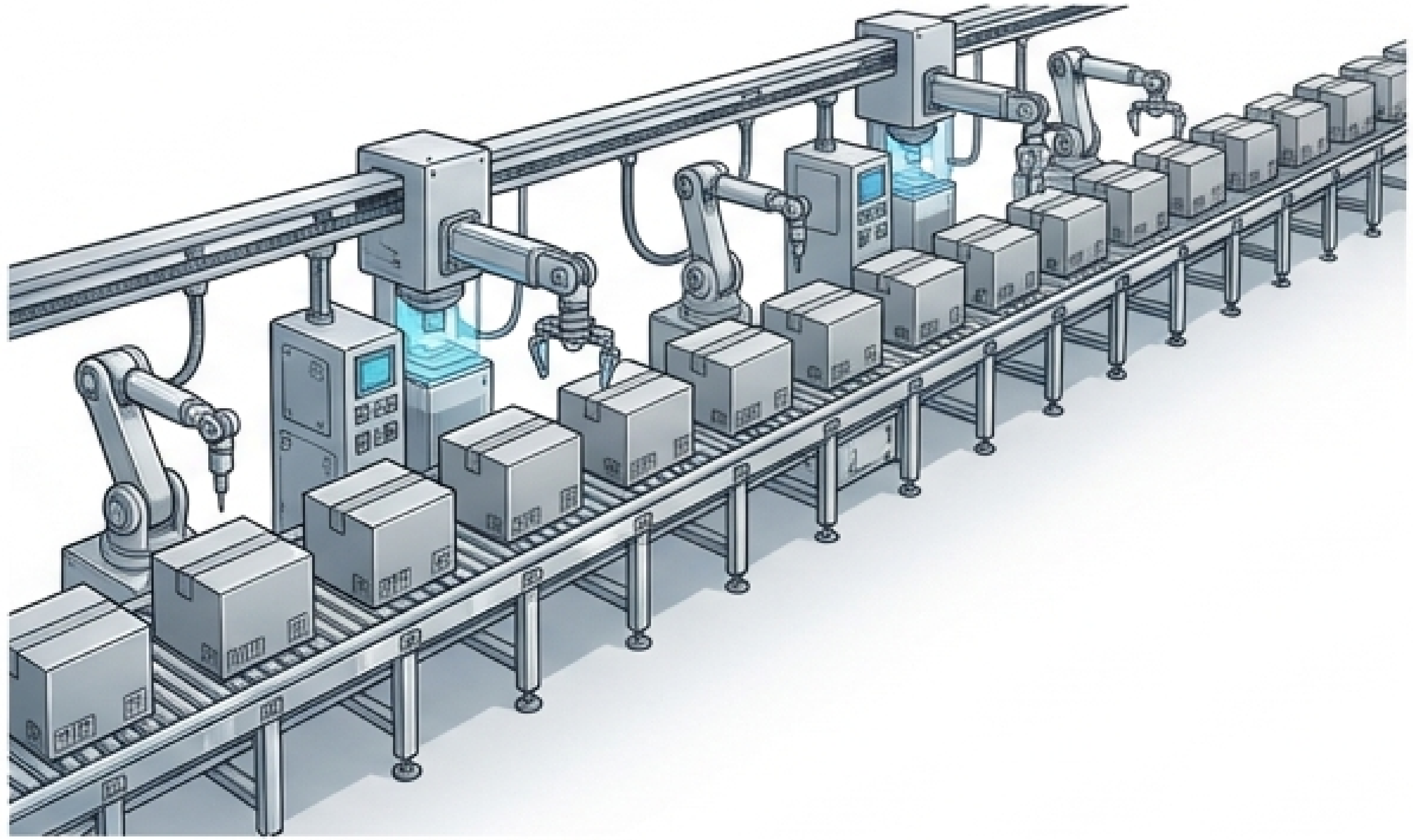
拥抱变革：面向少量多样化生产的单元式生产方式
从“传送带”到“细胞体”的敏捷转型与佳能成功实录

- 核心概念：**少量多样** | **消除浪费** | **佳能案例**
- 目标：解析为何传统大批量生产无法适应当今市场，展示单元生产如何通过**敏捷性实现利润倍增**。

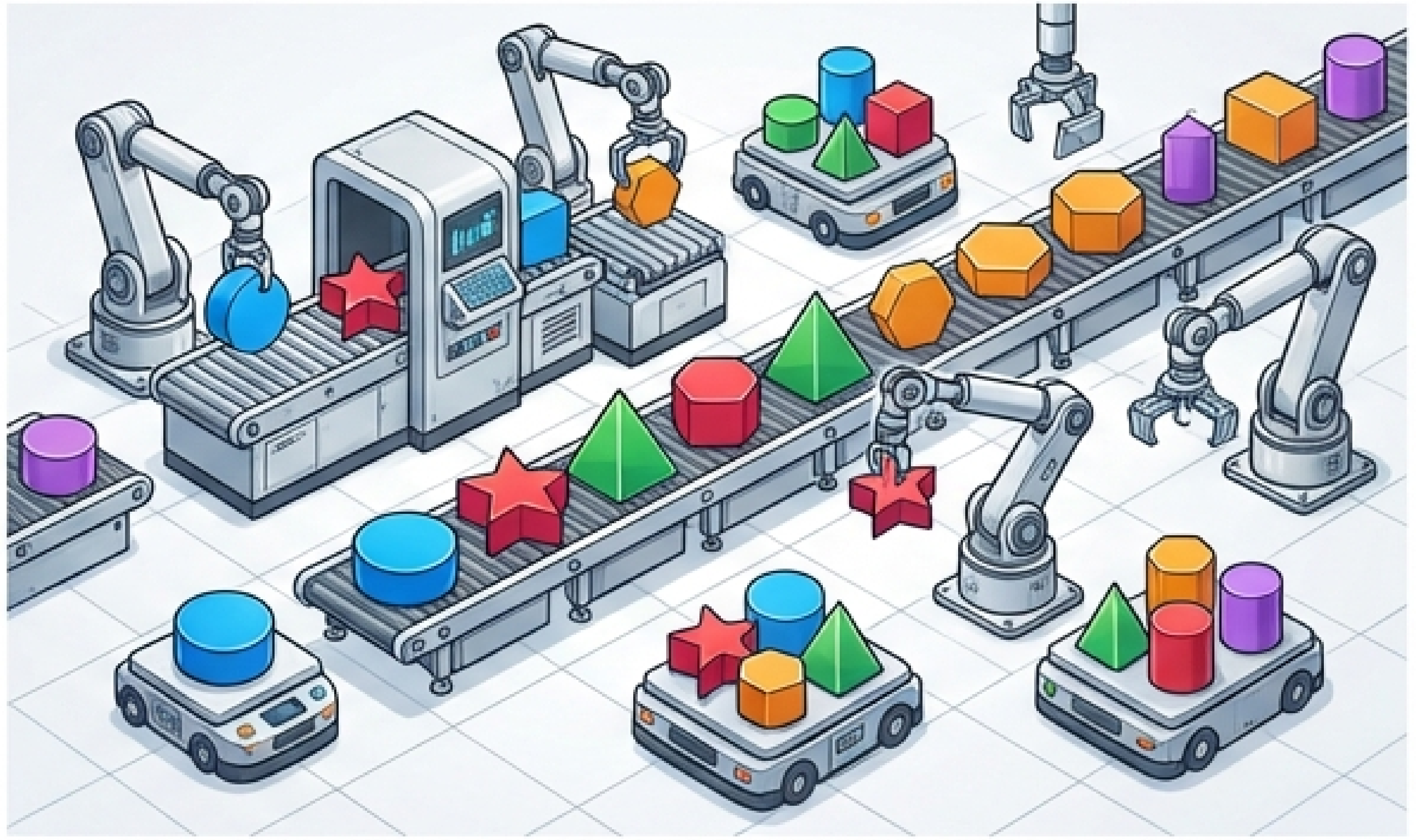
时代的转折：当“大批量”遭遇“个性化”

20世纪：大批量生产 Legacy Model



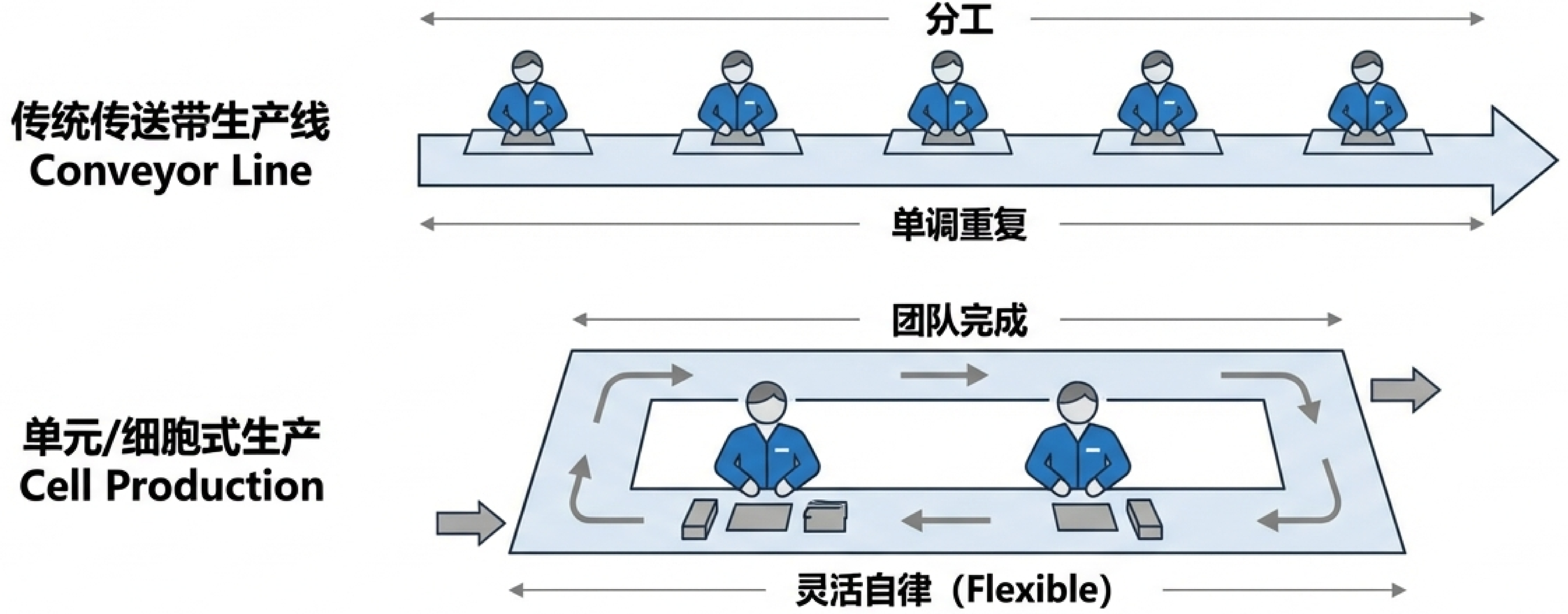
- 追求规模效率（Scale Efficiency）
- 依赖长传送带（Rigid Conveyors）
- 高库存缓冲（High Inventory）
- 结果：僵化，难以应对变化

21世纪：少量多样 Current Reality



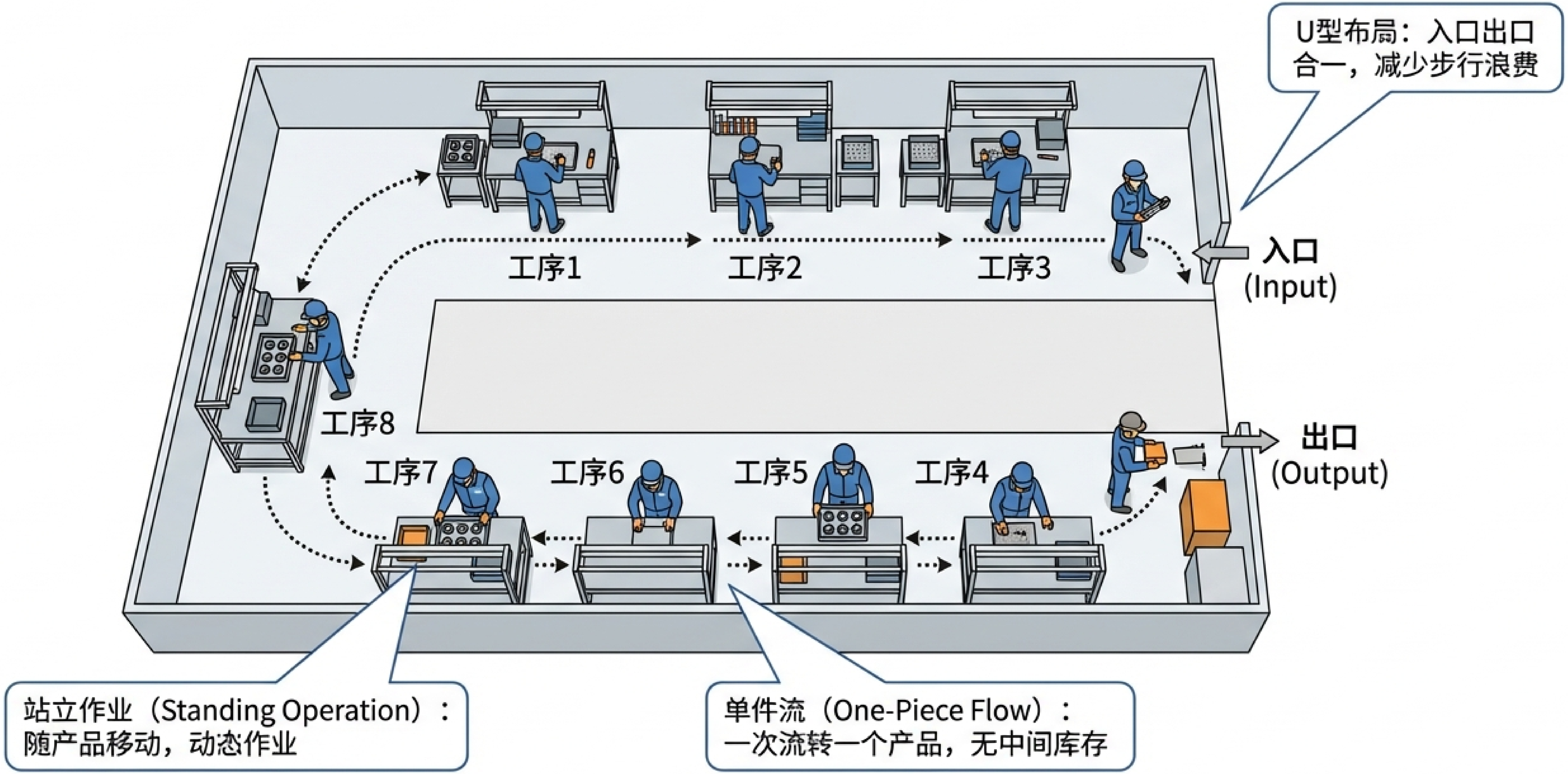
- 客户需求多变（Volatile Demand）
- 产品生命周期短（Short Lifecycle）
- 追求个性化（Customization）
- 冲突：传统生产线换线时间长，掩盖批量缺陷

什么是单元/细胞式生产？

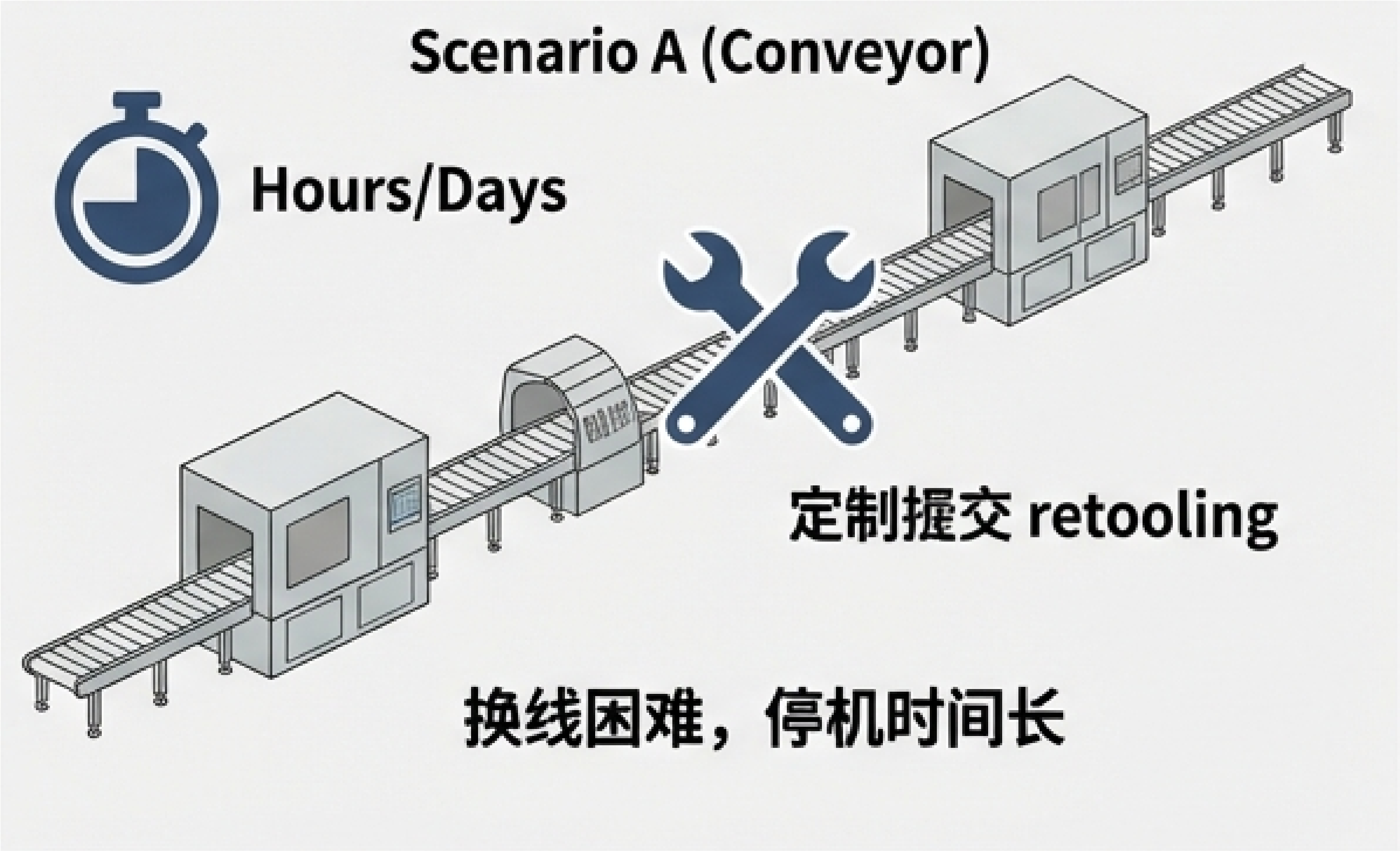


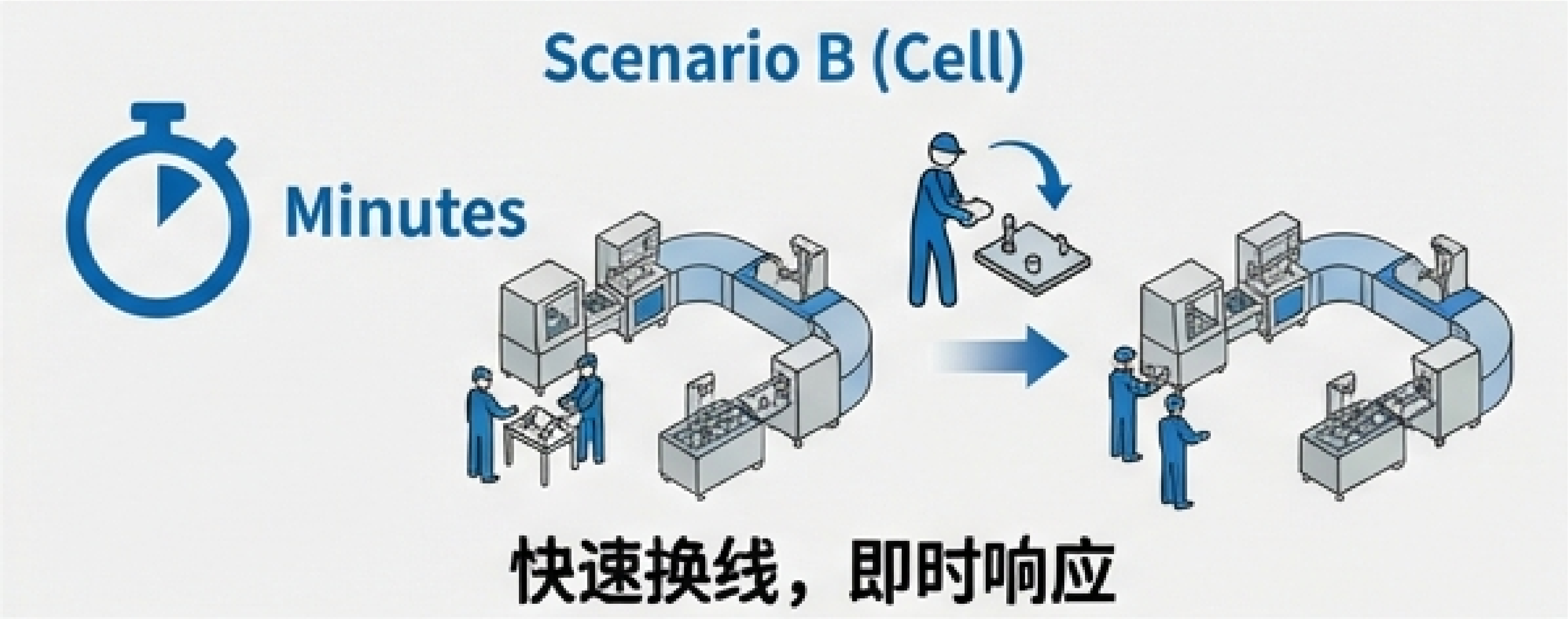
- **定义：**将设备和工作站以特定形状（通常为U型）排列，使单人或小团队能够顺畅地完成产品全部或大部分组装工序的生产方式。
- **核心隐喻：**像生物细胞一样，它是独立的、灵活的、有生命力的。

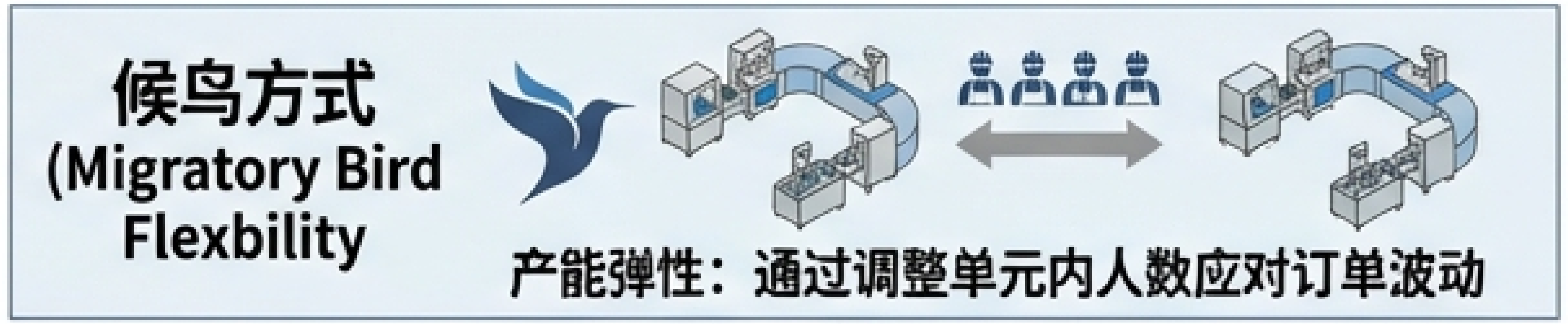
核心机制：U型布局与单件流



优势一：应对“少量多样”的极致灵活性

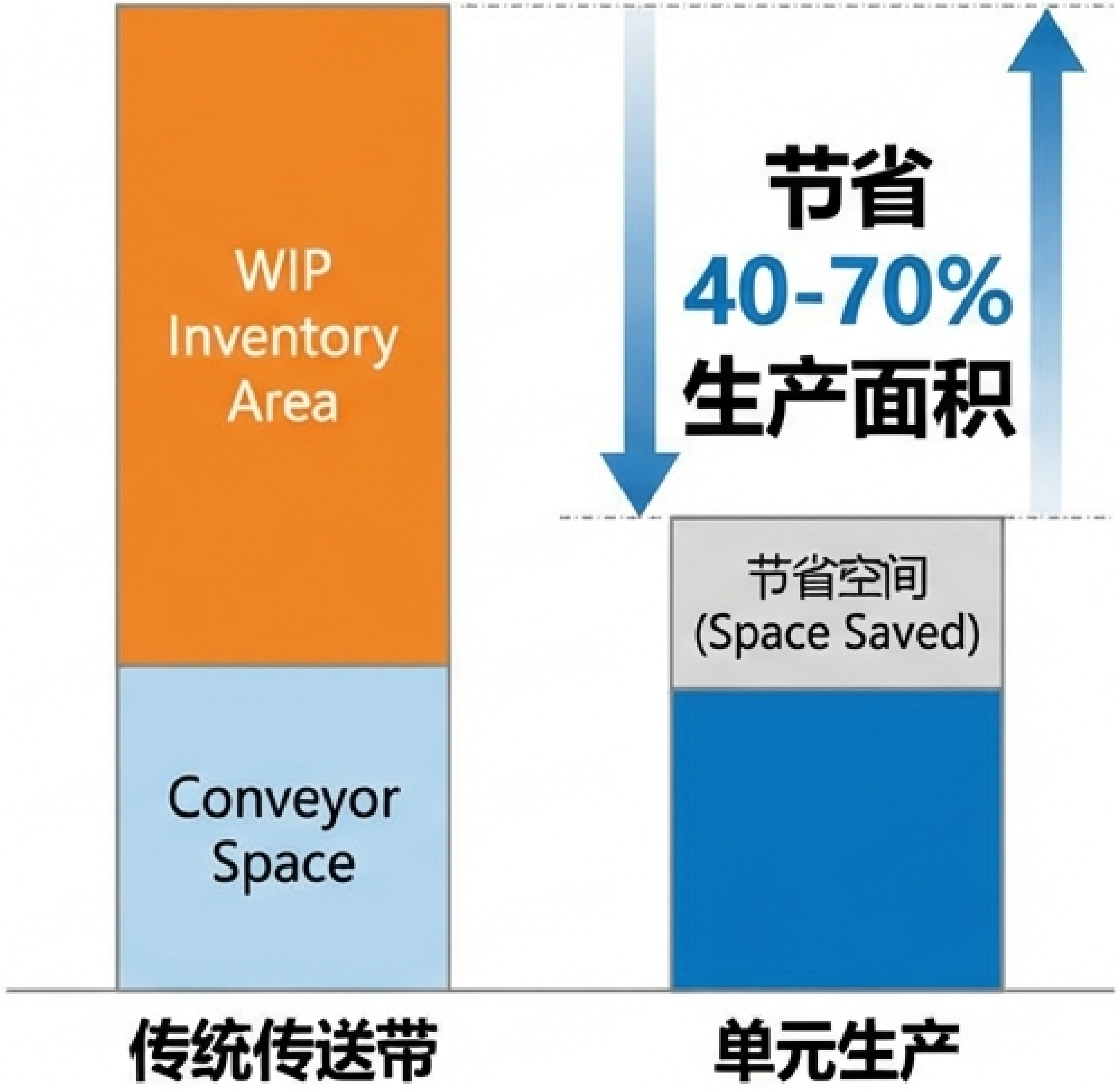






- **快速换线（Quick Changeover）**：单元独立且设备小型化，几分钟内即可切换产品型号。
- **零等待**（Zero Wait Time）：消除了传统生产线的大批量切换损耗。
- **混合生产**（Mixed Model）：不同的单元可以同时生产不同的产品，完全同步市场需求。
- **产能弹性**：通过调整单元内人数（而非购买机器）来应对订单波动。

优势二：消除浪费与降低成本



- **库存削减：**单件流彻底消除了工序间的在制品（WIP）堆积。
- **空间节省：**移除长传送带，紧凑布局，释放宝贵的工厂面积。
- **消除搬运浪费：**物料在伸手可及的范围内流动，无需叉车长距离搬运。
- **少人化（Labor Elasticity）：**根据生产节拍（Takt Time）灵活增减人员，维持高人均产出。

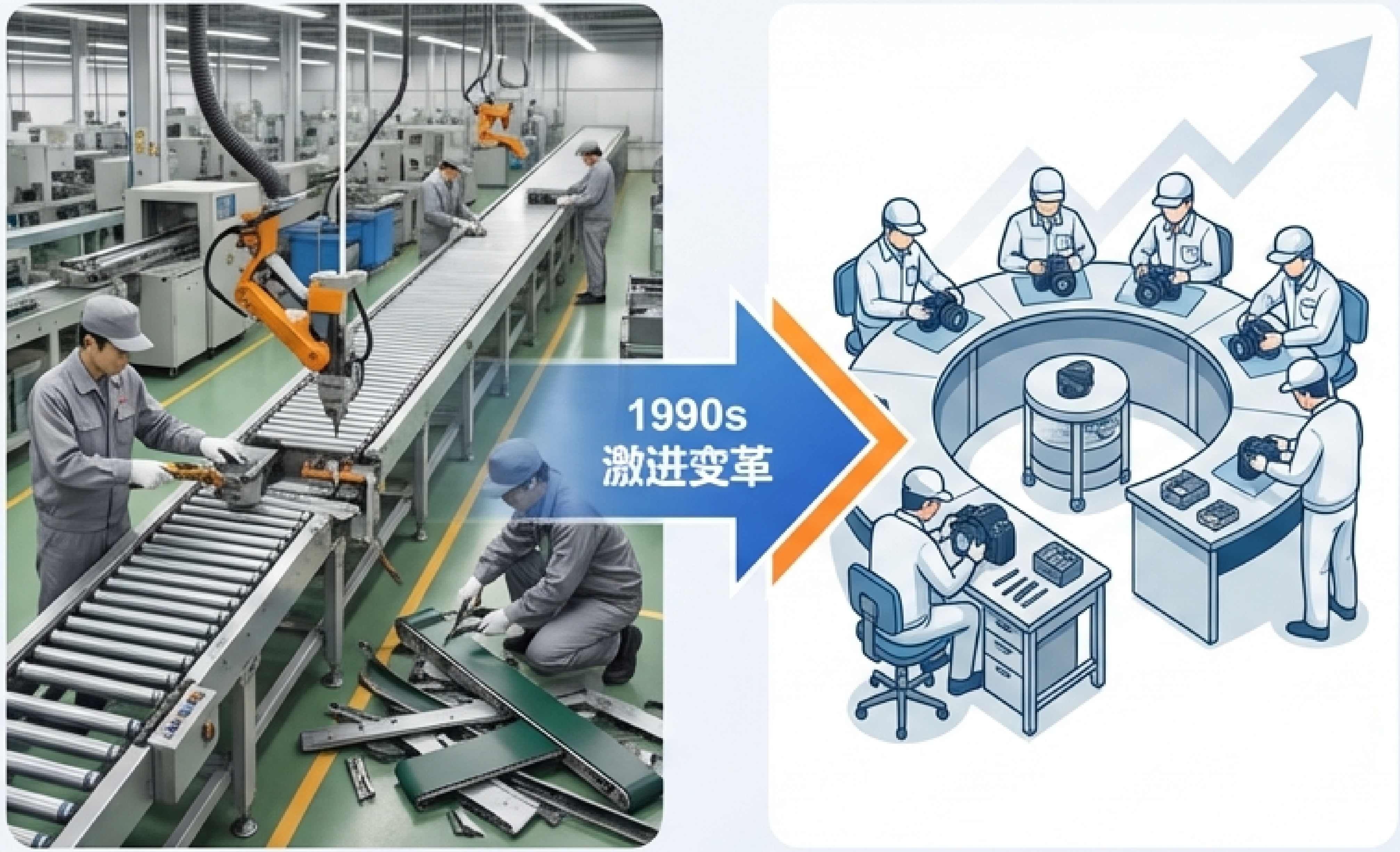
优势三：重塑人与品质的关系

- **成就感（Ownership）**：工人不再是拧螺丝的机器，而是完成整个产品的“工匠”，对成品质量负责。
- **源头查错（Source Inspection）**：在单件流中，任何缺陷都会在下一道工序立即被发现，防止批量报废。
- **自主管理（Autonomy）**：单元团队自我管理进度和排班。

Canon Philosophy

> **佳能"三自精神":**
> 1. **自发**（Self-motivation）
> 2. **自治**（Self-management）
> 3. **自觉**（Self-awareness）

案例深度解析：佳能的“脱传送带”革命



传统传送带
(Traditional Conveyor)

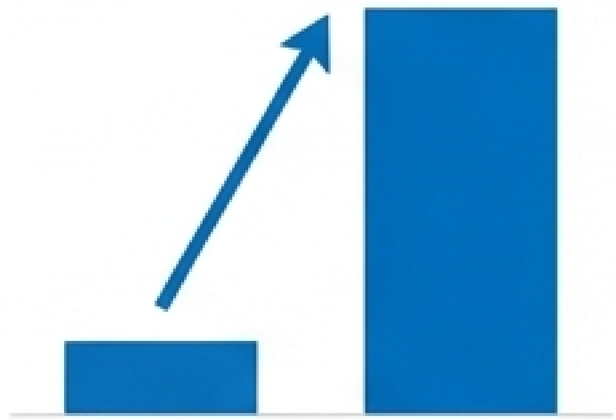
单元生产
(Cell Production)

- **背景（Context）**：90年代末，佳能面临临日元升值和金融危机，传统的大批量生产方式成本过高，且无法适应多变的市场。
- **决策（Decision）**：御手洗富士夫社长做出激进决定——拆除工厂内所有传送带。
- **行动（Action）**：拆除了超过 20,000 米的传送带。
- **目标（Goal）**：消除“设备的浪费”，让制造回归“人的智慧”。

改革成果：数据不会说谎

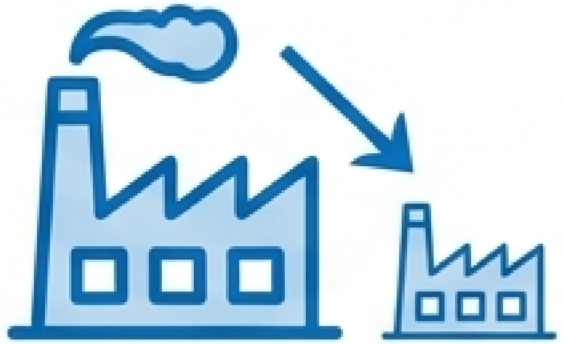
Precision Engineering & Corporate Clarity

