基于物联网传感技术的二次回路出口压板智能在线监测系统

郑秋元，王世浩，蔡仁源，陈大华

（海南电网公司电力调度控制中心，海南 海口 570100）

摘要：为实现变电站内二次回路压板状态的具体分析，设计了基于物联网传感技术的二次回路出口压板状态监测系统。分析了二次回路压板状态的具体监测内容，提出了基于物联网传感器的压板位置感知技术，分析了物联网为功率无线传输、非变量压板位置状态感知技术的应用，建立了压板状态位置传感器模型，说明了传感器的具体配置，并介绍了提出的数据采集终端。基于物联网传感技术搭建了出口压板状态监测系统，介绍了系统架构，说明了系统网络结构，分析了系统的软件应用。结合实际工程分析了本系统在实际应用中的效果，并针对系统的应用前景进行了分析。

关键词：物联网技术；传感器；压板状态；在线监测

Intelligent online monitoring system for relay protection outlet pressure plate based on internet of things technology

ZHENG Qiuyuan, WANG Shihao, CAI Renyuan, CHEN Dahua

(Power Dispatching Control Center of Hainan Power Grid Company, Haikou 570100, China)

Abstract: In order to realize the specific analysis of the state of the secondary circuit pressure plate in the substation, a state monitoring system of the secondary circuit outlet pressure plate based on the Internet of Things sensing technology is proposed. The specific monitoring content of the pressure plate state in the secondary circuit is analyzed, and the pressure plate position sensing technology based on the Internet of Things sensor is proposed. The specific configuration of the sensor is described, and the proposed data acquisition terminal is introduced. Based on the Internet of Things sensing technology, a state monitoring system for the exit platen is built, the system architecture is introduced, the system network structure is explained, and the software application of the system is analyzed. Combined with practical engineering, the effect of the system in practical application is analyzed, and the application prospect of the system is analyzed.

Key words: IoT technology; sensor; platen state; online monitoring

0 引言

二次回路压板状态是变量站中可靠性动作的重要内容之一，关系到保护装置回路和设备之间的电气联系，需要正确判断压板的状态，从而保证设备运行维护的可靠性。现阶段，保护回路的样本状态大多由人工完成判断，具有一定的误操作率和误判率，为此，本文提出了基于物联网传感技术的二次回路压板智能在线监测系统。

针对二次回路压板状态控制，较多文献均考虑了压板的监控，文献[1]研究了虚回路和软压板混合可视化和离线校验技术。文献[2]提出了基于改进稀疏表示的变电站保护压板状态辨识。

文献[3]设计了断路器操作回路的智能化监测系统，其中涉及回路压板状态监控。文献[4]研究了继电保护和自动装置压板回路远方控制技术。文献[5]针对继电保护压板状态识别嵌入式智能设备进行了分析。文献[6]提出了基于颜色模版匹配的继电保护压板投退状态识别方案。文献[7]提出了基于SSD目标检测的硬压板图像识别技术。文献[8]针对基于改进BOF算法的压板状态识别方法进行了研究。文献[9]提出了基于Faster R-CNN算法的继电保护压板状态识别技术。以上文献分别从压板状态监测、压板状态控制和压板状态识别等角度进行了分析，但并未结合物联网技术、传感器感知等进行状态判别。

为此，本文针对物联网传感技术在二次回路压板中的具体应用进行了分析。建立了基于物联网传感器的压板位置感知器以及状态采集终端的出口压板监测系统。介绍了系统架构，说明了系统网络结构，分析了软件应用等多种功能。根据本文的系统应用进行了实际效果分析。

1 二次回路压板状态

压板是变电站的继电保护和自动装置二次回路中的重要设备，按照接入保护装置和自动装置的回路位置不同，压板包括功能压板和出口压板两类。压板的状态包括投入和退出两种。每套保护装置所有压板的组合可实现继电保护装置运行、检修、退出及异常四种状态之间的转换。

压板区域由金属板、压板标签和压板构成，根据国家电网公司的规定，跳闸压板、保护压板和备用压板分别为红色、黄色和褐色。因此，二次回路压板在图像提取中需要重点关注绝缘标签、绝缘把手等位置信息。二次回路压板状态示意图如图1所示。

