

单透镜多谱带象机

导 言

在六十年代多谱带遥感的出现^[1]引起了可能作为探测工作应用的兴趣,提供信息为民用和军用画制地图或特种目的专用地图。因此美国陆军工程地形图试验室着手一个计划研究和交替使用求得这技术的最佳化。研究过程中为了评价多谱带成象用于制图的各种可能性,有几个理由决定现有多谱带象机和多谱带扫描器是不适用的。常规多透镜或多相机照相系统^[2, 3]当应用加色法^[4]显示不同谱带的象时主要缺陷便明显。加色法要求几个象通过光谱滤色片相互重叠投射在一起(红绿和兰),显示一个被记录的风景的真彩色和假彩色复制。如果要达到高质量显示,就必须对于象间容许的相对畸变加以严格限制。快门同步、光轴平行、和透镜头的一致性等困难是相对畸变的固有根源,必须克服才能用常规照相系统得到不同谱带的相重叠成象。另一方面多谱带扫描器虽然避免了畸变问题,但分辨本领过差。

为了加到现有设备上去的限制,决定要制造一个高性能实验用的多谱带象机以作评价之用。目标是得到多谱成象,为加色法显示具有最小相对畸变和最大分辨本领。

工作物镜

用于说明多谱带象机所要求的工作特征的基本标准、是要求各谱带在尺寸70毫米的画幅内用面积作权的平均分辨本领(AWAR)为每毫米100对线。假定用加色法显示,略去由显示装置引入的质量下降,规定对重叠象最大的相对畸变差为 ± 2.5 微米。这是企图保证重叠象的显示质量和原照相质量相一致。假定采用常规的照象机AWAR要求规定进一步限制是快门同步在.005秒以内。

根据早些研究的结果^[5],需要多谱带象机记录四个光谱带,就是从400到550毫微米的兰,从475到625毫微米的绿,从575到725毫微米的红,和从700到900毫微米的红外摄影。如果为特殊工作认为需要,可以引入窄带滤色片,四个选择带也可以用多谱带材料模拟常规形式来进行多谱带数据和常规制图摄影法比较。规定用6吋焦距 $f/4$ 透镜来维持制图象机所用通常比例尺。需要一个可互换的4吋 $f/4$ 透镜来考查比例尺和对多谱成象的大气影响。否则多谱带设备将指望在空间、功率、重量和安装要求方面作为标准制图象机使用。

设计考虑

一个单透镜、四通道、光束分裂器的途径由Perkin-Elmer公司的Boller和Chivens部建议后,被选作设计制造实验用多谱带象机之用。这途径提供了一系列多透镜或多象机设计所没有的显著优点。单透镜结构立即消除光轴平行和镜头一致性问题,把快门放在适当位置、也避免了同步问题。单透镜遇到的主要困难是在透镜后面光路中有关光束的色散系统。低效透过率、对准差、空间限制是需要克服的主要障碍,加上需要4吋和6吋焦距镜头的互换。

光束色散器

图1是一个切开图,表示多谱带象机的光学布置。光学色散器结构是从彩色电视象机所用多棱镜设计演变出来的,用分色镜作为分裂光束之用。用了分色镜解决了与镀银表面光束分裂器结合着的低透过率问题;可

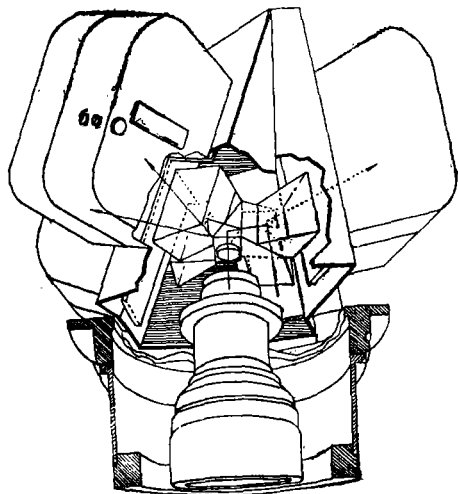


图1 多谱带象机的切开图

是干涉滤光片引进了偏振和透过率随着入射角变化的影响。为了补偿这些影响，改变分色镜的厚度使滤色片整个表面上产生几乎不变的透过率。剩余相位移所引起的位移、对于系统的焦深说，是可忽略的而且在畸变限制以内。

