

Low-E 玻璃生产过程控制色差的方法

郭 明

洛玻集团洛阳新晶润工程玻璃有限公司 河南洛阳 471000

摘 要 本文通过对 Low-E 生产过程中色差控制方法的分析, 结合实例, 提出单片数据与中空玻璃实物相结合的方法, 确保生产过程持续、稳定。

关键词 Low-E 颜色值 色差 中空玻璃

1 前言

在 Low-E 镀膜玻璃生产过程中, 影响产品质量的因素很多, 如耐刷洗性能, 耐剥离性能, 颜色一致性。其中颜色一致性问题, 是生产准备过程中和生产过程中最值得关注的, 因为不但要保证本批产品之间无色差, 还要保证本批产品与前批产品(一个月甚至一年前)之间无色差, 这就需要操作人员对生产工艺参数作适当调整, 以弥补工艺状态不同造成的影响, 如靶材溅射沟深浅不同引起溅射效率不同带来的影响、开始生产时的冷态靶与生产半小时后的热态靶溅射效率不同带来的影响。要调整镀膜玻璃的颜色, 首先要确定膜系结构, 然后根据各层膜厚度对成品颜色、透过率的影响, 微调各靶溅射功率和玻璃在镀膜室的运行速度, 使成品与标准样之间的色差 $\Delta E \leq 2CIE L^*a^*b^*$, 这种调整经常会影响生产的正常进行, 导致设备空耗。下面对 Low-E 生产过程中色差控制方法, 进行简单的分析。

2 磁控溅射镀膜的工艺原理

在充入少量工艺气体的真空室内, 当极间电压很小时, 只有少量离子和电子存在, 电流密度在 $10^{-15}A/cm^2$ 数量级, 当真空室内阴极(靶材)和阳极间电压增加时, 带电粒子在电场的作用下加速运动, 能量增加, 与电极或中性气体原子相碰撞, 产生更多的带电粒子, 直至电流达到 $10^{-6}A/cm^2$ 数量级, 当电压再增加时, 则会产生负阻效应, 即“雪崩”现象。此时离子轰击阴极, 击出阴极原子和二次电子, 二次电子与中性原子碰撞, 产生更多离子, 此离子再轰击阴极, 又产生二次电子, 如此反复。当电流密度达到 $10^{-2}A/cm^2$ 数量级时, 电流将随电压的增加而增加, 形成高密度等离子体的异常辉光放电, 高能离子轰击阴极(靶材)产生溅射现象。溅射出来的高能靶材粒子沉积到阳极(玻璃毛坯)上, 从而达到镀膜的目的。

3 镀膜玻璃改变颜色的原理

物体的颜色取决于物体对各种波长光线的吸收、反射和透视能力。物体分消色物体和有色物体。

3.1 消色物体的颜色

消色物体指黑、白、灰色物体, 它对照明光线具有非选择性吸收的特性, 即光线照射到消色物体上时, 被吸收的入射光中, 各种波长的色光是等量的; 被反射或透射的光线, 其光谱成分也与入射光的光谱成分相同。当白光照射到消色物体上时, 反光率在75%以上, 即呈白色; 反光率在10%以下, 即呈黑色; 反光率介于两者之间, 就呈深浅不同的灰色。

3.2 有色物体的颜色

有色物体对照明光线具有选择性吸收的特性, 即光线照射到有色物体上时, 入射光中被吸收的各种波长的色光是不等量的, 有的波长被吸收得多, 有的波长被吸收得少。白光照射到有色物体上, 其反射或透射的光线与入射光线相比, 不仅亮度有所减弱, 光谱成分也改变了, 因而呈现出各种不同的颜色。对可见光选择吸收是物体呈现颜色的主要原因。

4 控制色差的方法

Low-E 玻璃生产线一般均配有真空室内可见光透过率仪，安装在镀膜室最后一个靶位之后，检测成品的可见光透过率和透过色。在真空室外还安装一台在线移动扫描式检测仪，可以测量玻璃的可见光透过率、透过色、玻璃面反射色和膜面反射色。大多数企业配有便携式分光光度计测色仪，很多有实力的企业还配有实验室级的台式分光光度计，测量玻璃的颜色值和可见光、近红外线、远红外线透过率。一片玻璃用不同的仪器测量，其颜色值都不相同，特别是在线检测仪，与其它仪器的测量结果差别就较大。

