



上海财经大学  
SHANGHAI UNIVERSITY OF FINANCE AND ECONOMICS



# 智能素养与计算社会科学方法论

## 社会科学中的仿真计算方法

主讲人：邵志芳

上海财经大学



# 基本信息

---

◆ 联系方式:

Email: shao.zhifang@mail.sufe.edu.cn

Tel: 15921135262 (微信同号)

◆ 公邮: 可登录公邮下载上课用软件**Arena**

下载路径: 登录公邮—文件中心—下载安装

用户名: shufesim@163.com

密 码: simulation

◆ 教师简介: <http://simecv.sufe.edu.cn/page.aspx?id=71>



# 教学目的和要求

---

## 教学目的:

掌握仿真技术的基本概念、原理和方法，培养对复杂社会现象的敏锐洞察力和解决问题的能力，能够通过简单的仿真实验增强实践能力。

## 基本要求:

1. 掌握仿真的一般原理和方法
2. 掌握仿真软件的基本使用方法
3. 理解如何通过仿真方法解决量化决策问题



# 教材及参考资料

- ◆ 指定教材： 邵志芳，《决策仿真实验》，上海财经大学出版社  
邵志芳，《经济管理中的仿真方法》，清华大学出版社

## ◆ 参考书目及网站：

### 专业书籍：

- 朱文海、郭丽琴，《智能制造系统中的建模与仿真：系统工程与仿真的融合》，清华大学出版社，2021.12
- [美] 杰瑞·班克斯（ Jerry Banks）、[美] 约翰·S.卡森二世（John、S.Carson、II）、[美] 巴里·L.尼尔森（ Barry L.Nelson），《离散事件系统仿真（原书第5版）》，机械工业出版社，2019年4月
- (美)凯尔顿(Kelton,W.D.) 等著，周泓等译，仿真使用Arena软件，机械工业出版社，2007-1-1

### 推荐期刊：

- 《系统仿真学报》、《计算机仿真》

- ◆ 网站： [www.simulway.com](http://www.simulway.com)（仿真专业论坛）



## 3-1 仿真概述



# 目录

---

- ❑ 引例：工商银行应该安装几个座位？
- ❑ 什么是仿真？
- ❑ 为什么要仿真？
- ❑ 先进仿真技术有哪些？
- ❑ 怎么应用仿真？ 几个案例
- ❑ 仿真与数字孪生、AI数字人

# 引例：工商银行应该安装几个座位？

## 背景

- ❑ 假设工商银行国定路支行只有1个柜员为顾客服务
- ❑ 顾客按指数分布的间隔时间到达，均值为5分钟
- ❑ 柜员服务时间也是指数分布，均值4分钟
- ❑ 每天工作8小时



# 引例：工商银行应该安装几个座位？

## 问题

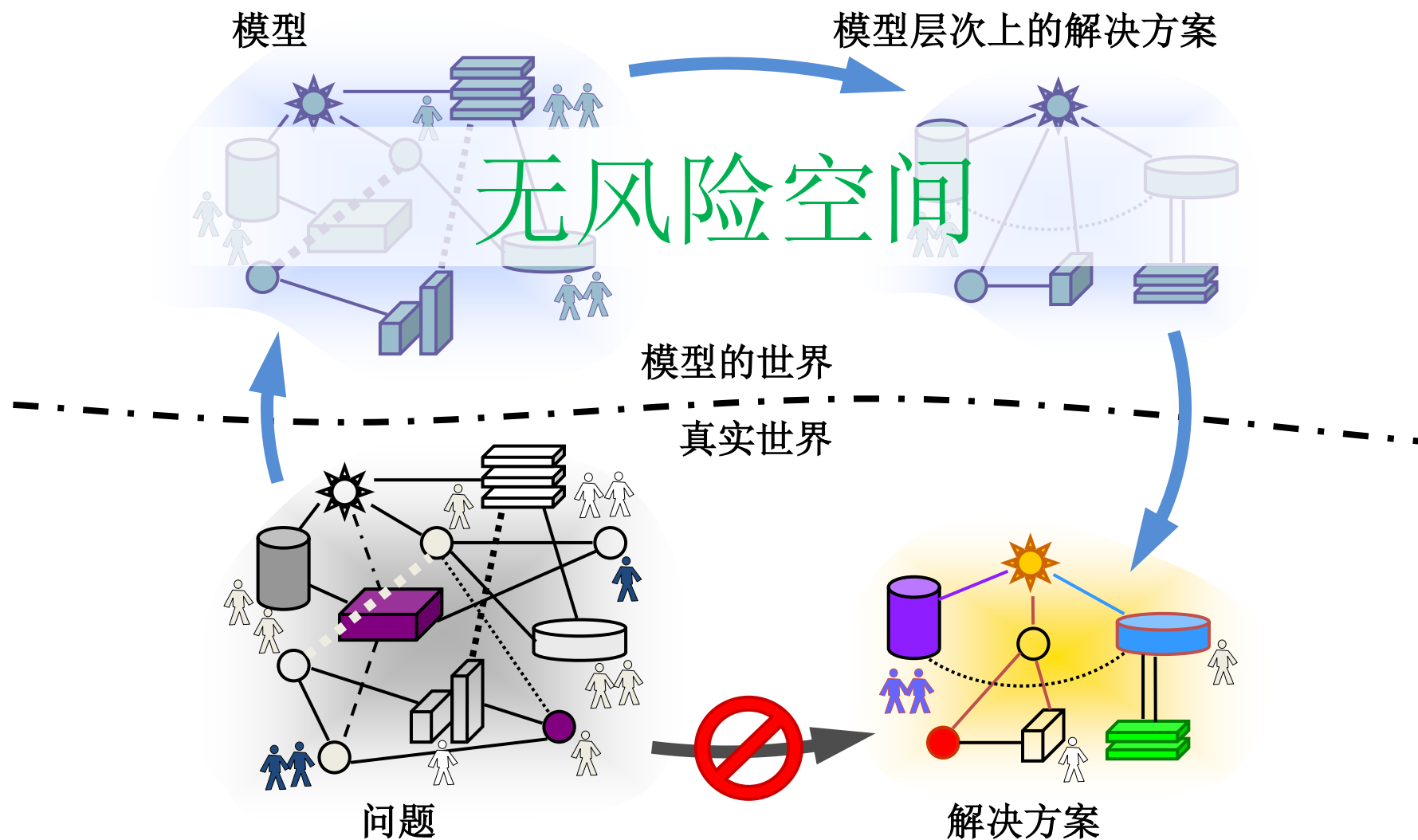
- ❑ 网点经理想知道最少应该安装多少座位，才能尽可能不让排队顾客站着（即最长排队是多少）？
- ❑ 顾客排队的平均等待时间、最长等待时间是多少，顾客会不满意吗？
- ❑ 平均队长、最长队长是多少，会不会排队太长了？
- ❑ 柜员是否太忙，即其利用率是多少？

