Tsinghua University

霉菌路径仿生模拟

清华大学土木工程系

汇报人：　张汉青

指导老师：　胡振中

Email:
Zhang-hq15@mails.Tsinghua.edu.cn

主要内容

清華大學
Tsinghua University

1、研究背景及意义

——3D打印技术研究与应用

——建筑参数化设计

2、研究内容

——问题描述

——方法选择

——具体实现

3、讨论与展望

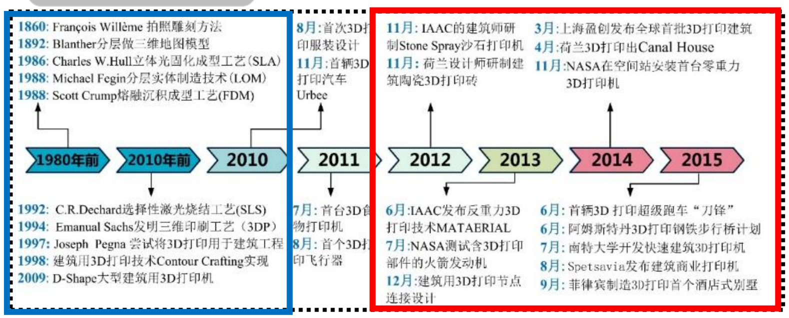
——仿生模拟与3D打印技术

1.研究背景—3D打印发展前沿

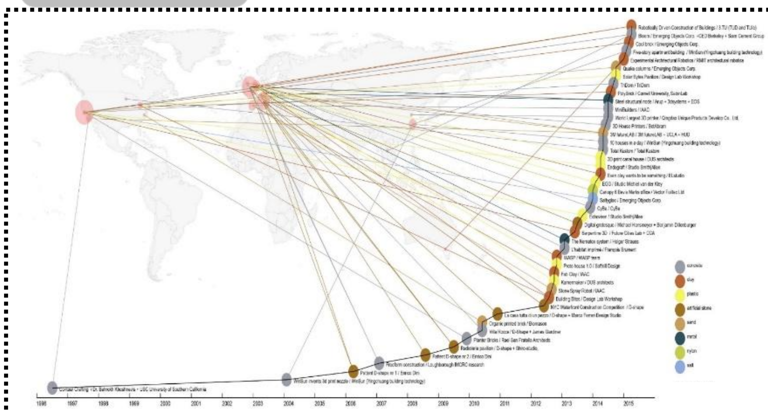
Tsinghua University 清华大学

3D 打印 From the past to the future

时间轴

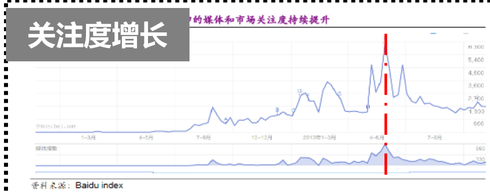


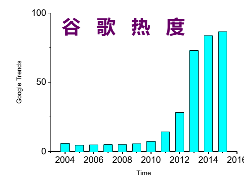
发展地图

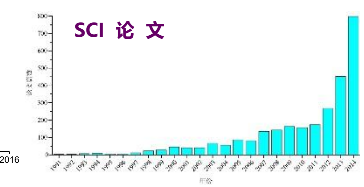


产业发展

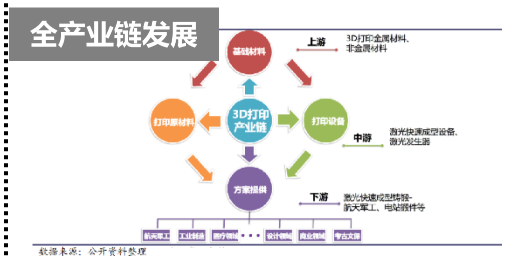
关注度增长







全产业链发展



核心技术

快速成型技术
- 增材制造技术（3D打印技术）
  - 粉末基
    - 三维成型 (3DP)
    - 选择性激光烧结 (SLS)
    - 选择性激光熔覆 (SLM)
    - 选择性热烧结(SHS)
    - 电子束熔融(EBM)
  - 液体基
    - 挤出沉积成型 (EDM)
    - 熔融沉积成型 (FDM)
    - 数字光处理成型 (DLP)
    - 立体光固化成型 (SLA)
  - 片状基 — 分层实体加工 (LOM)
- 增材/切削制造技术 — 形状沉积制造 (SDM)
- 切削制造技术 — 电脑数控切割 (CNC)

即将到期核心专利

表2. 部分即将到期的 3D 打印领域核心基础专利

序号	专利名称	专利号	到期日	专利权人
1	热光固化(Thermal Stereolithography)	美国专利号 5569349	2013 年 10 月 29 日	3D Systems
2	通过选择性烧结制造零部件的机器(Apparatus for Producing Parts by Selective Sintering)	美国专利号 5597589	2014 年 1 月 28 日	DTM 公司
3	通过光固化制作三维物体的方法(Method of Making a Three-Dimensional Object by Stereolithography)	美国专利号 5609812	2014 年 3 月 11 日	3D Systems
4	快速和精确制造光固化零部件(Rapid and Accurate Production of Stereolithographic Parts)	美国专利号 5610824	2014 年 3 月 11 日	3D Systems
5	用于除去熔融沉积成型的支撑的工艺(Process of Support Removal for Fused Deposition Modeling)	美国专利号 5503785	2014 年 6 月 2 日	Stratasys 公司
6	使用表格建立三维对象的方法(Method of Building Three Dimensional Objects with Sheets)	美国专利号 5637169	2014 年 6 月 10 日	3D Systems
7	由选择性烧结法生产部件的方法(Method for Producing Parts by Selective Sintering)	美国专利号 5639070	2014 年 6 月 17 日	DTM 公司
8	在光固化中增加阳离子光引发剂的作用范围(Increasing the Useful Range of Cationic Photoinitiators in Stereolithography)	美国专利号 5494618	2014 年 6 月 27 日	3D Systems
9	光固化层的重新涂布(Recoating of Stereolithographic Layers)	美国专利号 5651934	2014 年 7 月 29 日	3D Systems
10	用滴液爆散的方法制作三维物品的方法和仪器(Apparatus and Method for Making Three-Dimensional Articles Using Bursts of Droplets)	美国专利号 5555176	2014 年 10 月 19 日	Jerry Zucker
11	在 3D 物品制造过程中热正常化的方法和设备(Apparatus and Method for Thermal Normalization in Three-Dimensional Article Manufacturing)	美国专利号 5572431	2014 年 10 月 19 日	Jerry Zucker
12	增材制造的装置和方法(Additive Fabrication Apparatus and Method)	美国专利号 5529471	2015 年 2 月 3 日	南加州大学
13	用复合塑料材料选择性激光烧结(Selective Laser Sintering with Composite Plastic Material)	美国专利号 5733497	2015 年 3 月 20 日	DTM 公司
14	通过光固化制造三维物体的方法(Method for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography)	美国专利号 5762856	2015 年 6 月 9 日	3D Systems

