

文章编号:1007-2780(2018)02-0129-09

TFT-LCD 改善 Particle Gap 的研究

高 欢^{1*}, 陈文智², 姚 晔³, 张南红¹, 汤展峰¹, 辛志远¹,
李 静¹, 范恒亮¹, 韩君奇¹, 尹文祥¹

(1.合肥鑫晟光电科技有限公司, 安徽 合肥 230012; 2.群龙企业咨询(上海)有限公司, 上海 200335;
3.合肥乐凯科技产业有限公司, 安徽 合肥 230041)

摘要: Particle Gap 是 TFT-LCD 制程中常见的一种缺陷。以 55 UHD 产品为例, Particle Gap 发生率约为 1.0%, 对产品良率影响较大, 为提升液晶屏品质和客户满意度, 急需改善此不良。文章结合不良现象研究 Particle Gap 的主要异物模式, 最终通过改善 CF 研磨失败异物、沙粒状异物和透明状异物这种模式达到整体 Particle Gap 降低的效果。首先利用流程图分析影响异物模式的关键步骤, 然后通过鱼骨图、决策矩阵、假设检验验证找出影响异物模式的显著因素, 最后通过合力促进法总结出显著因素的最佳改善方案, 导入量产并文件标准化, 可平行推广至 55UHD 以外的其它尺寸。改善结果表明: 通过以上 3 种异物类型的改善, 55UHD Particle Gap 发生率降低至少 30%, 为公司带来了巨大且显著的硬性节省。

关键词: 薄膜电晶体-液晶显示器; Particle Gap; CF 研磨失败异物; 透明状异物; 沙粒状异物

中图分类号: TN141.9 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20183302.0129

Prevention of TFT-LCD's Particle Gap

GAO Huan^{1*}, CHEN Wen-chih², YAO Ye³, ZHANG Nan-hong¹,
TANG Zhan-feng¹, XIN Zhi-yuan¹, LI Jing¹, FAN Heng-liang¹,
HAN Jun-qi¹, YIN Wen-xiang¹

(1. Hefei Xinsheng Optoelectronics Technology Co. Ltd, Hefei 230012, China
2. IEG Innovation, Shanghai 200335, China
3. Hefei Lucky Science & Technology Industry Co. Ltd, Hefei 230041, China)

Abstract: Particle Gap was a common defect in TFT-LCD process. Taking 55 UHD product as an example, the incidence of Particle Gap was about 1.0%, which had great impact on the product yield. To enhance the quality of LCD screen and customer satisfaction, this problem needed to be resolved. In this paper, we analyzed the main types of Particle Gap by the bad phenomena and achieved the effect of reducing the Particle Gap finally by improving the CF grinding failure particle, sandy particle and transparent particle. First, we used the flow chart to analyze the key steps affecting the particle model, and then found out the significant factors through the fish bone map, decision matrix and hypothesis test verification. Finally, we summed up the best improvement program by force promotion method, which was imported into production and standardized. At the same time, above improvement measures could be extended to other size product besides 55UHD. The improved results showed the Particle Gap rate of 55UHD decreased 30% at least, which brought great significant hard savings.

收稿日期: 2017-07-26; 修订日期: 2017-08-22.

* 通信联系人, E-mail: gaohuanhf@boe.com.cn

Key words: TFT-LCD; Particle gap; CF grinding failure particle; transparent particle; sandy particle

1 引言

随着薄膜电晶体-液晶显示器 (Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display, TFT-LCD) 技术的日益成熟,其成为电视机、电脑、移动设备及车载一体机等电子产品的主流显示器,具备功耗低、寿命周期长、显示亮度高、重量和体积小的高性能^[1-5]。由于生产工艺复杂,TFT-LCD 制程中的异物不良很常见且对显示品质有很大影响。本文针对异物不良中的大异物 Particle Gap 进行研究,根据其发生的主要模式探究根因,并提出改善方案,有效降低了 Particle Gap 不良的发生率。

