

涂层近红外反射效果的评价

谢宏伟 廖向阳 蒋磊

(镇江泛华检测科技有限公司 212000)

摘要 涂层近红外反射效果的准确评价是判断涂层近红外反射效果的好坏和近红外反射功能材料近红外反射功能特性的关键。本文引入经计算得出的涂层的近红外反射比 R_c 、近红外透射比 T_c 、近红外吸收比 A_c 及近红外对比率 X 四个参数,通过改变涂层厚度和近红外反射功能材料用量这两个参数来探讨涂层近红外反射效果的评价方法。

关键词

近红外反射 涂层 近红外反射二氧化钛材料

引 言

涂层的近红外反射能力高低是影响涂层反射隔热效果的重要因素。目前现有反射隔热涂料的标准如 GB/T 25261-2010《建筑用反射隔热涂料》、HG/T 4341-2012《金属表面用热反射涂料》、JG/T 235-2014《建筑反射隔热涂料》等均对近红外线的反射功能进行了规定并给出了检测方法,几乎现有的标准对太阳光反射比和近红外反射比的检测均采用将涂料在铝合金板上制成涂层后测定附着在高反射比铝合金板上的涂层的反射比来测定,并未考虑近红外线的透射和吸收情况。因此,尝试将涂层的近红外线透射、吸收与反射结合起来综合考察涂层的近红外反射效果会有重要意义。

实 验 部 分

1、主要试验仪器和试剂

UV-VIS-NIR 分光光度计	Agilent Cary-5000
金属底材测厚仪	Positector 6000 FNSI
砂磨分散搅拌多用机	SFJ-400
自动涂膜机	JFA-II
自制白色基础漆	
自制近红外反射二氧化钛材料 IR-1000 色浆	
氧化铁红色浆	
氧化铁黄色浆	
酞菁蓝色浆	

2、试验过程

1) 试验用涂料的制备

取 500 克自制白色基础漆于搅拌多用机上进行搅拌分散,向白色基础漆中接近红外反射二氧化钛材料 IR-1000 的质量分数为 2%、4%、6%、8%、10%的比例分别添加自制的近红外反射二氧化钛材料 IR-1000 色浆,再分别加入氧化铁红色浆、氧化铁黄色浆、酞菁蓝色浆,调成明度相近的红色、黄色、蓝色等三种颜色的系列待测涂料。

2) 测试样板的制备

测试样板的基材分别为铝板和表面有黑色碳黑涂层的铝板,且基材铝板和表面有黑色碳黑涂层的铝板的近红外反射比已知;按 JG/T 235-2014《建筑反射隔热涂料》要求制备近红

外反射比测试样板, 每种待测涂料在铝板和黑色碳黑涂层表面的铝板上分别制成相同厚度的涂层, 制备的涂层厚度有三种, 分别为 50、100、150 μm 。

3) 近红外反射比的测量

将待测样板按 JG/T 235-2014 《建筑反射隔热涂料》要求用 UV-VIS-NIR 分光光度计 Cary-5000 分别测量近红外反射比。

结果与讨论

一、涂层的近红外反射比计算值 R_c 、近红外透射比计算值 T_c 、近红外吸收比计算值 A_c 及近红外对比率 X 的计算公式如下:

$$T_c = \frac{R_H - R_L}{R_{BH} - R_{BL}} \quad (1)$$

$$R_c = R_H - T_c \times R_{BH} \quad (2)$$

$$A_c = 1 - T_c - R_c \quad (3)$$

$$X = R_L / R_H \quad (4)$$

公式中:

T_c 为涂料涂层的近红外透射比计算值;

R_c 为涂料涂层的近红外反射比计算值;

A_c 为涂料涂层的近红外吸收比计算值;

X 为涂料涂层的近红外对比率;

R_L 为附着在低近红外反射基材 (表面黑色碳黑涂层铝板) 涂层的近红外反射比测量值;

R_H 为附着在高近红外反射基材 (铝板) 涂层的近红外反射比测量值;

R_{BL} 为低反射基材表面有黑色碳黑涂层的铝板的近红外反射比测量值;

R_{BH} 为高反射基材铝板的近红外反射比测量值。

二、相同涂层厚度时近红外反射二氧化钛材料 IR-1000 加量变化对红、黄、蓝三种彩色涂层近红外反射效果的影响评价

(一) 红色涂层

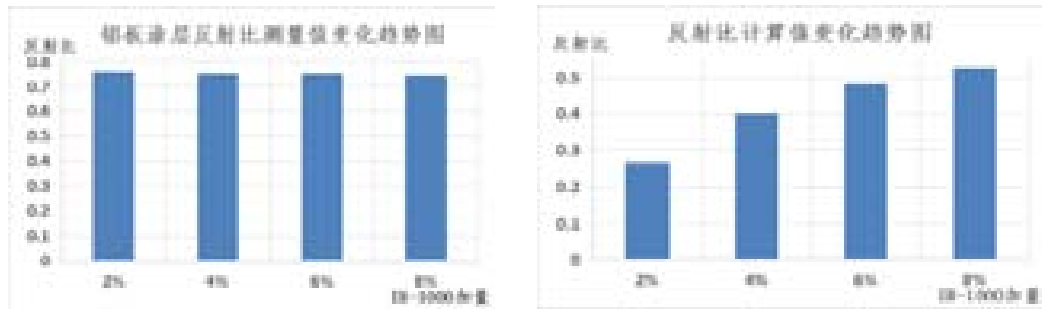
涂层厚度都为 50 μm , 不同 IR-1000 添加量时涂层近红外反射效果的测量及计算结果见表 1:

表 1

名称	IR-1000 加量	涂层 L^*	基材近红外反射比测量值	涂层近红外反射比测量值	计算值 T_c	计算值 R_c	计算值 A_c	涂层 X
铝板	2%	56.73	0.885	0.756	0.555	0.265	0.18	0.406
黑面铝板	2%	54.21	0.076	0.307				
铝板	4%	57.07	0.884	0.750	0.396	0.400	0.204	0.575
黑面铝板	4%	55.56	0.078	0.431				
铝板	6%	58.05	0.885	0.749	0.302	0.482	0.216	0.674
黑面铝板	6%	57.07	0.077	0.505				
铝板	8%	58.15	0.886	0.742	0.244	0.526	0.230	0.733

黑面铝板	8%	57.52	0.076	0.544				
------	----	-------	-------	-------	--	--	--	--

a、涂层近红外反射比变化趋势分析（见下两张变化趋势图）：



由以上两张趋势图可知：

1、随着近红外反射二氧化钛功能材料 IR-1000 的加量变化，附着在铝板上的涂层近红外反射比测量值变化很小，且呈下降趋势，这与 IR-1000 所具备的近红外反射功能特性不相符；该测量值没能准确反映出四个不同涂层的近红外反射效果差异，也没能准确反映出近红外反射二氧化钛功能材料 IR-1000 的加量变化对涂层近红外反射效果的影响；

2、经公式计算出的涂层近红外反射比 R_c 随着近红外反射二氧化钛功能材料 IR-1000 加量的增加出现明显增加的趋势，这与 IR-1000 所具备的近红外反射功能特性是相符的；说明涂层近红外反射比计算值 R_c 能很好地反映出涂层的近红外反射效果差异，涂层的 R_c 越高，涂层反射出去的近红外能量就越多，涂层的近红外反射效果越好；同时也能较好的反映出近红外反射二氧化钛功能材料 IR-1000 对涂层近红外反射比的实际影响，说明近红外反射二氧化钛功能材料 IR-1000 对提高涂层的近红外反射效果确实是有益的。

b、涂层近红外透射比计算值 T_c 与近红外吸收比计算值 A_c 变化趋势分析（见下两张变化趋势图）：

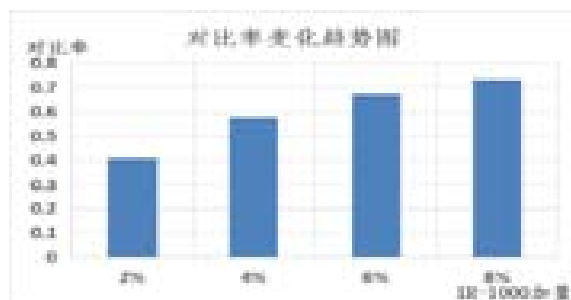


由以上两张趋势图可知：

1、涂层透射比计算值 T_c 随近红外反射二氧化钛功能材料 IR-1000 加量的增加明显下降，说明近红外反射二氧化钛功能材料 IR-1000 具有阻碍近红外线透射出涂层的能力； T_c 越高，透过涂层的近红外线越多，被基材吸收的近红外线就越多，涂层的近红外反射效果就越差；结合反射比计算值变化趋势图可知，涂层要达到较好的近红外反射效果， T_c 需越低越好；

2、涂层吸收比计算值 A_c 随近红外反射二氧化钛功能材料 IR-1000 加量的增加出现小幅上升，说明近红外反射二氧化钛功能材料 IR-1000 增加后，由于配方的变化，涂层的近红外吸收比会出现小幅增加的趋势； A_c 增加，说明涂层吸收的近红外线能量在增加，导致涂层的近红外反射效果在下降；对比反射比计算值变化趋势图及透射比计算值变化趋势图可看出， A_c 随 IR-1000 加量的变化趋势明显缓于 R_c 和 T_c ，IR-1000 用量增加，涂层的近红外反射效果也会随之变好。

c、涂层近红外对比率 X 变化趋势分析（见下图）



由涂层近红外对比率 X 变化趋势图可知：

随近红外反射二氧化钛功能材料 IR-1000 加量的增加，涂层的近红外对比率 X 也明显上升；结合 IR-1000 具备的近红外反射功能特性，可以得出初步判断：涂层的近红外对比率 X 越高，涂层的近红外反射效果越好。

d、在涂层厚度相同，涂层颜色相近的条件下，综合上述 a、b、c 的分析，可得出如下结论：

1、涂层附着在铝板上测量的近红外反射比并不能准确反映涂层的近红外反射效果好坏，也不能准确反映近红外反射功能材料的近红外反射功能好坏；

2、涂层的 R_c 、 T_c 、 A_c 相结合能较准确的评价涂层的近红外反射效果，具备好的近红外反射效果的涂层，必定同时满足三个条件，即高的涂层 R_c ，低的涂层 T_c ，适当的涂层 A_c ；

