

文章编号: 1672-8785(2015)06-0001-06

## 红外图像生成技术综述

李根焰<sup>1</sup> 王 茜<sup>1</sup> 马海涛<sup>2</sup> 蔺佳哲<sup>1</sup>

(1. 空军勤务学院航空弹药系, 江苏 徐州 221000;

2. 空军 94592 部队 22 分队, 江苏 徐州 221000)

**摘 要:** 红外图像生成技术是研制红外成像目标模拟器的核心技术。首先对电阻阵列、光纤阵列、红外射线阴极管、数字微镜阵列和液晶光阀等常用的红外图像生成技术进行了详细介绍, 然后对上述五种红外图像生成技术的基本原理和发展概况进行了阐述。通过对这些技术的帧频、分辨率、温度范围、动态范围和光谱波段等性能参数进行比较和分析, 得出了电阻阵列是目前国内实用性最强的红外图像生成技术的结论。最后对国产电阻阵列的发展趋势进行了分析。

**关键词:** 红外图像生成; 直接辐射; 辐射调制

**中图分类号:** TN219 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2015.06.001

## Overview of Infrared Image Generation

LI Gen-yan<sup>1</sup>, WANG Qian<sup>1</sup>, MA Hai-tao<sup>2</sup>, LIN Jia-zhe<sup>1</sup>

(1. Department of Aviation Ammunition, Air Force Logistics College, Xuzhou 221000, China;

2. The 22 Department of 94592 Unit, Xuzhou 221000, China)

**Abstract:** The infrared image generation technology is the core technology for developing infrared imaging target simulators. First of all, the common infrared image generation technologies such as resistor arrays, optical fiber arrays, infrared Cathode Ray Tubes (CRT), Digital Micromirror Devices (DMD) and Liquid Crystal Light Valves (LCLV) are presented in detail. Then, the basic principle and development status of the above five infrared image generation technologies are described. By analyzing and comparing the parameters including the frame frequency, resolution, temperature range, dynamic range and spectral band, it is concluded that the resistor array is the most practical domestic infrared image generation technology at present. Finally, the trend of the domestic resistor arrays is analyzed.

**Key words:** IR scene generation; direct radiation; radiation modulation

### 0 引言

近年来, 红外成像制导技术飞速发展, 并且具有制导精度高、抗干扰能力强等特点, 已逐步成为导弹制导技术的主要发展方向。在红外成像制导导弹的研制、实验、使用等阶段都需要对其导引系统的性能进行测试。如果选择在实际

环境中实施检测, 那么不仅会耗费大量的人力和物力, 而且还会影响导弹的寿命, 得不偿失。此时就需要我们在室内环境中为其提供红外模拟目标图像。而红外图像生成技术正是生成红外模拟目标图像的关键技术, 其发展必将为红外成像制导导弹的发展带来动力。

**收稿日期:** 2015-05-11

**作者简介:** 李根焰(1990-), 男, 四川乐山人, 硕士研究生, 主要研究方向为机载武器系统及应用。

E-mail: 1205027333@qq.com

红外图像生成技术是指在实验室条件下模拟产生红外目标和背景,为被测红外成像系统提供红外目标和背景的图像源。红外图像生成装置包括计算机图像生成系统和红外图像转换系统两部分,后者是其中最关键的部件,因为红外图像转换技术能将计算机实时生成的目标“灰度图像”转换成红外成像导引头探测系统能接收到的红外辐射图像。

对于各类红外图像生成装置来说,计算机图像生成系统大抵相同,而红外图像转换部分则可通过不同的技术手段来实现。根据红外辐射产生原理的不同,红外图像转换技术大致可分为直接辐射型和辐射调制型两种。

## 1 直接辐射型红外图像转换技术

直接辐射型图像转换技术的最显著特点是器件的成像像元自身能产生红外辐射,其强度由计算机图像生成系统来控制。这一类的红外图像转换技术主要有电阻阵列、二极管激光阵列、光纤阵列和红外阴极射线管。本文主要对应用较广泛的电阻阵列、光纤阵列和红外阴极射线管三种红外图像转换技术进行介绍。