如何解决？





# 模型



# 典型的几种模型

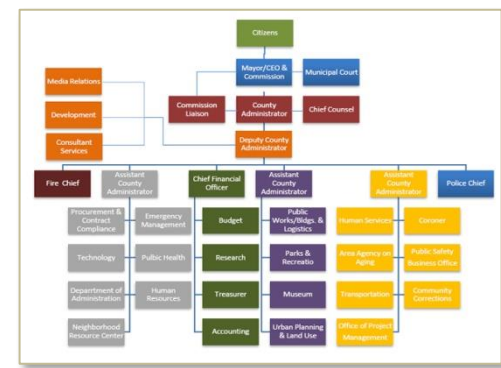
物质模型



思维模型



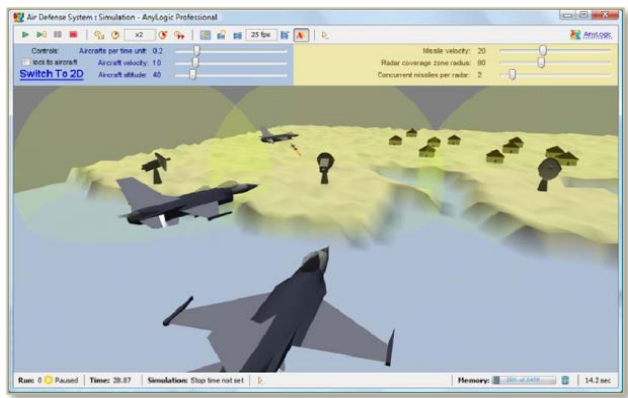
图表模型



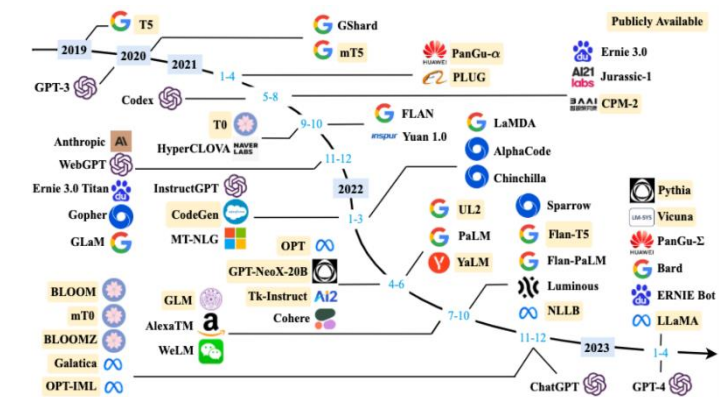
数学模型

$$\begin{aligned} \vec{F} &= m \vec{a} \quad \vec{p} = m \vec{v} \quad KE = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{p^2}{2m} \quad W_{\text{ext}} = \Delta(KE) = KE_f - KE_i \quad A_{\text{photo}} = 4\pi r^2 \\ \frac{R}{mv^2} &= k \frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \epsilon_0 = 8.85(10)^{-12} \left[ \frac{C^2}{N m^2} \right] \quad k = 8.99(10)^9 \left[ \frac{N m^2}{C^2} \right] \quad k = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \quad A_{\text{cath}} = \pi r^2 \\ F &= k \frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad e_0 = 8.85(10)^{-12} \left[ \frac{C^2}{N m^2} \right] \quad e_0 = 8.85(10)^{-12} \left[ \frac{C^2}{N m^2} \right] \quad V_{\text{photo}} = \frac{4}{3} \pi r^3 \\ E &= \frac{F}{q} \quad E = k \frac{q}{r} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{r^2} \quad V = k \frac{q}{r} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{r} \quad V = \frac{U}{q} \quad \sim e^{-l/RC} \\ \sum_{\text{surf}} E_{\perp} \Delta A &= \frac{q}{\epsilon_0} \quad Q = VC \quad C = \frac{A \epsilon_0}{d} \quad \sigma = \frac{Q}{A} \quad V = Ed \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad U = \frac{QV}{2} = \frac{CV^2}{2} = \frac{Q^2}{2C} \\ \sum_{\text{junc}} I_j &= 0 \quad \sum_{\text{loop}} V_j = 0 \quad V = IR \quad P = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R} \quad R_{\text{ser}} = R_1 + R_2 \quad \frac{1}{C_{\text{par}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \\ F &= q v B_{\perp} = q v B \sin(\theta) \quad B = \frac{\mu_0 I}{2 \pi r} \quad \mu_0 = 4 \pi (10)^{-7} \text{ Tm/A} \\ F &= IL B_{\perp} = I L B \sin(\theta) \quad \sum_{\text{curv}} B_{\perp} \Delta l = \mu_0 I_{\perp} \end{aligned}$$

仿真模型



语言模型



# 引例中：银行

- 你将花费几秒钟找到解析解：

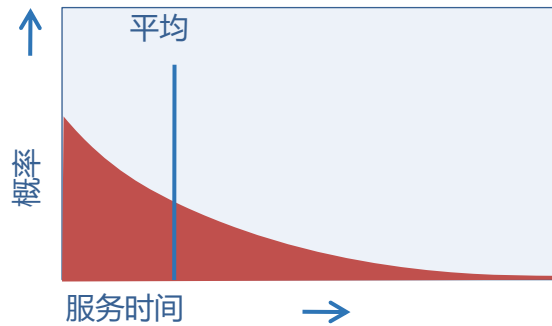
平均等待时间\*  $w = \frac{\lambda b^2}{1 - \lambda b}$  , 其中  $\lambda$  到达速率  
 $b$  - 平均服务时间

- 这只适用于泊松流客户（以恒定速率独立到达）
- 指数分布的服务时间。



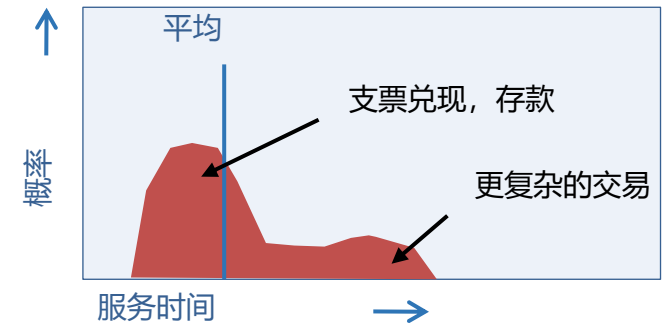
# 银行解析方法的假设

指数分布的服务时间：



这些假设意味着什么呢？  
是客户独立到达  
但这仅仅是适合银行的假设

这是远离现实的。  
分布更可能是这种形状：



网络搜索  
将提出  
另一个公式



$$w = \frac{\lambda b^2 (1 + C_b^2)}{2(1 - \lambda b)}, \text{ 其中}$$

$C_b$  - 服务时间的变化系数

## 如果案例增加假设

如果假设有几个(K) 出纳员  
这就是所谓的“多服务排队  
模型”。

**解析解:**  $w = \frac{Pb}{K(1-\rho)}$

其中  $\rho = \frac{\lambda b}{K}$

$$P = \frac{(K\rho)^K}{K!(1-\rho)} P_0$$

$$P_0 = \left[ \frac{(K\rho)^K}{K!(1-\rho)} + \sum_{i=0}^{K-1} \frac{(K\rho)^i}{i!} \right]^{-1}$$

- 系统利用率

- 所有出纳员都忙碌的概率

- “银行里没有客户” 的概率

\* 但是，这只适用于泊松流客户和指数分布的服务时间。

**没有解析解**

$\Sigma \neq$

如果服务时间有不同的分布？

即使对于这样一个简单系统，也没有解析解。

# 总结

在现实生活中，过程更为复杂：

- 只有一些特定的员工可以做一些交易；
- 客户可能被引导给其他员工；
- 出纳员可能共享资源，如打印机或复印机；
- 不同的员工可能有不同的技术和能力
- ...

如果解析结果存在，如何找到它？

几乎过程中的任何变化都使得原有的解析解无效。

**解析结果几乎不存在**



对于这种系统，  
有可预见的复杂性和保证结果的  
唯一分析方法是仿真建模。

**仿真建模**

# 仿真模型特点

## □ 这是“可执行的”模型

- 一组规则使我们从目前的状态获得系统在时间上的下一个状态

## □ 模型生成系统在时间上的轨迹

- 当我们前进时，输出被“观察到”

输入

$X_1$

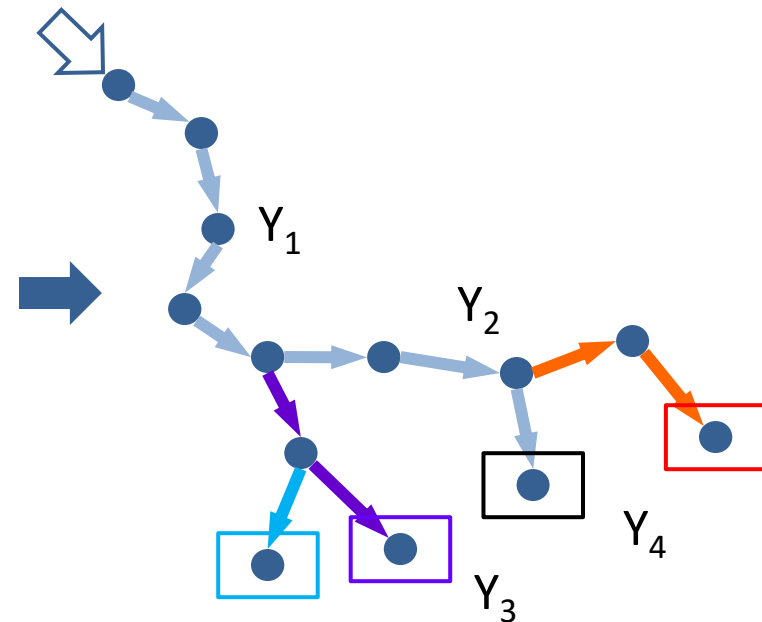
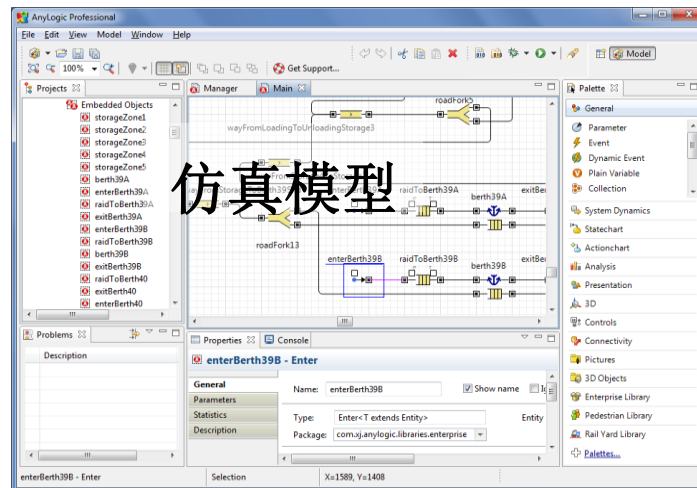
$X_2$

