

# 航空象片数量化林分蓄积量表 编制技术

李克渭 汪兆忠 李留瑜

(林业部调查规划院)

1985年12月17日收到

## 一、引言

数量化理论作为多元分析的一个分支,始于五十年代,六十年代以后,在自然科学领域中的应用日趋增多。按所研究问题的目的不同,当前已有五种数量化理论<sup>[1]</sup>,分别称为数量化理论I、II、III、IV、V。数量化理论使得我们不仅可以利用定量变量因子而且可以利用定性变量因子,从而能够充分地利用已有信息,扩大我们的研究范围,使许多过去只能定性研究的事物,可以提高到定量研究的水平上来,达到更全面地研究事物之间的联系和规律性的目的。

在森林资源调查中,航空象片是一种十分重要的图面资料。但是,要在中小比例尺的航空象片上,准确测量影响林分蓄积量的关键因子,如林分平均直径、平均高、林木株数和疏密度等,尚有一定困难,从而限制了航空象片信息潜力的发挥。

森林的生长发育、产量和质量,除与林木本身的遗传特性有关外,还受森林环境多因素的综合影响。多数环境因子比较容易在中小比例尺航空象片上予以判读。航空象片数量化林分蓄积量表的编制技术,就是在研究林分平均蓄积量与诸因子(定量的和定性的)之间相关关系的基础上,选取与林分平均蓄积量紧密相关又易于获取的因子,在航空象片上进行判读和量测,然后抽取一定数量的样本小班进行实测,按照数量化理论I编制数量化林分蓄积量表,并用航空象片上的判测因子值,查定和计算各种林分的单位面积平均蓄积量。此种技术,已得到越来越多的应用。

近十年来,我院在森林资源调查和试验性工作中,编制了一些林区的数量化林分蓄积量表<sup>[2]</sup>。如1975年试验编制了有十种离散型自变量的黑龙江省小兴安岭带岭林业实验局航空象片数量化林分蓄积量表<sup>1)</sup>。这种技术方法,曾在黑龙江大兴安岭和西藏自治区等森林资源调查中得到了良好的应用效果。1978年,利用1:3.4万比例尺的全色航空象片和彩色红外航空象片,试验编制了云南省腾冲县的航空象片数量化林分蓄积量表<sup>2)</sup>,将全色航空象片上林分小班的平均透射密度值、林分群体结构特征以及彩色红外航空象片的

1) 施斌祥、王光恩等,编制森林判读样片和数量化蓄积量表初报,林业勘察设计,1976年,第2期。

2) 李留瑜、李克渭、李芝喜、张裕农、肖永林,应用航空遥感图象进行森林定量分析,腾冲航空遥感试验报告文集农林分册,1979年。

色彩要素纳入了编表因子,进一步利用了中小比例尺航空象片的信息。1984年,又利用 1:3 万及其放大的 1:1.2 万比例尺的多光谱第 5 波段航空象片,编制了广东龙门南昆山林场的航空象片数量化林分蓄积量表<sup>1)</sup>。该表采用自变量为连续变量和离散变量同时存在的混合数学模型,防止了在把连续变量按级距划分为离散型变量时信息的损失,为进一步提高数量化林分蓄积量表的预测能力提供了技术上的保证。据对未参加编表的部分实测样地的检验,该数量化林分蓄积量表的精度可达 97.7%。

## 二、以数量化理论 I 编制航空象片数量化林分蓄积量表的一般数学表达式

实测小班每公顷蓄积量  $Y$  依赖于航空象片上判读和量测的  $m$  个变量  $Z$ , 于是有方程:

$$\bar{Y} = b_{1f_1}(Z_1) + b_{2f_2}(Z_2) + \cdots + b_{mf_m}(Z_m) \quad (1)$$

(1)式设  $m$  个变量中的每一个变量划分若干个类目,  $m$  个变量划分的类目总数为  $K$ , 可把  $K$  个类目看作新的变量  $X$ , 则(1)式可变为:

$$\bar{Y} = B_1X_1 + B_2X_2 + \cdots + B_kX_k \quad (2)$$

(2)式设  $m$  个变量中有  $n$  个变量为连续变量而不划分类目, 只有  $m - n$  个变量共划分为  $L$  个类目, 令  $n + L = K$ , 可把  $n$  个项目变量和  $L$  个类目变量, 看作新的变量  $X$ , 则(1)式亦可以(2)式表示。