资料来源：USPTO，光大证券研究所整理

政策支持

2015 年上半年国家层面发布多项 3D 打印利好政策

文件名称	发布单位	重点内容
《国家增材制造产业发展推进计划（2015-2016 年）》	工业和信息化部 国家发展和改革委员会 财政部	到 2016 年，初步建立较为完善的增材制造产业体系，整体技术水平保持与国际同步，在航空航天等直接制造领域达到国际先进水平，在国际市场上占有较大的市场份额。
《中国制造 2025》	国务院	1. 围绕重点行业转型升级和新一代信息技术、智能制造、增材制造、新材料、生物医药等领域创新发展的重大共性需求，形成一批制造业创新中心。 2. 加快高档数控机床、增材制造等前沿技术和装备的研发。

[1] http://www.3dprintingarchitecture.net/?p=601
[2] USPTO
[3] MX3D/IAAC/WASP/EMERGING OBJECTS

1.研究背景—3D打印发展前沿

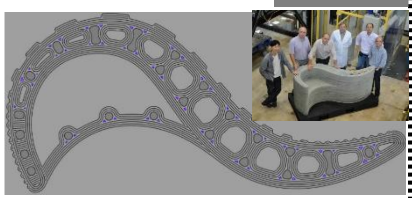
3D 打印在工程建设中的代表性技术体系

D-Shape

粉末式3DP　Enrico Dini 意大利

Concrete Printing

R.A. Buswell 英国　仿FDM



Contour Crafting

仿FDM　B. Khoshnevis 美国

3D打印应用于建筑中，有很多尝试涌现

应用　探索

混凝土 → 钢结构 → 纤维

上海盈创

6.6m
10m
150m

Arup　http://www.dezeen.com/2014/06/11/arup-3d-printed-structural-steel-building-components/

Softkill　PA+SLS

材料应用增长迅速，可能迎来爆炸增长

[1] Lim S, Buswell R A, Le T T, et al. Developments in construction-scale additive manufacturing processes[J]. Automation in construction, 2012, 21: 262-268.　[2] http://www.d-shape.com　[3] Lim S, Buswell R A, Le T T, et al. Developments in construction-scale additive manufacturing processes[J]. Automation in construction, 2012, 21: 262-268.　[4] Le T T, Austin S A, Lim S, et al. Hardened properties of high-performance printing concrete[J]. Cement and Concrete Research, 2012, 42(3): 558-566.　[5] http://www.contourcrafting.org

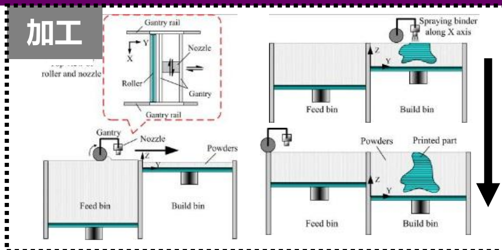
1.研究背景—3D打印近期研究

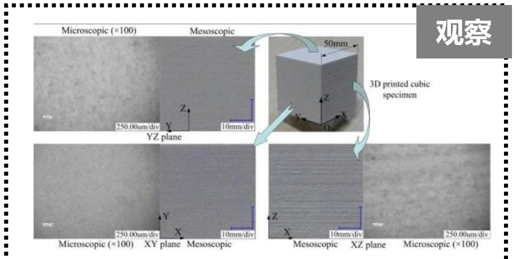
3D打印制品及其增强构件力学性能研究

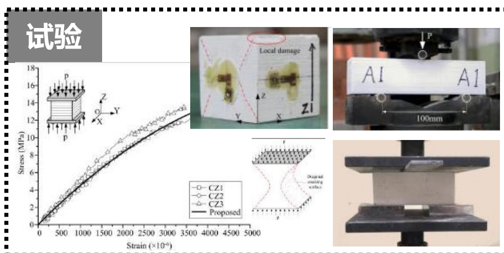
3D打印

形貌观察

试验分析







3D打印制品层间薄弱，难以直接应用

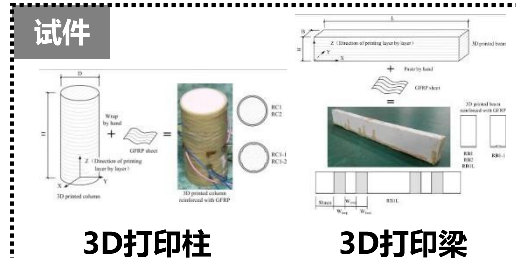
FRP

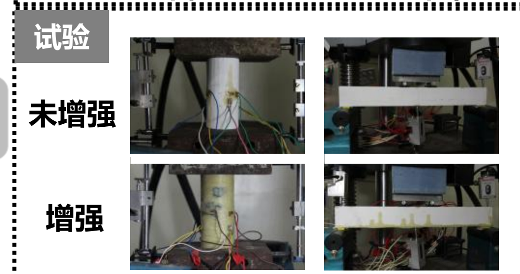
增强

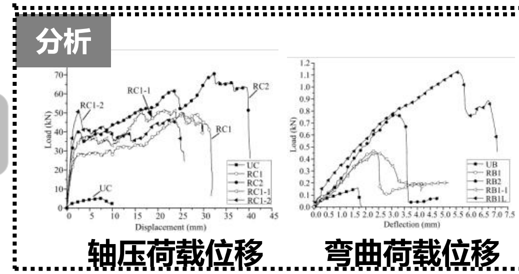
梁柱增强

试验研究

对比分析







FRP增强3D印制品力学性能显著提升

[1] Feng P, Meng XM, Chen J F, et al. Mechanical properties of structures 3D printed with cementitious powders[J]. Construction and Building Materials, 2015, 93: 486-497.（ IF=2.710 (5-YEAR), JCR: Q1, SJR: Q1 ）

