

含遮蔽抛射沉积模型的有限尺寸效应*

郝大鹏 唐刚[†] 夏辉 韩奎 寻之朋

(中国矿业大学物理系, 徐州 221116)

(2010年4月16日收到; 2010年6月29日收到修改稿)

含遮蔽抛射沉积模型是在抛射沉积(BD)模型的基础上考虑了粒子以一定的角度分布倾斜入射的情况. 本文应用外推方法确定了大尺寸极限下含遮蔽抛射沉积模型各标度指数, 讨论了该模型的有限尺寸效应及其标度性质. 从模拟结果可以看出含遮蔽BD模型的有限尺寸效应与BD模型有所不同, 遮蔽这种非局域作用可以显著地改变BD模型的标度性质.

关键词: 遮蔽效应, 抛射沉积模型, 有限尺寸效应, 动力学标度

PACS: 81.15.-z, 05.10.Ln, 68.55.-a

1. 引言

在表面界面粗糙化生长过程中为描述表面形态, 表面的生长高度用时间及空间的单值函数 $h(\mathbf{x}, t)$ 来表述, $h(\mathbf{x}, t)$ 表示了 t 时刻, 基底 \mathbf{x} 处的相对生长高度. 研究发现, 粗糙生长表面常具有自仿射的分形结构, 生长高度函数 $h(\mathbf{x}, t)$ 满足以下形式的标度变换不变性^[1,2]:

$$h(\mathbf{x}, t) = b^{-\alpha} h(b\mathbf{x}, b^z t), \quad (1)$$

其中 α 及 z 分别为表面粗糙生长的粗糙度指数和动力学指数. 粗糙生长表面的标度性质可以用总的表面宽度 $W(L, t) = \sqrt{\langle (h(\mathbf{x}, t) - \bar{h}(\mathbf{x}, t))^2 \rangle}$ 来描述, 其中 $\bar{h}(\mathbf{x}, t)$ 表示在 t 时刻表面的平均生长高度, $\langle \dots \rangle$ 表示对噪声的统计平均. Family 和 Vicsek^[3,4] 认为在基底宽度为 L 的有限系统中, $W(L, t)$ 满足如下标度规律:

$$W(L, t) = L^\alpha f(t/L^z), \quad (2)$$

式中的标度函数 $f(x)$ 具有以下渐进行为: 当 $x \rightarrow 0$ 时 $f(x) \sim x^{\alpha/z}$, 而当 $x \rightarrow \infty$ 时 $f(x)$ 趋于常数. 因而表面宽度具有以下渐进行为:

$$W(L, t) \sim \begin{cases} t^\beta, & t \ll L^z, \\ L^\alpha, & t \gg L^z, \end{cases} \quad (3)$$

式中 $\beta = \alpha/z$ 为生长指数, 反映初始生长阶段的动力学性质. 标度指数 α, β 及 z 决定了生长过程所属

普适类.

以上 Family-Vicsek 标度律可以很好地描述大量属于 Edwards-Wilkinson (EW)^[5], Kardar-Parisi-Zhang (KPZ)^[6] 等常见普适类的生长过程, 但近年来的研究也发现了一些实际的生长过程和离散模型并不满足 Family-Vicsek 标度律, 即具有奇异标度性质^[7-9]. 当生长过程存在奇异标度性质时, 整体标度性质和局域标度性质不再相同, 生长过程的奇异标度性质可以用表面的高度差关联函数来研究. 高度差关联函数的定义为

$$G(l, t) = \langle [h(\mathbf{x} + \mathbf{l}, t) - h(\mathbf{x}, t)]^2 \rangle, \quad (4)$$

高度差关联函数具有如下的标度规律:

$$G(l, t) = t^{2\beta} f_A(l/t^{1/z}), \quad (5)$$

其中标度函数 $f_A(x)$ 具有渐进行为: 当 $x \rightarrow 0$ 时, $f_A(x) \sim x^{2\alpha_{loc}}$, 当 $x \rightarrow \infty$ 时, 趋于常数, 因而高度差关联函数具有以下渐进行为:

$$G(l, t) \sim \begin{cases} t^{2\beta}, & t \ll l^z, \\ l^{2\alpha_{loc}}, & t \gg l^z, \end{cases} \quad (6)$$

其中 α_{loc} 为局域粗糙度指数, 具有奇异标度性质的生长表面其整体粗糙度指数 α 和局域粗糙度指数 α_{loc} 不相等. 当生长表面具有正常标度性, 即满足 Family-Vicsek 标度律时, $\alpha = \alpha_{loc}$.

