

文章编号: 100F 1498(2001) 01 0095 05

四参数柱干比曲线式应用研究*

孟宪法¹, 李悦黎², 张方秋¹

(1. 中国林业科学研究院 热带林业研究所, 广东 广州 510520;

2. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100)

关键词: 四参数柱干比曲线式; 材积; 出材率; 规格材出材量

中图分类号: S758

文献标识码: A

干形作为测树学中的一个重要概念, 对其拟合及应用的研究已进行了一个多世纪, 很多学者通过数学模型来表现树干形状并使之解决立木材积求算及其它应用问题, 但效果不很理想。相对干形的提出, 为树干形状的研究开辟了一个新途径, 使干形的研究上了一个新台阶, 但所做的诸多研究, 大多偏重于理论推导, 就其在实践中的应用, 则涉及较少^[1~3]。作为表现树干形状的另一方法——正形数, 虽能够较好地反映树干形状, 但由于其相对高度处直径在实测中不便, 还必须借助于相对高度处直径和胸径的回归关系式来解决应用中的问题^[3~6], 如何结合相对干形和形数理论并将之有效地应用于实践, 本文根据提出的四参数柱干比曲线式深入分析了其在求算材积、出材量及出材率等方面的应用研究情况。

1 材料与方 法

1.1 材料来源

试验材料见《林业科学研究》13(5)“改进的四参数柱干比曲线式”一文报道^[7]。

另外, 选取油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)、栎类(*Quercus aliena* var. *acuteserrata* Maxim. 和 *Q. aliena* Bl.) 皆伐标准地各 1 块, 作为分析出材量、出材率等的资料(见表 1)。

表 1 皆伐标准地情况

树种	株数	H 区间/m	D 区间/cm	V 区间/m ³	年龄区间/a	疏密度	分布地区
油松	49	8.7~ 25	7.4~ 58.2	0.0173~ 2.1103	64~ 83	0.6	宁陕火地塘
栎类	214	4.3~ 33	3.5~ 50.4	0.004~ 1.2670	31~ 70	0.8	宁陕洵阳坝

1.2 研究方法

根据计算用材料拟合运算(见《林业科学研究》13(5)“改进的四参数柱干比曲线式”一文)得油松、栎类四参数柱干比曲线式为:

$$\text{油松带皮: } Y = (4.1617959X^{2.43071528} + \frac{0.08176696}{1.00754277 - X} - \frac{0.08176696}{1.00754277})^{0.5} \quad (1)$$

收稿日期: 1999 11 19

作者简介: 孟宪法(1973), 男, 新疆伊犁人, 助理研究员, 硕士。

* 本文为作者硕士学位论文的部分内容。

$$\text{油松去皮: } Y = (4.3172409X^{2.38131434} + \frac{0.05670203}{1.00638414 - X} - \frac{0.05670203}{1.00638414})^{0.5} \quad (2)$$

$$\text{栎类带皮: } Y = (4.9512973X^{2.94667797} + \frac{0.10769491}{1.00534432 - X} - \frac{0.10769491}{1.00534432})^{0.5} \quad (3)$$

$$\text{栎类去皮: } Y = (5.0063060X^{2.98528793} + \frac{0.11215419}{1.00490984 - X} - \frac{0.11215419}{1.00490984})^{0.5} \quad (4)$$

式中 X 为相对高, $Y = g_n \times H \div V$ 代表柱干比 (g_n 表示各相对区分处的断面积, 下同)。

运用 SYSTAT 数理统计软件包及 Basic 编程进行数据处理和运算。

$$\text{用系统误差 } XC\% = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right) \times 100 \text{ 及均方差 } SD\% = \left\{ \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right) \times 100 \right]^2 \div n \right\}^{0.5}$$

来评价四参数柱干比曲线式, 用检验材料和皆伐标准地材料求解材积、出材量、出材率时的结果精度。式中: y_i —— $g_n \times H \div V$ 的实测值, \hat{y}_i —— y_i 的估计值, i —— 测定点。

