

红外图像处理技术 之夜视技术概述

航空航天学院
陆哲明/郑阳明

参考教材

- ✓ 邸旭, 杨进华: 微光与红外成像技术, 机械工业出版社2012年2月
- ✓ 邢素霞: 红外热成像与信号处理, 国防工业出版社2011年1月
- ✓ 刘建学: 实用近红外光谱分析技术, 科学出版社2008年1月
- ✓ 李俊山, 杨威, 张雄美: 红外图像处理、分析与融合, 科学出版社, 2009年11月
- ✓ 叶玉堂, 刘爽: 红外与微光技术, 国防工业出版社2011年5月
- ✓ 田裕鹏: 红外监测与诊断技术, 化学工业出版社2006年5月

考查方式

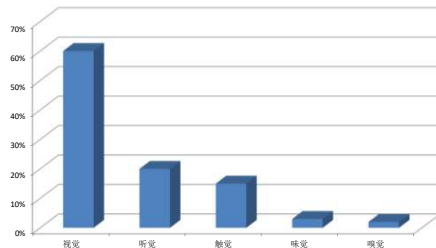
- 平时态度: 20分, 点名满10次(每次2分)
- 期中随堂开卷测试一(第四周周四): 40分, 填空题和原理叙述题。
- 期末随堂闭卷测试二(最后一堂课): 40分, 选择题和判断题。

内容

- 1.1 引言
- 1.2 微光夜视技术
- 1.3 红外成像技术
- 1.4 夜视技术的未来发展

引言

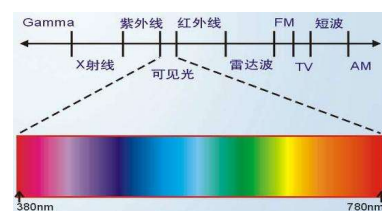
- 光是人类认识客观世界的重要信息源
- ✓ 人类: 视觉60%, 听觉20%, 其他20%
- ✓ 视觉信息对人类认识世界所起作用超过90%



• 光谱

- ✓ 光是一种电磁波, 包括高能粒子、X射线、紫外线、可见光、红外线、无线电波(微波、短波、中波、长波)。
- ✓ 可见光的波长: 从380nm---780nm
- ✓ 紫外线的波长: 从100nm---380nm, 肉眼看不见。
- ✓ 红外线的波长: 从780nm---1mm, 肉眼看不见。

$$\lambda = c/f$$



• 人眼的空间、时间、光谱和能量的局限

- ✓ 窥管：斩除四周杂散光，改善观察星体的视觉分辨率
- ✓ 望远镜、显微镜：视野扩展到遥远星空和微观世界
- ✓ 激光、微光、红外仪器：动态范围更宽、光谱适应性更强



• 掌握先进的夜视技术对于控制战场形势具有重大意义

- ✓ 军用夜视、夜瞄装备在夜间和能见度低气候条件有迫切需求
- ✓ 一战后，迅速发展起**微光夜视**和**红外成像**两种主体技术



• 基本概念

- ✓ **夜视**：就是夜间观察。
- ✓ **夜视技术**：就是应用光电探测和成像器材，将肉眼不可视目标转换(或增强)成可视影像的信息采集、处理和显示技术。



✓ 夜视器材的含义：

- 狭义：人眼夜间观察的助视器。
- 广义：能将非可视目标转化为可被人或技术装备感知的信息传感装置。



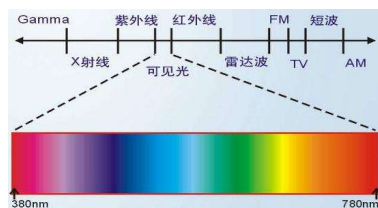
英国头盔式单眼夜视镜，夜间视距370m



第3代“龙”反坦克导弹跟踪器，内装电制冷热成像仪。

✓ 夜视器材分类

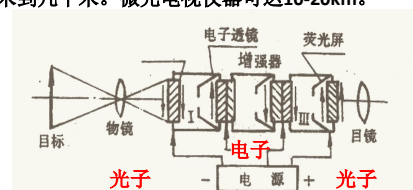
- 根据夜视器材所敏感的光波波段
 - 热辐射成像（中波红外、长波红外）
 - 近红外光及可见光成像
 - 紫外光成像
- 根据夜视器材是否需要人工照明光源
 - 被动式成像
 - 主动式成像
- 根据图像转换与增强原理
 - 微光夜视仪
 - 微光电视
 - 热成像仪
 - 激光成像雷达
 - 主动式红外夜视仪



• 夜视技术主要分为微光夜视和红外成像

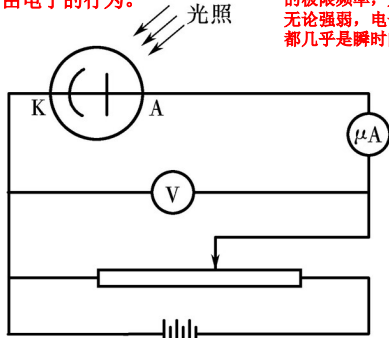
✓ 微光夜视技术

- 以**光子**为景物的信息载体，基于器件的**外光电效应**、**电子倍增**和**电光转换**等原理，对**夜间微弱光或其他非可见光照明**下的景物进行图像摄取、转换后增强，最后显示为人眼可见的图像。
- 体积小，重量轻，成本低，操作方便，维护容易，视距在几百米到几千米。微光电视仪器可达10-20km。



外光电效应是指物质吸收光子并激发出自由电子的行为。

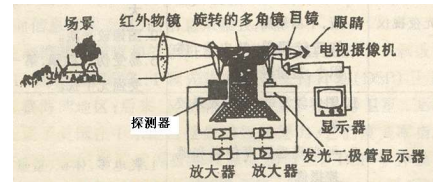
只要光的频率高于金属的极限频率，光的亮度无论强弱，电子的产生都几乎是瞬时的



光子能量 = 移出一个电子所需的能量 + 被发射的电子的动能
代数形式: $h\nu = \phi + E; h\nu > \phi$

✓ 红外成像技术

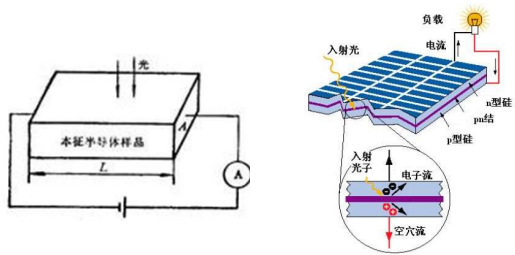
- 利用景物本身的红外辐射空间分布，以红外光子、光生载流子（电子和空穴）为景物图像信息载体，通过红外探测器的内光电效应（光电导效应或光生伏特效应的）及特定扫描读出和TV显示等原理，再现被观察的景物为可见光图像。
- 作用距离远，全天候，防伪能力强，易于实现远程武器精确制导，目标跟踪和多波段多频谱探测功能。



