具身智能产品经理保姆级攻略

Embodied AI Product Manager Playbook

从看懂机器人，到定义产品、验证能力、做出作品集

AI 酋长 Andy｜AIPMAndy

V1.0 · 2026-11-16 · 教学内容 CC BY 4.0

00｜新手先读

00｜新手先读：30 分钟建立学习路线

先知道一件事

具身智能不是“ 给机器人接一个聊天模型 ”。它要让 AI 在真实或仿真的物理环境中，根据传感器观察理解当前状态，规划动作，并通过执行器改变环境。动作产生新状态，系统再观察、判断和调整。

产品经理要回答：

1. 谁在什么场景下，需要机器人完成什么任务？
2. 机器人当前具备哪些能力？哪些情况做不到？
3. 需要什么硬件、传感器、模型、软件和现场条件？
4. 怎么证明它真的完成了任务？
5. 失败时谁来接管？成本是否可接受？

30 分钟完成四步

1. 选一个场景（5 分钟）

不要从“ 我要做一个通用人形机器人 ”开始。选一个任务边界清楚的场景：仓库拣选、制造上下料、酒店配送、零售补货或园区巡检。

2. 写出任务（5 分钟）

用一句话描述：在什么环境、面对什么对象、完成什么动作、达到什么结果。

例：在固定仓储工位内，机器人识别指定料箱中的目标物品，将其抓取并放入指定周转箱；发生遮挡、抓取失败或人员进入安全区时，停止或请求人工介入。

3. 拆出系统（10 分钟）

至少考虑本体、感知、智能、软件、数据和安全：

- 本体：机械臂、移动底盘、人形机器人或其他载体。
- 感知：相机、深度相机、LiDAR、IMU、力/扭矩、触觉。
- 智能：识别、定位、任务规划、运动规划、控制。
- 软件：机器人中间件、任务调度、日志、远程运维。
- 安全：急停、限速、保护区域、故障策略、人工接管。

4. 定义成功（10 分钟）

不要写“ 体验流畅 ”“ 识别准确 ”。写可测量的指标：

- 任务成功率 = 完整完成任务次数 / 有效测试任务总数
- 人工介入率 = 需要人工接管的任务数 / 总任务数
- 单次任务耗时：从任务启动到完成
- 运行可用率 = 可服务时间 / 计划服务时间
- 单次成功任务成本：设备、集成、维护、耗材和人工介入成本分摊

优先学习什么

· 优先级 · 内容 · 产品经理应达到的程度 ·

· P0 · 系统架构、场景拆解、指标验收、交付 ROI · 能画图、拆任务、定义验收 ·

· P1 · 传感器、本体、ROS 2、数据闭环、VLA · 能读规格并与研发讨论 ·

· P2 · 复杂运动学推导、底层控制算法实现 · 按岗位需要深入 ·

三条路线

- AI / 互联网 PM：机器人架构 → ROS 2 → 数据与 VLA → 场景 PRD → 评测。
- 硬件 / 自动化 PM：本体与传感器 → 运动和控制边界 → 机器人学习 → 场景交付。
- 应届生 / 转行者：基础地图 → 公开数据集 → 仿真项目 → 项目复盘 → JD 定向准备。

本模块交付物

- 我的目标岗位方向：
- 我选择的场景：
- 机器人要完成的任务：
- 主要系统模块：
- 三个关键指标：
- 最大的三个风险：
- 下一周要补的能力：

下一步：01｜岗位地图（01-role-map.md）

01｜岗位地图

01｜岗位地图：具身智能产品经理到底做什么

五类岗位

A. 机器人本体 / 硬件 PM

负责机器人本体、机械结构、执行器、传感器、算力、供电、散热、可靠性、成本和量产。关键证据：产品规格书、硬件需求、成本拆解、验证计划、量产风险清单。

B. 具身大脑 / 机器人 AI PM

负责感知、任务规划、操作能力、技能库、VLA 或其他机器人策略能力。关键证据：能力地图、任务定义、数据需求、模型评测方案、能力边界报告。

C. 数据 / 遥操作 / 训练平台 PM

负责示教采集、遥操作、数据清洗、标注、数据集版本、训练任务、评测平台和模型发布工作流。关键证据：数据 Schema、采集流程、质量规则、平台 PRD。

D. 行业应用 / 解决方案 PM

负责把机器人能力落到仓储、制造、物流、酒店、零售、园区等场景。关键证据：场景调研、方案架构、POC 计划、验收报告、ROI 模型。

E. 开发者平台 / 机器人软件 PM

负责 SDK、ROS 2 生态、中间件、设备接入、仿真工具、开发者文档和应用市场。关键证据：API 设计、开发者旅程、兼容性矩阵、SDK 路线图。

能力矩阵

· 能力 · 本体 PM · AI PM · 数据平台 PM · 解决方案 PM · 开发者平台 PM ·

· 用户与场景研究 · 高 · 高 · 中 · 极高 · 高 ·

· 机械 / 电气 / 传感器 · 极高 · 中 · 低 · 中 · 中 ·

· AI / VLA / 模型评测 · 中 · 极高 · 高 · 中 · 中 ·

· 数据工程与工作流 · 中 · 高 · 极高 · 中 · 高 ·

· ROS 2 / 系统集成 · 高 · 高 · 高 · 极高 · 极高 ·

· 安全与可靠性 · 极高 · 高 · 中 · 极高 · 高 ·

· 交付与商业化 · 高 · 高 · 中 · 极高 · 中 ·

“ 高 ” 表示工作中经常需要做判断，不代表必须亲自实现底层算法。

从现有经历切入

- AI 产品经理：优先切入机器人 AI、数据平台、开发者平台。
- 智能硬件 PM：优先切入本体、传感器、系统集成。
- B 端产品 / 解决方案：优先切入行业应用和场景交付。
- 研发工程师：优先切入技术产品、平台产品或本体产品。
- 应届生：先做可验证作品，不要只在简历写“ 关注具身智能 ”。