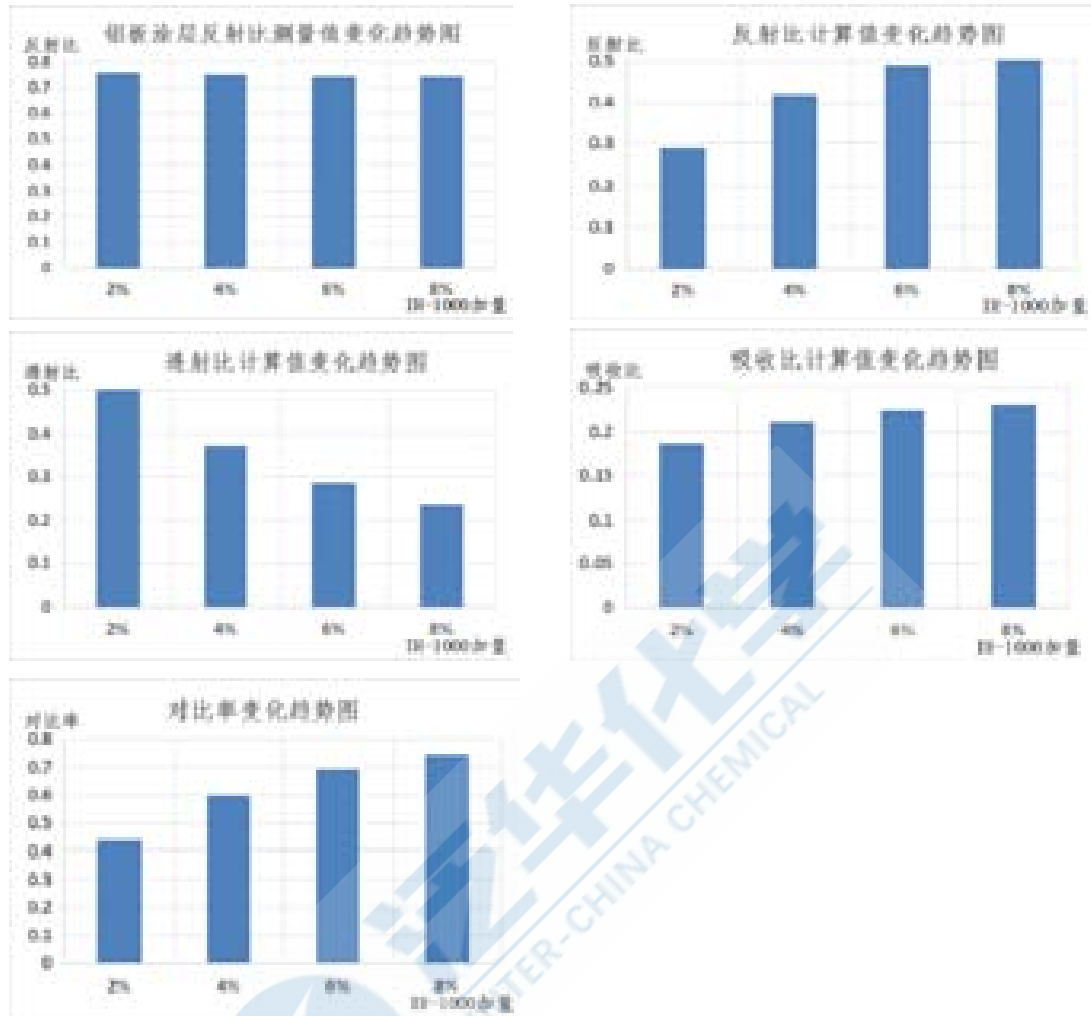
3、涂层的近红外对比率 X 能初步判断涂层的近红外反射效果，涂层的近红外对比率 X 越高，涂层的近红外反射效果越好。

（二）黄色涂层

涂层厚度都为 $50 \mu m$ ，不同 IR-1000 添加量时涂层近红外反射效果的测量及计算结果见表 2：
表 2

名称	IR-1000 加量	涂层 L^*	基材近红外反射比测量值	涂层近红外反射比测量值	计算值 T_c	计算值 R_c	计算值 A_c	涂层 X
铝板	2%	72.2 2	0.885	0.754	0.524	0.290	0.186	0.439
黑面铝板	2%	62.4 7	0.077	0.331				
铝板	4%	71.9 2	0.886	0.747	0.371	0.418	0.211	0.598
黑面铝板	4%	66.9 4	0.078	0.447				
铝板	6%	72.1 1	0.885	0.743	0.285	0.491	0.224	0.690
黑面铝板	6%	69.1 6	0.078	0.513				
铝板	8%	72.1 9	0.884	0.742	0.237	0.532	0.231	0.743
黑面铝板	8%	70.1 9	0.077	0.551				

铝板涂层反射比测量值变化趋势图、反射比计算值变化趋势图、透射比计算值变化趋势图、吸收比计算值变化趋势图、对比率变化趋势图等五张图见下五图：



对五张趋势图进行对比分析，可以发现这五张趋势图所显示出的变化趋势与红色涂层完全一致；在涂层厚度相同，涂层颜色相近的条件下，可得出与上述红色涂层相同的结论，即：

- 1、涂层附着在铝板上测量的近红外反射比并不能准确反映涂层的近红外反射效果好坏，也不能准确反映近红外反射功能材料的近红外反射功能好坏；
- 2、涂层的 R_c 、 T_c 、 A_c 相结合能较准确的评价涂层的近红外反射效果，具备好的近红外反射效果的涂层，必定同时满足三个条件，即高的涂层 R_c ，低的涂层 T_c ，适当的涂层 A_c ；
- 3、涂层的近红外对比率 X 能初步判断涂层的近红外反射效果，涂层的近红外对比率 X 越高，涂层的近红外反射效果越好。

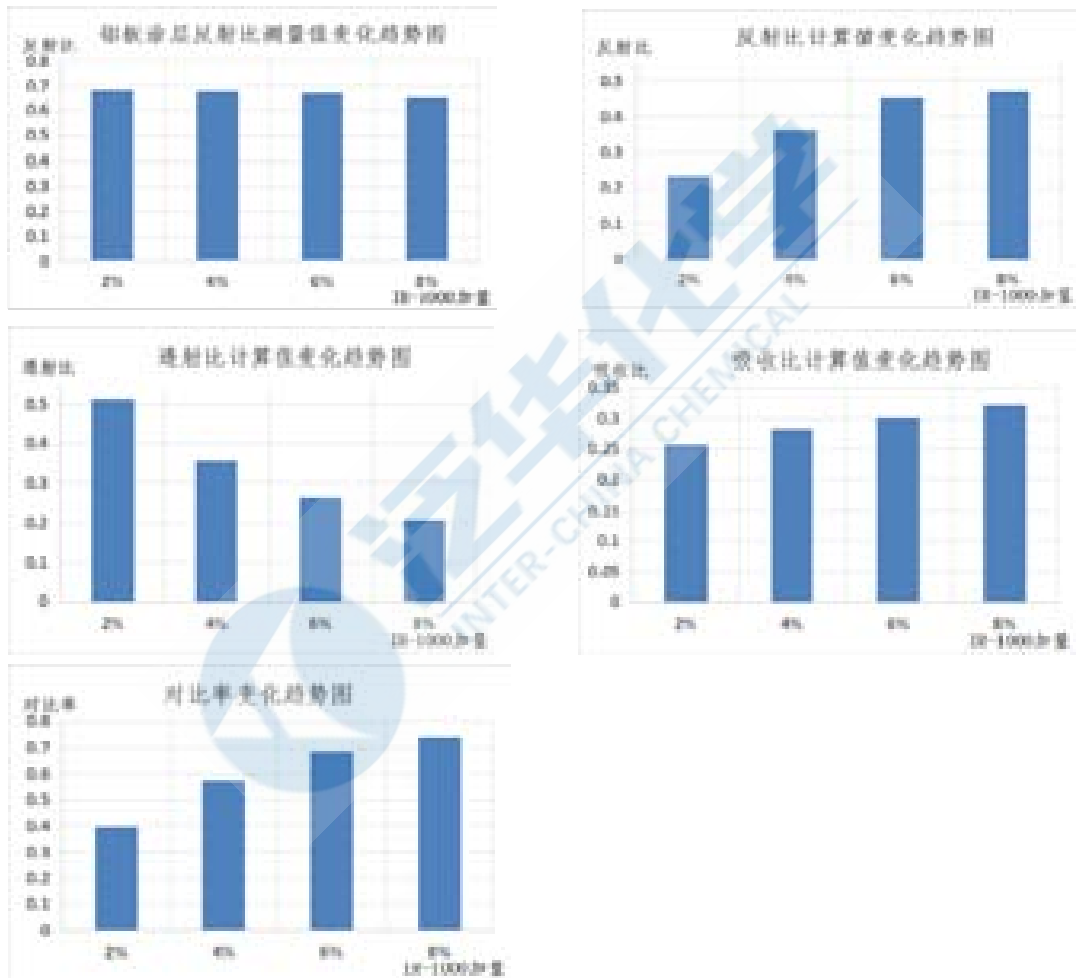
(三) 蓝色涂层

涂层厚度都为 $50 \mu m$ ，不同 IR-1000 添加量时涂层近红外反射效果的测量及计算结果见表 3：
表 3

名称	IR-1000 加量	涂层 L^*	基材近红外反射比测量值	涂层近红外反射比测量值	计算值 T_c	计算值 R_c	计算值 A_c	涂层 X
铝板	2%	39.35	0.884	0.685	0.512	0.232	0.256	0.396
黑面铝板	2%	37.02	0.076	0.271				

铝板	4%	41.00	0.886	0.677	0.356	0.362	0.282	0.575
黑面铝板	4%	40.46	0.077	0.389				
铝板	6%	41.27	0.885	0.669	0.264	0.435	0.301	0.682
黑面铝板	6%	41.13	0.077	0.456				
铝板	8%	40.42	0.884	0.654	0.209	0.469	0.322	0.742
黑面铝板	8%	40.39	0.076	0.485				

铝板涂层反射比测量值变化趋势图、反射比计算值变化趋势图、透射比计算值变化趋势图、吸收比计算值变化趋势图、对比率变化趋势图等五张图见下五图：



对五张趋势图进行对比分析，可以发现这五张趋势图所显示出的变化趋势与红色及黄色涂层完全一致；在涂层厚度相同，涂层颜色相近的条件下，同样得出与上述红色、黄色涂层相同的结论，即：

- 1、涂层附着在铝板上测量的近红外反射比并不能准确反映涂层的近红外反射效果好坏，也不能准确反映近红外反射功能材料的近红外反射功能好坏；
- 2、涂层的 R_c 、 T_c 、 A_c 相结合能较准确的评价涂层的近红外反射效果，具备好的近红外反射效果的涂层，必定同时满足三个条件，即高的涂层 R_c ，低的涂层 T_c ，适当的涂层 A_c ；
- 3、涂层的近红外对比率 X 能初步判断涂层的近红外反射效果，涂层的近红外对比率 X 越高，涂层的近红外反射效果越好。

