

分形理论在木材科学与工艺学中的应用

费本华*

摘要 分形是一种新兴的基础理论,将成为木材科学研究的有效手段之一。本文阐述了分形理论(Fractal Theory)的基本概念、原理和应用,着重介绍分形在木材解剖学、木材物理力学和加工过程中的应用前景。

关键词 分形理论;木材科学;木材工艺学

Application of Fractal Theory on Wood Science

Fei Benhua

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091)

Abstract The basic concepts, principles and prospects of fractal theory for wood anatomy, wood physics-mechanics and wood processing have been introduced in this paper. It is one of the effective means in wood science and technology research and application as a new basic theory.

Keywords Fractal theory; Wood science; Wood technology

分形理论(Fractal Theory)是揭示非线性系统中有序与无序、确定性与随机性的统一问题。分形是指一类极其零碎而复杂,但有其自相似性或自放射性的体系。它们在自然界中普遍存在。虽然分形理论在本世纪70年代才首次提出,但经过近二十年的发展,已被广泛应用到自然科学和社会科学的几乎所有领域,成为当今国际上许多学科的前沿研究课题之一。

自然界存在的欧氏几何体,如0维的点,1维的线,2维的平面和3维的立体等规则物体并不多见,相反非欧氏几何体或空间则在自然现象中处处可见,海岸线,森林群落的边界线,林木的树冠、树叶,线粒体的内表面,人类肺内膜,癌细胞的生长,地球表面形态和农作物的根系形态^[1-4]等等,都是不规则,具有分数维度的物体。这些现象,人们难以运用经典几何学准确地描述和测量它,只有运用分数几何(fractal geometry)的理论和方法,才能准确地对其形态特征进行描述和定量分析。

1 分形理论的简单原理和维数的测定

在经典几何学中,长度 $L=1$,面积 $A=a^2$,体积 $V=b^3$,如果把时间和空间加以考虑 ct^4 也是存在的。

在非欧氏几何中,这里的指数1,2,3,4不是整数,而是分数,数值的大小,称之为分数维。分数维的理论是数学家 Hausdorff 于1919年最早创立的。设 $A \subset R^n$,

$S \geq 0$,对于 $\forall \epsilon > 0$,定义 $H^S_\epsilon(A) = \inf \sum_{i=1}^{\infty} |u_i|^S$ ($A \subset$

$\bigcup_{i=1}^{\infty} u_i, |u_i| \leq \epsilon$),其中 $|u_i|$ 表示集合 u_i 的直径,则集合

A 的 Hausdorff S 维测度定义为 $H^S(A) = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} H^S_\epsilon(A)$ 。 R^n 为 n 维欧氏空间, n 为正整数,而 S 可以取非负实数,后来由 Mandelbrot(1975)将之系统化,形成完整的理论体系,并应用于对自然物体几何特性的描述和分析。

分维数的测定方法可用一例子说明,如宇宙中星球的分布,可以某点为中心,以 r 为半径的球,球内点的总数为 $M(r)$,那么能满足下式: $M(r) \propto r^D$,式中 D 就是点分布的分形维数。 $M(r)$ 也不一定非是点的个数不可,在求宇宙的质量分布或密度的分形维数时,可以把 $M(r)$ 作半径为 r 的总质量或密度。维数 D 的大小,表示 $M(r)$ 分形程度的高低。

2 分形在木材科学与技术中的应用

2.1 树木冠层结构特征与木材性质关系

在林木生长和人工林经营管理过程中,冠层结构特征对木材生长量和质量有直接影响,是用材林培育

收稿日期 1999-01-13
本文系国家林业攀登计划“人工林木材质形成与功能改良机理研究”中的部分内容

* 中国林科院木材工业研究所博士研究生,北京 100091

过程中一个主要因子。因此,树木冠层结构的研究对评价树木生长过程中木材性质的变化特点具有十分重要的意义,但是树冠是一个复杂的分数维体,难以用经典的欧氏几何进行准确的描述和定量分析。从目前研究来看,分形理论及方法是林木材性与冠层结构特性关系研究的有效手段之一。

具体做法可以有几个方面考虑,树木的年轮宽度(连年生长量)与连年冠形变化、与总叶面积之间、与分枝的相互关系,可用分形维数来描述,年轮密度与这些因子之间的关系,也可用分形来解释。通过分形理论和方法,就可以把材性与培育间的关系进行定量分析和准确描述。

