

光纤涂料规范新纪元：特种光纤涂料标准规范 的现状、演进与实践

沙伟华, 田永丰, 魏超, 谈珍, 于丽
(中昊北方涂料工业研究设计院有限公司, 兰州 730101)

摘要: 特种光纤涂料是现代通信技术的关键, 它们保护光纤并确保其在复杂环境下的稳定性和可靠性。尽管技术不断进步, 特种光纤涂料不断创新以满足更高的性能需求和多样化的应用, 但行业目前缺乏专门针对这些高性能产品的标准化指导。现有的标准规范与特种光纤涂料的实际应用存在脱节, 导致应用度低。本文深入分析了特种光纤涂料的特性和现行标准的不足, 探讨了制定更适配特种光纤涂料的标准规范的迫切需求, 以应对技术和市场的挑战。

关键词: 特种光纤涂料; 标准规范; 检验检测; 质量控制; 特种光纤

中图分类号: TQ637 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)06-0020-07

New Era of Fiber-optic Coatings Specification: Status, Evolution and Practice of Special Fiber-optic Coatings Standard Specification

SHA Wei-hua, TIAN Yong-feng, WEI Chao, TAN Zhen, YU Li

(North Paint & Coatings Industry Research and Design Institute Co., Ltd. of China Haohua, Lanzhou 730101, China)

Abstract: Specialty optical fiber coatings are crucial to modern communication technology, as they protect the fibers and ensure their stability and reliability under complex environmental conditions. Despite continuous technological advancements and innovations in specialty optical fiber coatings to meet higher performance demands and diverse applications, the industry currently lacks standardized guidance specifically for these high-performance products. There is a disconnect between existing standard specifications and the practical application of specialty optical fiber coatings, leading to challenges in application. This article provides an in-depth analysis of the characteristics of specialty optical fiber coatings and the shortcomings of current standards, discussing the urgent need for the development of more compatible standard specifications for specialty optical fiber coatings to address technological and market challenges.

Key words: specialty optical fiber coatings; standard specifications; inspection and testing; quality control; specialty optical fibers

0 引言

特种光纤涂料在通信技术中扮演着核心角色, 为光纤提供保护, 抵御外界环境的挑战, 确保通信的稳定性和可靠性。随着光纤技术的快速发展, 特种光纤涂料

的应用日益广泛, 从通信网络到光纤传感器, 再到精密机械和空间技术领域, 其重要性不断增加。面对更高速率、更远距离传输的需求, 特种光纤涂料的技术也在不断创新。然而, 特种光纤涂料行业目前缺乏统一的标准规范, 导致产品检测和应用存在差异和难题。因此, 制定一套符合特种光纤涂料特性的专用标准规范显得尤为迫切, 以满足多样化和高标准的应用需求。技术的持续进步将进一步增强特种光纤涂料的性能, 并扩大其应用范围。在此过程中, 标准规范将确保新技术的可靠

收稿日期: 2024-11-06

作者简介: 沙伟华(1990—), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事光固化涂料、光纤涂料的生产研发工作。E-mail: 1164952751@qq.com。

性和安全性,推动行业的健康发展。未来,特种光纤涂料的发展将聚焦于性能提升、成本效益、环境友好性和适应更广泛应用的创新。

本文通过对特种光纤涂料的发展现状和现行标准规范的分析,提供了对新标准规范建立与发展的参考和数据支持。良好的专用领域标准规范将促进特种光纤涂料及其配套产品的持续健康发展。

1 特种光纤涂料的应用领域与分类

特种光纤,是为特定波长和功能量身定制的功能性电子信息材料,其市场规模在2023年已达120.3亿元,预计2024年将增至187.4亿元。这一产业链的关键环节包括原材料制造和设备制造,以及下游的光器件和系统产品供应商,服务于精密机械、空间技术、通信等多个关键领域。其产业链与市场规模情况见图1~

2。而特种光纤涂料作为保护光纤免受环境影响的关键配套材料,确保了光纤的稳定性、可靠性以及复杂的功能性,具有卓越的高性能防护表现,对特种光纤的制备、测试和使用至关重要。目前,其在诸多领域都有拓展应用。



