

DOI: 10.7667/PSPC161879

基于信息流监测与解析的遥控缺陷诊断技术应用

徐洪伟¹, 李伟¹, 叶海明², 杨欢红³, 张静¹

(1. 国网浙江省电力公司培训中心, 浙江 杭州 310015; 2. 国网浙江省电力公司检修分公司, 浙江 杭州 311232;
3. 上海电力学院, 上海 200090)

摘要: 为了提高遥控缺陷原因分析的准确性, 针对实际运行中遥控失败所呈现的系统性、过程性以及偶发性特征, 提出基于信息流监测与报文解析技术的诊断方法。通过全程监测、记录变电站监控系统以及远动环节数据交互的信息流, 捕捉遥控异常过程中以太网传输层与应用层通信报文中的关键信息, 分析定位遥控失败原因。该方法解决了遥控过程环节多、技术复杂、故障难以重现等带来的困惑, 全过程、全覆盖的信息流监测记录与报文解析, 使得遥控失败踪迹展露无遗, 为缺陷原因准确诊断与处理方案制定提供翔实技术依据。应用经验表明, 基于信息流监测与报文解析的诊断方法效果好, 尤其对偶发性的遥控缺陷分析优势明显, 值得推广应用。

关键词: 信息流; 监测; 报文解析; 遥控缺陷; 偶发性; 诊断技术

Application of remote control defect diagnosis technology based on information flow monitoring and analysis

XU Hongwei¹, LI Wei¹, YE Haiming², YANG Huanhong³, ZHANG Jing¹

(1. State Grid Zhejiang Training Center, Hangzhou 310015, China; 2. Maintenance Company of State Grid Zhejiang Electric Power Company, Hangzhou 311232, China; 3. Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: A diagnosis method is proposed in order to improve the accuracy of the analysis concerning remote control defects. The method is based on the monitoring of information flow and the parsing techniques of message, focusing on the systematic, procedural, accidental characteristics in the actual remote control operation. Through the monitoring system of substations and the data of remote information flow interactions, the key information of Ethernet transmission layer and application layer is captured in the abnormal remote control process, followed by the analysis of positioning control failure. The method solves the problems of remote control connections, complicated technology and difficulties in reproducing the faults. The whole process and full coverage of monitoring records and parsing message on information flow find the trace of the remote control failure, which also provide the technical basis for accurate defect diagnosis and the treatment plans. It is proved that the diagnosis method based on the monitoring of information flow and the analysis of the message is effective. Especially, it has a great advantage on the analysis of remote control defects, which is worth popularizing.

Key words: information flow; monitoring; message parsing; remote control defects; contingency; diagnostic techniques

0 引言

随着变电站无人值班、集中监控运行模式的深化应用, 断路器远程控制已成为调控中心常态化操作手段。远方遥控在设备停、复役操作中效率高, 在电网或设备故障紧急隔离操作中响应迅速、作用

显著, 目前遥控设备覆盖率与遥控成功率已列为国家电网公司电网设备监控业务评价指标^[1-3]。

远方遥控过程环节多。涉及主站前置机、调度数据网通道、远动装置、测控装置、交换机以及设备之间的信息交互等。遥控命令传输过程完整是遥控成功的基础, 任何一个环节出现异常将导致遥控失败^[4]。遥控实现技术复杂。控制命令传输时序、控制功能激活与关闭机制等, 不仅与主、厂站两端设备控制参数的合理性有关, 也直接受传输通道状

基金项目: 国网浙江省电力公司科技项目 (SGZJPX00PXJS1600112)

况的影响,特别是以太网通道。实际运行中,以太网 TCP 断链重连后,远动传输初始化过程控制时序存在的问题较多。各厂商设备在控制策略处理上存在差异,使得遥控缺陷往往呈现系统性、过程性以及偶发性特征^[5-7]。

偶发性的遥控缺陷与遥控命令信息交互过程密切相关,常规的缺陷检查与诊断分析方法难以奏效。全程监测记录遥控环节信息流,通过报文解析来分析诊断缺陷原因是一种有效的方法。近年来,基于信息流监测与报文解析的缺陷诊断方法,在遥控缺陷原因排查处理中发挥明显作用^[8-9]。实践经验表明,在调度自动化系统主、厂端遥控策略设计与功能应用中,对远动规约执行细节的明确十分必要。影响遥控的下列问题值得深入探讨。

