光电技术及应用

DOI：10.16818/j.issn1001－5868.20250814003

基于规则推理与自然语言处理的停复电调控行为防误技术

傅　源[1*]，汪成军[2]，赵嘉伦[1]，阳　晟[1]，刘津铭[1]

（1. 广西电网有限责任公司电力调度控制中心，南宁 530000；2. 南京南瑞信息通信科技有限公司，南京 211100）

摘　要： 文章提出一种基于规则推理与自然语言处理的停复电调控行为防误技术。该方法首先利用iStar模型构建调控行为业务数据模型，在整合多源异构数据的基础上，通过精化关系、NeededBy关系、Qualification关系表征调控行为与停复电事件之间的关联。然后，对上述关系中的检修单自然语言信息进行词嵌入与语句向量化处理，并采用LCS算法提取同类样本的公共词语，形成停复电调控行为的防误规则。最后，在EBRB推理机制下对防误规则进行推理，获得规则的激活概率，从而实现防误功能。研究结果表明，在防误操作阶段，操作票执行合格率稳定在95％以上，工作票的正确执行次数显著优于对照组，所提方法能够有效提升停复电调控操作的安全性。

关键词： 规则推理；自然语言处理；防误技术；iStar模型；LCS算法；防误规则；EBRB推理机制

中图分类号： TM76；TP391　**文章编号：** 1001－5868(2026)03－0575－06

Error-Prevention Techniques for Power On/Off Regulation Behavior Based on Rule-Based Reasoning and Natural Language Processing

FU Yuan[1], WANG Chengjun[2], ZHAO Jialun[1], YANG Sheng[1], LIU Jinming[1]

(1. Guangxi Master Electric Power Dispatching and Control Center Guangxi Power Co., Ltd., Nanning 530000, CHN; 2. Nanjing NARI Information and Communication Technology Co., Ltd., Nanjing 211100, CHN)

Abstract: This paper proposes an error-prevention technique for power on/off regulation behavior based on rule-based reasoning and natural language processing. First, the iStar model is employed to construct a business data model for regulation behavior. After integrating multisource heterogeneous data, the relationships between regulation behavior and power on/off events are characterized through refinement, NeededBy, and Qualification relationships. Second, word embedding and sentence vectorization are applied to the natural language information of maintenance tickets within these relationships, and the LCS algorithm is used to extract common phrases from similar samples to form error-prevention rules for power on/off regulation behavior. Finally, the EBRB inference mechanism reasons over these error-prevention rules to obtain the activation probability of each rule, thereby achieving error prevention. The results show that during the error-prevention phase, the qualified rate of operation-ticket execution remains above 95％, and the number of correctly executed work orders is significantly higher than that of the control group. The proposed method effectively enhances the safety of power on/off regulation operations.

收稿日期：2025－08－14.

基金项目：调控行为辅助防误及评价关键技术研究（046000KK52222030）.

*通信作者：傅　源

Key words: rule-based reasoning; natural language processing; error-prevention technology; iStar model; LCS algorithm; error-prevention rules; EBRB inference mechanism

0 引言

在针对停复电进行调控的过程中,误动往往伴随着设备的损坏和停电事故的发生,这不仅会给用户带来不便,还会造成巨大的经济损失[1]。尤其在对电力调度和停复电操作的复杂性和高风险性要求较高的安全标准下,任何误操作都可能会导致设备损坏、停电事故,以及影响到能源供应。而有效的防误技术可显著降低误动的发生率,确保电网的安全稳定运行,这对于保障电力供应的可靠性和稳定性具有重要意义[2]。

