

## 基于云计算的智能变电站光纤二次回路标识方法

曹海欧 葛亚明

(国网江苏省电力有限公司, 江苏 南京 210000)

**摘要** 光纤网络较为复杂,存在二次回路标识耗时较长、CUP 占用率较高的问题,本文提出基于云计算的智能变电站光纤二次回路标识方法。设定拓扑结构生成规则连通性约束函数,构建变电站光纤拓扑结构。根据拓扑结构,绘制变电站光纤有向图,应用云计算技术,进行光纤拓扑分布式划分。根据分布存储理念,获取各区域二次回路相应信息,生成智能变电站中光纤的标签。应用大规模图深化优先遍历算法优化标识方法中的遍历环节,完成光纤二次回路的标识过程。构建实验环节,实验结果表明:此方法的标识准确率较高,且可进一步降低二次回路标识耗时与 CUP 占用率。为智能变电站光纤网络管理提供了新的发展方向。

**关键词** 云计算;分布式存储;二次回路;智能变电站;标识;拓扑结构

## A METHOD FOR IDENTIFYING OPTICAL FIBER SECONDARY CIRCUITS IN INTELLIGENT SUBSTATION BASED ON CLOUD COMPUTING

CAO Haiou GE Yaming

(State Grid Jiangsu Electric Power Company, LTD. Nanjing, Jiangsu 210000)

**Abstract** Optical fiber networks are relatively complex, with issues such as time-consuming secondary loop identification and high CPU usage rates. A cloud computing based intelligent substation optical fiber secondary circuit identification method is proposed. A connectivity constraint function for generating topological structure rules is established to construct the substation optical fiber topology. Based on the topology structure, a directed graph of the substation optical fiber is drawn, and cloud computing technology is applied to perform distributed partitioning of the optical fiber topology. Following the concept of distributed storage, corresponding information for secondary loops in each area is obtained to generate labels for optical fibers in intelligent substations. A large-scale graph depth-first traversal algorithm is used to optimize the traversal process in the identification method, completing the identification process of the optical fiber secondary loops. An experimental phase is constructed, and the results show that this method has a high identification accuracy and can further reduce the time and CPU usage for secondary loop identification. It provides a new direction for the management of optical fiber networks in intelligent substations.

**Key words** cloud computing; distributed storage; secondary circuit; intelligent substation; identification; topological structure

收稿日期: 2024-05-22

通信作者: 曹海欧, CaoggC79@163.com。

引文格式: 曹海欧, 葛亚明. 基于云计算的智能变电站光纤二次回路标识方法[J]. 物理与工程, 2025, 35(6): 270-276.

**Cite this article:** CAO H O, GE Y M. A method for identifying optical fiber secondary circuits in intelligent substation based on cloud computing[J]. Physics and Engineering, 2025, 35(6): 270-276. (in Chinese)

智能变电站采用智能集成设备,以整体化、信息数字化以及通信平台网络化作为其运行的基本要求。并通过以上设定实现变电站网络运行过程的智能化设计<sup>[1-2]</sup>。与以往变电站相比,智能变电站应用了大量的光纤代替电缆,这一变化在提升智能变电站运行稳定性的同时,也造成了诸多的性能问题,大量的光纤回路无标识,以至无法确定光纤链路的物理途径。部分光纤因回路标识不规范,导致变电站网络管理运营异常<sup>[3-4]</sup>。因此,智能变电站的光纤二次回路标识成为变电站管理工作中亟须解决的问题。目前,国内外的智能变电站光纤二次回路标识方法的设计集中在虚回路模型文件与数据信息流向方面的研究,没有研究出明确的智能变电站光纤二次回路标识方法。

