

# 物流系统建模与仿真

## 第六节 系统方程规范

## DYNAMO语言

- › DYNAMO : Dynamic Models
- › 为系统动力学仿真提供的一套标准化表达式
- › 接近计算机语言，主要用于分析

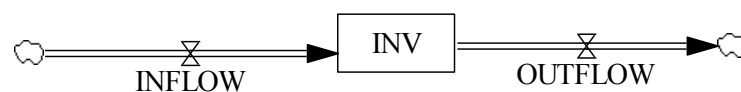
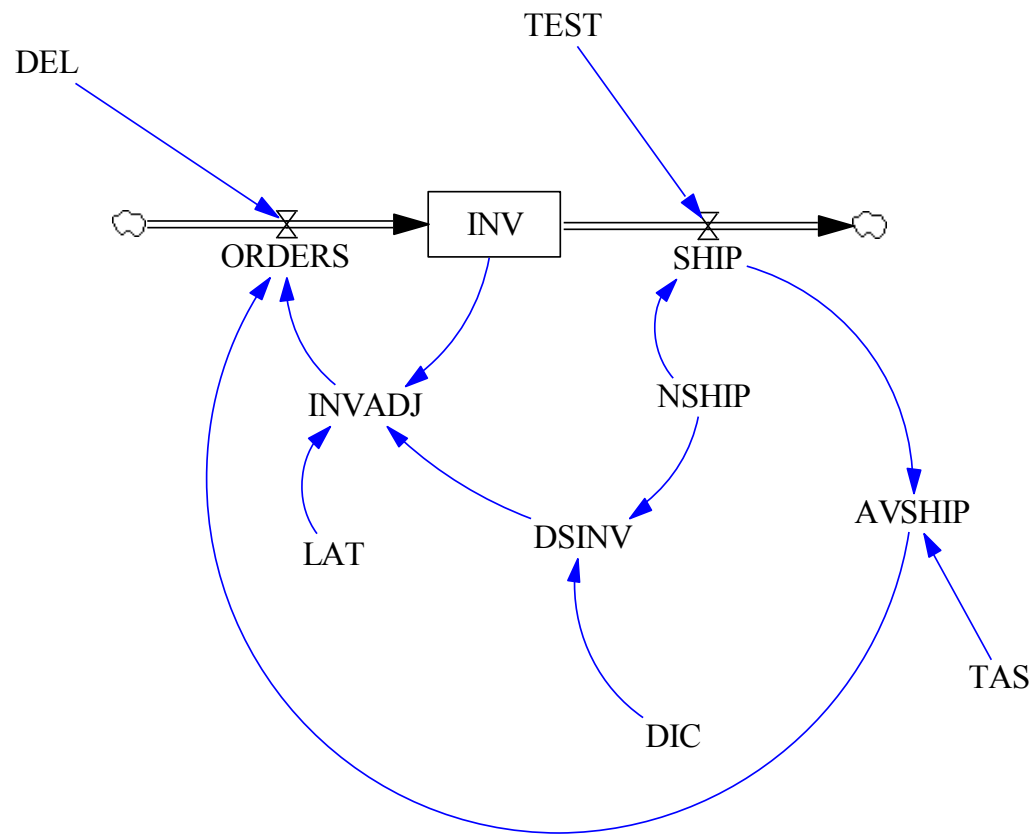
## DYNAMO语言

- › 出现早于计算机编程语言
- › 曾经作为仿真模型的计算机编程语言
- › 高度标准化，与仿真模型相适应
- › 依然作为建模表达式使用

# 系统的方程表达式

› 系统动力学方程：

- 动态平衡
- 尽可能简单
- 明确的方向
- 互相关联，单个方程无意义



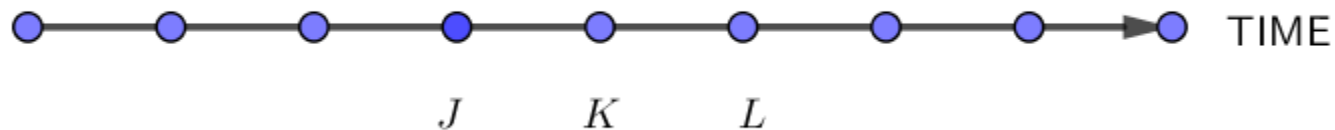
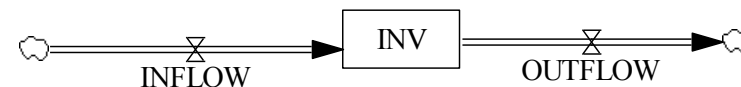
# 从数学公式到DYNAMO方程

