

一种新型文物颜色测量方法应用初探 ——以一件清代官服补子的颜色数字化为例

付文斌¹ 张雪艳² 刘存良²

(1. 陕西历史博物馆, 陕西西安, 710061; 2. 西安鼎诺测控技术有限公司, 陕西西安, 710077)

摘要 文物颜色是文物信息的重要组成部分, 当前文物的颜色测量技术有了长足发展, 基于非接触、预览定位、小色块(2mm)测量的新型分光测色技术可准确安全测量各类材质文物(如古代壁画、陶器、泥塑、漆木器、瓷器、字画、纺织品等)的表面颜色, 以CIE L^* 、 a^* 、 b^* 等形式记录并保存, 为测量样品提供颜色数据、反射光谱、模拟色块及颜色数据变化趋势分析等。本文采用这种新型的文物颜色测量方法, 通过对一件清代官服的补子表面颜色数字化的测量实例, 进行初探研究并与同行交流。

关键词 文物颜色 颜色测量 分光测色技术 非接触 预览定位 小色块

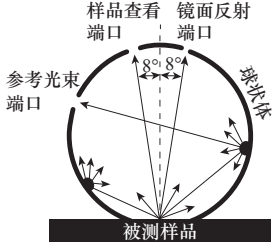
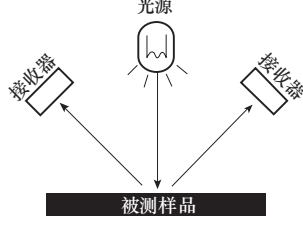
引言

文物是文化遗产的物质载体, 其承载的信息具有历史、科学、艺术价值。人们主要通过文物的形态结构、材质、颜色^[1]、制作工艺等特性来获取文物的重要信息。文物颜色作为文物的主要特征之一, 不仅使人们拥有丰富的视觉体验, 而且传递着不同历史时期的人类文明和人文气质。文物颜色的科学分析和研究成为趋势和必然, 长期以来人们一直都在研究用各种不同的方法对文物颜色进行感知, 其中国际照明委员会建立的CIE L^* 、 a^* 、 b^* 颜色三维立体空间在文物颜色测量中得到了认可和广泛的应用^[2]。随着科学技术的不断发展, 各种颜色测量设备的产生为文物颜色的测量提供了很大的帮助, 文物保护工作者及相关人员在此基础上做出了大量的实践和研究工作, 但是基于文物测量的安全性和文物表面颜色的特殊性, 对文物颜色的测量技术和设备的要求越来越高, 本文对最新出现的文物颜色测量技术进行应用初探。

1 文物颜色测量技术现状

在文物保护过程中, 文物颜色测量技术主要表现为, 通过分光光度仪、色差仪、成像仪等设备进行文物表面颜色的测量和记录^[3]。以往的文物颜色测量技术, 在实际应用中存在着一些不足, 但是随着科技的进步以及使用需求, 最新出现的文物颜色测量技术解决了这些问题。这里, 我们对文物颜色测量新技术的变化进行说明和对比, 见表1。

表1 新型文物颜色测量技术变化说明及对比表

序号	传统文物颜色测量技术	新型文物颜色测量技术
1	<p>接触式测量：</p> <p>以往的测色设备大多采用d/8°积分球光学结构，如图1所示。测量孔必须与被测物体表面紧密接触，防止环境光影响测量结果，即测量设备与文物的被测表面相接触，这种方式难免对一些脆弱的文物表面造成损伤，对文物安全存在一定的隐患。</p>  <p>图1 d/8°积分球光学结构示意图</p>	<p>非接触测量：</p> <p>新的测量技术采用0°/45°光学测量结构，如图2所示。符合人眼视觉效果，光源垂直于物体表面入射，测量孔与被测物体表面不接触测量，避免测量时仪器测头对文物接触、挤压造成文物表面损伤或变形，特别是古代壁画颜料层及脆弱的纸质和纺织品文物。同时采用脉冲技术避免环境光影响测量结果。</p>  <p>图2 0°/45°光学测量结构示意图</p>
2	<p>测量光源对文物有伤害：</p> <p>以往的测量技术中，测色设备自身的测量光源为钨丝灯等，这些光源在长期使用时会会在文物表面产生热量，从而可能会对文物表面产生影响。</p>	<p>测量光源对文物伤害减少：</p> <p>采用全光谱系统LED冷光源测量，LED冷光源发出的热量小，减少了每次测量由于光源发热对脆弱文物的伤害。</p>
3	<p>测量孔径的大小限制了文物微小色块的测量：</p> <p>以往的测量技术中，测色设备的测量孔径一般为大小两个孔径切换测量，且最小测量孔径不能满足对文物表面微小色块的测量。测量孔径的大小对应被测目标的区域直径，如8mm的测量孔径测量直径为8mm的被测区域中颜色的平均值。当被测色块的直径小于设备的测量孔径时，便无法测量得到准确的颜色数据。</p>	<p>孔径（2~12mm）满足小色块测量：</p> <p>测量孔径范围为2~12mm，2mm的孔径可测量得到文物表面微小色块的颜色数据，仪器可根据文物表面颜色特点和测量需求在2~12mm之间任意设定孔径大小，完整科学地测量文物表面的颜色数据。</p>
4	<p>无法实现原位测量：</p> <p>以往的测量技术中，当研究者在连续测量某一固定区域的颜色时，第一次测量和第二次测量的目标点位置很难完全一致，测色设备的位置也会发生移动，想要重复测量原来的测量目标点时无法实现准确的原位测量，从而带来测量偏差。对于需要隔一段时间便要测试颜色数据进行颜色比较样品，移动设备带来的偏差就更大。</p>	<p>具有预览定位功能，可实现原位测量：</p> <p>测量时可以在软件窗口中预览到测量光圈精准定位文物表面的测量位置并对画面进行调整，可以直接对光圈在文物表面的测量位置进行拍照储存，以便准确对应测量数据和光谱曲线，便于准确分析。测量时仪器不需要移动位置，可通过电脑软件控制，设定测量时间间隔，仪器连续自动测量，测试的数据能够准确地分析原位颜色的变化情况。</p>

2 新型文物颜色测量方法的应用

充分运用新型的文物颜色测量技术，对一块清代五官服补子的表面颜色进行测量，补子实物图见图3。我们依次对补子表面的黄色、红色、蓝色、青色、白色、灰色共六种色系的所有色块都做了测量，完成了完整的数字化，得到了大量的测量数据。本文中节选补子左半中的蓝色系色块和补

子右半中的红色系色块，分享其测量过程及测量结果。

2.1 测量样品简介

补子为补缀于品官补服前胸后背之上的一块织物，补服是一种饰有官位品级徽识的官服，或称补袍，在清代官服中是穿用场合最多、时间最长的一种，而表示官阶差异最明显的就是文官绣有文禽、武将绣有猛兽纹饰的“补子”。五品官服补子图案为白鹇补子，分为左右两半块，以金线及彩丝绣成，有着丰富多彩的颜色。如图3所示，主要颜色有黄色、红色、蓝色、青色、白色、灰色，各种颜色深浅不一，色块大小不一，有部分地方出现磨损褪色的现象。



图3 清代五品官服补子

2.2 测量条件说明

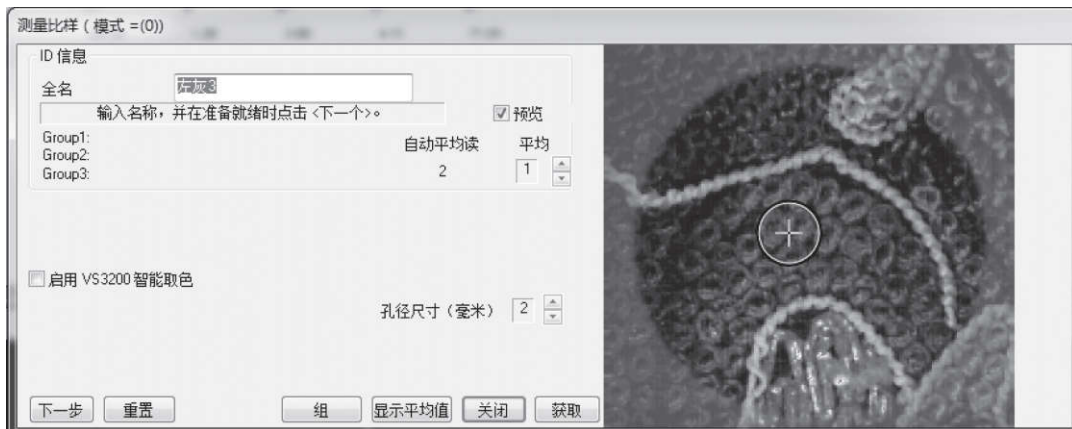
(1) 测量仪器：VS3200 (WB) 非接触文物颜色测量系统，见图4。



测量仪器主机

非接触测量

测量系统



预览定位界面

图4 测量仪器

- (2) 测量光源：D65-10（10°标准观察者）。
- (3) 测量距离：3~5mm。
- (4) 光学几何结构：45°/0°。
- (5) 测量孔径：2~12mm。

