

# 基于 GOOSE(面向通用对象的变电站事件)通信技术的直流牵引供电系统跨所域网络化保护方案

冯剑冰<sup>1</sup> 郑淳淳<sup>2</sup> 谢金莲<sup>3</sup> 刘禹兴<sup>2</sup> 赖沛鑫<sup>3</sup> 余 龙<sup>3</sup>

(1. 华南理工大学电力学院, 510641, 广州; 2. 广州地铁集团有限公司, 511430, 广州;

3. 广州白云电器设备股份有限公司, 510460, 广州//第一作者, 高级工程师)

**摘 要** 目的:为实现直流牵引供电系统的信息快速共享,提高供电系统的可靠性,增强装置间的互操作性,在传统方案基础上提出了基于 GOOSE(面向通用对象的变电站事件)通信技术的直流牵引供电系统跨所域网络化保护方案。方法:基于光纤点对点的间隔层组网模式,从系统可靠性、工程应用便捷性考虑,通过 GOOSE 通信技术替代传统的硬接线实现变电所间的保护联跳、闭锁信息的传递。结果及结论:与传统方案相比,本方案在保证原有保护功能的基础上,扩展了直流区间网络化保护功能。测试结果表明,本方案能实现可靠的保护联跳、闭锁,具有较高的可靠性,为直流牵引供电系统跨所域信息传输提供一个新的选择。

**关键词** 地铁; 网络化保护; GOOSE 通信; 跨所域; 直流数字通信; 过电流保护

**中图分类号** U223.8<sup>+</sup>2

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2023.08.039

## Cross-substation Networking Protection Scheme for DC Traction Power Supply System Based on GOOSE Communication Technology

FENG Jianbing, ZHENG Chunchun, XIE Jinlian, LIU Yuxing, LAI Peixin, YU Long

**Abstract** Objective: To achieve rapid information sharing of DC traction power supply system, as well as improving reliability of the system and enhancing the interoperability between devices, a cross-substation networking protection scheme for DC traction power supply system based on GOOSE (generic object oriented substation event) communication is proposed, building upon the conventional approaches. Method: Based on a fiber-optic point-to-point interlayer networking model, considering system reliability and engineering application convenience, the GOOSE communication technology is employed to replace conventional hard-wired connections for the transmission of protection inter-tripping and interlocking information between substations. Result & Conclusion: Compared to conventional approaches, this scheme extends the functionality of

networking protection in DC interval while ensuring the preservation of existing protection features. Test results demonstrate that this scheme achieves reliable protection interlocking and inter-tripping, featuring higher reliability. It provides a new choice for cross-substation information transmission in DC traction power supply system.

**Key words** metro; networking protection; GOOSE communication; cross-substation; DC digital communication; over-current protection

**First-author's address** School of Power Engineering, South China University of Technology, 510641, Guangzhou, China

## 0 引言

地铁直流牵引供电系统现有的网络化保护方案(以下简称“现有保护方案”)实现了变电所内保护装置间的信息交互,基于交换机组建的双星型网络结构。变电所间保护装置间的信息交互则通过电缆硬接线和中间继电器传输保护联跳、闭锁等电信号的方案来实现。基于电缆硬接线和中间继电器的所间信息传输方案比较成熟<sup>[1]</sup>,其二次回路简单,然而却存在无法实时监测二次回路状态、控制电缆长距离传输易受电磁干扰<sup>[2]</sup>而导致保护误动等不足,影响了供电系统的可靠性和稳定性。

随着地铁供电系统智能化的发展,对供电系统的可靠性和稳定性提出了更高的要求。区域保护、长距离供电及故障定位等需求凸显,现有单体保护装置配置的保护功能已无法满足当前需求。随着 IEC 61850 系列标准在城市轨道交通智能化变电站的推广应用,探索实现广域的信息共享方式,实现广域的保护功能,对提高供电系统的可靠性、灵敏性以及运维的智能化水平具有重要的意义。

本文对基于 GOOSE(面向通用对象的变电站事件)通信技术的直流牵引供电系统跨所域网络化保护方案(以下简称“GOOSE 跨所域保护方案”)进行研究,通过基于 GOOSE 通信网络的系统设计,实现了高速的信息共享,在满足原有保护、闭锁功能的基础上进行了网络化保护功能的扩展。

