

Auto Insight · 数据洞察说明报告

Auto Insight 数据洞察说明报告

洞察 · e2e_custom_probe.csv

任务状态：已完成

报告类型	Auto Insight · 数据洞察说明报告
文档编号	a7e06dba-9263-4d66-8d14-c6ea87df5f80
生成引擎	DavCtrl.ai 说明报告排版引擎
任务名称	洞察 · e2e_custom_probe.csv
状态	已完成
数据源	upload://4a2b52902fad_e2e_custom_probe.csv
停止原因	completed
重现包指纹	23910b48eb627e2fc8e9b2fc4a14415a8146df0dff7b5a27592f907b9e191cb1
报告生成时间	2026-10-26 21:32:18
任务创建时间	2026-10-26 21:28:47
任务完成时间	—

DavCtrl.ai

说明报告 · 自动排版

生成日期：2026-10-27 11:31

文档编号：a7e06dba-9263-4d66-8d14-c6ea87df5f80

摘要

白话导读：这一节是给管理者看的"先做什么"清单。每条都按"发现了什么 → 对良率和成本有什么影响 → 明天让谁去干什么"来写，看完这一节就能排出优先级。里面的数字都来自本次任务的确定性计算，不是估计值。如果只有时间看一条，请看第 1 条和第 2 条。腔室之间的差异是真实的，不是配方分配不均造成的假象 → 交叉分层复核显示，把配方（recipeid）这一层拆开后在每一层里重算，腔室效应几乎原样保留（效应保留率 1.02，方向一致率 1，辛普森反转率 0），腔室主效应检验 $p=2.01e-27$ ，最优腔室 CH-3、最差腔室 CH-2（padj 即把大量检验一起算后校正过的显著性，越小越不像碰运气；效应保留率接近 1 说明差异不是混杂造成的）→ 建议立即对 CH-1/CH-4 与 CH-2/CH-3 做 chamber matching（腔室匹配），逐项核对下压力、研磨液流量、抛盘/头转速与温控。量测系统本身吃掉了大部分波动，这决定了后面所有改善能不能被验证 → pressurepa 的可辨级数 $NDC=0.2$ （远低于 5 的通用门槛），重复性 $\sigma=0.414$ 占总 σ 的 99.1%；cdnm 重复性 $\sigma=2.22$ 占总 σ 的 102.4% → 如果先不校准量测，腔室调完了也看不出效果，建议把量测复核排在其他动作之前（当班或次日首件）。cdnm 越大、良率越低，这是一条可操作的负相关 → cdnm 与 yieldpct 的秩相关为 -0.454 （ $n=240$ ，负相关；相关系数只说明同向/反向变化的强弱，不等于因果）（见图 4）→ 把 cdnm 纳入分区压力与研磨量的日常管控窗口，优先盯 cd_nm 偏高的一片（见图 4）。

关键词：Auto Insight；数据洞察；自动分析；统计分析；数据与任务配置；核心洞察解读；证据与统计口径；风险与局限

摘要节选自报告「一、结论摘要」一节，为原文摘录，未经改写。

文档概览

任务状态	已完成
报告生成时间	2026-10-26 21:32:18
正文字符数	630,831
一级章节	10
表格 / 代码块	12 / 0
预计阅读	1262 分钟

目 录

- 一、结论摘要.....1
- 二、数据与任务配置.....5
- 三、核心洞察解读.....7
 - 3.1 相关性：cd_nm 与良率的负相关最值得跟进..... 7
 - 3.2 分群差异与 Context 组合：配方 × 腔室的组合效应明确..... 7
 - 3.3 交叉分层复核：腔室差异站得住，批次差异在层内反而更强..... 9
 - 3.4 工程探针：腔室、批次、配方三条线都有明确对象..... 9
 - 3.5 分布形态：cd_nm 明显右偏、尾部偏厚..... 10
 - 3.6 聚类结构：分群很弱，只能当探索线索.....11
 - 3.7 可预测性与异常：模型显著，但要警惕误报..... 13
- 四、证据与统计口径.....14
- 五、风险与局限.....16
- 六、下一步行动（作业级） 17
- 附录：半导体工程数据分析（确定性） 21
 - 关键结论（按业务影响排序） 21
 - 下一步行动建议（按证据自动生成） 21
 - 主题总览..... 23
 - 工程分组差异（按强度取前 12 条） 24
 - 能力 / 量测 / 良率 / 方差（按强度取前 12 条） 24
 - 其余主题（按强度取前 12 条） 25
- 附录：交叉分层复核（确定性） 26
 - 腔室 × recipeid（测量 yieldpct，有效层数 3） 26
 - 批次 × recipeid（测量 yieldpct，有效层数 3） 27
- 附录：重点探针白话说明（含义与公式） 28
 - 分布形态（经典发现） 28
 - 批次变异比（半导体工程） 28
 - 腔室粗效应量（交叉分层） 28
 - 传感器—高频能量（设备健康维护） 28
 - 特征二尾部峰度（极值理论） 29
 - 腔室峰度差（半导体工程） 29

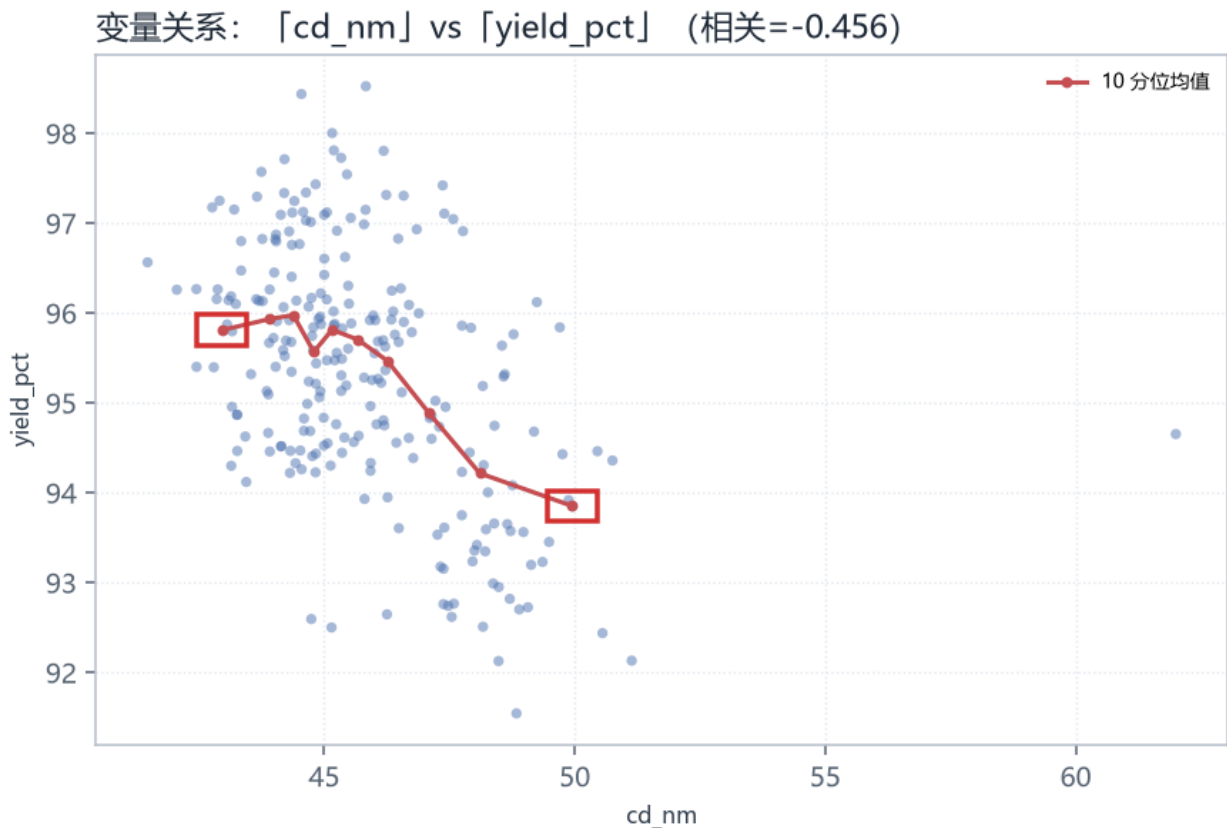
批次粗效应量（交叉分层）	29
核矩阵谱半径（线性代数）	29
相关性（经典发现）	29
批次偏度差（半导体工程）	30
腔室层内效应量（交叉分层）	30
特征一BA偏置（测量系统）	30
Context 组合基准（经典发现）	30
批次四分位距比（半导体工程）	31
批次层内效应量（交叉分层）	31
特征一最小可检测（一致性信度）	31
聚类结构（经典发现）	31
批次P75偏移（半导体工程）	32
腔室效应保留率（交叉分层）	32
传感器一峰数（光谱化学计量）	32
配方趋势差（半导体工程）	32
批次效应保留率（交叉分层）	32
特征二信息变差（信息理论）	33
批次漂移差（半导体工程）	33
附录：缩略语说明.....	34
附录·报告元数据与排版说明	35

一、结论摘要

白话导读：这一节是给管理者看的"先做什么"清单。每条都按"发现了什么 → 对良率和成本有什么影响 → 明天让谁去干什么"来写，看完这一节就能排出优先级。里面的数字都来自本次任务的确定性计算，不是估计值。如果只有时间看一条，请看第 1 条和第 2 条。