对于(2)式, 它的第  $i$  次观察值的数据结构是:

$$X_{i1}, X_{i2}, X_{i3}, \cdots, X_{ik}, Y_i$$

当观察值属于离散型变量的  $j$  类目时,  $X_{ij} = 1$ , 否则  $X_{ij} = 0$ 。当观察值属于连续变量的  $j$  项目时,  $X_{ij}$  即等于观察值本身。

由此, 新的数据结构的数学关系式为:

$$Y_i = B_1X_{i1} + B_2X_{i2} + \cdots + B_kX_{ik} + \Sigma_i$$

并可建立方程组, 其矩阵表达式为:

$$Y = XB + \Sigma$$

其中:

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_n \end{bmatrix}, \quad \Sigma = \begin{bmatrix} \Sigma_1 \\ \Sigma_2 \\ \vdots \\ \Sigma_n \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1k} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2k} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{nk} \end{bmatrix} \quad n \geq k$$

求解上述线性方程组, 即可得到  $B$  的最小二乘估计值  $b_k$ , 其多元回归数学表达式为:

$$\hat{Y} = b_1X_1 + b_2X_2 + \cdots + b_kX_k$$

$b_k$  可视为数量化林分蓄积量表中各个类目的得分值, 或各连续变量项目的系数值。

## 三、林分平均单位蓄积量与诸因子的相关关系

近十年中, 我院多人曾先后在不同林区对影响林分平均蓄积量的因子进行深入的研

究,其中既有定性的因子,也有定量的因子,这些因子(表 1)大都从中小比例尺的全色航空象片上判读或量测而得,也有一些是从彩色红外航空象片和地形图上获得。

**表 1 影响林分平均蓄积量的因子**  
**Table 1 Factors Effected on Stand Average Volume**

测 树 因 子	环 境 因 子	群 体 因 子	色 彩 因 子
林分类型	坡 向	平均透射密度	色 别
优势树种	坡 度	林冠紧密度	饱 和 度
年 龄	坡 位	林冠几何形状	明 度
优势树种平均高	高 程	模型立体感	
林分平均高		林 层	
郁 闭 度			
林分平均冠幅			
径级组成			

在不同林区,这些因子与林分平均蓄积量的相关关系有所差异。表 2 为黑龙江省小兴安岭带岭林业实验局航空象片数量化林分蓄积量表,表 3 为云南省腾冲县实测因子与小班平均蓄积量的偏相关系数,表 4 为云南省腾冲县多种因子编制的数量化林分蓄积量表中各因子与小班蓄积量的相关关系,表 5 为西藏自治区航空象片数量化林分蓄积量表中各因子的偏相关系数,表 6 为广东省龙门县南昆山林场阔叶树类型数量化林分蓄积量中的偏相关系数和复相关系数。

**表 2 黑龙江小兴安岭带岭林业实验局航空象片数量化林分蓄积量表**  
**Table 2 Stand Digital Aerial Photo Volume Table Compiled by Dailing Forestry Experiment Bureau of Xiau-Xinganling Mountain of Heilongjiang Province**

