

江西电网输电线路山火跳闸分析及对策

饶斌斌¹,皮海斌²,廖昊爽¹,曾鑫²

(1. 国网江西省电力有限公司电力科学研究院,江西 南昌 330096;2. 国网江西省电力有限公司,江西 南昌 330077)

摘 要:江西省森林覆盖率高,山火频发,给输电线路安全运行带来极大考验。文中对近 15 年江西电网输电线路山火跳闸信息进行整理和统计分析,对江西山火成因、跳闸规律、跳闸原因及防治措施优缺点进行分析,研究得出不同安全水平下的防山火树线净空距离要求,根据线路重要程度,提出差异化的通道清理建议。

关键词:输电线路;山火;跳闸;树线距离

中图分类号:TM 726.1 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-348X(2025)03-0076-05

0 引言

江西省森林覆盖率高,植被茂密,平均每年发生近千起山火,易引发输电线路跳闸甚至故障停运,严重影响电网的安全稳定运行^[1-2]。

2009-2024 年间,江西电网 110 kV 及以上线路发生山火跳闸故障 218 次,山火跳闸率达到 0.032 次/(百公里·年),山火已成为影响输电线路运行的主要灾害之一。文中对江西电网输电线路山火跳闸特征及原因进行了分析,对山火防治措施经济性 & 效果进行了对比研究,得出了不同安全水平下的防山火树线净空距离要求,并给出差异化的通道清理建议。

1 江西电网输电线路山火跳闸特征

1.1 季节特点

江西电网输电线路山火跳闸高峰为每年 1 至 4 月,合计占比 69.3%,其中 2 月因多包含农历春节时段,跳闸情况尤为突出,如图 1 所示。冬末春初风多雨少、较为干燥,加上春节、清明、冬至期间祭祀动火、燃放鞭炮等活动较多,是山火跳闸高发季节。

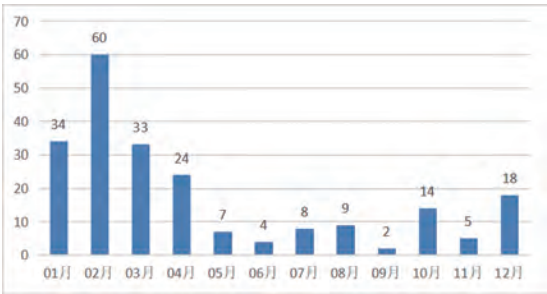


图 1 山火跳闸事件月份分布

1.2 时段规律

一日中 11 时至 16 时为山火高发时段,该时段气温较高、人员活动频繁,共发生山火跳闸事件 168 次,占比高达 77.1%,见图 2。

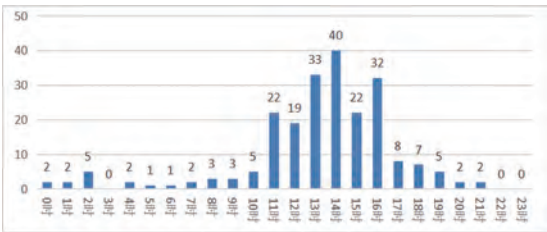


图 2 山火跳闸事件时段分布

1.3 植被特点

江西省拥有森林面积 1 001.81 万公顷,森林覆盖率达 63.35%,居全国第二。主要植被类型可分为针叶林(松树、杉木)、阔叶林(樟树、楠木、苦槠、槐树、泡桐、马鞍树)、灌木(杜鹃、檫木)、草丛(草甸)、稻田、果园等,分布情况如图 3 所示。

收稿日期:2025-02-10

作者简介:饶斌斌(1988),男,硕士,高级工程师,研究方向为输电线路故障防护。

根据植被特性,落叶树木因掉落大量枯叶,比常青树木易燃;含油脂高的植物比含油脂低的植物易燃;针叶状植物含水率和燃点低,比阔叶状植物易燃。根据《全国森林火险区划等级》(LY/T 1063—2008)^[3],将树种归并难燃、可燃和易燃三类,我省树种主要有:

1) 难燃类:竹类、楠木、苦槠、泡桐、桤木、青冈、木荷、阔叶混交;

2) 可燃类:杉木、珙桐、水杉、檫树、椴、针阔混交、其它硬阔、其它软阔;

3) 易燃类:马尾松、湿地松、樟树、灌木林、针叶混交、栗、柏木、桉、油杉、枫香、柯、栎、其它松类。

江西省主要树种马尾松、湿地松、樟树、灌木林均为易燃类,杉木为可燃类,江西省易燃类树种占比为54.1%，“可燃+易燃”树种总比例达到90.2%。



图3 江西省主要植被类型分布

1.4 地理分布

分析江西省林业部门监测火点数据,江西省林火分布的总体格局为南多北少,这是由江西省森林的分布特征所决定。江西省林火发生密度较高的是吉安市、赣州市和抚州市,这与赣州、吉安山地地形偏多、森林覆盖率偏高有关;密度较低的是上饶市、宜春市和南昌市,见图4。

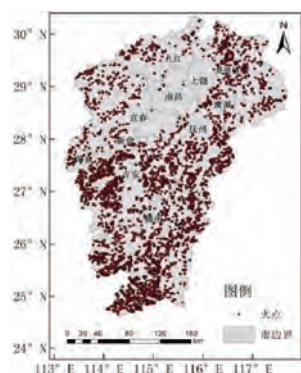


图4 江西省森林火点地理分布

1.5 起火原因

引起森林火灾的火源有多种,主要有烧荒、炼山、扫墓、非生产性火源、人为玩火、雷击火等。人为活动引起的火灾占比达98.3%,其中,烧荒所占比例最大,占28.1%;其次是非计划炼山,占22.4%;再次是扫墓,占17.2%。如图5所示。

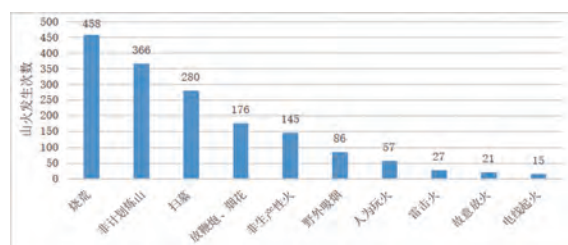


图5 起火原因次数分布

2 山火跳闸原因分析

2.1 山火跳闸机理分析

输电线路山火间隙区间划分示意图如图6所示,山火易造成输电线路空气绝缘击穿而引起放电,导致跳闸;高温产生的绝缘间隙损坏会持续较长时间,因此重合闸较难成功。山火跳闸机理主要由以下三点因素组成^[4-5]。

1) 山火产生的高温易引起空气分子热游离,产生大量带电粒子,增加空气的导电性,带电粒子随高温气流和烟雾不断往上发展,导致导线周围空气间隙绝缘性能下降。

2) 烟尘中的颗粒物被电场极化,趋向于沿着电场的方向排列成杂质“小桥”,增加空气的导电。

3) 火焰本身具有一定的导电性,绝缘间隙被火焰覆盖时,在火焰中建立导电通道而引起放电。

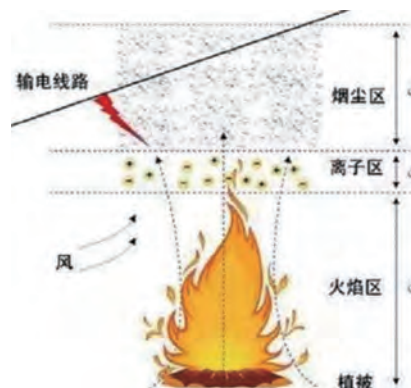


图6 输电线路山火间隙区间划分示意图

2.2 线下植被类型

山火跳闸线路通道内植被类型分布如图7所示,

故障分析

FAULT ANALYSIS

83.3%发生山火跳闸的线路通道内含高大乔木,其中大部分为松树、杉树等油脂含量高、燃点低的易燃树种;所有发生山火跳闸的线路通道内均存在茅草等低矮灌木;“茅草或灌木+松树或杉树”的植被组合占比达到63.6%。

