

一起输电线路接续金具断裂故障分析及改进措施

王磊*, 杨帆, 许建清

(国网江苏省电力有限公司淮安供电分公司, 江苏 淮安 223001)

摘要: 文章针对一起35 kV输电线路B相跳线断裂故障, 基于宏观检查、断口形貌分析、射线检测及解体观察等手段, 分析接续金具老化导致的断线原因。结果表明: 该线路投运超20 a, 跳线预绞丝接续条内层导电砂及粘胶长期运行后劣化粉化, 导致接续条与导线间接触不良, 引发频繁间隙放电; 微风振动及同向绞合加剧了磨损, 造成铝股烧蚀断股; 电流被迫转移至钢芯引发热腐蚀恶性循环, 最终导致钢芯与内层铝股熔断。结合故障机理, 提出了同类型线路专项排查、推广线夹压接工艺替代预绞丝等改进措施。

关键词: 输电线路; 预绞丝接续条; 间隙放电; 断线分析

中图分类号: TM75

DOI: 10.13882/j.cnki.ncdqh.2605F019

CSTR: 32400.14.ncdqh.2605F019

Failure Analysis and Improvement Measures for a Splice Fitting Fracture on a Transmission Line

Wang Lei*, Yang Fan, Xu Jianqing

(Huai'an Power Supply Company of State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Jiangsu Huai'an 223001, China)

Abstract: Aiming at a B phase jumper breakage fault on a 35 kV transmission line, the cause of conductor breakage induced by aging of the splice fitting is analyzed through macroscopic inspection, fracture morphology analysis, radiographic testing, and disassembly observation. The results indicate that the line has an operating history of more than 20 years. After long term operation, the conductive grit and adhesive in the inner layer of the preformed splice rods deteriorate and pulverize, leading to poor contact between the splice rods and the conductor and further causing frequent gap discharge. Aeolian vibration and same direction stranding aggravate the wear, resulting in ablation and strand breakage of the aluminum strands. The current transfers to the steel core, initiating a vicious cycle of heating and corrosion, and eventually causing fusing of the steel core and the inner aluminum strands. Based on the fault mechanism, improvement measures are proposed, including special inspection of the same type lines and the promotion of clamp crimping technology to replace preformed splice rods.

Keywords: transmission line; preformed splice rods; gap discharge; conductor breakage analysis

0 引言

随着电网规模不断扩大和运行设备年限不断增长, 早期投运的35 kV及以上输电线路逐渐面临设备老化的严峻挑战^[1]。接续金具作为输电线路中连接导线的关键部件, 其连接的可靠性直接关系到线路的安全稳定运行^[2]。早期线路跳线连接常采用预绞丝接续条, 其依靠内层的导电砂、粘胶及紧密缠绕来实现电气导通和机械固定^[2-3]。然而, 在长期运行的动态环境下, 这类接续金具的老化机理及失效后果尚未引起足够重视。2026年, 35 kV安树353线72号塔中相(B相)跳线发生断裂, 导致线路跳

收稿日期: 2026-05-14

闸。本文深入分析该起由接续金具老化引发的断线故障, 并提出针对性的改进建议。

1 故障概况

35 kV安树353线投运于2002年12月, 全线杆塔72基, 导线型号为LGJ-150。故障发生于2026年3月14日11:43, 35 kV安树353开关跳闸, 重合闸动作后线路处于缺相运行状态。

故障当日天气晴朗, 现场风力1~2级, 无施工作业及雷电活动。故障巡视发现, 断线位置位于72#塔中相(B相)跳线接续条处, 中相跳线断口、下相导线侧螺栓有明显放电痕迹, 跳线断头呈熔断状态。

2 检测与分析

2.1 宏观检查

B 相导线断裂两端存在明显的放电熔融现象，中间 7 股钢芯线端部已被烧熔并从外层铝线中拉出。值得注意的是，接续条另一端的导线存在多处断股，而同塔的 C 相导线表面未见明显断股现象，显示出故障相的独特损伤特征。导线整体情况见图 1。

