



博士后文库
中国博士后科学基金资助出版

基于背景的迷彩伪装设计与 综合评价方法

王展 李洁 著



科学出版社



博士后文库

中国博士后科学基金资助出版

基于背景的迷彩伪装设计 与综合评价方法

王 展 李 浩 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书主要介绍基于背景的迷彩伪装设计与评价方法。首先全面概述伪装技术的概念、发展历史、应用分类和发展趋势等内容。然后重点从两个方面对基于背景的伪装设计以及评价方法进行论述:在伪装设计方面着重论述从背景获取到伪装图像生成的完整技术流程;在伪装评价方面着重论述伪装指标提取与综合伪装评价方法的详细原理和步骤。本书力求使初学者阅读后能够对伪装技术的基本原理以及对基于背景的伪装技术方法有所了解并对伪装的研究产生兴趣。

本书适用对象广泛,适合武器装备研究人员,相关方向高校教师、研究生、科研人员以及军事爱好者参考阅读,也适合军事战略、伪装技术、机器视觉等方向的工作人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

基于背景的迷彩伪装设计与综合评价方法/王展,李洁著. —北京:科学出版社, 2017.6

(博士后文库)

ISBN 978-7-03-052980-0

I. ①基… II. ①王… ②李… III. ①迷彩伪装—视觉设计
IV. ①E951.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 118017 号

责任编辑:陈 静 梁晶晶 / 责任校对:郭瑞芝

责任印制:张 倩 / 封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 6 月第 一 版 开本:720×1 000 1/16

2017 年 6 月第一次印刷 印张:10 1/2 插页:2

字数:200 000

定价:58.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《博士后文库》编委会名单

主 任 陈宜瑜

副主任 詹文龙 李 扬

秘书长 邱春雷

编 委 (按姓氏汉语拼音排序)

付小兵 傅伯杰 郭坤宇 胡 滨 贾国柱 刘 伟

卢秉恒 毛大立 权良柱 任南琪 万国华 王光谦

吴硕贤 杨宝峰 印遇龙 喻树迅 张文栋 赵 路

赵晓哲 钟登华 周宪梁

《博士后文库》序言

1985年，在李政道先生的倡议和邓小平同志的亲自关怀下，我国建立了博士后制度，同时设立了博士后科学基金。30多年来，在党和国家的高度重视下，在社会各方面的关心和支持下，博士后制度为我国培养了一大批青年高层次创新人才。在这一过程中，博士后科学基金发挥了不可替代的独特作用。

博士后科学基金是中国特色博士后制度的重要组成部分，专门用于资助博士后研究人员开展创新探索。博士后科学基金的资助，对正处于独立科研生涯起步阶段的博士后研究人员来说，适逢其时，有利于培养他们独立的科研人格、在选题方面的竞争意识以及负责的精神，是他们独立从事科研工作的“第一桶金”。尽管博士后科学基金资助金额不大，但对博士后青年创新人才的培养和激励作用不可估量。四两拨千斤，博士后科学基金有效地推动了博士后研究人员迅速成长为高水平的研究人才，“小基金发挥了大作用”。

在博士后科学基金的资助下，博士后研究人员的优秀学术成果不断涌现。2013年，为提高博士后科学基金的资助效益，中国博士后科学基金会联合科学出版社开展了博士后优秀学术专著出版资助工作，通过专家评审遴选出优秀的博士后学术著作，收入《博士后文库》，由博士后科学基金资助、科学出版社出版。我们希望，借此打造专属于博士后学术创新的旗舰图书品牌，激励博士后研究人员潜心科研，扎实治学，提升博士后优秀学术成果的社会影响力。

2015年，国务院办公厅印发了《关于改革完善博士后制度的意见》（国办发〔2015〕87号），将“实施自然科学、人文社会科学优秀博士后论著出版支持计划”作为“十三五”期间博士后工作的重要内容和提升博士后研究人员培养质量的重要手段，这更加凸显了出版资助工作的意义。我相信，我们提供的这个出版资助平台将对博士后研究人员激发创新智慧、凝聚创新力量发挥独特的作用，促使博士后研究人员的创新成果更好地服务于创新驱动发展战略和创新型国家的建设。

