

基于模拟的沙堡评估

基金会

总结

沙堡建筑是海滩游客的一种常见休闲方式。喜欢沙的人总是绞尽脑汁地建造更坚固的城堡，并以此为傲。尽管如此，沙堡还是不可避免地会被海浪和潮汐侵蚀。因此，如何建立稳定的地基，对沙堡的存续有重要意义。

为了探索最稳定的三维几何形状，我们建立了一个周期性的沙-水胞自动机模型来实验最有可能的多重几何形状。我们将沙基离散化为一个由一堆刚性沙细胞和水细胞组成的三维几何形状。基于工程力学知识和实践可行性，选取具有显著特征的五种惯性视锥:三角视锥、方视锥、六棱视锥、圆锥视锥、椭圆视锥等进行仿真实验。得到的最优几何形状为三角形视锥。

在模型中，我们通过基于多准则判断的多元分析制定状态转移规则，并对波浪携带泥沙和沙水之间的毛细现象进行定量计算。我们采用复三角函数在三维空间中模拟和再现潮汐波。因此，通过对每个视锥上的多次实验获得的数据进行回归分析，我们得到了一个可靠的、最优的几何形状结果。此外，它还可以被量化和可视化。

在建造沙城堡的实践中发现，不同的沙水混合比对沙基础的稳定性也起着至关重要的作用。利用问题 1 中的沙-水元胞自动机模型，利用浓度梯度法对水-沙比进行调整，得到了一系列关于沙-水比和沙基稳定性的数据点。然后我们使用最小二乘多项式函数逼近来拟合这些数据的曲线。因此，我们得到了砂水比和砂基稳定性的估计函数。然后我们可以发现，最优的砂水混合比例为 0.55。

为了研究降雨对结果的影响，我们在原始模型的基础上引入了降雨模块。它将与波浪潮汐模块一起在沙质地基上工作。类似地，我们会得到一系列数据进行回归分析。我们发现，原始的最佳几何形状并不是在降雨条件下表现良好的唯一几何形状，而椭圆截锥体是下雨时另一种更好的几何形状。

敏感性分析表明，该模型具有较强的鲁棒性。同时，我们还提出了一些其他的策略来提高砂土地基的稳定性。随后，我们将实验模型和结论总结成通俗易懂的语言发表在《Fun in the Sun》上。

此外，我们的模型易于实现和扩展。通过改变我们代码中的几个参数，我们可以在海滩上刺激更复杂的条件。

关键词:周期性沙-水细胞自动机模型，多元分析，量化以及可视化，浓度梯度法



关注数学模型
获取更多资讯

内容

1 介绍	2
1.1 问题的背景	2
1.2 文献综述	2
1.3 我们的工作	
2 模型的准备	
2.1 分析问题	3.
2.2 假设	3.
	4
	4
3 最优 3D 几何形状	
3.1 模型准备.....	5
3.1.1 模型原理.....	5
3.1.2 模型假设.....	5
3.1.3 模型构建.....	5
3.1.4 规则.....	6
3.1.5 算法的步骤...	6
	8
4 最佳砂水混合比例	
4.1 模型制备	11
4.1.1 模型的原理.....	11
4.1.2 算法步骤.....	11
	11
5 下雨天的最佳造型	
5.1 修改 CA 模型	12
5.1.1 模型假设	13
5.1.2 与基本模型的异同...	..13
5.1.3 算法步骤.....	13
5.2 结果	13
	14
6 敏感性分析	16
7 优点和缺点	17
7.1 优势	17
7.2 缺点	18
	18
让沙堡更持久的 8 个策略	
	18
9 的结论	
文章	19
	20
参考文献	.



有道文档翻译
pdf.youdao.com

1 介绍

1.1 问题背景

玩是人类的天性，但要在玩的过程中获得某种灵感，并不容易。沙滩上有各种形状的城堡，或者简单，或者精致。即使在同样的条件下，有些城堡还能维持很长时间，而有些城堡却经不起风浪，消失得无影无踪。如何让我们的城堡更耐久，是大多数人好奇的问题。影响沙堡坚固度的因素有很多，如沙与水的混合比例、沙的种类、天气等。

本文试图探索具有最佳稳定性的沙堡地基三维几何模型。首先，我们需要建立一个数学模型，分析最优的三维几何形状。其次，基于这个模型，我们需要考虑最优的砂水混合比例，以实现砂粒之间的最佳粘结力。此外，考虑到天气的影响，我们需要再次研究最优的 3D 几何形状。

1.2 文献综述

上世纪以来，水与泥沙的相互作用一直是相关领域学者关注的焦点。他们开展了大量的实验和研究，探索水沙相互作用及其对稳定性的影响。

沙堆的问题。Mason、TG 和 Levine、AJ 和 Erta ir, D 和 Halsey, TC(1999)[11]研究了湿沙堆的临界角度。Dumont, Serge 和 IGBIDA, Noureddine(2009)[4]基于隐式欧拉离散化及时，改进了 Prigozhin 模型中的公式。Bouchaud, j。而 Cates, m.e and Prakash, J. Ravi and Edwards, S. F.(1995)[1]提出了一种新的沙堆表面动力的连续统描述，并发现了沙堆表面将发生失稳的“旋回”角。Dumont, Serge and Igbida, Noureddine(2011)[5]利用 Evans 引入的坍塌模型分析了这一问题。

泥沙数学模型。Emiro~ glu, Mehmet 和 Yalama, Ahmet 和 Er- do~ gdu, Yasemin(2015)[6]探索了水和粘土/沙子的比例，以研究材料的饱和性。然后他们发现最优比例在 0.43 - 0.66 之间。Gröger、Torsten 和 Tüzün、Ugur 和 Heyes、David M(2003)[8]利用 CDEM 测量湿颗粒材料中的 od 黏聚力，证明了 Rumpf 方程的普遍一致性。

边坡的稳定性。“边坡稳定是岩土力学和工程中的基本问题之一。”这一课题的研究对于河流和交通安全具有重要意义。通过查阅文献发现，主流的分析方法仍然围绕着传统的三种方法:极限平衡法、极限分析法和数值分析法。这三种方法是一种从二维空间到三维空间的泛化，因此有各种局限性(Gao, Wang & Zhang, 2009[15])。此外，越来越多的文献已经开始考虑在

不同天气条件下的边坡稳定性(Yeh, Lee & Chang, 2020[14];陈, 刘和李, 2020[2])。在本文中，我们采用了细胞自动机等。



关注数学模型
获取更多资讯

沙塔的问题。Halsey, Thomas C and Levine, Alex J(1997)[9]认为毛细力对沙堆稳定性有显著影响，在大体系极限下临界角为常数。然后他们分析了沙堆会倒塌的原因。巧合的是，同年 Hornbaker, DJ 和 Albert, Réka 和 Albert, István 和 Barabási, a - l 和 Schiffer, Peter(1997)[10]探讨了为什么沙堡可以站起来，并得出了湿润的液体可以改变颗粒介质的性质，导致 citicangle 大幅增加的结论。Frayse, N 和 Thomé, H 和 Petit, L(1999)[7]也探讨了湿度对沙堡稳定性的影响。近年来，Pakpour、Maryam 和 Habibi、Mehdi 和 Møller、Peder 和 Bonn、Daniel(2012)[12]从沙堡高度的前景出发，展示了如何建造完美的城堡。

沙堡地基与边坡稳定有着相同的原理，并涉及到以上几个问题。类似问题的处理方法也不尽相同。受细胞自动机的启发，我们希望通过沙堡基础模型为边坡稳定性研究提供新的解决方案。

1.3 我们的工作

假设建造城堡的距离与水的距离大致相同，在相同的沙滩上，使用相同的沙子类型和数量。我们建立了一个基于元胞自动机的模型来形式化这个问题。

- 任务~ 1 我们使用周期性元胞自动机来模拟沙堡的环境，以寻找最佳的 3D 模型。我们假设几个最可能的几何形状作为替代形状。然后，我们通过基于多准则判断的多元分析制定状态转移规则。通过多次运行元胞自动机，我们探索了沙堡基础最稳定的形状。
- 任务~ 2 我们通过拟合持续时间和沙水比例的函数来解决最佳沙水混合比例的问题。基于我们在 Task 1 中梳理出的三维几何形状，我们根据浓度梯度法调整比例。记录不同沙水比的模型持续时间。持续时间最长的砂基的砂水比就是我们预期的目标值。
- 任务~ 3 考虑到降雨的影响，我们调整了我们的元胞自动机，并重复任务 1 中的过程。然后我们找出这种情况下最优的 3D 几何形状。

2 .模型的准备

2.1 问题分析

与沙堆问题的分析不同，沙滩上的沙堡是水沙混合的结果。一方面，随着沙子黏附程度的增加，沙堡的稳定性也会增加。另一方面，沙

城堡也会受到外力的影响。不断被海浪侵蚀而潮汐，会加速沙堡的毁灭。因此，我们需要找到一个模型，能够综合考虑两个方面对沙堡的影响。



关注数学模型
获取更多资讯

2.2 假设

我们对我们的元胞自动机模拟 Pro-做以下假设
转运：

- 沙堡的地基只是沙子和水的混合物，所有的空气都被耗尽了。现实中，我们不可能徒手将沙堆的内部变成真空。为了实验的准确性，使用的沙堡地基经过精心设计，使得沙-水混合物中的所有空气都可以被认为是耗尽的。
- 沙堡地基的侧面是倾斜的。三角形的稳定性说明倾斜的一侧具有较高的稳定性。
- 只考虑波浪对沙堡地基表面的破坏作用。事实上，波浪和潮汐都会对沙堡的表面和结构产生影响。但是，我们没有考虑海浪造成的结构破坏。因为人们通常在离海一定距离的地方建造沙堡，而斜坡的一侧足以大大降低海浪对沙堡的冲击。
- 沙底稳定。沙堡地基不会因非波浪因素而倒塌。
- 波浪不会改变沙堡地基的水沙混合比例，只会从表面腐蚀地基。沙与水的混合物存在毛细现象，沙基表面可以阻挡大部分水进入内部。
- 海浪以其最大的输沙能力从砂基表面带走沙子。含沙量与输沙能力的关系由窦国仁公式[3]表示

$$\frac{\partial (hs)}{\partial t} + \frac{\partial (hvs)}{\partial x} + \alpha\omega (S - S_*) = 0$$

