



## CH09 库存系统仿真

周金平

广东工业大学

2008.9.5



---

---

---

---

---

---

---

---



### 什么是库存

- 库存是一家企业中的作用犹如一辆汽车的悬挂系统，销售量的起伏可由库存来吸收，犹如汽车的弹簧可吸收道路的颠簸。
- 没有库存，如果要使对客户的服务受到损害就必须使生产直接响应销售。
- 库存还解脱具有不同生产速率的各个制造作业。批量库存使得较少生产调整与更高的机器利用率成为可能。在制品可以防范由于不稳定的物流引起的人员与设备的停工。
- 而制造控制工作就是为公司的最大利益去协调：良好的客户服务、最小限度的库存投资与高效的工厂作业。库存对于作出良好的客户服务，通过保持生产以相当速率运行并运作合理规模的制造批量从而使工厂更有效率地运行都是必要的。
- 库存并非一种必要的祸害而是一种非常有用的减震器。

IEtech

Copyright by GDUT & IEtech 广东工业大学工业工程系 1996-2008 周金平

---

---

---

---

---

---

---

---



### 与库存相关的成本

- 采购成本 Procurement Costs (Reorder cost)
  - 补货时采购商品的成本往往是决定再订货数量的重要经济因素。
- 库存持有成本 Carry Costs (Holding Costs)
  - 空间成本 Space Costs: 建筑维护、养护
  - 资金成本 Capital Costs: 占用资金
  - 库存服务成本 Inventory Service Costs: 保险、税
  - 库存风险成本 Inventory Risk Costs: 货物变质、损坏等
- 缺货成本 Our-of-Stock Costs
  - 失销售成本 Lost Sales Costs
  - 延期交货成本 Back Order Costs
- 年购买费用 (Purchasing cost)

IEtech

Copyright by GDUT & IEtech 广东工业大学工业工程系 1996-2008 周金平

---

---

---


---

---

---


---

---



## 经济订货批量模型 (EOQ)

- 1913年, F.W.Harris建立了经济订购批量公式EOQ: Economic Order Quantity。
- 基本出发点: 总成本 = 采购成本 + 库存持有成本
- EOQ模型的假设条件:
  - 对库存系统的需求率为常量(年需求量D, 单位时间需求率d)
  - 一次订货量无最大最小限制
  - 采购、运输均无价格折扣
  - 订货提前期已知, 且为常量
  - 订货费与订货批量无关
  - 维持库存费是库存量的线性函数
  - 不允许缺货
  - 补充率可无限大, 全部订货一次交付



Copyright by GDUT & IEtech 广东工业大学工业工程系 1996-2008 周金平

---

---

---


---

---

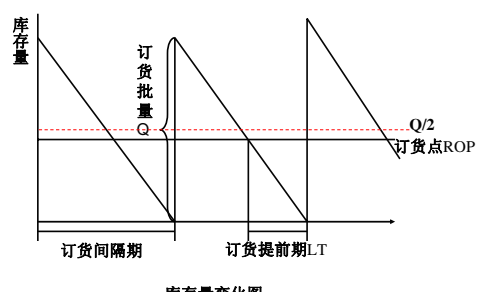
---

---


---



## 经济订货批量模型 (EOQ)



库存量变化图



Copyright by GDUT & IEtech 广东工业大学工业工程系 1996-2008 周金平

---

---

---


---

---

---


---

---



## 有提前期的补货 A Lead Time for Re-supply

- 库存总成本包括年维持库存费、订货费用和购买费用。年维持库存费 ( $C_H$ ) 随订货批量 $Q$  增加而增加, 是 $Q$  的线性函数, 可表示为平均库存量 ( $Q/2$ ) 与单位库存维持费用( $H$ )之积;
- 年订货费 ( $C_R$ ) 与 $Q$  的变化呈反比, 随 $Q$  增加而下降。若设一次订货费用为 $S$ , 年需求量为 $D$ , 则年订货费用为 $S$  和 $D/Q$  之积;
- 年购买费用为物品单位价格 ( $p$ ) 与年需求量( $D$ )之积。
- 总费用 $TC$  为:  $C_T = C_H + C_R + C_P = H(Q/2) + S(D/Q) + p \times D$
- 再订货点 $ROP$ : Reorder Point, 即补货订单发出前允许降低最低量。  $ROP = d \times LT$ , 其中 $ROP$ 为再订货点,  $LT$ 为平均提前期,  $d$ 为需求速率。



