

地性线自动识别与跟踪及其在地貌等高线图形自动综合中的应用*

赵小佩 李俊英 邓 玲

【摘要】 本文是在文献〔2〕的基础上对等高线图形进行成组综合的进一步探讨。在利用谷底线进行地貌综合的实例中, 提出了按谷间距选取地性线的算法, 还提出了关于插值点高程修正, 地性线跟踪中补点的运用和地性线调整等关键性的改进措施。

地貌形态的自动综合在制图自动化中占有很重要的地位。手工综合地貌是制图人员遵循科学的制图综合原则和方法去实施的。要让计算机模拟这一过程自动地执行综合, 是至今尚未完全解决的重要课题之一。随着制图自动化的发展, 不少学者对于自动综合等高线的问题作了探讨^{〔1〕}。但大多数是逐条等高线孤立地进行综合的。地性线对地貌综合起着控制作用, 它天然地反映着等高线图形的内在联系, 被称为地貌图形的“骨架”。因此, 地貌自动综合的前提是自动识别与跟踪地性线, 并以地性线为“纽带”对成组等高线有机地进行综合。文献^{〔2〕}对这一思想和实施方法已作了论述。本文试图以文献^{〔2〕}为基础作进一步阐述, 并提出改进措施, 如修正插值点高程、地性线自动跟踪中的补点、地性线调整和按谷间距取舍等。文末还给出自动综合试验的样图。本文仅限于探讨成组等高线的图形综合, 未涉及等高线移位、夸大、合并等综合处理。

一 原始数据点规则化处理

——建立四边形网坐标矩阵

我们以经过数据压缩后的等高线数字化点作为原始数据点*, 即是用地貌特征点集来代表等高线, 而小谷地大多是由三个点组成的喇叭口状。

为了建立各条等高线间的联系并在相邻等高线间加密数据点(插值点), 以便于跟踪地性线, 需使线性(沿等高线)分布的等高线数字化点转化为呈格网分布(规则化)如图1。

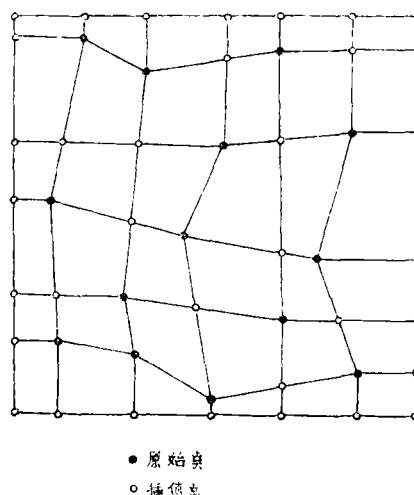


图1 四边形网格示意图

*本文作者为地图制图系82届毕业生, 该文是根据毕业论文改写而成。在论文的写作中得到徐庆荣老师的许多帮助。

*采用的等高线数字化点是在资料图上沿等高线跟踪数字化获得的。为了以后数据处理的方便, 约定跟踪方向统一为: 朝跟踪方向, 位于等高线右侧的点, 其高程低于该等高线高程, 而左侧点高程则大于该等高线的高程。因此, 经过压缩以后的原始数据点, 其记录顺序亦与数字化顺序一致。

为此,采用四边形构网法^[3]: 网格范围内的全部原始数据点都作为网格结点,另一部分网格交点(结点间连线的交点)谓之插值点。插值点的平面直角坐标和高程可按其与原始数据点的相邻关系用插值方法获得。其中高程插值采用拟剖面法^[2]: 即通过插值点作若干个条带,根据在各条带内所搜集到的与插值点邻近的原始数据点(为提高插值精度,搜集原始数据点时还应包括数据压缩以前的等高线数字化点)用线性插值法或圆弧插值法分别求出其高程。再按各条带求得的高程计算平均值作为该插值点的高程。

为了计算网格边缘的插值点高程,原始数据点集的范围应大于网格范围。全部网格点的平面坐标及高程一起组成四边形网坐标矩阵X、Y和Z。

文末的附图一是我们试验时采用的四边形网实例(该网格是由毋河海老师建立并提供的)。图内省绘了网格以外的原始数据点。

二 自动识别地性点

在对原始点规则化处理以后,为了方便和正确地自动识别地性点,先作两项准备工作:

