

YJZGG-64/110 型干式 GIS(变压器) 交联聚乙烯电缆终端

严 锋

(浙江金凤凰电气有限公司, 浙江 上虞 312300)

XLPE Cable Terminal of Type YJZGG-64/110 Dry Gas Insulation Switchgear (Transformer)

YAN Feng

(Zhejiang Golden Phoenix Electrical Co. Ltd., Shangyu 312300, China)

摘要: 在消化、吸收国外先进技术的基础上, 针对国内 GIS 电缆终端的技术现状, 对产品结构进行了全新优化、整合, 开发出了 YJZGG-64/110 型干式 GIS(变压器)交联聚乙烯电缆终端, 其为纯干式增强型应力锥钻结构。利用有限元软件对其内部结构进行了设计, 相对缩短了环氧套管的轴向尺寸, 设计紧凑, 无油, 无气。100%出厂试验证明, 该产品可靠性高, 安装简便, 迎合了两网改造“无油, 无气”的市场需求, 具有广阔的应用前景。

关键词: 电缆附件; 干式 GIS(变压器)电缆终端

中图分类号: TM571 **文献标志码:** A

Abstract: Based on investigating the foreign advance technology and domestic current state of cable terminal for insulation switchgear(transformer), the product structure was optimized. The type YJZGG-64/110 XLPE cable terminal for dry GIS had been developed with structure pure-dry enhanced and stress taper drill. The inside structure was designed by using finite-element software. This design shortened the axial size of bushing, and it was compact without oil or gas. The routine test results show that the product have high reliability and easy assembled.

Key words: cable accessory;
dry GIS (transformer) cable terminal

0 引言

随着科学技术的发展和城市电网建设的需求, 架空线正逐步被交联聚乙烯电缆所取代。126 kV SF₆ 气体绝缘开关设备 GIS 选用交联电缆进出线后, 可以缩小设备的占地面积, 降低设备造价。变压器的进出线, 若采用前端加装屏蔽罩的 GIS 电缆终端来代替传统的油纸式变压器套管, 价格便宜, 在运行时不需专门对终端进行电气试验和油色谱分析试

验等, 维护方便。

传统的 GIS 终端在应力锥外部周围充有液体绝缘油, 称为湿式(或充油式)GIS 电缆终端。纯干式 GIS 终端的外绝缘采用环氧树脂套管, 内绝缘为硅橡胶复合应力锥, 依靠应力锥和环氧树脂套管内锥斜面形成的压紧力来分别满足电缆绝缘和应力锥界面、应力锥和环氧树脂套管界面的电气强度要求, 在 GIS 终端本体内, 不需要灌注绝缘油或绝缘气体, 且环氧套管尺寸小, 故称为纯干式 GIS 电缆终端。

变压器终端的基本结构与 GIS 终端相似, 但是终端外变压器油与 SF₆ 气体的电容率(介电常数)不同, 因而整个终端的电场分布不完全相同。另外, 变压器油的击穿强度也较 SF₆ 气体低, 一般采用的是改变终端套管高压屏蔽罩的形状来调整电场分布, 从而使变压器终端与 GIS 终端的结构通用^[1]。

研制的 126 kV 干式 GIS 电缆终端采用增强型应力锥结构, 相对缩短了环氧套管的尺寸, 结构紧凑, 性能可靠。终端产品按照 IEC 60859 标准设计、制造, 可以安装在任何厂商制造的标准型 GIS 开关设备上。终端关键部件如应力锥、环氧套管采用进口原材料, 应力锥及整个 GIS 终端的结构均经过有限元软件优化设计, 使电缆绝缘界面、环氧树脂套管内外界面的轴向场强分布均匀, 并且具有理想的分布状态, 从理论上确保了产品的运行可靠性。根据用户的需求不同, 产品结构分为压接式和插拔式两种。

1 产品结构

1.1 压接式结构

如图 1、2 所示, 压接式 GIS 电缆终端分别由屏蔽罩、压接导体、环氧套管、橡胶应力锥、强力弹簧等

收稿日期:2007-01-04; 修回日期:2007-05-10

作者简介:严 锋(1971-), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向为高压电容套管及电缆附件的制造及理论应用。