Copyright by GDUT & IEtech 广东工业大学工业工程系 1996-2008 周金平

---

---

---


---

---

---

---

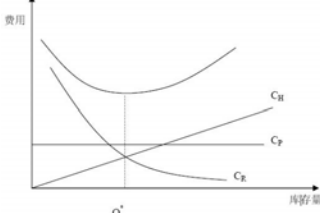
---




## EOQ模型

- 库存管理的目标是使TC值为最小： $\min TC$ 。TC曲线如图。
- $C_H$ 和 $C_R$ 曲线存在一个交点位置，对应的库存量即为最优订购批量 $Q^*$ ，即：经济订货批量EOQ。

$$EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$





Copyright by GDUT & IEtech    广东工业大学工业工程系    1996-2008 周金平

---

---

---

---

---

---

---

---



## 9.1 实验管理器





---

---

---


---

---

---

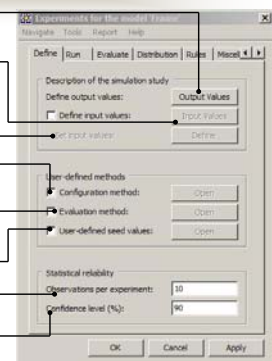
---

---

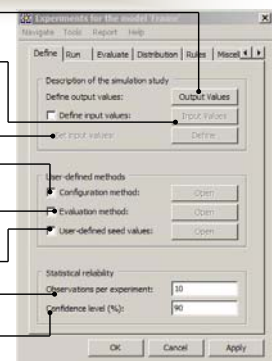


## Define页面: 实验设计定义

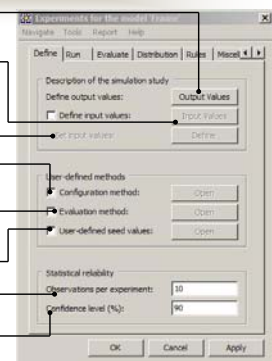
Define output values: Output Values → 定义仿真实验输出值，即我们希望观察哪些属性或者参数的值(y)



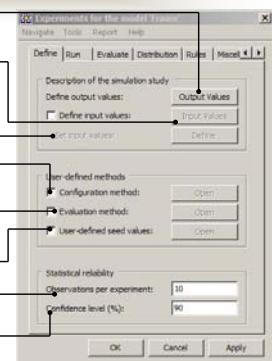
Define input values: Input Values → 定义仿真实验输入值，即哪些自变量会对观察值变量产生影响(x)。



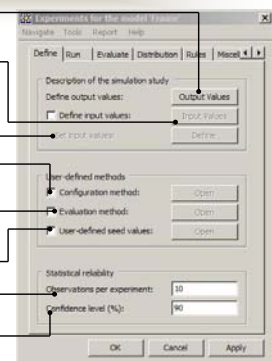
Set Input Values → 如果输入值是变化的，那么需要在这里定义输入自变量(x\_i)的具体数值。



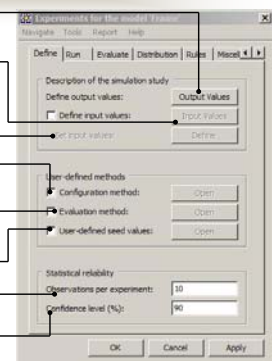
Configuration Method → 使用用户自定义的仿真实验配置程序。



