

# 物流系统建模与仿真

## 第十八节 延迟原理

# 延迟的类型

## › 物质延迟

含义：描述物料等实物的物理流动中发生的延迟

- 如供应链中产品的流动、原材料采购、
- 信件的寄送、人员招聘、基础设施建设

物质延迟遵守输入输出数量上的守恒

## › 信息延迟 ( information delay )

含义：感知或者认定的调整

造成信息延迟的情景有：

- 信息收集需要时间
- 接受信息并作出反应需要时间

信息延迟系统不是数量守恒的系统

## 延迟问题

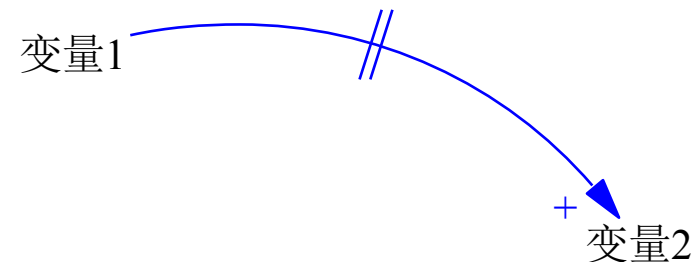
- › 信件投入邮筒，邮政系统中先分拣再投递。
- › 快递公司在业务周期中对收集的客户投递物件进行分类，运输到目的地的由配送部门经过分拣之后进行配送。
- › 工资上涨后社会上商品价格也发生上涨
- › 向供应商下订单后供应商进行生产或运输，在规定时间内供货
- › 企业决策者做出人事调整决策后，员工数量发生变动

## 延迟问题

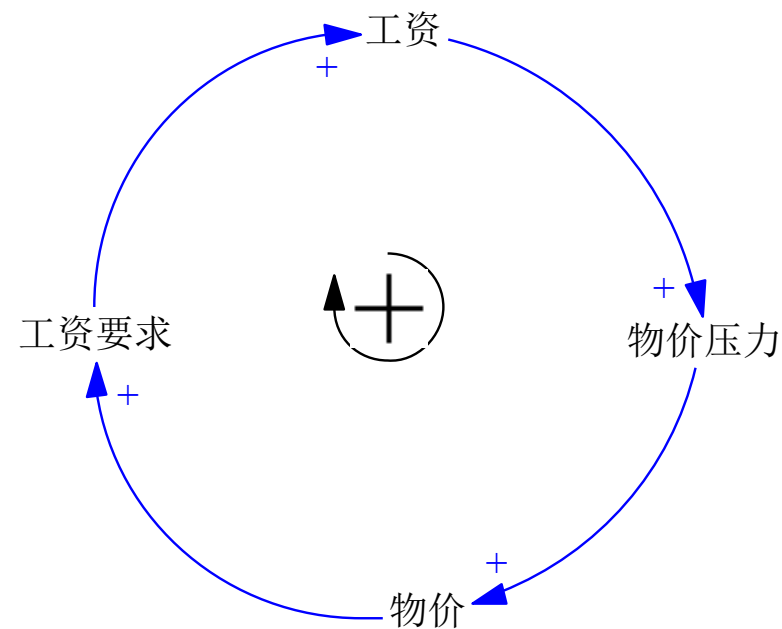
- › 企业物资管理部门收到生产物料清单后经过分类，交予仓库管理部门调取物资
- › 企业采购原材料，下单后供应商经过确认订单开始组织供应，形成一个批量后运输到客户企业。
- › 超市只有一个收银台，购物者排队付款离开
- › 超市有10个收银台，购物者排队进入收银区后选择收银台结账离开