因子 \ 因子数	偏相关系数										偏相关系数
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	
林分类型	1.000	0.226	0.216	0.430	0.149	0.190	-0.025	0.204	-0.200	0.605	0.415
优势树种		1.000	0.209	0.453	0.106	0.127	-0.136	0.300	-0.047	0.390	0.236
龄 组			1.000	0.682	0.050	-0.096	0.162	0.311	0.149	0.428	0.034
优势树种平均高				1.000	0.108	0.041	-0.214	0.383	0.026	0.690	0.132
郁 闭 度					1.000	-0.036	-0.032	0.287	0.260	0.245	0.734
坡 向						1.000	-0.083	0.015	-0.205	0.180	0.037
坡 度							1.000	-0.263	-0.222	-0.176	0.130
坡 位								1.000	0.383	0.382	0.135
高 程									1.000	-0.051	0.280
径级组成										1.000	0.498
复相关系数	0.632	0.664	0.680	0.714	0.894	0.894	0.896	0.901	0.907	0.924	

表3 云南腾冲实测因子与小班平均蓄积量的偏相关系数

Table 3 Deviatoric Correlation Coefficient of Factors and Subcompartment Average Volume Actually Measured in Tengchong County of Yunnan Province

因 子	针叶树类型数量化表	阔叶树类型数量化表
龄 组	0.242	0.48
郁 闭 度	0.695	0.53
树 高 组	0.707	0.24
坡 向	0.061	0.18
坡 度	0.438	0.34
坡 位	0.434	0.17

表4 云南腾冲多种因子编制的数量化林分蓄积量表中各因子与小班蓄积量的相关关系

Table 4 Relative Relation between Each Factor and Subcompartment Volume in Stand Digital Volume Table Compiled with Multifactor of Tengchong County of Yunnan Province

编 表 因 子	与蓄积量的相关系数
彩色红外航空象片色彩三元素	0.823
色 种	0.753
航空象片平均透射密度	
未消除阴影	0.487
比值法消除阴影	0.549
加入地形因子	0.653
林冠结构特征	0.872
林冠紧密程度	0.780
林冠几何形状	0.540
立体感	0.490
郁闭度	0.391
树高	0.489
郁闭度+树高	0.701
坡度	0.358

表5 西藏自治区航空象片数量化林分蓄积量表中各因子的偏相关系数

Table 5 Deviatoric Correlation Coefficient of Each Factor in Stand Digital Aerial Photo Volume Table of Tibet Autonomous Region

编表因子	云冷杉类型数量化表	松树类型数量化表	阔叶树类型数量化表
树高组	0.87	0.71	0.75
郁闭度	0.61	0.71	0.75
坡 位	0.20	0.13	0.20
坡 度	0.26	0.15	0.13
坡 向	0.16	0.07	0.07
海拔高	0.09	0.23	0.13

表 6 广东龙门南昆山林场阔叶树类型量化林分蓄积量表中的偏相关系数和复相关系数  
 Table 6 Deviatoric Correlation Coefficient and Multicorrelation Coefficient in Stand Digital Volume Table of Hardwood Type in Nankuenshan Forest Ground of Longmen County of Guangdong Province

编 表 因 子	自变量全为离散型数量化林分蓄积量表	自变量为离散型和连续型数量化林分蓄积量表
树 高*	0.28	0.42
郁 闭 度*	0.48	0.40
平均冠幅	0.17	0.26
龄 组	0.19	0.41
坡 度	0.03	0.03
坡 位	0.03	0.04
坡 向	0.12	0.15
林 层	0.54	0.45
海 拔 高	0.14	0.17
复相关系数	0.81	0.86

\* 在混合模型中为连续变量

从上述数据看,所研究过的各项编表因子与林分平均蓄积量都有一定程度的相关关系,其紧密程度因林区、林分类型、编表因子的数量和种类的差异以及因子间的交互作用而有一定的变动幅度。另外,对于同一个项目来说,十分关键的是其类目划分的合理性。

#### 四、数量化林分蓄积量表的编制

航空象片数量化林分蓄积量表的编制,大体可分如下几个步骤。

##### (一) 设计总体方案,确定编表单位

不同的森林类型,有着不同的生长发育过程、测树特性和对立地条件的要求,一般均按不同的森林类型编制数量化林分蓄积量表,而相似的林分类型,则可予以合并编表。

##### (二) 确定样本抽取方法,收集样本资料

数量化林分蓄积量表中各类目的得分值,是根据收集的样本特征值计算的,为了使编制的数量化林分蓄积量表具有好的预测能力,需要考虑编表样本的代表性和准确性。这一原则必须在样本抽取和整个样本材料的收集过程中予以充分重视。

