

# **COMSOL 自动化仿真框架 (pythonForComsol)**

基于 Python 的卫星热仿真全流程自动化解决方案

版本: v0.0.2 (内部开发版)

更新日期: 2025-12-17

兼容性: Python 3.10+ | COMSOL Multiphysics

# 连接 Python 生态与 COMSOL 多物理场仿真的桥梁

一套基于 COMSOL Python 接口封装的自动化工具，旨在将手动仿真转化为可编程、可复用的工程模块。



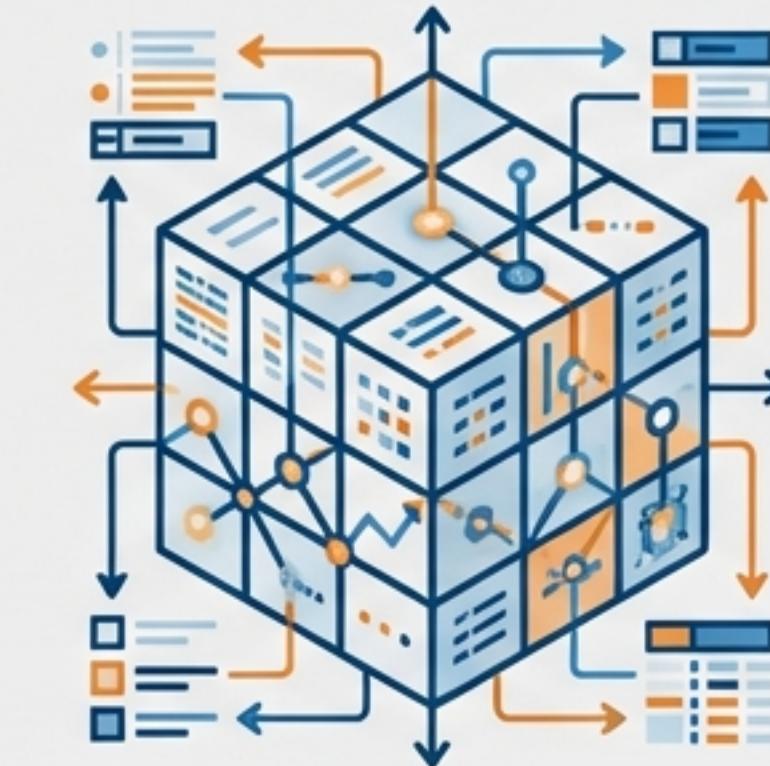
## 自动化 (Automation)

- 支持参数化扫描与批量计算
- 全流程自动化：从几何更新到物理场求解



## 鲁棒性 (Robustness)

- 沙盒隔离：模板 .mph 只读，样本在独立 work.mph 中运行
- 自动清理：每次运行前清理旧 Feature，防止模型“越跑越脏”