光子 电子 光子
热像仪工作原理图

光电导效应：当入射光子射入到半导体表面时，半导体吸收光子产生电子空穴对，使其自生电导增大。由于光照而引起半导体的电导率 σ 发生变化的现象。

光生伏特效应的：当一定波长的光照射非均匀半导体（如PN结），在自建场的作用下，半导体内部产生光电压。

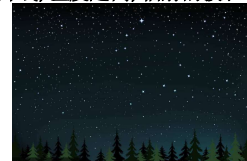


太阳能发电原理图

微光夜视技术

• 微光夜视技术简述

- ✓ 夜天辐射：来自太阳、地球、月光、星光、云层、大气等自然辐射源，但是光照度低于人眼视觉阈值。
- 月光、星光和大气辉光，合称为“夜天光”；（微光—能被人眼直接感受到；还有一部分不能为人眼感受到，但能通过某种方式转换后可供利用的近红外光）
- 一切自然景物只要其自身温度高于绝对零度 ($T = -273^\circ\text{C}$)，都能向外辐射红外线，温度越高，辐射的波长就越短。



✓ 解决思路：

- 大口径望远镜：尽可能得到光能量
- 设法对微弱光图像放大
- 用探照灯或照明弹对景物照明
- 利用景物辐射能量实现热成像



✓ 微光夜视工作核心任务：把夜间微弱光辐射增强到正常视觉所要求的程度，扩展人眼的时域、空域和频域。

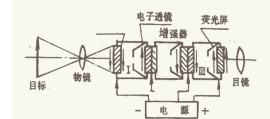
✓ 微光夜视技术：用电真空和电子光学技术实现光子图像-电子图像-光子图像的转换，通过电子图像的增强进而达到在微弱光线照明下的夜间观察。

✓ 技术核心：微光图像增强器。

- 它是一个由光电阴极、电子光学部件、荧光屏三大部分组成的光电真空器件。

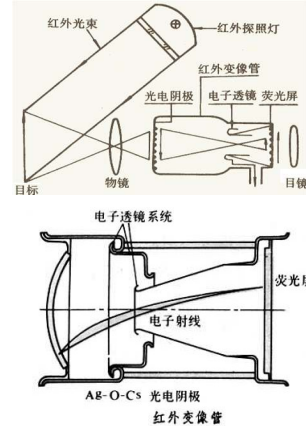
□ 工作原理：

- 景物反射的微弱可见光和近红外光会聚到光电阴极上，光电阴极受激向外发射电子，把景物的光强分布图像变成与之对应的电子数密度分布图像；
- 在电子光学部件中，输入一个电子，可以输出成千上万个电子，因此，光电阴极的电子数密度分布图像就被成千上万倍地增强了，微光图像增强就是在这过程中实现的；
- 最后，经过倍增的大量电子轰击荧光屏，实现电子图像到光子图像的转换，得到增强的微光图像供人眼观察。



- ✓ 微光夜视技术发展的初期：核心器件是**近红外光图像变像管**。
- 一种电子倍增效率比较低的微光图像增强器。
- 它利用处于高真空中的**银氧铯光电阴极**，将**红外辐射图像**转换为**电子图像**，再通过荧光屏，使**电子图像**转换为人眼可观察的**光学图像**。这种**光子-电子-光子**相互转换的原理就是现代微光夜视仪的理论基础。
- 使用红外变像管观察时，需要采用**红外线探照灯**主动照射目标，以提高观察距离，因此这种装置也称为**主动式红外夜视仪**。在第二次世界大战中得到了初步应用。
- 主动式红外夜视仪组成：（1）红外探照灯（2）红外光学系统（3）红外变像管（4）电源
- 主动式红外夜视仪成像清晰，对比度好，但需要红外光源照射，存在隐蔽性差、易暴露、能耗大及供电装置笨重等缺点。

□ 主动式红外夜视仪原理图



以红外变像管作为探测器和显示器，外加一个红外探照灯作为光源。从目标反射回来的红外辐射，聚焦成像在变像管一端的银氧铯光电阴极上，激发出电子。这些电子被管内的电子透镜（电压为20千伏左右）加速并聚焦到荧光屏上，轰击荧光屏发光，显现出可见光图像。

□ 一种便携主动式红外夜视仪



➢ 夜间可见光很微弱，但人眼看不见的红外线却很丰富。红外线夜视仪可以帮助人们在夜间进行观察、搜索、瞄准和驾驶车辆。尽管人们很早就发现了红外线，但受到红外元器件的限制，红外遥感技术发展很缓慢。

➢ 直到1940年德国研制出硫化铅和几种红外透射材料后，才使红外遥感仪器的诞生成为可能。此后德国首先研制出主动式红外夜视仪等几种红外探测仪器，但它们都未能在第二次世界大战中实际应用。

- ✓ 人们自然想到利用夜间自然微光，研究**被动微光技术**，使微弱照度下的目标成为可见，从而发展了微光夜视技术。
- ✓ 目前，采用微光夜视技术的微光夜视系统可分为两大类：**微光夜视仪**（属直接观察型）和**微光电视**（属间接观察型）。

• 微光夜视仪

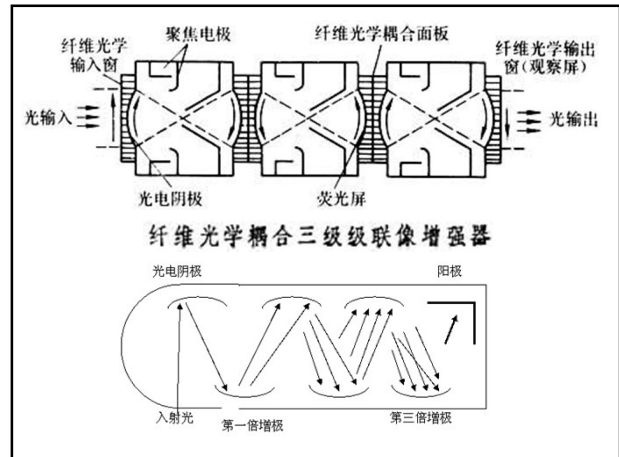
- ✓ 以**像增强器**为核心部件的微光夜视器材。由于其光增强过程的功能，使人能在极低照度（ 10^{-5} lux）条件下有效地获取景物图像信息。（lux勒克斯是光对于遥远表面的照明度的量度单位，流明/平方米）
- ✓ 微光夜视仪包括四个主要部件：**强光源物镜、像增强器、目镜、电源**。从光学原理而言，微光夜视仪是带有像增强器的特殊望远镜。
- ✓ 原理：
 - 微弱自然光经由目标表面反射，进入夜视仪；
 - 在**强光源物镜**作用下聚焦于**像增强器**的光电阴极面（与物镜后焦面重合），激发出光电子；
 - 光电子在**像增强器**内部电子光学系统的作用下被加速、聚焦、成像，以极高速度轰击像增强器的荧光屏，激发出足够强的可见光，从而把一个被微弱自然光照明的远方目标变成适于人眼观察的可见光图像，经**目镜**的进一步放大，实现更有效的目标观察。
- 以上过程包括光学图像到电子图像再到光学图像的两次转换。
- ✓ 按像增强器类型，可分为第一代、第二代、第三代。

