

一维有限元侵彻模型用户手册

1. 简介

一维有限元侵彻模型（FEM18）是使用“轴向差分-径向解析”思想设计的射弹侵彻计算模型，主要关注射弹在侵彻过程中的表现。

模型具有如下特点：

- a) 利用动态空腔膨胀模型作为射弹的受力基础，对靶板情况进行了简化；
- b) 在射弹径向进行解析计算，计算精度在动态空腔膨胀模型的意义下足够精确；
- c) 在射弹轴向进行差分计算，计算复杂度随轴向网格数线性增长，大量减少了计算量；
- d) 支持斜侵彻工况，支持多层穿靶工况；
- e) 支持正侵彻弹靶耦合和弹靶分离场景下各自的计算；
- f) 支持从一般弹塑性至接近理想弹塑性的结构响应计算；
- g) 支持侵彻弹体屈曲临界条件和屈曲模式判断；
- h) 具有众多可选择小模型，以及对应的可调参数，来修正仿真过程和可视化仿真结果；
- i) 支持多工况并行快速计算，并支持不同工况的横纵比较。

模型具有如下适用范围：

- a) 射弹几何外形为旋转体，轮廓线单调连续；
- b) 射弹在入射面内运动，不存在三维轨迹情况；
- c) 靶板材料视为连续，不存在突变；
- d) 射弹在侵彻过程中表现刚性、弹性或弹塑性力学行为。
- e) 不考虑斜侵彻时的塑性和弹靶耦合效应。

模型的使用方法：

方法 1：

- a) 运行 `config.m`，直接根据 GUI 生成 `xx_info.mat` 格式的设置文件；
- b) 打开 `main_execution.m`，运行；
- c) 运行时，程序会提示选择设置文件，此时选择 `config.m` 生成的设置文件；
- d) 程序会自动保存计算结果。

方法 2：

- a) 打开 `main.m`，修改初始参数并运行；
- b) 运行后程序会自动保存设置文件和计算结果到工程目录文件夹下。

方法 3（要求已有设置文件）：

- a) 打开 `main_translation.m`，运行，选择需要解译的设置文件。运行后，解译出的代码会保存至 `main_preparation.m`；

- b) 打开 main_preparation.m, 修改初始参数并运行;
- c) 运行后程序会自动保存设置文件到工程目录文件夹下;
- d) 打开 main_execution.m, 运行;
- e) 运行时, 程序会提示选择设置文件, 此时选择 main_preparation.m 生成的设置文件;
- f) 程序会自动保存计算结果。

2. 变量说明

所有的用户输入信息被存储在名为 info 的结构体变量中。该结构体变量内含如下分支结构体: info.project_name, info.config, info.simulation, info.plot。其中, info.project_name 为工程名前缀, info.config 包含初始时刻射弹和靶板的性质, info.simulation 包含仿真计算设置, info.plot 包含后处理设置。

下面分别介绍各部分的变量说明。

2.1 info.project_name

工程名前缀。字符串变量。

2.2 info.config

2.2.1 info.config.medium.Wall_loc

靶板的前沿和后沿位置坐标。可为标量或向量。默认单位 m。

说明: 一维差分计算模型基于如图 1 所示的场景构建。x 轴从左至右为侵入深度方向, y 轴从下至上为偏移方向。靶板均垂直于 x 轴放置, 在 y 轴方向具有无限长度。

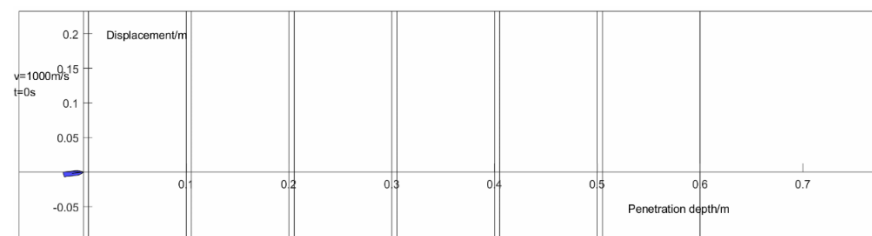


图 1 一维差分计算模型场景构建

若为半无限大靶板, 则该变量为标量, 标量值为界面的 x 轴坐标。

若为单层靶板, 则该变量为三维向量, 具体格式为:

[靶板前沿 x 轴坐标, 靶板后沿 x 轴坐标, 回收界面 x 轴坐标]

以此类推, 若为 n 层靶板, 则该变量为 $(2n + 1)$ 维向量, 具体格式为:

[靶板 1 前沿 x 轴坐标, 靶板 1 后沿 x 轴坐标,

...;

靶板 n 前沿 x 轴坐标, 靶板 n 后沿 x 轴坐标,

回收界面 x 轴坐标]

注意:

- a) 强烈建议加入回收界面 x 坐标。尽管研究过程可能不包括弹体回收环节, 但回收介质的存在能使仿真提前达到结束条件, 从而减少不必要的计算。

- b) 模型没有限制靶板 1 至 n 的空间位置顺序。但为了可阅读性，建议用户从左至右输入各靶板前后沿 x 轴坐标。
- c) 若两靶板出现空间重叠，程序不会报错。建议用户对空间相容性进行检查。

2.2.2 info.config.medium.fai

靶板材料在 Mohr-Coulomb 屈服模型中的摩擦角 (friction angle)。默认单位 rad。

说明：该参数仅在获取动态空腔膨胀模型的 A, B 参数推荐值，或计算靶板任意处实时受力时需要给出。

2.2.3 info.config.medium.Y

靶板材料的单轴抗压强度。默认单位 Pa。

说明：该参数仅在获取动态空腔膨胀模型的 A, B 参数推荐值，或计算靶板任意处实时受力时需要给出。

2.2.4 info.config.medium.E

靶板材料的弹性段杨氏模量。默认单位 Pa。

说明：该参数仅在获取动态空腔膨胀模型的 A, B 参数推荐值，或计算靶

板任意处实时受力时需要给出。

2.2.5 info.config.medium.f

靶板材料的单轴抗拉强度。默认单位 Pa。

说明：该参数仅在获取动态空腔膨胀模型的 A, B 参数推荐值，或计算靶板任意处实时受力时需要给出。

2.2.6 info.config.medium.rho0

靶板材料的静态密度。默认单位为 kg/m^3 。

说明：该参数仅在获取动态空腔膨胀模型的 A, B 参数推荐值，或计算靶板任意处实时受力时需要给出。

2.2.7 info.config.medium.A

动态空腔膨胀模型参数 A 。默认单位为 Pa。**说明：**动态空腔膨胀模型考虑每个接触点的受力情况：每个接触点均受正应力 σ ，则有

$$\sigma = A + Bu_n^2 \quad (1)$$

其中 A, B 均为与介质有关的常数， u_n 为法向速度。对于空腔膨胀模型，设摩擦系数为 μ ，则每个接触点均受切应力 τ ：

$$\tau = \mu(A + Bu_n^2)$$

(2)