### 1.1 电阻阵列

基于电阻阵列的红外图像生成技术的原理相对比较简单。电流经过电阻元时会产生热量,因此也就会产生红外辐射。此时,通过电阻单元内的控制电路控制流过电阻元的电流就可以控制每个电阻的温度,从而控制辐射量的大小,并实现将计算机生成的灰度图像转换为红外辐射图像的目的<sup>[1]</sup>。

图 1 为电阻单元的结构图,其主要由晶体管  $S_1$  和  $S_2$ 、保持电容  $C$  以及加热电阻  $R$  组成<sup>[2]</sup>。

该电路的工作流程如下:将列选通信号  $V_s$  加到  $S_1$  上,连通  $S_1$ ,然后通过  $S_1$  将行模拟电压信号  $V_h$  加到  $S_2$  上;通过  $S_2$  放大对电阻  $R$  进行加热,然后利用  $R$  的温度升高产生热量,从而产生对应模拟电压信号的红外辐射;同时保持电容  $C$  充电。在列选通信号  $V_s$  加热消失后, $S_1$  断

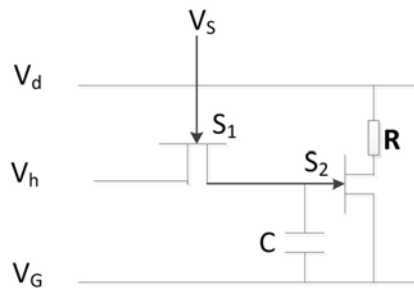


图 1 电阻单元的结构图

开,保持电容  $C$  缓慢放电。此时  $S_2$  继续给  $R$  加热,保证电阻  $R$  的温度在一帧的时间内基本没有变化。

目前,国内技术最先进、最成熟的产品是  $256 \times 256$  元电阻阵列芯片,其具体结构见图 2。每个  $256 \times 128$  元电阻阵列模块在  $Y$  方向上都有一个 128 位移位寄存器,在  $X$  方向上都有 16 个模拟信号多路传输器,它们均集成在  $256 \times 128$  元电阻阵列模块的外围。模拟信号多路传输器由 16 位模拟移位寄存器、16 个传输门和 16 个模拟信号输入端组成<sup>[3]</sup>。这样,每个模块即被分成 16 组,其中每组有  $16 \times 128$  个电阻单元。 $Y$  方向上的 128 位移位寄存器用于选通整列电阻单元,16 位多路传输器的作用是选通自己控制的 16 行电阻单元,其选通时按照从上到下的顺序进行。 $h1 \sim h16$  提供左边电阻阵列模块的 256 行单元的模拟控制信号, $h1' \sim h16'$  则提供右边电阻阵列模块的 256 行单元的模拟控制信号。左右两个电阻阵列模块的工作方式完全相同,所以其动作同步进行。

### 1.2 光纤阵列

基于光纤阵列的红外图像生成技术的核心是光纤阵列芯片,其主要由衬底、光纤阵列和表面膜等几部分组成(见图 3)。衬底实际上是光纤阵列的载体,而更重要的是,它还决定着光纤阵列芯片的空间分辨率、帧频、图像均匀性等性能参数。通过微结构加工工艺,可以在衬底上打造出很多具有一定长度的光纤阵列。这些光纤按照一定的间隔排成阵列,其中每根光纤就是阵列的一个成像像元。然后将可见光吸收膜镀制在光纤表面上,即可用它吸收入射的可见光,随后生成与其能量相对应的红外辐射图像。表面