保护跳闸压板和开入开出压板的状态主要包括投入和退出。当保护装置出口触点未分开或出口触点未归复，或者二次回路外回路短路时，再加上倒闸操作、未测量压板两端电压等情况，此时如果将压板闭合，就可能引起二次保护装置误动作、失灵误开入等系统风险，因此，压板的状态对于其操作的可靠性十分重要。

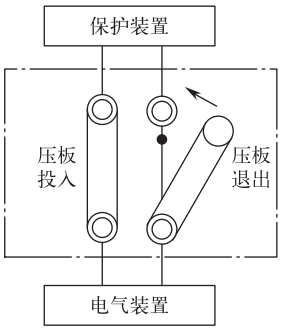

图 1 二次回路压板状态示意

Fig. 1 Schematic diagram of circuit pressing plate state

2 基于物联网传感的压板位置感知技术

2.1 物联网技术应用

（1）微功率无线传输

物联网技术在微功率无线传输中的应用主要体现在通过监控主机实现多传感器单元在采集终端数据的汇集和处理。无线传感器网络由大量小型传感器组成。在继电保护二次回路中，压板管控系统的状态监测可以通过无线传输部分实现操作，通过相应的数据处理中心、小型传感器状态接收器以及布置在相应二次屏柜的采集终端和众多的无线压板传感器组成。针对较常用的二次回路压板布置，一般采用双星形结构实现对相应信息的无线传输。具体示意图如图2所示。

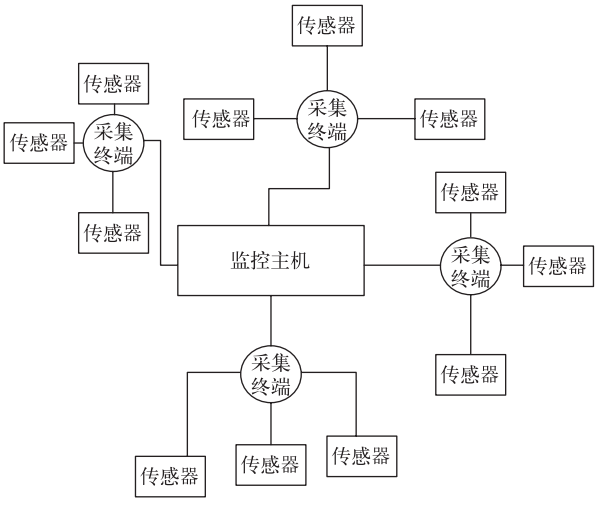

图 2 微功率无线传输

Fig. 2 Micro power wireless transmission

（2）非电量压板状态位置感知

非电量压板状态位置感知是物联网技术应用的另一特征。压板位置信息非电量监测的方法可分为霍尔式、干簧管式、电感式、超声波式、红外线式、微动开关和陀螺仪等多种传感方案，结合压板位置信息监测的特定性以及监测中功耗的要求，本文采用微动开关和陀螺仪，其他形式的位置监测技术由于成本过高或技术难度大或难以满足不停电安装要求，因此很难在压板位置监测中实际应用。

连片式的保护压板可通过检测微动开关的投退状态来确定压板的投退状态。这是一种结构简单的接触式检测压板状态的方法，传感器与压板不存在电气连接，也不影响压板的正常使用，具有高安全性、高可靠性的特点，易于安装和维护。

线簧式的保护压板可利用基于微机电系统（MEMS）的陀螺仪感知当前的位置，包括倾角、位移以及加速度来确定压板投退状态，这是一种结构简单的接触式检测压板状态的方法，不影响压板的正常使用，具有高安全性、高可靠性的特点，特别易于安装和维护。

（3）基于高能电池的传感器无源化

为确保电气设备的安全可靠运行，变电站高压带电设备的无线传感器节点不具备随意更换电池的条件，所以变电站传感器网络要求传感器电源必须具备长寿命，另外传感器的工作模式必须为低功耗模式、微型化设计。

基于物联网技术的高能电池可以做到能量高、放电平稳，并且在放电特性方面做到与二次系统继电保护操作特性相匹配，适用于二次回路的保护操作。

2.2 压板位置传感器

压板位置传感器用于实时监测压板状态，并将压板状态信息和其他信息通过射频信道发送出去。压板位置传感器的硬件电路方块原理图如图3所示，主要由嵌入式微功耗MCU、位置传感器（微动开关/陀螺仪/磁感应元件）、微功率射频通信模块及天线、一次性电池、指示灯和外壳等组成。