JD 关键词识别

· JD 关键词 · 可能对应的工作 ·

· 具身大脑、VLA、世界模型 · AI 能力产品 ·

· 遥操作、数采、模型训练、评测 · 数据与训练平台 ·

· 本体、关节、灵巧手、传感器 · 硬件与机器人系统 ·

· 导航、动作、操作、安全 · 机器人能力与整机产品 ·

· POC、场景方案、招投标、交付 · 行业解决方案 ·

· ROS 2、SDK、开发者生态 · 软件平台 ·

· BOM、量产、供应链、可靠性 · 硬件产品化 ·

本仓库 sources/market-jd-snapshot.md 收录了智元、小鹏、珞石、缤果万境等公开招聘样本。

重要： 岗位名称不等于岗位职责。投递前必须逐条核对最新 JD、工作地点、学历经验要求和团队实际分工。

下一步：02｜机器人基础（02-robotics-101.md）

02｜机器人基础

02｜机器人基础：先看懂机器人

机器人和纯软件产品的根本差异

软件产品主要处理信息状态；机器人还要对物理世界施加动作。动作会改变物体位置、接触状态、人的行为和现场安全。因此必须考虑环境不确定性、物理约束、实时性、失败代价和运维成本。

常见机器人类型

· 类型 · 典型任务 · 常见关键能力 ·

· 工业机械臂 · 焊接、搬运、装配、拣选 · 精度、负载、重复定位、节拍 ·

· 协作机器人 · 人机共享工位辅助作业 · 安全、易部署、易编程 ·

· AMR / AGV · 仓储搬运、厂内物流 · 定位、导航、避障、调度 ·

· 四足机器人 · 巡检、复杂地形移动 · 平衡、越障、感知、续航 ·

· 人形机器人 · 面向人类环境移动与操作 · 全身协调、灵巧操作、稳定性 ·

· 服务机器人 · 配送、清洁、导览 · 人机交互、导航、可靠性 ·

· 特种机器人 · 高危或极端环境作业 · 环境适应、遥操作、可靠性 ·

“ 人形 ” 是一种形态，不自动代表更高商业价值。产品定义应从任务、环境和成本出发。

机器人主要部件

- 结构件：机身、连杆、底盘、支架、外壳。
- 运动部件：电机、减速器、关节、驱动器、制动器。
- 末端工具：夹爪、吸盘、灵巧手、专用工具。
- 传感器：相机、深度相机、LiDAR、IMU、编码器、力/扭矩和触觉。
- 计算与通信：主控、边缘计算、网络、总线。
- 能源与散热：电池、电源管理、散热结构。
- 安全部件：急停、限位、保护装置、状态指示。

产品经理要懂的关键参数

· 参数 · 通俗解释 · 为什么影响产品 ·

· DOF（自由度） · 可独立控制的运动维度 · 影响动作灵活性、复杂度和成本 ·

· Payload（负载） · 能安全搬运的重量 · 决定可处理物品范围 ·

· Reach（工作半径） · 能触及的空间范围 · 决定工位布局和任务覆盖 ·

· Accuracy（绝对精度） · 到达目标位置有多准 · 影响精密任务 ·

· Repeatability（重复定位精度） · 多次回到同一位置的一致性 · 影响重复作业质量 ·

· Cycle Time（节拍） · 完成一次任务需要多久 · 影响产能与 ROI ·

· Torque（扭矩） · 产生转动的能力 · 影响负载、速度和动作能力 ·

· Uptime（运行可用率） · 能提供服务的时间比例 · 影响真实产能和客户信任 ·

不要把“精度”和“重复定位精度”混为一谈，也不要把实验室参数直接当成客户现场性能承诺。

规格评审五问

1. 参数是在什么测试条件下得到的？

2. 是峰值、额定值还是长期连续运行值？

3. 是否包含工具、线缆、夹具和安全冗余？

4. 环境变化会怎样影响性能？

5. 出现异常时，系统会停止、降级还是继续执行？

练习

任选一款机械臂或人形机器人，整理其形态、任务、自由度、负载、工作空间、传感器、计算平台、软件接口和安全设计。只写官方资料能核实的信息；缺失参数标注“未公开”，不要猜。

03｜系统架构

03｜系统架构：机器人如何感知、思考和行动

一张系统地图

```
用户任务 / 上层业务系统
      |
      v
任务理解与任务规划
      |
      v
技能 / 行为编排
      |
      v
运动规划与轨迹生成
      |
      v
底层控制器与执行器 ------&gt; 机器人动作
      ^              |
      |              v
状态估计 / 世界状态 &lt;------ 传感器观察

数据闭环：采集 → 清洗 → 训练 → 评测 → 部署 → 反馈
安全机制贯穿全链路：急停、限速、保护区、故障检测、人工接管
```

这是一张教学抽象图。真实架构会因机器人形态、任务、实时性和供应商而不同。

六个关键环节

1. 感知（Perception）：把相机、深度相机、LiDAR、触觉等信号转成物体类别、位置、姿态、障碍物和人体位置等信息。

2. 状态估计（State Estimation）：融合传感器和运动信息，估计机器人自身及周围环境状态。

3. 任务规划（Task Planning）：把目标分解为子任务，例如找到目标箱、移动到工位、识别、抓取、放置、检查。

4. 运动规划（Motion Planning）：计算机器人如何移动关节或底盘，避开障碍并到达目标状态。

5. 控制（Control）：让执行器按照期望轨迹或力 / 位置目标运动，并处理反馈误差。

6. 执行与反馈：动作结束后确认任务结果，而不是认为“指令发出即成功”。

ROS 2：产品经理至少要懂的接口语言

ROS 2 是机器人软件系统中常见的中间件与工具生态。产品经理不一定自己写节点，但要理解模块如何交换信息。

· 机制 · 类比 · 典型用途 ·

· Node（节点） · 一个职责清晰的软件单元 · 相机驱动、定位、控制 ·

· Topic（话题） · 持续广播的数据流 · 传感器数据、机器人状态 ·

· Service（服务） · 快速请求 / 响应 · 查询状态、设置参数 ·

· Action（动作） · 可反馈、可取消的长任务 · 移动到目标点、执行抓取 ·

· Parameter（参数） · 可配置项 · 速度上限、算法参数 ·

· TF / 坐标变换 · 部件之间的位置关系 · 相机、底盘、机械臂坐标转换 ·

· URDF · 机器人结构描述 · 关节、连杆和几何关系 ·

“ 移动到货架 ” 是一个可能持续数秒或数分钟的动作，需要反馈进度、允许取消、处理失败并返回最终状态。不要只设计一个 “ 已发送 ” 状态。

产品经理如何参与系统设计

- 每个模块的输入和输出是什么？
- 哪个模块是数据源，哪个模块消费数据？
- 数据时间戳、频率、坐标系和单位是否一致？
- 延迟、丢帧、网络断连如何处理？
- 模块失败后系统进入什么状态？
- 哪些动作必须被安全机制拦截？
- 如何通过日志复现问题？