2.2.8 info.config.medium.B

动态空腔膨胀模型参数 B 。默认单位为 kg/m^3 。表达式见(1)。

2.2.9 info.config.medium.mu

动态空腔膨胀模型参数 μ 。默认无量纲。

2.2.10 info.config.medium.psi

阻力衰减角 ψ 。默认无量纲。如果侵彻速度方向与弹体局部法向夹角大于

$\frac{\pi}{2} - \psi$ ，则弹体局部所受阻力在空腔膨胀模型基础上乘以衰减系数，具体

函数在 `interp_theta` 内。引入该角度是为提高斜侵彻时的计算稳定性。

2.2.11 info.config.medium.free_edge

是否考虑自由边界效应。逻辑值，可为 `true` 或 `false`。

2.2.12 info.config.projectile.config

射弹的轮廓线表述，侵彻弹体由轮廓线簇旋转而成。为矩阵。

说明：轮廓线由外到内分行依次给出。对于每条轮廓线，其起始点位于弹尖，通过直线或圆弧与中间点相连，末端点位于弹尾所在平面。

对于直线，其书写格式为：**[沿x轴位移;沿y轴位移;0]**

对于圆弧，其书写格式为：**[沿x轴位移;沿y轴位移;曲率半径]**

曲率半径为正，表明曲线上凸（因此一般均为正）。对于同一条轮廓线，所有直线和圆弧均在同一行书写，程序会按照“三个数一条线”的方式进行解译。对于不同轮廓线，由于各自包含的直线和圆弧数量可能不同，最终指令的长度也可能不同。为了将所有轮廓线信息保存为矩阵，需在较简单的轮廓线对应行后补充 `0`，以和复杂轮廓线对应行对齐。

举例如下：

```
[0.01 0.5 0 25.35 7.38 47.25 53.4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
 19.691 0 0 0.56 0.9 1 13.98 3.27 31.5 39.52 0 0 0 1.33
 0 5 0 0;
 73.751 0 0 0 5.5 0 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
```

解译为：最外轮廓线上，从弹尖开始，首先以直线轴向移动 **0.01**，径向移动 **0.5** 到第一中间点。进而以 **47.25** 的圆弧轴向移动 **25.35**，径向移动 **7.38** 到第二中间点。最后以直线轴向移动 **53.4** 到弹尾所在平面。

中间轮廓线上，从弹尖开始，首先以直线轴向移动 **19.691** 到第一中间点。进而以 **1** 的圆弧轴向移动 **0.56**，径向移动 **0.9** 到第二中间点。进而以 **31.5** 的圆弧轴向移动 **13.98**，径向移动 **3.27** 到第三中间点。进而以直线轴向移动

39.52 到第四中间点。进而以直线径向移动 1.33 到第五中间点。最后以直线轴向移动 5 到弹尾所在平面。

最内轮廓线上，从弹尖开始，首先以直线轴向移动 73.751 到第一中间点。进而以直线径向移动 5.5 到第二中间点。最后以直线轴向移动 5 到弹尾所在平面。

最外与中间轮廓线包围部分为壳体，中间与最内轮廓线包围部分为装药，最内轮廓线与弹体轴线包围部分为尾盖。轮廓线条数与材料和结构数量严格对应。

2.2.13 info.config.projectile.config_name

射弹的轮廓线的名字，默认为字符串。

2.2.14 info.config.projectile.beta

射弹的几何缩比 β 。默认无量纲。

2.2.15 info.config.projectile.num_mesh

射弹的轴向网格划分数量。整数，默认无量纲。

说明：该值影响整体计算精度。在侵彻过程计算中，线性影响整体计算量。在结构响应计算中，平方影响整体计算量。

2.2.16 info.config.projectile.bar

射弹结构响应分析中的杆模型，可为 'Constant', 'Variable', 'Love', 'MH' 中的一个。

说明：'Constant' 和 'Variable' 均代表传统变截面杆理论，弹体轴向受力时不产生径向位移，但 'Variable' 采用变截面杆单元，更精确。
'Love' 代表 Love 杆理论，弹体轴向受力时轴向应变与径向应变成比例。
'MH' 代表 Mindlin-Herrmann 理论，弹体轴向受力时轴向应变与径向应变由微分方程联系，互相影响。

