

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2016.04.003

# 基于LCC的电子式互感器选型经济性分析

朱金摇<sup>1</sup>, 凌志勇<sup>1, 2</sup>, 胡宗耀<sup>2</sup>, 谷湘文<sup>2</sup>

(1. 湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007;  
2. 国家电网公司湖南省电力公司株洲供电分公司, 湖南 株洲 412011)

**摘要:** 针对电子式互感器在某新建110 kV智能变电站中如何选型的问题, 分析了各种电子式互感器的应用现状和优势, 并基于全寿命周期原理对互感器选型的3种方案进行了详细的技术经济性分析与对比, 确定选择方案2有源电子式互感器为最佳配置方案。

**关键词:** LCC; 电子式互感器; 选型; 经济性

**中图分类号:** TM452

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2016)04-0010-06

## An Economic Analysis of Type Selection of Electronic Transformers Based on LCC

ZHU Jinyao<sup>1</sup>, LING Zhiyong<sup>1, 2</sup>, HU Zongyao<sup>2</sup>, GU Xiangwen<sup>2</sup>

(1. School of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;  
2. Zhuzhou Power Supply of State Grid Corporation, Zhuzhou Hunan 412011, China)

**Abstract:** In view of the type selection of the electronic transformers applied to a newly-built 110 kV digital substation, an overall analysis has been made of the current application and advantages of various types of electronic transformers. Based on LCC, a detailed efficiency analysis of and a comparison between the three different proposed selections of electronic transformers shows that the active electronic transformer proves to be the best configuration scheme among all the three options.

**Keywords:** LCC; electronic transformers; type selection; economical efficiency

## 0 引言

近几年, 随着智能电网<sup>[1]</sup>的迅速发展, 我国正加快推进智能变电站试点工程的建设工作。智能变电站试点工程应用了许多新技术、新设备。电子式互感器是关键设备之一<sup>[2]</sup>, 其技术水平和产品质量会影响智能变电站的安全可靠运行。

国家电网公司从2009年正式启动建设智能变电站试点工程, 电子式互感器在试点工程中的应用电压等级范围为10~1 000 kV。2012年国家电网公司对已投入运行的90座66~750 kV不同电压等级的智能变电站采

用的电子式互感器及其他智能设备进行调研分析, 并提出整改方案。2012年国家电网公司启动建设新一代智能变电站示范工程<sup>[3]</sup>。2015年, 国家电网巩固完善首批6座新一代智能变电站<sup>[4-5]</sup>的运行成果, 全面落实新一代智能变电站扩大示范工程建设计划, 这都推进了电子式互感器的研究与应用进程。

随着电子式互感器在智能变电站中的应用与推广以及运行经验的积累, 其稳定性和测量特性得到提高, 技术越来越成熟, 造价也明显降低。相对常规电磁式互感器, 电子式互感器具有如下优点: 绝

收稿日期: 2016-05-14

作者简介: 朱金摇(1991-), 男, 湖南邵阳人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为智能变电站的应用,

E-mail: zjyao0113@163.com

缘性能优良,体积小,造价低;不存在磁饱和、铁磁谐振问题;低压侧无开路或短路危险;频率响应范围宽;不采用油或气体绝缘,没有易燃、易爆等危险;电磁兼容性好,抗电磁干扰能力强<sup>[6]</sup>。因此,电子式互感器被广泛应用于智能变电站中。国内外电子式互感器生产厂家的制造水平参差不齐,且不同类型互感器各有特点,产品价格相差较大,因此在实际工程应用中,分析互感器选型的经济性十分必要。互感器的正确选取对电网安全运行有重大影响。

因此,针对某110 kV智能变电站电子式互感器选型问题,根据GB/T 20840.7—2007《互感器第7部分:电子式电压互感器》和GB/T 20840.8—2007《互感器第8部分:电子式电流互感器》两个新的技术规范要求,本文提出了3种方案,采用全寿命周期原理对各种方案的工程建设成本进行分析,最后给出最佳配置方案。