练习

选择 “ 机械臂抓取指定物品 ”，画出相机、识别、定位、规划、控制、夹爪、状态反馈、安全机制之间的关系，并给每条箭头标注数据或命令。

04｜本体与传感器

04｜本体与传感器：机器人身体的产品语言

机器人本体不是一个外壳

拆成可讨论的模块：结构件、运动部件、末端工具、感知部件、计算与通信、能源与散热、安全部件。

传感器怎么选

· 传感器 · 能提供什么 · 常见限制 ·

· RGB 相机 · 颜色、纹理、外观 · 光照、遮挡、深度不直接 ·

· 深度相机 · 距离与三维形状线索 · 反光、透明材质、量程 ·

· LiDAR · 距离测量与环境几何 · 细小物体、材质、视场和遮挡 ·

· IMU · 角速度、加速度 · 漂移、振动、需要融合 ·

· 编码器 · 关节或轮子的运动反馈 · 不能直接说明外部物体状态 ·

· 力 / 扭矩传感器 · 接触力和力矩 · 安装位置、量程、噪声和标定 ·

· 触觉传感器 · 接触位置、压力分布等 · 成本、耐久性、数据解释复杂 ·

选择传感器时，不要问“ 哪个最先进 ”，而要问“ 这个任务需要观察什么、误差容忍多少、在什么环境下工作 ”。

产品规格必须和场景绑定

抓取软包装与抓取金属零件，需求可能完全不同：夹持力、接触面积、物体尺寸重量、表面摩擦、抓取姿态、容错和是否需要触觉或力反馈。

现场约束清单

- 地面平整度、坡度、缝隙、台阶
- 光照变化、逆光、反光、灰尘
- 网络覆盖、时延、断网策略
- 物体尺寸、重量、材质、摆放随机性
- 人员密度、动线、作业时段
- 充电位置、维护空间、备件
- 清洁、防水、防尘、温湿度
- 设备安装、校准、换型时间

规格评审必问

参数测试条件是什么？额定负载是否包含工具和线缆？连续运行是否会过热或降速？传感器失效时能否安全停止？更换工具、重新标定需要多久？关键部件是否有寿命、维护周期和备件策略？

练习

选一个目标场景，写出“ 任务 → 需要观察的信息 → 需要的传感器 → 关键规格 → 失效后果 ”。这张表比罗列传感器名词更有价值。

05｜机器人智能

05｜机器人智能：感知、规划、控制与 VLA

不要把所有 AI 能力都叫“ 大脑 ”

- 感知（Perception）：我看到了什么、它在哪里、状态如何。
- 定位与建图（Localization / Mapping / SLAM）：机器人在哪里、周围环境是什么样。
- 任务规划（Task Planning）：为完成目标，先做什么、后做什么。
- 运动规划（Motion Planning）：关节或底盘怎样移动才可行。
- 控制（Control）：怎样让实际运动跟上目标。
- 学习策略（Policy）：给定观察或状态，输出动作或动作分布。

VLM、VLA 与传统机器人模块

- VLM（视觉语言模型）：处理图像和语言，理解图像内容与指令。
- VLA（视觉-语言-动作模型）：将视觉、语言和机器人动作联系起来，目标是从观察和指令生成动作或动作序列。
- 机器人策略模型：在特定状态、动作空间和机器人配置下输出控制行为。
- 传统规划与控制：在几何、动力学和实时约束下计算可执行运动。

这些技术可以组合，不是互相完全替代。即使有 VLA，也通常需要状态估计、底层控制、安全监控、动作执行和结果验证。

模型产品经理要问的 10 个问题

1. 模型输入有哪些：图像、深度、关节状态、语言指令、历史动作？
2. 模型输出是什么：离散动作、连续控制量、动作块还是高层技能？
3. 支持哪种机器人形态、关节配置和末端工具？
4. 支持哪些任务和物体类别？
5. 在新环境、新物体、新光照下表现如何？
6. 推理延迟和控制频率是否满足系统要求？
7. 失败时如何检测、停止、恢复或请求人工？
8. 训练数据的来源、许可和质量如何？
9. 如何区分模型、数据、硬件和集成问题？
10. 模型升级后如何回归测试，如何回滚？

三种常见学习方式

- 模仿学习（Imitation Learning）：从人类示范或已有轨迹学习动作。
- 强化学习（Reinforcement Learning）：通过奖励和交互优化策略。
- 遥操作（Teleoperation）：人远程控制机器人完成示范或接管，可用于数据采集和异常处理。

一个产品判断

模型在演示视频里成功一次，不代表产品能力已经成立。继续问：任务成功率是否稳定？对环境变化是否鲁棒？能否识别失败？能否安全停止？能否在客户现场重复运行？每次成功任务的总成本是多少？

06｜数据闭环

06｜数据闭环：遥操作、采集、训练、评测、部署

为什么数据是具身智能的重要基础设施

机器人学习依赖的不只是文字和图片，还包括动作、关节状态、传感器时间序列、机器人形态和任务结果。数据质量会影响模型能学到什么、能否复现和能否迁移。

典型闭环

定义任务与成功标准
↓
遥操作 / 人类示范 / 仿真生成
↓
采集视频、状态、动作、时间戳
↓
数据同步、清洗、标注、质检
↓
数据集版本与训练集划分
↓
训练 / 微调策略
↓
离线评测 + 仿真评测
↓
受控真实机器人测试
↓
部署、监控、故障归因
↓
补充数据与下一轮迭代

