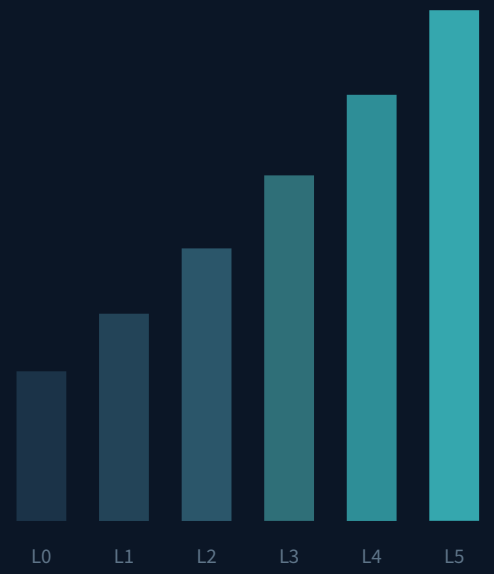
GLOBAL MANUFACTURING REVIEW • 2026

从自动化到自主化
未来黑灯工厂蓝图

From Automation to Autonomy — A Lights-Out Factory Blueprint

场景规划 • 价值优势 • 建设条件

注塑车间 | 手工装配车间 | 全自动装配车间



30 分钟评审版 • 版本 v2.0 • 2026-11-12

管理层 / 项目评审 / 区域代表

一页结论：先易后难，场景分批，条件先行

Executive summary

黑灯不是「无人」，而是「可控的无人运行」；新增三部分不改变原有结论。

愿景

稳定、透明、
自适应的制造系统

在需要时实现无人运行；
人转向异常处置与改善。

三个度量

无人时长占比
单位人工工时
人工介入频次

三车间目标（建议）

- 注塑车间 — L2 → L4
- 手工装配 — L1–L2 → L3
- 全自动装配 — L3 → L4

目标等级待基线确认；
实施顺序 = 难度顺序。

六类场景

基础 — 数字化协同

快赢 — 柔性 · 人机 · 单点无人

长期 — 自主生产 · 绿色 · 韧性

每个场景： owner · 基线 · 指标

场景分批进入，不并行铺开

今天三个决策

1. 目标等级 + 首批场景
2. 基线与试点预算
3. 业务 / 数据 / 场景 owner

90 天走到试点启动

新增：未来场景规划 · 主要优点 · 必要条件 | 原结论不变：先易后难、标准先行、先算账再立项

不是技术升级，是制造系统确定性的升级

Why now

01 **用工供给与成本压力**

区域差异显著，重复岗位招工与留人难度上升

02 **小批量、多品种、短交期**

换型频次上升，刚性产线难以消化波动

03 **质量一致性要求提升**

人工判断带来的波动，越来越难被客户接受

04 **能源与碳约束收紧**

待机能耗、废料与良率直接影响成本与合规

05 **全球多基地复制**

各区域各做一套，导致标准、数据与维护碎片化

一个判断

自动化解决「稳定重复」，
黑灯解决「变异与异常」。
不消除变异，黑灯只是把停机搬到晚上。

三条边界

- 不为黑灯而黑灯：先看场景是否值得
- 不追求全线 100% 无人：分级设定目标
- 先算账、再立项：没有基线就不上项目

黑灯不是无人，是可控的无人运行

Definition & maturity

黑灯 = 在设定时段内，无现场人工介入的连续运行。

等级不是越高越好——匹配产品、批量与投资回报，才是目标。



无人时长占比

无人干预连续运行时长 / 计划生产时长

单位产品人工工时

直接人工工时 / 合格产出

人工介入频次

干预次数 / 千件

建议目标：注塑 L4 • 全自动装配 L4 • 手工装配 L3（个别 SKU 试点 L4）| 待基线确认

三个车间，一条价值流，一套底座

One value stream, one foundation

原料入库 → **注塑** → 半成品缓冲 → **装配**
全自动 / 手工 → 成品 → 仓储

决策层	APS 高级排产 · 控制塔 · 经营看板
执行层	MES · WMS · QMS · EAM
物理层	设备 / 机器人 · AGV · 传感 / 视觉 · 能源