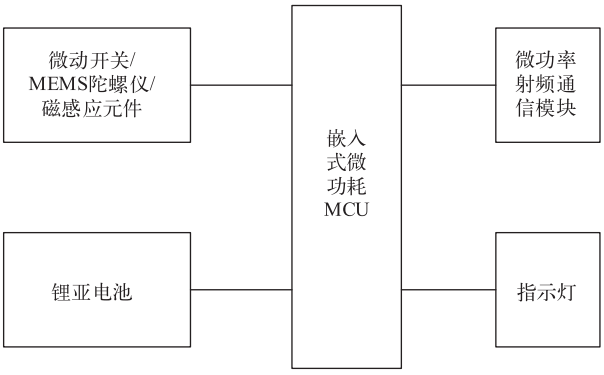

图 3 传感器硬件配置

Fig. 3 Sensor hardware configuration

硬压板主要有连片式和线簧式两种，根据压板的不同结构，压板位置传感器使用不同的非电量原理来实现位置的采集。

1）针对连片式压板，利用塑料结构的微动开关感知连片式压板的连片连接状态，传感器安装在压板的下方。压板连片投入时，连片将微动开关触点下压；压板连片退出时，微动开关触点弹回，传感器根据微动开关的状态实时报告压板的投退状态。

2）针对线簧式压板，利用陀螺仪传感器实时监测线簧式压板旋转部件的旋转角度，通过监测旋转部件的旋转角度大小感知压板投退状态。传感器套在压板拔插件的正面，传感器根据拔插件的旋转角度实时报告压板的投退状态。

2.3 数据采集终端

数据采集终端以射频方式接入装置，实时接收与处理压板位置传感器发送的压板位置、传感器工作电压和运行异常告警信息。单个数据采集终端支持接入传感器数量不小于150个。

数据采集终端以RS 485串口方式与压板集中监测管理单元进行通信，采用Modbus规约，压板集中监测管理单元周期自动读取压板位置、传感器工作电压和运行异常告警等信息。采集终端的结构如图4所示。

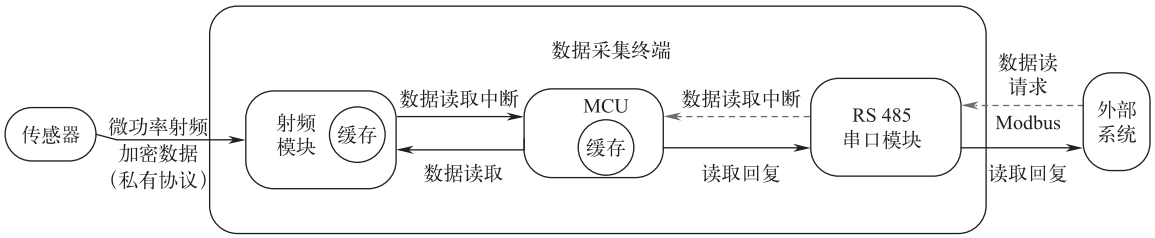

图 4　数据采集终端

Fig. 4 Data acquisition terminal

3　基于物联网传感技术的出口压板监测系统

3.1　系统架构

系统架构如图5所示。系统分为传感层、汇聚层、服务层和应用层。

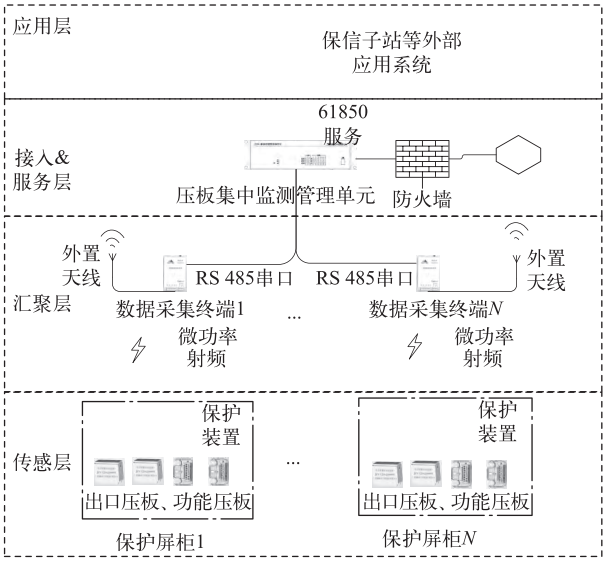

图 5　系统架构

Fig. 5 System architecture

继电保护压板在线监测系统采用边缘计算小应用模式，对内实现全站硬压板和软压板的在线采集、自动巡视与校核、投退模拟预演与验证，对外以61850服务方式提供压板监测应用信息，支撑外部系统应用。

