

高效节能系列电力金具的研制与应用

芦明明

中国电建集团河南电力器材有限公司 河南 漯河 462000

摘要：为解决传统电力金具能耗高、耐蚀性差、力学性能不足等问题，适配电网节能与稳定运行需求，本文开展高效节能系列电力金具研制与应用研究。通过优化材料选型、结构设计及制备工艺，经系统测试验证，产品能耗较传统金具降低15%-20%，各项性能符合相关标准。工程应用表明，产品节能效果显著，可降低运维成本，兼具多重效益，适配多场景输电线路，为电力行业绿色转型提供技术支撑。

关键词：高效节能系列；电力金具；研制；应用

引言：电力金具作为输电线路核心附件，承担机械连接、导流等关键功能，其性能直接影响电网安全与电能利用效率。当前传统金具存在磁滞涡流损耗大、易锈蚀、强度不足等缺陷，难以满足“双碳”目标下智能电网节能、高效、可靠的发展需求。基于此，本文聚焦高效节能金具研制，结合行业标准与工程实际，突破关键技术，推动金具产品升级，助力输电线路节能降耗。

1 高效节能电力金具的相关理论与技术基础

1.1 电力金具的基本原理与分类

(1) 核心功能包括机械连接、固定、保护、导流，工作机理是衔接电力线路各部件，传递机械负荷与电气负荷，保障线路安全稳定运行，兼具力学支撑与导电导通作用。(2) 常见分类及适用场景：连接金具用于绝缘子串与杆塔、金具间连接；接续金具用于导线接续，承担拉力与导电功能；耐张线夹固定导线终端，承受导线全张力；悬垂线夹固定直线杆塔导线，允许导线适度摆动，适配不同输电线路工况。(3) 高效节能电力金具指兼具常规功能与低能耗特性的金具，核心评价指标为能耗值、节能率等，设计原则遵循节能优先、力学达标、适配性强、经济合理。

1.2 节能电力金具的关键技术原理

(1) 电能损耗主要源于磁滞损耗和涡流损耗，铁磁性材料在交变磁场中反复磁化产生磁滞损耗，交变磁场感应产生涡流形成涡流损耗，材料磁性、结构及电流强度是主要影响因素。(2) 节能优化核心技术：采用无磁材料减少磁滞与涡流损耗；优化结构降低振动损耗；改善接触界面，降低接触电阻以减少导通损耗。(3) 耐蚀技术延长金具使用寿命，避免腐蚀导致损耗增加；轻量化技术减轻线路负荷，二者与节能性能协同，实现长效节能与稳定运行。

1.3 相关行业标准与技术规范

(1) 国内核心标准为DL/T1288-2013，明确电力金具能耗测试方法、节能评价要求及机械、电气性能指标，规范节能金具研发与应用。(2) 国际标准侧重全生命周期节能与环保，与国内标准在测试方法、指标阈值上存在差异，欧美日标准更注重精细化与严苛性。(3) 本研究研制产品以DL/T1288-2013为核心依据，参考国际先进标准，确保产品能耗、力学、耐蚀等性能达标，兼顾节能性与合规性。

2 高效节能系列电力金具的研制

2.1 研制目标与性能指标确定

(1) 研制目标：聚焦电力金具节能降耗核心需求，兼顾机械可靠性与耐久性，实现节能效率显著提升，确保机械强度满足输电线路负荷要求，强化耐蚀性能以适配复杂户外环境，延长使用寿命、降低运维成本，最终研发出适配工程实际、性价比高的高效节能系列电力金具。(2) 核心性能指标量化：能耗较传统金具降低15%-20%；抗拉强度不低于320MPa，破坏载荷符合DL/T1288-2013标准要求，悬垂线夹破坏载荷 $\geq 120\text{kN}$ 、耐张线夹 $\geq 300\text{kN}$ ；耐蚀等级达到C4级及以上，使用寿命不低于30年；接触电阻降低25%以上^[1]。(3) 指标可行性分析：现有无磁材料、精密成型技术可支撑节能与力学指标实现；通过批量采购新型材料、优化工艺流程，可将成本控制在合理范围；指标设定贴合高压输电线路工程应用需求，兼顾节能性与实用性，无技术瓶颈。

2.2 材料选型与优化

(1) 传统金具材料性能缺陷：铁制金具磁滞、涡流损耗大，节能性差且易锈蚀；铝制金具机械强度不足，长期受力易变形，接触电阻不稳定，难以兼顾节能与可靠性。(2) 新型节能材料选型：选用高强铝合金作为主体材料，兼顾轻量化与力学性能；关键部位采用无磁钢，减少电能损耗；接触面采用碳纳米管增强复合

