

环保型阻燃橡胶电缆性能检验与应用效果评价

夏小岚

湖南华菱线缆股份有限公司 特种线缆制备湖南省重点实验室 湖南 湘潭 411104

【摘要】：随着我国电气工程领域环保与安全标准持续升级，传统含卤阻燃橡胶电缆因燃烧产生有毒烟气、腐蚀性气体的缺陷，已无法适配现代工程的绿色安全需求，环保型无卤低烟阻燃橡胶电缆逐步成为行业主流。本文结合国内现行电缆检验国家标准，搭建环保型阻燃橡胶电缆的多维度性能检验体系，选取主流规格试样开展阻燃性能、环保指标、机械物理性能、电气绝缘性能全项检测，通过试验数据量化分析产品核心性能达标情况，同时结合建筑工程、轨道交通、工矿厂区等实际应用场景，综合评价该类电缆的环保效益、安全效益与经济效益，梳理当前行业应用与生产环节存在的问题，提出针对性优化改进方向。研究结果表明，合格的环保型阻燃橡胶电缆可同时满足阻燃防火、低烟无卤、机械耐用的核心要求，在各类工程场景中具备优异的应用适配性，是电气线缆行业绿色转型的核心产品，具备大范围推广应用价值。

【关键词】：环保型阻燃橡胶电缆；性能检验；阻燃特性；环保指标

DOI:10.12417/2705-0998.26.06.003

引言

电线电缆是电气工程传输电能、传递信号的核心载体，阻燃性能是保障电力系统火灾安全的关键指标，环保性能则契合国家双碳战略与绿色工程建设的核心要求。传统阻燃橡胶电缆多采用含卤阻燃剂，虽具备一定阻燃效果，但燃烧时会释放大量氯化氢、溴化氢等腐蚀性有毒气体，同时产生浓密黑烟，不仅会造成设备腐蚀，还会阻碍火灾救援、威胁现场人员生命安全，且废弃后重金属与卤族元素易造成土壤、水源污染。环保型阻燃橡胶电缆以无卤阻燃橡胶为绝缘与护套材料，摒弃传统卤系阻燃剂，采用无机阻燃体系，实现了阻燃性能与环保性能的双重优化，具备低烟、无卤、无毒、耐腐蚀、可回收的核心优势。当前国内该类电缆生产企业数量较多，产品质量参差不齐，性能检验是把控产品质量、规范行业发展的核心手段，而应用效果评价则是验证产品适配性、指导工程选型的重要依据。基于此，本文结合现行国家标准开展系统性性能检验，结合实际工程场景开展应用效果分析，为行业产品选型、质量管控与技术优化提供参考。

1 环保型阻燃橡胶电缆核心性能检验体系

1.1 检验指标选取原则

本次检验指标选取严格遵循“安全优先、环保达标、工况适配”的原则，全面覆盖电缆使用全周期的核心性能需求，分为四大核心维度：一是阻燃防火性能，衡量电缆抑制火焰蔓延、自熄的核心能力；二是环保性能，重点检测无卤特性、烟气密度、有毒有害物质限量，契合绿色环保要求；三是机械物理性能，验证电缆在敷设、使用、老化过程中的抗拉、抗弯折、耐老化能力；四是电气绝缘性能，保障电缆正常通电运行的稳定性与安全性。所有检验项目均贴合国内现行电缆检测国家标准，不额外增设非标指标，确保检验结果具备行业通用性与权威性。

1.2 检验依据与试验方法

1.2.1 核心检验标准依据

本次性能检验严格遵循国内现行有效国家标准开展，全程采用国标规定的试验方法，不采用非标检测手段，保证检验结果的权威性与通用性。各项性能对应的检验标准明确划分，阻燃性能参照 GB/T 18380 系列电缆燃烧性能试验标准执行，环保性能参照 GB/T 17651 电缆烟气特性检测标准及环保限量相关标准执行，机械物理性能参照 GB/T 5013 橡皮绝缘电缆标准、GB/T 2951 电缆机械性能试验系列标准执行，电气绝缘性能参照 GB/T 3048 电缆电性能试验系列标准执行，所有标准均为当前行业通用的最新有效版本。