由于要求四个光谱通道并在四个象平面上都要各个放下70毫米画幅，100呎容量的胶卷盒使光束色散器的设计的要求复杂化。为了这些原因光束色散器采用非正统结构。一个色散器单元简图在图2表示。全内反射表面和分色面结合使光谱分开的象投向四个各别焦平面。照明进入第一个色散器元件在 S_1 被全反射。一个氧化反射器在 F_1 蓝和绿

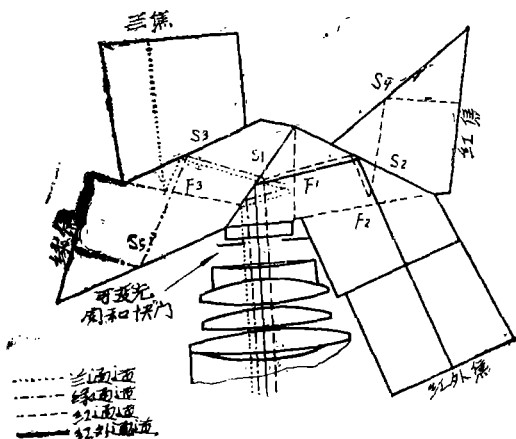


图2 光束色散器的示意图

波长反射向 S_1 并透射红和红外光谱带。因为入射角小于全内反射所需临界角、蓝和绿照明现在 S_1 透射，在 S_3 绿和蓝又被全反射向 F_3 ，它反射蓝的到蓝焦面而透射绿的。绿波长在 S_5 全反射、而成象在绿焦面。红和红外象用类似法获得。

透镜设计

除了规定的分辨本领和畸变限制外，还需要把光束色散器放在透镜后面，对透镜设计加上了严格的限制。最后设计必须给光束色散器有允许的余地，还得允许交换有效焦距为4吋和6吋的镜。根据这些标准，光学研究联合会，利用他们第五号编码计算机化的透镜设计程序，设计了一个倒转的望远镜照相系统，有4吋也有6吋透镜，以光束色散器作为每个透镜的最后元件。图3和4表示4吋和6吋透镜的结构。属于每个透镜的光学参数列在表1和2内。在每个光线轨迹中，光束色散器以矩形元件出现、显示它在设计中的有效作用。视场光阑在每个情况下都位于透镜后边的表面和色散器的第一个表面之间。快门和可变光阑都在这个位置使渐晕减到最小。

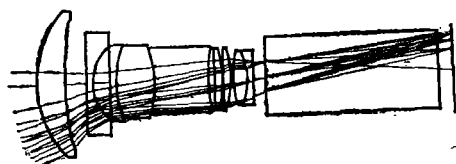


图3 4吋焦距透镜光线轨迹

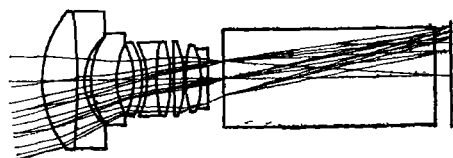


图4 6吋焦距透镜光线轨迹

试验结果

制造交货后多谱带象机在国家标准局照

相标定设备(现美国地质普查照相标定组)进行试验。分辨本领和畸变试验结果见表3和表4。试验曝光在多准直器试验台上进行,以高反衬度1951空军靶作目标。三个可见光的通道的象用Kodak Panatomic X 3400型胶卷,红外通道用Kodak Infrared Aerographic 2424型胶卷。将记录的象进行测定分辨本领和畸变。

由于象机的非常规结构,在试验台上安装和调整发生困难。胶卷盒的安放位置使象机无法同时带着四个胶卷盒安装上去。因此,先带两个胶卷盒做一次曝光,将象机转

过180°,获得另两个通道中的曝光。同时四个通道都进行曝光来测量不可能。可是即使考虑到最坏情况的例子,所得数据对照相性能提供了有趣的深刻了解,特别是相对畸变。6吋透镜放上时,系统在视场角的畸变见图5。最大相对畸变偏离在绿通道;可是测得点的系统位移、可解释为绿通道内最后棱镜轻微的失调,或是胶卷盒在绿象面中轻微倾斜引起的位移。实际上每个通道曲线图形相似、说明对棱镜元件和胶卷盒更精确的调整可以降低相对畸变。当放上4吋透镜时得到相似的结果。相对畸变随着视场角增加。

