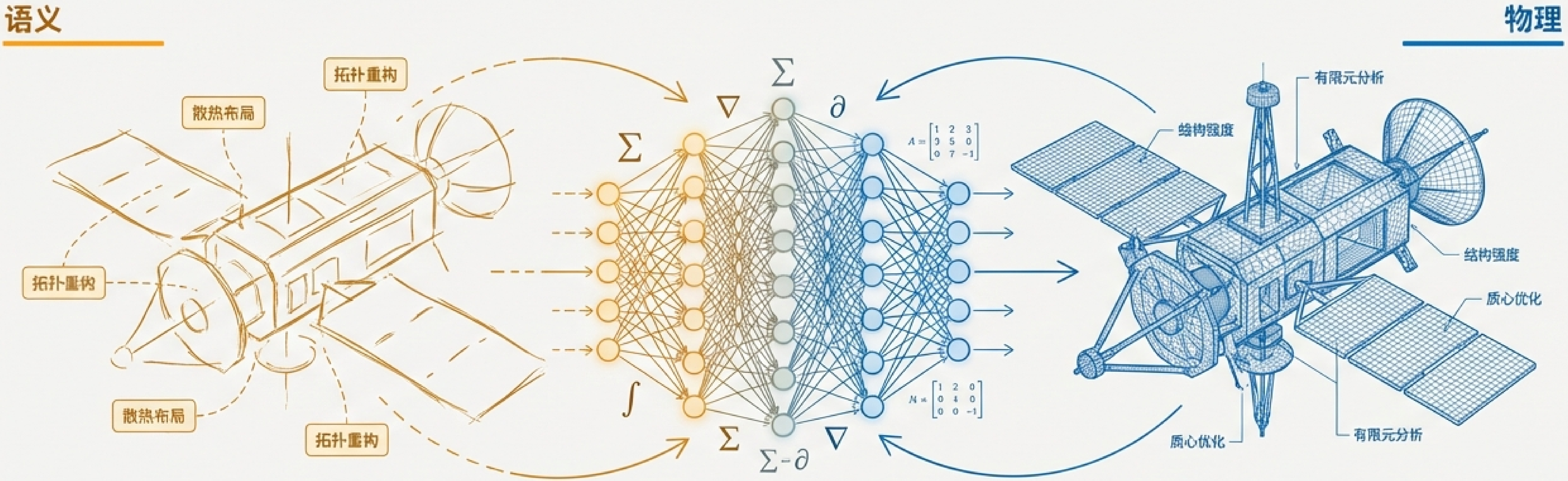
语义驱动与物理反馈闭环的卫星总体构型演化系统

下一代生成式工程设计引擎 | 2026-2027 实施蓝图



2026年1月 | 版本 1.0

NotebookLM

摘要：从“工具辅助”跨越至“智能伴随”

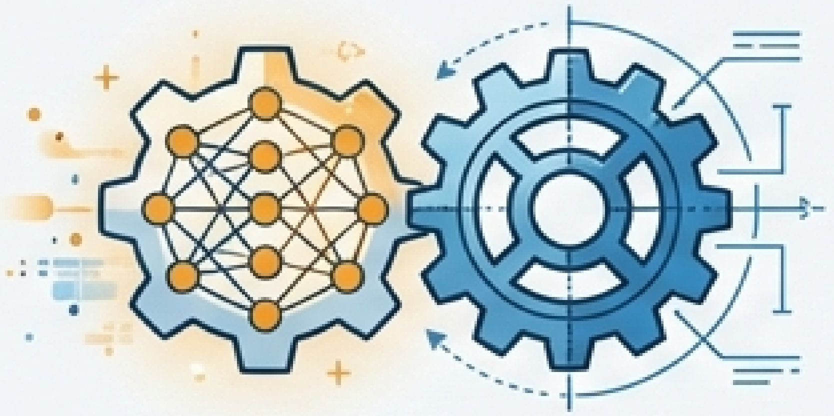
5倍效率提升的工程范式

核心挑战（The Challenge）

- 多学科强耦合（Multi-disciplinary Coupling）
- 设计周期压缩（Compressed Cycles）
- 专家经验流失（Experience Loss）