2 Particle Gap 的现象及解析

2.1 Particle Gap 的宏观现象

Particle Gap 是 L0/L63 灰阶画面下可见周边带有明显晕且中间有发亮或发暗核的 Gap Mura,主要是在生产过程中由异物导致的缺陷。目前对该不良是结合核和晕的最重级别判定的,如图 1 所示。



图 1 Particle Gap 的宏观现象

Fig.1 Macroscopic phenomenon of Particle Gap

2.2 Particle Gap 的实物解析

针对 55 UHD 产品,Particle Gap 发生率约 1.0% 左右,对产品良率影响较大,为提升液晶屏品质和客户满意度,急需改善此不良。

抽取一定数量 55UHD 产品不良 Panel 进行拆屏,显微镜下观察不良现象主要分 3 类,如图 2 所示,分别是沙粒状异物、CF(Color Filter,彩色滤光片)研磨失败异物、透明状异物。

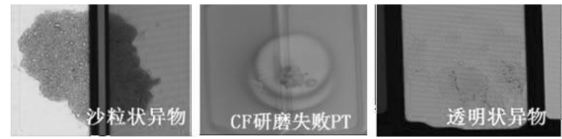


图 2 Particle Gap 的微观分类

Fig.2 Microscopic classification of Particle Gap

根据分析,Particle Gap 中沙粒状异物约占比 32%,CF 研磨失败异物约占比 21%,透明状异物约占比 24%。本文将通过改善这 3 类异物达到整体 Particle Gap 降低的目的。

3 Particle Gap 影响因子探究

通过比对不良缺陷坐标,位置集中性及 FIB (聚焦离子束分析)等,可以得到 CF 研磨失败异物主要产生在 CF 维修工段,沙粒状异物和透明状异物则主要产生在滴注液晶前的工段。

3.1 CF 研磨失败异物的研究

透过不良现象可知,CF 研磨失败异物是由于,CF 最终维修工序研磨不彻底导致的^[6],可通过优化 CF 研磨参数来降低此不良。经验证,最终维修的测高基准从 3.5 μm 降低至 2.2 μm 对不良有明显改善效果,不良由 0.21% 降低至 0.13%,如图 3 所示。目前 CF 研磨失败异物导致的 Particle Gap 长期维持在 0.1% 左右水平,改善快速且效果明显。

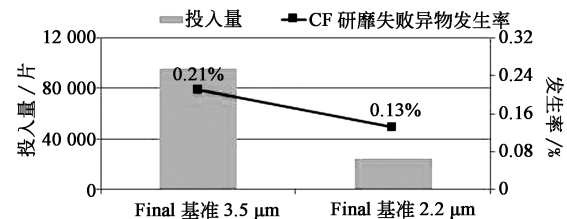


图 3 最终维修基准对 CF 研磨异物的影响

Fig.3 Influence of final repair benchmark to CF grinding foreign

3.2 沙粒状和透明状异物的研究

针对沙粒状和透明状异物进行流程图分析(如图 4),推断影响两种异物的关键步骤发生在液晶的滴注工段,有摩擦后清洗机^[7-8]、TFT 基板经过的传送设备、CF 基板经过的封框胶检查机^[9]及超声波清洗机 4 道工序。

为确认量测系统是否符合客户及生产要求,利用 Minitab R15 软件对人员进行了属性一致性分析;利用二项能力分析,对研究的过程进行了过程能力分析^[10]。

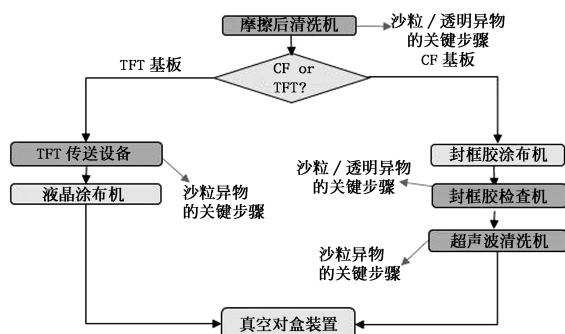


图4 液晶滴注工段流程图

Fig.4 Flow chart of one drop filling process

3.2.1 量测系统分析

评估量测系统分析 (Measurement System Analysis, MSA) 的有效性即评估判定不良的一致性,沙粒状和透明状异物的测量系统均为 Cell 维修站点。针对两种异物的检查岗人员进行属性一致性分析,选取 55UHD 的 30 张屏,不良品和良品各占 50%,5 个检查人员根据实际不良进行重复判定 2 次,对得到的数据进行分析,结果表明所有检查人员与标准分析的一致性水平为 93.33%,均在 90%(标准化有效筛选的分数)以上,该量测系统有效。

