

# 基于图像识别的安全措施在线校核系统研究及应用

吕 帅<sup>1</sup>, 杨 鹏<sup>1</sup>, 周 坤<sup>2</sup>, 韩民畴<sup>2</sup>

(1. 内蒙古电力(集团)有限责任公司鄂尔多斯供电分公司, 内蒙古 鄂尔多斯 017010;

2. 武汉凯默电气有限公司, 湖北 武汉 430223)

**摘要:** 针对智能变电站安全措施执行过程存在信息误看或漏看的风险, 以及在线监测装置监测信息不全, 且不能近距离实时通知安全措施校核状态等问题, 设计基于图像识别并结合实时采集数据的在线安全措施校核系统, 同时介绍系统的架构、功能模块和实现方法, 分析安全措施校核相关图像识别技术和信息搜索匹配算法, 以及安全措施票自动生成方法。通过变电站现场应用, 证明此系统可实现安全措施过程的自动在线校核, 提升了安全措施在线校核的全面性和便捷性。

**关键词:** 图像识别; 信息匹配; 安全措施; 在线校核

## Research and application of online verification system of safety measures based on image recognition

LV Shuai<sup>1</sup>, YANG Peng<sup>1</sup>, ZHOU Kun<sup>2</sup>, HAN Minchou<sup>2</sup>

(1. Ordos Power Supply Branch of Inner Mongolia Power (Group) Co., Ltd., Ordos 017101, China;

2. Wuhan Kemov Electric Co., Ltd., Wuhan 430223, China)

**Abstract:** In view of the risk of misreading or missing information in the implementation of safety measures in intelligent substation, as well as the incomplete monitoring information of on-line monitoring device and the inability to notify the verification status of safety measures in close real time. An online safety measure verification system based on image recognition and combined with real-time data acquisition is proposed. At the same time, the architecture, functional modules, and implementation methods of the system are introduced. The image recognition technology related to safety measure verification, information search matching algorithm and automatic generation method of safety measure ticket are analyzed. Through the field application of substation, it is proved that this system can realize the automatic on-line verification of safety measures, improve the comprehensiveness and convenience of on-line verification of safety measures.

**Key words:** image recognition; information matching; safety measures; online check

## 0 引言

智能变电站安全措施执行过程目前由监护人和操作人相互配合完成, 执行过程中可能存在信息误看或漏看的风险。虽然一些站端在线监测装

置已实现了安全措施过程的校核<sup>[1-2]</sup>, 但由于在线监测屏柜和安全措施执行屏柜有一定距离, 并不能实时通知安全措施操作人员相关状态, 而且在线监测还有许多信号和状态监测不到, 需要人

员去核对, 无法实现全部安全措施条目的校核。

目前人工智能技术应用快速发展, 深度学习特别是卷积神经网络在计算机视觉领域取得了突破性的成果<sup>[3]</sup>。相关技术开始在电力设备识别检测中应用, 但仍需提高识别效率和准确度<sup>[4-5]</sup>。同时文字识别技术随着深度学习和大量样本的积累有了较大的提升, 特别是在限定领域中可以利用先验知识对识别结果进行进一步的提高, 使得文字识别技术的应用越来越广泛<sup>[6-7]</sup>。

本文通过将变电站实时数据由通信堡垒机传输至站内无线局域网<sup>[8]</sup>, 并通过移动终端获取安全措施操作相关数据并与安全措施票进行比对, 基于图像识别对其他需要人工核对的对象及状态进行识别, 最终实现了安措过程的自动在线校核。同时研究了安全措施信息的自动匹配技术和安全措施票自动生成方法, 改进了安全措施对象图像识别方法, 提升了安全措施在线校核的全面性和便捷性。

## 1 系统架构

本文基于图像识别技术, 并集合在线监测数据设计实现安全措施在线校核系统, 并通过开发自动校核软件, 实现安全措施过程的自动校核, 系统架构如图1所示。主要包括数据采集装置、安全措施校核装置、安全措施校核终端及安全数据通信堡垒机四个部分。