在对表面粗糙现象的进一步研究中, Chin 和 Nijss^[10] 提出了在属于 KPZ 普适类的生长过程中, 表面高度分布的偏度和峰度具有普适性, 可以用来判

* 国家自然科学基金(批准号:10674177)和中国矿业大学校青年基金(批准号:2008A035)资助的课题.

[†] E-mail: gangtang@cumt.edu.cn

断离散模型是否属于 KPZ 普适类. 偏度定义为

$$S = \frac{W_3}{W_2^{3/2}}, \quad (7)$$

峰度定义为

$$Q = \frac{W_4}{W_2^2} - 3, \quad (8)$$

其中 $W_n \equiv \langle (h - \bar{h})^n \rangle$. Aarão Reis^[11] 的研究表明偏度和峰度不但在 KPZ 普适类中具有普适性, 而且在 MBE 普适类的离散模型中也具有普适性.

对离散模型进行模拟是研究表面界面粗糙化过程的常见方法, 通过模拟得到的模型各标度指数是确定模型普适类的重要依据. 根据表面的标度假设, 理论及实验研究的是大尺寸系统在长时间下的标度性质, 而由于计算机计算能力的限制, 对离散模型只能模拟到有限大小的系统. 由于模型尺寸的限制而对模型标度性质的影响称为有限尺寸效应. 有限尺寸效应的存在使得精确确定离散模型的标度指数变得困难, 在无法大幅度增大模拟尺寸的情况下, 采用一些有效的处理方法得到模型在大尺寸极限下的标度指数变得尤为重要. 为减小有限尺寸效应对离散模型标度指数的影响, Aarão Reis^[12] 提出了一种外推的处理方法来确定大尺寸极限下离散模型的标度指数, 在将这一方法应用到抛射沉积 (BD) 模型、受限固固 (RSOS) 模型、Wolf-Villain (WV) 模型和 Das Sarma-Tamborenea (DT) 模型时得到的标度指数与相应的理论结果符合得很好^[13-15]. 应用这种外推的方法首先是模拟不同尺寸的离散模型得到相应的标度指数, 然后画出标度指数随系统尺寸 $L^{-\Delta}$ ($0 < \Delta \leq 1$) 的变化关系, 最后通过外推得到在系统尺寸趋于无穷大时相应标度指数的取值. 虽然这一方法从理论上来说不够可靠, 但应用在离散模型的模拟中却取得了令人满意的结果.

常见的简单离散模型仅考虑了粒子垂直入射到基底的情况, 但在化学沉积、溅射沉积等实际的生长过程中, 粒子流以一定的角度分布倾斜入射到基底上. 在非垂直入射时较高的已生长柱体对入射粒子流产生的遮挡称为遮蔽效应, 遮蔽效应是一种非局域的长程相互作用. 大量的理论和模拟工作均表明非局域相互作用的存在将显著地改变粗糙化生长过程的标度性质^[16-20]. Yu 和 Amar^[21] 研究了含遮蔽 BD 模型, 确定了模型的生长指数、粗糙化指数、局域粗糙度指数和分形维数, 指出含遮蔽 BD 模型应具有奇异标度性. 由于遮蔽效应是一种非局域

的相互作用, 存在遮蔽效应的系统其标度性质可能更容易受到系统尺寸大小的影响, 所以对含遮蔽 BD 模型的标度指数进行修正并研究遮蔽效应对模型有限尺寸效应的影响具有重要的意义. 本文参照 Aarão Reis 的方法对含遮蔽 BD 模型的标度指数进行修正, 并将这一方法推广应用到对局域粗糙度指数的修正中, 进而讨论遮蔽效应对模型有限尺寸效应的影响. 通过模拟发现遮蔽效应的存在对 BD 模型的有限尺寸效应产生了显著的影响. 在属于 KPZ, MBE 普适类的离散模型中具有普适性的偏度和峰度, 在本模型中其取值与系统基底尺寸呈现幂率变化关系, 说明遮蔽效应的存在破坏了模型偏度和峰度的普适性.

