

基于 DEM 和地统计的森林资源空间格局分析 ——以武夷山山区为例

曾宏达

(福建师范大学地理科学学院, 福州 350007)

摘要: 鉴于森林资源空间分布与地形的紧密相关, 本文采用 DEM 与地统计学方法探讨武夷山森林主要树种蓄积量的空间格局。研究结果表明, 地带性植被阔叶树由于受人为干扰趋向分布于高海拔、坡度陡的山地; 杉木林在长年人工经营的过程中, 逐渐占据林分的首要地位, 因此主要分布在 500m 以下的低山丘陵; 马尾松适生性较广, 且明显倾向分布于(半)阳坡。地统计的分析发现各向同性的块金方差与基台值之比为 0.5, 即随机因素和空间自相关引起的空间异质性均各占一半, 变程约 24km。在各向异性的变异中, 0°和 45°方向的曲线变化规律一致, 随着空间距离的增加, 半变异函数上升, 达到基台值附近趋平, 但 90°和 135°方向上, 曲线的斜率则急剧上升。结果表明, 虽然武夷山林区本身优越的地带性自然条件带来丰富多样的森林资源, 地形也深刻影响着树木的天然分布, 但是源于森林经营和管理的人为选择, 较大程度地改变了武夷山林区森林天然的空间分布格局, 森林蓄积量的空间异质性并不十分明显。由此可推断, 随着城镇和经济的不断发展, 该区域植被的水平地带性特征将愈加模糊, 森林资源的异质性也将日渐减少。

关键词: DEM; 地形; 蓄积量; 地统计; 空间格局

中图分类号: Q948

1 引言

在我国现行的森林资源清查体系中, 是以设置和复查固定样地的方法来估计大区域森林资源现状和监测它们的动态变化的。在估计总体蓄积时, 或采用简单随机抽样的估计公式, 或采用连续森林资源清查最优联合估计公式。这两种估计方法只利用固定样地的蓄积观测值对总体蓄积量作估计^[1]。然而, 林分蓄积量与其立地的地形变量——高程、坡度、坡向等存在着一定的相关关系。固定样地数据不仅包含着森林资源本身的属性信息, 而且也有着不可忽视的地形信息。鉴于 GIS 在森林资源管理体系的日益广泛应用, 本文利用基于 DEM 的数字地形信息初步评价了武夷山林分主要树种杉木、马尾松、阔叶树的空间分布, 并在此基础上引入地统计学半变异函数和插值方法探讨了在人工管理干预下森林蓄积量的空间格局。

武夷山市位于福建省北部, 属亚热带季风气候。

地理坐标为: 东经 117°37'22"~118°19'44", 北纬 27°27'31"~28°04'49"。东连浦城, 南接建阳, 北与江西省铅山县毗邻。全境东西宽 70km, 南北长 72.5km, 总面积 28.02 万 hm^2 。

林业是武夷山市自然生态平衡的主体, 国民经济的重要支柱。林业用地面积 23.746 万 hm^2 , 林业用地中有林地面积 21.98 万 hm^2 , 灌木林面积 0.503 万 hm^2 , 森林覆盖率达 78.4%, 绿化程度达 94.7%。针叶林以杉木林和马尾松林为主, 并在该地区有十分广泛的分布, 武夷山林区在中国植物区系分区属于泛北极植物区与古热带植物区过渡地带, 亚热带常绿阔叶林区、中亚热带常绿阔叶林带、中国—日本森林植被核心部分。按照福建省生态功能区划, 武夷山市属闽北闽西山地盆谷生态区, 建溪流域亚区^①。本文研究区选择了整个武夷山市除保护区外的范围, 面积 25.4877 hm^2 , 基本上是采用 1998 年武夷山市林业局提供 1:100 000 林相图的范围, 同时该林相图也是此次研究的工作底图。首先, 以省

收稿日期: 2005-01-27.