$X_3$

$X_4$



仿真模型





# 模型对比

## 解析模型

静态的、确定性的

用于寻找答案且容易实现

难以捕捉时间、动态系统

难以捕捉复杂因果关系

不能随时间运行模型

难以建立与时间相关的约束



## 仿真模型

动态的、可执行的

能够捕捉任何复杂度的因果关系和时间约束

易于捕捉问题的随机本质

能够详细描述模型中的行为

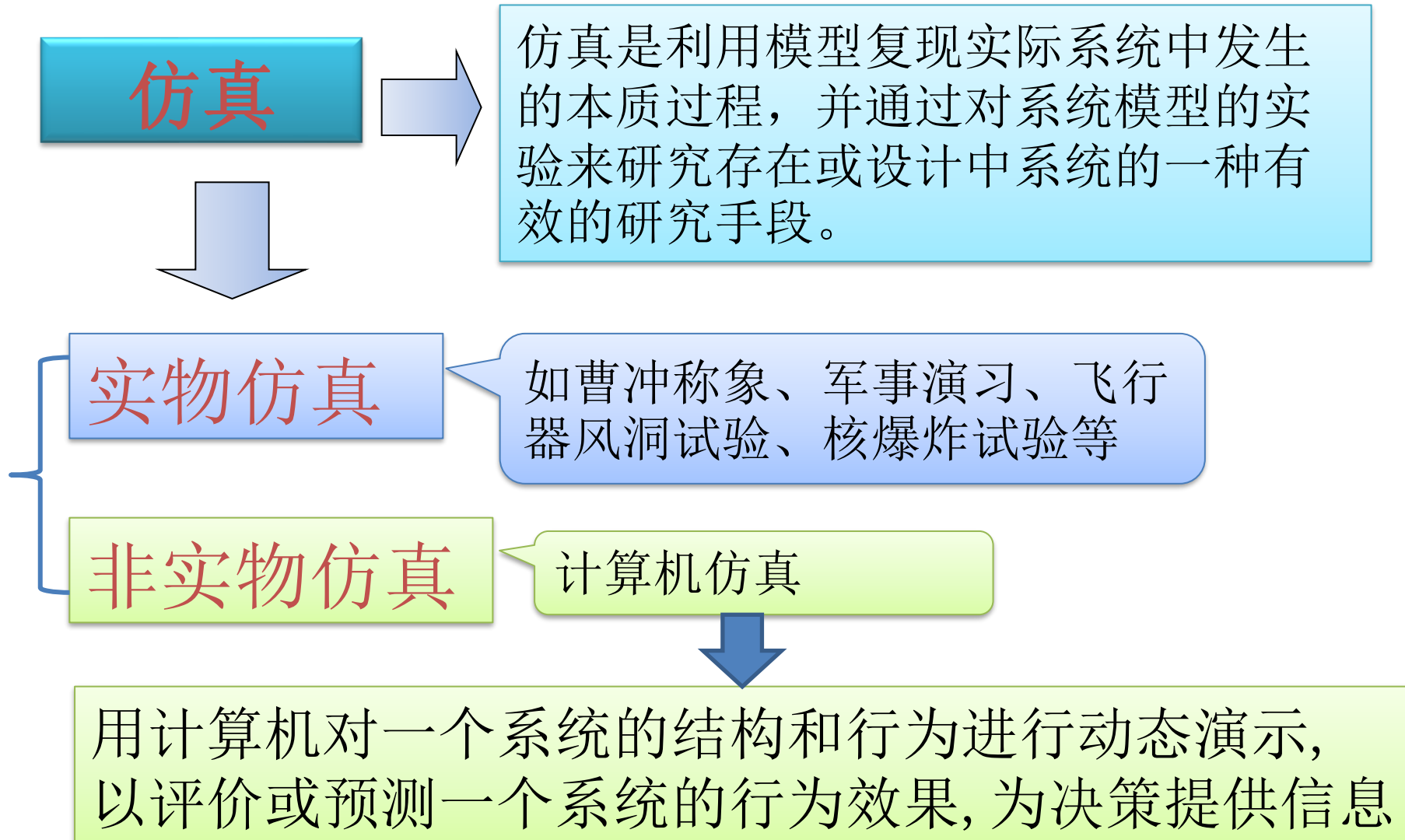
可以动态查看各项指标

建立模型需要更多的时间和技巧





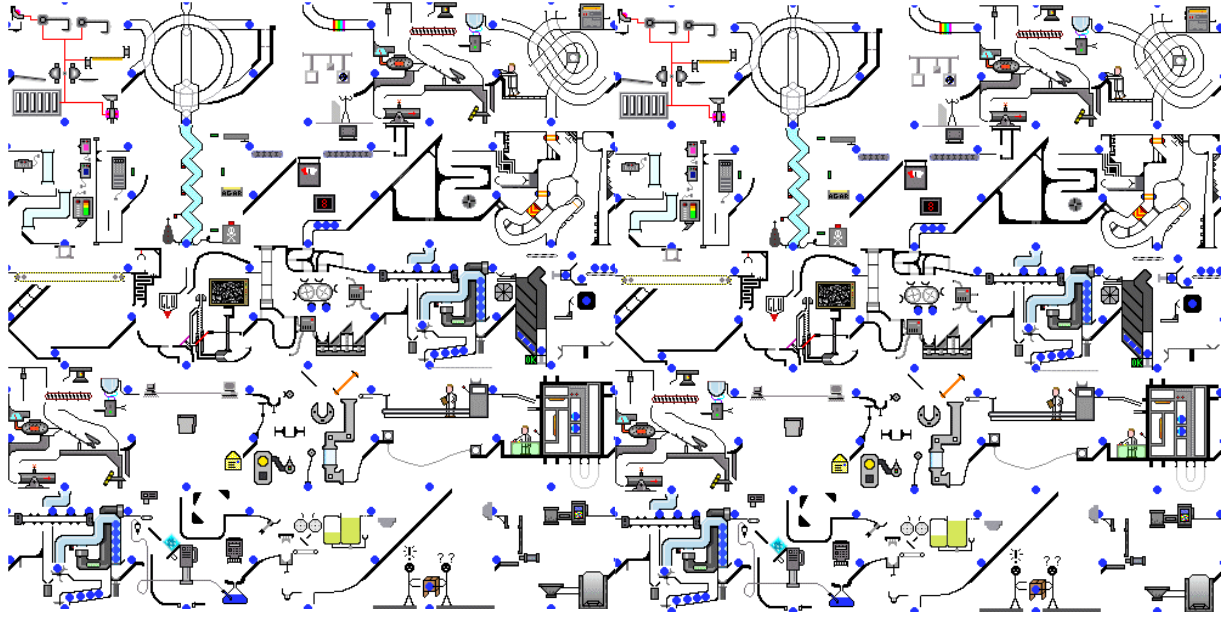
# 什么是仿真？



# 为什么要仿真？

## 优势

- ❑ 降低成本和风险：
- ❑ 提高效率和灵活性：
- ❑ 增强安全性：
- ❑ 可重复性和提高精度
- ❑ 解决复杂问题。



## 关键驱动因素——复杂性

- ❑ 有太多的参数和太多的方案组合
- ❑ “简化假设”的使用对结果的有效性有巨大的影响
- ❑ 易于可视化结果——审核系统的动态行为



# 仿真的分类

---

- 根据模型的特征分类：连续系统仿真及离散事件系统仿真
- 按功能及用途分类：工程仿真、训练仿真和决策支持仿真
- 根据仿真时钟与自然时间的关系分类：实时仿真、亚实时仿真和超实时仿真
- 按照参与仿真的模型的种类不同：物理仿真、半物理仿真和数字仿真
- 按系统数学模型描述方法分类：定量仿真和定性仿真



# 先进仿真技术有哪些？

## □ 分布交互式仿真技术

- 可以实时计算并生成一个反映实体对象变化的三维图形环境。通过计算机等设备，实验人员不仅可以“**进入**”这种虚拟环境（主要是视觉听觉环境），直接**观察**事物的内在变化并与其发生相互作用，还能通过开放式的中断处理来模拟各种随机事件，给人一种“身临其境”的真实感。





