



LPCVD工艺一致性优化

曾凡明

2024.8.30

CONTENTS 主目录



1. 项目背景+项目目标

2. 业务模型

3. 算法+数据耦合

4. 产品效果



项目背景 + 目标



1.1 项目背景

- 随着设备使用时间和工艺次数的增加，机台状态在保养周期内发生漂移
- 传统人为调整方式，存在调整不及时和错误调整情况，且人力成本高

1.2 项目目标

- 实现LPCVD膜厚均匀性在线调优
- 提升膜厚片间均匀性20%以上
- 降低人力成本和人为调整错误

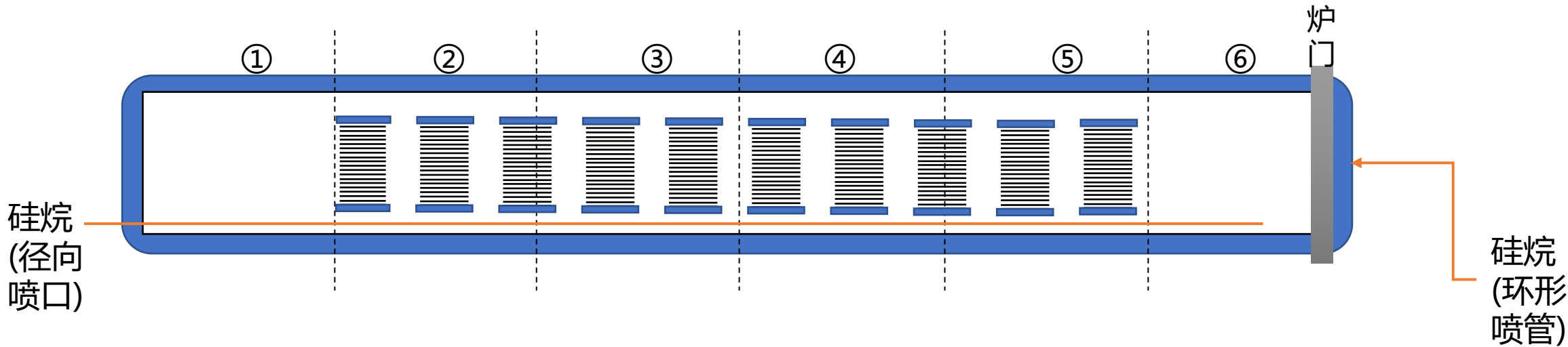


业务模型

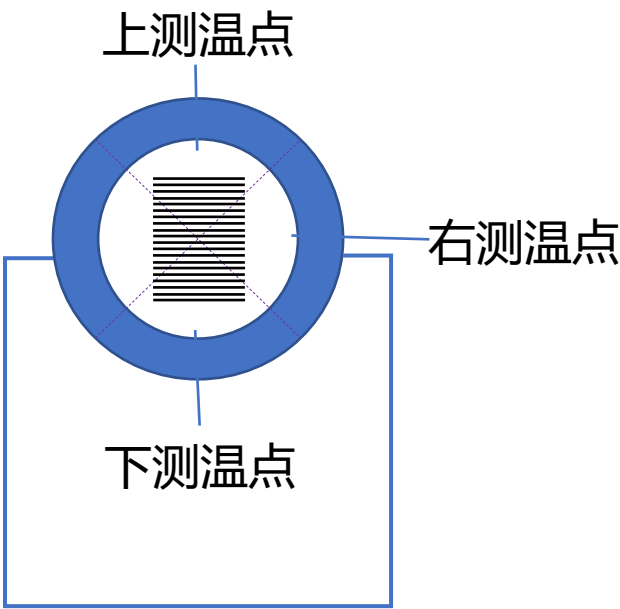


2.1 工艺设备情况

温区与舟对应关系：一温区对应BT1炉口，二温区对应BT1/2，三温区对应BT3/4/5，四温区对应BT6/7/8，五温区对应BT9/10，六温区对应BT10炉尾



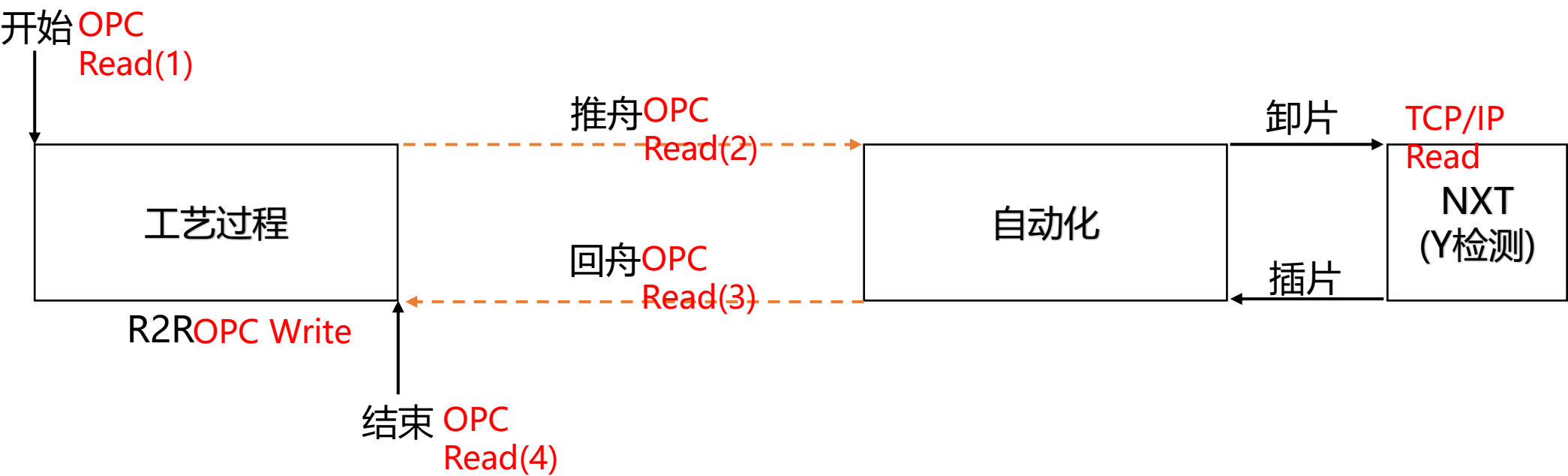
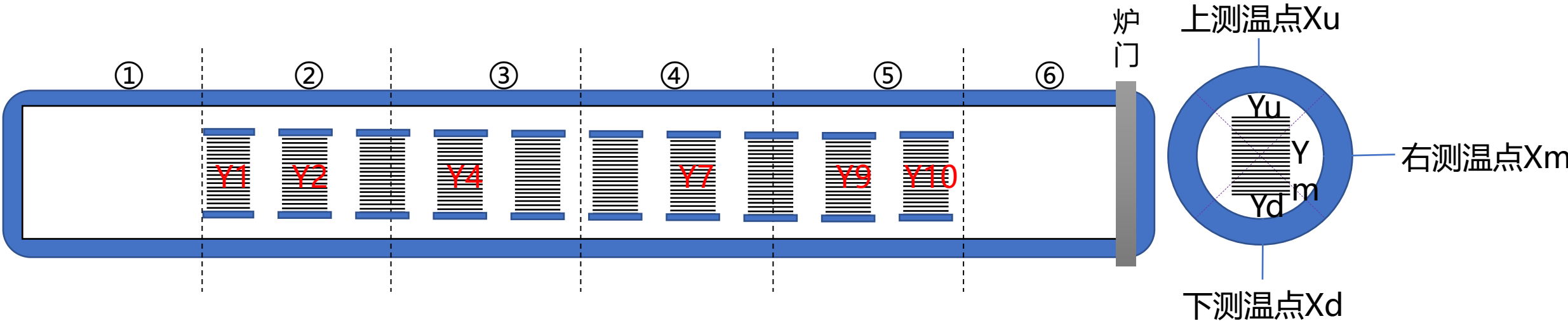
3个测温热偶：上、中、下。
中部热偶在右侧，因水平方向有热对流，温度较均匀，所以只测一边。温度控在560~570℃。
4个热阻丝：上、下、左、右。
左右两个热阻丝串联，根据右测温点进行反馈调节。