一条示教数据要考虑什么

· 数据项 · 例子 · 为什么重要 ·

· episode_id · demo_0001 · 唯一标识一段任务 ·

· timestamp · 时间戳 · 对齐多传感器与动作 ·

· task_instruction · “ 把红色方块放入盒中 ” · 明确任务语义 ·

· observation · RGB / depth / sensor · 描述机器人看到什么 ·

· robot_state · 关节位置、速度等 · 描述机器人当前状态 ·

· action · 目标动作或控制量 · 描述机器人做了什么 ·

· embodiment · 机器人型号与配置 · 说明数据来自哪种本体 ·

· success_label · 成功 / 失败 / 部分完成 · 支持评测与分析 ·

· environment · 场景、光照、物体布局 · 说明数据分布 ·

具体 Schema 应跟随所用平台、机器人和模型要求，不要把这张表当作所有项目的强制标准。

数据质量检查

- 视频是否模糊、过曝、遮挡？
- 传感器时间戳是否同步？
- 机器人状态是否缺失或异常？
- 动作是否超出安全范围？
- 指令与实际演示是否一致？
- 成功 / 失败标签是否可信？
- 数据是否覆盖不同物体、位置、光照和干扰？
- 训练集和测试集是否存在数据泄漏？
- 数据来源、授权、隐私和保留期限是否清楚？

LeRobot：适合入门的开源入口

LeRobot 官方文档提供机器人控制接口、数据集工具、策略模型和仿真教程，工作流可概括为 Teleoperate → Record → Train → Deploy。没有实体机器人时，也可以先查看公开数据集、训练现有数据、使用仿真基准和免费 Notebook。

Google DeepMind 的 Open X-Embodiment 研究展示了跨本体数据的价值：该数据集汇集 22 种机器人形态的数据，覆盖 500 多种技能、15 万个任务和超过 100 万个 episode。它是理解 “ 多机器人数据如何支持泛化研究 ” 的重要公开案例；不要把论文中的研究结果直接当成任意商业机器人上的性能承诺。来源：Google DeepMind 原文（https://deepmind.google/blog/scaling-up-learning-across-many-different-robot-types/）。

实践：

1. 打开 LeRobot 官方文档（https://huggingface.co/docs/lerobot/main/index）。
2. 先看数据集可视化，理解视频、状态和动作如何对应。
3. 再读数据集格式和模仿学习教程。
4. 对照自己的目标场景，设计一份数据采集需求。
5. 写清楚数据质量门槛和失败标签。

数据平台 PM 的关键指标

有效数据占比、单条有效示教采集成本、数据同步失败率、标注一致性、数据集覆盖度、从采集到可训练的周期、新数据带来的评测增益、数据问题导致的训练失败率。

不要把 “ 采集了多少小时视频 ” 当作唯一产出。真正重要的是有多少数据可用于训练、评测和问题定位。

07｜仿真与 Sim-to-Real

07｜仿真与 Sim-to-Real

为什么要仿真

真实机器人测试可能昂贵、慢、有安全风险，而且难以大量复现边界情况。仿真可以帮助团队验证任务流程和系统接口、批量生成训练或评测场景、测试边界条件、复现问题，并在接触真实硬件前筛掉明显不可行的方案。

但仿真不是现实的完整替代。

Sim-to-Real 是什么

Sim-to-Real 指把在仿真环境中训练或验证的策略迁移到真实机器人。迁移可能受以下因素影响：

- 物理参数差异：摩擦、质量、惯量、弹性、接触。
- 传感器差异：噪声、延迟、分辨率、视角。
- 执行器差异：响应速度、死区、温度和磨损。
- 环境差异：光照、材质、布局、人类行为。
- 系统差异：算力、通信、调度和实时性。

常见验证策略

1. 仿真单元测试：验证任务逻辑和接口。
2. 仿真压力测试：扩展物体位置、光照、障碍和噪声。
3. 软件在环（SIL）：在软件环境中验证逻辑。
4. 硬件在环（HIL）：把真实控制硬件或关键部件接入测试链路。
5. 受控实机测试：在安全、受控的现场验证。
6. 现场试点：在真实业务流程中观察长期稳定性和经济性。

NVIDIA Isaac Lab 能做什么

NVIDIA 将 Isaac Lab 定位为用于机器人策略训练与优化的开源模块化框架，支持模仿学习、强化学习和多种仿真后端，可用于快速原型、训练、评估以及面向真实部署的工作流。

官方入口：Isaac Lab（https://developer.nvidia.com/isaac/lab） · 文档（https://docs.nvidia.com/isaaclab/isaac-lab）

产品经理如何写仿真需求

不要只写“搭建一个仿真环境”。至少说明：仿真要回答哪个产品问题？机器人本体和传感器模型是什么？场景变量有哪些？需要模拟哪些失败条件？评测输出哪些指标？哪些结果可以用于决策，哪些必须实机验证？

仿真结果的证据等级

· 证据 · 能说明什么 · 不能直接说明什么 ·

· 单次仿真成功 · 一个配置下可运行 · 真实环境可靠 ·

· 多场景仿真通过 · 对已覆盖变量有一定鲁棒性 · 未覆盖环境也能成功 ·

· 实验室实机通过 · 受控实机条件下有效 · 客户现场可规模化 ·

· 现场试点通过 · 特定现场和任务边界内有效 · 可复制到所有客户 ·

练习

为仓储抓取设计 10 个仿真变量：物体位置、姿态、遮挡、光照、夹爪偏差、相机噪声、物体材质等。定义每个变量如何改变，以及失败时记录什么。

08｜产品方法

08｜产品方法：从需求到可验收能力

先把“我要一个机器人”改写成任务

模糊需求：“我们想采购一台人形机器人，提升智能化水平。”

更好的需求：“在固定备料区域内，机器人每小时完成指定料箱的取放任务；对物体类别、尺寸、重量和工位布局设定边界；遇到人员进入、抓取失败或定位异常时，安全停止并请求人工处理。”

六步产品定义法

1. 业务目标：明确客户要改善什么：吞吐量、缺工、危险作业、质量一致性、柔性换线还是可追踪性？
2. 场景边界：定义地点、工位、物体、人员、时间、环境、上下游系统和例外情况。
3. 任务分解：把工作拆成可执行子任务，并标记前置条件、输入、输出和失败分支。
4. 能力映射：每个子任务需要哪些感知、定位、抓取、导航、规划、控制、通信和安全能力？
5. 产品方案与优先级：优先解决高频、高价值、可验证、技术可行的任务。先做窄场景，不要把“通用”当作第一版目标。
6. 验收与迭代：定义成功条件、测试集、异常处理、数据采集、回滚和下一版决策。

