

摄影测量自动化 数字化译文汇编

测绘研究所情报室编译

测绘出版社

摄影测量自动化数字化

译 文 汇 编

测绘研究所情报室 编译

测 绘 出 版 社

摄影测量自动化数字化译文汇编

测绘研究所情报室 编译

*

测绘出版社出版

山西省七二五厂印刷

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 261/4·字数 697 千字

1982 年12月第一版·1982 年12月第一次印刷

印数 1—1,800 册·定价 4.00 元

统一书号: 15039·新202

前 言

这本《摄影测量自动化数字化译文汇编》主要介绍了数字地面模型的建立、等高线内插的理论和方法、自动寻找同名点的相关理论, 以及一些图象处理系统的设想、产品介绍和使用等有关内容。

摄影测量自动化和数字化是当前摄影测量学科正在研究与实践的重要方向, 也是遥感图象处理的重要内容。近20年来, 随着电子计算机技术的飞速发展和广泛应用, 软件系统的不断完善, 各种自动化和半自动化量测装置的出现, 使摄影测量自动化和数字化在理论与应用方面都取得了可喜的成果。本汇编基本上反映了国际上在这方面的进展情况。

本汇编可供测绘科技人员、高等院校有关教师、研究生、高年级大学生和工程技术人员参考。

由于我们业务水平有限, 译文中难免有错误之处, 敬请读者指正。

测绘研究所情报室

1980年3月

目 录

1. 关于数字地面模型用数字表示渐进取样的研究·····	(1)
2. 国际航空测量与地球科学学院对数字地面模型的研究·····	(16)
3. 一种数字地形模型系统·····	(30)
4. 内插方法的传递函数·····	(47)
5. 分段连续地面: 数字测图的一种灵活基础·····	(67)
6. 软尺(样条)内插法及其在数字摄影测量中的应用·····	(78)
7. 地形表面插点法的理论精度·····	(94)
8. 对几种内插方法的评定·····	(105)
9. 一种通用数字地面模型——理论与应用——斯图加特等高线程序SCOP(I)	(118)
10. 斯图加特等高线程序——论述及结果——斯图加特等高线程序SCOP(I)	(132)
11. 将斯图加特等高线程序扩充到处理地面断裂线·····	(149)
12. 通过数字相关由立体象片自动制作高程模型和正射象片·····	(159)
13. 沿核线的数字影象相关·····	(232)
14. 复指数式输入函数的数字化互相关·····	(239)
15. 影象相关器的速度限制·····	(247)
16. 联机数字相关·····	(257)
17. 利用数字相关控制点的动态格网进行高精度扫描图象的纠正·····	(264)
18. 摄影测量中的数字部件·····	(274)
19. 在摄影测量中从数字化部件到组合的系统·····	(283)
20. 自动等高线数字化器·····	(298)
21. 美国陆军制图局的等高线自动测绘法·····	(306)
22. UNAMACE在国防制图局测绘中心的发展·····	(310)
23. 一个数字高程数据收集系统·····	(314)
24. 用杰斯塔德Ⅱ型象片测图仪生产数字地形模型·····	(323)
25. 杰斯塔德等高线·····	(330)
26. 解析测图仪的软件概况·····	(339)
27. 数字微分纠正的方法和可能性·····	(344)
28. 数字图象处理的过去、现在和将来·····	(352)
29. 遥感影象几何纠正的方法及现状·····	(355)
30. 最小二乘预测法·····	(366)
31. 大规模(1500×1500)对称矩阵的循环分块求逆·····	(386)
32. 航空摄影测量中取得更高分解力的可能性·····	(399)

关于数字地面模型用数字表示渐进取样的研究

M.S.A.el Ghazalli

【摘要】这篇论文介绍渐进取样技术用于数字地面模型的广泛研究成果。为此已经发展了一个程序来处理由地形发生器程序TERGEN提供的大量输入数据。数据处理程序的名称是PROSAM,采用的是渐进取样开头的几个字母。这个源程序是用FORTRAN写的,用于ITC* 的PDP11/45计算机。本文对数学模型作了简短回顾,但论文的主要部分是致力于性能分析,注意多种有影响的参数。

从数字研究得出的精度估算显示出这种技术有高度的潜力。可以恰当地说,渐进取样提供了便利的工具来有效地执行取样,这种取样具有很确切的、客观的量测基础。后者就能消除由于个人判断带来的主观性。

事实表明由取样和内插引起的内插点的标准误差数量级为 $1\sim 35\sigma_0$ 左右,这里 σ_0 代表摄影测量观测误差。然而这是一种极端情况,因为内插点处于取样点的中间。分布在整个面积内各点的全部标准误差是相当小的。还有,用人工增加一些地貌点能进一步提高精度。

I. 前言

D.T.M.的理论

任一D.T.M.可定义为不规则表面的数字描述,基于对该表面的不连续点的量测之上[1]。并具有相应的内插规则。在文献[2],“数字地面模型”这一术语是用来描写部分地球表面的几何表示,这种表示能存入计算机的存储器,按照这样一种方式,只要已知其平面坐标就能自动地导出该表面上任意点的高程。