1.2.2 试验试样与环境控制

试验试样选取市场流通范围广、工程应用量大的主流规格产品，具体为额定电压 450/750V 环保型阻燃橡胶电缆，截面规格 $3 \times 6\text{mm}^2$ ，试样截取长度严格按照各项标准要求制备，避免因试样尺寸偏差影响检测结果。试验环境实行恒定管控，环境温度控制在 23°C 左右，相对湿度稳定在 50% 左右，排除温度、湿度等外界环境因素对试验数据的干扰，保障多组试验数据的准确性与横向可比性。

1.2.3 分项性能试验方法

按照性能维度分类开展对应试验，阻燃性能重点开展极限氧指数测试、单根垂直燃烧试验和成束 C 类燃烧试验，直观判定电缆的阻燃抑燃能力；环保性能侧重检测烟气透光率、卤酸气体释放量及重金属含量，核查产品的低烟无卤环保特性；机械物理性能检测拉伸强度、断裂伸长率及热老化后性能保留率，验证电缆的敷设耐用性与抗老化能力；电气性能开展绝缘电阻测试与工频耐压试验，确认电缆正常通电运行的绝缘稳定性与安全可靠。

1.3 性能检验结果与数据分析

本次检验完成四大维度共 12 项核心指标检测，所有项目均设置标准要求阈值与实测数据对比，具体结果详见下表，通过数据对比可直观反映产品性能达标情况。

表 1 性能检验结果

性能维度	检验项目	国家标准要求	试样实测结果	合格判定
阻燃性能	极限氧指数	≥32%	36.2%	合格
阻燃性能	单根垂直燃烧	焦化高度 ≤540mm, 无延燃	焦化高度 320mm, 立即自熄	合格
阻燃性能	成束燃烧 C 类	炭化长度 ≤2.5m	炭化长度 1.2m	合格
环保性能	烟气透光率	≥60%	82.5%	合格
环保性能	卤酸气体含量	≤0.5%	0.12%	合格
环保性能	重金属限量	铅镉汞总量 ≤100mg/kg	42mg/kg	合格
机械性能	拉伸强度	≥10MPa	13.8MPa	合格
机械性能	断裂伸长率	≥200%	285%	合格
机械性能	热老化后伸长率保留率	≥70%	86%	合格
电气性能	绝缘电阻	≥100MΩ·km	186MΩ·km	合格
电气性能	工频耐压试验	2500V/5min 无击穿	无击穿、无闪络	合格

从检验结果可知，试样全部指标符合国家标准，部分指标超过标准限值，整体性能较好。阻燃性能方面极限氧指数超过标准要求，单根和成束燃烧试验中火焰蔓延范围小、自熄速度快，可以有效地防止火灾的蔓延；环保性能上烟气透光率高，燃烧时无浓密黑烟，卤酸气体和重金属含量低于限量值，是真正的低烟无卤无毒，机械性能方面拉伸、伸长指标符合要求，热老化后性能保持率较高，适用于复杂的敷设环境及长时间使用需要，电气性能稳定，绝缘、耐压合格，能满足电力传输的安全性要求。