部件组成。压接式变压器电缆终端在 GIS 电缆终端的前端增加了屏蔽均压罩,和 GIS 电缆终端相比,在变压器的电缆仓内需要更大的净距尺寸,以满足变压器接口处必要的屏蔽保护。

压接式电缆终端需要现场先连接压接导体,将电缆线芯压接好后,再和环氧套管等其它零部件组装成一个完整的电缆终端。将完整的电缆终端插入 GIS 电缆仓内,完成接口对接和界面密封后,才能对整个 GIS 开关进行抽真空、充 SF₆ 气体等绝缘过程处理,GIS 电缆终端的单相或局部缺陷可能会导致重新对整个 GIS 开关设备的重新绝缘处理,维修不够方便,维护成本较高。

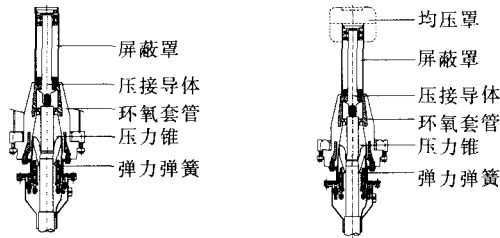


图1 压接式 GIS 电缆终端 图2 压接式变压器电缆终端

1.2 插拔式结构

如图 3、4 所示,插拔式电缆终端分别由均压罩、延伸导体、梅花触头、环氧套管、橡胶应力锥、强力弹簧等部件组成。环氧套管、延伸导体、梅花触头的动触头等部件可以先作为单独部件先期提供给用户,用户在电缆终端正式安装前就可以进行设备的绝缘处理过程,电缆或电缆终端故障时,可在不打开 GIS 设备气体隔室的情况下进行拆卸维护,维修方便,缩短了故障设备重新投运时间,维修成本较低。

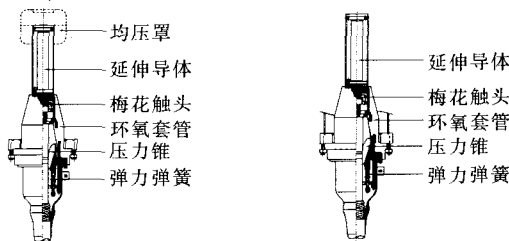


图3 插拔式变压器电缆终端 图4 插拔式 GIS 电缆终端

2 产品设计

干式 GIS(变压器)电缆终端安装在电缆仓内的空间相对狭小,外绝缘没有相对较长的外绝缘保护,内部应力锥周围无任何气体或液体绝缘介质填充,这都会导致在各绝缘介质界面的电场分布相对集中,因此产品设计的关键就在于半导电应力锥形状及与套管屏蔽电极配合的优化设计和各界面的压力选取。

2.1 电场分布优化设计

GIS(变压器)电缆终端外围均有金属设备外壳(升高座),终端的电场分布被强制集中在有限区域

内,采用 ANSYS 有限元软件对简化后的电缆终端进行电场分布优化设计,就可以得到各绝缘界面在不同电压作用下的切向电场分布情况。

半导电应力锥是电缆终端的核心部件,其结构、形状要求非常严格,应力锥接地屏蔽段纵剖面的轮廓线为 AB,图 5 的 AB 曲线从理论上讲,AB 曲线应是复对数曲线。在图 5 中,取半导电应力锥起始点为坐标轴,通过电缆线芯的中心线作为 X 轴,则在 X-Y 坐标系中应力锥纵剖面轮廓线 AB 与 X 方向的轴向应力关系可由式(1)表示^[2]

$$E_t = U/x \ln[(\epsilon_2 \ln r_1/r + \epsilon_1 \ln y r_1/r) / \epsilon_2 (\ln r_1/r)] \quad (1)$$

