

# 继电保护柜接线端子安装紧固扭矩试验研究

刘建军, 胡 鹏, 张建国, 李成钢

(江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103)

**摘 要:** 针对继电保护柜在现场安装阶段接线端子与导线连接紧固施工工艺没有明确标准规范现状, 依托南京西环网UPFC工程建设需求, 试验研究了继电保护控制柜上的普通和电流电压2种端子及其配合导线连接组在不同紧固扭矩下的回路电阻、拉脱力、以及导线和端子紧固螺栓的受损情况, 提出继电保护柜接线端子安装紧固扭矩工艺规范为: 继电保护柜上的接线端子必须采用扭矩螺丝刀进行紧固安装, 而且扭矩螺丝刀的刀头尺寸必须与螺栓的槽口尺寸相一致。继电保护柜上普通端子的接线紧固扭矩值设置为  $0.5 \text{ N}\cdot\text{m}$ 、电流电压端子的接线紧固扭矩值设置为  $0.7 \text{ N}\cdot\text{m}$  为宜。

**关键词:** 继电保护柜; 接线端子; 紧固扭矩; 试验研究

**中图分类号:** TM05

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-0665(2016)02-0079-05

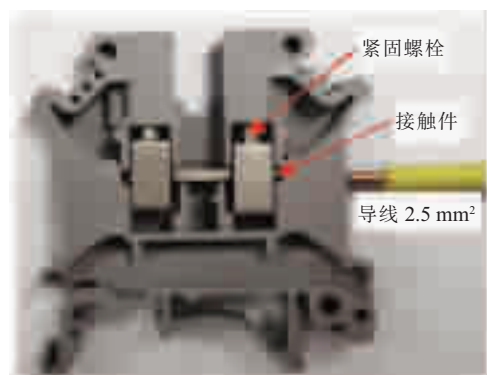
继电保护装置是电力系统中最为重要的二次设备之一<sup>[1]</sup>。随着我国智能电网建设的迅速发展, 对继电保护系统的可靠性提出了更高的要求, 许多学者和工程技术人员对继电保护系统的状态评价和可靠性分析技术做了大量深入的研究<sup>[2-6]</sup>, 这些研究大都聚焦于控制系统或者控制装置, 对继电保护柜在现场的安装工艺涉及较少。而继电保护柜在现场的安装质量, 尤其是二次线接线端子的连接质量直接影响着控制系统的运行可靠性。目前继电保护柜在现场安装阶段对于接线端子与导线的连接紧固工艺还没有明确的国家及行业标准规范, 安装接线时以手工拧紧为主, 紧固程度受人员、工具的影响较大, 容易出现过松或过紧的情况, 以往就曾发生过因接线端子与导线接触不良导致继电保护柜信号异常的情况。因此对接线端子确定科学合理的紧固工艺, 可有效提高继电保护柜的接线可靠性。

南京 220 kV 西环网是我国首个自主知识产权的统一潮流控制器(UPFC)工程, 通过应用 UPFC, 不仅能够有效控制电网潮流, 提高现有电网的输电能力, 从而避免投资巨大、实施难度极大的城市电缆输电通道建设, 而且还能够很好地适应未来电网网架的变化。为了确保本项目继电保护柜接线端子处导线接线的可靠性, 避免因接线施工质量造成的系统异常, 本文结合工程建设实际, 对接线端子的安装紧固工艺进行了系统的试验研究, 通过拉脱力值、回路的直流电阻值以及导线和端子的受损情况分析了解接端子的压紧程度及其影响, 提出了接线的合理紧固扭矩值。

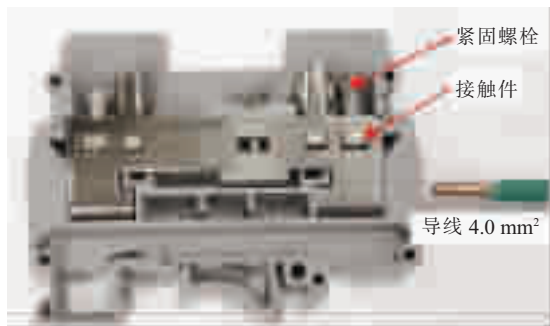
## 1 接线端子与导线连接结构

南京西环网 UPFC 工程继电保护柜采用 PHOENIX CONTACT 接线端子, 型号有 2 种, 一种是

普通端子(Typ. UK5N), 配合截面积为  $2.5 \text{ mm}^2$  的单股铜导线, 另一种是电流电压端子(Typ. URTK/S), 配合面积为  $4.0 \text{ mm}^2$  的单股铜导线。2 种端子与导线配合连接的结构图如图 1 所示。