继电保护压板在线监测系统由传感层、汇聚层、接入服务层和应用层构成。

1) 在传感层安装压板位置传感器，以基于微动开关、陀螺仪旋转角度测量和磁感应等非电量感知原理在线采集继电保护硬压板状态。

2）在汇聚层安装数据采集终端，以微功率射频方式实时接收采集压板位置传感器上送的硬压板当前状态。

3）在接入及服务层安装压板集中监测管理单元，以RS 485串口方式接收数据采集终端继电保护硬压板状态，支持经防火墙接入站控层中心交换机,实时采集继电保护软压板状态，实现继电保护压板状态图形化展示、在线巡视及基准值一致性核对、压板操作预演及验证分析等应用。

4）在应用层，压板集中监测管理单元提供61850数据服务，将硬压板当前状态及巡视校核信息推送给站内本地保信子站及其他相关系统。

3.2　系统网络结构

保护压板集中监测管理单元采用高性能嵌入式工控装置，实现无源无线保护压板位置传感器的一体化管理，同时实现微功率无线及有线混合网络的一体化管理，并以通信规约方式采集全站出口硬压板信息，构建全站继电保护压板智能管控终端，并提供基于IEC 61850的压板管控服务端，为监控系统、保信子站实时提供压板位置。厂站端保护压板智能在线监测网络，结构如图6所示。

集中式的管控通过构建保护装置压板状态监视、状态比对和状态不一致告警新的运维服务支撑体系，从传统的离散式人工巡视模式改变为集中式自动化巡视的全新模式，为继电保护的压板可视化展示、状态核查提供全方位技术支撑和信息化管理手段。

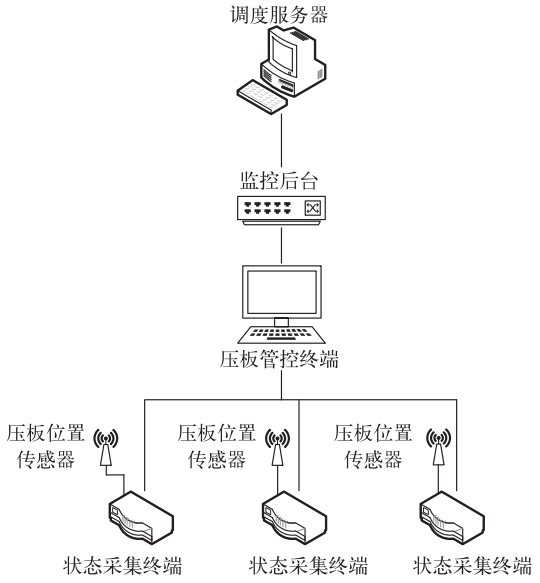

图 6　网络结构

Fig. 6 Network structure

3.3　系统软件应用

压板集中监测管理单元实现全站压板位置的集中采集与管理，完成就地图形化展示、继电保护压板状态在线巡视，基准值一致性校核、压板操作预演及验证分析、61850数据服务。

应用系统以组件技术和中间件技术为基础，建立以服务或组件为基础的开放式、拔插式的灵活架构。应用层各模块可根据工程按需部署，示意图如图7所示。

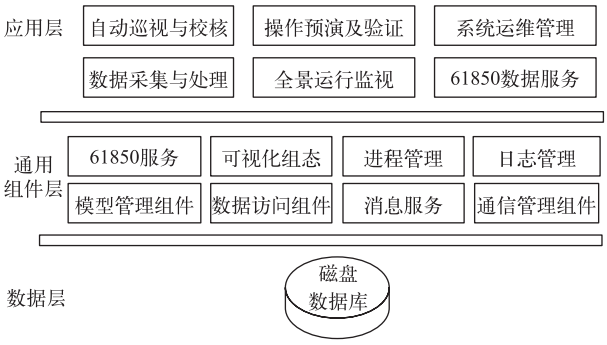

图 7　系统软件应用

Fig. 7 System software application

（1）数据采集与处理

基于通信管理组件，与数据采集终端采用串口方式通信，与保护装置以61850方式通信，实现继电保护硬压板、软压板状态的一体化采集，具体包括：①继电保护硬压板信息采集；②继电保护软压板信息采集；③传感器运行状态数据处理；④压板位置变化报告；⑤数据采集终端连接状态报告；⑥继电保护装置连接状态报告。

