

变电站遥测数据跳变故障定位及分析

余滢婷¹, 吕永灿², 曾传瀚³, 钟逸铭¹

(1. 国网江西省电力有限公司电力科学研究院, 江西 南昌 330096; 2. 国网江西省电力有限公司宜春供电分公司, 江西 宜春 336000; 3. 国网江西省电力有限公司综合服务中心, 江西 南昌 330096)

摘要:随着智能电网的快速发展,变电站遥测数据的稳定传输对电网安全运行至关重要。某220 kV变电站上送至省调主站的遥测数据频繁出现跳变现象,数值异常波动范围覆盖线路有功及相电流等关键参数,严重干扰调度人员对设备状态的实时判断。该文基于变电站实际故障案例,通过系统分析数据传输链路(测控装置、远动装置、纵向加密装置及调度数据网等),结合多轮测试(固定传输通道、旁路纵向加密装置等),精准定位故障原因为变电站省网纵向加密装置故障。研究提出更换差异化型号加密装置的整改措施,经现场实施后主站侧遥测跳变现象完全消除。该文不仅解决了变电站的具体问题,还为复杂传输链路下的遥测异常分析提供了系统性方法,对提升电力系统数据通信可靠性具有重要参考价值。

关键词:变电站;数据跳变;自动化系统;数据传输链路;故障定位

中图分类号:TM 76 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-348X(2025)04-0010-05

0 引言

随着智能电网建设的深入推进,变电站遥测数据作为电力系统实时监控与调控的核心依据,其传输的准确性和稳定性直接关系到电网的安全稳定运行^[1-3]。近年来,变电站上送至省、地调主站的远动信号频繁出现数据跳变现象,主要表现为遥测数值在短时间内发生异常波动,例如有功功率或相电流值突增或骤降。此类问题不仅干扰调度人员对设备运行状态的判断,还可能引发误操作,严重威胁电网的可靠性和经济性^[4-5]。尽管现有研究对数据传输路径中的单一环节(如测控装置、通信网络)进行了局部分析,但针对多环节协同作用下的故障定位与系统性解决方案仍存在不足^[6-7]。同时,由于电力调度数据网多通道互为冗余的复杂性,加大了故障定位的难度。

文中以220 kV变电站遥测数据跳变事件为研究对象,结合现场设备检查与多轮测试,系统分析了数据传输链路中各环节^[8-10]的潜在故障点。通过固定传输通道、旁路加密装置等实验设计,精准定位故障源为省网纵向加密装置,并提出更换差异化型号加密设

备的整改措施。研究结果为复杂传输链路下的遥测异常问题提供了可复用的分析框架,对提升电力系统数据通信可靠性具有重要实践意义。

1 事件概况

某地220 kV变电站Y(以下简称Y变)发送至省调主站的部分遥测信号分别在不同时段频繁发生数值跳变,包括220 kV多条线路有功以及部分相电流等,数据跳变告警如图1所示。频繁的数据跳变导致主站监控人员无法正常判断设备状态,给电网调控运行工作造成不利影响。

线路有功功率事故跳变	23.55	-382.68
线路有功功率事故跳变	382.68	-23.55
线路电压电压事故跳变	0.00	-229.19
线路有功功率事故跳变	-111.63	-4.98
线路有功功率事故跳变	2556766.50	-38.00
线路有功功率事故跳变	55.77	-53.72
线路有功功率事故跳变	-53.72	55.77
线路有功功率事故跳变	1873006.12	-28.58
线路有功功率事故跳变	-106.05	-6931879.00
线路有功功率事故跳变	4981879.00	-104.30
线路电压电压事故跳变	228.74	-0.00
线路电压电压事故跳变	0.00	-229.19
线路有功功率事故跳变	1304799.50	-16.86
线路有功功率事故跳变	45.32	-2980793.00
线路有功功率事故跳变	2980793.00	-45.45
线路有功功率事故跳变	475.28	-58.41
线路电压电压事故跳变	0.00	-228.63
线路有功功率事故跳变	1393048.88	-21.29
线路有功功率事故跳变	72.84	-6761337.00
线路有功功率事故跳变	4761337.00	-72.84
线路有功功率事故跳变	-129.28	-0.00
线路有功功率事故跳变	-0.00	-119.17
线路有功功率事故跳变	4268373.00	-33.56