(四) 小结

综合上述红、黄、蓝三种涂层在涂层厚度相同，涂层颜色相近的条件下进行的涂层近红外反射效果的评价，可得出如下结论：

- 1、涂层附着在铝板上测量的近红外反射比并不能准确反映涂层的近红外反射效果好坏，也不能准确反映近红外反射功能材料的近红外反射功能好坏；
- 2、涂层的 R_c 、 T_c 、 A_c 相结合能较准确的评价涂层的近红外反射效果，具备好的近红外反射效果的涂层，必定同时满足三个条件，即高的涂层 R_c ，低的涂层 T_c ，适当的涂层 A_c ；
- 3、涂层的近红外对比率 X 能初步判断涂层的近红外反射效果，涂层的近红外对比率 X 越高，涂层的近红外反射效果越好。

三、相同近红外反射二氧化钛材料 IR-1000 加量、不同涂层厚度对红、黄、蓝三种彩色涂层近红外反射效果的影响评价

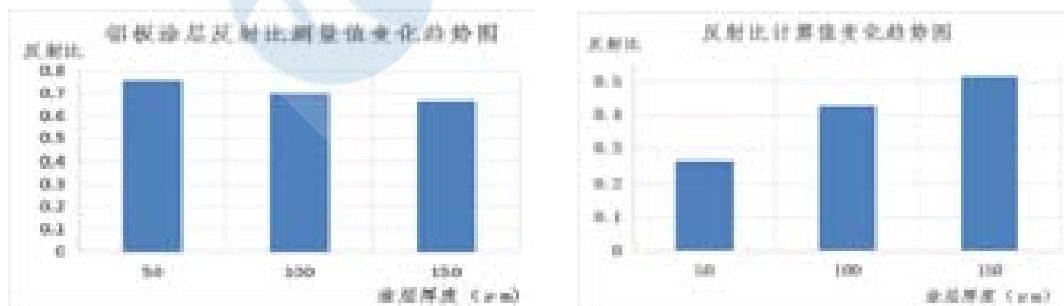
(一) 红色涂层

近红外反射二氧化钛材料 IR-1000 加量为 2% 时，不同厚度涂层近红外反射效果的测量及计算结果见表 4：

表 4

名称	涂层厚度, μm	涂层 L^*	基材近红外反射比测量值	涂层近红外反射比测量值	计算值 T_c	计算值 R_c	计算值 A_c	涂层 X
铝板	50	56.73	0.885	0.756	0.555	0.265	0.18	0.406
黑面铝板	50	54.21	0.076	0.307				
铝板	100	56.57	0.884	0.702	0.311	0.427	0.262	0.642
黑面铝板	100	55.56	0.078	0.451				
铝板	150	56.45	0.885	0.670	0.175	0.515	0.31	0.790
黑面铝板	150	56.07	0.077	0.529				

a、涂层近红外反射比变化趋势分析（见下两张变化趋势图）：

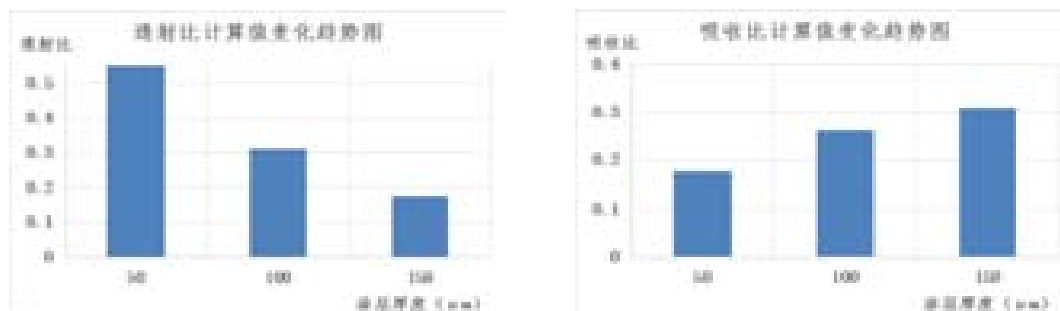


由以上两张趋势图可知：

1、随着涂层厚度的增加，附着在铝板上的涂层近红外反射比测量值呈下降趋势，这与 IR-1000 所具备的近红外反射功能特性不相符；该测量值没能准确反映出三个不同涂层的近红外反射效果差异，其变化趋势与实际效果刚好相反；

2、经公式计算出的涂层近红外反射比 R_c 随着涂层厚度的增加出现明显增加的趋势，这与 IR-1000 所具备的近红外反射功能特性是相符的；说明涂层近红外反射比计算值 R_c 能很好地反映出涂层的近红外反射效果差异，涂层的 R_c 越高，涂层反射出去的近红外能量就越多，涂层的近红外反射效果越好；

b、涂层近红外透射比计算值 T_c 与近红外吸收比计算值 A_c 变化趋势分析（见下两张变化趋势图）：

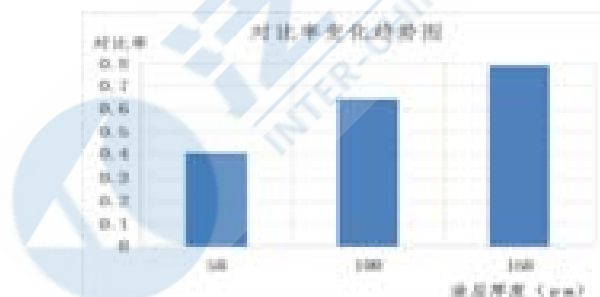


由以上两张趋势图可知：

1、涂层透射比计算值 T_c 随涂层厚度的增加明显下降，说明增加涂层厚度能阻碍近红外线透射出涂层； T_c 越高，透过涂层的近红外线越多，被基材吸收的近红外线就越多，涂层的近红外反射效果就越差；结合反射比计算值变化趋势图可知，涂层要达到较好的近红外反射效果， T_c 需越低越好；

2、涂层吸收比计算值 A_c 随涂层厚度的增加出现小幅上升，说明涂层厚度增加后，涂层的近红外吸收比会出现小幅增加的趋势； A_c 增加，说明涂层吸收的近红外线能量在增加，导致涂层的近红外反射效果在下降；对比反射比计算值变化趋势图及透射比计算值变化趋势图可看出， A_c 随 IR-1000 加量的变化趋势明显缓于 R_c 和 T_c ，涂层厚度增加，涂层的近红外反射效果也会随之变好。

c、涂层近红外对比率 X 变化趋势分析（见下图）



由涂层近红外对比率 X 变化趋势图可知：

随涂层厚度的增加，涂层的近红外对比率 X 也明显上升；可以得出初步判断：涂层的近红外对比率 X 越高，涂层的近红外反射效果越好。

d、相同近红外反射二氧化钛材料 IR-1000 加量、不同涂层厚度，涂层颜色相近的条件下，综合上述 a、b、c 的分析，可得出如下结论：

- 1、涂层附着在铝板上测量的近红外反射比不能准确反映涂层的近红外反射效果好坏；
- 2、涂层的 R_c 、 T_c 、 A_c 相结合能较准确的评价涂层的近红外反射效果，具备好的近红外反射效果的涂层，必定同时满足三个条件，即高的涂层 R_c ，低的涂层 T_c ，适当的涂层 A_c ；
- 3、涂层的近红外对比率 X 能初步判断涂层的近红外反射效果，涂层的近红外对比率 X 越高，涂层的近红外反射效果越好。

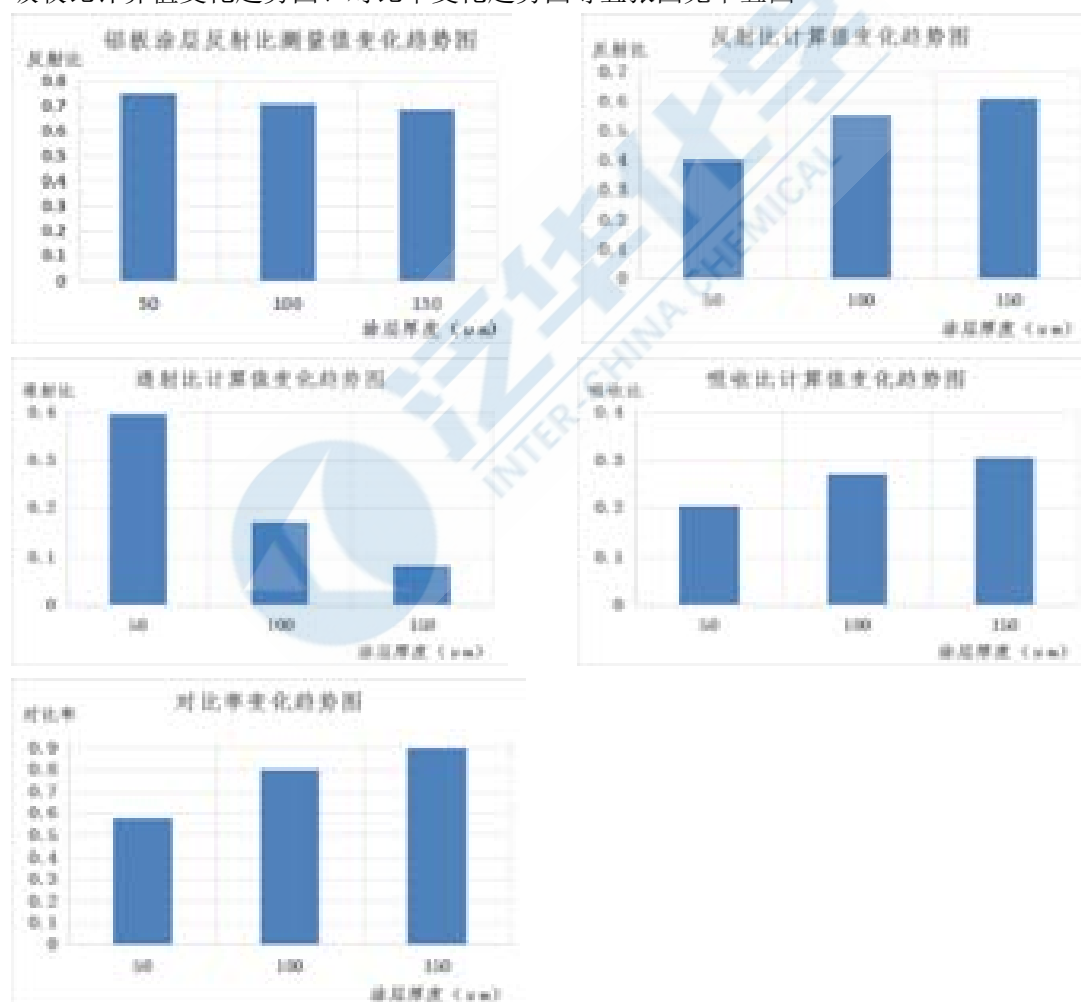
近红外反射二氧化钛材料 IR-1000 加量为 4% 时，不同厚度涂层近红外反射效果的测量及计

