

树木几何结构快速建模的研究

陶嗣巍 赵东

(北京林业大学工学院)

摘要:为更准确地分析风雪灾害作用下树木的力学特性,研究了树干和树枝的结构特点,并利用 Pro/E 三维软件的族表和 UDF 库等模块,提出了一种树木几何模型参数化建模方法。在考虑了树木自相似和自仿射分形特点的基础上,建立了树干与树枝结构分层阶梯式模型的设计新思路。通过设置和修改长度、分枝角度等几何参数,实现了树木结构几何模型的快速生成和重建。

关键词:参数化建模;树木结构;分形理论

中图分类号:S758.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1522(2013)02-0097-05

TAO Si-wei; ZHAO Dong. **Rapid parametric modeling of geometry structure for trees.** *Journal of Beijing Forestry University* (2013) **35**(2) 97-101 [Ch, 9 ref.] School of Engineering, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China.

In order to analyze the mechanical properties of trees in the natural disasters, the characteristics of trunk and branch structures were studied in the paper. And a rapid method of parametric models was represented using family table and UDF library of Pro/E. On the base of taking into account of the fractal characteristics of trees, which include self-similarity and self-affine, the models of trunk and branches layered and stepped were constructed. Through setting and modifying parameters, such as length and angle of branch, the generating and reconstructing of geometrical models for tree structure were implemented rapidly. The results show that the method of parametric models is effective in establishing tree structure.

Key words parametric modeling; tree structure; fractal theory

作为森林系统中的主要组成部分,树木抵抗风雪等自然灾害的能力由其几何结构和物理、力学性质决定的。从 20 世纪 60 年代开始,人们通过构造反映树木形态特征和力学特性的模型来分析树木抵御灾害的能力。

Gardiner^[1]将树木简化为逐渐变细的悬臂梁,将树冠与树干的质量等效为在树高 70% 处的质量团,运用结构力学方法来分析活立木的动力学特性,得到系统的自振频率和波动位移。Baker^[2]建立的树木模型由树冠、根系和树干 3 部分组成,将树干简化为质量忽略不计的弹性杆,其长度为树木重心距地面的距离,通过施加不断变化的风载荷直到其发生共振,得到最大弯矩值和失效风速。Ancelin 等^[3]将树干简化为随高度变化而直径逐渐减小的阶梯轴,并考虑其自身质量对根部弯矩的影响,忽略树枝对

树冠形状特征和质量分布的影响,将树冠简化为对称分布在树干四周、形态和质量随高度而变化的圆锥体,通过对树木施加风载荷来计算树木能够承受的最大弯矩。Moore^[4]测量自然环境中生长的树木的几何参数,利用 ANSYS 有限元软件等比例建立有限元模型,通过模拟与试验相验证的手段,证明树枝对树木整体的自振频率有重要影响。

上述研究建立的树木结构几何模型,均不能较好地反映树木不同部位的力学性能存在差异这一特点,而且建模过程中定义的参数过多,过程繁杂费时。本文利用 Pro/E 软件的族表和 UDF 库功能建立了树木参数化模型。通过修改模型的几何参数来改变树枝的形状以及树枝与其分枝的空间关系,使其能够体现多种树木树枝的形态特征。通过建立分层式、阶梯状树干模型,使其具有分层化、阶梯化等

收稿日期:2012-03-30 修回日期:2012-05-15

基金项目:北京市自然科学基金项目(2072013)。

第一作者:陶嗣巍,博士生。主要研究方向:树木风倒力学、根系锚固理论。Email: tsw20031117@qq.com 地址:100083 北京市清华东路 35 号北京林业大学工学院。

责任作者:赵东,博士,教授。主要研究方向:生物力学、农业机械。Email: 1164012272@qq.com 地址:同上。

本刊网址: <http://journal.bjfu.edu.cn>

形态特点,并能够体现树干力学性能各向相异这一特点。

1 建模思路

由于树木的形态结构具有分形特点,即整体与局部存在自相似、自仿射等关系^[5],笔者建立了由树干和树干上生长的树枝所组成的整体树木模型

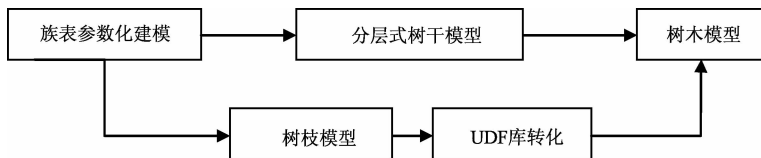


图1 建模流程图

Fig. 1 Modeling process of trees

2 族表建模方法

2.1 树枝模型

作为强风侵害的主要部分,树木的地上部分主要由主干与树冠组成。其中,作为树冠的主要组成部分,树枝在树干上分枝的角度、长度和级数等参数是决定树冠的空间格局和形态特征的关键因素。

