

配网设备线夹铜铝过渡方式研究

杨志宏¹ 程志龙¹ 林鹏程¹ 李超¹ 黄德裕² 杜皓²

1 国网福建省电力有限公司惠安县供电公司 2 国网福建省电力有限公司泉州供电公司

DOI:10.12238/hwr.v8i8.5662

[摘要] 随着社会用电量的迅速提升,配网的可靠运行迎来了巨大挑战,并引起了广泛关注。设备线夹作为配网的重要连接端子,其发热问题具有发生频率较高、危害较严重的特点。从设备线夹金属特性、施工工艺等方面,分析了设备线夹的发热原因;通过温升试验与直阻试验,实现对各类型设备线夹温度特性、电阻变化等方面的定量分析;对比各类设备线夹型号的优缺点,归纳线夹发热防范措施,最终指出铝质线夹配合铜铝过渡片的方式在降低端子发热方面表现较好,并针对其不足之处提出改进建议。

[关键词] 设备线夹; 温升试验; 铜铝过渡

中图分类号: TV 文献标识码: A

Research on Copper Aluminum Transition Method for Distribution Network Equipment Wire Clamp

Zhihong Yang¹ Zhilong Cheng¹ Pengcheng Lin¹ Chao Li¹ Deyu Huang² Hao Du²

1 State Grid Fujian Electric Power Co., Ltd. Huian County Power Supply Company

2 State Grid Fujian Electric Power Co., Ltd. Quanzhou Power Supply Company

[Abstract] With the rapid increase in social electricity consumption, the reliable operation of distribution networks has faced enormous challenges and attracted widespread attention. As an important connection terminal of the distribution network, the heating problem of equipment clamps has the characteristics of high frequency of occurrence and serious harm. Analyzed the causes of heating in equipment clamps from the aspects of metal characteristics and construction technology; Quantitative analysis of temperature characteristics, resistance changes, and other aspects of wire clamps for various types of equipment is achieved through temperature rise tests and direct resistance tests; Comparing the advantages and disadvantages of various types of equipment wire clamp models, summarizing the measures to prevent wire clamp heating, and finally pointing out that the combination of aluminum wire clamp and copper aluminum transition piece performs well in reducing terminal heating, and proposing improvement suggestions for its shortcomings.

[Key words] equipment cable clamp; Temperature rise test; Copper aluminum transition

引言

随着社会经济的高速发展,社会用电量逐年增加。为满足用电可靠性及负荷增长需求,树立良好的供电企业形象,配网采用手拉手供电方式,增加电源点数量的同时,配网设备数量也大大提高。设备线夹是导线与电力设备连接端子,在实际使用中常出现发热故障现象^[1],如何降低其发热故障率,提升配网运行可靠性成为配网领域研究的重要课题。

目前,设备线夹发热问题已引起电力领域从业者的广泛重视,文献^[2]介绍了变电站内设备线夹的发热原因,文献^[3]分析了线夹发热时的热像特征,文献^[4]则重点研究了线夹发热所导致的开裂问题。但目前相关研究大多面向于主网侧,针对发热现象、预防措施等仅进行定性分析,缺少相关数据进行定量研究,

且无法解决现场施工工艺良莠不齐的问题。因此,亟需对各类型设备线夹特性开展试验研究,在源头上解决频繁发热问题。

本文首先对配网设备线夹发热危害及原因进行总结与介绍,之后通过对不同铜铝过渡的设备线夹进行温升试验与直阻试验,对其通过大电流时的温度变化及电阻变化情况进行定量分析,从而实现对各类线夹型号优缺点的对比,指出铝质线夹配合铜铝过渡片的方式在减少发热概率方面的优越性,并从施工工艺、铜铝过渡方法等方面提出进一步提升的建议。

1 设备线夹发热危害

设备线夹持续发热首先会对连接导线造成影响,高温将逐渐破坏导线绝缘层并产生异味,甚至造成绝缘层发黑、冒火,直到断线。并且,设备线夹温度升高也会导致线夹强度下降,进而