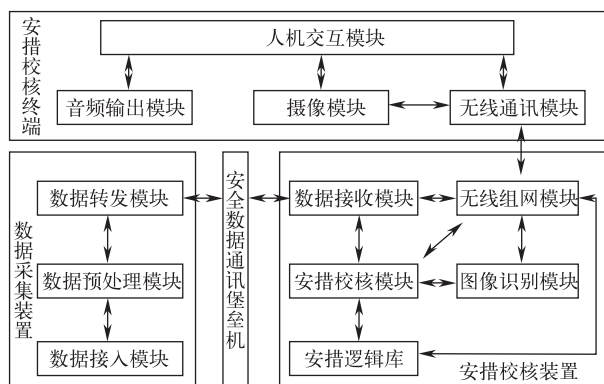


图1 系统架构

Fig. 1 System architecture

数据采集装置由数据接入模块、数据预处理模块和数据转发模块组成; 安全措施校核装置

由数据接收模块、无线组网模块、安全措施逻辑库、安全措施校核模块和图像识别模块组成; 安全措施校核终端由人机交互模块、摄像模块、无线通信模块和音频输出模块组成。各模块定义及数据交互如下。

数据采集装置通过数据接入模块接入站控层网络和过程层网络, 获取MMS报文、GOOSE报文以及SV报文。数据预处理模块解析站控层和过程层MMS报文、GOOSE报文以及SV报文, 从MMS报文中获取保护装置软压板信息、控制字信息、硬压板信息和光纤断链信息, 从GOOSE报文中获取智能终端的刀开关位置信息、硬压板信息、光纤断链信息以及合并单元的光纤断链信息, 从SV报文中获取模拟量信息。数据转发模块将数据预处理模块解析出的数据转发给安全措施校核装置。

数据采集装置与安全措施校核装置之间网络安全隔离通过安全数据通信堡垒机实现。安全数据通信堡垒机监控和记录运维人员对数据采集装置的操作行为, 以便集中报警、及时处理及审计定责。安全数据通信堡垒机只允许安全措施校核装置访问数据采集装置, 不允许安全措施校核装置访问其他二次设备。

安全措施校核终端通过人机交互模块录入安全措施票, 并建立安全措施对象与SCD文件中对应状态信号的索引信息的关联关系; 通过摄像模块拍摄安全措施对象的视频或照片; 通过无线通信模块与安全措施校核装置通信; 通过音频输出模块进行安全措施操作异常告警。

安全措施校核装置通过数据接收模块接收数据采集装置转发的数据, 通过无线组网模块在变电站内形成无线网络, 并接入安全措施校核终端, 接收安全措施票及安全措施对象的视频或照片。图像识别模块从安全措施对象的视频或照片中识别安全措施对象及其状态, 并将识别结果传递给安全措施校核模块。安措校核模块分析数据采集装置和安措校核终端传送的数据, 从中提取安措对象以及此安措对象对应的状态, 并与安措票库中对应的安措票进行比对。当提取的安措对

