

胡传炘 主编

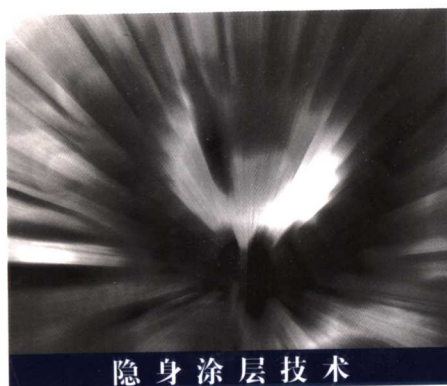
# 隐身涂层技术



Chemical Industry Press



化学工业出版社  
材料科学与工程出版中心



隐身涂层技术

ISBN 7-5025-6008-4



9 787502 560089 >

ISBN 7-5025-6008-4/TQ·2052 定价：60.00元

销售分类建议：化工/精细化工/涂料  
机械/腐蚀工程与表面技术

# 隐身涂层技术

胡传炘 主编



化学工业出版社  
材料科学与工程出版中心

· 北京 ·

(京) 新登字 039 号

**图书在版编目 (CIP) 数据**

隐身涂层技术/胡传妍主编. —北京: 化学工业出版社,  
2004. 8  
ISBN 7-5025-6008-4

I. 隐… II. 胡… III. 涂层-应用-隐身技术  
IV. TB43

中国版本图书馆CIP数据核字 (2004) 第 074691 号

---

**隐身涂层技术**

胡传妍 主编

责任编辑: 麻雪丽 叶 露

责任校对: 凌亚男

封面设计: 于剑凝

\*

化学工业出版社 出版发行  
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 24 字数 594 千字

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6008-4/TQ·2052

定 价: 60.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

# 前 言

近十年来，发生了多次局部战争，从英阿马岛之战到科索沃战争、阿富汗战争、海湾战争及2003年3月20日美英联军发起的攻占伊拉克的战争，隐身技术被大量应用于战舰、飞机、导弹以至于单兵。各国竞相投入巨大的人力、物力进行研究。隐身技术不仅有众多专家致力于研究，而且它日益引起了非专业人士、普通老百姓，尤其是广大青年人的关注。剥去隐身神秘的外衣，不同层次的读者都希望能有一本既有一定理论深度，又深入浅出，充分联系实际，叙述新颖，引人入胜的著作问世。编写本书的目的正在于此。

本书在综合论述隐身技术的基础上，重点介绍了光学（含近红外线）隐身涂层、激光隐身涂层、雷达波隐身涂层、红外线隐身涂层、隐身涂层新技术（纳米复合隐身涂层、新型雷达吸收剂技术、吸波涂层计算机辅助设计、新型伪装网等）。这些介绍包含了最新报道，有些是作者这几年的研究成果。考虑到隐身技术研究的保密性，所有公开发表的材料几乎都略去了关键技术，本书当然也不会例外，请读者理解。

本书主编胡传炘，副主编王智慧、李万志、安跃生。具体编写分工如下：第1章胡传炘、黄继强编写；第2章2.1、2.2由胡传炘、刘颖编写，2.3由梁文亭编写，2.4由刘世利编写，2.5、2.6由安跃生编写，2.7由刘世利编写；第3章由夏志东编写；第4章由崔丽编写；第5章5.1由胡传炘、刘颖编写，5.2由孙娜编写，5.3由王智慧编写；第6章6.1.1~6.1.4由胡传炘、白立来、刘颖编写，6.1.5由黄冬珍编写，6.1.6由孔维洲编写，6.1.7由吕艳红编写，6.1.8由甘爱锋编写，6.1.9由孟辉编写，6.2、6.3由杜新瑜编写，6.4由孙娜编写，6.5由骆武编写，6.6由张磊编写。

本书在编写过程中参考了大量文献资料，难以一一列举，每章后所列文献挂一漏万，谨在此对原作者表示诚挚的谢意。

胡传炘

2004年1月15日于北京工业大学

## 内 容 提 要

本书在综合论述隐身技术的基础上，重点介绍了光学（含近红外）隐身涂层、激光隐身涂层、雷达隐身涂层、红外隐身涂层，特别详细叙述了各种隐身涂层新技术，如纳米复合隐身涂层、新型雷达吸收剂制备技术、吸波涂层计算机辅助设计、新型伪装网等。

