

[检验检测]

一种新型回路电阻测试线接线钳的研制

文/国网福建检修公司 谢育鹏 邱 偲 曾绍菁

回路电阻测试是变电站例行检修的重要内容。现有的回路电阻测试线线头存在测试形状单一、测试范围有限和高处测试不便等缺陷。针对这些缺陷，新型回路电阻测试线接线钳的研制势在必行。新型接线钳具有测试形状多样、测试范围拓广和便于高处测试等特点。通过对220 kV和500 kV变电设备接触面或刀开关整组回路电阻的测试对比，进一步体现出了新产品的优点。

高压导电回路的电阻主要取决于断路器、刀开关的动和静触头间的接触电阻。接触电阻的存在，增加了导体在通电时的损耗，使接触处的温度升高，其值的大小直接影响设备正常工作时的载流能力，在一定程度上影响短路电流的切断能力。因此，电气设备每相导电回路电阻值是其安装、检修和质量验收的一项重要数据。

国网福建检修公司在进行回路电阻测试时大部分使用的是保定市金达电力科技有限公司产的HLC5502或HLC5506型回路电阻测试仪，55系列回路电阻测试仪采用直流恒流电源作测试电源，测试电流无需手动调节，并且恒流电源设计较高的开口电压，使用较细截面的测试线即可满足测试要求，仪器测试过程由单片机控制自动完成，可快速准确测量开关设备、GIS母线的回路电阻。仪器测试时采用的是四端法测量原理接线，即用随机配套的测试线连接试品及仪器，测试线接线夹口端接试品，插片端接仪器+I、-I、+V、-V接线柱，电流端子+I、-I为粗线、电位端子+V、-V为细线。原理如图1所示。

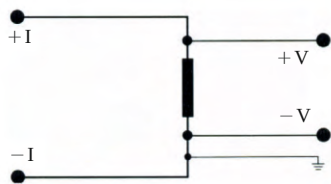


图1 四线法测试电阻

回路电阻测试线接线夹现状

在整个测试工作中，目前所使用的测试线线夹头主要有鳄鱼嘴式和剪刀头式，如图2和图3所示。不管是鳄鱼嘴式还是剪刀头式线夹测试头，在对接触面的测试中，经常出现以下问题。

1) 对于平状接触面，需用钢丝刷刷除表面氧化层，再夹持在铝制或铜质接线板上，但对于非平状接触面，例如管状、多面体状等，用现有的线夹测试头夹持就容易出现夹持力不够、夹持不紧和难于咬破表层氧化膜等问题，从而使回路电阻测试过程中出现电压或电流上不去等现象。

2) 当测试面位于比较细狭的位置，而回路电阻又需要进行排查检测时，用现有的线夹测试头伸不进该细小空间，或伸进去钳口却难以张开，这时只能将外在部件拆除，例如外罩、挡片和挡板等，再进行回路电阻测量，这无疑又多了一道不必要的检修工序。

3) 在回路电阻的测试过程中，大部分的回路电阻测试借用的是高空车，但在高空车斗臂不够长或高空车开不进设备区草地时，对于某些极端位置的回路电阻测试，例如大部分220 kV线路母线侧1刀开关或2刀开关中的垂直刀，这时如果要测量整组刀开关回路电阻，只能借用脚手架，而换相测量又得拆除并移动脚手架，这造成了大量检修时间的无端耗散。而且高空测量临近线路或跳线，感应电

又会对测量造成不利影响。



图2 鳄鱼嘴式接线夹



图3 剪刀口式接线夹

新型回路电阻测试线接线钳的研制

针对以上所述的不足,提出制作新型回路电阻测试线接线夹的设计方案。在新的设计方案中,必须要解决前文所提到的3个问题。国网福建检修公司创新项目小组通过方案设计,制作出了一种全新的接线钳,简要介绍如下。