2.2.17 info.config.projectile.beam

射弹结构响应分析中的梁模型，可为 'Euler', 'Timoshenko' 中的一个。

说明：'Euler' 代表传统梁理论。'Timoshenko' 代表 Timoshenko 梁理论，后者比传统梁理论更多考虑了剪切和转动惯量的影响。

2.2.18 info.config.projectile.xi

射弹的振动阻尼系数 ξ 。默认无量纲。

2.2.19 info.config.projectile.plastic

在结构响应计算中，是否考虑弹体材料的塑性。逻辑值，可为 true 或 false。弹塑性计算下的本构方程为双折线线性方程。

射弹质心初速度。默认单位 m/s。

2.2.27 info.config.projectile.fai

射弹的初始着角 ϕ 。默认单位 rad。

说明：着角为弹体轴线与靶板法线之间的夹角。其正方向定义如图 3 所示。其中 x 轴、y 轴定义与图 1 中的定义相同。

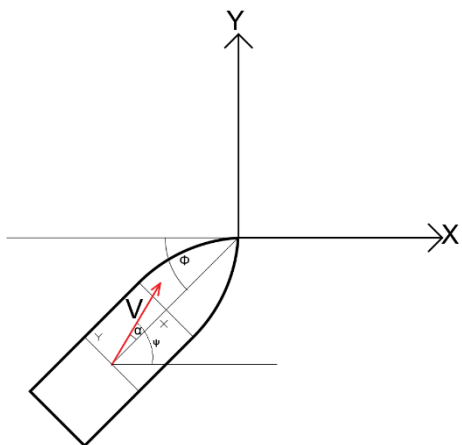


图 3 射弹的着角、攻角和倾斜角定义

2.2.28 info.config.projectile.alpha

射弹的初始攻角 α 。默认单位 rad。

说明：攻角为弹体轴线与射弹质心速度之间的夹角。其正方向定义如图 3 所示。其中 x 轴、y 轴定义与图 1 中的定义相同。

2.2.29 info.config.projectile.omega

射弹的初始角速度 ω 。默认单位 rad/s。

2.2.30 info.config.projectile.m0

射弹的总质量 m_0 。单位为 kg。一般不含此设置，而是交由程序自动计算。在含有此设置时，射弹总质量将会采用用户输入值。

2.2.31 info.config.projectile.I0

射弹的总转动惯量 I_0 。单位为 $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ 。一般不含此设置，而是交由程序自动计算。在含有此设置时，射弹总转动惯量将会采用用户输入值。

2.3 info.simulation

2.3.1 info.simulation.coupled

是否对射弹侵彻和结构响应耦合计算。逻辑值，可为 true 或 false。

说明：在耦合计算下，侵彻过程中弹体受力和结构响应相互迭代。在非耦合计算下，侵彻过程中弹体被假设为刚性，得到受力时程后再作为结构响应计算的输入。

2.3.2 info.simulation.parallel

是否对各个工况进行并行计算。逻辑值，可为 **true** 或 **false**。

说明：不同工况间的并行计算是可实现的。但对于单个工况，由于后状态依赖于前状态，因此不存在并行计算方法。

2.3.3 info.simulation.dt_default

解算器默认时间步长 Δt_0 。默认单位 s。

说明：为保证结构响应计算的高效和稳定，侵入过程中的步长不变。

2.3.4 info.simulation.t_max

仿真最长持续时间。默认单位 s。若超出该时间，仿真停止。

说明：在深侵入计算中，程序根据经验公式得到预计侵入持续时间，并与该值比较，取较小值。

2.3.5 info.simulation.vmin

射弹质心最低速度。默认单位 m/s。若低于该速度，仿真停止。

2.4 info.plot

2.4.1 info.plot.frame_option

帧数选取依据。目前可为 '**Time**' 或 '**Data**'。

说明：若为 '**Time**'，即规定两帧动画之间的仿真时间相同。若为 '**Data**'，即规定两帧动画之间的计算节点数相同。该选项仅对需要画动画的分支适用。