将现有技术与方法应用到智能变电站光纤二次回路标识过程中,均存在相应的性能问题,在日常应用过程中存在一定的欠缺,为此在本次研究中将提出一种基于云计算的智能变电站光纤二次回路标识方法。希望通过云计算技术,实现变电站中光纤的集成式标识,进一步提升标识结果的完整性与耗时,从而实现变电站光纤的智能管理。在变电站中,由于光纤网络的复杂性,传统的标识方法往往耗时较长且占用大量计算资源,影响了变电站的运行效率和维护成本。通过设定拓扑结构生成规则和连通性约束函数,构建变电站光纤的拓扑结构模型。利用云计算技术对光纤拓扑进行分布式划分,并根据分布存储理念获取各区域二次回路的相应信息,生成光纤标签。应用大规模图深化优先遍历算法优化标识方法中的遍历环节,以提高标识效率。最后通过构建实验环节验证方法的有效性,实验结果显示该方法能够显著提高标识准确率,并有效降低标识耗时和 CUP 占用率。

## 1 构建变电站光纤拓扑结构

对大量的文献进行分析后可以发现,智能变电站的二次系统具有信息共享标准化、保护二次回路网络化以及分析决策在线化三大特点。为了更好地完成二次回路标识,本研究根据信息共享化,选择云计算技术对变电站二次系统中的光纤

数据进行整理<sup>[5]</sup>。

假设在云计算过程中,变电站光纤网络路由模型可有四元组  $A$  表示,  $A = (A, B, C, D)$ , 使用  $D(q_i, q_j)$  表示已知二次回路光纤的剩余能量与光纤网络边界的结合节点。 $EST_2(q_i, l_i)$  为光纤节点  $n_i$  的候选父节点  $u$  在执行光纤通信数据传输任务  $EST_2$  与  $EST_1$  所用时间,具体计算过程设定如下<sup>[6]</sup>

$$EST_1(q_i, l_i) = \max\{p_{available}(e), EFT(q_j, l_j) + k * S(q_i, l_i)\} \quad (1)$$

$$EST_2(q_i, l_i) = child(q_i) \max\{EFT(q_j, l_j), \max\{EFT(q_j, l_j) + k * S(q_i, l_i)\}\} \quad (2)$$

其中,  $child(q_i)$  为云计算过程中产生的网络能量消耗。为保证构建的光纤拓扑结构能量均衡,此目标函数可表示为

$$M_{N * (n+m+1)} = \begin{bmatrix} S_{1,1} & \cdots & S_{1,n} & S_{1,n+1} & \cdots & S_{1,n+m} & \tau_{w_1} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{n,1} & \cdots & S_{n,n} & S_{n,n+1} & \cdots & S_{n,n+m} & \tau_{w_N} \end{bmatrix} \quad (3)$$

根据此公式,对光纤网络拓扑结构中的特征数据集进行整理,并进一步生成光纤二次回路拓扑网络。为保证此结构的稳定性,对拓扑结构的生成规则设定如下:

(1) 通过光纤通信频率确定节点之间的关联性,并获取此部分节点信息。建构链路连接,结合物理网络结构,设定光纤拓扑结构<sup>[7]</sup>。

(2) 完成光纤节点初始化,并删除性能较差的节点,选择最佳链路。

(3) 初始化完成后,在通信过程中计算每个节点的通信次数,以此控制网络拓扑结果的承载力。

根据以上设定完成拓扑构建后,对基础结构的连通性加以分析,并设定相应的连通性约束函数

$$R(Q(x), Q(y)) = \delta * G_1(x, y) + \alpha * G_2(x, y) + \gamma * G_3(x, y) \quad (4)$$

其中,  $\delta + \alpha + \gamma = 1$  为权重调整系数,对拓扑结构中的节点以及边框的数据进行分析,满足网络连

通性,得到能耗平衡的目标,并将其作为后续计算的基础。

## 2 变电站光纤有向图

在光纤拓扑结构的基础上,使用云计算技术对光纤中的分布式信息进行处理<sup>[8-9]</sup>。通常二次回路需要传送的信号较为复杂,为更好地完成二次回路光纤标识工作,需设定调制信号对原始信号进行分析,设定调制信号为