表1 6吋 F/4.0多谱带相机透镜的设计数据

元件	R ₁	R ₂	T	CA ₁	CA ₂	玻璃
1	3.1787	-35.7547	1.0777	4.0496	3.7574	LAFN7
2	-35.7547	1.7409	0.3000 0.2090	3.7574	2.6749	BAF4
3	2.3510	2.4457	0.7982	2.6748	2.1298	LAF10
4	-2.3715	-1.9617	0.3744 0.0690	2.1298	2.1307	BASF10
5	-1.7914	10.9194	0.3000	2.0623	2.1027	KZFS5
6	10.9194	-4.7038	0.4719 0.0100	2.1027	2.1219	PSK53
7	22.5613	-3.0175	0.3750 0.0100	2.0935	2.0686	PSK53
8	8.3164	-2.1092	0.5331	1.8746	.7055	PSK53
9	-2.1092	-264.8411	0.2000 0.5000	1.7055	1.4877	KZFS1
			孔径阑	1.0956		
10	无限大	无限大	6.5750 0.5036	1.0956	2.8345	SF1

注:正半径指示曲率中心在右方。负半径表示曲率中心在左方。

	位置1	位置2	位置3	位置4
EFL	= 6.0000	5.9957	5.9921	5.9905
BFL	= 0.5036	0.5003	0.4977	0.4964
FFL	= 0.0870	0.0833	0.0809	0.0914
F/NO	= 4.0000	4.0000	4.0000	4.0000
全长	=12.3000	12.3000	12.3000	12.3000
半场	=14.8510	14.8613	14.8698	14.8736
入射瞳				
直径	= 1.5000	1.4989	1.4980	1.4976
距离	= 6.0938	6.1164	6.1403	6.2207
出射瞳				
直径	= 1.0921	1.0864	1.0807	1.0643
距离	= -3.8647	-3.8453	-3.8252	-3.7608

所有尺寸用时为单位

表 2 4 吋 F/4.0 多谱带相机透镜设计数据

元件	R ₁	R ₂	T	CA ₁	CA ₂	玻璃
1	3.8388	13.1847	1.1255 0.6963	5.1988	4.7988	LAFN7
2	44.1726	1.6576	0.3000 0.6281	3.6038	2.6282	SSKN5
3	44.9483	4.4143	0.3000	2.6281	2.5293	PSK53
4	4.4143	-6.0525	1.3340	2.5293	2.3093	KZFS1
5	-3.4272	6.1131	2.1000 0.0512	2.3093	2.1374	KZFS1
6	13.2997	-5.6067	0.4461 0.0100	2.1374	2.1409	PK50
7	12.7825	-3.3426	0.3750 0.0100	2.1118	2.0825	PSK53
8	5.2547	-2.9328	0.5095	1.8783	1.6934	PSK53
9	-2.9328	10.3267	0.2000 0.5000	1.6934	1.4737	KZFS1
			孔径阑	1.095		
10	无限大	无限大	6.5750 0.5040	1.0957	2.7124	SF1

注：正半径指曲率中心在右方，负半径指曲率半径在左方。

	位置1	位置2	位置3	位置4
EFL	= 4.0000	3.9945	3.9906	3.9912
BFL	= 0.5040	0.4986	0.4949	0.4955
FFL	= -4.6852	-4.7025	-4.7199	-4.7839
F/NO	= 4.0000	4.0000	4.0000	4.0000
全长	= 15.2500	15.2500	15.2500	15.2500
半场	= 21.6900	21.7173	21.7365	21.7337
入射瞳				
直径	= 1.0000	0.9986	0.9976	0.9978
距离	= 6.5163	6.5365	6.5586	6.6589
出射瞳				
直径	= 1.0922	1.0860	1.0800	1.0596
离距	= -3.8647	-3.8453	-3.8252	-3.7429

所有尺寸用吋为单位

表 3 分辨本领 (周期/毫米)