2.4.2 info.plot.num_frame

动画总帧数。整数，默认无量纲。该选项仅对需要画动画的分支适用。

2.4.3 info.plot.saving

是否保存动画文件。逻辑值，可为 **true** 或 **false**。

2.4.4 info.plot.vibration_analysis

是否进行结构响应分析。逻辑值，可为 **true** 或 **false**。

2.4.5 info.plot.vibration.option

结构响应分析输出动画针对的变量。目前可为 '**X**'; '**Y**'; '**N**'; '**M**'; '**EA**'; '**GA**'; '**Sigma**'; '**Epsilon**'; '**PlasticEp**'; '**Ac**'; '**V**' 中的一个或组合。它们分别表示：轴向位移X、纵向位移Y（由弯矩引起）、压力N、弯矩M、实时拉压刚度EA、实时剪切刚度GA、轴向应力Sigma、轴向应

变Epsilon、等效塑性应变PlasticEp、轴向加速度Ac、径向应变V（内陷与外凸，由轴力引起）。

说明：组合格式为：‘变量名 1,变量名 2...,变量名 n’

例如 'Ac,V,N'，中间用英文逗号隔开。

2.4.6 info.plot.vibration.modal

是否使用模态分析方法求解结构响应。逻辑值，可为 **true** 或 **false**。该选项仅在弹性解耦分析中适用。

2.4.7 info.plot.vibration.modal_plot

如何展示模态分析的初步结果。可为 ''; 'Curve'; 'Color' 中的一个。三者分别表示不展示、展示前三阶模态曲线、展示前三阶弹体变形模式图。

2.4.8 info.plot.vibration.tip_fix

是否对弹尖进行修正。逻辑值，可为 **true** 或 **false**。若修正，弹长前 1/10 的面积和惯性矩被赋为 1/10 截面处的对应值，从而减小刚度阵和质量阵在弹尖出的退化。若不修正，按正常方式计算弹长前 1/10 的面积和惯性矩。

2.4.9 info.plot.vibration.bottom_fix

是否对尾盖进行修正。逻辑值，可为 **true** 或 **false**。若修正，尾盖不会对射弹贡献刚度，而仅附加质量。若不修正，尾盖与弹体刚性连接，同时贡献刚度和质量。

2.4.10 info.plot.vibration.radial

是否考虑径向受力。逻辑值，可为 **true** 或 **false**。该选项仅对 MH 模型有效。若考虑，引起径向变形的径向力会施加在弹体上。若不考虑，不输入弹体的径向力。

2.4.11 info.plot.vibration.expression

如何展示结构响应的结果。可为 ''; 'animation'; 'bisect'; 'mesh' 中的一个。四者分别表示不展示、所选变量的曲线动画、指定截面处变量的时程图、变量的瀑布图。

2.4.12 info.plot.vibration.location

结构响应变量的时程图所对应的截面位置。0到1之间的数或组合向量。0代表弹尾，1代表弹头。仅在info.plot.vibration.expression选为'bisect'时有效。

2.4.13 info.plot.history_animation

是否展示侵彻历史动画。逻辑值，可为 **true** 或 **false**。

2.4.14 info.plot.animation.projectile.map

仿真复现动画中，射弹上着色表现针对的变量。目前可为''; 'Normal'; 'Shear'; 'Overall'; 'Vibration'中的一个。前四者分别表示不着色、正应力、切应力、总应力。对于'Vibration'，动画改为在弹体坐标系中展示，针对的变量为 info.plot.vibration.expression 中所限定的内容（不论 info.plot.vibration_analysis 的值如何，只要此处选择'Vibration'，都会进行展示）。