D.T.M.的特性可以从两个不同的方面加以描述:

(a) 取样的方法

在需要有不连续点建立D.T.M.的地方,取样意味着对数据的压缩,对此要特别注意,因为它对最后精度有很大影响。

(b) 重建(内插)方法

用线性或非线性内插能从D.T.M.数据来重建表面。对于任一组地面坐标 X_i, Y_i , D.T.M.将产生相应的高程 Z_i 。

一般情况下,由取样点数据与内插规则一起组成D.T.M.取样和重建是互相关联的。D.T.M.的基本原理表示在图I.1中[3]。

D.T.M.的目的可归纳如下:

(a) 适合计算机处理。

(b) 建立数据库(存储-检索系统)。

这两个目的趋向于将图示(并制图)产品转移给电子计算机和自动绘图仪,这就有可

*即国际航测与地球科学学院(现名)。——译者注

能从共有的数据库进行不同内容和不同比例尺编图的可能性,其结果将增加速度、精度、综合性和多面性。

(c) 提供信息,适应航测自动化和制图处理,尤其是大比例尺应用。

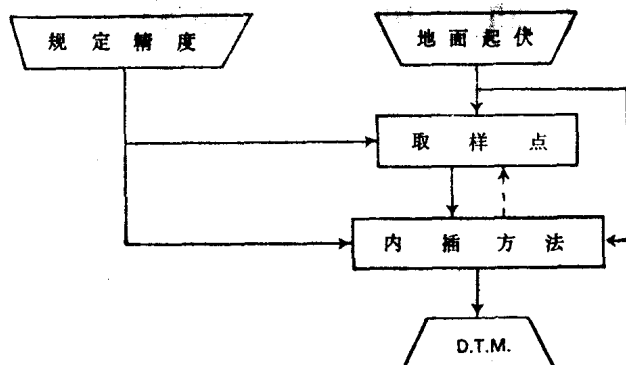


图 I.1 D. T. M. 的基本原理

实际上,在与地形起伏有关的各种变换处理中,例如等高线、断面线、体积数据等,可考虑将D·T·M·作为中心模。直到现在,等高线仍作为显示地形起伏的基本形式。可以指望D·T·M·数据不久将取代惯用的等高线作为基本的数据来源。

II. 研究的提要

II. 1. 概念[6]

研究的渐进取样方法意味着在已取样数据的在线解析基础上用一种逐步趋近方法确定格网点的密度。这个方法能用于模拟、混合或数字型仪器,并适应于自动化或半自动化操作。

渐进取样方法亦可用于非摄影测量数据,在用最小努力和重复的情况下它有助于产生精密的和综合的取样。

II. 1. 1. 小块区域的计算法

由于结构原因和为了减少所需的计算机存储量,临时把模型表面分成若干小段或小块(图 I.1),正方形块看来更适合于基本操作单元,块状面积能适应于地形特征。

假定以很有顺序的方式连续对所有小块进行渐进取样。为了从一块到下一块的变换,在计算机存储器中暂时保存边界数据。

II. 1. 2. 数学模型

在这一节中将概述数据分析过程。用9个点的高程(图 I.2)介绍一个块(k,l.)的零点取样。分析的第一步是计算沿每一行和每一列相邻点间的高差:

$$\Delta h_{i,j-1,j} = h_{i,j-1} - h_{i,j}$$

$$\Delta h_{i-1,j,i} = h_{i-1,j} - h_{i,j}$$

为了简化起见, Δh 的下标是选用位于这些距离中间的点号(图 I.3)。可用多种方法分析 Δh 的首差。实际方法是分别推算行和列第二次差,这个可采用的方法(或补充的做法)是确定这些横越各行和各列的差数。假定这两种方法同样执行得很好,进一步的可能性是沿着对角线方向测定第二次差数。

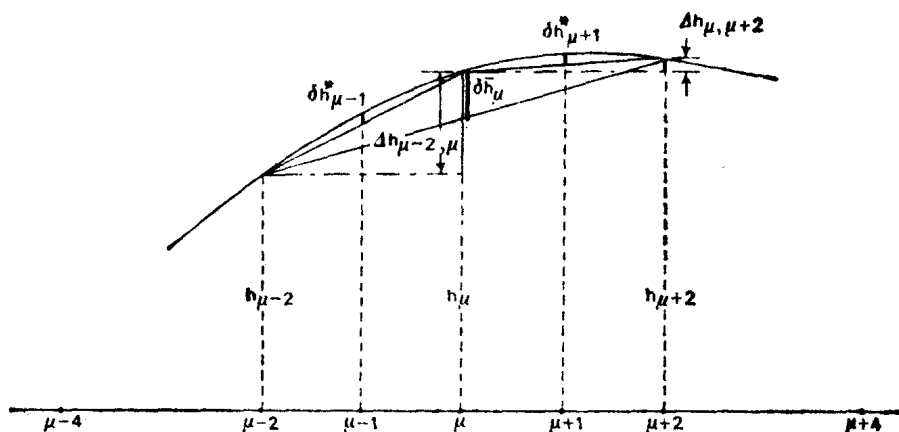


图 1.4 地形弧段的几何关系

按照该图点 $\mu-2$, μ 和 $\mu, \mu+2$ 之间第一次差数是:

$$\Delta h_{\mu-2, \mu} = h_{\mu-2} - h_{\mu}, \quad \Delta h_{\mu, \mu+2} = h_{\mu} - h_{\mu+2}$$