象与安措票中的对象一致，且状态也与安措票中预期的状态一致时为正常；否则产生预警。

## 2 实现方法

基于搭建的安措校核系统架构实现安措票在线校核，操作流程如图2所示。

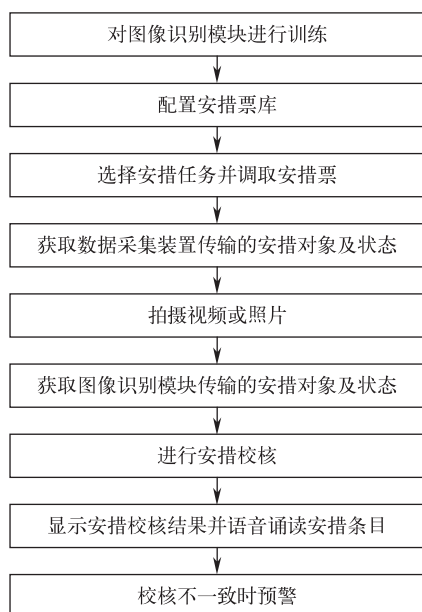


图2 安措在线校核实现方法

Fig. 2 Implementation method for online verification of safety measures

步骤1：输入大量变电站安措对象照片或视频对图像识别模块进行训练。

步骤2：通过安措校核终端配置安措票库，可自动生成或手动编辑安措票。其中每个安措票包含安措票表头、安全措施条目、安全措施执行和恢复的情况。每个安全措施条目又包括安全措施对象和预期状态。

步骤3：在安措校核终端人机交互模块上选择安措任务，并调取安措票库中的安措票。

步骤4：安措校核装置从数据采集装置获取安措票相关的安措对象及状态。

步骤5：依据安措票操作步骤对未能从数据采集装置获取的安措对象及状态，用摄像模块拍摄安措对象的视频或照片，传输给图像识别模块进行识别，可识别断路器的分合态、硬压板的分合态、转换开关的各指向状态、端子排接线的连

接断开态、端子排连片的分合态和光纤接口的连接断开状态等。

步骤6：安措校核模块获取图像识别模块识别的安措对象及状态。

步骤7：安措校核模块结合数据采集装置和图像识别模块传输的安措对象及其状态与安措票进行比对。

步骤8：安措校核终端的人机交互模块实时展示安措票各条目的校核结果，同时通过音频输出模块诵读安措条目文本给工作人员提示。

步骤9：当比对不一致时产生告警，并通过安措校核终端的人机交互模块将对应安措条目标红，同时通过音频输出模块输出告警音频信号。

## 3 安措票自动生成

本文将安措对象分为检修IED、关联IED和波及IED。形成检修IED与关联IED间、关联IED与波及IED间两个断面。以检修一个线路保护间隔为例，关联IED为母线保护。其中母线保护波及IED包括其他支路的保护、智能终端、合并单元以及母线合并单元，如图3所示。

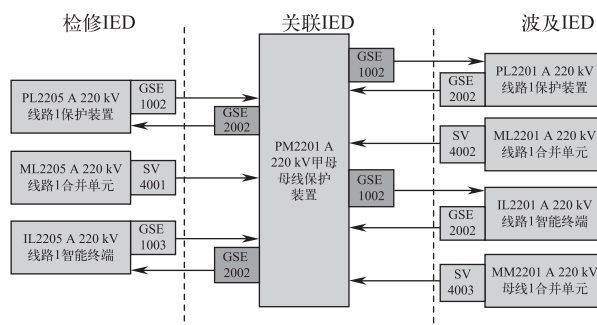


图3 安措对象划分

Fig. 3 Division of safety measures

在SCD文件以需要检修IED为中心，扫描与之有虚端子连接关系且不是检修装置的IED为关联IED，扫描与关联IED有虚端子连接关系且不是检修IED的为波及IED。将其关联抽象为发送/接收光纤连接和SV、GOOSE发送/接收等连接关系，并且将保护SV接收压板、GOOSE发送/接收压板和检修硬压板等状态与对应IED以及虚端子关联，建立检修安措关联模型。以可靠断开检修

IED与其他IED的连接为基本原则，按照不同电压等级、不同主接线方式和不同现场作业制定安措专家原则库。通过对SCD配置文件的解析，得到检修设备相关信息，并在安措模板库中进行匹配，最后将匹配结果按照预先设定的规则进行排列，自动生成相对应的安全策略票。其中需要人工核对即通过图像识别校核的安措条目需事先手动编辑入安措库。图4为一保护装置检修的安措隔离逻辑示意图。