1) 接线钳头部剖面简图如图4所示。

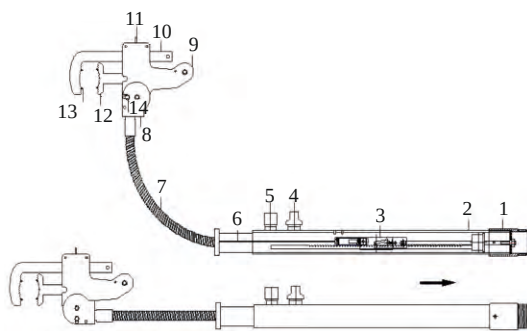


图4 线夹钳头剖面图

- 1—连接扣(连接加长绝缘杆) 2—绝缘套管 3—机构
- 4—电流接线端子 5—电压接线端子 6—钢丝绳
- 7—鹅颈软管(外层包塑内部为钢簧)
- 8—方向调节连接件(采用不锈钢制成)
- 9—主体件(高强尼龙注射) 10—定钳口(黄铜材质)
- 11—定钳口调节开关(拨动后可调节定钳口长度松开后锁定)
- 12—动钳口(黄铜材质,连接动滑轮获得足够大的夹合力度)
- 13—钢针(轴承钢材质,高强硬度来克服铜铝铁的氧化组织)
- 14—角度锁定开关(拨动后可调节钳口的角度松开后锁定,分别为水平、竖直和斜向)

2) 接线钳头部使用方向简图如图5所示。

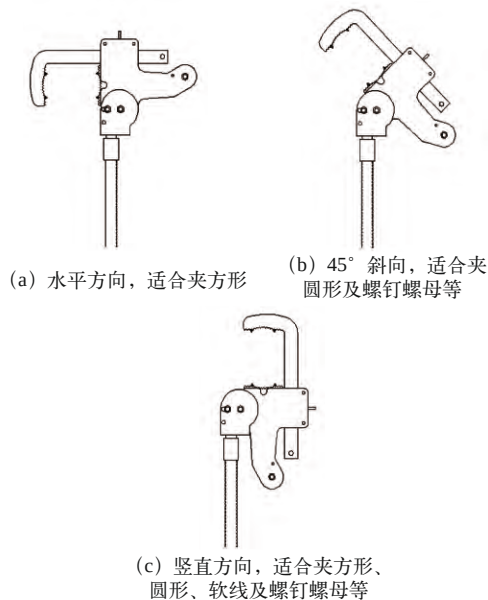


图5 线夹钳头使用方向图

3) 绝缘对接棒剖面简图如图6所示。

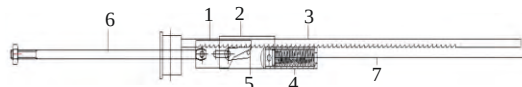


图6 线夹绝缘对接棒剖面图

- 1—解锁钥匙 2—机构支架 3—齿条
- 4—储能弹簧 5—解锁鸡爪 6—拉杆

该接线钳头部共分为3个部分。

1) 钳头主体部分,包括角度锁定开关(不锈钢材质)、主体支撑件(高强尼龙注射)、定钳口(黄铜材质)、动钳口(黄铜材质)、方向调节连接件(采用不锈钢制成)、定钳口调节开关(拨动后可调节定钳口长度,松开后锁定)和钢针(轴承钢材质,高强硬度来克服铜铝铁的氧化组织),当往上提拉角度锁定开关上的方向调节连接件时,可以转动主体支撑件,整个支撑件可做90°旋转(水平方向、45°斜向和竖直方向),从而带动动定钳口转动,以方便多角度、多方位进行测量。同时,主体支撑件上面的定钳口调节开关可以调节定钳口的伸出长度,以方便不同宽度被测物体的测试夹持需求。

2) 由橡胶软管包裹的钢制鹅颈软管(外层包塑内部为钢簧),该鹅颈软管垂直方向可做90°折合,在水平方向可做360°旋转,以方便整个线夹多角度、多方位旋转及测量。

3) 测试线夹绝缘柄部分(材质玻璃纤维),绝缘柄部分功用主要为支撑及引接测试接线钳单极的电压电流端子,绝缘柄下部为对接套环,作为对接下部绝缘棒所用,同时起支撑上部线夹主体部