从文献看,样本的数量一般都要求大于所编制数量化林分蓄积量表总类目数的两倍。实践证明,这是一个最低的数量。特别是在某些林相不整齐的林区,想使少量的样本具有很好的代表性是困难的。这就要适当加大样本的容量。实践中,在林相比较整齐的林区,我们一般使样本数量达到总类目数的 4—5 倍以上;在林相不甚整齐的林区,使样本数量达到总类目数的 6—7 倍以上。除了有足够的样本单元外,还需要考虑样本单元在各个类目中的分布。显然,以每个类目有均匀的样本数为最佳。

##### (三) 确定编表项目、项目数据类型和类目级距

目前,由于航空象片种类的增多,判读和量测技术的提高,从航空象片上获得的信息种类是很多的。为使所编制的数量化林分蓄积量表能有较好的预测效果,又便于编表,需要对编表因子进行选择 and 筛选,合理确定编表因子的种类和数量。在选择编表因子之前,

必须充分了解调查地区的情况,这些情况主要有:(1)森林类型及其水平分布和垂直带谱;(2)气候状况、成土母质、土壤的特点和分布,及它们对森林生长发育的影响,特别要摸清哪些是限制因子;(3)本地区各种林分类型林木的生长发育规律,生物学特性,波谱特性;(4)经营类型,采伐、更新方式;(5)航空象片种类及比例尺,摄影年代和季节,判读量测特性及可以达到的精度。

在此基础上,可初步确定既易从航空象片上判读和量测,有精度保证,又与林分平均蓄积量紧密相关的编表因子,然后再进行筛选。筛选的原则是:(1)对于基准变量(蓄积量)的贡献要大;(2)参加编表的因子间的交互作用小,最好是相互独立,一般简相关系数不要超过0.4;(3)尽量选择能反应林分群体特性的综合因子。

因子筛选的方法一般有两种:一种是增加项目法,即每一步增加一个项目,以选取用尽量少的因子就能使剩余均方(剩余平方和除以它相应的自由度)达到预定小的有关项目。另一种是减少项目法,即先取全部已拟的项目,用数量化理论 I 编制数量化林分蓄积量表,然后逐次减少一个项目,减少的项目按偏相关系数不显著或对林分蓄积量贡献小的标准来逐次确定。

在实践中,一般采用减少项目法。在筛选过程中必须充分注意到因子之间的相互作用,防止因去掉某一个因子而造成其它因子与蓄积量间偏相关值大幅度降低。这就需要多方借鉴以往的经验,根据林学特性进行分析。一般,人们为了提高数量化林分蓄积量表的预测精度,十分重视编表因子的选择。但是,对于离散变量来说,各项目内级距(类目)的合理划分同样十分重要。类目划分过粗或过细,均会丢失航空象片所能提供的信息或造成判读困难,使判对率降低,影响数量化林分蓄积量表的预测精度。这可从表7列出的广东龙门南昆山林场阔叶树类型数量化林分蓄积量表编表因子类目划分与偏相关系数的关系中看出。

表7 广东龙门南昆山林场阔叶树类型数量化林分蓄积量表编表因子类目划分与偏相关系数的关系  
Table 7 Relation between Factor Category Division and Deviatoric Correlation Coefficient in Stand Digital Volume Table of Hardwood Type in Nankuanshan Forest Ground of Longmen County of Guangdong Province

编表因子	划分类目数及级距标准	r 偏相关系数
冠 幅 (m)	三级: $\leq 2.0$	0.12
	2.01—4.50	
	$> 4.50$	
(m)	二级: $\leq 2.0$	0.19
	$> 2.0$	
郁 闭 度	三级: $\leq 0.3$	0.50
	0.4—0.6	
	$> 0.6$	
度	二级: $< 0.6$	0.33
	$\geq 0.6$	