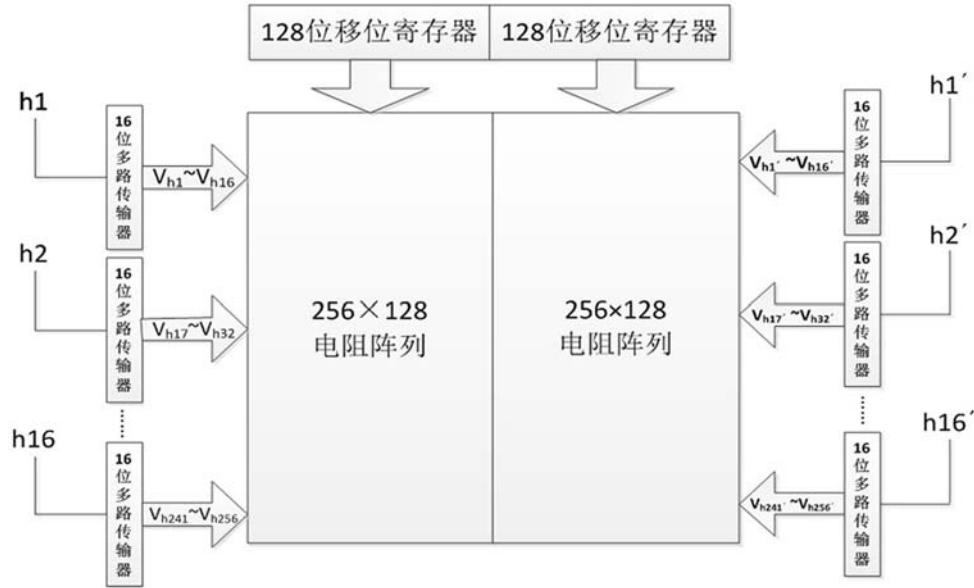


图 2 256×256 元电阻阵列的结构图

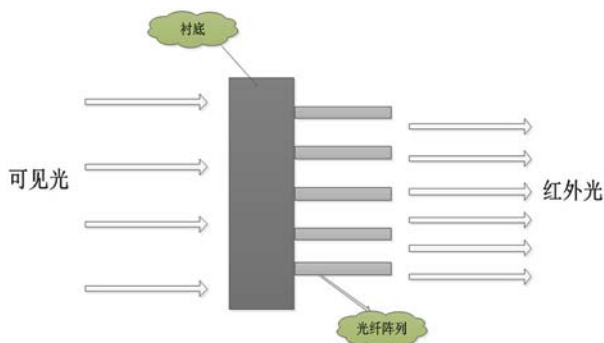


图 3 光纤阵列芯片

膜是决定光纤阵列红外图像生成装置的辐射波段及帧频的重要结构。通过封装壳体对光纤阵列芯片进行封装,并将其放入真空室内。真空室的两边分别是可见光窗口和红外窗口,前者用于增透可见光图像,后者则用于增透 3 ~ 5 μm 波段的红外图像。可见光窗口将载有图像数据的可见光入射到光纤阵列芯片表面的可见光吸收膜上,然后将其转换成对应的红外图像输出 [4]。

### 1.3 红外阴极射线管

红外阴极射线管的主要结构是电子枪和靶屏(见图 4)。电子枪其实是一种电子光学系统,其作用是产生具有一定电流密度的电子束。该电子束自身具有一定的能量,其密度也容易控制。同时,这个电子枪至少应具备阴极、阳极和

栅极三个电极。其中,阴极用作电子发射源;阳极的作用是让电子获得动能;栅极位于阴极与阳极之间,其作用是控制电子束的电流密度。

靶屏是红外阴极射线管器件的关键部件,因为靶屏能在电子束的轰击下生成红外辐射图像 [5]。

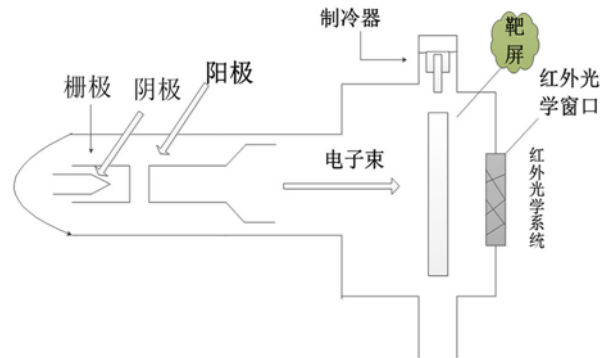


图 4 红外阴极射线管

红外阴极射线管的工作原理如下:首先给电子枪的栅极加载图像生成计算机所获取的灰度图像,然后调制栅极,使电子束在光栅的扫描下轰击靶屏。由于靶屏是由氯化钾等磷光材料加工制造的,它能记录光栅扫描电子的分布情况。同时,靶屏在电子束的轰击下产生中远红外辐射。利用红外准直光学系统对红外辐射图像进行准直处理,然后通过红外光学窗口就可以