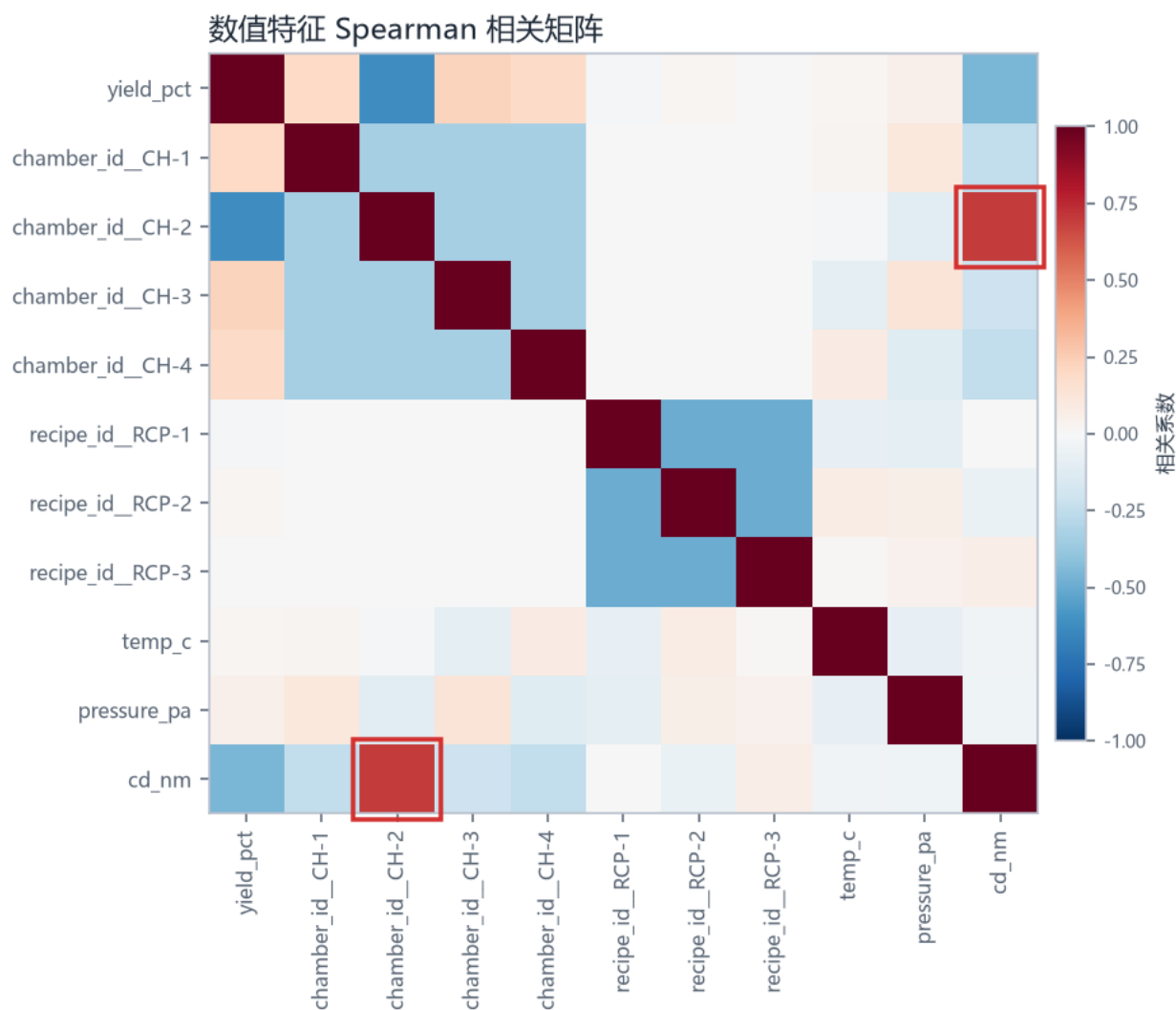
1. 腔室之间的差异是真实的，不是配方分配不均造成的假象 → 交叉分层复核显示，把配方（recipe_id）这一层拆开后在每一层里重算，腔室效应几乎原样保留（效应保留率 1.02，方向一致率 1，辛普森反转率 0），腔室主效应检验 $p=2.01e-27$ ，最优腔室 CH-3、最差腔室 CH-2（p_adj 即把大量检验一起算后校正过的显著性，越小越不像碰运气；效应保留率接近 1 说明差异不是混杂造成的）→ 建议立即对 CH-1/CH-4 与 CH-2/CH-3 做 chamber matching（腔室匹配），逐项核对下压力、研磨液流量、抛盘/头转速与温控。
2. 量测系统本身吃掉了大部分波动，这决定了后面所有改善能不能被验证 → pressure_pa 的可辨级数 $NDC=0.2$ （远低于 5 的通用门槛），重复性 $\sigma=0.414$ 占总 σ 的 99.1%；cd_nm 重复性 $\sigma=2.22$ 占总 σ 的 102.4% → 如果先不校准量测，腔室调完了也看不出效果，建议把量测复核排在其他动作之前（当班或次日首件）。
3. cd_nm 越大、良率越低，这是一条可操作的负相关 → cd_nm 与 yield_pct 的秩相关为 -0.454 （ $n=240$ ，负相关；相关系数只说明同向/反向变化的强弱，不等于因果）（见图 4）→ 把 cd_nm 纳入分区压力与研磨量的日常管控窗口，优先盯 cd_nm 偏高的一片（见图 4）。

图 4 变量关系散点



- 发现类型：相关性（匹配图表：变量关系）；强度：0.620；方法：spearman；校正 p ：<0.0001
 - 支撑结论：本例发现：「cd_nm」与「yield_pct」的秩相关为 -0.454（负相关， $n=240$ ）。两者呈弱到中等负相关，可把「cd_nm」纳入对「yield_pct」的预测或控制变量；但相关不等于因果，调整前需结合工艺机理确认方向。
 - 对应探针发现：「yield_pct」与「chamber_id_CH-2」呈中等负相关（Spearman $\rho=-0.620$ ，校正后 $p_{adj}<0.001$ ， $n=240$ ）
 - 图注：最强两变量关系的散点图，折线为按横轴十分位分箱的均值走势，标题标注相关系数/偏相关等统计量。折线若不是单调直线，说明关系非线性（可能存在阈值或饱和）；散点纵向扩散随横轴增大而变宽，提示方差不齐，回归系数与预测区间都会失真。
1. 腔室身份与 **cd_nm** 高度绑定，说明腔室差异确实长在尺寸这一项上 → **chamber_id_CH-2** 与 **cd_nm** 的 Spearman 相关系数 $r=0.702$ ，属于强关联（见图 3）→ 排查腔室时应当以 **cd_nm** 为首要观测量，而不是只看压力（见图 3）。

图 3 相关性热力图



- 发现类型：相关性（匹配图表：变量相关结构）；强度：0.702；方法：spearman；校正 p : <0.0001
 - 支撑结论：本例发现：最强的一对是「chamber_id_CH-2」与「cd_nm」（Spearman $r=0.702$ ，正相关）， $|r| \geq 0.5$ 的变量对共 5 对。强相关列之间存在信息冗余，建模时应择一或做组合特征；若其中一列是目标，则另一列可作为重点控制变量。
 - 对应探针发现：「chamber_id_CH-2」与「cd_nm」呈强正相关（Spearman $\rho=0.702$ ，校正后 $p_{adj} < 0.001$ ， $n=240$ ）
 - 图注：矩阵格子为数值列两两的 Spearman 秩相关系数：红=正相关、蓝=负相关，颜色越深越强，白色 ≈ 0 。成块的深色区域说明多个变量受同一因素驱动、存在共线性；做回归或根因分析时应合并或剔除冗余变量，避免把同一份信息重复计权。秩相关对异常值和单调非线性更稳健。
1. 批次之间的波动差异比均值差异更值得管 → 批次 L005 相对 L027 在 pressure_pa 上的变异比为 3.08 $\times$ ，L014 相对 L010 在 cd_nm 上的四分位距比为 3.82 $\times$ （四分位距比是两组波动范围之比，越

- 大差异越大)，L001 相对 L005 在 `cd_nm` 上的标准差比为 $5.97\times$ → 建议对 L005、L001、L014 三个批次做 hold lot 复判（抽 5 片全点位复测），并回溯来料与前道履历。
2. 配方带来的差异体现在"随时间的漂移形状"上，不体现在平均值上 → 配方 RCP-3 与 RCP-2 在 `cd_nm` 上的趋势差为 10.09σ ，RCP-2 与 RCP-1 在 `temp_c` 上的趋势差为 24.04σ （ σ 是标准差，衡量波动有多大；差几 σ 就是差几个波动单位）→ 建议锁定这两组配方的参数差异，用一次 DOE（试验设计）确认主因子后固化。
 3. 当前的异常点绝大多数可能是误报，先别急着停线 → 异常行中"非低良率"占 100%，异常呈孤立分布（孤立异常占比 100%），异常集中度基尼系数 0.93（集中度高）→ 建议先复核异常判定规则与量测重复性，排除误报后再对真实异常做原因分析，同时给同类异常建立 EWMA（指数加权移动平均，Exponentially Weighted Moving Average）/CUSUM（累积和控制图，Cumulative Sum Control Chart）报警（随时间监控过程是否失控的报警方法）。
 4. 分群结构很弱，不能拿聚类结果当机台分型依据 → 数据分成 4 个簇，轮廓系数仅 0.319（聚类分得清不清楚，越接近 1 越清晰），最大簇 61 行，前两个主成分只解释 35.0% 的方差 → 分群只能当探索线索，不能直接写进工艺规范。
 5. 模型能解释良率，但现场还有没被记录的因素 → `yield_pct` 模型整体显著（ $p=1.33e-25$ ），但观测到的最优值比模型预测的最优值还高 1.87σ ，说明存在未建模因素（如耗材/垫面状态、来料批次差异）→ 建议补记耗材寿命与垫面使用次数这类当前没进表的字段。

一句话记住：先把量测校准、再拿腔室匹配和批次复判下手，其余结论都建立在这两步之上。

二、数据与任务配置

白话导读：这一节说明这次分析的是哪张表、拿哪一列当答案、系统用了哪些手段去看它。看完你能知道结论的"底气"来自多少行数据、哪些列是分组用的、哪些列是数值测量，以及这次分析有没有做额外的自动扩展。数据量不大，这一点会直接影响后面的可信度判断。

本次任务名为「洞察 · e2e_custom_probe.csv」，任务形态是回归，目标列是 **yield_pct**（良率百分比），随机种子 42，最大轮数 0、无提升耐心 2 轮、时间预算 600 秒、未启用 LLM 扩展，运行状态 **completed**、停止原因"正常完成"。也就是说，本次报告的全部结论都来自确定性代码探针与半导体工程探针，没有额外的 **LLM** 提议轮次，不存在"扩展洞察"层的新发现。

数据规模：样本 240 行（素材中 samples=240、n=240、rows=240 多处一致）。可见列包括 3 个数值/量测列与 3 个分组列，加 1 个目标列：

表 1 报告数据表

列名	角色	说明（素材可见信息）
yield_pct	目标列（连续）	良率百分比；模型整体显著 $p=1.33e-25$
temp_c	数值/量测特征	片内 $\sigma=2.88$ ，重复方差占比 100.0%，ICC=1.00
pressure_pa	数值/量测特征	可辨级数 NDC=0.2，重复性 $\sigma=0.414$ （占总 σ 99.1%）
cd_nm	数值/量测特征	均值 45.83、标准差 2.167，偏度 2.02、峰度 11.58
chamber_id	分组/类别	主效应 $p=2.01e-27$ ；最优水平 CH-3，最差水平 CH-2
lot_id	分组/类别	批次维度，工程探针中出现 L001-L029 多个批次号
recipe_id	分组/类别	配方维度，出现 RCP-1 / RCP-2 / RCP-3

清洗与画像方面：本次可见素材未列出逐条清洗动作的明细与删改行数，因此不对"删了多少行、改了多少值"作任何断言。从卡片台账能确认系统执行过下列画像类检查（结论明细见附录）：列名含单位（1 张）、高熵列（3 张）、唯一率异常（2 张）、重复值占比（3 张）、全唯一列（2 张）、单值出现列（3 张）、候选键重复（2 张）、冲突重复键（1 张）、相关系数越界（3 张）、经纬度越界（3 张）、取值网格与小数位画像（各 3 张）。

卡片总量 10996 张、卡片类型 300 余种。与本文结论直接相关的类型如下（"张数"取自任务信息的类型计数，工程类为维度合计）：

表 2 报告数据表

卡片类型	张数（本次任务）	代表结论	强度
相关性	12	chamber_id__CH-2 与 cd_nm Spearman r=0.702； cd_nm 与 yield_pct 秩相关 -0.454	素材未单列
分群差异 / Context 组合基准	3 / 2	recipe_id × chamber_id 对 yield_pct 效应量 0.428, p_adj=0	素材未单列
聚类结构	1	4 簇，轮廓系数 0.319，最大簇 61 行，PC1+PC2 解释 35.0%	素材未单列
工程分组（腔室/批次/配方）	各维度十余项至二十余项	腔室 CH-2 vs CH-1 分布偏移 KS=0.83 (p=2.4e-21)	1
量测系统 / 方差分解	量测重复性 3、GRR 占比 3、 重复方差 3 等	pressure_pa NDC=0.2； temp_c 重复方差占 100.0%	1
传感对 / 变量交互	交互 3、偏移 3、增益 3 等	temp_c×pressure_pa 交互项解释 99.98% 变异 (r²=0.9998)	1
异常漂移	严重度 1、集中度 1、孤立异常 1 等	孤立异常占 100%； 异常行中非低良率占 100%； 基尼 0.93	1 / 0.952
先进控制	1	AR(1) R²=0.00（几乎无自相关）	0.996

