

测 绘 出 版 社

制图综合

弗·特普费尔 著

江 安 宁 译

范小林 李道义 校

制图综合

弗·特普费尔 著

江安宁 译

范小林 李道义 校

测绘出版社

内 容 简 介

本书用数学方法,从理论和实践上全面研究了地图设计和地物选取、形状化简、合并、移位、质量转换等制图综合的全部内容,同时也讨论了制图自动化的一些问题。全书共分五章并附若干插图、表格,可供地图制图科研、生产人员、院校地图制图专业师生参考。

Friedrich Töpfer
Kartographische Generalisierung
VEB Hermann Haack
Geographisch-Kartographische Anstalt Gotha/Leipzig 1974

制 图 综 合

弗·特普费尔 著
江 安 宁 译
范小林 李道义 校

*

测绘出版社出版
国防科委印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本787×1092 1/16·印张15¹/₄·字数393千字
1982年7月第一版·1982年7月第一次印刷
印数1—5,800册·定价2.05元
统一书号: 15039·新 206

前 言

许多世纪以来,地图制图学的任务就在于制作完整而正确地表示地球表面的地图。地图应当尽可能精确、完整和美观。由于缺少足够的地形测量和地形图,地图用户不得不像制图工作者一样设法自己去获取最多的参考资料。尽管目前在各领域和各项任务中,这种制图工作仍然是必要的、有意义的,但是另一种基本倾向业已成为主流。当前,在许多领域和各项工作中,新的地形测量和统计调查等需要具有尽可能高的精确性和完整性。由于负载量过大的地图很难阅读,所以应根据用途制作精确、完整而美观的地图,并且应当尽可能直观和具有说服力。这样,地图设计和制图综合问题便成为实用制图学和理论制图学研究的重点。

“综合”的概念源于拉丁文“generalis”(意即一般的),在地图制图中,图形和内容的化简与合并、选取和强调主要内容,舍去和压缩次要内容等方式,均可理解为制图综合,利用综合措施可将有差别的、详细的地面情况概括地表示到地图上。制图综合措施的种类和适用范围,视地图的用途和比例尺而定(参见图6-6)。在特定地区内,所有地物和现象或某一专题要素的实况,概括其全部重要性的过程从确定表示对象即拟定编图大纲开始,直到完成编绘原图为止。在编辑准备阶段,需要对表示对象和相应的表示方法进行必要的分析,确定地图的内容、整饰方法和综合程度。选取题材、制定符号和综合细则是制图综合的重要依据。

根据现有较大比例尺地图编绘接续比例尺地图时,制图综合的重要性是显而易见的。除了基本比例尺地图以外,所有其他地形图、地区图以及各种专题图(全部或部分)都是根据现有地图编绘的。此时,要根据缩小的比例、易读性和用途,通过地物选取、形状化简、合并、质量转换和移位等制图综合措施,对起始地图所表示的实况进行概括。

制作基本比例尺地图的原图时,原始资料实际上就是航空像片,或者只是根据统计调查或地形测量和其他地面测量获得的各点观测值。这里,制图综合取决于测点的选择和测点的密度以及获取地物的精度。因此,制作基本比例尺地形图时,通常由地形测量员或摄影测量员进行综合,而制作专题地图时,则由各专业的专家或学者进行综合。

广义地讲,制作地图时,编辑人员、制图人员、地形测量员和专家为了对实况进行概括需要采用的全部措施,均属于制图综合范畴。从狭义上说,编图人员在编绘稿图、原图或出版原图时,特别是编绘接续比例尺地图时所采用的每一种措施均可理解为制图综合。由于制图综合对地图生产具有重要意义,所以,各种综合措施就是本书所讨论的主题。

不同类型的地图反映了制图综合问题的多样性。因此,长期以来有这样一种见解,即由于缺乏规律性(实际上是尚未认识到!),制图综合必须依靠特别有才能的制图人员的个人技能。现代科学致力于把数学方法和程序设计用于认识制图综合的规律性,这里一方面包括应表示的地物和现象,另一方面也包括制图过程。这种认识便是应用规律性改进地图本身及其制作方法的出发点。如同在其他科学领域内一样,数学公式和数学方法在制图领域中不断获得肯定的意义,并将作为制图自动化的基础,所以制图自动化在本书中也占有重要地位。