1、建立有关原始数据点和插值点的关系矩阵

这是为了在以后的各项工作中能够随时区分网格点是原始点(并需知道第几条等高线上的第几个原始点)还是插值点。

若以R代表关系矩阵,则使:

当点(I, J)为原始点时, $R(I, J) =$ 等高线条号和点号的组合;

当点(I, J)为插值点时, $R(I, J) = 0$ 。

例如: $R(I, J) = 13 \ 0 \ 1 \ 1$, 即表示点(I, J)是第13条等高线上的第1 1个点。

2、修正插值点高程

由于计算插值点高程有误差,有的插值点的高程本应小于某条等高线的高程(根据其位置),而插值计算结果却大于该等高线的高程,相反的情况亦有。这就会影响地性点的识别及地性线的跟踪,针对这一情况应进行修正。

修正依据:原始点的高程、正确的插值点高程以及网格点的下标关系。

修正的基本方法:

利用前已修正过的插值点(如图2中的左方点或上方点)的高程对点(I, J)进行判断。如果前一插值点的高程位于某一高程带(指相邻两等高线所限定的高程范围)内,则点(I, J)的高程也应位于此高程带内。否则修正之。

在一些特殊的情况下,插值点高程的正确与否不能用上述方法进行判断,须作特殊处理:

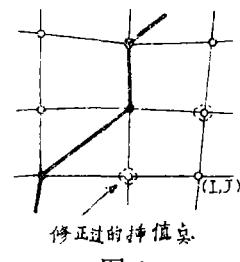


图 2

①需判断的插值点(I, J)与前一插值点之间有等高线通过时(如图3),可用图3中A和B角(从X轴逆时针方向起算的角)的大小,判断插值点位于等高线顺序方向的哪一侧,在右侧则应低于等高线的高程,在左侧则应大于等高线的高程。

②当插值点的左上方两点均为原始点时,如图4,可有不同办法进行判断。

例如图4,当左、上方两个原始点是位于同一条等高线上,而且在该等高线上为相邻或

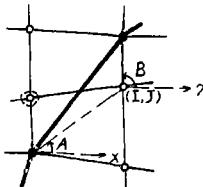


图3

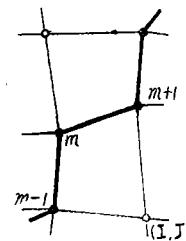


图4

相邻一个点,则可由R矩阵给出的原始点点号判断插值点位于等高线的哪一侧,从而确定插值点高程是否需修正。

进行了以上两项准备工作以后,即可自动识别地性点。

以矩阵P记录地性信息,为便于区分,规定:

当点(I, J)为谷底点时, $P(I, J) = 10$

当点(I, J)为山脊点时, $P(I, J) = 20$

当点(I, J)为非地性点时, $P(I, J) = 0$

对于原始等高线点,可用如图5所示的A、B角判断m点(设原始数据点的顺序为 $m-1, m, m+1$):

若 $A = B$, 点m为非地性点;

若 $A - B > \pi$ 或 $0 < B - A < \pi$, 点m为山脊点;

若 $B - A > \pi$ 或 $0 < A - B < \pi$, 点m为谷底点。

对于插值点,可用横方向、竖方向及对角线方向对网格的高程数据矩阵进行扫描。在扫描方向上,如有相邻三点的中间点低于两边点的高程,则中间点为谷底点;如中间点高于两边点,则中间点为山脊点;否则为非地性点。

对于网格边缘的插值点,供地性点识别的数据不充分。因此,将整个网格从四周各缩进一格后作为地性点信息矩阵的数据范围。

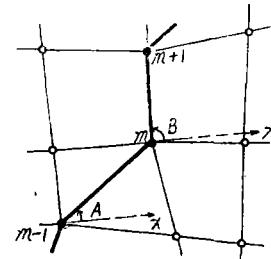


图5

三 地性线自动跟踪和分离

地性线自动跟踪和分离的任务是利用前面所建立的各个矩阵,逐条(先主后次)跟踪地性线,并为地貌形态制图综合提供下列数据:

