

理论造材: 削度方程和出材率表的编制*

王明亮

摘要 本文提出了计算机理论造材仅根据削度方程和单株带、去皮胸径的转换关系式两个模型, 可不必由削度方程推导材长方程和材积比方程。以相关指数、均方误为指标, 结合残差图分析, 选择了杉木、落叶松的削度方程; 结合标准树高曲线, 则可仅根据优势高为任一具体林分编制(一元)单株出材率表(特称之为自动调整出材率表)。

关键词 理论造材 削度方程 出材率表

材种出材率是评定森林质量的重要指标之一, 也是森林限额采伐的主要依据, 编制适宜而有效的材种出材率表是我国目前林业生产和经营的迫切需要。目前国内外对出材率的研究多集中在以削度方程为基础的编表技术上, 建立削度方程已成为编制材种出材率表的首选方法和基础工作^[1]。该方法的一般思路是: (1) 建立削度方程; (2) 由削度方程推出材长方程; (3) 由削度方程推出材积比方程; (4) 计算机理论造材: 在一定的材种规格规范下, 由计算机计算得到出材率。通过对这一过程的理论分析, 提出一种改进的编表方法。

1 理论分析

事实上, 利用计算机理论造材时, 材长方程不是必需的。削度方程通常可表示为 $d = f(h, D, H)$, 由此可推导出任一长度的材长方程 $h = g(d, D, H)$, 这二者在数学上等价, 互为反函数。之所以推导材长方程, 目的在于求算规格材长; 而规格材由两方面确定: 小头直径和材长, 只有当小头直径和材长都合乎要求才能确定某一规格材。利用材长方程 $h = g(d, D, H)$ 计算规格材长, 是由小头直径条件计算材长, 看材长是否满足要求; 而利用削度方程 $d = f(h, D, H)$, 则是由材长条件计算小头直径, 看小头直径是否满足要求。可见, 直接利用削度方程可不必推导材长方程和由削度方程导出的材长方程, 这二者在确定某一规格材方面是一致的。因此, 不必要推导材长方程。并且, 有许多削度方程推导不出显式的材长方程。以下给出了由削度方程计算某规格材的 BASIC 语言算法:

1.1 计算、判断各材种材长

(根据削度方程: $d_{\pm} = f(h, D_{\pm}, H)$ 及材种标准, 见表 4)

大径材: for $h = 4$ to H step 1

$$D_{\pm} = f(h, D, H)$$

if $D_{\pm} \geq 26$ then $h_1 = h$ $I_1 = 1$ else $h_1 = 0$ $I_1 = 0$

中径材: for $h = h_1 + 0.05 I_1 + 2$ to H step 1

$$D_{\pm} = f(h, D, H)$$

1997—08—02 收稿。

王明亮研究实习员(中国林业科学研究院资源信息研究所 北京 100091)。

* 本文是 1992 年自然科学基金重点项目“我国主要人工林生长模型、经营模型和优化控制”研究的部分内容, 在导师唐守正院士指导下完成, 李希菲研究员给予帮助, 特此致谢。

if $D_{去} > 18$ then $h_2 = h - h_1 - 0.05 I_1$ $I_2 = 1$ else $h_2 = 0$ $I_2 = 0$

小径材: for $h = h_1 + h_2 + 0.05 I_1 + 0.05 I_2 + 2$ to H step 1

$D_{去} = f(h, D, H)$

if $D_{去} > 8$ then $h_3 = h - h_1 - h_2 - 0.05 I_1 - 0.05 I_2$ else $h_3 = 0$

注: h_1, h_2, h_3 分别表示大、中、小径材材长。 I_1, I_2 为指示变量, 当大、中径材存在时, I_1, I_2 分别取值为 1, 否则为 0。 0.05 (m) 表示造材(大、中径材)锯口损失。

