

运用 AnyLogic 进行离散事件建模^①

AnyLogic 支持系统动力学、离散事件和基于智能体的三大仿真建模方法,并且支持多种方法的联合建模。本章将具体介绍如何建立离散事件模型。

离散事件模型的历史与系统动力学模型一样悠久。1961年由IBM工程师Geoffrey Gordon发明的GPSS软件,是公认的第一款离散事件建模软件。时至今日,包括新版GPSS在内的许多软件,都能实现离散事件模型的构建。

说明: 离散事件建模的思路是将需建模的系统视为一个过程,即一系列的对实体的操作。

离散事件建模的主要操作包括各类时间延迟、资源服务、支路选择、分离和组合等。实体对资源进行竞争,并导致时间延迟,因此在所有的离散事件建模中都具有供实体排队队列。离散事件模型可以具象为一个过程流程图,其中的各个模块表示各种操作。过程流程图通常以Source模块开始,Source模块产生实体并将实体放置到过程之中,实体经过各个过程后最终进入Sink模块,并从模型中消失。

实体(最初在GPSS中称为事务)可以表示客户、病人、来电、纸质或电子文档、零件、产品、托盘、计算机进程、汽车、任务、项目和主意等。与之对应的,资源可表示职员、医生、接线员、工人、服务器、处理器、存储器、设备和运输等。

服务时间和实体到达时间通常取自随机概率分布,从而使离散事件模型具有一定的随机性,也意味着离散事件模型必须运行一定的时间或反复运行多次才能生成有意义的输出结果。

典型的离散事件模型输出包括:

- 资源利用率(员工满负荷率);
- 实体在全部或部分系统中的停留时间;
- 等待时间;
- 队列长度;
- 系统吞吐量;
- 瓶颈;
- 实体构建和处理的开销。

^① 本章选自《AnyLogic教材》(暂定名)。

【工厂模型】

本章建立一个洗衣机组装厂的离散事件模型。该厂将洗衣机的机身和盖板组装成洗衣机。零件以指数分布到达工厂,并通过传送带抵达组装站;组装机器人将盖板安装到机身上装配成洗衣机;装配好的洗衣机继续经由传送带运送至装箱站,由工人将其装箱;随后,运输卡车将装好的洗衣机以 10 个一组运送出厂。洗衣机的生产过程如图 3-1 所示。

