

# 物流系统建模与仿真

## 第三节 仿真计算的理论基础

# 1系统动力学

- › 系统动力学是上世纪50年代以来对科学发展具有变革性的重要分支学科之一。
- › 系统动力学曾经开创了多学科交叉融合的一个高峰时期，将计算机建模与管理学、经济学融合在一起，在理论上还融入了系统论、信息论、控制论等学科。

## 主要人物

- › 杰伊·莱特·福里斯特（Jay W Forrester），出生于1918年的美国，2016年11月16日在美国Concord的家里平静离去，一生跨过了几乎一个世纪。
- › Forrester早年通过大学的学习成为一名工程师，强烈的好奇心驱使他发明创造了很多实用的东西，其中包括1940年代研究了伺服系统、磁芯存储器等对计算机科学具有重大意义的东西，被认为是RAM的先驱者。
- › 战争年代，Forrester在MIT工作期间帮助军方设计拦截敌机的雷达系统，并在航空母舰上长期研究拦截鱼类轰炸机的技术。战争结束后在前期基础上完成了首个实时计算系统，1956年在厌倦了数字计算研究之后离开了计算机领域。



System Dynamics建立者,他的专著《*Industrial Dynamics*》是第一部运用系统动力学研究商业周期问题的书。

## 主要人物

Forrester直到去世，在MIT工作了70多年，在那里建立了系统动力学的研究中心并一直维持到现在。

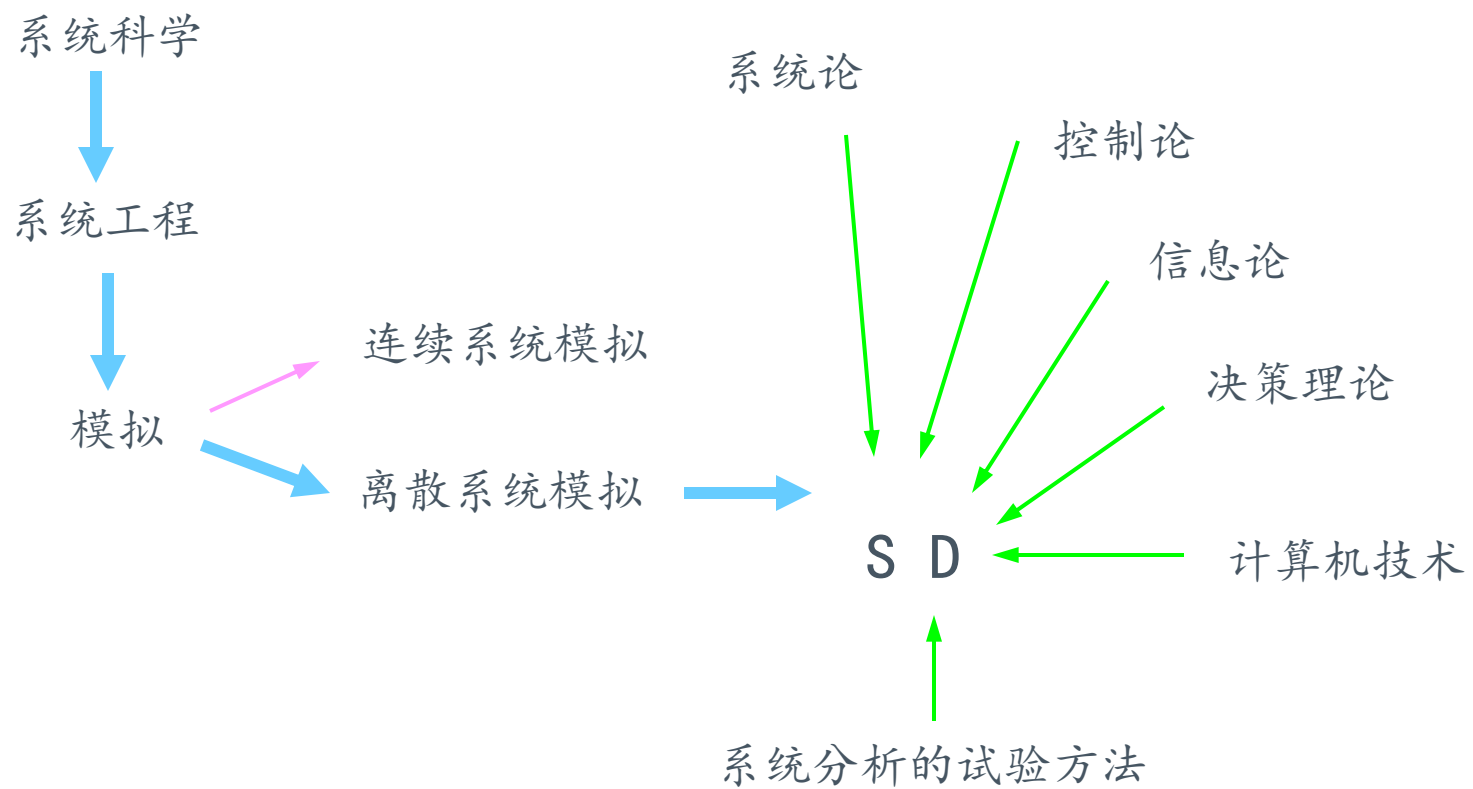
在当时，从来没有人想过管理学可以和计算机科学扯到一起，更不会想到计算机还可以用来推演系统的发展变化。此后在各学科相继诞生了生物系统动力学、气象系统动力学、天体系统动力学、分子系统动力学等各学科当中的分支方法，而系统动力学发展到今天也成了几乎所有商科高校必学的仿真方法。



