 P 点至 3990 公里线的垂直距离 x 和 P 点至 (19) 321 公里线的垂直距离 y ，将 x 、 y 分别放在图幅下方的直线比例尺上量比，即可得实际距离 x 为 0.35 公里， y 为 0.45 公里，则 P 点的平面直角坐标为：

$$X_p = X_0 + x = 3990\text{km} + 0.35\text{km} = 3990.35\text{km}$$

$$Y_p = Y_0 + y = (19) 321\text{km} + 0.45\text{km} = (19) 321.45\text{km}$$

2. 求算点的地理坐标国家基本地形图是按经纬度进行分幅的，东西图廓为经线，南北图廓为纬线。图廓的四角注有经纬度数，并在 1:250,000—1:100,000 地形图的内外图廓之间设有分划为 1' 的分度带。

如图 6-1 所示，欲求 P 点的地理坐标，可先在东西图廓和南北图廓找出包含 P 点经纬度在内的经度分划和纬度分划，并将分划对应端点连线，构成一个包括 P 点在内的经纬网格 $abcd$ ，然后查出该经纬网格左下角顶点 a 的经纬度： $\varphi_a = 36^\circ 01'$ ， $\lambda_a = 109^\circ 01'$ ，并量比 P 点至所连经纬线的垂直距离和分度带分划的图上长度： $gP = 4\text{mm}$ ， $gh = 30\text{mm}$ ， $eP = 23\text{mm}$ ， $ef = 35\text{mm}$ ，按比例关系即可求出 P 点至所在经纬网格西边经线的经度差和 P 点所在经纬网格南边纬线的纬度差：

$$\Delta\lambda'' = \frac{\text{P点至所连经线的垂直距离}}{\text{经差 } 1' \text{ 的图上长度}} \times 60''$$

$$= \frac{4}{30} \times 60'' = 8''$$

$$\Delta\varphi'' = \frac{\text{P点至所连纬线的垂直距离}}{\text{纬差 } 1' \text{ 的图上长度}} \times 60''$$

$$= \frac{23}{35} \times 60'' = 39''.4$$

则 P 点的地理坐标为：

$$\rho = 109^{\circ} 01' + 8'' = 109^{\circ} 01' 08''$$

$$\varphi_p = 36^{\circ} 01' + 39'' \cdot 4 = 36^{\circ} 01' 39'' \cdot 4$$

(二) 求算点的高程位置

现代地形图是用等高线表示地形的高低起伏的。用等高线表示地形的主要优点是，通过等高线可以直接量取图面上任一点的绝对高程和相对高程，获得关于地形起伏的定量概念。

在图上求点的高程，主要是根据等高线及高程注记（示坡线及该图的等高距）推算。

若所求算的点位于等高线上，则该点的高程就是所在等高线的高程。如图 6-2 中，已知三角点的高程注记是 118.7 米，又知道等高线的间距是 10 米，所以 A 点的高程就是 80 米。

若所求点位于两条等高线之间，可以根据比例关系求算。如 P 点高程的求算方法是：量得 a、b 间的图上距离 14 毫米，P、b 间的图上距离是 2.5

毫米，已知等高距是 10 米，P、b 间的高差是： $\frac{2.5}{14} \times 10 = 1.79\text{m}$ ，则 P 点高程应为 $90 + 1.79 = 91.79$ （米）。

二、方向的确定

在地形图应用中，往往还要从图上判定两点的相对位置。如果仅有两点间的水平距离，而没有相互间的方位关系，则两点间的相对位置是不能确定的。而确定图上两点间的方位关系，则须规定起始方向，然后求出两点间连线与起始方向之间的夹角，这样两点间的方位关系就能确定了。

(一) 地形图上的起始方向

地形图上有三种起始方向：真北方向、磁北方向和坐标北方向。

1. 真北方向 地面上的真北方向，是通过地面上一点而指向北极的真子午线方向；地形图上的真北方向，是指通过图上一点垂直指向北图廓的子午线方向。在大比例尺地形图上往往以东西图廓作为真子午线方向。

2. 磁北方向 地面上的磁北方向，是指通过地面上一点而指向北磁极的磁子午线方向。通过地面上一点的磁子午线与通过该点的真子午线有一夹角，称为磁偏角，东偏为正（+），西偏为负（-）。地形图上一般用虚线标有磁子午线方向或在南北图廓标有小圆圈并注有磁南磁北，两个小圆圈连线便是磁子午线。

3. 坐标北方向 大比例尺地形图上有平面直角坐标网（方里网），地图上的坐标北方向即是坐标纵线方向。

(二) 图上直线定向

图上的直线定向，可用方位角或象限角表示。

1. 方位角 方位角是指从起始方向北端算起，顺时针至某方向线间的水平角，角值变化范围 $0^{\circ} - 360^{\circ}$ ，如图 6-3。

方位角按使用的起始方向不同而有真方位角、磁方位角和坐标方位角之分。起始方向为真子午线，其方位角为真方位角；起始方向为磁子午线，其

方位角为磁方位角；起始方向为坐标纵线，其方位角为坐标方位角。

真方位角和磁方位角可按式互换：

真方位角=磁方位角 ±

真方位角和坐标方位角可按式互换：

真方位角=坐标方位角 ±

磁方位角和坐标方位角可按式互换：

磁方位角=坐标方位角+ (-)

2. 象限角 象限角是指从起始方向线北端或南端算起，顺时针或逆时针至某方向线间的水平角，角值变化范围 0°—90° (图 6-4)。象限角与方位角可以互相换算 (表 6-1)。

表 6-1 方位角与象限角的换算

直线方向	从象限角 R 求方位角 A	从方位角 A 求象限角 R
北偏东 (NE)	A=R	R=A
南偏东 (SE)	A=180° -R	R=180° -A
南偏西 (SW)	A=180° +R	R=A-180°
北偏西 (NW)	A=360° -R	R=360° -A

在图上量测角度可用量角器进行。

三、长度量测

在地形图上进行长度量测，有直线长度量测和曲线长度量测两种。

(一) 直线长度量测

直线长度量测的方法如下：

1. 两脚规量比直线长度用两脚规在图上截取 A、B 两点距离，然后移至地形图图幅下方的直线比例尺上量比，使分规的一脚对准尺身上的一个大分划，另一脚对准尺头上的小分划，即可读出两点间距离或相应地物的直线长度。

2. 依两点坐标计算直线长度当跨图幅量测两点间的距离或直线长度时，往往采用坐标算法 (图 6-5)：

$$AB = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}$$

式中 X_A 、 X_B 、 Y_A 、 Y_B 是从图上量取的坐标值。

用两点坐标计算直线长度，能避免图纸伸缩和具体量测过程中所造成的误差，可以得到精确的长度数据。

(二) 曲线长度量测

曲线量测的主要方法有两脚规法、曲线计法，常用于量测河流、道路、海岸线的长度。

1. 两脚规量测通常使用带微调螺旋的弹簧两脚规 (图 6-6) 量测曲线，量得结果是近似于曲线的折线。量测的精度取决于组成折线的线段长短，即两脚规的脚距大小。脚距大小根据曲线弯曲程度而定，当曲线弯曲程度大时，脚距要小，一般为 1—2 毫米，当曲线的弯曲程度小时，则脚距可适当放宽，

一般为 3—4 毫米。

量测的具体方法：首先根据曲线的弯曲程度规定两脚规的脚距大小，假设脚距定为 2 毫米。然后进行脚距大小的检验和调整。检验和调整的办法是，先在纸上绘一条长 50 毫米的直线，用脚距为 2 毫米的两脚规量测，如果脚距 2 毫米事先调整的很准确，那么刚好截取 25 次，如果没有正好截取 25 次，应作进一步调整，直到合适为止。用经检验和调整后的脚距才能正式量测曲线长度。沿着欲量测的曲线的一端开始连续量测，直到终点。最后距终点如有不足一个脚距的线段时，可用微分尺量或直接用目估方法解决。

一般要往返两次量测，取平均数。曲线的长度 L 等于单位脚距代表的实地长度 d 乘以两脚规截取的次数 N ，即 $L=d \cdot N$ ，但这种量测方法的结果一般都比实际的曲线长度要短。为了减少量测误差，可以再乘以曲线的弯曲系数 K ，即 $L=d \cdot N \cdot K$ （图 6-7）。曲线弯曲系数的确定，是将欲量测的曲线和标准曲线类型表对照，最后定出量测曲线的弯曲系数 K 。

2. 用曲线计量测曲线计是量测曲线长度的简便仪器，它由测轮、字盘和指针组成。字盘上注记有不同比例尺的分划值。每一分划相当实地一公里（图 6-8）。

量测时，先转动测轮使指针归零，并对准欲量测的曲线端点，然后使曲线计沿曲线垂直于图面滚动，直到终点，指针所指的实际数字即为实地的曲线长度。为准确起见，一般要往返量测几次取平均数。如果所量测的地形图比例尺与曲线计的字盘上所注记的比例尺不符，则可用曲线计量测图上已知直线的实地长度，求出分划值后，再进行曲线量测。图 6-8 曲线计曲线量测除上述方法外，近些年来随着电子计算机技术和制图自动化技术的广泛应用，可利用手扶跟踪数字化仪量测曲线长度，能得到更加精确的量测效果。

四、坡度量测

地面坡度是指倾斜地面对水平面的倾斜程度。研究地面坡度不仅对了解地表的现代发育过程有着重要意义，而且与人类的生产和生活有着更为密切的关系。

在科学研究、生产实践、国防建设中所需要的坡度资料和数据，一般都是从大比例尺地形图上量测获得的。

（一）坡度的表示方法

图上两点间的坡度，是由两点间的高差和水平距离所决定的（图 6-9），具体表示方法有两种。

1. 用坡度角表示根据图 6-9 可知：

$$\operatorname{ctg}\alpha = \frac{D}{h}$$

式中 α 为坡度角； D 为两点间水平距离； h 为两点间高差。

从上式可以看出，坡度角与水平距离和高差之间存在余切关系。当知道两点间水平距离和高差，即可求出坡度角。

2.用比降表示在工程技术上，往往采用 h/D 表示坡度。式中 h 为两点间高差，D 为两点间水平距离。在具体表示上，有的用分母划为 100、1000 的百分比、千分比形式；有的用分子划为 1 的比例形式，见表 6-2。

表 6-2 常用坡度表示法之间的关系（选值）

度数	%	1	%	度、分数	1	1	度、分数	%
1	1.75	57.3	1	0° 34'	100	1	45°	100
2	3.49	28.6	2	1° 9'	50	2	26° 34'	50
3	5.24	19.1	3	1° 43'	33.3	3	18° 26'	33.3
4	7.0	14.3	4	2° 18'	25	4	14° 2'	25
5	8.75	11.4	5	2° 52'	20	5	11° 19'	20
6	10.5	9.5	6	3° 26'	16.7	6	9° 28'	16.7
8	14.0	7.1	8	4° 35'	12.5	8	7° 7'	12.5
10	17.6	5.7	10	5° 43'	10	10	5° 43'	10
12	21.3	4.7	12	6° 51'	8.3	15	3° 49'	6.7
15	26.8	3.73	15	8° 32'	6.7	20	2° 52'	5
20	36.4	2.75	20	11° 20'	5	30	1° 54'	3.3
25	46.6	2.14	25	14° 2'	4	50	1° 10'	2
30	57.7	1.73	30	16° 41'	3.3	75	0° 46'	1.33
40	84.0	1.19	40	21° 48'	2.5	100	34'	1
45	100	1	50	26° 34'	2	150	23'	0.67
50	119.2	0.84	75	36° 52'	1.3	200	17'	0.5
60	173.2	0.58	100	45°	1	250	14'	0.4
70	257	0.36	200	63° 27'	0.5	300	11'	0.33
80	567	0.18	500	78° 42'	0.2	500	7'	0.2
90		0	1000	84° 18'	0.1	1000	3'	0.1

（二）用坡度尺量测坡度

1. 坡度尺的制作方法根据公式 $D = h \cdot \text{ctg}\alpha \cdot \frac{1000}{M}$ (mm)，求出相邻两条等高线间坡度为 1°、2°、3°、...30° 的图上水平距离 D_1 、 D_2 、 D_3 、...、 D_{30} （式中 h 为等高距；M 为地形图比例尺的分母）；在绘好的水平基线上，按两毫米间隔截取；在各截点上按 D_1 、 D_2 、 D_3 、...、 D_{30} 的长度作水平基线的垂线，并将端点用圆滑曲线连接起来，即构成量测相邻两条等高线间坡度角的坡度尺。为了使 5° 以上的各种坡度表现更明显些，而采用 5 倍等高距，并在垂线上依次截取相应 D 值，即 D'_5 、 D'_6 、 D'_7 、...、 D'_{30} ，用圆滑曲线连接起来，即构成量测相邻六条等高线间坡度的坡度尺（图 6-10），利用国家基本地形图量测坡度时，可利用南图廓外的绘制好的坡度尺直接量测。

2. 坡度尺的使用方法当等高线比较稀疏时，可用量测相邻两条等高线间坡度的坡度尺图 6-10 坡度尺图 6-11 用坡度尺量坡度量测。具体方法，如图 6-11，先用两脚规量比图上欲求坡度的两条等高线间的水平距离，然后移至

坡度尺上，使两脚规的一脚放在坡度尺水平基线上滑动，另一脚与曲线相交处所对应的水平基线上的度数，即为所求坡度。当等高线密集时，则使用量测相邻六条等高线间坡度的坡度尺进行量测，先在图上用两脚规量比欲求坡度的相邻六条等高线间的水平距离，然后移至坡度尺上量比，找到所求坡度数。

（三）绘制剖面图量算坡度

除用坡度尺量算坡度外，欲求某一方向上各段的坡度时，亦可先将该方向上的各点连成坡度方向线，然后作成坡度线剖面图，如图 6-12 所示， a_1 、 a_2 、 a_3 ，即为各段的坡度。

（四）求最大坡度和限定坡度

在地形图上量测坡度，有的是为了解某一区域范围内地表坡度的变化情况，有的是为了解某一方向、路线上的坡度变化情况。对后者而言还可根据图 6-12 绘制剖面图量算坡度据不同要求在图上确定最大坡度线或限定坡度线。如在图上表示出地表水的径流方向，则需求最大坡度线；如在图上进行道路、水渠等方面的选线，则需求出限定坡度的最短距离即同坡度线。

1. 求最大坡度线地形图上由一点出发，向不同方向上的坡度是不相同的，但其中必有一个方向坡度最大。最大坡度线，在地形图上是垂直斜坡等高线的直线。因此，在地形图上求最大坡度线，就是求相邻等高线间的最短距离。如图 6-13 所示，由 A 点出发作 290 米这条等高线的垂线，交于 B 点，然后由 B 点再作 280 米这条等高线的垂线，交于 C 点，依此类推，求出 B、C、D、E、F、...各点，并用圆滑曲线将各点连接起来，即为所求的最大坡度线。

2. 求限定坡度线在地形图上求两点间限定坡度的最短路线，如图 6-14 所示，先用两脚规在地形图坡度尺上量取相邻两条等高线间限定坡度的水平距离 D，然后以 A 为圆心、以 D 为半径划弧，相交于 340 米等高线上的 C 点，其 AC 间的坡度即为限定坡度；再以 C 为圆心，仍以 D 为半径划弧，相交于 330 米等高线上的 D 点；依此作下去，分别找出 C、D、E、F、...各点；最后将各点用圆滑曲线连接起来，即构成限定坡度的最短路线。若是地势起伏很大的地区，图上等高线密集，可利用坡度尺逐段按相邻六条等高线间限定坡度的水平距离划弧，得各交点，将各交点用圆滑曲线连接起来，即为所求的限定坡度的最短路线。

五、面积量测

在科学研究和生产实践中经常会遇到面积的量算问题，如求算各种土地利用类型的面积，厂区面积和矿区面积，水库的汇水面积，灌溉面积.....。除特殊需要实测外，通常都可以直接从地形图上量测。

在图上量算面积的方法很多，如方格法、方里网法、平行线法（又称梯形法）、求积仪法、权重法等，此外还有利用电子计算机和光电扫描仪等量算方法。

（一）方格法

使用以毫米为单位的透明方格纸或透明塑料模片蒙在欲测图形上，然后

将欲测图形的边界描绘在透明方格纸或透明塑料片上，如图 6-15。首先读出完整的方格数，然后再用目估方法将不完整的方格凑成完整的方格数。最后累加出图形轮廓线内的总方格数。用总方格数去乘每一方格代表的实地面积，即得欲测图形的总面积。图 6-15 方格法量算面积为了保证量算精度，首先必须保证使用的方格纸或模片的方格大小合乎要求。另外，为提高量算精度，最好将方格纸或模片放置不同方向，进行两次量算。

使用方格法求面积，简便易行，只要操作认真，精度可以得到保证，缺点是较费工费时。

由于大比例尺地形图上的方里网代表的实地面积是已知的，因此在地形图上量测面积也可根据方格法量算面积的道理，利用大比例尺地形图上的方里网来计算图形的面积。不足一个网格的，可以采取方格法量算。

(二) 平行线法

当一图形被一组间隔相等的平行线所截，其图形面积则可按梯形面积的求算方法计算（图 6-16）。即中线长乘高（平行线间隔）。这就是求面积的平行线法。

具体作法是，用绘有相等间隔平行线的透明模片蒙在欲图 6-16 平行线法量算面积测面积的图形上，并且使图形位于模片中央。为计算方便起见，图形下端最好切于一条平行线上。欲测图形的面积为：

$$S = h \cdot \sum L \cdot M^2$$

如图 6-16 所示，欲测图形的上端边缘未与平行线相切，为提高量算精度，则在平行线段 AB 之上这部分图形面积可单独计算，然后加入总面积：

$$S = h \cdot \sum L \cdot M^2 + h' \frac{AB}{2}$$

式中 h' 为平行线段 AB 上部这部分图形的高。

用平行线法求面积的精度取决于平行线之间的间隔大小，平行线间隔愈小，则面积量算精度愈高。

(三) 求积仪法

求积仪是一种专供在图上量测面积用的仪器。当被量测图形的轮廓形状不规则时，使用求积仪求面积，有明显的优越性。

定极式求积仪是由极臂、航臂和计数机件三部分组成，如图 6-17。

极臂的一端有一圆柱形的重锤，重锤下面有一短针，靠重锤的重力刺入图纸，成为求积仪的一个极点。极臂的另一端有一圆头短柄，使用时可将其插入航臂上接合套的圆孔内，使极臂与航臂连接起来。极臂长度为极点至另一端的圆头短柄旋转轴之间的距离。航臂的一端有一航针，航针旁有一手柄，手柄下面有一支撑航臂的小支柱。航臂的另一端有接合套，接合套上有求积仪上最重要的部件——计数器。航臂长度为航针尖端至短柄旋转轴的距离。

计数机件（图 6-18）由测轮、游标和计数盘所组成。当航臂移动时，与图纸平面接触的测轮随着转动。测轮转动一周，计数盘转动一格。计数盘由 0 - 9 共分 10 格。测轮分为 10 等分，每一等分又分图 6-18 计数机件为 10 小

格。在测轮旁附有游标，游标上的 10 个小格相当于测轮上的 9 个小格的间距，即游标上的每一小格是测轮上一个大格的 $\frac{9}{10}$ ，因此借助游标可以直接读出测轮上一小格的 $\frac{1}{10}$ 。这样根据计数机件就可以读出四位数字，即先从计数盘上读出千位数，然后从测轮上读出百位数和十位数，最后从游标上读出个位数。

使用求积仪求面积时，通常是将极点放在图形轮廓外，先根据欲量测图形的形状大小定好航臂长和极点位置，再将航针对准欲量测图形轮廓线上的某一点并作出记号，读取始读数 n_1 ，然后使航针以均匀速度沿图形轮廓绕行一周回到起点，读出终了读数 n_2 ，则量测图形的面积为：

$$S=C|n_2-n_1|$$

式中 C 为单位分划值，对一定臂长而言它是一常数，称为求积仪的第一常数。

单位分划值 C ，可在求积仪说明书上查得，或根据对已知面积的图形进行量算求得。具体作法有以下两种：一是根据求积仪盒内备有的检验尺求得，如图 6-19 所示。检验尺一端 M 下面有一小短针，可将检验尺一端固定在图纸上；另一端有一小孔 G ，可插求积仪的航针。作用时是使航针以检验尺上 MG 长为半径绕行一周，读取 n_1 、 n_2 两个读数。由于以 MG 为半径的圆面积为已

