电力技术

材料创新在特高压金具性能提升中的应用

陈国华
湖州泰仑电力器材有限公司　浙江湖州　313000

【摘　要】依据《加快电力装备绿色低碳创新发展行动计划》相关部署，特高压输电技术正在向着轻量化、长效化、绿色化的方向稳步发展，传统材质制作的输电金具设备存在明显使用短板，已然不符合当前复杂的电网运行环境。面对我国幅员辽阔的地理特征，特高压金具需要应提升对大风区、低温区、重冰区、舞动区及高海拔地区等复杂地理气候环境的能力，具备耐磨、耐低温、防舞动特性。特高压金具采用新结构、新材料及新工艺，并经过生产工艺的不断调整与优化，能够直接改善特高压金具的各项性能，也能够推动整个行业标准体系的完善与统一。文章先分析工艺升级对特高压金具电气性能的具体影响，同时梳理现阶段特高压金具行业标准化建设存在的各类问题，结合行业发展现状提出对应的策略，旨在为特高压金具工艺优化、行业标准规范化发展提供基础参考，推动特高压输电行业高质量稳定发展。

【关键词】特高压金具；工艺升级；电气性能；标准化建设

Application of Material Innovation in Enhancing UHV Electrical Components Performance

Chen Guohua
Huzhou Tailun Electric Equipment Co., Ltd., Huzhou, Zhejiang　313000

【Abstract】In line with the provisions of the "Action Plan for Accelerating Green and Low-Carbon Innovation in Power Equipment Development," ultra-high voltage (UHV) transmission technology is steadily advancing towards lightweight, long-lasting, and environmentally friendly designs. Traditional UHV electrical components made from conventional materials exhibit significant limitations that no longer meet the demands of modern complex power grid environments. Given China's vast geographical diversity, UHV components must demonstrate enhanced performance in challenging climatic conditions—including strong winds, low temperatures, heavy ice accumulation, vibration exposure, and high-altitude areas—while possessing wear resistance, cold tolerance, and anti-vibration properties. By adopting innovative structures, materials, and manufacturing processes coupled with continuous process optimization, UHV components can significantly improve their performance characteristics and contribute to the standardization of industry benchmarks. This paper first examines how process upgrades impact electrical performance, identifies current challenges in industry standardization, and proposes targeted strategies to guide process refinement and standardized development, ultimately fostering sustainable growth in the UHV power transmission sector.

Keywords：Ultra-high voltage hardware; Process improvement; Electrical performance; Standardization development

国家能源局发布的《新型电力系统发展蓝皮书》明确提出，新型电力系统是以确保能源电力安全为基本前提，以坚强、智慧、柔性电网为枢纽平台，以技术创新和体制机制创新为基础保障，要不断完善以特高压为骨干网架、各级电网协调发展的现代化电力体系，全面提升电网资源配置能力与安全运行水平。同时要求加快特高压输变电装备升级换代，提升输变电装备消纳保障能力。以往工程中使用的传统纯铝材质金具，自身存在重量大、耐腐性差、后期维护频繁等问题，长期运行后容易出现各类电气故障和结构故障，无法满足特高压电网长效、稳定、低损耗的运行需求。特高压金具不存在陶瓷材质类型，其核心电气性能分为导电性能、防电晕及无线电干扰性能两类，导电性能主要依托增大电气接触面积实现，广泛应用于耐张线夹、接续管类金具；防电晕及无线电干扰性能主要依靠优化金具表面圆弧角度实现，目前已经大面积应用于特高压金具、绝缘配件、支撑构件等核心设备的生产当中。纯铝材质的最终使用效果，和生产工艺的

把控水平有直接联系。生产过程中的缠绕方式、铺层结构、表面处理、原料配比、固化处理等工艺环节，都会改变金具内部结构状态，直接影响设备的导电稳定性、表面电场优化效果。

1 工艺升级对特高压金具电气性能的影响

1.1 接触面积优化工艺提升金具整体导电性能

导电类金具的核心成型优化方向为增大电气接触面积，整套工艺的把控质量，直接决定设备导电能力是否稳定，是影响金具电气安全的核心环节。接触面积大小、表面贴合度、材质纯度三类工艺内容，都会从不同维度改变金具的结构状态和导电效果。接触面积的合理调整，可以让金具的结构强度和导电性能实现平衡适配。传统生产方式多单一侧重结构强度，忽略高压工况下的导电适配性，容易造成金具机械性能达标，但长期高压运行下导电稳定性不足的问题。通过工艺升级合理调整接触面积大小，可以兼顾金具结构稳固与导电性能适配，规避导电隐患。规范简化贴合面处理工艺，从而减少内部接触缺陷，避免出现高压下导电发热失效的情况。同时优化纯铝材质纯度，进一步提升设备载流能力，保障金具导电安全。