祝愿广大博士后研究人员在博士后科学基金的资助下早日成长为栋梁之才，为实现中华民族伟大复兴的中国梦做出更大的贡献。



中国博士后科学基金会理事长

前 言

伪装与反伪装就像矛与盾一样，是一个永恒的命题，相关的研究工作可以说是永无止境的。伪装的最高境界是隐形。近年来，随着新材料、新技术的不断涌现，发现与被发现的技术水平与能力正在迅猛发展、不断提升。

伪装技术主要是针对视觉感知方面的行为技术，伪装的目的在于欺骗敌方的“眼睛”，而视觉感知除了与生理视觉系统有关，还与观测者的经验、注意力、记忆、预期等心理因素有关，也与外界环境的光学信息特征密切相关。因此，伪装效果（质量）的好与坏只是相对于感知识别能力的一个概念。对于伪装质量的评价，也是一个极具重要意义的课题。

本书作者在国家自然科学基金和国家高技术研究发展计划（863 计划）科研经费的持续资助下，在机器视觉检测和模式识别领域进行了十多年的探索研究。本书是相关理论研究成果在军事领域的延伸应用，形成了一套基于纹理合成的自适应迷彩伪装设计方法，同时构建了迷彩伪装效果的综合评价指标体系和评价方法。

本书共 5 章，主要内容如下。

第 1 章为绪论，对军事伪装，重点是迷彩伪装技术的发展进行分析总结，并提出今后的发展方向。

第 2 章着重介绍目前主要的伪装技术与伪装效果评价方法。

第 3 章重点介绍一种基于纹理合成的自适应迷彩伪装设计方法。

第 4 章提出迷彩伪装综合评价指标体系的构建方法。

第 5 章给出基于背景的迷彩伪装综合评价方法。

由于作者水平有限，本书疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

作 者

2016 年 12 月

目 录

《博士后文库》序言

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 伪装概述	1
1.2 军事伪装技术	5
1.2.1 遮障伪装技术	6
1.2.2 示假技术	8
1.2.3 迷彩伪装技术	8
1.3 动物的视觉伪装	11
1.4 人类迷彩伪装的发展历程	16
1.4.1 萌芽时期	16
1.4.2 第一次世界大战时期	17
1.4.3 第二次世界大战时期	18
1.4.4 冷战时期	19
1.5 军事迷彩伪装技术的发展方向	22
第 2 章 伪装技术与伪装效果评价方法	24
2.1 引言	24
2.2 主要伪装技术	24
2.2.1 适应性视觉伪装技术	24
2.2.2 投射光学伪装技术	26
2.2.3 自适应电子伪装技术	27
2.2.4 仿生迷彩伪装技术	29
2.2.5 基于图像分割的迷彩伪装技术	31
2.3 伪装效果评价的主要方法	32
2.3.1 主观伪装效果评价	32
2.3.2 基于发现概率方程的伪装效果评价	34
2.3.3 基于纹理分析的伪装效果评价	35
2.3.4 基于模型的伪装效果评价	37

2.3.5	基于层次分析的伪装效果评价	42
2.3.6	基于神经网络的伪装效果评价	43
2.3.7	基于模糊综合评判的伪装效果评价	44
2.3.8	基于光谱成像的伪装评价	45
2.3.9	其他伪装评价方法	48
第 3 章	基于纹理合成的自适应迷彩伪装设计	50
3.1	引言	50
3.2	基于样本的纹理合成算法原理	50
3.2.1	马尔可夫随机场模型	50
3.2.2	纹理合成的匹配方法	52
3.3	基于像素点自适应邻域相似性的快速纹理合成算法	57
3.3.1	自适应像素邻域的提取	57
3.3.2	像素邻域的相似性匹配	62
3.3.3	基于像素邻域相关性的邻域搜索	65
3.3.4	基于像素点自适应邻域相关性的快速纹理合成算法流程	69
3.3.5	纹理合成实验结果与对比分析	70
3.4	基于纹理合成的迷彩伪装设计	74
3.4.1	伪装图像颜色的量化	74
3.4.2	迷彩伪装设计的流程	76
3.4.3	迷彩伪装设计实验	76
第 4 章	迷彩伪装综合评价指标体系的构建	83
4.1	引言	83
4.2	评价指标的选取原则	83
4.3	迷彩设计军标要求	84
4.4	伪装评价指标的提取	86
4.4.1	亮度对比特征的提取	86
4.4.2	颜色特征的提取	89
4.4.3	纹理特征的提取	98
4.4.4	边缘形状特征的提取	104
4.4.5	斑块尺寸特征的提取	106
4.5	评价指标的预处理	108
4.6	评价指标的权值确定方法	109
4.6.1	综合评价中权值的意义	109
4.6.2	综合评价中权值的特性	110

