

人工智能赋能低轨卫星设计与快速组网

虚拟仿真实验指导书



实验准备

步骤 1 基础认知与预习测验

进入实验大厅，进入基础认知知识图谱，查看轨道、卫星系统、通信链路及组网仿真等知识节点；完成后进入预习测验。系统从 100 题中随机抽取 10 道选择题，学生独立作答，提交后显示得分、知识点和解析。AI 可解释概念，但不直接给出测验答案。（30 分钟，10 分；见图 2。）



图 1 基础认知知识图谱与 AI 概念解释入口

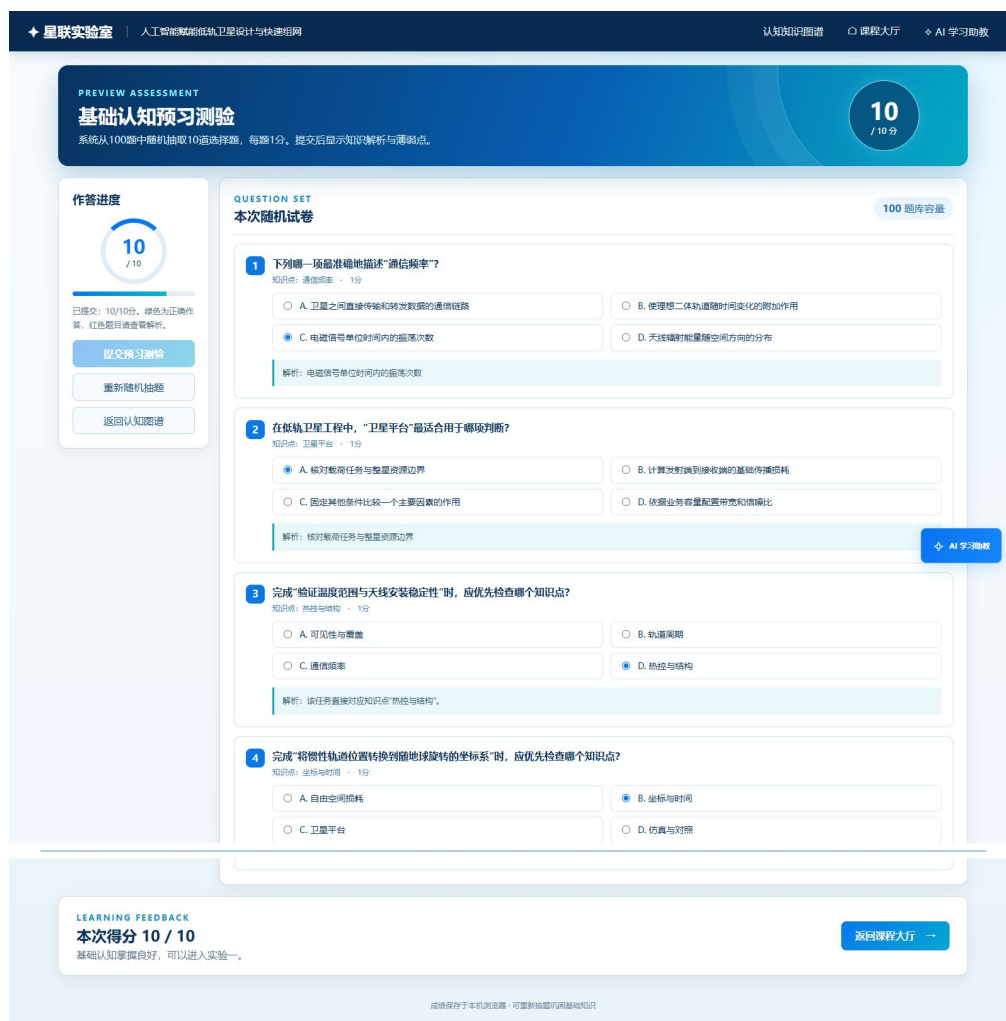


图2 从100题中随机抽取10题的预习测验与解析

实验一 任务设计与动态组网

步骤2 解析通信任务

在场景模式读取任务简报，确认服务区域、业务速率、可达率、平均时延、最长中断和卫星数量上限，形成实验一统一任务条件。（8分钟，2分；见图3。）

步骤3 选择网关并观察场景

在场景模式旋转和缩放三维地球，选择2—3个候选网关；观察任务区、卫星、轨道和链路位置，保存站点编号。（8分钟，2分；见图3。）

