

如何正确选用开合式电流互感器？ —电力改造项目人员必读

蒋大维

摘要：如今由于国家层面提倡环保、节能、减排，首当其冲在电网方面就涉及到各地区工农网的改造，目的是重新对电网进行测量、监控、保护从而使其达到安全、可靠、经济、高效的目的，也就是现在所说的智能电网。当然架设智能电网，除了要有先进的设备，同时需要先进可靠的测量传感技术，那么电流的主要采集手段是使用电流互感器，而对传统的闭合式电流互感器而言，安装非常麻烦，因为要安装这种电流互感器必须先停电，再需要大费周章的使用工具断开一次电缆或者母排，这样安装难度非常大，在空间狭小的地方尤其不易。所需要的代价也非常之大。更重要的是，有很多地方不具备断电安装的条件，比如大型的企业，各地医院、商业超市等，这些地方是难以停电而进行从容安装的，而这些场所又是节能减排的重点，因此传统封闭式的电流互感器面临极大的困境。这样开合式电流互感器就应势而生了，开合式电流互感器，英文名“split core transformer”，以下简称SCT。SCT最早由欧美最先使用，现在已经发展至民用。由于SCT采用开合式安装的结构，从而使得其安装方便、可重复拆卸组装、可在不断电的情况下，安装在任何狭小的场所，因此得到了广泛的使用。现在我国电力改造项目已经逐步推广，2018年9月底江苏省电网已经对SCT进行统一招标，预计不久的将来会在整个江苏乃至中国进行全面推行。在这个SCT即将铺满全国的态势，本文对SCT进行使用性的分析，给大家如何选择乃至使用SCT做出一个简要的概述，方便大家正确的选用SCT。

1 SCT 设备最高电压的选择

电流互感器可以分为高压及低压，主要以设备最高电压来区分，一般的 10kV 以上为高压，10kV 为中压，而 1kV 及以下为低压。而 SCT 主要应用于低压，因为 SCT 必须进行开合，这就导致 SCT 无法进行有效的密封绝缘，(见图 1) 所以一般应用在低压配电柜，或者低压的架空线上。当然也有特殊的情况，如果通过一次电流的载体为电缆结构时，而电缆又有足够的绝缘，那么 SCT 也能够用在 10kV。(见图 2)

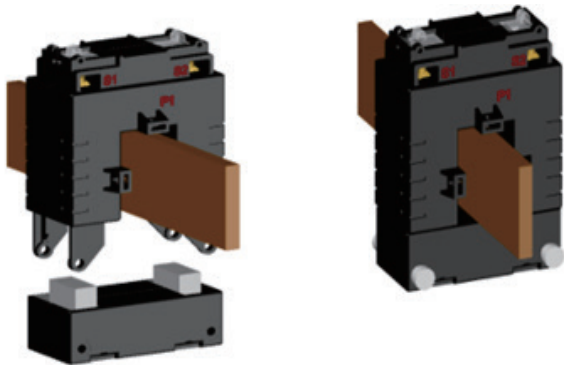


图 1 一次电流结构为铜排的 SCT

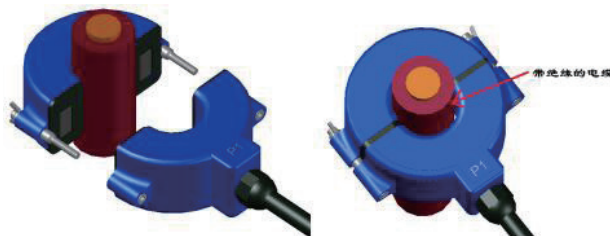


图 2 一次电流结构为电缆的 SCT

图 1 是我公司给江苏省网提供的 SCT，一次电流结构为母排，型号为 SCT26，即中孔 20*60，适用于 60 宽的母排，见图，由于这款 SCT 开合的部分非常接近于一次裸露的母排，即没有有效隔离，也没有足够的安全距离，那么就没有有效的绝缘，所以一般装在母排上的 SCT 只能用于低压。

图 2 是我公司户外用 SCT，型号：FSCT36，即内孔为 $\phi 36$ 的 SCT，由于一次电流载体结构是带绝缘的电缆线，有足够的绝缘，所以可以应用在 10kV 中压系统中。

