

# Research on the Application Framework of 5G Communication Technology in the Calculation of Overvoltage Fault Edge of Distribution Network

Zhanli Xing<sup>1</sup>, Chenhao Lei<sup>1</sup>, Weili Wu<sup>2\*</sup>, Jun Liu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Urumqi Power Supply Company of State Grid Xinjiang Electric Power Co., Ltd., Urumqi Xinjiang

<sup>2</sup>Xi'an University of Science and Technology, Xi'an Shaanxi

<sup>3</sup>Anhui Zhengguang Electric Power Technology Co., Ltd., Hefei Anhui

Email: \*wwlxm@163.com

Received: Aug. 6<sup>th</sup>, 2020; accepted: Aug. 20<sup>th</sup>, 2020; published: Aug. 27<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

The over-voltage fault in the distribution network needs to respond and deal with in time because of its great destructiveness to the power equipment and system. When the power system realizes ubiquitous IOT, the over-voltage fault cannot enter the ubiquitous power IOT cloud platform for data collection and integration, but can first use localized control and distributed processing for edge calculation, data transmission and communication. It is an important foundation of edge computing. For ubiquitous power Internet of things, the application framework of 5G communication technology in over-voltage fault edge calculation is proposed, the fault identification and response model of distribution network based on edge calculation and hierarchical co governance is constructed, and 5G communication application scenario is envisaged.

## Keywords

Ubiquitous Power Internet of Things, Over-Voltage Fault, 5G Communication, Edge Computing

---

# 5G通信技术在配电网过电压类故障边缘计算中应用框架研究

邢占礼<sup>1</sup>, 雷晨昊<sup>1</sup>, 吴伟丽<sup>2\*</sup>, 刘俊<sup>3</sup>

<sup>1</sup>国网新疆电力有限公司乌鲁木齐供电公司, 新疆 乌鲁木齐

\*通讯作者。

<sup>2</sup>西安科技大学, 陕西 西安

<sup>3</sup>安徽正广电电力技术有限公司, 安徽 合肥

Email: wwlxm@163.com

收稿日期: 2020年8月6日; 录用日期: 2020年8月20日; 发布日期: 2020年8月27日

## 摘要

配电网中过电压故障因其对电力设备和系统具有较大破坏性而需要及时响应和处理, 当电力系统实现泛在物联时, 过电压类故障可不必进入泛在电力物联网云平台进行数据采集和集成, 而是可以先采用本地化控制、分布式处理的方式进行边缘计算, 数据传输与通信是实现边缘计算的重要基础。面向泛在电力物联网, 提出了5G通信技术在过电压类故障边缘计算中的应用框架, 构建了基于边缘计算分层协同的配电网故障识别与响应模型, 设想了5G通信应用场景。

## 关键词

泛在电力物联网, 过电压类故障, 5G通信, 边缘计算

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

配电网直接面向电力用户, 其信号的采集和处理是泛在电力物联网感知层的重要支撑, 多数运行和故障信号要送入云平台共享便于同一调配, 不过, 随着电网规模的增大, 泛在电力物联网目前已经接入智能电表等各类终端 5.4 亿台(套), 采集数据日增量超过 60 TB, 采用云平台数据处理虽然可以保证其容量, 但对于某些电力故障来说, 则需要采用边缘计算提高其及时处理和响应的速度。配电网过电压类故障因其对电力设备安全运行具有较大破坏性[1] [2], 需要快速响应和处理, 虽然不必进入物联网云平台进行数据采集和集成, 但因此还需要进行边缘计算、比对, 以便为此类故障本地化分布式处理提供数据比对和处理模式, 加快响应进程。

第 5 代移动通信技术(5th Generation Mobile Networks, 5G 通信)发展迅速, 在传输速率、延时等指标上拥有远高于 4G 通信的性能, 预计于 2020 年底在全球多个国家实现商用化[3]。5G 通信利用通信网络实现万物互联, 有望成为实现和构建物联网有力支撑, 为电力系统带来新一轮技术革命[4]。从信息传递与电力能源的角度来看, 通信网络与电力网络存在着能量与信息的耦合, 具体表现为: 电力网络为通信网络提供能源支撑, 而通信网为电力网提供信息支撑, 通信网络与电力网可以进行供需互动。由此可见未来 5G 通信技术可在电力系统与泛在电力物联网的建设中起到关键性的支撑作用。

目前还没有关于 5G 通信技术在配电网过电压类故障响应边缘计算领域的研究, 然而, 通信技术在电力系统中已经得到了广泛应用, 在电力泛在物联网中的应用也在逐步深入:

文献[5]基于 5G + MEC 的泛在电力物联网建设分析了 5G 网络满足泛在电力物联网中三遥, 线路纵差保护和综合监控等业务需求的可行性, 并山东分电力公司进行的业务测试证明 5G 网络可以满足其上述业务的需求; 文献[6]针对 5G 通信技术, 探讨了 5G 通信技术与泛在电力物联网的深度融合可行性和应

用场景，并研究了泛在电力物联网下 5G 通信网的能量管理机制及其二者的协调互动；文献[7]从操作系统、5G、LPWAN 和电力系统泛在物联网数据安全等 4 个方面探讨了泛在电力物联网的关键技术；文献[8]从智能芯片、5G 与 LPWA、物联网平台三方面探讨了泛在电力物联网的关键技术，从业务壁垒、信息安全、数据分析和商业模型 4 个角度分析了泛在电力物联网建设的关键难点等内容；文献[9]介绍了泛在电力物联网的概念，结合 5G 技术的关键技术和特点，探讨 5G 在泛在电力物联网中的应用场景。并指出了基于 5G 的泛在电力物联网面临的安全性挑战和未来发展方向；文献[10]介绍了 5G 通信的基本技术原理及其特征，关键性能指标，分析 5G 在未来电力系统通信中的应用定位，深入探讨其在电力系统中面向高带宽，大容量，低时延 3 大需求的潜在应用场景。上述文献均可作为 5G 通信技术应用于配电网过电压类故障边缘计算提供思路 and 基础。

论文将结合过电压类故障响应的需求，提出了 5G 通信技术在过电压类故障边缘计算中的应用构思与场景。

## 2. 泛在电力物联网与过电压类故障边缘计算

### 2.1. 泛在电力物联网框架

泛在电力物联网主要是感知层，网络层、平台层和应用层共同协调、通信、反馈等环节构成的统一体。其中，电力生产、输送、服务和用户感知共同构成感知层，又可独立成的电力生产物联网、输电物联网、配电物联网和用户感知层网络，向国网云进行数据传递时，按照数据的种类、重要程度和响应速度的要求等信息，分为统一感知接入和边缘智能处理两大类，单相接地故障信息因其响应的实时性要求，则需要在配电网物联网内进行边缘智能处理。

### 2.2. 配电物联网

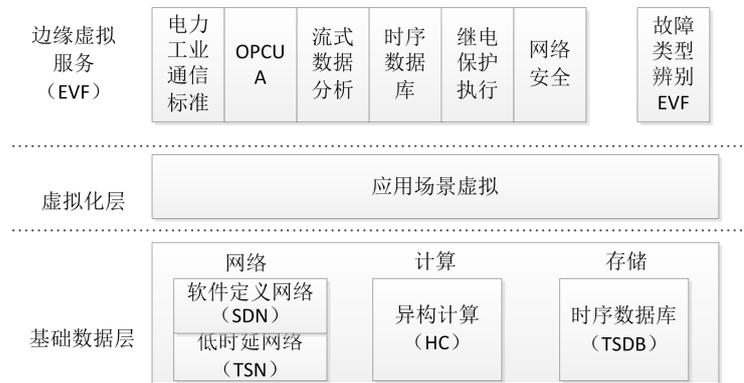
配电物联网融合了电力工业技术和物联网技术[11][12][13]，主要目的是将配电网内部设备全面互联、互通、互操作，实现配电网的全面感知和数据融合共享和智能应用，由于配电网直接面向用户负荷，设备肩负监测、运行与控制的任任务，其中监测设备需要广泛互联，以实现配电物联网对其运行状态参数的全面感知。

配电物联网中，各类电气信息监测数据经过筛选后会通过数据链路上传至配电物联网云平台。当配电网发生故障时，监测设备将发生变化的电网各节点电压电流等电气量信息送入边缘计算平台，计算平台实时响应，判断故障类型后生成的保护动作或报警、断路器动作等策略。上述信息需要利用边缘计算可以快速、及时响应，可以不增加配电物联网云平台数据传输与存储的压力下，边缘计算后故障信息会上传至配电网物联网平台。

### 2.3. 过电压类故障边缘计算节点

配电网过电压类故障边缘计算节点架构分三层：基础数据层、虚拟化层和边缘虚拟服务层，主要功能包括：总线协议适配、监测数据实时联接、实时流式故障数据分析、时序数据存取、故障处理策略执行和传感器设备即插即用等。具体如图 1 所示。