## 1 电子式互感器简介

电子式互感器是一种装置,由连接到传输系统和二次转换器的一个或多个电流或电压传感器组成,用于传输正比于被测量的量,以供给测量仪器、仪表和继电保护或控制装置<sup>[7-8]</sup>。互感器在电力系统的作用主要是向系统传送用于测量、计量、控制和继电保护所需的信号,对系统的运行状态进行监测、诊断和保护。

电子式互感器按原理分类,如图1所示。

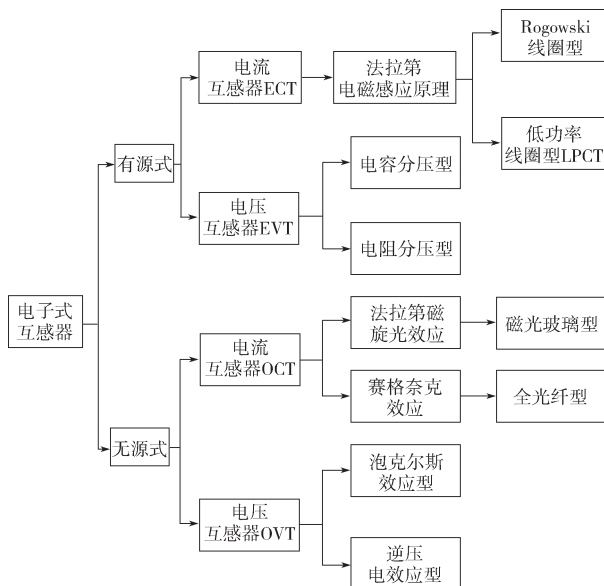


图1 电子式互感器分类示意图

Fig. 1 Classification diagram of electronic transformer

在实际工程应用中,电子式互感器主流产品有: Rogowski线圈型、低功率线圈型LPCT(low power

current transformer)、磁光玻璃型、全光纤型、电容分压型、电阻分压型、泡克尔斯效应型。

## 2 110 kV变电站电子式互感器选型

现新建一座110 kV变电站,根据当地环境气候条件,以及互感器需长期暴露于强辐射、强电磁场、强噪声、强机械振动等恶劣环境和日晒、雨淋、覆冰等恶劣气候条件下,需选用环境适应性较好的互感器。

### 2.1 变电站一次主接线

新建110 kV变电站一次主接线如附图1所示。

建设规模为:变压器容量 $1 \times 50 \text{ MV} \cdot \text{A}$ ;电压等级110/35/10 kV;110 kV进线2回,采用架空进线;35 kV出线4回,采用电缆出线;10 kV出线10回,采用电缆出线;10 kV无功补偿装置容量 $1 \times (3\ 600+4\ 800) \text{ kvar}$ 。

电气主接线为:110, 10 kV均采用单母线接线,35 kV采用单母线分段接线。

布置方式为:110 kV配电装置采用户外软母线AIS普通中型布置;35, 10 kV配电装置均采用户内开关柜布置。

### 2.2 配置方案

新建变电站35, 10 kV开关柜以及主变中性点成套装置中均采用常规互感器,110 kV配电装置中互感器的选择有以下3种方案。

1) 方案1,选择常规互感器。选用油浸倒立式电流互感器、电容分压型电压互感器,独立设备支架安装。

2) 方案2,选择有源电子式互感器。选用Rogowski线圈与低功率线圈LPCT混合型电子式电流互感器、电容分压型电子式电压互感器,进出线间隔电子式互感器安装于隔离断路器(disconnectin circuit breaker, DCB)构架上,母联间隔电子式互感器与气体绝缘母线(gas insulated bus, GIB)采用集成式安装。