## 延迟的表示方法

- › 延迟在因果分析图中使用  $\parallel$  符号表示

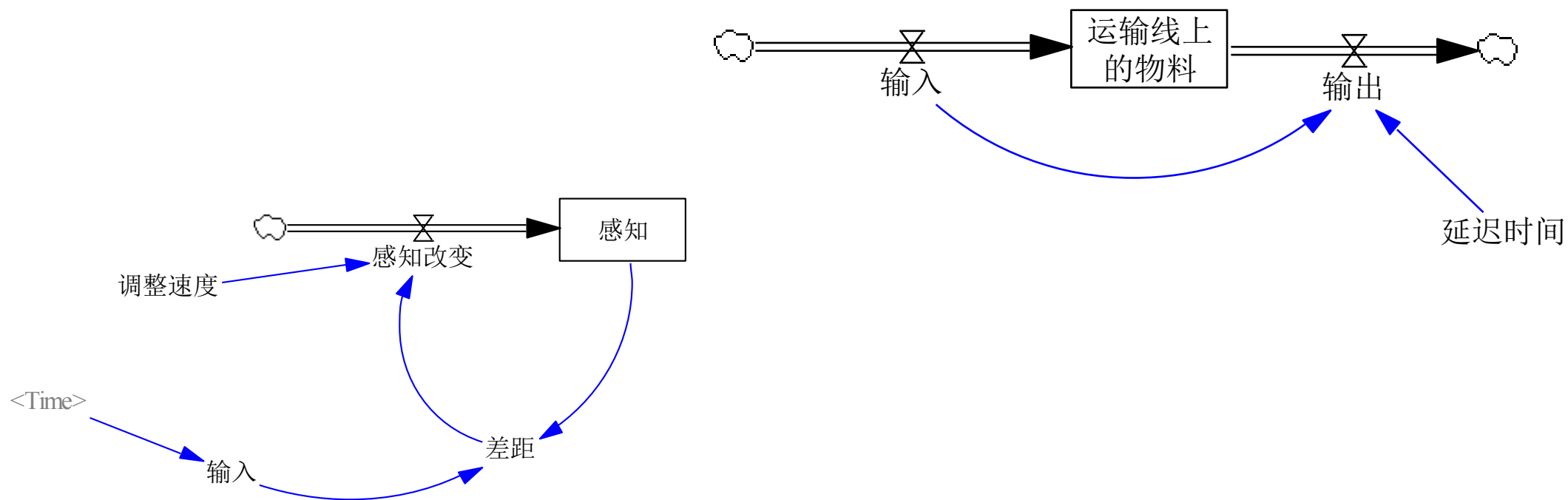


- › 试分析右下因果回路图中哪些链路应当加入延迟



## 延迟的条件

- › 在几乎所有系统中，延迟都是构成系统的必要元素
- › 延迟使得系统模型更加贴近现实情境
- › 延迟存在的必要条件：回路中有存量存在



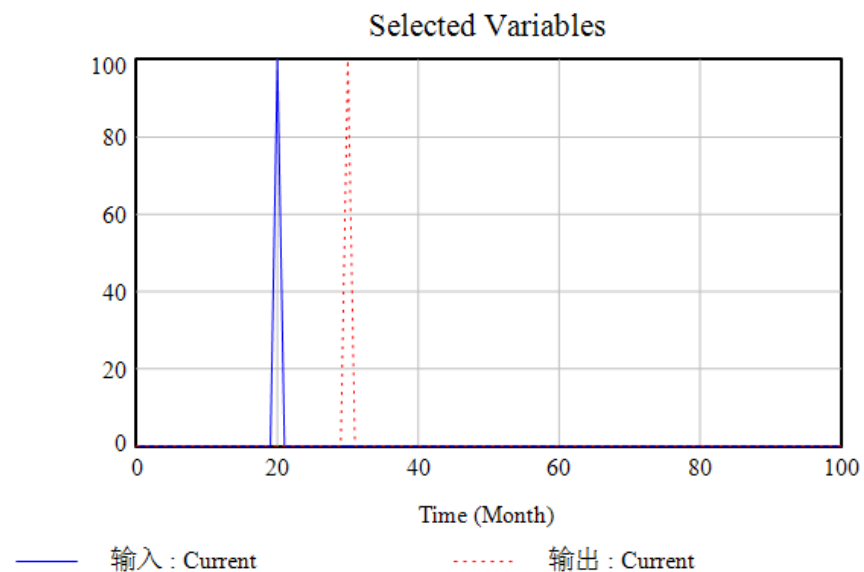
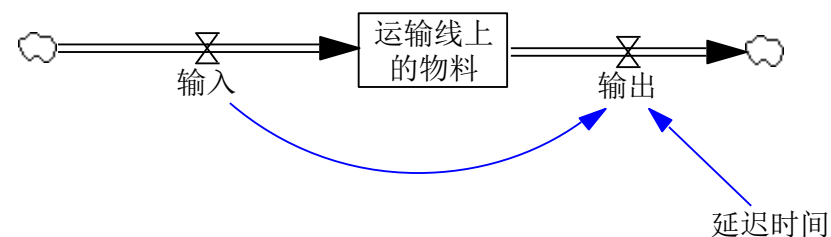
# 物质延迟-管道延迟

