

复合结构电缆保护管冲击性能测试与增强技术研究

徐 敏 徐 荣

浙江远旺电力设备有限公司 浙江 丽水 323000

【摘要】复合结构电缆保护管在现代电力工程中具有重要应用价值，其冲击性能直接影响电缆线路的安全运行。本文针对复合结构电缆保护管的冲击性能开展系统研究，通过分析不同结构形式的抗冲击机理，建立了完整的性能测试评价体系，研究内容涵盖材料特性分析、结构设计优化、测试方法研究等多个方面，通过落锤冲击试验、摆锤冲击试验等多种测试手段，系统评估了不同结构保护管的冲击响应特性。研究结果表明，通过优化层间结构设计、改进增强材料分布、调整界面结合方式，可显著提升保护管的冲击性能，同时，开发了新型增强技术，包括纤维增强、结构增强和界面增强等方法，有效提高了保护管的抗冲击能力和能量吸收效率。本研究为复合结构电缆保护管的性能提升提供了理论依据和技术支持，对保障电力设施安全运行具有重要意义。

【关键词】 电缆保护管；复合结构；冲击性能；测试方法；增强技术；性能优化

DOI:10.12417/2705-0998.25.20.046

1 引言

随着城市电网建设水平的不断提升，电缆保护管作为电力线路的重要组成部分，其性能要求日益提高，复合结构电缆保护管因其优异的综合性能，在电力工程中得到广泛应用。在实际使用过程中，保护管需要承受各种外部冲击载荷，包括施工机械碰撞、石块撞击等意外情况，这些冲击载荷可能导致保护管损伤，进而影响电缆的安全运行，因此，开展复合结构电缆保护管冲击性能研究具有重要的工程价值。

复合结构电缆保护管通常由多种材料复合而成，各层材料通过特定的结构形式组合，形成协同作用，这种结构特点使其在抗冲击性能方面表现出独特优势，不同材料之间的相互作用、层间结合状态以及整体结构形式都会影响保护管的冲击响应特性。目前，对复合结构保护管冲击性能的研究还不够深入，特别是在冲击载荷下的能量吸收机制、损伤演化过程等方面仍需进一步探讨，建立科学的测试评价方法，深入研究冲击破坏机理，对提高产品性能具有重要意义。

当前复合结构电缆保护管的发展呈现出材料多元化、结构复杂化、功能集成化等趋势，新型复合材料的使用为产品性能提升提供了更多可能，但也带来了新的技术挑战。在冲击性能方面，需要平衡多种性能要求，包括足够的强度、良好的韧性、优异的抗冲击性等。这些性能指标之间可能存在矛盾，需要通过优化设计来实现最佳平衡，此外，随着应用环境的日益复杂，保护管需要适应更加苛刻的使用条件，这对产品的可靠性提出了更高要求。

本文的研究工作立足于解决实际工程问题，通过系统的实验研究和理论分析，深入探讨复合结构电缆保护管的冲击性能。研究将从材料特性分析入手，考察不同组分材料的力学性能及其对整体抗冲击性能的贡献，在结构设计方面，研究不同结构形式的抗冲击机理，探索最优的结构设计方案。在测试方法方面，建立完善的性能评价体系，为产品质量控制提供依据，

最终通过开发新型增强技术，显著提升保护管的冲击性能，为电力工程提供更可靠的产品支持。

2 材料特性与结构分析

复合结构电缆保护管的性能基础在于其材料特性，常用的基体材料包括聚氯乙烯、聚丙烯、聚乙烯等聚合物材料，这些材料具有不同的力学性能和冲击响应特性，增强材料通常采用玻璃纤维、碳纤维或金属网格等，这些材料的加入显著改善了基体材料的机械强度，各层材料通过共挤、缠绕或层压等工艺复合而成，形成完整的保护管结构，材料的选择和配比对最终产品的冲击性能具有决定性影响。

复合结构的界面特性对冲击性能至关重要，不同材料层之间的结合强度直接影响冲击能量的传递和分散效果，良好的界面结合可以使各层材料协同工作，充分发挥每种材料的性能优势。而当界面结合存在缺陷时，冲击载荷容易导致层间分离，显著降低结构的整体性能，通过界面改性技术，如表面处理、添加相容剂等方法，可以改善层间结合状态，提高结构的完整性，界面特性的优化是提升复合结构冲击性能的有效途径。