甚至, 材积比方程也无需推出。可直接计算材种去皮材积和单株带皮材积, 由此得到材种出材率。此时, 不必象以往计算出材率时, 需再拟合树皮率公式; 仅需确定单株带、去皮胸径的转换关系式即可。在材积计算上, 为计算方便起见, 可要求由削度方程导出材积方程(此情况下, 可顺便导出材积比方程); 对于许多不可积的削度方程如可变指数削度方程^[2], 可由数值积分方法计算材积(此情况下, 不能导出材积比方程)。其 BASIC 语言算法如下:

1.2 计算各材种去皮材积、单株带皮总材积

(此处材积公式 $v = v(h, D_{去}, H)$ 和总材积公式 $V = V(D_{带}, H)$ 为初等形式或数值积分形式)

大径材: $v_1 = v(h_1, D_{去}, H)$

中径材: $v_2 = v(h_2 + h_1 + 0.05 I_1, D_{去}, H) - v_1$

小径材: $v_3 = v(h_3 + h_2 + h_1 + 0.05 I_1 + 0.05 I_2, D_{去}, H) - v_2 - v_1$

单株带皮总材积: $V = V(D_{带}, H)$

1.3 计算各材种出材率

大径材: $v_1 = v_1 / V \times 100\%$

中径材: $v_2 = v_2 / V \times 100\%$

小径材: $v_3 = v_3 / V \times 100\%$

因此, 从模型角度, 利用削度方程进行理论造材仅有两个模型是必需的: (1) 削度方程; (2) 单株带、去皮胸径的转换关系式。其它工作均可交由计算机完成。

鉴于作为我国人工用材林重要树种的杉木[*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook] 和日本落叶松[*Larix kaempferi* (Lamb.) Carr.] (理论) 出材率表尚未编制, 本文以上述思路编制杉木和日本落叶松(以下可简称落叶松) 的出材率表, 大体步骤如下。

2 数据来源

数据取自湖南省 200 株杉木和长白山 340 株日本落叶松解析木测径资料, 数据筛选按 Grubbs 检验法¹⁾ 剔除了 1 株落叶松样木。建立削度方程和单株带、去皮胸径的转换关系式所需样本, 均匀分布于各径阶内和相同径阶不同树高级内, 样木按径阶和树高分布见图 1、2。

3 削度方程的选择

目前为止, 国内外已公开发表的削度方程已有数十种。经理论分析和比较, 选定了 8 个具有代表性的削度方程[(1) 式中 $D_{0.1}$ 以 D 代替] 作为备选削度方程(为计算方便, 要求由削度方程导出材积方程; 对于不可积的削度方程如可变指数削度方程等没有选入)。

1) 林业部规划院. 可变材种出材率表的研究. 1993.

3.1 备选削度方程

$$(1) \frac{d}{D_{0.1}} = b_1(1-z) + b_2(1-z)^2 + b_3(1-z)^3 \quad (\text{Osumi, 1959})^{1)}$$

$$(2) \left(\frac{d}{D}\right)^2 = b_1(1-z) + b_2(1-z^2) \quad (\text{Kozak, 1969})^{1)}$$

$$(3) d = b_1 D^{b_2} \frac{(H-h)^{b_3}}{H^{b_4}} \quad (\text{Schumacher, 1973})^{1)}$$

$$(4) d^2 = b_1 D^2 \frac{(H-h)^{b_2}}{b_3 H^{b_1+1} + b_4 H^{b_2}} \quad (\text{Honer, 1964})^{1)}$$

$$(5) d^2 = b_1 D^2 \frac{(H-h)^{b_2}}{H^{b_2+1}} + b_3 D^2 \left(\frac{H-h}{H}\right)^{b_2} \quad (\text{Chen- , 1990})^{1)}$$

$$(6) d^2 = b_1 D^2 \frac{(H-h)^{b_2}}{H^{b_2+1}} + b_3 D \left(\frac{H-h}{H}\right)^{b_2} + b_4 D^2 \left(\frac{H-h}{H}\right)^{b_2} \quad (\text{Chen- , 1990})^{1)}$$

$$(7) \left(\frac{d}{D}\right)^2 = b_1(z-1) + b_2(z^2-1) + b_3(a_1-z)^2 I^{[3]}$$

