

基于微服务架构的继电保护信息主站数据服务方案

丁晓兵¹, 杨 军², 余 江¹, 赵纪元², 郑茂然¹, 高宏慧¹, 李正红¹

(1. 中国南方电网电力调度控制中心, 广东 广州 510530;

2. 北京四方继保自动化股份有限公司, 北京 100085)

摘要: 为适应智能电网的发展, 提高继电保护数据的共享能力, 打破长期以来电网调度中形成各专业系统的信息孤岛, 实现电网调度数据横向贯通, 在全景数据基础上最大化数据价值发现, 提高调度决策服务能力是在调控云新模式下继电保护专业人员需迫切解决的问题。通过电网调度各业务对继电保护设备数据需求分析, 结合先进的云技术, 研究了基于微服务架构的继电保护信息主站数据服务方案, 在统一对微服务管理、调度的基础上进行各类数据服务功能设计, 构建了功能完整、数据标准、扩展性强和容错性高的保信主站数据服务集群, 实现了高效的继电保护数据共享, 为智能调度建设提供了更有力的支撑。

关键词: 微服务; 继电保护; 信息系统; 数据共享

Relay protection information data service scheme based on microservice architecture

DING Xiaobing¹, YANG Jun², YU Jiang¹, ZHAO Jiyuan², ZHENG Maoran¹, GAO Honghui¹, LI Zhenghong¹

(1. China Southern Power Grid Power Dispatching control Center, Guangzhou 510530, China;

2. Beijing Sifang Automation Co., Ltd., Beijing 100085, China)

Abstract: In order to adapt to the development of smart grid, improve the sharing ability of relay protection data, break the information island formed by various professional systems in power grid dispatching for a long time, realize the horizontal connection of power grid dispatching data, maximize the data value discovery based on panoramic data, and improve the dispatching decision-making service ability, they are all the problems that relay protection professionals need to solve urgently under the new mode of regulation cloud. In this paper, through the analysis of the data demand of relay protection equipment for each business of power grid dispatching, combined with advanced cloud technology, this paper studies the data service scheme of main station of relay protection information based on microservice architecture. On the basis of unified management and dispatching, the function design is carried out, and the data service of the main station with complete function, data standard, strong expansibility and high fault tolerance is constructed, which realizes the efficient relay protection data sharing and provides more powerful support for the construction of intelligent dispatching.

Key words: microservice; relay protection; information system; data sharing

0 引言

继电保护设备是电网安全防护的第一道防

线, 在电网故障时及时切除故障元件, 对保护电网安全运行尤为重要。而继电保护在电网故障中

的动作信息是电网调度人员在电网故障时调整电网运行方式、恢复供电的重要判断依据。在电网故障发生后调度人员需综合开关位置、继电保护和故障录波器等一二次设备的信息,判别故障性质,才能给出正确的调度运行决策,保障电网安全稳定运行。在电网调度自动化系统中,继电保护信息通常通过继电保护信息管理系统(简称保信系统)采集,该系统利用信息化技术,实现了对变电站内继电保护数据的远程访问。电网调度人员在电网故障时可通过保信系统中的主站部分(简称保信主站)调取继电保护的信息,分析继电保护动作行为,从而辨识故障性质,为电网安全稳定运行提供了坚强可靠的有力支撑。因此,保信系统^[1]已经成为电网调度和运行管理中不可缺少的重要组成部分。

随着特高压电网建设的全面提速和人工智能技术快速发展,“云大物移智”等IT新技术被广泛应用于电网调度自动化系统中。通过近几年的研究和探索,目前国家电网公司和南方电网公司基于云平台的调度技术支持系统、配电自动化系统均已经实现关键应用的上线运行,其余应用的改造工作也正在有序进行。在作为新一代电网调度技术支撑的调控云系统中,电网一体化运行的特征愈发明显,各类应用的专业数据在统一平台上通过服务方式实现完全共享,极大地提高了调控云应用的服务和支撑能力。同样对于负责提供继电保护信息的保信系统,也需其能够支撑高频次、多并发的数据访问需求,但因为各电网调度机构中现有保信系统均建设较早,其数据以满足本系统使用为主,对外部的数据接口在系统设计时均未考虑支持多用户并发的应用场景^[2],因此现有的数据接口方式难以支撑调控云中多应用的并发访问需求,因此研究并提供适应于调控云系统应用场景的继电保护数据服务方式已经成为电网调度运行人员迫切的需求。