生产效率



提升 400% (4x)

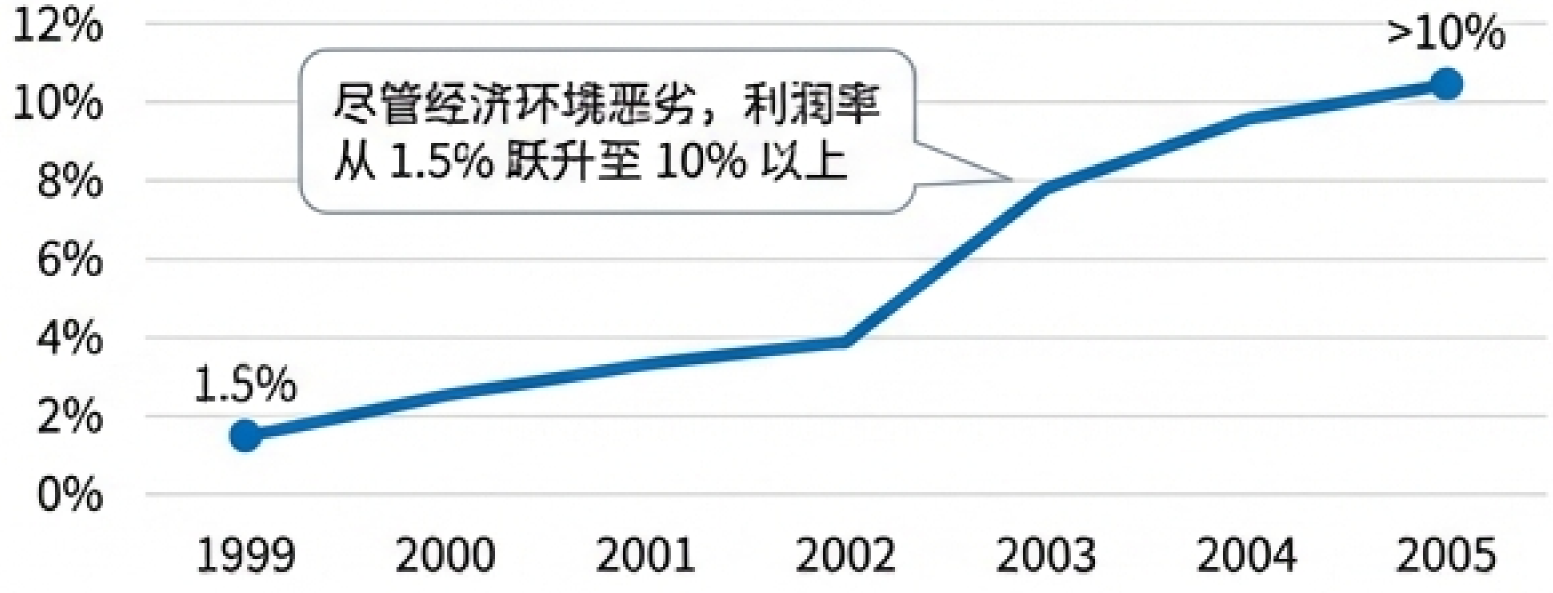
生产效率提高



节省 70% 工厂面积
（关闭/合并 5 家工厂）

工厂用地节省，4个车间压缩为1个

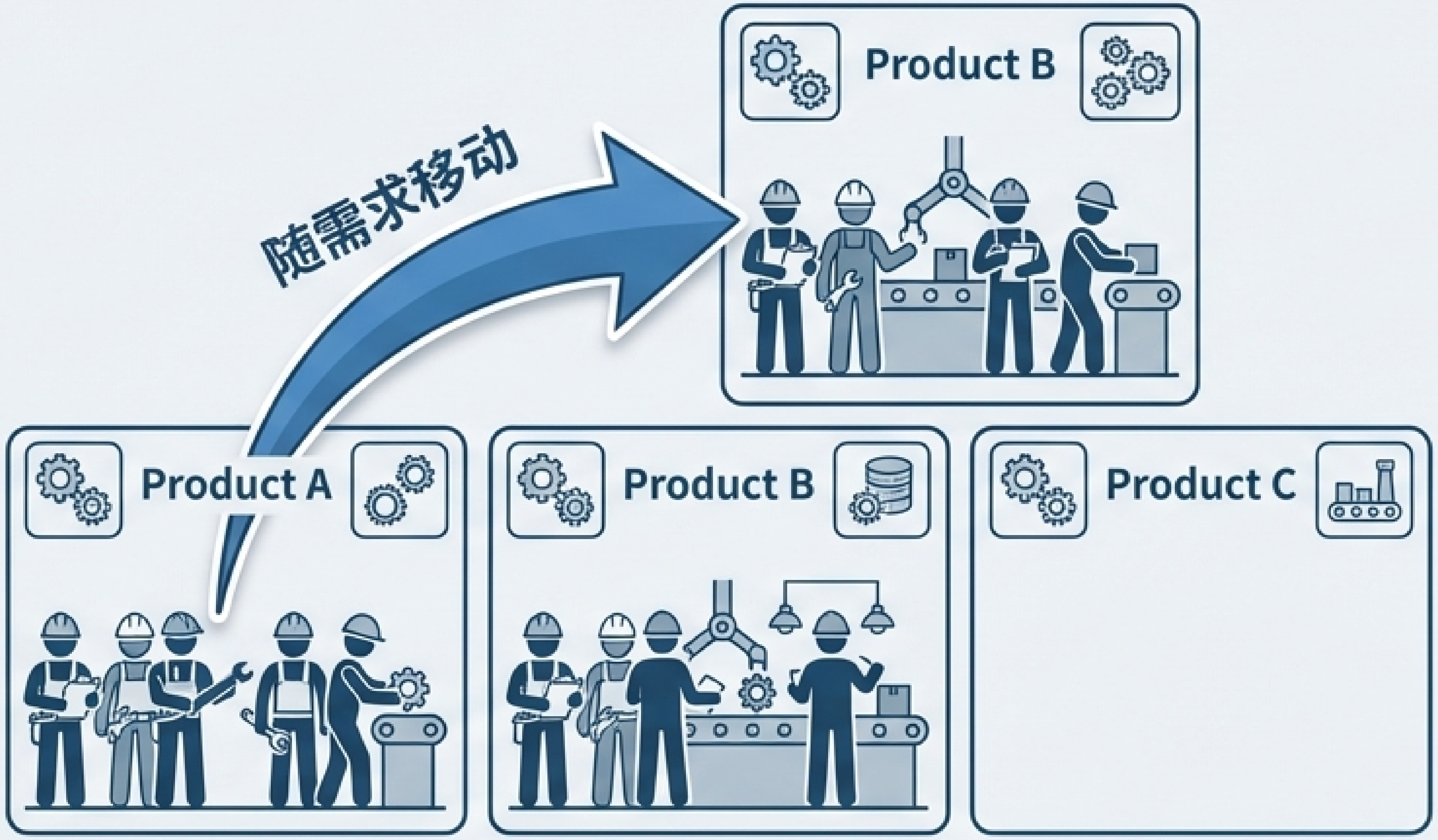
利润率



减少 50%
的能源消耗与 CO_2 排放

电费、水费、二氧化碳排放量下降

进阶策略：候鸟式生产（Migratory Bird System）



- 概念：像候鸟寻找食物一样，工人移动到需求最旺盛的生产区域。
- 运作模式：早班生产产品A，下午全员移动至产品B单元。不仅限于一个车间，甚至跨工厂移动。
- 核心价值：彻底消除“等待订单”的闲置时间，确保人员 100% 满负荷工作。
- 前提条件：必须拥有高度熟练的“多能工”。

成功的关键：多能工的培养（Multi-Skilled Workers）

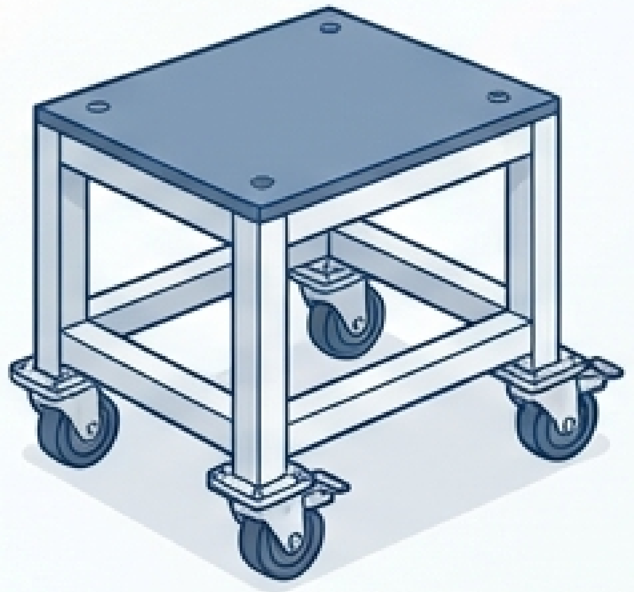
技能矩阵（Skills Matrix）/ 星取表

员工 (Work / 工序	组装 (Assembly)	检测 (Testing)	包装 (Packing)
张三	◎	○	
李四	○	◎	
王二	○		

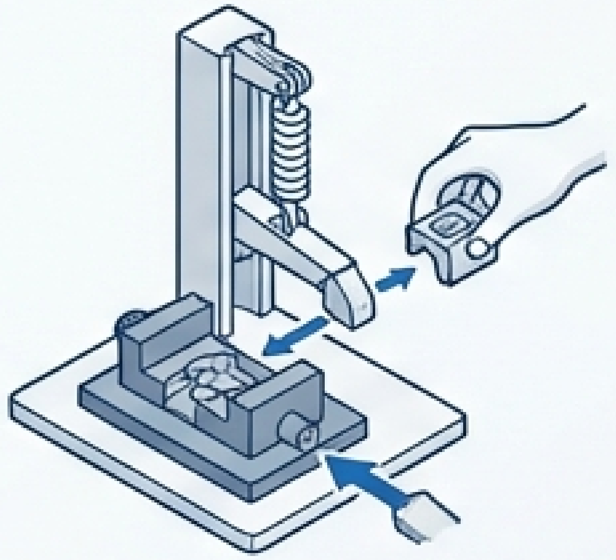
◎：可教导
○：可操作
●：技能掌握度
空白：不可操作

- **定义：**能够操作**多种设备**、执行多道工序（如组装+检测+包装）的员工。
- **工具：****星取表**（Skills Matrix）—— 可视化管理每位员工的技能水平。
- **作用：**实现**“少人化”**（Shojinka）——当产量需求下降时，可以从3人单元减为2人单元，保持效率不变。
- **培训：**持续的 **OJT**（On-the-Job Training）是单元生产的基石。

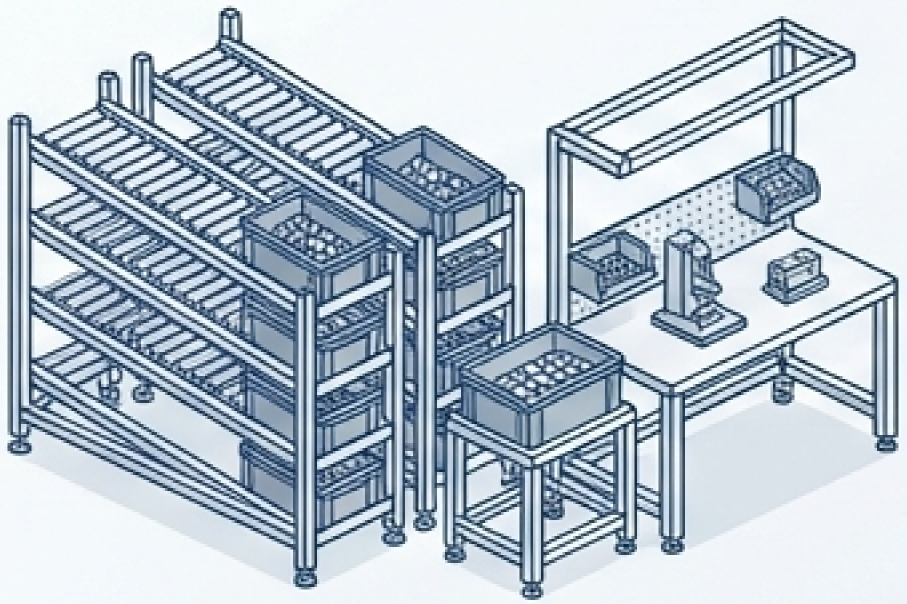
设备与工装：让机器“跑”起来



可移动（Movable on Wheels）



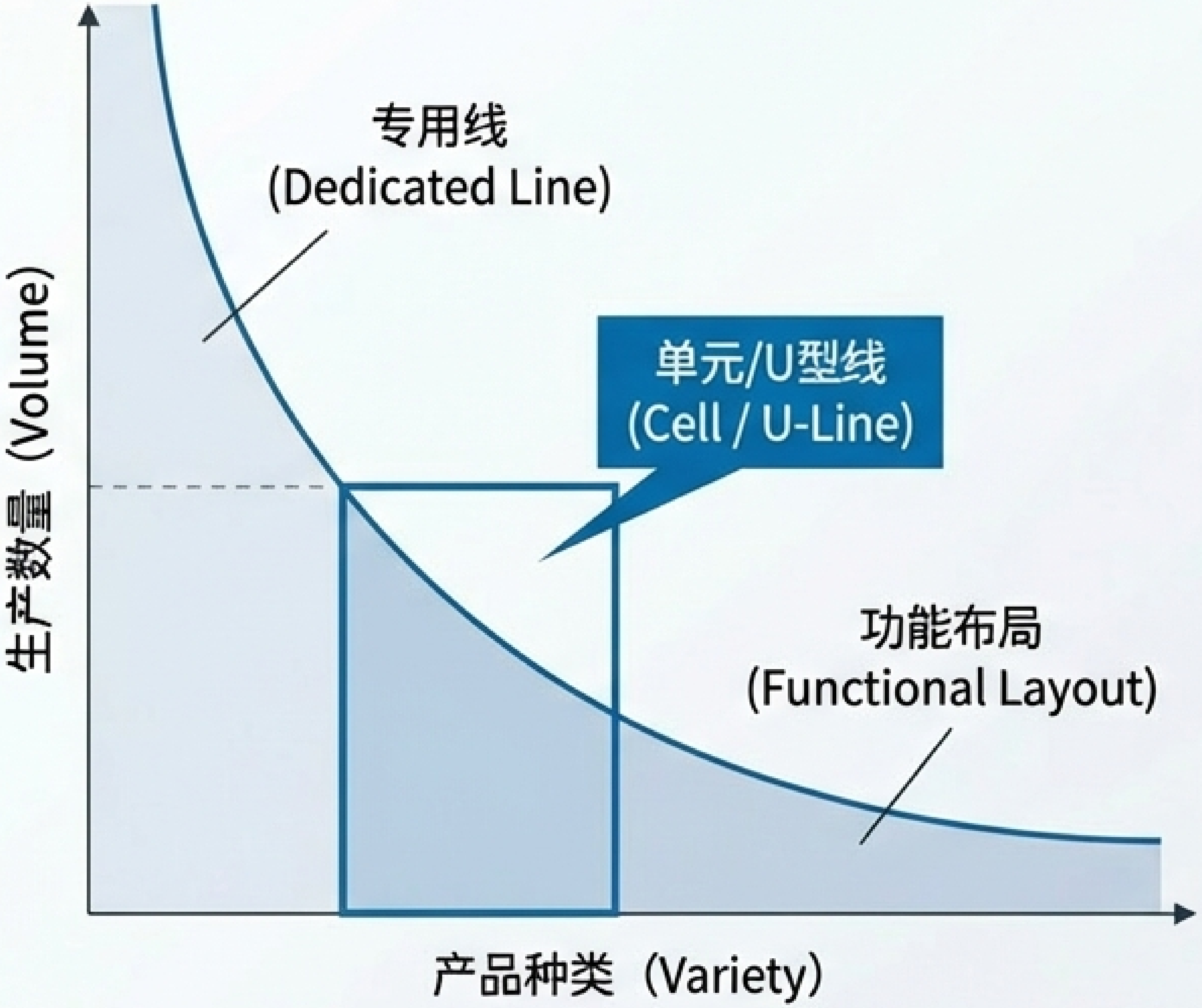
自动退料（Auto-Eject）



重力滑架（Gravity Feed）

- **小型化与可移动**：设备必须安装脚轮，以便在几分钟内重组生产线布局。
- **朝朝（Chaku-Chaku）线**：实现“装夹即走”。机器自动退料，工人只需负责装料，形成行云流水的作业节奏。
- **低成本自动化（LCA）**：摒弃昂贵的大型机器人，利用重力、杠杆等简单机械原理，实现低成本的高效自动化。

实施路径：从PQ分析到生产线设计



- **第一步：PQ分析**（Product-Quantity Analysis）– 识别适合单元生产的产品族。
- **第二步：工艺流程编组**（Process Routing）– 将具有相似工艺的产品归类。
- **第三步：节拍平衡**（Line Balancing）– 计算客户需求节拍（Takt Time），重新分配工作量以平衡各工站耗时。

总结：传送带 vs. 单元生产

对比维度（Feature）	传统传送带（Conveyor）	单元生产（Cell Production）
作业流（Work Flow）	批量流动（Batch）	单件流（One-piece flow）
布局（Layout）	直线长线（Straight Long）	U型/紧凑（U-Shape / Compact）
库存（Inventory）	高在制品（High WIP）	极低/零库存（Minimal）
士气（Morale）	单调/被动（Monotonous）	团队/成就感（Ownership）
换线（Changeover）	困难/耗时（Hours）	快速/灵活（Minutes）
空间（Space）	浪费（Wasted）	高密度利用（High Density）

结语：改变生产方式，改变公司命运

单元生产不仅仅是一种技术，更是面向未来的生存战略。

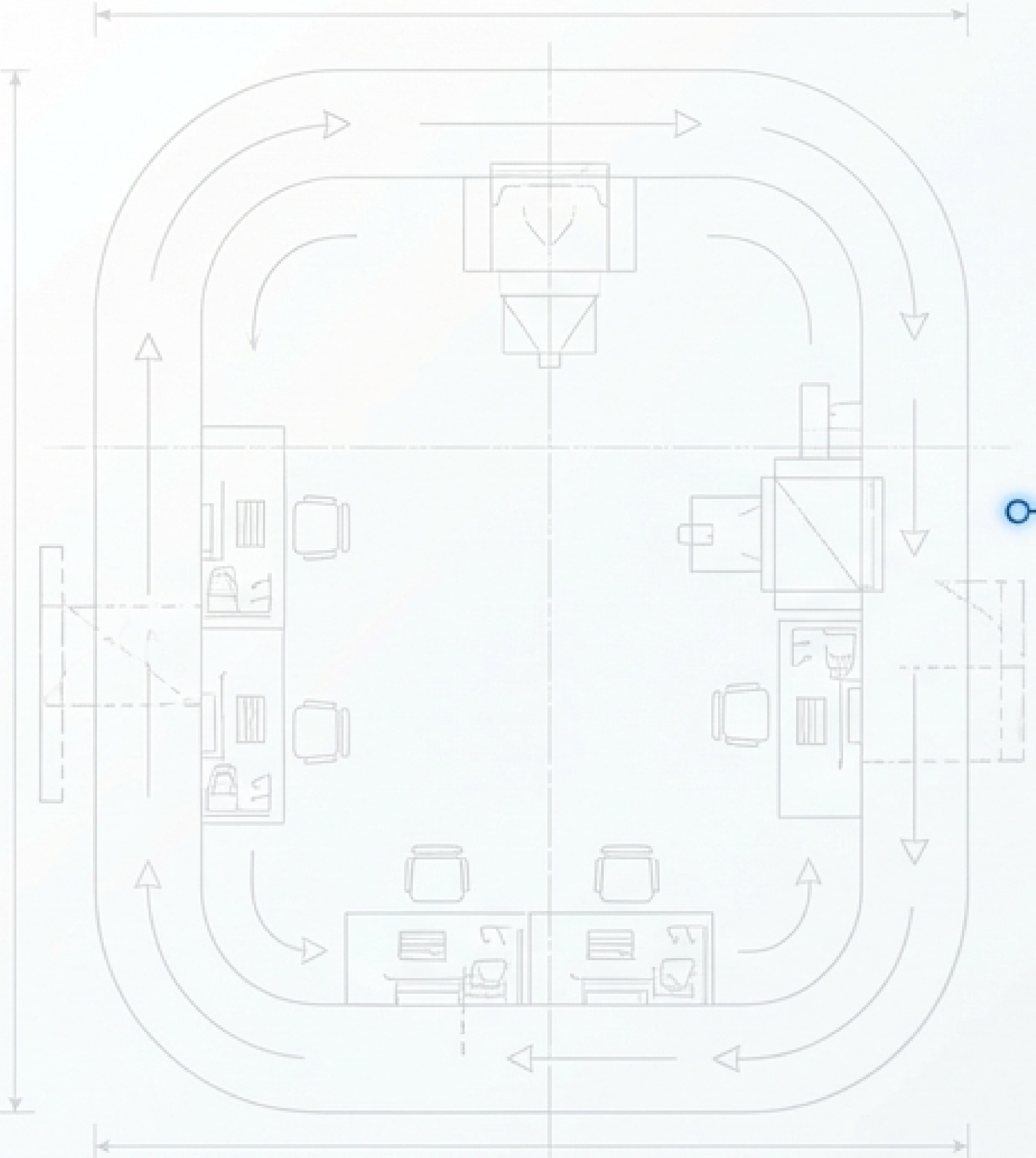
佳能经验：“改变工作方式，就是改变意识。”
(Changing the way we work changes our consciousness.)

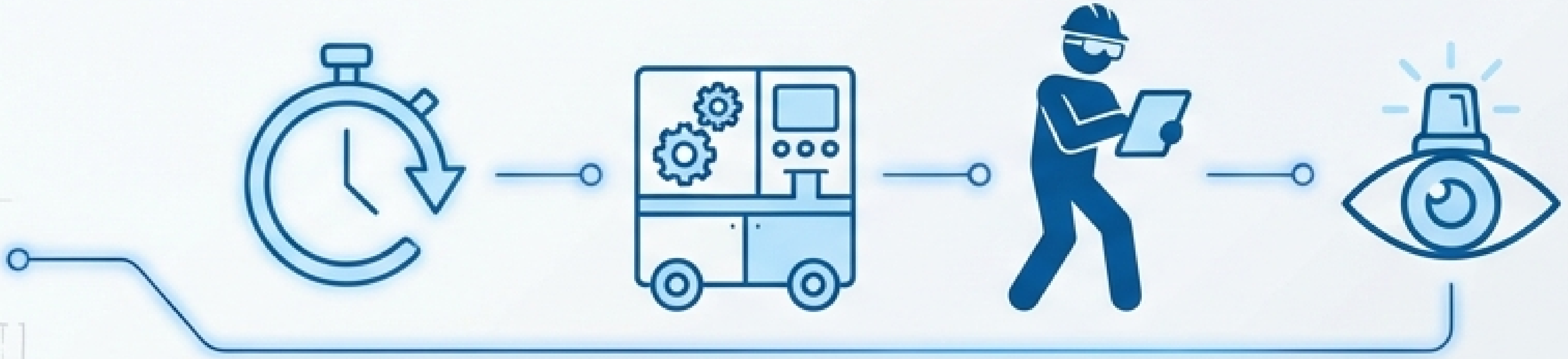
- 立即评估您的生产线瓶颈
- 识别适合的高混合产品族
- 启动您的第一个试点单元（Pilot Cell）

Don’t fear the change. Fear the waste.

高效单元式生产（Cellular Manufacturing）实施指南

从节拍设定、设备工装、人员技能到可视化管理的完整构建蓝图





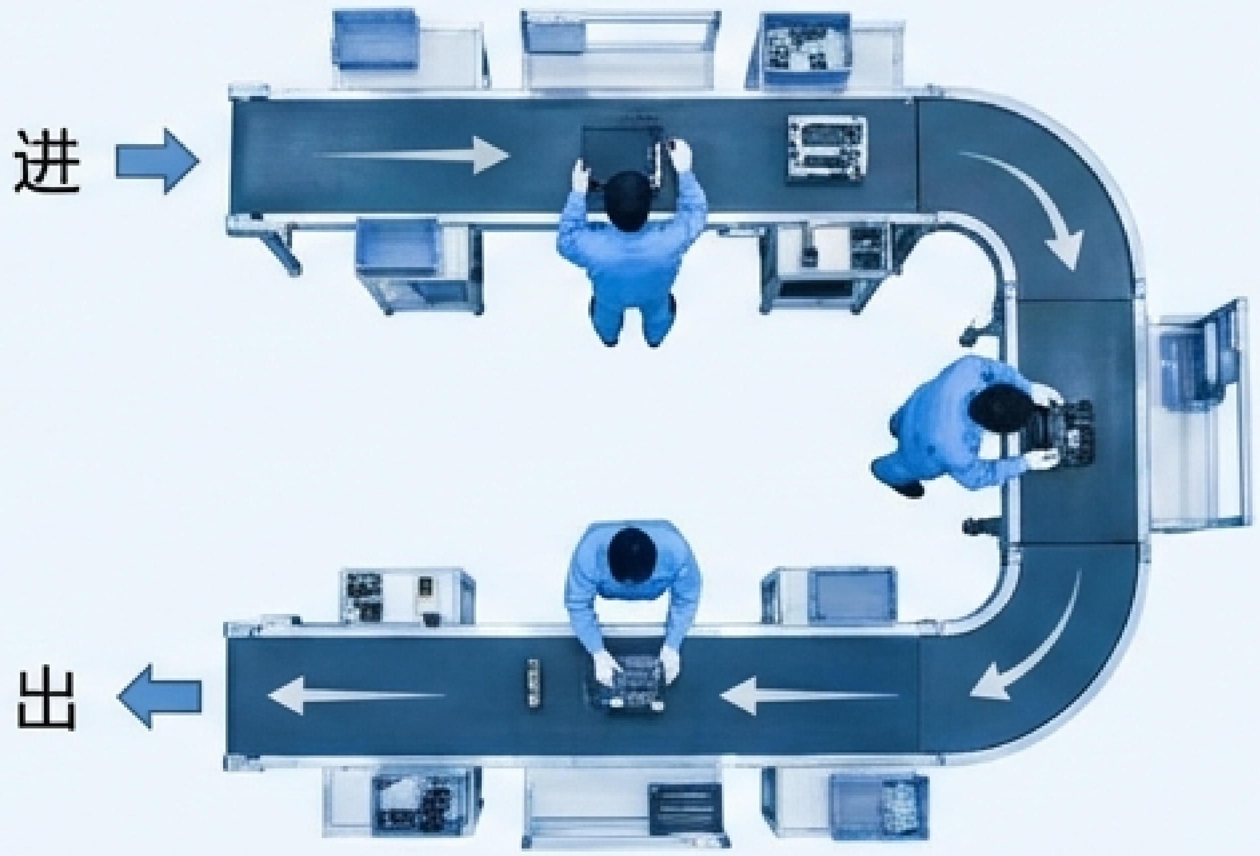
- 核心节拍（Takt Time）：如何计算最合理的生产脉搏
- 硬体设施（Hardware）：设备小型化与“One-touch”夹具设计
- 软体技能（Software）：多能工培养与“站立式”作业要求
- 神经系统（Visualization）：生产线异常的可视化与即时改善

意识变革：从“传送带”到“细胞单元”的进化

传统传送带（Mass Production）

被动等待 **大批量制造**
隐藏浪费 **单调重复**

细胞式生产（Cellular Production）



自主控制 **单件流**（One-piece Flow）
消除浪费 **全过程负责**

核心理念：佳能（Canon）的“三自精神”（自发、自治、自觉）。从“被机器束缚”转变为“驾驭全流程”。

确立生产脉搏：合理的节拍时间（Takt Time）设置

定义：“合理的”节拍时间并非由设备能力决定，而是由**市场需求↗**决定。它是生产线必须达到的目标速度，以实现“零库存”生产。

$$\text{Takt Time (T.T)} = \frac{\text{可利用的有效工作时间}}{\text{客户需求量}}$$

1. 确定客户需求
(每日订单量)

2. 确定实际可用时间
(扣除休息/会议)

3. 计算目标节拍
(秒/件)

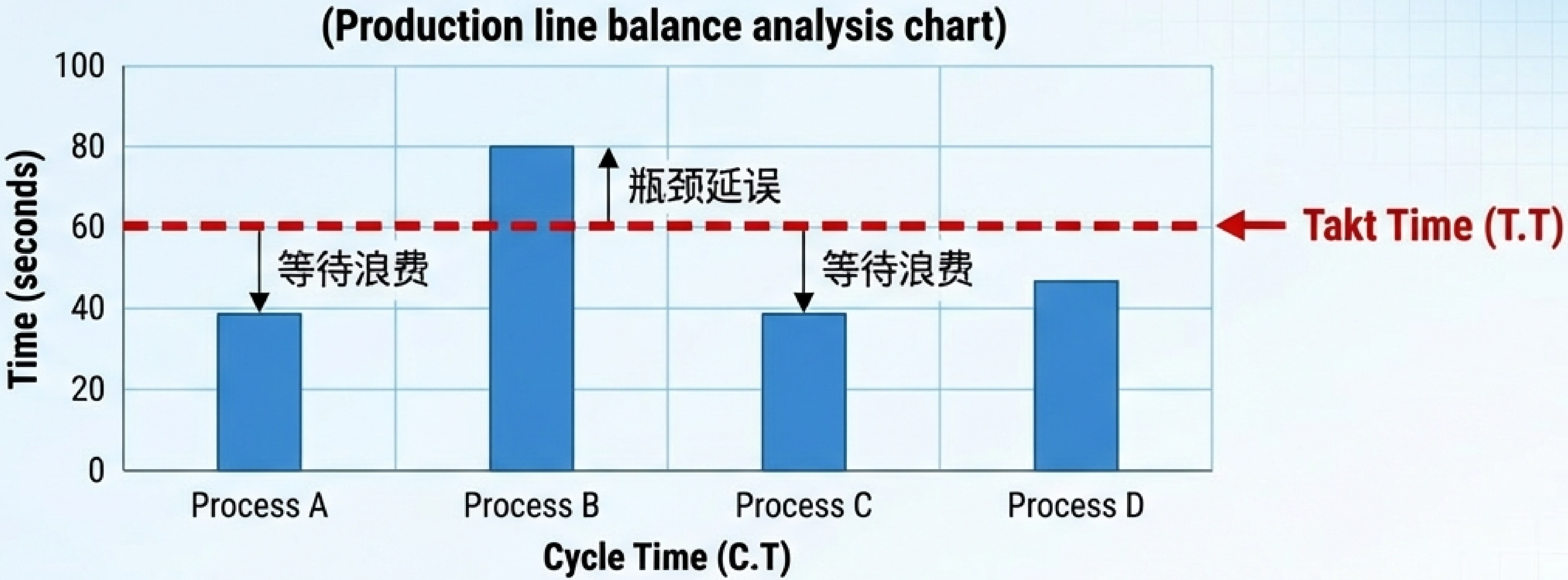
Insight:

Takt Time 是连接销售与制造的桥梁。

如果 T.T = 60秒，生产线必须每60秒产出一个成品。

快了⚠**库存浪费**，慢了⚠**延误交期**。

线体平衡：节拍时间 vs. 循环时间



情景 A（C.T < T.T）

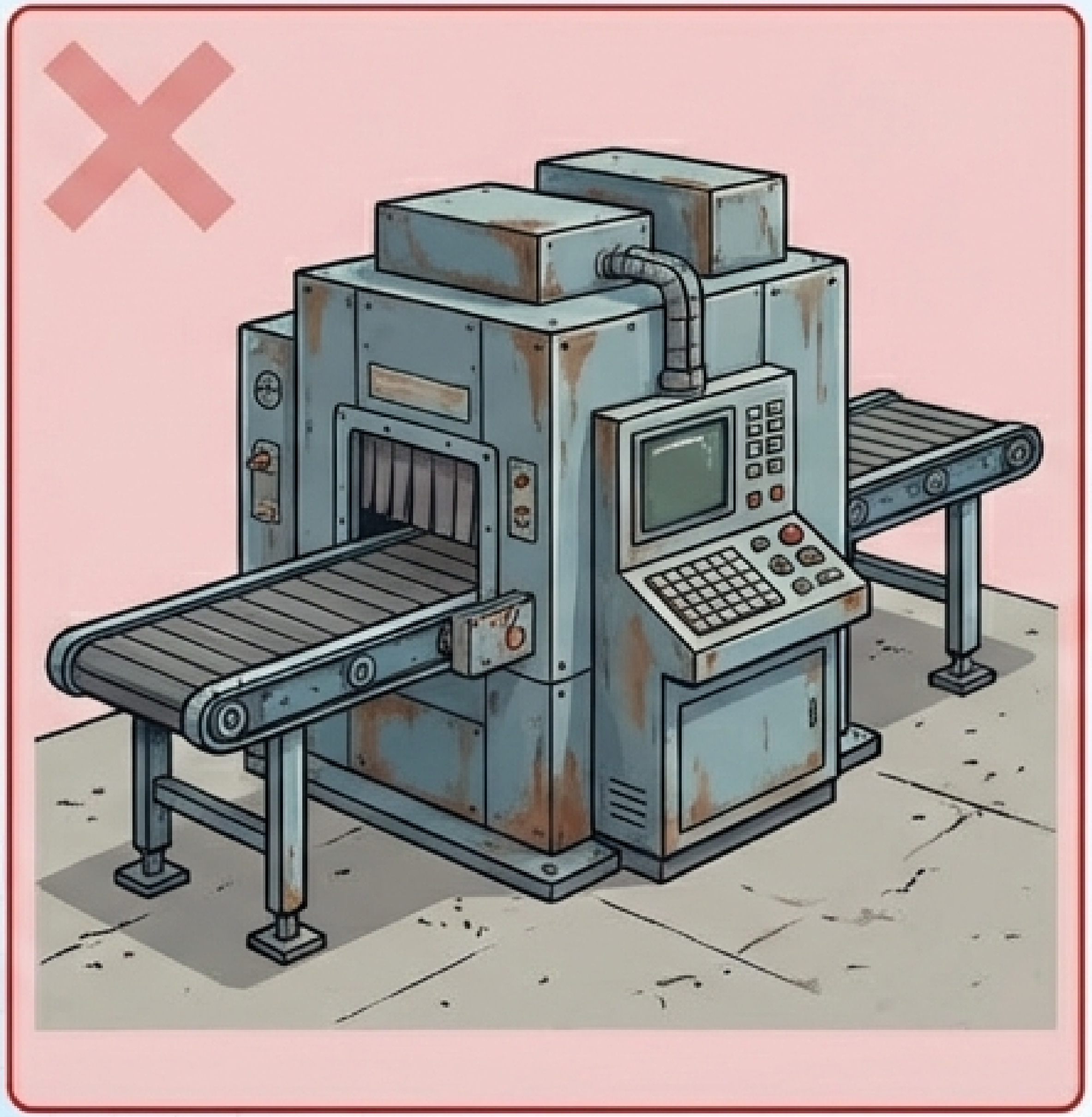
- 产能过剩 → 等待浪费。
- 对策：减少人员或重新分配工序。

情景 B（C.T > T.T）

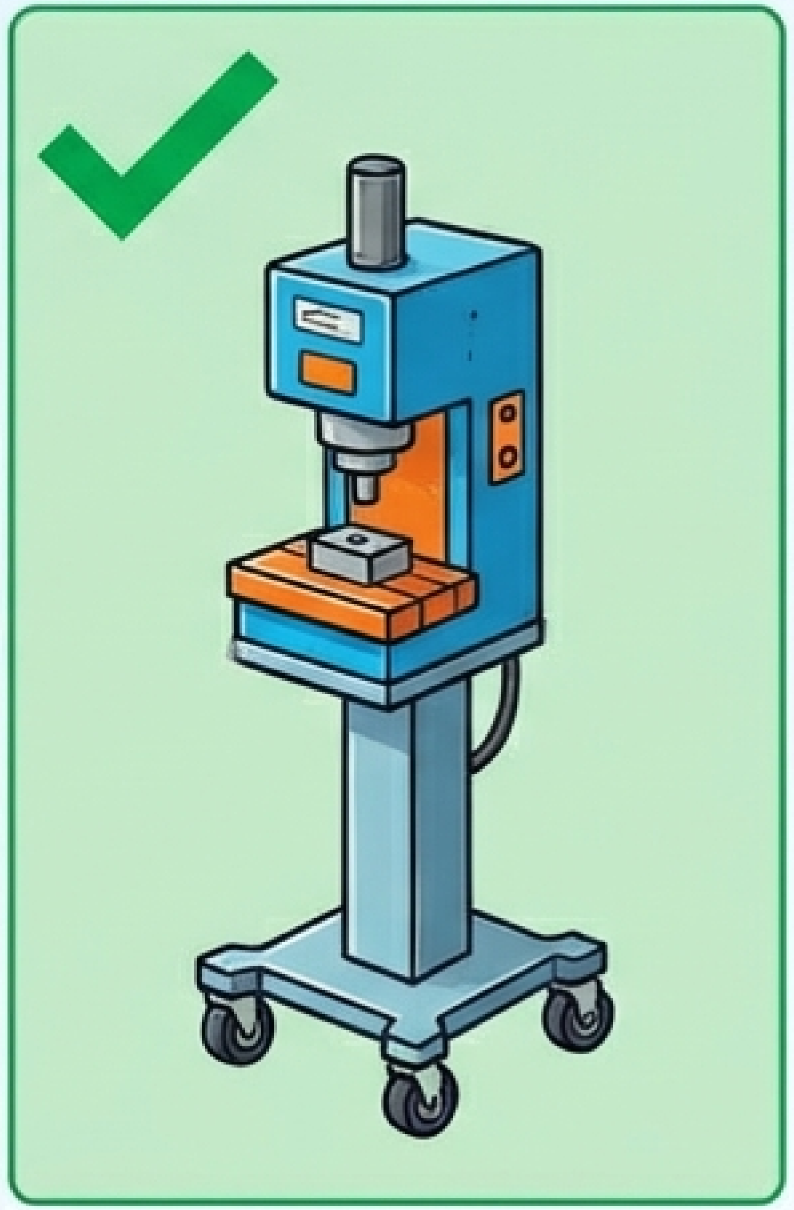
- 产能不足 → 瓶颈延误。
- 对策：改善动作、增加辅助工装。

核心概念：“少人化”（Shojinka）——根据 Takt Time 变化灵活调整作业人数。

设备要求：小型化、专用化与流动性



传统大型机
(Super Machine)

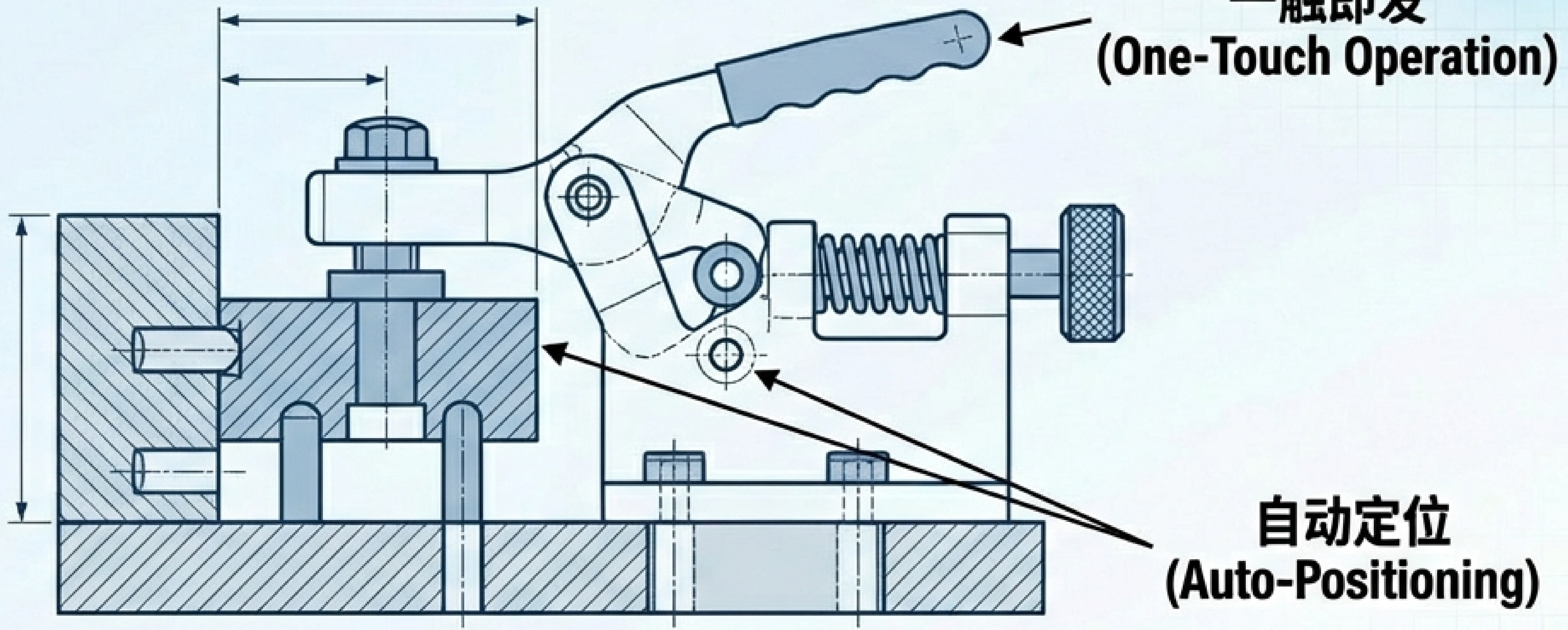


单元专用机
(Cell Machine)

3-Step Equipment Rule

1. **小型与廉价（Small & Cheap）：** 摒弃高速通用机，采用速度适中、功能单一的专用机。
2. **可移动（Movable）：** 设备必须带轮子（Casters），不可固定在地面（No Anchors）。
3. **作业面高度一致：** 所有设备台面高度标准化，支持单件流（One-piece Flow）平滑传递。

夹治具设计：支持“零切换”与“单手化”

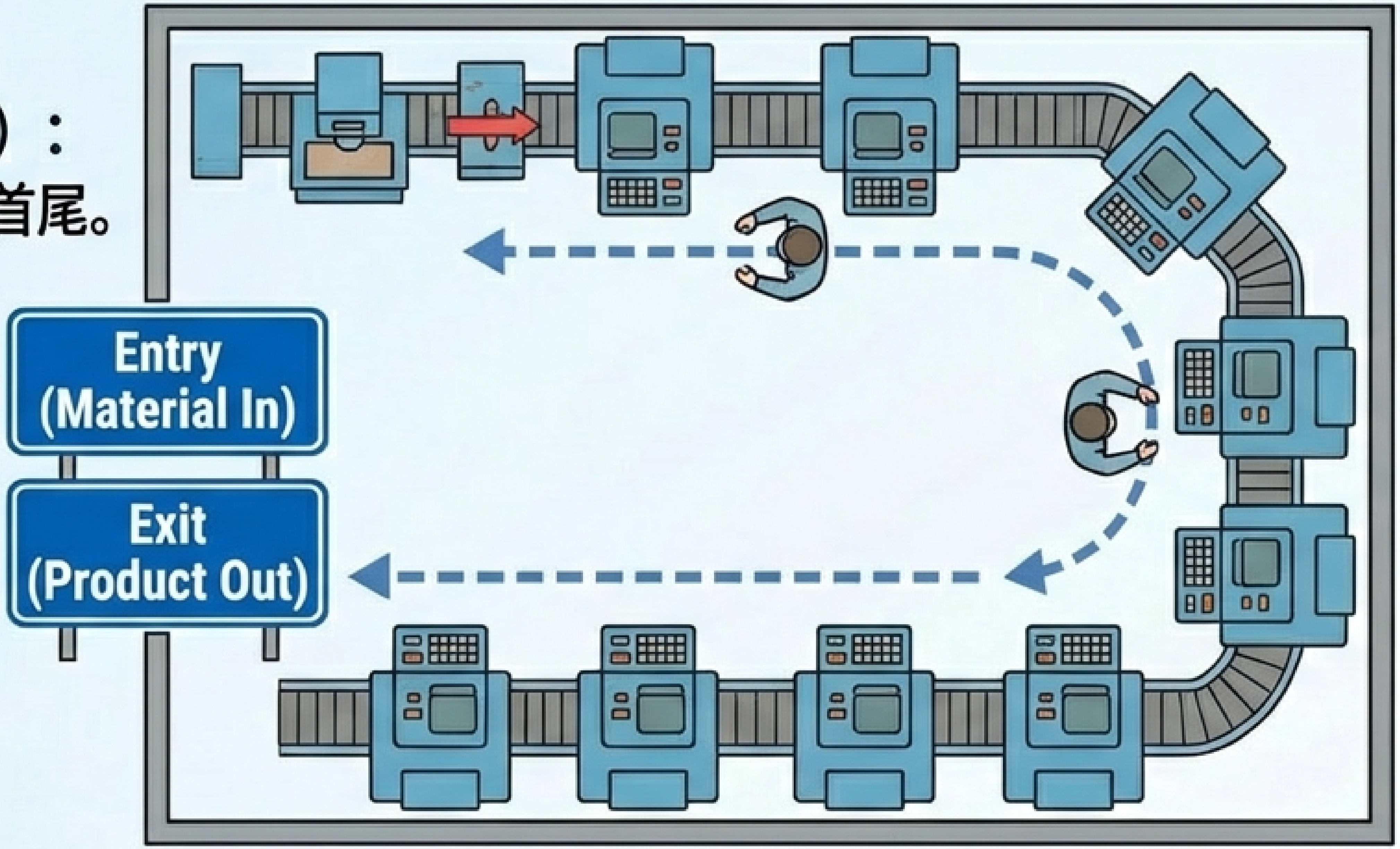


Key Requirements

- **Chucker 机制：**模仿 Canon 概念，工件放入即夹紧，取出即松开。
- **防呆设计**（Poka-Yoke）：结构上防止工件放反或误操作。
- **自动抛出：**加工完成后工件自动弹出或滑向下一工序。

布局设计：为何“U型线”是最佳选择？

入口出口合一
（I/O Consistency）：
允许单人负责整线首尾。



逆时针流动：
符合人体工学，
便于右手操作。

消除孤岛：
设备紧密排列，无传送带，无在制品堆积。

人员技能要求：从“单能工”到“多能工”

Skill Training Matrix (ILU Chart)

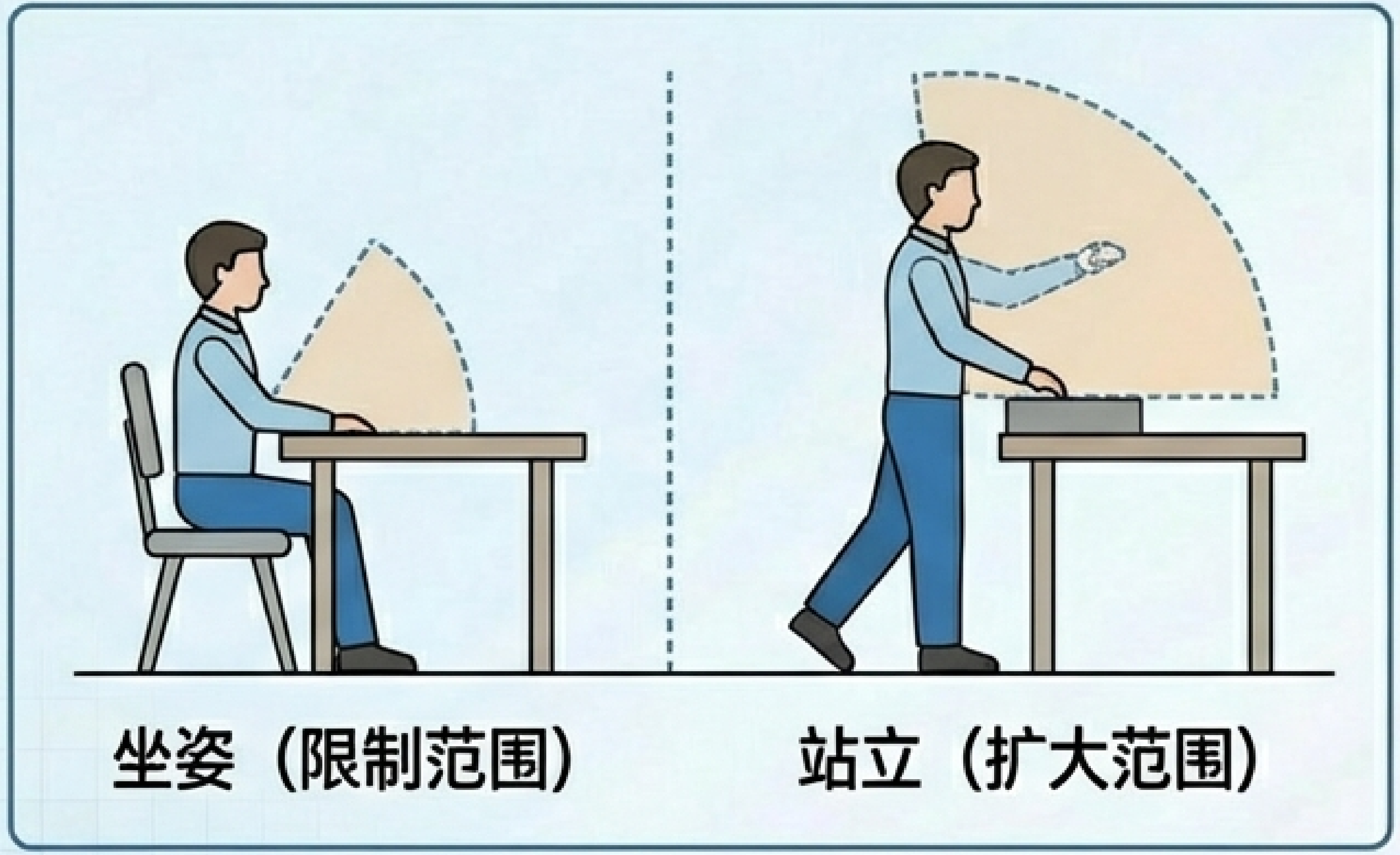
	Drilling	Assembly	Inspection	Packing
张三	●	◑	◔	●
李四	●	●	◑	◑
王五	◑	◔	●	◔

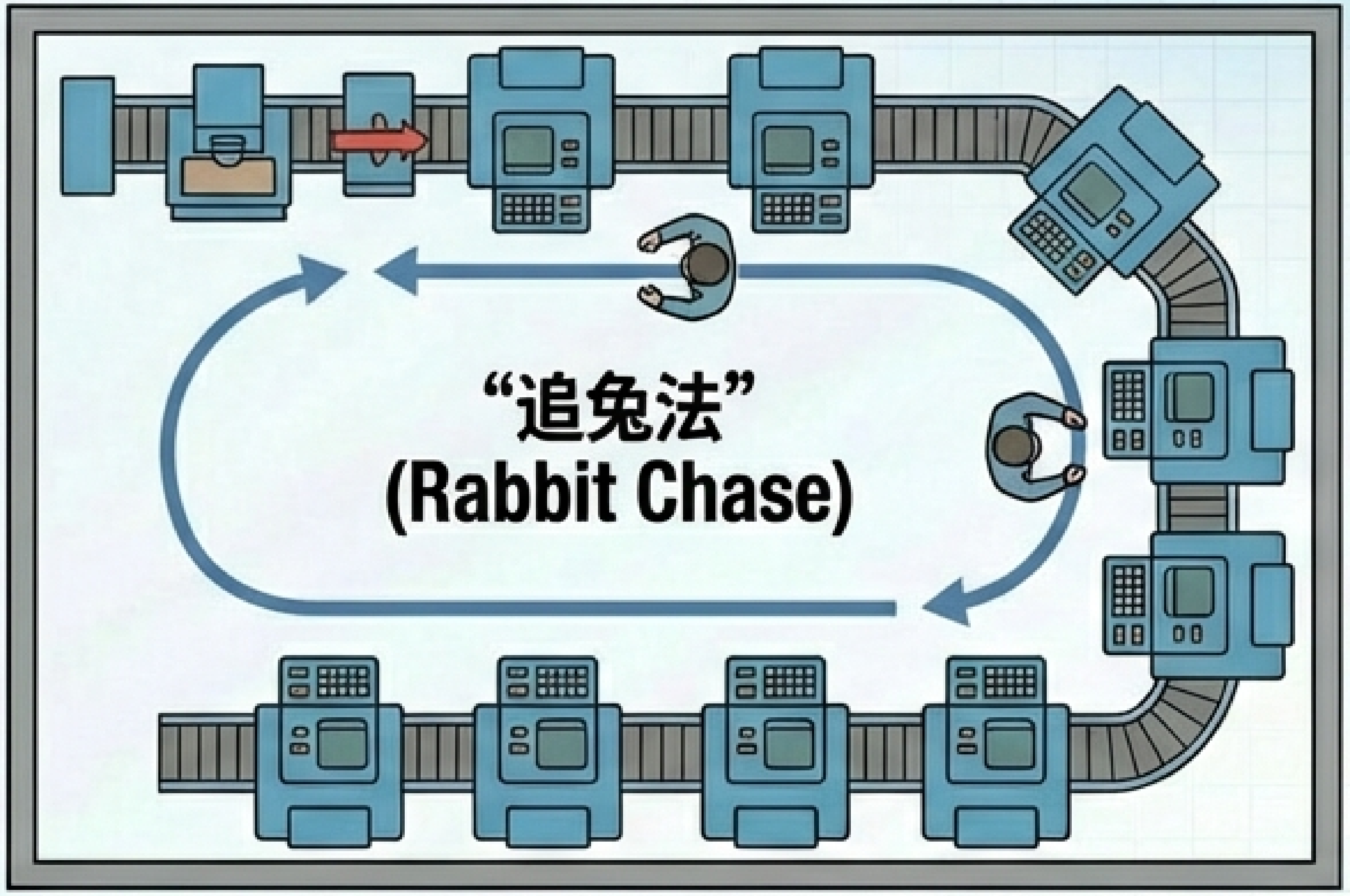
◔ Learning ◑ Can do ● Can teach

Key Points

- **传统：**单能工 (Single Skill) - 一人一机。
- **单元生产：**多能工 (Multi-Skilled) - 掌握3-5种工序。
- **目的：**提升弹性 **(Resilience)**。当 **Takt Time** 改变时，可灵活调整人数而不停线。

作业方式：站立作业与巡回移动





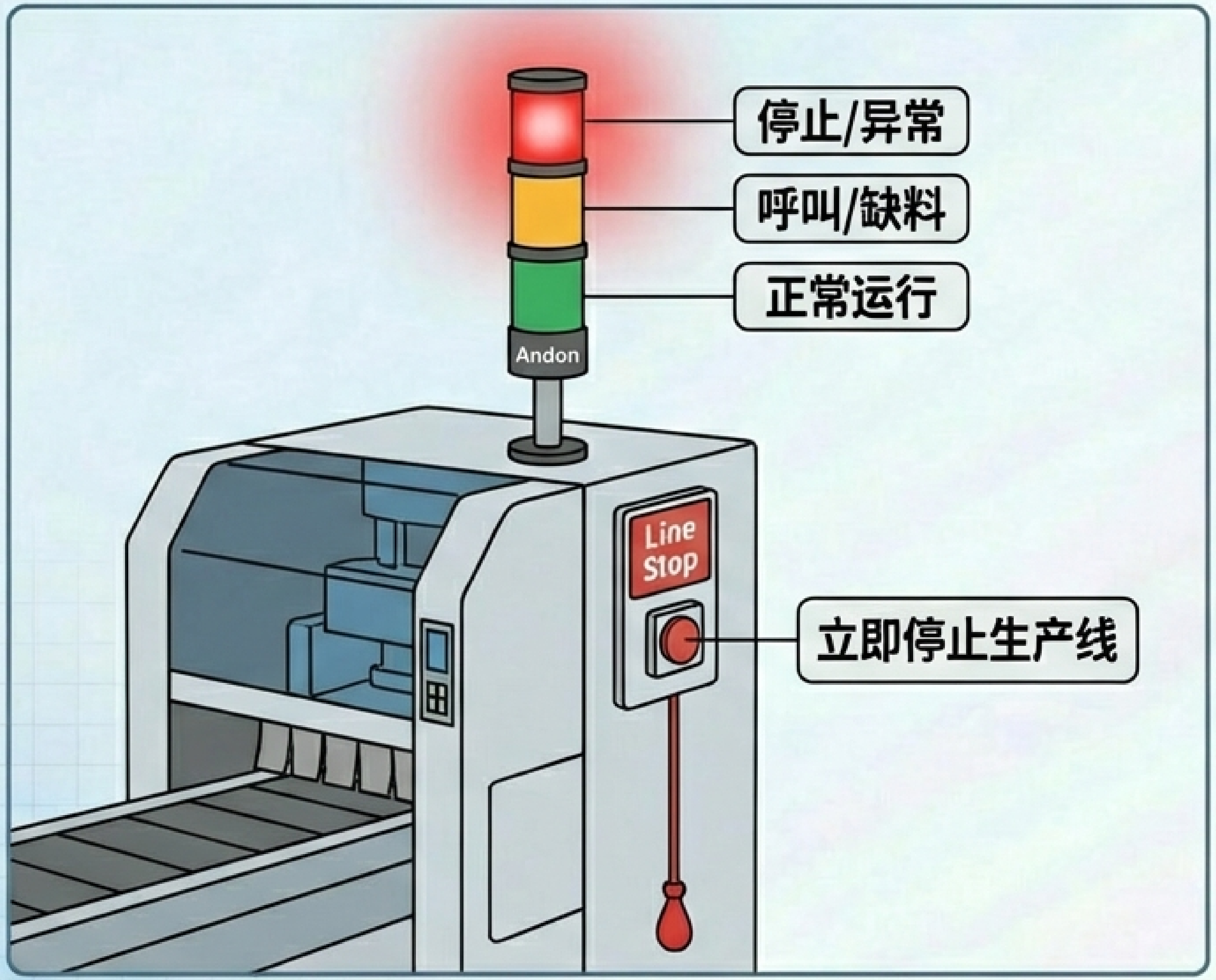
- **必须站立作业**：坐姿无法满足多工序移动需求。消除椅子是第一步。
- **“追兔法” (Rabbit Chase)**：作业员像接力赛一样，依次完成所有工序。
- **作业与移动分离**：布局应最小化无价值的“走路”时间。

人员素质：培养自主改善的“细胞核”

- **自发（Self-motivation）：** 主动发现问题，不等待指令。
- **自治（Self-management）：** 自主维护设备，自主保证品质。
- **自觉（Self-awareness）：** 理解自身在全流程中的价值。

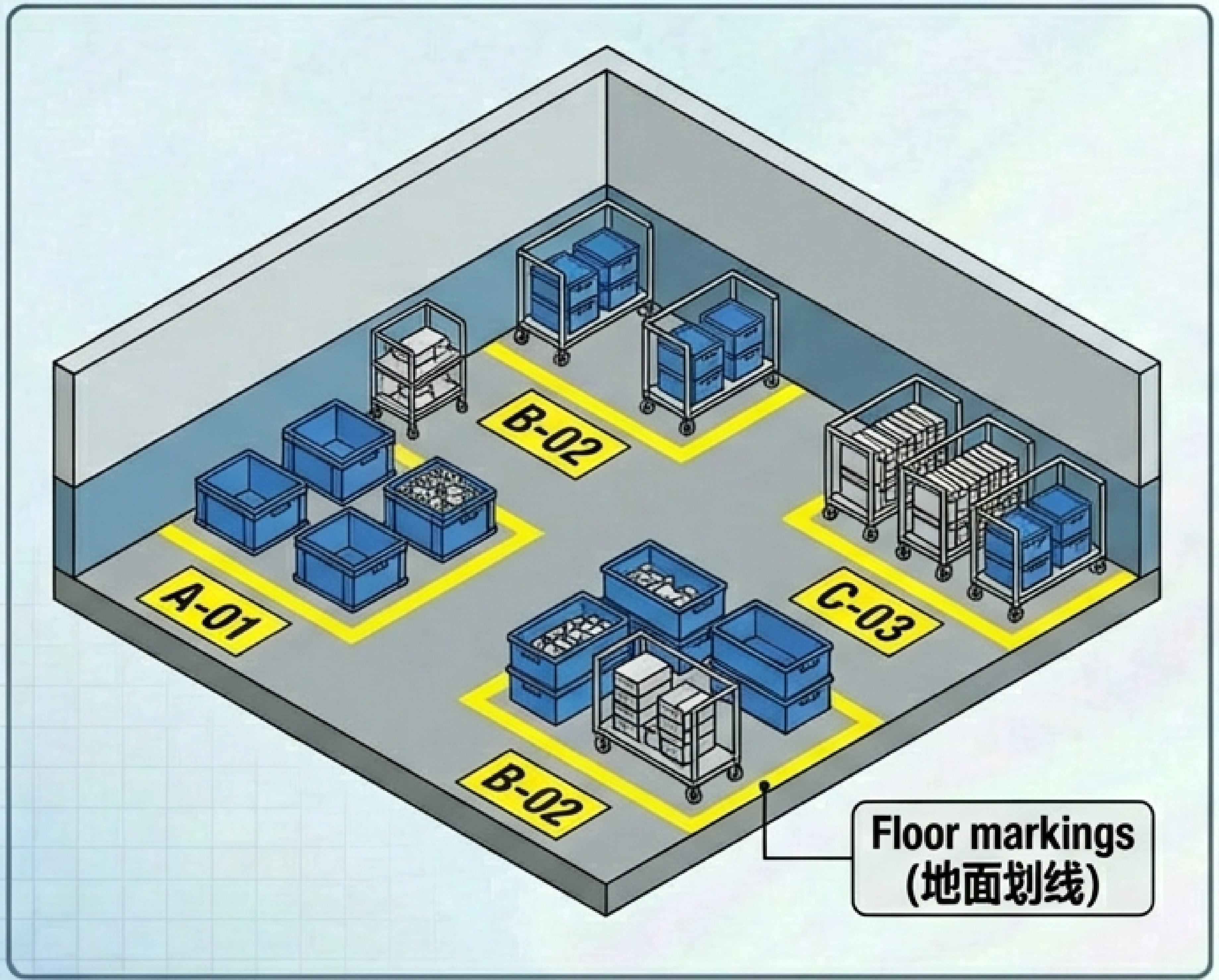
角色转变：员工不再是简单的“执行者”，而是现场工艺的“改善者”。

可视化管理I：打造“会说话”的生产现场



- **Andon（安灯）系统：** 异常发生时，立即亮灯报警。
- **三色原则：**
  红(停止/异常) 黄(呼叫/缺料) 绿(正常运行)
- **核心原则：** **“不接受不良、不制造不良、不传递不良”**。必须有勇气在问题发生当下立即停止生产线。

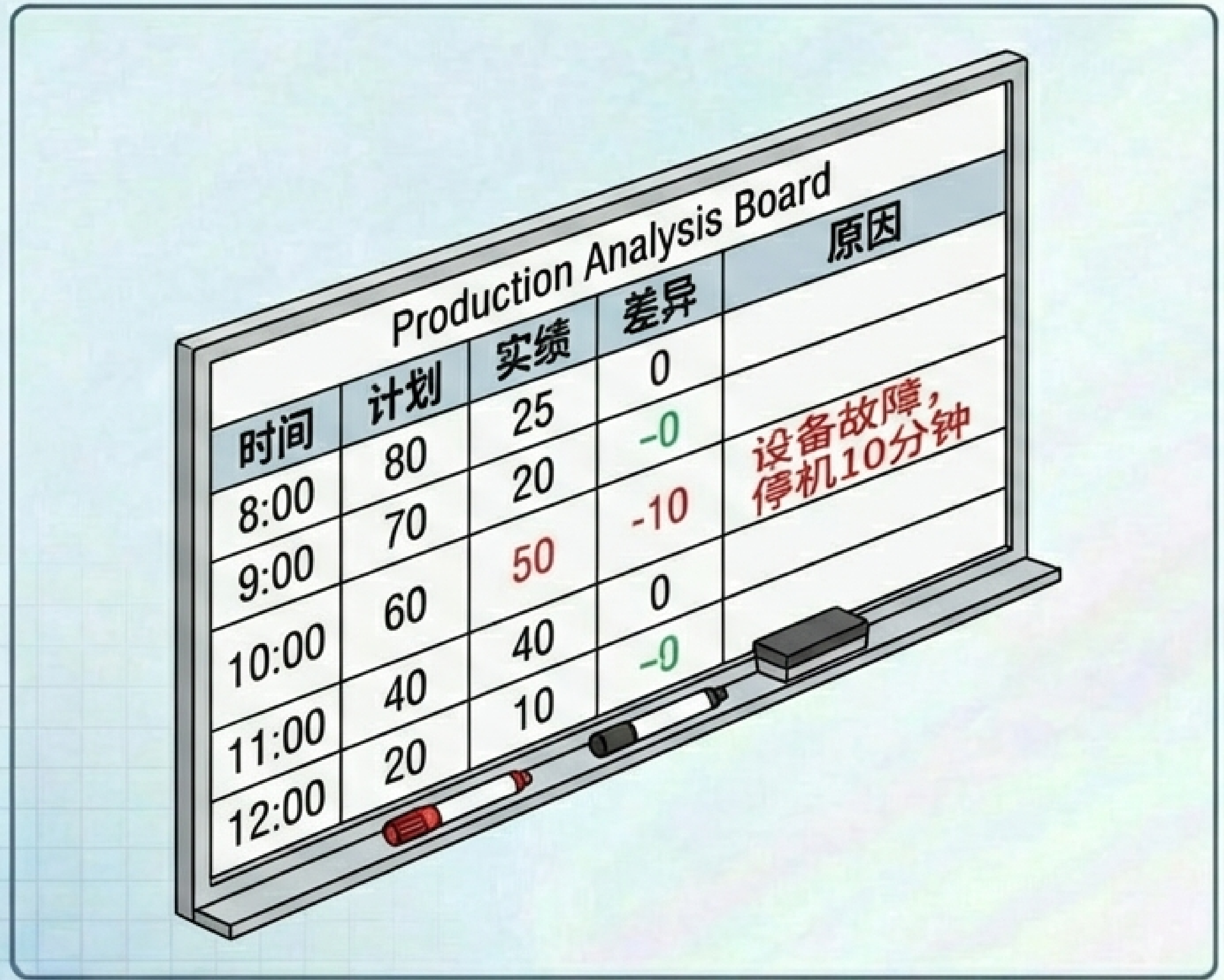
可视化管理 II：物流与库存的透明化



- **Kanban（看板）运作**
  指示“生产什么”与“领取什么”。

- **三定原则**
  定位（Address）：地面划线，物归其位。
  定容（Container）：使用标准化容器。
  定量（Quantity）：设定最大/最小库存线，超标即异常。

生产管理板：每小时的“胜负”决算



- **每小时追踪**：记录计划与实际产量的差距。
- **即时记录**：异常发生时立即用红笔写下原因（设备故障？缺料？）。
- **目的**：将“事后分析”转变为“事中控制”。让问题在发生的当下暴露。

NotebookLM

实施总结：单元式生产成功要素清单

节拍 (Takt)

根据客户需求计算 T.T，平衡循环时间。

设备 (Machine)

设备小型化、专用化、带轮子可移动。

工装 (Jig)

