

机械结构可靠性分析软件

用户手册

目录

1. 文档说明	- 1 -
1.1 编写目的	- 1 -
1.2 适用范围	- 1 -
1.3 文档的读者	- 1 -
1.4 定义	- 1 -
1.4.1 缩略语	- 1 -
1.4.2 故障树分析	- 2 -
1.4.3 可靠性分析	- 2 -
1.5 参考资料	- 2 -
2. 软件简介	- 3 -
2.1 背景	- 3 -
2.2 可靠性分析基础	- 3 -
3. 软件安装	- 5 -
3.1 安装环境	- 5 -
3.2 安装方法-WINDOWS	- 5 -
4. 快速使用	- 7 -
4.1 案例要求	- 7 -
4.2 案例分析	- 7 -
4.3 分析流程	- 7 -
5. 界面介绍	- 16 -
5.1 主界面	- 16 -
5.2 菜单栏/工具栏	- 16 -
5.3 流程	- 17 -
5.4 运行日志	- 17 -
5.5 节点属性栏	- 17 -

5.6 状态栏	- 18 -
6. 功能介绍	- 19 -
6.1 概述	- 19 -
6.2 搭建分析流程	- 19 -
6.2.1 概述.....	- 19 -
6.2.2 显式模型.....	- 20 -
6.2.2.1 操作流程.....	- 20 -
6.2.2.2 显式模型编辑器.....	- 21 -
6.2.3 隐式模型.....	- 23 -
6.2.3.1 软件集成逻辑.....	- 23 -
6.2.3.2 操作流程.....	- 27 -
6.2.3.3 命令行定义.....	- 28 -
6.2.3.4 输入文件解析.....	- 28 -
6.2.3.5 输出文件解析.....	- 32 -
6.3 算法设置	- 34 -
6.3.1 概述.....	- 34 -
6.3.2 方法设置.....	- 35 -
6.3.3 随机变量设置.....	- 36 -
6.3.4 结果变量设置.....	- 39 -
6.4 近似模型	- 40 -
6.4.1 入口.....	- 40 -
6.4.2 样本数据.....	- 41 -
6.4.3 代理模型设置.....	- 44 -
6.4.4 代理模型测试.....	- 45 -
6.5 查看结果	- 46 -
7. 案例	- 48 -
7.1 案例要求	- 48 -
7.2 案例分析	- 48 -
7.3 分析流程	- 49 -

7.3.1 打开 Omnia 软件, 并新建工程 ;	- 49 -
7.2.3.2 选择求解方法.....	- 50 -
7.2.3.3 定义随机变量.....	- 50 -
7.2.3.4 集成第三方程序.....	- 51 -
7.2.3.5 定义结果变量.....	- 56 -
7.2.3.6 执行计算.....	- 57 -
7.2.3.7 查看结果.....	- 57 -

1. 文档说明

1.1 编写目的

用于介绍软件的详细功能与操作方法。

1.2 适用范围

机械结构的可靠性分析软件。

1.3 文档的读者

可靠性分析工程师。

1.4 定义

1.4.1 缩略语

在软件开发过程中，为各个模块与功能组件定义了许多名称便于开发与沟通，本文件中用到的专门术语的定义和英文缩写如下表所示。

表 1-1 缩略语

序号	术语或缩略语	解释说明
1	Strux	机械结构可靠性分析软件
2	Omnia	机械零部件可靠性分析软件
3	IEO	通用第三方程序集成组件
4	ExCode	显示模型
5	ImCode	隐式模型
6	FSS	近似模型组件
7	Rel-Ana	可靠性分析组件

8	Visua	可视化组件
9	DOE	实验设计组件

1.4.2 故障树分析

故障树分析是产品可靠性和安全性分析的工具之一，用来寻找导致不希望的系统故障或灾难性危险事件（顶事件）发生的所有原因和原因组合，在具有基础数据时求出顶事件发生的概率及其他定量指标。

1.4.3 可靠性分析

可靠性分析是用概率统计方法对不希望的系统故障或灾难性危险事件进行定量分析或评估。

1.5 参考资料

- [1] 机械可靠性分析软件设计与开发-项目技术协议书
- [2] 机械可靠性分析软件设计与开发-合同书
- [3] GJB 438A-1997 武器系统软件开发文档
- [4] GJB/Z 768A-98 故障树分析指南
- [5] 机械结构可靠性分析软件需求分析
- [6] 机械结构可靠性分析软件设计报告
- [7] 机械结构可靠性分析软件内部测试报告

2. 软件简介

2.1 背景

软件名称：机械结构可靠性分析软件

英文名称：Omnia

软件版本：Omnia v2016

所属公司：Anail

公司介绍：北京创联智软科技有限公司秉承以技术为本、服务客户的理念，专注于“产品全寿期信息化解决方案”的软件销售、工程咨询服务和仿真系统集成。为国内大型研发企业提供一流的 CAE 软件和工程服务。

北京创联智软科技有限公司经营软件涉及计算流体力学、结构力学、结构动力学、流固耦合等领域，为客户提供最先进的 CAE 工具，主要产品包括：气动热烧蚀分析软件、机构功能可靠性分析软件、飞机起降动力学分析软件、起落架动力学分析软件。

另外，北京创联智软科技有限公司结合国内行业实际现状，提出面向专业 CAE 软件集成服务的思想、快速化/客户化/模块化集成开发方法，并结合企业经验，帮助客户建立快速、高效的仿真流程，实现知识的积累和重复利用。

同时，针对客户新型号、新材料、新工艺，提出工程创新仿真分析方法建设，并联合国内著名实验室，组织物理实验，对创新仿真方法进行实验验证，固化形成适合工程实际的仿真流程、仿真数据，为客户快速进入新学科提供有力技术支持。

2.2 可靠性分析基础

一般的随机概率分析由以下几部分组成：

- 1) 功能函数（有时候也称为 g-函数或极限状态函数）
- 2) 输入随机变量
- 3) 选择求解方案

考虑到机械结构产品系统功能多、组成复杂，其构成的功能函数往往比较庞杂，需要根据其产品的结构、功能，对产品进行层次分解，以便后续的分析。机械结构及功能故障的树形模型对于产品的定性分析及定量分析均十分必要，其功

能在于可以清晰梳理产品结构及功能的组成，同时，在机械结构产品定性分析及定量分析过程中，树形结构可以很清晰地反映零件/故障模式-组件-系统的层次关系，为后续的可靠性建模、分析、评价带来便利。

针对单个机械零部件/故障模式的可靠性计算，根据问题的复杂程度，不仅要求能够通过编程形式构建复杂的数学模型，还需调用第三方程序进行分析，由于不同零部件/故障模式不同分析类型分别对应了不同的计算程序，需要建立一种通用的集成平台。

在此基础上，可以建立一整套系统的复杂功能函数，接下来需要定义输入随机变量的形式并选择求解方案，Omnia 支持多种随机变量分布形式，同时构建了大量可靠性分析算法，可以满足大部分实际工程需要。

3. 软件安装

3.1 安装环境

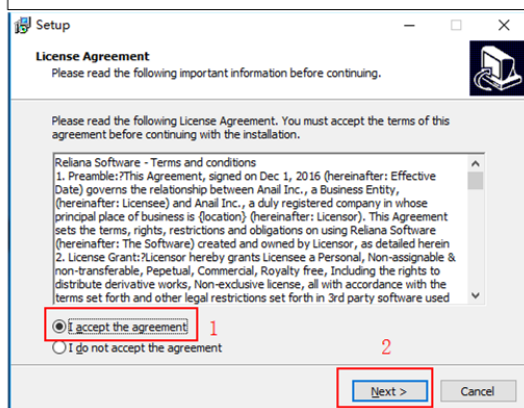
软件支持的软硬件环境如下。

项目	支持	推荐
CPU	Intel 系列 i3, i5, i7	i5 及以上
	AMD 系列	
内存	200MB 及以上	4GB 及以上
硬盘	200MB 可用	20GB 以上
系统	Windows XP, Windows7, Windows8, Windows10	Windows10
显示器	分辨率 1366 * 768 以上	1920 * 1080

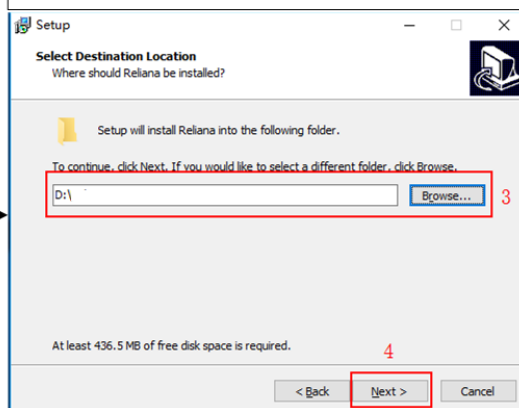
3.2 安装方法-Windows

Windows 系统下的安装流程如下。

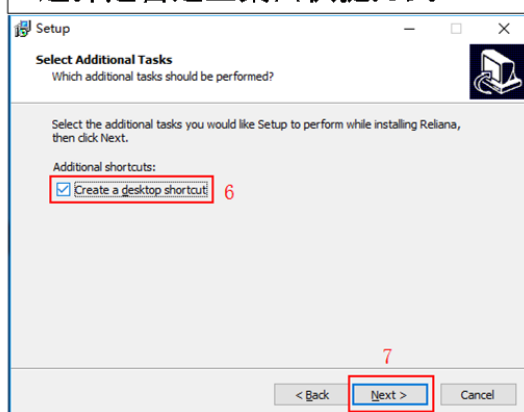
1. 勾选同意安装协议并进入下一步



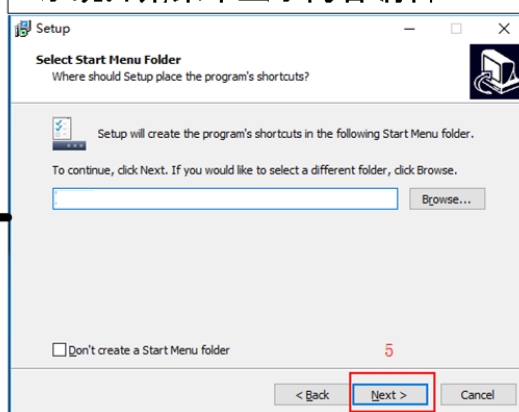
2. 选择或编辑安装路径



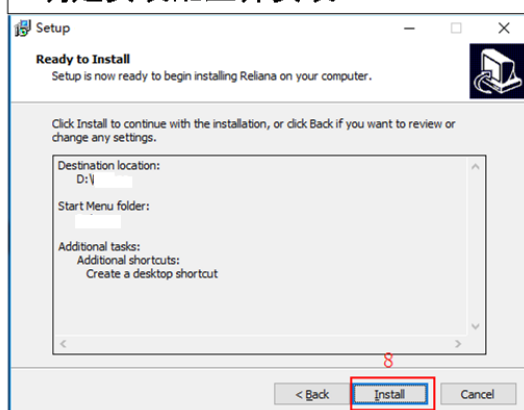
4. 选择是否建立桌面快捷方式



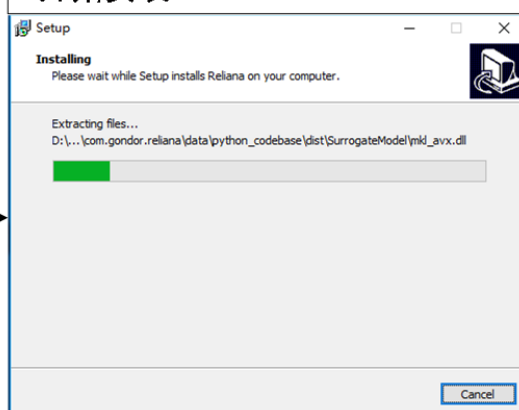
3. 系统开始菜单显示内容编辑



5. 确定安装配置并安装



6. 开始安装



4. 快速使用

4.1 案例要求

圆截面直杆承受轴向拉力 $P=100\text{kN}$ 。设杆的材料的屈服极限 f_y 和直径 d 为随机变量, 其均值和标准差分别为 $\mu_{f_y} = 290\text{N/mm}^2$, $\sigma_{f_y} = 25\text{N/mm}^2$; $\mu_d = 30\text{mm}$, $\sigma_d = 3\text{mm}$ 。基于 Omnia 软件, 用均值一次二阶矩方法求杆的可靠指标。

(案例来源:《机构可靠度计算》例 3.1, 科学出版社, 作者: 张明, 金峰)

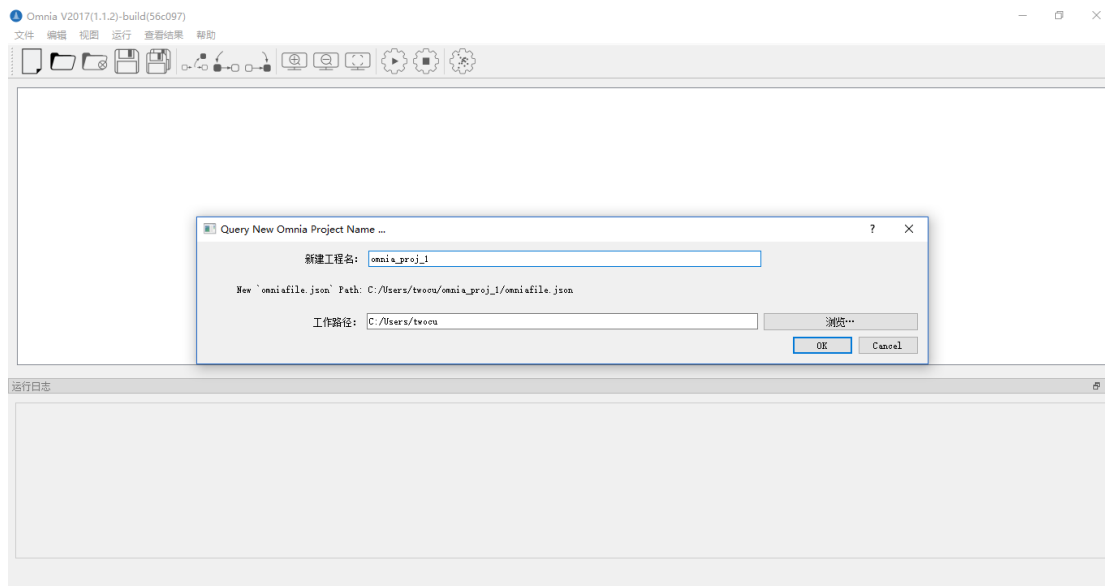
4.2 案例分析

根据案例要求, 分析得出此杆以轴力表示的极限状态方程为:

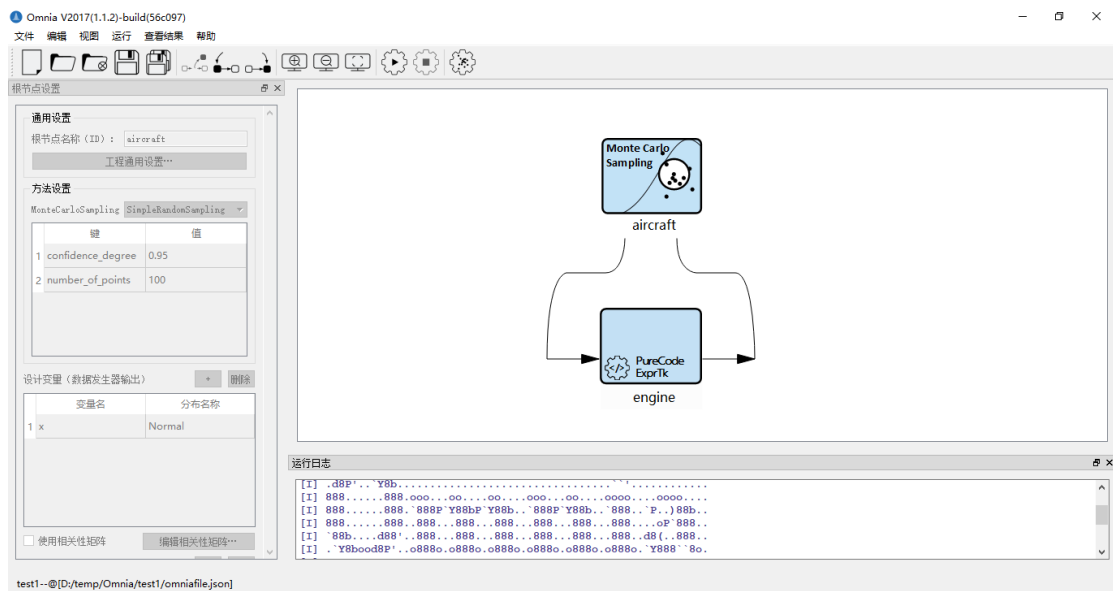
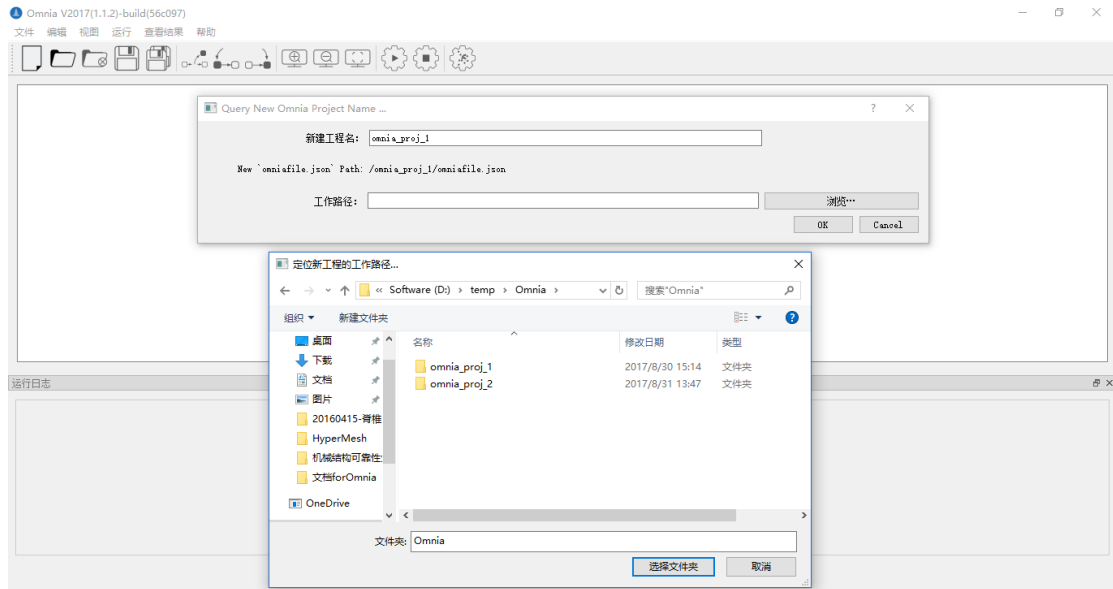
$$Z = \frac{\pi d^2 f_y}{4} - P = 0$$

4.3 分析流程

1) 打开 Omnia 软件, 并新建工程;