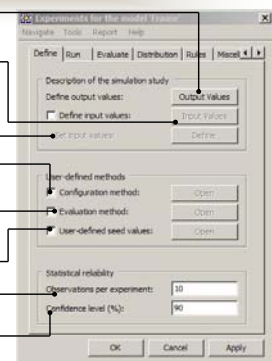
Evaluation Method → 使用用户自定义的仿真实验结果评估程序。



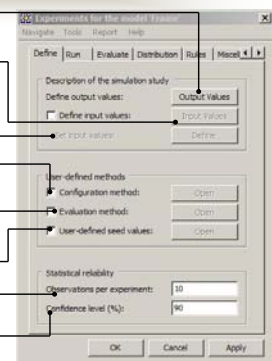
User-defined seed values → 使用用户自定义的随机数种子数。




Observations per experiment → 每次实验取多少观测数



Confidence level(%) → 置信度水平





Copyright by GDUT & IEtech    广东工业大学工业工程系    1996-2008 周金平

---

---

---

---

---

---

---

---

**Run页面: 运行仿真实验**

Start a short test run: Test → 在正式仿真实验前进行测试实验。对某些实验可能每次实验需要运行多次从而导致时间很长, 或者模型很复杂的实验设计, 为了保证正式实验设置合理, 需要先进行测试实验。

Experiment manager: Reset → 重置实验管理器。它在每次实验前, 将所有记录实验信息的各类表清空, 并回复到实验准备状态。

Experiment Run: Start → 开始仿真实验。

Open the protocol table: Show → 测试实验设置情况。

All recordings: Open>Show) → 测试实验运行结果。

Seed values of observations: Open → 各次运行的随机种子数。在实验过程中, eM-Plant会针对每个不同的实验、每个不同的观察值都会使用不同的随机数流, 在一些特殊的情况下, 我们可能会需要了解在某个实验的某个观察值到底使用的是哪些随机数种子, 此时可以通过该项进行观察。

Copyright by GDUT & IEtech

广东工业大学工业工程系

1996-2008 周金平

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Evaluate页面: 实验结果评估**

Input values: Show → 显示输入值: 各项自变量( $x_i$ )。

Output values: Show → 显示输出值: 各因变量( $y_j$ )。

Result values: Show → 显示实验结果。

Show statistical evaluation of the result → 不勾选该项, 那么在结果中只显示均值, 勾选后, 还将显示实验结果的标准差、最大最小值和置信区间上下限。

Result values: Select → 在所关注的多个因变量中, 选择希望以图表来表示的某些因变量。

Chart with confidence intervals: Show → 显示选定的某个因变量的区间图表, 取决于图表类型(Type of chart)。如果Type of chart选择Confidence intervals项, 那么这里和Chart with confidence intervals显示的都是根据置信区间上下限绘制区间图表。

Type of Chart → 图表类型: Min-Max intervals(最小最大值区间绘图)或Confidence intervals(置信区间上下限绘制区间图表)。

Influence of single input values: Select → 选择某个敏感自变量。

Copyright by GDUT & IEtech

广东工业大学工业工程系

1996-2008 周金平

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 9.2 库存决策模型

Copyright by GDUT & IEtech

广东工业大学工业工程系

1996-2008 周金平

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### 案例

- 某公司销售某单一产品，需要对持有的库存进行决策：在未来的n个月中，应该持有多少库存量，才能使总成本最低？（采购成本+库存持有成本）
- 顾客需求订单到达符合均值3天的指数分布，订单需求量为1,2,3,4的可能性为(1,2,2,1)
- 公司采用(s,S)库存策略：即每隔一段时间检查库存量，若库存量低于安全库存s，则向供应商进行采购订货，订货量为S(最高库存量) - I(当前库存量)。
- 采购成本为订货固定成本及随订货量增加的可变成本
- 若库存不足，则延迟交货，而不发生缺货损失
- 所订货物有两种交货方式：普通Normal和快速Express

13

Copyright by GDUT & IEtech 广东工业大学工业工程系 1996-2008 周金平

---

---

---

---

---

---

---

---

交货方式和成本		
	Normal	Express
订货固定成本	32	48
增量成本	3	4
最短到货时间	15day	7day
最长到货时间	30day	15day

- 库存持有成本为1元/件·天
- 影响总成本的因素有：安全库存水平，检查时间间隔，交货方式和最大库存量。
- 案例数据来源：Averill M.Law, W.David Kelton: 《Simulation Modeling and Analysis》3rd Edition, 清华大学出版社—McGraw-Hill, P60: Simulation of an inventory system.

