

不同规格线夹握力性能测试与结构匹配性优化研究

张 豪

(中国电建集团成都电力金具有限公司)

DOI: 10.65285/GCJSYGL.V2I3.006

摘 要: 耐张线夹是架空输电线路中固定导线、传递机械载荷的核心金具,其握力性能直接决定线路运行的机械安全,不同规格线夹的结构匹配性差异是导致握力性能参差不齐、大规格线夹失效频发的诱因。本文以某 220kV 线路群耐张线夹专项整改项目为案例,通过标准试验室试验与现场试点验证优化效能。结果表明,优化后 4 种规格线夹的握力平均提升 12.4%,试点线路两年内未发生握力失效故障。该方案实现了不同规格线夹握力性能的均衡提升,无需改动现有压接工艺即可批量应用,对提升输电线路金具本质安全具有重要的工程价值。

关键词: 不同规格线夹;握力性能测试;结构匹配性优化

Research on Holding Force Performance Test and Structural Compatibility Optimization of Tension Clamps with Different Specifications

Hao Zhang

POWERCHINA Chengdu Electric Power Fittings Co., Ltd.

Abstract: Tension clamps are core hardware fittings used to fix conductors and transfer mechanical loads in overhead transmission lines. Their holding force performance directly affects the mechanical safety of line operation. Differences in structural compatibility among clamps of various specifications lead to inconsistent holding performance and frequent failures of large-size clamps. Taking a special rectification project of tension clamps for a 220 kV transmission line cluster as the research case, this paper verifies the optimization effect via standard laboratory tests and on-site pilot verification. The results indicate that the average holding force of four types of optimized clamps rises by 12.4%, and no holding force failure accidents occur on the pilot lines within two years. The proposed solution realizes balanced improvement of holding force performance for clamps of different specifications and can be popularized in mass production without adjusting the existing crimping process. It possesses significant engineering value for enhancing the intrinsic safety of transmission line fittings.

Keywords: tension clamps with different specifications; holding force performance test; structural compatibility optimization

前言

随着我国特高压与跨区域输电网络的快速建设,大截面导线的应用规模持续扩大,对应大规格耐张线夹的用量逐年增长。耐张线夹通过液压压接与导线形成握裹力,长期承受导线张力、风振交变载荷与环境腐蚀作用,一旦握力不足发生抽线故障,将直接导致导线脱落、线路跳闸,严重时引发杆塔受损。本文结合工程案例,从尺寸匹配与结构设计两个方面入手,开展不同规格线夹的握力性能测试与匹配性优化研究,为全系列耐张线夹的性能升级提供技术路径。

一、工程案例与线夹握力失效现状

(一) 案例项目概况

本文选取的案例为 220kV 耐张线夹专项整改项目,线路总长 312 公里,涉及杆塔 729 基,是广东沿海地区典型的高盐雾、强风振运行环境。该区域线路导线规格涵盖 JL/G1A-240/30、JL/G1A-300/40、JL/G1A-400/35、JL/G1A-630/45 四种常用型号,配套使用对应规格的 NY 型液压耐张线夹,产品均符合当时的行业采购标准。

据线路运维台账统计,2021-2023 年三年间,该线路群累计发生耐张线夹抽线失效故障 11 起,其中导致线路跳闸停电 7 起,单次故障平均停电时长 4.7 小时,单次抢修成本约 18 万元。从故障分布的规格来看,NY-630/45 大规格线夹故障 6 起,占总故障量的 54.5%,NY-400/35 规格故障 3 起,占 27.3%。NY-300/40 与 NY-240/30 小规格各 1 起,分别占 9.1%,呈现出明显的规格越大、失效概率越高的规律。为解决这一问题,电网启动专项整改项目,首批试点更换优化后的匹配性线夹,同步开展试验室对比测试验证性能提升效果。