图1 省调主站收到的Y变部分数据跳变告警

收稿日期:2025-03-12

作者简介:余滢婷(1996),女,硕士,工程师,研究方向为电力系统自动化。

2 原因分析

2.1 变电站自动化系统数据传输路径分析

绘制变电站内部至调控中心主站系统的数据传输示意图,如图2所示,各设备的功能与分析如下:

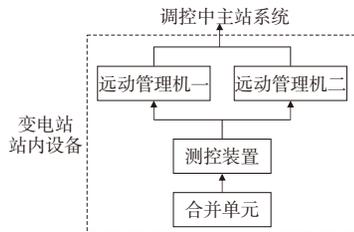


图2 变电站至调控中心主站系统的数据流向

1) 合并单元

作为电流、电压互感器和保护、测控装置的中间接口,完成同步采集电流和电压信号,输出数字信息给保护、测控和计量等装置^[11-12]。

2) 测控装置

实时采集、处理、传输一次设备传感器数据,接收外部操作命令对开关等一次设备进行实时操作控制,并实现五防闭锁、同期检测等功能^[13-14]。

3) 远动管理机

直接采集站内实时数据,通过专用通道向调控中心传送实时信息,同时接收调控中心的操作与控制命令;实现变电站告警信息向调度主站的直接传输,同时支持调度主站对变电站的图形调阅和远程浏览^[15]。

经检查,合并单元、测控装置、远动管理机等站内设备均无告警,设备工作正常。

2.2 远动数据传输路径分析

绘制Y变远动装置至省调主站和地调主站的数据传输路径,如图3、图4所示,开展故障跳变原因分析。

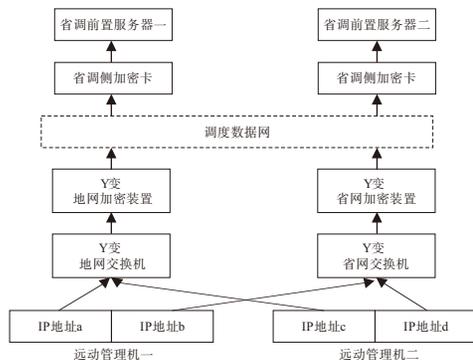


图3 Y变至省调主站的数据传输路径

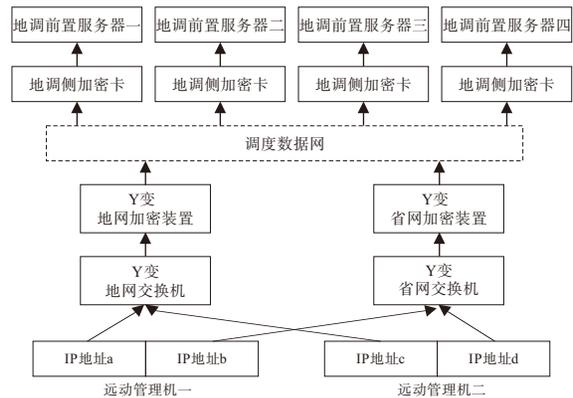


图4 Y变至地调主站的数据传输路径

Y变远动装置将报文经省调/地调调度数据网交换机上送至调度数据网,在调度数据网与数据网交换机之间,均串联纵向加密装置对传输内容进行加密。在省调/地调主站端,数据均需经加密卡上送至前置服务器,并在解析后发送至监控后台供调度人员分析使用。

该传输链路上的任一设备故障,均会导致主站侧数据跳变。

2.3 故障原因初步分析

基于现场设备检查情况和远动数据传输路径分析结果,对故障原因进行初步分析。

一是初步排除故障由网络交换机及路由器导致,通常网络交换机及路由器故障导致故障跳变的概率极低。

二是初步排除故障由调度数据网导致。调度数据网属于各变电站数据传输的公共环节,单站的部分数据跳变一般不由调度数据网故障导致。

对远动装置出口和省调主站侧进行抓包分析,发现两侧报文不一致,判断是主站侧收取错误的104报文引起故障跳变。但是,报文抓取过程中未固定源IP及目的IP,即使某台远动装置的其中一个IP地址输出跳变报文,也可能因为通道自动切换,导致实际抓取到其他IP地址出口的正常报文。因此,无法完全排除远动装置故障或站内其他设备故障的可能性,需要设计方案,在固定通道后抓取主站端及厂站侧报文,开展分析。