14

Copyright by GDUT & IEtech 广东工业大学工业工程系 1996-2008 周金平

---

---

---

---

---

---

---

---

### E08.1: OverView

15

Copyright by GDUT & IEtech 广东工业大学工业工程系 1996-2008 周金平

---

---

---

---

---

---

---

---

基本对象

- EventController
- Reset
- EndSim
- 公共变量
- 客户需求模型
- 补货采购模型
- DOE

16

Copyright by GDUT & IEtech 广东工业大学工业工程系 1996-2008 周金平

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

变量定义

- maxStockLevel=70: 最大库存水平
- Difference=40: 最大库存与安全库存的差
- SafetyStock=30: 安全库存
- Stock=35: 当前库存
- 月度库存成本: (Monthly inventory costs)
- BacklogCosts=5: 延迟交货成本--5元/件·天
- HoldingCosts=1: 库存持有成本--1元/件·天
- InventoryCosts=0: 库存总成本(优化目标)
- InventoryEvalInterval=1: 库存检查周期

17

Copyright by GDUT & IEtech 广东工业大学工业工程系 1996-2008 周金平

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

交货方式和成本

交货方式和成本		
DeliveryOption	Normal	Express
订货固定成本 OrderSetupCost	32	48
增量成本 incrementalCost	3	4
最短到货时间 earliestDelivery	15day	7day
最长到货时间 latestDelivery	30day	15day

18

Copyright by GDUT & IEtech 广东工业大学工业工程系 1996-2008 周金平

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 顾客需求

- 设立两个Entity: Customer和Lot
- Customer设立用户自定义属性(Custom Attributes): ServiceTime, 类型为time, 初始值为0
- Lot设立用户自定义属性(Custom Attributes): Amount, 类型为integer, 初始值为0。用以存放每次补货的零件数量。

Copyright by GDUT & IEtech 广东工业大学工业工程系 1996-2008 周金平

---

---

---

---

---

---

---

---

## Customers设定

- 1、顾客需求为均值3天的指数分布
- 2、MUs为 .Models.Customer
- 3、当有顾客需求时, 此时订单上零件的数量是多少? 通过 "CustomerArrive" 这一Method来实现。

Copyright by GDUT & IEtech 广东工业大学工业工程系 1996-2008 周金平

---

---

---

---

---

---

---

---

## Method : CustomerArrive

```

-- determine the amount of a customer request
-- called by: entrance control of 'Customers'
is
do
  @.CurrIconNo := z_Emp(1,SizeOfDemand,1);
end;
  
```

CurrIconNo是指@移动物(MUs, 本例指Customer这个实体)的个数, 即本次顾客订单上的零件数。

Z\_Emp是一个根据Table表依照表中第一列的频数随机产生与行号相等的一个数。

Copyright by GDUT & IEtech 广东工业大学工业工程系 1996-2008 周金平

---

---

---

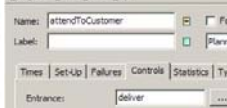
---

---

---

---

---



## AttendToCustomer 设定

### Method: deliver

- -- reduce the stock because of customer request
- -- called by: entrance control of 'attendToCustomer'
- is
- do
- calcCosts; -- 计算库存成本
- Stock := Stock - @.CurrIconNo; -- 将当前库存数量扣减客户订单购买的零件数量
- end;

**Method: calcCosts--成本计算**

```

-- Monthly inventory costs:  $2592000 = 30 * 24 * 3600 = 30 \text{ Tage}$ 
-- called by: 'deliver' and 'reach'
is
    now:=time;
do
    now := eventController.simTime;
    if Stock > 0 then 直接消耗库存
        InventoryCosts := round(InventoryCosts + Stock * HoldingCosts * (now
- lastEvent) / 2592000.2);
    else 发生缺货现象, 惩罚性的延迟交货成本计算
        InventoryCosts := round(InventoryCosts - Stock * BacklogCosts * (now -
lastEvent) / 2592000.2);
    end;
    lastEvent := now;
end; -- of method