目 录

1. 地图设计和制图综合的数学基础.....	(1)
1.1 地图比例尺	(1)
1.1.1 基本公式的定义	(1)
1.1.2 依比例尺表示的限度	(2)
1.1.3 根据可表示性选择比例尺	(3)
1.2 开方根规律	(5)
1.2.1 直接开方根规律	(5)
1.2.1.1 其他直接开方根规律的研究	(6)
1.2.1.2 经验常数的确定	(7)
1.2.2 实地尺度规律	(8)
1.2.3 地图尺度规律	(9)
1.2.3.1 线状地图尺度规律	(9)
1.2.3.2 面状地图尺度规律	(11)
1.2.4 选取规律	(12)
1.2.4.1 简单选取规律	(12)
1.2.4.2 选取规律中对图式符号的考虑	(14)
1.2.4.3 选取指标的确定	(15)
1.2.4.4 符号系数的确定和实用公式	(17)
1.3 开方根规律公式的通式	(19)
1.3.1 概论	(19)
1.3.2 实地尺度规律的通式	(21)
1.3.2.1 经验系数的确定	(22)
1.3.2.2 其他等高距函数的确定	(23)
1.3.3 重要性系数	(25)
1.3.4 地图尺度规律的通式	(26)
1.3.5 选取规律的通式	(27)
1.3.5.1 图面上单位面积地物数量的换算	(27)
1.3.5.2 相等的图面密度和实地密度	(29)
1.3.5.3 选取级系统	(30)
1.3.5.4 选取级的标准顺序	(31)
1.3.5.5 一览用途和基本用途	(32)
1.3.5.6 选取规律和选取级的计算	(33)
1.3.5.7 重要性变化的计算	(35)
1.4 面积比	(36)
1.4.1 原理	(36)

1.4.2	制作编绘原图时面积比的保持	(37)
1.4.2.1	图面符号尺寸的计算	(37)
1.4.2.2	已知符号尺寸计算选取指标	(38)
1.4.2.3	保持面积比的统计地图	(39)
1.4.3	接续比例尺地图上面积比的保持	(40)
1.5	地图负载量	(41)
1.5.1	信息量	(41)
1.5.1.1	信息的尺度单位	(43)
1.5.1.2	符号的信息含量	(44)
1.5.1.3	直接信息量	(44)
1.5.2	地图负载量标准	(45)
1.5.2.1	数值负载量(地物数)	(45)
1.5.2.2	符号量	(47)
1.5.2.3	地图的图解负载量	(47)
1.5.2.4	地图的视觉负载量	(49)
1.5.3	按负载量进行地图设计	(49)
1.5.3.1	地图负载量的检验与选择	(50)
1.5.3.2	图式符号的确定	(51)
1.5.3.3	地物数量的计算, 密度标准	(53)
1.5.3.4	线状符号的公式	(54)
1.5.3.5	比例尺的选择	(55)
1.5.4	接续比例尺地图的负载量	(55)
1.5.4.1	地图负载量等级	(55)
1.5.4.2	选取指标和符号尺寸的确定	(56)
1.5.4.3	郊区居民地示例	(57)
1.6	数值比	(59)
1.6.1	与面积成正比的数值比	(59)
1.6.1.1	符号尺度的计算	(59)
1.6.1.2	根据规定的符号尺度确定数值比	(60)
1.6.1.3	根据地图负载量确定数值比	(61)
1.6.2	与面积不成正比的数值比	(62)
1.6.2.1	平均值的考虑	(63)
1.6.2.2	用图解法确定数值比	(64)
1.6.3	分区统计地图	(65)
1.6.4	面积法统计地图	(65)
1.6.5	点描法	(68)
2.	表示对象的数理统计分析	(70)
2.1	根据样本计算和评价平均值	(70)
2.1.1	平均值的确定	(71)

2.1.2	离散度	(73)
2.1.3	置信区间	(73)
2.1.4	选取指标的检验	(74)
2.1.5	所需样本容量的确定	(75)
2.2	分布函数的确定和检验	(75)
2.2.1	经验分布的确定	(76)
2.2.2	正态分布	(79)
2.2.3	指数分布	(80)
2.2.4	分布的检验	(82)
2.3	河网指数分布的应用	(84)
2.3.1	完整性的判断	(84)
2.3.2	河流密度的保持	(85)
2.3.3	取决于景观的最小长度的确定	(86)
2.4	表意分级值的确定	(87)
2.4.1	基本设想	(88)
2.4.2	频率曲线的解译	(89)
2.4.3	频率和的曲线处理	(90)
2.4.4	频率和的曲线及分级值的检验	(91)
2.5	类型分析	(93)
2.6	相关性检验	(95)
2.6.1	相关性的检验	(97)
2.6.2	回归直线的获得和评价	(97)
3.	制图综合的编辑准备	(100)
3.1	客观依据与分析	(100)
3.1.1	地图用途	(100)
3.1.2	表示对象	(100)
3.1.2.1	地理环境因素	(101)
3.1.2.2	地物和现象的系统	(101)
3.1.2.3	地物的特征	(102)
3.1.2.4	表示对象的三种等级	(103)
3.1.2.5	景观单元的分析	(103)
3.1.3	表示方法	(104)
3.1.3.1	轮廓符号	(105)
3.1.3.2	符号	(105)
3.1.4	原始资料	(105)
3.1.4.1	分析起始地图的重点	(106)
3.1.4.2	为确定选取指标分析原始资料	(106)
3.2	制图综合的目的	(107)
3.2.1	精度和直观性	(108)

