

大比例尺航空照片测高 估测森林蓄积量的研究*

赵宪文

(中国林业科学研究院资源信息研究所)

尹关聪

(浙江林学院)

汤伟

(太原工业航空公司)

王卫东

(吉林省临江林业局)

摘要 本文用我国自行拍摄的1:2 200比例尺的黑白航片,与地面样地配合,研究了室内仪器测高与实测高的相关关系。结果表明相关系数可达0.8以上,可用其在某些调查中代替实测。用室内仪器测高估测全局蓄积量,其精度为81.84%,如用航片和野外两期样地对全局蓄积量进行联合估计,估测精度为85.81%。这些为在森林调查中减少地面工作量和利用已往资料,进行了有益的探索。为进行森林经理调查(二类调查)乃至伐区调查又辟出了一条可循之径。

关键词 森林调查;蓄积估测;大比例尺航片

近年来,人们已不满足于常规比例尺航片的应用,逐渐探索大比例尺航空照片的潜力和在生产中实用的可能性。如美国、加拿大、苏联、澳大利亚等国所采用的比例尺一般从1:200~1:2 000。大比例尺航片通常用于多阶抽样(作为其中之一阶)或用于编表。总的目的都是力图代替实测。实践表明,大比例尺航空照片应用于森林调查,可提高效率、降低成本。本文的研究仅限于用照片测高来估测森林蓄积量,实验是以吉林省临江林业局为对象的。

1 实验条件与研究方法

吉林省临江林业局位于吉林省东部、长白山主峰白云峰的西麓,南面以鸭绿江为界,全局包括12个林场,总面积为208 000 ha。全局包含两种地貌,在坡口以上为以玄武岩为主体的高原台地,由东向西倾斜,平均坡度5°,坡口以下为山地。气候属温带大陆性气候区,年均降水700~800 mm。局北部和西北部以次生林为主,主要为阔叶混交林;局南部和东南部是原始林,以针阔混交林为主,整体来看属于温带落叶林区。由于全局地貌单元和植被类型的差异,致使蓄积量变化很大,据历史调查材料,每公顷蓄积量的变动系数为70%~80%。

为进行本项研究,由民航在全局进行了贯穿式带状摄影,设计航摄比例尺为1:1 000,摄影结果为1:1 500~1:3 200,摄影机焦距为304 mm,象幅为23cm×23cm。与航摄同年和次

本文于1990年10月28日收到。

*太原工业航空公司、吉林省林业调查规划和吉林省临江林业局为本项研究提供各种资料和试验场地,特此致谢。

年进行了两次地面调查,选取与地面样地对应的航片进行精确刺点。将样地的四角精确地刺于航片上,刺点的现地误差不大于 $\pm 3.0\text{m}$ 。样地实测项目为树高、株数、冠幅和蓄积量等。

本研究两次收集地面样地共88块,样地面积0.1 ha,林地样地占70块,其中对18块样地量测了树高等有关测树因子,照片比例尺为1:2 200,量测树高方法分别采用视差测高^[1]和用双曲面模拟地面模型的方法^[2],通过标准表查算蓄积,然后用小样本方法和联合估计的方法推算全局蓄积量。

2 结果与分析

2.1 测高的相关分析

对上述两种方法测高所得结果进行了相关分析(表1)。表1中所列相关数据基本上分为三大类:①实测数据:总平均高为全部实测高之总平均值;I、II、III为样地内实测I、II、III级木之平均高;2/3和4/5分别为实测高由大到小,株数的2/3和4/5之树高平均数;20株、30株优势高是指实测值从大到小20株或30株的平均高。②视差测高:总平均为全部视差高之平均值;等株,是指与模拟地面模型测高同等株数(也是依大到小取值)的平均值。③模拟地面模型测高:总平均,是指在地面模型上测定样地全部高的总平均值;拟平测高,是在假定拟平面上测定的树高平均值;优势高,是在地面模型基础上测定的优势木平均高。