(a) 普通端子



(b) 电流电压端子

图 1 接线端子板与导线连接方式

接线端子与导线采用螺栓压紧的方式进行连接, 螺栓旋入紧固时, 推动端子板上的金属接触件与导线压紧, 影响接线质量的关键因素是接线端子紧固螺栓的压紧力, 而压紧力由紧固螺栓的紧固扭矩和导线的硬度决定。导线被紧固螺栓压紧后, 压紧程度可以用拉脱力来衡量。压紧力越大, 表现为导线从接线端子板内拉脱所需的力值越大, 而拉脱力可以通过拉伸试验机来测量, 产生压紧力的紧固扭矩可以通过扭矩螺丝刀来确定。压紧程度同时也影响着端子导线之间的接触

状况,接触状况的电气性能反映为端子导线连接组的直流电阻。

导线和端子接触件受紧固螺栓压紧后,导线和端子接触件会发生变形,压紧力越大,变形越大,而且紧固扭矩过大也会造成紧固螺栓的螺牙以及顶帽受损,因此试验时也需要检查导线、端子接触件以及紧固螺栓的受损情况<sup>[7-9]</sup>。

紧固扭矩不足,会导致导线与接线端子之间的拉脱力过小,导线容易从端子中脱出,而且也会导致接触电阻过大。紧固扭矩过大,会导致端子和导线受损。因此评价螺栓紧固质量好坏的标准:(1)良好的电性能即是低而稳定的电阻值;(2)良好的机械性能即是较高的拉力;(3)良好的物理性能即是合理的芯线和紧固件变形<sup>[10-12]</sup>。

## 2 试验方案

根据继电保护柜的通用要求<sup>[13]</sup>,参考部分继电保护柜制造厂家的技术文件,对2种类型接线端子与导线配合,通过预试验,从松到紧对普通端子确定了6种、对电流电压端子确定了8种不同的紧固扭矩值,如表1所示。分别通过试验不同紧固扭矩下端子导线连接组的电气性能(回路直流电阻)、拉脱力、以及端子和导线的损伤情况,分析紧固扭矩与端子导线连接状况之间的关系。

表1 试验紧固扭矩值

| 组合类型   | 试验紧固扭矩值                                 |
|--------|-----------------------------------------|
| 普通端子   | 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7            |
| 电流电压端子 | 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.86 |

注:普通端子 0.7 N·m、电流电压端子 0.86 N·m 为手工全紧状态扭矩。

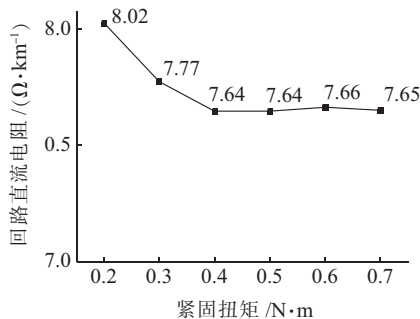
试验中,紧固扭矩通过扭矩螺丝刀实现设定,拉脱力通过材料拉伸试验机进行测量,回路直流电阻通过微电阻测量仪测量,端子和导线的损伤情况通过体视显微镜进行分析。

## 3 试验研究

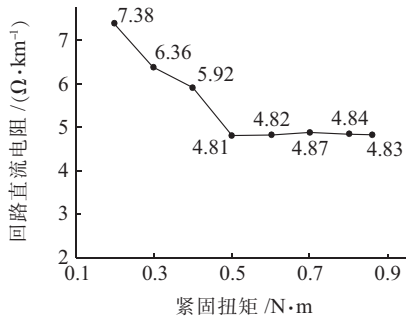
### 3.1 紧固扭矩与导线端子连接组直流电阻的关系

将2种接线端子与相匹配的导线分别按表1所述的紧固扭矩连接后进行回路直流电阻测量。测量结果如图2所示。

由试验结果可见,接线端子与导线连接组的回路电阻,随着紧固扭矩的增加呈现先快速减小再保持稳定的趋势。对于普通端子(见图2(a)),紧固扭矩达到0.4 N·m以后,回路的直流电阻开始稳定。而对于电流电压端子,回路的直流电阻在扭矩达到0.5 N·m以后开始稳定(见图2(b))。随着紧固扭矩的增加,2种端子配合组的直流电阻值均基本保持稳定。