1) 远动传输初始化过程完整性对遥控功能的影响。在主、厂站远动传输初始化完成之后,远动装置遥控相关参数才有效,才能激活遥控功能。

2) 远动传输初始化通信规则一致性。初始化阶段的传输控制时序,特别是总召唤激活机制,以及在总召唤期间变化遥测、变位遥信与遥控命令的处理方式应明确。

3) 遥控命令交互过程的完整性判别。完整过程应包括:遥控选择及返回确认;遥控执行及返回确认;遥控结束与遥控对象变位信号报告。

本文通过500 kV变电站典型遥控缺陷分析处理案例,介绍变电站监控系统信息流监测实现方法以及基于信息流报文解析的遥控缺陷诊断技术应用。遥控可靠性是表征电网调度控制系统性能的重要指标,开关遥控常态化操作是电网故障应急处置的主要手段,特别是紧急拉停开关,直接影响事故快速有效处理。遥控功能检修维护也是检修单位自动化设备运检的主要内容。遥控缺陷的诊断技术与应用经验对提高电网调度自动化系统运行水平,提升电网调控运行支撑能力有着现实的指导意义。

1 变电站信息流实时监测

500 kV 变电站监控系统信息流实时监测主要覆盖三个层面:(1) 电力调度数据网层,变电站与各级调控中心之间的远动、PMU 信息传输监测与解析;(2) 变电站间隔层,监控主机、远动装置与测控、保护装置等间隔层设备之间的信息交互,包括 MMS 协议、网络 103 协议等信息流监测与报文解析;(3) 变电站过程层,测控、保护装置与合并单元、智能终端等过程层设备之间的信息交互,主要有 GOOSE、SV 信息流监测与解析。

变电站监控系统数据流监测部署示意图如图 1 所示。变电站内间隔层、过程层数据流监测与解析主要依托智能变电站配置的网络分析仪。变电站与调控主站之间部署了调控信息交互监测分析装置,全程监测记录远动、PMU 传输信息流并实时解析 DL/634.5104 远动规约^[10-11]、Q/GDW 131 动态数据传输协议,提供遥信状态、遥控过程、稳态遥测数据、动态向量数据等显示界面。

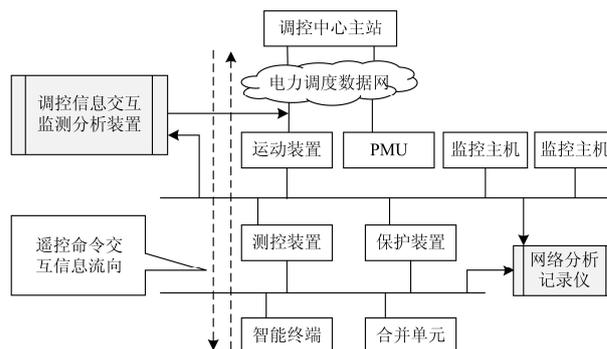


图 1 变电站监控系统数据流监测部署示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the data flow of substation's monitoring system

遥控命令传输信息流向如图 1 中虚线箭头所示,主要环节有:调控中心主站系统前置机、电力调度数据网、远动装置、测控装置、智能终端以及连接部件交换机、光纤、网络线缆等。以远动装置为核心节点的遥控命令接收与转发,由图 1 中的调控信息交互监测分析装置实时监测并记录;站内测控装置与智能终端之间的遥控信息传输由图 1 中网络分析仪实时监测并记录。信息流记录不仅是应用层远动 104 规约报文,还应包括以太网各层通信报文信息,以太网通信状态直接影响遥控功能的正常实现^[12-15]。

2 基于信息流解析的缺陷诊断流程

信息流解析包括应用层通信报文解析与以太网传输报文解析。缺陷诊断首先是定位缺陷环节,其次是分析缺陷原因,最后确定消缺方案。前两步主要依靠信息流解析来完成,缺陷诊断流程如图 2 所示。遥控失败缺陷的排查,宜循着遥控“选择—返校—执行”的信息流,检查远动、测控装置记录的痕迹,并结合通信报文分析,捕捉缺陷期间的异常信号,定位缺陷环节。信息流缺陷原因分析主要有两个层面:(1) 应用层协议;(2) 以太网传输层协议。应用层通信重点关注初始化与总召唤同步过程的信息交互;以太网传输重点关注 TCP/IP 链路关闭与重连过程的 SYN、FIN、RST 等标识信息。依据通信