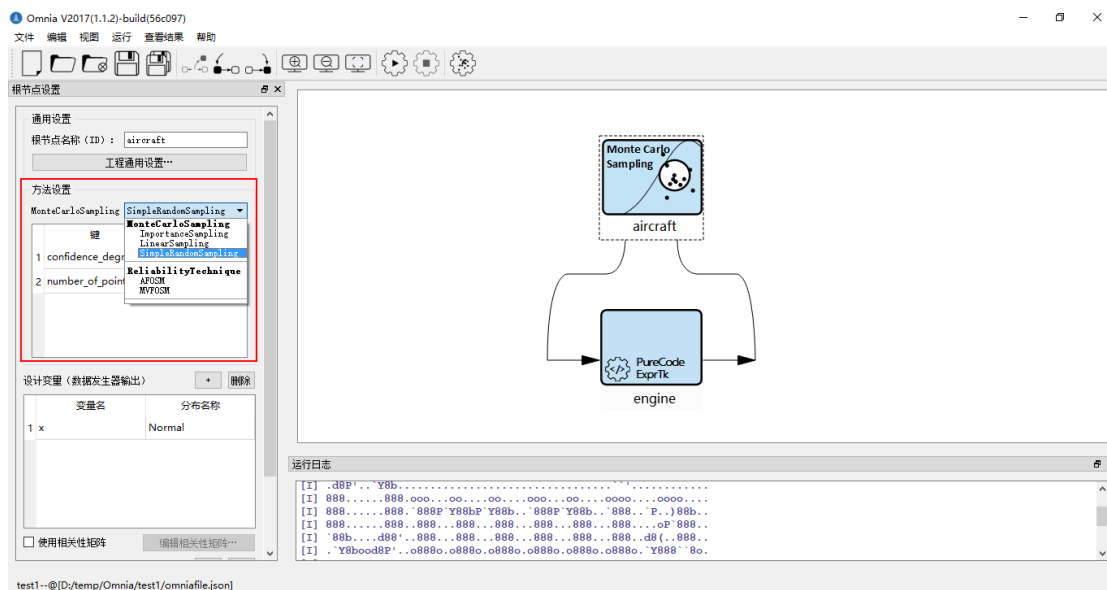


2) 指定工作目录与工程名称



3) 选择求解方法

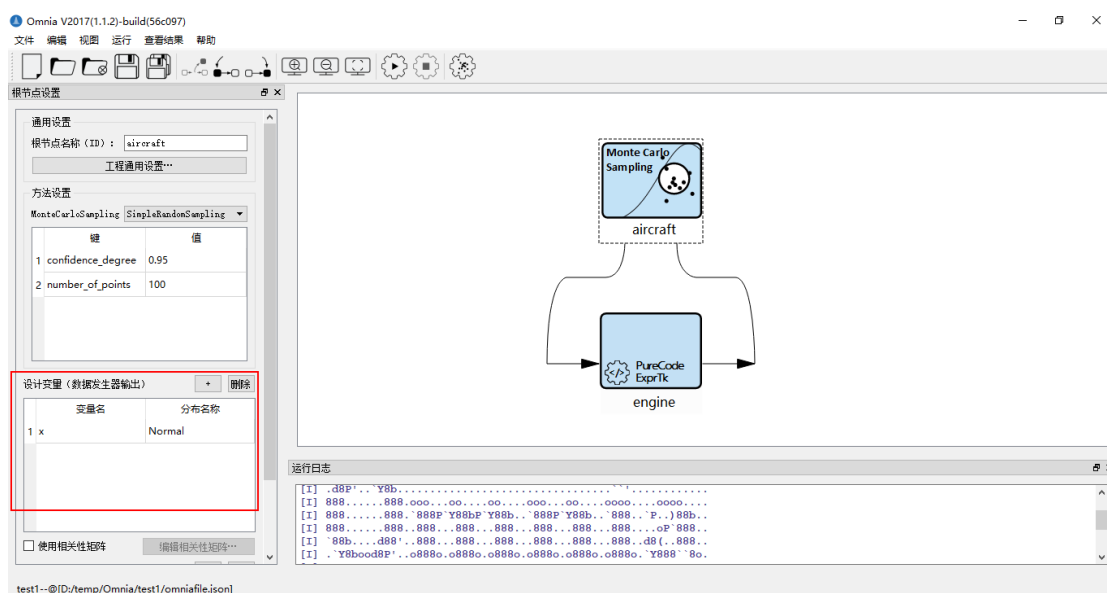
选中根节点 aircraft，在左侧边栏中找到并选择 MVFOSM 计算方法。



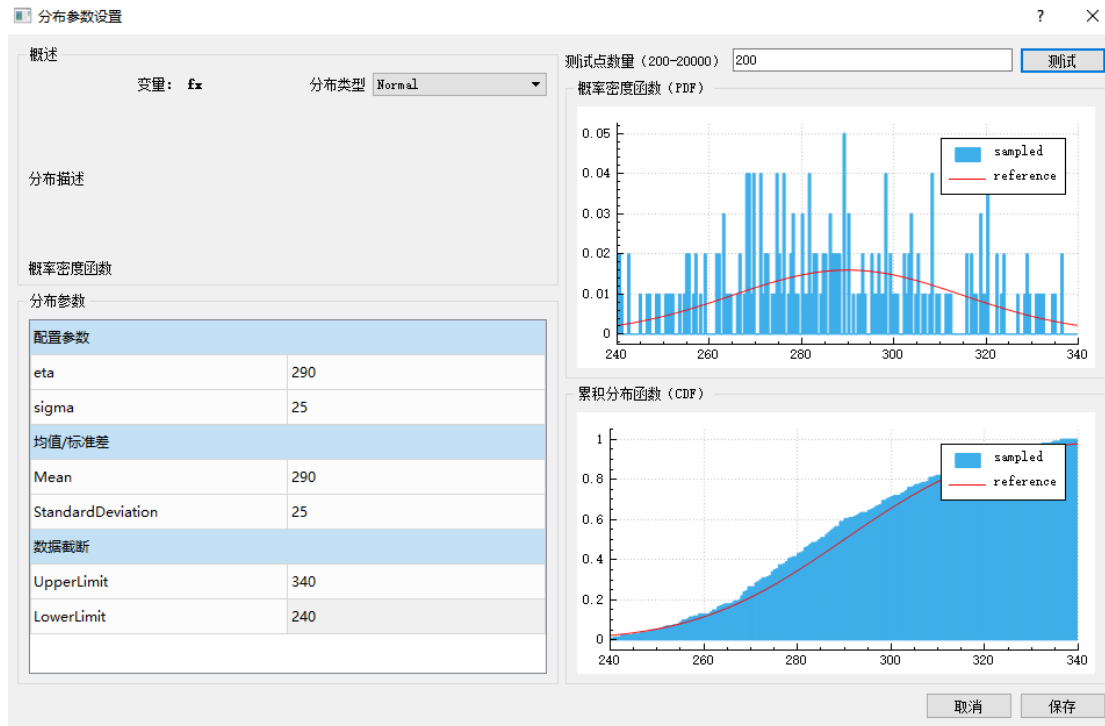
4) 定义随机变量

均值一次二阶矩方法不能考虑随机变量分布类型对结果的影响, 可以将其随机变量都默认为正态分布。

选中根节点, 同时找到左侧边栏中的设计变量区域, 默认还有一个变量名称为 x 的随机变量, 双击 x 将其修改为 fx;

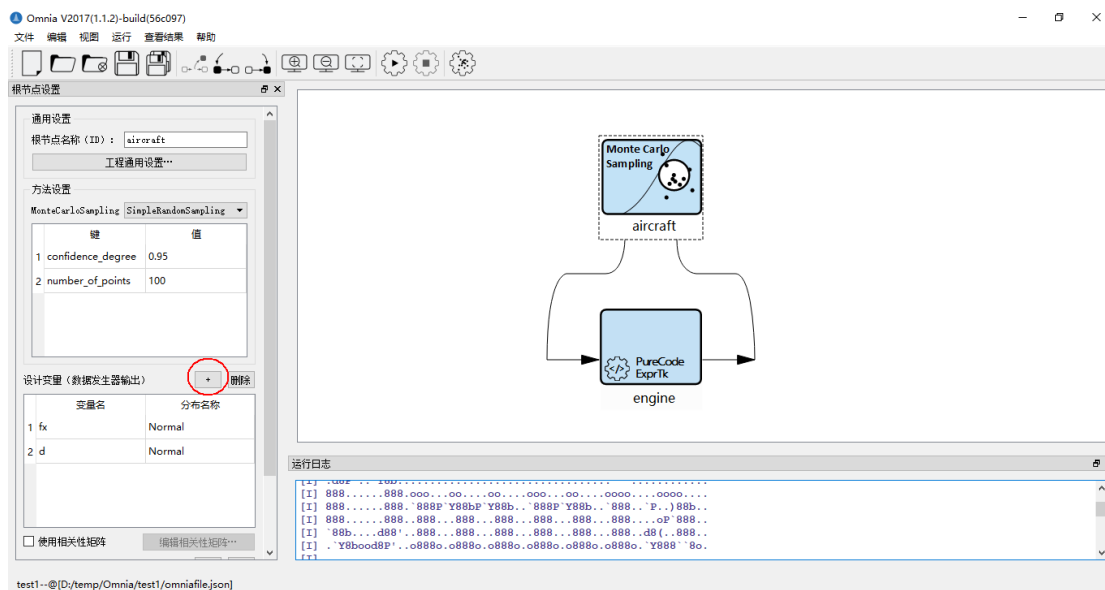


然后双击 Normal, 进入分布参数设置窗口, 设置其均值和标准差为 290 与 25, 上下限设置为 340 与 240.



