

知识介绍

分形理论及其在高分子科学中的应用

陈 云, 王洪艳

(吉林大学朝阳校区 化学系, 长春 130026)

摘要: 介绍了分形的基本概念、分形维数的定义及计算方法, 讨论了近年来分形理论在高分子科学研究方面的一些应用, 内容主要包括高分子溶液、高分子材料的磨损、断裂及界面、高分子结晶过程、导电高分子等。

关键词: 分形; 分形维数; 高分子; 应用

分形(Fractal)一词是由美籍法国数学家 Benoit B Mandelbrot 于 1973 年首先提出的, 其原意是“不规则的”、“分数的”、“支离破碎的”物体^[1]。分形理论研究对象是自然界和非线性系统中出现的不光滑和不规则的几何形体, 以及社会活动中广泛存在的无序(不规则)而具有自相似性的系统^[2,3]。分形使人们得以新的观念、新的手段来处理众多复杂不规则的几何形体和无序的混乱现象, 为不同的学科发现的规律提供了崭新的语言和定量的描述, 为现代科学技术提供了新的思想方法, 它与耗散理论以及混沌理论被称为 70 年代科学史上的三大发现。近 20 年来, 分形理论在自然科学、社会科学及哲学的许多领域中得到了广泛的应用, 获得了大量成果, 并逐步成为连结现代各学科的纬线。本文就近些年分形理论在高分子科学研究中的应用作一介绍。

1 分形理论简介^[3~5]

1.1 分形概念的提出

分形是相对于整形而言的, 它指的是那些处处不规则、处处不可微而具有自相似性的几何形体。19 世纪后期, 人们开始发现这类几何图形, 由于它们不能用经典的欧氏几何来描述, 起初被人们称为是极其“病态”的。后来人们逐渐认识到, 这类不光滑不规则的几何图形具有一个共同的特性——自相似性, 它们也能被定量描述。这一发现最终导致了分形理论的建立。事实上, 由于现实世界本质上是非线性的, 这类不规则图形的集合比经典的几何图形能更好地表现自然界诸多现象。

关于分形, 目前还没有严格的数学定义, 只能给出描述性的定义。粗略地说, 分形是对没有特征长度但具有一定意义下的自相似性图形和结构的总称。它具有两个基本性质: 自相似性和标度不变性。所谓自相似性, 是指某种结构或过程的特征从不同的空间尺度或时间尺度来看都是相似的, 或者某种系统或结构的局域性质或局域结构与整体相似; 另外, 在整体与整体之间或部分与部分之间, 也会存在自相似性。所谓标度不变性, 是指在分形上任选一局域, 对它进行放大, 得到的图形又会显示出原图形的形态特征。

许多经典的分形如三次 Koch 曲线(如图 1)等, 是严格按一定的数学方法生成的, 具有严格的自相似性, 这类分形称之为有规分形。而一般情况下的分形都是无规分形, 即自相似性并不是严格的, 只是统计意义下的自相似性, 其局域经放大或缩小操作可能得到与整体完全不同的表现形式,

作者简介: 陈云(1978—), 男, 湖北省仙桃市, 吉林大学化学科学院 2000 级分析化学专业硕士研究生, 主要从事涂料方面的研究。

但表征自相似结构或系统的定量参数如分形维数,并不因此变化。自然界中的许多体系、现象和过程都属无规分形,如星云的分布、海岸线的形状、山形的起伏、地震、湍流等等。

1.2 分形维数的定义

分形维数,又叫分维、分数维,是定量刻画分形特征的参数,通常为分数。它是维数概念的推广。它表征了分形体的复杂程度。

由于分形集的复杂性,关于分形维数已有多种定义,最有代表性的是 Hausdorff 维数。

对于任何一个有确定维数的几何形体,若用与它维数相同的尺度 r 去度量,其大小 $N(r)$ 与单位量度 r 之间存在如下关系: $N(r) \propto r^{-D_H}$ 或 $D_H = \ln N(r) / \ln(1/r)$, 式中, D_H 即为 Hausdorff 维数。它可以是整数,也可以是分数。