步骤 4 设置轨道与星座参数

在参数区输入轨道高度、倾角、轨道面数、每面卫星数、最低仰角及星间链路距离。系统实时核算星座规模，并校验单位、范围和资源上限。（12 分钟，3 分；见图 3。）

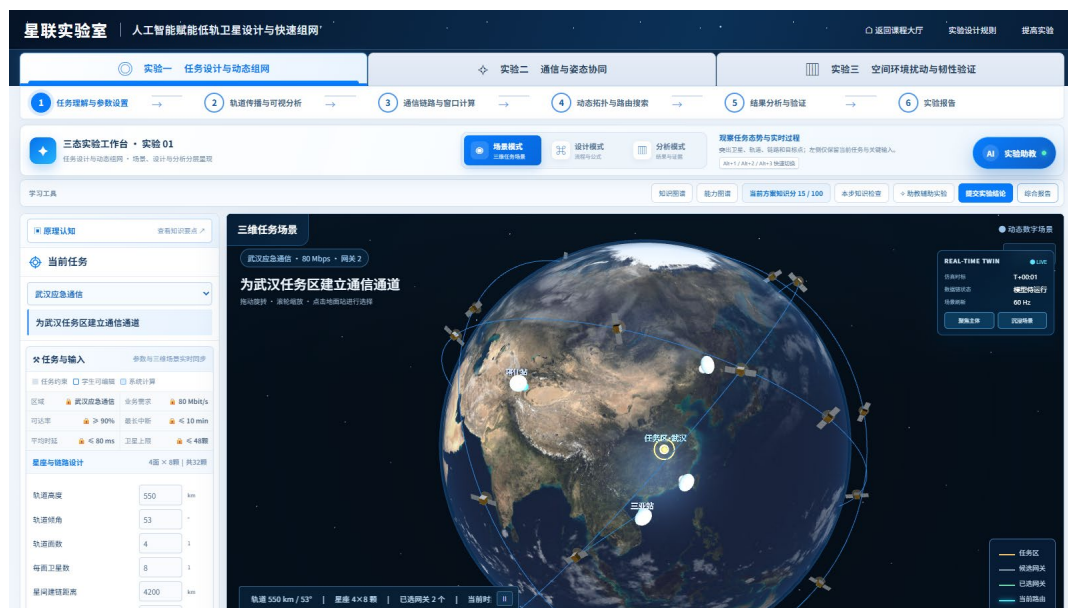


图 3 实验一场景模式：三维任务态势与参数设置

步骤 5 选择轨道传播模型

切换设计模式，在计算流程和公式库中比较圆轨道二体、 J_2 长期摄动及 J_2 加简化大气阻力模型，保存所选公式和模型版本。（10 分钟，3 分；见图 4。）

步骤 6 提出组网预测

填写实验设计卡，确定一个主要研究变量及可达率、时延或最长中断等观察量，写明预期变化方向和必须保持不变的条件。（10 分钟，3 分；见图 4。）

步骤 7 运行并保存基准方案

执行单方案运算。系统按一分钟步长完成轨道传播、可见性、星地与星间链路和动态路由计算，保存运行编号、90 点时间线及网络指标。（15 分钟，4 分；见图 4。）

步骤 8 建立候选对照方案

