

[互感器]

低压电动机电流互感器二次额定电流选择

文/北京石油化工工程有限公司 张浩

线路上的功率损耗选用 $\square/5$ 的电流互感器是选用 $\square/1$ 的电流互感器的25倍，导致电流互感器输出严重超载，直接影响到现场电流表测量值的准确程度。在分析中可以看出，设计中选择 $\square/1$ 电流互感器，许多问题都可以得到很好的解决。

近年来，石油化工行业不断发展壮大，新建或改造石油化工生产装置日益增加。在石油化工厂生产装置的电气设计中，对于额定功率37 kW及以上的电动机回路或者工艺要求的电动机回路，要求在现场操作柱上安装电流表。由于石油化工生产装置往往都是爆炸危险环境，变电所均布置在远离释放源的位置，距离现场用电负荷距离都较远，从而使电流表测量回路的电缆长度增加，线路的电阻越大（测量回路线路导线的负荷在正弦工频交流电下计算时可忽略导线电感，只考虑线路导线的电阻），其损耗的功率也越大；同时，考虑到测量回路线路的功率损耗与流经线路的电流二次方成正比，那么在同样的电流测量回路，线路上的功率损耗选用 $\square/5$ 的电流互感器就是选用 $\square/1$ 的电流互感器的25倍，导致电流互感器输出严重超载，直接影响到现场电流表测量值的准确程度。

电流互感器的基本原理

电流互感器是供用电设备中的重要器件，在电力系统中电流互感器（TA）的作用是把大电流变

成小电流，将连接在继电保护装置及测量仪器仪表的二次回路与一次电流的高压系统隔离，并将一次电流变换到5 A或者1 A两种标准的二次电流。电流互感器一次匝数少，二次匝数多，用于电流系统中的电流互感器，其一次绕组通常是一次设备的进、出导线，只有1匝或者2匝，其二次匝数却很多。

电流互感器的二次回路不得开路，如果运行中二次回路开路，二次电流消失，去磁作用随之消失。铁心中的磁密很高，由于二次匝数很多，二次感应电压很高，有时可高达数千伏，危及二次设备和人身安全。

电流互感器的选择问题

在石油化工厂生产装置的电气设计中，对于额定功率37 kW及以上的电动机回路或者工艺要求的电动机回路，要求在现场操作柱上安装电流表，需要在配电柜内相应回路内安装测量用的电流互感器，往往一只电流互感器需要带上一只电流表。目前，常用的测量用电流互感器二次额定电流主要有 $I_e=5\text{ A}$ 及 $I_e=1\text{ A}$ 两种。由于石油化工生产装置往

往都是爆炸危险环境，变电所均布置在远离释放源的位置，距离现场用电负荷距离都较远，这样安装在现场操作柱上的电流表距离测量用电流互感器比较远（短则 100~200 m，长则 300~500 m，而且考虑到测量回路为单相回路，因此在计算线路电阻时，实际计算长度应为 2 倍的供电线路长度）。随着测量回路的电缆长度增加，线路电阻越大，其损耗的功率也越大；同时，考虑到测量回路线路的功率损耗与流经线路的电流二次方成正比，那么在同样的电流测量回路，线路上的功率损耗选用□/5 的电流互感器就是选用□/1 的电流互感器的 25 倍，导致电流互感器输出严重超载，直接影响到现场电流表测量值的准确程度。

在以往设计中，长距离电流测量时，采用增加电流测量回路导线的截面积或用两级电流互感器组合等方法能减少电流测量回路线路上的功率损耗。但是采用大截面积电缆投资费用相对增加，采用多级电流互感器组合，不仅多了一级误差，而且第二级电流互感器二次输出电流的工作区域电流小、较窄，测量误差也要增加。在后面的分析中可以看出，在设计中选择□/1 电流互感器，以上许多问题都可以得到很好的解决。