此外,分维还有多种其它定义,如相似维数、盒维数、关联维数、容量维数、谱维数等。

1.3 分形维数的测量

对于有规分形,其维数的计算可以用相似维数,定义为:如果某图形是由把全体缩小为 $1/a$ 的 a^D 个相似图形构成,那么指数 D_s 就具有维数的定义,此维数就是相似维数。如果设 $a^D = b$, 则 $D_s = \ln b / \ln a$, 如上面的 Koch 曲线,是由把全体缩小为 $1/3$ 的 4 个相似形构成的,因此 $D_s = \ln 4 / \ln 3 = 1.2618$ 。

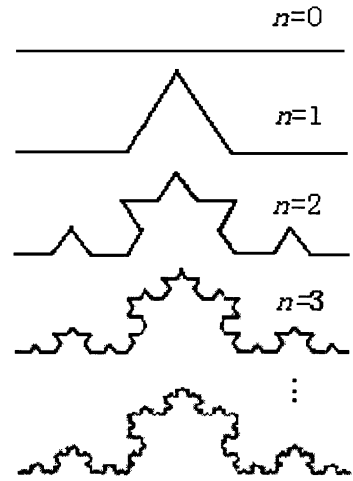


图1 三次 Koch 曲线

对于无规分形,其维数的计算要比有规分形复杂的多,实际采用的方法有以下 5 类。

(1) 改变观察尺度求维数

就是用圆和球、线段和正方形以及立方体等具有特征长度的基本图形去近似分形图形。例如用长度为 r 的线段集合近似海岸线那样的复杂曲线,把得到的线段总数记为 $N(r)$,如果该曲线有 $N(r) \propto r^{-D}$ 的关系,即可称这曲线具有 D 维数。对海岸线和随机行走轨迹分形维数的测定,多数采用此法。

(2) 根据测度关系求维数

这种方法是利用分形具有非整数维数的测度来定义维数的。对于一个立方体,设长度为 L ,面积为 S ,体积为 V ,则有关系式 $L \propto S^{1/2} \propto V^{1/3}$,其意义是,若把 L 扩大到 k 倍,那么 $S^{1/2}$ 和 $V^{1/3}$ 也都扩大到 k 倍。若把具有 D 维测定的量假定为 X ,则该式可推广为 $L \propto S^{1/2} \propto V^{1/3} \propto X^{1/D}$ 。此法可以测岛屿海岸线和分布于空间的点的集合的分形维数。

(3) 根据相关函数求维数

因为相关函数是最基本的统计量之一,所以从这一函数也可以求得分形维数。如果把在空间随机分布的某量 X 在坐标 x 处的密度记为 $\rho(x)$,则相关函数 $C(r)$ 可以定义为 $C(r) = \langle \rho(x) \rho(x+r) \rangle$ 。式中的符号 $\langle \rangle$ 表示平均。当分布为分形时,相关函数为幂型。如果 $C(r) \propto r^{-a}$, 此时幂指数 a 与分形维数 D 的关系为 $a = d - D$, 式中 d 为欧氏空间维数。

(4) 根据分布函数求维数

月球表面照片上不同大小的月坑,如果只凭照片,其真实大小是完全看不出来的,对于这类大小和分布没有特征长度的图形或物体,从其分布函数的类型可求得分形维数。如果把月坑直径记为 r ,把直径大于 r 的月坑存在的几率记为 $p(r)$,若把直径的分布几率密度记为 $p(s)$,则有

$$p(r) = \int_r^{\infty} p(s) ds$$

可证明上式为幂型 $p(r) \propto r^{-D}$, 其中 D 便是所给出分布的分形维数。

(5) 根据频谱求维数

从频率的观点来看, 所谓改变观察的尺度就是改变截止的频率 f_c 。此处的截止频率是把较此更细小的震动成分舍去的界限频率。因此, 如果某变动是分形, 那么也就等于说, 即使变换截止频率 f_c , 也不改变频谱的形状。这就等同于, 即使进行观察尺度的变换 $f \rightarrow \lambda$, 波谱形状也不变。具有这种性质的频谱 $S(f)$ 只限于幂型 $S(f) \propto f^{-\beta}$, 此幂指数 β 与分形维数具有简单的线性关系。