其中, $I = 1$, 当 $z < a_1$ 时; $I = 0$, 当 $z \geq a_1$ 时。

$$(8) \left(\frac{d}{D}\right)^2 = b_1(z-1) + b_2(z^2-1) + b_3(a_1-z)^2 I_1 + b_4(a_2-z)^2 I_2^{[3]}$$

其中 $I_i = 1$, 当 $z < a_i$ 时; $I_i = 0$, 当 $z \geq a_i$ 时。 ($i = 1, 2$) (I_i 的意义下同)。

注: a_i, b_i ——方程参数; D ——胸高带(去)皮直径(cm); $D_{0.1}$ ——距干基 0.1H 处直径(cm); d ——树干 h 高处直径(cm); H ——树全高(m); z ——相对树高; $z = h/H$; h ——从地面(干基)至某上部直径 d 处的高度或用材长度(m)。

3.2 选择方法

将杉木和落叶松样木数据(图 1、2) 分别代入上述 8 个备选方程, 用“通用曲面回归”程序^[4]和 SYSTAT 中非线性回归软件, 进行拟合。采用相关指数 R^2 和均方误 MSE 作比较和选择指标, 并采用残差图分析进行削度方程的选优(残差: 树干高度处的直径实测值减去相应的预估值)。

3.3 结果

3.3.1 以杉木带皮直径材料为例 从相关

指数和 MSE 两项指标的拟合结果(表 1) 看,

(8) 式最优。从残差图(图 3~10) 可见, (2) ~

(6) 式均有明显系统误差, 且都表现为: 树干

基部预估偏小, 树干上部预估偏大, 而且(2)

式在树干上部预估偏大; (1) 式在树干基部和

上部都预估偏小; (7) 式在树干上部预估偏大; (8) 式误差分布较均匀, 基本无系统误差。

3.3.2 以落叶松带皮直径材料为例 由于(8) 式无论是两项指标, 还是残差图效果均优于(1)

~(7) 式, 因此采用(8) 式作为编制材种出材率表的基本方程。

3.4 参数拟合结果

杉木和落叶松材料分别拟合(8) 式, 结果见表 2。

3.5 材积方程的推导

为计算方便, 由(8) 式从 0 到累积材长 h 或 H 积分, 得到材积公式和全树干材积方程(略)。

表 1 杉木(带皮)削度方程拟合结果

削度方程	R^2	MSE	削度方程	R^2	MSE
(1)	0.979 8	0.960 0	(5)	0.969 3	1.460 0
(2)	0.970 2	1.415 3	(6)	0.969 3	1.458 6
(3)	0.969 4	1.453 1	(7)	0.984 5	0.736 4
(4)	0.969 5	1.451 8	(8)	0.985 5	0.692 8

表 2 杉木、落叶松削度方程(8)式拟合结果

树 种		参 数 值					拟合效果		
		b_1	b_2	b_3	a_1	b_4	a_2	R^2	MSE
杉 木	带皮	- 12.604 4	6.169 1	- 6.060 7	0.941 2	167.823 0	0.048 1	0.985 5	0.692 8
	去皮	- 8.383 6	4.050 0	- 3.958 4	0.908 1	167.893 0	0.046 4	0.983 8	0.622 7
落叶松	带皮	- 5.483 7	2.727 1	- 2.898 6	0.772 7	138.4210	0.069 9	0.986 3	0.883 2
	去皮	- 5.221 9	2.614 3	- 2.785 7	0.749 1	162.675 0	0.060 4	0.987 8	0.708 7

