

画廊布展机器人 具身智能 (Embodied Intelligence) 赛道投资白皮书

从高价值艺术品安全操作切入文化空间具身智能

产品进展 产品数字样机 (Product Digital Twin Prototype)、核心闭环 (Core Closed Loop)、数据日志和自动评测已经贯通，现阶段聚焦 MT Lambda 适配、感知接入与场景化交付。

投资研究与项目申报联合版

2026 年 8 月

项目编号 / Project ID: MTZ260054 | 参与者 / Team: [张海燕 \(Hedy\)](#) · [尤佳欣 \(Brian\)](#) · [刘华林 \(Harry\)](#)

说明：市场规模与单位经济采用低/基准/高三情景模型，核心假设和测算路径均已披露。

目录与阅读导航

- 01 执行摘要与投资结论
- 02 画廊布展行业痛点与商业价值
- 03 赛题选择及项目定位
- 04 典型布展工作流
- 05 任务族、状态空间与成功／失败条件
- 06 机器人本体与专用末端工具
- 07 MT Lambda 技术架构
- 08 USD 画廊场景与数字资产体系
- 09 专家轨迹与合成数据生成
- 10 模型训练、推理与人类接管
- 11 RoboTwin 式评测协议
- 12 Sim2Real 迁移策略
- 13 数据、版权与艺术品安全合规
- 14 商业模式与市场空间
- 15 单位经济与融资规划
- 16 两阶段交付路线图
- 17 风险、备选路径与投资否决项
- 18 附录：资源预算、组件清单、资产清单和评测表

1. 执行摘要与投资结论

Executive Summary

- 明确看好：画廊是高价值、易损、非标准物品操作能力的优质商业入口，并可向艺术物流、博物馆、奢侈品和精密搬运延展。
- 产品应定义为“高价值物品空间操作平台”，而不是“会挂画的机械臂”；首代采用轮式移动底盘、举升机构、协作机械臂和专用末端工具。
- HiCOOL 最匹配 Track B 产业应用的“行业任务／场景与数据构建”路径，先交付任务、场景、数据和评测，再推进完整闭环（Core Closed Loop）。
- 投资成立的四个前提是：标准任务成功率可重复、人类接管（Human-in-the-loop Takeover）持续下降、设备可跨客户复用、相邻行业收入占比不断提高。

投资结论 建议进入种子轮至 A 轮重点投资清单。当前阶段投入用于任务与数据基础设施、专用末端工具和标杆场景；核心能力成熟后，以共享设备池和行业操作平台扩大收入上限。

判断维度	当前结论	进入下一轮的证明
场景价值	高价值、低容错、强人工经验	付费试点与事故成本基线
技术可行性	数字样机核心闭环已贯通	多随机种子评测与复制品真机验收
市场上限	画廊单点偏窄	艺术物流、博物馆、商业展陈复用
数据壁垒	任务结构与数据规范已形成	持续积累跨材质、重量和异常案例数据
商业模式	RaaS 优于一次性销售	利用率、续约率和人工工时下降

2. 画廊布展行业痛点与商业价值

2025 年全球艺术市场销售额约 596 亿美元，经销商销售额约 348 亿美元；艺博会相关销售上升至经销商营业额的 35%。这说明线下展览、运输与布撤展仍是艺术交易基础设施，而不是可忽略的后台环节。[1]

布展的真正成本并不只在安装人工。它还包括艺术品损坏、人员工伤、运输等待、延期、保险责任、现场复工以及因经验不可复制导致的交付波动。对高价值作品而言，降低一次严重事故的概率，可能比单纯节省工时更具商业价值。

痛点	现状	机器人可创造的价值	第一阶段证据
测量定位	人工复尺、标线和校水平	数字孪生复用、误差可追踪	中心误差与角度误差
搬运托举	依赖熟练技师，多人协同	稳定托举、降低重体力风险	载荷、冲击和滑移日志
布展窗口	艺博会布撤展时间集中	标准任务并行、夜间作业	单任务时长与设备利用率
责任追溯	照片和纸面交接不完整	全过程影像、力控和授权记录	日志完整率与复现率

