

doi: 10.3969/j.issn.1007-9289.2013.05.019

# 装备维修技术体系初探

李长青, 马世宁

(装甲兵工程学院 装备维修与再制造工程系, 北京 100072)

**摘要:** 针对当前装备维修技术的发展现状, 提出了装备维修技术体系。该技术体系包含 5 大类、3 个层次, 涵盖了健康管理、故障诊断与评估、损伤修复、维护保养、维修信息化等多方面技术内容。先进检测技术、智能自修复技术、虚拟维修技术、现场应急维修技术等多个技术领域已经成为维修技术的重要发展方向, 大力发展绿色维修技术、促进多学科交叉融合, 注重应用基础研究, 是促进装备维修技术发展的重要途径。

**关键词:** 装备维修; 技术体系; 关键技术

**中图分类号:** TH17

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1007-9289(2013)05-0111-06

## Research on the Technology System of Equipments Maintenance

LI Chang-qing, MA Shi-ning

(Department of Equipment Maintenance and Remanufacturing, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072)

**Abstract:** According to the development status of equipment maintenance technology, technology system of equipment maintenance was put forward. With 5 categories and 3 levels, health management, failure diagnose and evaluation, repair, maintain and information-based maintenance were included. Several technology fields, like advanced detection technology, smart self-repairing technology, virtual maintenance technology, on-site emergency maintenance and so on, have becoming important direction of maintenance technology. Developing green maintenance technology, promoting intercross fusing of different subject, and paying attention to application basis are important paths to improve the development of equipment maintenance technology.

**Key words:** equipment maintenance; technology system; key technology

## 0 引言

中国有几万亿的装备资产, 这些装备在运行中的磨损、腐蚀、疲劳、老化、断裂等是不可避免的。据不完全统计, 在现代企业中, 装备故障及停产损失约占其生产成本的 30%~40%, 有些行业的维修费用竟占生产成本的第二位, 维修已成为装备在使用过程中必不可少的环节<sup>[1]</sup>。

在装备的全寿命周期中, 装备维修工作通常是时间最长、也是最重要的环节, 它伴随装备服役的一生, 是装备正常发挥其技术性能的重要保障。因此, 发展和应用先进的装备维修技术, 对于提升

装备的使用寿命, 保持性能指标和工作效率具有重要意义。

现代维修技术已经发展成为以现代维修理论为指导, 以信息技术、仿真技术、制造技术和材料技术等为支撑, 多学科交叉融合的综合性工程技术<sup>[2]</sup>。维修技术涉及的学科方向众多, 因此, 开展技术体系的研究和探讨具有十分重要的意义。当前, 国内一些学者开展了装备维修技术体系的探讨, 从不同角度对维修技术进行了梳理、分类<sup>[3-5]</sup>。维修技术体系的探讨属学术研究范畴, 尚没有权威的标准。文中在对相关成果进行分析梳理的基础上, 对维修技术体系进行了探讨。

收稿日期: 2013-09-30; 修回日期: 2013-10-09

作者简介: 李长青(1970—), 男(汉), 吉林蛟河人, 研究员, 博士; 研究方向: 装备维修技术

网络出版日期: 2013-10-10 12:45; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20131010.1245.002.html>

引文格式: 李长青, 马世宁. 装备维修技术体系初探 [J]. 中国表面工程, 2013, 26(5): 111-116.

## 1 建立装备维修技术体系的作用和原则

### 1.1 当前维修技术研究与应用存在的主要问题

当前装备维修技术的发展和應用还存在着诸多问题,这些问题如果得不到有效解决,将显著制约我国装备维修工作以及装备维修行业的发展。

#### (1) 重视换件修理,轻视原件功能恢复

纵观我国工程机械行业、汽车行业等装备密集度高的行业,在修理过程中,大多采用更换新零部件、甚至更换总成的方法进行修理。这种方法虽然具有更换维修时间短,维修质量有保障的优势,但过度使用换件修理方式也存在很多问题,如:维修工作受备件供应制约;过剩维修把尚能正常使用的零件也更换了,造成维修成本过高;等等。

#### (2) 装备维修技术研究方向多、系统性研究难度大

与单一的研究方向不同,多学科交叉融合的装备维修技术涉及技术领域繁杂,研究方向众多,各领域交叉关联差,技术互补性不足,部分研究方向领域研究较少,系统集成难度大,等等。这些问题都制约了装备维修新技术的研究工作。