4.6.3 权值向量的方法研究	110
4.7 评价指标体系的建立	115
4.8 评价伪装指标体系构建实例	116
第 5 章 基于背景的迷彩伪装综合评价	119
5.1 引言	119
5.2 灰色系统基本理论	119
5.2.1 基本概念及基本原理	119
5.2.2 灰数、白化及白化权函数	121
5.3 基于白化权函数的灰色聚类	124
5.4 灰色聚类评价方法对比	126
5.5 基于灰色聚类的迷彩伪装效果评价	129
5.6 迷彩伪装综合评价的实验结果与分析	131
5.6.1 建立伪装评价矩阵	133
5.6.2 确定伪装评价等级	136
5.6.3 计算样本决策系数矩阵并评判等级	138
5.6.4 实验结果分析	139
5.7 迷彩伪装效果评估软件平台	140
5.7.1 开发环境	140
5.7.2 伪装评价图形用户界面	140
参考文献	144
编后记	153
彩图	

第1章 绪 论

1.1 伪 装 概 述

伪装泛指用来隐藏己方并使观察者难以发现的一种行为手段,它是一种不常听说但又经常见到的行为,无论是在自然界中还是在人类行为世界中,伪装活动都扮演着各种各样的角色。有人类文明以来,伪装与反伪装这对矛盾体就成对出现于各类战争现场,同时也伴随着人类科技的进步而不断地发展。伪装是一门涉及内容非常广泛的综合性课题,能够从多种不同角度切入进行研究,其横跨图像科学、电子科学、信息科学、光学、生理学、心理学等领域^[1,2]。尽管有关军事伪装的议题一直非常敏感,它的技术保密性已经做到了相当严谨的程度,但由于研究过程涉及基础理论,很多伪装技术的原理都可以通过基础理论进行推论得出,并可结合多种地域特点制订出相应的伪装参数和伪装方案。

伪装的最终目的在于欺骗敌方(即侦察识别者)的眼睛,伪装好坏多数需要经过肉眼或者仪器来判断,因此伪装与反伪装的问题最主要集中在视觉感知领域,需要通过敌方的视觉能力来决定伪装效果的好坏,没有一种伪装状态能够适用于所有伪装体系。如果在同一场景中存在不同视觉系统的敌人,就不能用单一的评判标准来衡量伪装的质量。另外,视觉感知问题本质上是由生理状态所产生的,而对于人类伪装活动来说,伪装的效果也在一定程度上受心理作用的影响。因此,虽然伪装主要表现为视觉感知方面的行为,但是它也属于夹杂生理与心理因素的多重活动^[3]。

1. 伪装视觉的光学基础

视觉的光学信息主要包括不同波长的光线亮度信息,伪装目标与其所在背景在光学信息分布上的差别越小,就越不容易将其从背景中检测出来。例如,伪装图像与背景的平均亮度差异、伪装图像与背景的颜色分布差异以及伪装图像与背景边缘的对比差异等。这些光学特征多采用比人眼更精密的仪器经过实验测试出来,并可以经过计算处理。但是,视觉领域的视觉特征很多,任何机器或个人都不能将全部光学特征考虑其中。因此,在进行侦测辨别的过程中,多针对不同场景将比较重要的光学特征建立成被辨识的相关统计模型^[4-8]。