在点 μ (δh_{μ}) 的第二次差数等于:

$$\delta h_{\mu} = (\Delta h_{\mu-2, \mu} - \Delta h_{\mu, \mu+2}) \quad (1)$$

我们亦有:

$$\bar{\delta h}_{\mu} = (\Delta h_{\mu-2, \mu}) - \frac{1}{2}(\Delta h_{\mu-2, \mu} + \Delta h_{\mu, \mu+2})$$

$$\bar{\delta h}_{\mu} = \frac{1}{2}(\Delta h_{\mu-2, \mu} - \Delta h_{\mu, \mu+2}) \quad (2)$$

从方程式(1)和(2)得 $\bar{\delta h}_{\mu} = \frac{1}{2}\delta h$

假定弧段近似于二次抛物线

$$\delta h^*_{\mu-1} \approx \delta h^*_{\mu+1} = \delta h^* = \frac{1}{4}\bar{\delta h} = \frac{1}{8}\delta h \quad (3)$$

而且 $\delta h \leq \delta h_{t.b}$, 这里 $\delta h_{t.b}$ 是要测定的阈值。

根据摄影测量方法表示地形起伏的精度规定

$$\sigma_0 = 0.2 \text{ 到 } 0.5\% Z = \delta h^* \dots \dots \quad (4)$$

将(4)表示在(3)中, 阈值 $\delta h_{t.b}$ 能确定为

$$\delta h_{t.b} = 8\sigma_0 = 1.6 \text{ 到 } 4.0\% Z \dots \dots \quad (5)$$

可以确定类似的标准来区分粗差, 例如

$$\delta h_{gr.error} \geq C \cdot \delta h_{t.b}$$

此处系数 C 应适应于地面类型。

可以改进和扩大这些标准, 在马卡洛维奇另一篇“渐进取样修正方法”[5]文中已提出了改进标准。

1.1.4. 新点的选择

已建立的标准(5)可用于选择新点, 如果 $\delta h_{i,j} \leq \delta h_{t.b}$ 则不需要进一步取样。下一取样过程应考虑到其他中间点(中心点), 无论在一列或一行中前一个点是否已被取样, 都应区别以下两种情况:

i) 已观测了点 $(\mu-4)$, 所以下一过程只需考虑中心点 $(\mu+1)$ 。

ii)点($\mu - 4$)没有被取样, 在这个情况下, 下一取样过程应同时考虑两个邻近的中心点($\mu - 1$ 和 $\mu + 1$)。

位于模型的上方或左方的小块, 沿这些边没有前方的点, 较高等取样在一个小块内亦可能缺少前方点。

要取样的中心点被测定后, 下一过程也要考虑周围点。

I.2. “PROSAM” 程序框图

根据问题的复杂性, 算法公式能分解成不止一步。从表示不同计算操作顺序的一组框图开始是适当的。

图 I.5 表示所研究问题的一组框图, 这里操作是以一般方式写的, 没有用判定框。TERGEN是一个计算机程序用来产生虚拟地形点的高度, 是由B.KUNJI改进的。

I.3. 输入数据的准备

在研究中考虑了对渐进取样性能影响最关键的三个基本参数, 即:

1. ——地形类型
2. ——一块的面积
3. ——选择新点的标准

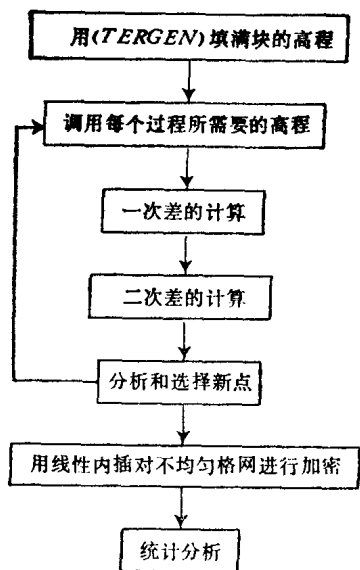


图 I.5 计算机操作的程序框图

为了进行此项研究将地面分为三种类型:

- 平坦地
- 丘陵地
- 山地

对于每类地形采用了三个不同面积的块($A = 200, 400, 600m$), 每种地形都处理了27个规则地分布在整個范围内的小块(在此范围内定位于不同位置)。对每种地形采用了阈值 $\delta h_{t,b}$ 的三个数值, 作为选择新点的标准。这些值已与不同的航高相配合(见表 I.1)。

以矩阵形式将所涉及到的参数全面介绍于表 I.2中。

从这个表, 可知按有影响力的参数的不同数值, 研究了243块, 每块包括1089个点, 换句话说, 在研究中处理了260,000多个高程值。

I.4. 输出数据

通过程序处理, 送出了有三种不同面积(每种9块)的27小块的输出数据。对于每种地形类别每次使用一个阈值 $\delta h_{t,b}$ 。因此对每种地形类别程序要处理三次, 每次用不同的阈值。