# 先进仿真技术有哪些？

## ❑ 虚拟现实（VR）与分布虚拟现实（DVR）技术

利用电脑模拟产生一个**三维空间**的**虚拟世界**，提供使用者关于视觉、听觉、触觉等感官的模拟，让使用者如同身历其境一般，可以及时、没有限制地观察三度空间内的事物。又称“灵境”、“幻境”。

每次进入《三体》游戏世界，汪淼都需要穿上虚拟现实装备，装备包括一个全视角显示头盔和一套感应服构成的“**V装具**”（剧中名称）。通过记录视网膜特征，感应服可以使肉体感觉到游戏中的击打、刀刺和火烧。





# 先进仿真技术有哪些？

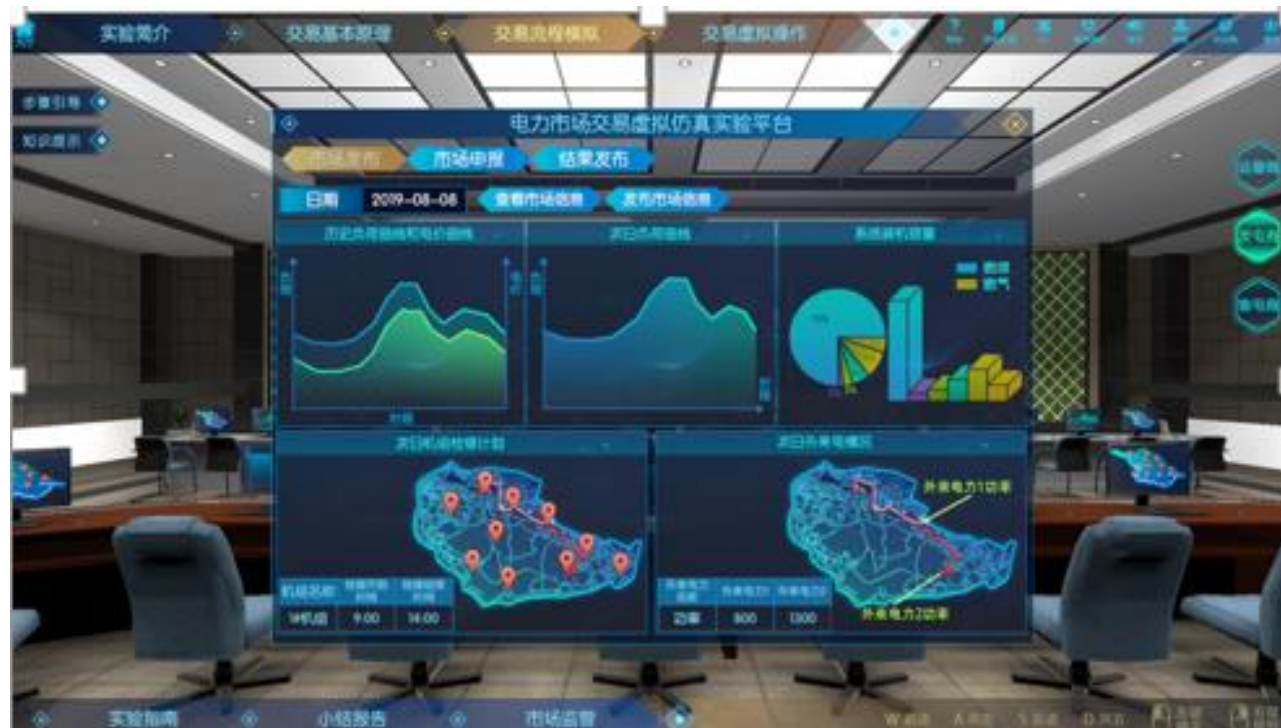
## □ 智能仿真技术

- 智能仿真具有学习、推理、规划及辅助决策的能力
- 广泛用于复杂大系统的仿真研究
- 如Aspen仿真模型

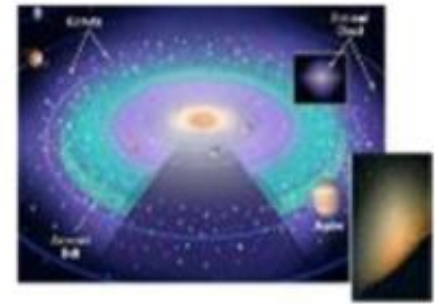
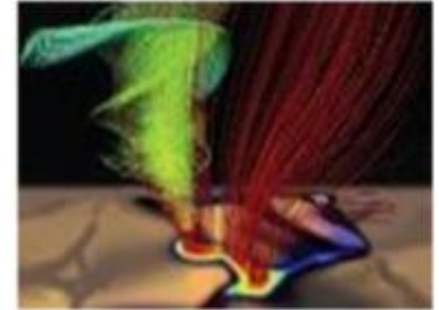
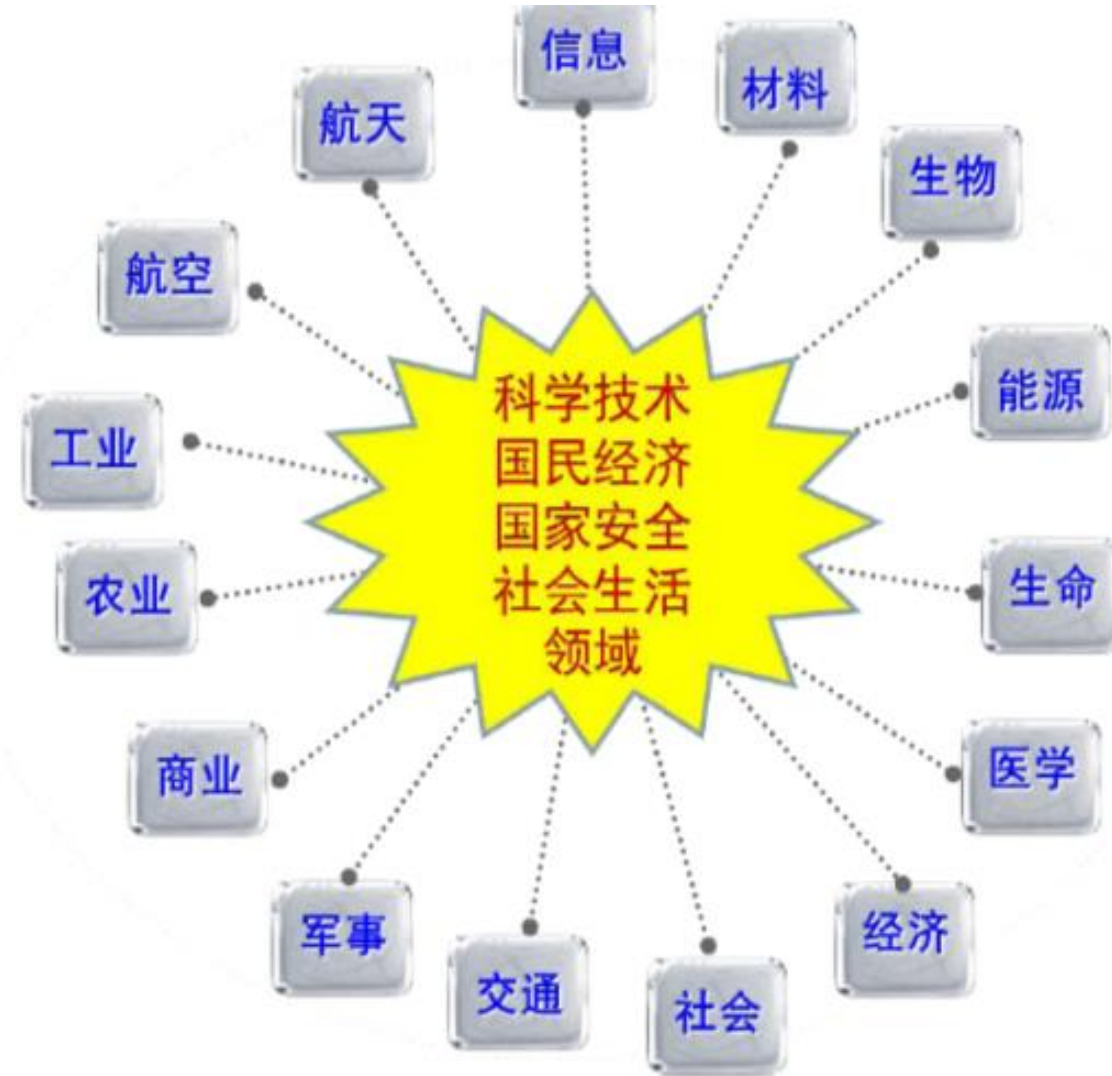
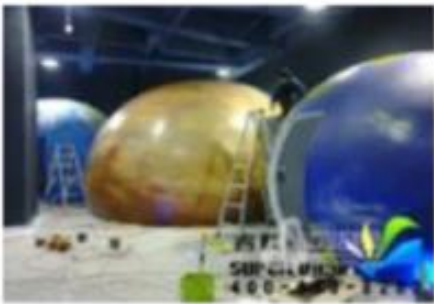
能源系统

