

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.211283

油色谱在线监测系统数据接入物联管理平台方法

刘昊¹, 毛万登¹, 马斌¹, 闵佳宝², 姜欣², 金阳²

(1. 国网河南省电力科学研究所, 河南 郑州 450052; 2. 郑州大学电气工程学院电网储能与
电池应用研究中心, 河南 郑州 450001)

摘要: 油色谱在线监测是目前广泛应用的一种监测手段。但是, 由于当前油色谱在线监测系统感知层协议和物联模型尚未统一, 数据交互困难, 使得油色谱系统独立运行, 无法与输变电侧其他子系统之间实现数据共享。针对这一问题, 提出了一种智慧物联体系下的油色谱在线监测系统数据接入方法, 实现系统的即插即用。首先分析智慧物联体系下油色谱系统数据接入物联管理平台的整体架构, 阐明了系统数据的传输过程。接着构建基于国家电网公司公共信息模型(SG-CIM)统一规范的物联模型并提出了一种基于本地通信的油色谱系统采集终端与边缘物联代理的通信方式和基于消息队列遥测传输协议(MQTT)协议下的III型边缘物联代理和物联管理平台的交互方式, 使得系统数据传输过程中具有统一的物联模型和通信协议, 从而使得油色谱在线监测系统数据接入到统一的物联管理平台。最后, 以某省实际油色谱在线监测系统运行情况为例, 将上传至物联管理平台的数据与油色谱在线监测系统中的原始数据做比对, 验证了接入数据的及时性和完整性, 从而验证了所提接入方法的可行性。该方法的提出对实现输变电侧主设备数据的共享与联动, 提升对输变电侧主设备运行状态的感知能力具有重要参考意义。
关键词: 油色谱在线监测; 数据接入; 物联管理平台; MQTT; 物联模型

Data access method for an oil chromatogram online monitoring system to an IoT management platform

LIU Hao¹, MAO Wandeng¹, MA Bin¹, MIN Jiabao², JIANG Xin², JIN Yang²

(1. State Grid Hennan Electric Power Research Institute, Zhengzhou 450052, China; 2. Research Center of Grid Energy Storage and Battery Application, School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Online monitoring of oil chromatography is a widely used means of monitoring. However, because the perception layer protocol and internet of things (IoT) model of the current oil chromatography online monitoring system have not yet been unified, difficult data interaction enables the oil chromatography system to operate independently. It also realizes data sharing with other subsystems on the power transmission and transformation side. A data access method for an oil chromatography online monitoring system is proposed to realize plug-and-play. First, the overall architecture of the oil chromatography system data access IoT management platform under the smart IoT framework is analyzed. Then the system data transmission process is clarified. Then, a unified IoT model based on a State Grid common information model (SG-CIM) is constructed. A communication mode is proposed between the oil chromatogram system acquisition terminal and the edge IoT agent. This is based on local communication and the interaction mode between type III edge IoT agent and IoT management platform based on message queuing telemetry transport (MQTT) protocol. Then the system has a unified IoT model and communication protocol in the process of data transmission. Thus, the data of the oil chromatography online monitoring system is connected to the unified IoT management platform. Finally, taking the actual operation of the oil chromatography online monitoring system in a province as an example, the data uploaded to the IoT management platform is compared with the original data in the oil chromatography online monitoring system. This is to verify the timeliness and integrity of the access data, so as to verify the feasibility of the proposed access method. The proposed method has important reference significance for realizing the data sharing and linkage of the main equipment at the power transmission and transformation side. It also can help improve the perception of the operational state of the main equipment at the power transmission and transformation side.

This work is supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 51807180).

Key words: online monitoring of oil chromatogram; data access; IoT management platform; MQTT; IoT model

基金项目: 国家自然科学基金项目资助(51807180); 国网河南省电力公司科技项目资助(52170220009H)

0 引言

变压器运行状态对电力系统安全运行至关重要^[1]。1950 年以来, 变压器在线监测技术受到了电力部门和各国学者的广泛重视^[2-3]。其中, 油中溶解气体分析法对判断变压器内部故障十分有效, 且便于实现在线监测^[4-5]。近年来, 随着计算机、高分子材料、通信、传感器及色谱等技术的进步, 变压器油中溶解气体在线监测技术也不断更新和发展, 大量实时的在线监测数据使得对变压器油色谱统计规律的研究成为可能^[6-8]。

统一完备的信息模型、数据语义是实现油色谱系统海量终端设备即插即用的必要条件^[9]。文献[10]针对如何有效利用智能电网产生的海量数据问题, 开发了基于国家电网公司企业统一信息模型(State-Grid Common Information Model, SG-CIM)的企业数据库模型系统, 实现了系统之间的信息交互; 文献[11]提出基于国际标准的配电成套开关监测的架构, 构建出其虚拟逻辑设备并实现模型协调, 对本文油色谱监测系统虚拟逻辑设备构建有一定的借鉴意义; 文献[12]构建了基于 CIM 的电网调度中心应用模型, 实现了调度中心不同部门之间的信息共享。但是以上研究并不完善, 例如油色谱在线监测系统数据结构未完全遵循传统 SG-CIM 模型, 是因为传统 SG-CIM 模型数据结构简单, 其是依照主题域进行划分并仅定义了模型的类和属性的数量, 对模型描述不够精确。而智慧物联体系下的油色谱系统数量庞大, 其数据结构与传统的 SG-CIM 模型难以匹配, 传统模型已无法支持油色谱传感设备与云主站进行信息交互。针对此问题本文提出了一种物联终端建模方法, 参考了 SG-CIM 的建模方法, 在原有 SG-CIM 模型基础之上进行补充和扩展, 主要应用于边缘物联代理、物联管理平台、业务应用三层架构中。

统一规范的通信方式和通信协议也是实现油色谱监测系统数据传输必要保证, 目前国内外对配电侧通信方法研究颇多。文献[13]依托 OPNET 仿真平台, 对配电网通信自行建模, 定量分析了不同通信网络的延时率和丢包率; 文献[14]在 IEC61850 基础之上提出了一种开放式通信体系。但以上研究都只针对配电网, 并且通信方式单一, 而本文提出了一种支持油色谱系统即插即用的通信体系, 并根据通信接口实验给出相应的标准, 使得系统数据传输过程有了更多的通信选择。

本文所提出的统一的信息模型和通信方式为油色谱在线监测系统与物联管理平台的信息交互提供

了必要的保证。最后以某省油色谱在线监测系统运行情况为例, 将上传至物联管理平台的数据与油色谱在线监测系统中的原始数据做比对, 验证了所提方法的有效性, 对实现输变电侧主设备数据的共享与联动、提升主设备运行状态的感知能力具有重要参考意义。