pipeline delay or transportation delay

数量关系

$$Outflow(t) = Inflow(t - D)$$

注意：简便起见，下文中变量 *Outflow* 有时简写为字母 *O*，同时 *Inflow* 简写为字母 *I*



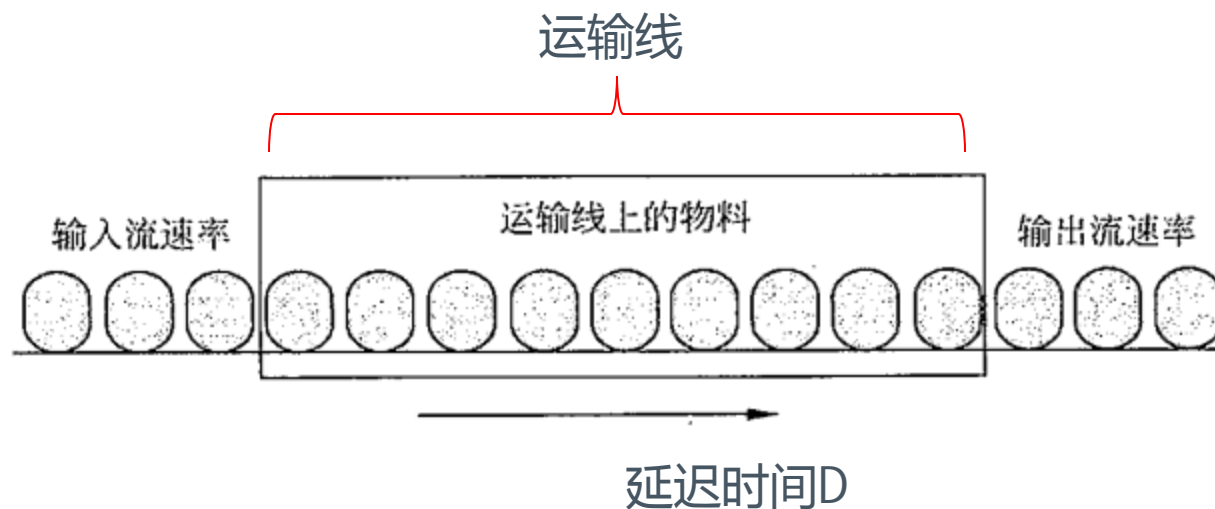
$\pi$

# 物质延迟-管道延迟

供给线上有多少物料？

输入速率流与输出速率流之间的差，即运输线上积累的物料。

$DI$





## 物质延迟-

### › 排队方式

- FIFO
- LIFO



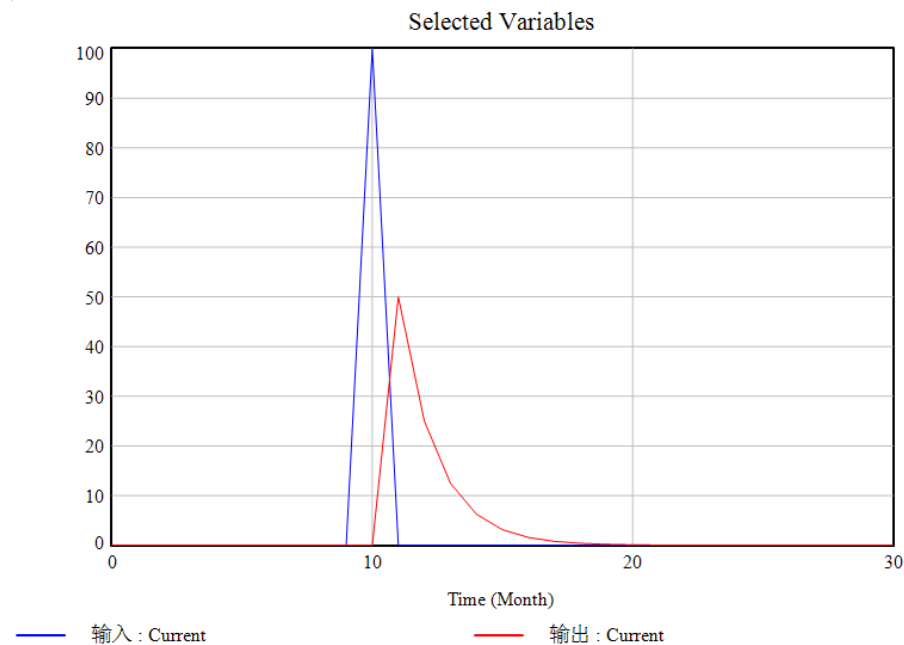
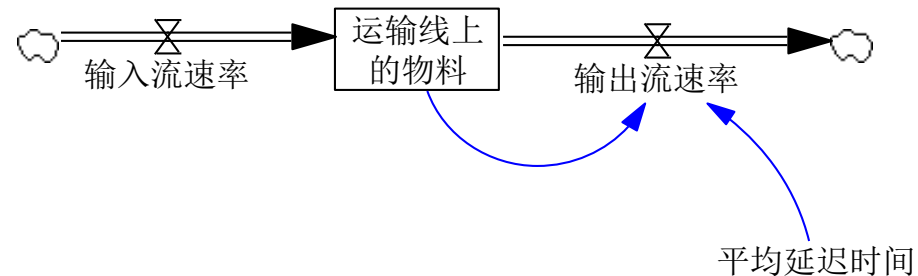
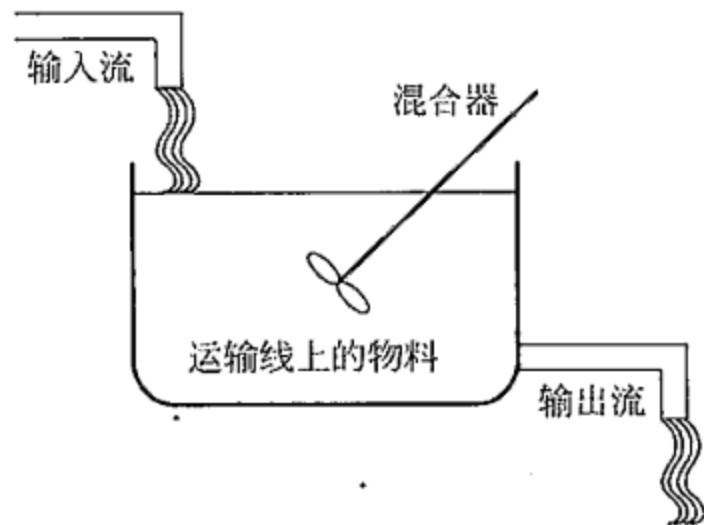
### › 延迟时间

