

煤矿供电越级跳闸问题解决方案研究

丁 静 波

(山西焦煤集团有限责任公司,山西 太原 030024)

摘要:针对煤矿供电系统中常存在井下短路越级到地面变电站跳闸,导致井下大面积停电,生产停顿,严重时甚至造成局部瓦斯积聚,影响安全等问题。笔者结合煤矿供电系统的特点,理论分析了导致煤矿短路越级跳闸的5种原因,即整定方法不合理、短线路、系统运行方式差异较大、失压保护、CT与短路电流值不匹配。针对煤炭系统目前应用的电流纵联差动保护、通信级联闭锁、数字化集成保护、智能变电站区域集控的4种防越级跳闸方案,分别分析了其技术原理,并从应用角度总结了其优缺点。分析表明基于智能变电站区域集控的防越级系统功能强大,是未来煤矿供电系统的发展方向。

关键词:煤矿供电;越级跳闸;防越级跳闸系统;供电安全

中图分类号:TD608 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2014)02-0063-05

Study on Override Trip Solutions Plan of Coal Mine Power Supply System

DING Jing-bo

(Shanxi Coking Coal Group Co., Ltd., Taiyuan 030024, China)

Abstract: According to the problem of override trip accidents which happened in the ground substation caused by the faults of underground coal mine substation, and the override trip accidents could cause widespread blackout in underground mine, even could cause the gas accumulation. In combination with characteristics of coal mine power supply system, the paper analyzed five reasons of override trip accidents in coal mine, which were the unreasonable setting methods, short lines, the large differences in the power system running mode, under-voltage protection, the no fitting between CT and the value of short-circuit current. And it introduced four typical anti-override trip protection schemes, which were based on the theory of current longitudinal differential protection or trip interlocking or digital integrated protection or smart substation multi-area centralized control. Technical principles of four scheme were analyzed and their advantages and disadvantages were summarized from the view of application. The analysis showed that the override trip protection system based on the theory of intelligent substation centralized control had powerful functions and it was the development of coal mine power supply system in future.

Key words: coal mine power supply; override trip; anti-override trip system; power supply safety

0 引言

煤矿电网6/10 kV电压等级通常穿越多级变电所,具有线路短,过流保护时限短,系统运行方式差异大的特点,造成过流速断保护整定困难,普遍存在短路越级跳闸问题^[1-6]。目前,广泛采用的分布独立式传统继电保护装置,不能解决越级跳闸难题,常导致扩大故障范围的严重后果。而采用电流纵联差动保护或通信级联闭锁对传统继电保护装置进行改造,无法从根本上实现防越级跳闸。随着光纤数字通信网络在煤矿井下的应用,基于数字化集成的保

护方案具备完善的保护功能,保护的可靠性、快速性都有所提高,但该方案对数据的同步采样要求严格,对通信的可靠性要求较高,投资较大。利用智能变电站区域集控技术,采用故障区段矩阵判别算法,构造智能变电站故障识别与隔离系统,可彻底解决煤矿多发的越级跳闸难题。笔者分析了导致煤矿短路越级跳闸的5种原因,并对煤炭系统目前应用的4种防越级跳闸方案进行探讨。

1 越级跳闸问题产生的原因分析

1) 整定方法不合理造成越级跳闸。目前煤矿

收稿日期:2013-08-26;责任编辑:赵 瑞 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2014.02.018

作者简介:丁静波(1966—),男,山西太原人,高级工程师,现任山西焦煤集团有限责任公司机电部部长。E-mail:sxjmdjb@163.com

引用格式:丁静波.煤矿供电越级跳闸问题解决方案研究[J].煤炭科学技术,2014,42(2):63-67.

DING Jing-bo. Study on Override Trip Solutions Plan of Coal Mine Power Supply System[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(2): 63-67.