知，并在仪器盒内有记载，因此 $C = \frac{S}{|n_2 - n_1|}$ 。除用检验尺求 C 值外，还可

以利用地形图上的方里网所包围的正方形作为已知面积求 C ，方法同上。

使用求积仪量测面积，为了使量测的结果比较准确，应注意以下事项：首先应选择表面光滑平整的桌面，将欲量测的图纸在桌面上铺平、固定；求积仪极点的安放位置要适当，为此必须先经过试验，当采取极点放在图形外量测面积时，极点的安放条件必须是在航臂绕行时，避免航臂与极臂的夹角过大或过小，一般应在 30° — 150° 之间，以夹角接近 90° 为最理想；航针沿图形边缘绕行时，要跟踪准确，快慢适当，匀速前进；每块图形面积的量测，至少应采取航臂在极臂右侧量测一次，航臂在极臂左侧量测一次，取其两次量测结果的平均值，这样可以消除仪器的偏心差，为进一步提高量测精度，最好采取航臂在极臂左侧顺时针各量测一次，航臂在极臂右侧顺时针各量测一次，取四次量测结果的平均值；此外，由于求积仪量测面积的精度还与欲量测图形的大小、形状有关，图形愈小量测误差愈大，图形愈近于狭长量测误差愈大，因此应尽量避免用求积仪量测过小或过于狭长的图形面积。若量测的图形面积较大，可分块量测。

（四）权重法量算面积

使用精密的分析天平，先求出欲测图形单位面积的纸张重量 g ，然后再称出欲测图形的重量 X ，则欲测图形的面积 $S = P \frac{X}{g}$ 。式中 P 为单位面积。

（五）量算面积的新方法

随着现代科学技术的发展，目前国内已采用电子计算机或光电扫描仪器量算面积。

1. 计算机量算面积其原理是先用图形数字化仪对欲量测图形轮廓进行数字化，并由计算机按事先编好的程序计算出所求图形面积。一般作法是利用手扶跟踪数字化仪，先将欲量测图形放在数字化仪平台上，然后按下坐标键，将数字化标示器上的十字丝对准欲测图形轮廓线上任一点，并使全机归零。

然后用手扶标示器沿欲测图形轮廓线按一定点距（0.7 - 1mm）数字化，记录每一点的平面坐标值 X、Y，数字化一周回到原点，检查 X、y 是否归零。按下面积键，消除 Y 轴显示的数据，再按一下面积显示微动开关，即可得到面积值。

2. 光电扫描仪量算面积目前国内根据光电扫描原理设计的量算面积的仪器已有多种：长沙东风电器厂生产的 ML-F 型电子分色面积量测仪；武汉光学仪器厂生产的 GDM-1 型光电面积量测仪；广东安铺无线电总厂生产的 ZMC-100 型自动面积量测仪等。

光电面积量测仪器基本都是依据图形分割计数的原理设计的，它具有操作简便、速度快、精度比较高等优点。

ML-F 型电子分色面积量测仪，量测最大幅面为 450 × 560 平方毫米，当量测 50 × 50 平方毫米面积时。相对误差小于 1%。该仪器可对同一幅地图上的三种不同类型的要素同时进行量测。在量测前首先对各类要素分别用深、中、浅三种不同色调涂色，然后进行扫描，即可读出面积。

GDM-1 型光电面积量测仪，量测最大幅面为 300 × 400 平方毫米，单要素量算相对误差不大于 0.5%。

ZMC-100 型自动面积量测仪，最大显示面积是 9999.9 平方厘米，当测量 60 平方厘米面积时，相对误差不大于 1%。

（六）图上量算面积的改算方法

在地形图上量得的面积，都是地面水平投影的面积。若求地表面的实际面积，还应该加上地面高程和地面倾斜的改正数。

高程影响面积的改正数，一般可以根据 $S = S_0 + 2S_0 \frac{H}{R}$ 公式进行面积

改正。式中 $2S_0 \frac{H}{R}$ 为面积由椭球体表面划为水平投影的改正系数（ S_0 为椭球体表面积；H 为海拔高；R 为地球椭球体半径），详见表 6-3。

表 6-3 不同高程的面积改正数

H (m)	$2 \frac{H}{R}$	H (m)	$2 \frac{H}{R}$
100	1	2000	1
500	1	2500	1
1000	1	3000	1
1500	1	3500	1

地面倾斜影响面积的改正数，可以用 $S = S_0 + S_0 \frac{i^2}{2}$ 公式计算（ S_0 为水平投影面积；i 为坡度），具体改正系数见表 6-4。

表 6-4 地面倾斜的面积改正数

坡度	倾斜角	系数	坡度	倾斜角	系数	坡度	倾斜角	系数			
i	a	$\frac{i^2}{2}$	i	a	$\frac{i^2}{2}$	i	a				
0.01	0.6 °	1	20000	0.11	6.3 °	1	165	0.21	11.9 °	1	45
0.02	1.1 °	1	5000	0.12	6.8 °	1	139	0.22	12.4 °	1	41
0.03	1.7 °	1	2220	0.13	7.4 °	1	118	0.23	13.0 °	1	38
0.04	2.3 °	1	1250	0.14	8.0 °	1	102	0.24	13.5 °	1	35
0.05	2.9 °	1	800	0.15	8.5 °	1	89	0.25	14.0 °	1	32
0.06	3.4 °	1	555	0.16	9.1 °	1	78	0.26	14.6 °	1	30
0.07	4.0 °	1	408	0.17	9.6 °	1	69	0.27	15.1 °	1	27
0.08	4.6 °	1	312	0.18	10.2 °	1	62	0.28	15.6 °	1	26
0.09	5.1 °	1	248	0.19	10.8 °	1	55	0.29	16.2 °	1	24
0.10	5.7 °	1	200	0.20	11.3 °	1	50	0.30	16.9 °	1	22

六、体积量测

在科学研究与工程建设中，常常会遇到要了解地面各种水体的体积、山体的体积、工程的土方工程量、矿体的储量等等。这类体积的求算都可以在地形图上进行，即根据地形图上的等高线量算体积。利用地形图量算体积，必须先在地形图上确定量算体积的范围界线和厚度（高），然后进行量算。由于各种欲量算体积的对象形状各异，精度要求和工作条件不同，采取的量算方法也不一样。常用的量算方法有等高线法、方格法、断面法等。

（一）等高线法

在地形图上先求出相邻两条等高线之间的各层体积，然后各层体积累加起来即得总体积。如图 6-20 所示，每层的体积为

$$V_i = \frac{D_{i-1} + F_i}{2} h$$

式中 F_{i-1} 、 F_i 为两个截面的面积； h 为等高距。

如果数层相加求总体积，则应为

$$V = \frac{h}{2} (F_0 + 2F_1 + 2F_2 + \dots + 2F_{i-1} + F) + \frac{h}{3} F$$

式中 h' 为山体顶部高程与最高层等高线之间的高差。

（二）方格法

在地形图上量算较大范围内的体积时，可先将欲量测体积的范围按一定边长划分成正方形格网，或者将绘有方格网的模片铺在地形图上，在地形图上求出各方格网顶点的高程，这样便可以按四棱柱体来计算体积。

利用方格法求算体积的方法如下。首先求出欲求体积范围内每个小正方形网格顶点的高程 H_1 、 H_2 、 H_3 、 H_4 ，如图 6-21；然后求其平均值，即得四棱柱体的高 H ；最后可以根据设计高程求出欲求体积的厚度 h （高）。小正方形

的面积 a^2 ，即为四棱柱体的底面积。四棱柱体的体积则为：图 6-21 方格法求体积

$$V=a^2h$$

根据上面的作法，将欲求体积范围内的每一个小四棱柱体积计算出来，最后累加即得总体积：

$$V_{\text{总}}=a^2 \sum_{i=1}^n h_i \quad i=1、2、3\dots、n$$

(三) 断面法

在地形图上于欲求体积界线范围内按一定间隔作断面，如图 6-22。由设计高程和地面线围成的断面面积 (F) 可以求算，那么相邻断面面积的平均值再乘以间隔 (l)，即得每两相邻断面间的体积。将各断面间的体积相加，即得总体积。

$$V_{1-2} = \frac{F_1 + F_2}{2} \cdot l$$

$$V_{2-3} = \frac{F_2 + F_3}{2} \cdot l$$

$$V_{\text{总}} = \sum_{i=1}^n V_i = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

第二节 野外填图

利用地形图进行野外地理考察，并将野外考察内容填绘在图上，是地形图应用的重要内容。这项工作包括四个步骤：准备工作，地形图定向，确定站立点位置和野外填图。

一、准备工作

在进行野外考察之前，应做好准备工作，包括地形图和简易测量技术的准备。

(一) 地形图准备

根据考察目的和范围，选定地形图的比例尺和查出（或算出）地图的编号，向地图管理部门索取所需的地形图。

为了能准确的查出（或算出）地形图的编号，必须了解我国国家基本地形图的编号系统。

我国基本地形图是按行列编号法，以 1:100 万地图的全球统一编号为基础进行系统编号的。

1:100 万比例尺地图规定：列号，从赤道起向南北两极每隔纬差 4° 为一列，直到南北纬 88° （南、北极地区单独成图），将南北半球各分为 22 列。分别按拉丁字母 A、B、C、...V 表示；行号，从经度 180° 起向东每隔经差 6° 为一行，将全球分为 60 行，依次用自然序数 1, 2, 3, ..., 60 表示（图 6-23）。每幅 1:100 万地图的图号是列数在前，行数在后，中间用短横线连接。如北京所在的 1:100 万地图图号为 J-50。

1:50 万比例尺地形图的编号是，在 1:100 万地图图号后加上大写拉丁字母 A、B、C、D。如 J-50-A。

1:25 万比例尺地形图的编号是，在 1:50 万图号后加小写拉丁字母 a, b, c, d。如 J-50-A-b（图 6-24）。

1:10 万地形图图号是，在 1:100 万图号后加上自然序数 1, 2, 3, 4, ..., 144。如 J-50-5（图 6-25）。

1:5 万地形图图号是，在 1:10 万图号后加上大写拉丁字母 A、B、C、D。如 J-50-5-B。

1:1 万地形图图号是，在 1:10 万图号后加上带括号的自然序数（1），（2），（3），...，（64）如 J-50-5-（15）（图 6-26）。

下面举例说明求图幅编号的方法。

已知某地为 $38^\circ 35'N$ ， $114^\circ 20'E$ （可在一般地图上查得），求该地所在 1:5 万地形图的编号。

第一步，求该地所在的 1:100 万地形图图号

1:100 万地形图的列号用下式计算：

$$\text{列号} = \left(\frac{\phi}{4^\circ} \right) + 1 \quad (\text{括号内取整数值})$$

该地所在的1:100万地形图列号应为 $\left(\frac{38^{\circ}35'}{4^{\circ}}\right)+1=10$ （相当于J）。

1:100万地形图的行号用下式计算：

$$\text{行号} = \left(\frac{\lambda}{6^{\circ}}\right) + 31 \quad (\text{括号内取整数值})$$

该地所在的1:100万地形图行号应为 $\frac{114^{\circ}20'}{6^{\circ}} + 31 = 50$ 。所以该地所在的

1:100万地形图图号为J-50。

第二步，求该地所在的1:10万地形图图号

凡求大于1:50万比例尺地形图的编号，都可应用图解法，即根据该地所在的1:100万地形图编号，绘出图幅范围的略图，再按该比例尺图与1:100万图间的图幅数量关系，划分略图，并注出其经纬度，就可以求出该地所在图幅的编号。由图6-25可以得出该地所在的1:10万地形图图号为J-50-49。

第三步，求该地所在的1:5万地形图图号

按图解法将1:10万地形图的范围划分为4幅1:5万图，很快就可以确定该地所在的1:5万地形图图号为J-50—49-B。

（二）简易测量方法

在外业考察中，随时需要将所观察到和调查目的有关的内容，比较准确地填绘到地形图上。我们知道，地物的位置和形状都是由点组成的，只要掌握了在地形图上确定点位的方法，就能进行野外填图工作。

在图上确定点位的基本条件是距离、方向和高程，为此需要进行简易测量。

野外填图要使用携带方便的简单测量仪器，用这种仪器进行测量，得到的数据虽然精度不高，但却可以在较短时间内，完成大面积的测量工作，而且由于地形图上还有其他要素可以制约，因此成果还是能够符合要求的。

1. 测量距离

（1）目测目测距离是根据物体的大小和能见度情况，用眼睛来判断距离。目测时要注意光线及环境的影响：面向阳光容易估计过远，背向阳光容易估计过近；从山地看平地容易估计过远，从平地看山地，容易估计过近。目测要经常练习，以提高准确程度。

（2）臂长法手持野外填图用铅笔，伸直手臂于眼前，用铅笔的顶，对准已知高度的目标物顶部，然后将手指下移至目标物的底部，如图6-27所示，则根据相似三角形原理，可算出站立点至目标物的距离D。设目标物高为H，手臂长为d，铅笔上的长度为h，则

$$D = \frac{H}{h} \cdot d$$

为了便于用此法测距，平时应多搜集一些常见物体的高度。

（3）步测当待定点可以到达时，常用这种简便测距法。人的步长一般为0.7—0.8米，为了获得比较准确的步长，各人应该在不同条件下（如上坡、下坡、路面平坦或凹凸不平）测定自己的步长，以便根据情况选用。步测时，用步数乘以步长，即可求出距离。经验证明，在平坦地区步测误差常小于 ± 2

%。

步测时最好使用步数计（图 6 - 28），其形如怀表，可携带在腰上，每走一步，步数计的机件受到一次震动，指针就跳动一格。步数计一般有四个度盘，分万步、千步、百步和十步，用起来很方便。步数计上端有一按钮，向下一按，全部指针都回到零位。

2. 测量方向在野外测量中常以磁子午线作为基准方向，直线的方向可用方位角或象限角表示。直线的磁方位角和磁象限角在野外可以用罗盘仪测定。罗盘仪构造简单，使用方便，是地理工作者野外考察必备的仪器。

罗盘仪的式样很多，但构造大同小异，主要由磁针、度盘和瞄准设备组成。图 6 - 29 (a) 为一种袖珍罗盘仪，上部有可以开启的盖，盖的内面有一反光镜 A，其上有标线和透视孔 F，盖的外缘为准星 G；下部为圆盒 E，它与度盘 P 连接在一起，R 为可折叠的觇板，觇板上有觇孔 O，圆盒底部中央装有顶针 B，以支承磁针 C（图 6 - 29 (b)），圆盒上面用玻璃盖封固，并备有小杠杆 K，当将按钮 D 按下后，磁针就离开顶针，并压紧在玻璃上。

度盘上有 1° 或 $30'$ 的分划，每隔 10° 有一注记。度盘注记有两种形式：度盘 0° 注在“北”分划线处，按逆时针方向由 0° 注到 360° 的，称为方位罗盘仪；度盘 0° 注在“南”、“北”两端分划线处，并由 0° 顺时针和逆时针两个方向注到 90° 的，称为象限罗盘仪。

用罗盘仪测定直线的磁方位角或磁象限角时，先站在直线的起点上，手持罗盘仪使之水平。放下磁针，瞄准直线的另一端点。瞄准时眼睛靠近接目觇板 R 上的觇孔 O 通过反光镜 A 上的透视孔 F 和标线，以及外缘上的准星 G，对准目标，待磁针静止后，即可从反光镜映出的度盘上，根据磁针读出该直线的磁方位角或磁象限角。

使用罗盘仪时，附近不得有任何铁器，否则成果不能用。

3. 测量高程

(1) 手水准法手水准的构造如图 6 - 30。在镜筒内装有瞄准横丝，镜筒上面装有水准管。借镜筒内的反光镜可以看到水准气泡和瞄准横丝。观测时，以右手执镜筒，右眼对准接目孔，横丝对准目标，用左手转动游标旋钮，使水准气泡被横丝平分；然后读垂直角，根据垂直角和两点间水平距离，可

按 $h = \frac{D}{\text{ctg}\alpha}$ 式求出两点间的高差。若垂直角小于 12° 时，可把地面倾斜距

离当作水平距离看待。

(2) 气压计法进行野外考察多用补偿式空盒气压计测量站立点的高程。这种气压计呈圆形，上面有气压和高程刻划。高程刻划圈可自由转动。因为在平均海平面上大气压力等于 760mmHg，其高程为零，当把高程刻划圈的零线对准 760mm 气压读数时，其指针正好指出该点地面高程，所以也称为高度计。大气压力受温度影响很大，一般测量结果都要加温度订正数，而补偿式气压计自身能进行温度订正，使用起来很方便。

用补偿式空盒气压计测高时，先在起点处转动高程刻划圈，使地面高程数对准指针，然后将仪器带到测点，根据指针即可读出测点高程。如果欲测某山顶和山脚的高差时，可在山脚用高程刻划圈的零米对准指针，然后带到

山顶，指针的读数即为两点的高差。如果其中一点的绝对高程为已知，根据高差可算出另一点的高程。

4. 测定点位有了测距、测方向和测高的知识，确定点位就比较容易了。通常可采用以下几种方法：

直角坐标法如欲把道路两旁的目标测于地形图上，则以道路为基线，沿基线方向前进，至欲测目标垂足位置时，转 90° 沿与基线垂直的方向，测出至目标物的距离，按地形图比例尺缩小后，根据直角坐标绘在地形图上，即得所求目标位置。如图 6 - 31，从 A 出发，沿 AB 方向前进，并计步数至 a，算出 Aa 距离，按地图比例尺缩小，将 a 点定在图上。再沿其垂线方向测出 ab 距离，缩小后，将 b 点定于图上。然后继续沿 AB 方向前进，同法测出 ac 和 cd 的距离，即可将 d 点定于图上。沿途两侧其他各点均可按此法测出。

(2) 极坐标法当站立点周围视野开阔，能观察到很多需要测定的目标时，可以用罗盘仪测出各目标的方向，并测出至各目标的距离，就可将这些点标定在地形图上。如图 6 - 32，O 点为站立点，通过 O 点作磁子午线 ON，从 ON 起，按所测出的方位角，用量角器分别画出 $0a$ ， $0b$ ， $0c$ ， $0d$ 方向线，在每一条方向线上，按所测出的距离（依比例缩小）截取 a、b、c、d 各点，这些点就是所求各目标在图上的位置。

(3) 交会法当目标距离较远，中间又不易通过，难以测定至目标的距离时，可应用交会法。如图 6 - 33，在已知距离的 A、B 两点上，各向同一目标 P 测定其方位角 A_1 和 A_2 ，即可在地图上标定 P 点的位置。应用交会法时，方位角必须测量准确，角度误差对 P 点位置影响很大。在图上标定 P 点位置时，应参考附近其他目标，根据其相对关系，判断 P 点位置准确与否。这种方法在简易测量中，应慎重使用。

二、地形图定向

地形图走向，就是使地形图的方向与实地一致，图上代表各种物体的符号与地面上相应的物体方向对应。野外定向经常用罗盘仪进行。分三种情况：

1. 按真子午线定向首先使罗盘仪度盘上的南北线与地形图上的东西图廓（经线）重合，从“三北”方向图上查得磁偏角为西偏 $8^\circ 48'$ ，然后向右转动地形图 $8^\circ 48'$ ，则地形图方向与实地方向一致（图 6 - 34）。

2. 按磁子午线定向如果地形图上有磁子午线标记时，即地形图南北图廓线上注有磁南、磁北（或 P 与 P'），两点的连线即为磁子午线。可将罗盘仪度盘上的南北线与图中磁子午线重合，转动地形图，使磁针北端与度盘南北线的北端一致，则地形图方向就和实地一致了（图 6-35）。