①地性线索引表——各条地性线的长度、点数和条号。

②每条地性线所经各格网点的平面坐标和该点处的累计长度。

③地性线结点矩阵——用于表示经过格网点的地性线条号。设结点矩阵为 K ，其记录方式如下：

当格网点 (I, J) 没有地性线经过时， $K(I, J) = 0$ ；

当格网点 (I, J) 有第 L 条地性线经过时， $K(I, J) = L$ ；

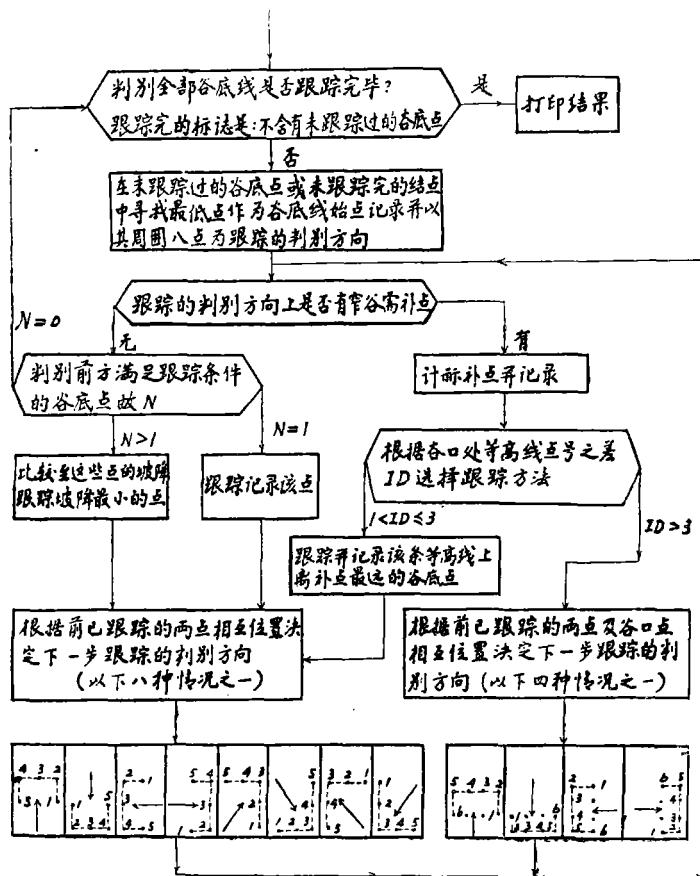
当格网点 (I, J) 有第 L, M 两条地性线经过时， $K(I, J) = 100 \times L + M$ ；

当格网点 (I, J) 有第 L, M, N 三条地性线经过时， $K(I, J) = 10000 \times L + 100 \times M + N$

谷地的主次顺序是 L, M, N 。

依此类推。

跟踪顺序及方法见流程框图（以谷底线为例）：



一般来说，最低的谷底点常常是几条谷底线的汇合点（结点），或是主谷在图边的出口处，以这样的点为始点由低向高一条条跟踪和分离。在跟踪过程中可能会遇到谷底线从构成狭窄谷口的两个原始点间穿过的情况，如图 6 和 7 所示。这时，两原始点间不存在格网点，为了确定谷底线位置并计算其长度需在中间补充谷底点。

补点情况有二种：

①如图6，跟踪方向上格网点P、Q是同条等高线上不相邻的两点，在等高线上其点号之差ID>3，则计算P、Q的中点坐标作为补点记录下来，再跟踪确定下一个补点。

②如图6、7，跟踪方向上U、V虽是同条等高线上的不相邻两点，但在等高线上其点号之差ID为：1<ID≤3，则应计算U、V的中点坐标作为补点记录以后，下一步直接跟踪至点D。