1 传统数据接口

保信系统是一种典型的分布式信息处理系统,系统主要由部署在电网调度中心的保信主站

和部署在各变电站的子站系统组成,主子站间通过电力数据网络相连,在此架构中,子站负责各变电站内继电保护设备数据的集中采集,保信主站负责和各子站进行通信,对各子站传送的继电保护数据进行综合处理。该系统是针对电网继电保护设备进行数据采集和分析的专业系统,主要应用功能包括电网故障报告、设备状态在线监视和设备定值管理等。

在电网调度生产管理中,为便于对电网一次设备、二次设备数据进行整合分析,需要将保信系统中存在的继电保护故障报告、定值数据以及继电保护实时运行的模拟量和开关量数据获取至能量管理系统(EMS)等自动化系统中。传统的数据获取方式是通过数据接口实现的,保信系统对外部系统提供数据的数据接口通常是通过网络通信实现,根据网络链接类型可分为两类:

1) 长网络链接。在该方式下,访问继电保护数据的应用需和保信系统建立并长期保持网络TCP链接通道。在此链接中,通信双方按照约定的数据格式发起数据请求以及进行数据应答。因链接通道长期保持,通信双方需要定期检测通信连接情况,以保证通信链路正常、数据访问和交互正常。典型应用方式有IEC 103通信、消息总线等。该方式除支持请求应答方式的数据访问外,还可支持主动推送实时突发数据。缺点是占用资源较多。

2) 短网络链接。在此方式下,访问继电保护设备数据的应用在需要请求数据时建立与保信系统的网络TCP链接通道,并按照通信双方约定的格式进行数据通信,数据传送完毕后即断开网络TCP链接通道。典型的应用方式有Web Service等。该方式能满足请求应答方式的数据访问,但不能支持信息的主动推送,且传输数据以XML文件为载体,传送效率较低。

上述两种方式虽各有优劣,但在单一用户访问的应用场景下基本能满足保信系统对外部提供数据的需求。对于调控云架构下多应用高频次、多并发的数据访问应用场景,这两种方式在数据服务能力上都存在着明显的不足,频繁产生因访

因超时造成的数据访问失败现象,难以满足按需及时的数据请求需求,无法有力支撑调控云一体化应用的建设,因此保信系统需要研究更理想的数据接口方式。

微服务架构下的服务设计和管理方式是面向多并发的数据访问业务场景的解决方案,在该架构下,提供数据的服务具备高伸缩性、易于扩展的特性,可通过扩展服务的数量支撑多个并发的数据访问需求,因此,可考虑采用微服务方式进行保信系统的数据接口设计。

2 微服务简介

传统以服务方式提供的接口一般为集中式服务,所有服务功能集成在一个单体应用服务软件中,对数据访问的支撑一般是通过多线程方式进行处理,对并发访问的支撑能力有限,上文中提及的Web Service就是一种典型的集中式服务。

微服务架构是近年来随着分布式软件设计方法发展演化出的一种架构模式^[4],旨在通过将功能分解到各个离散的服务中以实现与应用软件的解耦。和传统的集中式服务相比,微服务把单一的巨大应用拆分为众多松散耦合的微小服务,每个服务专注于单一业务功能,独立部署在不同的进程中,某个服务的修改和部署不会影响其他正在运行的服务,由多个微服务相互配合来实现完整的应用功能,满足业务和用户的需求。更重要的是微服务架构提供了完善的服务调度管理机制,在此机制下,同一功能的服务可根据需要部署运行多个实例,在被访问时通过调度机制决定由哪个实例提供服务,每个服务实例均可独立地完成业务功能,通过这种方式,解决了传统集中式服务无法满足的多并发访问的业务场景需求。

从上述可知,和传统的集中式服务相比,微服务具有以下优点:

1) 复杂度可控。每一个微服务专注于单一功能,并通过定义良好的接口清晰表述服务边界。服务体积小、复杂度低且易于保持高可维护性和开发效率。

2) 服务能力扩展性高。微服务可以独立部署,当某个服务客户增多,服务压力变大时,可通过增加该服务的服务实例实现服务扩容,服务能力近乎无限。

3) 容错性好。当某一服务发生故障时,故障会被隔离在单个服务中,不会导致应用全局性的不可用。

为支撑微服务运维问题,现有可商用的微服务架构已经提供了完整的微服务管理功能,包括服务注册、服务发现、负载均衡、路由、熔断和服务配置等功能组件。以微服务方式实现应用功能时,开发者仅需专注于微服务本身的业务功能,并选取调用相应的微服务组件,即可完成微服务的应用,图1简要说明了微服务架构。