复制基准设置，仅修改设计卡中的研究变量；保持任务、网关、模型和其他参数一致，重新运行并保存候选方案。（10 分钟，3 分；见图 4。）



图 4 实验一设计模式：计算流程、公式选择与 AI 助教

步骤 9 比较网络结果

切换分析模式，核对两条运行的输入和模型版本，查看曲线、数据表及方案差值；无有效单变量对照时返回设计模式补做。（12 分钟，4 分；见图 5。）

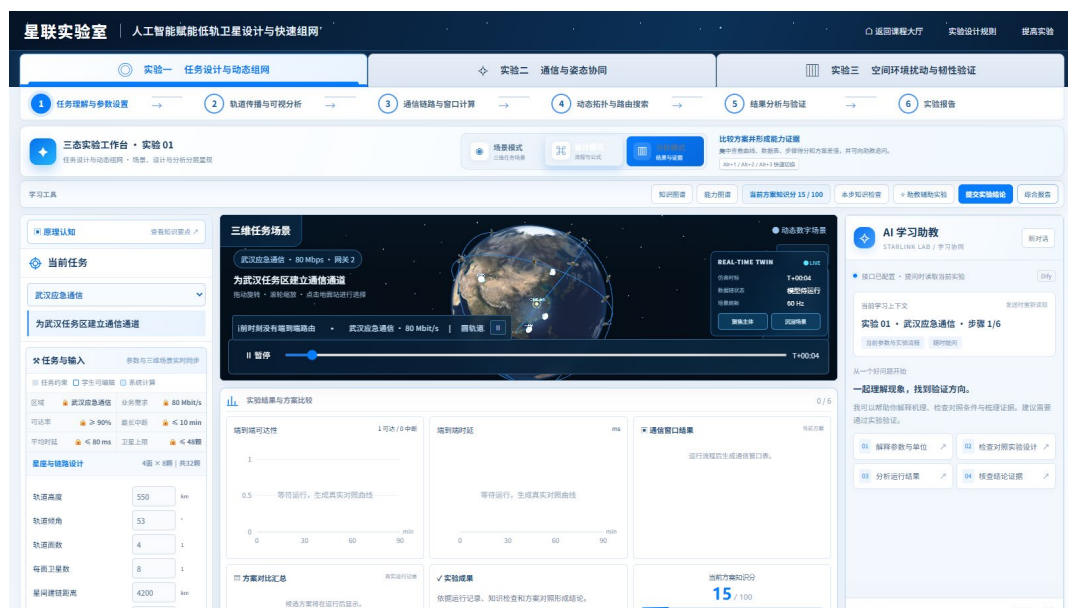


图 5 实验一分析模式：曲线、方案差值和证据评分

步骤 10 完成知识检查与证据补强

在统一学习工具中完成对应知识点检查，查看当前方案的 30 分知识检查和 70 分方案证据明细；可调用助教解释缺口，再以新运行补充证据。（12 分钟，3 分；见图 6。）

步骤 11 提交组网方案

选择满足任务要求的候选方案，在提交界面引用运行编号和带单位指标，说明卫星规模、性能取舍及模型适用边界，形成实验二可继承的正式方案。（13 分钟，3 分；见图 6。）