3.2.2	完整性原则	(110)
3.2.3	景观特征的保持	(110)
3.2.4	制图综合的协调一致	(111)
3.3	编辑制图综合措施	(112)
3.3.1	题材选取	(112)
3.3.2	数量特征的概括	(113)
3.3.3	概念综合	(114)
3.3.3.1	顺序等级地物的概括	(114)
3.3.3.2	质量等级地物的概括	(115)
3.3.3.3	概念数目的减小	(116)
3.4	制图综合规则的制定	(118)
3.4.1	明确制图任务	(118)
3.4.2	地物分析	(118)
3.4.3	图式符号的制定	(119)
3.4.4	综合方法的确定	(120)
3.4.5	线性分界尺度的确定	(120)
3.4.6	综合细则的制定	(122)
4.	制图综合方法	(124)
4.1	选取方法	(124)
4.1.1	按最小尺寸选取	(124)
4.1.1.1	按最小尺寸无条件选取	(124)
4.1.1.2	分界尺度的种类	(125)
4.1.1.3	按最小尺寸有条件选取	(126)
4.1.2	按地物数量选取	(127)
4.1.2.1	按选取指标综合	(127)
4.1.2.2	按密度指标选取	(128)
4.1.2.3	按地物综合区选取	(129)
4.1.2.4	选取规律在地物综合区的应用	(130)
4.1.2.5	按控制数选取	(131)
4.1.3	组合选取法	(133)
4.1.4	各种选取方法的比较	(134)
4.2	形状化简方法	(136)
4.2.1	按最小尺寸化简形状	(136)
4.2.2	形状化简的具体方法	(137)
4.2.3	按选取规律化简形状	(139)
4.2.3.1	形状化简的实用公式	(140)
4.2.3.2	制图综合时对图式符号的考虑	(141)
4.2.4	根据平均值化简形状	(142)
4.2.4.1	选取角点和求平均值	(142)

4.2.4.2	按滑动加权平均值平滑曲线	(142)
4.2.4.3	滑动加权平均值的选择	(143)
4.3	合并	(145)
4.4	质量转换	(146)
4.4.1	图形质量的转换	(146)
4.4.1.1	地物质量的图形分级	(146)
4.4.1.2	由轮廓图形转换成符号	(148)
4.4.2	地物质量的转换	(148)
4.4.2.1	转换为地物综合区	(149)
4.4.2.2	由概念综合引起的质量转换	(149)
4.4.2.3	其他类型的质量转换	(149)
4.4.3	根据分界尺度采用地图符号	(150)
4.4.3.1	根据实地尺度采用地图符号	(150)
4.4.3.2	根据地图尺度采用地图符号	(151)
4.5	移位	(152)
4.5.1	简单移位	(152)
4.5.2	均匀移位	(154)
4.5.3	保持相对位置	(155)
4.6	制图综合措施的实施	(156)
4.6.1	制图综合措施的基本过程	(157)
4.6.2	综合措施的总效果	(158)
4.6.3	多种比例尺的刻图综合	(158)
5.	综合示例	(160)
5.1	水系综合	(160)
5.1.1	水系的选取指标	(160)
5.1.2	按最小尺寸综合沟渠系统	(161)
5.1.3	按选取指标综合沟渠系统	(162)
5.2	面状地物和现象的制图综合	(164)
5.2.1	周围面积的影响	(164)
5.2.2	森林面积的制图综合	(165)
5.2.2.1	按最小尺寸和选取指标进行综合	(165)
5.2.2.2	夸大面积、减少面积、保持面积不变的三种综合措施	(166)
5.2.3	按行政单位表示面积覆盖现象	(167)
5.2.4	地质构造的制图综合	(168)
5.2.5	按命题条件合并面积	(169)
5.3	连续统一体的制图综合	(172)
5.3.1	等值线综合的地形基础	(172)
5.3.2	等值线的分级值	(173)
5.3.3	线性内插和与地形有关的内插	(174)