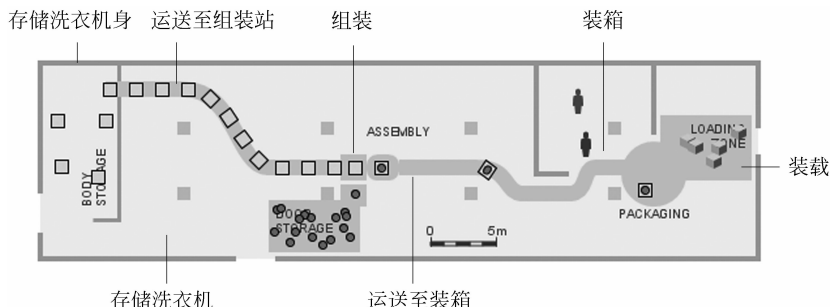


图 3-1 洗衣机的生产过程模型

模型建立要经过 5 个阶段,每个阶段都是一个可独立运行的模型。

3.1 建立一个简单模型

首先建立一个简单的模型,主要实现仿真洗衣机的机身进入工厂以及传送带将其运送至组装站。

运行 AnyLogic,显示欢迎页面,如图 3-2 所示。



图 3-2 AnyLogic 欢迎页面

欢迎页面有 AnyLogic 软件的简介,并给出了程序的综述和特性介绍。该页面也会提示访问 XJ 科技公司的网站,并且提供了许多的简单例程。

(1) 关闭欢迎页面,在 AnyLogic 主界面中选择“文件”→“新建”→“模型”命令,从而创建一个新的模型。新建模型向导如图 3-3 所示。



图 3-3 AnyLogic 新建模型向导

(2) 在“模型名称”文本框中,输入新模型的名称 Factory。

(3) 在“位置”文本框中,确定程序创建模型所在的文件夹。既可以单击“浏览”按钮选择一个文件夹,也可以直接在“位置”文本框中输入文件夹的名称。

(4) 单击“下一步”按钮。既可以从零开始进行新模型创建,也可以选择一个模板来初始化模型。

(5) 由于本案例目的是学习如何创建模型,单击“完成”按钮关闭向导。

在图形化编辑器中,将会看到一个空的模型 Main 活动对象类。下面简要介绍 AnyLogic 的界面,如图 3-4 所示。

【软件界面】

① 图形化编辑器。

图形化编辑器使用户可以图形化地编辑活动对象类的图标。

② 工程视图。

在工程视图中,可以在工作区内打开 AnyLogic 模型,并可通过工作区树实现对模型的快速导航。

③ 面板视图。

面板视图以面板的形式分组列出了模型用到的各类元素。如要向模型中添加元素,只需将元素从面板中拖曳到图形编辑器即可。

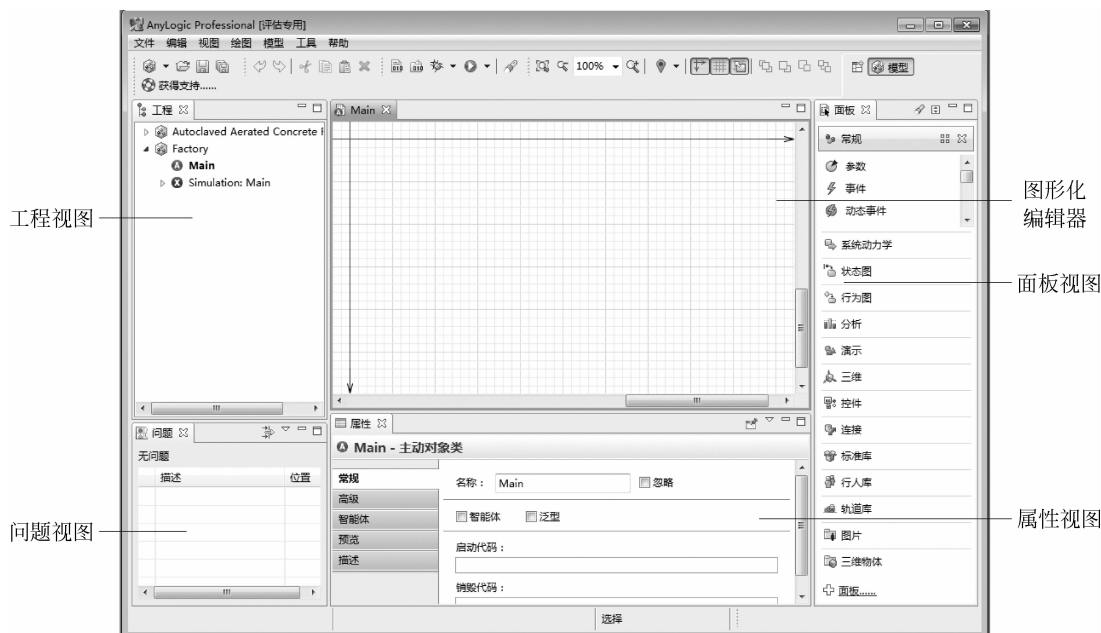


图 3-4 AnyLogic 建模界面

④ 属性视图。

属性视图显示并可修改选中对象的属性。

⑤ 问题视图。

问题视图显示在模型开发和编译过程中发生的任何错误。

下面使用标准库对所提工厂进行建模。

【标准库】

① 标准库是 AnyLogic 构建离散事件模型或面向过程模型的标准对象库。

基于标准库中的对象,可以用实体(如交易、用户、产品、零件和汽车)、过程(如队列、实验、资源利用率的运行顺序)和资源来模拟现实世界的系统。

② 过程以流图的形式定义,即把制造、呼叫中心、商业过程、物流和医疗过程表示为图形化的符号。流图通过标准库中的对象建立。

AnyLogic 流图是分层、可伸缩和可扩展的,可以对大型、复杂的系统进行任意细节层次的建模。标准库的另一个重要特点是支持对过程模型用高度复杂的动画进行表现。

(6) 在面板视图中,点击打开标准库面板。即可将各个库对象添加到 Main 活动对象类的可视化图纸中,如图 3-5 所示。

添加 Source 对象生成实体。Source 对象通常是整个离散事件模型的起点,本节所建的模型用它生成洗衣机的机身。

(7) 拖曳标准库中的 Source 对象到图形化图纸中,如图 3-6 所示。这是添加新对象的最易用、最常用的方式。