本书可供相关专业的高等学校师生、研究人员和工程技术人员参考，也可供对隐身技术有兴趣的读者阅读。

# 目 录

<b>第 1 章 总论</b> .....	1
1.1 隐身技术的基本概念 .....	1
1.1.1 隐身技术 .....	1
1.1.2 反隐身技术 .....	6
1.1.3 涂层隐身技术 .....	7
1.1.4 隐身技术术语.....	11
1.2 隐身技术的发展.....	12
1.2.1 隐身技术的起源.....	12
1.2.2 光学隐身技术的发展.....	13
1.2.3 雷达波隐身技术的发展.....	15
1.2.4 红外线隐身技术的发展.....	17
1.3 隐身技术现状及发展趋势.....	19
1.3.1 可见光隐身技术现状及发展趋势.....	19
1.3.2 红外线隐身技术现状及发展趋势.....	20
1.3.3 雷达波隐身技术现状及发展趋势.....	22
1.4 隐身技术与光电对抗.....	24
1.4.1 隐身进攻武器的威胁.....	24
1.4.2 对抗隐身进攻武器的措施.....	26
1.4.3 美国国家导弹防御与战区导弹防御系统简介.....	27
参考文献 .....	29
<b>第 2 章 光学隐身涂层</b> .....	31
2.1 几何光学的几个基本概念及定律.....	31
2.1.1 几何光学的基本定律.....	31
2.1.2 光的传播.....	31
2.1.3 光的反射定律.....	31
2.1.4 光的折射定律.....	31
2.1.5 光的全反射.....	32
2.1.6 光度学概念.....	32
2.2 物理光学几个基本概念.....	34
2.2.1 光的吸收.....	34
2.2.2 吸收光谱.....	35
2.2.3 光的散射.....	36
2.2.4 太阳光辐射.....	37

2.3 迷彩伪装基本原理	38
2.3.1 基本概念	38
2.3.2 迷彩伪装方法	39
2.3.3 迷彩伪装的技术要求	46
2.3.4 迷彩伪装的效果检验	51
2.4 迷彩图案的计算机辅助设计	53
2.4.1 伪装背景数据分析处理系统	54
2.4.2 模型方法研究	54
2.5 迷彩涂料的制备与应用	56
2.5.1 类叶绿素反射特性的实现	56
2.5.2 野战条件下的实施	62
2.6 光学隐身涂层新技术	64
2.6.1 降温迷彩	64
2.6.2 热红外线迷彩	68
2.6.3 光学隐身涂层的发展趋势	71
2.7 伪装网面的涂层设计	73
2.7.1 国内外伪装网的结构和种类	73
2.7.2 伪装网隐身性能分析	78
参考文献	85
<b>第3章 激光隐身涂层</b>	<b>86</b>
3.1 预备知识	86
3.1.1 激光的特性	86
3.1.2 激光作用下材料的光学性质(目标和背景的光学特性)	93
3.1.3 激光生物作用及效应	104
3.2 激光隐身技术	108
3.2.1 军用激光技术	108
3.2.2 激光雷达截面	111
3.2.3 激光隐身技术途径	113
3.2.4 常用军事装备的激光隐身	113
3.3 激光隐身涂层	116
3.3.1 激光隐身涂层机理	116
3.3.2 对涂层材料性能及工艺的要求	116
3.3.3 复合隐身涂层及技术	118
参考文献	120
<b>第4章 红外线隐身涂层</b>	<b>121</b>
4.1 预备知识	121
4.1.1 红外线辐射的基本知识	121
4.1.2 红外线隐身技术	125
4.2 红外线隐身机理	131
4.2.1 基本思想	131