5.3.4	展绘等值线应用得最多的方法	(176)
5.3.5	按平均值变化编图	(177)
5.3.6	数值点的合并和数值点的平均值	(178)
5.3.7	用滑动加权平均值平滑数值变化	(179)
5.3.8	接续比例尺地图上等值线的综合	(179)
5.4	地物系统的制图综合	(180)
5.4.1	按地物类别综合	(181)
5.4.2	街道网和道路网的综合	(181)
5.4.3	居民地轮廓的综合	(182)
5.4.4	中学地图集中褐煤区的表示	(184)
5.4.5	地图集的设计方案	(185)
6.	附件	(187)
6.1	图表	(187)
6.2	辅助表格	(223)
6.2.1	信息计算表	(223)
6.2.2	频率分析表	(224)
6.2.3	其他辅助表格	(227)
参考文献		(228)
词目		(234)

1. 地图设计和制图综合的数学基础

1.1 地图比例尺

1.1.1 基本公式的定义

地图比例尺就是图上所表示的地区和地物对应于实地的线性缩小比例, 可用下式定义:

图上长度:实地长度=1:比例尺分母

$$1:L=1:M \quad (1)$$

$$L=1 \times M \quad (2)$$

$$1=\frac{L}{M} \quad (3)$$

根据(2)式, 长度 L 表示的实地距离, 在比例尺为 $1:M$ 的地图上依比例尺表示时, 长度为 1 。由所给定的图上长度 1 , 根据(3)式求得实地长度 L 。

(1)式表示地图的长度比例尺或线性比例尺。由这种比例尺可得出地图的“面积比例尺”:

图上面积:实地面积=1: M^2

$$f:F=1:M^2 \quad (4)$$

$$f=\frac{F}{M^2} \quad (5)$$

(5)式对各种形状(圆形、三角形、不规则图形)的轮廓面积都适用, 并能给出依地图比例尺缩小的面积。

为了比较 $1:M_A$ 和 $1:M_F$ 两种比例尺地图上依比例尺表示的同一地物, 根据(2)式得:

$$L=l_F \times M_F=l_A \times M_A$$

$$l_F=l_A \cdot \frac{M_A}{M_F} \quad (6)$$

(6)式适用于长度比例尺或线性比例尺。它表示由一种较大的地图比例尺转换成较小比例尺时长度的换算。就面积或面状地图尺度来说, 由(5)式类似地得出面积换算公式:

$$f_F=f_A \left(\frac{M_A}{M_F} \right)^2 \quad (7)$$

对于在比例尺为 $1:M_A$ 的地图上, 面积为 f_A 的任意形状的全部地物来说, 根据(7)式可以立即算出面积 f_F , f_F 是比例尺为 $1:M_F$ 的地图上依比例尺表示的每一地物的面积。

(6)和(7)两式可用于任意一对比例尺。根据现有的起始比例尺 $1:M_A$ 的地图编绘接续比例尺 $1:M_F$ 的地图时, 它们具有特别重要的意义。

在地图平面上描绘弯曲的地球表面, 总是具有变形的。因为, 每种变形都表示为比例尺发生变化, 所以, 地图的比例尺与地图投影有关。对于地图投影, 已经研究出许多公式。这些公式构成地图设计和制图综合的复杂数学基础, 这里对此不作进一步论述。比例尺很小的

地图（表示地球大部分或全球）有明显的变形，因而没有一致的地图比例尺。由于往往同时编绘比例尺几乎相同的某些局部地区的地图，因此制图综合时必须考虑到这种情况。地图比例尺较大时，变形小于绘图精度。因此，上述公式不仅适用于表示单个地物的轮廓，而且适用于较大区域和整个图幅。

表1-1 长度和面积的图上尺寸和实地尺寸

l, f M	1 毫米 (米)	1 毫米	1 分米 (公里)	1 平方毫米 (平方米)	1 平方分米 (平方公里)
1 000	1	1米	10^{-1}	1	10^{-3}
10 000	10	10米	1	10^2	1
100 000	10^2	100米	10	10^4	10^2
1 000 000	10^3	1公里	10^2	10^6	10^4
10 000 000	10^4	10公里	10^3	10^8	10^6
100 000 000	10^5	100公里	10^4	10^{10}	10^8