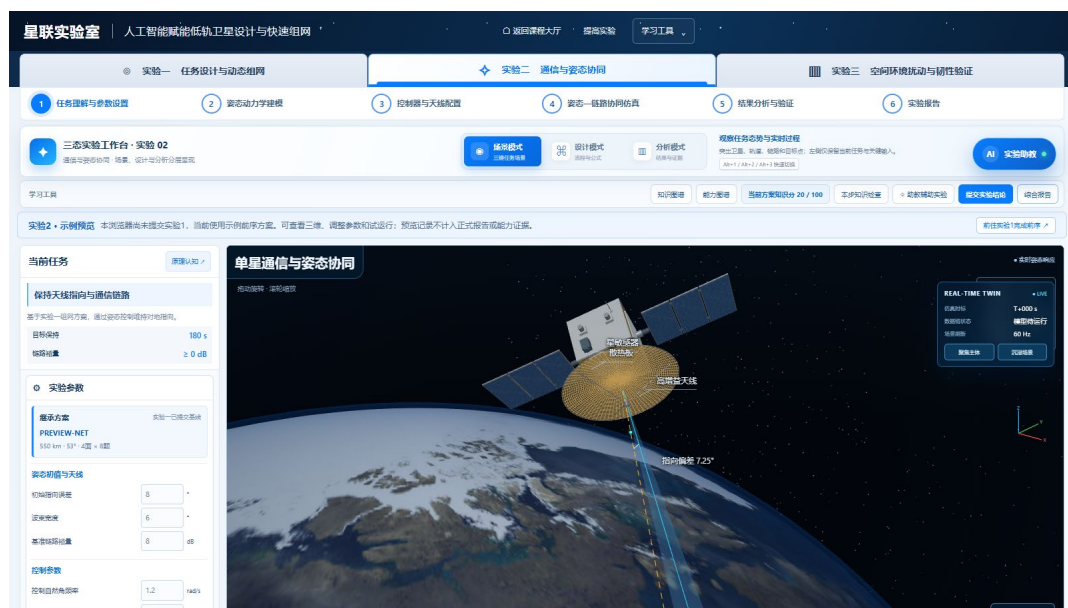


图 7 实验二场景模式：姿态、波束与通信任务

步骤 14 选择姿态与链路模型

进入设计模式，从模块与公式库选择姿态响应、指向误差和天线增益损失模型，查看单位及教学适用范围。（10 分钟，3 分；见图 8。）

步骤 15 设置控制参数

输入控制自然角频率、阻尼比、最大角速度和扰动强度。系统检查 rad/s、°/s 等单位及参数上下限。（10 分钟，3 分；见图 8。）

步骤 16 提出协同控制预测

填写姿态—通信实验设计卡，只选择一个控制变量，预测其对稳定时间、指向误差、链路保持率或控制代价的影响。（10 分钟，3 分；见图 8。）

步骤 17 运行基准控制方案

执行单方案运算，观察卫星姿态、天线指向和链路状态随时间变化，保存模型版本、运行编号、响应曲线和链路指标。（15 分钟，4 分；见图 8。）

步骤 18 运行备选控制方案

