

中压电缆熔融接头制作及关键性能试验验证

郑大白¹, 王凤凯², 肖孟超³

(1.南通茂联信息技术咨询有限公司,江苏 南通 226000; 2.天津市泰达工程设计有限公司,天津 300457; 3.哈博(常州)电缆有限公司,江苏 常州 213002)

摘要:介绍了南方地区中压电缆线路传统电缆附件位置故障率较高的原因。为解决这一问题,采用了不同的制作方法进行熔融接头,并根据国家标准的部分试验进行对比验证分析。试验证明,熔融接头满足了电缆线路的电性能,解决了传统附件潮气渗透的问题。但是,熔融接头质量与操作方法、工艺路线、工装器具、材料及人员素质关系较大。

关键词:电力电缆; 熔融接头; 电缆附件; 击穿; 故障

中图分类号: TM203

文献标识码: A

文章编号: 1672-6901(2020)05-0035-05

Manufacture of the Medium Voltage Cable Fusion Joint and the Key Test Verification

ZHENG Dabai¹, WANG Fengkai², XIAO Mengchao³

(1.Nantong Maolian Information Consulting Co., Ltd., Nantong 226000, China; 2.Tianjin TEDA Engineering & Designing Co., Ltd., Tianjin 300457, China; 3.Habia Cable China Co., Ltd., Changzhou 213002, China)

Abstract: This article introduces the reason of high failure rate of medium voltage cable line accessories in south of China. In order to solve the problem, we adopt different ways to make the fusion joint, and then test it as the national standard. It is proved that the fusion joint meets the electric requirement, and it solves the problem of the moisture penetration. But the fusion joint quality is affected by the operation method, manufacture process, die, material, operator quality and the other factors.

Key words: electric cable; fusion joint; cable accessory; breakdown; failure

0 引言

目前,随着城市电力需求的不断增加,以及城市电网入地改造不断进行,电力电缆的用量越来越大。但是,电缆线路的故障次数也在节节攀升,国内某城市2010年对10 kV配网电力电缆故障率调查报告指出,电缆中间接头故障率为45.3%,终端头故障率为6.6%,电缆本体故障率为4.4%^[1]。因此,传统的中压电缆附件在使用过程中仍然存在部分问题,尤其是南方地区6~35 kV中压电力电缆线路,由于电缆沿线环境复杂,雨水较多,很多电缆线路都长期浸泡在水中,传统的中压电缆接头由于缺乏可靠的防水防潮保护,水分或潮气侵入电缆,导致中压电力电缆线路接头位置故障率较高^[2]。

近年来,大量新技术运用到电力电缆线路,其中代表性的是海缆技术陆缆化的研究成果——熔融接头技术。该技术目前在国内部分省市投入使用,尤

其是南方雨水较多的地区,如广东、湖南、广西、浙江、江苏等地。熔融接头技术最早用于海底电缆,作为海底电缆大长度接续的一种手段,在国内投入使用已有数十年的历史,只是近几年才在陆地电力线路使用。由于海底电缆和陆地电缆的差异较大,虽然目前国内熔融接头在陆地电缆推广较快,但是仍然缺乏比较系统的试验研究。因此,为了较全面地认识熔融接头,下面将阐述中压电缆熔融接头的制作及关键性能试验的验证。

1 熔融接头制作

本次熔融接头制作及验证的电缆为:铜芯交联聚乙烯绝缘铜带屏蔽钢带铠装聚氯乙烯护套电力电缆,额定电压为8.7/10 kV,三芯,标称截面为400 mm²。其结构如图1所示。

6~35 kV中压电缆接头制作流程为:导体接头连接→导体屏蔽恢复→绝缘恢复→绝缘屏蔽恢复→金属屏蔽及隔离套恢复→铠装及外护套恢复。

1.1 导体接头

导体接头的主要工艺有以下几种:导体分层焊接、导体分单丝焊接、导体整体焊接。其中,导体分

收稿日期:2019-12-16

作者简介:郑大白(1983—),男,工程师。

作者地址:江苏南通市经济开发区雅居乐花园27栋204
[226000]

