开关柜中零序电流互感器设计选型

许铁军[1]　李岳[2]

1.西电宝光宝鸡有限责任公司，陕西 宝鸡 721006；2.陕西宝光真空电器股份有限公司，陕西 宝鸡 721006

摘要 本文简单介绍了开关柜内配零序电流互感器（适用于 0.38～66kV），分析了它的特性。初步探讨了如何选择合适的零序电流互感器，以期达到最佳的使用效果。

关键词：零序电流互感器；开关柜；小电流接地选线装置；继电器；微机保护；变比；容量；准确级

Study of Selection for Zero Sequence Current Transformer within Switchgear

Xu Tiejun[1]　Li Yue[2]

1.XD Baoguang Baoji Co.,Ltd, Baoji, Shaanxi 721006;2.Shaanxi Baoguang Vacuum Electric Device Co.,Ltd, Baoji, Shaanxi 721006

Abstract This article brief introduce the zero sequence current transformer within Switchgear, suitable 0.38～66kV, analyses the characteristic of it. Discuss how to select the suitable zero sequence current transformer, thereby, reach the best effect.

Key words: zero sequence current transformer; switchgear; low xurrent grounding selector; relay; microcomputer protection; transformation ratio; capacity; accuracy class

近年来，随着整机开关柜市场的逐步扩大，在中压电力系统的项目中，我们开关柜的设计人员经常会遇到开关柜内配零序电流互感器的选择问题，不同的零序电流互感器具有各自不同的特性，它们的应用环境也有所不同。如何在开关柜的设计中合理选用零序电流互感器就成为开关柜设计人员经常遇见的问题。本文就这一问题进行初步的探讨。

1　零序电流互感器特性及分类

1.1　零序电流互感器及其特性

零序电流互感器是用来检测零序电流的，因此可以称之为零序电流过滤器，它的构造与普通穿心式电流互感器相仿，只是它的一次绕组是被保护系统的 3 个相的导线（3 个相的导线一起穿过互感器环形铁心），二次绕组反应一次系统的零序电流[1]。在中性点不直接接地系统中，零序电流互感器与接地继电器等构成单相接地保护装置。系统正常运行时，通过零序电流互感器一次侧三相电流的矢量和为零，即 $I_a+I_b+I_c=0$。此时零序电流互感器处于非工作状态，当发生单相接地故障（如 A 相）时，$I_a+I_b+I_c=3I_{oc}$，$3I_{oc}$ 等于 B 相和 C 相的对地电容电流的向量和，铁心中出现零序磁通，该磁通在二次绕组感应出电动势，二次电流流过接地继电器使之动作。

简单的说，零序电流互感器在电力系统产生零序接地电流时与继电保护装置或信号装置配合使用，使装置元件动作实现保护或监控功能。

1.2　零序电流互感器的分类

按照安装方式的不同，分整体式（如 LJ、LJZ）和开合式（如 LXK）两类，外形如图 1 所示。

按照产品结构的不同，分母线式（如 LJM）和电缆式（如 LJ、LJZ，LXK）两类，外形如图 1 所示。

按照配合保护的不同，分为小电流接地选线装置用、继电器用、微机保护用 3 类。

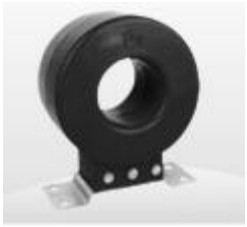
2　零序电流互感器的选型

2.1　安装方式方面

从检修和安装方面考虑，尽量选用 LJK、LXK 型开合式的零序电流互感器，拆开时的外形如图 2 所示；LJ、LJZ 型为老式结构，检修更换时必须重新制作电缆头，不建议选用。

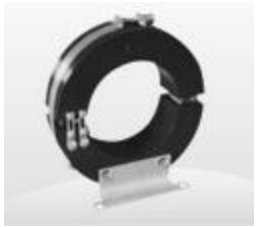
作者简介：许铁军（1972-），男，陕西宝鸡，高级工程师，长期从事高压开关柜及高压断路器的研发。