结构形式的设计同样影响保护管的抗冲击能力，常见的结构形式包括实心壁结构、空心壁结构和发泡结构等，实心壁结构具有较高的刚度，但在冲击载荷下容易发生脆性破坏。空心壁结构通过合理的空腔设计，可以在保持足够刚度的同时提高韧性，发泡结构则通过引入气泡来增加材料的能量吸收能力，不同结构形式在冲击载荷下的响应机制各不相同，需要根据具体使用要求选择最适合的结构设计方案。

3 冲击性能测试方法研究

冲击性能测试是评价保护管质量的重要手段，落锤冲击试验是常用的测试方法，通过一定质量的锤体从设定高度自由落下，冲击试样表面，记录试样的损伤情况，这种方法可以模拟实际使用中的冲击载荷，获得产品的冲击强度和韧性指标。测试时需要严格控制冲击能量、冲击位置等参数，确保测试结果

的可靠性和可比性，通过分析冲击后的试样形貌，可以了解材料的破坏机理和能量吸收特性。

摆锤冲击试验提供了另一种有效的测试手段，这种方法通过摆锤的摆动冲击试样，可以精确控制冲击速度和能量，与落锤试验相比，摆锤冲击试验更适合研究材料在高速冲击下的响应特性。测试过程中可以记录力-位移曲线，分析材料的动态力学性能，这些数据为了解材料在冲击载荷下的行为提供了重要信息，有助于优化产品设计和材料选择。

在实际应用研究中，还需要开展场景模拟试验，这种试验方法通过模拟真实使用环境中的冲击工况，如石块冲击、工具坠落等，评估保护管在实际使用中的性能表现，场景模拟试验可以揭示产品在复杂应力状态下的行为特征，为产品改进提供更全面的参考，同时，通过对比实验室测试和场景模拟试验的结果，可以验证测试方法的有效性，完善性能评价体系。

4 增强机理与技术研究

纤维增强是提高保护管冲击性能的有效方法，通过在基体材料中加入纤维材料，可以显著改善材料的力学性能，纤维增强机理主要在于纤维与基体之间的应力传递和能量吸收。当材料受到冲击时，纤维能够有效地阻止裂纹扩展，提高材料的破坏韧性，纤维的取向、长度和含量都会影响增强效果，需要通过系统优化来确定最佳参数，此外，纤维与基体的界面结合质量也直接影响增强效率，需要采取适当的表面处理措施。

结构增强通过优化保护管的几何形状来提高抗冲击能力，波纹管结构是一种常见的增强形式，其波纹设计可以增加结构的柔性，提高能量吸收能力，肋条加强结构则通过局部增加材料厚度来提升刚度。近年来，仿生结构设计也逐渐应用于保护管的增强设计中，如蜂窝结构、多层结构等，这些结构形式通过合理的应力分布设计，可以有效地分散冲击能量，减少局部应力集中，从而提高产品的整体抗冲击性能。

界面增强技术着重改善复合结构中各层材料之间的结合性能，通过物理或化学方法处理材料表面，可以提高层间结合强度；等离子处理、电晕处理等物理方法可以增加材料表面能，改善粘结性能；化学改性方法则通过引入特定的官能团，增强材料之间的化学键合，此外，添加适当的相容剂也可以促进不同材料之间的结合，界面增强技术的应用，使复合结构在冲击载荷下能够保持更好的完整性，充分发挥各层材料的性能优势。

5 制造工艺与质量控制

制造工艺对保护管的冲击性能具有重要影响，挤出成型是保护管生产的主要工艺，工艺参数的控制直接影响产品的质量。温度是关键的工艺参数，包括料筒温度、模头温度等，适当的温度设置可以保证材料充分塑化，同时避免热降解。螺杆转速和牵引速度的匹配也很重要，影响产品的尺寸稳定性和内

部结构，通过优化工艺参数，可以改善材料的微观结构，提高产品的力学性能。

层复合工艺是制造复合结构保护管的关键工序，共挤工艺可以实现多层材料的同时挤出，形成整体复合结构，这种工艺要求各层材料的流变特性相匹配，才能保证复合界面的质量。缠绕工艺则通过将增强材料缠绕在基管上形成复合结构，可以精确控制增强层的厚度和分布。层压工艺通过将预制好的层状材料复合而成，工艺灵活性较高，不同的复合工艺各有特点，需要根据产品要求选择合适的工艺路线。

