

红外光电系统手册〈第5卷〉

被動光電系統

航天工业总公司第三研究院
八三五八所翻译出版

被 動 光 電 系 統

第 5 卷

紅外光電系統手冊

翻译出版序言

本书以1978年出版的“红外手册”为基础，但对它作了大量的修订、更新和补充，而且进行了重新整理和编排。因此，无论在内容上和形式上都以崭新的面貌出现。

全书共分八卷四十五章。几乎涉及到目前活跃于军事、航空航天和民用光电技术的大部分学科。有些内容是由先进的军事技术派生而来，在公开发表的文献中很少有如此大量的报道。在编排上也较好地考虑了可使用性因素。每章自成一体，避免了互相间繁琐的查阅，陈述格式由简明引言、实用公式汇编、有关数据、公式和数据使用方法实例四部分组成，非常明了、实用。

本书内容广泛充实，有较丰富的数据和参考资料，反映了美国80年代后至90年代初在此学科领域内的工程研究水平，具有先进性和很好的借鉴性，是目前红外与光电系统学科领域中最新的一本参考书和非常有用的工具书。

为及时地把这本手册推荐给我国从事红外和光电系统设计的工程技术人员，我们决定翻译出版本手册，但由于篇幅较长，翻译出版工作量巨大，故拟分两次进行。本次翻译出版的内容为第三、五、六、七卷，以后将在适当时候译全出齐。

红外和光电系统技术属于跨学科应用工程技术，所涉及的专业知识面极广。由于参加译、校和审订者的专业水平和外语水平有限，在译文中难免有错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

本手册由中国科学院成都分院林祥棣院长推荐并引进，值此翻译出版之际对他表示忱谢。

孙再龙

1997年6月

一部丛书 红外及光

由军事工程设计

白重安手册

王六六
一九九六年
十月

目 录

第一章 红外行扫描系统	(1)
1.1 引言	(1)
1.1.1 符号、术语与单位.....	(1)
1.1.2 红外行扫描器的定义	(5)
1.1.3 用红外行扫描系统的机载侦察	(5)
1.1.4 红外行扫描器的类型	(7)
1.2 基本扫描器的设计.....	(12)
1.2.1 衍射限分辨率.....	(12)
1.2.2 $f/\#$ 和探测器尺寸	(13)
1.2.3 布局图及光路追迹图.....	(14)
1.3 需求分析.....	(14)
1.3.1 任务要求.....	(14)
1.3.2 扫描视场.....	(15)
1.3.3 视野与高度.....	(16)
1.3.4 V/H 范围、扫描速率与并联通道数	(16)
1.3.5 空间分辨率与温度分辨率要求.....	(17)
1.3.6 空间分辨率要求.....	(17)
1.3.7 温度分辨率要求.....	(23)
1.3.8 目标温度对比度.....	(24)
1.3.9 波长与探测器的折衷.....	(26)
1.3.10 飞行器安装	(27)
1.3.11 行可替换单元的概念	(28)
1.3.12 安装要求	(28)
1.3.13 安装红外行扫描器的窗口	(29)
1.3.14 振动和冲击隔离	(30)
1.3.15 环境空气及温度控制	(30)
1.3.16 电源与电磁噪声	(31)
1.3.17 听觉噪声	(31)
1.3.18 图像的稳定	(31)
1.3.19 滚动补偿	(31)
1.3.20 V/H 补偿	(32)
1.3.21 扫描中的 V/R 补偿.....	(33)
1.3.22 散焦效应	(33)
1.3.23 延迟和累加	(36)