在理想状态下，我们有

$$\frac{\partial (hs)}{\partial t} + \frac{\partial (hvs)}{\partial x} = 0$$

因此，输沙能力等于含沙量。

- 海滩砂由天然砂、白色胶木砂和棕色胶木砂组成。海浪的挟沙量 S_v 在海滩上估计为 55%[13]。

为了简化个别区段的分析，还做了额外的假设。这些假设将在适当的位置进行讨论。

2.3 符号

表 1 列出了本文使用的主要符号。



关注数学模型
获取更多资讯

表 1:符号

象征	定义
S_v	波浪携带的沉积物体积
F	与沙细胞相邻的水细胞数量
U_j	每个沙细胞周围水细胞的数量
米,米	Sand-to-water 比例
P	沙细胞“坠落”的边界条件
K	不稳定的因素
l	单元格空间大小
H	沙堡地基最大高度
d	沙堡基础宽度
岸 肠道 道	地基顶部的细胞数 = G20, 塌陷的边界条件
G_{min}	砂型地基持续时间
t_j	
σ	稳定系数

3 最优 3D 几何形状

在本节中，我们将使用元胞自动机来模拟沙与水之间的相互作用。我们用几个简单的几何图形做实验，以找到砂基中最稳定的一个。

3.1 模型准备 3.1.1 模型原理

理论上，倾斜的沙堡底座最稳定。对于几何形状来说，棱是侧面最突出的特征。因此，我们选择了最具代表性的形状来做实验，如三角形、正方形、六棱形、圆锥形、椭圆视锥形等(如图 1 所示)。我们进行了几次实验来研究棱形对砂基稳定性的影响。

许多复杂的问题都可以用元胞自动机来建模。元胞自动机本质上是定义在由具有离散和有限状态的元胞组成的元胞空间中的动态系统。根据一定的局部规则，这些细胞在离散的时间维度中演化。在时间维度上演化的动态系统被广泛应用于社会、经济、军事和科学研究的各个领域。

该模型是一种周期性的元胞自动机模型。

3.1.2 模型假设

- 沙子和水都可以看作是不可压缩的颗粒。

- 沙和水可以按一定的比例混合在一起，并且相对同时可以建造稳定的砂土基础。
- 我们不考虑水分蒸发。



关注数学模型
获取更多资讯

有道文档翻译
pdf.youdao.com

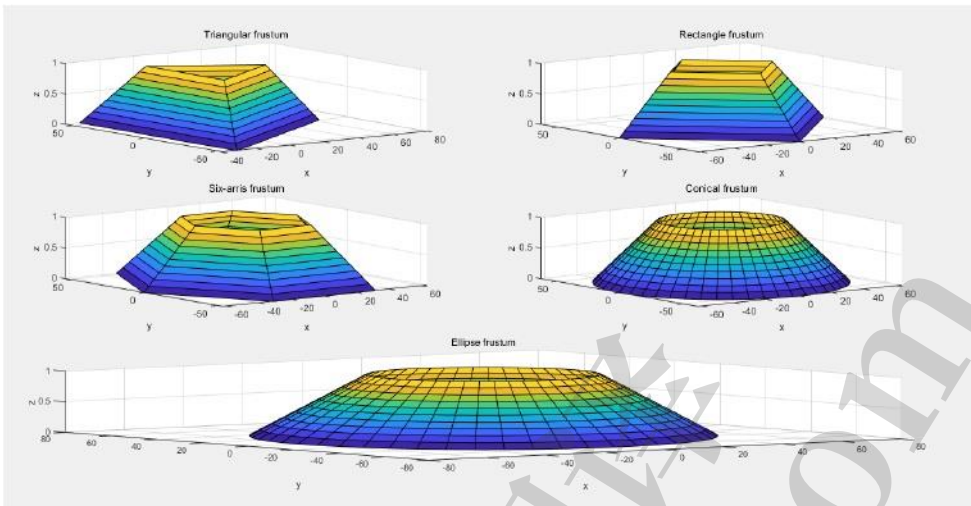


图 1:待测几何形状

- 波浪与砂基之间的接触是温和的，不会引起水和沙的飞溅。

3.1.3 模型构建

我们从以下几个方面对该系统进行物理表征。

细胞是细胞自动机的最基本单位。

- 细胞可以记忆存储状态。
- 细胞自动机的每个细胞都有三种状态，即空细胞、水细胞和沙细胞。
- 任何细胞在下一时刻的状态是由它自己的状态和它的 26 个邻居的状态决定的，具有一定的规则。如图 2 所示。

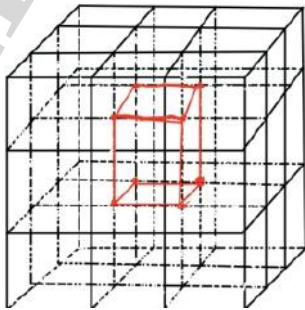


图 2:原理图

3.1.4 规则

1.所有的细胞不能向上移动，每次 tne 细胞只能移动到与自己相邻的网^格



关注数学模型
获取更多资讯

有道文档翻译
pdf.youdao.com

2.如果砂池旁边有 F ($F \geq P$)个水池和 n 个砂池，则设该砂池的“不稳定因子”为 k ，那么，

$$K = F - \sigma \sum_{j=1}^n U_j$$

在那里，

K 为考虑砂与水之间的黏度 U 时砂池的稳定性 $_j$ 中心砂池周围的砂池数量是多少

3.如果 $K \geq P$ ，沙池开始“向下移动”，遵循的原则是:沙池只能向下或水平移动，并且优先在向下和水池最多的方向上移动。目标位置变为砂池，原始位置变为水池。

当沙池向下移动时，中间的水池先发生变化。如果中间的不是水细胞，相邻的两个细胞都会以相同的概率发生变化。

如果沙细胞下面没有水细胞，沙细胞就会移动到它右边的水细胞或空细胞。否则，移动到细胞粘附处。

4.如果沙池附近有小于 P 的水池，则池的状态保持不动。

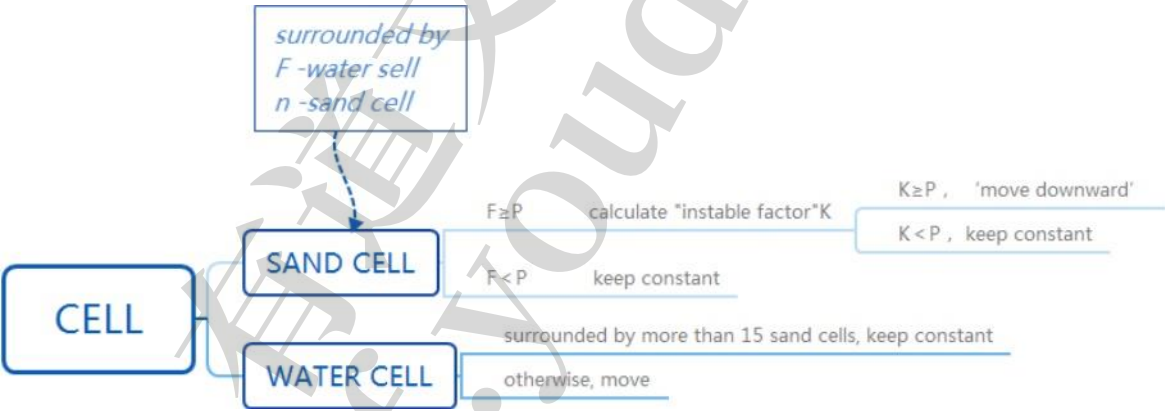


图 3:沙池和水池的过渡规律

5.如果水池与 15 个或更多的砂池相邻，则砂池保持恒定。

6.如果水细胞下方有空细胞，则水细胞以等概率优先移动到下方的空细胞;如果没有，则细胞以等概率向其他空细胞移动。在目标细胞变成水细胞后，原来的细胞就变成了空细胞。

7.“海浪”(由水细胞组成)以一定的模式出现在模型左侧。

如果“海浪”右边有一个空单元格，这个空单元格就会转化成一个水先变，如果中间的不是空单元格，这两个



相邻的单元格可以以相同的概率改变)。原来的水细胞被转化为空细胞。

如果“海浪”右侧没有空细胞，则水细胞以等概率向其他方向移动。这个过程不断重复，直到所有的水细胞遇到空细胞，并引起状态的改变。

8.底部的沙细胞和空细胞不再转换状态。

3.1.5 算法的步骤

步骤 1 初始化细胞自动机，使所有单元格为空。

步骤 2 为细胞自动机添加一个“沙堡基础”，与细胞自动机保持适当的距离。

3.随机分配细胞。设沙堡地基的沙水比例为 M，赋 i = 0。

Step 4 在元胞自动机的左端，模拟一个“海浪”(由水细胞组成)，宽度为 L，高度为 h。而 h 的公式为

$$h = \begin{cases} 2H \sin\left(\frac{2\pi}{d}i\right) & , 2kd < i < (2k + 1)d \\ 0 & , (2k + 1)d < i < (2k + 2)d \end{cases} \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

在哪里

L 为单元格空间大小
H 为砂基的最大高度，d 为砂基表面的宽度

步骤 5 运行一次细胞自动机，计数测试几何 G 顶部的细胞 i。

步骤 6 如果 $(2k + 1)d < i < (2k + 2)d$ ，(k = 0,1,2)，底部的水细胞就会渗透到地下，以一定的概率 v 消失。(v = 2^{-H})。