图 1 中，过电压类故障边缘计算基础数据层包括网络、计算和存储三个基础模块，主要实现配电网电压、电流等信号的采集、计算和存储；虚拟化层根据需要设置，可以对配电网故障场景进行虚拟，其目的是利用虚拟化技术降低系统开发和部署成本；边缘虚拟服务将功能软件化和服务化，并且与专有的硬件平台解耦，基于虚拟化技术，可以在同一个硬件平台上将硬件、系统和特定的 EVF 等按照业务进行组合，虚拟化出多个独立的业务区间并彼此隔离。



**Figure 1.** Architecture of over-voltage fault edge calculation node in distribution network

**图 1.** 配电网过电压类故障边缘计算节点架构

配电网过电压类故障边缘计算节点架构用智能分布式系统框架，支持多种网络接口、总线协议与网络拓扑，实现边缘本地系统互联，并提供本地故障辨识、逻辑判断计算和存储能力，能够和云端系统协同共享。数据通信是实现上述功能的基本保障。

### 3. 5G 通信在配电网过电压类故障边缘的适用性分析

#### 3.1. 故障信息流传输速度

配电网故障识别边缘计算节点在配电物联网基础与平台上，故障识别判据预先嵌入边缘节点控制平台，配电网故障监测信号由不同厂商设备采集上传，为保证故障信息处理和响应的快速性，采用分布式方式传送，且需要低时延网络的支持。

为了对比分布式边缘计算和云平台计算的能耗，构建拥塞率指标：

$$\begin{cases} b = (\bar{V} \times D - V'D')/t \\ e = \bar{V} \times \Delta T/t \end{cases} \quad (1)$$

式中， $b$  表示拥塞率， $e$  表示能耗， $V$  为在分布式环境下表示数据存储节点节点数量，非分布式环境下表示终端传感器节点数量， $V'$  表示服务终端节点数量， $t$  表示时刻， $\Delta T$  表示每个节点的能耗。

电力系统中，输配电网络中连接的海量设备通过不同电压等级的电力线路连接。为了保证系统的安全稳定，在高压输电线路等设备上已经安装了各种设备运行状态量测系统与监测控制系统，并配有光纤通信，以实现电力与信息传递的互联互通。但对于电压等级较低的配电网，考虑到成本等因素，并没有同步光纤覆盖，目前仅仅是电气物理层面的接连。因此，目前配用电侧海量设备还没有完全实现信息的互联互通，有鉴于此，5G 通信因其高速率、高可靠性、高容量、低功耗、及低时延等特性与优势能够真正经济而高效地使其能应用于过电压故障数据的传输。

#### 3.2. 故障信息流

为了能够发挥各种配电网故障信息运算单元的优势，整合配电物联网平台分立的运算单元为一个协同整体，实现软件跨多种平台传感数据的数据流采集。

在大数据时代，采集海量多元化数据是开展大数据分析的基础。状态估计是电力系统安全运行的重要环节，而目前电力系统仅在有限的节点部署了量测元件，特别是在配电网中量测元件很少，基于通信压力，很多测量数据只能舍弃仅保留最基本的信息，细粒度信息的缺失极大制约了大数据分析在电力系

统中的实际应用，在时间、空间上难以形成对电网的全面状态估计。5G 通信拥有高密度连接特性，在空间上支持大量智能量测元件的部署，若电力系统每个节点都部署智能量测单元，则系统状态将完全透明化，系统安全性大大提高。

2) 电力设备运行参数感知

在电力设备状态监测方面，变压器、输配变电线路等电气设备的健康运行是整个配电系统运行的重要保障。传统电力系统主要对高压设备运行状态进行检测，而 5G 通信时代的泛在电力物联网中，配电网侧海量设备将实现信息互联互通，实时监测电力设备各项参数，感知外界环境参数，能够帮助调度决策者进行综合分析，评估电力设备运行状态，为电力设备检修安排等提供参考。