综合而言，根据一次设备最高电压和一次结构的绝缘程度来决定是否可以选用 SCT，如果是低压，那么无论是

母排还是电缆，SCT 都可以选用，如果是 10kV 的中压，那么一次结构是电缆的，电缆又有足够的绝缘，那么也可以考虑 SCT。

2 户内和户外的选择

一般母排式的 SCT 适用于户内，如图 1，而电缆式的 SCT 适用于户外，如图 2。

按照国家标准 GB/T20840 的要求，户内互感器需求的防护为 IP20，户外 SCT 的防护为 IP44，但是国家标准仅仅定义的是电流互感器，而 SCT 属于一种特定的情况，其中间是有开合的部分，铁心非常容易暴露在表面，所以 SCT 的标准要高于电流互感器的国家标准。

如江苏省网今年招标的户内 SCT，即是图 1 的 SCT，它的 IP 要求等级是 23，已经通过型式试验见图 3。



图 3 江苏电网开合式电流互感器 IP 防护等级测试结果

户外 SCT 基本上使用在架空电线或者电缆上，那么 SCT 可能会直接面临着日晒雨淋，它首先需要很好的耐温特性，这首先要看它的材料能够有很好的耐高低温特性，如果材料不能够有足够的耐温特性，那么它的结构就会从外往内不断瓦解，最终导致互感器失效；其次是互感器输出的准确度也要有很好的耐温性，因为互感器的准确度会随着外界的温度变化产生一定的变化，这个变化一定要在范围之内，如果超出预定的要求，那么互感器也将失效。



图 4 江苏电网开合式电流互感器准确级受温度影响测试结果

见图 4。

当然户外 SCT 最重要的还是防护能力，即是防水防污能力，由于长时间暴露在户外，那么雨水灰尘对互感器会有侵袭。而户外 SCT 的防护等级要达到 IP67，才能对互感器有足够的防护。见图 5。



图 5 江苏电网开合式电流互感器 IP 防护等级测试结果

3 SCT 一次侧形式是选用电缆还是母排？

上文已说，SCT 一次侧一般有两种一次侧形式，即是一次侧是带绝缘的电缆，还有一次侧不带绝缘的母排，也叫做母牌，由于母排是没有绝缘表面的纯铜所制，所以母排又叫做铜排。

所以选用 SCT，就根据实际情况来定，一次侧是铜排的 SCT 通常内孔为方孔，而一次侧是电缆的开合式互感器通常内孔为圆孔。（上图 1 即是一次侧为铜排的 SCT，上图 2 即是一次侧为电缆的 SCT。）

当然这两者的使用方法及原理是一样的，所以在特殊情况下，可以进行混用。

比如说，需要一款内孔为 φ80 的一次侧为电缆结构的 SCT，但是生产厂家能够生产的一次侧为电缆结构的 SCT 内孔最大为 φ60。但是倒有一次侧为铜排结构，内孔为



图 6 一种经济型开合式电流互感器，型号为 SCT36

80*120 的 SCT。那么在安装没有问题的情况下，也可以通用这个铜排 SCT。

当然也不是所有都能通用的，比如见图 6。

图 6 是一种铁心完全暴露在外面的 SCT，那么考虑到一次侧母排和铁心没有安全隔离，从而会导致高压问题，那么这种一次侧为电缆结构的 SCT 就不适用于母排。

4 一次电流的选择（主要是测量用电流互感器）

无论是 SCT 还是封闭式电流互感器一般都涉及到互感器一次电流量程的选择，选择了不合适的电流量程，无论对生产厂家还是使用客户都是损失，如何正确选用互感器的量程，我们首先来了解下互感器的准确度线性图，见图 7。