协议规则分析信息交互过程出现的不一致地方，以此诊断缺陷原因。消缺过程除了软件完善外，应包括工厂环境验证。验证内容至少包括：(1) 遥控缺陷重现；(2) 完善后效果检查；(3) 必要的安全措施等。

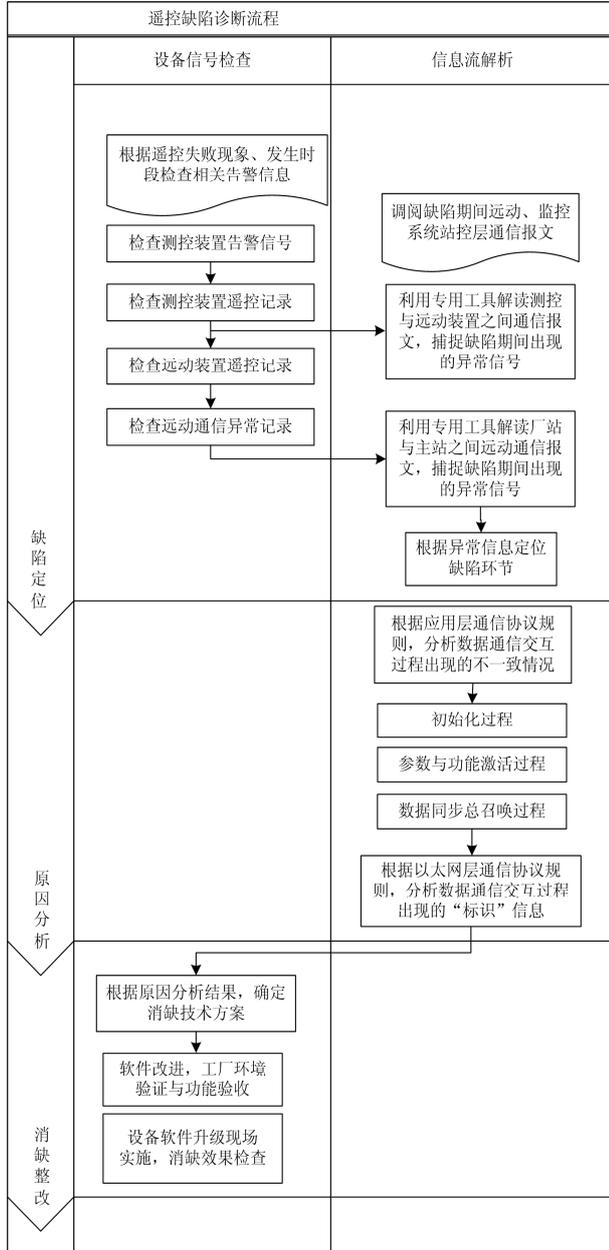


图 2 遥控缺陷诊断流程示意图

Fig. 2 Flow diagram of remote fault diagnosis

3 遥控失败缺陷诊断案例

3.1 远动初始化过程完整性影响遥控执行

2016 年某日凌晨 01:16:23，某调控中心遥控合闸 500 kV 变电站线路开关，第一次遥控预置成功，但执行失败；之后再次发起遥控操作，均在遥控预置环节失败，提示“未识的信息对象地址”告警信

息。下放控制权后，由变电站监控系统完成开关控制操作。08:48:07，调控中心遥控操作该 500 kV 变电所另一间隔开关，合闸成功，发现遥控功能已恢复正常。在此期间，变电站现场未对远动装置、监控系统做任何处置措施。

遥控操作偶发性失败，使得缺陷分析变得复杂，故障诊断准确定位需要遥控过程信息流解析的技术支持。该 500 kV 变电站部署的调控信息交互监测分析装置全程记录了遥控前后远动通道信息的传输过程如图 3 所示，遥控过程关键报文信息解析见表 1。

表 1 遥控过程 TCP 及远动 104 规约报文信息解析

Table 1 Process of TCP remote control and 104 protocol

message analysis		
监测报文时间	TCP 及 104 协议	报文解析
01:16:23.519	遥控预置	遥控对象 24621(YK45)激活
01:16:24.113	预置返回信息	原因码 07，即“肯定+激活确认”
01:16:33.170	TCP 通信终止	标识 FIN 置 1，远动主动关闭以太网通信
01:16:33.185	TCP 通信终止	标识 FIN 置 1，主站关闭以太网通信
01:16:33.185	TCP 确认	远动侧确认关闭以太网通信
01:16:43.482	TCP 连接	标识 SYN 置 1，主站发起 TCP 连接(第一次握手)
01:16:43.482	TCP 连接确认	标识 ACK、SYN 置 1，远动确认 TCP 连接(第二次握手)
01:16:43.499	TCP 连接再确认	主站端对远动确认信息再确认(第三次握手)
01:16:44.400	U 帧	启动数据传输
01:16:44.433	U 帧	确认数据传输
01:16:45.400	遥控执行	遥控对象 24621(YK45)激活
01:16:45.445	执行返回信息	原因码 6F，即“否定+未识的信息对象地址”，拒绝执行遥控。
01:16:53.285	遥控结束	原因码 0A，站端返回遥控结束信息