表1 实测与照片量测高相关系数

总平均	实 测			视 差 测 高		地 面 模 型 测 高			实 测		项 比 目 较	测 方 定 法
	I、II、III	2/3	4/5	总平均	等 株	总平均	拟平面	优势高	20株 株 优势高	30株 株 优势高		
1.0	0.85	0.94	0.96	0.84	0.80	0.42	0.61	0.62	0.70	0.76	总 平 均	实
	1.0	0.93	0.91	0.95	0.88	0.66	0.70	0.80	0.89	0.79	I、II、III	
		1.0	0.99	0.90	0.83	0.58	0.69	0.71	0.80	0.81	2/3	测
			1.0	0.89	0.81	0.52	0.66	0.67	0.78	0.79	4/5	
				1.0	0.94	0.67	0.76	0.76	0.82	0.78	总 平 均	视 测
				1.0	0.71	0.74	0.78	0.83	0.82	等 株	差 高	
						1.0	0.37	0.51	0.55	0.62	总 平 均	地 型 面 测 模 高
							1.0	0.79	0.75	0.70	拟 平 面	
								1.0	0.85	0.77	优 势 高	实 测
									1.0	0.80	20株优势高	
										1.0	30株优势高	

首先分析实测自身的相关,20株、30株的平均高与总株数相关是较低的。从I、II、III级木开始,随着株数的增加,相关逐渐紧密,这是十分合乎情理的。再看实测总平均与模拟地面模型,几种作法相关都在0.65以下,说明两种数据基本无关。用这种方法取得的数据在本次试验中用来代替实测是不适宜的。视差测高与实测总平均值的相关是较紧密的,通常都在0.80以上,最高的是视差测高总平均值与实测I、II、III级木相关可达0.95,说明视差测高可以在一定程度上代替实测,是可用的。视差测高所看见的株数与林中I、II、III级木是十分吻合的。鉴于上述分析,我们选择了视差(杆)测高的结果作为蓄积估测的基础。

2.2 实测高与量测高几种线型的拟合情况

在线性拟合分析的基础上,又分别对各组数据进行了对数、幂函数、指数和多项式四种

线型的拟合。结果表明,多项式拟合一般都会提高相关系数,对有的数据幂函数效果更佳。下面给出部分结果。

表2 实测高与量测高不同函数关系下的相关系数

变量对	函数关系				
	线性	对数	幂函数	指数	多项式
实测总平均高与实测4/5株数平均高	0.9647	0.9638	0.9711	0.9622	0.9713
实测总平均高与视差测高总平均高	0.8397	0.8392	0.8547	0.8502	0.8272
实测总平均高与视差测高等株平均高	0.7965	0.7931	0.8114	0.8096	0.6249
实测总平均高与模型测高总平均高	0.4277	0.4388	0.4204	0.4003	0.6961
实测总平均高与模型测高拟平面平均高	0.6089	0.5998	0.4541	0.4623	0.5843
实测总平均高与模型测高优势平均高	0.6197	0.6042	0.5373	0.5524	0.6271

从表中看出,实测与自身数据的回归,当株数达4/5时,尽管线性拟合已经十分理想了,多项式拟合的相关系数仍比线性拟合略胜一筹。

在视差杆测高数据与实测平均高的关系中,幂函数拟合的效果似乎更好一些。在模拟地面模型测高与实测平均高的关系中,尽管也有所提高,但总的来看相关系数都在0.60左右,说明拟合效果不好,进一步说明了模拟地面模型测高的方法在本次试验中是不适宜代替实测数据的。

2.3 用视差杆测高值估测样地蓄积

因本地区没有航空材积表,故采用当地的标准表试算。用视差杆测算的平均高和比较法估测的郁闭度,按优势树种估测样地蓄积。

表3 视差测高估测蓄积与实测蓄积比较

样地号	平均高 (m)	郁闭度	查表蓄积 (m ³)	实测蓄积 (m ³)	误差 (%)	样地号	平均高 (m)	郁闭度	查表蓄积 (m ³)	实测蓄积 (m ³)	误差 (%)
3	13.2	0.4	5.3	10.4	49	20	17.7	0.5	12.4	14.1	12
8	20.1	0.6	17.7	27.1	35	21	19.2	0.8	21.4	32.1	33
9	19.7	0.6	17.7	23.5	25	22	18.4	0.6	14.7	24.3	40
10	17.0	0.85	21.3	31.0	31	23	20.3	0.7	19.7	30.3	35
11	16.3	0.7	13.3	17.5	24	24	11.8	0.7	7.8	8.7	10
12	17.4	0.6	15.4	21.2	27	26	14.6	0.4	6.2	10.5	41
13	14.0	0.6	10.3	13.8	25	30	13.9	0.6	8.8	12.2	28
17	18.0	0.5	10.3	21.3	52	31	13.6	0.9	12.4	11.5	8
18	15.2	0.7	15.4	22.9	33	32	14.7	0.9	14.4	10.8	33