[2] Feng P, Meng XM, Zhang HQ. Mechanical behavior of FRP sheets reinforced 3D elements printed with cementitious materials[J]. Composite Structures, 2015, 134: 331-342.（IF=3.500 (5-YEAR), JCR: Q1, SJR: Q1）

1.研究背景—3D打印近期研究

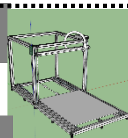
3D打印平台及时间窗口研究

3D打印机

材料研究

试验分析

设计图



实拍图

打印中

石膏

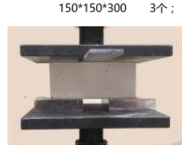
水泥净浆

含细骨料

基本材性试验

劈裂抗拉强度	抗压强度试验	轴心抗压强度 静力受压弹模	抗折强度试验
立方体	立方体	棱柱体	立方体

打印： 150*150*150 36个；
150*150*300 9个；
非打印： 150*150*150 12个；
150*150*300 3个；



3D打印机作为研发平台

适合

打印

合适材料流动度

时间窗口

协同控制

配合比

		搅拌速度	搅拌时间(M)
		0	2
		0	2
3	0.38	0	2
4	0.4	0	2
5	0.3	1	2
6	0.4	1	2
7	0.3	0	10
8	0.35	0	10
9	0.38	0	10
10	0.4	0	10
11	0.3	1	10
12	0.4	1	10
13	0.38	1	2

双快水泥SAC

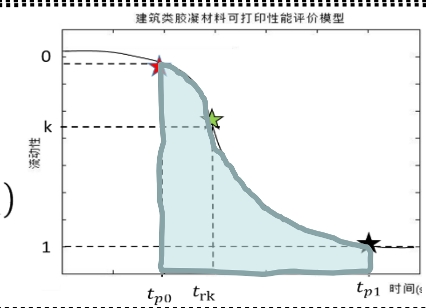
组	水：水泥	添加剂	搅拌时间
1	0.4	0.5%	2
2	0.4	1%	2
3	0.4	1.5%	2
4	0.4	2%	2
5	0.38	0.5%	2
6	0.38	1%	2
7	0.38	1.5%	2
8	0.38	2%	2
9	0.4	1%	10
10	0.38	1%	10

P.O 42.5+速凝剂

定义

适合打印时间范围

$(t_{p0}\sim t_{p1})$



相关因素

保证打印后不垮塌

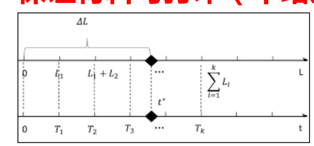
保证材料可打印（不堵泵）

泵机流速

喷嘴速度

路径设计

多次拌合



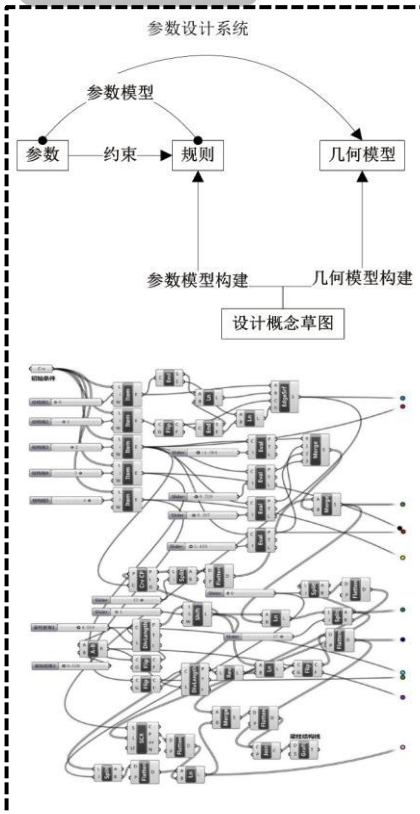
$$T_{j-1}^{*} \geq \sum_{i=1}^{j-1} \Delta T_i + t_{p0} \qquad T_j^{*} - \sum_{i=1}^{j-1} \Delta T_i \leq t_{p1}$$