(a) 普通端子与导线紧固连接后回路电阻

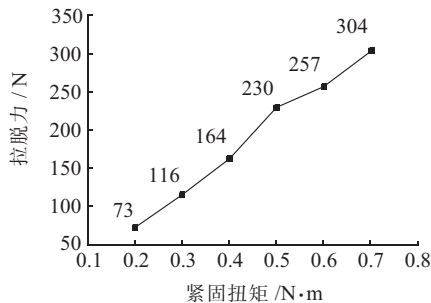


(b) 电流电压端子与导线紧固连接后回路电阻

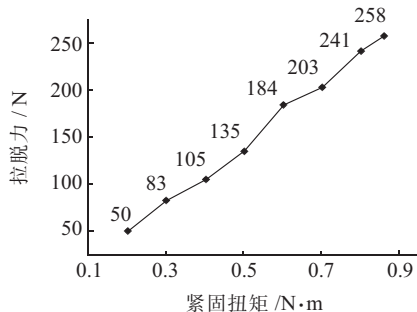
图2 不同紧固扭矩下接线端子与导线连接组的回路电阻

### 3.2 紧固扭矩与导线端子连接组拉脱力的关系

接线端子与导线紧固连接后,进行拉脱力试验。试验结果如图3所示。



(a) 普通端子拉脱力试验结果



(b) 电流电压端子拉脱力试验结果

图3 不同紧固扭矩下接线端子与导线连接组的拉脱力

由图3试验结果可见,2种端子与导线配合组的拉脱力均随着紧固扭矩的增加而单调增加。其中普通端子导线连接组在回路直流电阻刚达到稳定时对应紧固扭矩下的拉脱力为164 N,而电流电压端子与导线配合组在回路直流电阻刚达到稳定时对应紧固扭矩下的拉脱力为135 N。

为了保证端子与导线之间的连接强度,取螺栓连接的防滑系数为 $1.2^{[14]}$ ,得到端子与导线连接组的拉脱力参考保证值为 $200\text{ N}$ 。由图3可知,要达到 $200\text{ N}$ 的拉脱力,普通端子导线连接组的紧固扭矩应不小于 $0.45\text{ N}\cdot\text{m}$ ,电流电压端子导线连接组的紧固扭矩应不小于 $0.7\text{ N}\cdot\text{m}$ 。

### 3.3 端子导线组合拉伸试验前后电阻变化情况

为了分析端子与导线连接组在受到外界拉力影响下的电气性能变化规律,先将接线端子与导线紧固连接,进行回路直流电阻的测量,随后在拉伸试验机上进行 $200\text{ N}$ 恒定拉力保载 $1\text{ min}$ 试验后再次测量回路直流电阻,对比分析端子导线组合拉伸试验前后电阻变化情况。试验发现,2种端子与导线配合组的回路直流电阻,在 $200\text{ N}$ 恒定拉力试验前后,回路电阻值并无明显变化,如表2所示。

表2 端子导线连接组恒定拉力试验前后回路电阻变化

|         |                                           | 紧固扭矩 / $\text{N}\cdot\text{m}$ | 0.5  | 0.6  | 0.7  |
|---------|-------------------------------------------|--------------------------------|------|------|------|
| 普通端子组   | 拉力试验前电阻 / ( $\Omega\cdot\text{km}^{-1}$ ) |                                | 7.64 | 7.66 | 7.65 |
|         | 拉力试验后电阻 / ( $\Omega\cdot\text{km}^{-1}$ ) |                                | 7.65 | 7.65 | 7.64 |
|         | 回路电阻变化率 / %                               |                                | 0.13 | 0.13 | 0.13 |
|         |                                           | 紧固扭矩 / $\text{N}\cdot\text{m}$ | 0.7  | 0.8  | 0.86 |
| 电流电压端子组 | 拉力试验前电阻 / ( $\Omega\cdot\text{km}^{-1}$ ) |                                | 4.87 | 4.84 | 4.83 |
|         | 拉力试验后电阻 / ( $\Omega\cdot\text{km}^{-1}$ ) |                                | 4.83 | 4.87 | 4.83 |
|         | 回路电阻变化率 / %                               |                                | 0.82 | 0.62 | 0    |