将沙粒状异物和透明状异物对应的 Cell 维修站点的 MSA 分析结果汇总,如表 1 所示,从检测员自身、每个检验员与标准、检验员之间、所有检验员与标准 4 个方面进行评估,评估的一致性均大于 90%,结果表明 Cell 维修站点对沙粒状异

表1 Cell 维修站点的 MSA 汇总

Tab.1 Summary of Cell repair MSA

Cell Repair 量测系统评估一致性(百分比)				
	检验员 自身	每个检 验员与 标准	检验员 之间	所有检 验员与 标准
沙粒状 异物	96.67	96.67	93.33	93.33
透明状 异物	96.67	96.67	96.67	96.67

物和透明状异物的判定是有效的。

3.2.2 过程能力分析

过程能力分析是在可靠的 MSA 基础上评估两种模式异物目前厂内的水平。图 5 是以沙粒状异物为例的过程能力分析,针对离散型的不良发生率,使用二项能力分析方法。图示表明沙粒状异物不良率为 0.32%,过程能力 Z 值为 2.722。按照厂内达到国际级制造工厂的要求标准不良率为 3.4×10^{-6} 和 Z 值为 4.5,可以说明沙粒状异物存在较大的改善空间。

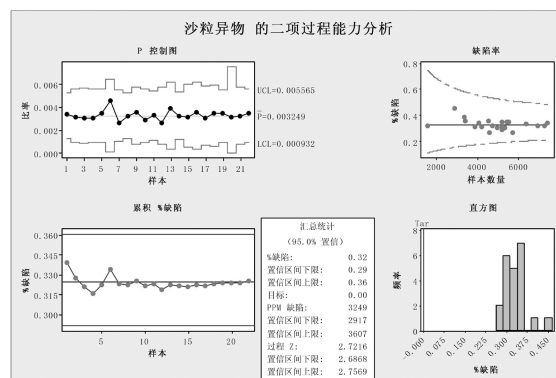


图5 沙粒状异物改善的过程能力分析

Fig.5 Process capability analysis of sandy particle before improvement

其 Z 值计算如下方程式:

$$Z = \Phi^{-1}(1 - P_1 - P_2), P_1 = 1 - \Phi^{-1}(Z \cdot LSL),$$

$$P_2 = 1 - \Phi^{-1}(Z \cdot USL), \quad (1)$$

其中: Φ^{-1} 为逆累积标准正态概率密度函数, P_i 为第 i 组概率值, i 为 1, 2。

将沙粒状异物和透明状异物对应的过程能力分析结果汇总,如表 2 所示,透明状异物不良率为 0.24%,过程能力 Z 值为 2.823,也说明透明状异物存在着较大的改善空间。

表2 改善前过程能力汇总

Tab.2 Summary of process capability before improvement

过程能力分析	缺陷/%	过程 Z 值
沙粒状异物	0.32	2.722
透明状异物	0.24	2.823

3.2.3 鱼骨图 & 原因及效果矩阵

针对沙粒状异物和透明状异物,我们首先通

过头脑风暴和鱼骨图发散寻找所有可能影响的因素,再经由原因及效果矩阵收敛找出潜在因素。在此章节,我们共找出 8 个潜在因素。

因沙粒状异物和透明状异物的潜在影响因素重合度很高,故整合在一张鱼骨图内。本研究从人、机、料、法、环、测 6 个层面,通过头脑风暴提出多达 81 个可能影响因素。

根据对两种不良的分析,可判定人和环境因素对不良影响很小,暂且不做分析改善。故从异物源头和清洗/洁能力两大方面,结合鱼骨图将上述头脑风暴法得出的影响因素汇整为 27 个,如图 6 所示。