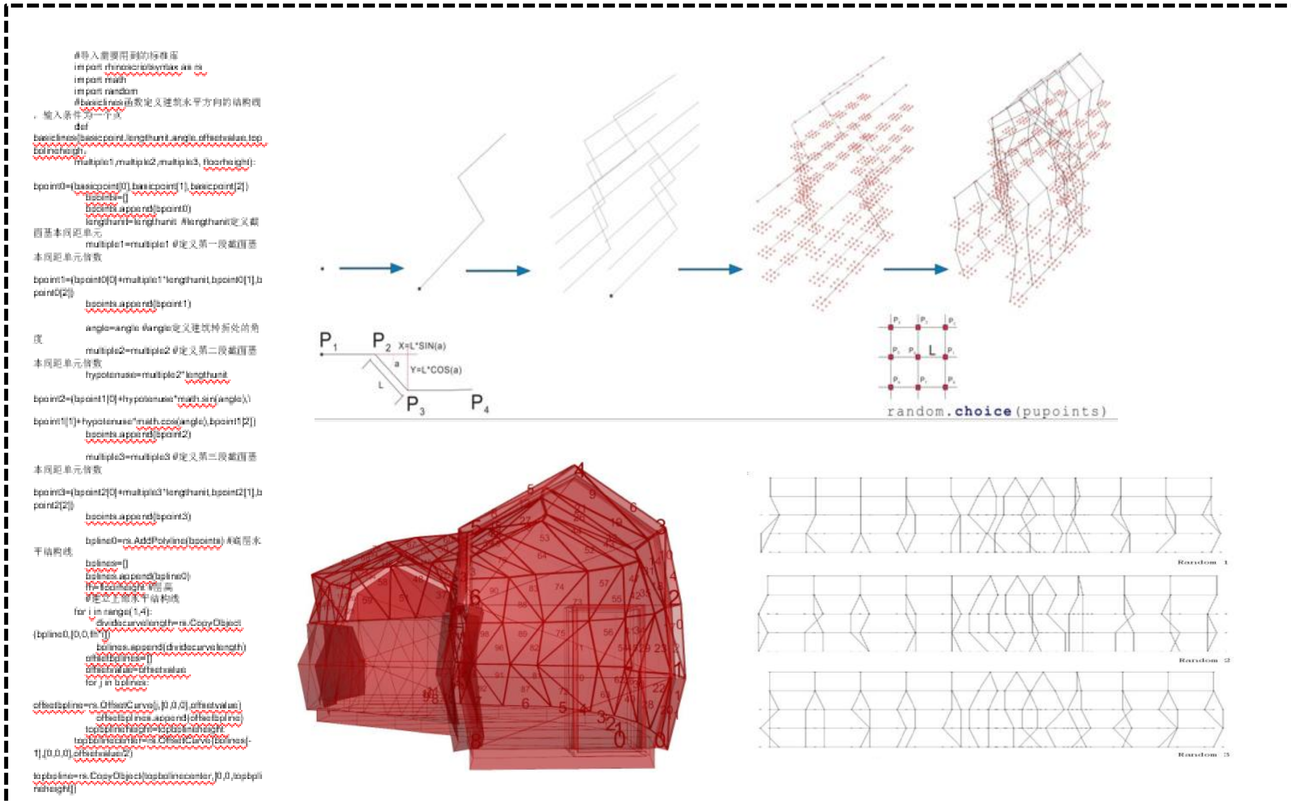
1.研究背景—参数化设计

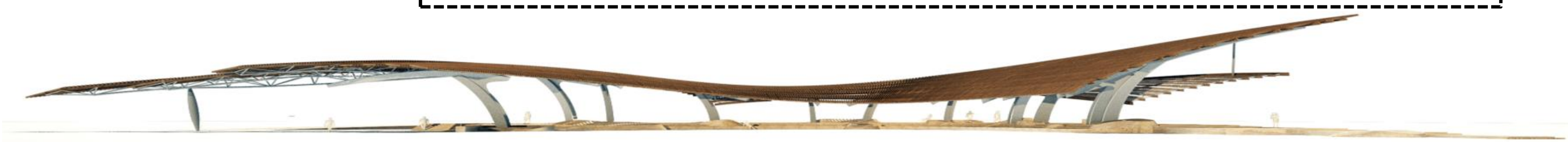
基于节点式参数化工具Grasshopper参数化设计

基本构建

Python参数化模型



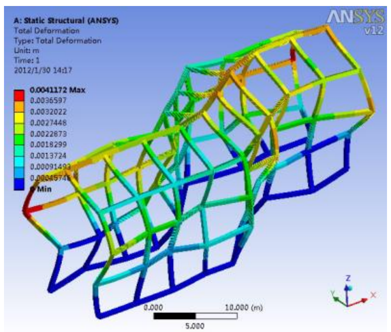




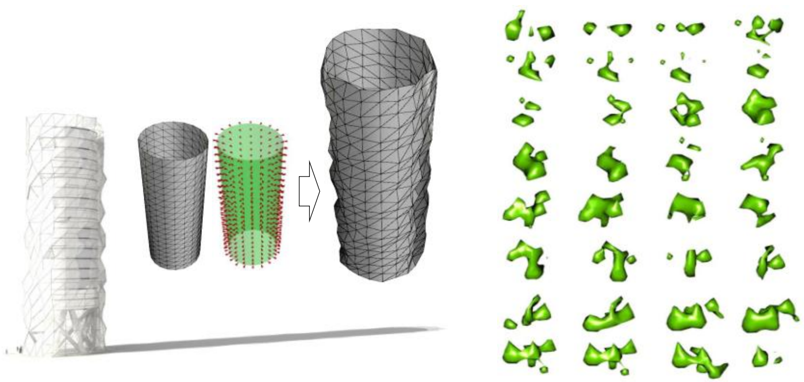
1.研究背景—参数化设计

基于参数化设计的协同分析

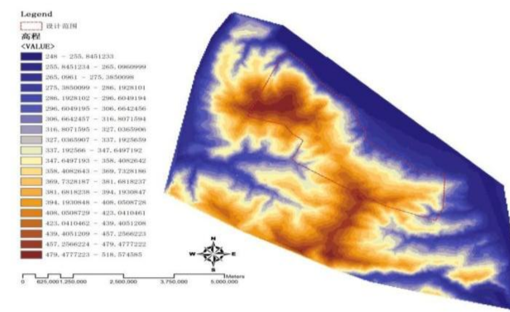
力学分析

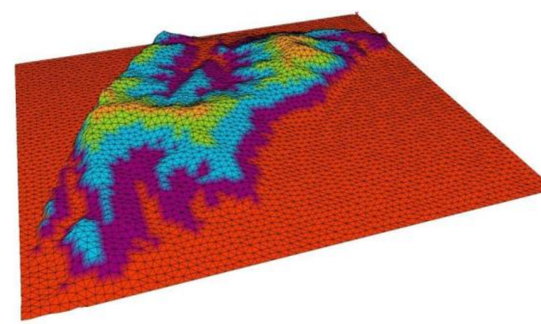


动力学分析

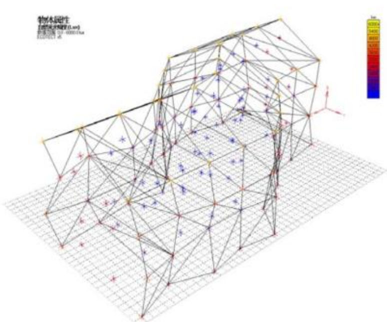


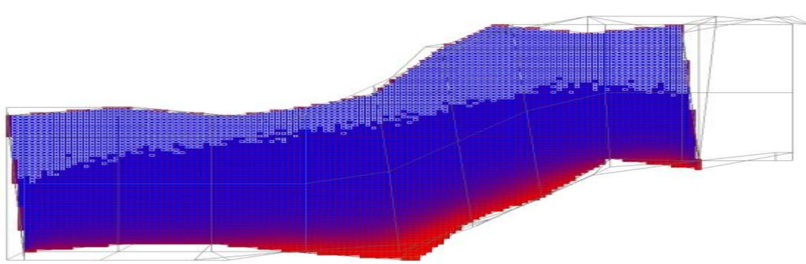
地理信息系统

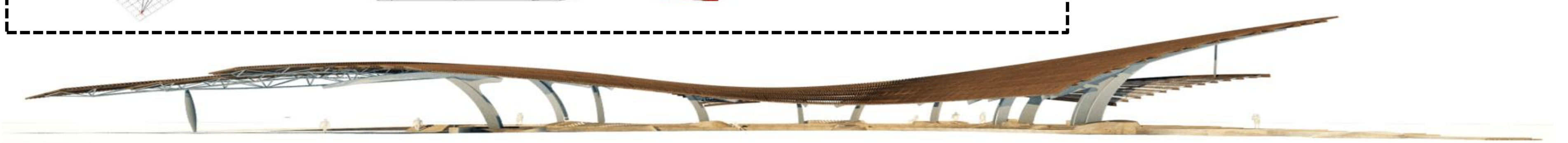