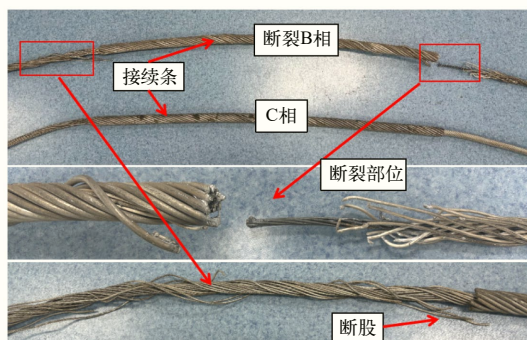


图1 导线整体情况

2.2 断口形貌分析

观察导线断口区域，发现导线断口基本为熔融断口，未见明显的颈缩、切口状断口。铝合金线、钢芯线在断口处存在明显的熔融现象，断口外观粗糙、不平整，表明导线发生了高温熔断。接续条侧、钢

芯线断口形貌见图 2，铝线、钢芯烧熔形貌见图 3。

2.3 导线性能检测

在完好导线上截取铝单线和钢芯单线开展检测试验，检测数据详见表 1。由表中数据可知，铝单线、钢芯线的直径均低于 GB/T 3955—2009《电工圆铝线》、GB/T 3428—1997《钢芯铝绞线用镀锌钢丝》要求，铝单线、钢芯线部分试样的抗拉强度低于标准要求。

2.4 射线及解体观察

对导线接续条部分开展射线检测，发现故障 B 相导线在接续条内部存在 2 处断点。其中一处钢芯断点两侧相距较远，端部不平整且有烧蚀痕迹，但外部铝绞线受损痕迹不明显；C 相接续条内存在一处断口，未见烧蚀等异常，见图 4。接续条作为接续金具连接了 2 根分开的导线，因此 B、C 相靠近接续条中间的断口属正常情况。

进一步解体观察发现，被铝预绞丝缠绕的整个导线表面分布着大量密集的放电点，接续条内侧同样布满放电坑。部分区域放电烧蚀严重，已造成铝股明显受损及断裂。除外层铝股外，内层铝股也存在放电痕迹并伴有磨损痕迹。另一断点处钢芯及内部铝股烧蚀严重（钢芯甚于铝股），证明热量来源于钢芯并向外传导。

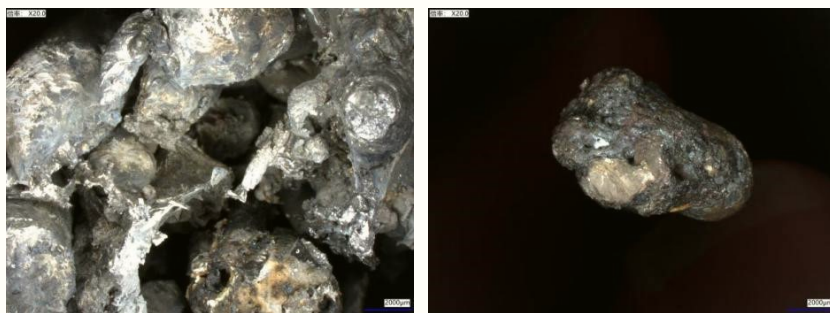


图2 接续条侧、钢芯线断口形貌

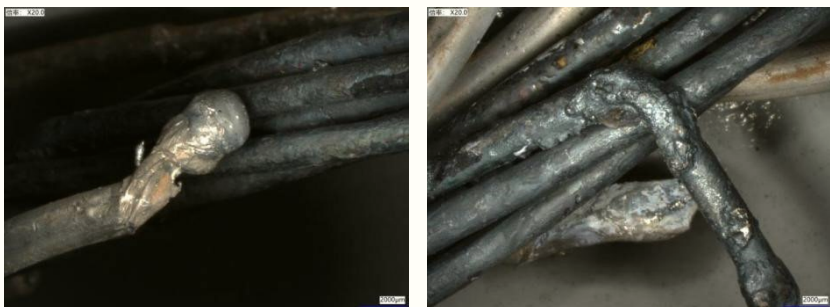


图3 铝线、钢芯烧熔形貌

表1 铝单线、钢芯单线性能检测结果

检测试验项目	铝单线实测值	铝单线标准要求	钢芯单线实测值	钢芯单线标准要求
单线数量	26	26	7	7
单线直径 d /mm	2.36	标准值：2.70	1.9	标准值：2.10
		偏差值： $\pm 1\% d$		偏差值： ± 0.03
单线抗拉强度/MPa	167	≥ 173	1 338	$\geq 1 340$