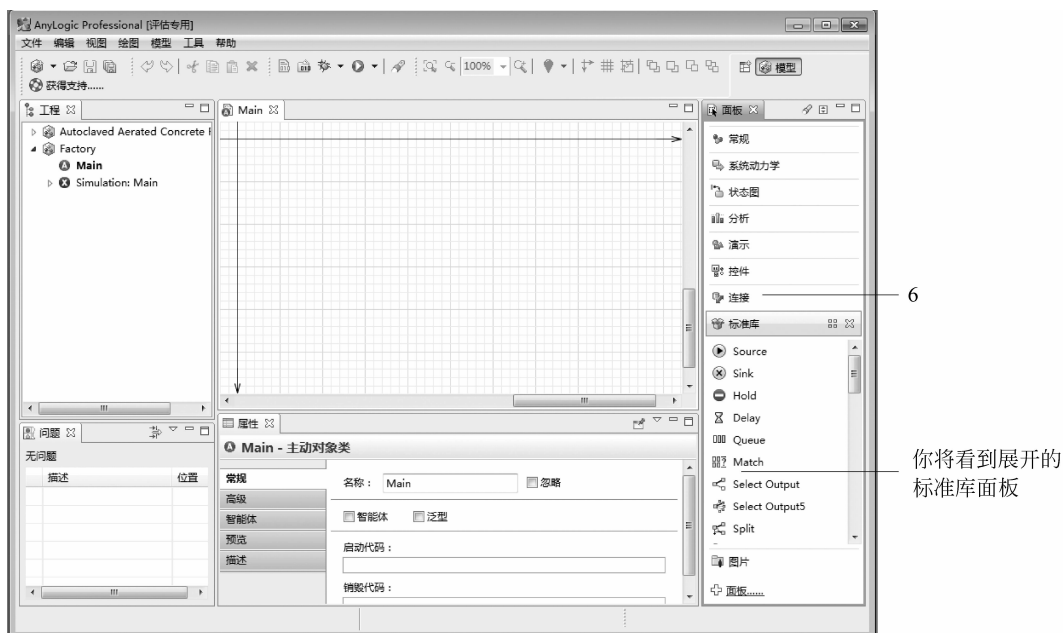


图 3-5 AnyLogic 标准库面板

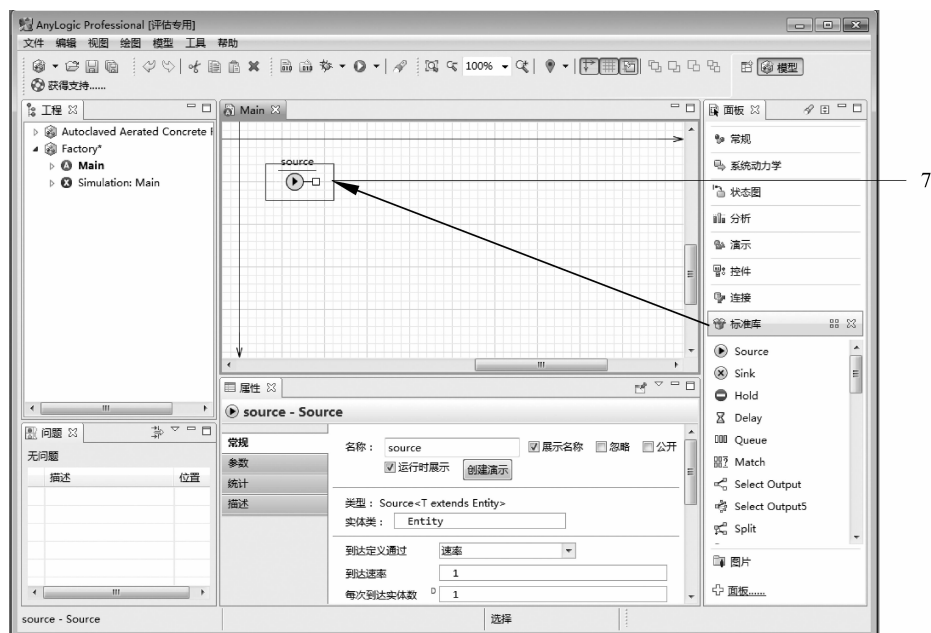


图 3-6 在图纸中添加 Source 对象

(8) 把对象拖曳至图形化编辑器后,对象的名称已经自动选中,如图 3-7 所示。输入该对象的新名称 sourceBodies。

说明: 在操作过程中给模型元素命名,即可在随后通过名称引用这些元素。

如果退出了文件名编辑模式,双击对象的名称即可再次进行编辑。

继续添加其他的标准库对象来构建流图。

(9) 向图纸中添加 Queue 对象,并将其命名为 bodies。

Queue 实体模拟了一个等待流图的下一对象接收或进入存储区的实体所处的队列(缓存)。添加 Queue 来存储洗衣机机身,并使其等待传送带的提取,如图 3-8 所示。

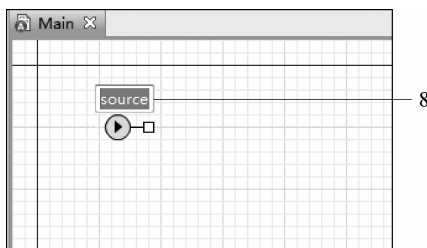


图 3-7 更改对象名称

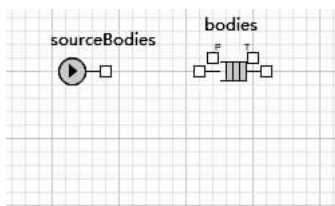


图 3-8 在图纸中添加 Queue 对象

(10) 添加 Conveyor 对象,并将其命名为 conveyorBodies。

Conveyor 对象以给定的速度沿着特定路径移动实体,并确保实体间的最小间隔。在本章模型中,该对象表示输送洗衣机机身的传送带,如图 3-9 所示。

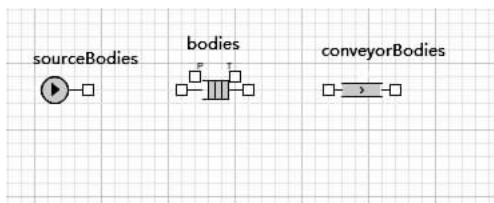


图 3-9 在图纸中添加 Conveyor 对象

(11) 添加 Sink 对象,Sink 对象用于丢弃实体,通常用于流图的末端连接流图的各个对象的端口,建立实体的行进路径,如图 3-10 所示。

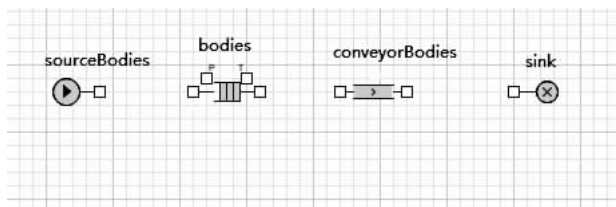


图 3-10 在图纸中添加 Sink 对象

将 sourceBodies 的对象端口连接至 bodies 对象的左端口。

(12) 单击所要连接的一个端口。

(13) 随后双击连接的另一个端口,两个端口之间即出现连接线,如图 3-11 所示。

① 当绘制连接线时,绿色圆表示连接线的端点已经正确放入了端口。

② 如果选择了一个连接线但是并没有看到绿色圆,通常因为连接线的端点被放置在了端口的附近,而没有放到端口之内,需要重新将连接线的端点移动至端口内,如图 3-12 所示。

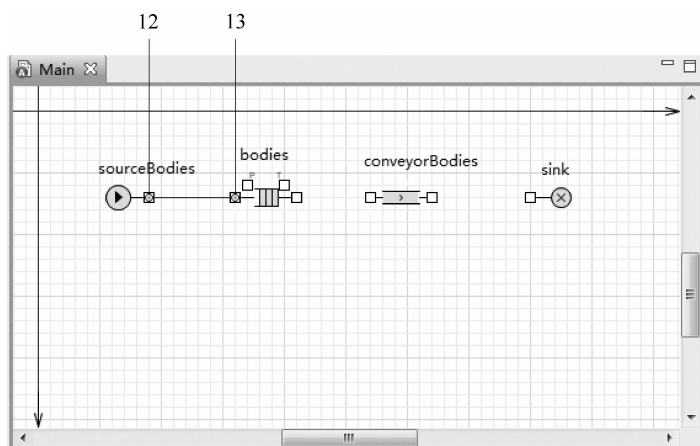


图 3-11 对象之间的连接

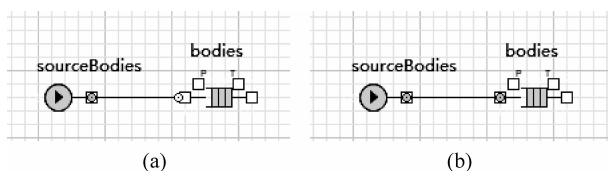


图 3-12 错误与正确的连线方式

(14) 连接流图中的其他对象的端口,如图 3-13 所示。

该步骤定义了实体在流图中的行进路径。当实体进入 Source 对象后,模型将其传递给在流图中连接到 Source 对象输出端口的对象,并依此向后进行。

在连接对象时,需将对象的右侧端口连接到下一个对象的左侧端口,这意味着标准库中的对象有输入端口和输出端口的区别。输入端口位于对象图标的左侧,输出端口位于对象图标的右侧。输入端口只能和输出端口相连。