1 油色谱数据接入物联管理平台架构

变压器的油色谱监控通过在变压器周围部署监测装置进行数据测量^[15-16], 采集终端采集数据后换算成标识气体含量值, 如 H₂、CH₄ 和 C₂H₆ 等, 将气体含量值作为量测结果在站房内的数据库中进行数据汇总和上传, 然后通过业务系统申请访问数据库并拷贝数据至数据中台进行业务应用。传统油色谱监测系统数据接入架构如图 1 所示。

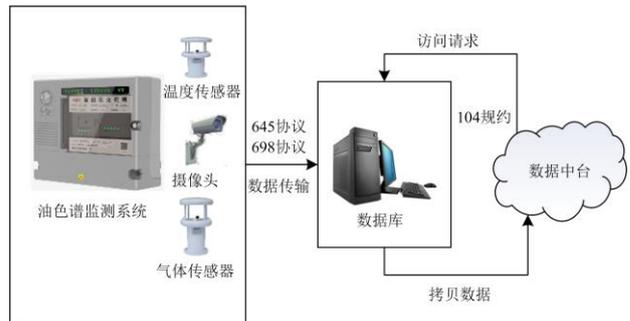


图 1 传统油色谱监测系统数据接入技术架构

Fig. 1 Data access technology architecture of traditional oil chromatography monitoring system

如图 1 传统架构的缺点是油色谱在线监测系统独立运行, 无法与输变电侧其他子系统实现数据共享, 也无法实现对多类设备状态和运行数据的联动处理与分析。

针对此问题, 本文提出了一种油色谱在线监测系统数据接入物联管理平台架构, 如图 2 所示。为避免对生产环境的影响, 本场景在管理信息大区内模拟实现, 基于油色谱在线监测系统中数据的组织结构和存储方式, 构建合适的油色谱系统物联模型。这样油色谱在线监测系统采集终端就能从变压器附近获取相关数据, 将数据简单处理上传至 III 型边缘物联代理, III 型边缘物联代理再将数据推送给物联管理平台, 企业中台和数据中台再根据需要对数据进行查看和调用。

由图 2 可得, 油色谱采集终端主要部署在变压器附近, 对变压器环境温度、环境湿度、内部油温、气体含量等物理量进行采集, 并且具有处理数据和通信控制功能。

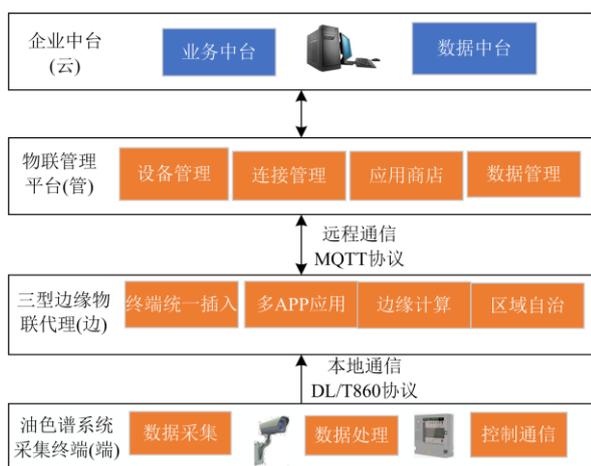


图2 油色谱在线监测系统数据接入物联管理平台技术架构

Fig. 2 Technical architecture of oil chromatogram online monitoring system data access IoT management platform

III型边缘物联代理以软件形式部署在变电站服务器架构中,向下对油色谱监测系统采集终端进行统一接入,包括数据接入、数据存储、数据解析功能,向上与物联管理平台互联,进行数据的双向传输,实现数据就地共享。III型边缘物联代理的数据处理功能依赖于边缘计算框架中的边缘服务器,其架构如附图1所示。当油色谱监测系统运行时由于传感器异常、信号调理电路故障等问题导致数据采集异常,边缘服务器中的数据与包装模块就会对来自油色谱系统终端设备数据进行数据清洗修正、数据脱敏、数据格式转换,并将处理后的正确数据上传到物联管理平台,油色谱监测系统也是通过这种方式来提高数据采集的可靠性。除此之外边缘物联代理还具有APP应用和区域自治的功能。

物联管理平台部署在云端,下对III型边缘物联代理进行数据管理和模型识别,上对企业中台提供标准化数据接口,主要实现数据、设备管理等功能。

对比图1和图2可得,接入物联管理平台的系统技术架构虽然比传统系统接入技术架构复杂,但是优势明显。传统的在线监测系统功能单一,数据分散在不同的数据库中,而在一个区域供电公司往往有几套油色谱在线监测系统和其他在线监测系统同时在运行,需要运维人员来回操作,这给运维人员带来巨大负担,而改进后的油色谱系统和其他输变电设备在线监测系统数据都能上传到统一的物联管理平台,不同的业务系统也可以根据需要调用数据,这样数据就能清晰方便地看到,大大减少了运维成本,并且也能够实现输变电侧主设备数据的共享与联动,提升对输变电侧主设备运行状态的感知

能力,提升数据的共享水平。

2 基于SG-CIM油色谱系统采集终端物模型

SG-CIM是在IEC61968/IEC61970标准基础之上,结合国网公司的实际情况,开展数据模型研究,以形成统一的数据模型及接口规范^[17]。

油色谱监测系统终端模型是对物理空间中油色谱系统传感设备的数字化描述。其参考了SG-CIM的建模方法,在原有SG-CIM模型基础之上进行补充和扩展,模型从属性(动态属性和静态属性)、服务和事件三个维度描述了油色谱终端设备的基本信息、感知能力和互动能力,从扩展的模型可以看出该实体设备是什么,它能干什么以及它对外提供什么信息,弥补了传统模型数据结构简单、设备描述不够精确的问题。从而构建出油色谱系统终端数据统一描述模型,支撑了泛在电力物联网中输变配用等各类业务终端数据信息在业务应用、物联管理平台、边缘物联代理之间的交互应用。基于SG-CIM油色谱物联终端模型定位结构图如图3所示。