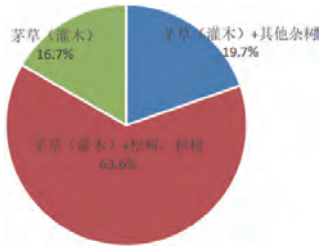


图7 山火跳闸线路通道内植被类型分布

干枯茅草(灌木)易引发山火,而高大树木燃烧易造成线路跳闸。在冬末春初季节,茅草灌木干枯易燃,容易造成火势快速蔓延,并引燃周边树木。

2.3 树线距离统计分析

收集了江西电网近年来24次山火跳闸线路的净空距离数据,以及86次山火烧至线路下方但未造成跳闸的树线净空距离数据,在此基础上,开展山火跳闸与树线净空距离的关联分析。

根据山火造成跳闸的树线净空距离数据,500 kV线路发生山火跳闸区段的树线净空距离区间范围为7.5~13.1 m,平均值为11.1 m,标准差为1.9 m;220 kV线路发生山火跳闸区段的树线净空距离区间范围为3.5~7.1 m,平均值为5.4 m,标准差为1.1 m。其正态分布曲线如图8和图9所示。

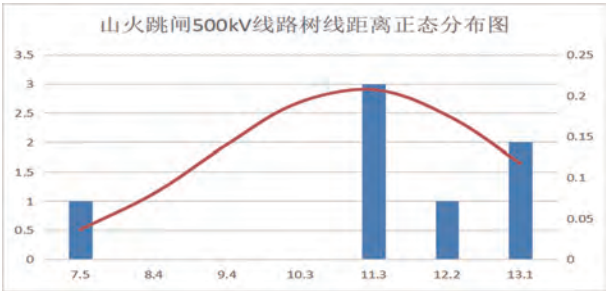


图8 发生山火跳闸的500 kV线路树线距离分布

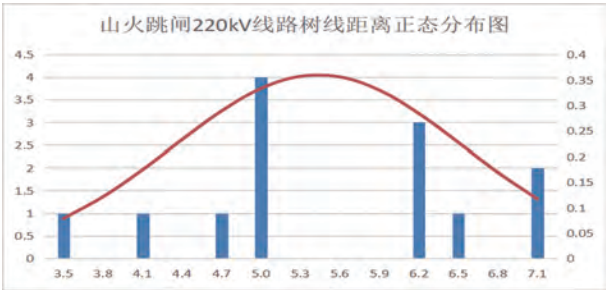


图9 发生山火跳闸的220 kV线路树线距离分布

根据山火已烧至线下但未造成跳闸的树线距离数据,500 kV线路树线净空距离区间范围为12.5~26 m,其中树线净空距离低于13 m的仅3次,占比为8.6%;220 kV线路树线净空距离区间范围为6.1~26 m,其中树线净空距离低于6.5 m的5次,占比为9.8%。

树线净空距离控制值若按“平均值+标准差”考虑,即500 kV线路树线净空距离大于13.0 m,220 kV线路树线净空距离大于为6.5 m,此时山火跳闸概率低于10%,线路处于较高安全水平。

树线净空距离控制值若仅按“平均值”考虑,即500 kV线路树线净空距离大于11.1 m,220 kV线路树线净空距离大于为5.4 m,此时山火跳闸概率低于50%,线路处于一般安全水平。

3 现有防治措施分析

3.1 升高杆塔,降低山火跳闸风险

针对部分导线对地距离较低的区段,可采用杆塔升高的方式进行改造,增加导线对地距离,降低山火跳闸的风险。该措施对防范本档内的山火、树线放电跳闸效果明显,但升高杆塔费用为每基30万~50万元,费用较高,且作用范围有限。