其他大批量类型（分布拟合、数字行为、Benford、时序频谱、矩阵分解、试验设计诊断等）与本次业务结论关联较弱，未在正文展开，完整台账见附录。

一句话记住：这是一张 240 行、3 个量测列加 3 个分组列的小表，结论靠确定性探针得出，样本量决定了它只能指出方向、不能给出精确的收窄幅度。

三、核心洞察解读

白话导读：这一节把系统找到的主要线索一条条讲清楚——谁和良率有关、哪个腔室/批次/配方不对、量测靠不靠谱、数据能不能自然分成几群。每条结论后面都用车间里的话说明“该去看什么”。看不懂统计量没关系，看每条最后的“对现场意味着什么”就够了。

3.1 相关性：cd_nm 与良率的负相关最值得跟进

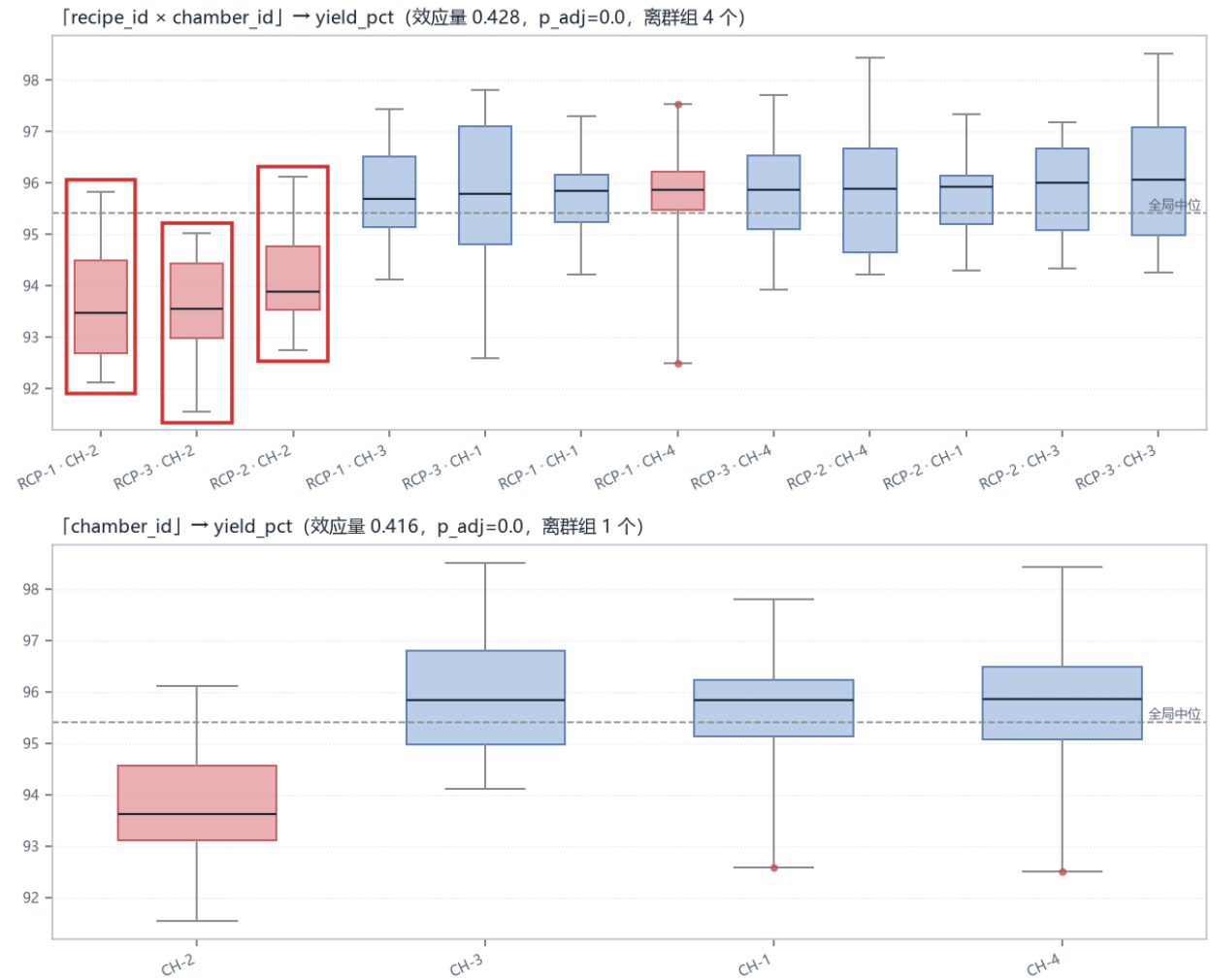
在 12 张相关性卡片中，与业务最直接相关的是 **cd_nm** 与 **yield_pct** 的秩相关 **-0.454 (n=240)**，属于弱到中等强度的负相关（见图 4）。这意味着 **cd_nm** 偏大的一片，良率倾向于偏低。需要强调：这是统计关联，不能说“**cd_nm** 大了就一定良率低”，但足以把它作为优先观察窗口。另一条强关联是 **chamber_id__CH-2** 与 **cd_nm** 的 **Spearman r=0.702**（见图 3），说明腔室归属与 **cd_nm** 高度绑定——换句话说，CH-2 这个腔室在尺寸表现上系统性地区别于其他腔室，这正是腔室匹配要盯的观测量。

对现场意味着什么：设备工程师明天看 **cd_nm** 数据时，应按腔室拆开看，而不是只看全线均值；工艺工程师应把 **cd_nm** 的上偏纳入分区压力/研磨量的调整依据。

3.2 分群差异与 Context 组合：配方 × 腔室的组合效应明确

把 **recipe_id** 与 **chamber_id** 组合起来看，对 **yield_pct** 的效应量为 **0.428, p_adj=0**（效应量是差异实际有多大，0 表示组间没有差别）（见图 5）。这个量级说明：良率的波动有相当一部分可以由“哪台腔室 + 跑哪个配方”这个组合解释。结合腔室主效应（**p=2.01e-27**，最优 CH-3、最差 CH-2）与因子显著性检验（**chamber_id F=44.4, p=1.03e-22**），腔室是本次数据中最硬的一个分组变量。

图 5 Context 组合箱型图



- 发现类型：Context 组合基准（匹配图表：上下文组合基准）； 强度：0.567；方法：context_combo；校正 **p**: <0.0001
- 支撑结论：本例发现：组合「recipe_id × chamber_id」对目标「yield_pct」的效应量为 0.428，p_adj=0，离群组 1 个；组中位数从「recipe_id=RCP-1 × chamber_id=CH-2」的 93.47 到「recipe_id=RCP-3 × chamber_id=CH-3」的 96.06（全局中位 95.41）。该 Context 组合下存在可辨的目标差异，应优先排查离群组与高低中位组对应的设备/腔室/产品条件。
- 对应探针发现：Context 组合「recipe_id × chamber_id」下，目标「yield_pct」组间差异显著（ $\eta^2=0.428$ ，校正后 p_adj=<0.001，12 组，n=240）；离群组 4 个，最突出：recipe_id=RCP-1 × chamber_id=CH-2
- 图注：每个面板对应一种上下文组合（如设备×产品）：箱体为四分位距、中线为中位数、须线为非离群范围、红点为离群批次。面板之间中位数错位=系统性偏移；箱体高度差异=稳定性差异。优先处理「中位偏低且箱体偏高」的组合，收益最大。

对现场意味着什么：排货时不要把高要求产品随机派到所有腔室；先按腔室能力分层派工，等匹配做完再放开。

3.3 交叉分层复核：腔室差异站得住，批次差异在层内反而更强

交叉分层复核一共做了 2 个"对象 × 混杂因素 × 测量列"组合、38 张卡片，两个结论方向不同，都很重要：

- 腔室 × **recipe_id** → **yield_pct**: 粗效应量 0.416, 层内效应量 0.427, 效应保留率 **1.02**, 方向一致率 **1**, 辛普森反转率 **0**（辛普森反转指整体看是一个方向、分层后多数层却反过来）。这说明腔室差异不是配方分配不均造成的，属于腔室自身问题，可以放心按腔室去整改。
- 批次 × **recipe_id** → **yield_pct**: 粗效应量 0.0968, 层内效应量 0.339, 效应保留率 **3.5**, 有效层数 3, 样本覆盖率 0.75。保留率大于 1 意味着批次差异在层内被放大而不是被解释掉——批次问题同样不是配方混杂，但覆盖率只有 0.75, 说明有一部分数据没能进入分层比较，结论的普适性要打折扣。

对现场意味着什么：腔室和批次的整改可以并行推进，不需要先等"配方排查"的结论；但批次侧的结论只覆盖了约四分之三样本，复判时要把未覆盖的那部分批次也抽到。

3.4 工程探针：腔室、批次、配方三条线都有明确对象

这是本次最有作业价值的一组结论，按业务相关度挑出四条：

(1) 腔室偏移。腔室 CH-2 与 CH-1 在 **cd_nm** 上的分布偏移 $KS=0.83$ ($p=2.4e-21$)，KS 统计量 0.83 意味着两组分布几乎不重叠；KS p 值只说明"两组分布是否同形"，不是差异大小。腔室形状差异上，CH-4 与 CH-1 在 **cd_nm** 上的峰度差达 31.58（峰度衡量分布尾部厚不厚，差得越大说明极端值行为越不一样）。趋势差方面，CH-2 与 CH-3 在 **temp_c** 上相差 17.36σ ，CH-3 与 CH-4 在 **cd_nm** 上相差 13.53σ 、在 **pressure_pa** 上相差 9.36σ 。这几条指向同一个动作：做腔室匹配。

(2) 批次波动。L005 相对 L027 在 **pressure_pa** 上变异比 $3.08\times$ 、标准差比 $3.09\times$ ；L001 相对 L005 在 **cd_nm** 上标准差比 $5.97\times$ 、极差比 $6.46\times$ 、变异比 $5.71\times$ ；L014 相对 L010 在 **cd_nm** 上四分位距比 $3.82\times$ 、MAD 比 $4.21\times$ 。此外 L003 与 L019 在 **pressure_pa** 上分布偏移 $KS=0.75$ ($p=0.0186$)，P75 差 2.48σ 、P95 差 2.79σ 、均值差 1.93σ (13 vs 12.2)。可以看出：批次的差异主要长在"波动大小"上，而不是"平均水平"上。

(3) 配方趋势。RCP-3 与 RCP-2 在 **cd_nm** 上趋势差 10.09σ ，RCP-2 与 RCP-1 在 **temp_c** 上趋势差 24.04σ ；配方形状差异上 RCP-2 与 RCP-3 在 **cd_nm** 上峰度差 13.02、偏度差 2.07。这类"趋势差"说明差异体现在随批次/时间的漂移形状上，需要 DOE 才能锁定具体参数。

(4) 量测系统与方差结构。**pressure_pa** 的可辨级数 $NDC=0.2$ （远低于通用的 5），重复性 $\sigma=0.414$ 占总 σ 的 99.1%；**cd_nm** 重复性 $\sigma=2.22$ ，占总 σ 的 102.4%（超过 100% 说明估计本身有不确定性）；**temp_c** 站点内 $\sigma=2.88$ 、重复方差占比 100.0%、重复 ICC=1.00。方差分解还显示 **temp_c** 的