2.3 测量过程

2.3.1 测量目标：补子左半中的蓝色系色块

(1) 测量目标位置编号：左蓝1、左蓝2、左蓝3、左蓝4、左蓝5、左蓝6、左蓝7、左蓝8，如图5所示。其测量目标位置放大5倍的预览定位图，如图6所示。

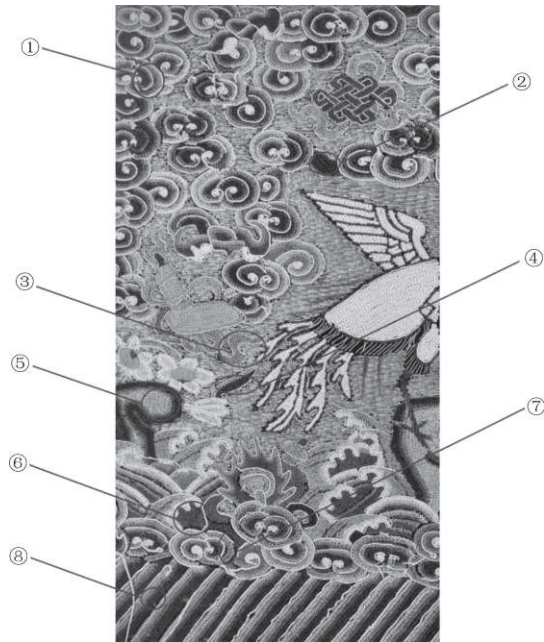


图5 测量目标位置编号图

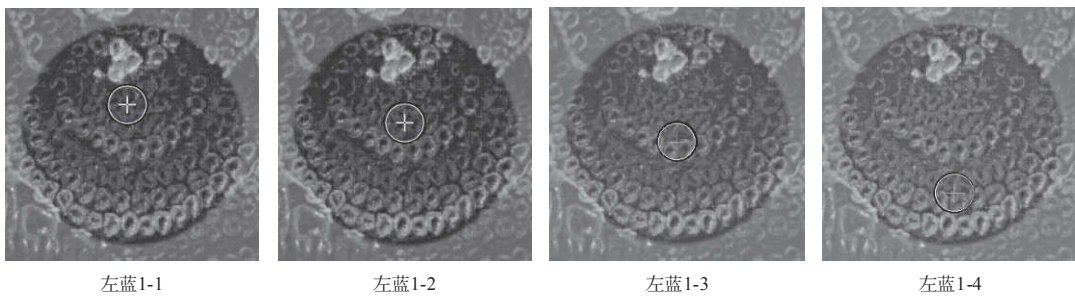


图6 测量目标位置放大5倍的预览定位图

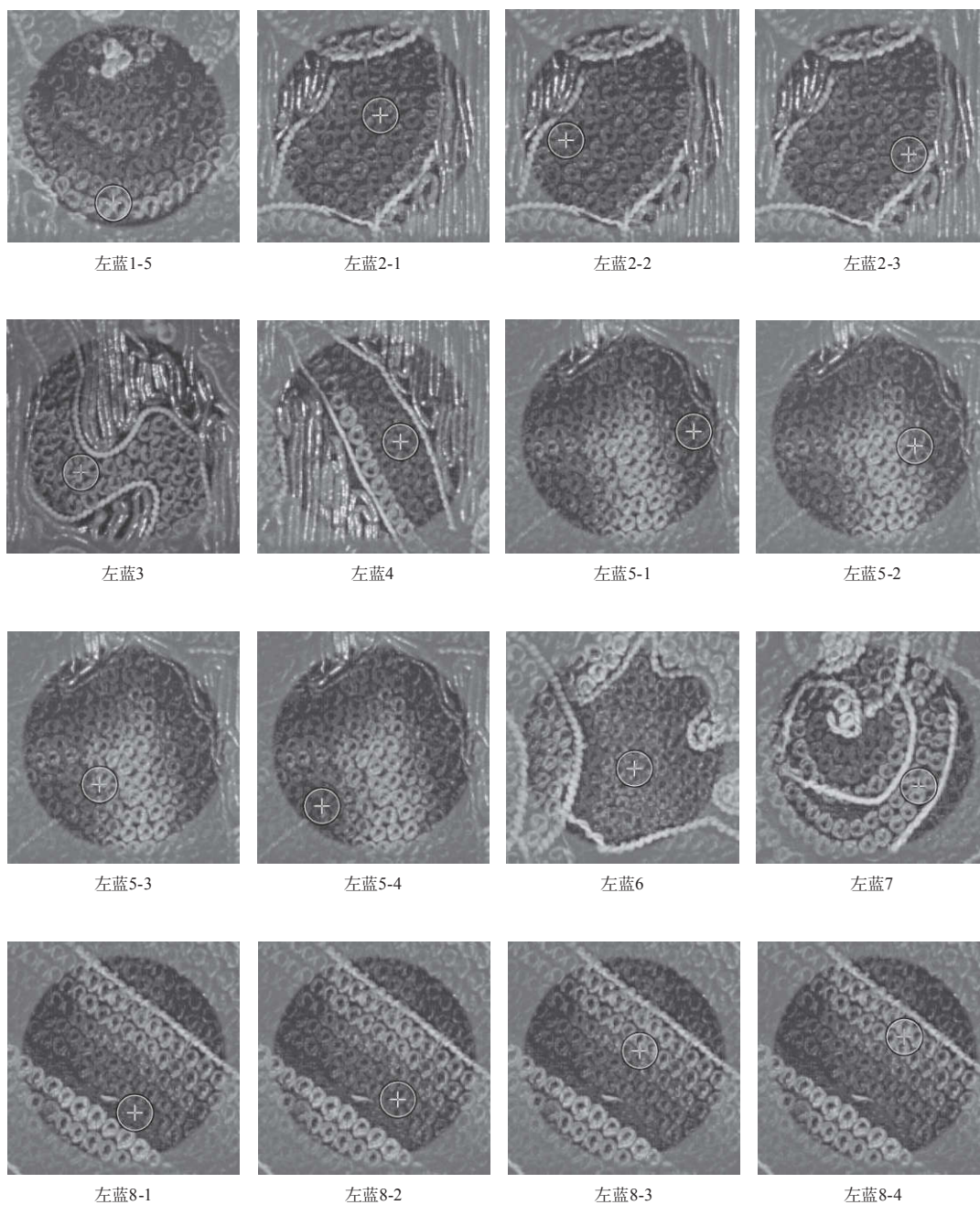


图6 (续)

(2) 测量结果：测量结果详见表2、表3、图7~图10。

颜色的变化趋势图即颜色的 L^* 、 a^* 、 b^* 三个值各自的变化趋势，从图中可以看出补子左半中的蓝色色系色块的 L^* 值发生了较大的波动， a^* 、 b^* 变化极小，说明所有的蓝色色系色块的色相基本接近，主要是其明度即颜色的深浅程度在发生变化。

表2 颜色数据

名称	测量孔径/mm	日期/时间	L^*	a^*	b^*	C^*	h°
左蓝1-1	2	2018-06-30 16:03	19.38	-0.78	-8.32	8.36	264.66
左蓝1-2	2	2018-06-30 16:03	20.42	0.32	-13.44	13.45	271.37
左蓝1-3	2	2018-06-30 16:04	26.66	-0.98	-16.59	16.61	266.63
左蓝1-4	2	2018-06-30 16:04	24.85	-0.95	-16.41	16.44	266.67
左蓝1-5	2	2018-06-30 16:04	36.69	-5.72	-10.14	11.64	240.59
左蓝2-1	2	2018-06-30 16:06	20.31	-0.41	-8.52	8.53	267.27
左蓝2-2	2	2018-06-30 16:06	21.54	-0.27	-14.91	14.91	268.98
左蓝2-3	2	2018-06-30 16:07	23.69	-0.61	-14.75	14.76	267.64
左蓝3	2	2018-06-30 16:09	37.71	-5.48	-10.88	12.18	243.29
左蓝4	2	2018-06-30 16:11	23.08	-4.46	-6.26	7.68	234.55
左蓝5-1	2	2018-06-30 16:13	17.23	0.19	-7.64	7.64	271.42
左蓝5-2	2	2018-06-30 16:13	28.66	-3.86	-13.72	14.26	254.28
左蓝5-3	2	2018-06-30 16:14	32.8	-4.16	-13.72	14.34	253.15
左蓝5-4	2	2018-06-30 16:15	18.43	0.7	-9.27	9.3	274.32
左蓝6	2	2018-06-30 16:16	28.46	-1.63	-17.47	17.55	264.68
左蓝7	2	2018-06-30 16:20	38.53	-5.9	-8.51	10.35	235.25
左蓝8-1	2	2018-06-30 16:22	21.09	1.26	-2.51	2.81	296.7
左蓝8-2	2	2018-06-30 16:22	21.73	0.72	-4.63	4.69	278.88
左蓝8-3	2	2018-06-30 16:23	35.31	-4.23	-13.05	13.72	252.02
左蓝8-4	2	2018-06-30 16:23	39.76	-5.5	-6.7	8.67	230.65

注： L^* 表示颜色明度； a^* 表示红绿值； b^* 表示黄蓝值； C^* 表示饱和度； h° 表示色调。

表3 光谱反射率列表

色块	可见光波长										
	400nm	410nm	420nm	430nm	440nm	450nm	460nm	470nm	480nm	490nm	500nm
左蓝1-1	3.54	4.15	4.39	4.36	4.36	4.28	4.2	3.96	3.79	3.71	3.54
左蓝1-2	5	5.93	6.29	6.22	5.98	5.7	5.41	5.04	4.72	4.41	4.13
左蓝1-3	8.48	9.85	10.46	10.31	9.92	9.45	8.86	8.21	7.74	7.43	6.91
左蓝1-4	7.23	8.71	9.32	9.27	8.98	8.4	7.89	7.33	6.98	6.59	6.2
左蓝1-5	10.28	11.69	12.93	13.6	13.7	13.47	12.63	11.95	11.79	12.15	12.21
左蓝2-1	3.77	4.35	4.62	4.76	4.79	4.62	4.51	4.27	4.1	4.05	3.79
左蓝2-2	5.71	6.73	7.12	7.28	7.19	6.46	5.87	5.64	5.26	5.01	4.68
左蓝2-3	6.31	7.59	8	7.9	7.63	7.35	7.11	6.8	6.38	5.88	5.43
左蓝3	11.3	12.97	14.02	14.54	14.56	14.23	13.65	13.27	13.05	13.05	12.87
左蓝4	4.25	4.71	4.89	4.83	4.95	4.93	5.11	5.12	5.21	5.27	5.11
左蓝5-1	3.13	3.38	3.65	3.63	3.6	3.56	3.42	3.2	3.07	3.01	2.87
左蓝5-2	8.26	9.4	9.8	9.65	9.48	9.54	9.49	9.19	8.82	8.45	7.84
左蓝5-3	9.79	11.55	12.28	12.38	12.2	11.98	11.74	11.24	10.91	10.52	10.05
左蓝5-4	3.41	4.19	4.53	4.57	4.46	4.3	3.85	3.48	3.31	3.26	3.24