#### (3) 先进装备维修技术的推广应用尚待加强

当前,国内部分装备维修企业或单位存在维修理念落后、对维修新技术了解掌握渠道不畅通、过多追求短期效益等状况,目前仍较多使用传统的维修技术,造成过多的资源浪费、环境污染、社会成本增加等问题。这些与发展绿色维修技术,支持国家的环境保护和可持续发展都是背道而驰的。

### 1.2 建立装备维修技术体系的作用

针对当前制约装备维修技术发展的现实问题,建立科学合理的技术体系,系统梳理维修技术的脉络,规划维修技术的发展,对于提升装备维修技术的整体水平具有重要的现实意义。建立相对系统完备的装备维修技术体系,具有以下几个重要作用:

#### (1) 有利于站在全局的高度规划装备维修技术的发展

由于维修技术具有学科交叉融合,技术手段从简单到复杂、从低端到高端差距极大等特点,置身某个领域内,难以纵观维修技术的全貌。作为一个行业或者装备维修管理、技术研发部门,全面

了解装备维修技术的分类、内涵和外延,总体把握维修技术的全局,对于系统规划某一行业、某类装备维修技术的发展具有十分重要的意义。

#### (2) 有利于维修技术重点方向的研究发展和交叉融合

多学科交叉融合是维修技术创新的源泉之一。只有系统地了解装备维修技术的全貌,了解所涉及的全部技术领域,才能更好地发现或提出可能出现创新技术的交叉融合点,进而创造性地产生新的维修技术。可见,系统科学的维修技术体系对于维修技术的发展和进步,特别是维修关键技术的创新将起到十分积极的促进作用。

#### (3) 有利于先进装备维修技术的应用

建立装备维修技术体系,对于装备维修实践同样具有十分重要的意义。通过一个完善的、科学的维修技术体系,从事维修技术应用的人员能更加清晰地了解相关的先进技术手段,有利于先进维修技术的工程化应用,从而提升装备的维修技术水平,提高维修效率,降低维修成本,为企业创造更多的利润。

### 1.3 建立装备维修技术体系的主要原则

建立装备维修技术体系应遵循以下4个原则。

#### (1) 覆盖面广,内容全面

覆盖面广、包含内容全是对装备维修技术体系的一个基本要求。因此,提出的装备维修技术体系,应尽可能地全面覆盖维修技术相关领域、相关研究方向。既要包含装备维护保养技术的内容,又要包含损伤或故障装备修复技术的内容;既要涵盖维修新材料、新工艺,又要涵盖基于信息化的维修技术;既要包含传统、简单的维修技术方式,又要融合最新科技成果形成高技术维修手段。

#### (2) 系统性强,重点突出

系统性是对装备维修技术体系的又一个基本要求,也是一个体系科学性的重要体现。只有系统性好、逻辑性强的技术体系,才能更好地指导科学研究和应用实践。多级细分的技术体系具有更好的系统性和指导性,但是并非每一个技术领域和方向都建立相同级次的技术体系。这里,要区分重点方向和重点内容,并考虑各技术领域和方向的实际情况,确定具体设立的体系级次。

#### (3) 指引性强,扩展性好

现代科学技术日新月异,先进技术手段不断

出现。作为指导科研和生产实践的重要资料,装备维修技术体系既要体现当前装备维修技术的发展现状,更要反应装备维修技术未来的发展方向。只有满足这一点,这个体系才能真正持久地发挥作用。因此,维修技术体系并非一个完全“刚性”的系统,还应该有足够的包容度,既能够将最新的维修技术方向、理念、关键内容有效地扩展进来,又能够实现老旧、过时的技术方向退出体系,实现体系的动态特性,使体系更加具有活力并保持其先进特征。