如了解树高的频数分布,就会有利于树高项目内级距的划分。因为树高频数分布如果存在若干个峰,那么选取波谷值作为树高级距的划分界限,将能获得最佳的判对概率。若编表地区的森林分布存在着比较明显的垂直带谱,那么,海拔高度这个项目的类目级距界限,就应该与这种垂直带谱相吻合。实践表明,正确的类目划分,同样有助于数量化林分蓄积量表预测精度的提高。

#### (四) 航空象片判读、量测

为了提高判读精度,可应用判读样片作为判读参考标准。

#### (五) 编制数量化林分蓄积量表

主要内容有:检查和剔除有明显错误的样本单元;编制样本因子反应表;求解各项目或类目系数(得分值);计算表的各项精度指标。编表的计算机程序从略。

## 五、问题讨论与展望

1. 使用中小比例尺航空象片,采用航空象片上可以识别和量测的、与林分蓄积量之间有相关关系的多种因子组合,来编制数量化林分蓄积量表,以航空象片上判读和量测的因子查取林分蓄积量,是森林资源调查的重要方法之一。它不仅是当前利用航空遥感图象进行森林定量分析的重要途径,而且也可作为航天遥感图象的应用摸索方法,积累经验。

2. 以综合性信息,如“林冠结构特征”、“密度值”、“色别”等,作为数量化林分蓄积量表的编表因子,其作用将高于如“郁闭度”、“树高”等单一因子,这是因为它们与林分蓄积量的相关关系更为紧密(见表4)。应用微密度扫描设备将更有利于对航空象片上这些综合因子的获取,它能在中小比例尺航空象片上以数十个 $\mu$ 数量级的扫描能力,来得到密度值数据矩阵(对于彩色象片,还可以获得三维密度数据矩阵),从而不仅可以计算出林分平均密度值和变动系数,而且还可以提取林分的空间纹理特征。在具备这种条件的情况下,将会使编表因子得到扩充,提高数量化林分蓄积量表的精度和实用性。

3. 一般来说,提供编制数量化林分蓄积量表的遥感信息越丰富,多元回归效果越好,数量化林分蓄积量表的精度也越高。但是,研究和实践表明,在遥感图象的信息中,存在着互相补充为主和互相重叠为主的两种关系。如林冠结构、色彩三元素和透射密度值之间,是以互相补充为主的因素,加入这些因子,均能提高复相关。而密度值与郁闭度,模型立体感与树高,饱和度、明度与坡向,林冠结构与龄组等,它们之间是以互相重叠为主的因素,对相关促进不大。因此,在编表时,必须根据实际情况,正确选定编表因子(项目)及组合,不适当地采用过多的互相重叠的因子,除增加计算工作量外,甚至有时还会出现编表精度的下降。

4. 各项编表因子中,类目划分标准必须因地制宜,符合当地的森林分布规律、年龄结构、树高频数分布结构等特点。类目的划分,应当既能反映出各类目在林分蓄积量上的差异性,又便于在图象上比较容易判读或量测,保证有最佳的判读和量测精度,当然也应当照顾森林调查和林业生产的要求。否则,不适当地划分级距,或把级距划得过细,只会造成这些因子与蓄积量之间相关性的下降。

5. 数量化林分蓄积量表, 已经出现了自变量全部为离散型的单一模型, 和自变量中包含离散型和连续型的混合模型, 这无疑是技术上的一大进步。而且材料说明, 混合型自变量数量化林分蓄积量表的编表精度要高(见表 6)。但是, 在实际应用中, 往往因为一些条件的限制, 某些项目采用连续型数据不如变换成离散型好。比如当航空象片比例尺较小, 一些定量因子的判读或量测误差较大时, 采用连续型自变量或把级距划得过细, 会降低这些因子与蓄积量的相关性。这时就不如采用能符合实际情况的离散型变量或适当增大级距的办法来编表。为便于比较, 表 8 列出了在编制广东龙门南昆山林场阔叶林类型数量化蓄积量表中, 冠幅以连续型变量和离散型变量编表时, 冠幅与样地平均蓄积量的偏相关系数。但在作这种考虑时, 必须充分估计到连续变量因子转化为离散型因子时数据中信息的损失, 估计到数据转化后一个变量将变成几个变量, 加大了正规方程的阶数, 这不仅增加了计算工作量, 更重要的是将会显著影响数量化表的预测效果, 从而不得不增加编表样本的容量。