图1 特种光纤产品产业链情况

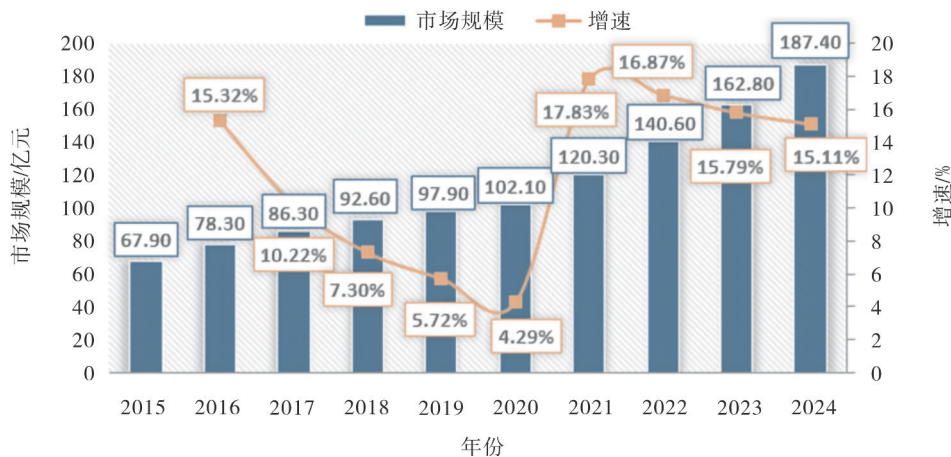


图2 2015—2024 我国特种光纤行业市场规模情况

1.1 光通信行业

在光纤通信网络中,特种光纤涂料用于保护光纤不受外界环境的损害,关键作用包括:1)保护光纤不受温度变化、机械压力和化学腐蚀等环境因素损害;2)提

升传输质量,减少信号衰减,增强数据传输的速率和速度;3)增强环境适应性,使光纤能在高辐射和极端温度等恶劣环境下稳定工作。高性能海底通信光缆的主要结构示意图见图3。

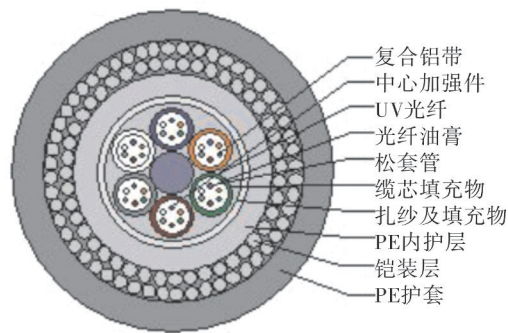
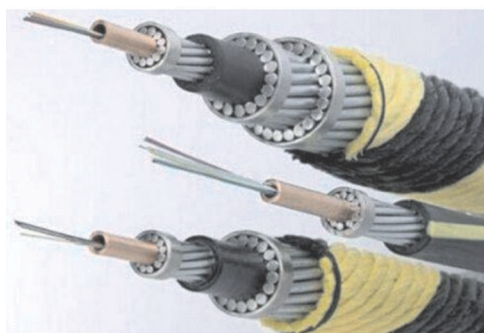


图3 高性能海底通信光缆的主要结构示意图

1.2 光纤放大器与传感

在光纤传输网中,掺铒光纤放大器(EDFA)的使

用,使得长距离光信号传输成为可能。这种放大器利用掺杂了稀土元素铒的光纤来实现光信号的放大,而特

种光纤涂料则保护这些光纤免受损伤,确保放大效果,其结构示意图见图4。

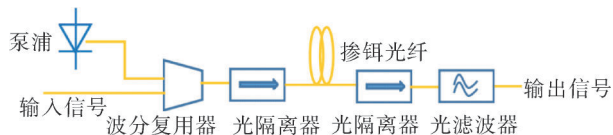


图4 EDFA结构示意图

特种光纤涂料也用于光纤传感器,如分布式温度传感系统、应变传感器、化学传感器等,它们在石油和天然气管道监控中发挥着重要作用。这些传感器需要耐高温、抗腐蚀的涂料来保护光纤传感器,以确保其在恶劣环境下的稳定性和准确性,其结构示意图见图5~6。