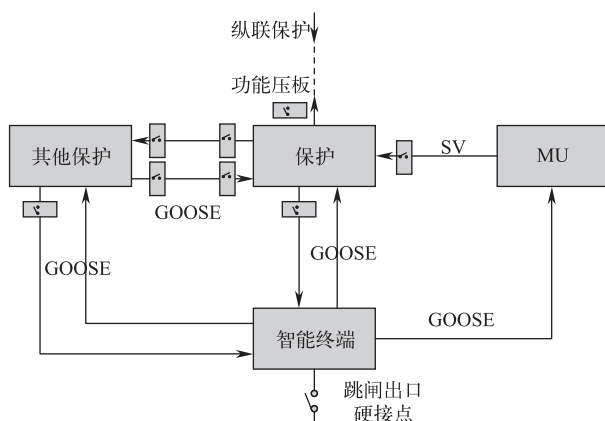


图4 安措隔离逻辑

Fig. 4 Safety measure isolation logic

检修域中保护装置缺陷处理安措生成的规则如下：

- 1) 检修IED保护退出对关联IED的GOOSE输出压板。
- 2) 关联IED退出与检修IED虚端子相关的GOOSE输入压板。如无此软压板，拔检修IED保护至关联IED光纤。
- 3) 关联IED为智能终端或合智一体，如不支持拔光纤时，退跳闸出口硬压板。

即使支持拔光纤，也是优先考虑退出对侧输入压板作为隔离措施，在退出对侧输入压板不能完全有效隔离的情况下，再考虑拔光纤。

#### 4 基于word2vec的安措配置信息自动匹配

安措校核系统依据安措逻辑库生成实例化安措票时需解析SCD信息，建立安措对象模型。由于不同厂家IED数据描述文本不一致，尽管已有规范对IED数据描述进行一定程度约束，仍无法

保证信息描述统一与文本语义无歧义，导致人工建模配置工作量大、配置正确率低，不利于现场实施。为满足安措信息配置的自动化，提高映射系统对半结构化文本分析能力，需针对海量信息描述进行文本深度挖掘与语义分析，建立分类映射体系。

本文基于TextCNN模型实现安措模型的自动配置<sup>[9]</sup>。通过word2vec表示模型，实现IED端口描述文本的词向量表示及词间关联关系映射。为了提高其特征提取与泛化能力，采用基于TextCNN模型的分类映射单元，并对模型关键参数进行优化。

安措配置描述一般词汇较短，中文和英文混合编写，内容多为专业词语，通过分词技术解析时往往难以处理“软压板”“光纤”等电力专业词语，常常产生分词错误。为了减少误分词对安措配置生成造成不必要的干扰，本文在进行文本分类处理时采用字符级TextCNN，对字符间的语义联系进行直接分析。为提升词向量表示的效果，在处理输入文本时，本文利用word2vec模型<sup>[10]</sup>，并将字符拼接表示的One-Hot向量矩阵作为模型输入。通过算法分析此模型最终可输出低维稠密词向量来反映词义衔接。基于word2vec的配置信息文本描述分布式表达如图5所示。

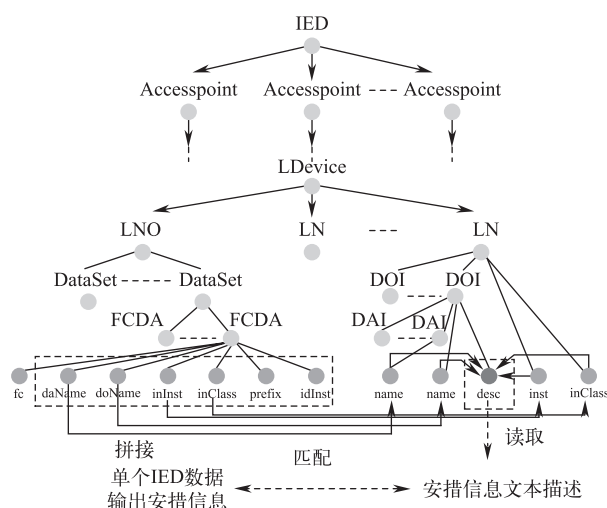


图5 安措 IED 配置信息文本描述分布式

Fig. 5 Distributed text description of security measures IED configuration information