在相关研究中,张羽睿等针对异常扰动情况下电气量特殊暂态特征引发的误动作,以典型过负荷和励磁涌流工况下交流滤波器电阻支路电流波形的特点为基础,结合斯皮尔曼等级相关系数,构建交流滤波器过负荷保护辅助判据[3]。仿真测试结果表明,该判据在识别励磁涌流工况扰动方面表现出极高的有效性,在防止保护误动发生方面具有可靠性能。但是在多源数据构成场景下,防误操作阶段安全性有待提升。李端姣等在阻尼特性分析的基础上,对跳闸回路抗一点接地误动开展了防护研究[4]。该研究结合跳闸回路的组成与一点接地风险的诱因,明确了在常规取值范围内,电流受跳闸回路电阻、电容、电感三个关键参数的影响程度;并结合粒子群算法与多维度变量分析算法,最终输出一点接地不误动情况下跳闸回路的电阻、电容和电感取值范围。然而,防误操作阶段的安全性受多维度变量分析结果的影响较大。王建锋等以远距离无线电通信技术和超宽带-载波相位差分定位技术为基础,设计了一种在线防误系统[5]。该定位系统将相关位置信息共享至防误主机,经匹配操作权限后,利用LoRa通信链路在倒闸操作前实时请求防误主机校验逻辑规则,并在倒闸操作后向防误主机回传操作票,以验证执行结果。但需指出的是,校验逻辑规则的生成结果可能会影响防误操作阶段的安全性。彭业等针对配网线路零序过流保护误动问题,开展了基于5G的应对策略研究[6]。该研究结合零序涌流的半解析表达式量化分析了零序涌流幅值特征,在PSCAD/EMTDC平台验证模型的有效性和保护误动的可能性后,根据误动风险评估结果,输出空载合闸工况下相邻配网线路零序过流保护的误动概率,并利用5G通信技术闭锁零序过流保护涌流。但是现有研究未针对停复电进行操作安全性的调控。

停复电调控行为作为电力系统运行管理中的重要环节,其业务数据的复杂性和多源性特征日益显著。这些数据来源于不同系统、设备以及操作记录,涵盖了丰富的信息维度,为电力系统的自动化管理和智能化决策提供了宝贵资源。然而,这种数据的多源性也带来了新的挑战,特别是在防误操作技术的应用上。传统的单一自然语言处理方法,在面对这些复杂多变的业务数据时,往往难以深入挖掘防误规则的深层激活概率,即在特定情境下误操作风险的实际触发条件。这导致在防误操作阶段,系统的安全性无法得到保障,增加了电网运行的不确定性和潜在风险。

因此,本文对基于规则推理与自然语言处理的停复电调控行为防误技术进行研究,并开展测试以分析其应用性能。首先,利用iStar模型对多源异构调控行为业务数据进行建模,通过精化、NeededBy和Qualification关系抽取调控行为与停复电事件间的关联;然后结合自然语言处理技术,对检修单信息进行词嵌入与向量化处理,并采用LCS算法提取公共词语作为防误规则;最后基于EBRB推理机制计算规则激活概率,实现停复电调控行为的防误判断。实验结果表明,所提方法能够有效提升停复电调控操作的安全性,操作票执行合格率稳定保持在95%以上,具有良好的工程应用价值。

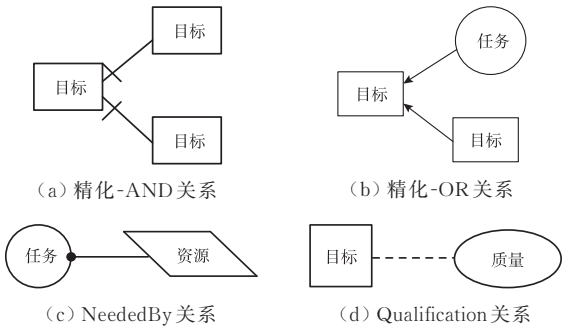
1 停复电调控行为防误技术设计法

1.1 调控行为业务数据模型关系抽取

由于原始的停复电调控行为业务数据本身具有多源属性,其在对调控行为与停复电事件之间的关系进行抽取时,存在不唯一的问题,进而影响后续停复电调控行为防误操作的执行[7]。针对此,本文利用iStar 2.0模型构建调控行为业务数据模型,并在该模型的基础上抽取调控行为与停复电事件间的关联关系[8]。该模型主要包括角色、目标、任务、资源和质量五部分:角色为调控行为指令的发布端[9];目标为提高供电可靠性,即停复电事件响