## 数据化 (Data-Driven)

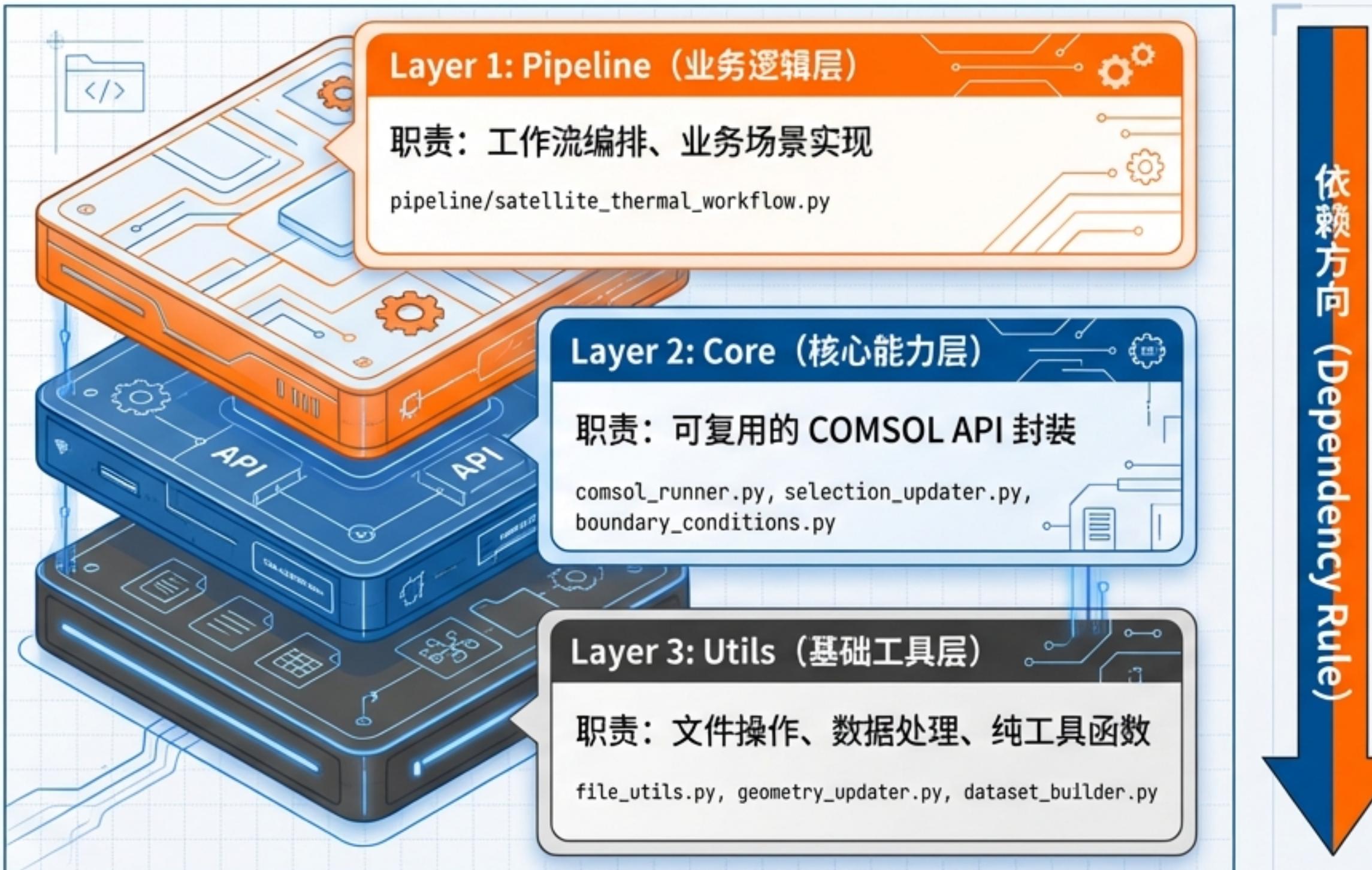
- 面向 AI/ML 的高价值数据集构建
- 支持结构化 (HDF5/MAT) 与非结构化 (VTU) 数据输出