计算分形维数的具体方法有多种, 这里不作介绍。

2 分形理论在高分子科学中的应用

2.1 高分子溶液的分形研究

高分子溶液和简单流体如水等在诸多性能方面存在很大差异, 如流变行为、应力传输等, Wittén^[6] 从分形几何学角度描述了溶液中的聚合物分子与周围环境之间的相互作用行为, 阐述了导致这些差异的根本原因, 为研究高聚物溶液的热力学和流体力学提供了一条有效的途径。

Afanasjev 等^[7] 研究了溶液中木质素磺酸盐 (LS) 聚电解质的形态和构象, 通过计算 LS 长链的支化参数和分维, 表明 LS 高分子链是无规枝化的, 并不符合三维网络模型, 根据其热力学柔顺性, LS 应被归类为中等刚度链的聚合物。Marstokk 等^[8] 用动态和静态光散射法研究聚 *N*-乙酰氨基丙烯酸酰胺 (PAAA) 在水溶液中的缔合物时发现, 其分维值随聚合物浓度的增加而增大, 这表明该缔合物在高浓度时变得更为密集, 粘度测定结果支持了这一推断。Dahmani 等^[9] 用静态光散射法研究了单酯和双酯中 PVC 热致可逆凝胶的微丝聚集体, 计算其纵向分维均为 $D=1.5 \pm 1$, 并由此得出同种溶剂中凝胶的弹性模量与聚合物浓度之间的关系, 还进一步讨论了导致这些凝胶纤维刚度的机制。

Matejka 等^[10] 用小角 X 射线散射 (SAXS) 分析法研究了环氧-二氧化硅混合体系溶胶-凝胶反应过程中反应物的结构演变, 通过测定和分析反应过程中形成的聚合物分子簇的分维, 发现不同反应初始状态对反应物结构的演变和最终产物的形成有很大影响。Krakovsky 等^[11] 用两步溶胶-凝胶反应法合成了三乙氧基甲硅烷基终端-聚四氢呋喃 (ET-PTMO) 和四乙氧基硅烷 (TEOS) 的混合物凝胶, 并对反应动力学进行了研究, 发现高含量的 TEOS 会导致在第二步反应的初始阶段形成较大初始粒子, 其分维为 2.2~2.4, 与大多数紧密粒子聚集体的分维值一致。

Watanabe 等^[12] 研究了聚氯乙烯/苯二甲酸=(2-乙基己基)酯 (PVC/DOP) 临界凝胶状态的非线性流变行为, 发现并讨论了粘性增长函数 $\eta_+(t, \gamma)$ 与松弛模量 $G(t, \gamma)$ 的变化与流动/应变效应引起该凝胶网络分形结构的变化之间的关系。Li 等^[13] 对双嵌段共聚物氧化乙烯/氧化丙烯 ($E_{44}B_8$) 浓溶液的相行为研究表明, 该共聚物的软凝胶是一种由球形胶束组成并被水相高度溶胀的分形网络。陈洁和单军等^[14-16] 探讨了丙烯酰胺、丙烯酸钠的均聚物及共聚物水凝胶的不均匀微观网络的分形特征, 用分维对水凝胶聚合物的微观网络的致密程度进行了量化表征; 作者还利用多重分形理论描绘出水凝胶聚合物微观形态的多重分维谱^[17], 并比较了它们的非均匀程度。多重分维谱可以反映出水凝胶聚合物微观形态不同层次上的分形特征。