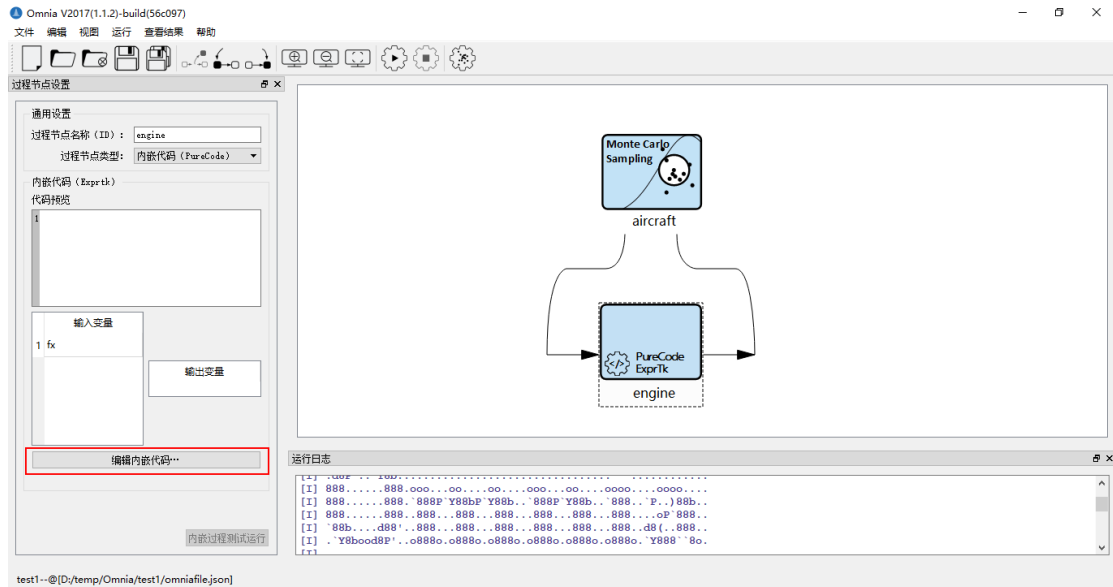
点击保存返回主界面。

再次点击设计变量区域的加号，定义随机变量 d 。

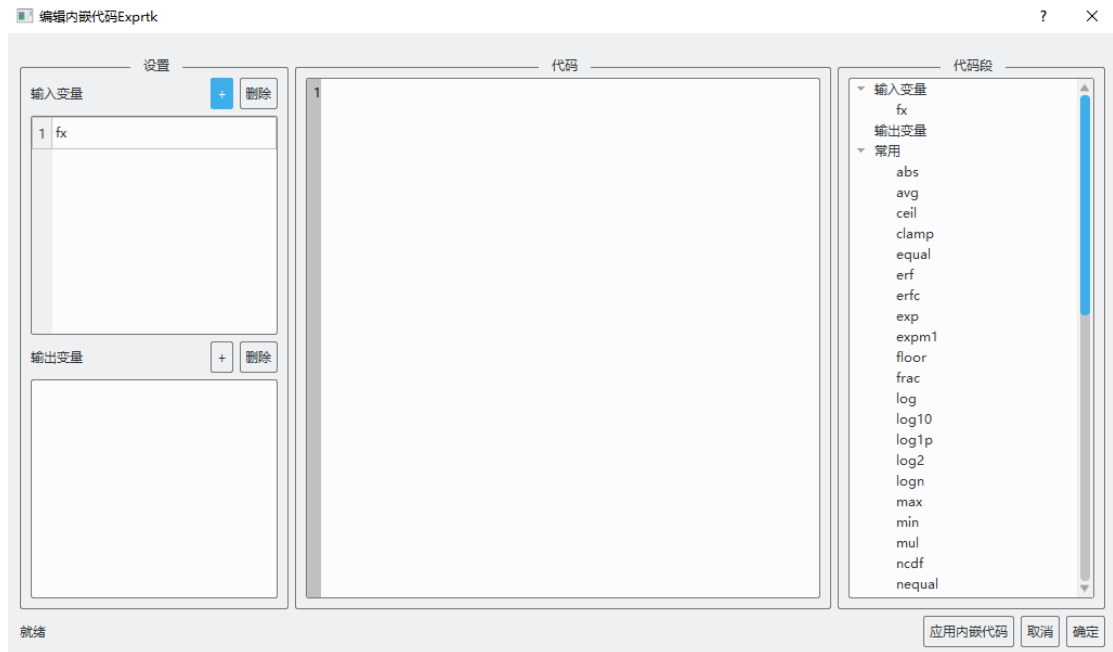


5) 定义功能函数

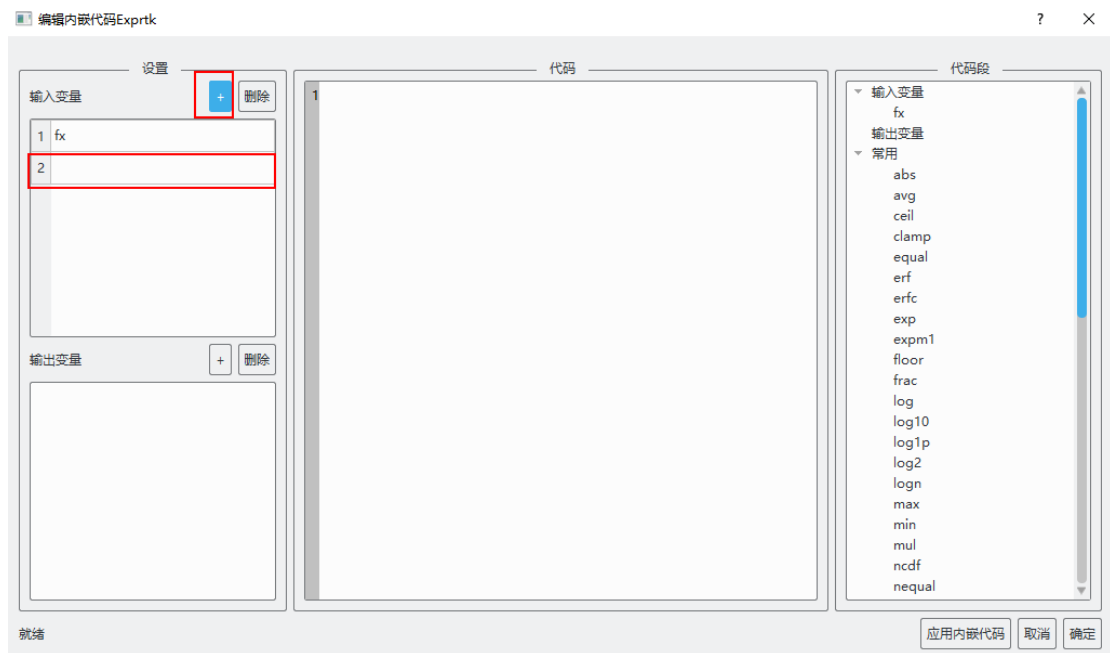
选择子节点 engine，左侧边栏随之变化。



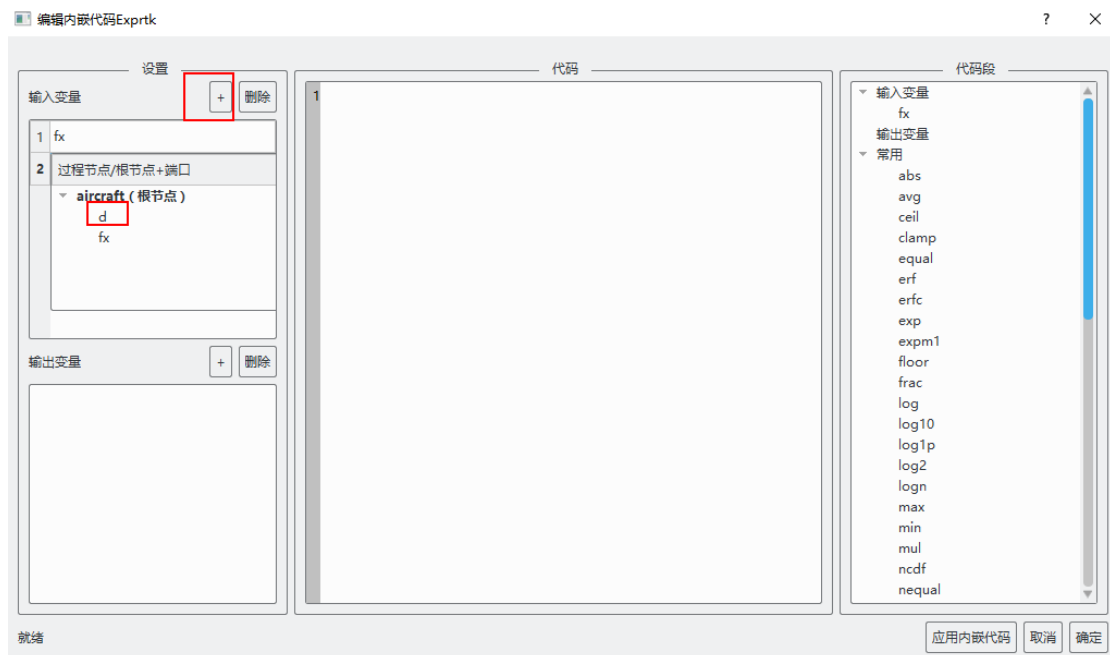
选择编辑内嵌代码进入代码编辑界面。



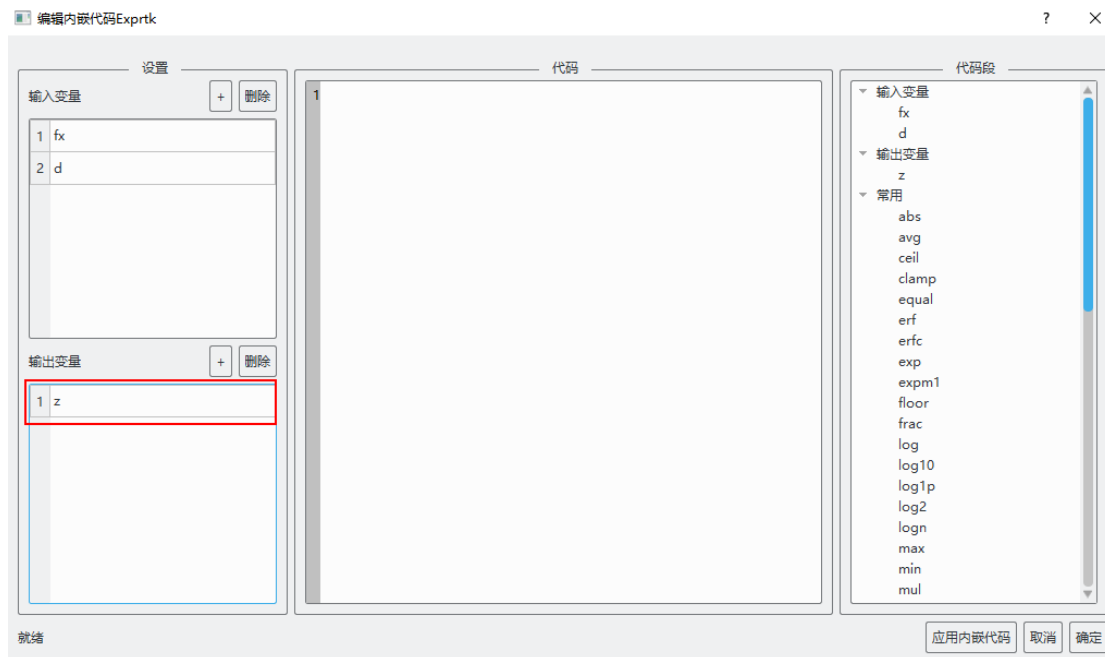
点击输入变量的“+”添加输入变量；



双击增加变量的空白处，选择输入变量 d

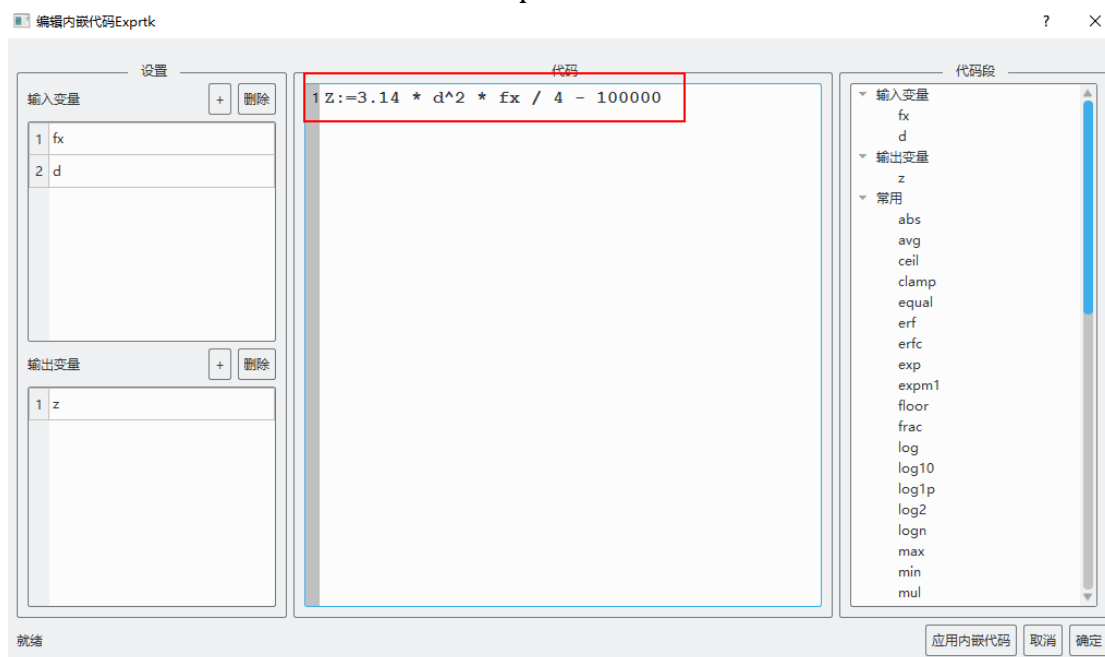


点击输出变量位置的“+”增加输出变量并修改其变量名称为 Z



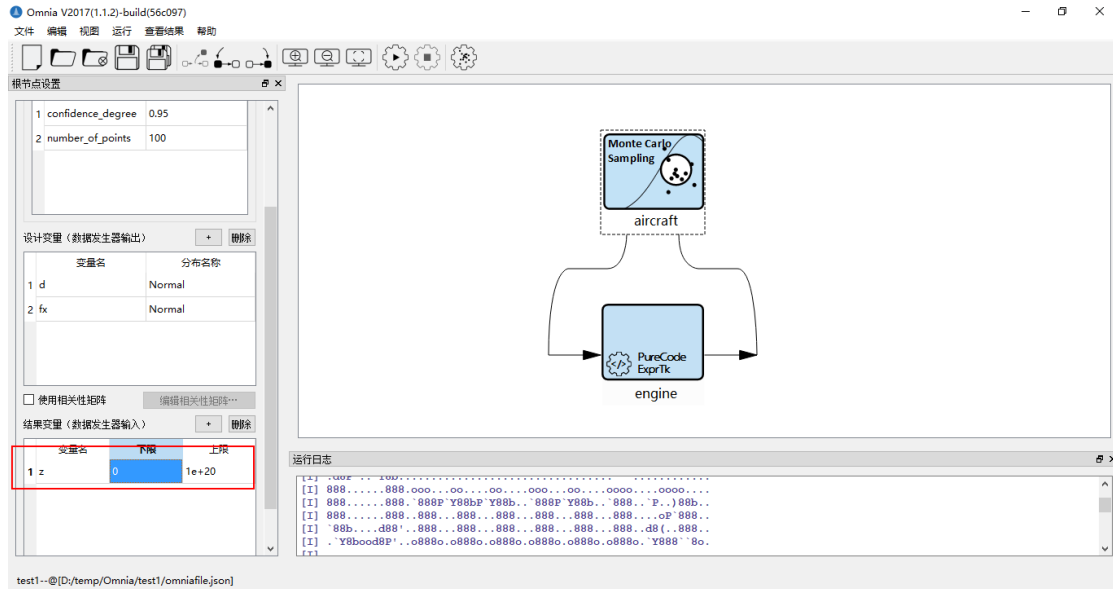
在代码栏输入功能函数，并点击确定

$$Z = \frac{\pi d^2 f_y}{4} - 100000$$



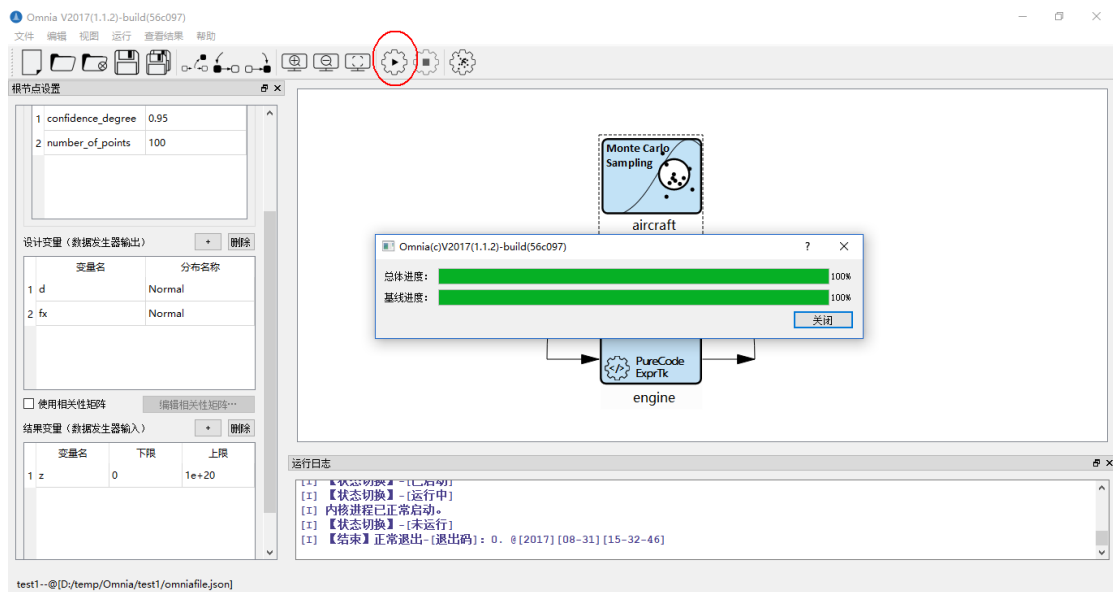
6) 定义结果变量

再次选择根节点 aircraft，从左侧边栏找到结果变量区域，点击“+”并选择结果变量Z。



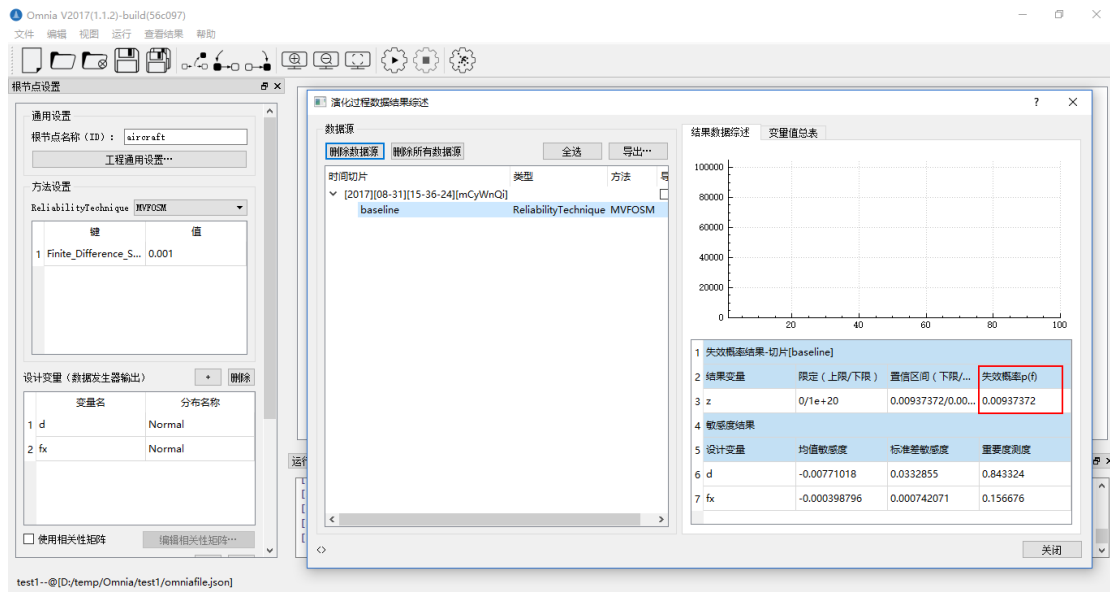
7) 执行计算

选择工具栏中的 run，并等待计算完成

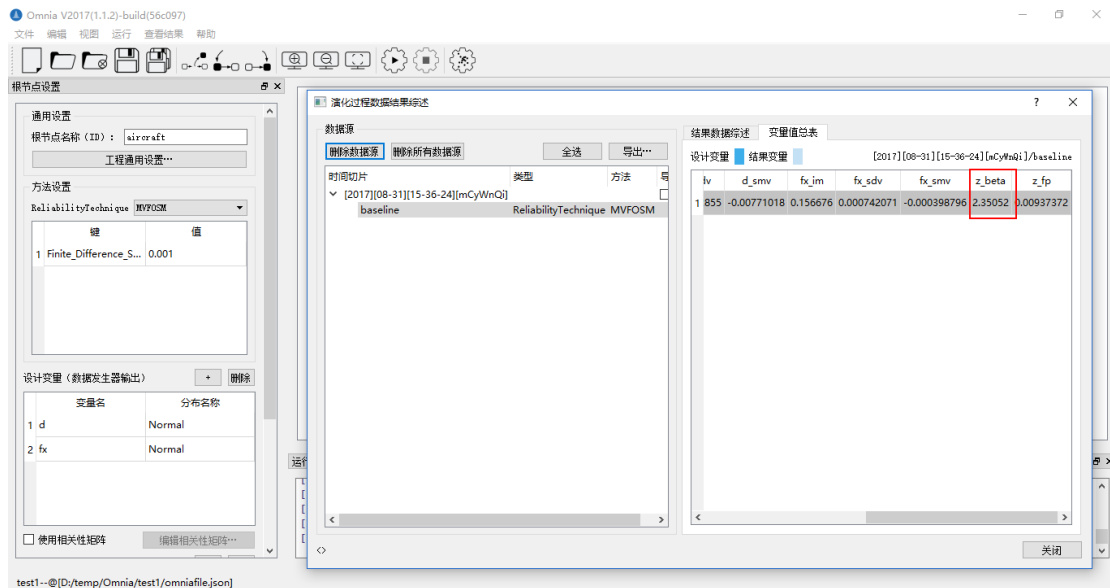


8) 查看结果

在工具栏中选择历史数据打开结果对话框，可以看到其失效概率为 0.00937。



切换选项卡为变量值列表，可以进一步查看详细数据。如 $\beta = 2.35$

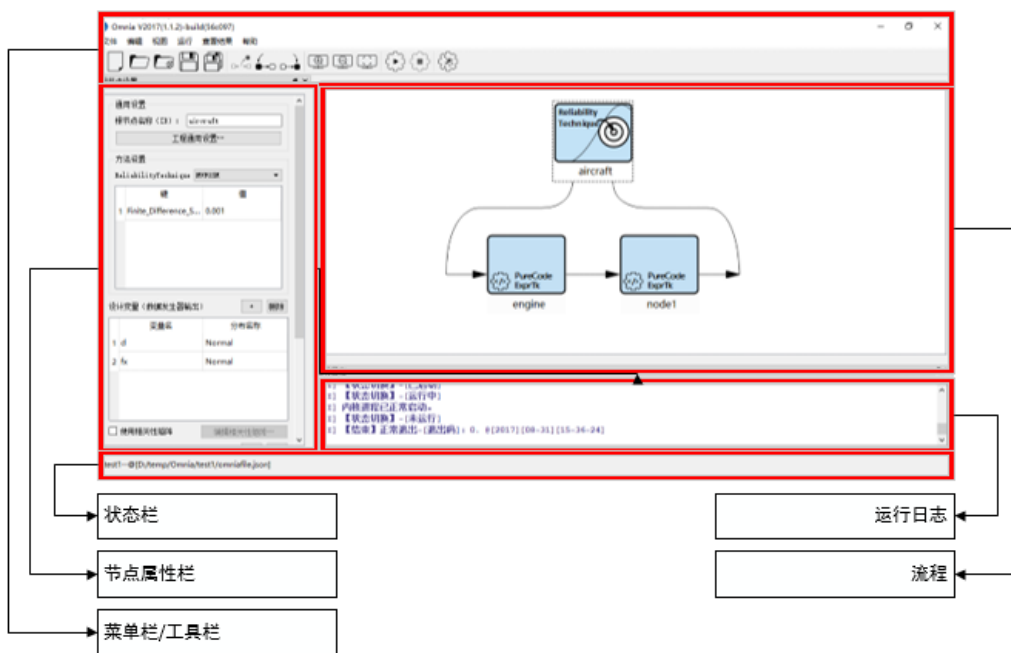


5. 界面介绍

5.1 主界面

软件主界面由 5 个部分组成，分别为：

- 菜单栏/工具栏
- 状态栏
- 流程
- 运行日志
- 节点属性栏



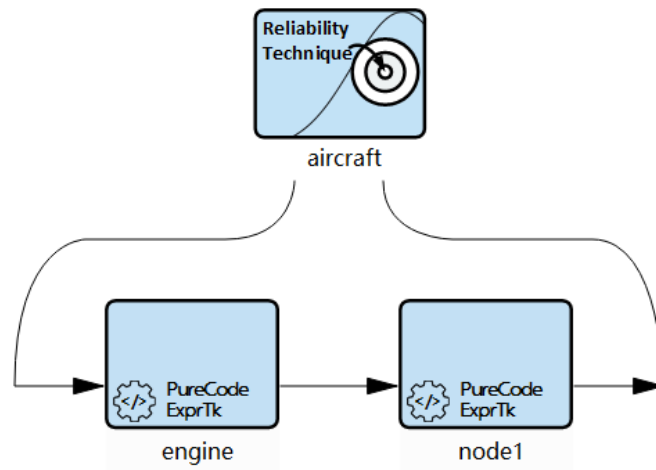
5.2 菜单栏/工具栏

始终保持在整个界面最上方，菜单栏包含了 Omnia 的大部分功能，工具栏的功能按钮是菜单栏的子集，包含了菜单栏中的重要功能，方便用户调用。



5.3 流程

确定性模型的分析流程。



5.4 运行日志

操作警告与运行日志。

5.5 节点属性栏

算法设置以及功能函数定义的核心区域。

根节点设置

通用设置

根节点名称 (ID):

工程通用设置...

方法设置

ReliabilityTechnique

	键	值
1	Finite_Difference_S...	0.001

设计变量 (数据发生器输出)

+

删除

	变量名	分布名称
1	d	Normal
2	fx	Normal

☐ 使用相关性矩阵

编辑相关性矩阵...

5.6 状态栏

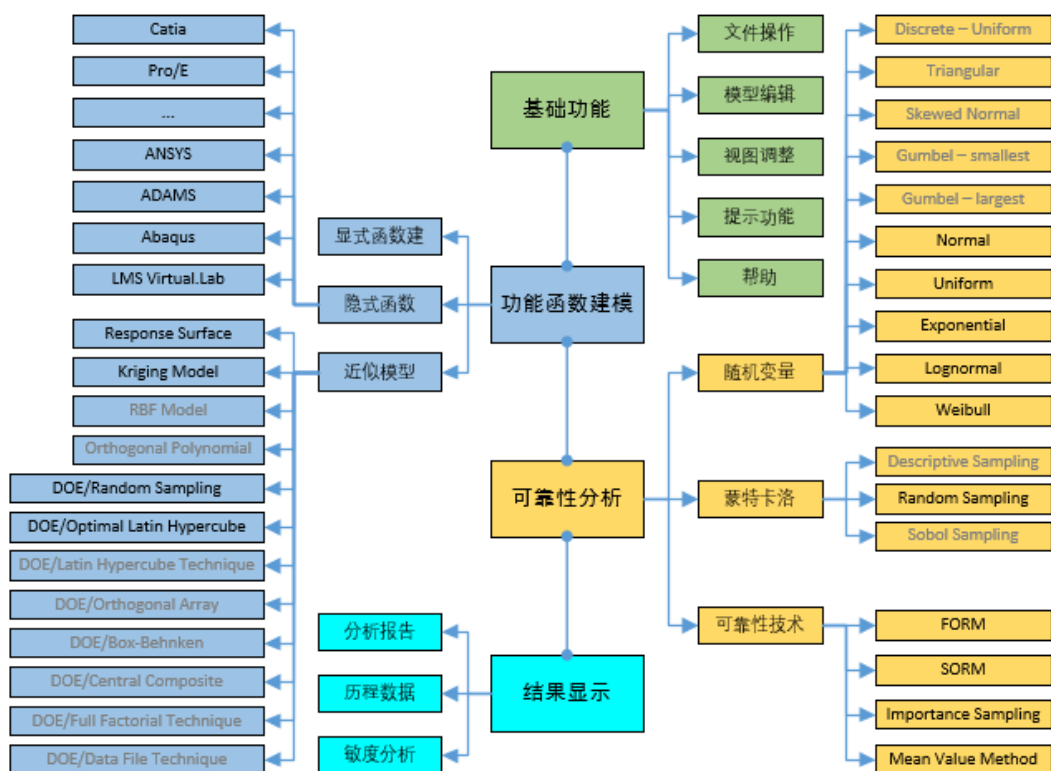
软件状态栏。

test1--@[D:/temp/Omnia/test1/omniafile.json]

6. 功能介绍

6.1 概述

Omnia 主要由基本功能管理模块、产品功能函数建模模块、可靠性分析模块和可靠性结果显示模块构成。



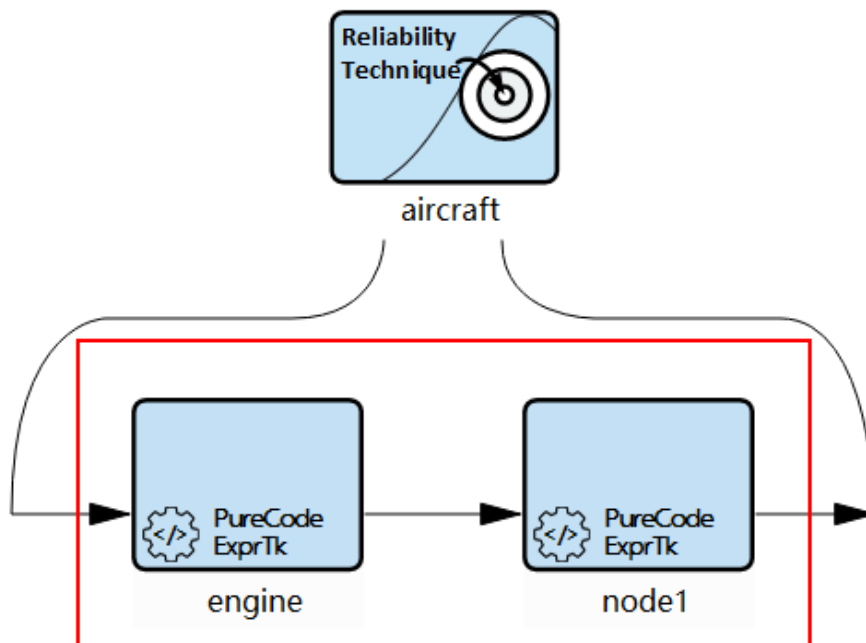
6.2 搭建分析流程

6.2.1 概述

任意一个工程中必须包含并且只能包含一个根节点，该节点包含了可靠性计算中的随机变量定义，可靠性算法定义以及输出变量的定义，所有的设计变量由该节点发出，并抓取分析流程返回的结果。

同时，任意一个工程中至少包含一个子节点，该节点通常认为是一个函数，基于根节点的设计变量，计算得出结果变量，多个子节点被认为是更加复杂的函

数，各节点通过流程的形式进行组织。



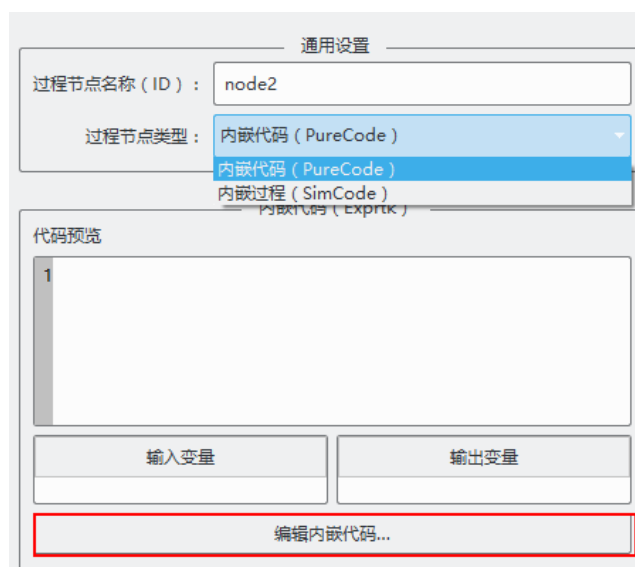
任意一个子节点可以定义两种类型的函数：显式函数以及隐式函数。

显式函数即通过可见的，显式的代码编辑该节点的公式，隐式函数即通过调用第三方仿真软件作为隐式的公式。

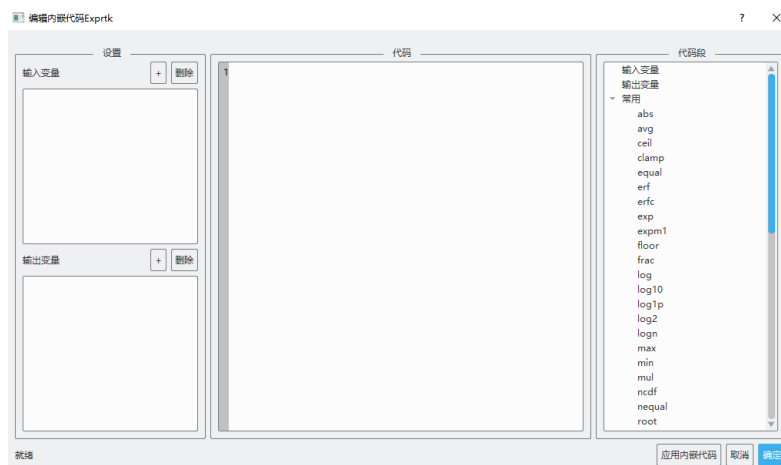
6.2.2 显式模型

6.2.2.1 操作流程

选中子节点之后，在节点属性栏中的过程节点类型中选择内嵌代码(PureCode)即选择了显式模型。



通过编辑内嵌代码即可进入显式模型编辑窗口。

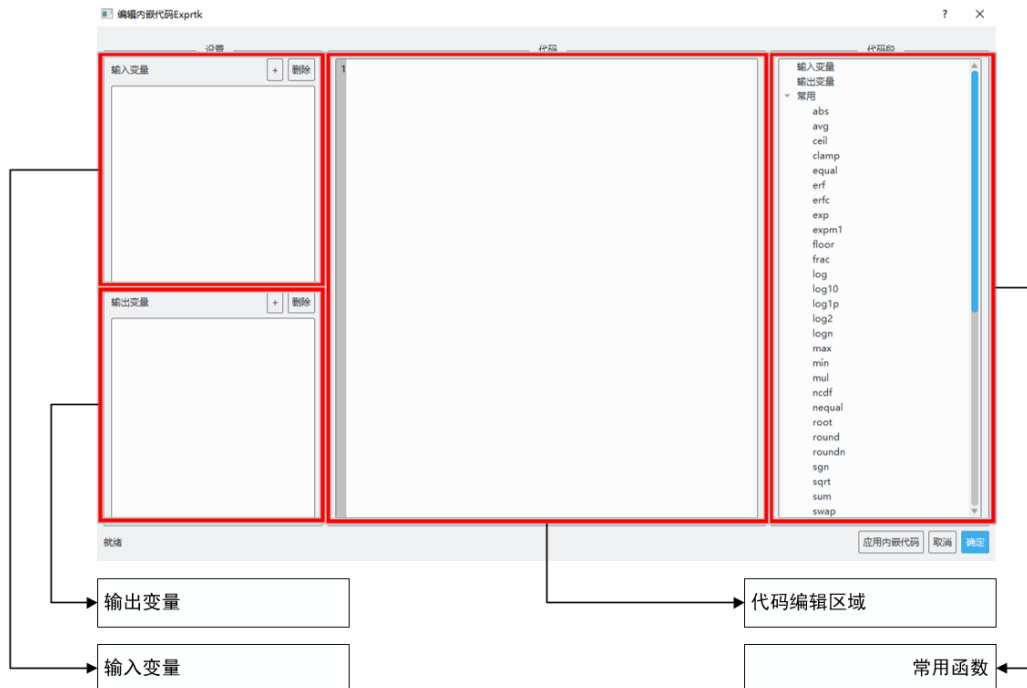


6.2.2.2 显式模型编辑器

显式模型编辑器由四个部分组成：

➤ 输入变量

通过该区域可以增加或者删除当前节点的输入变量，任意一个节点的输入变量可以是根节点的随机变量以及该节点子节点的输出变量，Omnia会自动遍历该节点子节点的所有输出变量，用户通过选择的方式定义该节点的输入变量。



➤ 输出变量

通过该区域可以增加或者删除当前节点的输输出变量，双击变量名称可重新命名；

➤ 代码编辑区域

基于 exprtk 架构。

支持的运算与逻辑符号

Basic operators: +, -, *, /, %, ^

Assignment: = +=, -=, *=, /=, %=

Equalities & Inequalities: =, ==, <>, !=, <, <=, >, >=

Boolean logic: and, mand, mor, nand, nor, not, or, shl, shr, xnor, xor, true, false