# 五大核心引擎，驱动仿真全流程





# 分层架构设计与依赖原则



Pipeline -> Core / Utils

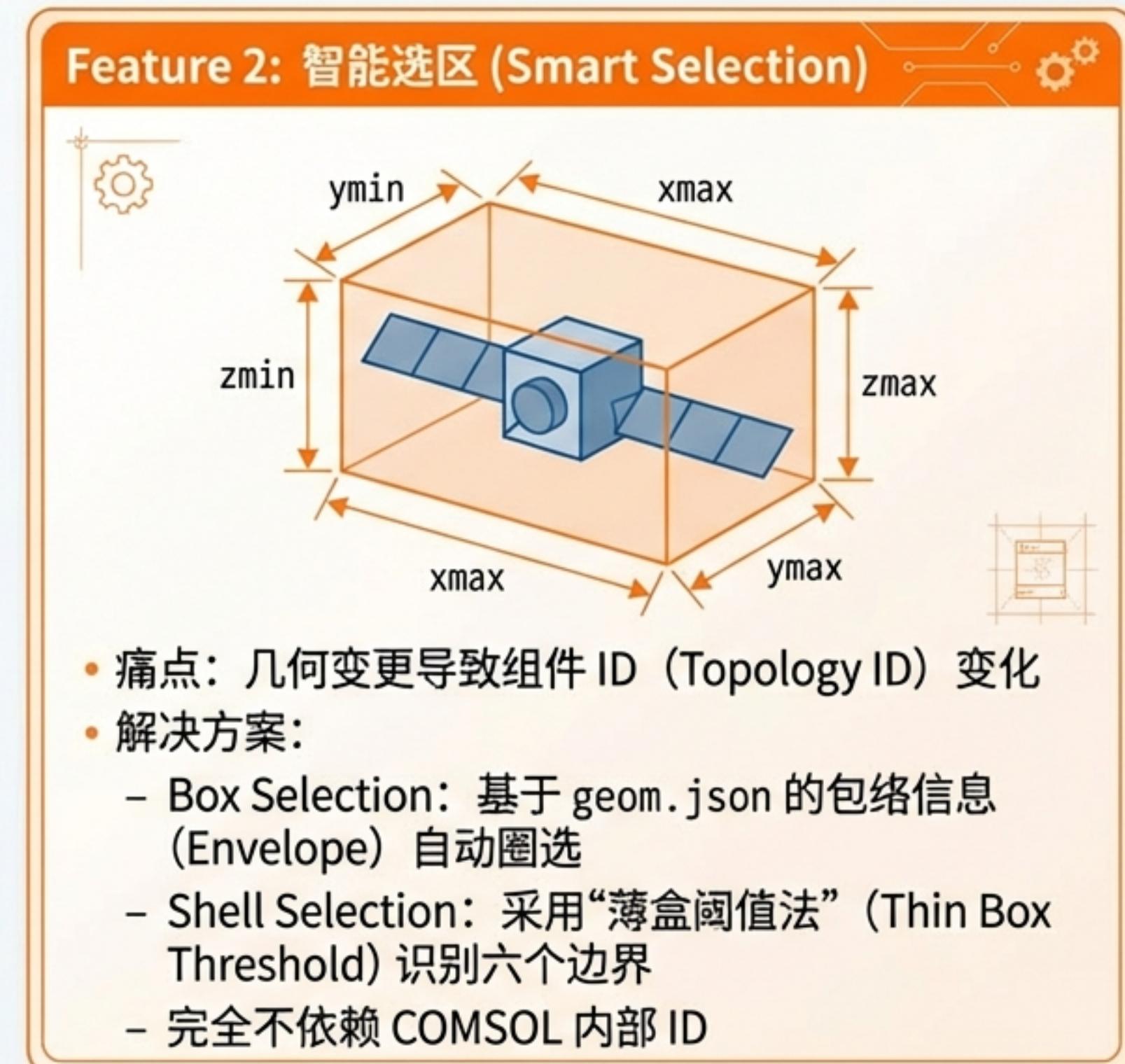
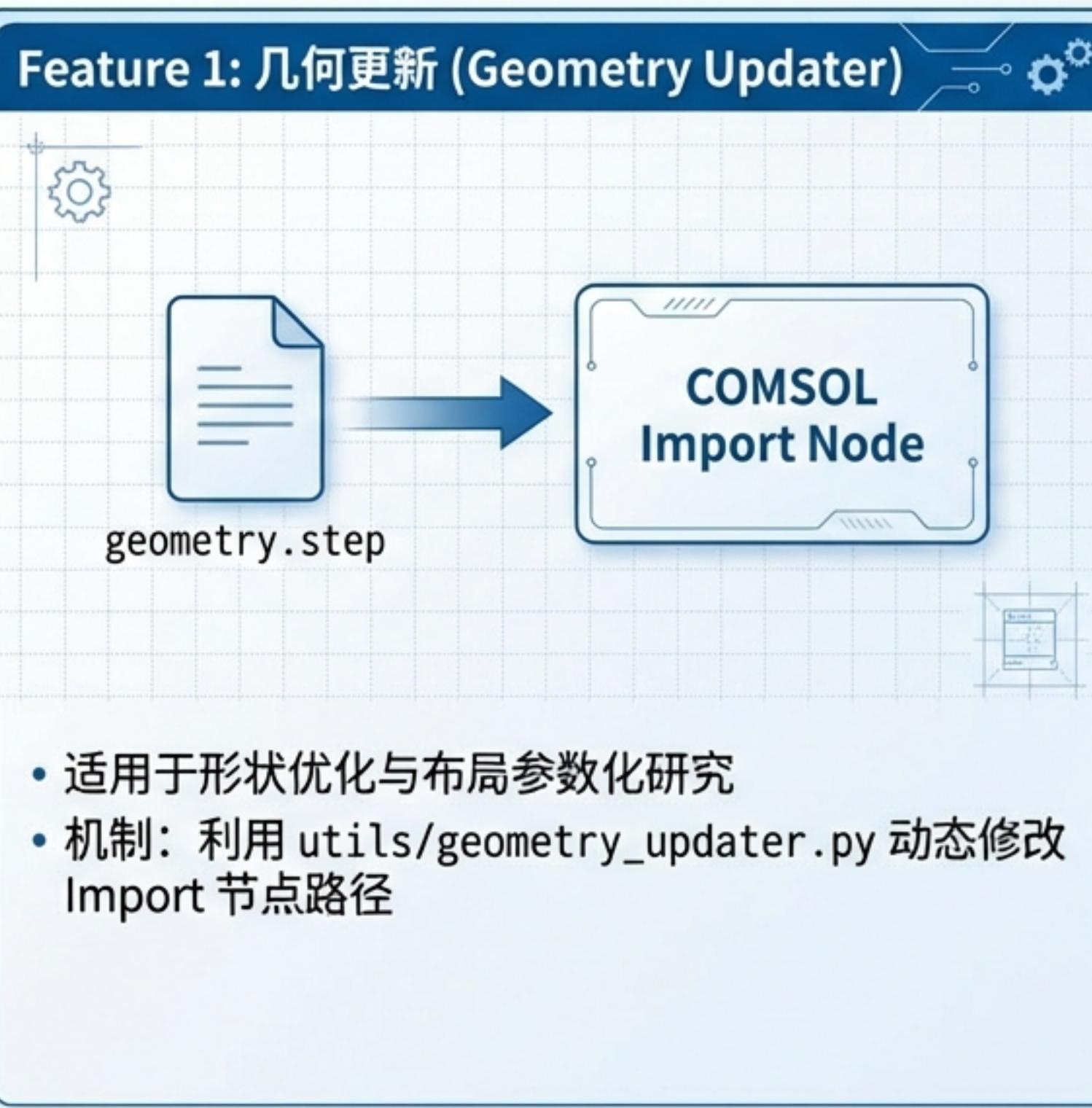
Core 与 Utils 禁止反向调用  
Pipeline (避免循环导入)