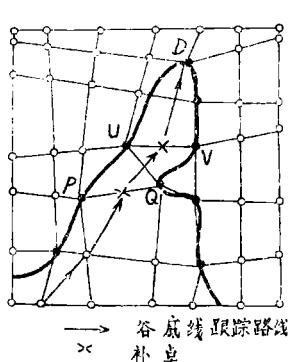


图 6

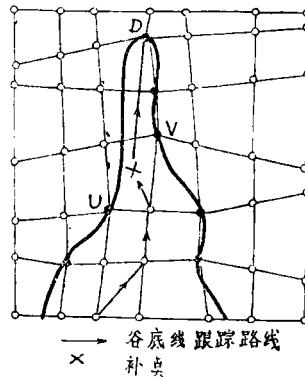


图 7

在不需要补点的情况下，须判别前方有几个是在当前高程带（指当前点所在的相邻两等高线限定的高程范围）内的谷底点。存在三种可能情况：

①只有一个谷底点，则记录该点，继续进行中途跟踪。

②一点以上，则比较当前点至各点的坡降，采取先主后次的原则应跟踪坡降最小的那点，再进行中途跟踪。

③没有谷底点，则结束该条谷底线的跟踪，开始第二条跟踪。

按上述方法进行，直到图内谷底线全部跟踪分离完毕。

上述跟踪过程遇到地性线结点时，是按坡降来判别地性线主次的。在一般情况下，这是符合实际的，但由于插值点高程误差或实际地形在该处的复杂变化，可能使这种判断失误，造成主次颠倒。这样，对谷地取舍会有影响。如图8，当主次关系正确，按谷地长度指标取舍谷地时，支谷可能被舍掉。但主次颠倒时，可能两条谷地长度都因大于长度指标而不能舍掉。所以，在取舍前，应对原跟踪的地性线进行调整。

调整的方法（以谷底线为例）：

按高程从大到小找出各结点对每一结点，如图8 (a) 中原跟踪结果为 S_1 和 S_2 。应首先将 S_1 与 S_2 比较，若 $S_2 > S_1$ ，说明原来跟踪出错，则须进行纠正，调整成如图8 (b) 中的 S'_1 和 S'_2 。

新的主谷长度 $S'_1 = S_2 + S_1$

新的支谷长度 $S'_2 = S_1$

还须相应地纠正地性线索引表、地性线所经各格网点坐标和累计长度以及地性线结点矩阵。

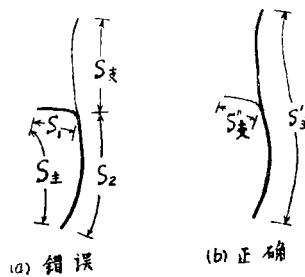


图8

跟踪、分离谷底线的试验成果见附图二。

从图中可以看到某些谷底线不完整，或谷源过长，或交汇不合理，这些都有待于进一步改进。

四 利用地性线自动综合地貌等高线图形

自动综合的步骤大致为：

- ①按地貌类型划区，以便针对不同类型分块处理；
- ②各区域分别按选取指标找出应舍去的谷地（或山脊）；
- ③从等高线坐标串中抹去位于应舍去谷地（或山脊）上的原始数据点（若起点为结点，这结点除外）；
- ④用无人机对话系统进行图块拼接；
- ⑤图形输出。

对于不同的地貌类型，可只考虑谷底线或山脊线一种地性线，或者两者兼顾考虑。

我们这次试验，只考虑了谷底线的因素，并在谷地取舍时，仅采取了按谷长和谷间距两个方面进行选取（未顾及谷宽等方面）。下面分别说明之。

1、按谷长取舍

首先按规定给出谷地的选取比例，求出相应的长度选取指标，大于等于指标的谷地保留，否则舍弃。

对于每条应舍去的谷地，求出位于等高线上的各谷底点（若起点为结点，这结点除外），用关系矩阵 R 判断这些点是第几条等高线上的第几个点，并在原始等高线坐标串中将相应坐标值抹去。最后得到新的等高线坐标串。

2、按谷间距取舍

找相邻谷地：从高程小的等高线开始，沿该等高线上找出相邻两谷底点，两谷底点所在

的两条谷底线就是一对相邻谷地。

求谷间距的近似方法：如图9，令相邻两谷地L和M在高程较低的同条等高线上的交

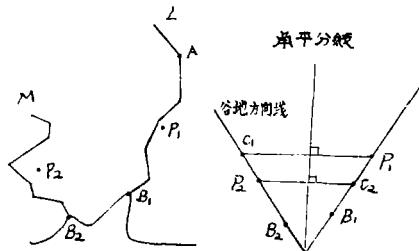


图9

点分别为 B_1 、 B_2 ，再在长谷地上找出一点 A 使 B_1A 与 B_2M 长度相当，求 M 谷地上各谷底点的平均位置 P_2 ， L 谷地上 B_1 至 A 各个点的平均位置 P_1 。 B_1P_1 和 B_2P_2 分别作为两谷地的方向线，求两方向线交角的角平分线。由 P_1 、 P_2 分别作角平分线的垂线与另一方向线交于 C_1 、 C_2 。距离 P_1C_1 和 P_2C_2 的平均值便当作谷间距的近似值。