1961, Industrial Dynamics  
1968, Principles of Systems  
1969, Urban Dynamics  
1971, World Dynamics

## 系统动力学引入中国

- › 国际SD学会（System Dynamics Society），致力于SD、系统思考的理论及应用研究和推广的非营利性组织，各国SD分会20多个，会员遍及55个国家/地区。<http://www.systemdynamics.org/>
- › 1970s末引入，杨通谊、王其藩、许庆瑞、陶在朴、贾仁安等；
- › 1990年成立国际SD学会中国分会；
- › 1993年成立中国系统工程学会SD专业委员会；
- › 1987年成功举办第5届国际SD年会；
- › 2005主办SD与管理科学——2005亚太地区可持续发展国际会议；



## 2简单理解 “系统”

- › 一个人无法成为系统
- › 多个人，互相协调 对外形成一个组织
- › 系统：相对于个体的概念，由多个个体组成，每个个体具有一定功能
- › 例如：
  - 学校，由教学部门、行政部门、财务部门、后勤部门等组成一个系统
  - 企业，由生产、人事、管理、销售、采购等部门组成，各自承担一定功能使得这个组织运行起来

## 系统方程的类型

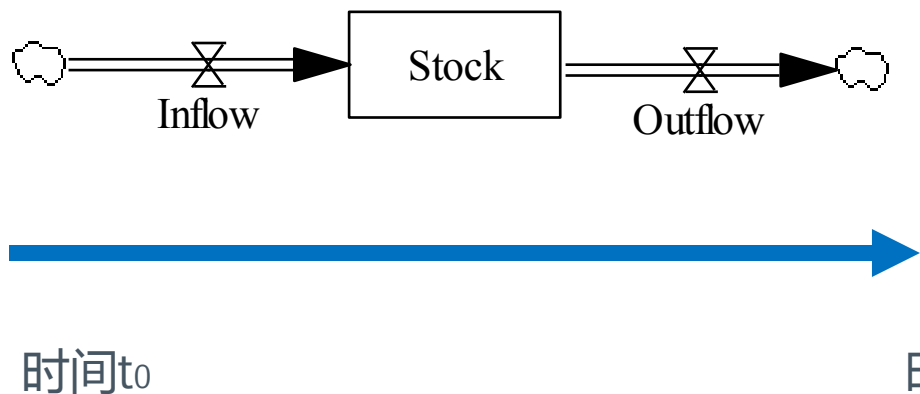
- › 存量（又称为积量）
- › 流量（又称为速率变量或率量）
- › 联系-流（主要包含两种类型：实物流、信息流）
- › 辅助变量（用于决策或表示外生变量，以及常量）



