

# 一种新型的开合式电流互感器的设计及实验分析

蒋大维, 袁芬, 朱慧

江阴市星火电子科技有限公司

**摘要:** 目前随着智能电网的应用与发展, 对电网的用电数据的测量、保护及监控的要求也在不断增加, 为了节省电网互感器的安装成本或者针对一些不能断电的现场互感器的安装问题, 市场上早就出现了一批开合式电流互感器, 虽然解决了安装问题, 但是由于其结构及性能的不稳定, 往往在要求较高的地区出现一系列的问题。对此, 本文探讨并设计了一款新型结构的开合式电流互感器, 使其具有更好的灵敏度及平衡特性, 同时在高低温较大变化的情况下, 有较好的稳定性。

## 1 市面上的开合式电流互感器现状

目前市面上的开合式电流互感器通常采用的方案是: 用皱纹纸在环形硅钢铁心上进行 1/3 叠包绝缘, 然后使用漆包铜线在铁心上进行绕线, 其缠绕的方式是: 在铁心半侧约 120 角度进行绕线, 绕好后二次焊接引出皮线或者二次端子 (见图 1)。最后进行环氧树脂灌封、固化, 最后进行居中切割 (图 2 和图 3)。组装及测试时使用扎带 (图 5) 或者螺丝 (图 6) 进行固定。

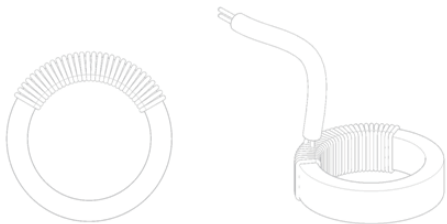


图 1 硅钢铁心进行绕线并接二次引线

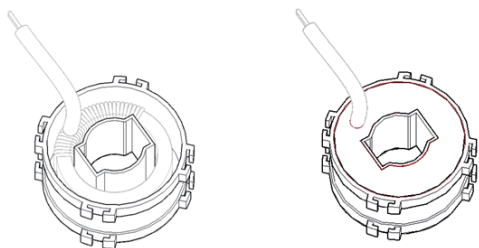


图 2 放入外壳并进行环氧灌封

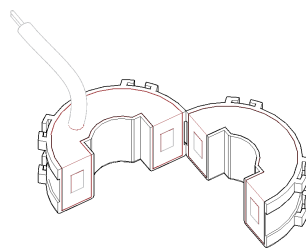


图 3 待环氧固化后, 用专门切割机居中切开即可

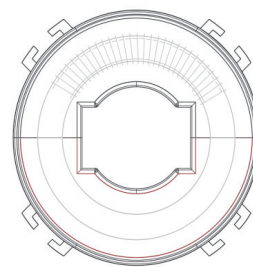


图 4 互感器透视图



图 5 用扎带固定的开合式电流互感器



图6 用螺丝固定的开合式电流互感器

## 2 市面上的开合式电流互感器的问题分析

经过市场无数次证明，这种开合式电流互感器节省成本，普适率很高，但也存在着很多问题，往往在特殊场合或者要求较高的场合存在着如下问题，下面我们一一分析：

问题1：位置误差大，由于其结构特点导致互感器位置误差大。

问题分析：一般电流互感器要求必须是环形铁心均匀绕线，以保证互感器的磁场足够均匀，否则互感器会产生互感器的位置误差。但是市面上的开合式电流互感器由于其需要开合，但是同时需要漆包线的电气连接，那么必须只能在半侧进行绕线，为了方便后期的切割，只能在半侧约120度的角度进行绕线，那么漆包线是无法进行均匀绕线的，这样互感器会产生较大的位置误差，经过居中调校后，其开合式电流互感器的误差在绕线处磁场稍强，未绕线处稍弱（如图7）。

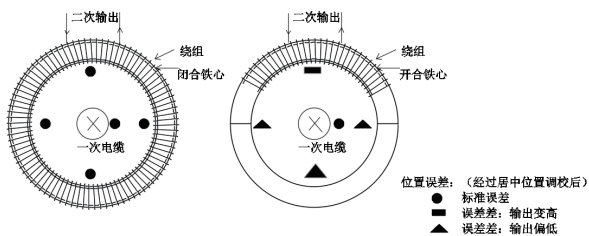


图7 普通闭合式电流互感器和市面上的开合式电流互感器的位置误差对比

具体的位置误差的影响会根据互感器的尺寸、参数负荷等因数产生不同的误差。互感器的一次内孔越大，误差越大，额定一次电流越小，额定二次电流越大，负荷越大，其位置误差越大。这个误差包含互感器的比值误差，同时也包含互感器的相位误差，互感器的数值误差在不同功率