统一底座：数据模型 · 主数据 · 质量追溯 · OT 安全

三个车间不是三个项目，是一条价值流的三段。

三种生产逻辑，决定三种黑灯打法

Three production logics, three playbooks

维度	注塑车间	手工装配车间	全自动装配车间
生产逻辑	工艺设备密集	人力 / 柔性密集	节拍 / 连线密集
节拍由谁决定	设备	人	线体与上料
黑灯难度	中低	高	中
首要瓶颈	换模、换料、取件	齐套、防错、技能	上料、换型、微停机
等级（建议）	L2 → L4	L1–L2 → L3	L3 → L4
首要抓手	快换模 + 中央供料	电子 SOP + 过程防错	自动上料 + 配方换型

难度顺序 = 实施顺序：注塑 → 全自动装配 → 手工装配；但标准与数据底座必须同步。

注塑：先把一个单元整班点亮

Injection molding: light up one cell first

现状：五个断点

待基线确认

01 取件靠人工或简易机械手

02 换模靠人工 + 吊装

03 加料分散、夜班断料

04 外观检测依赖目检

05 OEE 与工艺参数不透明

目标形态：无人注塑单元

中央供料 / 除湿干燥

↓

注塑成型

↓

机器人取件

↓

剪浇口 / 去毛刺

↓

视觉检测 + 称重

↓

自动装盘 / AGV 入库

黑灯场景：夜班无人，异常自动停机 + 远程报警，一人跨多台值守。

关键举措（P0）

- 快速换模 QMC + 模具台车
- 机边机器人 + 自动取出
- 中央供料 + 缺料报警
- 参数采集与 OEE

判断：换模与换料仍是最大停机源，先攻这两项。

目标等级

L2 → L4

（建议，待基线确认）

手工装配：不追求全黑，追求可认证的少人夜班

Manual assembly: certified lights-out shifts, not full darkness

现状：五个断点

待基线确认

01 工位多、节拍由人决定

02 纸质 SOP 、技能依赖强

03 防错靠人、终检兜底

04 齐套靠人、缺料停线

05 换型频繁、切换损失大

目标形态：按 SKU 分级

A 类 稳定大批量 → 自动专机 / 半自动线

B 类 多型号中批量 → 协作机器人 + 半自动工位

C 类 复杂总装小批量 → 人机协同 + 全程防错

无人夜班：仅对通过认证的 SKU 开放

先做可认证的 SKU 子集，再扩展；不追求整车间一次点亮。

关键举措（P0）

- 电子 SOP + 工位安灯
- 关键工序防错
- AGV 齐套配送
- 全流程追溯

判断：先把「人的判断」变成设备可执行的规则。

目标等级

L1–L2 → L3

（建议，待基线确认）

全自动装配：瓶颈在最后 10%

Automatic assembly: the last 10% is the bottleneck

现状：五个断点

待基线确认

01 上料仍需人工

02 换型靠人工调试

03 卡料 / 缺料导致停机

04 检测阈值靠人调

05 故障恢复靠人

目标形态：黑灯线

自动上料 / 料仓

↓

配方化换型

↓

在线检测 + SPC

↓

异常自恢复

↓

整线无人 ⩾ 8h

先消除「换型 + 上料」两个人工锚点，再谈整线黑灯。

关键举措（P0）

- 料仓 / 柔性供料 + 缺料预警
- 配方化换型 + 快换工装
- 在线检测 + 自动判定
- 异常分级 + 自动重试

判断：上料与换型是最后两个人工锚点。

目标等级

L3 → L4

（建议，待基线确认）

各自最优 ≠ 整体最优

End-to-end coordination

注塑 → 半成品缓冲 → 全自动 / 手工装配 → 成品 / 仓储

物料流

- 半成品缓冲策略
- AGV 与线边配送
- 齐套与包装
- 异常物料隔离

信息流

- 一体化排产
- 订单与在制可视
- 全流程追溯
- 异常闭环回灌

异常流

- 分级响应
- 跨车间联动
- 单点故障隔离
- 根因分析与改善

共享能力：中央仓储 · 数据平台 · 质量追溯 · 模具治具 · 多能工池 · 能源 · 远程值守

协同的目标：库存更低、切换更快、异常不外溢。

六类未来场景：把车间能力放到业务链上

Six future scenarios built on workshop capabilities

自主生产组织 价值型

Autonomous Production Organization

排产、调度、异常处理能否少依赖人?

