

第三章 系统动力学建模方法

实验工具：Vensim

Vensim 是由一种可观念化、文件化、模拟、分析、与最佳化动态系统模型之图形接口软件。该软件提供一种简易而具有弹性的方式，以建立包括因果循环(casual loop)、存货(stock)与流程图等相关模型。使用 Vensim 建立动态模型，我们只要用图形化的各式箭头记号连接各式变量记号，并将各变量之间的关系以适当方式写入模型，各变量之间的因果关系便随之记录完成。而各变量、参数间之数量关系以方程式功能写入模型。透过建立模型的过程，我们可以了解变量间的因果关系与回路，并可透过程序中的特殊功能了解各变量的输入与输出间的关系，便于了解模型架构，也便于修改模型的内容。

版本：8.2.1

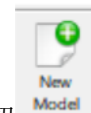
实验内容：

学会使用 Vensim 软件掌握系统动力学的建模方法。在 Vensim 中首先学会绘制因果关系图，分析要素之间的相互关系，构造反馈环；依据反馈环的动态作用，画出系统因果关系图。其次学会绘制流程图，明确问题及其构成要素；绘制要素间相互作用关系的因果关系图，注意一定要形成回路；确定变量类型（包括水平变量、速率变量和辅助变量）。再学会实现系统流程图的 DYNAMO 仿真模型建立与分析。以便获取所需信息用以分析和研究系统的结构和动态行为，为正确进行科学决策提供可靠依据。

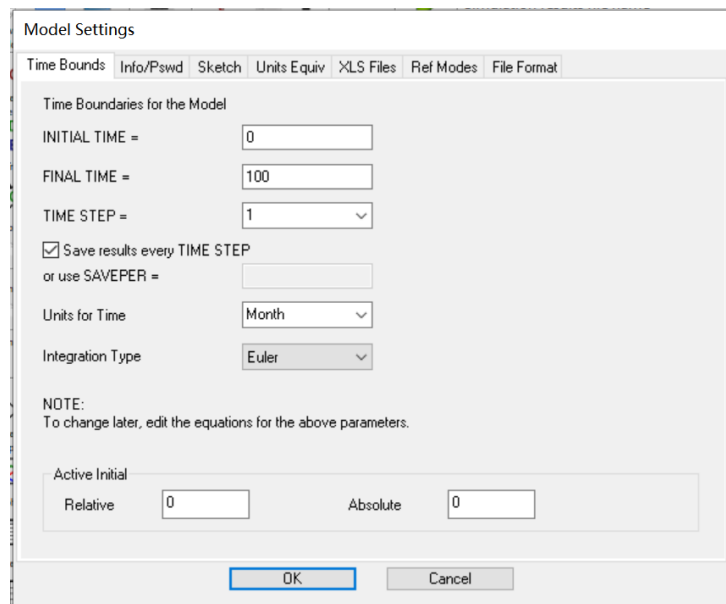
实验步骤：

1. 绘制因果关系图

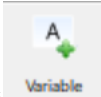

以课件中的野兔—山猫模型为例，能够绘制出该系统中各个要素间的因果关系。

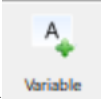


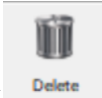
(1) 首先打开 Vensim，从菜单栏选择文件>新建或者单击工具栏的新建按钮，出现如下对话框，点击确定。



(2) 点击  添加模型变量；通过  对图形对象进行位置或者大小的调整，还可

以通过点击  对变量进行拖动；通过点击  将有因果关系的变量相互连接起来；

点击 ，然后单击已有变量可以对变量名进行编辑。

(3) 选中要删除的变量，编辑>删除或者使用删除按钮 。

(4) 右击一个变量，可以给该变量添加边框，并对变量名的字体进行编辑。

Options

Options for 野兔数量

Shape

☐ None ☐ Box ☐ Diamond

☐ By Type ☒ Clear Box ☐ Triangle

☐ Circle ☐ Hexagon ☐ Up Triangle

Word Position

☒ Inside ☐ Above ☐ Right

☐ Below ☐ Left

Face:

Times New Roman Example

@Fixedsys @Malgun Gothic @Malgun Gothic Semilight TrueType Times New Roman

Size (Points) 12

Color -

Shape Color -

☐ Background Color -

Thickness

Line Style Solid

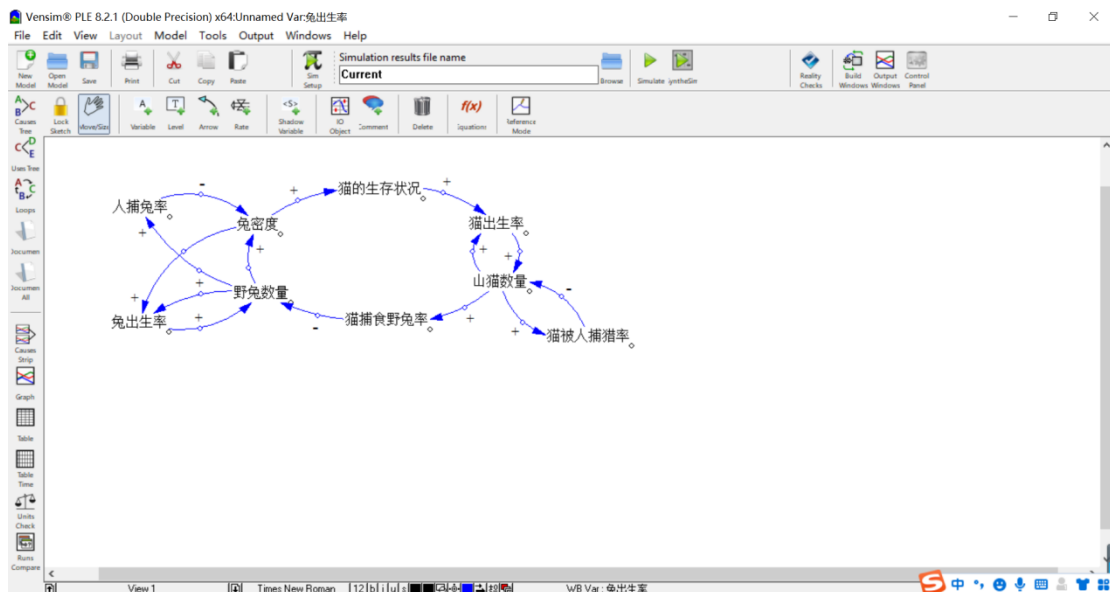
Internal fill edge Inside shape

OK Cancel Equation

(5) 右击一个箭头，可以对该箭头的线性和极性进行编辑。



(6) 通过分析，最终绘制该系统的因果关系图如下：



2. 绘制流图

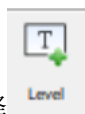
以课件中的一个地区的林业系统为例，在该系统中有：

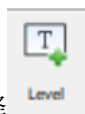
水平变量：宜林荒地、造林面积、森林面积；

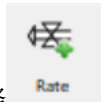
速率变量：宜林荒地增加率、造林率、造林面积过渡到森林面积的比率、毁林率

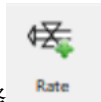
辅助变量：偏差、期望森林面积、期望覆盖率

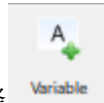
常量：造林方案有关，从造林到森林的时间延迟常数，毁林率

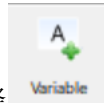


(1) 添加水平变量：选择 ，单击鼠标，写入变量名。水平变量主要为矩形框。




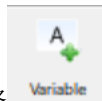
(2) 创建速率变量: 选择 ，在一个水平变量上单击鼠标，拖动箭头到另一水平变量，再单击鼠标，写入变量名。

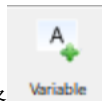


(3) 添加辅助变量: 选择 ，在需要添加变量的地方单击鼠标，写变量名。选择

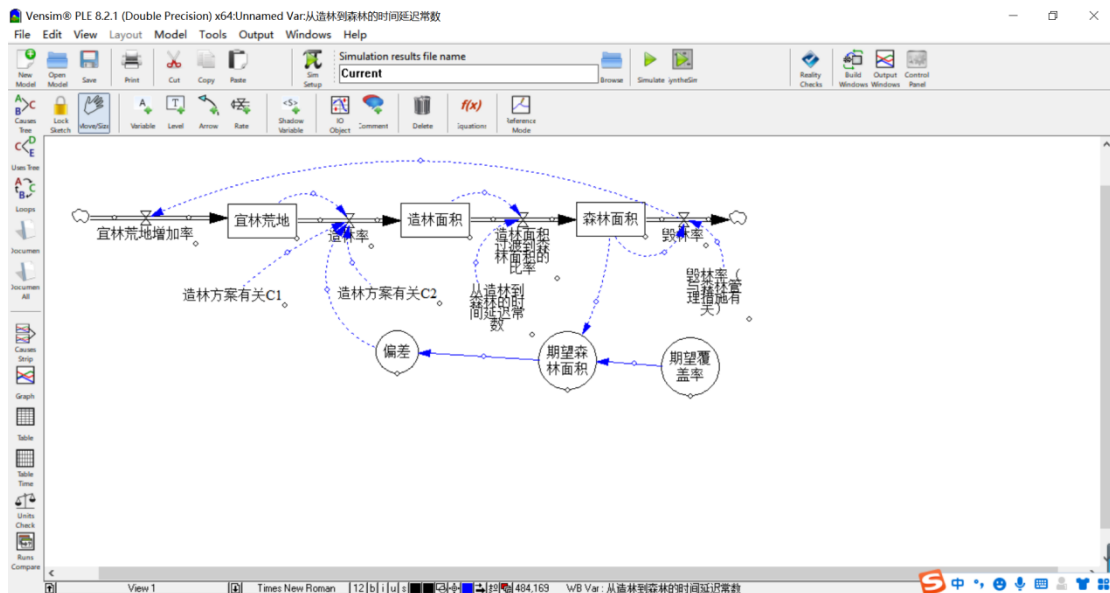


，为变量之间添加连接线。辅助变量主要为圆形框。



(4) 添加常量: 选择 ，在需要添加常量的地方单击鼠标，写常量名。

通过分析，画出该系统流图如下所示:

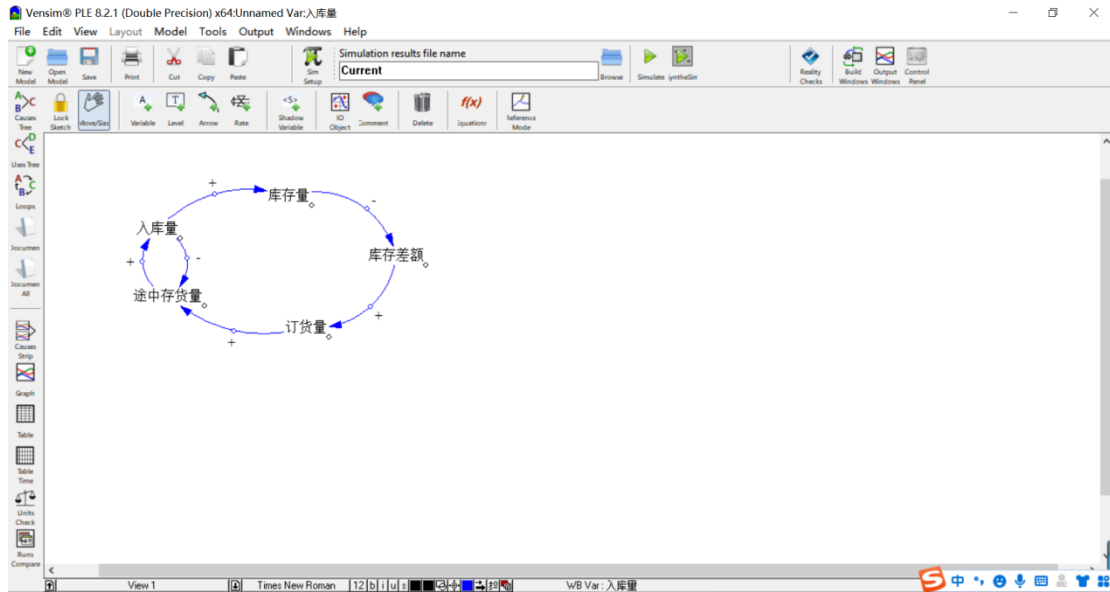


3. 系统流图的 DYNAMO 仿真模型建立

以库存控制问题为例

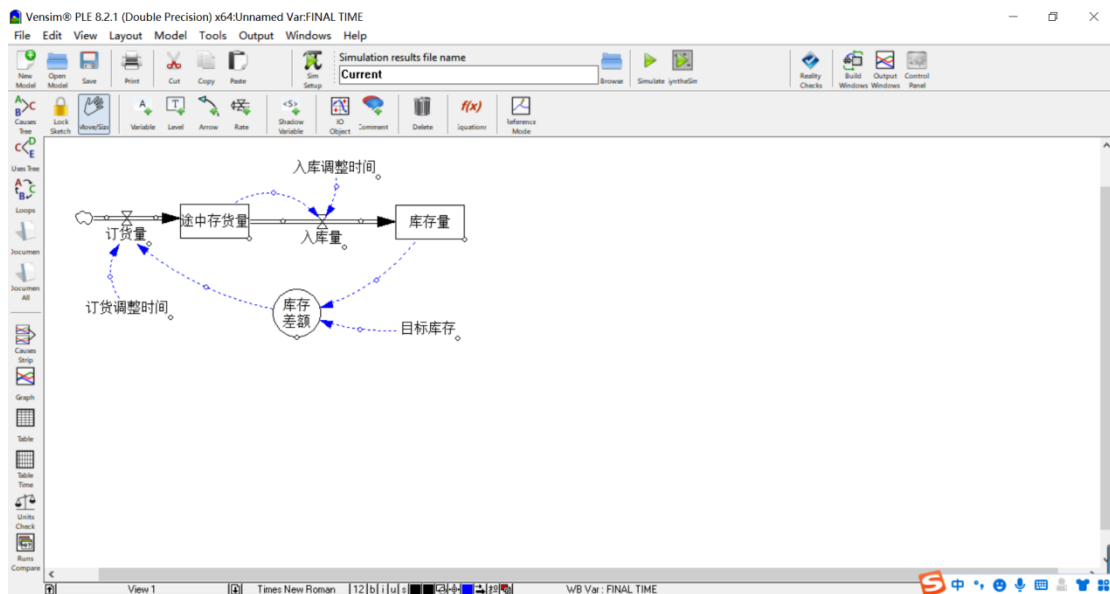
库存量-I、途中存货量-G、订货量-R1、入库量-R2、库存差额-D

(1) 首先绘制因果关系图



(2) 绘制流图

根据因果关系图，进行分析可绘制出流图如下所示：



(3) 定义每个参数的方程



选择 **Equations**，单击鼠标。

a. 首先定义两个水平变量，分别点击途中库存量和入库量这两个变量。

途中库存量初值确定为 10000

Edit: 途中存货量

Variable Information		Edit a Different Variable	
Name	途中存货量	All	FINAL TIME
Type	Level	Search Model	INITIAL TIME
Sub-Type		New Variable	SAVEPER
Units		Back to Prior Edit	TIME STEP
Check Units	<input type="checkbox"/>	Jump to Hilite	入库调整时间
Supplementary	<input type="checkbox"/>		入库量
Group	.		库存差额
Min			
Max			