式(1)中 E_t 为 AB 曲线上各点的轴向电场强度, kV/mm; U 为相电压, kV; r 为导体半径, mm; r_1 为线芯绝缘半径, mm; y 为附加绝缘半径, mm; x 为应力锥长度, mm; ϵ_1 为电缆本体绝缘材料的介电常数; ϵ_2 为附加绝缘材料的介电常数。

由式(1)可以看出,轴向场强的分布由运行电压、电缆结构尺寸、电缆本体和附加绝缘材料的介电常数 ϵ 来共同确定,因此需要对各参数对轴向场强的影响权重进行优化设计。

根据式(1)的理论计算公式,分别对 $AB=70、85、95$ mm, $R_1=55、60、65$ mm, $R_2=4、6、8$ mm 的情况下对 AB 曲线的坡度、长度及附加绝缘的厚度进行了优化设计。经过对比优化设计,可以得出在其它条件相同的情况下, $AB=85$ mm, $R_1=60$ mm, $R_2=6$ mm 时, AB 曲线和绝缘外表面的轴向电场分布较均匀,且最大场强值小于许用值。

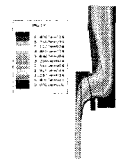
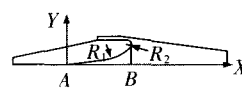


图5 半导电应力锥结构简图 图6 64 kV 下终端的电位分布图

图 6、7 是经优化设计后电缆终端的电场分布趋势,从图 7 上的场强分布曲线可以看出,电缆绝缘表面、环氧套管内表面、环氧套管外表面的切向场强均小于 0.6 kV/mm,小于许用场强值,而且整体分布比较均匀。

同时从图 7 还可以看出,在应力锥的不同尺寸段内,各界面的场强分布趋势不尽相同,存在交替变化的现象,这是因为环氧套管内双金属屏蔽电极的电位钳制的原因,不同程度上改变了电缆终端的电位分布趋势和场强数值的大小,计算结果比较形象地模拟出了不同绝缘界面上的实际电场分布趋势。

2.2 压力分布设计

硅橡胶应力锥以过盈的方式套在交联聚乙烯交联电缆的绝缘上,靠硅橡胶材料在高温下硫化后的高弹性和弹簧的压紧力在电缆和环氧套管界面间产生一定的压力来保证界面的电气 (下转第 480 页)

表2 一次载流体镀锡成本分析

项目	电刷镀镀锡 (生产车间加工)	槽镀镀锡 (外协加工)
生产设备投入/元	10 000	无
设备折旧年限/年	5	无
辅料、耗材投入/元	约 2 000	无
年电镀费用合计/元	19 270.375	101 400
平均每件电镀成本/(元/根)	11.68	61.45

注:成本计算依据:①年产互感器3000台,年产值1亿元。其中需要电镀的有铜管450根(15%),铜棒1200根(40%);②工人1人,工资800元/月,劳保福利10元/月;③电费1.0元/千瓦时,设备折旧率20%(按5年折旧,年均折旧20%),场地(10m²)费用200元/月,运费计算按10元/km;④管理费100元/月。另外电刷镀镀锡(生产车间加工)可对外承接电刷镀修配工程而槽镀镀锡(外协加工)可能存在周转冲突、交货期冲突。

表3 某企业干式电流互感器一次载流体的电刷镀锡工艺

项目	内容
镀锡工艺流程	备料-丙酮清洗除油污-电刷镀锡-自来水冲洗-干燥-砂纸抛光-检验
设备	可测厚型刷镀电源,一次载流体刷镀工装,电源线若干米,220V/10A插板一个
工艺参数	电源输出DC5V,镀层厚度12 μm
辅具、辅料	平板型电极、月牙型电极各一块;涤棉绒包布一块(0.1m ²)
电镀溶液	A、B型刷镀锡溶液各5L,1:1配比,充分混合
备注	每班刷镀工人1名,每班计件40根

刷镀锡技术应用在干式电流互感器一次载流体的镀锡工艺过程中,镀层均匀、可靠,环保价廉;且保证了客户的交货时间,节约了生产成本,提高了生产效益。

(上接第477页)