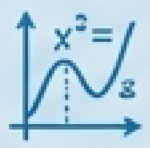
痛点： 传统“人工迭代+离线仿真”模式难以收敛，无法应对星座批量需求。

解决方案（The Solution）



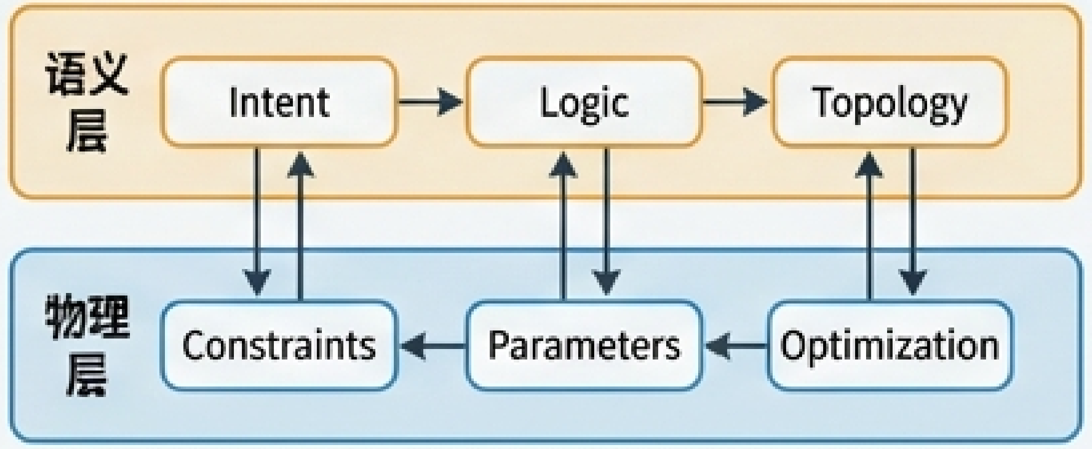
神经符号协同（Neuro-Symbolic Collaboration）

LLM（大模型）： 处理离散拓扑逻辑与模糊意图。



Solver（数值求解）： 处理连续参数与物理约束。

机制： 双层闭环演化。



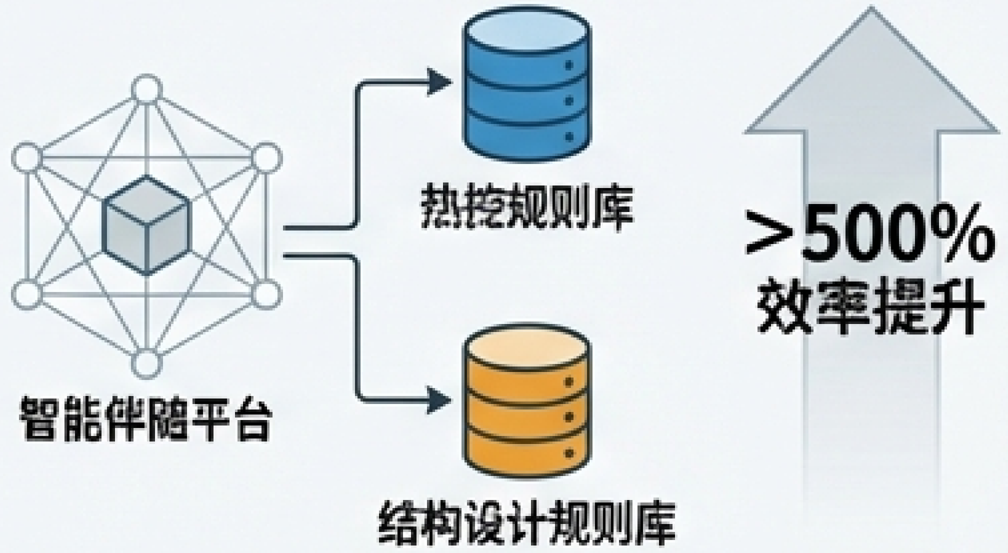
建设目标（The Goal）

2026年底交付原型

特性： 人机协同、自动寻优、全程追溯。

关键指标： 典型舱段布局设计效率提升 >500%。

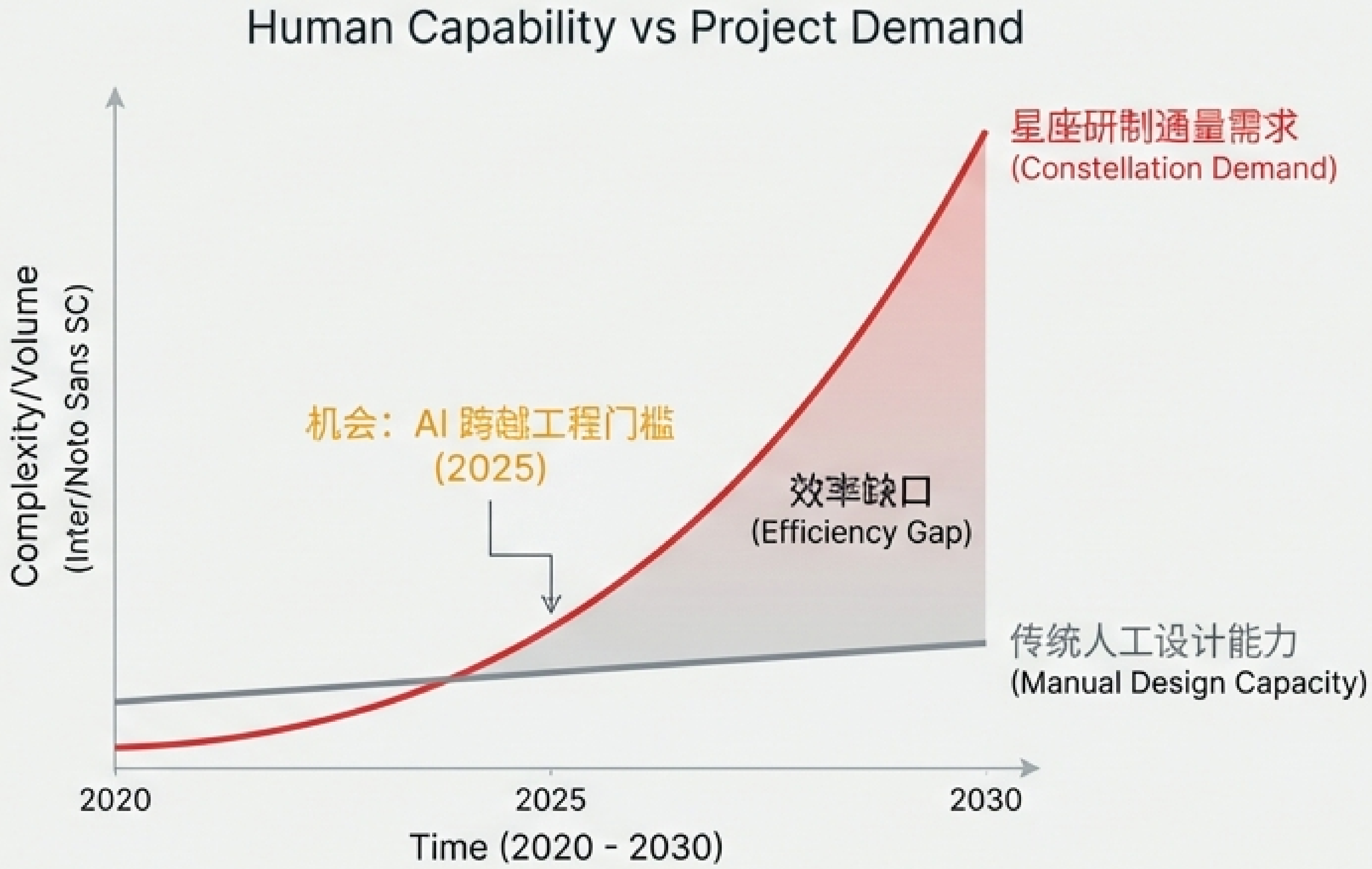
产出： 数字化热控与结构设计规则库。



NotebookLM

研制通量指数级增长要求设计模式的根本变革

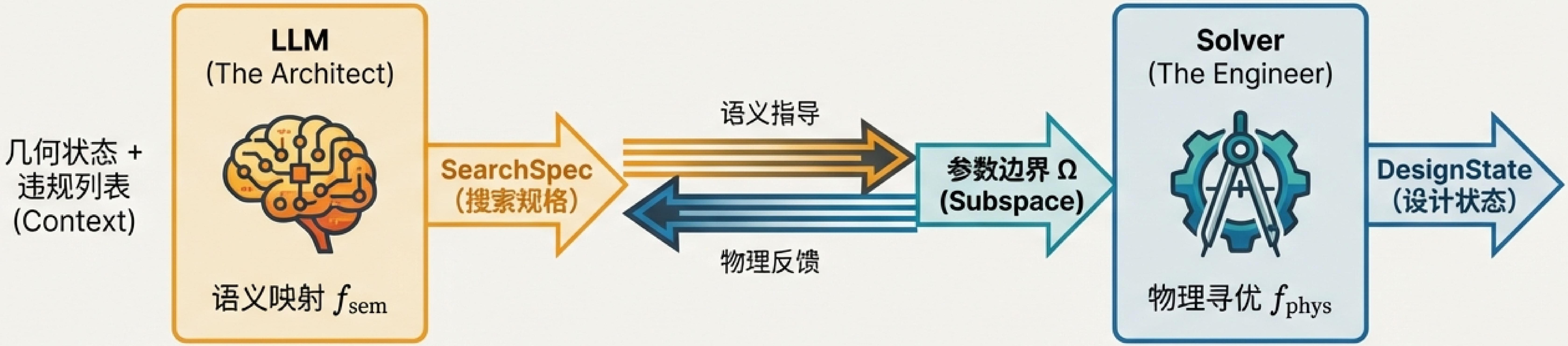