## 1 方案架构及关键技术

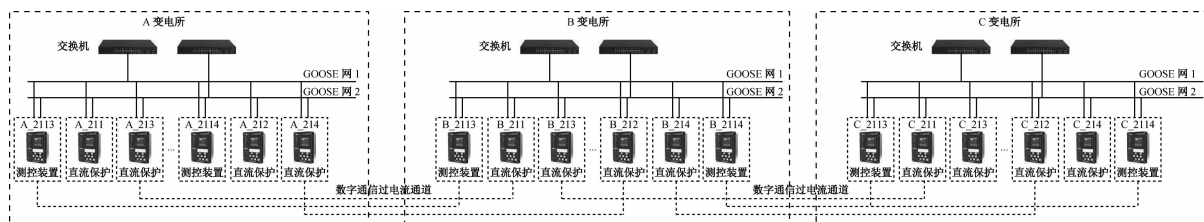
### 1.1 GOOSE 跨所域保护方案的架构

直流牵引供电系统跨所传输的信息包括保护联跳信息、上网隔离开关与纵联隔离开关的闭锁信息。目前所间装置的信息交互主要涉及到间隔层的设备。为保证信息传输的实时性与安全性,以及

工程应用的便捷性,需合理配置间隔层组网结构<sup>[3]</sup>。

跨所数据传输量是影响传输实时性的重要因素。大量数据在网络中传输会占用网络资源,降低数据处理的实时性,目前多采用划分 VLAN(虚拟局域网)隔离数据的方式,该方式存在工程配置复杂、难以维护的缺点。

针对工程应用的便捷性需求,GOOSE 跨所域保护方案采用光纤点对点的间隔层组网模式,变电所间装置通过独立光纤通道直连。为增强系统的可靠性,保护联跳信息、闭锁信息分别由直流保护装置和测控装置来传输。GOOSE 跨所域保护方案的组网结构如图 1 所示。



注:A\_2113、A\_2114 为 A 变电站测控装置编号;A\_211 为 A 变电站直流馈线 211 回路的直流保护装置编号;余类同。

图 1 GOOSE 跨所域保护方案的组网结构

Fig. 1 Networking structure of the GOOSE cross-substation protection scheme

如图 1 所示:直流馈线每个间隔均配置了具备数字化 GOOSE 功能的直流保护装置,以完成本间隔的故障保护;同一供电区间的 2 台直流保护装置通过基于 GOOSE 通信的独立光纤通道直连,以实现所间保护联跳信息的共享;每个牵引变电所配置 2 台具备数字化 GOOSE 通信功能的测控装置,分别完成对左右接触网上网隔离开关和纵联隔离开关位置信息的采集<sup>[4]</sup>,通过独立的光纤通道将本站的信息传输给邻站,实现闭锁信息共享;牵引变电所内的直流保护装置与测控装置通过原有的所内 GOOSE 网络来交换开关位置及跳闸命令等信息。

### 1.2 关键技术

GOOSE 跨所域保护方案通过 GOOSE 光纤代替传统的硬接线,建立了直流牵引供电系统的连接通道,实现了广域信息的共享。其关键技术点在于扩展了直流保护装置和测控装置的逻辑节点。

直流保护装置和测控装置各配置 3 个光口,其中 2 个光口与牵引变电所内的 GOOSE 网络相连,1 个光口与相邻所的相关装置直连。在原有支持 IEC 61850 系列标准的通信装置基础上,基于 IEC 61850 系列标准采用 SCL(变电站配置描述语言)建

模,增设 PSCH(保护联跳信息逻辑节点)、CILO(闭锁信息逻辑节点)、RTPC(通道监视信息逻辑节点),以及各逻辑节点对应的通信数据集。通过对原逻辑节点包含的物理功能进行研究,结合实际工程应用需求,对逻辑节点进行扩展,建立 GOOSE 跨所域保护方案的完整信息模型。其中:RTPC 定义了通信信道方面的监视信息(如通道的误码率及帧错误率等),实现对通道异常的报警;PSCH 定义了保护联跳的信息;CILO 定义了联闭锁的信息。