方差完全集中在单一层级（熵 0.00）。这意味着当前数据里的"差异"很大一部分是量测重复性贡献的，任何工艺调整都必须先过量测这一关。

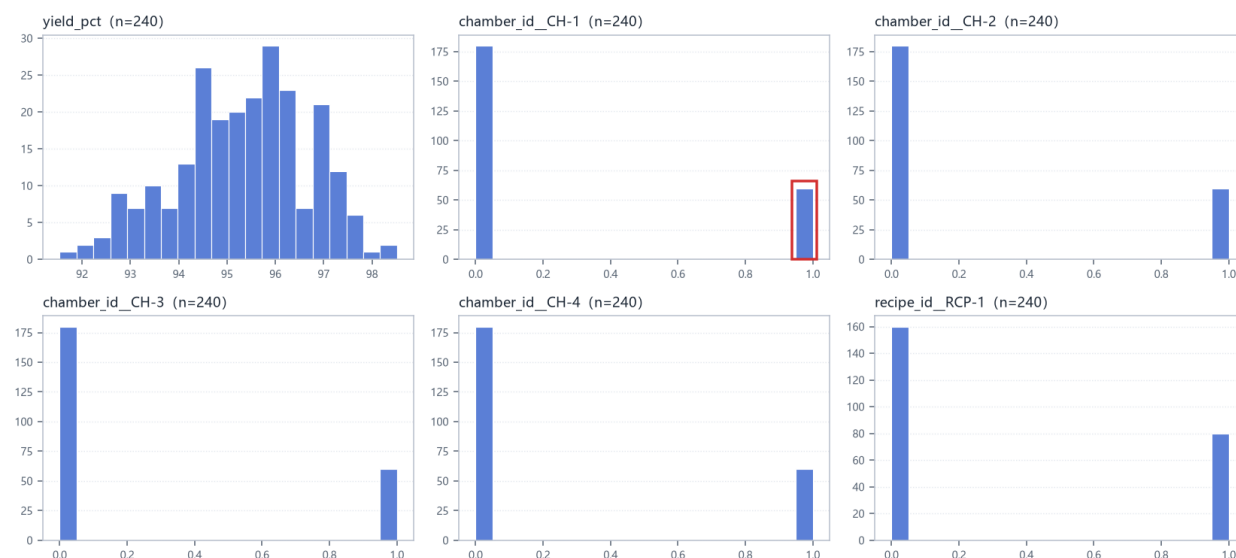
对现场意味着什么：设备侧按腔室做匹配、按批次做复判；量测侧先做一次 GRR 复核（量测系统的重复性与再现性评估），否则前面的整改无法判定是否有效。

3.5 分布形态：cd_nm 明显右偏、尾部偏厚

cd_nm 的分布为均值 45.83、标准差 2.167 (n=240)，偏度 2.02、峰度 11.58，正态性检验 $p_{adj}=0$ （偏度看左右是否对称，峰度看尾部厚不厚； p_{adj} 越小越不像碰运气）（见图 2）。右偏意味着存在一小批 cd_nm 偏大的样本，这与 3.1 的负相关正好互相印证——良率的损失可能集中在那一小批大尺寸片上。另外在列分布画像中，chamber_id_CH-1 指示列的偏度绝对值为 1.16（偏度为 1.16，右偏、长尾在高值侧）（见图 1），说明该腔室的样本量或取值分布本身也不均衡。

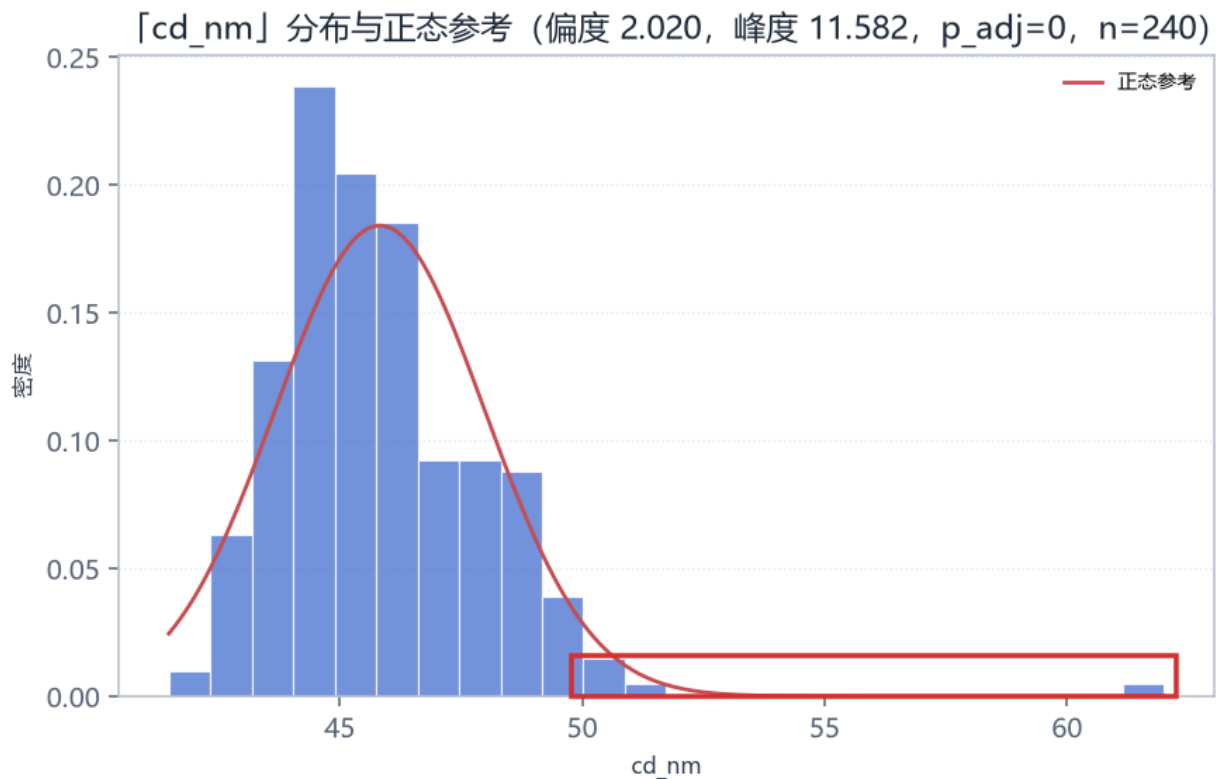
图 1 数值分布

数值特征分布



- 发现类型：分布形态；强度：1.000；方法：distribution；校正 p : <0.0001
- 支撑结论：本例发现：图中 6 列里，「chamber_id_CH-1」的偏度绝对值为 1.16（偏度 1.16，右偏（长尾在高值侧）），|偏度|≥1 的列共 4 个。强偏态列在建模前应做变换（对数/Box-Cox）或改用对分布不敏感模型，否则均值和方差类统计会被长尾样本主导。
- 对应探针发现：「cd_nm」显著偏离正态：右偏（偏度 2.03），厚尾（超额峰度 11.85）；校正后 $p_{adj}<0.001$ ，n=240
- 图注：每个面板是一列数值的直方图（目标列优先放在第一格）。重点看形态：单峰/双峰（多峰常意味着混入了不同产品、机台或配方）、偏斜方向、长尾与离群值。出现双峰或长尾时，应先按上下文分层再判断能力与趋势，直接汇总会掩盖真实结构。

图 2 分布与正态性



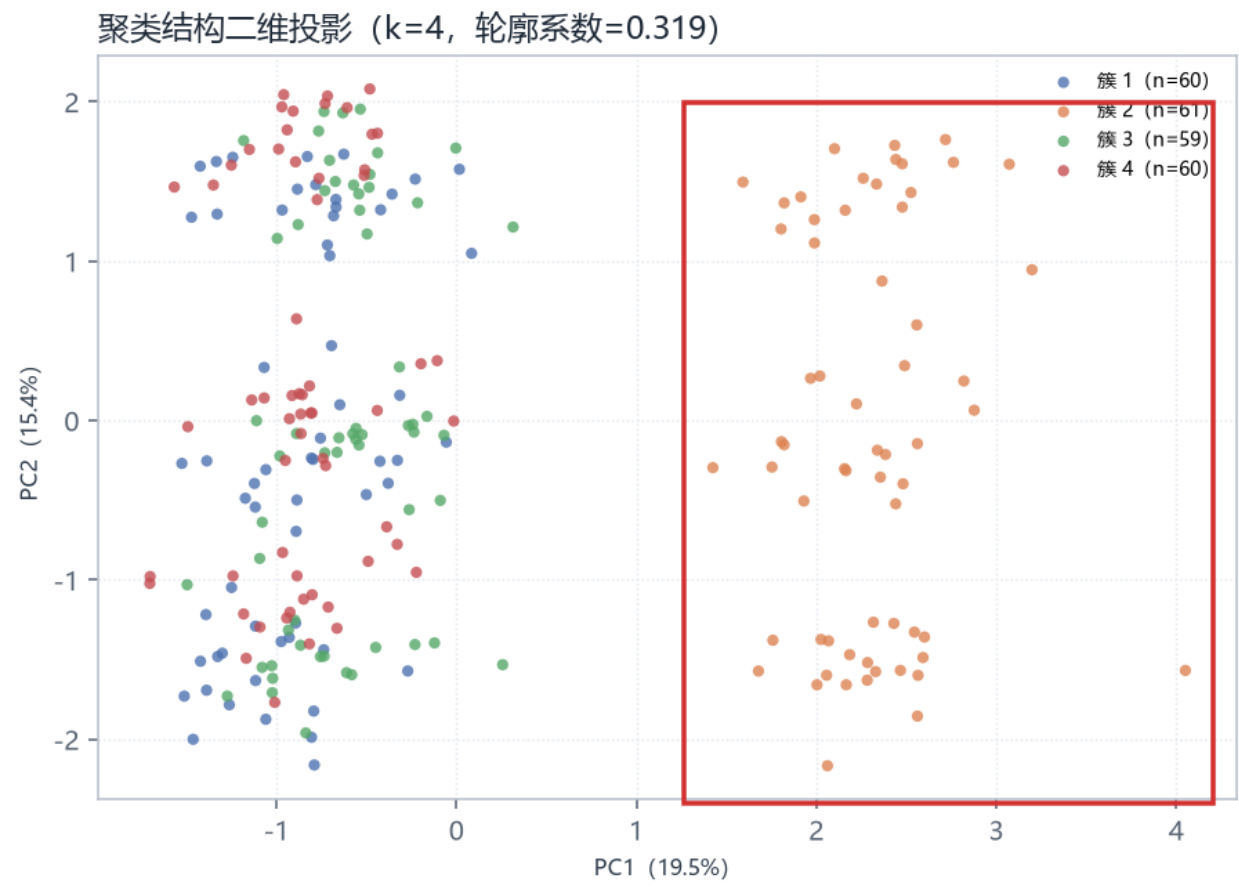
- 发现类型：特征二尾部峰度（匹配图表：分布形态）；强度：1.000；方法：ev_c2_tailk
- 支撑结论：本例发现：「cd_nm」均值 45.83、标准差 2.167（n=240），偏度 2.02、峰度 11.58， $p_{adj}=0$ 。正态性检验拒绝正态假设，分布右偏（长尾在高值侧）；基于正态假设的能力指数、控制限与 t 类检验需改用稳健口径，或先对数据做变换。
- 对应探针发现：特征二尾部峰度：32.4
- 图注：蓝色直方图为该列经验分布，红色曲线为同样本均值/标准差的正态参考，标题带偏度、峰度与正态性检验 p 值。直方图明显偏离红线（长尾、双峰、平顶）或 p 值很小时，基于正态假设的均值 $\pm 3\sigma$ 、Cp（过程潜在能力指数，Process Capability）/Cpk（过程实际能力指数，Process Capability Index）与 t 检验都需谨慎，应改用稳健统计或先做变换。