依据图 3 所示的通信过程报文解析，从四个层面进行遥控过程信息交互异常的分析。

1) 远动 DL/634.5104 规约层。在第一次遥控预置命令下发后，出现了一次“U 帧-启动数据传输”过程。该过程一般是在 TCP 重连后远动 104 规约初始化时出现的。遥控过程中出现“U 帧启动数据传输”属于偶发性事件。U 帧以后的遥控执行命令被拒绝，返回信息的原因码 6F(01101111)，其中 P/N 位置 1，表示“否定”；原因 2F(47)表示“未识的信息对象地址”。

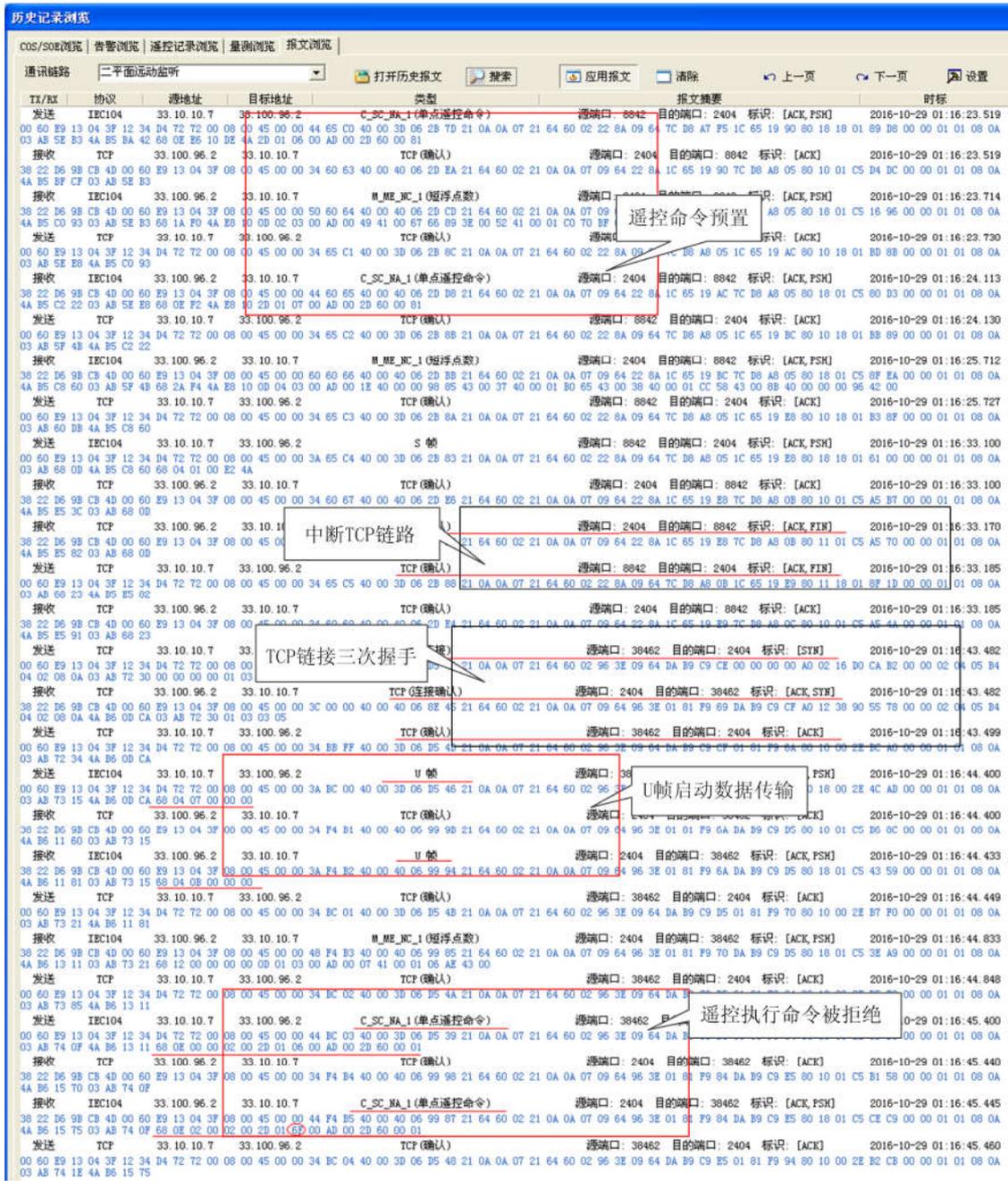


图3 遥控操作期间TCP链接及104规约报文信息记录(主站IP 33.10.10.7, 厂站IP 33.100.96.2)
 Fig. 3 TCP link during remote control operation and records of the 104 protocol message information
 (master IP33.10.10.7, plant station IP33.100.96.2)

2) 以太网 TCP/IP 协议层。01:16:33.170, 远动装置发送的 TCP 确认报文中 FIN 标识置 1, 主动请求关闭 TCP 链路; 在得到主站端关闭 TCP 链路的认可后, 该 TCP 逻辑链路中断。01:16:43.482, 主站发起 TCP 链路连接请求, 经过双方三次握手后, 新的 TCP 逻辑链路建立。之后远动 104 规约应用层激活, 发起“U 帧启动数据传输”。

3) 远动遥控功能激活机制。远动装置启动 104 规约应用进程后, 必须在完成初始化步骤后才激活遥控功能, 即完成 U 帧启动数据传输、总召唤同步数据等过程, 否则拒绝遥控命令。该设计思想主要考虑遥控命令的许可条件, 也就是开关、刀闸位置, 远方/就地以及联锁状态等应满足要求。只有通过总召唤才能完成主厂站遥信状态同步, 才可以判别

遥控命令执行条件,因此总召唤是遥控功能激活的前提条件。调阅详细的通信报文,发现主站端在完成U帧启动数据传输命令后,未及时激活总召唤,厂站远动缺失这一前提条件,也就未激活遥控功能,这是导致拒绝遥控命令的直接原因。