应；任务为以提高供电可靠性为导向的停复电状态调控操作；资源为停复电状态调控操作执行的信息实体；质量为停复电状态调控操作响应对象的检修单信息。

通过为各个部分之间建立精化关系、NeededBy关系、Qualification关系，使其共同表征调控行为业务。具体关系如图1所示。



（a）精化-AND关系　（b）精化-OR关系　（c）NeededBy关系　（d）Qualification关系

图1　调控行为业务数据模型实体关系

结合图1所示的调控行为业务数据模型实体关系，对于调控行为与停复电事件之间关系的抽取结果可以表示为表1中的四种类型。

表1　调控行为与停复电事件关系

关系	调控行为与停复电事件关联
精化-AND关系	所有子停复电事件响应/调控操作都必须实现以达到父停复电事件响应/调控操作
精化-OR关系	只需实现其中一个子停复电事件响应/调控操作即可达到父停复电事件响应/调控操作
NeededBy关系	表示停复电状态调控操作需要实体完成
Qualification关系	在实现停复电事件响应时所要满足的停复电状态调控操作相应对象的检修单信息标准

按照上述方式，利用iStar模型抽取调控行为业务，可有效明确多源异构调控行为与停复电事件间的关联关系，为后续的停复电调控行为防误技术执行效果提供保障。

1.2　自然语言处理算法的防误规则生成

调控行为业务数据涉及多种场景，如不同的设备状态、操作环境等。关系抽取模型往往需要在这些场景下都能表现出良好的性能，但现有的模型可能难以全面覆盖所有场景，导致在某些特定场景下关系抽取的准确性下降。因此，结合1.1节中对于多源异构调控行为与停复电事件间的关联关系的抽取结果，针对检修单中信息属性的多源化构成特性，引入自然语言处理算法对其进行处理，明确Qualification关系中停复电状态调控操作响应对象对应检修单信息，生成防误标准规则。

首先，对检修单中自然语言信息进行词嵌入和语句向量化处理。其中，具体的嵌入方式如图2所示。按照图2所示的方式，对于以字为单位的检修单文本序列信息，经过字嵌入层处理后输出对应的字向量序列[10-11]。具体的处理方式可以表示为：

$$\boldsymbol{x}_w = p_w\left[\ln\left(\frac{p_w}{\prod_{i\in w}p_i}\right)-1\right] \tag{1}$$

式中，$\boldsymbol{x}_w$表示检修单文本序列信息的字向量，p_w和p_i分别表示检修单文本序列信息中$\boldsymbol{x}_w$和整体字信息出现的概率。

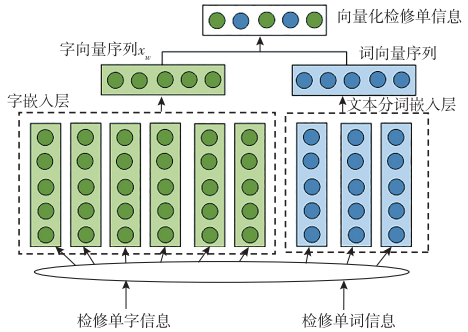


图2　检修单自然语言词嵌入模型

对于检修单中的文本分词信息，嵌入层针对其生成的词向量可以表示为：

$$\boldsymbol{x}_{afc} = \sum_{i=k+1}^{n}\left(\frac{x_i-\bar{x}}{\sum_{i=k}^{n}(x_i-\bar{x})^2}\right)\times\left(\frac{x_{i-k}-\bar{x}}{\sum_{i=k}^{n}(x_i-\bar{x})^2}\right) \tag{2}$$

式中，$\boldsymbol{x}_{afc}$表示检修单文本序列信息的词向量，$\bar{x}$表示具有自相关关系的检修单文本分词。

对于具有对齐关系的词向量和字向量序列，将两者相加，并利用LCS算法提取同类样本的公共部分词语构成该类别的句式规则作为停复电调控行为的防误规则[12]，具体可以表示为：

$$C[\boldsymbol{x}_w,\boldsymbol{x}_{afc}]=\begin{cases}0,\boldsymbol{x}_w=0\ or\ \boldsymbol{x}_{afc}=0\\ C[\boldsymbol{x}_w,\boldsymbol{x}_{afc}]+1,\boldsymbol{x}_w=\boldsymbol{x}_{afc}\ \text{and}\ \boldsymbol{x}_w\neq 0\\ \max C[\boldsymbol{x}_w,\boldsymbol{x}_{afc}]\ \boldsymbol{x}_w\neq\boldsymbol{x}_{afc}\ \text{and}\ \boldsymbol{x}_w\neq 0,\boldsymbol{x}_{afc}\neq 0\end{cases} \tag{3}$$

