

[互感器]

10 kV 电流互感器的参数选择

文/五矿矿业(安徽)工程设计有限公司 孙召影

电流互感器将一次大电流转换为二次小电流,供继电保护、测量和计量用,是电力系统的重要电气设备。电流互感器按用途可分为测量/计量用和保护用电流互感器。以配电设计中常遇到的 10 kV 电流互感器参数选择为例,具体分析了电流互感器的各项参数选择。

作为一次系统和二次系统之间的联络元件,电流互感器起着将一次系统大电流变换成二次系统小电流,正确反映电气设备的正常运行参数和故障情况,使二次侧设备与一次侧高压设备在电气方面隔离以保证工作人员安全的重要作用。

基本要求

(1) 一次回路电压

电流互感器的额定一次电压不应小于所在回路的额定一次电压,最高电压不应小于所在回路的系统最高电压。

(2) 一次回路电流

电流互感器的额定一次电流应根据其所属一次设备的额定电流或最大工作电流适当选择。

(3) 二次回路电流

电流互感器的额定二次电流可选用 5 A 或 1 A。
110 kV 及以上电压等级电流互感器宜选用 1 A。

(4) 额定二次负荷

电流互感器的额定二次负荷,可用容量 $S_s(\text{VA})$ 或阻抗 $Z_{bn}(\Omega)$ 表示,二者关系为 $S_s = I_{sn}^2 Z_{bn}$, I_{sn} 为互感器额定二次电流。

测量级、P 级电流互感器的额定输出值以伏安表

示,应根据互感器额定二次电流值和实际负荷需要选择。

(5) 热稳定校验

按额定短时热电流校验时需满足

$$Q_t \leq I_{th}^2 t_{th}$$

式中, Q_t 是短路电流热效应, $\text{kA}^2 \cdot \text{s}$; I_{th} 是额定短时热电流, kA , 由样本查得; t_{th} 是热短时间, s , 由样本查得, 一般为 1s。

按热稳定电流倍数校验时满足 $K_{th} \geq \frac{\sqrt{Q_t/t_{th}}}{I_{pn}} \times 10^3$

式中, K_{th} 是电流互感器热稳定电流倍数, 由制造部门提供; I_{pn} 是电流互感器额定一次电流, A 。

(6) 动稳定校验

动稳定电流校验可按下式计算

$$I_{dyn} \geq i_{ch} \text{ 或 } K_d \geq \frac{i_{ch}}{\sqrt{2} I_{pn}} \times 10^3$$

式中, K_d 为动稳定电流倍数; I_{dyn} 为额定动稳定电流, kA , 由样本查得; i_{ch} 为短路冲击电流瞬时值, kA 。

测量/计量用电流互感器

1. 准确级

测量用电流互感器的标准准确级为 0.1、0.2、0.5、

1、3 和 5 级；特殊用途时宜采用 0.2S、0.5S 级。测量用电流互感器精度要求见表 1。

表 1 测量用电流互感器精度要求

电测量装置类型	电测量装置准确度	所配电流互感器最低准确度
指针式交流仪表	1.5 级	1.0 级
常用电测量仪表	1.0 级（经变送器二次测量）	0.5 级
指针式直流仪表	1.5 级	1.0 级
数字式仪表	0.5 级	0.5 级
综合保护测控装置中的测量部分	0.5 级	0.5 级

计量用电流互感器的准确级根据电能计量装置类别选择，具体见表 2。

表 2 计量用电流互感器准确度等级

电气计量装置类别	电流互感器准确度等级	备注
I 类	0.2 S	220 kV 及以上贸易结算用、500 kV 及以上考核用电能计量装置；计量单机容量 300 MW 及以上发电机发电量的电能计量装置
II 类	0.2 S	110～220 kV 贸易结算用、220～500 kV 考核用电能计量装置；计量单机容量 100～300 MW 发电机发电量的电能计量装置
III 类	0.5 S	10～110 kV 贸易结算用、10～220 kV 考核用电能计量装置；计量 100 MW 以下发电机发电量、发电企业厂（站）用电量的电能计量装置
IV 类	0.5 S	380 V～10 kV 电能计量装置，220 V 单相供电、双向计量的电能计量装置
V 类	0.5 S	220 V 单相供电，单向计量的电能计量装置

2. 额定一次电流

测量用电流互感器的额定一次电流应接近但不低于一次回路正常最大负荷电流。对于指针式仪表，电流互感器的额定一次电流不宜小于 1.25 倍的一次设备的额定电流或线路最大负荷电流，对于直接起动电动机的指针式仪表用的电流互感器额定一次电流不宜小于 1.5 倍电动机额定电流。

电能计量用电流互感器额定一次电流宜使正常运行时回路实际负荷电流达到其额定值的 60%，不应低于其额定值的 30%，S 级电流互感器应为 20%。

保护用电流互感器

1. 类型选择

保护用电流互感器的类型分为：P（保护）类和 TP（暂态保护）类。3~35 kV 系统电流互感器的暂态过程很短，对继电保护的影响有限，故保护用电流互感器一般不考虑暂态影响，按稳态条件选择，宜采用 P 类电流互感器。