算结果见表 5:

表 5

名称	涂层厚度, μm	涂层 L^*	基材近红外反射比测量值	涂层近红外反射比测量值	计算值 T_c	计算值 R_c	计算值 A_c	涂层 X
铝板	50	57.07	0.884	0.750	0.396	0.400	0.204	0.575
黑面铝板	50	55.56	0.078	0.431				
铝板	100	55.91	0.886	0.708	0.174	0.554	0.272	0.801
黑面铝板	100	55.67	0.077	0.567				
铝板	150	56.65	0.885	0.684	0.083	0.611	0.306	0.902
黑面铝板	150	56.07	0.077	0.617				

铝板涂层反射比测量值变化趋势图、反射比计算值变化趋势图、透射比计算值变化趋势图、吸收比计算值变化趋势图、对比率变化趋势图等五张图见下五图



对五张趋势图进行对比分析, 可以发现这五张趋势图所显示出的变化趋势与 IR-1000 加量为 2% 时完全一致; 在 IR-1000 加量相同, 不同涂层厚度, 涂层颜色相近的条件下, 可得出与 IR-1000 加量为 2% 时相同的结论, 即:

- 1、涂层附着在铝板上测量的近红外反射比不能准确反映涂层的近红外反射效果好坏;
- 2、涂层的 R_c 、 T_c 、 A_c 相结合能较准确的评价涂层的近红外反射效果, 具备好的近红外

反射效果的涂层，必定同时满足三个条件，即高的涂层 R_c ，低的涂层 T_c ，适当的涂层 A_c ；

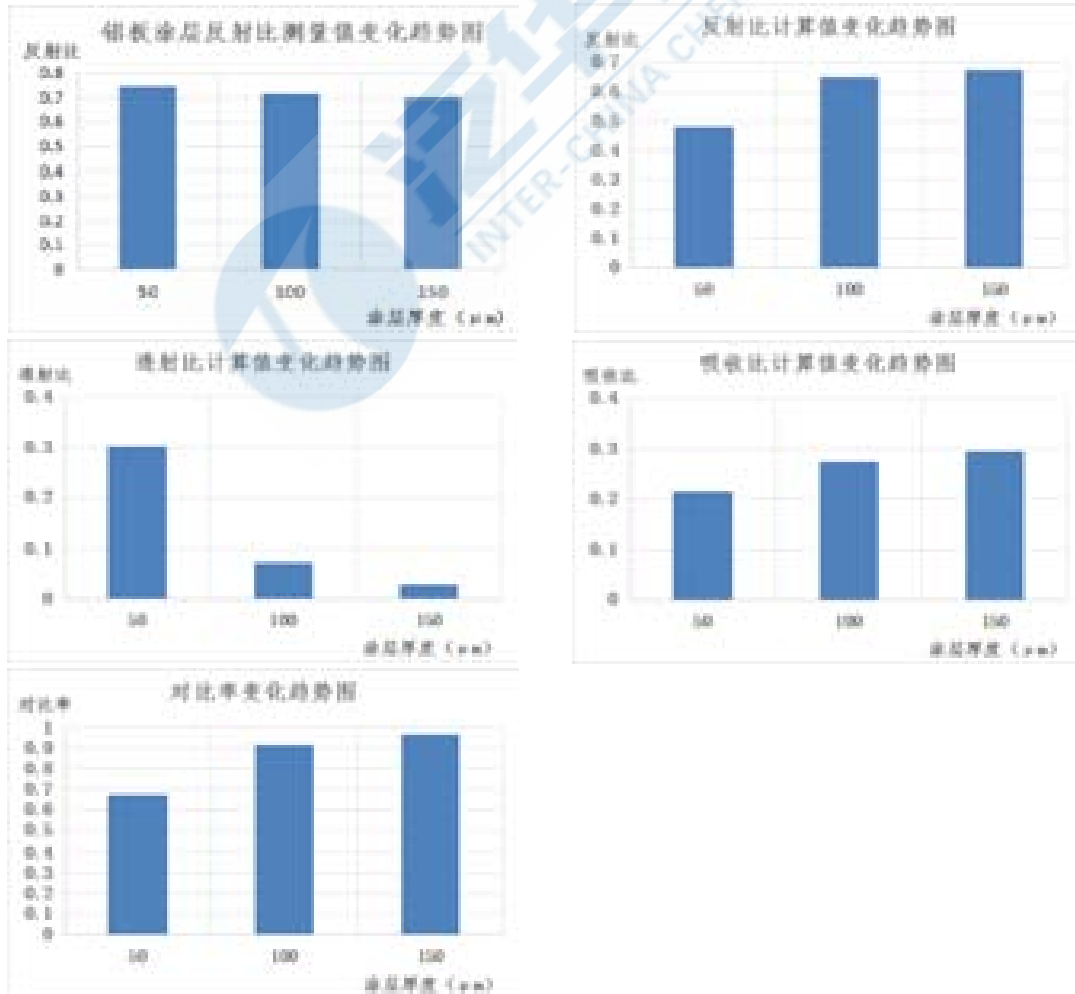
3、涂层的近红外对比率 X 能初步判断涂层的近红外反射效果，涂层的近红外对比率 X 越高，涂层的近红外反射效果越好。

近红外反射二氧化钛材料 IR-1000 加量为 6% 时，不同厚度涂层近红外反射效果的测量及计算结果见表 6：

表 6

名称	涂层厚度, μm	涂层 L^*	基材近红外反射比测量值	涂层近红外反射比测量值	计算值 T_c	计算值 R_c	计算值 A_c	涂层 X
铝板	50	58.05	0.885	0.749	0.302	0.482	0.216	0.674
黑面铝板	50	57.07	0.077	0.505				
铝板	100	57.86	0.884	0.716	0.074	0.651	0.275	0.916
黑面铝板	100	57.86	0.078	0.656				
铝板	150	57.74	0.885	0.702	0.030	0.675	0.295	0.966
黑面铝板	150	57.79	0.077	0.678				

铝板涂层反射比测量值变化趋势图、反射比计算值变化趋势图、透射比计算值变化趋势图、吸收比计算值变化趋势图、对比率变化趋势图等五张图见下五图：

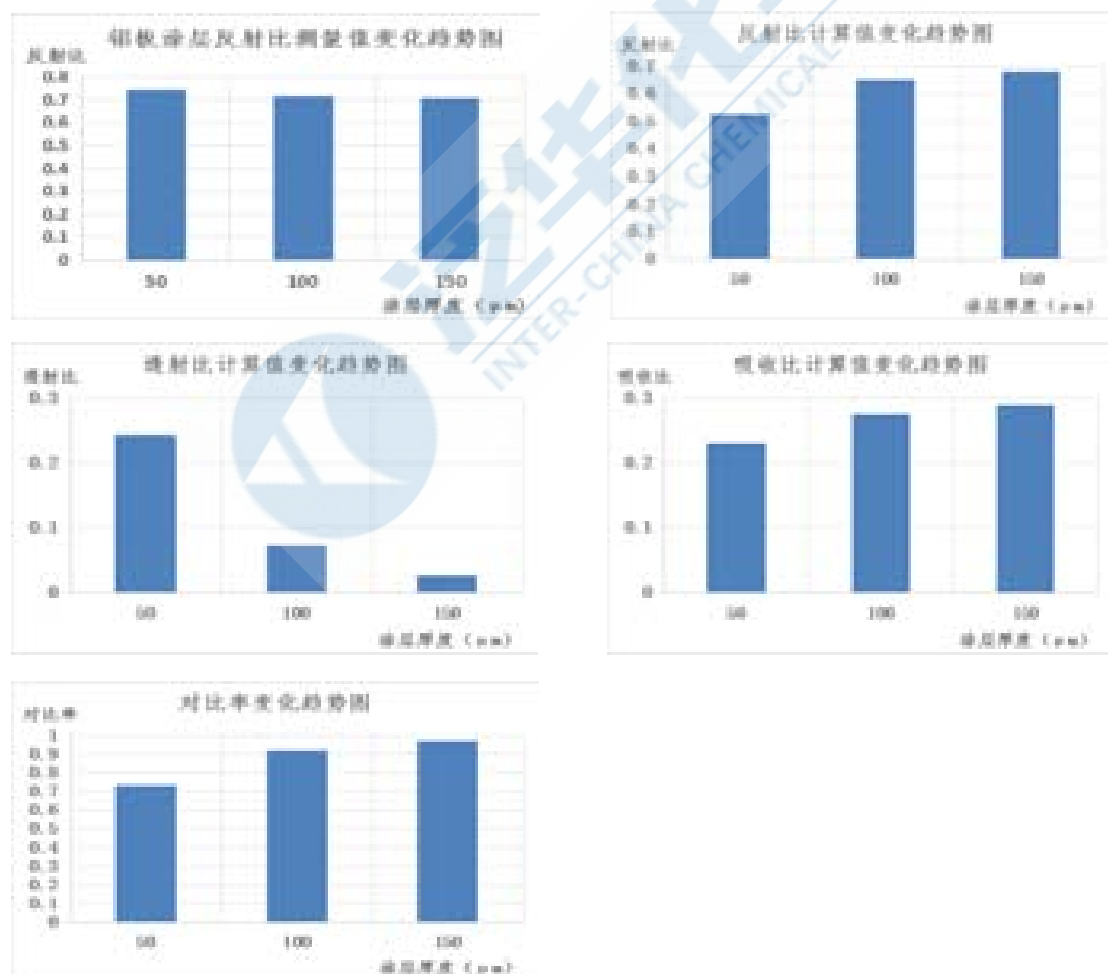


近红外反射二氧化钛材料 IR-1000 加量为 8%时，不同厚度涂层近红外反射效果的测量及计算结果见表 7：

表 7

名称	涂层厚度, μm	涂层 L*	基材近红外反射比测量值	涂层近红外反射比测量值	计算值 T_c	计算值 R_c	计算值 A_c	涂层 X
铝板	50	58.15	0.886	0.742	0.244	0.526	0.230	0.733
黑面铝板	50	57.52	0.076	0.544				
铝板	100	58.38	0.884	0.717	0.072	0.653	0.275	0.919
黑面铝板	100	58.38	0.078	0.659				
铝板	150	58.22	0.885	0.707	0.027	0.683	0.29	0.969
黑面铝板	150	58.26	0.077	0.685				