膜厚检测方式：
双轨下料：抽检50%；
三轨下料：抽检33%；
数据情况：
数据上MES：部分
WaferID追溯：×

	膜厚
温度	+
流量	+
压力	+
时间	+

2.2 业务模型梳理





3

数据 + 算法耦合



3.1 R2R算法介绍

Run to run是半导体工业中用于保证产品品质的一类控制算法，EWMA算法是目前较常见的R2R控制算法：

- EWMA采用了如下所示的线性回归模型：

$$Y(k) = AX(k) + C(k - 1) + \varepsilon(k)$$

式中: $Y(k)$ 为第 k 批次的输出; A 为模型的增益; $X(k)$ 为控制输入(recipe); $C(k - 1)$ 为模型中的截距; $\varepsilon(k)$ 为第 k 批次的过程所受到的扰动。

- 假设 A 保持不变，截距随批次由以下指数平滑估计方法式进行更新：

$$C(k) = \omega[Y(k) - AX(k)] + (1 - \omega)C(k - 1)$$

- 给定目标值 T ，则 $X(k)$ 由下式获得：

$$X(k) = \frac{T - C(k - 1)}{A}$$

EWMA是一种回馈控制方式，先基于线性回归模型对制程的控制输出 Y 进行预测，再利用回馈控制，调整制程的控制变数 C ，使其控制数值回馈到制程调整与回归模型中。故当制程控制结果 Y 发生偏离时，EWMA可及时响应，调整控制输入 X ，使 Y 始终趋向于控制目标 T ，实现自动化和在线优化。

