

# 应用大比例尺航片进行树高量测\*

沈 洁

(中国林业科学研究院资源信息研究所)

**摘要** 本文介绍利用象片量测树高的一种新方法。通过建立数字地面模型,解决林地上树根被灌木遮蔽的问题,从而提高了树高量测精度。

**关键词** 森林调查;大比例尺航摄;测树

传统的森林资源清查方法,是采用设置地面样地定期进行实测。但地面样地成本高、时间长,故目前国内外普遍利用航空象片进行森林资源调查。树高是森调中最重要的测树因子之一,它是划分林层的依据,它不仅用于反映林地生产能力,且用于确定立木材积和材积生长率。此外,树高还是编制象片材积表、确定林分蓄积量的主要因子之一。

在航片上进行树高量测,国内虽然很早就开始,但精度较差。而国外,据 Avery 1958、1959年的研究,从直升飞机上拍摄比例尺为1:650、1:1 250的立体象对,其测高的标准误差约为1.8 m,另据1962年 Seely 报道,在比例尺为1:1 200的象片上,根据0.2英亩的样地进行详细试验(Kippen 和 Sagn Wittgenstein 1964),结果表明测树高的标准误差均为0.6 m<sup>[1]</sup>。1983年,日本曾利用树高测定板在比例尺为1:8 000的黑白象片进行树高量测,其照片量测值和实地测定值相差0~2.5 m,平均偏差1 m左右,照片量测值偏小<sup>[2]</sup>。

航片上测树高,精度低的原因很多,但主要是林地上杂草、灌木遮蔽树根,使其无法构象。为此,本文提出一新方法,以解决上述问题,提高树高的航片量测精度。

## 1 基本原理

航空摄影测量学中的共线方程式为:

$$\left. \begin{aligned} x &= -f \frac{a_1(X-X_s) + b_1(Y-Y_s) + c_1(Z-Z_s)}{a_3(X-X_s) + b_3(Y-Y_s) + c_3(Z-Z_s)} \\ y &= -f \frac{a_2(X-X_s) + b_2(Y-Y_s) + c_2(Z-Z_s)}{a_3(X-X_s) + b_3(Y-Y_s) + c_3(Z-Z_s)} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

其中: $X_s$ 、 $Y_s$ 、 $Z_s$ 为投影中心在地面模型坐标系中的坐标; $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 为某地物点在地面模型坐标系中的坐标; $x$ 、 $y$ 为物点相应的象点在象片坐标系中的坐标; $f$ 为主距。

在上述的共线方程中,包含有6个待定系数,即 $X_s$ 、 $Y_s$ 、 $Z_s$ 和隐含在 $a_i$ 、 $b_i$ 、 $c_i$ 等方

本文于1990年2月12日收到。

\*本研究为林业部资源司下达课题“大比例尺航片量测试验”内容之一。太原工业航空服务公司提供了航摄服务,河海大学勘测系协助了室内量测,黑龙江省第二森调大队、吉林省林业调查规划院、吉林省临江林业局派人协助了外业,本院遥感室全体人员曾协助工作,在此一并致谢。

向余弦中的 3 个独立的角元素  $\varphi$ 、 $\omega$ 、 $\kappa$ 。这 6 个未知数就是象片的外方位元素。若已知该象片的 6 个外方位元素,由象片量测值  $(x, y)$ ,通过(1)式就可解求相应的物点坐标  $(X, Y, Z)$ 。

用至少 3 对控制点的坐标值来解算(1)式,求得该象片的 6 个外方位元素,此法称为空间后方交会,简称空间后交。反之,将象片点的量测值  $(x, y)$ 代入(1)式,来求得该点所对应的物点在地面模型坐标系中的坐标值  $(X, Y, Z)$ ,此法为空间前方交会,简称空间前交。