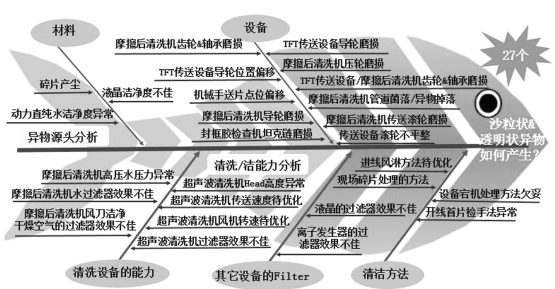


图 6 鱼骨图分析影响因子
Fig.6 Influencing factors analysis by Fishbone Diagram

从鱼骨图得到的 27 个潜在因素,运用原因及

表 3 原因及效果矩阵筛选关键因素
Tab.3 Key factors selected by Cause & Effect matrix

优先程度					9	7	6	5	
关键因素:0=无相关,1=弱相关,3=中相关,9=强相关					沙粒	透明	因子	数据	排
NO	不良	输出/输入	输入	不/	异物	异物	可控	可量	序
	分析	指标	/出	可控			度	侧度	
1		TFT 传送设备的导轮磨损			9	7	6	5	144
2		TFT 传送设备的齿轮 & 轴承磨损			1	0	3	1	32
3		摩擦后清洗机的导轮磨损			9	1	1	1	99
4		摩擦后清洗机的齿轮 & 轴承磨损			1	1	3	1	39
5		摩擦后清洗机的管道异物掉落			0	9	9	9	162
6	源	封框胶检查机的坦克链磨损			1	1	3	1	39
7	头	摩擦后清洗机的压轮磨损			1	1	1	1	27
8	分	摩擦后清洗机的传送滚轮磨损			1	1	3	1	39
9	析	动力直纯水洁净度异常			0	1	1	1	18
10		液晶洁净度不佳			0	1	1	1	18
11		机械手送片点位偏移			3	0	9	9	126
12		TFT 传送设备导轮位置偏移			3	0	9	9	126
13		传送设备滚轮不平整	输入	可控	3	0	1	1	38
1		摩擦后清洗机高压水压力异常			3	3	3	9	111
2		摩擦后清洗机水过滤器效果不佳			3	9	9	9	189
3	清洗	摩擦后清洗机风刀洁净干燥空气的 过滤器效果不佳			1	3	1	1	41
4	/清洁	超声波清洗机过滤器效果不佳			3	3	9	9	147
5	能力	超声波清洗机传送速度待优化			1	1	1	1	27
6	分析	超声波清洗机 Head 高度异常			1	1	1	1	27
7		超声波清洗机风机转速待优化			1	1	1	1	27
8		液晶过滤器效果不佳			0	1	1	1	18
9		离子发生器的洁净干燥气体过滤器效果不佳			0	1	1	1	18

效果矩阵收敛找出要改善的因子,通过头脑风暴和厂内相关专业人员讨论,并对其相关性利用0,1,3,9的量度给予分数,最终确认影响沙粒状异物和透明状异物的关键因素有8个,如表3所示。

3.2.4 关键因素汇总

本文将针对原因及效果矩阵得出的影响沙粒状异物和透明状异物的8个因素进行进一步改善验证,故对该8个因子进行编号汇总,如图7所示。



图7 沙粒状和透明状异物对应的因素

Fig.7 Key factors corresponding to sandy and transparent particle

4 因子的显著性分析与改善验证

因沙粒状异物和透明状异物的发生率属于离散型数据,故可利用双比率假设检验^[11]来判定上述原因及效果矩阵筛选出来的8个关键因素是否显著。假设显著水平 $\alpha=0.05$,虚无假设 H_0 为改善前与改善后不良率无差异,备择假设 H_a 为改善前与改善后不良率有差异;判定标准为:当 $P\text{-Value}<0.05$ 时,则拒绝 H_0 ,接受 H_a ,结论是我们有充分的证据说明改善前后有差异,通过统计验证该因素显著。与此同时,为确认改善方法对不良率减少的统计验证有效,在目标功效为90%的条件下确保合适的样本大小,会使假设检验的结果更具说服力。

