

# 隐身漫谈\*

叶德信<sup>1,†</sup> 郑斌<sup>1</sup> 陆凌<sup>2,††</sup>

(1 浙江大学信息与电子工程学院 杭州 310027)

(2 中国科学院物理研究所 北京 100190)

2018-01-09收到

† email: desy@zju.edu.cn

†† email: linglu@iphy.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20180406

从古代道家的隐身符到哈利波特的隐身衣，人类对隐身“超能力”的追求古老又神秘。而从隐身飞机到隐身舰船，社会对隐身技术的需求既强烈又实际。现代科技的发展给了我们信心，隐身不只是一种“超能力”，而是一种实实在在的技术。下面我们就一起来解读一下现有的各类“隐身术”。

在谈隐身之前首先要知道为什么我们能看见物体。从光学角度来讲，当空间中的光照射到物体表面时，物体会向各个方向散射(包括了反射和透射)不同颜色(波长或频率)的光波。这些散射光进入人的眼睛后，会在视网膜上呈现出各种形状、颜色的像。简而言之，我们通常是通过接收物体的散射光来探测物体的。

怎么样才能使物体不被看见，实现隐身呢？根据实现原理的不同，分为以下3种方法。第一种方法，使物体的散射光与背景环境的散射光特性相同，令观察者即使探测到物体的散射光，也无法把物体从其背景环境中区分出来，这也是一种隐身技术。第二种方法，使物体的散射光不进入特定位置上的探测器，这可以通过吸收探测光或将散射的探测光分散到探测器以外的方向来实现。第三种方法，使物体的散射光完全消失，

即让探测光完美匹配透过或者绕过物体，实现全方位隐身，这是近年来兴起的科学前沿热点。以下我们来举例分析这3种隐身方法的工作机制、实现方法及各自存在的缺陷。

## 1 散射光与背景相同

首先是第一种隐身方法：使物体的散射光与背景环境的散射光特性相同，让物体完全融入背景环境，从而实现隐身。实际上，基于这种机制的隐身现象在自然界中就存在，自然选择让很多生物具备了这种隐身技能，有利于它们趋利避害。如图1所示的2张照片，图1(a)显示的是一只猫头鹰停在树洞口，(b)显示的是一只树蛙趴在树干上。可以看到，由于猫头鹰羽毛、树蛙表皮对可见光的散射特性与对应环境中树干对可见光的散射特性非常相近，它们的散射光线在观察者眼中呈现出的颜色和质地与背景环境非常接近。对稍远距离的

观察者来说，完全无法区分它们与其所在的环境。因此，第一种隐身方法要求被隐身物体处在具有特定散射特性的背景环境中。

然而，上述两种动物的隐身技能是非适应性的，它们无法适应环境的改变。这是由于其体表特性固定，一旦背景环境发生了变化，隐身状态立即失效。但另外还有一些生物，比如变色龙、章鱼等，却具有适应性隐身技能。图2中的3幅图显示了章鱼的适应性隐身技能及其实现原理。章鱼可以根据背景环境的不同，调节其表皮对可见光的散