2.4.15 info.plot.animation.projectile.num_mesh

仿真复现动画中，射弹径向网格分布数。整数，默认无量纲。

说明：该变量仅影响仿真复现动画的绘制精度和效率，不影响仿真计算。

2.4.16 info.plot.animation.medium.map

仿真复现动画中，靶板上着色表现针对的变量。目前可为''; 'Stress'; 'Component'中的一个。三者分别表示不着色、应力、响应区分布。

2.4.17 info.plot.animation.medium.num_mesh

仿真复现动画中，靶板网格分布数。整数，默认无量纲。

说明：该变量仅影响仿真复现动画的绘制精度和效率，不影响仿真计算。

2.4.18 info.plot.animation.num_source

仿真复现动画中，射弹表面等效空腔膨胀源的数量。整数，默认无量纲。

说明：该变量只影响仿真复现动画中靶板状态的计算精度，不影响仿真计算。源数量过多时靶板状态计算困难。

2.4.19 info.plot.animation.transparency

仿真复现动画中，着色的透明度。取值 0 到 1。值越高代表绘图越接近透明。

2.4.20 info.plot.other_plot

是否分析仿真中其他变量的关系。逻辑值，可为 true 或 false。

2.4.21 info.plot.other.x_loc

变量关系分析中，射弹上的代表点。目前可为'center'或'top'。

说明：若为'center'，则代表点为质心。若为'top'，则代表点为弹尖。

2.4.22 info.plot.other.x

变量关系分析中，代表 x 变量的变量。可选变量名为 'x', 't', 'y', 'vx', 'vy', 'v', 'a', 'alpha', 'fai', 'psi', 'omega' 中的一个。变量名分别指：侵入位移 x、时间 t、偏移距离 y、正侵速度 vx、偏移速度 vy，速度 v、加速度 a、攻角 alpha、着角 fai、倾斜角 psi 以及角

速度 ω 。

说明：

- a) 倾斜角 ψ 表示射弹质心速度与靶板法向的夹角。其正方向定义如图 3 所示。
- b) 若欲绘制多张图，需使用如下格式：

‘图1 中 x 变量名, 图2 中 x 变量名..., 图 n 中 x 变量名’

同时，在 `info.plot.other.y` 选项中，对应输入：

‘图1 中 y 变量名, 图2 中 y 变量名..., 图 n 中 y 变量名’

例如，若出现：

```
info.plot.other.x = 't,x,x';  
info.plot.other.y = 'alpha,y,fai';
```

则表明需绘制三张图。图 1 中描述时间-攻角关系，图 2 描述侵入位移-偏移距离关系（即弹道），图 3 描述侵入位移-着角关系。

2.4.23 info.plot.other.y

变量关系分析中，代表 y 变量的变量。可选变量名与前述相同，不再赘述。

3. 变量多选与绑定（高级）

3.1 多选

模型支持变量多选。即，一个变量对应多个值，每个工况会继承改变量不同的值。

变量单选格式表示为：

变量名 a = 变量值 a_1

则变量多选格式表示为：

变量名 a = {变量值 a_1 , 变量值 a_2 , ..., 变量值 a_n }

若有多个变量均设置为变量多选，则生成的工况将遍历所有可能的变量组合。每种工况均有自己的工程名后缀，并会被存储、计算和分析。

例如，若 `info.project_name` 为‘Test’，且有两个变量存在多选：

变量名 a = {变量值 a_1 , 变量值 a_2 , ..., 变量值 a_n }

变量名 b = {变量值 b_1 , 变量值 b_2 , ..., 变量值 b_m }

则一共有 $n \times m$ 种工况，从 (a_1, b_1) 直到 (a_n, b_m) 。这 $n \times m$ 种工况的工程名分别是‘Test $a_1 \quad b_1$ ’直到‘Test $a_n \quad b_m$ ’。

3.2 绑定

若大量变量存在多选，则总的工况数会变得十分庞大，而其中一些工况是没必要计算的。为此，可在 `binding` 项中加入绑定变量设置，具体格式如下：

```
binding = { {变量名  $x_{11}$ , 变量名  $x_{12}$ , ... 变量名  $x_{1n-1}$ },  
            {变量名  $x_{21}$ , 变量名  $x_{22}$ , ... 变量名  $x_{2n-2}$ },  
            ...,  
            {变量名  $x_{m1}$ , 变量名  $x_{m2}$ , ... 变量名  $x_{mn-m}$ } }
```

它表示：变量 $\{x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n-1}\}$ 这 $n-1$ 个变量之间绑定，变量 $\{x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n-2}\}$ 这 $n-2$ 个变量之间绑定，...，变量 $\{x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn-m}\}$ 这 $n-m$ 个变量之间绑定。一共形成了 m 个“绑定对”。对每个绑定对，其内变量取值一一对应，不存在交叉遍历。