质量控制是保证产品性能稳定的重要环节，原材料检验是质量控制的第一关，需要确保所有进场材料符合规格要求，在线检测系统可以实时监控生产过程，及时发现工艺偏差。成品检验则通过抽样测试验证产品性能，包括尺寸检查、外观检查和性能测试等。建立完善的质量管理体系，对生产过程进行全程监控，可以有效保证产品质量的稳定性，同时，通过质量数据的统计分析，可以不断优化工艺参数，提高产品质量水平。

6 性能优化与创新设计

保护管的性能优化需要综合考虑多方面因素，材料配方的优化是基础，通过调整各组分的比例和种类，可以改善材料的综合性能，增强材料的选用和分布设计对提高冲击性能尤为关键，合理的增强材料分布可以使结构在冲击载荷下更有效地吸收能量。同时，还需要考虑材料的耐久性，确保产品在长期使用过程中保持稳定的性能。

结构设计的创新为性能提升提供了新的可能，梯度结构设计通过在不同部位采用不同的材料或结构形式，实现性能的优化分布。功能一体化设计将保护管与其他功能部件集成，提高产品的综合性能。智能结构设计则通过引入感应元件，使保护管具备状态监测功能，这些创新设计不仅提高了产品的性能，也拓展了产品的应用范围。

界面工程的深入研究为性能优化提供了新的思路，通过设计特殊的界面结构，可以改善应力传递效率，提高材料的破坏韧性，纳米技术的应用为界面改性提供了新的手段，纳米粒子可以有效地改善界面性能。仿生学原理的运用也显示出良好前景，自然界中许多生物材料具有优异的界面结构，值得借鉴和学习，这些新技术的应用，将推动保护管性能的持续提升。

7 工程应用与效益分析

优化后的复合结构电缆保护管在实际工程中展现出良好的应用效果，在城市建设中，保护管能够有效抵御施工过程中的机械冲击，保证电缆线路的安全，在特殊环境如地震多发区，保护管的抗冲击性能尤为重要，可以减轻地震冲击对电缆系统的影响。工程应用情况表明，优化设计的保护管在使用过程中表现出更高的可靠性和更长的使用寿命。

经济效益分析显示，性能提升的保护管具有显著的成本优

势，虽然初始投资可能略有增加，但使用寿命的延长和维护成本的降低，使得整体成本效益得到改善，减少因保护管损坏导致的电缆故障，可以避免更大的经济损失。此外，生产效率的提高和材料利用率的改善，也有助于降低生产成本，综合来看，性能优化带来的经济效益十分明显。

社会效益体现在多个方面，高性能保护管的应用提高了电力系统的可靠性，保障了社会用电安全，产品的长寿命特性符合可持续发展要求，减少了资源消耗和环境污染。新技术的推广促进了行业技术进步，带动了相关产业的发展，这些社会效益进一步体现了本研究工作的价值。

8 结论与展望

通过系统研究，在复合结构电缆保护管的冲击性能测试与增强技术方面取得了重要进展，建立了完善的测试评价体系，为产品质量控制提供了科学依据。开发的多种增强技术有效提

高了保护管的抗冲击性能，优化设计的保护管在实际应用中表现出优异的性能，证明了研究成果的实用价值，本研究工作对提升电缆保护管的技术水平，保障电力设施安全运行具有重要意义。

未来研究将继续深入多个方向，新材料的研究将致力于开发性能更优异的复合材料，进一步提高产品的综合性能，新结构的研究将探索更有效的能量吸收机制，提升产品的抗冲击能力，智能制造技术的应用将提高生产过程的精确度和效率，这些研究方向将推动电缆保护管技术持续进步。

复合结构电缆保护管的技术发展是一个持续创新的过程，随着新材料、新工艺的不断涌现，产品性能将不断提升。通过产学研合作，加快新技术研发和推广应用，将促进行业技术水平不断提高，本研究为后续工作奠定了基础，指明了发展方向，相信在各方共同努力下，电缆保护管技术将不断发展，为电力建设做出更大贡献。

参考文献：

- [1] 史会轩,白张,李原,等.基于视觉识别的电缆保护管热收缩检测[J].科技通报,2022,38(11):33-36.
- [2] 张莹.直埋电缆或光缆穿墙保护管相关技术图集的解析与应用[J].标准科学,2022,(S1):176-181.
- [3] 张教练,吕华,夏衍,等.MPP 电缆保护管质量特性分析研究[J].电力设备管理,2021,(09):226-228.
- [4] 朱梦伟,王学明,张媛,等.地埋电缆保护管受力分析及设计要点[J].电力勘测设计,2020,(03):43-48.