- 管道延迟：物品在运输线上的滞留时间
- 物料延迟：与管道延迟不同，物料延迟无法确定单个运输线上物品的滞留时间，仅能确定系统稳定时物品的平均延迟时间

# 物质延迟-物料延迟

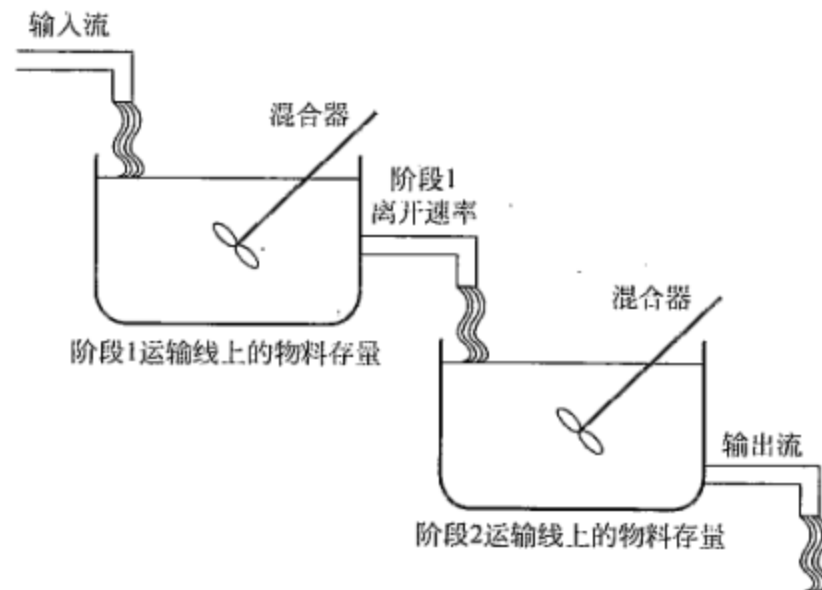
## 物料延迟基本假设：

- 完美混合
- 随机离开队列



# 高阶物料延迟

一阶物料延迟的出流量导入下一个存量中



$LEV1 = \text{INTEG}(\text{INFLOW} - \text{RT1}, 0)$

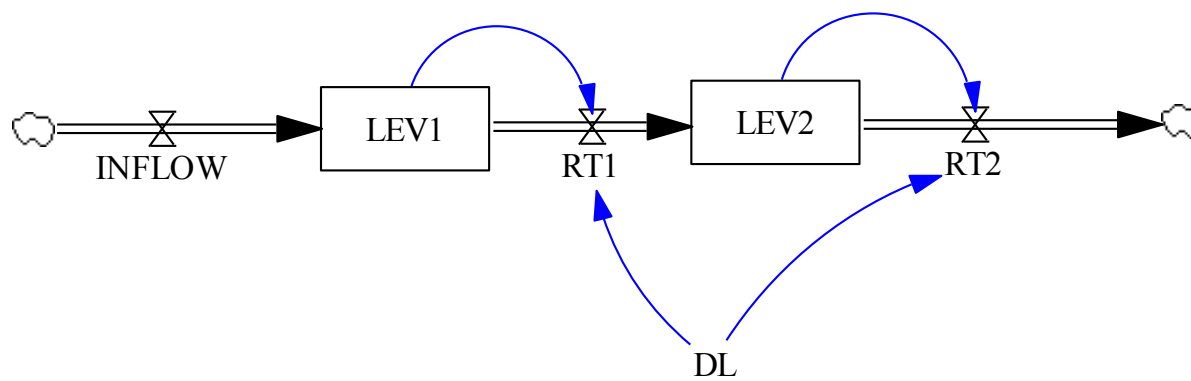
$\text{RT1} = \text{LEV1} / \text{DL}$

$LEV2 = \text{INTEG}(\text{RT1} - \text{RT2}, 0)$

$\text{RT2} = \text{LEV2} / \text{DL}$

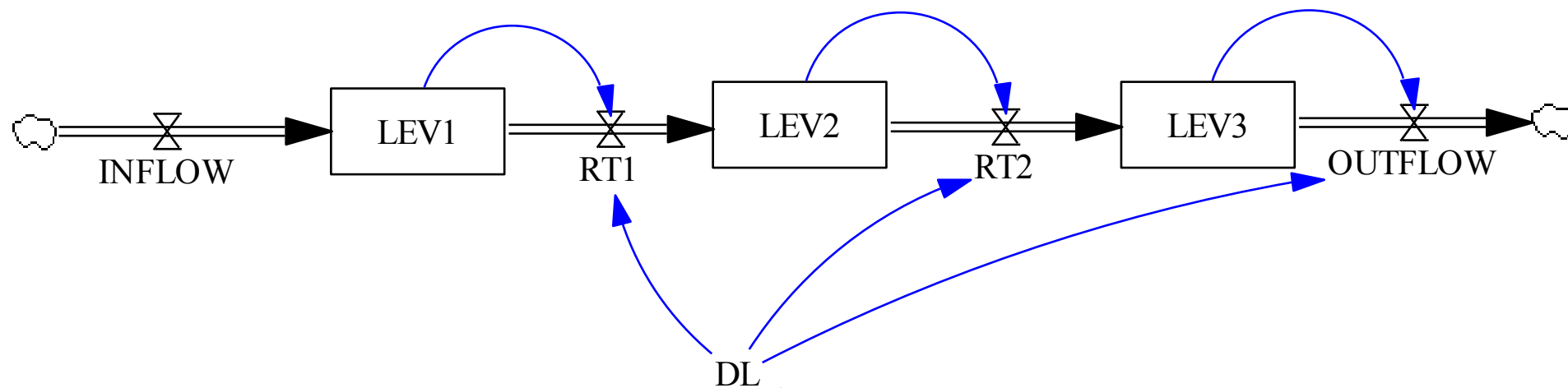
$LEV3 = \text{INTEG}(\text{RT2} - \text{OUTFLOW}, 0)$

