低压电动机控制电缆最大允许长度的探讨

在石油化工厂的电气工程中，普遍存在着低压电动机现场操作柱的电流表指示不准确甚至出现无电流信号的情况。针对这一现象以及设计规范对电流表指示刻度的要求，分析了电流互感器参数的特点，明确了电流互感器二次回路总电阻允许值以及二次回路所带负载总电阻实际值的计算方法，举例说明了电流互感器与控制电缆的选择及配合问题，提出了控制电缆最大允许长度的概念。

柴　静/武汉炼化工程设计有限责任公司　欧涛涛/武汉理工光科股份有限公司

柴　静/工程师

关键词/Keywords
低压电动机·
电流表·
电流互感器·
最大允许长度·

在石油化工厂的供配电系统中，普遍存在着若干生产装置或罐区由同一个变电所集中供电的模式，虽然变电所按设计规范的要求接近负荷中心布置，但仍有部分负载距离变电所较远。当额定功率不小于 37 kW 的电动机需在现场操作柱上设置电流表时，常常出现电流表指示不准确甚至无电流信号的情况。针对这一现象，本文探讨了电流互感器与控制电缆的选择及配合问题，提出了控制电缆最大允许长度的概念，并以此来校验电气测量的准确度。

电流互感器

1. 作用

在发电、变电、输电、配电和用电的线路中电流大小悬殊，从几安到几万安都有。为便于测量、保护和控制，常常转换为比较统一的电流，另外线路上的电压一般都比较高，若直接测量是非常危险的，而电流互感器就起到电流变换及电气隔离的作用。电流互感器是电力系统电能计量和保护控制的重要设备，其测量准确度、运行可靠性是实现电力系统安全、经济运行的前提。

2. 工作原理

电流互感器与变压器类似，也是根据电磁感应原理工作的。一次线圈串联于被测电流线路中，二次线圈串联电流测量设备，一、二次侧线圈绕在同一铁心上，通过铁心的磁耦合实现一、二次之间的电流传感过程。一、二次侧线圈之间以及线圈与铁心之间要采取一定的绝缘措施，以保证一、二次侧的电气隔离。根据应用场合以及被测电流大小的不同，通过合理改变一、二次侧线圈匝数比可以将一次侧的电流值按比例变换成标准的 1 A 或 5 A，用于驱动二次侧电气设备或供测量仪表使用。

3. 主要技术要求

1）额定容量。额定二次电流通过额定二次负荷时所消耗的视在功率。额定容量可以用视在功率表示，也可以用额定二次负荷阻抗表示。

2）一次额定电流。允许通过电流互感器一次绕组的用电负荷电流。电流互感器可在一次额定电流下长期运行。

3）二次额定电流。允许通过电流互感器二次绕组的一次感应电流。

4）额定电流比。一次额定电流与二次额定电流之比。

5）额定电压。一次绕组长期对地能够承受的最大电压（有效值以 kV 为单位），应不低于所接线路的额定相电压。

6）准确度等级。表示电流互感器本身误差（比差和角差）的等级。

设计规范对电流互感器选择的要求

GB/T 50063—2008《电力装置的电测量仪表装置设计规范》的第 8.1.2 条阐述了电流互感器额定一次电流的选择要求：电流互感器额定一次电流的选择，宜满足

正常运行的实际负荷电流达到额定值的60%，且不应小于30%（S级为20%）的要求，也可选用较小额定电流比或二次绕组带抽头的电流互感器。电流互感器额定二次负荷的功率因数应为0.8～1.0。

电流互感器的选择与计算

1. 电气测量的准确度

为了保证电气测量的准确度，选择适合的电流互感器才能使终端电流表指示在量程（刻度尺）的60%左右。除了满足电流互感器一次额定电流的要求外，还须满足电流互感器二次回路总电阻允许值＞电流互感器二次回路所带负载总电阻实际值。