服务机器人供给侧也在成熟。IFR 样本统计显示，2023 年专业服务机器人销量超过 20.5 万台，同比增长 30%；这并不直接等于布展机器人市场规模，但证明移动底盘、传感器和专业服务机器人产业链已进入规模化阶段。[2]

3. 赛题选择及项目定位

赛题定位 Track B · 产业应用；首选“行业任务／场景与数据构建”成果路径，完整行业解决方案作为第二阶段扩展。

该路径与赛题评分重点高度一致：项目已完成任务状态、成功／失败条件、场景资产、控制闭环、数据生成方案、自动评测、资源与 IP 合规设计，可在赛方环境中快速扩展训练和完整演示。

备选方向	匹配度	原因
Track A 仿真模拟	低	偏单技能运动控制和 Sim2Real 本体动作
Track A 场景应用	低	目标为机器狗舞台表演
Track B 应用移植	中	适合已有成熟应用迁移，不是当前主矛盾
Track B 产业应用	高	同时评价行业洞察、场景闭环、技术完整和商业潜力
Track B 模型创新	中	可作为后续 VLA 微调或任务数据扩展

政策环境方面，2025 年政府工作报告将具身智能列为需培育的未来产业之一，为场景示范和产业协同提供了方向性支持，但政策支持不能替代客户付费验证。[3]

4. 典型布展 workflow

阶段	人工工作	机器人任务	数据沉淀
1. 入场	确认作品、空间和责任边界	扫码、场景扫描、风险分级	资产 ID、空间图、授权记录
2. 开箱	检查包装和作品状态	辅助抬升、拍照、缺陷比对	初始状态、重量、抓取禁区
3. 搬运	规划路径和人员站位	低速搬运、动态避障	轨迹、净空、接管事件
4. 对位	确定中心、高度和水平	托举、中心对位、水平校正	位姿、力矩、误差曲线
5. 安装	钻孔、挂接、最终确认	保持稳定、工具递送、二次检查	授权点、安装结果
6. 巡检	展前复核	位置、倾斜、遮挡和环境检查	对比图、异常工单
7. 撤展	拆卸、清点和交接	托举、回箱、交接留痕	全周期审计记录

产品边界：第一代机器人不负责不可逆墙面自主钻孔，不在无人监督下搬运一级藏品，不直接抓取无框油画、古籍或脆弱陶瓷。机器人先承担可恢复、可撤销、可量化的辅助环节。

5. 任务族、状态空间与成功／失败条件

核心状态向量可表示为：机器人位姿、艺术品位姿、目标位姿、关节位置与速度、末端力／力矩、与墙面和人的净空、资产 ID、风险等级及人工授权状态。动作空间包括底盘速度、举升高度、机械臂目标、夹具状态、暂停与请求人工确认。

任务	输入	成功条件	主要失败条件
T1 展厅扫描	空展厅、平面图	厘米级地图与可通行区生成	漏检障碍、定位漂移、资产错配
T2 箱体搬运	标准包装箱、目标区	无碰撞到达且冲击未超限	碰撞、倾覆、冲击或滑移超限
T3 画作对位	标准画框、墙面目标位姿	中心≤20mm、倾斜≤1°并保持 1 秒	误差超限、失稳、力控超限
T4 挂装辅助	挂轨、挂钩、画框	人工确认后稳定挂接	脱钩、墙面碰撞、越权执行
T5 展后巡检	基准图、现场图像	识别位移、倾斜与遮挡	漏报或误报超阈值