◆ 流明是光通量的单位

- ◆ 勒克斯为照度单位。一只100W的白炽灯，其发出的总光通量约为1200lm，若假定该光通量均匀地分布在一半球面上，则距该光源1m和5m处的照度值可分别按下列步骤求得：半径为1m的半球面积为 $2\pi \times 1^2 = 6.28$ 平方米距光源1m处的照度值为： $1200\text{lm}/6.28\text{平方米} = 191\text{Lux}$ 同理、半径为5m的半球面积为： $2\pi \times 5^2 = 157$ 平方米距光源5m处的照度值为： $1200\text{lm}/157\text{平方米} = 7.64\text{Lux}$
- ◆ 一般情况：夏日阳光下为100000LUX；阴天室外为10000LUX；室内日光灯为100LUX；距60W台灯60CM桌面为300LUX；电视台演播室为1000LUX；黄昏室内为10LUX；夜间路灯为0.1LUX；烛光（20CM远处）10~15LUX。
- ◆ 光强单位：cd 坎德拉 1cd=1流明/球面度
- ◆ 亮度单位： cd/m^2 ，太阳： $1.5\text{E}+5$ ；日光灯：（5-10） $\text{E}+1$ ；月光（满月）：2.5E-1；黑白电视机荧光屏：120左右；彩色电视机荧光屏：80左右。

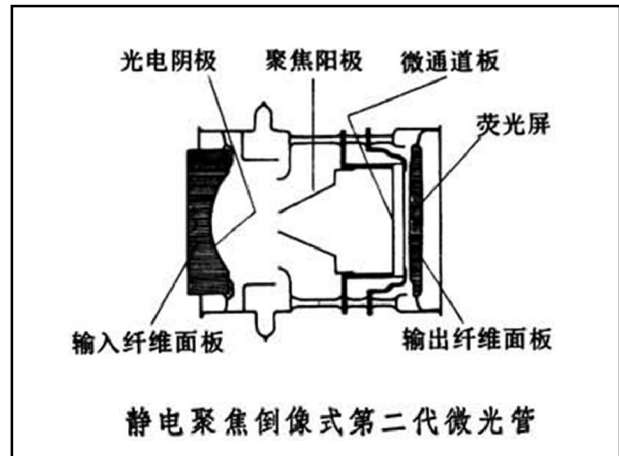
✓ 第一代微光夜视仪

- 20世纪60年代初，在**多碱光电阴极**（Sb⁺-Na-K-Cs⁺）、**光学纤维面板**的发明和**同心球电子光学系统设计**理论完善的基础上，研制出第一代微光管。
- 单级管由一个平/凹光纤面板光电阴极、同心球静电聚焦系统和凹/平光纤面板荧光屏组成。一级单管可实现约50倍亮度增益，通过三级级联，像增强器增益可达50000-500000倍，这样就可把典型夜天光照度（ 10^{-3}lx ）下的景物亮度放大到 $10-100 \text{cd/m}^2$ ，接近人眼正常观察物体所需的亮度条件。用这种亮度增强方式实现被动夜视观察的理论和实践，通常叫做第一代微光夜视仪。
- 第一代微光夜视仪属于**被动观察方式**。
- 特点：隐蔽性好、体积小、重量轻、成品率高，便于大批量生产；技术上兼顾并解决了光学系统的平像场与同心球电子光学系统之间的矛盾，成像质量明显提高。
- 第一代微光夜视仪的弱点：一是怕强光，难以在战火纷飞的条件正常工作，有**晕光**现象；二是器件尺寸和重量限制了它在轻武器夜瞄镜上的大量装备和广泛应用。



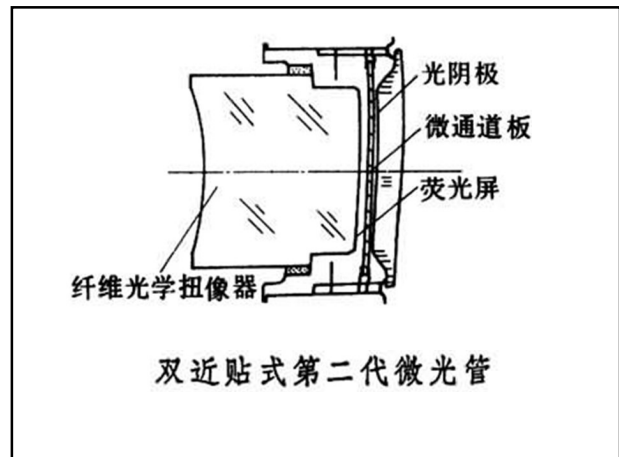
✓ 第二代微光夜视仪

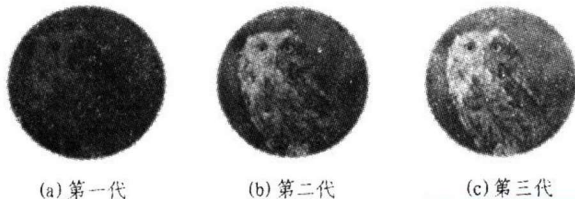
- 主要特色是**微通道板电子倍增器**（MCP）的发明并将其引入单级微光管中。
- MCP由上百万个 $10 \mu\text{m}$ 级直径的微通道的二次电子倍增器阵列所组成，每个微通道相当于一个倍增管倍增极，在900-1000V工作电压下，每块MCP电子增益可达1000-10000。这样，装有一个MCP的一级微光管就可达10000-100000亮度增益，从而替代原有的体积大、笨重的三级级联的一代微光管；
- MCP微通道板内壁实际上是具有**固定板电阻**的连续倍增级，在恒定工作电压下，当强电流输入时，有恒定输出电流的**自饱和效应**，此效应正好**克服了微光管的晕光现象**；
- 它的体积更小、重量更轻。所以第二代微光夜视仪是目前国内外微光夜视装备的主体。
- 第一代、第二代微光管用的是多碱光电阴极，灵敏度在225-450 uA/lm 之间，做成的仪器可在星空夜晚照度下正常工作。



✓ 第三代微光夜视仪

- 为充分利用夜天光丰富的近红外光谱能量，提高器件灵敏度，从20世纪70年代到80年代，积极研发第三代微光夜视仪。
- 1965年，**砷化镓负电子亲和势**（Negative Electron Affinity, NEA）**反射式光电阴极**理论的发展和工艺的实现，在微光夜视领域引发了一场革命。这类III-V族半导体光电阴极的显著特点是**灵敏度高，向红外波段延伸的潜力大**。
- 第三代微光夜视仪的两大特色：将**透射式GaAs光电阴极**和带 **Al_2O_3 离子壁垒膜的MCP**引入近贴微光管中。
- 与第二代微光夜视仪相比，第三代微光夜视仪的灵敏度增加了4-8倍，寿命延长了3倍，对夜天光谱利用率显著提高，在漆黑（ 10^{-4}lx ）夜晚的目标视距延伸了50%-100%。
- 第三代微光夜视仪的工艺基础是：**超高真空、NEA表面激活、双近贴、双钨封、表面物理、表面化学和长寿命、高增益MCP技术等**，又为发展新一代微光管和长波红外光电阴极像增强器等高技术产品创造了良好的条件。