以机械手送片点位偏移的显著性检验为例,

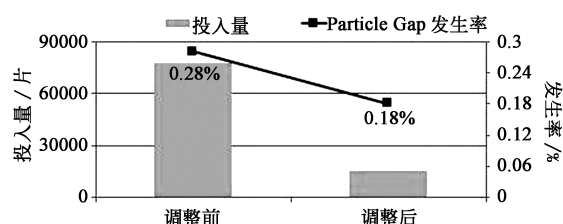


图8 机械手送片点位偏移对Particle Gap的影响

Fig.8 Influence of robot sending offset on Particle Gap

验证关键因素是否显著,本文中除此因素外的其它因素不会一一展开,会以总表的方式呈现。

4.1 机械手送片点位偏移的显著性检验

针对机械手送片点位偏移是否对55UHD Particle Gap产生影响,即调整后不良率由0.28%降低至0.18%(如图8)进行双比例验证。使用双比率假设检验方法,假设Robot送片点位调整前的不良率为 P_0 ,调整后的不良率为 P_1 ,设虚无假设 $H_0:P_0 \geq P_1$;备择假设 $H_a:P_0 < P_1$,得到 $P\text{-Value}=0.011$,在 α 设定为0.05的前提下进行判断, $P\text{-value}<0.05$,拒绝虚无假设,接受备择假设,即机械手送片点位调整后比调整前的不良发生率有明显降低,故机械手送片点位偏移是显著因素(研究样本量在目标功效90%时所必要的样本大小48221个,满足要求),如表4。

表4 双比率假设检验机械手送片点位偏移的显著性及所需的样本量

Tab.4 Significance and required number of samples about Robot sending offset by Double Ratio Hypothesis Test

双比率检验和置信区间

样本	X	N	样本 p
1	218	77807	0.002802
2	28	15511	0.001805

差值 = $p(1) - p(2)$

差值估计值: 0.000996634

差值的95%置信区间: (0.000232301, 0.00176097)

差值 = 0(与 $\neq 0$)的检验: $Z = 2.56$ P值 = 0.011

Fisher精确检验: P值 = 0.026

功效和样本数量

双比率检验

正在检验比较 $p = \text{基线 } p(\text{与} \neq)$

正在计算基线 p 的功效 = 0.0018

Alpha = 0.05

比较 p	样本数量	目标功效	实际功效
0.0028	48221	0.9	0.900001

样本数量是指每个组的。

4.2 显著因素汇总

同 X1 机械手送片点位偏移的显著性检验流程一样,其它关键因素也可用同样的方式进行显著性检验,如表 5 是承接 3.2.4 的因素进行假设检验验证汇总。从表 5 可以得出结论:显著因素共

6 项,分别是 X1 机械手送片点位偏移,X3TFT 传送设备的导轮磨损,X5 摩擦后清洗机高压水的压力异常,X6 超声波清洗机过滤器效果不佳,X7 摩擦后清洗机水过滤器效果不佳,X8 摩擦后清洗机的管道异物掉落。

