

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.04.012

隐身涂料喷涂缺陷及质量控制

林平¹, 辛全友¹, 朱洪立¹, 张宝芹¹, 伊阳², 张岩¹, 张伟¹, 李明俊¹

(1. 中国兵器工业集团第五三研究所, 济南 250031; 2 总装备部装甲兵军事代表局驻济南地区军事代表室, 济南 250031)

摘要:介绍了隐身涂料的种类及喷涂质量与其隐身效能的相关性,着重分析了雷达吸波涂料和红外隐身涂料喷涂工艺引起的常见漆膜缺陷及其成因,并探讨了隐身涂料喷涂工艺质量控制的有效措施。

关键词:隐身涂料;喷涂缺陷;涂层质量

中图分类号: TQ639.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2013)04-0047-04

Painting Defects and Quality Control of Stealth Coating

Lin Ping¹, Xin Quanyou¹, Zhu Hongli¹, Zhang Baoqin¹, Yi Yang², Zhang Yan¹, Zhang Wei¹, Li Mingjun¹

(1. CNGC Institute 53, Jinan 250031, China; 2 General Armaments Department Military Representative Office in Jinan, Jinan 250031, China)

Abstract: The kind of stealth coatings and correlation of spray quality and its stealth performance were introduced. The defects caused by coating spray process and their causes of radar absorbing coatings and infrared stealth coatings were analyzed in detail, effective measures to control the stealth paint spraying process quality were explored.

Keywords: stealth coatings; painting defects; coatings quality

随着军事高新技术的发展,侦察和制导使用的电磁频谱已涵盖空间、航空、地面侦察和监视等多种手段,武器装备在战场上被发现的概率越来越高,从而被远程武器如巡航导弹等击毁的概率也越来越大。隐身涂料作为一种最方便、最经济、极强适应性的隐身技术已经在航空航天、军事装备上得到广泛应用^[1-2]。隐身涂料按功能分类,主要包括雷达吸波涂料、可见光/近红外隐身涂料、热红外隐身涂料及激光隐身涂料等。但现阶段,单一功能的隐身涂料难以满足武器装备的实战需求,多波段兼容隐身涂料已成为隐身技术发展的必然。

研究发现,隐身涂料的喷涂质量控制是隐身涂料施工工艺控制的关键环节;隐身涂料喷涂质量的优劣直接影响隐身涂料的隐身效能。笔者就多功能隐身涂料常见的喷涂缺陷及产生原因进行了分析,并提出了隐身涂料质量控制的有效措施,可为隐身涂料的喷涂质量控制起积极的推进作用。

1 隐身涂料概述

隐身涂料是涂覆型隐身技术的重要组成部分,可通过降低武器装备的雷达、红外以及其它光、电、磁等特征信号,使得武器装备难以被发现、跟踪、识别和攻击,可以有效提高武器装备的突防性能和生存能力。现阶段,多频谱兼容隐身涂料是隐身涂料发展的趋势。其包含的种类主要有雷达吸波涂料、

可见光/近红外/红外伪装涂料等。

1.1 雷达吸波涂料

雷达吸波涂料是指能吸收投射到它表面的电磁波能量,并通过材料的介质损耗使电磁波能量转化成热能或其它形式的能量而耗散掉的一类材料。它通过有效吸收电磁波,降低目标雷达特征信号,减小目标被发现、识别概率,是实现武器装备雷达隐身的主要途径之一。该涂料由吸收剂和粘结剂组成。其中,吸收剂不仅要在尽可能宽的频带内具有优良的吸波性能,而且吸收剂的质量和厚度应控制在允许的范围,即具有“薄、轻、宽”的特点,因此吸收剂是雷达吸波涂料研究的基础。其次是粘结剂,它决定了吸波涂层的物理性能和施工性能。

单一吸收剂无法满足“薄、轻、宽”的特点,因此,采用零维、一维、二维等多种形貌结构、不同损耗机理的吸收剂复合体系提高吸波涂料的吸波性能是有效的方法之一。吸收剂的形貌,如纤维化、片状化、空心化等会造成其电磁参数的变化。由麦克斯韦方程可知,雷达吸波涂层的反射率是与吸波涂层的电磁参数、厚度相关的函数。在某些频段范围内,涂层未达到临界厚度时,随着涂层厚度的增加,涂层整体反射率变好;超过临界厚度后,随着涂层厚度的增