3.2 线性模型

$$\bar{y} = b_0 t + C(k - 1)$$

变量含义：

Y：膜厚均值

t：沉积时间

b_0 ：沉积时间对膜厚的影响，nm/s

需研发确定的参数：

a_0

$$y_1 = a_1 T_1 + a'_1 T_2 + b_1 t + C(k - 1)$$

$$y_2 = a_2 T_1 + a'_2 T_2 + b_2 t + C(k - 1)$$

$$y_4 = a_4 T_3 + b_4 t + C(k - 1)$$

$$y_7 = a_7 T_2 + b_7 t + C(k - 1)$$

$$y_9 = a_9 T_5 + a'_9 T_6 + b_9 t + C(k - 1)$$

$$y_{10} = a_{10} T_6 + a'_{10} T_6 + b_{10} t + C(k - 1)$$

变量含义：

y_1 ：舟1膜厚

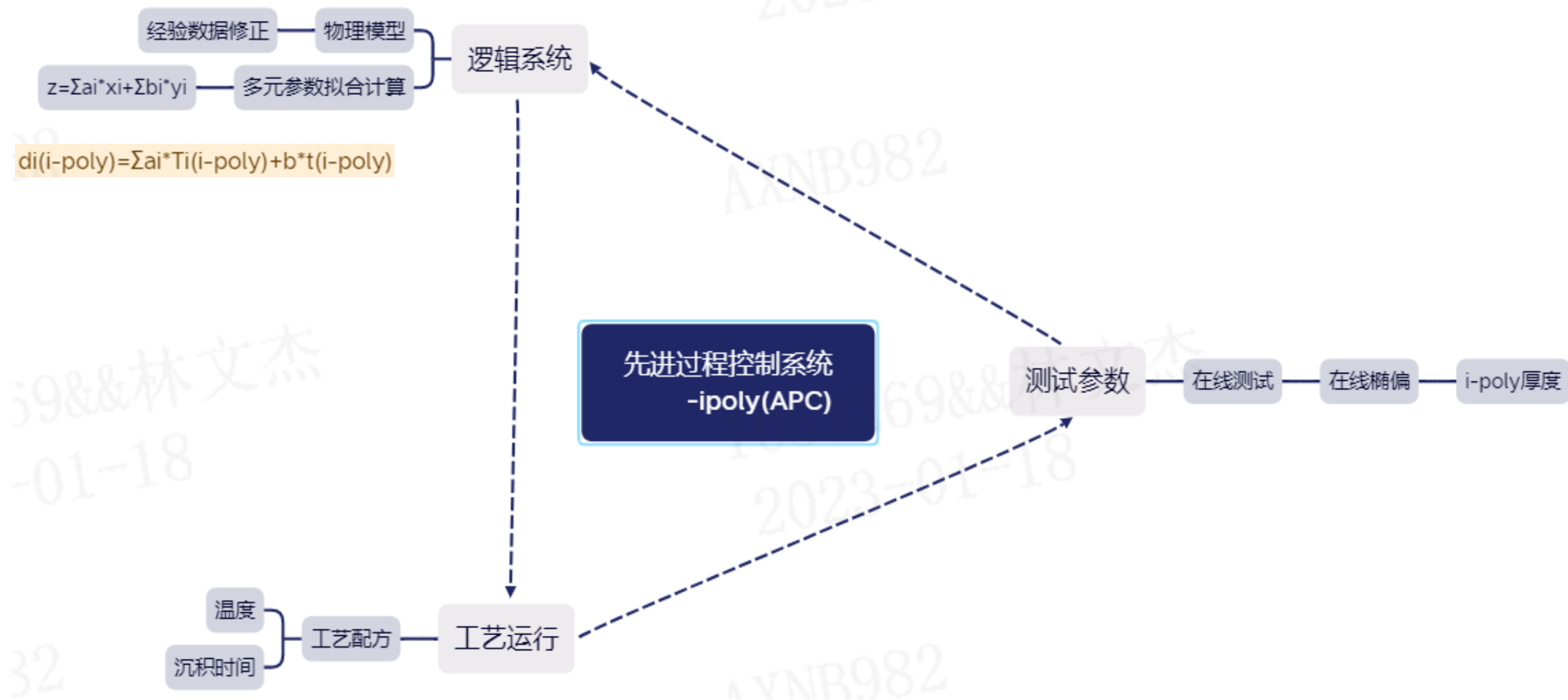
T_1 ：温区1右侧offset

a_0 ：沉积时间对膜厚的影响，nm/s

需研发确定的参数：

a_0

3.3 LPCVD APC逻辑图



3.4 调参规则

LP逻辑细则：

$d_i(i\text{-poly}) = \sum a_i * T_i(i\text{-poly}) + b * t(i\text{-poly})$ BSL为标准值, $d(\text{BSL}) = 210\text{nm}$; i =不同舟上中下的位置, 如1u, 1m, 1d, 2u;

➤ 原则一，测试准确判断：

- ✓ 如果 $d_i(i\text{-poly}) - d(\text{BSL}) > 40\text{nm}$ (或者是测试误差 > BSL测试误差)，测试有问题，需要进行排查；
- ✓ 如果 $d_i(i\text{-poly}) - d(\text{BSL}) < 40\text{nm}$ (或者是测试误差 < BSL测试误差)，进行到下一步；

➤ 原则二，沉积时间判断：

- ✓ 如果平均值和BSL的偏差 $\sum d_i(i\text{-poly})/N - d(\text{BSL}) < 10\text{nm}$, 时间不需要调整；
- ✓ 如果平均值和BSL的偏差 $\sum d_i(i\text{-poly})/N - d(\text{BSL}) \geq 10\text{nm}$, 时间需要进行调整 (最大时间改动, $\sum d_i(i\text{-poly})/N - d(\text{BSL})$)/时间系数, $\pm 600\text{s}$) , 时间调整为 $t_0 + (\sum d_i(i\text{-poly})/N - d(\text{BSL}))/\text{时间系数}$, 时间系数为 **0.048 nm/s**;

3.4 调参规则

- 原则三，温区温度判断：
- ✓ 如果 $d_i(i\text{-poly})-d(\text{BSL}) < 10\text{nm}$, 温区温度不需要调整；
 - ✓ 如果 $d_i(i\text{-poly})-d(\text{BSL}) \geq 10\text{nm}$, 温区温度需要调整，（最大温度改动, $(d_i(i\text{-poly})-d(\text{BSL}))/\text{温度系数}$, $\pm 5^\circ\text{C}$ ），温度TC2,3,4,5调整为 $T_i+(d_i(i\text{-poly})-d(\text{BSL}))/\text{温度系数}$ ，对应调节Boat2,4,7,9的厚度；
 - ✓ 由于TC2和TC5,对应Boat1和Boat10厚度会相应的变化为 $d_1(i\text{-poly})+\Delta\text{TC2}*\text{TC2对boat1温度系数}$ 和 $d_{10}(i\text{-poly})+\Delta\text{TC9}*\text{TC9对boat10温度系数}$ ；
 - ✓ 温度TC1调整为 $T_1+((d_1(i\text{-poly})+\Delta\text{TC2}*\text{TC2对boat1温度系数})-(d_2(i\text{-poly})+\Delta\text{TC2}*\text{TC2对boat2温度系数}))/\text{TC1对boat1-2温度系数}$ ，温度TC6调整为 $T_6+((d_{10}(i\text{-poly})+\Delta\text{TC5}*\text{TC5对boat10温度系数})-(d_9(i\text{-poly})+\Delta\text{TC5}*\text{TC5对boat9温度系数}))/\text{TC6对boat10-9温度系数}$.
 - ✓ 温度系数如下：

$\Delta d/\Delta T/\text{nm}/^\circ\text{C}$	Boat 1	Boat 2	Boat 4	Boat 7	Boat 9	Boat 10
TC1	2					
TC2	2	4				
TC3			4			
TC4				4		
TC5					4	2
TC6						2

3.4 调参规则

温区补偿对应关系：补偿第1列对应氧化温度，补偿第2列对应沉积温度。

LP厚度调试规则：poly低加温度， poly高减温度-----沉积， 整体厚度均匀性需调整沉积补偿时间；

- 1.LP 按照 “1/6辅热温区1°C单独影响3nm， 2/5温区影响1/6温区4nm， 主温区2-5温区， 每1°C影响5nm” 进行调整； 相邻温区温度差异不能超过15°C；
- 2.沉积时间与膜厚对应关系： LP 进气管每100秒对应9nm， 研发C型管每100秒对应10nm；
- 3.膜厚偏离中心值超过30nm以上， 优先排查炉管问题， 暂不做调整；
- 4.2/5温区如需对应每调整2°C， 1/6温区相应调整1°C， 2/5温区如需对应调整1°C， 1/6温区也只调整1°C；
- 5.炉管整体膜厚偏高/低， 优先调整沉积补偿时间， 单温区差异调整沉积温度；
- 6.DLV调试范围： ±15°C， 超过调整范围需修改配方内部温度值。