# 卫星热仿真单样本主流程 (Steps A~G)



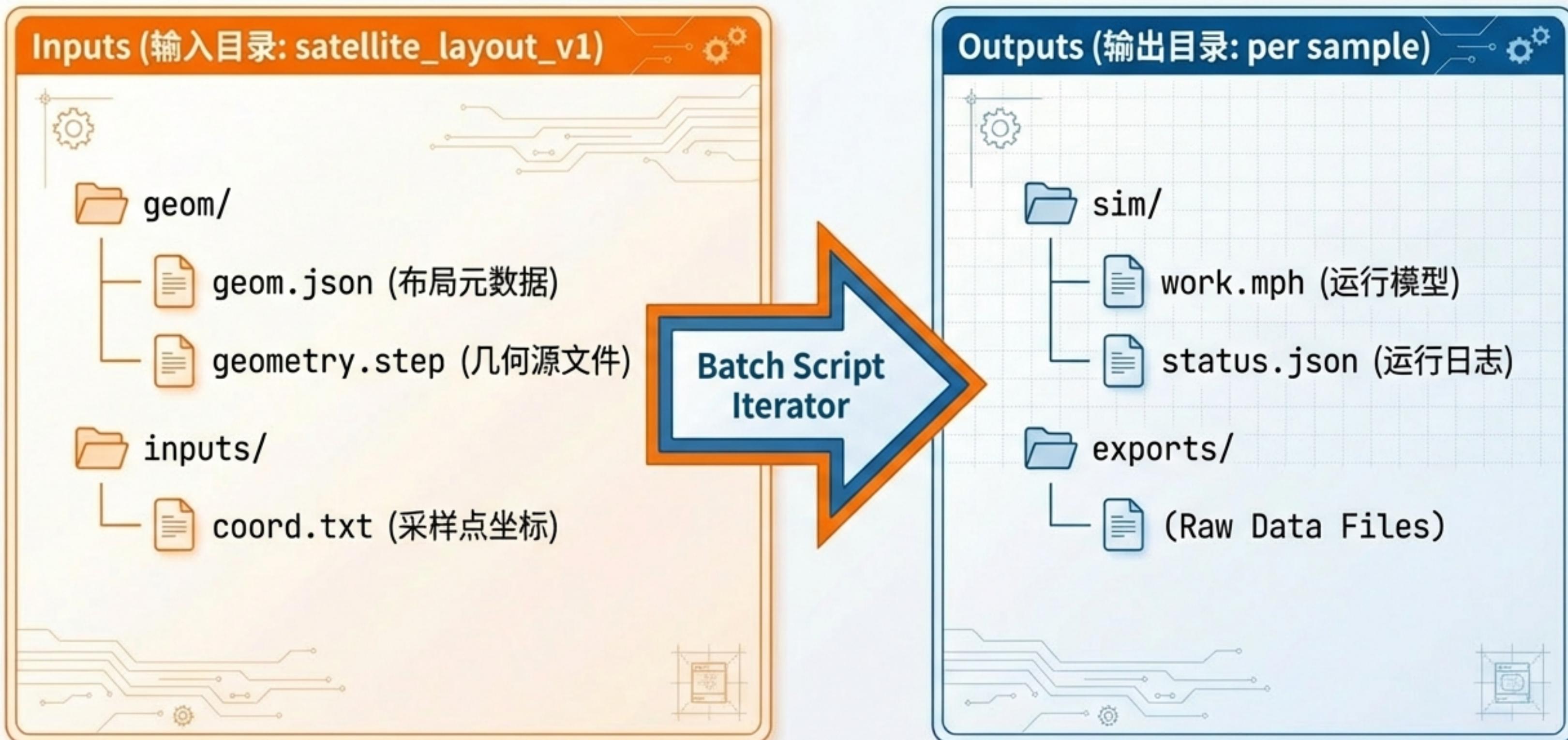


# 摆脱拓扑依赖的智能几何与选区策略





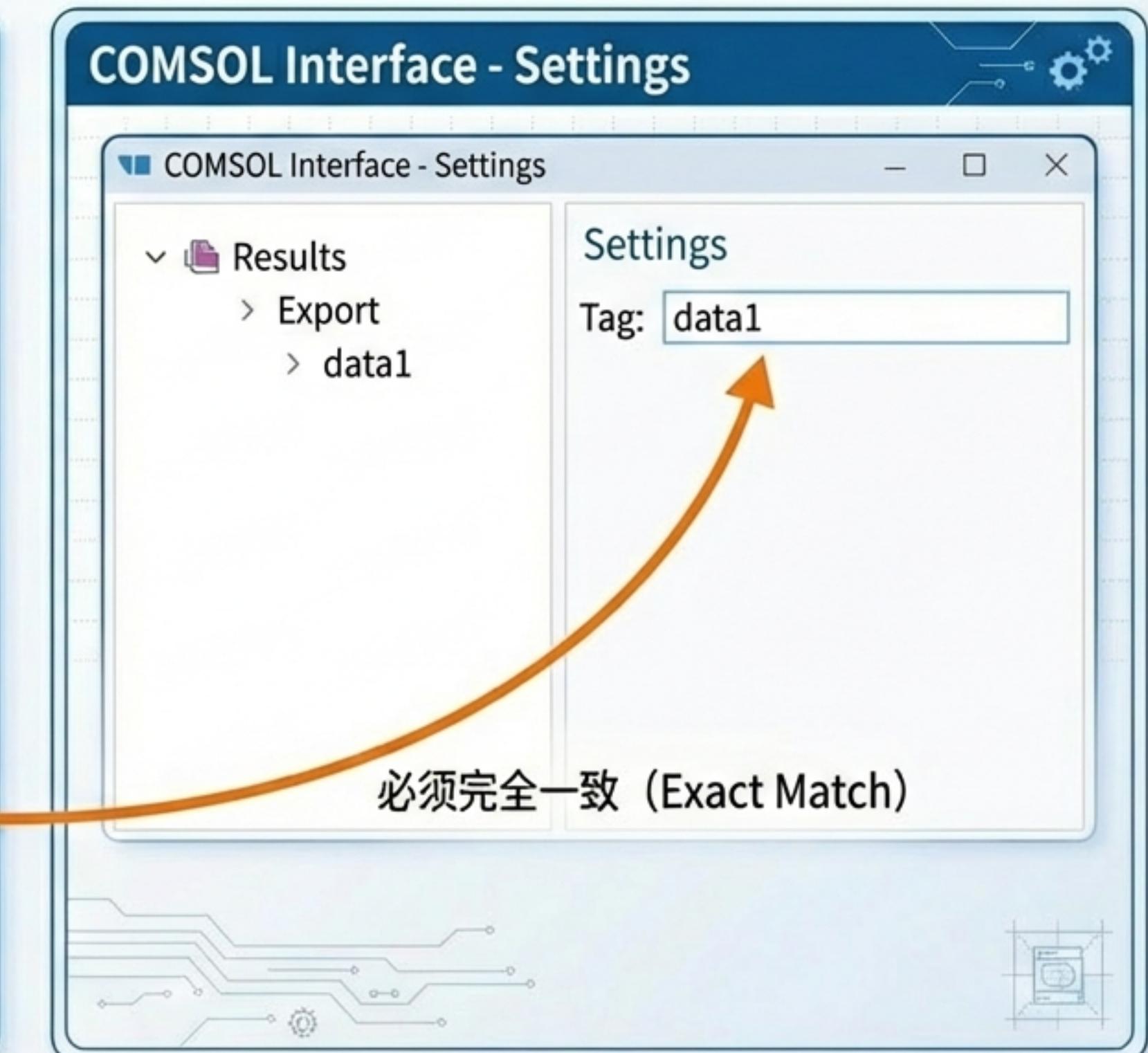
# 标准化数据契约：输入与输出



# 灵活的 YAML 配置驱动

pythonForComsol/configs/thermal\_sim.yaml

```
comsol:
  template_mph_path: /abs/path/to/template.mph
dataset:
  base_dir: /data/satellite_layout_v1
thermal_sim:
  export_tags: ['data1', 'temp_field']
```