生态分析







主要内容

1、研究背景及意义

——3D打印技术研究与应用

——建筑参数化设计

2、研究内容

——问题描述

——方法选择

——具体实现

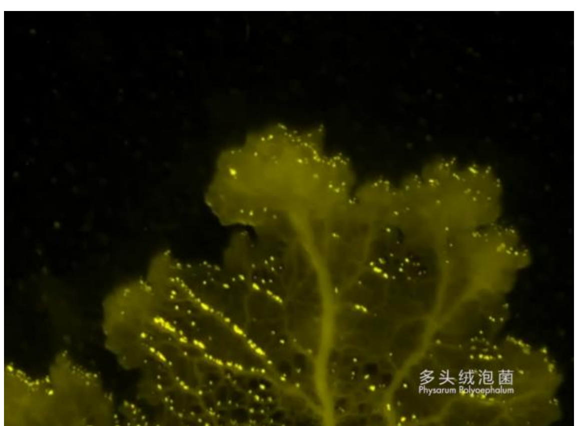
3、讨论与展望

——仿生模拟与3D打印技术

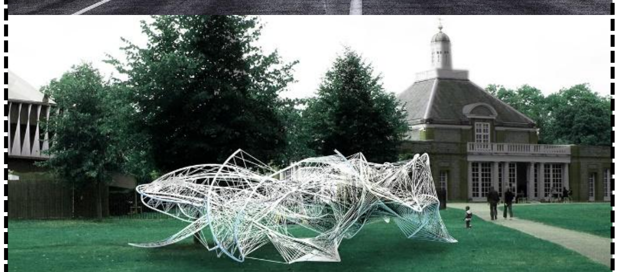
2.研究内容—问题描述

对霉菌生长行为的仿生模拟

霉菌生长



建筑艺术



行为特点

生命周期；
进化捕食管道；

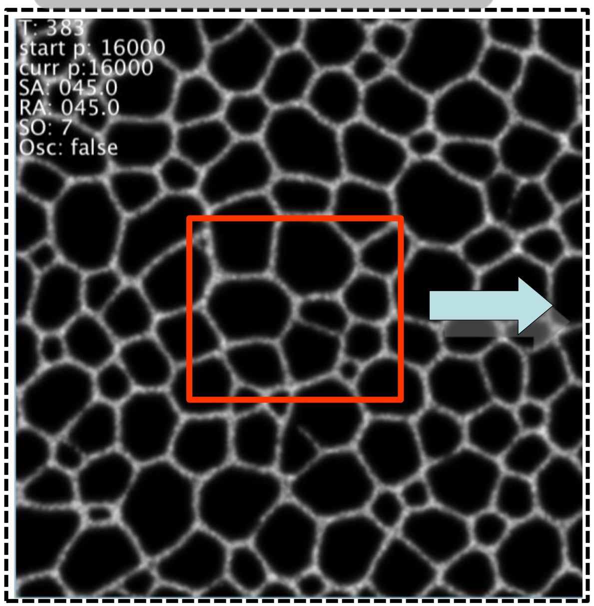
前人研究

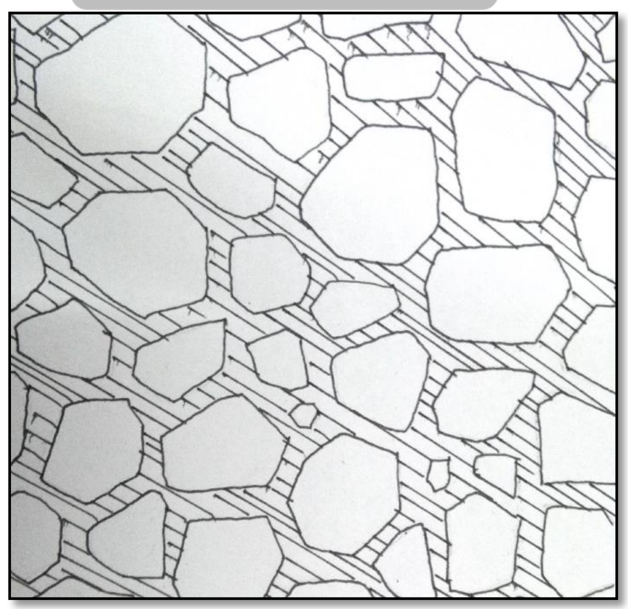
[1] Nakagaki最短管道；
[2] Tero基尔霍夫定律和哈根泊肃叶定律建立模型，建立管道流量和传导性的反馈关系；
[3] Adamatzky用反应扩散的过程类比生长过程，利用二变量Oregonator模型研究构建网络和求解迷宫问题；
[4] Jones构建多Agent模型模拟多头绒泡菌网络的演化过程;

