

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.003

基于树木望高比的材积计算方法研究

余国宝

(南京警察学院, 江苏 南京 210046)

摘要: 分析望高法计算树木材积的原理、适用范围, 但因为望高点可能被遮挡, 以及测望高效率较低问题, 尝试用树高代替望高进行求积。为此, 在利用既有解析木的有效数据研究形率系列(q)和形状指数(r)的基础上, 提出了直接测算望高比(B)的方法, 解决了测望高(h_R)较为困难及效率较低的问题。

关键词: 望高; 形率系列; 形状指数; 望高比; 树木材积计算

中图分类号: S785.3 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)01-0012-04

引文格式: 余国宝. 基于树木望高比的材积计算方法研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 12-15, 21.

doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.003

YU Guobao. Volume Calculation Based on Pressler Method[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 12-15, 21.

doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.003

Volume Calculation Based on Pressler Method

YU Guobao

(Nanjing Police Academy, Nanjing 210046, China)

Abstract: This paper analyzed the calculation principle and applicable scope of tree volume by Pressler method, and attempted to use the tree height method instead of Pressler method due to the potential obstruction of the height observation point and the low efficiency of the observation. Therefore, based on the study of the form quotient (q) and shape index (r) using effective data from existing analytical wood, the method for directly calculating the Pressler function (B) was proposed, which solved the problem of difficulty and low efficiency in measuring Pressler height (h_R).

Key words: Pressler height; form-quotient method; shape index; Pressler function; tree volume calculation

望高(h_R)是树干上部直径等于胸径($d_{1.3}$)一半处的高度。德国林学家普雷斯勒在 1855 年提出的计算单株立木材积式中, 用望高替代树高(h)以达到控制干形的目的^[1]。其材积式为:

$$V = \frac{2}{3} g_{1.3} \left(h_R + \frac{1.3}{2} \right) \quad (1)$$

式中: V 为立木材积; $g_{1.3}$ 为胸高断面面积; h_R 为望高。

由于望高是相对直径的高度, 是高度的绝对值, 它是树高和干形的函数。因此, 上述的望高法求积式, 从形式上看是二元求积式, 实际上是三元求积式。当干形相同时, 树高越高则望高亦越高, 其材积亦越大; 当树高相同时, 干形越饱满则望高亦越高, 其材积亦越大。所以, 望高是一个良好的干形指标, 同时也是计算树干材积良好指标。

收稿日期: 2022-05-25; 修回日期: 2022-06-23.

第一作者: 余国宝(1941-), 男, 江苏南京人, 高级讲师. 主要研究方向为测树学。

望高法求积式适应性较广,既可将树干看作抛物线体,也可看作圆锥体或凹曲线体的体积计算。此法适用于树干明显、树冠较高、枝叶稀疏的立木^[3]。

望高法求积式发表以后,由于没有找到有效的测定立木上部直径从而确定望高的工具和方法,一直未被实际应用。直到 20 世纪 50 年代以后,随着林分速测镜和各种光学测树仪的问世,找到了间接测定望高的方法,这种求积方法才又引起人们的重视^[2]。

但是,望高点可能被树冠遮挡,以及测定望高的效率明显低于树高的测定,这是推广和应用望高求积的两大限制因子。为此,开展了望高和树高的相互关系研究,以期用树高替代望高,解决测定望高困难的问题。

1 $h_R = a + bh$ 关系^[5]

根据 $h_R - h$ 的成对值,用最小二乘法

$$\begin{cases} \sum nh_R = Na + b \sum nh \\ \sum nh_R h = a \sum nh + b \sum nh^2 \end{cases} \quad (2)$$

求得参数 a 和 b 。再将 $h_R = a + bh$ 代入望高法求积式中,得

$$\begin{aligned} V &= \frac{2}{3} g_{1.3} \left[(a + bh) + \frac{1.3}{2} \right] \\ &= \frac{2b}{3} g_{1.3} \left(h + \frac{a + 0.65}{b} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

用勃鲁来斯测高器测高、用 DQW-2 型望远镜测树仪测望高,共测得 338 株马尾松样木的 $h_R - h$ 的成对值,用最小二乘法

$$\begin{cases} 3209.48 = 338a + 4632.52b \\ 42980.7879 = 4632.52a + 66018.4642b \end{cases} \quad (4)$$