电流互感器二次电流选择

1. 电流互感器额定输出容量

根据《工业与民用配电设计手册》中对于电流互感器的相关描述，电流互感器的额定输出容量主要是由电动机现场操作柱的电流表、测量回路线路上的功率损耗以及接触电阻产生的功率损耗构成，如下公式

$$S_e = S_b + S_x + S_{jc} \quad (1)$$

$$S_x = I_e^2 R_x \quad (2)$$

$$R_x = \rho L / A \quad (3)$$

$$L = 2\lambda \quad (4)$$

式中， S_e 是电流互感器的额定输出容量，单位为 $V \cdot A$ ； S_b 是测量电流表负荷，单位为 $V \cdot A$ ； S_x 是测量回路线路上的功率损耗，单位为 $V \cdot A$ ； S_{jc} 是接触电阻产生的功率损耗，单位为 $V \cdot A$ ； I_e 是电流互感器二次额定电流，单位为 A ； R_x 是线路计算

电阻，单位为 Ω ； ρ 是线路导电率/铜 $\rho = 0.0186$ ，单位为 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ； A 是测量回路线路截面积，单位为 mm^2 ； λ 是测量回路线路长度，单位为 m ； L 是测量回路线路计算长度，考虑到测量回路为单相回路，实际计算长度应为 2 倍的供电线路长度，单位为 m 。

在设计过程中，由于接触电阻（为 $0.05 \sim 0.1 \Omega$ ）相对于测量回路的线路电阻非常小（测量回路线路常规设计 KVV— 2.5 mm^2 、测量回路的线路长度按 300 m 考虑时，线路计算电阻按式（3）算得为 $4.464 \Omega \gg 0.05 \sim 0.1 \Omega$ ），故接触电阻功率损耗在设计过程中可以忽略不计。那么，按式（1）来分析，导致电流互感器超载的原因主要是测量回路线路上的功率损耗过大。如在设计中选用的测量电流互感器（AKH-0.66—I □/1）额定输出容量为 $10 V \cdot A$ ，现场操作柱上选用的电流表为 6L 系列，负荷为 $0.4 V \cdot A$ ，那么测量回路线路上的功率损耗不能超过 $9.6 V \cdot A$ 。

2. 测量回路线路上的功率损耗

由式（2）、式（3）可知，测量回路线路上的功率损耗与流经线路的电流二次方、线路的长度成正比，与线路导线截面积成反比。将不同测量回路线路长度、不同线路导线截面积的功率损耗计算，得出以下几个表格。根据 GB 50058《爆炸危险环境电力装置设计规范》5.4.1 第 4 条规定：“除本质安全系统的电路外，爆炸性环境电缆配线的技术要求应符合表 5.4.1-1 的规定”，控制电缆最小按 1.5 mm^2 考虑。见表 1~表 5。

表 1 爆炸性环境电缆配线的技术要求

爆炸危险区域	电缆明设或在沟内敷设时的最小截面			移动电缆
	电力	照明	控制	
1 区、20 区、21 区	铜芯 2.5 mm^2 及以上	铜芯 2.5 mm^2 及以上	铜芯 1.0 mm^2 及以上	重型
2 区、22 区	铜芯 1.5 mm^2 及以上，铜芯 16 mm^2 及以上	铜芯 1.5 mm^2 及以上	铜芯 1.0 mm^2 及以上	中型

表2 $I_e = 1\text{ A}$ 时测量回路线路上的功率损耗 S_x
(单位: $\text{V} \cdot \text{A}$)

长度/m	导线截面积/ mm^2		
	1.5	2.5	4
100	2.47	1.48	0.93
200	4.93	2.96	1.85
300	7.40	4.44	2.78
400	9.87	5.92	3.70
500	12.33	7.40	4.63

表3 $I_e = 5\text{ A}$ 时测量回路线路上的功率损耗 S_x
(单位: $\text{V} \cdot \text{A}$)

长度/m	导线截面积/ mm^2		
	1.5	2.5	4
100	61.67	37.00	23.13
200	123.33	74.00	46.25
300	185.00	111.00	69.38
400	246.67	148.00	92.50
500	308.33	185.00	115.63

表4 $I_e = 0.6\text{ A}$ 时测量回路线路上的功率损耗 S_x
(单位: $\text{V} \cdot \text{A}$)

长度/m	导线截面积/ mm^2		
	1.5	2.5	4
100	0.89	0.53	0.33
200	1.78	1.07	0.67
300	2.66	1.60	1.00
400	3.55	2.13	1.33
500	4.44	2.66	1.67