2. 计算电流互感器二次回路总电阻允许值

1）额定二次负荷为10 V·A、二次额定电流为5 A时

$$\begin{cases} S_2 = I^2 Z_2 = 10\ \text{V}\cdot\text{A} \\ R_2 \leqslant S/I^2 = 0.4\ \Omega \end{cases} \tag{1}$$

2）额定二次负荷为10 V·A、二次额定电流为1 A时

$$\begin{cases} S_2 = I^2 Z_2 = 10\ \text{V}\cdot\text{A} \\ R_2 \leqslant S/I^2 = 10\ \Omega \end{cases} \tag{2}$$

3. 计算电流互感器二次回路所带负载总电阻实际值

$$Z_2 = K_{jx1} R_{dx} + K_{jx2} Z_{cj} + R_{jc} \tag{3}$$

式中，K_{jx1}为连接导线的接线系数，见《工业与民用配电设计手册》（以下简称为“设计手册”）。本例中，电流互感器连接方式为单相，取$K_{jx1}=2$；R_{dx}为连接导线的电阻，Ω，$R_{dx}=\rho L/S$，铜导体$\rho=0.018\ 4\ \Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$；$K_{jx2}$为测量仪表接线系数（见设计手册表8-21），本例中电流互感器连接方式为单相，取$K_{jx2}=1$；Z_{cj}为测量仪表的内阻抗（见设计手册表8-22），本例中，取$S_{cj}=1\ \text{V}\cdot\text{A}$，（实际负荷约0.5 V·A），于是

$Z_{cj} \approx R_{cj} = S/I^2 = 0.04\ \Omega$（5 A电流互感器）

$Z_{cj} \approx R_{cj} = S/I^2 = 1.0\ \Omega$（1 A电流互感器）

式中，R_{jc}为导线接触电阻，取$R_{jc}=0.05\ \Omega$。

1）额定二次负荷为10 V·A，二次额定电流为5 A时

$$\begin{aligned} Z_2 &= K_{kx1} R_{dx} + K_{kx2} Z_{cj} + R_{jc} \\ &= 2\rho L/S + 1\times 0.04 + 0.05 \\ &= 2\rho L/S + 0.09 \end{aligned} \tag{4}$$

2）额定二次负荷为10 V·A，二次额定电流为1 A时

$$\begin{aligned} Z_2 &= K_{kx1} R_{dx} + K_{kx2} Z_{cj} + R_{jc} \\ &= 2\rho L/S + 1\times 1.0 + 0.05 \\ &= 2\rho L/S + 1.05 \end{aligned} \tag{5}$$

电流互感器与控制电缆的选择与配合

一台额定功率为55 kW的电动机，额定电流$I_n=102.5$ A，选用LMZJ1-0.5，150/5（150/1）A互感器供低压电动机操作柱电流表使用，已知电动机轴功率为42 kW，实际负荷电流约为78.5 A，分别校验电流互感器不同电流比150/5（150/1）A，控制电缆不同长度$L=250$（200、150、100和50）m，控制电缆不同截面积$S=1.5$（2.5、4、…）mm^2的情况下，电流互感器与控制电缆的选择与配合。

1）计算150/5 A、150/1 A电流互感器的二次回路总电阻允许值。

计算150/5 A电流互感器二次回路总电阻允许值为

$$\begin{cases} \dfrac{I_{1n}}{I_{2n}} = \dfrac{I_1}{I_{2sj}} \Rightarrow \dfrac{150}{5} = \dfrac{78.5}{I_{2sj}} \Rightarrow I_{2sj} = 2.62\ \text{A} \\ R_2 \leqslant S/I^2 = (10/2.62^2)\ \Omega = 1.46\ \Omega \end{cases} \tag{6}$$

计算150/1 A电流互感器二次回路总电阻允许值为

$$\begin{cases} \dfrac{I_{1n}}{I_{2n}} = \dfrac{I_1}{I_{2sj}} \Rightarrow \dfrac{150}{1} = \dfrac{78.5}{I_{2sj}} \Rightarrow I_{2sj} = 0.523\ \text{A} \\ R_2 \leqslant S/I^2 = (10/0.523^2)\ \Omega = 36.5\ \Omega \end{cases} \tag{7}$$