参考连接: <http://www.partow.net/programming/exprtk/>

➤ 代码段

包含常用函数。

abs, avg

ceil, clamp

equal, erf, erfc, exp, expm1

floor, frac

log, log10, log1p, log2, logn

max, min, mul

ncdf, nequal

root, round, roundn

sgn, sqrt, sum, swap

trunc

Trigonometry: acos, acosh, asin, asinh, atan, atanh, atan2, cos, cosh, cot, csc, sec, sin, sinc, sinh, tan, tanh, hypot, rad2deg, deg2grad, deg2rad, grad2deg

6.2.3 隐式模型

6.2.3.1 软件集成逻辑

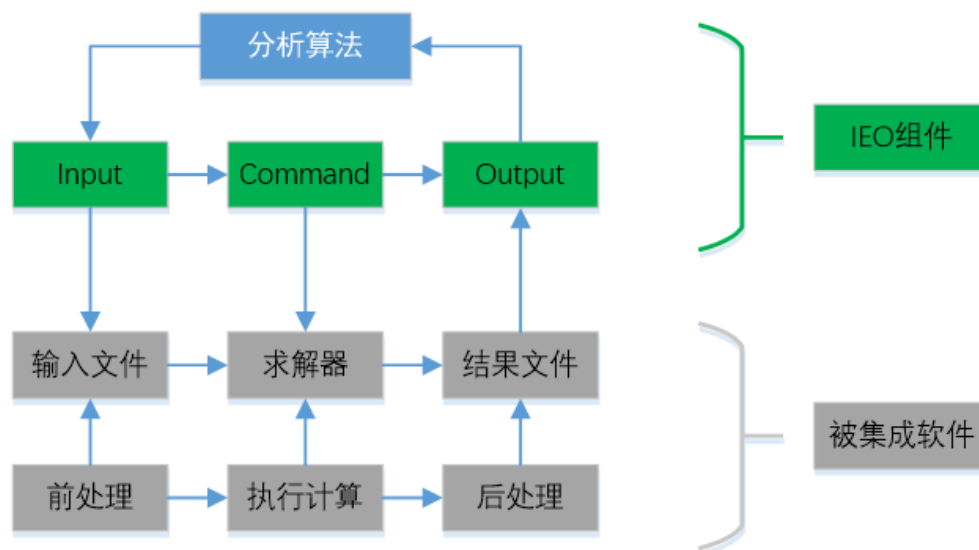
当待分析的机械结构零件没有显式功能函数时，需要利用本软件之外的有限元分析软件、动力学分析软件等成熟的商业分析软件进行隐式功能函数的建立，此时需要在分析的过程中进行外部程序的输入、执行、输出，因此本软件包含能够处理外部程序的模块 IEO（Input-Execution-Output）组件。

该组件主要实现了对外部分析计算软件的集成功能，首先，根据可靠性分析方法提供的下一次迭代需要的设计变量，修改外部分析计算软件输入文件中的相关信息；其次，基于批处理命令后台调用外部软件并驱动其进行计算并输出结果；最后对本次迭代计算结果进行解析并返回可靠性分析组件，为下一次迭代提供判断依据。

该组件包括三个选项卡：输入，执行以及输出，输入选项负责制定输入模板并修改其中参数，能够支持 ANSYS, ABAQUS, ADAMS, 以及 MATLAB 软件；执行选项包含以上四款软件的批处理命令；输出选项负责制定输出模板并读取对应结果。

IEO 组件的通用执行流程为，执行选择或者自定义的批处理命令，驱动被集成求解器载入输入文件并进行计算，最终输出结果文件。

IEO 组件通过 Command 选项选择或者让用户编辑批处理命令用以驱动响应的求解器，并通过 Input 选项改变输入文件，最后通过 Output 选项读取结果文件。



建立 IEO 组件改变输入文件与读取结果文件的过程，这里称为解析，该软件仅支持文本形式文件的解析。

在解析过程中，软件会载入并打开被解析文件，要求用户选择其中关键参数并定义变量名称，软件后台会自动记录变量所属文件及其位置。其中输入文件中解析的参数被定义为设计变量，输出文件中解析的参数被定义为响应变量。

在迭代过程中，由分析算法可以计算出第 i 次迭代时设计变量的值，并通过 input 功能传递至输入文件，之后软件通过 Command 功能执行批处理命令以驱动响应求解器载入修改后的输入文件并执行计算，通过计算输出结果，软件再通过 output 功能读取结果文件中的响应变量，至此便可完成一次迭代。

输入文件

典型的输入文件包括脚本文件与模型文件，以常见的 CAD 模型为例，针对 CAD 模型的处理，用户往往会采用两种方式：其一，从头开始建立一个新的模型；其二，修改一个已经存在的模型。

而大部分商用软件在用户操作过程中，均会生成记录了用户操作流程的文件，这里称为脚本文件，文件中包含了我们关心的所有设计变量信息。被集成软件通过执行该脚本文件，可以重现我们的操作过程。

比如 ANSYS 的 APDL 语言，也就是命令流操作方式；ABAQUS 的 Python 语言，以 .rpy 作为后缀的文件等等。这些文件可能会随着你的操作直接生成，比

如 Proc 的轨迹文件, ABAQUS 的 rpy 文件, 也可能需要单独录制, 比如 CATIA, 还可能单独保存, 比如 ADAMS 等。

如果用户直接新建 CAD 文件, 那么针对建模软件, 只需要该脚本文件作为输入文件即可, 如果用户通过修改已有模型, 那么, 除了记录修改过程的脚本文件之外, 输入文件还应该包括被修改的模型文件, 在实际工程项目中, 后者更为常见。

以 Abaqus 为例:

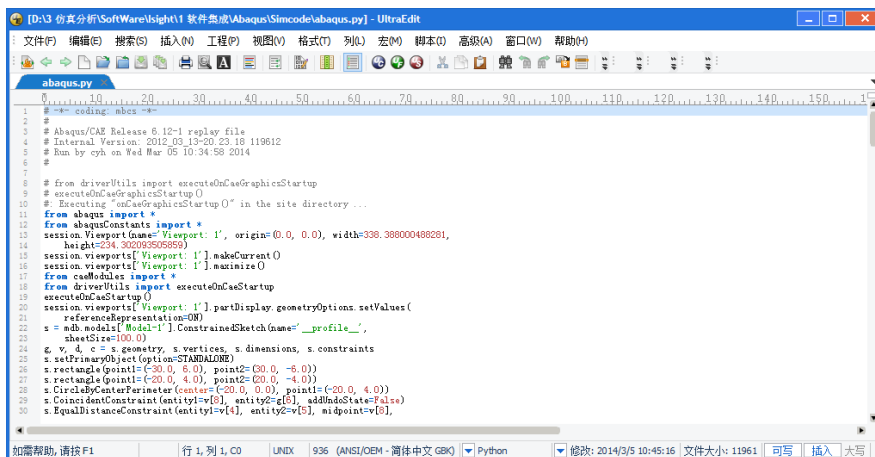
a.ABAQUS 记录操作过程的脚本文件后缀为“.rpy”, 该文件记录了操作 ABAQUS 的每一个过程, 为了更好地优化设计, 需要在操作过程中减少冗余操作并增加适当的约束, 使脚本文件中的优化参数改变之后依然能够保证建模等过程的准确性。这是一个不断调试的过程。

我们只需正常操作使用 ABAQUS, 便可以在 ABAQUS 工作目录下找到该文件, 该文件默认名称一般为“abaqus.rpy”, ABAQUS 默认工作路径一般为:

X:\XX\SIMULIA\Temp

也可以通过右击 ABAQUS 启动快捷方式, 从属性中的起始位置中查看;

b.修改该文件的名称及后缀, 可以自定义英文名称, 后缀修改为“.py”, 即可得到如下图所示的脚本文件;



Command 文件

批处理是一种简化的脚本语言, 也称作宏。它应用于 DOS 和 Windows 系统中, 它是由 DOS 或者 Windows 系统内嵌的命令解释器 (通常是 COMMAND.COM 或者 CMD.EXE) 解释运行。我们需要利用批处理命令来驱动被集成软件

的运行以及驱动该软件调用上面提到的脚本文件。

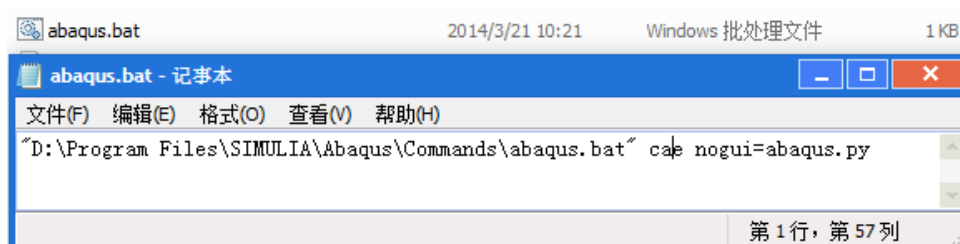
往往可以通过很少的命令行便可完成该驱动任务，该命令一般以后缀为.bat的文件进行存储，双击该文件即可运行其中命令。

比如在 Windows 系统下，调用 Abaqus 的批处理命令为：

```
"X:\XX\SIMULIA\Abaqus\Commands\abacus.bat" cae nogui=Beam-A.py
```

根据所使用电脑中 ABAQUS 安装路径修改该命令前面蓝色部分，根据前面所建立的脚本文件调整该命令后面绿色的文件名称。

本项目开发的软件会内置驱动需求任务书中的四种商用软件的批处理命令。

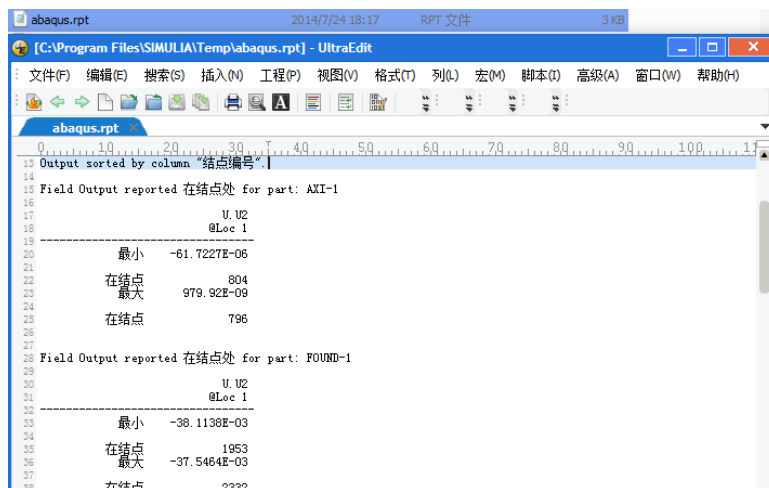


输出文件

大部分商用软件的结果形式各不相同，默认以自己的格式进行保存，这里格式往往是收到保护的二进制文件，同时在结果后处理过程中，这些软件又都支持以文本格式将部分关心的结果导出，为了便于解析，我们要求通过导出或者另存为的方法进行结果输出。

a. ABAQUS 分析完成后，结果默认以“.odb”方式进行存储，但这并不能以文本形式进行解析，所以需要在后处理过程中进一步输出文本格式的结果。

b. 在 ABAQUS 后处理模块的顶部菜单栏，找到 Report 选项，其中有三种输出对象，选择自己关心的输出对象及输出类型，可以在 ABAQUS 默认工作路径下得到默认名称为“abacus.rpt”的结果文件，如下图所示，该文件以文本形式存储了相关结果。具体输出方法请参考 ABAQUS 相关教程。



6.2.3.2 操作流程

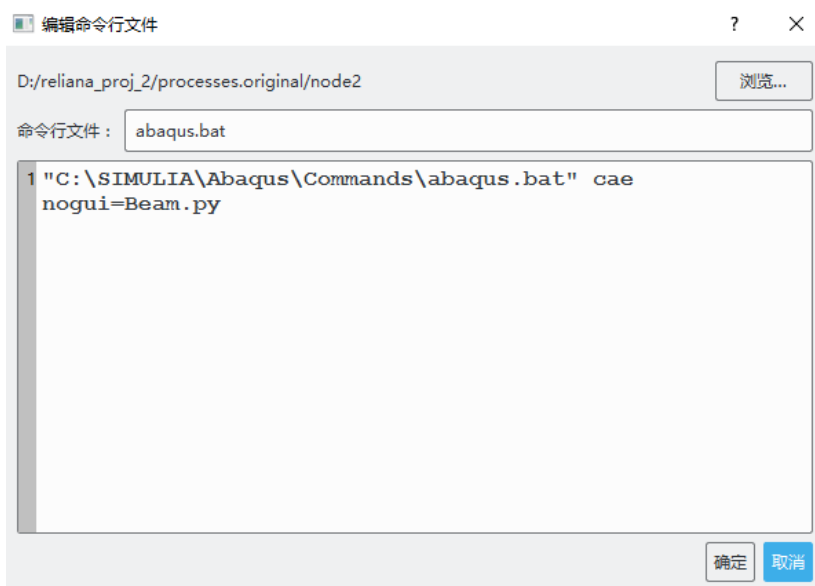
选中子节点之后,在节点属性栏中的过程节点类型中选择内嵌过程(SimCode)即选择了隐式模型。



6.2.3.3 命令行定义

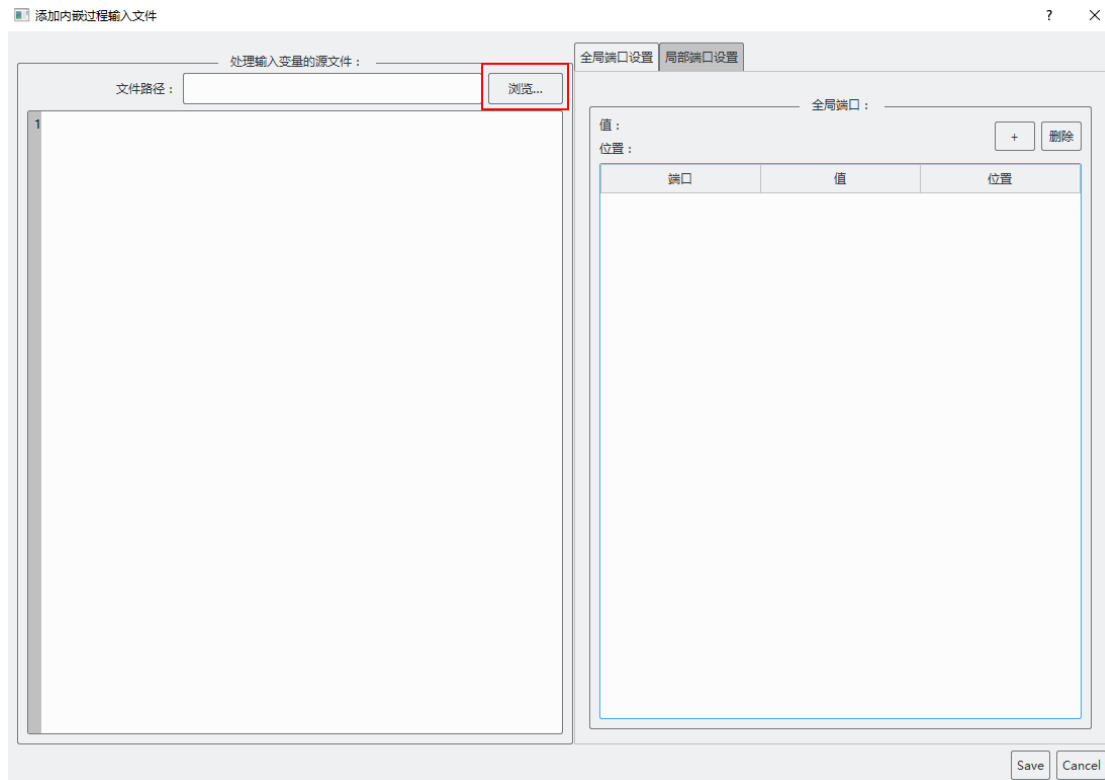
选择编辑命令行之后进入命令行编辑窗口，命令行通常为后台驱动被集成软件执行输入文件并输出结果文件的批处理命令，不同被集成程序的命令行不同，一般在被集成程序的帮助文档中可以找到，同时用户手册的附录部分提供了不同软件的集成方法。