$$E_{\Omega} = U_{\Omega m} \cos \Omega t \quad (5)$$

根据此信号推导得到载波信号

$$E_x(t) = U_{x_m} \cos \Omega t \quad (6)$$

其中, $\Omega$ 表示信号量; $U$ 表示信号发射频率; $U_{x_m}$ 表示载波信号发射频率。使用上述公式,对信号信息进行初次拆分,得到不同区域的光纤信号特征,并将其转化为分布式信息存储格式<sup>[10-12]</sup>。根据拓扑结构,设定变电站光纤有向图  $T=(Z,L)$ ,且存在

$$\begin{cases} |Z| = n \\ |L| = m \end{cases} \quad (7)$$

其中, $Z$ 表示拓扑结构中的节点,存在  $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ ;  $L$ 表示拓扑结构中边的集合,存在  $L = \{l_1, l_2, \dots, l_m\}$ 。根据此有向图,其分布式存储过程可表示为  $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ 。根据云计算过程中的分布式里面,应用  $S^*$ -Graph,对光纤中的二次回路进行基础划分。考虑到划分结果的可保持性问题,给定二次回路频率信号特征的划分结果,将原始有向图划分为  $T_1, T_2, \dots, T_n$ ,并设定  $\epsilon_i$  为对应有向图划分结果的原始节点的,将其记做  $\sum \epsilon_i$ ,表示每个光纤二次回路模块的收缩图,且存在

$$Z(\sum \epsilon_i) = Z(T_0) \quad (8)$$

应用上述公式,对变电站光纤拓扑进行合理划分,使用深化优先算法完成二次回路的识别与标识工作。由于智能变电站光纤网络规模相对较大,在后续的计算过程中还需对当前的深化优先算法进行针对性优化,以保证二次回路标识结果的可靠性<sup>[13]</sup>。

## 3 构建变电站光纤标签

当前对变电站光纤二次回路进行标识时,多

使用标签概括其信息,但大部分标签仅能对二次回路的作用展开描述,无法展示二次回路信号的去向,对于光纤网络而言,不具备连通性。为此,本研究对光纤标签的显示内容进行了更新<sup>[14]</sup>。根据云计算处理结果,通过分布存储的形式,获取各区域二次回路相应信息,生成智能变电站中光纤的标签,具体内容如图1所示。

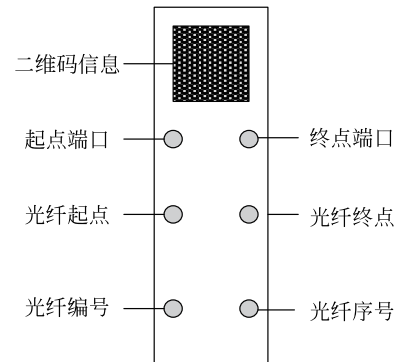


图1 光纤标签样式设定结果

光纤拓扑结构构建完成后,根据变电站网络特征与光纤二次回路特征,设定光纤变迁,统一光纤格式并与二次回路有效融合,以便于后期可完成快速表示。如图1所示,本研究将光纤标签设定为6个部分:

- (1) 光纤编号采用变电站设计图纸中的光纤去向编号;
- (2) 光缆信息需展示光缆芯数;
- (3) 将光纤回路标号设定为字符形式;
- (4) 根据设备序号设定光纤的起点与终点;
- (5) 由交换机确定起点与终点端口信息;
- (6) 全部信息需包含图1所示内容<sup>[15]</sup>。

将上述设定内容按照图1的形式生成标签,并应用网络技术形成二维码,集中展示二次回路信息,为二次回路的遍历标识提供便利。

## 4 智能变电站光纤二次回路标识

基于上述设定内容,本研究将应用大规模图深化优先遍历算法对标识方法中的遍历环节进行优化,并将光纤二次回路的标识流程(图2)设定如下。

研究前,对于智能变电站光纤二次回路如何进行深入优先遍历进行了较为深入的分析。对比多种方法后,根据云计算结果,选择 DFS-tree 算法,构建深度有限搜索树,通过此搜索树完成优先