GOOSE 跨所域保护方案引入间隔层五防的概念,通过测控装置的自定义编程逻辑控制闭锁节点输出,并将闭锁节点串联在开关的控制回路中,进而实现对上网隔离开关与纵联隔离开关的闭锁与联锁功能<sup>[5]</sup>。

## 2 GOOSE 跨所域保护方案的功能实现

### 2.1 直流数字通信过电流保护功能

当直流供电系统发生区间短路时,同一供电区间的直流保护装置流向短路点的电流方向一致。基于这一原理,GOOSE 跨所域保护方案扩展了直流数字通信过电流保护功能。扩展后的直流数字

通信过电流保护功能可有效解决某区间发生短路故障引起相邻牵引变电所馈线发生保护动作从而导致正线大范围停电的难题。

地铁直流牵引供电系统区间短路时的电流状态如图 2 所示,当发生 k1 点短路故障时,直流保护装置 A\_214、B\_212、B\_214、C\_212 均感应到故障电流  $I_{k1}$ ,其中流过 A\_214、B\_214 及 C\_212 的故障电流方向是流入接触网,流过 B\_212 的故障电流方向是从接触网流出。若 A\_214 和 B\_212 的两侧电流

方向不一致,则可判断出故障点不在该区间内,直流保护装置由此闭锁过电流保护、电流增量  $\Delta I$  保护、电流上升率  $di/dr$  保护等相关保护功能,保护不动作;若 B\_214 和 C\_212 的两侧电流方向一致,则可判断出故障点在该区间内,直流保护装置由此开放过电流保护、电流增量  $\Delta I$  保护、电流上升率  $di/dr$  保护等相关保护功能,保护动作。直流数字通信过电流保护逻辑如图 3 所示。

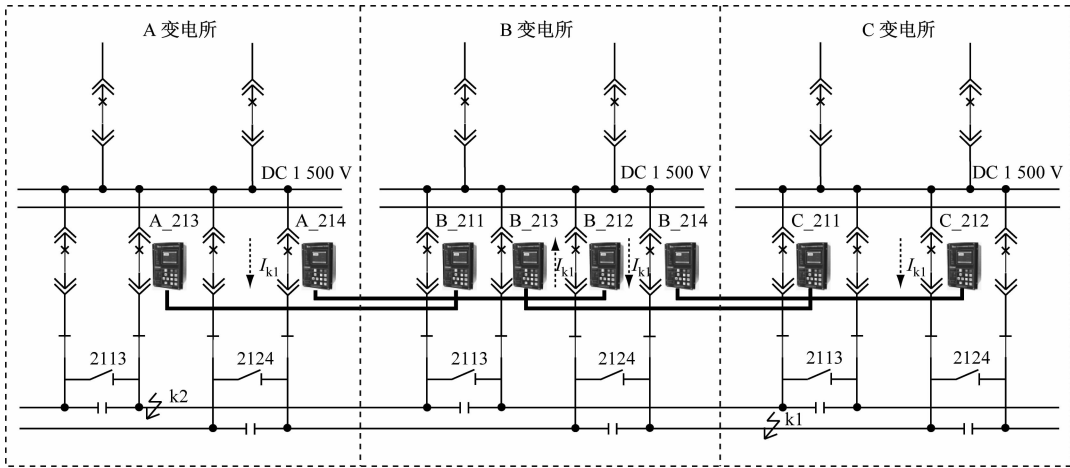


图 2 地铁直流牵引供电系统区间短路时的电流状态示意图

Fig. 2 Diagram of metro DC traction power supply system interval current status during short circuit

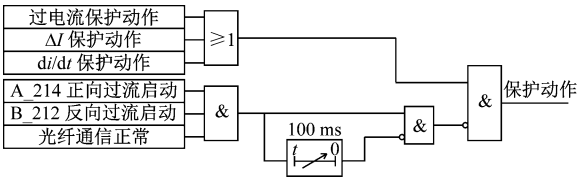


图 3 直流数字通信过电流保护逻辑

Fig. 3 Logic of DC digital communication overcurrent protection

2.2 双边联跳保护功能

直流牵引供电系统的双边联跳功能按供电模式不同可分小双边模式和大双边模式。本文以左边接触网为例对不同模式下的双边联跳保护流程进行说明。

在小双边模式下,直流保护装置的信息交互方式与直流数字通信过电流保护的信息交互方式类似,均基于变电所间的同一供电分区直流保护装置独立光纤通道来实现。如图 2 所示,当接触网区间故障事故发生点(k2 点)靠近 A 变电所时,在 A\_213 检测到故障信息,且 B\_211 未能检测到故障信息或检测到的故障信息不能启动保护动作的情况