实用需求卡片

- 用户 / 角色：
- 场景：
- 当前工作方式：
- 真实痛点：
- 任务输入：
- 期望输出：
- 环境约束：
- 失败情况：
- 人工接管方式：
- 安全边界：
- 成功指标：
- 验收方法：
- 业务收益：
- 证据来源：

优先级不能只看用户说得急不急

可用业务价值、发生频率、用户痛苦程度、技术可行性、验证成本、风险与安全影响、可复用性等维度打分。安全和法规要求不是普通的加分项，不能因为 ROI 低就忽略。

产品路线图的正确颗粒度

- 能力路线图：从受控环境到复杂环境，从单任务到多任务。
- 场景路线图：先一个工位，再相邻工位，再扩展现场。
- 产品化路线图：样机、试点、标准化交付、规模部署。
- 平台路线图：数据、模型、工具链、设备管理和运维逐步完善。

练习

用 templates/robot-prd.md 为一个明确任务写 PRD。任何不能被测试、观察或验收的描述，都要继续拆解。

09｜场景设计

09｜场景设计：把真实工作拆成机器人任务

场景不是行业名称

“ 仓储 ”不是足够具体的场景。继续追问：哪个仓库、哪个区域？是入库、上架、拣选、分拣还是补货？物品尺寸、重量、包装和摆放方式是什么？任务频率和峰值是什么？现场人员如何协作？当前流程的瓶颈和成本在哪里？

场景拆解六层

1. 业务流程：任务在整个业务链中的位置。
2. 工作对象：物体、工具、设备、订单和人员。
3. 操作动作：移动、识别、抓取、放置、检查、交接。
4. 环境约束：空间、光照、地面、网络、温湿度。
5. 异常路径：遮挡、错放、掉落、卡住、断网、人员进入。
6. 业务结果：节拍、质量、成本、安全、可用率。

教学示例：仓储拣选工作站

目标：在固定工位内，将指定物品从输入料箱抓取并放入目标周转箱。

接收任务
→ 确认工位状态
→ 获取物品和目标位置
→ 感知目标物体
→ 选择抓取姿态
→ 规划运动路径
→ 执行抓取
→ 检查是否抓取成功
→ 移动到目标位置
→ 放置并确认
→ 回报任务结果

必须考虑：目标物被遮挡、物体不在预期位置、夹爪没有夹住、移动中滑落、周转箱已满或位置变化、人员进入保护区域、相机 / 网络 / 执行器异常。

第一版可以限定固定工位、指定物体类别和尺寸、已知料箱位置、受控照明和明确人工接管方式。不要一开始承诺任意物体抓取、任意环境泛化或全天候无人值守。

其他值得研究的场景

· 场景 · 关键问题 · 可能的验收指标 ·

· 制造上下料 · 工件定位、节拍、夹具、设备互锁 · 节拍、错放率、设备可用率 ·

· 酒店配送 · 电梯、门禁、人员、楼层交接 · 送达率、单次时长、人工介入率 ·

· 零售补货 · 货架变化、物品多样性、营业环境 · 识别率、补货完成率、接管次数 ·

· 园区巡检 · 路线、异常发现、网络和天气 · 巡检覆盖率、误报率、任务完成率 ·

· 家庭服务 · 物品多样、空间变化、人身安全 · 任务成功率、接管率、风险事件 ·

访谈用户的 12 个问题

1. 这项工作现在由谁完成？

2. 每天发生多少次？

3. 每次需要多久？

4. 哪一步最耗时、最危险或最容易出错？

5. 物体和环境有哪些变化？

6. 任务失败会造成什么损失？

7. 现场允许多大程度的人机协作？

8. 现有设备和系统有哪些？

9. 谁负责安装、维护和异常处理？

10. 试点需要哪些验收条件？

11. 如果效果不达标，如何退出或回滚？

12. 客户愿意为哪一个可量化结果付费？

若暂时无法访谈，使用公开资料并明确标注“ 桌面研究假设 ”，不要伪装成真实用户访谈。

10｜指标与验收

10｜指标与验收：不要只看演示视频

指标体系

任务结果

- 任务成功率：满足全部成功条件的任务数 / 有效测试任务总数。
- 首次成功率：无重试、无人工介入即成功的任务数 / 有效任务总数。
- 部分完成率：完成部分子任务但未达到最终目标的任务比例。
- 失败类型分布：感知、规划、控制、硬件、通信、环境、操作等原因占比。

效率与稳定性

- 单次任务耗时：建议报告 P50、P90 或 P95，而不只报告平均值。
- 吞吐量：单位时间内完成的合格任务数。
- 人工介入率：需要人工接管的任务数 / 总任务数。
- 恢复成功率：可恢复故障后成功恢复次数 / 可恢复故障次数。
- 运行可用率：可用运行时间 / 计划服务时间。
- MTBF：平均故障间隔时间；MTTR：平均修复时间。必须明确统计口径。

安全与商业

安全停机次数、危险接近或碰撞事件、保护区域触发次数、急停响应验证、未遂事件；以及单次成功任务成本、每班次有效产出、人工介入成本、部署与集成成本、维护成本、投资回收期。

安全不能只看“ 事故数为零 ”，还要主动记录危险场景、保护动作和未遂事件。

验收必须写清楚六件事

1. 测试对象：哪台机器人、哪版软件、哪套模型、哪种工具。
2. 测试场景：环境、物体、光照、布局、人员条件。
3. 测试任务：输入、步骤、成功状态。
4. 测试次数：样本数量、重复规则、无效样本如何处理。
5. 通过标准：阈值、置信范围或业务要求。
6. 失败处理：停机、重试、人工接管、记录和回滚。

示例验收表

· 测试项 · 测试方法 · 记录内容 ·

· 目标识别 · 不同位置和遮挡下重复测试 · 正确识别、漏检、误检 ·

· 抓取成功 · 不同物体姿态和材质 · 成功、滑落、夹空 ·

· 放置成功 · 不同目标位置 · 位置误差、碰撞、掉落 ·

· 任务耗时 · 记录每次开始和结束时间 · P50、P95 ·

· 人工介入 · 记录每次接管原因 · 介入率、原因分布 ·

· 安全响应 · 按安全测试规程触发保护条件 · 响应、停止状态、复位流程 ·

测试样本和阈值要由项目风险、客户要求和统计设计确定。上表不是通用合格标准。

常见坑

- 分母不一致：只统计成功案例，不统计失败任务。
- 测试集被训练数据污染。
- 把仿真成绩当作实机成绩。
- 把峰值速度当成长期节拍。
- 不记录人工接管和重试。
- 只看模型准确率，不看最终任务结果。
- 没有固定软件版本和测试环境，结果无法复现。