实现“One-touch”装夹，无螺丝，自动抛出。

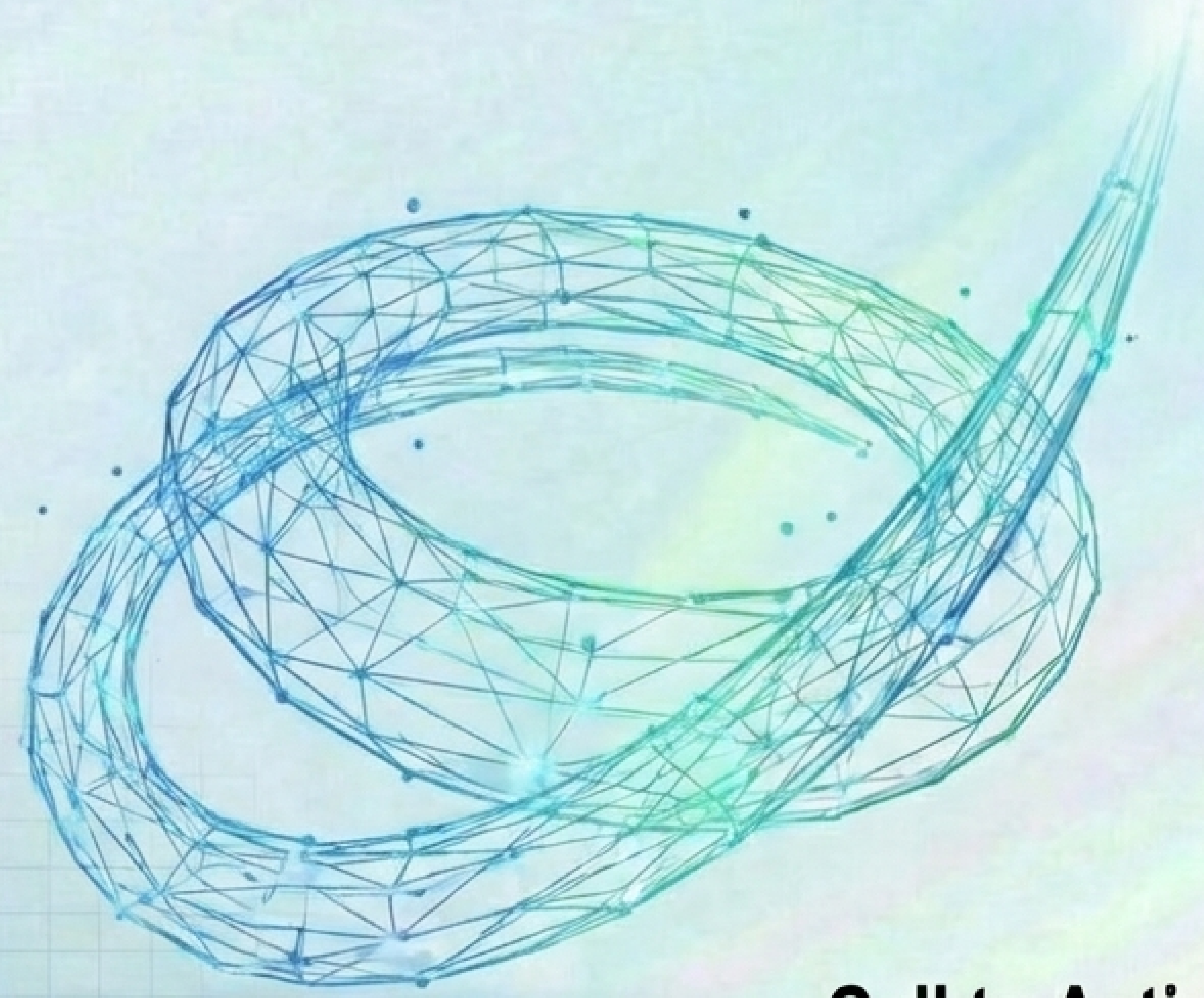
人员 (Man)

站立作业，巡回移动，培养多多能工。

可视 (Visual)

Andon 系统与小时管理板，异常即时暴露。

永无止境的改善（Kaizen）



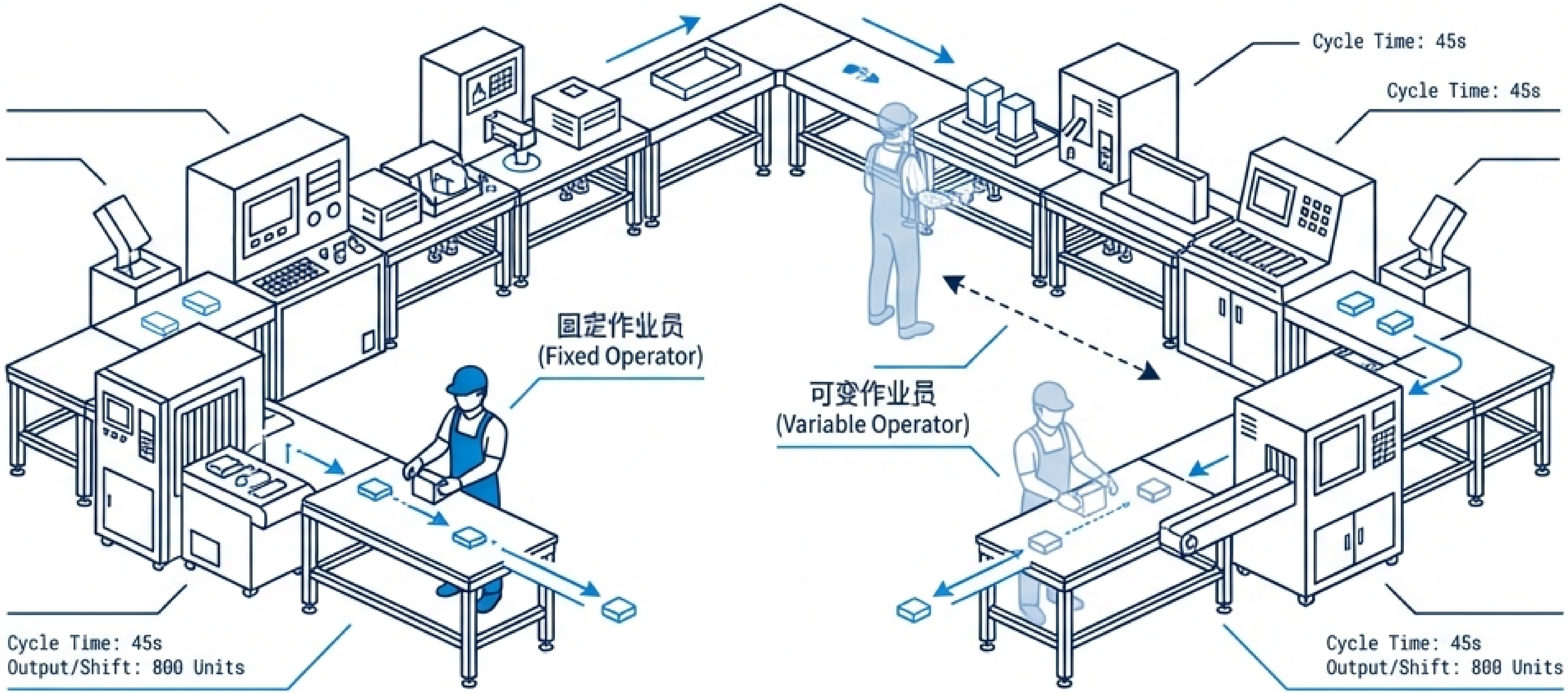
单元生产不是终点，而是暴露问题、解决问题的动态过程。

“现状只是改善的起点。”

Call to Action：从消除身边的第一个浪费动作开始。

单元生产线定员实战指南

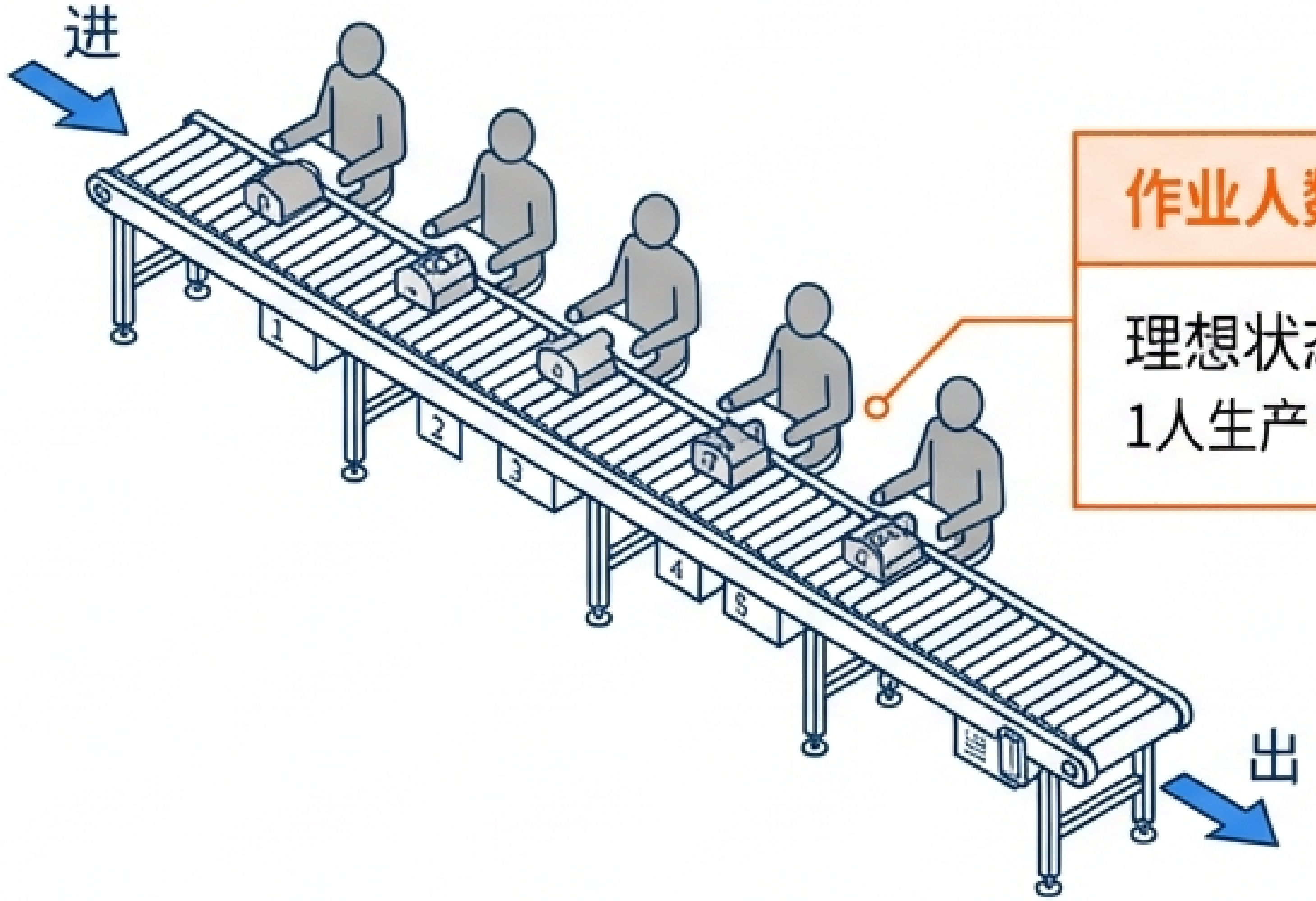
揭秘单元线作业人数的计算逻辑与灵活配置



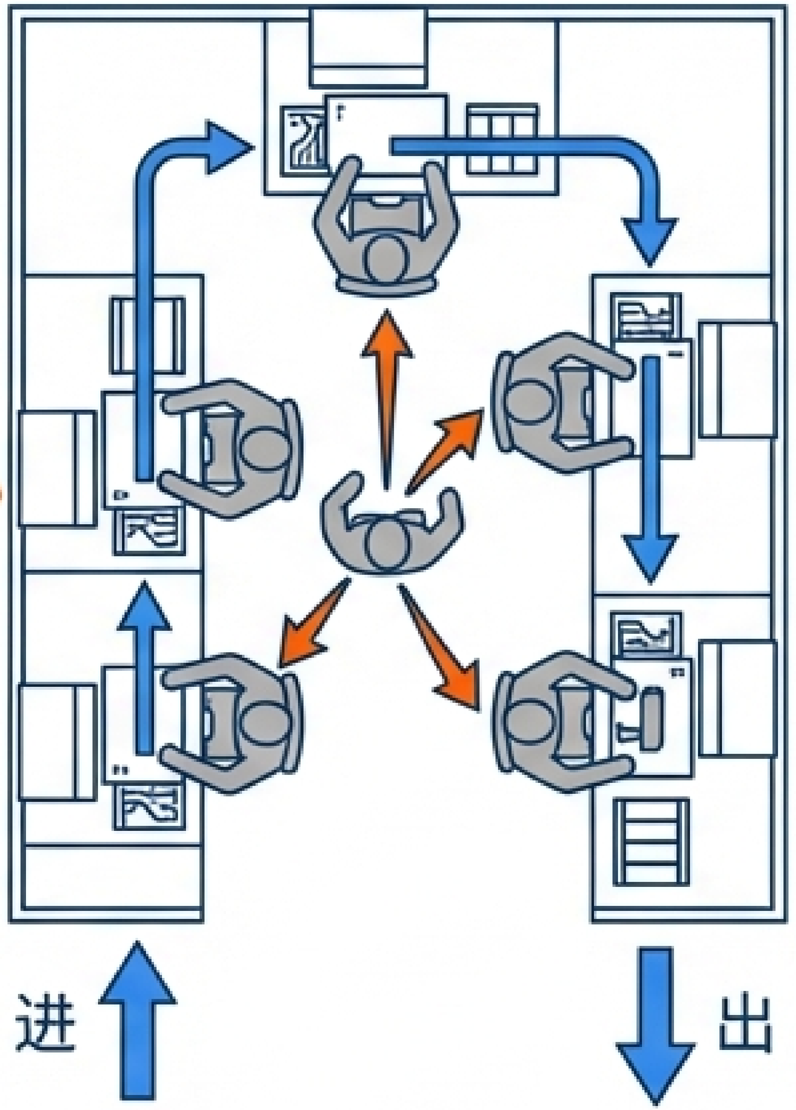
“单元线一般多少人作业？答案不在于‘一般’，而在于‘需求’。”

告别“定员制”：单元生产的核心是“弹性”

传统：定员制（Fixed Staffing）



精益：少人化（Shojinka）



作业人数范围：1人 ~ 12人

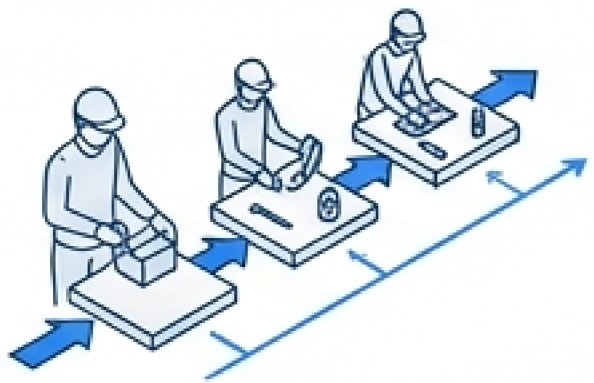
理想状态：
1人生产 ↔ 多人生产 随需切换

决定人数的黄金公式

$$N = \frac{\sum \text{手作业时间}}{\text{节拍时间 T.T}}$$

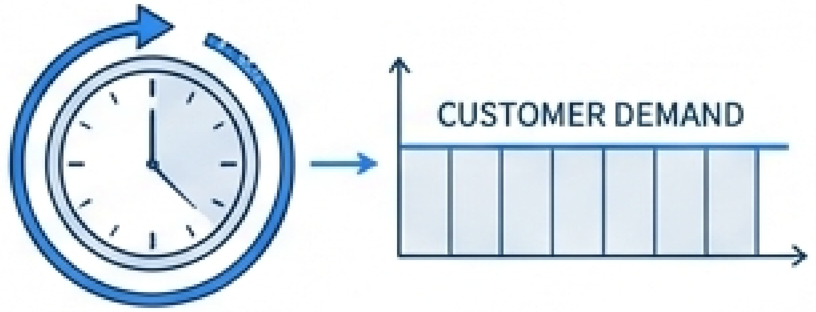
∑手作业时间（Total Manual Cycle Time）

完成一个产品所需的所有人工作业时间总和。



节拍时间（Takt Time）

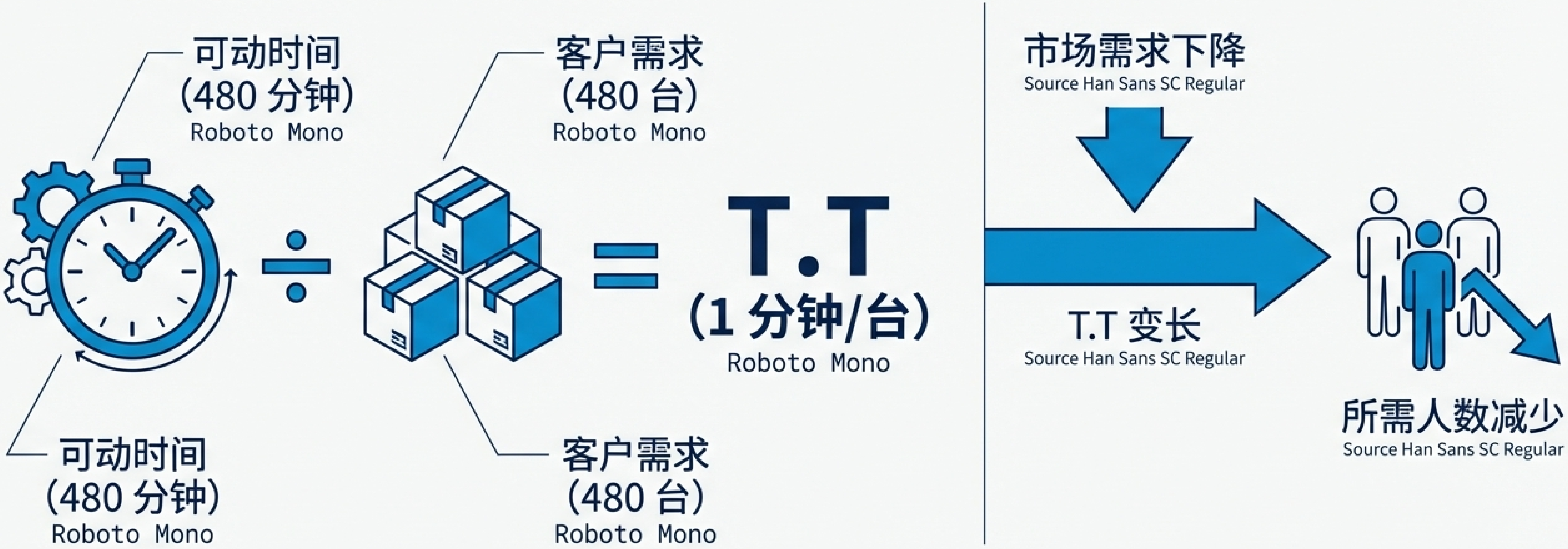
完全由客户需求决定的生产速度。



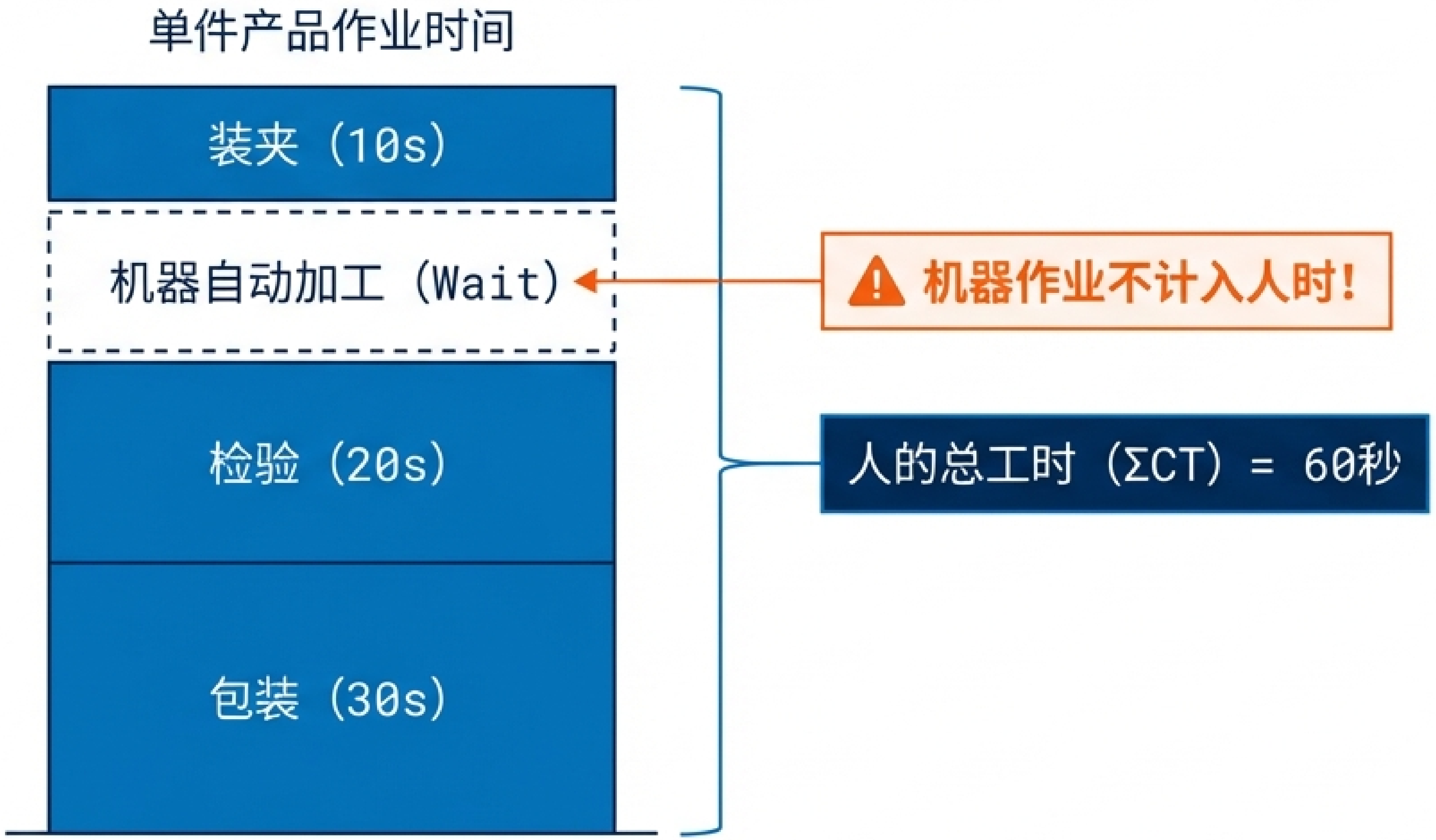
注意：机器自动加工时间不计入分母！只计算人的工作量。

第一步：确定生产节拍 (T.T)

T.T 是生产线的“心跳”，由市场决定。



第二步：测算人的作业总时间



原则：人机分离。不要让操作员“看守”机器。

第三步：代入公式与取整

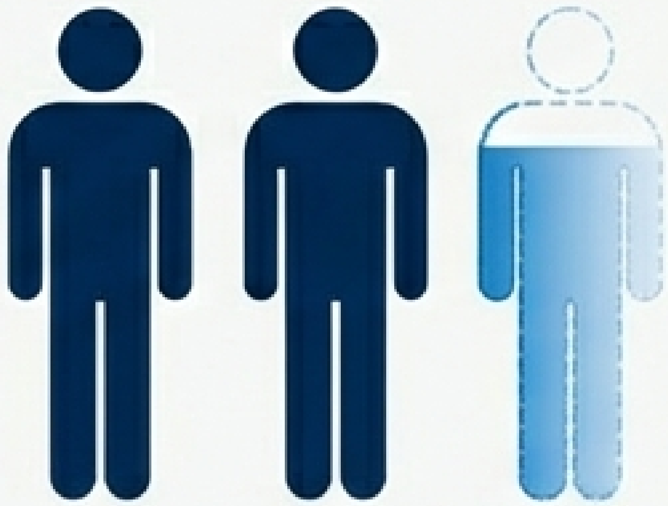
人的总作业时间 = 170 秒
Roboto Mono

节拍时间（T.T） = 60 秒
Roboto Mono

$$170 \div 60 = 2.83$$

Roboto Mono

计算所需人数



2.83 人
Roboto Mono

初始配置：3 人

（向上取整）
Source Han Sans SC Regular

改善目标：2 人

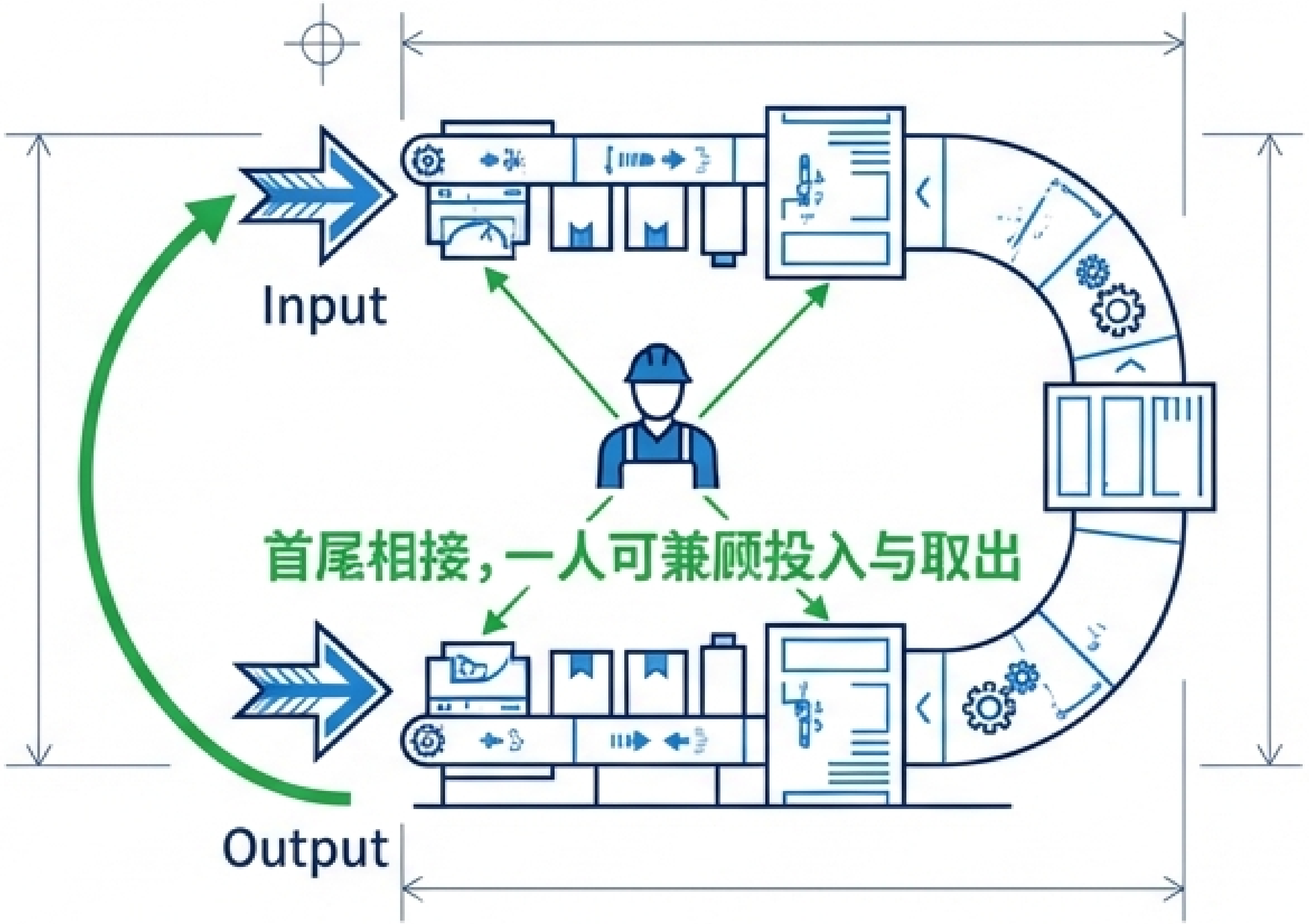
Source Han Sans SC Regular

消除 0.83 的工作量或提升效率，将总时间降至 120秒。
Roboto Mono

为什么 U 型线最适合弹性定员？

直线型 (Straight)

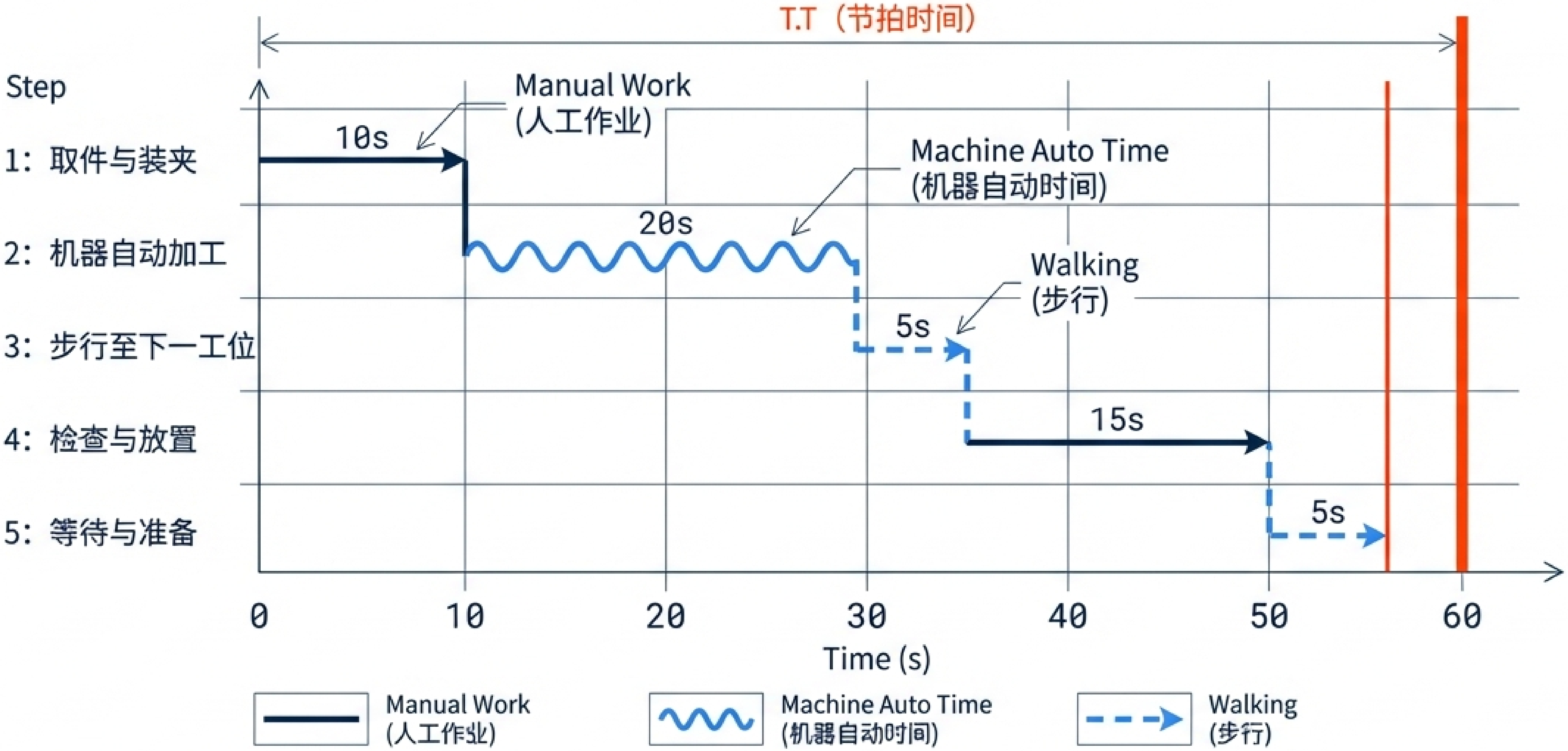
U型 (U-Shape)