铝板涂层反射比测量值变化趋势图、反射比计算值变化趋势图、透射比计算值变化趋势图、吸收比计算值变化趋势图、对比率变化趋势图等五张图见下五图：



对 IR-1000 加量为 6%、8%时的五张趋势图分别进行对比分析，可以发现这十张趋势图所显示出的变化趋势与 IR-1000 加量为 2%、4%时完全一致；在 IR-1000 加量相同，不同涂层厚度，涂层颜色相近的条件下，可得出与 IR-1000 加量为 2%时相同的结论，即：

- 1、涂层附着在铝板上测量的近红外反射比不能准确反映涂层的近红外反射效果好坏；
- 2、涂层的 R_c 、 T_c 、 A_c 相结合能较准确的评价涂层的近红外反射效果，具备好的近红外反射效果的涂层，必定同时满足三个条件，即高的涂层 R_c ，低的涂层 T_c ，适当的涂层 A_c ；
- 3、涂层的近红外对比率 X 能初步判断涂层的近红外反射效果，涂层的近红外对比率 X 越高，涂层的近红外反射效果越好。

（二）黄色涂层

近红外反射二氧化钛材料 IR-1000 加量为 2%时，不同厚度涂层近红外反射效果的测量及计算结果见表 8：

表 8

名称	涂层厚度, μm	涂层 L^*	基材近红外反射比测量值	涂层近红外反射比测量值	计算值 T_c	计算值 R_c	计算值 A_c	涂层 X
铝板	50	72.22	0.885	0.754	0.524	0.290	0.186	0.439
黑面铝板	50	62.47	0.077	0.331				
铝板	100	69.65	0.886	0.701	0.281	0.452	0.267	0.676
黑面铝板	100	67.14	0.078	0.474				
铝板	150	69.08	0.884	0.674	0.167	0.526	0.307	0.800
黑面铝板	150	68.27	0.077	0.539				

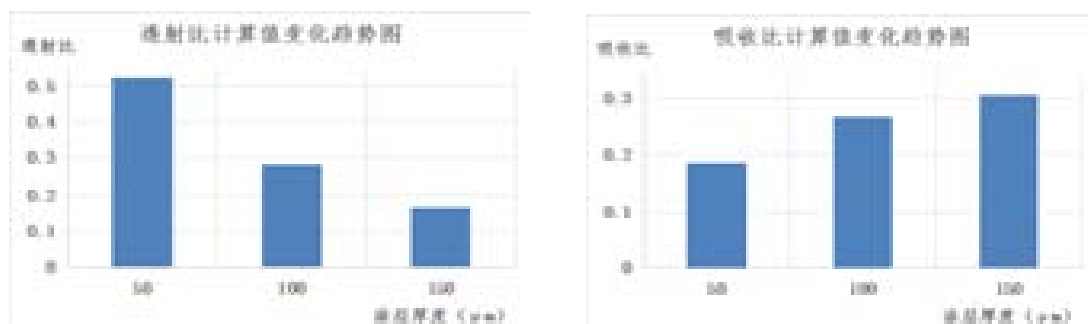
a、涂层近红外反射比变化趋势分析（见下两张变化趋势图）：



由以上两张趋势图可知：

- 1、随着涂层厚度的增加，附着在铝板上涂层近红外反射比测量值呈下降趋势，这与 IR-1000 所具备的近红外反射功能特性不相符；该测量值没能准确反映出三个不同涂层的近红外反射效果差异，其变化趋势与实际效果刚好相反；
- 2、经公式计算出的涂层近红外反射比 R_c 随着涂层厚度的增加出现明显增加的趋势，这与 IR-1000 所具备的近红外反射功能特性是相符的；说明涂层近红外反射比计算值 R_c 能很好地反映出涂层的近红外反射效果差异，涂层的 R_c 越高，涂层反射出去的近红外能量就越多，涂层的近红外反射效果越好；

b、涂层近红外透射比计算值 T_c 与近红外吸收比计算值 A_c 变化趋势分析（见下两张变化趋势图）：

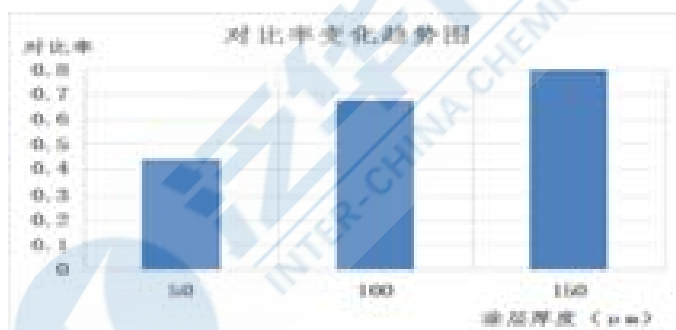


由以上两张趋势图可知：

1、涂层透射比计算值 T_c 随涂层厚度的增加明显下降，说明增加涂层厚度能阻碍近红外线透射出涂层； T_c 越高，透过涂层的近红外线越多，被基材吸收的近红外线就越多，涂层的近红外反射效果就越差；结合反射比计算值变化趋势图可知，涂层要达到较好的近红外反射效果， T_c 需越低越好；

2、涂层吸收比计算值 A_c 随涂层厚度的增加出现小幅上升，说明涂层厚度增加后，涂层的近红外吸收比会出现小幅增加的趋势； A_c 增加，说明涂层吸收的近红外线能量在增加，导致涂层的近红外反射效果在下降；对比反射比计算值变化趋势图及透射比计算值变化趋势图可看出， A_c 随 IR-1000 加量的变化趋势明显缓于 R_c 和 T_c ，涂层厚度增加，涂层的近红外反射效果也会随之变好。

c、涂层近红外对比率 X 变化趋势分析（见下图）



由涂层近红外对比率 X 变化趋势图可知：

随涂层厚度的增加，涂层的近红外对比率 X 也明显上升；可以得出初步判断：涂层的近红外对比率 X 越高，涂层的近红外反射效果越好。

d、相同近红外反射二氧化钛材料 IR-1000 加量、不同涂层厚度，涂层颜色相近的条件下，综合上述 a、b、c 的分析，可得出如下结论：

- 1、涂层附着在铝板上测量的近红外反射比不能准确反映涂层的近红外反射效果好坏；
- 2、涂层的 R_c 、 T_c 、 A_c 相结合能较准确的评价涂层的近红外反射效果，具备好的近红外反射效果的涂层，必定同时满足三个条件，即高的涂层 R_c ，低的涂层 T_c ，适当的涂层 A_c ；
- 3、涂层的近红外对比率 X 能初步判断涂层的近红外反射效果，涂层的近红外对比率 X 越高，涂层的近红外反射效果越好。

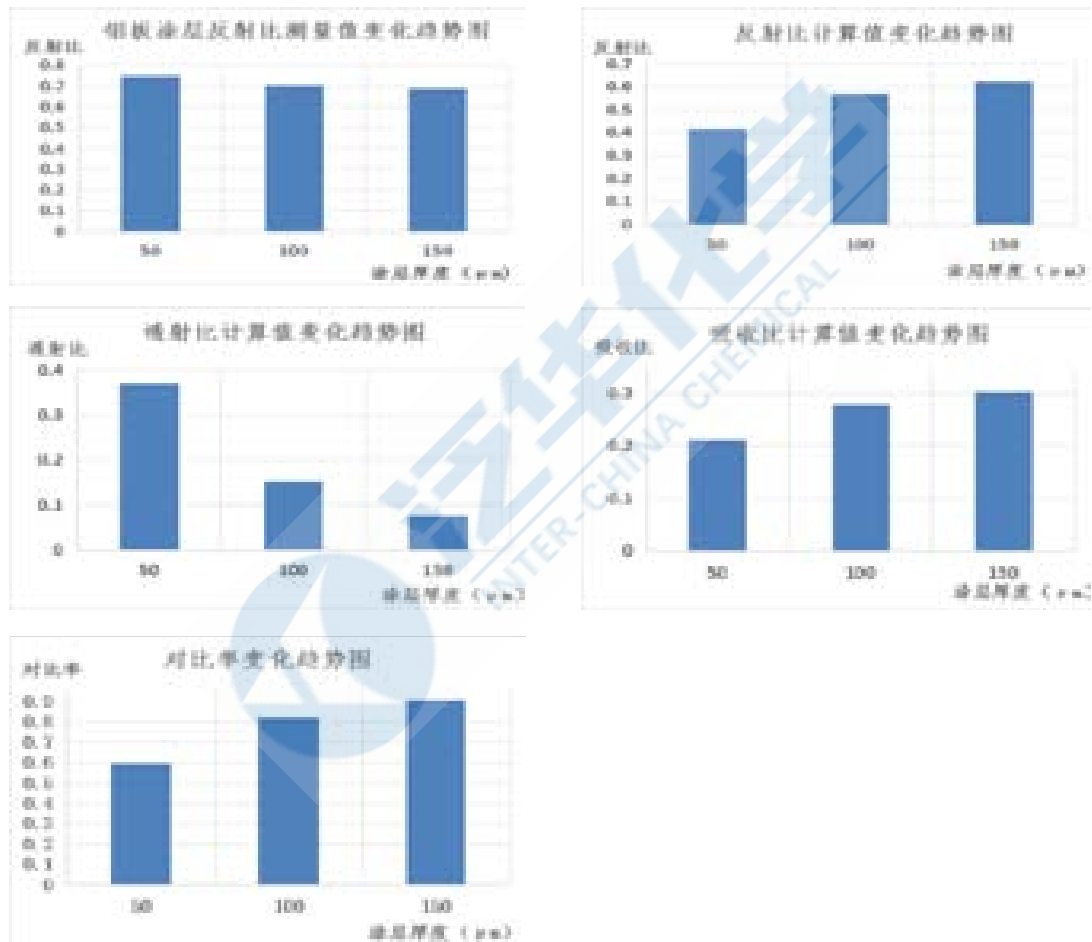
近红外反射二氧化钛材料 IR-1000 加量为 4% 时，不同厚度涂层近红外反射效果的测量及计算结果见表 9：

表 9

名称	涂层厚	涂层	基材近红外反	涂层近红外反	计算	计算	计算	涂层
----	-----	----	--------	--------	----	----	----	----

	度, μm	L*	射比测量值	射比测量值	值 T _C	值 R _C	值 A _C	X
铝板	50	71.92	0.886	0.747	0.371	0.418	0.211	0.598
黑面铝板	50	66.94	0.078	0.447				
铝板	100	70.57	0.885	0.704	0.152	0.569	0.279	0.825
黑面铝板	100	69.84	0.076	0.581				
铝板	150	70.42	0.886	0.688	0.075	0.622	0.303	0.911
黑面铝板	150	70.30	0.077	0.627				