MVP 主任务 T3 “标准画框托举与对位”。它能同时验证场景建模、位姿控制、力控接口、成功判定、数据日志和人机协作边界。

6. 机器人本体与专用末端工具

首代建议采用轮式复合机器人，而不是双足人形。画廊地面通常平整，轮式平台在稳定性、载重、续航和成本上更符合低振动、高价值物品操作需求；人形兼容性可以作为后续平台策略。

模块	建议规格	投资判断
移动底盘	室内低速、差速/全向、冗余急停	优先成熟供应链，不自研低价值底盘
举升机构	覆盖 0.6-2.2m 中心高度，机械锁止	托举稳定性高于外形拟人化
双臂/协作臂	力矩感知、低速协同、可遥操作	先做支撑和工具协作
感知	RGB-D、激光、IMU、力/力矩	形成可审计状态证据

模块	建议规格	投资判断
末端工具	托盘、软夹、真空辅助、挂轨工具	专用工具库是重要工程壁垒
安全	安全 PLC、制动、软限位、电子围栏	必须独立于大模型策略

7. MT Lambda 技术架构

培训资料展示了 MT Lambda 软件栈、Lambda Sim、USD workflow、MUSA、S5000、cuRobo MUSA 版本、PathFlow 和多物理场参考。项目拟按“场景资产—任务定义—数据生成—训练评测—部署日志”组织，具体组件和版本以复赛适配镜像为准。

层级	拟用组件	项目功能
场景层	USD、Lambda Render	展厅、展墙、作品、灯光和材质资产
物理层	Lambda Sim／MuJoCo 参考	刚体接触、关节、力控和碰撞
规划层	cuRobo MUSA／PathFlow 参考	无碰路径、对位轨迹、约束检查
数据层	合成数据 pipeline	域随机化、专家轨迹和失败样本
训练层	S5000／MUSA	模仿学习、RL 或 VLA 微调
评测层	RoboTwin 式协议	任务成功率、有效数据率和复现性
安全层	独立策略与人工确认	风险分级、暂停、接管和审计

8. USD 画廊场景与数字资产体系

OpenUSD 适合把几何、材质、灯光、物理和资产引用组织在层次化场景中，并支持资产组合和非破坏性覆盖。[6] 对本项目而言，USD 资产应与艺术品业务元数据分离：仿真使用几何与材质代理，真实作品身份和估值不进入公开训练集。

资产类	首期范围	随机化参数	合规策略
展厅	白盒空间、转角、门、电梯	尺寸、光照、障碍、地面摩擦	自建或获授权
展墙	石膏板、木作、挂轨	高度、厚度、纹理、反射	程序化生成
画作	标准有框平面作品	尺寸、重量、重心、框材	公共领域/合成纹理
包装	木箱、航空箱、软包	把手、摩擦、标签位置	去品牌化
机器人	轮式底盘、举升、双臂	质量、摩擦、延迟、传感噪声	自有或合规模型
人员	技师站位与安全区	位置、速度、接近方向	合成人体代理
演示资产	高精度画框、挂画与画廊家具	位置、尺度、材质与灯光	Poly Haven CC0 许可

9. 专家轨迹与合成数据生成

数据工作与算法工作应并列推进。培训材料明确指出，任务定义 / 数据和模型成功率分别代表两类同等重要的工作。首期目标不是追求轨迹数量最大化，而是提高“有效轨迹率”和失败样本覆盖。

数据来源	用途	质量门槛
脚本专家	生成基础无碰轨迹	任务约束完整、终态达标
遥操作示教	捕捉人类微调与接管策略	时间同步、力控和授权点完整
域随机化	覆盖尺寸、质量、摩擦和光照变化	随机种子可追踪
对抗失败样本	训练异常检测和安全停止	失败原因标签唯一、可复现
真实试点回放	校准仿真分布	脱敏、客户授权、只记录必要字段