式中，$C[\boldsymbol{x}_w,\boldsymbol{x}_{afc}]$表示停复电调控行为的防误规则。

通过上述方式，结合多源异构调控行为与停复电事件的关联关系，生成检修单信息防误规则。

1.3　防误规则推理

尽管自然语言处理算法能从大量数据中学习

并提取规则，但由于数据本身稀疏性、标注错误等局限，所生成的防误规则可能并不完整，从而留下安全隐患。因此，利用生成的防误规则，本文在执行具体的停复电调控行为防误管控操作时，主要通过对调控行为业务数据模型中的质量信息（检修单信息）进行防误规则推理实现。

设置检修单信息为$X=\{x_1,x_2,\cdots,x_n\}$，实体关系分布为$E(x_i)=\{(A^{s(i)}{}_{i,j},\alpha^{s(i)}{}_{i,j})\}$。其中，$s(i)$表示精化关系，$A^{s(i)}{}_{i,j}$表示NeededBy关系，$\alpha^{s(i)}{}_{i,j}$表示Qualification关系。基于证据推理的规则激活机制（EBRB），$C[\boldsymbol{x}_w,\boldsymbol{x}_{afc}]$与$X=\{x_1,x_2,\cdots,x_n\}$的个体匹配度可以表示为：

$$S^k(x_i,C[\boldsymbol{x}_w,\boldsymbol{x}_{afc}])=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\alpha_{i,j}^{s(i)}-\alpha_{i,j}^{s(i,k)})^2}{2}} \tag{4}$$

式中，$S^k(x_i,C[\boldsymbol{x}_w,\boldsymbol{x}_{afc}])$表示$C[\boldsymbol{x}_w,\boldsymbol{x}_{afc}]$与$x_i$个体的匹配度，并存在$S^k(x_i,C[\boldsymbol{x}_w,\boldsymbol{x}_{afc}])\in[0,1]$。

结合检修单文本信息中x_i个体匹配度参数，$C[\boldsymbol{x}_w,\boldsymbol{x}_{afc}]$的激活概率可以表示为：

$$\omega_k=\frac{a\prod_{i=1}^{k}S^k(x_i,C[\boldsymbol{x}_w,\boldsymbol{x}_{afc}])}{\sum_{i=1}^{k}[a\prod_{i=1}^{k}S^k(x_i,C[\boldsymbol{x}_w,\boldsymbol{x}_{afc}])]} \tag{5}$$

式中，ω_k表示对于检修单文本信息中x_i个体而言，防误规则$C[\boldsymbol{x}_w,\boldsymbol{x}_{afc}]$的激活概率；$a$表示$x_i$个体在NeededBy关系中的权重。

利用证据理论组合$X=\{x_1,x_2,\cdots,x_n\}$中所有个体的$C[\boldsymbol{x}_w,\boldsymbol{x}_{afc}]$激活概率，对应的输出结果为：

$$W_n=\frac{\prod_{i=1}^{k}(\omega_k+1)-\prod_{i=1}^{k}(1-\omega_k)}{\sum_{i=1}^{k}\prod_{i=1}^{k}(\omega_k+1)-k\prod_{i=1}^{k}(1-\omega_k)} \tag{6}$$

式中，W_n表示检修单文本信息$X=\{x_1,x_2,\cdots,x_n\}$激活防误规则$C[\boldsymbol{x}_w,\boldsymbol{x}_{afc}]$的概率。

按上述方式，在停复电防误规则中推理检修单文本，确保防误操作有效。

2 仿真测试

2.1 实验数据集

在测试阶段，以某市级电力监管中心的停复电调控行为业务数据集作为测试数据，如图3所示。在具体的构成方面，监管机构为电力管理中心，停复电调控实体为用电用户，停复电事件来自电力管理中心的信息表。其中，电力管理中心信息表，电力用户信息表以及停复电事件信息表的具体数据如表2～4所示。