按谷间距大小取舍谷地：给定谷间距选取指标，每求一对相邻谷地的谷间距后，将其与指标比较，若小于指标，舍去其中一条短小谷地，舍去方法与按谷地长度大小取舍方法一致。

无论按谷长取舍或按谷间距取舍，都可以按编图比例尺和地貌类型输入不同选取指标进行多次试验比较，直至满意为止。

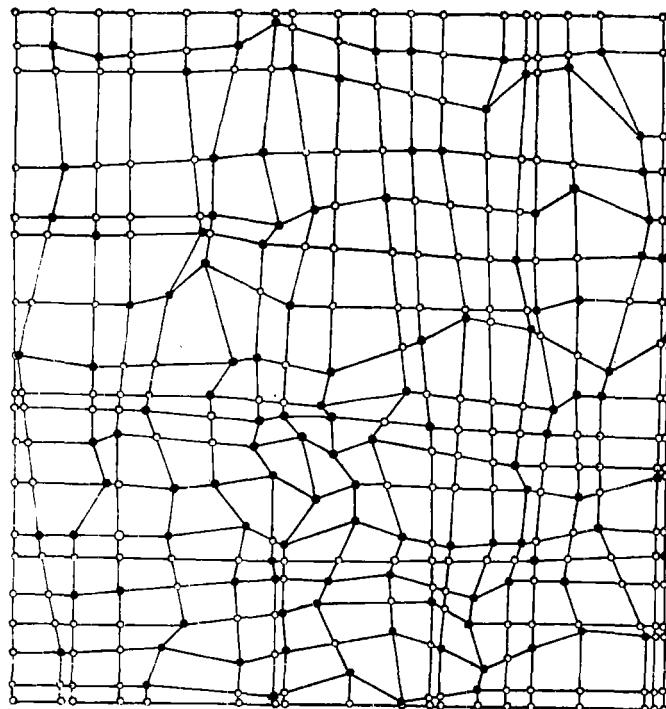
对于按谷长选取和按谷间距选取两个方面，我们曾分别用不同指标进行过试验，为了从图形效果检验程序功能，故意采用了较大的综合指标。附图三是试验成果的一部分，全由绘图机绘成。图内曲线采用三点式求导分段三次多项式插值法进行光滑连接^[4]。

试验表明：自动综合结果取得了一定效果。由于它在谷地选取时严格遵循数量指标，所以避免了手工综合中因人而异的随意性，但在个别地方有使地貌失真和不合理的现象。

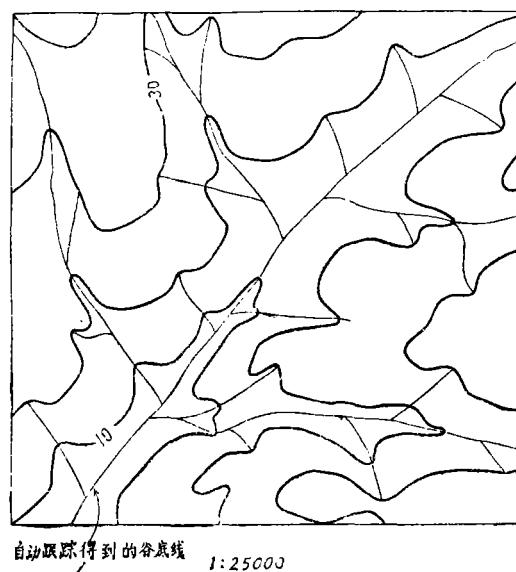
五 结 语

本文是利用地貌结构线之一——谷底线，对地貌等高线图形进行自动综合的一次尝试。地性线的自动跟踪、分离，以及谷长和谷间距计算，提供了自动综合的数量依据。对于不同切割程度，编不同比例尺地图，可取不同的选取指标进行试验，以求获得最佳效果。