因数下传递给功率的线性误差，但相位误差在不同功率因数下传递给功率的误差是变化的。经过实验证明，在功率因数0.5的情况下，在不同位置时，最大会给互感器造成约5%的位置误差，还是非常严重的。（请参见作者《二次电流的功率因数对互感器的影响》）

问题2：每次拆卸误差不稳定。互感器的准确级都会发生变化导致无法校准。

现在市面上的开合式电流互感器安装固定方式往往采用扎带或者螺丝进行安装固定（图5和图6），这两种安装方式首先是非常的不方便，但最大的问题是每次安装和拆卸后互感器的误差都会发生变化。

因为互感器铁心切开后非常的不稳定，导磁率会受到外界压力的变化而变化，但是导磁率一旦发生变化，其开合式电流互感器的误差会发生变化，在开合式电流互感器出厂时，操作人员将互感器组装好进行误差测试，测试合格后出厂，但是安装使用人员在现场时，不可能使用同样的力进行扎带或者螺丝的固定，一旦力发生变化，互感器的误差也会发生变化。这样的误差约有0.5%。在江苏省近年来招标的低压智能检测单元中使用的开合式电流互感器已经发生这样的问题，厂家的解决办法是在固定螺丝的背后加上一个弹簧（如图8），让安装使用人员的力有个缓冲，避免铁心接触过紧或者过松，但是这个不能完全避免拆卸后误差问题。

问题3：高低温下误差较大。这个问题随着高低温的变化增大，问题也越发严重。

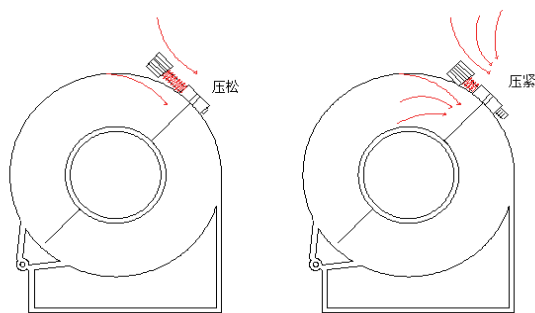


图8 为了解决铁心接触问题，在固定螺丝后加上一个压缩弹簧

近年来国家电网出台的产品标准越来越严格，产品的环境温度范围越来越大，现在的标准已经制定到了75℃~-40℃。对于闭合式电流互感器来说，基本上没有

什么影响，因为无论是漆包线、环氧树脂或者铁心来说受温度变化的影响很小，但是一旦是开合式电流互感器就不同了。

因为硅钢铁心和环氧树脂的冷热系数不一致，在低温和高温下会产生环氧与铁心的热胀冷缩现象，从而使得切开的铁心受到较强的应力作用，一旦铁心受到应力作用，会对互感器的误差造成非常大的影响，产品稳定性会变得非常差，以江苏省智能低压监测单元为例，使用常规开合式电流互感器的方式来做，其在 $-40^{\circ}\text{C}$ 下的误差达到了 $-15\%$ 以上。互感器在低温下的误差这个问题近年来一直困扰着互感器厂家。