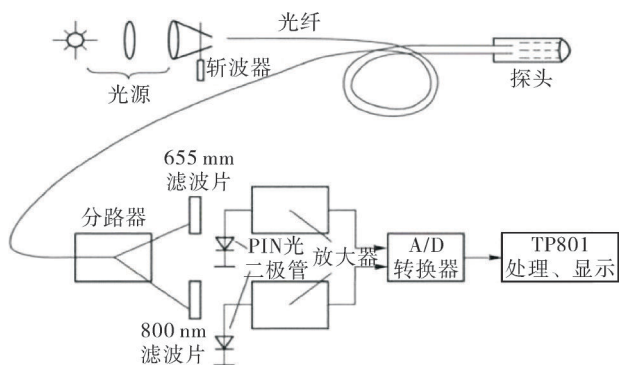


图5 光纤温度传感器结构示意图

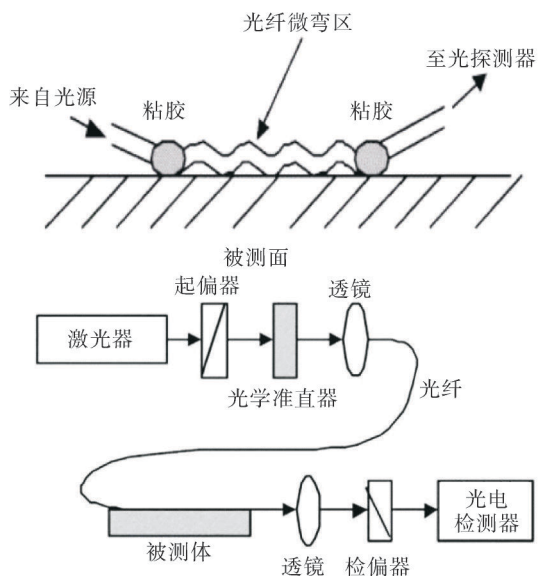


图6 应变传感器工作原理与结构示意图

1.3 精密机械和空间技术领域

特种光纤涂料对于精密件和空间技术领域至关重要,确保光纤系统在极端条件下的稳定性和可靠性,抵

御电磁干扰和辐射,保障通信安全。光纤陀螺仪利用萨格纳克效应,用于空间导航,通常采用特种光纤涂料以保持纤芯在极端环境下的性能和精度。耐辐射光纤在辐射和极端温度中通过功能性涂料提升了抗弯曲性能并减少了损耗。特种光纤涂料在精密机械的热防护系统中也发挥着关键作用,承受极端温度,保护空间设备免受气动加热影响,其隔热特性维护了内部结构的稳定。

1.4 医疗领域

特种光纤涂料在医疗领域相关设备发挥着多方面的作用,确保设备的稳定性和可靠性。特种光纤涂料在医疗领域的主要应用见表1。

表1 特种光纤涂料在医疗领域应用

应用领域	应用内容	实例
内窥镜技术	光纤内窥镜依赖特种光纤涂料保护,以抵御生物液体的腐蚀,同时提高图像传输质量	胃镜、结肠镜、支气管镜等
激光医疗设备	传递高功率激光时保护光纤,确保激光能量的有效传输	钛激光光纤、肾结石碎石手术
医疗探头	保护医用探头在恶劣生物环境中稳定工作,测量生理参数	血压、温度、氧气浓度、癌症检测和治疗监测
医疗影像传输	确保光纤通信系统在高速传输医疗影像和数据时的稳定性和安全性,防止数据干扰	放射治疗定位和监测

综上所述,特种光纤涂料的这些应用展示了其在多领域中的多样化和重要性,它们不仅保护光纤,还提高了通信系统的整体性能和可靠性。随着技术的不断进步,预期特种光纤涂料将在未来通信领域中发挥更加关键的作用。

2 现有特种光纤标准规范相关情况分析

当前,我国尚未制定专门针对特种光纤领域专用涂料明确标准或规范。然而在普通光纤涂料领域已有五项技术标准或规范被发布并同时应用于特种光纤涂料领域,这些规范的具体名称、发行机构和实施情况详见表2。

本文对这5项标准规范进行了深入的对比分析,包括规范起草单位、适用领域、引用文件数据、技术指标和检验方法等方面。这一分析旨在通过对现有光纤涂料标准规范的详细解读,揭示它们在特种光纤领域的适用性和局限性。