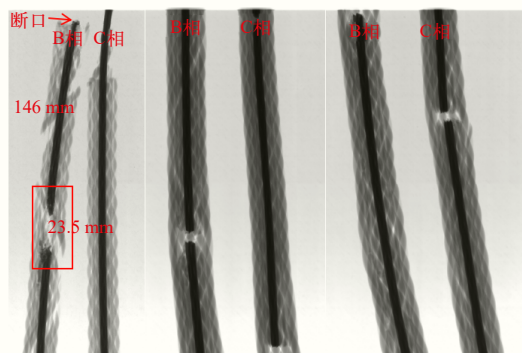


图4 接续条射线检测结果

3 故障机理分析

3.1 外观形态检测结果

B相故障导线断口呈现典型烧蚀特征，表明导线断裂时引起了电弧灼烧。距离断口146 mm、在接续条内部，导线还存在另一断点。该断点处钢芯烧蚀严重，内层铝股次之，外层铝股及铝预绞丝无明显烧蚀，表明钢芯通流发热致使钢芯被熔断，同时造成与之接触的内层铝股熔断。由于铝股导热性能较好，且与空气对流散热条件更优，外层铝股与铝预绞丝、较远处铝线未发生熔断。

铝预绞丝表面及与之接触的导线铝股表面均有密集放电点，导线内层铝股也存在放电点，部分铝股表面烧蚀严重，已发生铝股断裂，表明经过长时间运行后，导线内外层铝股之间，特别是铝预绞丝与导线之间的电接触已不再良好，造成两者之间短时间断性放电，且放电持续了较长时间，导致部分区域铝股烧蚀严重乃至断裂，影响了铝股通流能力。此外，铝预绞丝缠绕方向与导线外层铝股相同，更易发生滑动。

3.2 性能检测结果

性能测试结果表明，铝单线与钢芯线直径略低于GB/T 3955—2009规程要求，且部分单线抗拉强度略低于规定值。造成该结果的原因有2种：其一，

是导线初始性能不满足标准要求；其二，是导线经过长期运行，材料性能有所劣化。由于缺乏导线初始检测资料，本次分析无法确定是哪种情况所致。但是考虑到单线性能仅比规定值略低，且该导线作为跳线仅受其自身重力作用，无导线张力，材料性能完全满足使用需求，可排除导线性能不合格导致断线的可能。

3.3 故障过程分析

综合上述检测结果，分析认为本次跳线断线的过程为：在长期运行中，铝预绞丝接续条的导电砂、粘胶逐渐劣化、粉化并脱落，使得铝预绞丝与导线之间出现微小间隙，造成电接触不良，引起频繁、短时的间隙放电。此外，微风振动也会导致铝预绞丝与导线之间发生磨损；铝预绞丝与导线外层铝股同向绞合会使磨损更易进行，产生的微小铝屑也会促进间隙放电。

随着放电的持续，部分导线外层铝股烧蚀日益严重，造成铝线断股。铝线断股数量的增加使得铝线通流能力下降，最终在某处因完全断裂而无法通流。由于铝预绞丝与导线之间接触不良，电流从钢芯流过，导致钢芯发热。钢芯发热加速了表面镀锌层的氧化腐蚀；待镀锌层腐蚀殆尽，钢芯进一步腐蚀，致使接触电阻增大，发热量进一步增加，由此形成恶性循环，导致钢芯熔断、内层铝线熔断^[4-5]。随着情况进一步发展，最终造成导线断裂，引发电弧烧蚀。

4 改进措施

开展专项排查与治理：对同类型、同期投运且采用预绞丝接续条连接的跳线开展专项抽查，剥开旧接续条观察接触面，若明显粉化或存在较多放电点，应制定计划更换；存在放电情况时，宜同时更换跳线。对于须换的跳线，应将预绞丝接续条连接方式改为线夹压接方式，利用压接形成的金属塑性变形实现更可靠的电气连接，从根本上避免导电砂劣化问题。

(下转第60页)

由 78% 提升至 98%，差动误动由 12 次/a 降至 0 次，过流不必要动作由 8 次降至 1 次，零序误发信由 15 次降至 2 次。切换时间由 350 ms 缩短至 320 ms，母线失压时间减少 8.6%。6 次真实故障均正确动作，未出现拒动，见表 1。优化方案显著提高切换可靠性，保护协调性明显改善。

