

电力行业光伏通讯故障排查与维护探析

罗绍洋

国家电投集团贵州金元威宁能源股份有限公司，贵州 威宁 553100

DOI:10.61369/EPTSM.2026060007

摘 要：光伏电站通讯系统承担数据采集、远程控制与并网调度等关键任务，其稳定性直接影响发电效率与运维安全。针对电力行业光伏通讯网络中常见的物理层中断、协议层错配及设备层失效等问题，本文系统梳理了通讯系统架构与故障分类方法，从物理层、设备与协议层逐级剖析故障排查技术，基于“先抢通后修复、先远程后现场”的实战原则，优化了分层逐段排查流程，提出了分层逐段排查、日志分析与远程诊断等系统级定位策略，并总结了日常巡检、备件管理与应急处理等预防性维护措施。通过构建层次化的故障处理框架，有助于提升现场运维人员的故障响应速度与处置能力，保障光伏电站通讯系统的可靠运行。

关 键 词：光伏电站；通讯故障；物理层排查；协议匹配；预防维护

Analysis of Photovoltaic Communication Fault Troubleshooting and Maintenance in the Power Industry

Luo Shaoyang

State Power Investment Group Guizhou Jinyuan Weining Energy Co., Ltd., Weining, Guizhou 553100

Abstract： The communication system of photovoltaic power plants plays a crucial role in data collection, remote control, and grid connection management. Its stability directly affects power generation efficiency and operational safety. Addressing common issues in photovoltaic communication networks, such as physical layer interruptions, protocol mismatches, and equipment failures, this paper systematically outlines the communication system architecture and fault classification methods. It analyzes fault diagnosis techniques at the physical layer, equipment level, and protocol layer. Based on the practical principles of “restoring connectivity first, then repairing; using remote solutions before on-site intervention,” the paper optimizes the step-by-step troubleshooting process. It also proposes system-level strategies for fault detection, including hierarchical troubleshooting, log analysis, and remote diagnostics. Preventive maintenance measures, such as regular inspections, spare parts management, and emergency response procedures, are also discussed. By establishing a hierarchical framework for fault handling, this approach enhances the ability of field technicians to respond quickly and effectively to faults, ensuring the reliable operation of photovoltaic power plant communication systems.

Keywords： photovoltaic power plant; communication failure; physical layer troubleshooting; protocol matching; preventive maintenance

引言

光伏发电系统中，通讯网络连接逆变器、数据采集器、通讯管理机及后台监控中心，形成完整的数据链路。实际运行中，由于户外环境恶劣、设备老化及电磁干扰等因素，通讯故障频发，表现为数据丢包、通讯中断或遥测值异常。传统排查方式依赖经验，缺乏系统化的故障定位流程，导致维护效率低下。传统排查方式常按理论顺序从现场端逐级排查，而实际故障处置中，后台远程诊断往往能更快锁定故障范围——若因设备掉电导致全站通讯中断，盲目深入光伏区巡检反而会错失抢修时机。本文从通讯架构出发，按照物理层、协议层与系统层的逻辑顺序，探讨各类故障的识别特征与排查手段，并提出日常维护规范，以期为光伏场站运维人员提供技术参考。

一、通讯系统架构与故障分类

（一）光伏场站通讯网络拓扑结构

光伏场站的通讯网络一般会用星型、环型或者混合这种拓扑

结构。星型结构有个核心即中心交换机，各个区域的数据采集器通过光纤或者双绞线汇集起来接入这里，这样便于集中执行管理，不过中心节点存在单点失效的风险。环型结构依靠多余的链路来优化可靠性，一旦某个地方出现断线情况，数据就可以沿着

作者简介：罗绍洋（1989.09-），男，汉族，贵州省六盘水市热人，学历：大专，职称：初级，研究方向或工作领域：新能源光伏发电领域，集控中心通讯工作。

相反的方向传送。大型光伏电站往往采用分层分布式的设计方案：在就地层负责采集逆变器和汇流箱产生的数据，间隔层借助通讯管理机做协议转换，站控层达成数据整合并完成远动通信。