(二) 不同规格线夹握力抽检结果与偏差测算

为精准量化不同规格线夹的握力性能差异,项目组从故障线路的同批次库存产品中随机抽样,每个规格抽取 8 只样本开展握力测试,采用 600kN 万能试验机进行轴向拉伸试验,记录样本发生导线抽脱时的最大载荷作为实测握力。

为统一量化各规格线夹的握力偏离标准的程度,采用握力偏差率作为评价指标,计算公式为:

$$\delta = \frac{F_{实} - F_{标}}{F_{标}} \times 100 \tag{1}$$

式（1）中， δ 为握力偏差率， $F_{实}$ 为对应规格样本的实测平均握力， $F_{标}$ 为标准要求的最低握力，取值为对应导线额定拉断力的 95%。偏差率为负值表示实测握力低于标准要求，绝对值越大说明性能缺口越严重，正值表示握力有裕度。

四种导线的额定拉断力分别为：JL/G1A-240/30 为 75.62kN，对应标准最低握力 71.84kN，JL/G1A-300/40 为 92.22kN，对应标准最低握力 87.61kN。JL/G1A-400/35 为 103.90kN，对应标准最低握力 98.71kN。JL/G1A-630/45 为 148.70kN，对应标准最低握力 141.27kN。将实测平均握力代入公式计算各规格的偏差率，整理形成不同规格线夹握力性能抽检统计表。

表 1 不同规格 NY 型耐张线夹握力抽检结果统计表

线夹规格型号	对应导线型号	标准最低握力 (kN)	实测平均握力 (kN)	握力偏差率 (%)	样本合格率 (%)
NY-240/30	JL/G1A-240/30	71.84	70.21	-2.27	75.0
NY-300/40	JL/G1A-300/40	87.61	83.46	-4.74	62.5
NY-400/35	JL/G1A-400/35	98.71	92.08	-6.72	50.0
NY-630/45	JL/G1A-630/45	141.27	128.35	-9.15	37.5

从表中数据可以清晰看出，四种规格线夹的实测平均握力均低于标准要求，且规格越大，握力偏差率越高，合格率越低 [1]。

二、线夹握力性能的影响因素与匹配性问题

（一）导线 - 线夹尺寸匹配偏差的影响

尺寸匹配性是决定压接后握力大小的基础因素，线夹内径与导线外径的间隙大小，直接影响压接后的金属变形量与握裹紧密程度。

为量化尺寸匹配程度，引入结构匹配间隙率指标，计算公式为：

$$\lambda = \frac{D_{夹} - d_{线}}{d_{线}} \times 100 \tag{2}$$

式（2）中， λ 为匹配间隙率， $D_{夹}$ 为线夹压接前的标称内径， $d_{线}$ 为对应导线的标称外径。

对本次抽检的四种传统线夹进行尺寸实测，结合标称值计算得到各规格的平均匹配间隙率，NY-240/30 线夹标称内径约 23.1mm，导线外径 21.6mm，间隙率约为 6.9%，处于合理安装区间。NY-300/40 线夹标称内径约 25.4mm，导线外径 23.7mm，间隙率约为 7.2%；NY-400/35 线夹标称内径约 28.7mm，导线外径 26.8mm，间隙率约为 7.1%。NY-

630/45 线夹标称内径约 36.0mm，导线外径 33.6mm，间隙率约为 7.1%。从数值上看四类线夹间隙率均满足安装要求，但大规格线夹压接后内壁变形贴合度不足，导致实际握裹力随规格增大而衰减，说明单一的通用间隙率设计无法兼顾安装便利性与握力性能。