下,保护联跳信息传输的路径如下:A\_213 动作后向 B 变电所发送保护联跳信息,B\_211 接收到保护联跳信息后动作,跳开断路器。

在大双边模式下,所间直流保护装置与牵引变电所内直流保护装置通过信息转发的方式来实现信息交互。如图 2 所示,当接触网区间故障事故发生点(k2 点)靠近 A 变电所时,在 A\_213 检测到故障信息,且 C\_211 未能检测到故障信息的情况下,保护联跳信息传输的路径如下:A\_213 监测到故障电流跳开断路器,并通过直连光纤将保护联跳信息发送给 B\_211; B\_213 与 B\_211 通过所内 GOOSE 交换机进行信息交互,将保护联跳信息传递给到 B\_213; B\_213 再通过直连光纤将保护联跳信息传递给到 C\_211 直流保护装置;C\_211 接收到联跳信息后动作,跳开断路器。

2.3 接触网隔离开关闭锁功能

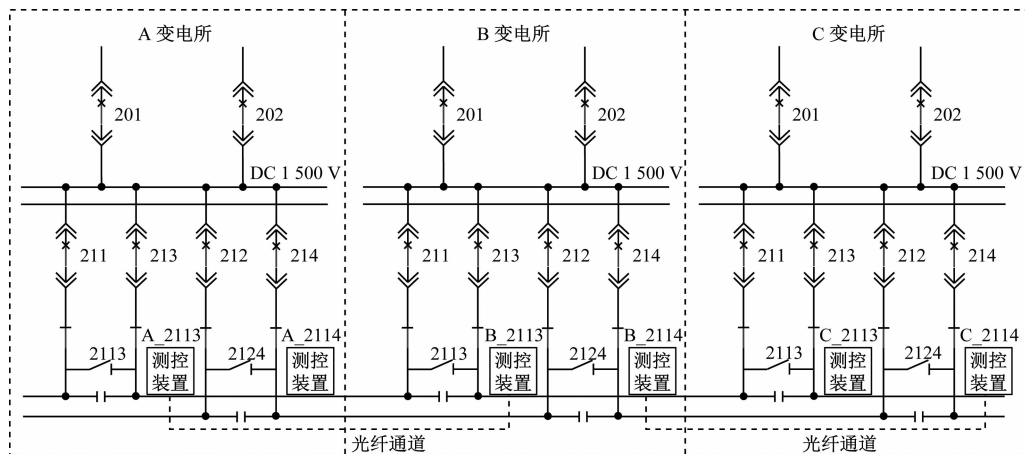
隔离开关柜装置如图 4 所示。如图 4 所示,接触网隔离开关闭锁功能通过变电所间的测控装置与变电所内测控装置进行信息转发的方式来实现。测控装置 A\_2113 与 B\_2113 通过变电所间的光纤

直连,B<sub>2124</sub>与C<sub>2124</sub>通过变电所间的光纤直连;A<sub>2124</sub>将采集到的开关位置信息发送到A变电所的所内GOOSE网络;A<sub>2113</sub>从所内的GOOSE网络接收到A<sub>2124</sub>采集的位置信息后,与本身采集的位置信息通过变电所间的通道发送到B<sub>2113</sub>;B<sub>2113</sub>将A变电所的位置信息发送到B变电所的所内GOOSE网络;B<sub>2124</sub>测控装置从所内的GOOSE网络可接收到A变电所全部联锁所需要的隔离开关位置信息;类似的,测控装置B<sub>2124</sub>与