强度。因此界面压力的设计就显得非常重要,界面压力的大小取决于应力锥的外形、相对过盈量的大小以及材料的物理特性(如弹性模量、硬度、抗拉强度等)。

模拟试验表明:界面的绝缘强度与界面上所受的压力呈指数函数关系。在一定范围内,界面的绝缘强度随界面压力的上升增加很快,但有一个饱和区,在界面压力达到500 kPa左右时,再增加界面压力,界面绝缘强度反应不敏感,此时界面压力的增加对界面绝缘强度的增加几乎没有任何贡献。取过盈量单边大于1 mm,辅助弹簧的压紧,界面压力可大于500 kPa,此时的界面绝缘强度大于5 kV/mm,即可满足实际工程需要。

根据有限元模拟分析,可以得到应力锥内、外表面的轴向应力分布情况。从图8轴向应力分布曲线来看,整体应力最大值在内侧前端,最小值在内侧中部。在应力锥中部不论内侧还是外侧应力曲线波动均相对较小,表明这些区域应力分布相对较为均匀。但在应力锥前后端应力值的波动相对较大,表明应力变化较为剧烈^[3]。

3 结语

开发的YJZCG-64/110型干式GIS(变压器)交

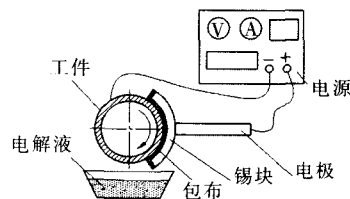


图1 电刷镀锡工作示意图

4 结语

以电刷镀技术在某互感器企业一次载流体的镀锡工艺过程的应用实例,证明了电刷镀技术应用在互感器工件镀锡工艺过程中替代传统槽镀镀锡的经济性和实用性,也可供同类电气产品的技术改进借鉴和参考。

参考文献:

- [1] 程秀云、张振华. 电镀技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [2] 董英琦, 黄燕琳. 电刷镀镀层性能的研究[J]. 水利电力机械, 2006, 28(8): 12-13.
- [3] 孙米强. 电刷镀技术的研究及应用进展[J]. 内蒙古石油化工, 2006(6): 5-7.
- [4] 任雨松, 花国然, 罗新华. 电刷镀新技术及其在机械工程中的应用[J]. 南通大学学报: 自然科学版, 2005, 4(2): 16-18.
- [5] 王文, 赵中国. 电刷镀技术在机械制造中的应用[J]. 四川工业学院学报, 2001, 20(3): 19-21.
- [6] 武汉材料保护研究所三奇金属表面强化公司. 刷镀技术的特征[EB/OL]. 2007.1.20. <http://www.san-qi.com/tezhen.htm>.

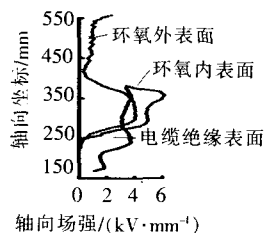


图7 各分界面的切向场强分布图

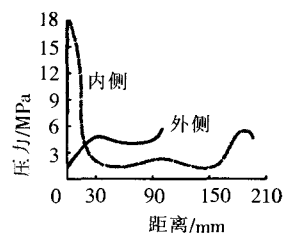


图8 硅橡胶应力锥内、外侧应力分布图

联聚乙烯电缆终端为纯干式、增强型应力锥结构,相对缩短了环氧套管的轴向尺寸,设计紧凑,内部无需填充液体绝缘油或气体,免维护、免巡视,无污染,环境友好,产品主体在工厂预制并经100%出厂试验,可靠性高,安装简便,迎合了两网改造“无油、无气”的市场需求,具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 应启良. 高压及超高压XLPE电缆附件的技术进展[J]. 电线电缆, 2000(1): 8-9.
- [2] 卓金玉. 电力电缆终端结构中的应力锥电场数值分析和模拟实验研究[J]. 电工技术学报, 2000(4): 15-19.
- [3] 马永其. 220 kV电缆终端应力锥在力场中的数值模拟分析[J]. 中国电力, 2005, 38(7): 24-27.