2）计算电流互感器二次回路所带负载总电阻实际值，并校验电流互感器与控制电缆的选择与配合。

当电流互感器（150/5 A）及控制电缆长度（$L=250$ m）一定时，将$\rho=0.018\ 4\ \Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$及控制电缆不同的截面积$S=1.5$（2.5、4、…）$\text{mm}^2$代入式（4）中，当$S=1.5\ \text{mm}^2$时

$$Z_2 = 2\rho L/S + 0.09\ \Omega$$

$$= (2\times0.018\ 4\times250/1.5+0.09)\ \Omega$$
$$=6.22\ \Omega>1.46\ \Omega \quad (8)$$

不满足要求。

当 $S=2.5\ \text{mm}^2$ 时

$$Z_2=2\rho L/S+0.09\ \Omega$$
$$= (2\times0.018\ 4\times250/2.5+0.09)\ \Omega$$
$$=3.77\ \Omega>1.46\ \Omega \quad (9)$$

不满足要求。

当 $S=4\ \text{mm}^2$ 时

$$Z_2=2\rho L/S+0.09\ \Omega$$
$$= (2\times0.018\ 4\times250/4+0.09)\ \Omega$$
$$=2.39\ \Omega>1.46\ \Omega \quad (10)$$

不满足要求。

当 $S=6\ \text{mm}^2$ 时

$$Z_2=2\rho L/S+0.09\ \Omega$$
$$= (2\times0.018\ 4\times250/6+0.09)\ \Omega$$
$$=1.62\ \Omega>1.46\ \Omega \quad (11)$$

不满足要求。

当 $S=10\ \text{mm}^2$ 时

$$Z_2=2\rho L/S+0.09\ \Omega$$
$$= (2\times0.018\ 4\times250/6+0.09)\ \Omega$$
$$=1.01\ \Omega<1.46\ \Omega \quad (12)$$

满足要求。

结论1：由上述计算可以看出，在电流互感器选择确定（额定二次电流确定，额定二次负载容量确定）且控制电缆长度确定时，增加控制电缆截面能使终端电流表指示准确。

当控制电缆长度（$L=250$ m）及截面积（$S=1.5\ \text{mm}^2$）一定时，将 $\rho=0.018\ 4\ \Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$ 及不同的电流互感器分别代入式（4）、式（5）中。

当使用 150/5 A 电流互感器时

$$Z_2=2\rho L/S+0.09\ \Omega$$
$$= (2\times0.018\ 4\times250/1.5+0.09)\ \Omega$$
$$=6.22\ \Omega>1.46\ \Omega \quad (13)$$

不满足要求。

当使用 150/1 A 电流互感器时

$$Z_2=2\rho L/S+1.05\ \Omega$$
$$= (2\times0.018\ 4\times250/1.5+1.05)\ \Omega$$
$$=7.18\ \Omega<36.5\ \Omega \quad (14)$$

满足要求。

结论2：由上述计算可以看出，在控制电缆长度及截面确定时，电流互感器二次额定电流由 5 A 改为 1 A 能使终端电流表指示准确。

当电流互感器（150/5 A）及控制电缆截面积（$S=1.5\ \text{mm}^2$）一定时，将 $\rho=0.018\ 4\ \Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$ 及控制电缆不同的长度 $L=250$（200、150、100 和 50）m 代入式（4）。

当 $L=250$ m 时

$$Z_2=2\rho L/S+0.09\ \Omega$$
$$= (2\times0.018\ 4\times250/1.5+0.09)\ \Omega$$
$$=6.22\ \Omega>1.46\ \Omega \quad (15)$$

不满足要求。

当 $L=200$ m 时

$$Z_2=2\rho L/S+0.09\ \Omega$$
$$= (2\times0.018\ 4\times200/1.5+0.09)\ \Omega$$
$$=4.97\ \Omega>1.46\ \Omega \quad (16)$$