Precision Engineering Editorial

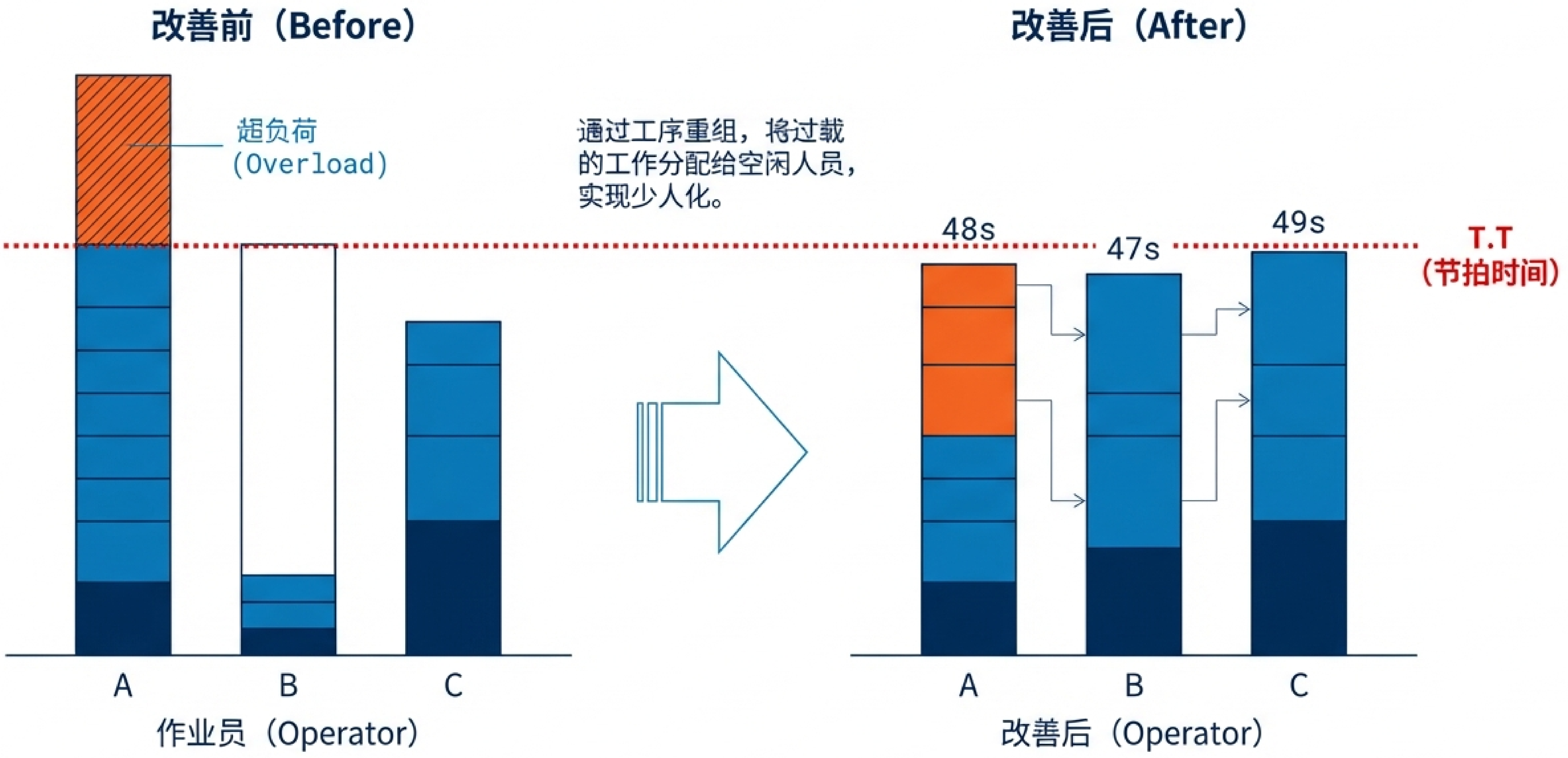
验证工具：标准作业组合票

可视化人的动作与机器时间的配合



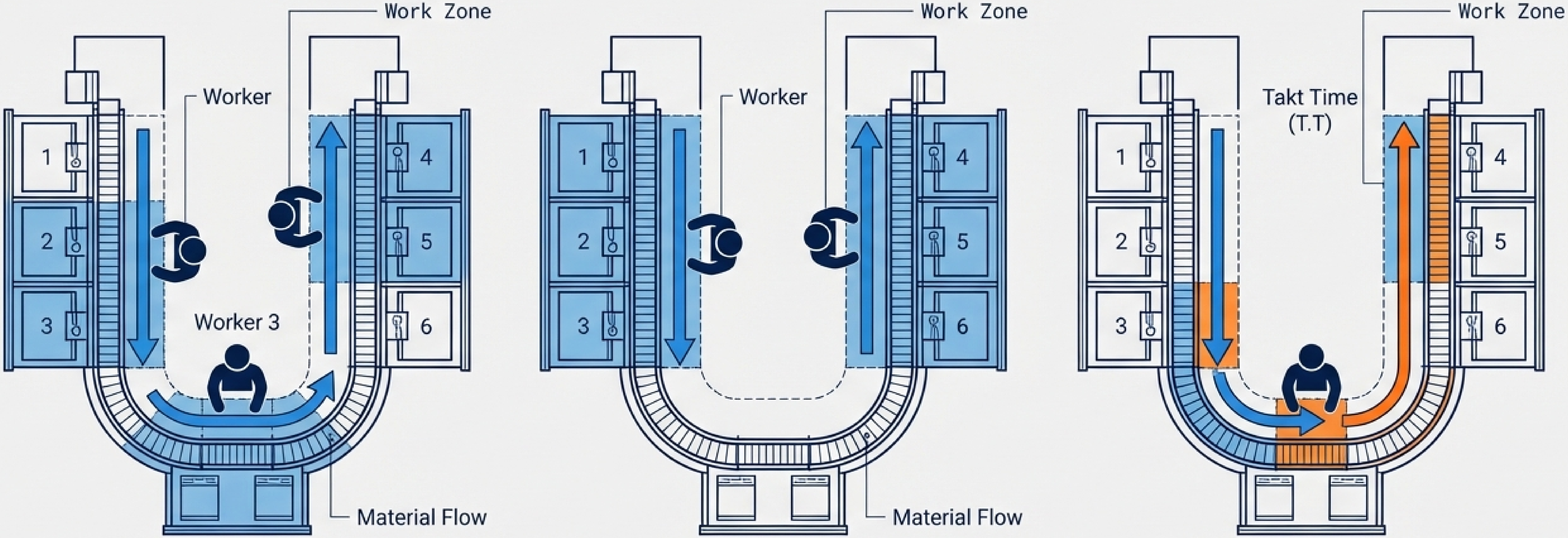
NotebookLM

生产线平衡：山积图（Yamazumi Chart）



Precision Engineering Editorial

少人化（Shojinka）：随需求波动的“手风琴”式用人



高需求（T.T=60s） 中需求（T.T=90s） 低需求（T.T=180s）

前提条件：多能工（Multi-Skilled Workers）

没有多能工，就无法调整作业人数

多能工技能矩阵表

员工姓名	钻孔	装配	检验	包装
张三	●	●	●	●
李四	●	●	○	○
王二	○	○	●	●

跨工序能力

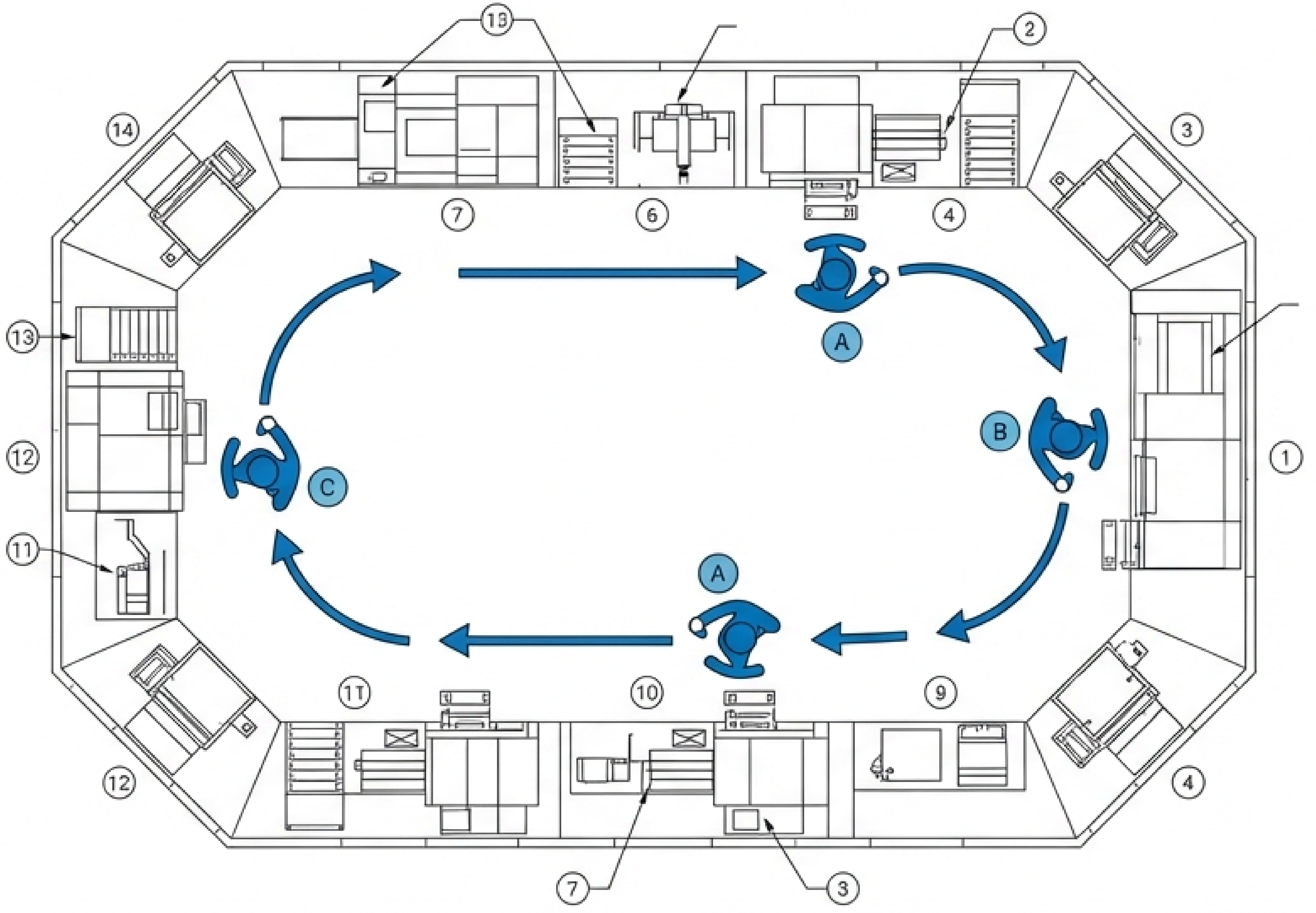
全能工

技能互补

Source Han Sans SC Regular, Deep Navy Blue

策略：培养能跨工序作业的员工，打破工种界限。

高级应用：巡回生产（Rabbit Chase）



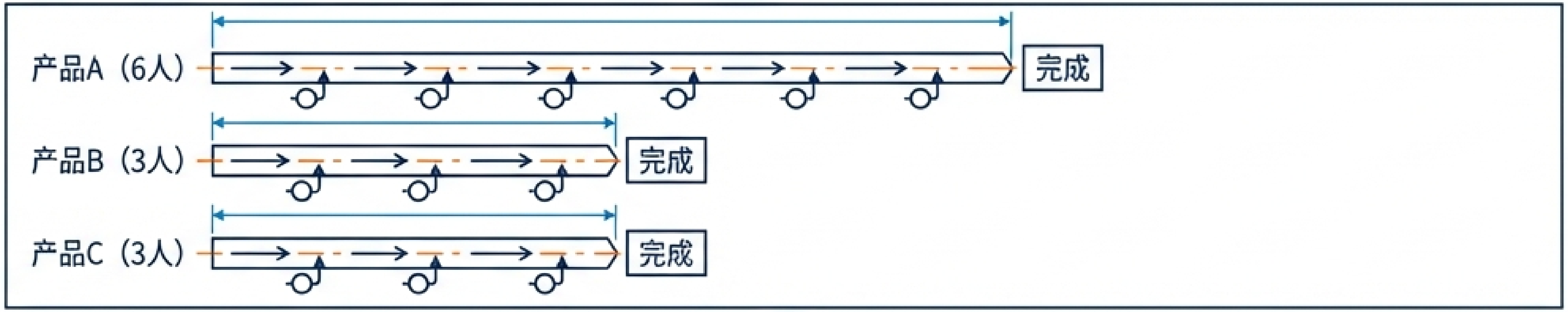
- 每个人都完成所有工序
- 无等待时间
- **自动平衡**

Source Han Sans SC Regular, Deep Navy Blue

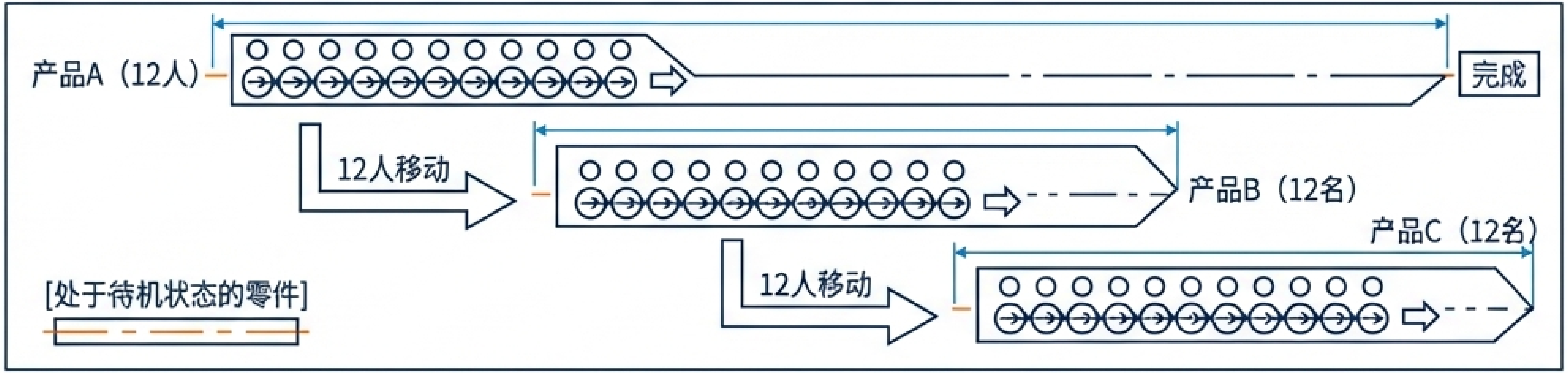
策略：培养能跨工序作业的员工，打破工种界限。

佳能案例：候鸟方式（Bird Migration）

（以前）产品A、B、C分别由6名、3名、3名操作者完成。

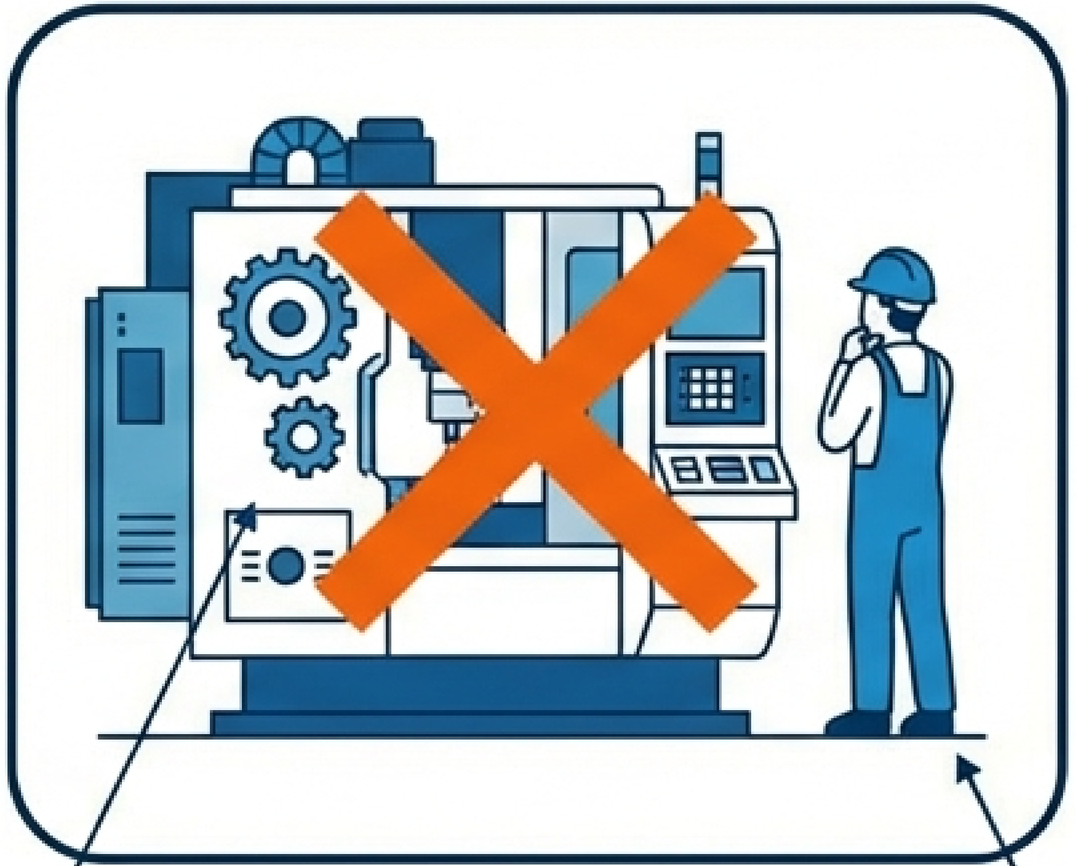


（假鸟方式）产品A由12人完成→产品B由12人完成→产品C由12人完成



将固定分工的团队合并，随产品生命周期整体移动，如候鸟迁徙。

确定人数时的常见误区



按机器能力计算（错误）

应按客户需求（T.T）计算

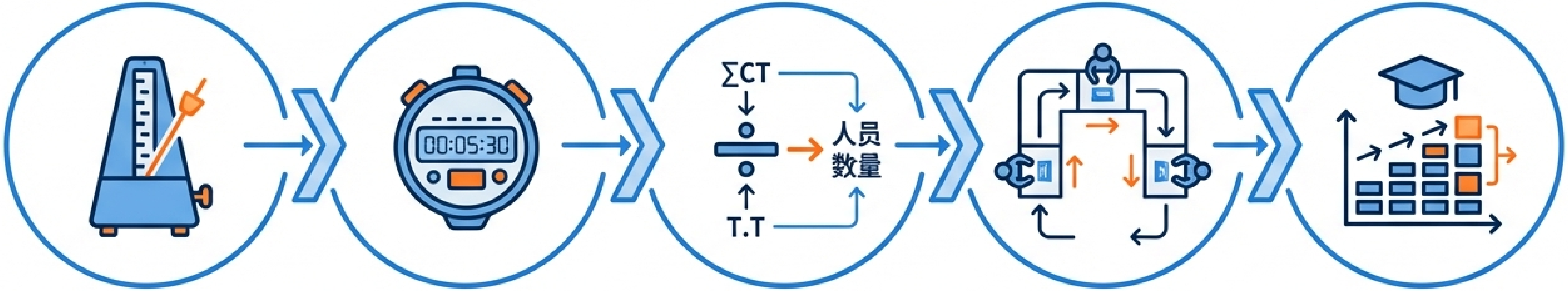
孤岛作业（错误）

导致库存堆积，无法变动人数

忽视水蜘蛛（错误）

必须分离搬运与作业

总结：定员计算五步法



1. 算节拍 (T.T)

根据客户需求计算节拍时间

2. 测工时 (∑CT)

测定各工序标准工时总和

3. 除一除 (Calculation)

人员需求 = ∑CT / T.T

4. 排 U 线 (Layout)

根据人员数量进行 U 型线布局

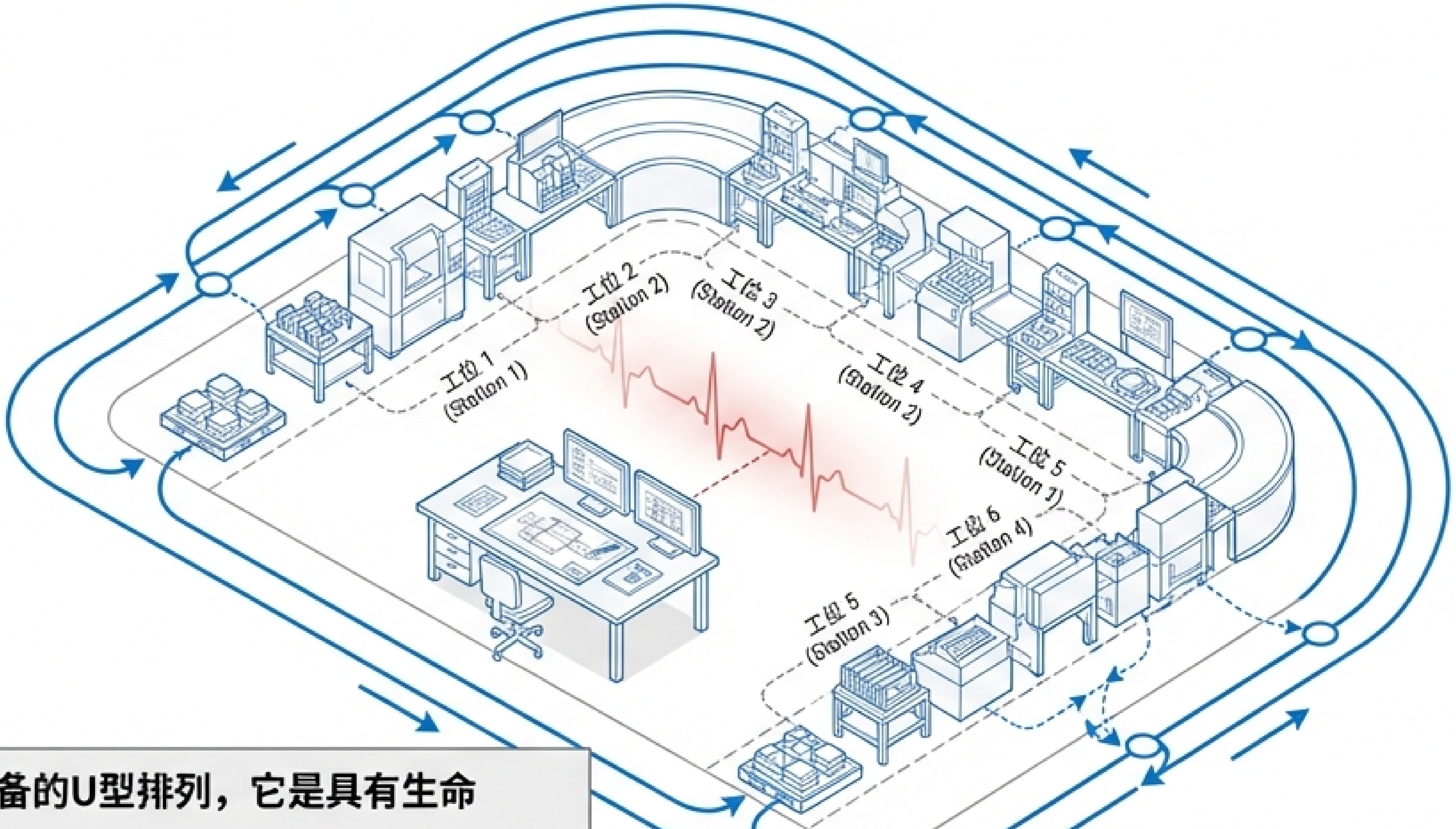
5. 练多能 (Training)

培养多能工，实现弹性生产

“正确的定员不是一个固定的数字，而是一种随需而变的能力。”

单元线生产的“供血”与“脉搏”

掌握物料配套（物流）与生产计划的核心法则



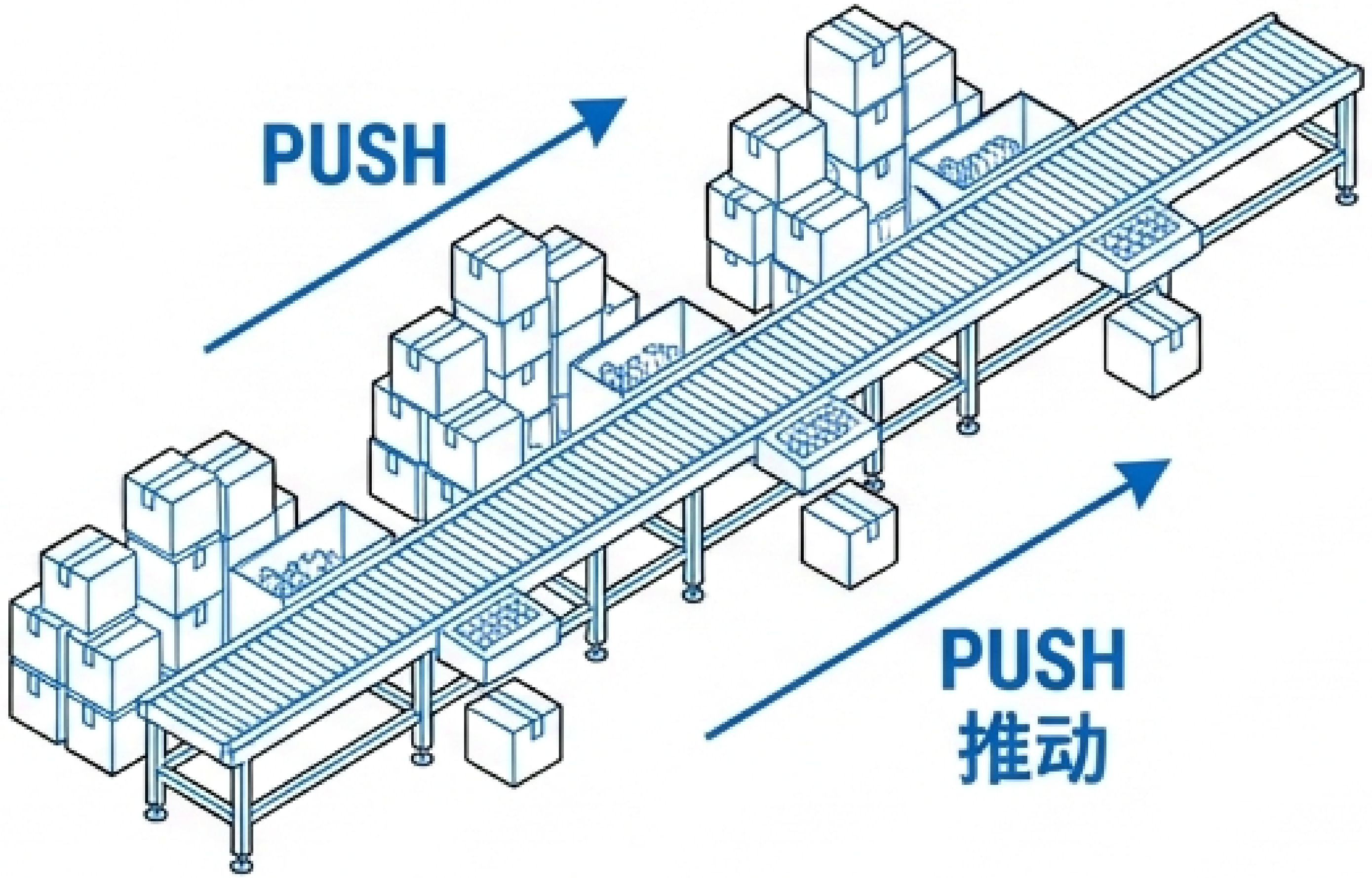
单元线（Cell）不仅仅是设备的U型排列，它是具有生命力的生产有机体。

- **神经系统（计划）：** 设定节拍（Takt），指挥生产的律动。
- **循环系统（物流）：** 精准配送，维持生产的代谢。

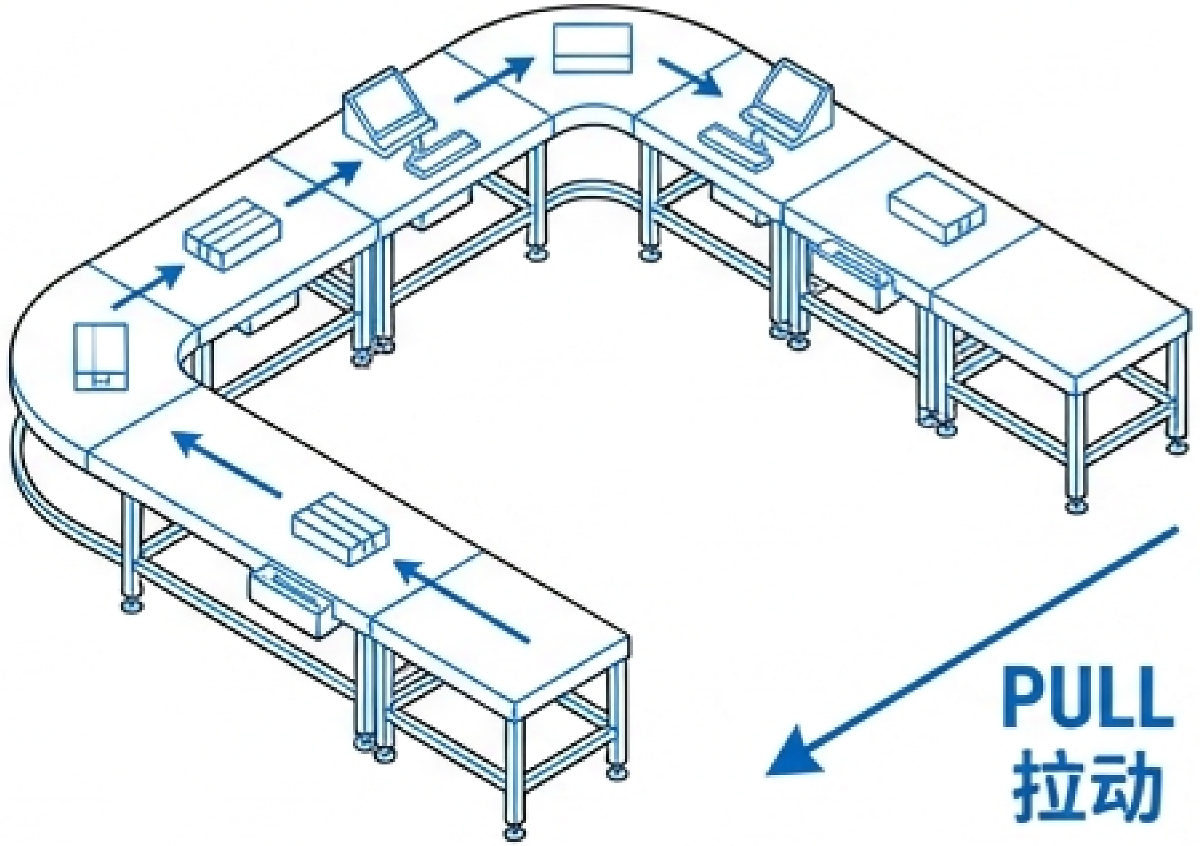
从“推动”到“拉动”：彻底的意识变革

核心原则：商流与物流的分离

传统方式（Mass Production）



单元生产（Cell Production）



作业员职责：专注于高附加值的组装工作（如外科医生）。**物流职责：**作为服务支持，由专人负责配送（如护士递手术刀）
禁止事项：绝不让高价值的单元作业员离开工位去寻找零件。

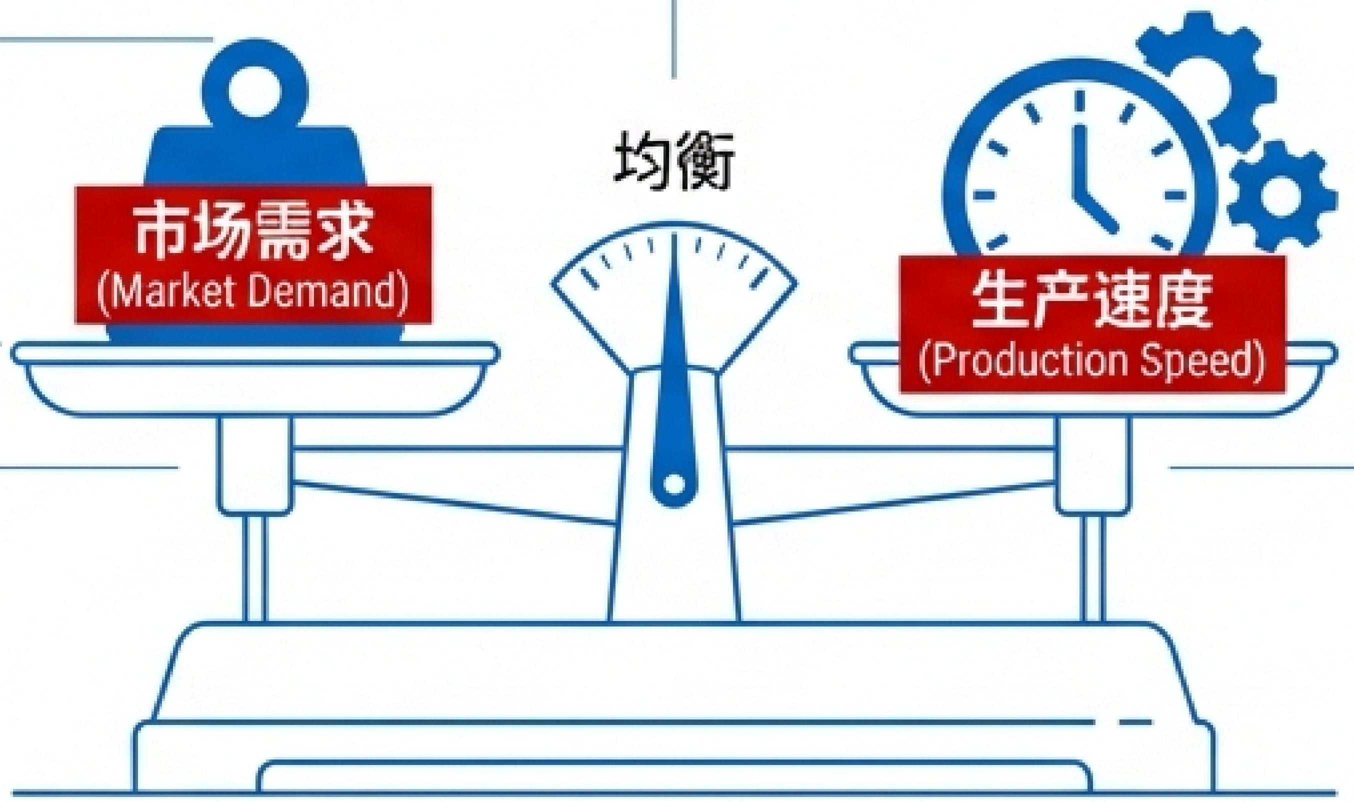
设定脉搏：节拍时间（Takt Time）的计算

Takt Time (节拍时间) = 可用生产时间 / 客户需求量

(Roboto Condensed)