2. 准确级及准确限值系数

P 类电流互感器的标准准确级分为：5P 和 10P 级。变压器主回路宜采用复合误差较小的 5P 级电流互感器，其他回路可采用 10P 级电流互感器。

准确限值系数为额定准确限值一次电流与额定一次电流之比值，用 K_{alf} 表示，一般可取 5、10、15、20 和 30。

3. 稳态性能验算

(1) 一般选择验算

1) 电流互感器的额定准确限值一次电流应大于保护校验一次故障电流，即要求

$$K_{alf} > KK_{pct} = K \frac{I_{pct}}{I_{pn}}$$

式中， K 为给定暂态系数（可靠系数）； K_{pct} 为故障校验系数； I_{pct} 为保护校验一次故障电流，一般取保护区末端短路流过互感器的最大短路电流。

2) 电流互感器的额定二次负荷 R_{bn} 应大于实际二次负荷 R_b 。

(2) 按额定二次极限电动势验算

按上述条件选择的电流互感器，可能尚有潜力未得到合理利用，在有条件时应进行较精确的验算，以便更合理地选用电流互感器。

P 类电流互感器的额定二次极限电动势 E_{sl} （V）

$$E_{sl} = K_{alf} I_{sn} (R_{ct} + R_{bn})$$

继电保护动作性能要求的二次感应电动势 E_s （V）

$$E_s = KK_{pct} I_{sn} (R_{ct} + R_b)$$

要求 $E_{sl} \geq E_s$ ，故有 $K_{alf} \geq KK_{pct} \frac{R_{ct} + R_b}{R_{ct} + R_{bn}}$

式中, R_{ct} 为电流互感器内阻 (二次绕组电阻), Ω ; R_{bn} 为电流互感器内额定负荷电阻, Ω ; S_s 为电流互感器二次负荷, VA; I_{sn} 为电流互感器额定二次电流, A; R_b 为电流互感器实际二次负荷。

4. 二次负荷计算

保护用电流互感器二次负荷为

$$Z_b = K_{rc} Z_r + K_{lc} R_l + R_c$$

式中, Z_r 是继电器电流线圈电阻 (数字继电器可仅计及电阻 R_r), Ω ; R_l 为连接导线电阻, Ω ; R_c 是接触电阻, Ω ; K_{rc} 是继电器电阻换算系数, ; K_{lc} 是连接导线电阻换算系数。

工程设计实例

下面以某铁矿井下中央变电所 10 kV 进线路首端电流互感器的选择为例具体介绍。

该矿山 35 kV 总降压变电所设两台 10 MV·A 主变压器, 35/10.5 kV, Yd11 结线, 短路阻抗 $u_k\% = 7.5\%$ 。35 kV 母线综合阻抗: 正序大方式为 0.525 Ω , 正序小方式为 0.947 Ω (标么值, 基准容量 100 MV·A, 基准电压 37 kV)。总降压至井下中央变电线路单位电抗 0.2 Ω/km , 长度 0.7 km, 计算负荷 $P_c = 3\,750\text{ kW}$, $Q_c = 2\,996\text{ kVar}$, $S_c = 4\,800\text{ kV}\cdot\text{A}$ 。

该线路首端需要配置测量、计量和保护用电流互感器。10 kV 系统中性点不接地, 电流互感器可按三相或两相配置, 本次设计根据要求采用两相配置, 互感器接线形式如图 1 所示。

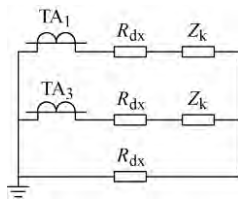


图 1 电流互感器接线形式

1. 主要参数选择

(1) 额定一次电压

该线路电压等级为 10 kV, 故电流互感器的额定一次电压不应小于 10 kV, 最高电压不应小于 12 kV。

(2) 电流比选择

电流互感器所在线路的计算电流为

$$I_c = \frac{S_c}{\sqrt{3}U_n} = \frac{4\,800}{\sqrt{3} \times 10} = 277.13(\text{A})$$

对测量用、保护用电流互感器 $I_{pn} \geq I_c = 277.13(\text{A})$

对计量用电流互感器

$$\frac{277.13}{0.6} = 462 \leq I_{pn} \leq \frac{277.13}{0.2} = 1\,386(\text{A})$$

故额定一次电流取 $I_{pn} = 600\text{ A}$ 。该线路电压等级为 10 kV, 额定二次电流可取 $I_{sn} = 5\text{ A}$, 电流互感器的电流比为 600/5A。

(3) 准确级的选择

由表 1 知, 测量用电流互感器的最低准确度要求为 0.5 级。

电气计量装置为企业内部考核用, 查表 2 知, 为 III 类电气计量装置, 所配计量用电流互感器最低精度为 0.5S 级。

由前面的计算知, 线路保护用电流互感器采用 10P 级。

综上, 初选 600/5, 0.5/0.2S/10P10, 10 kV 电压等级的电流互感器。

2. 性能验算和校验

(1) 按额定二次极限电动势验算性能

10P10 保护用电流互感器额定输出值 15 V·A, 内阻 0.3 Ω , 变比 600/5, 其额定二次极限电动势为

$$E_{sl} = K_{alf} I_{sn} (R_{ct} + R_{bn}) = 10 \times 5 \times (0.3 + 15/25) = 45(\text{V})$$