## › DYNAMO表达式如何描述动态反馈系统

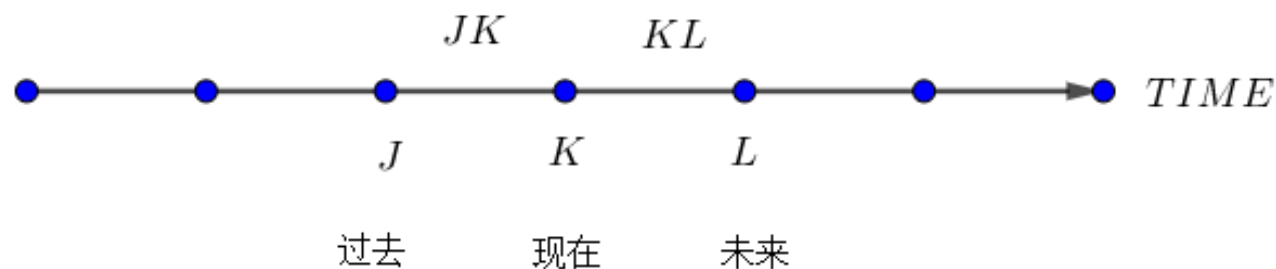
例：考虑一个简单的输入输出系统，每月的发货出库OUTFLOW和入库补货INFLOW都是常数