LJ 型



LJZ 型

LJK 型



LXK 型

LJM 型

图 1　零序电流互感器

图 2　开合式零序电流互感器打开状态

2.2　产品结构方面

根据实际用途相应选用，一般大部分使用的都是电缆式（如 LJ、LJZ，LXK），极少的场合下需要使用分母线式（如 LJM），例如发电机出口的零序保护。

2.3　配合保护方面

根据配合使用的保护装置相应选用。根据保护装置的不同，分为以下几种：

1）与小电流接地选线装置配套使用的零序电流互感器

小电流接地先线装置本身没有整定值，零序电流只是装置的判据之一，要求零序电流互感器在一次接地电流较小时，和非金属性接地时，零序电流互感器也要有一定的输出，来满足装置启动的门坎值，进行接地选线或进行相应线路跳闸。装置本身的负载阻抗并不大，但需要通过电缆将各个零序电流互感器与装置连接起来，所以电缆的阻抗就是零序电流互感器的主要负载阻抗，这种零序电流互感器的负载阻抗一般为 2.5Ω 左右。

这种零序电流互感器一般可选用无变比型，一次零序电流 1～40A，二次电流 0.02～1A 左右。

2）与 DD11/60 型接地继电器配套使用的零序电流互感器

DD11/60 型接地继电器线圈并联阻抗为 10Ω，其动作的整定值为 0.03A。

这种零序电流互感器一般可选用无变比型，一次零序电流 2～4A，二次电流 0.03～0.06A 左右。

3）与 DL11/0.2 型电流继电器配套使用的零序电流互感器

DL11/0.2 型继电器线圈并联阻抗为 10Ω，其动作的整定值为 0.1A。

这种零序电流互感器一般可选用无变比型，一次零序电流 10A，二次电流 0.2A 左右。

4）与微机保护装置配套使用的零序电流互感器

微机保护装置阻抗一般不超过 0.2 ~0.4Ω，其零序过流保护二次动作的整定值为 0.1～20A。

这种零序电流互感器一般可选用带变比、容量、准确级要求的型式。

2.4　零序电流互感器变比的选择

零序电流互感器的应用一般都选用较小变比，常用的如：50/5；75/5；100/5；150/5；200/5；300/5；20/1；50/1；100/1；150/1；200/1；300/1，因为只有发生一次接地故障时,零序电流互感器才有输出.人们不会让接地电流很大时才使保护动作。（不用考虑躲过负荷电流）可是由于一次绕组是电力电缆，仅有一匝，这样，50/5；10/1 的零序电流互感器的二次额定匝数，仅 10 匝，所以 50/5、10/1 的零序电流互感器负荷特性较差，实际负载阻抗和零序电流互感器的容量不一致时将会出现较大的误差，而且在低于额定电流时误差也会加大，所以在允许的情况下尽量选用大一些的变比。

1) 已有保护整定值时变比选择

已有保护定值，变比就很容易选择了。

如定值是一次电流 80A 时保护动作，可选 100/5 或 100/1，其对应的零序二次电流值为 4A 或 0.8A，在零序过流保护二次动作的整定值为 0.1～20A 之内。

2）电阻接地系统（小电流接地系统，一般用于 66kV 及以下）变比的选择

电阻接地系统单相接地时，流过故障点的电流由两个分量组成，一个是电容电流，另一个是中性点电阻电流，两者相差 90°。故障回路的零序电流等于接地点电流与本线路接地电容电流向量差，即等于所有非故障线路接地电容电流与电阻电流向量和的负值，见表 1。

建议零序电流互感器变比选用：50/1；100/1；150/1；200/1；100/5；200/5。

表 1　电阻接地系统（I_R=1−1.5I_C）的接地电流

系统电压 U/kV	I_C	阻值	I_R	故障 $I_{合}$
6kV	10~50	20~200	20~80	25~200
10kV	30~60	20~150	40~100	50~160

（1）架空线的电容电流计算

$$I_C=(2.7\sim3.3)\times U\times L\times10^{-3}(A)$$

式中，U 为电网的额定电压（kV）；L 为线路长度（kM）。

系数 2.7 适用于无避雷线的线路（木杆线路）；

2.5　适用于有避雷线的线路(木杆线路)金属杆塔时

变电所的电力设备所引起的电容电流增值，可按表 2 估计。

表 2　电力设备所引起的电容电流增值

系统电压/kV	电容电流增值/%
6	18
10	16
35	13
66	12

（2）电缆要比同样长度架空线的电容电流大 25 倍（3 芯电缆）～50 倍（单芯电缆），在近似计算中可采用 I_C=0.1U*L （A）。也可采用表 3 的平均值计算。