(a) 第一代

(b) 第二代

(c) 第三代

三代微光夜视仪所获得的图像对比

✓美国AN/PVS-5A微光夜视眼镜



□ 美国**瓦洛公司**研制，用于夜间驾驶车辆、巡逻、警戒、探测红外光源、驾驶低空直升机等；

□ 配上**红外光源**后还可用于看地面及维修仪器等。该夜视眼镜观察图像清晰，易于佩戴在驾驶员或飞行员的头盔上，现已在美国陆军大量装备。

□ 它可在200米内发现人，在**136米内识别人**，在**565米内发现坦克**，在**395米内识别坦克**。

✓美国AN/TVS-5多人武器瞄准镜



□ 美国**瓦洛公司**研制，可安装在各种多人武器上进行夜间瞄准，并可安装在三脚架上进行夜间观察。

□ 该瞄准镜配有可调节的内部分划板照明器和可互换的分划板图案，所以各种武器在不移动瞄准镜的情况下就能进行瞄准。

□ 瞄准镜可探测到1310米处的人员，在**990米内识别人员**，在2664米处探测到坦克，在**1903米内识别坦克**。

✓中国GW89-200微光夜视仪



□ 我国第二代头盔式微光夜视仪，是一种带电池的高视力眼镜，广泛用于夜间驾驶车辆、观察、夜间巡逻、单兵武器发射和瞄准，以及在战场上阅读和修理。

□ 视野为38度，重800克，在月光下**对人的识别距离为150米**。

✓英国“鹰”远距离手持微光夜视仪



□ 英国**Pilkington**公司研制，1984年生产，可手持或安装在低三脚架上进行远距离夜间监视和观察，也可与激光测距机、火炬火控系统配套，且可在各种战场条件下使用。

□ 夜视仪配有折反物镜、双目镜和武器瞄准与火力校正用的亮十字分划。

□ 重不超过4千克，采用**第二代和第三代像增强管**时分别可在**1000米和1400米内识别主战坦克**。

✓英国“风筝”单兵武器微光瞄准镜



□ 英国研制的一种高性能瞄准镜，已在SA80 5.56毫米枪上使用。

□ 重不超过1千克，在**弱月光下观察距离600米**，在**星光下观察距离400米**。

✓T3C-2红外微光型

具体的含义是，在微光情况下，也就是普通的夜晚室外，是不需要红外灯作为辅助光源的。在全黑的情况下，比如地下，是需要红外发射灯作为辅助光源，才能可见。



- 微光：发现目标200米/识别目标150米
- 红外：发现目标100米/识别目标75米
- 可能是世界上价格最低的夜视仪，性能不错，但外型稍大，工艺水平一般。

✓TNS-4.6x52红外微光瞄准仪



- 微光：发现目标200米/识别目标150米
- 红外：发现目标100米/识别目标75米
- 早期性能可以达到上述指标，但近几年俄罗斯动乱不断，厂家已人为降低了其性能，已无太大夜视价值，收藏可

✓赛克劳普红外微光型



- 微光：发现目标230米/识别目标170米
- 红外：发现目标90米/识别目标70米
- 外观工艺很好，性能不错，价格也很全家另外可通过一种接圈用于相机上。

✓赛克劳普微光型



- 微光：发现目标130米/识别目标80米
- 无红外
- 体积小巧，自己发电，性能还可以。

✓泽尼特间谍袖珍型



- 微光：发现目标100米/识别目标80米
- 红外：发现目标50米/识别目标30米
- 体积小巧，主要用于近距离观测。

✓泽尼特NV-100红外微光型



- 微光：发现目标250米/识别目标180米
- 红外：发现目标100米/识别目标75米
- 泽尼特NV-100型红外微光夜视仪是俄产单目夜视仪中综合性能较为优秀的一个品种，无论是微光能力还是红外线发射功率均非常好，外观工艺精良，而且其体积、重量比较适中，操作和携带都很方便，用途广泛。

✓费林17x70微光型



- 微光：发现目标450米/识别目标350米
- 无红外

✓费林32.5x42红外微光型



- 微光：发现目标380米/识别目标280米
- 红外：发现目标130米/识别目标90米

✓费林34x48红外微光型



- 微光：发现目标400米/识别目标300米
- 红外：发现目标150米/识别目标100米

✓贝戈士红外微光型



- 贝戈士21红外微光型
- 微光400米/300米
- 红外50米/30米
- 经济型双筒夜视仪



- 贝戈士头盔式微光型
- 微光250米/150米
- 无红外
- 性能一般，不建议选购。

✓头盔式红外微光夜视仪



- OH-1头盔式红外微光型
- 微光400米/300米
- 红外80米/70米
- 在头盔夜视仪中综合性能最好。



- DHB-57AK头盔式红外型
- 无微光
- 红外300米/220米
- 需用车载12v电源，红外灯耗电大。

✓中型微光夜视仪



- H58中型微光夜视仪
- 微光800米/300米
- 无红外



- T3HM中型红外微光型
- 微光1000米/500米
- 红外100米/70米
- 这是H58型的改进型，极高微光能力，手持舒适，特别推荐。



- 这是一系列采用最新夜视管的夜视仪，主要特点是微光能力很强，有亮度平衡控制，价格约4500-6500元。

✓格里奥多斯多功能红外微光型



- 微光250米/180米
- 红外100米/80米
- 这是一种新式多功能红外微光夜视仪，全金属全密封结构，夜视能力很好。
- 除了一般手持观测外，还可以接到相机摄像机上进行拍摄，用途广泛。

✓ WDW单筒微光望远镜



- 物镜端带标准“C”型卡口，目镜可接普通照相机。
- 放大率：2倍
- 视场：19°
- 物镜调焦范围：5米到无穷远
- 目镜视度调节范围：±5屈光度
- 出瞳直径：7毫米
- 分辨力：≤1.6毫弧度
- 工作电压：3伏直流（采用标准5号电池）
- 像增强器：一代微光像增强器
- 质量：0.6公斤

✓WGC6夜间望远镜



- 放大率：6倍
- 视场：6° 50'
- 物镜调焦范围：15米到无穷远
- 目镜视度调节范围：+2~-5屈光度
- 出瞳直径：7毫米
- 分辨力：≤0.46毫弧度
- 工作电压：3伏直流（采用标准5号电池）
- 像增强器：二代微光像增强器
- 质量：2.5公斤