形成裂纹,逐步贯穿连接面,直到线夹断裂。因此,设备线夹发热不但会使线路工作电流增大,造成电能输送过程中的电能损失,还将严重降低设备绝缘性能,降低使用寿命,甚至造成线路跳闸、停电等故障。近三年,本省共发生337起设备线夹发热导致的故障,造成直接经济损失超过300万元,社会效应等间接损失更为巨大。

2 设备线夹发热原因分析

2.1 施工工艺不规范

现场施工人员为赶工程进度,未完全按照相关工艺规范要求安装,造成设备线夹长期运行后的发热隐患。例如绝缘导线剥皮未使用专用电动剥皮工具,接触面处理不当,压接导线顺序错误,未使用相应尺寸压接模具进行压接,以及螺栓孔洞加工不规范等,均会导致设备线夹接触电阻的升高。同时,部分线夹与导线间的压接工艺复杂,也很难保证现场安装施工的正确与规范。

2.2 设备线夹长时间使用,金属表面发生腐蚀

目前使用的设备线夹多为铝、铜或铝合金制成,且设备环境均较为复杂,长时间使用后金属表面很容易发生腐蚀现象,造成接触不良等情况,引起接触电阻的上升。以铝合金设备线夹为例,进行了模拟盐雾试验,将其放置于户外泥土中4个月时间,表面锡层便已脱落,可见在户外的长时间放置将对设备正常使用造成较大影响。



图1 铝合金线夹模拟盐雾试验结果

2.3 线路短路时在设备线夹接触面形成麻点

当铜铝线夹腐蚀时,接触面电阻增大,当线路出现短路故障时,短路电流很大,在端子接触面瞬间温度很高,因此很容易烧成麻点。在短路故障消除之后,麻点的存在提高了端子的接触电阻,从而导致设备线夹在流经正常电流时也出现发热现象。

2.4 铜铝膨胀系数不同,长时间使用间隙增大

设备线夹在使用时常面临各种不同的运行工况,电流的变化、环境天气的改变等情况导致设备线夹温度出现频繁波动,造成反复的热胀冷缩。铜金属的热膨胀系数为 $17.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,而铝金属的热膨胀系数为 $23 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,两者的不同造成反复热胀冷缩过程中两种材料发生不同的变形,从而在连接处产生间隙使空气进入,导致电阻增大,设备线夹发热。同时,由于铝金属具有蠕变特性,使用时间长便会产生变形,也会导致铜铝间隙变大,使得设备线夹出现发热。

2.5 螺栓紧固不当,垫片材质使用不规范

电力设备引流板与设备线夹搭接需采用双孔螺栓紧固。一旦紧固不当,当设备长期运行受到风吹振动、螺栓热胀冷缩、腐蚀等方面的影响,紧固螺栓会松动导致引流板与设备线夹接触压力减小,接触电阻增大,形成发热隐患。螺栓垫片作为辅助铁件,往往容易被忽略,施工人员随意使用,一旦使用易腐蚀的冷渡垫片,也会造成线夹腐蚀。

3 各类型设备线夹试验分析

3.1 试验概况

为比较分析各类型号设备线夹通流时的温升情况,选取目前较常使用的热镀锌铜端子,两种类型的螺栓型铝合金线夹,螺栓型铜铝过渡线夹以及铝质线夹配合铜铝过渡片进行温升试验。为避免环境温度变化的影响,试验环境选择在密闭、避光的室内环境中进行,试验设备选择ZTKG-2008的一体化开关类设备智能试验仪器。将各型号设备线夹与约1米长的240mm²铝导线相连,并安装在额定电流为630A的三相隔离开关上。