由于象片的外方位元素未知,故在进行树高量测之前,首先应用外业控制点进行空间后交计算,求得左、右两象片的各自 6 个外方位元素。然后,由树冠顶部的量测坐标值进行空间前交计算。求得树冠顶部在地面模型坐标系中的坐标  $(X_{\text{顶}}, Y_{\text{顶}}, Z_{\text{顶}})$ 。量测树高中最棘手的问题是林地上杂草、灌木遮蔽树根,使得树根无法构象。因此采用二次曲面来拟合地表,建立数字地面高程模型。

$$\text{二次曲面方程为: } Z = AX^2 + BXY + CY^2 + DX + EY + F \quad (2)$$

其中:  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$ 、 $F$  为 6 个待定系数。

在量测中,虽然多数树根因遮蔽而测不到,但其周围总存在裸露地表可进行采样量测(被量测的点称之为数据点),并通过空间前交进行计算。获得数据点的物空间坐标值  $(X, Y, Z)$ 。由(2)式可知,只要 6 个数据点的  $(X, Y, Z)$  值代入,就可解求其 6 个待定系数。为此,采用移动拟合法进行内插计算,即以待定点(树根)为中心,以其邻近的至少 6 个数据点的  $(X, Y, Z)$  代入(2)式,求得  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$ 、 $F$  6 个待定系数,再根据  $(X_{\text{顶}}, Y_{\text{顶}})$  值(注:  $X_{\text{顶}}$ 、 $Y_{\text{顶}}$  为待测树冠顶点的平面坐标,  $X_{\text{底}}$ 、 $Y_{\text{底}}$  为待测树冠底点的平面坐标,且  $X_{\text{顶}} = X_{\text{底}}$ ,  $Y_{\text{顶}} = Y_{\text{底}}$ )由(2)式反算求得待定点(即树根)的高程值  $(Z_{\text{底}})$ ,这样树高  $H$  为:

$$H = Z_{\text{顶}} - Z_{\text{底}}$$

由于树高  $H$  值不依赖于坐标系的选择,故  $Z_{\text{顶}}$ 、 $Z_{\text{底}}$  只要是同属一个坐标系即可,不必进行类似绝对定向的坐标系旋转工作。

## 2 方法

**2.1** 在立体坐标量测仪上对野外控制点、样地内的数据点及所需求树高的树冠顶部进行量测,分别记录其量测值。

**2.2** 利用共线方程的线性化式,列出误差方程式和法方程式,建立空间后交、空间前交的运算程序。再利用二次曲面方程式建立数字地面高程模型,编制包括运算程序在内的总计算程序。

**2.3** 建立数据文件,输入已记录的控制点、数据点及树冠顶部的量测值,并设左、右象片的外方位元素初始值,给出线元素及角元素的迭代限差,进行迭代计算。

**2.4** 打印树高的计算成果。

**2.5** 对成果进行统计、分析。

## 3 应用实例

为检验上述方法测定树高的精度,于 1985 年 5 月在长白山临江地区,进行了带状航空摄影,平均比例尺约 1:2 600。1987 年 7 月在该地区建立地面样地(样地面积均为 0.1 ha),共获取了 23 块样地的树高、冠幅、胸径等因子的外业调查数据。同年 10 月,采用 1818 型立体坐

标量测仪和微机(IBM/XT)脱机作业,用上述方法对树高(TH)进行了相应的内业量测工作。前方交会、后方交会运算及数字地面模型(简称DHM)程序见附1(MTREE4、MTREE5)(略)。其中,文件名MTREE4指的是,其运算程序中的DHM所取的曲面方程是二次项,即 $Z = AX^2 + BXY + CY^2 + DX + EY + F$ ,简称DHM二次项运算;文件名MTREE5指的是,其运算程序中的DHM所取的曲面方程是一次项,即 $Z = DX + EY + F$ ,简称DHM的一次项运算。

由于试验区森林郁闭度很高,立体镜下样地上所观察到的裸露处非常少,很难使得DHM中的数据点均匀分布,故影响了数字地面模型精度。为改善DHM精度,本次试验使用了外业优势高(此处优势高是指上层林木的平均树高),即利用已知的外业优势高值及内业计算出的优势高之差值,对数字地面模型进行平移,作系统误差改正。结果表明其精度有了很大的提高。