材料,降低接触电阻、提升耐蚀性,实现材料节能与性能优化的双重目标。(3)材料性能测试与优化:通过拉伸、腐蚀、导电测试,验证材料力学、耐蚀、节能性能;针对测试中出现的强度不足、损耗偏高问题,调整材料配比,优化材料加工工艺,确保材料性能满足研制指标。

2.3 结构设计与优化

(1)典型节能金具结构设计方案:悬垂线夹采用弧形轻量化结构,减少材料用量并降低风阻;耐张线夹采用分体式接触结构,增大导电接触面积,提升导通稳定性。(2)基于节能原理的结构优化:优化金具结构布局,减少磁回路形成,降低磁滞、涡流损耗;改进接触界面设计,采用防滑耐磨结构,降低接触电阻;采用镂空轻量化设计,减轻自重并减少线路负荷。(3)数值模拟验证:通过有限元分析,模拟金具磁通密度、涡流分布及应力分布,识别损耗偏高、应力集中的薄弱部位,针对性调整结构参数,优化结构设计,确保金具节能与力学性能达标^[2]。

2.4 研制工艺与流程优化

(1)核心研制工艺选择:主体采用挤压成型工艺,保证材料致密性与力学性能;关键部件采用精密铸造工艺,提升结构精度;表面采用环保型防腐处理工艺,替代传统热镀锌。(2)工艺参数优化及稳定性控制:优化挤压温度、铸造压力、处理时间等参数,减少工艺缺陷;建立工艺质量管控体系,定期检测工艺参数,确保工艺稳定性,提升产品合格率。(3)规模化生产流程设计与环保性改进:设计“材料预处理—成型—加工—检测—包装”一体化规模化生产流程,提升生产效率;采用环保防腐工艺,避免热镀锌产生的废气、废水污染,实现绿色生产。

3 高效节能系列电力金具的性能测试与验证

3.1 测试方案设计与测试设备准备

(1)测试依据及测试内容确定:以DL/T1288-2013行业标准及本研究研制目标为核心依据,结合国际相关标准补充要求,确定测试内容涵盖节能、力学、环境适应性、电气四大核心性能,全面验证产品各项指标是否达标,确保测试结果具有权威性和实用性。(2)测试设备选型与调试:能耗测试选用高精度电能损耗测试仪,精准测量金具运行能耗;力学性能测试选用电子万能试验机、疲劳试验机,满足抗拉、破坏载荷等测试需求;耐蚀性能测试选用盐雾试验箱,模拟户外腐蚀环境;所有设备提前调试校准,消除测量误差,保障测试数据精准可靠^[3]。(3)测试样品制备与分组:选取悬垂线夹、耐

张线夹等不同型号产品作为测试样品,每组制备3-5个平行样品,涵盖不同成型工艺、材料配比的样品,分别标记分组,确保测试结果的代表性和重复性,避免单一样品偏差影响结论。

3.2 各项性能指标测试

(1)节能性能测试:在额定工况下,测量样品能耗值及节能效率,与传统铁制、铝制金具进行对照测试,记录不同工况下的损耗差异,验证节能性能是否达到“较传统金具降低15%-20%”的研制目标。(2)力学性能测试:通过电子万能试验机测试样品抗拉强度、破坏载荷及握力,采用疲劳试验机模拟线路长期受力工况,测试样品疲劳寿命,重点验证悬垂线夹、耐张线夹的力学承载能力,确保符合行业标准及工程应用需求。(3)环境适应性测试:采用盐雾试验箱进行中性盐雾测试,评估样品耐蚀等级;通过高低温试验箱模拟极端气候,测试样品在-40℃~80℃环境下的性能稳定性;采用振动试验机测试样品抗振动性能,适配户外复杂运行环境。(4)电气性能测试:使用接触电阻测试仪测量样品接触电阻,验证是否达到“降低25%以上”的指标;采用电晕测试装置,测量电晕起始电压,确保金具运行过程中无明显电晕损耗,保障电气运行稳定性^[4]。

3.3 测试结果分析与优化调整

(1)测试结果对比分析:将各项测试数据与研制目标、DL/T1288-2013行业标准进行逐一对比,明确合格项与不达标项,分析节能、力学等性能的达标程度,总结产品研制亮点与不足。(2)存在的问题及原因分析:针对部分样品耐蚀等级未达C4级、局部接触电阻偏高的问题,溯源分析可知,主要是材料配比不合理、表面防腐工艺参数偏差及接触界面加工精度不足导致。(3)产品优化调整方案及二次验证:针对性制定改进方案,调整新型材料配比、优化表面防腐工艺参数,提升接触界面加工精度;对优化后的样品进行二次性能测试,验证改进效果,确保所有性能指标均达到研制目标及行业标准,为产品规模化应用提供保障。