3. 按坐标纵线定向使罗盘仪度盘上的南北线与坐标纵线重合，从三北方向图上查出磁子午线北端偏于坐标纵线之西 $0^\circ 25'$ （图 6 - 36 (a)），向右

转动地形图,当磁针北端读数为 $0^{\circ}25'$ 时,则地形图方向与实地一致(图 6-36 (b))。

三、确定站立点位置

地形图定向后,要在图上找到本人站立点的位置,才能开始工作。定位方法有下述两种:

1. 根据地形地物判定利用站立点附近的明显地形地物和地形图上相应的地形地物对照,用目测可以迅速确定站立点在图上的位置。

2. 后方交会法当站立点附近没有明显的地形地物时,可采用后方交会法确定站立点在图上的位置。如图 6-37 所示,A、B、C 为三个地面目标点,其在图上的相应点为 a、b、c。在透明纸上任意确定一点 P,由 P 点用直尺照准地面点 A、B、C,并画三条方向线 PA、PB 和 PC。将透明纸放在地形图上,转动透明纸,使图上的 a 点在 PA 方向线上,b 点在 PB 方向线上,C 点在 PC 方向线上,用针将 P 点刺于地形图上,则该点即为站立点的图上位置。

四、野外填图

野外填图的目的是把野外调查的内容填绘到地形图上,作为室内工作和编制某种专题地图的基础资料。

填图前要认真研究填图内容,确定分类,制订图例,选择观察点,使其能尽量地观察到大范围的地形地物。填图时,要对周围地物地形仔细观察,确定其分布界线,用简易测量方法测定方向、距离和高程,并参考图上其他目标,确定填绘对象在图上的位置,根据规定的符号填绘于图上。野外填图工作完毕后,应进行室内整理并描绘,完成全部填图工作。

第三节 地图阅读

一、地图的分析评价

为了正确有效地使用地图，必须在用图前对地图质量进行分析评价。

(一) 地图评价标准地图的评价标准，应视用图目的而异。

既有从总的方面评价地图质量的一般标准，也有从具体用途出发评价地图质量的具体评价标准。

地图评价的一般标准，通常包括以下四个方面：

1. 地图的科学性地图的科学性主要体现在数学基础的精确性、地图内容的完备性、地图概括的适当性和地图资料的现势性四方面。

数学基础的精确性——投影和比例尺选择恰当，并有相适应的图上定位精度。

地图内容的完备性——应包括反映制图对象质量特征或数量差异的各项基本内容与指标。

地图概括的适当性——图上的分类分级应与实地情况相符；要素的概括选取应能反映客观规律和区域的典型特征；图上各要素之间的关系应当统一协调。

地图资料的现势性——制图资料来源应该准确可靠，时间越近越好。

2. 地图的艺术性地图的艺术性主要体现在表示方法选择的正确性和整饰方法运用的适宜性。

表示方法选择的正确性——表示方法应该适应制图对象的分布特征，并能较好地反映制图现象的分布规律。

整饰方法运用的适宜性——符号设计的图形、尺寸大小、色彩运用、图面配置和图外整饰应该美观和谐，清晰易读，具有较强的图形表现力和视觉感受效果。

3. 地图的政治思想性普通地图的政治思想性体现在：国界和政区界线要准确，按规定绘制；国名、地名、界峰、界河、山口等名称注记要符合国家统一规定。

社会经济地图，还应注意地图内容要有正确的政治观点和政治立场。

4. 地图的实用性地图的实用性应该从地图的目的、用途、发行数量与使用范围、社会效益几方面来评价。

由于不同的用途和不同的使用目的，对地图有不同的具体要求，因此评价标准也各有侧重。

用于量测分析的地图，应重点评价地图数学基础的精确性，分析地图的投影、比例尺和图上定位精度是否能满足量图要求。国家基本地形图是根据统一规范测制的，资料可靠。如果使用的地图并非国家基本地形图，一般作法是以地形图作标准，认真检查地物特征点与经纬网交点的误差。

用于综合研究的地图，在保证具有一定几何精度的基础上，应重点评价所选地图内容的完备性、适当性和使用资料的现势性。

用于一般阅读分析的地图和教育、宣传用图，应重点评价地图的艺术性。

(二) 地图评价方法

地图评价方法可以概括为阅读本图直接评价法、同其他地图及遥感资料对比评价法、借助文字资料间接推断评价法。

1. 阅读本图直接评价法根据地图评价标准，先分析评价地图的内容，后分析评价地图的表现形式，最后评价地图的政治思想性和实用性。

2. 同其他地图及遥感资料对比评价法与地形图、航空像片和卫星图象对比分析，检查评价地图内容的科学性。

3. 借助文字资料间接推断评价法根据地图说明、设计文件、鉴定报告、评图介绍，评价地图的科学性、艺术性、政治思想性和实用性。

二、地图阅读的程序

（一）地图辅助要素的阅读

阅读地图首先应阅读图名、图号，了解地图所表现的区域、位置、范围和主题。

其次阅读比例尺，由比例尺可以了解地图内容的详细程度和精度，从而了解地图的主要用途及其应用范围。

然后详细阅读图例，地图图例是阅读地图的一把钥匙，从图例中可以了解各种符号的图形、尺寸、颜色及不同规格注记所代表的具体内容，分级分类指标等。同时可以进一步分析地图表示方法的选择、分级分类指标的确定、图例符号设计的合理性。

最后阅读文字说明，如地图成图时间、成图单位、资料使用情况等。搞清地图编制出版时间、编图单位以及资料的来源与使用情况，可以使用图者了解地图内容的现势性及其可信程度。

此外，阅读一幅地图应尽量搞清所使用投影的变形性质及变形分布，以便为进一步阅读和分析地图提供数学依据。我国大比例尺地形图，包括根据地形图编制的县图，使用的都是高斯-克吕格投影。中比例尺的省区图一般都使用双标准纬线等角圆锥投影。

（二）地图内容的一般性阅读

地图内容的一般性阅读，通常是指对地图所作的一般性浏览。这种阅读方式可以分两种情况，即整幅图的一般性阅读和沿指定路线所进行的一般性阅读。

整幅图的一般性阅读主要是了解图幅范围内的一些最基本的地理概况，如地理位置和范围，地形起伏和水系分布等山川大势，居民点与交通网的分布情况，行政区划总的隶属关系和内部的具体划分，以及除上述内容之外的某种专题内容的大体分布趋势等。

指定路线的一般性阅读主要是为野外考察或出差旅行的需要，先大体上了解一下某一指定路线所经过的地形单元、河流、湖泊等水体的名称，交通线及车站、码头的一般情况，以及所穿越的行政区划界、行政单元，或某种专题内容的类型界线和单元等。

（三）地图内容的详细阅读

由于用途不同，使用地图的种类不同，因而地图阅读的内容和要求也各异。对普遍地图而言，首先应分要素详细阅读，然后按区域进行综合分析；而专题地图，应先阅读底图要素，然后再阅读专题内容、进而再阅读分析专题要素和地理基础之间的关系，找出其成因联系。

三、地图阅读举例

下面仅以普通地图为例，介绍一下分要素详细阅读的具体内容。

（一）自然地理要素阅读

1. 地势与地形在地理环境中，地势起伏的大小，地形形态的变化，是造成地表其他自然地理要素在垂直或水平方向上局部差异的重要作用因素，在很大程度上影响着水系的发展。许多要素如热量、水分、土壤、植物等都因海拔高度的影响形成垂直方向上的分异，同时也由于各种地形部位的不同，产生水平方向上的复杂变化。地形不仅对自然地理要素有着极大作用，而且对社会经济要素的发展和分布也有着明显的影响。

根据上述原因，在自然地理要素阅读中应首先阅读地形要素。在大、中比例尺地图上，地形一般都采用等高线法表示。在阅读地形要素时，应先根据图上的水系分布和等高线疏密、高程注记及等高线图形特征来判明地势起伏状况，然后再进一步判明大的地形类型，如山地、丘陵、平原等（见表 6-5）。

为了能正确地判读地形，应了解等高线的特性。其特性可以归纳为以下几点：

- （1）在同一条等高线上，各点高程均相等；
- （2）等高线是闭合曲线，但不一定在一幅图内闭合；
- （3）在一幅图内，等高线愈密，表示地面坡度愈陡，反之则缓；
- （4）除悬崖外，等高线不能相交，也不能重叠，而悬崖、峭壁则用特殊符号表示；
- （5）等高线与山脊线、山谷线成正交。

在了解等高线特性的基础上，要求能够识别不同的等高线组合图形所表示的地形外部形态特征。

山地形态的阅读山地包括凸起的山体部分和凹下的谷地部分，实际是山体与谷地的组合。山体由山顶、山坡、山麓三部分组成；山谷由谷底和谷坡两部分组成。

山顶——山顶依其形状可以分为尖峭状、浑圆状、平坦状三种。表示山顶的等高线是一组环圈较小的闭合曲线，有的在闭合曲线外侧绘有示坡线，指示地面倾斜下降的方向。尖峭状山顶等高线环圈小，由顶部向下，等高线由密逐渐变疏；浑圆状山顶等高线环圈较大，由顶部向下，等高线由疏逐渐变密；平坦状山顶等高线环圈大，呈现较宽阔的空白，由顶部向下，等高线骤然变密（图 6—38）。

凹地——是指周围高、中间低的无常年积水的低地。凹地的等高线也是一组闭合曲线，在图上的显示方法是示坡线绘在等高线内侧（图 6 - 39）。若凹地的范围较大，周围为山地所环绕，则称为盆地。

山脊——山脊是山体纵向延伸的最高部位，多呈条带状。表示山脊的等高线，由山顶向低处凸出。各等高线突出部分的顶点的连线，即山体的分水线。山脊依其外部形态不同，可以分为尖峭状、浑圆状、平坦状三种。尖峭山脊等高线沿山脊延伸方向呈尖状；浑圆山脊等高线沿山脊延伸方向呈圆弧状；平坦山脊等高线沿山脊延伸方向呈平齐状，如图 6-40。

山谷——指两个山脊之间的低凹部分，是山体的集水区，多呈线形延伸。表示山谷的等高线正好与山脊相反，等高线向高处凸出。各等高线凸出部分的顶点的连线，即谷地的集水线。按山谷的横断面形状不同，山谷分为V形谷、U形谷和槽形谷三种，其等高线图形特征如图6-41。

鞍部——相邻两个山顶间的低下部分，其形如马鞍，故称鞍部。在图上是由两组对称的表示山脊的等高线和两组对称的表示山谷的等高线所组成，几组等高线的凸形部分都指向鞍部的中心，如图6-42所示。

坡面——是指从山顶到山脚的倾斜表面或谷地两侧的倾斜表面。坡面按其表面形态，一般分为均匀坡、凸形坡和凹形坡三种坡型，如图6-43所示。均匀坡坡面倾斜基本一致，图上等高线间隔大致相等；凸形坡坡面倾斜是上缓下陡，即高处等高线稀疏，低处等高线密集；凹形坡坡面倾斜是上陡下缓，即高处等高线密集，低处等高线稀疏。实际有些坡面并不是一种单一形态，而是几种坡面形态的组合，成为组合斜坡，等高线的间隔大小依组合的形式而变化。

图6-44是具有多种地形基本形态的小区域及其等高线图形对照，它显示出多种形态的组合和等高线图形的关系。

平原形态的阅读平原的等高线图形特点是稀疏而平直，为了能使平原区域内的地面微小起伏体现出来，因而经常借助于间曲线和助曲线。间曲线是按二分之一等高距设置的，它可以补充显示基本等高线表示不出来的一些局部特征，如洼地、小丘等微地貌和地表的倾斜变化。助曲线是按四分之一等高距设置的，用它进一步表示间曲线仍然显示不出来的微地貌及地表的起伏变化。有些平原和洼地过于平坦，起伏很小，即使在1:1万的大比例尺地形图上，也无法用等高线将地面的微小起伏和倾斜表示出来时，可以采取分析图上高程点的分布状况，了解地面的微小起伏变化。

台地形态的阅读台地是属于山地和平原之外的一种最基本的地形类型，一般有较陡的台坡和较平缓的台面，在台面上台面的面积一般大于台坡的面积。台坡高度一般为30米左右，台坡高度小于100米的为低台地，台坡高度大于100米的为高台地。根据台面的起伏状况又可进一步划分为平坦台地、倾斜台地和波状台地，具体划分标准与平原的划分标准相同。

表 6-5 地形按海拔高度分类

地貌类型	起伏高度 (m)	海拔高度 (m)
极高山	> 200	> 5000
高山	> 200	5000 — 3500
中山	> 200	3500 — 1000
低山	> 200	1000 — 500
丘陵	< 200	< 500
平原	< 50	< 200

台地的等高线图形特点是台面等高线比较稀疏，坡度量测一般小于 7

°，在台面边缘的台坡等高线比较密集，坡度量测一般大于 10°。

范围较台地大，海拔在 500 米以上、顶面起伏较小、外围较陡的高地称为高原。

地形按海拔高度分类如表 6-5 所示。

以上介绍的大的地形类型可以根据等高线判断，但对一些无法用等高线表示的范围小、变化突然的地形形态，要通过专门的地形符号读出。

汇水区确定当修建水库或研究水文状况时，需要了解有多大范围的降水向谷地汇集，这可以从地形图上根据等高线确定。

为了确定汇水区，就要画出谷地周围的分水线。这条线往往是相邻山顶、鞍部、山脊等的连线，而又必须是闭合曲线。它和等高线直交，常与山脊线一致，只有到了山顶才会突然改变方向。勾绘分水线时，要注意它的这些特性。从河口或河道指定的断面开始（如图 6-45 中的 AB），将相邻的山脊线和作为分水线的鞍部的界线连接起来，就是汇水界线（图 6-45 中的虚线），汇水界线包围的范围就是汇水区。

2. 水系水系是指在一定流域范围内，由地表的大小不同的水体（如河流的干流、若干级支流及流域内的湖泊、水库、池塘、井泉）构成的脉络相通的系统，有时亦称河网或河系。

水系是地理环境中起着重要作用的组成成分，它对地形的发育、土壤的形成、植被的分布和气候的变化均具有不同程度的影响。

水系在人类社会经济生活中的作用更是明显，它为人类提供生产生活的来源、动力以及交通之便，同时亦可在军事上构成攻守的天然屏障。因此，水系对居民点、交通网的分布、工农业生产的配置等都有着极大的影响。

水系不仅是空中、地面判定方位的重要目标，而且在地图上它是地图内容的重要控制骨架。

因此，在地图阅读中，水系阅读是一项非常重要的内容。在大比例尺地形图上阅读水系的主要对象是陆地水系，如河流、湖泊、水库、池塘等，其中河流尤为重要。因为河流是地理环境中起联系作用的关键环节，它与其他要素的联系最为密切。下面介绍水系阅读的一些主要内容。

首先应阅读河流性质，搞清是常年流水的河流还是季节性流水的河流。

其次是阅读上、中、下游各河段情况，具体内容有河宽、河深、流向、比降、流速、跌水、瀑布、汉河、沙洲、浅滩、牛轭湖等。

在比例尺比较小、包括区域范围比较大的地图上，可以阅读分析河系分布状况及干支流从属关系；河系的类型（辐射状、树枝状、平行状、格子状、迷宫状、扇状、网状）（图 6-46）及与地形结构的关系；河网的分布密度等。

3. 土质、植被普通地图上表示土质和植被的目的，主要是为了向用图者提供地面通行和通视情况，为各种工程施工和军事上的行军宿营、作战提供参考；同时还为农业生产和科学研究提供有关资料。

由于上述目的，普通地图上表示的土质、植被和专题地图上的土质、植被有着截然不同的含义。普通地图上表示的土质不是指地学中的土壤，而是指地表覆盖层的性质，如山区的裸岩、冰川，平原区的沙地、盐碱地、沼泽等；植被是指地表植被覆盖的总称，如森林、疏林、灌木、草地、耕地、菜地、果园、经济林、经济作物等。下面分别介绍土质和植被的阅读。

土质的阅读根据通行情况和植被生长情况，分为以下几类：

沼泽——指地表过于潮湿，生长喜湿或喜水植物或有泥炭堆积的洼地，在图上用沼泽符号表示的地段。根据通行情况可分为能通行的沼泽和不能通行的沼泽。能通行的沼泽，其积水面积较小，有致密的泥炭层，负载能力比较大；不能通行的沼泽，其积水面积较大，水下有较深厚的软泥层，负载能力小，不能支撑人体的重量。

沙地——指地面完全为薄厚不一的沙层所覆盖，缺乏流水，气候干旱，植被稀少的地段。除一般沙地外，还有地面覆盖有更粗的沙砾石的沙砾地、地面全部为砾石覆盖的戈壁滩，以及有碎石分布的石块地。以上这些不同覆盖类型，都有相应符号表示。

盐碱地——指地势低洼、蒸发强烈、地表盐分过分聚集、草木极少或无植被生长的地段。

小草丘地——指沼泽、草原和荒漠地区长有草类或灌木的小丘成群分布的地段。

残丘地——指由风蚀或其他原因形成的石质或土质小丘。

龟裂地——指温带或暖温带的荒漠和半荒漠地区、表面土质为粘土的低洼地段，下雨后一片泥泞，干燥时龟裂成坚硬的块状。

植被的阅读在普通地图上表示的植被分人工植被和天然植被两大类。天然植被主要包括森林、幼林、疏林、灌木林、竹林、草本植物等。

森林——林木茂盛，树冠之间的平均距离小于树冠直径的2倍，树高平均4米以上，胸径为8厘米以上的树林，称为森林。若进一步详读，则可从图上的符号和注记了解树种、树高、胸径、覆盖度、垂直变化和水平分布的特征等。

矮林、幼林、疏林、灌木林——矮林是指天然长不高的树林，平均树高小于4米，树冠间平均距离小于树冠直径的2倍，图上面积大于2平方厘米的矮林加注记；幼林是指树粗平均不足8厘米的树林；疏林是指树木比较稀疏的林地，树冠之间平均距离是树冠直径的2—5倍；灌木林是指成片生长的无明显的主干而支干丛生的木本植物，其平均间隔小于5米的为密集灌木林，平均间隔大于5米的为稀疏灌木林。

草本植物——在普通地图上分别表示出芦苇、草地。

人工植被包括经济作物地、果园和稻田，以及有方位意义的旱田等。

（二）社会经济要素阅读

1. 居民地居民地是人类由于社会生产和生活的需要而形成的居住和活动的场所，因此居民地的内容相当丰富，但在普通地图上要表示的内容并不多，主要表示居民地的类型、形状、人口和行政等级、分布密度和分布特点等。实际在图上直接见到的只有注记和图形，以及由图形的布局而体现出的分布特点等。

居民地类型的阅读我国普通地图上表示的居民地有城镇式和乡村式两大类。城镇式居民地是一个地区的政治、经济、文化的中心，非农业人口比重大；在地形图上城镇居民地包括城市、集镇、规模较大的工人住宅区、学校、疗养院和别墅等，通过平面图形及其结构来显示；城镇的建筑结构经过规划，由街区和街道所组成。乡村式居民地包括村庄、农场、林场、窑洞、蒙古包及帐篷等，规模比较小，内部结构比较分散，通过一些散列的平面图形来显示。在地理图上，城镇居民地绝大多数已概括为圈形符号。在城乡居民地均

用圈形符号表示的情况下，居民地类型可以通过居民地圈形符号的大小和注记的字体、字级来判别。

居民地结构的阅读这里主要指地形图而言。居民地的图形反映居民地的外部轮廓和内部结构。外部轮廓是指反映居民地形状的外部边界，内部结构是指街道网图形、街区建设状况和密度、土地利用状况等等。当比例尺缩小时，其内部结构不能显示，但外部轮廓还能清楚显示。当比例尺进一步缩小，一些较小居民地的外部轮廓也很难显示了，这样只好用圈形符号代替。