作者简介: 曾宏达(1981-), 男, 硕士研究生, 主要从事森林生态、森林环境方面的研究。E-mail: zehoda@sina.com

① 福建师范大学地理研究所等. 武夷山市生态功能区划. 2003.10.19

测绘局发布的 25m 分辨率 DEM 为参考,在 Arcmap geoprocessing 模块下对底图进行配准;其次,按颜色区分对图中斑块,进行数字化,并附上区分林分和龄级的属性;最后,从中提取分 3 个龄级(幼龄、中龄、近成过)的杉木、马尾松、阔叶林斑块(共 3138 个)进行分析。其中基础数据还来源于 1998 年武夷山市森林资源清查资料、武夷山森林资源调查报告^②等林业资料。

2 武夷山林分主要树种空间特征分析

(1) 地形因子是划分立地条件的重要因子,地形因素影响风速、温度、湿度、降雨等诸多气象因子,并且地形因子也影响土壤分布、林型分布等一系列生态因子。虽然很多当地相关资料都有对地形地貌进行较详细地阐述,但鉴于资料编写年代较早,且得出数据不尽一致,因此笔者在此研究中对武夷山地形再次作了分类统计。

按我国 1:100 万地貌图制图规范提出的山地按海拔划分原则,将海拔分成 0~250m, 250~500m, 500~800m, 800~1000m, 1000~1500m, 1500~2600m 等 6 个级别;坡度分成 <5°, 5°~15°, 15°~25°, 25°~35°, 35°~45°, >45° 等 5 个坡度级;把坡向划分成阳坡(S、SW), 阴坡(N、NW), 半阳坡(SE、E) 半阴坡(W、NE), 无坡向 5 个坡向级。在 25m 分辨率数字高程模型的基础上,运用 Arcmap 3D analyst 扩展模块获取坡度和坡向栅格图层,并用再分类命令(Re-classify) 将提取的栅格信息分成上述所需的几类,从而统计各个类的栅格(cell)数,进而计算各类面积的百分比。结果显示,海拔在 250~800m 之间的地方,低丘、高丘和低山地貌类型占有 80% 以上的面积(见图 1)。坡度大体在 15°~35° 之间,其中 25° 以上的坡地面积占了 40.721%(见图 2)。研究区内各个坡向除平坦无坡向地外,其余 4 个坡向级坡面面积分布较为均匀,统计结果 4 个坡向级坡面面积大小依次为半阳坡、阳坡、半阴坡、阴坡(见图 3)。

(2) 主要树种的空间分布特征

空间是森林及其组成树种生长的生态环境,各种树种生长需要一定的地理空间,空间的多样性和异质性在一定程度上决定了各种树种在不同生态系统发展阶段中的空间分布及森林资源内在结构。而空

间的多样性和异质性表现在水平位置、海拔高度、坡度、坡向等方面的非均匀(非一致性)。选择上述因子做为森林资源空间格局的分析要素,把连续的空间划分成若干生态环境不同的空间单元。