铝板涂层反射比测量值变化趋势图、反射比计算值变化趋势图、透射比计算值变化趋势图、吸收比计算值变化趋势图、对比率变化趋势图等五张图见下五图：



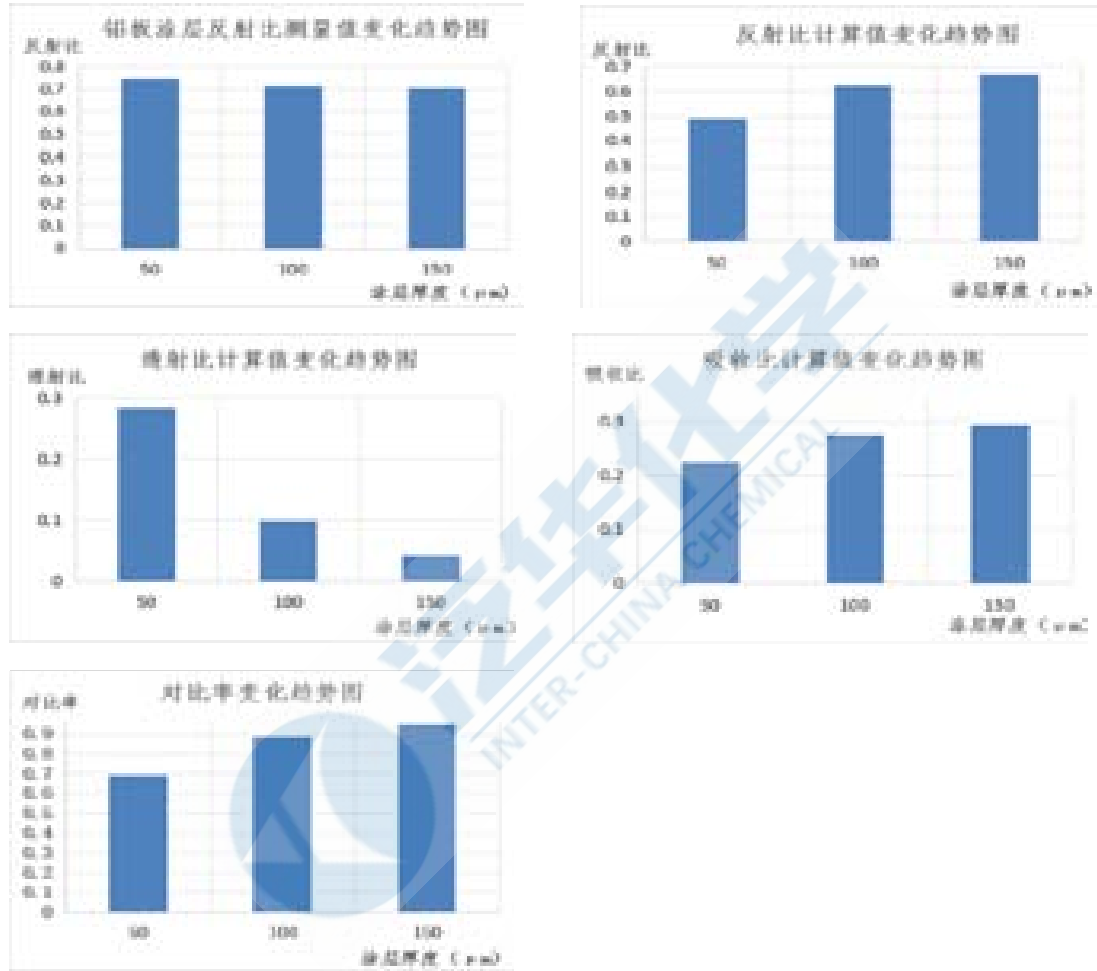
近红外反射二氧化钛材料 IR-1000 加量为 6%时，不同厚度涂层近红外反射效果的测量及计算结果见表 10：

表 10

名称	涂层厚度, μm	涂层 L*	基材近红外反射比测量值	涂层近红外反射比测量值	计算值 T _C	计算值 R _C	计算值 A _C	涂层 X
铝板	50	72.11	0.885	0.743	0.285	0.491	0.224	0.690
黑面铝板	50	69.16	0.078	0.513				

铝板	100	71.55	0.884	0.713	0.098	0.626	0.276	0.889
黑面铝板	100	71.25	0.078	0.634				
铝板	150	71.51	0.885	0.703	0.043	0.665	0.292	0.950
黑面铝板	150	71.47	0.077	0.668				

铝板涂层反射比测量值变化趋势图、反射比计算值变化趋势图、透射比计算值变化趋势图、吸收比计算值变化趋势图、对比率变化趋势图等五张图见下五图：



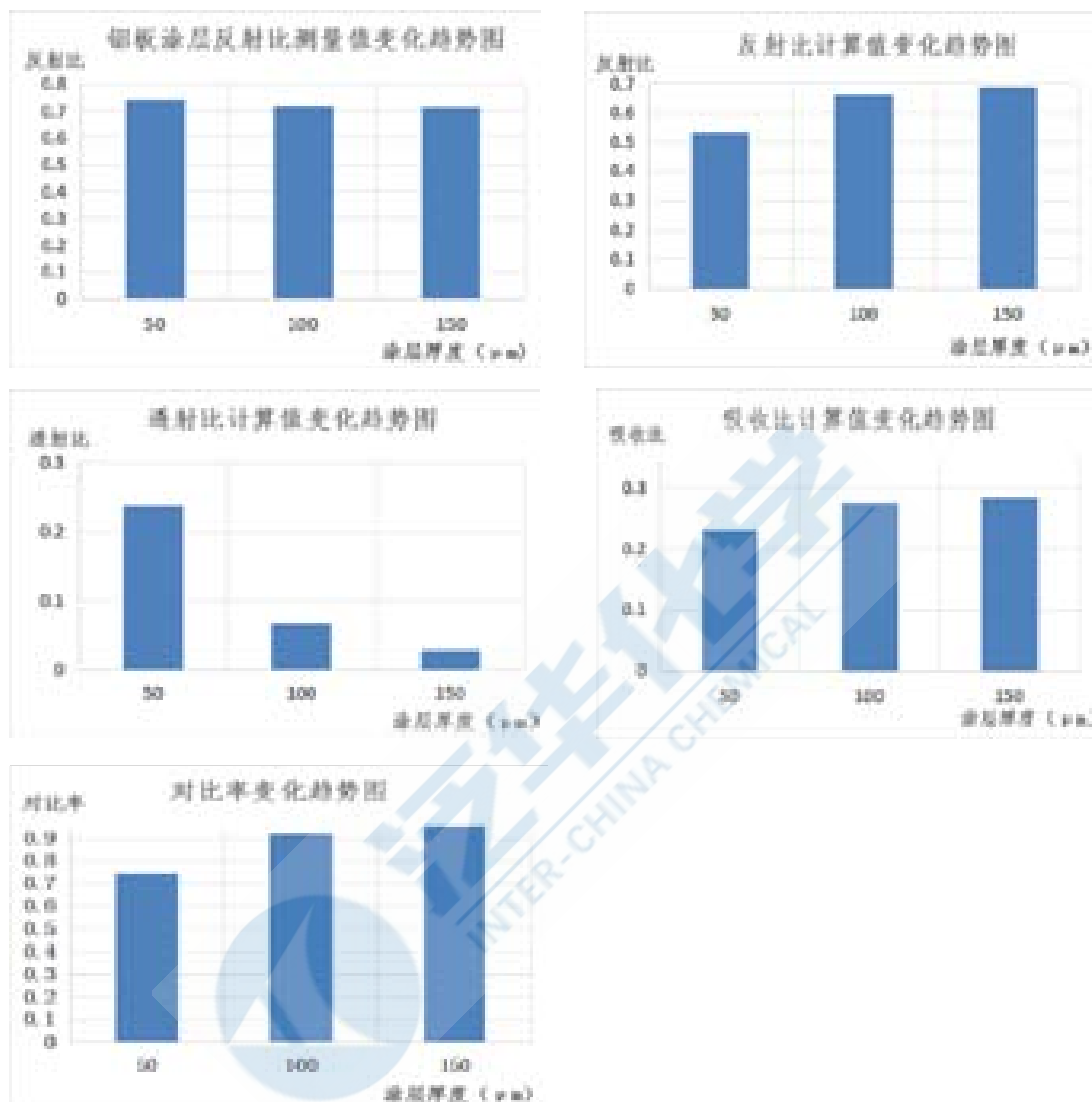
近红外反射二氧化钛材料 IR-1000 加量为 8%时，不同厚度涂层近红外反射效果的测量及计算结果见表 11：

表 11

名称	涂层厚度, μm	涂层 L*	基材近红外反射比测量值	涂层近红外反射比测量值	计算值 T_c	计算值 R_c	计算值 A_c	涂层 X
铝板	50	72.19	0.884	0.742	0.237	0.532	0.231	0.743
黑面铝板	50	70.19	0.077	0.551				
铝板	100	71.78	0.885	0.717	0.067	0.658	0.275	0.925
黑面铝板	100	71.65	0.076	0.663				
铝板	150	71.90	0.885	0.712	0.028	0.687	0.285	0.968

黑面铝板	150	71.84	0.077	0.689				
------	-----	-------	-------	-------	--	--	--	--

铝板涂层反射比测量值变化趋势图、反射比计算值变化趋势图、透射比计算值变化趋势图、吸收比计算值变化趋势图、对比率变化趋势图等五张图见下五图：



对 IR-1000 加量为 4%、6%、8% 时的五张趋势图分别进行对比分析，可以发现这十五张趋势图所显示出的变化趋势与 IR-1000 加量为 2% 时完全一致；在 IR-1000 加量相同，不同涂层厚度，涂层颜色相近的条件下，可得出与 IR-1000 加量为 2% 时相同的结论，即：

- 1、涂层附着在铝板上测量的近红外反射比不能准确反映涂层的近红外反射效果好坏；
- 2、涂层的 R_c 、 T_c 、 A_c 相结合能较准确的评价涂层的近红外反射效果，具备好的近红外反射效果的涂层，必定同时满足三个条件，即高的涂层 R_c ，低的涂层 T_c ，适当的涂层 A_c ；
- 3、涂层的近红外对比率 X 能初步判断涂层的近红外反射效果，涂层的近红外对比率 X 越高，涂层的近红外反射效果越好。