这次实验显示：对地貌等高线图形进行有机而不是孤立的自动综合的可能性。地貌自动综合还远远没有得到完全解决。例如对于较大谷地（不是仅由三个点组成的小喇叭口状的谷地）和各种复合谷地取舍时的等高线综合，山脊线与谷底线的兼顾考虑，等高线图形的移位、夸大、合并处理，等高线与其他要素关系的处理以及图块拼接等问题尚待进一步研究解决。

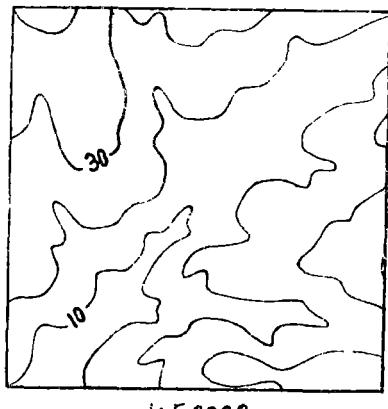


附图一 四边形网格实例



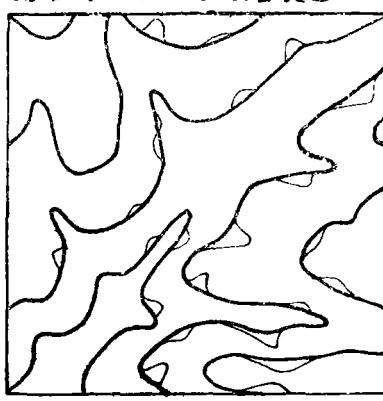
附图二 谷底线自动跟踪结果示意图

编绘底图(已取舍等高线)



1:50000

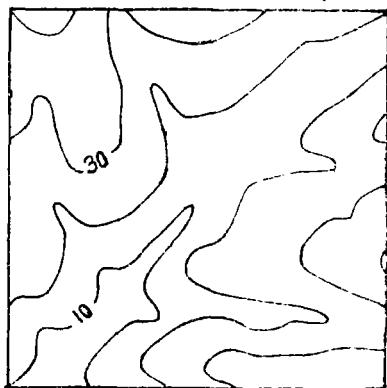
综合前后对比图(按各地选取)



1:50000

选取比例 = $\frac{1}{4}$ 各地长度指标 = $\frac{49}{4}$ mm

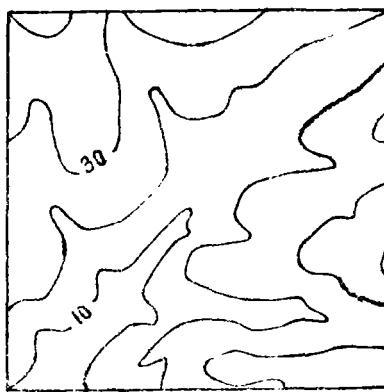
按各地长度取舍综合样图



1:50000

选取比例 = $\frac{1}{4}$ 各地长度指标 = $\frac{49}{4}$ mm

按各地间距取舍综合样图



1:50000

D = 10 mm (各地间距选取指标)

附图三 综合试验样图

参 考 文 献

- [1] W. Weber: 自动化综合《国际地图制图协会机助地图制图学讲习班文献 (J)》1981
- [2] 母河海: 地貌形态自动综合的原理与方法《武汉测绘学院学报》1981, 1.
- [3] Hessing, R.C.; Lee, H.K.; Pierce, A.; Powers, E. N.: Automatic Contouring Using Bicubic Functions《Geophysics》Vol.37# No. 4# August# 1972
- [4] 杜道生、费立凡: 三点式求导分段三次多项式插值法《中国测绘学会第二届综合性学术年会论文集》1979.

Automatic Recognition and Tracking of Skeletons and Its Application in Automatic Generalization of Contour Lines

Zhao Xiaopei Li Junying Deng Ling

Abstract

This paper is a further research for automatic generalization of contour lines in sets on the basis of reference No. [2].

In the example of relief generalization by using valley line, the following key points are discussed: The algorithm of selecting skeletons by using distances between valley lines, the approach of modification for the heights of interpolated points, the use of supplemental points in tracking and adjustment of skeletons, etc.