4. 5G 通信技术与过电压类故障边缘计算节点耦合模型

配电网过电压类故障边缘节点工作流程如图 2 所示。

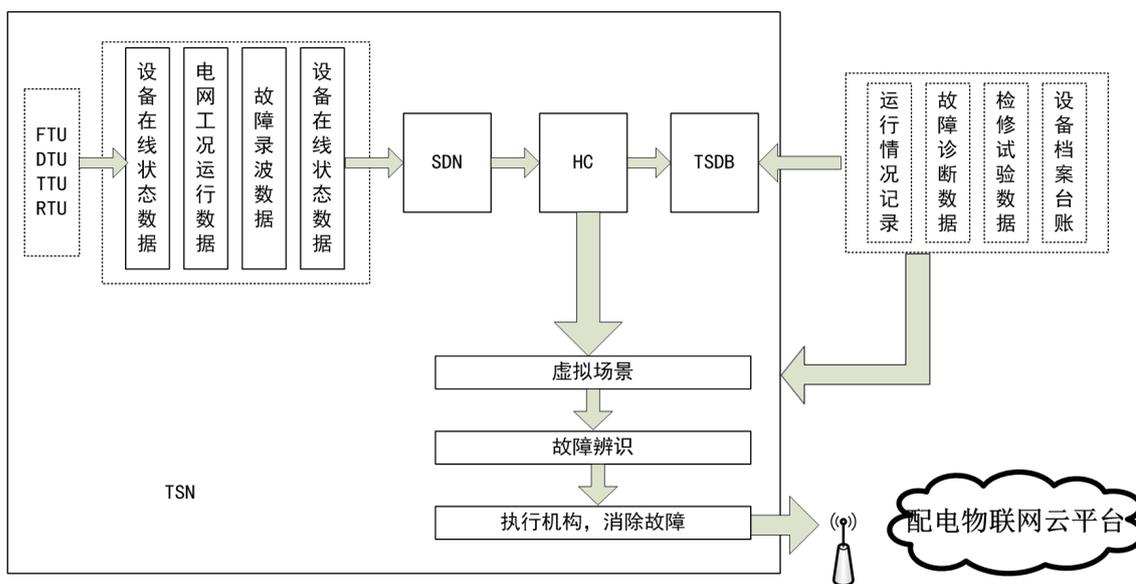


Figure 2. Work flow of overvoltage fault edge node

图 2. 过电压类故障边缘节点工作流程

图 2 可知，配电网故障边缘节点计算流程如下：

第 1 步，事先将配电网故障录波记录、故障断面数据、检修试验数据和设备维修记录等信息保存至 TSDB 中，并利用低延时网络对监测数据进行通信、上传至 SDN；

第 2 步，SDN 随时检查监测波形数据，如果发现数据异常，采用 HC 判断是否发生单相接地故障；确定为单相接地故障时，HC 调用历史故障数据，与当前故障监测数据共同模拟事故场景，并调用分配故障辨识程序；

第 3 步，并行启动各类故障辨识模块，确定故障类型后，快速通过 TSN 发送命令，执行结构启动快速切除故障；

最后，将故障信息和处理结果上传至配电物联网云平台，同时就地保存。

其中，由于数据监测、故障录波、断面数据以及馈线继电保护系统涉及大量子站的相互通信，其需要超低延时的通信网络支撑，5G 通信系统将是光纤的有力替代品，其低时延特性可以提供低至 1 ms 的传输延迟，可以有效提高继电保护速度，采用 5G 通信技术可以使当前通信网络的延迟小于 10 ms 时，这

样发生过电压故障时，整个馈线继电保护系统可在 100 ms 内隔离故障区域，极大提高了供电可靠性。

## 5. 案例分析

某系统含有 35 kV 两座变电站，配电电压等级有 10 kV、6 kV 和 400 V，负荷节点 32 个，各类监测设备由不同厂家生产，为了有效辨识、响应和处理故障，采用边缘计算架构进行设计。

第 1 步，构建系统过电压故障仿真模型，生成故障信息库；

统计 2016~2018 年发生的历史过电压故障共计 64 次，将过电压类故障分为铁磁谐振、弧光接地和单相接地等类型，可判断为铁磁谐振过电压次数为 32 次，单相接地过电压为 25 次，弧光接地过电压过电压故障有 7 次，将上述过电压故障时的系统参数和过故障位置、时刻和对应的系统时间断面信息存入故障信息库，并搭建仿真系统进行模拟和重现系统故障状态，并生成故障信息关联库。

第 2 步，将监测设备数据的输出阈值、发送格式、寄存器地址、控制器返回格式、历史故障数据和故障类型阈值范围保存至 TSDB，系统实时监测信息、电网工况状态等信息，通过 SDH、HC 环节，也送入 TSDB。

第 3 步，构建边缘节点架构，将各监控装置看做节点并组网，通信协议 Modbus RTU、9600 bps@8n1，无线通讯参数为 GSM/GPRS，四频 850/900 MHz 和 1800/1900 MHz，采用分层分布式控制方式，当监测数据异常时，边缘计算节点进行虚拟场景辨识故障类型，通过 TSN 网络进行故障信息反馈，执行机构进行消除，并将故障信息处理结果上传至云平台并保存至当地 TSDB。