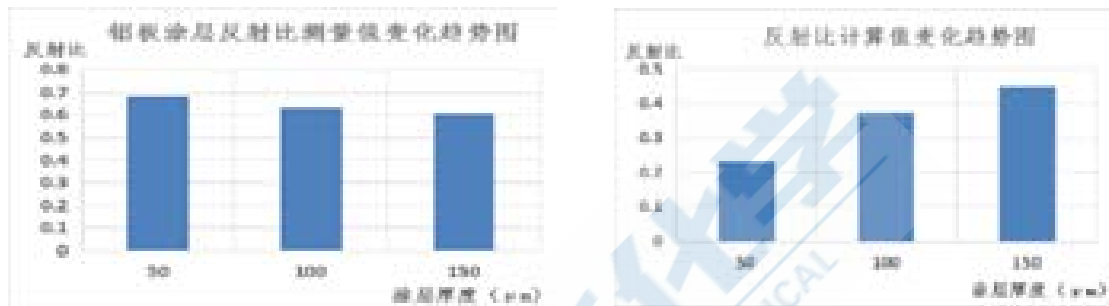
(三) 蓝色涂层

近红外反射二氧化钛材料 IR-1000 加量为 2% 时，不同厚度涂层近红外反射效果的测量及计算结果见表 12：

表 12

名称	涂层厚度, μm	涂层 L*	基材近红外反射比测量值	涂层近红外反射比测量值	计算值 T_c	计算值 R_c	计算值 A_c	涂层 X
铝板	50	39.35	0.884	0.685	0.512	0.232	0.256	0.396
黑面铝板	50	37.02	0.076	0.271				
铝板	100	38.25	0.885	0.633	0.296	0.371	0.333	0.622
黑面铝板	100	38.01	0.077	0.394				
铝板	150	38.33	0.885	0.608	0.177	0.451	0.372	0.765
黑面铝板	150	38.31	0.076	0.465				

a、涂层近红外反射比变化趋势分析（见下两张变化趋势图）：



由以上两张趋势图可知：

1、随着涂层厚度的增加，附着在铝板上的涂层近红外反射比测量值呈下降趋势，这与 IR-1000 所具备的近红外反射功能特性不相符；该测量值没能准确反映出三个不同涂层的近红外反射效果差异，其变化趋势与实际效果刚好相反；

2、经公式计算出的涂层近红外反射比 R_c 随着涂层厚度的增加出现明显增加的趋势，这与 IR-1000 所具备的近红外反射功能特性是相符的；说明涂层近红外反射比计算值 R_c 能很好地反映出涂层的近红外反射效果差异，涂层的 R_c 越高，涂层反射出去的近红外能量就越多，涂层的近红外反射效果越好；

b、涂层近红外透射比计算值 T_c 与近红外吸收比计算值 A_c 变化趋势分析（见下两张变化趋势图）：

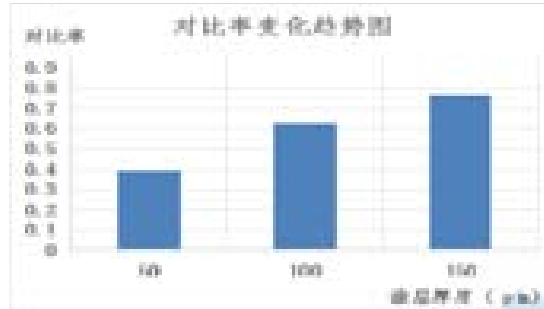


由以上两张趋势图可知：

1、涂层透射比计算值 T_c 随涂层厚度的增加明显下降，说明增加涂层厚度能阻碍近红外线透射出涂层； T_c 越高，透过涂层的近红外线越多，被基材吸收的近红外线就越多，涂层的近红外反射效果就越差；结合反射比计算值变化趋势图可知，涂层要达到较好的近红外反射效果， T_c 需越低越好；

2、涂层吸收比计算值 A_c 随涂层厚度的增加出现小幅上升，说明涂层厚度增加后，涂层的近红外吸收比会出现小幅增加的趋势； A_c 增加，说明涂层吸收的近红外线能量在增加，导致涂层的近红外反射效果在下降；对比反射比计算值变化趋势图及透射比计算值变化趋势图可看出， A_c 随 IR-1000 加量的变化趋势明显缓于 R_c 和 T_c ，涂层厚度增加，涂层的近红外反射效果也会随之变好。

c、涂层近红外对比率 X 变化趋势分析（见下图）



由涂层近红外对比率 X 变化趋势图可知：

随涂层厚度的增加，涂层的近红外对比率 X 也明显上升；可以得出初步判断：涂层的近红外对比率 X 越高，涂层的近红外反射效果越好。

d、相同近红外反射二氧化钛材料 IR-1000 加量、不同涂层厚度，涂层颜色相近的条件下，综合上述 a、b、c 的分析，可得出如下结论：

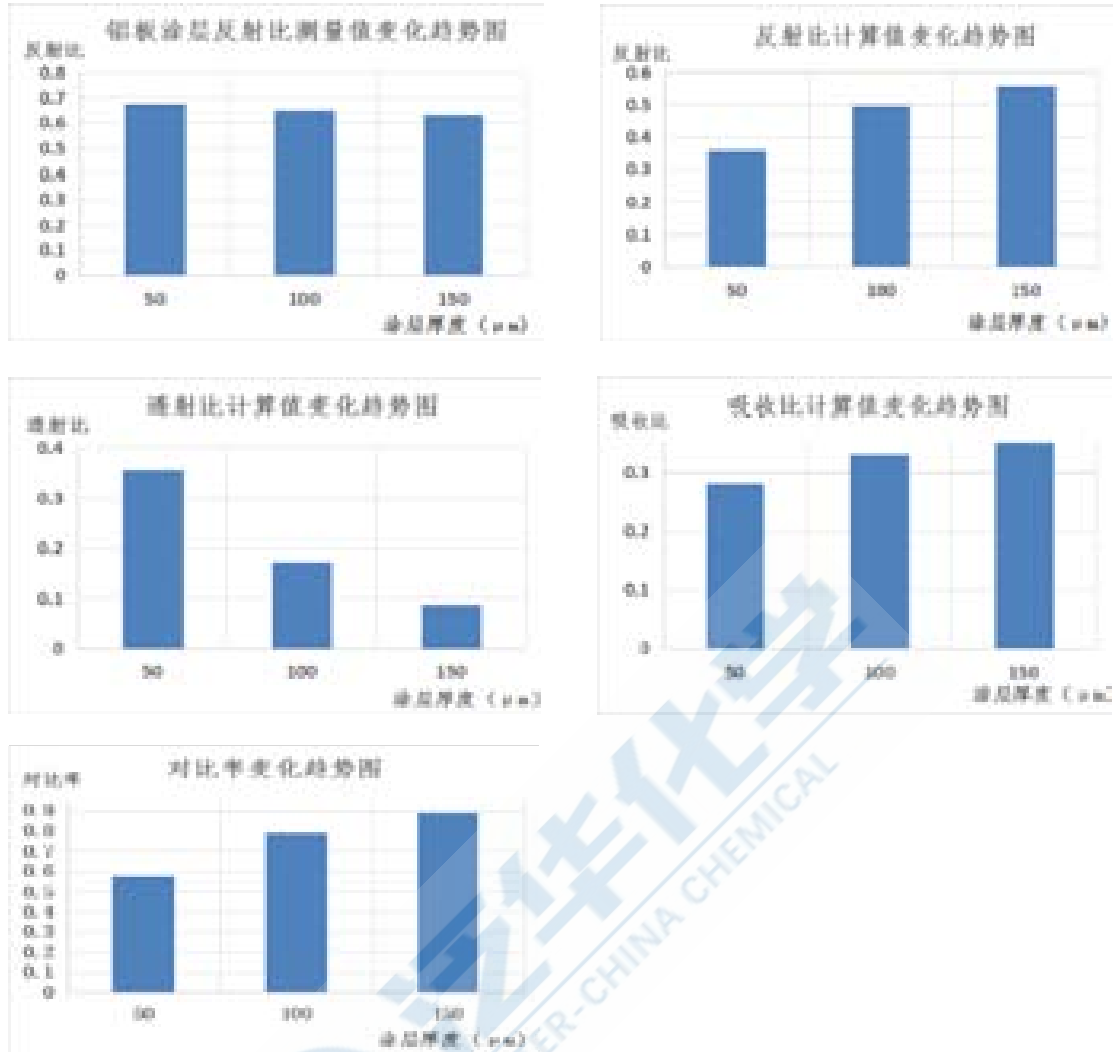
- 1、涂层附着在铝板上测量的近红外反射比不能准确反映涂层的近红外反射效果好坏；
- 2、涂层的 R_c 、 T_c 、 A_c 相结合能较准确的评价涂层的近红外反射效果，具备好的近红外反射效果的涂层，必定同时满足三个条件，即高的涂层 R_c ，低的涂层 T_c ，适当的涂层 A_c ；
- 3、涂层的近红外对比率 X 能初步判断涂层的近红外反射效果，涂层的近红外对比率 X 越高，涂层的近红外反射效果越好。

近红外反射二氧化钛材料 IR-1000 加量为 4%时，不同厚度涂层近红外反射效果的测量及计算结果见表 13：

表 13

名称	涂层厚度, μm	涂层 L^*	基材近红外反射比测量值	涂层近红外反射比测量值	计算值 T_c	计算值 R_c	计算值 A_c	涂层 X
铝板	50	41.00	0.886	0.677	0.356	0.362	0.282	0.575
黑面铝板	50	40.46	0.077	0.389				
铝板	100	40.90	0.885	0.648	0.171	0.497	0.332	0.787
黑面铝板	100	40.92	0.078	0.510				
铝板	150	41.09	0.886	0.634	0.088	0.556	0.356	0.89
黑面铝板	150	41.17	0.077	0.563				