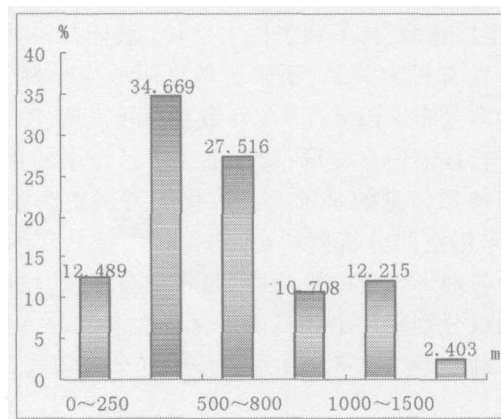


图 1 武夷山海拔分布图

Fig.1 Elevation distribution of Wuyi city

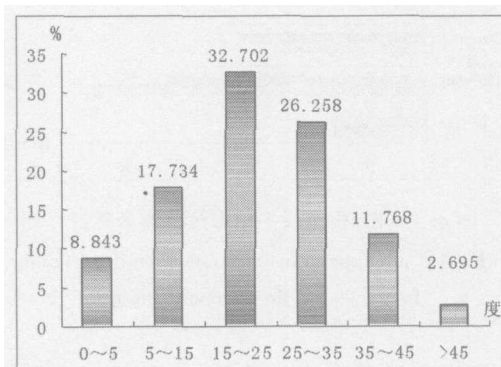


图 2 武夷山坡度分布图

Fig.2 Slope distribution of Wuyi city

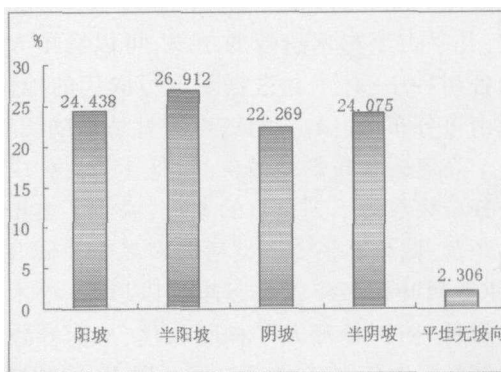


图 3 武夷山坡向分布图

Fig.3 Aspect distribution of Wuyi city

② 武夷山市林业委员会.森林资源规划设计调查办.福建省武夷山市森林资源调查报告.1998.4

地形因子影响林分分布。海拔与树种垂直分布有密切关系。海拔决定气温与湿度的变化,它是影响林业生产的重要因子;坡度与树木生长有较大关系,坡度越大,土壤滑动越厉害,受到降雨冲击越严重,土层越薄,越不利于树木生长。坡向与树种生态学特性有很大关系,耐阴树种在阴坡生长好,喜光树种多分布于阳坡。因此对数字高程模型(DEM)再次进行地形信息提取,即在上一步已作出的再分类栅格地形信息的基础上,以优势种斑块为蒙板单元,采用空间分析模块(Spatial analysis),获取每个斑块各地形因子的平均值,然后按高程级、坡度级、坡向级分别统计出武夷山市林分3个树种(杉木、松木、阔叶林)在各个地形因子中的分布频数。

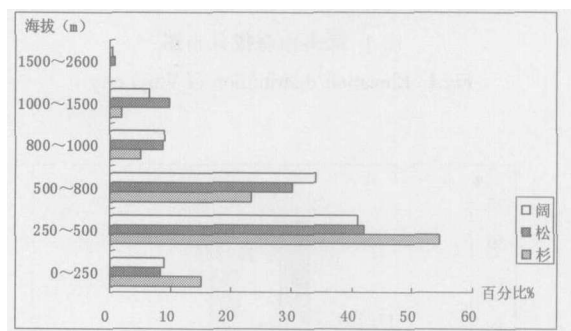


图4 杉、松、阔斑块平均海拔分布频数统计图
Fig.4 Cartogram of average elevation distribution frequency of three dominating trees

从林分和海拔的关系图表(图4)可以看出,树种在250~800m高度的分布明显较高,500m以上,随着海拔高度的升高,各树种分布逐渐减少。低海拔地区,0~500m的丘陵和低山,数杉木林分布频数最大,几乎占了杉木总数的70%,可以看出人们经营的各树种中,杉木林占据了不可取代的地位(在武夷山市分布最广)。相反,地带性植被的阔叶林,在这个高度的分布却是最少的,是3个树种中唯一一个分布频数达不到总数的50%,说明了由于诸如森林经营、城镇扩张等人类活动多集中于低海拔地区,使得阔叶树多年以来逐步被以杉木、松木为主的用材林、防护林等人工林所取代,从而导致其数量在该范围内急剧减少。而800m以上,阔叶树则占有相当的数量,主要的原因是,人类活动受到海拔高度的限制,不便的交通等因素显然提高了森林经营的成本,因此阔叶树的地带性优势地位在这一范

围内得以体现。杉木林主要分布在800m以内的低山丘陵,这个范围内的杉木占了其总数的90%以上,而800m以上,则呈零星分布。松木林的分布除了和杉木在低海拔有相似之处外(多为人工林),它有着更宽的海拔分布范围,尤其在1000~1500m的分布频数在三者中最高,占其总数的9.938%,甚至在1500m以上,也有一定数量的分布。

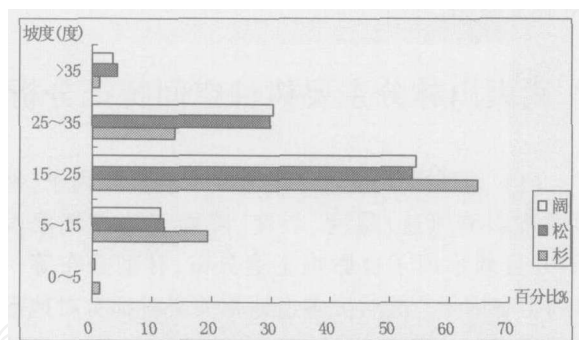


图5 杉、松、阔斑块平均坡度分布频数统计图
Fig.5 Cartogram of average slope distribution frequency of three dominating trees