2.1 起草单位分析

分析显示,T/CEMIA 009—2018、T/CEMIA 010—2018和T/CEMIA 011—2018三项标准由中国电子材

料行业协会(CEMIA)管理,涵盖了电子材料领域的多个单位。SJ/T 11475—2014 和 GJB 2148A—2011 分别由工业和信息化部及总装管理。

表 2 现行光纤涂料标准规范信息统计

标准编号	标准名称	发布部门	实施日期	状态
SJ/T 11475—2014	紫外光固化光纤涂料	工业和信息化部	2015.4	现行
T/CEMIA 009—2018	高速拉丝单模光纤涂料	中国电子材料行业协会	2019.3	现行
T/CEMIA 010—2018	多模光纤涂料	中国电子材料行业协会	2019.3	现行
T/CEMIA 011—2018	UV-LED 固化光纤涂料	中国电子材料行业协会	2019.3	现行
GJB 2148A—2011	光纤用紫外光固化涂料规范	总装	2011.4	现行

起草单位的选择考虑了行业代表性、技术实力、市场占有率、行业集中度和国际合作,包括长三角和华中

的领先企业和科研机构,以及全球市场领导者荷兰皇家帝斯曼集团(DSM)和中国市场的主要企业。这些单位不仅市场份额大、技术实力强,而且在标准制定中起到了关键作用,提升了国内标准的国际化水平,对行业的健康发展和技术进步做出了积极贡献。

2.2 规范适用领域分析

标准规范内容中所规定的适用领域可以直接反映该规范在光纤细分领域的应用范围,这对规范内容在特种光纤涂料产品中的适用性提供了一定的参考价值。以上 5 项标准规范适用的领域以及与特种光纤的应用特性见表 3。

综合以上标准规范的适用领域可以发现,SJ/T 11475—2014 与 GJB 2148A—2011 属于较为通用型的标准内容,T/CEMIA 009~011—2018 为特定型的适用标准。虽然未注明特种光纤涂料可用,但是从描述的规范使用范围可以发现与特种光纤所用涂料具有高度的交叉性。这也是目前针对行业内特种光纤涂料规范不足,大量企业开发商采用普通光纤涂料标准作为应用测试参考的主要原因。

表 3 现行光纤涂料标准规范应用范围统计

标准编号	适用领域	特纤应用
SJ/T 11475—2014	单涂层/有色涂层/特种光纤涂层	各类光固化特种光纤涂层都有部分应用
T/CEMIA 009—2018	通信用单模石英玻璃光纤(ITU-Tm/min~3500G.652、G.657)用 UV 固化光纤涂料	器件用特种单模光纤(PH-SMF);G.657.B3 单模光纤;弯曲不敏感单模光纤(BI-SMF);980-HP 单模光纤;Nufem 780-HP 光纤等
T/CEMIA 010—2018	通信用双涂层石英玻璃多模光纤用 UV 固化光纤涂料	渐变型和阶跃型多模光纤;保偏多模光纤;抗弯曲多模光纤;高数值孔径多模光纤;耐高温多模光纤;多模光纤光谱仪用光纤;多模光纤射频感知用光纤;多模光纤成像用光纤等
T/CEMIA 011—2018	通信用双涂层石英玻璃光纤涂料	保偏光纤;色散补偿光纤;掺铒光纤放大器(EDFA);耦合光纤和抗弯曲光纤;双芯光纤;空芯光纤等
GJB 2148A—2011	光纤内层/外层涂料	各类光固化特种光纤涂层都有部分应用

2.3 标准规范引用文件分析

光纤涂料作为光纤表面的配套涂覆物质,其性能指标主要通过实际应用中的涂覆光纤来展现。结合目前实施的 5 项光纤涂料标准规范及其引用的规范性文件

件,我们按引用文件所属领域进行分类,从而洞察现行光纤涂料规范在制定和检测涂料特性时,涂料本身与基材应用之间的对应关系以及不同规范所展现的独立性。5 项标准规范的引用文件情况见图 7。