2 结果与分析

2.1 计算材积

带皮部分: 选取树高模型 $H = aJ^b$ (a, b 为参数, H 为树高, J 为径阶) 拟合两树种的树高曲线, 计算出各径阶平均高 H , 然后计算出各径阶胸高位置对应的相对高 $RH_i = 1 - \frac{1.3}{H_i}$ (i 为径

阶中值), 由四参数柱干比公式根据 $y_i = \frac{g_{1.3}H_i}{V_i}$ 推导出

$$V_i = \frac{g_{1.3} \times H_i}{\left(a_0 RH_i^{a_1} + \frac{a_2}{1 - RH_i} + \frac{a_2}{1 + a_3} \right)^{0.5}}$$

再由油松、栎类带皮四参数柱干比曲线式(1)、(3)计算出各径阶的平均材积。

为了比较四参数柱干比曲线式的计算精度, 用山本式分径阶求材积。根据山本式 $V = aD^bH^c$ 求解模型的参数, 用 SYSTAT 线性回归方程解得结果见表 2。

表 2 山本式回归方程分析

树 种	参 数			调整后 R	F 比
	a	b	c		
油 松	0.000065 75	1.895348 15	0.924236 95	0.992	1424.7
栎 类	0.000037 36	1.776279 26	1.219726 02	0.984	427.7

然后用山本式模型分径阶计算出各径阶的材积。分析两种方法的求积精度, 结果如表 3。

表 3 用两种方法计算带皮材积比较

项 目	油 松		栎 类	
	系统误差	均方差	系统误差	均方差
柱干比式	- 0.085422	0.164800	- 0.103071	0.262400
山 本 式	- 0.092932	0.180100	- 0.104625	0.282300

结果表明, 四参数柱干比曲线式求算栎类材积的精度高于山本式(系统误差、均方差都小于山本式)。另外, 从表 3 中看到, 两种方法的误差值都较大, 分析其原因: 一是对两树种树高曲线的拟合结果不很理想, R 值较小 ($R_{\text{油松}} = 0.543, R_{\text{栎类}} = 0.855$), 这样推算出的各径阶的树

高值存在较大的误差, 因此影响计算精度。二是由于所选材料株数有限, 有些径阶内株数很少, 不能代表径阶内的平均水平, 相比之下, 那些具有较多株数的径阶, 计算后则产生小的误差。

去皮部分计算结果见表 4。

表 4 用两种方法计算去皮材积比较

项 目	油 松		栎 类	
	系统误差	均方差	系统误差	均方差
柱干比式	- 0.122 008	0.183 000	- 0.095 985	0.201 600
山本式	- 0.130 631	0.186 800	- 0.096 081	0.213 700

结果表明, 同带皮部分一样, 用四参数柱干比曲线式计算油松、栎类去皮材积, 其系统误差及均方差都低于山本式, 因此, 它比山本式有较好的精度。但由于各径阶内株数较少及受树高曲线拟合精度的影响, 两方法计算的系统误差及均方差都较大。

为进一步检验模型的求积精度, 现对所有的材料逐一求材积。用前面的两种方法求出 155 株油松及 128 株栎类的材积及其误差, 结果见表 5。

表 5 用两种方法不分径阶计算材积比较

项 目	油 松		栎 类	
	系统误差	均方差	系统误差	均方差
柱干比式(带皮)	- 0.008 060	0.120 000	- 0.013 000	0.142 400
山本式(带皮)	- 0.031 780	0.122 300	- 0.031 000	0.126 100
柱干比式(去皮)	- 0.000 064	0.146 400	- 0.015 500	0.139 000
山本式(去皮)	- 0.040 310	0.146 600	- 0.018 500	0.129 700

通过对油松的计算看出, 用四参数柱干比曲线式求材积其系统误差很小, 带、去皮均小于 1%, 远远小于山本式计算的结果(带皮系统误差为 3.2%, 去皮为 4%), 并且均方差也比山本式较小。对栎类而言, 用四参数柱干比式算得的系统误差小于 2%, 且小于山本式, 但均方差大于山本式。

2.2 求出材率

选用油松、栎类皆伐标准地材料。

分径阶计算出材率, 先要拟合树高曲线, 用以计算各径阶平均高, 然后根据柱干比式计算各径阶小头直径 ≥ 4 cm, 材长 ≥ 3.2 m 的树干材积占总材积的百分比, 即各径阶的出材率, 具体计算过程如下:

由四参数柱干比曲线式计算各径阶材积 V_i , 然后分径阶按径阶平均木用柱干比式计算各相对区分点(分为 100)的 y_i 值, 再由 $g_i = \frac{\pi}{10000} d_i^2 = \frac{V_i y_i}{h}$ 换算出各区分点的 d_i , 由各区分点的 d_i 判断出小头直径 ≥ 4 cm 的位置, 然后积分求出此点到树梢部分的材积 V_{si} , 最后用总材积 V_i 减去 V_{si} (如果小头直径 ≥ 4 cm 的位置到树根部长度 < 3.2 m, 即该径阶无材种, 则计出材率等于 0) 再除以 V_i , 即得到径阶的出材率。

为进行比较, 再用削度方程, 求这两种树种的出材率。

在众多削度模型中, 选取孟宪宇先生改进的 Demaerschalk (1972 年) 的一致性削度方程^[8,9]:

$$d^2 = 4/\pi \times V \times L^{B-1} \times B/H^B \quad (5)$$

经过变换转化为一致性材积比方程:

$$V_h/V = 1 - (L/H)^B = 1 - (1 - h/H)^B \quad (6)$$

其中: d 为树干上部任一位置的去皮直径; H 为树高; B 为干形参数值; V 为去皮材积; L 为树干上任一点至树梢的距离。

先求得削度方程(5)中的干形参数 B 值, 通过拟合得:

$$\text{油松 } B = 2.39837 \quad \text{栎类 } B = 2.89464$$

由公式(6), 为求得材积比, 先求得累积用材长度比(h/H) 方程, 通过对几组可供选择的方程进行比较, 选取 F 比和相关系数最大的公式 $L_4 = 1 - (a + b/D + c/H)$ 作为小头直径等于 4 cm 的累积用材长度比方程。式中 L_4 为累积材长度比, D 为带皮胸径, H 为树高。运算结果如下。

表 6 累积用材长度比方程拟合情况

树 种	a	b	c	F 比	R
油 松	- 0.00865	- 1.93577	- 0.84354	587.1	0.856
栎 类	0.06309	- 2.22058	- 0.50198	146.5	0.580

从表中看出, 对油松累积用材长度比方程的回归计算精度高于栎类。

由上述结果, 结合皆伐标准地的树高曲线方程和公式(6), 求出两树种各径阶的出材率, 计算出两种方法求出材率的系统误差、均方差, 结果见表 7。

表 7 用两种方法求出材率误差分析

项 目	油 松		栎 类	
	系统误差	均方差	系统误差	均方差
柱干比式	0.005690	0.010530	0.010860	0.034200
削度方程	0.000777	0.007855	0.022240	0.070890

从表 7 中看到, 用四参数柱干比曲线式计算油松、栎类的出材率结果都比较理想, 系统误差 < 2%, 均方差小于 4%。对油松而言, 削度方程的计算结果优于四参数式; 对于栎类, 则是柱干比式优于削度方程。分析其差异, 主要是由于对累积材长比的拟合, 油松的精度比栎类高。

3.3 规格材出材量的计算

四参数柱干比曲线式不仅用于材积、出材率的计算, 而且还可以计算规格材出材量, 本文研究了檩材出材量的计算。按照木材标准, 满足檩材的尺寸为材长等于 3.6~ 5m, 小头直径为 10~ 16cm。

依旧选用皆伐标准地材料。用四参数柱干比曲线式计算两树种不同径阶的檩材材积, 计算过程如下: 先拟合出树高曲线, 求出各径阶的树高, 然后据柱干比式计算出各径阶的材积, 并计算不同相对高处(按 100 个相对区分计算)的值(方法同前)。找到小头直径为 10~ 16cm 时对应的高度, 作为第一点, 然后从此点向树基方向加 3.6~ 5m 作为第二点, 用积分法计算这两点间的材积, 即是所求的檩材出材量。统计出各径阶的实际檩材出材量, 计算系统误差和均方差, 结果见表 8。