概念：

生产计划的基准不是“机器能跑多快”，而是“客户买得有多快”。

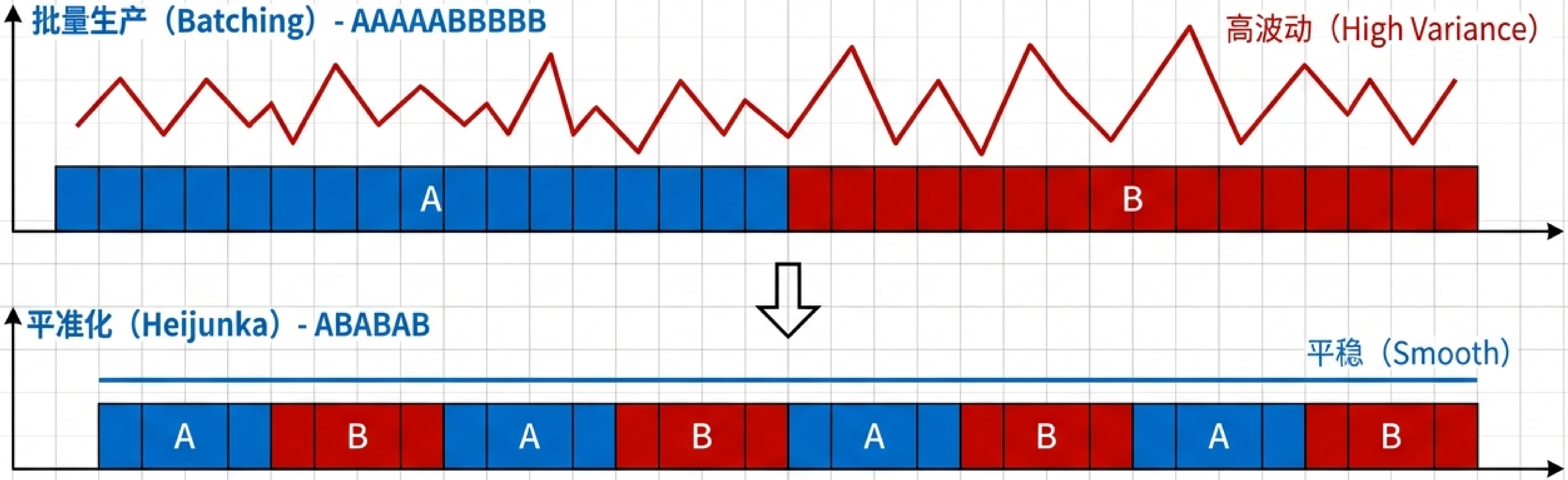


应用：

- 计划排程：依据 Takt Time 排产。
- 人员配置：人数 = 总标准工时 / Takt Time

警示： 如果生产**过快**，造成“**生产过剩**”的浪费；如果**过慢**，则无法交付。

均衡化生产（Heijunka）：平抑生产的波动



Surgical Blue

问题：

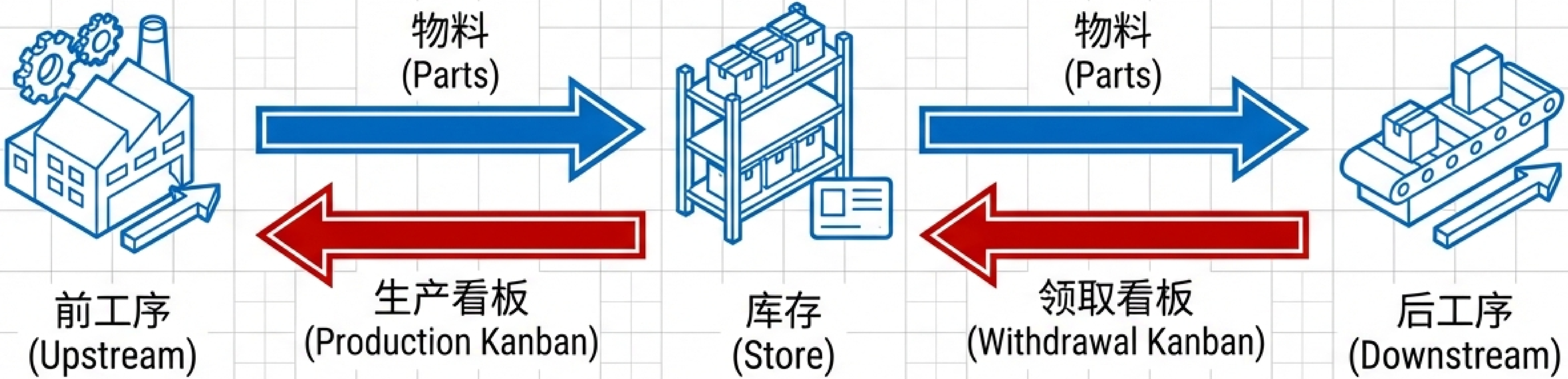
客户订单波动且多型号。传统计划倾向于大批量生产，导致库存积压。

Surgical Blue

解决方案：

- **模式：**将生产顺序打散为最小单位，实现“多品种、小批量”。
- **策略：**每日根据 Takt Time 调整生产队列，而非每周调整。

神经传导：拉动式计划与看板（Kanban）



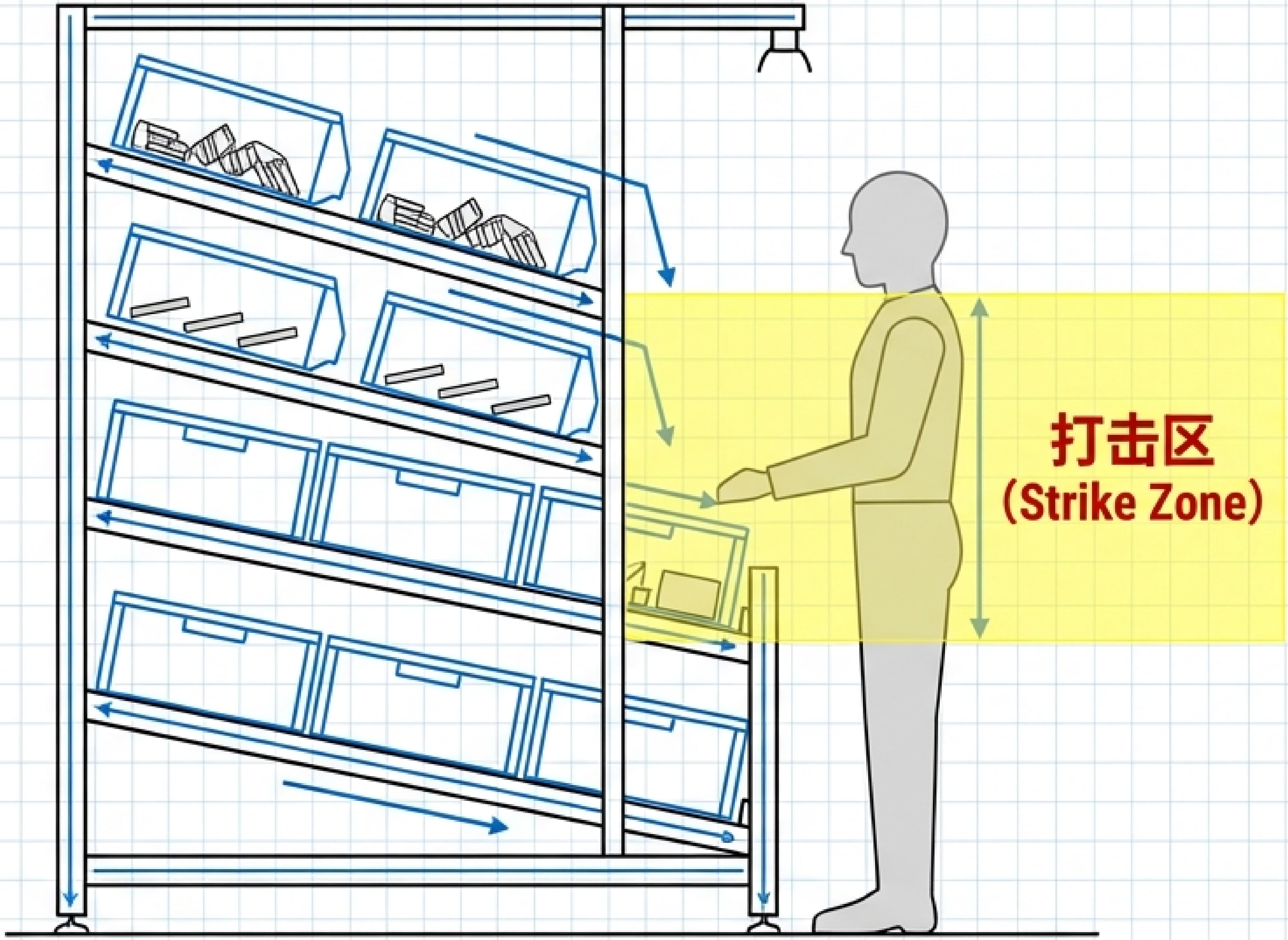
机制：

1. 生产看板：指令投入。
2. 领取看板：指令搬运。
3. 信号看板：控制批量设备库存水位。

铁则：

- **见板作业，不见板不生产。**
- 计划部门只向**最后一道工序**下达指令。

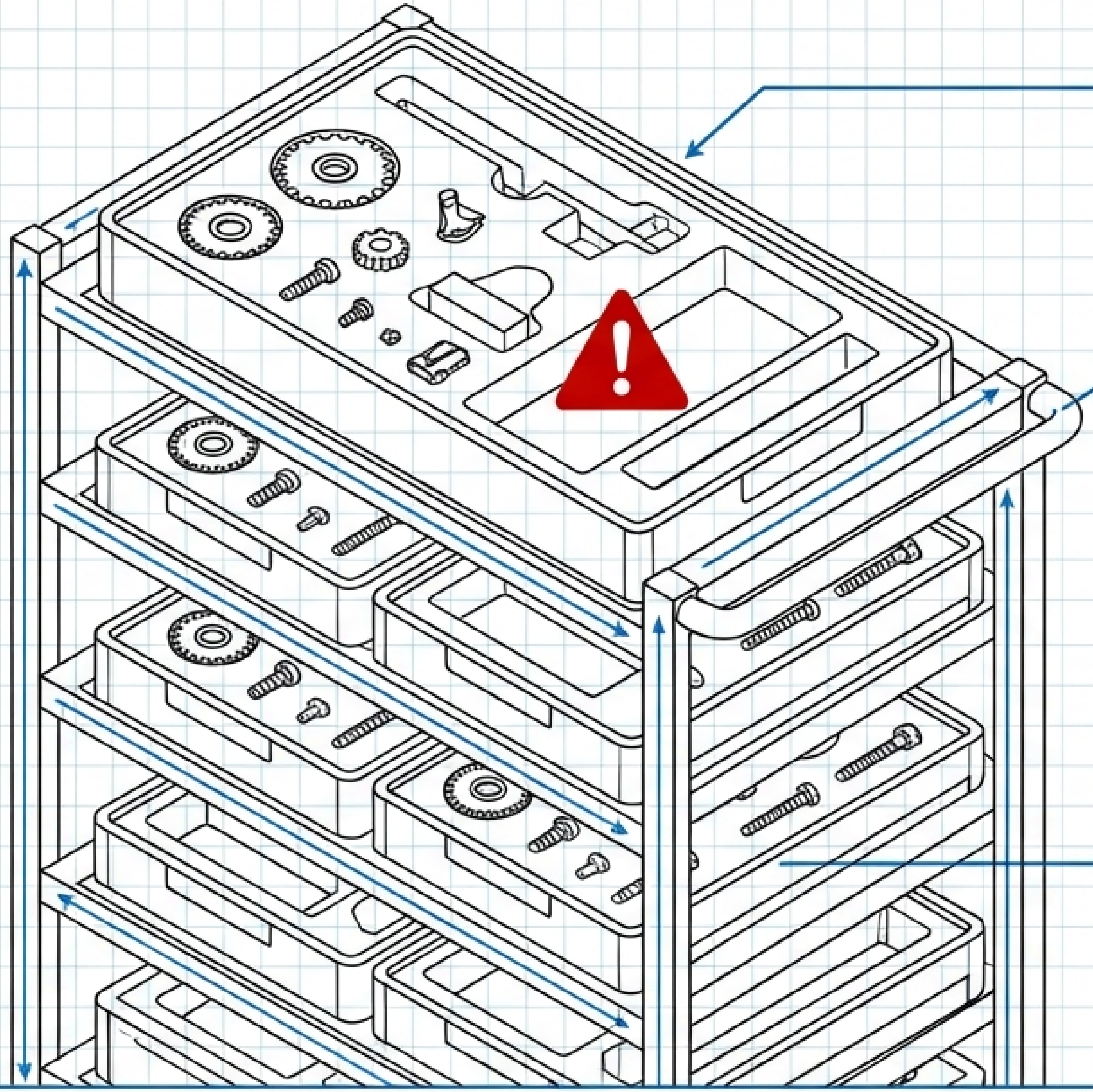
黄金地带：物料在工位的呈现方式



实施要点：

- **流动架**（Gravity Racks）：利用重力先进先出。
- **打击区**：物料在肩膀到膝盖高度，避免弯腰/踮脚。
- **双箱系统**：一箱使用，一箱备用。
- **三定原则**：定点、定容、定量。

零缺陷物流：成套配送（Kitting/Set Parts）



概念：

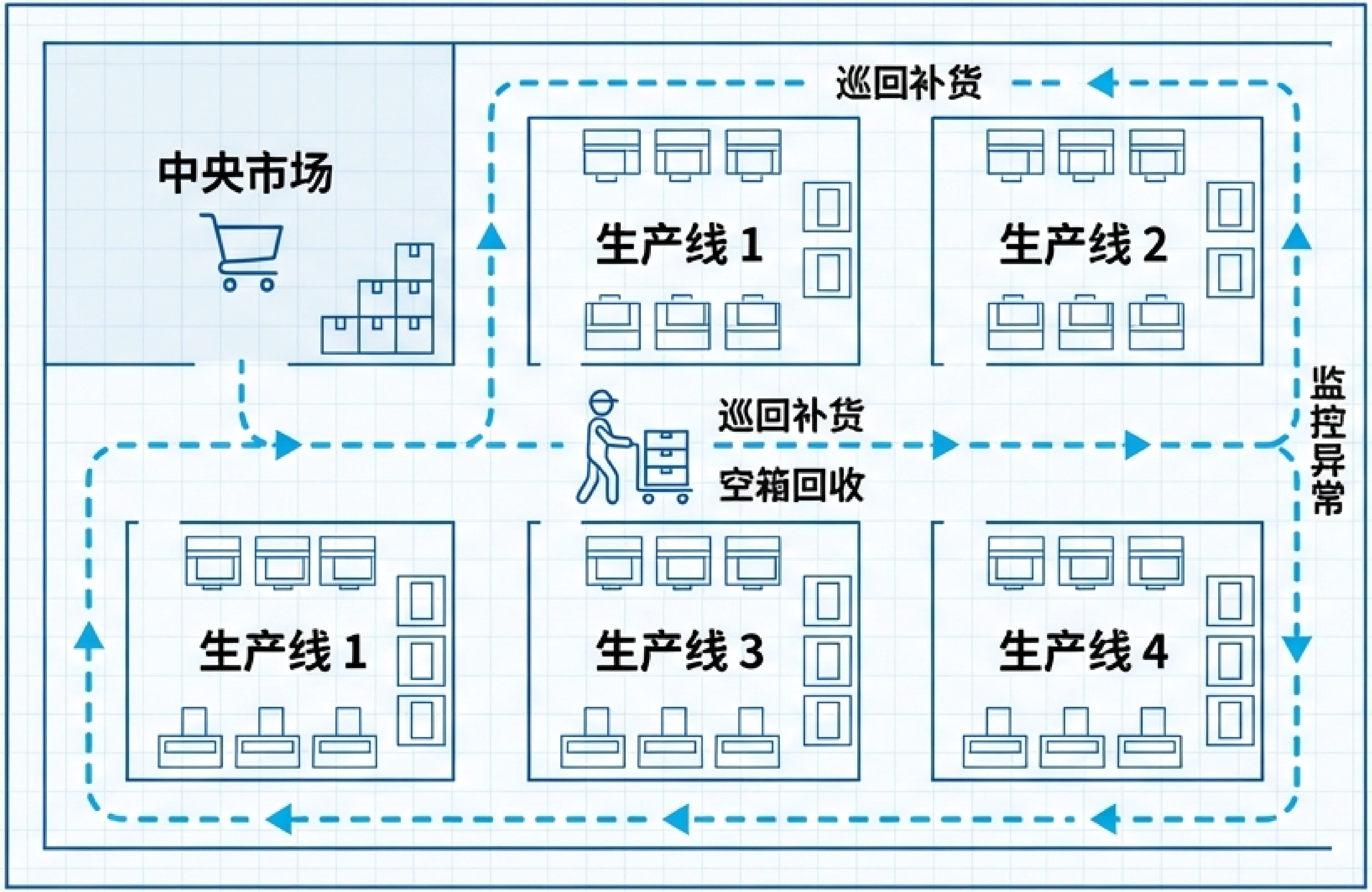
- 为每个产品单元创建一个“手术盘”，包含该单元所需的所有零件。

实施价值：

- 防错（Poka-Yoke）：**剩余零件 = 漏装错误**。
- 效率：作业员无需思考“寻找”，只需“取用”。
- 空间：消除线边大包装堆积。

执行： 在水蜘蛛超市（物流区）预先拣选，而非在线边拣选。

输送氧气：水蜘蛛（Mzusumashi）的角色



定义：

水蜘蛛是对生产线非常熟悉的资深员工，而非普通搬运工。

职责：

1. 巡回补货：按固定路线、固定时间（如每30分钟）巡回。
2. 监控节奏：观察生产线异常。
3. 空箱回收：带走废料，保持整洁。

原则：

水蜘蛛的“节拍”必须与生产线的“节拍”同步。

标准化载体：容器与包装规范

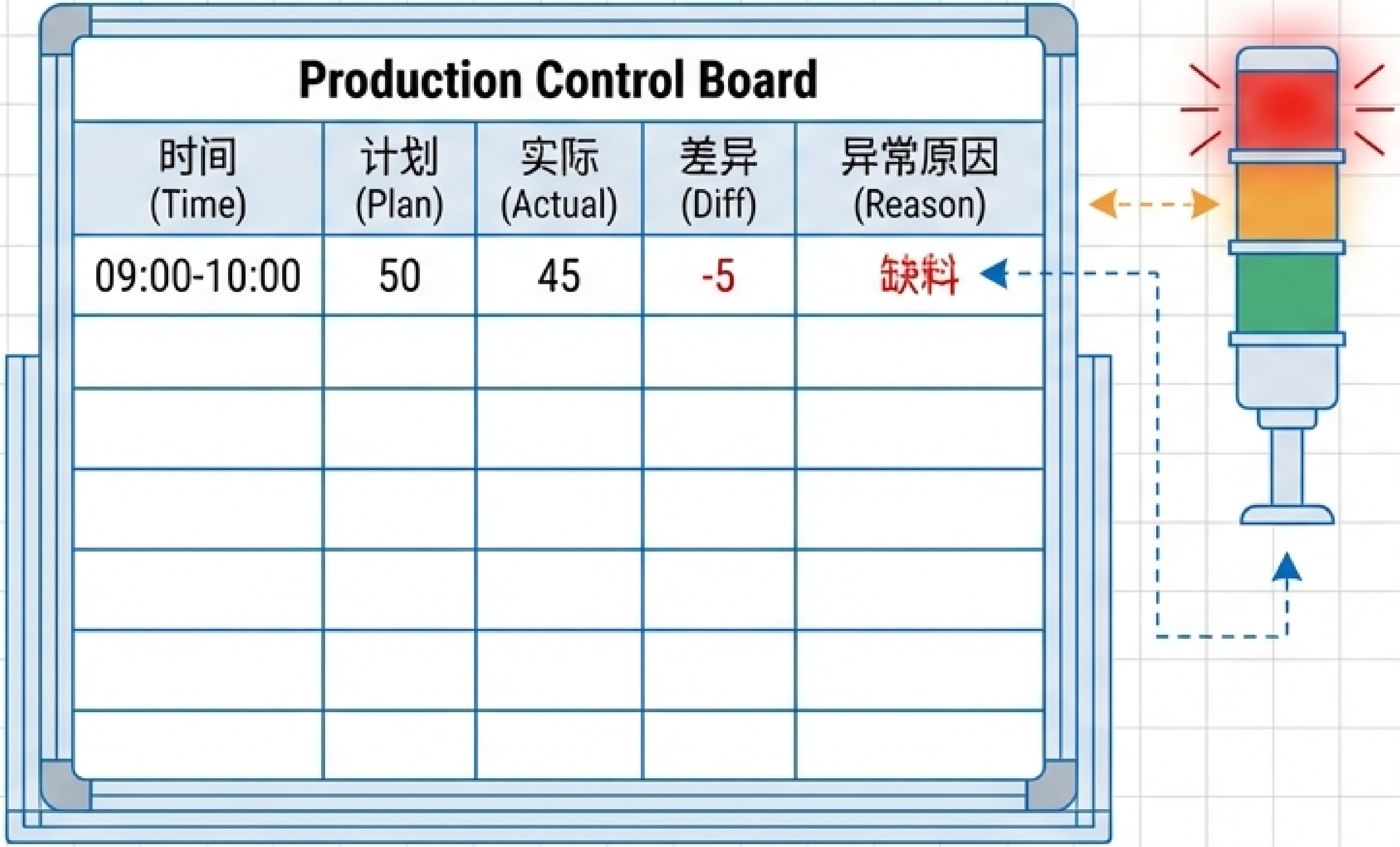
禁止：纸箱（灰尘/不可视）

标准：周转箱（SNP固定）

实施要点：

- 去纸箱化：纸箱产生灰尘且不可回收，单元线内必须使用标准塑料周转箱。
- SNP（Standard Number of Parts）：每箱零件数量固定，便于目视计数。
- 小型化：容器应适应单手拿取，节省线边空间。

系统的“仪表盘”：生产管理板



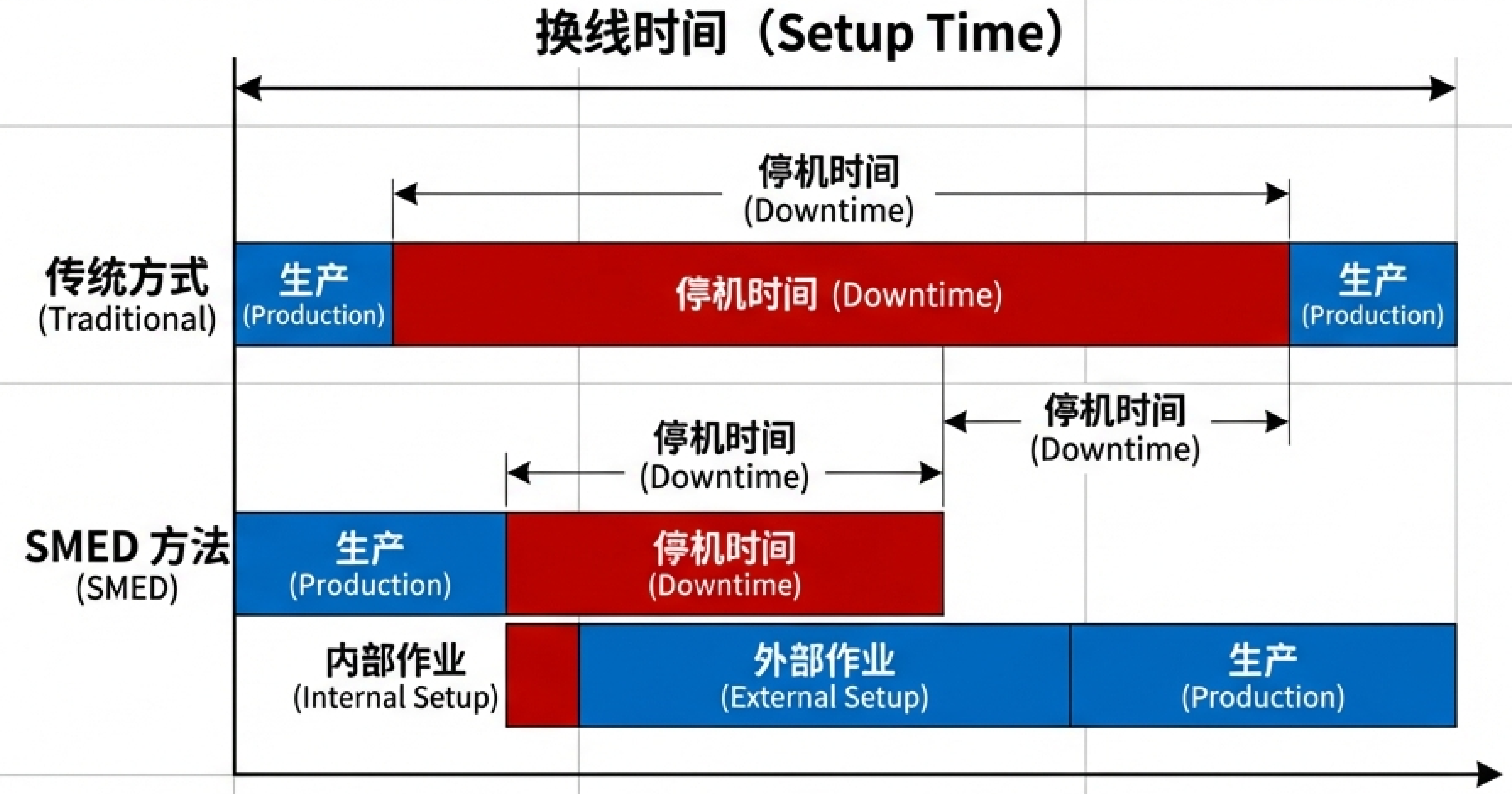
整合计划与物流：

1. **小时产出板：**实时记录计划 vs 实际。差距即异常。
2. **缺料看板：**明确指示短缺零件，触发水蜘蛛优先补货。
3. **Andon（安灯）：**发生异常立即点亮，管理层介入。

管理动作：

- 班组长每小时检查，差距发生时立即填写对策。

赋予计划灵活性：快速换线（SMED）

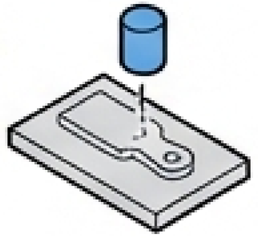


挑战

混合排产要求频繁切换型号。
换线慢 = 计划僵化。

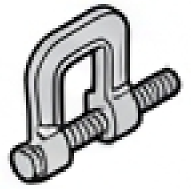
SMED 方法论

- **内作业转化为外作业：** 停机前做好模具/物料准备。



- **专用台车：** 使用成套换线台车 (Set-up Carts)。

- **一触式工装：** 消除螺丝，使用卡扣。



目标 (Goal)