3.2 降坡处理,增加导线对地距离

针对部分导线对山坡距离不足的区段,可采用将上山坡侧土石开挖,进行降坡处理,以增加导线对地距离,如图10所示。该措施可在一定程度上防范山火跳闸,但降坡费用每处约5万~10万元,成本较高,且应用场景也少。



图10 降坡处理效果

3.3 置换植被,降低助燃隐患

对经过速生林区的线路区段,可采取植被置换的措施,在线路保护区内将易燃、速生植物置换成低矮

难燃经济作物,如图11所示。该措施可有效防范山火跳闸,但换植费用每档约5万~10万元,成本较高且协调难度大。



图11 通道内原杉树林改种油茶

3.4 清理茅草,阻止火势蔓延

及时将线路通道内的茅草(灌木)等易燃物清理干净,可有效杜绝或延缓火势的蔓延,如图12所示。单次清茅草费用每档约0.2万~0.5万元,但茅草生长较快,每年需至少清理一次,总体成本也不低。



图12 清理通道内的茅草

3.5 砍伐树木,阻断山火扩散

将线路通道保护区内的乔木进行砍伐,阻断山火烧向线路下方,同时增加空气绝缘距离,可有效防范山火跳闸的发生,如图13所示。按普通树木每棵20~60元进行赔偿,每档约0.2万~0.7万元,赔偿价格浮动大、协调难度大。



图13 清理通道内的树木

4 结语

1) 江西森林覆盖率高,针叶林、灌木林等易燃植被占比超过50%,林火分布的总体格局为南多北少,烧荒、非计划炼山及扫墓等人为活动是引发山火的主要原因。

2) 山火跳闸时间呈现出三大特点:一是冬末年初的1至4月为全年山火高发时节;二是春节、元宵、清明、冬至等几个节日为山火高风险时期;三是中午11时至下午16时为山火跳闸高发时段。

3) 所有发生山火跳闸的线路通道内均存在茅草等低矮灌木,且多为“茅草或灌木+松树或杉树”的植被组合,占比达到63.6%。干枯茅草容易造成火势快速蔓延,松树、杉树燃烧会产生大量浓烟,容易引起线路跳闸。

4) 500 kV线路树线净空距离大于13.0 m,220 kV线路树线净空距离大于6.5 m时,线路处于较高安全水平;500 kV线路树线净空距离大于11.1 m,220 kV线路树线净空距离大于5.4 m时,线路处于一般安全水平。

5) 措施建议:

(1) 划分山火易发区段。提前梳理沿线气象条件、植被、地质地形和居民分布等环境信息调查,收集重点林区、国有林场、自然保护区、森林公园、旅游风景区、县级以上公益林等重点敏感区域和祭祀、烧荒等火灾频发区域等风险隐患信息,划分山火易发区段。

(2) 明确山火防范重点时段。冬末年初的1至4月为全年山火高发时节;春节、上坟祭祖(清明、中元、冬至等)、春耕、秸秆焚烧(夏收、秋收)等为山火高发时段。同时,连续晴热干燥天气也是山火防范重点时段。

(3) 开展差异化通道清理工作。根据梳理的山火易发区段,结合线路重要程度,综合采取差异化的防山火治理措施。

密集通道:应将通道内的茅草和灌木清理干净,高大树种应全部清除或进行换植,必要时设置防火隔离带。

对重要输电通道、重要断面、重要用户专线、电厂外送线路,将超高树木进行砍伐,各电压等级线路与树木

保持最小净空距离(±800 kV、1000 kV 线路为 20 m, 500 kV 线路为 13 m, 220 kV 线路为 7 m)。

一般线路:将超高树木进行砍伐,各电压等级线路与树木最小净空距离以《架空输电线路运行规程》(DL/T 741—2019)^[6]要求为准。

参考文献:

[1] 顾先丽.江西森林火点时空特征及其变化趋势[D].南昌:江西师范大学,2019.