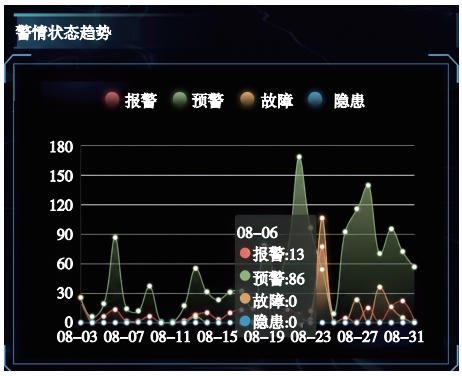


图3 电力监管中心停复电调控行为业务数据界面

表2 电力管理中心信息表构成

字段名称	字段描述	数据类型
监管机构ID	唯一标识监管机构的编号	字符串
机构名称	监管机构的正式名称	字符串
联系电话	监管机构的联系电话	字符串
地址	监管机构的办公地址	字符串

表3 电力用户信息表

字段名称	字段描述	数据类型
用户ID	唯一标识电力用户的编号	字符串
用户名称	电力用户的正式名称或姓名	字符串
用户类型	居民用户、商业用户、工业用户等	字符串
用电地址	电力用户的用电地点	字符串
联系电话	电力用户的联系电话	字符串

表4 停复电事件信息表

字段名称	字段描述	数据类型
事件ID	唯一标识停复电事件的编号	字符串
监管机构ID	引用监管机构信息表中的ID，表示执行停复电行为的机构	字符串
用户ID	引用电力用户信息表中的ID，表示接受停复电行为的用户	字符串
停复电类型	停电或复电	字符串
停复电时间	停复电行为发生的时间	日期时间
停复电原因	导致停复电的具体原因，如欠费、设备故障、计划检修等	字符串
处理状态	停复电事件的处理结果，如已处理、处理中、待处理等	字符串

2.2 停复电调控行为防误规则生成

在实验过程中，使用300维的词向量表示检修单中的自然语言信息，采用TF-IDF结合余弦相似度进行语句向量化处理。设置最小公共子序列长度阈值为5，即只有当两个样本的公共部分词语数量达到或超过5个时，才将其判定为同类样本。结合2.1节的实验数据集，设置停复电调控行为业务

模型中各实体的具体关系如图 4 所示。

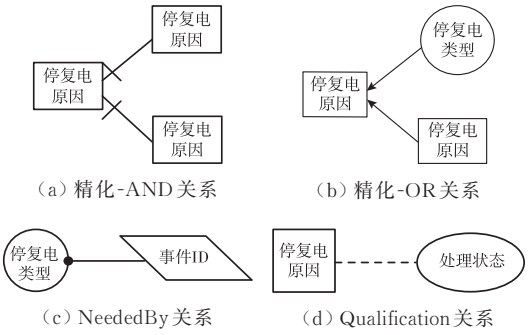


图 4　实验数据集调控行为业务数据模型实体关系

结合图 4，利用 LCS 算法提取同类样本的公共部分词语，输出的停复电调控行为防误规则如图 5。分析图 4 和图 5 可知，所提方法通过构建基于 iStar 模型的调控行为业务数据模型，有效整合了多源异构数据。基于此，利用精化关系、NeededBy 关系、Qualification 关系等表征调控行为与停复电事件之间的复杂联系，增强了数据之间的关联性和理解深度。特别是对于检修单中的自然语言信息，该方法采用词嵌入和语句向量化处理技术，结合 LCS 算法提取同类样本的公共部分词语，精准生成停复电调控行为的防误规则。在 EBRB 推理机制下分析防误规则，得出激活概率。所提方法可提升防误操作安全性，为停复电调控提供更可靠的技术保障。

x_{afc}

x_w											
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	6	5	2	1	1	1	1	1	1	0
	0	0	6	5	4	3	2	2	2	1	0
	0	0	0	6	5	3	3	3	2	1	0
	0	0	0	6	6	5	4	3	2	1	0
	0	1	1	4	4	6	4	3	3	3	1	0
	0	1		3	4	6	6	6	4	4	1	0
	0	1	1	2	4	4	4	6	5	2	1	0
	0	1	1	2	4	3	3	5	6	3	1	0
	0	1	1	2	3	3	2	3	6	6	5	0
	0	0	0	0	0	1	1	1	3	4	6	0
	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	6	5