从坡度看(图5),3个树种分布在15°~25°坡度范围内的数量均超过半数。杉木对森林土壤肥力的要求较高,85%以上分布在<25°的林地上,而大于25°的坡度级,杉木的分布则随着坡度的增加而迅速减少(图5)。阔叶树斑块在25°~35°的分布达30.527%,再加上上述的海拔信息,说明了苛刻的地形限制了人为干扰的扩大和加深。而松木在不同的坡度级的分布频数仅和阔叶树有细微的差异,但在>35°的坡地,其分布频数更是略胜于阔叶树,由此可见,不管是经过人为选择的经营活动,还是经自然选择仍能够生长于高而陡的坡地的松木在武夷山林区是一类分布十分普遍的树种,进一步证明松木对生境的有着很强的适应性。

就坡向而言,3个树种大部分分布在半阳坡(SE、E),分布频数均在30%左右,其次是阳坡(图6),这个现象原因很明显,由于福建位于我国东南沿海,受太平洋东南季风影响,带来丰富的水汽,再加上半阳坡得到的更多的阳光为植被生长提供了优越的水热条件。杉木和阔叶林在各个坡向的分布相对较为均匀,首先杉木林的分布在武夷山市是人工影响最为深刻的树种,所以绝大多数分布在较低的海拔和坡度,而它对坡向的敏感性较弱;其次,阔叶林即使在其他植被分布较少的阴坡,分布的频数

都未减少,占有 24%,由此体现了阔叶林在亚热带地区的适生性。松木则较明显倾向于(半)阳坡,相反它在阴坡则有最少的分布,最大和最小分布频数分别为 31.526%和 18.934%。这和三峡大老岭地区马尾松的分布是一致的^[2]。

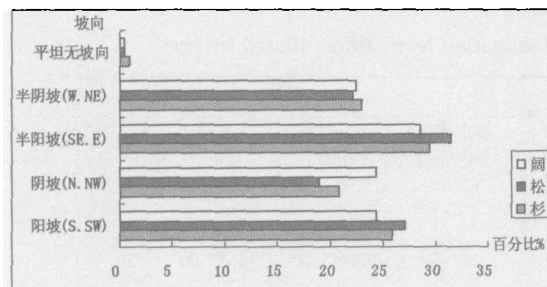


图 6 各坡向级杉、松、阔的分布比率统计图

Fig.6 Cartogram of distributing proportion of three dominating trees in different aspects

3 地统计在预测主要树种蓄积量空间分布的应用

空间格局是环境、资源以及生物系统的结构在空间上有规律的分布。地统计学可以定量地定义生态学格局研究中抽样和预测的“代表性”,尤其是空间局部估计及克里格法制图(Kriging mapping),在空间格局研究中精确地描述所研究的变量在空间上的分布、形状、大小、地理位置或相对位置,这在确定空间定位图式方面也是种比较有效的方法^[3]。

地统计学分析的核心是根据样本点来确定研究对象(某一变量)随空间位置而变化的规律,以此去推算未知点的属性值。这个规律,就是变异函数。它以区域化变量理论为基础,以半变异函数为基本工具,研究在空间分布上既具有随机性又具有结构性的自然现象。它在经典概率统计学的基础上发展了协方差函数和半变异函数,从而可以从数学理论上分析空间相关现象。由于区域化变量具有随机性和结构性的双重特征,对它的描述必须兼顾这两个方面。

把区域化变量在 x 与 $x+h$ 处的值 $Z(x)$ 与 $Z(x+h)$ 差的方差之半定义为区域化变量 $Z(x)$ 在 x 轴方向上的变异函数,并记为 $\gamma(x, h)$:

$$\gamma(x, h) = \frac{1}{2} \text{Var}[Z(x) - Z(x+h)]$$

在实践中,样品的数目是有限的,我们把由有

限实测样品值构制的变异函数称之为试验变异函数,记为 $\gamma^*(h)$:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2$$

其中, $N(h)$ 是研究区内间隔为 h 的点对数, $Z(x)$ 与 $Z(x+h)$ 分别是 x 及 $x+h$ 点的变量值。变异函数一般用变异曲线来表示,它是一定滞后距 h 的变异函数值 $\gamma^*(h)$ 与该 h 的对应图。