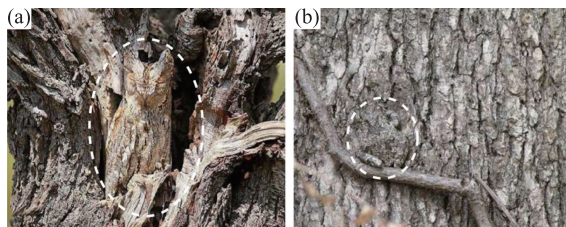


图1 目标与背景环境的融合实现隐身(来自网络) (a)猫头鹰；(b)树蛙

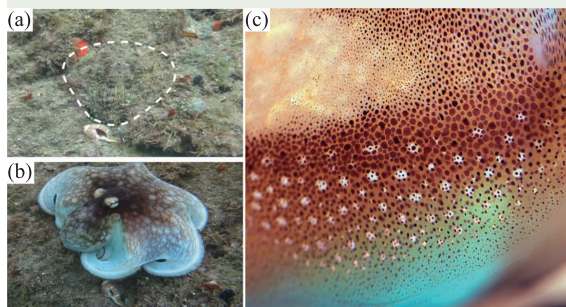


图2 章鱼的适应性隐身(来自网络) (a)隐身状态；(b)非隐身状态；(c)章鱼的表皮结构

\* 本文基于作者在SELF讲坛的演讲“如何练就隐身术”修改而成。  
([http://www.self.org.cn/self\\_yj/201706/t20170629\\_27540.html](http://www.self.org.cn/self_yj/201706/t20170629_27540.html))

射特性，以融入不同环境来实现动态隐身，因此具有更高的实用性。那么章鱼是如何实现这种可调式隐身状态的呢？答案就在它们的表皮结构中。图2(c)所示的是章鱼表皮结构的放大图，可以看到上面有各种颜色的小色素块，有的是黑色，有的是棕色，也有白色的底色，还有青色和黄色的效果。因为这些是软体组织，章鱼可以瞬间张开或者缩小这些小的色素块，以呈现出不同的体表颜色，甚至是质地。因此，当处于不同环境时，它们可以主动调整并展现出与周围环境相似的散射特性，实现动态隐身。

军事上常用的如植物伪装、迷彩服装等正是利用了植物、涂料、染料和其他材料来改变地面作战人员或武器的外表颜色及图案，用以消除它们与背景环境的差异，使战士和装备不容易暴露。但是这些已经在军事上被广泛应用的“伪装”技术都是静态和非适应性的，目前

尚未实现具备如章鱼般的动态和适应性隐身技术。

## 2 散射光不进入探测器

第二种隐身方法是：完全吸收探测光或将探测光散射到其他方向，使物体的散射光不进入探测器视野，从而实现隐身。这种隐身机制的重点在于，尽管无法完全消除物体的散射光，但只要保证散射光不返回或只有极小部分返回探测器，仍能实现物体对探测器的隐身，这类似于在黑夜中穿上黑衣服不易被人发现。

这种隐身方法的一个巨大应用领域为空中飞行器对雷达探测系统的隐身。目前最常用的空中飞行器远距离探测手段是雷达波，其所用的探测波频率处于微波频段而不是可见光频段。如图3所示，探测雷达①向不同方向发出探测波，若某个时候，空中出现了一架飞行器，则该飞行器的散射波会有部分沿着原路反射到雷达①并被探测到。因此，如果优化设计飞行器的外形或者在其表面涂上对应的吸收材料，使其散射波不原路返回，则该飞行器即可对探测雷达隐身。

隐身飞机的隐形方法存在的主要不足是仅能对特定方位的探测器隐身。如果同时在飞行器周围的多

个方向放置探测雷达，如图3所示的探测雷达②和雷达③，该隐身方法即失效。原因是飞行器会因为其他方向的反射波而被雷达②探测到，也会因挡住其背后接收雷达③的信号而被探测到。因此，现今最常用、最有效的反隐身手段是双、多站雷达探测系统，将发射机和接收机分置在两个或多个不同的站址，可以包括地面、空中、海上或卫星等多种平台，利用远离发射机的接收机接收飞行器在各个方向散射的雷达波。在这种探测系统下，无论是外形设计还是覆盖吸波材料，飞行器均无所遁形。

## 3 散射光为零

怎么样才能实现物体同时对所有方向的探测器隐身呢？我们来介绍第三种隐身方法：让探测光完美透过或者绕过被隐身的物体，使物体所有方向的散射光消失。这是目前理论上最有效同时实现难度也最大的隐身方法。它需要被隐身物体在任意方向均不散射也不吸收探测波，即要求探测波完美匹配绕过物体后沿着原来的方向行进。这种对所有方向都能实现隐身的全向隐身技术，是近年来各国相关领域科学家的研究热点。