考虑到此试验区地表起伏不大,大部分样地的地表比较平缓这一特点,还设想用平地代替DHM,即用平面代表样地地表,进行树高的量测及运算试验(在此运算中也应用了外业优势高进行系统误差纠正)。试验结果见表1。由于样地中树木太密,使得内、外业的单株树木很难一一对应,故表1中所示的是每块样地的平均树高。

表1 内、外业树高测定值

(单位: m)

样地号	外业(平均高)测定值	取DHM用优势高的二次项运算		取DHM用优势高的一次项运算		取平面代替DHM并用优势高	
		平均树高	误差	平均树高	误差	平均树高	误差
1	15.0	14.7	+0.3	15.1	-0.1	15.6	-0.6
2	18.4	18.7	-0.3	20.1	-1.7	20.3	-1.9
3	19.4	19.1	+0.3	19.2	+0.2	18.1	+1.3
4	17.9	15.9	+2.0	16.0	+1.9	17.2	+0.7
5	19.8	18.2	+1.6	18.1	+1.7	19.8	0
6	18.6	18.2	+0.4	18.7	-0.1	17.7	+0.9
7	15.8	13.6	+2.2	15.9	-0.1	16.4	-0.6
8	14.8	14.6	+0.2	14.6	+0.2	15.1	-0.3
9	17.0	17.7	-0.7	17.8	-0.8	18.1	-1.1
10	15.9	16.4	-0.5	17.0	-1.1	16.6	-0.7
11	16.5	17.0	-0.5	17.4	-0.9	17.2	-0.7
12 <sup>①</sup>	15.4	14.7	+0.7	14.3	+1.1	14.7	+0.7
13 <sup>①</sup>	16.1	16.0	+0.1	13.8	+2.3	16.0	+0.1
14 <sup>①</sup>	13.7	17.0	-3.3	16.5	-2.8	17.9	-4.2
15	19.6	20.4	-0.8	20.8	-1.2	22.3	-2.7
16	16.3	19.4	-3.1	19.0	-2.7	21.1	-4.8
17 <sup>①</sup>	19.1	21.3	-2.2	21.3	-2.2	21.3	-2.2
18 <sup>①</sup>	11.6	10.4	+1.2	11.9	-0.3	10.4	+1.2
19 <sup>②</sup>	13.5	11.5	+2.0	11.5	+2.0	4.4	+9.1
20	13.9	12.3	+1.5	12.2	+1.7	12.8	+1.1
21	13.1	14.7	-1.6	14.9	-1.8	12.4	+0.7
22	13.1	11.4	+1.7	12.7	+0.4	13.1	+0.1
23	13.1	13.3	-0.2	6.4	+6.7	13.3	-0.2
中误差	M	±1.5		±2.0		±2.5	

①由于其二次项迭代运算不收敛,故用“平面”的运算结果。

②由于其一次项迭代运算不收敛,故用“二次项”的运算结果。

表 1 列出了在建立同一数据文件并采用优势高进行系统误差改正的基础上,由使用 DHM 的二次项运行程序、DHM 的一次项运行程序,取平面代替 DHM 的运行程序所取得的不同计算结果及误差。

#### 4 数据分析及精度评定

此次实验因使用了数字地面模型,故其误差均匀分布,打破了传统的照片判读值比实地值偏小的结果。从表 1 中所列误差值来看,二次项迭代运算误差最小,这点从中误差值上也很显然地表现出来,但也有少量样地的运算结果例外。如表 1 中 12、13、14、17、18 号样地,其二次项迭代运算不收敛,而一次项迭代运算及平面代替 DHM 的迭代运算都收敛,且平面代替 DHM 的运算所得出的树高精度高于一次项运算所得出的树高精度,这是因为上述这几块样地的地表本身较平缓,而样地数据点分布不均,致使 DHM 的模拟曲面失真所造成。而在上述几块样地中,二次项运算取平面代替 DHM 的运算结果,对于 19 号样地,由于样地的地表起伏较大,当 DHM 的数据点太少时,也会导致 DHM 的模拟曲面失真,使其一次项迭代运算不收敛,当用二次项运算结果代之。故在第 19 号样地上,采用平面代替 DHM 所计算的树高,误差较大。