```


**问题点: LastEvent在哪里?**

The screenshot shows the JETech software interface. On the left, the 'Tools' menu is open, and 'Custom Attributes...' is highlighted. An arrow points from this menu item to the 'Custom Attributes' dialog box. The dialog box has a title bar 'Custom Attributes' and buttons for 'New', 'Edit', and 'Delete'. It contains a table with the following data:

Name	Value	Type	C.	I.	Channel
lastEvent	0.0000	time method	*	*	

At the bottom of the slide, there is a footer with the text 'Copyright by GDUT & JETech', the logo of '广东工业大学工程系统' (Guangdong University of Technology Engineering System), and the date '1996-2008 周金平'.






## Method: Switch

```

-- called by: interaktion method 'Selection'
is
NW: object;
do
  NW := @.-; -- MUs所在的Frame
  if NW.DeliveryOption = "Express" then
    NW.DeliveryOption := "Normal";
  else
    NW.DeliveryOption := "Express";
  end;
  --@.opendialog;
  reset;
end;-- of method
--说明: 本Method的作用是当你用鼠标单击DeliveryOption时, 可以在Normal和Express间变换。
  
```



Copyright by GDUT & IEtech 南京工业大学工业工程系 1996-2008 周金平

---

---

---

---

---

---

---

---



## 补货采购



- orderFromSupplier: 定期(30h)激活一个采购订单
- Delivery: 订单确认和履行。
  - 如果当前库存比安全库存大, 立即废止orderFromSupplier产生的Lot。
  - 否则计算补货数量, 并附在Lot的自定义属性Amount中。
  - 根据交货方式, 确认订单履行的时间。
- Storage: 上一个补货采购订单的货物到达仓储。
- 两个对库存数量计算的Method: reviewInventory和Reach



Copyright by GDUT & IEtech 南京工业大学工业工程系 1996-2008 周金平

---

---

---


---

---

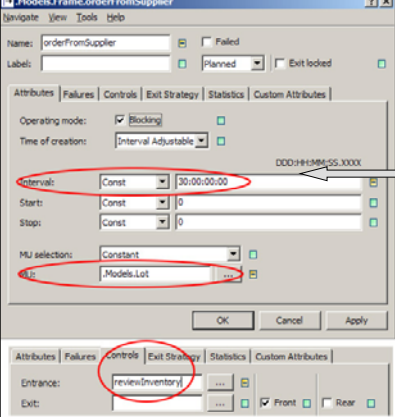
---

---


---



## orderFromSupplier



每30h产生一个补货采购需求。  
 30h是在Reset设置的  
 注: 不明白为什么是30h?



Copyright by GDUT & IEtech 南京工业大学工业工程系 1996-2008 周金平

---

---

---

---

---

---

---

---

## Method: reviewInventory

```

-- make a order if necessary
-- called by: entrance control of 'orderFromSupplier'
is
do
  if Stock < SafetyStock then
    @.Amount := maxStockLevel - Stock;
    InventoryCosts := InventoryCosts + OrderSetupCost + @.Amount * IncrementalCost;
    --print "Stock is ",Stock," ==> order ",@.Amount," parts, passed ",round(eventController.simTime/86400)," days.";
  else
    --print "Stock is ",Stock,". no order, passed ",round(eventController.simTime/86400)," days.";
    @.deleteObject;
  end;
end;

```

28

Copyright by GDUT & IEtech 广东工业大学工业工程系 1996-2008 周金平

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Delivery & Storage

- Delivery的时间设定: 根据补货方式为Normal或Express, 在Reset中进行设定----Delivery.proctime.setParam("gleich",3, earliestDelivery \* 86400, latestDelivery \* 86400);其中latestDelivery分别为30或14。
- Storage的入口控制Entrance调用Method: Reach
  - enlarge the stock because of an arrival of a delivery
  - called by: entrance control of 'Storage'
  - is
  - do
  - calcCosts;--调用Method:calcCosts, 计算新的库存成本
  - Stock := Stock + @.amount; --现有库存与补货数一起作为新的库存量
  - end;