4) 远动规约超时参数及中断TCP链路机制。从更详细的通信报文记录获知,远动主动发起关闭TCP链路请求,是因为启用了远动104规约超时处理机制。远动装置设置了超时参数 $t_2=10\text{ s}$,当远动上传的数据在10s内未得到确认,则中断TCP链路。调阅远动通信报文序列,可观察到在变化遥测数据传输过程中,主站端存在S帧响应不及时的情况。当10s内未收到S确认帧,就发起了关闭TCP链路的请求。该处理方式与远动104规约执行细则则存在偏差,虽有欠妥当,但TCP关闭、重连属于常规处理方式,不应导致应用层远动传输时序出错,因此该缺陷只算是遥控失败的次要原因。

沿着上述遥控过程异常原因分析的思路,可以进一步诊断主、厂站两端远动104规约应用中存在的几个问题,阐述如下。

1) 远动传输初始化过程不完整。远动104规约初始化时序是明确的,U帧-启动数据传输完成后,应启动总召唤,目的是实现主厂站之间的遥信状态、遥测数据的同步一致,为后续的变化数据传输方式、遥控功能激活等提供前提条件。尽管也有观点认为TCP链路短时间内关闭重连后,不需要启动总召唤,避免大量信息重传。实际上这种处理方式得不偿失,一方面增加了程序复杂度,另一方面中断时间长短的判断存在模糊性,容易使通信双方出现偏差,也不符合参考文献[10]执行细则的规定。

2) 远动初始化过程中对主动上传的信号处理不规范。远动104规约采用平衡传输模式,初始化阶段“U帧-启动数据传输”后,厂站端可以主动上传变位遥信、变化遥测信息。实际运行中,发现总召唤前若收到变位遥信、变化遥测数据,会扰乱主站端的104传输控制序列,甚至出现总召唤“丢失”。因此需要完善远动初始化阶段的信息处理机制,例如被TCP中断的遥控命令进程,在TCP重连与远动104规约应用重启后的处理方式。

3) 远动规约传输超时参数应用不合理。远动104规约规定了 t_0 、 t_1 、 t_2 、 t_3 超时参数及处理机制。其中 t_2 参数是“无数据报文时主动给出确认的超时”,默认为10s。使用该参数作为主动中断TCP链路的触发条件显然不合理。

