

# 高强度节能型铝合金电力金具的设计与应用

章杰

浙江金塔电力线路器材有限公司 314423

**【摘要】**电力金具作为输电线路的核心连接件，其性能直接决定电网运行的安全性与经济性。针对传统电力金具强度不足、能耗偏高、使用寿命短等问题，企业立足输电工程实际需求，开展高强度节能型铝合金电力金具的设计与研发工作。通过优化材料配比、创新结构设计、改进加工工艺，打造兼具高强度、低能耗、耐腐蚀的新型电力金具。本文深入阐述该类金具的设计路径，结合具体工程案例分析其应用价值，为电网节能降耗与安全稳定运行提供技术支撑，助力电力行业绿色低碳发展。

**【关键词】**高强度铝合金；电力金具；节能设计；结构优化；工程应用

Design and Application of High-Strength Energy-Efficient Aluminum Alloy Power Fixtures

Zhang Jie

Zhejiang Jinta Power Line Equipment Co., Ltd. 314423

**【Abstract】**As the core connectors in power transmission lines, power fixtures directly determine the safety and economic efficiency of grid operations. To address traditional power fixtures' limitations—such as insufficient strength, high energy consumption, and short service life—enterprises have developed high-strength, energy-efficient aluminum alloy power fixtures tailored to transmission engineering needs. Through optimized material ratios, innovative structural designs, and improved manufacturing processes, these fixtures combine high strength, low energy consumption, and corrosion resistance. This paper details the design methodology of such fixtures, analyzes their practical value through real-world engineering cases, and provides technical support for grid energy conservation and stable operation, thereby promoting green and low-carbon development in the power industry.

**【Key words】**High-strength aluminum alloy; Electrical hardware; Energy-saving design; Structural optimization; Engineering application

随着电力行业向高电压、大容量、长距离输电方向转型，电网建设对电力金具的性能提出更高要求。传统电力金具多采用普通钢材或常规铝合金制造，存在强度不足、导电性能欠佳、能量损耗较大等弊端，长期运行易出现磨损、腐蚀等问题，不仅增加电网运维成本，还可能影响输电线路的安全稳定运行<sup>[1]</sup>。为响应国家“双碳”战略，推动电力行业节能降耗，企业聚焦铝合金材料的特性优势，开展高强度节能型铝合金电力金具的设计与应用研究。通过合理设计结构、优化材料成分、提升加工精度，破解传统金具的应用痛点，实现金具强度与节能性能的双重提升，为输电工程的高效、安全、低碳运行提供可靠保障。

## 1 高强度节能型铝合金电力金具的设计基础

### 1.1 设计理念与核心目标

企业在开展高强度节能型铝合金电力金具设计工作时，

始终坚持“安全优先、节能高效、适配性强、长效耐用”的核心理念，立足输电线路的实际运行工况，结合不同电压等级、不同敷设环境的使用需求，明确设计核心目标。设计工作以提升金具强度为基础，通过材料改良与结构优化，使金具的抗拉、抗压、抗剪性能满足输电工程的承载要求，避免因金具失效导致的线路故障。同时聚焦节能降耗，通过优化导电结构、降低接触电阻，减少电能传输过程中的能量损耗，提升输电效率<sup>[2]</sup>。依托弧形贴合设计增大接触面积，搭配精密加工与导电涂层，让电流传输更顺畅，从结构与工艺层面实现能耗精准降低，适配电网绿色低碳的运行需求。

### 1.2 材料选型与配比优化

材料性能是决定电力金具强度与节能效果的核心因素，企业经过多次试验与筛选，确定采用高强度铝合金作为金具的核心制造材料，相较于传统钢材，铝合金具有密度小、导电性能好、耐腐蚀、易加工等优势，可有效实现金具的轻量化与节能化。为进一步提升铝合金材料的强度与韧性，企业

对铝合金的成分进行优化配比,合理添加少量合金元素,通过调整各元素的比例,改善铝合金的微观结构,提升材料的抗拉强度与屈服强度,同时保留其良好的导电性能。在材料选型过程中,企业需严格把控原材料的质量,对铝合金原材料逐批次检测,要求抗拉强度 $\geq 340\text{MPa}$ 、导电率 $\geq 58\text{MS/m}$ ,化学成分偏差控制在 $\pm 0.05\%$ 内,型材尺寸公差 $\leq \pm 0.1\text{mm}$ ,对铝合金原材料进行严格的检测,确保其化学成分、力学性能符合设计要求,为金具的高强度与节能性能提供基础保障<sup>[1]</sup>。