徐建宽等^[18,19] 对凝胶中大分子的阻滞扩散给予了研究, 利用动态 Monte Carlo 模拟了自由基凝胶化反应, 在模拟中首次考虑了单体运动和单体浓度对凝胶结构的影响, 得到了凝胶网络的分形维

数和孔径分布与单体浓度之间的关系。Zuo等^[20]通过 SAXS 与静态和动态光散射分析法证实了苯乙烯-二乙烯苯交联共聚反应这一凝胶化过程的分形行为,提出了一种表征共聚物凝胶化过程的分形几何方法。刘孝波等^[21]研究了双马来酰亚胺共聚物的凝胶化过程和网络的分形特征,建立了该种共聚物在液晶态下交联反应过程的分形模型,得到了网络结构的分形维数,阐明了凝胶化过程是一个受限扩散过程,固化过程的后期是由于形成局部有序网络结构,这为液晶热固性聚合物的研究提供了新的表征方法,作者还进一步提出了液晶热固性聚合物形成的分形理论^[22]。

2.2 高分子材料磨损、断裂的分形研究

材料的磨损碎片包含有关材料磨损的大量信息,对其进行研究可以对材料的磨损状况进行诊断和预测,因而具有重要意义。Ming等^[23]以聚醚醚酮(PEEK)为例作了研究,证实了磨损碎片的分维特征,发现磨损碎片的分维与磨损行为密切相关,可用来作为磨损速率的一种量度。

张明等^[24]探讨了减粘材料超高分子量聚乙烯(UHMWPE)和聚四氟乙烯(PTFE)在自由式磨料磨损中,聚合物表面层磨损的分形维数特征,为定性地评价两种高聚物自由式磨料磨损表面特征提供了一种新的方法。

Girodano等^[25]用分维描述了聚合物基体单纤复合材料纤维断裂时产生的声发射信号的多重谱线,对三种不同的复合体系 PCA 聚酯基体/碳纤(直径 6 μ m)、ECA 环氧基体/碳纤(直径 6 μ m)以及 ECB 环氧基体/碳纤(直径 12 μ m),其分维测量值分别为 $D_{PCA} = 1.23 \pm 0.02$ 、 $D_{ECA} = 1.46 \pm 0.03$ 、 $D_{ECB} = 1.42 \pm 0.02$,结果表明,分维 D 在复合材料体系的识别中起关键作用。他们由此提出了一种能用于评价谱线之间形状相似性的算法,可用来识别不同谱线。

李祝龙等^[26]用分形几何学研究聚合物水泥混凝土的断裂性能,分析乳液改性混凝土的强度,发现聚合物乳液的加入,使混凝土的微观断面分维增大,抗折强度提高,且随着聚合物剂量的增加,混凝土的微观断面分维增大。混凝土的微观断面分维数 D_w 与抗折强度 R_w 、断裂韧性 K_c 和应变释放率 G_c 有较好的线性关系。

2.3 高分子材料界面的分形研究

聚合物共混材料的性能强烈地依赖于共混物界面,所以共混物界面一直是共混研究方面的热点,但这方面的研究大多是定性研究,定量描述是极其困难的。王文新等^[27,28]采用了一种图形变换方法将复杂的聚合物共混界面转换成具有几何特征的图形,并用分形理论加以定量描述,认为分维 D 是描述共混物界面复杂状态的一个重要参数, D 越大,界面状态越复杂,共混物的相容性也就越好。Tan等^[29]对互穿聚合物网络聚己二酸乙二醇酯/双酚 A 二缩水甘油醚(PEGDA/DGEBA)的研究表明,该体系是具有明显界面的两相体系,对界面的 SAXS 测量结果遵从表面分维的幂定律,而非 Porod 定律,且分维 D 随样品的组成和合成条件的不同而改变。