居民地政治经济地位与人口数量的阅读在地形图上，可以从居民地的内部结构、规模大小，直接或间接判别其人口数量、政治经济地位和军事意义，居民地形成的历史条件和地理环境等。在地理图上，可以通过不同大小的圈形符号和不同规格的注记，区分居民地的行政等级和人口数。

2. 交通网在普通地图上所表现的社会经济要素中，交通网是重要组成部分，因为交通网是连接居民地间的纽带，是居民地彼此间进行各种政治、经济、文化、军事活动的重要通道。

阅读地图上的交通网，目的在于了解交通线的种类，各居民地间的联系条件，以及对该地区的工农业生产和人民生活的保证程度。

地图上的交通网包括陆上交通线、水上航线、空中航线和运输管线等。普通地图上表示的交通网，由于区域特点的不同和比例尺大小不同，其具体的种类和等级各异。我国普通地图上均以陆地交通为主要表示对象，其次是水上交通和空中交通。

陆地交通的阅读陆地交通包括铁路、公路、大车路、乡村路及小路。在地形图上，铁路按单复线、轨距、机车牵引方式、建筑情况分为单轨铁路和复线铁路，标准轨铁路和窄轨铁路，普通牵引铁路和电气化铁路，已成铁路和建筑中铁路。在地理图上，按铁路的技术装备和客货运输量的重要程度不同，分为主要铁路和次要铁路，也有表示出单双轨、牵引方式和建筑情况的。铁路在地图上的传统表示方式为黑白段相间的线划符号。公路在目前出版的地形图上已经简化为公路和简易公路，或简化为主要公路和一般公路两大类。地形图上公路的表现形式，是以不同宽窄、粗细的双线表示，并配以色彩和说明注记等，表明路面的性质、宽度。地理图上的公路，一般是以不同粗细和不同色彩的单实线表示。大车路一般是指路面未经修筑、或只作简单加固、可通行大车、有的也可通行汽车的道路，在地形图上用实线表示。乡村路及小路一般指乡村居民点间经常往来的、不能通行大车的道路，在地形图上一般用细实线或虚线表示。

水上交通和空中交通的阅读在普通地图上水上交通和空中交通表示的都比较简单，只是表示航行的区间，示意性的航线，水上交通停靠的港口、码头和空中交通飞机起落的航空港。

3. 境界线在地图上表示境界，是标明地图上各级行政区划单元的范围和归属的分界线，是普通地图上的重要要素。

境界通常分为政治区划界和行政区划界两种。政治区划界包括国界、地区界；行政区划界包括省界、自治区界、中央直辖市界，地区界、自治州界、盟界、省辖市界，县界、自治县界、旗界。境界在地图上是用不同规格、不同结构、不同颜色的点、线段符号来表示。境界线多以对称性符号表示，只有一些特殊区域（禁区、保护区、游区……）的界线是以方向性符号表示，因为行政界线两边都是同等级的，不易用方向性符号表示。

第四节 地图分析

一、目视分析

目视分析是地图分析法中一种最简便、最常用的分析方法，是用图者对地图这种用形象符号表述的视觉语言，采用视觉感受和思维活动相结合的分析方法，研究制图对象的空间分布、形状、比例关系、结构及其动态变化，如地球的形体、海陆的分布、地形的起伏、水热条件的变化、动植物分布、居民地与人口、交通、工农业生产布局等等。

目视分析是地图分析的初步。目视分析主要侧重于各种现象的质量特征。当然目估也可以产生长度、面积、高度等方面比较粗略的数量概念，并以此判定制图对象间的对比关系等等。

目视分析的常用方法有地图分解法、地图综合法和地图对比法。

地图分解法这种方法是将单幅地图的制图对象分解成若干单个因素或指标，然后进行逐一分析。例如对普通地图阅读分析时，可以采取分要素分析方法，分别研究各种要素的外部形状、内部结构、分布规律、相互联系等等。

地图综合法它是把制图对象多种因素和指标归纳一起进行综合系统分析。这种综合系统分析，可以是对一幅图上同时反映多种要素的普通图或复合型的专题地图进行综合分析，研究各要素间的相互联系和相互制约的关系；亦可以是对多幅地图或地图集进行综合系统分析，全面认识自然综合体或区域经济综合体的结构、体系和总体特征。

地图对比法它是研究同一种要素或现象在空间或时间上的动态变化。这种对比分析，可以是对同一地区同一要素或现象分布范围或轮廓界线进行叠置比较，研究其在时间上的动态变化；亦可以对不同地区的同一要素或现象进行对比分析，研究其在空间上分布的差异或规律。

二、量算分析

地图的量算分析，是通过在地图上进行各种量测与计算，从而获取各种要素和现象一系列数量指标的一种定量分析方法。

在地图上进行量测与计算作业的对象相当广泛，从局部的个别地物到广大空间的各种要素和现象。量测的具体内容包罗万象，从坐标、长度、角度、高度、面积、体积、坡度、比降等一系列绝对数量指标，到密度、强度等一系列相对数量指标。例如，通常在大比例尺地形图上进行的各种量测作业，如求算图上任一点的坐标，量测两点间的距离、河流与道路的长度、地面的坡度、河床与道路的比降、流域的面积、各级行政区划单元的面积、水库的容积、山体的体积、挖方与填方的土方量，以及为某种专题研究需要而在各种大中比例尺专题地图上量测径流深度、径流模数、河网的密度、地表切割密度、地表侵蚀强度、地表侵蚀模数、气压的梯度、居民地与交通网的密度、森林植被的覆盖率、各种土地利用类型的面积等。

地图的量算精度直接影响地图的量算分析结果，因此必须保证量算工作的精确性。地图的量测精度取决于地图精度和量测技术。

地图精度取决于地图的比例尺大小和地图投影的变形性质。

通常情况下，地图的比例尺愈大，地图内容的概括程度愈小，量算结果

的精度也就愈高。在大比例尺地形图上可以精确量取点位的坐标、两点间的距离、河流的长度、各种土地利用类型的面积，并能准确的表示出轮廓界线内的面积等等。小比例尺地图，由于比例尺缩小、地图内容概括程度高、图上各种图形的长度和面积都会不同程度的缩小，故量算精度较低。

地图投影的种类，决定地图的变形性质和变形分布规律。大比例尺地形图均采用高斯-克吕格投影，这种投影的变形小，无论是长度、角度、面积变形均小于量图作业所产生的误差，因此利用地形图进行量测分析，是可以取得比较满意效果的。而各种小比例尺地图，由于采用的投影变形都比较大，一般不适宜进行量测分析。

此外，图纸的变形也是影响量算精度一个不可忽视的重要因素。量算时必须使用未经折叠的平整完好无损的地图，以便减少量算产生的误差。

影响地图量算精确性的因素除地图的精度外，还有量算技术本身的影响。量算技术包括量算的仪器设备和量算的技术方法。

在地图量算中，主要以长度和面积的量算居多。长度量算经常使用的方法有两脚规法、曲线计法、手扶跟踪数字化仪法等，其中又以用两脚规法居多，两脚规法量算曲线长度的精度取决于两脚规的张度，当曲线的弯曲系数大时，两脚规的张度愈小，量算的精度愈高；相反，两脚规的张度愈大，量算的精度愈低。曲线计法的量算精度远不如两脚规法的量算精度高。当今由于电子技术的发展，手扶跟踪数字化仪的量算精度比上述方法都要高得多。面积量算使用的方法很多，有方格法、平行线法（或称梯形法）、求积仪法、权重法、光电面积量测仪法、数字化仪法等，其中目前常用的方法有求积仪法和光电面积量测仪法。面积量算精度最高的方法是属数字化仪法，其精度可达1—2‰。

三、图解分析

根据地图上所提供的各种数量指标，绘制成各种图形、图表，分析并揭示制图对象的立体分布、垂直结构、周期变化、发展趋势、相互关系等性质和特征的分析方法，称图解分析。

常用的图解分析法有剖面图（断面图）、断块图、坡度图、切割密度图、切割深度图等。

剖面图是假想将地面沿某一指定方向线垂直剖切，并以图形显示制图对象的立体分布和垂直结构的一种图解形式，如：显示地表起伏状况的地势剖面图；显示河床起伏状况的河流纵横断面图；显示道路纵横起伏状况的道路纵横断面图；显示地下岩性构造的地质剖面图；显示土壤垂直结构与水平演替平行的土壤剖面图；显示植被垂直分布结构的植被剖面图；以及显示各种自然地理的相互联系、相互制约关系的综合剖面图（图6-47）。

由于地势剖面图是绘制各种剖面图的基础，因此具体介绍地势剖面图的绘制方法如下（图6-48）。

1) 在地形图上选出需要了解的区间并定出两 endpoint，绘出剖面线，也可定出多点绘成剖面折线。

2) 规定剖面图的水平比例尺和垂直比例尺。为了突出地势起伏情况，通

常垂直比例尺比水平比例尺大 5—20 倍。

3) 在图纸上或方格纸上绘一条水平线,如图 6-48 的 MN,在地形图上沿剖面线 AB 量 Ac, cd, de...各段的距离,按剖面图的水平比例尺将量出的各段距离转到 MN 线上,得 A'、c'、d'、e'...B'各点,通过各点作垂线,垂线长度是按各点高程依垂直比例尺计算出来的,将垂线各端点连成平滑曲线,注出水平比例尺、垂直比例尺和剖面线的方向,即成剖面图。

地势剖面图除了能显示地面起伏之外,还有助于了解野外考察时观测点的通视情况。如图 6-49 所示,由观察点 S 向目标点 C(如树)绘直线,直线没有被任何地物所切断,表示通视良好,而剖面图上的房屋则是不能通视的点,因视线被山头 d 所切断,图上绘有晕线的部分,是不能通视的部分。

四、数理统计分析

利用数理统计方法,对地图上的要素和现象进行数量特征的分析,主要是研究他们在空间分布或一定时间范围内的变异,以便更深入地揭示要素或现象之间的相互联系和相互制约关系,并找出内在的规律性。

数理统计分析与上述的各种分析方法比较,它能更确切地描述制图对象的数量特征。特别是近数十年来,由于电子计算机技术的发展,在地学领域引进了许多计算量大的、行之有效的数据资料处理方法,用计算机进行数据处理,取得了显著的效果。

(一) 从数列统计中研究制图对象的特征和分布

地图上表示的要素和现象,都可以看成是在不同时间和空间范围内存在的总体,这个总体是由若干个性质相同的个体所组成。在随机抽样组成的统计数列中,通过计算可以研究制图对象的数量特征,并可以推测该要素或现象的总体。可以采用统计数列的集中趋势、离散程度、分布密度函数等数字特征值算法。

统计数列集中趋势的数字特征值有算求平均值、加权平均值、中位数、百分位数、众数等;统计数列离散程度的数字特征值有极差、四分位偏差、平均差、标准差、方差、变差系数等;统计数列分布密度函数的有直方图分析。

(二) 对制图对象进行相关分析,研究要素和现象间的相关性

研究要素和现象间的相关关系,主要是评价两种现象间联系的紧密程度和评价多种现象间的相关性。

评价两种现象间联系的紧密程度,通常采用计算相关系数或相关比率的方法。两种现象间具有直线相关关系时,可采用相关系数评价;如果两种现象间只具有曲线相关关系时,则采用相关比率来评价。

当在分级统计地图上不能得到精确读数,而有的只是分级数量指标或排序指标,则可用等级相关系数来评价。

评价多种现象间的相关性,通常采用计算复相关系数、偏相关系数等方法。

五、地图数学模型分析

运用数学模型来分析地图，称为地图数学模型分析法。地图上表示的各种要素和现象或过程，都存在着一定的空间或时间的函数关系，可以根据从地图上采集的各种原始数据，建立起反映各种要素或现象、过程的空间数学模型。这就决定了地图可以用数学模式法进行分析研究的可能性。

地图的数学模型再配以地图数字模型，则构成了进行区域研究、实现预测预报的有效工具。

目前，已经发展起来许多地图数学模型，其中有描述某一制图现象与另一种或多种制图现象之间因果关系的回归模型；有说明许多制图现象中存在的主要的和独立要素及其组合的主因子（主成分）模型；有反映制图对象疏密关系程度和分类分级的聚类模型；有阐明并揭示制图现象空间分布规律的趋势面数学模型等。

第五节 地图综合研究

一、利用地图研究现象的分布规律

利用地图认识和掌握各种要素和现象的分布特点和分布规律，是地图应用的重要内容之一。

研究地理现象的分布特点和分布规律，既可以在普通地图上进行，亦可以在专题地图上进行。

普通地图包括的内容比较丰富，既有自然地理要素，也有社会经济要素。在图上可以从分析的角度去分别研究某一种要素或现象的分布特点及规律，如水系的结构、水系的密度；地形的起伏变化、高程与高差、形态结构；居民地的类型、大小、结构、集中与分散程度、居民地分布特点等。也可从综合角度去研究各要素间的相互关系及区域差异。

专题地图由于主题明确、重点突出，因此可以专门用来研究各种专题要素和现象的分布特点和分布规律。例如，在地貌图上分析各种地貌类型或其中某一种地貌类型的分布特点及规律；在土壤图上分析各种土壤类型或其中某一土类的分布特点及规律；在植被图上分析各种植被类型或其中某一种植被类型的分布特点及规律；在土地利用图上分析各种土地利用类型或其中某一种利用类型的分布特点及规律等。

在地图上研究制图对象的分布特点及规律，首先应该根据图例搞清各种要素和现象的分类与分级，然后再分析它们的分布范围、轮廓形状特点、内部结构的特征和动态变化的表现及原因。

通过上述分析，不仅可以了解各种要素和现象的分布特点和分布规律，而且能够揭示要素之间的联系。

若进一步揭示要素或现象彼此间的质量与数量差异及动态变化，还需要进行一些必要的图解、量算或数理统计分析。

二、利用地图研究要素或现象间的联系

研究地图上各种要素或现象间的相互依存、相互作用、相互影响和相互制约等方面的关系，通常有两种途径。一种途径可以在普通地图上研究不同要素或现象间的联系，如地形与水系、居民地与水系、地形和交通网间的关系等。另一种途径是通过同一地区不同专题内容的地图进行比较，研究不同要素或现象间的联系，如研究气候与土壤、气候与植被、土壤与植被、土壤与第四纪地质等之间的相互依存、相互作用、相互影响的制约关系。

通过研究要素和现象间的联系，既可以揭示全球大范围内形成的地带性规律，如水平地带性规律中的纬度地带性和经度地带性；又可以揭示局部范围内形成的非地带性差异，如垂直方向上的结构变化和水平方向的地域分异，并能阐明上述现象所产生的原因。例如通过世界土壤、植被图与气候图对照，首先可以看出全球范围的土壤地带性和植被地带性，是由气候的地带性所决定的，然后通过进一步对照地势图或地形图分析，可以看出造成土壤与植被局部地域分异的主要原因，是受地形变化影响的结果。如果再将小区域土壤图、植被图与地质图对照，有时可以发现岩性对植被群落和土属的影响等等。若将土壤图和植被图对照，将会更加清楚地发现土壤与植被间的相

互影响、相互作用、相互依存和相互制约的关系。

研究要素或现象间的相互联系，最好是利用综合系列图或综合地图集进行分析比较，研究各要素间的相互联系，或研究综合体与综合体之间的相互联系。实践证明这是一种行之有效的作法。

上述的分析研究工作，采用目视分析时，除作一般性的比较之外，还可以进行叠置分析，进一步找出现象间的联系。若能配合剖面图或相关分析，效果会更好。

三、利用地图研究动态变化

从自然界到人类社会有许多要素和现象都可以利用地图研究它们的动态变化，如水系变迁、植被演替、天气变化、台风路径、城市沿革、人口迁移、战场推进……。

利用地图研究制图对象的动态变化，一般有两种方法：一是利用表示动态的地图，利用这种地图分析动态变化，比较简单易行，从一幅图上可以直接看出这种变化的数量、幅度、方向、位置和范围等；另一种作法是利用不同时期出版的地图，或利用不同时期的资料编制成几幅地图，进行对比分析。研究同一种要素或现象的动态变化，后一种方法要比前一种方法困难和复杂，因为需要事先做好地图资料的搜集工作。在掌握一定数量的地图资料的基础上，才能进行这种分析研究工作。通常用于对比分析研究的资料中，不同时期出版的地形图是一种很重要的资料。

四、利用地图进行综合评价

对于一个区域进行综合评价，其实质就是根据一定的目的对各种因素进行综合分析，对各种资源、环境评价出优劣等级。

利用能相互参照的系列图或成套地图，能够更形象直观地对各种要素和现象的分布、联系、质量与数量特征及动态变化进行分析比较和综合研究，以便制订出切实可行的改造利用和规划管理的具体措施。

利用地图进行综合评价研究的内容很多，如自然条件的综合评价、土地资源的综合评价、环境质量的综合评价等。

自然条件综合评价是指从生产发展和布局的要求出发，综合分析自然条件的特点和发展规律，在技术可能性的基础上，通过经济合理性论证和方案比较，对自然条件的数量、质量及其对生产的适宜性和保证程度进行评定，指出开发利用的方向、方式、程序和生产布局方案，为合理利用和改造自然、发展生产提供科学依据。

土地资源的综合评价是对土地各要素进行综合研究分析，以了解和确定土地生产能力。土地生产能力是衡量土地质量优劣的主要标志，它是土地自然特性和人类社会对土地经营程度的综合反映。因此，土地资源综合评价，必须从地貌、土壤、气候、植被、水资源等因子进行综合研究分析，明确土地适宜性的类别、土地优劣的等级和限制因素的类型，从而作出综合等级的评价，以土地类型图上的最小轮廓为基本评价单元，制成土地评价图即土地资源地图。

环境质量的综合评价是指对区域环境条件的好坏作出综合评定。通常从

以下三方面考虑：环境组成要素和物质状态结构及其浓度的时空变化；对工农业生产的影响；对生态的影响，尤其对人类健康的危害。根据以上几点确定评价指标和评价标准。一般取图上一定大小的网格（0.5cm×0.5cm）作为评价单元，按地表水、底泥、水生物、地下水、土壤、作物等要素取样，测定各种污染元素的含量，结合一定调查，按一定评价模式，编制出环境质量评价地图。

五、利用地图进行预测预报

根据事物和现象的发生发展规律，利用地图预测一些现象的空间分布，以及随时间的推移所发生的变化，这早已成为科研实践中被广泛采用的手段。预测预报内容大体分为空间分布的预测预报、随时间变化的预测预报和空间时间变化的预测预报等几类。

空间预测预报主要是预测预报某些现象在空间上的分布与状态，一般是指对地表看不见的现象的预测预报。如对矿产资源的预测预报，主要是依据所掌握的成矿规律，结合根据地质图改制的矿床预测图，通过调查研究和实地勘探，最后预测预报其矿藏的分布范围和储量。另外，还可以利用一些事物和现象间的相关关系预测预报一些在地表看不见的现象，如利用指示植物地图预测矿藏和地下水分布。

除根据地图预测预报现象的分布之外，还可以预测一些工程设计的合理性。如利用地质构造图，特别是活动断层的分布图，作为工程选线、选址的正确抉择的重要依据。

随时间变化的现象是根据不同时期的地图所提供的数量指标进行预测预报。例如利用多年的各月平均气温图、降水量图，可以预测预报气温和降水的变化趋势。

还有对于随时间推移、在空间和状态上有变化的现象进行预测预报，即所谓的空间时间的预测预报。属于这类预测预报的有天气预报和天气形势预报、地震预测预报、环境污染预测预报等。