有效合成数据率定义为：通过格式、完整性和任务约束检查的有效轨迹数 ÷ 总生成轨迹数。它与模型任务成功率必须分别报告。

10. 模型训练、推理与人类接管

模型路线不限定 VLA。首期可采用轨迹优化或规则控制生成专家数据，以模仿学习形成基础策略，再用离线 RL 或安全约束 RL 改善鲁棒性；视觉-语言-动作模型用于理解自然语言指令和跨作品迁移，但不能绕过独立安全层。

自主等级	机器人权限	人工职责	准入条件
L0 记录	扫描、拍照和日志	全程操作	无接触风险
L1 辅助	托举、投线、保持	决定路径和安装	低速、可立即停止
L2 半自主	标准任务规划与执行	审批高风险动作、可接管	仿真和试点达标
L3 受限自主	封闭展厅内多任务	远程监督	认证、保险和长期运行数据

安全原则 大模型只能提出动作候选；安全 PLC、速度/力限制、电子围栏、急停和人工授权拥有最终执行权。

11. RoboTwin 式评测协议

RoboTwin 2.0 公开 50 个双臂操作任务，并提供不同本体上的数据与成功率基线。[4] ArtHandler 采用同类“任务代码 + 资产 + 数据 + 评测”工程结构，形成面向高价值物品操作的专用任务基准；核心任务为自主对位（Autonomous Alignment）与稳态保持（Steady-state Hold）。

指标	定义	首期门槛	报告方式
任务成功率	满足全部终态与安全约束的回合比例	仿真≥90%	随机种子与分组结果
有效数据率	有效轨迹数/总生成轨迹数	≥70%	格式与任务检查日志
中心误差	作品中心与目标中心欧氏距离	≤20mm	终态和稳态 P95
水平误差	作品相对目标的倾斜角	≤1°	终态和稳态 P95

指标	定义	首期门槛	报告方式
安全事件	碰撞、越界、急停或力控超限	0 严重事件	事件分级与回放
人工接管率	需要人类接管的回合比例	持续下降	按任务难度分层
复现率	独立环境按文档运行成功比例	≥95%	干净镜像复跑