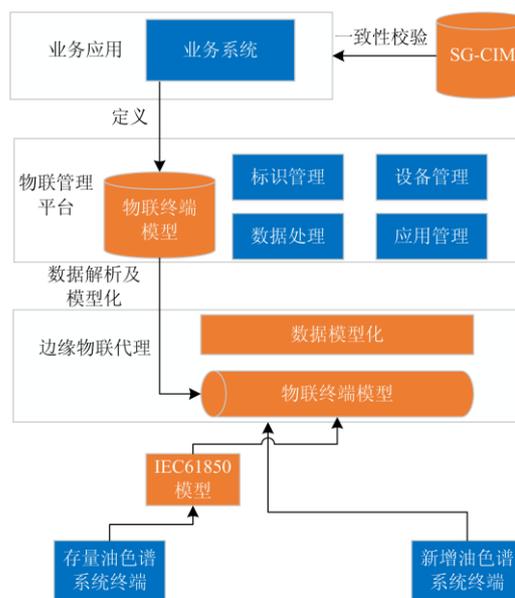


图3 油色谱系统终端物联模型定位结构图

Fig. 3 Positioning structure diagram of IoT model of oil chromatogram system terminal

由图3可得,业务系统首先对油色谱物联终端模型进行定义,并通过SG-CIM的一致性校验,校验成功后,物联管理平台将油色谱系统终端模型数据解析模型化,下放给III型边缘物联代理,新增油色谱系统终端通过物联终端模型的建立与边缘物联代理进行数据传输和信息交互,存量储能终端设备是基于IEC61850标准建立的模型,而与III型边缘

物联代理、物联管理平台交互需要统一的物联终端模型(SG-CIM)，因为两者存在一定的差异，所以就要进行模型的协调。

油色谱采集终端是能够完成油色谱在线监测系统数据的采集、数据双向传输、执行控制命令功能的设备。一个油色谱物联终端模型包含模型标识符、模型描述、静态属性、动态属性、消息和服务的主题域。静态属性一般用于描述生命周期中的自身身份详情静态信息，包含设备身份的标识，设备的描述信息等；动态属性一般用于描述设备运行时可持续存在的状态信息，如气体传感器监测 H₂、CO 气体含量，温度传感器监测到的油温等信息；消息是指由油色谱终端主动上报并需要被外部感知和处理的 notification 信息，这类信息是无法通过查询电力物联终端的属性而获知的，如发生故障或异常时候主动上报的告警信息及附带的参数等信息，该类信息可以被订阅和推送；服务是指油色谱系统终端中能够被远程调用而去执行的动作、指令等内容，可设置输入参数和输出参数，“输入参数”是指要求油色谱系统终端在执行某一动作时发出的指令信息，“输出参数”是指油色谱系统终端完成相应动作后响应反馈的状态信息。油色谱系统采集终端模型结构示意图(部分)如图 4 所示。

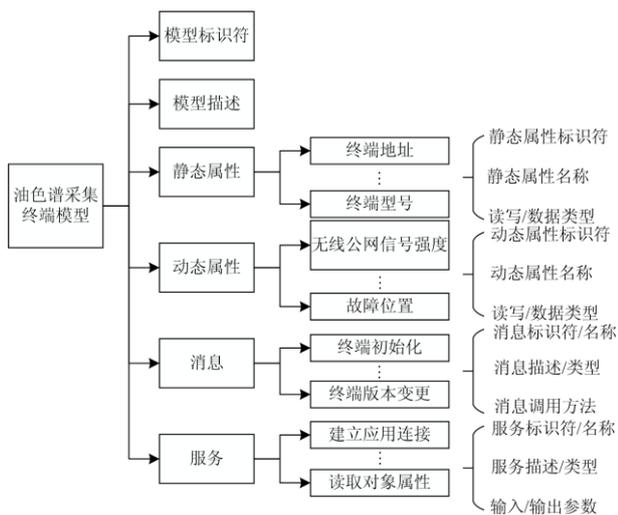


图 4 油色谱采集终端模型结构示意图

Fig. 4 Structure diagram of oil chromatogram acquisition terminal model

由图 4 可得，对油色谱在线监测系统采集终端物联模型构建步骤如下。

首先分别梳理油色谱系统采集终端：静态属性中“终端地址”、“终端类型”、“终端型号”、“资产编号”等项；动态属性“无线公网信号强度”等项；

消息域“终端初始化”，“终端版本变更”等项；服务域“建立应用连接”等项。然后对照《国家电网物联终端统一建模规范》中第 6 章节表格中的标识符作为 JSON 格式中的 KEY，填入相应的值，并将其转换成静态属性、动态属性、消息、服务的 JSON 描述对象。接着对该 JSON 对象添加描述 id、description 标识符及对应的值，形成如下所示的油色谱采集终端 JSON 格式描述样例(以终端型号为例，部分如下)：

```

{
  "identifier": "100001",
  "description": "油色谱采集终端",
  "staticProperties": [
    {
      "id": "TerminalModel",
      "name": "终端型号",
      "accessMode": "R",
      "required": "Y",
      "dataType": {
        "type": "string",
        "specs": {
          "min": "1",
          "max": "255",
          "unit": "",
          "unitName": "",
          "size": "",
          "step": "",
          "item": {
            "type": ""
          }
        }
      }
    }
  ]
}
    
```

其他静态属性的模型构建与以上构建过程相似，这样就可以生成油色谱采集终端的所有静态属性，如表 1 所示。

表 1 油色谱系统采集终端静态属性
Table 1 Static properties of oil chromatogram system acquisition terminal

属性标识	属性名称	读写类型	数据类型
TerminalAddress	终端地址	rw	number
AssetNumber	资产编号	r	string
DeviceDescriptor	设备描述符	r	string
VersionInformation	版本信息	r	struct
ProductionDate	生产日期	r	date
SerialNumber	出厂编号	r	string
TerminalModel	终端型号	r	string
TerminalType	终端类型	r	string
ManufacturingUnit	制造单位	r	string

同样, 动态属性、服务域、消息域的构建过程也是如此, 可以参考《国家电网物联终端统一建模规范》和《国家电网有限公司典型物联终端信息模型规范》。

3 III型边缘物联代理

3.1 III型边缘物联代理的应用功能

在油色谱数据传输过程中 III 型边缘物联代理发挥着至关重要的作用, III 型边缘物联代理的功能就是把监测装置(气相色谱仪、氢气发生器、色谱工作站等)的数据推送到物管平台中去, 各个业务系统从物管平台中获取油色谱的实时在线数据, 从数据中台中获取油色谱的历史数据。III 型边缘物联代理功能架构图如图 5 所示。