续表

色块	可见光波长										
	400nm	410nm	420nm	430nm	440nm	450nm	460nm	470nm	480nm	490nm	500nm
左蓝6	9.2	10.72	11.47	11.41	11.07	10.69	10.37	9.84	9.17	8.61	8
左蓝7	10.61	12.13	12.95	13.42	13.66	13.58	13.67	13.72	13.57	13.44	13
左蓝8-1	3.22	3.52	3.73	3.65	3.77	3.68	3.73	3.61	3.65	3.52	3.47
左蓝8-2	3.45	3.98	4.14	4.23	4.33	4.32	4.33	4.26	4.08	3.99	3.82
左蓝8-3	10.94	12.61	13.36	13.67	13.53	13.34	13.11	12.87	12.36	11.95	11.36
左蓝8-4	10.38	11.96	13.09	13.73	14.01	14.05	13.69	13.16	13.2	13.62	13.59

色块	可见光波长									
	510nm	520nm	530nm	540nm	550nm	560nm	570nm	580nm	590nm	600nm
左蓝1-1	3.37	3.1	2.9	2.78	2.7	2.59	2.55	2.49	2.42	3.37
左蓝1-2	3.82	3.47	3.17	2.96	2.83	2.72	2.62	2.54	2.48	3.82
左蓝1-3	6.4	5.78	5.28	4.84	4.6	4.34	4.14	3.91	3.7	6.4
左蓝1-4	5.66	5.15	4.56	4.25	3.99	3.8	3.61	3.39	3.25	5.66
左蓝1-5	11.86	11.11	10.37	9.76	9.22	8.86	8.46	7.99	7.48	11.86
左蓝2-1	3.58	3.32	3.1	2.96	2.86	2.82	2.78	2.77	2.69	3.58
左蓝2-2	4.32	3.95	3.62	3.26	3.12	2.93	2.79	2.67	2.53	4.32
左蓝2-3	4.99	4.55	4.16	3.87	3.65	3.58	3.38	3.2	3.05	4.99
左蓝3	12.34	11.58	10.87	10.23	9.73	9.42	8.97	8.53	8.02	12.34
左蓝4	4.77	4.44	4.1	3.84	3.7	3.54	3.41	3.24	3.11	4.77
左蓝5-1	2.71	2.53	2.36	2.25	2.2	2.15	2.12	2.1	2.12	2.71
左蓝5-2	7.28	6.67	6.17	5.7	5.43	5.13	4.9	4.57	4.33	7.28
左蓝5-3	9.44	8.73	8.09	7.49	7.07	6.83	6.5	6.17	5.78	9.44
左蓝5-4	3.09	2.9	2.65	2.51	2.42	2.41	2.32	2.32	2.29	3.09
左蓝6	7.28	6.55	5.91	5.45	5.17	4.92	4.68	4.38	4.13	7.28
左蓝7	12.59	11.92	11.35	10.73	10.33	9.88	9.48	9.01	8.53	12.59
左蓝8-1	3.29	3.27	3.13	3.11	3.11	3.14	3.16	3.23	3.28	3.29
左蓝8-2	3.69	3.51	3.39	3.22	3.21	3.24	3.25	3.31	3.33	3.69
左蓝8-3	10.75	10.09	9.35	8.71	8.29	7.98	7.61	7.29	6.85	10.75
左蓝8-4	13.23	12.72	12.01	11.46	11.05	10.77	10.4	9.98	9.54	13.23

色块	可见光波长									
	610nm	620nm	630nm	640nm	650nm	660nm	670nm	680nm	690nm	700nm
左蓝1-1	2.34	2.32	2.29	2.19	2.14	2.13	2.18	2.4	2.85	4.13
左蓝1-2	2.36	2.29	2.24	2.18	2.08	2.12	2.14	2.39	2.82	4.22
左蓝1-3	3.52	3.34	3.21	3.11	3.04	2.99	3.07	3.47	4.36	6.54
左蓝1-4	3.05	2.94	2.7	2.69	2.53	2.63	2.56	3.01	3.7	5.62
左蓝1-5	7.07	6.61	6.31	6.03	5.83	5.88	6.11	6.99	8.58	11.58
左蓝2-1	2.57	2.51	2.5	2.43	2.34	2.37	2.45	2.71	3.26	4.78
左蓝2-2	2.45	2.38	2.22	2.21	2.12	2.1	2.17	2.54	3.04	4.49
左蓝2-3	2.92	2.87	2.73	2.66	2.52	2.61	2.66	2.96	3.64	5.35

续表

色块	可见光波长									
	610nm	620nm	630nm	640nm	650nm	660nm	670nm	680nm	690nm	700nm
左蓝3	7.51	7.08	6.68	6.41	6.1	6.06	6.19	7.11	8.69	11.81
左蓝4	2.89	2.93	2.72	2.78	2.62	2.73	2.71	3.29	3.74	5.27
左蓝5-1	2.02	2.01	1.96	1.99	1.92	1.92	1.99	2.27	2.65	3.75
左蓝5-2	4.03	3.79	3.59	3.39	3.22	3.16	3.21	3.7	4.74	6.93
左蓝5-3	5.38	5.11	4.82	4.52	4.27	4.21	4.32	4.95	6.2	8.89
左蓝5-4	2.22	2.2	2.12	2.14	2.07	2.07	2.14	2.38	2.8	4.06
左蓝6	3.88	3.69	3.55	3.42	3.26	3.22	3.33	3.74	4.8	7.32
左蓝7	8.15	7.65	7.48	7.09	6.94	6.94	7.38	8.18	9.84	12.71
左蓝8-1	3.25	3.34	3.26	3.39	3.32	3.44	3.57	4.01	4.58	5.96
左蓝8-2	3.39	3.28	3.27	3.18	3.21	3.18	3.35	3.68	4.59	6.54
左蓝8-3	6.47	6.13	5.81	5.54	5.31	5.29	5.56	6.3	7.85	10.96
左蓝8-4	9.04	8.68	8.28	7.92	7.66	7.64	7.91	8.85	10.61	13.73

颜色的反射光谱曲线称为颜色的指纹，每一条反射光谱曲线对应一种颜色，其横坐标表示可见光光谱波长的变化，纵坐标表示反射率，体现了一种颜色在可见光谱中不同波长位置（不同颜色）上的反射率的变化情况，具体到每间隔10nm波长所对应的反射率的大小，详见表3。图中可以看出所有色块的反射光谱曲线趋势基本一致，但是在同一波长位置上对应的反射率大小不同。