1.3.24	技术保障和运行费用	(37)
1.3.25	特殊可靠性问题	(38)
1.3.26	技术保障和训练	(38)
1.3.27	文件	(38)
1.4	系统方程式和关系式	(39)
1.4.1	综述	(39)
1.4.2	噪声等效辐射亮度 (NEN) 和噪声等效温差 (NETD)	(39)
1.4.3	噪声等效辐射亮度和噪声等效温差的推导	(40)
1.4.4	辐射亮度对比度和其它黑体函数	(45)
1.4.5	信号处理对噪声带宽的影响	(45)
1.4.6	噪声记录器和显示器	(46)
1.4.7	红外行扫描器动态范围	(46)
1.4.8	数字信号动态范围	(47)
1.4.9	模拟信号压缩	(47)
1.4.10	信号压缩的数字技术	(48)
1.4.11	动态范围计算举例	(48)
1.4.12	信号处理和显示单元的滤波效应	(49)
1.5	系统调制传递函数	(49)
1.5.1	红外行扫描系统 ACT 的调制传递函数分析	(50)
1.5.2	红外行扫描系统沿轨迹方向的调制传递函数分析	(56)
1.6	性能品质因数	(57)
1.6.1	客观最小可分辨温差	(57)
1.6.2	红外行扫描器用的客观最小可分辨温差表达式	(59)
1.7	探测器、阵列、杜瓦瓶和低温制冷	(59)
1.7.1	光伏阵列	(60)
1.7.2	探测器杜瓦瓶	(60)
1.7.3	光导体的偏置	(61)
1.7.4	冷屏设计	(62)
1.7.5	红外探测器/杜瓦瓶组件测试	(62)
1.7.6	低温制冷	(63)
1.8	信号处理和图像预处理	(64)
1.8.1	红外行扫描图像的数字压缩实验	(65)
1.9	系统的未来趋势及其使用寿命	(66)
1.9.1	总的改进	(66)
1.9.2	自动目标提示器(ATC)	(66)
第二章	前视红外系统	(69)
2.1	引言	(69)
2.2	工作原理	(71)

2.2.1	热成像的基础	(71)
2.2.2	功能部件	(73)
2.2.3	成像方式	(74)
2.2.4	信号处理	(78)
2.2.5	显示	(79)
2.2.6	系统的类型	(79)
2.3	前视红外系统性能	(82)
2.3.1	图像保真度——分辨率	(82)
2.3.2	图像不确定性——灵敏度	(86)
2.3.3	系统性能扰动	(92)
2.3.4	人机介面	(95)
2.4	系统设计要求	(98)
2.5	像质	(98)
2.6	外场性能	(99)
2.7	计算举例	(102)
第三章	凝视传感器系统	(104)
3.1	引言	(104)
3.1.1	凝视焦平面阵列的类型	(104)
3.1.2	凝视器件性能概述	(104)
3.2	电子成像性能评价方法	(107)
3.2.1	一般方法	(107)
3.2.2	信号与对比度	(108)
3.2.3	传感器噪声	(109)
3.2.4	图像图形信噪比	(114)
3.3	战术红外系统设计与性能	(117)
3.3.1	凝视传感器设计构想与折衷	(117)
3.3.2	识别距离预测模型	(120)
3.3.3	凝视红外观察器设计范例	(122)
3.4	空间监视传感器设计与性能	(128)
3.4.1	凝视传感器设计构想与折衷	(129)
第四章	红外搜索/跟踪系统	(142)
4.1	引言	(142)
4.1.1	红外搜索/跟踪系统定义	(142)
4.1.2	红外搜索/跟踪系统与前视红外系统的比较	(142)
4.1.3	红外搜索/跟踪系统特性	(143)
4.1.4	红外搜索/跟踪的应用	(144)
4.2	目标、背景与大气特性	(148)

4.2.1	目标特性	(148)
4.2.2	背景特性	(161)
4.2.3	大气特性	(181)
4.3	红外搜索/跟踪系统性能分析	(200)
4.3.1	探测器搜索的几何图形	(200)
4.3.2	搜索体积	(201)
4.3.3	系统带宽要求	(203)
4.3.4	角分辨率和孔径	(203)
4.3.5	系统灵敏度	(204)
4.3.6	距离方程	(206)
4.3.7	杂波噪声	(207)
4.3.8	信杂比	(209)
4.3.9	凝视器和扫描器的杂波特性比较	(209)
4.3.10	探测概率和虚警率	(209)
4.4	红外搜索/跟踪系统信号处理	(211)
4.4.1	信号处理算法	(211)
4.4.2	阈值接收器:探测	(217)
4.4.3	鉴别	(224)
4.4.4	跟踪算法	(228)
4.5	被动定位及测距	(230)
4.5.1	固定目标	(230)
4.5.2	匀速目标	(232)
4.6	红外搜索/跟踪作战系统	(233)
4.6.1	空中监视	(233)
4.6.2	舰船用红外搜索/跟踪系统	(234)
4.6.3	展望未来	(234)
参考文献		(235)