图2为树枝及其分枝的空间结构示意图。本研究将树枝及其分枝简化成为以底径为下底面直径、顶径为上底面直径、树枝长度为高度的圆锥台。树枝及其分枝的主要几何参数有:树枝及其分枝的底径、顶径和长度,分枝点距树枝底面的长度以及分枝角度。

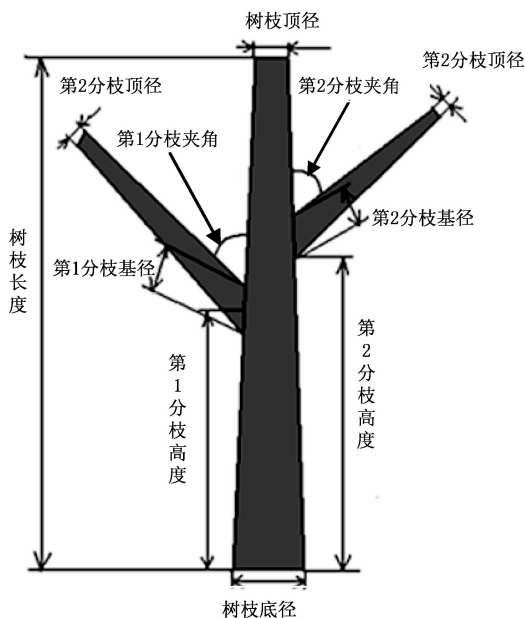


图2 树枝及分枝空间结构示意图

Fig. 2 Spatial structure of branch and its branches

已有研究^[6-7]表明,树枝的长度与其底径,分枝底径与主枝底径,分枝长度与主枝长度之间都存在

(建模方法与树枝模型类似),并利用 Pro/E 软件的 UDF 库功能对整体模型进行比例缩放来生成树木的局部模型,从而使生成的树木模型具有分形特点。

模型建立流程如图1所示。由于树木受到风雪侵害时,树干和主要枝杈的断裂易造成树木损伤和死亡,因此,本文的研究对象定为树木的树干和树枝两部分。

线性比例关系。利用 Pro/E 内置的族表模块,建立 R_0 、 R_1 、 R_2 、 A_1 、 A_2 和 H_0 等 6 个比例系数,用以描述树枝及其分枝的底径、顶径和长度,分枝点距树枝底面的长度以及分枝角度等参数同树枝底径 D_0 之间的比例关系,各个比例系数的意义如表 1 所示。当需要改变树枝与分枝的形态和角度时,只要修改底径 D_0 与 6 个比例系数,就可以快速生成不同形态的树枝模型。当表 1 中 6 个比例系数和底径 D_0 取不同数值时,树木模型的形状会随之发生变化。

表 1 树枝比例系数及其意义

Tab. 1 Scale factors of branches and their implication

比例系数	意义
R_0	树枝和其分枝的底径与其顶径之比
R_1	第 1 分枝点距树枝端部的距离同树枝长度之比
R_2	第 2 分枝点距树枝端部的距离同树枝长度之比
A_1	第 1 分枝同树枝之间的夹角
A_2	第 2 分枝同树枝之间的夹角
H_0	树枝和其分枝的长度与底径之比

表 2 为不同形状模型的比例系数和底径的取值,相应生成模型见图 3。从图 3 可见:比例系数 D_0 从 50 mm 变为 100 mm、 R_0 从 2 变为 4、 H_0 从 20 变为 40,模型 2 较模型 1 明显增大。比例系数 A_2 由 45 变为 60、 R_2 由 0.7 变为 0.8,模型 3 中的树枝右上侧分枝角度、分枝位置和分枝底径相对模型 1 都发生了相应变化。改变比例系数后,模型 4 的形状也较模型 1 也发生了显著变化。

表 2 模型的比例系数和底径

Tab. 2 Scale factors and basal diameters of models

模型	比例系数						D_0/mm
	R_0	R_1	R_2	A_1	A_2	H_0	
模型 1	2	0.5	0.7	45	45	20	50
模型 2	4	0.5	0.7	45	45	40	100
模型 3	4	0.5	0.8	45	60	20	50
模型 4	3	0.5	0.8	30	60	40	100