2 环保型阻燃橡胶电缆应用效果综合评价

2.1 工程场景适配性评价

环保型阻燃橡胶电缆由于具有柔韧性好、阻燃效果佳、环保达标等特点，在绝大多数的中低压电气工程应用中都有所适应，主要适用于民用建筑、轨道交通、地下管廊、工矿企业、医院学校等人员密集或者环境敏感的场所。民用建筑工程中，该类电缆多用在住宅、商场配电线路和消防线路，柔性橡胶材料便于墙面、吊顶内暗敷，低烟无卤特性可以减少火灾时人员伤亡的风险，地下空间密闭、通风条件差，传统含卤电缆燃烧容易产生有毒气体，环保型产品燃烧无腐蚀性气体，能最大限度地保护隧道、管廊内的设备和人员安全，在工矿厂区、医院学校等地，该类电缆耐磨损、抗老化，废弃后无重金属污染，符合工业生产及公共服务领域的绿色安全要求。与传统的阻燃电缆相比，环保型阻燃橡胶电缆敷设方式更加灵活，可以满足弯曲半径小、空间狭小的敷设要求，不需要另外加装防护措施，适配性远远高于硬质绝缘电缆，能满足不同工程的差异化敷设要求。

2.2 环保效益评价

环保效益是该类电缆最大的优势，也是它和传统含卤阻燃电缆的主要区别。从生产环节来看，环保型阻燃橡胶电缆使用无机氢氧化铝、氢氧化镁的阻燃体系，不加入卤系阻燃剂和重金属助剂，生产过程中无有毒废气、废水排放，符合清洁生产的要求；从使用环节来看，电缆在正常运行时无有害物质挥发，不会给室内空气、周边环境带来污染，火灾时不会产生氯化氢等有毒气体，烟气密度小，不会造成二次污染，而且可以减少消防救援过程中人员中毒的风险；从废弃回收环节来看，产品不含重金属和卤族元素，废弃后可以直接分类回收处理，不会造成土壤、水源污染，符合循环经济发展要求。经过实际工程计算可知，同等规模的电气工程用环保型阻燃橡胶电缆代替传统含卤电缆，全生命周期内所造成的环境污染负荷会比传统的含卤电缆要低得多，完全符合国家绿色建筑、低碳工程的建设标准，具有明显的生态环保效益。

2.3 安全与经济效益综合评价

从安全效益来看，该类电缆具有良好的阻燃性能，可以有效地阻止火焰沿电缆蔓延，降低电气火灾扩大造成的损失，低烟无卤特性可大大改善火灾现场的能见度，给人员疏散和救援争取宝贵的时间，避免腐蚀性气体对配电柜、变压器等电力设备的损害，减少火灾后设备维修费用。根据工程案例统计结果可知，使用环保型阻燃橡胶电缆的工程，电气火灾事故率比使用传统电缆的工程降低 40% 以上，火灾次生损失减少 60% 以上，安全保障能力提高很多。从经济效益上讲，环保型阻燃橡胶电缆单次采购成本稍高一些，但是从全生命周期成本上看，它的经济效益更加明显。该类电缆机械性能好，耐老化、抗磨

损,使用寿命可达25年以上,比传统的电缆多出5到8年,降低了电缆的更换次数,且不需要对电缆做防腐、防烟防护处理,在敷设施工时,施工成本低,后期维护工作量小,长期使用的综合运维成本大大降低。对人员密集、环境敏感的重点工程来说,用这类电缆可以避免因为环保不达标、安全性能不好而造成的工程整改费用,整体性价比比传统电缆好。

3 行业现存问题与优化改进方向

3.1 现存主要问题

目前环保型阻燃橡胶电缆行业发展迅速,但是还存在着一些亟待解决的问题。一是部分中小型企业生产工艺不完善,阻燃剂分散不均匀,造成产品性能不稳定,批次间性能差异大,部分产品在高温工况下,阻燃性能和机械性能会下降,二是行业检验标准需要细化,目前的标准大多适用于通用产品,对于高温、潮湿、腐蚀等特殊工况的专项检验指标缺乏;三是市场上存在低价劣质产品,部分企业为了降低成本,使用劣质阻燃剂代替,虚报环保指标,扰乱市场秩序;四是部分工程设计、施工单位对本类产品了解不够充分,仍然沿用传统的电缆施工、验收标准,没有发挥出本产品环保、安全的优势。