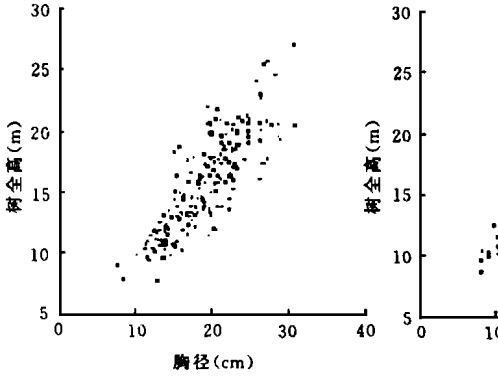


图 1 杉木削度方程建模样木分布

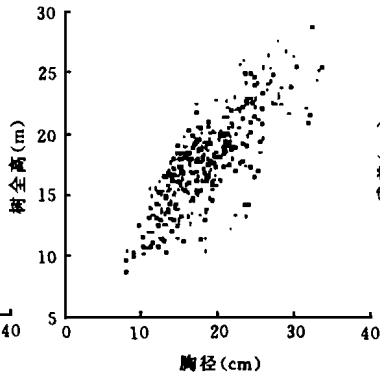


图 2 落叶松削度方程建模样木分布

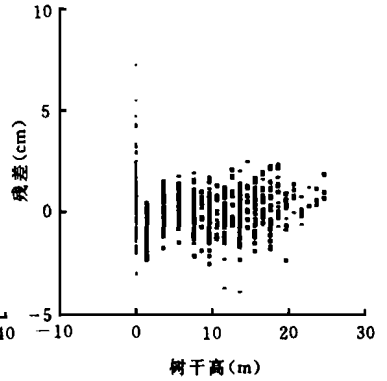


图 3 (1)式残差图

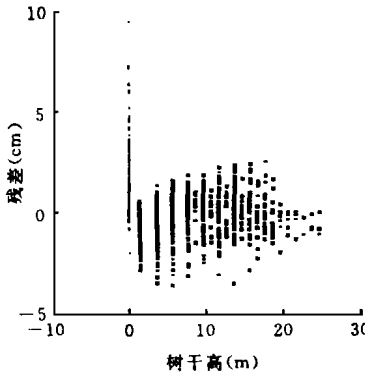


图 4 (2)式残差图

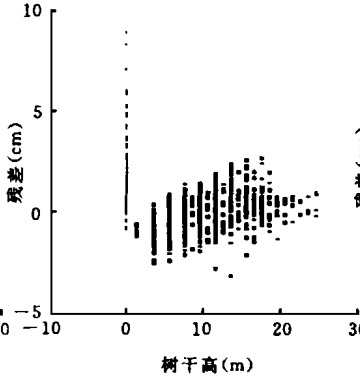


图 5 (3)式残差图

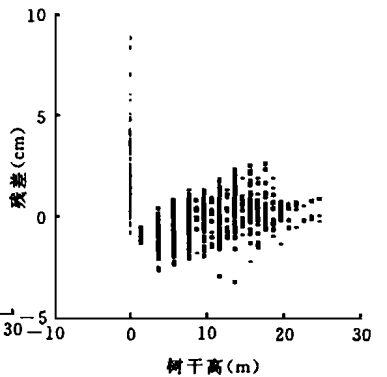


图 6 (4)式残差图

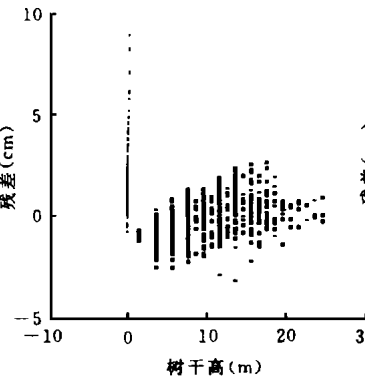


图 7 (5)式残差图

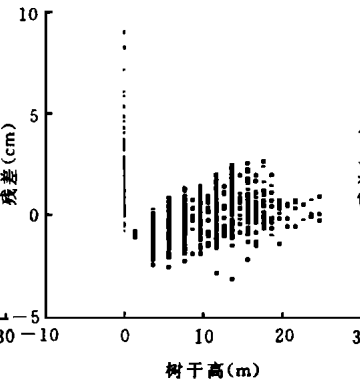


图 8 (6)式残差图

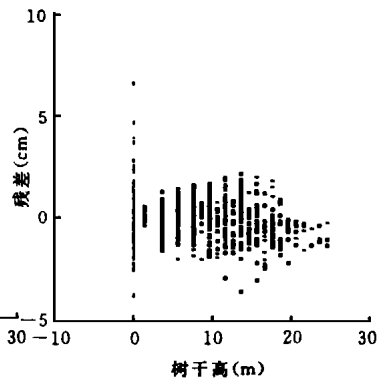


图 9 (7)式残差图

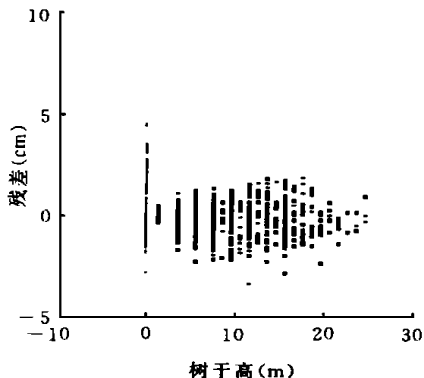


图 10 (8)式残差图

4 带皮、去皮胸径相关关系式的确定

散点图表明单株带、去皮胸径基本呈直线关系。以上述解析木材料,应用对偶回归技术^[5],拟合了杉木和落叶松去、带皮胸径的对偶回归关系式。拟合结果见表 3。

5 材种出材率表的编制