如果某一树种在该林分中占有较高的蓄积量或断面积,那么该树种在林分中将占有重要地位。本文根据研究区实际情况,经把森林清查资料整理之后得出蓄积量和面积统计表(见表 1),并按龄级单元分别计算 3 个主要树种的蓄积密度,即单位面积蓄积量 m^3/hm^2 ,进而将其乘以每个斑块的面积得出每个斑块的蓄积量。同时在 ARC/INFO 下,生成 $2000\text{m} \times 2000\text{m}$ 网格,目的是采用该网格对武夷山市三大树种蓄积量进行空间随机取样,然后按格网编码溶合(dissolve)每个格网内不同林斑的蓄积量,边界蓄积量将考虑破碎网格面积,以残缺方格面积占完整方格面积百分比作为破碎网格蓄积量的权重,并将计算得出的方格蓄积量赋值给所在样区(方格)的中心,最后得出重采样的每 4km^2 的武夷山林分主要树种蓄积量分布的点状图层(图 7)。

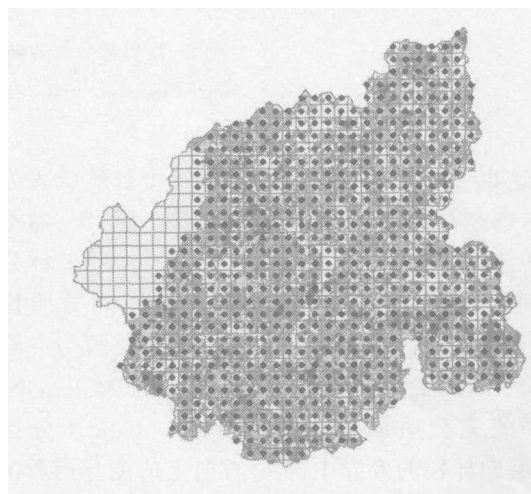


图 7 空间网格采样模式示意图

Fig.7 Sketch map of spatial grid sampling

ArcGIS, GS+(Geostatistics for the Environmental Sciences), 为此次地统计的作图及计算提供了便捷的操作平台。由于 Arcgis 地统计模块受到数据计算的限制, 因此我们将数据在 Arcmap 下生成地理坐标, 并导入 GS+作进一步计算分析。以地图中最远

的距离 76026m 作为 X 轴的极限, 得到半变异图 (见图 8)。同时参考软件为我们提供的各模型参数及建议的模型, 我们采用指数模型^③拟合武夷山林分优势种蓄积量的空间分布 (RSS or Reduced Sums

of Squares) 最小, 仅 0.0759)。

由上面的半变异函数图及其各个参数我们可以看出, 蓄积量各同性半变异曲线基本上呈指数分布, 随着两个取样点距离的增加, 半变异值呈趋缓

表 1 武夷山林分主要树种各龄级蓄积量、面积统计表

Tab.1 Statistics of growing stock and area of Wuyi dominating trees differentiated by age

	杉木			马尾松			阔叶树		
	蓄积量 (m ³)	面积 (hm ²)	蓄积密度 (m ³ /hm ²)	蓄积量 (m ³)	面积 (hm ²)	蓄积密度 (m ³ /hm ²)	蓄积量 (m ³)	面积 (hm ²)	蓄积密度 (m ³ /hm ²)
总计	2065567.00	37686.20	54.81	3831637.00	63589.53	60.26	3749972.00	46968.67	79.84
幼	548425.00	18181.07	30.16	212874.00	14769.47	14.41	53773.00	2068.47	26.00
中	1084596.00	14798.93	73.29	1181790.00	20211.07	58.47	880845.00	12513.60	70.39
近成过	432546.00	4706.20	91.91	2436973.00	28675.67	84.98	2815444.00	32386.60	86.93