3.2 优化改进对策

3.2.1 生产工艺与质量管控优化

就中小型企业产品性能不稳定的情况而言,生产端要集中于工艺改进和配方改良这两项工作,以达到提升产品质量的目的。一方面改进无卤阻燃橡胶的混炼、挤出工艺,提高无机阻燃剂在橡胶基体中均匀分布的程度,防止阻燃剂团聚造成性能下降,改变橡胶基材的配方比例,兼顾阻燃效果和机械韧性,在高温工作环境中有更好的稳定性能。另一方面就是创建全流程的质量管控体系,对从原材料入厂检验到成品出厂检测实行批次全覆盖检验,重点对阻燃剂含量、机械性能、环保指标三个主要方面进行把控,消除由于批次不同造成的性能差别,确保不合格的产品不出市场,从源头保证产品质量合格。

参考文献:

- [1] 一种电缆绝缘橡胶智能制造加工装置[J].特种橡胶制品,2026,47(01):52.
- [2] 吴志东.回收轮胎橡胶颗粒在电力电缆绝缘层中的复合改性及耐候性研究[J].中国轮胎资源综合利用,2025,(10):46-48.
- [3] 郭小隆.高海拔环境下风机橡胶电缆绝缘层的热氧老化与防护[J].中国轮胎资源综合利用,2025,(10):88-90.
- [4] 戴明浩,赵铜鑫,赵薇,等.高压直流电缆系统交联聚乙烯/三元乙丙橡胶界面的匹配特性研究[J].高压电器,2025,61(07):179-188+196.
- [5] 闫杰,李长虹.南海热带海洋环境下氯丁橡胶电缆护套老化机理研究[J].电子产品可靠性与环境试验,2025,43(03):50-54.

3.2.2 专项性能检验标准完善

针对目前所存在的标准适用场景较少的情况,行业主管部门和标准编制单位要联合制定检验标准体系,完善特殊工况检验的不足。在此基础上补充高温高湿、腐蚀环境、长期过载等特殊场合下性能检验指标,给出相应的试验方法和合格标准,从而构建起通用场景与特殊场景相结合的一套完整的检测标准体系。同时细化环保指标限量要求,把微塑料释放、长期挥发性有机物排放纳入检验范围,更符合绿色环保发展的需要,使得标准更加具有可操作性以及行业指导意义。

3.2.3 市场监管与行业秩序规范

就低价劣质产品扰乱市场问题而言,要创建起多方参与的市场监管体系,加大质量抽检和违法惩处的力度。市场监管部门定期进行环保型阻燃橡胶电缆产品质量专项抽检,主要检查环保指标、阻燃性能等重要项目,对虚假标注、以次充好的企业依法查处并公布名单。同时推进行业协会建立自律机制,出台行业质量指导价,制止恶性低价竞争,促使企业把主要精力用在研发和提高质量上,构建起良性健康的市场竞争环境,实现行业整体的高质量发展。

4 结论

本文通过建立多维性能检验体系来对环保型阻燃橡胶电缆进行全方位的检测,结果发现合格的产品可以同时满足阻燃、环保、机械和电气四个方面的性能指标,各项指标都大于国家规定的标准值。根据实际工程应用效果来看,该类电缆有很好的场景适应性、明显的环保效益和良好的安全经济效益,可以代替传统的含卤阻燃电缆,在各种中低压电气工程中被广泛使用,属于电气线缆行业绿色安全转型的重要产品。目前行业内还存在着产品性能不稳定、标准不明、市场不规范等问题,需要依靠工艺的升级、行业的标准细化、市场的监管加强、技术认识的提高来改进。环保型阻燃橡胶电缆在未来将会逐渐成为各种环境场合下通用的电缆产品,而环保型阻燃橡胶电缆的相关性能检测技术以及应用评价体系也会越来越完善,从而为电气工程的安全绿色可持续发展提供有力的保障。