第一章 红外行扫描系统

1.1 引言

1.1.1 符号、术语与单位

表 1.1 列出了本章所用符号、术语和单位,表 1.2 给出了缩略语。

表 1.1 量的符号、术语与单位符号

量的符号	术 语	单位符号
A_d	探测器的面积	cm^2
c	光速	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
C_1	第一辐射常数 $C_1 = 1.19106 \times 10^5$	$\text{W} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{sr}^{-1}$
C_2	第二辐射常数 $C_2 = 14,388.33$	$\mu\text{m} \cdot \text{K}$
D	胶片光学密度	密度单位
D	探测灵敏度(NEP 倒数)	W^{-1}
D^*	D -星	$\text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$
D_{dB}	黑体 D -星	$\text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$
D_{λ}^*	光谱 D -星	$\text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$
D^*	带内平均光谱 D 星	$\text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$
D_{PK}^*	D^* 峰值波长光谱 D 星	$\text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$
D_{RLIF}^*	背景限制的光谱 D -星	$\text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$
D^{**}	D -双星	$\text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$
d_c	普差斑近似直径	rad
e	自然对数底数 = 2.718281828	—
E	胶片曝光量	$\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$
f_c	电学频率	Hz
f	光学焦距	cm
f_s	空间频率	c/rad
f_c	截止空间频率	c/rad

量的符号	术 语	单位符号
$f/\#$	焦距与工作孔径比	—
g	地球赤道处的重力加速度	$g \cdot cm \cdot s^{-2}$
h	地平面以上高度	ft, m
I_b	探测器偏置电流	A
I_{FOV}	瞬时视场	mrad
$(I_{FOV})_{REQ}$	完成给定图像识别任务所要求的瞬时视场	mrad
J_0	零级贝塞尔函数	—
k	噪声带宽估算因子	—
K	绝对温度	K
MTF_D	红外行扫描器孔径衍射调制传递函数	—
m	旋转镜面数	—
N	红外辐射亮度	$W \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1}$
N_λ	光谱辐射亮度	$W \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$
$(N_{max})_{\Delta\lambda}$	带内最大辐射亮度	$W \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1}$
N_{AIT}	每次扫描并联探测器数	—
N_{ACT}	垂直于航迹方向上每扫描行的瞬时视场数	—
NEN	噪声等效辐射亮度	$W \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1}$
$(NEN)_{\Delta\lambda}$	带内噪声等效辐射亮度	$W \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1}$
NEP	噪声等效功率	W
nmi	海里	nmi
N_{PIX}	垂直于航迹方向扫描行图像像素数	—
N_{TOT}	一幅图像的总像素数	—
$NETD$	噪声等效温差	C, K
P_C	图像识别校正概率	—
P_D	探测概率	—
P_i	辨识概率	—
P_n	噪声功率	W
P_R	识别概率	—

量的符号	术 语	单位符号
P_S	信号功率	W
Q_B	背景红外光子通量	光子数 /s
$(Q_W)_{\Delta\lambda}$	带内光子辐射出射度	光子数 \cdot s $^{-1}$ \cdot cm $^{-2}$
R	探测器响应率	V \cdot W $^{-1}$
R_λ	探测器光谱响应率	V \cdot W $^{-1}$ \cdot μ m $^{-1}$
R_e	地球平均半径	m
r_L	偏置负载电阻	Ω
r_m	镜反射率	—
R_{MAX}	到目标的最大斜距	m, ft
r_{sc}	红外行扫描器扫描速率	扫描次数 /s
r_{sp}	旋转镜旋转速率	rps, rpm
T	温度	$^{\circ}$ C, K
T	胶片或光学元件透过系数	—
T	红外行扫描器隔行扫描周期	s
V_b	探测器偏压	V
V_{SOT}	卫星亚轨道跟踪速度	m \cdot s $^{-1}$
V/H	速度与高度的比	rad \cdot s $^{-1}$
α	大气衰减系数	km $^{-1}$
α	瑞利准则中两个可分辨物体的角距离	rad
δf	电信号带宽	Hz
δf_n	电学噪声带宽	Hz
δS	目标处瞬时视场的映射距离, 垂直于红外行扫描器视线	ft, m
ΔN	辐射亮度对比度	W \cdot cm $^{-2}$ \cdot sr $^{-1}$
ΔT	温差或温度对比度	$^{\circ}$ C, K
ϵ	灰体发射率	—
φ	冷屏蔽的圆锥角度	($^{\circ}$)
Φ_{ALT}	平行于航迹方向的视场	mrad
λ	波长	m, μ m