INV.现在=INV.过去+ ( 纯速率 ) \*时间间隔

INV.现在=INV.过去+ ( INFLOW-OUTFLOW ) \*时间间隔



# 时间下标的含义



$$INV.K = INV.J + (INFLOW.JK - OUTFLOW.JK) * DT$$

式中

INV.K: 库存现有量

INV.J: DT前的库存量

DT: 时间间隔

INFLOW.JK : JK时间内的订货

OUTFLOW.JK : JK时间内的发货

*JKL* 是DYNAMO表达  
式的时间下标规范

## 变量类型

- › DYNAMO方程表达方式将所有数量分为两大类
  1. 变量 数值可变，须带时间下标
  2. 常量 在仿真时间轴范围内不变，没有时间下标

## 方程式类型

- › L 类型：状态方程
- › N类型：初始值类型

L STOCK.K=STOCK.J+(INFLOW.JK-OUTFLOW.JK)\*DT  
N STOCK=100

规范：方程前要写上对应类型



# 方程式类型

## › R 速率方程（流量）

注意：速率方程的时间下表很特殊

特点：

- 速率方程无固定格式
- 速率方程在K时刻计算，由K至L的DT时刻中保持不变
- 时间下标为KL

## 方程类型

- › C 方程 常数方程
- › C方程常用于给常数赋值，清晰列出重要参数
- › C方程无时间下标

注意：常数方程并非可有可无，只是某个要素恰好就是固定值

## 练习

› 将基本出库入库模型的标准DYNAMO表达式写出来

L Stock.K=Stock.J+(Inflow.JK-Outflow.JK)\*DT

N Stock=60

R Inflow=1.2

R Outflow=1.1



$\pi$

# 热水杯的DYNAMO方程

L TEA.K=TEA.J+CHNG.JK\*DT

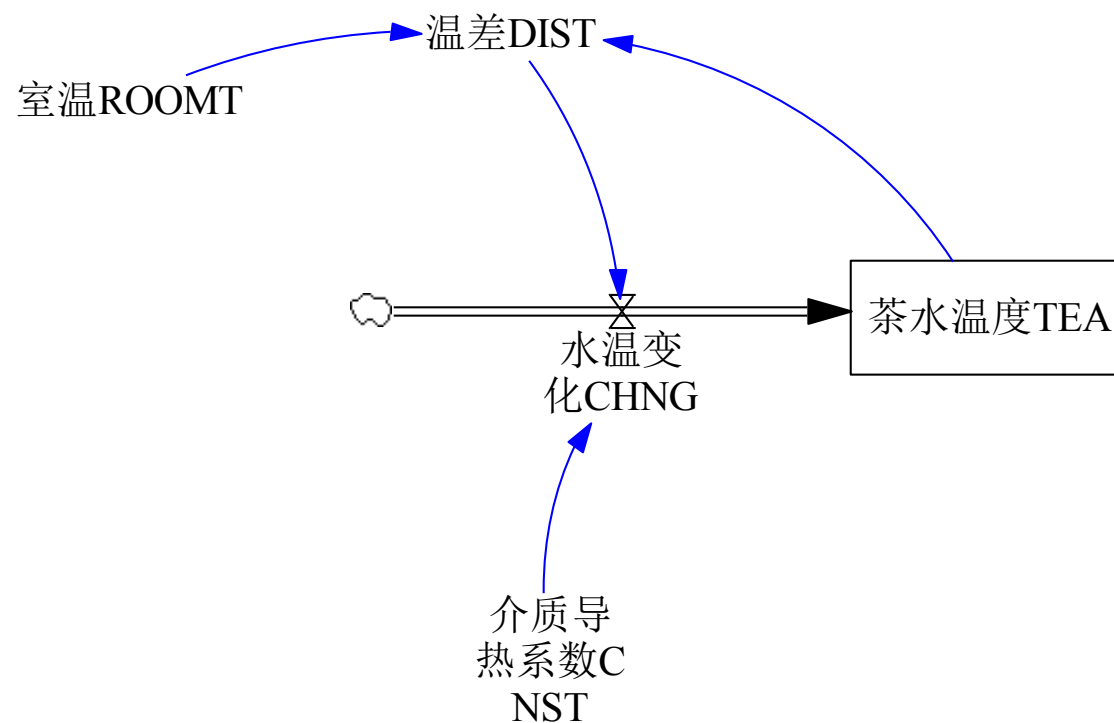
N TEA=90

A DIST.K=ROOMT-TEA.K

R CHNG.KL=CNST\*DIST.K

C CNST=0.2

C ROOMT=20

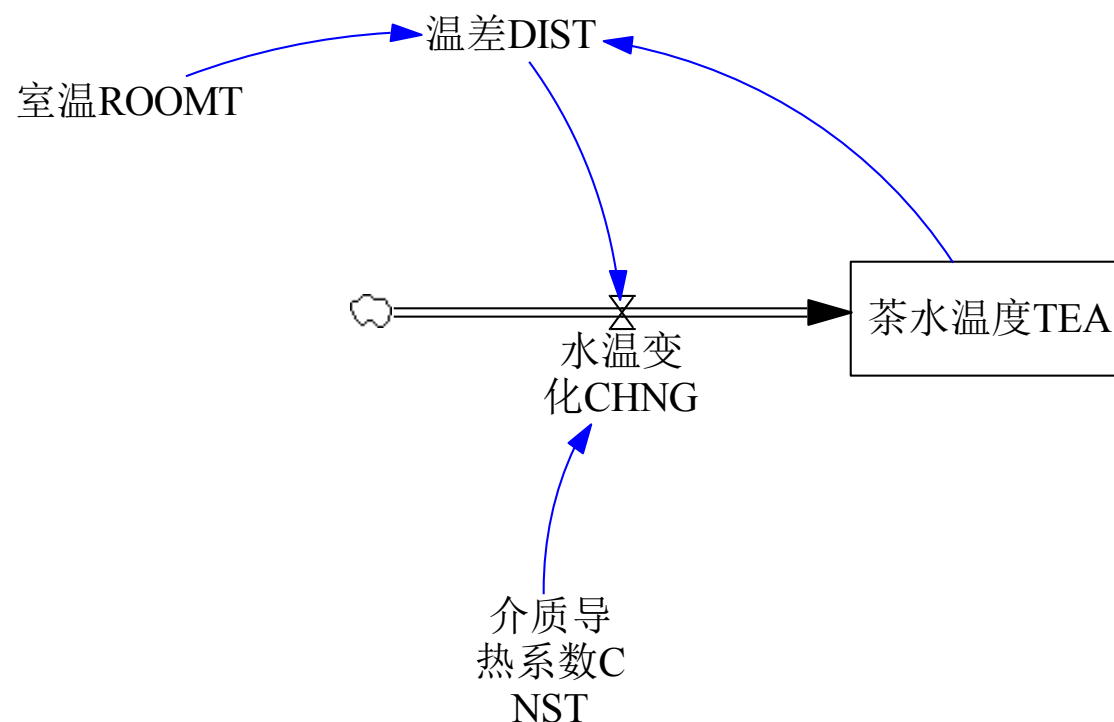


## 辅助方程

- › 系统之外的变量，不受系统影响

例如：一杯茶水安静的放在桌子上，它的温度变化如右图所示，室温ROOMT影响茶水温度，温差DIST作为辅助变量出现。

$$A \quad \text{DIST.K} = \text{ROOMT} - \text{TEA.K}$$



$\pi$

## 表函数的方程类型

自变量

因变量

X	0	1	1.5	2	2.5
Y	0.5	1.3	2.7	4.8	6.2

上述表函数的设置 DYNAMO方程表  
达式为：

A Y.K=TABLE(TY,X.K,0,2.5,0.5)