29

Copyright by GDUT & IEtech 广东工业大学工业工程系 1996-2008 周金平

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## E08.2 两水平多因子DOE

- 建立一个实验管理器: ExpDesign2Level
- 如图步骤进行设定参数。
- 最后点击OK, 得到 $2^4$ 因子设计表(见下页)

	Input values	Input InventoryCosts	Input DeliveryOption	Input Difference	Input SafetyStock
1. Lower level	1	Normal	10	20	
2. Upper level	2	Express	30	40	

Copyright by GDUT & IEtech 广东工业大学工业工程系 1996-2008 周金平

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 2<sup>K</sup>因子设计

Model: InventoryExperimentDesignForExpAndSafetyStock

Enter the input values for each experiment.  
The row corresponds to the number of the experiment.

	True				
	Active	root.InventoryEvalInterval	root.DeliveryOption	root.Difference	root.SafetyStock
1	true	1	Normal	10	20
2	true	1	Normal	10	60
3	true	1	Normal	50	20
4	true	1	Normal	50	60
5	true	1	Express	10	20
6	true	1	Express	10	60
7	true	1	Express	50	20
8	true	1	Express	50	60
9	true	2	Normal	10	20
10	true	2	Normal	10	60
11	true	2	Normal	50	20
12	true	2	Normal	50	60
13	true	2	Express	10	20
14	true	2	Express	10	60
15	true	2	Express	50	20
16	true	2	Express	50	60

OK Cancel Apply

Copyright by GDUT & IEtech 广东工业大学工业工程系 1996-2008 周金平

## 运行实验及因子分析

■ 选择ExpDesign2L2属性页，点“Experiment Manager: Reset”

■ 点“Experiment Run”

■ “Analysis of Factor”

Results of the Fractional Design for the selected value:

W1... = Main Effects: Average change due to moving the Factor from the lower to the upper level.

	root.InventoryEvalInterval	root.DeliveryOption	root.Difference	root.SafetyStock
1	W1,2 = 4.362	W1,2 = -8.988	W1,3 = -7.213	W1,4 = -14.787
2	W1,3 = 10.362	H2 = 24.788	W2,3 = 10.362	W2,4 = 11.038
3	H3 = -4.537		H3 = -4.537	W3,4 = 3.312
4				H4 = 13.180

OK Cancel Apply

### 分析说明

- 上页的因子分析表中, H1—H4代表四个因素的主效应, 即在其他因素不变的情况下, 因素从低水平到高水平变化所引起的效应, 该值绝对值越大说明主效应越显著。
- 补货方式H2和安全库存H4比较大, 这二者对库存总成本影响比较大。
- W12表示库存检查周期和补货方式的交互影响, 其余W开头的依此类推。
- W14/W23/W24影响比较大, 但是由于主效应H1最小, 后续的DOE可能不再考虑H1的影响, 故对W14的影响可以不做进一步研究。

Copyright by GDUT & IEtech 广东工业大学工业工程系 1996-2008 周金平

进一步的实验研究

- 库存检查周期(InventoryEvalInterval)对库存总成本影响不大
- 影响最大的因素是补货方式
- 进一步的实验设计可以将补货方式设置为Normal水平, 库存检查周期可以按照企业、工厂的实际情况设为某一个常用经验值。
- 此时, 只需考虑最大库存和安全库存对库存总成本的影响。在一般的拉式生产方式中采用的Kanban, 只需设定最大库存和安全库存, 因此此实例可在Kanban数量设计中发挥相关作用。