4.2.2	基本技术途径 .....	132
4.3	红外线复合隐身涂层 .....	134
4.3.1	涂层结构 .....	134
4.3.2	近红外线隐身涂层 .....	134
4.3.3	中红外线、远红外线隐身涂层 .....	149
4.4	热红外线隐身涂层应用实例分析 .....	161
4.4.1	低发射率涂层 .....	161
4.4.2	热迷彩涂层 .....	171
4.4.3	热反射涂层 .....	173
4.4.4	红外线兼容型多频谱隐身涂层 .....	175
4.4.5	红外线和激光兼容的隐身涂层 .....	177
4.4.6	其他隐身涂层 .....	178
	参考文献 .....	181
<b>第5章</b>	<b>雷达波隐身涂层</b> .....	<b>183</b>
5.1	预备知识 .....	183
5.1.1	雷达波段 .....	183
5.1.2	雷达分类及波段用途 .....	184
5.2	雷达波截面减缩 .....	185
5.2.1	雷达波截面减缩原理概述 .....	185
5.2.2	RCSR 外形技术 .....	186
5.2.3	采用电子措施降低兵器的雷达波截面 .....	190
5.2.4	等离子隐身 .....	191
5.3	雷达波隐身涂层 .....	192
5.3.1	雷达吸波材料的工作原理 .....	194
5.3.2	雷达吸波涂层的设计 .....	200
5.3.3	雷达波吸波剂 .....	206
5.3.4	吸波涂层的结构 .....	214
	参考文献 .....	218
<b>第6章</b>	<b>隐身涂层新技术</b> .....	<b>220</b>
6.1	纳米复合雷达隐身吸波涂层 .....	220
6.1.1	纳米复合雷达隐身吸波涂层研究指导思想 .....	220
6.1.2	纳米复合雷达吸波涂层的物理模型 .....	220
6.1.3	纳米复合吸收剂设计 .....	222
6.1.4	纳米复合隐身涂层设计 .....	229
6.1.5	纳米复合羰基铁粉雷达吸波涂层 .....	231
6.1.6	空心微球吸波涂层 .....	245
6.1.7	纳米复合镍粉雷达吸波涂层 .....	254
6.1.8	铁氧体吸波材料 .....	266
6.1.9	纳米复合纤维吸波材料 .....	276
6.2	新型吸收剂技术 .....	285

6.2.1	纳米铁纤维吸收剂 .....	289
6.2.2	纳米碳管吸收剂 .....	297
6.2.3	纳米薄膜吸收剂 .....	302
6.3	涂层辅助设计技术 .....	307
6.3.1	常用算法及模型 .....	307
6.3.2	计算机软件设计 .....	310
6.3.3	辅助设计实例 .....	311
6.3.4	涂层辅助设计试验 .....	314
6.4	新型伪装网设计 .....	316
6.4.1	引言 .....	316
6.4.2	伪装网设计思路 .....	316
6.4.3	新型伪装网的研究特点 .....	319
6.5	防雷达新型伪装网的研制 .....	324
6.5.1	概述 .....	324
6.5.2	伪装网纳米复合隐身涂层的设计 .....	327
6.5.3	三维伪装网的制作 .....	335
6.5.4	展望 .....	342
6.6	降温涂料涂层 .....	342
6.6.1	概述 .....	342
6.6.2	降温机理 .....	343
6.6.3	降温涂料的组成及制备 .....	347
6.6.4	降温涂料的性能测试 .....	357
6.6.5	降温涂料的应用 .....	362
	参考文献 .....	363
	<b>附录 1 涂料、漆膜性能的测定标准 (目录) 及其与国外相应标准的关系 .....</b>	<b>365</b>
	<b>附录 2 部分新标准目录 .....</b>	<b>369</b>
	<b>附录 3 各国标准筛目数与网孔直径对照表 .....</b>	<b>370</b>
	<b>附录 4 各种黏度标准换算表 .....</b>	<b>371</b>

# 第 1 章 总 论

## 1.1 隐身技术的基本概念

### 1.1.1 隐身技术

#### 1.1.1.1 定义

**狭义定义** 通过改变目标外部结构或在其表面进行涂层处理,改变目标的辐射特征及对电磁波的反射性能,降低目标与环境的辐射反差或光谱反射差异,从而令目标的可探测性大为降低,在一定范围内可达到“隐身”的效果。此类技术,称为隐身技术 (stealthy technique)。

**广义定义** 通过改变目标外部结构 (结构隐身) 或在表面进行涂装处理 (涂层隐身), 或在其外部加覆盖物, 或示假目标 (伪装), 达到降低目标可探测性的技术, 均可统称为隐身技术。

或者, 简而言之, 依据内在伪装的概念, 显著减小目标自身的各种暴露特征, 令敌方侦察系统难以发现或令其探测效果降低的综合技术, 即可称为隐身技术。

从上述定义中, 可明确下述几点。

① 隐身技术研究的目的是保存自己, 消灭敌人。尤其是追求在遭到敌方第一波打击后, 努力提高己方目标的生存能力。

② 狭义的隐身技术与伪装是有区别的, 前者重在目标自身外部状态及性能的研究; 后者侧重在隐蔽我方, 欺骗、迷惑敌方而采取的各种手段的研究。广义的隐身技术包含伪装。