对现场意味着什么：分析 cd_nm 不要只看均值，要看 P95 和最大值；管控窗口应设在上尾而不是中心。

3.6 聚类结构：分群很弱，只能当探索线索

数据被分为 4 个簇，轮廓系数 **0.319**，最大簇 61 行，PC1+PC2 只解释 35.0% 的方差（轮廓系数越接近 1 说明分得越清楚）（见图 6）。0.319 属于“结构较弱”，说明这 4 群之间并没有清晰的边界，很可能是连续变化被人为切开。因此不能拿它去做机台分型或写进 SOP。

图 6 聚类散点图



- 发现类型：聚类结构；强度：0.475；方法：kmeans
- 支撑结论：本例发现：数据分为 4 个簇（轮廓系数 0.319，最大簇 61 行，PC1+PC2 解释 35.0% 的方差）。轮廓系数表明簇结构较弱但可辨，可按簇分别对比工艺条件与目标表现，定位表现最差的簇。区分方法：先对 10 个数值特征做标准化（z-score），再用 KMeans 划成 4 个簇；簇编号由算法生成，重跑后编号可能互换。各簇相对全体样本差异最大的特征如下：簇 1 (n=60) 「chamber_id=CH-1」在 80% 以上的行取值为 1、「chamber_id=CH-2」在 80% 以上的行取值为 0；簇 2 (n=61) 「chamber_id=CH-2」在 80% 以上的行取值为 1、「cd_nm」的 80% 取值落在 47.106~49.879（中位 48.268）；簇 3 (n=59) 「chamber_id=CH-4」在 80% 以上的行取值为 1、「chamber_id=CH-1」在 80% 以上的行取值为 0；簇 4 (n=60) 「chamber_id=CH-3」在 80% 以上的行取值为 1、「chamber_id=CH-1」在 80% 以上的行取值为 0。其中写成「列=取值」的是类别列的 one-hot 编码（1 表示该行属于该类别、0 表示不属于）。区间重叠时需结合全部特征判断；要精确判定某一行属于哪个簇，请在原始数据上取同样这组特征、按同一 k 重跑聚类核对，也可先用上述区间粗分再回原始记录确认。
- 对应探针发现：数据可按 4 个差异明显的簇划分（轮廓系数 0.319，bootstrap 稳定性 1.00，n=240）

- 图注：用与探针相同的特征、k 和随机种子重拟合 KMeans 后，以 PCA（主成分分析，Principal Component Analysis）前两个主成分作横纵轴绘制（坐标轴括号内为各主成分解释的方差比例）。簇之间分离越开、重叠越少，分群越稳定；散落在簇外的点通常对应异常批次或特殊工况，值得回查原始记录。

对现场意味着什么：如果要用分群，只能作为"这批数据可能有几种运行状态"的提示，需要再用腔室/批次标签去验证，不能反过来用簇号派工。

3.7 可预测性与异常：模型显著，但要警惕误报

yield_pct 的模型整体显著 ($p=1.33e-25$)，但观测最优值比模型最优值高 **1.87 σ** ，说明还有未建模因素在起作用。异常侧，异常行中"非低良率"占 100%、孤立异常占 100%、异常集中度基尼 0.93——当前的异常标记几乎全是孤立的、且并不对应低良率，高度疑似误报。这与量测重复性占总 σ 99% 以上的结论是一致的：噪声大，阈值就容易被打穿。

对现场意味着什么：先别按当前异常清单去停线或 hold 货，先把判定规则和量测重复性捋一遍，再决定谁是真异常。

一句话记住：腔室问题是真的、批次问题是波动大、量测问题是根子，聚类分群暂时不能用来派工。

四、证据与统计口径

白话导读：这一节说明每条结论是用什么方法算出来的、关键数字是多少、显著性有多强。你不需要会算，只要知道"这条结论有多硬、有没有经过校正"。同时会说明这些口径的边界——哪些数字不能照着字面去理解。

表 3 报告数据表

结论	探针方法	关键统计量	p_adj / p	强度
腔室差异真实存在	交叉分层复核 (对象×混杂因素)	粗效应量 0.416 → 层内 0.427；保留率 1.02；方向一致率 1；反转率 0	素材未给	素材未给 (复核类)
批次差异非配方混杂	交叉分层复核	粗 0.0968 → 层内 0.339；保留率 3.5；覆盖率 0.75	素材未给	素材未给 (复核类)
腔室是最强分组变量	维度主效应 / 因子显著性	主效应 p=2.01e-27；F=44.4	p=1.03e-22 (因子)	1
腔室 CH-2 与 CH-1 分布不同	腔室 KS 偏移	KS=0.83 (cd_nm)	p=2.4e-21 (卡片记为 0，低于显示精度)	1
批次 L003 与 L019 分布不同	批次 KS 偏移	KS=0.75 (pressure_pa)	p=0.0186	1
配方×腔室组合影响良率	Context 组合基准	效应量 0.428，离群若干	p_adj=0	素材未单列
cd_nm 与良率负相关	秩相关 (Spearman/秩相关族)	r=-0.454，n=240	素材未给	素材未单列
量测分辨率不足	量测系统 / GRR	NDC=0.2；重复性占总 σ 99.1% (pressure_pa)	素材未给	1
波动集中于单一层级	方差分解	temp_c 重复方差占比 100.0%，ICC=1.00	素材未给	1
过程几乎无自相关	先进控制 AR(1)	R²=0.00	素材未给	0.996
异常高度集中且疑似误报	异常漂移	基尼 0.93；非低良率占比 100%	素材未给	0.952

口径边界必须说清楚的三点：

第一，强度∈[0,1] 只是系统内部归一化的"显著程度"，不是概率，不能说"有 100% 把握"。第二，p_adj 只在素材给出的地方引用；表中"素材未给"的条目，不做任何显著性推断，只作为方向性线索。第三，部分工程探针的"趋势差"数值异常大（如 L001 与 L016 在 cd_nm 上趋势差 751.17σ、L024 与 L029 在 temp_c 上 721.20σ、L021 与 L022 在 pressure_pa 上 742.63σ）。这类数值极可能是分母（该组的波动估计）非常小导致的放大效应，不能理解为工艺真的偏移了七百多个波动单位，只能作为"这两组的时间行为形状很不一样"的定性提示，需回到原始曲线复核。

另外，工程分组类探针是两两极端组对比（系统自动挑差异最大的两组），存在选择效应，效应量会被系统性高估；这也是为什么第 3.3 节的交叉分层复核更值得信任——它是在层内重算的，不挑组。

一句话记住：强度不是概率、 p_{adj} 只在给了的地方才算数、极端 σ 倍数的趋势差要先复核原始曲线再下结论。

五、风险与局限

白话导读：这一节讲这次分析“不能证明什么”。数据只有 240 行、量测噪声又大，很多看起来很强的结论其实只是方向提示。看完这一节，你就知道哪些结论可以直接派工、哪些必须先补数据或复核。

1. 样本量偏小，分组后更小。全表 240 行，却要分到 4 个以上腔室、近 30 个批次、3 个配方，平均每组只有个位数到十几行。批次类结论尤其脆弱，单片的极端值就能改变整组的标准差与极差比。
2. 量测噪声占主导，会稀释真实信号。`pressure_pa` 重复性占总 σ 99.1%、`cd_nm` 达 102.4%、`temp_c` 重复方差占比 100.0%，说明当前数据里可用于判断工艺差异的“净信号”很少，这也是部分结论相互矛盾（例如 `cd_nm` 组内相关 ICC=0.00 与重复 ICC=1.00 并存）的可能原因。在这个前提下，任何小于 1σ 的组间差都不建议作为派工依据。
3. 相关性不等于因果。`cd_nm` 与 `yield_pct` 的 -0.454 只能说明两者同向/反向变化，不能证明“调小 `cd_nm` 就能提良率”；同样，`chamber_id_CH-2` 与 `cd_nm` 的 $r=0.702$ 是结构关联，不能解读为“CH-2 导致了 `cd_nm` 偏高”。
4. 聚类与分群是数据驱动的描述性分组。轮廓系数 0.319、PC1+PC2 仅解释 35.0%，说明簇边界不清晰，不能当作业务上已确认的机台/产品分型。
5. 高基数与标识列风险。`lot_id`、`chamber_id`、`recipe_id` 属于标识/分组列，若被直接当作模型特征，可能产生标识泄漏；本次“标识泄漏”探针只出了 1 张卡片，其判定明细见附录，正文不做推断。
6. 异常标记高度疑似误报。异常行中非低良率占 100%、孤立异常占 100%，在量测噪声这么大的情况下，先复核规则比先处置异常更划算。
7. 搜索预算与轮次。本次最大轮数配置为 0、未启用 LLM，因此没有扩展洞察轮次，结论完全来自确定性探针的固定组合；也没有“耐心耗尽”这类中途停止，停止原因是正常完成。这意味着某些需要多轮组合才能发现的交互结构（例如三阶以上的 Context 组合）本次没有被系统探索。
8. 交叉分层只覆盖 2 个组合、38 张卡片。配方作为混杂因素的复核只做了腔室和批次两条线，其他对象（如站点）未做分层复核；批次侧的样本覆盖率仅 0.75。

一句话记住：这次结论是“方向对、量级别当真”，凡是小于 1σ 的差异和所有相关性结论，都要先补数据或做实验再落地。

六、下一步行动（作业级）

白话导读：这一节是明天上班就能派工的清单。每行写清楚：给谁做、凭什么做、怎么做、做完看什么指标算成功、什么时候完成。顺序是按"先做哪个、为什么先做它"排的——P0 是当班或次日必须动的，P1 是本周内的，P2 是持续盯的。

表 4 报告数据表

优先级	对象	问题与证据	具体作业	验证判据	预期作用	建议完成时点
P0	量测通道 pressure_pa / cd_nm	量测系统分辨率 不足: pressure_pa NDC=0.2 (<5), 重复性 $\sigma=0.414$ 占总 σ 99.1%; cd_nm 重 复性 $\sigma=2.22$ 占总 σ 102.4%	先做一次 GRR: 同一片重 复测 10 次 $\times$ 3 个 操作员, 核对量 测程序、探头/ 夹具状态与校准 记录; 确认是设 备分辨率不足还 是记录口径问 题, 必要时更换 量具或提高采样 次数	NDC ≥ 5 ; 重复性 占总 σ 降至 30% 以下	这是其他所有 动作的前置条 件——量测不 先过关, 腔室 调完也判不出 效果	当班
P0	CH-2 / CH-3 (最差/最优 腔室) 与 CH-4 / CH-1	腔室差异经交叉 分层确认(保留 率 1.02、方向一 致率 1、反转率 0); 腔室主效应 $p=2.01e-27$; CH-2 与 CH-1 在 cd_nm 上 KS=0.83 ($p=2.4e-21$); CH-4 与 CH-1 峰 度差 31.58	做 chamber matching: 逐项 核对下压力、研 磨液流量、抛 盘/头转速与温 控设定; 先校正 有差异的硬件/ 耗材项, 残余偏 移用 recipe offset 补偿	各腔室 cd_nm 均值差收敛到 0.5 σ 内, 且 Cpk ≥ 1.33	消除分腔带来 的良率波动, 直接对应最强 的一条证据	当班启动, 本 周内完成首轮 匹配
P0	CH-2 / CH-3 趋势行为	腔室 CH-2 与 CH-3 在 temp_c 上趋势差 17.36 σ ; CH-3 与 CH-4 在 cd_nm 上 13.53 σ 、 pressure_pa 上 9.36 σ	调出这四台腔室 最近三个月的 temp_c 与 pressure_pa 逐片 曲线, 先复核大 σ 倍差是否为分 母过小造成的放 大, 确认后检查 温控回路整定与 传感器漂移	逐片曲线首尾偏 移量与曲率差收 敛到同量级; temp_c 首尾均值 差 $<0.5\sigma$	把"形状差异"变 成可控的温控 整定动作, 抑 制腔室随时间 漂移	当班调曲线, 本周出结论
P0	L005 / L001 / L014 (批次)	批次波动差异: L005 相对 L027 pressure_pa 变异 比 3.08 $\times$; L001 相对 L005 cd_nm 标准差比 5.97 $\times$ 、 极差比 6.46 $\times$; L014 相对 L010 cd_nm 四分位距 比 3.82 $\times$	对这三个批次做 hold lot 复判 (抽 5 片全点位 复测), 回溯来 料、配方版本与 前道履历, 确认 是否同一台设 备/同一时段集 中产出	复测 pressure_pa 回到 规格中心, 批内 CV $\leq$ 历史 P90	阻断异常批次 流出, 降低批 级报废	当班 hold, 24 小时内出 复判结论