对于纵密装置及加密卡,尚不具备抓取装置前后报文开展分析的手段,需要设计试验方案开展分析。

2.4 故障原因排查方案设计

考虑到调度自动化系统运行的特殊性,故障分

故障分析 ➤ FAULT ANALYSIS

析和测试阶段设备仍需保持在运状态,设计试验方案时需计及省、地调主站至Y变的实时通讯正常。综合2.3节的分析,制定四轮测试方案对故障环节开展分析。在四轮测试时,分别固定Y变至省调/地调主站的通道或者IP,通过该方式下测试时段内的故障情况和报文分析情况,开展故障环节精准定位。

第一轮测试为“省调、地调数据网传输均使用省网固定通道,固定Y变与主站通讯IP地址”,目的为“排查站内设备是否存在故障”。

第二轮测试为“省调、地调数据网传输均使用地网固定通道,将省网通道旁路”,目的为“排查地网通道是否存在故障”。

第三轮测试为“省调数据网传输使用省网固定通道,地调数据网传输使用地网固定通道,纵向加密装置的远动业务设为明通”,目的为“排查纵向加密装置是否存在故障”。

第四轮测试为“省调数据网传输使用省网固定通道,地调数据网传输使用地网固定通道,纵向加密装置的远动业务恢复为默认设置”,目的为“再次确认纵向加密装置是否存在故障”。

3 测试过程

3.1 第一轮测试

省调主站侧将其数据网通道的IP地址d设为无效,仅保留省调数据网的IP地址b,固定Y变至省调主站的数据传输路径如图5所示。

在同一时段,地调主站侧作相同操作,固定Y变至地调主站的数据传输路径如图6所示。

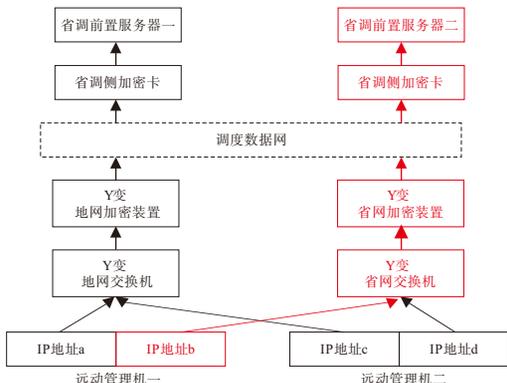


图5 第一轮测试时Y变至省调主站的传输路径

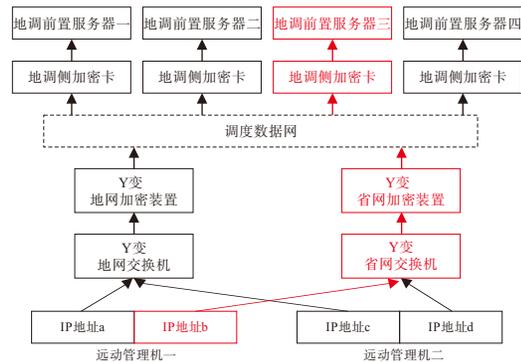


图6 第一轮测试时Y变至地调主站的传输路径

在第一轮测试中,省调侧发生3次数值较大的遥测跳变,具体情况如表1。试验条件已排除通道切换的影响,分析此时远动装置出口处和省调/地调主站侧抓取的报文,省调主站侧收到跳变报文的同一时刻,远动装置出口处抓取的报文无跳变信息,可确定故障来源不是站内设备,而是之后的数据传输环节。

表1 第一轮测试省调遥测跳变

时间	跳变参数	跳变数值
8月25日14:47:12	某线有功	1 656 646.5至25.26
8月25日20:38:30	某线有功	2 069 289.7至31.57
8月25日20:48:47	某线有功	2 760 291.5至42.12