## 2 高强度节能型铝合金电力金具设计路径

### 2.1 结构设计优化

结构设计的合理性直接影响金具的强度、节能性能与适配性,企业摒弃传统金具的单一结构设计模式,结合输电线路的连接需求与受力特点,对金具的整体结构进行创新优化。针对不同类型的电力金具,采用差异化的结构设计方案,确保金具与导线、绝缘子等部件的连接紧密、受力均匀,减少应力集中现象。在悬垂线夹、耐张线夹等核心金具的设计中,采用弧形贴合结构,增大金具与导线的接触面积,降低接触电阻,减少电能损耗,同时避免导线因局部受力过大出现损伤。在连接部位设计加强筋结构,提升金具的承载能力,增强其抗拉、抗剪性能,确保金具在长期受力情况下不发生变形、断裂。根据受力仿真数据优化加强筋的厚度与排布,让应力均匀分散,强化关键连接位的力学防护,保障金具在输电线路复杂受力工况下的长期稳定运行<sup>[4]</sup>。

### 2.2 导电性能优化设计

节能性能是该类金具的核心优势之一,企业重点围绕降低接触电阻、减少电能损耗开展导电性能优化设计。在金具的接触表面,采用微米级精密加工工艺,将表面光洁度控制在 $\text{Ra}0.8\mu\text{m}$ 以内,通过多道清洗工序彻底去除表面 $0.05\text{--}0.1\mu\text{m}$ 的氧化层与微米级杂质,减少接触电阻,确保电能传输的顺畅性,降低因接触电阻过大产生的电能损耗。同时,在接触部位采用静电喷涂工艺做导电涂层处理,选用导电率 $\geq 58\text{MS/m}$ 的涂层材料,控制涂层厚度在 $80\text{--}120\mu\text{m}$ ,不仅可以进一步降低接触电阻,还能提升金具的耐腐蚀性能,延长其使用寿命。此外,依托流体仿真优化金具的内部导电通道,精准设计导电路径,将通道截面偏差控制在 $0.03\text{mm}$ 内,避免导电通道出现瓶颈,确保电流分布均匀,减少局部电能损耗,提升金具的节能效果。

### 2.3 耐腐蚀与抗老化设计

电力金具长期暴露在户外环境中,易受到风雨、日晒、冰雪等自然因素的侵蚀,出现腐蚀、老化等问题,影响其使

用寿命与性能稳定性。企业针对这一问题,在金具设计过程中强化耐腐蚀与抗老化设计,从材料处理、结构防护等多方面入手,提升金具的环境适应性。铝合金材料表面采用阳极氧化处理,控制处理温度为 $18\text{--}22^\circ\text{C}$ ,处理时间 $40\text{--}60$ 分钟,得到厚度 $15\text{--}25\mu\text{m}$ 致密氧化膜,阻止空气、水分等腐蚀性介质与材料接触,防止材料腐蚀。而在户外恶劣环境下使用的金具,在原有的基础上增加 $80\text{--}120\mu\text{m}$ 厚的防腐涂层,从而提高其耐腐蚀性。同时选用耐紫外线老化等级4级以上的抗老化材料,将应力集中区圆角半径优化到 $8\text{mm}$ 到 $15\text{mm}$ 之间,减少应力集中造成的老化加快,保证金具长期户外运行时保持稳定的性能,延长使用寿命,降低运维成本<sup>[5]</sup>。

### 2.4 加工工艺优化设计

加工工艺水平决定金具的精度和性能,企业应摒弃粗放式加工模式,用精细化、智能化的加工工艺提高金具的加工质量。金具成型加工采用模锻成型工艺,锻造温度为 $480\text{--}520^\circ\text{C}$ ,锻造压力为 $800\text{--}1000\text{MPa}$ ,与传统的铸造工艺相比,模锻工艺能使得铝合金材料的微观结构更加致密,提高材料的力学性能,保证金具的强度满足设计要求。而精密加工时用五轴数控加工技术,加工转速控制在 $3000\text{--}5000\text{r/min}$ ,提高金具的加工精度,保证金具尺寸误差在 $\pm 0.02\text{mm}$ 以内,保证金具与其它部件的匹配性。且加强对加工过程的质量控制,建立完善的质量检测体系,每2小时对加工工件抽样检测一次。每次抽取15件样品检测关键尺寸,尺寸公差控制在 $\pm 0.02\text{mm}$ 以内,表面粗糙度达到 $\text{Ra}0.8\mu\text{m}$ 以内,对每一道加工工序进行严格检测,及时发现并解决加工过程中出现的问题,保证金具质量符合设计标准<sup>[6]</sup>。

## 3 高强度节能型铝合金电力金具的应用实践

### 3.1 工程概况

本次应用工程为 $110\text{kV}$ 输电线路改造项目,线路全长 $42.6$ 公里,途经平原、丘陵等多种地形,部分路段穿越农田与村镇,运行环境复杂,对电力金具的强度、节能性与可靠性要求较高。该线路导线采用 $\text{JL/G1A-240/30}$ 型钢芯铝绞线,线径 $18.0\text{mm}$ ,分裂间距 $400\text{mm}$ ,原采用传统 $\text{Q235}$ 钢制电力金具,存在能耗偏高、腐蚀严重、运维频繁等问题。企业结合项目需求,将高强度节能型铝合金电力金具应用于该输电线路改造中,涉及型号为 $\text{XGU-4}$ 悬垂线夹、 $\text{NLL-4}$ 耐张线夹、 $\text{FJ-4}$ 间隔棒等多种类型金具,共计更换与安装金具 $860$ 余套,覆盖线路 $19$ 个耐张段、 $326$ 基杆塔,全面提升线路的运行性能与节能水平。