3) 方案3,选择全光纤电子式互感器,安装方式与方案2相同。

### 2.3 LCC计算

变电站全寿命周期成本(life cycle costs, LCC)管理是指变电站在经济寿命周期之内,在保证系统可靠性的基础上使工程全寿命成本最低的管理<sup>[9]</sup>。变电工程LCC费用组成可分为:一次建设投资成本IC(investment costs)、运行成本OC(operation costs)、供电损失成本FC(failure costs)、报废成本DC(discard costs)。

变电站LCC计算模型为

$$LCC=IC+OC+FC+DC。 \quad (1)$$

本工程LCC计算采用现值法<sup>[10]</sup>。

### 2.3.1 设备造价

目前国内互感器供货价格相当,详见表1。表1中,CT(current transformer)为电流互感器,PT(potential transformer)为电压互感器。

表1 110 kV 互感器报价表

Table 1 Quotations for 110 kV transformers 万元

电子式互感器	单价	常规互感器	单价
ECT	3.2	油浸倒立式CT	2.0
EVT	2.8	PT	2.0
OCT	13		
OVT	13		

注:电子式互感器价格获取时间为2015年6月。

### 2.3.2 一次建设投资成本(IC)

一次建设投资成本是指变电站在建设和调试期间(投入运行前)所付出的成本。本次计算主要考虑互感器、电缆(或光缆)以及土建所需费用,详见表2~4。所需设备单价按表1选择,数量按整个变电站最终所需数量计算。由表2~4可以得出,方案1的一次建设投资成本约为79.1万元,方案2的一次建设投资成本约为84.6万元,方案3的一次建设投资成本约为351.6万元。

由表2~4可知:电缆、光缆总费用,方案2和3比方案1节省1.94万元;土建费用,由于方案2和3不需要占用土地,因此,它们比方案1节省22.5万元,占地面积少165 m<sup>2</sup>;一次建设总费用,方案3约为方案1和方案2的4倍。

表2 配电设备费用表

Table 2 Cost sheet of electric appliances and distribution

项目	方案1			方案2			方案3		
	数量/台	单价/万元	总价/万元	数量/台	单价/万元	总价/万元	数量/台	单价/万元	总价/万元
CT	21	2.0	42	21	3.2	67.2	21	13	273
PT	6	2.0	12	6	2.8	16.8	6	13	78
总费用/万元			54			84			351

表3 电缆、光缆费用表

Table 3 Cost sheet of electric and optical cables

项目	方案1			方案2			方案3		
	长度/km	单价/万元	总价/万元	长度/km	单价/万元	总价/万元	长度/km	单价/万元	总价/万元
二次电缆	0.73	3.5	2.56						
二次光缆				0.62	1	0.62	0.62	1	0.62
总费用/万元			2.56			0.62			0.62

表4 方案1的土建费用表

Table 4 Construction cost sheet of Scheme 1

支 柱		占 地			土 方 量			总费用/万元	
数量/根	单价/万元	总价/万元	面积/m <sup>2</sup>	单价/万元	总价/万元	体积/m <sup>3</sup>	单价/万元		总价/万元
27	0.6	16.2	165	0.037 5	6.18	83	0.002	0.166	22.5

### 2.3.3 运行成本(OC)

运行成本是指变电站运行期间所需费用的总和。本次计算主要考虑变电站30 a运行周期内设备维修、更换所需的费用,详见表5~6。

常规互感器例行检查不计费,投入运行后需定期进行状态检修。投运后的前15 a每3 a检修1次,后15 a每年检修1次,综合考虑按每台0.05元/次计算。

电子式互感器在使用寿命周期内基本免维护,

主要是更换电子设备所需费用,一般每10 a更换1次,按0.15万元/次计算。电子式互感器使用寿命一般为20 a,20 a后需整套更换。

表5 30 a方案1运行成本表

Table 5 Operation cost of scheme 1 within 30 a

项 目	单价/万元	数量/台	年费用/万元	
故障检修	CT	0.003 68	21	0.077 28
	PT	0.002 29	6	0.013 74
正常检修	0.05	27	1.35	
30 a运行总费用/万元			29.7	

