

关于保护继电器线圈的试验研究

许昌继电器厂技术科 李文新

一、概 况

线圈是继电器的一个重要部件，它的性能好坏直接影响到继电器的质量，如果线圈断线则整个继电器就不能使用，所以要想提高继电器的质量，必须提高线圈的可靠性和寿命。

自从我国生产继电器以来，就存在线圈断线问题。有不少同志为解决线圈断线问题作过许多工作：采用真空压力浸漆，环氧浇注，阴极保护等，都曾有过一定效果。后来又采用增大线径加电阻线则效果较好。但这些方法都有它的局限性，所以现在仍存在断线问题，尤以电压线圈较为严重，给我国电力系统造成不应有的事故，曾使用户心有余悸。

为了提高继电器质量，厂领导下决心要解决这个问题。

二、调查分析

1. 我们首先对当时断线较多的DZ—410电梯中间继电器线圈进行分析。该线圈是110V， $\phi 0.09$ 毫米漆包线，15000匝，3800 Ω 。采用压力浸5151（H30—1）环氧无溶剂漆。增强尼龙6骨架，AF—200氟塑料多股软线作引线。我们解剖了三个线圈，发现这三个线圈的断头都很相似，全是在线圈的外部靠近引线接头处断的。并且都只有一个断头，断头处的电阻值分别为3600 Ω ，3400 Ω ，3500 Ω 。断头在100倍投影仪屏幕上，断头形状较整齐，并且在断头的端面有一园角，见图1。我厂从58年以来都是在绕一个线圈快要结束前测一下电阻，决定还需要绕多少圈，然后把末端引线压住。测电阻采用刮脸刀片切着漆包线测量，这样刀片就把漆膜切开了。当用的力量较大时，就把铜线切出了伤痕。经过浸漆膨胀，收缩，因此在有伤痕的地方产生应力断线。由于操作者用的力量不一样，所以断的时间长短也不一样，有的浸漆后就断，有的放几天或几个月才断。从而可知我厂82年以前的产品断线大部分是这种原

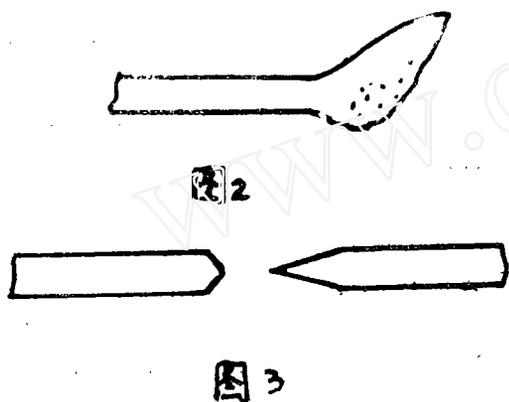


因。从81年10月开始，采取了果断措施，一律不准用刀片切着量电阻。经过一年多的实践证明是对的。从此断线率大大减少。

2.我们对DX—31A信号线圈进行了解剖。此线圈电压220V， ϕ 0.05毫米漆包线，55000匝，24000 Ω 。

首先解剖了一个从云南返回我厂的75年产品，是酚醛压塑料骨架，Q—1油性漆包线，没经过浸漆处理，解剖之后找到二个断头，一个断头在线圈的深部靠近骨架的一端，是腐蚀断的。在80倍生物显微镜下看断头处是一个铜绿球，去掉铜绿球后断头呈大刀状，上边还有些小锈点，见图2。此断头像像是经过砸伤漆膜后腐蚀断的。由于漆膜破裂铜暴露出来了，遇到潮湿空气带来的水、氧、二氧化碳构成电解液，形成局部电化学腐蚀而生成铜绿锈，即碱式碳酸铜— $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCO}_3$ 。

另一个断头是在最里边引线片侧棱上割断的。断头呈三角形，无腐蚀现象，见图3。主要原因是内部引线片高出骨架表面，当绕线后在引线片的两侧形成一个悬空三角区，高约一毫米，这样当漆包线绕速较高拉力较大时，在这三角区造成应力集中，时间一长内在质量有缺欠的漆包线就被拉断。见图片1。