求得参数 a 和 b : $a = 1.0447929$, $b = 0.577728332$ (相关系数 $r = 0.9880$)。

2 $h_R = Bh$ 关系,即 $B = h_R/h$ ^[6]

B 称望高比,是望高和树高的比值,是高度的相对值,是一个更为稳定的干形指标。

通过对 $[\frac{h}{2} \sim h_R]$ 这段树段的理论研究,得到望高比(B)是胸高形率(q_2)和形状指数(r)的函数,其表达式为:

$$B = 1 - \frac{1}{2(2q_2)^{2/r}} \quad (5)$$

根据绝大多数树干的平均胸高形率为 $0.65 \sim 0.70$ ^[4]、不同乔木树种的形状指数大体变动在 1.3 ± 0.3 ,将其代入上式,得主要乔木树种的平均望高比为 $0.64 \sim 0.74$ 。

将 $h_R = Bh$ 代入望高法求积式得:

$$\begin{aligned} V &= \frac{2}{3} g_{1.3} \left(Bh + \frac{1.3}{2} \right) \\ &= \frac{2B}{3} g_{1.3} \left(h + \frac{0.65}{B} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

令 $\frac{2B}{3} = f_p, f_p$ 称普雷斯勒形数; $\frac{0.65}{B} \approx 1$, 则

$$V = f_p g_{1.3} (h + 1) \quad (7)$$

3 望高比

在上述乔木树种望高比研究的基础上,再利用已有解析木作为样木,借用其直接测定的有效数据,对乔木树种望高比再行研究,不用野外测定望高,可以提高工作效率,保证测算质量。

3.1 样木基本信息

样木数据取自江苏省 64 株马尾松和福建省 261 株实生杉木的既有解析木,其基本信息见表 1。

表 1 样木的基本信息

Tab. 1 Basic information of sample wood

树种	株数	总断面积 G/m^2	平均胸径 \bar{D}/cm	平均高 \bar{H}/m	实际材积 V/m^3
马尾松	64	1.47	17.1	12.3	8.90
杉木	261	5.33	16.1	13.5	37.43

3.2 形率系列

形率是直径之比,其是树形的良好程度,不仅是研究立木干形的指标,同时也是测算立木材积的因子^[1]。

1899 年,希费尔正式定名形率以后,同时又提出了如下形率系列,即树干基部、1/4、1/2 和 3/4 高度处的直径 d_0 、 $d_{1/4}$ 、 $d_{1/2}$ 和 $d_{3/4}$,分别与胸径 $d_{1.3}$ 之比,得到形率 q_0 、 q_1 、 q_2 和 q_3 ,构成形率系列,可以比较全面地描绘干形^[1]。

分别马尾松和杉木的样木,计算各形率的平均值 \bar{q} 和标准差 S_q ,取 $\bar{q} \pm 2S_q$ 之内的样木,再一次计算得各形率的平均值 \bar{q} 和标准差 S_q ,结果见表 2。

3.3 形状指数

树干形状是一个复杂的几何体,不是一个规则几何体。因此,它的形状指数不是一个整数,而是

表 2 平均形率计算
Tab. 2 Calculation of average form quotient

项目	马尾松				杉木			
	q_0	q_1	q_2	q_3	q_0	q_1	q_2	q_3
n	61	62	61	60	—	255	254	254
Σq	75.256	55.573	43.607	23.499	—	234.87	181.39	109.40
Σq^2	93.1817	49.9094	31.2956	9.3225	—	216.9011	130.1223	48.0712
\bar{q}	1.234	0.896	0.715	0.392	—	0.921	0.714	0.431
S_q	0.073	0.044	0.044	0.043	—	0.048	0.049	0.060

一个小数^[1]。据研究,树干形状在抛物线体和圆锥体之间,更接近抛物线体。所以,树干形状指数(r) 在 1~2 之间^[2],且绝大多数树种的树干形状指数在 1~1.6 之间,平均为 1.3。

样木的形率系列把整个树干划分为长度相等的 4 段。根据其在树干上的位置,组合成 6 个长度不同的树段 $[0 \sim \frac{H}{4}]$, $[\frac{H}{4} \sim \frac{H}{2}]$, $[\frac{H}{2} \sim \frac{3H}{4}]$ 及 $[0 \sim \frac{3H}{4}]$,