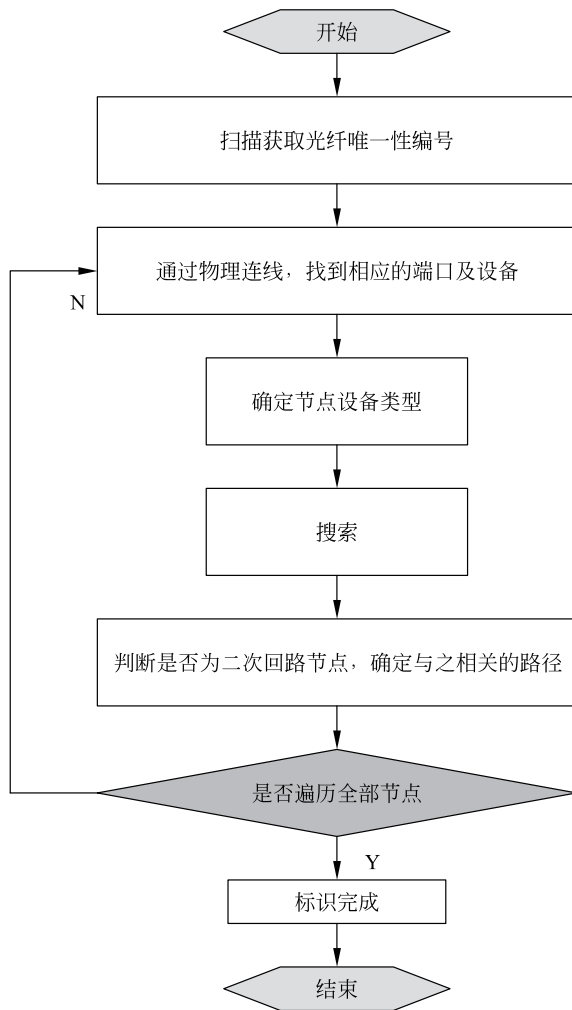


图2 智能变电站光纤二次回路标识流程

遍历,确定二次回路中的逻辑路径与物理路径,并对其进行标识。

设定以获取到的光纤信息分布式存储站点为  $F=(F_1, F_2, \dots, F_n)$ , 变电站光纤网络的一个划分为  $V=(V_1, V_2, \dots, V_n)$ ,  $O_i$  表示遍历过程的起点。在  $F$  中构建根部节点为  $O_i$  的全局光纤二次回路关系图, 并设定相应的叶子节点  $O_1, O_2, \dots, O_n$ , 并在  $F=(F_1, F_2, \dots, F_n)$  寻获其位置。与此同时, 在  $F=(F_1, F_2, \dots, F_n)$  中, 分别使用已经获取到的根节点, 构建局部光纤关系图, 其可表示为

$$\sum * (H_K) (1 \leq K \leq P) \quad (9)$$

应用此公式, 得到不同支路的光纤叶片节点。重复此计算环节, 直至得到下述结果

$$F_r (1 \leq K \leq P) \quad (10)$$

其中,  $P$  表示获取到的光纤节点个数。使用 pushup 操作将各交叉边对应的信息返回给  $\sum * (H_K)$  以

及  $F_r$  并消除前向交叉边。上述内容完成后, 使用 Merge 算法对全部的搜索树进行合并处理, 得到最终的深度优先搜索树, 具体计算过程

$$O \leftarrow \text{Mereg}(O_1, O_2, \dots, O_n; \sum 0) \quad (11)$$

应用此公式, 完成遍历过程, 将整理设备端口信息, 整合检索结果, 并对其进行标识, 标识结果应用上文中预设的变电站光纤标签表示。整理上述内容, 将其与当前技术环节有序连接, 完成文中提出方法的整体性设计。