3.解剖的第二个信号线圈是刚绕完，拿回办公室一量就断的。断头是在内引线片弯曲圆角处断的。断头在100倍投影仪下也呈三角形像图3一样。其原因也是由于漆包线在此处悬空太大造成拉应力断线。

4.还解剖了一个从外地返回来的DZ—200中间继电器220V线圈， ϕ 0.06毫米漆包线，26500匝，12000 Ω 。骨架是由铜管，铜板组成。断头是在最里边的引线与漆包线连接的地方。主要是焊接质量不好造成的。

根据当时断线情况，初步分析断线原因：一是由于机械原因造成内应力断线；一是化学原电池腐蚀断线；另一个是浸渍漆选择不当造成断线。我们一面继续研究，一面立即采取一些措施：生产上规定了测电阻不许用刀片切在漆包线上测量；采用低速绕线，固定转数每分钟1500转。因为目前我国漆包线不是自润性的，故不能采用高速绕制。不然漆包线漆皮易磨损，龟裂，并且易拉长造成应力腐蚀断线。改变浸渍漆不再用

5151 (H30—1) 环氧无溶剂漆。临时用H30—2 (3404) 环氧酯漆代用,并彻底烘干。对于浸漆线圈,为了防止磕碰划伤断线,在线圈外面包绕一层尼龙线。采用松香焊剂,减少引线片厚度,采用聚酯薄膜代替黄腊绸。采用上述措施后,收到了一定效果。经过一年多的实践证明,DZ—410电梯中间继电器基本不断线,就是信号220V线圈断线率也大大减少。

三、国外样机线圈的分析

国外样机线圈大部分是细长的,圆柱形的,导线层较薄,这样便于绕线,便于制造。骨架两端直径比导线部分外径大4毫米以上增大了爬电距离,提高了耐压性。线圈排线很整齐平滑。引线槽在骨架的一端,形状比较特殊,漆包线直接引出焊在引线片上,并且接头部分得到保护,这样不易断线。外包材料大部是塑料带并用胶粘牢。

从国外资料来看。骨架材料大部分用的是变形小,吸湿小的材料,如聚碳酸酯,聚丙烯醚,聚丙烯砜,聚苯硫醚,增强尼龙9等。漆包线是向着复合漆包线发展如聚酯亚胺线,聚酯酰胺亚胺复合线。国外中间继电器也有比较细的线,如瑞典RXSF 1是双线圈,每个线圈的线径为 $\phi 0.04$ 毫米,93000匝,40000 Ω ,电压220~250V,凡是湿热带产品也都规定浸漆,浸渍漆是聚酯漆,环氧漆,有机硅漆等。如苏联ГОСТ15151—69湿热带仪表推荐电器线圈用K T M C—1热固性混合胶及MBK甲基丙烯酸丁酸胶。从国外样机和资料来看线圈结构和各种材料的选择是很重要的。

四、线圈基本材料的选择

根据国内有关资料和类似厂的考察来选择线圈构成材料。然后试验研究决定取舍。

1.骨架材料。酚醛压塑料,据有关资料(注1)介绍精密电表电阻骨架用它,发现它的吸水性大。经21周期湿热试验后重量增加2—5%,直径增大0.5~1.5%,膨胀变形造成断线率达30—70%。这种材料放出氨气也会引起铜腐蚀断线。增强尼龙6,各方面性能都较好,但是吸水率达1.2—1.9%并且变形大。据有关资料介绍(注2)在济南地区室内贮存五年样品尺寸变化率宽度变化为-0.31%,厚度变化为-1.05%。所以尺寸要求高的细线圈不用它。PBT阻燃塑料具有耐潮,耐溶剂等性能,吸水率仅有0.03—0.08%。增强聚苯硫醚,它的各种性能也很好,吸水率只有0.022%。高频陶瓷当涂上一层釉后透水极小,绝缘电阻高,变形很小适合细线圈骨架。

2.漆包线:QZ聚酯漆包线,我国生产量大,质量稳定,但耐苯乙烯较差,耐水解性较差。QA聚氨酯漆包线,耐苯乙烯和各种酸碱性较好,并且能够直接焊接适合细线圈。QQ缩醛漆包线,各种性能较好,但产量少。