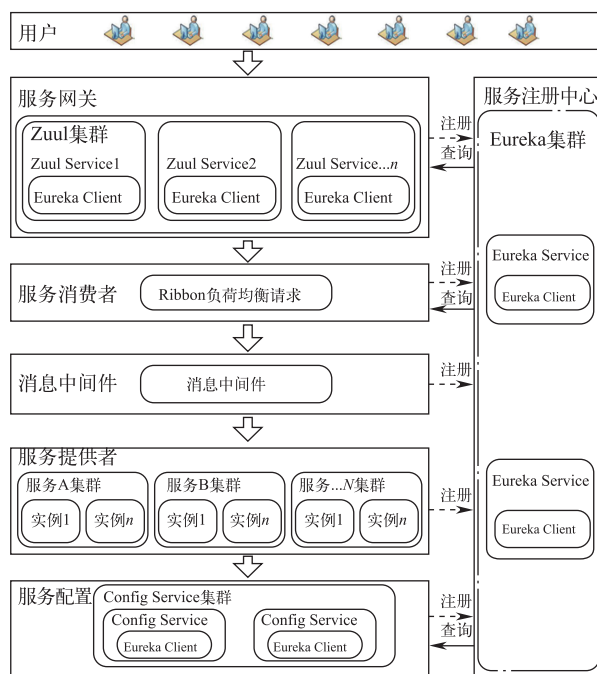


图1 微服务部署示意图

Fig. 1 Microservice deployment diagram

在图1中,每个微服务集群按需运行多个同名的微服务实例,所有微服务实例均注册到服务注册中心,并通过服务网关对外提供服务。微服务实例的配置由管理员通过服务配置集群控制,在服务访问负荷重的情况下,可以简单地通过增加微服务实例的方法增强系统性能,满足访问需求。当用户需访问服务时,首先按照发布服务时

提供的访问路径访问统一的服务网关，服务网关根据访问路径将服务请求路由至某类微服务，并通过负载均衡算法选取具体微服务实例，将访问请求发送至某个具体的微服务实例，从而实现服务的访问调用。

由上文可知，基于微服务架构的数据服务扩展灵活，可以较好地支撑众多客户并发访问需求，因此可用于保信主站数据服务。

3 基于微服务架构的数据服务

通过对调控云中各类应用对继电保护的数据需求进行分析可知，保信系统可以提供的数据包括采集的继电保护原始数据（例如动作信号、告警信号、定值数据和录波数据等）和保信系统分析结果数据（例如电网故障报告、录波分析结果等），上述数据描述方式各异，存储格式也不同，难以通过统一的接口对外提供，因此传统数据接口采用的方法是在单体软件中为每类数据提供不同的访问接口函数，在接口函数中各类数据以不同的数据结构进行组织和传输。对于以离散方式组织的继电保护数据，采用微服务的软件设计架构实现对外提供数据具备天然的优势，即不同的数据可以封装在不同的微服务模块中，按数据访问类型为最小的单元颗粒度进行微服务的设计和发布部署。

为实现上文中描述的数据服务，需结合现有保信系统对微服务的部署和应用场景进行系统架构设计。

3.1 系统架构

调控云系统的应用场景在电网安全III区，因此保信系统的数据微服务需部署在电网安全III区。而保信系统主体运行在电网安全II区，在安全III区部署了保信Web服务器，在安全II区采集和分析的数据通过跨安全区的内部通信机制传送至安全III区，并存储在部署于该安全区的数据库中，即部署在安全III区各类保信数据微服务可以通过访问安全III区的数据库来获取保信系统基础数据，部分数据需求也可通过跨安全区发送命令