## 5 实验论证分析

本次研究中提出了一种基于云计算的智能变电站光纤二次回路标识方法, 选取合适的实验环境对此方法的应用情况进行分析。

### 5.1 实验准备

本次实验选取城市中某新建智能变电站作为研究对象, 此变电站中还有一定数量的变压器。变电站中的智能终端、合并单元以及交换机和各类电力保护设备均采用光纤进行连接, 4 台主变压器的光纤连接节点攻击 188 个。变电站参数设定为恒定值, 具体设定内容如下:

智能终端: 1 台

合并单元: 6 个

交换机: 3 台

电力保护设备: 10 台

整理上述内容, 应用此部分信息构建智能变电站模型, 并根据真实数据增设二次回路模型, 以此降低实验对真实变电站运行的影响。实验环境配置设定如表 1 所示。

表 1 实验环境配置

序号	名称	规格
1	硬盘	1TB, 7200 转
2	内存	16G
3	CPU	CORE I5 3.2G 6M 缓存
4	操作系统	Windows 10 Ultimate(64 位)
5	编程平台	Java
6	编程语言	Java

应用此设定满足智能变电站数据处理要求, 采用多线程模拟智能变电站的分布式网络。除上述设定内容外, 将光纤数量设定为 500 条, 且每

100 条进行一次标识实验,获取标识实验结果。与此同时,选取基础方法与基于智能信息处理的回路标识方法对文中方法进行对比实验,根据实验结果确定文中方法的应用效果,评估其是否能够得到预设目标。

### 5.2 二次回路光纤标识准确率

本研究将二次回路光纤标识准确率作为评价文中方法是否有效的重要指标。此指标计算公式设定为

$$P = \frac{J}{J_{\text{all}}} \times 100\% \quad (12)$$

其中, $J_{\text{all}}$ 表示变电站中的二次回路光纤总数; $J$ 表示变电站中完成的二次回路光纤数量。根据此公式,得到最终实验结果,具体实验结果如图 3 所示。

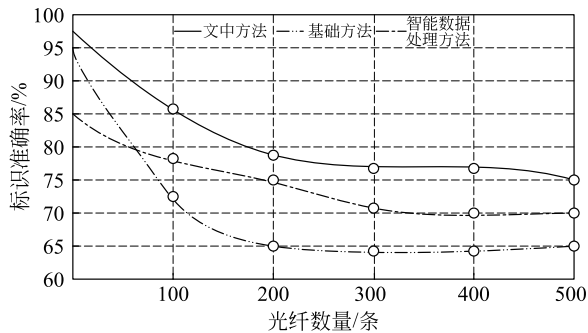


图 3 二次回路光纤标识准确率结果

对图 3 进行分析可以看出,当实验环境与二次回路光纤数量一致时,文中方法与其他两种方法的标识准确率存在较为明显的差异。在实验数据不断变化的过程中,三种方法的标识可靠性均发生了一定的变化,但整体呈现出下降的趋势,且文中方法下降幅度最小,可见其标识结果的准确率与稳定程度为实验中三种方法的最优结果。与文中方法相比,基础方法的标识准确率随着光纤数量的增加不断下降且下降速度较快,稳定性不佳。基于智能信息处理的回路标识方法在一定程度上弥补了文中方法的不足,但其整体效果无法达到文中方法的应用效果。