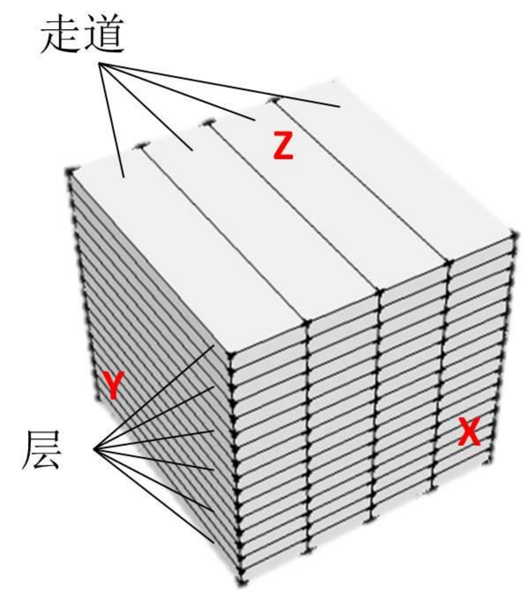
2.研究内容—问题描述

对霉菌生长行为的仿生模拟

2维模拟-空间网架 → **提取信息-骨架线** → **建模分析-空腔与力学性能**







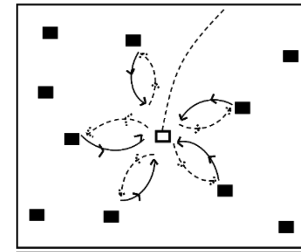
2.研究内容—方法选择

选择信息素通讯

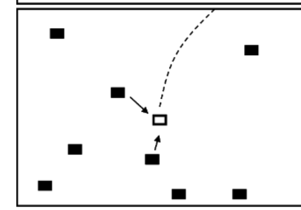
备选算法

Particle Swarm Optimization
Ant System
Ant Colony System
Bees Algorithm
Bacterial Foraging Optimization Algorithm

Swarming
- Several or more units
- Sustainable pulsing
- Dispersed, non-linear



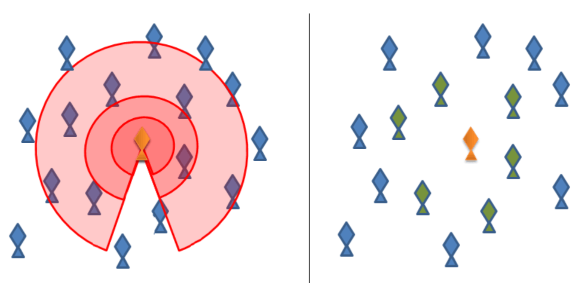
Guerrilla tactics
- Only a few units involved
- 1 raid or ambush only
- Dispersed, non-linear



蚁群算法 Ant algorithms — **信息素 Pheromone**

- **范围Range**
- **环境Environment**
- **觅食规则Foraging rules**
- **移动规则Movement rules**
- **避障规则Obstacle avoidance**
- **信息素规则Pheromone rules**