图2 温升试验现场接线

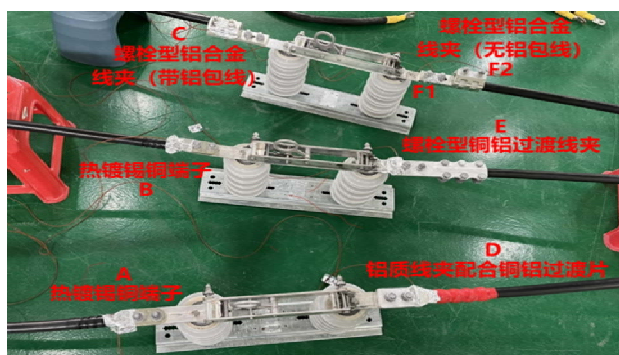


图3 各型号设备线夹连接情况

试验时进线导线一端与仪器接口连接,另一端与隔离开关连接;出线导线一端与隔离开关连接,而另一端则通过铜排进行短接。将温度传感器粘贴在各个连接端子上,以获得各端子的实时温度。为分析导线发热情况对端子的影响,在螺栓型铝合金线夹上设置两个温度传感器,分别放置于与导线连接处及与隔离开关连接处。试验时,在各导线上通过650A的大电流,每隔半小时观察各连接端子的温度情况,直至达到稳定状态,即温度在1小时内变化小于1℃。试验现场接线与各端子连接情况分别如图

2与图3所示, 为方便说明, 以图中的测温点A-F指代对应的各类型连接端子。

3.2 结果分析

温升试验于上午10:25开始, 此时环境温度为20.2℃。各端子温度变化如图4所示, 温度变化于下午15:18分达到稳定。温升测试前后, 在冷却状态下对各导线进行直阻试验, 测试其直流电阻, 结果如图5所示。

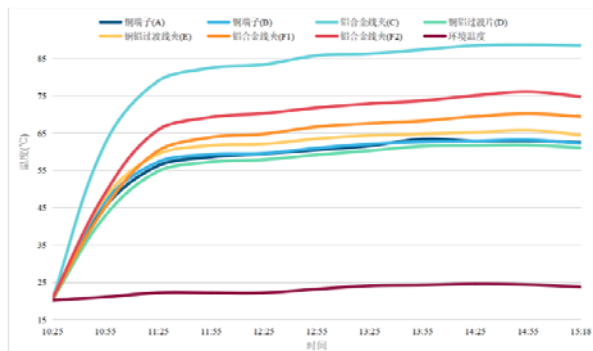


图4 各类型设备线夹温度变化

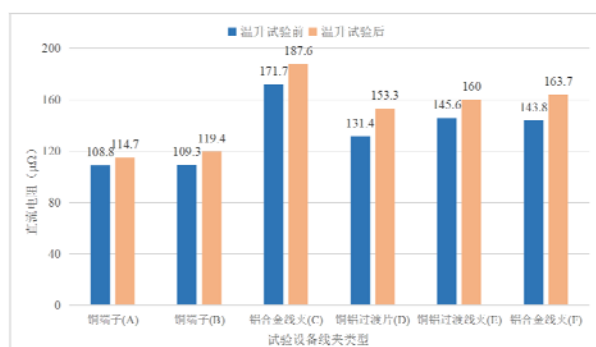


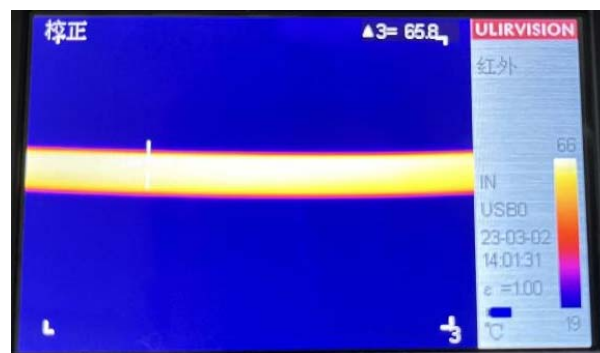
图5 各类型设备线夹温升试验前后直阻变化

可以看出, 随着试验的持续进行, 各端子的温度均先迅速增加, 而后温度的上升速度相对降低, 最终达到稳定。就温度升高情况来看, 两种螺栓型铝合金线夹的温度上升情况最为严重, 这与其电阻较大有关, 但也说明其接触电阻随着温度上升增加得更加明显; 另一种采取螺栓型形式的铜铝过渡线夹温度同样上升较高, 这表明螺栓型的结构方式在实际使用过程中的发热方面可能存在劣势; 而铝质线夹配合铜铝过渡片与热镀锌铜端子的温度上升幅度最小, 其电阻本身较小, 同时温度上升对其接触电阻的变化影响也较小。