具体流程如下(图 3)：

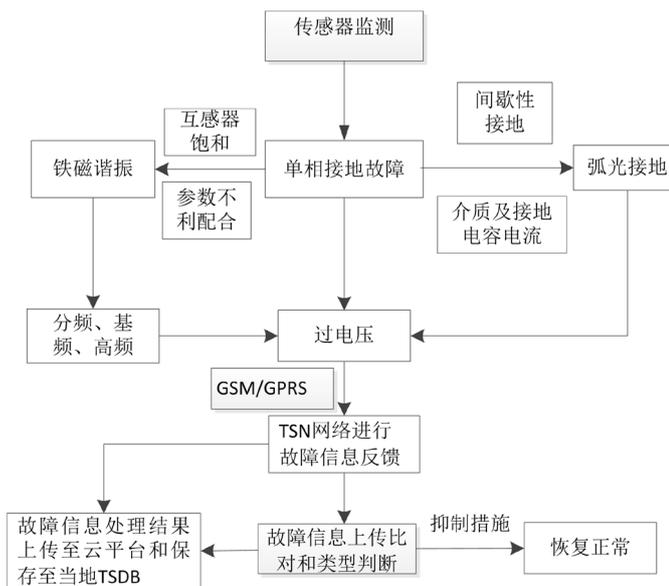


Figure 3. Development of single phase grounding fault and interaction process with TSDB

图 3. 单相接地故障的发展及与 TSDB 交互过程

最后，对比采用边缘节点的 5G 通信低延时网络进行信号传递时网络拥堵率和损耗。

目前这个边缘计算节点耦合模型已经搭建完成，并于 2019 年 12 月份在某电力公司试运行，投运 6 个月以来处理过铁磁谐振过电压 5 次。

经过后台数据比对，进行边缘计算后，相对以往谐振处理拥塞率和能耗分别下降了 1%和 5%，响应

速度提高了 5 ms。

## 6. 结语

针对配电网故障响应的实时性和快速性需求,提出了基于 5G 通信技术在过电压类故障边缘计算节点中的应用框架,分析 5G 通信技术在边缘节点中的适用性,并构思了应用场景。

泛在电力物联网是我国电网的发展方向,配电物联网是其重要组成部分,边缘计算是其重要的支撑部分,5G 通信技术将能够为物联网数据传输提供最重要的技术保障。论文仅对应用场景进行了初步构思,技术方面的实现问题还需要进行更深入的研究。

## 参考文献

- [1] 刘健,张小庆,申巍,等.中性点非有效接地配电网的单相接地定位能力测试技术[J].电力系统自动化,2018,42(1):138-143.
- [2] 孟宪梁,刘勇,唐康平.现代配电网单相弧光接地过电压产生的机理与危害[J].电工技术,2016(11):30-32.
- [3] 艾绍贵,李秀广,黎炜,等.配电网快速开关型消除弧光接地故障技术研究[J].高压电器,2017(3):178-184.
- [4] 李海龙.入地电缆弧光接地过电压保护策略研究[D]:[硕士学位论文].重庆:重庆理工大学,2016.
- [5] 马丹,曹广山,王荣,等.基于 5G+MEC 的泛在电力物联网建设[J].数字通信世界,2020(3):11-12.
- [6] 王毅,陈启鑫,张宁,等.5G 通信与泛在电力物联网的融合:应用分析与研究展望[J].电网技术,2019,43(5):1575-1585.
- [7] 杨怀琴.泛在电力物联网时代物联网技术在电力系统中的应用[J].科技创新与应用,2019(3):169-170.
- [8] 杨东升,王道浩,周博文,等.泛在电力物联网的关键技术与应用前景[J].发电技术,2019,40(2):107-114.
- [9] 陈皓勇,李志豪,陈永波,等.基于 5G 的泛在电力物联网[J].电力系统保护与控制,2020,48(3):1-8.
- [10] 张宁,杨经纬,王毅,等.面向泛在电力物联网的 5G 通信:技术原理与典型应用[J].中国电机工程学报,2019,39(14):4015-4024.
- [11] 吕军,栾文鹏,刘日亮,王鹏,林佳颖.基于全面感知和软件定义的配电物联网体系架构[J].电网技术,2018,42(10):3108-3115.
- [12] 舒印彪.开启建设具有卓越竞争力的世界一流能源互联网企业新征程[N].亮报,2018-1-29(1).
- [13] 余贻鑫,栾文鹏.智能电网述评[J].中国电机工程学报,2009,29(34):1-8.