### 3.4 不同紧固扭矩下导线受损情况分析

将不同紧固扭矩下的导线受损情况在体视显微镜下观察,分析压紧后导线的受损情况。与普通端子配合的 $2.5\text{ mm}^2$ 导线受损形貌如图4所示。与电流电压端子配合的 $4.0\text{ mm}^2$ 导线受损形貌如图5所示。

对与普通端子配合的 $2.5\text{ mm}^2$ 铜导线,当紧固扭矩为 $0.5\text{ N}\cdot\text{m}$ 时,导线上开始出现明显压痕,随着扭矩的增大,导线上的压痕逐渐增大加深,当扭矩达到 $0.7\text{ N}\cdot\text{m}$ 时,单独的压痕连成一体。压痕的逐渐加大加深,



(a) 紧固扭矩  $0.4\text{ N}\cdot\text{m}$



(b) 紧固扭矩  $0.5\text{ N}\cdot\text{m}$



(c) 紧固扭矩  $0.6\text{ N}\cdot\text{m}$



(d) 紧固扭矩  $0.7\text{ N}\cdot\text{m}$

图4 与普通端子配合的 $2.5\text{ mm}^2$ 导线受损形貌



(a) 紧固扭矩  $0.5\text{ N}\cdot\text{m}$



(b) 紧固扭矩  $0.6\text{ N}\cdot\text{m}$



(c) 紧固扭矩  $0.7\text{ N}\cdot\text{m}$



(d) 紧固扭矩  $0.8\text{ N}\cdot\text{m}$

图5 与电流电压端子配合的 $4.0\text{ mm}^2$ 导线受损形貌

说明端子连接件与导线之间相互啮合程度逐渐增加,表现为拉脱力随紧固扭矩的增加而增加。而与电流电压端子配合的 $4.0\text{ mm}^2$ 铜导线,当紧固扭矩为 $0.6\text{ N}\cdot\text{m}$ 时,导线上开始出现明显可辨的压痕,压痕的面积和深度同样随扭矩的增加而增加。

虽然2种导线在最大紧固扭矩下都出现较明显的压痕,但压痕的最大深度均未超过 $0.25\text{ mm}$ 。 $2.5\text{ mm}^2$ 铜导线 $D=1.72\text{ mm}$ , $4.0\text{ mm}^2$ 铜导线 $D=2.20\text{ mm}$ ,压痕深度相对直径而言很小,不会影响导线的强度,在拉伸试验时,所有的导线均未拉脱,未发生导线断裂的情况,也说明了紧固压痕不会影响导线强度。



### 3.5 不同紧固扭矩下端子螺栓受损情况分析

(1) 普通端子上的螺栓在不同紧固扭矩情况下的变形及损伤情况如图 6 所示。

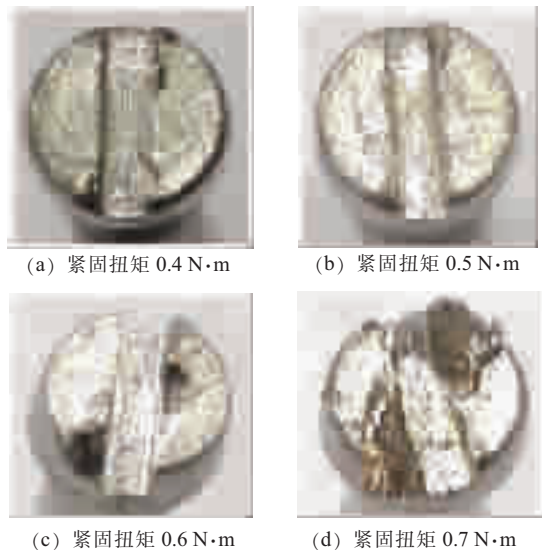


图 6 普通端子紧固螺栓受损形貌

对比分析可见,随着紧固扭矩的增大,紧固螺栓上的一字槽变形受损情况逐渐明显,当扭矩达到  $0.6 \text{ N}\cdot\text{m}$  时,螺栓上的“一”字槽开始出现破口,扭矩增大到  $0.7 \text{ N}\cdot\text{m}$  时,“一”字槽槽口已明显变形,出现“滑丝”的情况。