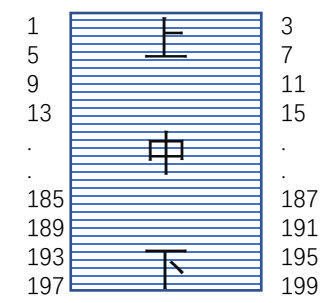
调试进阶：

对小舟内调试需清楚每片膜厚对应在小舟的位置

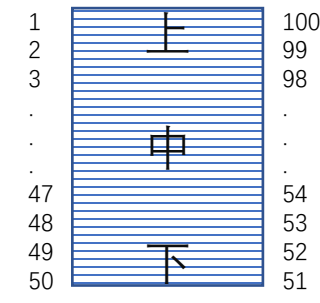
举例： 每小舟测试100片， 根据出料方式及NXT数据，

MagerID对应在小舟内的位置如右图：

该位置适用于7#5

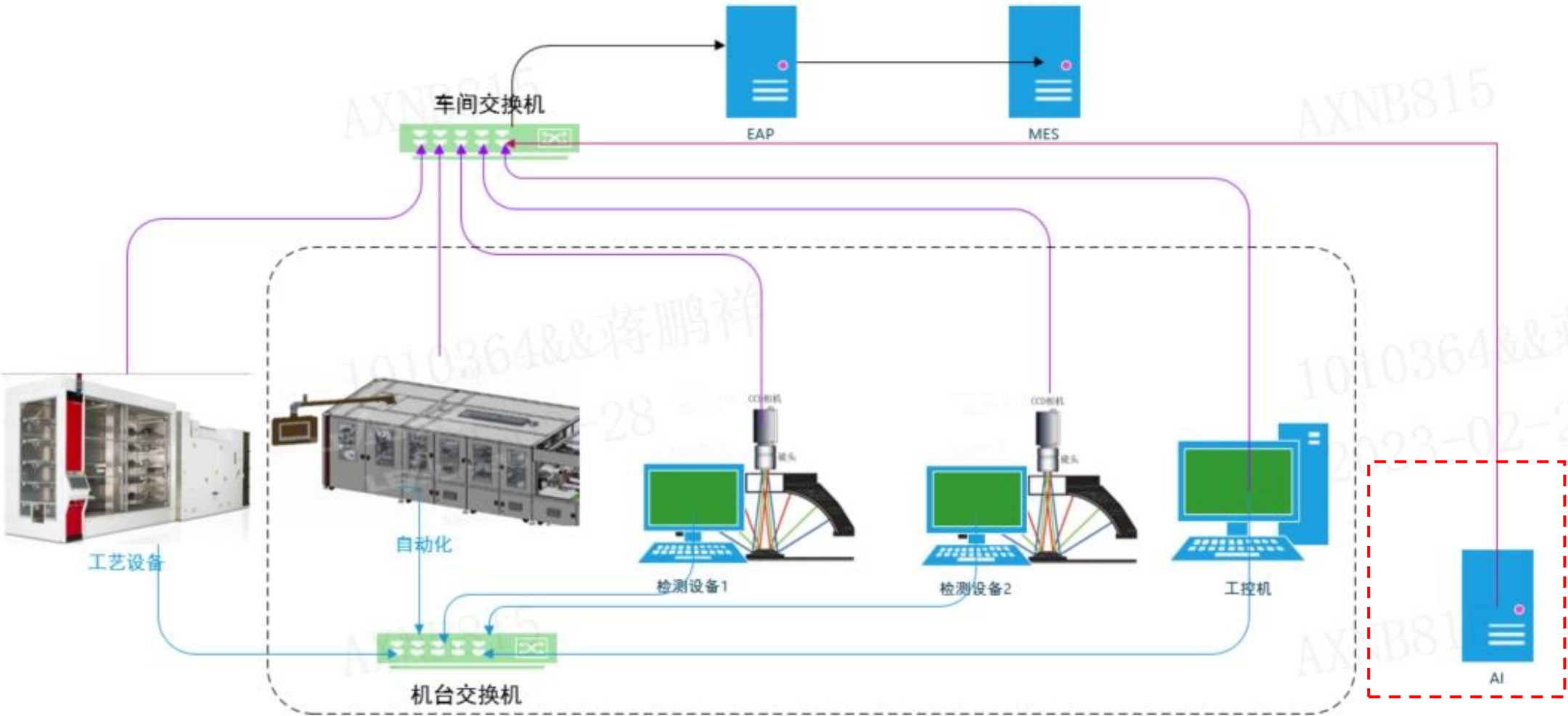


该位置适用于7#4/6/7/8

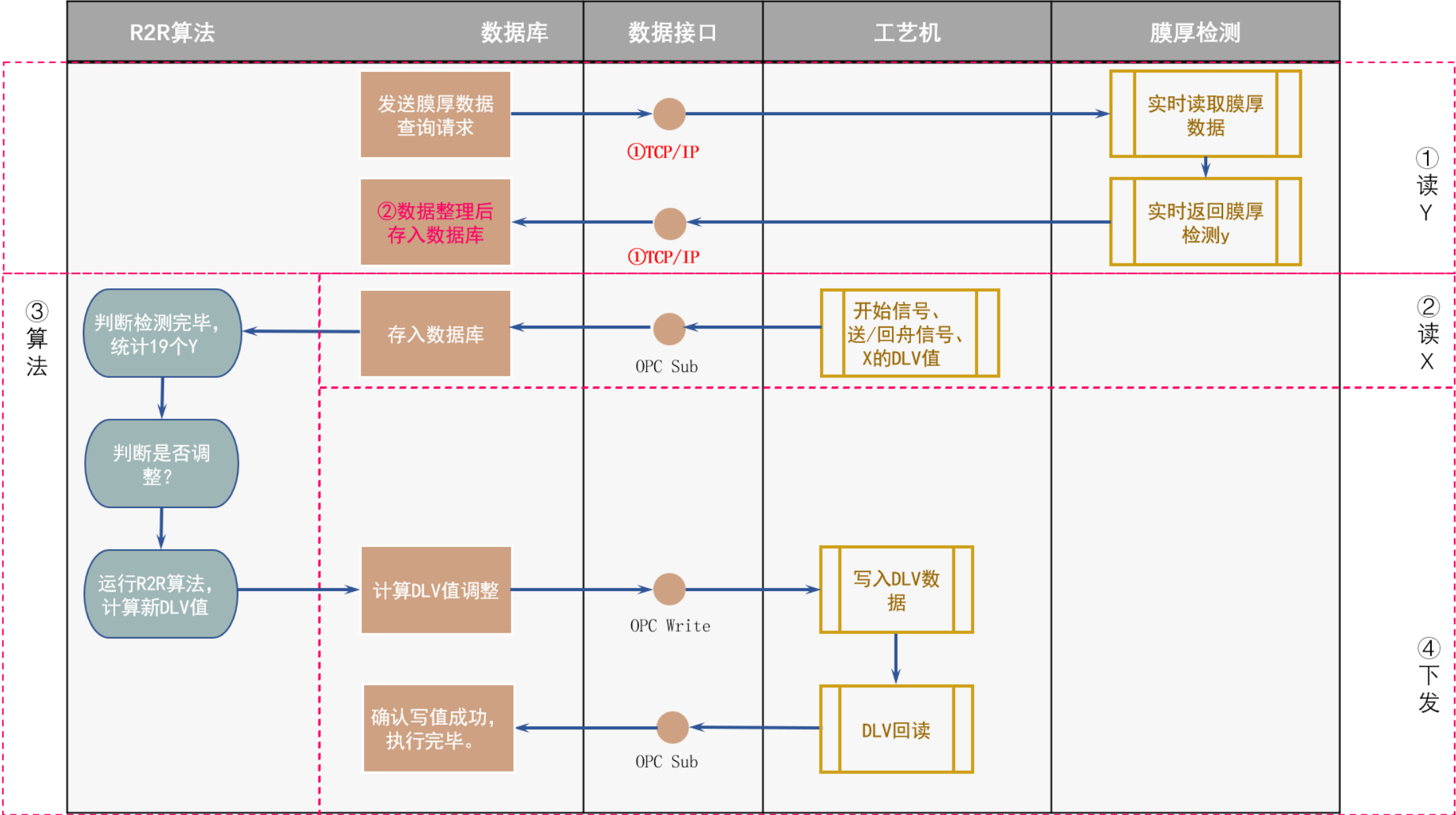


3.5 网络拓扑

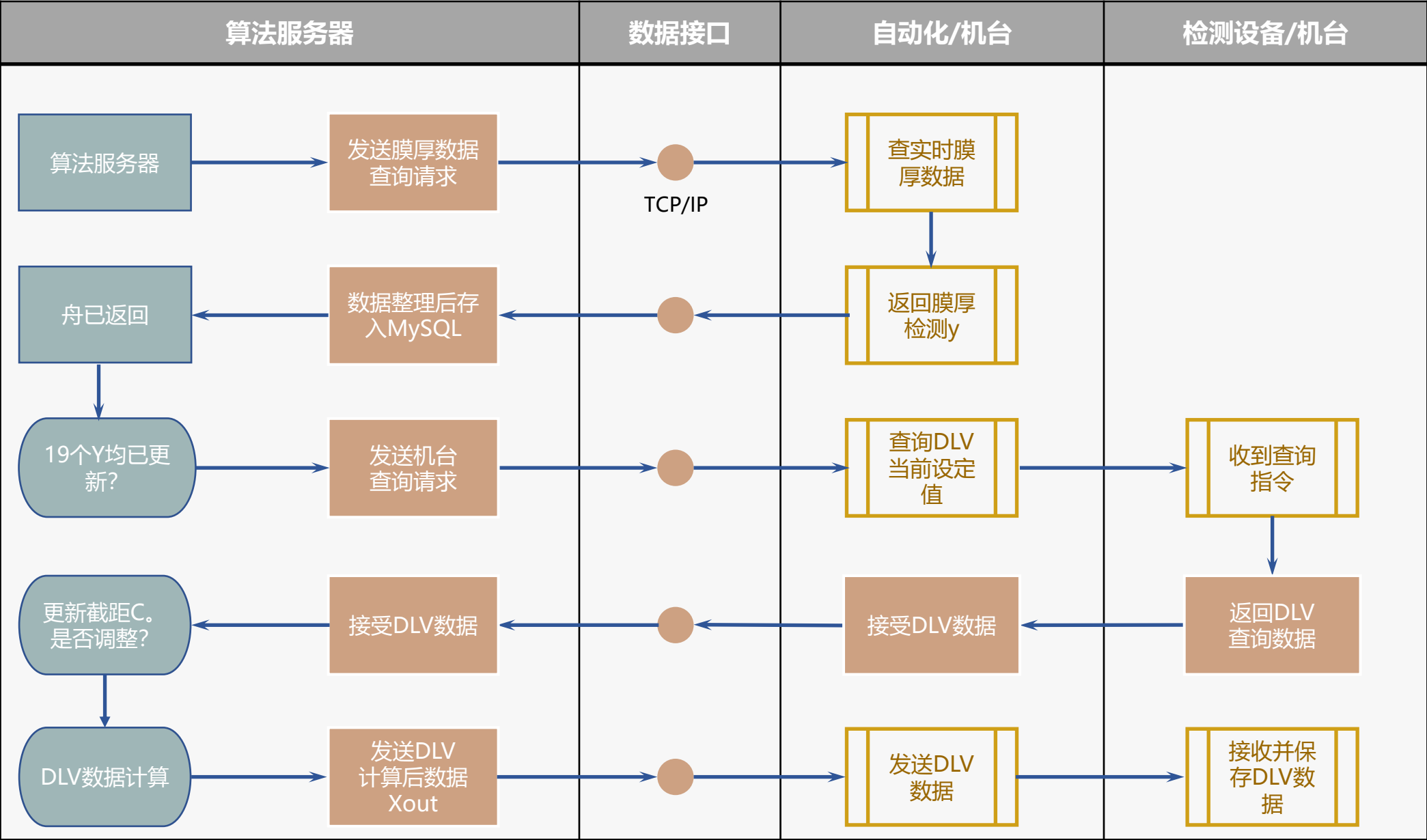
在线方案：
AI部署在机台端，接入车间网络



3.6 算法拓扑



3.7 数据拓扑



3.8 数据模型

OPC Read(1)

- 读取模式: 订阅模式(Sub)——订阅标签(工艺开始信号: Tag.Tube1Msg.gbHMI_Recipe_Start)
- 读取清单: 中温区offset值: Tag.Tube1Msg.gnTempOfficeGrop2.[i] (i = 0to5) →MySQL: Xm_DLV1_1~6
上温区offset值: Tag.Tube1Msg.gnTempOfficeGrop_up2.[i] (i = 0to5) →MySQL: Xu_DLV1_1~6
下温区offset值: Tag.Tube1Msg.gnTempofficeGrop_low2. [i] (i = 0to5) →MySQL: Xl_DLV1_1~6
沉积时间offset值: Tag.Tube1Msg.gnDIFFUSE_Time1 →MySQL: Xt_DLV1

OPC Read(2)

- 读取模式: 订阅模式(Sub)——订阅标签(推舟信号: Tag.Loader.EWH_to_WSL.iFromTubeNum)
- 读取清单: 推舟信号: Tag.Loader.EWH_to_WSL.iFromTubeNum →MySQL: TubeNum
舟号: Tag.Loader.EWH_to_WSL.Boat_ID →MySQL: E2WBoatID