4.1 使用在线检测设备控制产品色差

我们在生产某个品种的 Low-E 玻璃时，为了保证现在生产的产品与以前生产的同样品种的产品颜色一样，可以在第一次生产时，将当时生产的玻璃颜色值记录下来，第二次生产时与其对比，差值符合要求就可以生产了。那么该如何保留某个品种第一次生产时的颜色值呢？某个厂家采用保存在线检测仪的颜色值，作为生产过程中色差控制基准。其理由很简单，一是不用采购新仪器，二是在线检测仪是自动工作，即感应开关检测到有玻璃过来，就自动扫描检测一次，不用人管，省时省力，非常方便，三是该仪器是世界知名企业产品，可靠性有保证。这一方法得到了生产人员的赞许，并开始采用。开始生产任务少，只有白天生产，因此使用效果很好。后来生产任务多了起来，开始两班生产，发现生产同样品种的 Low-E 玻璃，同样的参数，白班生产正常，二班生产过程中玻璃颜色值偏差就越来越大，以至停产，第二天白天复检昨天晚上的玻璃，发现颜色值与基准值偏差很小，这种现象持续了几天后，通过分析发现原来是白天没开厂房照明灯，晚上开了照明灯，引起测量偏差。厂房照明引起的测量偏差问题还没有解决，生产班又反应，连续几天下午两点多钟生产调试时，昨天刚用过的参数，不能用了，修改参数调了一个多小时，都调不好，二班接班后发现昨天用过的参数又能用了，后来通过观察发现原来是太阳惹的祸，太阳恰好在下午两点多种透过一扇玻璃窗，照到地面一个固定的位置，反光又正好落在检测仪镜头初始位置，造成仪器基准偏差，测量值也跟着偏差了。后来安装了一个遮光罩，解决了以上两个问题，但不久又出现了更严重的问题，移动式检测仪安装在现场，工作环境不好，生产一组玻璃就移动测量一次，每天要移动上百个来回，新的仪器工作还正常，用几个月后就开始频繁出现故障，结果造成生产无法正常进行，后来被迫改用便携式测色仪，彻底解决了这一难题。

同一片镀膜玻璃用不同厂家、不同型号的测色仪测量，其 L^* 、 a^* 、 b^* 值都不完全一样，有时差距很大，在仪器的更换使用过程中，在原始颜色标准值转换过程中，不可避免地会出现偏差，特别是仪器多次更换后，累积偏差就会非常大。因此这种保留镀膜玻璃标准值的方法，从理论上分析不够科学，短期使用效果很好，但长期使用不可靠。

移动式在线测色仪，控制生产过程中的产品色差非常方便，而且可以快速测量玻璃横向20多个点的颜色值，对监控镀膜玻璃横向均匀性，是非常有用的工具。

4.2 使用中空玻璃标准样控制产品色差

在热反射镀膜玻璃生产过程中，控制批次与批次之间的色差，一般采用保留标准样的方法，即第一次生产某个品种的镀膜玻璃时，切割一片100X100mm或300X300mm的玻璃保存起来，作为标准样，以后每次生产该品种的镀膜玻璃时，先生产一片调试片，将其可见光透过率、颜色值与标准样相对比，若差值小于国标或企标要求时，才开始生产，若差值超过标准，则要调整工艺参数再生产一片，至到差值符合要求。这样就能保证不管生产时间间隔多长，生产出的产品一模一样。Low-E 玻璃不能长时间单片存放，因为膜层中的银膜会被氧化，若要保存标准样，就只能保存中空玻璃。可是中空玻璃测出的颜色值与单片玻璃的颜色值一样么，如果不一样，那么他们之间的差值有什么关系呢？我们选用一种由七层膜组成的 Low-E 玻璃产品，模拟生产前的调试过程，将标准样玻璃颜色数值和调试片进行对比，同时对比由它们组成的中空玻璃之间的颜色值，见表1。