(2) 电流电压端子上的螺栓在不同紧固扭矩情况下的变形及损伤情况如图 7 所示。

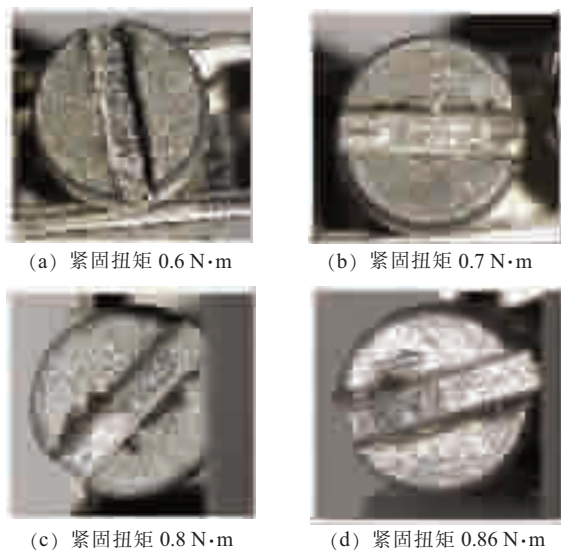


图 7 电流电压端子紧固螺栓受损形貌

电流电压端子上的紧固螺栓,在扭矩为  $0.7 \text{ N}\cdot\text{m}$  及以下时,螺栓上的“一”字槽不会明显出现损伤,当扭矩增大到  $0.8 \text{ N}\cdot\text{m}$  时,螺栓上的“一”字槽槽口才会出现明显变形及滑丝情况。

### 3.6 螺丝刀型式对紧固扭矩的影响

普通螺丝刀的手柄直径有大有小,同一个人分别采用不同直径手柄的普通螺丝刀用最大力度旋紧同

一个接线端子和导线,均达到手工全紧的状态,然后用扭矩螺丝刀校核其紧固扭矩大小,发现虽然都是手工全紧,但实际能达到的紧固扭矩受螺丝刀手柄直径大小的影响很大,手柄直径小的螺丝刀所能达到的全紧扭矩较小,手柄直径大的螺丝刀所能达到的全紧扭矩较大。因此为了避免安装时紧固扭矩的不确定性,出现安装过松或过紧的情况,必须统一采用扭矩螺丝刀以确定的紧固扭矩值进行安装,而且为了防止因为螺丝刀头与螺钉顶帽槽口不匹配造成槽口损伤滑丝,紧固所用的扭矩螺丝刀的刀头尺寸必须与紧固螺钉的槽口宽度一致。

## 4 结束语

本文针对南京西环网 UPFC 工程继电保护柜中所采用的普通端子和电流电压端子的接线紧固工艺进行了试验研究,得到以下结论:

(1) 继电保护柜上的接线端子必须采用扭矩螺丝刀进行紧固安装,而且扭矩螺丝刀的刀头尺寸必须与螺栓的槽口尺寸相一致。

(2) 继电保护柜上普通端子的接线紧固扭矩值设置为  $0.5 \text{ N}\cdot\text{m}$ 、电流电压端子的接线紧固扭矩值设置为  $0.7 \text{ N}\cdot\text{m}$  为宜。

继电保护柜接线端子的安装质量是继电保护系统可靠性的一项关键指标,如果继电保护柜接线端子安装不到位,将影响整个控制系统的正常运行。本文的研究结果不仅为依托的工程建设项目提供了技术规范并进行了现场应用,同时也可作为同类型继电保护柜端子的现场接线安装工艺参考。

### 参考文献:

- [1] 熊小伏,陈星田,郑昌圣,等. 继电保护系统状态评价研究综述[J]. 电力系统保护与控制,2014,42(5):51-58.
- [2] 李芷筠,戴志辉,焦彦军,等. 继电保护可靠性管理系统设计与实现[J]. 电力系统保护与控制,2013,41(14):115-119.
- [3] 何志勤,张 哲,尹项根,等. 电力系统广域继电保护研究综述[J]. 电力自动化设备,2010,30(5):125-130.
- [4] 文继锋,盛海华,周 强,等. 智能变电站继电保护在线监测系统设计与应用[J]. 江苏电机工程,2015,34(1):21-24,29.
- [5] 王治国,于 哲,王言国,等. 智能继电保护测试仪程序在线升级技术研究[J]. 江苏电机工程,2014,33(1):38-41.
- [6] 管益斌,严国平,陈久林,等. 继电保护装置运行失效特性分析与状态检修策略[J]. 江苏电机工程,2013,33(2):1-3.
- [7] 张振华,应秉斌,矫 明. 螺栓拧紧力矩的确定方法及相关探讨[J]. 化学工程与装备,2009(8):105-108.
- [8] 蔡相庆. 关于电器接线端子拧紧力矩的探讨[J]. 机床电器,1996(6):8-11.
- [9] 胡建华,王 莹. 车用线束端子压接工艺研究[J]. 汽车零部件,2010(10):64-67.
- [10] 王 朋,陈安生,张会武,等. 螺栓扭矩系数影响因素的试验研

究[J]. 实验力学, 2013, 28(3):307-313.