Equations

= INTEG (订货量-入库量

Initial Value

10000

Functions

Common

Keypad Buttons

Variables

Causes

ABS
DELAY FIXED
DELAY1
DELAY1I
DELAY3
DELAY3I
EXP
GET 123 CONSTANTS
GET 123 DATA
GET 123 LOOKUPS
GET DIRECT CONSTANTS

7 8 9 + :AND:
4 5 6 - :OR:
1 2 3 * :NOT:
0 E . / :NA:
() , ^ <>
> >= = < <=
[] ! { }
Undo -> {{()}}

途中存货量
入库量
订货量

Comment

☐ Expand

Errors: Equation Modified

OK Check Syntax Check Model Delete Variable Cancel Help

入库量初值确定 1000

Edit: 库存量

Variable Information		Edit a Different Variable	
Name	库存量	All	FINAL TIME
Type	Level	Search Model	INITIAL TIME
Sub-Type		New Variable	SAVEPER
Units		Back to Prior Edit	TIME STEP
Check Units	<input type="checkbox"/>	Jump to Hilite	入库调整时间
Supplementary	<input type="checkbox"/>		入库量
Group	.		库存差额
Min			
Max			

Equations

= INTEG (入库量

Initial Value

1000

Functions

Common

Keypad Buttons

Variables

Causes

ABS
DELAY FIXED
DELAY1
DELAY1I
DELAY3
DELAY3I
EXP
GET 123 CONSTANTS
GET 123 DATA
GET 123 LOOKUPS
GET DIRECT CONSTANTS

7 8 9 + :AND:
4 5 6 - :OR:
1 2 3 * :NOT:
0 E . / :NA:
() , ^ <>
> >= = < <=
[] ! { }
Undo -> {{()}}

库存量
入库量

Comment

☐ Expand

Errors: Equation Modified

OK Check Syntax Check Model Delete Variable Cancel Help

b. 定义入库调整时间，确定为 10，

Edit: 入库调整时间

Variable Information

Name: 入库调整时间

Type: Constant Sub-Type: Normal

Units: Check Units ☐ Supplementary

Group: Min: Max: Incr:

Equations: 10

Functions: Common

Keypad Buttons: 7 8 9 + :AND: 4 5 6 - :OR: 1 2 3 * :NOT: 0 E . / :NA: () , ^ <> > >= = < <= [] ! { } Undo -> {{()}}

Variables: Causes

Comment: ☐ Expand

Errors: Equation Modified

OK Check Syntax Check Model Delete Variable Cancel Help

c. 定义入库量。入库量=途中存货量/入库调整时间

Edit: 入库量

Variable Information

Name: 入库量

Type: Auxiliary Sub-Type: Normal

Units: Check Units ☐ Supplementary

Group: Min: Max:

Equations: 途中存货量/入库调整时间

Functions: Common

Keypad Buttons: 7 8 9 + :AND: 4 5 6 - :OR: 1 2 3 * :NOT: 0 E . / :NA: () , ^ <> > >= = < <= [] ! { } Undo -> {{()}}

Variables: Causes

Comment: ☐ Expand

Errors: Equation Modified

OK Check Syntax Check Model Delete Variable Cancel Help

d. 定义订货量。订货量=库存差额/订货调整时间

Edit: 订货款

Variable Information		Edit a Different Variable	
Name	订货款	All	FINAL TIME
Type	Auxiliary	Search Model	INITIAL TIME
Sub-Type	Normal	New Variable	SAVEPER
Units		Back to Prior Edit	TIME STEP
Check Units	<input type="checkbox"/>	Jump to Hilite	入库调整时间
Supplementary	<input type="checkbox"/>		入库量
Group	.		库存差额
Min			
Max			

Equations

库存差额/订货款调整时间

Functions

Common

Keypad Buttons

Variables

Causes

ABS

DELAY FIXED

DELAY1

DELAY1I

DELAY3

DELAY3I

EXP

GET 123 CONSTANTS

GET 123 DATA

GET 123 LOOKUPS

GET DIRECT CONSTANTS

Comment

☐ Expand

Errors: Equation Modified

OK

Check Syntax

Check Model

Delete Variable

Cancel

Help

e. 定义订货款调整时间，确定为 5

Edit: 订货款调整时间

Variable Information		Edit a Different Variable	
Name	订货款调整时间	All	FINAL TIME
Type	Constant	Search Model	INITIAL TIME
Sub-Type	Normal	New Variable	SAVEPER
Units		Back to Prior Edit	TIME STEP
Check Units	<input type="checkbox"/>	Jump to Hilite	入库调整时间
Supplementary	<input type="checkbox"/>		入库量
Group	.		库存差额
Min			
Max			
Incr			

Equations

5

Functions

Common

Keypad Buttons

Variables

Causes

ABS

DELAY FIXED

DELAY1

DELAY1I

DELAY3

DELAY3I

EXP

GET 123 CONSTANTS

GET 123 DATA

GET 123 LOOKUPS

GET DIRECT CONSTANTS

Comment

☐ Expand

Errors: Equation Modified

OK

Check Syntax

Check Model

Delete Variable

Cancel

Help

f. 定义库存差额。库存差额=目标库存-库存量。

Edit: 库存差额

Variable Information

Name: 库存差额

Type: Auxiliary Sub-Type: Normal

Units: Check Units ☐ Supplementary

Group: Min: Max:

Equations: 目标库存-库存量

Functions: Common

Keypad Buttons

Variables: 库存量 目标库存

Causes:

Comment

☐ Expand

Errors: Equation Modified

OK Check Syntax Check Model Delete Variable Cancel Help

g. 定义目标库存，确定初始值为 6000。

Edit: 目标库存

Variable Information

Name: 目标库存

Type: Constant Sub-Type: Normal

Units: Check Units ☐ Supplementary

Group: Min: Max: Incr:

Equations: 6000

Functions: Common

Keypad Buttons

Variables:

Causes:

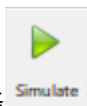
Comment

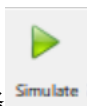

☐ Expand

Errors: Equation Modified

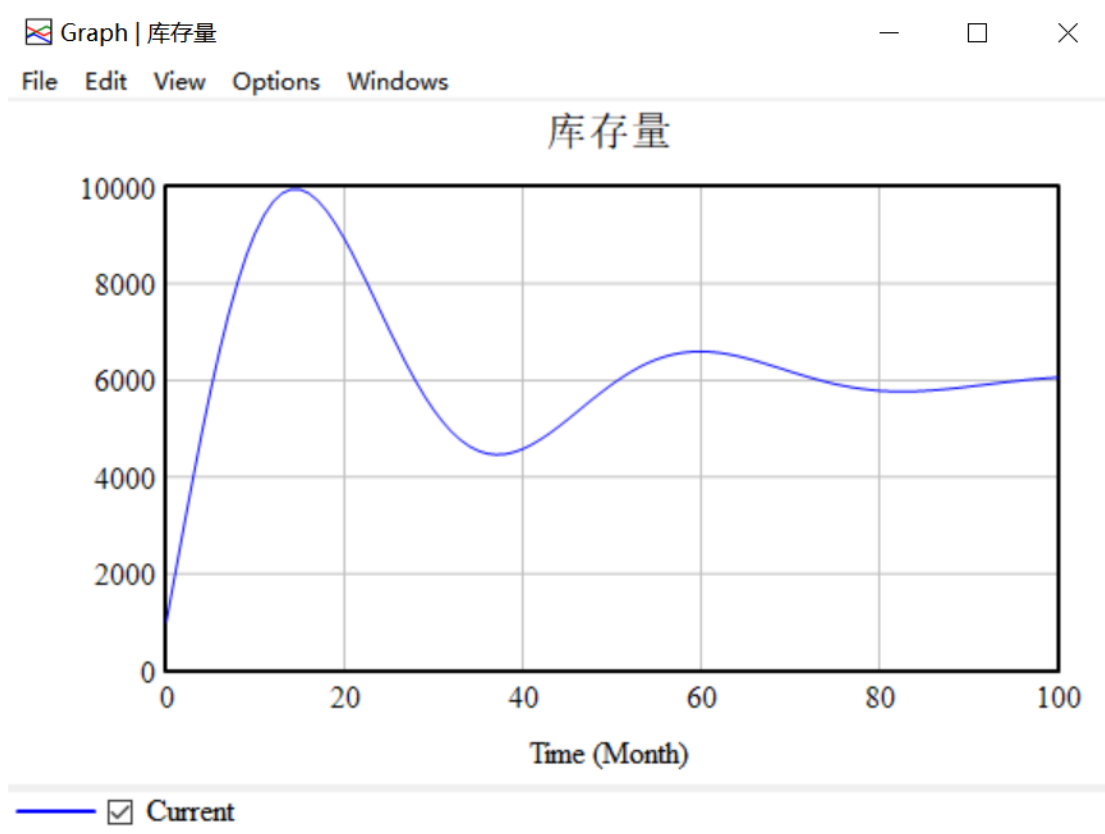
OK Check Syntax Check Model Delete Variable Cancel Help

(4) 进行仿真



选择 ，单击鼠标进行仿真。点击库存量，再点击 ，就可以观察到库存量的变化趋势。同样也可以观察到途中库存量的变化趋势。





如果要看更长一段时间的稳定状态，可以把仿真的时间调长一些，调成 200。

Edit: FINAL TIME

Variable Information

Name: FINAL TIME

Type: Constant Sub-Type: Normal

Units: Month Check Units ☐ Supplementary

Group: Control Min: Max: Incr:

Equations: 200

Edit a Different Variable

All ☒ FINAL TIME ☐ INITIAL TIME ☐ SAVEDPER ☐ TIME STEP ☐ 入库调整时间 ☐ 库存量 ☐ 库存差额

Search Model New Variable Back to Prior Edit Jump to Hilite

Functions Common Keypad Buttons Variables Causes

ABS
DELAY FIXED
DELAY1
DELAY1I
DELAY3
DELAY3I
EXP
GET 123 CONSTANTS
GET 123 DATA
GET 123 LOOKUPS
GET DIRECT CONSTANTS

Keypad Buttons

7 8 9 + :AND:
4 5 6 - :OR:
1 2 3 * :NOT:
0 E / :NA:
() , ^ <>
> >= = < <=
f 1 ! { }
Undo -> {{()}}