用 templates/evaluation-plan.md 为一个任务写验收方案。要求别人不需要猜你说的“ 成功 ”是什么意思。

11｜安全与合规

11｜安全与合规：先定义边界，再谈智能

安全不是上线前补的一张表

机器人会移动、施力、抓取、接触物体和人。安全必须进入产品需求、系统架构、测试和运维。

常见风险

碰撞、挤压、剪切、夹伤；机器人跌倒或失稳；工具或物体掉落；关节、夹爪或底盘异常运动；传感器失效或定位错误；网络断连、控制延迟、指令重复；电池过热；人员误入作业区域；软件升级回归；远程控制权限与数据风险。

产品经理要推动的安全问题

1. 危险源是什么？
2. 哪些人可能暴露在风险中？
3. 正常使用和可预见误用分别是什么？
4. 哪些条件下必须减速、停止或限制动作？
5. 急停由谁触发，触发后系统处于什么状态？
6. 传感器或通信失效时如何进入安全状态？
7. 谁能远程控制机器人？如何鉴权和审计？
8. 维修、校准、换工具时如何防止意外启动？
9. 如何记录事故、未遂事件和安全停机？
10. 谁负责风险评估和最终放行？

产品经理负责把安全要求纳入产品流程，但不能代替安全工程师、法规专家和有资质的集成方完成风险评估或合规认证。

标准阅读入口（注意适用范围）

- ISO 10218-1:2025（https://www.iso.org/standard/73933.html）：工业机器人本体的安全要求。ISO 页面说明它关注工业机器人本身，并与 ISO 10218-2 的系统集成要求衔接；有明确排除项，不能当作所有人形或服务机器人的通用标准。
- ISO 3691-4:2023（https://www.iso.org/standard/83545.html）：无人驾驶工业车辆及其系统的安全要求与验证，适用于特定类型的 AGV / AMR。ISO 页面也列出不适用情况。
- ISO 13482（https://www.iso.org/standard/83498.html）：服务机器人安全要求。ISO 页面显示第二版处于出版流程，并说明其不覆盖工业和医疗机器人；具体采用版本和生效状态必须在项目启动时复核。

不同国家、地区、行业、机器人用途和部署方式对应的法规与标准可能不同。必须由合规团队确认适用标准、认证路径和版本，不能仅凭本手册作合规结论。

安全需求示例

不要写：“ 机器人需要保证安全。 ”

应该写：

- 当安全传感器检测到保护区域被触发时，系统按已验证的安全策略减速或停止。
- 急停触发后，系统不得自动恢复危险运动；复位需满足规定条件。
- 通信中断超过定义阈值时，系统进入预定义的安全状态。
- 远程控制必须进行身份认证、权限控制和操作审计。
- 安全测试必须记录设备版本、环境、触发条件、响应时间和复位过程。

以上是需求写法示例，不是对具体设备安全等级或合规性的保证。

12｜商业化

12｜商业化：从 POC 到可持续交付

机器人商业化的难点不只是卖出设备

机器人需要进入客户现场，适配流程、空间、设备和人员。产品价值不仅取决于单机能力，还取决于安装、集成、维护、异常处理和持续运营。

客户可能不是为了“ 拥有一台机器人 ”，而是为了降低危险岗位风险、提升稳定产能、缓解重复性岗位的人力约束、降低差错返工、提高流程可追踪性或支持柔性生产。

ROI 基础框架

年度净收益 = 可验证的年度收益 - 年度运行成本

初始投入 = 机器人设备 + 工具工装 + 软件集成 + 场地改造 + 培训上线

年度运行成本 = 维护备件 + 能源耗材 + 人工监督/接管 + 软件服务 + 停机损失

简单回收期 = 初始投入 / 年度净现金收益

不要把“ 减少一个岗位 ”直接当成现金节省。需要核实排班、替代比例、人员转岗、产能变化和新增运维岗位。

POC 不能只是展示 Demo

至少约定目标场景和任务边界、客户提供的现场条件、机器人与软件版本、成功指标和测试方法、运行时段与观察周期、人工介入和异常处理规则、双方责任和数据权限、通过 / 延期 / 终止条件，以及从 POC 到正式采购的决策流程。

从 POC 到规模化的阶段门

· 阶段 · 核心问题 · 交付证据 ·

· 需求发现 · 客户痛点真实且频繁吗？ · 访谈、现场观察、基线数据 ·

· 技术可行性 · 能在边界内完成任务吗？ · 原型、仿真、初步实机测试 ·

· 试点验证 · 真实现场是否稳定、安全？ · 验收报告、异常记录 ·

· 产品化 · 能否标准安装、维护、升级？ · 标准配置、SOP、运维工具 ·

· 规模部署 · 多站点复制的成本和风险如何？ · 部署效率、可靠性、服务体系 ·

商业模式可能包括设备销售、租赁、RaaS、按任务 / 按使用量收费、软件订阅、系统集成和运维服务。每种模式都要核算设备折旧、使用率、服务成本、责任边界和现金流。

用 templates/pilot-roi.md 估算场景基线成本、机器人投入、运维成本、人工介入和回收期。所有未获得客户确认的数据必须标为假设。

13｜求职转型

13｜求职转型：把能力变成岗位证据

先选切入点，不要盲目海投

AI 产品经理

优先研究具身大脑 / VLA、数据采集与训练平台、机器人评测与仿真平台、开发者工具。需要补齐机器人系统架构、动作与控制边界、数据闭环、现场验证。

硬件产品经理

优先研究机器人本体、关节、灵巧手、传感器和整机产品。需要补齐 AI 模型能力边界、数据与仿真、机器人任务评测。

B 端产品 / 解决方案

优先研究仓储物流、工业制造、园区巡检、酒店零售。需要补齐任务拆解、系统集成、现场部署、POC 验收和 ROI。

应届生 / 留学生

不要只写“ 熟悉具身智能趋势 ”。做出可追问的项目：真实岗位 JD 分析、明确的机器人任务、系统架构图、PRD、指标与测试计划、风险和 ROI 分析、仿真或公开数据集实践记录。