✓WYJ头盔微光观察镜



- 配有红外光二极管作辅助光源
- 放大率：1倍
- 视场：38°
- 物镜调焦范围：250毫米到无穷远
- 目镜视度调节范围：+2~-5屈光度
- 出瞳直径：7毫米
- 分辨力：1.59毫弧度
- 工作电压：3伏直流（采用标准5号电池）
- 像增强器：二代微光像增强器
- 质量：0.6 kg

• 微光电视

- ✓ 系统包括**微光电视摄像机**、**传输通道**、**接收显示装置**。
- 微光电视摄像机除具有普通电视摄像机的功能之外，还突出地表现出把**微光图像增强**的作用。
- 传输通道可借助电缆或光缆的**闭路传输**方式，也可利用微波、超短波做空间传输的**开路方式**。
- 接收显示装置与一般电视没有显著区别。
- ✓ 军事应用场合：
 - 夜间侦察、监视敌方阵地，掌握敌人夜间行动情况；
 - 记录敌方地形、重要工事、大型装备，发现隐蔽的目标；
 - 借助其**远距离传送**功能，把敌纵深领地的信息实时传送给决策机关；
 - 与激光测距机、红外跟踪器（或热像仪）、计算机等组成新型**光电火控系统**；
 - 在电子干扰或雷达受压制的条件下为火控系统提供替代的或补充手段；
 - 对我方要害部门实行警戒。

✓ 特色：

- 它使人类视觉突破必须面对景物才能进行有效观察的限制；
- 突破了要求人与夜视装备同在一地的束缚，实现远离仪器现场的观察；
- 可实施图像处理，提高可视性；
- 可以实时传送和记录信息，可以对重要情节多次重放、慢放、“冻结”；
- 实现多用户的“资源”共享，供多人多点观察；
- 改善了观察条件；
- 可以远距离遥控摄像，隐蔽性更好。
- ✓ 缺点：
 - 价格较高，使大批量装备部队受到限制；
 - 耗电多，体积、重量较大；
 - 操作、维护较复杂，影响其普及应用。

✓ WDA40-1 型远距离微光电视监视系统

◆ **主要特点：**该系统采用超二代杂交微光像增强器，还配置有高分辨力的CCD摄像头、电视监视器，适合于在固定观察点对远距离目标进行监视。该系统还配置了可调高低、方向的三脚架或电动扫描机构。

◆ 主要性能：

- 物镜孔径：200毫米
- 放大倍率：3倍
- 物方视场：4°30'
- 调焦范围：15米~无穷远
- 三脚架调节范围：水平方向360° 高低方向±45°
- 分辨力：≤0.5毫弧度
- 主机工作电压：3伏直流（采用标准2号电池）
- 像增强器：高性能杂交像增强器
- 质量：13 Kg



北方夜视技术股份有限公司

✓ WGA45-1 型远距离微光观察镜及照相系统

◆ **主要特点：**该微光观察镜采用超二代微光像增强器，特别适合于作远距离单目观察及拍摄目标照片，配置可调高低、方向的运动机构。

◆ 主要性能：

- 物镜孔径：200毫米、放大倍率：4.8倍
- 物方视场：5°、调焦范围：15米~无穷远
- 视度范围：-4~+3屈光度
- 三脚架调节范围：水平360° 高低±45°
- 作用距离：1200米（海上目标，月光条件下）
- 分辨力：≤0.5毫弧度
- 主机工作电压：3伏直流（采用标准2号电池）
- 像增强器：超二代像增强器（XX1940）
- 尺寸：585×220×310（长×宽×高）
- 质量：13公斤



北方夜视技术股份有限公司

红外成像技术

• 概述

- ✓ 作为军用夜视装备的主体技术之一的红外成像器件及其系统技术是**20世纪80年代**以来发展起来的。
- ✓ 美、英、法、德和俄等国处于研究、开发和应用的领先地位。包括**红外观察仪、红外瞄准镜、潜望式红外热像仪、火控热像仪、红外跟踪系统、前视红外系统及红外摄像机**等。
- ✓ 应用范围：
 - 陆军：夜间侦察、监视、瞄准和射击、制导和防空等；
 - 海军：监视、巡逻、观察和导弹跟踪等；
 - 空军：侦察机、攻击机、轰炸机和直升机的导航、搜索、跟踪、识别、捕获、观察和火控等；
 - 航天：星载系统的侦察、监视和摄影等；
 - 民用：医疗诊断、火灾防火、炉温检测和高压工程等。

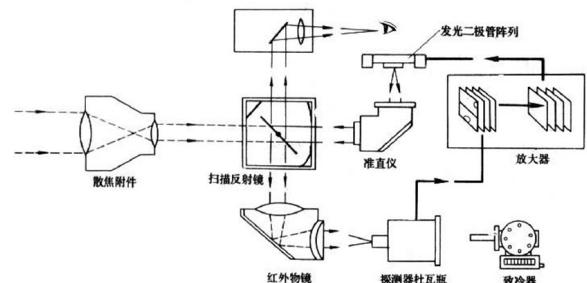
✓ 红外成像技术：

- 实质上是一种**波长转换技术**，即把红外辐射转换为可见光的技术，利用景物本身各部分辐射的差异获得图像的细节。
- 通常采用3-5μm和8-14μm两个波段。
- 这种成像技术既克服了主动红外夜视需要人工红外辐射源，并由此带来容易自我暴露的缺点，又克服了被动微光夜视仪完全依赖于环境自然光的缺点。
- 红外成像系统具有一定的穿透烟、雾、霾、雪等限制以及识别伪装的能力，不受战场上强光、闪光干扰而致盲，可以实现**远距离、全天候**观察。这些特点使热成像系统特别适合军事应用。
- 红外成像技术可分为**制冷**和**非制冷**两种类型。前者有第一代、第二代和第三代之分，后者可分为**热释电摄像管**和**热电探测器阵列**两种。

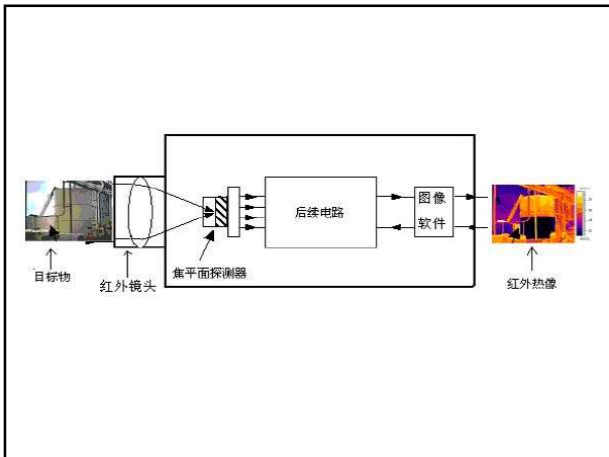
• 第一代红外成像技术

- ✓ 第一代红外成像系统主要由**红外探测器、光机扫描器、信号处理电路和视频显示器**组成。红外探测器是核心器件，有碲化铟（InSb）和碲镉汞（HgCdTe或CMT）等。广泛发展的是高性能**多元HgCdTe探测器**，器件元数已高达60、120和180元。
- ✓ **SPRITE探测器**（或称扫积型探测器）
 - 20世纪80年代初在英国问世，由几条纵横比大于10的窄条光导型HgCdTe元件组成，正偏压下工作。
 - 具有信号检测功能，还能实现信号的延迟和积分，减少器件引线数和热负载。与多元探测器相比，**杜瓦瓶**结构简单，工艺难度下降，大大提高可靠性。一个8条SPRITE探测器相当于120元HgCdTe探测器，只需8个信号通道。
- ✓ 为便于组织大批量生产，降低热像仪成本，美、英、法等国都实行了热成像的通用组件化。美国热成像通用组件采用多元HgCdTe探测器，并扫体制；英国则采用SPRITE探测器，串、并扫体制。这两种热成像系统温度分辨力都可小于0.1℃，图像清晰度可与像增强技术的图像相媲美。