(4)实用性强,有助于推动企业技术进步

装备维修技术体系既要指导科研工作,又要能够对装备维修企业或单位的技术进步起到积极的推动作用,要求体系具有良好的通用性,并且紧密贴合装备实际,具有很强的实用性。

## 2 装备维修技术体系框架

### 2.1 维修技术体系的基本结构

基于上述原则,建立了装备维修技术体系框架,见图 1。整个体系划分至第 3 级,其中部分技术方向和领域划分至第 2 级。

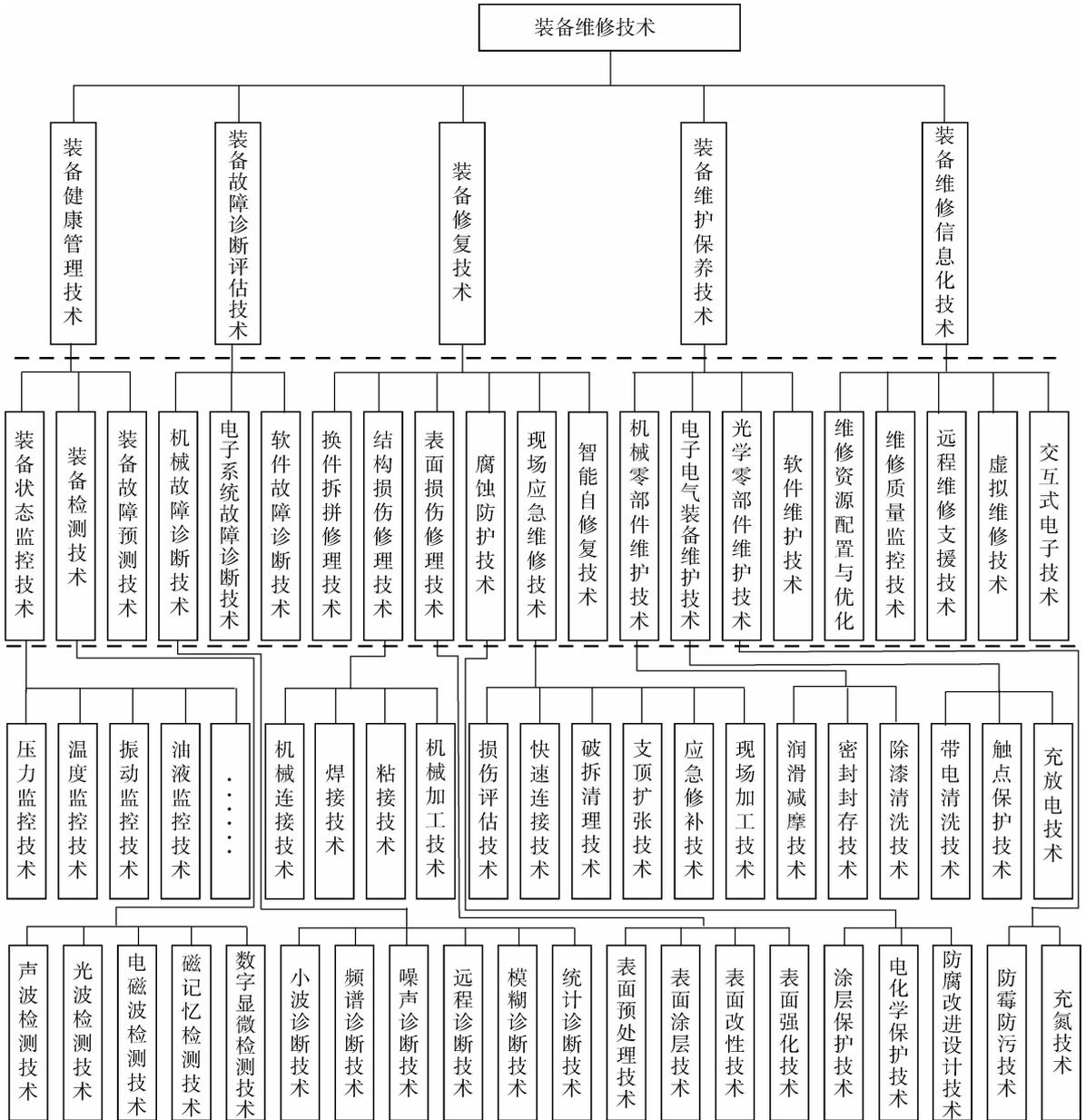


图 1 装备维修技术体系图

Fig. 1 Technology system of equipment maintenance

在对维修技术整体脉络进行梳理的基础上,按照维修技术包含的几个基本领域进行了划分,形成了第一层次。第二层次则是对第一层次的技术类别按照一定的方式进行的再次细分。更加细化的第三层次,侧重于相对具体的研究方向和技术手段。由于研究方向众多,具体技术手段也包罗万象,因此,第三层次只能列出典型的或基本的部分内容,无法穷尽。

## 2.2 几点说明

(1) 维修理论和维修技术基础,包括维修技术发展h战略、先进维修思想研究、维修技术标准等内容,是装备维修的重要组成部分。由于文中重点讨论维修技术手段,因此,体系中未包含相关内容。