综上所述,规约应用一致性以及通信异常处理机制是解决偶发性遥控失败的关键因素。参考文献

[10]就通信过程异常处理做出明细规定:一旦关闭TCP连接,厂站端丢弃尚未执行完成的应用进程,但必须缓存SOE记录;主站将未执行完成的进程按失败处理。一旦TCP连接得以重新建立,厂站端无须继续尚未完成的进程,但必须重传所有尚未获得确认以及此后新出现的SOE信息;主站必须启动一次总召唤,并重启尚未完成的应用进程。总之,TCP关闭重新连接后,“一切从头开始”。

3.2 遥信处理异常导致误判遥控失败

某500kV智能变电站线路因山火需紧急遥控分闸5032开关。调控中心完成遥控操作后,未见断路器分闸,要求运维中心立即赶赴现场处理。运检人员赶到现场检查监控后台、测控装置显示界面,该断路器为合闸状态。当地遥控操作后,合闸位置仍未改变。但在检查断路器操作机构时发现已指示分闸位置。重启测控装置后断路器位置恢复正确。事后缺陷排查试验中,遥控该断路器多次均成功,未再现缺陷现象。该事件因线路拉停操作时间过长,延误山火救援,造成了不良影响。这是典型的因测控装置遥信环节异常导致遥控误判失败的案例,缺陷呈现的系统性、过程性、偶发性特征明显。测控装置重启后缺陷消失,常规分析手段难以定位故障部位。

调阅变电站网络分析仪记录的通信报文,发现过程层GOOSE报文在第一次遥控操作后,开关变位信号已由智能终端上传(如图4所示),信息显示5032开关在19:06:37总位置及分相位置均已变位。但未见该间隔测控装置的开关变位MMS报告信息。

19:06:37.096941	0.004116	正常变位,总开关位置:由合(10)到过流(00);B相开关位置
19:06:37.097101	0.000160	正常变位
19:06:37.098069	0.000968	正常变位,A相开关位置:由合(10)到过流(00);C相开关位置
19:06:37.098243	0.000174	正常变位
19:06:37.104809	0.006566	[500kV 5032开关第一套智能终端-JFZ600]
19:06:37.104970	0.000161	[500kV 5032开关第一套智能终端-JFZ600]
19:06:37.111337	0.006367	[500kV 5032开关第一套智能终端-JFZ600]
19:06:37.111488	0.000151	[500kV 5032开关第一套智能终端-JFZ600]
19:06:37.112973	0.001485	正常变位,总开关位置:由过流(00)到分(01);B相开关位置
19:06:37.113131	0.000158	正常变位
19:06:37.114370	0.001239	正常变位,A相开关位置:由过流(00)到分(01)
19:06:37.114532	0.000163	正常变位

图4 5032开关分闸变位上传GOOSE信息

Fig. 4 Opening of 5032 switch shifts and uploads GOOSE information

从网络分析仪记录的信息可以推断故障点在测控装置的GOOSE接收至MMS转发环节。根据测控装置遥信插件的工作原理开展缺陷原因分析,遥信GOOSE接收、处理至MMS转发的信息流如图5。

1) 过程层GOOSE报文由DLMD插件的MPC-8247芯片接收;

2) MPC-8247芯片通过双口RAM实现数据“摆渡”到DSP-2812芯片;

3) DSP-2812芯片在通过内部CAN总线将

GOOSE 信息传送给 CPU 管理插件;

4) 管理插件 CPU 处理 GOOSE 信息, 生成 MMS 遥信报告上传到间隔层 MMS 网络。

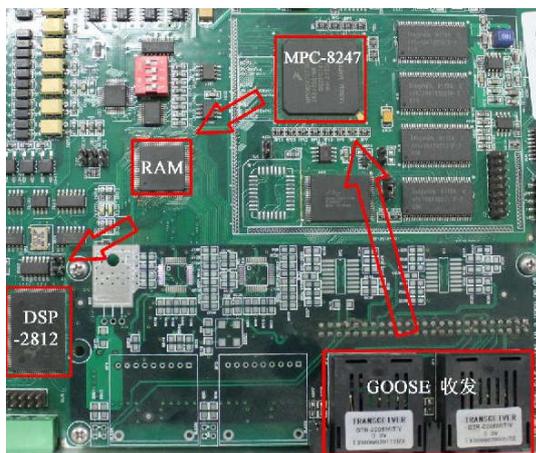


图 5 测控装置遥信插件信息流示意图

Fig. 5 Schematic diagram of information flow of the measurement and control device remote communicated plug