为了方便描述玻璃的不同表面，我们用图1进行表示。

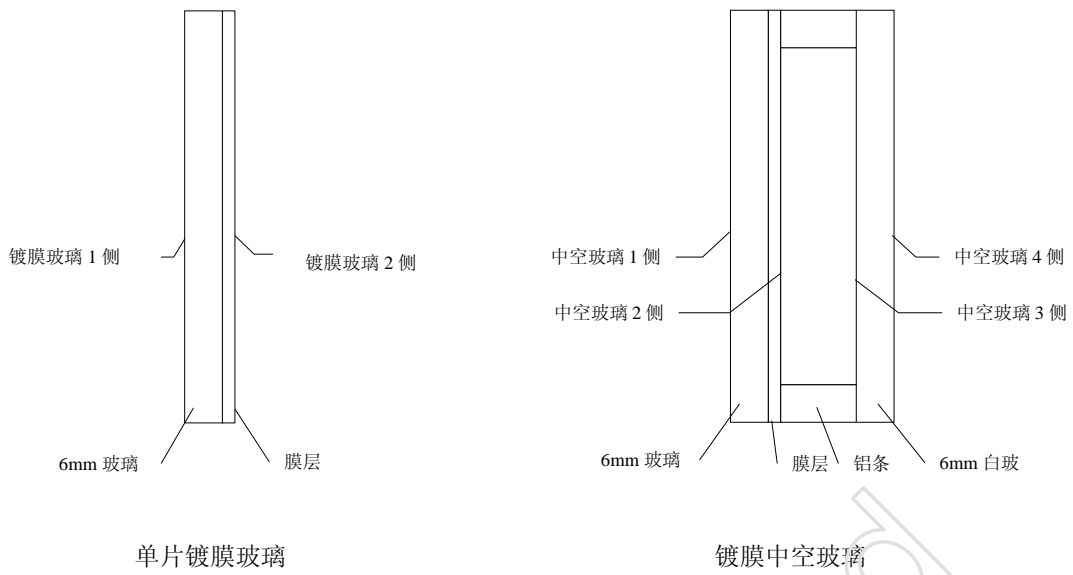


图1 单片镀膜玻璃和镀膜中空玻璃示意图

表1 标准样玻璃颜色数值和调试片对比表

	1侧颜色值			单片2侧或 中空4侧颜色值			可见光透 过率%
	L	a	b	L	a	b	
标准样6mm 单片	46.10	-1.88	-6.42	24.32	18.17	0.57	52.43
标准样6/6/6中空	48.37	-2.61	-6.69	39.34	6.70	0.20	46.14
标准样6/9/6中空	48.57	-2.55	-6.51	39.82	6.32	0.09	46.06
标准样6/12/6中空	48.35	-2.57	-6.65	39.47	5.70	-0.53	45.79
试样1 6mm 单片	43.39	1.70	-4.69	32.93	18.03	16.41	52.37
试样与标样差值	-2.71	3.58	1.73	8.61	-0.14	15.84	-0.06
色差值	$\Delta E=4.81$			$\Delta E=18.03$			
试样1 6/6/6中空	46.53	0.37	-4.89	43.34	8.19	7.28	46.16
试样1 6/6/6中空与标样差值	-1.84	2.98	1.8	4	1.49	7.08	0.02
色差值	$\Delta E=3.94$			$\Delta E=8.27$			
试样1 6/9/6中空	46.83	0.24	-4.17	43.88	7.93	7.22	46.25
试样1 6/6/6中空与标样差值	-1.74	2.79	2.34	4.06	1.61	7.13	0.19
色差值	$\Delta E=4.04$			$\Delta E=8.36$			
试样1 6/12/6中空	45.72	0.91	-5.22	43.09	7.42	6.55	46.06
试样1 6/6/6中空与标样差值	-2.63	3.48	1.43	3.62	1.72	7.08	0.27
色差值	$\Delta E=4.59$			$\Delta E=8.14$			