2. 标度指数的有限尺寸效应修正

2.1. 模型

本文考虑 1+1 维含遮蔽 BD 模型, 其具体算法如下: 假设最初的基底为一维的平坦基底, 粒子用正方形格点表示. 在比表面最高点高一个格点且平行于基底的直线上任取一点, 粒子从该点以角度分布 $P(\theta) \sim \cos\theta$ 入射到基底上, 其中 θ 为粒子入射方向与基底法向之间的夹角. 粒子入射到基底上的沉积过程符合 BD 模型的算法, 即附着在与已生长柱体最初的接触点处. 在模拟过程中采用了周期性边界条件, 最初的基底长度定义为 L , 每沉积 L 个粒子时间增加 1. 根据系统尺寸大小的不同, 模拟结果为 20—1000 次模拟过程的平均.

2.2. 生长指数 β

在粗糙表面生长初期, 即 $t \ll L^i$ 时, 表面宽度 $W(L, t) \sim t^\beta$, 对应系统尺寸 L 可以求出相应的 β_L . 改变系统基底尺寸的取值, 可以得到一系列对应的 β_L . 根据文献^[12] 中的方法, β_L 与基底尺寸 L 的关系可以表示为

$$\beta_L \approx \beta + AL^{-\lambda}, \quad (9)$$

其中 A 为一常数, λ ($0 < \lambda \leq 1$) 的值根据不同的模型灵活选取, 最简单的取值方法可以取 λ 为 1, 仅对 L 较大的点进行线性拟合; 另外一种更直观的取值方法是使得 β_L 和 $L^{-\lambda}$ 的关系最接近于线性关系. 图 1 给出了 $256 \leq L \leq 131072$ 情况下 β_L 对 L^{-1} 的对应关系, 在图中可以看出生长指数随系统尺寸的增加而

增加,在 $L > 1024$ 时, β_L 和 L^{-1} 之间的关系近似于线性关系,对这些点进行线性拟合并外延,可以得到在系统尺寸趋于无穷大时生长指数的取值趋于 0.639. 当 $\lambda = 0.74$ 时, β_L 和 $L^{-\lambda}$ 之间的关系最接近线性关系,图 2 表示了 β_L 和 $L^{-0.74}$ 之间的近似线性关系,对图中线性拟合得到的直线进行外延,和纵轴的交点为 0.639,这和 $\lambda = 1$ 时得到的结果相同,说明这一方法对生长指数的计算并不依赖于 λ 的取值. 同时由于计算生长指数仅要求模拟生长过程的初始阶段,在有限的计算能力下可以计算较大尺寸的模型. 这里得到的结果和文献[21]中的 $\beta = 0.64$ 结果是一致的,说明在计算一维含遮蔽 BD 模型的生长指数时,系统尺寸 $L = 32768$ 的模型已经可以很好地描述系统在大尺寸极限下的动力学生长指数.