步骤 7 如果 $G_i > G_{i+1}$ ，设置 i = i + 1，返回步骤 4。

步骤 8 输出 i 的值是几何 sandy 持续的时间。

这个算法的流程图可以在图 4 中查看。

3.1.6 P 和 M 的估计

假设波浪的带沙能力是 S_v 。而水的数量 p 细胞满足 $p > 1 - S_v$ ，此单元格开始向下移动。

这里我们假设 $S_v = 25\%$ 。堵塞年代 v 带入上面的方程，我们得到 $P = 12$ 。从上面的信息，我们知道 M 代表沙子细胞和水细胞的比例。
 M 的最优值将在第 4 章讨论。这里我们暂时假设 $M = 3.5$ 。



关注数学模型
获取更多资讯

有道文档翻译
pdf.youdao.com

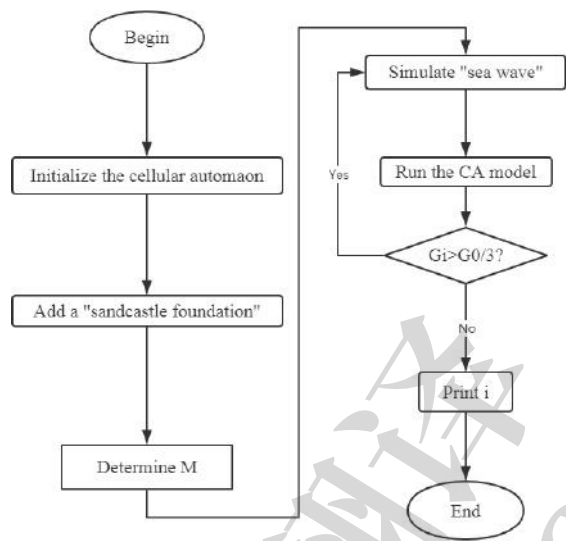


图 4:算法 1 的示意图

3.2 结果

刺激结果如图 5-9 所示。结果分析

从 Matlab 仿真的结果不难看出，三角截锥体在海浪的拍打中持续时间最长。这似乎与我们的常识相矛盾。因为在日常生活中，最常见的就是圆形的沙质底座。不过，从大自然的灵感中得知，为了减轻压力，形成返乡的大雁通常是人字形的。从流体动力学的角度来看，这种形状可以减少领头鹅对后续鹅的受力。因此，这种结构在海浪冲刷砂基时，也有利于我们几何的后半部分的稳定。所以，我们的沙基可以建成一个像海岸一样突起的三角形，然后我们的“城堡”就建在沙基的后半部分，这样我们的地基就会持续更久，我们的城堡也会更加坚固。

在现实生活中，我们也有很多这个结论的应用。比如，船的船头总是被设计成倒三角的形状。这些都是受到流体力学原理的启发。然后，在玩的过程中，我们可以

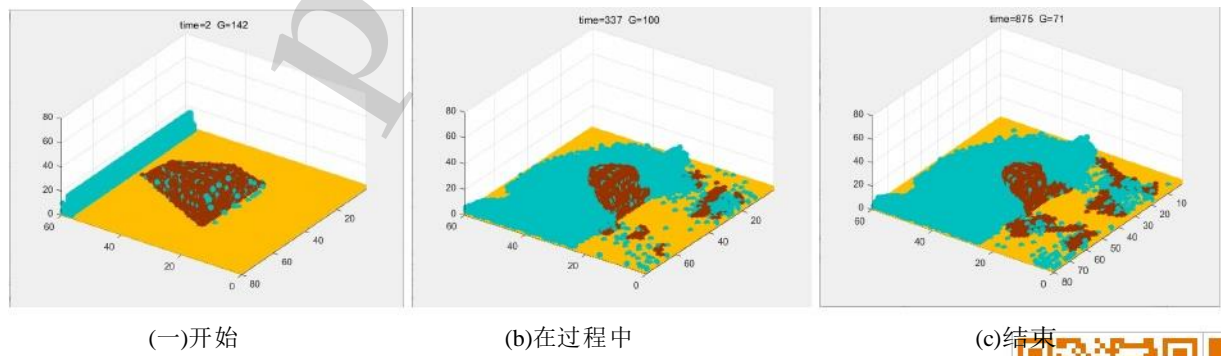
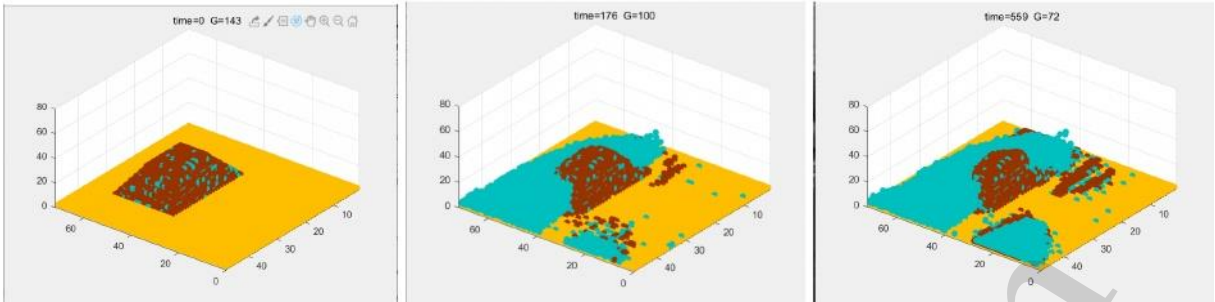


图 5:三角形截锥体

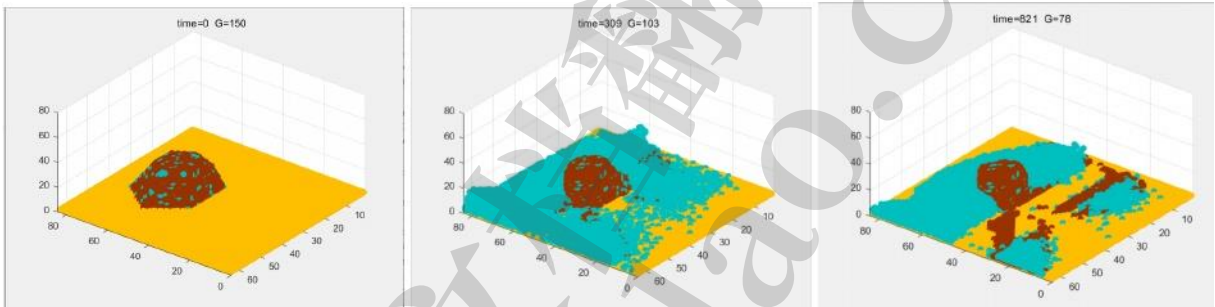


关注数学模型
获取更多资讯



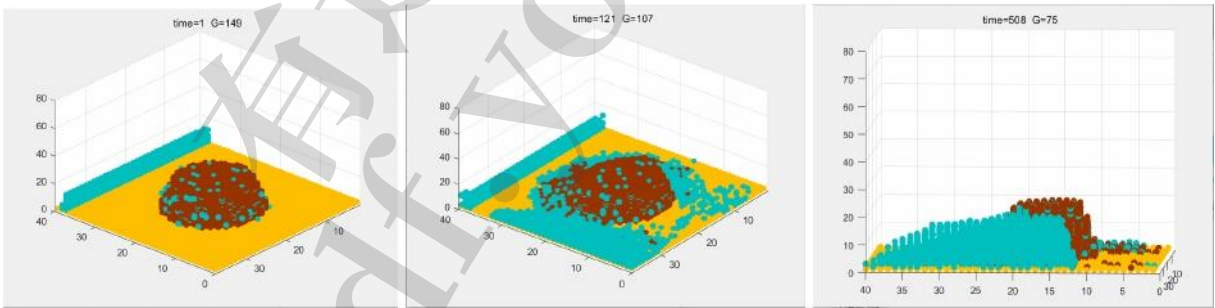
(一)开始 (b)在过程中 (c)结束

图 6:方形视锥

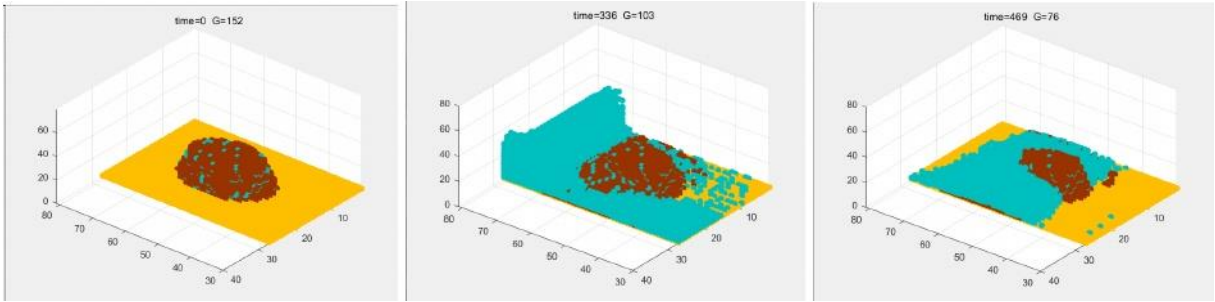


(一)开始 (b)在过程中 (c)结束

图 7:六棱截锥体



(一)开始 (b)在工艺图 8:锥台 (c)结束



(一)开始 (b)过程图 9:椭圆视锥 (c)结束

也适用这些原则。



关注数学模型
获取更多资讯

有道文档翻译
pdf.youdao.com

4 最佳砂水混合比例

4.1 模型制备

4.1.1 模型的原理

进行了不同水砂混合比 m 的试验 j 。每次实验结束后，我们记录时间(t_j)使沙质基底完全消失所需要的时间，并写下数据点(m_jt_j)。通过拟合这些点的函数曲线，得到最佳拟合曲线。进而计算出最佳砂水比。