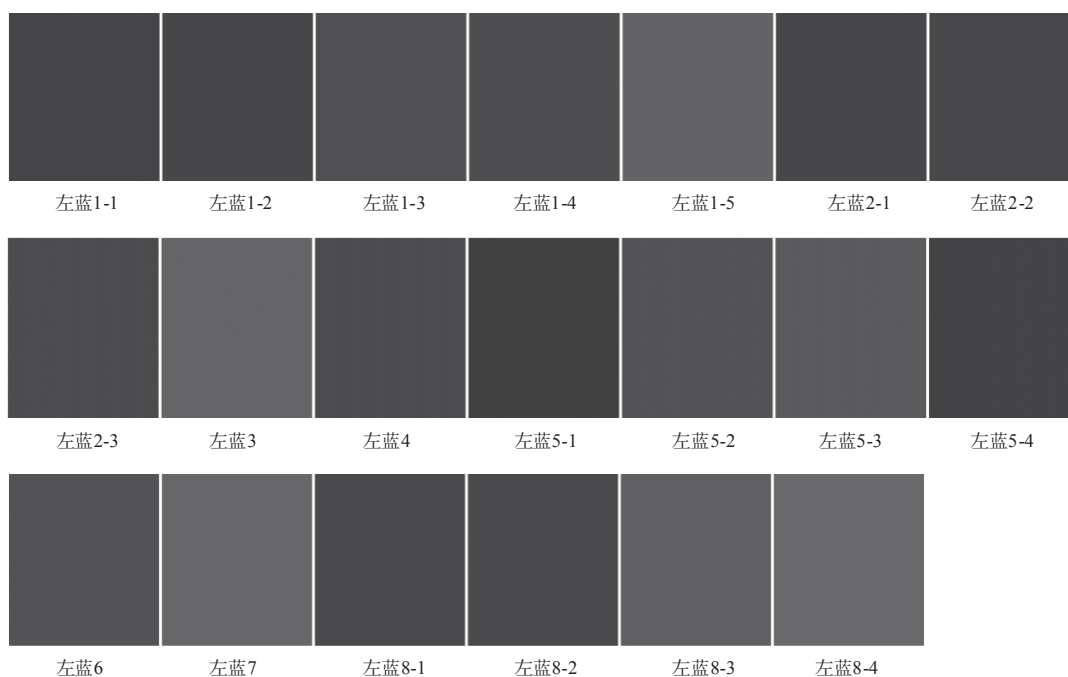


图7 物理模拟平均色块

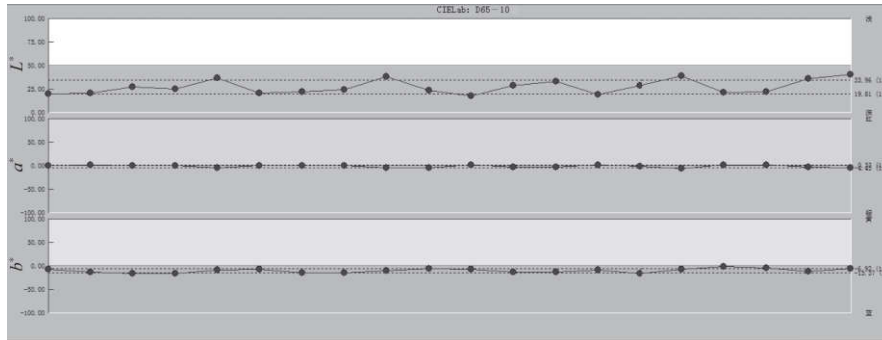


图8 颜色变化趋势图

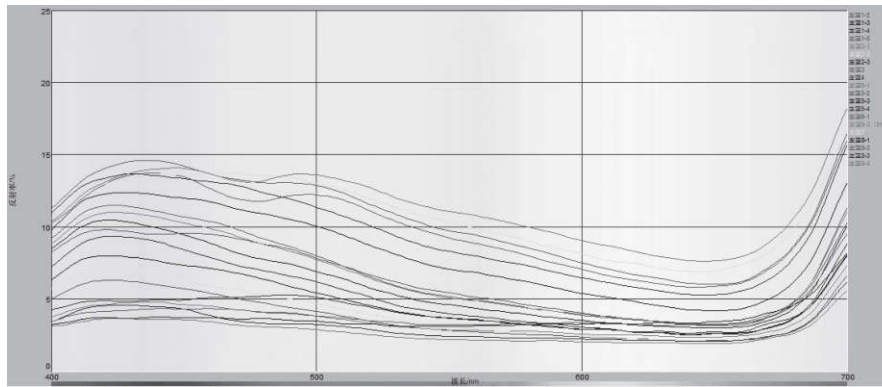


图9 反射光谱曲线

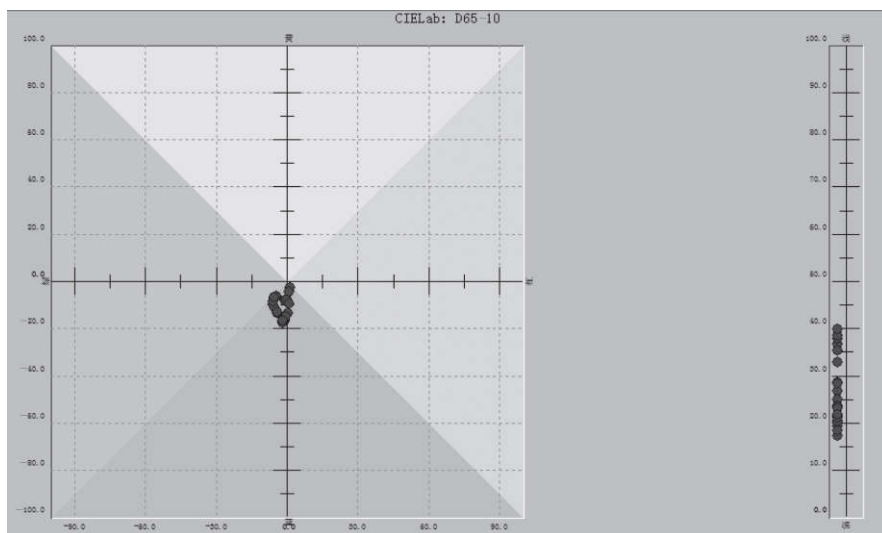


图10 颜色空间位置图

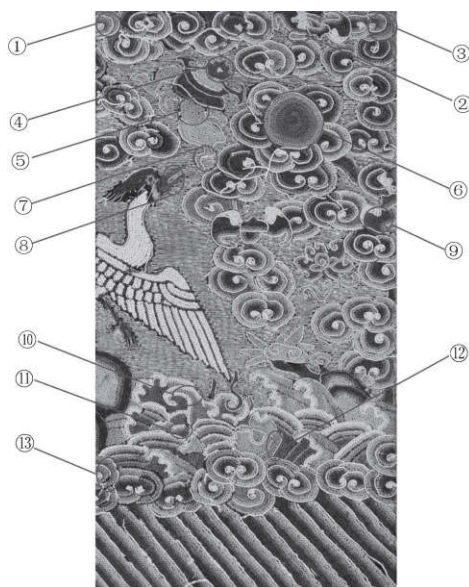


图11 补子右半中的红色系色块

颜色色空间位置图即表示一种颜色在色空间中的位置，从图中可以看出，所有的蓝色系色块的颜色都聚集分布在蓝色空间中，其明度小于50且分布在20~40之间，体现了蓝色色调的深浅分布范围。

2.3.2 测量目标：补子右半中的红色系色块

(1) 测量目标位置编号：右红1、右红2、右红3、右红4、右红5、右红6、右红7、右红8、右红9、右红10、右红11、右红12、右红13，如图11所示。其测量目标位置放大5倍预览定位图，如图12所示。