表 8 广东龙门南昆山林场阔叶树类型数量化林分蓄积量表中冠幅与样地平均蓄积量的偏相关系数

Table 8 Deviatoric Correlation Coefficient of Crown Diameter and Sample land Average Volume in Stand Digital Volume Table of Hardwood Type in Nankuenshan Forest Ground of Longmen County of Guangdong Province

冠幅以连续型变量编表	冠幅以离散型变量编表	
	级距划分标准(米)	偏相关系数
-0.04	≤2.0	0.26
	>2.0	

可以认为, 数量化林分蓄积量表方法, 不仅可以充分利用航空象片上反映的质的因子信息, 而且还可以把那些量测精度难以提高的连续变量因子转化成有最佳量测精度概率的离散型变量, 达到最优的信息应用效果。

6. 在数量化林分蓄积量表的编制和使用过程中, 有时会发生查取和计算的小班平均蓄积量为负值的反常情况。这种情况的出现, 一般可用调整编表项目顺序和在解算方程时将项目中可能造成最小蓄积量类目的得分值假设为零等方法来解决。

7. 一种数量化林分蓄积量表的使用范围的确定, 关键是该表编表样本材料对使用林区是否具有代表性。因此, 在使用前, 要进行适用性检验。

8. 应用大比例尺的全色航空象片及彩色红外航空象片, 虽然成本较高, 但在采用多阶的调查方案进行大面积森林调查时, 仍不失为一种先进的手段。

当今, 采用中小比例尺航空遥感图象上可以识别和量测的、与林分蓄积量有相关关系的多种因子组合, 来编制自变量为单一离散型和离散、连续混合型自变量的数量化林分蓄积量表的技术, 已经能够在多种电子计算机上实现, 可用于编表的因子也可能从多种遥感图象上获得。因此, 数量化林分蓄积量表编制技术, 应用于森林资源调查的条件已经日趋成熟。这一技术的科学应用, 将可提高森林资源调查质量, 加快调查速度, 降低调查成本和劳动强度, 从而产生明显的经济效益。

## 参 考 文 献

- [1] 董文泉等,数量化理论及其应用,吉林人民出版社,1979年。  
[2] 李留瑜,我国应用航空遥感图象编制几种林分蓄积量表的试验综述,国家遥感中心编,遥感文选,科学出版社,1981年。

## The Compiling Techniques For Quantified Airphoto Stand-Volume Tables

Li Kewei Wang Zhaozhong Li Liuyu

*(Institute of Forest Inventory and Planning The Ministry of  
Forestry The People's Republic of China)*

### Abstract

The scope of applying the quantified theory in the field of natural science has been expanding increasingly since 1960s. This paper overviews the developing trends of the table-making techniques for quantified airphoto stand-volume tables in the past ten years, describes the general mathematical expression and the table-compiling skills used in the process of making airphoto stand-volume tables by utilizing the Quantitative Theory I in the forest resource inventory based on the characteristics in each stage, demonstrates the coefficients of partial correlation between 20 table-making factors in different forest areas and unit stock of stand, discusses the problems such as the selecting, extracting and filtering principles of table-compiling factors, reasonable classification of category series, quantified stand-volume tables of single discrete independent variable, discrete and continuous mixed independent variables actually used in practice. The paper concludes that the techniques using airphoto to compile quantified stand-volume tables has been already shown as a practical tools in forest resource inventory. The actual application will create obvious economical effects by improving the quantity of forest resource survey, speeding up the inventory speed, decreasing the inventory cost and reducing labour intensity.