简历如何写

不要写“ 对具身智能有浓厚兴趣 ”“ 熟悉人形机器人行业 ”“ 了解 VLA、ROS 2、强化学习 ”。

应该写可验证的证据：

- 基于若干公开 JD，整理出某岗位能力矩阵，并说明样本和日期。
- 针对某场景完成任务拆解、系统架构、需求规格和验收计划。
- 使用公开数据集完成数据结构分析，说明观察、动作、状态字段。
- 在仿真环境中设计测试变量，记录任务成功、失败和人工介入。
- 识别产品方案的关键成本、风险和部署前置条件。

如果只是阅读和方案设计，明确写“ 桌面研究 / 教学项目 ”，不要写成真实上线或商业落地。

作品集最少包含

项目背景与问题、用户和现场假设、任务拆解、系统架构、产品范围与非目标、PRD 和优先级、指标定义与验收计划、安全和异常处理、商业价值与 ROI 假设、复盘与未验证项。

JD 匹配评分卡

每个维度按 0 – 2 分：0 = 没有证据；1 = 理解概念或有相邻经验；2 = 有可核实项目证据。

- 用户与场景研究
- 产品规划与 PRD
- 机器人系统理解
- 软硬件协同
- AI / 数据 / 模型评测
- 安全与可靠性
- 现场交付与集成
- 商业化与 ROI
- 跨团队协作
- 英文资料阅读（如岗位需要）

总分不是录用概率，只用于找出材料缺口。不同岗位应调整权重。

申请前检查

简历中的每个项目是否能解释本人贡献？指标是否有来源和计算口径？是否区分仿真、实验室和真实现场？是否能解释技术限制、失败路径、安全边界和商业价值？是否针对岗位方向调整作品集？

14｜作品集项目

14｜作品集项目：仓储拣选工作站

项目属性：教学模拟。 用于训练场景分析、系统理解和产品交付能力，不代表真实客户部署，也不声称已经在真实机器人上完成验证。

项目目标

设计一个固定仓储工位：机器人识别输入料箱中的目标物品，将其抓取并放入指定周转箱，并对异常进行检测和处理。

1. 项目边界

第一版限定：固定工位；目标物体来自有限类别；输入和输出料箱位置已知；环境照明受控；人员进入作业区域时触发安全策略；失败时允许人工接管。

非目标：任意环境自主作业、任意物体泛化、不经验证的全天候无人值守、自动替代所有仓储岗位。

2. 用户与相关方

仓库主管关注吞吐量、稳定性和成本；一线操作员关注操作难度、异常接管和安全；IT / 自动化团队关注系统接口、网络和权限；设备维护人员关注故障诊断、备件和维修时间；采购 / 财务关注总拥有成本和回收期。

3. 主流程

1. 接收上游任务。
2. 检查工位、机器人和安全状态。
3. 获取目标物品和目标位置。
4. 感知物体位置与姿态。
5. 生成抓取候选方案。
6. 规划安全可行的运动路径。
7. 执行抓取并检查状态。
8. 移动并放置物品。
9. 检查放置结果。
10. 更新任务状态并记录数据。

4. 系统架构

上层：订单 / WMS 接口、任务调度、状态看板。

应用层：任务状态机、技能编排、异常处理。

智能层：目标检测、姿态估计、抓取策略、运动规划。

中间件：设备驱动、状态与动作通信。

控制层：关节控制、夹爪控制、安全限制。

硬件层：机械臂、相机、夹爪、控制器。

安全层：保护区、急停、异常状态处理。

数据层：视频、状态、动作、任务结果、故障日志。

5. 产品需求示例

· ID · 需求 · 优先级 · 验收方式 ·

· P0-01 · 接收并展示任务目标 · P0 · 输入任务后能显示目标物和目标箱 ·

· P0-02 · 识别限定范围内的目标物 · P0 · 在定义测试集上统计识别表现 ·

· P0-03 · 执行抓取并确认抓取状态 · P0 · 记录成功、夹空和掉落 ·

· P0-04 · 放置到指定目标区域 · P0 · 通过位置与状态检查 ·

· P0-05 · 失败时进入安全状态并记录原因 · P0 · 故障注入测试 ·

· P1-01 · 展示任务耗时和结果 · P1 · 看板与日志口径一致 ·

· P1-02 · 支持人工暂停和恢复 · P1 · 权限与状态转换测试 ·

· P2-01 · 支持更多物体类别 · P2 · 评估数据和硬件适配成本 ·

6. 关键指标

任务成功率、首次成功率、人工介入率、抓取失败率、单次任务耗时 P50 / P95、设备运行可用率、单次成功任务成本、安全停机和未遂事件。阈值需要根据客户基线、任务风险和试点数据确定，不在教学项目中编造目标值。

7. 测试矩阵

变量包括物体位置、姿态、遮挡、材质、光照、料箱状态、网络延迟、传感器异常和执行失败。每次测试记录版本、环境、任务输入、观察数据、动作、结果、失败原因、人工介入和安全事件。

8. 安全与异常

人员进入保护区域：按经验证的安全策略停止或限制动作。目标不可识别：不执行猜测性抓取，转入重试或人工确认。抓取失败：停止后续动作并记录原因。物体掉落：禁止盲目继续，重新感知并检查区域。通信异常：进入预定义安全状态，恢复前进行状态校验。

9. 商业价值假设

需要客户提供当前人工操作人数和班次、单位时间任务量、错误率和返工成本、工位运行时间、场地改造成本、设备集成和维护报价、人工接管比例与成本。所有未获得客户确认的数据必须标为假设。

10. 最终作品集交付

1 页产品摘要、1 张场景流程图、1 张系统架构图、1 份 PRD、1 份验收计划、1 份风险清单、1 份 ROI 模型、1 份项目复盘。

讲解顺序：“ 我发现了什么业务问题 → 为什么选择这个任务 → 机器人需要哪些能力 → 如何定义产品范围 → 如何证明成功 → 失败如何处理 → 商业价值如何验证。 ”