4.1.2 算法步骤

采用我们在 3.1.3 节中确定的相同模型，对不同砂水比下的沙堡地基稳定性进行了试验。

步骤 1 设 $j=1$ 。

步骤 2 初始化单元格自动机:让 $m_j = 2 \text{ jand}$ 生成足够大的单元格空间。将所有单元格分配为空。在离单元格空间适当的距离上，根据 3.1.3 节的结果生成最佳几何形状的沙堡基地。

步骤 3 随机分配沙水比的值(satisfy sand: water = m_i)，并赋值 $I = 0$ 。

Step 4 在元胞自动机的左端，模拟了一个宽度为 L 、高度为 h 的“海浪”。而 h 的公式为

$$h = \begin{cases} 2H \sin(\frac{2\pi}{d}i) & , 2kd < i < (2k + 1) d \\ 0 & , (2k + 1) d < i < (2k + 2) d \end{cases} \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

在哪里

L 为单元格空间大小
 H 为砂基的最大高度， d 为砂基表面的宽度

步骤 5 运行一次细胞自动机，计数测试几何 G 顶部的细胞 i 。

步骤 6 如果 $(2k + 1)d < i < (2k + 2)d$ ， ($k = 0, 1, 2$)，底部的水细胞会

渗入地面，以一定的概率消失 $v = 2d$ 。步骤 7 若 $G_i > G_{i+1}$ ，设置 $i = i + 1$ ，返回步骤 4。

步骤 8 让 $t_j = i$ ，记录数据点(m_jt_j)。如果 $m_j < 40$ ，设 $j = j + 1$ ，返回第 2 步。

步骤 9通过拟合所有数据点得到曲线的拟合函数。

这个算法的 flowchat 可以在图 10 中查看。



关注数学模型
获取更多资讯

有道文档翻译
pdf.youdao.com

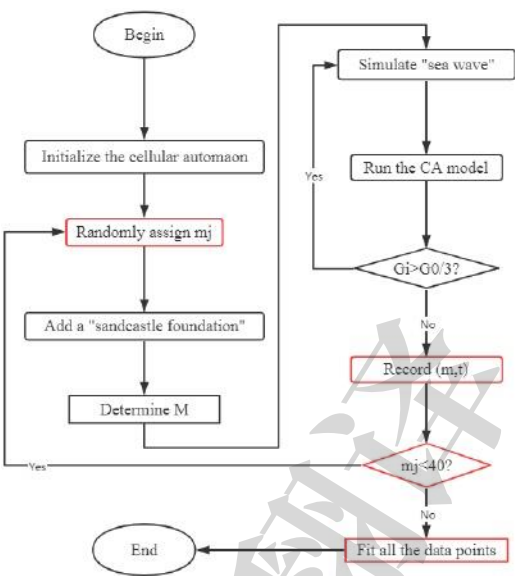


图 10:算法 2 的示意图

4.2 结果

利用周期性细胞自动机，我们收集了作为沙水比的函数的持续时间。下表是我们实验生成的数据点。

表 2:不同水沙比例的持续时间

水 沙	0.0200	0.0500	0.0800	0.1100	0.1400	0.1700	0.2000	0.2300	0.2600
时 间	163	209	163	147	150	90	88	34	33

然后我们用一个十次多项式拟合上面的结果，就得到了下面的图片(图 11)。

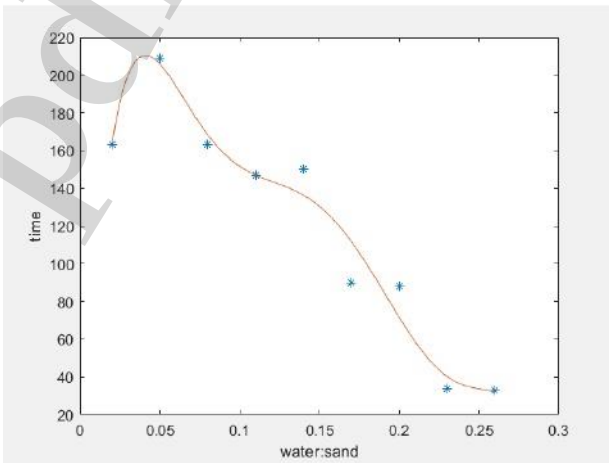


图 11:拟合曲线

结果分析

通过浓度梯度法对水砂比和
稳定性方面，我们得到了一系列的数据。通过近似拟合 a Poly -关注数学模型



获取更多资讯

有道文档翻译
pdf.youdao.com

标称函数基于最小二乘法，得到拟合曲线。曲线显示，最佳水沙比在 0.05 左右。

5 雨天最优形状

5.1 改进 CA 模型

5.1.1 模型假设

- 砂基表面水、沙的毛细现象足够强。因此雨水只能缓慢地影响地基表面，而不会改变地基内部结构。
- 虽然砂水比是逐渐变化的，但砂水比并不影响几何形状的稳定性的，因此砂水比的影响可以忽略。
- 降雨和波浪共同影响砂土地基，但不影响底面水的渗透速率。
- 降雨的强度不会导致砂土地基突然崩塌。

5.1.2 与基本模型的异同

区别

在原来的模型上增加了一个降雨模块。除了雨水侵蚀，海浪对沙质地基的影响仍然存在。

相似之处

仍然选择最具代表性的三角形、正方形、六棱和圆锥、椭圆锥体进行实验，研究不同几何上表面对砂土地基稳定性的影响。

5.1.3 算法步骤

步骤 1 初始化元胞自动机，即生成足够大的单元格空间并将所有单元格初始化为空。

Step 2 将“沙堡基础”添加到与细胞自动机适当距离的细胞自动机中。

3 .随机分配细胞。设置沙堡基础的沙水比例为 M，并分配 i = 0。

Step 4 在元胞自动机的左端，模拟一个宽度为 L、高度为 h 的“海浪” (水细胞)。而 h 的公式为

$$h = \begin{cases} 2H \sin \left(\frac{2\pi}{d} i \right) & , 2kd < i < (2k + 1) d \\ 0, & (2k + 1) d < i < (2k + 2) d \end{cases} \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$



关注数学模型
获取更多资讯

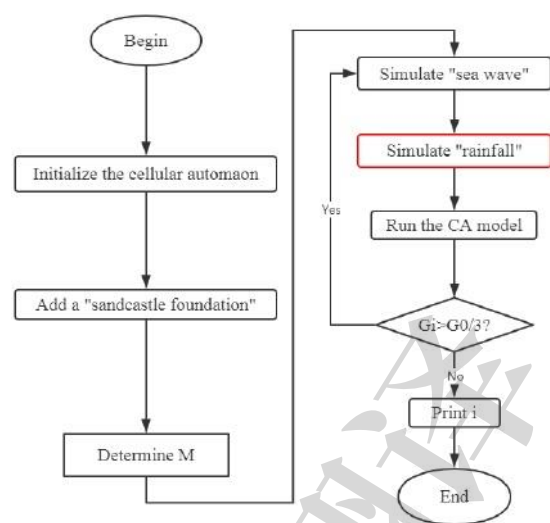


图 12:算法 3 的示意图

在哪里

L 为单元格空间大小
 H 为砂基的最大高度， d 为砂基表面的宽度

- 步骤 5在细胞空间的顶部，细胞会以一定的概率 $u = 20dH$ 将自身转化为水细胞。
- 步骤 6运行一次细胞自动机，并计数测试几何 G 顶部的单元格 i 。
- 步骤 7如果 $(2k + 1)d < i < (2k + 2)d$ ， $(k = 0,1,2)$ ，底部的水细胞会渗透到地面并以一定的概率 v 消失，这里我们假设

$$v = \frac{H}{2d}.$$

- 步骤 8如果 $G_i > \frac{G_0}{2}$ ，设置 $i = i + 1$ ，返回步骤 4。
- 步骤 9输出 i 的值是几何中的 **sandy** 持续存在的时间。

这个算法的流程图可以在图 12 中查看。

5.2 结果

刺激结果如图 13-17 所示。结果分析

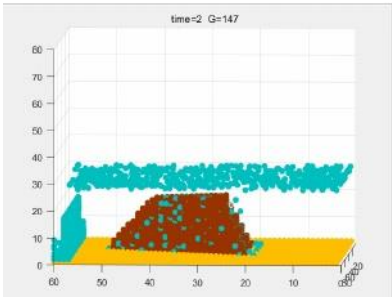
从结果可以看出，当有降雨时，几何形状的稳定性的变化。三角棱镜减少冲击力的优势并不明显。椭圆视锥的性能稍好一些。大概是因为