TCP/IP Read

- 读取模式: 实时读取
- 读取清单: 膜厚检测结果。(管.舟.区.片.正反.膜厚——厂商还没匹配上)。 →MySQL: y

OPC Read(3)

- 读取模式: 订阅模式(Sub)——订阅标签(回舟信号: Tag.Loader.WSL_to_EWH.Boat_ID)——

用于触发统计19个Y
- 读取清单: 回舟信号: Tag.Loader.WSL_to_EWH.Boat_ID →MySQL: W2EBoatID

OPC Read(4)

- 读取模式: 订阅模式(Sub)——订阅标签(工艺结束信号: Tag.Tube1Msg.gbHMI_Recipe_Finish)——

触发R2R执行
- 读取清单: 中温区offset值: Tag.Tube1Msg.gnTempOfficeGrop2.[i] (i = 0to5) →MySQL: Xm_DLV2_1~6
上温区offset值: Tag.Tube1Msg.gnTempOfficeGrop_up2.[i] (i = 0to5) →MySQL: Xu_DLV2_1~6
下温区offset值: Tag.Tube1Msg.gnTempofficeGrop_low2. [i] (i = 0to5) →MySQL: Xl_DLV2_1~6
沉积时间offset值: Tag.Tube1Msg.gnDIFFUSE Time1 →MySQL: Xt_DLV2

3.9 数据模型

①（程序第一次运行时）初始化：

```
IF FirstRun Then  
    C_1 = Y - AX  
    Xout = DLV2  
    Break
```

```
End IF
```

②更新C

$$C = w*(Y - AX) + (1 - w)*C_1$$

③算Xout

```
IF (DLV1 = Xout) and (DLV2 = Xout) Then  
    Xout = (T - C)/A  
ELSE  
    Xout = DLV2  
END IF
```



4

产品效果



4.1 LP工艺一致性优化效果—管内均匀性对比

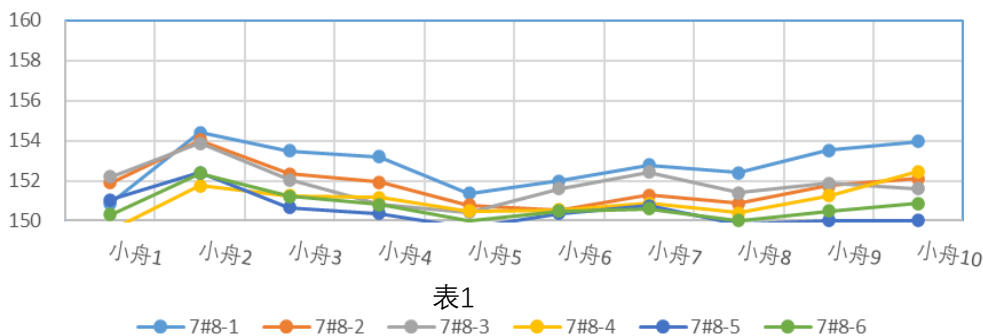
LP 在线poly自动调参前											
	小舟1	小舟2	小舟3	小舟4	小舟5	小舟6	小舟7	小舟8	小舟9	小舟10	整舟均值
7#8-1	151	154	153	153	151	152	153	152	154	154	153
7#8-2	152	154	152	152	151	151	151	151	152	152	152
7#8-3	152	154	152	151	150	152	152	151	152	152	152
7#8-4	150	152	151	151	150	151	151	150	151	152	151
7#8-5	151	152	151	150	150	150	151	150	150	150	151
7#8-6	150	152	151	151	150	150	151	150	150	151	151
7#7-1	166	172	169	162	155	157	166	160	165	165	164
7#7-2	155	163	162	161	162	166	163	156	163	167	162
7#7-3	163	171	170	168	165	169	166	162	159	159	165
7#7-4	162	175	169	164	160	160	158	157	158	157	162
7#7-5	178	179	181	171	165	163	161	161	168	166	169
7#7-6	159	164	159	158	157	157	157	157	158	160	159
7#6-1	159	157	156	157	156	155	156	154	157	155	156
7#6-2	156	161	156	155	153	154	156	153	154	155	155
7#6-3	153	161	159	156	154	154	154	153	154	153	155
7#6-4	154	161	155	154	153	156	157	154	155	156	155
7#6-5	151	157	156	156	155	156	156	153	153	157	155
7#6-6	154	162	156	154	153	155	157	154	156	155	155
7#5-1	155	154	152	153	153	154	156	155	156	154	154
7#5-2	157	152	151	152	153	154	154	154	154	154	153
7#5-3	155	161	157	155	154	156	157	156	155	156	156
7#5-4	156	155	154	155	155	156	157	156	157	155	156
7#5-5	162	157	154	155	155	155	156	155	155	156	156
7#5-6	155	161	160	160	159	156	155	155	155	156	157
7#4-1	153	159	158	157	155	156	156	155	158	155	156
7#4-2	152	158	157	156	155	156	155	153	153	155	155
7#4-3	158	154	153	155	154	154	155	154	156	152	155
7#4-4	158	154	154	158	157	155	155	153	153	152	155
7#4-5	156	156	155	156	156	156	156	154	154	156	155
7#4-6	154	167	164	159	156	156	155	153	153	153	157
标准差:											5.01

LP 在线poly自动调参后											
	小舟1	小舟2	小舟3	小舟4	小舟5	小舟6	小舟7	小舟8	小舟9	小舟10	整舟均值
7#8-1	153	156	155	155	154	154	155	154	155	156	155
7#8-2	154	158	154	154	153	153	153	153	154	154	154
7#8-3	154	156	154	153	153	154	155	154	154	153	154
7#8-4	153	155	155	155	154	154	154	154	155	155	154
7#8-5	154	155	154	154	153	153	154	153	154	153	154
7#8-6	154	156	155	154	153	154	155	154	154	154	155
7#7-1	未工艺										
7#7-2	155	164	159	155	154	155	155	154	156	157	156
7#7-3	158	168	163	159	156	155	155	154	155	155	158
7#7-4	164	171	165	158	156	156	156	156	156	156	160
7#7-5	175	176	178	169	163	156	156	154	156	156	164
7#7-6	158	164	158	157	156	157	158	156	156	157	158
7#6-1	149	149	149	151	151	151	154	151	152	152	151
7#6-2	158	164	159	156	153	158	160	154	154	155	157
7#6-3	154	164	158	152	152	155	161	157	159	156	157
7#6-4	161	167	160	154	152	151	151	151	153	153	155
7#6-5	157	165	157	153	153	153	153	152	153	153	155
7#6-6	159	166	158	154	153	154	154	152	153	154	156
7#5-1	156	154	152	152	153	154	155	155	156	154	154
7#5-2	159	153	152	153	154	154	155	155	156	156	155
7#5-3	155	159	156	155	154	155	156	155	155	156	156
7#5-4	159	157	155	156	155	156	157	155	156	155	156
7#5-5	159	156	154	154	154	154	155	154	155	156	155
7#5-6	154	156	155	155	155	154	154	153	154	154	154
7#4-1	未工艺										
7#4-2	151	156	154	152	152	153	153	152	153	153	153
7#4-3	154	152	152	155	155	154	155	155	157	153	154
7#4-4	156	153	153	158	158	155	154	154	154	152	155
7#4-5	154	155	154	155	155	155	155	154	155	156	155
7#4-6	156	167	162	155	153	154	154	153	155	154	156
标准差:											3.75