通过安措配置信息的自动匹配可实现安措模型的自动建立,为安措票的自动生成奠定了基础,提高了系统运行和使用效率。

## 5 基于图像识别的安措对象状态获取

本文选择以RetinaNet作为基本模型<sup>[11]</sup>,并针对具体问题做出了相应的改进。RetinaNet中锚点框默认使用的长宽比较小,由于电力设备中的端子排的形状是长宽比较大的矩形,默认的长宽比不能生成合适的端子排候选框。针对这一问题,观察到训练集中端子排标记框的长宽比约为6:1。因此,本文修正了使用的锚点框长宽比,这样的设置能够更好地检测出数据集中所有的电力设备。

为了防止过拟合,提高模型的准确率,训练深度学习模型时通常会对训练集进行数据增广,增加训练数据的数量。在物体检测中,最常用的数据增广为图片的随机水平翻转和平移。电力设备数据集中,既有水平放置的,又有竖直放置的。因此除了常用的水平翻转和平移外,对识别对象进行90°旋转,有效增加了训练数据的数量。

为进行实验,收集并标注了电力设备图像10 000张,包括端子排、断路器、条形压板和圆形压板等对象。在检测时除了要检测电力设备的位置和类别外,还需识别出对象状态。将其中9 500张划分为训练集,其余的500张图像作为测试集。

在500张测试图片中,测试完全正确的图像共有472张,检测存在错误的图像有28张,总体正确率为94.4%,实验结果表明该方法可以快速准确地检测出数据集中包含的安措对象及状态,满足了实际应用需求。进一步分析了检测出错的图像,发现主要原因是电力设备严重倾斜或存在反光现象,断路器效果图如图6所示。

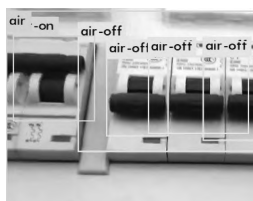


图6 断路器识别效果图

Fig. 6 Identify circuit breaker rendering

转换开关识别通过对数据集抽样检测, type从0~7以逆时针的方向表示转换开关旋转的角度,0代表开关指向12点钟方向, type每增加1则转换开关偏转15°,转换开关识别效果图如图7所示。

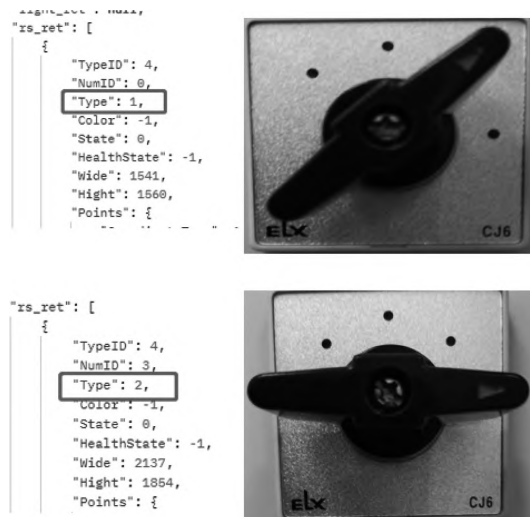


图7 转换开关识别效果图

Fig. 7 Identify switch rendering

图8为端子排识别,先从图8中检测出端子,框出的区域是一端子。再对蓝色框(端子)区域进行分类,类别为“连线正常”或“连线异常”。神经网络分类依据是端子本身及其周边小范围内的像素点。



图8 端子排识别效果图

Fig. 8 Identify terminal strip rendering

## 6 实例验证

为验证本文所提系统及方法的有效性,选取

一个220 kV智能变电站进行试点应用。

在变电站部署安全措施在线校核系统后，导入SCD文件，通过安措逻辑库自动生成各IED的初始检修安措票，再通过安措校核终端补充需要图像识别确认的条目，建立完安措库后，现场对一个220 kV线路间隔进行检修。自动生成的安措票部分内容见下表。