2006年，英国帝国理工大学的Pendry教授基于麦克斯韦方程的坐标变换方法把隐身区域和外界在光学上完全隔离，这样在隔离区域内的任意物体便和外界不发生任何光学作用，因此无法被探测，如同披上了隐身衣<sup>[1]</sup>。如图4(a)所示，其设计的基本原理是，构造一种具有空间非均匀分布、各向异性电磁参数形式的特殊壳形材料，使任意方向入射到其表面的探测波在壳形材料

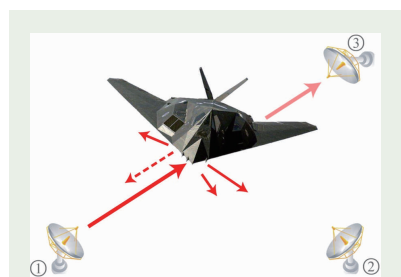


图3 单站、多站雷达与空间飞行器隐身 (来自网络)

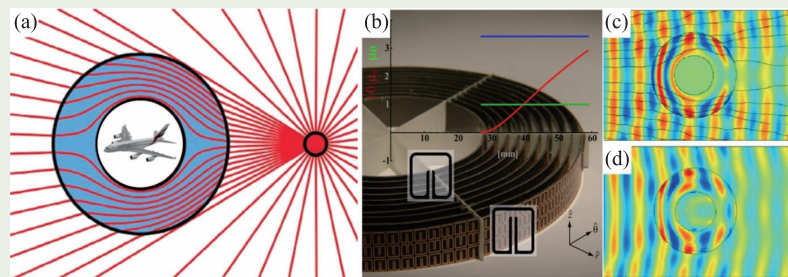


图4 全向隐身技术<sup>[1, 2]</sup> (a)探测波绕射的隐身原理；(b)窄带微波频段简化参数隐身结构实物图；(c)简化参数隐身结构的仿真隐身效果；(d)实验测量的电场强度分布



表面匹配并绕过中间某个特定区域，不改变物体外面原有探测波传播的幅度和相位，即实现全向隐身。同年，美国科学家 D. R. Smith 设计实现了微波频段的简化参数电磁隐身结构，验证了这种方法的可行性，结构如图 4(b) 所示<sup>[2]</sup>。由于简化了电磁参数，图 4(c) 的全波仿真和 (d) 的实验测量隐身效果并不完美。这种新型隐身方法在随后 10 年里引起了国际上相关领域科学家的广泛关注。然而，此基于坐标变换方法实现的完美隐身结构对所需材料的电磁参数要求极其严格，不仅只能在很小的频率范围内实现(窄带)，技术上仍存在着许多瓶颈，实现难度巨大，离实际应用尚有很长一段距离。

尽管常用的微波探测器可以同时探测波的强度和相位，但可见光波段的探测器普遍对相位不敏感，比如人眼就对光的相位信息不敏感。2013 年，浙江大学陈红胜教授、郑斌博士及其合作者摒弃透射波相位要求一致的条件，实现了特定角度的宽带可见光隐身结构<sup>[3]</sup>。他们利用玻璃的折射改变入射光线的传播路径，设计并实现了在特定角度下、可见光频段的大尺度生物隐身。对鱼和猫等动物成功进行了隐身实验。图 5 显示了这种隐身结构的工作原理及隐身效果。如图 5(c) 所示，当金鱼游到隐身结构的中间区域时，整条金鱼对人眼隐身，我们可以透过整个隐身结构直接看到其后面的水草。

基于相同的射线光学原理，2015 年，美国罗切斯特大学研究组用 4 组光学反射镜实现了类似的特定角度光学宽带隐身结构，基本原理及隐身效果如图 6 所示<sup>[4]</sup>。图中哥哥站在隐身结构的后面，弟弟站在