表 3　电缆线路电容电流平均值（A/KM）

电缆截面 S/mm^2	系统电压 U/kV		
	6	10	35
10	0.33	0.46	-
16	0.37	0.62	-
25	0.46	0.62	-
35	0.52	0.69	-
50	0.59	0.77	-
70	0.71	0.90	3.07
95	0.82	1.00	4.10
120	0.89	1.10	4.40
150	1.10	1.30	4.80
185	1.20	1.40	5.20

3）中性点不接地和消弧线圈接地系统（小电流接地系统，一般用于 66kV 及以下）用零序电流互感器变比的选择。

中性点不接地系统单相接地时，流过故障点的电流仅为电网对地的电容电流。这种系统接地电流较大时，或保护最小起动电流较小时，可选用大变比的零序电流互感器，如 50/1；100/1；100/5；150/5 及以上。可是有的中性点不接地系统一般不允许接地电流超过 10A，所以一般 10A 以下保护就要动作。

消弧线圈接地系统单相接地时，由于消弧线圈产生的电感电流和单相接地的电容电流的中和后，一般也不会有超过 10A 的接地电流（一般都是过补偿，实际接地电流已是电感电流），由于使用了综合保护，就要求有整定值（不用综合保护的有时用高灵敏度零序电流互感器，和与其配套的继电器，见 3.3 第 1~3)），一般定值≤10A，如整定值一次电流为 5A，可考虑 100/5A 或 20/1A，一次电流 5A 时，二次电流 0.25A，一般已超过综合保护的启动电流。如综合保护最小起动电流＞0.25A 也只好选用 75/5；50/5；15/1；10/1 的变比，这些变比的零序电流互感器最好选用整体式的，否则精度要差一些。

4）中性点直接接地系统（大电流接地系统，一般用于 110kV 及以上）变比的选择

中性点接地系统单相接地就是单相短路。变比可以选大一些，如：150/5：150/1 以上变比，不要太小，否则躲不过不平衡电流。注意电缆的零线不要穿过零序电流互感器。

2.6　零序电流互感器二次额定电流的选择

GB1208-2006 中电流互感器二次额定电流规定有 1A、5A。考虑到零序电流互感器一般都是

小变比，所以尽量选用 1A 的（零序电流互感器的二次额定匝数多），来提高带负载能力。但是有些综合保护设定 1A 或 5A 时是用菜单选择，这时零序电流互感器的二次额定电流就要服从主电流互感器二次额定电流值。

2.7 容量的选择

容量要与保护装置阻抗（含电缆阻抗）匹配，才能保证其精度。

1）容量与二次阻抗的关系

$$Z=S/I^2 \text{ 或 } \quad S=I^2\times Z$$

式中，S 为容量（额定负荷）用“VA”表示；I 为二次额定电流，（5A 或 1A）用“A”表示；Z 为二次所接仪器或继电器的阻抗和二次联结线路阻抗之和，用“Ω”表示

例如：变比 100/5　　容量：5VA

$Z=S/I^2=5/5^2=0.2$（Ω）

变比 150/5　　容量:10VA

$Z=S/I^2=10/5^2=0.4$（Ω）

变比 100/1　　容量:2.5VA

$Z=S/I^2=2.5/I^2=2.5$（Ω）

变比 50/1　　容量:1VA

$Z=S/I^2=1/1^2=1$（Ω）

2）精度与容量（额定负荷）的关系

GB1208-2006 中规定：“在额定频率及额定负荷下，电流误差，相位差和复合误差不超过表 4 所列限值。”所以所选零序电流互感器的容量要与二次回路（装置及回路）阻抗匹配，才能达到上表精度，如所选容量比实际大时零序电流互感器在使用时将出现正误差，反之则出现负误差。

表 4　保护用电流互感器误差限值[2]

准确级	额定一次电流下的电流误差/%	额定一次电流下的相位差±(′)	在额定准确限值一次电流下的复合误差/%
5P	±1	±60	5
10P	±3		10

3）与综合保护等电子型保护配套的零序电流互感器容量

这种保护如就地安装（开关柜上），回路阻抗可以不计，一般在 0.2~0.4Ω。二次额定电流 5A 的零序互感器选 5VA，二次额定电流 1A 的零序电流互感器 0.2~0.4VA。如电缆连接回路较长，要考虑回路阻抗，加大容量。