### 3 解决方案

针对以上问题，从互感器结构和磁性材料的选用上设计一种新型的开合式电流互感器并对其进行实验分析。

#### 3.1 EMS 的控制策略

针对以上的问题，本设计着重解决的问题是：(1) 使互感器绕线均匀问题；(2) 互感器拆卸安装后，要使误差不变；(3) 解决高低温的互感器误差变化的问题。

针对以上的问题本开合式电流互感器所使用的设计方案是：

3.1.1 采用环形硅钢铁心先切割后装配的方案，铁心使用塑料骨架进行装配（见图9）

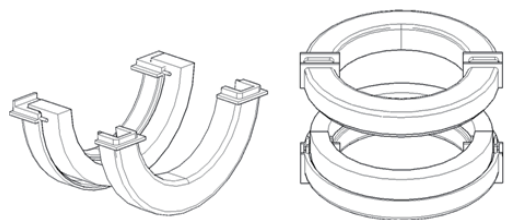


图9 铁心先切割后，两边铁心都装入塑料骨架

3.1.2 两边骨架都要进行绕线，并进行合理的电气连接（见图10）

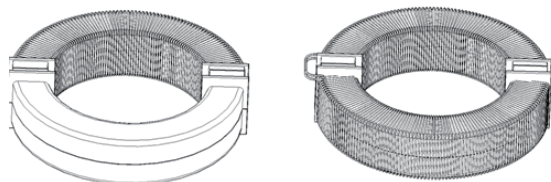


图10 两边均匀绕线，并进行电气连接

3.1.3 为了解决以上问题，互感器外壳采用上下半体，一边用轴销连接，另一边用搭扣的方式（见图11）

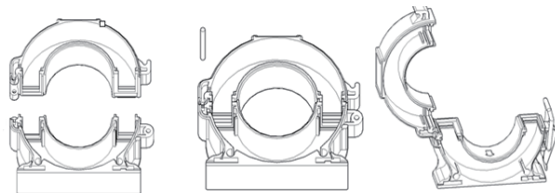


图11 上下半壳使用轴销连接，一边使用搭扣

3.1.4 线包接上二次引线放入外壳（见图12），电气连接线从轴销处连接即可（见图13）

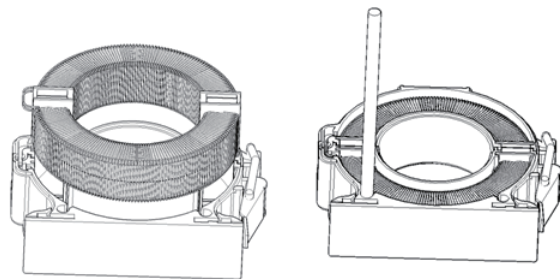


图12 线包接上二次引线卡入外壳

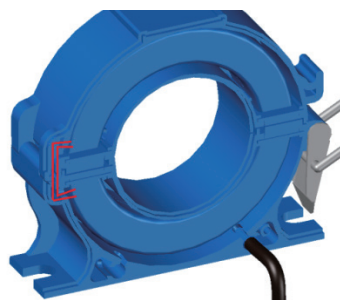


图13 电气连接从轴销处进行

3.1.5 灌封环氧并盖上封板待固化即可（图14）

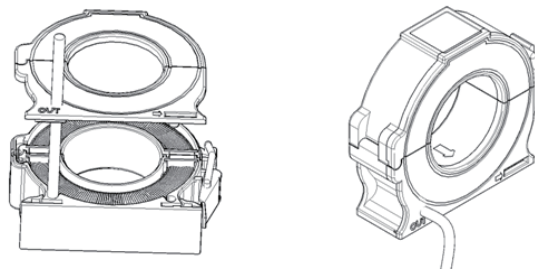


图14

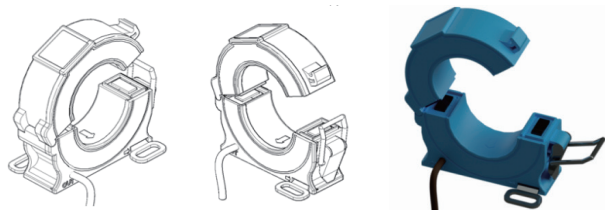


图 15 产品外观图

### 3.2 本设计解决思路如下

3.2.1 采用先切割铁心的方案，同时采用两边均匀绕线并进行了轴销处的电气连接，可以很好的解决互感器位置误差的问题

3.2.2 为了使拆卸安装后互感器误差不变，采用一边轴销连接，一边搭扣式的组装方式，这样既解决了重复安装拆卸互感器误差变化的问题，同时大大提高了互感器安装的速度

3.2.3 铁心外加骨架避免铁心和环氧树脂的直接接触，从而解决开合式电流互感器高低温的误差的问题（见图 16）

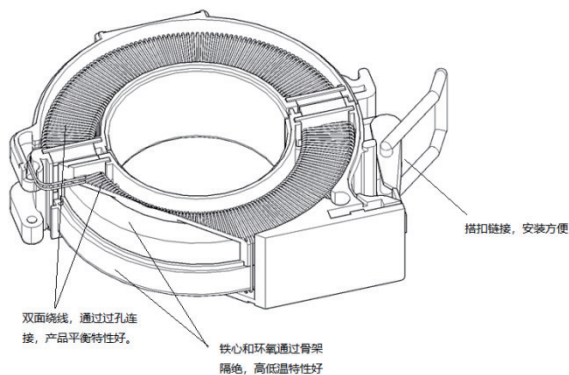


图 16 本产品的解剖图

## 4 实验并总结

制作本款开合式电流互感器并与市面产品进行实验对比，进行数据分析。

用本方案制作了 600A/5A，负荷 5VA 的产品，对比市面上相同规格的采用抱箍收紧方式的开合式电流互感器的数据。分别检测两款开合式电流互感器的中心点误差数据（如表 1）。