联系人: 林平,高级工程师,主要从事涂料的工艺控制及管理

收稿日期: 2013-02-09

加,低频段的反射性能会改善而高频段反射性能下降。因此,要根据吸波涂层的特点控制好涂层的厚度以满足反射率要求^[3]。

1.2 可见光/近红外/红外隐身涂料

可见光的波长范围为 $0.4 \sim 0.75 \mu\text{m}$,常见的可见光探测器有望远镜、电视、微光夜视仪等。要实现可见光隐身,必须消除目标与背景的颜色差别。近红外波段 $0.75 \sim 2.5 \mu\text{m}$,主要暴露特征是目标与背景的亮度差别;而中远红外波段,主要暴露特征是温度差别。因此,红外隐身涂料对于不同的大气窗口其主要隐身方式不同。在近红外波段红外隐身涂料主要模拟环境的红外特征,降低亮度差别;而在中远红外波段则以控制目标的发射率,降低温度差别为主,达到热隐身的效果。其中,红外波段的发射率控制是红外隐身涂料研究的重点及难点。

控制目标表面的发射率主要有两种方法,一种是采用可变发射率材料,使材料的发射率随着背景温度的变化产生相应的变化,以保持目标的表面辐射特征与背景的表面辐射特征相似,起到隐身作用;另一种是采用不同发射率的材料,模拟出不同背景的辐射特征。通过选择适宜的不同发射率的涂料,并进行图案优化设计,可使目标热像形成图像分割,消除目标的典型轮廓特征,降低热像仪的分辨能力,取得良好的红外隐身效果^[4]。涂料的红外发射率不但取决于涂料本身的性质,而且取决于其涂层表面物理状态。其辐射特性不但与其吸收特性有关,而且也与其颜基比、涂刷次数、涂层表面粗糙度、老化时间等客观因素有关,并会对红外发射率起决定性的影响^[5]。

2 雷达吸波涂料常见喷涂缺陷及其产生原因

吸收剂是决定吸波涂料隐身性能的关键。为满足吸波涂料吸收频段宽,损耗雷达波能力强的要求,吸波涂料所采用的吸收剂一般较大、形貌多样。因此,相对普通涂料,吸波涂料具有固含量高、密度大、黏度高的特点,且所采用的吸收剂形貌多样,易导致施工工艺不稳定;同时还有涂层高厚度的要求,是一般功能涂层厚度的 $3 \sim 8$ 倍。总结施工过程中雷达吸波涂料易出现的喷涂缺陷,主要有以下几类。

2.1 开裂

主要表现为涂层表面出现细小裂纹,危害涂层整体强度,形成脱落隐患。造成隐身涂层开裂的主要原因为:涂层涂装与固化环境温度差较大,如在北方某单位冬季施工,施工现场温度为 -10°C ,而烘房

内为 30°C ,热风出口附近可达 60°C 。剧烈的高低温交变及较厚的厚度,会导致涂层与基材、涂层内树脂与填料间热应力增强,引起涂层开裂。

2.2 剥落

主要指涂层表面出现鳞片状脱落。脱落的漆片易碎,其边缘呈上卷状,失去附着力从而脱离基材表面。造成涂层剥落的原因主要有:(1)基材表面未处理好,如基体表面存在油脂、水、霜、铁锈、灰尘等杂质;(2)喷涂时,基材表面温度太高或太低;(3)涂料基料与固化剂组分混合不充分,部分涂层无法固化;(4)某些单组分底漆(如醇酸铁红漆)与吸波涂层并不匹配。

2.3 起泡

由于吸波涂层厚度较大,较易造成涂料中空气和溶剂未在表干前有效释放,随着气泡的破裂,涂层表面留有针孔或火山孔缺陷。吸波涂层起泡缺陷多发生在冬季施工中,一方面,涂料调制过程中需要加入更多的稀释剂,另一方面,较低的环境温度不利于涂层中稀释剂的挥发,当工件进入烘房后,表面涂层快速固化,底层稀释剂向外逸出时,形成气泡、针孔等缺陷。