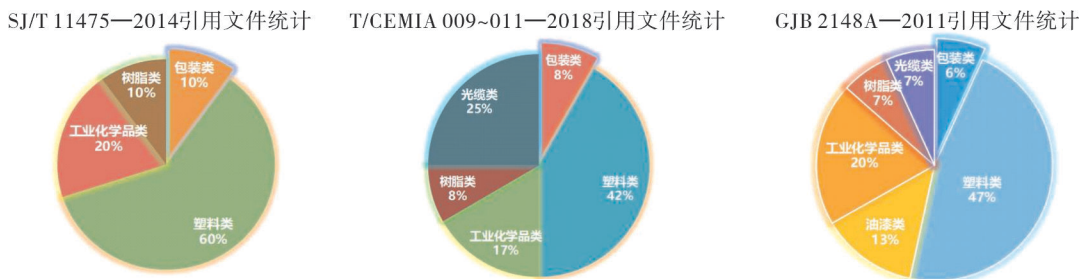


图 7 现行标准规范引用文件类别占比

引用文件的对比分析揭示了一个现象：现行光纤涂料标准规范主要参考的是塑料类的规范性文件，包括塑料的力学性能测试和玻璃化温度等。相比之下，与涂料紧密相关的树脂和油漆类的参考规范所占比例较小。这一现象源于光纤涂层对功能性指标的日益增长的需求，使得开发者越来越关注其作为固化成膜的涂覆材料的性能，而非单一涂料成分或涂料端的物理化学性能。在涂料领域针对此现象通常会分别对产品规定涂料端性能和构件级性能，但在光纤涂料领域，这种细分尚未明显出现。

2.4 标准规范技术指标分析

本文对标准规范中的技术指标进行了分类统计，涉及表观状态、力学性能、光学性能、热学性能、耐候性能、应用性能以及其他性能 7 个关键领域，旨在深入分析这些标准规范中技术指标的重点所在。技术指标的分类情况见图 8。

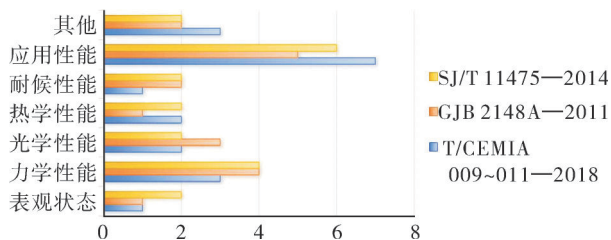


图 8 现行光纤涂料标准规范技术指标分类情况

经过精确的分类统计分析，SJ/T 11475—2014 和 GJB 2148A—2011 两项标准在技术指标上高度一致，而 T/CEMIA 009~011—2018 三项标准则在应用性能上提出了更多要求，对涂料本身性能的指标则较为简化。它们普遍更关注涂料的应用表现，而对于涂料的特殊性能指标关注不足，技术要求相对有限。特别是光纤涂料的涂膜力学性能在各标准中占据了较大比重，这可能是因为作为附着于光纤表面的配套材料，其力学强度和机械性能是制造商关注的核心需求。同时，这些标准缺乏针对特种光纤的特性指标，导致它们在指标范围和内容上仅覆盖了基础性能，对于特种光纤涂料所需的特定指标缺乏明确的指导。

3 现有规范的实施与监管

评估特种光纤涂料的标准规范实施面临挑战，因为用户企业通常涉及敏感信息，导致采购标准个性化，关键指标常在规范之外，往往是通过测试光纤整体性能来评定涂料性能，导致数据统计困难。我们对比了特种光纤产品的核心技术指标与现有 5 项光纤涂料标准规范，间接评估这些规范在特种光纤涂料领域的适用性，重点关注高强度、耐高温和特种激光光纤的性能，

具体结果见图 9。

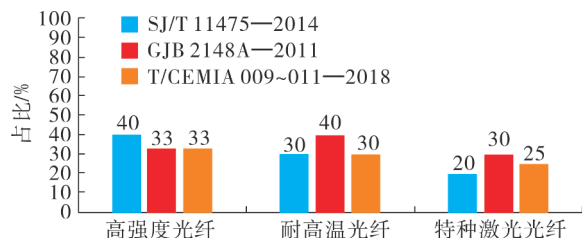


图 9 主要特纤产品技术标准与产品指标对应情况

统计数据显示，特种光纤产品的关键技术指标与现有光纤涂料标准规范的相关性仅 40%，显示现行标准难以满足特种光纤涂料市场的需求。调研发现，现有规范落后于我国激光通信领域的快速发展，无法适应新技术转向民用领域的需求。特种光纤涂料的测试缺乏统一标准，导致不同厂家与下游客户对同一产品的测试结果差异显著，形成了标准缺失、方法不统一和规范更新滞后的困境。