3.2 第二轮测试

省调主站侧于2022年8月26日16时至8月29日9时将地调数据网通道封锁,其余通道情况保持不变。此时Y变至省调主站的数据传输路径如图7所示。

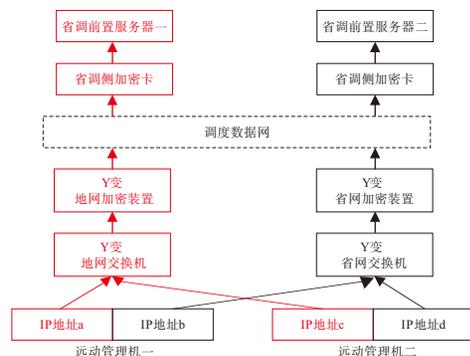


图7 第二轮测试时Y变至省调主站的传输路径

在第二轮测试时,省调主站侧未出现跳变,本轮测试可排除地网通道存在故障的可能,推断故障环节位于省网通道。

3.3 第三轮测试

第三轮测试时定位具体环节。省调主站侧于2022年8月29日9时至8月31日17时解除地调数据网的封锁指标状态。联系省调网络安全值班室,将Y变远动装置(IP:b)至省调前置服务器二的远动业务策略

改为明通状态,即数据跳过两侧加密装置进行传输。

在同一时段,联系省调网络安全值班室将Y变远动装置(IP:b)至地调前置服务器三的远动业务策略改为明通状态。此时Y变至省调/地调主站的数据传输路径如图8、图9所示。

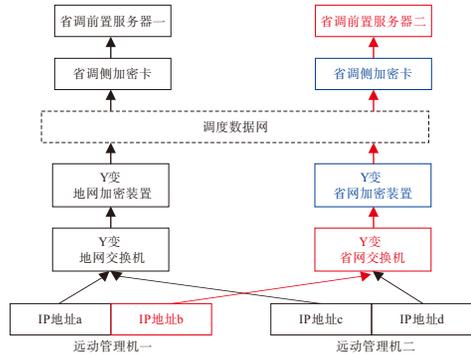


图8 第三轮测试时Y变至省调主站的传输路径

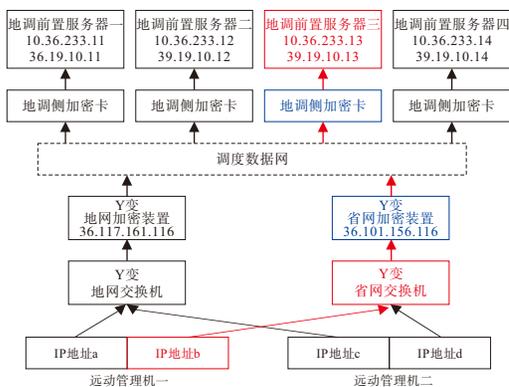


图9 第三轮测试时Y变至地调主站的传输路径

在第三轮测试时,省调主站侧未出现跳变,本轮测试结果可推断出省网通道中纵向加密装置发生故障的概率较大。

3.4 第四轮测试

为排除省调侧3天不出现跳变的巧合,开展第四轮测试。省调主站侧于2022年8月31日17时至9月2日9时,联系省调网络安全值班室,将Y变远动装置(IP:b)至省调前置服务器二的远动业务策略恢复。此时Y变至省调主站的数据传输路径恢复为图5所示路径。

在同一时段,联系省调网络安全值班室,将Y变远动装置(IP:b)至地调前置服务器三的远动业务策略恢复。此时Y变至地调主站的数据传输路径恢复为图6所示路径。

在第四轮测试中,省调侧发生3次数值较大的遥测跳变,具体情况如表2。本轮测试结果说明,第三

轮测试时纵向加密装置被旁路,这是省调主站侧在该段时间内未出现数值跳变的真实原因。

表2 第四轮测试省调遥测跳变

时间	跳变参数	跳变数值
9月1日 10:32:23	某线有功	-14954.64至-42.42
9月1日 13:05:54	某线有功	5 562.44至21.73
9月2日 06:43:43	某线有功	2 064 141.1至23.50

4 测试情况分析

根据Y变遥测数据跳变的四轮测试情况,在第二、三轮测试中,Y变的省网纵向加密装置未对上送数据进行加密,省调主站侧5天均未发生遥测的较大跳变,在第一、四轮测试中,Y变的省网纵向加密装置对上送数据进行加密,省调主站侧5天均发生遥测的较大跳变。