(2) 测量结果：测量结果详见表4、表5、图13~图16。

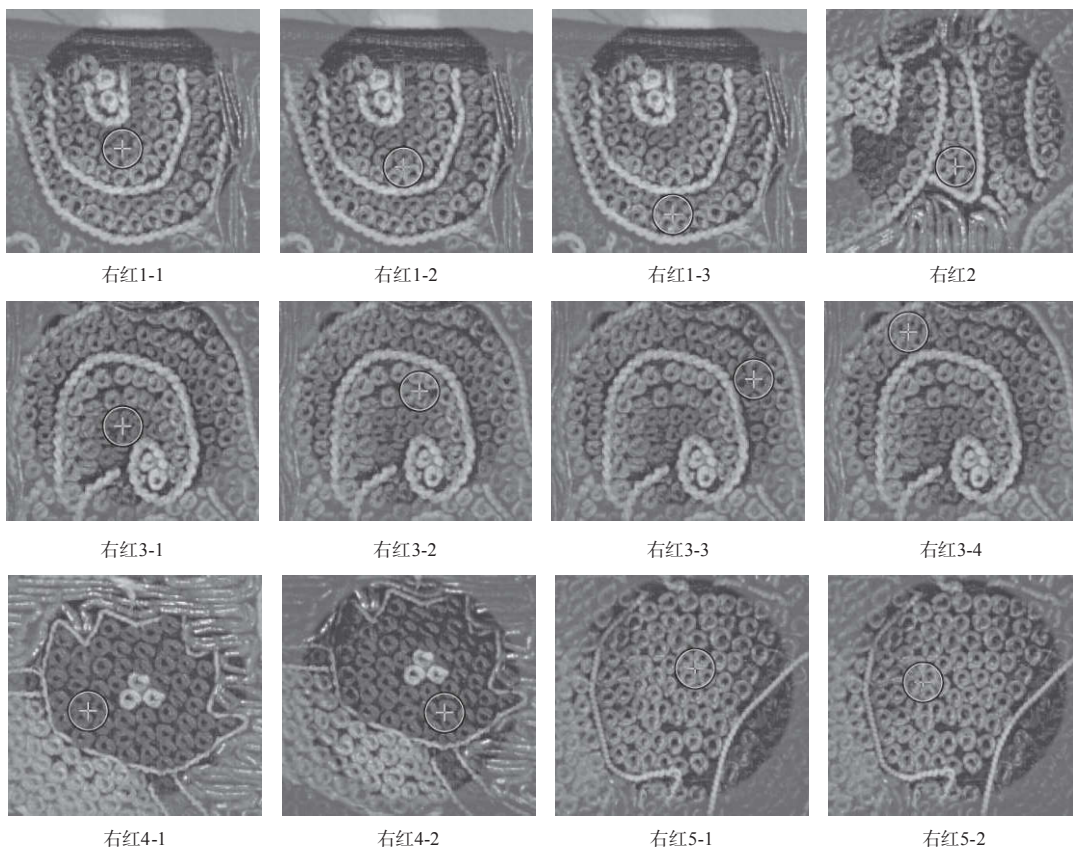


图12 测量目标位置放大5倍预览定位图

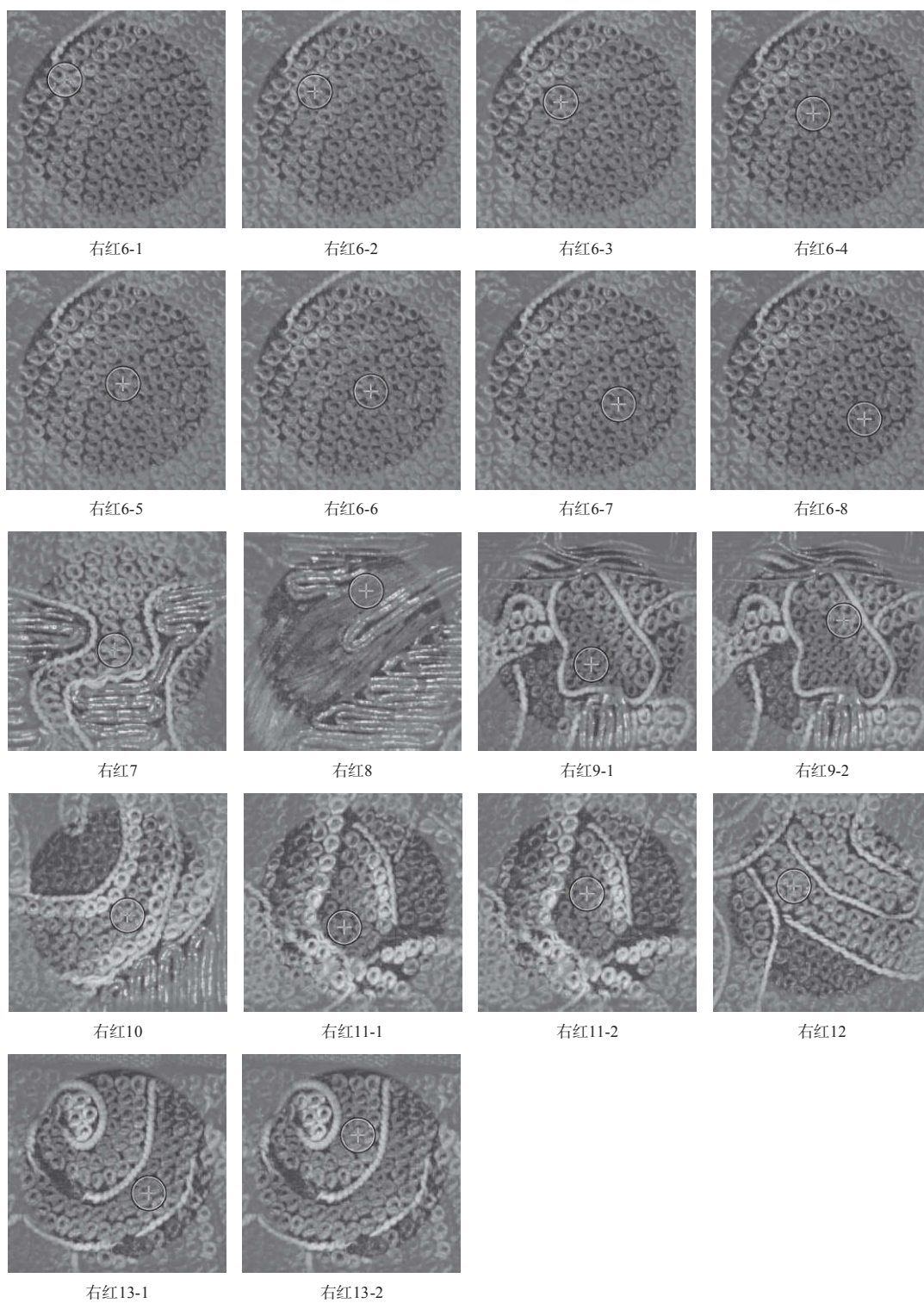


图12 (续)

表4 颜色数据

名称	测量孔径/mm	日期/时间	L^*	a^*	b^*	C^*	h°
右红1-1	2	2018-06-30 13:37	31.88	25.44	15.98	30.04	32.13
右红1-2	2	2018-06-30 13:38	38.56	24.27	15.71	28.91	32.91
右红1-3	2	2018-06-30 13:38	38.16	24.42	15.49	28.92	32.4
右红2	2	2018-06-30 13:41	39.83	22.31	14.17	26.43	32.42
右红3-1	2	2018-06-30 13:42	27.01	25.21	14.65	29.16	30.17
右红3-2	2	2018-06-30 13:43	37.83	23.02	16.23	28.17	35.19
右红3-3	2	2018-06-30 13:44	28.22	22.22	14.85	26.72	33.75
右红3-4	2	2018-06-30 13:45	36.45	21.1	16.17	26.58	37.46
右红4-1	2	2018-06-30 13:47	25.84	27.56	14.97	31.36	28.52
右红4-2	2	2018-06-30 13:48	25.56	24.01	12.51	27.07	27.51
右红5-1	2	2018-06-30 13:50	41.2	22.75	16.17	27.91	35.4
右红5-2	2	2018-06-30 13:51	41.93	24.03	17.17	29.54	35.55
右红6-1	2	2018-06-30 14:00	40.52	25.58	16.95	30.69	33.53
右红6-2	2	2018-06-30 14:01	36.88	27.67	16.01	31.97	30.05
右红6-3	2	2018-06-30 14:02	33.62	29.3	15.28	33.04	27.55
右红6-4	2	2018-06-30 14:03	31.91	29.62	15.54	33.45	27.68
右红6-5	2	2018-06-30 14:04	30.56	29.9	15.95	33.89	28.07
右红6-6	2	2018-06-30 14:04	30.2	29.69	15.92	33.69	28.2
右红6-7	2	2018-06-30 14:05	28.53	29.8	15.67	33.67	27.74
右红6-8	2	2018-06-30 14:06	28.51	29.87	15.67	33.73	27.69
右红7	2	2018-06-30 14:12	40.39	22.14	14.81	26.64	33.77
右红8	2	2018-06-30 14:14	33.84	25.03	18.89	31.36	37.03
右红9-1	2	2018-06-30 14:16	28.38	29.27	14.89	32.84	26.97
右红9-2	2	2018-06-30 14:16	37.72	27.42	16.2	31.85	30.57
右红10	2	2018-06-30 14:24	42.68	22.91	15.15	27.47	33.47
右红11-1	2	2018-06-30 14:25	30.13	28.34	15.84	32.46	29.21
右红11-2	2	2018-06-30 14:26	35.83	25.55	16.24	30.27	32.44
右红12	2	2018-06-30 14:27	40.86	21.73	16.76	27.45	37.64
右红13-1	2	2018-06-30 14:28	35.54	24.99	17.1	30.28	34.39
右红13-2	2	2018-06-30 14:29	36.72	26.37	17.44	31.61	33.48

注： L^* 表示颜色明度； a^* 表示红绿值； b^* 表示黄蓝值； C^* 表示饱和度； h° 表示色调。

表5 光谱反射率列表

色块	400nm	410nm	420nm	430nm	440nm	450nm	460nm	470nm	480nm	490nm	500nm
右红1-1	2.7	2.92	3.03	3.26	3.48	3.73	4.06	4.18	4.11	3.81	3.56
右红1-2	3.88	4.36	4.63	5.14	5.68	6.31	6.79	6.79	6.6	6.18	5.63
右红1-3	3.93	4.23	4.77	5.18	5.91	6.32	6.57	6.25	6.07	5.78	5.42
右红2	4.32	4.83	5.29	5.91	6.71	7.29	7.73	7.82	7.48	6.94	6.33
右红3-1	2.05	2.29	2.3	2.41	2.58	2.6	2.8	2.9	2.89	2.77	2.56
右红3-2	3.67	3.97	4.19	4.74	5.32	5.83	6.27	6.45	6.28	5.91	5.47

续表

色块	400nm	410nm	420nm	430nm	440nm	450nm	460nm	470nm	480nm	490nm	500nm
右红3-3	2.02	2.22	2.29	2.45	2.67	3.06	3.2	3.29	3.21	3.04	2.78
右红3-4	3.46	3.69	4.03	4.44	4.96	5.38	5.64	5.57	5.46	5.35	5.23
右红4-1	1.94	2.03	2.06	2.15	2.29	2.42	2.43	2.57	2.46	2.33	2.11
右红4-2	2.13	2.28	2.34	2.44	2.54	2.59	2.75	2.73	2.75	2.67	2.47
右红5-1	4.48	4.81	5.33	5.94	6.7	7.45	7.85	7.82	7.6	7.24	6.79
右红5-2	4.66	4.99	5.56	6.22	7.02	7.62	7.77	7.48	7.32	7.21	6.85
右红6-1	4.36	4.70	5.21	5.90	6.65	7.11	7.09	6.77	6.38	6.34	6.02
右红6-2	3.79	4.04	4.26	4.68	5.23	5.68	5.95	5.83	5.41	4.96	4.44
右红6-3	3.28	3.45	3.64	3.89	4.34	4.61	4.84	4.74	4.30	3.87	3.43
右红6-4	2.92	3.12	3.24	3.45	3.74	3.93	4.09	4.14	3.93	3.52	3.07
右红6-5	2.60	2.8	2.88	3.02	3.19	3.44	3.64	3.68	3.54	3.25	2.91
右红6-6	2.63	2.75	2.78	2.90	3.11	3.32	3.55	3.60	3.48	3.15	2.82
右红6-7	2.40	2.52	2.56	2.61	2.76	2.92	3.12	3.12	2.95	2.73	2.47
右红6-8	2.15	2.47	2.52	2.60	2.74	2.90	3.13	3.13	3.02	2.72	2.47
右红7	4.49	4.85	5.31	6.01	6.72	7.37	7.81	7.91	7.64	7.15	6.59
右红8	2.6	2.97	3.13	3.43	3.77	3.88	3.94	4.06	3.96	3.93	3.78
右红9-1	2.41	2.51	2.6	2.77	2.92	2.98	3.13	3.16	3.03	2.79	2.47
右红9-2	3.79	4.02	4.32	4.77	5.45	5.92	6.29	6.3	5.89	5.38	4.86
右红10	5.35	5.75	6.2	6.74	7.55	8.23	8.98	9.08	8.77	8.15	7.52
右红11-1	2.42	2.71	2.8	2.91	3.1	3.34	3.53	3.56	3.43	3.16	2.87
右红11-2	3.36	3.8	3.93	4.36	4.64	5.12	5.28	5.5	5.28	5.12	4.63
右红12	4.37	4.67	5.03	5.55	6.31	6.95	7.56	7.72	7.56	7.2	6.68
右红13-1	3.19	3.51	3.81	4.01	4.41	4.7	5.07	5.15	5.16	4.89	4.62
右红13-2	3.38	3.75	4.04	4.37	4.83	5.17	5.41	5.42	5.28	5.13	4.79
色块	510nm	520nm	530nm	540nm	550nm	560nm	570nm	580nm	590nm	600nm	
右红1-1	3.29	3.15	3.27	3.67	4.36	5.35	6.83	8.82	11.2	13.39	
右红1-2	5.14	5.02	5.3	6.05	7.23	8.92	11.17	13.79	16.57	18.67	
右红1-3	5.04	4.97	5.17	5.95	7.06	8.73	10.91	13.53	16.21	18.54	
右红2	5.86	5.75	6.1	6.89	8.25	9.99	12.29	14.8	17.29	19.19	
右红3-1	2.29	2.29	2.34	2.51	2.89	3.49	4.53	5.96	7.86	9.9	
右红3-2	5.09	5	5.3	6.03	7.12	8.66	10.64	13.21	15.62	17.73	
右红3-3	2.61	2.48	2.61	3.02	3.6	4.45	5.64	7.2	8.89	10.32	
右红3-4	4.96	5	5.23	5.85	6.83	8.16	9.86	12.05	14.2	16.09	
右红4-1	1.96	1.82	1.9	2.07	2.4	2.92	3.83	5.34	7.37	9.63	
右红4-2	2.32	2.18	2.24	2.36	2.63	3.05	3.88	5.13	6.86	8.72	
右红5-1	6.36	6.19	6.55	7.52	8.92	10.83	13.2	15.96	18.54	20.55	