表 5 显著因素的汇总
Tab.5 Summary of significant factors

改善 目标	异物	Xi	分析 因素	Item	当前	检验	假设		离散型 假设 假定	P 值 $\alpha=0.05$	结果	结论
							H0	Ha				
55”UHD Particle Gap	沙粒 状异 物	X1	机械手送片点 位偏移	Input 不良率	调整前	调整后				0.011	$p1 \neq p2$	显 著
					77807	15511						
		X2	TFT 传送设备 导轮位置偏移	Input 不良率	外移前	外移后				0.084	$p1 = p2$	不 显 著
					20784	14978						
		X3	TFT 传送设备 的导轮磨损	Input 不良率	更换前	更换后				0.001	$p1 \neq p2$	显 著
					20439	16795						
		X4	摩擦后清洗机 的导轮磨损	Input 不良率	更换前	更换后				0.411	$p1 = p2$	不 显 著
					16419	9280						
	沙粒 状/ 透明 状异 物	X5	摩擦后清洗机 高 压 水 压 力 异常	Input 不良率	调节前	调节后	$p1 = p2$	$p1 \neq p2$	双比率 分析	0.002	$p1 \neq p2$	显 著
					29435	29560						
		X6	超声波清洗机 过 滤 器 效 果 不佳	Input 不良率	更换前	更换后				0.000	$p1 \neq p2$	显 著
					27747	23280						
		X7	摩擦后清洗机 水过滤器效果 不佳	Input 不良率	更换前	更换后				0.001	$p1 \neq p2$	显 著
					24600	20160						
透明 状异 物	X8	摩擦后清洗机 的 管 道 异 物 掉落	Input 不良率	管道 清洗前	管道 清洗后				0.001	$p1 \neq p2$	显 著	
				27600	28560							

4.3 显著因素的最佳改善方案

针对上述显著因素,需找到各因素对应的最

优改善方案。本文对 55UHD Particle Gap 改善时,因顾及产能和风险,未做 DOE (实验设计)来

针对因素的交互作用进行探讨,但本研究通过合力促进法得到改善方案。合力促进法改善流程:1.利用脑力激荡找到所有可能解决该因素的方案;2.利用实用量表结合厂内现状做出是否可行的判断;3.利用原因及效果矩阵的0,1,3,9量度给予分数,归纳分数较高项,得出显著因素对应的

最佳改善方案。

因X5摩擦后清洗机高压水的压力异常可以通过调节至合适的压力值即可,不涉及对应的改善方案。故将其余5项显著因素对应的最佳改善方案汇总,如表6。

表6 最佳改善方案汇总

Tab.6 Summary of best improvement program

异物模式	Xi	最佳改善方案
沙粒状异物	X1	调整机械手臂吸附的真空值
	机械手送片点位偏移	重新校准位置
沙粒状异物	X3	调整轴承滚珠转速
	TFT 传送设备的导轮磨损	导轮每日点检
沙粒状异物/透明状异物	X6	更换滤芯维护预防
	超声波清洗机过滤器效果不佳	
沙粒状异物/透明状异物	X7	规范预防维护手法
	摩擦后清洗机水过滤器效果不佳	更换新过滤器
透明状异物	X8	优化摩擦后清洗机的清洗参数
	摩擦后清洗机的管道异物掉落	优化药液的类型

5 结果与讨论

将4.3章节得到的对显著因素的最佳改善方案进行有效地管制计划,上报文件并标准化,确保流程持续实施下去。经过方案的实际施行,对比项目改善初期和结束时主要模式沙粒状异物和透明状异物的发生率都有明显的降低,整体Particle Gap不良率也随之降低。

通过图9分析,沙粒状异物不良率由0.32%降低至0.20%;利用表7的假设检验进一步分析验证改善成果的有效性,改善前后选取样本量分别为96 008和44 563,通过功效和样本量检验得到目标功效90%时所必要的样本大小37 843个,说明选取样本量足够,在 α 设定为0.05的前提下,有90%的几率可以检测到它们之间的差异,利用双比率检验得出 $P=0.000$,表明沙粒状异物改善前后不良率是显著的,即改善有效。

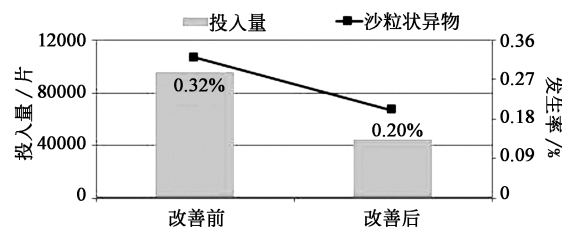


图9 沙粒状异物改善前后的发生率

Fig. 9 Incidence of sandy particle before and after improvement

同样方法检验透明状异物不良率由0.24%降至0.15%,利用假设检验进一步分析验证改善成果的有效性,结果表明改善显著。

综上,通过改善CF研磨失败异物、沙粒状异物和透明状异物三种主要模式达到整体Particle Gap不良率降低至少30%的效果。

同时制程能力方面,通过项目改善,以沙粒异物为例,其制程能力指数由2.722提高到2.879,

如图 10。同时透明异物的制程能力由 2.823 提高到 2.971,如图 11。结论表明经由沙粒状异物和透明状异物的制程能力改善,55UHD Particle Gap 的制程能力也随之提高。