反恐

社会经济系统



# 仿真的应用领域





# 仿真应用领域

## 高抽象层次

[最小细节  
宏观层次  
战略层次]

## 中抽象层次

[中等细节  
中观层次  
战术层次]

## 低抽象层次

[最大细节  
微观层次  
操作层次]

### 聚合、全局反馈回路、影响、趋势...

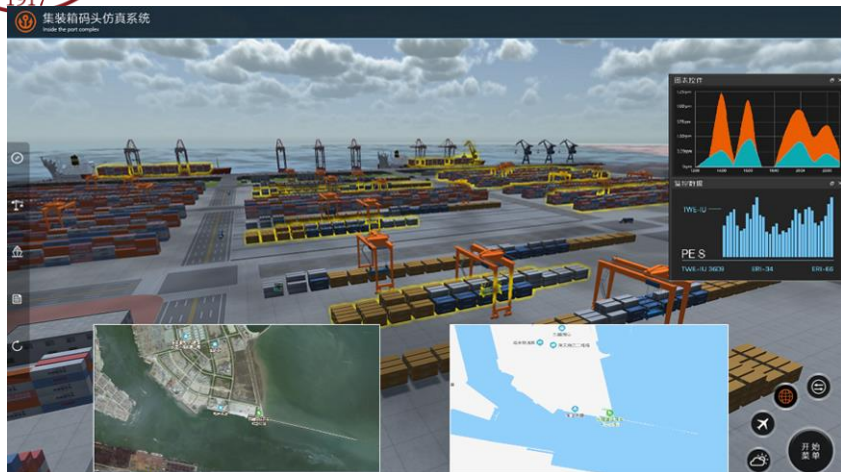
- 市场和竞争
- 社会系统
- 项目和产品管理
- 生态系统
- 人力资源动态
- 健康经济学
- 能源供应网络
- 资产管理
- 供应链
- 保健
- 交通运输
- 业务流程
- 制造
- 服务系统
- 战场，指挥和控制
- 仓储物流
- 计算机硬件
- 行人动态
- 物理控制系统