续表

色块	510nm	520nm	530nm	540nm	550nm	560nm	570nm	580nm	590nm	600nm
右红5-2	6.48	6.29	6.71	7.66	9.12	11.14	13.69	16.63	19.53	21.79
右红6-1	5.68	5.55	5.88	6.74	8.12	10.02	12.48	15.54	18.59	21.10
右红6-2	4.11	4.1	4.33	4.95	6.06	7.57	9.65	12.54	15.58	18.35
右红6-3	3.12	3.00	3.14	3.65	4.48	5.81	7.62	10.19	13.12	15.82
右红6-4	2.81	2.68	2.79	3.19	3.84	4.93	6.45	8.75	11.59	14.49
右红6-5	2.58	2.44	2.51	2.82	3.36	4.23	5.60	7.75	10.50	13.47
右红6-6	2.54	2.42	2.49	2.74	3.25	4.12	5.42	7.55	10.23	13.16
右红6-7	2.26	2.10	2.18	2.40	2.84	3.54	4.68	6.53	8.98	11.80
右红6-8	2.30	2.18	2.21	2.40	2.79	3.48	4.64	6.40	8.85	11.68
右红7	6.15	5.94	6.3	7.21	8.57	10.42	12.63	15.22	17.76	19.69
右红8	3.78	3.86	4.04	4.46	5.28	6.36	7.95	10.07	12.36	14.7
右红9-1	2.3	2.2	2.21	2.41	2.84	3.51	4.61	6.47	8.92	11.6
右红9-2	4.36	4.3	4.52	5.25	6.36	8.08	10.27	13.28	16.32	18.95
右红10	6.94	6.89	7.27	8.18	9.69	11.57	14.07	16.95	19.76	21.98
右红11-1	2.63	2.46	2.57	2.88	3.49	4.29	5.7	7.7	10.17	12.57
右红11-2	4.33	4.15	4.36	4.9	5.85	7.17	9.07	11.56	14.07	16.4
右红12	6.32	6.26	6.63	7.58	8.92	10.74	13	15.54	17.99	19.97
右红13-1	4.26	4.2	4.33	4.95	5.82	7.12	8.93	11.24	13.78	16.07
右红13-2	4.46	4.29	4.44	5.16	6.1	7.6	9.62	12.19	14.96	17.56
色块	610nm	620nm	630nm	640nm	650nm	660nm	670nm	680nm	690nm	700nm
右红1-1	15.38	16.93	18.47	19.69	21.01	21.98	23.3	24.47	25.79	27.29
右红1-2	20.45	21.75	23.06	24	25.29	26	27.1	28.21	29.38	30.64
右红1-3	20.12	21.43	22.56	23.55	24.51	25.23	26.03	27.27	28.49	29.62
右红2	20.62	21.74	22.73	23.42	24.33	25.2	26.27	27.19	28.23	29.41
右红3-1	11.83	13.44	14.95	16.15	17.43	18.41	19.67	20.74	21.99	23.46
右红3-2	19.33	20.69	21.81	22.74	23.63	24.71	25.7	26.9	28.11	29.32
右红3-3	11.7	12.79	13.75	14.61	15.39	16.15	16.96	17.9	18.86	19.83
右红3-4	17.44	18.57	19.54	20.28	21.21	21.94	22.77	23.83	24.91	25.99
右红4-1	11.66	13.55	15.14	16.52	17.91	19.11	20.34	21.67	23.06	24.5
右红4-2	10.52	12.09	13.52	14.67	15.82	16.77	18	19.27	20.72	22.36
右红5-1	22.14	23.49	24.76	25.79	26.8	27.64	28.71	29.78	30.9	32.08
右红5-2	23.55	25.05	26.3	27.37	28.57	29.46	30.54	31.67	32.8	33.92
右红6-1	22.93	24.35	25.62	26.66	27.71	28.73	29.80	30.92	32.06	33.24
右红6-2	20.41	22.09	23.41	24.54	25.63	26.80	28.02	29.26	30.51	31.78
右红6-3	18.07	19.83	21.46	22.70	23.93	25.05	26.30	27.62	29.01	30.47
右红6-4	16.79	18.88	20.50	22.03	23.32	24.56	25.94	27.23	28.62	30.13
右红6-5	15.91	18.11	19.91	21.38	22.77	24.04	25.37	26.79	28.22	29.64
右红6-6	15.63	17.71	19.53	20.92	22.25	23.58	24.83	26.15	27.49	28.84
右红6-7	14.33	16.43	18.32	19.91	21.40	22.66	24.03	25.43	26.87	28.36

续表

色块	610nm	620nm	630nm	640nm	650nm	660nm	670nm	680nm	690nm	700nm
右红6-8	14.29	16.53	18.61	20.12	21.72	23.07	24.55	26.03	27.58	29.23
右红7	21.1	22.23	23.23	24.12	25.03	25.82	26.74	27.82	29	30.25
右红8	16.64	18.46	20.15	21.67	23.25	24.81	26.31	27.98	29.55	31.01
右红9-1	14.02	16.07	17.85	19.33	20.8	22.04	23.35	24.68	26.08	27.57
右红9-2	21.06	22.7	24.17	25.26	26.38	27.6	28.66	29.89	31.08	32.22
右红10	23.72	25.01	26.48	27.39	28.54	29.64	30.85	32.06	33.36	34.75
右红11-1	14.98	16.81	18.71	20.07	21.6	22.8	24.33	25.48	26.85	28.49
右红11-2	18.47	20.25	21.93	23.25	24.58	25.82	27.12	28.54	30.04	31.61
右红12	21.49	22.75	23.88	24.89	26.01	26.91	28	29.15	30.4	31.75
右红13-1	18.14	19.86	21.51	22.7	24.15	25.24	26.67	27.96	29.34	30.82
右红13-2	19.67	21.55	23.17	24.66	26.02	27.15	28.42	29.8	31.24	32.75

同理，从图中可以看出补子右半中的红色系色块的 L^* 值发生了较大的波动， a^* 、 b^* 变化极小，说明所有的红色系色块的色相基本接近，主要是其明度即颜色的深浅程度在发生变化。