根据不同地形类别, 一个程序执行过程(在PDP11/45计算机上)将27个小块进行处理, 所需的时间是30~40分钟。这段时间包括打印出 33×33 的九个矩阵元素同27块精确图形(取样点数, 取样点的百分比, 平均误差和最大误差)所需的时间。

为了获得需要的各类不同地形的输出数据, 我们总共需要九个处理过程。

下一章将介绍和分析这一结果。

地形种类	σ_0	航高 (m)	$\sigma_0(m)$	$\delta h_{th} = 8\sigma_0$
平地	0.20‰Z	2000	0.4	3.2
		4000	0.8	6.4
		6000	1.2	9.6
丘陵	0.25‰Z	2000	0.5	4.0
		4000	1.0	8.0
		6000	1.5	12.0
山地	0.30‰Z	2000	0.6	4.8
		4000	1.2	9.6
		6000	1.8	14.4

表 I. 1 对于各类地形采用阈值 δh_{th} 的一览表

地形类型	块的面积 (m)	处理过的块数	$\delta h_{th} (m)$
平地	200	9	3.2
		9	6.4
		9	9.6
	400	9	3.2
		9	6.4
		9	9.6
	600	9	3.2
		9	6.4
		9	9.6
丘陵	200	9	4.0
		9	8.0
		9	12.0
	400	9	4.0
		9	8.0
		9	12.0
	600	9	4.0
		9	8.0
		9	12.0
山地	200	9	4.8
		9	9.6
		9	13.4
	400	9	4.8
		9	9.6
		9	13.4
	600	9	4.8
		9	9.6
		9	13.4

表 I. 2 有影响的参数的矩阵

I. 结果的表示和分析

为了检查渐进取样方法的效能, 要考虑两个参数, 即:

——有效性

——精确性

在此标题下，将相应结果加以分析并以图解方式来表示。由于试验结果是大量的，这里介绍的是经过压缩的部分。图中使用的每个数值是属于同类地形的各小块的九个数值的算术平均值。

Ⅱ.1.有效性

这因素是取决于两个操作：取样和内插。

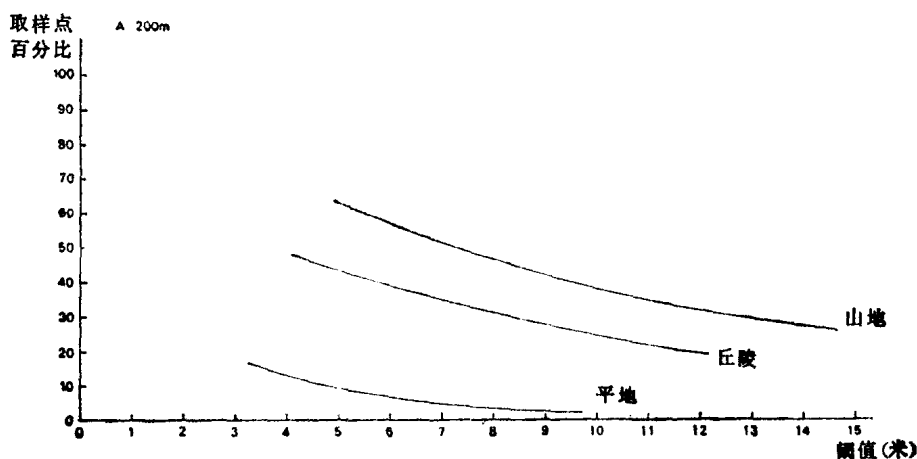
Ⅱ.1.1.取样

取样工作直接与取样点的数量有关，因此与取样密度有关。

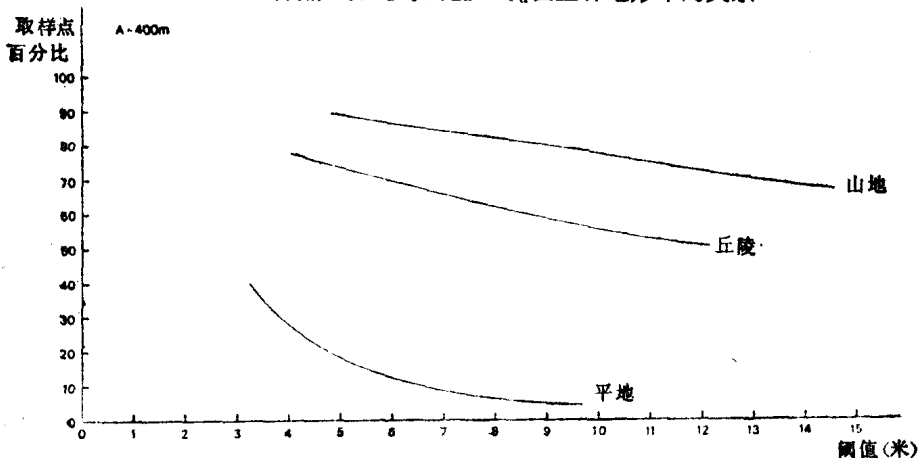
很大程度上它取决于控制跟踪装置的方式，无论是半自动化还是自动化方式。在渐进取样中使用的半自动方式接近于完全自动化，因为计算机驱动X、Y车架到要取样点的平面位置，并驱动Z车架到近似的预计算高程。这样会显著地增加取样速度并使人工操作减到最小。在下面两节中将分析和图解表示取样点、阈值和标准误差之间的关系。