4 高效节能系列电力金具的工程应用与效益分析

4.1 工程应用场景选择与应用方案设计

(1)应用场景筛选:结合产品节能、耐蚀、高强度特性,筛选三类核心应用场景,包括110kV-500kV高压/超高压输电线路(重点适配能耗敏感路段)、城乡配电网(兼顾节能与运维便捷性)、复杂气候区域(高温高湿、盐碱腐蚀、强风区域,凸显耐候优势),确保场景覆盖全面且贴合产品核心优势。(2)应用方案设计:产品选型对应场景需求,高压线路选用耐张线夹、

悬垂线夹系列,配电网选用轻量化接续金具;制定标准化安装工艺,明确安装精度要求,避免接触不良导致损耗增加;规范“现场定位—金具安装—接口紧固—初步检测”施工流程,确保安装质量可控。(3)应用前期准备:开展现场勘察,排查线路工况、环境腐蚀等级及现有金具隐患,适配产品安装;对施工人员进行专项培训,讲解产品结构、安装要点及节能原理;提前调试安装工具与检测设备,确保施工与后续检测工作顺畅推进。

4.2 工程应用实例与效果跟踪

(1)具体工程应用概况:选取某地区220kV高压输电线路改造工程、某县城配电网升级工程作为应用实例;其中高压线路全长86km,应用耐张线夹320套、悬垂线夹480套,配电网应用接续金具1200套,均选用本研究研制的高效节能型号。(2)应用过程跟踪:安排专人全程跟踪安装过程,严控安装精度,安装合格率达100%;运行期间定期巡检,重点监测金具运行状态、接口紧固情况,运维频次较传统金具降低30%,未出现松动、腐蚀等异常问题,运行稳定性良好。(3)现场应用效果验证:经6个月现场监测,高压线路金具实际节能效率达18.6%,配电网达16.2%,均超额达成研制目标;产品在高温高湿路段运行无腐蚀,强风天气无异常摆动,运行可靠性、耐候性均优于传统金具,适配现场工况需求。

4.3 应用效益综合分析

(1)经济效益:按应用实例测算,高压线路年节约节能电费约28.3万元,配电网年节约19.7万元;运维成本年降低30%,年节约运维费用12.5万元;产品总投资86万元,经计算投资回收期约2.1年,长期经济效益显著,符合工程经济性要求。(2)社会效益:每年可减少电能损耗约126万度,等效减少二氧化碳排放1048吨、二氧化硫排放3.2吨,有效推动节能减排;替代传统高污染热镀锌金具,降低环境污染;提升电网运行稳定性,减少线路故障停机次数,保障电力安全供应。(3)行业效益:推动电力金具产业从“传统耗能型”向“高效节能型”转型,带动新型节能材料、精密成型工艺的推广应用;适配智能电网节能、高效、可靠的建设需求,为智能电网输电线路升级提供核心配件支撑,助力电力行业绿色

转型。

4.4 应用前景展望与推广建议

(1)应用前景分析:随着“双碳”目标推进及智能电网建设提速,高压输电线路改造、配电网升级需求激增,高效节能电力金具市场需求逐年扩大;加之复杂气候区域电网运维要求提升,产品适配场景持续拓展,应用前景广阔。(2)推广潜在问题:初期新型材料采购成本较高,产品售价略高于传统金具;部分电力施工单位对产品节能优势认知不足,偏好传统成熟产品;现有部分老旧标准未完全适配新型节能金具,一定程度制约推广进度^[5]。(3)针对性推广建议:开展技术宣讲、现场观摩活动,展示工程应用实例与节能效果,提升行业认知;争取电力行业节能补贴、绿色采购政策支持,降低推广成本;优化规模化生产工艺,降低产品制造成本;推动行业标准更新完善,适配新型节能金具技术要求,全面加快产品推广应用。

结束语

本文完成了高效节能系列电力金具的研制、测试与工程应用全流程研究,通过材料、结构与工艺的协同优化,成功研发出适配工程实际的节能金具,各项性能指标均达成预设目标,工程应用成效显著。该研究有效解决了传统金具的核心缺陷,推动了金具产业节能转型。后续将针对推广中的相关问题优化改进,持续完善产品性能,扩大应用范围,为电力行业节能减排提供更有力的支撑。

参考文献

- [1]张墨.节能金具在油田高压输电线路上的应用[J].石油石化节能与计量,2023,13(10):22-25.
- [2]赵旭阳.外部铁磁物质对电力金具能耗测量的影响[J].浙江电力,2022,41(7):70-77.
- [3]王晓辉,李新梅.特高压输电线路电力金具磨损研究现状[J].热加工工艺,2020,49(16):11-14.
- [4]甘永泽.探讨线路电力金具节能降耗现状与对策[J].电力系统及自动化,2021,(5):82-85.
- [5]胡海明.高压电力金具的节能与环保技术[J].电力系统及自动化,2024,(5):66-69.