用微波焊接高密度聚乙烯(HDPE),焊接后的抗拉强度取决于界面上导电聚合物的残余量及其分布,如果界面上残余的聚合物足量,焊样还可以用微波重新拆卸。如果减少残余量,可提高抗拉强度,但会降低拆卸能力,两者之间须达到统一。Staicovici S^[30]通过计算界面图案的分维,获得一个统一焊接参数的影响、焊接强度及拆卸能力这些因素的参数,从而为施工条件的选择提供了参考。

2.4 高分子结晶过程的分形研究

Mathot Vincent等^[31]研究了线性、支化及共聚聚乙烯的亚稳性和有序结构,发现在均质乙烯共聚物中,当共聚单体含量达最大值时,结晶过程是一种分形生长过程,形成“疏松堆砌的乙烯序列”胶束。Shan等^[32]通过电化学聚合法合成具有分形图案的聚吡咯(PPy)并分析了分形图案与生长条件之间的关系以及聚合物在反应过程中的形态转变。Kim等^[33]采用声发射信号探测法,并通过用

分维定量刻画高分子树的形状,对高分子树生长的损坏过程及分形性质给予了研究。

Urayama^[34]等研究了具有超螺旋结构的消溶胀聚二甲基硅氧烷(PDMS)网络的单轴生长过程,讨论了超螺旋结构对消溶胀网络的机械性能的影响,通过应力对生长率 λ 的依赖性算得这种超螺旋结构的分维 $D=2.5$,该值比高斯链的分维($D=2$)要大,而小于聚合物障碍点阵(PCAO)模型($D=3$ 或 4),说明这种超螺旋结构链比高斯链要收缩,而没有PCAO模型致密。

2.5 导电高分子的分形研究

蒋来等^[35]通过SAXS测量,对离子导电聚合物聚醚氨脒-高氯酸锂(PEUU-LiClO₄)膜及其基质PEUU膜的纳米结构的分形特征进行了研究,定量地刻画了膜的微观结构与导电率之间的关系。

吴秋菊等^[36]通过透射电镜的观察发现,磺化聚苯胺的胶体聚集体和胶粒内部结构都具有分形特征,并分别用扩散控制集团聚集(DLCA)模型和随机雨点(RR)模型进行了描述,从而将分形的概念及数学模型引入了共轭导电聚合物体系之中。这项研究对胶粒内部分形结构的研究具有启发性的意义。

有人^[37,38]在电荷转移聚合物中,发现如荧光淬灭、光电效应改善等独特性能,通过考虑聚合物电子给体和受体的不同电子能量状态,用聚合物电子给体和受体之间发生光致电荷转移及形成分形网络给予了解释。

2.6 高分子其它方面的分形研究

还有的学者把分形理论应用在高分子研究中的其它方面,相继取得了一些成果。如Luzinov等^[39]用分形理论定量描述了5-叔丁基过氧-5-甲基-1-己烯-3-炔与马来酸酐的共聚物和苯乙烯-马来酸酐共聚物对不同超细粉末的吸附行为。霍超等^[40]研究了Ti-Mg负载型聚乙烯催化剂的表面分维特性,探讨了表面分维与催化剂制备的反应时间、反应温度及搅拌速率之间的关系以及对聚合活性及其聚合产品形态的影响。徐满才等^[41]借助SAXS测定,发现大多数大孔交联聚苯乙烯在数纳米至数十纳米的标度尺寸范围内具有分形结构,分形维数介于2和3之间,作者还进一步探讨了交联度、致孔剂、功能基化反应及后处理对大孔交联聚苯乙烯分形结构的影响。田根林等^[42]针对多孔介质中聚合物驱油两相渗流过程的指进现象,建立了二维两相驱替渗流过程的分维计算方法,并用不同粘度的聚合物驱替液的驱油实验,确证该过程是不稳定的分形过程。刘长生等^[43]研究了磨盘研磨中聚丙烯(PP)的粉碎和固相力化学接枝,用分维定量描述了PP粒子的粉碎规律,并因此揭示了N-羟甲基丙烯酰胺在PP表面固相力化学接枝反应的本质。