4 特种光纤涂料标准规范的挑战与展望

我国特种光纤涂料的发展与产业的快速进步同步，技术突破推动了特种光纤涂覆材料的研发、生产及标准化。特别是在国家“十二五科技计划”中，将新型特种光纤材料的关键技术作为前沿技术支撑项目，显示了国家对此领域的重视。特种光纤因其在多个关键领域的卓越性能而需求激增。尽管我国光纤技术已居世界前列，但在特种光纤及其涂覆材料的标准规范制定上，仍面临细化和实际应用适配性的挑战。

4.1 无特种光纤涂料专用规范

我国目前尚未制定针对特种光纤涂料专用涂层材料的具体标准或规范。研究人员对国内市场占有率较高的几家光纤制造商的主要特种光纤产品进行了详细的统计和分类，相关数据见图 10。

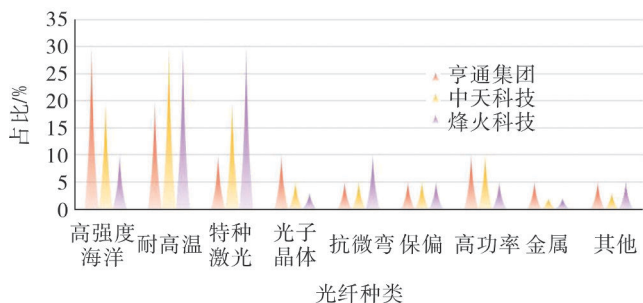


图 10 头部厂家特种光纤产品种类占比情况

从图 10 中可以观察到，尽管这些厂商提供的光纤产品种类多样，但在高强度、耐高温和特种激光类别方

面显示出较高的一致性。现有的光纤涂料标准规范主要涉及基础性能和涂覆要求,这些仅能满足普通光纤涂料的基本标准,对于满足高性能光纤需求的特种光纤涂料产品而言,这些规范显然不足以提供充分的指导和匹配。

4.2 性能指标内容指向性较差

对比已有的在光纤涂料领域所应用的5项标准的技术内容,对其中技术指标数量以及内容要求重复的情况统计见图11。

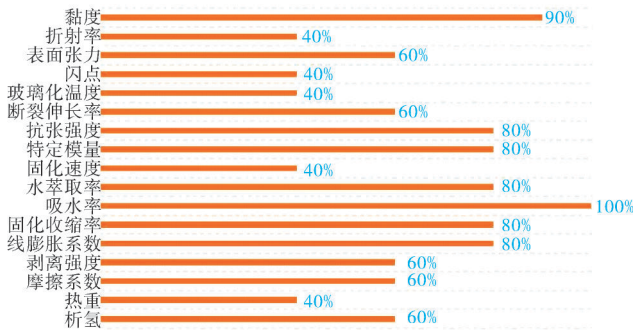


图11 现行标准规范指标重复情况统计

虽然涉及众多技术指标,但它们之间存在高度重复,特别是在关键的涂层性能指标上,重复率超过50%,力学性能和耐候性能等领域的重复率接近80%。特种光纤涂料在行业实践中常结合特定性能检测和通用标准规范来制定采购标准,这说明标准规范难以满足特种光纤涂料日益多样化的需求。原因在于涂料性能指标与光纤应用特性之间的关联性弱,不同光纤产品采用的涂覆工艺差异导致缺乏统一测试标准,以及特种光纤涂料的特定性能特点和相关工艺成为制造商的核心技术,不便公开以避免泄密风险。

4.3 涂料端工艺在光纤拉丝制备过程中的占比

光纤的制造过程包括预制棒加热、拉丝、涂覆、固化、二次涂覆、再次固化以及绕盘等多个环节,设备状态示意图见图12。在整个拉丝过程中,涂料的适配性对工艺参数的调整有着显著影响,这些参数包括拉丝速度、固化时间、涂覆厚度等。因此,如果涂料端的涂覆工艺采用统一标准,可能会导致整个拉丝生产线需要进行大幅度调整。这也正是各制造商更倾向于根据自己的拉丝工艺特点来适配涂料工艺的原因。