✓ 热成像系统原理图



基于记录目标与背景温度的差别来显示图像。工作时以一种内光电效应的红外探测器作为接收元件，光学系统将目标各处根据自身温度辐射的中长波红外辐射，通过光机扫描或其他扫描技术转变成电信号，经处理后，由显示器转变成可见图像



✓ 美陆军红外热像仪



美国陆军 LRAS3 远距离先进侦察监视系统采用第二代前视红外技术

• 第三代红外成像技术

- ✓ 第三代红外成像技术采用的**红外焦平面探测器单元数**已达到 320 x 240 元或更高，其性能提高了近3个数量级。
- ✓ 目前3-5um焦平面探测器的单元灵敏度又比8-14um探测器高2-3倍。因而，基于320 x 240元的中波与长波热像仪的总体性能指标相差不大，所以3-5um焦平面探测器在第三代焦平面成像技术中格外的重要。
- ✓ 从长远看，高量子效率、高灵敏度、覆盖中波和长波的**HgCdTe 焦平面探测器**仍是焦平面器件发展的首选。

• 非制冷型红外成像技术

- ✓ 制冷型红外探测器缺点
 - 材料昂贵，探测器的成品率很低，导致了制冷型红外成像系统价格昂贵；
 - 同时，制冷型红外成像系统需要一套制冷设备，增加了系统成本，降低了系统的可靠性；
 - 此外，制冷型红外成像系统功耗大、体积大、笨重，难以实现小型化，这些都限制了制冷型红外成像系统的广泛应用。
- ✓ 非制冷红外焦平面探测器阵列优点
 - 室温工作、无需制冷
 - 光谱响应与波长无关、制备工艺相对简单
 - 成本低、体积小、易于使用、维护和可靠性好
- ✓ 非制冷红外焦平面探测器阵列形成了一个新的富有生命力的发展方向，其目的是以更低的成本、更小的尺寸和更轻的重量来获得极好的红外成像性能。

- ✓ 三种非制冷红外焦平面探测器阵列，物理机理分别为：
 - **热电堆**。根据塞贝克(Seebeck)效应检测热端和冷端之间的温度梯度，信号形式是**电压**。
 - **测辐射热计**。探测温度变化引起载流子浓度和迁移率的变化，信号形式是**电阻**。
 - **热释电**。探测温度变化引起介电常数和自发极化强度的变化，信号形式是**电荷**。
- ✓ 测辐射热计阵列的发展最为迅速，取得令人瞩目的成就。
 - 采用类似于硅工艺的**硅微机械加工技术**进行制作，为了实现有效的热绝缘，一般采用桥式结构。探测器与硅读出电路之间通过两条支撑腿实现电互连。
 - 灵敏度主要取决于它与周围介质的热绝缘，即**热阻**，热阻越大，可获得的灵敏度就越高。目前温度分辨率可达0.1K。
 - 2000年，法国Sofradir公司生产出第一只非制冷焦平面红外探测器，探测器阵列规模为320 x 240元，像元中心距为45um，填充因子大于80%，噪声等效温差（NETD）达到0.1K（典型值），器件的性能指标达到了当今世界先进水平。



夜视技术的未来发展

• 红外成像技术与微光成像技术的比较

- ✓ 红外成像不像微光夜视仪那样借助夜光，而靠目标与背景的辐射产生景物图像，因此**红外热成像系统能24h全天候工作**。
- ✓ 随着计算机技术的发展，很多**红外热成像系统具有完整的软件系统**以实现图像处理、图像运算等功能，图像质量大大改善。
- ✓ 红外辐射比微光的光辐射具有更强的穿透雾、霾、雨、雪的能力，因而**红外成像系统的作用距离更远**。
- ✓ **红外热成像能透过伪装**，探测出隐蔽的热目标，甚至能识别出刚离去的飞机和坦克等所留下的热迹轮廓。
- ✓ 微光夜视仪图像清晰、体积小、重量轻、价格低、使用和维修方便、不易被电子侦察和干扰，所以应用范围广。
- ✓ 微光夜视仪的响应速度快，用光电阴极像管可实现高速摄影。

- ✓ 微光夜视频谱响应向短波范围扩展的潜力大，包括高能离子、X射线、紫外线、蓝绿光景物的探测成像基本上都是基于外光电转换、增强、处理、显示等微光成像技术原理。
- ✓ 从学科和技术发展的角度看，红外技术有一定优势。可见光的存在是有条件的，而任何物体都是红外源，都在不停地辐射红外线，所以红外技术的应用将无处不在。
- ✓ 目前，在近距离夜视方面，由于微光夜视仪价格低廉，图像质量也较好，仍然占据主要地位。随着红外器件价格的降低，红外热像仪必将大有作为。而在远距离夜视方面，红外热像仪的作用更为突出。

• 微光夜视技术的发展趋势

- ✓ 微光夜视器件的研究方向是致力于提高已有的几代产品的性能，降低成本，扩大装备；进一步延伸新一代产品的红外响应和提高器件的灵敏度。
- **超二代微光夜视技术**。与第三代微光近贴管结构大体相同，主要技术特点是**将高灵敏度的多碱光电阴极引入到第二代微光管中**，并借用第三代微光MCP、管结构、集成电源以及结晶学、半导体本体特性等机理和工艺研究成果，其成像质量大幅度提高，工艺相对简单，价格相对较低，为目前主流产品。
- **第四代微光夜视技术**。近年来，微光管的设计者从MCP中去除离子壁垒膜以得到无膜的微光管，同时增加一个自动门开关电源，以控制光电阴极电压的开关速度，并且改进了低晕成像技术，有助于增强在强光下的视觉性能。其关键技术涉及**新型高性能无膜MCP、光电阴极与MCP间采用的自动脉冲门控电源及无晕成像技术等**。这种无膜的BCG-MCP/IV代微光管技术虽然刚刚起步，但良好的性能使其必然成为21世纪微光像增强技术领域的新热点。