量的符号	术 语	单位符号
σ	包含部分功率 P 的高斯点的归一化角半径	c/rad
τ_a	大气路径透过系数	—
τ_o	光学透射比	—
τ_w	红外窗口透射比	—
$(IFOV)_x$	x 轴瞬时视场	mrad
$(IFOV)_y$	y 轴瞬时视场	mrad
Ω_{IFOV}	瞬时视场的立体角	sr

表 1.2 缩略语

缩略语	含 义	缩略语	含 义
ACT	垂直于航迹方向的红外行扫描器的扫描轴, x 轴, 横轴	AGERD	航天地面设备技术要求文档
AGL	高于地平面	ALT	平行于航迹方向的红外行扫描器的扫描轴, y 轴, 平行于飞行方向
APC	装甲运兵车	AR	抗反射(涂层)
BAe	英国航天与电子	CAD	计算机辅助设计
CAL	标定	CCC=C ³	通讯、指挥和控制
CCD	电荷耦合器件	CNVEO	美军夜视与光电技术中心
ECR	电子战争与侦察(任务)	ERTS	地球资源技术卫星
FLIR	前视红外成像装置	FOV	视场
GAF	德国空军	GRD	地面可分辨距离
GSE	地面支持设备	IFOV	瞬时视场
IR	红外	IRLS	红外行扫描器
LP	线对(图像中)	LRU	行可替换单元
LWIR	长波红外	MDTD	最小可探测温差
MRTD	最小可分辨温差	MTBF	故障间隔平均时间
MTF	调制传递函数	NA	数值孔径
NEN	噪声等效辐射亮度	NEP	噪声等效功率
NFOV	红外行扫描器的窄视场	NIIRS	国家图像换算标准

缩略语	含义	缩略语	含义
PC	光导	Pixel	像元
PV	光伏	RAF	皇家空军(英国)
RECCE	侦察(通常指空中侦察)	RH	相对湿度
RMS	侦察管理系统	rms	均方根
RPV	遥控飞行器	SNR	信噪比
SON	需求报告(美空军计划文档)	TAC RECCE	战术侦察(空中)
USAF	美国空军	WFOV	红外行扫描器的宽视场

1.1.2 红外行扫描器的定义

红外行扫描器是通过一个转镜连续扫描形成图像的成像装置。扫描方向与装有红外行扫描器的飞行器飞行方向垂直。二维图像要求的二次扫描由飞行器沿飞行路径向前飞行来实现。图 1.1 示出一典型的红外行扫描器,图 1.2 给出其扫描模式和所用坐标系。在空间红外成像的特殊情况下,飞行器可以是卫星,飞行路线可以是卫星轨道,红外行扫描器的器件已被用在地面检测和一些特殊目的的前视红外型扫描器。这时,通过增加另一个光学扫描器,例如一个摆镜或摆动整个扫描器以实现二次扫描。卫星红外行扫描器的地面检测已用过这种方式。休斯飞机公司利用地球资源技术卫星(ERTS)扫描器获得了加利福尼亚州的全景图像,而马丁·丹佛公司用霍尼威尔公司制造的 S-192NASA 多光谱扫描器获得了克罗拉多州的全景图像。

试验中,扫描器以给定的方位扫描角水平地进行观察。在丹佛公司用 S-192 摄取图像过程中,整个扫描器以低速垂直摆动。早期的红外行扫描器旋转 90°作水平扫描。由于红外行扫描技术先于 FLIR 技术,在增加了垂直扫描方式后,红外行扫描器便成为 FLIR 的早期形式。