③ 涂层隐身技术 (coating stealthy technique) 指在目标外表面进行涂层处理, 利用涂层达到令目标隐身的目的。

④ 涂层隐身技术, 根据涂层的种类, 可分为光学 (含近红外光) 隐身、红外光隐身、激光隐身、雷达波隐身 4 种。

#### 1.1.1.2 光学隐身技术

光学隐身技术 (optical stealthy technique) 指在可见光及近红外光波段, 利用各种涂层以达到目标隐身的技术。

##### (1) 光学侦察手段

① 目视观察 其特点如下。

a. 近距离观察 可区分不同颜色的亮度及色彩, 可识别目标的形状及大小。

b. 远距离观察 可区分不同目标的亮度, 例如, 用望远镜、潜望镜等观察, 在良好大气环境下观察距离可达 10~15km。

② 照相侦察 黑白红外光照相, 可将目标与环境反射红外光的差别, 用亮度不同的黑白消色显示出来。

照相侦察的特点如下。

a. 所需时间短, 拍摄面积大。例如, 一般普查卫星, 在 900km 上空, 仅用 18 天时间, 即可拍摄完全地球表面。

b. 分辨率高。例如, 美国最新侦察卫星, 在 160km 高空, 拍摄地球表面照片, 其地面分辨率可达 30cm。

③ 微光夜视 利用微光夜视仪, 如步兵瞄准镜、夜视眼镜等, 可将目标亮度增强几万至几十万倍, 从而将其变为可见图像。其特点如下。

a. 探测距离一般为几百米, 广泛用于夜间作战。

b. 可将目标发射的红外光变为可见光 ( $\lambda=0.5\sim 0.6\mu\text{m}$  的黄绿光), 从而令观察者可清楚识别。

c. 无须人工照明光源, 保密性好, 质量轻。

④ 近红外光夜视 近红外光夜视仪 (主动夜视器材), 利用目标与环境反射近红外光的差别来发现目标。其特点如下。

a. 工作波长为  $0.76\sim 1.3\mu\text{m}$ , 观察距离一般为  $50\sim 4000\text{m}$ , 可直接观察目标。

b. 目标亮度强, 环境反差大, 成像清晰, 成本低。

常用产品有步枪、机枪用夜视瞄准镜、坦克用夜视仪、红外光驾驶仪等。

## (2) 光学隐身技术

① 光学 (含近红外光) 隐身涂层 如迷彩涂层、迷彩降温涂层等。

② 伪装织物 如伪装网、伪装布等, 在织物上喷 (浸) 涂或辊涂迷彩涂料。

③ 绿色检验镜 绿色检验镜是一种特别的滤色镜, 在可见光和近红外光区具有非常明显的选择性, 其光谱透射曲线如图 1-1 所示。其特点如下。

a. 大量透过  $\lambda=0.68\mu\text{m}$  以上的红光、近红外光。

b. 少量透过  $\lambda=0.47\sim 0.52\mu\text{m}$  蓝绿光。

c. 透过峰值  $\lambda$  在  $0.50\sim 0.51\mu\text{m}$ 。

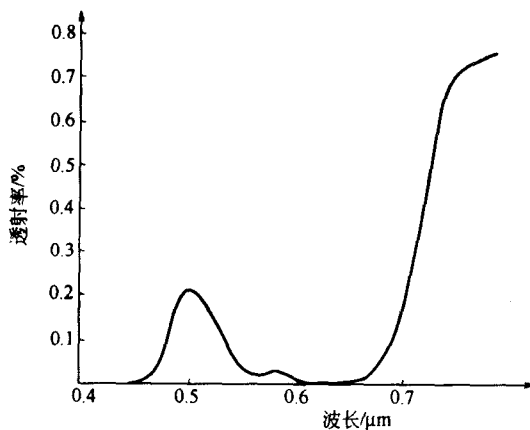


图 1-1 绿色检验镜的光谱透射曲线

自然植物绿在绿色检验镜下观察呈红色或红橙色, 人工绿色原料或其他颜色原料 (如染料) 根据其光谱反射特性与绿色植物光谱反射的差异大小, 在绿色检验镜观察下呈不同颜色。光谱反射差异微小的, 呈红色或红橙色; 光谱反射差异很大的, 呈绿色或暗绿色; 有一定差异 (即介于上述二者之间) 者, 呈红褐色或暗褐色。显然, 在检验镜下呈红色或红褐色的材料 (或涂层) 是良好的防红外光观察与照相的隐身材料, 也正是丛林迷彩涂层所要