图 5　停复电调控行为防误规则

2.3　停复电调控操作响应分析

在分析停复电调控操作响应效果的过程中，分别设置了换流站交流滤波器过负荷保护误动作机理及防误动策略，以及融合定位系统的变电站在线防误系统作为测试的对照组。

分析在不同技术和方法下，停复电调控操作票执行合格率，对应测试结果如图 6 所示。可以看出，在所设计防误技术下，操作票执行合格率始终在 95.0% 以上，可以保障停复电调控操作的安全性。这是因为在 iStar 模型下，通过精化关系、NeededBy 关系、Qualification 关系精准表征了原始多源停复电调控行为业务数据间的复杂关系，使得防误操作票的执行能够精准匹配具体的对象，进而提高操作票执行合格率，为停复电调控操作安全性提供保障。

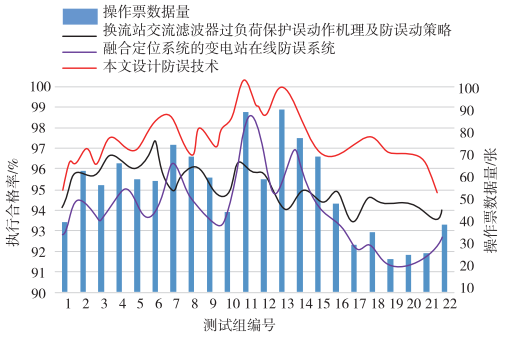


图 6　操作票执行合格率

分析在不同技术和方法下，停复电调控工作票使用的正确情况，具体的测试结果如图 7 所示。可以看出，在不同操作票数量的调控行为场景下，本文设计防误技术对应工作票的正确使用次数明显高于对照组，能够更加有效地执行防误操作，从而提高停复电调控的安全性。这是因为所提方法在全面表征调控行为与停复电事件间关系的基础上，结合自然语言信息生成了适应处理状态的防误规则，通过规则推理能够确定工作票对应防误规则的具体激活概率，进而使工作票执行的正确次数达到更高水平，最终确保停复电调控操作安全性。

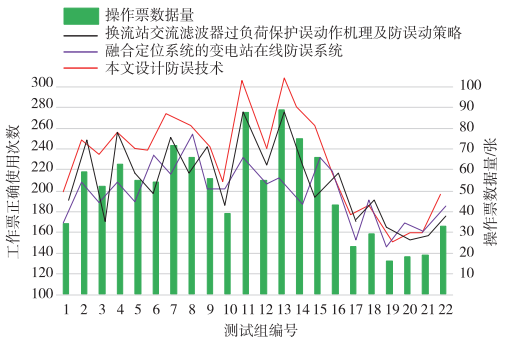


图 7　工作票正确使用效果对比图

3　结束语

针对停复电调控行为业务数据的多源性，以及调控行为与停复电事件间关系的多样性，本文开展基于规则推理与自然语言处理的防误技术方法研究。利用 iStar 模型建立了调控行为业务数据模型，整合了原始调控行为业务中的多源异构数据，并从

精化关系、NeededBy关系、Qualification关系三个维度表征调控行为与停复电事件间关系，保障了防误技术执行的逻辑正确性；针对关系中检修单的自然语言信息生成了停复电调控行为的防误规则，为防误操作的执行提供了可靠的基准；利用EBRB推理机制确定规则的激活概率，确保了停复电调控行为防误操作的正确执行。特别是在高风险环境下，该方法能够有效降低操作失误，确保停复电操作的安全性与准确性。测试结果表明，所设计技术在防误操作阶段的操作票执行合格率和工作票的执行正确次数均明显优于对照组，验证了其对于停复电调控操作安全性的提升效能。

参考文献：

[1] 陈兴望，张 勇，范展滔，等. 基于网络交互与智能规则的调度操作指挥模块[J]. 兵工自动化，2024，43(11)：26-31，35.
Chen Xingwang，Zhang Yong，Fan Zhantao，et al. Dispatching operation command module based on network interaction and intelligent rule [J]. Ordnance Industry Automation，2024，43(11)：26-31，35.

[2] 崔超奕，任 伟，王博欣，等. 基于分类决策树——关联规则的远程停复电故障溯源[J]. 电网与清洁能源，2024，40(5)：19-25.
Cui Chaoyi，Ren Wei，Wang Boxin，et al. Remote power outage and restoration fault tracing based on classification decision tree-association rules [J]. Power System and Clean Energy，2024，40(5)：19-25.

