

# Exploration of the application of blockchain technology in data security and collaboration of relay protection

Bangkai Xu Zhide Liu

Zhejiang Power Transmission and Transformation Engineering Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

## Abstract

As the cornerstone of power system safety and stability, relay protection systems rely on secure data collection, transmission, processing, and decision-making processes that directly determine grid reliability. Traditional architectures face challenges including information silos, tampering risks, and coordination delays, which hinder the digitalization and intelligent development of relay protection functions. Blockchain technology, with its decentralized architecture, tamper-proof capabilities, traceability, and trusted collaboration features, offers innovative solutions for data security and multi-site coordination in relay protection. This paper analyzes blockchain's core mechanisms and their integration with relay protection systems. It explores technical pathways through blockchain-enabled protection action recording, secure data sharing mechanisms, and optimized multi-site communication. By constructing application models for typical power grid scenarios, the study validates practical benefits in ensuring data consistency, enabling access control, and enhancing system resilience.

## Keywords

Blockchain; Relay Protection; Data Security; Collaboration Mechanism; Decentralized Control

## 区块链技术在继电保护数据安全与协同中的应用探索

徐邦凯 刘智德

浙江省送变电工程有限公司, 中国·浙江 杭州 310000

## 摘要

继电保护作为电力系统安全稳定运行的核心防线,其数据采集、传输、处理与决策过程的安全性与一致性直接关系到电网运行的可靠性。在传统系统架构下,保护数据面临信息孤岛、篡改风险、协同延迟等问题,制约了继电保护功能的数字化、智能化发展。区块链技术凭借其去中心化、防篡改、可追溯与可信协同等特性,为继电保护数据的安全保障与多站点协同提供了创新路径。本文深入分析区块链核心机制与继电保护系统的融合基础,围绕保护动作记录上链、安全共享机制设计与多站协同通信优化等方面开展技术路径探索,并结合典型电网场景构建应用模型,验证其在数据一致性保障、权限管控、系统韧性提升等方面的实际效益。

## 关键词

区块链; 继电保护; 数据安全; 协同机制; 去中心化控制

## 1 引言

继电保护系统广泛部署于电力一次设备与调度控制之间,其主要任务是及时识别电网异常状态,并准确发出跳闸、报警等指令,防止设备损坏与电网事故扩大。随着电网运行环境的不断复杂化以及新能源接入比例上升,继电保护面临的数据处理量和实时协同需求日益增加。与此同时,传统基于集中式架构的继电保护系统在数据安全保障、信息一致性维护及跨区域保护联动方面暴露出诸多问题。数据在传输过程中可能被恶意篡改、节点故障可能导致保护失效、信息同步机制难以支撑高强度协同等,严重影响系统的整体安全性

与响应能力。因此,构建一个具备高安全性、强可追溯性、灵活协同能力的数字支撑平台已成为继电保护系统演进的重要方向。本文将围绕区块链技术与继电保护系统融合的可行性分析、核心机制构建与应用实践路径开展研究,探索一种面向未来的智能电力保护新架构。

## 2 继电保护数据安全与协同面临的问题剖析

### 2.1 集中式管理架构下的安全脆弱性

在传统继电保护系统架构中,信息流转与控制大多采用集中式设计,即通过调度中心或主站统一对下级保护装置进行指令下发与数据采集。该模式在电力系统早期发展阶段因其架构简单、便于统一管理而被广泛应用。然而,随着电力系统向智能化、信息化方向演进,该集中式控制架构的安全脆弱性日益暴露,成为影响系统稳定运行的关键隐患

**【作者简介】**徐邦凯(1998-),男,中国吉林四平人,本科,助理工程师,从事厂站自动化研究。

之一。

最显著的安全短板在于其存在明显的单点故障风险。由于主站集成了大量控制、通信、判断与决策功能，一旦该中心节点遭遇网络攻击、系统瘫痪或软件漏洞，将可能导致整个继电保护系统陷入瘫痪状态，造成电网保护功能失效。尤其在面对大规模协同故障或针对电力系统的定向网络攻击时，集中式主站成为攻击的主要目标，其失效可能引发区域性供电中断，甚至引发电网级联崩溃。

此外，集中架构中保护装置与主站之间数据传输路径较长，需经过多个通信与处理节点。由于数据传输链路冗长且往往缺乏端到端的加密机制，保护报文在传输过程中极易遭遇中间人攻击、数据劫持或伪造等威胁，攻击者可在中转节点插入恶意指令，篡改保护信号或诱导误跳，严重影响保护系统的动作准确性与及时性。