C<sub>2124</sub>的光纤将C变电所的隔离开关位置信息送到B变电所,至此B变电所可以接收到A变电所与C变电所的所有隔离开关位置信息。

### 3 保护方案的功能可靠性验证

为验证GOOSE跨所域保护方案各功能的可靠性,在实验室搭建了网络化保护试验平台进行模拟验证。模拟故障短路点的示意图如图5所示。



注:201、202等为变电所中的直流进线回路;211—214为变电所中的直流馈线回路;2113及2114为越区隔离开关。

图4 隔离开关柜装置示意图

Fig. 4 Diagram of isolation switchgear device

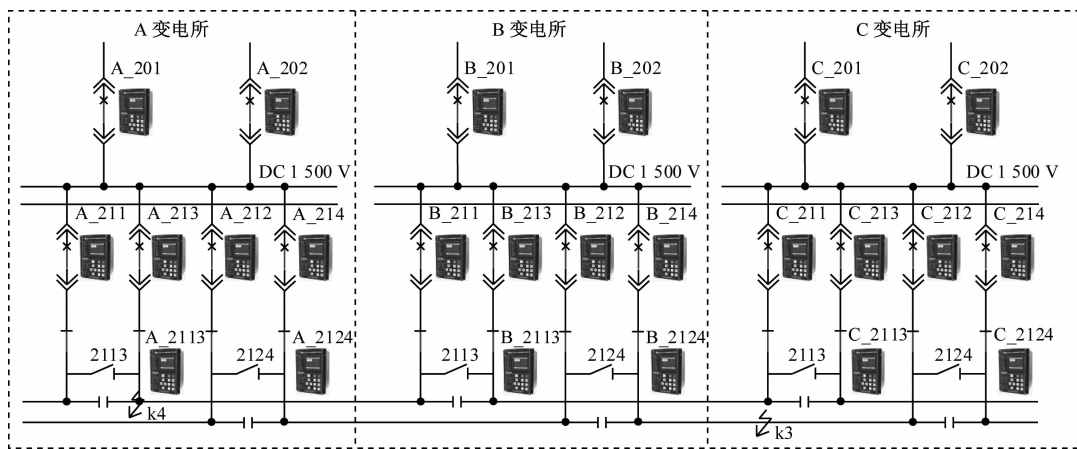


图5 模拟故障短路点示意图

Fig. 5 Diagram of fault short circuit point simulation

#### 3.1 数字通信的过电流保护功能验证

如图5所示,通过模拟直流供电系统区间(k3点)发生故障,验证直流数字通信过电流保护动作的可靠性。

试验模拟结果如下:流过A<sub>214</sub>与B<sub>212</sub>的故障电流方向不一致时,直流保护装置能可靠闭锁A<sub>214</sub>和B<sub>212</sub>的过电流保护,直流保护装置不动作;

流过B<sub>214</sub>与C<sub>212</sub>的故障电流方向一致时,直流保护装置动作,跳开断路器。

#### 3.2 双边联跳保护功能验证

如图5所示,通过模拟直流馈线(k4点)发生故障,验证双边联跳的可靠性。

试验模拟结果如下:在小双边模式下,当k4点发生过流故障后,A<sub>213</sub>动作,并通过与B<sub>211</sub>直

连的 GOOSE 网络将保护联跳信息传输给 B<sub>211</sub>, 在 20 ms 内完成了保护联跳;在大双边模式下,当 k4 点发生过流故障后,A<sub>213</sub> 动作,并通过 B<sub>211</sub> 与 B<sub>213</sub> 将保护联跳信息传输给 C<sub>211</sub>,在 20 ms 内完成了保护联跳。

### 3.3 纵联隔离开关合闸闭锁功能验证

通过试验模拟来验证纵联隔离开关合闸闭锁的可靠性。

当 A<sub>213</sub>、A<sub>2113</sub>、B<sub>211</sub>、B<sub>213</sub>、C<sub>211</sub>、C<sub>2113</sub>等任一装置对应回路的开关在合位时,B<sub>2113</sub> 的控制闭锁节点打开,B<sub>2113</sub> 纵联隔离开关不能合闸。由模拟结果可知,GOOSE 跨所域保护方案能可靠地闭锁纵联隔离开关的合闸。

## 4 结语

直流牵引供电系统按 IEC 61850 系列标准要求建设,构建了网络化保护及闭锁功能,其继电保护等二次设备间的连接由光纤通信连接替代了传统的电缆连接。变电所间的联跳保护信息及闭锁信息通过 GOOSE 光纤交换,可以有效地解决传统硬接线方式存在的断线、接触不良导致的保护拒动、传输过程损耗及继电器不匹配等问题,能满足地铁供电系统对信息传输实时性和可靠性的要求,同时还扩展了区间网络化保护功能,为实现直流牵引供电系统跨所域的高级应用功能提供了又一可选方案。