隐身区域中，在正面视角下，光线经过多组反射镜反射，绕过了图中所示的三角锥形隐身区域，将结构后面的物体呈现在视角范围内，实现了光的绕行隐身效果。这个实验非常简单，用 4 面镜子在家就能完成。

图 5 和图 6 的两种隐身方法都没有考虑光在传播过程中产生的相位偏移，并且都只能工作在特定的某个或几个角度，并不是全向隐身。

2016 年，浙江大学叶德信副教授和中国科学院物理研究所陆凌研究员合作提出了一种电磁属性和空气一模一样的人造结构，在任意方向均能实现完美匹配透射的自隐身材料<sup>[5]</sup>。其基本原理是利用金属和塑料复合构造新型的人工电磁材料，使其等效电磁参数与空气完全相同，在空间中不会对任意方向入射的电磁波产生散射。因此，不管在周围放置多少个探测雷达，用自隐身材料制造的任意物件均不会被雷达系统探测到。如图 7(a) 所示，用这种自隐身材料制作的各种形状字母放置在自由空间中，可以对任意方向入射的电磁波实现完美匹配透

射，空间中探测电磁波的幅度和相位均不会受到扰动。图 7(b) 所示为利用 3D 打印技术制作的二维全向自隐身材料样品，基于相同构造原理，三维全向的自隐身材料也有望实现。自隐身材料可以理解为是人造空气，因此无法隐藏其他物体。另外，由于材料本身毕竟不是空气，所以自隐身只能在相对窄带的波长范围内实现。