### 单独对象、确切的大小、速度、距离、时间...

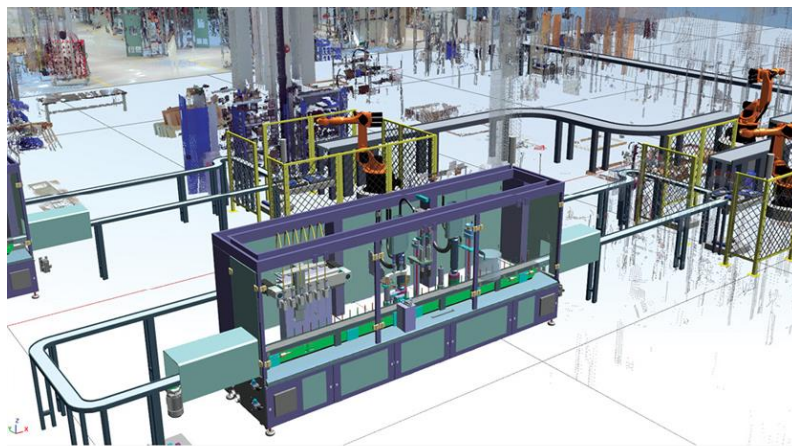




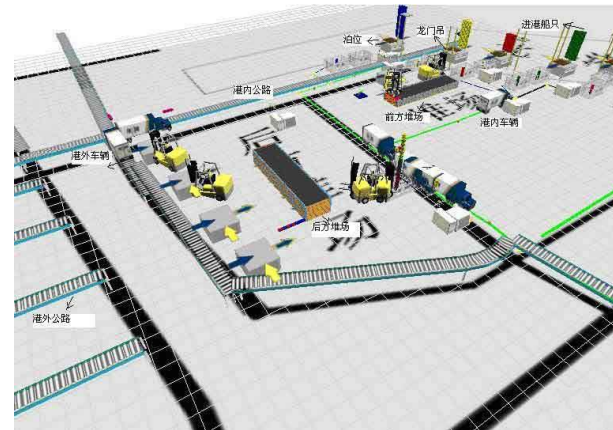
# 仿真应用领域——几个截图



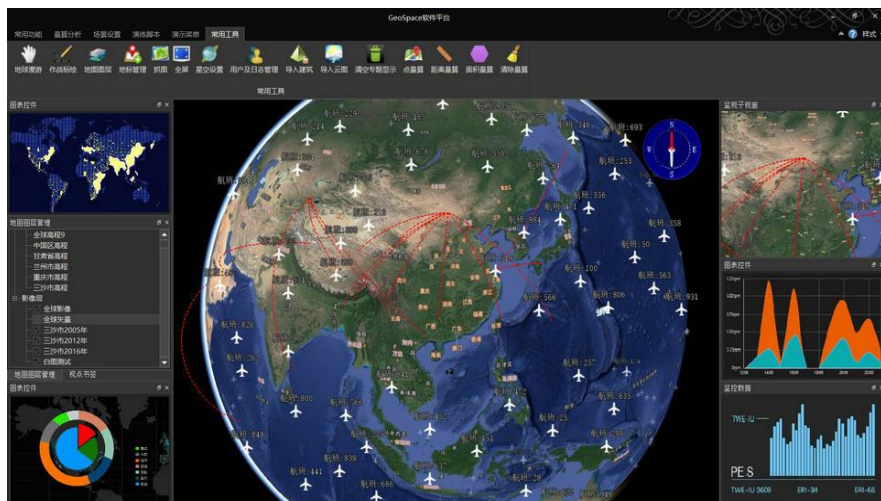
港口物流仿真



智慧工厂生产仿真



生产线设计规划仿真



智能交通大数据可视化与应急仿真系统



无人机战争仿真

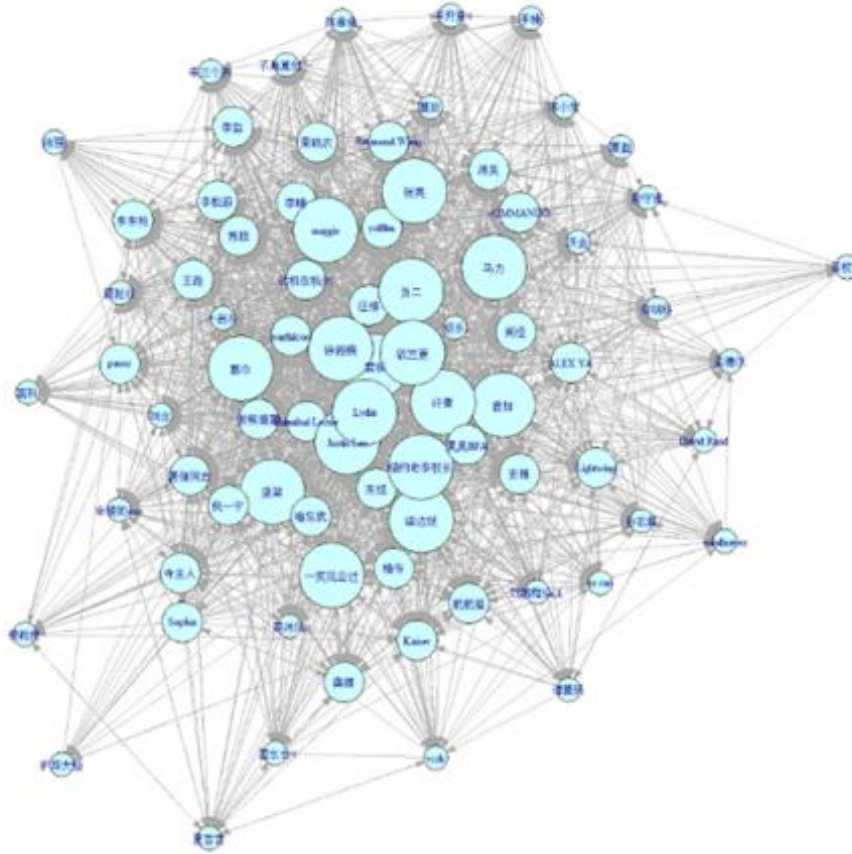


综合能源系统仿真

# 仿真在社会科学领域的应用

## 1. 社会网络分析

模拟和分析网络中的个体互动、信息传播以及网络结构的演变，有助于揭示社会网络中的关键节点、传播路径以及网络结构的稳定性等问题。



基于社会网络分析的网络网络问答社区知识传播

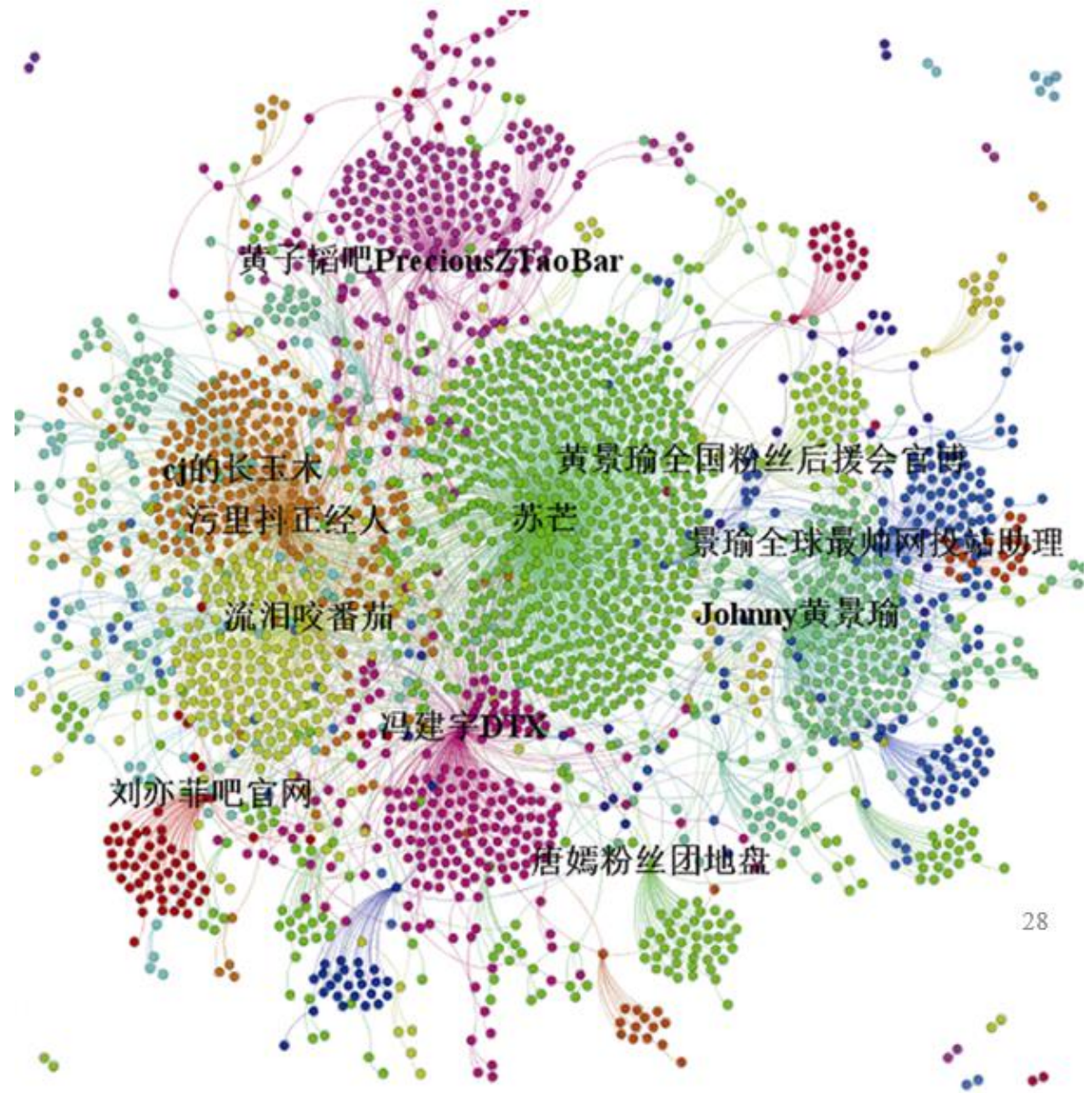




# 仿真在社会科学领域的应用

## 2. 舆论传播研究

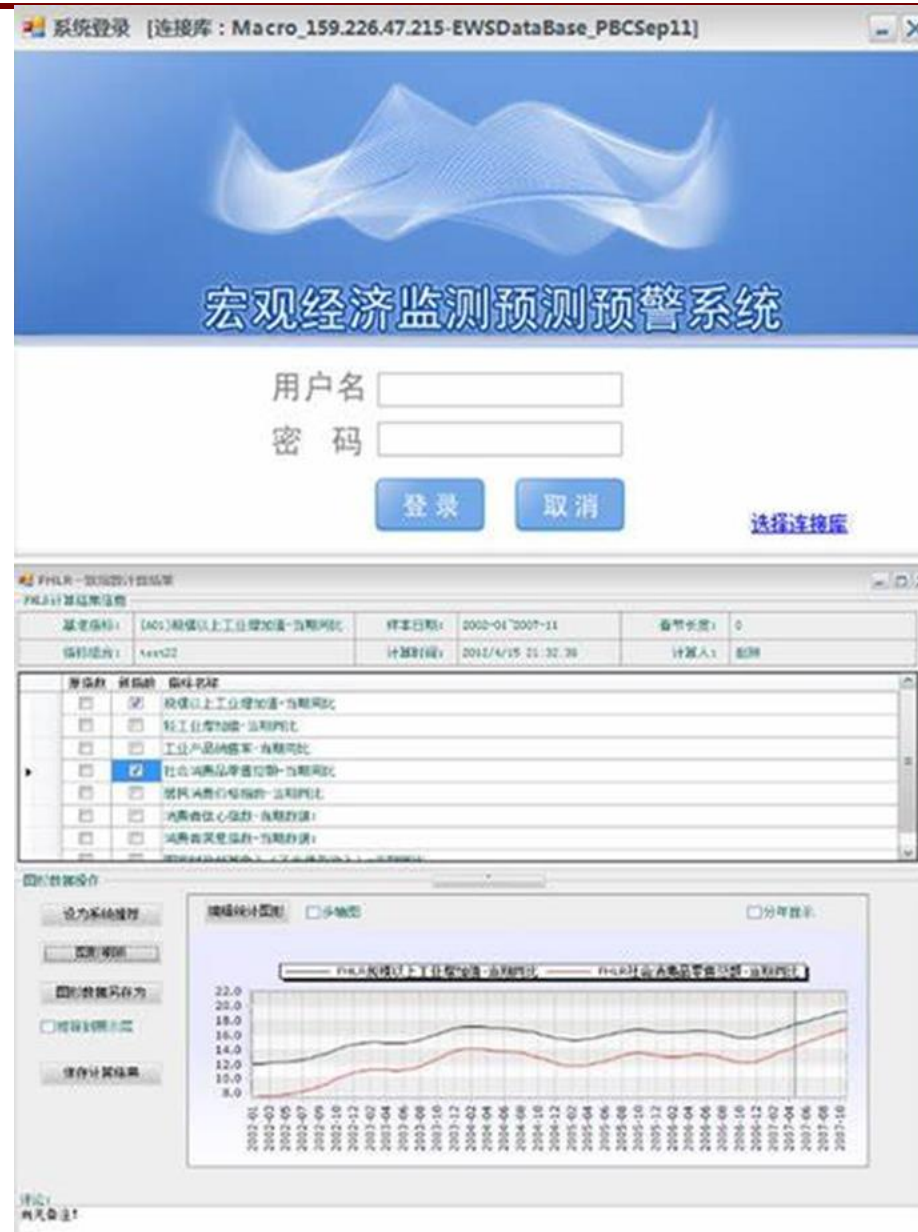
模拟不同情境下的舆论形成、扩散和演化过程，评估不同媒介、不同群体以及不同策略下的舆论传播效果，从而评估各种因素对舆论走向的影响，有助于政策制定者更好地理解公众舆论的形成机制，制定更有效的舆论引导策略。





### 3. 经济政策评估

通过构建经济模型，研究人员可以模拟政策实施后市场的反应、企业的行为以及消费者的选择等，从而预测政策的经济效果。这种分析方法有助于政策制定者更全面地评估政策的可行性和效果，为决策提供科学依据。