Omnia 提供了两种编辑命令行的方法，直接读取 xxx.bat 文件或者直接编写命令行。

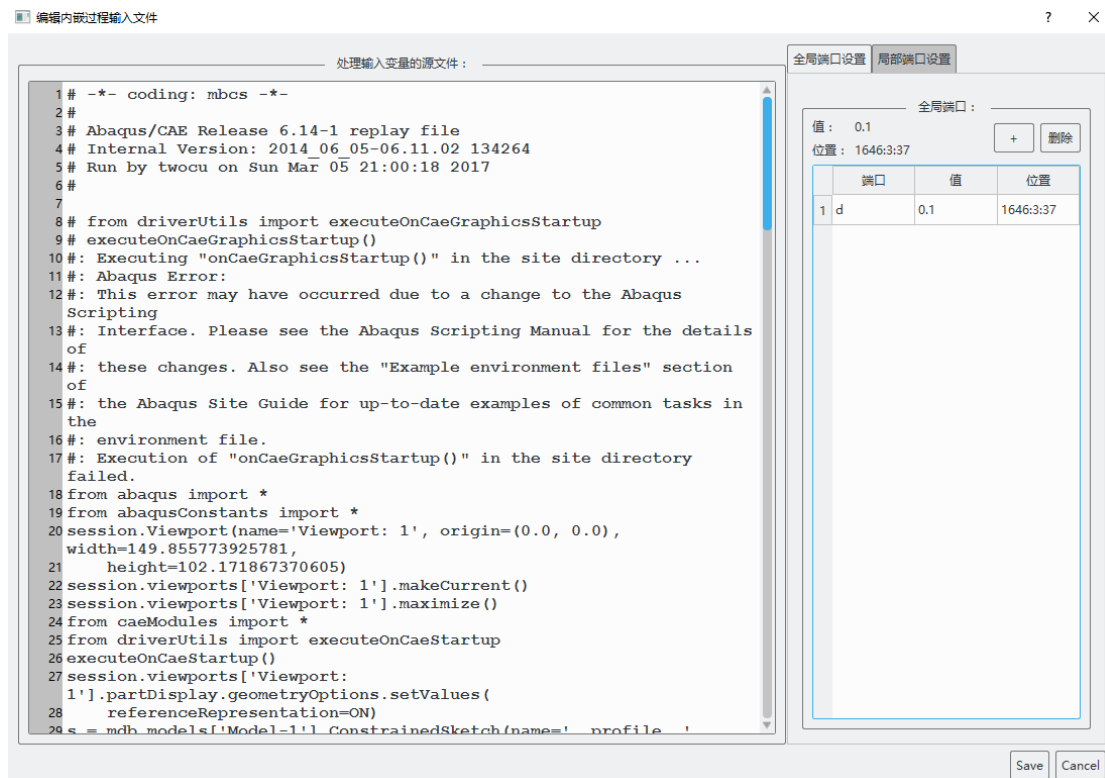


6.2.3.4 输入文件解析

点击输入设置区域的[+输入文件]按钮，可打开输入文件编辑窗口。该窗口左半部分主要用于加载并显示输入文件内容，右半部分主要用于输入参数与输入文件内容的映射。



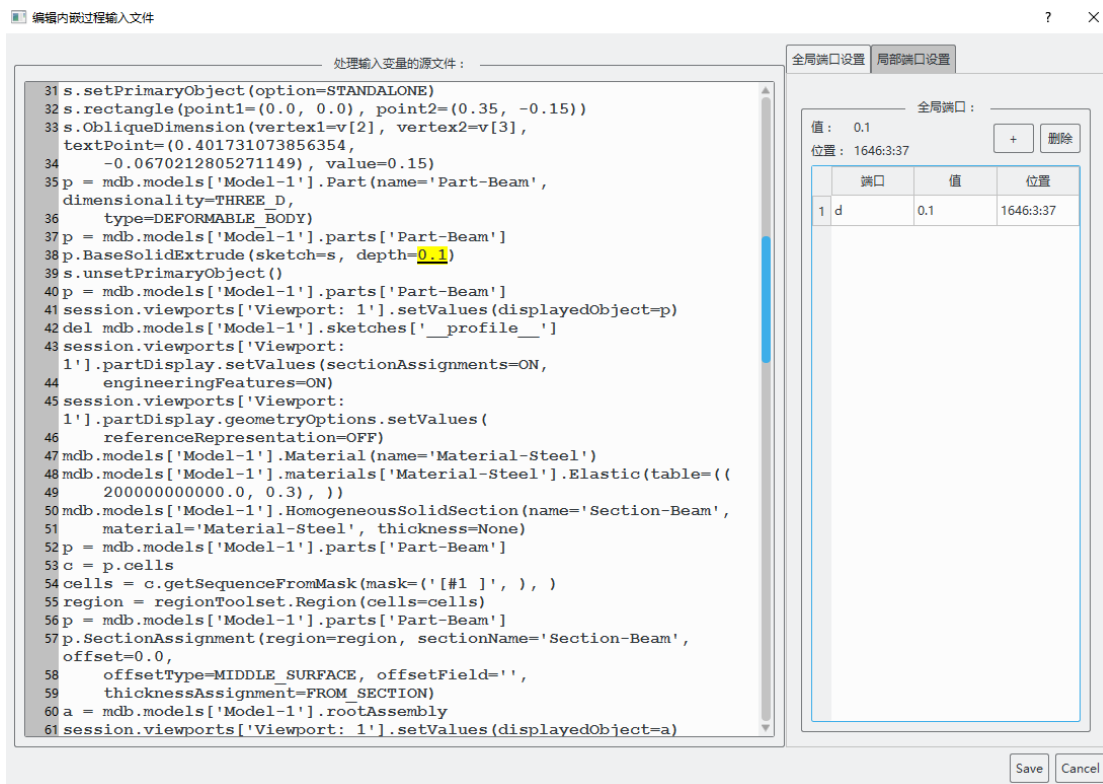
点击浏览并选择输入文件之后，文件内容会加载进来。



Omnia 具有自动识别浮点数能力，鼠标点击加载内容中任意数字位置，整个浮点数将被识别并高亮显示。

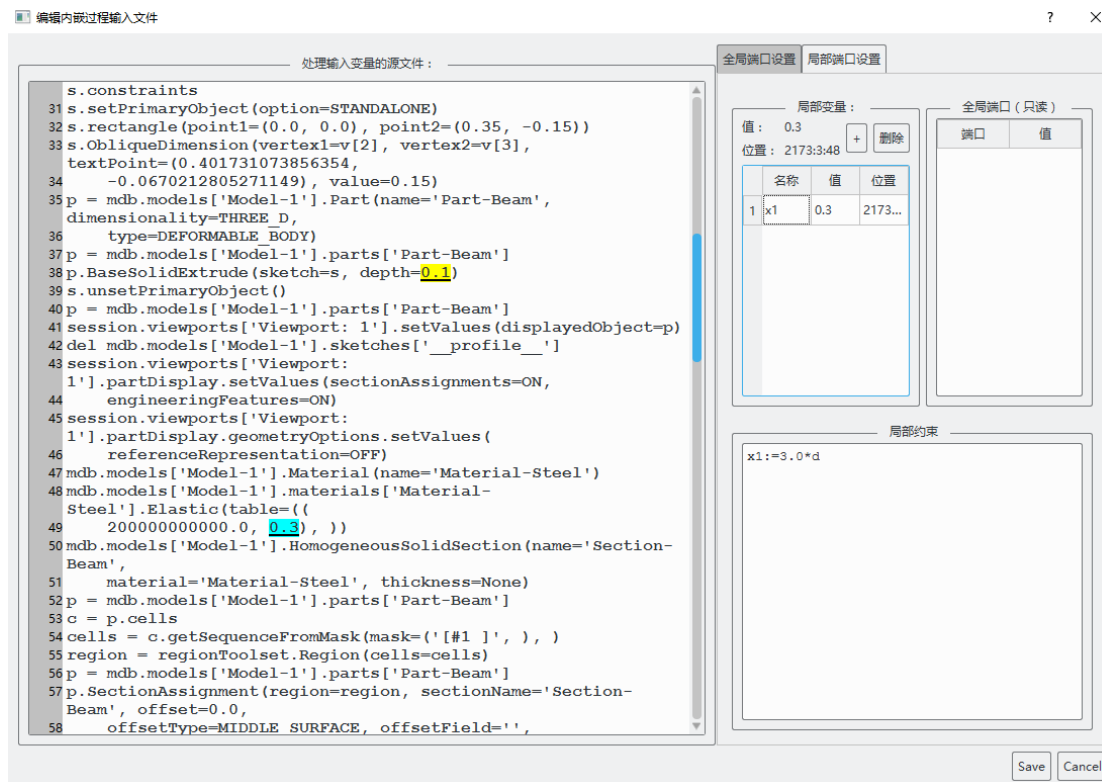
```
31 s.setPrimaryObject(option=STANDALONE)
32 s.rectangle(point1=(0.0, 0.0), point2=(0.35, -0.15))
33 s.ObliqueDimension(vertex1=v[2], vertex2=v[3],
    textPoint=(0.401731073856354,
34     -0.0670212805271149), value=0.15)
35 p = mdb.models['Model-1'].Part(name='Part-Beam',
    dimensionality=THREE_D,
36     type=DEFORMABLE_BODY)
37 p = mdb.models['Model-1'].parts['Part-Beam']
38 p.BaseSolidExtrude(sketch=s, depth=0.1)
39 s.unsetPrimaryObject()
40 p = mdb.models['Model-1'].parts['Part-Beam']
41 session.viewports['Viewport: 1'].setValues(displayedObject=p)
42 del mdb.models['Model-1'].sketches['__profile__']
43 session.viewports['Viewport:
    1'].partDisplay.setValues(sectionAssignments=ON,
44     engineeringFeatures=ON)
45 session.viewports['Viewport:
    1'].partDisplay.geometryOptions.setValues(
46     referenceRepresentation=OFF)
47 mdb.models['Model-1'].Material(name='Material-Steel')
48 mdb.models['Model-1'].materials['Material-Steel'].Elastic(table=((
49     200000000000.0, 0.3), ))
50 mdb.models['Model-1'].HomogeneousSolidSection(name='Section-Beam',
51     material='Material-Steel', thickness=None)
52 p = mdb.models['Model-1'].parts['Part-Beam']
53 c = p.cells
54 cells = c.getSequenceFromMask(mask=('[#1 ]', ), )
55 region = regionToolset.Region(cells=cells)
56 p = mdb.models['Model-1'].parts['Part-Beam']
57 p.SectionAssignment(region=region, sectionName='Section-Beam',
    offset=0.0,
58     offsetType=MIDDLE_SURFACE, offsetField='',
59     thicknessAssignment=FROM_SECTION)
60 a = mdb.models['Model-1'].rootAssembly
61 session.viewports['Viewport: 1'].setValues(displayedObject=a)
```

这就要求用户找到随机变量参数，并通过点击识别出来，之后在右侧通过点击[+]建立并选择与之对应的随机变量。



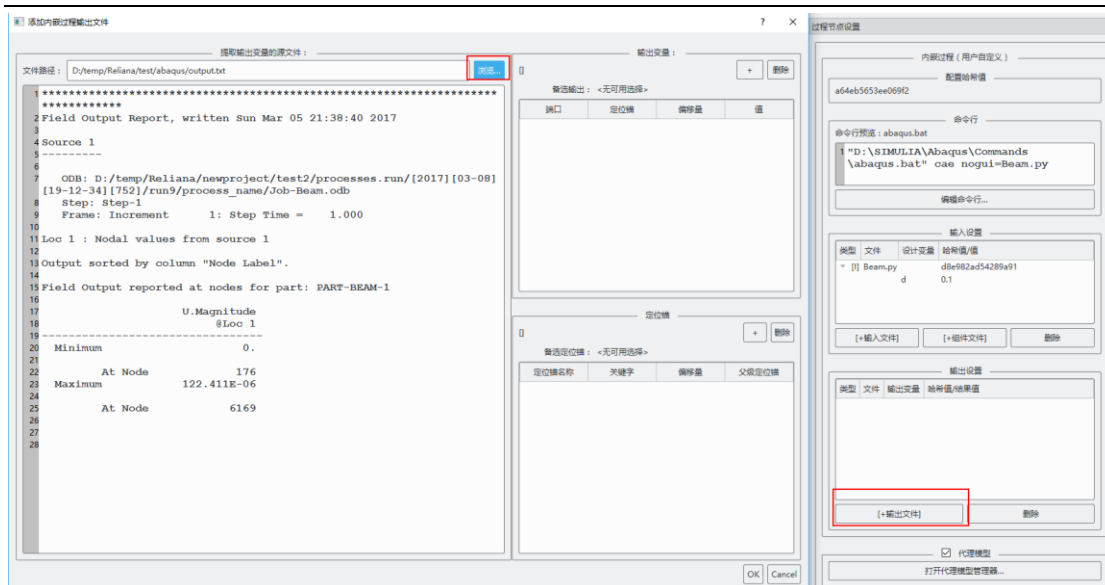
窗口右侧默认为全局端口设置，即选择的变量为全局变量，通常为算法设置的随机变量及其子节点的输出变量，用户还可以切换到局部端口设置去定义局部变量。

假设某个变量与全局变量是一个固定的函数关系，这就需要定义一个局部变量以及该变量与全局变量的关系。



6.2.3.5 输出文件解析

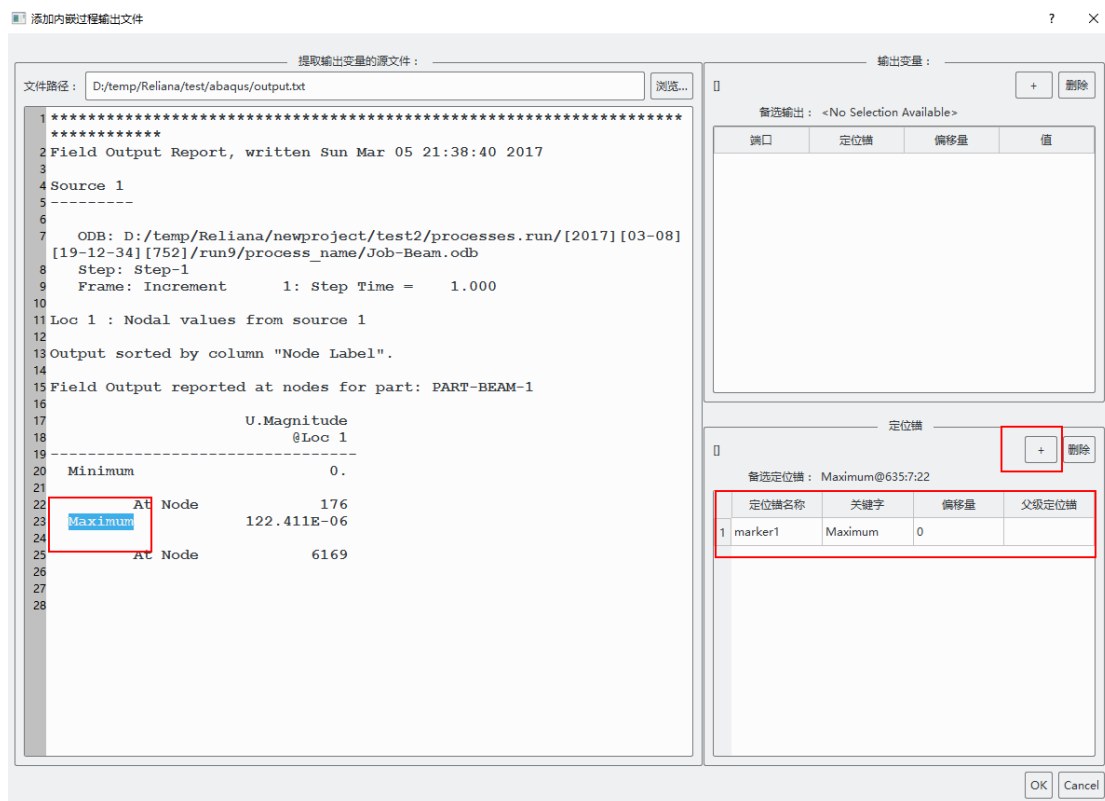
点击输出设置区域的[+输出文件]按钮,可打开输出文件编辑窗口。该窗口左半部分主要用于加载并显示输出文件内容,右半部分主要用于结果参数与输出文件内容的映射。



与输入文件设置相同，选择并载入输出文件之后，进一步选择输出结果对应的参数位置。

考虑到输出文件是通过迭代计算得出的，每次的输出文件会产生变化，所以在指定输出参数之前，有必要先定义一个定位锚，输出参数通过该定位锚进行相对定位。

在该案例中，“Maximum”始终是唯一的，通过按住鼠标左键拖选该变量，同时在右侧定位锚设置栏中点击“+”，完成定位锚的定义。



最后依据输入变量的定义方法，点击最大变形参数，并进一步定义输出变量名称（可以任意设置，这里设置为 y），同时可以看到，该变量直接以前面定义定位锚关联起来。

保存后完成输出变量的定义



6.3 算法设置

6.3.1 概述

所有的求解算法都在根节点的属性栏中进行设置，算法设置主要包括：

- 求解方法及其配置项设置
- 随机变量设置
- 结果变量设置

方法设置

MonteCarloSampling SimpleRandomSampling

	键	值
1	number_of_points	10

☐ 使用演化函数 编辑演化函数...

设计变量 (数据发生器输出) + 删除

	变量名	分布名称
1	d	Normal

☐ 使用相关性矩阵 编辑相关性矩阵...

结果变量 (数据发生器输入) + 删除

	变量名	下限	上限
1	y	-1e+20	0.000122

6.3.2 方法设置

点击方法设置下拉箭头可选择不同的分析方法并进行方法设置。关于演化函数设置将在后面章节进行详细介绍。

方法设置

ReliabilityTechnique AFOSM

	键	值
1	Finite_Difference_Step_Size	0.001
2	MPP_Relative_Convergence	0.001
3	Maximum_Iterations	40

☐ 使用演化函数 编辑演化函数...

Omnia 支持的可靠性分析算法包括：

➤ 一次二阶矩法(MVFOSM)

Finite_Difference_Step_Size: 在求解过程中, 需要求解功能函数对各个设计变量的偏导数, Omnia 采用数值方式的求解方法, 所以, 需要设置求解偏导数的步长。

➤ 改进一次二阶矩法(AFOSM)

Finite_Difference_Step_Size;

MPP_Relative_Convergence: 求解 MPP 点的收敛判断残差;

Maximum_Iterations: 求解 MPP 点时最大迭代次数。

➤ 蒙特卡罗法(SimpleRandomSampling)

Number_of_points: 抽样数量

➤ 重要抽样法(ImportanceSampling)

Finite_Difference_Step_Size;

MPP_Relative_Convergence;

Maximum_Iterations;

Number_of_points

➤ 线抽样法(LinearSampling)

Finite_Difference_Step_Size;

MPP_Relative_Convergence;

Maximum_Iterations;

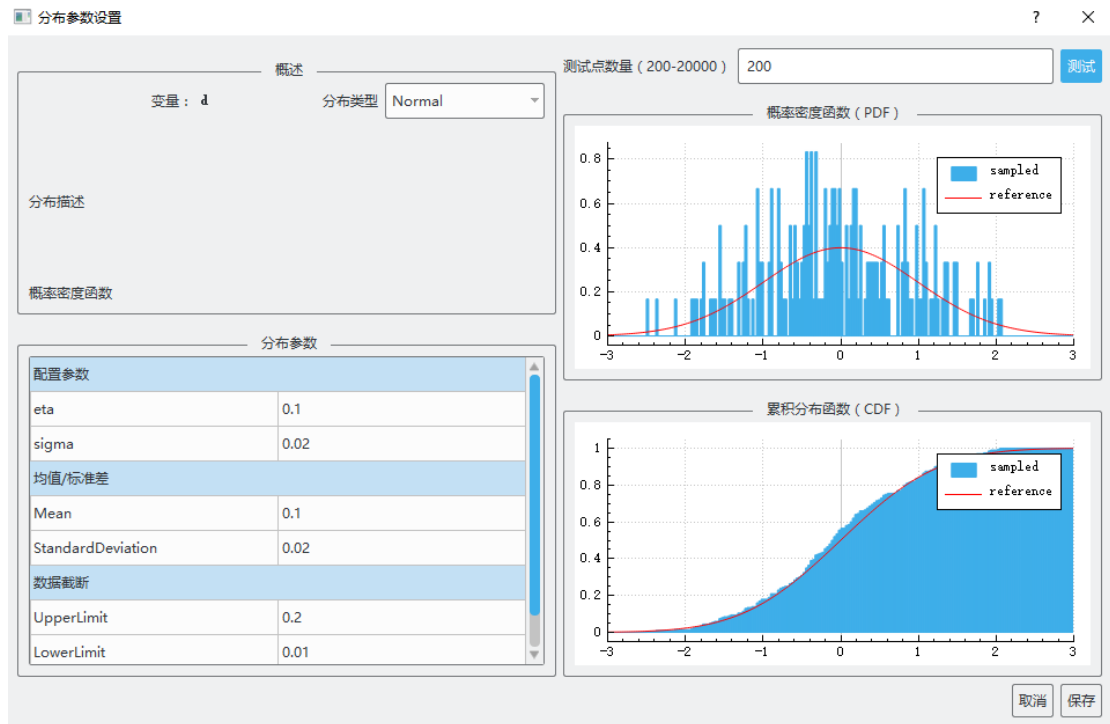
Number_of_points

6.3.3 随机变量设置

通过点击设计变量右上角的[+], 或删除可增加或者删除随机变量, 双击变量名可对随机变量重新命名, 双击分布名称可打开随机变量定义窗口。

设计变量 (数据发生器输出)			+	删除
	变量名	分布名称		
1	d	Normal		

分布参数设置窗口主要包括左右两个部分, 左侧用于对分布类型以及分布参数进行设置, 右侧用于对设置的分布进行预览, 包括概率密度函数以及累积分布函数。



Omnia 支持的分布类型包括：

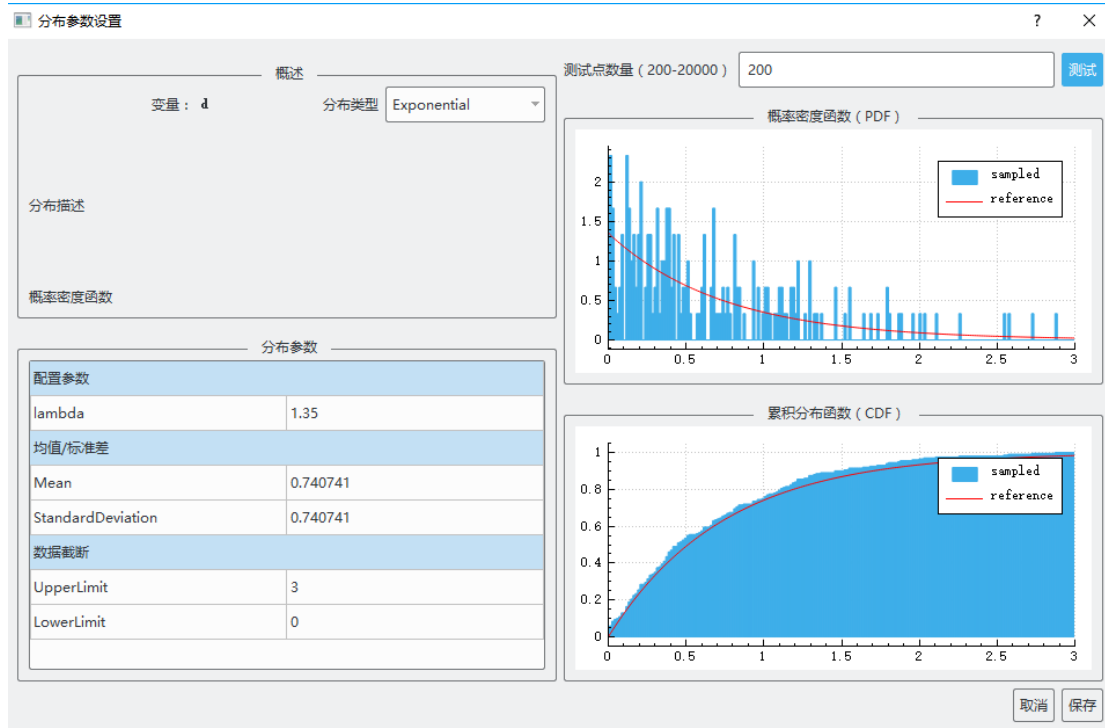
- Normal
- Exponential
- ExtremeValue Type 1
- Lognormal
- Uniform
- Weibull

分布参数可定义项可以分为三类：

- 配置参数
不同分布类型对应不同的分布参数，与均值/标准差互相转换，配置任何一项，另一个随之即时转换；
- 均值/标准差
所有分布类型都包含均值/标准差，与配置参数相互对应并实时转换；
- 数据截断

Omnia 支持截尾分布的定义，支持定义分布的上下限。

分布参数编辑窗口右侧的分布预览即根据用户设置的分布类型以及分布参数进行预览，需要用户输入期望预览的抽样数量。



勾选相关性矩阵选项，算法可以考虑各变量的相关性分析，点击编辑相关性矩阵，会打开相关性矩阵编辑界面。

设计变量 (数据发生器输出)

	变量名	分布名称
1	d	Normal
2	dv1	Normal
3	dv2	Normal
4	dv3	Normal

☒ 使用相关性矩阵

编辑相关性矩阵...