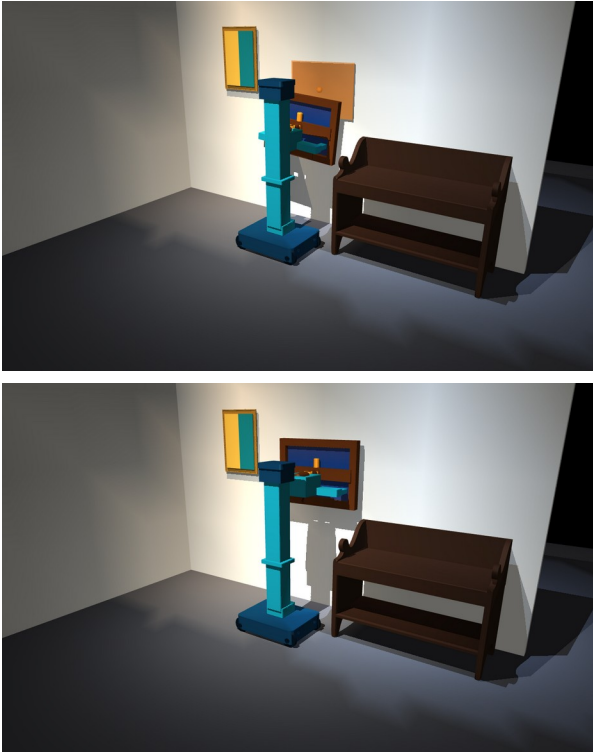


图 1 ArtHandler 画廊产品数字样机：初始偏移（左）与自主对位完成（右）。场景采用 CC0 高质量画框与家具资产。

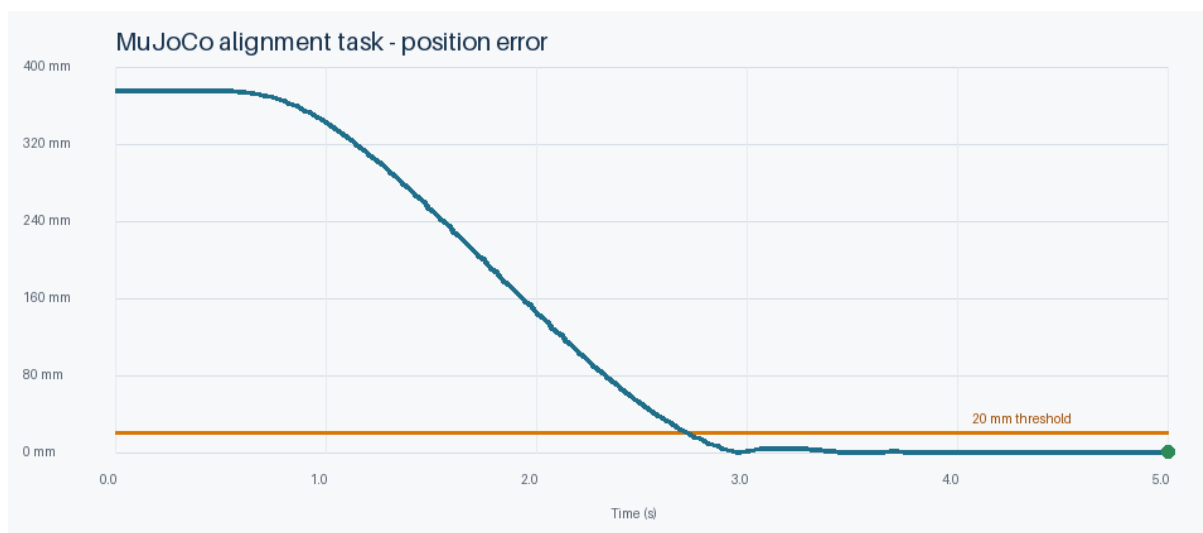


图2 对位中心误差随时间变化；橙线为 20 毫米成功阈值。

运行	MuJoCo	最终中心误差	稳态 P95	最终倾斜	结果
产品数字样机	3.3.4	0.058 mm	0.340 mm	0.00002°	通过

工程成果：数字样机已贯通场景资产加载、举升与水平对位、稳态保持（Steady-state Hold）、力／力矩监控（Force/Torque Monitoring）、运行日志、结果回放和阈值判定；下一代直接接入 RGB-D 位姿估计、安全控制器与赛方 MT Lambda 镜像。

12. Sim2Real 迁移策略

培训文档给出的 BPX 示例使用 Mjlab 1.2.0、Warp 1.12.1、MuJoCo Warp 3.6，并提出通过质量修正缩小 Sim2Real 差异。本项目不直接使用 BPX 作为画作操作本体，但借鉴“质量、摩擦、执行器、延迟和传感噪声显式建模”的迁移方法。

1. 参数辨识：测量本体质量、关节摩擦、举升刚度、控制延迟和载荷重心。
2. 域随机化：质量±15%、摩擦±25%、视觉噪声、网络延迟和地面不平。
3. 分级载荷：空载→配重→低价值复制品→客户授权作品。
4. 硬件在环：在真机控制器上回放仿真指令，检查限位和急停。

5. 真机验收：每个风险等级至少 3 次重复，记录成功率和 Sim-Real gap。

13. 数据、版权与艺术品安全合规

画廊场景同时涉及艺术品图像版权、客户隐私、作品价值信息、场地安全和事故责任。数据合规不能等到模型训练后补做，而应在资产命名、采集授权和日志字段设计阶段固化。

风险域	控制措施	禁止事项
版权	公共领域/自有/获授权纹理；保存许可链	未经许可公开作品高清图
客户数据	资产 ID 脱敏、最小字段、分级访问	把估值和藏家信息写入公开数据集
安全	ISO 12100 风险评估；参考服务机器人安全体系	以模型输出替代独立安全控制
审计	视频、力控、指令、接管和授权日志	修改或删除事故原始日志
责任	人机权限矩阵、保险、客户验收和事件响应	未确认责任边界即操作高价值作品