5.1 材种标准的确定

参照中华人民共和国国家标准 GB 142—84、GB 11716—89 和中华人民共和国专业标准 ZB B 68002 ~ 68003—86、ZB B 68006—013—89²⁾, 确定了大、中、小径

材三种规格。划分标准见表 4。

表 3 杉木、落叶松去、带皮胸径对偶回归拟合结果

树种	对偶回归关系式	R ²
杉木	$D_{去} = -1.028724 + 0.924398 \times D_{带}$	0.9969
落叶松	$D_{去} = -0.300166 + 0.949766 \times D_{带}$	0.9957

表 4 造材标准表

规格	D _{小头} (cm)	材长(m)	适用材种
大径材	26	4 以上	枕木, 胶合板材
中径材	18 ~ 24	2 以上	造船材, 车辆材等
小径材	8 ~ 16	2 以下	造纸材, 普通电杆等

注: 直径(去皮)以 cm 为单位、材长以 1m 为进阶。

5.2 计算机理论造材

分别杉木和落叶松,按照上述材种标准,由计算机根据削度方程来计算、判断给定单株(D, H)的各材种材长;根据材积公式,计算各材种去皮材积、单株带皮总材积,得到各材种出材率。汇集成表,即为出材率表。参见表 5、6。本文用 BASIC 语言编写了出材率的计算程序,下面给出大致的计算过程(图 11)。

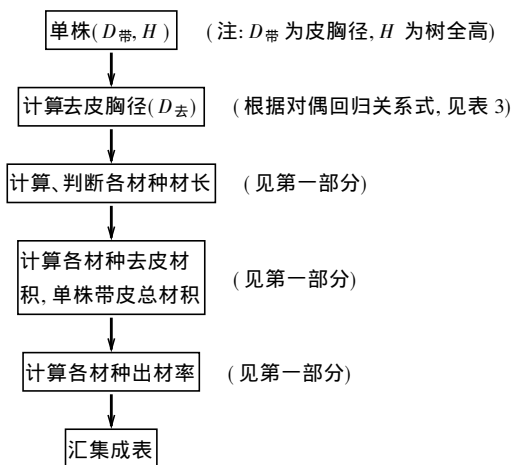


图 11 单株出材率的(大致)计算流程

表 5 杉木材种出材率表 (单位: %)