表 7 双比率假设检验沙粒状异物改善的显著性及所需的样本量

Tab.7 Significance and required number of samples about sandy particle improvement by Double - Ratio Hypothesis Test

双比率检验和置信区间

样本	X	N	样本 p
1	307	96008	0.003198
2	89	44563	0.001997

差值 = $p(1) - p(2)$

差值估计值: 0.00120048

差值的 95% 置信区间: (0.000653346, 0.00174761)

差值 = 0(与 $\neq 0$) 的检验: $Z = 4.30$ P 值 = 0.000

Fisher 精确检验: P 值 = 0.000

功效和样本数量

双比率检验

正在检验比较 $p =$ 基线 $p(与 \neq)$

正在计算基线 p 的功效 = 0.002

Alpha = 0.05

比较 p	样本数量	目标功效	实际功效
0.0032	37843	0.9	0.900002

样本数量是指每个组的。

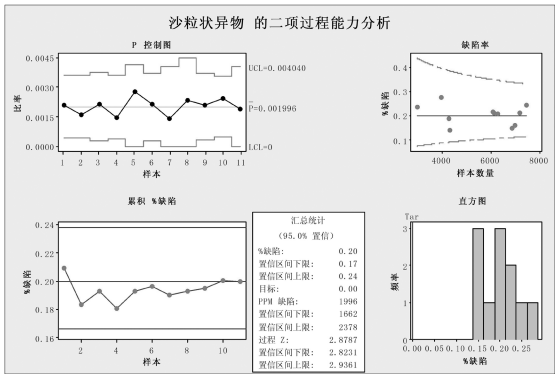


图 10 改善后沙粒异物的过程能力分析

Fig.10 Process capability analysis of sandy particle after improvement

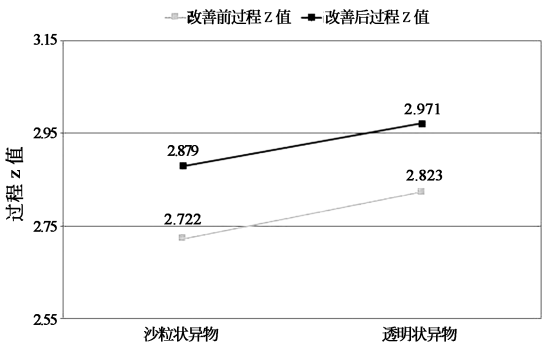


图 11 改善前后的制程能力对比

Fig.11 Comparison of process capability before and after improvement

6 结 论

本文以 55UHD Particle Gap 为例,经不良解析可通过改善 CF 研磨失败异物、沙粒状异物和透明状异物三种主要模式达到整体 Particle Gap 降低的效果。利用流程图找到影响不良的关键步骤;通过鱼骨图、原因及效果矩阵、假设检验等寻找影响不良的显著因素;再利用合力促进法得到显著因素的最佳改善方案,导入量产并文件标准化,可平行推广至 55UHD 以外的其它尺寸。