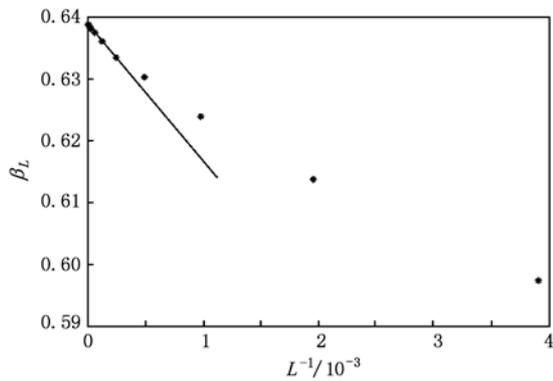


图1 生长指数 β_L 与 L^{-1} 之间的关系,直线为 L 较大的六个点线性拟合得到的

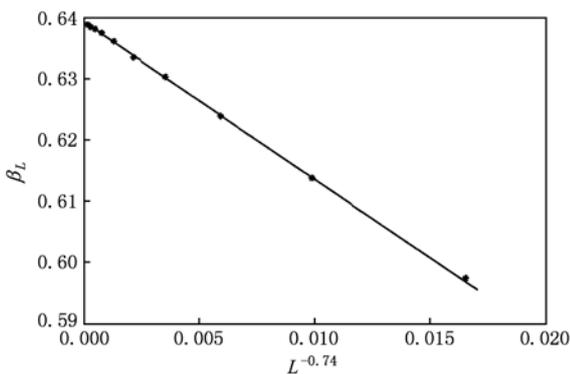


图2 生长指数 β_L 与 $L^{-0.74}$ 之间的关系,直线为图中各点线性拟合得到的

2.3. 粗糙度指数 α

粗糙度指数由(3)式来确定,确定粗糙度指数

需要系统的表面宽度达到饱和,系统的模拟时间要满足 $t \gg L^2$,由于计算机的计算能力限制,能够模拟的系统尺寸大小非常有限,因而有必要研究粗糙度指数受有限尺寸效应的影响. 依照文献[12]给出的处理方法,首先对基底尺寸 $32 \leq L \leq 2048$ 时,分别将系统模拟到表面宽度饱和,求得相应表面宽度的饱和值 $W_s(L)$,对应不同尺寸下的粗糙度指数可由下式求得:

$$\alpha_L = \frac{\ln[W_s(L)/W_s(L/2)]}{\ln 2}, \quad (10)$$

α_L 与基底尺寸 L 的关系可以假设为

$$\alpha_L \approx \alpha + BL^{-\lambda}. \quad (11)$$

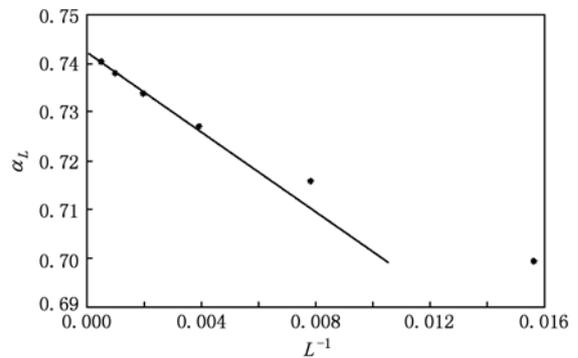


图3 粗糙度指数 α_L 和 $1/L$ 之间的关系,直线为 L 较大的四个点线性拟合得到的

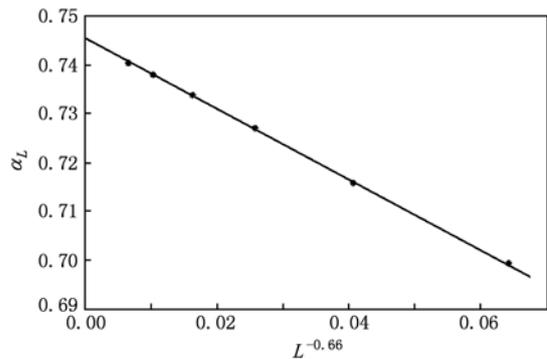


图4 粗糙度指数 α_L 和 $L^{-0.66}$ 之间的关系,直线为图中各点线性拟合得到的

图 3 表示了 α_L 随 L^{-1} 的变化,从图中可以看出随着系统尺寸 L 的增大,模拟得到的粗糙度指数 α_L 逐渐增大,这里 α_L 随 L 的变化和 BD 模型中具有相同的变化趋势. 对图中 L 较大的四点进行线性拟合,可以得到在大尺寸极限下粗糙度指数的取值为 0.742. 当 $\Delta = 0.66$ 时, α_L 对 $L^{-\lambda}$ 的关系最接近于线

性关系,如图4所示,通过线性拟合可得大尺寸极限下粗糙度指数的取值为0.745,这和 $\Delta = 1$ 时得到的结果相差甚微,说明了 Δ 的取值对结果基本没有影响.由以上分析可以看出含遮蔽BD模型的粗糙度指数受系统尺寸大小的影响较小.

