

# 基于互感器误差特性的电能计量装置 整体误差优化分析

杨敏<sup>1</sup>, 胡娟<sup>2</sup>, 洪英<sup>1</sup>, 刘刚<sup>1</sup>, 陈立功<sup>3</sup>, 何娜<sup>1</sup>

(1. 国网四川省电力公司计量中心, 四川 成都 610045;

2. 国网四川省电力公司检修公司, 四川 成都 610041;

3. 国网四川省电力公司资阳供电公司, 四川 资阳 641000)

**摘要:** 配电网电能计量装置具有数量多、涉及面广、影响大等特点, 其良好的整体计量性能对保证电能贸易结算的公平公正具有重要意义。如何优化配电网电能计量装置的整体误差是计量领域的难题, 这里提出了通过改变互感器二次负荷的方式实现配电网电能计量装置整体误差的优化方法, 并应用该方法开展优化试验, 实现了对电能计量装置整体误差的优化, 为提高电能计量装置的计量准确性提供有意义的参考。

**关键词:** 电能计量; 整体误差; 优化

**Abstract:** There are numerous electric energy metering devices which involve in many aspects running in distribution network, and the accuracy of their integral error has a significant influence on keeping the equity and justness of electric energy trade. However, how to minimize the integral error of electric energy metering devices is a big issue in measurement domain. A method by changing the secondary load of transformers to optimize the integral error of metering devices is proposed, and optimization tests are carried out using this method. It is confirmed that the integral error of electric energy metering devices can be optimized with this method, which provides a useful reference for improving the accuracy of metering devices.

**Key words:** electric energy metering; integral error; optimization

中图分类号: TM933 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2017)04-0070-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.04.015

## 0 引言

电能计量装置由电能表、计量用电压互感器、计量用电流互感器及其二次回路组成。6~35 kV 配电网电能计量装置为配电网重要设备之一, 具有数量多、涉及面广、影响大等特点, 且关系到线损精益化水平的提升。随着中国售电业务和增量配电业务改革, 大量售电公司相继成立, 配电网电能计量装置将进一步成为各方利益关注的焦点。因此, 确保配电网电能计量装置的准确计量具有重要意义。

部分人员对高压电能计量装置的整体误差检测开展了初步研究, 原水利电力部颁布的 SD 109-1983《电能计量装置校验规定》<sup>[1]</sup>中提出了通过电能计量装置各部分误差计算其整体误差的方法; 文献[2]叙述了在产品标准规定的参照条件下如何对高压电能计量器具进行室内校准或计量检定, 以实现高压电能计量器具的量值溯源; 文献[3-4]介绍

了整体计量装置检验的高压计量装置校验系统, 并应用该校验系统开展了电能计量装置的整体校验。文献[5-6]介绍了用标准电压互感器、标准电流互感器和标准电能表组成高压标准电能计量装置, 来校准新型高压电能计量装置整体校验台的方法, 并评定了测量结果的不确定度。还有一些文献<sup>[7-8]</sup>开展了数字计量系统整体误差检测的研究。

但是检测出电能计量装置的整体误差后, 如何进一步优化电能计量装置的整体误差, 促进电能计量更加准确, 实现电能计量更加公平公正尚未见相关报道。下面提出了通过改变互感器二次负荷的方式来实现配电网电能计量装置整体误差优化的方案, 并对该方案的有效性进行了试验验证。

## 1 优化方案

互感器误差与其二次负荷(二次回路阻抗)密切相关。通常情况下, 电压互感器比差与其二次负

荷的关系如图1所示。可以看出,电压互感器在额定负荷下的比差为负值,在下限负荷下的比差为正值,以实现下限负荷至额定负荷范围内其误差满足规程规定的误差限值要求。电流互感器比差与二次负荷也有类似的关系。因此,利用二次负荷与互感器误差有密切关系这一特点,通过改变互感器二次回路的导线长度等方式来改变二次回路阻抗即二次负荷,可以调节互感器运行时的误差特性,实现运行中互感器与电能表的误差合理匹配,从而优化电能计量装置的整体误差。