降雨量和同样数量的沙子，三角形截锥体的表面积比椭圆视锥大。因此，当从上方发生干涉时，椭圆视锥可以在水平方向上一定程度上减小力。

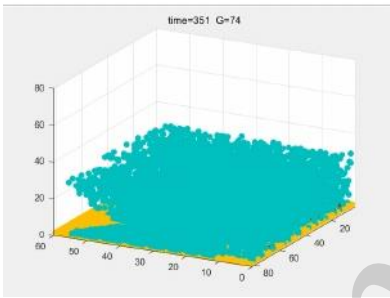


关注数学模型
获取更多资讯

有道文档翻译
pdf.youdao.com

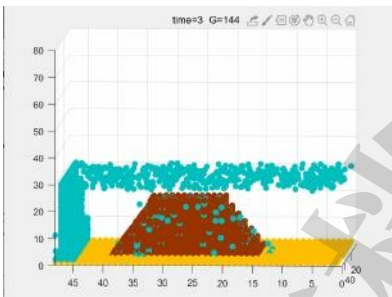


(一)开始

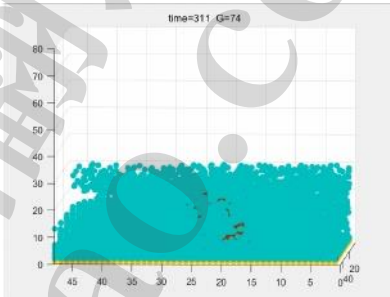


(b)的结果

图 13:三角形截锥体

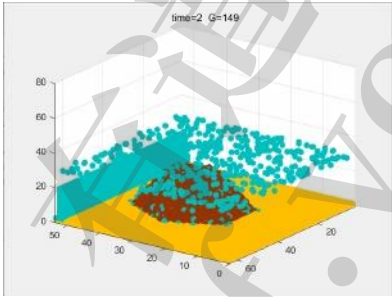


(一)开始

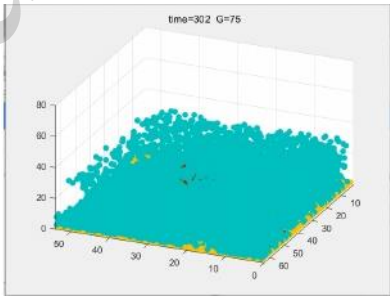


(b)的结果

图 14:方形视锥

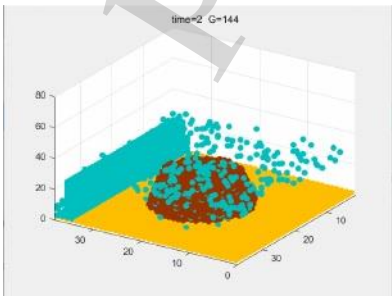


(一)开始

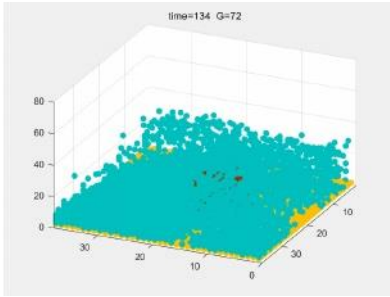


(b)结果图

15:六棱截锥体



(一)开始



(b)结果图

16:圆锥体

方向，并减少垂直方向上的接触面积。同时，椭圆截锥体没有棱角，所以在某些部位不容易塌陷。



关注数学模型
获取更多资讯

有道文档翻译
pdf.youdao.com

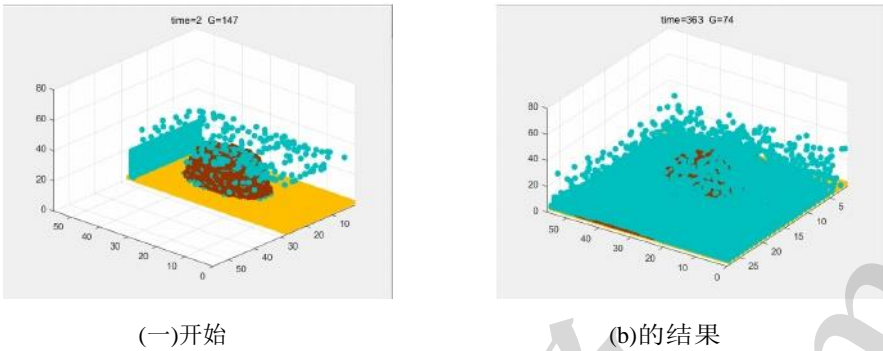


图 17:椭圆锥

三角形视锥具有很强的抗浪能力，一定程度上抵消了他棱角带来的影响。因此，在雨天，三角形和椭圆形的视锥具有相当的稳定性。

6 敏感性分析

通过上述分析，得出了最佳砂基形状和最佳砂水比。同时，我们对模型中的许多参数进行了假定。为了保证模型的鲁棒性，我们从以下几个方面对模型进行了测试。(由于时间限制，仅在三角棱镜上进行分析。)

首先是海浪携带的泥沙。不同大小的波浪会对沙质地基表面造成不同程度的冲击。还会影响地基的持续性。在之前的模型中，我们从湍流的泥沙输运方程中得到。

$$\frac{\partial (hs)}{\partial t} + \frac{\partial (hvs)}{\partial x} = 0$$

在理想的实验条件下，输沙能力等于含沙量。而我们设 $S_v = 55\%$ 。

二是砂基的宽度。根据常识，底面大的物品比底面小的物品站起来更稳定。对于沙质地基，较大的沙质地基有利于分散海浪的冲击。也有可能持续时间更长。这个参数的选择可能会对最优沙质模型的选择产生影响。

进而影响砂土的稳定系数。在模拟过程中，我们假设稳定因子为 σ ，因此砂土的不稳定因子是根据它计算出来的。从而，根据 k 来判断沙子是否会移动，取决于稳定因子，计算出的沙子的不稳定因子也是不同的。那么，砂基的稳定状态也可能发生变化。

最后，上表面被破坏的临界状态。由于城堡要建在土丘上，所以要有一个稳定的土丘很重要。在上面的实验中，当 $G_i < G_{20}$ ，则认为砂基表面已被

损坏，不符合建造城堡的条件。所以 $G_{min} = G_{20}$ 。当我们改变 G 的值 min ，最好的 sandy 模型可能会改变。



关注数学模型
获取更多资讯

我们的模型设计允许我们改变这些参数。接下来我们对以下因素对模型的影响进行详细分析。

- 泥沙容量
- 几何形状的长度属性
- 不稳定因素
- 砂土地基损坏判断

我们记录每种情况下 10%、5%、-5%和-10%的变化结果。表 3 显示了结果。

表 3:敏感性分析结果

	-10%	-5%	0	5%	10%
S_v	时间	1684 年,我	875 年,我	796 年,我	615 年,我
H	636 年,我	726 年,我	875 年,我	1354 年,我	时间
d	702 年,我	835 年,我	875 年,我	926 年,我	953 年,我
σ	693 年,我	805 年,我	875 年,我	948 年,我	1062 年,我
G_{min}	1242 年,我	966 年,我	875 年,我	801 年,我	762 年,我

根据上述数据，我们可以看到这些参数对稳定性的影响有所扩大。

挟沙量分析结果表明，挟沙量对砂土地基的影响不容小觑。要建立稳定的砂土地基，选择合适的砂土至关重要。要尽量找粘结力强的沙，这样相对降低海浪的沉淀能力。

对砂土地基几何性质的分析结果表明，建立较宽的砂土地基也是提高其稳定性的好方法。沙丘越宽，越有可能分散海浪的冲击。沙基有可能持续更长的时间。

失稳因素分析结果表明，砂土与水的粘连对砂土地基的稳定性也有巨大的影响。

沙质损伤判断敏感性分析结果显示，无论以什么作为判断依据，都不影响模型的最终结果。

7 优点和缺点

7.1 的优势

- 我们的模型建立在一定的理论基础上。在查阅了大量文献后，我们仔细选择了模型的参数。这样，我们就可以让我们的模型尽可能接近现实。

- 我们进行合理的简化，并建立一个元胞自动机模型解决问题。研究结果与实际实践相符，具有较高的可信度。



关注数学模型

获取更多资讯

有道文档翻译
pdf.youdao.com

- 我们考虑了实际情况，测试了几种基本几何形状。然后我们得到一个很有意义的模型。更重要的是，实验结果都是易于实现且可操作性高的几何形状。
- 虽然我们没有对每个形状都做实验，但我们的模型有足够的灵活性来测试更多的条件。我们只需要改变一些参数来做更深入的研究。例如，该模型可以测试任何几何形状的沙基础的稳定性，以及如果我们把城堡建得离海更远一点，会有什么不同。
- 该模型还可以根据使用的沙子类型进行测试，以找到其最佳的沙-水混合比例。只要知道这类沙的一些参数，就可以满足不同沙堡爱好者的要求。

7.2 缺点

- 受限于设备的限制，元胞自动机模型并不十分精确，质量可能达不到我们更高的期望。
- 忽略巨大海浪的影响，因此在海浪剧烈的海滩上的适用性需要进一步完善模型。
- 确实，这些假设在某些情况下可能不成立。关于我们的模型仍然存在一些争议。

7.3 Prompton

我们尝试用模拟的方法模拟沙滩上的情况。但是，由于时间的限制，我们对真实情况做了很多假设。比如，不考虑水的蒸发，把波的频率设置为一个相对固定的值，等等。接下来，我们可以尝试释放一些假设，让沙堡也能根据现实变化得更加生动。我们可以通过改变程序的一些参数，增加更多的规则，来探索更多的可能性。

让沙堡更持久的 8 个策略

根据敏感性分析结果和我们的讨论，我们发现了以下增加沙质地基稳定性的策略。

- 在沙滩上寻找不同的沙子。由不同沙子混合形成的沙堡地基的稳定性可能会表现出非常不同的稳定性。如果我们可以选择不同的沙子，掺加一些水，我们可以手工测试沙子的稳定性。如果沙子可以压成球状，可以来回滚动而不散开，那么这种沙子就是合适的。
- 既然是一座“城堡”，选址也很重要。我们最好选择一个远离海浪涨潮的地方。但可能会有麻烦，我们需要付出更多的努力来取水。为了解决这个问题，我们可能会在你的“工地”附近挖一个足够深的洞。



关注数学模型
获取更多资讯

- 把沙子夯实，沥干多余的水分。过多的水会使沙子四处流动，不容易固定。水太少，沙子缺乏粘性。所以我们需要准确把握沙子和水的比例。从上面的结论我们可以知道，最佳的水沙比是多少?。如果我们没有合适的工具来控制比例，我们可能会在被海浪冲刷的地方选择一些已经被海水浸泡过的沙子。