井下高压短路保护多按1998年煤炭工业部颁发的《煤矿井下供电的三大保护细则》中的《煤矿井下低压电网短路保护装置的整定细则》进行整定计算,其整定值按躲过最大负荷电流进行整定,比按短路电流整定得到的值要小,发生短路后沿线保护均启动,跳闸取决于开关的机械特性,从而导致短路越级跳闸,如图1所示。

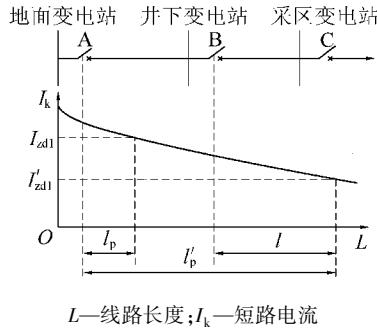


图1 整定方式不合理的电流速断保护范围

图1中地面变电站出线开关A的速断保护定值 I'_{zd1} 按躲过线路最大负荷电流整定,其短路保护范围为 I'_{p} ,即延伸至采区变电站出线,会造成井下线路 l 间的短路越级跳闸到地面出线开关A。正确整定方法应为开关A按躲过本级线路末端最大短路电流整定,即可整定为 I_{zd1} ,其保护范围为 I_p 区间的线路,则当下级线路发生短路时,不会越级跳闸。

2)短线路造成越级跳闸。短线路造成越级跳闸的本质原因是线路本身的阻抗值较小,背侧系统与线路的阻抗比很大。由于这2点原因,短线上发生短路时,短路电流随短路点位置的变化曲线 $I_k=f(l)$ 很平缓,即线路始末端短路电流差值很小。如图2所示,开关B按躲过线路末端最大短路电流整定为 I_{zd1} ,此时在最小运行方式下没有保护范围,即按首端最小短路电流检验时保护灵敏度小于1,电力系统规程建议在灵敏度小于1的情况下不适宜装设电流速断保护,但《煤矿安全规程》要求井下配电网路均应装设短路保护且必须保持灵敏度满足要

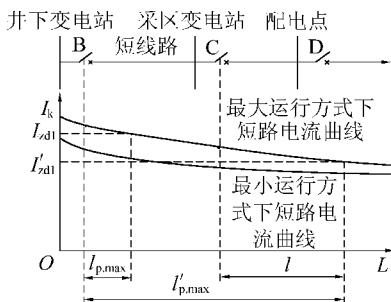


图2 短线路的电流速断保护范围

求,因此一般改为同一灵敏度系数法(即保证线路在最小运行方式下,首端发生两相短路时有1.5的灵敏度系数)进行整定,则开关B的整定值降为 I'_{zd1} ,其短路保护范围在最大运行方式下为 $I'_{p,max}$,即线路 l 间的短路故障均会造成井下中央变电站出线开关B越级跳闸。

3)系统运行方式差异较大导致越级跳闸。当系统运行方式差异较大时,系统在最大运行方式下短路电流很大,而在最小运行方式下短路电流相对较小,即运行方式变化造成同一点的短路电流差异大。如图3所示,开关B按躲过线路末端最大短路电流整定为 I_{zd1} ,此时在最小运行方式下没有保护范围,同短线路一样,若改为按同一灵敏系数法整定,开关B的整定值降为 I'_{zd1} ,造成线路在最小运行方式下有保护范围,然而在最大运行方式下保护范围为 $I'_{p,max}$,即线路 l 间发生短路也可能造成开关B越级跳闸。

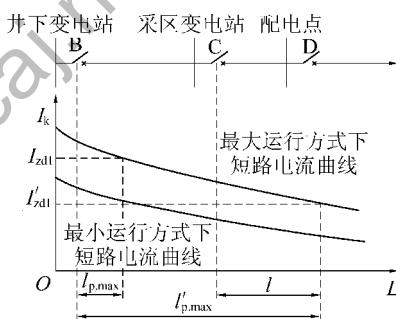


图3 系统运行方式差异大时电流速断保护范围

4)失压保护导致越级跳闸。井下高压隔爆开关设有独立的欠压脱扣器,JB 8739—1998《矿用隔爆型高压配电装置》标准规定欠压脱扣器端子电压降到额定电压的35%以下时应使开关装置可靠分闸,当端子电压大于其额定电压的65%时不应使开关装置分闸,即其在35%~65%可动可不动,同时欠压脱扣器动作时间不可整定,表现为瞬动特性。因此,当馈线在距离母线很近的地方发生短路故障时母线电压短时失压,则该段母线上的所有开关,甚至进线及上级开关均有可能欠压脱扣跳闸,导致越级。另外工作面无软启动的大功率设备重载启动时,也会造成母线电压发生瞬间性的降低,导致大范围跳闸或越级跳闸。