（2）全景运行监视

全景运行监视基于可视化组件，按屏柜图形化展示当前硬压板、软压板投退状态，巡视结果状态，为运维人员提供直观状态确认手段，可实现的内容包括：①图形化展示任意间隔的出口压板运行状态，各间隔是否正确的状态；②按信息类型对事件进行分类监视，包括变位报警、分析报警和系统运行状态。

（3）自动巡视与校核

自动巡视校核可以实现自动完成压板周期自动巡视及与标准状态的比对，可设置巡视周期、巡视范围，并自动生成巡视报告。按间隔或装置生成告警信号，包括总告警信号和各间隔或装置的分告警信号，总告警信号支持硬触点方式输出。

（4）压板投退模拟预演与验证

通过模拟预演的方式进行保护压板投退操作，生成正确的操作序列，指导现场工作人员按照正确的操作顺序进行压板的投退操作，避免压板误投退、漏投退等问题。

1）按间隔对各种典型运行检修操作的压板进行投退操作票的管理，支持保护压板操作序列的编辑。

2）具备操作票保护压板操作序列一键式预演功能，使得操作人员预先掌握安全措施内容及顺序。

（5）61850数据服务

提供61850数据访问服务，支持外部系统模型及数据访问，访问内容包括：①配置工具生成CID模型文件，自动实现系统内部应用模型到61850服务模型的映射；②继电保护硬压板当前状态及变位报告服务；③继电保护压板巡视总告警信号、分告警信号报告服务；④压板位置传感器工作电压召唤服务；⑤自动巡视报告文件列表及下载服务。

（6）系统运维管理

具备专用的模型维护工具，便于实现对模型的各类增、删、改操作，可对硬压板的描述信息进行便捷维护；支持从SCD文件导入继电保护模型；在线监视压板位置传感器的当前工作电压支持设定越限预警值，周期自动召唤，越限告警。

4 应用效果分析

4.1 压板状态管理现状

确保压板投退正确性的手段主要依靠现场人工巡视运行人员每月进行一次压板状态日常巡视，继保人员每年对压板进行一次专业巡视，继电保护压板巡视维护量大、周期长。对于常规变电站，每个压板核对性检查数据平均达1 000多条，现场检查需要5 h；智能变电站检查数据达1 500多条，现场检查需要7 h，周期内检查任务重，压板数据核对、统计报表和历史记录等工作均须人工完成，压板数据核对易出现错误。

4.2 本文系统应用分析

以某变电站二次屏柜压板的状态为采集对象，通过相关的探头以及传感器等实现对压板位置的采集。具体图像如图8所示。

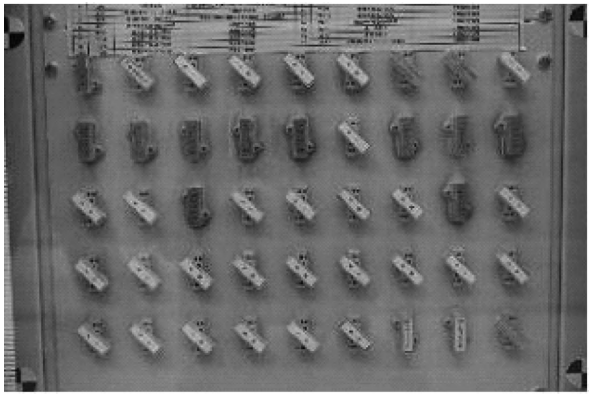

图 8 原始图像

Fig. 8 Original image

根据本文的系统进行判别，最终能够正确判断图8中压板的开闭状态。

除此之外，针对其他压板状态进一步说明本文系统的有效性。针对多个样本进行重复测试，分别检测压板状态判别过程中的检测次数、成功次数、错检次数以及漏检次数。得到结果见下表。