2.4. 动力学指数 z

由Family-Vicsek标度律,设系统表面宽度达到饱和时对应的饱和时间为 τ_s ,则 τ_s 与系统尺寸 L 的关系为 $\tau_s \sim L^z$,其中 z 为动力学指数.由离散模型确定动力学指数 z 的困难在于不容易准确确定表面宽度的饱和时间 τ_s .为解决这一困难,Aarão Reis在文献[13]中给出了一种新的确定方法.首先由下式确定特征时间 τ_0 :

$$W(\tau_0) = kW_s, \tag{12}$$

其中 k 为小于1的常数,本文参照文献[13]取 $k = 0.8$.在不同的系统尺寸下分别模拟计算 $\tau_0(L)$,基底尺寸为 L 的系统对应的动力学指数可以表示为

$$z_L = \frac{\ln[\tau_0(L)/\tau_0(L/2)]}{\ln 2}. \tag{13}$$

z_L 与基底尺寸 L 间的关系可表示为

$$z_L \approx z + BL^{-d}. \tag{14}$$

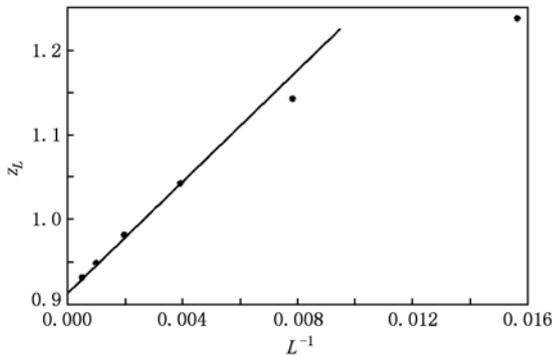


图5 动力学指数 z_L 随 L^{-1} 的变化关系,直线为 L 较大的四点线性拟合得到的

图5为系统尺寸 $64 \leq L \leq 2048$ 时,动力学指数 z_L 随 L^{-1} 的变化关系,可以看出随着系统尺寸的增大,动力学指数显著减小.对 L 较大的四点进行线性拟合,可以确定在大尺寸极限下动力学指数为0.917.如图6所示在 $\Delta = 0.55$ 时, z_L 与 L^{-d} 之间的关系最接近于线性关系,由线性拟合可得在 L 趋于无穷大时动力学指数为0.878.与 $\Delta = 1$ 时外推得到的动力学指数相比,两者差别较为明显,说明用外推方法确定动力学指数受 Δ 取值的影响比较明显.

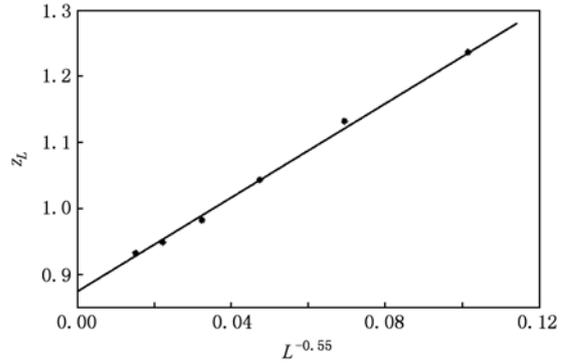


图6 动力学指数 z_L 随 $L^{-0.55}$ 的变化关系,直线为图中各点线性拟合得到的

在BD模型^[13]中动力学指数与系统尺寸的关系并不明显,即动力学指数的有限尺寸效应较小.而在遮蔽效应存在的情况下,动力学指数受系统尺寸的影响较大.这是因为以较大倾角 θ 入射的粒子在系统尺寸较小时落在出发点下方的概率较大,这使得遮蔽这种长程相互作用受到了系统尺寸大小的影响.

2.5. 局域粗糙度指数及奇异标度性分析

由模拟结果确定局域粗糙度指数是研究系统的奇异标度性质的一种重要方法,奇异粗糙度指数是在 $t \gg \tau$ 的极限下确定的,由于计算机计算能力的限制,要保证模拟时间,基底尺寸 L 的取值很难太大,在已有的文献中尚没有看到对局域粗糙度指数受系统尺寸的影响进行讨论.受到文献[13]的启发,在本文中,由(6)式对不同的基底尺寸 L 模拟确定对应的局域粗糙度指数 $\alpha_{loc,L}$,假设 $\alpha_{loc,L}$ 与基底尺寸 L 间满足以下关系:

$$\alpha_{loc,L} \approx \alpha_{loc} + CL^{-p}, \tag{15}$$

其中 p 取小于1的常数.