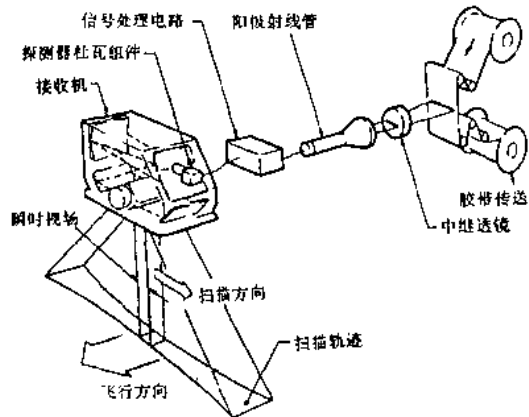


图 1.1 典型的红外侦察装置

试验中,扫描器以给定的方位扫描角水平地进行观察。在丹佛公司用 S-192 摄取图像过程中,整个扫描器以低速垂直摆动。早期的红外行扫描器旋转 90°作水平扫描。由于红外行扫描技术先于 FLIR 技术,在增加了垂直扫描方式后,红外行扫描器便成为 FLIR 的早期形式。

由于红外行扫描技术先于 FLIR 技术,在增加了垂直扫描方式后,红外行扫描器便成为 FLIR 的早期形式。

1.1.3 用红外行扫描系统的机载侦察

装在高速侦察飞机上的红外行扫描器是迄今用来获取图像信息的最有效的装置之一。现代侦察飞机一般每小时飞行 600nmi,以这样的速度,仅需 10min 红外行扫描器就可以得到覆盖 100nmi 地域的带状地图数据。

1.1.3.1 红外行扫描器产生的高数据率

如果红外行扫描器在垂直于航迹方向有 120° 的扫描视场 ($FOV = 120^\circ$) 和 0.5mrad 的角分辨率 (即瞬时视场 $IFOV$), 则在垂直于航迹方向 (ACT 或 x) 的瞬时视场数/扫描行为:

$$N_{\text{ACT}} = \frac{(120^\circ/\text{行})(\pi/180)}{(0.5 \times 10^{-3} \text{ rad}/IFOV)} = 4189 \text{ IFOV/行}$$

在 2000ft 高度, 最低点 $IFOV$ 角对边 δS 为:

$$\delta S = h(IFOV) = (2000)(0.5 \times 10^{-3}) = 1\text{ft}$$

这也是一个扫描行平行轨迹方向的地面宽度。于是一张 100 海里的带状图含有邻接扫描行数为:

$$N_{\text{ALT}} = (100\text{nmi})(6076.12\text{ft/nmi}^{-1}) = 607612 \text{ 行}$$

如果每个正方形瞬时视场的采样图像用离散像元表示, 一幅 100nmi 带状地图图像的总像元数为:

$$N_{\text{TOT}} = N_{\text{ACT}}N_{\text{ALT}} = (4189)(607612) = 2.545 \times 10^9 \text{ 像元}$$

如果在记录之前将模拟信号数字化, 那么, 数字过取样要求会进一步增加高数据率。

高数据率图像处理、存储、分配及分析是个难题。红外行扫描系统必须经常与侦察管理系统 (RMS)、数据链和地面工作站介接。由于每件设备都有其局限性, 所以在每次介接中都存在图像质量下降以及部分图像丢失的可能。因此, 接口规格及红外行扫描图像质量指标的度量及测试将非常重要, 这些判据, 诸如调制传递函数 (MTF), 噪声等效温差 (NETD) 以及最小可分辨温差 (MRTD) 等, 能保证全部图像以很好的质量传递给最终用户。

1.1.3.2 红外行扫描器设计中的扫描基本关系

由于速度与高度的比 (V/H) 决定着扫描速率、并联扫描的探测器数目以及电学信号带宽, 所以它是设计中的一个主要参数。具体地说, 速度与高度比最大值 $(V/H)_{\text{MAX}}$ 用来作设计方案的折衷处理。 V/H 比描述的是相对于运动平台场景运动的角频率, 因此也描述了焦平面上图像的最终移动, 其单位为 rad/s 。最简单的红外行扫描器设计方法是, 假设扫描镜的连续旋转是要提供扫过某个横向视场的一组邻接的扫描行。可用单个探测器扫描, 也可用 n 个并联探测器沿航迹方向 (y 轴) 扫描, 保持镜体以实际可行的速率旋转。在最低点邻接扫描所需的扫描速率 N_{sc} 为:

$$N_{\text{sc}} = \frac{(V/H)_{\text{MAX}}}{n(IFOV)_y} \quad (\text{扫描次数/s}) \quad (1.1)$$