在红外阴极射线管电子枪的一侧看到靶屏上所生成的红外辐射图像。

## 2 辐射调制型红外图像转换技术

辐射调制型红外图像生成装置其实就是空间光调制器，即利用图像生成计算机的控制系统对由红外辐射源提供的红外辐射进行空间强度调制，从而产生所需的红外图像。辐射调制型红外图像生成技术主要包括数字微镜器件、液晶光阀以及基于微结构加工工艺的空间光调制器等。本文主要介绍目前应用比较广泛、相对比较成熟的数字微镜器件和液晶光阀两种。

### 2.1 数字微镜器件

数字微镜阵列芯片现被美国德州仪器公司垄断生产。基于数字微镜器件的红外图像生成装置由美国 OSC 公司研制成功，该装置被称为微镜阵列投影系统。简单来讲，数字微镜阵列就是对入射的红外辐射进行反射调制，以获得强度空间分布的红外辐射图像。数字微镜阵列主要由一种高速数字式光反射开关阵列组成；利用二进制脉宽调制技术，可以精确地对光的灰度等级进行控制<sup>[6]</sup>。

数字微镜阵列的主要构成部分是上万个可转动的微镜。每一个成像单元上都有一个可转动的微镜，其大小为  $16\ \mu\text{m} \times 16\ \mu\text{m}$ ，间隔约为  $1\ \mu\text{m}$ ，而且微镜都可以正负转动  $10^\circ$ ，即有  $\pm 10^\circ$  的偏转角。微镜转动到  $+10^\circ$ ，对应于“开”态；微镜转动到  $-10^\circ$ ，对应于“关”态；微镜静止时，处于平态，即为水平放置。当微镜转动到  $+10^\circ$  时，光源入射光的反射光线几乎可以全部通过投影系统；当微镜转动到  $-10^\circ$  时，光源入射光的反射光线全部偏离投影系统，因此利用吸收装置来吸收反射光线（见图 5）。当光反射开关处于“开”态时，反射光线通过投影透镜投射到屏幕上，点亮屏幕，此刻屏幕出现亮态；当光反射开关处于“关”态时，反射光线不能通过投影透镜，所以这时屏幕上出现的是暗态。利用图像生成计算机的控制系统使微镜按照要求处于不同状态，即通过明暗不同，生成红外辐射图像<sup>[7-8]</sup>。

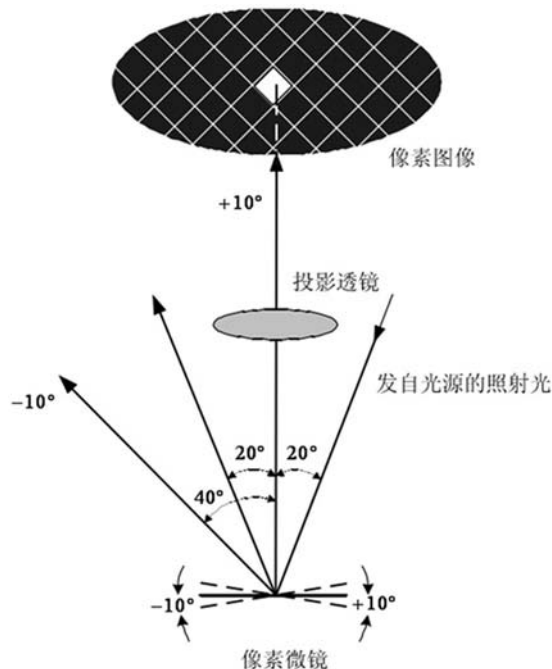


图 5 数字微镜器件的原理图

### 2.2 红外液晶光阀

红外液晶光阀可以将可见光图像转换为红外辐射图像，它主要由可见光窗口、高阻硅、液晶和红外窗口组成，其具体结构见图 6。简单来说，红外液晶光阀就是利用入射的可见光图像对射出的红外图像进行空间调制。其工作原理是，通过可见光窗口将可见光图像投射到高阻硅片上，此时高阻硅片层中会出现电位分布；然后电位分布会传递到液晶光阀中间的液晶层中，这时由辐射源产生的红外辐射正好也通过光学系统均匀地照射在液晶光阀的液晶层中；红外辐射被液晶层反射，而且液晶层中的电位分布会使其偏振方向产生变化；接着利用检偏器将反射红外辐射的偏振调制转换为强度调制，从而产生满足强度要求的红外辐射；最后通过准直光学系统将生成的红外辐射图像投射到被测设备的红外探测系统上<sup>[9]</sup>。