就精度而言(表 2),采用二次项拟合地表运算精度最高。其内、外业树高测定值的关系见图 1。

表 2 精度对比

方 法	中误差 M(m)	样地数	占整个样 地数的%
I 二次项拟 合地表运算	$M > 2.0$	4	17
	$2.0 > M > 1.0$	7	83
	$M < 1.0$	12	
II 一次项拟 合地表运算	$M > 2.0$	5	22
	$2.0 > M > 1.0$	9	78
	$M < 1.0$	9	
III 平面代替 DHM 运算	$M > 2.0$	5	22
	$2.0 > M > 1.0$	5	78
	$M < 1.0$	13	

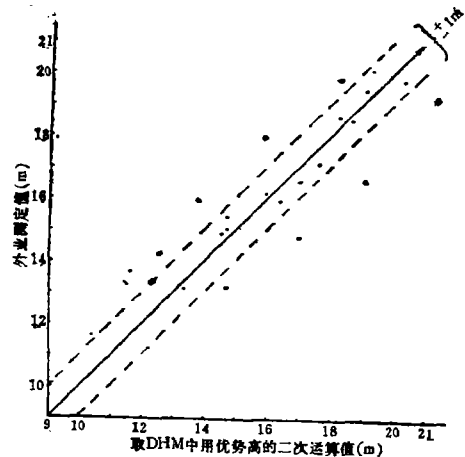


图 1 内、外业树高测定值关系(二次项运算)

由此可见,采用二次项曲面模拟的数字地面模型,并用外业优势高进行系统误差改正的运算方法,其树高量测精度最好,中误差为: $M = \pm 1.5 \text{ m}$ (表 1)

对误差来源分析如下:

(1) 误差是假设外业测定值为真值计算的,而此处外业测定值本身就含有  $\pm 5\%$  的仪器误差。

(2) 数字地面模型的数据点分布不均,使运算出的树根高程值  $Z_{底}$  精度受影响。

(3) 由于象片分辨力所限,针叶树的锥形梢部不能构象。

(4) 存在量测误差,这与仪器的量测精度和操作人员的熟练程度有关。

(5) 采用二次曲面拟合法模拟DHM,本身只是一种近似,因此随机误差必然随着地形结构的复杂程度而变化,越是复杂地表,误差越大。

## 5 结果和讨论

本次测高的中误差为 $\pm 1.5$  m,本次试验中的树高量测,是在最普通的立体量测仪上进行的,此量测仪价格低廉,符合我国国情,若采用昂贵的解析测图仪进行树高量测,结果会更好。

在大比例尺航片上,解决了树高象片量测精度以后,其他测树因子诸如冠幅、郁闭度、地类面积、蓄积量、株数等的象片量测精度也会随之而满足,不久的将来,就可能代替二类森林调查中的全部野外工作。

虽然大比例尺航空摄影,就目前来说有成本高的缺点,但随着国民经济和航摄技术的发展,会在森林资源调查中占有越来越重要的地位。

### 参 考 文 献

- [1] Aldred, A. H. et al., 1967, Plot volumes from large-scale 70 mm air photographs, *Forest Science*, 13(4), 419.
- [2] 小木和彦, 1982, 航空象片判读与间伐, 林业技术, 8.
- [3] 小木和彦, 1984, 用航空象片对桦类为主的次生林材积进行推算, 北方林业, 3, 71~73.
- [4] 卡尔·林纳, 1985, 摄影测量学, 393.

## *Application of Large Aerophotos for the Height Measurement of Tree*

Sheng jie

(The Research Institute of Forest Resources Information Technique CAF)

**Abstract** This paper presents a new method of measuring the height of trees through aerophotos. Based on the area unit centered at the root of a tree, a Digital Height Model (DHM) can be established by using "Moving Tilted Plane" to fit the terrain surface. With the DHM, the problem of invisibility of the root of a tree covered by shrubbery or bushes can be solved. As a result of an experiment, the measuring accuracy has been improved and the mean square deviation of 1.5 (m) for measuring the height of tree has been reached.

**Key words** forest inventory; large scale aerophotos; measurement of tree