图7表示在 $64 \leq L \leq 4096$ 情况下, $\alpha_{loc,L}$ 随 L^{-1} 的变化关系,图中 L 较大的几个点仍没有线性变化的趋势,此时无法通过线性拟合来确定局域粗糙度指数.图7中的插图表示了 $\alpha_{loc,L}$ 随 $L^{-0.48}$ 的变化关系,此时 L 较大的四个点比较符合线性关系,通过线性拟合可以得到在大尺度极限下 $\alpha_{loc} = 0.425$.如图8所示 $p = 0.38$ 时,图中各点的 $\alpha_{loc,L}$ 和 L^{-p} 最接近线性关系,由此可以确定在大尺寸极限下 $\alpha_{loc} = 0.430$.从图7及图8可以看出,局域粗糙度指数受系统尺寸的影响比较明显,需要选取合适的 p 值来确定局域粗糙度指数.虽然在不同的 p 值下得到的

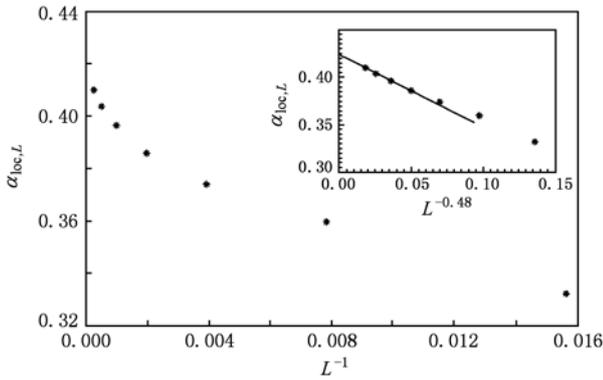


图7 局域粗糙度指数 $\alpha_{loc,L}$ 和 L^{-1} 的关系, 插图为 $\alpha_{loc,L}$ 和 $L^{-0.48}$ 之间的关系, 直线为 L 较大的四个点线性拟合得到的

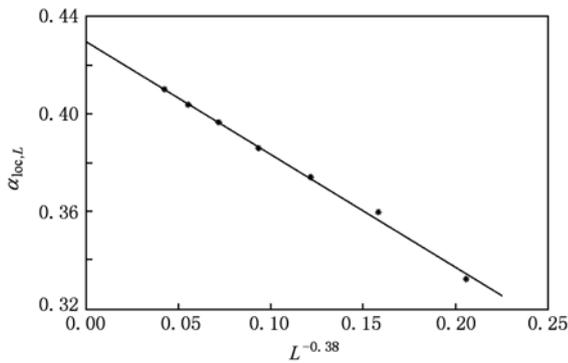


图8 局域粗糙度指数 $\alpha_{loc,L}$ 和 $L^{-0.38}$ 的关系, 直线为图中各点线性拟合得到的

局域粗糙度指数略有不同, 但这一外延方法却能够有效地减小有限尺寸效应对局域粗糙度指数的影响. 因而在有限的计算能力下, 应用以上的外延方法对更准确的确定系统的局域粗糙度指数具有重要的意义.

从以上计算可以看出 $\alpha_{loc} \neq \alpha$, 说明含遮蔽 BD 模型存在着奇异标度性. 又由于 $\alpha_{loc} < 1$ 且 $\alpha < 1$, 根据 Ramasco 等^[22] 对奇异标度性的分类, 含遮蔽 BD 模型具有固有奇异标度性. 同时本文的结果也符合 Lopez 等^[23] 在理论上的结论, 即在存在长程相互作用的情况下, 粗糙生长表面具有奇异标度性.