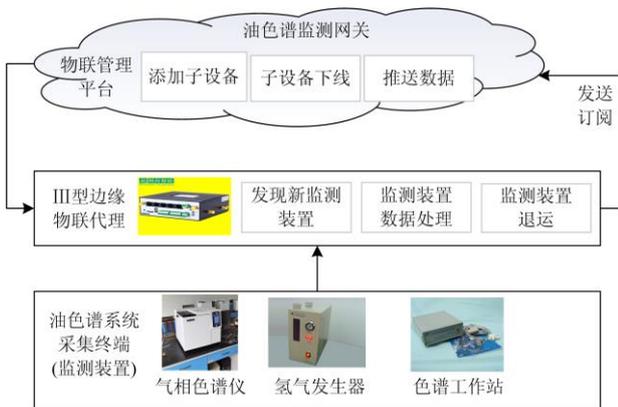


图 5 III 型边缘物联代理功能架构

Fig. 5 Type III edge material link agent functional architecture

如图 5 所示, III 型边缘物联代理首先登录网关设备, 上线所有已注册的设备(油色谱监测装置)。接着扫描油色谱监测装置, 发现是否有新设备或有设备退运, 如果有新设备接入, 物管平台会添加子设备, 本地缓存平台也会分配相应的 deviceid 给此设备, 如果有设备退运, 该子设备下线, 本地进行删除标记。最后发现监测装置新数据进行数据上报。

3.2 油色谱在线监测系统终端与 III 型边缘物联代理通信技术

油色谱在线监测系统终端通信网总体架构如图 6 所示, 其中本地通信网包括本地网接入单元和本地网汇聚单元。接入单元为部署在油色谱在线监测系统采集控制终端一侧, 实现终端接入的通信单元, 油色谱在线监测系统采集控制终端与本地网接入单元之间接口为 Ig 接口。汇聚单元(数据库)为部署在边缘物联代理一侧, 实现对本地接入单元数据进行集中信息上传和控制下发的通信单元, 本地网汇聚单元与边缘物联代理之间的接口为 Ic 接口。本地网

接入单元与本地网汇聚单元之间的接口为 Iu 接口。本地网接入单元之间的接口为 It 接口。

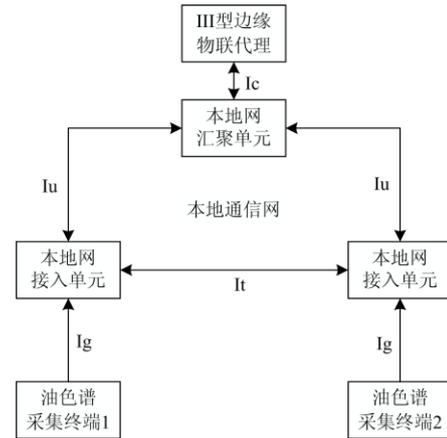


图 6 油色谱在线监测系统终端通信网总体架构

Fig. 6 Overall architecture of terminal communication network for oil chromatography on-line monitoring system

如图 6 所示, 本地网汇聚单元负责对本地网数据进行集中信息上传和控制下发, 包括独立装置和片上系统模块两种形态。当本地网汇聚单元采用独立装置形态时, 其与 III 型边缘物联代理之间通过 Ic 接口互操作, 其与采集控制终端之间通过 Ig 接口互操作; 当采用片上模块形态时, 不存在 Ic 和 Ig 接口。

本地网接入单元通过 Iu 接口与本地网汇聚单元互操作。当本地网采用网状拓扑组网时, 本地网接入单元通过 It 接口与本地网其他接入单元互操作。当本地网采用星型拓扑组网时, 不存在 It 接口。

油色谱系统终端本地通信可选用光纤以太网、双绞线以太网、串行总线、WLAN、LoRa、ZigBee、蓝牙等通信方式, 通信协议宜采用 DL/T860 协议。通信标准如表 2 所示。

表 2 本地通信标准

Table 2 Local communication standard		
通信方式	通信标准	通信协议
以太网	满足 IEEE802.3 10Base-FX 或 IEEE802.3u100Base-FX	
串行总线	RS-485 或 RS-232 标准	
WLAN	IEEE802.11 标准 宜采用频段	
本地通信	LoRa 433/470/780/868/915 MHz, 灵敏度不低于-148 dBm	DL/T860
	ZigBee IEEE802.15.4 标准	
	蓝牙 IEEE802.15.1 标准	
微功率无线	频段为 470~510 MHz、 发射功率≤50 MW	
CAN 总线	ISO 11898 标准	

3.3 III 型边缘物联代理与物联管理平台(油色谱监测网关)信息交互

3.3.1 通信架构

消息队列遥测传输协议(Message Queuing Telemetry Transport, MQTT)是一种基于发布/订阅(Publish/Subscribe)模式的通信协议^[18]。

在油色谱监测系统中, III 型边缘物联代理与物联管理平台的连接使用的是 MQTT 协议, 通信方式为远程通信(远程通信可采用以太网、无线专网、无线公网等通信方式)。MQTT 协议比传统的 104 规约更具优势, 它用最少的代码和极小的带宽为油色谱系统远程设备提供了实时可靠的消息传输服务。其采用发布/订阅的消息模式, 也为 III 型边缘物联代理和物联管理平台间的信息交互提供了一对多的消息输出和应用之间的解耦功能, 并且最大程度地减少了网络流量。当连接异常发生时, 能及时通知到相关各方, 并且其与统一的油色谱物联模型结合, 实现了油色谱终端设备快速即插即用。以某一油色谱系统数据点配置为例, 在传统油色谱系统中(图 1), 其人工配置 4 000 数据点需要 48 h, 而在接入物管平台的油色谱系统中(图 2)其配置 4 000 数据点, 不需要人工, 其实现自动配置且只需要 2 h。

3.3.2 协议映射

油色谱系统采集终端与 III 型边缘物联代理之间的通信协议为 DL/T860, 而 III 型边缘物联代理与物联管理平台之间需要 MQTT 协议(如图 2), 两者协议存在差异, 因此需要协议映射, DL/T860 到 MQTT 协议映射有直接映射法和 MMS-MQTT 间接映射法两种方法, 直接映射法相比于间接映射法过程简单、通信要求低、传输流量小, 更适用于物联网应用环境。因此本文采用的是直接映射法, 即将 DL/T860 描述的数据对象采用 JSON 编码定义, 数据对象和 ACSI 服务使用 MQTT 协议传输和实现^[19]。如图 7 所示为 DL/T860 协议到 MQTT 协议映射图。

由图 7 可得: 在应用层将 DL/T860 协议定义的逻辑设备模型和抽象通信服务通过特殊通信服务映射为 MQTT 协议的数据对象和服务; 在表示层使用 JSON 数据格式编码; 在会话层管理通信实体, 建立关联 ID 并利用 SSL 进行通信加密; 在传输层, MQTT 协议根据服务类型的不同将消息封装到对应的 Topic(主题)进行传输, 并在应用层对通信对象进行身份验证^[20]。各层之间密切配合共同完成协议的映射。