应用落点

一体化排产 · 动态调度 · 异常自恢复

指标：计划遵守率 · 异常响应

数字化协同 基础型

Digital Thread & Control Tower

订单到交付能否可视、可追、可协同?

应用落点

数字线程 · 控制塔 · 跨基地复制

指标：数据完整率 · 闭环时长

柔性制造 价值型

Flexible Manufacturing

多品种小批量能否经济地做?

应用落点

快速换型 · 模块化工位 · SKU 分级

指标：换型时间 · 经济批量

人机协作 价值型

Human-Machine Collaboration

人从哪里来、做什么?

应用落点

协作机器人 · AR / SOP · 远程值守

指标：单位人工工时 · 培训周期

绿色低碳 韧性型

Green & Low-Carbon

能耗与碳能否管得住?

应用落点

单件能耗 · 待机策略 · 碳足迹

指标：单件能耗 · 碳数据完整率

供应链韧性 韧性型

Supply Chain Resilience

断料、波动能否快速恢复?

应用落点

双源 · 缓冲 · 预警 · 跨基地协同

指标：缺料停线 · 恢复时间

规划原则：从痛点出发 · 与三车间目标等级挂钩 · 小范围验证 · 不并行铺开 | 场景 = 能力的组合应用，不是额外项目

场景一：自主生产组织

Autonomous Production Organization

规划思路

从「人排产、人调度、人救火」到「系统排产、动态调度、异常自组织」

分三步：可视 → 可算 → 自组织；人保留急单与例外决策权。

应用重点

- 注塑：模具、颜色、材料合并排产；换模计划与模具寿命联动
- 全自动：线体节拍与上料节拍对齐；缺料前触发补料
- 手工：人力与技能约束进入排产；夜班按认证 SKU 编排
- 跨车间：缺料、故障、急单自动重排；单点故障不影响交付

首批验证（建议）

一个注塑单元 + 一条装配线跑通「排产—执行—异常—重排」闭环

范围与周期在 Phase 0 锁定

预期价值

换型与等待损失	↓
计划遵守率	↑
异常响应时间	↓
夜班人效	↑

量化目标待基线；方向为规划假设

前提与边界

前提

- 数据可信，状态可判断
- 规则可执行，排产可解释
- 异常有分级与兜底

边界

不追求「无人排产」；人保留急单与例外决策权。

owner / 基线 / 退出判据：待评审

判断：这是「大脑」场景，依赖数字化协同；没有可信数据，自动排产就是自动犯错。

场景二：端到端数字化协同

Digital Thread & Control Tower

规划思路

从「事后报表、单厂优化」到「实时控制塔、跨基地复制」

建立订单到交付的单一事实源；控制塔是指挥台，不是大屏。

应用重点

- 数字线程：订单— BOM— 工艺—质量—追溯贯通
- 控制塔：三车间状态、在制、齐套、异常一屏可见
- 跨基地：标准模板、远程支持、复制检查清单
- 远程值守：夜间集中监控与分级处置