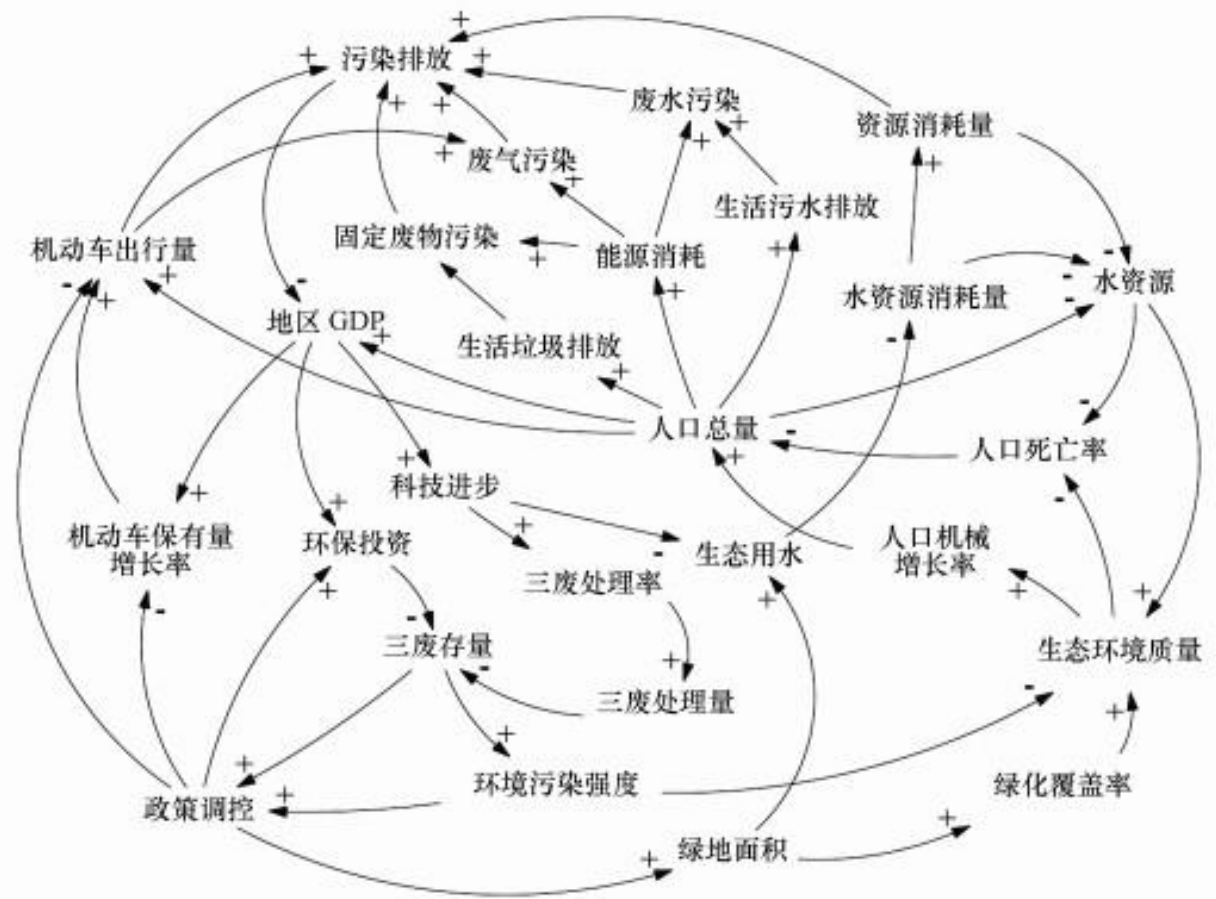


经济监测预警与政策模拟仿真平台  
——中国科学院国家数学与交叉科学中心

# 仿真在社会科学领域的应用

## 4. 社会动力学研究

模拟社会系统的复杂互动和演化过程，例如社会冲突、文化扩散、社会变迁等现象，从而揭示社会现象背后的深层机制和规律。这种分析方法有助于深入理解社会系统的复杂性和动态性，为社会科学研究提供新的视角和方法。



基于系统动力学的城市生态系统建设路径研究





# 仿真的应用领域

## 发展仿真技术的重要性

### PREFACE

This document is the final report of the findings and recommendations of the Blue Ribbon Panel on Simulation-Based Engineering Science. The report contains recommendations critical to the acceleration of advances in Simulation-Based Engineering Science (SBES), and it identifies several areas in which SBES can play a remarkable role in promoting developments vital to the health, security, and technological competitiveness of the nation.

For over a decade, the nation's engineering and science communities have become increasingly aware that computer simulation is an indispensable tool for resolving a multitude of scientific and technological problems facing our country. To define the field of computer simulation more precisely and to assess its

**计算机仿真是解决我们国家面临的大量科学与技术问题的一个不可或缺的工具**

...the challenges and potential benefits of SBES, as well as the barriers to its development. Furthermore, the Panel was tasked with making recommendations on how the discipline could be nurtured within academia, industry, national laboratories, and government agencies. A second workshop on SBES was held in September 2005, at which time the Panel received input on SBES from a broad constituency.



### Inventing a New America through Discovery and Innovation in Science, Engineering, and Medicine

*A Vision for Research and Development in Simulation-Based Engineering and Science in the Next Decade*

2010年4月

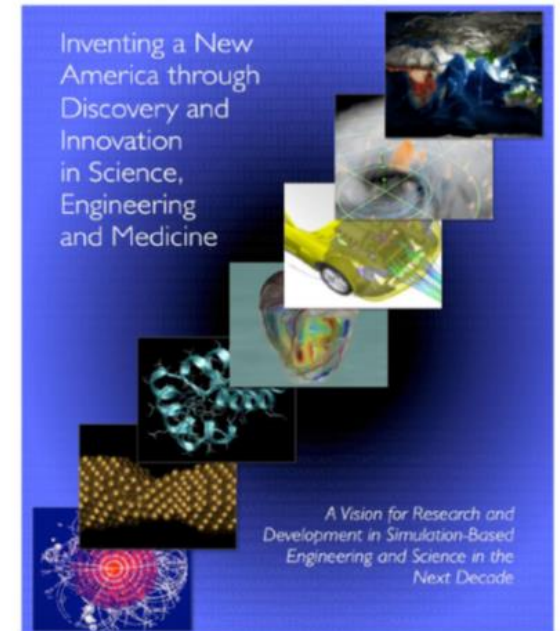
Peter T. Cummings  
Vanderbilt University and Oak Ridge National Laboratory

Sharon C. Glotzer  
University of Michigan

With contributions from:  
John Allison, Ford Motor Company  
Brian Atney, University of Michigan  
Jim Davis, University of California-Los Angeles  
Sangbae Kim, Mordridge Institute for Research  
Padma Raghavan, The Pennsylvania State University



World Technology Evaluation Center, Inc.  
4800 Roland Avenue, Suite 201  
Baltimore, Maryland 21210