5)CT与短路电流值不匹配导致越级跳闸。井下高压隔爆开关的电流互感器保护线圈一般选择10P10类型,即能满足复合误差小于10%的最大测量电流为一次额定电流的10倍,若开关短路保护整

定值超过该值,则可能造成拒动,导致越级跳闸。如某开关CT的变比为100/5(10P10),此时最大测量范围为1000 A。若线路末端的最大三相短路电流为2000 A,此时短路保护的整定值应为2600 A,若按此值整定则超出CT的测量范围,发生短路时由于CT测量值达不到整定值,则造成开关拒动,发生越级跳闸。若为满足CT测量范围,降低保护整定值则也将造成越级跳闸。

2 煤矿供电系统防越级跳闸方案

目前解决煤矿越级跳闸问题的方案有电流纵联差动保护方案、通信级联闭锁方案、数字化集成保护方案和智能变电站区域集控方案4种。

2.1 基于电流纵联差动保护的防越级跳闸方案

基于电流纵联差动保护的防越级跳闸方案将线路的主保护阶段式电流保护原理升级为电流纵联差动保护原理来解决越级跳闸。电流纵联差动保护原理建立在基尔霍夫电流定律的基础上,利用光纤或电缆将线路两端的保护装置纵向连接起来,通过比较被保护线路两端的电流大小和相位,用以判断是输电线路内部故障还是外部故障,从而决定是否动作切除本线路^[7-9]。

以图4线路为例,当线路K处发生短路故障时,流过线路L₂末端的电流I₂近似为零,而流过线路L₁首端电流I₃为短路故障电流。开关QF3的保护装置不仅可获得I₃电流值,而且可通过光纤或电缆获取I₂的电流值,作差后得差值 $\Delta I = I_3 - I_2 = I_3$,依据纵联差动保护原理判断故障发生在本线路内,跳开开关QF3。流过线路L₁首端电流I₅和末端电流I₄因K处短路故障均会增大,但它们的幅值和相位均相同(不考虑线损的情况下)。开关QF4与QF5的保护装置对I₅、I₄作差后得到差值 $\Delta I = I_5 - I_4 = 0$,判断故障发生在本线路外,QF5与QF4均不动作,从而避免了QF4或QF5的越级跳闸。

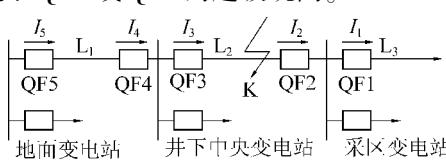


图4 煤矿供电系统示意

基于电流纵联差动保护的防越级跳闸方案改造,一般需要更换各变电站进线开关及对应上级变电站出线开关的保护器为具有纵差保护的保护器,在2个保护器之间连接通信电缆或光缆,保护器一

般接入原有自动化系统即可,改造量小。电流纵联差动保护理论成熟、应用方便、具有良好的选择性,无需与相邻线路保护进行时限与动作值上的配合,能灵敏快速地切除保护区内的故障。但电流纵联差动保护仅能实现线路开关间的短路防越级跳闸,当母线发生短路故障时无法保护,也无法解决煤矿供电系统出现的漏电保护纵向无选择性问题,因此电流纵联差动保护必须配置阶段式保护作为后备保护。