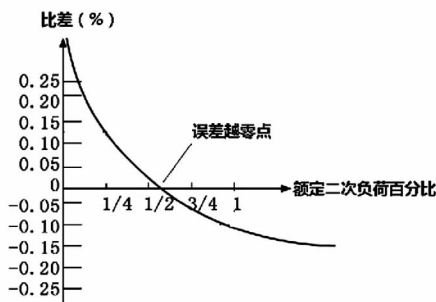


图1 电压互感器比差与二次负荷的关系

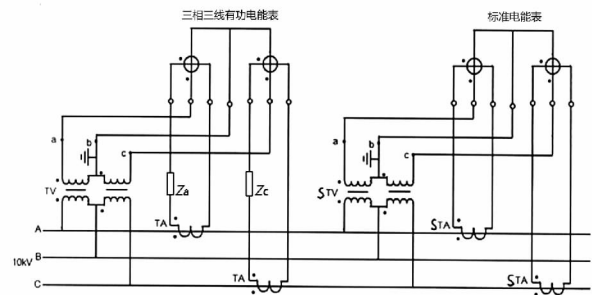
## 2 优化试验

以10 kV配电网电能计量装置为例,通过改变电流互感器二次回路的阻抗来改变二次负荷,进行电能计量装置的整体误差优化验证。试验中利用在电流互感器二次回路串联阻抗的方式实现对电流互感器二次回路阻抗的改变。

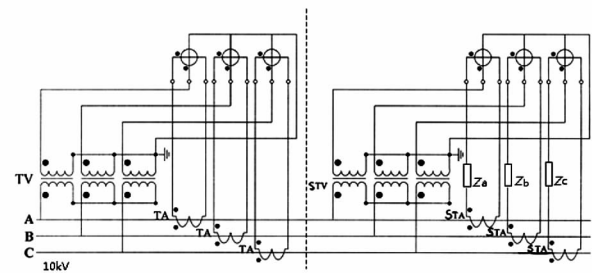
### 2.1 试验原理

三相三线计量装置和三相四线计量装置整体计量性能优化的试验原理如图2所示。对标准电能计量装置和被试电能计量装置施加同样的一次电压和一次电流,在同一时间段内将二者的电能量进行比

较,得到被试电能计量装置的整体误差。图中的电能表可以是多个单相电能表,也可以是三相电能表。在被试计量装置的各相电流互感器二次回路串联阻抗(图中 $Z_a$ 、 $Z_b$ 、 $Z_c$ )然后按照图2进行整体误差检测。



(a) 三相三线计量装置整体误差优化的试验原理



(b) 三相四线计量装置整体误差优化的试验原理

图2 计量装置整体计量性能优化的试验原理

### 2.2 试验设备

#### 2.2.1 被试设备

被测电能计量装置主要参数如表1和表2所示。

#### 2.2.2 标准设备

- 1) 标准电压互感器: 电压变比为10 kV/100 V、 $(10/\sqrt{3})$  kV/ $(0.1/\sqrt{3})$  kV; 准确度等级为0.02级。
- 2) 高压标准电流互感器: 额定电压为10 kV; 电流变比为 $(0 \sim 200)$  A/5 A; 准确度等级为0.05S级。
- 3) 标准电能表校验仪: 准确度等级为0.05级。

表1 被测计量装置中互感器的主要技术参数

计量方式	设备名称	额定一次	额定二次	准确度等级	额定负荷
三相三线	电压互感器	10 000 kV	100 V	0.2级	20 VA
	电流互感器	20 A	5 A	0.2S级	10 VA
三相四线	电压互感器	$10\,000/\sqrt{3}$ kV	$100/\sqrt{3}$ V	0.2级	20 VA
	电流互感器	20 A	5 A	0.2S级	10 VA

表2 被测计量装置中电能表的主要技术参数

计量方式	输入电压/V	电流/A	准确度等级	转速
三相三线	$3 \times 100$	$3 \times 1.5(6)$	0.5S级	20 000 imp/kWh
三相四线	$3 \times 100/\sqrt{3}$	$3 \times 1.5(6)$	0.5S级	20 000 imp/kWh