(15) 在工程视图中,在模型项上如果有星号,则意味着对模型做出的更改尚未保存,如图 3-14 所示。

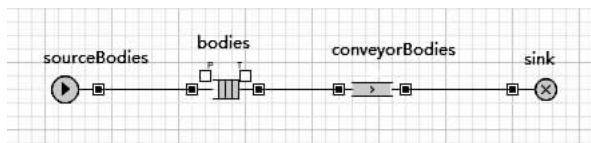


图 3-13 连接流图中的其他对象

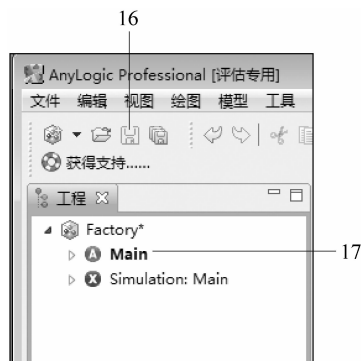


图 3-14 工程视图中未保存模型标识

(16) 在工具栏中,单击图标按钮即可保存模型。

现在这个简单的模型已经构建完毕。下面运行该模型并且观察其行为。

(17) 在工具栏上,找到图标按钮,单击其右侧的小三角形。

(18) 选取希望运行的实验。从下拉菜单中选择 Factory/Simulation 项,如图 3-15 所示。

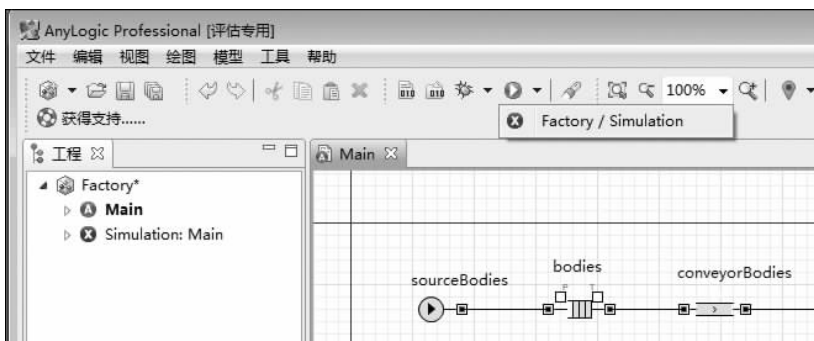


图 3-15 选择运行的模型

工作区一次可以打开多个模型,每一个模型都有多个实验,所以选取正确的实验很有必要。

模型启动后,会打开演示窗口,其中显示了所启动的实验的运行过程。

默认情况下,实验演示窗口有“运行模型并切换至主视图”按钮,如图 3-16 所示。



图 3-16 实验演示窗口中“运行模型并切换到主视图”按钮

(19) 单击该按钮运行模型,并打开 Main 活动对象类的演示窗口,如图 3-17 所示。

通过流图的动画演示可观察到所构建模型流图对象的当前状态。观察对象图标可以发现图标上显示了实体进出流图对象的统计信息:

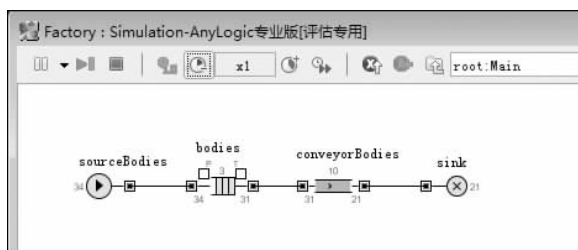


图 3-17 Main 活动对象类的演示窗口

- 对象图表顶部的数字表示正在传输的实体数；
 - 对象端口附近的数字表示通过该端口的实体数。
- (20) 单击任意对象可打开对应的监视窗口,如图 3-18 所示。

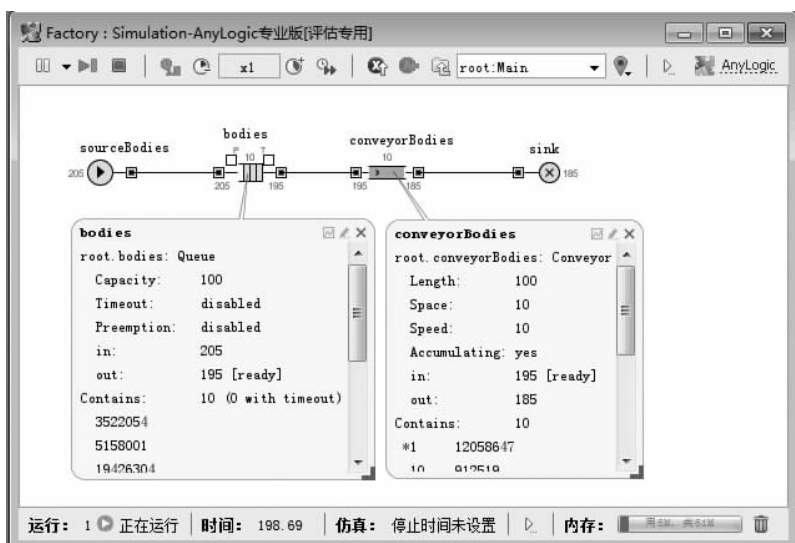


图 3-18 单击任意对象可打开对应监视窗口

- (21) 通过控制 AnyLogic 演示窗口顶部的工具栏可以控制模型的执行过程。

【执行过程控制】

- ① 从当前状态运行: [在模型非运行时可见]启动仿真,或在仿真暂停时恢复仿真。
- ② 步进: 执行一个模型事件,并暂停。
- ③ 暂停: [在模型运行时可见]暂停仿真,并可随时恢复。
- ④ 终止运行: 终止当前模型的执行。