运用机器视觉技术来计算图像光学特征,虽然能够较快速地得出伪装效果质量差异的指标并且避免肉眼主观判断的不准确,但是这种方式只能用于光学图像的离

线分析，而对于在军事战场中实地、实时的观测而言就不一定适用。而且有的光学评估模式需要相应人员确定目标的候选区域之后，才能进行伪装效果的评估。而这对于自动化系统的作用也会大打折扣，因为还需要人眼的提前锁定才能进行。

虽然光学相关技术的发展变化很快，有关光学方面的课题也不胜枚举，但是光学技术方面有上述限制也是不可否认的，所以对伪装模式的分析依然要回归到人眼的视觉系统中。而因为人眼视觉系统容易受到周围环境的影响产生错觉，所以利用这种视觉弱点进行伪装的设计和建立，也是必要的技术手段之一。

2. 伪装视觉的生理学基础

视觉的生理问题主要侧重神经系统生理的时空运行特性与生理极限的关联。当伪装形式刺激的各项特征接近生理极限或者在生理极限的范围之外时，肉眼就很难检测到伪装目标的存在，即便没有超过这个视觉极限，也会使其检测、搜索和识别的时间被无限制拉长。

表 1.1 给出视觉生理特征极限参数。例如，正常单眼的空间解析力最小要大于一个感光细胞的直径（大约为 $5\mu\text{m}$ ），因此，一名位于 500m 外的士兵若想将身体伪装，就要注意只能露出不超过 15cm 长的身体外表面，这样才能保证不易被肉眼察觉出自身与背景的差异。另外，在夜间，人眼对波长约 500nm 的光线最敏感，而对波长 650nm 的光线最不敏感，见图 1.1。若夜晚的光线为暗灰色或偏红色的灯光，就不利于高空远距离的侦察，这种情况有助于发挥伪装的效能。

表 1.1 视觉生理特征

特征	明视觉	暗视觉
感光细胞	视锥细胞	视杆细胞
感光物质	视锥细胞色素	视紫红质
视网膜区域	中央小窝附近	周围区域
色觉	可见光三色色觉	无色觉
暗适应时间/min	约 10	约 30
空间分辨力	高	低
反应速率	快	慢
照明敏感度/lx	$1\sim10^7$	$10^{-6}\sim1$
空间接受度	弱	强
最大光谱波长/nm	555	505
像差响应时间/s	2	6
空间频率范围/Hz	1~10	
空间解析时间/s	60	
单眼最大视野/(°)	150	
双眼重合视野/(°)	114	

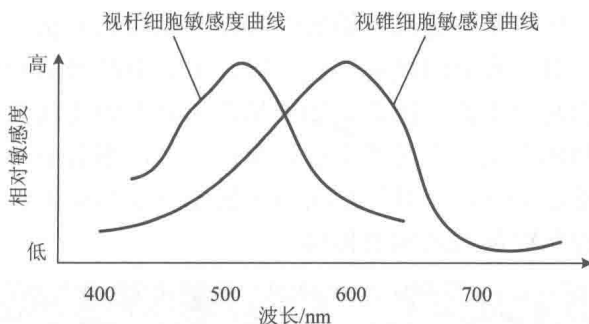


图 1.1 视锥细胞与视杆细胞的光敏感度曲线

现代视觉研究发现,人的视觉系统由许多平行的空间频率滤波器所组成^[9]。从视网膜到初级视皮层,每一个细胞都包含敏感的空间频率与方位角,特定方向的视觉信息能够激发某些特定的细胞群参与运行。而人眼对于空间频率 $1\sim 10\text{Hz}$ 的亮度对比变化最敏感(图 1.2),这时伪装图像的亮度对比就只需要在这一频宽范围内并尽可能与周围一致即可。例如,站在 500m 远处的观察者,只要注意察觉 $0.436\sim 4.36\text{m}$ 大小区域的亮度对比信息,更大或更小的区域对于人的视觉系统来说很难察觉。