MMS-MQTT 的间接映射法即将 DL/T860 映射到 MMS, 再使用 JSON 对 MMS 信息对象进行描述, 最后采用 MQTT 传输 JSON 编码信息。相比于直接



图 7 DL/T860 协议到 MQTT 协议映射模型

Fig. 7 DL/T860 protocol to MQTT protocol mapping model

映射法过程中多了一步到 MMS 的映射, 因此映射成本也有所提高^[21]。

3.3.3 交互机制

油色谱在线监测系统的 III 型物联代理采用的是基于 eclipse paho 实现的 MQTT 客户端与物联管理平台进行通信, 从而实现物联管理平台的消息订阅和发送。III 型边缘物联代理与物联管理平台交互机制如图 8 所示, III 型边缘物联代理与物联管理平台交互采用发布订阅模式进行通信, 订阅与发布基于主题如表 3 所示。

如图 8, MQTT 协议中有三个标识: Publish(发布)、Broker(服务器)、Subscribe(订阅)^[22]。III 型边缘物联代理是发布者, 其功能是将消息及时发布到物联管理平台, 物联管理平台是服务器, 所以它既是消息的订阅者也是消息的发布者, 它可以订阅 III 型边缘物联代理的消息, 也可以向其发布消息。

表 3 为 III 型边缘物联代理与物联管理平台油色谱监测设备管理的主题交互汇总表, 该表主要介绍了交互主题的内容和用途。主题格式为: /主题版本/油色谱系统终端设备 ID/消息执行类别/消息动作, /{v1}/{edgeId}/{Topic Type}/{Topic Command}。



图 8 III 型边缘物联代理与物联管理平台交互机制

Fig. 8 Interaction mechanism of type III edge material link agent and material link management platform

表3 油色谱监测系统主题汇总表

Table 3 Subject summary table for oil chromatography monitoring system

用途	主题内容
油色谱监测设备接入请求	Topic: /v1/\${edgeId}/device/request
油色谱监测设备接入应答	Topic: /v1/\${edgeId}/device/response
添加油色谱监测设备请求	Topic: /v1/\${edgeId}/topo/request
添加油色谱监测设备应答	Topic: /v1/\${edgeId}/topo/response
删除油色谱监测设备请求	Topic: /v1/\${edgeId}/topo/request
删除油色谱监测设备应答	Topic: /v1/\${edgeId}/topo/response
更新油色谱监测设备状态请求	Topic: /v1/\${edgeId}/topo/request
更新油色谱监测设备状态响应	Topic: /v1/\${edgeId}/topo/response

MQTT 协议提供三种消息发布服务质量, 以满足对不同类型消息的可靠高效传输。当传输短间隔的状态数据时, 设置 QoS = 0, 最多一次; 当传输消息要求发送速度快、消息的可靠性高、并能适用于较多应用场景时, 则设置 QoS = 1, 至少一次; 当传输消息要求可靠性高, 但对实时性和通信速率没有过高要求时, 设置 QoS = 2, 有且仅有一次, 适用于重要数据的可靠传输^[23]。

油色谱系统业务交互功能包含模型下发、各类信息数据上报等, 报文涉及数据量大, 使用频率较高, 因此这类数据的偶尔丢包是允许的, 为了保证高频率的信息传输, 一般消息发布使用 QoS=0。

油色谱监测设备管理功能包括油色谱监测设备接入、油色谱监测设备升级、油色谱监测设备监视等, 这类报文内容少、使用频率低, 但对安全性和可靠性有一定要求。可使用 SSL 加密来保证安全性, 为保证消息的可靠性, 消息的发布应使用 QoS = 1 或 QoS = 2 来完成。以设备接入功能为例, 其请求格式如表 4 所示。

表4 油色谱监测设备接入的请求格式

Table 4 Request format for access of oil chromatography monitoring equipment

Topic	/v1/\${edgeId}/device/request
发布方	III型边缘物联代理
订阅方	物联管理平台
Qos	消息质量, 建议取值: 1。
Payload 示例	<pre>{ "mid": "112", "deviceId": "100001", "timestamp": "2021-03-01T09:30:09.230+0800", "type": "EVENT_LINKUP", "param": { "dev": "value1", "cpu": "value2" } }</pre>

设备接入请求报文的各字段含义如表 5 所示。

表5 设备接入请求报文字段说明

Table 5 Description of the text of the request for access to equipment

名称	类型	是否必选	描述
mid	number	是	在请求报文中该值为请求 ID
deviceId	string	否	设备唯一标识
timestamp	long	是	消息发送的时间戳, CST 时间, 精度到毫秒
type	string	是	消息类型, 全大写, 单词中间用 "_" 隔开
param	object	否	报文内容, 详见各报文定义

综合考虑云边交互的业务功能、通信方式以及油色谱终端设备的数量, 结合不同带宽预测方法, 最后通过油色谱系统的云边通信测试发现, 当通信带宽为 2 Mbps 时即可满足油色谱系统各项业务功能的 QoS(丢包率、延迟率)要求。一般传输延迟会随消息质量等级的提高而变大, 主要包括确认信息的传输延迟和服务器的处理延迟。有加密时传输延迟明显大于无加密时的延迟, 主要是服务器的加解密延迟。

4 应用实例

4.1 评估指标

为了验证数据的完整性、准确性以及数据上传的及时性, 本节引入以下指标进行数据计算。

数据准确率公式为

$$A = \frac{\sum_{i=1}^7 n_i}{N} \times 100\% \quad (1)$$

式中: n_i 表示第 i 种气体上传至物管平台准确的数据量; N 表示所有监测气体上传至物管平台的数据总量; A 表示某一设备的数据准确率。

数据完整率公式为

$$C = \frac{\sum_{i=1}^{100} x_i}{\sum_{i=1}^{100} r_i} \times 100\% \quad (2)$$

式中: x_i 表示第 i 台设备产生的数据中能够上传到物管平台的数据量; r_i 表示第 i 台设备本地产生的原始数据总量; C 表示系统上传数据的完整率。

数据平均准确率公式为

$$B = \frac{\sum_{i=1}^{100} A_i}{\sum_{i=1}^{100} n_{\text{总}}} \times 100\% \quad (3)$$

式中: A_i 表示第 i 台设备的数据准确率(见式(1)); $n_{\text{总}}$ 表示设备的总数量; B 表示系统整体的数据平均准确率。

平均上传时间公式为

$$t_a = \frac{\sum_{i=1}^{100} t_i}{n_{总}} \times 100\% \quad (4)$$

式中： t_i 表示第 i 台设备的数据上传时间； $n_{总}$ 表示设备总数量； t_a 表示平均上传时间。

时间标准差公式为

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_{总}} (t_i - t_a)^2}{n_{总}}} \quad (5)$$