### 3.2 应用效果分析

为直观体现高强度节能型铝合金电力金具的应用效果,

企业依据 GB/T2314-2022 国标制定专项测试方案，在工程沿线选取 12 个典型监测点，分 3 轮开展对比检测，每轮持续 48 小时。抗拉强度采用 300kN 电子万能试验机做静载拉伸测试，接触电阻以直流四端法在 20A 测试电流下测定，单位长度能耗在额定输电电流下每 2 小时采集 1 组数据，各指标均在  $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度  $60\% \pm 5\%$  的相同环境参数下完成检测统计，通过试验数据对比分析金具的强度、节能性能等核心指标的变化情况。试验数据变化分析如表 1 所示。

高强度节能型铝合金金具相较传统钢制金具各项指标均大幅优化，抗拉强度从 280MPa 升至 340MPa，因优化配比的高强度铝合金结合模锻工艺与加强筋结构，强化了力学承载能力。而接触电阻、单位长度能耗均降 50%，源于弧形

贴合结构增大接触面积，精密加工与导电涂层减少接触损耗，合理导电路径保障电流均匀分布。且耐腐蚀时长从 8 年延至 15 年，依托铝合金耐腐特性与阳极氧化、防腐涂层双重防护；重量从 7.2kg/套降至 3.8kg/套，是其低密度特性体现。安装效率从 2.5 套/小时提至 5.0 套/小时，由轻量化与结构适配性优化促成。对比两组金具，铝合金金具实现全维度性能跃升，抗拉强度提升 21.4%，耐腐时长提升 87.5%，重量降低 47.2%，安装效率翻倍，在提升力学性能的同时实现能耗减半。通过材料、结构、工艺的协同优化，形成综合性能优势，更适配输电工程高安全、低能耗、长寿命的应用需求。

表 1 应用效果

检测指标	传统钢制金具	高强度节能型铝合金金具
抗拉强度 (MPa)	280	340
接触电阻 (mΩ)	1.8	0.9
单位长度能耗 (W/m)	2.3	1.1
耐腐蚀时长 (年)	8	15
重量 (kg/套)	7.2	3.8
安装效率 (套/小时)	2.5	5.0

#### 4 结论与展望

高强度节能型铝合金电力金具的设计与应用，是企业响应电力行业节能降耗、高质量发展需求的重要举措，通过材料配比优化、结构创新、工艺改进，有效解决了传统电力金具强度不够、能耗高、使用寿命短等问题，实现了金具强度和节能性能的双重提升。根据该类金具在 110kV 输电线路改造项目中的应用实践可知，该类金具具有较好的安全性和节能性以及经济性，能较好地提高输电线路运行的稳定性，

降低运维成本，为电力行业绿色低碳发展提供有力支持。未来企业会不断加大金具的设计、研发力度，以更高电压等级、更复杂运行环境的需要为依托，不断优化金具的结构、性能，提高金具的适配性以及节能效果。同时加大推广应用力度，使高强度节能型铝合金电力金具在更多的输电工程中得到应用，助力电力行业实现“双碳”目标，推动电网建设向高效、安全、低碳、智能方向发展。

#### 参考文献

- [1] 龚志德, 葛瑞鹏, 达琪. 高强铝合金在架空输电线路电力金具中的应用研究[J]. 电工技术, 2026, (01): 111-113+117.
  - [2] 谭乐平, 魏作山, 王莹莹, 等. 微合金化对电力金具用铝合金组织及性能的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 2025, 45 (09): 1405-1410.
  - [3] 谭乐平, 魏作山, 赵少坤, 等. 细化剂对电力金具用铝合金组织及性能的影响[J]. 机电工程技术, 2025, 54 (10): 8-12+59.
  - [4] 李思, 王雪斌, 马梓洋. 合金元素及 T6 处理对电力金具铝合金 ZL111 电导率及力学性能的影响[J]. 电工材料, 2024, (03): 4-8.
  - [5] 谢伟, 黄建平, 邹近洋, 等. 电力金具用 ZL101A 铝合金阳极氧化及性能研究[J]. 合成材料老化与应用, 2023, 52 (04): 63-65+109.
  - [6] 郑革, 陈杰, 牛堃宁, 等. Cu 含量及 T6 处理对电力金具用铝合金组织性能的影响[J]. 金属热处理, 2022, 47 (08): 217-223.
- 作者简介: 章杰, 出生年月: 1993-04, 男, 汉族, 籍贯: 浙江省杭州市, 学历: 本科, 职称: 中级工程师, 研究方向: 机电。