（二）常见通讯设备类型及功能定位

光伏通信系统当中，数据采集器有责任读取逆变器、电表以及气象站这些智能设备的数据，并把它们转换成标准协议。通讯管理机起到协议转换和数据汇集的作用，它支持 Modbus、IEC60870-5-104 以及 IEC61850 等多种规约。交换机和光端机创建起传送通道，工业级交换机要有环网冗余功能，这样才能应对恶劣环境。后台服务器运行着监测软件，来做到数据存储和界面显示。串口服务器负责把 RS485 接口转成以太网。各设备的功能都很清晰，在查找故障的时候，要依照它们在数据链路里的位置来判定责任所在。

（三）通讯故障类型划分与特征识别

按照故障源，通讯故障可以分成物理层故障、设备层故障和协议层故障。物理层故障会显现为线路断开、接头松动或者屏蔽层被破坏，其典型特点就是整条链路的通讯全部中断而且没有信号闪烁。设备层故障包含电源失灵、端口损坏或者固件陷入死锁，这种情况会造成单个设备掉线或者定时重启。在实际运维中，设备层故障中的电源故障占比最高，特别是户外通讯箱开关电源失效，往往造成整个方阵通讯全部中断。协议层故障关乎波特率不符、地址相撞或者数据帧格式有误，它的特性是有些数据能够通过但是数值出现异常或者更新停止。由电磁干扰造成的偶尔丢包属于环境相关类故障。精准判断故障种类能够极大地缩减检查的范围。

二、物理层故障排查

（一）通讯线缆与接口故障检测

光伏场站中，通讯线缆故障较为常见，主要有双绞线断芯、光纤衰减过大以及 RS485 线序错误等情况。现场检查时，首先要查看接头是否存在松动或者氧化现象，用肉眼观察水晶头金属片是否出现翘起状况。利用网络电缆检测仪，可以立即判定双绞线的通断及其线对是否相符。至于光纤故障，则要借助光功率计来测量接收光强是否低于灵敏度临界值。针对较长距离的 RS485 总线，还要考察末端电阻是否已被接入，并且测量各个节点之间的直流电阻值。接口故障可通过替换法来确认端口是否损坏，建议首先更换已知完好的模块以节省时间。

（二）电源与接地问题引发的通讯中断

通讯设备的电源稳定性与其运行的可靠性直接相关。在光伏场站当中，户外通讯箱往往利用开关电源来供电，一旦电源输出电压纹波过大或者实际功率不够，设备就可能出现随机重启或者通讯中断的情况。在执行排查的时候，要用万用表测量电源输出电压是否处于额定值所允许的偏差范围之内，也要查看电源接线端子是否存在发热变色的现象。接地这个问题非常重要，如果接地电阻过大，那么雷击浪涌就无法泄放，就会破坏端口；而且不同设备之间的地电位差也有可能烧坏 RS485 接口。所以建议去测量保护地线和设备机壳之间的导通电阻，以保证接地连续性良好。针对现场排查效率存在的不足，运维班组能够事先在通讯箱

里设置直流电压检测模块，这样就可以经由后台随时查看电源状况，把电源故障的检测由“被动等待找出”转变为“积极察觉”。

（三）电磁干扰对信号传输的影响及排除

光伏逆变器运行时会产生诸多高频开关噪声，这些噪声通过空间辐射或者传导的方式耦合到通讯线路当中，其典型特征在于：当逆变器处于满载运行状态时，通讯误码率会明显增大，不过在夜间处于待机状态时则可恢复正常。要想执行电磁干扰的检查，可以利用便携式频谱仪在通讯线缆周边实施扫描，看看是否出现与逆变器开关频率的倍数有关的干扰峰。相应的抑制办法包含如下几点：把通讯线缆和动力电缆分开敷设，并且其间距不低于三十厘米；采用屏蔽双绞线，并确保屏蔽层实行单端接地；如果有必要，可以在 RS485 总线的两端加上磁环或者采用光隔离器来做到电气解耦，以此切断干扰的流传途径。