至安全II区的保信系统中，实现数据服务的按需访问，但此类访问因跨区原因效率较低，一般不建议使用。图2是整体系统架构的示意图。

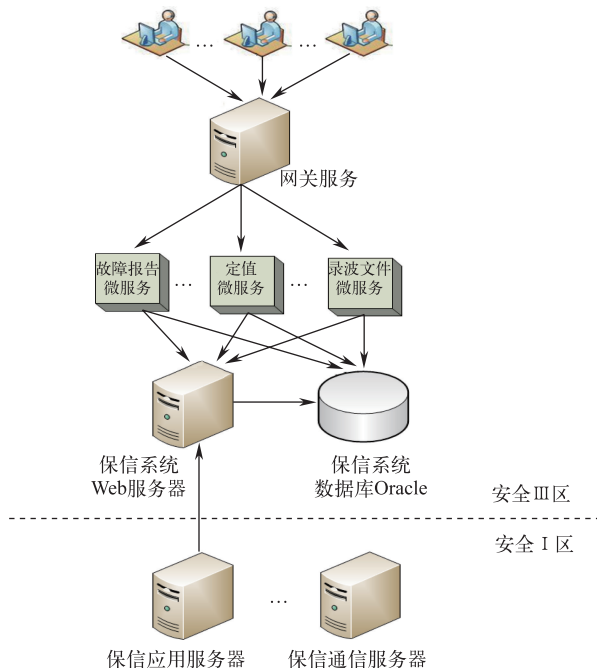


图2 继电保护数据微服务系统架构图

Fig. 2 Architecture of relay protection data microservice system

在图2中，保信系统部署于安全III区的Web服务器上，除运行服务管理中心外，还按需运行多个集群、多个实例的继电保护数据微服务，同一集群内的所有数据微服务实例以相同服务名、不同端口号注册到服务管理中心，实现服务的统一管理。同时在安全III区还部署了网关服务器，用于服务调用的统一管理和安全鉴权，即外部系统对服务的代用必须通过网关进行。

3.2 服务定义

依托翔实的基础数据，在调控云中可对全景数据进行综合数据挖掘，实现多种数据分析应用，更有力地支撑电网调控运行。例如输电线路故障辨识、电网故障强送辅助决策、设备故障诊断和设备性能评估等。而业务功能是建立在准确和稳定的基础数据服务的基石上，如前文所述，将继电保护对外提供的每类数据都封装在单独的微服务中，可形成一系列功能相互独立、稳定性强的微服务集，支撑电网调度各业务应用。微服