确保每一粒沙子都是湿润的。在建造沙质地基时，我们可以从搅拌水泥中获得一些灵感。在你的地基顶部建造一个 $\hat{a}I\hat{Jannulus}\hat{a}^{\sim}a^{\sim}I^{\cdot}$ ，然后把水倒进 \cdot 里，直到它和外缘一样高。之后，为了加速水的渗透，我们可以用手不断搅动沙子，直到水基本渗透进去。更重要的是，在建造城堡的过程中，随着水的蒸发，表面的沙子会越来越干，所以我们需要不断地在城堡表面喷水。或者采取其他措施，保证沙子是湿润的。

- 在力的情况下建立一个更大的沙子基础。这样可以增强其抗干扰能力。如果可能，可以用石头、木板、塑料板等阻挡海浪或加固沙面。

9 结论

在我们的实验中，我们设计了一个周期性的沙-水细胞自动机模型。该模型模拟了沙滩上的实际情况。采用多元分析方法，设计了单元空间中各单元的状态变化规律。首先，我们建立了沙基模块和波浪模块，并在细胞空间中模拟它们的相互作用，以找到最佳几何形状;它是三角形截锥体。然后我们用最小二乘法拟合出砂水比例和持续时间的曲线。分析函数图像，确定最佳水砂比。由于是在户外，我们必须考虑天气的影响。在模型中加入降雨模块后，我们发现问题 1 的结果有一些变化，最优形状是三角形和椭圆截锥体。经过敏感性分析，我们的结果具有良好的鲁棒性，结果是可信的。虽然我们的模型具有良好的可扩展性和灵活性，但模型存在一定的缺陷。过多的假设使得模型与实际情况还是有一定的差距。不过，我们已经讨论了一些切实可行的增强沙堡稳定性的方法。比如如何选择砂石和施工场地，如何实现砂水比等等。未来，我们还有机会继续优化我们的模型。



关注数学模型
获取更多资讯

文章

沙堡建筑的秘密



资源:www.photophoto.com

哪种形状最有利于我们的“城堡”撑得更久。

第一步，建立你的城堡的基础。沙堡地基的形状决定了它承受的力。沙堡地基形状各异。我们发现它们有一个共同点——都有倾斜的侧面。因此，我们选取了几个典型的惯性视锥来测试它们的稳定性。例如，三角、方形、六棱、三角和椭圆视锥等。

通过多次尝试，我们的“设计师”告诉我们，最持久的几何形状是三角形截锥体，因为这个形状可以最大限度地减少对下半部分沙质地基的影响。在我们的实验中，它可以在沙滩上站的时间比其他形状长得多。所以建议大家做一个这样的地基。

下一步就是把沙子和水混合。既然你知道 sandcastle foundation 的最佳形状，你可能会想，我们应该在沙子中加入多少水。

众所周知，沙子太松了，固定不了。都要归功于水，才能让沙粒互相“卑微”。“水太多，你的沙子就会流动，太少，它就会碎裂。”那么，多少水合适呢？在我们的实验中，我们通过绘制持续时间和砂水比的函数图来确定最佳的砂水混合比例。结果如下图所示。如图所示，最佳水沙比在 0.05 左右。

到目前为止，我们都假定天气晴朗。如果是雨天怎么办？“秘密”还管用吗？再次，我们运行我们的模型，但我们的城堡应该有一些调整。为了模拟下雨的过程，我们在沙子上添加了雨滴。然后，我们可以发现沙桩的变形过程呈现出不同的特征。更容易被冲刷过沙。这次最优的几何形状是三角形视锥或椭圆视锥。

虽然在雨天你不需要在这种情况下不断地竭尽全力保持沙堆湿润，但你需要更加小心水沙

“哦，不！我的“城堡”又一次被海浪摧毁了。一个人喊道。

你有没有困惑过如何让你的沙堡更持久？你想知道世界上最坚硬的沙堡是什么吗？现在让我告诉你它的秘密。

因为很多因素对沙堡有影响。我们设计了一个自动模型来模拟沙堡的地基。通过设置环境和材料，我们邀请电脑成为我们的“设计师”。它可以自动模拟沙滩上的环境。经过一次又一次的尝试，它可以告诉我们

1)检索

从 <https://www.pbs.org/newshour/science/build-perfect-sandcastle-science>



关注数学模型
获取更多资讯

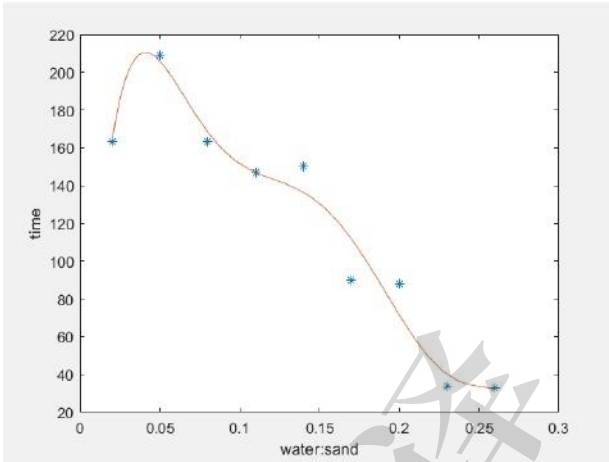


图 18:拟合曲线

比率。

此外，你还试着混合不同种类的沙子。当你弯曲你的城堡，不要忘记保持你的城堡湿润。但是要注意不要在模型中加入太多的水。如果可能的话，你甚至可以利用双脚排出多余的水分，夯实粉底。

当然，还有许多其他的策略，你可以应用于建造你的城堡。但我想提醒你的是熟能生巧。如果你想成为大师，你需要掌握更多的技能。不要仅仅因为失败而丧失信心。还有无数建造城堡的秘密等着你去发现。

下次去海滩的时候，不妨试试这些技巧，看看效果如何。“真正的知识来自实践。”要成为真正的大师，你需要找到适合自己的秘诀。



资源:www.51yuansu.com

参考文献

[1]的 j. 布肖德、m.e.凯茨、J.拉维·普拉卡什和 S.F.爱德华兹。连续沙堆模型中的迟滞和亚稳态。《理论物理。启。》， 74:1982-1985, 1995 年 3 月。

[2]陈友良、刘庚屯、李宁、杜曦、王素然、阿扎姆。地震作用与后续降雨联合作用下边坡稳定性评价。《工程地质》， 266,202。

[3]窦国仁、董凤武、窦夕兵。风浪、踏浪的挟沙能力。《科学通报》， 第 443-446 页， 1995。 11 - 1784 / N。

[4] Serge Dumont 和 Noureddine IGBIDA。关于日益增长的沙堆问题的双数学学报， 20(2):169-185,2009。 :



关注数学模型
获取更多资讯

- [5] Serge Dumont 和 Nouredine Igbida。关于崩塌沙堆问题。2011.
- [6] Mehmet Emiroğlu、Ahmet Yalama、Yasemin Erdoğan。用不同粘土/沙子比例生产的预拌石膏的性能。《应用粘土科学》，115:221-229,2015。
- [7] N Fraysse, H Thomé, L Petit。湿度对沙堆稳定性的影响。《欧洲物理学报 b - 凝聚态物质和复杂系统》，11(4):615 - 619,1999。
- [8] Torsten Gröger, Ugur Tüzün, 和 David M Heyes。湿颗粒材料内聚力的建模和测量。《粉体技术》，133(1-3):203-215,2003。
- [9] Thomas C Halsey, Alex J Levine。沙堡是如何倒塌的。《物理评论快报》，80(14):3141,1998。
- [10] DJ Hornbaker, Réka Albert, István Albert, A-L Barabási, 和 Peter Schiffer。是什么让沙堡屹立不倒?《自然》，387(6635):765-765,1997。
- [11] TG Mason, AJ Levine, D Ertas, TC Halsey。湿沙堆临界角度。《物理评论 E》，60(5):R5044, 1999。
- [12] Maryam Pakpour, Mehdi Habibi, Peder Møller, Daniel Bonn。如何建造完美的沙堡。《科学报告》，2(1):1 - 3,2012。
- [13]王彦贵, 王兆银, 曾清华, 吕秀珍。模拟砂物理性质的实验研究及相似分析。《泥沙研究学报》，1992。
- 叶宝俊, 张广忠。降雨入渗对弱胶结岩质边坡稳定性的三维影响。《岩土工程学报》，1992。266年,2020年。
- [15]高玉峰、王迪、张飞。三维土坡稳定性分析方法研究现状与展望。43:456 - 464, 2015。



关注数学模型
获取更多资讯

附录:我们的代码

```

    函数 createSandWorld(长， 宽， 高， 比例)
关闭;
空格=零(3*宽， 2*长， 4*高);
空格(:, 1:end,1) = 2;
d =
10;
空间=createthreepramid(空间， 长， 宽， 高， .5,d, 比例);
G = getSandNum(空间、高
度);
胃肠道=getSandNum(空间、
高度);
时间= 0;画(空间、时间、 Gi)
而胃肠道>= (G
/ 2)
时间=时间+ 1;空间= createWave(空间、时间、宽度、高
度);
画(空间、时间、 Gi)
空间=moveWater(空间);
Space=渗透(空间、时间、宽度、高度);
画(空间、时间、 Gi)
空间=moveSand(空间);
画(空间、时间、 Gi)
胃肠道=getSandNum(空间、
高度);
结束结
束

    函数 sixPyramid = createSixPyramid (B L、 H、 s、
d p)
昏暗的=大
小(B);
pos =符号(“ pos” ,[9
日 3]);
pos(1)=[暗淡的(1)一维圆(暗(2)/ 2 1 / 4), 2);
pos (2) = (pos(1, 1),圆(暗(2)/ 2 + L / 4), 2);
pos(3)=[圆(pos(1,1) - √ (3)* L / 4),圆(pos (2, 2) + L / 4), 2);
pos(4) =[圆(pos(1,1) - √ (3)* L / 2), pos (2, 2), 2);
pos (5) = (pos(4,1)、 pos(1、
2),2);
pos (6) = (pos(3,1)轮(pos(1、 2)- 1 / 4), 2);
pos (7) = (pos(6,1)轮(暗(2)/ 2 1 * s / 2), H + pos(1、 3)1];: pos(8 日)=[圆 pos(7 - 1) + √ (3)* * L / 4),
圆(pos (7, 2) + 3 * * L / 4)、 H + pos(1、 3)1];
: pos(9 日)= (pos(7, 1),圆(暗(2)/ 2 + L * s / 2), H + pos(1、
3)1];
飞机=符号(“ 飞机” ,[1,6]);
```

```

飞机(1)= getPlane (pos (1:), pos (2:), pos
(8:));
飞机(2)= getPlane (pos (2:), pos (8:), pos
(3:));
平面(3)= getPlane (pos (4:), pos(9日 :),pos
(3:));
信谊 x
飞机(4)=潜艇(平面(1),x, 2 * pos (3,1) -
x);
飞机(5)= getPlane (pos (5:), pos (6:), pos
(7:));
飞机(6)= getPlane (pos (1:), pos (6:), pos
(7:));
z1 =双(pos (8, 3)); z2 =双(pos(1、 3));
x1 =双(pos (4,1)); x2 =双(pos (1,1));
日元=双(pos (6 2)); y2 =双(pos (3 2));
z = z1: 1: z2
x = x1, x2
对 y = y1,
y2
如果 eval(平面(1))> = & & z z eval(平面(2))> = & & eval(平面
& & z eval(飞机(4))> = & & z eval(平面(5))> = & & eval(平面(6))>