# 运行模式：从调试到量产

## Mode 1: 批量运行 (Production)



- 脚本: run\_batch\_thermal\_sim.py
- 逻辑: 遍历 Dataset 目录, 自动执行完整工作流

## Mode 2: 单样本调试 (Debug)



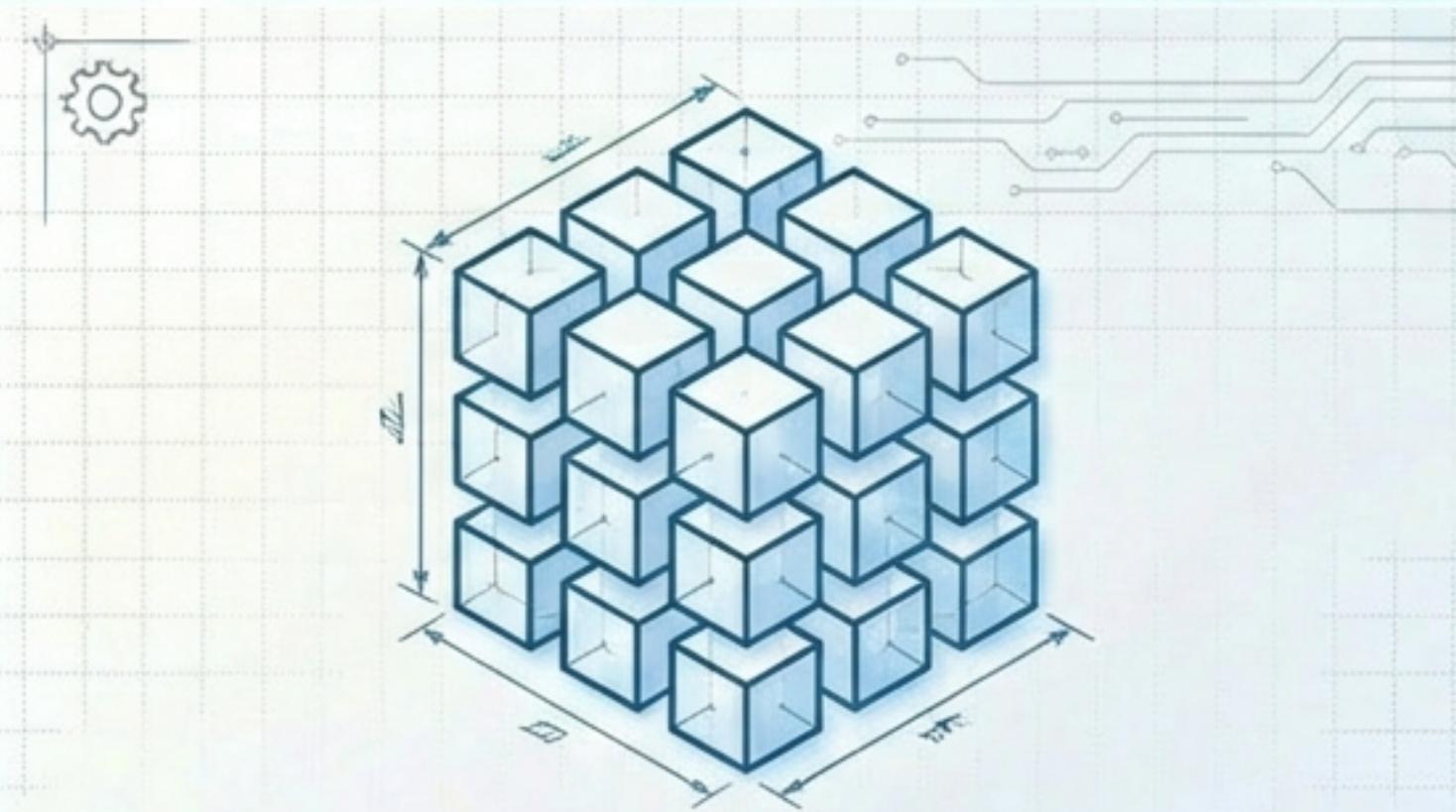
- 方法: 对 sample\_ids 列表进行切片
- 代码: sample\_ids = sample\_ids[:1]
- 目的: 快速验证 work.mph 状态, 排查物理场设置问题