Ⅱ.1.1.1.取样点与阈值比较的百分比

对于三类地形起伏，每次用一不同面积的小块，在图Ⅱ.1、Ⅱ.2、Ⅱ.3中提供了这些关系。



图Ⅱ.1. 取样点百分比与阈值 δh_{t_b} 在三种地形中的关系



图Ⅱ.2. 取样点百分比与阈值 δh_{t_b} 在三种地形中的关系

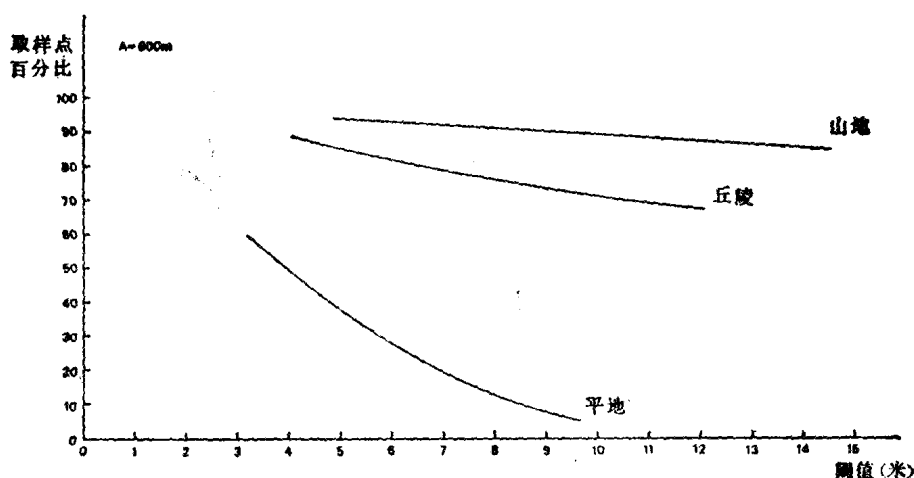


图 3. 取样点百分比与阈值 δh_m 在三种地形中的关系

以下述方法计算取样点的百分比:

$$\text{取样点的百分比} = \frac{\text{取样点数}}{1089} \times 100$$

这里数值1089代表了在高度矩阵完全的情况下全部点数。通过增加阈值,以减少理论上要求取样点的百分比。在丘陵和山地地形情况下,几乎都是线性关系。地形(丘陵和山地)变化较大时需要点的密度较高。可是,增加块的面积,则曲线在图中处的位置较高,并变得较平直。这是由于在较大的块内有更多的点需要被取样,尽管绝对取样密度是低于较小的块。由于要增加阈值来减少取样点的百分比(相对密度),这在小块内比大块更显著。