[实习一] 在地形图上求算点的坐标

一、目的要求

在地形图上选取 2—3 点，求算各点的平面直角坐标和地理坐标。

二、方法

（一）熟悉地形图分度带上的平面直角坐标注记和经纬度注记。

（二）求平面直角坐标。

1. 找出 P 点所在方里网的西南角坐标值，然后求出 P 点对坐标网横线的 X 和 P 点对坐标网纵线的 Y；

2. 根据 $P_x = X + X$ ， $P_y = Y + Y$ 求出 P 的平面直角坐标。

（三）求地理坐标。

1. 先根据 P 点在地形图上所在位置，通过地形图的上下左右图廓内的分度带，连接出包括 P 点的经纬网格，求出网格西南角的经纬度；

2. 求出 P 点距经纬网格的经差和纬差；

[实习二] 曲线长度量测

一、目的要求

- (一) 掌握用两脚规和曲线计量测曲线长度的方法。
- (二) 在地形图上选取一条河流，用上述两种方法量测长度，并比较两者的精度。

二、方法

(一) 用两脚规量测曲线长度。

1. 根据曲线的弯曲度确定两脚规脚距 d 的大小；
2. 用规定脚距截取曲线，得截取数 N ；
3. 根据 $L=d \cdot N \cdot x$ 计算曲线长度（式中 x 为弯曲系数）。

(二) 用曲线计量测曲线长度。

1. 测定曲线计分划值；
2. 用曲线计沿曲线作往返 4 次量测，取其算术平均值。

[实习三] 面积量算

一、目的要求

- (一) 掌握求积仪量算面积的方法。
- (二) 在地形图上量测汇水面积或林地面积。

二、方法

(一) 求算求积仪的分划值 C ；

(二) 极点放在图廓外两侧，首先读取始读数 n_1 ；

- (三) 航针沿图形轮廓绕行，读取终了读数 n_2 ，各往返二次取其，算术平均值；

(四) 面积计算 $S=C(n_2-n_1)$ 。

[实习四] 坡度量测

一、目的要求

- (一) 掌握在地形图上量测坡度的方法。
- (二) 在地形图上按限定坡度选择最短路线。

二、方法

(一) 从坡度尺上用两脚规截取限定坡度的水平距离。

(二) 按限定坡度的水平距离在等高线图上截取。

(三) 截点连线，取得选择的限定坡度的最短路线。

[实习五] 绘制剖面图

一、目的要求

- (一) 掌握断面图的绘制方法。
- (二) 作地势剖面图并判断通视情况。

二、方法

- (一) 在地形图上标定剖面线，读出与等高线相交的各交点高程。
- (二) 确定水平比例尺与垂直比例尺。
- (三) 绘制水平基线，转绘剖面线与等高线相交的各交点。
- (四) 过各交点作水平基线垂线，在各垂线上按各交点的相应高程截点
- (五) 用圆滑曲线连接各垂直线上的截点，即得剖面线。
- (六) 标明方向，加绘水平比例尺和垂直比例尺。

[实习六] 野外填图

一、目的要求掌握地形图野外填图方法。

二、方法

- (一) 在实地确定填图的站立点位置。
- (二) 进行地图定向。
- (三) 在地形图上确定站立点位置。
- (四) 草测地面点位和地物轮廓界线，并填绘在地形图上。
- (五) 室内整理、清绘着墨。

[实习七] 大比例尺地形图阅读

一、目的要求掌握大比例尺地形图的阅读方法和阅读要领，并结合具体区域或路线阅读，写出读图报告。

二、方法

- (一) 辅助要素阅读。
- (二) 地图内容的一般性阅读。
- (三) 地图内容分要素阅读，分析要素的分布特点、相互联系。
- (四) 综合分析区域特征。

复习思考题

1. 试述地图的分析评价标准与评价方法。
2. 我国基本地形图是怎样分幅编号的？
3. 地图的阅读方法有哪几种？各适合什么样的应用范围？
4. 什么叫汇水界线？在地形图上如何圈定汇水界线？
5. 地图的目视分析方法有哪几种？说明各自的特点及联系。
6. 什么叫地图的图解分析？常用的图解分析法有哪几种？
7. 试述地图综合研究的具体内容。

第七章 教学地图

内容提要

教学地图必须满足教学大纲要求，符合学生的知识水平和年龄特征。内容应力求简明、重点突出。色调要清晰，线划符号要明显醒目。

教学地图中的教学挂图编制包括资料搜集、底图编绘、专题内容转绘和图面整饰几个步骤。

我国出版的教学地图集，内容和形式都体现了教学大纲的要求，在学校教育中发挥了重大作用。

第一节 教学地图的特点

教学地图是地图按用途划分的一种类型，它是供各级学校进行地理教学用的一种专用地图，是地理教师在教学中必不可少的直观教具，是学生获得各种地理知识的重要来源。

一、教学地图在地理教学中的作用

地理课是普通学校必修的文化课之一。在地理教学中，仅靠文字叙述和口头讲解而不借助于地图，要使学生形成地理现象的空间概念，几乎是不太可能的。这是因为地图是地球表面全部或局部的缩影，它能将广大地区的地理事物表现出来。在地理教学中运用地图，能够帮助学生形象直观地了解广大地域空间分布的各种事物和现象，如位置、形状、大小、高低、分布及区域特征，并形成一个具体的空间概念；能够培养学生运用地图去分析研究各种地理事物和现象的分布规律、彼此联系、区域特征、动态变化等内容的基本技能，提高他们的分析、综合、判断、对比和逻辑推理的能力。在地理教学中运用地图，还可以对学生进行爱国主义教育和辩证唯物主义教育。

二、教学地图的种类和特点

教学地图按用途和形式不同，可以分以下几种：教学地图集（地图册），教学挂图，教科书插图和填充图。此外，还有地球仪。各种教学地图均有其特定的目的和用途。教学地图集是供学生在课堂学习、课后复习、完成课内外作业以及阅读书刊时参考用的；教学挂图主要是教师课堂讲课时用的；教科书插图是教科书的有机组成部分，它与课文密切结合，为学生提供必要的学习资料；填充图是一种作业图，是作为学生和教师填绘各种地理事物的底图。

教学地图不同于一般参考用图，由于它的用途决定了它在内容、地图概括和表现形式上的特点。教学地图内容的选取主要应考虑教学的需要。为了表现地理区域的特征和现象的分布规律，以及地图本身的独立性，地图上所显示的内容一般应多于教材内容，但也不能太多，否则会妨碍学生对主要内容的理解和记忆。现象的分类和分级要和教材相呼应，形状的简化或夸大要注意反映出其基本特征。教学地图表现形式上的特点是形象直观，具有吸引力。为了引起学生的注意和兴趣，教学地图上的符号要简明，而且彼此之间又易于区别，色彩鲜明协调并富于表现力。对学生必须掌握的教科书中所提到的重要地理事物，应突出在第一层平面上。

教学地图多为小比例尺地图，图面所包含的地域范围大，因此图上一般具有较大的变形，这种变形随地图投影的不同而不同。在地理教学中使学生从地图上认识各地区的正确轮廓和正确的面积对比是很重要的。但是，严格地说，在任何一张小比例尺地图上，都不可能同时表示正确的面积比例和正确的轮廓形状。例如在世界全图和半球图上，如果正确地表示了面积比例，就会发生很大的形状变形；在分洲图上，这两者的矛盾就不那么突出，它们可以正确地表示面积对比，而同时在视觉上所看到的形状变形也不太大；在分国和分省图上，两者的矛盾就更小了。

由于教学地图是小比例尺的，因此在教学实习中所进行的图上量算不求很高精度；可在一些分国和分省图上进行各种量图练习而不计其变形；在大洲图上进行量图时必须考虑投影的变形性质和变形分布；在半球图和世界全图上，则不宜于作量图练习。

第二节 教学挂图的编绘

学习地理不能离开地图，教师在讲解地理课时不能没有教学挂图。即使学生备有桌上地图，亦不能代替教学挂图的作用。教师使用大挂图讲课，可使学生的注意力集中，便于教师掌握教学进度和课堂秩序，更利于学生理解和记忆所讲授的内容。教学挂图是地理教学中不可缺少的教具。

一、教学挂图的功用和特点

教学挂图的内容和表现形式与一般参考用的挂图有所不同。一般参考用的挂图，内容往往较多，阅读时多与图面保持较近的距离。而教学挂图是专门用来进行课堂教学的，它必须使全班学生基本上能看清地图的主要内容。为此，对教学挂图的图幅大小、内容、符号及整饰均有其特定的要求。

一般说来，地图幅面的大小，决定于制图区域的大小和地图的比例尺。而教学挂图幅面的大小，还取决于课堂上使用是否方便。图幅太小将使坐在教室后排的学生看不清图上的内容，图幅太大则使用起来也不方便，一般挂图以1至2张胶版纸的大小为宜。

教学挂图的内容要简明、突出。地面上地理事物很多，在一般地图上选取重要的加以表示，而对于教学挂图，则是要针对教学需要，选择最重要的加以表示。为了使在一定距离处看清图上的主要内容，必须把图上的重要事物突出地表现出来。制图时应尽量避免用复合图的形式把很多内容叠绘在一幅图上。在地理教学中，教学挂图不仅供教师讲课用，而且还要供学生在它的旁边准备功课，回答教师的提问，以及解决地理作业中的一些问题。因此，在教学挂图上应该把那些必须在远距离观察的内容置于地图的第一层平面，即用较粗大的线划符号和鲜明的色彩表示；而将那些详细的、供近处观察的内容，置于第二层平面，即用较细小的线划符号和浅淡的色彩表示。

教学挂图上的注记应首先选取教科书中提到的名称，其次再补充选取一些对说明区域地理特征有重要意义的名称。注记不宜过多，也不宜过大。注记过多、过大，势必压盖其他线划符号，影响图面的清晰度。所以，一般不能要求坐在后排的学生看清图上的注记，只要求注记与其相应符号的大小相称，教师在近处能够看清楚就可以了。

教学挂图形式要美观，因此它的整饰质量具有特别重要的意义。教学挂图的明显性、表现力以及在一定距离内的易读性，都取决于整饰质量。教学挂图的色彩应鲜明而协调，线划符号应能明确地表示出处于不同层面的内容。对于外图廓的作用也不应忽视，在教学挂图上采取宽阔的外图廓有助于把学生的注意力集中在地图的内容上。

二、教学挂图的编绘

课堂教学常用的大挂图有两种：一种是由专门的制图机构编绘和出版的；另一种是教师自己绘制的。教师经常需要自制教学挂图，这是因为专门制图机构只能提供最基本的图种，同时，教师对于教学中运用哪些地图，以及如何运用，常有自己的见解，因此需要自己编绘一些地图。

自制的教学挂图，一般都是专题地图，它的内容可分为底图内容和专题

内容两部分。

底图的作用在于标明制图区域的范围和专题要素的分布位置。标明制图区域范围的是境界线；标明地理现象绝对位置的是经纬线；标明事物相对位置的主要是河流、湖泊和居民点。因此底图内容需要有经纬线、境界线和足以帮助判明事物相对位置的河、湖以及居民点等。至于其他地理要素，例如交通线、地形等要素，则由地图的主题来决定。

教学挂图上的经纬网格不必太密，它不是地图的重要内容，一般用细线表示。河流、湖泊和居民点等的选取，要以能把制图范围内最主要的、起控制作用的表示出来，而又不影响专题要素的表示为原则。专题要素部分，根据教学的需要选取。

编绘教学挂图可分两个主要步骤，即挂图的编制和挂图的整饰。编制是指通过一系列的工作完成用铅笔画出来的手稿图；整饰是指用各种绘图工具和颜色把整个手稿图画成清晰、整洁而美观的挂图。

（一）挂图的编制

编制一幅教学挂图的手稿图，需要经过收集资料和设计、绘制底图、编绘专题内容等几个过程。

1. 收集资料和设计针对自编挂图的需要，收集有关资料，包括制图区域的各种挂图、地图册和教科书插图，各种报刊上的有关资料。通常以教科书插图和同一地区的教学挂图及一般挂图作为主要资料。例如要编制一幅我国陆上交通分布图，可以利用正式出版的我国政区挂图作为主要资料，同时收集报刊上登载的新通行的陆上交通资料加以补充。

资料收集齐全后，即可进行设计，确定采用什么方法表示专题现象，如果要显示数量差异时，则应考虑分成几个等级，如何分级；确定表示专题现象的符号图形、大小和颜色；选取哪些底图要素等等。将设计的结果在小型的空白图上绘成样图，以便检查设计是否合理、恰当。最好再写一个简要的设计书，说明编制的步骤和整饰时的作业程序。

设计时要把图例表、比例尺、图名、各种要素的注记等安排在图面的恰当位置处。安排图例表时，要把表示专题内容的各种符号及其说明，按大小和排列的顺序用铅笔画在图例框中。图名和注记要按字体的大小画出方框。

2. 绘制底图自制教学挂图的底图，一般是描绘或放大现有地图中所需要的地理要素而成。如果现有的地图与自制教学挂图的比例尺相同，则可以在透明描图桌上描绘。如果现有的地图比例尺较小，则需要进行放大。现有地图比例尺与准备自制的挂图比例尺愈接近，放大的效果愈好。放大地图的方法有以下几种：

（1）网格法这是一种不需要特殊设备的最简单的方法。首先在选用的原图上用铅笔画出适当密度的网格，同时在图纸上按照所需放大的比例，画出数目相同的网格，并把原图与图纸上的网格依次编号，然后把原图上各格内的线划和符号，根据需要在绘图纸的相应网格内描绘出来（图 7-1），就构成了放大的地图。

网格的密度取决于地图内容的复杂程度和要求的精确程度。内容复杂，精度要求较高，则网格密度应大些；如果精度要求不高，则网格的密度可以小些，但要以便于转绘为原则。

在每个网格内转绘地理事物时，首先应确定其与网格边的交点，然后在网格内标定地理事物特征点的位置，根据这些已知点描绘地理事物。

应用网格法放大地图时，采用比例规可以节省时间和提高精度。比例规由两片等长的金属片组成（图 7-2），其上下两方各有两只针脚，中有轴钮可以沿滑槽移动。比例规张开时，由此可知，移动 O 点就可以调节 ab 与 AB 的比例。在比例规的滑槽旁有刻度，用以指示这种比例关系。

$$\frac{ab}{AB} = \frac{Oa}{OA} = \frac{Ob}{OB}$$

使用比例规放大地图时，将 O 点置于符合放大比例的位置上，用跨度小的一端从原图上量出网格边上的交点，然后用跨度大的一端转移到绘图纸的相应网格边上。位于网格中间的特征点，可以由网格的两个顶点用交会法确定其位置。

如果原图的经纬线网格中的经线或纬线是直线，例如圆柱投影、圆锥投影或伪圆柱投影，在放大这种地图时，可以先放大经纬线网格，然后按照经纬线网格转绘地理要素。放大经纬线网格的方法是：先在图纸上按放大比例画出内图廓；如果原图上的经线为直线，则把原图南、北图廓上各经线的所在点转移到图纸的南、北图廓上，用直尺连接相同经度的点画出各条经线；再在各条经线上确定各条纬线与该经线的交点位置，连结相同纬度的点，画出各条纬线。如果原图上的纬线是直线，则需先在东、西内图廓上确定各条纬线的位置，连结相同纬度的各点画出各条纬线；再在各条纬线上确定各条经线与该纬线的交点位置，连结同经度的各点，画出各条经线。

此外，在已经画好了的底图上，如果局部地区需要补充新资料，而这些资料又是在另一种不同投影的地图上时，可根据两张图上共有的一些控制点（例如居民点）组成的网格来转绘。例如图 7-3 是由六个居民点组成四个连续的三角形，将每个三角形又进行加密，而后根据相应的梯形转绘水系的例子。

（2）缩放仪法缩放仪虽有不同式样，但它们放大（或缩小）的原理是相同的，都是根据相似形的对应边成比例关系制成的。

图 7-4 是一种悬式缩放仪，系由四条金属杆组成的一个可以活动的平行四边形，其中除 PC 杆外，其他 PE、BD、Ca 三个杆上都刻有毫米分划。在 B、A、D 附装的小套杆处附有指标，并有制动和微动螺旋，使 BD 杆可以沿 PE 和 Ca 杆平行移动。BD 杆上装有描针 A，可沿杆移动，使描针对准杆上某一分划。在 Ca 杆末端装有铅笔 a。P 点为极点，固定在支架上。支架的顶端有两根细铁丝，用以悬平缩放仪的金属杆。放大地图时，将原图放在描针 A 下，绘图纸放在铅笔 a 下，手持描针使其沿原图上的线划行进，在 a 处的铅笔就随描针而移动，在绘图纸上画出放大的图形。由铅笔到描针有一条线相连，利用这条线控制铅笔，使其在需要绘图时能于纸上自由滑动，不需要绘图时则抬起。

使用缩放仪时，必须使 BD 杆平行于 PC 杆；并且使 A 位于 Pa 直线上。为此，需要移动 B、A、D 三处的小套杆，使其都准确地位于要求放大的比例分划线上。下面讲怎样确定 B、A、D 三处小套杆的位置。

由图 7-5 可知，PC // BD，PC=BD，PB=CD，A 位于 Pa 直线上，因而 PAB

PaC, 故

$$\frac{PA}{Pa} = \frac{PB}{Ca} = \frac{BA}{PC} = \frac{BA}{BD} = \frac{CD}{Ca}$$

假如 A 点移动到 A' 处, a 点移动到 a' 处, 则

$$\frac{AA'}{aa'} = \frac{BA}{BD} = \frac{CD}{Ca}$$

这就是缩放的比例, 根据缩放的比例, 可以求出 B、A、D 三点所应在的位置。上式可写成

$$BA = \frac{AA'}{aa'} PC$$

式中 BA (即所谓缩放仪的位置) 的长度就是 A 处小套杆应指的分划处, PC 为缩放仪的杆长, $\frac{AA'}{aa'}$ 是原图上的直线长度与放大后相应的直线长度之比。

例如, 缩放仪杆长 960 毫米, 原图比例尺为 1 : 300 万, 放大为 1 : 150 万, 求缩放仪的位置。

$$BA = \frac{\frac{1}{3000000}}{\frac{1}{1500000}} \cdot 960\text{mm} = 480\text{mm}$$

即当放大的比例为 2 时, B、A、D 三处的指标均应在 480 毫米分划处。

利用缩放仪也可以把原图缩小。缩小时则要把描针和铅笔、原图和绘图纸互相调换位置。

(3) 幻灯放大法在放大倍数较大而要求精度不高时常采用这种方法。图 7-6 为一种反射式幻灯机, 它可以直接把书刊上的地图放映出来。光线照射放在 C 处的地图, 通过倾斜 45° 的平面镜 (E), 折向镜头 (F), 然后放映到远处固定于墙壁的绘图纸上, 用铅笔把绘图纸上的图形描绘下来, 就成为放大的地图。地图放大的倍数是放大后图形的长度与原图长度之比。

3. 编绘专题内容需要绘制在挂图上的专题内容有两种情况。一种是在选作底图的地图资料上具有这种专题要素时, 可以从原图上将其选取出来作为挂图的主题加以突出显示。例如前面提到的, 利用我国政区图作为编制陆上交通图的底图资料时, 就可以将政区图上原有的陆上交通线, 在绘制底图的同时画出来。另一种是专题内容不在底图上, 而在其他地图上, 或是利用统计资料整理出来的成果, 则要设法把它们转绘到底图上去。如果是定位符号, 例如工业中心点, 则在绘制底图时, 即把这些工业中心的居民点位置在底图上标出; 如果是线状符号, 则在底图上确定线条转折点的位置, 然后连接成线; 如果是面状分布的专题现象, 其分布范围是由封闭曲线构成的, 则可按转绘线状符号的方法进行。转绘转折点时可以用网格法进行, 即以几个居民点或经纬线网作为控制, 用比例规或直尺转绘, 也可用目估法进行。

专题要素的位置确定以后, 即可按设计的符号尺寸绘制。

(二) 挂图的整饰

整饰原稿图, 要先着底色, 然后画各种符号, 书写注记, 最后画图廓。

在地图上大面积普染颜色，一般多采用水彩颜料。着色之前，先用清水润湿需要着色的区域，待稍干后再行着色，这样可以使图面色彩比较均匀。着色时，从区域的左上角开始，沿着上方的边缘向右轻轻移动彩笔，到右边界后，彩笔不要停顿，立即向相反方向移动，如此进行直到下方边缘为止（图 7-7）。着色完毕后，应将图面上多余的颜色赶到狭窄的角落，用干净毛笔将其吸去。如果需要较浓的颜色，最好用相同的淡色分几次普染，即涂完一次，晾干后，再涂下一次，直到颜色达到要求为止。