从表 8 中看到, 用柱干比式计算油松、栎类各径阶的檩材出材量, 系统误差小于 6%, 均方差小于 19%, 且油松的计算结果好于栎类。

表 8 用四参数柱干比曲线式计算檩材误差分析

树 种	系统误差	均方差
油 松	0.047580	0.152910
栎 类	0.054020	0.181800

3 结论和讨论

(1) 对给定的材料分径阶计算时, 得到的系统误差和均方差均小于山本式对应的计算结果, 也就是说精度高于山本式。结果表明, 不分径阶计算误差较分径阶计算大大减小, 用柱干比式计算油松的精度高于山本式, 对于栎类而言, 系统误差小于山本式, 均方差大于山本式。因此, 可用四参数柱干比曲线式求立木材积。

(2) 计算结果与削度方程法进行比较: 对于油松, 削度方程法优于四参数柱干比曲线式, 而栎类则相反; 四参数柱干比曲线式计算油松、栎类出材率的系统误差小于 $\pm 1\%$, 均方差小于 5% 。

(3) 计算了油松和栎类的檩材出材量, 结果显示系统误差小于 6% , 均方差小于 19% , 且油松的计算精度优于栎类。

(4) 关于形数和形率的证明不够充分和全面, 这方面的研究须继续探讨。

柱干比法虽具有良好的性能, 但试验研究是模拟性的, 只用了油松和栎类, 是否适用于其它树种仍须研究。其次, 这种方法还有待在生产实践中应用, 以进一步完善和推广。

参考文献:

- [1] 毛绳绪, 李悦黎, 杜纪山. 相对干形的理论及应用[J]. 西北林学院学报, 1993, 8(3): 87~ 92.
- [2] 胡晓龙. 理论干曲线的研究[J]. 中南林业调查规划, 1995, 14(3): 1~ 6, 11.
- [3] 毛绳绪, 刘悦翠. 陕西油松树干形状的研究——相对干形与林木因子之间的关系及相对高处直径与胸径的关系[J]. 陕西林业科技, 1987, (2): 49~ 53.
- [4] 穆可培, 李玉明. 用相对形率法建立油松和巴山松材积方程[J]. 陕西林业科技, 1989, (2): 27~ 33.
- [5] 杜纪山. 带、去皮正形数系列之间的变化规律及应用[J]. 浙江林业科技, 1990, 10(2): 20~ 23, 35.
- [6] 李裕国. 正形数的变化规律及其在求积中的应用[A]. 森林经理文集[C]. 北京: 中国林业出版社, 1985. 23~ 26.
- [7] 孟宪法, 李悦黎, 张方秋. 改进的四参数柱干比曲线式[J]. 林业科学研究, 2000, 13(5): 512~ 518.
- [8] 曾伟生. 关于材种出材率表的编制方法[J]. 中南林业调查规划, 1995, 14(4): 1~ 6.
- [9] 曾伟生. 利用削度方程编制材种出材率表的几个主要技术问题研究[J]. 中南林业调查规划, 1997, (1): 5~ 10.

Research on Application of Four-parameter Cylinder-volume ratio Stem Profile

MENG Xianfa¹, LI Yue-li², ZHANG Fang-qiu¹

(1. Research Institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou 510520, Guangdong, China; 2. Forestry College, Northwestern Science Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shanxi, China)

Abstract: The study involved estimating stem volume, calculating merchantable volume yielding rate and timber assortments volume with four-parameter cylinder-volume ratio stem profile. The result shows it performs better than Schumacher-Hall at estimating stem volume when the data from *Quercus aliena* were classified by class. Compared with taper function at calculating merchantable volume yielding rate, four-parameter cylinder-volume ratio stem profile also performs well with systematic error below 1% and mean square error below 5% . To *Pinus tabulaformis* trees, taper function has better accuracy degree than cylinder-volume ratio method, but the result is contrary to *Q. aliena*. When calculating timber assortments volume with four-parameter cylinder-volume ratio method, systematic error is below 6% and mean square error below 19% .

Key words: four-parameter cylinder-volume ratio stem profile; volume; merchantable volume yielding rate; assortment volume