复制基准方案，仅修改自然角频率、阻尼或最大角速度中的研究变量，重新运行并保存第二条记录。（12 分钟，4 分；见图 8。）

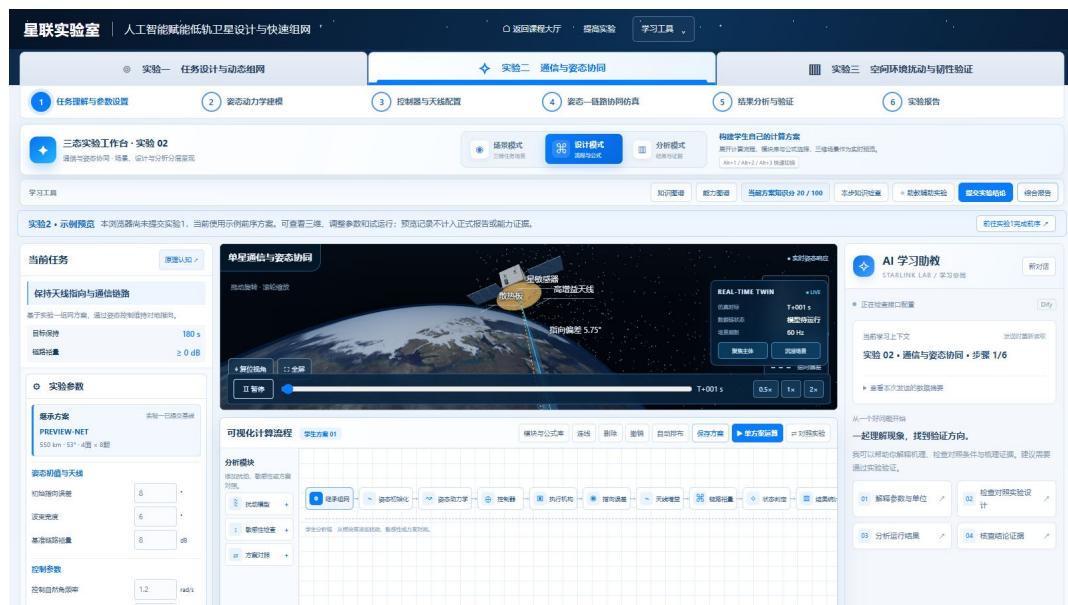


图 8 实验二设计模式：姿态—链路计算流程

步骤 19 分析姿态与链路结果

切换分析模式，对照曲线和指标差值，判断响应加快是否伴随饱和、控制代价增加或链路保持改善。（12 分钟，3 分；见图 9。）

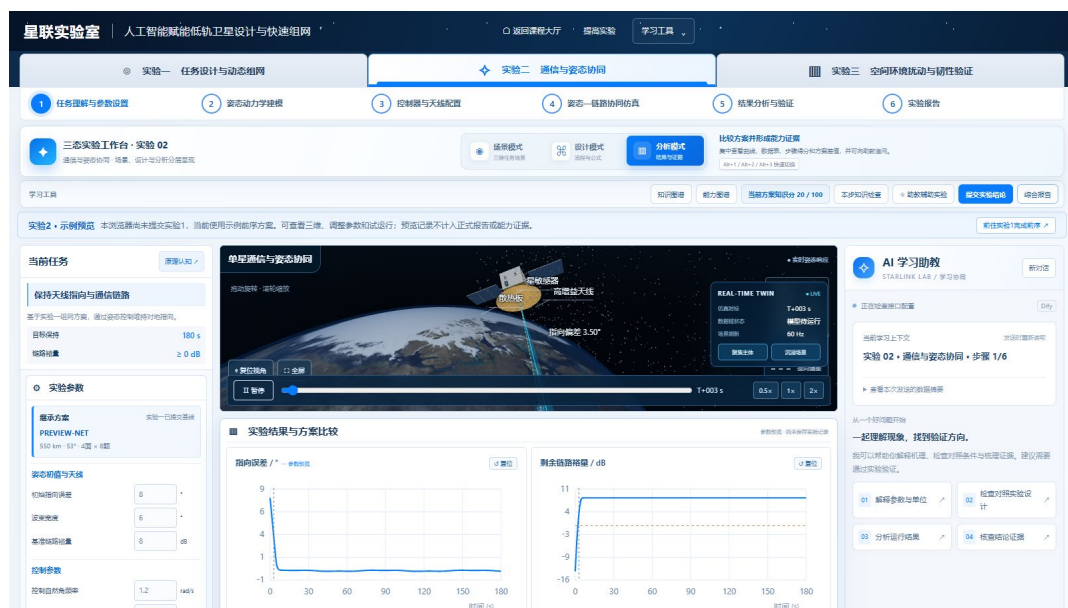


图 9 实验二分析模式：响应曲线与控制方案比较

步骤 20 完成知识检查与机理解释

完成本步知识检查，查看评分缺口；使用助教时须核对课程来源，并结合实际运行曲线解释控制参数、指向损失和链路裕量之间的关系。（10 分钟，3 分；见图 10。）

步骤 21 提交控制基线

选择满足姿态和通信要求的方案，填写不少于 20 字的证据理由并提交，生成实验三可继承的正式控制基线。（13 分钟，3 分；见图 10。）