同理，从图中可以看出所有色块的反射光谱曲线变化趋势基本一致，但是在同一波长位置上对应的反射率大小不同。

所有的红色系色块的颜色都聚集分布在红色空间中且较为密集，其明度小于50且分布在25~42之间，体现了红色色调的深浅分布范围。

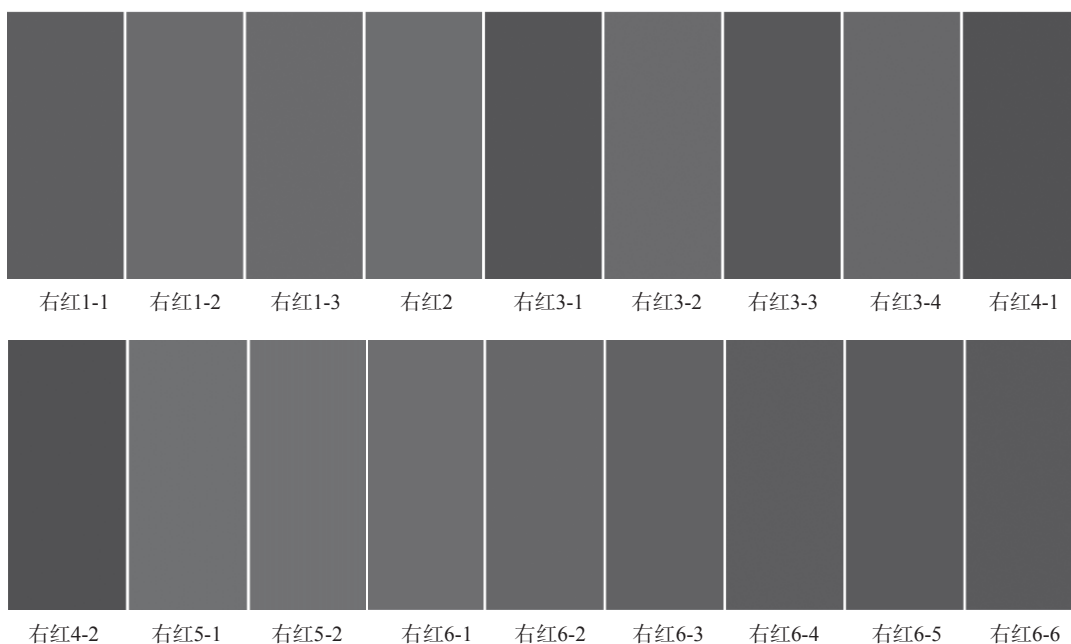


图13 物理模拟平均色块

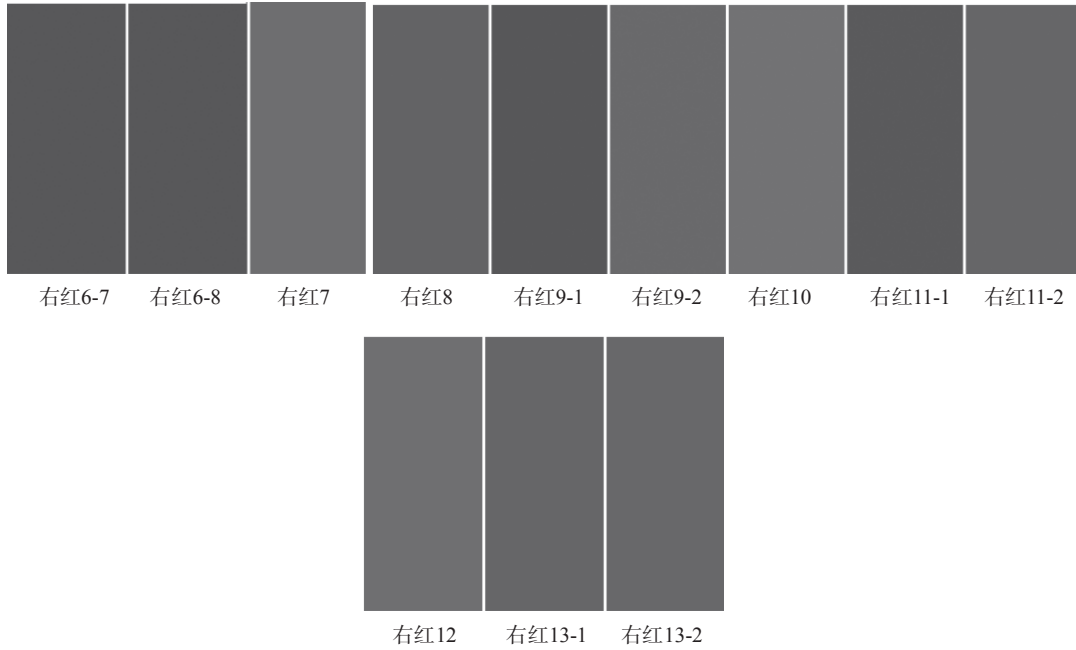


图13 (续)

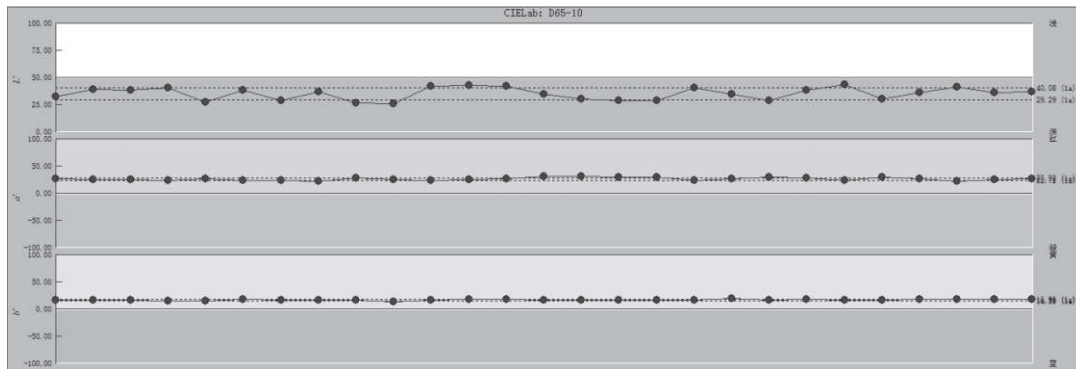


图14 颜色变化趋势图

2.3.3 测量结果说明

通过这些数据的测量采集，我们准确记录了清代五品官服补子的颜色信息，得到了不同色块的颜色色度数据、颜色的反射率数据、颜色的反射光谱曲线、不同标准光源条件下颜色的物理模拟色块、同一色系中不同色块的颜色变化趋势等。这些数据信息保存成多个文件，储存在计算机中，后期通过软件可以随时进行数据的筛选、分组、对比等，进行进一步的研究分析。

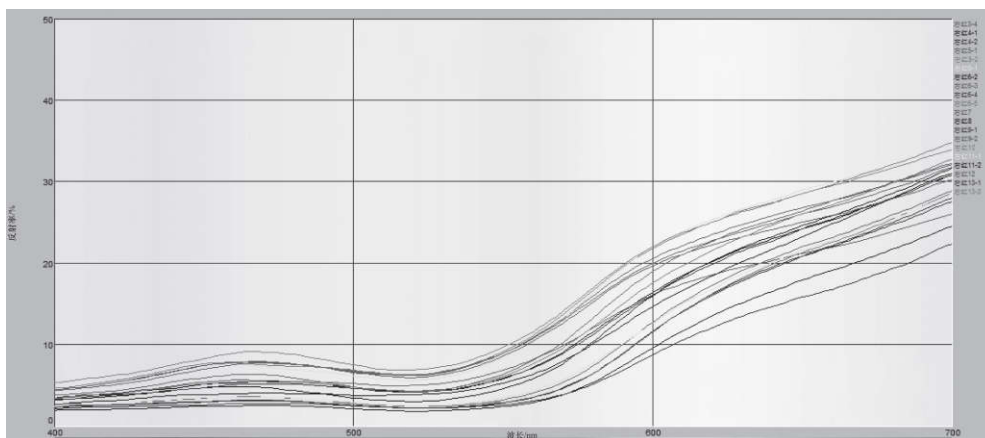


图15 反射光谱曲线

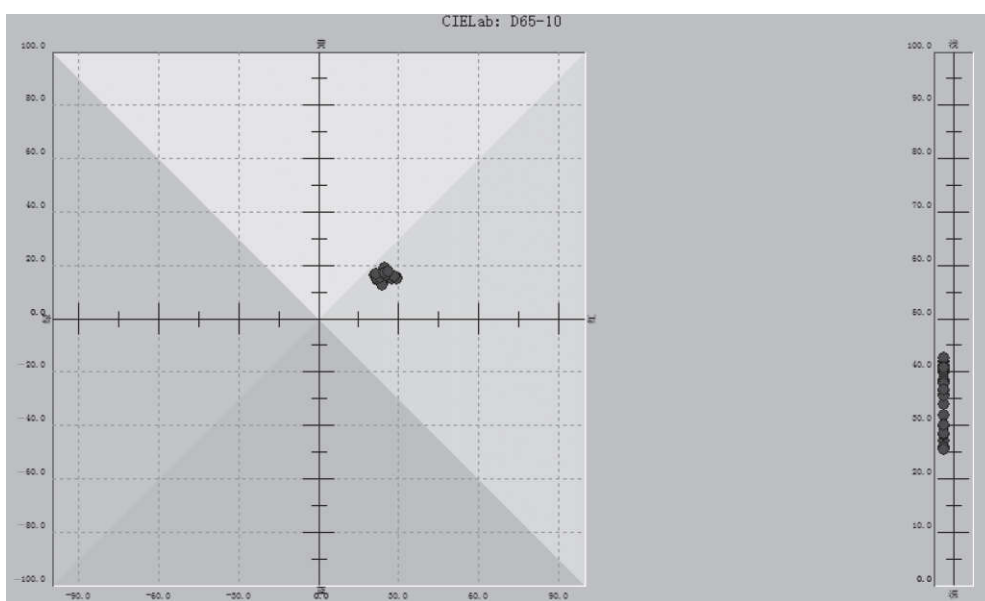


图16 色空间位置图

例如，我们观察补子右半中红色系色块中的6号色块的一组测量结果。6号色块是一个太阳图案，从太阳图案的边沿到中心位置，其颜色的 L^* 值依次减小， a^* 值和 b^* 值变化极小，颜色从浅到深均匀过渡，形象地表达太阳的光芒效果，也体现出当时成熟且高超的丝线染色及织造技艺。其测量位置放大5倍预览定位图如图17所示，其测量结果见表6、表7及图18~图21。

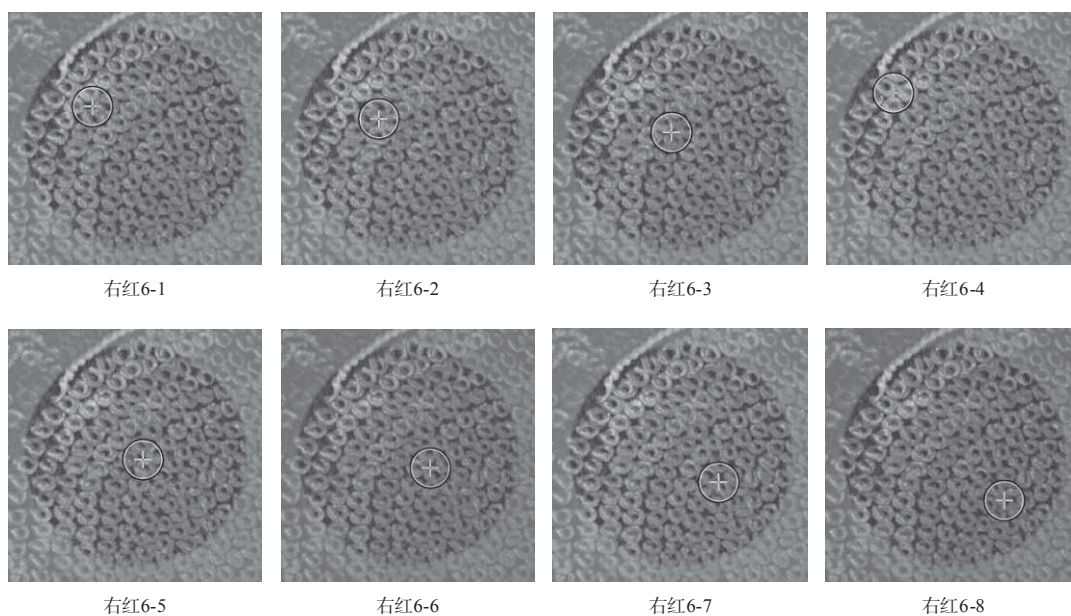


图17 测量位置放大5倍预览定位图

表6 6号色块的颜色数据

名称	测量孔径/mm	日期/时间	L^*	a^*	b^*	C^*	h°
右红6-1	2	2018-06-30 14:00	40.52	25.58	16.95	30.69	33.53
右红6-2	2	2018-06-30 14:01	36.88	27.67	16.01	31.97	30.05
右红6-3	2	2018-06-30 14:02	33.62	29.3	15.28	33.04	27.55
右红6-4	2	2018-06-30 14:03	31.91	29.62	15.54	33.45	27.68
右红6-5	2	2018-06-30 14:04	30.56	29.9	15.95	33.89	28.07
右红6-6	2	2018-06-30 14:04	30.2	29.69	15.92	33.69	28.2
右红6-7	2	2018-06-30 14:05	28.53	29.8	15.67	33.67	27.74
右红6-8	2	2018-06-30 14:06	28.51	29.87	15.67	33.73	27.69