ISO 31101:2023 覆盖非结构化人类空间中的服务机器人应用安全管理；ISO/FDIS 13482 正在扩展至个人和专业/商业服务机器人。项目应在产品阶段持续跟踪标准状态，并由专业机构完成适用性判断。
[7][8][9]

14. 商业模式与市场空间

商业模式优先采用 RaaS 与项目服务组合。单体小画廊的购买频次和预算不足以支撑重资产销售，首批渠道应是艺术物流商、展陈服务商、艺博会运营方和大型机构客户，它们具备更高的任务密度和跨客户调度能力。

收入	计费方式	客户价值
机器人租赁	3.5 万-6 万元/月	将硬件资本开支转为项目成本
单次布展	按作品、工时和风险等级	快速试用，无需长期采购

收入	计费方式	客户价值
软件订阅	场景、任务、档案和审计	复用策展数据与责任留痕
专用工具	销售、租赁和耗材	适配不同画框、包装和展墙
认证/保险协同	安全评估与保单服务	降低高价值操作的不确定性

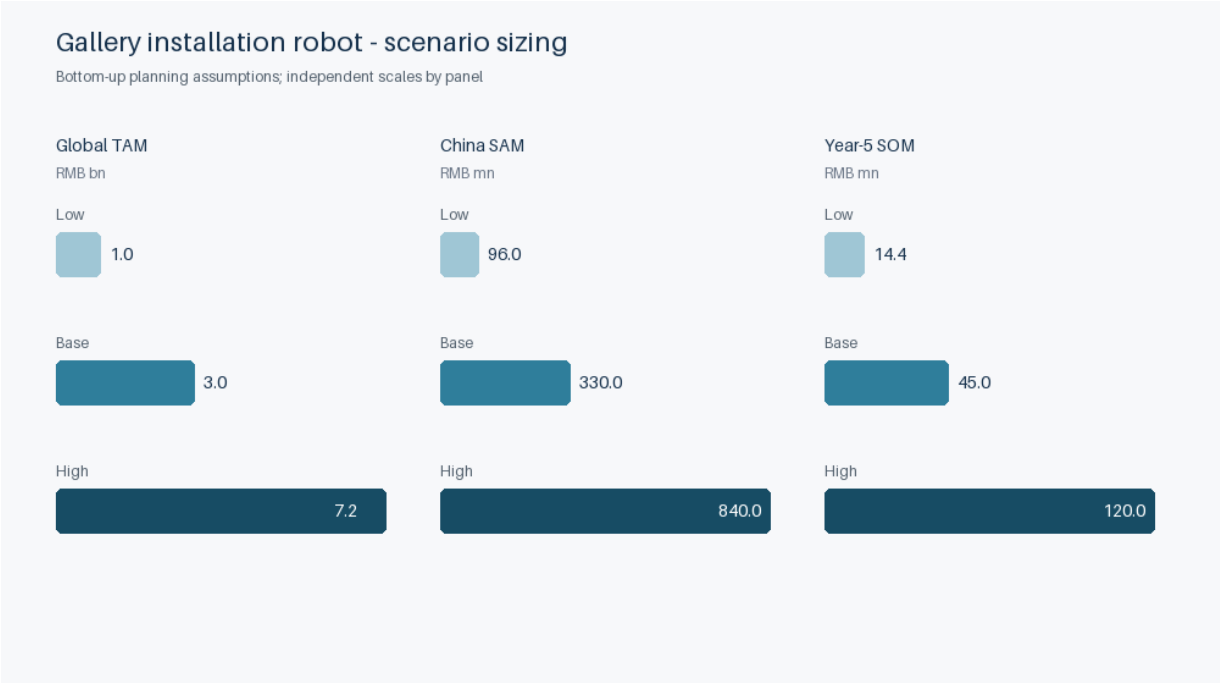


图3 画廊布展机器人机会的低/中/高情景。各面板量纲独立，全部为规划假设。

口径	低情景	基准情景	高情景
全球 TAM 年支出池	9.6 亿元	30 亿元	72 亿元
中国 SAM 年支出池	0.96 亿元	3.3 亿元	8.4 亿元
第 5 年 SOM 收入	0.144 亿元	0.45 亿元	1.2 亿元