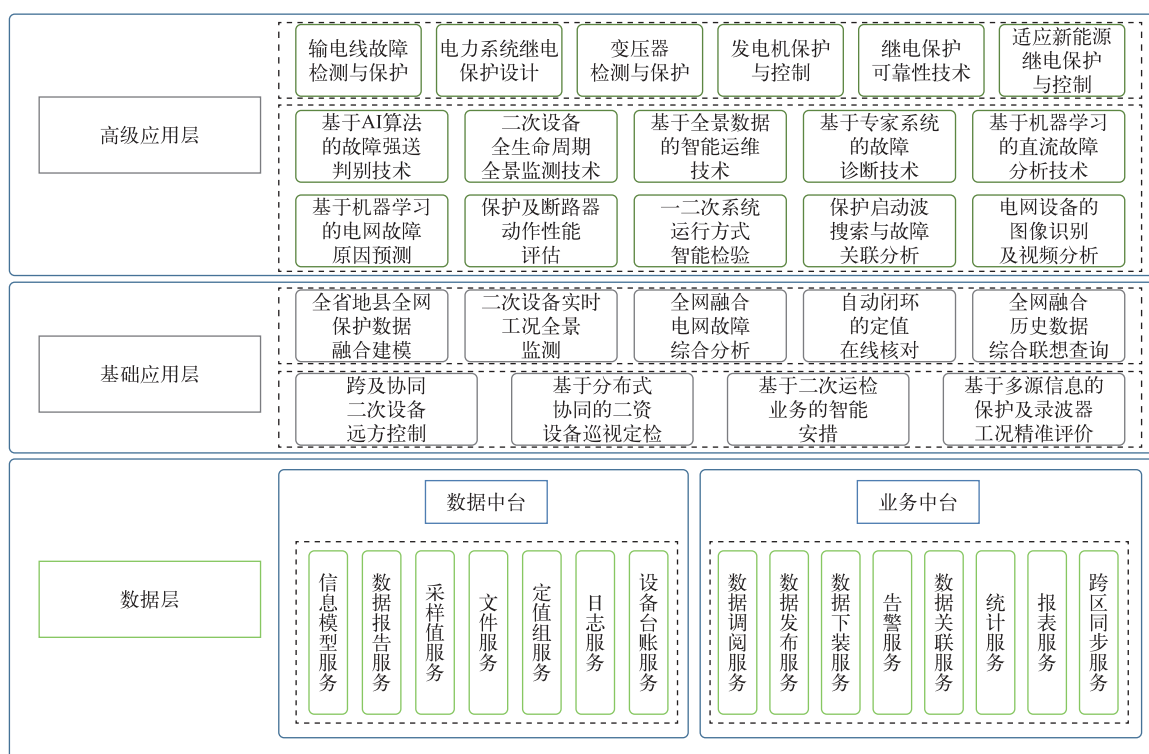


图3 继电保护应用软件层次图

Fig. 3 Hierarchical diagram of relay protection application software

务根据数据的来源可分为原始运行数据和业务分析数据两大类服务，即图3所示数据层中的数据中台和业务中台部分，在数据层的支撑下可进行各类基础应用和高级应用的研究。

根据上述的数据需求场景分析，可对继电保护数据进行标准化梳理，在此基础上定义出两大类30多个继电保护数据微服务，如下表所示。

表 继电保护微服务列表

Tab. Relay protection microservices

类型	服务名称	服务功能
运行数据	Protection Weaver File Service	获取保护录波文件
	Fault Weaver File Service	获取集中录波文件
	...	...
	Protection Telemetry Service	获取保护遥测
应用分析数据	Protection Setting Service	获取保护定值
	Protection Fault Report Service	获取电网故障报告
	Tour Report Service	巡视报告服务
	...	...
	Setting Compare Service	定值比对服务
	SCD Compare Service	SCD 文件比对服务

上表中每类微服务都独立承担获取特定的继电保护数据，由于数据的类型不同，其返回的数据内容由描述自身的多个不同属性组成，统一使用JSON格式进行数据描述。例如保护动作事件的属性包括事件名称、动作时间、相对时间、动作值、动作相别、跳闸相别和测距等；保护定值的属性包括定值名称、定值、单位、最大值、最小值和步长等。

微服务的调用通过标准的服务接口对外部系统开放，服务调用接口采用统一资源标识（URI）的语法进行定义，包括服务域、服务提供者和服务名称等几个部分，例如{域名/ip:port}/{服务提供者}/{组件名称}/{服务版本}/{接口名称}，上述语法保证了统一资源标识符的可寻址性和可读性。

3.3 微服务应用

基于微服务架构开发继电保护数据微服务，在接口实现上仅需遵循微服务框架规范的接口方式，微服务的管理和内部调用也由框架负责，

这种框架和应用功能解耦的软件架构极大降低了微服务应用的难度，使开发者可以更专注于实现业务功能需求，提高服务本身的质量。本文以电网故障报告服务为例来说明微服务的实现、部署和调用。电网故障报告是保信系统采集继电保护设备在电网故障时输出大量离散信息并按照特定算法进行数据处理后形成的针对该次电网故障的综合报告类信息，是保信系统对外输出的核心数据。该报告中所包含信息类型多样，格式不一，各类信息采用的描述方式也不相同，例如事件、告警、遥信变位和故障参数采用报文形式输出，录波文件采用文件方式输出；而事件信息包括时标、描述、状态、功能码和信息序号等；遥信变位信号包括时标、描述和状态等。保信系统按照一定规则将这些离散的信息整合为一个电网故障包，根据这些信息分析出故障的性质，并作为一次电网故障中继电保护的動作情况进行存储，这些格式不同的数据无法实现统一存储，因此将以报文形式输出的数据按照类型不同在数据库中建立不同的数据表进行存储，录波文件存储在磁盘上，同时在数据库中存储文件名便于检索。同一电网故障中输出的数据在存储时均包含相同的故障序号，如图4所示。

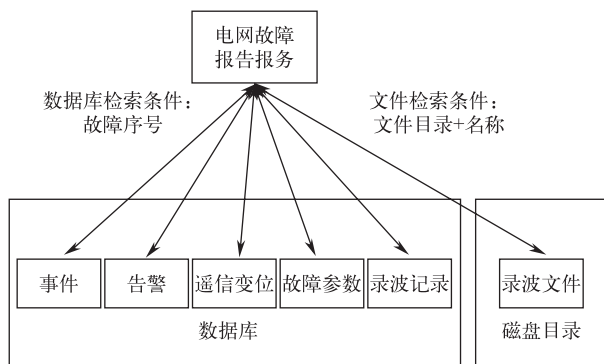


图4 电网故障报告数据图

Fig. 4 Grid fault report data chart

电网故障报告服务在提供服务时，需要服务使用者提供故障序号，按照故障序号检索可提取同一电网故障中继电保护的所有输出信息，并按数据类型和时序进行数据组织。服务对外提供的接口如下：Protection Fault Report Service