更进一步，集中式系统的权限控制机制常以数据库形式集中存储，一旦权限数据被攻击者窃取或篡改，将导致系统核心模块失控，攻击者甚至可直接操控保护逻辑，绕过原有防护机制执行恶意跳闸。由此可见，集中式管理架构虽然具备一定的管理效率与集成优势，但在现代电网中已难以满足对高可靠性、高安全性的继电保护系统需求 [1]。

## 2.2 多装置间信息孤岛影响协同判断

在当前复杂电网格局中，继电保护系统已不再是孤立的局部控制设备，而逐步发展为需要跨区域、多节点联动响应的协同保护体系。特别是在配电自动化系统与智能变电站建设不断推进的背景下，多终端间信息互联与同步判断成为保障电网运行安全的基础。然而，由于继电保护装置部署在不同电压等级与不同区域，且制造商众多、型号繁杂，各装置之间在数据格式、通信协议及接口标准方面缺乏统一性，极易形成“信息孤岛”现象，严重制约了协同判断机制的实现。

目前多数继电保护装置仍依赖点对点的单通道通信方式实现与上级系统的信息交互，这种方式在通信链路正常时能满足基础需求，但一旦链路中断或延时严重，将导致保护信息无法在装置间有效传递，使相邻保护设备难以形成对故障范围的统一判断，进而引发保护配合失调、误跳、拒动等问题。例如在母线故障处理过程中，若保护装置间未能同步获取短路电流及零序分量变化情况，可能导致某些元件误判为线路故障，提前跳闸，影响整体运行稳定性。

此外，不同厂家的保护装置在通信协议方面存在显著差异，如 IEC 60870、DNP3、IEC 61850 等协议标准虽已初步形成统一趋势，但各厂商在实现细节、扩展字段和配置规范方面仍存在差异，造成实际部署中互操作性差、调试困难、误码率高等问题频发。特别是在部署复杂联跳逻辑、选线判断、区域保护算法时，信息格式不兼容使得跨装置协同诊断与联合响应难以实现，严重制约智能保护系统的演进与功能升级 [2]。

## 2.3 保护行为溯源机制缺失影响责任归属

在继电保护系统中，故障发生后的行为记录与事件溯源能力，是保障系统运行安全、优化保护策略及明确事故责任的重要基础。然而，现有保护系统在溯源能力方面普遍存在机制不健全、数据可信性差的问题，难以满足故障复现与责任判定的实际需求。

首先，目前大多数保护装置仍依赖于本地嵌入式存储设备记录故障动作日志、波形信息及装置运行状态。这些数据受制于存储容量与采样频率限制，记录周期短、数据粒度低，难以涵盖整个故障演变过程。同时，装置记录数据多采用普通文本或未加密格式，极易被具备系统权限的人员修改或删除。一旦发生保护误动作或跳闸事故，在缺乏独立可信数据来源的情况下，将为后续的事故调查、责任划分及法律追溯带来巨大难度。

其次，现行保护行为缺乏统一的外部事件记录机制，无法实现多装置、多系统之间故障行为的时间统一与逻辑还原。在复杂故障场景下，如继电保护误动引发的多级联锁跳闸，若无跨平台日志融合机制，将难以重构事件链条，导致责任归属模糊、事故分析周期延长，最终影响保护策略的优化与制度改进效率。

因此，亟须引入分布式存储、区块链技术与第三方可信记录平台等新兴手段，为继电保护系统构建不可篡改、可溯源的全流程日志机制，提升事故调查的透明度与数据可信度，从而推动继电保护行为审计机制向更加智能、安全、可控方向发展 [3]。

## 3 区块链技术原理及其在继电保护中的应用机制构建

### 3.1 区块链核心特性与继电保护系统契合性分析

区块链作为一种分布式账本系统，其“去中心化、不可篡改、可追溯、共识验证与智能合约”等特性为继电保护系统的数据安全保障与多点协同提供了可靠基础。首先，区块链可通过节点冗余分布实现保护数据的多副本存储，避免数据丢失或单点崩溃；其次，链上数据具有时间戳与哈希值绑定特性，一旦上链即不可被修改，为故障事件记录提供可信凭证；再者，共识机制可用于多装置间对故障数据一致性的判断，提升协同响应速度；最后，智能合约机制可自动触发保护逻辑与联动跳闸动作，实现保护策略的程序化部署与执行验证。

### 3.2 基于区块链的继电保护数据上链机制设计

数据上链是实现区块链在继电保护系统中落地应用的前提。针对继电保护场景，应建立按事件驱动方式的数据上链机制。保护装置在检测到故障、电流越限或跳闸指令后，将本地数据包封装为区块候选体，通过加密签名后广播至网络节点，由预设共识机制如 PBFT（实用拜占庭容错）或 RAFT 协议完成数据确认并写入链上。每个数据区块应包括