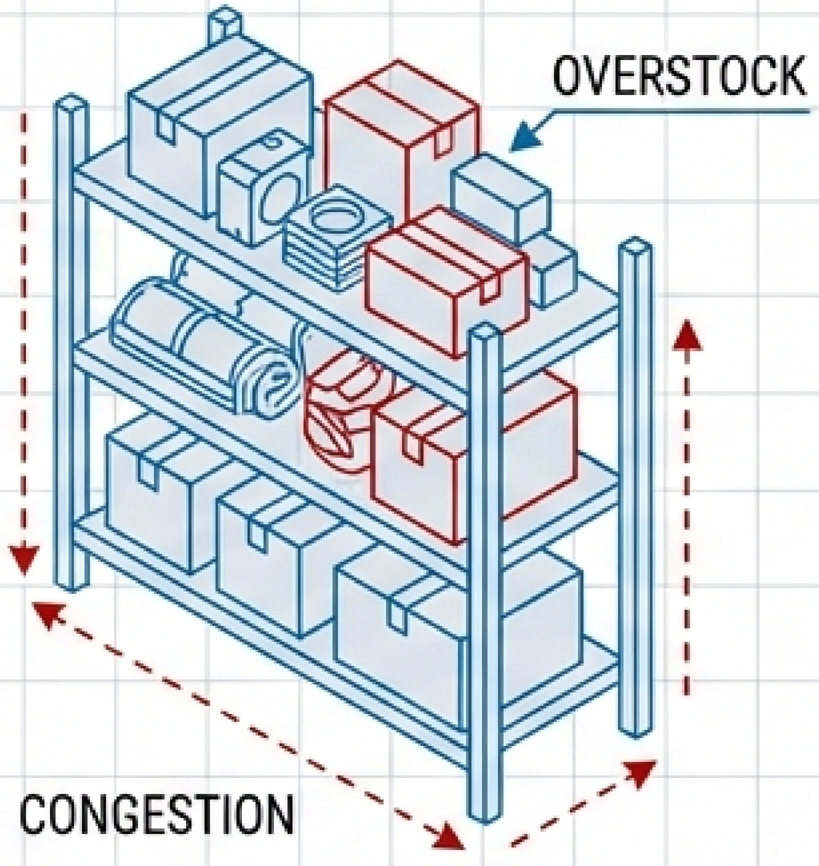
将换线时间缩短至 10 分钟以内 (Single Minute)。

实施陷阱：物料与计划的常见误区

1. 物料过量（Over-servicing）

后果：线边拥堵，掩盖问题。

对策：严格遵守定量、定时配送，不提前送货。



2. 忽视设备故障率

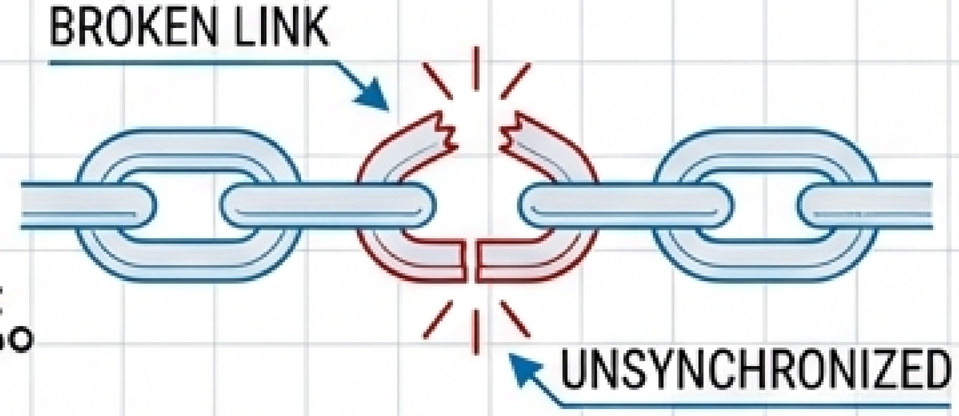
后果：计划节拍被打乱。

对策：推行 TPM（全员生产维护）保障设备稼动率。

3. 孤岛式改善

后果：组装快了，但零件没跟上。

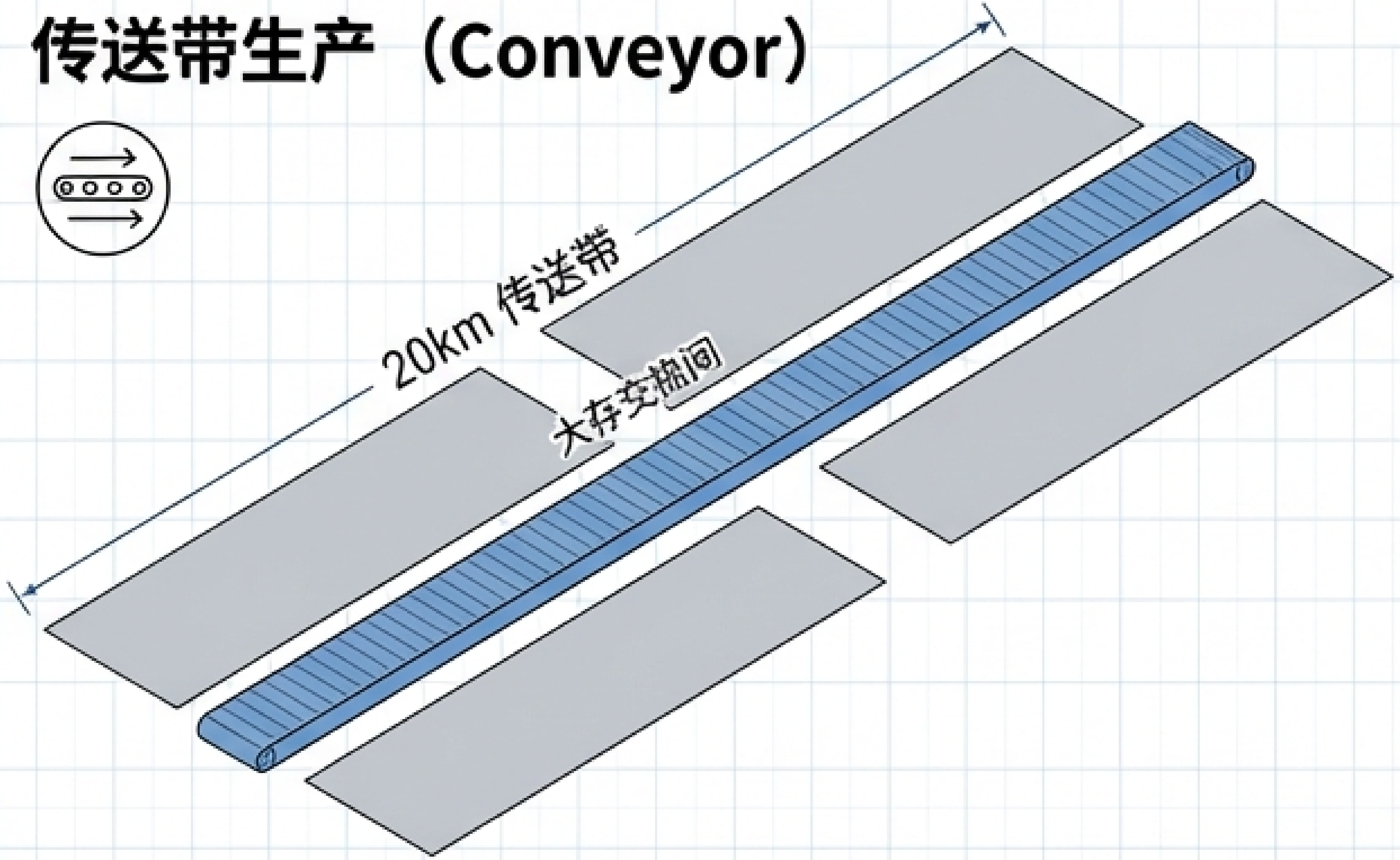
对策：建立全流程价值流图（VSM），统筹商流与物流。



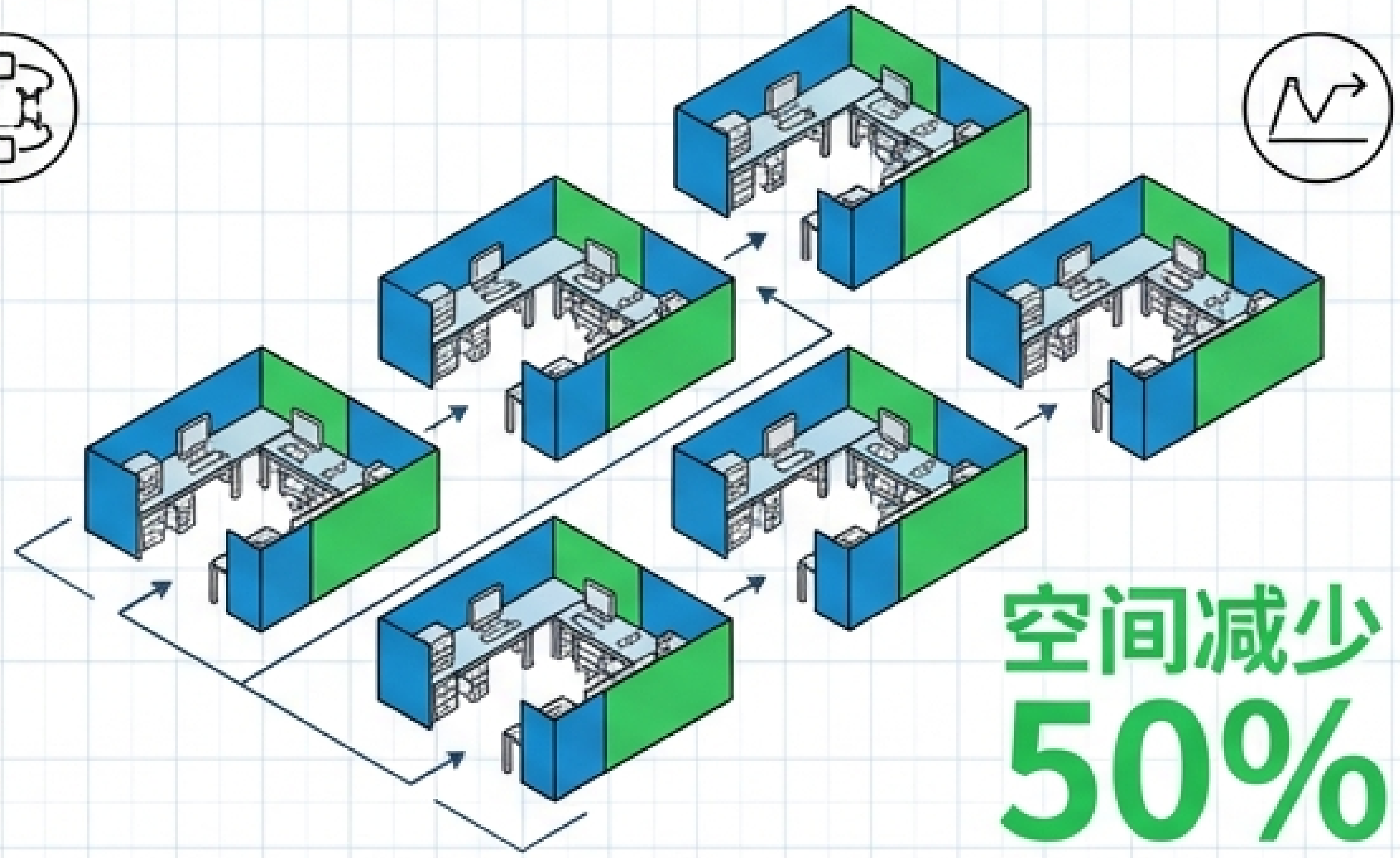
案例实证：佳能（Canon）的细胞式变革

变革对比（Before & After）

传送带生产（Conveyor）



单元线生产（Cell）



变革成果：

- 拆除传送带，建立单元线。
- 物流：引入“水蜘蛛”与成套配送。
- 商流：利润与效率直接挂钩。
- 结果：生产空间大幅减少，库存周转率提升。

实施清单：构建您的单元线循环系统

计划（脉搏）：

- ✅ 计算出准确的 Takt Time
- ✅ 实施平准化排产（Mixed Model）
- ✅ 建立拉动信号（Kanban）

物流（血液）：

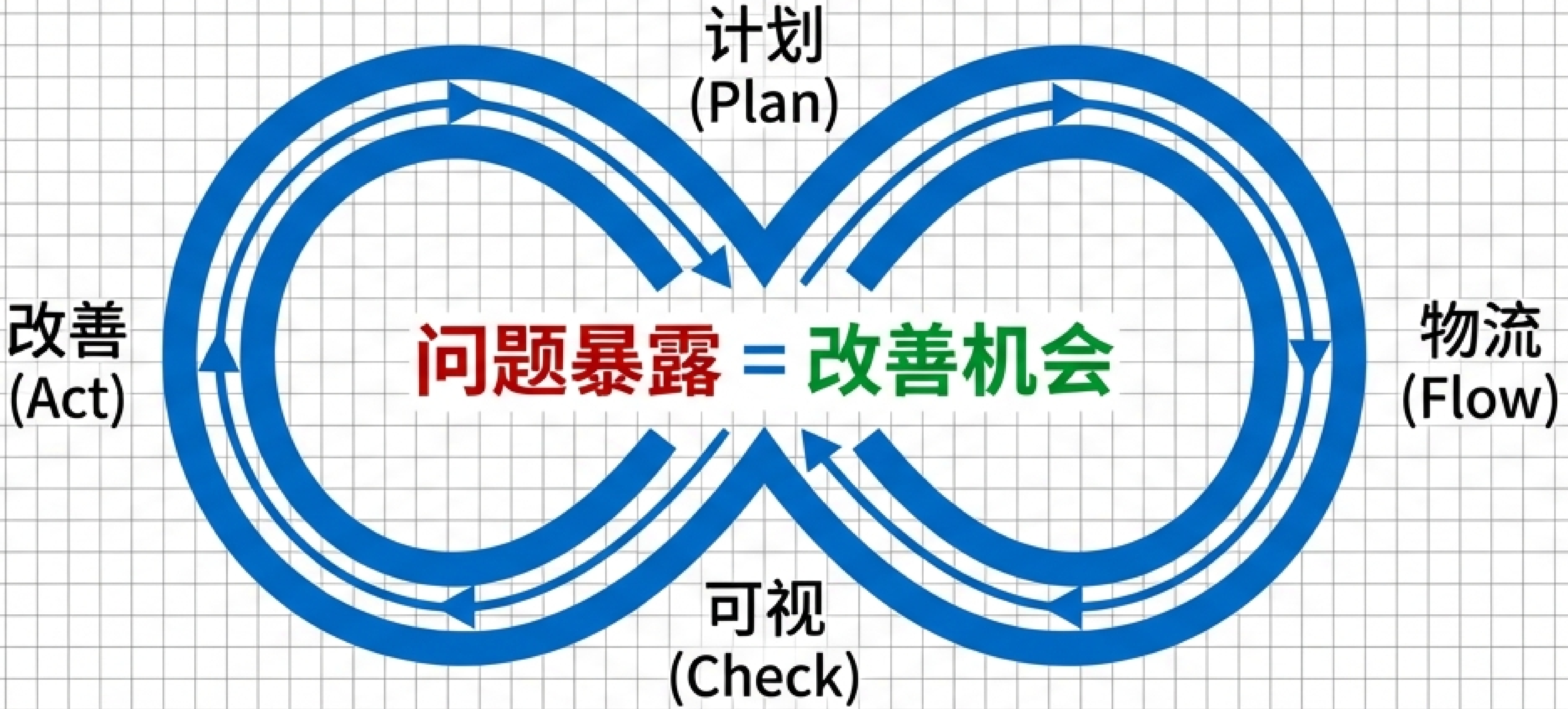
- ✅ 设立“水蜘蛛”岗位与标准路线
- ✅ 引入重力式货架与成套配送（Kitting）
- ✅ 标准化容器，消除纸箱

整合：

- ✅ 设置小时管理板，实时监控

“流动是最终的目标。让物料像水一样流动，让计划像脉搏一样精准。”

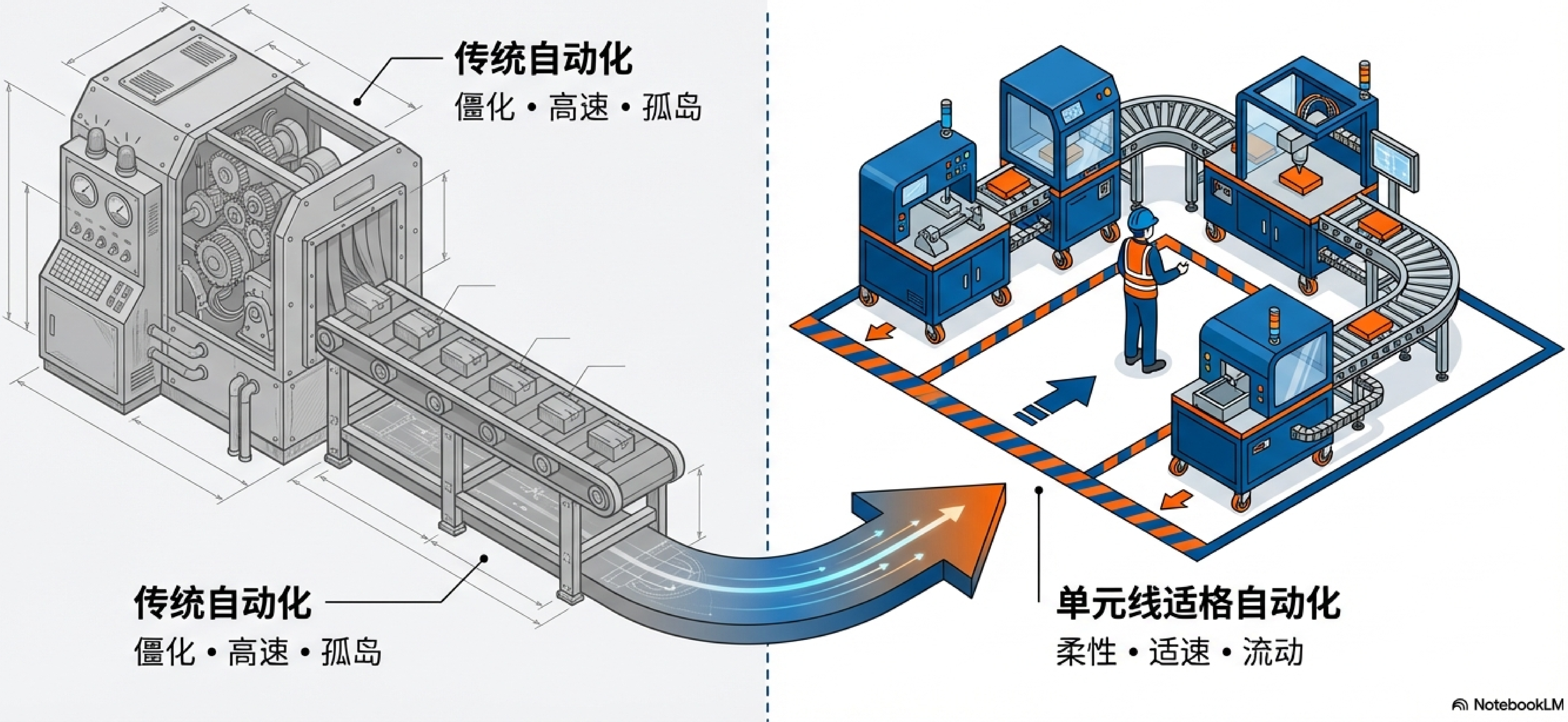
持续改善（Kaizen）：永无止境的循环



单元线不是一次性的项目，而是暴露问题的机制。
当库存水位降低，暗礁（问题）就会浮现。这就是下一轮改善的起点。
Noto Sans SC Regular

自动化设备与单元生产的共生之道

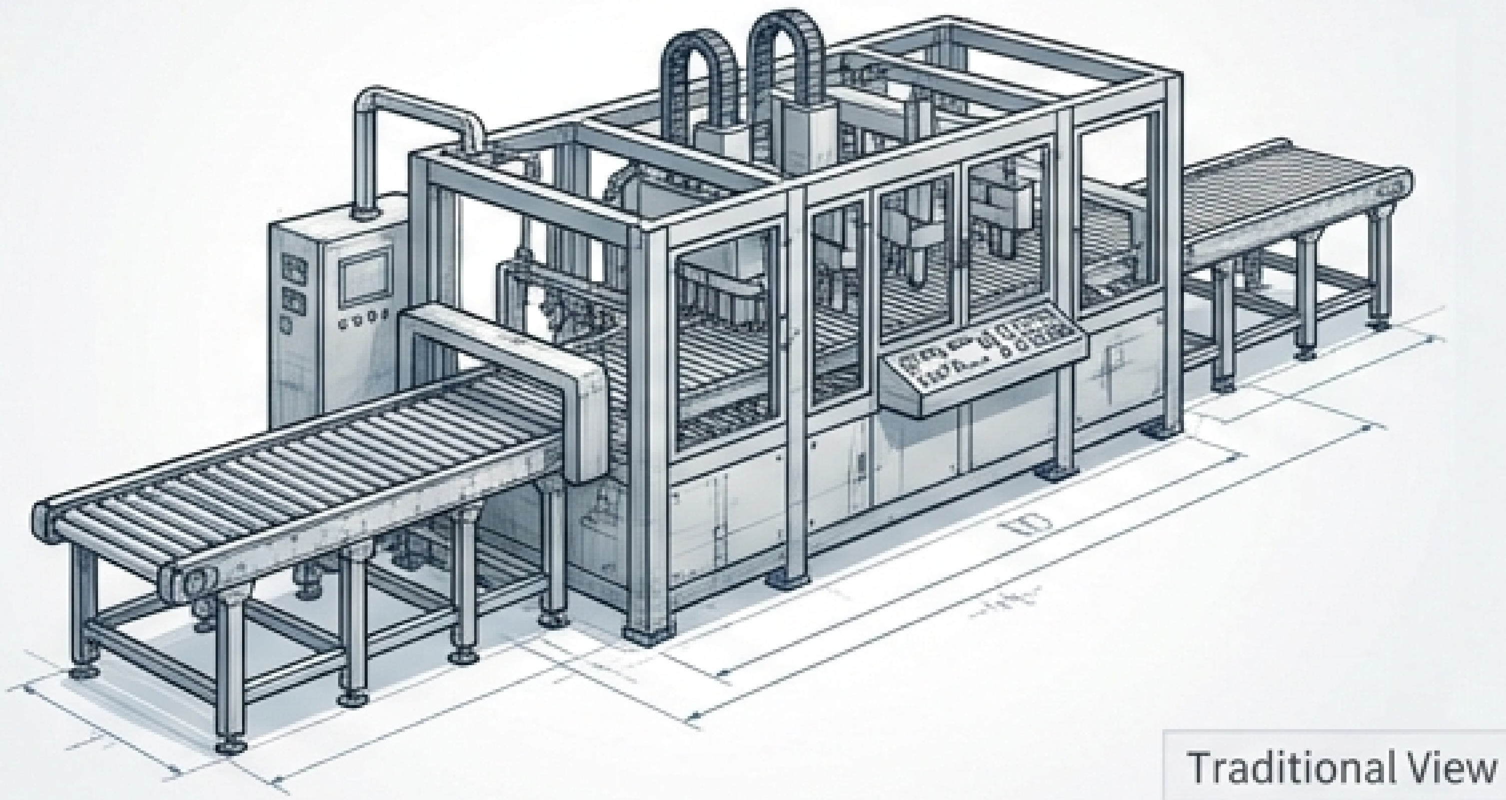
破除“不兼容”的迷思，重新定义高柔性制造现场的设备法则



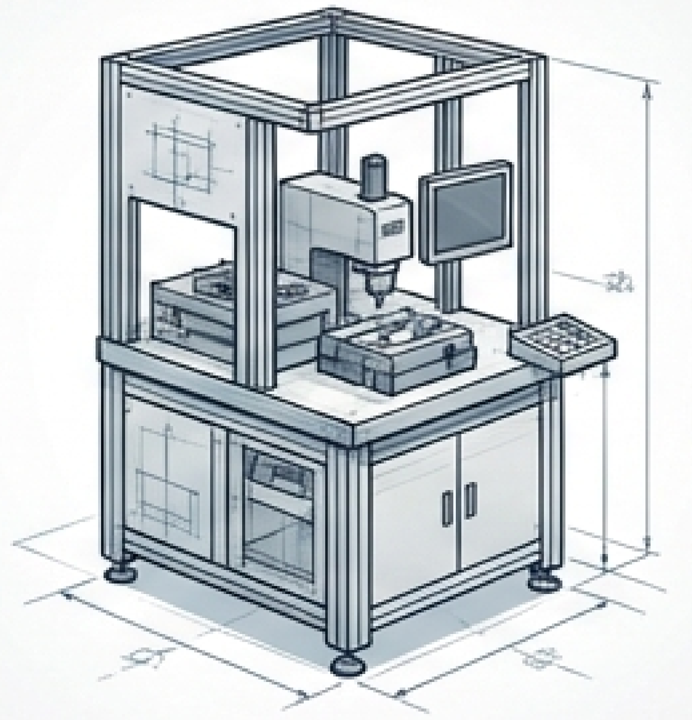
NotebookLM

核心疑问：自动化是单元线的敌人吗？

传送带的批量流水线模式的生产机器



单元生产设备体积小、较灵活



Traditional View

Cell Requirement

传统观念

- 自动化 = 高速
- 大批量
- 昂贵
- 固定不可动

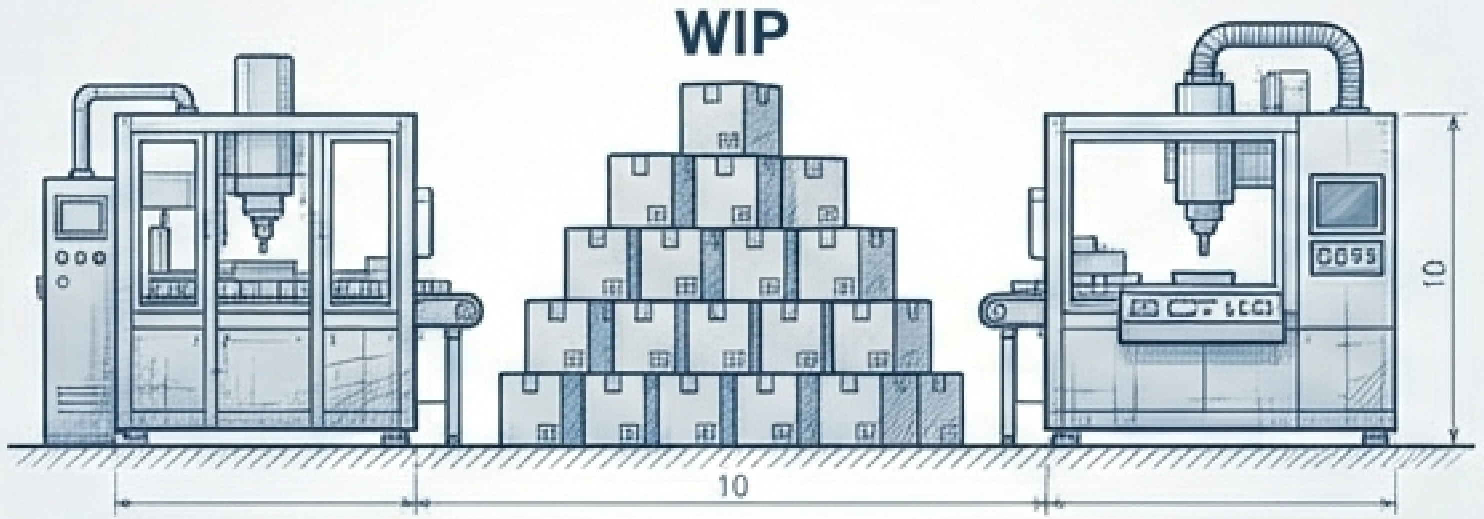
单元线需求

- 多品种小批量
- 依据节拍生产
- 灵活变动

结论：并非“不适合”，而是需要“适格”的自动化。单元线拒绝“大舰巨炮”，拥抱 LCIA。

传统大型高速设备的“七宗罪”

1. 孤岛效应（Island Effect）

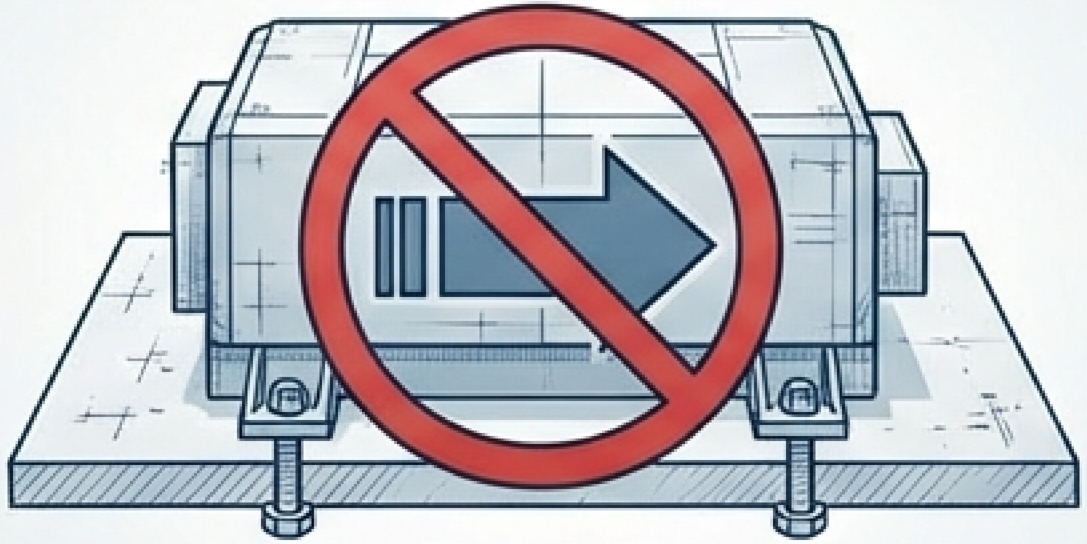


速度过快超过节拍（Takt Time），导致工序间在制品（WIP）堆积。

2. 缺乏柔性（Lack of Flexibility）

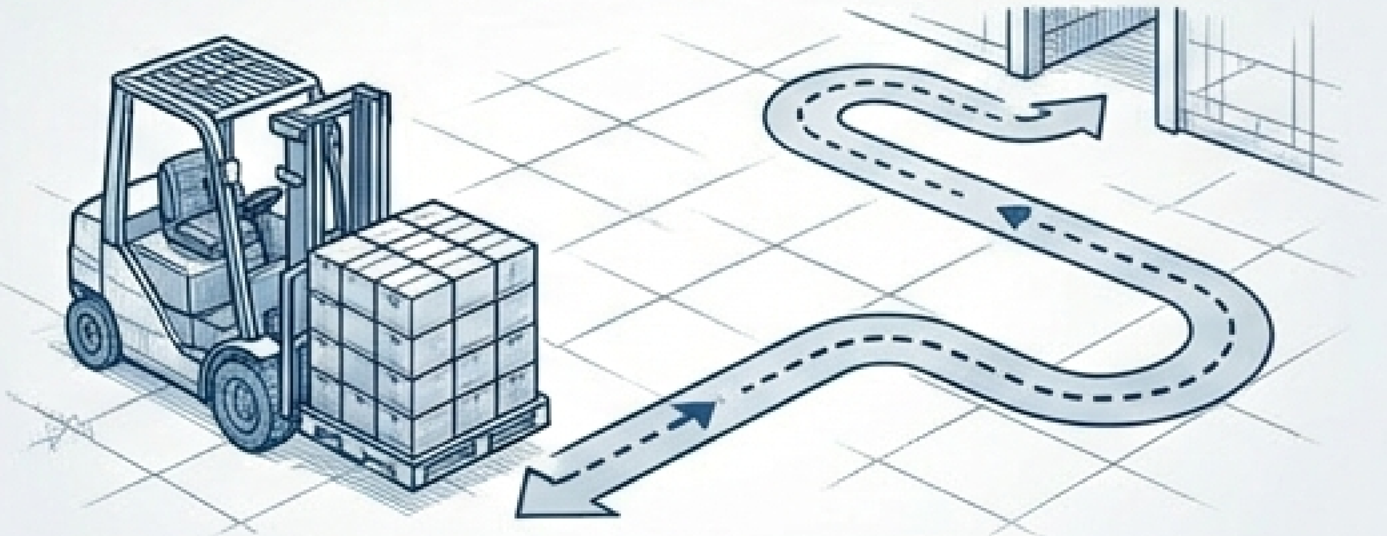
换型时间长，难以适应多品种混流。

3. 布局僵化（Rigid Layout）



占地面积大，无法移动，锁死了生产线的优化空间。

4. 搬运浪费（Transportation Waste）



需要专门的物流工具进行批次搬运，破坏了“单件流”。

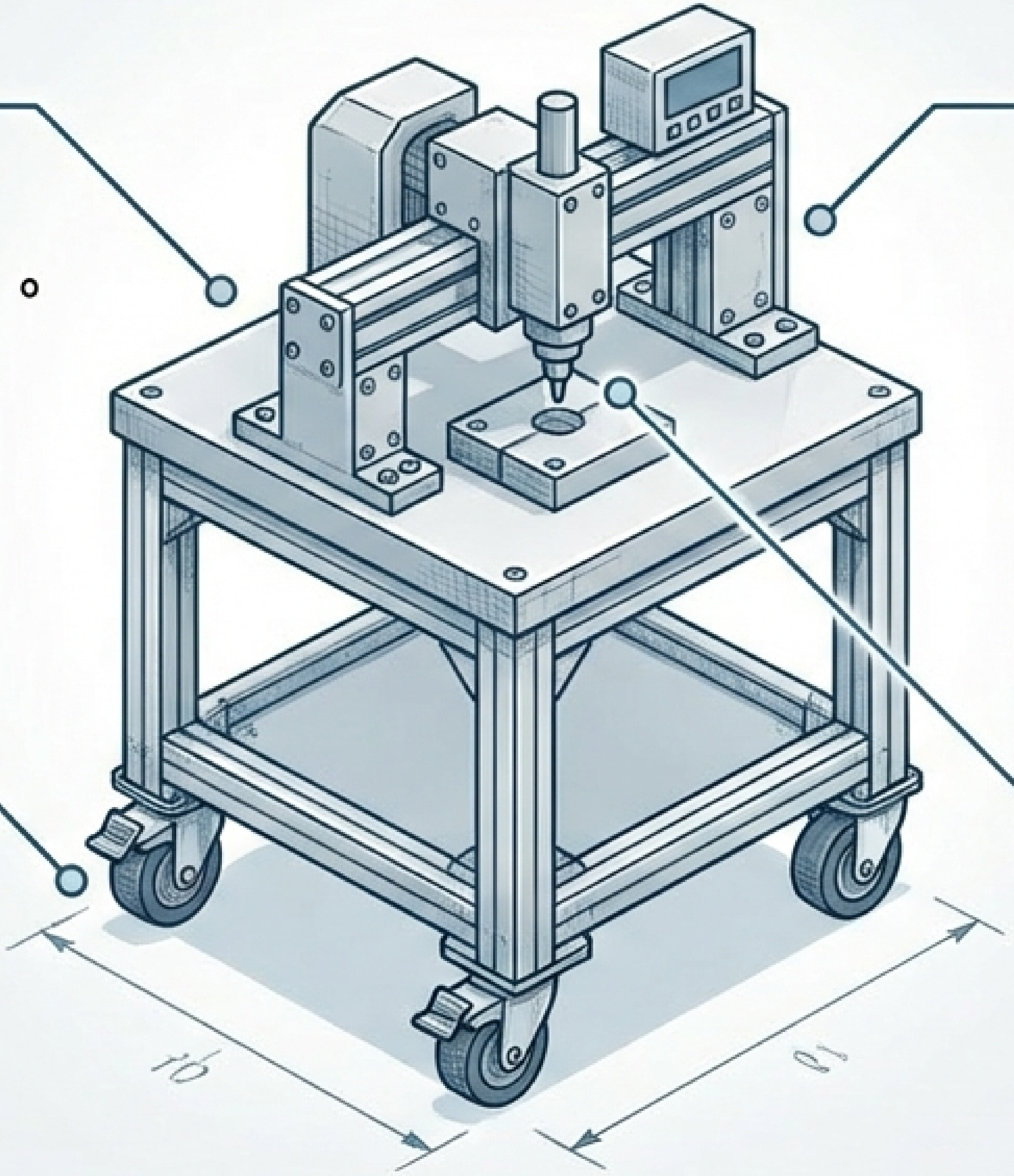
新标准：单元线设备的“三小一活”

小型化 (Small)

占地小，刚好够用。
速度匹配节拍（Takt Time）。

可移动 (Movable)

必须装有脚轮，随时根
据产量重组产线。



廉价/自制 (Cheap/DIY)

低成本智能自动化（LCIA），
内部制作，降低折旧。

专用化 (Dedicated)

即使利用率低，也要保证
流动连续，避免等待。

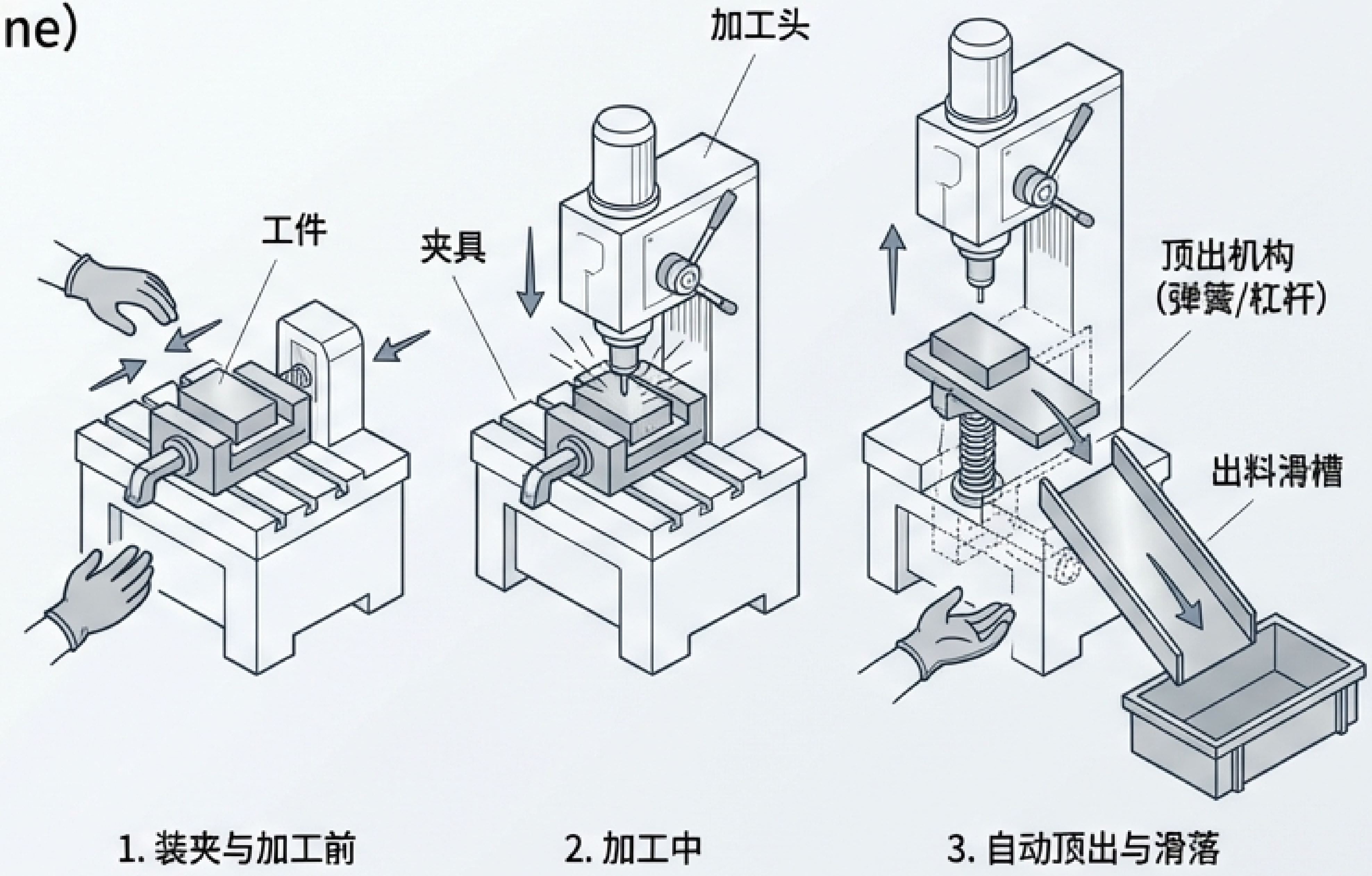
自动化升级：从“自动化”到“自働化”（Jidoka）

人机分离（Separation of Man and Machine）

机器负责加工，人负责装夹。人不能“看守”机器。

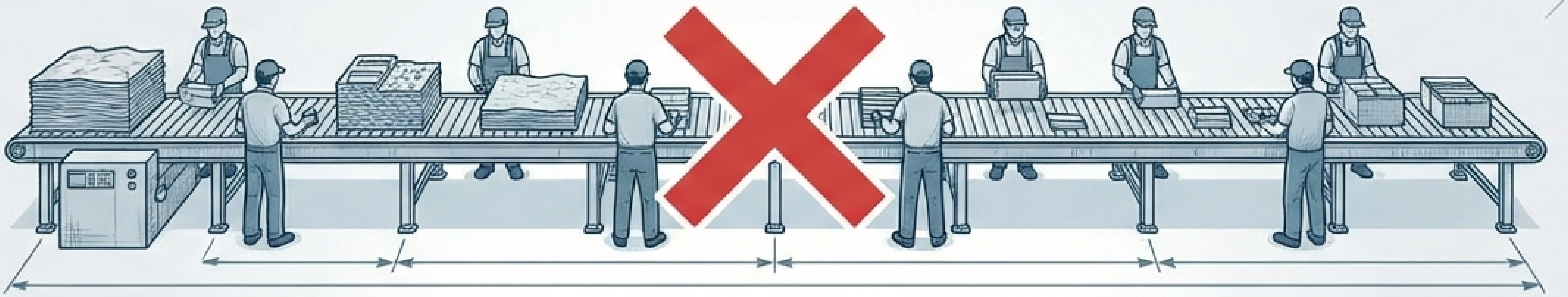
Hanedashi（自动顶出）

关键技术：加工完后工件自动弹出，操作员无需通过动作去取出工件。



自动顶出机构示意图

布局革命一：抛弃传送带



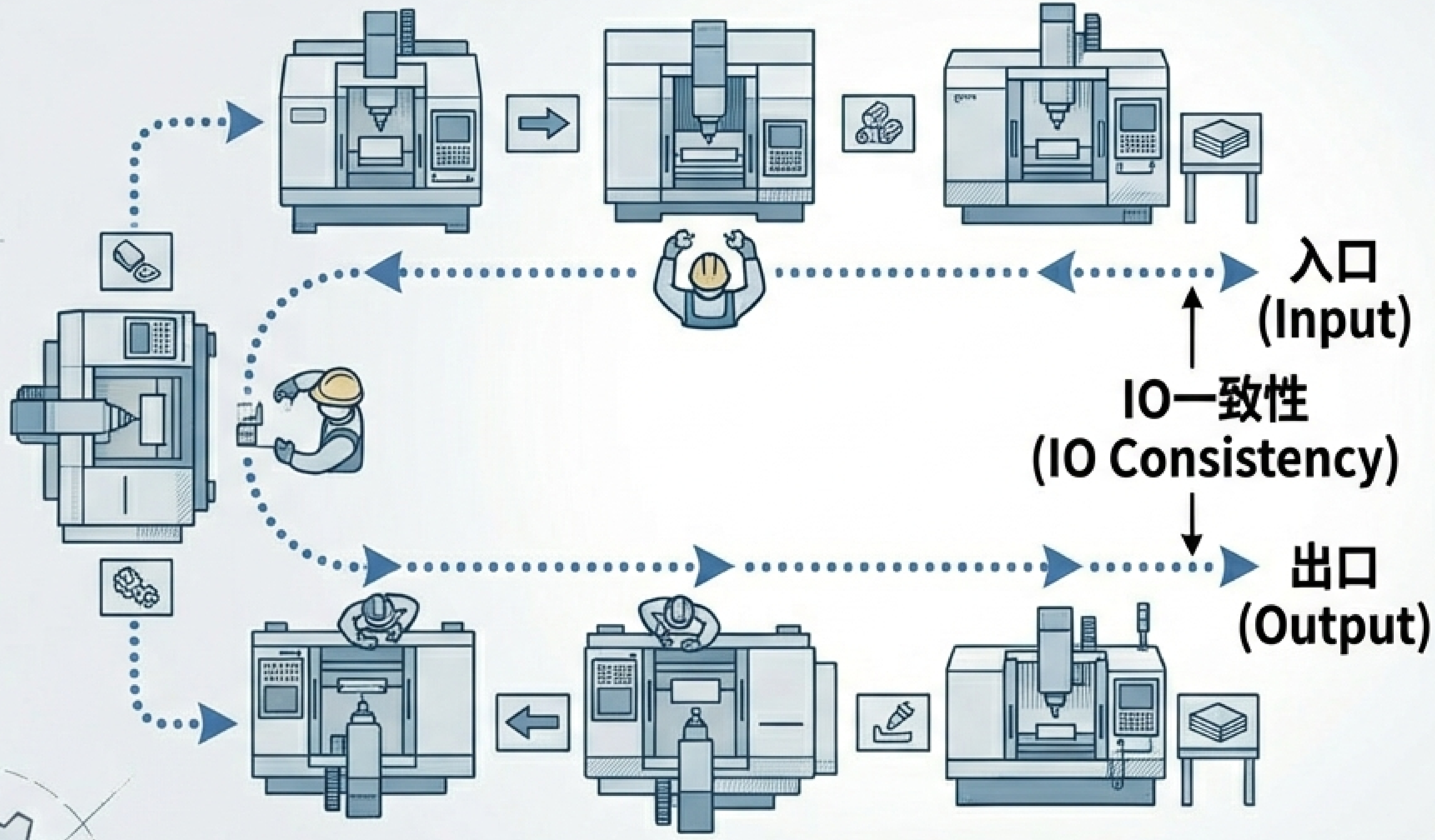
大型传送带流水线 (Large Conveyor Line)