$\text{OUTFLOW} = \text{LEV3} / \text{DL}$

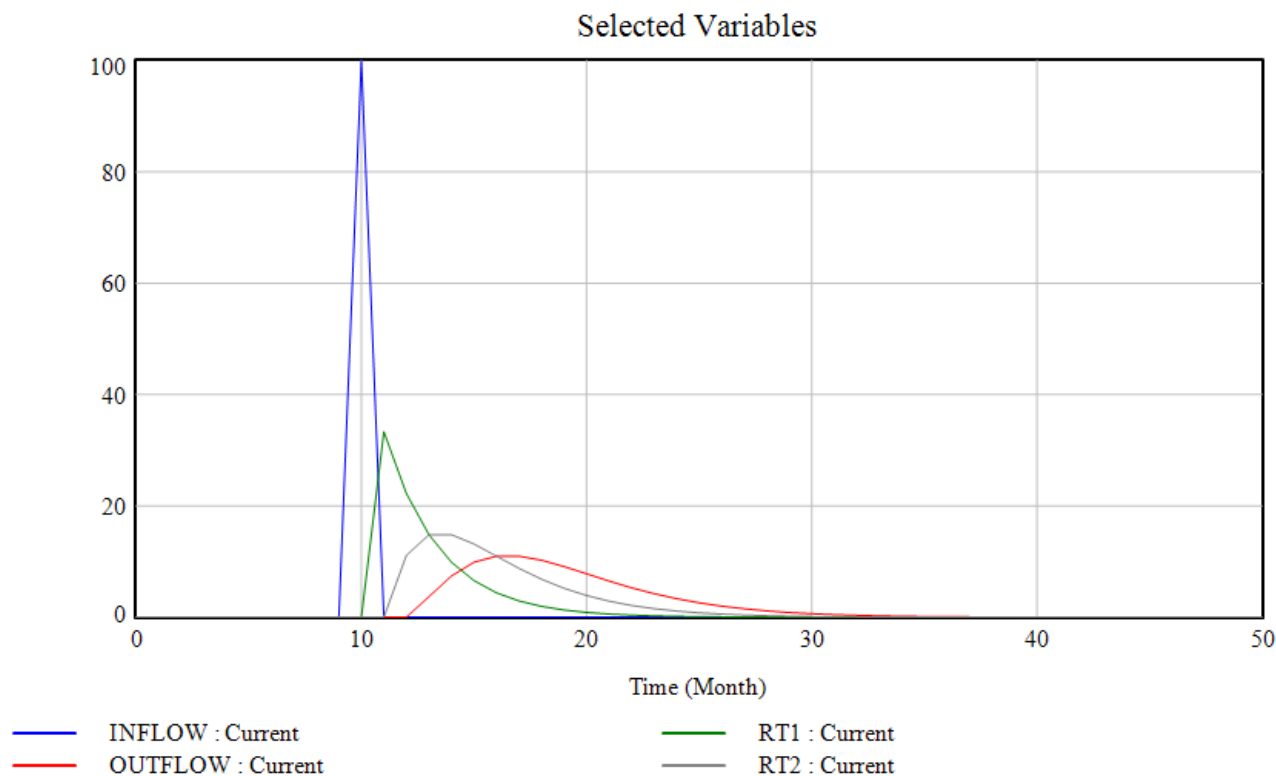


# 高阶物料延迟

$\pi$



$LEV1 = \text{INTEG}(\text{INFLOW} - \text{RT1}, 0)$   
 $\text{RT1} = \text{LEV1} / \text{DL}$   
 $LEV2 = \text{INTEG}(\text{RT1} - \text{RT2}, 0)$   
 $\text{RT2} = \text{LEV2} / \text{DL}$   
 $LEV3 = \text{INTEG}(\text{RT2} - \text{OUTFLOW}, 0)$   
 $\text{OUTFLOW} = \text{LEV3} / \text{DL}$