(2) 维修技术体系庞大,分类方法繁多,本文提出的体系框架主要参考了维修技术发展h战略相关研究以及《中国军事百科全书(第二版)》,并结合作者长期从事装备维修技术研究的体会。这个体系框架主要针对通用装备维修的共性技术,原则上不包含专用装备的特殊维修技术。

(3) 装备再制造工程是废旧机电产品高技术修复改造的产业化,是循环经济和节能环保产业的重要技术支撑<sup>[6]</sup>。随着装备再制造工程的快速发展,再制造技术已经形成了相对完善的体系。相当一部分再制造关键技术同时也是装备维修的重要技术手段,因此,未将装备再制造工程技术列入维修技术体系。

(4) 现场应急维修技术是装备损伤或意外事故情况下,快速恢复全部或部分功能的方法、工艺、技能和手段的统称<sup>[7]</sup>,是特殊场合、特殊情况下的使用的装备修复技术。因此,将其列入第二层次。

## 3 装备维修重点方向及技术

### 3.1 装备健康管理技术

故障预测与健康管理(Prognostics and health management, PHM)技术指利用尽可能少的传感器来采集系统的各种数据信息,借助各种智能推理算法来评估系统自身的健康状态,在系统故障发生前对其故障进行预测,并结合各种可利用的资源信息提供一系列的维修保障措施以实现系统的视情维修<sup>[8]</sup>。

精确高效的检测技术是装备健康管理技术的

重要内容。例如,图2所示的金属磁记忆检测技术,不仅可以对铁磁材料表面及内部出现的微裂纹等损伤进行探测,而且可以判断应力集中的部位,为采取预防性维修措施提供了重要的依据;此外,激光超声检测等一批先进技术的出现,有效提高了钢铁、轻合金、复合材料等的检测水平。



图2 钢铁材料的磁记忆检测

Fig. 2 Magnetic memory testing of steel

### 3.2 装备故障诊断评估技术

与健康管理技术不同,装备故障诊断与评估技术通常针对的对象是已经发生故障的装备。

随着传感器技术、数据处理技术、人工智能技术、无线通信技术等相关技术的发展,机电装备故障诊断技术的发展趋势是传感器的精密化、多维化,诊断理论、诊断模型的多元化,诊断技术的智能化,等等<sup>[9]</sup>。基于Internet的远程协作诊断技术、人工智能专家系统、小波分析等相关技术的发展,将有力推动装备故障诊断技术水平的提升。

损伤评估与损伤修复是两个相互联系、不可分割的过程。损伤评估是损伤修复的前提条件,它给出了装备是否需要修复以及如何修复,而损伤修复的方法和技术会影响评估的决策过程。

### 3.3 装备修复技术

故障或损伤装备的修复技术是装备维修技术的重要内容。机电装备零部件是修复技术研究应用的重点对象之一。

随着高能束等先进技术的不断进步,作为机械零部件结构损伤修复重要手段的焊接技术得到了快速发展,激光焊接、爆炸焊接<sup>[10]</sup>、自蔓延焊接<sup>[11]</sup>、电子束焊接<sup>[12]</sup>、摩擦焊<sup>[13]</sup>、超声波焊接等新型焊接方法不断出现,焊接对象也从传统的钢铁材料向轻合金、陶瓷甚至复合材料方向发展<sup>[14-15]</sup>。

随着表面工程技术的快速发展,高超音速热喷涂技术、先进镀膜技术,新型表面强化技术不断出现,零部件表面损伤修复的技术水平和效能不断提升。例如,采用超音速等离子喷涂技术制备的热喷涂涂层,其结合强度、耐磨性、硬度等性能指标得到显著提升<sup>[16]</sup>;表面纳米化强化技术能在零件表面形成一定深度的压应力层,并显著细化晶粒,从而大幅度提高抗疲劳强度和摩擦性能<sup>[17]</sup>;等等。

智能自修复技术是装备修复技术的重要发展方向。基于微胶囊技术的复合材料智能自修复技术,可实现复合材料结构微裂纹损伤的自愈合<sup>[18]</sup>;

润滑油原位动态纳米减摩自修复添加剂,具有优异的抗磨减摩性能和较好的自修复功能,发动机的主要摩擦副接近零磨损状态<sup>[19]</sup>。

现场应急维修技术能立足故障或损伤现场,快速恢复装备的性能,对于大型施工机械和野外固定装备的修复具有重要意义。当前,先进应急维修技术正朝着小型化、低资源依赖、高效能等方向发展,无电焊接技术、大型零件现场加工技术(见图3)、复合材料贴片修补技术、水蒸气等离子焊接技术等新型技术手段不断涌现<sup>[7]</sup>。