首批验证（建议）

三车间状态与齐套一屏可视；一个基地完成控制塔 MVP

范围与周期在 Phase 0 锁定

预期价值

决策周期	↓
在制与库存	↓
异常闭环时长	↓
跨基地复制周期	↓

量化目标待基线；方向为规划假设

前提与边界

前提

- 主数据统一
- 接口开放、口径一致
- 控制塔有明确指挥权限

边界

控制塔是指挥台，不是大屏；先有数据责任，再有可视化。

owner / 基线 / 退出判据：待评审

判断：基础型场景，应优先做；否则其他场景没有数据底座。

场景三：柔性制造与快速换型

Flexible Manufacturing

规划思路

用「可切换能力」替代「专用产线」，把换型当作核心工艺能力

按 SKU 分级配置自动化；在经济批量与换型次数之间找平衡。

应用重点

- 注塑： QMC / SMED 、模具台车、排产合并，减少换色换料
- 手工： A / B / C 分级；通用治具；协作机器人补柔性
- 全自动：配方化换型、快换工装、一键盘车
- 计划：换型标准化，换型时间进入排产约束

首批验证（建议）

注塑换模 + 手工 B 类线各做一个快速换型样板

范围与周期在 Phase 0 锁定

预期价值

换型时间	↓
经济批量	↓
交付柔性	↑
可承接 SKU	↑

量化目标待基线；方向为规划假设

前提与边界

前提

- 产品标准化 / DFA
- 订单可预测
- 换型作业标准化

边界

柔性有经济边界，不是无限柔性；先定义「值得做的柔性」。

owner / 基线 / 退出判据：待评审

判断：与三车间章节直接衔接，把车间换型能力上升为经营能力。

场景四：人机协作与新型班组

Human-Machine Collaboration

规划思路

不是「换人」，是「换岗位」：人做异常、改善、系统管理

机器做重复、危险、高精度；转型节奏与业务量匹配。

应用重点

- 手工装配：协作机器人、半自动工位、 AR / 电子 SOP 、视觉辅助
- 全自动：远程值守、异常分级处置、设备健康管理
- 注塑：一人多机、巡检路线优化、模具快换协作
- 组织：多能工、技能矩阵、值守中心编制

首批验证（建议）

手工装配 2 个工位 + 注塑一人多机试点

范围与周期在 Phase 0 锁定

预期价值

单位人工工时	↓
培训周期	↓
岗位吸引力	↑
异常处置能力	↑

量化目标待基线；方向为规划假设

前提与边界

前提

- 安全评估与防护
- 岗位转型方案
- 工会与现场沟通

边界

不减人叙事，是岗位结构升级；不承诺编制数量。

owner / 基线 / 退出判据：待评审

判断：评审最关心「人怎么办」，这页正面回答，不回避编制影响。

场景五：绿色低碳制造

Green & Low-Carbon Manufacturing

规划思路

把能耗与碳当作「第五类生产数据」：先计量、后优化、再报告

不先承诺降幅；没有分项计量，就没有可信的碳数据。

应用重点

- 注塑：干燥、加热、待机策略；设备级分项计量
- 全自动：待机降载、峰谷调度、峰值避让
- 手工：照明、空调、工位能耗管理
- 跨车间：单件能耗基线、碳足迹追溯、报告口径