注:考虑到在设计中选取电流互感器和电流表计时,使它们工作在电流互感器线圈特性曲线范围内(二次额定电流的 $1/3 \sim 2/3$),即 $1\text{ A} \times 60\% = 0.6\text{ A}$ 。

表5 $I_e = 3\text{ A}$ 时测量回路线路上的功率损耗 S_x
(单位: $\text{V} \cdot \text{A}$)

长度/m	导线截面积/ mm^2		
	1.5	2.5	4
100	22.20	37.00	8.33
200	44.40	74.00	16.65
300	66.60	39.96	24.98
400	88.80	53.28	33.30
500	111.00	66.60	41.63

注:考虑到在设计中选取电流互感器和电流表计时,使它们工作在电流互感器线圈特性曲线范围内(二次额定电流的 $1/3 \sim 2/3$),即 $5\text{ A} \times 60\% = 3\text{ A}$ 。

3. 选择 $\square/5$ 电流互感器的弊端

从表3、表5中可以看出,如果单纯选择 5 A 电流互感器,当测量回路的线路长度在 300 m 时,根本无法实现测量回路线路上的功率损耗不超过 $9.6\text{ V} \cdot \text{A}$ 的设计要求。于是有设计人员提出采取以下办法解决以上问题。

1) 在现场增设电流互感器,以减少现场电流表测量回路线路上的功率损耗。但是在石油化工生产装置中,大部分区域为爆炸危险环境,现场增设电流互感器是不合适的;在非爆炸危险区域环境中,考虑到现场电流表安装在现场操作柱上,如果给现场操作柱上的控制回路及测量回路采用不同的两条回路,则现场操作柱需要两个进线口,在现场操作柱选型上要明确标出;而且在现场增设电流互感器取得单相电流也是极不方便的。

2) 选择电流比较大的电流互感器。虽然可以增加电流互感器一二次侧的电流比,减少流经测量回路中的电流,由式(2)可知,测量回路线路上的功率损耗也相应减少,但是,电流互感器就不能工作在其特性曲线范围内,直接影响到电流测量结果的准确性。

3) 用两只电流互感器组合成电流比为 $\square/1\text{ A}$ 。根据理论分析,从表2、表4中可以看出,测量回路线路上的功率损耗明显降低,但是电流互感器经过组合后不仅多了一级误差,而且第二级电流互感器二次侧输出电流虽为 1 A ,但是其真正的额定电流为 5 A ,工作电流小、较窄,误差也相应增加。

4. 选择 $\square/1$ 电流互感器的优势

国家标准 GB 1208—2006《电流互感器》第5.2条中规定电流互感器“额定二次电流标准值为 1 A 和 5 A ”。目前,随着国内生产 $\square/1$ 的电流互感器技术的日益成熟,国内生产厂已经可以生产出像国外的一样体积小、容量大和质量好的同等产品(由于以前电流互感器厂家生产 $\square/1\text{ A}$ 产品为非标产品,其价格比 $\square/5\text{ A}$ 贵出很多,使用很少,而目前 $\square/1\text{ A}$ 的电流互感器已经成为很多电流互感器制造厂的标准产品,其价格因素已经不再成为制约其使用的束缚),在现在设计中,应尽可能地选择 $\square/1\text{ A}$ 电流互感器。

从表2、表4中可以看出,采用 $\square/1\text{ A}$ 电流互感器,由于流经电流测量回路中的电流仅为采用 $\square/5\text{ A}$ 电流互感器的 $1/5$,在电流测量回路线路上的功率损耗大大降低(由式(2)可知,仅为 $1/25$),在选用相同额定输出容量的电流互感器及相同截面积的测量回路线路的情况下, $\square/1\text{ A}$ 电流互感器比 $\square/5\text{ A}$