### 3从存量入手理解系统

- › 某存量 Stock，入库操作为 Inflow，出口操作命名为 Outflow
- › 时间 t 以天为单位

$$Stock(t_1) = Stock(t_0) + [Inflow(s) - Outflow(s)]\Delta t$$



# 从存量入手理解系统

## › 精确计算各时间的存量

时间间隔 $dt$       $Stock(t) = Stock(t_0) + \int_{t_0}^t [Inflow(s) - Outflow(s)] ds$

时间间隔 $\Delta t$       $Stock(t) = Stock(t_0) + [Inflow(s) - Outflow(s)] \Delta t$



时间 $t_0$     时间 $t_1$     时间 $t_2$                       时间 $t$

## 从存量入手理解系统


› 存量是个静态量，改变存量水平则需要率量

› 存量的表达式：

$$Stock = INTEGRAL(Inflow - Outflow, Original)$$

# 从存量入手理解系统

## › 时间间隔

时间步长	无穷小		相对小
可测算性	不可测算		可测算
符号	$dt$		$\Delta t$
存量计算方法	积分		累加
误差	完全无误差		有误差
分析方法	定性		定量

## 4流量-让系统动起来

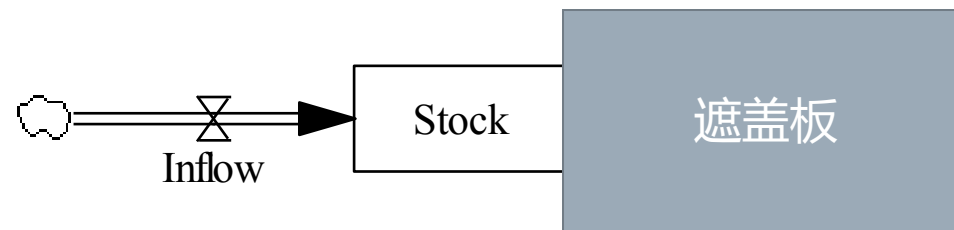
- › 流量 *Inflow* （率量）
  - 每个单位DT中进入存量的数量
  - 流量图中三要素
    - › 箭头：指示流量方向
    - › 阀门：调节流量
    - › 源（汇）：从‘源’来，或到‘漏’去
- › 流量的数学含义：

$$\frac{dStock(t)}{dt} = Inflow(t) - Outflow(t)$$



## 流量-让系统动起来

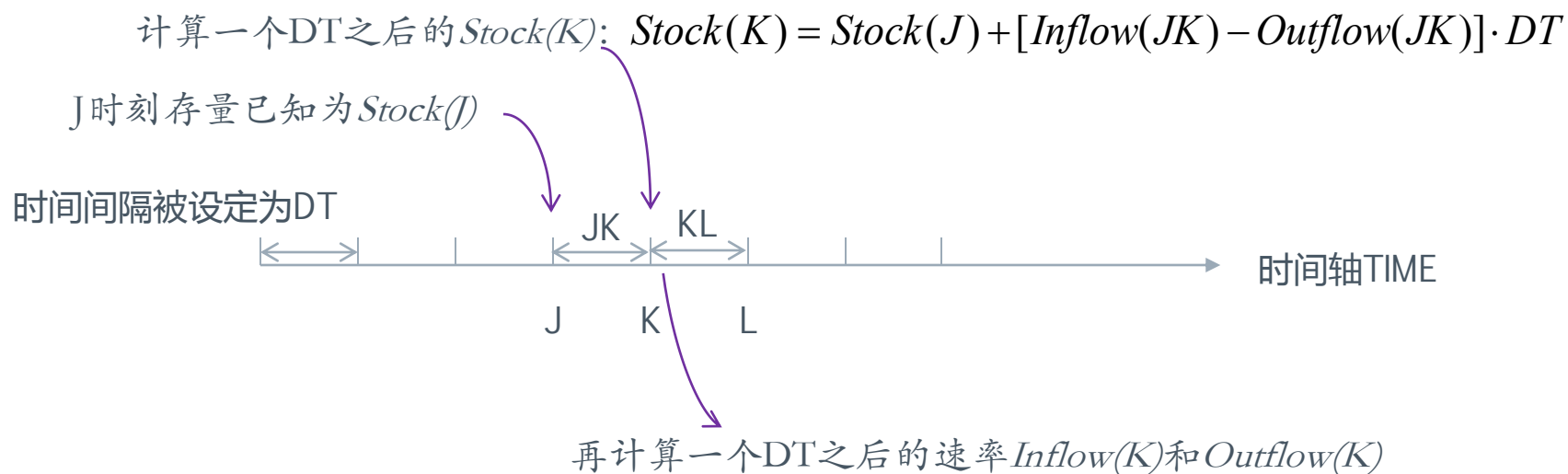
- › 严格的数学意义上，流量是瞬间值
- › 瞬间值
  - 现实中无法做到
  - 经济管理中没有意义
- › 仿真值
  - 时间轴被分为一定间隔的时间段
  - 时间段内的持续值代替瞬间值
  - 离散值代替连续值