15｜面试题库

15｜面试题库：用结构化方法回答

行业与岗位认知

1. 你如何理解具身智能？

2. 具身智能和传统机器人自动化有什么区别？

3. 为什么机器人产品不能只看模型准确率？

4. 人形机器人一定比机械臂或 AMR 更有价值吗？

5. 你认为具身智能产品经理最重要的能力是什么？

6. 你会如何选择第一个商业化场景？

系统与技术理解

7. 一台机器人从接收任务到执行动作，主要经过哪些模块？

8. 感知、定位、规划和控制分别解决什么问题？

9. RGB 相机、深度相机、LiDAR、IMU 有什么区别？

10. DOF、负载、工作半径、精度和重复定位精度如何影响产品？

11. ROS 2 的 Node、Topic、Service、Action 有什么区别？

12. VLM 和 VLA 有什么区别？

13. 模仿学习和强化学习适合什么场景？

14. 为什么有 VLA 还需要底层控制和安全机制？

15. 什么是 Sim-to-Real？主要差距在哪里？

产品定义与场景

16. 客户说“我要一台人形机器人”，你怎么继续追问？

17. 如何判断一个任务适合机器人做？

18. 如何拆解一个仓储拣选任务？

19. 如何定义 MVP？

20. 如何设计机器人产品 Roadmap？

21. 如何处理算法、硬件、销售和客户的冲突？

22. 如何定义异常状态和人工接管流程？

数据与模型

23. 一条高质量机器人示教数据应包含什么？

24. 如何设计数据采集平台？

25. 如何发现训练数据分布不足？

26. 如何设计模型评测集？

27. 模型升级后如何做回归测试？

28. 仿真成功能否说明真实部署成功？

指标、安全与交付

29. 如何定义任务成功率？

30. 人工介入率为什么重要？

31. 如何设计 P50 / P95 任务耗时指标？

32. 如何做现场 POC？

33. 如何分析机器人故障？

34. 机器人安全应该在哪些阶段考虑？

35. 如何判断一个试点可以规模化？

36. 客户要求提升效率，但机器人稳定性不够，你怎么决策？

商业化与职业能力

37. 如何计算机器人项目 ROI？

38. 设备销售、租赁和 RaaS 有什么区别？

39. 机器人部署成本通常由哪些部分组成？

40. 你没有机器人行业经验，为什么认为自己能胜任？

推荐回答结构

目标：明确业务目标和成功标准。

边界：明确任务、环境、对象和限制。

方案：拆出系统能力与产品方案。

指标：定义成功、失败、效率、安全和成本。

验证：通过仿真、实验室和现场逐步验证。

取舍：说明成本、风险、进度和能力边界。

复盘：讲清证据、未验证项和下一步。

示例：客户要一台通用人形机器人

不建议回答：“ 我们可以用大模型实现通用任务。 ”

更好的回答：“ 我会先把 ‘ 通用 ’ 拆成可验证的任务集合。先确认客户的核心流程、环境和物体范围，判断是否必须使用人形形态，还是机械臂、AMR 或固定工位更经济。然后定义首批高频任务、硬件与模型能力边界、人工接管和安全策略，设计 POC 指标。只有在任务成功率、稳定性、部署成本和业务收益都得到验证后，再逐步扩展任务范围。 ”

16｜术语表

16｜术语表

· 术语 · 中文 · 通俗解释 ·

· Embodied AI · 具身智能 · 通过身体和环境交互来感知、决策和行动的智能系统 ·

· Embodiment · 具身载体 / 本体 · 智能系统运行其上的机器人形态与硬件 ·

· DOF · 自由度 · 可独立控制的运动维度 ·

· Payload · 负载 · 机器人能够承载或操作的重量 ·

· Reach · 工作半径 · 机器人能够触及的空间范围 ·

· End Effector · 末端执行器 · 夹爪、吸盘、灵巧手等直接执行任务的工具 ·

· RGB Camera · 彩色相机 · 获取颜色和纹理图像 ·

· Depth Camera · 深度相机 · 获取距离或深度信息 ·

· LiDAR · 激光雷达 · 通过激光测距感知周围几何 ·

· IMU · 惯性测量单元 · 测量角速度和加速度 ·

· SLAM · 同步定位与建图 · 一边估计位置，一边建立环境地图 ·

· Localization · 定位 · 估计机器人当前处于哪里 ·

· Perception · 感知 · 从传感器数据理解物体和环境 ·

· Motion Planning · 运动规划 · 计算可行的运动路径 ·

· Control · 控制 · 让机器人实际运动符合目标 ·

· IK / FK · 逆 / 正运动学 · 根据末端目标求关节配置 / 根据关节配置求末端位置 ·

· ROS 2 · 机器人操作系统 2 · 机器人软件通信与工具生态 ·

· Node · 节点 · 承担某一职责的软件单元 ·

· Topic · 话题 · 连续发布 / 订阅的数据流 ·

· Service · 服务 · 快速请求与响应 ·

· Action · 动作接口 · 可反馈、可取消的长任务接口 ·

· TF · 坐标变换 · 不同机器人部件坐标系之间的关系 ·

· URDF · 统一机器人描述格式 · 描述机器人连杆、关节和结构 ·

· VLM · 视觉语言模型 · 结合图像和语言理解内容 ·

· VLA · 视觉语言动作模型 · 将视觉、语言和机器人动作联系起来 ·

· Policy · 策略 · 根据观察或状态输出动作的模型或函数 ·

· Imitation Learning · 模仿学习 · 从示范轨迹学习行为 ·

· RL · 强化学习 · 通过奖励与交互优化行为 ·

· Teleoperation · 遥操作 · 人远程操控机器人 ·

· Dataset · 数据集 · 组织好的训练或评测数据 ·

· Sim-to-Real · 仿真到现实迁移 · 将仿真中训练 / 验证的策略迁移到实机 ·

· Domain Randomization · 域随机化 · 随机化环境参数以提升鲁棒性 ·

· POC · 概念验证 · 在有限范围内验证方案可行性 ·

· MTBF · 平均故障间隔时间 · 设备两次故障之间的平均时间 ·

· MTTR · 平均修复时间 · 从故障到恢复所需的平均时间 ·

· Uptime · 运行可用率 · 设备可提供服务的时间比例 ·

· RaaS · 机器人即服务 · 以订阅、租赁或按使用量方式提供机器人服务 ·