考虑到省调侧加密卡同时接收其他变电站数据无异常,根据测试结果,省调主站侧出现的较大遥测跳变是Y变省内省网加密装置加密错误导致。更换Y变省网通道的纵向加密装置为与原设备型号不同的设备后,省调主站再未出现数据跳变情况,问题得以解决。

5 结语

文中通过精心设计四轮测试,根据数据传输链路,逐一排查变电站至调控中心主站的各级设备,采用固定通道等方式,排除通道切换对测试结果的干扰,最终精准定位到省网纵向加密装置为唯一故障源,故障原因是该装置在数据加密过程中,因硬件或算法异常导致报文错误,引发主站侧数值跳变。通过更换为差异化型号的纵向加密装置后,省调主站侧连续监测未再出现遥测数据跳变,验证了故障定位的准确性及整改方案的有效性。

文中提出了一套涵盖数据传输链路全环节(采集、传输、加密、解析)的故障分析框架,为复杂传输场景下的遥测异常问题提供了可复用的系统性解决方案。研究成果不仅解决了具体案例问题,更通过标准化测试流程,为提升电力调度数据网的通信可靠性和运维效率提供了重要参考,助力智能电网安全运行。

针对文中异常故障,提出如下防范措施与建议:

1) 优化加密装置选型。在电力调度数据网中采用高可靠性、兼容性强的加密装置,避免单一型号设备可能存在的潜在缺陷。

2) 进行定期维护与监测。对纵向加密装置进行周期性健康检查,包括加密算法验证、硬件性能测试等。建立加密装置运行状态实时监控机制,及时发现异常数据流或加密错误。

3) 建立标准化测试流程。推广文中提出的分步测试方法(如固定通道、旁路加密等),形成标准化的故障排查流程,提高类似问题的处理效率。

4) 实行技术培训与案例共享。组织运维人员学习复杂传输链路下的故障定位技术。建立行业案例库,共享加密装置或其他自动化设备异常导致数据跳变的处理经验。

参考文献:

- [1] 杨志宏,周斌,张海滨,等.智能变电站自动化系统新方案的探讨[J].电力系统自动化,2016,40(14):1-7.
- [2] 岳芳,王雪珍,姜山.智能电网的网络安全风险及应对策略[J].科技导报,2024,42(09):6-16.
- [3] 唐文虎,黄文威,郭采珊,等.分布式智能电网的理论发展与技术体系[J].电网技术,2025,49(03):855-867.
- [4] 王晓蔚,习新魁,胡文平,等.基于D5000系统的变电站综合调试试验系统方案与问题分析[J].电力系统保护与控制,2016,44(23):190-196.
- [5] 陆承宇,阮黎翔,杜奇伟,等.智能变电站远动信息快速校验方法[J].电力系统保护与控制,2015,43(11):128-133.
- [6] 李自若,沈曦,张亦兵,等.基于深度强化学习的智慧变电站网络异常检测方法[J].南方电网技术,2021,15(06):98-105.
- [7] 陆剑云,苏和,张云飞.500 kV某变电站监控系统改造实例分析[J].华东电力,2014,42(12):2655-2658.
- [8] 张勇.智能电网调度控制系统实时监控与预警功能规范解读[J].中国电力,2017,50(11):48-53.
- [9] 闪鑫,戴则梅,张哲,等.智能电网调度控制系统综合智能告警研究及应用[J].电力系统自动化,2015,39(01):65-72.
- [10] 辛耀中,石俊杰,周京阳,等.智能电网调度控制系统现状与技术展望[J].电力系统自动化,2015,39(01):2-8.
- [11] 吴小忠,郑玉平,万洛飞,等.220 kV智能变电站设备纵向集成方案及其研制[J].电力系统自动化,2017,41(18):146-151,159.
- [12] 曹亮,陈小卫,肖筱煜.新一代智能变电站二次设备集成方案[J].电力建设,2013,34(06):26-30.
- [13] 张敏,刘永新,杜奇伟,等.多功能测控装置电参量测量算法融合方法[J].电力系统自动化,2014,38(08):104-107.
- [14] 张吉,宋斌,唐成虹.保护测控装置嵌入式采样新平台的研制[J].电力系统自动化,2011,35(02):89-92.
- [15] 樊陈,倪益民,窦仁晖,等.智能变电站一体化监控系统有关规范解读[J].电力系统自动化,2012,36(19):1-5.