已知连接导线电阻 0.05 Ω , 继电器电流线圈电阻 0.02 Ω , 由互感器的接线形式可得互感器二次负荷为

$$R_b = K_{rc} R_r + K_{lc} R_l + R_c = 0.02 + \sqrt{3} \times 0.05 + 0.05 = 0.16(\Omega)$$

该 10 kV 线路单位电抗 0.2 Ω/km , 长度 0.7 km, 线路末端短路时通过电流互感器一次的最大对称短路电流为

$$I_{pcf} = \frac{5\,500}{0.525 + 7.5/10 + 0.2 \times 0.7 \times 100/10.5^2} = 3\,922(\text{A})$$

继电保护动作性能校验要求的二次感应电动势为

$$E_{sl} = K K_{pcf} I_{sn} (R_{ct} + R_b) = \frac{3\,922}{600} \times 5 \times (0.3 + 0.16) = 15(\text{V})$$

$E_{sl} \geq E_s$, 所选保护用互感器可满足要求。

(2) 热稳定校验

电流互感器末端短路时，流过互感器的最大短路电流为

$$I_k'' = \frac{5.5}{0.5255 + 7.5/10} = 4.31(\text{kA})$$

该线路后备保护动作时间为 1 s，断路器全分闸时间为 0.05 s，短路电流持续时间 $t=1+0.05=1.05$ s，短路电流热效应为 $Q_t = I_k''^2 t = 4.31^2 \times 1.05 = 19.5(\text{kA}^2 \cdot \text{s})$

$$\text{热稳定校验需满足 } I_{th} \geq \sqrt{\frac{Q_t}{t_{th}}} = \sqrt{\frac{19.5}{1}} = 4.42(\text{kA})$$

$$\text{或 } K_{th} \geq \frac{\sqrt{Q_t/t_{th}}}{I_{pn}} = \frac{\sqrt{19.5/1}}{600} \times 10^3 = 7.36$$

经样本查得，热稳定满足要求。

(3) 动稳定校验

短路点远离发电厂，故短路电流冲击值为

$$i_{ch} = 2.55I_k'' = 2.55 \times 4.31 = 11(\text{kA})$$

$$\text{动稳定校验需满足 } I_{dyn} \geq i_{ch} = 11(\text{kA})$$

$$\text{或 } K_d \geq \frac{i_{ch}}{\sqrt{2}I_{pn}} \times 10^3 = \frac{11 \ 000}{\sqrt{2} \times 600} = 13$$

经样本查得，动稳定满足要求。

综上，初选的电流互感器通过了性能验算及校验，参数选择合理。

结束语

使用一段时间后，经矿方反馈，该线路首端的测量、计量及保护装置均工作正常，验证了电流互感器参数选择的合理性。希望本文能够起到参考和帮助作用，让大家对 10 kV 电流互感器的参数选择有一定了解。EA

(收稿日期：2020.12.02)

(上接第 31 页)

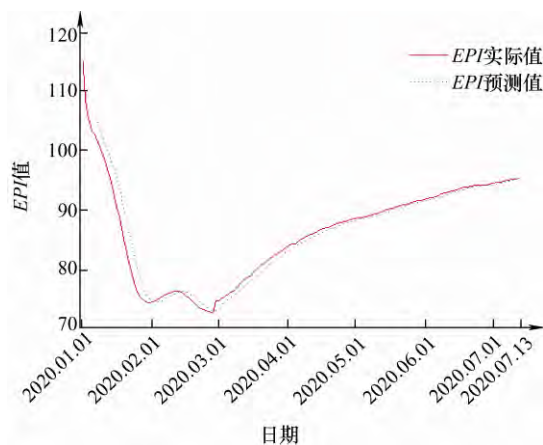


图9 某省第三产业日累计 EPI 预测曲线

某省全行业、第一产业、第二产业和第三产业的预测均方根误差分别为 1.239 1、0.513 1、1.499 0 和 0.955 5。

模型验证结论：把训练好的模型，利用跨时间窗口的数据对模型进行验证，预测值和真实值的均方误差为

0.854 32，认为新模型的预测效果较好，具有实用价值。

结束语

本文为及时掌握全省经济运行状况及趋势，提出了电力消费指数，基于电力消费指数的计算方法，对某省的电力消费水平进行计算，并利用深度学习 LSTM 网络的数学模型实现了对电力消费指数的预测，为各级政府评估区域、行业（产业）经济发展趋势、制定经济政策提供重要参考依据，助力政府服务由事后向事前转型，提升政府数字化管理水平。

最后与实际宏观经济运行状况进行对比分析，验证本计算方法的有效性和实用性。通过实际应用，本文提出的电力消费指数可以准确全面反映当前经济运行水平和未来经济景气预期，实现“电力看产业”“电力看区域”“电力看园区”等，在实际应用中每天、每月定时输出指数结果。EA