这里以 n 个并联探测器平行于航迹方向 (ALT 或 y 轴) 扫描, 每个探测器对应一个 ALT 视场角 $(IFOV)_y$, 垂直于航迹方向的瞬时视场扫描速率为:

$$N_{(IFOV)_x} = \frac{N_{\text{sc}}\pi}{(IFOV)_x} \quad (IFOV/s) \quad (1.2)$$

因为在 180° 扫描中扫描过 $\pi \text{ rad}$ 。

由于在一个周期内有两个瞬时视场, 所以, 电信号带宽为瞬时视场扫描频率的一半,

如图 1.3 所示:

$$\delta f = \frac{N_{(IFOV)_x}}{2} = \frac{N_{SC}\pi}{2(IFOV)_x} = \frac{\pi(V/H)_{MAX}}{2n(IFOV)_x(IFOV)_y} \quad (\text{Hz}) \quad (1.3)$$

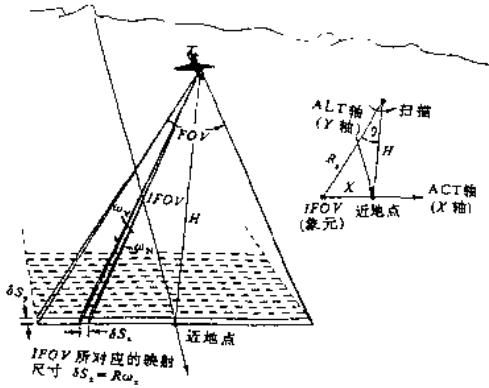


图 1.2 红外行扫描器的扫描图形和坐标(注:红外行扫描系统通常每次扫描同时并联扫描若干行,为了解释清楚,只示出一行)

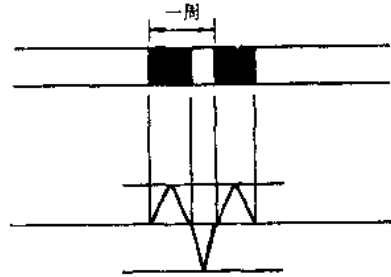


图 1.3 一周空间频率等于两个像元

所需的自旋转镜旋转速率取决于镜面数,在镜体每次旋转中如果有 \$n_i\$ 个镜面扫描,则自旋转速率为:

$$r_{sp} = \frac{N_{SC}}{n_i} \quad (\text{rps}) \quad (1.4)$$

1.1.4 红外行扫描器的类型

1.1.4.1 斧形扫描器

最初的红外行扫描器采用斧形设计,所谓斧形是因为其扫描镜的外形像个尖楔。最普通的斧形扫描器采用与旋转轴成 \$45^\circ\$ 角的单面扫描镜,由景物方向传送过来的扫描光束成 \$90^\circ\$ 角反射到光学望远镜中。图 1.4 给出这种单面斧形扫描器,其构造如同一个成像辐射计。这种类型的扫描器在成像辐射计研究领域仍受欢迎。单镜扫描器的优缺点列于表 1.3 中。