2.2 基于通信级联闭锁的防越级跳闸方案

基于通信级联闭锁的防越级跳闸方案本质上是采用纵向设置时间级差使各级开关顺序动作而避免越级,同时采用通信级联闭锁将纵向级差控制在一定时间内^[10]。该方案采用通信线路将具有纵向关联关系的开关保护测控装置连接起来,当发生短路故障时,所有检测到短路电流的保护装置均向上级开关保护装置发送开关闭锁信号,同时延时T₁时间(开关间通信延时,一般为10~50 ms),等待下级开关的闭锁信号。若在T₁时间内没有收到下级开关的闭锁信号,则判定为本级故障,立即跳闸,收到闭锁信号的开关闭锁T₂时间(断路器分断时间,一般为100~200 ms)等待下级开关跳闸,若在T₂时间后故障仍然存在则进行保护跳闸,反之不动作。

如图5所示,当K处发生故障时,开关QF1—QF5保护装置同时检测到短路电流,等待T₁时间不发跳闸信号,并向上级开关发送闭锁信号。在T₁时间内,只有开关QF1没有收到下级开关的闭锁信号,T₁时间后,QF1跳闸。而开关QF2—QF5收到闭锁信号,再闭锁跳闸T₂时间,由于QF1切除了故障,因此开关QF2—QF5在T₂时间内返回,系统恢复正常,防止了越级跳闸。

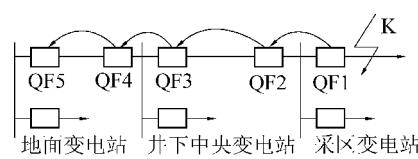


图5 煤矿供电系统示意

基于通信级联闭锁的防越级跳闸方案改造,一般需要更换井下所有开关的综合保护器为具有级联通信功能的保护器,建立专用电力监控系统,改造量大。该方案对短路整定值不要求级联配合,整定简单,但该方案对通信的实时可靠性要求极高,当闭锁信号因通信故障原因未在T₁时间内发送给上级开

关时,将导致防越级跳闸功能失效,跳闸范围扩大;同时在每级开关的速动保护上都增加了 T_1 时间的延时。

2.3 基于数字化集成保护的防越级跳闸方案

基于数字化集成保护的防越级跳闸方案本质上是将线路的主保护阶段式电流保护原理升级为电流纵联差动保护原理来解决越级跳闸,与前面方案不同之处在于该方案采用数字化集成保护技术。

如图6所示,基于数字化集成保护的防越级跳闸方案采用数字化变电站3层2网架构,采用GPS同步技术,实现了全系统数据采样同步。过程层隔爆开关中安装的保护器起到合并器作用,完成各间隔电流、电压、开关量采样,通过光纤网络传输到间隔层。间隔层配置的集成保护测控装置,接收过程层采样数据,完成全系统的保护、测控、自动装置逻辑运算功能,保护出口和控制信号通过光纤网络下发到过程层保护器,由保护器上的出口继电器实现保护跳闸和控制操作。

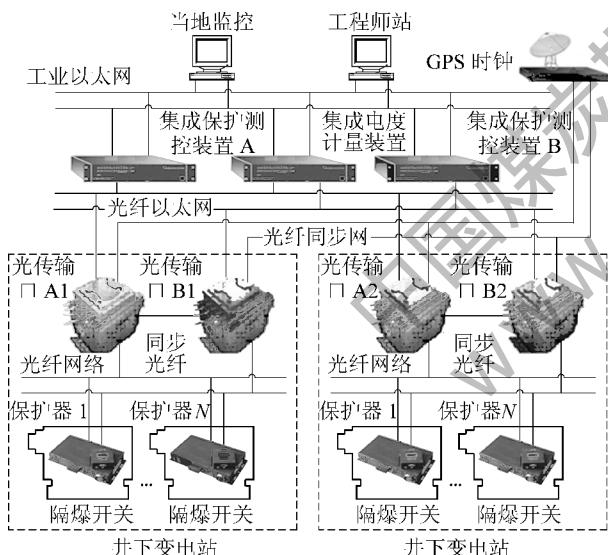


图6 煤矿数字化供电系统

集成保护测控装置中保护、测控功能模块化,如设有线路差动保护模块、母线保护模块、线路阶段式电流保护模块、线路接地保护模块等,因此在使用时需要对各间隔具体保护测控功能进行软配置,即选择其保护及控制模块组合。集成保护装置真正体现了功能软件化,在更换间隔保护时无需更换任何硬件,只需要进行间隔功能软配置即可。如在所有变电站连接线上配置线路纵差保护模块、线路阶段式保护模块,在所有母线上配置母线差动保护模块,即可实现防越级跳闸功能,其原理与第2.1节相同。