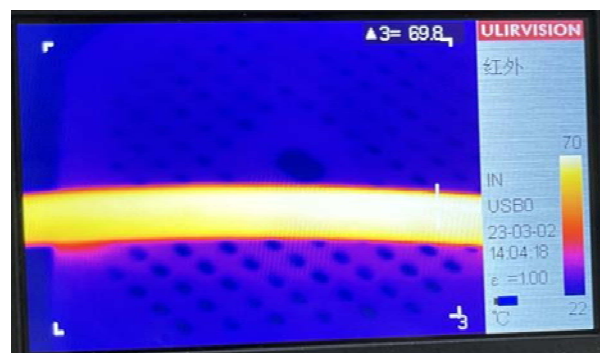
从试验前后直阻变化来看, 各类型设备线夹在温升试验后直阻均有升高, 其中, 两个热镀锌铜端子直阻前后差距最小, 升高幅度仅为5.42%及9.24%, 而铝质线夹配合铜铝过渡片直阻前后差距最大, 升高幅度达到16.67%。这说明热镀锌铜端子在温度较高时的金属防氧化性能更好, 而相对地, 铝质线夹配合铜铝过渡片在温升后的金属氧化较为严重。

各端子的温升情况还与导线的发热情况相关。从螺栓型铝合金线夹两处测温点的温度情况来看, 靠近导线端的F2点的温升更高, 而靠近隔离开关侧的F1点温升较低。在14:05分左右的

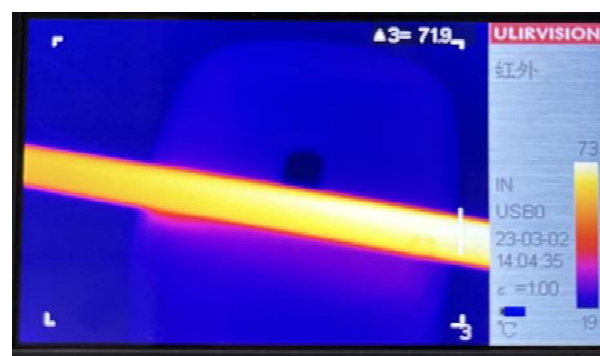
试验过程中, 利用红外线仪器对各导线进行测温, 其结果如图6、图7所示。可以看到, 导线的温度普遍较各连接端子高, 这可能与流通电流过大, 超出了240mm²铝导线的允许载流量有关。