### 5.3 二次回路光纤标识耗时

为了全面衡量文中方法与当前应用的标识方法性能差异,将二次回路光纤标识耗时作为此次实验中的性能指标之一。此指标计算公式设定如下

$$T = T_1 + T_2 \quad (13)$$

其中, $T_1$ 表示变电站光纤信息处理耗时; $T_2$ 表示二次回路光纤标识耗时。应用此公式,所得实验结果如图 4 所示。

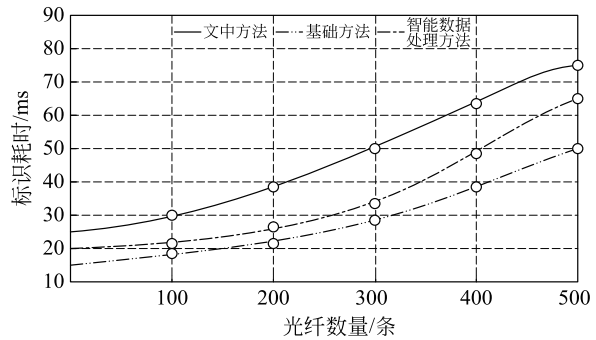


图 4 二次回路光纤标识耗时

对上述实验结果进行分析可以看出,三种方法在进行标识过程中所消耗的时间存在明显差异。由于三种方法选用的核心技术不同,在标识处理过程中的耗时也有所不同。文中方法选用了可进行分布式处理的云计算技术,这在一定程度上缩减了标识过程中的数据处理时间,进一步提升了数据处理效率,缩减了标识计算量。与文中方法相比,其他两种方法虽然对数据处理环节也展开了相应的设计与改进,但整体计算较慢,无法对大规模信号数据进行高速处理,导致整体计算效率较低,耗时较长。综合上述实验结果可以确定,文中方法的标识效率较高。

### 5.4 二次回路标识 CUP 占用率

为证实文中方法与传统方法相比,具有较高的信息处理能力,可缓解标识过程中计算量较大且较为拥挤的问题,选择二次回路标识 CUP 占用率对三种方法的计算环节进行分析,具体指标计算过程设定如下

$$\zeta = \frac{T'}{T'_i} \times 100\% \quad (14)$$

其中, $T'$ 表示标识过程的 CUP 耗时; $T'_i$ 表示 CUP 总耗时。应用此公式,得到下述实验结果。

对上述实验结果(图 5)进行分析可以看出,三种方法在二次回路标识 CUP 占用率存在明显差异。当光纤量与数据量相同时,文中方法的 CUP 占用率远低于其他两种方法。文中方法选用了可进行分布式处理的云计算技术,应用分布式特征,将大量的信号在分布式存储点进行计算,缩减计算终端的计算量,降低 CUP 占用率,实现表示过

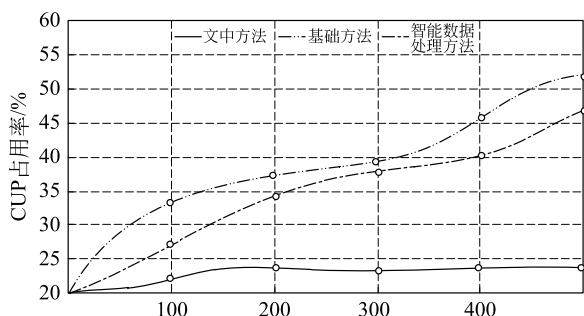


图5 二次回路标识 CUP 占用率

程的稳定运行。与文中方法相比,其他两种方法无法实现数据的分布式计算,对大规模信号数据进行处理时,只能在计算终端完成,整体计算效率较低,CUP 占用率较大。整理以上实验结果可以确定,文中方法的标识能力与应用效果均优于其他两种方法。

### 5.5 实际应用分析

为验证本文所提方法在实际应用中的有效性,设计智能变电站光纤网络故障快速定位的对比实验。在智能变电站中,光纤网络作为二次系统的重要组成部分,其复杂性和高依赖性使得故障定位为一项重要任务。传统故障定位方法往往耗时较长,且对系统正常运行造成较大影响。本实验旨在通过应用本文提出的基于云计算的智能变电站光纤二次回路标识方法,实现光纤网络故障的快速定位,提高变电站的运维效率。

构建一个包含多个模拟智能变电站的仿真平台,每个变电站配置有复杂的光纤网络,并预设一定数量的故障点。在光纤网络中随机设置若干故障点,模拟实际运行中可能出现的故障情况。利用本文方法构建变电站光纤拓扑结构,并绘制有向图。通过云计算平台进行光纤拓扑的分布式划分和深度优先遍历,生成光纤标签。在故障发生时,根据已生成的光纤标签和拓扑信息,快速定位故障点。具体对比方法如表 2 所示。