基于数字化集成保护的防越级跳闸方案改造,一般需更换井下所有开关的综合保护器为具有合并器功能的保护器,建立专用电力监控系统,改造量大。但保护功能软件化、模块化,可方便地进行功能(如母线差动保护)扩展,有利于传统继电保护原理的改进创新,保护投资。目前该方案基于电流纵联差动保护实现防越级跳闸,并可实现母线差动保护,避免了传统线路纵差保护的缺陷。但该方案对数据的同步采样要求严格,对通信的可靠性要求较高,否则无法发挥基于数字化保护的优势,而且全系统保护功能集中于集成保护中,对集成保护可靠性要求极高,因此建设时一般采用双重化,投资较大。

2.4 基于智能变电站区域集控的防越级跳闸方案

国家电网公司技术标准Q/GDW_441—2010《智能变电站继电保护技术规范》要求35 kV及以下间隔保护、测控、智能终端、合并单元功能宜按间隔合并实现(四合一单元),因此煤矿配电网建设的智能变电站大多采用2层1网结构,不构建SMV过过程层网络,目前在煤炭系统实施了建立在多智能变电站基础上的区域集控式防越级跳闸方案。该方案的基础是煤矿各变电站基于智能变电站体系进行建设,具备GOOSE网络。该方案中,间隔层各间隔保护测控装置独立完成间隔保护功能,同时将识别的故障信息采用GOOSE网络上传至站控层集控中心故障识别与隔离主机,集控中心故障识别与隔离主机采用故障区段矩阵判别算法实现系统中所有故障与不正常运行状态的区段识别,并将结果下发到相应间隔层保护测控装置实现故障区域隔离。

智能变电站的GOOSE网络提供了变电站自动化系统的快速报文传输通道,速度快、可靠性高^[11-13],因此该方案中的故障识别信息上传及隔离信息下发仅需10 ms即可完成,对继电保护特性基本无影响。

故障区段矩阵判别算法的原理是:依据煤矿电网拓扑结构生成网络描述矩阵 D ;依据各开关保护测控装置上报的故障信息生成一个故障信息矩阵 G ,矩阵 D 与 G 经过运算可以得到故障判定矩阵 P ,即得到故障区段^[14-15]。

根据图7所示的煤矿智能供电系统,以每个开关作为一个节点,并进行编号,可生成网络描述矩阵 D ,构造原则是若节点 i, j 间存在馈线且电流由节点 i 流向节点 j ,则 $D_{ij}=1, D_{ji}=0$,矩阵 D 中的其余元素为0。

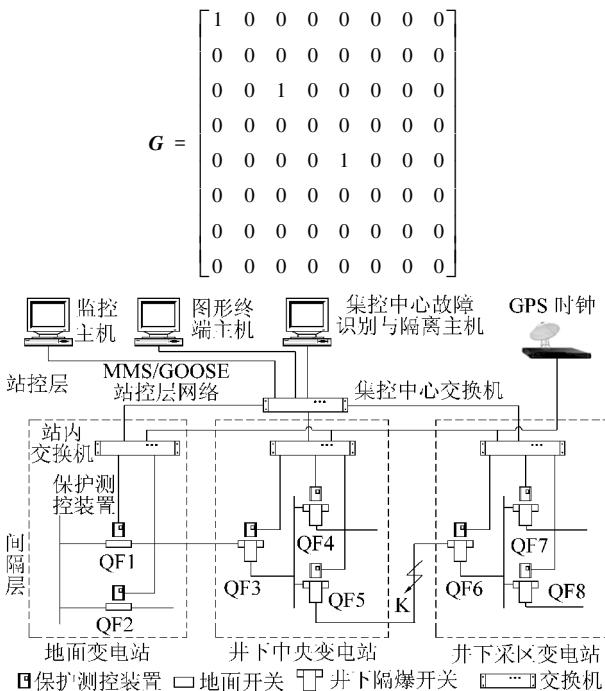


图7 煤矿智能供电系统

当K处发生短路故障,开关QF1、QF3、QF5的保护测控装置同时检测到短路电流,其他开关无短路电流通过,该故障信息由间隔层各开关的保护测控单元进行识别,并通过GOOSE网络上传集控中心故障识别与隔离主机,则可生成故障信息矩阵G,规则为当第i个节点开关的保护测控装置上报故障时, G_{ii} 置1,反之置0;其他非对角线元素均为0。