求的。

### 1.1.1.3 红外光隐身技术

红外光隐身技术 (infrared stealthy technique) 指显著减小目标的红外光辐射特征, 降低目标与环境之间的红外光辐射差异, 使敌方探测系统难以发现或使其探测效果降低的综合技术。

#### (1) 红外光侦察手段

红外光侦察的任务有 3 个: 导弹发射探测、导弹接近探测、目标 (辐射源) 定位及辐射分析。按探测系统的特点来分, 红外光侦察可分为主动式探测及被动式探测两种。

**主动式红外光探测** 探测系统向目标发射红外光, 从目标反射回的红外光再进入探测系统的接收器, 由此对目标进行探测。

**被动式红外光探测** 被动地观测目标地红外光辐射, 由此对目标定位或成像进行观测。

被动式红外光探测 (侦察) 设备有下述几种。

① **导弹发射测定设备** 通常应用定点于赤道上空 35780km 地球同步轨道上的预警卫星来实现对导弹发射的监测, 参见图 1-2。预警卫星绕自身转轴以 5~6 周/min 转动, 通过卫星上的望远镜及红外光探测器阵列接收导弹尾焰的红外光特征辐射, 从而探测到正在发射的导弹及其位置。

② **导弹接近探测设备** 典型设备为 AAR-57。

③ **红外光辐射源探测定位及辐射分析记录设备** 典型的红外光探测设备, 一般系统工作波段多在中红外光及远红外光 ( $\lambda=8\sim 14\mu\text{m}$ ), 可进行连续搜索跟踪空中及水面目标, 可预警、瞄准、传送、监视及进行战斗态势估计, 如, AN/AAR-44 型、AN/SAR-8 型等。

④ **红外线成像仪** 红外线成像仪 (热成像仪), 是通过接收目标的红外光辐射所形成的图像转换为肉眼可见图像的装置。这个图像是基于目标与环境之间红外光辐射 (热能) 差异形成的, 故称为热成像, 其组成及工作原理如图 1-3 所示。物镜系统把目标的红外光辐射搜集起来, 当扫描转鼓在俯仰和水平两方向扫描时, 红外光探测器将逐点接收目标的红外光辐射并转换为电信号, 经信号处理器后在同步扫描的显示器上显示出热图像。其特点如下。

- a. 全被动式工作, 不易被发现和干扰;
- b. 24h 全天候工作, 阴、雨、雪、雾天基本影响不大;
- c. 可探测出隐蔽的热目标和它遗留的热痕迹。

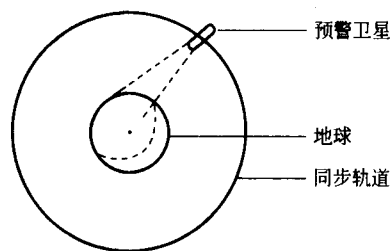


图 1-2 预警卫星工作原理

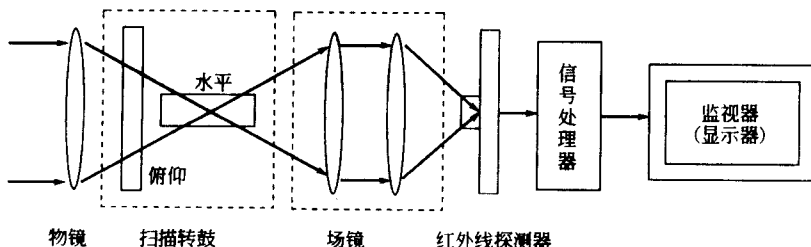


图 1-3 热成像仪工作原理示意

#### (2) 红外线隐身技术

红外线隐身技术的基本思想是改变或抑制目标的红外光辐射特征，减少目标与环境之间的红外线辐射反差。

红外线隐身技术的基本途径如下。

① 抑制目标的红外线辐射强度 这里包含有四种方法。

a. 降低热源温度 可将一般目标（热源）视为灰体，其辐射出射度  $M(T)$  为：

$$M(T) = \epsilon \sigma T^4 \quad (1-1)$$

辐射功率  $P$  为：

$$P = \int_A M(T) dA \quad (1-2)$$

式中， $\epsilon$  为“热源”（目标）的发热率； $\sigma$  为波尔兹曼常数； $T$  为“热源”的绝对温度； $A$  为“热源”发射辐射的面积。