1.1.2 依比例尺表示的限度

地图比例尺对于地物的图形有一定的限度。例如，面积为1平方公里的湖泊，在1:1 000 000比例尺地图上是可以表示的，因为按照这种比例尺，其面积在图上仍占1平方毫米。经过面积换算，该湖泊的面积在1:2 000 000比例尺地图上已经缩小为0.25平方毫米。这里，依比例尺表示岸线和对水面进行普染就成问题了。为了保证易读性，制图人员可以把湖泊稍微放大一点，或者改用其他符号表示，例如改用蓝点符号表示。如果这些方法都不符合地图用途的要求，便可以说：在这种比例尺或更小比例尺的地图上，该湖泊不再能表示出；该种地图比例尺不再容许依比例表示，即不允许再依正确的比例表示地物的实地轮廓。

湖泊的例子说明，依比例尺表示的限度不仅与地图比例尺和地物轮廓的大小有关，而且与事先安排的表示方法有关，用蓝、黑或其他各种色调表示，比用轮廓线加网线（或填充符号）更能依比例地表示较小而重要的地物轮廓。网线的精细度和符号的大小影响地物轮廓的可表示性。符号的精细度、易读性要求和需要采用的表示方法均由地图用途决定，并且可以是不同的。因此，没有一个依比例尺表示的绝对限度，而只有与一定地图用途有关的依比例尺表示的限度。按照这种观点，如果推导出适合地图用途的图上地物轮廓的最小面积 f_0 ，便可以用（5）式检验：在比例尺为1:M的地图上仍可依比例尺表示那些实地轮廓的面积F。如果超过依比例尺表示的轮廓图形的限度，便可改用符号图形的话，那么地物的可表示性问题仍然没有得到解决。

表示线状地物（河流、铁路等）时，主要是依比例尺表示其长度和弯曲。像表示其他地物时一样，在这里，利用（2）式和（3）式能容易地检验长度的可表示性。

另一个特殊例子是，对于中等山地来说，应计算出这样的等高距，即表示45°斜坡的等高线应保持 $w=0.2$ 毫米的最小水平间距。

根据所要求的等高线水平间距（实地上 $W=w \times M$ ），利用 $\tan 45^\circ=1.0$ 得出等高距Z（等高线在实地上的垂直距离）：

$$Z=w \times M \times \tan \alpha=0.2 \times M \quad (8)$$

M=	500	Z=	10厘米
	5000		1米
	50 000		10米
	500 000		100米
	5 000 000		1000米
	50 000 000		10 000米

对于各种比例尺的地图来说, 0.2 毫米的最小间距乃是易读的、依比例尺表示等高线的限度。此外, 对于这里着重研究的地图比例尺来说, 结果是不能令人满意的。只是在 1:50 000 比例尺地图上达到了实际一般中等山地的等高距。对于较大比例尺地图得到的等高距嫌太小, 而对于较小比例尺地图得到的等高距又嫌太大。显然, 只能在一定情况下, 才可完全应用比例尺表示的限度和由地图比例尺所给定的数学关系。在其他情况下, 地图设计的其他规律性是有效的, 这将在后面的章节中进一步详细论述。

1.1.3 根据可表示性选择比例尺

选择地图比例尺要考虑到, 能按符合用途的图解质量表示需要描绘的地区、地物和现象。此外, 还可以分别地或综合地考虑以下条件。

在《岛屿地图》中, 区域或幅面的条件颇属重要, 必须用一个图幅表示完整的、不规则的区域(一个洲、一个国家等)。根据地图比例尺来看, 面积 f_G 的不规则区域与矩形的纸张规格要互相对应 (f_p 是包括图廓在内的地图图幅的总面积)。K. A 萨里谢夫在分析国家地图集时发现, 区域面积 f_G 平均占地图图幅总面积 f_p 的 32% [参考文献 73]。在图集中表示一个国家的实地面积 f_G (平方公里), 若事前准备好一定规格的纸张, 则根据 (5) 式, 取 $f_G = 0.32 \times f_p$, 就能求出所需的比例尺分母:

$$M = \sqrt{\frac{F_G}{f_G}} = \sqrt{\frac{F_G}{0.32f_p}} \quad (9)$$

因为, 根据 K. A 萨里谢夫的看法 [参考文献 73], 40×60 厘米 ($f_p = 2400$ 平方厘米) 至 50×70 厘米 ($f_p = 3500$ 平方厘米) 的幅面适用于国家地图集, 所以可按下述条件,