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

矩阵D与G相加即得故障判断矩阵P。

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

根据P判断故障区段的规则为当 $P_{ii}=1$,而 P_{ij} ($i \neq j$)全部为0时,则故障发生在i节点后的末端位置;当 $P_{ii}=1$,且满足 $P_{ij}=1$ ($i \neq j$)的所有节点均有 $P_{jj}=0$ 时,则故障发生在i和j节点之间。因此可判

定故障发生在QF5与QF6之间。集控中心故障识别与隔离主机通过GOOSE网络下发QF5与QF6的隔离命令,并将故障标注在界面上,完成识别与隔离。基于智能变电站区域集控的防越级跳闸方案改造,一般需更换井下所有开关的综合保护器为智能变电站四合一单元,建立专用电力监控系统,改造量大。该方案符合国家智能变电站建设规范,保证变电站运行维护的通用性与开放性,实现短路防越级与漏电无选择性跳闸仅是区域集控式故障与不正常运行状态可视化功能的一部分,系统功能强大。

3 结语

笔者理论分析了导致煤矿短路越级跳闸的5种原因,归纳总结了目前煤炭系统应用的4种防越级跳闸方案,阐述了各方案在实际应用中存在的优缺点,可为煤炭系统进行防越级跳闸改造提供帮助。

参考文献:

- [1] 尹成迅,潘献全.煤矿供电系统越级跳闸研究[J].煤炭科学技术,2011,39(6):66-69.
- [2] 孟惠霞,胡满红.煤矿井下短路越级跳闸的故障分析[J].煤矿机械,2009,30(2):223-224.
- [3] 王素峰,姚永辉.矿井供电系统运行与安全特性的评价[J].煤炭科学技术,1989,27(10):58-59,57.
- [4] 田兴云.10kV系统故障保护越级跳闸的原因及解决方法[J].电工技术,2007(5):32-33.
- [5] 王静爽,曹尔晔.基于C8051F单片机的煤矿10kV电网保护测量装置[J].煤炭科学技术,2008,36(2):66-67,73.
- [6] 王彦文,赵铁英,马枫林.煤矿井下电缆短路故障限流方法研究[J].煤炭科学技术,2012,40(6):81-85.
- [7] 史丽萍,赵万云,蒋朝明,等.煤矿井下防越级跳闸方案[J].煤矿安全,2012,43(8):115-117.
- [8] 卢喜山,张祖涛,李卫涛.煤矿供电系统基于纵联差动保护原理的防越级跳闸技术研究[J].煤矿机械,2011,32(4):71-73.
- [9] 王晋宏,张作龙.基于光纤纵联电流差动保护的煤矿电网防越级跳闸装置研究[J].煤矿机电,2012(2):48-51.
- [10] 彭国文,唐文海.6kV煤矿配电系统保护防越级跳闸解决方案[J].煤矿机械,2011,32(11):211-213.
- [11] 曹海欧,严国平,徐宁,等.数字化变电站GOOSE组网方案[J].电力自动化设备,2011(4):143-146,150.
- [12] 范建忠,马千里.GOOSE通信与应用[J].电力系统自动化,2007(19):85-90.
- [13] 徐成斌,孙一民.数字化变电站过程层GOOSE通信方案[J].电力系统自动化,2007(19):91-94.
- [14] 范炜豪,陈烨.配电网故障定位与快速抢修系统研究[J].工矿自动化,2012(10):55-59.
- [15] 冯伟杰.智能配网故障快速定位方法的研究与实现[D].广州:华南理工大学,2011:21-25.