式中： t_i 表示第 i 台设备数据上传时间； t_a 表示所有设备平均上传时间。

4.2 算例分析

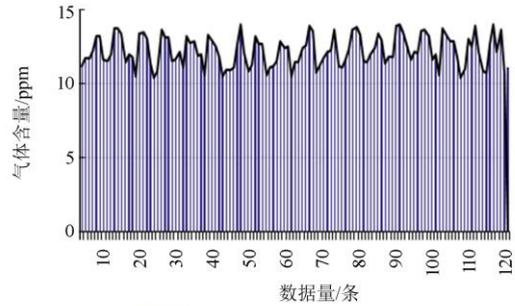
本节以某省 A 地区的油色谱在线监测系统为例，对整个系统运作时产生的数据进行分析。首先对监测设备 1 所监测的 840 条油色谱原始数据与上传至物管平台的数据进行比对，包括 H_2 、 CH_4 、 C_2H_6 、 C_2H_4 、 CO 和 CO_2 气体含量等数据，如图 9 所示。

通过 840 条 7 种气体含量数据的比对发现，设备 1 在监测上传 H_2 第 120 条数据时出现了偏差，油色谱原始数据氢气含量为 11.076 ppm，而传至物管平台时的氢气含量变为 0 ppm，这是由于部分监测点网络的稳定性欠佳，运维管理系统未录入数据，从而导致数据上传时出现数据缺失的现象。除了氢气外的其他 6 种气体的数据吻合率达到了百分之百（其他气体含量对比图见附录）。

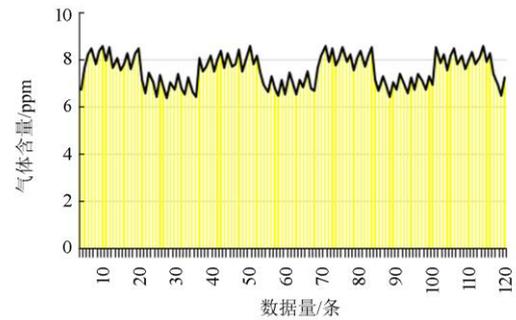
随机抽查 100 台监测设备的数据，并将每台设备监测的原始数据量与传至物联管理平台的数据量进行比对，结果如图 10 所示。

在对 100 台监测设备产生的 6 003 条数据进行分析比对时发现，设备 1、79、82 和设备 86 产生的数据前后出现了偏差。经调查可知，设备 1 和设备 86 是由于部分监测点网络欠佳，出现了数据缺失的问题，而设备 79 和设备 82 是由于系统与人工重复采集出现了数据重复的问题。当系统数据出现如上所述的异常值、缺失值、重复值等错误时，系统中的边缘服务器会自动对异常数据进行数据清洗和修正，即对数据进行重新核查和检验，进行重复数据删除、错误信息校正，并提供一致性数据。当边缘服务器因为故障或信号干扰等因素无法对错误数据进行清洗时，则需要人工介入，现场人员首先根据经验找出数据错误原因，并进行归类，紧接着将异常数据进行数据清洗和修正，因为这些气体数据上报涉及数据量大，使用频率较高，QoS 设置为 0，所以这类数据偶尔出现异常是被允许的，及时发现

并校正对系统监测无影响。



(a) 氢气含量的对比图



(b) 甲烷含量的对比图

图 9 油色谱原始各气体含量数据与上传至物管平台的数据对比图

Fig. 9 Comparison of original gas content data in oil chromatography with data uploaded to the IoT management platform

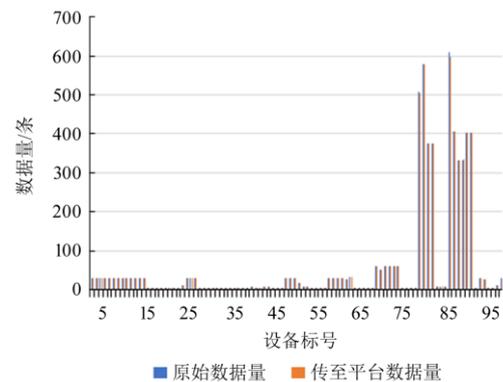


图 10 监测设备数据量比对

Fig. 10 Monitoring equipment data volume comparison

首先利用式(2)分析计算出整个系统的数据完整率；接着再将 100 台监测设备的各个气体含量进行比对，利用式(1)分别计算得到 100 台不同设备的数据准确率，如图 11 所示。

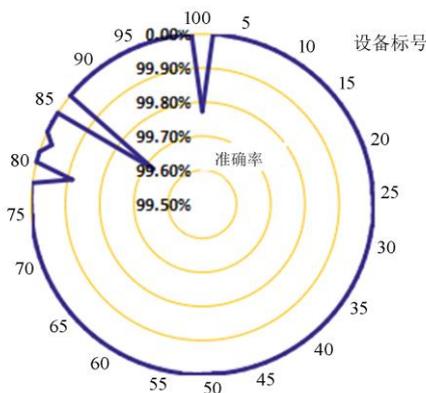


图 11 监测设备数据准确率

Fig. 11 Monitoring equipment data accuracy rate

由图 11 可知, 只有设备 1、79、82 和 86 的数据准确率分别为 99.773%、99.887%、99.973% 和 99.677%, 其他设备准确率都达到了 100%, 由式(2)和式(3)计算得到油色谱系统数据上传的平均准确率为 99.9931%, 数据的完整率为 99.973%, 均已达到标准要求并高于传统油色谱监测系统的准确率。

除了上传数据的完整性和精准性外, 引入边缘计算后油色谱系统的优势更多地体现在数据上传的及时性上, 对这 100 台监测设备数据上传时间进行记录, 并与传统油色谱系统对比, 如图 12 所示。

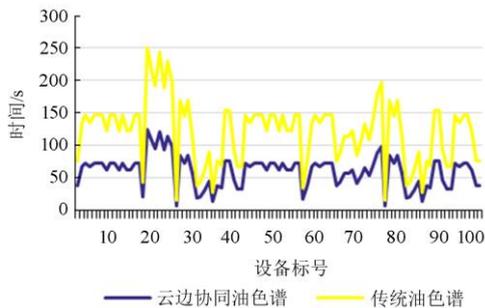


图 12 数据上传时间对比图

Fig. 12 Comparison chart of data upload time

数据上传时间是指监测设备监测到本地数据到数据上传到物管平台所用的总时间。由图 12 可知, 在传统油色谱系统中数据上传时间主要在 100~250 s, 而在云边协同油色谱系统中数据上传时间主要在 50~125 s。综合测试数据计算结果如表 6 所示。