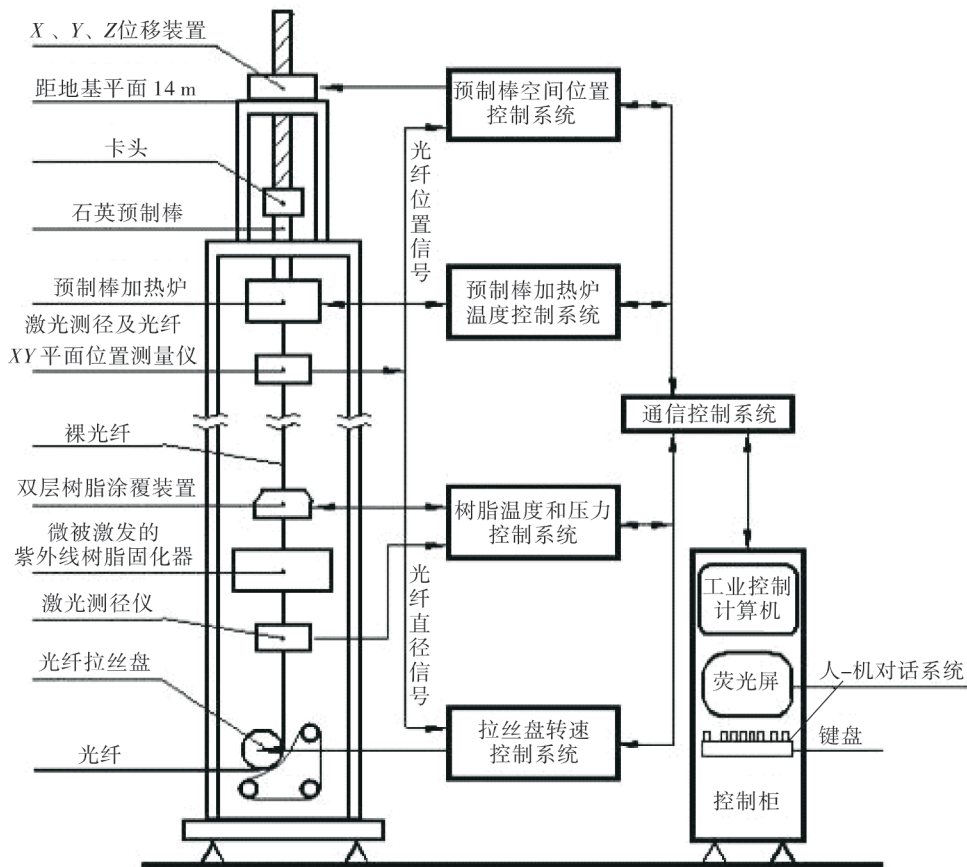


图12 光纤拉丝塔工艺示意

特种光纤涂料因其高性能特性在行业内日益受到重视,特别是在普通光纤竞争激烈的当下。随着光网、

物联网、云计算和人工智能的快速发展,光通信行业面临数据流量激增的挑战,特种光纤涂料在提升光纤性

能方面扮演着关键角色,促进技术创新。因此,制定和细化特种光纤涂料的标准规范变得尤为关键,以适应多样化的应用需求。

未来,特种光纤涂料的标准规范需包含详细的测试方法、质量控制流程,并加强国际合作,推动标准的国际化和统一化。同时,规范应适应新技术发展,考虑应用领域的扩展,特别是高端制造和空间技术等高端领域。制定这些规范是一项综合性、前瞻性的工作,需考虑技术发展、环保要求和市场应用,以推动行业的健康发展和技术进步。特种光纤涂料的发展将聚焦于技术创新、市场需求满足和环保可持续性,以适应全球通信行业的需求变化。

5 结语

随着光纤技术的持续进步,特种光纤涂料的性能要求日益严格,迫切需要建立一套既适应其特性又满足行业需求的专用标准规范。这些规范将覆盖涂料分类、技术要求、环保可持续性、质量控制、国际合作、技术创新、应用场景扩展及安全性和可靠性等关键领域,确保产品质量和性能的一致性,激发技术创新,优化生产工艺,规范市场秩序,保护消费者权益,并促进国际贸易和技术交流。未来,特种光纤涂料的发展将聚焦于性能提升、成本效益、环境友好性及广泛需求的创新,标准规范将继续确保新技术的可靠性和安全性,推动行业健康发展,而行业合作、政策支持和全球视野的拓展对规范的制定和完善至关重要,为特种光纤涂料行业的未来发展提供坚实的支撑和明确的指引。