由式 (1-1) 及式 (1-2) 可见，“热源”辐射强度强弱与其温度的 4 次方呈正比，因此，降低热源的温度是抑制目标红外线辐射强度的有效方法。

b. 降低发射率  $\epsilon$  此点由式 (1-1) 明显可见。

c. 表面制备红外线隐身涂层 即在目标表面涂覆具有红外线隐身的功能性涂料，既可降低温度，又可减小表面发射率。

d. 减小目标发射红外线辐射的表面积  $A$ 。

② 改变目标的红外线辐射特性 即努力减小目标与环境的红外线辐射差异，令系统接收到的目标辐射的信噪比减小，从而造成系统只有在更短的作用距离上才能得到所需的信噪比 SNR。被动式红外线探测系统的作用距离  $R$ 、系统信噪比 SNR、系统探测器的噪声等效辐照度 NE、目标的辐射强度  $J$  和大气的透过比  $T_R$  这 5 个量之间的关系是：

$$NE = \frac{J T_R}{SNR \cdot R^2} \quad (1-3)$$

改变目标红外辐射特征的主要方法如下。

a. 表面覆盖物 利用覆盖物的特殊性能改变目标的红外线辐射特征及表面温度分布，减少目标与环境的辐射反差。如伪装布、伪装网等。

b. 迷彩涂层 三色和四色迷彩涂层。

c. 自适应红外线隐身材料 这种材料可以在不同环境条件下自我调节、不断变化、实时匹配，即为变色材料（智能材料），如热变色材料（光学性能随电场变化）、光变色材料（光学性能随入射光强度变化）。这种材料正在研究中。在自然界中，变色龙就具有自适应隐身功能。

d. 自照明与热交换技术 自照明可消除目标的阴影，使目标不易发现；热交换（如制冷）可使目标表面既有低的反射率，又有低的辐射率。

e. 等离子体隐身技术 试验表明，在目标表面形成等离子体层时，当雷达波碰到此等离子体层时，会被吸收或折射，从而显著降低雷达回波的能量，可达到目标的隐身。俄罗斯的部分战斗机上已安装了等离子体隐身系统，在飞机的主要雷达散射面积区域利用高功率微波产生等离子体以吸收或衰减入射雷达波，还可吸收红外波。其特点是使用简单，吸收率高，吸收频道宽，寿命长。这种飞机的隐身效果可与美国的 F-117A 战斗机相媲美。

#### 1.1.1.4 雷达波隐身技术

雷达波隐身技术 (radar stealthy technique) 是指能显著吸收雷达波，令其转变为热能，

从而减少雷达回波能量，达到目标隐身的技术。或者，换言之，雷达波隐身技术是指尽量逃脱雷达侦测到的技术。目前，国内外重点研究的隐身技术正是在雷达侦测下的“隐身”。

### (1) 雷达侦察手段

如图 1-4 所示，典型雷达系统一般由电源、天线、发射机、定时器、接收机、收发开关和指示器 7 个部分组成。发射机通过脉冲发生器产生脉冲信号，由定时器协调，通过天线发射出去，发射的雷达波打到目标表面，产生反射，反射回波又经过天线到达接收机，回波信号十分微弱，经放大器放大百万倍后送到显示器（雷达屏幕）显示。由于天线对雷达波又发、又收，需经收发开关控制，发射时将天线与发射机接通，接收时将天线与接收机接通。显示器在发射脉冲时开始扫描，并显示接收机送回的回波信号。天线根据需要可做圆周转动，指示器上的扫描线也与之同步扫描运动，以侦测目标。各种雷达尽管所采用的技术不同，但原理基本相同。雷达波波长较可见光、红外光都长，故观测目标一般不受气候（雾、雨）、黑夜、烟尘的影响，且探测距离较大，是一项行之有效的侦测手段。