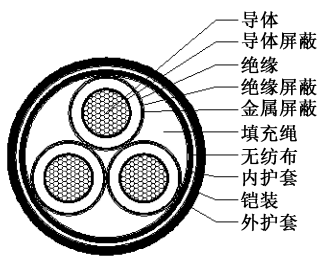


图1 中压三芯电缆结构图



图5 放热焊焊药

层焊接分为分层银钎焊以及分层氩弧焊两种,导体整体焊接又分为整体银钎焊、铜焊以及放热焊三种。其中,熔融接头以导体分层银钎焊、导体分层氩弧焊和放热焊使用较多,陆地电缆熔融接头又以放热焊为主,放热焊主要是通过放热反应产生的高温使金属之间完全熔接,无需外部电源和热源,具有速度快、现场可操作性强的优点。因此,我们采用以上三种工艺分别进行熔融接头制作,如图2、图3所示。放热焊模具、焊药以及焊接原理图分别如图4、图5、图6所示。

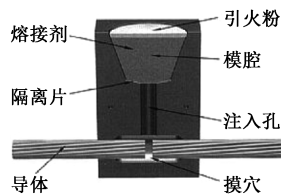


图6 放热焊焊接原理图

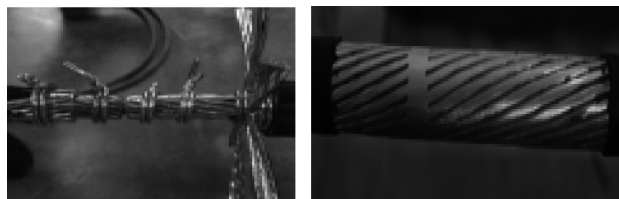


图2 分层导体焊接接头图



图3 放热焊导体焊接接头图



图4 放热焊模具

本制作也采用绕包恢复:首先将电缆两端均制作成铅笔头,并清洁表面;然后用半导电带紧密绕包导体表面,并对其表面进行清洁;之后采用加热紧压技术,并打磨修光,使得屏蔽层与导体之间融合紧密、无气隙,并确保表面光滑,使导体屏蔽表面电场分布均匀合理,无畸变电场。半导电自粘带如图7所示,导体屏蔽恢复图如图8所示。



图7 半导电自粘带

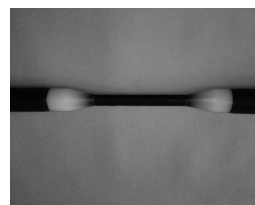


图8 导体屏蔽恢复图

1.2 导体屏蔽恢复

导体屏蔽恢复主要分为模片模压恢复和绕包恢复。目前国内熔融接头主要采用绕包恢复法,因此

1.3 绝缘恢复

绝缘恢复主要分为注塑法和包带模塑法。注塑法即通过挤出机将与电缆本体绝缘相同的塑料注塑在特制模具内,在高温高压条件下硫化,待硫化结束后,然后打磨修光。包带模塑法是绕包主绝缘带材后,采用加温紧压技术熔融交联,之后再打磨修光。加温紧压交联又分为喷灯加热法和加热带加热法。目前国内6~35 kV中压电缆接头主要采用包带模

塑法,110 kV及以上高压电缆主要采用注塑法,本次验证主要是针对中压电缆,因此本次熔融接头制作采用包带模塑法。另外,由于喷灯加热法无法实现数据控制,且跟操作者经验有很大关系,难以控制,在电力电缆施工现场需要“动火证”等条件,现场环境要求较高;而加热带加热法可以通过热电偶对熔融接头整体进行温度控制,操作简单、方便。因此,本接头加热采用加热带加热法,并使用热电偶对接头部位进行温度监控。熔融接头专用包带、包带绕包、接头加热以及绝缘恢复图分别如图9、图10、图11、图12所示。



图9 熔融接头专用包带



图10 包带绕包



图11 接头加热图

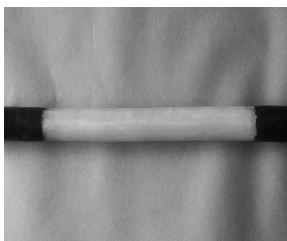


图12 绝缘恢复图

1.4 绝缘屏蔽恢复

绝缘屏蔽恢复主要采用涂刷半导体漆工艺,然后再在外面绕包半导体外屏蔽带,表面平滑且紧密

贴合,采用加温紧压技术,实现接头与原电缆成为连续、等效匹配的电场屏蔽体,使电场分布及电场强度呈现自然状态,减少畸变电场的发生,保障电气性能稳定和运行可靠。之后再次清洁表面。由于半导体漆的作用非常关键,为了避免质量的不可控制,本次熔融接头制作使用的半导体漆为日本进口品牌。半导体漆以及绝缘屏蔽恢复图如图13、图14所示。