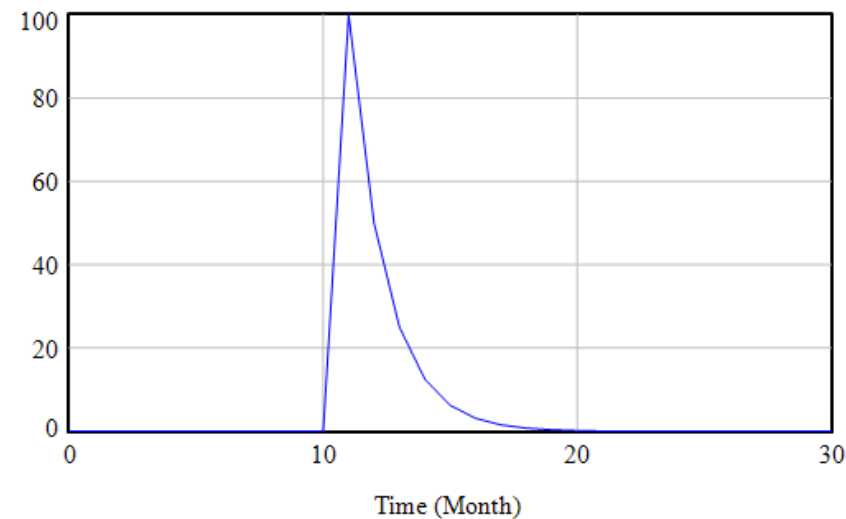


$\pi$

# 供给线中的积存

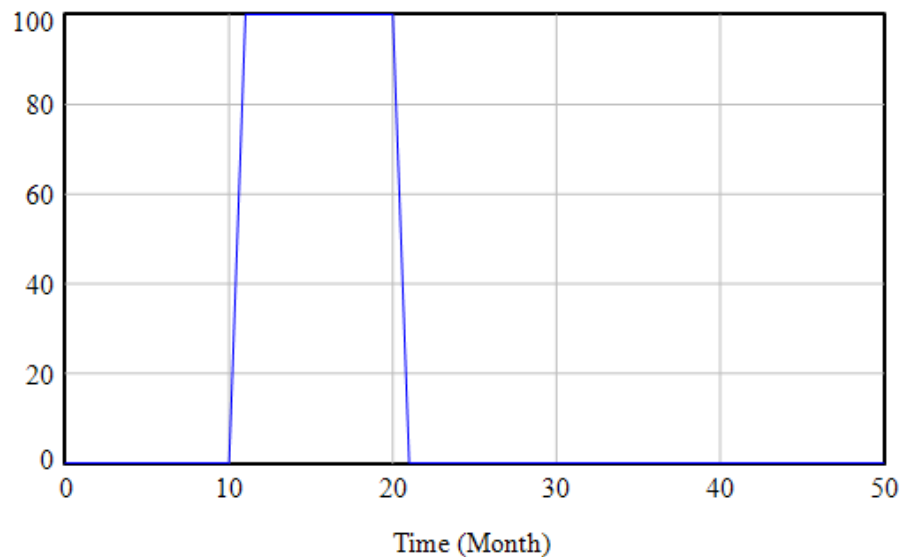
测试函数：PULSE(10,1)\*100

运输线



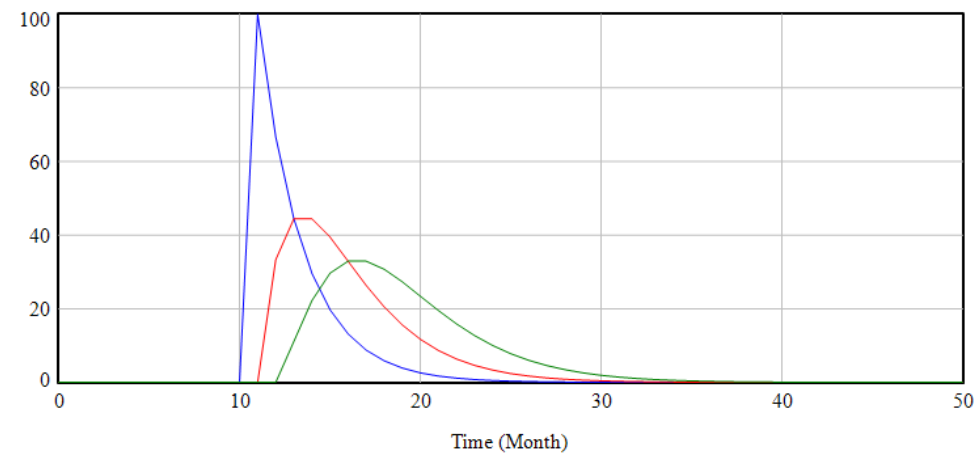
Current

运输线上的物料



Current

Selected Variables



LEV1 : Current

LEV2 : Current

LEV3 : Current