在地面平坦情况下,地形起伏变化不大,随着阈值的增加,取样点的百分比迅速地减少。关系是非线性的,在大块内这个现象更为显著。

从图 1, 2, 3, 显而易见最有影响的参数是地形类别。这也证实了渐进取样是一种具有明显效率的合适的方法。

1.1.2. 取样点数与中误差的关系

每种地形的这一关系都以图解表示出来(图 4, 5, 6), 如所预料的那样,随着取样点数减少而标准误差增加,因此

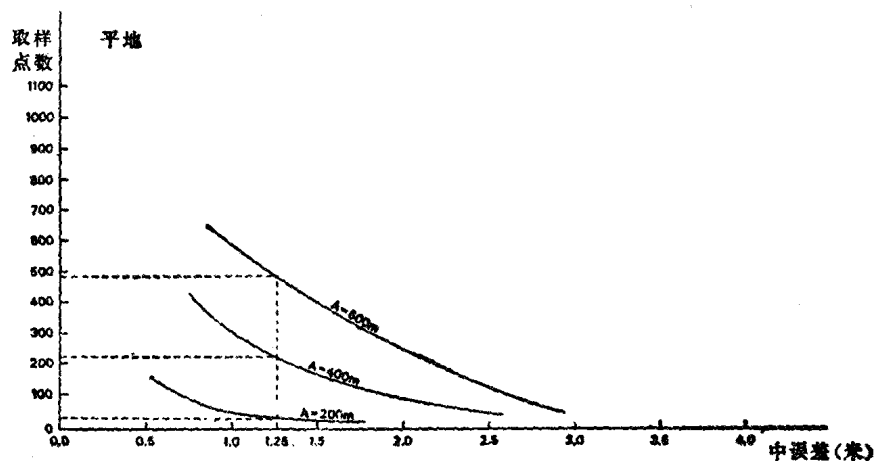


图 4. 三种块状面积取样点数与中误差的关系

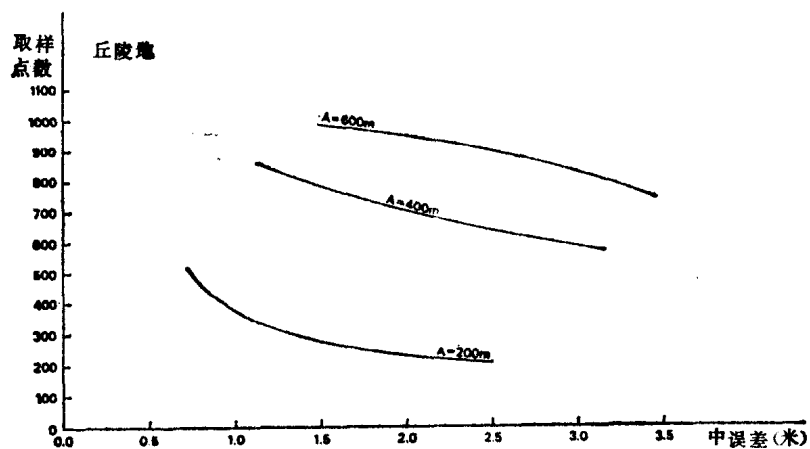


图 1.5 三种块状面积取样点数与中误差的关系

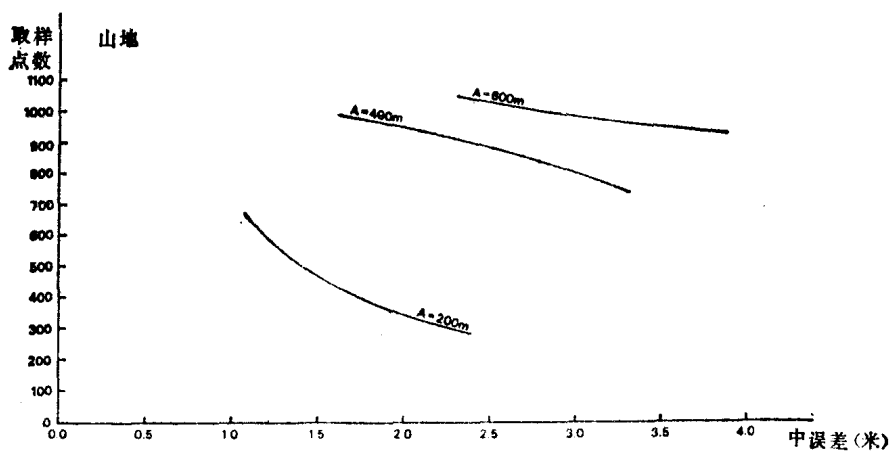


图 1.6 三种块状面积取样点数与中误差的关系

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum VV}{n}}$$

式中V代表真高程与渐近取样数据内插高程之间的误差。

从曲线可以看出，不同面积的块通过改变每块取样点数可得到同样的中误差值。例如，由图 1.4，1.25m中误差值可从以下获得：

块A = 200m； 取样点数 = 37
或块A = 400m； 取样点数 = 220
或块A = 600m； 取样点数 = 490

但要指出，A = 600m的块为A = 200m块的9倍，A = 400m的块等于A = 200m块的4倍。

把原先的取样点数与最大的面积联系起来，可得：

块A = 200m； 取样点数为 $37 \times 9 = 333$

块A = 400m； 取样点数为 $220 \times \frac{9}{4} = 495$

块 $A = 600\text{m}$; 取样点数 = 490

因此, 取样点数受块的面积影响很大。所以最小块 $A = 200\text{m}$ 的取样点数最小。

Ⅱ.1.2. 内插

根据过去的研究(文献[2], [4])得出的结论是, 当采用有规则点网时, 内插方法的选择对高程精度影响很小, 因此可以选择一种简单(然而有效)的方法。

另一关于方格网 $D \cdot T \cdot M$ 内插的研究(见文献[7])指出, 一般情况下, 各种内插方法之间精度差别是微小的。

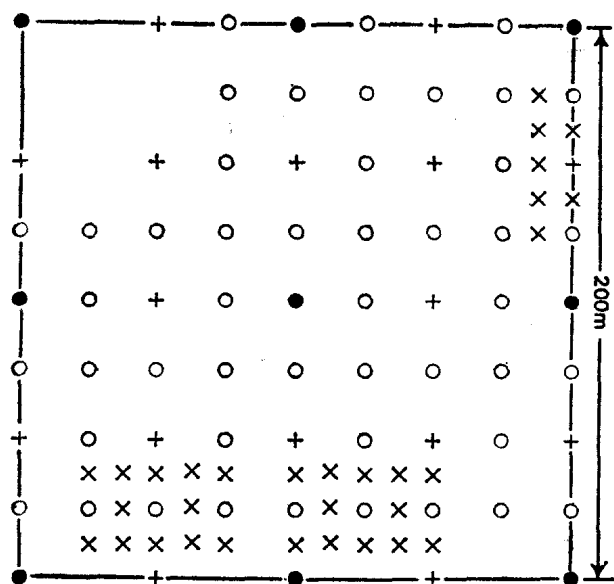


图 Ⅱ.7 平坦地取样点的分布图

均匀方格网不能最好地表现地形起伏, 而非均匀性方格网, 如渐进取样输出与地形起伏关联较好。所以更有理由采用简单的内插方法, 这样结果不仅节省时间和气力, 导致提高效率, 还可以进一步简化 $D \cdot T \cdot M$ 数据处理。