从表3看到:①视差杆测高接近实测高者,其蓄积误差也较小。如31号样地平均高差0.8m,蓄积差0.9m³,相对误差8%。相反视差测高与实测差值较大者,则蓄积误差也较大。如23号样地,高差5.5m,蓄积差10.6m³,相对误差为35%。总的来看蓄积误差小于30%的仅有44%的点。②用视差杆测高估测的蓄积,系统偏低,这是由于视差杆测高与实测相比有遗漏所致,通过线性方程可得到纠正。③求出的线性方程为 $y = -0.3157501 + 1.426926x$,相关系数0.8822。这里给出蓄积散点图以及拟合后的直线(见图1)。

④ 通过线性方程修正，视差杆测高所得蓄积值更接近实测值，结果是 67% 的点与实测的蓄积值误差小于 20%。

2.4 小样本方法估计全局蓄积量平均数

视差量测的结果经修正后来估测全局蓄积，因样本数量少，故采用小样本方法。

其估测平均数和误差限的公式为：

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

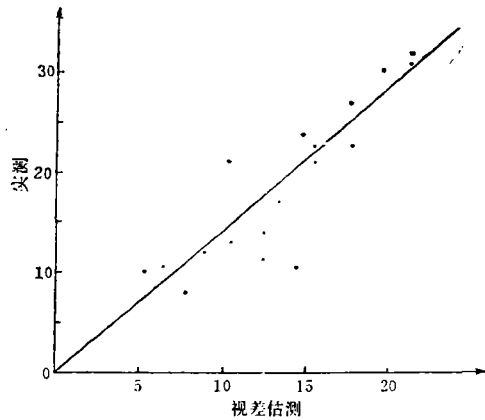


图1 视差估测蓄积与实测蓄积散点图

$$\Delta(\bar{x}) = \frac{t_a S}{\sqrt{n-1}} = t_a \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \right)}$$

式中： \bar{x} ——总体平均数的估计值； x_i ——各样本的观测值； n ——样本数量； $\Delta(\bar{x})$ ——误差限； t_a —— t 分布的双侧分位数。

$$\text{精度 } P_c(\bar{x}) = 1 - \frac{\Delta(\bar{x})}{\bar{x}}$$

在95%可靠性时，自由度 $k=17$ 时， $t_a=2.11$ ，计算结果 $\bar{x}=19.0672$ 。

$$\Delta(\bar{x}) = 2.11 \sqrt{\frac{1}{18 \times 17} (7368.0304 - 6544.0461)} = 3.4625$$

$$P_c(\bar{x}) = 81.84\%$$

即平均数为19.0672时，估测精度为81.84%。

2.5 用联合估计方法估测全局蓄积量

利用两套不同的样本资料对总体进行估计，以提高总体平均数的准确度，并提高估测精确度是联合估计的目的。为了发挥前一年部分地面样地资料的作用，我们采用了联合估计的方法，采用公式如下：

$$\text{总体平均数联合估计值 } \bar{y} = \frac{1}{S_{y_1}^2 + S_{y_2}^2} \left[S_{y_2}^2 \cdot \bar{y}_1 + S_{y_1}^2 \cdot \bar{y}_2 \right]$$

$$\bar{y} \text{ 的方差估计值 } S_y^2 = \frac{S_{y_1}^2 \cdot S_{y_2}^2}{S_{y_1}^2 + S_{y_2}^2} \left[1 + \frac{4S_{y_1}^2 \cdot S_{y_2}^2}{(S_{y_1}^2 + S_{y_2}^2)^2} \left(\frac{K_2 + K_1}{K_1 \cdot K_2} \right) \right]$$

其中： $S_{y_1}^2$ ——第一套样本平均数 \bar{y}_1 的方差估计值； $S_{y_2}^2$ ——第二套样本平均数 \bar{y}_2 的方差估计值； n_1 ——第一套样本单元数； n_2 ——第二套样本单元数； K_1 ——第一套样本的自