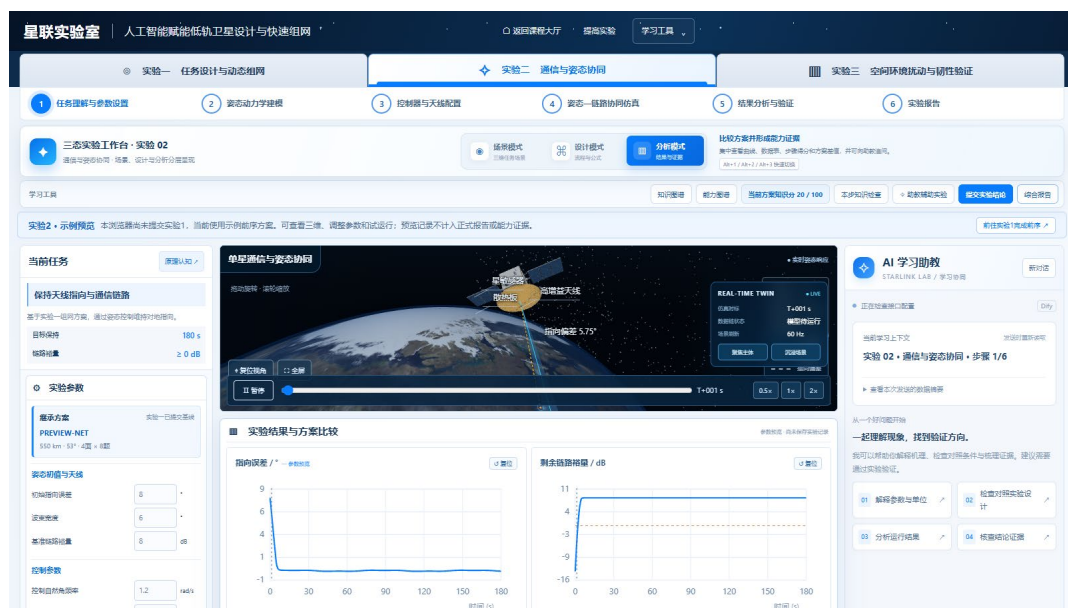


图 10 实验二知识检查、助教补强和方案提交入口

实验三 空间环境扰动与韧性验证

步骤 22 继承两项前序方案

进入实验三，核对网络记录、控制记录和轨道高度，明确本实验冻结前序设计，只研究环境扰动和应对策略。（8 分钟，2 分；见图 11。）

步骤 23 设置热层与卫星参数

在场景模式设置中性热层密度倍数、卫星质量、迎风面积、阻力系数和轨道保持预算，观察轨道衰减场景。（10 分钟，3 分；见图 11。）

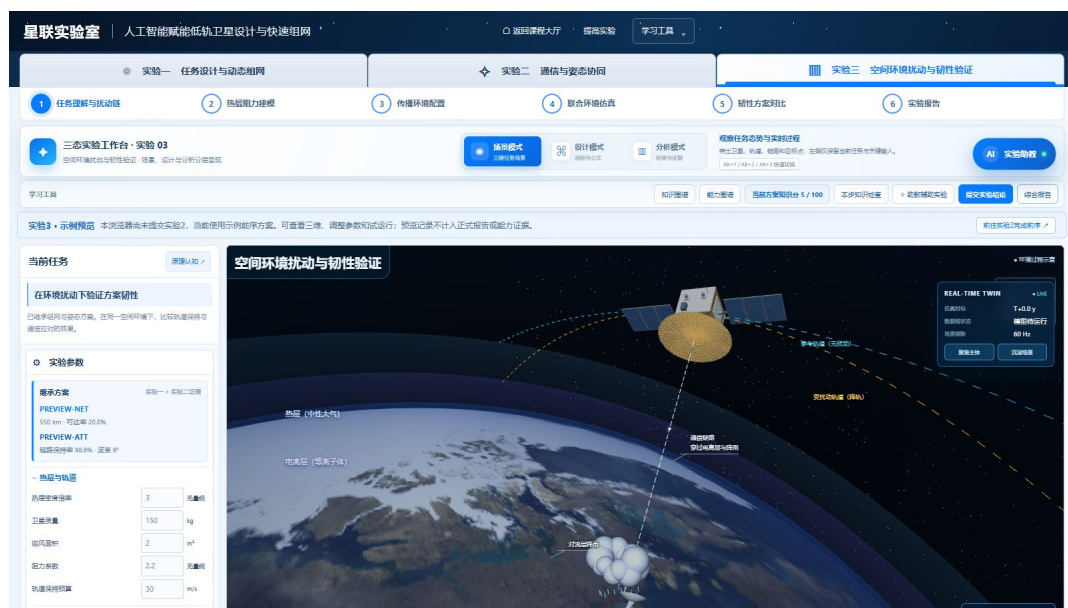


图 11 实验三场景模式：轨道衰减与传播扰动

步骤 24 选择阻力与寿命模型

进入设计模式，从公式库选择大气阻力、轨道高度变化和寿命估算模型，保存模型版本并确认教学简化条件。（10 分钟，3 分；见图 12。）

步骤 25 设置通信传播环境