表 1：模拟参数

600A/5A 5VA	本设计方案		市面先灌封后 切割方案	
	中心点调试误差		中心点误差	
额定电流 百分比	比值差 (%)	相位差 '	比值差 (%)	相位差 '
1%	-0.65	50	-0.9	70
5%	-0.45	45	-0.65	55
20%	-0.35	30	-0.45	40
80%	-0.1	25	-0.3	29
100%	0.1	15	0.2	25
120%	0.1	14	0.21	20

### 4.1 位置误差实验

#### 4.1.1 位置误差实验方案及数据记录

将两种方案的开合式电流互感器的一次电缆分别测试 □ (上方) 和 △ 处 (下方及左右) 的数据 (见图 17), 并记录。

#### 4.1.2 位置误差实验总结

从表 2 和表 3 的实验数据来看：

(1) 切口处即是左右 △，都会产生较大的位置误差，但是本款设计的左右位置绝对误差平均值（左右均为比值绝对误差 0.01，相位绝对误差 -1.5）比市面上的开合式电流互感器小（左右均为比值绝对误差 0.24，相位绝对误差 -8.17）；

(2) 本款设计的开合式电流互感器上下的位置误差很平衡，同时非常接近中心点调校的数据，市面上的开合式电流互感器，上面由于是绕线侧，其位置误差较小，但下方由于没有绕线，其位置误差相对较大；

(3) 综合而言，本款设计的开合式电流互感器的位置误差远远小于市面上的开合式电流互感器的位置误差，证明上下两面绕线的设计方案是有效的。

### 4.2 装配误差

#### 4.2.1 装配误差实验方案及数据记录

两款开合式电流互感器的一次电缆居中内孔（排除位置误差），进行拆卸装配、各进行 10 次，并记录第 1 次、第 5 次、第 10 次的的数据。第一次的数据可以沿用表 1 的数据。

#### 4.2.2 装配误差分析

从表 4 和表 5 来看，不用经过数据处理就可以明显发现，使用搭扣的开合式电流互感器由于没有人为受力的原



表 2：本设计方案开合式电流互感器的位置误差数据

600A/5A		本设计方案									
5VA 各点测试误差		中心点调试误差		左边△		右边△		上边□		下边△	
额定电流百分比	比值差 (%)	相位差'	比值差 (%)	相位差'	比值差 (%)	相位差'	比值差 (%)	相位差'	比值差 (%)	相位差'	
1%	-0.65	50	-0.7	53	-0.7	53	-0.66	51	-0.66	51	
5%	-0.45	45	-0.47	47.5	-0.47	47.5	-0.45	45	-0.45	45	
20%	-0.35	30	-0.37	31.5	-0.37	31.5	-0.35	30	-0.35	30	
80%	-0.1	25	-0.105	26	-0.105	26	-0.1	25	-0.1	25	
100%	0.1	15	0.105	15.5	0.105	15.5	0.1	15	0.1	15	
120%	0.1	14	0.105	14.5	0.105	14.5	0.1	14	0.1	14	
位置绝对误差		中心点调试误差		左边△		右边△		上边□		下边△	
额定电流百分比	比值差 (%)	相位差'	比值	相位	比值	相位	比值	相位	比值	相位	
1%	0.00	0.00	0.05	-3.00	0.05	-3.00	0.01	-1.00	0.01	-1.00	
5%	0.00	0.00	0.02	-2.50	0.02	-2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	
20%	0.00	0.00	0.02	-1.50	0.02	-1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	
80%	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
100%	0.00	0.00	0.00	-0.50	0.00	-0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	
120%	0.00	0.00	0.00	-0.50	0.00	-0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	
各点位置绝对误差平均值			0.01	-1.50	0.01	-1.50	0.00	-0.17	0.00	-0.17	