分的作用，绝缘柄上端有单极的电压电流端子，从该端子分别引电压、电流引线到动定钳口，从回路电阻仪过来的单极电压电流测试线也装接在该电压、电流端子。同时，下部引接绝缘棒亦能完成自锁与解锁工作，当向左侧（LOCK标识方向）拉动机构时，解锁鸡爪在锯齿齿条牙口处咬合，保证下钳口不会向下滑落，这是自锁机构原理；当向右侧（UNLOCK标识方向）推动机构时，解锁钥匙在机构支架内向右侧移动，靠解锁钥匙的斜面向右侧移动时斜面抬高把解锁鸡爪从锯齿齿条内拉出，保证下钳口向下滑落，这是解锁机构原理。而在上下钳口咬合时，储能弹簧储能，保证上下钳口的接触良好及咬合力量够大。图7为使用范例（用以测量刀开关接触面）。



图7 新型回路电阻仪测试线接线钳使用范例

在整个项目的设计中，其创新部分主要有以下几个方面。

1) 将钳口设计成动定钳口，而定钳口初始位置又可以通过定钳口开度调节开关进行控制，这一设计极大地拓展了接线钳的夹持对象。

2) 角度锁定开关和可弯曲的鹅颈软管的设计使得整个钳口在位置上可以进行多角度、多方位弯绕，比起现有线夹固定长宽、固定握柄式的设计，在使用区域、使用场合上无疑更胜一筹。

3) 带自锁和解锁功能的引接绝缘棒的设计，使得远方夹持和松脱动作成为可能，这也使得脚手架、高空作业车等助高工具可以退居二线，远方操作使得检修效率可以迈上一个新台阶。

测试结果验证

创新项目小组借助停电机，分别对500 kV漳州变220 kV漳奇线286单元间隔、500 kV晋江变500 kV堡江Ⅱ路5052/5053线路及开关单元间隔分别采用新型接线钳和原始线夹头进行刀开关接触面回路电阻、刀开关整组回路电阻等测试，现将测试的几组数据进行总结，如表1、表2所示。

表1 220 kV漳奇线2862刀开关的开关接触面回路电阻测试值

测试单元	220 kV漳奇线2862刀开关		试验日期		2015.11.10	
额定电压/kV	252		型号		GW17A－252DW	
制造厂家	河南平高电气股份有限公司		出厂日期		2008－09－01	
出厂编号	0809186		额定短路开断电流/kA		50	
环境温度/℃	28		相对湿度 (%)		65	
使用仪器	回路电阻测试仪（国网福建检修公司） 型号HLC5502 编号JD549					
测试部位	漳州变220 kV漳奇线2862刀开关的开关接触面					
相别	A相		B相		C相	
测试线	现有	新型	现有线	新型	现有线	新型
阻值/μΩ	10	9	10	10	11	10

表2 500 kV堡江Ⅱ路50531刀开关整组回路电阻

测试单元	500 kV堡江Ⅱ路50531刀开关		试验日期		2015.11.25	
额定电压/kV	550		型号		GW36－550 D1W/4000	
制造厂家	河南平高电气股份有限公司		出厂日期		2014－01－01	
出厂编号	1401045		额定短路开断电流/kA		63	
环境温度/℃	28		相对湿度 (%)		65	
使用仪器	回路电阻测试仪(国网福建检修公司) 型号HLC5502 编号JD549					
测试部位	晋江变500 kV堡江Ⅱ路50531刀开关整组回路电阻					
相别	A相		B相		C相	
测试线	现有	新型	现有线	新型	现有线	新型
阻值/μΩ	125	124	128	127	117	116

在漳州变、晋江变采用新型接线钳和现有线夹分别对刀闸接触面、刀开关整组回路电阻等进行回路电阻测试，发现采用两种线夹所测得的数据很接近甚至相同，最大的一个偏差在漳州变220 kV漳奇线2862刀开关A相靠开关的接触面回路电阻测量中，使用