首批验证（建议）

注塑与全自动线完成设备级分项计量与单件能耗基线

范围与周期在 Phase 0 锁定

预期价值

单件能耗	↓
废品率	↓
碳数据完整率	↑
能源成本	↓

量化目标待基线；方向为规划假设

前提与边界

前提

- 分项计量
- 能源系统接口
- 统一核算口径

边界

碳核算边界待确认；不承诺具体降幅，先建基线。

owner / 基线 / 退出判据：待评审

判断：绿色低碳不是公益项目，先让能耗进入单件成本。

场景六：供应链韧性

Supply Chain Resilience

规划思路

从「最低库存」到「可控韧性」：识别单点 → 设置缓冲 → 建立恢复机制

范围限于厂内与关键接口，不覆盖全供应链。

应用重点

- 关键物料双源与替代料验证
- 动态安全库存与缓冲策略
- 供应异常预警与替代方案
- 跨基地产能协同与调拨

首批验证（建议）

锁定关键物料清单，完成双源与缓冲策略验证

范围与周期在 Phase 0 锁定

预期价值

缺料停线时长	↓
恢复时间	↓
库存周转	↑
供应异常可见性	↑

量化目标待基线；方向为规划假设

前提与边界

前提

- 供应商数据
- 物料主数据
- 跨基地协同机制

边界

不重建整个供应链；先锁定关键物料清单（范围待确认）。

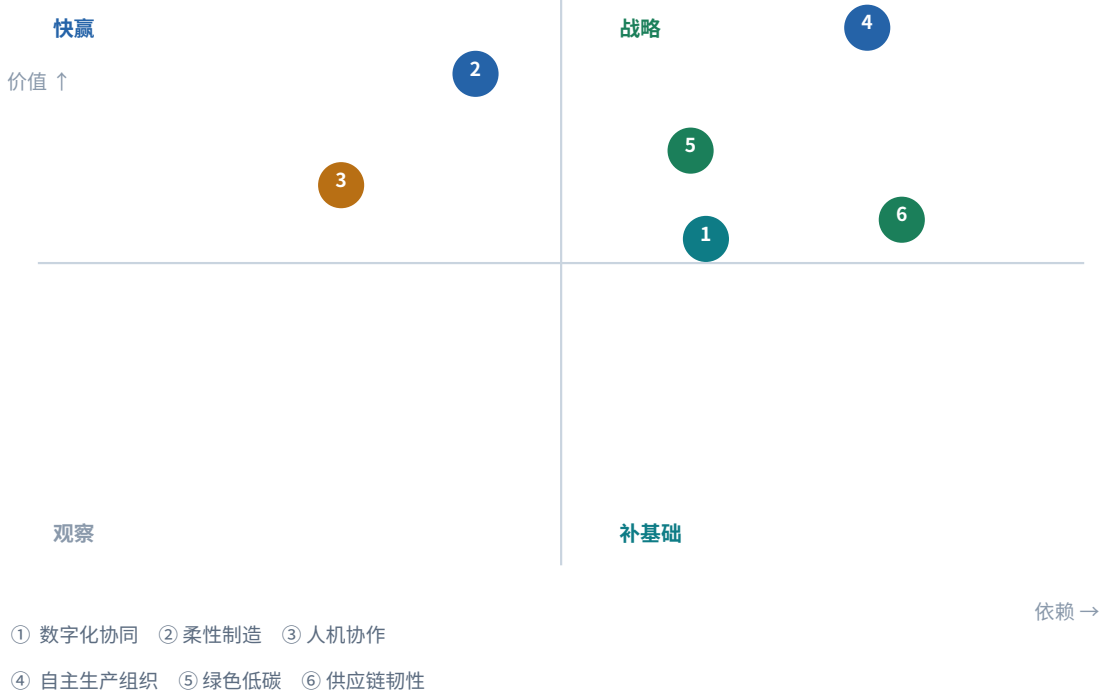
owner / 基线 / 退出判据：待评审

判断：先定义边界，避免评审误以为要重做供应链。

场景排序：先基础，再快赢，后长期

Sequence scenarios: foundation, quick wins, long plays

价值 / 依赖矩阵（初判，待评审）



① 数字化协同　② 柔性制造　③ 人机协作

④ 自主生产组织　⑤ 绿色低碳　⑥ 供应链韧性

三批推进（初判，待评审）

第一批 · 基础 — **数字化协同**

前提：主数据与接口就绪

第一批 · 快赢 — **柔性 / 人机 / 单点无人**

前提：场景基线完成

第二批 — **自主生产 / 绿色低碳**

前提：数据底座 + 计量

第三批 — **供应链韧性网络**

前提：跨基地协同机制

每批 2–3 个：owner · 基线 · 指标 · 退出判据

场景多 ≠ 要做得多；先做 2–3 个能闭环的，再谈铺开。

一次建设，分批复用

Build once, reuse across scenarios

应用层	MES · APS · QMS · WMS · EAM · 能源 / 安灯
平台层	时序库 / 数据湖 · 主数据 · ISA-95 · 数字孪生
边缘层	网关 · 采集 · 边缘推理 · 断网缓存
设备层	PLC · 机器人 · 传感 / 视觉 · AGV