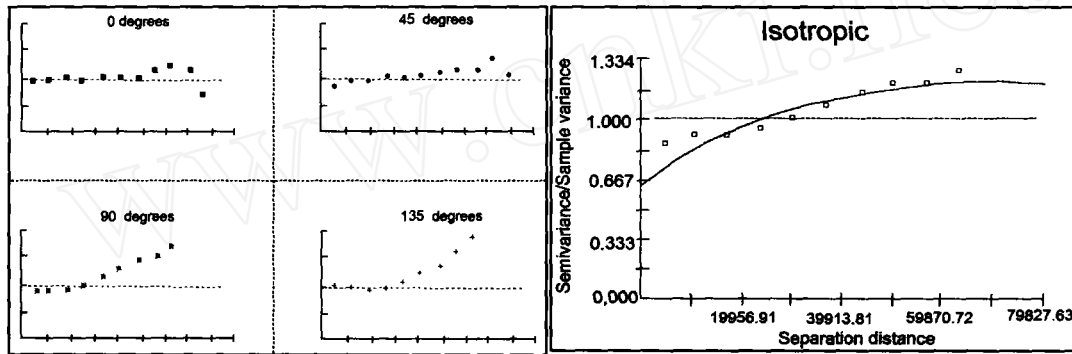


图 8 蓄积量空间各向同性/各向异性半变异函数图

Fig.8 Map of isotropic and anisotropic semivariogram of growing stock

表现,这也可以说明在整个尺度上几个自然或人为过程对森林蓄积量空间分布的影响同等重要;而蓄积量块金方差与基台值之比 $C_0/(C_0+C)$ 表明,林分主要树种蓄积量由随机因素引起的空间异质性 SHK 占总空间异质性的 50%,也就是说该值与空间自相关引起的空间异质性相等,变程约 24.2km,刚好和每平方公里平均海拔的变程 24.0km 十分接近;在各向异性的变异中,4 个方向上的变异函数 0° 和 45° 方向 (N-S、NE-SW) 曲线变化规律一致,随着空间距离的增加,变异函数上升,达到基台值附近上,但 90° 和 135° 方向 (E-W、SE-NW) 上,变异函数曲线的斜率则急剧上升。由此说明,武夷山林区三

大树种森林蓄积量的空间异质并不明显,由这个结果可以判断,武夷山林区,虽然其本身优越的地带性自然条件所带来丰富多样的森林资源,但是由于人们对森林资源的经营和管理已较大程度地改变森林天然的空间分布格局。因武夷山独具东南丘陵特色的起伏变化明显的山地地貌,为植被生长提供了有利的生长空间,从而大体上奠定了武夷山森林蓄积量空间格局的地形继承性。但是我们可以推断,随着城镇和经济的不断发展,该区域植被的水平地带性特征将愈加模糊,森林资源的异质性也将日渐减少。最后通过观察蓄积量的空间插值图 (图 9),发现林分主要树种蓄积量分布不均,从图上看

③指数模型 (Exponential Model): $r(h) = \begin{cases} 0 & h=0 \\ C_0 + C(1 - e^{-\frac{h}{a}}) & h < 0 \end{cases}$ 式中 a 不是变程。由于当 $h=3a$ 时, $1 - e^{-\frac{h}{a}} = 1 - e^{-3} \approx 0.95 \approx 1$, 即当 $h=3a$ 时, $r(h) \approx C_0 + C$, 所以指数模型的变程为 $3a$ 。

星村、洋庄、岚谷、上梅乡等乡镇拥有的每单位面积蓄积量明显多于其他乡镇, 据统计资料^[2], 其中前 3 个乡镇共计 441.88m³, 占全市总数的 53.4%, 最多的为星村镇, 最少为崇安镇。

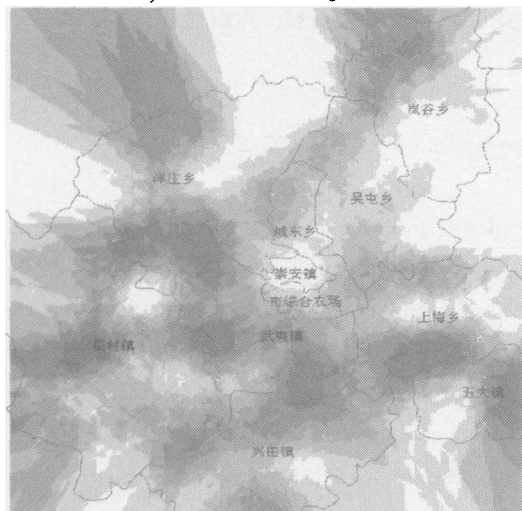


图 9 武夷山市主要树种蓄积量分布图
Fig.9 Distribution map of dominating trees' growing stock in Wuyi city

4 结语

在 DEM 和林相图的基础上建立的立体地形林相图可为森林资源调查提供前期参考。在森林资源调查中, 由数字高程模型自动提取地形因子, 并进而进行相关空间分析已得到广泛的应用, 将它介入到森林资源调查中, 因整个过程主要由计算机进行处理, 人工干预少, 效率高^[4], 这样可以使决策者更清楚了解本地区地形条件及其森林管理和规划的关系, 使管理、规划更加科学。同时立体透视专题图能更好地反映地形的立体形态(图 10), 也可以很直观地了解植被分布。