设置电离层总电子含量、闪烁强度及对流层降雨率，区分群时延、闪烁衰落和雨衰，不把传播影响解释为轨道降高。（10 分钟，3 分；见图 11。）

步骤 26 建立无应对参照组

不启用轨道保持和链路自适应，执行单方案运算，保存自然寿命、群时延、闪烁衰落、雨衰、链路裕量和业务交付率。（12 分钟，3 分；见图 12。）

步骤 27 设计韧性应对方案

在设计模式选择轨道保持、链路自适应或联合应对，明确燃料、功率和通信资源约束；保持物理环境不变。（10 分钟，3 分；见图 12。）

步骤 28 运行应对方案

启用选定策略重新运行。系统核对两组记录的热层、电离层、降雨及前序方案是否一致，防止策略与环境变化混杂。（12 分钟，3 分；见图 12。）

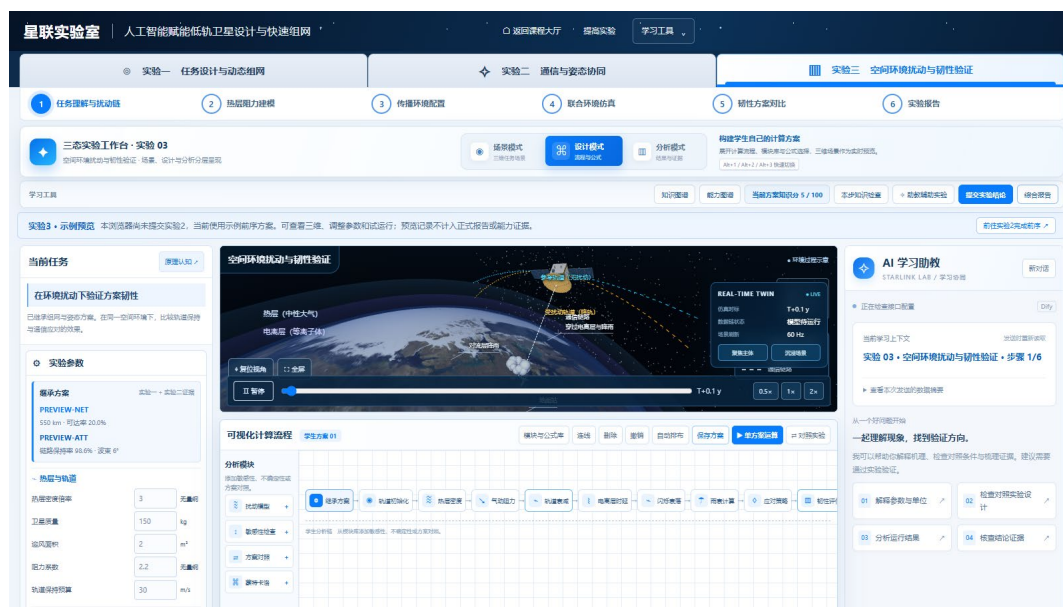


图 12 实验三设计模式：环境模型与应对方案

步骤 29 分析寿命与通信结果

切换分析模式，查看轨道衰减曲线、通信损伤和应对前后差值，说明策略改善和资源代价。（10 分钟，3 分；见图 13。）