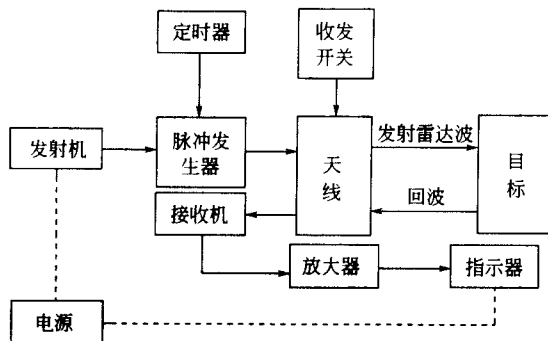


图 1-4 雷达侦测原理示意

雷达波波长较可见光、红外光都长，故观测目标一般不受气候（雾、雨）、黑夜、烟尘的影响，且探测距离较大，是一项行之有效的侦测手段。

### (2) 雷达波隐身技术

雷达波隐身技术主要包括目标结构隐身及表面涂层隐身。各种雷达吸波涂层技术是目前雷达技术研究中最具活力的研究领域。

#### 1.1.1.5 激光隐身技术

激光隐身技术（laser stealthy technique）是指使目标的激光回波信号尽量减小，从而降低目标被探测器发现的概率，缩短被探测发现距离的综合技术。

##### (1) 激光侦察手段

激光隐身主要针对的是激光雷达、激光扫描传感器、激光测距仪和激光跟踪器等。

① 激光雷达 激光雷达是在激光测距仪基础上发展起来的。它由发射机、接收机、雷达同步器等部件构成，其原理与无线电雷达类似。激光雷达的作用是：可测出目标的距离、方位、运动速度，可以自动跟踪目标并记录其运动轨迹，显示目标图像。与无线电波雷达、激光雷达比较，激光雷达的优点是：角分辨率高，精度高，抗干扰强，体积小，质量轻；缺点是：易受气候影响，搜索、跟踪、监视目标较困难。美国研制的激光雷达有目标跟踪雷达、相控激光雷达、宇宙飞船激光制导雷达等。在近几年的美英攻打阿富汗的战争和攻打伊拉克的战争中，美军均使用过激光制导武器。

② 激光扫描传感器 激光扫描器的工作原理是：扫描器发出的激光束随飞行器向前运动，对飞行器下方平行地连续扫描。接收机接收从地面反射回的激光回波，将其变成电信号，显示飞行器下方的地形图。目前，激光扫描传感器的最大有效侦察高度为 300~500m，主要用于低空战术侦察。

##### (2) 激光隐身技术

###### ① 技术途径

a. 激光雷达距离方程 激光雷达距离方程式见式 (1-4)，激光隐身途径即从此方程

寻求。

$$R = \left[ \left( \frac{P_T}{P_R \Omega_T} \right) \cdot (\rho A_r) \cdot \left( \frac{A_c}{\Omega_r} \right) T^2 \right]^{\frac{1}{4}} \quad (1-4)$$

式中,  $P_R$  为接收到的激光回波功率;  $P_T$  为发射的激光功率;  $\rho$  为目标的反射率;  $A_r$  为目标面积;  $A_c$  为接收有效孔径面积;  $\Omega_r$  为目标散射波束的立体角;  $\Omega_T$  为发射波束的立体角;  $T$  为单向传播路径透过率;  $R$  为激光雷达作用距离。

从式 (1-4) 可见, 与目标有关的参数是反射率  $\rho$ 、目标面积  $A_r$ 、目标散射波束的立体角  $\Omega_r$ 。因此, 欲降低  $R$ , 则须减小  $\rho$ 、 $A_r$ , 增大  $\Omega_r$ 。

b. 激光雷达截面积  $\sigma$  (laser radar cross section, 简称 LRCS)

定义为:

$$\sigma = \frac{4\pi\rho A}{\Omega_r} \quad (1-5)$$

式中,  $\Omega_r$ 、 $\rho$  意义同前;  $A$  为目标的实际面积。

由式 (1-5) 可见, 若要  $\sigma$  小, 则必回波能量小, 激光雷达可探测距离短。

c. 临界散射截面  $\sigma_m$  将式 (1-5) 代入式 (1-4), 并令  $R_{\max}$  为最大作用距离, 对应的  $\sigma = \sigma_m$ , 称为“临界散射截面”

$$R_{\max} = \left[ \left( \frac{P_T}{P_R \Omega_r} \right) \frac{\sigma_m \cdot A_c}{4\pi} T^2 \right]^{\frac{1}{4}} \quad (1-6)$$

式中,  $R_{\max}$  为对应于  $\sigma_m$  的激光雷达作用距离。在这个距离上, 若目标的散射截面  $\sigma < \sigma_m$ , 则目标处于隐身状态。

一般, 激光雷达发现目标的概率为 50%, 大于或等于此概率, 称为发现, 否则认为是隐身态。

## ② 隐身方法

a. 目标外形设置 主要包括两个方面。第一方面是减少目标被照射的外表面积; 另一方面是对目标外形进行合理设计。一般认为由多面体组成的表面有利于激光隐身。

b. 减少表面的反射率 主要是用涂料涂层。常用激光隐身涂料有吸波涂料、透射涂料及导光涂料三种, 其中以吸波涂料为主。

特别要注意的是红外光隐身涂层要求涂层对红外波发射率低、反射率高; 而激光隐身涂层要求涂层对激光吸收率大、反射率小。二者是矛盾的。因此, 在制备红外光与激光隐身兼容涂层时, 应注意二者的协调。