两种线夹测量得到的值分别为 $9\mu\Omega$ 、 $10\mu\Omega$ ，其偏差系数 $\eta = (10-9)/9 = 11\%$ ，偏差不大，可见新型接线钳符合要求，能够达到预期目标。同时发现一个比较有趣的现象，就是使用新型接线钳测试结果一般都小于现有的接线钳的测试结果，究其原因

因，主要得归功于新型接线钳动定钳口上嵌镶的几排钢针，钢针的设计，相较现有接线夹来说，在咬破又厚又结实的氧化膜方面，其效果无疑更好，所以测试结果也就更贴合设备回路电阻的出厂验收值。

两种高空接线钳对比分析

1) 分别采用两种高空接线钳进行220 kV线路母线侧刀闸三相接触面回路电阻测试，计算其测试时间，通过测试时间来计算其工作效率，如表3所示。

表3 两种接线钳试验过程耗时量对比分析

耗费时间量	现用接线夹	新型接线钳
是否需要预调线夹开口及耗费时间	否	是，调节动定钳口开度、角度锁定位置、鹅颈软管弯曲度仅需多耗10 s
组装耗时	1 min	1 min
登高工具准备耗时	高空车15 min	0 min
(本相及换相耗时平均)	脚手架30 min	0 min
三相换相测试耗时	5 min	5 min
夹紧力等不够而导致测试不顺概率及多耗时	25%，10 min	10%，10 min
登高工具回收耗时	高空车8 min	0 min
	脚手架10 min	
合计	高空车39 min	16 min
全过程需要人数	2人	1人

通过表3分析得知，现用高空接线夹在2人操作的情况下借助高空车也至少要30~40 min才能完成三相回路电阻的测试，而新型高空接线钳可以在1人15 min左右就可以完成三相回路电阻的测试工作。

2) 新型高空接线钳消除了现有高空接线钳的不少安全隐患，大大提高了检修人员的作业安全系数，总结而言，新型高空接线钳比现有接线夹减少了4个危险点，两种接线钳试验过程危险点对比分析如表4所示。

表4 两种接线钳试验过程危险点对比分析

危险点内容	现用接线夹	新型接线钳
高空作业跳线、临近导线等感应电影响	有	无
高空作业安全带绑扎不当	有	无
高空作业钢丝刷等工具采用上下抛掷等传递方式	有	无
试验过程接线钳、试验线易脱落	概率大	概率小

结束语

将新型回路电阻仪测试线接线钳优点或特点总结如下。

- 1) 电气设备进行检修测试时，把高空接线作业转移到了地面操作，从根本上解决了工作人员爬高带来的危险。
- 2) 接线钳采用了动滑轮原理，夹紧力大。
- 3) 接线钳的钳头部分由定型软管与操作杆连接，钳头可以弯曲成任意角度，以适应不同形状试品接线需要。
- 4) 钳口为可调节长短并带有锁定装置，选用黄铜材料制成，设计通过电流达300 A（回路电阻仪测试电流目前常用有100 A、200 A两档），钳口能更换可定制不同长度。
- 5) 动定钳口均为黄铜材质，导电性好。
- 6) 动钳口和定钳口设计都有克服氧化膜的钢针。

7) 钳头的主体选用高强度尼龙材料，将电流和电压完全分开，满足四线法测试时的准确性（例如：回路电阻试验、直流电阻试验和阻抗试验等）。

8) 绝缘棒的解锁机构采用最新研制的省力锁，只需克服杆子本身重量，即可轻松开锁。

9) 对于有盲区需要接线的位置，可以安装无线摄像头。

国网福建检修公司制作出新型回路电阻测试线接线钳，并在生产实践中通过对220 kV和500 kV变电设备接触面或刀开关整组回路电阻的测试对比，表明所提出的新型接线钳相较现有接线夹而言具有测试形状多样、测试范围拓广和便于高处测试等优点。EA

(收稿日期：2016.04.24)

(编辑：刘群点)