### 2.2.3 其他设备

升流器、升压器、调压器等。

## 3 结果与分析

### 3.1 三相三线计量装置整体计量性能优化

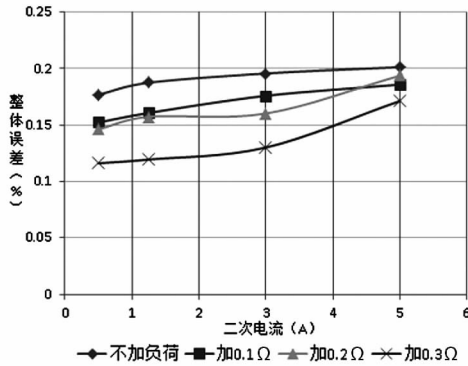


图3 三相三线计量装置整体计量性能优化

分别在各相电流互感器二次回路接入不同的阻抗，得到整体误差如图3所示。可以看出，随着二次电流增加即一次负荷增加，该计量装置整体误差呈增大的趋势。各相电流互感器二次回路不增加阻抗时，该套计量装置整体误差约为0.2%。当在各相电流互感器二次回路中接入阻抗后，各相电流互感器的误差特性将发生改变，而电压互感器、电能表等部分的误差特性不发生变化，使得计量装置整体误差发生变化。从图3中可以看出，当在各相电流互感器二次回路中接入阻抗（模拟通过增加导线长度等情况），可以实现计量装置整体误差变小（加0.3Ω的阻抗与不加阻抗相比，其整体误差降低约0.05%），从而改善电能计量装置的整体计量性能。因此，通过在各相电流互感器二次回路中接入阻抗的方式，实现电能计量装置各组成部分误差的合理匹配，可以实现三相三线计量装置整体计量性能的优化。

### 3.2 三相四线计量装置整体计量性能优化

三相四线计量装置中的三相组合互感器主要有两种结构形式，即三柱铁心三相组合互感器和独立铁心的三相组合互感器，其中独立铁心的三相组合互感器与由三台单相电压互感器和三台单相电流互感器组成的互感器组合具有相同的电气结构，性能相似，不同之处是三相组合互感器将三台电压互感器和三台电流互感器组合在一个密闭体内，具有更经济和占地面积更小等特点。

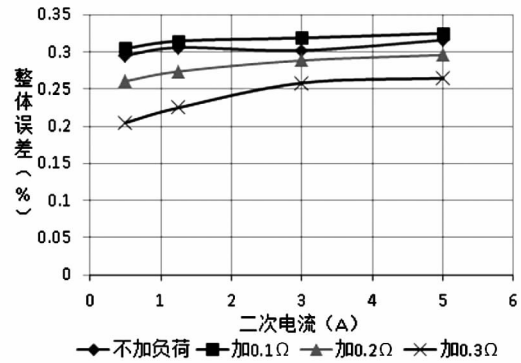


图4 三相四线(三柱铁心)计量装置整体误差

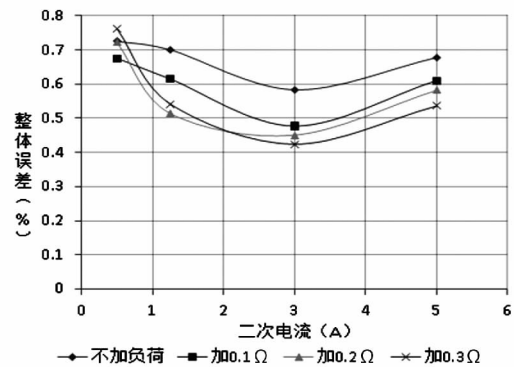


图5 三相四线(独立铁心)计量装置整体误差

三相四线计量装置整体误差优化试验结果如图4和图5所示。从图4可以看出，对于由三柱铁心三相组合互感器组成的三相四线电能计量装置，随着二次电流增加即一次负荷增加，该计量装置整体误差呈增大的趋势。各相电流互感器二次回路中不接入阻抗时，该电能计量装置的整体误差约为0.3%；当各相电流互感器二次回路中接入阻抗时，电流互感器的二次负荷发生改变，影响电流互感器的误差特性，使得该电能计量装置的整体误差发生变化。当在各相接入0.1Ω的阻抗时，整体误差总体略有增加，继续增加阻抗值，整体误差减小，当各相接入0.3Ω的阻抗时，整体误差约为0.25%。可见通过优化，使该三相四线电能计量装置的整体计量准确性最大提高了约0.05%。