Pre-flight Checks:  1. 确认 COMSOL License 可用 |  2. 确认 template\_mph\_path 配置正确



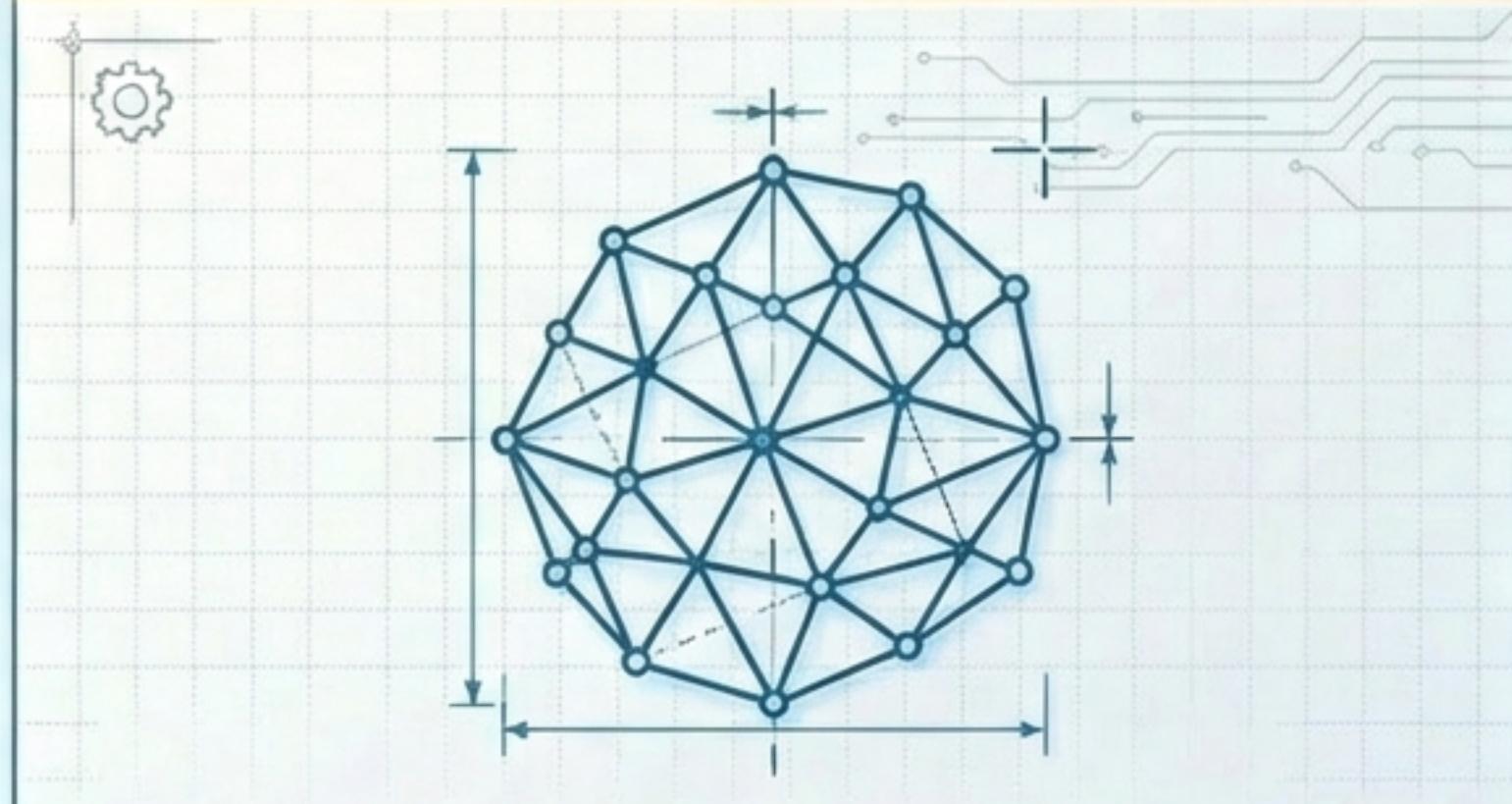
# 面向多场景的高价值数据集构建

## 1. 结构化数据集 (Structured)



- 格式: HDF5 / MAT
- 文件名: comsol\_dataset.h5
- 维度: (Samples × Time × Height × Width)
- 用途: 机器学习训练 (CNNs/RNNs)