（二）压接结构与工艺参数的适配性问题

传统 NY 型线夹的压接区均采用等直径圆柱孔结构，压接后应力集中主要出现在耐张压接管出口处，试验中导线断线失效也主要发生在该位置，导线铝股容易在端部发生剪切断裂，反而降低整体握力。所有规格采用相同的防滑槽结构，槽深、槽距统一设置，没有针对不同导线的股层结构做差异化设计，防滑效果随规格增大而减弱 [2]。同时，现场压接工艺的压缩比参数普遍采用统一标准，即压接后对边距与原直径的比例统一设置为 0.86D，没有根据不同规格的线夹壁厚、导线结构做调整。对于小规格线夹，壁厚较薄，0.85 的压缩比能够实现充分变形，握裹力充足。但对于大规格线夹，壁厚更厚、钢芯强度更高，相同的压缩比无法让内壁充分变形贴合导线，内层铝股的握裹力不足，最终整体握力达不到标准要求 [3]。

三、结构匹配性优化方案与参数设计

（一）分级式内径公差匹配优化设计

针对不同导线规格反向推算线夹内径的标称值与公差带，确保所有规格的线夹与导线的匹配间隙都处于最优区间，从尺寸源头解决大规格匹配性不足的问题。

具体设计方法为：以导线标称外径为基准，在满足最小安装间隙率 5% 的基础上，针对不同规格设置差异化的上限间隙率：小规格线夹（240、300）上限间隙率取 7%，大规格线夹（400、630）上限间隙率取 6.5%，从而确定每个规格线夹的内径标称值与公差范围。比如对于 JL/G1A-240/30 导线，外径 21.6mm，内径最小值为 $21.6 \times (1+5\%) = 22.68\text{mm}$ ，最大值为 $21.6 \times (1+7\%) = 23.11\text{mm}$ ，因此设置内径标称值为 22.9mm，对应公差带满足标准要求，保证批量生产的产品间隙率都落在 5%~7% 之间。对于 JL/G1A-630/45 导线，外径 33.6mm，内径最小值为 $33.6 \times 1.05 = 35.28\text{mm}$ ，最大值为 $33.6 \times 1.065 = 35.78\text{mm}$ ，设置内径标称值为 35.5mm，在保证穿管顺畅的同时尽可能缩小间隙，提升压接后的变形贴合度。

这种设计方式下，无论线夹规格大小，匹配间隙率都稳定在最优范围，不会出现大规格间隙超标的问题。

（二）变截面压接区与分级防滑齿结构优化

在尺寸匹配优化的基础上，对压接区内部结构进行差异化优化，进一步提升握力性能的均衡性。根据《耐张线夹》（DL/T 757）、《接续金具第 2 部分：电力金具用接管》（DL/T 758）的相关要求，压接管管口处设置拔梢结构，管口外径以 3° 左右的角度倒角，倒角段长度为导线直径的 1~3 倍，以缓解管口处的压接应力集中，减少导线铝股在管口处的剪切断裂风险。在此基础上，将传统等直径的压接孔改为三段变截面结构，两端入口段直径稍大、中间段直径最小，

压接后应力从两端向中间逐步过渡，进一步分散管口应力集中问题，让整个压接区的握裹力均匀分布，提升整体握力。变截面的坡度设置为1:30，平缓过渡不会产生应力突变，同时根据线夹规格调整中间段的收缩量，小规格收缩0.2mm，大规格收缩0.4mm，适配不同的壁厚变形能力。

其次，针对不同规格导线的股层结构，设计分级防滑齿结构，在压接区内壁设置环形防滑齿，小规格线夹（240、300）设置3道齿，齿距3mm，齿深0.3mm。大规格线夹（400、630）设置5道齿，齿距4mm，齿深0.5mm。防滑齿在压接后会嵌入导线外层铝股，形成机械咬合，大幅提升轴向握裹力，且分级设计能够避免小规格齿过多损伤导线、大规格齿不足握力不够的问题。

四、优化后性能测试与工程验证

（一）试验室握力性能对比测试

为验证优化方案的实际效果，按照优化后的设计参数加工四种规格的试验样品，每个规格制作8只，与同数量的传统线夹样本在同一试验条件下开展对比测试，试验设备、压接工艺、操作人员完全一致，消除外部因素干扰。压接采用配套的标准液压模，压接道数与施工规范一致，拉伸试验加载速率为2kN/s，记录导线抽脱或断裂时的最大载荷作为握力值。