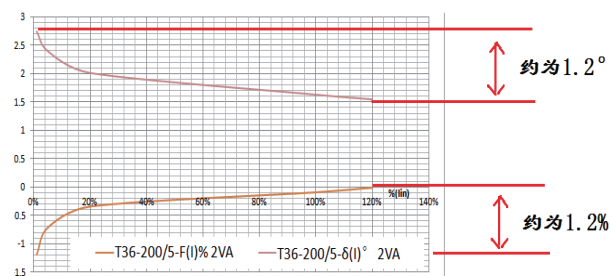


图 7 即是图 5 中 SCT36 制作的型号为 200/5A 的互感器，负载为 2VA 的 SCT。

从低电流到额定电流的 120%，其角差的非线性度误差为 1.2°（上半轴），比差的非线性度误差为 1.2%（下半轴）。

图 7 也可以说是互感器典型的准确度误差趋势图，上半坐标为互感器一次与二次的角度误差，即是角差，也叫相位差，单位为“°”，下半坐标为互感器的数值误差百分比，即是比差，单位“%”。

为了说明问题，我们还要引进一个新的概念，“非线性度误差”。

首先非线性度误差定义是这样的：测试系统的输出与输入系统能否像理想系统那样保持正常值比例关系（线性

关系）的一种度量。在规定条件下，互感器校准曲线与拟合直线间的最大偏差(ΔY_{max})与满量程输出(Y)的百分比，称为非线性误差，该值越小，表明线性特性越好。表示为公式如下： $\delta = \Delta Y_{max} / Y * 100\%$ 。

现在我们来看下 GB/T20840 对互感器准确级要求，见下表 1。

经常有互感器使用者问，我的互感器不是 0.1 级么，我测试小电流的时候达不到这么高的精度啊。通过这个表 1，我们可以解答：例如准确度为 0.1，它不是额定电流的每个点都是 0.1%，假设 200A/5A，5% 的额定电流为 10A，此时它的误差可以允许为 0.4%。

我们从标准中选出准确度 0.1，并将比差值成曲线趋势图，见图 8。

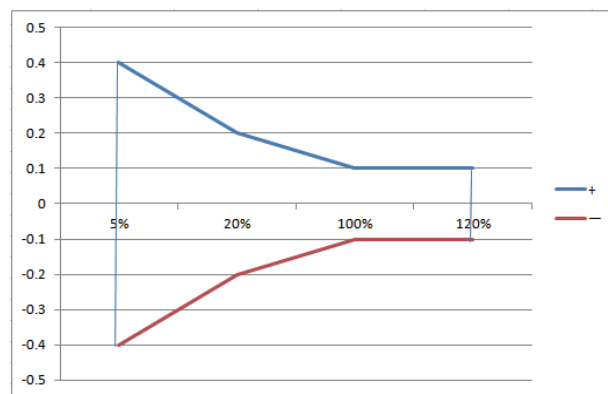


图 8 准确级 0.1 的比值曲线图

图 8 是准确级 0.1 的比值曲线图，蓝色折线是 + 半区线性，线性度为 $0.4 - 0.1 = 0.3$ ，红色是 - 半区线性，同样是 0.3，也就是说，准确级 0.1 级的线性度要求是 0.3，当然前提是此规定是线性度在额定电流的 5%~120%。

再结合图 7 和图 8，大家可以看出互感器的误差都不是绝对线性的，存在着非线性误差，当然这个非线性误差越接近额定值也会越小。在一次电流值接近额定电流值的 80%，误差就基本上非常的小了，直到 120% 误差。也就

表 1：GB/T20840，对互感器准确级的要求

准确度	1%	5%	20%	100%	120%	1%	5%	20%	100%	120%
0.1	-	0.4	0.2	0.1	0.1	-	15'	8'	5'	5'
0.2	-	0.75	0.35	0.2	0.2	-	30'	15'	10'	10'
0.5	-	1.5	0.75	0.5	0.5	-	90'	45'	30'	30'
1	-	3	1.5	1	1	-	180'	90'	60'	60'
0.2s	0.75	0.35	0.2	0.2	0.2	30	15	10	10	10
0.5s	1.5	0.75	0.5	0.5	0.5	90	45	30	30	30

是说一次电流值在额定值的 80%~120%，它的误差值是最小的。当然考虑到互感器不应该过载，所以我们选择电流互感器量程是实际电流在额定电流的 80%~100% 之间，是最为合适的。