## 2. 非结构化数据集 (Unstructured)



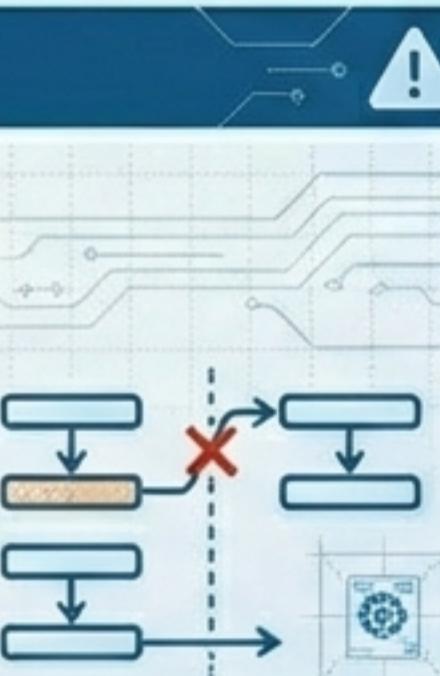
- 格式: VTU / HDF5
- 文件名: vtu\_unstructured\_dataset.h5
- 维度: (Samples × Time × Nodes)
- 用途: CFD 后处理, 高精度物理场重建



# 常见问题排查指南

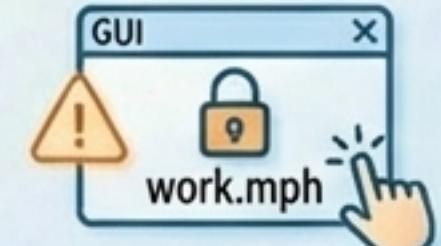
## 连接失败 / 初始化失败

- 原因: License 占用、端口冲突
- 解法: 验证 `mph.start()` 和 `client.load()` 是否独立运行



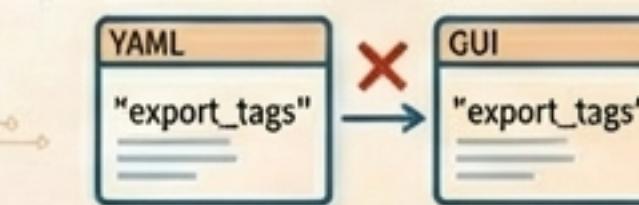
## 文件锁定 (WinError 32)

- 原因: Windows 下 GUI 占用 `work.mph`
- 策略: 程序打印 Warning, 手动关闭 GUI 后清理



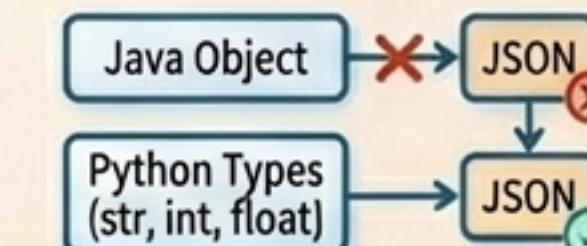
## Export 节点不存在

- 原因: YAML `export_tags` 与 COMSOL GUI Tag 不匹配
- 解法: 在 COMSOL GUI 中检查并修正 Tag 名称



## JSON 序列化错误

- 解法: `status.json` 仅使用 Python 原生类型 (`str/int/float`) , 避免 Java 对象





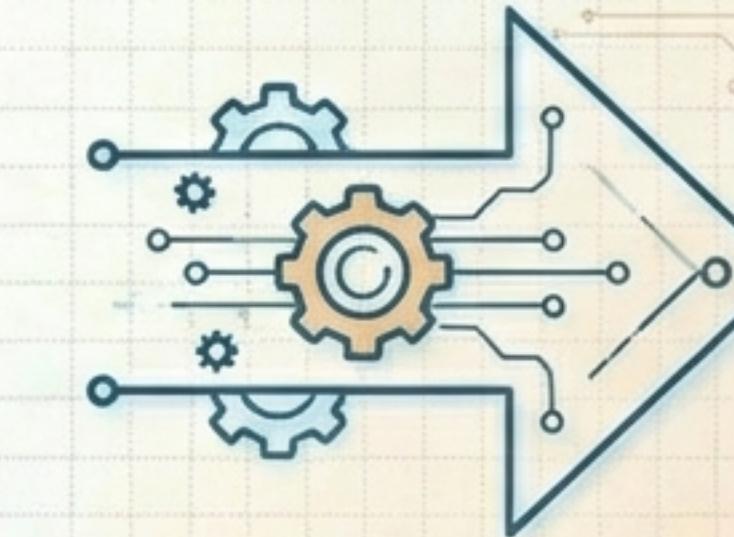
# 总结与展望

## Version 0.0.2 里程碑



- ✓ 几何更新：自动化导入 STEP 与重建
- ✓ 智能工作流：完善 A~G 全流程异常处理
- ✓ 双模数据：AI 训练（结构化）+ 物理分析  
(非结构化)

## Next Steps



1. 参照 docs/QUICK\_START.md
2. 配置 thermal\_sim.yaml
3. 运行批量脚本 run\_batch\_thermal\_sim.py
4. 查收 HDF5 数据集