图13 半导体漆

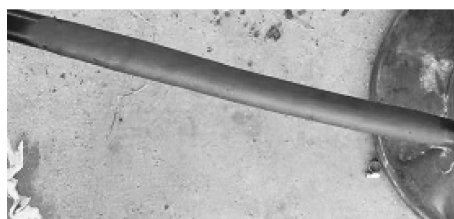


图14 绝缘屏蔽恢复图

1.5 金属屏蔽以及隔离套恢复

金属屏蔽恢复主要分为两种,一种为铜带绕包恢复,另一种为铜丝网绕包恢复。本次验证电缆为金属铜带结构,为了保证与电缆的一致性,故采用铜带绕包恢复。

隔离套恢复也主要分为两种,一种为绕包自粘带及防水带,另一种为使用热缩套管工艺。本次验证采用绕包自粘带及防水带方法。

1.6 铠装以及外护套恢复

铠装恢复主要分为两种,一种为钢带绕包恢复,另一种为专用铠甲带恢复。本次验证电缆为钢带结构,为了保证与电缆的一致性,故采用钢带绕包恢复。

外护套恢复主要采用热缩套管工艺,故本次试验验证也采用该工艺。

2 关键试验验证

为了充分验证熔融接头的性能,试验项目如下:局部放电试验及电压试验、导体直流电阻试验、拉断力试验、热延伸试验以及X光机检测试验。

2.1 局部放电试验及电压试验

局部放电试验按照 GB/T 3048.12—2007 进行,

试验电压逐渐升高到 $2 U_0$ 并保持 10 s, 然后缓慢降低到 $1.73 U_0$ 。

经过测试, 局部放电试验结果存在分散性, 根据操作者经验水平的不同, 局放值从不超过背景灵敏值到 10 pC 不等。

电压试验按照 GB/T 12706 进行, 在导体与金属屏蔽之间试验电压 $3.5 U_0$, 持续时间 5 min。

电压试验结果均通过。

2.2 导体直流电阻试验

导体直流电阻试验按照 GB/T 12706 进行, 分别测量了电缆本体导体以及熔融接头电阻, 并进行了拓展试验, 即验证各种不同的焊接方式对导体电阻的影响。试验结果见表 1。

表 1 导体直流电阻试验结果表 (单位: Ω/km)

电缆本体	分层氩弧焊	分层银钎焊	放热焊	国家标准
0.046 6	0.048 3	0.047 1	0.050 3	0.047
	0.048 0	0.047 3	0.048 9	
	0.048 5	0.047 0	0.051 3	

试验发现:

(1) 导体焊接后, 导体直流电阻均有不同程度的增加现象, 其中以分层银钎焊和分层氩弧焊效果最好, 放热焊效果最差。放热焊电阻大的原因是焊药中有大量的杂质引入焊接后的导体, 导致电阻增加。

(2) 不同的操作人员采用同种焊接方法, 焊接的导体电阻具有差异性。

(3) 放热焊不同尺寸、不同结构的模具以及不同品牌的焊药等, 都对放热焊的电阻影响较大, 最大放热焊焊接的电阻比最小的大 20% 以上。

(4) 放热焊时间最短, 分层银钎焊以及分层氩弧焊时间稍长, 分单丝焊接时间最长。

(5) 各种不同焊接方式都可以通过“堆积材料”的方法来减小接头电阻, 但是采用“堆积材料”的方法要注意打磨修整, 不得影响导体屏蔽、绝缘以及绝缘的界面, 防止熔融接头击穿。