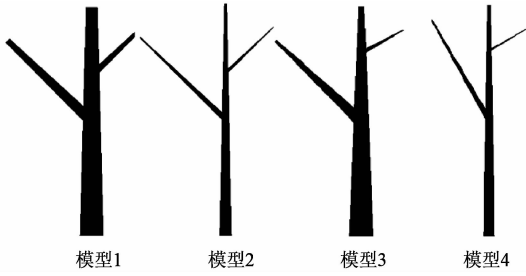


图 3 生成的树枝几何模型

Fig.3 Geometric models of branches

2.2 树干模型

图 4 为树干的横截面及其简化图。图 4a 为横截面图,中间的深色部分由髓和心材组成。随着树木径向生长的不断增加和木材生理的老化,髓和心材部分年轮逐渐加宽,色泽也转深。外圈的浅色部分代表树木的边材,由树木近年径向生长的年轮所组成,而最外围的黑色部分则为形成层和树皮。由于树干不同层面结构的微观组织不同,其力学性能也存在显著差异^[8]。

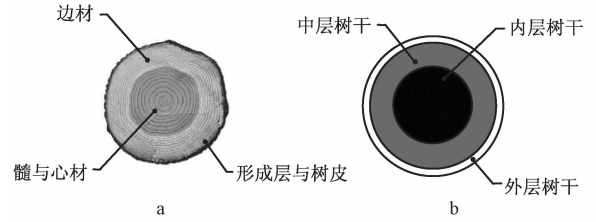


图 4 树干横截面示意图

Fig.4 Cross section of trunk

树干一般与地面有一定倾角的自然生长,随着高度的增加,树干的直径逐渐减小,而且树干的弯曲刚度和弹性模量通常随着树干高度的增加而降低^[9];因此,本文结合树干的力学性能各向相异这一特点,参考 Ancelin 的阶梯状树干模型^[3],建立了分层式阶梯状树干模型,即将树干抽象为以树干基径为底面直径、树干高度为长度的圆锥体,结果如图 5(1)~(3)所示。假设树干为 3 层结构模型,分别以黑色、浅灰和白色表示内层、中层和外层树干,并将锥形树干转化为等体积的阶梯状树干,如图 5(4)~(6)所示。

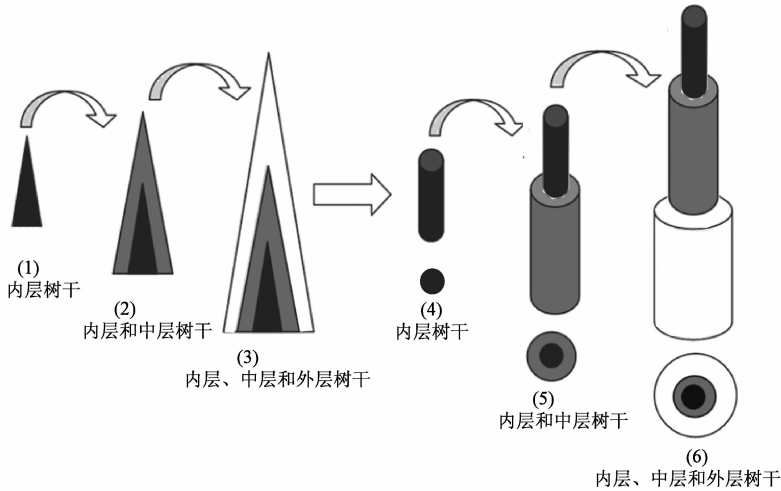


图 5 分层式阶梯状树干的示意图

Fig.5 Hierarchical trunk of ladder-like

各层树干模型主要由阶梯高度、阶梯递减长度和树干底面外径、内径等几何参数来决定。分别建立内层、中层和外层树干模型,而后利用 Pro/E 软件将 3 个模型组合为阶梯状分层式树干模型,如图 6 所示。

利用族表功能建立 H 、 L 、 B 、 C 等 4 个比例系数来表示树干模型内各个几何参量之间的关系(见表 3)。通过调整比例系数和底径 D_0 来改变树干的形状。

表 4 中列出了不同树干模型比例系数和底径的取值,生成的树干模型如图 7 所示。可以看出,随着比例系数的改变,树干模型的长度、不同层面的厚度都会发生变化。

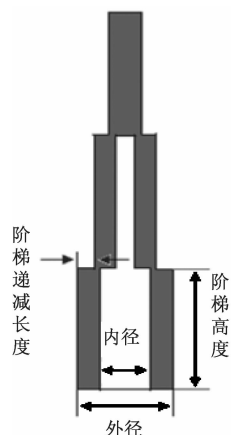


图 6 外层树干示意图

Fig.6 Outer layer of trunk

表3 树干比例系数的意义

Tab.3 Scale factors of trunk and its implication	
比例系数	意义
H	阶梯长度同树干底径之比
L	阶梯递减长度同树干底径之比
B	外层树干的外径与内径之差
C	中层树干的外径与内径之差

表4 不同树干的的比例系数和底径

Tab.4 Scale factors and basal diameter of trunks					
模型	比例系数				D_0/mm
	H	L	B	C	
基本模型0	2	10	80	40	200
衍生模型1	2	12	80	40	240
衍生模型2	2	12	100	60	240
衍生模型3	3	12	100	60	240

