

# 高压线路金具节能降耗优化设计效果分析

李锦平

中国电建集团成都电力金具有限公司 四川 成都 610000

**【摘要】**：在“双碳”目标引领下，电网节能降耗成为电力行业发展的核心诉求之一。高压线路金具作为输配电系统的关键承载部件，其能耗水平直接影响电网运行效率。本文立足电建制造企业视角，针对传统高压线路金具存在的磁滞损耗、涡流损耗及电阻损耗等问题，从材料选型、结构优化、工艺改进三个维度提出节能降耗优化设计方案。优化设计后的节能型金具可显著降低电能损耗，提升金具使用寿命，降低运维成本，具有良好的经济与社会效益。本文研究成果为电建制造企业的金具产品升级提供技术支持，助力电网绿色低碳发展。

**【关键词】**：高压线路金具；节能降耗；优化设计；电建制造

DOI:10.12417/3083-5526.25.05.012

## 1 前言

在“双碳”目标引领下，电网节能降耗成为电力行业高质量发展的核心诉求之一，也是电建制造企业转型升级的重要方向。高压线路金具作为输配电系统中不可或缺的关键承载与连接部件，广泛应用于导线固定、接续、防护等环节，其用量大、分布广、运行周期长，长期运行中的能耗累积效应不可忽视，直接影响电网整体运行效率与节能目标的实现。随着特高压、智能电网建设的加速推进，对高压线路金具的节能性、可靠性提出了更高要求，传统高能耗金具已难以适配电网绿色低碳发展需求，金具节能降耗优化设计成为电建制造企业的核心研发课题。

作为电网核心装备的制造主体，电建制造企业肩负着产品技术创新与节能升级的重要使命。中国电建集团成都电力金具有限公司作为四川省高新技术企业，长期深耕高压线路金具研发、制造与销售，拥有先进的生产流水线、完善的研发检测平台，参与了多条国家级特高压线路、百余条配网工程的金具供应与技术服务，积累了丰富的节能金具研发、生产与工程应用经验。本文基于该企业的生产实践与工程案例，系统探讨高压线路金具的节能降耗优化设计路径，详细分析优化后金具在电网工程中的应用效果，为行业内同类电建制造企业的产品升级、技术创新，以及电网工程的节能改造提供切实可行的参考与借鉴。

## 2 高压线路金具主要能耗成因

### 2.1 磁滞与涡流损耗

传统高压线路中的耐张线夹、悬垂线夹、防振锤、间隔棒等核心金具，大多采用铸铁、普通碳钢等铁磁材料制造，这类材料的相对磁导率较高，当导线中通过交变电流时，会在金具周围产生交变磁场，铁磁材料会形成闭合磁回路，进而引发两类主要能耗。一方面，铁磁物质在交变磁场的反复磁化过程中，磁畴会随之反复转向、摩擦，产生分子热运动，进而转化为热能散失，形成磁滞损耗；另一方面，依据电磁感应定律，交变

磁场会在金具内部感应产生闭合的感应电流，即涡流，涡流在铁磁材料自身电阻的作用下会产生有功损耗，也就是涡流损耗。结合中国电建集团成都电力金具有限公司的实测数据，当线路运行电流达到300A时，传统铁质悬垂线夹的单位时间能耗，是铝合金悬垂线夹的22.9倍，其中磁滞损耗占比约45%、涡流损耗占比约55%，二者合计成为传统铁磁金具的主要能耗来源，也是金具节能优化需要重点解决的问题。

### 2.2 电阻损耗

电阻损耗主要集中在并沟线夹、接续管、跳线线夹等电气接续类金具上，这类金具的核心功能是实现导线的电气连接，其接触电阻的大小直接决定了电阻损耗的程度。在实际生产运维中，结合电建制造企业的实践经验，电阻损耗的产生主要有三个原因：一是金具连接部位受外界大气环境、污秽物附着、金属氧化腐蚀等影响，表面形成氧化层，导致接触电阻增大；二是安装过程中，若螺栓紧固力度不足、接触表面不平整，会导致金具与导线接触不紧密，形成接触间隙，进而增大接触电阻；三是传统金具多采用热镀锌表面防护工艺，若生产过程中镀层厚度不均、出现漏镀、镀层脱落等问题，会导致金具表面电阻增大，加剧电阻损耗。电阻损耗不仅会造成电能浪费，在线路重载、短路等特殊工况下，还会导致金具温度急剧升高，可能引发导线烧伤、金具机械强度下降，甚至造成金具损坏，严重影响高压线路的安全稳定运行。