## 3 各种技术指标的对比分析

表 1 列出了各种红外图像生成技术的对比情况。

可以看出，电阻阵列的集成程度高，芯片结构和工作原理简单，技术成熟，加工方便；用电

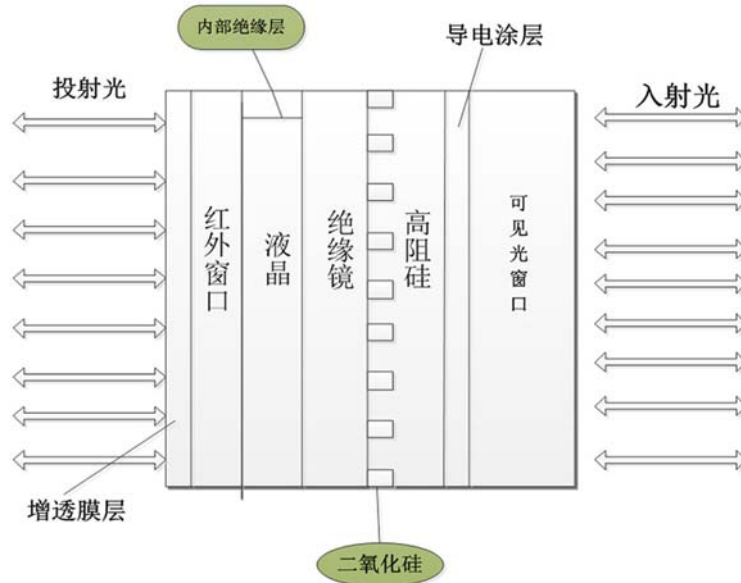


图 6 红外液晶光阀的结构图

表 1 各种红外动态图像生成技术的比较

技术	温度	动态	帧频	分辨率	光谱
电阻	77 ~ 700 K	400 : 1	400 Hz	1024×1024	2 ~ 16 μm
激光	大	10 <sup>5</sup> : 1	10 kHz	128×1	4 ~ 8 μm
光纤	>500 K		250 Hz	512×512	3 ~ 5 μm
红外阴极射线管	小	1000 : 1	50 Hz	200TVL	
数字微镜器件		400 : 1	400 Hz	1024×1024	2 ~ 5 μm 8 ~ 16 μm
红外液晶光阀	300 ~ 33 K	100 : 1	30 Hz	450TVL	

阻阵列模拟的图像不仅温度范围大 (77 ~ 700 K), 而且还可满足高帧频 (最高可达 400 Hz)、高分辨率 (最高可达 1024×1024)、模拟图像的光谱波段宽 (可达到 2 ~ 16 μm) 的要求; 其缺点是具有“死”像元, 而且必须进行非均匀性校正。

二极管激光阵列的最大特点就是动态范围大 (可达 10<sup>5</sup> : 1)、帧频高 (达到惊人的 10 kHz), 同时阵列也不会出现“死”像元; 其缺点是生成图像的均匀性不好, 需要用液氮杜瓦瓶对其进行封装, 同时模拟图像的光谱波段窄 (4 ~ 8 μm), 无法满足模拟远红外波段的要求<sup>[10]</sup>。

红外阴极射线管的优点是模拟图像的动态范围大 (可达到 1000 : 1); 其缺点是帧频、空间分辨率低, 生成图像的均匀性差, 同时靶屏工作

时必须加以冷却, 导致使用过程比较繁琐。

液晶光阀的优点是空间分辨率高 (可达 450 TVL)、生成图像无闪烁; 其缺点是帧频低 (仅能达到 30 Hz)、模拟图像的光谱波段窄、适应温度范围小, 并且加工工艺复杂、制造成本高, 所以应用较少。

数字微镜阵列技术成熟, 应用广泛, 其最大的优点是分辨率高 (可达 1024×1024)、帧频高 (最高可达 400 Hz)、调制光谱波段宽, 并且生成图像的对比度高; 缺点是加工工艺复杂, 且生产技术被美国垄断。