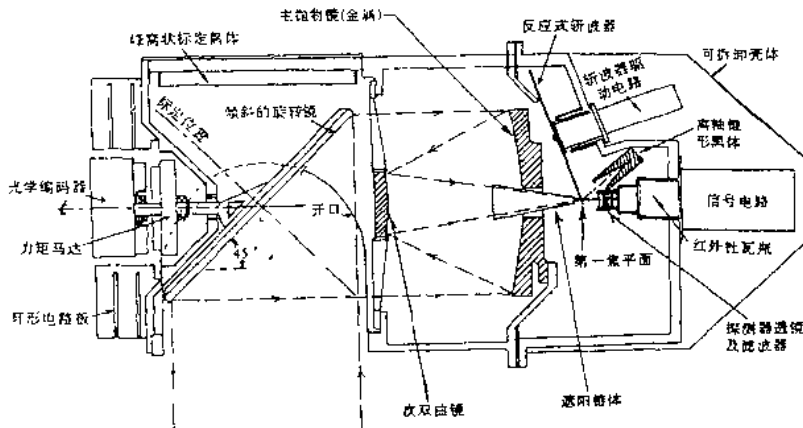
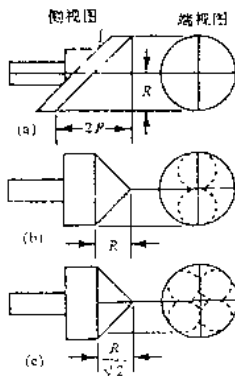


图 1.4 单面斧形扫描器构造如同辐射计

早期的单面斧形扫描器的扫描效率很差,镜体的旋转速率受到风阻及挠曲变形的限制,人们试图重新设计旋转镜来提高其性能。新型单面斧形扫描器如图 1.5(b)和(c)所示,其成功在于旋转镜有高的刚度和低的风阻性,而且与单面镜设计比较,其光学孔径减小,扫描效率提高,但体积利用率低。

表 1.3 单面斧形扫描器的优点和缺点

优点	缺点
<ol style="list-style-type: none"> 1. 简单、可靠和实用的设计。 2. 柱形体积小、孔径大,适合于大多数吊舱和遥控飞行器,这里,飞行器和吊舱的横截面很重要。 3. 对 180°扫描的固定大孔径提供了良好的灵敏度和高的光学传递函数。 4. 适合各种各样折叠式光学望远镜。 5. 尤其适合于红外辐射计:a. 对于多光谱红外辐射测量,易于插入斩光盘和分光镜。b. 通过旋转斩光盘易于做到交流零箝位。c. 每次扫描定标一次而数据不间断。d. 不会产生偏振误差。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 180°扫描时,图像旋转 180°(±90°)。当用线性阵列探测器时,最后的图像会出现变形。 2. 大扫描镜的风阻和挠曲问题限制了扫描速率,高 V/H 比时不能用。 3. 180°扫描用到的宽的开口在吊舱和遥控飞行器中会产生结构问题。 4. 低的扫描效率(一次扫描/周)。 5. 轴上只有一个探测器时工作最佳,此时,图像旋转不成问题。



旋转镜上的镜面数	望远镜所需的直径	有效孔径面积	衍射孔径直径
1	2R	πR^2	2R
2	2R	$\frac{\pi R^2}{4}$	R
4	2R	$\frac{\pi R^2}{4\sqrt{2}}$	$\frac{R}{\sqrt{2}}$

图 1.5 单面斧形扫描器的三种旋转镜

所有设计形式都有图像旋转问题,当光束从两个相邻镜面同时反射到光学望远镜时,利用多镜面就有可能产生光学图像干扰。当采用线性探测器阵列以允许提高 V/H 值时,(b)型与(c)型的光学设计会变得复杂,同时,单面斧形扫描器中若干线的并联扫描会由于图像在焦平面上的旋转而变复杂。为了描述方便研究一下阵列的投影像。在扫描期间,投影像在地面上旋转并仅在近地点与飞行轨迹平行。阵列的地面投影像的旋转如图 1.6 所示。由于上述原因,早期的单面斧形扫描器限于低 V/H 比的情况。

