



远程电网异物激光清除器的研究与设计

李健¹, 黄京²

(1. 武汉职业技术学院 机电工程学院, 湖北 武汉 430074;

2. 武汉职业技术学院 教务处, 湖北 武汉 430074)

摘要: 采用激光技术对缠绕在高压输电线路上的异物进行清除具有极大的技术优势与操作优势, 采用光纤激光器作为远程电网异物清除设备的激光介质对于降低能耗和使用成本具有广阔市场空间。为此, 提出了一种集成化小型便携式激光清除器的设计方案。通过有效性和安全性实验, 验证了采用光纤激光器作为远程电网异物清除设备的激光介质的可行性。

关键词: 高压输电线路; 激光技术; 异物清除; 光纤激光器; 激光发生装置

中图分类号: TN249; TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1671-931X (2022) 01-0113-04

DOI: 10.19899/j.cnki.42-1669/Z.2022.01.019

一、背景分析

现代社会从家庭生活到工业生产, 都离不开电力系统的支持。根据中国电力企业联合会发布的《中国电力行业年度发展报告 2021》, 2020 年, 全社会用电量达到 75214 亿千瓦时; 人均用电量达到 5331 千瓦时, 在我国长达 190 多万千米的电网输电线路中, 线路安全对于电网的安全运行具有重要的意义。对于高压电网来说, 各个导线之间都留有固定的安全距离, 防止线间短路。但由于恶劣天气(比如强对流天气、飓风等)的影响, 在我们国家不同地区很容易把树枝、渔网、风筝、塑料布、孔明灯等吹起在空中, 如果这些随风四处漂浮的异物不小心缠绕在裸露的电力高压线路上, 很容易引起各种安全隐患, 造成接地短路或相间短路等故障, 进而造成供电跳闸、停运, 必定会造成巨大的经济损失或者引发更大的人

身伤亡事故^[1]。因此, 为了保证供电线路的安全运行, 必须对随机缠绕在高压输电线路上的各种异物进行及时和有效的清理。

传统清除架空路线异物的方法主要是由人员登塔, 使用绝缘杆或专用清障工具、异物清除杆等开展作业, 必要时还须借助登高车、斗臂车、吊篮等工具, 耗时长、风险高^[2]。这些方法总的来说在操作便利性和快捷性上都有所欠缺, 而且也容易受到天气因素和地形地貌的影响。近年来, 随着激光技术在各行各业中的广泛应用, 激光器的小型化和廉价化趋势明显, 利用激光定向性好、瞬间高能量、传输距离远等特点, 可将激光用于远程异物清除。激光远程清除异物技术, 是采用远程地对空的方式, 由在距离目标相对较远便于操作的区域通过激光照射各种非金属异物, 异物升温融化或气化, 或者因为缠绕部分被切割继而从导线上脱离, 达到远程激光清除电网异物

收稿日期: 2021-09-17

基金项目: 2020 年武汉职业技术学院科研项目“基于光纤激光器的远程电网异物清除设备的研究与设计”(项目编号: 2020YK043)。

作者简介: 李健(1975—), 男, 湖北武汉人, 武汉职业技术学院机电工程学院副教授, 研究方向: 电气自动化; 黄京(1981—), 女, 山东掖县人, 武汉职业技术学院教务处副教授, 研究方向: 电气自动化、职业教育。

的目的。这里就需要地面视频系统、激光发射与控制系统、远程聚焦系统的参与。该清障方法的主要特点就是安全、方便、快速,尤其在对于超高压、特高压铁塔等高在 30 米以上的线路异物的清除方面,由于人员带电处理异物难度大,采用激光远程清除异物方式具有极大的技术优势与操作优势。

二、激光发生装置的设计

2016 年这类电网异物远程清除装置开始进入市场,这类设备按激光介质不同分为光纤激光器和 CO₂ 激光器,但大部分设备都是以 10.6 μm 波段的 CO₂ 激光器为激光介质,所作的安全性实验也是以 CO₂ 激光器为激光介质,有效性实验也是以 CO₂ 激光器为主。对于 1.06 μm 波段的光纤激光器而言,大气透射率大于 90%,所以选择波长为 1.064 μm 的光纤激

光器最有效率。光纤激光器与传统的 CO₂ 激光器相比,具有小型化和集约化的优势,非常适用于小型便携式设备,用于野外作业。同时,光纤激光器的高光电转换效率,使得它比具备同样清除效率的 CO₂ 激光器功率要小得多,从而能够节约能源,适用于在野外没有电源携带电瓶的长时间作业方式。另外,光纤激光器和 CO₂ 激光器相比,维护难度较低,能够胜任各种恶劣的工作环境,对灰尘、震荡、湿度、温度、阳光等具有很高的容忍度,非常适应我国地理广阔、各地天气差异巨大、输电线路又多在野外的工作条件。并且随着光纤激光器价格的不断下降,光纤激光器的应用领域也必定会越来越广阔。基于以上原因,我们确定以光纤激光器作为该电网异物清除设备的激光发生装置。