$[0 \sim \frac{H}{2}]$, $[\frac{H}{4} \sim \frac{3H}{4}]$,用表 3 中的相应计算公式,求出每株样木相应的形状指数 r_3, r_4, r_2 及 r_0, r_5, r_1 。然后分树种计算各形状指数的平均值 $\bar{r}_3, \bar{r}_4, \bar{r}_2, \bar{r}_0, \bar{r}_5, \bar{r}_1$ 及其相应的标准差 $Sr_3, Sr_4, Sr_2, Sr_0, Sr_5, Sr_1$ 。取其 $\bar{r} \pm 2Sr$ 之间的样木进行再计算,得各形状指数的平均值 (\bar{r}) 及其标准差 (Sr),结果见表 3。

表 3 树干形状指数计算
Tab. 3 Calculation of trunk shape index

形状指数 r	树段位置	树种	计算公式	n	Σr	Σr^2	\bar{r}	Sr
r_3	$[0 \sim \frac{H}{4}]$ 段	马尾松	$(\frac{q_0}{q_1})^2 = (\frac{H}{3H/4})^{r_3}, r_3 = \frac{2}{\lg(4/3)} \lg(\frac{q_0}{q_1})$	61	137.29	322.9991	2.25	0.48
		杉木	—	—	—	—	—	
r_4	$[\frac{H}{4} \sim \frac{H}{2}]$ 段	马尾松	$(\frac{q_1}{q_2})^2 = (\frac{3H/4}{H/2})^{r_4}, r_4 = \frac{2}{\lg(3/2)} \lg(\frac{q_1}{q_2})$	62	70.62	84.2544	1.14	0.25
		杉木	243	309.15	407.4658	1.27	0.24	
r_2	$[\frac{H}{2} \sim \frac{3H}{4}]$ 段	马尾松	$(\frac{q_2}{q_3})^2 = (\frac{H/2}{H/4})^{r_2}, r_2 = \frac{2}{\lg 2} \lg(\frac{q_2}{q_3})$	60	102.65	181.5048	1.71	0.32
		杉木	249	368.67	564.1022	1.48	0.27	
r_0	$[0 \sim \frac{3H}{4}]$ 段	马尾松	$(\frac{q_0}{q_3})^2 = (\frac{H}{H/4})^{r_0}, r_0 = \frac{2}{\lg 4} \lg(\frac{q_0}{q_3})$	49	80.80	134.0048	1.65	0.12
		杉木	—	—	—	—	—	
r_5	$[0 \sim \frac{H}{2}]$ 段	马尾松	$(\frac{q_0}{q_2})^2 = (\frac{H}{H/2})^{r_5}, r_5 = \frac{2}{\lg 2} \lg(\frac{q_0}{q_2})$	61	98.56	162.6296	1.62	0.22
		杉木	—	—	—	—	—	
r_1	$[\frac{H}{4} \sim \frac{3H}{4}]$ 段	马尾松	$(\frac{q_1}{q_3})^2 = (\frac{3H/4}{H/4})^{r_1}, r_1 = \frac{2}{\lg 3} \lg(\frac{q_1}{q_3})$	60	90.04	137.0071	1.50	0.18
		杉木	249	349.61	503.8653	1.40	0.23	

不同形状指数的计算公式,源于 1873 年孔兹提出的干曲线式:

$$y^2 = px^r \quad (8)$$

式中: y 为树干横断面半径; x 为树梢至该横断面处

的长度; P 为参数; r 为形状指数^[1]。

形状指数可用 $r = 2[\lg(y_1/y_2)]/[\lg(x_1/x_2)]$ 式计算。当 y_1 和 y_2 分别乘以 2,再除以胸径($d_{1.3}$),即得两个形率之比。

从理论上讲,树段越长,其形状指数(r_0)越接近于整株树干的形状指数(r)。由于根张的影响,其树干基部的形状变化很大,所以形状指数 r_0 不适宜作为树干形状指数 r 的近似值,只能用 r_1 作为整株树干形状指数 r 的近似值。因此,马尾松的形状指数为 1.5,杉木的形状指数为 1.4。