图 Ⅱ.7, Ⅱ.8 表示两种地形类别(平坦和起伏地面)的非均匀性格网, 是通过渐进取样得到的。由取样点构成的图形清楚地看出渐进取样与地形起伏相适应的情况。

为了精度分析, 采用了一种线性内插方法, 以增加非均匀性格网的密度。这样可以得到一个规则格网。

进一步处理 $D \cdot T \cdot M$ 数据时也需要这样一种加密, 渐进取样得到的精度令人十分满意, 下面将进一步讨论。

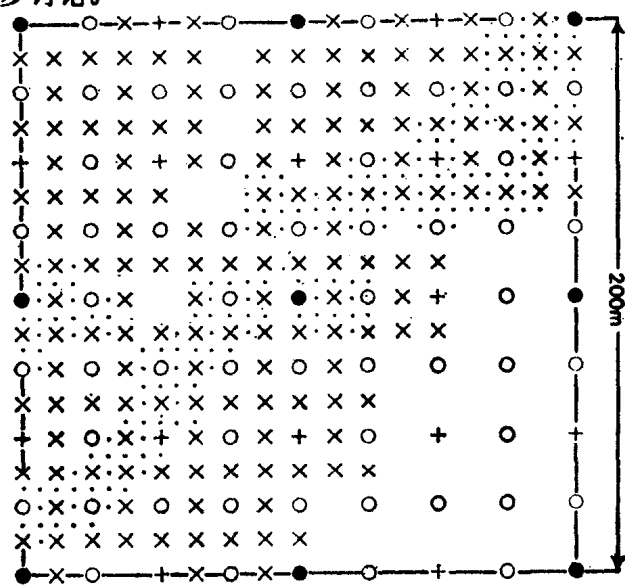


图 Ⅱ.8 丘陵地取样点的分布图

II.2.精度

II.2.1.中误差与阈值之比 m/σ_0

观测误差 σ_0 所需确定的阈值 $\delta h_{\text{允}}$ 的估值已列入表 I.1 中。取样和内插完成之后比率 m/σ_0 是衡量全面精度的最好方法。图 II.9, II.10, II.11 说明比率 m/σ_0 和对应阈值 $\delta h_{\text{允}}$ 之间的关系。还应指出,对不同面积的块与不同种类地形的这一比率几乎是常数,更确切地说,这个比率的变化局限于一个窄带内。事实证明,渐近取样方法能以特定精度和取样密度表现地形特征。MAKAROVIC 早已阐明这一点(见参考文献[6]),现在经过实验进一步证实了这一点。