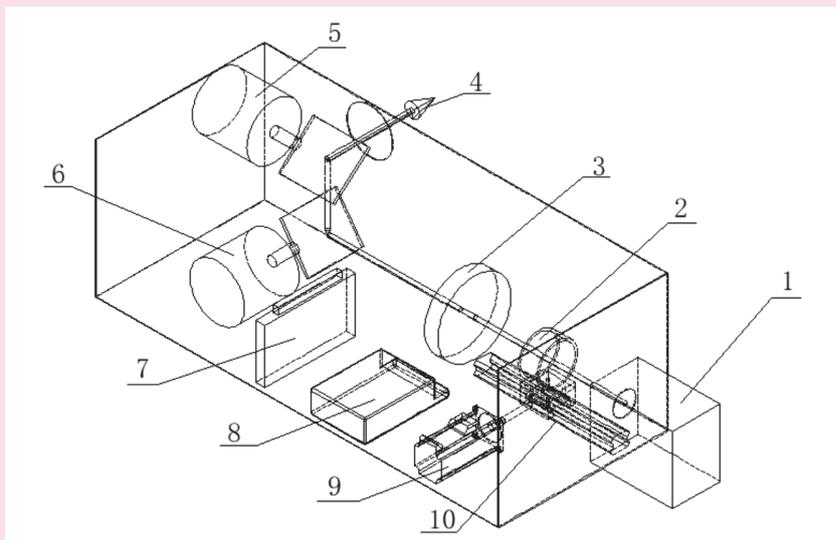


图 1 激光发生装置机构图

为用于电网激光远程清障,我们设计了一种如图 1 所示的激光发生装置。其中,1 为 300W 光纤激光器,激光波长为 1070nm,输出激光的传输光纤长度为 2—4m,可以弯曲,使用时把光纤激光头对准镜片 2 即可。为了便于携带,将激光器放置在一个带轮子的保护箱中。激光器采用 220 伏交流电源供电,在野外作业时可采用锂电池加逆变器供电。2 为光学变倍 30 倍的扩束镜,可左右移动,通过伺服电机 9 控制其在滑轨 10 上的左右移动来调节激光远程输出距离。3 为聚焦镜。扩束镜和聚焦镜组合在一起组成了远程光学聚焦系统。5、6 为 x、y 振镜方向控制用伺服电机,激光从激光器射入后,通过扩束镜扩束后由聚焦镜聚焦后通过 x、y 两方向振镜的扫描镜反射后从侧面出光口 4 输出。通过特定的光纤激光器、

扩束镜、聚焦镜和方向振镜组成的光传输线路,能够较佳的远距离清除异物,并且能够通过伺服电机精确移动扩束镜位置,控制精度更高。7 为该装置控制板卡,用来控制 5、6、9 三个伺服电机。8 为开关电源,给 5、6、9 三个电机供电。除激光器外所有部件都集成在一个盒子里面,重量约为 2kg 左右,携带方便。该装置外壳采用铝合金材料,通过空气和外壳自行散热,铝合金材料制成的外壳质量轻、方便携带。外壳上开设有入射口和出射口,激光从正面入射口输入,侧面出射口输出。为了保证远程清障操作的有效性,提高激光束聚焦能量,保证能量利用率,必须在清障设备中集成远程激光聚焦系统。

该设备可以使用交流电源,当大部分时间在野外工作时,可以采用蓄电池加逆变器的供电方式,携

带方便。上述激光发生装置作为该清障设备的核心部件，外围还需要远程测距仪、视频放大系统、激光器电源、蓄电池、逆变器、设备三角架等辅助设备的支撑。集成的远程测距仪用来测量异物的清除距离，视频放大系统用来放大远距离的待清除异物，激光器电源用来给光纤激光器供电，蓄电池和逆变器用来在野外环境中无交流电源情况下给整个设备供电，三角架用来在清障操作时放置设备。整个设备通过集成在激光发生器中的控制板卡来进行控制，完成电网异物的远程清除工作。该清障设备的主要优点在于：车载运输，体积小，使用便捷；遥控操作，方便快捷，安全性高；视频定位，缩放自如，界面友好；即视即熔，快速熔断，安全有效。

三、电网激光清障的有效性和安全性实验研究

(一) 电网激光清障的有效性验证

由于缠绕在输电线路上的异物大部分为一些非金属杂物，采用光纤激光器作为清障设备的发生装置，首先要进行杂物的清除有效性实验。我们选择采用最大功率为 300W 的光纤激光器的便携式远距离电网异物激光清除器来根据要求在 50—120m 远的不同距离对异物进行清除作业实验。测试环境：晴天，风力 3 级，大气温度 28℃，湿度 60%。在户外空旷地带，将不同材质的、不同颜色的异物固定在高压输电线路常用的铝绞线上，激光异物清除试验的距离为 50m 和 100m 这两个常用的清除距离上，设置激光器功率为 150W，连续激光工作模式，自由偏振态。不同颜色材质清除试验数据见表 1 所示。