- (22) 关闭演示窗口。

3.2 建立模型动画

本节通过添加代表传送带和洗衣机机身存储区的动画,继续开发洗衣机组装工厂模型。首先添加工厂的布局图。

(1) 打开演示面板。

该面板提供绘制模型演示过程的几何形状,如矩形、线段、椭圆、折线、曲线等。

(2) 拖曳面板中的图像对象到图纸中,如图 3-19 所示。

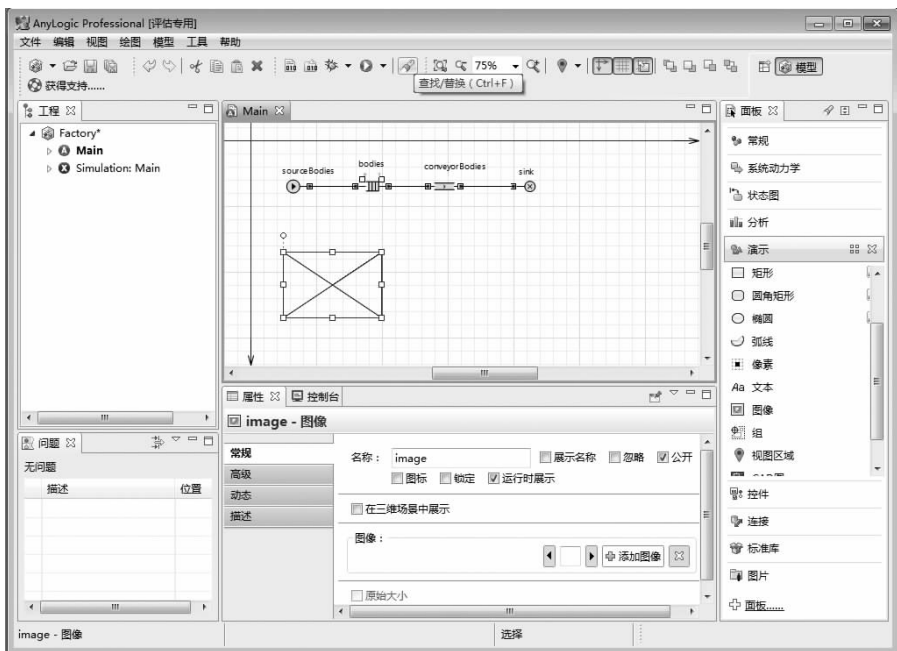


图 3-19 将图像对象添加到图纸中

(3) 选择需要显示的布局图。

在“属性”视图的“常规”选项卡中,单击“添加图画”按钮,并选择在 AnyLogic folder/resources/AnyLogic in 3 days/Factory 路径下的 factory_layout.png 图画文件(AnyLogic 6.8 或更高版本)。

在之前的版本中,AnyLogic folder 位于计算机安装 AnyLogic 软件的路径下,如 Program Files/AnyLogic 6 Professional。

(4) 在“属性”视图的“常规”选项卡中,选中“原始大小”复选框以使用图片的原始大小,如图 3-20 所示。

在默认情况下,AnyLogic 将匹配图片尺寸到形状对象尺寸。用户可以重新设置图像尺寸,但是可能会使图片变形,如图 3-21 所示。

此处将图片无失真地设为原始大小,如图 3-22 所示。



图 3-20 图像原始大小的设置



图 3-21 图像失真变形

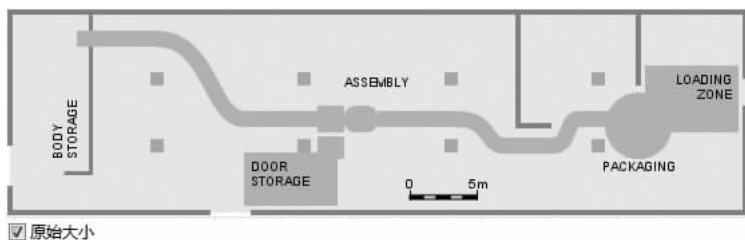


图 3-22 图像原始大小

(5) 在“属性”视图的“常规”选项卡中,选中“锁定”复选框以锁定该图片。

锁定图片有助于用户在该图片上放置其他形状,而不会在无意间用鼠标选中该图片,如图 3-23 所示。

【锁定形状】

锁定形状可使形状不再响应用户的点击,即该图片不会在图形化编辑器中被选中。这个特性常用于将工厂、医院部门的布局图片设置为动画的背景。

在本例中,由于形状的边框不易选中,用户可能会误选了背景图片,从而将对形状的编辑弄成了对背景图片的编辑。因此,通过锁定背景图片可避免错误选择,使动画绘制过程更容易。