探索森林景观异质性、森林资源的空间格局, 一定程度上可以为森林资源的经营和管理提供参考, 同时也显示人工管理对森林生态系统干预的强度, 以及森林空间结构的合理性。地统计学的广泛应用为我们的分析提供了借鉴方法, 也提供了新的思路。

若将 GIS 和地统计结合起来会为今后研究工作带来更便捷的工具。一种比较快捷的方式是利

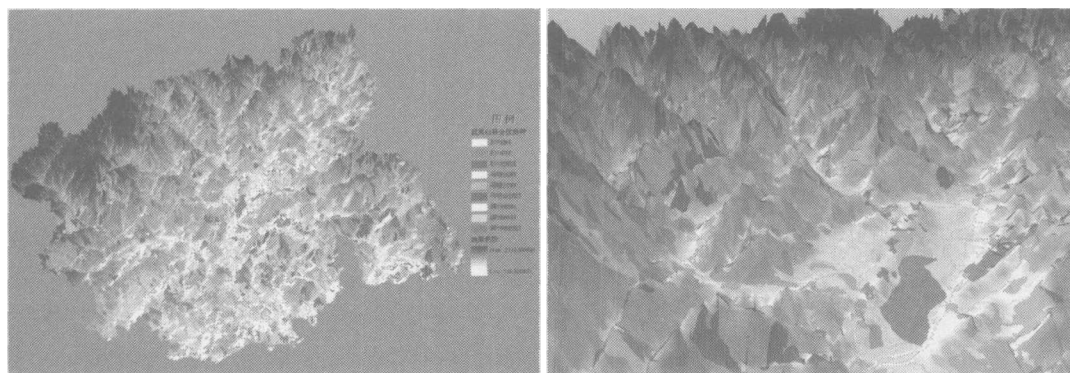


图 10 武夷山市立体林相图(包括局部)
Fig.10 3D forest map of Wuyi city (including a part of it)

用组件式思想, 将地统计学软件嵌到 GIS 软件内部, 使得地统计学和 GIS 的结合更加成为一种必然趋势^[5]。

参考文献

- [1] 周洪泽, 曲智林. 连续森林清查应用地理信息估计蓄积量的方法. 东北林业大学学报, 2000, 28(5): 50~53.
- [2] 沈泽昊, 张新时, 金义兴. 三峡大老岭地区主要木本植物分布的地形格局. 植物生态学报, 2000, 24(5): 581~589.

- [3] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999, 150~156, 168~169.
- [4] 付晓, 周维. 数字高程模型及其在森林资源调查中的应用. 广西林业科学, 2002, 31(1): 12~15.
- [5] 孙英君, 王劲峰, 柏延臣. 地统计学方法进展研究. 地球科学进展, 2004, 19(2): 268~274.

Application of Digital Terrain Information and Geostatistics to Forest Spatial Pattern Analysis ——A Case on Wuyi Mt. Area

ZENG Hongda

(College of Geographical Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: Considering there was a close relationship between spatial distribution of forest resource and terrain, we discussed spatial pattern of forest in Wuyi Mt. area based on the terrain information and Geostatistics. The result of this research indicated that, because of human disturbance, broad-leaved trees, which are dominant species tend to move back to higher elevation and more precipitous places; *Cunninghamia lanceolata* gradually took up the dominating status of forests as a result of long-term artificial management, and mostly spread in the hills below 500m; *Pinus massoniana* has a wider suitable establishment, and inclines to grow on (half-)sunny-slope. Geostatistical analysis indicated that nugget (C_0)/sill (C_0+C) of isotropy is 0.5, that means the spatial heterogeneities brought by random variance and autocorrelation were equal, with a range of 24km. In the variance or anisotropy, on the one hand, both curves with directions of 0° and 45° had same variational trends, i.e. semivariogram raised with distance, then flattened out near the sill, while on the other, the slope of curves mounted up drastically in the directions of 90° and 135° . Thus it can be seen that, dominant natural condition endows the forest region of Wuyi Mountain with diverse and abundant natural forest resources, in addition, terrain has become one of the significant factors affecting tree distribution. However, due to artificial management and administration, spatial pattern of natural forest has been greatly influenced by 'human selection', the spatial heterogeneities of forest were unobvious. Finally, we concluded that, with constant development of Wuyi city and its economy, the characteristics of horizontal zonality of forest in the city will become vaguer and vaguer, the heterogeneities will also be cut down day by day.

Key words: DEM(digital elevation model); terrain; growing stock; Geostatistics; spatial pattern