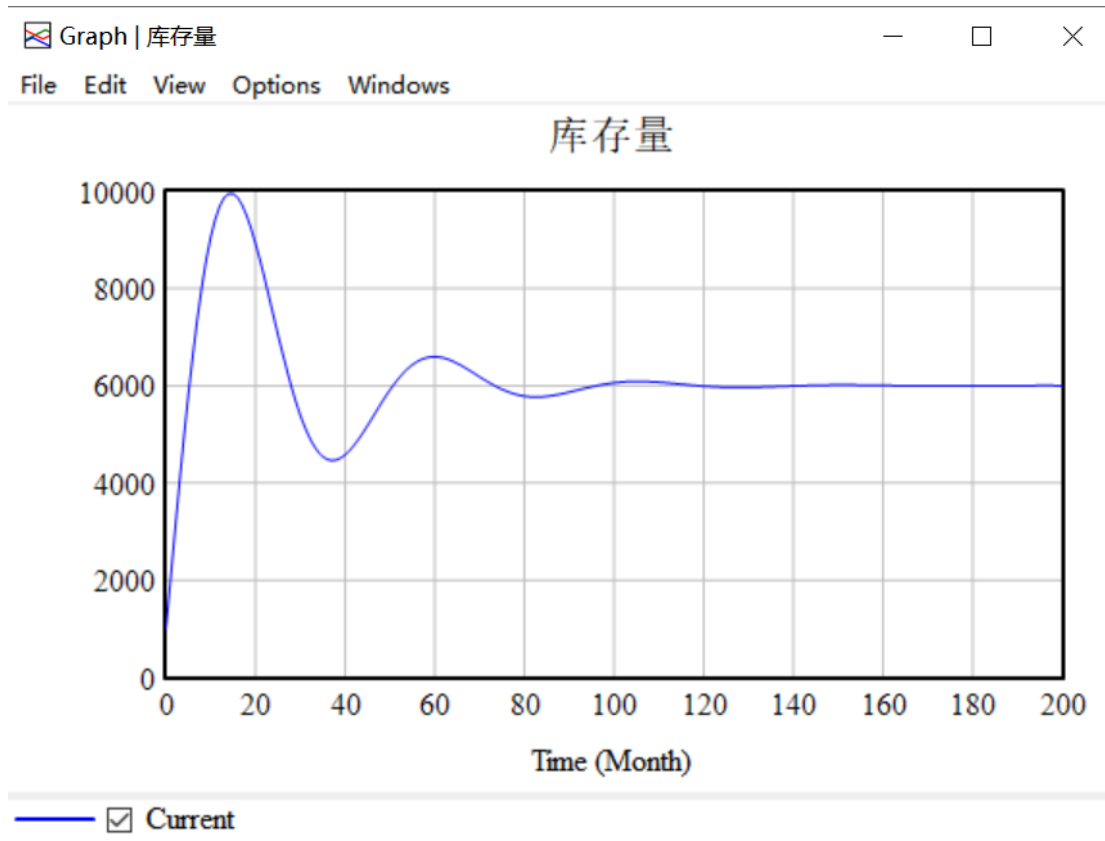
Comment: The final time for the simulation.

☐ Expand

Errors: Equation Modified

OK Check Syntax Check Model Delete Variable Cancel Help

此时可以看到库存量的变化如下所示，库存量在 100 多天后稳定了下来。



再把途中库存量调小来进行对比

Edit: 途中库存量

Variable Information
Name: 途中库存量
Type: Level Sub-Type:
Units:
Check Units ☐ Supplementary ☐
Group:
Min:
Max:
Equations: 订货款-入库量
Initial Value: 8000

Edit a Different Variable
All
Search Model
New Variable
Back to Prior Edit
Jump to Hilite
FINAL TIME
INITIAL TIME
SAVEPER
TIME STEP
入库调整时间
入库量
库存差额

Functions: Common
ABS
DELAY FIXED
DELAY1
DELAY1I
DELAY3
DELAY3I
EXP
GET 123 CONSTANTS
GET 123 DATA
GET 123 LOOKUPS
GET DIRECT CONSTANTS

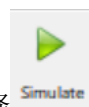
Keypad Buttons
7 8 9 + :AND:
4 5 6 - :OR:
1 2 3 * :NOT:
0 E / :NA:
() , ^ <>
> >= = < <=
f 1 f }
Undo -> {{()}}