从表 2 可知,本文方法相较于基础方法和智能数据处理方法,展现出了显著的优越性和实际应用的有效性。本文方法在故障检测时间上仅为 3 分钟,实现了检测效率的显著提升。同时,故障定位准确率达到 96%,几乎达到了无遗漏的准确水平,远高于智能数据处理方法的 90%。在误报率和漏报率方面,本文方法也表现出色,误报率降至 2%,漏报率仅为 1%,远低于其他两种方法,有

表 2 智能变电站光纤网络故障定位结果

试验指标	基础方法	智能数据处理方法	本文方法
故障检测时间/min	10	7	3
故障定位准确率/%	70	90	96
误报率/%	10	5	2
漏报率/%	5	3	1
平均恢复时间/min	50	30	15
运维人员介入度	高,需全面排查与手动分析	中等,需调整机器学习模型参数	低,自动化处理,减少人工干预
实时性	差,需等待全面检查	良好,但受限单机处理能力	优秀,云计算支持实时处理
可扩展性	差,难以应对大规模网络	中等,需重新训练模型	高,云计算支持动态扩展

效降低了运维成本和潜在风险。对比之下本文方法平均恢复时间为 15 分钟,显著提高了系统的可靠性和稳定性。在运维人员介入度上,本文方法实现了高度的自动化处理,减少了人工干预,降低了运维人员的工作负担。此外,本文方法在实时性和可扩展性方面也表现优异,云计算的支持使得系统能够实时处理大规模网络中的故障,并具备动态扩展的能力,以应对未来网络规模的增长。

## 6 结语

本研究针对当前变电站光纤二次回路标识过程中出现的技术问题进行了合理化分析与针对性优化,并通过实验论证确定了优化结果的可靠性与科学性。由于技术限制,本研究中的实验环节采用虚拟实验的方式完成,具有一定的局限性,在今后的研究中,还需对实验部分进行改良,对此方法在真实环境中的应用效果进行分析,以此推动变电站光纤网络管理工作的发展。