续前表

试样2 6mm 单片	44.42	1.18	-3.84	33.50	17.53	18.36	50.19
试样与标样差值	-1.68	3.06	2.58	9.18	-0.64	17.79	-2.24
色差值	$\Delta E=4.34$			$\Delta E=20.03$			
试样2 6/6/6中空	46.84	0.11	-4.46	43.84	7.99	7.77	44.07
试样2 6/6/6中空与标样差值	-1.53	2.72	2.23	4.5	1.29	7.57	-2.07
色差值	$\Delta E=3.84$			$\Delta E=8.90$			
试样2 6/9/6中空	46.75	0.11	-4.56	44.05	7.90	7.44	44.55
试样2 6/9/6中空与标样差值	-1.82	2.66	1.95	4.23	1.58	7.35	-1.51
色差值	$\Delta E=3.77$			$\Delta E=8.63$			
试样2 6/12/6中空	46.63	0.16	-4.45	43.96	6.42	7.05	44.45
试样2 6/12/6中空与标样差值	-1.72	2.73	2.20	4.49	0.72	7.58	-1.34
色差值	$\Delta E=3.91$			$\Delta E=8.84$			
试样3 6mm 单片	44.76	-2.20	-6.72	22.03	18.14	3.36	52.81
试样与标样差值	-1.34	-0.32	-0.3	-2.29	-0.03	3.09	0.38
色差值	$\Delta E=1.41$			$\Delta E=3.85$			
试样3 6/6/6中空	47.65	-3.20	-6.60	38.90	5.78	0.90	46.38
试样3 6/6/6中空与标样差值	-0.72	-0.59	0.03	-0.44	-0.92	0.70	0.24
色差值	$\Delta E=0.94$			$\Delta E=1.24$			
试样3 6/9/6中空	47.67	-2.99	-6.62	39.35	5.67	0.92	46.49
试样3 6/9/6中空与标样差值	-0.9	-0.44	-0.11	-0.47	-0.65	0.83	0.43
色差值	$\Delta E=1.01$			$\Delta E=1.15$			
试样3 6/12/6中空	47.50	-2.98	-6.61	38.78	5.34	0.53	46.39
试样3 6/12/6中空与标样差值	-0.85	-0.41	0.04	-0.69	-0.36	1.06	0.6
色差值	$\Delta E=0.94$			$\Delta E=1.32$			

表1中记录了单片标准样的玻璃面1侧和膜层面2侧的颜色值，及其组成各种厚度的中空玻璃后，测量出的玻璃面1侧和白玻侧（膜面）4侧颜色值，同时记录了3片调试样的单片玻璃和中空玻璃颜色值，并计算出调试样与同厚度标准样相减得出的差值，即调试样单片颜色值与标准样单片颜色值相比较，调试样组成不同厚度中空玻璃颜色值与标准样同厚度玻璃颜色值相比较。

通过表1，我们可以看出单片玻璃颜色值与其不同厚度的中空玻璃颜色值不一样，不同厚度的中空玻璃之间的颜色值也不一样。比较镀膜玻璃1侧颜色值，我们发现不同厚度的中空玻璃，其1侧亮度值、透过率基本上一样，都比单片的亮度值高2.5 CIEL*ab 左右。其1侧红、绿值 a*都比单片的 a*小1 CIEL*ab 左右，其4侧黄、蓝值 b*都比单片的2侧 b*差 0.5 CIEL*ab 左右。因此我们可以在要求不高的情况下，通过测量镀膜玻璃1侧颜色值，估算出单片镀膜玻璃1侧颜色值，观察其它膜系和品种的 Low-E 玻璃，结论与此相同。比较镀膜玻璃2侧颜色值和其不同厚度的中空玻璃4侧颜色值，我们发现中空玻璃亮度值约是单片玻璃的1.5倍；红、绿值 a*和黄、蓝值 b*约是单片玻璃的2.5分之一。观察其它膜系和品种的 Low-E 玻璃，我们发现此倍数有所不同，看来想通过测量中空玻璃4侧颜色值，估算单片镀膜玻璃2侧颜色值是不可能的。

保存的标准样是中空玻璃，而生产调试的是单片玻璃，那么将调试片模拟组合成中空玻璃，与中空标准样相对比，是否可以推断出单片玻璃之间的色差呢？通过表1我们可以看出，由同一片镀膜玻璃组成不同厚度的中空玻璃，他们1侧的色差在0.5 CIEL*ab，差别很小，两个单片镀膜玻璃之间的色差，比其组成同厚度中空玻璃之间的色差大0.5至1.0 CIEL*ab，也就是说，如果我们调试的镀