测算方法：全球 TAM=可服务机构数×机构年机器人相关支出；中国 SAM 使用中国可服务机构数；第 5 年 SOM=活跃客户数×单客户年收入。模型采用低／基准／高三组透明参数，并以客户访谈和试点利用率滚动校准。

15. 单位经济与融资规划

情景	设备成本	单台年收入	单台贡献利润	静态回收期
低	55 万	29.5 万	13.5 万	48.9 个月
基准	45 万	50.0 万	38.0 万	14.2 个月
高	38 万	67.0 万	58.0 万	7.9 个月

低情景回收期接近 49 个月，说明设备利用率和人工服务负担是首要商业风险；基准情景约 14.2 个月，但只有在 8.4 个可计费月、软件服务收入 8 万元且年度可变成本 12 万元的假设下成立。

建议融资 种子轮 2,000 万-3,000 万元，覆盖 18 个月：45%系统工程与安全，20%场景/数据，15%试点运营与保险，10%算力，10%营运资金。下一轮以重复任务成功、付费试点和人工接管下降为前提。

16. 两阶段交付路线图

阶段	周期	核心交付	决策门槛
第一阶段：方案	0-3 个月	任务定义、USD 资产规范、数据/评测方案、产品数字样机	方案可执行、IP 清晰、资源预算可信
第二阶段 A：任务数据	3-8 个月	MT Lambda 任务、生成脚本、示例数据、评测和复现文档	有效数据率≥70%、复现率≥95%
第二阶段 B：策略验证	6-12 个月	基线策略、随机种子评测、失败分析	仿真成功率≥90%、严重事件为 0
真机试点	9-18 个月	复制品和低风险作品、多客户试点	≥300 任务、人工接管持续下降
商业扩展	18-36 个月	艺术物流、博物馆、奢侈品展陈	非画廊收入≥30%

17. 风险、备选路径与投资否决项

风险	早期信号	缓释与备选
市场过窄	单体画廊只看演示不付费	转向物流商、展陈服务商和机构客户
事故风险	力控超限、越权或日志缺失	分级载荷、独立安全层、保险和审计
自动化幻觉	Demo 成功但随机化失败	随机种子、失败集和复现测试
服务过重	每台仍需两名工程师	标准工具、远程监督和工时指标
硬件成本	回收期超过 24 个月	共享设备池、成熟部件和租赁
平台适配	MT Lambda 组件能力与预期不一致	以赛方镜像为准，保留 MuJoCo 基线
数据合规	许可链和客户授权不完整	资产准入清单和数据出境/共享审批

投资否决项 以人形外观替代任务价值；无事故责任和保险方案；每个场地需重新编程；没有付费客户；训练数据许可不清；三年后仍局限于画廊挂画。

18. 附录：资源预算、组件清单、资产清单和评测表

18.1 资源预算

工作包	S5000 规划	存储	产出
环境与场景验证	1 卡×7 天=168 卡时	0.5TB	基础镜像、场景与任务跑通
合成数据生成	2 卡×14 天=672 卡时	2-5TB	目标 2 万条轨迹
基线评测	1 卡×7 天=168 卡时	0.5TB	随机种子和分组报告
25%机动	252 卡时	按需	算子、重跑和故障缓冲