2.2 在木质部形成过程中应用

在木材科学的基础研究领域,形成层细胞的分裂和木质部的形成一直是科学家注意的问题。特别是人工用材林的定向培育,木质部细胞的形成质量和数量指标一直是很重要的研究内容。但是随季节的变化和林木本身的遗传性各不相同,以及环境因子的变化等因素的影响,形成层细胞的分裂过程和木质部细胞的形成随时间序列看作分形体,运用分形理论来定量分析,能够更好地提示细胞在变化过程中的内在规律,更好地解释细胞复杂的生长现象。目前还没有见到有关这方面的报道,但医学上细胞的生长和发育用分形研究较多^[5]。

2.3 在木材物理性质分析中的应用

木材是由胞间层、胞腔和胞壁纹孔等构成的多孔物质,其水分的移动一直是极为复杂的研究课题。近期巴西联邦大学物理系 Jose^[6]通过对不同大气压下,木材对水分的吸收,进行了分形特征研究,并通过实验对他的假设进行了验证,说明分形和一系列分形维数是描述木材孔空间特性的有效方法和手段。

在木材密度、电学性质、声学性质研究方面,通过对空间和时间随机变量的观测,这些连续变化值被看作频谱,把频谱图形输入计算机,利用图象处理系统进行图象处理,可以得到图象的维数。这是分形中根据频谱求维数的方法^[7]。

另外,在木材的导热性(非平衡态热力学)、导温性、聚集态的物理性质、多孔性、以及木材表现性能、木材表面花纹图象等都是极其复杂的木材物理学内容,可以借助分形理论进行深入研究,加以定量描述。

2.4 在木材力学中的应用

木材和木质材料内部裂纹的产生、发展以及对木材性质的影响一直是比较复杂的研究内容,如何对产生的现象加以解释和进行有效控制,目前还没有理想

的研究方法和手段,如果引入分形理论,进行双对数关系图分形分析,可能会有新的突破^[8]。

木材断裂力学的研究,国内外科学家运用传统的断裂实验方法研究居多,但普遍结论是规律不明显或找不到规律,定量分析也有很大难度。1984年, Mandelbrot等通过实验指出,断裂表面具有分形结构性质。后来,又有研究进一步表明,分形概念应用于断口定量分析,可以导出断口表面分维数和材料断裂韧性之间的定量关系;还可运用断口面积和断口周长之间关系测定断口的分形维数,对断口的断裂程度进行定量分析。在非木材材料上的分形研究内容越来越多,而木材断裂分形、粗糙表面的分形接触等研究还未见报道。

3 小结与讨论

分形理论虽然刚刚产生,但已显示出其具有独特的作用,人们已经意识到应该把它作为工具,从新的角度来进一步了解和认识自然和改造自然。

木材资源是国民经济和环境资源的重要组成部分,保护木材资源,发展木材资源以及对木材资源的基础研究,对我国目前和将来经济建设和社会发展更具有特殊意义。从建国五十年木材科学研究来看,成果丰硕,但与钢材、水泥等材料的研究相比还有很大差距。在投入上,方法和手段等方面还有待于加大和加强。“九五”期间,国家设立了林业攀登计划研究项目,专门对木材性质形成和功能改良进行研究,在方法上,对某些项目或某些内容的研究应用分形理论,可能在推进我国木材科学的基础理论研究方面会有创新。

4 参考文献

- 1 陈华豪.分数维几何学及其应用.东北林业大学学报,1992,20(1): 77~ 82
- 2 叶万辉.分数几何在林学和生态学上的应用.世界林业研究,1993,1: 17~ 24
- 3 杨培岭,罗远培.冬小麦根系形态的分形物征.科学通报,1994,20: 1911~ 1913
- 4 王义琴,等.大气 CO₂ 浓度倍增对植物幼苗根系生长影响的分形分布.科学通报,1998,16: 1736~ 1738
- 5 Marcelo J Vilela, et al. Fractal Patterns for Cells in Culture. J. Pathol, 1995, 177: 103~ 107
- 6 Jose Arnalde Redinz, et al. The Fractal Nature of Wood Revealed by Water Absorption. Wood and Fiber Science, 1997, 29(4): 333 ~ 339
- 7 张济忠.分形.北京:清华大学出版社,1997
- 8 辛厚文.分形理论及其应用.合肥:中国科学技术大学出版社,1993