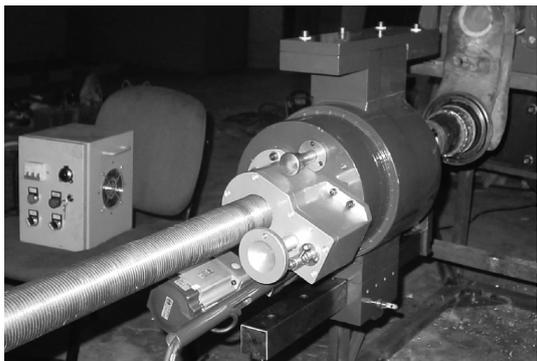


图3 便携式车镗一体化机床

Fig. 3 Integrated machine tool of portable boring car

### 3.4 装备维护保养技术

维护保养技术是使装备保持正常运行状态的技术方法。当前,发展重点是提升维护保养技术的效率和质量,开发新型技术手段,研究苛刻条件下服役装备的维护保养技术。例如,电子装备快速清洗技术可在不停机情况下开展清洗作业,有效解决了舰船电子装备在高温、高湿、高盐雾环境工作易导致的软短路、腐蚀等问题<sup>[7]</sup>;利用电磁加

热原理,对钢铁零部件表面的油漆等有机涂层进行去除,效率大幅度提高,并且不会对装备和环境造成损害;等等。

### 3.5 装备维修信息化技术

随着信息化技术的不断发展,将其与维修技术进行有机融合,显著提升了维修技术管理、使用、培训的效率,并催生出了新的维修技术手段。

虚拟维修是维修信息化技术发展的一个重要方向,它改变了传统维修性设计和维修训练依赖实物的模式,显著提高了维修性设计效率,降低维修训练成本,大幅度提高维修训练效率和效果。目前,国内外已经就装备虚拟维修开展了大量的研究和实践<sup>[20-21]</sup>。

## 4 装备维修技术的发展趋势

(1)大力发展装备绿色维修技术,是实现可持续发展、节约能源与资源消耗、减少环境污染,节省维修费用的有效途径<sup>[22]</sup>;

(2)注重多学科交叉融合,不断探寻新的技术增长点,使其成为先进维修技术创新发展的重要途径。3D打印技术可在损伤零件表面制备合格的维修层,也可现场制备全新的零件,显著提高修复效率、效益。

(3)加强应用基础研究,针对装备故障和失效的新特点、新规律,从机械、材料等领域入手,研究相关的科学问题,为装备维修新技术、新材料、新工艺提供理论支撑。

## 参考文献

- [1] 马世宁,刘谦等. 现代设备维修技术 [M]. 北京:中国计划出版社,2006.
- [2] 马世宁,游光荣,孙晓峰. 装备维修技术的发展及表面工程技术的应用 [J]. 中国表面工程,2005,18(4):1-5.
- [3] 王志勇,游光荣. 装备维修技术体系结构初探 [J]. 航空科学技术,2010,(5):22-24.
- [4] 张惠民,王生凤,李庆全. 基于装备资源节约的绿色维修技术体系研究. 兵工学报,2010,31(S1/S2):179-182.
- [5] 赵承光. 中国军事百科全书(第二版)学科分册-军事装备维修技术 [M]. 北京:中国大百科全书出版社,2007.
- [6] 徐滨士. 中国再制造工程及其进展 [J]. 中国表面工程,2010,23(2):1-6.
- [7] 马世宁. 装备战场应急维修技术 [M]. 北京:国防工业出版社,2009.
- [8] 冯辅周,司爱威,邢伟,等. 故障预测与健康管理技术的应用与发展 [J]. 装甲兵工程学院学报,2009,23(6):1-6.
- [9] 秦冲,王素粉. 机电设备故障诊断技术发展探析 [J]. 机械