IEtech

34

Copyright by GDUT & IEtech 广东工业大学工业工程系 1996-2008 周金平

---

---

---

---

---

---

---

---

图表实时显示库存变化过程

- 新增一个Chart: StockPlotter

IEtech

35

Copyright by GDUT & IEtech

---

---

---

---

---

---

---

---

IEtech

36

Copyright by GDUT & IEtech

---

---

---

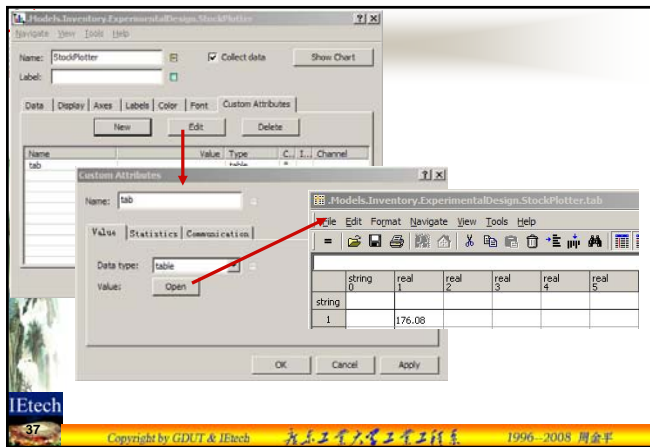
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

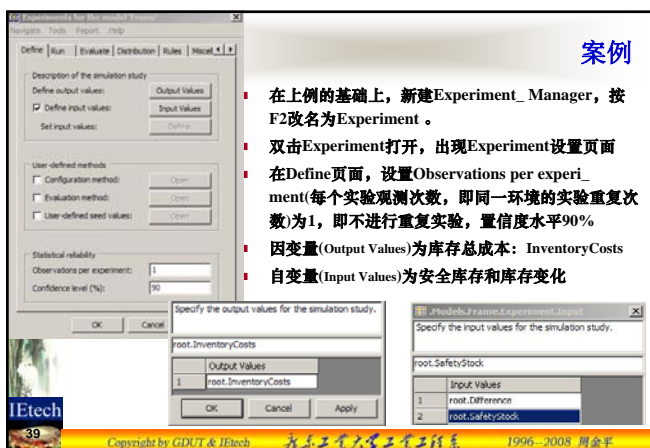
---

---

---

---

---



### 案例

- 在上例的基础上，新建Experiment\_Manager，按F2改名为Experiment。
- 双击Experiment打开，出现Experiment设置页面
- 在Define页面，设置Observations per experiment(每个实验观测次数，即同一环境的实验重复次数)为1，即不进行重复实验，置信度水平90%
- 因变量(Output Values)为库存总成本：InventoryCosts
- 自变量(Input Values)为安全库存和库存变化

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Define设置

- 按图进行两因素八水平的DOE设置。
- Run/Evaluation等页面采用默认设置。
- 点Run页面中的“Experiment Manager: Reset”对实验进行重置，然后点“Experiment Run : Start”开始仿真。

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### DesignChart设置

- 将E09中的RulesChart复制一个，改名为DesignChart。
- 将E09中的Method: GenChart复制一个，改名为ShowChart
- 双击打开ShowChart，输入以下代码：
- is
- s,d,ExpNo:integer;Safety,Diff,delta:real;
- inObj,resObj,ExpMgrObj:object;T:table;
- do
- ExpMgrObj := Experiment;
- T := DesignChart.Tab;
- T.delete;T.open;
- delta := 10;
- inObj := ExpMgrObj.InputValues;
- resObj:= ExpMgrObj.ResultsTable;

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### DesignChart设置

- for ExpNo := 1 to resObj.yDim loop
- Safety := inObj[2,ExpNo];
- s := ceil(Safety/delta);
- Diff := inObj[1,ExpNo];
- d:= ceil(Diff/delta);
- T[d,s] := resObj[1,ExpNo];
- next;
- DesignChart.active := true;
- end;-- of the method
- 运行ShowChart，看看生成的3D图形。
- 观察自定义属性的结果数据表，最小库存成本为117.2，对应为安全库存=25，库存变化=40，结果和E09基本是一致的。

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---