清绘底图要素时，一般是先画河流，然后画居民点、交通线和表示制图区域范围的边界线。

在一般小比例尺地图上，居民点多用不同形式的空心圆圈表示。在教学挂图上，若采用实心小圆作为居民地的符号，则更便于在远距离辨清。

为了明确地表现出制图区域的范围，可以在制图区域的边界线外缘画由深到浅的几条色带，或是把制图区与非制图区普染两种不同的底色加以区分。选用普染底色时，应该注意，制图区的底色要浅淡，非制图区不宜采用过于明快、艳丽的色彩，以免喧宾夺主。如果专题内容多，符号比较稠密，或者符号的颜色多样，则制图区内以不染底色为好。

用广告颜料绘画专题内容的线划和符号，比较醒目突出。如果符号间有重叠部分，上层符号的边缘往往需要留出一线空白。对于图列表中的各种彩色符号，必须在画相应的专题内容时同时着色，以保证图列表中各种符号的颜色与地图中相应的颜色一致。

注记要注意工整。外图廓是用来装饰地图的，应使其美观大方。

第三节 我国教学地图集评介

一、教学地图集

(一)《中国自然地理图集》

中国地图出版社出版的《中国自然地理图集》是一本综合性区域自然地理图集，主要供高等学校地理专业学习《中国自然地理》使用，也可供地理教师和相关科学工作者学习和研究中国自然地理时参考。

图集由序图、全国总图、分区图和附录四部分组成。全国总图和分区图作为图集的基本图幅（总图占 42.7%，分区图占 47.3%）。图集总计有地图 314 幅，剖面图 54 幅，统计图表 70 种，素描画片 42 幅，照片 32 幅。通过这些内容的配合，比较全面系统地显示了我国各种自然地理要素的分布规律、相互联系和各个区域的自然地理特征，基本上反映了我国利用、改造自然的成就和科研成果。

序图包括中国在世界上的位置、中国政区、中国土地利用类型图，着重表示我国在世界自然带中的位置和海陆影响，我国土地资源利用现状和全国自然保护区的分布。

全国总图，分为地貌地质和矿藏、海洋、气候、陆地水、土壤生物和自然区划 6 个图组，每一图组按照自然要素分为若干单元，每个单元有地图、图表和统计资料。在这部分图中，除了反映地学中“中国自然地理”有关各分支学科近年来的研究成果外，还比较系统地吸收了各分支学科不同阶段的代表性作品，反映了不同学派的研究成果，给读者提供了系统的可作比较的图面资料。

分区图分为 8 个图组，每一图组开始是一幅普通地理图，全面地反映区域地理特征，然后按自然要素划分为若干单元，每一单元包括与主题有关的地图、小区域典型图、剖面图、图片、统计资料等。由于各区域的地理特点不同，因此每个单元的图幅和图幅内容并不完全一样。

图集选用的基本比例尺共 16 种，最大比例尺为 1:12 万，最小比例尺为 1:9000 万。图幅之间比例成简单的倍数，符合教学用图集的系统性和可比性。图集选用的投影比较适宜，在主要图幅上注明了投影名称、标准纬线或投影中心，在附录中还对该图集所使用的投影作了简明介绍，这对教学是很必要的。

总之，这本图集内容比较丰富，资料比较详实，区域特征比较明显，表示方法多样，比较活泼，是我国目前正式出版的第一本比较系统的中国自然地理教学图集。内容不仅符合高等学校《中国自然地理》教学需要，而且具有一定的完整性和独立性，可作为一般参考读物。

(二)《中学教师地图集》

由中国地图出版社负责编辑出版的《中学教师地图集》，是一部区域性、综合性的教学参考地图集，主要供中等学校地理教师备课、自学和进修时使用，并适当兼顾高等师范院校地理系的学生参考。

本图集为避免成图周期过长，满足读者急需，分为《中国地图分册》、《世界地图分册》、《专题地图分册》陆续出版，现已出版了《中国地图分册》。

《中国地图分册》由全国专题总图、分区普通地图、分区经济地图和文

字说明四部分组成。全国专题总图，包括地质地貌、气候、水文、土壤、地表覆盖、农作物、水产资源、政区、人口民族、农业区划、交通等方面一些基础知识的图幅和图表；分区普通地图，按现行中学《中国地理》教材的分区进行分幅，概括表示区域的地理特征，各分区图的经济发达地区均附有典型地区的扩大图，所有分区普通地图均注有投影名和标准纬线，同时还比较详细地表示了主要矿产地和名胜古迹点；分区经济地图，是以综合经济图的图型表示，突出表示了农业组合类型和工业部门的分布；文字说明部分，是地图内容的补充，比较系统地列出了对教学有参考价值的地理数据和基础资料。

总之，《中学教师地图集》是一部内容丰富、表现形式多样、具有较强实用性的图集。

二、教学地图册

我国出版的中学用《中国地图册》、《世界地图册》和《高级中学地图册》，以教材内容为主要依据，编制了大量配合地理教学的各类地图、示意图和景观图，在图目选择、图幅内容的编排顺序方面与教材的体系结构基本一致，在内容取舍和表示方法方面也尽量考虑到学生的需要和接受能力。

（一）《中国地图册》

《中国地图册》共包括三部分内容：地球知识，地图知识和中国地图。

地球知识是配合课本“地球”一章的内容，编绘了一组有关的地图、剖面图、示意图、图解图和景观图，使学生通过具体的形象了解地球的形状、大小和内部构造，经度、纬度和时区的划分，夏至光照、冬至光照和地球上五带的划分。

地图知识一组图的安排，可以使学生形象而生动地了解从球面转移到平面必然产生变形；在图幅相同的条件下，比例尺愈大，图上表示的地面范围愈小，地图内容愈详细；比例尺愈小，图上表示的地面范围愈大，地图内容愈简略、概括，从而对地图投影的变形和地图概括有一个初步的概念。用景观图与地图符号相对照、分层设色地形图与地形剖面图相对照的方法来说明符号和高度表的意义，使抽象的符号，变为生动的地理景象，易于被学生所理解。

地图册中的各种符号，用不同的图形、大小和颜色加以区分，同时又保持了同类符号具有的系统，这就可以在图上显示出各种地理事物间的相互关系，同时也能确定它们在幅员分布范围内总的规律性。

中国地图按先总图后分区图的顺序排列，与课本先总论后分论的编排相呼应，很多图幅内配置了附图、附表、景观图和建设成就图，使图面丰富多采、生动活泼。总图部分安排了政区和交通、人口和民族、地形、气候、水系、土地利用、农业、工业和矿产等图。为了突出主题，使读图时不分散注意力，总图部分除政区、地形和水系图外，均采取只绘主区、省略邻区的表现方法，图面效果较好。分区地图基本上按照课本中的八大分区划分图幅，只有北部内陆两区一省，由于东西延伸很长，分为《内蒙古》和《宁、甘》两幅。每幅分区图均附有《本图在祖国的位置》，这不仅突出各区的方位和相关位置，而且可以从整体上了解局部。分区图中加绘了主要矿产符号，另外还附有《农业及土地利用》图，密切配合教材中利用自然、改造自然、发

展生产的内容。

（二）《世界地图册》

《世界地图册》配合教材，安排了世界地形、气候类型和洋流、政区、人口、人种等总图，以及分洲、洲内各部分、主要国家地图和大洋地图，大洲图中附有气候图，一些大洲和洲内各部分的图中附有工农业图，大洋图中附有航海线图。从全球到大洲、大洋，从洲内各部分到主要国家，做到了整体和局部相结合，主图与附图相配合，效果较好。

（三）《高级中学地图册》（十六开本）

中国地图出版社 1988 年出版的《高级中学地图册》，是一本紧密配合教材内容的复习参考图册，编排了地球的宇宙环境、遥感与地图、人类的自然环境、人类的社会环境、人类和环境等五部分内容。

地球的宇宙环境一组图，从宇宙的天体系统到地球运动及地理意义，以星图、天体投影图、天体系统示意图、太阳结构图、太阳和九大行星比较图、月球正面图、月球背面图、月相成因图、日月食成因图等，由远及近生动形象地向学生展现了地球的宇宙环境，明确了地球在宇宙中位置。

遥感和地图一组图，通过介绍遥感技术，使学生从图上浏览太空之后，比较自然地将视线拉到地球的外层空间，站在地球之外观察地球的形状。在了解地球形状的基础上，用两组投影示意图简明介绍了由球面到图面经过投影转换的道理。当学生了解地图投影之后，又以图表的形式，简明形象地介绍了专题地图常用的几种表示方法。

人类和自然环境一组图，采取由高空到地下，按大气圈、水圈、岩石圈、生物圈的顺序，以地图、图表及各种示意图，系统地介绍了人类生存的自然地理环境各要素。

人类和社会环境一组图，通过地图和图表向学生展现了全球的自然资源分布及其利用状况，世界各国的工农业生产布局，人口迅速增长并逐渐向城市集中的趋势。

人类和环境一组图，通过地图、图表和文字说明，形象具体地向学生展示了人类活动对生态环境的影响，使学生能够清楚认识到当今强调保护人类生存环境的重要性。

这本图册每幅图下面都配合教材，列出一组供学生复习参考用的思考题，给学生阅读图册提供了明确的目的性。

因此《高级中学地图集》（十六开本）是一本很好的紧密配合课堂教学的参考图册。

上述我国出版的教学用地图集，在教学上发挥了重大作用，成为各级学生学习新知识不可缺少的工具，受到广大师生的欢迎。同时希望它能进一步提高质量，丰富内容，用更加活泼的形式，增加对广大师生的吸引力。

[实习] 教学挂图编绘

一、目的要求

掌握教学挂图的编制方法与程序。

二、方法

（一）地图设计。

1. 搜集资料；

2. 选择底图；
 3. 确定比例尺；
 4. 图面配置；
 5. 符号设计。
- (二) 绘制底图。
 - (三) 转绘专题内容。
 - (四) 图面整饰。

复习思考题

1. 教学地图有哪几种？主要特点是什么？
2. 自编教学挂图包括哪几个程序？具体工作内容是什么？
3. 自编教学挂图、底图绘制方法有哪几种？各适用什么情况？
4. 我国近期出版的几本教学地图集（册），各有什么特色？

第八章 地图发展回顾

内容提要

原始形态的简陋地图，在人类未创造文字以前就存在了。现在能看到的最古老的地图是公元前 2500 年前制作在粘土片上的巴比伦地图。我国现存的最古老地图是公元前 299 年镌刻在铜版上的兆域图。随着社会经济发展的需求，地图的历史经历了古代、近代和现代三个发展阶段：中国古代地图以裴秀为代表，他的《制图六体》奠定了中国古代地图绘制的理论基础，“计里画方”方法影响我国古代 1400 年的地图格局，而外国古代地图以托勒密为代表，他的《地理学指南》成为西方古代地图绘制理论的代表，他首次用简单圆锥投影绘制世界地图；近代地图的特点是各国先后都开始了大规模的三角测量和地形图测绘，我国皇舆全览图的测绘，奠定了我国近代地图编制的基础；现代地图的特点是国际合作，地图编制规范化，专题地图与地图集大量涌现，计算机辅助制图与遥感资料制图迅速兴起，地图学理论研究深化并开拓了许多新领域。地图发展史展示了地图的功能拥有巨大潜力，地图学的理论与技术在不断丰富和现代化。

第一节 地图起源和古代地图

由于生活和生产的需要，在尚未创造文字以前，原始人类很早就知道在地面上或石板上绘画简单的图形或用石块、贝壳来模拟所看到现象的形状、大小、方向或相对位置等。在我国已发现的 6000 多处原始社会人类活动遗址中，有多处在陶钵或甲骨上刻划着几何形线条或多种多样的图案和图象，可以认为这是原始形态的简陋地图。现在能看到的最古老的地图，大约是公元前 2500 年前制作在粘土片上的古代巴比伦地图(图 8-1)，图上表示了山脉、四个城镇、流入海洋的河流及其他地理特征，这是古代地图中有代表性的作品。1955 年美国著名学者克拉默(Kramer)在耶鲁大学发现了纪元前 1500 年前画在泥板面上的《尼普尔城邑图》(图 8-2)。尽管它们的内容和表示方法很简单，但已反映出地图与人类生活和生产的密切关系。

中国古代，据《世本八种》记载，黄帝同蚩尤打仗，曾使用了表示“地形物象”的地图。

春秋战国(公元前 770—前 221 年)时期，出于军事、政治、丧葬以及社会经济的需要，地图品种也随之增多，在《周礼》中曾有十几处记载有：“司徒所掌之图”(这是掌管土地和矿产用的专题地图)、“冢宰之图”(这是表示疆域户籍为内容的行政区划图)、“司马之图”(这可能是全国性地图)、“宗伯之图”(这是表示墓地范围地图)。1972 年在山东临沂的银雀山西汉墓中发现的《孙臆兵法》残简上，刻有讲述地形、地图对用兵重要性的文字外，还有“附地图九卷”之说。上述这些地图，都由于历史久远已经失传。能够见到的战国时期的地图，是 1977 年发掘中山王墓葬时发现的镌刻在铜版上的“兆域图”(图 8-3)，这是用金银镶嵌的墓葬平面图，长 94 厘米、宽 48 厘米、厚约 1 厘米。图上标明有宫垣及坟墓所在的地点，建筑物各部分的名称、大小、位置和它们之间的相互关系，绘制时间在公元前 299 年前后，证实了《周礼》的记载是可信的。

到了西汉时期，国家统一，农业、水利和工商业进一步发展，加上军事扩张，地图测绘出现繁荣。当时已有了简单的测量工具和测算学，可以测定“高、远、深、宽”，绘制了不少地图，这在史书上都有记载，但无实物保存。1973 年 12 月在发掘湖南长沙马王堆三号墓时，发现了两千一百多年前(公元前 168)绘在帛上的三张彩色地图，分别为地形图(图 8-4)，驻军图(图 8-5)和城邑图。图上包括的范围大致是现今的湖南、广东、广西三省(区)，比例尺约为 1:18 万，内容和现代地图大致相同。水系比较详细，主支流区分明显，按流水方向用线划符号由细到粗表示生动自然；用封闭曲线描绘地形山体及走向；居民地按行政单位以不同符号表示县、乡、里三级；道路用实线与虚线表示出不同等级。内容十分丰富，表示方法与绘图工艺水平都较高。在《驻军图》上还用颜色按两层平面表示，这些都与现代地图的表示方法相近似。因此，该图在国内外地图发展史上享有很高的声誉，是研究古代地图的发展极为宝贵的实物资料。

中国古代著名地图学家是西晋的裴秀（公元 223—271，图 8-6），他主持编制了《地形方丈图》和《禹贡地域图》18 幅，总结了前人的制图经验，创造了著名的地图绘制原理“制图六体”。在《晋书·裴秀传》中记有“制图之体有六焉：一曰分率，所以辨广轮之度也；二曰准望，所以正彼此之体也；三曰道里，所以定所由之数也；四曰高下，五曰方邪，六曰遇直，此三者各因地而制宜，所以校夷险之异也。有图象而无分率，则无审远近之差；有分率而无准望，虽得之于一隅，必失之于他方；有准望而无道理，则施之于山海隔绝之地，不能以相通；有道里而无高下、方邪、遇直之校，则径路之数必与远近之实相违，失准望之正矣。故以此六者，参而考之，然远近之实，定于分率；彼此之实，定于道里；度数之实，定于高下、方邪、遇直之算。故虽有峻山矩海之隔，绝域殊方之迥，登降诡曲之因，皆可得举而定者。准望之法既正，则曲直远近，无所隐其形也”。这里的第一项分率即比例尺，它是用来辨别地域面积大小的准则；第二项准望，是用来订正彼此间方位关系的准则；第三项道里，是用来计算交通路线及其里程的；第四、五、六项高下、方邪、遇直是指随着不同的地形情况，道路有上山岗、下平野、垂直、斜行、曲折的区别。这六个方面是相互联系相互制约的，依此可以绘出比较精确的地图。裴秀的制图六体奠定了中国古代制图的理论基础，他们采用的计里画方方法，影响我国 1400 年间（西晋至明末）绘制地图的格局。唐代的地图制作，由贾耽集其大成。贾耽（公元 730—805，图 8-7）是一位对地图发展有卓越贡献的人，他的代表作品是于公元 801 年完成采用朱墨二色表示古今地名的《海内华夷图》，流传五百年之久。该图在南宋（公元 1136 年）经缩小刻石的《华夷图》（图 8-8）一直保存到现在，内容丰富，位置比较准确。

唐代在地图测绘上另一杰出成就，是开始了子午线实地测量。这一测量工作是僧人一行（名张遂，公元 673—727，图 8-9）主持的，于 724 年与南宫说在黄河以南的白马（滑县）、浚仪（开封西北）、扶沟（扶沟孙）和武津（上蔡）一带五百余里的地面上，用水准、墨绳和八尺之表观测日影长度差（晷差），并实地丈量距离，还观测了四地的北极高（纬度）分别为 $35^{\circ} 3'$ 、 $34^{\circ} 8'$ 、 $34^{\circ} 3'$ 、 $33^{\circ} 8'$ ，四点间的距离为 198 里 179 步、167 里 281 步、160 里 110 步，共实测距离为 526 里 270 步，晷差为二寸余，经换算按当今的计量单位得子午线上纬度相差一度的距离为 132.03 公里。这是科学史上划时代的创举。

宋代在地图学方面取得了重大成就，这个时期在宋王朝建立不久就曾下令各州县绘制本区地图。太宗淳化四年（公元 993）“令画工集诸州国，用绢百匹画之，为天下之图，藏秘府”，就是《淳化天下图》，这些图现已不存。现存的宋代地图有：华夷图、禹迹图、九域守令图、地理图等。

《禹迹图》（图 8-10）是我国迄今发现最早的“计里画方”地图。图上有横 70、竖 73、共计 5110 个方格，每方折百里，比例尺约为 1 : 180 万。图上着重表示水系，有黄河、长江、珠江及其支流形状，洞庭湖、鄱阳湖、太湖、洪泽湖等大湖的位置以及海岸线的轮廓，比华夷图细致，黄河在开封东

北折向北流，至天津附近流入渤海，与今图上表示的形状比较接近。

《九域守令图》是在四川荣县发掘的北宋末年的石刻地图，比例尺为 1/180 万左右，是一寸折百里地图。该图的特点是以行政等级作为居民地分级的标准，府、州、军为一级，监、县为二级，以不同大小字级来区分，总体反映的是政区情况，表示出京府 4 个，次府 10 个，州 242 个，军 27 个，监 4 个，县 1118 个，是已传世的地名最多、时间最早的全国政区地图。

《平江图》（图 8-11）是南宋绍定二年（公元 1229）郡守李寿明主持刻绘在石碑上的地图。该图以中国传统流行的平面与立体形象相结合的地图画法，描绘了城市的布局及各种建筑物，是我国现存的最完整的一幅古代城市规划图。图上表示的城廓、道路、河道、桥梁和重要建筑物以及城外山湖风光的布局等，与现在的苏州城对照，它们的位置是比较准确的。

北宋沈括（公元 1031—1095，图 8-12）编制了“二寸折百里”的《天下州县图》20 幅，是当时最好的全国地图。除此之外还在根治汴渠时进行过 840 余里的水准测量，利用木屑、浆糊、熔蜡及木刻等制作地形立体模型，并在长期实践中发现了磁针偏角现象，是一个博学多才的科学家。

元代的地图成就，主要是扎马鲁丁的地球仪和朱思本的《舆地图》的绘制成功并在当时形成朱思本地图体系。

扎马鲁丁是少数民族科学家，于至元四年（公元 1267）撰万年历，在北京建立观象台，制造天文观测仪器 7 种。其中他制造的“地球仪”是我国最早的地球仪作品。据《元史·西域仪象》记载，“其制以木为球，七分为水，其色绿；三分为土，其色白。画江河湖海、脉络贯于其中。画作小方井，以计幅原之广寰，道里之远近”，对中国地图学的发展，做出了重要贡献。