不满足要求。

当 $L=150$ m 时

$$Z_2=2\rho L/S+0.09\ \Omega$$
$$= (2\times0.018\ 4\times150/1.5+0.09)\ \Omega$$
$$=3.77\ \Omega>1.46\ \Omega \quad (17)$$

不满足要求。

当 $L=100$ m 时

$$Z_2=2\rho L/S+0.09\ \Omega$$
$$= (2\times0.018\ 4\times100/1.5+0.09)\ \Omega$$
$$=2.54\ \Omega>1.46\ \Omega \quad (18)$$

不满足要求。

当 $L=50$ m 时

$$Z_2=2\rho L/S+0.09\ \Omega$$
$$= (2\times0.018\ 4\times50/1.5+0.09)\ \Omega$$
$$=1.32\ \Omega<1.46\ \Omega \quad (19)$$

满足要求。

结论3：由上述计算可以看出，在电流互感器选择确定（额定二次电流确定，额定二次负载容量确定）且控制电缆截面确定时，控制电缆长度较短的情况下能使终端电流表指示准确。

3）综合结论 1～3 可以得出，终端电流表指示准确与否与互感器选择（额定二次电流、额定二次负载容量）、控制电缆截面及控制电缆长度

等因素有关。在工程实际中，控制电缆长度常常为一定值，控制电缆截面变化范围也不大，这时就需要根据实际情况选择不同参数的电流互感器，才能使终端电流表显示符合规范要求。

控制电缆最大允许长度的计算公式

经上述公式推算，得出控制电缆最大允许长度计算公式为

$$L_{max}=\frac{\left[\left(\frac{S_2}{I_{2n}^2}\right)\times\left(\frac{I_{1n}}{I_1}\right)^2-\left(\frac{K_{jx2}S_{cj}}{I_{2n}^2}\right)-0.05\right]\times S}{K_{jx1}\times 0.018\ 4}$$

为此，提出控制电缆最大允许长度的概念，运用这一概念可以校验所选择的电流互感器能否满足要求及终端电流表能否指示准确。

结束语

在以往的电气工程设计中，电流互感器的选择一直是很烦琐的，然而运用控制电缆最大允许长度的计算公式，可以简单地计算出所选电流互感器是否符合工程设计要求，是否满足规范中对终端电流表显示的要求。因此避免了终端电流表指示不准确甚至出现无电流信号的情况。

参考文献

[1] 中国航空工业规划设计研究院. 工业与民用配电设计手册 [M]. 北京：中国电力出版社，2005.

[2] 《工厂常用电气设备手册》编写组. 常用电气设备手册 [M]. 第2版. 北京：中国电力出版社，1997.

[3] 中机电电设计研究院有限公司. GB 50053—2013 20 kV及以下变电所设计规范 [S]. 北京：中国计划出版社，2013.

[4] 中国电力企业联合会. GB/T 50063—2008 电力装置的电测量仪表装置设计规范 [S]. 北京：中国计划出版社，2008.

[5] DL/T 866—2004 电流互感器和电压互感器选择及计算导则 [S]. 北京：中国电力出版社，2004.

（收稿日期：2014-06-13） EA

全新改版

色彩丰富　凸显主题

2015《电气应用》以鲜明色彩和新颖版式呈现精彩内容，力求赏心悦目。

栏目设置　独具风格

坚持继承与开拓并举，以丰富内涵充实经典栏目，持续深化面对面、专家访谈、EA经理人等栏目，密切关注电气技术的发展和应用。

专家点评　精辟深刻

每期都将围绕一个热点话题，隆重推出一场专题讨论的盛宴，共邀知名专家、产品用户和生产厂家汇聚一堂，针对焦点问题作出评析。

行业案例　生动丰富

关注电力、建筑、石化和冶金等电气行业应用，以典型深刻的案例分析、方案设计构建技术互动的空间，促进应用经验交流。

国内邮发代号：82-341　国外发行代号：M1409

每期定价：15.00元　全年定价：360.00元