行业正从“单星定制”转向“星座批量交付”。人类设计师的认知带宽限制了对全局设计空间的探索，导致设计往往局限于历史经验的局部最优。



NotebookLM

核心理念：神经符号协同解决“非凸离散拓扑”难题

Structuring non-structured engineering intent into mathematical constraints.



处理离散逻辑、拓扑变更、模糊意图。

处理连续参数、物理方程、精度控制。

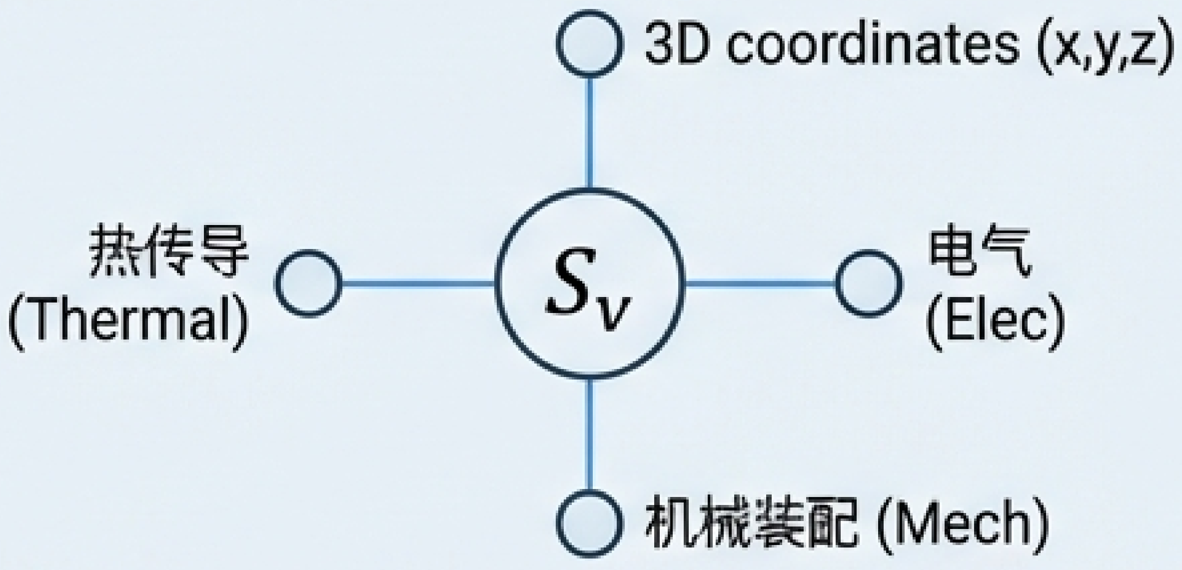
为什么混合？

- LLM 单独使用 -> 幻觉（Hallucinations）/ 无物理精度
- Solver 单独使用 -> 陷入局部最优（Local Optima）/ 无法改变拓扑

NotebookLM

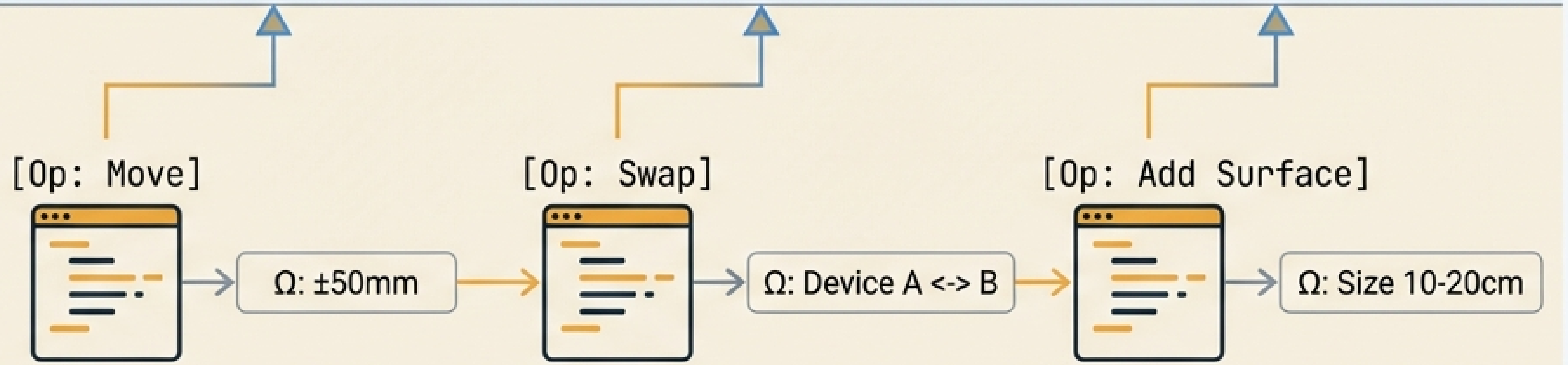
双视角架构：物理现状与演化能力的解耦

纵向物理视角
(Vertical Physical View)
– Reality



直接对接仿真（Simulation Interface）| 描述“是什么”（What is)