1.2 表面处理工艺升级优化金具表面圆弧角度，均匀设备电场分布

特高压金具的表面状态，直接影响设备表面的电场分布情况，表面圆弧角度不足、尖角结构，是引发局部放电、无线电干扰的重要原因。表面圆弧结构作为金具的关键防护结构，其圆弧平滑度、结构均匀度，完全依靠表面处理工艺的精细程度。传统表面处理工艺操作粗放，打磨、成型、修整环节没有统一规范，很容易让金具表面出现尖角、凸起、圆弧过渡不流畅的问题。在特高压强电场环境中，尖锐表面结构会造成电场局部聚集，长期积累后出现局部放电现象，慢慢损耗金具表层结构，缩短设备整体使用寿命。工艺升级可以把表面处理流程规范化，统一整套操作标准，彻底改善金具表面的粗糙状态。新型精细化表面处理方式，能够精准优化金具表面圆弧角度，消除尖角结构，让表层电场分布保持稳定。同时借助成熟的检测工艺，准确地把控表面成型效果，彻底消除局部结构差异带来的电场集中问题。通过工艺优化，把金具表面电场分布调整至均匀状态，进一步减少各类表层电气故障，保障金具在长期高压运行中保持稳定状态。

1.3 纯铝材质纯度调控工艺优化设备导电稳定性

特高压直流输电的封闭运行环境中，金具导电性能不稳定、接触电阻过大，容易造成设备局部发热，加快设备老化速度，埋下长期运行隐患。通过工艺升级调整纯铝材质纯度与接触贴合度，可以从材料源头改善这一问题。传统生产工艺对材料纯度、接触贴合度的把控较为粗放，材质导电适配性不足，无法适配直流高压环境的运行特点，接触发热、导电损耗偏大问题频繁出现。工艺升级后，生产环节会对基础材料进行提纯处理，合理优化接触部位加工精度，让纯铝金具的导电性能达到适配特高压工况的稳定状态。稳定可控的材料纯度与接触面积，能够让设备内部的载流损耗保持在较低水平，不会出现长期局部发热的情况。这一工艺优化，可以在一定程度上缓解金具热老化速度，减少高压环境下的内部电气损耗，大幅提升特高压金具在密闭输电场景中的运行稳定性，延长设备整体服役年限。

2 特高压金具标准化建设的现状与挑战

2.1 缺少完整的工艺与性能对应标准

当前国内绝大多数金具生产企业，工艺设计和生产调整依旧依靠老员工的生产经验，没有形成统一、规范的行业标准。整个行业缺少工艺参数、内部结构、导电性能、防电晕性能三者对应的完整规范，工艺调整全凭企业自主把控，没有统一依据。不同企业的生产思路、工艺习惯、选材标准各不相同，最终生产出的特高压金具在导电能力、电场适配性、抗老化能力上存在明显差距。行业没有统一的验收规范，无法判定各类工艺方案的优劣，也不能统一把控产品质量。同时新型仿真预判技术没有纳入行业标准，无法提前评估工艺调整带来的性能变化，阻碍了精细化、规范化生产的推进。

2.2 行业检测与性能评估标准不够统一

目前特高压金具的检测评估体系相对落后，传统检测方式操作繁琐、效率偏低，已经跟不上工艺升级后的产品检测需求。以往的检测手段无法准确地识别金具内部细微缺陷和表层圆弧结构问题，难以全面判定产品的电气性能状态。行业内部没有统一的检测流程和评估标准，传统目视检测、简单接触检测的方式误差较大，准确的现代化检测技术没有全面普及，也没有写入行业规范。针对纯铝材质内部缺陷、电气损耗隐患、长期热老化趋势的评估方法不够完善，无法准确地判定产品的长期运行稳定性，难以保障市场流通产品的质量统一性。

2.3 国产化发展面临外部标准壁垒

国内高端金具生产材料和核心工艺，长期受到国外技术和标准的限制。国外企业依靠成熟的专利技术和严苛的行业标准，筑起市场壁垒，限制了国内国产化工艺的推广和普及，大幅制约了国内特高压金具产业的自主发展。国内现行的行