表 试样说明  
Tab. Sample description

| 序号     | 措施位置       | 措施内容               | 执行<br>(√) | 恢复<br>(√) |
|--------|------------|--------------------|-----------|-----------|
| 1      | 234 智能终端   | 投入智能终端检修压板，退出出口压板： |           |           |
|        | 智能终端 A     | 投入检修压板             |           |           |
|        | 智能终端 A     | 退出跳闸出口压板           |           |           |
|        | 智能终端 A     | 退出合闸出口压板           |           |           |
|        | 智能终端 B     | 投入检修压板             |           |           |
|        | 智能终端 B     | 退出跳闸出口压板           |           |           |
|        | 智能终端 B     | 退出合闸出口压板           |           |           |
| 2      | 234 线路保护装置 | 投入保护装置检修压板：        |           |           |
|        | 线路保护 I     | 投入检修压板             |           |           |
|        | 线路保护 II    | 投入检修压板             |           |           |
| 3      | 234 合并单元   | 投入合并单元检修压板：        |           |           |
|        | 合并单元 A     | 投入检修压板             |           |           |
|        | 合并单元 B     | 投入检修压板             |           |           |
| 执行人签字： |            | 恢复人签字：             |           |           |
| 监护人签字： |            | 监护人签字：             |           |           |

其中保护检修压板的投退状态从MMS报文中获取，智能终端与合并单元检修压板的状态从GOOSE报文中获取，智能终端出口压板的状态从图像识别模块获取。

现场应用证明，此系统可以依据SCD自动生成安措票，并能够采集变电站IED的实时数据，同时结合图像识别的安措对象状态，实现安措过程的在线校核。作业人员可实时看到安措结果，提升了安措操作的效率和安全性。

## 7 结束语

本文结合智能变电站安措执行过程存在的问题，提出基于图像识别并结合实时采集数据的在线安措校核系统，同时介绍系统的架构、功

能模块和实现方法，分析安措校核相关图像识别技术、信息搜索匹配算法以及安措票自动生成方法。此系统充分结合了在线监测数据以及图像识别数据，有效地降低了信息误看或漏看的风险，解决了在线监测装置监测信息不全，且不能近距离实时通知安措校核状态等问题。通过变电站现场应用，证明此系统可实现安措过程的自动在线校核，提升了安措在线校核的全面性和便捷性，对变电站的安全可靠运行具有重要意义。后续会对图像识别的算法进行进一步优化，提高图像识别的准确性。

## 参考文献

- [1] 范卫东，董金星，冯晓伟，等．智能变电站二次操作校核方法研究[J]．电测与仪表，2020，57(13)：40-46，54．
- [2] 高旭，马迎新，王可，等．基于连通状态矩阵的智能变电站安措校核方法[J]．电力自动化设备，2019，39(7)：195-202．
- [3] 周念成，廖建权，王强钢，等．深度学习在智能电网中的应用现状分析与展望[J]．电力系统自动化，2019，43(4)：180-191．
- [4] 李军锋．基于深度学习的电力设备图像识别及应用研究[D]．广州：广东工业大学，2018．
- [5] 王昕，赵飞，蒋佐富，等．迁移学习和卷积神经网络电力设备图像识别方法[J]．中国测试，2020，46(5)：108-113．
- [6] 魏伟明，茹惠东，金路．一种基于图像文字识别的变电站防误操作系统[J]．浙江电力，2021，40(1)：18-23．
- [7] 李铁成，任江波，刘清泉，等．继电保护压板图像识别与模型聚类匹配[J]．哈尔滨理工大学学报，2021，26(4)：70-77．

## 作者简介

吕帅（1989—），男，工程师，主要研究方向为电气工程。

（收稿日期：2022-10-15）