表1 优化前后切换效果对比

评估指标	优化前	优化后
切换成功率/%	78	98
差动保护误动/(次·a ⁻¹)	12	0
过流保护误动/(次·a ⁻¹)	8	1
零序保护误发信/(次·a ⁻¹)	15	2
切换完成时间/ms	350	320
故障正确动作率/%	100	100

4 结束语

厂用电切换过程的继电保护协调性直接影响供电可靠性与系统安全性。通过分析切换暂态特征对保护的影响机理，识别出差动保护误动、过流保护配合不当、零序保护选择性不足及备自投时序冲突等关键问题。针对性地提出了差动与后备保护配合

优化、过流保护时限分级配合、零序保护选择性协调、备自投与保护逻辑协调等技术方案，实现了主保护与后备保护、速动保护与延时保护、电气量保护与自动装置之间的有机协调。工程应用表明，优化方案有效降低了切换过程中保护误动概率，显著提高了厂用电系统供电连续性。研究成果为发电机变压器组保护配置优化提供了重要参考，对提升电厂运行安全水平具有实际应用价值。

参考文献

- [1] 肖旭东,白倩.分布式发电对配电网继电保护协调性的影响[J].电力设备管理,2025(1):70-72.
- [2] 张笑波,刘琪,天小丽,等.对智能变电站继电保护系统可靠性问题的分析[J].电子元器件与信息技术,2021,5(12):39-40.
- [3] 刘洪晴.继电保护二次电压切换问题分析及对策研究[J].通信电源技术,2020,37(2):177-178.
- [4] 何奋英.数字化变电站主网继电保护调试关键技术及应用[J].电气应用,2025,44(12):39-44.
- [5] 李琛.基于10 kV厂用电源改造的继电保护分析[J].电工技术,2022(19):109-112.
- [6] 马迎东,付传奇.发电厂厂用电经中阻接地系统零序保护优化[J].电工电气,2021(6):25-28,50.

作者简介

何小玲(1990),女,本科,中级工程师,研究方向为电气二次专业,E-mail: xxingt@163.com.

(责任编辑:刘艳玲)

(上接第 56 页)

完善运维策略:对运行 20 a 以上的老旧线路,尤其是采用接续条连接的跳线,应加强红外测温,及早发现因接触不良引起的局部发热;制定抽检计划,查看接续条内部状态,对不良者及时更换。强化无人机精细化巡检与人工近距离检查的结合,建立老旧线路跳线接续处的健康档案,弥补传统巡检手段在隐蔽缺陷发现上的不足。

5 结束语

35 kV 安树 353 线 B 相跳线断裂的主要原因是铝预绞丝接续条的导电砂、粘胶等物质劣化粉化,造成其与导线之间电接触不良,引发间隙放电,进而导致铝股断裂、钢芯通流;钢芯通流发热引发恶性循环,最终使导线熔断。传统日常巡视和红外测温无法有效发现接续金具存在的问题,对运行的老旧线路隐蔽性缺陷缺乏有效的检测手段。后续防控

重心应由“事后抢修”向“事前预防”转变,加强对老旧线路金具寿命周期的研究与管理,及时发现线路问题、及时解决问题。

参考文献

- [1] 王海燕,郭德明,刘刚.基于有限元分析的架空地线与预绞丝接触端面暂态温升计算[J].广东电力,2018,31(12):106-112.
- [2] 赵宝占.全张力预绞丝断裂原因分析及防范措施[J].农村电气化,2014(11):22.
- [3] 刘刚,郭德明,郑文成,等.基于轴向热路模型的架空地线与预绞丝接触端面接触电阻的计算[J].华南理工大学学报(自然科学版),2020,48(7):9-19.
- [4] 冯砚厅,李文彬,李金奎,等.输电线路预绞式防振锤对导线磨损机理及预防措施研究[J].电网与清洁能源,2021,37(3):24-30.
- [5] 钟枚汕,彭瑞东,郭德明,等.架空地线预绞丝端口断裂机理的试验分析[J].广东电力,2021,34(7):96-101.

作者简介

王磊(1993),男,工程师,硕士学位,从事输电线路运检方面工作,E-mail: 975724350@qq.com.

(责任编辑:刘艳玲)