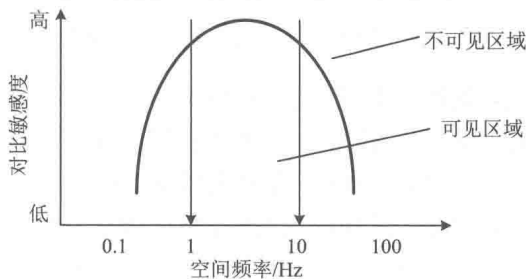


图 1.2 人类视觉系统对不同空间频率的敏感度曲线

上述视觉生理特征主要是在静态视觉情景下得出的结果。但是,即使静止条件下效果很好的伪装在相对于背景运动且运动速率超过视觉极限的情况下,也有可能被侦察出来。人眼视觉系统在跟踪动态目标时,其本身的辨识能力会被削弱,除非经过长期的训练,否则观察动态目标的视觉敏锐度会比较差,很难辨别出伪装目标表面的视觉信息^[10]。总之,人的视觉感知是由生理原因引起的,而伪装针对的对象就是人眼视觉系统,只有符合人眼生理感知行为的伪装效果才是有意义的。

3. 伪装视觉的心理学基础

虽然视觉生理问题存在一些局限,但是也可以通过光学仪器将这些局限进行拓宽。因为视觉信息进入大脑以后需要经过再处理来转化成可认知的识别目标,而这会受到很多因素的影响,包括观测者的经验、注意力、记忆、期望水平、策略、抉

择过程等心理因素，所以某些情况下伪装的形态可以通过干扰心理作用的方式来欺骗敌方^[11,12]。例如，对于人眼的视觉经验，日常生活中凸出的物体在受到由上向下的照明时，其阴影总是朝下的，因此，当遇见由上而下的光线照射而出现阴影在下方时，第一直觉该物体会被认为是凸出的表面；反之，则会被看成凹陷的表面，见图 1.3。利用这种视觉经验通过调节光线的变化使凸形的军事装备显示成凹陷的表面，容易造成视觉误判并起到欺骗的作用。

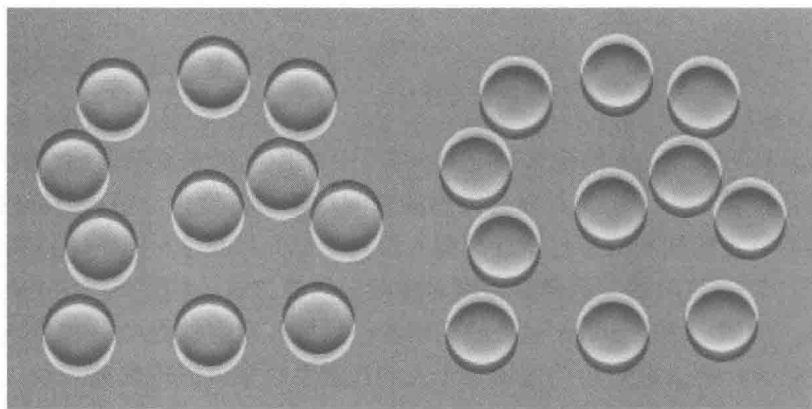


图 1.3 不同方向打光造成不同的阴影

所谓的埃伊斯幻觉，见图 1.4，即两个同样大小的圆，由于被不同大小的圆所包围，人们在视觉上会有一大一小的感觉。这就说明，注意力机制也是影响视觉的一种心理因素。如果没有注意力的影响，视觉系统对于颜色、亮度、边缘等特征信息的处理都是相互独立的，并且会根据一种特征来作为认知区分的依据。