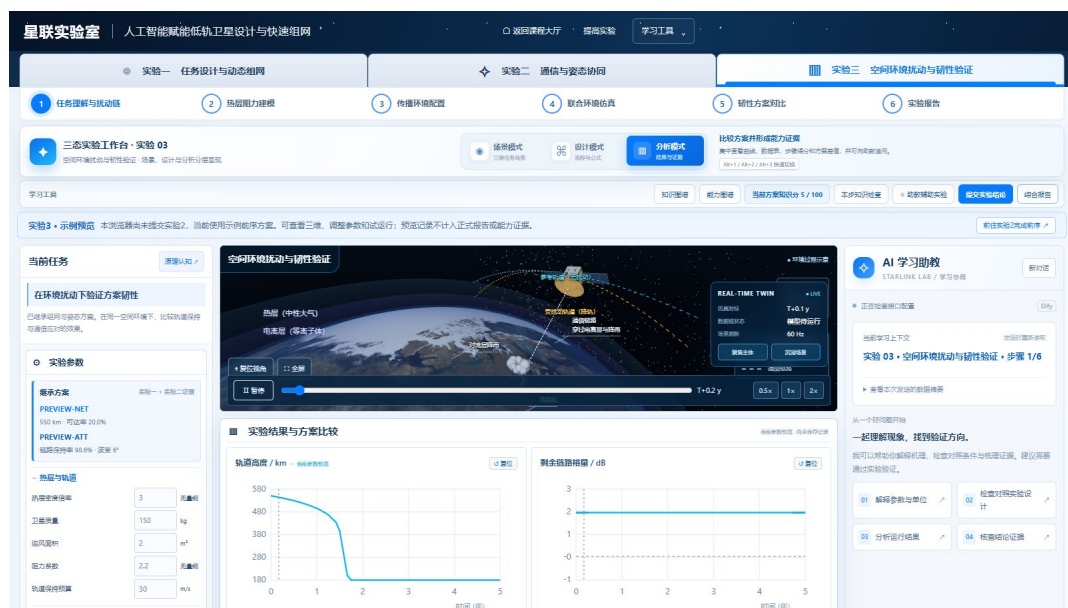


图 13 实验三分析模式：寿命、链路与应对结果

步骤 30 完成知识检查与边界核查

完成知识检查并查看评分明细；可调用助教区分中性大气、电离层和降雨作用路径，随后返回模型说明核对。（8 分钟，2 分；见图 14。）

步骤 31 完成能力诊断与补强

查看任务分析、参数与单位、实验设计、物理机制、数据与证据、工程权衡六维状态，从缺失项返回知识点或实验步骤补做。（8 分钟，2 分；见图 14。）

步骤 32 提交综合方案与报告

提交实验三方案，并在综合报告中引用三个实验的正式方案编号、模型版本、关键指标和对照证据；说明工程权衡、模型边界及 AI 建议的核查情况。（12 分钟，3 分；见图 14。）

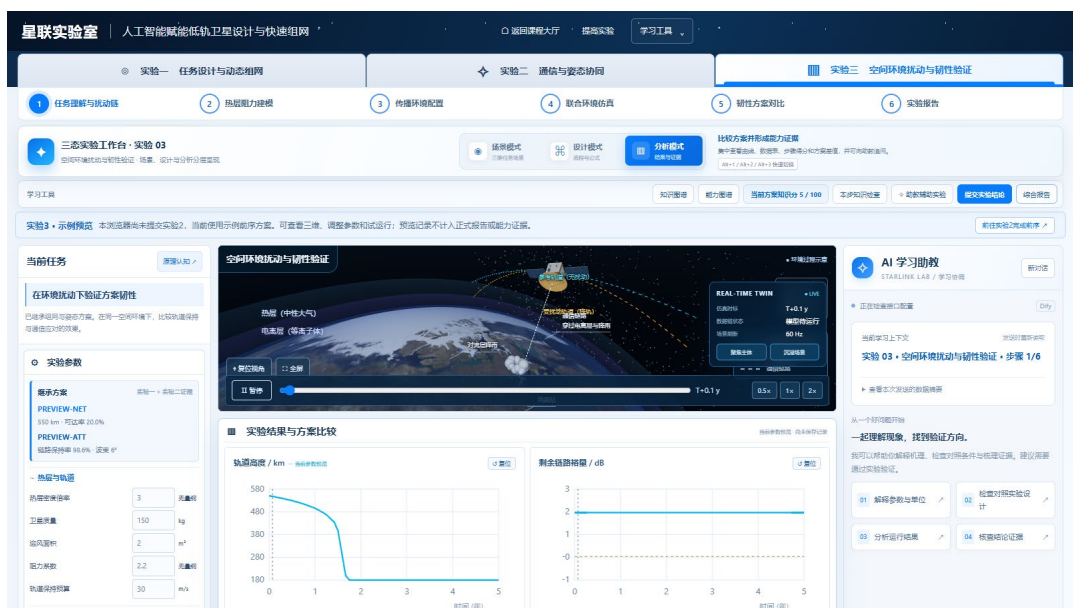


图 14 实验三能力补强、综合报告和提交入口