[2] 周志宇.山火灾害下电网输电线路跳闸风险评估研究[D].北京:华北电力大学(北京),2019.

[3] 国家林业局.全国森林火险区划等级:LY/T 1063—2008[S].北京:中国标准出版社,2008.

[4] 卢威.模拟高风险植被火焰条件下间隙击穿特性试验研究[D].武汉:武汉大学,2019.

[5] 杨康,陈海翔,桑荣剑,等.输电线路山火跳闸机理的模拟实验研究[J].火灾科学,2016,25(2):73-78.

[6] 国家能源局.架空输电线路运行规程:DL/T 741—2019[S].北京:中国电力出版社,2019.

(上接第 67 页)

[7] 陈宇,符劲松,肖佩,等.一起 500 kV 换流变乙炔异常增长案例的分析及处理[J].变压器,2025,62(3):13-17.

[8] 唐振,谷应科,曾祥君,等.±800 kV 特高压换流变异常产气故障分析及处理[J].变压器,2023,60(6):54-58.

[9] 王仁,李林达,李正绪,等.换流变压器内部短路电流有限元仿真及能量评估[J].变压器,2022,59(10):26-31.

[10] 张冠军,田丰,杜振斌,等.一起特高压换流变压器调压绕组

组击穿故障的原因探究[J].变压器,2022,59(7):61-65.

[11] 李斌,白翔旭.多策略改进 COA 算法优化 LSSVM 的变压器故障诊断研究[J].电工电能新技术,2025,44(4):112-119.

[12] 单敬,程养春,刘孟君,等.变压器过热故障特征气体演化规律的 Wiener 模型[J/OL].高电压技术,2025:1-13[2025-04-30].<https://doi.org/10.13336/j.1003-6520.hve.20241531>.

[13] 国家能源局.变压器油中溶解气体分析和判断导则:DL/T 722—2014[S].北京:中国电力出版社,2015.

(上接第 75 页)

2) 2019 年退役密封圈中含有变压器油(约 20%)、天然橡胶(约 29%)和丁腈橡胶(约 16%)。

3) 备用密封圈中含有丁腈橡胶(约 46%),不含变压器油和天然橡胶。

4) 2023 年断裂密封圈与 2019 年退役密封圈中高岭土等填料含量基本一致(约 12%),且低于备用密封圈(约 24%),与表 2 元素分析结果一致。

4 结语

文中通过对一台发生漏油换流变的密封圈开展红外光谱、工业 CT、扫描电镜和热重分析等试验测试,结果表明,本次漏油密封圈与 2019 年更换退役的密封圈材质主要成分均含有不耐油的天然橡胶。根据相似相溶原理,在长期运行过程中,变压器油会渗入密封圈,密封圈因为吸油发生溶胀变软。一方面,密封

圈膨胀后挤出密封槽,在缝隙处会产生应力集中;另一方面,小分子的变压器油渗入橡胶大分子交联网络结构,使得橡胶大分子间的作用力下降,导致橡胶硬度下降以及模量降低,材料变得脆弱,在长期运行过程中缺陷逐渐发展,最终造成密封件开裂甚至断裂,引发漏油。基于此,密封圈投运前,应开展常规试验和材料分析测试等抽检手段,质量合格后方可使用。

参考文献:

[1] 国家质量监督检验检疫总局.橡胶鉴定 红外光谱法:GB/T 7764—2017[S].北京:中国标准出版社,2017

[2] 陈曦,于钦学,任文娥,等.变压器油的热分解动力学研究及其寿命预测[J].西安交通大学学报,2009,43(8):112-115,134.

[3] 宋帅帅,杨帆,徐云慧.热重分析法测定乳液共沉法天然橡胶复合材料的组分含量[J].橡胶科技,2018,16(12):50-54.

[4] 刘莉,王炳昕,瞿永涛,等.丁腈橡胶热降解的影响因素分析[J].橡胶工业,2013,60(4):211-215.