## 1.1.2 反隐身技术

### 1.1.2.1 意义

反隐身技术与隐身技术是矛和盾的关系。随着隐身技术的不断发展, 反隐身技术也在不断更新。但总的说来, 反隐身技术无论在理论和实际方面均不太成熟, 离实战应用尚有一定距离, 但在现代电子战技术中已占有重要的地位。

### 1.1.2.2 主要研究内容

(1) 研制新型、高效探测系统 用以对抗隐身目标, 例如, 在红外线探测方面。

① 研制高探测力的红外探测器, 以提高对目标的探测距离。

② 研制高质量热成像仪, 令其在目标与环境辐射差异较小情况下, 也能清楚成像。

③ 对同一目标应用多光谱技术与信息融合技术、多传感器探测技术, 以对抗红外隐身。



④ 发展空基和天基红外线探测技术，以便从上向下进行俯视探测，提高目标探测概率（其原因是空中隐身飞行目标上部隐身功能较差），攻其薄弱部位以“发现”之。

(2) 多光谱技术、信息融合技术和多传感器探测技术

① 多光谱技术 多光谱技术是采用适当的感光材料和不同波段的滤光镜，将同一目标的反射光和辐射光按不同的波段，分别以同样大小的比例同时记录下来，由此可以得到同一“目标”的不同波段的底片和照片。对比这组照片，可逐个波段去研究目标，或者，通过对不同波段的照片组成各种假彩色或真彩色的照片进行分析和研究，从差异中识别目标。

② 信息融合技术 信息融合技术亦称数据融合技术，指由多个传感器获得的大量信息，根据一定规则进行分析处理，得出一个全面、综合情报的技术手段，称之为信息融合技术。

随着隐身技术的发展，目标通过多种隐身手段（含各种伪装、欺骗、隐真示假方法）及其他电子手段，用单传感器探测已不适于实战要求，发展多传感器获取目标多侧面信息已成为必然。为此，对多传感器获得的大量信息必须要进行全面、综合分析，才可顺利实现对目标的捕获、识别及跟踪。这就必须依靠信息融合技术来实现。

利用信息融合技术可令传感器从单一向多传感器融合系统发展。由于这项技术不是对个别传感器给出的信号进行单独显示和处理，而是输送到数据处理中心进行信号增强、人工智能、自动目标识别、信号叠加等综合处理，最终融合成像显示。

由上述内容可见，多光谱信息融合技术是对付隐身的有效手段，也是目前反隐身技术研究的热门课题。

1.1.3 涂层隐身技术

1.1.3.1 光学（含近红外光）隐身涂层

光学（含近红外光）隐身涂料的主要功能在于：所制备的涂层，在可见光及近红外光波段，应具备隐身功能。这种涂料的组成一般是：着色颜料+近红外剂+黏合剂。

(1) 着色颜料及填料

着色颜料的作用是用来调节漆膜颜色，使之具备可见光下的迷彩效果。填料一般为无机矿物物质，其作用是提高涂料的耐蚀性、耐化学药品性及力学性能。几种着色颜料及其涂料的红外发射率见表 1-1。

表 1-1 几种着色颜料及其涂料红外光发射率

着色颜料	粉末发射率	涂料发射率	备注	着色颜料	粉末发射率	涂料发射率	备注
Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.669	0.871	发射率最低(淡黄)	Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.897	0.937	
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.770	0.842		Fe(OH) <sub>3</sub>	0.950	0.962	
黑色 CuO	0.794	0.921		In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.945	0.961	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.870	0.932		NiO	0.771	0.876	
CdS	0.962	0.956		V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.942	0.954	

(2) 近红外线吸收剂

光学（含近红外光）隐身的主要任务是尽量缩小目标与环境的差异，这个差异主要表现在：颜色对比差异、亮度对比差异和阴影差异。技术核心在于研制防近红外线侦察的“隐身剂”，对丛林迷彩而言，就是研制一种具有叶绿素反射特征的材料（类叶绿素），有些文献指出，与叶绿素具有相似结构的有酞菁蓝、酞菁绿、卟啉等。但据研究认为：这些材料与叶绿素光谱反射特征还是有相当差异的，直接用于隐身涂层并不合适。一般叶绿素在  $\lambda = 550 \sim$