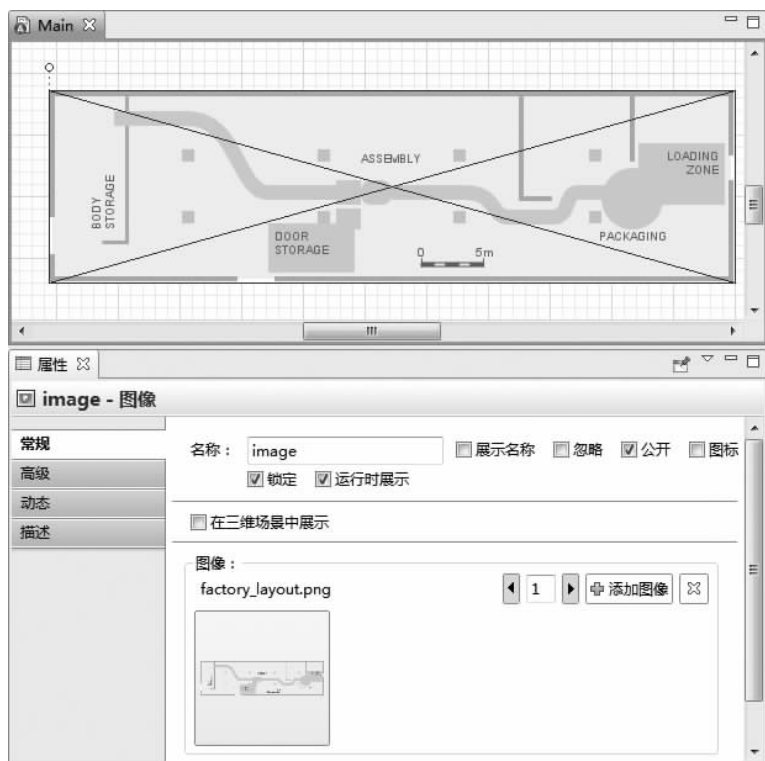


图 3-23 图像被锁定

下面绘制洗衣机机身存储区的动画。对应区域已在工厂布局图片上标出,在该区域内绘制一个矩形以表示机身存储区。

(6) 在“演示”面板中双击“矩形”元素来激活绘制模式。

(7) 在背景布局图片的 BODY STORAGE 区域拖曳鼠标绘制矩形。该矩形表示了洗衣机机身的存储区域,如图 3-24 所示。

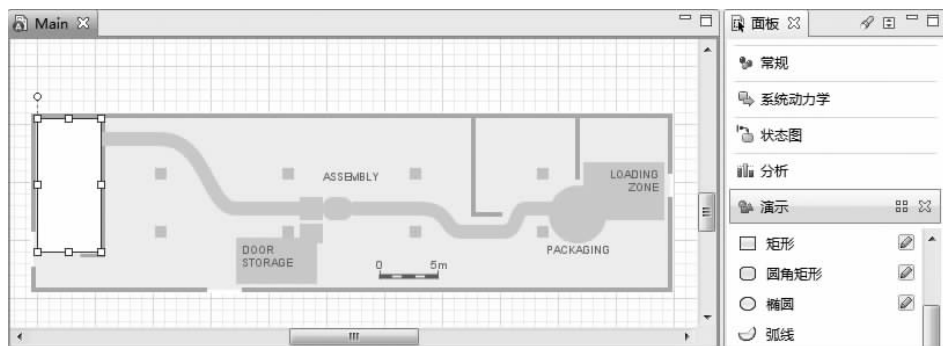


图 3-24 背景布局图片中矩形的绘制

【绘制模式】

① 支持绘制模式的元素(在面板中用图标表示),可以通过拖曳的方式添加到图纸中。

② 在绘制模式中,绘制形状的步骤十分简单。用户既可以绘制特定尺寸的椭圆或矩形,也可以逐个点的绘制一条折线。

③ 双击“面板”中可绘制的元素即可激活绘制模式。这时图标会变成,即可在图形化编辑器中绘制所需的形状,如图 3-25 所示。

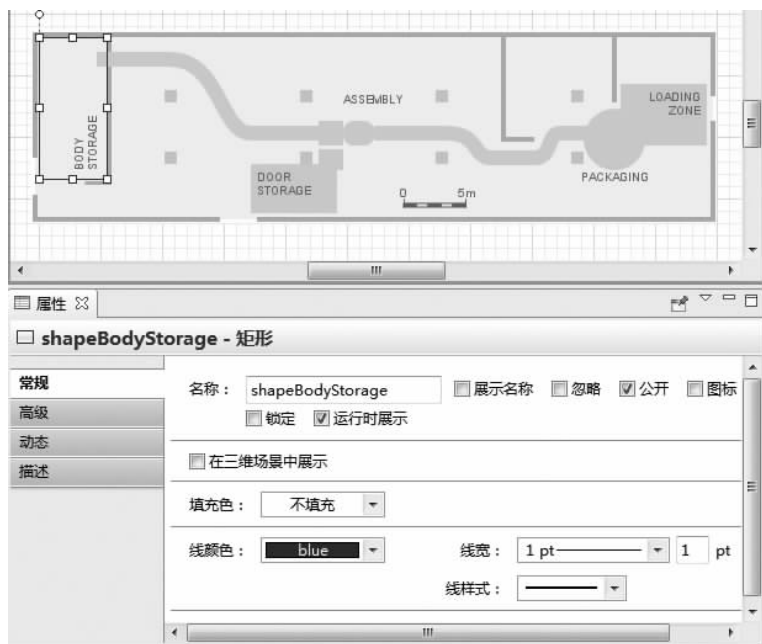


图 3-25 矩形属性视图中的常规页面

(8) 在“属性”视图的“名称”栏中,输入矩形的名称 shapeBodyStorage。

(9) 在“填充色”下拉列表中,选择“不填充”项,使矩形透明,并在“线颜色”下拉列表中选择 blue 项。

【“属性”视图】

“属性”视图展示了所选中的元素的属性。为了修改一个元素的属性,在图形编辑器或工程视图中单击选中该元素,即可用“属性”视图修改其属性。

“属性”视图包含多个页面。单击对应的标签可打开不同页面,如图 3-26 所示。

所选中对对象的名称和类型显示在视图的顶部,如图 3-27 所示。

(10) 在“演示”面板中双击“折线”元素,激活其绘制模式。

(11) 自左向右绘制一条折线。用单击绘制折点,双击绘制终点,如图 3-28 所示。

(12) 将折线命名为 shapeConveyorBodies,将线颜色设为 blue。



图 3-26 矩形属性视图中的高级页面



图 3-27 选中对象的名称和类型的显示



图 3-28 背景布局图片中折线的绘制

【折线方向】

折线常用于队列或传送带的动画演示,需要正确放置它的起点,因为:

- 传送带对象将从折线的起点向终点传输各类零件;
- 队列对象将从折线的起点向终点依次放置实体(折线起点即为队首)。

双击折线时,起点显示为一个内有小点的圆形标记(如图 3-29 所示)。

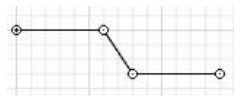


图 3-29 折线的起点标识

由于标准库的对象并没有内置动画, 用户需要告诉队列 bodies 对象, 名为 shapeBodyStorage 的矩形是表示洗衣机机身存储区动画的形状。当机身在存储区时, 它的动画将在该矩形中显示, 如图 3-30 所示。

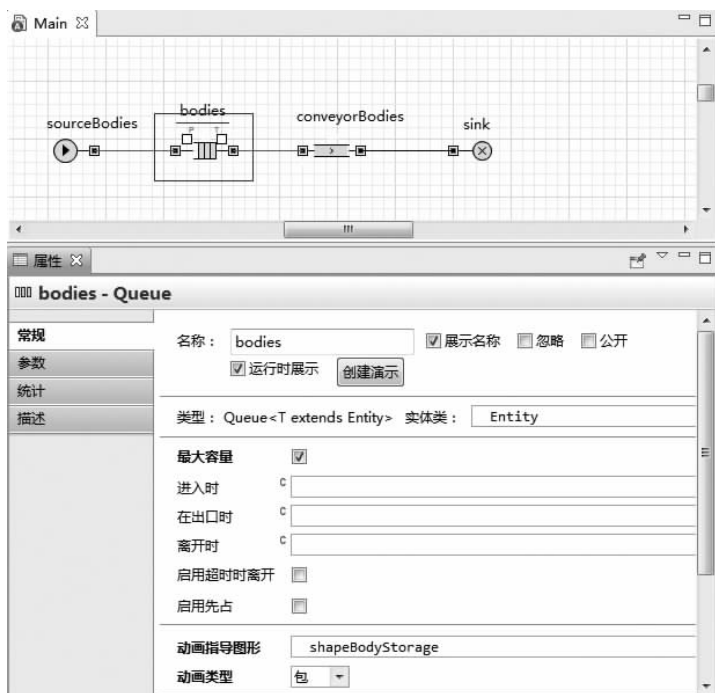


图 3-30 队列中动画指导图形的设置

(13) 选中 bodies 对象。

选中对象后才能在“属性”视图中显示其属性。

(14) 向上拖曳视图边界, 扩大“属性”视图。

(15) 选中“最大容量”复选框, 使队列容量达到最大。

(16) 在动画类型中选择包。

(17) 指定 shapeBodyStorage 为动画指导图形。输入第一个字母 s, 并按下 Ctrl+空格键(苹果 Mac OS 系统为 Alt+空格键)即可激活代码完成助手。从下拉列表中选择 shapeBodyStorage 即可。