4）与继电器配套的零序电流互感器容量

表 5　常用电磁继电器阻抗

型号	最大整定电流/A	线圈串联/Ω	线圈并联/Ω
DL—10	0.6	4	1
	2	0.36	0.07
	6	0.065	0.018
DL—20C	0.6	18.3	4.2
	2	2	0.5
	6	0.24	0.06
DL—30	2	2	0.5
	6	0.2	0.06

根据阻抗（见表 5）和零序电流互感器的额定二次电流可计算出零序电流互感器的容量。

5）二次回路电缆电阻，见表 6

表 6　铜导线电阻表

标称截面积/mm²	直流电阻 20℃/（Ω/kM）
1.5	≤12.1
2.5	≤7.41
4	≤4.61

2.8 准确级与准确限值系数

准确级是对电流互感器给定的等级。互感器在规定使用条件下的误差应在规定的限值内。保护用电流互感器的准确级是以其额定准确限值一次电流下的最大复合误差的百分比来标称，其后标以字母“P”（表示保护用）。保护用电流互感器的标准准确级为 5P 和 10P。

准确限值系数是额定准确限值一次电流与额定一次电流之比。

例如：变比 100/5　　10p5

其中 10 为复合误差，p 为保护级，5 为准确限值系数。

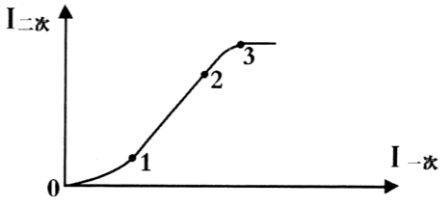
也就是说当一次电流为 500A 时，二次电流为 25A 左右，复合误差≤10%，准确限值系数在零序电流互感器应用较少，应尽可能的使零序电流互感器工作在额定一次电流和额定二次电流时，获得较高的精度，一般零序电流互感器的准确级选 10P。

2.9　动稳定电流和短时热电流

动稳定电流是一次电流很大时产生的电动力不会使电流互感器机械损坏，电缆型零序电流互感器一次绕组为电力电缆，互感器与电力电缆不直接接触，故没有动稳定电流的要求。

短时热电流是指在二次绕组短路的情况下，电流互感器在 1s 内能承受住，且无损伤的最大一次电流方均根植（用“kA-S”表示）。一般都在 5kA/1s 以上。

2.10　零序电流互感器的一次、二次电流曲线



1）0~1，起始阶段，零序电流互感器一次电流较小，由于其中一部分用于激磁，所以二次电流也较小，高灵敏度的零序电流互感一般都工作在这个阶段。

2）1~2，直线部分，一次电流与二次电流成比例，零序电流互感器工作在线性区，有变比和精度要求的零序电流互感器一般都工作在这个阶段。

3）2~3，过了 2 这点互感器进入饱和区。准确很值系数越大 2 这一点越高，进入饱和区越晚。

2.11　零序电流互感器内径选择

高压电力电缆一般为交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套电力电缆，在选择零序电流互感器内径时，一般要求互感器内径必须大于电缆外径 20~30mm（见表 7），以方便电缆和互感器的安装和检修。

表 7　3 芯交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套电力电缆选用互感器内径一览表

8.7/15/kV			12/20/kV		
导线截面 /mm^2	电缆外径 /mm	选用 CT 内径/mm	导线截面 /mm^2	电缆外径 /mm	选用 CT 内径/mm
25	53	80			
35	55	80	35	63	80
50	58	80	50	66	100
70	61	80	70	69	100
95	66	100	95	74	100
120	70	100	120	77	100
150	73	100	150	82	120
185	77	100	185	86	120
240	84	120	240	92	120
300	89	120	300	97	120

3　结论

根据以上的分析方法，通过产品的安装方式、结构形式、配合保护等方面结合电力系统

各种运行方式（中性点接地、中性点不接地、电阻接地、消弧线圈接地）来选择相应的零序电流互感器，以达到零序电流互感器和相应保护装置的最佳配合，起到保护电力设备的作用。在实际的选型中，应尽量选用树脂浇注成型，外形美观、小巧、安装方便、节省安装空间的型式，仔细权衡不同零序电流互感器的性价比，进一步降低开关柜的设计成本，增加开关柜的市场的竞争力。

参考文献

[1] 高压供配电设备强制性标准实施与选型使用技术手册[M].长春,吉林科学技术出版社,2004.

[2] 中华人民共和国国家标准.GB1208-2006 电流互感器[S].北京:中国标准出版社,2007.