$$3000\sqrt{F_G} < M < 3600\sqrt{F_G} \quad (10)$$

求出国家地图集、区域地图集和其他类似地图集的地图比例尺。 F_G 用平方公里表示。

参考单元应具有足够大的面积, 也是选择统计地图和普通地图比例尺的一个条件。尤其是表示与行政单位有关系的统计数据时, 这一点是很重要的。参考单元面积必需具有的尺寸, 要根据准备采用的表示方法确定。采用面积法时, 最小的参考单元至少为 10 或 25 平方毫米。如果在参考单元面积内部可表示直径为 3 厘米的图解符号, 那么平均参考单元面积不应小于 10 平方厘米。必须根据表示方法求出面积 f_i , 对于实地面积 F_i 为最小的、中等的或最大的参考单元来说, f_i 是图上必需具有的尺寸。然后, 再根据 (5) 式求出适宜的地图比例尺:

$$M = \sqrt{\frac{F_i}{f_i}} \quad (11)$$

一般说来, 地物轮廓的可表示性是表示面状地物时选择比例尺的又一个条件。根据地图易读性的要求, 若实地上轮廓面积为 F_i 的地物能保持图上的面积为 f_i , 则地图比例尺必须满足 (11) 式的条件。

表示点状地物时，地物的密度决定着它的可表示性。地物密度的标准就是单位面积的地物数量和地物间的平均距离。根据排列的形式（三角形、六角形等）可以求出这两种标准之间的相互关系。最容易处理的排列形式是正方形格网。正如图 1-1a) 右下方所表示的，每四个点构成一个边长为 a 的正方形。因为每个点与四个最邻近点的距离均为 a ，所以 a 相当于相邻点状地物的平均距离。在图 1-1a) 中，点都位于方格中心。方格的边长均为 a ，故面积 $f' = a^2$ 。 f' 被视为一个点的表征面积。试验区 f_G 的全部面积由 n 个表征面积组成并含有 n 个点。

因此得有：

$$f_G = n \times f' = n \times a^2 \quad (12)$$

$$n = \frac{f_G}{a^2} \quad (13)$$

$$a = \sqrt{\frac{f_G}{n}} \quad (14)$$

在 $f_G = 3.0 \times 2.33 = 7$ 平方厘米的面积中含有 $n = 63$ 个点，图 1-1a)。由 (12) 式求得表征面积为 11.11 平方毫米，点间距离 $a = 3.33$ 毫米。

规则排列的点，可以当作随机排列之地物的模型。如果在给定区域 F_G 中有 n 个点状地物，则根据 (14) 式求得实地上的地物间的平均距离 $A = \sqrt{F_G/n}$ 。如果要制作一幅点状地物平均距离为 a' （例如，在地区地图中居民地之间的距离为 1 厘米）的地图，则得出地图的比例尺为：

$$M = \sqrt{\frac{F_G}{n \times a'^2}} = \frac{A}{a'} \quad (15)$$

表示线状地物时可以要求：实地长度为 L 的地物，图上应保持其长度为 l 。然后，根据 (1) 式求出地图比例尺。当线状地物（例如道路）呈网状分布时，地图比例尺的选择要重新根据地物密度确定，主要是根据网眼最小值或平均值来确定。图 1-1b) 的方格可作为一种模式，其中 a 为网眼边长，即 a 是相邻标准线的轴距。正如图 1-1c) 中所表明的，长度为 a 的两条线段属于一个网眼。在顾及 (13) 式的情况下，全部网线的长度之和为：

$$\sum l = 2 \times a \times n = 2 \times \frac{f_G}{a} \quad (16)$$

因此，也可以根据全部网线的长度之和以及区域的面积计算网眼的实地平均边长 A ，并且根据 (15) 式可以看出， A 是比例尺选择的基础。

$$A = \frac{2 \times F_G}{\sum L} \quad (17)$$

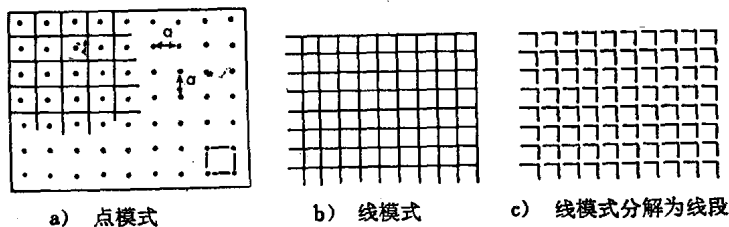


图1-1 方格网模式

1.2 开方根规律

研究地形图的制图综合规律时发现了开方根规律[见参考文献 89]。过去, 1:25 000(和部分 1:10 000) 比例尺的地形图是由地形测量员在实地测制的; 现在可以根据较大比例尺的地图在室内编绘。因为对于地形图来说, 根据实地的地形比在室内观察较大比例尺地图能更容易决定应当综合什么, 如何综合和综合到什么程度等问题。因此, 首先要研究最新的质量好的影像地图。研究表明, 很多综合措施取决于比例尺分母的开方根:

$$\sqrt{M}$$

考虑在各种情况下都能适用的几何关系, 便提出了所谓开方根规律的公式系统, 因为所有单个公式都是描述这种综合程度的。

开方根规律是地形测图的经验规律, 是地形多样性同地图可表示性之间的最佳解决方法。它来源于地图内容对人的作用的大小。

这一事实可通过以下论述来阐明。在 1:100 000 比例尺地形图上, 超过 3 毫米长的斜坡要予以表示。如果斜坡最大高度是长度的 $\frac{1}{20}$, 则在 1:100 000 比例尺地图上, 实地长 300 米高 15 米以上的斜坡都要表示出来。对于 1:100 000 比例尺地形图来说, 这种要求是恰当的。以此类推, 在 1:1000 比例尺地图上, 实地长 3 米高 15 厘米的斜坡全部要表示出。这样的斜坡到处都有, 然而, 将其绘入 1:1000 比例尺地图, 对于人的用处并不大, 致使由地图比例尺决定的可表示性在这里没有被利用。另一方面, 许多面积很小的地物(例如里程碑)根据地图比例尺看来, 不能表示出, 但是, 根据其意义还是应在地图上表示出来。

地物的重要性对于人和地图用途都具有这样的作用, 即可以部分地利用由地图比例尺所规定的公式来研究地图的可表示性、地图设计和制图综合等问题。在地物轮廓的等形变换、恰当化简、图形综合的范围内, 特别是对于地形图来说, 开方根规律是有效的。

1.2.1 直接开方根规律

研究地形图的基本比例尺表明, 与制图综合程度有关的制图方法是符合开方根规律的。也就是说, 开方根规律适用于与制图综合程度有关的制图数量标准 N:

$$N = K \times \sqrt{M} \quad (20)$$

N (实地尺度): 是与该要素、方法、地物等有关的数量标准;

K: 尺度常数;

M: 所研究之地图的比例尺分母。

例如, (20) 式适用于质量良好的平板仪测图的高程中误差:

$$m_h = K \times \sqrt{M}$$

对简单的平原地区来说, 分析同一地区的不同比例尺的平板仪测图, 得出:

$$K = 0.003 \text{ 米}$$

$$m_h = 0.003 \times \sqrt{M} (\text{米}) \quad (21)$$

表1-2中列出了由 (21) 式得出的几种地图比例尺的 m_h 值。这样, 开方根规律就为评价研究精度时所确定的高程中误差以及为确定地形图极限误差, 提供了良好依据。对于简单的平原地区 $K=1.0$ 米, 进行原图比例尺为 1:M 的平板仪测图时, 高程点之间的平均距离 s 为:

$$s = \sqrt{M} \text{ (米)} \quad (22)$$

所以，表 1-2 的中间一栏的凑整值就是高程点之间的平均距离的参考值。

早在 1937 年，O. V 格鲁贝尔 (Gruber) [参考文献 22] 就发表了这一公式：

$$M_B = K \times \sqrt{M_K} \quad (23)$$

为了用摄影测量方法制作比例尺为 $1:M_K$ 的地形图，曾根据这一公式选择航空像片的比例尺为 $1:M_B$ 。目前，在许多摄影测量学教科书中还载有这一公式。随着时间的推移，摄影测量仪器和方法的效率都有了提高，导致了常数 K 的增大（此处是尺寸放宽）。

这三个例子表明，通过常数 K 不仅了解了数量标准 N 的大小，而且了解了起数量标准作用的外部条件（地形特征、仪器效率等）。对于不同的外部条件（中山、平原等）要求采用不同的常数。常数的变化无损于直接开方根规律的有效性。