表6 方案2和方案3的30 a运行成本表

Table 6 Operation cost of scheme 2 and scheme 3 within 30 a

项目	30 a元件更换(每10 a更换一次)			30 a元件更换 折算后价格/万元	20 a后整体更换的 估价/万元	30 a运行总费用/万元
	单价/万元	数量/台	费用/万元			
方案2	0.15	27 × 3	12.15	9.3	10.9	20.2
方案3	0.15	27 × 3	12.15	9.3	45.4	54.7

### 2.3.4 供电损失成本(FC)

供电损失成本是指在发生故障后,停电所造成的损失。本次计算主要考虑互感器在变电站30 a运行周期内的供电损失费用。

间隔检修停电主要由本间隔出线回路断路器设备故障引起,在进行间隔检修时,同时进行互感器检修,通过选择检修时间和改变运行方式避免负荷缺电。因此互感器正常检修产生的停电和缺电损失费用忽略不计。

本站110 kV进线采用双回供电,供电可靠性高。由于双回进线同时故障引起的供电停电故障率较低,产生供电不足的情况也很少见,故忽略不计。

综合考虑,可忽略供电损失成本。

### 2.3.5 全寿命周期成本计算

根据上述分析结果,可得3种方案的全寿命周期成本,如表7所示。表中,报废成本(DC)忽略不计。由表7可知3个方案的LCC比例为

$$1.00 : 0.96 : 3.73. \quad (2)$$

表7 全寿命周期成本

Table 7 Life cycle costs 万元

名称	IC	OC	FC	DC	LCC
方案1	79.1	29.7			108.8
方案2	84.6	20.2			104.8
方案3	351.6	54.7			406.3

## 2.4 最佳方案选择

3种互感器选择方案均能满足变电站110 kV配电装置的技术要求。方案1~3中供电损失成本和报废成本对整体影响都很小,可忽略不计。3种方案从技术和经济性进行对比,分析结果如下。

1) 方案2和方案3较方案1降低了土建费用,节约土地,减少铜材用量,但是由于电缆、光缆、土建部分成本占整体比例不大。可知,一次建设投资成本主要取决于设备自身成本。目前,方案3设备制造难度大,价格相对较高。因此,方案3的一次建设投资成本约是方案1和方案2的4倍。

2) 方案2和方案3采用电子式互感器,在全寿命周期内检修维护只需更换电子元件或更换整套设备,工作量小。而方案1则需定期检修,检修量相对方案2和方案3较大,工作量大。因此,方案2和方

案3在设备维护上具有优势。方案1的设备技术成熟,可靠性高,但测量性能一般,而方案2和方案3测量性能和技术先进性具有很大优势。因此,运行成本方面,方案3最高,方案1次之,方案2最低。

3) 式(2)表明采用方案2时,变电站互感器全寿命周期成本最低,经济性最佳。

综上所述,经技术、经济综合比较,方案2为最佳方案,故本新建110 kV变电站的配置方案采用方案2。

## 2.5 电子式互感器配置

根据方案2,变电站110 kV侧电子式互感器第一期建设配置情况如下。

1) 110 kV线路间隔CT、PT的配置。110 kV线路间隔每相配置1台有源电子式电流互感器。每台电子式电流互感器都包含2个Rogowski线圈(准确级5TPE,额定输出01CFH)和1个低功率线圈(准确级0.2S,额定输出2D41H)。Rogowski线圈满足保护要求(配置2个,是因为第一期工程取消了主变高压侧DCB,由110 kV线路间隔DCB实现主变保护的采样和跳闸)。低功率线圈满足测量和计量要求,集成式安装在DCB上。线路侧配置1台有源电子式电压互感器(准确级0.2S,额定输出2D41H),每组CT配置2台合并单元,用于接入保护、测量电流以及线路PT的相电压。