默认相关性矩阵是一个尺度为随机变量数量的对称方阵，对角线为 1，用户只需定义右上角矩阵参数即可。

修改相关性矩阵

相关性矩阵

	d	dv1	dv2	dv3
d	1	0	0	0
dv1		1	0	0
dv2			1	0
dv3				1

确定 取消

6.3.4 结果变量设置

通过点击结果变量右上角的[+]，或删除可增加或者删除随机变量。

结果变量 (数据发生器输入)

	变量名	下限	上限
1	y	-1e+20	0.000122

双击变量名可对选择功能函数中不同的输出变量，Omnia 自动遍历功能故障树中的所有输出变量，并以树形结构进行组织供用户选择。

结果变量 (数据发生器输入)

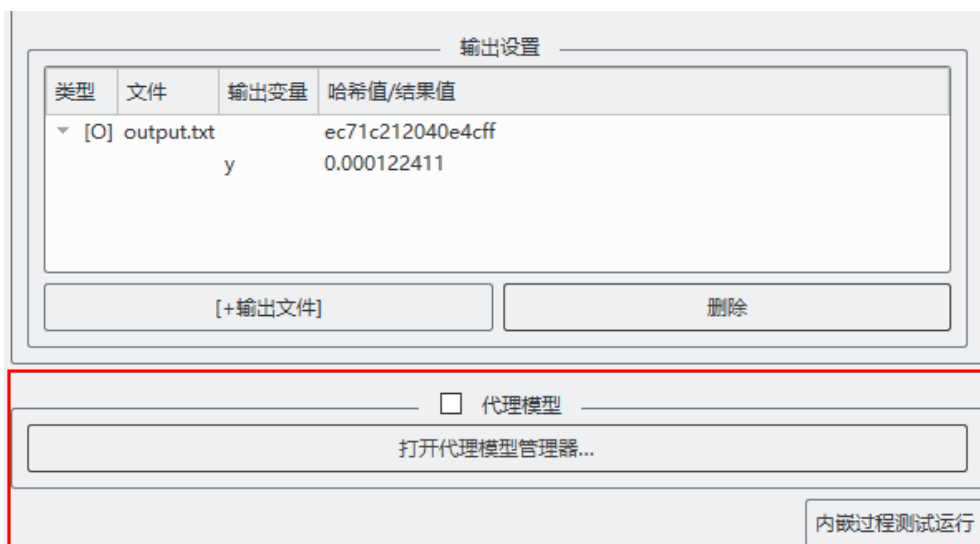
	变量名	下限	上限
1	过程节点/根节点+端口		0.000122
	▼ engine		
	y		

双击变量名对应的上下限，可对输出变量的约束进行设置，超出约束范围内的结果变量被视为失效。

6.4 近似模型

6.4.1 入口

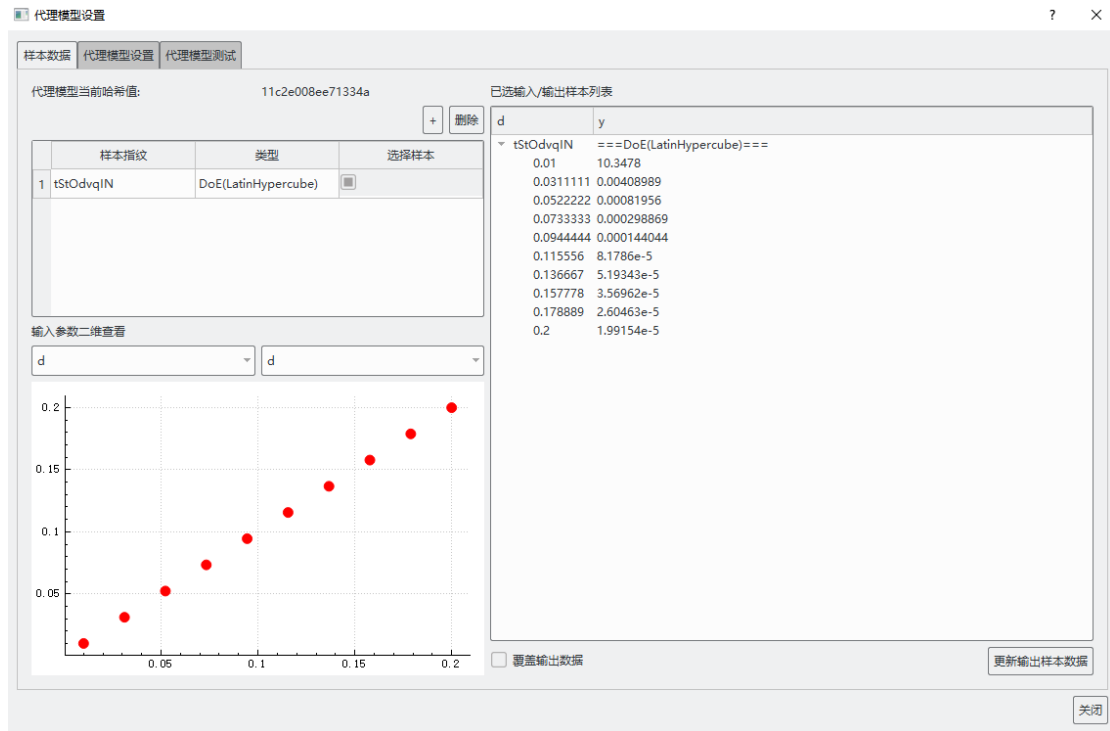
针对集成第三程序的节点，考虑到需要的计算资源可能会非常大，所以Omnia 支持构建该节点对应的代理模型，详细理论介绍参见《计算方法手册》。



在集成第三程序的节点属性最下方，会出现代理模型设置项，勾选并打开，可进入代理模型设置窗口。

包括三个选项卡：

- 样本数据
- 代理模型设置
- 代理模型测试

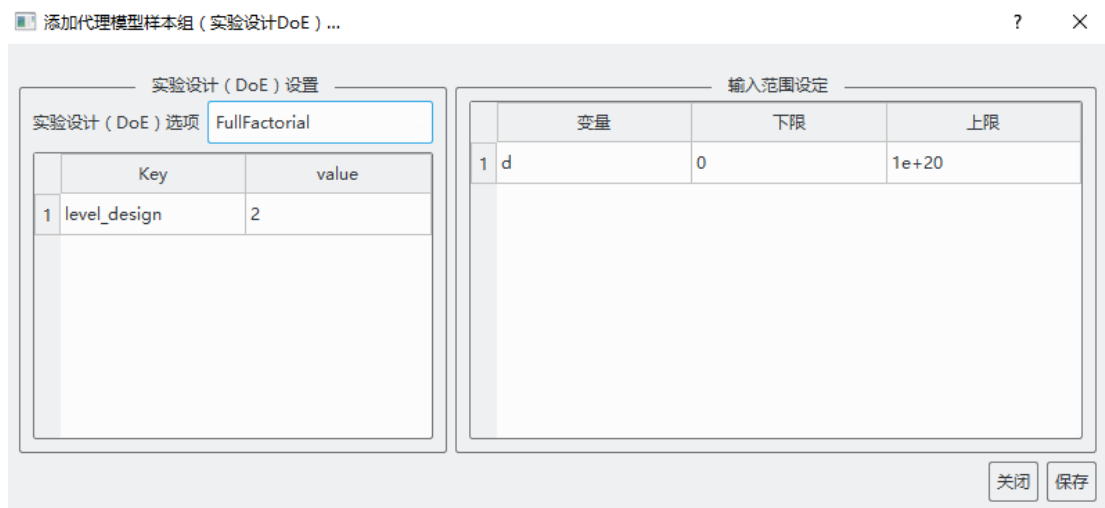


6.4.2 样本数据

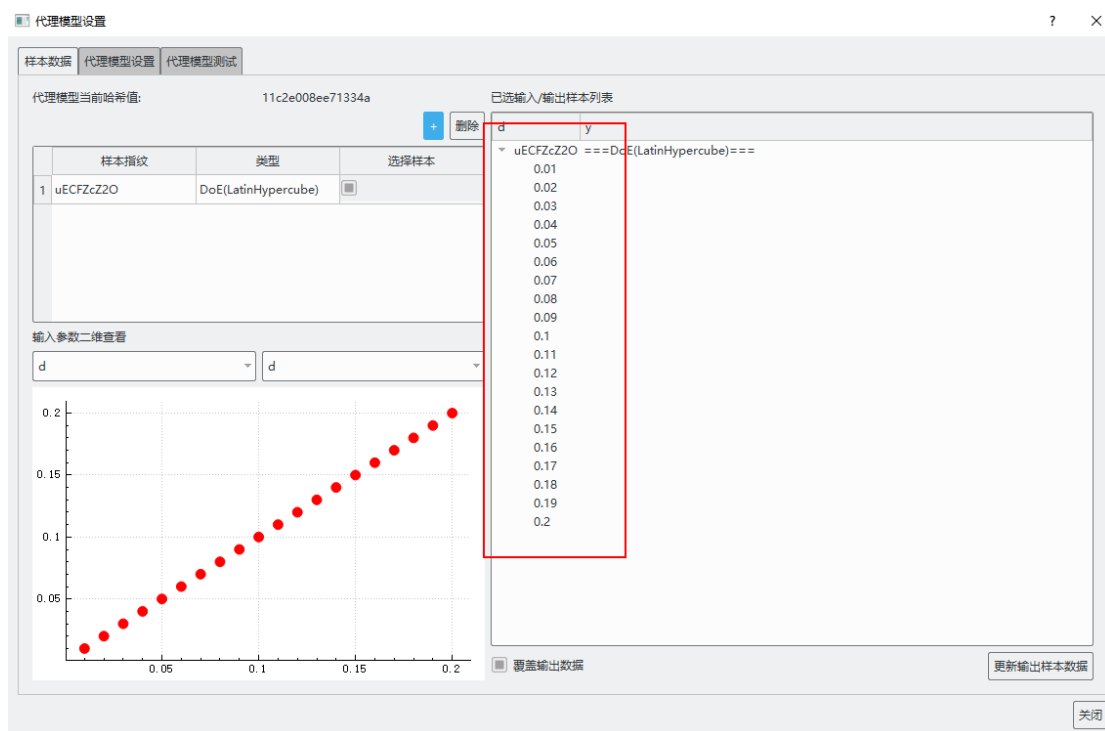
用于定义构建代理模型所需的样本数据，包括输入变量与结果变量。

通过点击[+]/删除可以添加/删除不同的样本数据，Omnia 支持两种形式的样本数据来源，外部数据导入以及实验设计（DOE）抽样，DOE 抽样算法支持以下几种：

- FullFactori
- LatinHypercube
- SymmetricLatinHypercube



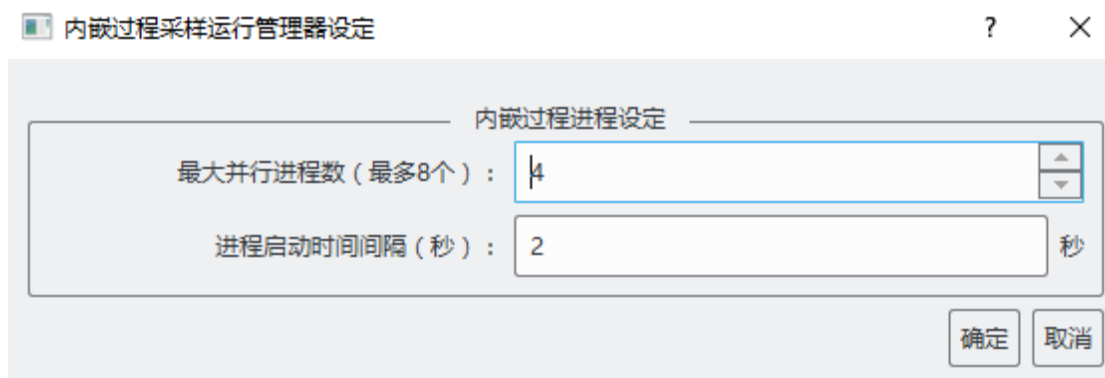
选定抽样方法之后，需要进一步设置设计变量的取值范围，样本点将在该范围内进行抽样。



抽取输入样本点之后，需要通过第三方程序计算这些样本对应的结果数据，通过选择“更新样本数据”，进入样本结果计算窗口。



在计算之前，可以进一步点击“管理器设定”，打开计算配置窗口，配置并行数量以及间隔时间。该选项会在后台同时计多个样本点，这需要考虑第三方程序许可支持的数量。

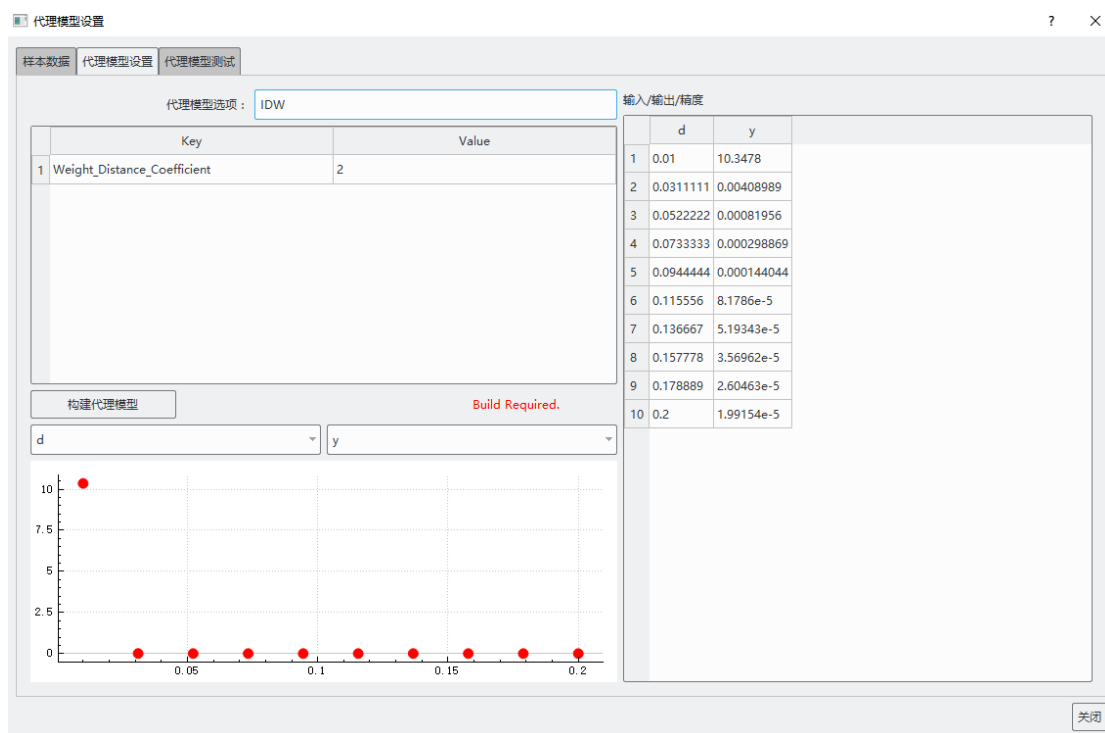


配置完成之后，即可执行计算，并完成样本点的配置。



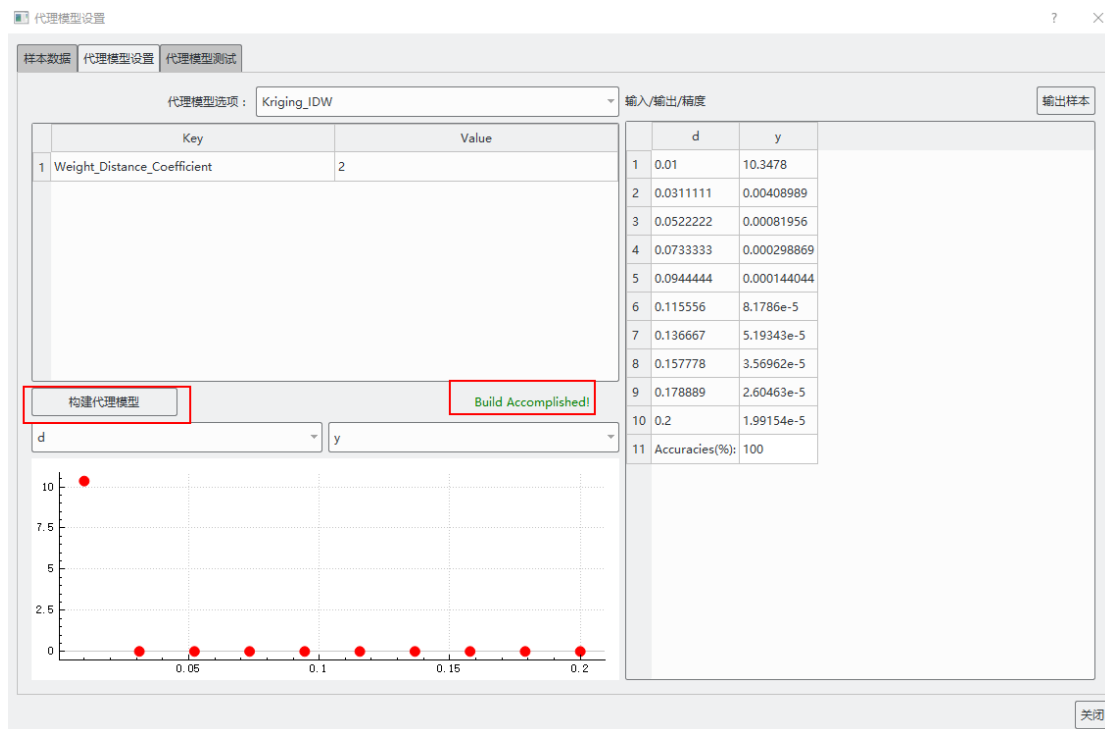
6.4.3 代理模型设置

完成样本点的采集计算之后，需要进一步构建代理模型。



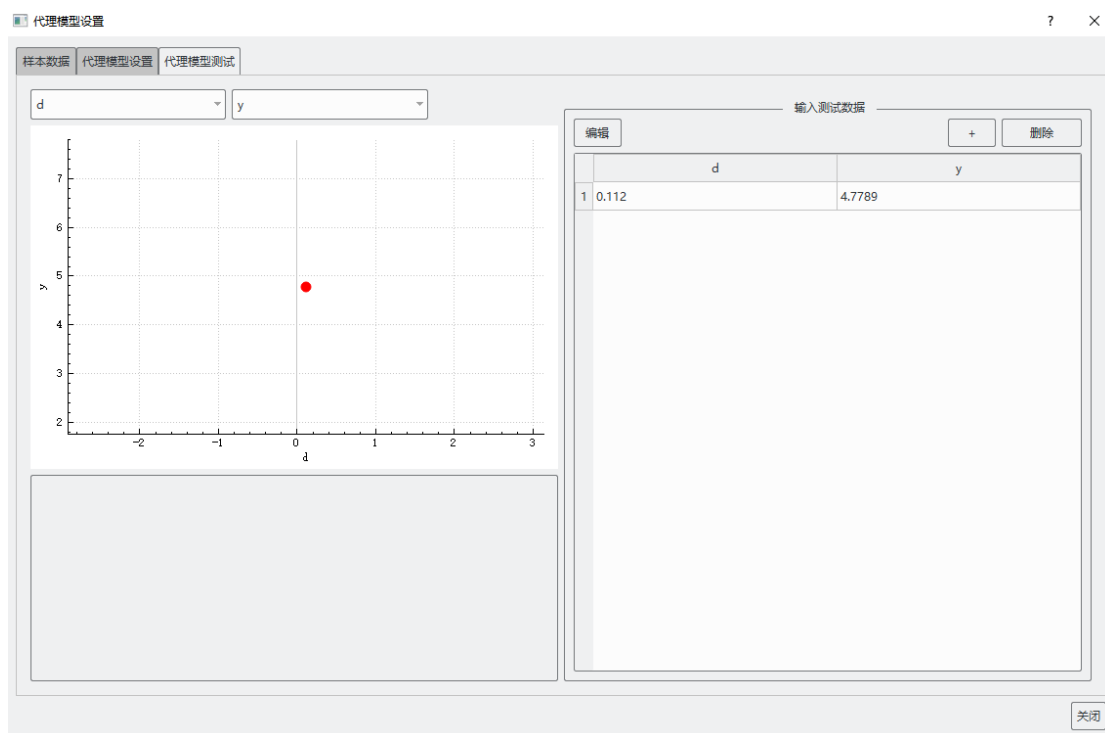
Omnia 支持的代理模型包括:

- IDW
 - 反距离加权方法
 - Kriging_Ordinary
 - 普通克里金方法
 - RSM
 - 响应面方法
 - Kriging_IDW
 - 基于 IDW 的克里金方法
 - Kriging_RSM
 - 基于 RSM 的克里金方法
- 直接选择构建代理模型即可。



6.4.4 代理模型测试

该选项主要用于单次计算的测试，用户可以指定设计变量值并利用代理模型计算结果，非必需选项。

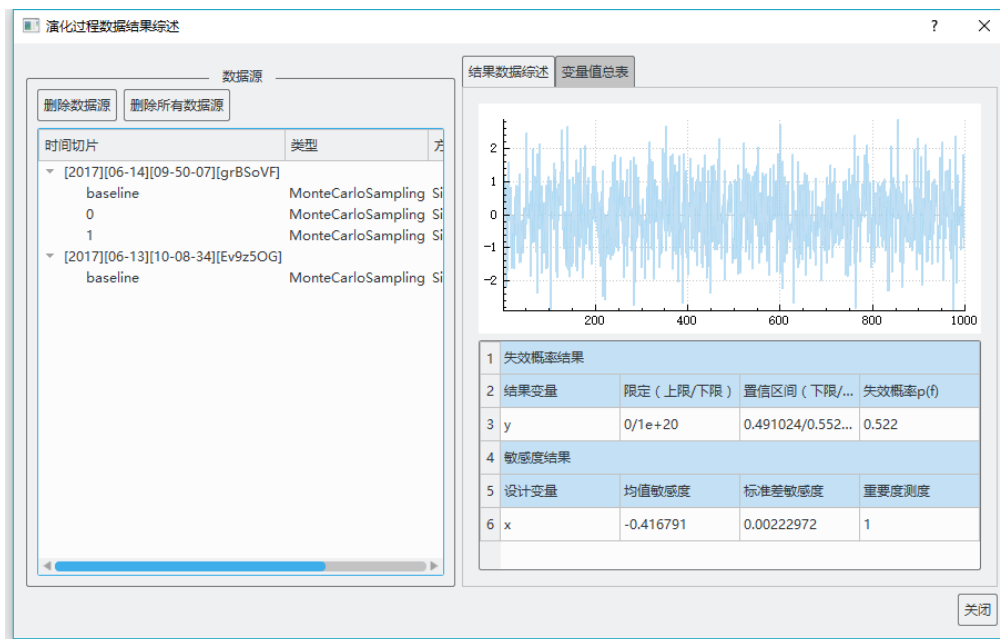


6.5 查看结果

点击工具栏中的“历史数据”可打开结果查看对话框

该对话框主要分为左右两个区域，左侧数据为数据源，包括该工程所有执行过数据，以时间为标签进行计算，其中 **baseline** 为不考虑时间演化的数据。

点击数据源中的任意时间点数据，右侧会该时刻所有迭代的曲线，以及结果相关数据。



切换至“变量值总表”，可以查看该时刻所有迭代样本点的数据表格

The screenshot shows the same window with the 'Total Variable Value Table' tab selected. The table displays 12 iterations of data for variables x and y. The first iteration is highlighted in blue.

	x	y
1	1.18873	1.18873
2	0.85088	0.85088
3	0.798907	0.798907
4	0.983537	0.983537
5	0.399664	0.399664
6	-1.18232	-1.18232
7	-2.17961	-2.17961
8	-0.731907	-0.731907
9	-1.70421	-1.70421
10	0.920336	0.920336
11	1.58913	1.58913
12	-0.180041	-0.180041

7. 案例

7.1 案例要求

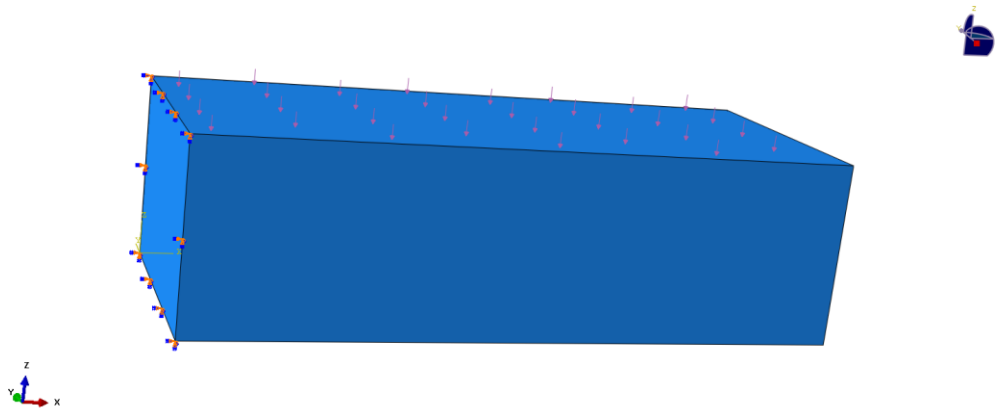
悬臂梁结构如下图所示，长（x 方向）0.35m，宽（y 方向）0.15m，厚度（z 方向）0.1m，左端完全约束，上表面承受 1MPa 的压强。