综合上面的各项指标对比和性能特点, 可以看出电阻阵列和数字微镜阵列是性能相对较好的两种红外图像生成技术, 但数字微镜阵列

的制作工艺复杂,目前国内还无法生产。所以电阻阵列是性能相对较好、技术相对成熟、成本较低、实用性最强的红外图像生成技术。

#### 4 国产电阻阵列的发展

国产电阻阵列的研发工作起步于 20 世纪 90 年代,而至今只有中国科学院上海技术物理研究所在这方面取得了不小成就。总体来看,国产电阻阵列主要经历了三代。

第一代电阻阵列采用基于微机械加工工艺的单晶硅薄膜微型电阻。这种产品虽然成品率高,但是芯片的像元规模较小,功耗较大,并且生成的红外辐射图像的均匀性较差。其典型产品是  $64 \times 64$  元电阻阵列。

第二代电阻阵列采用的是复合薄膜微型电阻。这种电阻阵列传承了第一代技术中采用的选址电路、对芯片进行金属密闭封装以及半导体制冷等比较实用的设计理念,同时还对微桥形状、电路工艺和选址电路进行了相应改进,因此第二代电阻阵列的规模大幅提高,功耗大大降低,图像均匀性也显著提高。其典型产品是  $128 \times 128$  元和  $256 \times 256$  元阵列。

第三代电阻阵列采用的则是悬浮薄膜电阻。这种微型电阻通过将薄膜结构架空并让其悬浮在电路上方的形式解决了两者相互干扰的问题,同时也从根本上突破了第二代产品微型电阻与驱动电路在同一平面内的二维制造工艺,因此第三代电阻阵列的占空比较高,芯片单元的辐射能力很强,功耗大幅降低。目前,典型的第三代产品是  $128 \times 128$  元阵列。

表 2 列出了第二代  $128 \times 128$  元和  $256 \times 256$  元电阻阵列以及第三代  $128 \times 128$  元电阻阵列的部分性能参数。

从中可以看出,第二代  $256 \times 256$  元电阻阵技术成熟,性能优越,但无法解决占空比低、功耗大的问题,因此不适合制造更大规模的阵列。第三代技术并不成熟,阵列帧频低、生成图像的均匀性差,但其采用全新的三维制造工艺,从根本

表 2 三种电阻阵列技术的性能对比

	第二代 ( $128 \times 128$ )	第二代 ( $256 \times 256$ )	第三代 ( $128 \times 128$ )
单元	80 $\mu\text{m}$	65 $\mu\text{m}$	50 $\mu\text{m}$
电阻值	1 $\text{k}\Omega$	2 $\text{k}\Omega$	4 $\text{k}\Omega$
占空比	8%	14.3%	53%
非均匀性	<10%	<10%	<20%
帧频	>200 Hz	>200 Hz	>100 Hz
成品率	>99.8%	>99.8%	>90%
功耗	150 W	180 W	22 W

上解决了占空比和功耗问题,所以适合制造更大规模的阵列。

#### 5 国外电阻阵列的发展

国外针对电阻阵列的研究工作开展较早,目前也是发展到第三代悬浮薄膜技术,但其技术更先进、更成熟,主流产品是  $512 \times 512$  元电阻阵列。

美国 Honeywell 公司生产的  $512 \times 512$  元电阻阵列微桥结构采用氮化硅制成,其功耗很低。即使加热到 550 K,产品功耗也只有 13.2 W。加拿大 Santa Barbara Infrared 公司<sup>[11-12]</sup>生产的  $512 \times 512$  元电阻阵列的输入更是利用先进的集成电路方式,通过产品内部的 DA 芯片完成数据格式转换,生成驱动阵列的模拟电压信号,完成整个阵列的同时驱动,提高了工作稳定性。

近两年,美国 Honeywell 公司和加拿大 Santa Barbara Infrared 公司甚至生产出了  $1024 \times 1024$  元和  $2048 \times 1024$  元等更大规模的电阻阵列产品。

## 6 结束语

### 6.1 发展趋势

电阻阵列的缺点是其仿真的温度范围有限,对此出现了两种改进方式:一是光子晶体方法,其实质是改进像素结构,利用光子晶体提高辐射效率,实现高温仿真;二是复合红外图像生成技术,即将电阻阵列和激光扫描相结合,其实质是利用电阻阵列生成低温图像,然后通过激光阵列扫描生成高温图像<sup>[13]</sup>。

(下转第 12 页)