- ✓ 随着微光夜视技术的发展，微光夜视装备越来越体现出集成化的趋势，一方面表现在将微光夜视功能**直接集成到武器、观测设备上**；另一方面体现在**夜视装备本身功能集成上**。
- 前者主要体现在**夜视瞄准器**的发展上。另外，一些光学观测器材，如测距仪也将夜视仪集成进去，成为昼夜观测器材，其中比较有代表性的是瑞士Vectronix公司的LEICABIG-35，这个设备可昼夜工作，测量远方目标的距离和方位角，测量远处两个目标之间距离和方位角，还可通过自身携带的GPS定位远方敌人坐标，大大提高侦察效率。
- 夜视装备向**更小型化、紧凑化**发展，向现代战争的**C4系统靠拢**，不仅应具备数字连接接口，更应成为单兵信息系统的显示终端。以瑞士的BIM4型夜视仪为例，该设备的夜视图像中可加入多种单兵信息，如方向北、指挥员指令、电子地图、战场示意图等，成为未来单兵作战系统的核心部件之一。
- ✓ 总的来说，夜视技术的发展是紧紧跟随现代战争科技发展趋势的，**不仅仅是夜视能力本身的提高，更加趋向于与未来战争的信息化系统融于一体**。

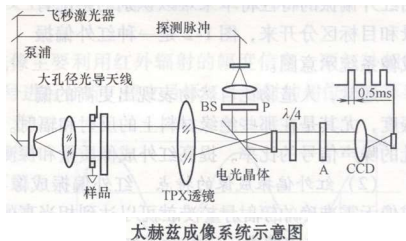
• 红外成像技术的发展趋势

- ✓ 红外技术的发展趋势
- 红外技术的发展以红外探测器的的发展为标志，可以从红外探测器的发展来推断其发展趋势。
- 红外焦平面器件发展到**高密度、快响应、像元数达到 10^6 - 10^{10} 元**的大规模集成器件，由二维向三维多层次结构发展，可实现高清晰度热像仪，极大缩小整机体积，增强功能。
- **双色、多色红外器件**的发展使整机可同时实现不同波长的多光谱成像探测，成倍扩大系统信息量，成为目标识别和光电对抗的有效手段。
- 探测器在焦平面上实现神经网络功能，按程序进行逻辑处理，使红外整机实现**智能化**。
- **提高探测器工作温度**。高性能室温红外探测器和焦平面器件是发展的重点之一，不需要制冷器，将会使整机更精巧、更可靠，从而实现全固体化。
- **提高成品率**，降低价格。

- 目前的红外成像技术没有充分利用红外辐射的各种特性。随着探测技术和传感器技术的发展，红外探测的精度和灵敏度越来越高，人们对于记录和再现现实环境的要求也越来越高，要求探测技术达到对环境的全面监测。
- 目前，世界各国装备的各种红外侦察装备大都能通过探测目标的红外辐射，提供目标的二维空间信息，**但无法确定目标的距离信息**。因而随着对环境空间参数准确性的要求不断提高，拓展空间距离信息，寻找适当的实时准确的三维空间信息获取手段，已经变得越来越重要。
- 人们试图找到一些新方法来提高目标与背景信号的信噪比，改善特定环境的应用场合下对特定目标检测的准确度和清晰度，获取更加丰富的目标信息，这就是科学家们不断探索新型红外成像机理的原动力。
- 科学家们从红外信号的不同频段、幅度、相位和偏振等特性寻求**新的成像方法**，一些新型红外成像技术不断研究出来。

✓ 太赫兹成像

- 太赫兹辐射是指频率在0.1-10THz范围内的**远红外电磁辐射**。
- 太赫兹成像是1995年由Hu Binbin等人首先提出的。
- 原理是利用已知波形的**太赫兹波作为成像射线**，透过成像样品的太赫兹波的**强度和相位**包含了样品**复介电常数的空间分布**；将透射的太赫兹波的强度和相位的二维信息记录下来，并经过适当的数字处理和频谱分析，就能得到样品的太赫兹波的三维图像。



- 太赫兹成像的一个显著特点是**信息量大**，每一像源对应一个太赫兹时域谱，通过对时域谱进行傅里叶变换又可得到每一点的太赫兹频率谱。
- 由于太赫兹探测器阵列目前还**十分昂贵**，典型的太赫兹成像是用单元探测器进行光栅扫描来实现的。
- 由于太赫兹的频率很高，所以其空间分辨率很高，又由于太赫兹脉冲很短，它具有**很高的时间分辨率**；
- 另外，太赫兹的能量很少，**不会对物质产生破坏作用**，所以与X射线相比，它又有很大的优势。
- 太赫兹成像的一些主要优点包括太赫兹**辐射能以很少的衰减穿透**，如陶瓷、脂肪、布料、塑料等物质，还可无损穿透墙壁、烟雾；太赫兹的**时域频谱信噪比很高**，因此太赫兹非常适合成像应用。
- 太赫兹成像的主要瓶颈在于产生足够强的有效信号，除自由电子激光外，目前大多数太赫兹**辐射源功率都很低**；太赫兹成像所需的许多**元器件还未开发出来**；太赫兹**成像距离短**，目前的太赫兹成像要求目标在太赫兹辐射源的数十厘米范围内；太赫兹成像**数据采集的时间长**。

✓ 红外偏振成像

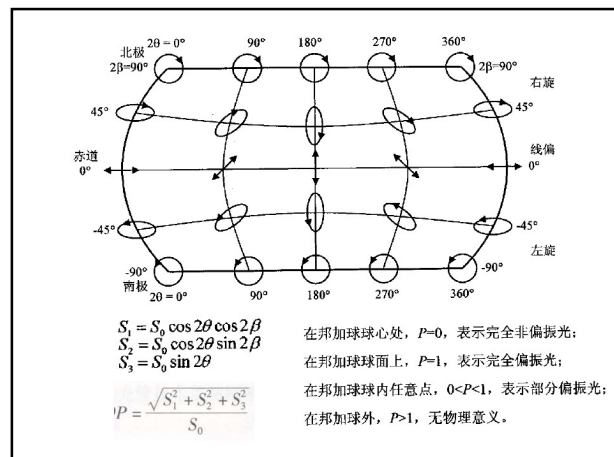
□ 红外偏振成像机理

- 众所周知，**光是具有偏振性的**，同样，作为电磁波的热辐射同光波一样也是具有偏振性的。电磁波的偏振由两个正交的偏振分量组成，它们都与波前的传播方向垂直。如果波前的传播方向为Z，电场的两个偏振分量的方向就是X、Y方向，位移(z)和时间(t)的函数可以写成下面的形式

$$\begin{cases} E_x(z, t) = E_{ox} \cos(kz - \omega t) \\ E_y(z, t) = E_{oy} \cos(kz - \omega t + \varepsilon) \end{cases}$$