优先级	对象	问题与证据	具体作业	验证判据	预期作用	建议完成时点
P0	异常点清单 (SPC)	异常行中非低良率占 100%、孤立异常占 100%、集中度基尼 0.93, 高度疑似误报	复核异常点判定规则（阈值、窗口、样本量）与量测重复性，排除误报后对真实异常做原因分析；为同类异常建立 EWMA/CUSUM 报警与处置 SOP	异常点数回落到历史基线内，误报率<5%	避免因噪声触发停线，把处置资源留给真异常	当班复核，本周内上线新规则
P1	L003 / L019 (批次)	分布整体偏移：在 pressure_pa 上 KS=0.75 (p=0.0186)，P75 差 2.48σ、P95 差 2.79σ、均值差 1.93σ (13 vs 12.2)	对比两批的 pressure_pa 设定值与实际值，检查该时段机台压力控制回路供气稳定性；若为设定偏移，回写标准 recipe	两批 pressure_pa 均值差 <0.5σ, P95 差 <1σ	消除批次级压力偏移，稳定良率中心值	本周
P1	RCP-3 / RCP-2 / RCP-1 (配方)	配方趋势差异：RCP-3 与 RCP-2 在 cd_nm 上趋势差 10.09σ；RCP-2 与 RCP-1 在 temp_c 上 24.04σ；RCP-2 与 RCP-3 峰度差 13.02	锁定三组配方的参数清单差异，用一次 DOE 确认主因子（压力/温度/时间）后固化到标准配方，差异项按产品分别设定	配方间 cd_nm 差 <0.3σ，或按产品分别设定的窗口内 Cpk≥1.33	把配方差异转成可控的工艺窗口	本周设计 DOE，两周内固化
P1	方差结构（批次 / 片间 / 片内 / 站点层级）	波动集中在单一层级：temp_c 主导层级占比 1.00、方差熵 0.00、重复 ICC=1.00	把方差分解结论转成管控层级分工：批次主导→来料与配方；片间主导→抛光头/膜厚；片内主导→垫面与分区压力；把改善资源优先投到占比最大的那一层	主导层级方差占比下降≥20%，总 CV 回到历史 P90 以内	用最小成本压降主要波动源	本周定层级归属，持续跟踪
P1	控制回路 (R2R / EWMA / CUSUM)	控制性能与报警率异常；AR(1) R²=0.00（过程几乎无自相关）	复核控制器参数与执行器限幅，先排除量测滞后与死区，再收紧/放宽报警规则；对持续超限回路安排仪表校准	报警率回到基线，控制误差 MAE 下降≥30%	减少过补偿/欠补偿造成的片间波动	本周

优先级	对象	问题与证据	具体作业	验证判据	预期作用	建议完成时点
P2	cd_nm 上尾 （大尺寸片）	cd_nm 右偏（偏度 2.02、峰度 11.58），且与良率负相关（-0.454，n=240）	在 SPC 上为 cd_nm 增设 P95/最大值监控（而非只看均值），把上尾超限纳入分区压力调整触发条件	上尾超限片比例下降，cd_nm 与 yield_pct 的秩相关绝对值下降	把一条统计关联转成日常可执行的管控窗口	持续
P2	未建模因素 （耗材/垫面）	观测最优比模型最优高 1.87σ，说明存在未进表的因素	在数据采集表里补记耗材寿命、垫面使用次数、前道履历等字段，随下一批数据一并入库	新字段纳入后模型残差下降，观测-预测差距收窄到 1σ 内	让下一次分析能定位到真正的杠杆	持续（下一批数据起）

为什么是这个顺序：量测复核排在最前，是因为 pressure_pa 与 cd_nm 的重复性已经占到总波动的 99% 量级——在这个前提下做腔室匹配，等于用一把刻度不清的尺子量差异，改完也判不出是否有效。腔室匹配排第二，因为它是唯一一条经过交叉分层复核确认、方向一致率 1、且主效应 $p=2.01e-27$ 的结论，证据最硬。批次复判排第三，因为保留率 3.5 说明批次差异在层内被放大，问题真实但样本覆盖率只有 0.75，需要靠复测补齐。配方 DOE 放本周，是因为"趋势差"类结论需要实验才能在多个参数中分离出主因子，靠观察数据分不开。

一句话记住：当班先校量测、再冻三个批次；本周做腔室匹配和配方 DOE；cd_nm 上尾与耗材记录转成长期监控。

附录：半导体工程数据分析（确定性）

本节由服务端依据半导体工程探针的卡片台账确定性渲染，不经过 LLM 复述；统计量来自探针执行结果（执行即真理）。

白话读法：强度是 0~1 的「发现显著程度」，不是概率，越大只代表这条发现越值得先看；表里的差值/比值表示高组与低组差多少（比值越大、差值越大，差异越明显）。常见统计量：P5 偏移=第 5 百分位相对整体的偏移；峰度差=两组尾部厚度之差；极差比=两组最大最小范围之比；方差比检验=两组波动是否一致的检验；效应量=差异的实际大小（0 表示没有差别）；图样熵=片内图样有多混乱（过低/过高都提示异常）；量程比=轨迹波动范围之比；Cpk=工艺离规格上下限还剩多少余量（越高越稳，1.33 是常用门槛）。

- 工程卡片总数：224；覆盖主题：10 个；最高强度：1.000

关键结论（按业务影响排序）

- **[P0]** 良率与缺陷密度：良率/缺陷分布异常（分布异常）；→ 对缺陷密度最高的机台/腔室/批次做颗粒源排查，优先检查清洗、搬运与垫面状态，并复核良率计算口径
- **[P0]** 异常点（SPC）：过程异常/失控信号：占比=1；→ 复核异常点判定规则与量测重复性，排除误报后对真实异常做原因分析；为同类异常建立 EWMA/CUSUM 报警与处置 SOP
- **[P0]** 异常批次（2 批）：过程异常/失控信号：数量=2；→ 对异常聚集批次做 hold/复判，按时间窗回溯设备与配方变更，确认共同因素后解除隔离
- **[P1]** CH-4 / CH-1（腔室）：腔室间存在系统性差异：尾部行为差异，cd_nm 高组 CH-4（31.1313）vs 低组 CH-1（-0.445453）；→ 对高低两组腔室做 chamber matching：逐项核对下压力、研磨液流量、抛盘/头转速与温控；差异项先校正，残余偏移用 recipe offset 补偿
- **[P1]** L005 / L027（批次）：批次间存在显著差异：相对波动差异，pressure_pa 高组 L005（0.049831）vs 低组 L027（0.016194）；→ 对问题批次做 hold lot 复判（抽 5 片全点位复测），追溯来料、配方与前道履历

下一步行动建议（按证据自动生成）

P0=立即处置（当班/24 小时内）；P1=本周改善；P2=持续监控。动作由探针证据规则化生成，执行前请由工艺/设备工程师结合现场确认；验证判据用于闭环，不达标时回到对应探针重新分析。

表 5 报告数据表

优先级	对象	问题与证据	建议作业	验证判据	预期作用
P0	良率与缺陷密度	良率/缺陷分布异常（分布异常）	对缺陷密度最高的机台/腔室/批次做颗粒源排查，优先检查清洗、搬运与垫面状态，并复核良率计算口径	首要缺陷码密度下降≥30%，良率趋势斜率转正并稳定	直接减少报废，提升良率与出货量
P0	异常点（SPC）	过程异常/失控信号：占比=1	复核异常点判定规则与量测重复性，排除误报后对真实异常做原因分析；为同类异常建立 EWMA/CUSUM 报警与处置 SOP	异常点数回落到历史基线内，误报率<5%	减少批量性良率损失与漏放行风险
P0	异常批次（2 批）	过程异常/失控信号：数量=2	对异常聚集批次做 hold/复判，按时间窗回溯设备与配方变更，确认共同因素后解除隔离	异常点数回落到历史基线内，误报率<5%	减少批量性良率损失与漏放行风险
P1	CH-4 / CH-1（腔室）	腔室间存在系统性差异：尾部行为差异，cd_nm 高组 CH-4（31.1313）vs 低组 CH-1（-0.4454...	对高低两组腔室做 chamber matching：逐项核对下压力、研磨液流量、抛盘/头转速与温控；差异项先校正，残余偏移用 recipe offset 补偿	cd_nm 两组均值差收敛到 0.5σ 内且 Cpk≥1.33	消除分腔带来的良率波动
P1	L005 / L027（批次）	批次间存在显著差异：相对波动差异，pressure_pa 高组 L005（0.049831）vs 低组 L027（0...	对问题批次做 hold lot 复判（抽 5 片全点位复测），追溯来料、配方与前道履历	复测 pressure_pa 回到规格中心，批内 CV≤历史 P90	阻断异常批次流出，降低批级报废
P1	RCP-3 / RCP-2（配方）	配方间存在显著差异：趋势差异，cd_nm 高组 RCP-3（2.02733）vs 低组 RCP-2（-8.06517）	锁定两组配方的参数差异，用一次 DOE 确认主因子后固化到标准配方	配方间 cd_nm 差 <0.3σ 或按产品分别设定	把配方差异转成可控的工艺窗口
P1	方差结构（批次/晶圆/站点层级）	波动集中在单一层级：主导占比=1	把方差分解结论转成管控层级：批次主导→来料与配方；片间主导→抛光头/膜厚；片内主导→垫面与分区压力。改善资源优先投到最大波动源	主导层级方差占比下降≥20%，总 CV 回到历史 P90 以内	用最小成本压降主要波动源，提升过程稳定性

优先级	对象	问题与证据	建议作业	验证判据	预期作用
P1	控制回路 (R2R/ EWMA/ CUSUM)	控制性能或报警率异常	复核控制器参数与执行器限幅，先排除量测滞后与死区，再收紧/放宽报警规则；对持续越限回路安排仪表校准	报警率回到基线，控制误差 MAE 下降 $\geq 30\%$	减少过补偿/欠补偿造成的片间波动
P1	传感对（关键传感对）	传感器之间存在异常联动/滞后	做阶跃试验确认增益与滞后，校准执行器/传感器或调整控制死区；把该对关系纳入联动监控与定期校准	滞后与漂移量回到规格内，联动模型 R^2 稳定	提升控制精度，减少参数漂移造成的波动
P1	量测系统 (GR&R)	量测系统波动与工艺波动混杂	安排 GR&R 与校准，分离量测系统波动与真实工艺波动；若量测占比高，先修量测再改工艺	GR&R<10%（一般场合<30%），重复量测一致性通过	避免把量测噪声当工艺问题，减少误判与过度调整