膜玻璃样片组成的中空玻璃，其1侧与同厚度标准样中空玻璃1侧色差值小于等于1 CIEL*ab，则调试片一侧与标准样片一侧色差值小于等于2 CIEL*ab，符合国标要求，就可以生产了。

4.3 可见光透过率对玻璃色差的影响

在生产实践过程中，我们发现有些膜系的产品，用分光光度计测量两片玻璃之间的色差 ΔE 小于1 CIEL*ab，按理说两片玻璃之间颜色应该非常一致了，可是放到桌子上观看和放到室外观看，发现两片玻璃截然不同，有些公司还因此产生多起客户索赔事件。我们经过认真分析，发现是由于两片玻璃的可见光透过率不同引起的现象，因此在控制镀膜玻璃色差时，也必须控制可见光透过率差值，一般按国标 GB/T18915 -2002中要求的 $\Delta T \leq 2\%$ 即可。

4.4 镀膜玻璃膜面颜色对玻面颜色的影响

虽然国标中对镀膜玻璃透过色和膜面颜色没有要求，但我们在生产实践中发现，两片玻璃面色差很小，可见光透过率差值也很小的玻璃，可安装到建筑物上之后，在某个角度明显能看出色差。经过分析我们发现膜面颜色相差很大，透过色相差较大引起该现象。为什么镀膜玻璃的玻璃面颜色和膜层面颜色会出现不一致的现象呢？只是因为低辐射镀膜玻璃的膜层有很多层，最少的四层，一般六、七层，有些膜系的产品可达到十二层，每一层膜的厚度对成品的玻璃面颜色、膜层面颜色和可见光透过率影响都不一样。因此，如果只控制玻璃面颜色值和可见光透过率，会有很多种不同的膜层厚度组合，其结果是膜层面颜色和透过率相差很大。因此在生产 Low-E 玻璃时，不能只控制产品玻面颜色，而不控制透过色和膜面颜色。

两片镀膜玻璃2侧面颜色相差不大时，对建筑物外观基本没有影响，但在夜晚室内有灯光时，我们就会看到它们的差别，感觉很不舒服，虽然国标对此没有要求，但生产厂家也应适当控制一下，一般中空玻璃4侧面色差在5 CIEL*ab 以内，就不会有太大问题。

有人认为反正 Low-E 玻璃都是要合成中空玻璃使用，那么控制中空玻璃与标准样之间的色差小于2 CIEL*ab，不是也符合国标吗？其实他忽略了国标中色差小于2 CIEL*ab，指的是单片镀膜玻璃，如果客户以此为借口投诉，那就麻烦了。

5 结束语

通过以上描述，我们认为控制 Low-E 玻璃生产过程中色差的最好方案，是采用单片标准样颜色值和中空玻璃标准样实物都保存的方法。单片标准样颜色值最好保存台式色差仪数据，因为这种仪器精度高，稳定性好，再加上使用频率低，不易损坏，因此可靠性最高；其次要保存便携式色差仪数据，在生产过程中主要以此仪器和数据控制生产；最后是保存在线色差仪数据，该仪器的最大优点是省时、省力，缺点是准确度差，同一片玻璃测出的颜色值与国家检测中心仪器测出的颜色值相差很大，再一个缺点是稳定型差，由于使用频繁，工作环境不好，因此故障频出，该仪器的数据只能参考，不能作为控制生产使用。保存中空玻璃标准样的作用，第一是可以与调试样合成的中空玻璃进行颜色对比，控制生产过程，第二是在原有仪器都出故障，可以把中空玻璃拆开，获得新仪器测量的单片镀膜玻璃颜色值。

作者简介

郭明，1968年10月出生，本科，高工，从事玻璃深加工技术、维修、管理工作21年，有多项成果获省市科技进步奖，发表10多篇论文。地址：河南洛阳高新开发区河洛路39号。单位：洛阳新晶润工程玻璃有限公司，邮编：471003。