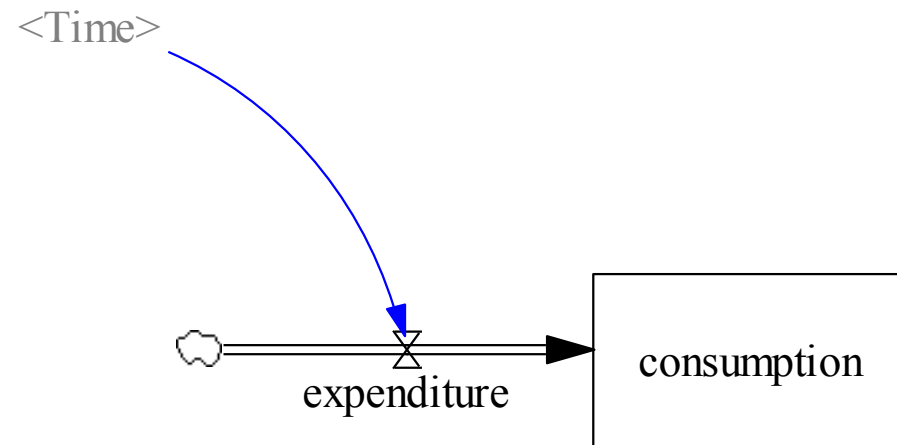
T TY=0.5,1.3,2.7,4.8,6.2

表函数与其他函数有所不同，  
表函数的方程由两个方程配合  
组成，即T（表函数方程）和A  
（辅助方程）

## 案例

› 请写出上次课堂练习中的DYNAMO方程

TIME	0	1	2	3	4
expenditure	0	4200	5300	5700	3700



## 总结：方程类型

L 状态变量方程

R 速率方程

A 辅助方程

C 常数方程

N 初始状态值

T 表函数中的Y坐标



# 规范

- › DYNAMO方程在命名中有一套共同遵守的规范：
  - 方程必须有类型，需写在第一列
  - 变量字符不超过6个（防止名称过长），首字母大写，必须以字符开头，不可用数字开头
  - 所有变量需要加下标，常量（包括C N T）不加下标，下标J K L分别代表过去、现在、未来
  - 所有方程必须可计算

$\pi$

## VENSIM表达式

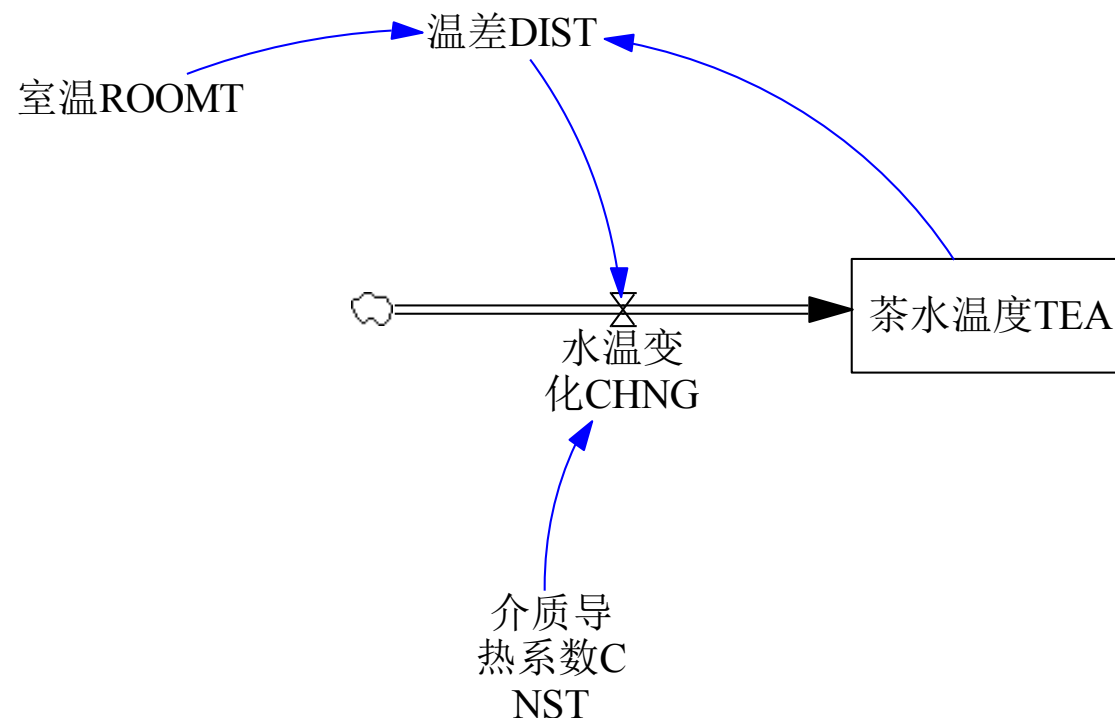
TEA=INTEG(CHNG,90)