主题总览

表 6 报告数据表

主题	卡片数	最高强度	最强结论
工程分组	114	1	腔室「CH-3」与「CH-4」的趋势差相差 9.36σ （列 pressure_pa）
量测系统	39	1	temp_c 片内 $\sigma=2.88$ （占总 σ 100.3%）
传感对	20	1	pressure_pa→cd_nm 增益漂移 263%
试验设计	14	1	重复运行组合占 100.0%（可用于纯误差）
方差分解	13	1	temp_c 方差集中在单一级（熵 0.00）
列质量	7	0.697011	pressure_pa 噪声占 98.8%
先进控制	6	0.996126	AR(1) $R^2=0.00$ （几乎无自相关）
异常漂移	6	1	异常行中非低良率占 100.0%（疑似误报）
多变量	4	0.470243	首要传感 temp_c（ $ r =0.74$ ）
良率缺陷	1	0.143298	良率 σ 水平 3.43（低于 4σ ）

工程分组差异（按强度取前 12 条）

表 7 报告数据表

维度	分组列	测量列	统计量	高组	低组	差值	强度
批次	lot_id	pressure_pa	变异比	L005（0.049831）	L027（0.016194）	3.07709	1
腔室	chamber_id	cd_nm	峰度差	CH-4（31.1313）	CH-1（-0.445453）	31.5768	1
批次	lot_id	temp_c	偏度差	L013（0.891699）	L014（-1.09542）	1.98712	1
批次	lot_id	cd_nm	四分位距比	L014（4.2481）	L010（1.11167）	3.82135	1
批次	lot_id	pressure_pa	P75偏移	L003（13.453）	L019（12.4183）	2.47913	1
配方	recipe_id	cd_nm	趋势差	RCP-3（2.02733）	RCP-2（-8.06517）	10.0925	1
批次	lot_id	pressure_pa	漂移差	L021（1.78655）	L005（-1.62512）	3.41167	1
批次	lot_id	pressure_pa	标准差比	L005（0.623547）	L027（0.201827）	3.08952	1
腔室	chamber_id	temp_c	趋势差	CH-2（6.17415）	CH-3（-11.1817）	17.3559	1
配方	recipe_id	temp_c	趋势差	RCP-2（11.651）	RCP-1（-12.3936）	24.0446	1
批次	lot_id	pressure_pa	P95偏移	L003（13.7261）	L019（12.5609）	2.79174	1
批次	lot_id	cd_nm	漂移差	L001（1.82357）	L026（-0.677322）	2.50089	1

能力 / 量测 / 良率 / 方差（按强度取前 12 条）

表 8 报告数据表

主题	结论	关键证据	强度
量测系统	cd_nm 组内相关 ICC=0.00	icc=0	1
量测系统	cd_nm 站点内（重复）σ=2.22	sigma=2.2177	1
量测系统	pressure_pa 可辨级数 NDC=0.2（<5）	ndc=0.188577	1
量测系统	pressure_pa 重复性 σ=0.414（占总 σ 99.1%）	ratio=0.991175	1
量测系统	temp_c 片内 σ=2.88	ratio=1.00293	1
量测系统	pressure_pa 片内 σ=0.414	ratio=0.991175	1
方差分解	temp_c 残差（重复）方差占 100.0%	share=1	1
量测系统	cd_nm 重复性 σ=2.22（占总 σ 102.4%）	ratio=1.02358	1
方差分解	temp_c 的重复方差占 100.0%	share=1	1
量测系统	cd_nm 片内 σ=2.22（占总 σ 102.4%）	ratio=1.02358	1
方差分解	temp_c 重复σ=2.88（占总 σ 100.0%）	sigma=2.87909	1
量测系统	temp_c 站点内（重复）σ=2.88	sigma=2.87909	1

其余主题（按强度取前 12 条）

表 9 报告数据表

主题	结论	关键证据	强度
试验设计	因子 chamber_id 显著 (F=44.4, p=1.03e-22)	p_value=0	1
传感对	temp_c 与 cd_nm 偏移 -134	offset=-133.734	1
试验设计	yield_pct 模型整体显著 (p=1.33e-25)	p_value=0	1
传感对	temp_c×pressure_pa 交互项解释 100.0% 变异	r2=0.999761	1
传感对	pressure_pa×cd_nm 交互项解释 99.9% 变异	r2=0.999254	1
传感对	temp_c×cd_nm 交互项解释 100.0% 变异	r2=0.999757	1
传感对	temp_c→cd_nm 增益漂移 141%	change=1.40911	1
传感对	temp_c→pressure_pa 增益 -0.08	gain=-0.080807	1
传感对	temp_c×cd_nm 相关随批次变化 (跨度 1.62)	dim=lt; span=1.61513	1
传感对	pressure_pa→cd_nm 增益 -0.01	gain=-0.009666	1
传感对	temp_c→cd_nm 增益 -0.04	gain=-0.038615	1
传感对	pressure_pa×cd_nm 相关随批次变化 (跨度 1.61)	dim=lt; span=1.60986	1

附录：交叉分层复核（确定性）

本节由服务端依据交叉分层探针的卡片台账确定性渲染，不经过 LLM 复述；每张卡片都是探针在真实数据上执行的结果（执行即真理）。

白话读法：粗效应量=不控制混杂时看到的差异，层内效应量=在每一个混杂层里重新算出的差异；效应保留率越高（ ≥ 0.7 ），说明原差异在分层后仍然存在，更可能是对象自身的问题；保留率越低（ ≤ 0.3 ），说明原差异主要由混杂因素造成；方向一致率低于 0.6、辛普森反转率大于 0 时，各层方向不一致，不能用单一全局结论概括；层间异质性高说明效应随层变化，需要按层分别处置。

共 2 个「对象 × 混杂因素 × 测量列」组合、38 张卡片。

腔室 × recipe_id（测量 yield_pct，有效层数 3）

表 10 报告数据表

指标	结论	强度
粗效应量	腔室粗效应量：0.416	1
层内效应量	腔室层内效应量：0.427	1
效应保留率	腔室效应保留率：1.02	0.15
混杂差距	腔室混杂差距：-0.0101	0.1
方向一致率	腔室方向一致率：1	1
辛普森反转率	腔室辛普森反转率：0	0.1
反向层数	腔室反向层数：0	0.1
有效层数	腔室有效层数：3	0.166667
样本覆盖率	腔室样本覆盖率：1	0.15
层平衡度	腔室层平衡度：1	0.15
层集中度	腔室层集中度：0	0.1
粗检验p	腔室粗检验p：2.01e-27	1
层内合并p	腔室层内合并p：8.96e-23	1
层间异质性	腔室层间异质性：0	0.1
显著层数	腔室显著层数：3	0.5
粗关联V	腔室粗关联V：0.392	0.972715
层内关联V	腔室层内关联V：0.403	1
最强层效应	腔室最强层效应：0.475	1
最弱层效应	腔室最弱层效应：0.35	1
层差	腔室层差：0.125	0.30145

批次 × recipe_id（测量 yield_pct，有效层数 3）

表 11 报告数据表

指标	结论	强度
粗效应量	批次粗效应量：0.0968	0.274407
层内效应量	批次层内效应量：0.339	1
效应保留率	批次效应保留率：3.5	1
混杂差距	批次混杂差距：-0.242	0.784517
反向层数	批次反向层数：0	0.1
有效层数	批次有效层数：3	0.166667
样本覆盖率	批次样本覆盖率：0.75	0.15
层平衡度	批次层平衡度：1	0.15
层集中度	批次层集中度：0	0.1
粗检验p	批次粗检验p：0.789	0.0086
层内合并p	批次层内合并p：0.512	0.024257
层间异质性	批次层间异质性：0	0.1
显著层数	批次显著层数：0	0.1
粗关联V	批次粗关联V：0.318	0.728054
层内关联V	批次层内关联V：0.567	1
最强层效应	批次最强层效应：0.364	0.898244
最弱层效应	批次最弱层效应：0.317	1
层差	批次层差：0.0475	0.1

附录：重点探针白话说明（含义与公式）

本节由服务端从卡片台账确定性选取「有重要发现」的探针，不经过 LLM。「含意」取自探针目录的白话说明；「公式」是按指标名还原的白话口径（精确实现以探针代码为准，本附录不编造公式）；「本次发现」是该探针在本任务里最强的一张卡片。选取顺序按报告中已经出现过的位置轮转（图表佐证 → 工程附录 → 交叉分层附录 → 全局最强），同类探针只列一次。

- 入选探针：24 类（同类只列一次）

分布形态（经典发现）

- 含意：检查数值分布的形状（对称性、尾部厚薄、多峰与离群），判断这份数据适合用哪些统计方法。
- 公式（白话）：分布形态 = 偏度（三阶矩，0 为对称）+ 峰度（四阶矩，3 为正态）+ 多峰与离群检查。
- 本次发现：「cd_nm」显著偏离正态：右偏（偏度 2.03），厚尾（超额峰度 11.85）；校正后 $p_{adj} < 0.001$ ， $n=240$ （强度 1.000）

批次变异比（半导体工程）

- 含意：按腔室/机台/批次/晶圆/产品/配方/工序等工程维度分组，比较测量值的组间差异。本项针对「批次」检查「变异比」，按确定性判据判断该指标是否异常。
- 公式（白话）：变异系数 = 标准差 ÷ 均值；变异比 = 两组变异系数相除，便于不同量纲比较波动。
- 本次发现：批次「L005」相对「L027」的变异比为 $3.08 \times$ （列 pressure_pa）（强度 1.000）

腔室粗效应量（交叉分层）

- 含意：把当前对象（机台/工序/批次等）的组间差异放进混杂因素（产品/配方/工序等）的每一层里重新检验：层内差异仍在说明是对象自身的问题，层内差异消失说明原来的差异是被混杂因素带出来的。本项针对「腔室」检查「粗效应量」：不控制任何混杂时，该对象各水平之间差异占了多少波动（ η^2 ，0~1）。
- 公式（白话）：粗效应量（ η^2 ）= 组间平方和 ÷ 总平方和；表示不控制任何混杂时，该对象各水平差异占总波动的比例（0~1）。
- 本次发现：腔室粗效应量：0.416（强度 1.000）

传感器一高频能量（设备健康维护）

- 含意：比较保养前后的设备信号与产出，判断维护效果与退化趋势。本项针对「传感器一」检查「高频能量」，按确定性判据判断该指标是否异常。

- 公式（白话）：能量 = 信号幅值平方的累加；常按频段统计各部分占多少。
- 本次发现：传感器一高频能量：0.534（强度 1.000）

特征二尾部峰度（极值理论）

- 含意：检查极值的分布与重现水平，评估极端事件概率。本项针对「特征二」检查「尾部峰度」，按确定性判据判断该指标是否异常。
- 公式（白话）：尾部 = 分布两端远离中心的取值；尾部越厚，极端值出现得越频繁。
- 本次发现：特征二尾部峰度：32.4（强度 1.000）

腔室峰度差（半导体工程）

- 含意：按腔室/机台/批次/晶圆/产品/配方/工序等工程维度分组，比较测量值的组间差异。本项针对「腔室」检查「峰度差」，按确定性判据判断该指标是否异常。
- 公式（白话）：峰度 = 四阶标准化矩（常减去 3）；峰度差 = 两组峰度相减，正值表示前一组尾部更厚。
- 本次发现：腔室形状差异：峰度差 31.58（「CH-4」vs「CH-1」，列 cd_nm）（强度 1.000）

批次粗效应量（交叉分层）

- 含意：把当前对象（机台/工序/批次等）的组间差异放进混杂因素（产品/配方/工序等）的每一层里重新检验：层内差异仍在说明是对象自身的问题，层内差异消失说明原来的差异是被混杂因素带出来的。本项针对「批次」检查「粗效应量」：不控制任何混杂时，该对象各水平之间差异占了多少波动（ η^2 ，0~1）。
- 公式（白话）：粗效应量（ η^2 ）= 组间平方和 ÷ 总平方和；表示不控制任何混杂时，该对象各水平差异占总波动的比例（0~1）。
- 本次发现：批次粗效应量：0.0968（强度 0.274）