2) 110 kV母线PT的配置。母线每相配置1台有源电子式电压互感器。每台含2个二次绕组,准确级为0.2(3P)/0.2(3P),额定输出均为2D41H。户外集成安装在GIB母线上。母线PT均配置1台合并单元,用于接入母线的三相电压。

## 3 结语

电子式互感器作为智能变电站关键技术及设备之一,是实现智能化变电站集成化、智能化、数字化的基础。在智能变电站建设中,用LCC理念分析电子式互感器选型的经济性是一种比较可行的方法。因此,针对新建110 kV变电站,本文提出了3种方案,并从技术经济性进行比较,得到最优的全寿命周期成本方案,即方案2。方案2可大大提高变电站的运

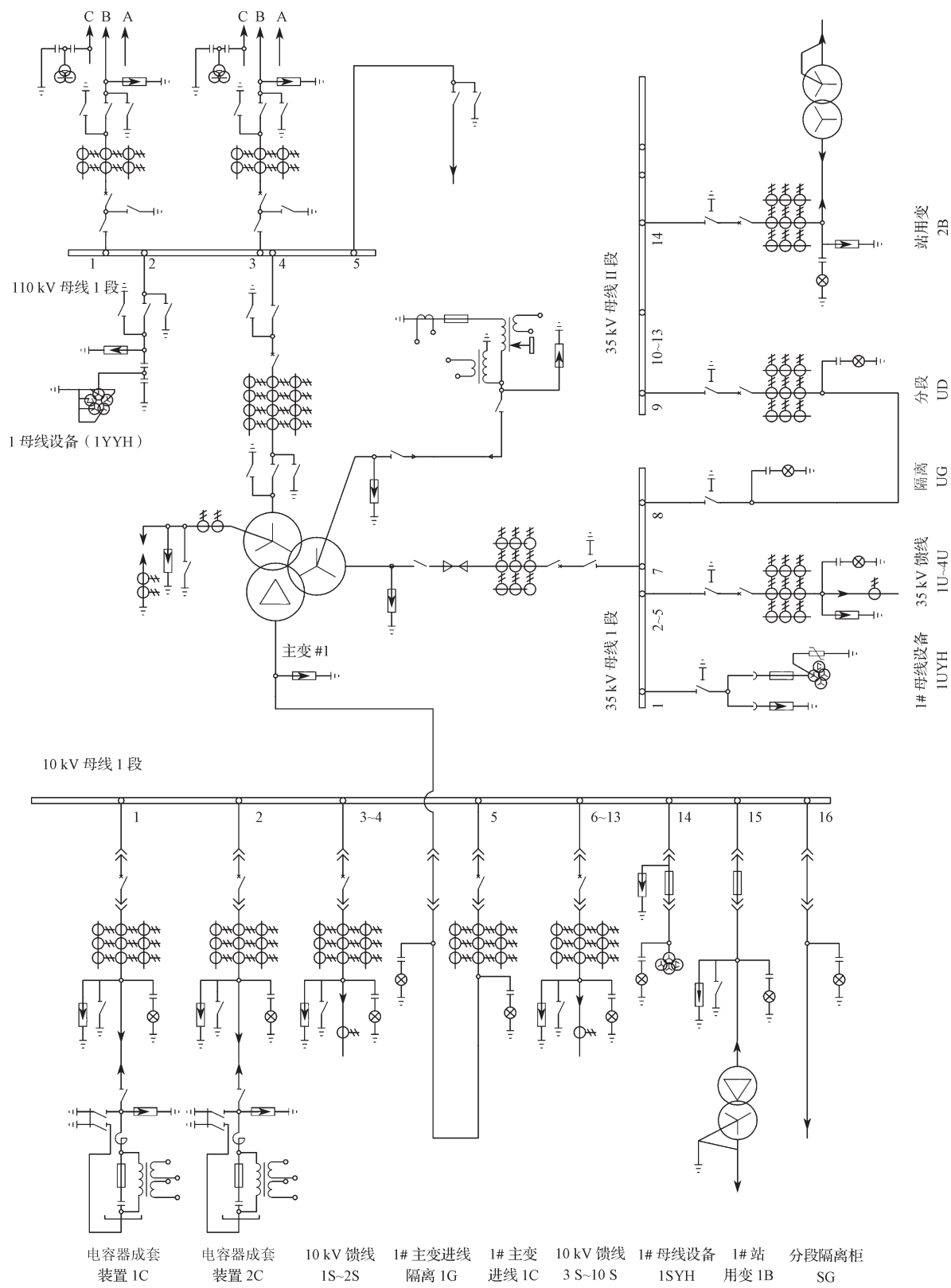
行效率。

#### 参考文献:

- [1] 杨德昌, 李 勇, REHTANZ C, 等. 中国式智能电网的构成和发展规划研究[J]. 电网技术, 2009, 33(20): 13-20.  
YANG Dechang, LI Yong, REHTANZ C, et al. Study on the Structure and the Development Planning of Smart Grid in China[J]. Power System Technology, 2009, 33(20): 13-20.
- [2] 宋璇坤, 闫培丽, 吴 蕾, 等. 智能变电站试点工程关键技术综述[J]. 电力建设, 2013, 34(7): 10-16.  
SONG Xuankun, YAN Peili, WU Lei, et al. Review of Key Technology for Smart Substation Pilot Projects[J]. Electric Power Construction, 2013, 34(7): 10-16.
- [3] 刘前卫. 新一代智能变电站示范工程启动[N]. 国家电网报, 2012-12-14 (01).  
LIU Qianwei. Launching of a New Generation of Digital Substation Demonstration Project[N]. State Grid News, 2012-12-14 (01).
- [4] 孔 雷, 李 刚. 公司新一代智能变电站示范工程投运[N]. 国家电网报, 2013-12-30 (01).  
KONG Lei, LI Gang. Launching of a New Generation of Digital Substation Demonstration Project[N]. State Grid News, 2012-12-30 (01).
- [5] 贾美姿. 国网公司6座新一代智能变电站示范工程全面投运[N]. 机电商报, 2014-01-13 (A03).  
JIA Meizi. Launching of Six New Generation of Digital Substation Demonstration Project of State Grid Corporation [N]. Machinery and Electronics Business, 2014-01-13 (A03).