工作包	S5000 规划	存储	产出
合计	约 1,260 卡时	3-6TB	以赛方实际资源为准

18.2 组件与资产清单

类别	首期必须	后续扩展
软件	MT Lambda 适配镜像、USD、评测脚本	VLA/RL 训练与远程运维
场景	白盒画廊、标准展墙、通道和目标位姿	艺博会展位、仓库、电梯
对象	3 种标准画框、2 种包装箱	雕塑、玻璃罩和异形装置
本体	轮式底盘+三自由度托举基线	双臂、快换工具和多机协同
数据	专家轨迹、失败轨迹、运行日志	真实试点脱敏数据

18.3 进一步问题与验证优先级

- 客户最愿意为“省人工、降事故、缩工期、可审计”中的哪一项付费？
- 标准画框和包装箱能覆盖多少真实任务量？
- 一台设备跨客户共享的调度半径和利用率上限是多少？
- 保险机构认可哪些日志、力控和人工授权证据？
- 哪一类相邻市场能最快复用同一套任务与工具？

18.4 模型口径与投资判断

本报告以公开行业数据、可服务机构口径和产品单位经济构建三情景投资模型；客户数量、任务密度、设备报价和利用率将在付费试点中持续校准。MT Lambda 组件版本按赛方复赛镜像锁定，安全标准适用性纳入专业认证流程。

18.5 核心术语中英对照 / Bilingual Terminology

中文术语	English Term	中文术语	English Term
具身智能	Embodied Intelligence	产品数字样机	Product Digital Twin Prototype
核心闭环	Core Closed Loop	自主对位	Autonomous Alignment
稳态保持	Steady-state Hold	力／力矩监控	Force/Torque Monitoring
合成数据	Synthetic Data	域随机化	Domain Randomization
仿真到现实	Simulation-to-Reality / Sim-to-Real	人类接管	Human-in-the-loop Takeover
硬件在环	Hardware-in-the-loop / HIL	网页物理引擎	WebAssembly Physics Runtime

18.6 参考资料

[1] Art Basel & UBS, The Art Market Report 2026：2025 年全球艺术市场销售额 596 亿美元；经销商销售额 348 亿美元；艺博会销售占经销商营业额 35%。[查看原文](#)

[2] International Federation of Robotics, World Robotics 2024：样本统计显示 2023 年专业服务机器人销量超过 20.5 万台，同比增长 30%。[查看原文](#)

[3] 2025 年政府工作报告：提出建立未来产业投入增长机制，培育具身智能等未来产业。[查看原文](#)

[4] RoboTwin 2.0 Official Documentation：公开 50 个双臂操作任务，并支持多本体数据采集与评测。[查看原文](#)

[5] MuJoCo Documentation：通用多体动力学与接触仿真引擎，使用 MJCF 描述模型。[查看原文](#)

[6] OpenUSD Documentation：支持层次化场景、资产组合、几何、材质、灯光和物理等数据表达。[查看原文](#)

[7] ISO 31101:2023：非结构化人类空间中服务机器人应用服务的管理体系要求。[查看原文](#)

[8] ISO/FDIS 13482：面向个人及专业/商业用途服务机器人的安全要求，当前为最终国际标准草案。[查看原文](#)

[9] ISO 12100:2010：机械安全风险评估与风险降低通用原则。[查看原文](#)

[10] OpenVLA Project：基于 Open X-Embodiment 轨迹训练的开源视觉-语言-动作模型。[查看原文](#)

[11] 《HiCOOL 大赛-具身赛道赛题说明 0710》；[12] 《具身赛道-培训内容-技术说明文档 0710》；[13] 《具身赛道-培训内容-运控训练文档 0710》。以上为用户提供的 2026 年 7 月 10 日培训材料。

3D 资产：Poly Haven 画框、挂画与画廊家具采用 CC0 许可；设计团队提供的 ArtHandler 可打印 STL 样机已纳入 MuJoCo 场景与网页 GLB，文件哈希分别记录于 ASSET_MANIFEST.json 和 PRINT_MODEL_MANIFEST.json。 [CC0](#)