场景选择决定底座优先级：数据与接口 → 视觉与排产 → 能耗与供应链 | OT 安全 IEC 62443 · 功能安全 ISO 13849

设备无关： OPC UA 优先

边缘优先：断网可降级

统一模型： ISA-95

先算账，再立项

Value before investment

财务	人工 · 能耗 · 良率 · 库存 · 维护 · 产能
运营	OEE · 交期 · 换型 · 异常响应 · 质量一致性
战略	可复制性 · 用工风险 · 接单能力 · ESG / 碳

经济边界

- 高混合、低批量：可能止步 L3
- L4 需要稳定产品与足够批量
- 不报未经核算的回收期
- 分阶段投资，每阶段设退出判据

最敏感变量：批量 › 人工成本 › 稼动率 › 投资额

回收期 = 增量投资 ÷ 年化增量收益
（含维护、备件与值守成本）

每个场景必须回答：基线 → 举措 → 目标 → 口径 → 责任人

价值不是总和，而是可归因、可复核的单场景账。

建设未来工厂的主要优点：不止于降本

Advantages beyond cost reduction

黑灯不是目的；它强迫标准化、可视化、异常闭环——管理确定性是最大副产品。

01

业务目标

- 多品种小批量接单能力
- 交付确定性
- 质量一致性
- 成本结构透明

典型指标

OTD · FPY · 交付周期

02

运营效率

- 减少停机与换型损失
- 加快异常响应
- 优化人效
- 降低在制与库存

典型指标

OEE · 换型时间 · 单位人工工时

03

管理能力

- 从经验转向数据决策
- 统一口径
- 标准化可复制
- 缩短复制周期

典型指标

数据完整率 · 异常闭环时长

04

发展韧性

- 降低用工单点依赖
- 缓冲供应波动
- 应对能源约束
- 沉淀组织知识

典型指标

缺料停线时长 · 恢复时间

最大资产不是设备，是管理确定性

前提：场景闭环 · 条件具备 · 组织执行

优点如何发生：机制、指标与前提

How the advantages happen: mechanism, metric, precondition

维度	作用机制	可衡量指标	成立前提
业务目标	更快响应多品种短交期；质量更一致	OTD 、 FPY 、交付周期、报价周期	产品与订单相对稳定
运营效率	减少停机、换型、人工介入	OEE 、换型时间、单位人工工时、异常频次	数据可信、异常闭环
管理能力	统一口径、可视、标准化	数据完整率、异常闭环时长、复制周期	主数据与治理到位
发展韧性	降低单点依赖、沉淀知识	缺料停线时长、关键岗位覆盖、恢复时间	双源、多能工、备份机制

能力 → 机制 → 指标 → 价值 | **指标目标值全部待基线，本页不承诺数字。**

建设未来工厂的必要条件：六项条件，乘法关系

Six necessary conditions: a multiplication, not a checklist

六项条件不是清单，是乘法关系；最短板决定场景等级。

场景等级 =

技术 × 数据 × 人才

组织管理 × 资金 × 合规与安全

= 可达到的场景等级（ L3 / L4 ）

任一项为 0 ，整体受限；最短板决定上限。
不满足的条件先补，不硬上 L4 。

01

乘法关系

最短板决定等级；
一项不具备，场景等级就受限。

02

建设顺序

数据与组织先行；
技术与资金跟进，合规同步。

03

评审用法

逐项打「具备 / 部分 / 不具备」；
先补条件，再谈设备。

建设顺序：数据与组织先行 → 技术与资金跟进 → 合规同步；不按「先买设备」推进。

六项条件的支撑作用与建设重点

What each condition supports and what to build first

条件	支撑作用	建设重点	验收信号
技术	让设备可感知、可执行、可降级	接口改造、单元自动化、网络冗余	单点无人跑通
数据	让状态可判断、结果可追溯	数据字典、主数据、采集质量	数据完整率达标（待基线）
人才	让系统可运维、异常可处置	技能矩阵、远程值守、多能工	关键岗位认证
组织管理	让决策有人负责、跨区可协同	三层治理、 RACI 、变更管理	owner 到位、机制运行
资金	让投入可分阶段、可退出	场景账、 Gate 、 OPEX 预算	每阶段假设可复核
合规与安全	让无人运行可放行	风险评估、 IEC 62443 、法务意见	评审通过、演练完成