【代码完成助手】

使用代码完成助手可以无须输入变量、函数的全名。打开助手只需单击编辑框中的适当位置, 并且按下 Ctrl+空格键即可。弹出的窗口列出了给定字符下的可用模型元素, 包括模型变量、参数、函数等, 如图 3-31 所示。可通过滚动滚轮选择所需要添加的元素, 或继续输入所需元素的头几个字母使其显示在列表中, 然后按 Enter 键即可将名称输入编辑框。

下面为传送带定义动画, 以观察实体(洗衣机机身)在传送带上如何运动。通过折线 shapeConveyorBodies 绘制传送带。

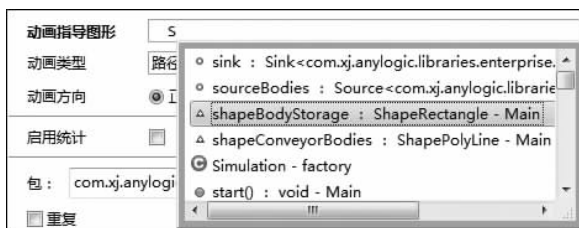


图 3-31 使用代码完成助手搜索变量和函数的全名

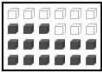
(18) 选择图纸中的 conveyorBodies 并指定折线 shapeConveyorBodies 为其动画指导图形,如图 3-32 所示。



图 3-32 为传送带定义动画

【标准库对象的动画类型】

对象可以操作实体或资源,操作过程可通过动画来展示。在 AnyLogic 中,用户可以在图纸上绘制折线或矩形,并将其指定为对象的动画指导图形,从而很容易地实现对象操作的动画展示。在指定动画指导图形后,对象就采用该形状作为展示实体操作的规范。有以下多种方式进行实体的动画展示,这些方式也被归纳成动画类型。

-  排列: 实体的动画按指定矩形的二维阵列依次摆放。
-  包: 实体的动画显示在指定矩形中的随机位置。
-  路径: 实体的动画沿折线路径排列。
-  个体: 将单个实体的动画显示在形状的基准位置。

-  集合：实体的动画显示在指定折线的转折点位置。

(19) 运行模型并观察动画。

如果出现如下错误信息,说明没有选择包作为队列对象 bodies 的动画类型,如图 3-33 所示。



图 3-33 没有选择包作为队列对象 bodies 的动画类型时的错误信息

(20) 观察模型动画,洗衣机机身进入存储过程,直到被传送带走走,如图 3-34 所示。

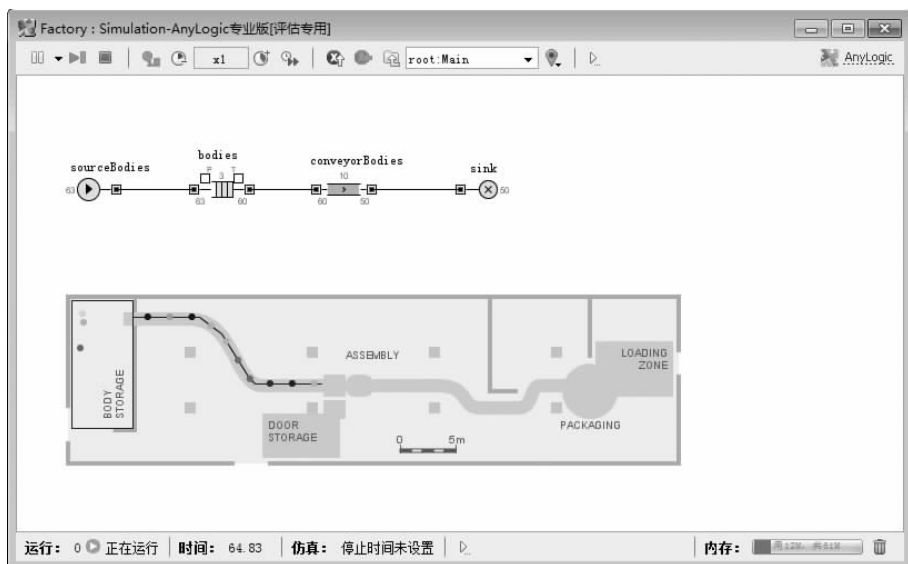


图 3-34 运行模型的动画显示

(21) 单击控制栏上的减速和加速按钮调整模型的执行速度。

【模型的执行模式】

AnyLogic 模型可以运行在真实时间模式或虚拟时间模式下。

① 在真实时间模式中,可设置模型时间与真实时间的默认比例,从而将模型时间映射为真实时间,该模式常用在需要表现真实事物的建模之中。

② 在虚拟时间模式中,模型以最大速度运行。该模式可用于观测长时间的模型运行过程,并且不需要预先定义模型时间与真实时间的关系。

在真实时间模式,可通过改变模型的仿真速度比例来增、减模型的执行速度,如图 3-35 所示。例如, $\times 2$ 意味着模型在两倍于指定速度的状态下运行。

用时间比例工具栏可以控制模型的执行时间。

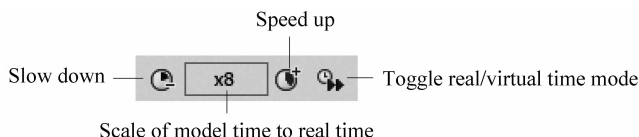


图 3-35 真实时间模式下仿真执行速度的调整

3.3 模型组装操作

本阶段将主要进行：

- 添加洗衣机盖板的来源,添加后部的传送带以将其传送至组装机器人处；
- 添加组装机器人,将洗衣机机身和盖板组装成洗衣机成品；
- 进一步修改模型动画,绘制洗衣机零件的动画。