径阶	树高	大径	中径	小径	合计	废材率
(cm)	(cm)					
12	10			37.26	37.26	62.74
16	14			65.66	65.66	34.34
20	18			71.19	71.19	28.81
24	20		35.42	39.49	74.91	25.09
28	22		56.96	20.45	77.41	22.59
32	24	25.47	41.55	11.18	78.20	21.80
36	26	47.59	24.11	7.37	79.07	20.93

表 6 落叶松材种出材率表 (单位: %)

径阶	树高	大径	中径	小径	合计	废材率
(cm)	(cm)					
12	10			58.47	58.47	41.53
16	14			78.89	78.89	21.11
20	18			83.10	83.10	16.90
24	20		54.36	29.87	84.23	15.77
28	22		70.11	15.14	85.25	14.75
32	24	41.65	35.02	9.05	85.71	14.29
36	26	58.89	22.26	5.69	86.83	13.17

2) 林业部规划院. 编定林分材积生长率和出材率的技术规定(试行). 1991.

理论造材出材率一般要高于实际造林出材率。这是因为根据现行出材率表编制的技术规范²⁾, 编制理论出材率表时, 只扣除造材损失材积即锯口损失材积, 其余出材损失(含采伐损失、材质缺陷损失和集运损失)在实际应用中按照具体情况再作适当扣除。

6 结 论

(1) 计算机理论造材只要根据削度方程和单株带、去皮胸径的转换关系式两个模型即可, 削度方程的派生模型材长方程和材积比方程可不必推导。

(2) 确立了杉木、落叶松的削度方程: $(d/D)^2 = b_1(z-1) + b_2(z^2-1) + b_3(a_1-z)^2 + I_1 + b_4(a_2-z)^2 I_2$ 。削度方程的选择采用了残差图分析, 这在国内尚属首次。

(3) 按本文材种规格, 编制杉木、落叶松(二元)单株出材率表, 在实际应用中, 要作适当调整(扣除采伐、材质缺陷和集运等造成的出材损失)。材种规格因时因地变化时, 可类似地编制。

(4) 结合标准树高曲线⁶⁾, 则可以仅根据优势高为任一具体林分编制(一元)单株出材率表(特称之为自动调整出材率表)。

参 考 文 献

- 1 孟宪宇. 削度方程和出材率表的研究. 南京林产工业学院学报, 1982, (1): 122 ~ 133.
- 2 Kozak A. A variable-exponent taper equation. Can. J. For. Res., 1988, 18: 1363 ~ 1368.
- 3 Max T A, Burkhart H E. Segmented polynomial regression applied to taper equations. Forest Sci., 1976, 22: 283 ~ 289.
- 4 唐守正. IBM 系列程序集. 北京: 中国林业出版社, 1987.
- 5 唐守正. 利用对偶回归和结构关系建立林分优势高和平均高模型. 林业科学研究, 1991, 4(增刊): 57 ~ 62.
- 6 王明亮, 唐守正. 标准树高曲线的研制. 林业科学研究, 1997, 10(3): 259 ~ 264.

Theoretical Bucking: Taper Equations and Merchantable Volume Tables

Wang Mingliang

Abstract If taper equation $d = f(h, D, H)$ is constructed, merchantable height could be directly computed without deriving merchantable height equation $h = g(d, D, H)$ from its corresponding taper equation $d = f(h, D, H)$ when bucking with computer. Only the taper equation and the converted equation between *DBH* outside bark and *DBH* inside bark are necessary. Taking index of correlation and mean residual of errors for criteria and followed by residual analyses, the taper equation developed by Max and Burkhart in 1976 is chosen for *Cunninghamia lanceolata* and *Larix olgensis*. Merchantable volume tables are then constructed. Combining with theoretical height-diameter curve, merchantable volume table for any stand can be constructed.

Key words theoretical bucking taper equation merchantable volume table