3 结束语

分形理论作为一门新兴的边缘学科,诞生不过20余年,但发展相当迅速,在各学科领域中得到了广泛的应用并取得了许多重要成果。可以认为,分形广泛存在于自然科学和社会科学的各个方面,因此分形理论及其应用有很大的发展空间。分形应用于高分子科学,已经取得了一些成果,但总得说来,仍处于探索阶段,许多相关的基础工作,包括分形理论本身的完善和发展,仍是今后应努力的方向。

参考文献:

- [1] Mandelbrot B B. The Fractal Geometry of Nature, Freeman, San Francisco, 1982
- [2] 林鸿溢. 材料导报, 1994, (4): 5~9.
- [3] 谢和平, 薛秀谦. 分形应用中的数学基础与方法. 北京: 科学出版社, 1997. 8~9.

- [4] 张济忠. 分形. 北京: 清华大学出版社, 1995, 111~138.
- [5] [日] 高安秀树. 分数维. 沈步明, 常子文, 译. 北京: 地震出版社, 1994, 7~24.
- [6] Witten T A. Reviews of Modern Physics. 1998, 70(4): 1531~1544.
- [7] Afanasjev N, Korobva E, Parfenova L. Poster Presentations International Symposium on Wood and Pulping Chemistry, Proceedings, ISWPC. 1997, 2, 1~3.
- [8] Msrstokk O, Nystrom B, Roots J, et al. Macromolecules. 1998, 31(13): 4205~4212.
- [9] Dahmani M, Fazel N, Munch J P, et al. Macromolecules. 1997, 30(5): 1463~1468.
- [10] Matejka I, Pleštil J, Dusek K. Journal of Non-Crystalline Solids. 1998, 226(1-2): 114~121.
- [11] Krakovsky I, Urakawa H, Kajiware K, et al. Journal of Non-Crystalline Solids. 1998, 231(1—2): 31~40.
- [12] Watanabe H, Sato T, Osaki K, et al. Macromolecules. 1998, 31(13): 4198~4204.
- [13] Li H, Yu G E, Price C, et al. Macromolecules. 1997, 30(5): 1347~1354.
- [14] 陈洁, 单军, 刘占军, 等. 高分子材料科学与工程, 1997, 13(suppl): 47~50.
- [15] 陈洁, 单军, 张懋森. 化工新型材料, 1996, (6): 26~28, 40.
- [16] 单军, 陈洁, 等. 安徽工学院学报, 1996, 15(2): 8.
- [17] Shan J, Chen J, Liu Z J, et al. Polymer Journal. 1996, 28(10): 886~892.
- [18] 徐建宽, 何明霞, 何志敏. 中国化工学会第九届全国化工科技报告会. 青岛: 中国化工学会, 1998, 304~307.
- [19] 徐建宽, 何明霞, 何志敏. 高分子学报, 2000, (1): 61~64.
- [20] Zuo J, Liang D H, Ran Sh F, et al. Journal of Applied Polymer Science. 1998, 68(3): 363~371.
- [21] 刘孝波, 顾宜, 江璐霞, 等. 高分子材料科学与工程, 1995, 11(5): 46~49.
- [22] 刘孝波, 陈欣, 江璐霞, 等. 高分子材料, 1996, 3(3): 21~23.
- [23] Ming Q Z, Zai P L, Friedrich K. Tribology International. 1997, 30(2): 87~102.
- [24] 张明, 刘勇兵, 佟金. 农业机械学报, 2000, 31(2): 125~126.
- [25] Girodano M, Calaro A. Polymer Composites. 1999, 20(6): 758~770.
- [26] 李祝龙, 梁乃兴. 西安公路交通大学学报, 2000, 20(1): 20~22.
- [27] 王文新, 董伯儒, 颜德岳. 高分子材料科学与工程, 2000, 16(1): 11~12.
- [28] 王文新, 董伯儒, 颜德岳. 高分子材料科学与工程, 2000, 16(2): 16~17.
- [29] Tan S S, Zhang D H, Zhou E L. Polymer. 1997, 38(18): 4571~4575.
- [30] Staicovici S, Wu C Y, Benatar, A. et al. Processing Annual Technical Conference-ANTEC, Conference Proceedings. 1996, 1: 1285~1289.
- [31] Mathot Vincent B F, Scherrenberg Rolf L, Pijpers Thijs F J. Polymer. 1998, 39(19): 4545~4559.
- [32] Shan J N, Yuan C W, Zhang H Q. Thin Solid Films. 1997, 301(1-2): 23~27.
- [33] Kim J H, Sin S K, Sim J T, et al. Proceedings of the IEEE International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials. 1997, 1: 434~438.
- [34] Urayama K, Kohjiya S. Polymer, 1997, 38(4): 955~962.
- [35] 蒋来, 杨荣亮, 王永宾, 等. 中国科学(B 辑), 1999, 29(4): 361~366.
- [36] 吴秋菊, 吴立新, 漆宗能, 等. 高分子学报, 2000, (2): 172~175.
- [37] Onoda M, Tada K, et al. IEICE Transactions of Electronics. 1998, E81-C(7), 1051~1056.
- [38] Tada K, Hosoda K, Hirohata M, et al. Synthetic Metals. 1997, 85(1): 1305~1306.
- [39] Luzinov I, Evchuk I, Minko S, et al. Journal of Applied Polymer Science. 1998, 67(2): 299~305.
- [40] 霍超, 任晓红, 宗迎伟, 等. 石油化工, 1999, 28(12): 802~826.
- [41] 徐满才, 史作清, 张煜, 等. 离子交换与吸附, 2000, 16(5): 385~391.
- [42] 田根林, 孙立群, 孙永达, 等. 石油学报, 1998, 19(4): 73~76.
- [43] 刘长生, 王琪. 高分子学报, 200, (2): 219~223.