整理两种方案的测试结果，计算各规格的平均握力与提升幅度，形成对比表如下。

表2 优化前后不同规格线夹握力性能对比表

线夹规格 型号	传统方案 平均握力	标准最低 握力（kN）	实测平均 握力（kN）	握力偏差 率（%）
NY-240/30	70.21	76.32	8.7	+6.24
NY-300/40	83.46	92.48	10.8	+5.56
NY-400/35	92.08	105.17	14.2	+6.54
NY-630/45	128.35	148.56	15.7	+5.16

从表中数据可以看出，优化后四种规格线夹的平均握力均实现提升，全部超过标准最低要求，握力偏差率全部转为正值，四种规格的握力裕度基本均衡。

（二）试点线路运行效果验证

在试验室测试验证通过后，2023年6月，优化后的线夹在220kV汕尾甲线完成试点应用，首批更换NY-400/35型耐张线夹216套，覆盖该线路全部大档距、高风振区段，共计32基杆塔。施工过程中验证，优化后的线夹穿装顺畅，压接工艺与传统线夹完全兼容，不需要更换压接设备和操

作流程，施工效率不受影响，现场施工人员反馈良好。

截至2025年6月，试点线夹已稳定运行24个月，经历了3次台风外围影响、累计120天8级以上大风天气，经两次登杆专项检查与无人机精细化巡检，所有线夹外观完好，没有出现滑移、裂纹、抽线迹象，未发生一起握力相关的故障。

五、技术创新点

本次研究提出的匹配性优化方案，相较于传统线夹设计有两方面创新。第一是设计理念的创新，打破了行业长期沿用的统一结构、统一公差的传统化设计思路，提出以最优间隙率为核心的分级公差匹配方法，针对不同规格导线反向设计线夹内径参数，从根源上解决了大规格线夹匹配间隙超标、握力不足的共性问题，实现了全规格性能的均衡提升，而不是单一规格的局部优化[4]。第二是结构设计创新，采用变截面压接区和分级防滑齿的差异化结构，替代传统的等直径光孔设计，既缓解了压接端部的应力集中，又通过机械咬合提升了握裹力，且分级设计适配不同规格的导线结构，避免了一刀切结构带来的性能失衡。同时方案完全兼容现有施工工艺，不需要额外增加设备或改变操作流程，落地门槛极低，这是区别于其他新型线夹方案的重要优势。

结语：

综上，不同规格线夹的握力性能失衡、大规格产品握力不足，是输电线路金具领域长期存在的痛点，根源在于传统通用化设计的尺寸匹配偏差与结构适配性不足。本文结合工程案例，通过测试明确了间隙率与握力的对应关系，提出分级公差匹配与变截面结构优化方案。未来可进一步结合在线监测技术，开展线夹握力的全生命周期衰减研究，持续优化匹配参数，为输电线路的长周期安全运行提供更全面的技术保障。

参考文献：

- [1] 张蕾，宗强，季媛媛，等. 一种新型配电网绝缘线夹设计及机械性能研究[J]. 机械与电子,2026,44(1):9-15.
- [2] 叶卫清，汪晶晶，冒新国，等. 楔型耐张线夹对导线握力试验研究[J]. 中国设备工程,2026(4):266-268.
- [3] 王馨瑶. 接触线吊弦线夹滑动荷载与紧固件轴向力关系研究[J]. 电气化铁道,2025,36(S1):148-151.
- [4] 侍海将，徐洪，郑浩. 新型高压接地线夹设计，试验与应用研究[J]. 中国战略新兴产业,2025(17):127-129.

作者简介：张豪（1993年6月-）、男、汉族、重庆人、本科学历、工程师、研究方向：电力金具设计、制造及试验。