表 识别结果

Tab. Identification results

压板退出数量	检测次数	成功次数	错检次数	漏检次数
1	200	200	0	0
8	200	200	0	0
10	230	229	1	0
12	230	229	1	0
18	250	248	1	1
26	250	247	2	1

通过以上检测结果看出，由于本算例提供的压板位置较为密集，出现一定的错检和漏检情况，但是在总体样本中占比很低，本文所提出的压板状态识别方法能够适应于样本数量较大的情况，提高检测结果的准确性。

4.3 应用前景分析

基于智能传感器、微功率无线通信和高能电池等物联网最新应用技术的压板管控系统，充分考虑了新技术应用带来的安全性挑战，无须停运一二次设备，具有施工高效、运维便捷及能与保信系统一体化融合的特点，构建了一套完整的从二次回路传感器、采集终端、平台及应用到移动智能终端的泛在继电保护物联网系统，通过“连接、区别、识别、沟通、操作”实现“物-机-人”之间的信息交换和共享，确保压板管控系统能在运行的变电站中大规模应用。

以压板状态自动采集、实时诊断和远程监护为基础，为运维、检修和调度各专业提供了协同作业的管理平台，结合将来的移动智能终端，将大幅提高各专业之间的工作协同效率，实现压板的精益化管理。系统的应用推进了现代信息通信技术、智能控制技术与各专业的深度融合，设备状态管控能力得到进一步加强，电网安全运行水平得到进一步提升。

系统的应用降低了对运维人员的技术能力要求，提升了发现继电保护隐性故障的能力，消除了因压板误、漏投造成的电网运行重大安全隐患，避免了人为操作失误导致的继电保护装置误

动作、拒动作事故，大幅提高了供电可靠性，避免了因停电导致的电量损失，保证了设备和电网的安全稳定运行。

5 结束语

本文提出了基于物联网技术的二次回路出口压板在线监测管控系统。基于物联网的继电保护压板在线监测系统充分应用了非电量智能传感器、微功率射频通信、长寿命高能锂电池、通信及数据智能分析等技术，可快速实现继电保护压板状态的在线监视和智能应用，系统工程施工便捷、保护装置无须停运配合，可在110 kV及以上运行变电站中快速实现继电保护压板状态的就地及远方在线巡视和智能应用。

实例验证说明，系统可以降低运维技术门槛，提升工作效率，消除人为误投退保护压板的重大安全隐患，确保变电站安全稳定的运行。

参考文献

[1] 张志朋，彭桂喜，卞海波，等．二次安措中虚回路和软压板混合可视化和离线校验技术[J]．电气技术，2018，19(2)：116-119，122．

[2] 李镇翰，舒征宇，高健，等．基于改进稀疏表示的变电站保护压板状态辨识[J]．电子测量技术，2021，44(23)：86-92．

[3] 李永丽，李瑞鹏，卢扬，等．断路器操作回路的智能化监测系统设计[J]．电力自动化设备，2017，37(10)：211-217．

[4] 吴小勇，刘春艳，李健，等．继电保护和自动装置压板回路远方控制技术与应用[J]．电力系统自动化，2008，32(15)：100-103．

[5] 黄日泉，周恒，李新海，等．继电保护压板状态识别嵌入式智能设备的应用[J]．电力安全技术，2021，23(11)：50-52．

[6] 吕家伟，刘瑞荣．基于颜色模版匹配的继电保护压板投退状态识别设计[J]．机电信息，2018(36)：115-116．

[7] 卢志钢，洪乙铭．基于SSD目标检测的硬压板图像识别[J]．电气开关，2021，59(4)：37-39，42．

[8] 陈月卿，胡琳，吴毅翔，等．基于改进BOF算法的压板状态识别方法研究[J]．智慧电力，2021，49(2)：99-106．

[9] 袁拓来，李新海，罗海鑫，等．基于Faster R-CNN算法的继电保护压板状态识别方法[J]．电气技术与经济，2021(6)：36-39．

作者简介

郑秋元（1986—），女，高级工程师，主要从事继电保护专业相关工作。

王世浩（1987—），男，硕士，工程师，主要从事继电保护专业相关工作。

蔡仁源（1988—），男，工程师，主要从事继电保护专业相关工作。

陈大华（1989—），男，工程师，主要从事继电保护专业相关工作。

（收稿日期：2022-02-03）