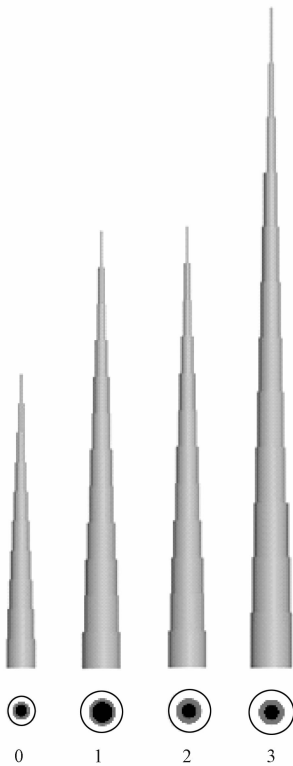


图7 树干几何模型

Fig.7 Geometric model of trunks

3 UDF 库建模方法

由于树木的整体与局部之间存在自相似、自仿射的特点,在生成树木模型时,可用树木整体的结构特征来代替局部的结构特征。UDF (user defined feature)库是 Pro/E 软件提供的用户自定义特征功能,用户可以自定义几何特征保存在 UDF 库中。当建模的过程中出现和刚才自定义的特征相同或相似的特征时可快速在模型上生成该特征,从而达到提高设计速度的目的。本文通过使用 Pro/E 的 UDF 库模块来描述树木整体与局部之间存在的关系,从而快速生成树木模型。

1)测量由树干和其上生长的枝条组成的树木整体结构的几何参数。利用树枝参数化建模方法生成树木的整体模型,如图8所示。



图8 整体树木的模型

Fig.8 Model of whole tree

2)将图8中的模型设置为模型块,并保存在UDF库中;而后,通过比例缩放或仿射模型块,生成局部的树枝模型,如图9所示。



图9 局部树木的模型

Fig.9 Model of partial tree

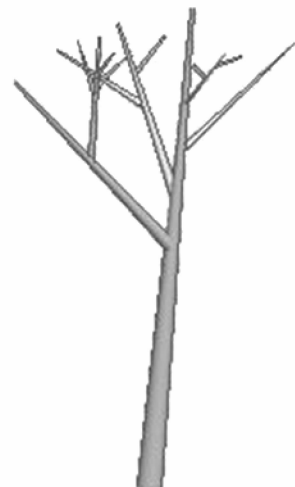


图10 完整树木模型

Fig.10 Complete model of tree

3) 将图9生成的各个局部树枝模型按照空间布局与图8生成的整体模型组合在一起, 得到完整的树木模型(如图10所示)。

4 结 论

1) 参数化建模方法能够调整树枝的长度、分枝角度等几何参数, 从而快速改变模型的形状以适应不同种类树木的需要。

2) 利用 Pro/E 的 UDF 库功能, 对树木整体形态特征进行缩放来代替其局部形态特征, 不但避免了建模过程中的大量实地测量, 而且使模型符合树木形态的分形特点。

3) 通过调整分层式阶梯状树干模型的参数, 改变其锥度和模型不同层面的厚度, 可以对模型不同部分、不同层面赋予不同的物理性质和力学参数。在进行树木动力学特性分析时, 使力学模型更接近真实树木的动力学特性。

参 考 文 献

[1] GARDINER B A. Mechanical characteristics of Sitka spruce[J]. Forestry Commission Occasional Paper, 1989, 24: 1-11.
[2] BAKER C J. The development of a theoretical model for the

windthrow of plants[J]. Theoret Biol, 1995, 175: 355-372.

- [3] ANCELIN P, COURBAUD B, FOURCAUD T Y. Development of an individual tree-based mechanical model to predict wind damage within forest stands [J]. Forest Ecology and Management, 2004, 203(1-3): 101-121.
[4] MOORE J R. Mechanical behavior of coniferous trees subjected to wind loading[D]. Oregon: Oregon State University, 2002.
[5] GODIN C, CARAGLIO Y. A multiscale model of plant topological structures[J]. Journal of Theoretical Biology, 1998, 191(1): 1-46.
[6] NEW NHA M R M. Variable form taper functions for four Alberta tree species[J]. Canadian Journal of Forest Research, 1992, 22(2): 210-223.
[7] PEREZ D N, BURTHART H E, STIFF C T. A variable-form taper function for *Pinus ocarpa* schiede in Central Honduras[J]. Forest Science, 1990, 36(1): 186-191.
[8] 成俊卿. 木材学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1985: 464-482.
[9] SPECK T, BURGERT I. Plant stems: Functional design and mechanics[J]. Annual Review of Materials Research, 2011, 41: 169-193.

(责任编辑 李文军)