六项条件的成熟度决定 L3 还是 L4；不满足先补条件，不硬上。

场景分批、四级门槛、三期推进

Staged scenarios, four gates, three phases

Phase 0 · 0–3 月 · 基线

场景筛选
成熟度评估
数据采集
选定试点

退出判据

基线完整
预算获批

Phase 1 · 3–12 月 · 单点

数字化协同基础
注塑无人单元
全自动黑灯班
柔性 / 人机快赢

退出判据

连续 4 周
达到目标等级

Phase 2 · 12–24 月 · 连线

端到端拉通
夜班无人
自主生产组织
绿色低碳深化

退出判据

价值流 KPI
异常闭环

Phase 3 · 24–36 月 · 复制

蓝图标准化
供应链韧性网络
三档配置
多基地复制

退出判据

复制周期
与成本达标

四条设计原则

- **先稳定后无人**
- **先数据后 AI**
- **先单点后连线**
- **先标准后复制**

场景分批进入，不是并行全开 | **总部蓝图 + 区域适配** | **三档配置：基础 / 标准 / 进阶**

每一期结束都必须过 Gate；不达标就停在原地补课。

有人负责，才有无人的夜班

Governance, people and risk

指导委员会
管理层
目标 · 预算 · 跨区域协调

项目群
跨区域
标准 · 接口 · 验收口径

车间执行组
现场
落地 · 异常 · 持续改善

人的转型

操作 → 设备 / 异常处理 → 数据 / 远程值守

场景蔓延要主动设闸：
不是所有场景都值得同时做。

Top 7 风险与缓解

订单波动导致收益不达	柔性优先，保留人工快速切换
老旧设备协议不开放	网关改造，逐台评估
上料 / 换型难度被低估	先验证，设技术 Gate
夜班无人值守合规	法务 / EHS 前置评审
跨区域标准不一致	总部蓝图 + 区域适配清单
场景过多导致资源分散	每批 2–3 个，设退出判据
条件不具备强行上 L4	六项条件逐项评估，先补短板

无人化的前提，是有人对异常负责；治理与能力建设必须先于设备到场。

车间 P0 + 场景 P0：没有它，黑灯不成立

Requirements v1.1: workshop P0s plus scenario P0s

注塑车间	P0
1	中央供料 + 缺料报警
2	机边机器人取件
3	快速换模 + 模具台车
4	参数采集与 OEE
5	安全联锁与异常停机

手工装配车间	P0
1	电子 SOP
2	工位安灯 / 呼叫
3	关键工序防错
4	AGV 齐套配送
5	全流程追溯

全自动装配车间	P0
1	自动上料 + 缺料预警
2	配方化换型
3	在线检测 + SPC
4	线体数据采集
5	异常分级 + 自动重试

场景 P0（新增，跨车间 / 底座）

- 统一数据模型 / 主数据
- 一体化排产
- 控制塔 MVP
- 分项能耗计量
- 供应商 / 物料接口

验收：连续 4 周达标 + 异常演练（断料 / 卡料 / 故障 / 断网 / 误入） | **口径 · 基线 · 样本期 · 责任系统**

今天需要三个决定

Three decisions today — the rest can follow in the 90-day plan

01 批准黑灯定义、成熟度、三车间目标等级与首批 2–3 个场景

02 批准 Phase 0 基线与试点预算

03 指定业务 owner 、数据 owner 与场景 owner

90 天

30 天	场景筛选 基线启动
60 天	需求 v1.1 技术方案与估算
90 天	立项评审 试点启动

先让一个单元整班无人，再让一条价值流无人。