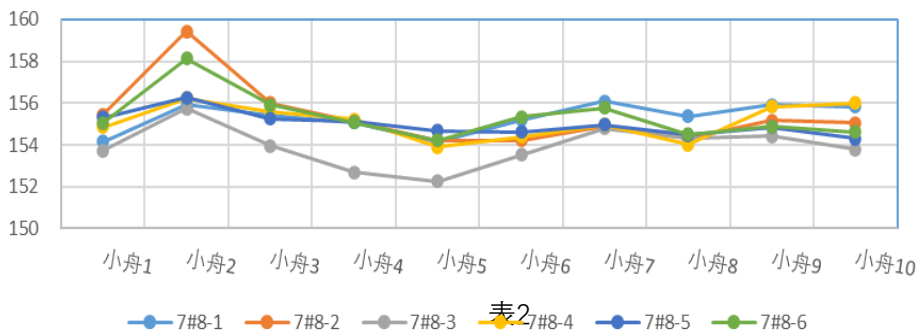
取4台机为例，以自动调参上线前一天的数据与自动调参上线后一天的数据进行对比，并拉取每各小舟的平均值；对比前后色阶图，管内均匀性均有所提升，偏高/偏低值向中心值收敛；**管间均匀性明显改善**，管间**膜厚差异缩小**，拉取所有管所有小舟的LP膜厚标准差，启用前为5.01，启用3天后标准差为3.75，**均匀性有较明显改善**。

4.2 LP工艺一致性优化效果—管间均匀性对比

7#8自动调参前

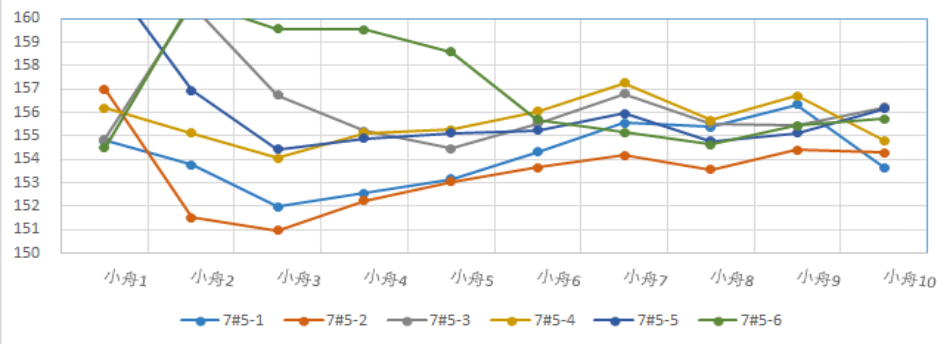


7#8自动调参后

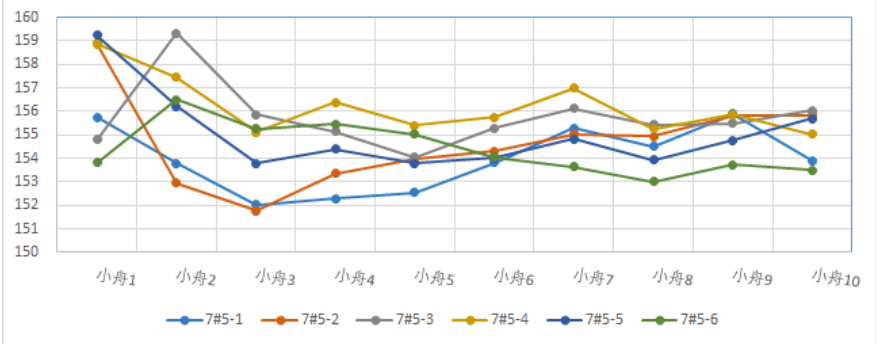


以7#8为例，表1为在上自动调参前各炉管的在线膜厚，整体膜厚偏低，表2为经过自动调参的调整后的在线膜厚，可以看出膜厚数据已向规格中心值靠拢，膜厚在 155 ± 5 内上下正常波动。