3 可见光/近红外/远红外隐身涂料常见喷涂缺陷及其产生原因

红外隐身涂料的研究重点为梯度发射率隐身涂料,尤其是低发射率隐身涂料。该涂料通常由低红外吸收粘合剂和高反射填料组成。常用的填料有金属填料、着色填料和半导体填料^[6]。金属填料的高反射性虽有利于降低发射率,同时也增加了喷涂难度。金属填料的加入使喷涂过程中极易出现发花、色差等缺陷。涂层颜色对红外隐身性影响较大^[7],浅色易实现低发射率,颜色稍微加重,涂层的发射率将可能急剧升高,因此,红外隐身涂层对颜色及色差的控制提出了更高的要求。涂层厚度也是影响涂层发射率的因素之一,一般随着涂层厚度的增加反射率增加,为此,红外隐身涂层厚度一般较薄,露底现象在喷涂中较为常见。红外隐身涂层中常出现的喷涂缺陷主要有:发花、色差、流挂、过喷或干喷、露底等。形成的原因分析如下:

3.1 发花

红外隐身涂料中的颜料分布和定向排列不均匀易造成涂膜颜色不均匀,出现斑印、条纹和色相杂乱的现象。此外涂料流量太大,漆膜厚且湿;喷涂距离太近,漆膜厚且湿;慢干溶剂含量太多,漆膜太

湿;底色漆与清漆的闪干时间过短;喷房或车身温度低;边缘或局部流挂等问题也会造成发花现象。可以通过加大气喷枪雾化压力,降低喷涂流量、降低涂料施工黏度,减少高沸点溶剂用量、提高喷涂环境温度、降低边缘或局部膜厚等措施来降低涂层浮色、发花发生的几率^[8]。

3.2 色差

色差主要有喷涂后涂层颜色与标准板之间的色差或同批次涂料喷涂涂层之间的色差。产生的原因有调漆缸或漆桶中的涂料凝絮或沉淀;红外隐身涂层过薄而产生露底、涂层发花或干喷;输漆系统中前一种涂料未清洗干净。充分分析色差产生的原因,采取相应措施,调整涂料颜色,优化施工参数,可以有效改善色差问题。

3.3 流挂

当涂料喷涂后,垂直面上的涂料向下移动,形成的状如“瀑布”、“眼泪”的不平整涂层。其原因包括:(1)部分或全面单次涂装过厚;(2)过多或不恰当使用稀释剂;(3)待涂表面温度过低或环境气温低造成的涂层固化缓慢;(4)喷枪出料压力低及喷枪与待涂面距离太近。

3.4 过喷或干喷

可见光隐身要求降低目标的反射,这就要求隐身涂层具有较低的光泽。如果控制不好喷涂工艺,在喷涂中容易出现过喷现象,即颜填料粒子到达被涂物表面,形成像砂纸一样的漆面。干喷指到达被涂物表面液体涂料已经半干,但还有一定的湿度刚刚能够附着于表面成膜,却不能形成连续且有效的漆膜。导致过喷或干喷的主要原因是施工技巧不好,喷漆时距离太远、温度太高、喷漆泵压力太高、大风或过分的通风。

3.5 露底

由于红外隐身涂层一般较薄,露底现象是由于漏喷、喷涂涂层太薄或涂料遮盖力差而使被涂面未涂漆或未盖住底色的一种喷涂缺陷。露底现象主要是由于涂料遮盖力差,色漆颜料比例较低导致的。另外涂料稀释过程中未按照施工工艺说明进行稀释,涂料黏度过低或喷涂的湿膜太薄也会产生露底现象^[10]。

4 提高隐身涂料喷涂质量的措施

通过以上分析归纳,结合喷涂工艺试验研究,提出了质量控制方案,对出现的问题实现了质量归零。

针对吸波涂料出现的开裂、剥落等由于基材原因造成的缺陷,采用的质量控制措施主要有:

(1) 提高车体或样件表面的清洁度。对基材表面进行严格的表面处理,达到相应的技术清理。

(2) 喷漆前工件表面的油污、尘土要彻底清洗干净,锈斑应用砂纸打磨;表面应校平并刮上腻子;清洁平整后必须晾干。也可在 40~50℃ 的环境下干燥 30 min 左右,使工件表面水分彻底蒸发^[11]。