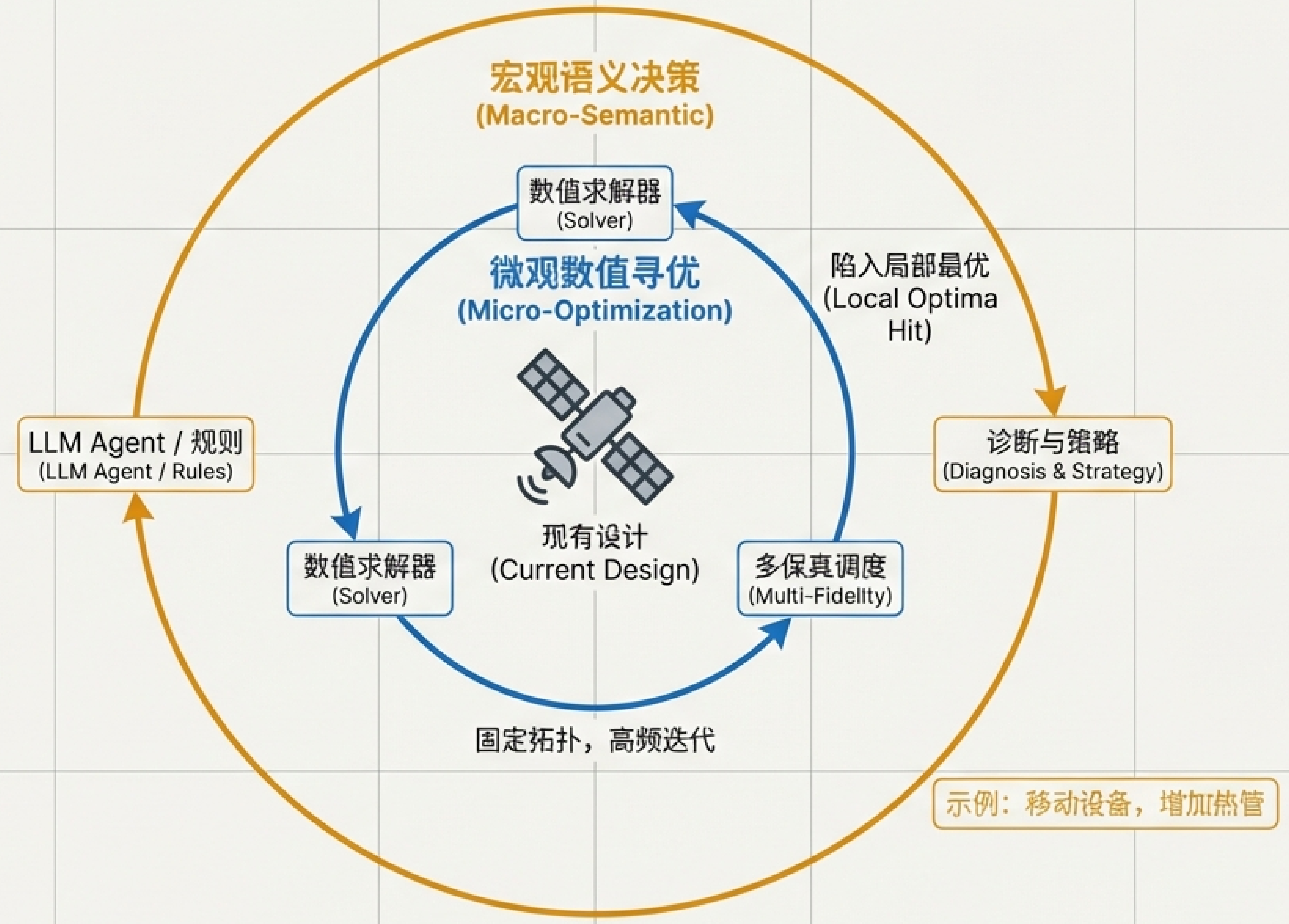
横向算子视角
(Horizontal Operator View)
– Evolution



定义可执行代码（Executable Actions）| 描述“怎么变”（How to change)