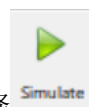
Variables:
途中库存量
入库量
订货款

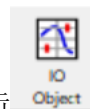
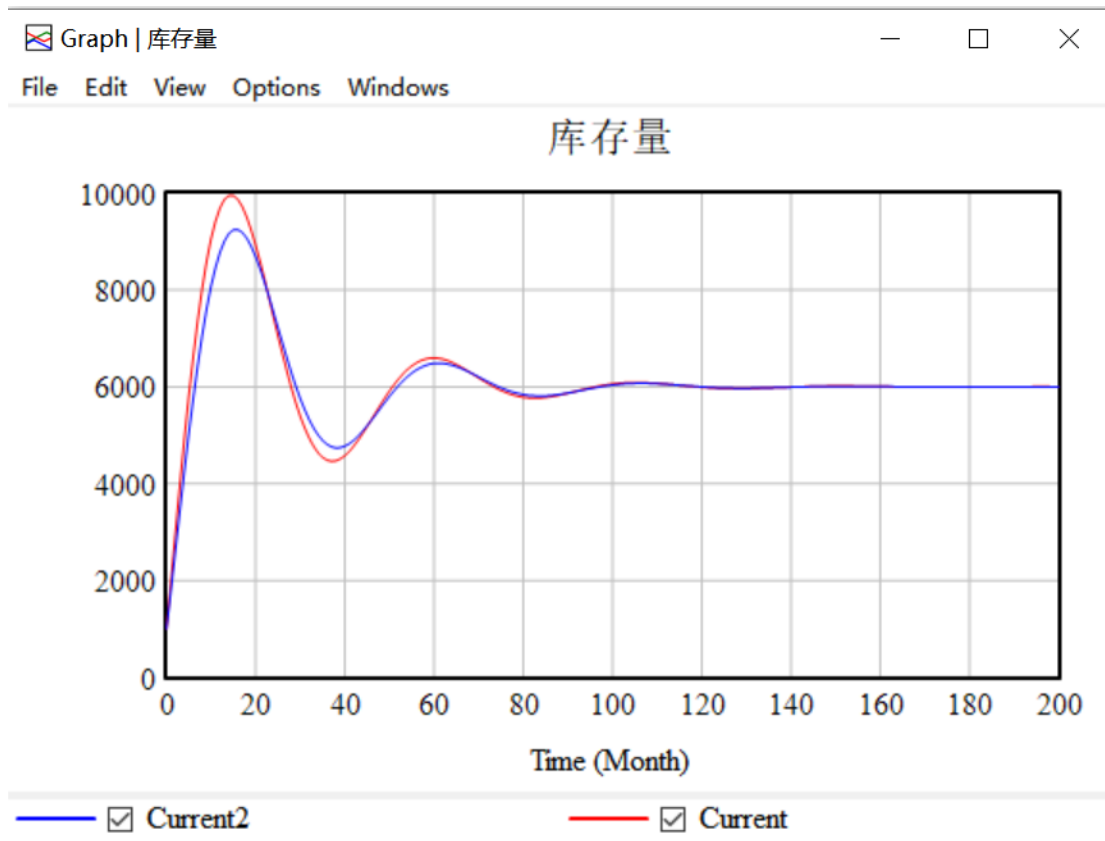
Causes:
Comment:
☐ Expand

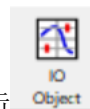
Errors: Equation Modified

OK Check Syntax Check Model Delete Variable Cancel Help



把第二次仿真的数据放到 current2 里去，点击选择  进行仿真，此时仿真结果中库存量的变化趋势如下所示。



(5) 如果想直观的观察每次仿真的结果，可以点击 ，生成一个图形界面。这时候需要关注库存量的变化，所以类型为输出。

Input Output Object settings

Input Output Object settings

Object Type

☐ Input Slider ☒ Output Workbench Tool ☐ Output Custom Graph

Variable name.

Choose:

库存量

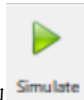
Slider Settings

Ranging from

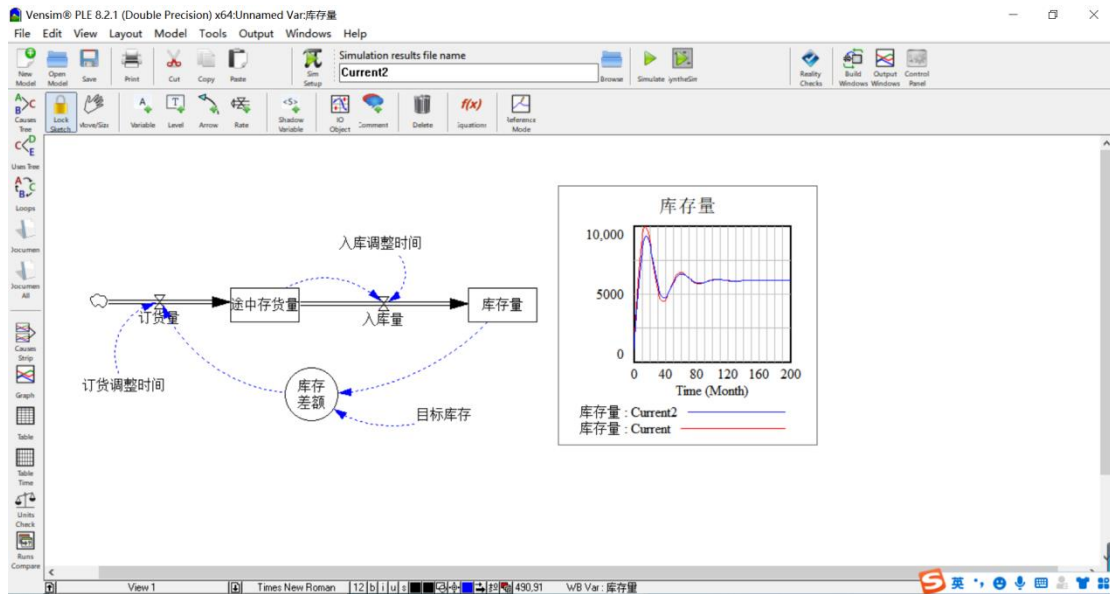
to ☒ Label with varname

with increment

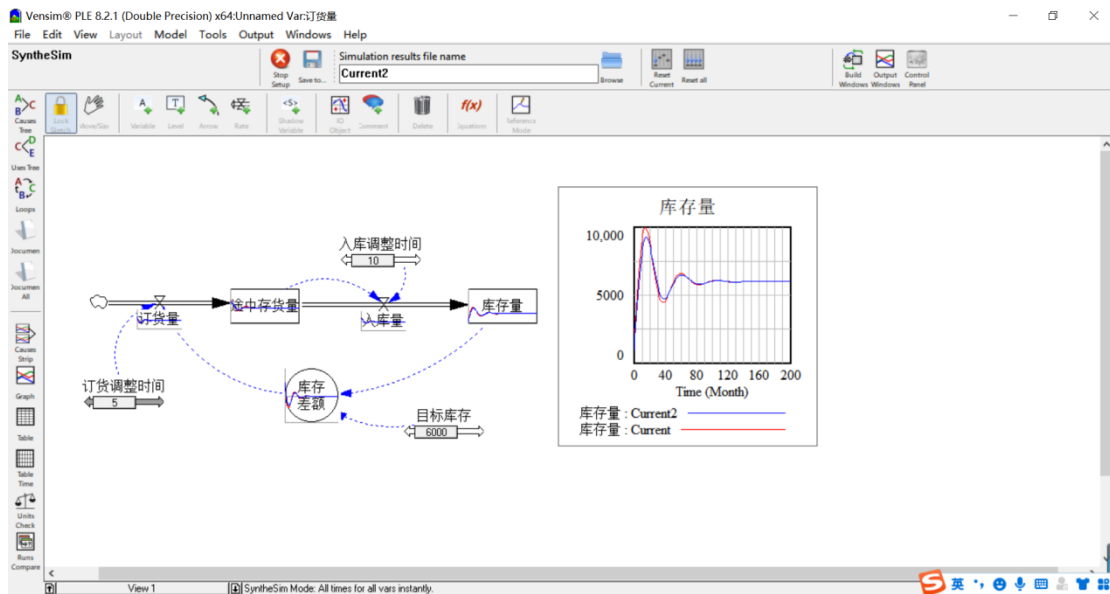
Custom Graph or Analysis Tool for Output



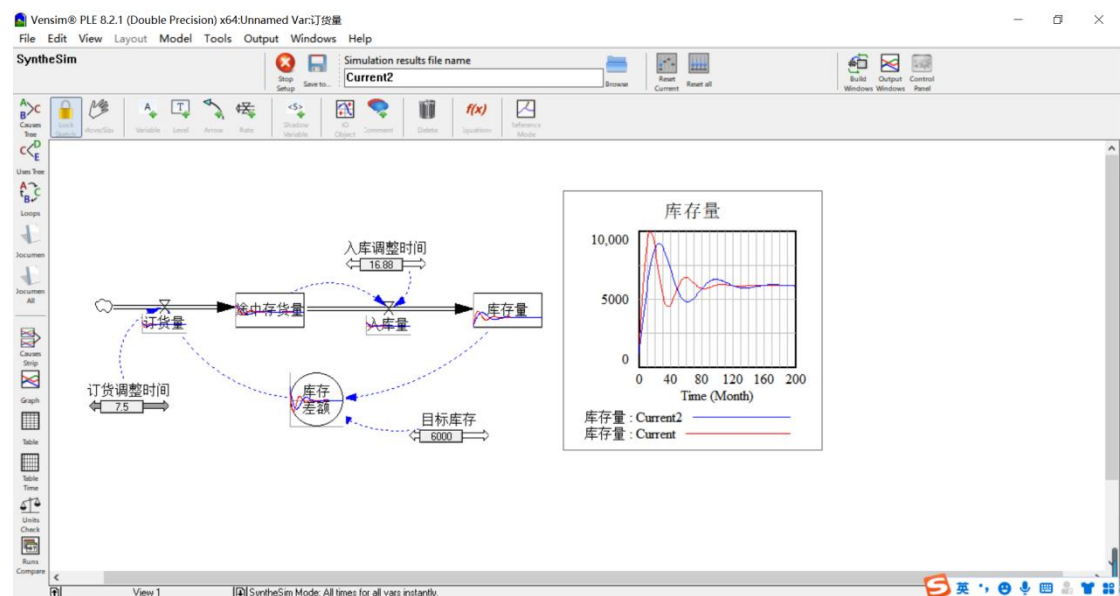
点击确定之后，再点击仿真按钮，得到直观的结果如下所示：



(5) 如果想要实时观察库存量的变化，可以点击实时仿真按钮来进行。



这时候就可以实时改变订货调整时间、入库调整时间、目标库存来观察变化。



在该实验中利用系统动力学建模的方法，经过计算机模拟，对系统内部信息反馈过程进行分析，了解该系统结构和动态行为特性。

注：

参考资料：<https://wenku.baidu.com/view/b430efe6bed5b9f3f80f1c15.html>