7#5自动调参前



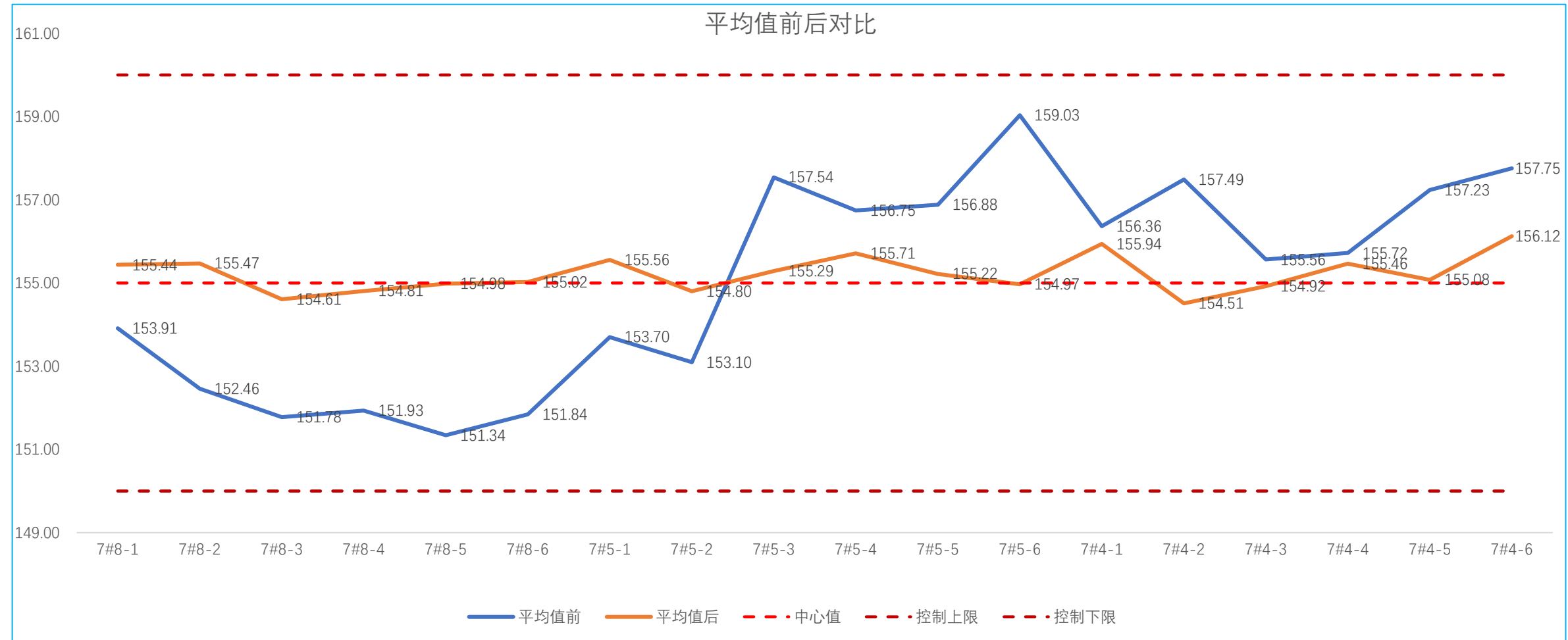
7#5自动调参后



以7#5为例，表3为在上自动调参前各炉管的在线膜厚，同机台各管管间均匀性较差，膜厚呈现炉口高炉尾低的趋势，炉口位置膜厚波动较大，分布极不均匀；

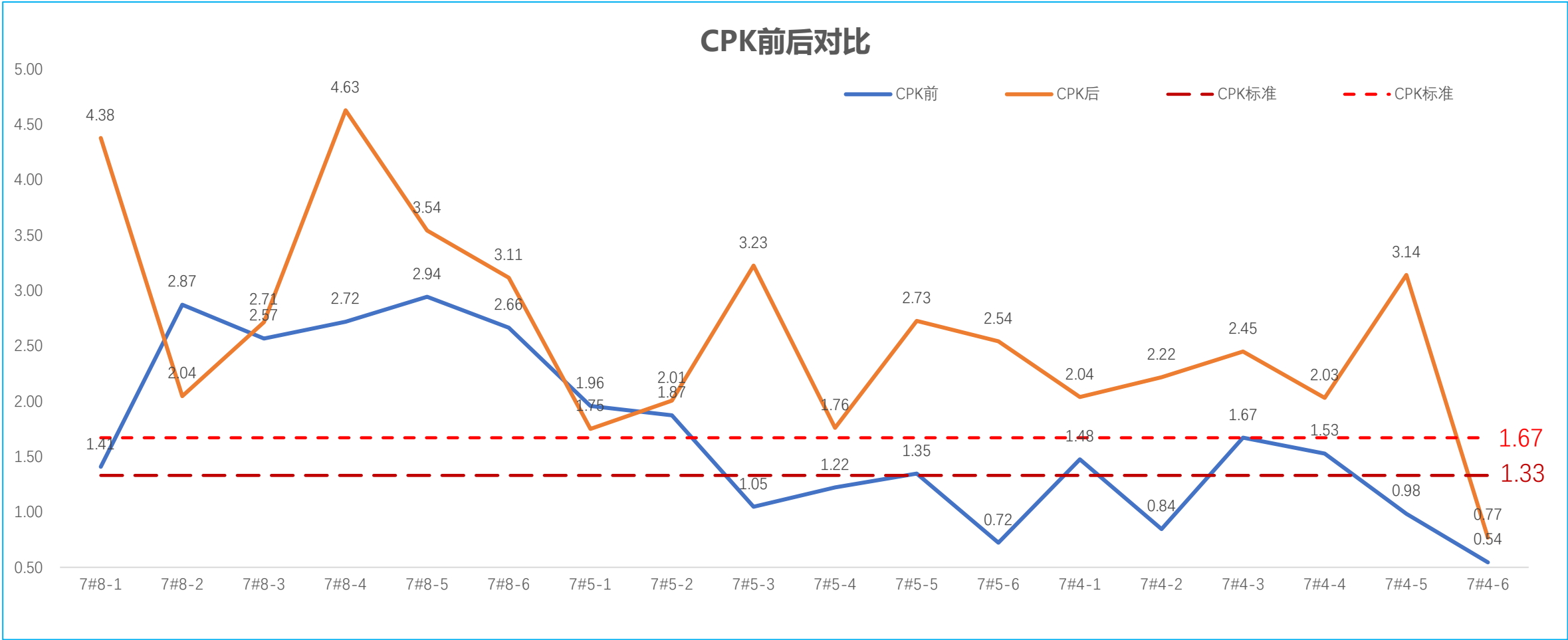
表4为经过自动调参的调整后的在线膜厚，可以看出膜厚数据已向规格中心值靠拢，炉口位置膜厚明显**收敛集中**。

4.3 LP工艺一致性优化效果—平均值对比



对比各管调整前后平均值曲线图，可发现自动调参前各管均值差异较大；启用自动调参后，各管均值稳定在中心值 155 ± 1 内上下波动，**管间差异缩小**。

4.4 LP工艺一致性优化效果—CPK对比



对比各管调整前后CPK变化曲线图，启用自动调参前，部分炉管CPK能力值低于1.33不达标；启用自动调参后，各管CPK能力值总体有明显提升，且CPK能力值高于1.67，表明机台稳定性良好。

4.5 LP工艺一致性优化效果—总结

通过对比调参前后各管均匀性、离散度、膜厚均值、CPK能力值，我们可得出以下结论：
启用自动调参后，LP的膜厚管间均匀性、管内均匀性、离散度、膜厚均值、CPK能力值均有有效、明显提升，**有效提升了LP的制程管理与控制能力。**

LP工艺一致性优化使用情况		
机台编号	测试仪器名称	自动调参上线情况
7-1#	NXT	OK
7-2#	NXT	OK
7-3#	NXT	OK
7-4#	NXT	OK
7-5#	NXT	OK
7-6#	NXT	OK
7-7#	NXT	OK
7-8#	NXT	OK
7-9#	NXT	OK
7-10#	NXT	OK



感谢您的观看!