为了重现测控装置故障现象, 搭建了工厂试验环境, 测控装置遥信变位处理工作原理如图6所示。通过不断触发遥信变位产生GOOSE报文, 实时监测 MMS 遥信报告传输报文, 捕捉异常过程。

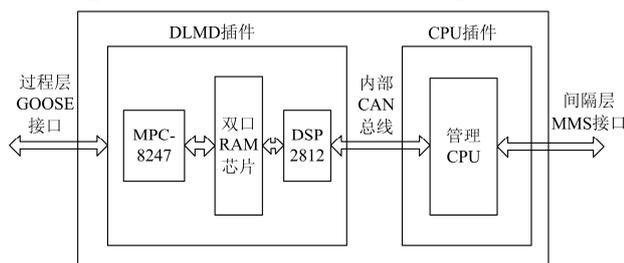


图 6 测控装置遥信变位处理原理图

Fig. 6 Principle diagram of the deformation processing of measurement and control device remote communication

在重复试验的过程中, 偶然重现了故障现象。通过分析故障期间遥信插件信息流, 发现 DLMD 插件的 MPC-8247 处理器与 DSP-2812 处理器之间出现信息流阻断, 原因是双口 RAM 芯片的数据交换出现死锁。两个处理器之间数据交互是通过“握手标志”来控制读取时序的, 标志位置为 00 则可写, 为 AA 则可读, 基本时序如下:

- 1) 写入数据前先读标志, 若为 00 则写数据, 否则等待。
- 2) 完成数据写入后, 将标志位置为 AA。
- 3) 取数据是采取定时循环读取方式, 读数据前先读标识, 若为 AA 则可读, 否则, 等下一循环再读。
- 4) 完成数据读取后, 将标志位置为 00。

周而复始, 通过握手标志实现了两个处理器之间数据的交互。由于两个独立处理器的控制时序不统一受控, 存在对双口 RAM 同时读写碰撞的可能性, 尽管是极低概率事件, 但一旦发生就会出现“标志”异常状态, 既非 00 也非 AA。由于程序处理不周全, 当出现非期望标志状态时, 写入方不再写数据, 读取方也不能读数据, 进入死锁状态, GOOSE 信息传输从此隔断。只有重启测控装置恢复“握手标志”初始状态, 才能恢复两个处理器之间的数据交互。遥控误判失败的现象与工厂试验环境的监测结果证实了上述缺陷分析结论。

基于数据流的监测与诊断分析方法, 准确定位了缺陷环节, 为改进设计、完善程序提供技术依据。具体处理方式是: 在 DLMD 两个处理器的数据交互处理程序段中, 增加异常监测与自恢复机制, 当发现异常标志位时会主动置标志为 00。优化后的程序有效防止了“死锁”的出现。

4 结论

1) 遥控过程是一个多环节信息交互的过程, 遥控失败原因总是能够在遥控命令信息流中找到蛛丝马迹。本文选取的两个遥控缺陷诊断分析案例, 阐述了基于信息流监测与解析的遥控缺陷诊断方法有效性。实际运行中, 该方法还解决过双网冗余通道中断判别机制不合理影响遥控功能的案例。网络 TCP 联接后启动应用程序的初始阶段, 是遥控异常的多发、易发时段, 这是由于遥控功能激活条件的复杂性决定的, 需要引起特别关注。

2) 基于信息流监测的诊断分析技术, 不仅在遥控缺陷分析应用中效果显著, 也能在遥测、遥信、PMU 动态数据等调控信息缺陷分析中发挥有效作用, 尤其是智能变电站网络通信环境下的缺陷分析。计算机网络通信、传输规约知识与工程应用经验是数据流分析的技术基础, 不断丰富自身的知识水平, 积累实践经验, 更能挖掘新技术、新方法的应用潜力, 为提升电网集中监控运行水平发挥更大作用。

参考文献

[1] 国家电网公司. 国调中心关于印发调度控制远方操作自动化技术规范等文件的通知[S]. 北京: 国家电网公司, 2014.
State Grid Corporation of China. Notice of the National Distribution Center for the issuance of technical specification for dispatching automation remote operation[S]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2014.

[2] 刘智涯, 王琳慧, 陆刚, 等. 开关常态化远方操作机制建设[J]. 电力安全技术, 2016, 18(1): 4-6.