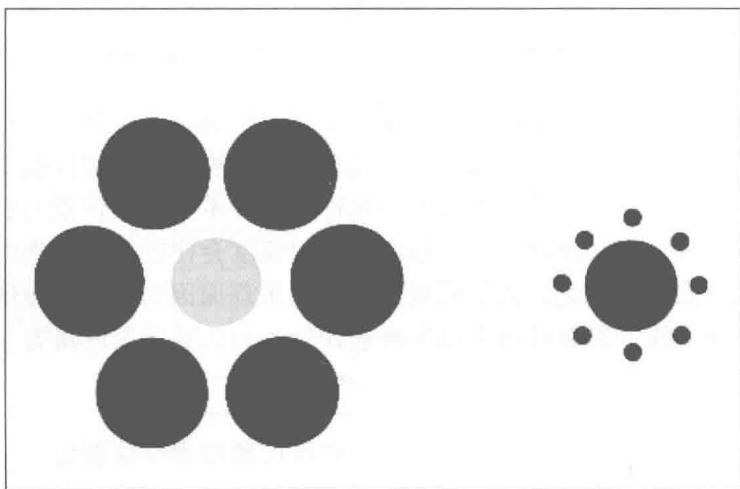


图 1.4 埃伊斯幻觉

人们在识别物体的过程中,依靠颜色属性来区分总会优先于依靠纹理属性来区分,通过不同的颜色就会判断出物体的大致类别,例如,提到绿色第一直觉就会想到草地、树木等常见的绿色物体,提到橙色就会想到橘子等,而且这种判断并不需要将注意力集中于其中的细节,因此,通常将颜色混淆作为伪装设计第一考虑的要素。另外,在搜寻伪装目标时,通常需要综合相当多的注意力因素进行检索,不管侦察人员是否具有经验,都不能仅仅依靠光学特征来进行识别,还需要结合已知物体的外貌特点加以综合判断。例如,在自然界中,物体的外貌形状多为随机性分布并呈现多角度不规则特性,很少出现具有水平或垂直特征的直线边界;而对于人造的一些物体大多用规则形状组成,在线条上也充满了水平和垂直方向。侦测人员就可以将注意力集中于这些简单线条的检索来降低搜索的难度。因此,在进行伪装设计时无论采用何种手段都应该尽量避免简单线条的出现。

注意力机制中的隐意信息也影响人眼对事物的判断。如果在视野范围内出现隐意信息不一致的物体,即便不经过视觉特征判断也会容易将视线转移到该物体上,反之,视野中的所有物体都包含一致的隐意信息,即便物体的视觉特征不同,也很容易忽略其中的差别。例如,根据常识,一台榨汁机应该放在厨房的整理台,若此时正要寻找这台榨汁机,那么会自然地将视线定位在厨房的整理台上,而不会将视线定位在厨房的某个角落或其他方位,这就是一件物体附加的隐意信息所带来的结果。而隐意信息的原理也同样适用于战场环境,在丛林中正常预期会有士兵活动,而很少会预期其中有坦克或战车的出没。因此,在这一场景中伪装一辆坦克在一定程度上会比伪装一名士兵更难被发觉。由此可见,在伪装行为中,心理问题也会对伪装目标的鉴别有一定的影响并应该将其作为伪装设计和规划考虑的因素。

综上,军事伪装与反伪装活动是人为参与的行为,要做好伪装工作,就需要了解人眼视觉系统的运作方式,从光学、生理和心理三个方面综合考虑并进行跨领域结合。除了了解它们的原理,还需对伪装目标的客观环境信息进行评估,包括时空环境、地形、气候、植被等诸多因素,还有对敌方侦测水平等情报信息的了解。因此,需要以多重角度、多重评判手段为原则来评估伪装的效果。

1.2 军事伪装技术

军事伪装技术,总的来说就是隐蔽本方军事设施和基地并且迷惑敌方军事侦察的技术,是现代战争的重要保障手段之一。伪装的目的在于妨碍敌人的侦察与攻击,保护本方的军事装备不被损害并且保障军事情报不被窃取。各国都非常重视伪装技术的发展,并且为相应的机动设施、战术导弹设施、固定阵地的大型设施设计了不同的伪装方案,并建立了相应的伪装体系。这些不同的伪装技术为不同的防御体系提供了有力的保障。下面对现代战争中不同类型的军事伪装技术进行分类介绍。

1.2.1 遮障伪装技术

遮障伪装技术是通过防探测器材来实现伪装作用的, 这些防探测器材主要放置于军事装备的附近也可以铺设于目标的外表面。根据性质的不同遮障伪装又包括伪装网、变形遮障和伪装覆盖层等技术, 这些不同的遮障伪装技术能够适用于防可见光、红外线以及雷达侦察等不同波段范围的伪装应用要求^[13]。