表 1-2 平原地区的高程中误差（以米为单位）

M	$\sqrt{M}$	m_h
2000	45	0.13
5000	71	0.21
10000	100	0.30
25000	158	0.45

1.2.1.1 其他直接开方根规律的研究

各种制图方法彼此之间是互相联系而又互相制约的。如果开方根规律对某一特定方法有效，那么便可以立即通过理论推导出其他方法的相应的开方根规律。

就东德 1964 年的规定而言，根据 M. 库施 (Kusch) 的文章 [参考文献 47]，(23) 式的常数 K 为 150。因此得有：

$$M_B = 150 \sqrt{M_K} \quad (24)$$

为了得到这种比例尺的航空像片，采用常角摄影机 ($f=0.2$ 米) 时，要求航高为：

$$H_g = f \times M_B = 0.2 \times M_B \text{ (米)}$$

将 (24) 式代入，得有：

$$H_g = 0.2 \times 150 \sqrt{M_K} = 30 \sqrt{M_K} \quad (25)$$

因此，得出了航高依赖于地图比例尺的开方根规律。这时，常数 $K=30$ 米。根据 M. 库施的文章 [参考文献 47]，利用这种航空像片资料，求出高程中误差为：

$$m_h = \pm \frac{0.17}{1000} \times H_g \text{ (米)}$$

利用 (25) 式，得有：

$$m_h = \pm \frac{0.17}{1000} \times 30 \sqrt{M_K} = \pm 0.005 \sqrt{M_K} \text{ (米)} \quad (26)$$

$$K = 0.005 \text{ 米}$$

开方根规律也适用于航测内业地貌测图的高程精度。地形图的高程精度和等高距 Z 必须互相协调。通常规定等高距为高程中误差的 3 至 5 倍。按 $Z=5 \times m_h$ ，利用 (26) 式可立即得到选择等高距的直接开方根规律：

$$Z = 0.025 \sqrt{M_K} \text{ (米)} \quad (27)$$

就 1:10 000 比例尺地形图而言, 根据 (27) 式研究地貌特征时, 2.5 米的等高线系统是最合适的, 在东德多采用此等高线系统。

为了表述直接开方根规律主要在于确定常数, 这一节以数字为例从理论上推导了开方根规律的 (24) 至 (27) 式。

1.2.1.2 经验常数的确定

提出直接开方根规律, 在原理上是很简单的。因为, 为了明确数量标准 N 与地图比例尺 $1:M$ 之间的关系, 只需确定 (20) 式的尺度常数 K 。

$$K = \frac{N}{\sqrt{M}} \quad (28)$$

对于单一地图比例尺来说, 如果数量标准确切可知, 那么就可以根据 (28) 式确定常数。如果作业地区或景观类型 (地形) 中只存在着单一比例尺的经验值, 则必须根据 (28) 式, 从这对经验值中算出尺度常数。同所采用的经验值 N 一样, 这个常数可靠与否与用于计算的实验值 N 一致。经验值中的凑整部分差不多可以看出。因此, 根据几种比例尺的经验值求尺度常数是利便的。不同的经验值必须符合相同的外部条件, 在景观特征方面更是如此。地图种类和地图风格必须互相适应, 因为无论是对比例尺系列中较小比例尺的或较大比例尺的地图, 都可以提出直接开方根规律, 但常数不同。

对相同外部条件而言, 如果有了不同比例尺 $1:M_i$ 的经验数值 N_i , 则可利用每一对数值 N_i 和 M_i , 根据 (28) 式计算出尺度常数的近似值。近似值表现为固定的方差。算术平均值

$$K = \frac{1}{n} \left(\frac{N_1}{\sqrt{M_1}} + \frac{N_2}{\sqrt{M_2}} + \cdots + \frac{N_n}{\sqrt{M_n}} \right) \quad (30)$$

给出了常数的或然值。

例如, 中山的等高距。

十年来的实践证明, 进行 1:10 000 比例尺的中等山地的测图, 5 米等高线系统是适宜的。根据以前的研究, 必须求出中山地区等高距的直接开方根规律。已知 $M=10\ 000$ 时的经验值 $Z=5$ 米, 根据 (28) 式得有:

$$K = \frac{5}{\sqrt{10\ 000}} = 0.05 \text{ 米}$$

$$Z = 0.05 \times \sqrt{M} \text{ (米)} \quad (31)$$

如果 1:10 000 比例尺地图上 5 米等高线系统是最好的, 那么根据 (31) 式可以计算出其他比例尺地图上同类地形特征范围内的最合适的等高距。根据 (31) 式可以看出 2.5 米和 10 米的等高距适合于 1:2000 和 1:50 000 比例尺的地形图。

$$Z_2 = 0.05 \times \sqrt{2000} = 2.2 \text{ 米}$$

$$Z_{50} = 0.05 \times \sqrt{50000} = 11.2 \text{ 米}$$

如果 1:25 000 比例尺地图上 $Z=5$ 米, 1:50 000 比例尺地图上 $Z=10$ 米, 1:100 000 比例尺地图上 $Z=20$ 米这样三个经验值是已知的, 则根据 (30) 式得出常数的或然值为:

$$K = \frac{1}{3} (0.031 + 0.045 + 0.063) \text{ 米}$$