悬臂梁为钢，弹性模量 $2.06 \times 10^{11} \text{Pa}$ ，泊松比为 0.3。

设悬臂梁的厚度为 d 随机变量，服从正态分布，其均值和标准差为 $\mu_d = 0.1 \text{m}$ ， $\sigma_d = 0.02 \text{m}$ ，考虑到厚度不能小于零，所以设定厚度的上下限为 $[0.01, 0.2]$ 。

同时设悬臂梁的变形极限为 $1.22 \times 10^{-4} \text{m}$ ，即悬臂梁最大变形值大于该值的情况下失效。

要求利用有限元方法计算该悬臂梁的变形，用蒙特卡罗直接抽样法求悬臂梁的失效概率，由于本案例只是作为参考，样本点数设为 10，真实计算结果为 0.5 左右。



7.2 案例分析

由于要求利用有限元方法计算该悬臂梁的变形，这里选用 Abaqus 作为第三方分析软件建立该悬臂梁模型，并录制其脚本文件 (beam.py) 作为输入文件，同时计算完成后输出 output.txt 作为输出文件。

驱动 Abaqus 后台执行的批处理命令为：

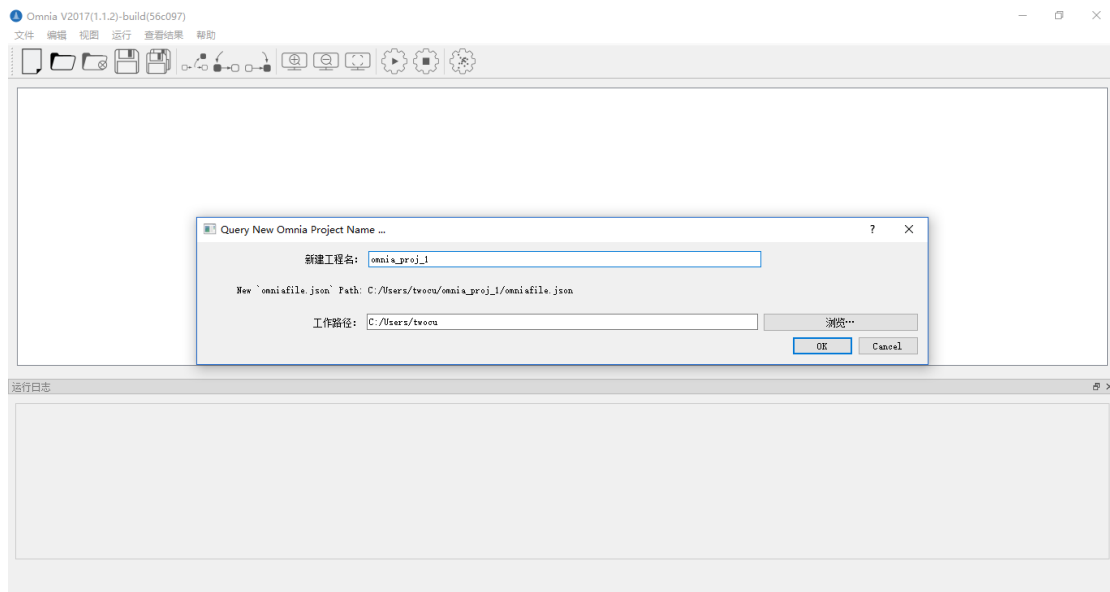
```
"X:\SIMULIA\Abaqus\Commands\abaqus.bat" cae nogui=Beam.py
```

将批处理文件与脚本文件放置于任意英文目录下，执行批处理文件即可得到输出文件，第三程序的文件准备完成。

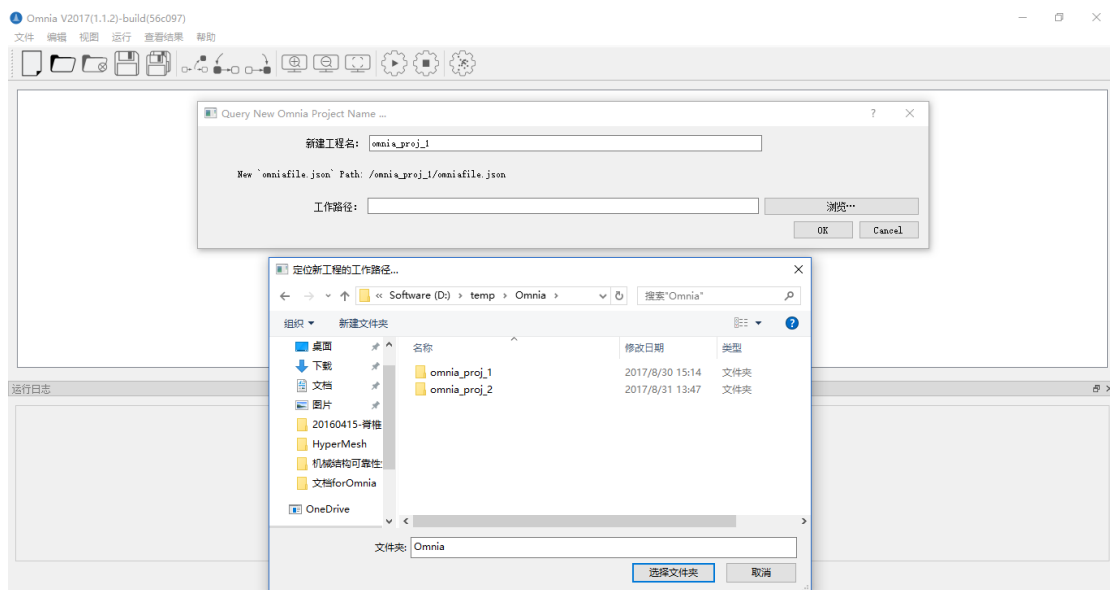
详细集成方法见第三部分的相关内容。

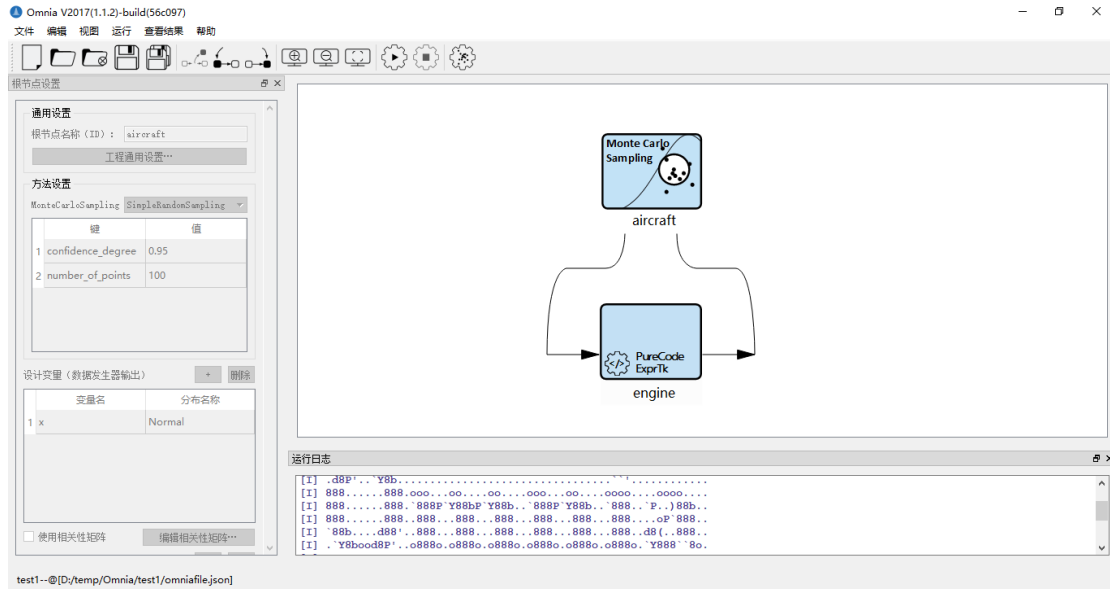
7.3 分析流程

7.3.1 打开 Omnia 软件，并新建工程；



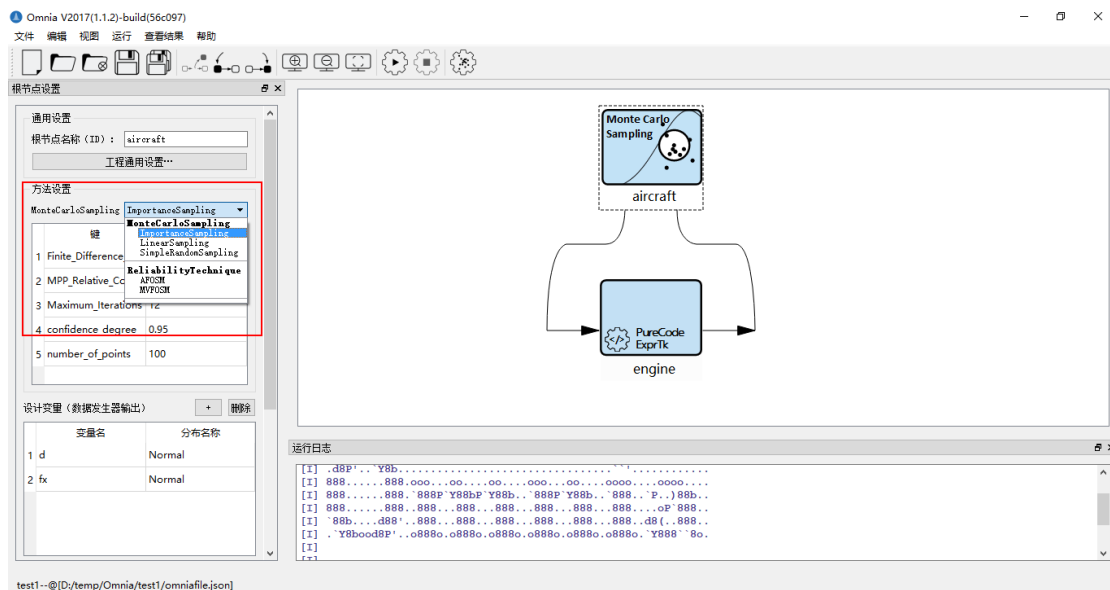
指定工作目录与工程名称





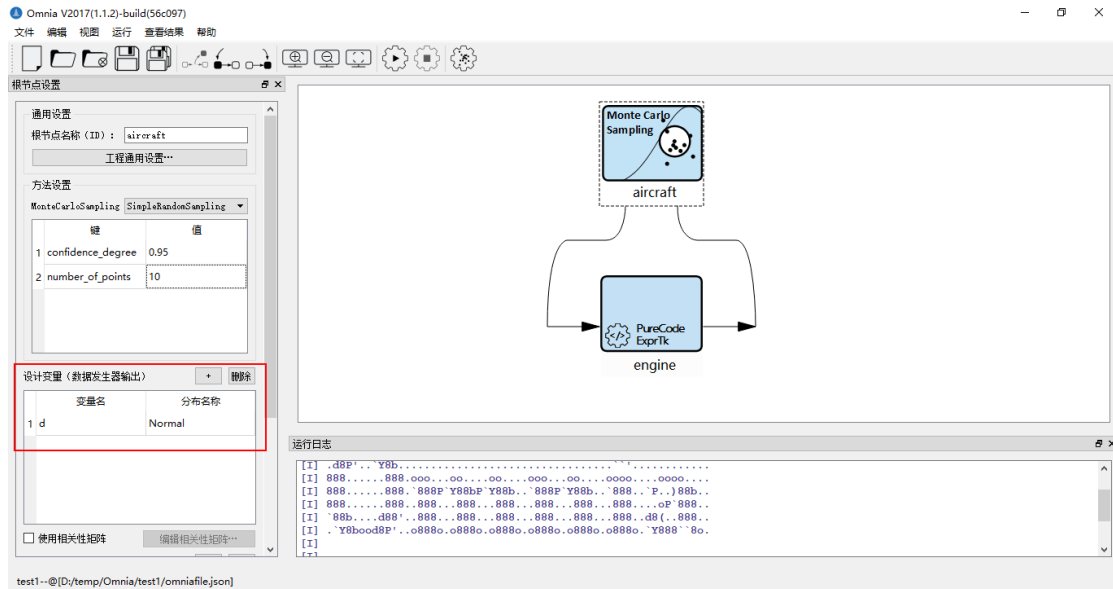
7.2.3.2 选择求解方法

选中根节点 aircraft，在左侧边栏中找到并选择 SimpleRandomSampling 计算方法。并设置样本点数量为 10

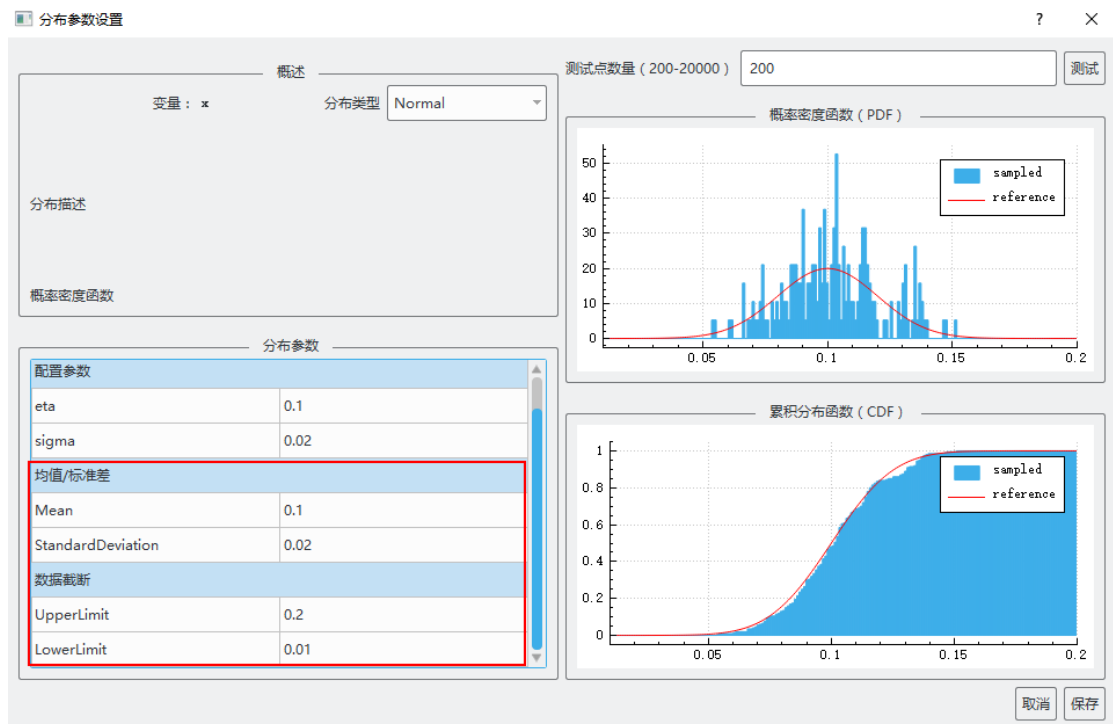


7.2.3.3 定义随机变量

选中根节点，同时找到左侧边栏中的设计变量区域，默认还有一个变量名称为 x 的随机变量，双击 x 将其修改为 d；



然后双击 Normal，进入分布参数设置窗口，设置其均值和标准差为 0.1 与 0.02，同时在数据截断项中，设置其上下限为[0.01, 0.2]