/v1/fault_report? id=xx。其中Protection Fault Report Service是服务名称，v1是版本号，fault_report是接口名称，id是故障序号。按此接口访问可获取电网故障报告数据，包括故障时间、变电站、一次设备，故障的描述以及本次动作中各相关继电保护的動作行为和序列。还包含各继电保护动作中录波文件的名称和相关路径，访问者可根据该信息请求录波文件。上述数据可以应用于电网故障性质分析、强送故障决策以及故障统计等应用中，也可为电网稳态监控提供故障辨识支撑。

本方案描述的系统在运行时可按数据需求负荷率的饱和程度决定起动多少个电网故障报告微服务实例，这些实例通过注册方式将服务名提供给服务管理中心，在服务管理中心提供配置服务和网关服务，将服务的对外接口和地址进行映射，实现对服务接口的保护，提供给外部服务使用者的是经过映射的服务地址，由网关服务器根据服务使用者的权限按需提供，保证了服务的安全性。例如故障报告微服务访问的完整接口为http://192.168.1.1:8080/dmp/ProtectionFaultReportService /v1/fault_report? id=xx，其中192.168.1.1:8080为网关服务器对外公开的IP地址和服务端口，dmp是服务提供者的名称，后面的路径地址是经网关映射服务接口。

网关服务器内部配置了服务路由规则，根据访问者访问网关时提供的服务接口参数进行服务路由，首先将访问请求定位到服务名，因系统中可能存在多个同名的服务实例，网关服务通过配置在内部的负载均衡算法规则，选出当前合适的电网故障报告服务实例，将访问请求转发至该服务实例，由该服务实例提供数据服务。可以看出，在上述框架中服务能力和运行的服务实例个数密切相关，而服务实例个数可扩展性较强，因此服务的能力也随之提高。该服务实例根据故障序号从不同数据表中获取不同的数据，按照继电保护设备、数据类型和时间序列组合成为完整的故障报告，并以字节流的方式提供给服务使用者。

4 结束语

本文介绍的保信系统数据服务方案基于微服务框架实现,以微服务为载体,对外部应用提供继电保护运行数据,利用专业标准业务服务,打破了长期存在的电力业务信息孤岛,解决了在调控云模式下多应用数据高效共享的问题,提高了电网调度感知电网运行状况的能力,为电网安全稳定运行提供了技术支撑。对于微服务本身存在着的协同工作效率低的不足,后续也将继续开展研究,提高调用效率。**EA**

参考文献

- [1] 张劲,章坚民,朱炳铨,等. 220 kV继电保护故障信息处理系统的设计[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(11): 61-64.
- [2] 樊唯钦. 地区电力调度综合数据平台建设实践[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(2): 113-115.
- [3] 裴宏祥,于晓虹. 基于微服务架构的系统设计与开发[J]. 中国科技信息, 2019(10): 113-115.
- [4] 龙镇盛,黄达文,张茵翠. 微服务架构在电网企业去中心化过程中的应用实践[J]. 数字通信世界, 2019(12): 142-143.

- [5] 袁鹏,顾建伟,郭创新,等. 基于面向服务架构的配网双编码体系设计[J]. 电网技术, 2012(1): 271-276.
- [6] 万书鹏,易强,张凯,等. 基于微服务架构的新一代调控系统服务编排技术[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(22): 116-121.
- [7] 许卫兵,孙佐,陈继军. 面向服务架构(SOA)的电力系统信息集成研究[J]. 中国仪器仪表, 2007(6): 46-49.
- [8] 高翔,张沛超,章坚民. 电网故障信息系统应用技术[M]. 北京:中国电力出版社, 2006.
- [9] 高翔. 数字化变电站应用技术[M]. 北京:中国电力出版社, 2008.

作者简介



丁晓兵

丁晓兵(1976—),男,高级工程师,主要研究方向为继电保护、电力系统自动化。

(收稿日期:2021-06-24)