针对吸波涂料出现的气泡,可见光/近红外/远红外隐身涂料出现的发花、色差、流挂等由于施工工艺、喷涂环境等问题造成的喷涂缺陷,采用的质量控制措施主要有:

(1) 保持喷涂现场清洁。操作环境应无尘,且通风良好;空气应保持干燥,避免在梅雨期、雨后初晴或早晚湿度较大时进行喷涂作业。

(2) 合理调整喷涂时涂料黏度,保证喷涂后的流平性、均匀度和光泽感。喷涂后 15 h 内应防尘、防水,且不得与其它物体接触,以保证固化良好。

(3) 恰当的喷涂工艺控制。手持喷枪使喷嘴始终垂直于表面,喷涂速度与喷枪距离应保持恒定。每一喷涂条带的边缘应当重叠在已喷好的条带边缘上,且重叠 1/3 为宜。

(4) 保证喷涂后的漆膜充足的固化时间,涂层完全固化前应防止尘土、水、油污染,杜绝随意践踏等人为的对涂层的破坏行为。

(5) 对所用涂料批次、环境参数、施工工艺参数等做认真测量记录,做到施工过程全程可追溯。

5 结语

隐身涂料的喷涂质量对于涂层隐身性能、车体的防护性能具有极为重要的影响,因此必须严格控制涂层缺陷的产生。涂层缺陷受到各种各样的因素影响,在保持隐身涂料功能性的同时,应采用有效的质量控制措施,达到隐身涂料的最佳使用性能。

参考文献

- [1] 胡传圻. 隐身涂层技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 214-218.
Hu Chuanqi, Stealth Coatings Technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 214-218.
- [2] 夏新仁, 邓发升. 隐身技术发展现状与趋势 [J]. 电子对抗, 2002(1): 22-28.
Xia Xinren, Deng Fasheng. The development and trend of stealth technology [J]. Electromagnetic Countermeasure, 2002(1): 22-28.
- [3] 王宪栋, 赵尔波. 红外隐身涂料的研究现状与发展趋势 [J]. 电子对抗, 2012(2): 46-49.

- Wang Xiandong, Zhao Erbo. The development and trend of infrared stealth coatings emissivity[J]. Electromagnetic Countermeasure, 2012, 2: 46-49.
- [4] 李艳红, 陈宏书, 郑建龙, 等. 红外隐身涂料发射率的影响因素研究[J]. 红外技术, 2008(8): 454-457.
- Li Yanhong, Chen Hongshu, Zheng Jianlong, et al. The research of infrared stealth coatings emissivity [J]. Infrared Technology, 2008(8): 454-457.
- [5] 翁小龙, 张捷, 刘孝会. 热红外低辐射率涂料的研制[J]. 表面技术, 2001, 30(4): 36-38.
- Weng Xiaolong, Zhang Jie, Liu Xiaohui. Research on thermal infrared low emissivity coatings[J]. Surface Technology, 2001, 30(4): 36-38.
- [6] 成亚军. 涂料喷涂的常见漆膜缺陷及成因[J]. 上海涂料, 2012(10): 42-45.
- Cheng Yajun. Paints defects and cause of formation on painting[J]. Shanghai Coatings, 2012(10): 42-45.
- [7] 王继强. 漆膜咬底缺陷的处理[J]. 汽车维修与修理, 1999(2): 4.
- Wang Jiqiang. Defect treatment on paints[J]. Auto Maintenance & Repair, 1999(2): 4.
- [8] 王恩生, 杨波. 粉末涂料涂装过程中的缺陷分析及对策[J]. 现代涂料与涂装, 2008(5): 46-47.
- Wang Ensheng, Yang Bo. Defect analysis and countermeasures on powder coatings[J]. Modern Paint & Coating, 2008(5): 46-47.
- [9] 张健, 王旭东, 樊志勇. 漆膜缺陷分析及修复工艺[J]. 全面腐蚀控制, 2009(4): 45-46.
- Zhang Jian, Wang Xudong, Fan Zhiyong. Defect analysis and repairment[J]. Total Corrosion Control, 2009(4): 45-46.