- [6] 罗承沐, 张贵新, 秦应力, 等. 电子式互感器与数字化变电站[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012: 3-4.  
LUO Chengmu, ZHANG Guixin, QIN Yingli, et al. Electronic Transformer and Digital Substation[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2012: 3-4.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 互感器第7部分: 电子式电压互感器: GB/T 20840.7—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 5-10.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Instrument Transformers Part 7: Electronic Voltage Transformers: GB/T 20840.7—2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007: 5-10.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 互感器第8部分: 电子式电流互感器: GB/T 20840.8—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 7-15.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Instrument Transformers Part 8: Electronic Current Transformers: GB/T 20840.8—2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007: 7-15.
- [9] 吴文军. 基于全寿命周期成本理念的电子式互感器应用[J]. 华东电力, 2011, 39(3): 492-495.  
WU Wenjun. Application of Electronic Transformers Based on LCC Theory[J]. East China Electric Power, 2011, 39(3): 492-495.
- [10] 于文攀. 110 kV 变电站互感器选型和经济性分析[D]. 济南: 山东大学, 2014.  
YU Wenjian. 110 kV Substation Transformer Selection and Economic Analysis[D]. Jinan: Shandong University, 2014.

(责任编辑: 邓 彬)





附图 1 110 kV 变电站一次主接线图

Fig. 1 110 kV substation main wiring diagram