综上,针对 Particle Gap 主要成分 CF 研磨失败异物,将 CF 最终维修后测高基准从最初的 $3.5\text{ }\mu\text{m}$ 降至 $2.2\text{ }\mu\text{m}$,不良从 0.21% 降至 0.13%,并持续稳定在 0.10% 的水准,改善快速。通过调整机械手臂吸附真空值,重新校准机械手位置,调整轴承滚珠转速,更换超声波清洗机/摩擦后清洗机的水过滤器等,沙粒状异物不良率由 0.32% 降至 0.20%,制程能力指数由 2.722 提高到 2.879;通过优化摩擦后清洗机的清洗参数和药液类型等,透明状异物不良率由 0.24% 降至 0.15%,制程能力由 2.823 提高到 2.971;与此同时,针对这两种异物还采取摩擦后清洗机的水过滤器和超声波清洗机的过滤器定期点检、规范预防维护手法等措施。最终从项目初期至结束,55UHD Particle Gap 由 1.0% 左右水平降低至少 30%,改善效果显著,为公司带来了巨大且显著的硬性节省。下一步工作将在稳定以上变更工艺的基础上对 Particle Gap 的进一步改善进行研究和验证。

参 考 文 献:

- [1] 车春城.广视角FFS技术Cell研究与设计[D].成都:电子科技大学,2007.
CHE C C. CELL research and design of FFS wide viewing angle technology [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2007.
- [2] 马群刚.TFT-LCD原理与设计[M].北京:电子工业出版社,2011.
MA Q G. *Theory and Design of TFT-LCD* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011. (in Chinese)
- [3] 王新久.液晶光学和液晶显示[M].北京:科学出版社,2006:45-49.
WANG X J. *Liquid Crystal Optics & Liquid Cristal Display* [M]. Beijing: Science Press, 2006: 45-49. (in Chinese)
- [4] 高荣荣,陈杰,刘俊豪,等.TN型产品Zara Domain理论研究与分析改善[J].液晶与显示,2016,31(3):242-248.
GAO R R, CHEN J, LIU J H, *et al.* Theory research and analysis of Zara Domain on TN mode [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31(3): 242-248. (in Chinese)
- [5] 刘亮,王向楠,赵德友,等.TFT-LCD移动显示窄边框技术进展[J].液晶与显示,2013,28(2):228-232.
LIU L, WANG X N, ZHAO D Y, *et al.* Slim border trend of TFT-LCD mobile display panel [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(2): 228-232. (in Chinese)
- [6] 黄雅纹,陈再良.TFT-LCD常见点缺陷的检测与修复[J].现代电子技术,2012,35(23):189-191.
HUANG Y W, CHENG Z L. Detection and repair of point defects in TFT LCD [J]. *Modern Electronics Technique*, 2012, 35(23): 189-191. (in Chinese)
- [7] 刘锋,于凯,李相津,等.TFT-LCD生产中毛刷清洗工艺的研究[J].现代显示,2007(10):54-56.
LIU F, YU K, LI X J, *et al.* Brush cleaning process analysis in TFT-LCD industry [J]. *Advanced Display*, 2007 (10): 54-56. (in Chinese)
- [8] 林琅,王亚莉.TFT-LCD生产中HPMJ清洗工艺的研究[J].实用科技,2015(12):244.
LIN L, WANG Y L. HPMJ cleaning process analysis in TFT-LCD industry [J]. *Practical Technology*, 2015(12): 244. (in Chinese)
- [9] 石天雷,杨国波,刘亮,等.ODF工艺用封框胶的研究[J].光电子技术,2011,31(3):211-214.
SHI T L, YANG G B, LIU L, *et al.* The research of sealant used in ODF process [J]. *Optoelectronic Technology*, 2011, 31(3): 211-214. (in Chinese)
- [10] 张靖.Minitab软件在统计学教学中的应用[J].统计科学与实践,2010(5):58-59.
ZHANG J. The application of Minitab software in statistics teaching [J]. *Statistical Science and Practice*, 2010 (5): 58-59. (in Chinese)
- [11] 卞为梅.假设检验在数据分析中的应用[J].化工标准·计量·质量,2004,24(3):78-80.
BIAN W M. The application of hypothesis test in data analysis [J]. *Chemical Industry Standard Measurement Quality*, 2004, 24(3): 78-80. (in Chinese)

作者简介:高欢(1985—),女,安徽六安人,硕士,高级工程师,主要从事液晶显示行业中不良分析改善与新产品导入等工作。E-mail: gaohuanhf@boe.com.cn