电流互感器输出测量距离远的多，更易满足有化工厂装置区与变配电室远距离的实际情况。

工程实例分析

在延长石油某试验示范项目中，冲洗泵电动机功率为 45 kW，距离变电所距离为 400 m，电流互感器选用 AKH-0.66-I 100/1（额定输出容量为 10 V·A），现场操作柱上选用的电流表为 6L 系列，负荷为 0.4 V·A，那么在测量回路线路上的功率消耗不能大于 9.6 V·A。在初版设计成品文件中，采用 ZRA-KVVP-1.5 mm² 控制电缆。经计算，从表 2 中查的 1.5 mm² 电缆在测量回路线路上的功率损耗 9.87 V·A 不能满足设计需要，可以采取以下方法解决：对测量回路采用两根 1.5 mm² 电缆芯并联跨接在一起，使测量回路线路的等效面积 $A = 3 \text{ mm}^2$ 。从表 6 中就可以看出，在电流互感器额定输

表 6 $A = 3 \text{ mm}^2$ 时测量回路线路上的功率损耗 S_x
(单位: V·A)

长度/m	导线截面积/mm ²			
	5A	3A	1A	0.6A
100	30.83	11.10	1.23	0.44
200	61.67	22.20	2.47	0.89
300	92.50	33.30	3.70	1.33
400	123.33	44.40	4.93	1.78
500	154.17	55.50	6.17	2.22

出为 1 A 时，测量回路线路上的功率损耗仅为 4.93 V·A，在电流互感器额定输出为 0.6 A 时，测量回路线路上的功率损耗仅为 1.78 V·A，均能满足设计需要。

结束语

经过上述分析，可以看出在低压电动机计量回路的设计中，更提倡选用 □/1A 电流互感器：

1) 测量回路线路上的功率损耗降低，能够直接满足设计要求。

2) 在选用相同额定输出容量的电流互感器及相同截面积的测量回路线路的情况下，□/1A 电流互感器比 □/5A 电流互感器输出测量距离远的多，更易满足有化工厂装置区与变配电室远距离的实际情况。

3) 选用 □/1A 电流互感器，电流测量回路线路按照规范要求选择 1.5 mm² 截面积的电缆基本上可以满足设计要求（个别远距离回路可以采用多根并联跨接的形式解决），不必再放大电缆截面积，节约线路投资，同时使得现场施工接线方便。EA

(收稿日期: 2021.05.08)

(上接 51 页)

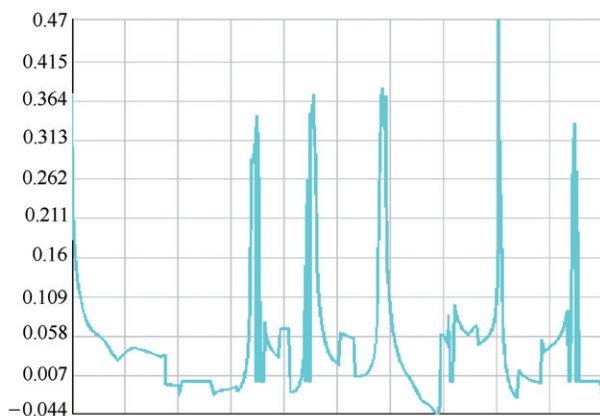


图 6 相电压下套管外表面最大切向场强

3) 由于该模型中增爬伞群相对远离金具，其对套管金具的允许场强值 E_j 影响较小，该处暂不分析。

结束语

在瓷套管外加装增爬裙及瓷套表面喷涂 RTV

是目前经济且常用的改造方案。文中对某断路器的瓷套管进行了加装增爬裙的设计，并对初步设计的加装增爬裙的套管模型进行了电性能对比分析。发现瓷套管加装增爬裙虽达到了防污的效果，但是其造成的电场畸变仍然会影响绝缘子的电气性能。

对于内部装有中间屏蔽的断路器套管，屏蔽端部对应的导体位置为套管最大场强位置。增爬裙安装在该最大场强对应位置时，套管该处绝缘子的电场分布畸变最为严重，且超出了套管电性能设计的安全裕度。而增爬裙安置在其他位置对套管绝缘子的电场影响较小，且仍在安全裕度范围内。因此，对于内部装有中间屏蔽的断路器套管，应避免在中间屏蔽端部即断路器套管最大场强位置加装增爬裙。EA

(收稿日期: 2021.05.25)