- 式中， E_{ox} 、 E_{oy} 是电场在X、Y方向的振幅； k 、 ω 分别是空间频率和时间频率； ε 是Y方向电场的偏振矢量对于X方向的相位延迟。所有与偏振有关的信息都可以由邦加球上4个矢量（S0, S1, S2, S3）表示。对于完全偏振光，其关系为

$$\begin{aligned} S_0^2 &= S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 \\ S_1 &= S_0 \cos 2\theta \cos 2\beta \\ S_2 &= S_0 \cos 2\theta \sin 2\beta \\ S_3 &= S_0 \sin 2\theta \end{aligned}$$



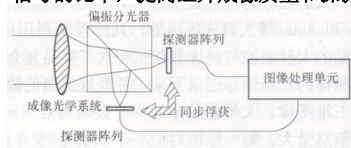
- 所有偏振光都可用邦加球上一点表示，偏振度定义为偏振部分的光强度和整个光强度之比值

部分偏振光 $0 < S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 < S_0^2$

$$P = \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}}{S_0}$$

- 自然界中的电磁波由许多偏振度不同的电磁波组成。这种现象在反射和辐射中都有表现，从紫外到红外波段都有，各个自然物体有着不同的偏振度。红外偏振成像就是**利用红外偏振的特性**将本来难以识别的杂乱背景和目标区分开来。

- 通常，**人造物比自然物表现出更高的偏振度**，尤其是在那些绝缘材料上的反射和辐射。这个现象可以用来提高目标或背景信号与杂乱的噪声信号的比率，提高红外成像质量和探测范围，降低误报率。



- 与红外热成像相比，红外偏振成像的特点：

- 偏振成像**无需准确的辐射量校准**就可达到相当高的精度，这是由于偏振度是辐射值之比，在传统的红外热成像中，定标对于红外热成像的测量准确度至关重要；
- 红外偏振成像识别地物背景中的**车辆目标具有明显的优势**。自然环境中地物背景的红外偏振度非常小，而金属材料的红外偏振度相对较大，因此以金属为主体的军用车辆的偏振度和地物背景的偏振度差别较大，这有利于提高目标与背景对比度；
- 军事上红外防护的主要方法是制造复杂背景，使红外系统无法从背景中区别目标，但这种杂乱的热源和目标的偏振特性存在差异，因此这种形式的防护对于红外偏振成像侦察就会失效；
- 对于辐射强度相同的目标和背景，红外成像无法区别，而红外偏振成像可以很好地区别。
- 但是红外成像中**加入偏振以后接收到的辐射量减少50%**。在一些情况下，减少了接收的红外辐射能量会破坏成像质量；这就要研究哪些条件下使用偏振会改善成像效果，包括大气条件、各种材料和环境的红外辐射的偏振特性等因素。通常，当偏振图像信号的信噪比在10以上时，就很有必要用偏振成像了。

□ 红外偏振成像研究现状及应用展望

- 以色列的B. Ben等人对各种背景的偏振度进行研究得出结论：绿色植被的偏振度大约在0.5%，岩石土的偏振度在0.5%-1.5%，沥青混凝土公路的偏振度在1.7%-3.4%，水面、海面的偏振度在1%-2%。
- 美国的Cooper等人进行了舰船目标和海背景的成像试验得出结论：**目标与背景的水平偏振度的对比在长波红外波段远强于中红外波段。**
- Aron等人将红外偏振成像应用到了红外前视中，提高了前视仪的信噪比、降低了误报率。他对车辆和帐篷进行了野外实验，可以看到汽车和帐篷都有线性偏振，而背景没有。
- 红外偏振成像的信噪比提高到30倍。在大多数有杂乱波干扰的情况下，红外偏振成像比普通红外成像能探测到波长范围更广的目标。在所有的波长范围，误报率保持在2%以下。
- 红外偏振成像除了可应用于军事目标的搜索与跟踪，基于组织对入射光和背光散射的偏振特性，还可以非侵入快速诊断早期皮肤癌，因此，红外偏振成像在军事及生物医学上都具有广泛的应用前景。

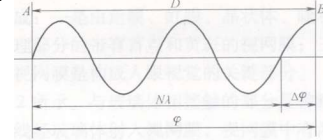


a) 红外图像 b) 红外偏振成像

✓ 红外相位成像

□ 红外相位成像机理

- 现有的红外成像主要利用红外辐射的幅度信息，而红外相位热成像的基本原理是通过对接收目标辐射信号进行分析，**建立目标红外辐射的相位信息模型及目标与探测器之间的距离算法模型**，获取目标的距离图像，与二维图像结合，得到探测目标的立体图像。红外相位热成像突破了以往单一利用红外辐射的幅度信息的思路，利用红外辐射的相位特性来成像，是一种新的红外成像机理。



相位与距离关系

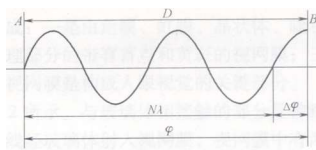
- 距离和相位之间的关系可由以下关系推导出

$$D = ct \quad t = \left(N + \frac{\Delta\phi}{2\pi} \right) \frac{1}{f}$$

- 由以上两式可得

$$\Delta\phi = 2\pi \times \left(\frac{D}{\lambda} - N \right)$$

- 式中，N为光波全行程中的整周期数； $\Delta\phi$ 为不足一周期的相位值，若波长 λ 已知，即可找到距离与相位之间的关系。红外相位成像就是利用这一原理获得**红外图像的距离信息，与红外目标的二维信息结合重建成三维图像。**



相位与距离关系

□ 与传统的红外成像相比，红外相位成像的特点：

- 首先，红外相位成像**可以得到更多的目标空间信息**，合成立体图像，特别是对于生物学样本相位成像可获得更加丰富的样本信息；
- 其次，军事目标中的**伪装可以通过红外相位成像辨别**，由于要伪装目标的某一面特征相对容易，而要伪装目标的体形特征就十分困难；
- 另外，红外相位成像应用于集成电路芯片线宽测量可减少结果对基片厚度的敏感。
- 红外相位成像的不足是目前红外辐射的相位信息算法模型及目标与探测器之间的距离算法模型还不完善，算法和重建三维图像的计算量大；
- 红外相位成像的相关器件还有待于开发。

• 微光图像和红外图像的融合

- 在微光与红外技术各自不断进展的时期，考虑到两者的互补性，在不增加现有技术难度的基础上，**如何将微光图像与红外图像融合以获取更好的观察效果**，成为当前夜视技术发展的热点研究之一。
- 微光图像的对比度差，灰度级有限，瞬间动态范围差，高增益时有闪烁，只敏感于目标场景的反射，与目标场景的热对比无关。而红外图像的对比度差，动态范围大，但其只敏感于目标场景的辐射，而对场景的亮度变化不敏感。两者均存在不足之处。
- 随着微光与红外成像技术的发展，综合和发掘微光与红外图像的特征信息，使其融合成更全面的图像已发展成为一种有效的技术手段。夜视图像融合能增强场景理解、突出目标，有利于在隐藏、伪装和迷惑的军用背景下更快更精确地探测目标。将融合图像显示成适合人眼观察的自然形式，可明显改善人眼的识别性能，减小操作者的疲劳感。