三、设备与协议层故障排查

（一）数据采集器与通讯管理机异常处理

数据采集器出现异常时，常常会表现出通道数据全部为零或者数值一直未变。这时首先要查看采集器的电源指示灯和运行指示灯的状态，如果它们一直都是亮着而不闪烁，大概就是程序陷入了死锁情况，此时断电再重新启动，可以解决很多暂时性的故障。要是重启之后还是存在异常现象，就要通过串口或者网口去登录采集器的后台，看看日志里面有没有关于通讯超时或者 CRC 校验错误的相关记录。通讯管理机存在的主要问题在于规约转换这个环节，比如它的上行 IEC104 通道正常，但是下行的 Modbus 轮询却无法达成，这种情况应该检查一下管理机内部的点位映射表是否被正确设置。而且固件版本不相符合也有可能引发处理方面的异常，所以最好是在对照厂家给出的版本兼容性清单之后再小心执行升级操作。

（二）交换机、路由器与光端机故障定位

工业以太网交换机常常因为端口数据堵塞或者广播风暴而产生故障。要想知道这个情况，可以去登录交换机的管理界面，查看端口的发送和接收统计数据。如果某个端口的错误帧计数器极速增长，就可以判定这个分支上有异常流量，应当暂时将这个端口隔离开来，再逐步接入设备，从而找到故障源头。环网交换机如果频繁发生拓扑改变现象，就要检查环网冗余的协议设置情况，也要看看链路的光功率有没有接近临界点。光端机如果出故障，其光路指示灯就会熄灭，告警灯会闪烁不停，可以用光功率计实际测量一下接收端的光功率，要是低于接收灵敏度就必须清理光纤接头或者更换尾纤。光端机的电源模块老化也是很常见的事情，只要测量一下输出电压然后同额定值做比较，能立即作出判断。

四、系统级故障定位与诊断方法

（一）“先远程后现场”分层逐段排查实施步骤

分层逐段排查需严格遵循“先抢通后修复，先远程后现场”的实战原则，不可机械地按数据流向从终端向后台推进。故障发生时，运维人员应先借助后台监测系统执行远程诊断：观察告警

范围是全站中断还是局部方阵中断，检查通讯管理机和交换机是否在线，并尝试远程 Ping 测关键节点。如果全站通讯中断且后台无法连接站内任一设备，则大概率为主控室交换机断电或核心光缆断裂，此时应立即携带备用电源模块赶赴二次设备室；倘若仅为单个方阵通讯中断，后台需核查该方阵的数据采集器在线状态——若不在线，则优先排查该方阵通讯箱的供电情况；若在线，则携带便携式检测工具前往现场，检查 RS485 总线或逆变器通讯板卡。这种以远程诊断为先导、以故障影响范围为判定依据的排查方法，可大幅压缩故障定位时间，避免运维人员在广袤的光伏场区陷入盲目巡检的困境。

（二）日志分析与远程诊断技术

日志文件会记录设备运行期间的关键事件以及错误代码，这可是远程判断的核心依照所在。通讯服务器和后台服务器要打开调试日志模式，把每次通讯超时、重新连接以及校验错误出现的时间和次数都记下来。在分析日志的时候，着重留意故障第一次出现的时间点，回顾这个时间点前后所做的操作记录以及环境状况。远程诊断技术依靠虚拟专用网络或者安全的远程桌面，运维人员不必亲临现场就能登录到现场设备去查看当前的状态。针对偶尔发生的故障，可以远程启动连续抓包，并设定好触发条件，一旦误码率超出预定界限，系统就会自动保存相关报文，方便后续展开分析，极大地优化故障排查的效率。

（三）常用测试仪表与诊断工具应用

现场排查通讯故障时需配备各类检测仪表。手持式网络检测仪器具备线缆通断、IP 地址扫描以及端口识别功能，利于快速判定交换机端口状态。光功率计与红光笔结合使用，其中光功率计用来度量光纤衰减量，红光笔用以寻找光纤断裂点或者弯曲损耗处。示波器能够观测 RS485 总线上的信号波形状况，判断上升沿是否迟缓以及是否存在振铃现象。针对协议分析而言，便携式串口分析仪以及像 Wireshark 这样的以太网抓包工具十分关键，它们可以即时解码 Modbus、IEC104 等规约报文，并计算出错误帧所占的比例。万用表和钳形电流表则被用来执行电源与接地方面的测量工作，属于基本且必要的仪表设备。