这种全向自隐身材料相对来说很容易实现，因此具有潜在的实际应用价值，尤其是在窄带宽应用领域。比如用这种自隐身材料制造的

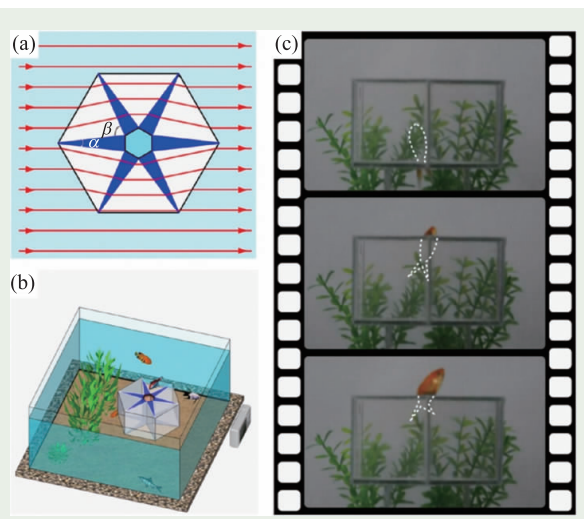


图 5 基于光折射原理的特定角度隐身结构<sup>[3]</sup> (a)工作原理；(b)隐身实验场景；(c)相机拍摄的隐身效果

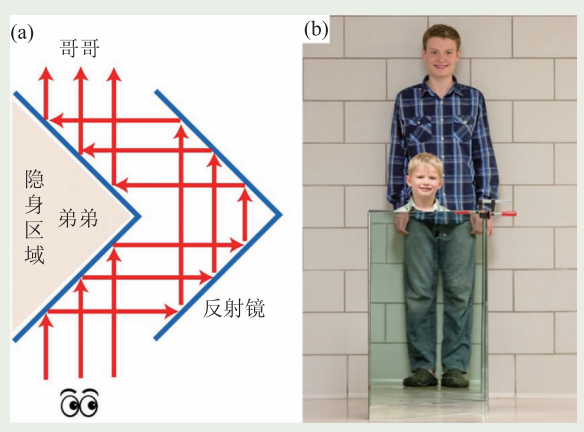


图 6 基于光反射原理的特定角度隐身结构<sup>[4]</sup> (a)光路原理；(b)相机拍摄的隐身效果

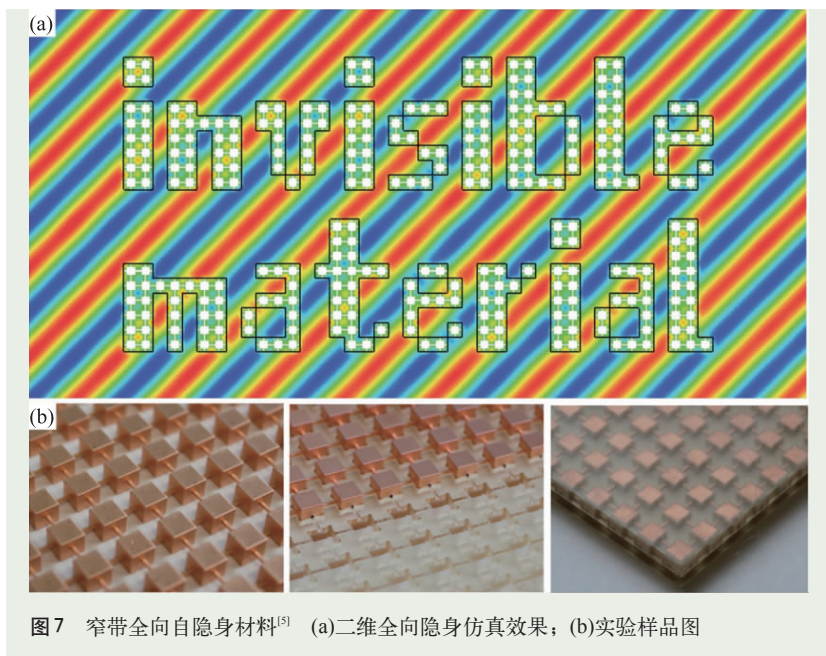


图7 窄带全向自隐身材料<sup>[5]</sup> (a)二维全向隐身仿真效果; (b)实验样品图

电梯和墙壁,可以保证手机和wifi信号畅通无阻。同时,它也可以用来制造任意形状的天线罩,起到物理保护的同时不会影响天线的收发

特性。此外,高机械强度材料实现的自隐身材料还可以用来建造工作在特定频段的隐身飞行器、导弹和舰船等,克服传统隐身技术只

能对单站雷达工作的缺陷。同样的设计原理可以拓广到对水波和声波的隐身,帮助潜艇对声呐隐身。因此,这种自隐身材料的实现和完善,有望推进隐身技术发展,无论是军用或民用,均具有一定的前景。

### 参考文献

- [1] Pendry J B, Schurig D *et al.* Science, 2006, 312: 1780
- [2] Schurig D, Mock J J *et al.* Science, 2006, 314: 977
- [3] Chen H, Zheng B *et al.* Nature Communications, 2013, 4: 2652
- [4] Howell J C, Howell J B *et al.* Applied Optics, 2014, 53: 1958
- [5] Ye D, Lu L *et al.* Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2016, 113: 2568

### 读者和编者

## 订阅《物理》得好礼

——超值回馈《岁月留痕》  
——<物理>四十年集萃

部特推出优惠订阅活动:向编辑部连续订阅2年《物理》杂志,将获赠《岁月留痕——<物理>四十年集萃》一本。该书收录了1972年到2012年《物理》发表的文章,476页精美印刷,定价68元,值得收藏。

希望读者们爱上《物理》!

订阅方式(编辑部直接订阅优惠价180元/年)

#### (1) 邮局汇款

收款人地址:北京市中关村南三街8号中科院物理所,100190

收款人姓名:《物理》编辑部

#### (2) 银行汇款

开户行:农行北京科院南路支行

为答谢广大读者长期以来的关爱和支持,《物理》编辑

户名:中国科学院物理研究所

帐号:112 501 010 400 056 99

(请注明《物理》编辑部)

咨询电话:010-82649266; 82649277

Email: physics@iphy.ac.cn