故障类型、动作时刻、跳闸线路、装置编号、签名信息及事件摘要等核心字段，确保记录结构化、内容可验证、逻辑可还原。

### 3.3 智能合约驱动的保护协同机制实现路径

智能合约是部署在区块链上的可自动执行程序，可根据预设逻辑对保护动作条件进行判断并自动响应。可基于电网保护配置模型，将协同跳闸规则写入智能合约中，当某一区域内装置上链信息达到指定阈值（如三个节点共识发生短路），则合约自动触发跳闸命令并同步下发至相关设备，避免了传统系统中调度中心人工确认带来的时延与风险。此外，智能合约还可支持权限细粒度控制与版本管理，确保保护逻辑的透明可控与升级可追踪。

## 4 区块链在继电保护系统中的关键应用场景与技术路径分析

### 4.1 故障事件记录与多源信息融合存证

利用区块链对继电保护过程中的动作信息、事件响应、恢复指令等进行统一记录，为后续分析、事故复盘与系统改进提供全流程可信依据。多保护装置作为分布式节点对本地信息并行上链，通过链上信息比对实现事件的跨站点协同确认。数据一致性验证可借助 Merkle 树结构实现跨节点数据校验与异常识别，提高信息可靠性 [4]。

### 4.2 跨站点保护装置间协同通信机制优化

传统继电保护多依赖有线通信或专网通道进行控制信息传输，区块链的引入可重构跨站点的控制逻辑分布。通过部署区块链轻节点于各保护装置终端，实现就近数据打包与上传，同时利用分布式共识机制提升信息交换效率与同步时效，适应新能源接入后电网形态多变对保护协同的高时效性要求。

### 4.3 面向监管审计的透明化系统行为管理

在电力系统运行审计与责任追溯场景中，可通过区块链固化的保护行为数据链提供完整的时间序列记录。监管方作为特权节点可基于访问权限审计系统行为、查看保护触发链条、判断故障传播路径，有效弥补传统日志系统数据不可信、时间戳紊乱等问题，为数字电网的治理与合规提供新型技术工具。

## 5 区块链技术应用中的挑战与应对策略

### 5.1 系统性能与实时性要求之间的平衡问题

继电保护系统对数据处理时延要求极高，而区块链系统因共识过程复杂存在一定延迟。为此，应构建“链下快速处理+链上记录确认”的混合处理架构，关键控制逻辑仍依赖本地逻辑执行，区块链作为数据确权与行为追踪通道，避免对核心控制链路形成拖拽 [5]。

### 5.2 安全性保障与网络攻击风险防控

虽然区块链具备天然的抗篡改能力，但节点被劫持、合约逻辑漏洞等依然可能成为攻击入口。建议采用联盟链形式部署，设置多级访问权限，明确参与节点角色职责；同时加强合约代码审计与数据加密机制，提升系统整体安全等级。

## 6 结语

在数字电网建设步伐加快与智能继电保护需求日益增强的背景下，如何保障保护数据安全、提高多点协同效率与增强系统韧性，成为继电保护系统升级的重要方向。区块链技术以其独特的分布式结构、可信数据管理与智能合约执行机制，为继电保护的数据安全保障、行为溯源与协同优化提供了新的解决方案。本文从技术逻辑、应用场景到系统架构设计出发，论证了区块链技术在继电保护中的应用可行性，并提出了具体的实施机制。未来，应加强区块链与继电保护领域多学科融合研究，推动标准体系建设与实际工程试点，助力构建高可信、高安全、高智能的电力保护新体系，为构建新型能源体系与智能电网提供坚实支撑。

### 参考文献

- [1] 陈志士.浅谈继电保护及自动化常见缺陷的处理分析[J].电工技术,2024,(S2):21-23+26.DOI:10.19768/j.cnki.dgjs.2024.26.008.
- [2] 聂家全.基于PLC的500kV智能变电站继电保护运维系统设计[J].电力设备管理,2024,(16):147-149.
- [3] 邱玉成,关浩大.基于无线通信的智能变电站继电保护系统维修方案[J].家电维修,2024,(07):107-109.
- [4] 刘强,瞿汉飞,张少腾.新时代背景下继电保护技术在智能电网中的应用[J].自动化应用,2024,65(S1):106-108+112.
- [5] 张敏,陈澜,李云鸿,等.基于ENTSILDig软件的配电网继电保护参数提取方法[J].自动化技术与应用,2023,42(09):115-118.