表 6 综合测试数据表

Table 6 Comprehensive test data table

	平均时间/s	时间众数	时间标准差	最大值	最小值
传统油色谱	120.8	148	48.847	250	39
云边协同油色谱	60.8	74	24.682	122	18

由数据上传时间的平均数、众数、最大值和最小值四个方面对比可知, 云边协同系统的时间更少, 响应更快。再从标准差来看, 云边协同系统的标准差更小, 说明整体系统的数据上传稳定性比传统系统也更好。

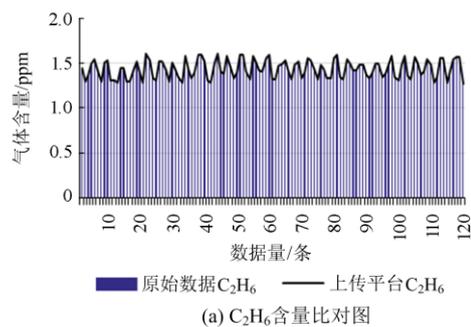
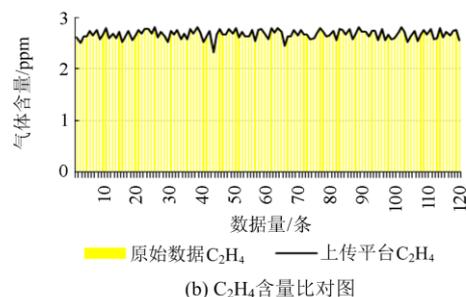
5 结论

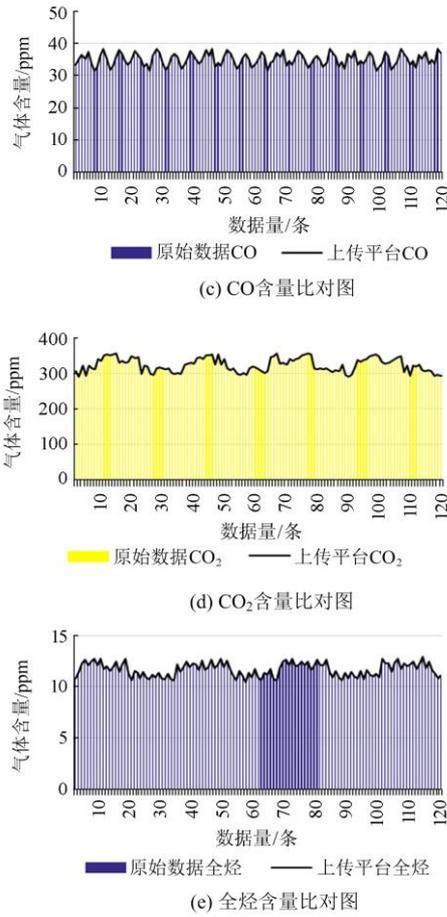
本文主要针对目前油色谱系统独立运行, 无法与输变电侧其他子系统之间实现数据共享的问题, 提出了一种基于智慧物联下的油色谱数据接入方法。

1) 提出了油色谱系统数据接入的整体技术架构, 针对架构中油色谱在线监测系统感知层协议和物联模型尚未统一使得数据交互困难的问题, 构建了基于 SG-CIM 统一规范的物联模型, 并且也提出了基于本地通信的油色谱系统采集终端与 III 型边缘物联代理的通信方式和基于 MQTT 协议下的 III 型边缘物联代理和物管平台的交互方式。

2) 通过将油色谱系统原始数据与物联管理平台接入数据进行对比, 结果显示, 油色谱系统的数据上传的平均准确率为 99.9931%, 数据的完整率为 99.973%, 均已达到标准要求并高于传统油色谱监测系统的精准率。数据上传时间无论是从平均数、众数和标准差还是最大值和最小值, 都表明云边协同系统的时间更少、响应更快、系统的稳定性更好。最终验证了数据接入的及时性和完整性, 从而完成了对此接入方法的验证。

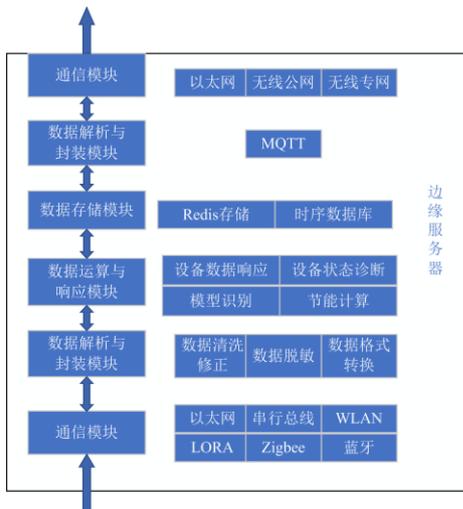
附录

(a) C₂H₆ 含量对比图(b) C₂H₄ 含量对比图



附图 1 油色谱原始各气体含量数据与上传至物管平台的数据对比图

Attached Fig. 1 Comparison of original gas content data in oil chromatography with data uploaded to the IoT management platform



附图 2 边缘服务器架构图

Attached Fig. 2 Architecture diagram of edge server

参考文献

[1] 陈蕾, 咸日常, 郑春旭, 等. 系统单相接地故障下接地变压器的运行特性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(12): 56-64.
CHEN Lei, XIAN Richang, ZHENG Chunxu, et al. Analysis of operation characteristics of grounding transformer under single-phase grounding fault[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(12): 56-64.

[2] 许坤, 周建华, 茹秋实, 等. 变压器油中溶解气体在线监测技术发展及展望[J]. 高电压技术, 2005, 31(8): 30-32, 35.
XU Kun, ZHOU Jianhua, RU Qiushi, et al. Development and prospect of transformer oil dissolved gas on-line monitoring technology[J]. High Voltage Engineering, 2005, 31(8): 30-32, 35.

[3] 徐康健, 汪卫国. GB/T7252—2001《变压器油中溶解气体分析和判断导则》中一问题的探讨[J]. 电力技术, 2009(2): 62-63.
XU Kangjian, WANG Weiguo. Discussion on a problem in GB/T7252 — 2001 guidelines for analysis and judgment of dissolved gases in transformer oil[J]. Power Technology, 2009(2): 62-63.

[4] SENTHIL K, BWANDAKASSY E B. IEC61850 standard-based harmonic blocking scheme for power transformers[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2019, 4(2): 121-135.

[5] 杨建华, 侯宏, 王磊, 等. 基于集成气体传感器阵列的电子鼻系统[J]. 传感器技术, 2003, 22(8): 21-23, 26.
YANG Jianhua, HOU Hong, WANG Lei, et al. Electronic nose system based on integrated gas sensors array[J]. Journal of Transducer Technology, 2003, 22(8): 21-23, 26.