CHNG=DIST-CNST

DIST=ROOMT-TEA

ROOMT=20

CNST=0.2



# 图形表示法

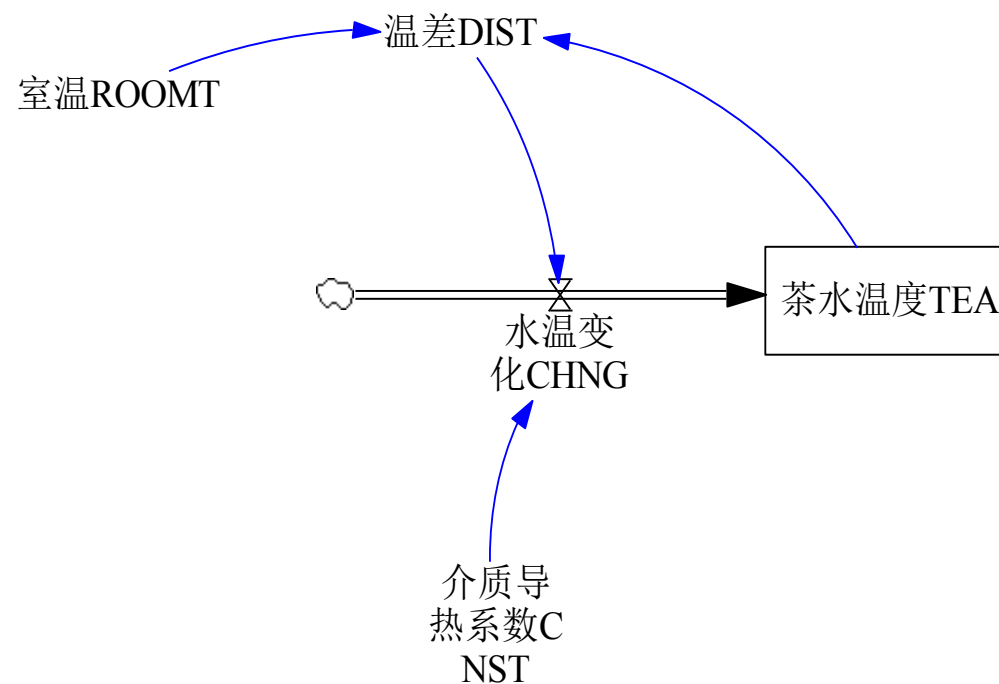
- › 状态
- › 速率
- › 辅助变量
- › 表函数
- › 常数
- › 外生变量
- › 信息链/物质链
- › 物质源/漏

图形表示法被软件吸收后，经过简化演变成目前的系统流图形式。

系统图示以软件中的系统流图为主

## DT的合理选取

- › 离散的时间步长time step取多少合适
  - 理论上，充分小，精度提升
  - 操作中，足够小



精度的影响-最短板效应

## 计算结果对比

time step	0.125	0.5	1	5
最大相对误差%	2	<3.5	<8	56.5

- TIME STEP的经验取值为0.1~0.5倍的模型最小时间常数
- 最小时间常数
- 取值小于0.1时，精度提升不大，但计算量快速提升

案例中的最小时间系数  
 $1/\text{CNST}=1/0.2=5$   
经验取值范围  
 $0.1\sim0.5 * 5 = 0.5\sim2.5$