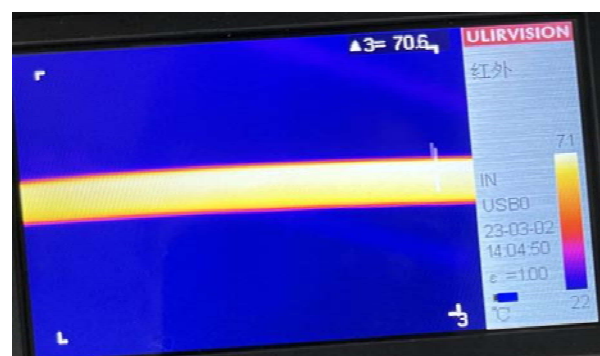
(a) 端子A连接导线温度



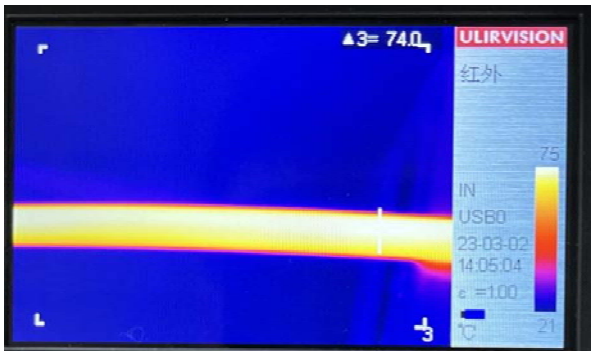
(b) 端子B连接导线温度



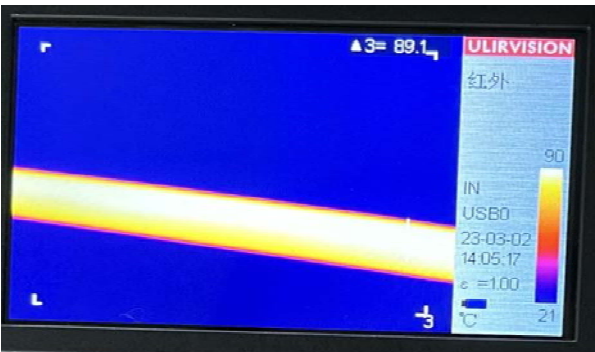
(c) 端子C连接导线温度



(d) 端子D连接导线温度



(e) 端子E连接导线温度



(f) 端子F连接导线温度

图6 各导线红外测温结果

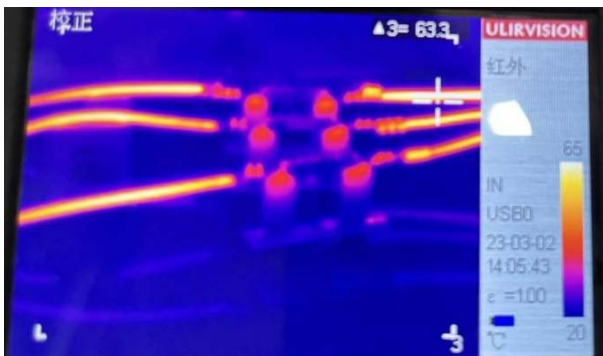


图7 试验各设备红外测温结果

综合以上结果,可看出热镀锡铜端子、铝质线夹配合铜铝过渡片在温升试验中表现较为良好,但本次试验是在室内、干燥环境下开展的短时间试验,无法完全代表各设备线夹在实际户外长时间运行时的性能。

4 设备线夹发热防范措施

4.1 规范施工工艺

现场施工工艺不规范是造成设备线夹发热的主要原因,根据现场较常发生的故障情况,总结施工人员在安装过程中较容易疏忽的施工细节,可在以下几方面加强对施工工艺的规范化管理与监督:

(1) 各种接续管压后压痕应为六角形,六角形对边尺寸应为接续管外径的0.866倍。

(2) 线夹型号与导线规格相匹配,完成压接后外观应是连

续、均匀的六边形。

(3) 合理选择连接用的螺栓、(热镀)平垫圈以及(热镀)弹簧垫圈,防止松动。

(4) 绝缘导线剥皮采用电动剥皮工具进行剥皮,防止铝芯导线出现受损断股。

(5) 采用钻孔机打孔时,由铜面向铝面方向打孔。采用冲孔机打孔时,由铝面向铜面打孔。

4.2 设备线夹型号对比

目前市面上使用较多的设备线夹铜铝过渡端子,主要有螺栓型铜铝过渡线夹,热镀锡铜端子,铝质设备线夹配合铜铝过渡片,螺栓型铝合金线夹以及压缩型铜铝过渡线夹等,具有不同的使用特点,也适用于不同的场景中。《建筑电气工程施工质量验收规范》^[5]、《变电站金属材料金属腐蚀防护技术导则》^[6]等国家、行业标准规定了具体场景下的设备线夹型号选用规范,但实际的使用中,还需根据现场环境的复杂性及施工工艺的不同进行选择。

根据各类型设备线夹的铜铝过渡性能、优缺点等方面特性,并结合温升试验结果,总结各类型设备线夹的对比结果,如下表所示:

表1 多种设备线夹对比

设备线夹型号	螺栓型铜铝过渡线夹	热镀锡铜端子	铝质线夹配合铜铝过渡片	螺栓型铝合金线夹	压缩型铜铝过渡线夹
铜铝过渡性能	铜铝过渡面积大,过渡平稳	室内干燥环境可起到一定铜铝过渡效果	铜铝过渡性能较好,过渡平稳	铜铝过渡性能较差	高强度压接,铜铝过渡性能较好
温升试验结果	温度升高幅度较大,试验后电阻变化也较大	温度升高幅度较小,试验后电阻变化最小	温度升高幅度最小,但试验后电阻变化较大	温度升高幅度最大,试验后电阻变化也较大	/
特点	铜铝过渡性能优良,安装方便无需专门工具安装,但螺栓受到振动、腐蚀、热胀冷缩等因素会松动,导致接触压力减小形成发热隐患	结构简单可靠,但户外潮湿环境下不能有效防止铜铝搭接引起的电腐蚀,且铜端子价格较贵	铜铝过渡效果优良,但铜铝过渡片需二次打孔加工,且线夹、铜铝过渡片间通过螺栓连接,易产生间隙	安装较为方便,但同样具有螺栓松动隐患,并且整体电阻较大,有较大发热风险	结构简单可靠,但需要采用压接工具压接,且对导线剥皮以及压接工艺要求高

通过上述对比可以看出,铝质线夹配合铜铝过渡片方式具有更好的铜铝过渡性能,结构简单可靠,与导线间无螺栓结构,可避免螺栓松动问题产生发热,在温升试验中表现也较好。相比

于热镀锡铜端子,更加适用于户外潮湿环境,成本也更低廉。因此,在规范施工工艺的前提下,在配网电气设备中可优先推荐使用。

4.3 设备线夹改进建议

由以上分析可以看出,虽然铝质线夹配合铜铝过渡片方式具有更好的适用性,但其本身存在一定问题,并不能完全解决设备线夹的频繁发热问题。例如,铜铝过渡片的使用需要经过二次打孔加工,铝质线夹与导线的连接也需经过压接,对于现场安装与施工工艺要求较高;并且,铝质线夹、铜铝过渡片及隔离开关间仅通过螺栓连接,长时间使用后较易产生间隙,增大接触电阻。

因此,针对铝质线夹配合铜铝过渡片所存在的以上问题,提出两种可降低线夹发热概率、提升使用寿命的改进建议:

(1)在原有10kV隔离开关与铝质设备线夹连接处,直接压接铜铝过渡片,可避免两者间由于螺栓不牢固而造成的间隙问题;并且,为较好地保证安装与施工工艺的规范性,可由厂家直接进行铜铝过渡片的打孔。

(2)将铝质线夹、铜铝过渡片及导线进行集成安装,由铝质线夹厂家负责铜铝过渡片的制作与打孔,将铜铝过渡片与铝质线夹直接压接在一起,并完成导线与线夹的压接,在源头上解决铜铝过渡连接端子的发热问题。

以上改进,可在原本铝质线夹配合铜铝过渡片的基础上,通过厂家的集成加工、安装,降低对于现场施工工艺的要求,提升现场适用性;通过铜铝过渡片与隔离开关、铝质线夹的直接压接,避免螺栓松动问题,进一步提升铜铝过渡性能与使用寿命。

5 结语

设备线夹的发热问题一直是影响配网安全运行的主要因素,提升其铜铝过渡性能是解决发热问题的关键。在配网建设过程中,合理选用设备线夹,规范现场施工工艺,才能从源头上消除发热故障隐患,确保系统的安全运行。本文首先总结了设备线夹发热的主要原因,之后对目前常用的各类设备线夹开展了温升试验,对其通过大电流时的温度变化与电阻变化进行了定量分析,最后对比了各类设备线夹的优缺点,并针对铜铝过渡性能较好的铝质线夹配合铜铝过渡片提出了进一步的改进建议。

[参考文献]

- [1]郑泽飞.一起配网设备线夹烧毁故障的分析[J].农村电工,2019,27(08):47-48.
- [2]黄正丹,丁建谊,胡建文.变电站电力设备线夹及接头发热原因分析[J].科技创业月刊,2013,26(08):178-180.
- [3]崔明,贾晨,王朔.导线与线夹接触不良发热的热像特征[J].吉林电力,2013,41(06):36-38.
- [4]钟相源.变电站铜铝过渡设备线夹断裂分析[D].华北电力大学(北京),2007.
- [5]GB 50303-2015,建筑电气工程施工质量验收规范[S].
- [6]DL/T 1425-2015,变电站金属材料腐蚀防护技术导则[S].

作者简介:

杨志宏(1979-),男,汉族,福建泉州人,本科,高级工程师,研究方向:电气工程与自动化。