3.包封绝缘材料。以聚酯薄膜,聚酯胶带,聚四氟乙烯生胶带,JD—27胶带较好。

4.浸渍漆:它的种类很多。据一些资料介绍比较好的有5152—4环氧无溶剂漆,9101—1环氧无溶剂漆,J801胶,EIU胶,F130漆等。我们对几种漆作了试验认为F130

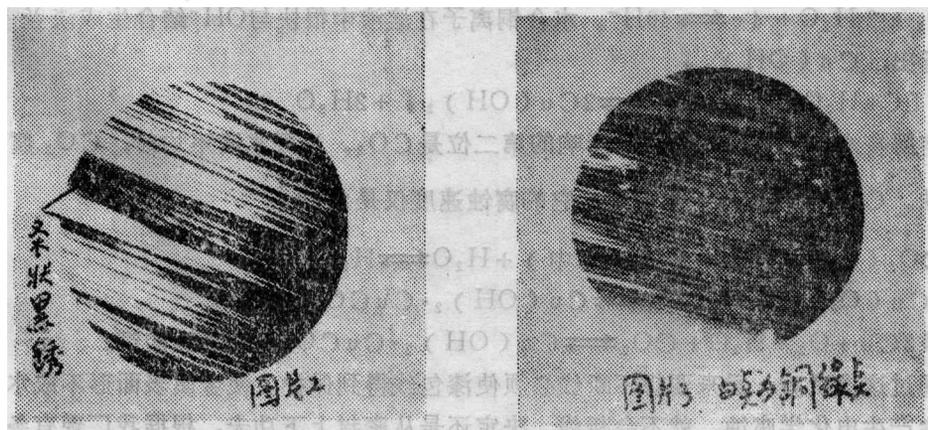
漆和9101—1漆较好。它们具有贮存期长，收缩性小，厚层干燥快，绝缘性能好，防腐防潮，挂漆量多，吸水率低，PH值处于中性。耐霉1—2级。

五、试验分析

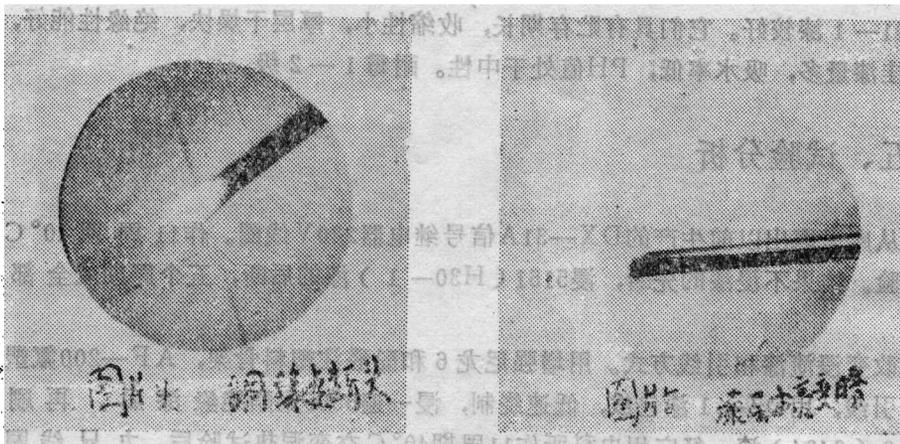
1.从库里取出以前生产的DX—31A信号继电器220V线圈。作11周期40°C交变湿热试验。结果不浸漆的先断，浸5151(H30—1)漆的后断，五个周期就全部断线了。

2.改变浸渍漆和引线方式。用增强尼龙6和酚醛注塑料骨架，AF—200氟塑料安装线作引线，用QZ—1漆包线，低速绕制，浸一遍6305聚酯绝缘漆后，再刷一遍H30—2(3404)漆。经广州电科所作11周期40°C交变湿热试验后，九只线圈没有一个断线的。绝缘电阻在20MΩ以上。但作耐压2000V历时一分钟试验有的击穿、闪络。