[6] 王教青, 戴栋, 郝艳捧, 等. 基于在线监测系统的输电线路覆冰数据统计与分析[J]. 高电压技术, 2012, 38(11): 3000-3007.
WANG Xiaoqing, DAI Dong, HAO Yanpeng, et al. Statistics and analysis of transmission lines icing data based on online monitoring system[J]. High Voltage Engineering, 2012, 38(11): 3000-3007.

[7] 张川, 王辅. 光声光谱技术在变压器油气分析中的应用[J]. 高电压技术, 2005, 31(2): 84-86.
ZHANG Chuan, WANG Fu. Application of photo-acoustic spectroscopy technology to dissolved gas analysis in oil of oil-immersed power transformer[J]. High Voltage Engineering, 2005, 31(2): 84-86.

[8] 黄云程, 高阿娜, 王翌, 等. 变压器油色谱在线监测数据甄别与清洗技术[J]. 电力科学与工程, 2019, 35(6): 37-43.
HUANG Yuncheng, GAO Ana, WANG Yi, et al. Transformers oil chromatography online monitoring data

- screening and cleaning technology[J]. *Electric Power Science and Engineering*, 2019, 35(6): 37-43.
- [9] 孔垂跃, 陈羽, 赵乾名. 基于 MQTT 协议的配电物联网云边通信映射研究[J]. *电力系统保护与控制*, 2021, 49(8): 168-176.
- KONG Chuiyue, CHEN Yu, ZHAO Qianming. Study on the internet of things based on MQTT protocol[J]. *Power System Protection and Control*, 2021, 49(8): 168-176.
- [10] 刘鸿宁, 孔晓昀, 黄文思, 等. 基于 SG-CIM 的企业数据库模型设计与应用[J]. *信息技术*, 2018, 42(4): 141-145, 150.
- LIU Hongning, KONG Xiaoyun, HUANG Wensi, et al. The design and application of the enterprise database model based on SG-CIM[J]. *Information Technology*, 2018, 42(4): 141-145, 150.
- [11] 顾建炜, 李佳, 李子旭, 等. 基于国际标准的配电成套开关监测建模[J]. *电力科学与工程*, 2016, 32(5): 36-42.
- GU Jianwei, LI Jia, LI Zixu, et al. Monitoring and modeling of complete power distribution switches based on international standards[J]. *Electric Power Science and Engineering*, 2016, 32(5): 36-42.
- [12] 辛耀中, 米为民, 蒋国栋, 等. 基于 CIM/E 的电网调度中心应用模型信息共享方案[J]. *电力系统自动化*, 2013, 37(8): 1-5.
- XIN Yaozhong, MI Weimin, JIANG Guodong, et al. CIM/E application model information sharing system[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2013, 37(8): 1-5.
- [13] 戴观权, 蔡泽祥, 蔡煜, 等. 基于 IEC61850 的配电网网络化保护通信建模与实时性可靠性分析[J]. *电力系统保护与控制*, 2019, 47(20): 97-103.
- DAI Guangquan, CAI Zexiang, CAI Yu, et al. Communication modeling and real-time reliability analysis based on IEC61850[J]. *Power System Protection and Control*, 2019, 47(20): 97-103.
- [14] 韩国政, 徐丙垠, 索南加乐, 等. 基于 IEC61850 的配电网自动化通信技术研究[J]. *电力系统保护与控制*, 2013, 41(2): 62-66.
- HAN Guozheng, XU Bingyin, SUONAN Jiale, et al. Research on automatic communication based on IEC61850[J]. *Power System Protection and Control*, 2013, 41(2): 62-66.
- [15] 方静, 彭小圣, 刘泰蔚, 等. 电力设备状态监测大数据发展综述[J]. *电力系统保护与控制*, 2020, 48(23): 176-186.
- FANG Jing, PENG Xiaosheng, LIU Taiwei, et al. Overview of big data development of power equipment condition monitoring[J]. *Power System Protection and Control*, 2020, 48(23): 176-186.
- [16] 陈磊, 何慧雯, 王磊, 等. 基于限流器与断路器协调的混合直流输电系统故障隔离方法[J]. *电力系统保护与控制*, 2020, 48(19): 119-127.
- CHEN Lei, HE Huiwen, WANG Lei, et al. Fault isolation method of Hybrid DC transmission system based on coordination of current limiter and circuit breaker[J]. *Power System Protection and Control*, 2020, 48(19): 119-127.
- [17] 梁寿愚, 方文崇, 唐羿轩, 等. 基于 CIM 模型的电力系统全景视图生成研究[J]. *南方电网技术*, 2016, 10(6): 20-26.
- LIANG Shouyu, FANG Wenchong, TANG Yixuan, et al. Study on panoramic view generation of electric power system based on CIM model[J]. *China Southern Power Grid Technology*, 2016, 10(6): 20-26.
- [18] 吴迎新. 基于 MQTT 的电力数据监控系统的技术研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2021.
- WU Yingxin. Technical research on the electric power data monitoring system based on MQTT[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2021.
- [19] VISHAL K, GAYATRI S, CHANDRA S. WSN and IoT based smart city model using the MQTT protocol[J]. *Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography*, 2019, 22(8): 1423-1434.
- [20] ÇORAK B H, OKAY F Y, GÜZEL M, et al. Comparative analysis of IoT communication protocols[C] // 2018 International Symposium on Networks, Computers and Communications(ISNCC), November 12-14, Rome, Italy: 1-6.
- [21] SHAHDAD S Y, KHAN M, SULTANA H, et al. Routing protocols for constraint devices internet of things network[C] // International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), April 4-6, 2019, Chennai, India: 114-117.
- [22] KUNTSCHKE R, WINTER M, GLOMB C, et al. Message-oriented machine-to-machine communication in smart grids[J]. *Computer Science-Research and Development*, 2017, 32(1-2): 131-145.
- [23] CHEN Haoyong, WANG Xiaojuan, LI Zhihao, et al. Distributed sensing and cooperative estimation/detection of ubiquitous power internet of things[J]. *Protection and Control of Modern Power Systems*, 2019, 4(2): 151-158.

收稿日期: 2021-09-17; 修回日期: 2022-02-07

作者简介:

刘昊(1979—), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向为配电物联网、分布式电源、电力信息化; E-mail: liuhaoepri@139.com

金阳(1989—), 男, 通信作者, 教授, 研究方向为电力信息化与储能技术。E-mail: yangjin@zzu.edu.cn

(编辑 葛艳娜)