表 1 不同颜色材质试验结果

异物材料	颜色	耗时 :S/50m	耗时 :S/100m
丝绸	黄 / 黑	4	5
马拉纸	白 / 红	2.5	3.5
纤维	白色	9	14
尼龙布	红 / 黄 / 白	4.5	5.5
塑料布	白	2.8	4.5
杜邦纸	银白	4	5
橡胶	红 / 紫	2.5	4
棉绳	灰 / 黄	3	3
毛线	黑 / 白	3	4
塑料	白色	9	9
塑料	半透明	18	22

通过实验验证可知，选择光纤激光器最大功率为 300 瓦，设置激光器功率为 150W 的常规值时，激光能够在 6s 之内完成 50—100m 内大部分非金属杂物的清除作业。采用光学变倍为 30 倍的扩束镜在 100m 距离左右去除缠绕在电线上的杂物效果更好。

(二) 电网激光清障的安全性验证

当采用激光辐照清除缠绕在高压输电线路上的异物过程中，由于高压输电线路铁塔高度均在 30 米以上，再加上地形限制，实际清障操作距离都在 100 米左右，激光在沿异物外缘进行清除操作时难免会辐照到导线，激光照射到导线后是否会对导线造成损伤，由此需要对激光清障的安全性进行测试。同样的，实验也选择在高压输电线路中最常用的铝制导线来作为安全性实验的对象。

安全性实验中充分考虑到设计余量，在实验参数的选择上尽量选择最大值。激光功率选择为比常规清障功率稍高的 200W，实验距离选择为常见清障距离中较近的 50m，铝制导线确定为直径 2.5cm，照射时间设定为比前述有效清障时间 6s 长得多的 1 分钟、5 分钟、10 分钟、15 分钟，来观察铝制导线的外形变化，并测量其温度变化。电网安全测试结果如图 2 所示。

通过实验可知，当激光辐照时间小于 15 分钟时，铝制导线升温最高 30℃，这是由于铝制导线所具备的高导热性能能够把热量瞬间传导。为了保证导线安全，在极端情况下，远程激光电网异物清除设备对异物的照射时间应该控制在 10 分钟以下。实际上在真正的异物清除中，通过前面的异物清除实验可以看到，对于常见的异物来说，清除时间一般都在 10 秒以内。实际清除工作中，激光处理异物的时间控制在 1 分钟之内，对于面积较大较难清除的异物，可以多次间歇性完成清除工作。激光持续作用在电网的时间远远小于可能损伤导线的时间。

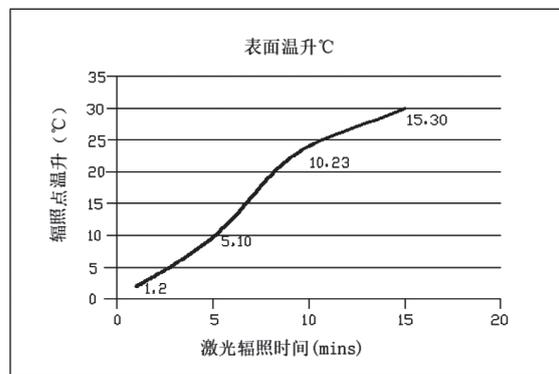


图 2 激光辐射时间与铝线表面温升

通过上面的有效性和安全性实验,可以得出结论:采用光纤激光器作为激光清障设备的发生器是切实可行的,对于大部分缠绕在电网上的非金属异物在 100 米距离左右是可以在 10 秒钟之内完成清除工作的,而且控制最长操作时间在一分钟之内,对电网导线的安全也不会造成损伤。

四、结语

通过实际设备在野外的清障实验,证实采用光纤传感器作为激光介质的远程电网异物激光清除器在实际应用中取得了良好的效果,由此可见,采用光

纤激光器作为远程电网异物清除设备的激光介质对于降低能耗降低使用成本还是具有广阔市场空间和重要意义的。

参考文献:

- [1] 王英军.激光标准技术在电网异物清除方面应用探讨[J].中国标准化,2017(8):230-231.
- [2] 徐北方,冯军森.激光技术应用于清除超高压架空输电线路异物的探讨[J].农村电气化,2019(7):43-46.

[责任编辑:詹华西]

Research and Design of Remote Power Grid Foreign Body Laser Remover

Li Jian¹, Huang Jing²

(1.School of Mechanical and Electrical Engineering, Wuhan Polytechnic, Wuhan, Hubei, 430074;

2.Academic Affairs Office, Wuhan Polytechnic, Wuhan, Hubei, 430074)

Abstract: The use of laser technology to remove foreign objects wound on high-voltage transmission lines has important practical significance. The use of fiber lasers as the laser medium of remote power grid foreign body removal equipment has broad market space and important significance for reducing energy consumption and cost. Through effectiveness and safety experiments, the feasibility of using fiber lasers as the laser medium for remote power grid foreign body removal equipment was verified. In addition, this paper proposes a design plan for an integrated, miniaturized and portable laser remover.

Keywords: high-voltage transmission lines, laser technology, foreign body removal, fiber lasers, laser generators