3.4 B 与 q_1 和 r 的关系。

望高比 B 是形率 q_1 和形状指数 r 的函数。依据孔兹干曲线式:

$$\left(\frac{0.5}{q_1}\right)^2 = \left(\frac{(1-B)H}{3H/4}\right)^r \tag{9}$$

$$\left(\frac{1}{2q_1}\right)^{2/r} = \frac{4(1-B)}{3} \tag{10}$$

$$B = 1 - \frac{3}{4(2q_1)^{2/r}} \tag{11}$$

从表 2 中的马尾松和杉木的 q_1 值分析,主要乔木树种的 $\bar{q}_1 = 0.9 \pm 2 \times 0.05$,再取形状指数平均值 $\bar{r} = 1.3$ 代入上式,得到平均望高比 \bar{B} 在 0.64~0.74 之间,见表 4。

表 4 B 与 q_1 和 r 的关系

Tab. 4 Relationship between B and q_1 and r

r	q_1			
	B	0.8	0.9	1.0
1.3		0.636	0.696	0.742

由此可见,望高点在 $\frac{H}{2}$ 和 $\frac{3H}{4}$ 之间,其望高比 B 很容易用下式推算:

$$B = 0.5 + 0.25 \times \frac{q_2 - 0.5}{q_2 - q_3} \tag{12}$$

用上式计算每株样木的望高比(B),再分别树种计算平均望高比(\bar{B})和标准差(S_B),取 $\bar{B} \pm 2S_B$ 内的样木再计算,结果见表 5。

表 5 平均望高比计算

Tab. 5 Calculation of average Pressler function

因子	马尾松	杉木
n	61	244
ΣB	40.552	168.272
ΣB^2	27.022	116.539
\bar{B}	0.665	0.690
S_B	0.030	0.042

从表 5 中可见,马尾松 $\bar{B} = 0.665$,杉木 $\bar{B} = 0.69$ 。将 $Bh = h_R$ 代入望高法求积式,得望高比求积式:

$$V = \frac{2B}{3} g_{1.3}(h + 1) \tag{13}$$

再将 64 株马尾松和 261 株实生杉木用望高比材积式进行材积计算,并与实际材积作比较,结果见表 6。

表 6 计算材积和实际材积的比较

Tab. 6 Comparison between calculated volume and actual volume

树种	株数 n	望高比 B	普雷斯勒形数 f_p	总断面积 G /m ²	平均高 \bar{H} /m	计算材积 V /m ³	实际材积 V /m ³	实际精度 /%
马尾松	64	0.66	0.44	1.47	12.3	8.60	8.90	96.7
杉木	261	0.69	0.46	5.33	13.5	35.55	37.43	95.0

4 小 结

1)从望高(h_R)到望高比(B)的过程,是一个以望高替代树高到以树高替代望高的过程,是一个从望高难以测定到用光学测树仪间接测定,再到用既有解析木的有效数据直接测定的过程。这解决了测望高难的问题,提高了工作效率,同时可保证测算质量。

2)树干形状是个复杂的几何体,其形状指数在 1.3 ± 0.3 之间。由于根张的影响,其树干基部的形状变化很大,只能用 $[\frac{H}{4} \sim \frac{3H}{4}]$ 树段的形状指数

$r_1 = \frac{2}{\lg 3} \lg \left(\frac{q_1}{q_3}\right)$ 作为整株树干形状指数近似值。

3)望高比 B 是形率 q_1 和形状指数 r 的函数,其表达式为: $B = 1 - \frac{3}{4(2q_1)^{2/r}}$ 。通过对形率 q_1 的分析,主要乔木树种的 $\bar{q}_1 = 0.9 \pm 2 \times 0.05$,再取形状指数平均值 $\bar{r} = 1.3$,将其代入上式,得到平均望高比(\bar{B}) 在 0.64~0.74。因此,望高点在 $[\frac{H}{2} \sim \frac{3H}{4}]$ 之

间,望高比可用 $B = 0.5 + 0.25 \times \frac{q_2 - 0.5}{q_2 - q_3}$ 推算得到。

4)望高比是一个比较稳定的干形指标。当知 (下转第 21 页)

到之后的移栽成活率、木材品质、产量等,所以种苗质量分级是黄枝油杉木材可以资源化的因素之一。本实验通过对不同年限 70 份黄枝油杉种苗进行指标测定、相关性分析、逐步聚类分析,以株高、地径、冠幅作为主要指标,并结合实际结果,制定了黄枝油杉种苗质量分级标准。