## 供给线中的积存——LITTLE法则

令 $I$ 为输入， $O$ 为输出，

考虑管道延迟，则输入输出的关系为  $O(t) = I(t - D)$

供给线上积存的物料数量为 $DI$ ，即延迟时间与单位时间输入量的乘积

考虑一阶物料延迟，则 $O(t) = S(t)/D$

当物料延迟达到平衡状态时，供给线上积存的物料数量与管道延迟相同

# 信息延迟

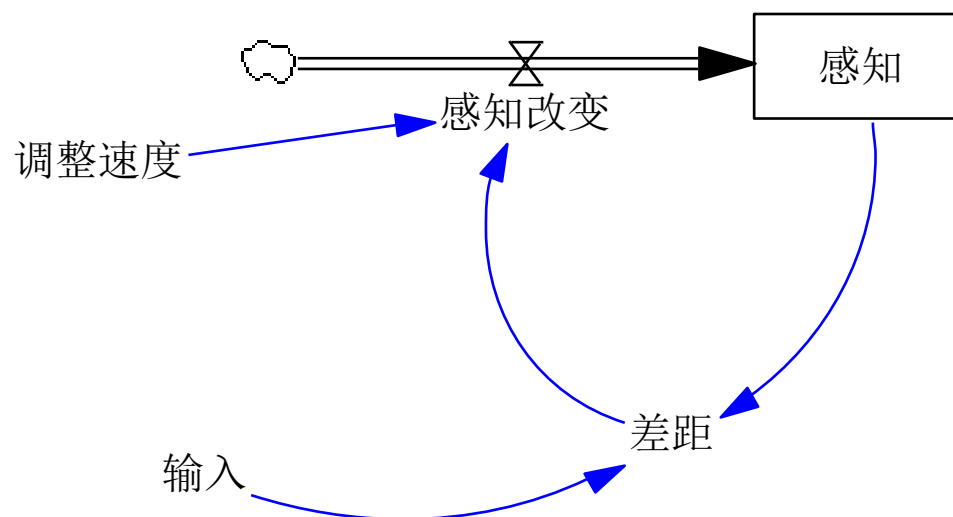
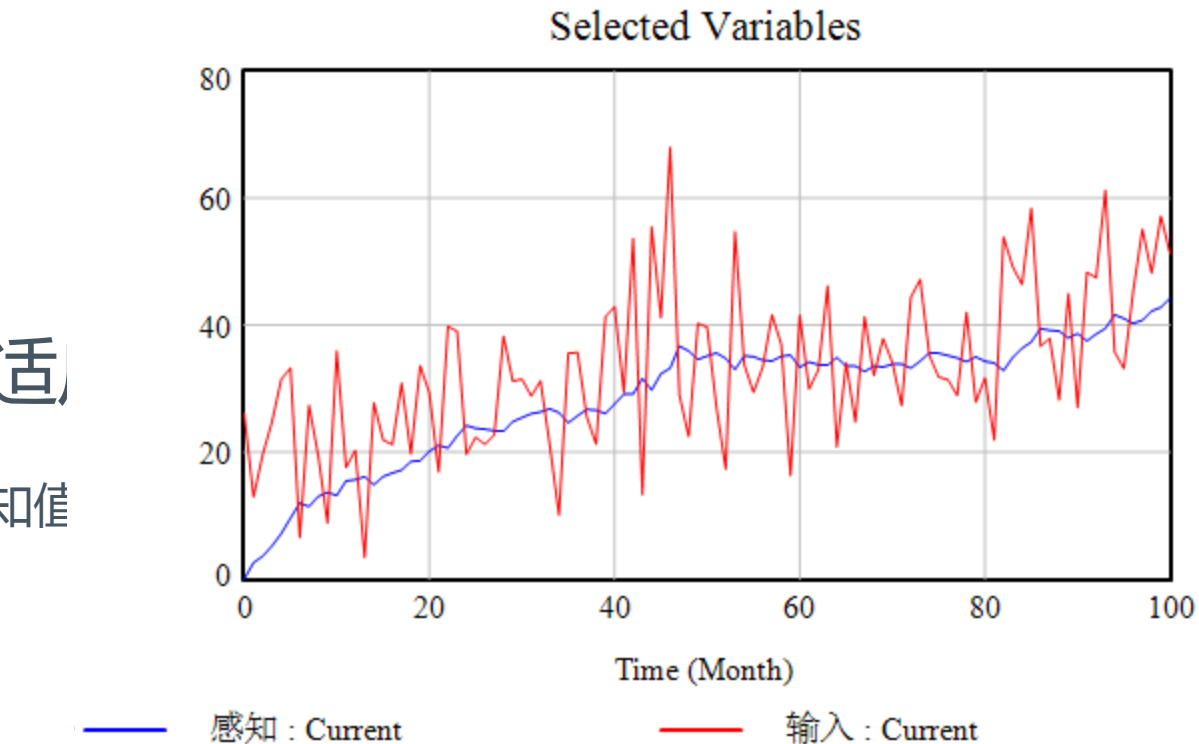
› 信息延迟：指数平滑 或 自适应