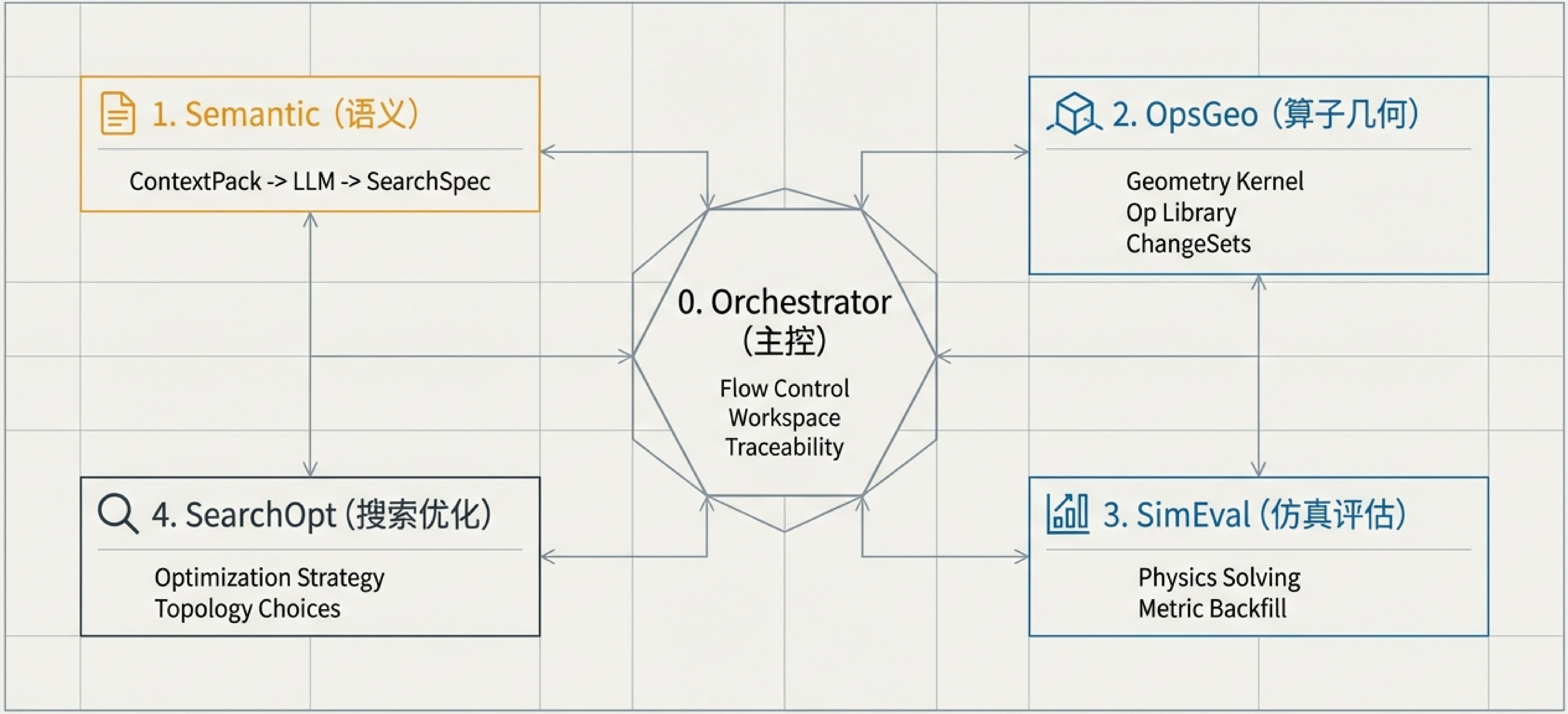
NotebookLM

双层闭环机制：微观数值寻优与宏观语义决策



NotebookLM

系统架构总览：五大核心模块协同

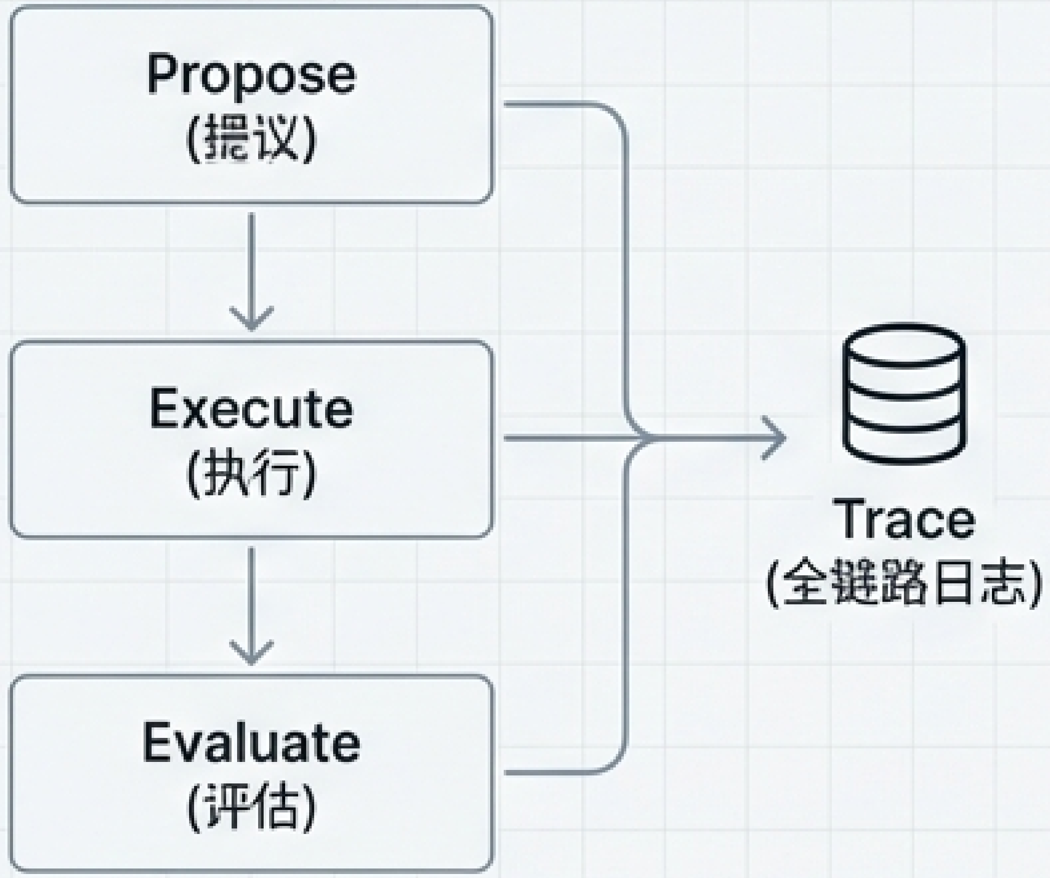