# 怎么应用仿真？——几个案例

---

- 广州港集装箱码头仿真
- 隧道救援仿真
- 钢铁厂冶炼流程仿真
- 智能物流仿真
- 分级诊疗仿真

# 仿真与数字孪生

## 数字孪生是什么？

“数字孪生”是现实物理世界与虚拟世界的双胞胎。

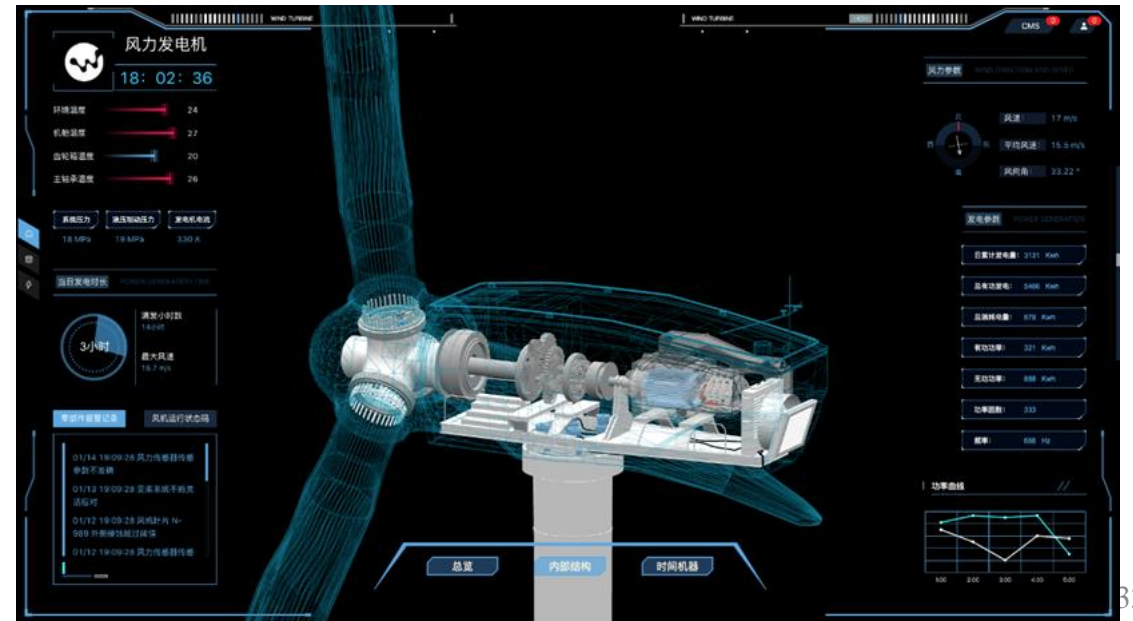
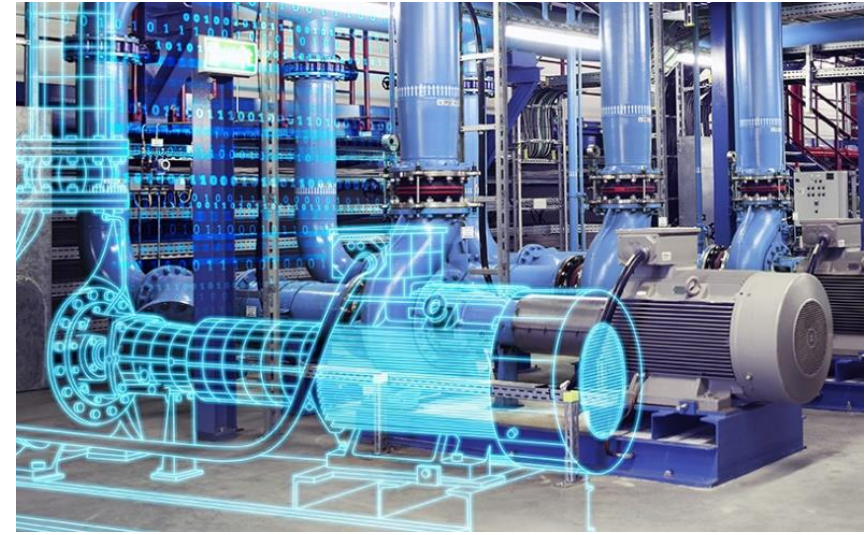
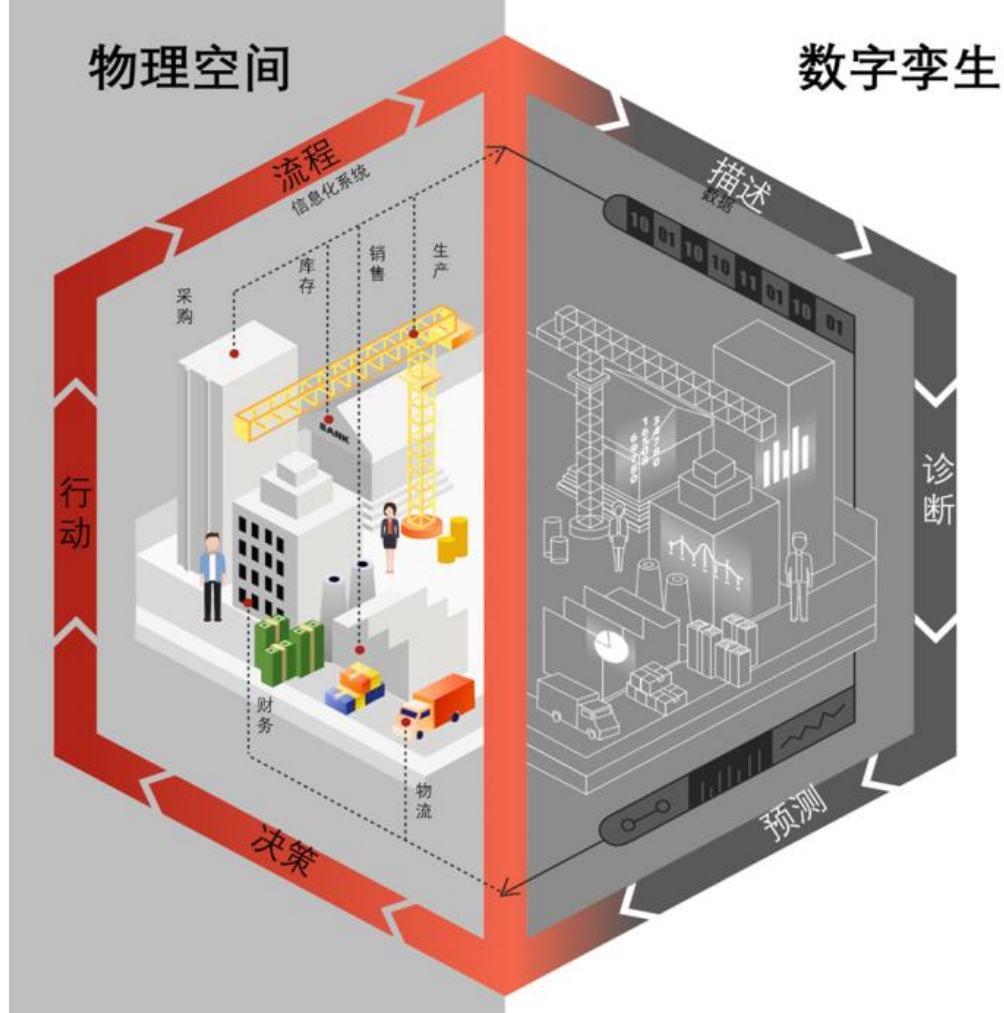
双胞胎之一是存在于现实世界的实体

双胞胎的另一个是存在于虚拟数字世界中，与现实世界对称的数字“克隆体”

实时追踪数字“克隆体”每一部分的运动与变化，更好地进行监测和管理。











# 数字孪生



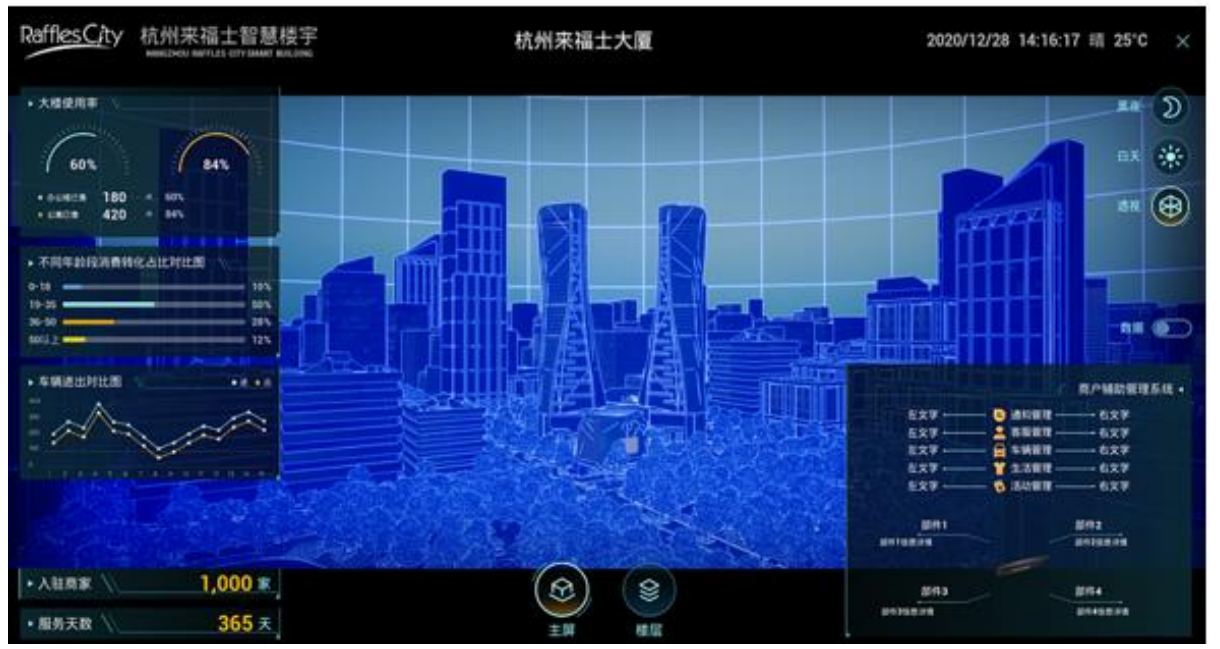




# 数字孪生



发动机生产线数字孪生系统



杭州来福士大厦智慧楼宇



# 仿真与AI数字人





# 思考题

---

仿真与数字孪生、AI数字人有何联系？

请通过查阅资料谈谈你对仿真、数字孪生、AI数字人的看法

要求：要有自己的理解和观点



谢谢!

Thank you