[55] Tuomela M, Vikman M, Hatakka A, et al. *Bioresource Technology*, 2000, 72: 169 ~ 183.

Lignin Applied in Plastics

YANG Jun¹, LV Xiao-jing², Wang Di-zhen²

(1. *Center of Technology, Zhuzhou Times New Material Technology Co. LMD., Zhuzhou 412007, China*

2. *Department of Polymer Science & Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China*)

Abstract: The development of lignin applied in plastics in recent 10 years was reviewed by 51 reference, five fields include PVC, PE, PP, PF, and PU were analysed mainly. The development direction of this technology was also discussed.

Key words: Lignin; Plastics; Blending; Biodegradation; Composite

(上接第 46 页)

Fractal Theory and Its Applications in Polymer Science

CHEN Yun, WANG Hong-yan

(*Department of Chemistry, Chaoyang Campus, JiLin University, Changchun 130026, China*)

Abstract: In this paper, the concept of fractal and the definitions and calculations of fractal dimensions are introduced. The recent applications of the fractal theory in polymer science, which mainly include polymer solutions, wears and fractures of polymer materials and their interfaces, crystallization of polymers as well as conducting polymers, are discussed.

Key words: Fractal; Fractal dimensions; Polymer; Application

(上接第 52 页)

Functional Cellulosics and Application

SONG Xian-ling¹, WEN Qi-biao¹, GUO Ye²

(1. *Food and Biological Engineering College, South China University of Technology, GuangZhou 510640, China;*

2. *Research Institute of Light Industry, GuangZhou 510075, China*)

Abstract: Functional cellulosics are all along researching focus. Many new functional cellulosics have been produced recent year. This thesis summaries the latest development and application of the functional cellulosics, including high absorbent cellulosics, biodegradation cellulosics, liquidcrystal cellulosics, high performance cellulosics.

Key words: Cellulose; Functional cellulosics; High absorbent cellulosics; Cellulosic liquid-crystal