3.作每周期通220V直流电11周期40°C交变湿热试验。样品为增强尼龙6骨架。3台老结构的不浸漆，一台老结构的浸一遍再刷一遍9101—1漆。二台新结构的浸一遍刷一遍9101—1漆。开始时只通6伏直流电，经过8个周期后没有一台断线的。接着换成通220V直流电，结果只经三个周期，没浸漆的线圈就全部断线。到第六周期两个新结构的浸漆线圈也全部断线。我们把三个没浸漆的线圈作了解剖。第一个线圈是在做多股头地方断的并有铜锈。分析是在做头时由于扭绞力大，漆膜破坏造成电化学腐蚀断线。第二个线圈有多个断头，并集中成三小条状黑绿锈，其余地方无锈蚀。见图片2。第三个线圈是集中在一片成点状锈点见图片3。这些锈点有的是紫黑色，只有少量是铜



绿锈点。并且只有铜绿锈处才断线，见图片4。取下一个断头在80倍生物显微镜下观察，发现断头处漆皮呈黑色，逐渐由紫黑色，紫红色到漆本色向外延伸，见图片5。也不是变成绿色地方都断了，只有在有铜绿球处才有断头。在绿锈四周呈浅兰色。还找到了一根腐蚀线上有一个腐蚀点是高出漆包线的淡兰色絮状物，形状像蚯蚓排泄物一样。搽去腐蚀物显出腐蚀坑。

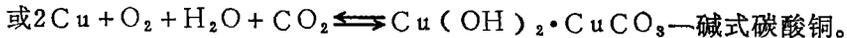
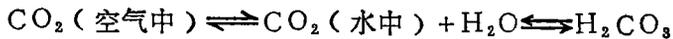


经分析一般都是在漆膜破裂地方开始腐蚀逐渐向四周蔓延，在这一点越腐蚀越细，则电阻越大，发热越多使周围漆膜老化变色。漆膜破坏原因很多，如在绕制过程中，绕速越高拉力越大，引起漆包线拉长造成漆膜撕裂。在浸漆过程中漆选择不当，收缩较大造成应力裂纹。线圈通电后受热出现内外压力差，由于内胀力，漆膜就会鼓起从铜线上剥落，分离或出现微裂纹。再者是漆包线本身存在针孔，汽泡等，当漆膜破裂处受潮后，就在铜表面形成一层极薄的水膜，空气里的氧、二氧化碳和其他酸性氧化物气体溶解在这层水膜里就构成了一种电解液。当一通电就有漏电流产生，构成电化学腐蚀。这时电解液为阴极，金属为阳极。金属失去电子变成离子溶解到电解液里即金属被腐蚀。根据吸附理论。阳极铜遇水后放出电子形成水合铜离子。 $Cu + H_2O \rightleftharpoons [CuH_2O]^{+1} + 2e$ 。在阴极上，由氧去极化作用夺取电子向金属中扩散。

$O_2 + 2H_2O + 4e \rightleftharpoons 4OH^-$ 。水合铜离子在溶液中很快与 OH^- 结合生成淡兰色絮状物析出， $Cu(OH)_2 \downarrow$



溶解在水中的气体对腐蚀有影响的第二位是 CO_2 ，当凝水滴不均时， CO_2 腐蚀呈点腐蚀。 CO_2 溶解在水中呈酸性，它的腐蚀速度仅是氧的 $\frac{1}{7}$



通过这次试验，看来要想不断线必须使漆包线得到保护。使金属表面形不成水膜，就不会产生电化学腐蚀，就不会断线。决定还是从密封上下功夫。根据我厂现有条件先在骨架上刷上一层9101—1漆烘干后再绕线，绕线后分别浸一遍刷一遍9101—1漆。并在线圈外面包上三层刷过9101—1漆的聚酯薄膜，烘干后以防潮。经广州电科所作每周期通220V直流电8小时11周期恒温高湿试验，结果没有一台断线。绝缘电阻均在60MΩ以上，耐压2000V一分钟全部通过。