[3] 张羽睿，樊 荣，翁汉琍，等. 换流站交流滤波器过负荷保护误动作机理及防误动策略[J]. 电气工程学报，2024，19(2)：239-248.
Zhang Yurui，Fan Rong，Weng Hanli，et al. Mal-operation mechanism and anti-mal-operation strategy of AC filter overload protection in converter station [J]. Journal of Electrical Engineering，2024，19(2)：239-248.

[4] 李端姣，颜大涵，刘建明. 基于阻尼特性分析的跳闸回路抗一点接地误动防护[J]. 南方电网技术，2024，18(8)：99-105.
Li Duanjiao，Yan Dahan，Liu Jianming. Protection against one-point grounding misoperation in tripping circuit based on damping characteristics analysis [J]. Southern Power System Technology，2024，18(8)：99-105.

[5] 王建锋，滕井玉，王肖立，等. 融合定位系统的变电站在线防误系统[J]. 电力系统保护与控制，2023，51(8)：179-187.
Wang Jianfeng，Teng Jingyu，Wang Xiaoli，et al. A substation online anti-maloperation system integrated with a positioning system [J]. Power System Protection and Control，2023，51(8)：179-187.

[6] 彭 业，金 震，陈宏山，等. 配电线路零序过流保护涌流误动风险评估及借助5G的应对策略研究[J]. 电力科学与技术学报，2022，37(5)：100-108，132.
Peng Ye，Jin Zhen，Chen Hongshan，et al. Assessment of distribution line zero-sequence overcurrent protection inrush maloperation risk and corresponding countermeasure with 5 G [J]. Journal of Electric Power Science and Technology，2022，37(5)：100-108，132.

[7] 李振兴，胡 聪，朱 益，等. 基于采样序列整形的配电网线路保护防励磁涌流误动策略[J]. 电力系统保护与控制，2023，51(21)：136-145.
Li Zhenxing，Hu Cong，Zhu Yi，et al. An anti-excitation inrush current maloperation strategy of line protection for a distribution network based on sampling sequence shaping [J]. Power System Protection and Control，2023，51(21)：136-145.

[8] 杨 超，伏晓燕. 智能变电站继电保护设备全防误状态监测技术研究[J]. 电网与清洁能源，2023，39(7)：73-79.
Yang Chao，Fu Xiaoyan. Research on the full error prevention state monitoring technology of relay protection equipment in intelligent substations [J]. Power System and Clean Energy，2023，39(7)：73-79.

[9] 何佳熹，陈 浩，褚国伟，等. 智慧变电站防误闭锁装置远程控制方法研究[J]. 电网与清洁能源，2022，38(8)：75-81.
He Jiaxi，Chen Hao，Chu Guowei，et al. Research on the remote control method of anti error locking device in smart substations [J]. Advances of Power System & Hydroelectric Engineering，2022，38(8)：75-81.

[10] 彭鸿博，马鹏宇，史 磊，等. 基于BP神经网络的发动机VBV调节规律研究[J]. 计算机仿真，2023，40(8)：66-71.
Peng Hongbo，Ma Pengyu，Shi Lei，et al. Research on regulation law of VBV of civil aviation engine based on BP neural network [J]. Computer Simulation，2023，40(8)：66-71.

[11] 王英英，王玉龙，吕东晓，等. 同塔双回线接地故障断路器误动的改进策略[J]. 高压电器，2022，58(5)：172-179.
Wang Yingying，Wang Yulong，Lyu Dongxiao，et al. Improving strategy of ground fault mal-operation of circuit breaker with double-circuit transmission line in the same tower [J]. High Voltage Apparatus，2022，58(5)：172-179.

[12] 林国松，张 硕，权 伟，等. 自耦变压器投入导致距离保护误动分析及改进[J]. 电力系统及其自动化学报，2022，34(9)：146-152.
Lin Guosong，Zhang Shuo，Quan Wei，et al. Analysis and improvement of distance protection maloperation caused by autotransformer input [J]. Proceedings of the CSU-EPSA，2022，34(9)：146-152.

作者简介：

傅 源(1994—)，男，广西壮族自治区北海市人，工程师，主要研究方向为电网调度运行技术等。