表 3：市面先灌封后切割的开合式电流互感器的位置误差数据

600A/5A		市面先灌封后切割方案									
5VA		中心点调试误差		左边△		右边△		上边□		下边△	
额定电流百分比	比值差 (%)	相位差'	比值差 (%)	相位差'	比值差 (%)	相位差'	比值差 (%)	相位差'	比值差 (%)	相位差'	
1%	-0.9	70	-1.2	80	-1.2	80	-0.8	65	-1.1	75	
5%	-0.65	55	-1.1	65	-1.1	65	-0.6	50	-1	70	
20%	-0.45	40	-0.6	50	-0.6	50	-0.4	37	-0.55	48	
80%	-0.3	29	-0.45	45	-0.45	45	-0.58	25	-0.4	42	
100%	0.2	25	0	27	0	27	0.25	23	0.1	28	
120%	0.21	20	0	21	0	21	0.18	18	0.1	28	
位置绝对误差		中心点调试误差		左边△		右边△		上边□		下边△	
额定电流百分比	比值差 (%)	相位差'	比值	相位	比值	相位	比值	相位	比值	相位	
1%	0.00	0.00	0.30	-10.00	0.30	-10.00	-0.10	5.00	0.20	-5.00	
5%	0.00	0.00	0.45	-10.00	0.45	-10.00	-0.05	5.00	0.35	-15.00	
20%	0.00	0.00	0.15	-10.00	0.15	-10.00	-0.05	3.00	0.10	-8.00	
80%	0.00	0.00	0.15	-16.00	0.15	-16.00	0.28	4.00	0.10	-13.00	
100%	0.00	0.00	0.20	-2.00	0.20	-2.00	-0.05	2.00	0.10	-3.00	
120%	0.00	0.00	0.21	-1.00	0.21	-1.00	0.03	2.00	0.11	-8.00	
各点位置绝对误差平均值			0.24	-8.17	0.24	-8.17	0.01	3.50	0.16	-8.67	

表 4：本设计方案多次拆卸装配数据变化

600A/5A 5VA 各点 测试误差	本设计方案					
	第 1 次误差		第 5 次误差		第 10 次误差	
额定电流百分比	比值差 (%)	相位差'	比值差 (%)	相位差'	比值差 (%)	相位差'
1%	-0.65	50	-0.66	51	-0.64	50
5%	-0.45	45	-0.46	46	-0.47	47
20%	-0.35	30	-0.36	31	-0.36	31
80%	-0.1	25	-0.105	26	-0.105	26
100%	0.1	15	0.1	15.5	0.1	15
120%	0.1	14	0.1	14.5	0.1	14

表 5：市面上先灌封后切割的开合式电流互感器多次拆卸装配数据变化

600A/5A 5VA 各点 测试误差	本设计方案					
	第 1 次误差		第 5 次误差		第 10 次误差	
额定电流百分比	比值差 (%)	相位差'	比值差 (%)	相位差'	比值差 (%)	相位差'
1%	-0.9	70	-0.6	60	-1	75
5%	-0.65	55	-0.55	45	-0.75	60
20%	-0.45	40	-0.3	30	-0.55	45
80%	-0.3	29	-0.25	25	-0.4	35
100%	0.2	25	0.25	20	0.1	30
120%	0.21	20	0.3	15	0.1	30

因，铁心始终保持着原有的状态，从而第 1 次、第 5 次和第 10 次的测试误差几乎没有任何变化，而先灌封后切割的开合式电流互感器由于每次抱箍收紧力的一致，导致互感器每次的测试误差产生变化，可以看出第 5 次，抱箍应该收得比较紧，所以数据往正偏，而第 10 次，抱箍收得比较松，从而导致数据往负的偏。

### 4.3 高低温误差

#### 4.3.1 高低温误差测试方案及其数据记录

两款开合式电流互感器在室温 20 摄氏度下分别检测额定 100% 这一点（即是 600A/5A）的误差数据，然后分别利用艾德生仪器有限公司生产的高低温箱（可以实现 0-100 湿度，-62℃至 120℃的环境温度）在 0℃、-10℃、-20℃、-30℃、-40℃、20℃、40℃、60℃、80℃、检测额定 100% 一点的数据并记录。

由于这一项数据较多，直接做成曲线图进行查看。

#### 4.3.2 高低温误差分析

(1) 从图 18 和 19，很明显的发现，市面上的先灌封的开合式电流互感器在高温下误差还算可以，没有较大的

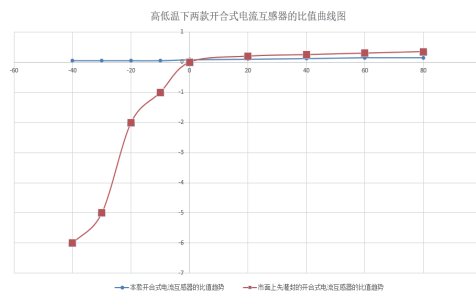


图 18 在额定 100% 这一点，两款开合式电流互感器在不同温度下的比值趋势图

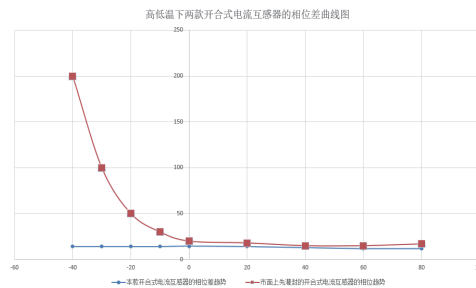


图 19 在额定 100% 这一点，两款开合式电流互感器在不同温度下的相位趋势图

下转 165 页