架构特征：基于 Python Flask 微服务 | JSON Schema 松耦合通信

NotebookLM

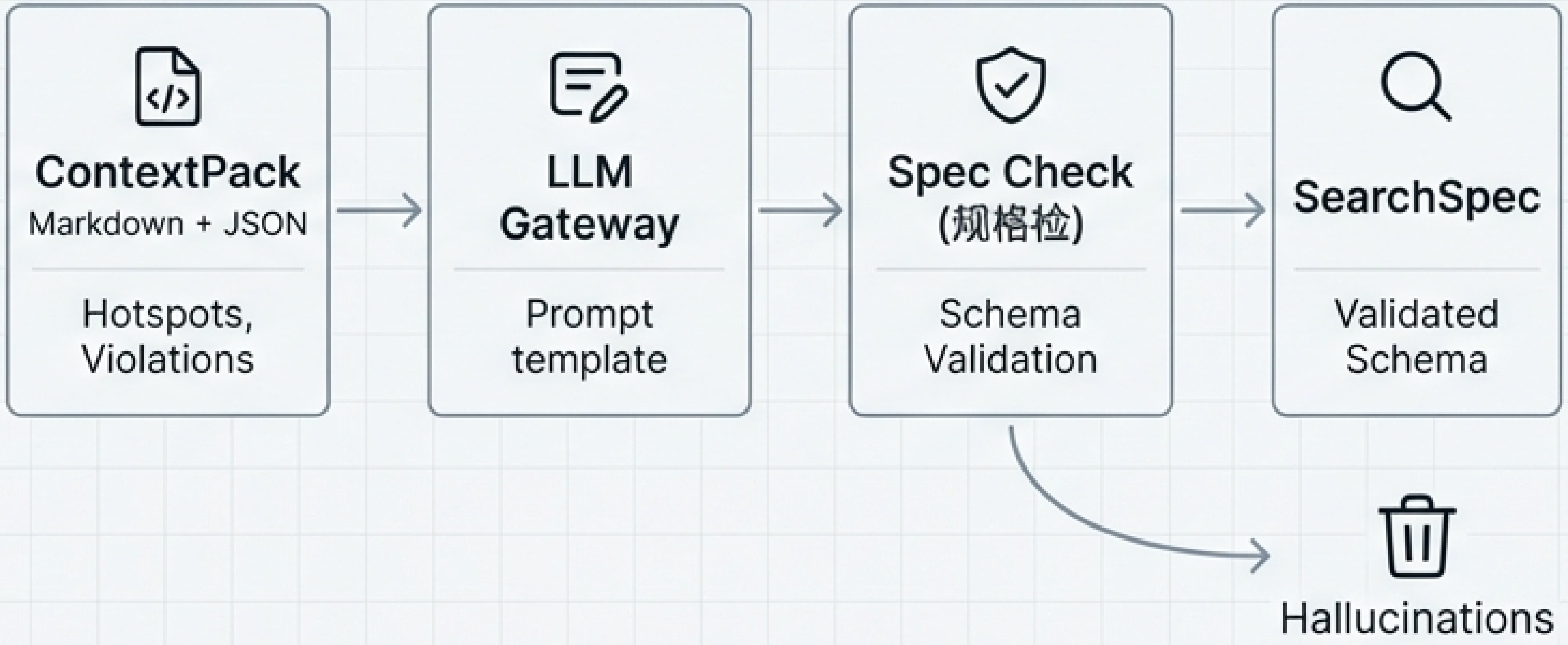
模块详解 I：主控编排与语义映射（The Brain）

0. Orchestrator



主程序状态不受 LLM 管理 (Safety)