粒子群算法 Swarm Algorithms — **临近粒子 Agent**

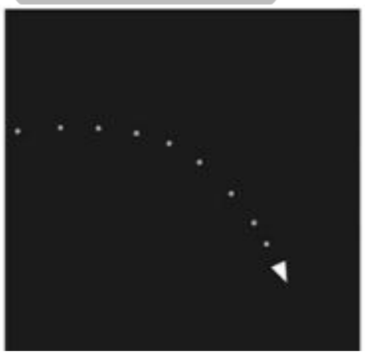


2.研究内容—方法选择

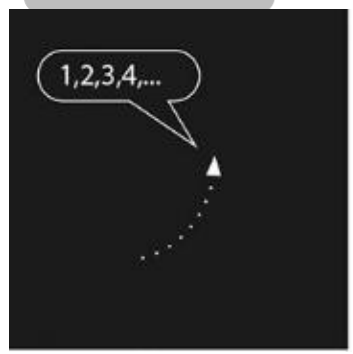
基本规则定义

感知信息素
SENSE CA

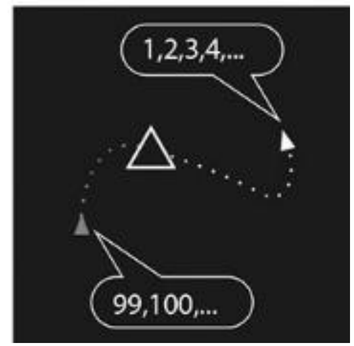
释放信息素
RELEASE CA



寿命计算
MEMORIZE

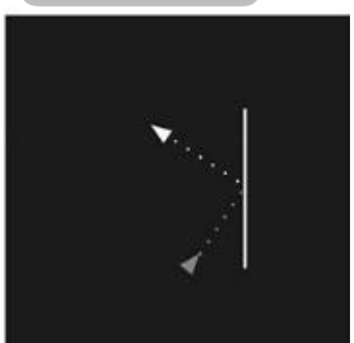


寿命更新
REFRESH



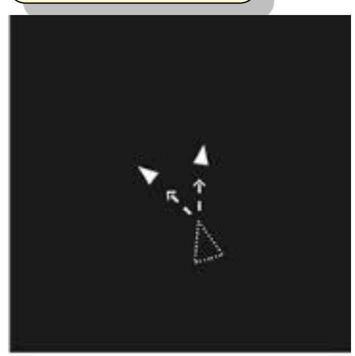
偏差概率
DIGRESS

躲避障碍
AVOID OB

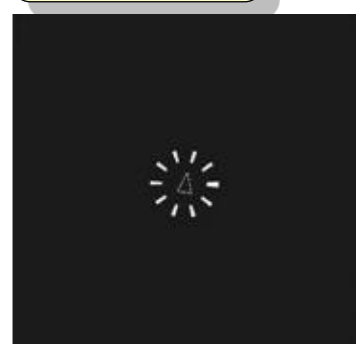


浓度扩散
DIFFUSE

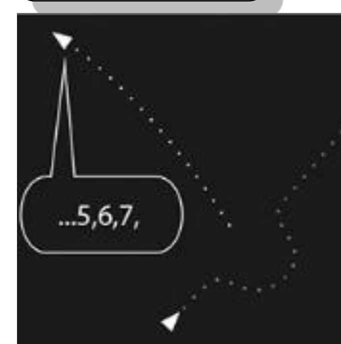
分裂生长
REPRODUCE



食物释放
DEGRADE



死亡
AGING



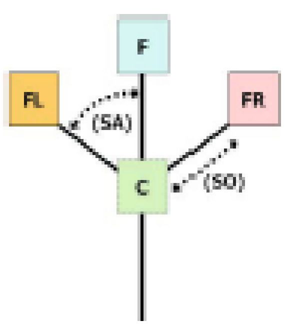
2.研究内容—方法选择

基本规则定义

个体行为
Individual Behavior

群体互动
Collective Interaction

衍生现象
Emergent Phenomena



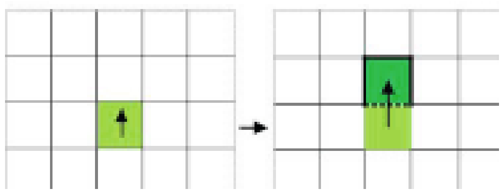
- Sample chemoattractant map values
- If (F> FL) && (F> FR)
  - continue facing same direction
- Else if (F< FL) && (F< FR)
  Rotate by RA towards larger of FL and FR
- Else if (FL< FR)
  Rotate right by RA
- Else
  Continue facing same direction

2.研究内容—方法选择

基本规则定义

空间碰撞规则

New cell Unoccupied



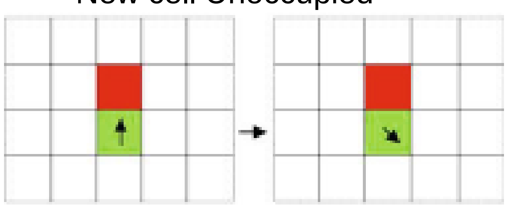
(a)

① Occupy New Cell

② Deposit Chemoattractant

③ Maintain Direction

New cell Unoccupied



(b)