下面为仿真过程绘制动画。

(1) 绘制组装机器人区域来这里放置洗衣机的机身。在“演示”面板双击“椭圆”项，并绘制一个圆环，如图 3-36 所示。

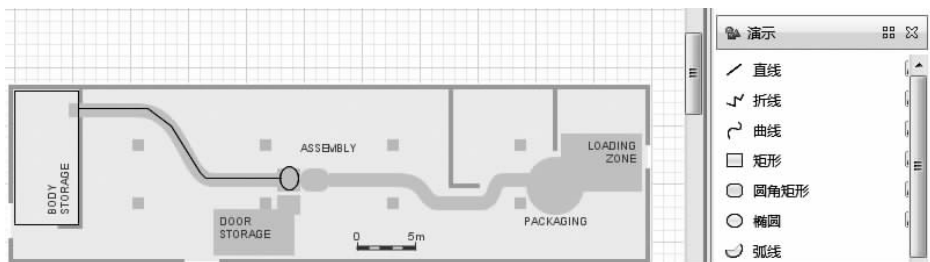


图 3-36 背景布局图片中椭圆的绘制

(2) 将圆环命名为 shapeBodyAtRobot,如图 3-37 所示。

(3) 单击“属性”视图中的“动态”标签。

(4) 在“可见”文本框中,输入 false 使圆环仅在设计时可见,而在模型运行过程中不可见,如图 3-38 所示。



图 3-37 设置椭圆名称



图 3-38 设置椭圆的可见性

【动态属性】

演示形状除了常规和高级属性页面所定义的静态属性外,还有一系列的动态属性,同样定义了形状的位置、高度、宽度、颜色等属性。与静态属性不同的是,静态属性定义的是形状的默认属性,而动态属性定义的是在仿真运行过程中的各对应属性的实际值。

动态属性支持形状的动画效果。当在动态属性栏输入了表达式以后,模型会在运行的每一步都重新计算表达式,然后用计算值作为该属性的实际值。如果不设置动态属性,则该形状在仿真运行的自始至终都保留默认的静态属性值。

(5) 在上一阶段绘制的矩形中,单击其“属性”视图中的“动态”标签,然后在“可见”文本框中,输入 false 使之同样仅在设计时可见,如图 3-39 所示。对之前绘制的表示队列的折线也采取同样的设置。

(6) 绘制表示工厂中洗衣机盖板存储区的矩形。可以直接复制 shapeBodyStorage 矩形,单击选中该矩形,按下 Ctrl 键(苹果 Mac 机按 Cmd 键)拖曳一段距离,然后松开 Ctrl 键即可。移动复制的矩形至 DOOR STORAGE,重命名为 shapeDoorStorage,如图 3-40 所示。



图 3-39 设置矩形的可见性

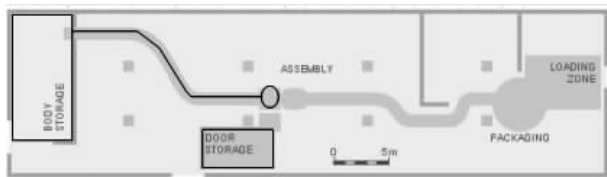


图 3-40 洗衣机盖板存储区矩形的设置

【复制元素】

① 在图形化编辑器或“工程”视图中,可通过选中某元素并按住 Ctrl 键拖动,然后松开鼠标即可完成复制。

② 除了名称不同,复制得到的元素具有和原来元素完全一样的属性。

(7) 绘制两个圆环来表示机器人洗衣机门板和成品摆放的区域。可以通过上述的复制元素操作来绘制这两个圆,或直接通过复制和粘贴命令实现复制操作,如图 3-41 所示。

(8) 将下侧圆环命名为 shapeDoorAtRobot。

(9) 将右侧圆环命名为 shapeAssembly。

创建一个变量来定义一米的距离对应于仿真中的像素长度。

(10) 将常规面板中的变量拖曳到图纸中,如图 3-42 所示。

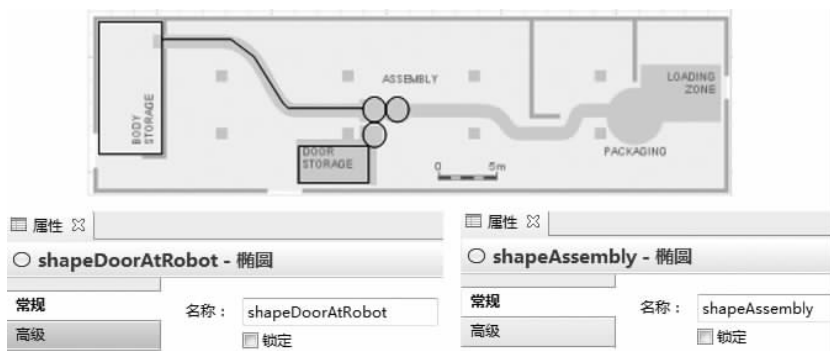


图 3-41 表示机器人洗衣机门板和成品摆放区域椭圆的设置

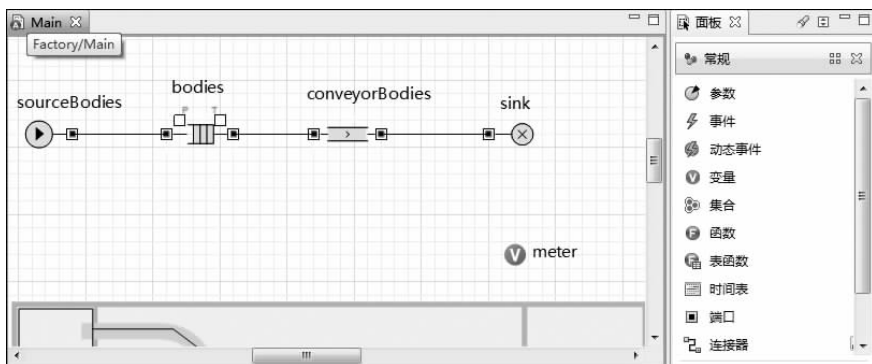


图 3-42 模型中变量的设置

(11) 将变量命名为 meter。

(12) 单击取消该变量属性中的“运行时展示”复选框,使 AnyLogic 在模型运行时不显示这些元素。这个变量在模型中比较次要,因此无须在演示过程中显示。也可以同样用该方法在模型运行时隐藏其他的演示图案。

(13) 在该变量的初始值框中输入 10。使模型中的 10 个像素点等于 1 米,如图 3-43 所示。



图 3-43 变量 meter 的参数设置