- 制造与自动化, 2011, 40(6): 90-92, 104.
- [10] 王建民, 朱锡, 杨润泉. 爆炸焊接的应用与发展 [J]. 材料导报, 2006, 20(1): 42-45.
- [11] 吴永胜, 王建江, 辛文彤等. 手工自蔓延焊接技术研究进展 [J]. 热加工工艺, 2012, 41(3): 119-121.
- [12] 沈显峰, 黄文荣, 许超. 1Cr18Ni9Ti 电子束焊接工艺参数与焊缝形状的关系研究 [J]. 热加工工艺, 2009, 38(9): 112-115.
- [13] 陈亮, 李文亚, 马铁军. 线性摩擦焊接技术研究进展与展望 [J]. 航空工程进展, 2010, 1(2): 178-182.
- [14] 李辉, 陈俊华, 陈广立, 等. 陶瓷基复合材料焊接技术研究进展 [J]. 焊接技术, 2007, 36(2): 4-7.
- [15] 丁文斌, 蒋海燕, 曾小勤, 等. 镁合金焊接技术研究进展 [J]. 轻合金加工技术, 2005, 33(8): 1-6.
- [16] 范文超, 谭俊, 王海军. 超音速等离子喷涂工艺参数对 Al-Si-20%Al/Ni 涂层结合强度的影响 [J]. 中国表面工程, 2012, 25(1): 71-75.
- [17] 巴德玛, 马世宁. 机械加工法实现金属材料表面自身纳米化的研究进展 [J]. 材料导报, 2006, 20(11): 92-95.
- [18] 汪海平, 章明秋, 容敏智. 智能自修复型聚合物基复合材料 [J]. 航空制造技术, 2011, 20: 92-96.
- [19] 徐滨士, 张伟, 刘世参, 等. 现代装备智能自修复技术 [J]. 中国表面工程, 2004, 17(1): 1-4.
- [20] 周栋, 霍琳, 王美慧, 等. 虚拟维修技术研究与应用 [J]. 北京航空航天大学学报, 2011, 37(2): 231-236.
- [21] 何嘉武, 赖煜坤. 武器装备虚拟维修训练系统设计与实现 [J]. 科技导报, 2010, 28(24): 71-74.
- [22] 马世宁, 孙晓峰. 装备绿色维修的发展方向 [J]. 中国表面工程, 2006, 19(5): 36-42.

作者地址: 北京丰台区杜家坎 21 号 100072  
 装甲兵工程学院装备维修与再制造工程系  
 Tel: (010) 6671 9223  
 E-mail: li\_chq@sohu.com

\*\*\*\*\*

#### • 本刊理事长单位介绍 •

### 国家绿色镀膜技术与装备工程技术研究中心

国家绿色镀膜技术与装备工程技术研究中心于 2007 年 11 月 16 日经科技部批准依托兰州交通大学和兰州大成科技股份有限公司组建, 是我国镀膜行业第一个也是唯一一个国家工程中心。

中心坚持“自主创造核心技术, 引领行业技术进步”的创新理念, 提出了“绿色镀膜”、“绿色镀膜新材料”、“绿色镀膜新能源(聚光太阳能)”等新技术理念, 以绿色镀膜技术、绿色镀膜新材料、绿色镀膜新能源的自主创新为主要研究方向, 以绿色镀膜关键技术创新为核心, 不断拓展绿色镀膜工艺技术应用新领域, 集中攻关绿色制造、清洁生产关键共性基础技术和系统集成问题, 形成一批具有自主知识产权的绿色镀膜工艺技术和成套装备, 实现了“出一流人才、创一流技术、造一流装备”的创新目标, 形成了“以关键技术创新支撑工程技术研发, 以工程技术研发促进成果产业化, 以成果产业化收益再支持关键技术创新”的独具特色的技术创新体系。

中心研发了 8 类 20 种型号的产品并全部实现了产业化推广; 获得 1 项国家科技进步二等奖、4 项甘肃省科技进步一等奖, 其它省部级科技进步一等奖 1 项、二等奖 5 项; 申请专利 40 件, 其中发明专利 23 件; 获得授权专利 29 件, 其中发明专利 15 件; 获得 11 项软件著作权; 获得 5 项国家重点新产品和 14 项软件产品; 制定并实施了 8 项国内首部企业技术标准。

中心聚集了一批优秀创新人才, 形成了一支专业结构、年龄结构、学历结构合理, 多学科交叉, 具有可持续创新能力的创新团队, 被信息产业部评为“全国信息产业科技创新先进集体”, 2009 年被中央四部委联合授予“全国专业技术人才先进集体”荣誉称号

中心已成为技术先进、特色鲜明的绿色镀膜技术研究开发和技术创新基地、工程技术咨询与信息中心、绿色镀膜装备产业化示范基地、绿色镀膜技术检验与测试基地。