### 2.3 电晕损耗

电晕损耗主要发生在330kV及以上的超高压、特高压输电线路中，其产生的核心原因是金具表面的电位梯度超过空气击穿临界值，导致空气电离，形成电晕放电现象。电晕放电过程中，会伴随电能损耗、无线电干扰、噪声污染等问题，尤其在海拔高、潮湿、多雾等恶劣环境下，空气绝缘强度下降，电晕放电现象会更加严重，电晕损耗也会显著增加。结合电建制造企业的产品设计经验，传统金具在结构设计中，往往更注重机械承载性能，对金具表面平整度、尖端圆角处理等细节重视不足，部分金具的连接部位、边缘部位存在尖锐棱角，这些部位

的电位梯度极易超标，成为电晕放电的主要发源地。此外，金具表面的污秽物附着，也会降低金具表面的绝缘性能，进一步加剧电晕损耗，长期运行下来，累计能耗十分可观。

## 2.4 运维相关能耗

传统高压线路金具不仅自身能耗较高，其重量大、耐腐蚀性差的特点，还会带来一系列运维相关的附加能耗。一方面，传统铁磁金具重量较大，在运输过程中，需要消耗更多的燃油、电力等能源，增加运输成本与能耗；在现场安装过程中，由于重量大，需要投入更多的人力、机械设备，也会增加安装过程中的能耗。另一方面，传统金具的耐腐蚀性较差，在户外恶劣环境下长期运行，易发生氧化、锈蚀，导致使用寿命较短，通常传统铁质金具的使用寿命仅为15年左右，远低于线路导线的使用寿命，这就需要频繁更换金具，更换过程中不仅需要停电作业，造成停电损失，还需要投入大量的人力、物力、财力，进一步放大了能源浪费与经济成本。对于电建制造企业而言，频繁的金具更换的需求，也会增加产品的重复生产，间接增加了生产环节的能耗。

## 3 节能优化措施

结合高压线路金具的能耗成因，以及中国电建集团成都电力金具有限公司多年的生产技术积累、工程实践经验，确定从材料选型、结构优化、工艺改进三个核心维度，开展金具节能降耗优化设计工作。优化设计过程中，始终坚持“节能优先、兼顾性能、经济可行、便于量产”的原则，既要有效降低金具能耗，也要保证金具的机械承载性能、电气性能满足高压线路运行要求，同时控制优化后金具的研发、制造成本，确保方案能够在企业批量生产中落地，在电网工程中广泛推广应用，真正实现节能降耗与企业效益、电网效益的协同提升。

### 3.1 材料选型

材料是决定金具能耗水平、机械性能、使用寿命的基础，也是金具节能降耗优化设计的核心切入点，优化核心目标是替代传统高损耗铁磁材料，选用低损耗、高性能、轻量化的新型材料。中国电建集团成都电力金具有限公司研发团队依托企业自研，联合高校、科研院所开展材料试验研究，经过数百次的材料性能测试、能耗对比试验，最终形成了标准化的材料选型规范。一是高性能铝合金材料，该材料属于非铁磁材料，相对磁导率接近1，能够有效隔断交变磁场形成的闭合磁回路，从根本上消除磁滞损耗，同时显著降低涡流损耗，能耗水平远低于传统铸铁金具。二是碳纳米管增强铝合金复合材料，该材料是企业重点研发的新型节能材料，通过在高性能铝合金中添加一定比例的碳纳米管增强相，经过特殊的熔炼、轧制工艺处理，进一步提升材料的机械强度、耐腐蚀性和导电性能，其表面无需进行热镀锌防护处理，避免了热镀锌工艺带来的生产能耗与环境污染，同时能够降低金具表面电阻，减少电阻损耗。

针对电阻与电晕损耗，按金具功能开展针对性结构优化：电气接续类金具采用多触点咬合式结构提升接触面积，内壁增设导电涂层减小电阻；非电气接续类金具采用流线型设计增大圆角，减少尖端放电与风阻；特高压金具采用模块化设计减少重复研发能耗。企业借助数控加工中心精准加工并验证力学性能，保障节能与安全双重要求。