### 参 考 文 献

- [1] 杜奇伟,张超,韩洪夫. 基于间隔分图智能变电站运维关键

- 技术研究[J]. 电网与清洁能源, 2023, 39(7): 67-72.
- DU Q W, ZHANG C, HAN H F. A Study on Key Technologies of Intelligent Substation Operation and Maintenance Based on Bay Detail Drawing[J]. Advances of Power System & Hydroelectric Engineering, 2023, 39(7): 67-72. (in Chinese)
- [2] 徐成司, 董树锋, 吴振杰, 等. 基于深度优先遍历的配电网可开放容量分析和业扩报装决策[J]. 电力建设, 2023, 44(5): 34-42.
- XU C S, DONG S F, WU Z J, et al. Available Capacity Analysis and Business Expansion Decision for Distribution Network Based on Depth-first Traversal[J]. Electric Power Construction, 2023, 44(5): 34-42. (in Chinese)
- [3] 周柯, 王晓明, 李肖博, 等. 基于 ARIMA-BP 组合模型的智能变电站遥测数据趋势性分析预警技术研究[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2023, 28(1): 97-104.
- ZHOU K, WANG X M, LI X B, et al. Research on Trend Analysis and Early Warning Technology of Smart Substation Telemetry Data Based on ARIMA-BP Combined Model [J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 2023, 28(1): 97-104. (in Chinese)
- [4] 马焜, 徐玲玉, 沈晓萍, 等. 云计算中基于 Shapley 值改进遗传算法的虚拟机调度模型[J]. 电信科学, 2022, 38(12): 1-10.
- MA K, XU L Y, SHEN X, et al. PVirtual machine scheduling model based on Shapley value modified genetic algorithm in cloud computing[J]. Telecommunications Science, 2022, 38(12): 1-10. (in Chinese)
- [5] 章剑光, 陈晓宇, 朱松涛, 等. 基于 GIM 模型的智能变电站二次回路三维可视化系统设计[J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50(19): 179-186.
- ZHANG J G, CHEN X Y, SONG S T, et al. Design of a three-dimensional visualization system for the secondary circuit of an intelligent substation based on a GIM model[J]. Power System Protection and Control, 2022, 50(19): 179-186. (in Chinese)
- [6] 徐岩, 单肆超. 基于 SCD 文件的智能变电站二次回路可视化[J]. 电力系统及其自动化学报, 2023, 35(3): 69-76.
- XU Y, SHAN S C. Visualization of Secondary Circuit of Smart Substation Based on SCD File[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2023, 35(3): 69-76. (in Chinese)
- [7] 张宸滔, 郑永康, 卢继平, 等. 基于图神经网络的智能变电站二次回路故障定位研究[J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50(11): 81-90.
- ZHANG C T, ZHENG Y K, LU J P, et al. Fault location of secondary circuits in a smart substation based on a graph neural network[J]. Power System Protection and Control, 2022, 50(11): 81-90. (in Chinese)
- [8] 于群, 沈志恒, 孙飞飞, 等. 面向云计算应用的用电负荷数据差分隐私保护方法[J]. 电力自动化设备, 2022, 42(7): 68-75.
- YU Q, SHEN Z H, SUN F F et al. Differential privacy protection method of electrical load data towards cloud computing applications[J]. Electric Power Automation Equipment, 2022, 42(7): 68-75. (in Chinese)
- [9] 王胜, 张颖, 唐超, 等. 基于 CML 的智能变电站设备节点网络连锁失效模型[J]. 重庆大学学报, 2022, 45(5): 33-42.
- WANG S, ZHANG J, TANG C, et al. An intelligent substation logic mode network failure chain model based on CML[J]. Journal of Chongqing University(Natural Science Edition), 2022, 45(5): 33-42. (in Chinese)
- [10] 顾永涛, 步凌飞, 王海文. 油田多通路集输管网基于图的遍历算法[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(7): 2676-2681.
- GU Y T, BU L F, WANG H W. Graph Based Traversal Algorithm of Multi-route Gathering and Transportation Pipeline in Oilfield[J]. Science Technology and Engineering, 2022, 22(7): 2676-2681. (in Chinese)
- [11] 梁文武, 朱维钧, 李辉, 等. 基于粗糙集的智能变电站保护设备仿生故障诊断方法[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(21): 132-140.
- LIANG W W, ZHU W J, LI H, et al. A rough set-based bio-inspired fault diagnosis method for smart substation protection equipment [J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(21): 132-140. (in Chinese)
- [12] 张嘉伟, 马建峰, 马卓, 等. 云计算中基于时间和隐私保护的撤销可追踪的数据共享方案[J]. 通信学报, 2021, 42(10): 81-94.
- ZHANG J J, MA J F, MA Z, et al. Time-based and privacy protection revocable and traceable data sharing scheme in cloud computing[J]. Journal on Communications, 2021, 42(10): 81-94. (in Chinese)
- [13] 张峰, 韩伟, 宋闯, 等. 智能变电站光纤链路在线监测与自动化测试系统设计[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2021, 44(8): 1038-1044.
- MA F, HAN W, SONG C, et al. Design of online monitoring and automatic test system for optical fiber link in smart substation[J]. Journal of Hefei University of Technology(Natural Science), 2021, 44(8): 1038-1044. (in Chinese)
- [14] 李衬衬, 孙锋, 孙猛, 等. 基于深度优先搜索算法的交通流向供需失衡路径辨识[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(14): 6026-6031.
- LI C C, SUN F, SUN M, et al. Analysis of Imbalance between Supply and Demand of Traffic Flow Based on DFS Algorithm and Route Identification[J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(14): 6026-6031. (in Chinese)
- [15] 王鸣誉, 李铁成, 任江波, 等. 利用 Apriori 算法实现变电站二次系统故障诊断[J]. 电力系统及其自动化学报, 2021, 33(11): 145-150.
- WANG M Y, LI T C, REN J B, et al. Realization of Fault Diagnosis of Substation Secondary System Using Apriori Algorithm [J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2021, 33(11): 145-150. (in Chinese)