观测值→输入值和感知值的差距→感知值

感知=INTEG(感知变化, 0)

调整速度=3

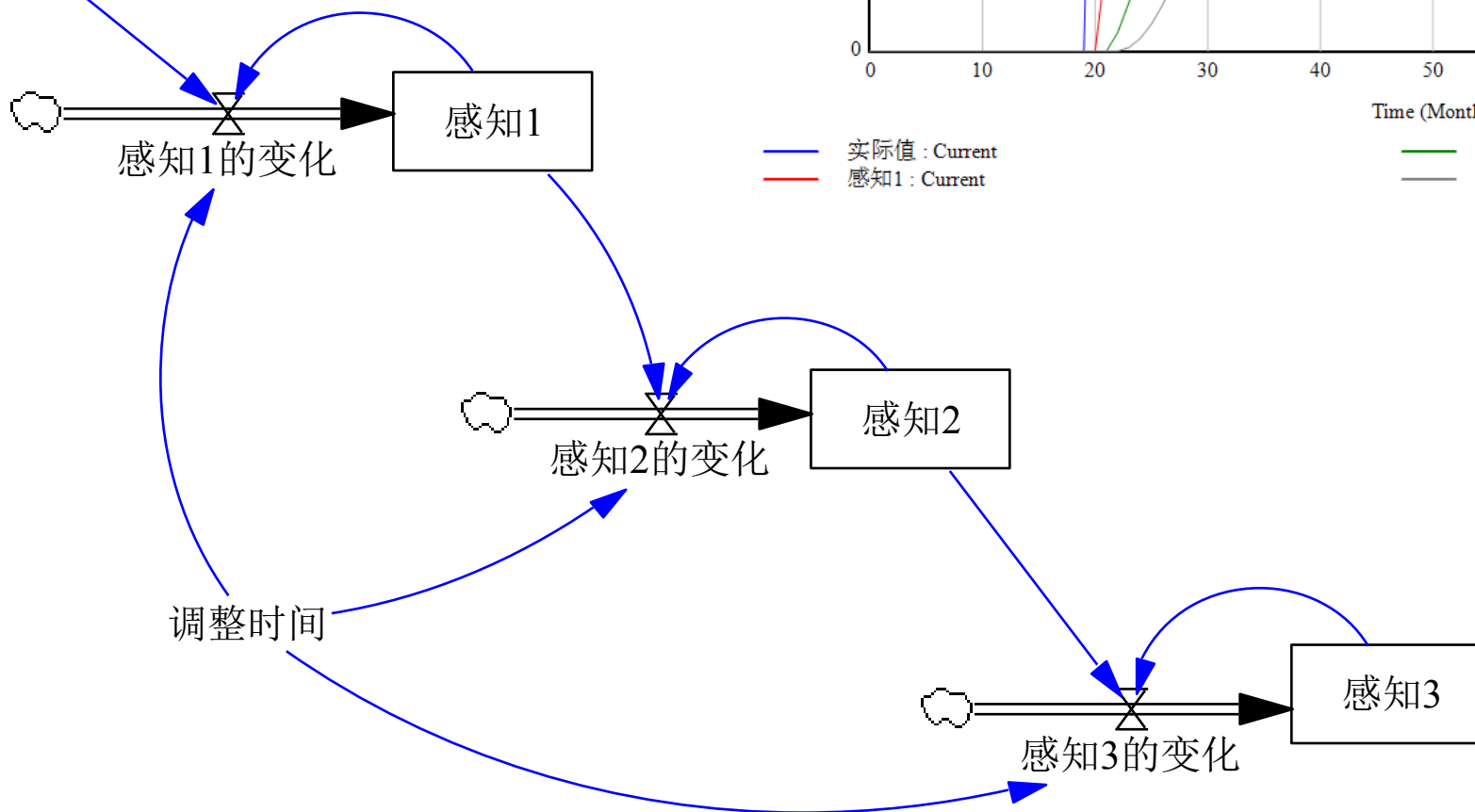
差距=输入-感知



$\pi$

# 高阶信息延迟

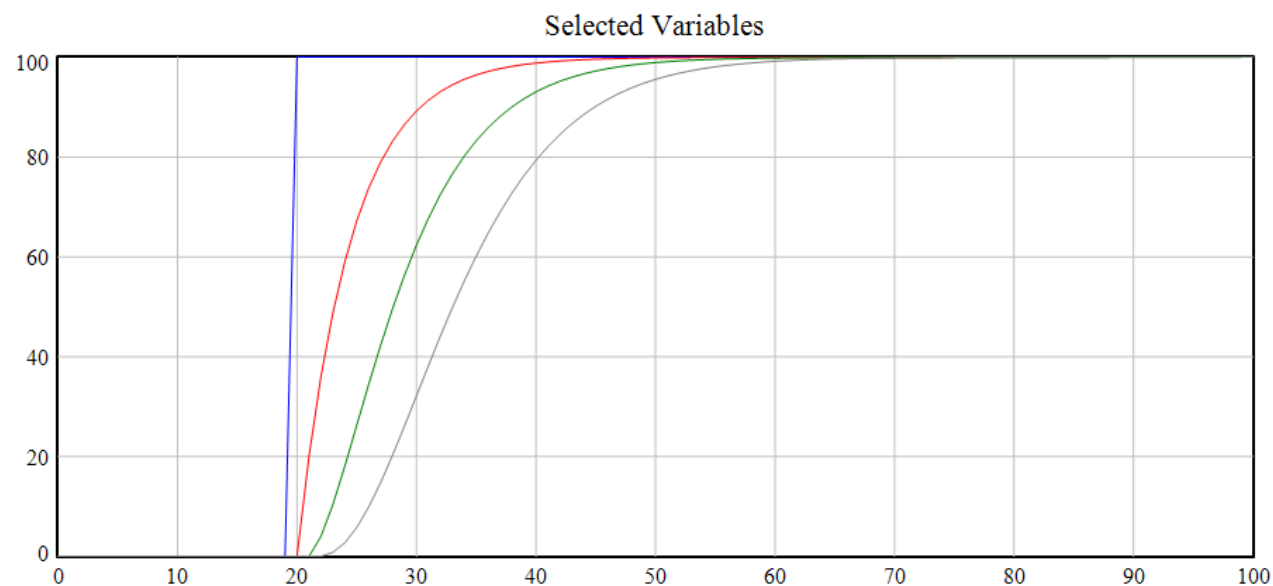
实际值



— 实际值 : Current  
— 感知1 : Current

Time (Month)

— 感知2 : Current  
— 感知3 : Current





## 物质延迟和信息延迟的关系

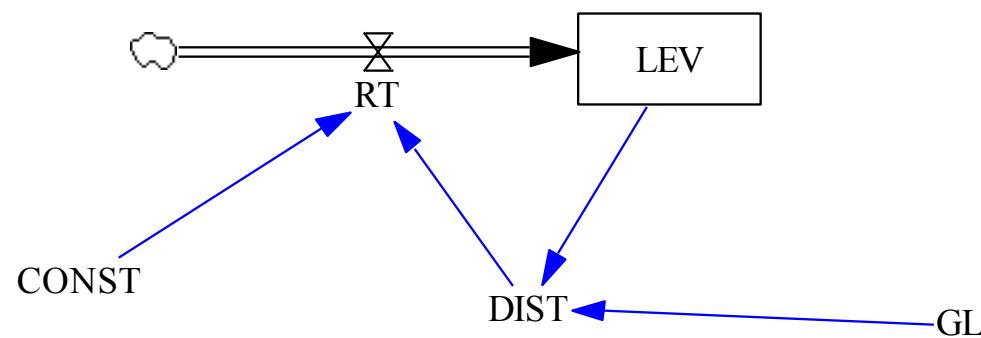
- › 课本P137
- › 假设物质延迟和信息延迟的延迟时间相等且为常数，这两个延迟的输出是一样的

# 延迟与振荡的关系

## › 带有时间延迟的负反馈

无延迟状态：差异产生→对比期望→调整系统状态

有延迟状态：？



延迟是系统产生振荡的必要条件

## 啤酒游戏中供应链为什么产生反复振荡

- › 上个世纪60年代初，Jay Forrester在Sloan商学院时发明一套啤酒分销游戏，向学习管理的学生介绍供应链和系统动力学仿真的概念。
- › 啤酒系统中包括四个部门：零售商，批发商，分销商和工厂，每个游戏者管理一个部门，每周消费者从零售商手里购买啤酒，零售商用库存满足他们的需求，然后向批发商订购啤酒，批发商从自己库存供应给零售商，同样的，批发商向分销商订购和获得啤酒，而供应商则从工厂订购，工厂负责制作啤酒。

# 振荡的来源

› 针对系统行为模式，一阶系统时探讨过

一阶正反馈

指数增长曲线，无法产生振荡

一阶负反馈

平滑的“寻的”模式  
加入延迟后出现超调模式

二阶系统

平滑增长  
等幅振荡  
扩散振荡  
超调