```



关注数学模型
获取更多资讯

```
B (x, y, z)
= 1;
结束
结束
结束
结束
结束

B = insertWater (B、
p);
sixPyramid =
B;
结束

函数 circular= createcircular (B,L,W,H,d,p)
dim=size(B);
= W / 2, b = L / 2, c =暗
(3)1;
pos =符号( “pos” ,[4
3]);
pos(1) =[暗淡的(1)一维装天花板(暗
(2)/ 2),2);
pos(2) =(装天花板(pos(1,1)——),装天花板
(pos(1、 2)+ b), 2);pos(3) =[装天花板(pos (1,1)
2 *), pos(1、 2),2);
pos (4) = (pos(2, 1),装天花板(pos(1、
2)- b), 2);
x1 =双(pos (3,1)); x2 =双(pos (1,1));
日元=双(pos (4,2)); y2 =双(pos (2, 2));
对 z = H + 1:
1:2
x = x1, x2
对 y = y1,
y2
如果 z <= c + 1-sqrt (c2^* ((x-pos(2,1)) 2^/ a2^ + (y-pos(1、 2))2^/
b2^))B (x, y, z) = 1;
结束
结束
结束
结束
结束

B = insertWater (B、
p);
圆= B;
```


结束

```

    函数 fourPyramid=createFourPyramid(B,L,W,H,s,d,p)
pos=sym(' pos ', [4,3]);
昏暗的=大
小(B);
pos(1)=[暗淡的(1)-维圆((暗(2)-1)/2), 2);
pos (2) = (pos (1, 1), pos(1、 2)+
L 2);
pos (3) = (pos (1,1) - w, pos (2, 2),
2);
pos(4) =[圆((pos (1,1) + pos (3,1)) / 2 + (W * s) /
2),...round((pos(1,2)+pos(2,2))/2 + (L*s)/2), ...
H + pos(1、
3)1];
飞机=符号( “飞机” ,[1,4]);
飞机(1)= getPlane (pos (1:), pos (2:), pos
(4:));
飞机(2)= getPlane (pos (2:), pos (3:), pos
(4:));
Syms x y
平面(3)=潜艇(平面(1),x, pos (1,1) + pos (3,1)
- x);
飞机(4)=潜艇(平面(2),y, pos(1、 2)+ pos (2, 2)
- y);
z1 =双(pos (4, 3)); z2 =双(pos(1、 3));
x1 =双(pos (3,1)); x2 =双(pos (1,1));

日元=双(pos(1、 2));y2 =双(pos (3 2));z =
z1: 1: z2
```



关注数学模型
获取更多资讯

```
x = x1, x2
对 y = y1,
y2
如果 eval(平面(1))> = & & z z eval(平面(2))> = & & z eval(平面
(3))> = & & eval(飞机(4))> = z
B(x,y,z)=1;
结束
结束
结束
结束
结束
B = insertWater (B、
p);fourPyramid = B;
结束

函数 threePyramid=createThreePyramid(B,L,W,H,s,d,p)
dim=size(B);pos =符号(“pos”,[5 3]);
pos(1)=[暗淡的(1)一维圆(暗(2)/2),2);
pos (2) = (pos (1,1) - w, pos(1、 2)轮(L / 2),
2);
pos (3) = (pos (2, 1), pos(1、 2)+圆(L / 2),
2);
pos (4) = (pos(1,1) +圆(W (2/3) * * (s - 1)), pos(1、 2),H + pos(1、
3)1];pos (5) = (pos (4 1) - w * s, pos(4,2) +圆((L * s) / 2), pos (4,3)];
飞机=符号(“飞机”,[1,3]);
飞机(1)= getPlane (pos (1:), pos (2:), pos
(4:));
飞机(2)= getPlane (pos (1:), pos (3:), pos
(4:));
平面(3)= getPlane (pos (3:), pos (2:), pos
(5:));
z1 =双(pos (4, 3)); z2 =双(pos(1、 3));
x1 =双(pos (3,1)); x2 =双(pos (1,1));
日元=双(pos (2, 2)); y2 =双(pos (3 2));
z = z1: 1: z2
x = x1, x2
对 y = y1,
y2
如果 eval(平面(1))> = & & z z eval(平面(2))> = & & z eval(平面(3))>
= B (x, y, z) = 1;
结束
结束
结束
结束
```

结束

B = insertWater (B、
p);

threePyramid =
B;

结束

函数 rain=createRain(B,W,H)
dim=size(B);

p = H / W (20
*);

x = 2:暗(1)1

对 y = 2:暗(2)1

如果兰德
(1)< p

B (x, y,昏暗的(3)-50
年)= 1;

端端端雨=B;结束

功能水=insertWater (B、 p)
如果 n< 1 waterNum =圆(长度(找到(R == 1)) * (1 -
sx, sy,



关注数学模型
获取更多资讯

= getSandPos (B);砂= (sx,沈阳,深圳);for i=1:waterNum inserted=0;while inserted==0
randIndex=randi(length(sand));点=砂(randIndex:);若 B(点(1), 点(2), 点(3))==- 1

继续 else B(点(1), 点(2), 点(3))=-1;插入= 1;
端端端端水=B;结束

函数 pos = moveSand (B)
P = 12;[sx, sy,深圳]= getSandPos (B);Sands = [sx,sy,sz].
';
对于沙子=沙子 x=沙子(1);y=沙子(2);z=沙子(3);
如果 y<1 继续结束如果 x<2 || y==1 B(x,y,z)=0;继续结束
若 B(x,y,z-1)==0 B(x,y,z)=0;B (x, y, z 1) = 1;继续结束
U = getClassNum (B (x, y, z), 1, 1);如果 U<P continue else K=getUnstableFactor(B,
[x,y,z], U);如果 K<P 继续
else if (isempty(找到(B (x - 1: x + 1, y-1: y + 1, z 1) =
= 1, 1))
& & isempty(找到(B (x - 1: x + 1, y-1: y + 1, z 1) == 0, 1)))如果 B (x, y, z 1) == 1 B (x, y, z) =
1;B (x, y, z 1) = 1;继续
结
束
set2 =中的 B (x - 1, y-1: y + 1, z 1)” ;关于我校=B (x +
1, y-1: y + 1, z 1)” ;
set3 = B (x - 1: x + 1, y-1, z 1);set4 = B (x - 1: x + 1,
y + 1, z 1);
集= [set2,中的关于我校,set3 set4];num = 0(1、 4);因
为我= 1:4
num (i) =长度(找到(集(:,i) == 1));
结
束
num、 索
引

= max (num);if index==1 if B(x-1,y,z-1)==0 B(x,y,z)=0;B (x, y, z 1) =
1;elseif B(x+1,y,z-1)==-1 B(x,y,z)=-1;B (x, y, z 1) = 1;
else if num==2 B(x,y,z)=-1;
B (x - 1, y +(1)^ 兰迪(2),z 1) = 1;elseif num==1 if B(x-1,y-1,z-1)==-1
B(x,y,z)=-1;B (x - 1, y-1 z 1) = 1;其他的
B (x, y, z) = 1;z 1 B (x - 1, y + 1) = 1;端端端

elseif index==2 if B(x+1,y,z-1)==0 B(x,y,z)=0;B (x + 1, y, z 1) =
1;elseif B(x+1,y,z-1)==-1 B(x,y,z)=-1;B (x + 1, y, z 1) = 1;
else if num==2 B(x,y,z)=-1;B (x + 1, y +(1)^ 兰迪(2),z 1) = 1;elseif
num==1 if B(x+1,y-1,z-1)==-1 B(x,y,z)=-1;B (x + 1 y-1 z 1) = 1;其他
B (x, y, z) = 1;B (x + 1, y + 1, z 1) = 1;端端端

elseif index==3 if B(x,y-1,z-1)==0 B(x,y,z)=0;y-1 B (x, z 1) = 1;
elseif B(x,y-1,z-1)==-1 B(x,y,z)=-1;y-1 B (x, z 1) = 1;其
他的
如果 num==2 B(x,y,z)=-1;B (x +(1)^ 兰迪(2),y-1, z 1) = 1;elseif num==1 if B(x-1,y-1,z-1)==-1
B(x,y,z)=-1;B (x - 1, y-1 z 1) = 1;其他 B (x, y, z) = 1;B (x + 1 y-1 z 1) = 1;端端端

```

else if B(x,y+1,z-1)==0 B(x,y,z)=0;B (x, y + 1, z 1) = 1;elseif B (x, y + 1, z 1)
== 1
B (x, y, z) = 1;B (x, y + 1, z 1) = 1;else if num==2 B(x,y,z)=-1;B (x +(1)^ 兰迪(2),y + 1, z 1) = 1;elseif
num==1 if B(x-1,y+1,z-1)==-1 B(x,y,z)=-1;z 1 B (x - 1, y + 1) = 1;其他 B (x, y, z) = 1;B (x + 1, y + 1, z
- 1) = 1;
End End End End继续 else
peerArea = B (x - 1: x, y-1: y + 1, z);peerClass = vertcat(找到(peerArea == 0),找到(peerArea =
= 1));peerClassNum =长度(peerClass);if peerClassNum>0 if
isempty(find(mod(peerClass,2)==1 ,
1))
k =找到(mod (peerClass 2) == 1);指数= peerClass (k)。 ” ;randIndex =兰迪(长度(指
数)):