参考文献:

- [1] 郭君,喻煌.传能光纤拉丝涂覆工艺的研究[J].卫星电视与宽带多媒体,2019(18):14-18.
- [2] 光纤涂料[J].涂料技术与文摘,2016(2):56-57.
- [3] T/CEMIA 009—2018 多模光纤涂料[S].
- [4] T/CEMIA 010—2018 高速拉丝单模光纤涂料[S].
- [5] 中国电子材料行业协会. T/CEMIA 011—2018 UV-LED 固化光纤涂料[S].
- [6] SJ/T 11475—2014 紫外光固化光纤涂料[S].
- [7] GJB 2148A—2011 光纤用紫外光固化涂料规范[S].
- [8] 俞娟,倪力,彭昆,等.第 1.5 代“三高一优”YDF 特种激光光纤[J].强激光与粒子束,2024(10):5-8.
- [9] 适合量子技术应用的特种光纤问世[J].电子产品可靠性与环境试验,2024(4):79.
- [10] 李奋飞,周晓燕,张魁宝,等.伽马辐照对掺镱光纤材料特性影响的研究[J].强激光与粒子束,2020(8):18-23.
- [11] 林世伟,刘波,刘海锋,等.两种辐射源对光纤材料辐照的损伤特性研究[J].光通信技术,2017(9):60-62.
- [12] JAN OVI OVÁ V, MIKULA M, HAVLÍNOVÁ B, et al. Influence of UV-curing conditions on polymerization kinetics and gloss of urethane acrylate coatings [J].Progress in Organic Coatings,2013,76(2-3):432-438.
- [13] HONG S, KIM J, KIM M, et al. Radical polymerization of acrylate copolymer based GMA for use as a UV curable layer via thin coating[J].Advances in Polymer Technology,2012,31(4):271-279.
- [14] 唐华.国家自然科学基金视角下我国光纤材料与器件领域的分析和展望[J].中国科学:信息科学,2024(4):976-987.
- [15] 宋向阳,唐国武,董国平,等.我国关键有源光纤材料发展战略研究[J].中国工程科学,2024(3):42-52.
- [16] 胡雯,廖梅松,邓路,等.特种光纤抗辐照性能的研究进展[J].激光与光电子学进展,2024(23):96-109.
- [17] 巴德欣,董永康.分布式光纤传感技术及其在航空航天领域的应用展望[J].宇航学报,2020(6):730-738.
- [18] 邵冲云,于春雷,胡丽丽.面向空间应用耐辐照有源光纤研究进展[J].中国激光,2020(5):233-261.
- [19] 宋祖荣,李晓洋,李懿轩,等.光纤传感技术在核电站安全监测中的应用研究[J].量子光学学报,2017(3):297-304.
- [20] 邓涛,谢峻林,罗杰,等.光纤抗辐射性能研究回顾与展望[J].光通信技术,2007(9):58-61.
- [21] 童维军,杨晨,刘彤庆,等.光纤传感用新型特种光纤的研究进展与展望[J].光电工程,2018(9):16-29.
- [22] “那一抹鲜艳的中国红”,五星红旗闪耀月球——从研制登月国旗看中昊北方院创新驱动之路[J].中国涂料,2013(12):1-3.

2025 年《现代涂料与涂装》征订启事

《现代涂料与涂装》期刊是由中昊北方涂料工业研究设计院有限公司主办的全国性科技期刊,国内外公开发行,国际连续出版物号:ISSN 1007-9548,国内统一连续出版物号:CN 62-1135/TQ;本刊是中国学术期刊综合评价数据库来源期刊;《中国学术期刊(光盘版)》《中国期刊网》《万方数字化期刊群》《维普资讯》全文收录期刊;美国《化学文摘》(CA)收录期刊。本刊为月刊,每月 20 日出版,大 16 开本,彩版印刷,每期定价 15.00 元。1)通过当地邮局订阅,全年 180 元,邮发代号 54-65;2)直接向本刊编辑部订阅,纸质版全年 282 元(含快递费),电子版全年 120 元。



编辑部订阅二维码