1. Semantic

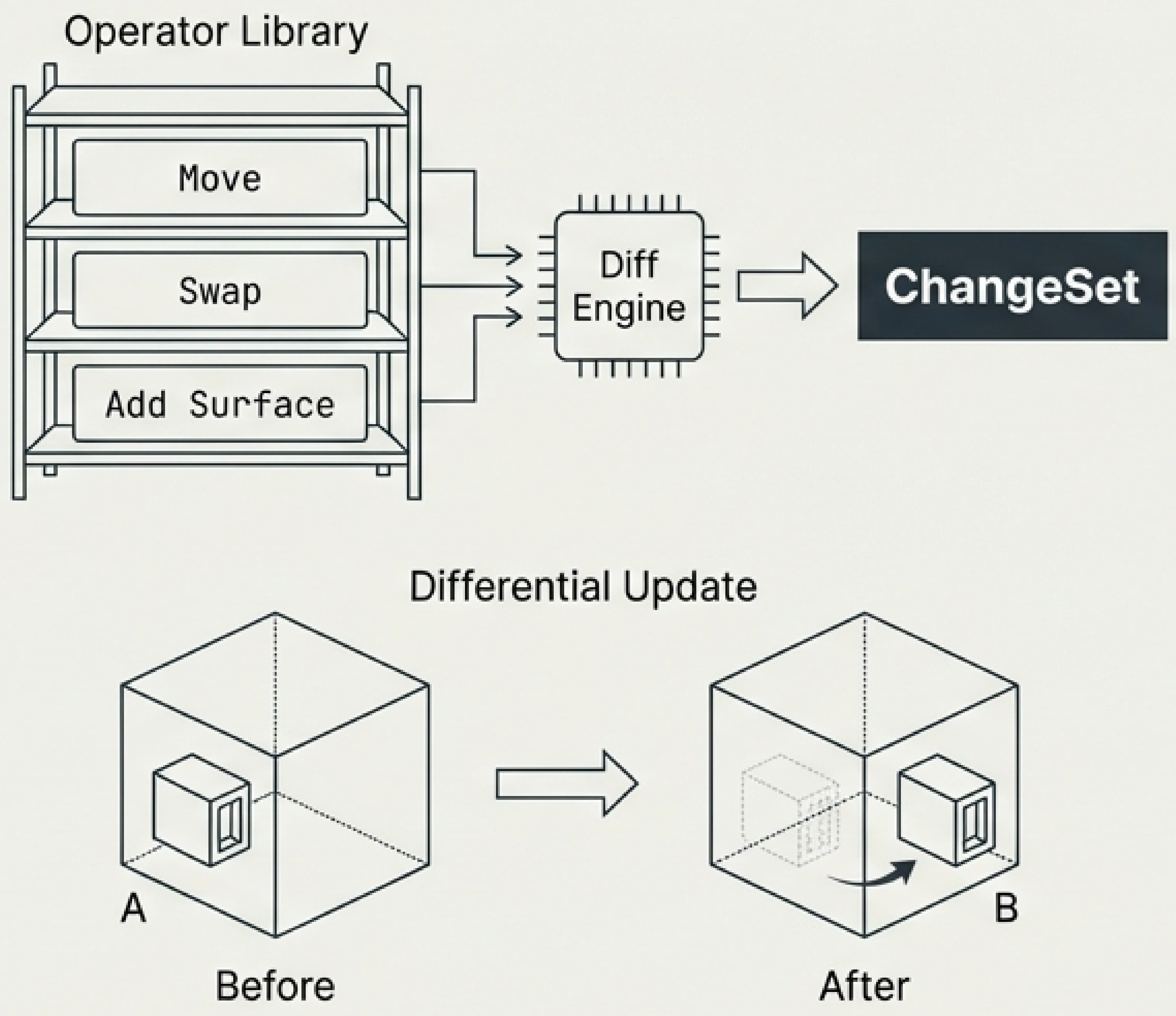


安全性："可执行性"由代码保证，而非模型。

NotebookLM

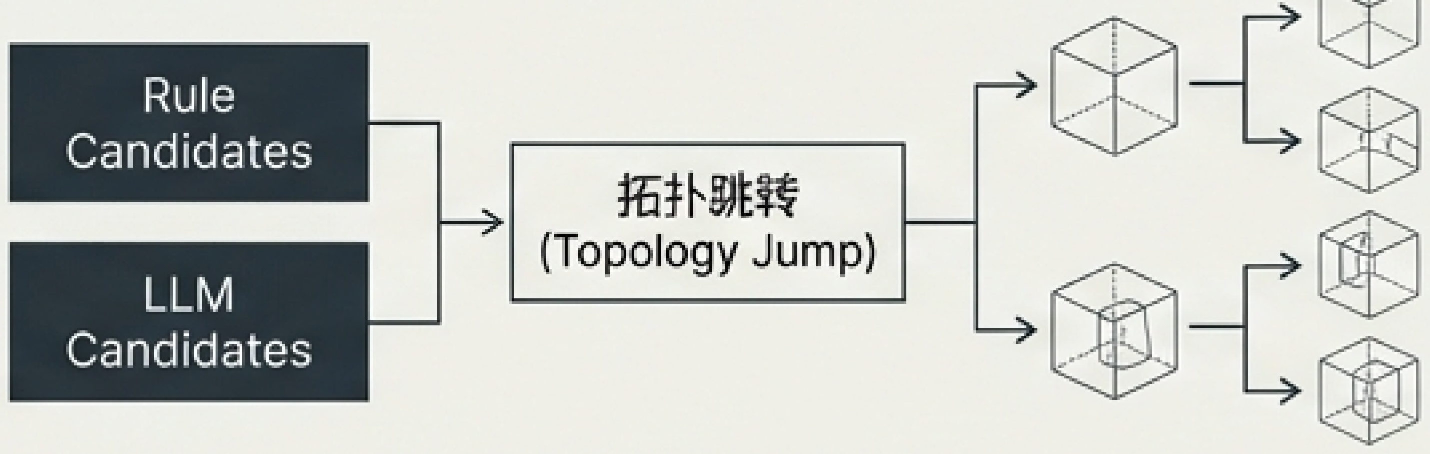
模块详解 II：几何算子与多层级搜索 (The Action)

2. OpsGeo (Geometry)

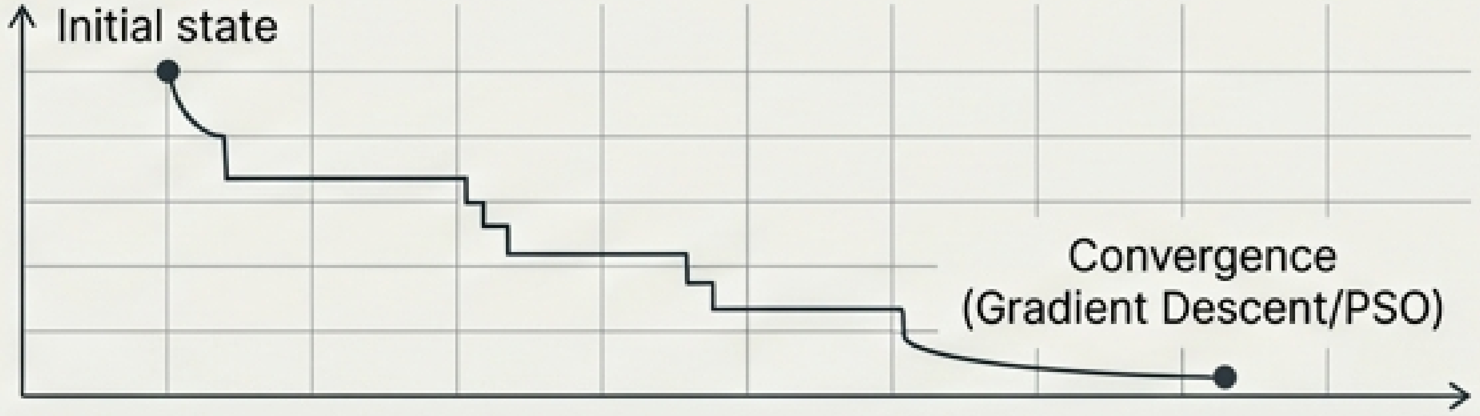


4. SearchOpt (Optimization)

Macro: 拓扑跳转 (Topology Jump)



Micro: 连续寻优 (Continuous Opt)



Budget Control

Cost (费用) | Time (时间) | Convergence (收敛)

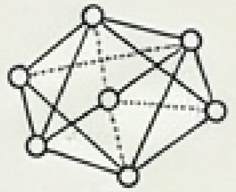
NotebookLM

模块详解 III：多保真仿真与闭环评估（The Validator）

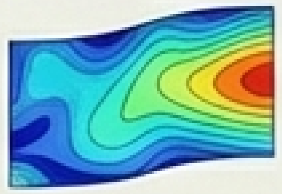
Run Orchestration

Job Queuing, Watchdogs

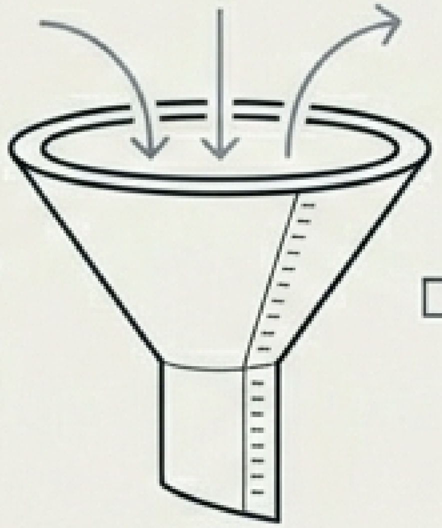
Multi-Fidelity (MF) Interface



Low-Fi Network
(Fast, low accuracy)