2.6. 偏度 S 和峰度 Q

根据(7), (8)式的定义, 在不同的基底尺寸下模拟得到偏度和峰度的取值. 图9和图10分别为偏度和峰度对 L^{-1} 的变化关系, 在图中可以看出, 随着系统尺寸的增加偏度和峰度受系统尺寸的影响越来越明显. 这里偏度和峰度随系统尺寸的变化关系

和以上各标度指数不同, 以上各标度指数在 L^{-1} 趋于 0 的情况下趋于线性变化, 而且改变 Δ 的取值可以使得标度指数对 $L^{-\Delta}$ 近似于线性关系. 但是在 0—1 之间改变 Δ 的取值, 偏度及峰度与 $L^{-\Delta}$ 之间无线性关系出现. 图9和图10的插图分别表示了双对数坐标下偏度和峰度与系统尺寸 L 间的关系, 在图中直线为 L 较大的四点线性拟合得到的. 由图中的直线可以看出在 L 较大时, $S_L \sim L^{0.13}$, $Q_L \sim L^{0.35}$. Aarão Reis^[11] 研究发现对 BD 模型以及 KPZ 普适类和 MBE 普适类的其他离散模型, 偏度和峰度均具有普适性. 而在含遮蔽 BD 模型中偏度和峰度明显依赖于系统的尺寸大小, 在系统尺寸较大时偏度和峰度与系统尺寸间呈现幂率变化关系. 说明遮蔽效应破坏了 BD 模型中偏度和峰度的普适性, 这也说明了偏度和峰度的普适性适应范围是有限的.

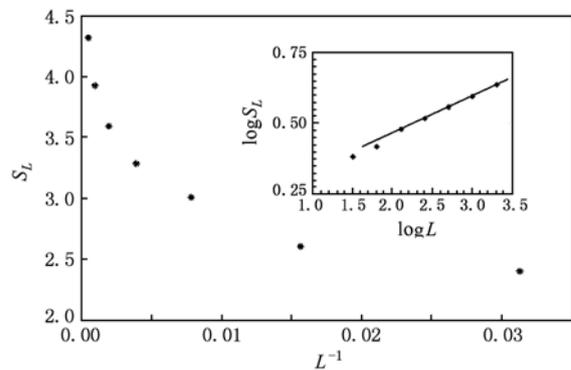


图9 偏度 S_L 随 L^{-1} 的变化关系, 插图为 $\log S_L$ 与 $\log L$ 的关系

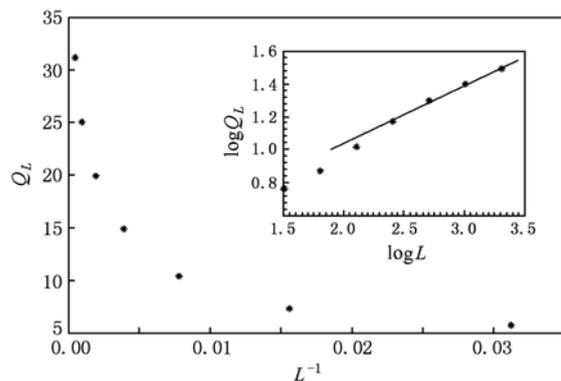


图10 峰度 Q_L 随 L^{-1} 的变化关系, 插图为 $\log Q_L$ 与 $\log L$ 的关系

3. 讨论与结论

本文通过模拟研究了含遮蔽 BD 模型的标度性质. 在确定模型标度指数的过程中, 应用了外推的

方法对有限尺寸效应的影响进行了修正,并与 BD 模型的结果进行了比较.通过模拟发现,含遮蔽 BD 模型中各标度指数随系统尺寸的变化趋势和 BD 模型的结果基本上是一致的.含遮蔽 BD 模型中生长指数和粗糙度指数受系统尺寸的影响与 BD 模型没有明显变化.在 BD 模型中动力学指数与系统尺寸几乎没有关系,而在遮蔽效应存在时,动力学指数受系统尺寸的影响比较明显.在将这一外推方法应用到对局域粗糙度指数的处理中发现局域粗糙度指数受系统尺寸的影响非常明显,说明应用外推的方法来消除局域粗糙度指数受系统尺寸的影响是十分必要的.通过研究含遮蔽 BD 模型的偏度和峰

度发现,在 KPZ 普适类和 MBE 普适类的离散模型(如 BD 模型)中具有普适性的偏度和峰度在本文模拟的模型中显著依赖于系统尺寸的大小,在系统尺寸较大时,偏度和峰度和与系统尺寸之间呈幂率关系,这表明在含遮蔽 BD 模型中偏度和峰度不再具有普适性.