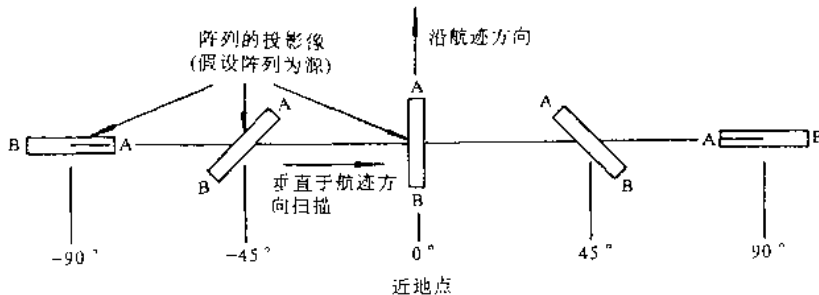


图 1.6 单面斧形扫描器在做 180°扫描期间,阵列的投影像旋转 180°

为了完成高 V/H 值任务,最近又重新考虑了单面斧形扫描器,现代半导体随机存储器也与大型线性探测器阵列一起用以实现图像旋转变形的实时电子修正,甚至也可用图像旋转来提供与扫描方向垂直的地面固定轨迹。图像处理允许设计一种可用于高 V/H 值的、紧凑的、宽视场的红外行扫描器,这时扫描器必须安装在小型遥控飞行器或吊舱中的小圆柱壳体内。

1.1.4.2 分离孔径扫描器

军事上要求的高 V/H 值导致了研制能适用于很高 V/H 值的分离孔径扫描器,多数军用红外行扫描系统现都采用分离孔径设计。

有几种分离孔径扫描器是德克萨斯仪器公司 H. V. 肯尼迪的专利^[1]。图 1.7 ~ 1.9 给出了有三面和四面旋转镜的方案,棱形旋转镜一般有两面接收入射光,并且在扫描近地点处每个面有相同的孔径。当旋转镜离开近地点时,一个镜面的投影孔径变窄,而另一个镜面上的投影孔径变宽,垂直于航迹方向的复合孔径在一较大的扫描角度内呈恒定趋势,除非飞行器运动,否则平行于航迹方向时不扫描,因为,平行于航迹方向的孔径在整个扫描过程中呈恒定趋势。相对小的扫描镜截面允许有高 V/H 值性能的高旋转速率。肯尼迪扫描器设计方案中的其他光学部分有光的折叠、聚焦和将两束分离的光在焦平面处形成一幅图像。图 1.8 和图 1.9 给出了坚固而简单的分离孔径扫描器,与图 1.7(a)、(b)的双抛物镜设计相比,分离孔径扫描器更易调整与聚焦。

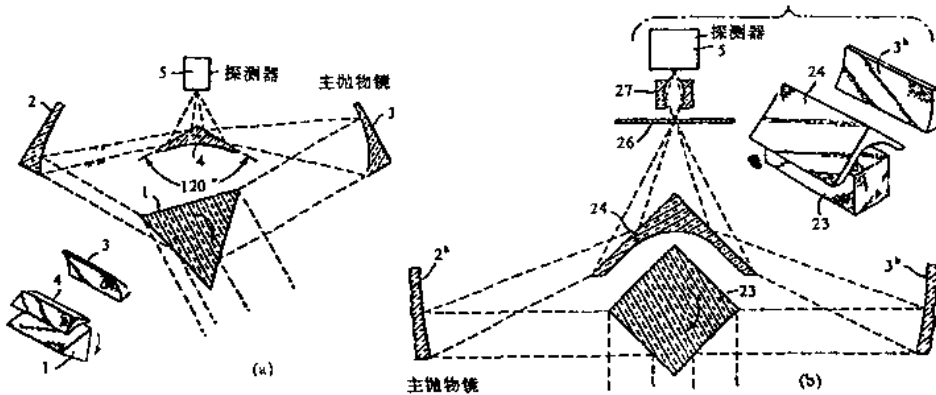


图 1.7 肯尼迪分离孔径扫描器^[1]: (a) 三面, (b) 四面旋转镜方案

四截面的旋转镜不允许进行 180° 扫描,因为用分离孔径作 180° 扫描时,旋转镜必须是三截面的。这样,用旋转镜调整高度以实现旋转镜的水平孔径要求,如图 1.7(a)、1.8 和 1.10 所示。

英国航天与电子协会的行扫 2000 型红外行扫描器的原理如图 1.10 所示,其抛物镜外置的主要优点是:与图 1.8 和图 1.9 所示的中心抛物镜的肯尼迪设计相比,其扫描器在高度方面更紧凑,但所用的两个抛物镜与轴上单抛物镜相比,在准直和调焦方面更困难。

用于几种机载平台的设计方案如图 1.11 所示。采用光路折叠以保持单抛物面设计的某种优点和扫描器体积小、坚固耐用的特点。