Stock=INTEGRAL(Inflow-Outflow,60)  
Inflow=1.5  
Outflow=1.2

## 时间间隔与存量水平

- › 仿真中，时间间隔被设置为相对小的时间间隔，长度设为DT
- › 由于积分中的瞬时量无法获取，采用Euler方法近似计算存量



思考：Euler方法实质是假设DT时间段内的速率量保持恒定，这与大部分管理实际问题相符合

## 思考：

什么时候只能用Euler法计算而不能用Runge-Kutta法

- › Euler方法实质
  - 假设DT时间段内的速率量保持恒定，这与大部分管理实际问题相符合
  - 系统变化的速率很慢，时间间隔很短，Euler方法的误差很小
- › Runge-Kutta方法（龙格库塔法）
  - 不能假设速率在DT内是恒定的，估算平均增长速度
- › DT的选择如何影响精度
  - 偏大：误差扩大
  - 偏小：计算超出计算机范围



## 5存量在系统中的功能含义

- › 表征系统状态，提供行动的基础
  - 构成系统的基本要素
  - 动静相对，相互依存
- › 让系统出现惯性和记忆
  - 没有流量将不会改变
- › 延迟的来源
  - 所有延迟均涉及存量
  - 输入变化，而输出延后才发生变化
- › 产生不均衡
  - 存量吸收入流和出流的差异
  - 入流和出流之间产生波动的根源

## 练习：辨识存量、流量

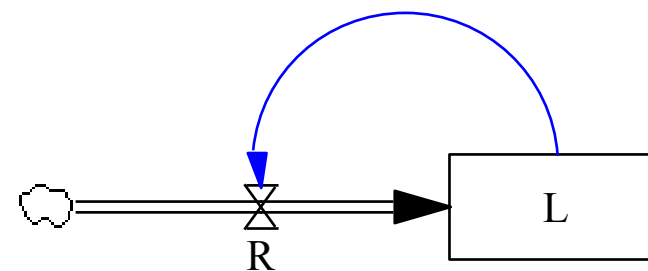
- 数学中，积分 导数
- 工程中，状态 变化速度
- 仓储管理，仓库库存 入库量
- 企业人事，录用新员工 企业员工数量
- 金融，现金流 资产负债表项目
- 生物，种群数量 死亡率

## 练习：辨识存量、流量

- › 飞行员在驾驶飞机时，飞机的高度，飞行的方向
- › 企业当中产成品的在库库存，原材料仓库总零备件
- › 股票的价值
- › 人的体温

## 6因果关系箭头

- › 建立起两个量之间的因果关系
- › 箭头指向意味着将L量导入到计算R量中



因果关系留作后续专门讲

## 案例：南审的猫

DYNAMO表达式

$cat = \text{INTEGRAL}(\text{birth} - \text{death}, 60)$

$\text{birth} = 0.6 \cdot cat$

$\text{death} = 0.5 \cdot cat$

观察该系统中的存量如何变化

数学模型

$$cat_{t+1} = cat_t + birth_t \cdot DT - death_t \cdot DT$$

$$birth_t = 0.6 \cdot cat_t$$

$$death = 0.5 \cdot cat_t$$