核矩阵谱半径（线性代数）

- 含意：确定性工程体检。本项针对「核矩阵」检查「谱半径」，按确定性判据判断该指标是否异常。
- 公式（白话）：谱半径 = 矩阵特征值绝对值的最大值；<1 表示迭代/系统会收敛稳定。
- 本次发现：核矩阵谱半径：84.6（强度 1.000）

相关性（经典发现）

- 含意：检查两列数值是否同向或反向变化（相关的强弱与方向），并找出值得关注、可能冗余或可能互为因果的变量对。

- 公式（白话）：相关系数 $r = \text{两列数的协方差} \div (\text{各自标准差之积})$ ； $-1 \sim 1$ ，0 表示没有线性关系。
- 本次发现：「chamber_id__CH-2」与「cd_nm」呈强正相关（Spearman $\rho=0.702$ ，校正后 $p_{\text{adj}} \leq 0.001$ ， $n=240$ ）（强度 0.702）

批次偏度差（半导体工程）

- 含意：按腔室/机台/批次/晶圆/产品/配方/工序等工程维度分组，比较测量值的组间差异。本项针对「批次」检查「偏度差」，按确定性判据判断该指标是否异常。
- 公式（白话）：偏度 = 三阶标准化矩；偏度差 = 两组偏度相减，正负表示两侧尾部厚薄的方向不同。
- 本次发现：批次形状差异：偏度差 1.99（「L013」vs「L014」，列 temp_c）（强度 1.000）

腔室层内效应量（交叉分层）

- 含意：把当前对象（机台/工序/批次等）的组间差异放进混杂因素（产品/配方/工序等）的每一层里重新检验：层内差异仍在说明是对象自身的问题，层内差异消失说明原来的差异是被混杂因素带出来的。本项针对「腔室」检查「层内效应量」：在每个混杂层内单独算出的效应量，再按层样本量加权平均。
- 公式（白话）：层内效应量 = 在每个混杂层内分别算出的同一效应量（ η^2 ），再按样本量合并；表示排除混杂后仍存在的差异。
- 本次发现：腔室层内效应量：0.427（强度 1.000）

特征一BA偏置（测量系统）

- 含意：按分组把当前列当成重复测量，估计重复性、再现性与一致性，判断测量误差占比是否可接受。本项针对「特征一」检查「BA偏置」：Bland-Altman 偏置，两种测量平均差异。
- 公式（白话）：Bland-Altman 分析 = 比较两种测量：横轴为均值、纵轴为差值，看平均差与一致性界限。
- 本次发现：特征一BA偏置：84.2（强度 1.000）

Context 组合基准（经典发现）

- 含意：把设备/腔室/产品等上下文列做单列、两两与三列组合，分别建立基准（benchmark），看哪种上下文组合最能解释指标差异。
- 公式（白话）：组合基准 = 按上下文列分组算出基准值（均值/中位数），再看各对象偏离基准多少。

- 本次发现：Context 组合「recipe_id × chamber_id」下，目标「yield_pct」组间差异显著（ $\eta^2=0.428$ ，校正后 $p_{adj}<0.001$ ，12 组， $n=240$ ）；离群组 4 个，最突出：recipe_id=RCP-1 × chamber_id=CH-2（强度 0.567）

批次四分位距比（半导体工程）

- 含意：按腔室/机台/批次/晶圆/产品/配方/工序等工程维度分组，比较测量值的组间差异。本项针对「批次」检查「四分位距比」，按确定性判据判断该指标是否异常。
- 公式（白话）：IQR（四分位距，Interquartile Range）= $P75 - P25$ （中间一半数据的范围）；四分位距比 = 两组 IQR 相除，1 表示波动范围相同。
- 本次发现：批次「L014」相对「L010」的四分位距比为 $3.82 \times$ （列 cd_nm）（强度 1.000）

批次层内效应量（交叉分层）

- 含意：把当前对象（机台/工序/批次等）的组间差异放进混杂因素（产品/配方/工序等）的每一层里重新检验：层内差异仍在说明是对象自身的问题，层内差异消失说明原来的差异是被混杂因素带出来的。本项针对「批次」检查「层内效应量」：在每个混杂层内单独算出的效应量，再按层样本量加权平均。
- 公式（白话）：层内效应量 = 在每个混杂层内分别算出的同一效应量（ η^2 ），再按样本量合并；表示排除混杂后仍存在的差异。
- 本次发现：批次层内效应量：0.339（强度 1.000）

特征一最小可检测（一致性信度）

- 含意：比较聚合层与底层结论，识别辛普森式反转。本项针对「特征一」检查「最小可检测」，按确定性判据判断该指标是否异常。
- 公式（白话）：最小可检测差异 = 在给定样本量与波动下，能以足够把握（通常 80% 功效）检出的最小差异。
- 本次发现：特征一最小可检测：4.35（强度 1.000）

聚类结构（经典发现）

- 含意：检查数据是否存在天然的相似分组（聚类结构），以及分组是否清晰可分、每组有什么共同特征。
- 公式（白话）：聚类 = 按样本间距离分组；清晰度常用轮廓系数 $(b - a) \div \max(a, b)$ ，越接近 1 越好。
- 本次发现：数据可按 4 个差异明显的簇划分（轮廓系数 0.319，bootstrap 稳定性 1.00， $n=240$ ）（强度 0.475）

批次P75偏移（半导体工程）

- 含意：按腔室/机台/批次/晶圆/产品/配方/工序等工程维度分组，比较测量值的组间差异。本项针对「批次」检查「P75偏移」，按确定性判据判断该指标是否异常。
- 公式（白话）：P75 = 第 75 百分位（四分之三的数比它小）；P75 偏移 = 两组 P75 相减。
- 本次发现：批次「L003」与「L019」的分位差达 2.48σ （列 pressure_pa）（强度 1.000）

腔室效应保留率（交叉分层）

- 含意：把当前对象（机台/工序/批次等）的组间差异放进混杂因素（产品/配方/工序等）的每一层里重新检验：层内差异仍在说明是对象自身的问题，层内差异消失说明原来的差异是被混杂因素带出来的。本项针对「腔室」检查「效应保留率」：分层后的层内效应量与粗效应量之比；明显小于 1 说明原差异大多来自混杂。
- 公式（白话）：效应保留率 = 层内效应量 ÷ 粗效应量； ≥ 0.7 说明原差异基本不是混杂造成的。
- 本次发现：腔室效应保留率：1.02（强度 0.150）

传感器一峰数（光谱化学计量）

- 含意：检查传感器基线随时间的漂移，判断是否需要重新校准。本项针对「传感器一」检查「峰数」：峰值数量或位置。
- 公式（白话）：峰数 = 序列中局部最高点（峰）的个数；峰多说明波动反复。
- 本次发现：传感器一峰数：21（强度 1.000）

配方趋势差（半导体工程）

- 含意：按腔室/机台/批次/晶圆/产品/配方/工序等工程维度分组，比较测量值的组间差异。本项针对「配方」检查「趋势差」，按确定性判据判断该指标是否异常。
- 公式（白话）：趋势 = 指标随顺序/时间变化的斜率；趋势差 = 两组趋势斜率相减。
- 本次发现：配方「RCP-3」与「RCP-2」的趋势差相差 10.09σ （列 cd_nm）（强度 1.000）

批次效应保留率（交叉分层）

- 含意：把当前对象（机台/工序/批次等）的组间差异放进混杂因素（产品/配方/工序等）的每一层里重新检验：层内差异仍在说明是对象自身的问题，层内差异消失说明原来的差异是被混杂因素带出来的。本项针对「批次」检查「效应保留率」：分层后的层内效应量与粗效应量之比；明显小于 1 说明原差异大多来自混杂。
- 公式（白话）：效应保留率 = 层内效应量 ÷ 粗效应量； ≥ 0.7 说明原差异基本不是混杂造成的。
- 本次发现：批次效应保留率：3.5（强度 1.000）

特征二信息变差（信息理论）

- 含意：把当前列离散化后计算熵、散度与互信息，衡量不确定性与与其他变量的信息共享。本项针对「特征二」检查「信息变差」：信息变差，衡量两个分布的总体差异。
- 公式（白话）：差 = 两组同一指标相减；绝对值越大，差异越明显。
- 本次发现：特征二信息变差：5.23（强度 1.000）

批次漂移差（半导体工程）

- 含意：按腔室/机台/批次/晶圆/产品/配方/工序等工程维度分组，比较测量值的组间差异。本项针对「批次」检查「漂移差」，按确定性判据判断该指标是否异常。
- 公式（白话）：漂移 = 指标随批次/时间缓慢而持续地偏移（不是单点跳变）。
- 本次发现：批次「L021」与「L005」的漂移差相差 3.41σ （列 pressure_pa）（强度 1.000）

附录：缩略语说明

本报告涉及的缩略语按首次出现顺序说明如下：

表 12 报告数据表

缩略语	说明
DOE	试验设计（Design of Experiments）
EWMA	指数加权移动平均（Exponentially Weighted Moving Average）
CUSUM	累积和控制图（Cumulative Sum Control Chart）
LLM	大语言模型（Large Language Model）
KS	柯尔莫哥洛夫-斯米尔诺夫检验（Kolmogorov-Smirnov）
R ²	决定系数（Coefficient of Determination）
Cp	过程潜在能力指数（Process Capability）
Cpk	过程实际能力指数（Process Capability Index）
PCA	主成分分析（Principal Component Analysis）
CV	变异系数（Coefficient of Variation）
SPC	统计过程控制（Statistical Process Control）
R2R	批次到批次控制（Run-to-Run Control）
MAE	平均绝对误差（Mean Absolute Error）
IQR	四分位距（Interquartile Range）

附录 · 报告元数据与排版说明

一、报告元数据

报告类型	Auto Insight · 数据洞察说明报告
文档编号	a7e06dba-9263-4d66-8d14-c6ea87df5f80
生成引擎	DavCtrl.ai 说明报告排版引擎
任务名称	洞察 · e2e_custom_probe.csv
状态	已完成
数据源	upload://4a2b52902fad_e2e_custom_probe.csv
停止原因	completed
复现包指纹	23910b48eb627e2fc8e9b2fc4a14415a8146df0dff7b5a27592f907b9e191cb1
报告生成时间	2026-10-26 21:32:18
任务创建时间	2026-10-26 21:28:47
任务完成时间	—

二、文档统计

正文字符数	630,831
非空行数	399
一级章节	10
二级章节	39
表格	12
代码块	0
列表	38
引用块	12
链接	0
图片	6
预计阅读	1262 分钟

三、排版说明

本文件由 DavCtrl.ai 的说明报告排版引擎根据任务台账与报告 Markdown 自动生成，采用 A4 纵向版式、宋体/Times New Roman 正文、黑体标题、1.75 倍行距与三线表；封面、摘要、目录、章节编号、页眉页脚、PDF 书签均由排版层确定性地生成， 不经过语言模型改写。

报告正文按原文完整呈现。若原文包含外部图片链接，出于安全与离线可用考虑， 排版层不会抓取网络资源，而是以「图片」占位符标注；内联位图（data URI）可正常嵌入。

目录页码与正文实际页码一致；封面不显示页码，摘要与目录使用小写罗马数字，正文从第 1 页开始重新编号。

四、免责声明

本报告由自动化系统依据任务运行数据生成，其中的结论、指标与建议供工程分析与 决策参考，不替代人工评审、现场验证与安全评估。引用报告数据时请同时核对任务台账 与原始运行记录。

— 报 告 完 —