例如现在测得实际电流约为 180A，那么选择多大量程的互感器？很简单 $180 / (0.8-1.0) = 225-180A$ ，然后根据生产厂家实际的规格情况进行选择，这款互感器可以选择 200A 的量程是非常适合的。

5 二次电流的选择，以及各自的优点及缺点

选择完一次电流，现在该选择 SCT 的二次电流。目前我国大部分 SCT 二次是 5A 和 1A，我们先对比这两个量程的优缺点。

首先在 GB/T20840 中优先值是 5A，但是当传输距离较远时，可以选择 1A。因为在相同负载下，二次电流为 1A 互感器的传输距离是 5A 的 25 倍。

例如同为 25VA 的负载，1A 输出的互感器的线路负载为 25Ω ，用 2.5 平的皮线每米电阻为 0.007Ω ，那么可以用 $25/0.007=3571$ 米，互感器输出是双线，那么可以留长 $3571/2 \approx 1785$ 米。5A 输出的互感器的负载电阻为 1Ω ，那么用 2.5 平的皮线可以留长为 71 米。1A 的远

远超过 5A 的传输距离。

其次 1A 的线路功耗更小，线路功耗与通过电流平方成正比，二次电流为 1A 的电流互感器比 5A 减低功耗 25 倍。所以在传输距离较远时选择 1A。

例如：同为 2.5 平的二次输出线，距离是 50 米，考虑每米电阻为 0.007，那么 50 米的距离电阻为 $0.007*50*2=0.7\Omega$ ，那么 1A 的电流互感器的功耗为 $0.7*1*1=0.7W$ ，5A 的电流互感器的功耗为 $0.7*5*5=17.5W$ 。

但是选用 1A 的互感器，互感器的匝数是选用 5A 的 5 倍，那么互感器内部匝数多、内阻大，励磁电流小、制造工艺难度加大，也会存在着如下问题：(1) 互感器二次开路电压升高，处理不当容易产生二次高压的危险；(2) 制造成本上升，一个是铜线用得更多，二个是工艺较为复杂。

所以说选用 5A 和 1A 的最大区别是，5A 后期（使用互感器）成本高，1A 前期（生产互感器）成本高，这个需要客户和生产者妥善沟通以得到一个最好的方案。

当然目前已经有了很多 SCT 直接输出 mA 或者 mV 信号，这样可以省去电表里的一个二次互感器，这样做的好处是节省了成本，降低了互感器的体积，通过有效的补偿方法，大大提高了生产效率，也不失为一个好的选择。

上接156页

参考文献

- [1] W. K. Wang, Y. J. Li, C. K. Lin, Y. J. Chan, G. T. Chen, J. I. Chyi, IEEE Elec. Dev. Lett., 25, 52 (2004).
- [2] G. Franz, R. Averbek, M. Auer, J. Lorenz, 5th International Symposium on Plasma Process-Induced Damage, p. 141 (2000).
- [3] S. J. Pearton, U. K. Chakraborti, W. S. Hobson, J. Appl. Phys., 66, 2061 (1989).
- [4] J. O. Edwards, R. G. Pearson, J. Amer. Chem. Soc., 84, 16 (1962).
- [5] J. Neugebauer, C. G. van der Walle, Appl. Phys. Lett., 68, 1829 (1996).
- [6] H. Hidaka, K. Akita, M. Taneya, Y. Sugimoto, Elec. Lett., 26, 1112 (1990).
- [7] S. W. Pang, 3rd International Symposium on Plasma Process-Induced Damage, p. 50 (1998).
- [8] N. Yamamoto, H. Mawatari, K. Kishi, 10th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials, p. 467 (1998).
- [9] S. W. Pang, D. D. Rathman, D. J. Silversmith, R. W. Mountain, P. D. DeGraff, J. Appl. Phys., 54, 3272 (1983).
- [10] S. W. Pang, Microelectronics Engineering, 5, 351 (1986).
- [11] A. P. Knights, S. Hutchinson, B. J. Sealy, P. J. Simpson, High Perform. Elec. Dev. Microwave Optoelectron. Appl., p. 243 (1997).
- [12] S. Ahmed, P. Too, B. J. Sealy, R. Gwilliam, Indium Phosphide and Related Materials Conference, p. 225 (2002).