### 3.2 结构优化

针对电阻损耗、电晕损耗的核心成因，对于并沟线夹、接续管等电气接续类金具，重点优化连接结构设计，摒弃传统单一接触面结构，采用多触点咬合式结构，增大金具与导线的接触面积，减少接触间隙，从根本上降低接触电阻，减少电阻损耗；同时在金具内壁增设专用导电涂层，选用高导电、耐腐蚀的导电材料，进一步减小接触电阻，提升电气传导性能，避免接头发热问题。对于悬垂线夹、耐张线夹、间隔棒等非电气接续类金具，重点优化外观结构设计，采用流线型外观，增大金具尖端、边缘部位的圆角半径，去除尖锐棱角，降低金具表面的电位梯度，减少电晕放电现象，从而降低电晕损耗；同时优化金具与导线的贴合度，设计适配不同导线截面的弧形接触面，减少风阻系数，降低线路舞动带来的附加能耗，提升金具的抗风振性能。针对特高压线路金具，采用模块化设计理念，结合不同特高压线路的运行参数、工况要求，设计可灵活适配的模块化结构，减少专用金具的重复研发、生产，降低企业研发与生产能耗，同时提升金具的通用性，便于现场安装与运维更换。

### 3.3 工艺改进

从金具生产环节入手，优化制造工艺，推行绿色生产、精益生产模式，降低生产过程中的能耗与污染物排放，同时提升产品加工精度与质量稳定性，减少因产品缺陷导致的能耗增加，实现金具全生命周期的节能降耗。在生产设备升级方面，淘汰传统的人工加工设备、高能耗铸造设备，引进压铸自动化生产线、锚栓自动化生产线、数控加工生产线等多条自动化生产线，通过自动化设备替代人工操作，不仅提升生产效率，还可以降低生产过程中的能源消耗，与传统生产模式相比，自动化生产线的生产能耗降低20%以上。在铸造工艺优化方面，采用低压铸造工艺替代传统的砂型铸造工艺，该工艺具有铸件成型质量好、材料利用率高、能耗低等优势，能够减少材料浪费与能源消耗，同时降低铸件内部的气孔、裂纹等缺陷，提升金具的机械性能与质量稳定性。在表面处理工艺优化方面，以无铬钝化工艺替代传统的热镀锌工艺，无铬钝化工艺无需高温加热，能耗远低于热镀锌工艺，同时避免了镀锌过程中产生的废气、废水污染，更加环保，且钝化后的金具表面形成一层致密的保护膜，耐腐蚀性显著提升，能够延长金具使用寿命，减少运维相关能耗。

## 4 经济效益与社会效益

在经济效益方面，优化设计的节能型金具虽然在研发、原材料采购、生产设备升级等方面的前期投入，较传统金具略有提升，但通过长期运行来看，能够通过降低电能损耗、延长使用寿命、减少运维成本，实现显著的长期经济回报。对于电网企业而言，节能金具的应用能够降低线路能耗，减少电费支出与运维成本；对于电建制造企业而言，节能金具的研发与应用，能够提升产品附加值，拓展市场份额，增加企业营收。

在社会效益方面，节能金具的广泛应用，能够有效减少标准煤消耗与CO<sub>2</sub>、二氧化硫等污染物排放，契合国家“双碳”目标与绿色发展理念，助力电力行业绿色低碳转型；同时，节能金具能够提升高压线路、配网线路的运行可靠性，减少停电损失，保障工业生产与居民生活的稳定用电，提升社会用电满意度。

### 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(10):22-25.
- [2] 连永扬.浅论输电线路金具的节能降耗[J]农村电工,2023,31(02):43.
- [3] 韩东,王民.输配电线路中的节能降耗技术应用[J].大众标准化,2025(05):132-134.

## 5 结束语

高压线路金具的节能降耗优化设计，是提升电网能效、推动电网绿色低碳发展的重要举措，也是电建制造企业转型升级、提升核心竞争力的必然选择。本文立足电建制造企业的生产实践与工程应用，系统分析了高压线路金具的主要能耗成因，提出了材料选型、结构优化、工艺改进三位一体的节能降耗优化设计方案，得出以下核心结论：一是传统高压线路金具的能耗主要来源于磁滞损耗、涡流损耗、电阻损耗、电晕损耗及运维相关能耗，其中铁磁材料引发的磁滞与涡流损耗是主要能耗来源，也是节能优化的重点；二是采用高性能铝合金、碳纳米管增强铝合金复合材料替代传统铁磁材料，结合结构优化与工艺改进，能够有效解决传统金具的高能耗问题，显著降低电能损耗；三是优化设计的节能型金具，在特高压、配网等各类电网工程中均具有良好的适用性，能够实现节能降耗、延长使用寿命、提升运行可靠性的多重目标，具备良好的经济与社会效益。