从图5可以看出，对于由独立铁心三相组合互感器组成的三相四线电能计量装置，随着二次电流增加即一次负荷增加，该计量装置整体误差先减小后增大。在各相电流互感器二次回路不加阻抗情况下，当电流增加到互感器额定电流的一半时，整体误差最小，其值约为0.6%。当各相电流互感器二次回路中接入阻抗时，电流互感器的二次负荷发生改变，影响电流互感器的误差特性，从而影响该电能计量装置的整体误差。随着阻抗增大，电能计量装置

的整体误差减小,当在各相接入 $0.1\ \Omega$ 的阻抗时,整体误差最小约为 $0.5\%$ ,当各相接入 $0.3\ \Omega$ 的阻抗时,整体误差最小约为 $0.4\%$ 。可见通过优化,使该三相四线电能计量装置的整体计量准确性最大提高了约 $0.2\%$ 。

从以上分析可知,通过改变电流互感器二次负荷可以实现对电能计量装置的整体计量性能优化。试验中仅以改变电流互感器二次负荷阻抗为例来实现对电能计量装置整体计量性能的优化,若同时改变电流互感器和电压互感器的二次负荷,对电能计量装置整体计量性能的优化效果将更好。因此,通过改变互感器二次阻抗的方式,可以实现配电网电能计量装置整体误差的优化,从而提高了电能计量的准确性。

## 4 结 语

提出了一种基于互感器误差特性的配电网电能计量装置整体误差优化的方法,即通过改变互感器二次负荷的方式实现整体误差优化,并应用所提出的优化方法开展对电能计量装置整体误差的优化试验,实现了电能计量装置整体误差的优化,证实了优化方法的可行性,为改善电能计量装置的整体计量性能提供了初步探索。

(上接第60页)

## 2 结 论

四川电网穿越高海拔地区的配电网线路分布广,冬季抗冰融冰工作需求较为迫切。通过阐述了3种常见的配电网交流融冰方法,明确了各种方法适用范围,得出了以下结论:

1) 现有交流融冰方法由于融冰电流无法调节,因而存在较大适用局限性。变压器串联交流融冰方法作为其有效补充,提高了现有交流融冰方法的适用性。

2) 电容串联补偿的交流融冰方法通过电容补偿使线路阻抗与融冰电压相匹配,满足待融冰线路融冰电流、融冰功率的要求。该方法可在配电网交

## 参考文献

- [1] SD 109-1983 电能计量装置校验规定[S].
- [2] 郑志受,王立新,瞿清昌. 高压电能计量器具的室内校准与检定[J]. 计量技术, 2013, 57(7): 40-43.
- [3] 郭琳云,尹项根,卜正良,等. 10 kV 配电网的电能整体计量技术研究[J]. 水电能源科学, 2009, 27(5): 212-215.
- [4] 郭琳云,徐芝贵,张乐平,等. 高压电能计量装置整体误差校验台[J]. 电测与仪表, 2010, 47(1): 18-21.
- [5] 岳长喜,候兴哲,章述汉,等. 10 kV 高压电能计量装置整体校验台的校准[J]. 电测与仪表, 2010, 47(7A): 132-136.
- [6] 宋伟,李顺昕,王思彤,等. 高压计量整体误差现场校验技术研究与应用[J]. 水电能源科学, 2012, 30(8): 168-172.
- [7] 李前,章述汉,陆以彪,等. 数字电能计量系统现场检定技术研究[J]. 电测与仪表, 2010, 47(10): 25-28.
- [8] 林国营,周尚礼,孙卫明,等. 数字化变电站电能计量装置检验技术[J]. 电力系统及其自动化学报, 2011, 23(3): 145-149.

作者简介:

杨敏(1959),高级工程师,长期从事电能计量管理工作。

(收稿日期:2017-03-14)

流融冰工作中推广使用,具有一定的工程应用价值。

## 参考文献

- [1] 邓元实,宋静文,张燃,等. 变压器串联的配网线路交流融冰方法研究与应用[J]. 四川电力技术, 2016, 39(6): 29-31.
- [2] 雷洪才,陆家政,李波,等. 可调电容串联补偿式交流融冰装置在湖南电网的应用[J]. 湖南电力, 2009, 29(5): 28-29.
- [3] 朱远,周秀东,李波,等. 配网交流融冰仿真分析及工程应用研究[J]. 湖南电力, 2015, 35(6): 32-34.

作者简介:

曹军(1958),高级技师,从事电网一次设备评价与管理。

(收稿日期:2017-03-02)