我们在上述样品的基础上又采用了新的封装材料。先在新结构骨架上刷一层9101—1

漆, 在 120°C 下烘干4小时, 然后包二层聚酯胶带。用低速绕线, 绕线后, 再包一层无碱玻璃丝带, 用703硅胶粘好。浸漆前预烘4小时, 然后浸漆, 烘干后再刷一层9101—1漆。最后分三组, 一组包二层聚四氟乙烯生胶带, 再加二层聚酯胶带。二组包二层聚四氟乙烯生胶带, 再加二层JD—27胶带。三组只包二层JD—27胶带。共有三台整机和十三个线圈。按每周期通220V直流电8小时作11周期 40°C 交变湿热试验。通过14周期试验后, 线圈对铁芯绝缘电阻在 $80\text{M}\Omega$ 以上, 耐压3500V一分钟通过。只有一个线圈在第四周期上短路烧坏。还有三个线圈在第十三周期上引线与接线处腐蚀断了。后来检查线圈没断。其余线圈和整机都没有断线。

在第四周期烧坏线圈原因: 主要是从里边向外引出线绝缘不那么好, 线圈外层绕组与引出线绝缘不好, 在分断时, 因过电压而击穿, 击穿后电阻大大降低, 导致线圈电流增大, 经过长期过热绝缘逐渐老化而导致线圈烧损。线圈额定电压越高其匝数越多, 分断电过电压一般大于线圈额定电压的6倍, 根据有关资料(注3)介绍, 220V直流线圈分断时, 其瞬时电压超过2000V。如果绝缘不好就容易击穿烧损。

另外三个线圈是在第十三周期时引线与外接线处断, 主要是焊接不好, 是在接正极一端坏的, 由于正极易失去电子加快腐蚀而断。

最后又留下那三台整机和三个线圈又作了14周期仍然没有断线。通过这次试验得出, 只要线圈各种材料吸水少, 加强密封, 线圈不吸潮, 绝缘电阻高, 就不会造成电化学腐蚀断线。

六、结 论

断线原因主要是机械应力和电化学腐蚀断线, 从这两方面下功夫, 就能基本解决细线圈断线问题。延长线圈使用寿命。

防止机械应力断线措施: 按不同线径采用不同绕速, 线径越细绕速越低; 在绕线时测电阻不能用刀片切着量; 在加工过程中要防止线圈磕碰划摔; 要选用吸潮小, 变形少的材料作骨架; 为提高机械强度和绝缘强度, 尽量采用 $\phi 0.1$ 以上漆包线, 这样可延长腐蚀时间。防止电化学腐蚀断线措施: 采用导线本身击穿电压高的厚层漆包线QZ—2、QA—2; 采用真空压力浸漆和真空干燥, 以使线圈内部含空气少, 又缩短烘干时间, 提高了防潮能力; 采用密封性好又不吸潮, 对铜无腐蚀的包封材料, 如聚四氟乙烯生胶带, 聚酯胶带, JD—27胶带; 采用中性浸渍漆和经11周期 40°C 交变湿热试验后绝缘电阻高的漆; 采用二次浸漆或一次浸漆后再刷一遍漆。线圈和漆包线的保管要放在干燥通风少灰尘地方。作为使用单位尤其是湿热带地区, 我们建议设备安装房间最好搞成空调。

以上是我们做的点滴工作, 但是我们的试验研究工作没有结束, 试验室的研究不能完全解决现场的复杂问题。今后要在生产上加强实践, 并选几个环境气氛有代表性的电厂作三年试运行考验。

附三台整机经过14周期后试检结果

编号	测试部位	绝缘电阻 (MΩ)		工频耐压KV/1分钟	
		试验前	试验后	合格标准	测试结果
4	线圈 / 铁心 电阻值	$\frac{500}{22530}$	$\frac{90}{24390}$	2 K V	3.5 K V 通过
9	线圈 / 铁心 电阻值	$\frac{500}{24740}$	$\frac{180}{27150}$	2 K V	3.5 K V 通过
15	线圈 / 铁心 电阻值	$\frac{500}{23210}$	$\frac{300}{10990}$	2 K V	3.5 K V 通过

参 考 资 料

1. 金属腐蚀与防护概论, 叶康民编 人民教育出版社
2. 第五章湿热型电机, 特殊电工73年2期
3. 第六章湿热带低压电器, 特殊电工73年3期
4. (注1)第七章热带型电工测量仪表, 特殊电工73年4期
5. (注2)九种工程塑料自然老化性能考察 工程塑料应用 83年2期
6. (注3)直流接触器可靠性问题 北低技术 8期