2.3 拉断力试验

拉断力试验按照 GB/T 4909 进行, 为了防止端头拉脱, 导体端头采用封铅的方式。拉力机采用卧式拉力机, 具体如图 15、图 16 所示。

通过试验发现导体的拉力值具有较大的分散性, 与操作工水平有关, 导体拉断力在导体拉断力的 60%~90% 之间。放热焊导体的拉断力, 受焊药及模具影响较大。



图 15 拉力试验图



图 16 端头封铅图

2.4 热延伸试验

热延伸试验是电缆本体抽样试验, 我们对熔融接头绝缘本体部分也进行了热延伸试验。样片及试验装置如图 17、图 18 所示。

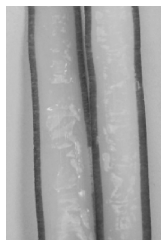


图 17 热延伸样品图



图 18 热延伸装置图

我们通过不同的操作工进行熔融接头的制作, 也采用了不同梯次的温度, 在不同时间下进行硫化, 发现热延伸试验均不合格, 样片全部断裂, 原因是绕包带熔融与电缆本体挤出仍然有差异。从图 17 热延伸取样就可以明显观察出差异性, 故该试验未能成功进行。

2.5 X 光机检测试验

为了检测熔融接头内部质量, 如是否存在气隙、

杂质等影响熔融接头质量的缺陷,我们创新引入了X光机对熔融接头本体进行检测试验。试验结果如图19所示。

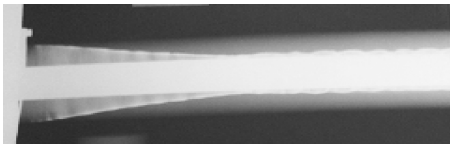


图19 X光机扫描结果图

从图19可以看出,熔融接头本体绝缘绕包层各层之间以及绕包层与电缆本体之间均融为一体,熔融情况良好,无杂质、气隙等影响熔融接头质量的缺陷。导体屏蔽、绝缘以及绝缘屏蔽界面良好,无尖角、毛刺等不良现象。

(上接第23页)

参考文献:

[1] 中国电器工业协会.额定电压450/750V及以下聚氯乙烯绝缘电缆第6部分:电梯电缆和挠性连接用电缆:GB/T5023.6—2006[S].北京:中国标准出版社,2006.

(上接第31页)

3 结束语

聚氨酯材料具有柔软、强度高、耐高温性能好、耐候性好等优点,是电缆护套的优选材料。在使用的过程中应避免与丙酮、二氯甲烷、四氢呋喃等强溶剂接触,这些材料会加速聚氨酯材料的老化。在工业应用中选择丙酮作为清洗剂对电缆进行清洗的情况

3 结束语

熔融接头力学性能及电性能满足电网使用要求,在粤港澳大桥、盐城热电路抢修工程等项目得到了广泛应用。熔融接头具备良好的防水防潮效果,能够有效解决电缆连接部位水分侵入造成电缆击穿的问题。当然后续还需要进行大量的试验验证,如过负载试验、热循环试验、逐级击穿、加速热老化试验等。只有进一步对熔融接头技术进行系统研究,才能为大面积推广奠定良好的基础。

参考文献:

[1] 中国电力企业联合会.电力工程电缆设计规范:GB/T50217—2018[S].北京:中国计划出版社,2018.
[2] 王凤凯,郑大白,陈振辉,等.大长度高压电力电缆线路设计及应用研究:2019年(第四届)全国电网技术交流会论文集[C].北京:2019.440-446.

[2] 中国机械工业联合会.额定电压450/750V及以下聚氯乙烯绝缘电缆电线和软线第6部分:电梯电缆:JB/T8734.6—2016[S].北京:机械工业出版社,2016.
[3] 中国电器工业协会.阻燃和耐火电线电缆通则:GB/T19666—2005[S].北京:中国标准出版社,2005.

比较普遍,这加速了电缆护套材料的老化,希望引起重视。

参考文献:

[1] 胡玮,岳红涛.热塑性聚氨酯弹性体在电缆护套上的应用[J].电线电缆,2010(6):28-30.
[2] 王春江.电线电缆手册[M].北京:机械工业出版社,2001.

《电线电缆》编辑部声明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。同时,本刊已在“万方数据-数字化期刊群”全文上网,被《中国核心期刊(遴选)数据库》、中国学术期刊综合评价数据库和中国科技期刊数据库(全文版)全文收录。该社著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意上述声明。如有异议,请在投稿时说明,本刊将按作者要求处理。