注： L^* 表示颜色明度； a^* 表示红绿值； b^* 表示黄蓝值； C^* 表示饱和度； h° 表示色调。

表7 光谱反射率列表

色块	400nm	410nm	420nm	430nm	440nm	450nm	460nm	470nm	480nm	490nm	500nm
右红6-1	4.36	4.70	5.21	5.90	6.65	7.11	7.09	6.77	6.38	6.34	6.02
右红6-2	3.79	4.04	4.26	4.68	5.23	5.68	5.95	5.83	5.41	4.96	4.44
右红6-3	3.28	3.45	3.64	3.89	4.34	4.61	4.84	4.74	4.30	3.87	3.43
右红6-4	2.92	3.12	3.24	3.45	3.74	3.93	4.09	4.14	3.93	3.52	3.07
右红6-5	2.60	2.8	2.88	3.02	3.19	3.44	3.64	3.68	3.54	3.25	2.91
右红6-6	2.63	2.75	2.78	2.90	3.11	3.32	3.55	3.60	3.48	3.15	2.82
右红6-7	2.40	2.52	2.56	2.61	2.76	2.92	3.12	3.12	2.95	2.73	2.47
右红6-8	2.15	2.47	2.52	2.60	2.74	2.90	3.13	3.13	3.02	2.72	2.47

续表

色块	510nm	520nm	530nm	540nm	550nm	560nm	570nm	580nm	590nm	600nm
右红6-1	5.68	5.55	5.88	6.74	8.12	10.02	12.48	15.54	18.59	21.10
右红6-2	4.11	4.1	4.33	4.95	6.06	7.57	9.65	12.54	15.58	18.35
右红6-3	3.12	3.00	3.14	3.65	4.48	5.81	7.62	10.19	13.12	15.82
右红6-4	2.81	2.68	2.79	3.19	3.84	4.93	6.45	8.75	11.59	14.49
右红6-5	2.58	2.44	2.51	2.82	3.36	4.23	5.60	7.75	10.50	13.47
右红6-6	2.54	2.42	2.49	2.74	3.25	4.12	5.42	7.55	10.23	13.16
右红6-7	2.26	2.10	2.18	2.40	2.84	3.54	4.68	6.53	8.98	11.80
右红6-8	2.30	2.18	2.21	2.40	2.79	3.48	4.64	6.40	8.85	11.68

色块	610nm	620nm	630nm	640nm	650nm	660nm	670nm	680nm	690nm	700nm
右红6-1	22.93	24.35	25.62	26.66	27.71	28.73	29.80	30.92	32.06	33.24
右红6-2	20.41	22.09	23.41	24.54	25.63	26.80	28.02	29.26	30.51	31.78
右红6-3	18.07	19.83	21.46	22.70	23.93	25.05	26.30	27.62	29.01	30.47
右红6-4	16.79	18.88	20.50	22.03	23.32	24.56	25.94	27.23	28.62	30.13
右红6-5	15.91	18.11	19.91	21.38	22.77	24.04	25.37	26.79	28.22	29.64
右红6-6	15.63	17.71	19.53	20.92	22.25	23.58	24.83	26.15	27.49	28.84
右红6-7	14.33	16.43	18.32	19.91	21.40	22.66	24.03	25.43	26.87	28.36
右红6-8	14.29	16.53	18.61	20.12	21.72	23.07	24.55	26.03	27.58	29.23

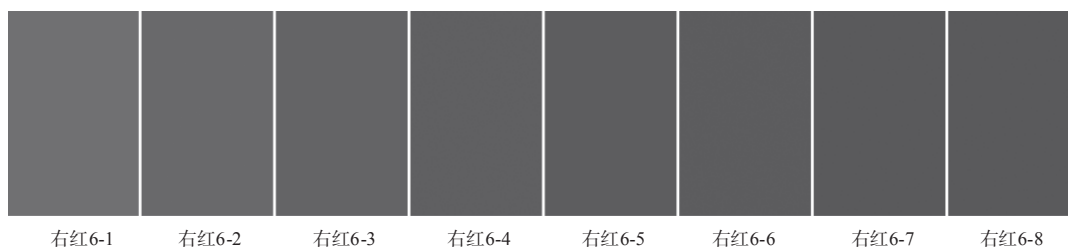


图18 物理模拟平均色块

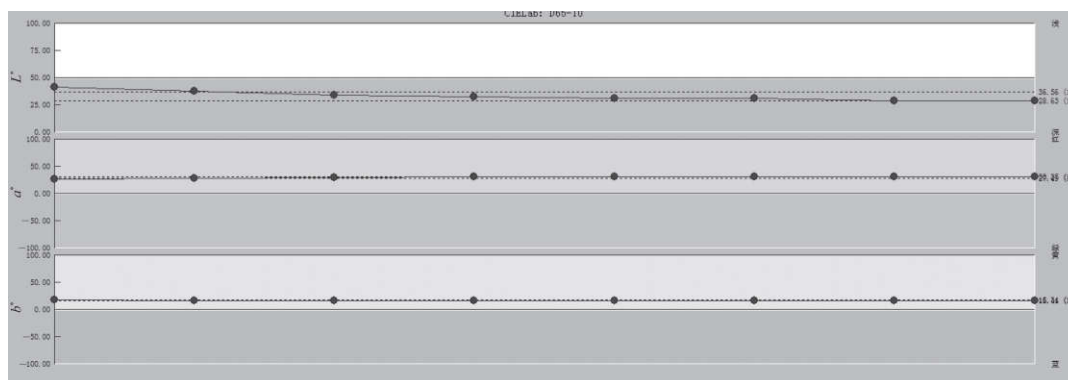


图19 颜色变化趋势图



图20 光谱曲线

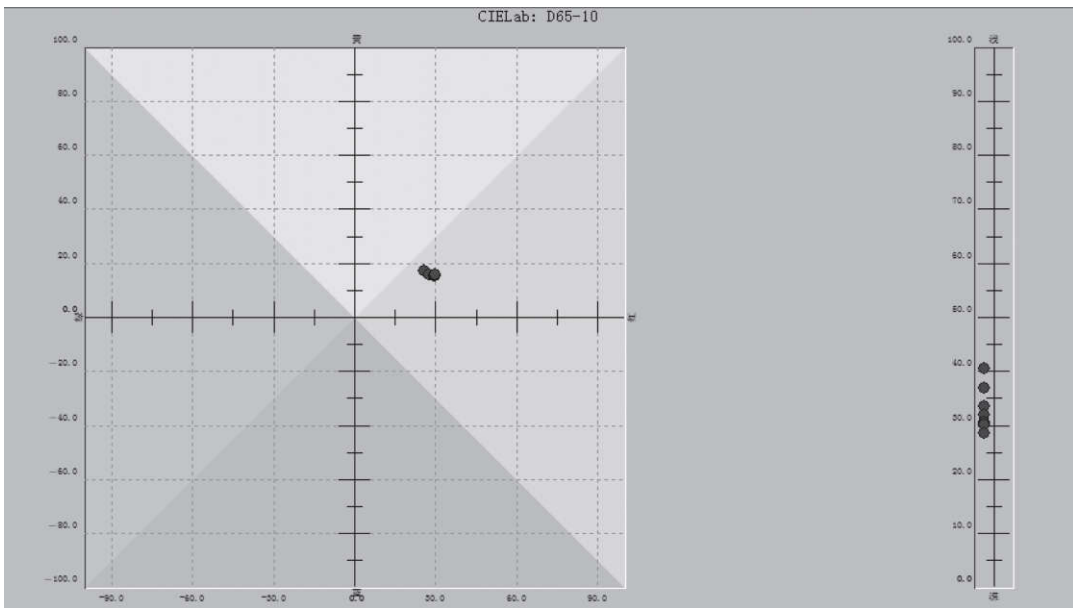


图21 色空间位置图

3 总结与讨论

纵览整体实验过程，对该新型文物颜色测量方法的应用特点讨论如下：

(1) 非接触式测量，仪器不挤压纺织品文物表面，不改变文物的形貌，对文物无损伤，使测量数据更加准确，更加贴近人眼视觉效果。

(2) 测量孔径在2~12mm范围之间可自由选择，实现了面积极小色块的颜色测量，使文物颜

色信息的采集更完整。

(3) 可以预览并精准定位测量位置,使测量数据与测量位置一一对应,提高测量效率。

(4) 可得到测量目标的颜色数据、颜色模拟色块、颜色变化趋势、反射光谱曲线、光谱反射率值等测量结果,可为后续的文物颜色研究及文物保护修复提供完整科学的依据和第一手资料。

文物颜色的数字化实践对于文物保护工作有着深远的意义,适合文物特点的颜色测量新技术及新设备的应用会使文物颜色数字化更准确、更科学、更全面。

参 考 文 献

- [1] 荆其诚,焦书兰,喻柏林,等.色度学[M].北京:科学出版社,1979.
- [2] 马清林,苏伯民,胡之德,等.中国文物分析鉴别与科学保护[M].北京:科学出版社,2001.
- [3] 吴畏,卢轩,张更建.文物色彩信息数据化技术现状及展望[A]//陕西历史博物馆.中意合作古代壁画保护与研究学术研讨会论文集[C].北京:文物出版社,2016:337-343.