朱思本（公元 1273—1333，图 8-13）是元代地图学家，曾于公元 1311—1320 年间完成了长宽各 7 尺的全国《舆地图》二卷。他以计里画方之法绘制各地分图，然后汇编成全国地图，内容丰富翔实，宁缺勿滥，制图非常严谨，是贾耽以来重要制图作品，曾被多次摹绘，流传至明代，后经罗洪先（公元 1504—1564）增补修编成《广舆图》（图 8-14），又以“画方易编简”的道里，将大幅分成小幅，制成了我国最早的综合性地图集。

总之，裴秀以后千余年间，由于不同历史时期的社会需要，地图曾被广泛应用于土地管理、外交活动和军事斗争等各个方面，尤其唐、宋两代，官府的制图事业曾盛极一时，裴秀的“制图六体”也同时得到了广泛应用与发展。

明代郑和（公元 1371—1435）是我国著名航海家，在公元 1405—1433 的 28 年间，七次下西洋，历经 30 余国家，最南到了爪哇，最西到了非洲东岸的蒙巴萨，并绘制了一卷《郑和航海图》。该图原名为《自宝船厂开船从龙江关出水直抵外国诸番图》，载于《武备志》。原图 24 页，序 1 页，地图 20 页，过洋牵星图 2 页，空白 1 页。原图按一字展开式绘制。收入《武备志》时改装为青本式如图 8-15。地图上详细记录了开船时间、停泊地点、浅滩、

礁石和五百余地名，其中外域地名达 300 余。

《郑和航海图》的绘制方法，不采用传统的“计里画方”法，而用形象的“对景图”。山形及具方位意义的地物，按其特征形象绘制。此图各处的比例不甚准确，方位也有差误，但并不能轻视郑和是我国最早的航海图的制图学家和他在我国地图学史上的伟大贡献。

国外古代地图的发展，比较明显的还是在埃及的尼罗河沿岸开始有了农业的时候。为了重新确定被河水淹没的土地，需要进行丈量，于是产生了具有数学意义的用图形表示土地轮廓和数量的地图。到了希腊、罗马时代，由于手工业的发达，又开始了海上贸易和战争，需要绘制大范围、高精度的地图，于是测量经纬度，研究地图投影，编制小比例尺的航海图和世界图就成为必要的了。公元前三世纪古希腊埃拉托色尼(Eratosthenes, 约公元前 275—194)著《地理学》一书内附有世界地图(图 8-16)，第一次计算了地球曲率、周长，并把经纬线表示在地图上，图上的山脉是以“毛毛虫”的符号表示的。纪元后在地图史上著名的代表人物是希腊的托勒密(Claudius Ptolemy, 公元 90—168)，著《地理学指南》八卷，论述了地球形状、大小、经纬度的测定方法，并选定经过大西洋中的费罗岛的子午线为本初子午线，它一直沿用到 1884 年。这部著作实际上是地图学理论、方法和资料的汇编。书中附有世界图和分区图。托勒密是首先使用简单圆锥投影绘制世界地图的人，虽然他错误的否认希腊人关于陆地是被海洋包围着的岛屿状的观点，认为陆地面积大于海洋，但他的地图作品仍然具有划时代的意义(图 8-17)。

从四世纪到十三世纪 1000 年左右的时间里，西方受宗教统治，神学代替了科学，处于历史上的黑暗时代。地图成果遭到摒弃，完全被宗教观所代替，地图蜕变为寰宇图，成为宗教的御用品，地球球形的概念代之以四边形或圆盘形。拜占廷人科斯马斯(Cosmas, 公元六世纪)著的《基督教地形学》一书认为：世界是一个高平的矩形海岛(图 8-18)，长为宽的 2 倍，并被矩形海洋包围；海洋深入陆地，形成罗马海、波斯湾、黑海和阿拉伯海；在海洋彼岸的东方有一个在洪水后面形成的极乐世界，从极乐世界流出 4 条神河——尼罗河、底格里斯河、幼发拉底河和恒河；在地球上衬有穹窿状透明的天空，可以看见下层天空、太阳、月亮和恒星等的运动；人们看到的天空星球的移动并非地球旋转，而是星球自身的运动而引起等。另外流传很广的是“T—O”地图(图 8-19)，该地图把耶路撒冷绘于中心，尼罗河、多瑙河、地中海和顿河绘成 T 字形，分割成欧、亚、非三洲。

当欧洲还处在黑暗时代，东方的阿拉伯人由于航海的需要汲取了希腊的地图知识，结合他们的天文学、数学、几何学方面的进展，促进了地图的发展。阿拉伯人的地图把世界绘成圆形，外面为大海包围。该图比托勒密地图进步的是已表现出亚洲最大，非洲较小。这阶段的著名作品是公元 1154 年埃锥西(Idrisi, 1099—1164)绘制的世界地图(图 8-20)。该图将亚洲绘的详细，地图的上方为南，与现在地图方向相反。

第二节 近代地图与基本地形图测绘

西欧资本主义兴起，开始了殖民主义扩张，既要探寻海上的通商航路，又要求进一步对大陆腹地的了解，因此海上探险、地理发现、绘制世界地图特别是各国基本图的测绘，就成为近代地图史上的主要活动内容。

15 世纪后期，东方贸易被土耳其人垄断，从红海以外其他航线走进印度洋，成为非常诱人的愿望。葡萄牙人主张绕过非洲，1488 年达伽玛 (Vascoda Gama, 1469—1524) 绕道非洲南端试航成功，1497 年又延伸到了印度。佛罗棱萨人主张从未经航行过的大洋向西航行去寻访在环球那一面的中国，意大利人哥伦布 (Gistoforo colombo, 1451—1506) 就是抱着这样的信念，希望探险去发现一些新岛，发现中国，却没有料到在中途可能发现新大陆，他甚至把所发现的新大陆误认为是中国或印度的一部分。直到 1519 年麦哲伦 (Magellan Ferdinand, 1480—1521) 第一次环绕世界的航行，欧洲探险家才第一次约略地摸清大西洋西岸的轮廓。但是对于当时的中国沿海和太平洋沿岸，仍然是茫无所知。因此，1524 年欧洲的一些世界地图，仍把东南亚和美洲联在一起，就是 1587 年的世界地图上，太平洋沿岸的轮廓仍然是十分模糊的。意大利传教士利玛窦 (Matteo Ricci, 1552—1610) 于 1582 年来中国进行地理考察，观测纬度，一年左右时间就绘制了中国地图并寄回西欧去，后来由于中国学者的帮助，把西方和东方编绘在同一幅世界地图上，促进了东西方世界地图知识交流。荷兰地图学家墨卡托 (Merator, 1512—1594) 以地图集的形式，总结了前人关于地图理论与技术的成就，根据新资料，对已有地图进行修改和补充，他逝世后出版的世界地图集是他的代表作，图 8-21 是墨卡托地图集中的半球图。这部作品，创制并应用了正轴等角圆柱投影新绘制世界地图，并以数学基础严密、资料充实、内容新颖著称。墨卡托第一个把希腊神话中肩负地球的巨神阿特拉斯 (Atlas) 的名字用作地图集的名称，成为专用术语，一直沿用至今。

17 世纪以后，英、法、德、俄和美国资本主义有了很大发展，进一步要求了解大陆腹地的自然和经济情况，为了瓜分和控制新发现的殖民地，为了领土扩张和战争的需要，测绘大比例尺的基本地图，在许多国家展开了。这种基本地图要在大地控制测量基础上，采用统一的图式图例和分幅系统，因此大都由政府或军事部门组织的专业队伍进行。这是近代地图发展的主流。

大规模的国家三角测量和地形图测绘，以西欧各国为最早。首先是 1669—1671 年由法国皮卡尔领导进行的精密三角测量，只测得巴黎至亚眠之间子午线长度。1730—1780 年法国测绘的地图精度最高，1784 年又完成了格林尼治与巴黎之间的控制网测量，所以法国大革命之后不久，就完成了全国 1:56000 比例尺的地形图，1818—1882 年间法国又完成了 1:80000 地形图，1898 年以后，还局部测绘了 1:50000 和 1:20000 的新地图。

英国为了镇压起义和新贵族分配土地的需要，从 1653 年起便开始了爱尔兰的测绘。英国的军事测绘局成立之后，于 1791—1870 年间，出版了第一版 1:63360 的单色地图，1887—1914 年又完成了以 25 英寸表示 1 英里的大比例尺地图。1800 年，英帝国主义在印度开始大规模三角测量，并完成了恒河流域 1 英寸表示 5 英里的地形图，后来甚至扩张到我国西藏的南部。印度测量局继承了这份衣钵，在西藏边境进行了相当面积的测量。

欧洲几个面积较小的国家也进行了大比例尺地图的测绘。比利时在 1846—1886 年完成了全国 1:20000 以及缩小到 1:40000 的地形图，瑞士在 1833—1865 年完成了 1:100000 的都市地图。

俄国于 1797 年成立地图局，1805 年就出版了第一套国家基本地图，比例尺为 1:840000。1845—1863 年间又出版了 3 俄里地图（约 1:126000）。

美国在 1870—1900 年间，在开发西部的热潮中，测绘了一部分 1 英寸表示 4 英里（约 1:253400）和 1 英寸表示 8 英里（约 1:506000）的地图，约 500 万平方公里，这是美国地图史上的黄金时代，直到 1879 年成立地质调查局，才局部开展国内大比例尺地形图的测绘，至第二次世界大战前，包括 1:125000 以上的大比例尺地形图，只测绘了领土面积的 40% 左右，其中只有 10% 可以满足现代要求。

我国是亚洲举办国家地图测绘最早的国家，而且是当时世界上测绘事业规模最大的国家，这是与清初康熙皇帝巩固和统一封建王朝的需要分不开的。清康熙皇帝亲自派张诚、徐日升两教士在北京附近进行测图试验，并亲自校勘，认为远胜旧图，从 1708 年 4 月正式开始了全国范围的测图工作。首先完成北直隶（今河北）沿长城内外测绘地形，1709—1710 年从辽东到图们江、松花江、黑龙江，陆续完成东北地图；1711—1712 年康熙命“添人工作”，一队往山东，另一队出长城测定喀尔喀蒙古地（今蒙古人民共和国境内），归途经陕西、山西。到 1717 年先后完成河南、湖广、江南（今江苏、安徽）、浙江、福建、江西、广东、广西、四川、云南，积十年之努力，终于 1718 年完成了皇舆全览图的制作。后来康熙派人先后进西藏随军测绘，又训练喇嘛进行恒河上游的调查，编绘成图，乾隆于 1756—1761 年间派人编成西域图志，又汇编亚洲全图，该图北至北冰洋，南至印度洋，西达波罗的海、地中海及红海，采用梯形投影，比例尺大约 1:1400000，可算当时最完善的亚洲全图了。

皇舆全览图的测绘，是以天文点与三角网结合进行的，测算经纬度 630 点，并以通过北京的经线作为中央经线，第一次测绘了世界最高峰注为珠穆朗玛峰，比例尺为 1:140 万，奠定了我国近代地图测绘的基础。后于同治年间由邹世诒等改编为《大清一统舆图》，1863 年公开出版，成为 1930 年申报地图出版以前数十年间绘制中国地图的蓝本。

1903 年我国成立陆地测量局，初期编制的 1:100000 和 1:300000 调查图，约占全国总面积的 60%，这些图的基础也是用皇舆全览图的天文点和三角测量成果编成的。

半封建半殖民地时代的中国，不少帝国主义国家，曾借各种名义，甚至采取公开侵略手段，对我国不少地区进行测量，占有窃取我国测绘资料并编制各种地图。

日本在 1921 年，借“中日合作”名义测制我国东北地区 1:5 万地形图。1939 年发动侵华战争后，还翻印我国东部和中部各省 1:5 万旧图廓地形图或缩编成 1:10 万地图。在占领东北期间，在辽阳、沈阳、长春及锦州各线间测制 1:5 万地形图二百多幅。还利用上述成果，编制 1:50 万地形图 260 幅，以康德名义测制 1:5 万地形图一百多幅，该图的经度是以长春为零度起算，定营口水准面为零，以米计算。日本统治台湾时期，测制 1:5 万台湾地形图 143 幅，并缩成 1:10 万、1:20 万及 1:50 万地形图。

美国于 1943 年到 1944 年间，曾借“合作航测中国西南各省区地图”名

义摄制了沿昆明、沈阳轴线以东，我国东南沿海地区航摄像片，并获得西南各省区地面控制成果，利用上述成果，改制浙江、广东等省大部地区的 1:5 万老图廓图为横轴墨卡托投影的经纬度图廓地形图 200 多幅。另外对我国 1:5 万旧图廓图和部分测量成果，进行分析研究，推算出中国东部、北部地区 12 省 1:5 万旧图图廓点经纬度至百分之一秒的精度，依此改制我国 1:5 万旧图 2000 多幅。又依此编印我国东部及东北部一带 1:25 万地形图约 400 幅，并编制了台湾、福建地区的航摄地形图。另还编印 1:50 万地形图约 30 幅和 1:100 万中国地形图和航空两用图各 42 幅。上述三种图在纬度 4° — 72° 间采用半球分三带的兰勃特等角割圆锥投影，在 0° — 4° 间采用墨卡托投影， 72° — 90° 间采用等角球面投影。地球椭球体采用海福特椭球体。各图地形都以等高线分层设色印刷，高程数值为英制。英国于 1920 年，借解决天津水灾名义，由测量海河水道扩展到华北平原，测制 1:1 万水利图 2778 幅。德国侵略我胶州湾后，测绘工作扩展到山东、直隶（河北省），制成 1:20 万地形图。法国测制我国云南东南部分地区 1:5 万地形图。英国控制下的印度测量局斯坦因用考察名义于 1901—1908 年间，先后在我新疆、甘肃河西走廊一带测制 1:25 万图 94 幅。其他还有俄国在黑龙江、甘肃及新疆一带，测制了不少地图。

1949 年，中华人民共和国成立以后，随着社会主义建设事业发展的需要，地图事业有了很大发展。首先建立了国家测绘总局，领导全国测绘工作。在统一规划下，进行了天文大地网测量、重力测量、水准测量，建立了我国 1954 北京坐标系和 1956 黄海高程系，制定了国家基本地形图比例尺系列和作业规范、细则和图式。采用航空摄影测量为主要手段，完成了全国（除台湾省外）范围的 1:1 万、1:5 万、1:10 万基本比例尺地形图（图 8-22），以及缩编的 1:20 万、1:50 万和 1:100 万比例尺地形图。部分地区还进行了第二代和第三代更新。

第三节 现代地图的特点

十八世纪以后，随着社会经济发展的需要和自然科学各部门的深入研究。各种探险考察队的科学任务，不仅要求地形测绘，还需要对各种自然和社会现象进行考察和制图。人类活动也不只局限于陆地，而逐渐向海洋和空中发展。因此，一方面，传统的地图制图得到了丰富和发展，另一方面，航空摄影、卫星遥感、电子计算机等新技术和新理论的相继引进，使地图学的内容和地图的图型，不论其理论基础和工艺手段，都发生了很大变化。国际 1:100 万地图、专题地图、遥感制图、机助制图等相继产生，并在理论研究方面开拓了许多科学分支的新领域。

一、国际百万分之一世界地图（IMW）的编制

这是世界上许多国家和地区测绘了大量地形图的条件下，1891 年 8 月在瑞士伯尔尼召开的第五届国际地理学会议上，维也纳大学地理系教授阿·彭克（Albrecht Penk，1858—1945）建议由各国共同编制国际百万分之一世界地图，得到了与会各国的赞同。随后制定了地图投影、分幅编号、地图内容等的编绘方案，并制定了《国际百万分之一世界地图编绘细则》。1913 年在伦敦成立国际百万分之一世界地图中央局，从这一年起正式开展编图活动。第二次世界大战后，联合国成立，1953 年宣布撤销原“中央局”，将此项工作正式移交联合国制图处领导。70 多年来，世界上许多国家相继开展了百万分之一世界地图的编绘出版工作。现在世界上大部分地区，均已编绘出版了这种百万分之一世界地图，并不断更新再版。该图不断得到国际地图学会的支持，强调它是资源调查、发展经济、科学研究和作为编绘各种专题地图底图等不可缺少的工具和资料。

1913 年制订的细则，经 1928 年的修改补充后，一直沿用到 1962 年，这年在联邦德国波恩召开的国际百万分之一世界地图技术会议上，讨论、修改并通过了新的编绘细则和图式符号。新细则分 13 个部分：目的性、统一性、地图投影、分幅与编号、图幅尺寸、地形表示法、图式与色标、注记、图廓整饰、经纬网、地名转写、编绘与出版、使用语言等。这些工作对地图编制规范化和设计标准化起了推动作用。

另一方面的进展是国际 1:100 万专题地图的编制与合作。1:100 万基础底图的国际规范已经提出，1:100 万土地利用图、森林图、地貌图等均已列入国际会议议程。

二、专题地图与地图集的编制

专题地图与地图集编制是现代地图科学发展的主流之一。18 世纪以来，由于积累了大量的陆地和海洋各种比例尺地图，地质、气候、海洋、生物、农业、经济、人口等许多学科的专题制图日益发达，地图资料相当丰富，这对一地区或国家的自然和社会经济的开发和综合分析研究都十分有利，因此大量的专题地图和地图集出现了。

18 世纪以后，随着自然科学部门的分工和深化，科学考察任务增多，潮汐、气象、水文等定位观测资料的积累，专题地图与地图集的编制发展起来

了。

1838—1842年德国出版了《自然地图集》，包括许多地理学家编制的专题地图，如地质、海洋、气象、地磁、植物、动物及人种分布图。1887年巴康和海尔巴特逊根据世界29000个气象台的长期记录，制作了《巴特罗姆气候图集》。1899年杜库查耶夫手绘了1:5000万的《北半球土壤地带图》。

随着资本主义的发展，经济地图的编制也不断涌现出来，1872年的《欧俄主要产业地图》可算是点描法的先驱，1869—1872年出版的《欧俄重要工业统计地图集》，是一本根据丰富的材料编制的地图集。

我国历史悠久，历史地图的编制从唐代贾耽就开始着手进行，直到清朝杨守静（1839—1915），他生平长于历史地理考证，编制了《历代舆地沿革险要地图》44个图组，分订成34册（图8-23），大体以水经注为依据，对郡县与山川相对位置和历史疆域等进行许多分析考证工作。以内府舆图作为底图，用梯形投影和画方，沿纬度分带分幅，采用传统的朱墨两色，木板套印，于1879年正式出版，第二版完成于1896年，是中国历史上第一部完整的大型历史地图集，它不仅在中国有刊印，在日本也流传很广，是我国当时专题地图方面的巨大贡献。中华人民共和国成立之后，由谭其骧主持对该图进行了详细的增补与修改，分成八卷于1988年由中国地图出版社出齐。

20世纪以来掀起编制地图集的浪潮。一方面是编制全球性多卷的大型地图集，同时也编制了大量的国家级或省区级的地图集，今摘其主要者介绍如下。

泰晤士世界地图集（The Times Atlas of the World）英国巴塞罗缪公司和泰晤士报社联合编制出版。1899年初版问世，1955—1959年该图集分五卷出版，1967年出合订本，至1985年合订本出版了第七版。该图集由四部分组成：导论、序图、区域普通地图和地名索引。有7幅鸟瞰图、8幅专题图、116幅区域图和73幅城市地图，各种插图200多幅，整本图集合计520页。该图集多次重版修订，除保持了地图的现势性外，还扩展了图集内容的知识面，增强作品的时代感。该图集印刷精良，图面清晰，内容详细，曾与意大利《旅行俱乐部世界地图集》并列为西方的两部优秀的地图集。