铝板涂层反射比测量值变化趋势图、反射比计算值变化趋势图、透射比计算值变化趋势图、吸收比计算值变化趋势图、对比率变化趋势图等五张图见下五图：

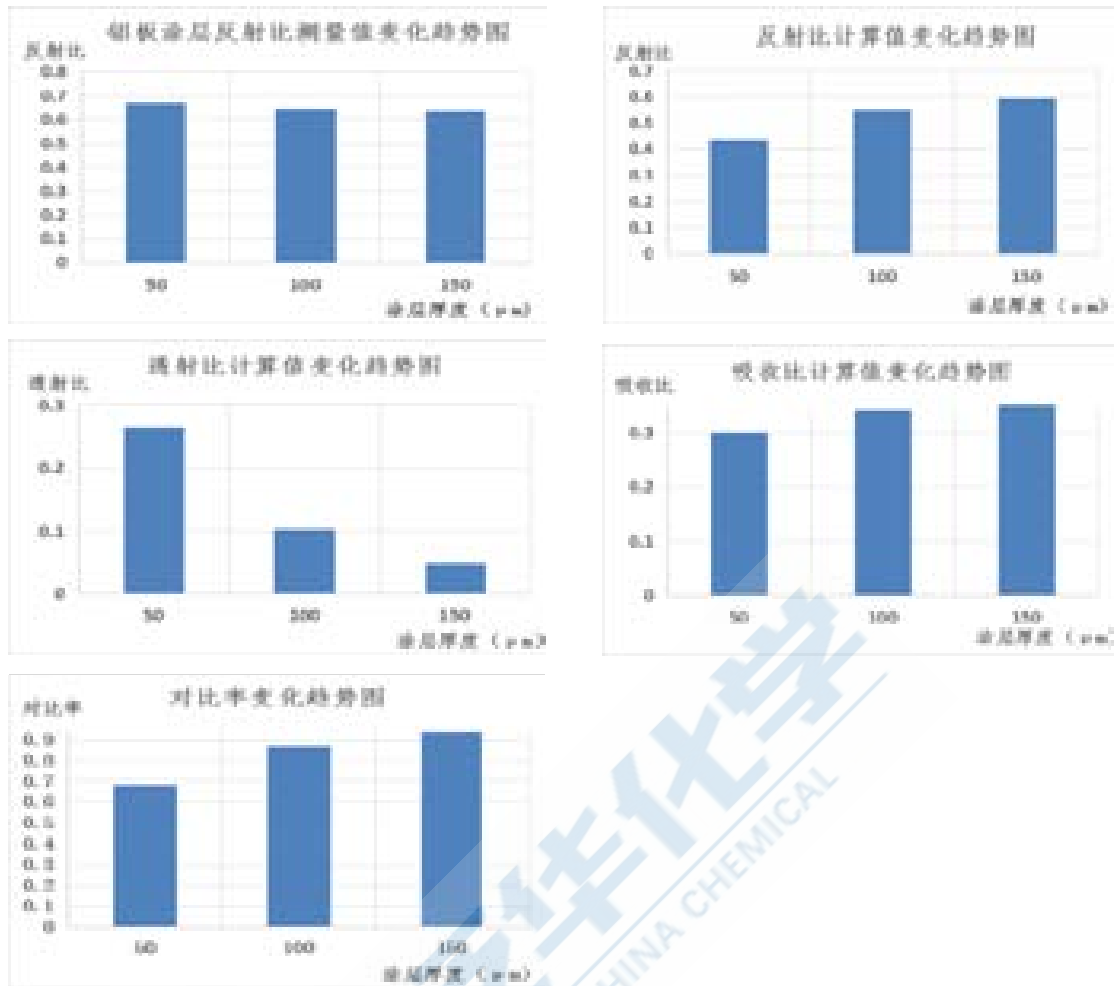


近红外反射二氧化钛材料 IR-1000 加量为 6%时, 不同厚度涂层近红外反射效果的测量及计算结果见表 14:

表 14

名称	涂层厚度, μm	涂层 L^*	基材近红外反射比测量值	涂层近红外反射比测量值	计算值 T_c	计算值 R_c	计算值 A_c	涂层 X
铝板	50	41.27	0.885	0.669	0.264	0.435	0.301	0.682
黑面铝板	50	41.13	0.077	0.456				
铝板	100	41.38	0.886	0.645	0.105	0.552	0.343	0.868
黑面铝板	100	41.41	0.078	0.560				
铝板	150	41.58	0.886	0.638	0.048	0.595	0.357	0.939
黑面铝板	150	41.64	0.077	0.599				

铝板涂层反射比测量值变化趋势图、反射比计算值变化趋势图、透射比计算值变化趋势图、吸收比计算值变化趋势图、对比率变化趋势图等五张图见下五图:

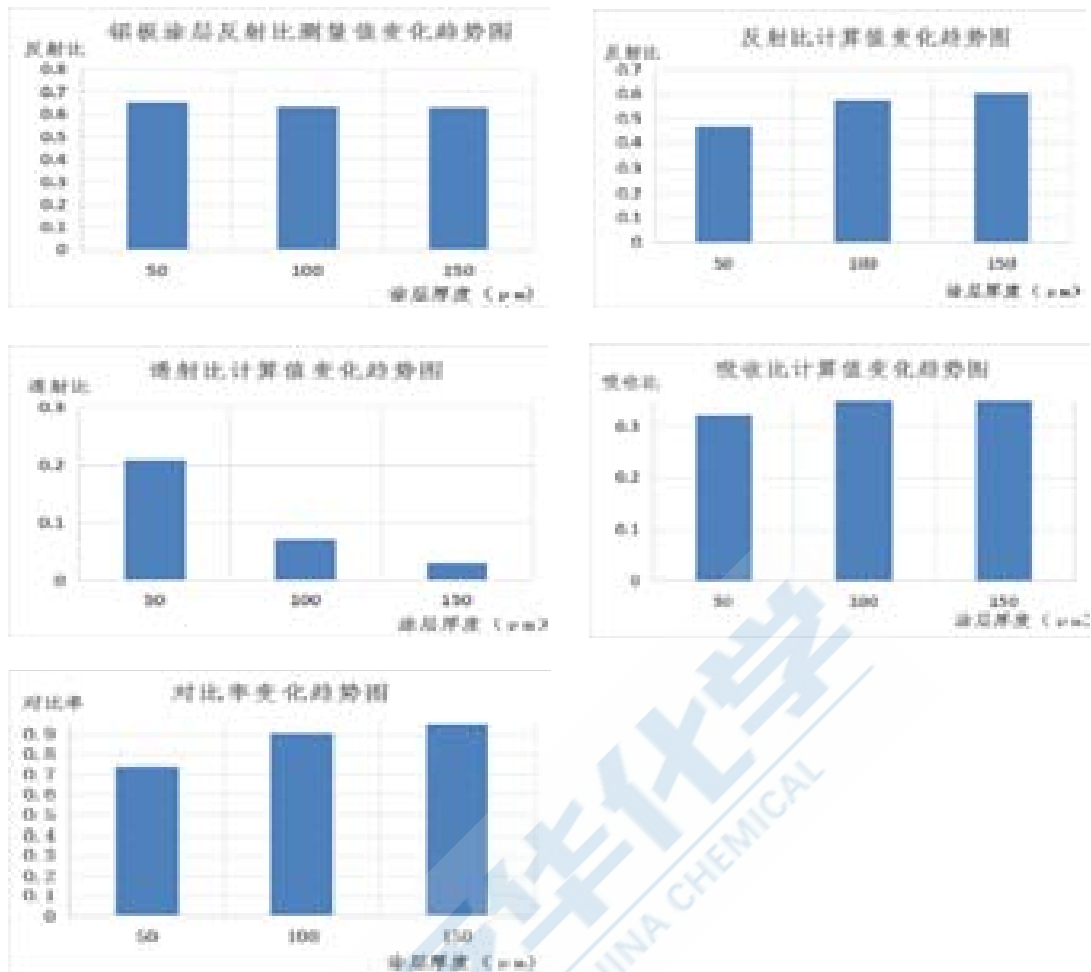


近红外反射二氧化钛材料 IR-1000 加量为 8%时，不同厚度涂层近红外反射效果的测量及计算结果见表 15：

表 15

名称	涂层厚度, μm	涂层 L^*	基材近红外反射比测量值	涂层近红外反射比测量值	计算值 T_c	计算值 R_c	计算值 A_c	涂层 X
铝板	50	40.42	0.884	0.654	0.209	0.469	0.322	0.742
黑面铝板	50	40.39	0.076	0.485				
铝板	100	40.61	0.886	0.635	0.072	0.571	0.357	0.909
黑面铝板	100	40.63	0.077	0.577				
铝板	150	40.85	0.884	0.632	0.030	0.605	0.365	0.962
黑面铝板	150	40.83	0.078	0.608				

铝板涂层反射比测量值变化趋势图、反射比计算值变化趋势图、透射比计算值变化趋势图、吸收比计算值变化趋势图、对比率变化趋势图等五张图见下五图：



对 IR-1000 加量为 6%、8% 时的五张趋势图分别进行对比分析，可以发现这十张趋势图所显示出的变化趋势与 IR-1000 加量为 2%、4% 时完全一致；在 IR-1000 加量相同，不同涂层厚度，涂层颜色相近的条件下，可得出与 IR-1000 加量为 2% 时相同的结论，即：

- 1、涂层附着在铝板上测量的近红外反射比不能准确反映涂层的近红外反射效果好坏；
- 2、涂层的 R_c 、 T_c 、 A_c 相结合能较准确的评价涂层的近红外反射效果，具备好的近红外反射效果的涂层，必定同时满足三个条件，即高的涂层 R_c ，低的涂层 T_c ，适当的涂层 A_c ；
- 3、涂层的近红外对比率 X 能初步判断涂层的近红外反射效果，涂层的近红外对比率 X 越高，涂层的近红外反射效果越好。

(四) 小结

通过对红、黄、蓝三种颜色涂层相同 IR-1000 加量不同涂层厚度的铝板涂层反射比测量值变化趋势图、反射比计算值变化趋势图、透射比计算值变化趋势图、吸收比计算值变化趋势图、对比率变化趋势图等五种趋势图的分析对比，可得出如下结论：

- 1、涂层附着在铝板上测量的近红外反射比不能准确反映涂层的近红外反射效果好坏；
- 2、涂层的 R_c 、 T_c 、 A_c 相结合能较准确的评价涂层的近红外反射效果，具备好的近红外反射效果的涂层，必定同时满足三个条件，即高的涂层 R_c ，低的涂层 T_c ，适当的涂层 A_c ；
- 3、涂层的近红外对比率 X 能初步判断涂层的近红外反射效果，涂层的近红外对比率 X 越高，涂层的近红外反射效果越好。

结论

通过前述的实验比对分析，可得出如下结论：

1、涂层附着在铝板上测量的近红外反射比并不能准确反映涂层的近红外反射效果好坏，并不是一种好的评价涂层近红外反射效果的方法；

2、本文所介绍的涂层的近红外反射比计算值 R_c 、近红外透射比计算值 T_c 、近红外吸收比计算值 A_c 相结合的方法能较准确的评价涂层的近红外反射效果，一种具备好的近红外反射效果的涂层，必定同时满足三个条件，即高的涂层 R_c ，低的涂层 T_c ，适当低的涂层 A_c ；

3、当涂层的颜色相近时，涂层的近红外对比率 X 能初步判断涂层的近红外反射效果，涂层的近红外对比率 X 越高，涂层的近红外反射效果越好。



泛华化学
INTER-CHINA CHEMICAL