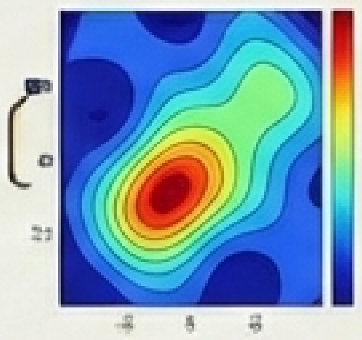


High-Fi FEA/CFD
(Slow, high accuracy)



Unified Metrics

IO Backfill



Violation Attribution (违规归因)

TopN Hotspots identified

DesignState

关键接口：LLM 仅接收'可读摘要'（Readable Summary），不接触底层网格。

NotebookLM

数据协议层：确保可解释性与 防幻觉机制

Input to LLM (ContextPack)

```
{
  "summary": "Battery temp > 50C",
  "conflicts": ["Space_Violation_ID_01
"],
  "hints": ["Try moving +Y axis"]
}
```

Markdown (Readable) +
JSON (Structural)

Output from LLM (SearchSpec)

```
{
  "op_id": "MOVE_BATTERY",
  "target": "BAT_01",
  "bounds": [-50, 50],
  "unit": "mm"
}
```

Strict Schema. Op names must exist in OpLib.

Why Important?

- Semantic Gatekeeper (语义守门员)
- Auditable (可审计)
- Replayable (可重放)

NotebookLM

实施路线图：三代演进策略

DV1.0 简化版 (Simplified)
Run Through (跑通)

- Scope: 3 Operators, 1 Physics Field
- Goal: Sub-modules callable, Unified Interface

DV2.0 基本版 (Basic)
Run Stable (跑稳)

- Scope: 10 Operators, 2 Physics Fields
- Feature: History Rollback, Human-in-Loop
- Goal: Full Auditability

DV3.0 工程版 (Engineering)
Run Well (跑好)

- Scope: Real Component Lib, Multi-Objective
- Feature: Auto-Routing, Self-Healing
- Goal: Robustness & Autonomy

Run Through（跑通） → Run Stable（跑稳） → Run Well（跑好）

NotebookLM

阶段详情：从架构验证到全流程闭环

DV1.0 (V1.0 - V1.2) - The Skeleton		DV2.0 (V2.0 - V2.3) - The Flesh	
V1.0	Simplified Architecture. Metric: Module Test 100%.	V2.1	**History & Replay.** "可回退、可重放、可审计 (Replayable & Auditable)."
V1.2	End-to-end minimal loop. LLM access enabled. Metric: Success rate ≥ 80%.	V2.2	Frozen State Protocols. Optimization of prompts. Constraint Satisfaction ≥ 80%.
		V2.3	**Visualization UI.** One-Click Demo.

Foundational Stability (Inter, JetBrains Mono)

NotebookLM

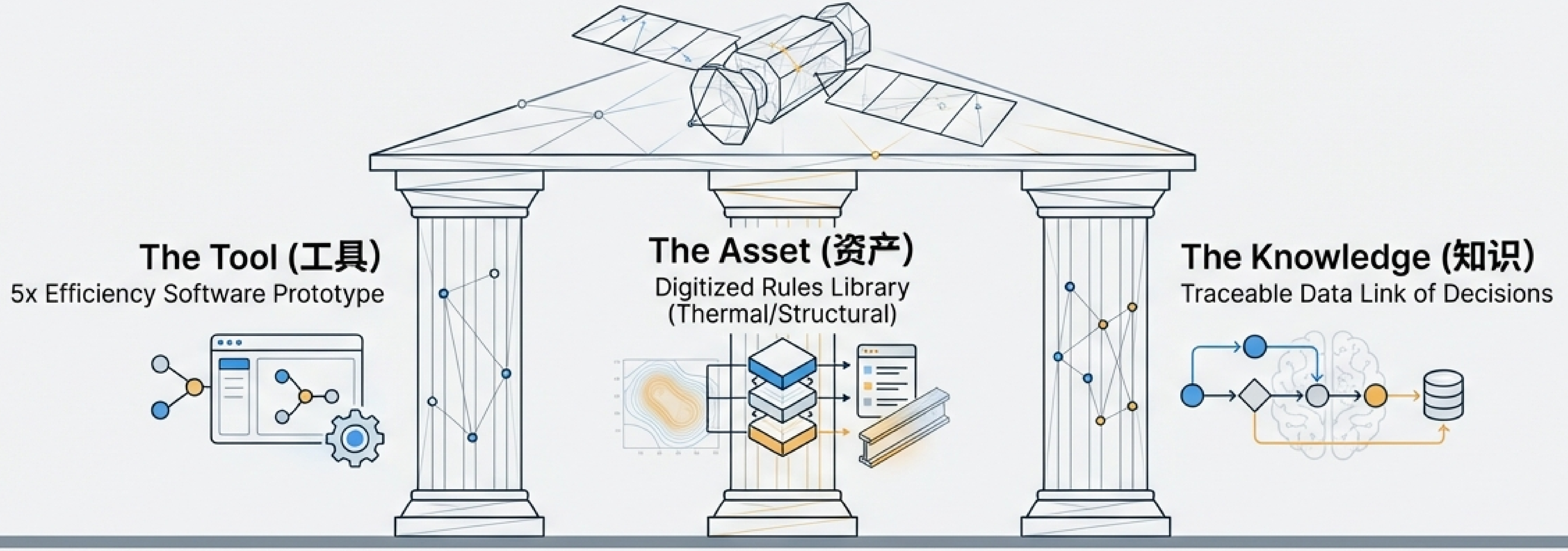
阶段详情：迈向工程实战的鲁棒性构建

DV3.0 (V3.0 - V3.4) - The Brain

V3.1	**Auto-Routing (自动布线)** Resolving complex cable constraints. Feasibility ≥ 85%.
V3.2	**Acceleration (提速)** Proxy models (Surrogate) to speed up evaluation 5x.
V3.3	**Robustness (鲁棒性)** Material drift/aging modeling (Emissivity changes).
V3.4	**Self-Healing (自愈)** Auto-recovery from failure. Success Rate ≥ 90%.

NotebookLM

结语：构建设计、验证与进化的数字底座



从经验主义迈向数字主权。

(Transforming from Empiricism to Digital Sovereignty.)

Establishing a core competitive advantage in the constellation era.

NotebookLM