总之,从模拟结果可以看出含遮蔽 BD 模型的有限尺寸效应与 BD 模型有所不同,遮蔽效应显著地改变了 BD 模型的标度性质,遮蔽这种非局域相互作用比局域相互作用更明显地影响系统的标度性质.

- [1] Meakin P 1998 *Fractal, Scaling and Growth far from Equilibrium* (Cambridge: Cambridge University Press)
- [2] Barabasi A L, Stanley H E 1995 *Fractal Concepts in Surface Growth* (Cambridge: Cambridge University Press)
- [3] Family F, Vicsek T 1991 *Dynamics of Fractal Surfaces* (Singapore: World Scientific Press)
- [4] Family F, Vicsek T 1985 *J. Phys. A* **18** L75
- [5] Edwards S F, Wilkinson D R 1982 *Proc. R. Soc. London A* **381** 17
- [6] Kardar M, Parisi G, Zhang Y C 1986 *Phys. Rev. Lett.* **56** 889
- [7] López J M, Rodríguez M A, Cuerno R 1997 *Phys. Rev. E* **56** 3993
- [8] López J M, Rodríguez M A, Cuerno R 1997 *Physica A* **246** 329
- [9] Pang N N, Tzeng W J 2004 *Phys. Rev. E* **70** 036115
- [10] Chin C S, Nijs M D 1999 *Phys. Rev. E* **59** 2633
- [11] Aarão Reis F D A 2004 *Phys. Rev. E* **70** 031607
- [12] Aarão Reis F D A 2001 *Phys. Rev. E* **63** 056116
- [13] Aarão Reis F D A 2002 *Physica A* **316** 250
- [14] Costa B S, Euzébio J A R, Aarão Reis F D A 2003 *Physica A* **328** 193
- [15] Aarão Reis F D A 2006 *Physica A* **364** 190
- [16] Hu B, Tang G 2002 *Phys. Rev. E* **66** 026105
- [17] Tang G, Ma B K 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 994 (in Chinese) [唐刚、马本堃 2002 物理学报 **51** 994]
- [18] Tang G, Ma B K 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 851 (in Chinese) [唐刚、马本堃 2001 物理学报 **50** 851]
- [19] Hao D P, Tang G, Xia H, Chen H, Zhang L M, Xun Z P 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 2018 (in Chinese) [郝大鹏、唐刚、夏辉、陈华、张雷明、寻之朋 2007 物理学报 **56** 2018]
- [20] Pelliccione M, Lu T M 2008 *Evolution of Thin Film Morphology* (London: Springer-Verlag)
- [21] Yu J G, Amar J G 2002 *Phys. Rev. E* **66** 021603
- [22] Ramasco J J, López J M, Rodríguez M A 2000 *Phys. Rev. Lett.* **84** 2199
- [23] López J M, Castro M, Gallego R 2005 *Phys. Rev. Lett.* **94** 166103

Finite size effect of the ballistic deposition model with shadowing*

Hao Da-Peng Tang Gang[†] Xia Hui Han Kui Xun Zhi-Peng

(Department of Physics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

(Received 16 April 2010; revised manuscript received 29 June 2010)

Abstract

The model of ballistic deposition (BD) with shadowing means that the tilt incidence of particles in a certain angle of distribution is taken into account based on the BD model. In this paper, in order to investigate the finite size effect and the scaling properties of the BD with shadowing, the extrapolation method is used to determine the asymptotic scaling exponents of the model in the large-size limit. The simulation results illustrate that the finite size effect on BD with shadowing is different from that on BD, and the shadowing as a nonlocal interaction can significantly change the scaling properties of BD model.

Keywords: shadowing effect, ballistic deposition model, finite size effect, dynamic scaling

PACS: 81.15.-z, 05.10.Ln, 68.55.-a

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 10674177) and the Youth Foundation of China University of Mining & Technology (Grant No. 2008A035).

[†] E-mail: gangtang@cumt.edu.cn