将黄枝油杉种苗按不同年限分别分成了三级:2 年生一级株高>20 cm,冠幅>11 cm,地径≥0.10 cm;4 年生一级株高>127 cm,冠幅>56 cm,地径≥0.80 cm。2 年生二级株高 14~20 cm,冠幅 8~11 cm,地径≥0.10 cm;4 年生二级株高 96~127 cm,冠幅 38~56 cm,地径≥0.80 cm。2 年生三级株高<14 cm,冠幅<8 cm,地径≥0.10 cm;4 年生三级株高<96 cm,冠幅<38 cm,地径≥0.80 cm。该种苗分级标准科学简明,便于操作,可用于指导黄枝油杉的栽培生产,促进物种保护和开发,从而有利于其资源化发展。

参考文献:

[1] 李树刚,梁畴芬. 广西植物资源[M]. 北京:科学技术出版社,1990.
 [2] 沈燕,曹基武,刘春林,等. 湖南濒危植物黄枝油杉的资源现状及人工栽培技术[J]. 福建林业科技,2009(3): 107-110,116.
 [3] 覃海宁,刘演. 广西植物名录[M]. 北京:科学出版

社,2010.
 [4] 傅立国. 中国植物红皮书[M]. 北京:科学出版社,1991.
 [5] 聂东玲. 珍稀濒危植物扦插繁殖技术研究[J]. 经济林研究,1999,17(2):21-22.
 [6] 蒋柏生,文桂喜,唐芸,等. 不同处理对濒危植物黄枝油杉扦插育苗的影响[J]. 广西植物,2008,28(4):549-552,436.
 [7] 黄立铨. 石山绿化优良树种——黄枝油杉[J]. 广西植物,1982(2):53-54,48.
 [8] 符支宏. 桂林黄枝油杉种群生态学研究[D]. 南宁:广西师范大学,2014.
 [9] 何道航,庞义,任三香,等. 气相色谱—质谱法分析油杉枝精油的化学成分[J]. 质谱学报,2005(1):43-45.
 [10] 江海都,柴胜丰,唐健民,等. 广西喀斯特地区黄枝油杉林的生境及种群结构特征[J]. 广西科学院学报,2020,36(1):56-64.
 [11] 柴胜丰,唐健民,杨雪,等. 4 种模型对黄枝油杉光合响应曲线的拟合分析[J]. 广西科学院学报,2015(4): 286-291.
 [12] 谢伟玲,柴胜丰,蒋运生,等. 黄枝油杉 ISSR-PCR 反应体系的建立与优化[J]. 种子,2016,35(6):17-21.
 [13] 李瑞杰,陈垣,郭凤霞,等. 素花党参种苗质量分级标准研究[J]. 中国中药杂志,2012(20):3041-3046.

责任编辑:刘平书

(上接第 15 页)

道树种的平均望高比(\bar{B})后,可将其直接代入望高比求积式 $V = \frac{2B}{3} g_{1.3}(h + 1)$,即得其材积。为方便使用,可以预先利用既有解析木研究出各树种的平均望高比分级(表 7),使用时按树种级别计算。

表 7 普雷斯勒形数(f_p)分级

Tab.7 Classification of Pressler shape index

B	$f_p = \frac{2B}{3}$	B	$f_p = \frac{2B}{3}$
0.66	0.44	0.70	0.47
0.68	0.45	0.72	0.48
0.69	0.46	0.74	0.49

参考文献:

[1] 北京林业大学. 测树学[M]. 北京:中国林业出版社,

1987:7-9,36-41,48-50.
 [2] 大隅真一,北村仓美. 森林计测学[M]. 于璞和,李裕国,田镛锡,译. 北京:中国林业出版社,1984:33-35, 110-114.
 [3] 浙江省林业学校. 测树学[M]. 北京:中国林业出版社,1984:60-61.
 [4] 吉林林校蛟河分校,黄山林校. 森林调查规划[M]. 北京:农业出版社,1979:51-52.
 [5] 余国宝,钱祖煜,朱建雄. 马尾松望高和树高相关关系的研究[J]. 云南林业调查规划设计,1995(2):1-4.
 [6] 余国宝,钱祖煜,朱建雄,等. 乔木树种望高比的研究[J]. 云南林业调查规划设计,1997(2):7-9.

责任编辑:刘平书