- LIU Zhiya, WANG Linhui, LU Gang, et al. The construction of the remote operating mechanism for the normalization of the switch[J]. Electric Power Safety Technology, 2016, 18(1): 4-6.
- [3] HE Jinghan, LIU Lin, LI Wenli, et al. Development and research on integrated protection system based on redundant information analysis[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1: 13pp. DOI 10.1186/s41601-016-0024-y
- [4] 刘必晶, 徐海利, 林静怀, 等. 远动遥控的双校验方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(8): 134-138. LIU Bijing, XU Haili, LIN Jinghui, et al. Research on double check method of remote security check[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(8): 134-138.
- [5] 王文廷, 叶海明, 李伟, 等. 一起 500 kV 变电站远动遥控成功率低的分析与处理[J]. 华东电力, 2013, 41(11): 2426-2428. WANG Wenting, YE Haiming, LI Wei, et al. Cause analysis and processing method of 500 kV substation tele-control low success rate[J]. East China Electric Power, 2013, 41(11): 2426-2428.
- [6] 郭晓军, 武冬冬, 郭亮. 综合自动化变电站常见遥控故障原因分析及处理[J]. 山西电力, 2016(4): 20-22. GUO Xiaojun, WU Dongdong, GUO Liang. Common remote control faults analysis and treatment in integrative automation substations[J]. Shanxi Electric Power, 2016(4): 20-22.
- [7] 李雨舒, 李明珍. 无人值班变电站遥控常见故障的分析与处理[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(18): 145-146. LI Yushu, LI Mingzhen. Analysis and handle of frequent malfunction for unmanned transformer substation remote control[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(18): 145-146.
- [8] 伊洋, 刘育权, 陈宇强, 等. 基于信息综合判断的智能变电站网络通信故障定位技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(3): 135-140. YI Yang, LIU Yuquan, CHEN Yuqiang, et al. Research of network communication fault location technique in smart substation based on comprehensive information judgment[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(3): 135-140.
- [9] 李忠安, 王娇, 张惠刚, 等. IEC61850 过程层网络通信分析诊断工具设计[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(1): 93-96. LI Zhongan, WANG Jiao, ZHANG Huigang, et al. Design of process layer network communication fault diagnosis and analysis tool based on IEC61850[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(1): 93-96.
- [10] 华东电网执行细则: DL/T 634.5104—2002[S]. Grid Corporation of East China: DL/T634.5104—2002[S].
- [11] 孙家安. 基于 IEC60870-5-104 规约的调度自动化远动技术网络化研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010. SUN Jiaan. Power dispatch automation system remote technology research network based on IEC 60870-5-104[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010.
- [12] 王仕俊, 刘雪强, 师广辉, 等. 智能变电站网络通信状态监测及其故障研究[J]. 电子世界, 2013(4): 8-9. WANG Shijun, LIU Xueqiang, SHI Guanghui, et al. Research on network communication condition monitoring and fault of intelligent substation[J]. Electronics World, 2013(4): 8-9.
- [13] 蔡骥然, 郑永康, 周振宇, 等. 智能变电站二次设备状态监测研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(6): 148-154. CAI Jiran, ZHENG Yongkang, ZHOU Zhenyu, et al. A survey of research on secondary device condition monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(6): 148-154.
- [14] 班阳, 全楠, 杜鹃. 调度自动化系统基于闭锁式程序的防止误遥控方法[J]. 电气传动自动化, 2013, 35(6): 51-55. BAN Yang, TONG Nan, DU Peng. Dispatching automation system based on locking program preventing false remote control method[J]. Electric Drive Automation, 2013, 35(6): 51-55.
- [15] 黄国政, 郑广勇, 邱玩辉, 等. 一种远动遥控防误创新技术研究[J]. 广东电力, 2015, 28(6): 70-74. HUANG Guozheng, ZHENG Guangyong, QIU Wanhui, et al. Research on innovated technology for mistake-proof of remote control[J]. Guangdong Electric Power, 2015, 28(6): 70-74.

收稿日期: 2016-11-10; 修回日期: 2017-01-16

作者简介:

徐洪伟(1971—), 男, 讲师, 高级工程师, 主要从事继电保护技术的教学与研究工作;

李伟(1979—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事电网自动化研究工作;

叶海明(1964—), 男, 工程硕士, 高级工程师, 主要从事电网自动化系统设备运维检修工作。

(编辑 姜新丽)