由度, $K_1 = n_1 - 1$, K_2 ——第二套样本的自由度, $K_2 = n_2 - 1$ 。

由两个估计值所组成的线性最优无偏估计值, 是该两个估计值各用对方的方差进行加权的估计值, 因此, 有时将这个估计值叫作以方差进行反权的联合估计值。

如将上式中总体平均数估计值的方式进行代换, 令

$$S_{\bar{y}_1}^2 = w_1^{-1}, S_{\bar{y}_2}^2 = w_2^{-1} \quad \text{于是}$$

$$\bar{y} = \frac{1}{w_1 + w_2} (w_1 \bar{y}_1 + w_2 \bar{y}_2)$$

因此有时将线性最优无偏估计值也叫作以方差的倒数进行加权的联合估计值。

从上述介绍, 我们不难看出: 联合的原则, 就是方差大的估计值所占权重小, 方差小的估计值所占权重重大。也就是说, 精度高的估计值在联合估计值中占较大的比重。

在本题中第二套样本数计 52 个。 $\bar{y}_1 = 19.0672$; $S_{\bar{y}_1}^2 = 1.6409$; $\bar{y}_2 = 13.3712$; $S_{\bar{y}_2}^2 = 1.4612$; $S_{\bar{y}_1}^2 = 2.6927$; $S_{\bar{y}_2}^2 = 2.1351$; $K_1 = 17$; $K_2 = 51$; 计算结果:

$$\bar{y} = 15.8902 \quad S_{\bar{y}}^2 = 1.2830$$

在 95% 的可靠性下 $t_\alpha = 1.99$, 估计误差限 $\Delta(\bar{y}) = t_\alpha \sqrt{S_{\bar{y}}^2} = 2.2541$; 相对误差 $E\bar{y} =$

$$\frac{2.2541}{15.8902} = 14.19\%, \text{ 精度 } P = 1 - 14.19\% = 85.81\%。$$

由计算结果看出采用联合估计, 使得估测精度提高了 4% (与小样本方法相比)。

2.6 与全局实际蓄积比较

临江林业局总面积 207 747 ha, 其中有林地 173 344 ha, 据联合估计总蓄积为 27 544 700 m^3 , 与实际蓄积 26 988 346 m^3 相差 556 354 m^3 , 相对误差 2.1%。

如仅用地面 52 块实测样地估测, 则与实际蓄积差 3 810 260 m^3 , 相对误差 14.19%。结果表明: 部分视差杆量测与部分实测样地的联合估计, 精度较好。可以把一部分地面工作变为室内作业。

3 初步结论与展望

(1) 在大比例尺航空照片上用视差杆测高的方法是可行的, 可应用于林业生产, 它与实测值有较好的相关。

(2) 通过修正可以代替地面量测。它比地面高的量测系统偏高, 估测样地蓄积比实测蓄积系统偏低。

(3) 如有一定量的照片量测样地, 通过相应的数表, 可以推算全局蓄积量, 并满足一定的精度。

(4) 视差量测与地面实测联合估计取得较好的精度, 为利用以往资料提供了范例。并提示我们可以把一部分地面工作变为室内量测。

(5) 大比例尺航片的量测, 可应用于编表和伐区调查, 这方面的工作有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 张德宏, 1990, 大比例尺航片主要测树因子量测分析, 林业科学研究, 3(6): 595~599。
 [2] 沈洁, 1991, 应用大比例尺航片进行树高的量测, 林业科学研究 4(1): 74~78。
 [3] Кузенков. Л. А., 1985, Использование материалов крупномасштабной аэрофотосъемки леса при автоматизированном дешифрировании космических снимков, Исследование земли из космоса, (2): 90~96。
 [4] 郭德友译, 大比例尺象片在森林资源清查中的应用, The Forestry Chronicle, 1975, №51。

Research on the Estimation of Growing Stocks by Using Large Scale Aerial Photos to Measure Tree Height

Zhao Xianwen

(The Research Institute of Forest Resource Information Technique CAF)

Yin Guanchong

(Zhejiang Forest University)

Tang Wei

(Taiyuan Industry Aerial Company)

Wang Weidong

(The Forest Bureau of Linjiang County, Jilin Province)

Abstract In this paper, the correlability between measurement of tree height in the lab. and in the field was explored by combining the plots of the aerial photo with a scale of 1:2200 with the field plots. The result shows that the correlation coefficient has reached over 0.8, so the measurement of tree height in the field can be replaced by the measurement in lab. instrument to measure the tree height in lab. to estimate the growing stock of the whole bureau, the accuracy was 81.84%. However, we conducted a combining estimation of the growing stock of the whole bureau by using the plot stock measured in lab. and the last plot stock in the field. The accuracy was 85.81%.

In order to reduce the field work and make full use of the previous material, a beneficial approach was conducted.

This is another useful method for carrying out forest management inventory or forest operational inventory.

Key words forest investigation; estimation of growing stock; large aerial photos