业标准大多借鉴国际通用规则，没有结合国内的纯铝原材料特点、生产工艺水平、工程实际情况进行优化调整，导致国产金具产品很难对标国际标准，无法实现批量进口替代。自主标准体系的缺失，让国产新工艺、新材料难以获得行业认可，拉长了产品研发、检测、落地的周期，不断抬高特高压工程的建设成本。

3 基于工艺升级的特高压金具标准化建设发展对策

3.1 构建数字化工艺标准体系

行业需要建立完整的数字化工艺标准体系，彻底摆脱依靠经验生产的传统模式。行业主管部门和相关企业可以共同整理各类核心生产工艺，统一接触面积优化、表面圆弧加工、纯铝选材、改性、固化等所有生产环节的操作规范，建立公开统一的工艺资源数据库。把各类工艺操作对应的产品性能变化整理归档，明确工艺调整和导电性能、防电晕性能变化的对应关系，填补行业标准的内容空白。同时统一全行业仿真建模的操作规范，明确建模要求、计算标准和判定依据，让所有企业的工艺设计都能拥有统一的参考。要把数字化评估技术正式纳入行业标准体系，让特高压金具的设计、生产、检测全部实现标准化、数字化管控。行业可以全面推行仿真模拟结合实体试验的双重验证模式，先用数字化模拟方式排查工艺缺陷，减少实体试验的资源浪费，加快新型工艺的落地普及。用统一的数字化标准约束所有生产企业，彻底淘汰粗放的生产模式，全面提升国内特高压金具的生产精度和产品稳定性。

3.2 强化全生命周期性能评估标准建设

行业需要改变只检查出厂产品的传统评价方式，建立覆盖产品全部使用阶段的性能评估标准。特高压线路运行环境复杂多变，需要统一金具的抗腐蚀、抗老化、耐高压和适应极端天气的基础要求，明确不同工作环境下的产品合格条件。针对不同材料、不同工艺生产的金具，制定对应的检查规则，不仅要查看产品短期导电、防电晕表现，还要把长期运行状态纳入到考核范围中，让行业标准更加贴合实际工程使用情况。行业可以建立全国统一的金具运行监测平台，不断收集各地输电线路的运行数据，依据真实使用情况不断完善评估标准。工作中需要重点完善接触电阻偏大、局部放电、热老化等常见隐性问题的检查方式，梳理各类缺陷的发展过程，设定对应的预警条件。通过全生命周期标准的约束作用，能够督促生产企业不断调整生产工艺和材料搭配，把质量管控落实到产品设计、生产、运行、维护的每个环节，进而保障特高压金具在长期使用过程中保持稳定运行状态。

3.3 推动绿色高效标准的国际化建设

国内要依托大规模特高压工程的建设经验，主动参与国际电力行业的标准制定工作。把国内成熟的轻量化生产工艺、纯铝国产化材料应用技术、精细化圆弧加工工艺，逐步融入国际标准体系当中。结合国内产业的真实发展水平，在参考国际通用规则的基础上，完善国内团体标准和行业标准，建立完全自主可控的特高压金具标准体系，打破国外长期设置的标准壁垒和专利限制。行业需要不断加强国际技术交流与合作，主动推广国内成熟、稳定、环保的金具生产标准和技术方案，逐步提升国内电力装备行业的国际话语权。贴合全球能源绿色转型的发展趋势，不断优化国内特高压金具的生产标准，让国内标准适配国际工程的使用需求。通过标准输出和技术输出，带动国内特高压设备产业走出国门，为全球电力系统稳定发展提供有效的中国方案。

结语

总之，特高压输电是国内能源调配和电力保障的核心基础设施，特高压金具的导电性能、防电晕性能稳定，是整个电网安全运行的基础保障。今后电力行业需要不断深耕工艺与性能的关联研究，不断建立完善数字化工艺标准体系，健全全生命周期质量评估机制，稳步推动国内标准国际化发展。通过标准体系的全面完善，彻底释放工艺升级的技术优势，打破外部技术垄断，推动国内特高压金具产业自主化、规范化、高端化发展，不断为国内新型电力系统建设和国家能源安全稳定作出贡献。

参考文献

[1]朱祝兵,张令心,程永锋,卢智成,孟宪政,钟珉,刘振林.特高压高压并联电抗器回路抗震性能优化研究[J].建筑结构,2018,48(15).
[2]李凤和.1000kV 交流特高压输电线路配套金具的研发[J].中国金属通报,2019(07).
[3]常中蛟,左峰,陈沛光,时雨,于会萍,谌骏哲,左石,王若菡,周哲,马辉.导线预绞式接续条在巴西特高压工程的应用研究[J].东北电力大学学报,2019,39(06).