例如：

```
info.config.projectile.v0 = {1000, 950, 900};  
info.config.projectile.fai = {10/180*pi, 5/180*pi, 0/180*pi};  
info.config.projectile.alpha = {0/180*pi, 1/180*pi,  
2/180*pi};
```

```
binding =  
{ {'config.projectile.fai', 'config.projectile.alpha'}, ...  
  };
```

则表明：射弹初始着角(`config.projectile.fai`)和攻角(`config.projectile.alpha`)之间绑定，而初速度(`config.projectile.v0`)与两者独立。绑定后，初始着角和攻角仅存在三种可能：

```
(10/180*pi, 0/180*pi);  
(5/180*pi, 1/180*pi);  
(0/180*pi, 2/180*pi);
```

与初速度间完全组合后，共产生 9 种工况：

```
(10/180*pi, 0/180*pi, 1000);  
(5/180*pi, 1/180*pi, 1000);  
(0/180*pi, 2/180*pi, 1000);  
(10/180*pi, 0/180*pi, 950);  
(5/180*pi, 1/180*pi, 950);  
(0/180*pi, 2/180*pi, 950);  
(10/180*pi, 0/180*pi, 900);  
(5/180*pi, 1/180*pi, 900);  
(0/180*pi, 2/180*pi, 900);
```

而如果没有 `binding` 设置，一共会产生 27 种工况。因此，绑定操作能减少不必要的工况数。

注意：对每个绑定对，其内变量取值一一对应。这表明每个变量取值的可能数量应该相同。例如：

```
info.config.projectile.v0 = {1000, 950, 900};
info.config.projectile.fai = {10/180*pi, 5/180*pi};
info.config.projectile.alpha = {0/180*pi, 1/180*pi,
2/180*pi};

binding =
{{'config.projectile.fai', 'config.projectile.alpha'},...
};
```

这个例子是不合法的。初始着角和攻角间虽设置了绑定，但初始着角选项数为2，而初始攻角选项数为3，无法一一对应。

因此，若利用了绑定功能，建议在运行前检查变量间的一一对应性。

4. 尖卵形弹体轮廓生成程序

为快速给出尖卵形弹体的轮廓线矩阵（`info.config.projectile.config`），设计了`Config_generator_oval()`函数，可对应输出`[Config, Config_name]`。该程序默认轮廓线簇包含两条轮廓线，弹体由壳体和装药构成。

该程序同样支持多选和绑定操作，具体用法见前一节。

4.1.1 info.project_name

轮廓线簇名称，与主程序中的 `info.config.projectile.config_name` 对应。

4.1.2 info.oval.d

射弹的弹体直径。默认单位 m。

4.1.3 info.oval.l2d

射弹的长径比。默认无量纲。

4.1.4 info.oval.CRH

射弹的弹头曲率半径与外部直径之比。默认无量纲。

4.1.5 info.config.projectile.dt

射弹的壁厚与直径之比。默认无量纲。

4.1.6 info.config.projectile.ls2l

射弹的内腔顶点与弹尖的距离和总长之比。默认无量纲。

4.1.7 info.config.projectile.b2l

射弹的尾部厚度与外径之比。默认无量纲。

4.1.8 info.config.projectile.CRH2

射弹的内腔前部曲率半径与内腔直径之比。默认无量纲。

5. 屈曲分析

Buckling_test_load.m 作为主函数，通过调用特定算例的结果，可判断侵彻弹体在侵彻过程中任意时刻是否可发生屈曲，以及发生何种屈曲（梁模式或壳模式）。Buckling_test_modal.m 可绘出指定时刻（t_now）的屈曲模态。

要求info.plot.vibration_analysis选项和info.plot.vibration.button_fix选项必须为true，且info.plot.vibration.option选项必须为N,EA,GA,V