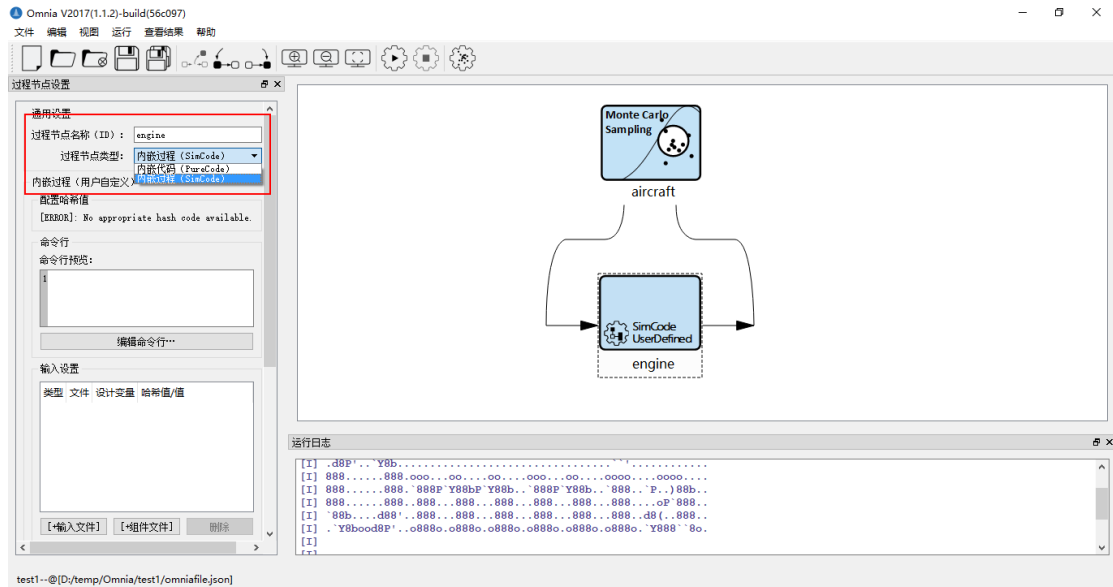


点击保存返回主界面。

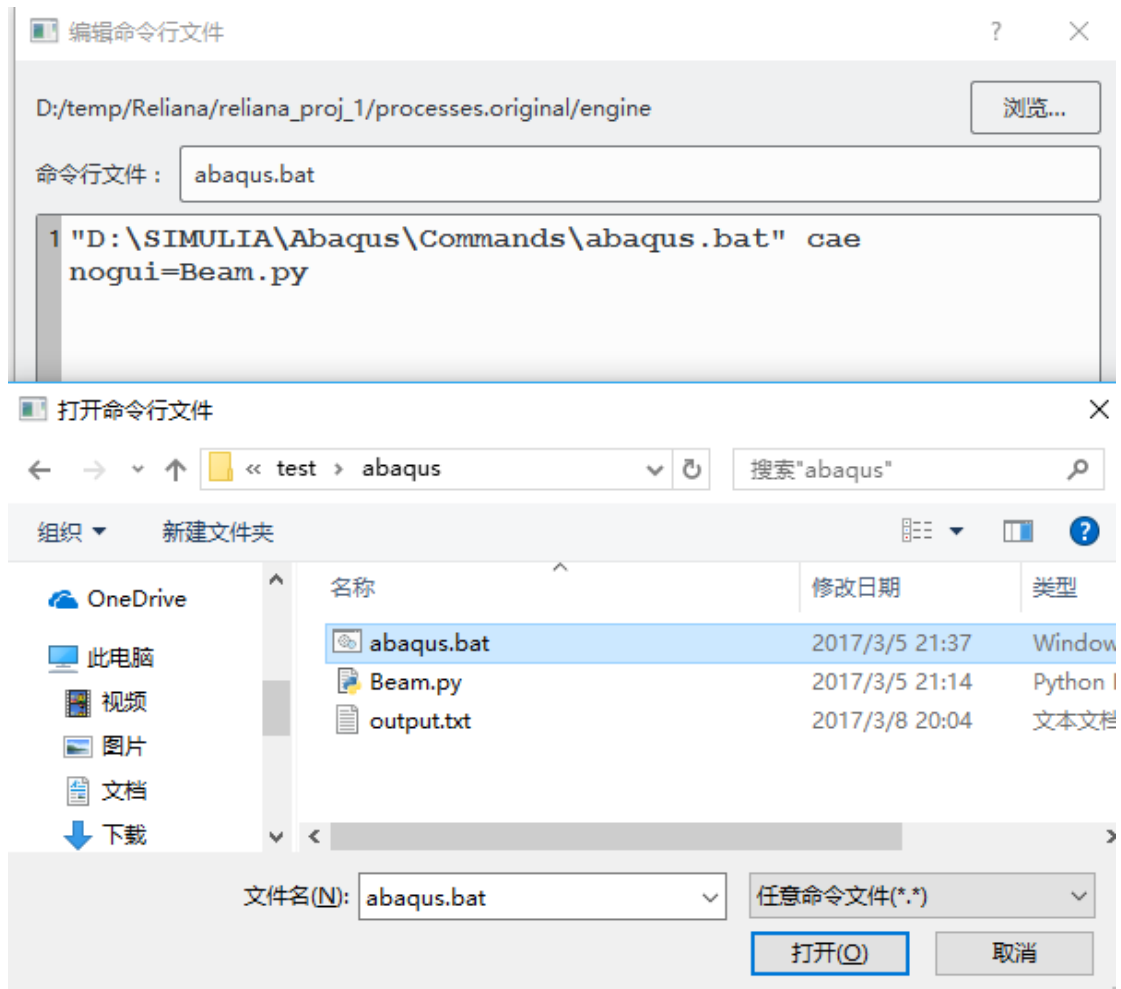
7.2.3.4 集成第三方程序

选择子节点 engine，左侧边栏随之变化。

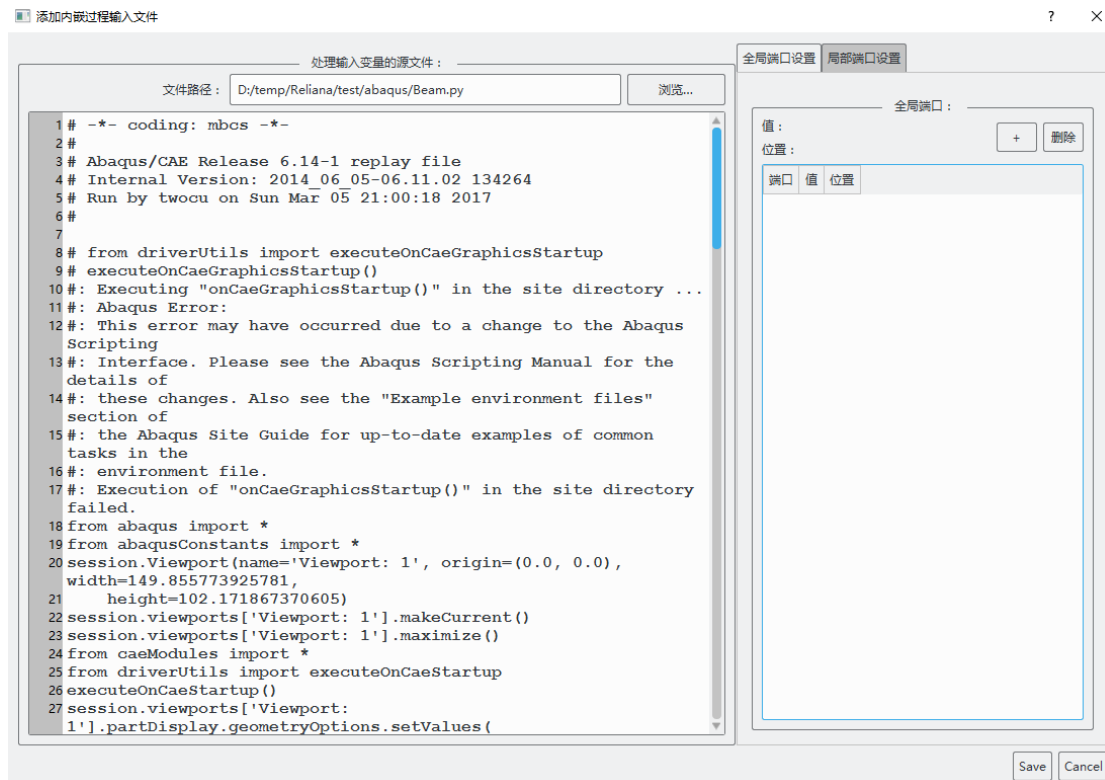
选择通用设置项中过程节点类型为内嵌过程项



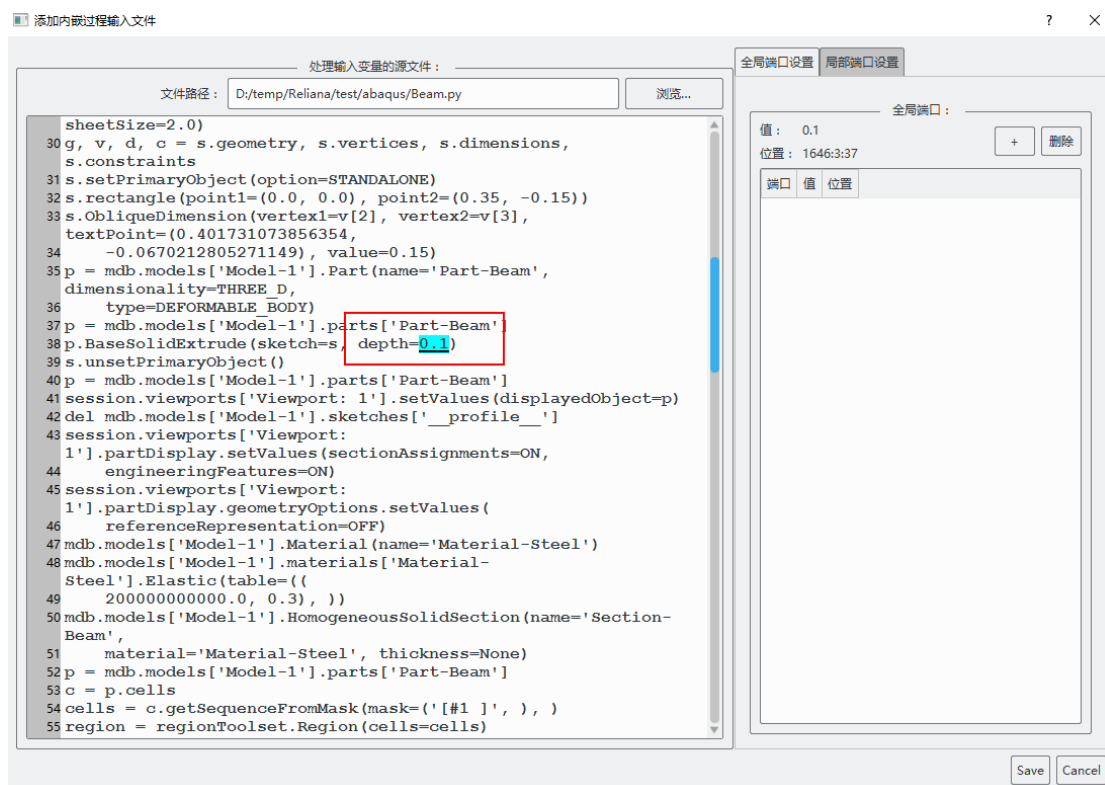
选择命令行中的编辑命令行，浏览并找到编辑好的批处理文件（abaqus.bat）；



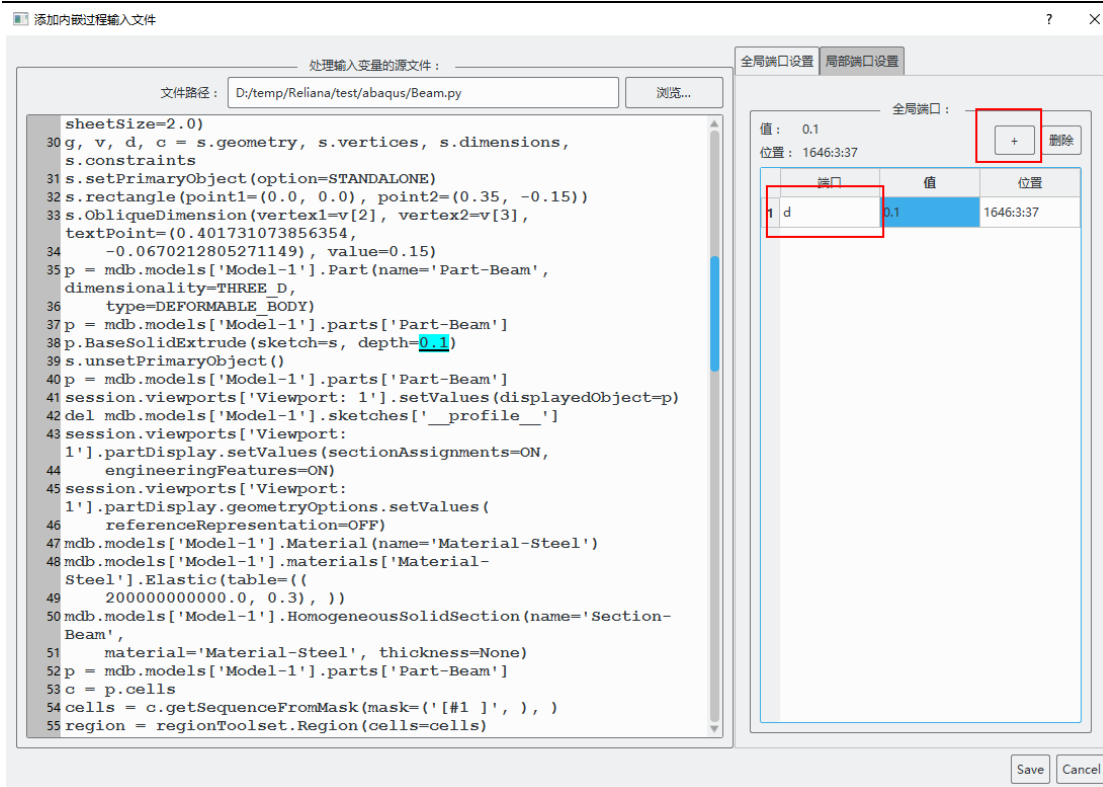
点击输入设置中的[+输入文件]，打开输入文件编辑窗口，浏览并选择以编辑好的脚本文件（Beam.py），Omnia 会将该文件的内容载入进来；



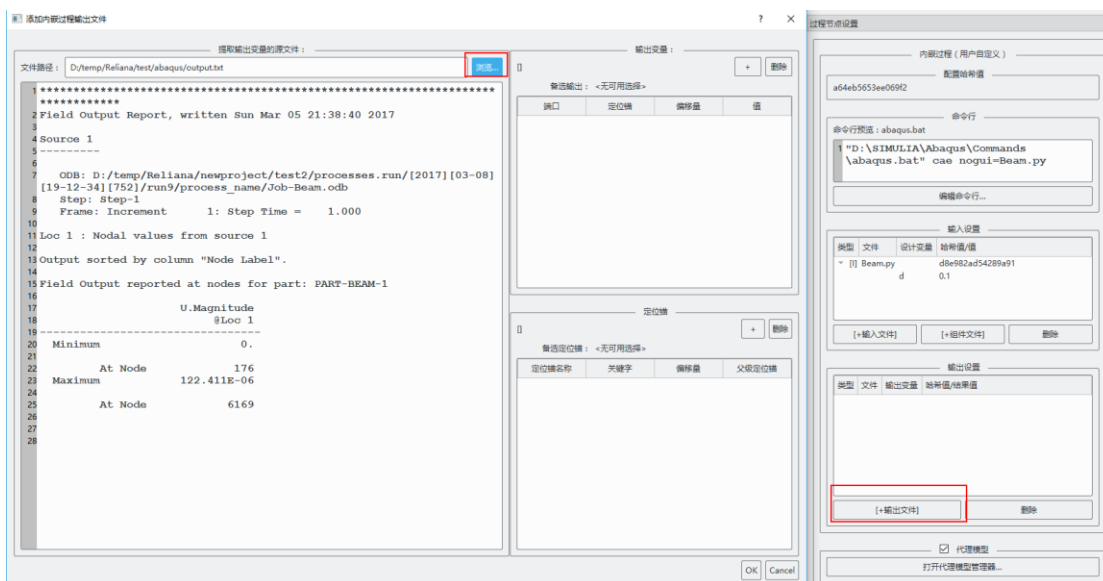
在脚本文件找到悬臂梁厚度参数，通过点击左键可选中该参数，选中后该参数会高亮显示。



点击“+”映射该参数的变量名 d ，保存即可完成输入变量的编辑；

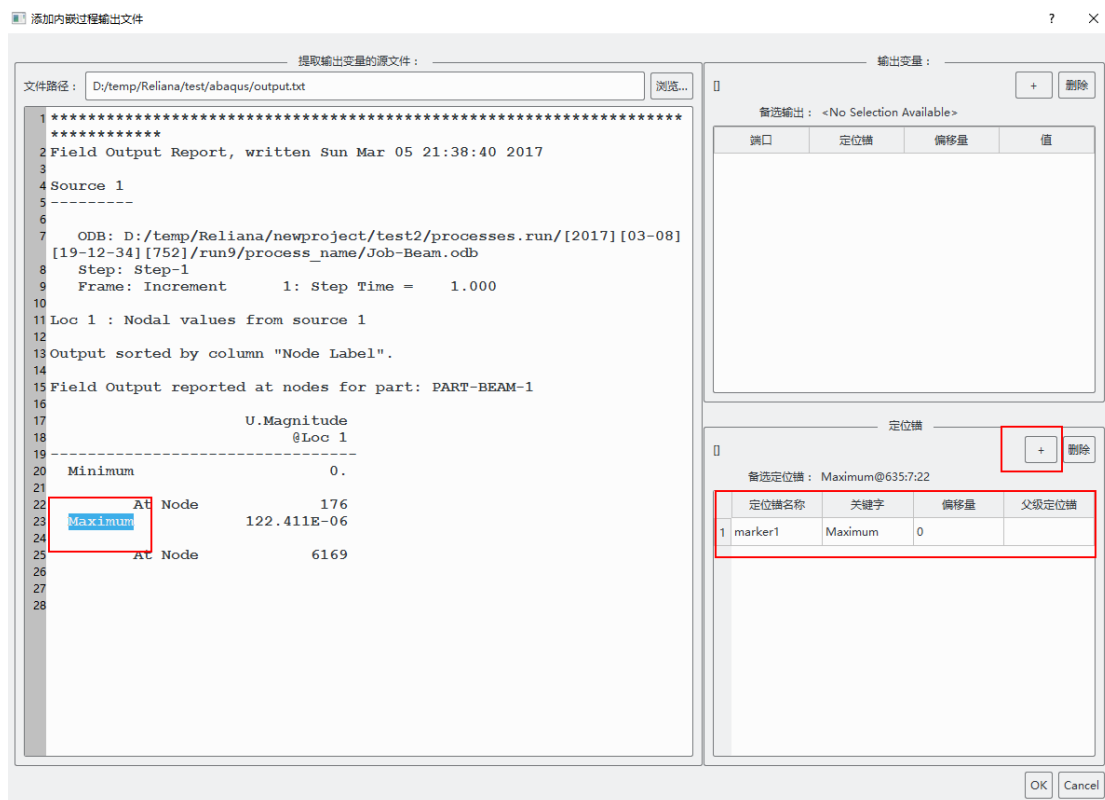


进一步选择输出设置项中的[+输出文件], 打开输出文件编辑窗口, 通过浏览载入之前编辑好的输出文件;



考虑到输出文件是通过迭代计算得出的, 每次的输出文件会产生变化, 所以在指定输出参数之前, 有必要先定义一个定位锚, 输出参数通过该定位锚进行相对定位。

在该案例中, “Maximum” 始终是唯一的, 通过按住鼠标左键拖选该变量, 同时在右侧定位锚设置栏中点击“+”, 完成定位锚的定义。



最后依据输入变量的定义方法，点击最大变形参数，并进一步定义输出变量名称（可以任意设置，这里设置为 y），同时可以看到，该变量直接以前面定义定位锚关联起来。

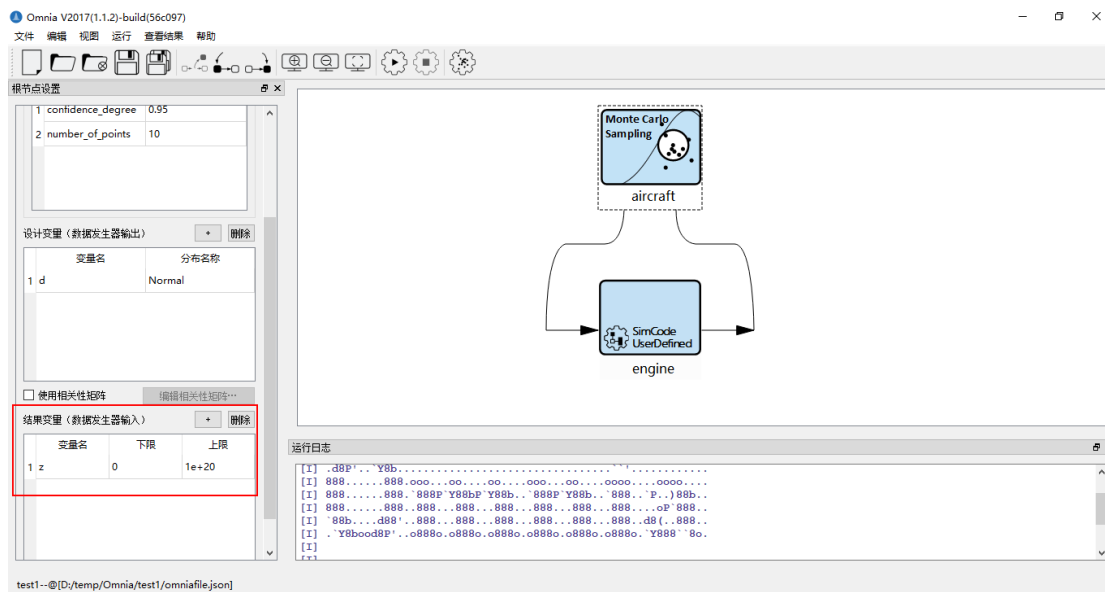
保存后完成输出变量的定义



7.2.3.5 定义结果变量

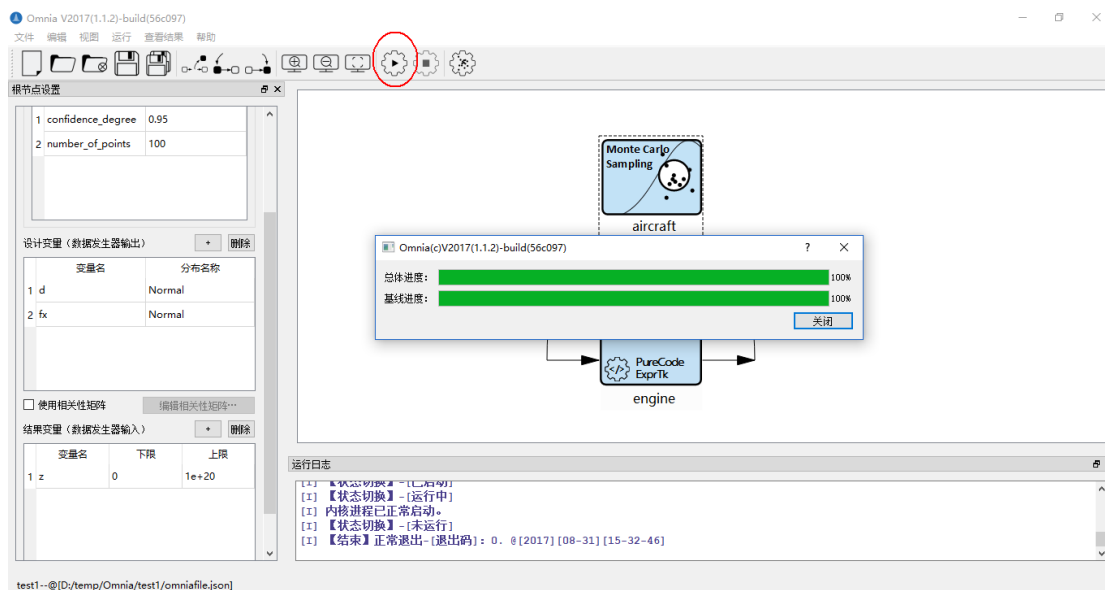
再次选择根节点 aircraft，从左侧边栏找到结果变量区域，点击“+”并选择结果变量 y。

蒙特卡罗直接抽样方法支持结果变量的约束定义，即超出约束范围内的结果视为失效结果，所以根据案例要求，这里设置其约束上下限为 $[-1e20, 1.22E-4]$ ，“ $+1e20$ ”为 Omnia 支持的最大/最小值。



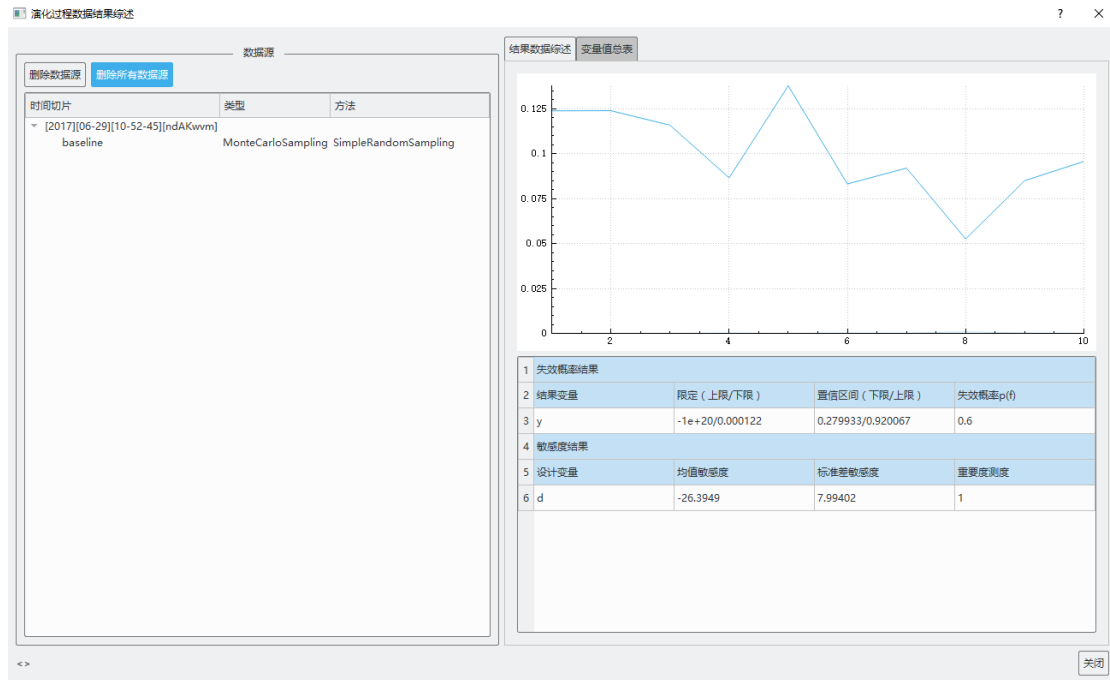
7.2.3.6 执行计算

选择工具栏中的 run，并等待计算完成



7.2.3.7 查看结果

在工具栏中选择历史数据打开结果对话框，可以看到其失效概率为 0.6。
同时可以看到迭代过程曲线。



切换选项卡为变量值列表，可以进一步查看迭代过程数据。

演化过程数据结果综述

数据源

删除数据源 删除所有数据源

时间切片	类型	方法
[2017][06-29][10-52-45][ndAKwvm]	baseline	MonteCarloSampling SimpleRandomSampling

结果数据综述 变量值总表

设计变量 结果变量 [2017][06-29][10-52-45][ndAKwvm]/baseline

	d	y
1	0.12372	6.79095e-5
2	0.123801	6.77893e-5
3	0.115756	8.13995e-5
4	0.086471	0.00018493
5	0.137636	5.09717e-5
6	0.0830609	0.000208029
7	0.0918802	0.000155686
8	0.0524947	0.000807127
9	0.0849178	0.000195308
10	0.095596	0.000138909

关闭