1. 伪装网

伪装网是军事上用来遮盖武器装备或固定目标以达到低可探测性的隐身织物。它的伪装原理就是利用伪装网组成拱起或者平面的遮障, 以减弱装备的平面反射, 消除装备的外形特征, 以此来增加敌方的侦察识别难度。现代军事伪装网还具备如下特征: 不仅能对抗可见光侦察, 还能对抗热红外侦察和雷达侦察等; 网面颜色和迷彩斑点的光学性能、网面的热红外辐射性能以及对雷达波的散射性能都可以适应不同目标环境背景的需要; 材质轻、涂层牢固性好、便于拼接和实现多种用途的伪装^[14-20]。

从目前的公开信息可以发现, 许多发达国家对伪装网的研究都给予了高度的重视。例如, 瑞典的巴拉库达公司的多波段超轻型伪装网 (Barracuda multispectral ultra light-weight camouflage screen, BMS-ULCAS), 采用新型吸收原理和超轻型结构, 通过一种多功能涂料技术达到多频谱隐身兼容的目的, 具有防光学、防近红外、防中远红外、防雷达侦察的性能; 美国也生产了一种超轻型伪装网系统 (ultra light-weight camouflage net system, ULCANS), 其外形包括六边形和菱形部分, 用绳环相互连接, 基础设计包括附有切割图案的强韧性聚合物防钩挂纤维, 这种设计具有良好的雷达散射和抗热成像性能。另外, 德国 OGUS 公司研制生产的标准结构伪装网、俄罗斯研制的 MKT-3JI 标准伪装网也都具有良好的伪装效果^[21-25]。

我国伪装网的研制开始于 20 世纪 60 年代, 经过几十年的发展, 已经研制出不同类别、多种型号的伪装网: 81 伪装网是我国研制的第二代防雷达伪装网, 它采用了散射原理将金属丝编入织物, 通过切花、拉伸使入射雷达波在各个方向上相对均匀并通过伪装网面的二次透射衰减, 使网面与应用背景的雷达波散射特性一致, 从而实现防雷达特性; 87 伪装网是 81 伪装网的技术改进版, 它采用不锈钢短纤维混纺于织物的织线中, 从而弥补了金属丝纺织工艺不完善的问题, 而不锈钢短纤维中的随机取向也更合理; 95 伪装网是我国研制的第三代伪装网, 它由伪装网面和热隔绝层组成, 可以有效解决防中远红外侦察的问题, 并且其兼容了防光学和防雷达的特性^[26]。虽然我国的伪装网技术已经有了一定的发展, 但是距世界发达水平仍有差距, 具体表现在伪装网的携带不方便并且波段不够宽方面, 所以伪装网技术的发展应该向着超轻量化、波段更宽的方向发展。

2. 变形遮障伪装技术

导弹发射装置伪装的主要难点在于怎样消除容易被敌方观察到的外形轮廓以及阴影特征,变形遮障技术就是消除这些暴露的特征的重要方法。变形遮障伪装的目的在于改变军事装备表面的外形及其本身固有的外在暴露特征,从而打破了对其原有形态的判断并切断了固有的联系,这样就从两个方面起到了隐藏军事活动装备的作用:其一,遮障设施能够使观察者对潜在目标的兴奋程度有所降低,降低观察者对目标的注意力;其二,遮障方法能够使观察者对活动背景的记忆形象更加完善,使其产生错误的直觉信息并作出错误的判断,从而能够较好地隐藏重要的军事装备,实现较好的伪装目的。变形遮障伪装利用与背景外观相近的变形遮障设备附着于军用装备表面来实现伪装,它主要由伞状支撑架、连接结构、粘有反雷达材料的伪装饰片和弹簧夹等组成。变形伪装已广泛应用于伪装大型机动设备和导弹发射装备^[27,28]。

3. 其他遮障伪装技术

(1) 卷帘式遮障伪装技术。卷帘式遮障伪装技术主要为了对抗红外成像制导武器的攻击。卷帘式遮障伪装技术的实现原理与其他遮障技术类似,都是依靠铺设于装备表面的特殊伪装材料来达到隐藏的目的,不同的是卷帘遮障技术利用不同发射率织物材料来作为遮障的设施,这种材料的优势在于它在热红外波段能够取得比较好的隐身效果。此外,由于这种织物可以卷曲携带,当军用装备进行非伪装活动时,就能将遮障材料分离成不同的伪装单元并以卷曲的形式携带;而当需要进行伪装隐藏时,则释放卷帘遮障材料。卷帘式遮障伪装能够快速地在军用装备表面形成与背景相似的红外遮障,从而有效降低被敌方红外制导武器攻击的概率,进而提高装备在战场尤其红外环境下的生存能力。