五、日常维护与预防措施

（一）通讯设备定期巡检与状态评估

定期巡查要涵盖所有的通讯机柜、户外接线箱以及光纤接续盒。巡查内容包含核查设备指示灯状态是否正常，机柜内部的温湿度是否处于允许范围内，线缆标识是否清晰完整。建议每季度开展一次全站通讯链路状态评定，记录各链路的平均时延与丢包率的基准值。当实际测量值偏离基准值超过百分之二十时，启动

预警机制。红外热成像仪可用来检测接线端子和电源模块的异常温升，从而及早察觉接触不良的可能性。巡查结果需录入运维管理系统，建立设备健康度档案，给后续的预测性维护提供依据。

（二）备件管理与固件版本控制

合理的备品储备对于缩减故障修复时间十分关键，要按照设备的重要程度和故障发生的统计频率来分配储备资源。数据采集器、通讯管理机、交换机电源模块以及各种光模块都应该占一定的比例。备品入库之前务必执行上电检测并记下固件版本号，免得到时候才发现备品自身已经损坏。固件版本的管控也很重要，所有的设备固件和配置文件都要存放在专门的服务器里集中存储，每次打算更新的时候得先备份正在运行的那个版本。升级的时候按照先非关键设备再关键设备、先备用链路后主用链路的原则来做，而且要留出回退的时间，能防止因为新版本存在适配性问题而造成大量通讯中断。

（三）故障应急处理流程与记录规范

故障应急处理流程覆盖故障察觉、初步判定、信息上报、现场处置及恢复确认这五个环节。运维人员若察觉到数据存在异常情况，首先要准确记录时间并确定影响范围，然后依照分层逐段法来初步判断故障种类及其大概位置。如果在十五分钟之内没有自动完成恢复工作，就要向值长实施上报。在现场处置这个阶段，应当首先着重恢复发电相关的通信系统，对于那些非关键业务可以暂时先绕过去。等到故障得到修复之后，要在一周以内递交一份详细的故障分析报告，该报告要包含故障表现形式、检查经过、深层次的原因以及改善办法等内容。所有的故障资料都要按照类别加以归档保存，建立故障知识库，可以供后续的培训活动以及预案更新工作所用，进而不断地优化通讯系统的运维能力。

六、结语

光伏电站通讯系统若要稳定运行，就务必精准识别物理层、设备层以及协议层的故障，并快速加以处理。本文先论述通讯网络架构，然后系统阐述各种故障的检查技术与判断方法，传统“从现场到后台”的排查模式存在耗时过长的问题，因此提出“先远程后现场，先抢通后修复”的实战化系统级定位策略。此策略涵盖远程快速诊断、分层逐步隔离以及专用仪表精准处置等方面内容。文章同时强调定期巡检、备件管理及规范应急处置流程对防范故障复发的重要意义。通过建立以远程诊断为先导、以快速抢通为目标的故障处理体系，能够有效缩短通讯中断时长，提升光伏场站的自动化运维水平，并保障其发电收益。

参考文献

- [1] 温旭东, 王旻, 方超. 光伏电站智能巡检技术在设备故障识别中的应用 [J]. 张江科技评论, 2024, (12): 48-50.
- [2] 邓开, 冯林友, 张涛. 光伏电站智能化运维管理研究 [J]. 农电管理, 2024, (12): 65-66.
- [3] 王凤林, 张学健. 集中式光伏电站汇流箱通讯故障研究 [C]// 中国电力设备管理协会. 中国电力设备管理协会第二届第一次会员代表大会论文集 (1). 中国广核新能源控股有限公司吉林分公司, 2022: 125-128.
- [4] 吴擎. 基于深度学习的光伏发电系统故障诊断方法研究 [D]. 山东大学, 2019.
- [5] 崔世辉, 张欣鹏, 王琨. 光伏电站场区通讯故障诊断与处理研究 [J]. 科学技术创新, 2019, (01): 74-75.