2013年3月份塑料市场点评

欧债风险再次袭击全球,而此次欧债的风眼则是塞浦路斯。尽管塞浦路斯仅占欧元区经济总量0.2%,但所引发的风暴能力却是巨大的。欧美经济目前表现为冰火两重天。塞浦路斯事件再度打破了欧债的平静期,随着后续救援的进展,其对经济的影响还将持续。而从目前美国的经济走势看,将很可能避免之前的“惯性衰退”。中国弱势复苏的局面还将持续,不过随着新政府的正式上台,之前制定的经济方案将推进,尤其是新型城镇化的政策将有望逐渐出台,给中国经济增长注入新的动力。表1列出2013年3月份塑料市场涨跌情况。

表1 2013年3月份塑料市场涨跌榜

表 1-1-2 2012 年 10 月份塑料、橡胶类价格				
产品	月初价格 / (元·t ⁻¹)	月末价格 / (元·t ⁻¹)	涨跌幅 / %	
通用塑料	薄膜级 PE-LD	11 200	10 850	-3.13
	拉丝级 PP	10 750	10 800	0.47
	注塑级 PP	11 500	11 400	-0.87
	注塑级 PE-HD	10 650	10 750	0.94
	拉丝级 PE-HD	11 550	11 700	1.30
	薄膜级 PE-LLD	10 950	10 850	-0.91
	电石法 5 型 PVC	6 400	6 330	-1.11
	ABS	15 000	14 750	-1.67
PS	13 700	13 200	-3.65	
工程塑料	PA66	24 900	24 350	-2.21
	PMMA CM205	17 500	17 200	-1.71
	PA6	21 300	20 200	-5.16
	PC1100	18 900	18 400	-2.65
	POM M90	9 600	9 700	1.04
	PET	11 100	10 300	-7.21

1 PVC

经济面平淡,需求持续跟进缓慢,本月国内 PVC 市场表现欠佳,月初市场勉强维持平稳。在高库存、低成交的现状下,第二周开始 PVC 市场价格持续阴跌,业者看空后市,积极让利出货以缓解库存压力。随价格的持续下滑,第三周 PVC 市场交投气氛略有好转,悲观氛围略有缓和,但下游采

购仍不积极,成交难放量,因此虽然市场止跌企稳,但商家多是维持低价积极出货,继续让利促成交。截止月底,5 型普通电石料 PVC 市场价格较上月底平均跌幅在 50~100 元/t。截至发稿,普通 5 型电石料华东主流在 6300~6350 元/t 自提;华南主流在 6390~6480 元/t 自提;山东主流在 6300~6360 元/t 送到;河北主流在 6230~6280 元/t 送到;河南地区主流在 6300~6350 元/t 送到。

2 聚烯烃

本月聚烯烃市场经历中上旬连续走低之后,下旬市场超跌反弹。中上旬,美元表现一枝独秀,大宗商品普遍承压,聚烯烃产品虽然作为整个化工行业较为抗跌的产品,也难以逃脱大趋势。而且,中上旬市场在供需矛盾较为突出的情况下,贸易商竞相出货,保持低库存操作经营模式。下旬,生产企业加大减产检修力度,生产企业开始纷纷调涨出厂,聚烯烃价格超跌反弹。本月行情先抑后扬,月末对比月初的价格变动幅度并不大,其中薄膜级 PE-LD 跌幅在 3.13%,拉丝级 PE-HD 涨幅在 1.3%。

3 PA6

本月 PA6 陷入下跌通道,价格呈现大幅下跌。截止目前,切片聚合厂家库存情况良好,目前切片生产线开工率多在 7~8 成。聚合切片厂家订单仍显不足,部分厂家出厂价格继续回落,国内中黏切片主流出厂报价回落至 20 000 元/t 上下,较上月跌幅达 4.76%。而市场方面,本月受制于上游己内酰胺价格持续走跌影响,PA6 切片行情走弱。而自身需求面不佳及场内货源供应饱和等因素,PA6 整体行情趋于弱势。华东市场交易量缺乏,主流成交仍以低价位小单为主。目前,华东 PA6 中黏价格普遍维持在 20 200~20 800 元/t,部分低价位货源跌至 19 500 元/t 附近。随着市场持续走跌,商家心态趋于悲观。即便商家手中现货不多,但多无建仓计划。而下游工厂受限于产品库存高位,装置负荷稍有所下降,对原料采购减缓。据了解,大部分聚合工厂原料储存均在 10 天以上,而大部分工厂均为中石化合约客户 (卓创资讯)