(2) 丛状散射遮障伪装技术。丛状散射遮障伪装技术主要用于对抗雷达探测技术,以往的纯散射的防雷达遮障总是无法兼具良好的遮蔽和融合性,而与之相比丛状散射遮障伪装技术则具有较大的优势。丛状遮障伪装技术将遮障的材料以及材料之间的组合结构进行特殊的设计,目的在于当雷达波接触到材料表面时不仅可以将其吸收,而且特殊的结构能将没有被吸收的雷达波打散成大量随机分布的小散射状体,确保雷达波不能被反射回去,从而大幅度降低敌方雷达侦察的效果,起到比较好的伪装效果。这种技术已经在一些发达国家得到了广泛的应用^[29-36]。

遮障伪装技术已经发展成包含多种类别、多种应用的一种伪装形态,随着更多更新技术的应用,遮障材料已经不仅适用于可见光下的伪装,而且大量针对近红外、远红外、紫外、雷达波条件下的遮障伪装器材应运而生,遮障伪装技术正在向着多波段、综合多功能的方向发展。

1.2.2 示假技术

示假技术顾名思义就是将假的装备展示给敌人，以起到以假乱真的作用。而这些假的装备主要是在军事活动中经常使用并在战时暴露在外面的一些设备，示假技术能够在战时将敌方的视线以及火力吸引到假的目标上，从而降低真实目标被发现的概率，间接保护真正的军用装备并充分发挥其使用效能。示假伪装技术是国外军事机动装置和地面设备主要采用的伪装技术之一。一种欺骗效果良好的示假技术，所采用的假目标需要具备以下几个特点^[37]：

(1) 外部视觉形态特征与真目标接近，这些特征包括颜色、形状、纹理以及尺寸都尽量与原物保持一致；

(2) 除可见光特征，表面的红外特征、雷达特征应大于实际目标；

(3) 假目标外表的光线反射特征以及声音反射情况也应与真实目标相近；

(4) 示假装备重量要轻，而且便于携带运输；

(5) 假目标的铺设和摆放要快速方便、修理简单。

只有具备了这些特点，示假装备才会起到方便保护武器装备，防范敌方攻击的作用。

由于发展假目标的时间与技术程度存在差异，不同国家示假技术的发展状况以及应用形态也略有差别。早期，美国科研人员主要为地面坦克、装甲车、自行火炮、防空导弹等地面火力装备制造专门的示假目标，如霍克防空导弹假目标系统等，这些假目标在可见光条件下与真实装备都具有极高的相似程度；现在美国在假目标的研制上也在朝着多波段、多频率的方向发展，有一些假目标可以实现不仅在视觉外观上与真目标一致，而且材料特性、声光特性等也都非常逼真。欧洲等地区所采用的军用假目标主要由巴拉库达公司研制生产，他们所生产的假目标具有与真实装备接近的形状和颜色，并且在使用的过程中有稳定的支撑结构以及耗费最少的人力和时间，能够对可见光、雷达和红外波段下的装备真实模拟，具有较高的示假效率^[38]。

从示假技术的发展情况来看，现阶段假目标还主要是对抗可见光、雷达侦察和近红外侦察，而在远红外波段的模拟示假效果与真实物体依然具有很大差异，因此，为了解决示假技术的这一短板，远红外示假技术将是未来的主要研究方向。

1.2.3 迷彩伪装技术

1. 保护迷彩

保护迷彩是以最能表达背景的一种颜色作为其主色的单一色迷彩，主要用于在背景颜色比较单一的环境下活动目标的伪装，保护迷彩的颜色都取自其所处的背景，例如，夏季草地背景，目标保护迷彩色为草绿色；光露土地背景，目标保护迷彩色