```



关注数学模型
获取更多资讯

有道文档翻译
pdf.youdao.com

抵消=指数(randIndex);如果 B (x - 1, y-1 +地板(抵消/2),z)
== 1

B (x, y, z) = 1;B (x - 1, y-1 +地板(抵消/2),z)
= 1;

其他 B (x, y, z) = 0;B (x - 1, y-1 +地板(抵消/
2),z) = 1;

end continue else if length(find(mod(peerClass,2)==0))==2

if B(x,y+(-1)^randi(2), z)==-1 B(x,y,z)=-1;B (x, y +1)^兰迪(2),z) = 1;

其他 B (x, y, z) = 0;B (x, y +1)^兰迪(2),z) = 1;end else offset=peerClass/2;若 B(x,y-
2+offset,z)==- 1

B (x, y, z) = 1;B (x, y 2 +抵消,z) = 1;其他 B (x, y, z) = 0;B (x, y 2 +抵
消,z) = 1;end end continue end end end end pos = B;结束

函数 pos=moveWater(B) [wx,wy,wz]=getWaterPos(B);Sea = [wx,wy,wz]. ' ;昏暗的=大小
(B);For water = sea x=water(1);y=water(2);z=water(3);If (x==1||y==1||x>dim(1)-1||y>dim(2)-
1)&& y= 0

B (x, y, z) = 0;continue elseif y==0||x==0 continue end if getClassNum(B, [x,y,z], -
1,1) >= 12

continue else underArea=B(x-1:x+1,y-1:y+1,z-1);underNull =找到(underArea == 0);联
合国- derNullNum =长度(underNull);

peerArea = B (x - 1: x + 1, y-1: y + 1, z);peerNull =找到(peerArea == 0);peerNullNum =长度
(peerNull);if underNullNum > 0 offset=getOffset(underNull);if mod(offset,3)==2 B(x,y,z)=0;

B (x, y-1 +地板(抵消/ 3),z 1) = 1;elseif mod(偏移量, 3)==0 B(x,y,z)=0;B (x + 1, y 2 +地板(抵消/
3),z - 1) = 1;

elseif mod(偏移量, 3)==1 B(x,y,z)=0;B (x - 1, y-1 +地板(抵消/ 3),z 1)
= 1;

end continue elseif peerNullNum>0 offset=getOffset(peerNull);

if mod(offset,3)==2 B(x,y,z)=0;B (x, y-1 +地板(抵消/ 3),z) = 1;

elseif mod(offset,3)==0 B(x,y,z)=0;B (x + 1, y 2 +地板(抵消/ 3),z) =
1;

elseif mod(偏移量, 3)==1 B(x,y,z)=0;B (x - 1, y-1 +地板(抵消/ 3),z)
= 1;

end continue end end end pos = B;结束

函数 pos=渗透(B, 时间, W,H) [wx,wy,wz]=getWaterPos(B);海=(天气,王
寅,wz);groundIndexs =找到武政= 2)。';

p = H / W (2 *);a1 =时间/(2*W);A2 =回合(a1);if (a1<=a2) && isempty(groundIndexs) for
index=groundIndexs if rand(1)<=p x=sea(index,1);y=sea(index,2);z=sea(index,3);if x==0 ||
y==0 continue end B(x,y,z)=0;end end end pos=B;结束

函数 wave=createWave(B, 时间, W,H) d = size(B);X = d(1)-1;a1 =时间/(2*W);A2 =回
合(a1);

若 a1<=a2 波=B;其他 h =装天花板(2 h * 罪(2 * π *时间/ W));如果
h<2 h=2;

B 端(x, :, 2:h+1) = -1;波= B;结束结束

函数方程=getPlane(A,B,C) syms x y jz D=[ones(4,1), [[x,y,jz];A;B;C]];detd=det(D);z =解
决(鉴定、生理);方程 z =;结束

函数 k=getUnstableFactor(B,Pos,factor) x=Pos(1);y=Pos(2);z=Pos(3);p =
0.02;面积= B (x - 1: x + 1, y-1: y + 1, z 1: z + 1);

角=(1、 3、 7、 9 日,19 日,21
日,25 日,27);

边缘=(2、 4、 6、 8、 10、 12、 16、 18、
20、 22、 24、 26);

中心=[5、 11、 13、 15、 17、 23];指标=找到(面积== 1)。';For index=indexs
dz=ceil(index/9);

dx =国防部(mod(指数(9),3);如果 dx==0 dx=3;
dy =装天花板(mod(指数(9)/ 3);如果 dy==0



关注数学模型
获取更多资讯


```

If isempty(find(angles==index,1)) If dx>2 a=area(2:dx, :, :);其他=区域(dx: 2:);
结束 if dy>2 a=a(:, 2:dy, :);其他一个 =
(:,dy: 2:);
结束 if dz>2 a=a(:, :, 2:dz);其他一个 =
(:,dz: 2:);
结束数=长度(找到(= = 1));因素=因素——(p *数量);Elseif isempty(find(edges==index,1)) if
dx==2 if dy>2 a=area(:, 2:dy, :);其他=区域(dy:: 2:);结束
If dz>2 a=a(:, :, 2:dz);其他一个 = (:,dz: 2);
结束
Elseif dy==2 if dx>2 a=area(2:dx, :, :);其他=区域(dx: 2:);结
束
If dz>2 a=a(:, :, 2:dz);其他一个 = (:,dz: 2);
结束
Elseif dz==2 if dy>2 a=area(:, 2:dy, :);其他=区域(dy:: 2:);结束 if dx>2 a=a(2:dx, :, :);
其他一个 = (dx: 2:);结束结束
数=长度(找到(= = 1));因素=因素——(p *数量);Elseif isempty(find(centers==index,1)) if dx
=2 if dx>2 a=area(2:dx, :, :);其他=区域(dx: 2:);结束
Elseif dy =2 if dy>2 a=area(:, 2:dy, :);其他=区域(dy:: 2:);结束
Elseif dz =2 if dz>2 a=area(:, :, 2:dz);其他=区域(dz:: 2:);结束结
束
数=长度(找到(= = 1));因素=因素——(p *数量);其他因素+ 0 =因素;End End k=因子;结束

    函数 偏移量=getOffset (posNull)
if isempty(find(mod(posNull,3)== 1,1))
k =找到(mod (posNull 3) =
= 1);
指数= posNull (k)。 ” ;randIndex =兰迪(长度(指数));抵消=指数(randIndex);else randIn-
dex=randi(length(posNull));抵消= posNull (randIndex);
结束结
束

    函数 num = getClassNum (B, Pos rowClass assignClass)
x = Pos (1), y = Pos (2); z =
Pos (3);
面积= B (x - 1: x + 1, y-1: y + 1, z
1: z + 1);
num =长度(找到(面积==
assignClass));
if rowClass==assignClass num=num-1;结束结束

    函数 num=getSandNum(B,h)
num=length(find(z==(h+1)));结束

    函数 绘制(B, g)
昏暗的=大小(B);(x1, y1, z1) = getWaterPos (B);(x2, y2、 z2) = getSandPos (B);(x3, y3, z3) =
getLandPos (B);图(1)clf( “重置” );推迟
h3=scatter3(x3,y3,z3, `MarkerEdgeColor`, [1.75 0], `MarkerFaceColor`, [1.75
0]);
h3.DisplayName = “土地细胞” ;xlim([0 暗(1)])ylim([1 暗(2)])zlim([0 暗(3)])
标题(['时间=' num2str(时间), G =, num2str (G));

```

抓住

```
h1=scatter3(x1,y1,z1, `MarkerEdgeColor`, [0.75 .75], `MarkerFaceColor`,  
[0.75 .75]);h1.DisplayName = “水细胞”;抓住
```

```
h2 = scatter3 (x2, y2、 z2 MarkerEdgeColor,(. 6 .2 0], `MarkerFaceColor`, [. 6 .  
0]);
```

```
h2.DisplayName = “沙细胞”;视图(218年 46);  
结束
```

```
函数[x, y, z] = getWaterPos (B)
```

```
dim = size(B);
```

```
天气,王  
寅
```

```
=找到(B == 1);
```

```
水= [wX,mod(wY,dim(2)), ceil(wY./dim(2))];x =  
水(:1);y =水(:,2);z =水(:,3);结束
```

```
function [x,y,z]=getSandPos(B)  
dim = size(B);
```



关注数学模型
获取更多资讯

```
sX,
sY

=找到(B ==
1);

sand = [sX,mod(sY,dim(2)),ceil(sY./dim(2))];
x=sand(:,1);y=sand(:,2);z=sand(:,3); end

    函数[x,y,z]=getLandPos(B) dim
= size(B);

    lX,lY
= find(B==2);

land = [lX,mod(lY,dim(2)), ceil(lY./dim(2))];x =土地(:,1);y =土地(:,2);z =土地(:,3);结
束
```

有道文档翻译
pdf.youdao.com



关注数学模型
获取更多资讯