透镜	沟道	AWAR		0°	5°	10°	15°	20°
4 吋	蓝	47.2	切向	64	46	51	28	25
			径向	64	64	64	51	36
	绿	55.4	切向	72	64	51	51	45
			径向	72	72	64	51	51
	红	42.9	切向	57	57	45	25	20
			径向	57	57	57	51	36
红外	31.3	切向	36	32	32	32	20	
		径向	36	32	32	32	32	
6 吋	蓝	50.3	切向	57	51	45		
			径向	57	57	51		
	绿	48.1	切向	72	64	36		
			径向	72	72	36		

续表 3

透镜	道沟	AWAR		0°	5°	10°	15°	20°
	红	45.8	切向	57	45	40		
			径向	57	57	45		
	红外	30.7	切向	32	32	28		
			径向	32	32	32		

表 4 径向畸变 (毫米)

透镜									
4 吋	兰	-1.905	-.664	-.069	-.065	.042	-.146	-.805	-2.215
4 吋	绿	-1.813	-.598	-.049	.072	.039	-.174	-.843	-2.323
4 吋	红	-1.890	-.633	-.070	.067	.042	-.149	-.807	-2.250
4 吋	红外	-1.85	-6.23	-.064	-.067	.041	-.153	-.846	-2.263
6 吋	兰			-.142	.082	.073	-.170		
6 吋	绿			-.101	.091	.058	-.199		
6 吋	红			-.155	.078	.077	-.156		
6 吋	红外			-.144	.076	.074	-.158		

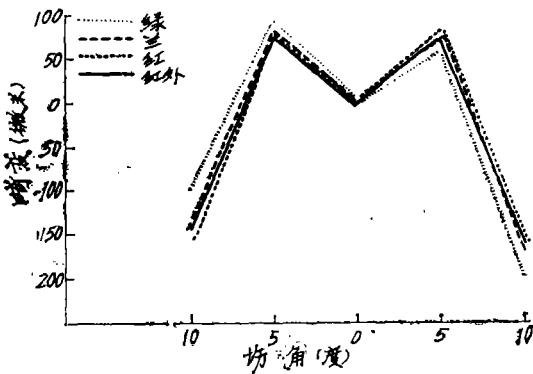


图 5 6 吋焦距透镜畸变

6 吋透镜在光谱轴上透射率的曲线在图 6 中绘出。各通道的透射性质取得平衡，在可见光谱带使用 Panatomic X 胶卷，在红外光谱带用 Infrared Aerographic 胶卷时使四个

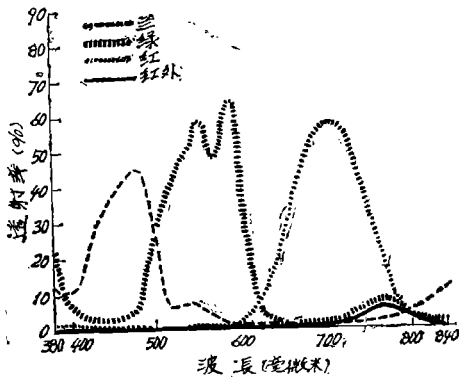


图 6 6 吋焦距透镜光谱透射率曲线

通道获得适当的照相曝光。红外中相对的低透射率补偿了 2424 胶卷的较快速度。实际上还得再降低红外照明，将中性密度为 1.0 的胶质滤光片引入胶卷平面。此方法使所有通道内都有适当的曝光量，而红外象没有发生显著的质量降低。较短焦距的透镜透射率曲线和图 6 所示相似，但在所有谱带内透射率都低一些。

图 7* 是在 Manati Puerto Rico 上空试飞行时所得一个多谱带成象的样本。成象在高度 5000 呎用 6 吋焦距透镜取得的，清楚地证明光谱分离的效果。

结 论

虽然多谱带象机没有满足所有性能的设计目标，它产生几种重要结果。第一它证明从单透镜象机设计可得的优点能够实现。第二、它指出同类设计的未来象机可有改进的性能。第三、它提供了多谱带照相术几百张高质量照片，这些在早些时候用多谱带评价试验程序是没有可能得到的。

译自“Optical engineering”Vol.14, No.4, P.347, 1975。

(吴学蔺译, 王传基校)

* 因图 7 不清省略。