掩盖工序不平衡，锁死布局，增加搬运距离。

单元工作台 (Cell Workstation)

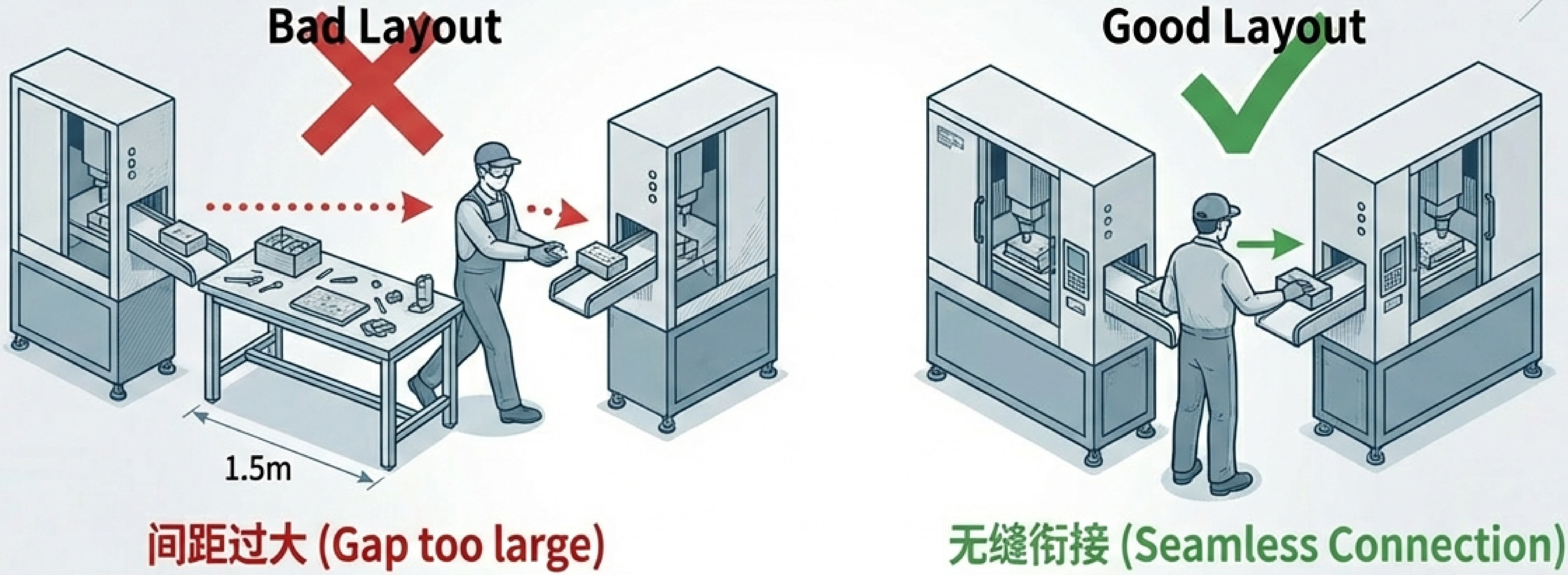
设备紧密相连，单件流（One Piece Flow），真正的柔性。

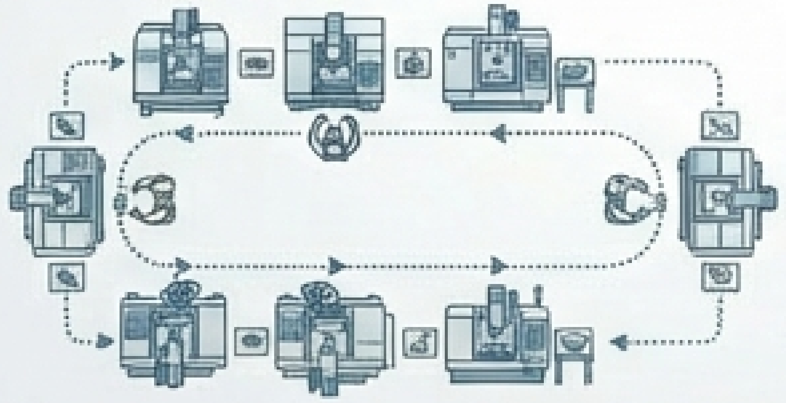
布局革命二：U型布局的魔力



- IO一致性：由同一人管理入出口，控制节拍。
- 多能工支持：缩短步行距离，一人多机。
- 沟通视线：面对面工作，消除盲区。

布局革命三：微观排布与 IO 接近

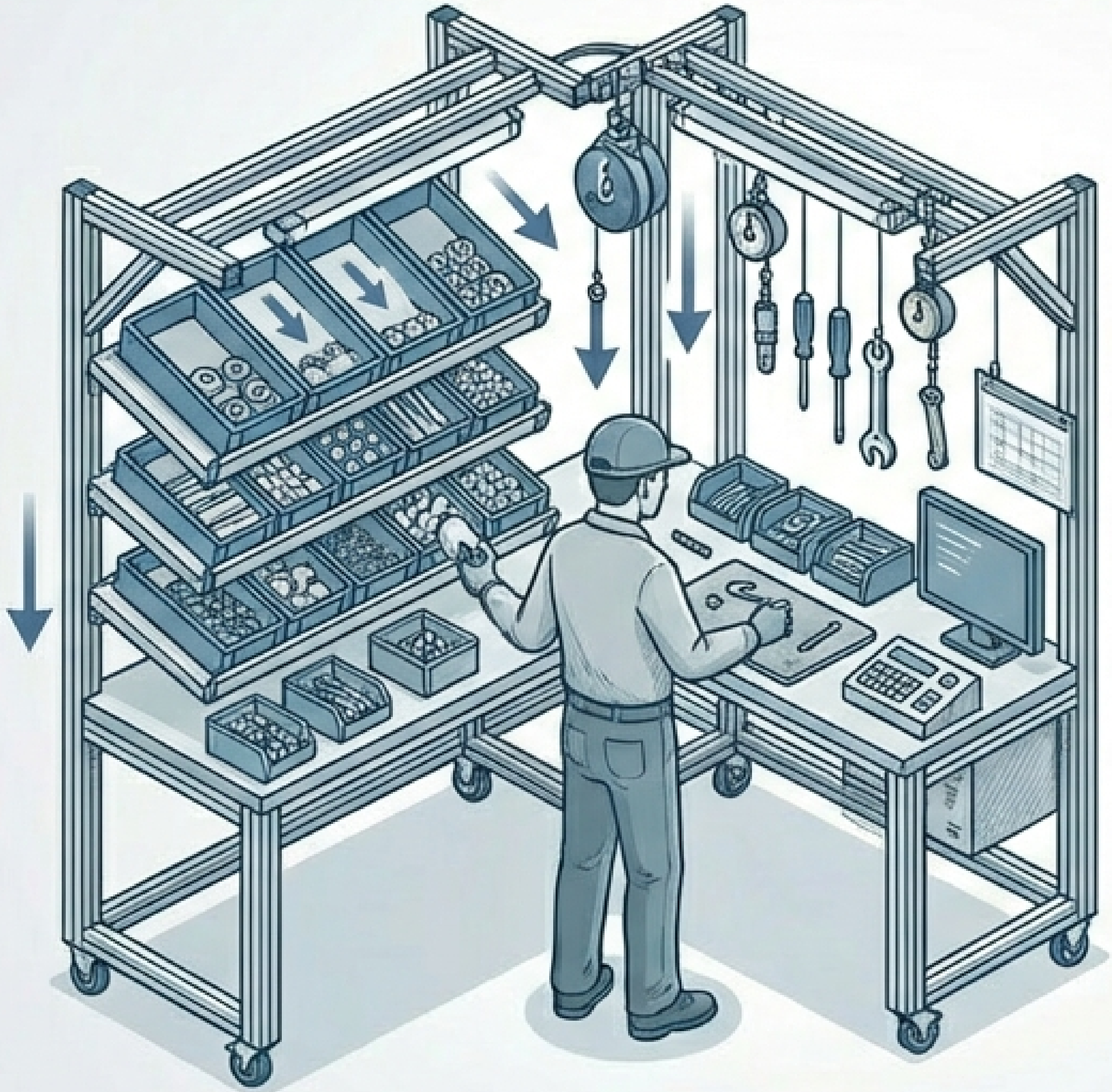




- 前工序出口 = 后工序入口
- 像“管道”一样紧凑排列
- 窄面朝人，减少横向移动

Source: Fig 5-11

布局革命四：立体化与空间利用
(Layout Revolution IV: 3D Space & Gravity)

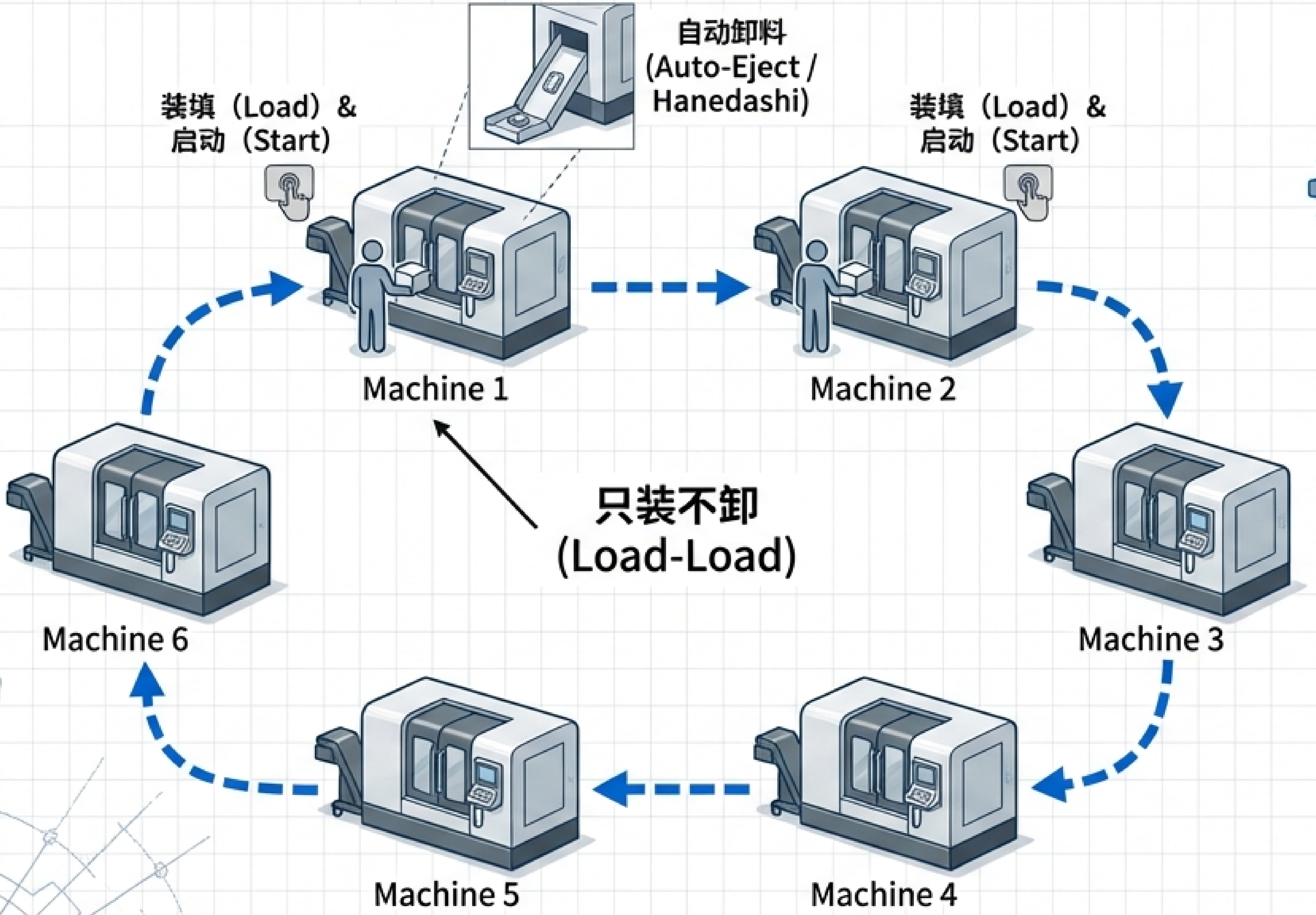


- **重力滑道** (Gravity Flow Racks)：利用重力使物料从后/上方滑向操作者手中。
- **空中供料** (Overhead Supply)：工具或物料从上方悬挂。
- **开放式底座** (Open Base)：工作台带轮子，底部无杂物。
- **驾驶舱式布局** (Cockpit Layout)：所有物品触手可及。

立体化布局：利用重力与空间，实现由上而下的顺畅流动。

Source: Fig 5-3

终极形态：Chaku-Chaku（装填-装填）线



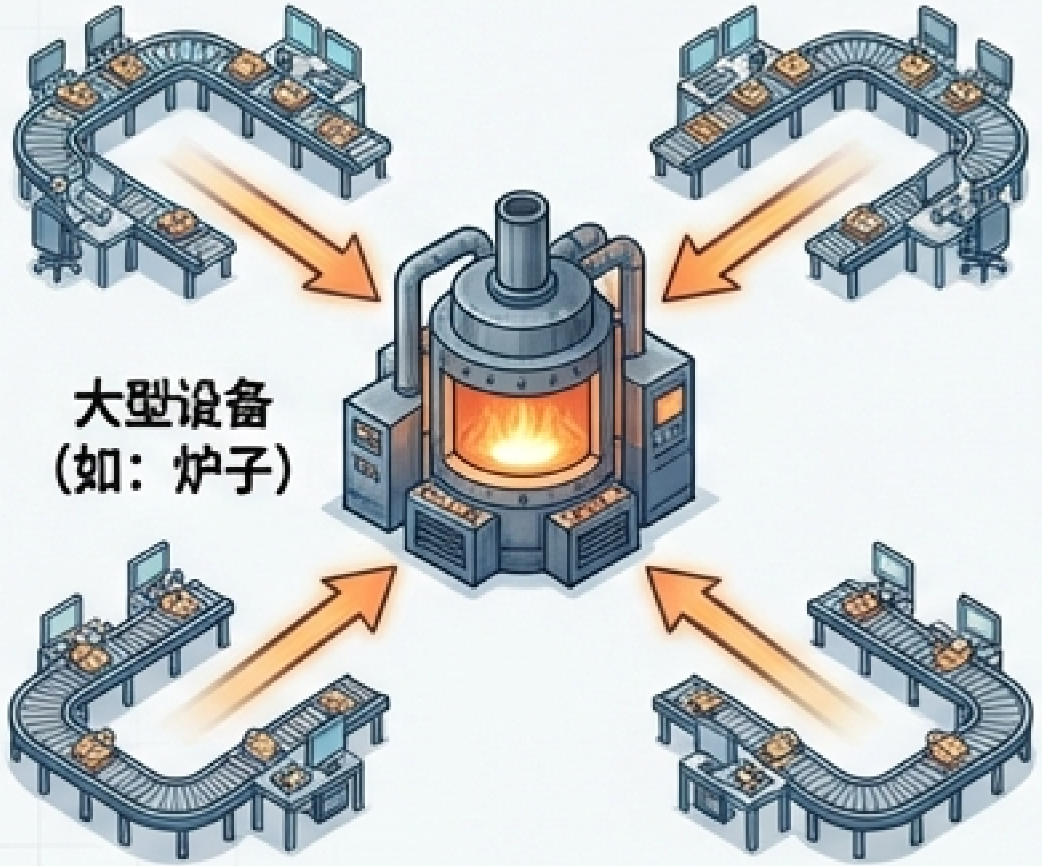
Chaku-Chaku（装填-装填）

- Concept: 人机完全解耦。操作员只负责“装料”和“启动”，机器自动加工并“自动卸料”（Hanedashi）。
- Benefit: 一人流操作多道工序，效率最大化。

Source: Fig 4.6

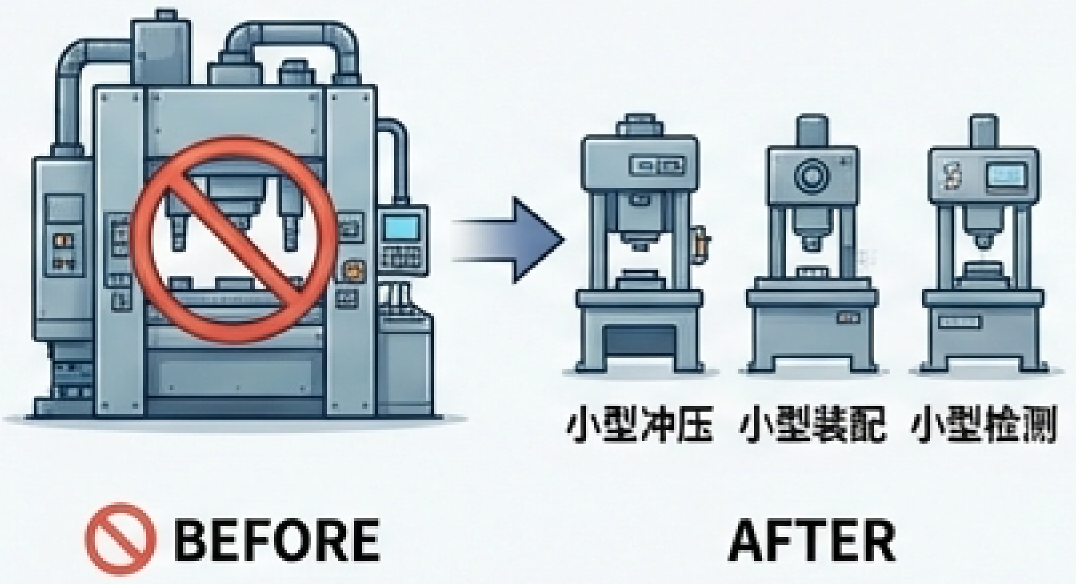
现实挑战：如何处理无法小型化的大型设备？

方案A（共享资源）



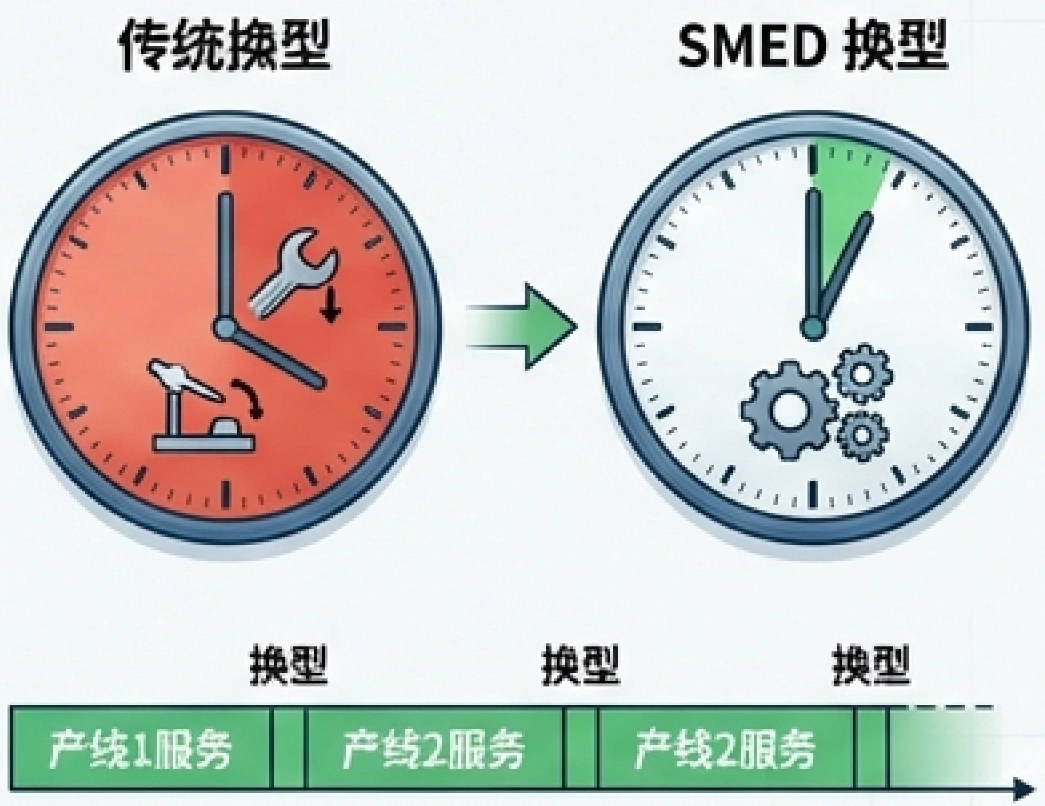
共享资源：置于单元线外，作为公共工序。

方案B（专用化改造）



专用化：引入小型专用设备替代大型通用设备。

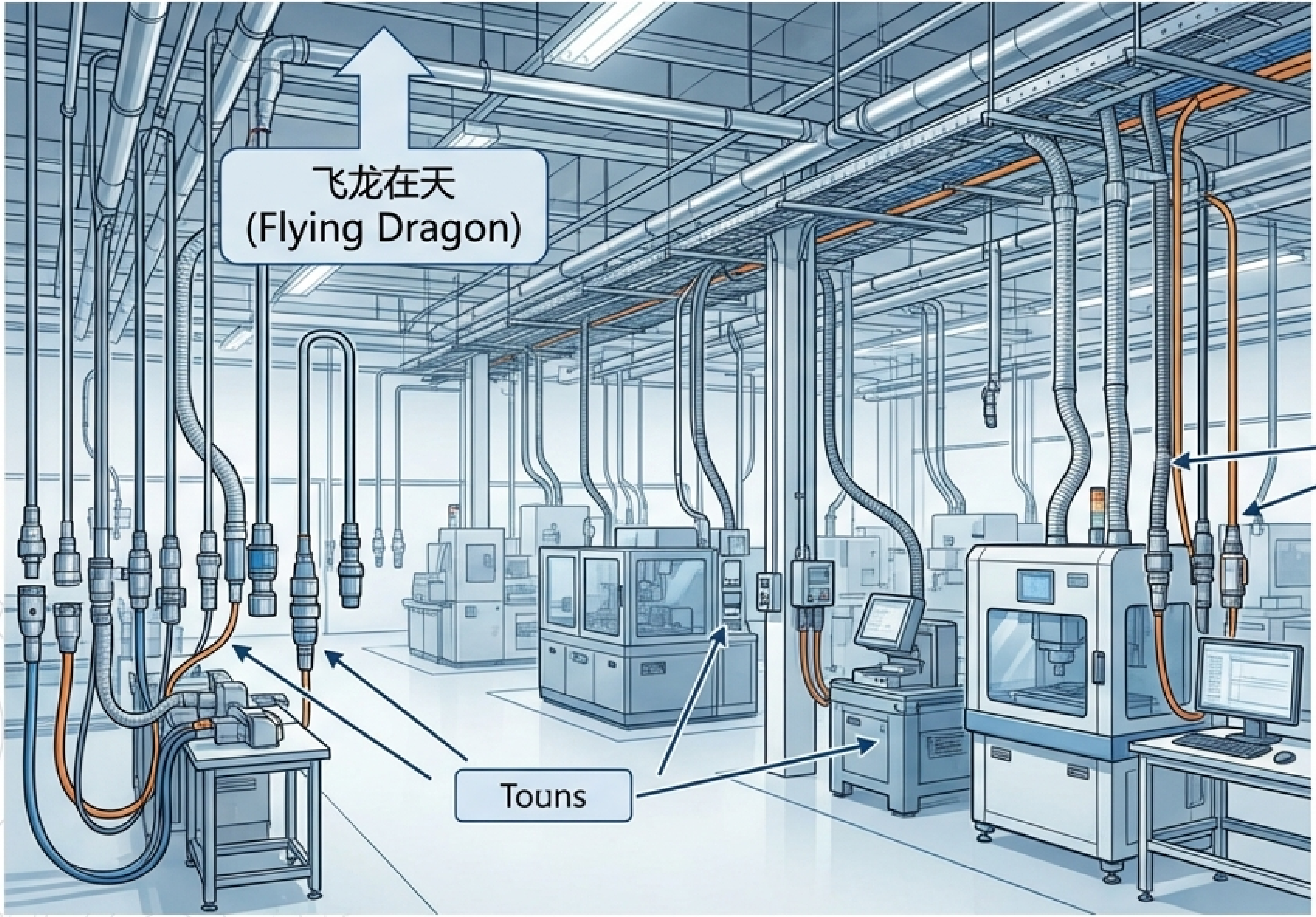
方案C（快速换模 SMED）



快速换模（SMED）：缩短换型时间，分时段服务不同产线。

Source：SMED Concepts

管线布局：“飞龙在天”的连接技术

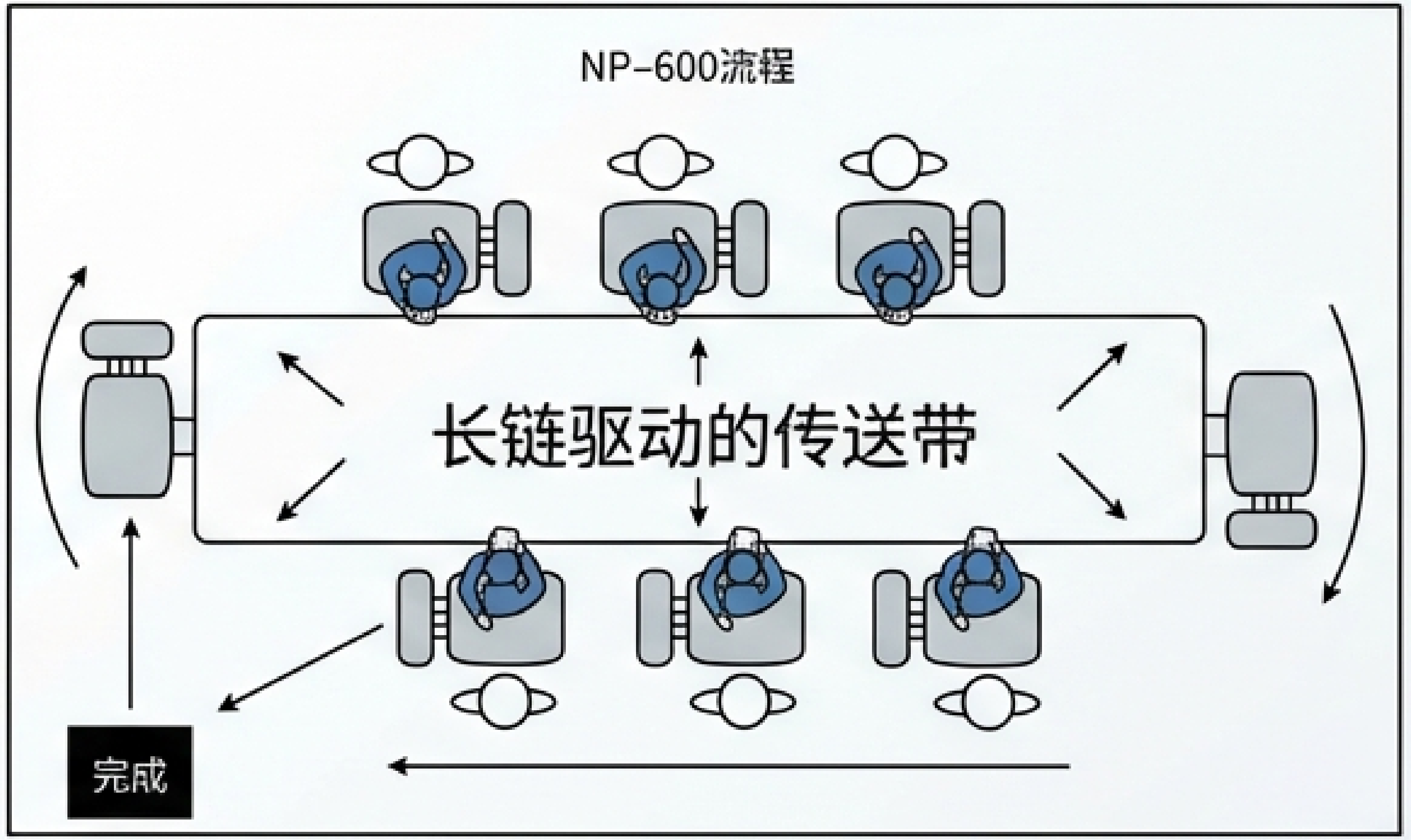


- 电源、气源从天花板引下，而非地面布线。
- 确保设备可随时移动重组。

Source: Fig 6.15

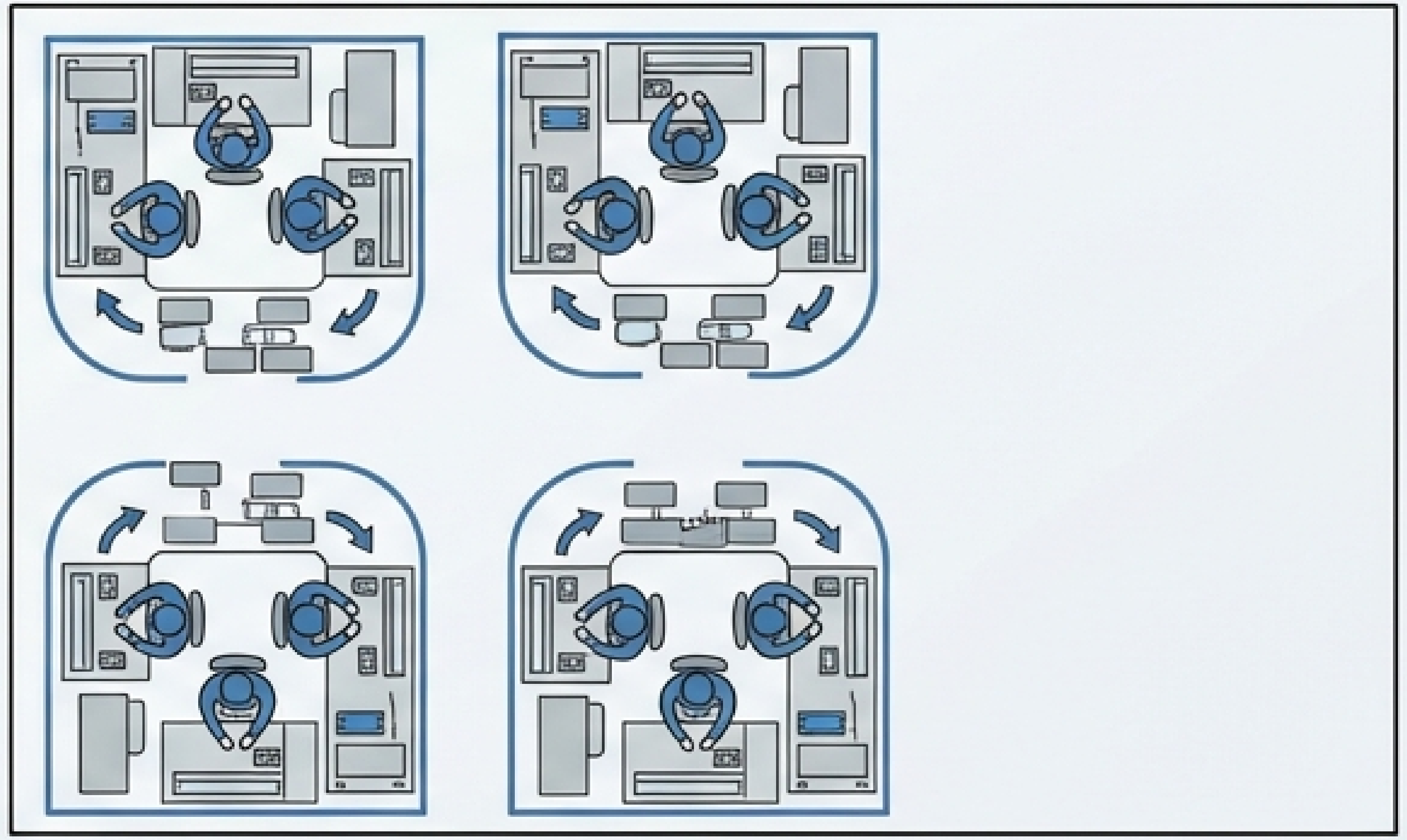
案例演变：从传送带到单元线的蜕变

改善前：长链驱动传送带



Source: Fig 3-1（1985年 NP-600生产线）

改善后：单元化布局



Source: Based on Canon Cellular Layout Evolution

占地面积减少 (Space Reduced)

在制品降低 (WIP Reduced)

生产周期缩短 (Lead Time Reduced)

实战检查清单：您的设备适应单元线吗？

- [ ] **小型化**：设备是否只占用必要的最小空间？
- [ ] **可移动**：底部是否有脚轮，能否徒手推动？
- [ ] **无传送带**：是否去除了连接设备的硬性传送带？
- [ ] **自动顶出**：是否具备“加工完自动弹出”功能（Hanedashi）？
- [ ] **IO接近**：入口和出口是否在操作员的同一侧？
- [ ] **管线悬挂**：水电气是否采用上方悬挂式接入？

Source: Based on Industrial Engineering Best Practices

结语

“在单元生产中，设备应当像家具一样，可以随时根据家庭（市场）的需求重新摆放。”

不要让设备成为阻碍流动的“纪念碑”。
从今天开始，给你的设备装上轮子。