

## 任务说明：PKPM-CAE 叠合梁参数化插件核心逻辑定稿 (V3.0)

### 1. 核心任务目标

开发一个基于 Python 的插件，通过读取 Excel 数据或 UI 输入，在 PKPM-CAE 环境下自动生成叠合梁大开洞模型。模型必须支持两阶段受力分析（施工步遗传），并包含精细的后张预应力孔道与复杂配筋逻辑。

### 2. 数据结构定义 (Excel 模板 V3.0 规范)

#### Sheet 1: 几何截面 (Geometry) —— 支持非对称工字型

字段名	说明	技术逻辑
L	梁总长度	建立 X 轴坐标系基础
H	梁总高度	包含预制与现浇总和
Tw	腹板厚度	腹板宽度
bf_lu / tf_lu	左上翼缘宽/厚	必须支持非对称：bf_lu != bf_ru 即为非对称
bf_ru / tf_ru	右上翼缘宽/厚	若 bf=Tw/2 则退化为矩形或 T 型
bf_ll / tf_ll	左下翼缘宽/厚	用于定义底部翼缘
bf_rl / tf_rl	右下翼缘宽/厚	
h_pre	预制层高度	纵向切分 Solid 的界限

#### Sheet 2: 纵向配筋 (Longitudinal Rebar) —— 多规格组合

支持“主筋 + 附加筋”模式，需处理 L/3 截断逻辑

位置   筋 A (直径/根数)   筋 B (直径/根数)   延伸长度
:---   :---   :---   :---
左支座顶筋   D25 / 2   D22 / 3   自端部起延伸 L1 (默认 L/3)
跨中顶通长   D25 / 2   -   贯通全长
右支座顶筋   D25 / 2   D20 / 2   自端部起延伸 L2
梁底通长筋   D25 / 4   D22 / 2   贯通全长

#### Sheet 3: 箍筋与肢数 (Stirrups) —— 核心算法需求

参数名	描述	TD 注意事项
加密区/间距/肢数	梁端加密区参数	肢数算法：需根据 Tw 自动计算中间拉筋 X 坐标
非加密区/间距/肢数	跨中区箍筋参数	肢数需支持 2, 4, 6 肢等

#### Sheet 4: 洞口与局部补强 (Holes & Patch)

字段名	说明	技术细节
X, Z, W, H	洞口中心坐标及尺寸	相对于梁起点的偏移

R (Radius)	倒角半径	R > 0 时, 切削体需带圆角 (Fillet)
小梁纵筋/箍筋	洞顶、底形成的微型梁	需独立布筋 (直径、根数、间距)
洞侧补强箍筋	洞口左右两侧加密	需定义左右侧长度、直径、肢数、间距
补强筋伸出长	纵向补强筋锚固	补强筋需伸出洞口边缘设定长度

#### Sheet 5: 荷载步与边界 (Steps & Boundary)

类型	位置/大小/阶段	技术逻辑
集中力/均布力	动态列表输入	需区分 Construction(施工) 和 Service(使用) 阶段
端部约束	Dx, Dy, Rz	指定固定(Fixed)或自由(Free)
端部内力	N, V, M	在端部节点施加外力

#### Sheet 6: 预应力 (Prestress) —— 后张法逻辑

- PS\_Force: 张拉力。
- PS\_Duct\_D: 波纹管直径。
- 后张逻辑:
  1. 几何层面: 在预制层 Solid 中通过布尔运算挖掉直径为 PS\_Duct\_D 的孔道。
  2. 分析层面: 第一分析步 (施工) 预应力筋不激活; 第二分析步激活预应力筋并施加 PreStress。

### 3. 技术总监 (TD) 必须实现的 4 个关键逻辑

#### 逻辑 A: 非对称工字型生成

不要使用简单的 RECTANGLE 接口, 建议使用 pypcae.comp.Surf 绘制 8 顶点多边形截面, 或组合多个 Solid。bf 必须区分左右, 以实现 L 形或 T 形。

#### 逻辑 B: 多肢箍筋坐标映射

当肢数

$$n > 2$$

时, 中间肢的横向坐标

$$X_i$$

计算:

$$X_i = -\frac{Tw}{2} + \text{保护层} + (i - 1) \cdot \frac{Tw - 2 \cdot \text{保护层}}{n/2 - 1}$$

(请 TD 在代码中根据肢数自动生成 Link 单元)。

#### 逻辑 C: 两阶段遗传分析 (Sequential Analysis)

必须严格调用 Step 和 Change 接口:

- Step 1: Change/Add, [预制层实体的 ID, 施工阶段钢筋 ID] + LoadCase(施工荷载)。
- Step 2: Change/Add, [现浇层实体 ID, 其余钢筋 ID] + LoadCase(使用阶段荷载)。
- 遗传性: 确保 PKPM-CAE 引擎在 Step 2 基础上保留 Step 1 的变形和内力。

#### 逻辑 D：洞口布尔运算

洞口不只是挖空，还需考虑倒角。若  $R > 0$ , TD 需构建一个圆角矩形的几何体作为 inners 传给 Solid 接口，进行布尔减法。

---

#### 4. UI 界面特别说明

- **预览窗口：**UI 上方需有一个简易坐标系，用矩形框示意梁体，并在其上实时绘制已定义的洞口矩形。
- **报错校验：**若洞口范围

$$X + W/2 > L$$

，UI 必须拦截并提示“洞口超出梁长范围”。

---

**备注给 TD：**所有接口参考 example.rar 中的 pypcae.stru 结构建模范例，但最终必须支持有限元网格划分及求解。