苏联海洋地图集（Морско Атлас）1950—1958年分三卷出版。第一卷是关于海洋地图和世界大港口平面图，第二卷是海洋自然地理图，第三卷是关于战争史地图。70年代又重编了海洋地图集，按洋分卷出版，目前已出版《太平洋地图集》和《大西洋、印度洋地图集》。该图集第一卷海洋周围、陆地部分都表示得十分详细；第二卷对于海上航行和探险、水文状况、海底结构、海洋生物、气候、地磁，海湾、海峡等，都有全球性较为详细的表示；第三卷对世界上一些国家和国际间的重要战争，表示了双方军事行动路线、战役地点等战争史内容，还有十月革命时期，布尔什维克领导起义，以及红军与进行干涉的帝国主义雇佣军的战争史等；太平洋卷分为海洋调查史、洋底、水文、水化学、生物地理、备考和航海地理图；大西洋和印度洋卷的内容结构与太平洋卷基本相同。该图集的出版，不仅是制图技术上又一重大成就，同时又是全面地总结和概括了人类对海洋长期的研究成果，编制成专门的著作，而回过来又用它为工具，进一步激发科学工作者的智慧，以更深入地从事于海洋地理的探讨与研究，更好地服务于生产。所以，这本图集的出版在世界科学史上作出了划时代的贡献。

世界自然地图集由苏联科学院与国家测绘总局编制，1964年出版，是苏联许多科研单位和政府部门共同协作完成的重大成果，是苏联《世界地图集》(АТ асМ па)的姊妹篇。该图集是一部大型自然地理专题图集。全集由世界图、分洲图、苏联图三个部分组成。该图集是一部包含丰富地学资料的科学参考图集，它是在广泛搜集深入研究全世界大量有关地球科学资料的基础上，按现代理论观点和专题地图原则而进行的创作，反映了60年代苏联地理学与地图学的科学技术水平。它的出版在当时是地学界专题地图领域的突出文献，具有重要的科学价值。该图集从数学基础到图面配置，从内容结构到图幅编排，从表示方法、图例设计到一般制图原则运用，都注重地图集的科学性、统一性和协调性。这种地图模式与西方活泼自由的设计形式和地图风格形成鲜明的对照。

宇宙地图集(The Atlas of the Universe)英国P.莫尔编制，1970年出版，1973年第三次修正印刷。全图集共272页，八开本。图集分五个部分：第一部分为空间观察与探测，从希腊哲学家们的天文理论讲起，到17世纪初的天文望远镜以及光谱学天文学的发展，到人类进入空间时代，实现人在月球着陆以及对其他行星的研究；第二部分是从空间探测地球，包括地球的形象、磁球体、大气层、地球外轮廓、地图空间制图、地球全景图、地球内部图、地球上生命的进化；第三部分是月球图，包括月球的运动、形体、表面、探险与制图；第四部分是太阳系图，内容有太阳系图、太阳黑子、能源、爆发、日蚀、行星运动、行星、彗星、陨石等；第五部分星球图，包括星群的距离和运动、恒星的光谱和恒星演化、变化的星球、双星、星团、星云、星际物质、银河系制图等；此外还有空间射线、原始宇宙和宇宙变化、天球制图、星座制图、季节星图等。由于现代科学技术的飞跃发展，人们可以从空间对地球进行探测，月球表面着陆成功，以及对其他星球发射探测火箭等，使天文学有了革命性的跨越。这本图集是天文学新发展的里程碑，它的百科全书式的内容，以及设计和制图的优美，既是一本科学著作，又是一部引人入胜的工艺美术作品，是一部具有伟大时代意义的图集。

古氏世界地图集(Goode's World Atlas)美国兰德·麦克纳利出版公司编制出版，是一部中型综合性教学参考地图集，主要供中学或中学以上的地理教师使用，也可以作为一般的学习参考用图。1922年首版时名《古氏教学地图集》(Goode's School Atlas)，1949年改为现名，1982年印行了第十六版，发行量很大，是一本在西方享有盛誉、出版历史悠久的教学地图集。图集内共有地图233页，占62%，有38%的篇幅反映世界各地地理概貌、地图基本知识、地理数字资料以及地名拼读注音等。图集共分7个部分：导论、世界专题地图、城市地图、各洲专题地图和普通地图、海底图、地理数字资料和地名索引等。该图集在反映土地利用和地表覆盖程度的环境地图上，将遥感图象提供的信息以不同视觉变量的点、线、面地图符号转载于地图上，解译成为具体、形象的地图内容，为小比例尺专题地图增添了科学内容和可靠程度。

迈尔百科全书世界地图集(Meyers Enzykl opdishches Lexikon)是联邦德国《迈尔百科全书》第二十七卷，由联邦德国地理-地图研究所编制，1979年出版。它是中型普通地理参考图集，由世界图、区域图、大洋图、旅游胜地地图和地名索引五个部分组成。此图集的突出特点是系统性强，整个图集脉络清晰，层次分明；各图组选题一致，编排统一；强调图幅比例尺的系列化，

从而增强了地图的可比性，在内容上收到了多而不乱的效果。

迪尔克遥感图集 (Diercke Weltraumbild-Atlas) 由联邦德国韦斯特曼公司编制，1981 年出版，共 176 页，全部用铜版纸印刷，制印精美，所有选题和图幅皆以遥感图象与地图相对照形式出现。全图集共分八个图组：海岸形态、地质、植物与气候带、农业经济、灌溉区及干燥区、苔原极地区、资源与工业、城市居民区。所有影象与地图均注有比例尺。图集中还有遥感原理与应用简介，影象解译的基本知识、拍摄日期和资料来源等。此图集被英国、日本有关单位翻译出版。

意大利旅行俱乐部世界地图集 (Atlante Internazionale dal Touring Club Italiano) 它是一部大型普通参考地图集，以古老的晕滃法表示地形的区域普通地图为主体，其政区和地名的详细程度超过了同类型的其他地图集。该图集出版历史悠久，是西方早期的优秀地图作品之一，首版于 1927 年，50 年代作了重大修订，1977 年印行了第八版。图集分世界地图和区域普通地图两部分，共有地图 173 页，单面印刷，另附地名索引一册。

日本国家地图集(日本国势地图帐)由日本建设省国土院编辑，1977 年初版，1978 年第二版，卷首有内阁总理大臣福田赳夫签署的献辞。该图集为巨型国家地图集，图集作者以大量的统计资料为依据，运用多种表示手段，采用各种图型，系统地展示了日本的自然条件、经济情势和社会概貌，内容丰富，设计完整，制作精细，为国家地图集中的优秀作品。图集由 15 大类的 83 个图组及两部分索引组成，共有选题 216 个，地图约 300 幅，其中经济和社会文化两大类的选题十分丰富，比美国国家地图集的内容丰富得多，反映了日本在经济与社会文化领域中作了大量广泛而深入的统计工作，也反映了日本经济发展水平和资料的研究深度，各种统计图法应用也相当广泛，特别是较多的应用三角形图表法，表示了社会经济现象的结构和发展趋势。该图集是研究日本国情的重要参考资料。

加拿大国家地图集 (The National Atlas of Canada) 由加拿大能源、矿产资源和情报部编制。全图集共有各种比例尺地图 207 页，占总数的 81.5%，文字说明和附表 47 页，占 18.5%，是一本全面介绍加拿大自然和社会经济情况的综合性地图集。该图集分 7 个部分：自然环境、国家勘测、人口及居民地、教育语言、经济地理、人口分区调查、图集的参考文献目录。该图集的选题既简练又详细，重点突出，表示方法灵活多样，各种视觉变量运用得当，以少量符号表达丰富内容，设色不拘惯例，只求明了易读。其他各类地图的表示法均各有特色，含有较丰富的信息量。

瑞士国家地图集 (Atlas der Schweiz) 由瑞士著名地图学家 E. 英霍夫主编，瑞士政府委托联邦地形测量局出版社出版，由 1965 年开始，1978 年完成，前后历时 14 年。该图集盒式散装，共 86 个图幅，瑞士联邦总统 H.P. Tschudi 为图集撰写了前言。图集内容按专题分为十一大类：地形和政区，自然，历史，人口，居民地，农业林业经济和土地改良，地下资源与农源生产，工业、商业、旅游业，交通，教育，自然区。全图集内容翔实，表现生动，不仅反映了山国瑞士独特的风格，而且也显示出编者在地貌制图方面的造诣。该图集设计讲究、风格细腻、印制精美，将严谨的科学内容和完美的艺术形式结合起来，是国家地图集的成功之作。

美国国家地图集 (The National Atlas of the United States of America) 是由美国内政部地质调查局与 80 多个有关单位合作编制出版的一

部大型国家地图集。从 50 年代初开始设计到 1970 年问世，前后经历十余年。该图介绍了美国的自然条件、经济状况、社会面貌、政体特点及其历史发展概况，是一部全面反映和显示美国国情的大型地图作品，美国总统尼克松在卷首为图集签署了献辞。该图集收地图 765 幅，合 335 页。图集分两部分：普通图与专题图。为便于阅读，图集附有三组读图用政区界、地势水系和居民地注记的透明胶片。该图集的资料有重要参考价值。

上述只是这一期间外国出版的地图集中的一小部分，但论其规模与成就也足以反映 20 世纪掀起的编制地图集的浪潮。我国在 1937 年出版了代表当时地图科学水平的《申报馆地图集》，1965 年以后陆续出版了《中华人民共和国自然地图集》、《地质图集》、《水文地质、工程地质图集》、《气候图集》、《水文图集》、《中华人民共和国地图集》、《中国自然地理图集》、《世界地图集》、《非洲地图集》、《中国老年人口地图集》、《中国肿瘤图集》、《中国人口图集》等等。省区地图集的出版也如雨后春笋，如苏联在这期间出版了十多部加盟共和国和自治州地图集，美国出版几十部县区的土地资源地图集，联邦德国出版了十几个州的地图集。奥地利出版了五个区地图集。我国近 30 年来，已有近 25 个省、市、自治区编制出版 30 余部地图集，有的省除普通地图集或综合地图集外，还编制了经济地图集、自然地图集、人口地图集、历史地图集、农业区划地图集、环境质量评价图集等。可见专题地图与地图集的编制，是现代地图科学发展的特点之一。

三、计算机辅助制图和遥感资料制图

现代地图的另一个特点是引进新技术与新理论而发展起来的计算机辅助制图和遥感资料制图。

从 1957 年苏联第一颗人造地球卫星发射成功和 1960 年美国卫星遥感资料回收成功以后，开始进入了一个卫星遥感资料制图的新时期。美国、苏联、法国、日本等先后发射了地球资源卫星、海洋卫星、气象卫星，以及天空实验室、自动星际站、宇宙飞船等，发回了大量遥感图象与数据，空间分辨率可以达到 10 米。对于陆地资源探测、全球海洋动力学研究和天气预报以及各种物理现象研究等，都提供了很有价值的资料。

我国幅员广大，资源丰富，自然环境复杂，不少地区人烟稀少，交通困难，长期以来资源情况不清，因此遥感技术应用于上述探测与制图前景广阔。70 年代以来，我国卫星遥感技术有了迅猛发展。1970 年以来，先后发射成功 19 颗人造卫星，其中 9 颗科学技术和实验卫星，1975 年 11 月我国发射的卫星在正常运行之后按计划返回地球，获得良好的图象。1978 年发射的“尖兵一号”卫星专门用于科学考察，带回丰富的遥感资料。1985 年 10 月，我国成功发射并回收科学探测和技术实验卫星，以国土资源调查为主要目的，提供的黑白和彩色红外象片，很受用户重视。我国的遥感卫星地面站已于 1986 年 12 月建成，大量接收卫星遥感信息。资源卫星所提供的地球上陆地、海洋和大气的遥感图象和数据，对地图科学产生了多方面影响，开拓了更新与编制地图的资料新来源。美国用卫星遥感资料只一年时间就更新了拉丁美洲 1:100 万地图，英国只用 9 个月时间编制了南极大陆 1:100 万地图和基底地质图，并更新了土地利用图，中国也用之编制西藏 1:150 万地质图和 1:500 万亚洲地质图，以及 1:50 万山西省农业自然条件系列图、陆地卫星影

象中国地学分析图集、吉林省陆地卫星影象图集。1967年美国阿波罗卫星还完成了月球表面测绘，编制了1:100万月球地形图和地质图，现在正在进行太阳系行星的探测，已经编绘了火星地质图，开辟了空间制图的新领域。

关于计算机辅助制图，是60年代将计算机技术用于制图以后开始的。由于电子计算机的出现和信息理论的发展，在技术上和理论上为计算机辅助制图的实现开辟了可能的前景。计算机辅助制图经历了理论探讨、装备试制、形成系统等阶段，在一些先进国家已从实验阶段逐步过渡到生产阶段。1957年英国应用机助制图编制了红海亚丁湾等深线图。美国、英国和瑞典等国在60年代对本国的大、中比例尺地图进行了数字化，并加以储存。日本和瑞士在70年代初进行了社会经济统计数据计算和制图。只用3—4个月新编制了近200幅统计地图，而且能够做到及时更新，随时反映国民经济形势的动态变化。现在技术先进的国家，已将计算机辅助制图应用到海洋、气象、水文、地质、土地利用、地球物理、宇宙航行、测绘、自然资源及社会经济制图中了。

我国地图工作者，从60年代就开始了机助制图研究。70年代进入系统化研究并研制成基本的机助制图设备，投入生产。近年来，机助制图软件研制成绩显著，设计了许多基本制图程序和专题制图软件系统，开始运用于制图生产，如《天津环境质量地图集》、《中国人口地图集》等的编制，都取得了很好的成果。目前正在进一步建立地理信息自动分析与制图系统和地图数据库，加速软件开发。可以看出我国机助制图已进入了一个新的发展阶段。

四、现代地图学的理论研究

某一学科的发展在很大程度上决定于它的基本理论的发展。随着现代科学技术的进步和学科间的相互渗透，使原有理论发展了，又产生出一些新的理论，地图学也是如此。随着现代科学技术的引进，原有的地图学理论——地图投影理论、地图概括理论、综合制图理论有了新的发展，同时又产生了新的理论——地图信息论、地图信息传输论、地图感受论、地图符号论、地图模型论等。1. 地图信息论是专门研究地图信息的交换、表达和利用的理论。它着重研究地图图形的显示、转换、传递、存贮、处理和利用等方面的技术与理论问题。地图是空间信息图形表达的一种形式，也是空间信息的载体，是存贮、传递和科学分析的重要手段。其优点是便于对空间信息的感受和易于对空间信息的相互联系进行分析。地图信息可以分为直接信息和间接信息两种，直接信息是接受者由读图直接获得的；间接信息是接受者通过对地图的分析获得的。间接信息包括通过分析所获得的有关要素的分布结构规律、区域差异的信息和通过量算所获得的数据信息。计算机地图制图过程，就是利用电子计算机对数字形式的地图信息进行输入、处理和输出的过程。因此，地图信息论可以作为计算机地图制图的理论基础，而计算机制图又为大量快速处理地图信息提供了手段。

地图信息论不同于数学信息论。数学信息论是从数学方面来研究信息的存贮、处理和传递的过程，是由要求改善信息传递而产生的，其目的在于阐述信息的编码、译码、传递的速度和可靠性。数学信息论认为输出信息等于或小于输入的信息。相反，具有时空信息特征的地图信息的输入与输出之间不是线性的关系。地图读者在阅读一幅地图，一眼就能看到其全体，然后着

手其部分进行分析，在分析时注意时间上的连续性及其与周围事物的内在联系性，因此，用图者利用地图所获得信息可能会超出编图时所采用的信息，也就是它的输出信息大于输入信息。数学信息论中，信息熵是用来度量信息传递的不定度的，但是，信息熵在地图学中是用来解决肯定性的问题，如用来确定全部地图的相似性和现象的相互一致性、以及信息量的正式计算等。

2. 地图信息转输论是研究地图信息传递过程与方法的理论。地图信息传递的基本过程是：客观事物（制图对象）通过制图者的认识，形成概念，再通过地图符号（地图语言）变成地图，又通过地图符号（地图语言）传递给用图者，使用图者形成对客观事物的概念。地图信息传递地图制图信息 I_c 的传输系统就是把制图与用图视为信息传递的统一过程。编图的目的就是为了把信息传递给用图者，因此，编图者应考虑用图者的需要，研究地图信息传递的效果（图 8-24）。

3. 地图感受论是研究地图视觉感受的基本过程和特点，分析用图者对图象感受的心理物理因素和地图感受的效果。读图者的视觉反映一般经过三个过程：物理刺激过程是读图者的眼睛从地图上的颜色和符号接受反射的光波；生理上的变化过程是读图者视神经受刺激后反映给大脑；心理上的活动是读图者的大脑接收视网膜上的符号、颜色和图形，经过思维活动来解译图象，认识客观世界。不同符号及其组合对人们的视觉感受效果不同，读图者的年龄、知识水平的不同，他们的视觉感受过程和特点也不同。通过对地图图形的感受特点的研究，为地图整饰提供理论依据，改变目前地图整饰设计主要依靠编图者经验的状况，进一步提高地图的表达力，使地图有一个最好的传递效果。

4. 地图符号论是研究作为地图语言的地图符号系统及其特性与使用的理论。它是用一般的符号原理来研究地图符号，为地图符号设计和表示提供了一个有用的基础。目前地图符号论的研究主要包括：地图符号关系学。它研究地图符号的结构及其形成系统的规律和特性。符号系统的各种符号既要有联系，又要有差别，形成一个完整的符号系统，即研究符号与符号之间的关系。地图符号语义学。它研究地图符号和制图要素之间的相互关系，例如根据符号的位置、形状、大小、组成或根据符号的密度和结构来确定符号的含义。地图符号系统应保证能反映地图所要表示和识别的生物地理信息内容，消除影响符号系统表达的干扰。地图符号的效用。它是研究符号与使用者之间关系的理论。地图符号系统应能快速感受，易于记忆，能为广大读者所接受，同时也应研究由这些符号所构成的地图的感受效果，并注意对用图者的地图语言训练。上述研究内容，可概括为地图符号学的句法、语义的应用，其实质就是研究符号与符号间的关系、符号与表示对象之间的关系、符号与使用者的关系。法国地图学家贝尔廷（Bertin）较早提出了图形符号学理论，并为地图学提供一些图形表达理论，为视觉感受构成了一种图形语言，能直接用于地图设计。

5. 地图模型论是把地图作为一种模型来看待，并用模型法来解释地图制作和应用的理论。它研究建立再现客观实际的形象符号模型——地图经过地图图形模型再建立图形数学模型和数字模型，用它来研究地图制作和应用自动化的理论问题。

上述理论研究是现代地图学理论的重要部分，对传统地图学的基本概念

给予了极大影响。在伟大变革的时代，在高技术飞速发展的今天，各个学科都要重新定向，并沿着新的学科交接线发展。地图学也正进入一个边缘学科的时代，这就要求我们在一个信息系统范围内使传统的地图学来一个新的改革，以便在这个变革时期，能在模拟领域和数字领域之间自由活动。

地图历史告诉我们，地图与地图学的发展，过去是比较缓慢的，只是在现代由于社会生产发展的需要，特别是把电子计算机和宇航成果等应用到地图的生产和研究中来以后，地图与地图学的发展速度才大大加快了，而且展示出了地图拥有巨大的功能潜力，展示出了地图学理论体系的新变革，展示出了它的生产与现代科学技术结合的前景，展示出了地图新品种和新内容的迅速增多。

[实习] 讨论地图与地图学的发展前景

一、目的要求

通过讨论熟悉地图与地图学的发展历程，并初步掌握预测发展前景的方法。

二、方法

在有充分准备的前题下按下列次序进行讨论：

- (一) 理清地图与地图学发展的脉络；
- (二) 分析现代地图的特点和地图学理论研究的趋势；
- (三) 从地图功用的实质结合现代科技发展及社会经济需要，预测发展前景。

复习思考题

1. 中国古代地图、近代地图和现代地图，都有哪些代表性作品？各时期的特点是什么？
2. 中国古代的地图学家都有哪些人？他们的贡献是什么？
3. 外国地图学家在不同历史时期都有哪些人？他们的贡献是什么？
4. 现代地图学的理论是什么？其主要内容如何？
5. 举出五种具有代表性的地图集，其特点如何？
6. 怎样认识地图与地图学的发展前景？