(上接第 204 页)

## 参考文献

- [1] 旷文珍. 铁路车站分布式计算机联锁系统[J]. 中国铁道科学, 2012, 33(5): 139.  
KUANG Wenzhen. Distributed computer interlocking system of railway station[J]. China Railway Science, 2012, 33(5): 139.
- [2] 王同军. 中国智能高铁发展战略研究[J]. 中国铁路, 2019(1): 9.  
WANG Tongjun. Study on the development strategy of China intelligent high speed railway[J]. China Railway, 2019(1): 9.
- [3] 任建新, 周庞荣, 冯青. 矿区专用铁路现地道岔控制系统关键技术研究[J]. 矿业研究与开发, 2022, 42(8): 178.  
REN Jianxin, ZHOU Pangrong, FENG Qing. Research on the key technologies of local turnout control system for special railway in mining area[J]. Mining Research and Development, 2022, 42(8): 178.
- [4] 吴红义, 杜凯, 夏勃青. 铁路道岔控制电路监控试验装置技

## 参考文献

- [1] 林勇, 余龙, 卜立峰, 等. 地铁供电系统直流开关网络化保护技术探索[J]. 电工技术, 2018(17): 50.  
LIN Yong, YU Long, BU Lifeng, et al. Exploration of protection technology of DC switch network protection in metro power supply system[J]. Electric Engineering, 2018(17): 50.
- [2] 金辉, 廖权保, 赖沛鑫. 基于数字通信的城市轨道交通直流牵引供电系统双边联跳保护系统研究[J]. 现代信息科技, 2018, 2(5): 53.  
JIN Hui, LIAO Quanbao, LAI Peixin. Research on double jump protection system for DC traction power supply system of urban rail transit based on digital communication[J]. Modern Information Technology, 2018, 2(5): 53.
- [3] 张超, 谭建成, 韦化. 基于 IEC 61850 的简易母线保护[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(22): 79.  
ZHANG Chao, TAN Jiancheng, WEI Hua. Simple bus protection based on IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(22): 79.
- [4] 何治新, 冯志翔, 高宇膺, 等. 基于 GOOSE 通信技术的地铁隔离开关数字联锁方案[J]. 电气化铁道, 2021, 32(2): 81.  
HE Zhixin, FENG Zhixiang, GAO Yuying, et al. GOOSE communication technology-based digital interlocking scheme for subway disconnectors[J]. Electric Railway, 2021, 32(2): 81.
- [5] 王义, 刘禹兴, 王文浩, 等. 城市轨道交通供电系统中压环网跨域信息传输方案研究[J]. 电工技术, 2021(14): 163.  
WANG Yi, LIU Yuxing, WANG Wenhao, et al. Research on inter-domain information transmission scheme of medium voltage loop network in urban rail transit power supply system[J]. Electric Engineering, 2021(14): 163.

(收稿日期:2022-08-04)

术研究[J]. 中国设备工程, 2022(5): 183.

- WU Hongyi, DU Kai, XIA Boqing. Research on monitoring test device technology of railway turnout control circuit[J]. China Plant Engineering, 2022(5): 183.
- [5] 钟志旺. 无联锁条件下的道岔控制电路设计与应用[J]. 铁道工程学报, 2021, 38(5): 81.  
ZHONG Zhiwang. Design and application of switch control circuit without interlock control[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2021, 38(5): 81.
- [6] 陈东. 新型道岔控制电路研究及其可靠性安全性分析[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2014.  
CHEN Dong. Research on new switch control circuit and its reliability and safety analysis[D]. Lanzhou: Lanzhou Jiatong University, 2014.
- [7] 曹春雷, 张靖. TYJL-ADX 型联锁系统设计中的注意事项[J]. 铁道通信信号, 2015, 51(11): 21.  
CAO Chunlei, ZHANG Jing. Precautions of engineering design of TYJL-ADX computer interlocking system[J]. Railway Signalling & Communication, 2015, 51(11): 21.

(收稿日期:2022-03-08)