① Stay In Current Cell

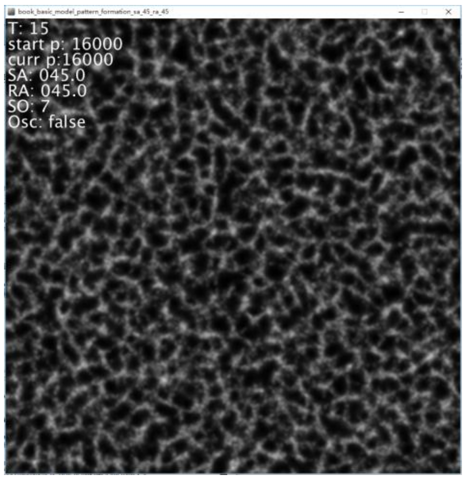
② Do Not Deposit Chemoattractant

③ Select Random Direction

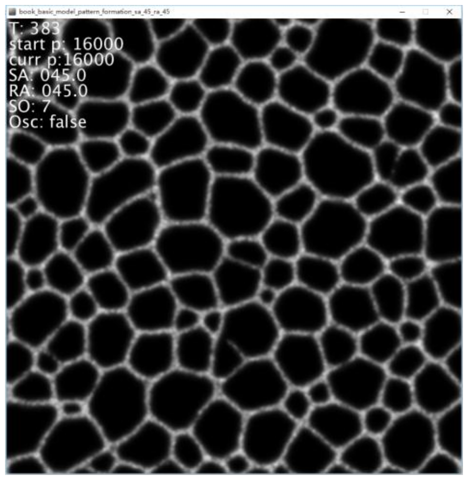
2.研究内容—具体实现

实现效果

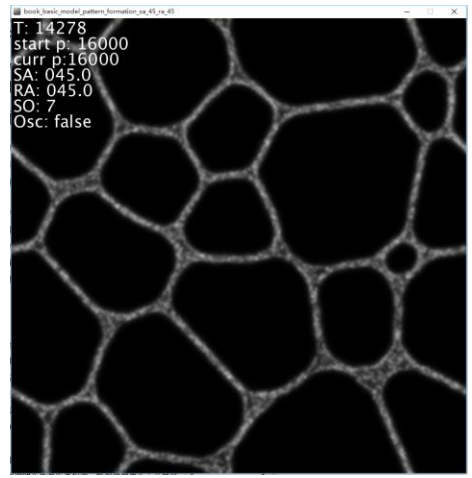
T=15



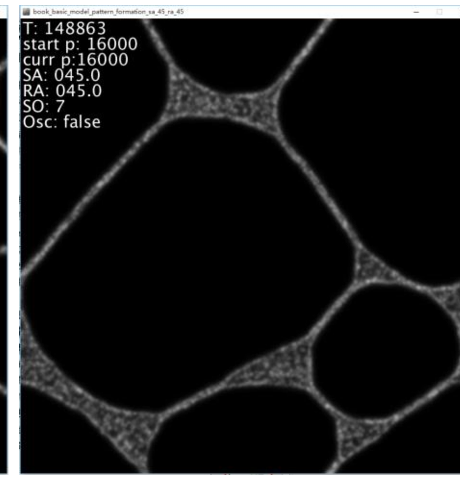
T=383



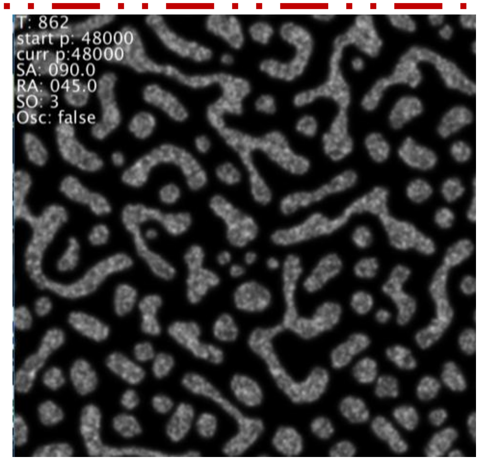
T=14278

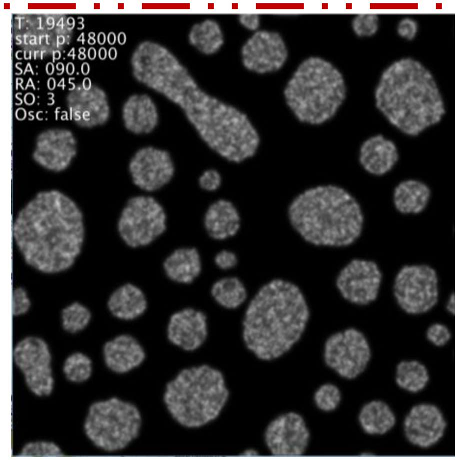


T=148863



Popsize=16000
SA=45
RA=45
SO=7
PCD=0
Speed=1
DeT=5





Popsize=48000
SA=90
RA=45
SO=3
PCD=0
Speed=1
DeT=5

主要内容

1、研究背景及意义

——3D打印技术研究与应用

——建筑参数化设计

2、研究内容

——问题描述

——方法选择

——具体实现

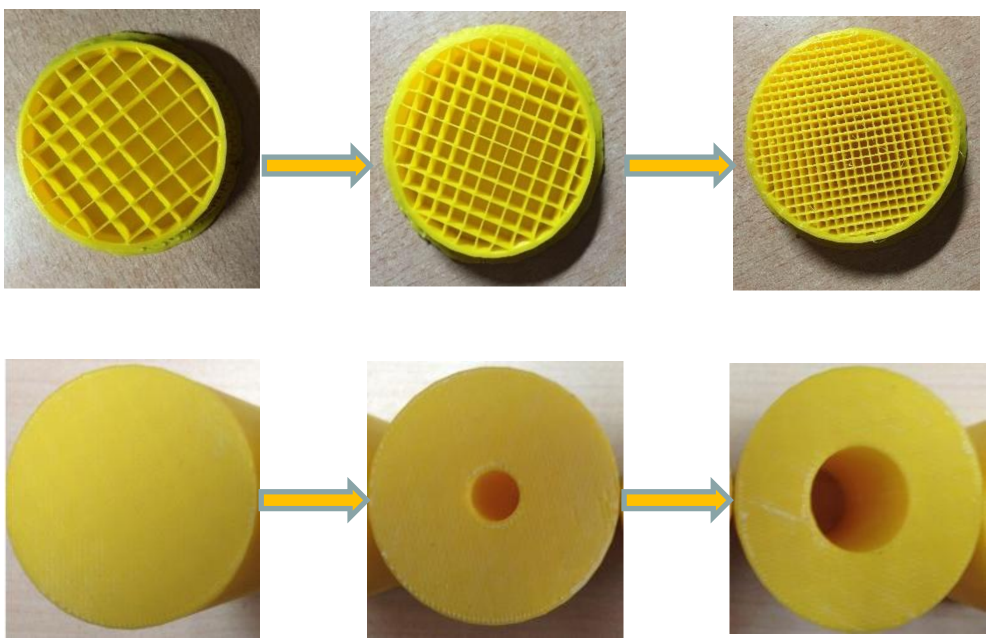
3、讨论与展望

——仿生模拟与3D打印技术

3.研究展望—3D打印与仿生模拟

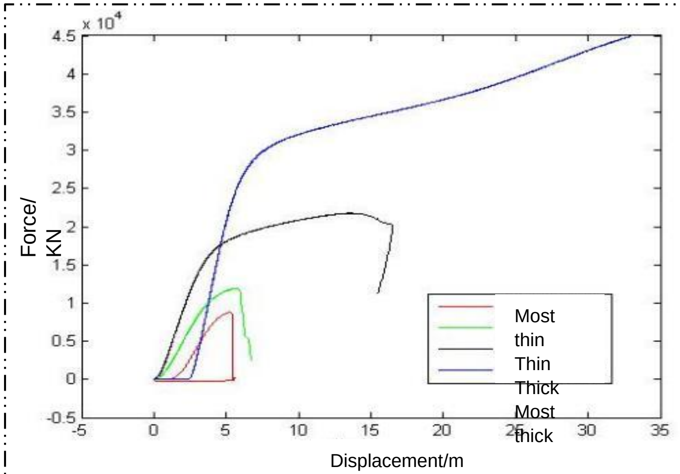
目前所做探索

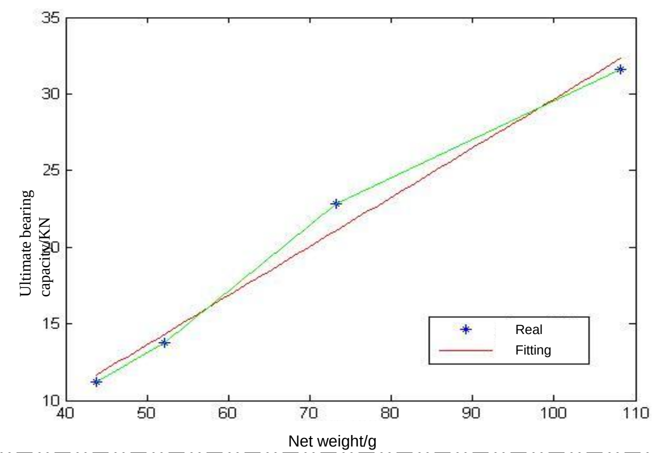
3D打印空心孔洞圆柱



Class	Model	Number	Inner diameter (mm)	Average weight (g)
1	Most thin	1-1	0	40.058
		1-2	10	43.047
		1-3	20	43.822
		1-4	30	43.685
2	Thin	2-1	0	51.392
		2-2	10	53.024
		2-3	20	52.212

力学测试结果





霉菌路径仿生模拟

谢谢！

Email:
Zhang-hq15@mails.Tsinghua.edu.cn