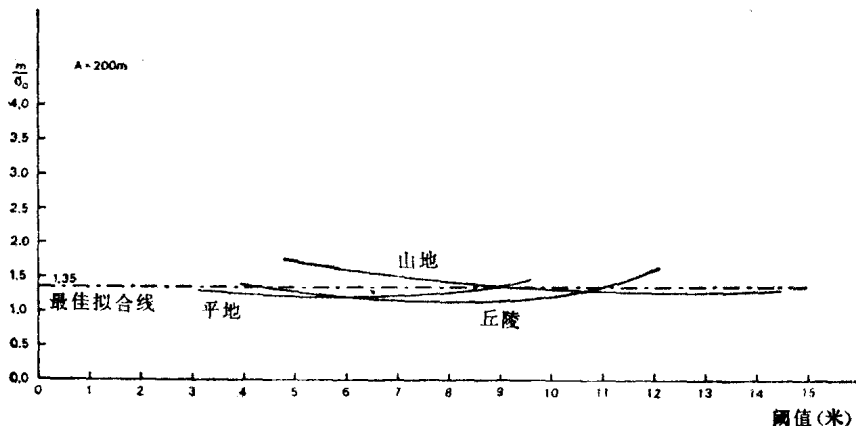


图 II.9 三类地形中比率 m/σ_0 与阈值的比较图

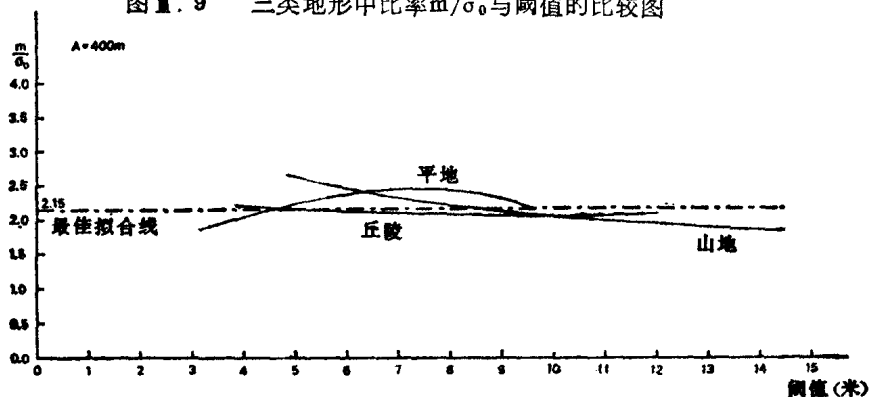


图 II.10 三类地形中比率 m/σ_0 与阈值的比较图

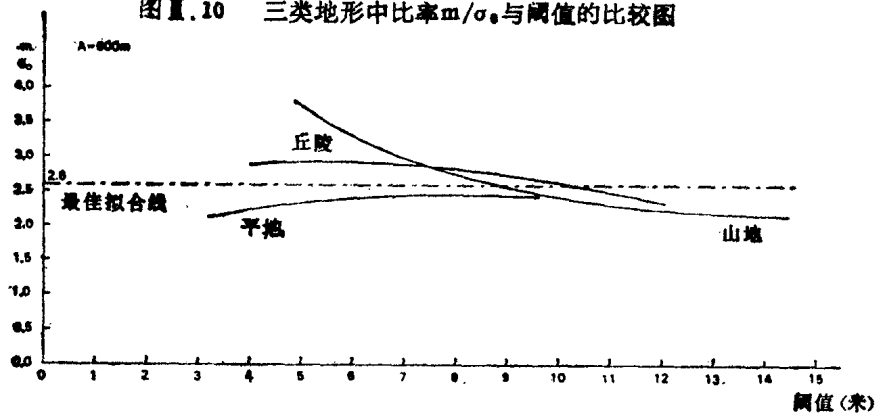


图 II.11 三类地形中比率 m/σ_0 与阈值的比较图

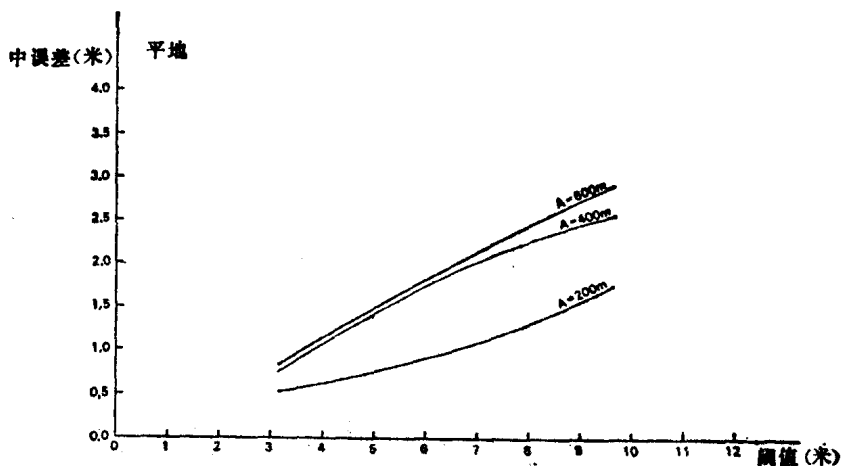
从图Ⅱ.9, Ⅱ.10, Ⅱ.11也可以明显地看出, 以 $A = 200\text{m}$ 小块提供的精度最高 (见表Ⅱ.1)。

块的面积 (A)	200m	400m	600m
m/σ_0	1.35	2.15	2.60

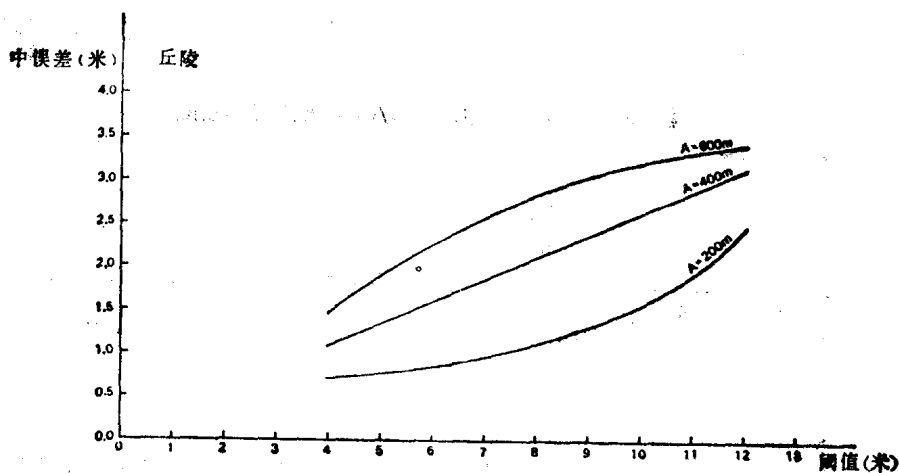
然而应当注意的是, 由于每种块用了四次行程 (包括零行程), 取样密度差别很大, 因为三种块的面积相差很大。因此对较大的块, 增加取样行程的数目, m/σ_0 比率应更能加以比较。

Ⅱ.2.2. 中误差与阈值的关系

图Ⅱ.12, Ⅱ.13, Ⅱ.14分别表示每种地面类型的中误差与阈值 δh_{th} 的关系。每个图表明了不同面积的三种块的关系。中误差随阈值 δh_{th} 的增加而增大, 这与理论上预期的相符。



图Ⅱ.12 三种块状面积内中误差与阈值之间的关系



图Ⅱ.13 三种块状面积内中误差与阈值之间的关系