- [11] 周 博. 端子压接工艺在高速动车组中的应用[C]. 第八届中国智能交通年会优秀论文集. 北京: 电子工业出版社, 2013: 581-589.
- [12] 李 禾. 绝缘穿刺线夹紧固螺栓扭矩值的试验与探讨[J]. 华东电力, 2012, 40(5):903-905.
- [13] DL/T 720—2013 电力系统继电保护及安全自动装置柜(屏)通用技术条件[S].
- [14] 李纪仁. 机械设计[M]. 武汉: 武汉水利电力大学出版社, 1999: 156-157.

作者简介:

刘建军(1979), 男, 甘肃天水人, 高级工程师, 从事电力设备材料性能分析及状态评价专业工作;

胡 鹏(1989), 男, 安徽安庆人, 硕士研究生, 从事电力设备结构力学分析和状态评价专业工作;

张建国(1971), 男, 江苏江阴人, 高级工程师, 从事电力设备材料性能分析及状态评价专业工作;

李成钢(1984), 男, 浙江绍兴人, 工程师, 从事电力设备材料性能分析及状态评价专业工作。

## Experimental Study on Fastening Torque of Terminal Block Screws in Relay Protection Cabinet

LIU Jianjun, HU Peng, ZHANG Jianguo, LI Chenggang

(Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

**Abstract:** There is no clear technical standard for the connecting and fastening terminal blocks and wires of relay cabinets in substation. To satisfy the construction demand of Nanjing UPFC project, experimental study on terminals and matched wires group in the relay protection control cabinet are carried through comparative analysis on loop resistance, pull off force, damage morphology of wires and fastening bolt in different fastening torque condition. The following conclusions are obtained through the study. The terminal of the relay protection cabinet must be installed with a torque screwdriver, and the cutter head size of torque screwdriver must be consistent with the size of the bolt slot. The connection fastening torque should be set to  $0.5\text{N}\cdot\text{m}$  for the general terminal block, and  $0.7\text{N}\cdot\text{m}$  for the current voltage terminal block in relay protection cabinets.

**Key words:** relay protection cabinet; terminal block; fastening torque; experimental study

(上接第 76 页)

## Study on Substation-area Protection Based Simple Bus Protection

WEI Chengzhi<sup>1</sup>, WANG Kai<sup>2</sup>, WEN An<sup>1</sup>, LI Yang<sup>2</sup>, ZHAO Manyong<sup>1</sup>, HUANG Weifang<sup>1</sup>, MOU Min<sup>1</sup>

(1. Southern Power Grid Power Dispatch Control Center, Guangzhou 510623, China;

2. Nanjing Nari-Relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

**Abstract:** According to the demand of low voltage busbar protection in substation, the function of the simple bus protection is realized by using the substation-area protection based on the information of the station. Through the analysis of the difficulties of the existing low voltage busbar protection, with the application of the smart substation technology, the design of the simple bus implementation scheme, the principle and the action process analysis are given. The implementation scheme has been applied in the new generation of smart substation, which proves the reliability and technical superiority.

**Key words:** smart substation; simplified; substation-area protection; tri-networks integration

(上接第 78 页)

## Improvement on the Measurement of Continues Current for the Lightning Arrester in GIS

YU Yue, LI Jian

(Lianyungang Power Supply Company, Lianyungang 222000, China)

**Abstract:** When the operating voltage applied to arrester continuously, the current flowing through the arrester is the continuous current. When the arrester internal is damp, the continuous current increases. When the arrester varistor aging, the resistive current of continuous current increases. Therefore, before the arrester put into operation, the continue arresters current must be measured. This paper studies the existing measurement methods for GIS arrester continuous current. According to shortcomings analysis, a new method for GIS arrester continuous current measurement is proposed.

**Key words:** lightning arrester; continuous current; GIS